รายงานการวิจัย

การออกแบบและพัฒนาระบบรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติสำหรับอุตสาหกรรม

A Design and Development of

Automated Guided Vehicle System for Industrial Applications

นายอุดม จันทร์จรัสสุข

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชื่อโครงการวิจัย: การออกแบบและพัฒนาระบบรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติสำหรับอุตสาหกรรม

หัวหน้าโครงการวิจัย: ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการออกแบบและสร้างระบบรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติซึ่งประกอบด้วยรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ สถานีส่งและสถานีรับวัสดุ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงาน และใช้ระบบนำทางเป็นเทปสีดำในการเชื่อมต่อระหว่างสถานีส่งและสถานีรับวัสดุ รถขนถ่ายวัสดุสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอัตโนมัติไปตามสถานีต่างๆ ที่ผู้ปฏิบัติงานกำหนดได้โดยใช้ตัวตรวจจับอินฟราเรดในการตรวจจับเส้นทางและอ่านแถบรหัสของสถานี ระบบขับเคลื่อนที่ใช้เป็นมอเตอร์กระแสตรง 2 ตัวแยกซ้ายขวาอิสระ การบังคับเลี้ยวสามารถทำได้โดยให้ความเร็วของล้อทั้ง 2 ข้างแตกต่างกัน จากการทดสอบการทำงานของระบบพบว่า เซนเซอร์มีการสะท้อนเทปสีขาวได้ดีที่สุดและมีการสะท้อนเทปสีดำได้น้อยที่สุด รถขนถ่ายวัสดุสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงสุดเท่ากับ 6.20 เมตรต่อนาที และสามารถเคลื่อนที่ไปบนเส้นทางโค้งที่มีรัศมีความโค้งตั้งแต่ 30 เซนติเมตรขึ้นไป และเมื่อรถขนถ่ายวัสดุบรรทุกชิ้นส่วนที่มีน้ำหนัก 1-5 กิโลกรัม รถขนถ่ายวัสดุจะยังมีความเร็วมากกว่า 6 เมตรต่อนาที รถขนถ่ายวัสดุสามารถรับคำสั่งการเคลื่อนที่จากสถานีหนึ่งไปยังอีกสถานีหนึ่งได้อย่างถูกต้อง

RCH
TS
180.6
อ785ก
ฉ.2

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....121398
วัน, เดือน, ปี.....4 ก.ค. 2555

b.12799942
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Topic: A Design and Development of Automated Guided Vehicle System for Industrial Applications

Head of Research Team: Dr. Udom Janjarassuk (Ph.D.)

Industrial Engineering Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

In this research, we present design and construction of an automatic guided vehicle system for material handling. The system consists of an automatic guided vehicle, storage station, and 3 work stations. The automatic guided vehicle is controlled by a micro-controller and guided by using black tape connected between stations. The vehicle is able to move to a specific station automatically by sensing the guide tape on the floor and by reading the bar code of the station. The vehicle is driven by 2 DC motors independently for the left and right wheels. Steering can be achieved by adjusting the speed of the left and right motors. From the experiments, the results showed that the white color tape is the most reflective and the black color tape is the least reflective. The vehicle has a top speed of 6.20 m/min and a minimum moving radius of 30 centimeters. By carrying load between 1 to 5 kilograms, the vehicle is able to maintain speed at 6 m/min and is able to follow the user commands correctly.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	
สารบัญตาราง	
สารบัญรูป	
บทที่ 1 บทนำ	1-2
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3-5
2.1 ประเภทของรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ	3
2.2 ระบบนำทางของรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ	3
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 วิธีการดำเนินวิจัย	6-18
3.1 การออกแบบโครงสร้างและส่วนขับเคลื่อน	6
3.2 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงาน	9
3.3 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงาน	15
บทที่ 4 อภิปรายผลการวิจัยและวิจารณ์	19-26
4.1 การทดสอบความสามารถในการสะท้อนของเซนเซอร์	19
4.2 การทดสอบความเร็ว	20
4.3 การทดสอบการเคลื่อนที่ตามทางโค้ง	21
4.4 การทดสอบการรับน้ำหนักของวัสดุ	23
4.5 การทดสอบการตอบสนองต่อคำสั่งของรถขนถ่ายวัสดุ	24
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	27-30
5.1 สรุปผลการวิจัย	27
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางในการแก้ไข	27
5.2 ข้อเสนอแนะ	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม 31

ภาคผนวก โปรแกรมควบคุมการทำงาน ผ 1 – 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ชื่อตาราง	หน้า
ตารางที่ 4.1 ตารางค่าลอจิกของการสะท้อนของเซนเซอร์บนแถบสีและระยะห่างต่าง ๆ	19
ตารางที่ 4.2 ตารางค่าความเร็วที่ค่า % duty cycle ต่างๆ	20
ตารางที่ 4.3 ตารางผลการเคลื่อนที่ตามเส้นทางโค้งที่มีรัศมีความโค้งต่างๆ	22
ตารางที่ 4.4 ตารางงความเร็วของรถขนถ่ายวัสดุขณะบรรทุกชิ้นส่วนที่น้ำหนักต่างๆ กัน	23
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงประสิทธิภาพการตอบสนองต่อคำสั่งของรถขนถ่ายวัสดุ	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

ชื่อรูป	หน้า
รูปที่ 3.1 แบบโครงสร้างของรถขนถ่ายวัสดุ	7
รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของวงจรควบคุมการทำงาน	9
รูปที่ 3.3 ผังวงจรตรวจจับเส้นทาง	10
รูปที่ 3.4 ผังวงจรอ่านแถบรหัสสถานี	11
รูปที่ 3.5 การกำหนดอินพุทและเอาท์พุทของไมโครคอนโทรลเลอร์	12
รูปที่ 3.6 ผังวงจรขับมอเตอร์	13
รูปที่ 3.7 ผังวงจรแสดงสถานะของรถขนถ่ายวัสดุ	14
รูปที่ 3.8 ผังวงจรปุ่มรับคำสั่ง	15
รูปที่ 3.9 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่	16
รูปที่ 3.10 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่บนทางตรง	17
รูปที่ 3.11 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา	17
รูปที่ 3.12 แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานเมื่อได้รับคำสั่ง	18
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ PWM กับความเร็วการเคลื่อนที่	21
รูปที่ 4.2 รัศมีทางโค้งต่างๆที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการเคลื่อนที่ตามทางโค้ง	22
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของวัสดุที่ขนถ่ายกับความเร็วของรถขนถ่ายวัสดุ	24
รูปที่ 4.4 เส้นทางในการเคลื่อนที่ของรถขนถ่ายวัสดุ	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

การขนถ่ายวัสดุเป็นกระบวนการสำคัญในระบบการผลิต ระบบการจัดเก็บสินค้าคงคลัง และระบบการกระจายสินค้า การขนถ่ายวัสดุสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้สายพานลำเลียง การใช้แรงงานคน การใช้รถโฟล์คลิฟท์ และการใช้รถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ (Automated Guided Vehicle หรือ AGV) เป็นต้น การใช้รถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติมีข้อได้เปรียบกว่าการใช้สายพานลำเลียงคือสามารถปรับเปลี่ยนจุดรับส่งวัสดุได้ง่าย ซึ่งเหมาะสำหรับระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น (Flexible manufacturing systems หรือ FMS) ที่ต้องมีการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตบ่อย นอกจากนี้การใช้รถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติยังสามารถช่วยลดแรงงานคน รวมทั้งอัตราการบาดเจ็บของพนักงานจากการขนถ่ายวัสดุอีกด้วย

ระบบรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ (Automated Guided Vehicle System หรือ AGVS) ประกอบด้วยรถขนถ่ายวัสดุที่ถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ทำการเคลื่อนย้ายวัสดุไปตามเส้นทางที่กำหนดโดยใช้ระบบนำร่อง รถ AGV แต่ละคันจะสามารถสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ส่วนกลางเพื่อรับคำสั่งและรายงานสถานะการทำงาน โดยคอมพิวเตอร์ส่วนกลางจะเป็นตัวประมวลผลเพื่อจัดลำดับการทำงานและมอบหมายงาน รวมทั้งกำหนดเส้นทางการเดินให้แก่รถ AGV แต่ละคัน เพื่อให้การขนถ่ายวัสดุเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ในปัจจุบัน ระบบรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติได้ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในระบบการผลิตเนื่องจากระบบดังกล่าวมีข้อได้เปรียบกว่าระบบอื่นหลายอย่างตามที่ได้กล่าวไปแล้ว แต่ข้อเสียประการหลักของระบบรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติคือมีราคาแพงเนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงทำให้ยังไม่เป็นที่นิยมในประเทศไทย ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญในการพัฒนาระบบรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติขึ้นใช้เองในประเทศ โดยการสร้างระบบต้นแบบที่สามารถรับคำสั่งจากผู้ใช้และขนถ่ายวัสดุได้อย่างอัตโนมัติ เพื่อใช้ทดแทนแรงงานมนุษย์ และช่วยแก้ปัญหาการนำเข้าระบบรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัตินำเข้าที่มีราคาแพง อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมให้ภาคธุรกิจอุตสาหกรรมขนาดเล็ก สามารถนำไปพัฒนาในเชิงพาณิชย์ได้ และสามารถนำระบบรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติที่ผลิตขึ้นเองในประเทศไปใช้ในวงกว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อสร้างต้นแบบระบบรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ
2. เพื่อส่งเสริมการพัฒนาเครื่องมือและลดการนำเข้าเครื่องมือจากต่างประเทศ
3. เพื่อเป็นการเผยแพร่ความรู้ให้แก่ผู้ที่สนใจ

1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ระบบรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติเป็นแบบ Tandem Configuration ซึ่งประกอบด้วยรถ AGV หนึ่งคันและสถานีรับส่งวัสดุสามสถานี
2. ระบบนำทางเป็นชนิด Fixed Path โดยใช้แถบสติกเกอร์สีดำตามพื้น
3. รถ AGV สามารถรับภาระได้ไม่เกิน 5 กิโลกรัมและมีขนาดไม่เกิน 50 เซนติเมตร

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการวิจัย

1. สามารถใช้ทดแทนแรงงานมนุษย์ในการขนถ่ายวัสดุ
2. สามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตในระยะยาว
3. สามารถนำองค์ความรู้ที่ได้จากการพัฒนาต้นแบบไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากในปัจจุบันได้มีการนำรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย ซึ่งอุตสาหกรรมแต่ละประเภทมีความต้องการแตกต่างกัน ทำให้มีการพัฒนารถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติให้สอดคล้องกับความต้องการของอุตสาหกรรมนั้นๆ ดังนั้น จึงมีการแบ่งประเภทของรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติไว้ดังนี้

