

เครื่องตัดหญ้าอัตโนมัติพลังงานแสงอาทิตย์

AUTOMATIC SOLAR LAWN MOWER



โดย

นางสาวชญดา

ไหลเวชพิทยา

นายชลันธร

อินทโชติ

นายสรวิศ

ชุ่มเย็น

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เครื่องตัดหญ้าอัตโนมัติพลังงานแสงอาทิตย์
AUTOMATIC SOLAR LAWN MOWER

โดย

นางสาวชญดา	ไพลเวชพิทยา	60010177
นายชลันธร	อินทโชติ	60010210
นายสรวิศ	ชุ่มเย็น	60011028

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพานิชย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาโทปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

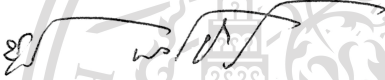
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องตัดหญ้าอัตโนมัติพลังงานแสงอาทิตย์

AUTOMATIC SOLAR LAWN MOWER

ผู้จัดทำ

- | | | |
|----------------|-------------|----------|
| 1. นางสาวชญาดา | ไหลเวชพิทยา | 60010177 |
| 2. นายชลันธร | อินทโชติ | 60010210 |
| 3. นายสรวิศ | ชุ่มเย็น | 60011028 |



(รศ. ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินปริญญานิพนธ์เรื่อง “เครื่องตัดหญ้าอัตโนมัติพลังงานแสงอาทิตย์” จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความความอนุเคราะห์และสนับสนุนอย่างดียิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์คือ รศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ รวมทั้งรุ่นพี่ทุกท่านในห้องปฏิบัติการทดลองที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา และแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา ค้นคว้าวิจัยให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมถึงสนับสนุนสถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ ขอขอบพระคุณในความห่วงใย และความปรารถนาดีให้แก่คณะผู้จัดทำเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอน ประสิทธิ์ประสาทวิชา ความรู้ และประสบการณ์ให้แก่ผู้จัดทำ

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้ความรัก ความห่วงใย และเป็นกำลังใจที่สำคัญเสมอมาในยามที่เกิดปัญหา จนกระทั่งปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและที่สำคัญคือสนับสนุนให้โอกาสทางด้านการศึกษาอันมีค่ายิ่งแก่ผู้จัดทำ

นางสาวชญดา	ไหลเวชพิทยา
นายชลันธร	อินทโชติ
นายสรวิศ	ชุ่มเย็น
	ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เครื่องตัดหญ้าอัตโนมัติพลังงานแสงอาทิตย์
AUTOMATIC SOLAR LAWN MOWER

โดย	นางสาวชยุตา ไหลเวชพิทยา	60010177
	นายชลันธร อินทโชติ	60010210
	นายสรวิศ ชุ่มเย็น	60011028

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

บทคัดย่อ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในพลังงานสะอาดและเป็นแหล่งพลังงานที่ใหญ่ที่สุดของมนุษย์ ทางผู้จัดทำเล็งเห็นถึงประโยชน์ของพลังงานดังกล่าวจึงนำมาประยุกต์และพัฒนาเป็นเครื่องตัดหญ้าอัตโนมัติพลังงานแสงอาทิตย์ โดยระบบประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือส่วนการเก็บเกี่ยวพลังงานโดยใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับตัวต้านทานไวแสงในการติดตามทิศทางของแสงอาทิตย์ และส่วนการเคลื่อนที่ซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงผนวกกับอัลกอริธึมวางแผนการเคลื่อนที่โดยรับค่าจากเซนเซอร์ในการประมวลผล ซึ่งระบบทั้งหมดจะถูกควบคุมผ่านไมโครคอมพิวเตอร์

ABSTRACT

Solar energy is one of the cleanest energies and the largest source of energy for humans. We see the benefits of this energy, which is applied and developed as an automatic solar lawn mower. The system consists of 2 main sections. Begins with the energy harvesting section, using a solar panel together with light dependence resistors to track the direction of sunlight. And the movement section uses DC motors combined with the coverage path planning algorithm by

receiving value from the sensors to process and all systems are controlled through การคำนวณค่าไม่ว่ากรณีใดก็ตามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	XIII
บทที่ 1	บทนำ
	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา
	1
	1.2 วัตถุประสงค์
	1
	1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์
	2
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง
	3
	2.1 การเก็บเกี่ยวพลังงานแสงอาทิตย์
	3
	2.2 ตัวต้านทานไวแสง
	8
	2.3 Ultrasonic Sensor Module HC-SR04
	9
	2.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
	11
	2.5 ภูมิมือซ้ายและภูมิมือขวาของ Fleming
	13
	2.6 2-Channel relay
	15
	2.7 โมดูลเซนเซอร์วัดแรงดัน
	16
	2.8 Arduino Mega 2560
	17
	2.9 Arduino IDE
	18
	2.10 Raspberry Pi 3 Model B
	19
	2.11 ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์
	20
	2.12 Android Studio
	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกครั้ง ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.15 ภาษาไพธอน	22
2.16 pySerial	22
2.17 Kotlin	23
บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์	24
3.1 การออกแบบ	24
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	44
3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	51
บทที่ 4 ผลการทดลอง	55
4.1 ผลการทดสอบและการเปรียบเทียบเซนเซอร์วัดระยะทาง	55
4.2 ผลการทดสอบความครอบคลุมการวัดระยะของอัลตราโซนิกเซนเซอร์ HC-SR04	94
4.3 ผลการทดสอบการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงร่วมกับ 2-Channel relay	97
4.4 ผลการทดสอบวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ด้วยโมดูลเซนเซอร์วัดแรงดัน	99
4.5 การคำนวณอัตราการบริโภคพลังงานของระบบ	100
4.6 ผลการทดสอบวงจรเลือกแบตเตอรี่สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์	100
4.7 ทดสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่	102
4.8 ทดลองการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยแผงพลังงานแสงอาทิตย์	103
4.9 ผลการทดลองใช้งานตัวต้านทานไวแสงร่วมกับแสงอาทิตย์	104
4.10 ผลการทดสอบและเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้า	106
4.11 ผลการทดสอบระบบจดจำการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้า	111
4.12 ผลการทดสอบการสื่อสารระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์และส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้	112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 4.13 ผลการทดสอบชุดคำสั่งควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้าไปใช้ประโยชน์ 112 การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5	
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	116
5.1 สรุปผล	116
5.2 ข้อเสนอแนะ	117
บรรณานุกรม	118
ภาคผนวก ก	
คำสั่งทดสอบเซนเซอร์วัดระยะทาง	123
ภาคผนวก ข	
คำสั่งเลือกใช้แบตเตอรี่ร่วมกับระบบติดตามแสง	125
ภาคผนวก ค	
คำสั่งระบบควบคุมการทำงานของเครื่องตัดหญ้า	143



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	3
2.2	4
2.3	5
2.4	5
2.5	7
2.6	8
2.7	8
2.8	8
2.9	9
2.10	10
2.11	12
2.12	13
2.13	14
2.14	14
2.15	15
2.16	16
2.17	16
2.18	16
2.19	17
2.20	18
2.21	19
2.22	20
2.23	21
2.24	21
2.25	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.1	บล็อกไดอะแกรมของเครื่องตัดหญ้าอัตโนมัติพลังงานแสงอาทิตย์	24
3.2	ภาพจำลอง 3 มิติโครงสร้างของเครื่องตัดหญ้า	25
3.3	ภาพออร์โทกราฟิกของโครงเครื่องตัดหญ้า	25
3.4	ภาพถ่ายเครื่องตัดหญ้าต้นแบบ	26
3.5	การเคลื่อนที่แบบ Differential Drive	27
3.6	ตัวอย่างการเกิดจุดหมุนชั่วขณะ เมื่อเคลื่อนที่ทิศทางตรงข้ามกัน	27
3.7	บล็อกไดอะแกรมการควบคุมการเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางของเครื่องตัดหญ้า	28
3.8	ภาพจำลองการต่อวงจรควบคุมการเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางของเครื่องตัดหญ้า	29
3.9	บล็อกไดอะแกรมการควบคุมการเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ของเครื่องตัดหญ้า	30
3.10	ภาพจำลองการต่อวงจรควบคุมการเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ของเครื่องตัดหญ้า	30
3.11	บล็อกไดอะแกรมการเลือกแบตเตอรี่	31
3.12	ภาพจำลองการต่อวงจรเลือกแบตเตอรี่	31
3.13	ภาพจำลองการต่อวงจรของระบบเครื่องตัดหญ้า	32
3.14	แผนผังการทำงานของระบบการชาร์จแบตเตอรี่	33
3.15	ตำแหน่งการติดตั้งตัวต้านทานไวแสงบนแผงพลังงานแสงอาทิตย์	33
3.16	แผนผังการทำงานของระบบการติดตามแสงอาทิตย์	34
3.17	หน้าต่างค้นหาอุปกรณ์บลูทูธ	35
3.18	หน้าต่างควบคุมระบบเครื่องตัดหญ้า	36
3.19	แผนผังการทำงานของส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้	37
3.20	แผนผังการทำงานการเลือกระบบการทำงานของเครื่องตัดหญ้า	38
3.21	แผนผังการทำงานระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้า	38
3.22	แผนผังการทำงานการรับข้อมูลจากบลูทูธ	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.23	40
3.24	41
3.25	42
3.26	43
3.27	44
3.28	45
3.29	46
3.30	46
3.31	47
3.32	47
3.33	48
3.34	49
3.35	49
3.36	49
3.37	50
3.38	51
3.39	51
4.1	55
4.2	56
4.3	56
4.4	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้
 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้ก่อนการปรับเทียบ เซนเซอร์วัดระยะในแนวระดับด้านหน้าซ้าย

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้หลังการปรับเทียบ เซนเซอร์วัดระยะในแนวระดับด้านหน้าขวา	61
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้ก่อนการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะแนวระดับด้านหน้าตรงกลาง	63
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้หลังการปรับเทียบ เซนเซอร์วัดระยะแนวระดับด้านหน้าตรงกลาง	64
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้ก่อนการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะในแนวระดับด้านซ้าย	65
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้หลังการปรับเทียบ เซนเซอร์วัดระยะในแนวระดับด้านซ้าย	66
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้ก่อนการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะในแนวระดับด้านขวา	69
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้หลังการปรับเทียบ เซนเซอร์วัดระยะในแนวระดับด้านขวา	70
4.13	ภาพจำลองการทดสอบการวัดระยะของโมดูลวัดระยะชนิดอัลตราโซนิก รุ่น HC-SR04 โดยใช้วัตถุจำลองเป็นวัตถุผิวโค้ง	72
4.14	การทดลองวัดระยะด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์โดยใช้วัตถุจำลองเป็น กระจกตันไม้	72
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ก่อนการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าฝั่งซ้าย	73
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้หลังการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าฝั่งซ้าย	74
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ก่อนการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าฝั่งขวา	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อาจก่อให้เกิดความเสียหายทางกฎหมายได้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ก่อนการ ปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าตรงกลาง	79
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้หลังการ ปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าตรงกลาง	80
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ก่อนการ ปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านซ้าย	82
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้หลังการ ปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านซ้าย	83
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ก่อนการ ปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านขวา	86
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้หลังการ ปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านขวา	87
4.25 การทดสอบการวัดระยะของโมดูลวัดระยะชนิดอัลตราโซนิก รุ่น HC-SR04 โดยใช้วัตถุจำลองเป็นช่อดอกไม้	89
4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ด้วย เซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าซ้าย	90
4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ด้วย เซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าขวา	91
4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ด้วย เซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าตรงกลาง	92
4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ด้วย เซนเซอร์วัดระยะด้านซ้าย	93
4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ด้วย เซนเซอร์วัดระยะด้านขวา	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 95

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.32 ภาพจำลองการทดสอบความครอบคลุมการวัดระยะของอัลตราโซนิกเซนเซอร์ HC-SR04	95
4.33 การทดสอบความครอบคลุมการวัดระยะของอัลตราโซนิกเซนเซอร์ HC-SR04	96
4.34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งวัตถุและระยะทางที่วัดได้ที่ระยะ 25 cm	96
4.35 ภาพจำลองการต่อวงจรระหว่างมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงกับ 2-Channel relay และ ไมโครคอนโทรลเลอร์	97
4.36 ผลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบทิศตามเข็มนาฬิกา	98
4.37 ผลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบทิศทวนเข็มนาฬิกา	98
4.38 การเชื่อมต่อระหว่างโมดูลเซนเซอร์วัดแรงดันกับ Arduino Mega 2560	99
4.39 ผลลัพธ์ค่าแรงดันของแบตเตอรี่ที่วัดด้วยโมดูลเซนเซอร์วัดแรงดันแสดงผลบน Serial Monitor	99
4.40 ภาพจำลองการต่อวงจรระหว่าง relay และแบตเตอรี่ 2 ก้อน	101
4.41 ระยะเวลาที่ไฟกระชากบันทึกด้วยออสซิลโลสโคป	101
4.42 กราฟแนวโน้มแรงดันไฟฟ้าขณะใช้งานของแบตเตอรี่ก้อนที่ 1 และ ก้อนที่ 2	102
4.43 กราฟแนวโน้มแรงดันไฟฟ้าขณะชาร์จแบตเตอรี่ด้วยแผงพลังงาน-แสงอาทิตย์ของแบตเตอรี่ 2 ก้อน	103
4.44 การเชื่อมต่อระหว่างตัวต้านทานไวแสงร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560	94
4.45 กราฟค่าความต้านทานของตัวต้านทานไวแสงเมื่อวัดค่าในที่ร่ม	95
4.46 กราฟค่าความต้านทานของตัวต้านทานไวแสงเมื่อวัดค่ากลางแจ้ง	95
4.47 การหมุนของตัวรถแบบทวนเข็มนาฬิกา	108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีลาดก้าง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 4.48 การหมุนของตัวรถแบบตามเข็มนาฬิกา
 4.49 ผลการทดสอบระบบจดจำการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.50	ผลทดสอบการสื่อสารระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้	112
4.51	ผลการทดสอบระบบการเคลื่อนที่เข้าหาแสง	113
4.52	ผลการทดสอบระบบตัดหญ้าอัตโนมัติผ่านระบบจดจำการเคลื่อนที่	113
4.53	ผลการทดสอบอัลกอริธึมหลบหลีกสิ่งกีดขวางผ่านระบบจดจำการเคลื่อนที่	114
4.54	ผลการทดสอบระบบกำหนดขอบเขตในการเคลื่อนที่บน Monitor	114
4.55	ผลการทดสอบระบบกำหนดขอบเขตในการเคลื่อนที่หลังจากหยุดใช้งาน	115



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซนเซอร์วัดระยะชนิดอัลตราโซนิก รุ่น HC-SR04	9
3.1	คุณสมบัติของบอร์ดเสริมแหล่งพลังงานแบบลิเทียม	45
3.2	ข้อมูลจำเพาะของแบตเตอรี่ 12 V 7.2 Ah	47
4.1	เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัดในแนวระดับด้านหน้าซ้าย	58
4.2	เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัดในแนวระดับด้านหน้าขวา	61
4.3	เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัดระยะแนวระดับด้านหน้าตรงกลาง	64
4.4	เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัดในแนวระดับด้านซ้าย	67
4.5	เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัดในแนวระดับด้านขวา	70
4.6	เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าซ้าย	74
4.7	เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าขวา	77
4.8	เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าตรงกลาง	80
4.9	เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านซ้าย	84
4.10	เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านขวา	87
4.11	กำลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ภายในระบบ	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
4.12	การทดสอบการเคลื่อนที่ไปด้านหน้าขณะปิดมอเตอร์ใบมีด	107
4.13	การทดสอบการเคลื่อนที่ไปด้านหน้าขณะเปิดมอเตอร์ใบมีด	107
4.14	ผลลัพธ์การทดสอบการหมุนของตัวรถแบบทวนเข็มนาฬิกาขณะปิดมอเตอร์ใบมีด	108
4.15	ผลลัพธ์การทดสอบการหมุนของตัวรถแบบทวนเข็มนาฬิกาขณะเปิดมอเตอร์ใบมีด	109
4.16	ผลลัพธ์การทดสอบการหมุนของตัวรถแบบตามเข็มนาฬิกาขณะปิดมอเตอร์ใบมีด	110
4.17	ผลลัพธ์การทดสอบการหมุนของตัวรถแบบตามเข็มนาฬิกาขณะเปิดมอเตอร์ใบมีด	110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันพลังงานเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญอย่างมากในการพัฒนาประเทศและการดำรงชีวิต การขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีผนวกกับจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลให้เกิดความต้องการในการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น จากความต้องการดังกล่าวทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา เช่น ปัญหาภาวะโลกร้อน ปัญหามลพิษ และปัญหาการขาดแคลนทรัพยากร ด้วยเหตุนี้จึงมีการหันมาใช้พลังงานทดแทนเพื่อบรรเทาปัญหาสิ่งแวดล้อม จากปัญหาดังกล่าวเป็นเหตุจูงใจให้ผู้จัดทำเสนอปริญญาานิพนธ์โดยนำพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นหนึ่งในพลังงานสะอาดและเป็นแหล่งพลังงานที่ใหญ่ที่สุดของมนุษย์มาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ไขปัญหาข้างต้น

เครื่องตัดหญ้าอัตโนมัติพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับการออกแบบ เพื่อศึกษาและแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยระบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ. ส่วนการเก็บเกี่ยวพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบไปด้วยแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ร่วมกับตัวต้านทานไวแสงที่ควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ในการติดตามทิศทางของแสงอาทิตย์และส่วนการเคลื่อนที่ประกอบไปด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ถูกควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ผนวกกับอัลกอริธึมการวางแผนการเคลื่อนที่ เพื่อที่จะนำค่าที่รับมาจากเซนเซอร์มาประมวลผลในการทำงานของระบบ

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้งานการเก็บเกี่ยวพลังงานแสงอาทิตย์
- 2) เพื่อศึกษาหลักการของเซนเซอร์ในการตรวจจับและวัดระยะวัตถุ
- 3) เพื่อศึกษาอัลกอริธึมวางแผนการเคลื่อนที่และการประยุกต์ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
- 4) เพื่อสร้างอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวระดับด้วยการประยุกต์ใช้งานทฤษฎีระบบควบคุมหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

ออกแบบและประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องตัดหญ้าซึ่งระบบประกอบด้วยส่วนการเก็บเกี่ยวพลังงาน นำพลังงานที่ได้มาเก็บเป็นพลังงานทางเลือก อัลกอริทึมการวางแผนการเคลื่อนที่จะถูกนำมาใช้ในส่วนของเครื่องตัดหญ้าซึ่งควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ และเครื่องตัดหญ้าสามารถตัดหญ้าชนิดต่าง ๆ ที่ความสูงไม่เกิน 10 cm บนสภาพดินที่ไม่เปียกชุ่มได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

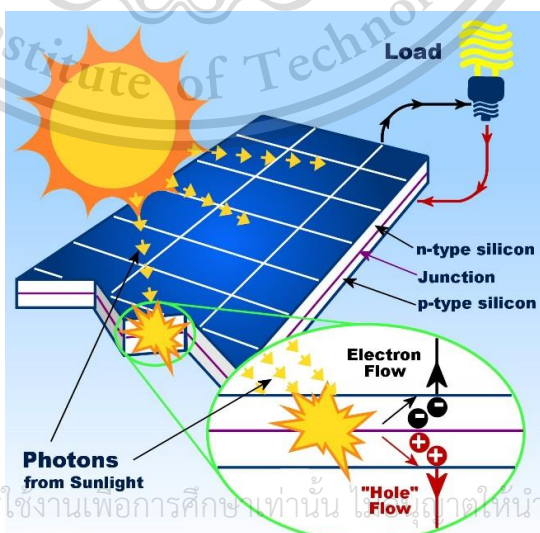
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ปริญญาานิพนธ์ “เครื่องตัดหญ้าอัตโนมัติพลังงานแสงอาทิตย์” ได้จัดทำขึ้นเพื่อสร้างเครื่องตัดหญ้าที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยอัตโนมัติและเก็บเกี่ยวพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการทำงานของระบบ โดยระบบเก็บเกี่ยวพลังงานใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับตัวต้านทานไวแสง และระบบการเคลื่อนที่ซึ่งควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ผนวกกับอัลกอริธึมวางแผนการเคลื่อนที่ (Coverage Path Planning : CPP) และนำค่าที่ได้รับจากเซนเซอร์วัดระยะมาประมวลผล ซึ่งมีทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 การเก็บเกี่ยวพลังงานแสงอาทิตย์

แผงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอนซึ่งมีราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลกมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และพื้นที่ที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน (Photon) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะหลุดพ้นจากแรงดึงดูดของอะตอม (Atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้นแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 [1]



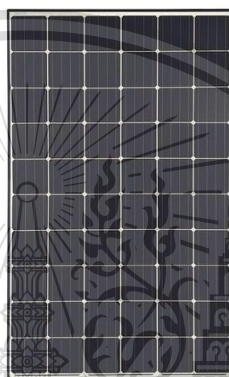
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแต่งแก้ไขเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 2.1 การทำงานของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ [2]

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.1 ประเภทของแผงพลังงานแสงอาทิตย์

2.1.1.1. แผงพลังงานแสงอาทิตย์โมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline silicon solar cells) ทำมาจากผลึกซิลิคอนเชิงเดี่ยว (Mono-Si) หรือเรียกว่า Single crystalline (Single-Si) วิธีสังเคราะห์ง่าย ๆ คือ แต่ละเซลล์จะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมตัดมุมทั้งสี่มุม และมีสี่เข็มแสดงได้ ดังรูปที่ 2.2 ผลิตมาจากซิลิคอนเกรดดีที่สุดจึงมีประสิทธิภาพสูงสุดโดยมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 15-20 % แต่มีราคาสูง [3]



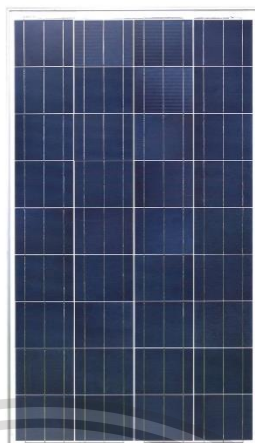
รูปที่ 2.2 แผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ [3]