2.1 ประเภทของรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ

1. **Towing Vehicles** เป็นรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติที่มีลักษณะการทำงานเป็นแบบลากจูงคล้ายกับขบวนรถไฟ โดยมีส่วนหัวที่สามารถขับเคลื่อนอัตโนมัติอยู่ด้านหน้าและส่วนบรรทุกวัสดุอยู่ด้านหลัง
2. **Unit Load Vehicles** เป็นรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติที่ถูกออกแบบมาสำหรับขนย้ายวัสดุที่ถูกจัดเป็นชุดหรือยูนิตโหลด (Unit Load) ซึ่งมักถูกจัดอยู่ในลักษณะเป็นชั้นในการขนย้ายจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง
3. **Pallet Trucks** เป็นรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติที่ถูกออกแบบมาเพื่อเคลื่อนย้ายวัสดุจากพื้นไปวางบนพาเลตหรือจากพาเลตไปวางลงบนพื้น
4. **Fork Truck** เป็นรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติที่ถูกออกแบบมาสำหรับยกของขึ้นลงจากพื้น
5. **Light Load AGVs** เป็นรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติที่ถูกออกแบบมาสำหรับขนย้ายวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและมีขนาดเล็ก ซึ่งเหมาะสำหรับโรงงานที่มีขนาดเล็กและมีพื้นที่จำกัด
6. **Assembly Line Vehicles** เป็นรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติที่ถูกออกแบบมาสำหรับกระบวนการประกอบชิ้นส่วน

2.2 ระบบนำทางของ รถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ

ระบบนำทางของรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติสามารถแบ่งออกเป็น 6 แบบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. **Wired Navigation** เป็นการนำทางโดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับลวดโลหะซึ่งถูกติดตั้งไว้ด้านใต้ของรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติเพื่อตรวจจับลวดโลหะตามพื้น โดยลวดโลหะจะถูกวางไว้ในร่องลึกประมาณ 1 นิ้ว เพื่อให้รถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่กำหนดไว้
2. **Guide Tape Navigation** เป็นการนำทางโดยใช้เทป สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ เทปแม่เหล็กและเทปสี โดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับที่อยู่ด้านล่างของรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ ระบบนำทางโดยใช้เทปมีข้อได้เปรียบคือ สะดวกในการเปลี่ยนแปลงเส้นทางและมีราคาถูกในกรณีที่ใช้เทปสี
3. **Laser Target Navigation** เป็นการนำทางโดยใช้การสะท้อนของแสงเลเซอร์ที่ส่งออกไปเป็นระยะๆ โดยตัวรับและส่งเลเซอร์จะถูกติดตั้งไว้บนรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติและติดเทปที่ใช้สำหรับสะท้อนแสงเลเซอร์ไว้ตามผนัง
4. **Gyroscopic Navigation** เป็นการนำทางโดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุม โดยฝังเครื่องส่งเรดาร์ไว้บนพื้นและตรวจสอบทิศทางของรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติด้วยเครื่อง gyroscope
5. **Natural Features Navigation** เป็นการนำทางโดยไม่ใช้ตัวสะท้อนในการส่งสัญญาณใดๆ แต่อาศัยอุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้บนรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติเป็นตัวบอกทิศทางและตำแหน่ง ซึ่งวิธีนี้มีข้อดีคือสามารถเคลื่อนย้ายไปใช้ในที่ต่างๆ ได้สะดวก
6. **Steering Control** เป็นการนำทางโดยระบบควบคุมการทำงานของระบบขับเคลื่อน 2 ล้อ ที่ใช้ความเร็วต่างกันในการเลี้ยวและความเร็วเท่ากันในการเดินหน้าถอยหลัง วิธีนี้เหมาะสำหรับสถานที่ที่มีพื้นที่จำกัด

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติได้ถูกคิดค้นขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1955 และได้ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในระบบการผลิตและการกระจายสินค้า ทั้งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารและนอกอาคาร จากการสำรวจ [5] ในปี ค.ศ. 2000 มีรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติกว่า 20000 คันถูกใช้ในขนถ่ายวัสดุที่ใช้ในกระบวนการผลิตเพียงอย่างเดียว ซึ่งยังไม่รวมถึงรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติที่ใช้ในคลังสินค้าและระบบอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติประกอบด้วยรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ สถานีขนถ่ายวัสดุ ระบบเครือข่ายที่เชื่อมต่อระหว่างสถานีขนถ่ายวัสดุ และระบบควบคุมการทำงาน ซึ่งแต่ละส่วนจะทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบเพื่อให้รถสามารถขนถ่ายวัสดุไปตามเส้นทางที่กำหนดไว้ เส้นทางที่ใช้ในระบบรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติอาจถูกกำหนดโดยใช้เส้นนำทางทางกายภาพ (Fixed path) เช่นสายเคเบิลที่ฝังอยู่ใต้พื้นหรือเส้นแถบที่อยู่บนพื้น หรือใช้ระบบที่ไม่ใช่การนำทางทางกายภาพ (Free-ranging) เช่น ระบบนำทางด้วยแสงเลเซอร์โดยการโปรแกรมเส้นทางไว้ล่วงหน้า

เพื่อให้การขนถ่ายวัสดุเป็นไปอย่างมีระเบียบ วัสดุที่ต้องการขนถ่ายจะถูกจัดเป็นชุดโดยนำไปใส่ตู้บรรทุก (Container) หรือ Pallet ซึ่งเรียกว่ายูนิตโหลด (Unit Load) โดยทั่วไป AGV ถูกออกแบบมาให้สามารถขนถ่ายยูนิตโหลดได้มากกว่าหนึ่งยูนิตในเวลาเดียวกัน ดังนั้น ขนาดของยูนิตโหลดจึงมีผลต่อการกำหนดจำนวน AGV และค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายวัสดุ วิธีการหาขนาดของยูนิตโหลดที่เหมาะสมได้ถูกเสนอไว้โดย Egbelu [6] และ Moon และ Hwang [7] โดย Hwang ได้เสนอการนำวิธีการจำลองสถานการณ์มาใช้ในการหาขนาดของยูนิตโหลดที่เหมาะสม

การออกแบบระบบรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติในระบบการผลิตจะต้องคำนึงถึงประเด็นหลายอย่างเช่น จำนวน AGVs ที่ใช้ จำนวนเส้นทางการขนถ่าย จำนวนสถานีรับ/ส่ง ระยะทาง และสภาวะแวดล้อมการทำงาน โดยทั่วไปสามารถแบ่งประเด็นต่างๆ ออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของเทคนิคการออกแบบ (System Design) และส่วนของการดำเนินการ (Operational Design) โดยทั้งสองส่วนมีความเกี่ยวเนื่องซึ่งกันและกัน ประเด็นที่ต้องคำนึงถึงในส่วนของเทคนิคได้แก่ ขนาดและชนิดของ AGV รูปแบบของเส้นทาง ส่วนประเด็นด้านการดำเนินการได้แก่ การแจกจ่ายงานให้กับ AGV การกำหนดเส้นทางของ AGV และการจัดลำดับการทำงานของ AGV โดยประเด็นต่างๆ ที่กล่าวมานี้ได้ถูกศึกษาอย่างกว้างขวางในวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น Ganesharajah และ Sriskandarajah [8] King และ Wilson [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินวิจัย

ระบบรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติประกอบด้วย รถขนถ่ายวัสดุ 1 คัน สถานีส่งวัสดุ 1 สถานีและสถานีรับวัสดุ 3 สถานี สถานีส่งและรับวัสดุทั้งหมดเชื่อมต่อกันเป็นวงรอบโดยใช้เทปสีดำเป็นตัวนำทาง โดยสถานีส่งวัสดุทำหน้าที่เสมือนเป็นแผนกเบิกจ่ายวัสดุในโรงงาน และสถานีรับวัสดุเป็นเสมือนสถานีประกอบในสายการผลิต รถขนถ่ายวัสดุสามารถวิ่งจากสถานีหนึ่งไปยังอีกสถานีหนึ่งได้โดยพนักงานเป็นผู้กำหนดสถานีปลายทางที่ต้องการ การดำเนินการแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

1. การออกแบบโครงสร้างและส่วนขับเคลื่อน
2. การออกแบบวงจรควบคุมการทำงาน
3. การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงาน

3.1 การออกแบบโครงสร้างและส่วนขับเคลื่อน

3.1.1 การออกแบบโครงสร้าง

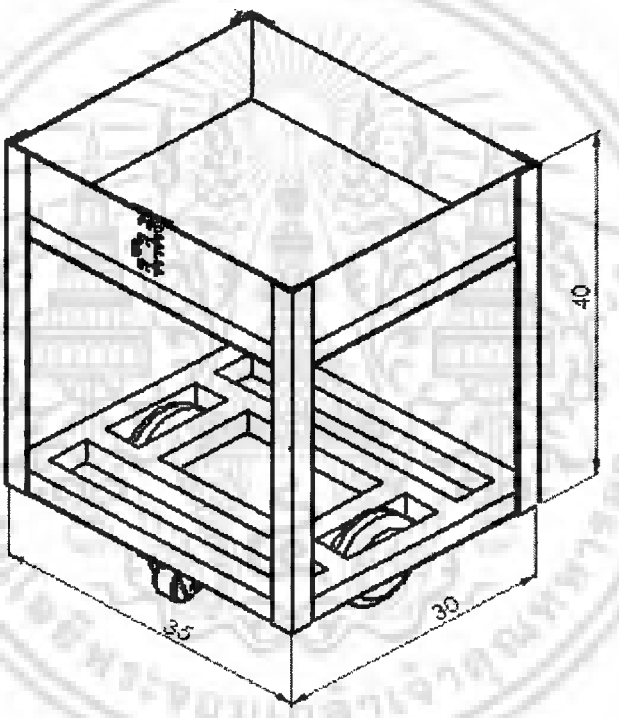
โครงสร้างของรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติที่เป็นรถต้นแบบประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ส่วนฐาน มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 30×35 เซนติเมตร โดยเลือกใช้เหล็กกล่องขนาด 1×1 นิ้ว โดยส่วนฐานเป็นส่วนที่ต้องการความแข็งแรงเนื่องจากต้องรับน้ำหนักของรถทั้งหมดรวมทั้งน้ำหนักของวัสดุที่ขนถ่าย และเป็นส่วนที่ใช้ยึดติดกับชุดขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ส่วนโครงด้านข้าง ใช้อลูมิเนียมฉากขนาด 1×1 นิ้ว ยาว 40 เซนติเมตร ยึดติดกับส่วนฐานทำให้ความสูงของรถไม่รวมความสูงของล้อเป็น 40 เซนติเมตร

3. ส่วนบรรทุกวัสดุ ซึ่งอยู่ด้านบนของรถขนถ่ายวัสดุ มีลักษณะเป็นกล่องเปิดด้านบนโดยด้านข้างทำจากแผ่นอะคริลิคขนาด 30×10 เซนติเมตรจำนวน 2 แผ่น และขนาด 35×10 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น ส่วนฐานด้านล่างใช้แผ่นอะคริลิคขนาด 30×35 เซนติเมตร



รูปที่ 3.1 แบบโครงสร้างของรถขนถ่ายวัสดุ

3.1.2 การออกแบบส่วนขับเคลื่อน

รถขนถ่ายวัสดุใช้ระบบขับเคลื่อน 2 ล้อโดยใช้มอเตอร์ขับเคลื่อน 2 ล้ออิสระ การออกแบบส่วนขับเคลื่อนจะต้องคำนวณหาหาความเร็วรอบของมอเตอร์และแรงบิดของมอเตอร์ที่ใช้โดยพิจารณาจากความเร็วการเคลื่อนที่ของรถขนถ่ายวัสดุ น้ำหนักรวมทั้งหมด และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.1 <u>การคำนวณหาความเร็วรอบของมอเตอร์</u>

กำหนดให้

- ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถขนถ่ายวัสดุ = 7 เมตรต่อนาที
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางล้อขับเคลื่อน = 7.8 เซนติเมตร