2.1.1.2. แผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline silicon solar cells) ทำมาจากผลึกซิลิคอน โดยทั่วไปเรียกว่า โพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline, p-Si) หรือบางครั้งก็เรียกว่ามัลติ-คริสตัลไลน์ (Multi-crystalline, mc-Si) โดยในกระบวนการผลิตสามารถที่จะนำเอาซิลิคอนเหลวมาเทใส่โมลด์ที่เป็นสี่เหลี่ยมได้เลย ก่อนที่จะนำมาตัดเป็นแผ่นบางอีกที จึงทำให้เซลล์แต่ละเซลล์เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ไม่มีการตัดมุม สีของแผงจะออก น้ำเงิน ไม่เข้มมาก แสดงได้ดังรูปที่ 2.3 มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 13-16 % ซึ่งต่ำกว่า เมื่อเทียบกับชนิดโมโนคริสตัลไลน์และมีประสิทธิภาพต่อพื้นที่ต่ำกว่าชนิดโมโนคริสตัลไลน์ในกรณีถ้าแสงมีความเข้มข้นน้อยแต่มีประสิทธิภาพที่รองรับใช้งานในช่วงอุณหภูมิสูงดีกว่าชนิดโมโนคริสตัลไลน์เล็กน้อยและมีราคาถูกกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

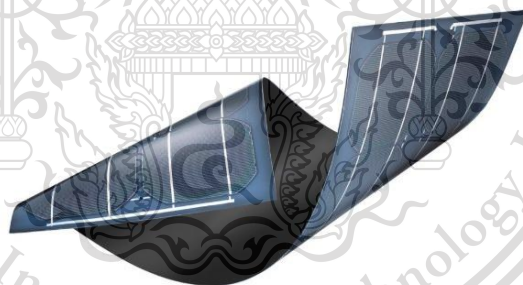
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.3 แผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ [3]

2.1.1.3. แผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (Thin film solar cells) คือ การนำเอาสารที่สามารถแปลงพลังงานจากแสงเป็นกระแสไฟฟ้ามาฉาบเป็นฟิล์มหรือชั้นบาง ๆ ซ้อนกันหลายชั้น จึงเรียกโซลาร์เซลล์ชนิดนี้ว่า ฟิล์มบาง (Thin film) แสดงได้ดังรูปที่ 2.4 แผ่นชนิดนี้มี ประสิทธิภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 7-13 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาทำเป็นฟิล์มฉาบ



รูปที่ 2.4 แผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง [3]

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแผงพลังงานแสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ หมายถึง ผลลัพธ์กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ต่อ 1 หน่วยพื้นที่หน้าตัด ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์สูง หมายถึง ภายในหนึ่งพื้นที่ที่ทำการวัดค่าจะมี กำลังไฟฟ้ามาก ยังมีประสิทธิภาพสูงมากเท่าไรก็ยิ่งมีความคุ้มค่ามากขึ้นเท่านั้น ทั้งนี้ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ที่ได้จะมีตัวแปรอยู่หลายตัว ได้แก่ ชนิดของโซลาร์เซลล์ที่นำมาประกอบ โครงสร้างของแผง วัสดุส่วนประกอบแผง นอกจากนี้ยังรวมถึงการติดตั้งเพื่อรับแสงอาทิตย์ของแผงโซลาร์เซลล์อีกด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์ การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.2.1. การเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของแผงโซลาร์เซลล์โดยตรงคือการเลือกชนิดของเซลล์ที่มีประสิทธิภาพในการแปรเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้สูง เซลล์ชนิดนี้จะมีโครงสร้างที่พิเศษกว่าเซลล์ทั่วไปคือ ระหว่างโครงสร้างภายในจะมีหลายจุดเชื่อมต่อที่สามารถรับสเปคตรัมได้หลายช่วงคลื่นความถี่พร้อมกันได้ จึงทำให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงกว่าเซลล์ทั่วไป สำหรับผู้ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์โดยทั่วไปมักจะคำนึงถึงเรื่องราคาต่อกำลังไฟฟ้า (Price/Watt) ที่แผงผลิตได้เป็นหลัก ดังนั้นจึงควรเลือกใช้แผงที่ผลิตจากเซลล์มาตรฐานซึ่งมีค่าประสิทธิภาพอยู่ที่ประมาณ 15-20 %

2.1.2.2. วัสดุที่นำมาประกอบแผงโซลาร์เซลล์ เช่นกระจกก็มีผลต่อประสิทธิภาพเช่นเดียวกัน กระจกที่ใช้จะต้องลดการสะท้อนของแสงให้น้อยที่สุดก่อนที่แสงจะผ่านไปถึงเซลล์ด้านใน

2.1.2.3. การยึดและติดตั้งแผงก็เป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพ การติดตั้งแผงจะต้องคำนวณว่าแผงควรจะติดตั้งให้มีความชันจากพื้นกี่ degree และหันหน้าไปทางทิศใด (โดยทั่วไปจะติดตั้งให้ระนาบแผงโซลาร์เซลล์หันไปทางทิศใต้ โดยมีความชันประมาณ 15 degree จากพื้นดิน) การยึดและติดตั้งแผงนั้นมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพโดยรวมของแผงหรือทั้งระบบ ถ้าติดตั้งไปผิดทิศหรือความชันแผงจากพื้นไม่ได้ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ก็จะลดลงไปอย่างมาก

2.1.2.4. อุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์ก็มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า ถ้าอุณหภูมิของแผงเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพลดลง ตามมาตรฐานจากผู้ผลิตแล้วแต่ละแผงโซลาร์เซลล์จะมีการทดสอบประสิทธิภาพของแผงก่อนที่จะนำมาจำหน่ายโดยผลทดสอบจะถูกแสดงในรูปแบบของฉลากแนบที่ติดมากับตัวแผง ในเรื่องของตัวแปรทางด้านอุณหภูมินี้ก็มีบอกอยู่บนฉลากด้วย เช่นถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 °C จะมีกำลังไฟฟ้า แรงดัน กระแสเปลี่ยนแปลงไปเท่าไร โดยทั่วไปแล้วโรงงานผู้ผลิตจะทดสอบแผงโซลาร์เซลล์ที่อุณหภูมิ 25 °C แต่บางผู้ผลิตก็จะมีการทดสอบที่อุณหภูมิใช้งานจริงเช่น 45 °C ซึ่งจะบอกกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแสบนฉลากเช่นเดียวกัน ดังนั้นการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนพื้นที่ใช้งานจริง ต้องไม่ลืมที่จะคำนวณค่าความแตกต่างที่แปรเปลี่ยนตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิตามไปด้วย

2.1.2.5. นอกจากการติดตั้งแผงที่เหมาะสมแล้ว เงานที่บดบังแผงโซลาร์เซลล์ในบางส่วนก็มีผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมของทั้งระบบด้วย เพราะโดยส่วนมากแล้วระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยแผงโซลาร์เซลล์จะต้องวางจริงเป็นแบบอนุกรมแผงโซลาร์เซลล์เข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้แรงดันที่ออกแบบไว้ เมื่อมีเงาบางส่วนบดบังแสงของแผงโซลาร์เซลล์เพียงแค่ว่าเพียงหนึ่งแผงก็จะทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น ย้ำห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กระแสไฟฟ้าในระบบหยุดไหลได้ ดังนั้นตลอดทั้งวันควรมั่นใจว่าการติดตั้งแผงจะไม่มีร่มเงามาบดบัง การรับแสงของแผงโซลาร์เซลล์ [4]

2.1.3 การติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์เข้ากับแบตเตอรี่

แผงโซลาร์เซลล์ทำหน้าที่ผลิตกระแสไฟฟ้า โดยการเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะได้ออกมาในรูปแบบของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ถ้าเป็นระบบที่ออกแบบให้มีการต่อพ่วงกับแบตเตอรี่ด้วย ในบางครั้งแสงที่ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์อาจจะไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งวัน จึงทำให้กระแสและแรงดันที่ผลิตได้จากแผงเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้แรงดันและกระแสไฟฟ้าไม่คงที่ ดังนั้นการชาร์จประจุไฟฟ้าของแผงโดยตรงกับแบตเตอรี่จึงไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรและที่สำคัญคือจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่จะสั้นลงอีกด้วย เนื่องจากแรงดันที่ผลิตจากแผงโซลาร์เซลล์บางครั้งจะสูงเกินกว่าค่าแรงดันที่จะทำการชาร์จแบตเตอรี่ เครื่องควบคุมการชาร์จจึงถูกออกแบบมาเพื่อทำให้การชาร์จไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่นั้นมีประสิทธิภาพเพิ่มมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังป้องกันการเสียหายที่เกิดจากการชาร์จแบตเตอรี่ที่มีแรงดันสูงเกินไปอีกด้วย

เครื่องควบคุมการชาร์จจะถูกต่อระหว่างแผงโซลาร์เซลล์กับแบตเตอรี่และโหลดที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง โดยเครื่องควบคุมการชาร์จจะวัดระดับแรงดันของแบตเตอรี่ ถ้าระดับแรงดันของแบตเตอรี่อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าที่ตั้งไว้ เครื่องควบคุมการชาร์จจะทำการปลดโหลดออกจากระบบทันที (Load disconnect) เพื่อป้องกันการคลายประจุของแบตเตอรี่ที่มากเกินไปและอาจทำให้แบตเตอรี่เสื่อมเร็วขึ้น ส่วนใหญ่จะตั้งค่าแรงดันการปลดโหลดไว้ที่ประมาณ 11.5 V สำหรับแรงดันระบบที่ 12 V แต่ถ้าแบตเตอรี่มีระดับแรงดันที่เพิ่มขึ้นตามที่ตั้งไว้ เครื่องควบคุมการชาร์จก็จะต่อการทำงานของโหลดใหม่ (Load reconnect) เช่น ตั้งค่าไว้ที่ 12.6 V สำหรับแรงดันระบบ 12 V เป็นต้น โดยเครื่องควบคุมการชาร์จ และการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์กับแบตเตอรี่ร่วมกับเครื่องควบคุมการชาร์จสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 และ รูปที่ 2.6 ตามลำดับ [5]



รูปที่ 2.5 เครื่องควบคุมการชาร์จระหว่างแผงพลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ [6]

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

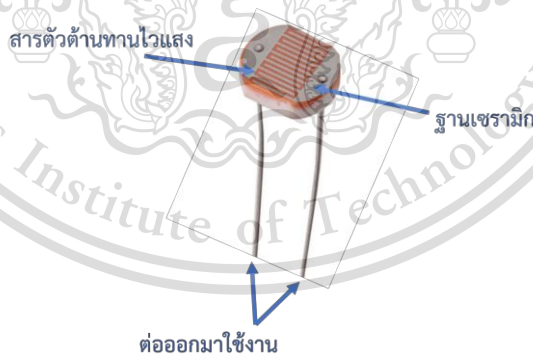
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.6 การติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์กับแบตเตอรี่ [7]

2.2 ตัวต้านทานไวแสง

ตัวต้านทานไวแสง (Light Dependent Resistor : LDR) เป็นตัวต้านทานที่ค่าความต้านทานเปลี่ยนไปตามความเข้มของแสงที่ตกกระทบ ทำมาจากสารกึ่งตัวนำประเภทแคดเมียมซัลไฟด์ (Cadmium Sulfide : Cds) หรือแคดเมียมซีลีไนด์ (Cadmium Selenide : CdSe) ซึ่งสารชนิดกึ่งตัวนำจะถูกเอามาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบไว้ออกมาใช้งาน โครงสร้างและสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของตัวต้านทานไวแสงแสดงดังรูปที่ 2.7 และ 2.8 ตามลำดับ [8]



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของตัวต้านทานไวแสง [8]



รูปที่ 2.8 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของตัวต้านทานไวแสง [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3 Ultrasonic Sensor Module HC-SR04

เซนเซอร์วัดระยะชนิดอัลตราโซนิก รุ่น HC-SR04 ดังแสดงในรูปที่ 2.9 สามารถวัดระยะได้ตั้งแต่ 2 – 400 cm โดยไม่ต้องมีการสัมผัสและมีช่วงแม่นยำในระดับ 3 mm โมดูลนี้ประกอบด้วยเครื่องรับและเครื่องส่งคลื่นอัลตราโซนิก และวงจรควบคุม หลักการทำงานพื้นฐานมีดังนี้

1. ใช้ IO Trigger ที่เป็นสัญญาณระดับสูง อย่างน้อย 10 μ s
2. โมดูลจะส่งคลื่นอัลตราโซนิก ความถี่ 40 kHz จำนวน 8 ลูกคลื่นออกไปโดยอัตโนมัติ และตรวจจับลูกคลื่นที่สะท้อนกลับมา
3. ถ้าสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจะเป็นสัญญาณระดับสูง โดยระยะเวลาของสัญญาณระดับสูงขาออกของ IO คือระยะเวลาตั้งแต่ส่งคลื่นอัลตราโซนิกออกไปจนถึงระยะเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมาโดยสามารถหารระยะทางทดสอบได้จากสมการที่ (2.1)

$$\text{Test distance (m)} = \frac{\text{High level distance (s)} \times \text{Velocity of sound (m/s)}}{2} \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.9 Ultrasonic Sensor Module HC-SR04 [9]

โดยพารามิเตอร์ไฟฟ้าของเซนเซอร์วัดระยะชนิดอัลตราโซนิก รุ่น HC-SR04 สามารถอธิบายได้ดังตารางที่ 3

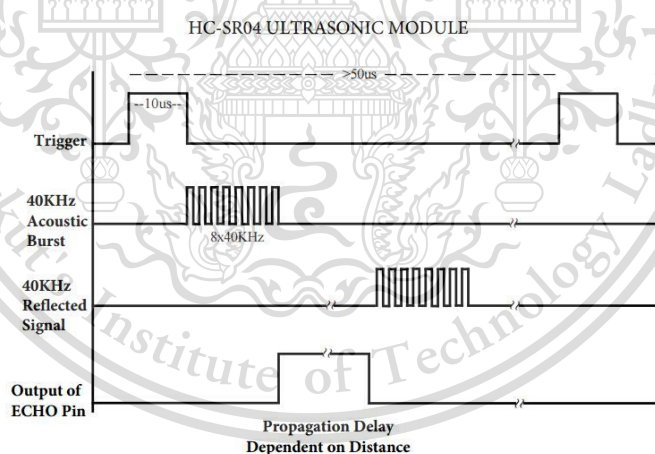
ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซนเซอร์วัดระยะชนิดอัลตราโซนิก รุ่น HC-SR04 [9]

แรงดันไฟฟ้าในการทำงาน	ไฟฟ้ากระแสตรง 5 V
กระแสไฟฟ้าในการทำงาน	15 mA
ความถี่ในการทำงาน	40 kHz
ระยะสูงสุด	4 m
ระยะต่ำสุด	2 cm

ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซนเซอร์วัดระยะชนิดอัลตราโซนิก รุ่น HC-SR04 (ต่อ)

มุมในการวัด	15 degree
สัญญาณ Trigger ขาเข้า	สัญญาณ Trigger 10 μ s
สัญญาณ Echo ขาออก	สัญญาณ Trigger ขาเข้าที่เป็นสัดส่วนกับระยะทาง
ขนาด	45 mm x 20 mm x 15 mm

Timing Diagram [10] สำหรับเซนเซอร์วัดระยะชนิดอัลตราโซนิก รุ่น HC-SR04 แสดงได้ดังรูปที่ 2.10 เมื่อเริ่มวัดระยะจะส่งสัญญาณ Trigger ซึ่งเป็นสัญญาณระดับสูง (5 V) อย่างน้อย 10 μ s หลังจากส่งสัญญาณ Trigger ออกไปเซนเซอร์จะส่งคลื่นอัลตราโซนิก ความถี่ 40 KHz 8 ลูกคลื่น และรอให้คลื่นอัลตราโซนิกสะท้อนกลับ เมื่อเซนเซอร์ตรวจจับคลื่นอัลตราโซนิกได้ที่ฝั่งรับ ขา Echo จะเปลี่ยนเป็นสัญญาณระดับสูง (5 V) และความกว้างของลูกคลื่นจะเป็นสัดส่วนกับระยะทาง ทำให้คำนวณหาระยะทางได้จากความกว้างของลูกคลื่นที่ขา Echo



รูปที่ 2.10 Timing Diagram สำหรับเซนเซอร์วัดระยะชนิดอัลตราโซนิก รุ่น HC-SR04 [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ส่วนประกอบหลักของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง [11] แสดงได้ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งประกอบด้วย 6 ส่วนดังนี้

2.4.1 ขดลวดสนามแม่เหล็ก

ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil) คือขดลวดที่ถูกพันอยู่กับขั้วแม่เหล็กที่ยึดติดกับโครงมอเตอร์ ทำหน้าที่กำเนิดขั้วแม่เหล็กขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) แทนแม่เหล็กถาวร สนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้มอเตอร์

2.4.2 ขั้วแม่เหล็ก

ขั้วแม่เหล็ก (Pole pieces) คือ แกนสำหรับรองรับขดลวดสนามแม่เหล็กถูกยึดติดกับโครงมอเตอร์ด้านใน ขั้วแม่เหล็กทำมาจากแผ่นเหล็กอ่อนบางๆ อัดซ้อนกัน (Lamination sheet steel) เพื่อลดการเกิดกระแสไหลวน (Eddy current) ที่จะทำให้ความเข้ากันของสนามแม่เหล็กลดลง ขั้วแม่เหล็กทำหน้าที่ให้กำเนิดขั้วสนามแม่เหล็กมีความเข้มสูงสุดแทนขั้วสนามแม่เหล็กถาวร ผิวด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กทำให้โค้งรับกับอาร์เมเจอร์พอดี

2.4.3 โครงมอเตอร์

โครงมอเตอร์ (Motor frame) คือ ส่วนเปลือกหุ้มภายนอกของมอเตอร์ และยึดส่วนอยู่กับที่ (Stator) ของมอเตอร์ไว้ภายในร่วมกับฝาปิดหัวท้ายของมอเตอร์ โครงมอเตอร์ทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กระหว่างขั้วแม่เหล็กให้เกิดสนามแม่เหล็กครบวงจร

2.4.4 อาร์เมเจอร์

อาร์เมเจอร์ (Armature) คือ ส่วนเคลื่อนที่ (Rotor) ถูกยึดติดกับเพลา (Shaft) และรองรับการหมุนด้วยที่รองรับการหมุน (Bearing) ตัวอาร์เมเจอร์ทำจากเหล็กแผ่นบาง ๆ อัดซ้อนกันถูกเจาะร่องออกเป็นส่วน ๆ เพื่อไว้พันขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature winding) ขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นขดลวดอาน้ำยาฉนวน ร่องขดลวดอาร์เมเจอร์จะมีขดลวดพันอยู่และมีลิมไฟเบอร์อัดแน่นซีตขดลวดอาร์เมเจอร์ไว้ ปลายขดลวดอาร์เมเจอร์ต่อไว้กับคอมมิวเตเตอร์ อาร์เมเจอร์ผลักดันของสนามแม่เหล็กทั้งสอง ทำให้อาร์เมเจอร์หมุนเคลื่อนที่

2.4.5 คอมมิวเตเตอร์

คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) คือส่วนเคลื่อนที่อีกส่วนหนึ่ง ถูกยึดติดเข้ากับอาร์เมเจอร์และเพลาร่วมกัน คอมมิวเตเตอร์ทำจากแท่งทองแดงแข็งประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก แต่ละแท่งทองแดงของคอมมิวเตเตอร์ถูกแยกออกจากกันด้วยฉนวนไมก้า (Mica)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรในหน่วยงาน ไม่อนุญาตให้วางใจได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำเนื้อหาไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

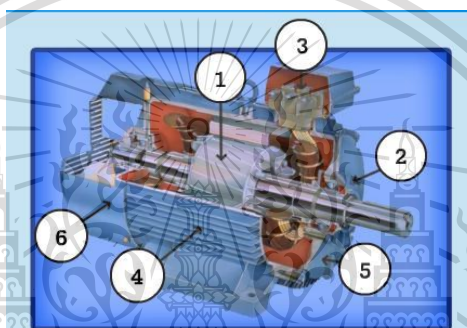
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อาร์เมเจอร์ คอมมิวเตเตอร์ทำหน้าที่เป็นขั้วรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายมาจากแปรงถ่าน เพื่อส่งไปให้ขดลวดอาร์เมเจอร์

2.4.6 แปรงถ่าน

แปรงถ่าน (Brush) คือตัวสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ ทำเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผลิตมาจากคาร์บอนหรือแกรไฟต์ผสมผงทองแดง เพื่อให้แข็งและนำไฟฟ้าได้ดี มีสายตัวนำต่อร่วมกับแปรงถ่านเพื่อไปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายเข้ามา แปรงถ่านทำหน้าที่รับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่าย จ่ายผ่านไปให้คอมมิวเตเตอร์



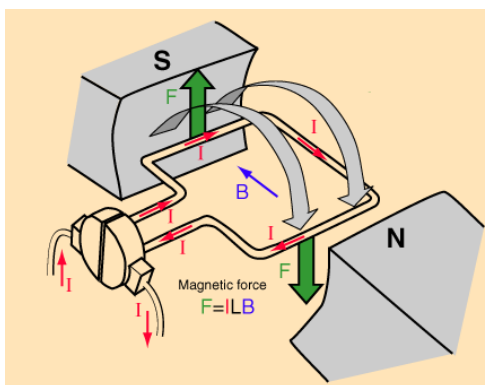
รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง [11]

การทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแสดงดังรูปที่ 2.12 มีแรงดันไฟตรงจ่ายผ่านแปรงถ่านไปคอมมิวเตเตอร์ ผ่านไปให้ขดลวดตัวนำที่อาร์เมเจอร์ ทำให้ขดลวดอาร์เมเจอร์เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นมา ทางด้านซ้ายมือเป็นขั้วเหนือ (N) และด้านขวาเป็นขั้วใต้ (S) เหมือนกับขั้วแม่เหล็กถาวรที่วางอยู่ใกล้ ๆ เกิดอำนาจแม่เหล็กผลักดันกัน อาร์เมเจอร์หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา พร้อมกับคอมมิวเตเตอร์หมุนตามไปด้วย แปรงถ่านสัมผัสกับส่วนของคอมมิวเตเตอร์เปลี่ยนไปอยู่อีกปลายหนึ่งของขดลวด แต่มีผลทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่อาร์เมเจอร์เหมือนกับขั้วแม่เหล็กถาวรที่อยู่ใกล้ ๆ อีกครั้ง ทำให้อาร์เมเจอร์ยังคงถูกผลักให้หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาตลอดเวลาเกิดการหมุนของอาร์เมเจอร์คือมอเตอร์ไฟฟ้าทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.12 การทำงานของมอเตอร์กระแสตรง [11]

2.5 กฎมือซ้ายและกฎมือขวาของ Fleming

เมื่อนำตัวนำกระแสไฟฟ้ามาวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็ก ในทางตรงกันข้าม ถ้าตัวนำเกิดการเคลื่อนไหวในสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromotive Force : EMF) ข้ามตัวนำ

John Ambrose Fleming นำเสนอกฎ 2 ข้อคือ กฎมือซ้ายของ Fleming (Fleming's left hand rule) ใช้สำหรับอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล และกฎมือขวาของ Fleming (Fleming's right hand rule) ใช้สำหรับอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า

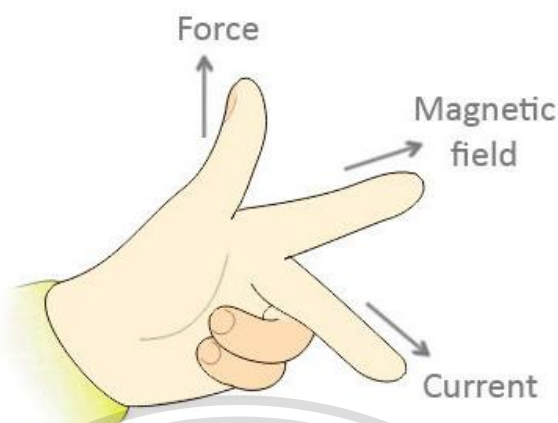
2.5.1 กฎมือซ้ายของ Fleming (Fleming's left hand rule)

เมื่อใดก็ตามที่ตัวนำกระแสไฟฟ้าถูกวางในสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงกระทำกับตัวนำในทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กและทิศทางของกระแสไฟฟ้า จากกฎมือซ้ายของ Fleming ถ้านิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้และนิ้วกลางของมือซ้ายตั้งฉากกัน และถ้านิ้วชี้แสดงถึงทิศทางของสนามแม่เหล็ก นิ้วกลางจะแสดงถึงทิศทางของกระแสไฟฟ้าและนิ้วหัวแม่มือแสดงถึงทิศทางของแรงแสดงดังรูปที่ 2.13 ซึ่งกฎมือซ้ายนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับมอเตอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

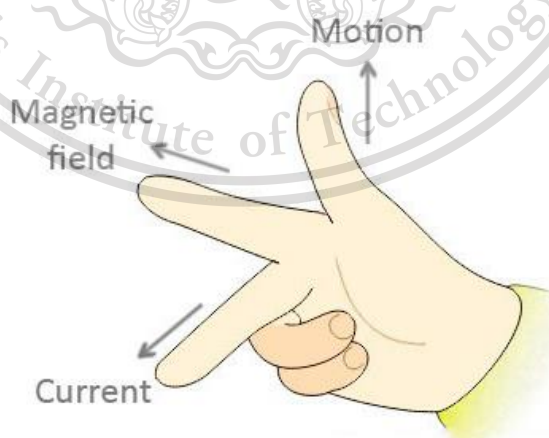
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.13 กฎมือซ้ายของ Fleming [12]

2.5.2 กฎมือขวาของ Fleming (Fleming's right hand rule)

กฎมือขวาของ Fleming ใช้สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากกฎการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าของฟาราเดย์ เมื่อตัวนำถูกขยับเฉียดปล้นในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromotive Force : EMF) ข้ามตัวนำ จากกฎมือขวาของ Fleming ถ้านิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้และนิ้วกลางของมือขวาตั้งฉากกัน และถ้านิ้วหัวแม่มือแสดงถึงทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวนำ นิ้วชี้จะแสดงถึงทิศทางของสนามแม่เหล็กและนิ้วกลางจะแสดงถึงทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำแสดงดังรูปที่ 2.14 [12]



รูปที่ 2.14 กฎมือขวาของ Fleming [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6 2-Channel relay

ปริณญาณิพนธ์นี้เลือกใช้ 2-Channel relay [13] ดังรูปที่ 2.15 ในการปรับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่ง relay เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่ตัดต่อวงจรแบบเดียวกับสวิตช์ โดยควบคุมการทำงานด้วยไฟฟ้า relay มีหลายประเภท ตั้งแต่ relay ขนาดเล็กที่ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป จนถึง relay ขนาดใหญ่ที่ใช้ในงานไฟฟ้าแรงสูง โดยมีรูปร่างแตกต่างกันออกไป แต่มีหลักการการทำงานที่คล้ายคลึงกัน สำหรับการนำ relay ไปใช้งานจะใช้ในการตัดต่อวงจร ส่วนประกอบหลักของ relay แสดงได้ดังรูปที่ 2.16 ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. หน้าสัมผัสปกติปิด (Normally Close : NC) ในสภาวะปกติหน้าสัมผัสนี้จะต่อเข้ากับขา COM (Common) และจะเป็นวงจรเปิดหรือไม่สัมผัสกันเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด
2. หน้าสัมผัสปกติเปิด (Normally Open : NO) ในสภาวะปกติจะเป็นวงจรเปิด ไม่ถูกต่อกับขา COM (Common) แต่จะเชื่อมต่อกันเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด
3. ขา COM (Common) เป็นขาที่ถูกใช้งานร่วมกันระหว่าง NC และ NO ขึ้นอยู่กับว่าขณะนั้นมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดหรือไม่และจะทำงานบนโลจิกแบบ Active high
4. ขดลวด เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จะทำให้ขดลวดเกิดการเหนี่ยวนำและทำหน้าที่เสมือนแม่เหล็กไฟฟ้า ส่งผลให้ขา COM ที่เชื่อมต่อกับหน้าสัมผัส NC (ในสภาวะที่ยังไม่เกิดการเหนี่ยวนำ) ย้ายกลับเชื่อมต่อกับหน้าสัมผัส NO แทน และปล่อยให้ขา NC เป็นวงจรเปิด เมื่อมองที่ขา NC กับ COM และ NO กับ COM แล้วจะเห็นว่ามีการทำงานติด-ดับลักษณะคล้ายการทำงานของสวิตช์

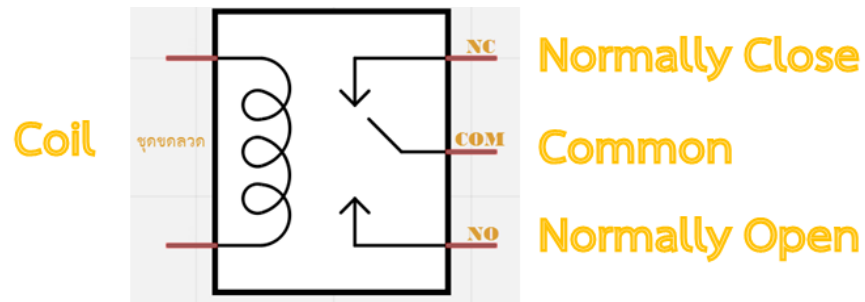


รูปที่ 2.15 2-Channel relay [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



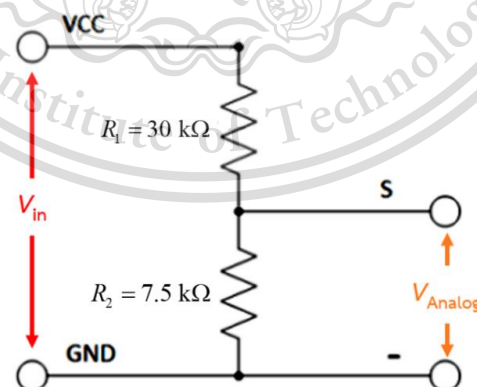
รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบหลักของ relay [14]

2.7 โมดูลเซนเซอร์วัดแรงดัน

โมดูลเซนเซอร์วัดแรงดันดังรูปที่ 2.17 อาศัยหลักการแบ่งแรงดันด้วยตัวต้านทานแสดงดังรูปที่ 2.18 [15] สำหรับการคำนวณเพื่อหาระดับแรงดันที่ต้องการวัดสามารถทำได้โดยแทนค่าแรงดันแอนะล็อก (V_{Analog}) ลงในสมการที่ (2.2) ซึ่งเป็นสมการแบ่งแรงดัน (Voltage divider equation) เพื่อหาค่าแรงดันที่ต้องการวัด (V_{In})



รูปที่ 2.17 โมดูลเซนเซอร์วัดแรงดัน [15]



รูปที่ 2.18 วงจรภายในโมดูลเซนเซอร์วัดแรงดัน [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

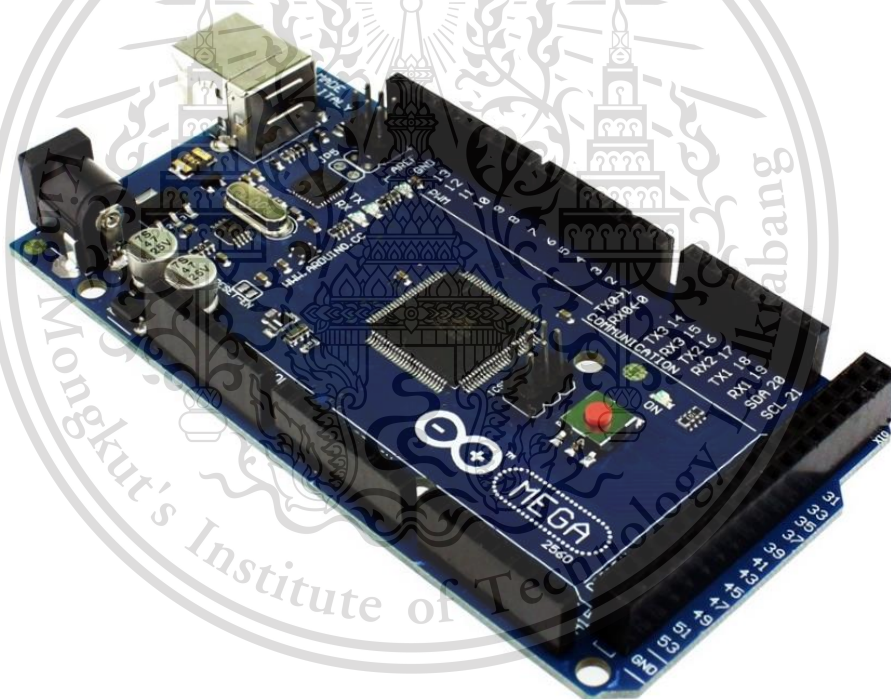
$$V_{\text{Analog}} = V_{\text{In}} \times \left[\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right]$$
 (2.2)
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงเป็นเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.8 Arduino Mega 2560

Arduino MEGA 2560 [16] ดังแสดงในรูปที่ 2.19 เป็นบอร์ดที่มีความสามารถสูงในกลุ่มบอร์ด Arduino โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์หลักเป็น ATmega2560 โดย Arduino Mega มีขาอินพุตดิจิทัลและขาเอาต์พุตดิจิทัลจำนวน 54 Pins ซึ่งสามารถใช้เป็น PWM ได้ 15 Pins มีขาอินพุตแอนะล็อก 16 Pins และมีขาแหล่งจ่ายไฟ 5 V จำนวน 3 Pins มีหน่วยความจำ 256 KB นอกจากนี้ยังมีอีก 8 KB สำหรับ SRAM และ 4 KB สำหรับ EEPROM สามารถเขียนโปรแกรมบน Arduino IDE โดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยสายเคเบิล USB หรือใช้ adaptor AC-to-DC เพื่อเริ่มต้นใช้งาน มีปุ่ม Reset สามารถต่อเข้ากับ Shields ที่ออกแบบเพื่อใช้งานกับ Arduino Duemilanove หรือ Diecimila และมีพอร์ตการเชื่อมต่อดังแสดงในรูปที่ 2.20

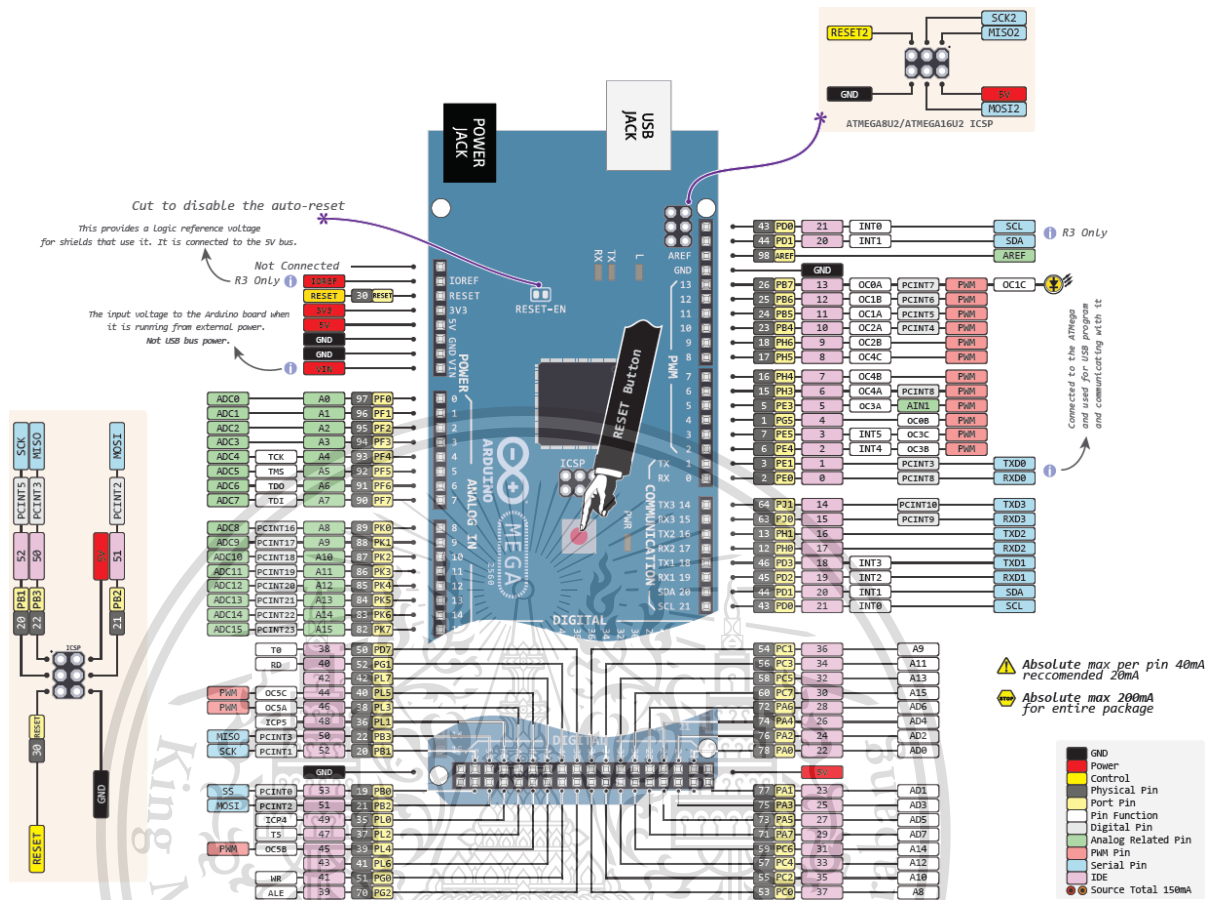


รูปที่ 2.19 Arduino Mega 2560 [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.20 พอร์ตการเชื่อมต่อ Arduino Mega 2560 [17]

2.9 Arduino IDE

Arduino IDE [18] คือโปรแกรมสำหรับใช้เขียนโปรแกรม คอมไพล์ และอัปโหลด โปรแกรมลงบอร์ด Arduino หรือบอร์ดตัวอื่น ๆ ที่คล้ายกัน เช่น Generic ESP8266 modules NodeMCU หรือ WeMos D1 เป็นต้น โดยใช้ภาษา C หรือ C++ มาประยุกต์ในการเขียนคำสั่ง ซึ่ง โปรแกรมมีลักษณะ ดังรูปที่ 2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