ดังนั้น การหมุนของล้อ 1 รอบ ได้ระยะทาง = π × เส้นผ่านศูนย์กลางล้อ

= π × 0.078 เมตร

= 0.245 เมตร

ความเร็วรอบของมอเตอร์ = $\frac{7}{0.245}$ รอบต่อนาที

= 28.57 รอบต่อนาที

3.1.2.2. <u>การคำนวณหาแรงบิดของมอเตอร์</u>

กำหนดให้

- น้ำหนักรถรวมน้ำหนักบรรทุก = 10 กิโลกรัม
- เส้นผ่านศูนย์กลางล้อ = 0.078 เมตร

แรงกดทั้งหมด (F_{total}) = น้ำหนักวัสดุ(M) × ความเร่ง(a)

= 10×9.8 นิวตัน

= 98 นิวตัน

เนื่องจากรถขนถ่ายวัสดุใช้มอเตอร์ 2 ตัวในการขับเคลื่อน ดังนั้นแรงที่แต่ละล้อจะได้รับเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงรวมทั้งหมด คือ 49 นิวตัน

จาก แรงบิด(T) = แรง (F_{wheel}) × รัศมีของล้อ (r)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

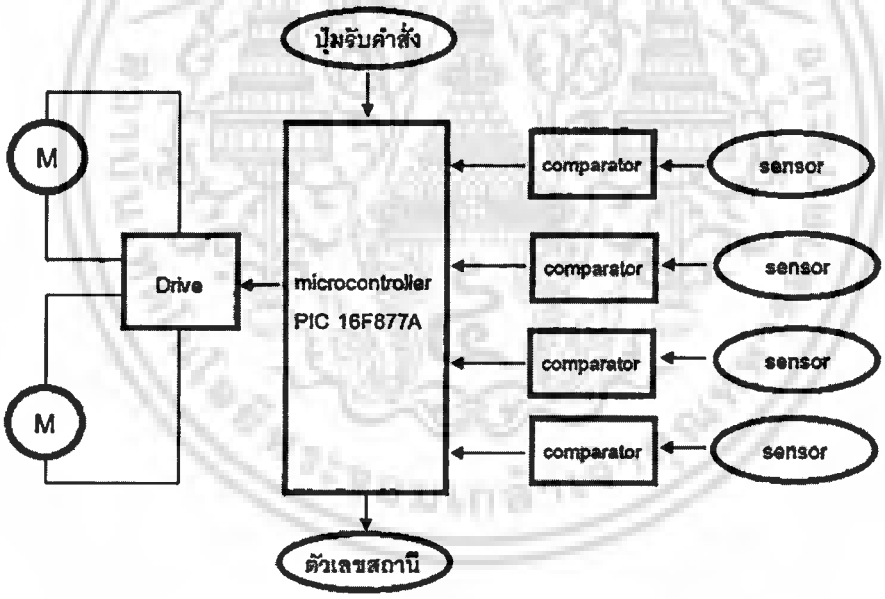
= 49 × 0.039 นิวตันเมตร

= 1.1911 นิวตันเมตร

มอเตอร์ที่เลือกใช้มีขนาด 12 V ที่มีความเร็วรอบ 30 รอบต่อนาที และมีแรงบิด 2 นิวตันเมตร

3.2. <u>การออกแบบวงจรควบคุมการทำงาน</u>

การทำงานของรถขนถ่ายวัสดุถูกควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ตระกูล PIC 16F877A โดยเชื่อมต่อกับส่วนอินพุท/เอาท์พุท 4 ส่วนดังแสดงในรูป 3.2 ส่วนของอินพุทประกอบด้วยเซนเซอร์และปุ่มรับคำสั่ง ส่วนของเอาท์พุทประกอบด้วยวงจรขับมอเตอร์และส่วนแสดงผลสถานะ



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของวงจรควบคุมการทำงาน

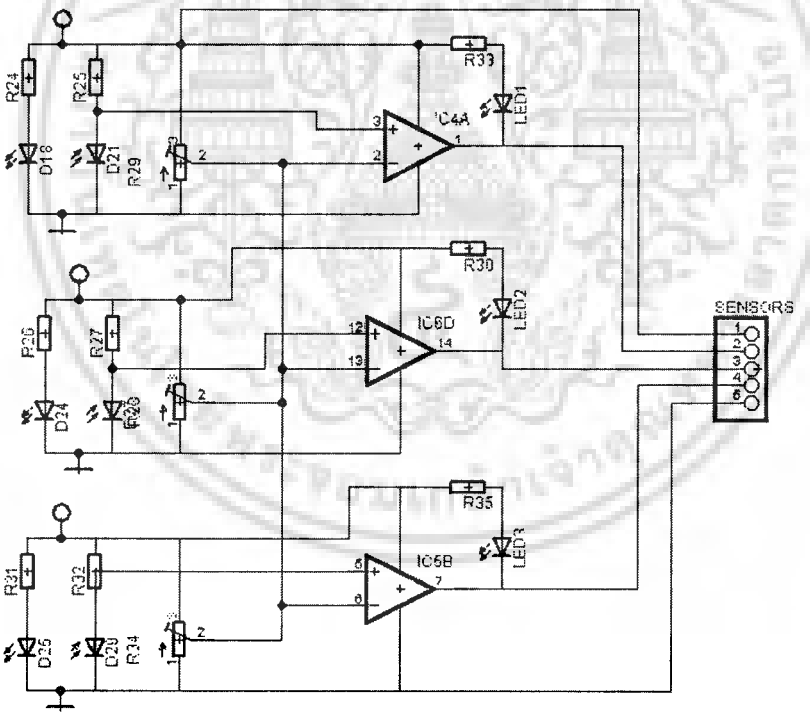
3.2.1 เซนเซอร์

เซนเซอร์ทั้ง 4 ตัวเป็นเซนเซอร์อินฟราเรดที่เป็นโฟโต้ไดโอด (Photodiode) เบอร์ LTH1550-01 ซึ่งมีตัวรับและตัวส่งสัญญาณอินฟราเรดภายในตัวเดียว โดยแบ่งออกเป็นเซนเซอร์สำหรับตรวจจับเส้นนำทาง 3 ตัว และเซนเซอร์สำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

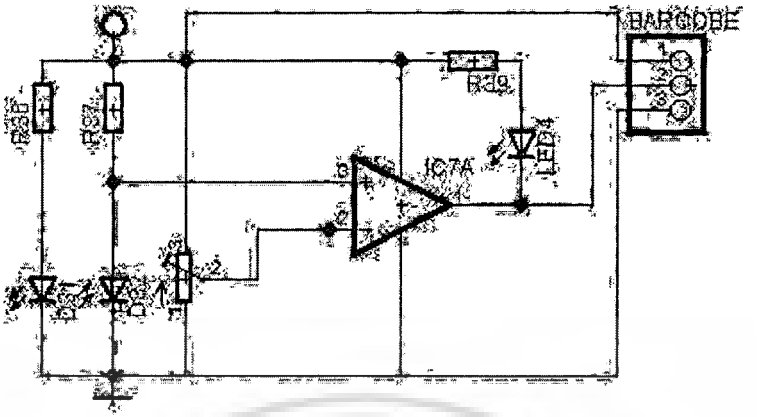
ตรวจจับสถานี 1 ตัว สัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์แต่ละตัวจะถูกส่งต่อไปยังวงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage comparator) เพื่อแปลงสัญญาณจากอนาลอคให้เป็นสัญญาณดิจิตอล และนำไปประมวลผลต่อไป

การตรวจจับเส้นจะใช้หลักการส่งและสะท้อนกลับของแสงอินฟราเรด ซึ่งปริมาณการสะท้อนกลับของแสงอินฟราเรดจะขึ้นอยู่กับพื้นผิวและสีของวัสดุ โดยแถบนำทางที่เป็นสีดำจะมีปริมาณการสะท้อนกลับของแสงอินฟราเรดต่ำเมื่อเทียบกับพื้นที่มีสีสว่างกว่า ซึ่งส่งผลให้แรงดันที่โฟโต้ไดโอดเปลี่ยนแปลงตามความเข้มของแสงที่ได้รับ แรงดันที่ได้จะถูกแปลงให้เป็นลอจิก 0/1 โดยใช้วงจรเปรียบเทียบแรงดัน วงจรเซนเซอร์สำหรับตรวจจับเส้นนำทางและวงจรเซนเซอร์สำหรับตรวจจับสถานีได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ



รูปที่ 3.3 ผังวงจรตรวจจับเส้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ผังวงจรอ่านแถบรหัสสถานี

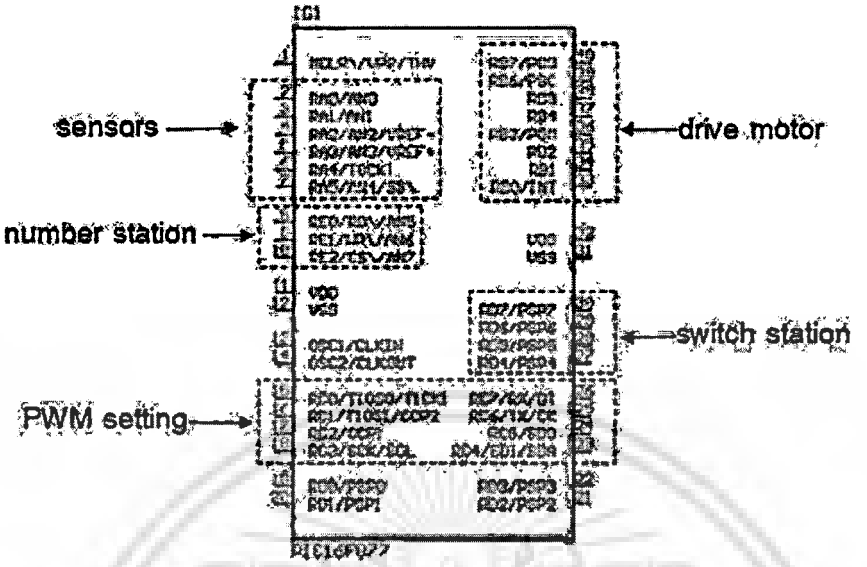
3.2.2 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

วงจรเปรียบเทียบแรงดันในผังวงจรรูปที่ 3.3 และ 3.4 ใช้ OP-AMP เบอร์ LM 311 เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน โดยนำแรงดันอินพุตที่ได้มาจากการสะท้อนกลับของแสงอินฟราเรดไปเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง ซึ่งจะให้ค่าเอาท์พุท เป็นสัญญาณแรงดันที่มี 2 สถานะ คือลอจิก 0 (แรงดัน 0V) และลอจิก 1 (แรงดัน +5V) เมื่อค่าอินพุทที่เข้ามามีค่ามากกว่าหรือเท่ากับแรงดันอ้างอิง เอาท์พุทที่ได้จะเป็นลอจิก 1 ในทางกลับกันถ้าค่าอินพุทที่เข้ามาในคอมพาเรเตอร์มีค่าน้อยกว่าแรงดันอ้างอิง เอาท์พุทที่ได้จะเป็นลอจิก 0

3.2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877A ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์อินพุทและเอาท์พุท โดยนำค่าที่ได้รับจากเซนเซอร์และคำสั่งไปประมวลผล เพื่อสั่งงานให้มอเตอร์และส่วนแสดงผลทำงาน การเชื่อมต่ออุปกรณ์อินพุทและเอาท์พุทได้ทำการกำหนด Port ต่างๆ ไว้ดังแสดงในรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การกำหนดอินพุทและเอาท์พุทของไมโครคอนโทรลเลอร์