sketch_sep13a
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}

```

รูปที่ 2.21 หน้าต่างโปรแกรม Arduino IDE

2.10 Raspberry Pi 3 Model B

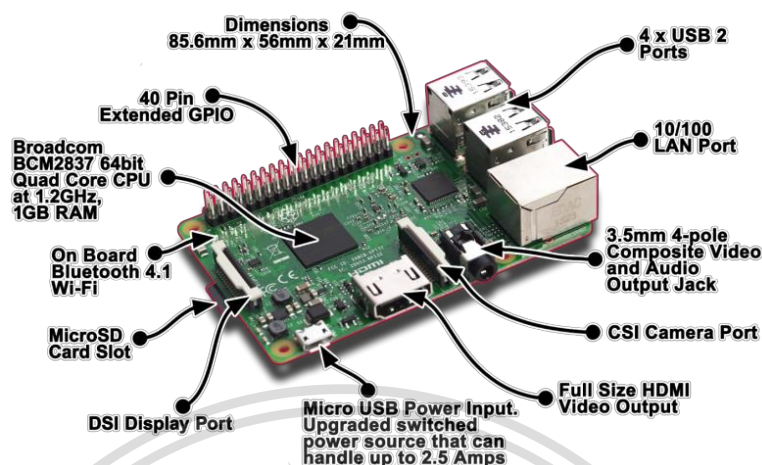
ปริญญาโทนี้ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi Model B ดังรูปที่ 2.22 ซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์ขนาดจิ๋วขนาดเท่าบัตรเครดิต และมีราคาถูก เหมาะสำหรับใช้ศึกษาการทำงานของคอมพิวเตอร์พร้อมทั้งสามารถเขียนโปรแกรมให้ทำงานตามต้องการได้บางครั้งจะเรียกว่า ไมโครคอมพิวเตอร์เนื่องจากมีความสามารถมากกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์โดยทั่วไป Raspberry 3 Pi Model B มีรายละเอียดดังนี้ [19]

1. ขนาด 85 mm × 56 mm × 17 mm
2. CPU Broadcom BCM2837 64-bit ARM Quad-core 1.2 GHz
3. RAM 1 GB ใช้ร่วมกับ Graphics Processor Unit (GPU)
4. Wireless LAN 802.11n
5. Lan Speed 10/100 Mbps
6. Bluetooth 4.1 (Low energy)
7. พอร์ต USB 2.0 4 Ports
8. ช่องใส่ Micro SD card 1 Port
9. Pin GPIO 40 Pins

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.22 ตำแหน่งของอุปกรณ์บน Raspberry Pi 3 Model B [19]

2.11 ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

แอนดรอยด์ (Android) คือระบบปฏิบัติการแบบเปิดเผยแพร่ซอฟต์แวร์ต้นฉบับ (Open Source) โดยบริษัท กูเกิล (Google Inc.) ที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างสูง เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์มีจำนวนมาก อุปกรณ์มีหลากหลายระดับ หลายราคา รวมทั้งสามารถทำงานบนอุปกรณ์ที่มีขนาดหน้าจอ และความละเอียดแตกต่างกันได้ ทำให้ผู้บริโภคสามารถเลือกได้ตามต้องการ [20]

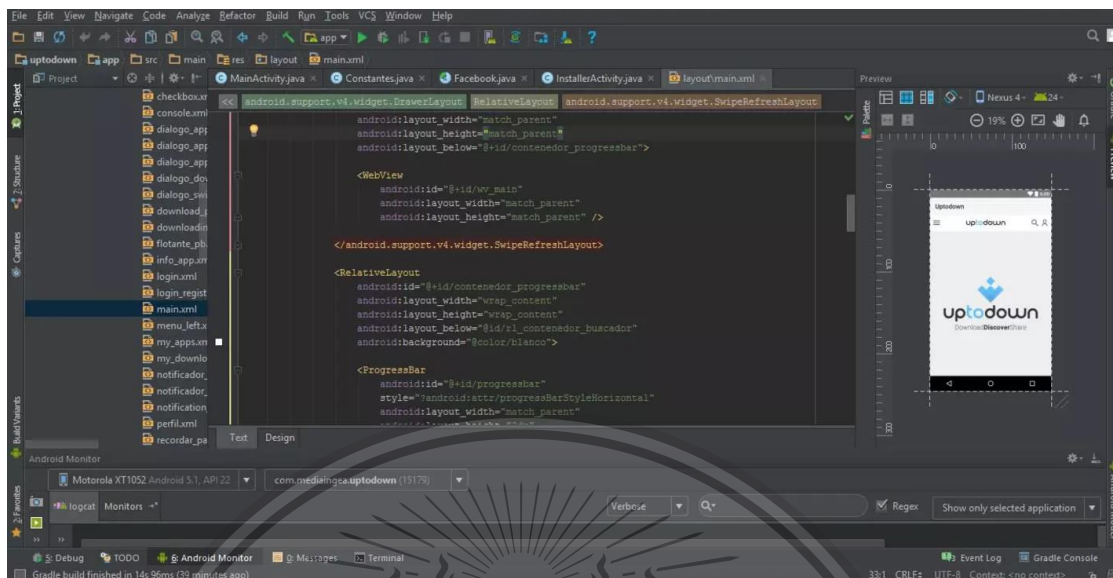
2.12 Android Studio

Android Studio เป็น IDE Tool จาก Google สำหรับโปรแกรม Android โดยพัฒนาจากแนวคิดพื้นฐานมาจาก IntelliJ IDEA คล้าย ๆ กับการทำงานของ Eclipse และ Android ADT Plugin วัตถุประสงค์ของ Android Studio คือต้องการพัฒนาเครื่องมือ IDE ที่สามารถพัฒนาแอปพลิเคชันบน Android ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งด้านการออกแบบ GUI ที่ช่วยให้สามารถแสดงตัวแอปพลิเคชันในมุมมองที่แตกต่างกันบนสมาร์ตโฟนแต่ละรุ่น สามารถแสดงผลบางอย่างได้ทันทีโดยไม่ต้องทำการรันแอปพลิเคชันบน Emulator รวมทั้งยังแก้ไขปรับปรุงในเรื่องของความเร็วของ Emulator ที่ยังเจอปัญหากันอยู่ในปัจจุบัน [21] หน้าต่างของโปรแกรม Android Studio สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

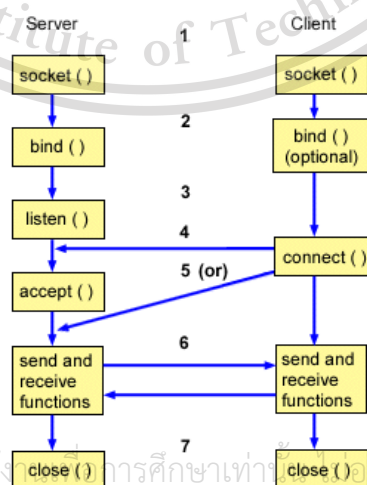
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.23 หน้าตาของโปรแกรม Android Studio [22]

2.13 Socket programming

Socket Programming เป็นการเขียนโปรแกรมที่ใช้ Socket เป็นช่องทางสำหรับการรับส่งข้อมูลกันระหว่างเครื่องหรือโปรแกรม โดยอาจจะเป็นระหว่าง Server กับ Client ซึ่งการรับส่งข้อมูลสามารถทำได้ทั้งสองทางและเก็บสถานะการติดต่อแต่ละครั้งเอาไว้ได้ ในการใช้งาน Socket นั้นจะต้องมีฝั่งหนึ่งทำการเริ่มสร้างช่องทางการเชื่อมต่อขึ้นมา และให้อีกฝั่งหนึ่งเข้ามาเชื่อมต่อ ซึ่งส่วนใหญ่ Server จะเป็นฝั่งที่สร้างเอาไว้และให้ Client เข้ามาเชื่อมต่อ [23] การเชื่อมต่อระหว่าง Client และ Server ผ่าน Socket สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.24



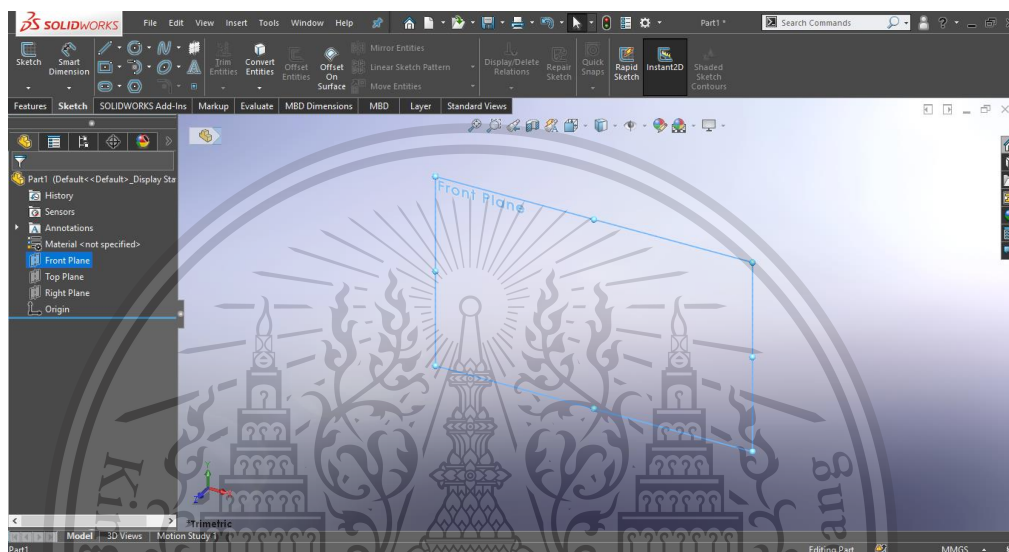
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้การศึกษาเท่านั้น การอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 2.24 การเชื่อมต่อระหว่าง Client และ Server ผ่าน Socket [23] รังที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.14 SOLIDWORKS

SOLIDWORKS คือโปรแกรมออกแบบ 3 มิติ สามารถออกแบบชิ้นงานได้ครอบคลุมทุกกลุ่มอุตสาหกรรม และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อช่วยวิศวกรลดระยะเวลาในการออกแบบ และลดข้อผิดพลาดจากการสื่อสารระหว่างการออกแบบ [24] ซึ่งโปรแกรมมีลักษณะดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 หน้าต่างโปรแกรม SOLIDWORKS

2.15 ภาษาไพธอน

ภาษาไพธอน (Python) เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงที่ถูกออกแบบมาให้เป็นภาษาสคริปต์ที่สามารถอ่านได้ง่าย โดยตัดความซับซ้อนของโครงสร้างและไวยากรณ์ของภาษาออกไป ในการแปลงชุดคำสั่งของภาษาไพธอนจะทำการแปลงชุดคำสั่งที่ละบรรทัดเพื่อป้อนเข้าสู่หน่วยประมวลผลของคอมพิวเตอร์ทำงานตามที่คุณใช้งานต้องการ โดยชุดคำสั่งของภาษาไพธอนสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายประเภทจึงทำให้มีการนำไปใช้งานแพร่หลายอยู่ในองค์กรต่าง ๆ [25]

2.16 pySerial

pySerial เป็นไลบรารีที่ทำให้ภาษาไพธอนสามารถรับและส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมได้ โดยไลบรารี pySerial จะทำงานเป็นเบื้องหลังของชุดคำสั่ง คุณสมบัติของ pySerial มีดังนี้ [26]

- 1) สามารถตั้งค่าพอร์ตอนุกรมโดยการส่งค่าคุณสมบัติผ่านไพธอนได้ทันที
- 2) รองรับข้อมูลที่ผ่านพอร์ตอนุกรมได้หลากหลายขนาด
- 3) สามารถทำงานได้ทั้งโหมดที่รอตอบกลับและโหมดไม่ต้องรอการตอบกลับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังเป็นข้อบังคับของมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ในการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.17 Kotlin

Kotlin เป็นภาษาโปรแกรมชนิด Statically typed หรือภาษาที่สามารถตรวจสอบความผิดพลาดได้ขณะคอมไพล์ ทำงานบน Java Virtual Machine (JVM) ถูกพัฒนาขึ้นโดยทีม JetBrains เพื่อออกแบบให้สามารถทำงานร่วมกับภาษา Java ได้อย่างสมบูรณ์และแก้ไขข้อด้อยของภาษา Java [27]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

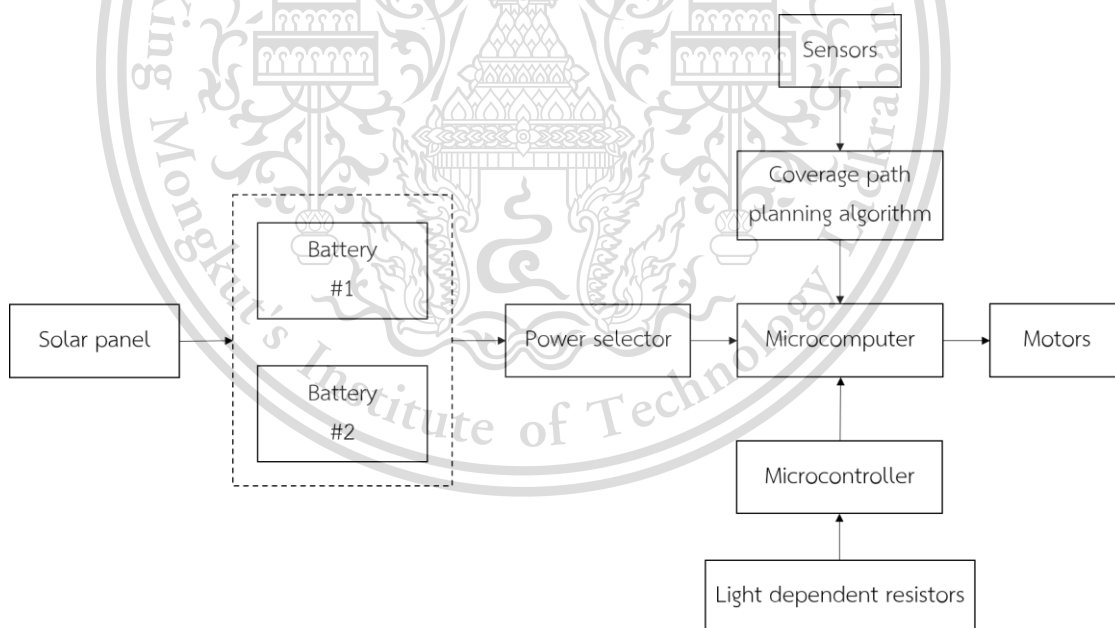
บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์

3.1 การออกแบบ

3.1.1 การออกแบบการทำงานของระบบ

เครื่องตัดหญ้าอัตโนมัติพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วยส่วนการเก็บเกี่ยวพลังงานและส่วนเครื่องตัดหญ้า โดยในส่วนการเก็บเกี่ยวพลังงานจะใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์ทำงานร่วมกับตัวต้านทานไวแสงที่ถูกควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมให้เครื่องตัดหญ้าสามารถติดตามทิศทางของแสงอาทิตย์ได้ และนำพลังงานมาเก็บไว้ในแบตเตอรี่ก้อนที่ 1 และแบตเตอรี่ก้อนที่ 2 โดยทำการเลือกใช้แบตเตอรี่จากอุปกรณ์เลือกแหล่งจ่าย และในส่วนเครื่องตัดหญ้าจะใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้าและการหมุนของใบมีดร่วมกับอัลกอริธึมวางแผนการเคลื่อนที่ของระบบซึ่งนำค่าระยะทางจากเซนเซอร์มาประมวลผลร่วมด้วย โดยบล็อกไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องตัดหญ้าอัตโนมัติพลังงานแสงอาทิตย์

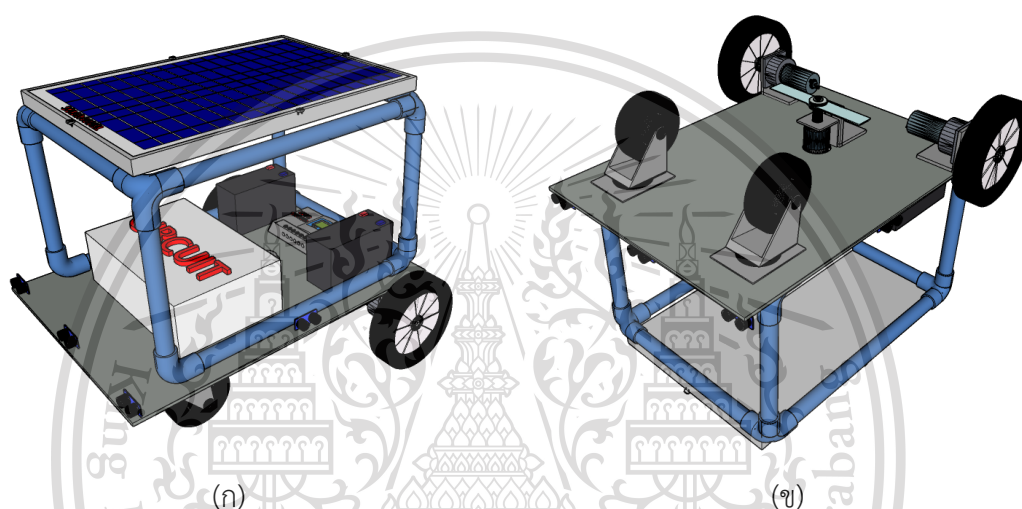
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

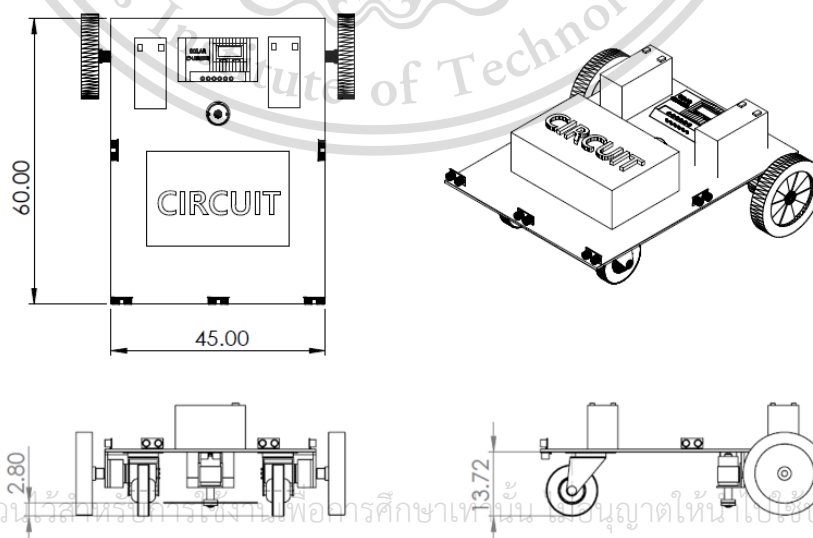
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.2 การออกแบบและประกอบเครื่องตัดหญ้า

ในการออกแบบส่วนเครื่องตัดหญ้าเราจะใช้โปรแกรม SOLIDWORKS จำลองแบบโครงสร้าง 3 มิติขึ้นมาดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งจะมีรายละเอียดสำคัญคือ ขนาดฐานกว้าง 45 cm ยาว 60 cm สูงจากพื้น 13.7 cm และใบมีดจะสูงจากพื้น 2.8 cm และนำมาวาดเป็นภาพออโตกราฟิกได้ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และภาพถ่ายเครื่องตัดหญ้านั้นแบบแสดงได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.2 ภาพจำลอง 3 มิติโครงสร้างของเครื่องตัดหญ้า
(ก) มุมมองด้านบน (ข) มุมมองด้านข้าง



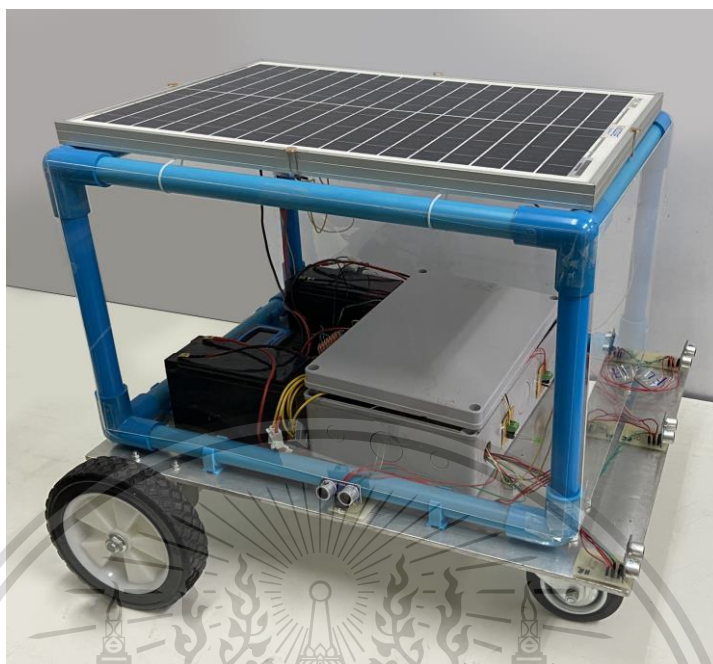
รูปที่ 3.3 ภาพออโตกราฟิกส่วนรถของเครื่องตัดหญ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น และอนุญาตให้ผู้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.4 ภาพถ่ายเครื่องตัดหญ้าต้นแบบ

3.1.3 การออกแบบการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้า

ในส่วนของการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้าได้ทำการใช้อัลตราโซนิกเซนเซอร์ในการวัดระยะของสิ่งกีดขวางเพื่อหลบหลีกอุปสรรคในการเคลื่อนที่ ผู้จัดทำได้ใช้การเคลื่อนที่แบบ Differential Drive [28] ในปริณยานิพนธ์นี้

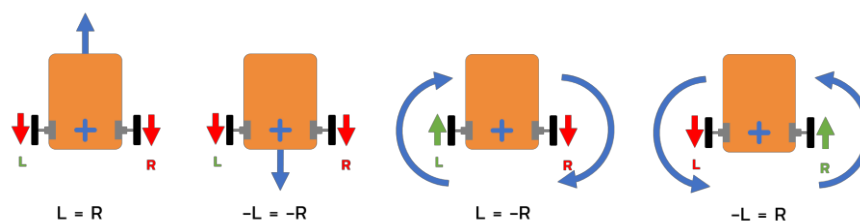
การเคลื่อนที่แบบ Differential Drive เป็นการเคลื่อนที่ที่ใช้สองล้อในการขับเคลื่อนวัตถุ ดังรูปที่ 3.5 โดยจะแบ่งการเคลื่อนที่ของวัตถุออกเป็น 4 รูปแบบ ดังนี้

1. เคลื่อนที่ไปทางด้านหน้า ให้ทำการหมุนล้อทั้งสองข้างไปด้านหน้าในอัตราเร็วที่เท่ากัน
2. เคลื่อนที่ไปทางด้านหลัง ให้ทำการหมุนล้อทั้งสองข้างไปด้านหลังในอัตราเร็วที่เท่ากัน
3. หมุนตัวไปทางซ้าย ให้ทำการหมุนล้อขวาไปข้างหน้าและล้อซ้ายไปข้างหลังด้วยอัตราเร็วที่เท่ากัน
4. หมุนตัวไปทางขวา ให้ทำการหมุนล้อซ้ายไปข้างหน้าและล้อขวาไปข้างหลังด้วยอัตราเร็วที่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.5 การเคลื่อนที่แบบ Differential Drive [28]

ในการเคลื่อนที่แบบ Differential Drive กรณีล้อทั้งสองข้างเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วที่ไม่เท่ากันจะทำให้เกิดจุดหมุนชั่วขณะ (Instantaneous center of rotation) [29] ทำให้ตัวเครื่องตัดหญ้าเกิดความเร็วเชิงมุมดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการเกิดจุดหมุนชั่วขณะ เมื่อเคลื่อนที่ทิศทางตรงข้ามกัน [29]

จากรูปถ้าจุด C เป็นจุดที่มีความเร็วเป็นศูนย์จะเรียกจุดนี้ว่าจุดหมุนชั่วขณะ (Instantaneous center of rotation) ซึ่งมีความเร็วเชิงมุมเป็น ω โดยสามารถหาความเร็วเชิงมุมได้จากสมการที่ (3.1) และ (3.2) และความสัมพันธ์ความเร็วจุด A และจุด B จะเป็นไปตามสมการที่ (3.3)

$$v_A = \omega r_A \quad (3.1)$$

$$v_B = \omega r_B \quad (3.2)$$

$$\frac{v_A}{v_B} = \frac{r_A}{r_B} \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.4 การออกแบบวงจร

3.1.4.1 การออกแบบการควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้า

การควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้าแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ

1) การเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวาง

สำหรับการควบคุมการเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวาง ส่วนนำเข้าข้อมูล (Input) รับค่าระยะทางจากเซนเซอร์วัดระยะ 5 ตัว ได้แก่ เซนเซอร์วัดระยะแนวระดับด้านหน้าซ้าย ด้านหน้าขวา ด้านหน้าตรงกลาง และเซนเซอร์วัดระยะแนวระดับด้านซ้ายและด้านขวา จากนั้นนำค่าระยะทางที่ได้มาประมวลผลผ่านไมโครคอมพิวเตอร์และส่งคำสั่งไปยังส่วนส่งออกข้อมูล (Output) ซึ่งประกอบด้วย relay และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดย relay จะรับคำสั่งจากส่วนประมวลผลข้อมูลและไปควบคุมการหมุนของมอเตอร์ เพื่อให้เครื่องตัดหญ้าเคลื่อนที่ตามเงื่อนไขที่กำหนด บล็อกไดอะแกรมการควบคุมการเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางของเครื่องตัดหญ้าแสดงได้ดังรูปที่ 3.7 และภาพจำลองการต่อวงจรควบคุมการเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางของเครื่องตัดหญ้าแสดงได้ดังรูปที่ 3.8

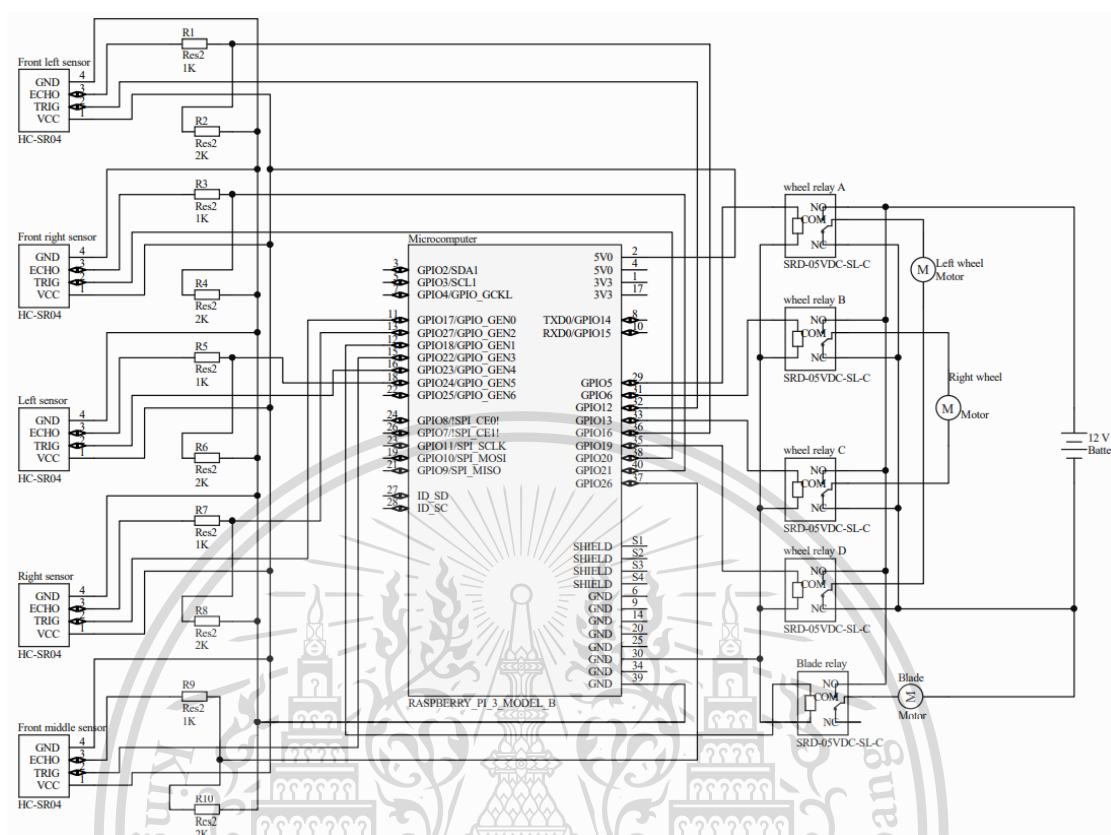


รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมการเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางของเครื่องตัดหญ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.8 ภาพจำลองการต่อวงจรควบคุมการเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางของเครื่องตัดหญ้า

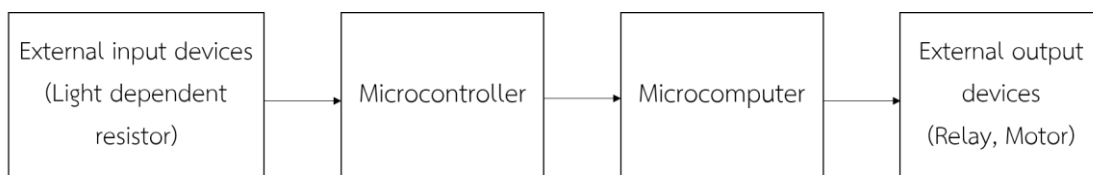
2) การเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์

สำหรับการควบคุมการเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ ส่วนนำเข้าข้อมูล (Input) รับค่าความต้านทานจากตัวต้านทานไวแสงทั้ง 4 ตัวที่ติดตั้งอยู่ในทิศเหนือ ใต้ ตะวันออก และ ตะวันตกของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ นำค่าความต้านทานที่ได้มาประมวลผลผ่าน ไมโครคอนโทรลเลอร์และส่งคำสั่งการเคลื่อนที่ผ่านพอร์ตอนุกรมไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ จากนั้น ไมโครคอมพิวเตอร์จะส่งคำสั่งการเคลื่อนที่ไปยังส่วนส่งออกข้อมูล (Output) ซึ่งประกอบด้วย relay และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดย relay จะไปควบคุมการหมุนของมอเตอร์ เพื่อให้เครื่องตัดหญ้า เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่มีแสงอาทิตย์มากที่สุด บล็อกไดอะแกรมการควบคุมการเคลื่อนที่ตาม แสงอาทิตย์ของเครื่องตัดหญ้าแสดงได้ดังรูปที่ 3.9 และภาพจำลองการต่อวงจรควบคุมการเคลื่อนที่ ตามแสงอาทิตย์ของเครื่องตัดหญ้าแสดงได้ดังรูปที่ 3.10

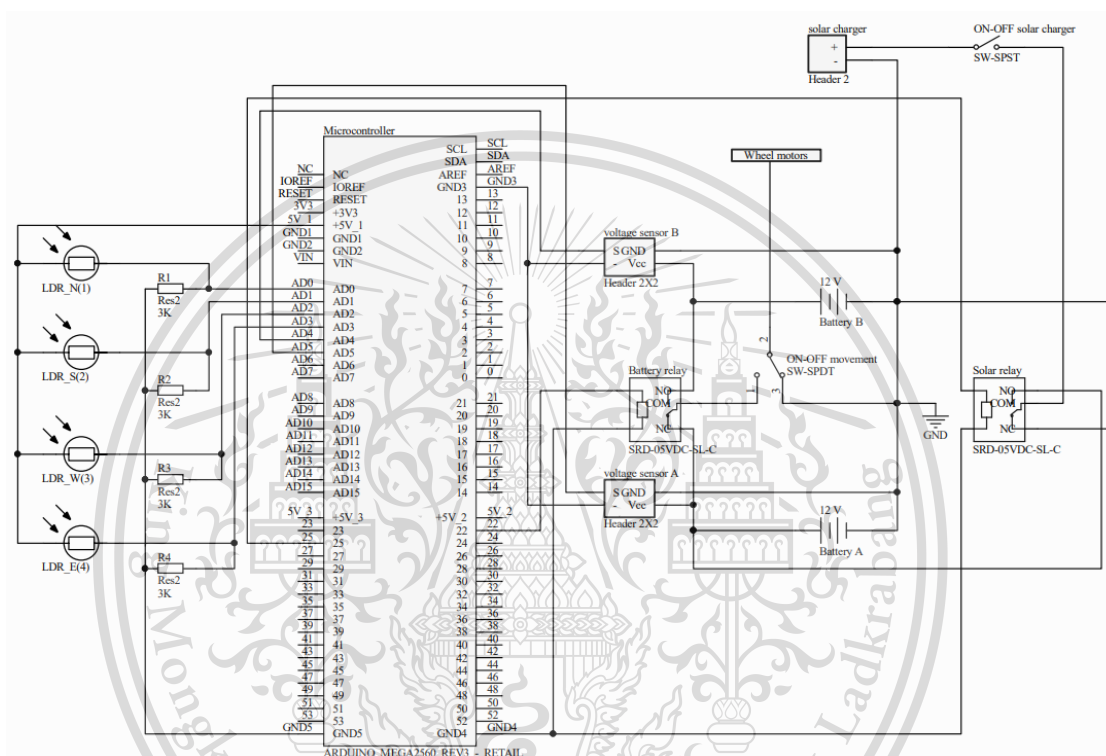
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมการเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ของเครื่องตัดหญ้า



รูปที่ 3.10 ภาพจำลองการต่อวงจรควบคุมการเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ของเครื่องตัดหญ้า

3.1.4.2 การออกแบบวงจรเลือกแบตเตอรี่สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์

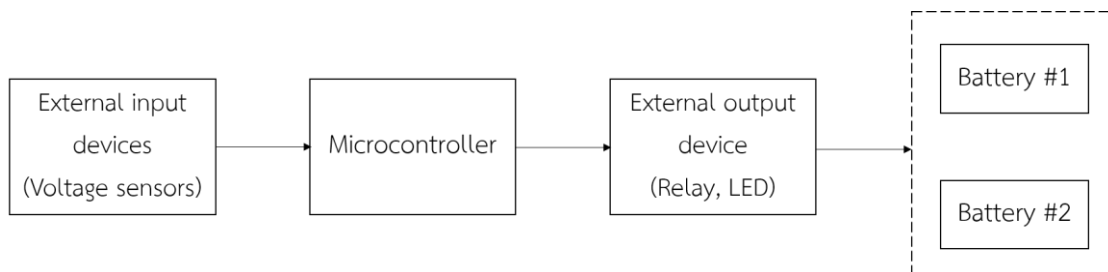
ในปริณยานิพนธ์นี้เลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 V 7.2 mAh 2 ก้อน เมื่อมีการเก็บเกี่ยวพลังงานจะนำพลังงานมาเก็บไว้ในแบตเตอรี่ก้อนที่ 1 และแบตเตอรี่ก้อนที่ 2 โดยทำการเลือกแบตเตอรี่จากอุปกรณ์เลือกแหล่งจ่าย วงจรเลือกแบตเตอรี่แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ คือส่วนนำเข้าข้อมูล (Input) รับค่าแรงดันของแบตเตอรี่จากโมดูลเซนเซอร์วัดแรงดัน ส่วนประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำค่าแรงดันดังกล่าวมาประมวลผลพร้อมส่งคำสั่งไปยังส่วนส่งออกข้อมูล และส่วนส่งออกข้อมูล (Output) เมื่อ relay ได้รับคำสั่งจากส่วนประมวลผลจะทำการสลับไปใช้แบตเตอรี่ที่มีแรงดันสูงกว่าและสถานะของแบตเตอรี่ก้อนที่กำลังใช้งานอยู่ผ่าน LED ถ้าหากแบตเตอรี่หมดทั้ง 2 ก้อน LED จะติดและดับสลับกัน บล็อกไดอะแกรมการเลือกแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอน ไม่เอารูปมาทำเป็นของตัวเองโดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

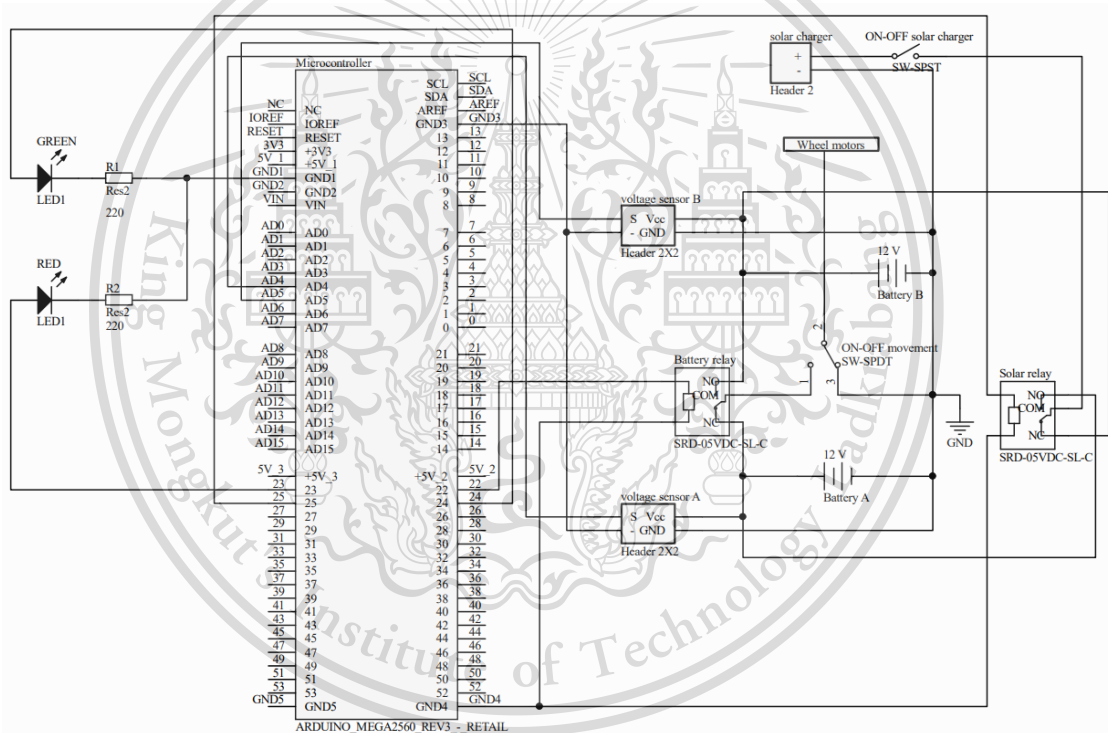
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

และภาพจำลองการต่อวงจรเลือกแบตเตอรี่แสดงได้ดังรูปที่ 3.12 และภาพจำลองการต่อวงจรของระบบเครื่องตัดหญ้าแสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมการเลือกแบตเตอรี่

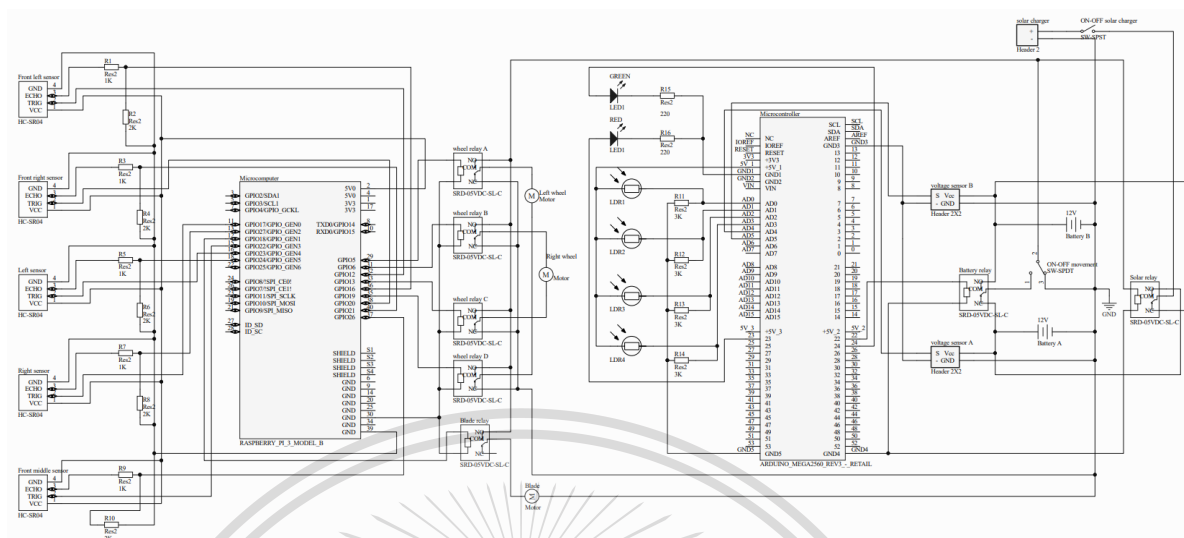


รูปที่ 3.12 ภาพจำลองการต่อวงจรเลือกแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.13 ภาพจำลองการต่อวงจรของระบบเครื่องตัดหญ้า

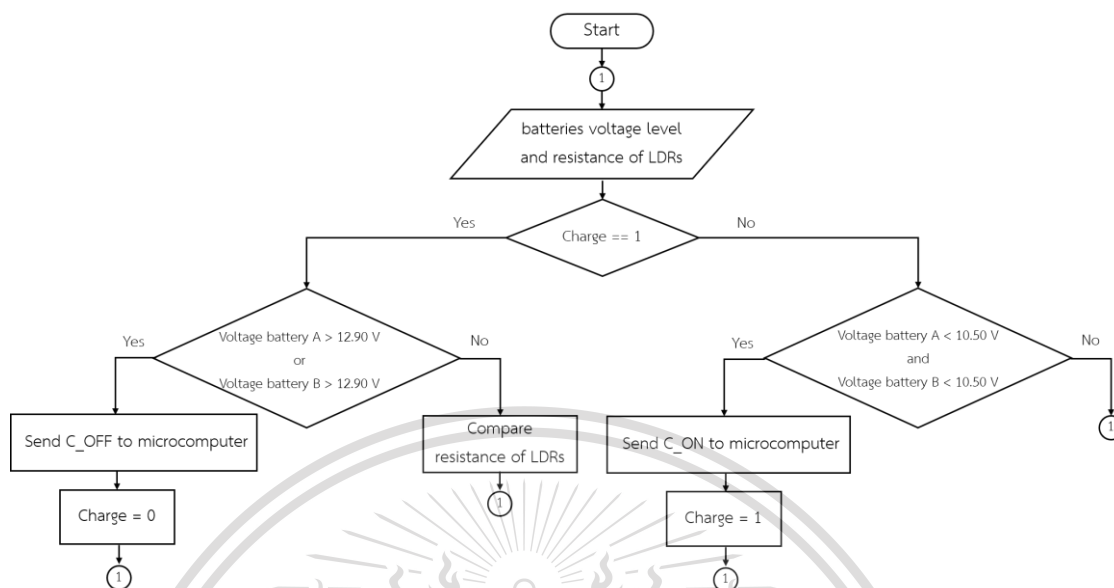
3.1.5 การออกแบบระบบชาร์จแบตเตอรี่

การออกแบบระบบการเลือกใช้งานแบตเตอรี่จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผล เริ่มต้นโดยการวัดค่าระดับแรงดันแบตเตอรี่และค่าความต้านทานจากตัวต้านทานไวแสง จากนั้นตรวจสอบสถานะการชาร์จของแบตเตอรี่ ถ้าสถานะการชาร์จเป็น 0 และระดับแรงดันของแบตเตอรี่ทั้ง 2 ก้อนน้อยกว่า 10.50 V ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อความ C_ON ผ่าน Serial monitor ไปยังไมโครคอมพิวเตอร์โดยใช้สาย USB Type B และเปลี่ยนสถานะการชาร์จของแบตเตอรี่เป็น 1 เมื่อสถานะการชาร์จของแบตเตอรี่เป็น 1 และระดับแรงดันของแบตเตอรี่ก้อนใดก้อนหนึ่งมากกว่า 12.90 V ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อความ C_OFF ไปยังไมโครคอมพิวเตอร์และเปลี่ยนสถานะการชาร์จของแบตเตอรี่เป็น 0 แผงผังการทำงานของระบบการเลือกใช้งานแบตเตอรี่สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

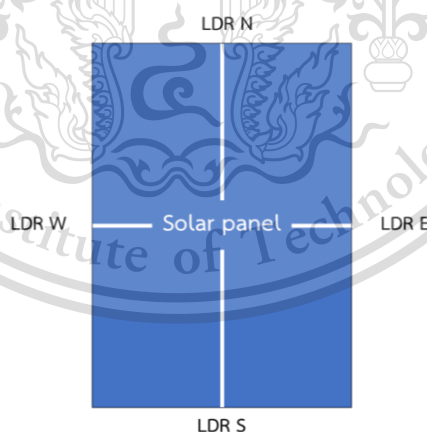
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.14 แผนผังการทำงานของระบบการชาร์จแบตเตอรี่

3.1.6 การออกแบบระบบการติดตามแสงอาทิตย์

การออกแบบระบบติดตามแสงอาทิตย์จะติดตั้งตัวต้านทานไวแสงในทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตกของแผงพลังงานแสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ รูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ตำแหน่งการติดตั้งตัวต้านทานไวแสงบนแผงพลังงานแสงอาทิตย์

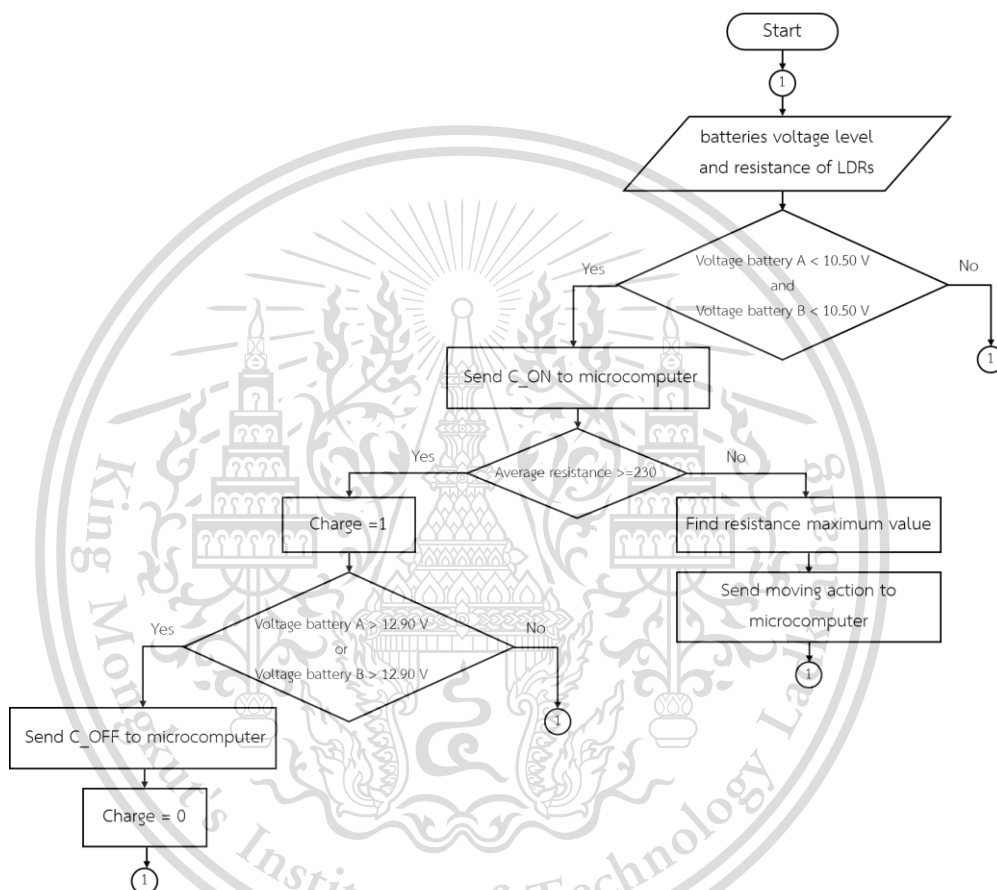
การออกแบบระบบติดตามแสงอาทิตย์จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผล เริ่มต้นโดยรับค่าความต้านทานที่วัดโดยตัวต้านทานไวแสงทั้ง 4 ตัว และหาค่าเฉลี่ย ถ้าค่าเฉลี่ยความต้านทานดิจิทัลทั้ง 4 ค่ามากกว่า 230 ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้แผงพลังงานแสงอาทิตย์เริ่มชาร์จ

ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม และเมื่อระดับแรงดันของแบตเตอรี่ก่อนใดก่อนนั้นมากกว่า 12.90 V จะส่งคำสั่ง C_OFF

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ แต่ถ้าหากถ้าค่าเฉลี่ยความต้านทานดิจิทัลทั้ง 4 ค่าน้อยกว่า 230 จะส่งคำสั่ง การเคลื่อนที่ไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ให้เครื่องตัดหญ้าเคลื่อนที่ไปยังทิศทางที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ มากที่สุด แผนผังการทำงานของระบบการติดตามแสงอาทิตย์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แผนผังการทำงานของระบบการติดตามแสงอาทิตย์

3.1.7 การออกแบบส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้ (GUI)

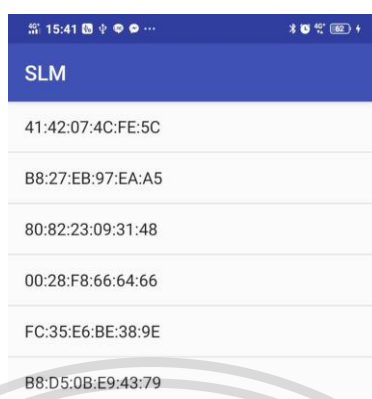
ทำการออกแบบส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้ (Graphic User Interface : GUI) บนมือถือโดยแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ หน้าต่างค้นหาอุปกรณ์บลูทูธและ หน้าต่างควบคุมระบบของเครื่องตัดหญ้า

3.1.7.1 หน้าต่างค้นหาอุปกรณ์บลูทูธ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับหน้าตาของโปรแกรมที่จัดทำขึ้นเพื่อให้นักศึกษาได้เรียนรู้เกี่ยวกับ GUI โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการค้า
 หน้านี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับหน้าตาของโปรแกรมที่จัดทำขึ้นเพื่อให้นักศึกษาได้เรียนรู้เกี่ยวกับ GUI โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่มีเหตุที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 Refresh สำหรับค้นหาอุปกรณ์อีกครั้ง

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



SLM
41:42:07:4C:FE:5C
B8:27:EB:97:EA:A5
80:82:23:09:31:48
00:28:F8:66:64:66
FC:35:E6:BE:38:9E
B8:D5:0B:E9:43:79

รูปที่ 3.17 หน้าต่างค้นหาอุปกรณ์บลูทูธ

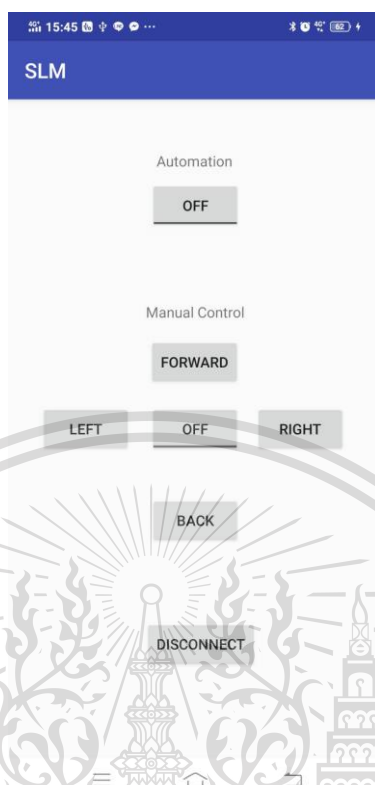
3.1.7.2 หน้าต่างควบคุมระบบเครื่องตัดหญ้า

หน้าตัดควบคุมระบบเครื่องตัดหญ้าแสดงดังรูปที่ 3.18 จัดทำขึ้นเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมระบบของเครื่องตัดหญ้าผ่านโทรศัพท์มือถือ ภายในหน้าตัดจะประกอบด้วยปุ่มเปิดปิดระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติและปุ่มควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้าและปุ่มยกเลิกการเชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.18 หน้าต่างควบคุมระบบเครื่องตัดหญ้า

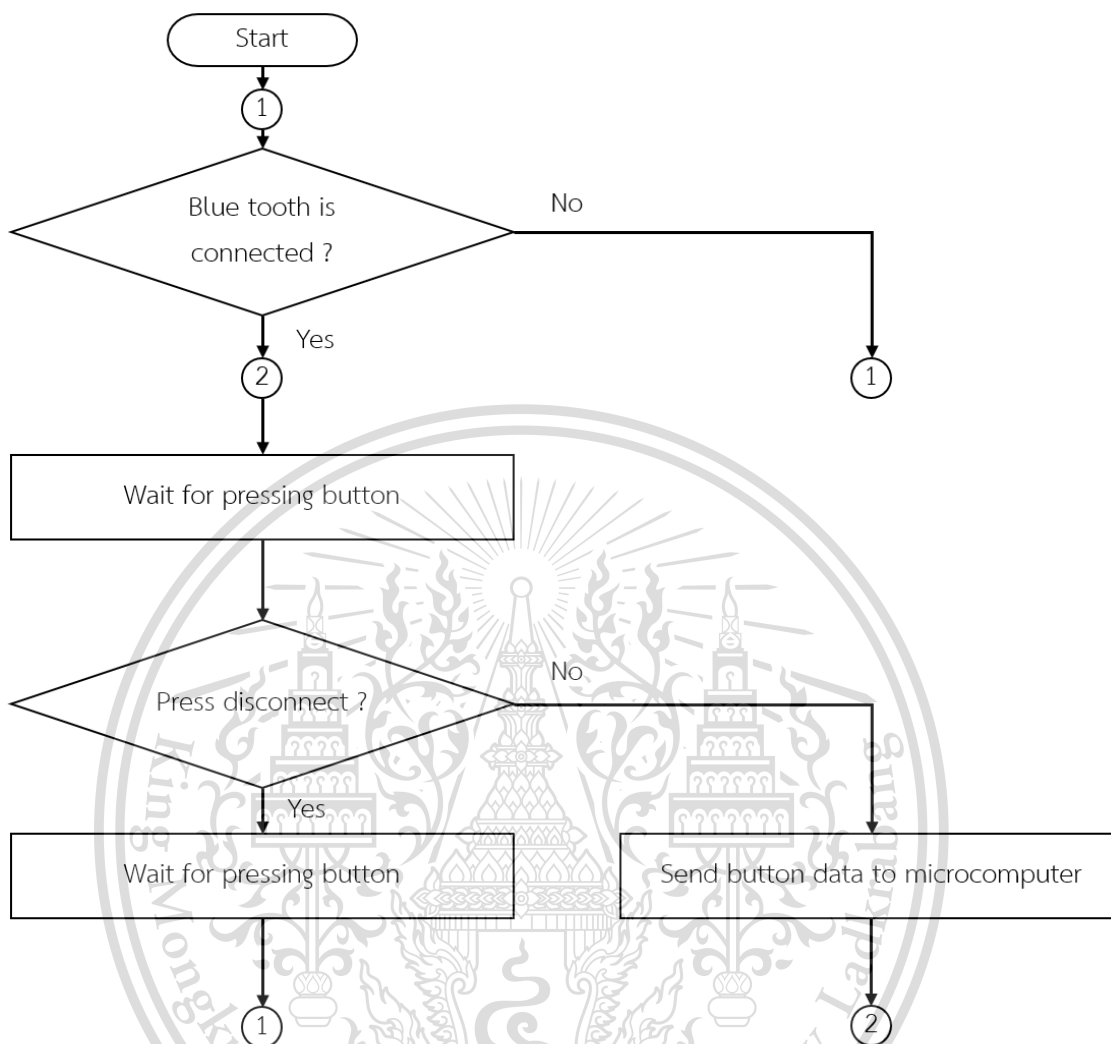
3.1.8 การออกแบบการทำงานของส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้

การทำงานเริ่มต้นจากหน้าต่างค้นหาอุปกรณ์บลูทูธ เมื่อทำการเชื่อมต่อเรียบร้อยแล้วจะถูกส่งไปยังหน้าต่างควบคุมระบบเครื่องตัดหญ้า ภายในหน้าต่างนี้จะทำการส่งข้อมูลไปยัง Socket ของไมโครคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมระบบของเครื่องตัดหญ้า แผนผังการทำงานสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.19 แผนผังการทำงานของส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้