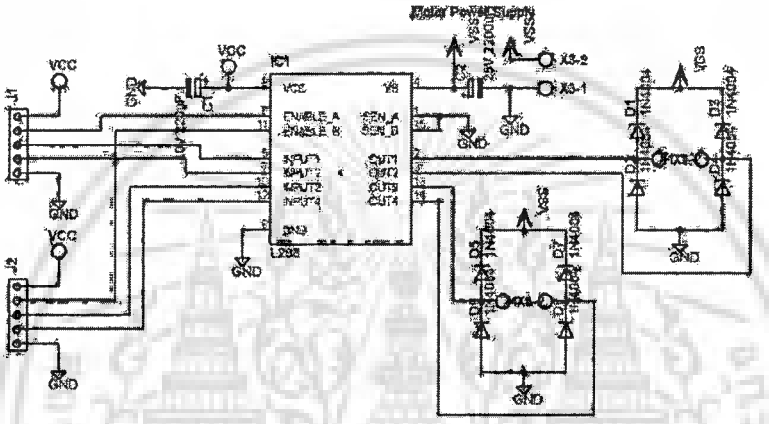
- PORT A ทำหน้าที่รับข้อมูลของเซนเซอร์ตรวจจับเส้นทางและเซนเซอร์อ่านรหัสสถานี
- PORT B ทำหน้าที่ส่งออกข้อมูลให้กับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ โดยใช้การขับเคลื่อนแบบ H-bridge
- PORT C ทำหน้าที่ส่งออกสัญญาณในรูปแบบ PWM ไปยังวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ เพื่อปรับระดับความเร็วของมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว
- PORT D ทำหน้าที่รับข้อมูลจากปุ่มคำสั่ง
- PORT E ทำหน้าที่ส่งออกข้อมูลไปยังวงจรแสดงสถานะ

3.2.4 วงจรขับมอเตอร์

การขับเคลื่อนของรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติใช้ระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ 2 ตัวโดยใช้ไอซีเบอร์ L298 เป็นตัวจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ ซึ่งใช้รูปแบบการขับเคลื่อนแบบ H-bridge โดยรับสัญญาณควบคุมจากขาที่ 5, 7, 10, 12 ของไมโครคอนโทรเลอร์ เมื่อขาที่ 5 มีลอจิกเป็น 1 (V_{high}) และขาที่ 7 มีลอจิกเป็น 0 (V_{low}) จะส่งผลให้มอเตอร์ด้านซ้ายหมุนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในข้างหน้าโดยให้สัญญาณเอาท์พุทออกที่ขา 2,3 เมื่อขาที่ 10 มีลอจิกเป็น 1 และขาที่ 12 มีลอจิกเป็น 0 จะส่งผลให้มอเตอร์ด้านขวาหมุนไปในข้างหน้าโดยให้สัญญาณเอาท์พุทออกที่ขา 13, 14 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์สามารถทำได้โดยการปรับค่าความกว้างของสัญญาณ PWM โดยส่งสัญญาณเข้ามายังขาที่ 6 และขาที่ 11 ของ L298 เพื่อปรับค่าความเร็วสำหรับมอเตอร์ด้านซ้ายและมอเตอร์ด้านขวาตามลำดับ

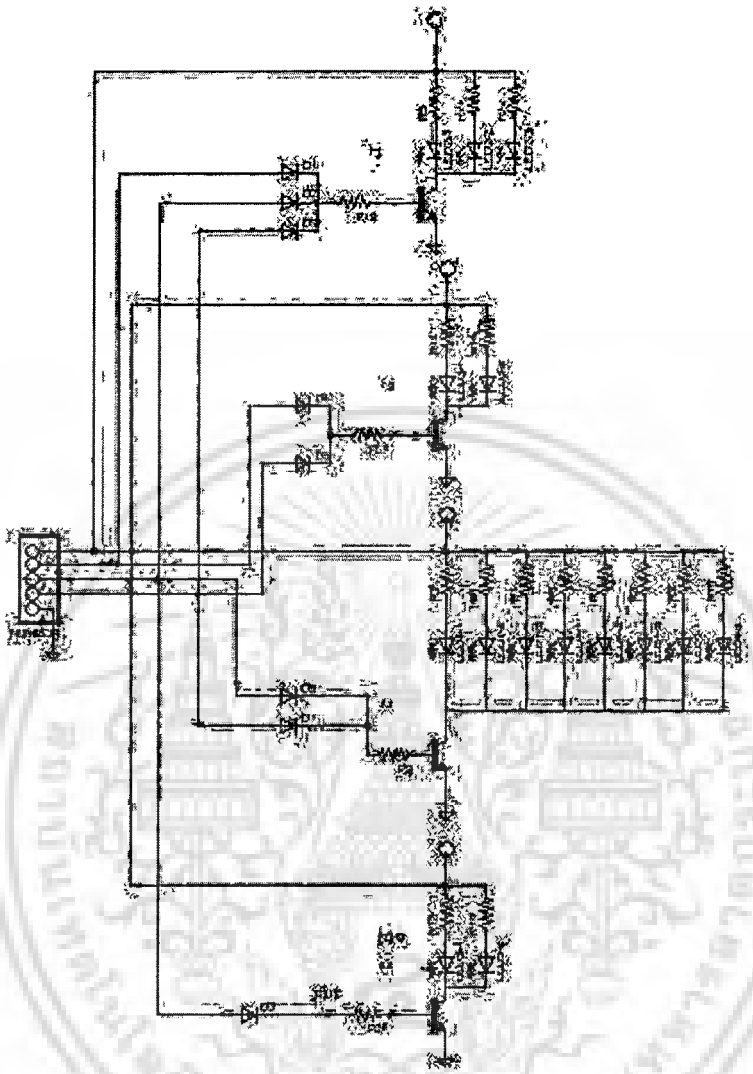


รูปที่ 3.6 ผังวงจรขับมอเตอร์

3.2.5 ส่วนแสดงสถานะ

ส่วนแสดงสถานะของรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติประกอบด้วยแผงไฟแสดงสถานะทั้งหมด 4 ส่วน โดยไมโครคอนทรอเลอร์จะควบคุมการติดดับของหลอดไฟ LED ในแต่ละส่วนเพื่อแสดงหมายเลขของสถานีที่ต้องการ คือ หมายเลข 0, 1, 2, และ 3 ซึ่งเลข 0 เป็นการบอกสถานะของสถานีส่ง และเลข 1, 2, และ 3 เป็นการบอกสถานะของสถานีรับที่ 1, 2, และ 3 ตามลำดับ ผังวงจรของส่วนแสดงสถานะได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ผังวงจรแสดงสถานะของรถขนถ่ายวัสดุ

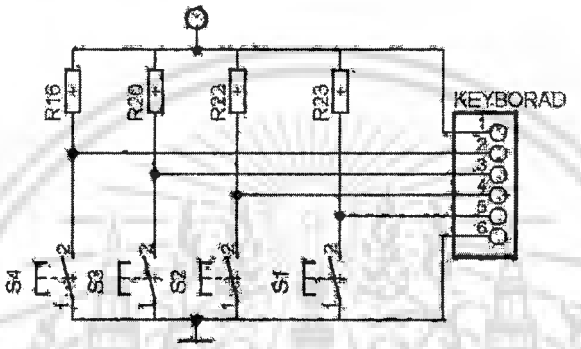
3.2.6 ปุ่มรับคำสั่ง

ปุ่มรับคำสั่งทำหน้าที่รับคำสั่งจากการกดปุ่มที่ติดตั้งไว้บนรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ ซึ่งมีทั้งหมด 4 ปุ่ม ประกอบด้วย ปุ่มกดสำหรับสถานีส่งชิ้นส่วน 1 สถานีและปุ่มกดสำหรับสถานีรับชิ้นส่วนหรือสถานีปฏิบัติงาน 3 สถานี โดยผู้ปฏิบัติงานจะเป็นผู้กดปุ่ม เพื่อสั่งให้รถเคลื่อนที่ไปยังสถานีที่ต้องการ คำสั่งจะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรเลอร์เพื่อทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมวลผลเพื่อให้รถขนถ่ายวัสดุไปรับและส่งวัสดุตามสถานีที่กำหนด โดยแสดงสถานีเป้าหมายผ่านส่วนแสดงสถานะบนรถขนถ่ายวัสดุ

ปุ่มรับคำสั่งทั้ง 4 ปุ่มจะเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรเลอร์โดยผ่านทาง Port D ของไมโครคอนโทรเลอร์ ในสภาวะที่ปุ่มไม่ถูกกดจะมีค่าลอจิกเป็น 1 การกดปุ่มคำสั่งจะทำให้สัญญาณที่ขาที่ถูกกดมีค่าลอจิกเป็น 0 ผังวงจรของปุ่มรับคำสั่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ผังวงจรปุ่มรับคำสั่ง

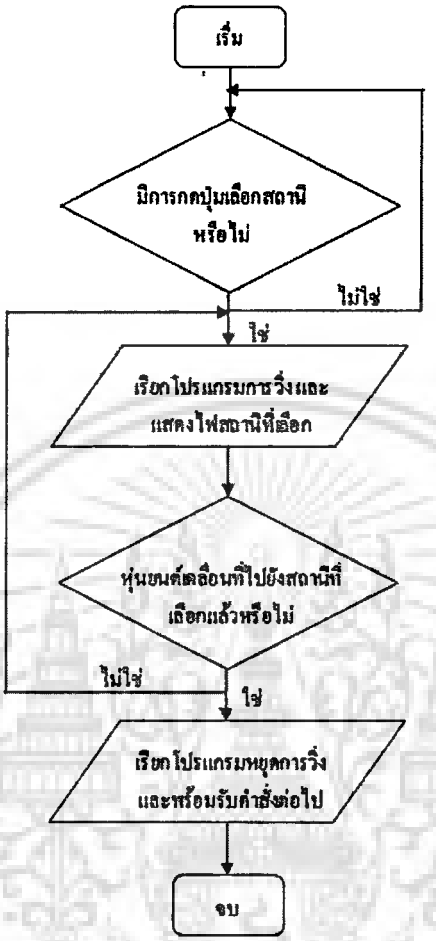
3.3 <u>การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงาน</u>

ในส่วนการออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานสามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนใหญ่คือ โปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของรถขนถ่ายวัสดุ และโปรแกรมควบคุมการทำงานเมื่อได้รับคำสั่ง เพื่อง่ายต่อความเข้าใจ ในหัวข้อนี้จะใช้แผนผังประกอบการอธิบายขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม ส่วนรหัสคำสั่งของโปรแกรมถูกเขียนขึ้นด้วยภาษาซี และแสดงไว้ในภาคแผนก ข

3.3.1 การควบคุมการเคลื่อนที่

โปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของรถขนถ่ายวัสดุจะเริ่มจากการตรวจสอบคำสั่งจากผู้ใช้ หากมีการป้อนคำสั่งให้ไปสถานีที่กำหนด โปรแกรมจะบังคับให้รถขนถ่ายวัสดุเคลื่อนที่โดยใช้ค่าที่ตรวจจับได้จากเซนเซอร์ต่างๆ ในการคำนวณเพื่อช่วยในการตัดสินใจว่าจะต้องทำอะไร แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่แสดงไว้ดังรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