3.1.9 การออกแบบชุดคำสั่งควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้า

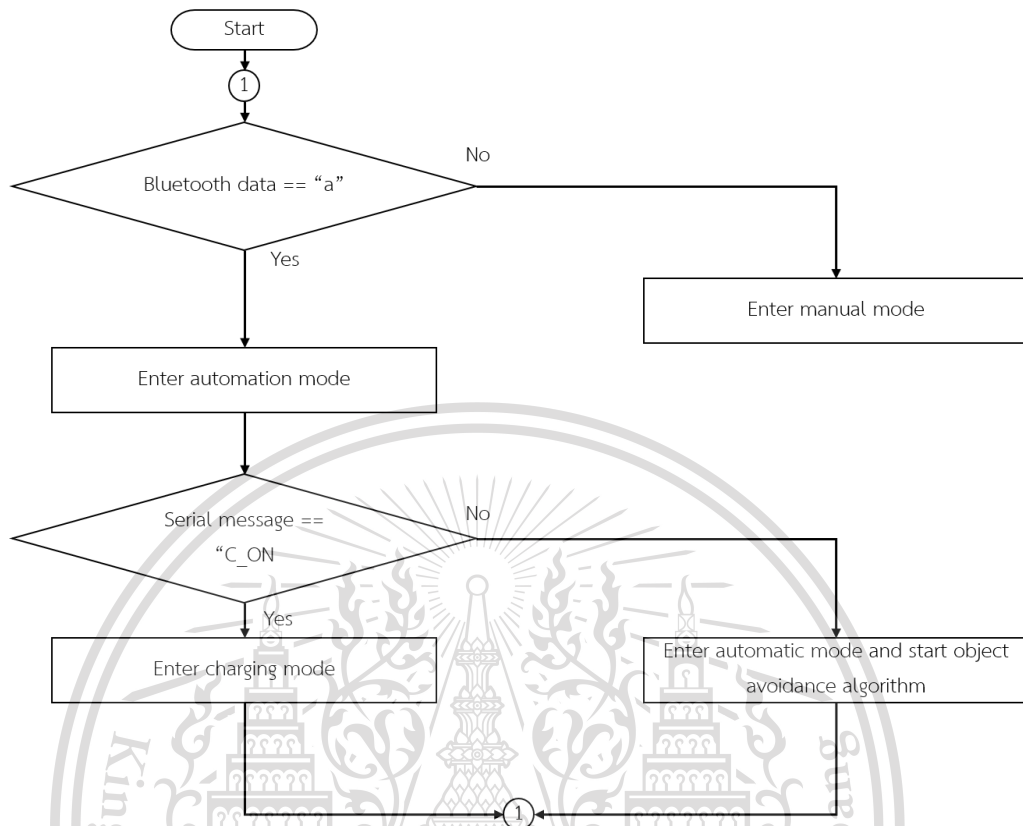
ระบบการเคลื่อนที่แบ่งออกเป็น 2 ระบบหลักคือ ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยมือ และระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติ ภายในระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติประกอบไปด้วยระบบเคลื่อนที่เข้าหาแสงเพื่อทำการชาร์จแบตเตอรี่ และระบบตัดหญ้าอัตโนมัติ

เริ่มต้นการทำงานจากการรับค่าอินพุตซึ่งแบ่งออกเป็น 3 แบบคือ รับข้อมูลจากแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ หรือรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือรับข้อมูลจากเซนเซอร์วัดระยะทางตามลำดับ จากนั้นทำการประมวลผลในไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมมอเตอร์และอัปเดตค่าพิกัดตำแหน่งของเครื่องตัดหญ้า แผนผังการทำงานของเลือกกระบวนการทำงานและระบบการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้าสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.20 และ 3.21 ตามลำดับ

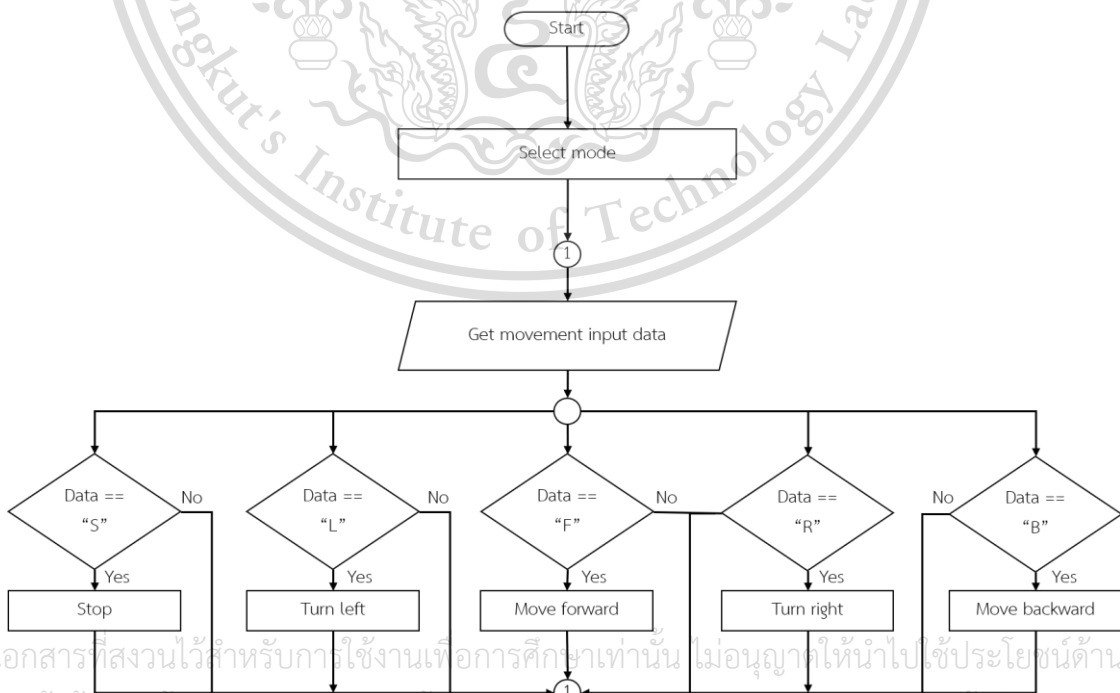
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้เฉพาะในสถาบันการศึกษาเท่านั้น มิใช่เอกสารที่เผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.20 แผนผังการทำงานการเลือกระบบการทำงานของเครื่องตัดหญ้า



รูปที่ 3.21 แผนผังการทำงานระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

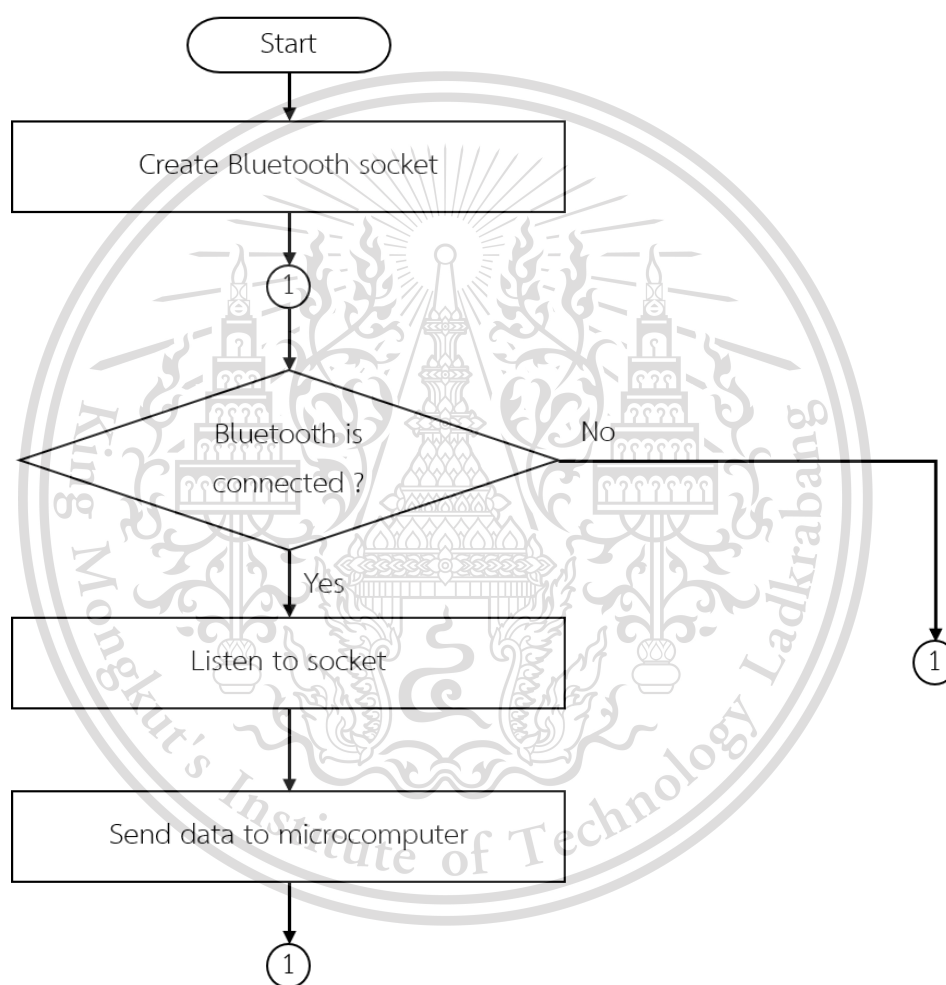
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.9.1 การรับข้อมูลผ่านแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ

เริ่มต้นจากการเชื่อมต่อบลูทูธของโทรศัพท์มือถือเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์ จากนั้นประมวลผลข้อความที่ได้รับจากส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้เพื่อนำไปควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้า แผนผังการทำงานสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 แผนผังการทำงานการรับข้อมูลจากบลูทูธ

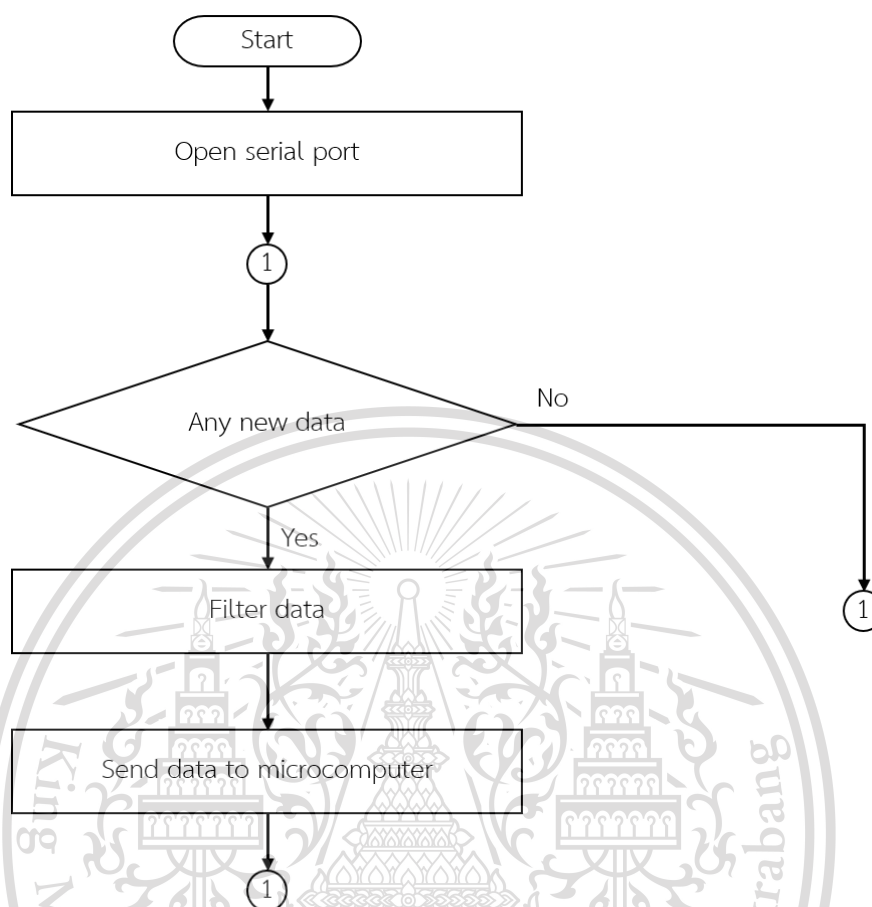
3.1.9.2 การรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์

เริ่มต้นการทำงานโดยใช้ไลบรารี Serial ในการอ่านข้อมูลบน Serial monitor

ของไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นทำข้อความมาประมวลผลเพื่อนำไปควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้า แผนผังการทำงานสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.23

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.23 แผนผังการทำงานการรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์

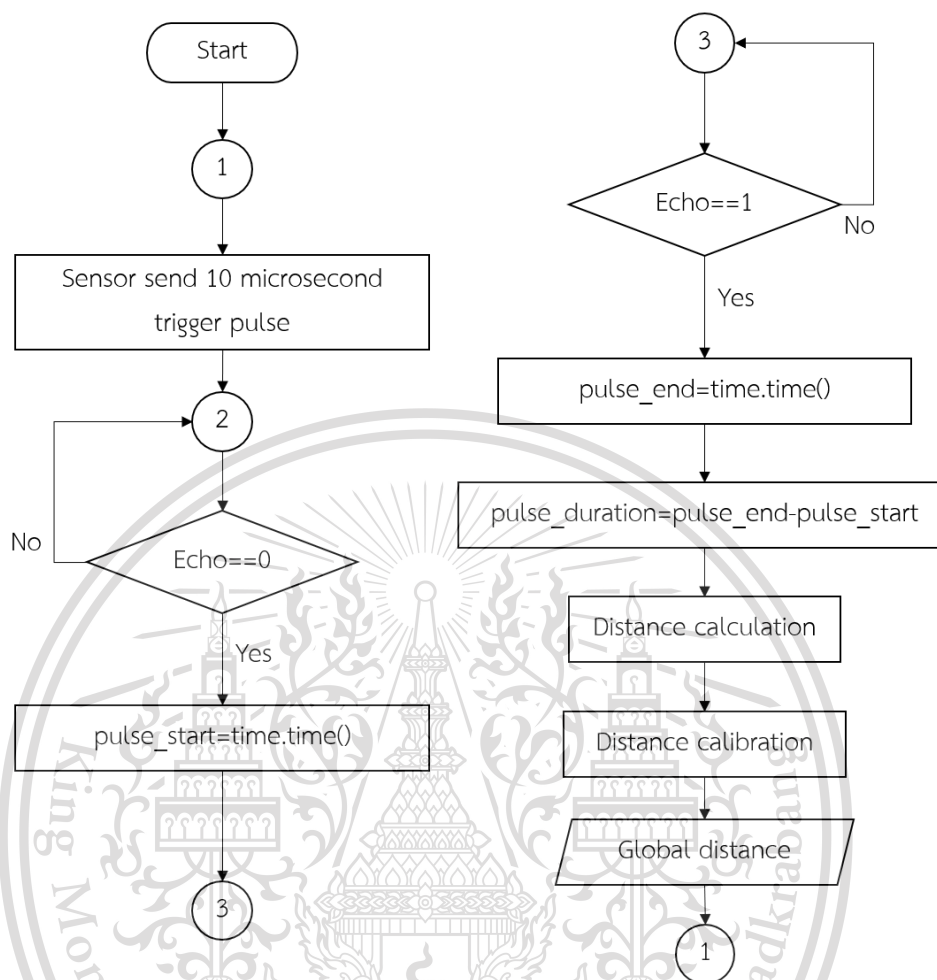
3.1.9.3 การรับข้อมูลจากเซนเซอร์วัดระยะ

ทำการรับค่าระยะทางจากเซนเซอร์ทั้ง 5 ตัวจากนั้นนำมาประมวลผลในอัลกอริธึมหลบหลีกสิ่งกีดขวางเมื่อระบบการทำงานอยู่ในระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติ แผนผังการทำงานสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.24 แผนผังการทำงานของเซนเซอร์วัดระยะ

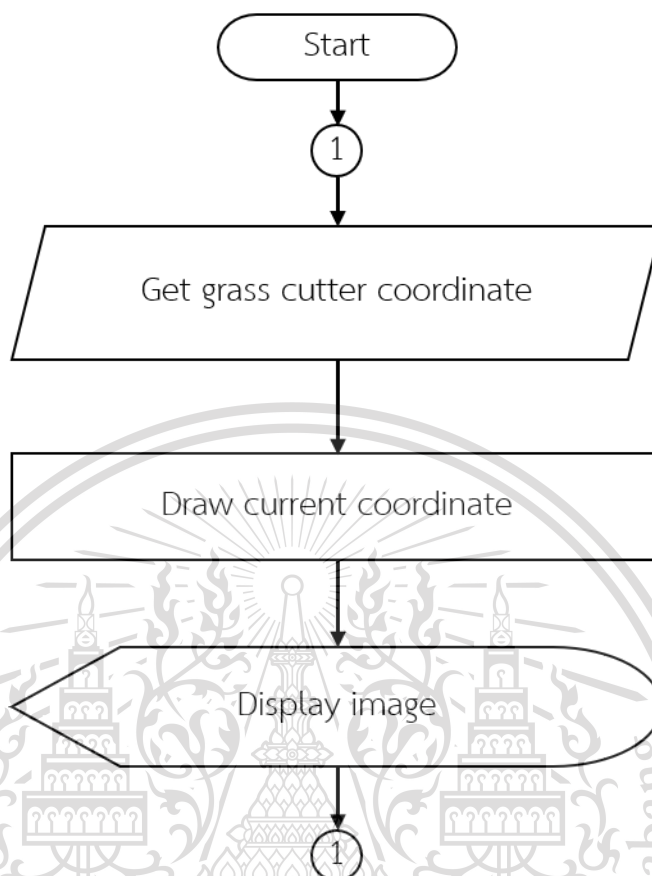
3.1.10 การออกแบบระบบจดจำการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้า

ผู้จัดทำได้ออกแบบระบบจดจำการเคลื่อนที่โดยใช้ไลบรารี OpenCV หรือที่เรียกว่า Open source Computer Vision ประมวลผล เริ่มต้นจากกำหนดขนาดของภาพในอัตราส่วน 1 pixel ต่อ 1 cm² จากนั้นทำการวาดวงกลมรัศมี 10 cm ลงบนภาพตามค่าตำแหน่งของเครื่องตัดหญ้า แผนผังการทำงานสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.25 แผนผังการทำงานของระบบจัดการเคลื่อนที่

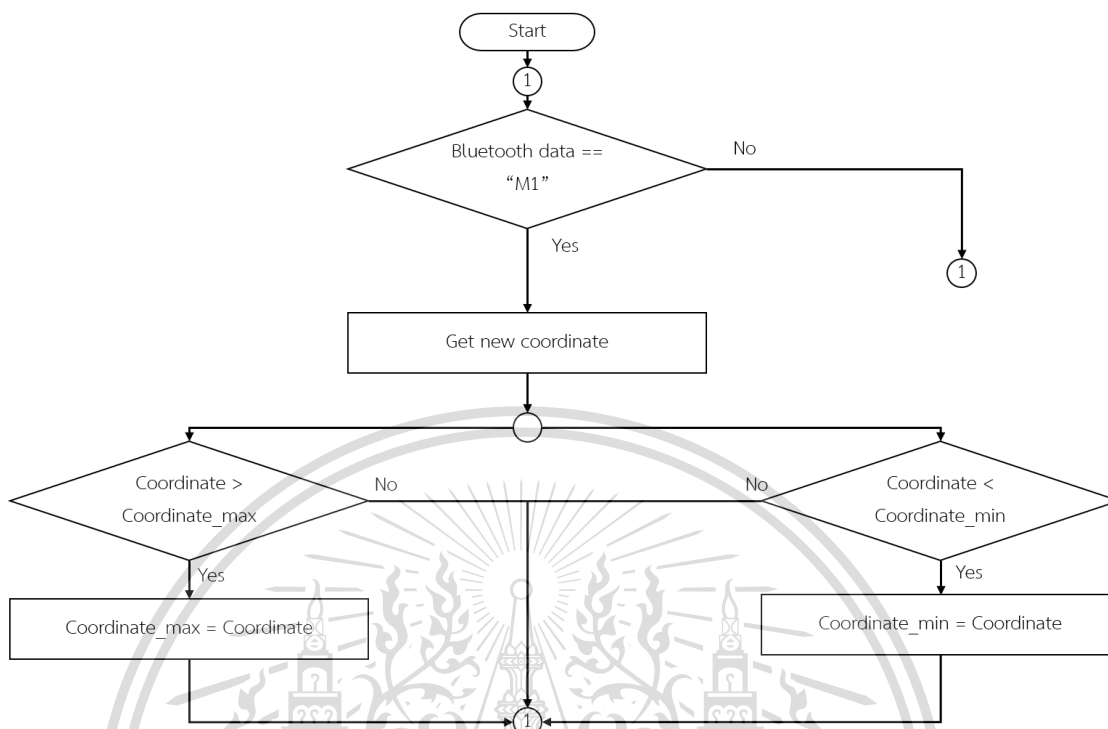
3.1.11 การออกแบบชุดคำสั่งกำหนดขอบเขตการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้า

การทำงานจะเริ่มต้นเมื่ออยู่ในระบบควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยมือและทำการเปิดการใช้งานระบบสร้างขอบเขตการเคลื่อนที่ผ่านแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ โดยระบบจะทำการบันทึกค่าพิกัดที่มากที่สุดและน้อยที่สุดของแต่ละแนวจากนั้นจะทำการสร้างขอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าตามค่าที่กำหนด แผนผังการทำงานสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.26 แผนผังการทำงานชุดคำสั่งกำหนดขอบเขตการเคลื่อนที่

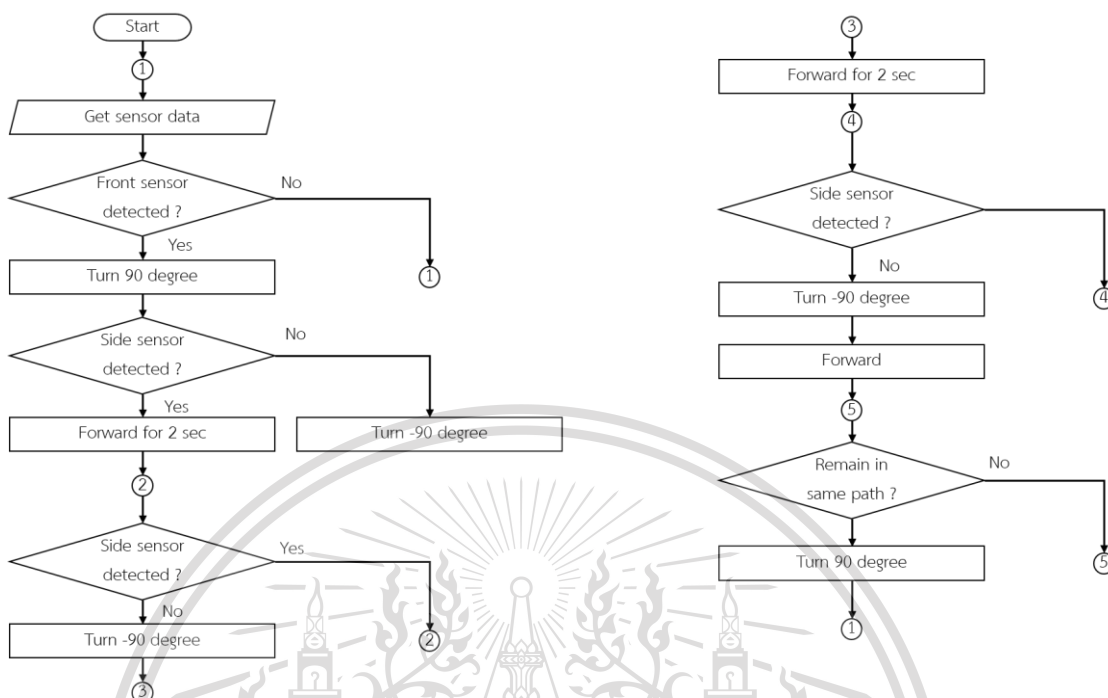
3.1.12 อัลกอริธึมหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

เริ่มต้นจากการรับค่าเซนเซอร์วัดระยะจากนั้นทำการตรวจสอบระยะทางของเซนเซอร์ด้านหน้า หากระยะทางต่ำกว่าที่กำหนดให้ทำการเลี้ยว 90 degree แล้วทำการตรวจสอบระยะทางของเซนเซอร์ด้านข้างหากต่ำกว่าที่กำหนดให้ทำการเคลื่อนที่ไปด้านหน้า เมื่อระยะทางด้านข้างมากกว่าที่กำหนดให้ทำการเลี้ยวทิศทางตรงข้ามกับทิศทางก่อนหน้า 90 degree แล้วเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเป็นเวลา 1 s จากนั้นเริ่มตรวจสอบระยะทางของเซนเซอร์ด้านข้างอีกครั้ง เมื่อระยะทางของเซนเซอร์ด้านข้างมากกว่าที่กำหนดให้ทำการเลี้ยวทิศทางตรงข้ามกับทิศทางแรก จากนั้นเคลื่อนที่ไปด้านหน้าจนถึงเส้นทางเดิมทำการเลี้ยวทิศทางเดียวกับทิศทางแรก จากนั้นทำการเคลื่อนที่ต่อไปในเส้นทางเดิม แผนผังการทำงานสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.27 แผนผังการทำงานอัลกอริธึมหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ในปฏิญานิพนธ์นี้มีอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลองดังนี้

3.2.1 ไมโครคอมพิวเตอร์

ในปฏิญานิพนธ์นี้ผู้จัดทำใช้ Raspberry Pi 3 Model B เป็นไมโครคอมพิวเตอร์ที่สามารถต่อเข้ากับจอคอมพิวเตอร์หรือจอทีวีที่รองรับ HDMI หรือต่อผ่านสายสัญญาณวีดีโอปกติได้ แต่ความละเอียดจะต่ำกว่า ใช้ระบบปฏิบัติการ Raspbian ในการติดตั้งให้กับ Micro SD Card และ Raspberry Pi 3 Model B จะทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผลกลางของระบบการทำงาน เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ

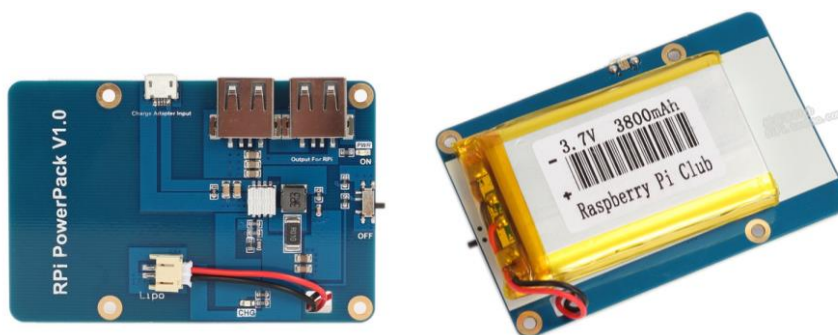
3.2.2 บอร์ดเสริมแหล่งพลังงานแบบลิเทียมสำหรับ Raspberry Pi 3

ในปฏิญานิพนธ์นี้ใช้บอร์ดเสริมแหล่งพลังงานแบบลิเทียมเป็นแบตเตอรี่ให้กับไมโครคอมพิวเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.28 โดยคุณสมบัติบอร์ดเสริมแหล่งพลังงานแบบลิเทียม โดยข้อมูลจำเพาะสามารถแสดงดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.28 บอร์ดเสริมแหล่งพลังงานแบบลิเทียม [30]

(ก) มุมมองด้านบน (ข) มุมมองด้านล่าง

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของบอร์ดเสริมแหล่งพลังงานแบบลิเทียม [33]

ความจุแบตเตอรี่	3800 mAh
กระแสไฟฟ้สูงสุด	1.8 A
โวลตแรงดันขาออก	5.1 V \pm 0.1 V
แรงดัน/กระแสไฟฟ้มาตรฐาน	1 A ที่ 5 V
แรงดันไฟฟ้ของแบตเตอรี่ลิเทียมเมื่อชาร์จเต็ม	4.18 V – 4.2 V
CHG LED function	LIT: กระแสไฟฟ้คงที่ขณะชาร์จ OFF: LED จะติดตลอดเมื่อแบตเตอรี่ชาร์จเต็ม
ON LED function	LIT: USB อินเทอร์เน็ต (Interface) สำหรับจ่ายแรงดัน 5V OFF: USB อินเทอร์เน็ต (Interface) ที่ไม่ใช่จ่ายแรงดัน

3.2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในปฏิญานิพนธ์นี้ผู้จัดทำได้เลือกใช้ Arduino Mega 2560 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการควบคุมการเคลื่อนที่เข้าหาแสงและการเลือกใช้งานแบตเตอรี่

3.2.4 เซนเซอร์วัดระยะทาง

สำหรับเซนเซอร์วัดระยะที่ใช้ในปฏิญานิพนธ์นี้ทางผู้จัดทำเลือกใช้ อัลตราโซนิกเซนเซอร์ HC-SR04 เป็นโมดูลเซนเซอร์สำหรับวัดระยะทางในแนวระดับด้านหน้าซ้าย ด้านหน้าขวา

ด้านหน้าตรงกลาง และเซนเซอร์วัดระยะด้านซ้ายและด้านขวาก็เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.5 มอเตอร์ขับเคลื่อน

ในปฏิญานิพนธ์นี้ผู้จัดทำได้เลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดัน 12 V 20 RPM (Revolution Per Minute) แสดงดังรูปที่ 3.29 เนื่องจากเครื่องตัดหญ้าต้องการแรงบิดสูงเพื่อให้สามารถขับเคลื่อนวัตถุที่มีน้ำหนักมากได้



รูปที่ 3.29 มอเตอร์ขับเคลื่อน

3.2.6 มอเตอร์ใบมีดตัดหญ้า

ในปฏิญานิพนธ์นี้ผู้จัดทำได้เลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดัน 12 V 5000 RPM (Revolution Per Minute) แสดงดังรูปที่ 3.30 ใช้งานร่วมกับใบมีดตัดหญ้าที่มีขนาด 30 mm × 200 mm แสดงดังรูปที่ 3.31

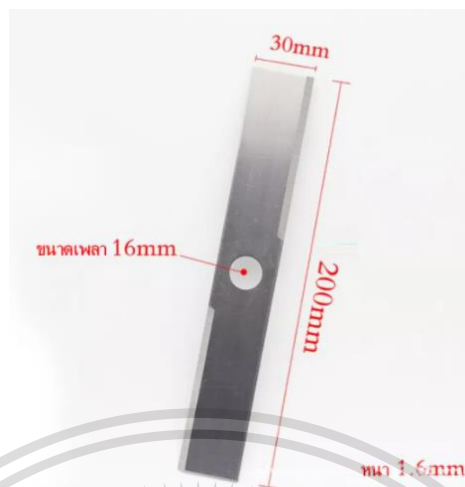


รูปที่ 3.30 มอเตอร์ใบมีดตัดหญ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตัดต่อข้อมูลใดๆของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.31 ไบมีดตัดหญ้า [31]

3.2.7 แบตเตอรี่

ในปฏิญานิพนธ์นี้ผู้จัดทำเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 V 7.2 Ah แสดงดังรูปที่ 3.32 สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ข้อมูลจำเพาะของแบตเตอรี่แสดงได้ดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.32 แบตเตอรี่ 12 V 7.2 Ah [32]

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลจำเพาะของแบตเตอรี่ 12 V 7.2 Ah [32]

แรงดันไฟฟ้าปกติ	12 V
ความจุปกติ	7.2 Ah
กระแสไฟฟ้าสูงสุด	100/130 A
ความต้านทานภายใน	23 mΩ
กระแสไฟฟ้าลัดวงจร	276 A
กระแสไฟฟ้าประจุเข้าแบตเตอรี่สูงสุด	2.16 A
น้ำหนัก	2.40 kg
ขนาด	65 mm x 15 mm x 94 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.8 เซนเซอร์วัดแรงดัน

ในปฏิญานิพนธ์นี้ผู้จัดทำเลือกใช้เซนเซอร์วัดแรงดันเป็นเซนเซอร์วัดแรงดันของแบตเตอรี่ โดยอาศัยหลักการแบ่งแรงดันจากนั้นแปลงค่าแรงดันเป็นค่าดิจิทัล 10 bit เพื่อป้อนให้กับขาของไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2.9 Relay