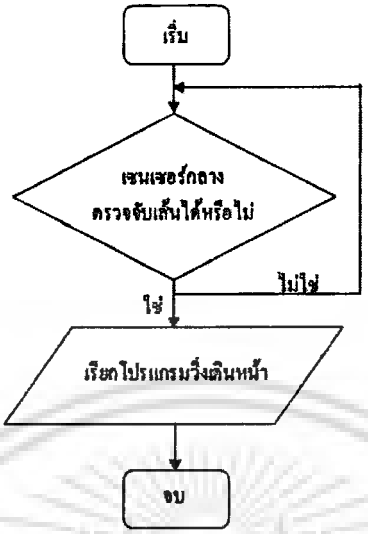


รูปที่ 3.9 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่

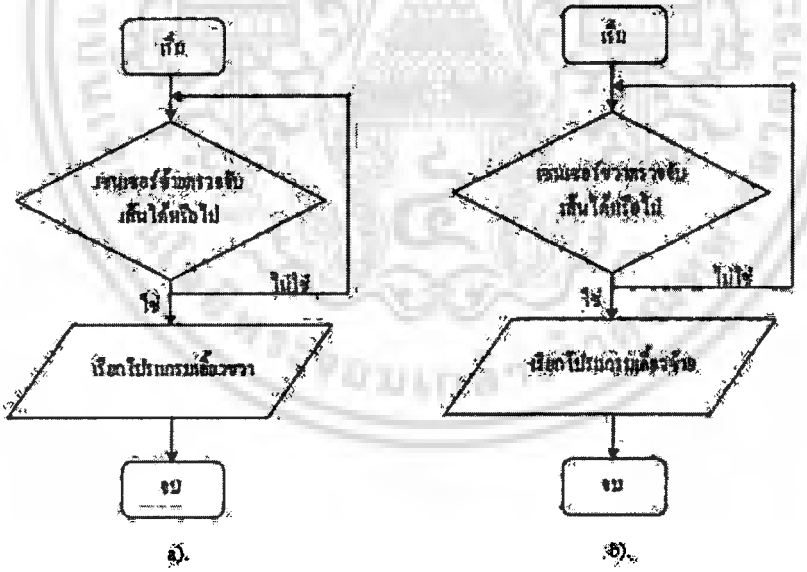
การเคลื่อนที่แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบคือ การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า การเลี้ยวซ้าย และการเลี้ยวขวา เมื่อเซตเซอร์ที่ตรวจจับเส้นตัวกลางสามารถตรวจพบเส้นสีดำ โปรแกรมจะสั่งให้ค่า PWM ของมอเตอร์ทั้ง 2 ข้างหมุนที่ความเร็วเท่ากัน ทำให้รถขนถ่ายวัสดุเคลื่อนที่ไปข้างหน้า แต่ถ้าเซนเซอร์ด้านขวาตรวจจับพบเส้นสีดำ แสดงว่าเส้นนำทางเบี่ยงไปทางซ้าย โปรแกรมจะสั่งให้ค่า PWM ของมอเตอร์ด้านซ้ายหมุนด้วยความเร็วกว่ามอเตอร์ด้านขวา ทำให้รถขนถ่ายวัสดุเลี้ยวซ้าย ในทางกลับกันถ้าเซนเซอร์ทางด้านซ้ายตรวจพบเส้นสีดำ โปรแกรมจะสั่งให้ค่า PWM ของมอเตอร์ด้านขวาหมุนด้วยความเร็วที่มากกว่ามอเตอร์ด้านซ้าย ทำให้รถขนถ่ายวัสดุเลี้ยวขวา การทำงานของโปรแกรมทั้ง 3 ส่วนได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 3.10 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่บนทางตรง



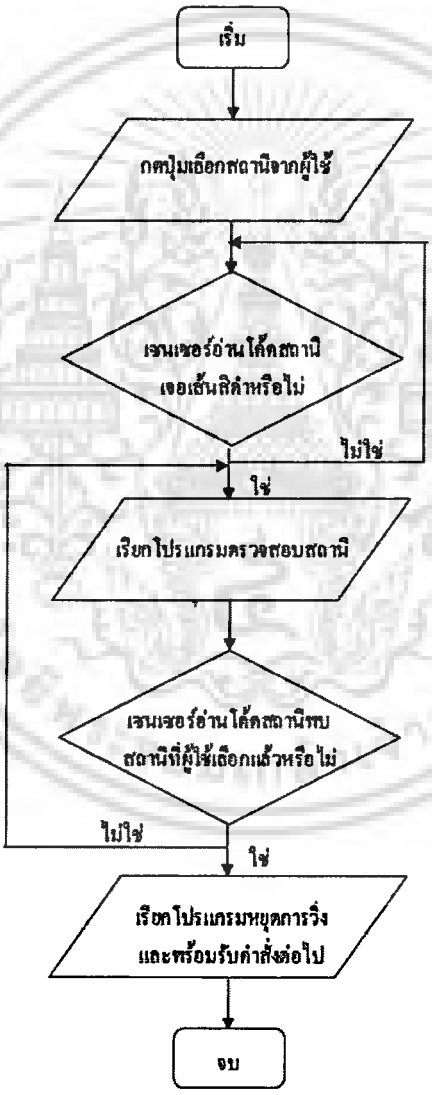
a). การเลี้ยวขวา b). การเลี้ยวซ้าย

รูปที่ 3.11 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
121398

3.3.2 การควบคุมการทำงานเมื่อได้รับคำสั่ง

เมื่อรถขนถ่ายวัสดุได้รับคำสั่งจากการกดปุ่มสถานีเป้าหมาย รถจะถูกบังคับให้เคลื่อนที่โดยไมโครคอนโทรเลอร์จะทำการตรวจสอบตำแหน่งของสถานีจากเซนเซอร์อ่านรหัสสถานี ซึ่งแต่ละสถานีจะมีจำนวนแถบสีดำที่แตกต่างกัน โปรแกรมนี้จะทำการประมวลผล จำนวนแถบเส้นดำที่พบว่าตรงกับคำสั่งที่ได้รับมาจากผู้ปฏิบัติงานหรือไม่ หากมีค่าตรงกัน รถจะหยุด ณ สถานีนั้น การทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานเมื่อได้รับคำสั่งได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานเมื่อได้รับคำสั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
อภิปรายผลการวิจัยและวิจารณ์

ในบทนี้ได้นำเสนอผลการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของส่วนต่างๆ ของรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ ได้แก่ การทดสอบความสามารถในการสะท้อนของเซนเซอร์ การทดสอบความเร็ว การทดสอบการเคลื่อนตามทางโค้ง การทดสอบการรับน้ำหนักของวัสดุ และการทดสอบการตอบสนองต่อคำสั่งของผู้ใช้

4.1 การทดสอบความสามารถในการสะท้อนของเซนเซอร์

การทดสอบความสามารถในการสะท้อนของเซนเซอร์นี้เป็นการทดสอบการสะท้อนของเซนเซอร์บนแถบสีต่างๆ และระยะห่างระหว่างเซนเซอร์และแถบสีโดยใช้สีและปรับระยะห่างจากเซนเซอร์ดังแสดงในตารางที่ 4.1 โดยการทดสอบจะตรวจสอบจากการติด ดับ ของ LED และบันทันทึกค่าเป็นลอจิก คือ ถ้า LED ติดแสดงว่า เซนเซอร์มีการสะท้อนกับสีนั้นได้ดี (ลอจิก = 0) แต่ถ้า LED ไม่ติดแสดงว่าเซนเซอร์มีการสะท้อน กับสีนั้นน้อยหรือไม่มีการสะท้อนเลย (ลอจิก = 1) ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางค่าลอจิกของการสะท้อนของเซนเซอร์บนแถบสีและระยะห่างต่าง ๆ

สี	LED ติด/ดับ (0/1)					
	ระยะห่าง 0.5 cm.	ระยะห่าง 1.0 cm.	ระยะห่าง 1.5 cm.	ระยะห่าง 2.0 cm.	ระยะห่าง 2.5 cm.	ระยะห่าง 3.0 cm.
ขาว	0	0	0	0	0	0
เหลือง	0	0	0	0	0	0
ส้ม	0	0	0	0	1	1
เขียว	0	0	0	0	0	1
น้ำเงิน	0	0	0	1	1	1
ดำ	1	1	1	1	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลอง เมื่อนำแถบสีต่างๆ มาทดลองที่ระยะที่ต่างกัน สีที่โทนสีสว่าง คือ สีขาว สีเหลือง สีส้ม จะมีการสะท้อนของแสงอินฟราเรดได้ดีไม่ว่าจะมีระยะห่างใกล้หรือไกล แต่ในการทดลองอาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากแสงจากภายนอก ส่วนแถบสีที่เป็นโทนสีเข้ม เช่น สีเขียว สีน้ำเงินและสีดำ ความสามารถในการสะท้อนของแสงอินฟราเรดลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างเซนเซอร์และแถบสียิ่งเพิ่มขึ้น แต่ระยะห่างจะไม่มีผลต่อสีดำซึ่งจากตาราง 4.1 จะเห็นว่าสีดำไม่สามารถสะท้อนแสงของอิฟราเรดกลับได้ในระยะห่างที่กำหนด ดังนั้นจึงสามารถเลือกใช้แถบสีดำเป็นเส้นทางเพื่อให้เซนเซอร์สามารถตรวจจับเส้นทางและใช้สีเหลืองหรือสีขาวเป็นพื้นเพราะมีความแตกต่างของการ สะท้อนแสงอินฟราเรดมากที่สุด

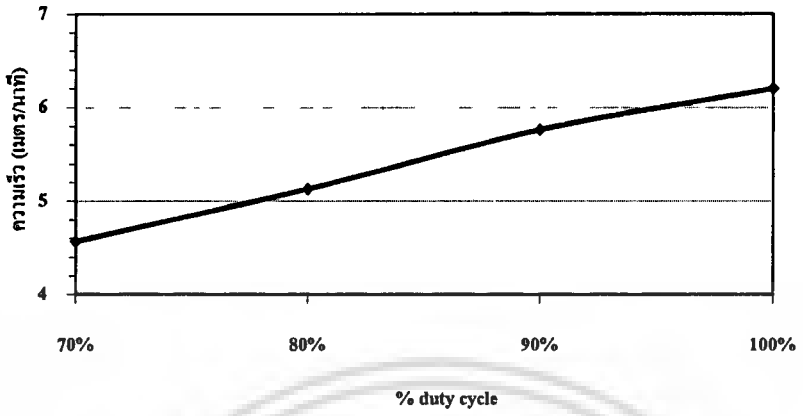
4.2 การทดสอบความเร็ว

การทดสอบความเร็วนี้เป็นการทดสอบหาค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถขนถ่ายวัสดุเมื่อปรับ duty cycle ของสัญญาณ PWM ที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ทั้งซ้ายและขวา โดยการทดสอบจะวัดผลจากเวลาการวิ่งของรถขนถ่ายวัสดุ ในเส้นทางตรงระยะทาง 1.5 เมตรโดยไม่มีการบรรทุกชิ้นส่วนใดๆ ซึ่งได้ทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง ต่อค่าสัญญาณ PWM หนึ่งค่า แล้วนำค่าเวลา ที่รถขนถ่ายวัสดุวิ่งได้ทั้ง 3 ครั้งมาหาเวลาการเคลื่อนที่เฉลี่ย และนำผลที่ได้มาคำนวณ หาความเร็วเฉลี่ยของรถขนถ่ายวัสดุ เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ PWM ที่ควบคุมมอเตอร์กับความเร็วของ รถขนถ่ายวัสดุที่ได้ ซึ่งค่าสัญญาณ PWM มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 หรือเท่ากับ % duty cycle ตั้งแต่ 0 – 100%

ตารางที่ 4.2 ตารางค่าความเร็วที่ค่า % duty cycle ต่างๆ

% duty cycle (0 – 100%)	เวลาการเคลื่อนที่ (วินาที)				ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
70%	19.90	19.88	19.29	19.69	4.57
80%	17.93	17.56	17.16	17.55	5.13
90%	15.28	15.79	15.79	15.62	5.76
100%	14.58	14.31	14.64	14.51	6.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



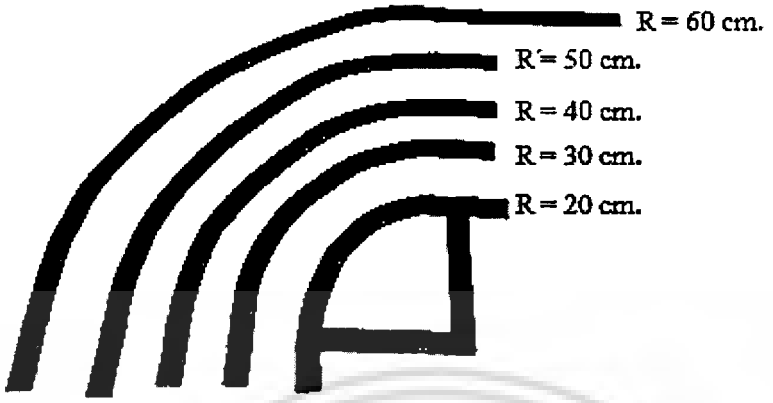
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ PWM กับความเร็วการเคลื่อนที่

จากกราฟในรูปที่ 4.1 พบว่า เมื่อค่า % duty cycle สูงขึ้นความเร็วของรถขนถ่ายวัสดุจะสูงขึ้นตามไปด้วย และเมื่อปรับค่า % duty cycle ให้เป็น 100% พบว่ารถขนถ่ายวัสดุสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 6.20 เมตรต่อนาที ซึ่งความเร็วที่ทดสอบได้นี้น้อยกว่าขอบเขตของความเร็วที่ตั้งไว้ คือ 7 เมตรต่อนาที ซึ่งอาจมีสาเหตุจากในขั้นตอนการคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ไม่ได้มีการคำนวณเผื่อความเร็วที่อาจสูญเสียไปเนื่องจากแรงเสียดทานต่างๆ เช่น แรงเสียดทานระหว่างล้อกับพื้น แรงเสียดทานระหว่างเพลากับแบริ่ง เป็นต้น มีผลให้ความเร็วไม่เป็นไปตามขอบเขตที่กำหนด ดังนั้นจึงใช้ % duty cycle ที่ 100% เพื่อให้รถขนถ่ายวัสดุสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 6.20 เมตรต่อนาทีในระหว่างที่เคลื่อนที่ ตามแนวเส้นตรง ซึ่งใกล้เคียงกับขอบเขตมากที่สุด

4.3 การทดสอบการเคลื่อนที่ตามทางโค้ง

การทดสอบการเคลื่อนที่ตามทางโค้งนี้เป็นการทดสอบการเคลื่อนที่ของรถขนถ่ายวัสดุตามทางโค้งที่มีรัศมีความโค้งต่างๆ เพื่อทดสอบว่ารถขนถ่ายวัสดุสามารถเคลื่อนที่บนเส้นทางโค้งที่มีรัศมีความโค้งน้อยที่สุดเท่าใดโดยให้ รถขนถ่ายวัสดุเคลื่อนที่ทั้งทวนเข็มและตามเข็มนาฬิกา ซึ่งการวิ่งทวนเข็มนาฬิกาจะปรับค่า % duty cycle ที่มอเตอร์ขวา 80% และมอเตอร์ซ้าย 30% ในส่วนของการวิ่งตามเข็มนาฬิกาจะปรับค่า % duty cycle ที่มอเตอร์ขวา 30% และมอเตอร์ซ้าย 80% หลังจากทดสอบการเคลื่อนที่ของรถขนถ่ายวัสดุแล้วได้ผลดังตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 รัศมีทางโค้งต่างๆที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการเคลื่อนที่ตามทางโค้ง

ตารางที่ 4.3 ตารางผลการเคลื่อนที่ตามเส้นทางโค้งที่มีรัศมีความโค้งต่างๆ

รัศมีความโค้ง (cm.)	ความสามารถในการเคลื่อนที่					
	ทวนเข็มนาฬิกา			ตามเข็มนาฬิกา		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
60	Y	Y	Y	Y	Y	Y
50	Y	Y	Y	Y	Y	Y
40	Y	Y	Y	Y	Y	Y
30	Y	Y	Y	Y	Y	Y
20	N	N	N	N	N	N

หมายเหตุ Y คือ รถขนถ่ายวัสดุสามารถทำงานตามคำสั่งได้
N คือ รถขนถ่ายวัสดุไม่สามารถทำงานตามคำสั่งได้

จากการทดลองพบว่า รถขนถ่ายวัสดุสามารถเคลื่อนที่ได้บนรัศมีความโค้งตั้งแต่ 30 เซนติเมตร ขึ้นไป ทั้งในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา แต่เมื่อรถขนถ่ายวัสดุเคลื่อนที่บนทางโค้งที่มีรัศมี 20 เซนติเมตร รถขนถ่ายวัสดุไม่สามารถเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่กำหนดไว้ได้ ทั้งในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา ดังนั้นรถขนถ่ายวัสดุสามารถเคลื่อนที่บนเส้นโค้งที่มีรัศมีที่แคบที่สุด คือ 30 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

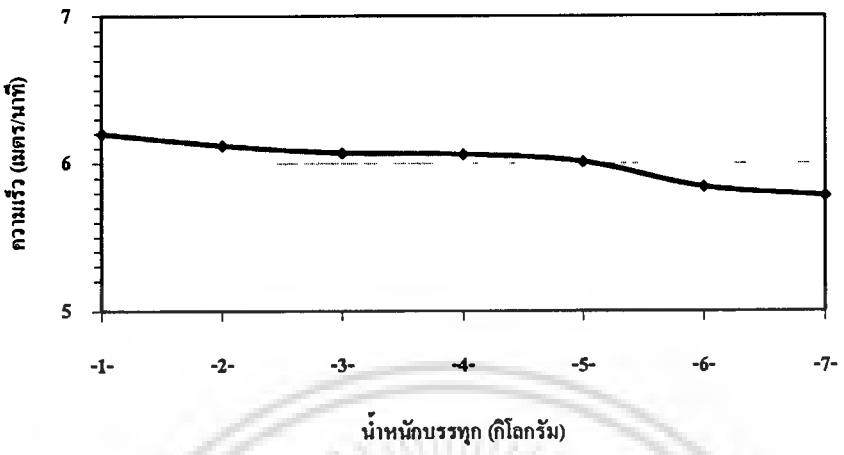
4.4 การทดสอบการรับน้ำหนักของวัสดุ

การทดสอบการรับน้ำหนักของวัสดุนี้เป็นการทดสอบว่ารถขนถ่ายวัสดุสามารถขนถ่ายวัสดุได้ตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ ซึ่งการทดลองพิจารณาจากน้ำหนักที่บรรทุกกับความเร็วของรถขนถ่ายวัสดุที่เปลี่ยนไป โดยกำหนด ค่าความเร็วเริ่มต้นของรถขนถ่ายวัสดุไว้ที่ 6.20 เมตรต่อนาที และให้รถขนถ่ายวัสดุบรรทุกชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 1 ถึง 7 กิโลกรัม การทดสอบนี้จะบันทึกเวลาการเคลื่อนของรถขนถ่ายวัสดุ 3 ครั้ง ต่อการบรรทุกน้ำหนักชิ้นส่วน 1 ค่า โดยเคลื่อนที่บนเส้นทางตรงระยะทาง 1.5 เมตร แล้วจึงนำค่าเวลาเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ของรถขนถ่ายวัสดุทั้ง 3 ครั้งมาเฉลี่ย และนำค่าเวลาเฉลี่ยมาคำนวณหาความเร็วเฉลี่ย เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของวัสดุที่ขนถ่ายกับความเร็วของ รถขนถ่ายวัสดุ

ตารางที่ 4.4 ตารางงความเร็วของรถขนถ่ายวัสดุขณะบรรทุกชิ้นส่วนที่น้ำหนักต่างๆ กัน

น้ำหนักชิ้นส่วน (kg.)	เวลาเคลื่อน (วินาที)				ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
1	14.49	14.49	14.54	14.51	6.20
2	14.56	14.99	14.56	14.70	6.12
3	14.88	15.06	14.51	14.82	6.07
4	14.56	14.99	14.56	14.85	6.06
5	14.98	15.07	14.86	14.97	6.01
6	15.41	15.52	15.29	15.41	5.84
7	15.63	15.33	15.77	15.57	5.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของวัสดุที่ขนถ่ายกับความเร็วของรถขนถ่ายวัสดุ

จากการทดลอง เมื่อรถขนถ่ายวัสดุบรรทุกชิ้นส่วนที่มีน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ความเร็วของรถขนถ่ายวัสดุไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเพิ่มน้ำหนักขึ้นไปเรื่อย ๆ พบว่า ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถขนถ่ายวัสดุนั้นลดลงไปด้วย โดยที่ช่วงน้ำหนัก 2-5 กิโลกรัม ทำให้รถขนถ่ายวัสดุสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ไม่ต่ำกว่า 6 เมตรต่อนาที แต่เมื่อให้น้ำหนัก 6 กิโลกรัมขึ้นไปนั้น รถขนถ่ายวัสดุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ต่ำกว่า 6 เมตรต่อนาที ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากกราฟดังรูปที่ 4.3 จึงสรุปได้ว่ารถขนถ่ายวัสดุจะสามารับน้ำหนักของชิ้นส่วนได้ไม่เกิน 5 กิโลกรัม จึงจะทำให้ความเร็วของรถขนถ่ายวัสดุนั้นมีความเร็วที่ใกล้เคียงกับความเร็วที่กำหนดไว้นั้นคือ 6.20 เมตรต่อนาที

4.5 การทดสอบการตอบสนองต่อคำสั่งของรถขนถ่ายวัสดุ

การทดสอบการตอบสนองต่อคำสั่งนี้เป็นการทดสอบโดยการสั่งให้รถขนถ่ายวัสดุเคลื่อนที่ไปยังสถานีต่างๆ เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการรับคำสั่งหรือการอ่านแถบรหัสของสถานีที่ติดอยู่บนพื้น โดยการทดสอบแต่ละกรณีนั้นรถขนถ่ายวัสดุสามารถเคลื่อนไปข้างหน้าได้ทิศทางเดียวไม่สามารถถอยหลังกลับได้และ ทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.5. และระยะห่างระหว่าง แต่ละสถานี ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะห่างระหว่างสถานีที่ 1 และ 2 คือ 3.35 เมตร

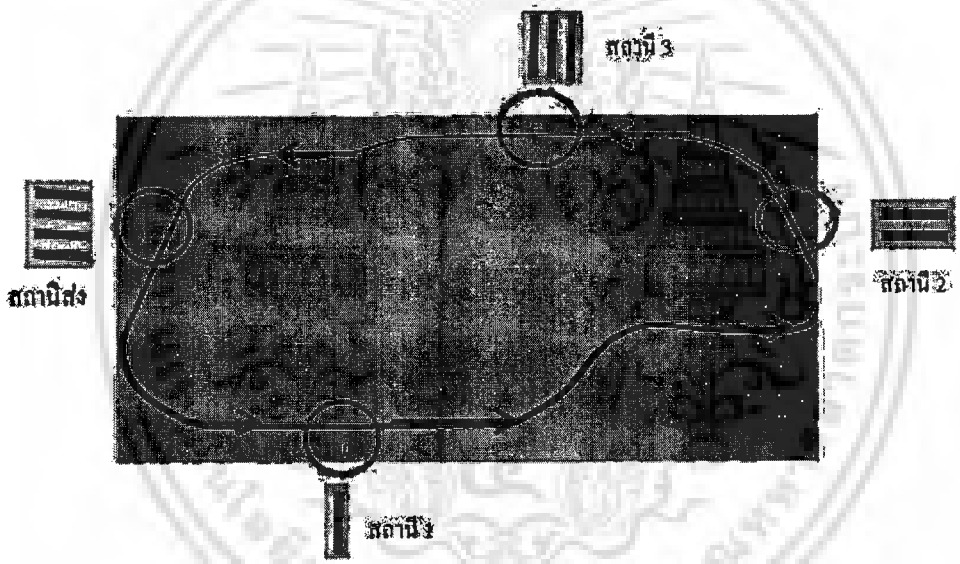
ระยะห่างระหว่างสถานีที่ 1 และ 3 คือ 5.45 เมตร

ระยะห่างระหว่างสถานีที่ 1 และ สถานีส่ง คือ 8.59 เมตร

ระยะห่างระหว่างสถานีที่ 2 และ 3 คือ 2.10 เมตร

ระยะห่างระหว่างสถานีที่ 2 และ สถานีส่ง คือ 5.24 เมตร

ระยะห่างระหว่างสถานีที่ 3 และ สถานีส่ง คือ 3.14 เมตร



รูปที่ 4.4 เส้นทางในการเคลื่อนที่ของรถขนถ่ายวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงประสิทธิภาพการตอบสนองต่อคำสั่งของรถขนถ่ายวัสดุ

คำสั่ง	การตอบสนองและการทำตามคำสั่ง			ประสิทธิภาพ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
สถานีส่ง ---> 1	Y	Y	Y	100%
สถานีส่ง ---> 2	Y	Y	Y	100%
สถานีส่ง ---> 3	Y	Y	Y	100%
1 ---> 2	Y	Y	Y	100%
1 ---> 3	Y	Y	Y	100%
1 ---> สถานีส่ง	Y	Y	Y	100%
2 ---> 1	Y	Y	Y	100%
2 ---> 3	Y	Y	Y	100%
2 ---> สถานีส่ง	Y	Y	Y	100%
3 ---> 1	Y	Y	Y	100%
3 ---> 2	Y	Y	Y	100%
3 ---> สถานีส่ง	Y	Y	Y	100%

หมายเหตุ Y คือ รถขนถ่ายวัสดุสามารถทำงานตามคำสั่งได้

N คือ รถขนถ่ายวัสดุไม่สามารถทำงานตามคำสั่งได้

จากการทดลองพบว่า รถขนถ่ายวัสดุสามารถตอบสนองคำสั่งให้เคลื่อนที่ไปยังสถานีต่างๆได้อย่างแม่นยำ โดยไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นเลย ดังนั้นประสิทธิภาพในการตอบสนองต่อคำสั่งของรถขนถ่ายวัสดุ คือ 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการออกแบบและสร้างรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติซึ่งประกอบด้วย โครงสร้างและชุดขับเคลื่อน วงจรอิเล็กทรอนิกส์ และโปรแกรมควบคุมการทำงาน โดยส่วนโครงสร้างด้านล่างทำจากเหล็กกล่อง ด้านข้างทำจากอลูมิเนียมฉาก ส่วนชุดขับเคลื่อนใช้มอเตอร์ขนาด 12 โวลต์ 30 รอบต่อนาที 2 ตัว และล้อขับเคลื่อนเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.8 เซนติเมตร 2 ล้อ ส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วย วงจรเซนเซอร์ตรวจจับเส้นทาง วงจรเซนเซอร์อ่านรหัสสถานี วงจรสวิตช์สถานี วงจรขับเคลื่อน มอเตอร์และวงจรไฟแสดงสถานีซึ่ง วงจรเหล่านี้จะถูกเชื่อมต่อเข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลการทำงานโดยการควบคุมจากส่วนโปรแกรมควบคุมซึ่งใช้โปรแกรมCCSในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานทั้งหมด

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า รถขนถ่ายวัสดุสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 6.20 เมตรต่อนาที โดยมีการตั้งค่า % duty cycle ของมอเตอร์ไว้ที่ 100 % รถขนถ่ายวัสดุสามารถรับน้ำหนักของชิ้นส่วนได้ไม่เกิน 5 กิโลกรัม จึงจะไม่มีผลต่อความเร็วของรถขนถ่ายวัสดุ นอกจากนี้รถขนถ่ายวัสดุสามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดได้โดยไม่หลุดออกนอกเส้นทางที่มีรัศมีความโค้งต่ำที่สุด 30 เซนติเมตร และสามารถหยุดตามสถานีใดๆที่รับคำสั่งจากผู้ปฏิบัติงานได้อย่างแม่นยำ ซึ่งผลที่ได้เป็นไปตามขอบเขตและวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางในการแก้ไข

5.2.1 ปัญหาในการออกแบบ

5.2.1.1 ด้านฮาร์ดแวร์ของโครงสร้างและชุดวงจรควบคุมการทำงานของรถขนถ่ายวัสดุ

ปัญหาในการออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์ของโครงสร้างและชุดวงจรควบคุมการทำงานของรถขนถ่ายวัสดุ ก็คือการออกแบบโครงสร้างไม่ได้มาตรฐาน เนื่องมาจากมีการออกแบบโครงสร้างและอุปกรณ์ที่ต้องติดตั้งภายหลังไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สอดคล้องกัน จึงต้องมีการออกแบบโครงสร้างใหม่เพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน ซึ่งทำให้เสียเวลาในการทำส่วนโครงสร้างมากเกินไป และยังทำให้ส่วนของแผงวงจรตรวจจับเส้นทางไม่สามารถติดไว้ตรงกลางของตัวรถขนถ่ายวัสดุได้ จึงส่งผลให้รถขนถ่ายวัสดุไม่สามารถวิ่งได้สองทิศทาง เมื่อพิจารณาในส่วนของวงจรพบว่า การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานนั้น มีการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ต้องใช้เพื่อให้ได้อุปกรณ์ที่เหมาะสม ตัวอย่างเช่น วงจรตรวจจับแถบเส้นสีดำ จะต้องคอยปรับค่าความต้านทาน ให้เหมาะสมเพื่อให้เซนเซอร์ที่ใช้ตรวจจับเส้นสามารถตรวจจับเส้นได้ และอีกปัญหาหนึ่งในการออกแบบ คือ มีอุปกรณ์จำนวนมาก ทำให้การออกแบบลายของวงจรมีความซับซ้อน

จากปัญหาที่พบ มีแนวทางในการแก้ปัญหาก็คือ ในส่วนของโครงสร้างนั้นควรคำนึงอุปกรณ์และส่วนต่างๆที่จำเป็นต้องติดตั้งกับตัวรถขนถ่ายวัสดุและควรทำการวัดขนาดของอุปกรณ์ที่นำมาติดตั้งพร้อมทั้งจดบันทึก เพื่อการออกแบบพื้นที่ในการติดตั้งอุปกรณ์ได้แน่นอน ส่วนในการแก้ปัญหาเรื่องของวงจรนั้น พบว่า ปัญหาที่เกิดจากการออกแบบวงจรควบคุมนั้น ควรที่จะแก้ไขโดย ทดลองต่อวงจรลงบนโปรโตบอร์ดก่อนการออกแบบวงจรจริง ในการออกแบบลายวงจรนั้น ควรออกแบบให้มีสองหน้า เพื่อลดความซับซ้อนของลายวงจร และที่สำคัญ ควรที่จะศึกษาสมบัติของอุปกรณ์ให้ละเอียดก่อน

5.2.1.2 <u>ด้านโปรแกรมควบคุมระบบการทำงานของรถขนถ่ายวัสดุ</u>

ปัญหาในด้านโปรแกรมควบคุมระบบการทำงานที่พบ คือ เป็นการออกแบบขั้นตอนการทำงานไม่ครอบคลุมกับลักษณะการทำงานของรถขนถ่ายวัสดุที่ได้ออกแบบไว้ จึงเป็นอุปสรรคในการออกแบบชุดคำสั่ง อีกทั้งยังทำให้สูญเสียเวลาในการแก้ไขอีกด้วย

การแก้ไขปัญหาข้างต้นนั้น ควรที่จะศึกษาลักษณะการทำงานของรถขนถ่ายวัสดุให้ละเอียดก่อน ออกแบบขั้นตอนการทำงานให้แน่นอนเพื่อให้ง่ายต่อการเขียนโปรแกรมในการควบคุมการทำงานของรถขนถ่ายวัสดุ และควรที่จะศึกษาวิธีการใช้โปรแกรม CCS ให้มีความเข้าใจก่อนลงมือเขียนจริง เป็นต้น

5.2.2 ปัญหาในการดำเนินการ

5.2.2.1 <u>ด้านฮาร์ดแวร์ของโครงสร้างและชุดวงจรควบคุมการทำงานของรถขนถ่ายวัสดุ</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาในการดำเนินการทางด้านฮาร์ดแวร์ของโครงสร้างและชุดวงจรควบคุมนั้น จะเกิดจาก อุปกรณ์บางชนิดหาซื้อยาก อีกทั้งยังเกิดจากการขาดความชำนาญในการใช้เครื่องมือ ทำให้ต้องมีการปรับปรุงโครงสร้างหลายครั้ง ในด้านของวงจรนั้นจะเป็นเกี่ยวกับการออกแบบลายวงจรโดยไม่ได้คำนึงถึงการต่อวงจร ทำให้เส้นทองแดงมีความใกล้มากเกินไป เมื่อต่อจริงจึงเกิดปัญหาการบัดกรีทับเส้นทองแดงทำให้เกิดการลัดวงจรได้

แนวทางแก้ไข ควรที่จะสำรวจจำนวนของอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการสร้างทั้งหมดหลังจากการออกแบบแล้ว เพื่อที่จะได้เดินทางไปแหล่งของอุปกรณ์ในคราวเดียว ในเรื่องของการใช้เครื่องมือควรที่จะศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือจากผู้ชำนาญ ก่อนลงมือปฏิบัติจริง เพื่อจะได้ไม่เกิดการเสียหายต่อโครงสร้างของงาน พร้อมทั้งยังไม่เสียเวลาในการแก้ไขอีกด้วย ในส่วนของวงจรจะมีแนวทางแก้ปัญหา คือ ในขณะต่อวงจรควรมีความระมัดระวังในการบัดกรีอุปกรณ์ต่างๆ ถ้าหากมีการบัดกรีนานเกินไป วงจรอาจเสียหายได้

5.2.2.2. <u>ด้านโปรแกรมควบคุมระบบการทำงานของรถขนถ่ายวัสดุ</u>

ปัญหาในด้านโปรแกรมควบคุมการทำงานก็คือ การเขียนโปรแกรมควบคุมใช้ภาษาซี ซึ่งเป็นภาษาที่ค่อนข้างซับซ้อน จำเป็นต้องใช้เวลามากในการเขียนโปรแกรม ในการแก้ปัญหาด้านนี้ ควรที่จะศึกษาโครงสร้างการเขียนโปรแกรมภาษาซี และเริ่มจากการเขียนโปรแกรมควบคุมแบบง่ายๆ เพื่อให้เกิดความเข้าใจและคุ้นเคย ส่วนอีกปัญหาหนึ่ง คือ การเขียนโปรแกรมควบคุมทั้งหมดทีเดียว ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาด ทำให้เสียเวลาในการแก้ไข เนื่องจากไม่ทราบสาเหตุของปัญหาที่แน่นอน เพราะฉะนั้นจึงควรที่จะแบ่งการทำงานของโปรแกรมออกเป็นส่วนย่อยๆ และทดลองการทำงานของวงจรทีละส่วนก่อนที่จะนำโปรแกรมทั้งหมดมารวมกัน

5.2.3 ปัญหาในการทดลอง

5.2.3.1 <u>ด้านฮาร์ดแวร์ของโครงสร้างและชุดวงจรควบคุมการทำงานของรถขนถ่ายวัสดุ</u>

ปัญหาที่พบในการทดลอง คือ รถขนถ่ายวัสดุเคลื่อนที่ไม่เป็นตามที่ออกแบบไว้ซึ่งมีสาเหตุมาจากพื้นของเส้นทางมีความไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้ต้องมีการแก้ไขโดย ปรับโครงสร้างบางส่วนของรถขนถ่ายวัสดุใหม่ คือ เสริมสปริงให้มีหน้าที่รับแรงกระแทกบริเวณล้อฟรีด้านหน้าของรถขนถ่ายวัสดุเพื่อทำให้ล้อทุกล้อสัมผัสพื้นตลอด ในเรื่องของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซนเซอร์จะเป็นปัญหาเกี่ยวกับ วงจรเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับแถบเส้นสีดำไม่สามารถตรวจจับเส้นได้ ทำให้ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ได้ออกแบบไว้ จึงต้องมีการแก้ปัญหาโดยปรับระยะห่างระหว่างเซนเซอร์กับพื้นให้มีความเหมาะสมกับระยะสะท้อนของแสงและควรที่จะปรับค่าความต้านทานที่เหมาะสมแก่เซนเซอร์ด้วย ปัญหาในเรื่องกำลังการขับเคลื่อนของแบตเตอรี่จะลดลงเรื่อยๆ เมื่อทำการทดลองผลการทดลองอาจคลาดเคลื่อน จึงควรที่จะทำการชาร์จแบตเตอรี่ก่อน เพื่อการใช้แบตเตอรี่ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

5.2.3.2 ด้านโปรแกรมควบคุมระบบการทำงานของรถขนถ่ายวัสดุ

ในการทดลองในด้านของโปรแกรม ปัญหาที่พบ คือ โปรแกรมที่ได้เขียนเสร็จแล้ว ไม่สามารถนำมาใช้ควบคุมได้จริงตามที่ได้ออกแบบไว้ ทำให้ต้องนำมาปรับแก้ใหม่ ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองเวลา เพราะฉะนั้นจึงต้องมีการเขียนทีละส่วนแล้วนำไปทดลองควบคุมในตัวของรถขนถ่ายวัสดุ จะทำให้สามารถรู้ถึงปัญหาในแต่ละส่วนของโปรแกรมได้ เป็นต้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นสามารถที่จะนำปัญหาเหล่านั้นมาพัฒนาให้รถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติเพื่อการขนส่งชิ้นส่วน มีความเร็วในการขนส่งเพิ่มขึ้น เพื่อให้สามารถส่งชิ้นส่วนได้รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยการเปลี่ยนขนาดของมอเตอร์ให้มีความเร็วรอบเพิ่มขึ้น เพื่อรองรับกำลังการขับเคลื่อนที่มีความเร็วสูงขึ้น พร้อมทั้งสามารถที่จะพัฒนาให้รถขนถ่ายวัสดุเคลื่อนที่ได้ในเส้นทางที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น ทางแยก และเลี้ยวเป็นมุมฉากได้ เป็นต้น นอกจากนี้สามารถพัฒนาให้รถขนถ่ายวัสดุสามารถเคลื่อนที่ถอยหลังได้ เพื่อลดระยะทางในการเคลื่อนที่ในกรณีที่มีการส่งชิ้นส่วนระหว่างสถานีที่ใกล้กัน ในส่วนทางด้านโปรแกรมสามารถที่จะพัฒนาเพื่อควบคุมรถขนถ่ายวัสดุให้ทำงานตอบสนองความต้องการได้ดีที่สุด ซึ่งอาจจะใช้โปรแกรมอื่นๆ เช่น Visual Basic, AVR, Assembly ในการเขียนโปรแกรม อีกทั้งสามารถพัฒนาเพื่อเพิ่มความแม่นยำให้เซนเซอร์ในการเคลื่อนที่ให้ตรงเส้นทางที่ได้กำหนดไว้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดและสามารถร้องเตือนเมื่อรถขนถ่ายวัสดุเจอสิ่งกีดขวาง พร้อมกับหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Iris F.A. Vis, "Survey of research in the design and control of automated guided vehicle systems", European Journal of Operational Research 170, pp. 677-709, 2006.

[2] Ronald J. Mantel and Henri R.A. Landeweerd, "Design and operational control of an AGV system", International Journal of Production Economics 41, pp 257-266, 1995.

[3] Kyung Sup Kim and Byung Do Chung, "Design for a tandem AGV system with two-load AGVs", Computers & Industrial Engineering 53, pp 247-251, 2007.

[4] Wooyeon Yu and Pius J. Egbelu, "Design of a Variable Path Tandem Layout for Automated Guided Vehicle Systems", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 20/No. 5, 2001.

[5] Götting, H.H., 2000. Automation and Steering of Vehicles in ports. Port Technology International 10, 101–111.

[6] Egbelu, P.J., "Concurrent specification of unit load sizes and automated guided vehicle fleet size in manufacturing system", International Journal of Production Economics 29, 49–64, 1993.

[7] Moon, S.W., Hwang, H., "Determination of unit load sizes of AGV in multi-product multi-line assembly production systems", International Journal of Production Research 37 (15), 3565–3581, 1999.

[8] Ganesharajah, T., Sriskandarajah, C., "Survey of scheduling research in AGV-served manufacturing systems", Advances in Instrumentation and Control, Proceedings of the International Conference and Exhibit 50(1), 87–94, 1995.

[9] King, R.E., Wilson, C., "A review of automated guided vehicle systems design and scheduling", Production Planning and Control 2 (1), 44–51, 1991.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

โปรแกรมควบคุมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include<16F877A.h>
#fuses hs,nowdt,noprotect,nolvp
#use delay(clock=8000000)
#use rs232(baud=9600,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7)

#define sensor_right  pin_A2
#define sensor_center pin_A1
#define sensor_left   pin_A0
#define sensor_bar    pin_A3
#define led1 PIN_E0
#define led2 PIN_E1
#define led3 PIN_E2
#define sw_1 PIN_D7
#define sw_2 PIN_D6
#define sw_3 PIN_D5
#define sw_4 PIN_D4
#define motor_R_EN pin_B4
#define motor_L_D  pin_B5
#define motor_R_D  pin_B6
#define motor_L_EN pin_B7
#define motor_L_C  pin_C1
#define motor_R_C  pin_C2
#define min_pwm 0
#define max_pwm 255

int16 seconds = 0;
int int_count=0;
int tts=0;
#INT_TIMER0
void clock_isr()
{
    if(int_count++>38)
 {
      ++seconds;
      int_count = 0;
   }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void forward(unsigned char speedR,unsigned char speedL);
void right(unsigned char speedR,unsigned char speedL);
void left(unsigned char speedR,unsigned char speedL);
void backward(unsigned char speedR,unsigned char speedL);
void stop(void);

/*************************************
* Forward
*************************************/
void forward(unsigned char speedR,unsigned char speedL)
{
   set_pwm1_duty(min_pwm);
   output_bit(motor_R_EN,1);
   output_bit(motor_R_C,1);
   output_bit(motor_R_D,0);

   set_pwm2_duty(min_pwm);
   output_bit(motor_L_EN,1);
   output_bit(motor_L_C,1);
   output_bit(motor_L_D,0);

   set_pwm1_duty(speedR);
   set_pwm2_duty(speedL);
}
/*********************************
* Stop
*********************************/
void stop(void)
{
   set_pwm1_duty(min_pwm);
   output_bit(motor_R_EN,0);
   output_bit(motor_R_C,0);
   output_bit(motor_R_D,0);

   set_pwm2_duty(min_pwm);
   output_bit(motor_L_EN,0);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
   output_bit(motor_L_C,0);
   output_bit(motor_L_D,0);
   set_pwm1_duty(0);
   set_pwm2_duty(0);
}
/**********************************
* main program
**********************************/
void main(void) {
   int16 start=0;
   int   get_line=0;
   int   x=0;
   int check=0;
   int y=0 ;

   enable_interrupts(GLOBAL);
   enable_interrupts(INT_TIMER0);

   setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_256);
   set_timer0(0);

   set_tris_A(0b11111111);
   set_tris_B(0b00000000);
   set_tris_C(0b00000000);
   Set_tris_E(0b00000000);
   Set_tris_D(0b11111111);

   setup_timer_2(T2_DIV_BY_16,255,1);
   setup_ccp1(ccp_pwm);
   setup_ccp2(ccp_pwm);

   stop();
   while(TRUE){
      while(x==0){
         if(input(sw_1)==0)
         {
            x=1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        if (x==y)
        {
        x=0;
         }

        output_bit(led1,1);
        output_bit(led2,0);
        output_bit(led3,0);
    }
    else if(input(sw_2)==0){
        x=2;
        if (x==y)
        {
        x=0;
         }
        output_bit(led1,0);
        output_bit(led2,1);
        output_bit(led3,0);
    }
    else if(input(sw_3)==0){
        x=3;
        if (x==y)
        {
        x=0;
         }
        output_bit(led1,0);
        output_bit(led2,0);
        output_bit(led3,1);
    }
    else if(input(sw_4)==0){
        x=4;
        if (x==y)
        {
        x=0;
         }
        output_bit(led1,1);
        output_bit(led2,1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            output_bit(led3,1);
        }
        else
        {
            x=0;
        }
    }

    while (TRUE) {
        if(start!=0)
        {
            if(seconds-start>1)
            {
    if(x==get_line)
                {
      stop();
                    y= get_line;
                    get_line=0;
                    start=0;
                    x=0;
                    break;
    }
                get_line=0;
                start=0;
            }
        }

        if(input(sensor_bar)==1)
        {
            if(check==0)
            {
                start=seconds;
          get_line++;
                check=1;
            }
         }
        if(input(sensor_bar)!=1)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        {
              check=0;
        }

if((input(sensor_center)==1)&&(input(sensor_left)==0)&&(input(
sensor_right)==0))
        {
           forward(255,255);
           delay_ms(5);
        }
        else
if((input(sensor_left)==1)&&(input(sensor_right)==0))
        {
           forward(200,120);
           delay_ms(5);
        }

        else
if((input(sensor_left)==0)&&(input(sensor_right)==1))
        {
           forward(120,200);
           delay_ms(5);
        }
        else
        {
           forward(75,75);
           delay_ms(5);
        }
      }
   }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้