ในปฏิญานิพนธ์นี้ใช้ 2-Channel relay แสดงดังรูปที่ 2.15 เป็น relay ควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ขับเคลื่อน ควบคุมการเปิดปิดของมอเตอร์ใบมีด เลือกแบตเตอรี่สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ และเลือกแบตเตอรี่สำหรับการชาร์จด้วยแผงพลังงานแสงอาทิตย์

3.2.10 ล้อขับเคลื่อน

ในปฏิญานิพนธ์นี้ผู้จัดทำเลือกใช้ล้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7" แสดงดังรูปที่ 3.33 เป็นล้อในการขับเคลื่อนตัวเครื่องตัดหญ้า



รูปที่ 3.33 ล้อขับเคลื่อนของเครื่องตัดหญ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.11 ล้ออิสระ

ในปฏิญานิพนธ์นี้ผู้จัดทำเลือกใช้ล้ออย่างม้าเป็นหมุนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4" แสดงดังรูปที่ 3.34 เป็นล้ออิสระของเครื่องตัดหญ้า



รูปที่ 3.34 ล้ออิสระของเครื่องตัดหญ้า

3.2.12 สวิตช์

ในปฏิญานิพนธ์นี้ผู้จัดทำเลือกใช้สวิตช์สามขาสำหรับไฟฟ้ากระแสตรง 12 V แสดงดังรูปที่ 3.35 เป็นสวิตช์เปิดปิดการทำงานของระบบเครื่องตัดหญ้า และใช้สวิตช์สองขาสำหรับไฟฟ้ากระแสตรง 12 V แสดงดังรูปที่ 3.36 สำหรับเปิดปิดการทำงานของเครื่องควบคุมการชาร์จ



รูปที่ 3.35 สวิตช์สามขา [33]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานรูปที่ 3.36 สวิตช์สองขา [33] อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.13 ตัวต้านทานไวแสง

ในปฏิญานิพนธ์นี้ผู้จัดทำเลือกใช้ตัวต้านทานไวแสงในการวัดค่าความต้านทานที่เปลี่ยนค่าตามความเข้มของแสงที่ตกกระทบ เพื่อให้เครื่องตัดหญ้าสามารถเคลื่อนที่ตามทิศทางของแสงอาทิตย์

3.2.14 แผงพลังงานแสงอาทิตย์

ในปฏิญานิพนธ์นี้ผู้จัดทำเลือกใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ขนาด 12 V 20 W แสดงดังรูปที่ 3.37 ในการเก็บเกี่ยวพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.37 แผงพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ขนาด 12 V 20 W [34]

3.2.15 เครื่องควบคุมการชาร์จ

ในปฏิญานิพนธ์นี้ผู้จัดทำเลือกใช้เครื่องควบคุมการชาร์จระหว่างแผงพลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่ โดยเครื่องควบคุมการชาร์จระหว่างแผงพลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 3.38 ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วนดังนี้ [35]

- 1 แผงพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar cell) สำหรับต่อเข้ากับขั้วของแผงพลังงานแสงอาทิตย์
- 2 แบตเตอรี่ (Battery) สำหรับต่อเข้ากับระบบของแบตเตอรี่ที่ต้องการชาร์จ
- 3 โหลด (Load) สำหรับต่อเข้ากับโหลดที่เป็นไฟฟ้ากระแสตรงของระบบที่ต้องการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.38 เครื่องควบคุมการชาร์จระหว่างแผงพลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่

3.2.16 โทรศัพท์มือถือระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

ในปฏิญานพนธ์นี้ผู้จัดทำเลือกใช้โทรศัพท์มือถือ Vivo V11i แสดงดังรูปที่ 3.39 ในการควบคุมการทำงานของเครื่องตัดหญ้า



รูปที่ 3.39 Vivo V11i [36]

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

3.3.1 การทดสอบและการเปรียบเทียบเซนเซอร์วัดระยะ

ทำการวัดระยะด้วยโมดูลวัดระยะชนิดอัลตราโซนิก รุ่น HC-SR04 โดยการเขียนโปรแกรมภาษา C สั่งการอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 ให้วัดระยะทางของวัตถุ จากนั้นบันทึกค่าที่วัดได้และนำไปเปรียบเทียบเพื่อลดความคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.2 การทดสอบความครอบคลุมการวัดระยะของอัลตราโซนิกเซนเซอร์ HC-SR04

ทำการทดสอบความครอบคลุมการวัดระยะของอัลตราโซนิกเซนเซอร์ HC-SR04 ทั้ง 5 ตัว ที่ระยะ 25 cm โดยการเขียนโปรแกรมภาษา C สั่งการอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 ให้วัดระยะทางของวัตถุ จากนั้นบันทึกค่าที่วัดได้และหาค่าความคลาดเคลื่อน

3.3.3 การทดสอบการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ทำการทดสอบการทำงานระหว่าง 2-Chanel relay ร่วมกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยการเขียนโปรแกรมภาษาไพธอนสั่งการอุปกรณ์ไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อสังเกตการทำงานและทิศทางการหมุนของมอเตอร์

3.3.4 การทดสอบการวัดระดับแรงดันของแบตเตอรี่ด้วยโมดูลเซนเซอร์วัดแรงดัน

ทำการทดสอบวัดแรงดันของแบตเตอรี่ด้วยโมดูลเซนเซอร์วัดแรงดัน โดยการเขียนโปรแกรมภาษา C สั่งการอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 จากนั้นสังเกตผลจาก Serial monitor ในโปรแกรม Arduino IDE เปรียบเทียบกับผลจากมัลติมิเตอร์

3.3.5 การคำนวณอัตราการใช้พลังงานของระบบ

ทำการคำนวณกำลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ภายในระบบซึ่งประกอบด้วยมอเตอร์ล้อซ้าย มอเตอร์ล้อขวา และมอเตอร์ใบมีด เพื่อเลือกแบตเตอรี่สำหรับขับเคลื่อนเครื่องตัดหญ้า

3.3.6 การทดสอบวงจรเลือกแบตเตอรี่สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์

ทำการทดสอบด้วยการเขียนโปรแกรมภาษาไพธอนสั่งการอุปกรณ์ไมโครคอมพิวเตอร์ ให้ทำการสลับแบตเตอรี่เมื่อถึงเวลาที่กำหนด จากนั้นสังเกตช่วงเวลาที่เกิดไฟกระชากที่บันทึกด้วยออสซิลโลสโคป

3.3.7 การทดสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

ทำการทดสอบโดยการต่อมอเตอร์ล้อซ้าย มอเตอร์ล้อขวา และมอเตอร์ใบมีดเข้ากับแบตเตอรี่ จากนั้นบันทึกค่าความต่างศักย์ของแบตเตอรี่ทุก 5 นาทีเป็นเวลา 140 นาที

3.3.8 การทดลองชาร์จแบตเตอรี่ด้วยแผงพลังงานแสงอาทิตย์

ทำการทดลองโดยการต่อแบตเตอรี่เข้ากับเครื่องควบคุมการชาร์จและแผงพลังงานแสงอาทิตย์ จากนั้นวัดค่าความต่างศักย์ที่เพิ่มขึ้นของแบตเตอรี่ทุก 5 นาทีเป็นเวลา 180 นาที

3.3.9 การทดลองใช้งานตัวต้านทานไวแสงร่วมกับแผงพลังงานแสงอาทิตย์

ทำการทดลองโดยการวัดค่าความต้านทานของตัวต้านทานไวแสงที่ติดตั้งบนแผงพลังงานแสงอาทิตย์ จากนั้นบันทึกค่าความต้านทานที่วัดได้ทุก 30 นาทีเป็นเวลา 240 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.10 การทดสอบการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้า

ทำการทดสอบด้วยการเขียนโปรแกรมภาษาไพธอนสั่งการอุปกรณ์ไมโครคอมพิวเตอร์ ให้เคลื่อนที่ตามเงื่อนไขที่กำหนด จากนั้นเก็บผลการทดสอบขณะเปิดและปิดใบมีด

3.3.10.1 การทดสอบการเคลื่อนที่ไปด้านหน้า

ทำการคำนวณหาความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ไปด้านหน้า และทำการทดสอบโดยการสั่งให้ตัวรถเคลื่อนที่ไปด้านเป็นเวลา 30 s จากนั้นทำการเก็บค่าระยะทางเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณ

3.3.10.2 การทดสอบการหมุนตัวรถแบบทวนเข็มนาฬิกา

ทำการทดสอบโดยการสั่งให้ตัวรถหมุนทวนเข็มนาฬิกาเป็นเวลา 10 s จากนั้นเก็บค่ามุมที่เปลี่ยนไป เพื่อคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการหมุนต่อ 1 degree

3.3.10.3 การทดสอบการหมุนตัวรถแบบตามเข็มนาฬิกา

ทำการทดสอบโดยการสั่งให้ตัวรถหมุนตามเข็มนาฬิกาเป็นเวลา 10 s จากนั้นเก็บค่ามุมที่เปลี่ยนไป เพื่อคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการหมุนต่อ 1 degree

3.3.11 การทดสอบระบบจดจำการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้า

ทำการทดสอบด้วยการเขียนโปรแกรมโปรแกรมภาษาไพธอนเพื่อสร้างเส้นทางที่เครื่องหญ้าเคยเคลื่อนที่ผ่านแล้วแสดงผลเป็นรูปภาพผ่านไลบรารี OpenCV

3.3.12 การทดสอบการสื่อสารระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้

ทำการทดสอบด้วยการเขียนโปรแกรมภาษาไพธอนสั่งการไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อเปิดลูทุธ socket ในการรับข้อมูลจากแอปพลิเคชันที่เขียนด้วยภาษา Kotlin จากนั้นสังเกตข้อมูลที่ได้รับว่าทำงานได้ถูกต้องหรือไม่

3.3.13 ทดสอบชุดคำสั่งควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้า

ทำการทดสอบด้วยการเขียนโปรแกรมภาษาไพธอนสั่งการไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่แสดงขึ้นในหน้าต่างไพธอนเปรียบเทียบกับเคลื่อนที่ของตัวเครื่องตัดหญ้า

3.3.13.1 ทดสอบการเคลื่อนที่เข้าหาแสงอาทิตย์

ทำการทดสอบโดยการเขียนคำสั่งเปิดพอร์ตอนุกรมของไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อรับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปประมวลผลการเคลื่อนที่

3.3.13.2 ทดสอบการเคลื่อนที่อัตโนมัติ

ทำการทดสอบโดยการเขียนคำสั่งรับค่าจากลูทุธ socket เพื่อนำมาประมวลผล จากนั้นสังเกตผลลัพธ์ที่ถูกสร้างขึ้นจากระบบจดจำการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้า

3.3.13.3 ทดสอบอัลกอริธึมหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

ทำการทดสอบโดยการเขียนโปรแกรมภาษาไพธอนสั่งการไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ควบคุมอุปกรณ์และอ่านค่าที่ได้รับจากอุปกรณ์ แล้วสังเกตผลลัพธ์ที่ถูกสร้างขึ้นจากระบบจดจำ การเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้า

3.3.13.4 ทดสอบระบบกำหนดขอบเขตการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้า

ทำการทดสอบโดยการเขียนคำสั่งรับค่าจากบลูทูธ socket เพื่อนำมา ประมวลผล จากนั้นสังเกตผลลัพธ์ที่ถูกสร้างขึ้นจากระบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

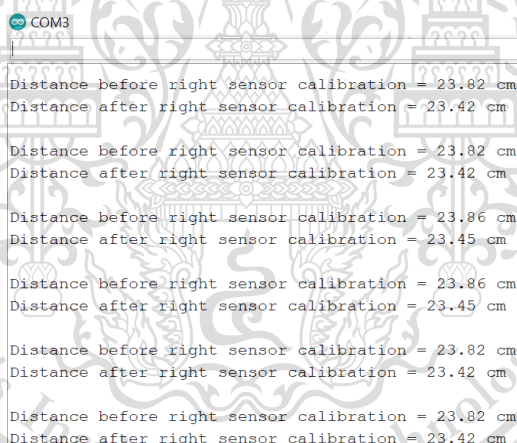
บทที่ 4

ผลการทดลอง

สำหรับการทำงานของระบบเครื่องตัดหญ้าอัตโนมัติพลังงานแสงอาทิตย์ ผู้จัดทำได้ทำการเก็บผลการทำงานของระบบโดยแบ่งการทดลองและจัดเก็บผลการทดลองออกเป็นส่วนตัวต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบและการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะทาง

ในการปรับเทียบเซนเซอร์จะใช้วัตถุจำลองเป็นวัตถุผิวเรียบ กระจกตันไม้ และช่อดอกไม้ปลอม เก็บค่าระยะทางที่วัดได้ในหน่วยเซนติเมตรจากเซนเซอร์และแสดงผลดังรูปที่ 4.1 นำค่าระยะทางมาหาค่าเฉลี่ย พล็อตกราฟและหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน จากนั้นนำช่วงที่ใช้งานมาทำการปรับเทียบและหาเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างค่าความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบ



```
COM3
Distance before right sensor calibration = 23.82 cm
Distance after right sensor calibration = 23.42 cm

Distance before right sensor calibration = 23.82 cm
Distance after right sensor calibration = 23.42 cm

Distance before right sensor calibration = 23.86 cm
Distance after right sensor calibration = 23.45 cm

Distance before right sensor calibration = 23.86 cm
Distance after right sensor calibration = 23.45 cm

Distance before right sensor calibration = 23.82 cm
Distance after right sensor calibration = 23.42 cm

Distance before right sensor calibration = 23.82 cm
Distance after right sensor calibration = 23.42 cm
```

รูปที่ 4.1 การแสดงผลระยะทางที่วัดได้จากอัลตราโซนิกเซนเซอร์ผ่าน Serial monitor

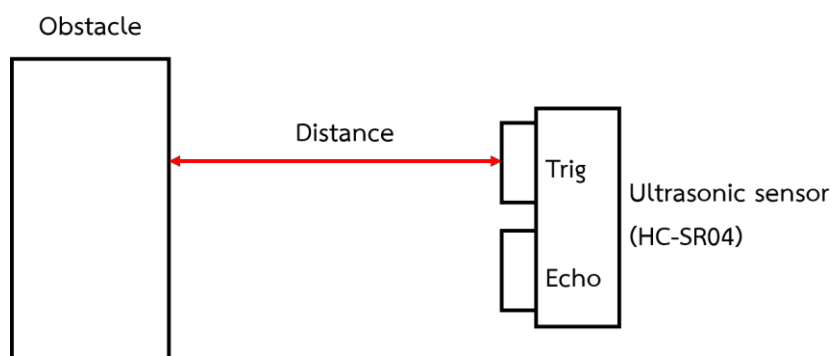
4.1.1 วัตถุจำลองเป็นวัตถุผิวเรียบ

สำหรับการปรับเทียบเซนเซอร์โดยใช้วัตถุจำลองเป็นวัตถุผิวเรียบจะทำการทดลอง 3 ครั้งและภาพจำลองการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

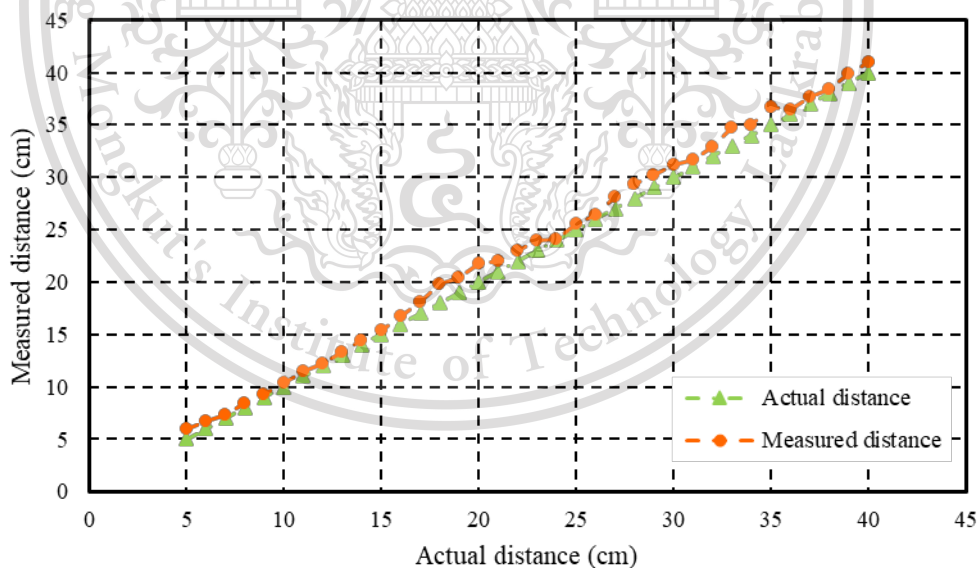


รูปที่ 4.2 ภาพจำลองการทดสอบการวัดระยะของโมดูลวัดระยะชนิดอัลตราโซนิกรุ่น HC-SR04 โดยใช้วัตถุจำลองเป็นวัตถุผิวเรียบ

4.1.1.1 ผลการทดสอบการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะในแนวระดับด้านหน้า

ซ้าย

ทำการเก็บข้อมูลระยะทางที่วัดได้จากเซนเซอร์และนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้ในช่วง 5 – 40 cm แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้ก่อนการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะในแนวระดับด้านหน้าซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

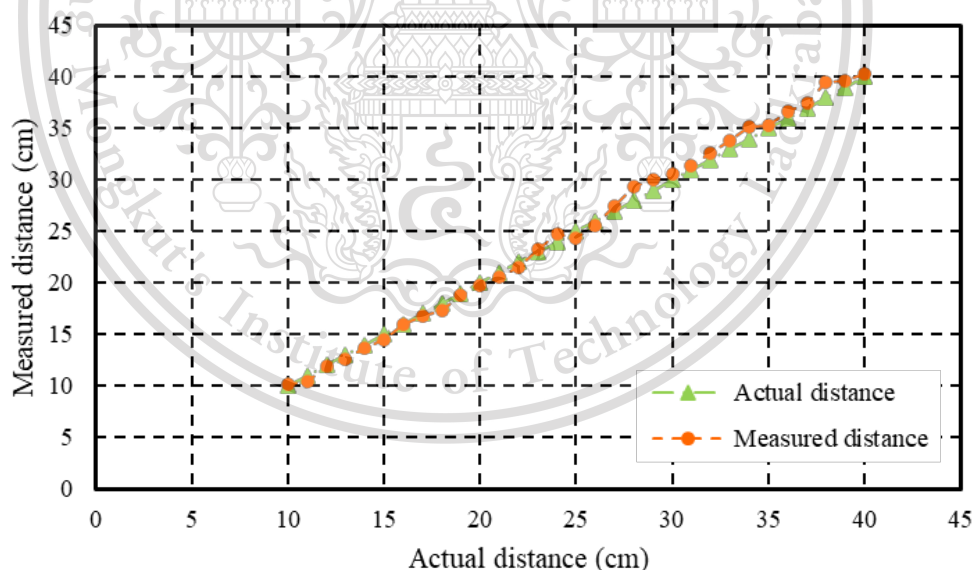
นำกราฟในช่วง 10 – 40 cm มาเปรียบเทียบโดยใช้สมการที่ (4.1) ในการเปรียบเทียบ

$$D = 0.982M - 0.4221 \quad (4.1)$$

โดยที่ M คือ ระยะทางก่อนการปรับเทียบเซนเซอร์ (cm)

D คือ ระยะทางหลังการปรับเทียบเซนเซอร์ (cm)

จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้แสดงดังรูปที่ 4.4 และหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของระยะทางที่วัดได้ (Measured distance) เทียบกับระยะทางจริง (Actual distance) และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความคลาดเคลื่อนก่อน (B) และหลังการปรับเทียบ (A) ได้จากสมการที่ (4.2) และสมการที่ (4.3) ตามลำดับ จากนั้นเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัดในแนวระดับพบว่าหลังจากการปรับเทียบมีความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยลดลง โดยผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้หลังการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะในแนวระดับด้านหน้าซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Percentage error} = \frac{|\text{Actual distance} - \text{Measured distance}|}{\text{Actual distance}} \times 100 \quad (4.2)$$

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\text{Percentage error different} = |B - A| \quad (4.3)$$

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัดในแนวระดับ
ด้านหน้าซ้าย

ระยะทางจริง (cm)	เปอร์เซ็นต์ความคลาด เคลื่อนก่อนการ ปรับเทียบ (%)	เปอร์เซ็นต์ความคลาด เคลื่อนหลังการ ปรับเทียบ (%)	ความแตกต่างของ เปอร์เซ็นต์ความ คลาดเคลื่อนก่อนและ หลังปรับเทียบ (%)
10	3.90	1.80	2.10
11	4.03	5.18	1.15
12	1.58	0.33	1.25
13	1.95	2.77	0.82
14	3.24	2.43	0.81
15	2.84	3.13	0.29
16	4.88	0.06	4.81
17	6.63	1.18	5.45
18	9.81	3.44	6.37
19	7.30	0.63	6.67
20	8.53	1.45	7.08
21	4.84	2.00	2.84
22	4.52	2.32	2.20
23	4.10	1.30	2.80
24	0.38	3.08	2.71
25	2.12	2.28	0.16
26	1.67	1.73	0.06
27	4.28	1.70	2.58
28	4.65	5.04	0.38
29	4.08	3.45	0.63
30	4.06	1.93	2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัดในแนวระดับ
ด้านหน้าซ้าย (ต่อ)

ระยะทางจริง (cm)	เปอร์เซ็นต์ความคลาด เคลื่อนก่อนการ ปรับเทียบ (%)	เปอร์เซ็นต์ความคลาด เคลื่อนหลังการ ปรับเทียบ (%)	ความแตกต่างของ เปอร์เซ็นต์ความ คลาดเคลื่อนก่อนและ หลังปรับเทียบ (%)
31	2.16	1.13	1.03
32	2.93	1.94	0.99
33	5.22	2.36	2.86
34	2.90	3.65	0.75
35	4.98	0.97	4.01
36	1.22	1.75	0.53
37	1.76	1.22	0.54
38	1.16	4.13	2.97
39	2.39	1.67	0.73
40	2.49	0.92	1.57

จากตารางที่ 4.1 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยก่อนการปรับเทียบเท่ากับ 3.76 % และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยหลังการปรับเทียบเท่ากับ 2.16 % ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบลดลง 1.6 %

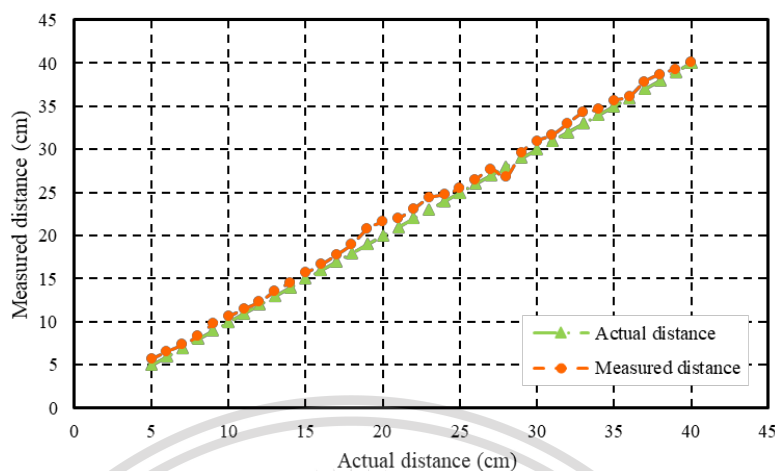
4.1.1.2 ผลการทดสอบการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะในแนวระดับด้านหน้า
ขวา

ทำการเก็บข้อมูลระยะทางที่วัดได้จากเซนเซอร์และนำมาพล็อตกราฟ
ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้ในช่วง 5 – 40 cm แสดงดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้ก่อนการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะ
ในแนวระดับด้านหน้าขวา

นักรูปในช่วง 10 – 40 cm มาปรับเทียบโดยใช้สมการที่ (4.4) ในการ
ปรับเทียบ

$$D = 1.0062M - 0.55 \quad (4.4)$$

โดยที่ M คือ ระยะทางก่อนการปรับเทียบเซนเซอร์ (cm)

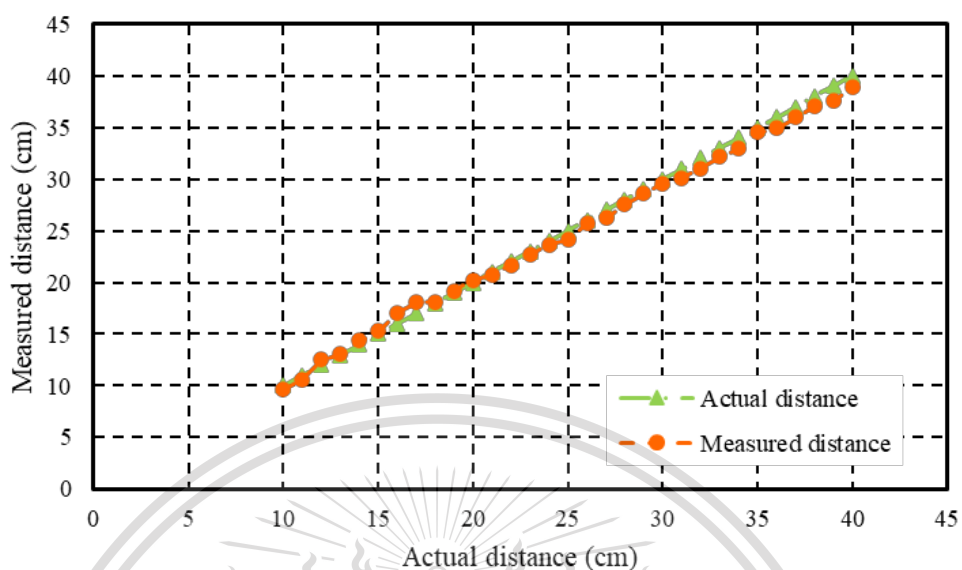
D คือ ระยะทางหลังการปรับเทียบเซนเซอร์ (cm)

จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้แสดงดัง
รูปที่ 4.6 และหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของระยะทางที่วัดได้ (Measured distance) เทียบ
กับระยะทางจริง (Actual distance) และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความคลาดเคลื่อนก่อน (B)
และหลังการปรับเทียบ (A) ได้จากสมการที่ (4.2) และสมการที่ (4.3) ตามลำดับ จากนั้นเปรียบเทียบ
ความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัดได้ในแนวระดับพบว่าหลังจากการ
ปรับเทียบมีความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยลดลง โดยผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้หลังการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะ
ในแนวระดับด้านหน้าขวา

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัดในแนวระดับ
ด้านหน้าขวา

ระยะทางจริง (cm)	เปอร์เซ็นต์ความคลาด เคลื่อนก่อนการ ปรับเทียบ (%)	เปอร์เซ็นต์ความคลาด เคลื่อนหลังการ ปรับเทียบ (%)	ความแตกต่างของ เปอร์เซ็นต์ความ คลาดเคลื่อนก่อนและ หลังปรับเทียบ (%)
10	6.33	4.00	2.33
11	4.76	3.27	1.48
12	2.64	4.08	1.44
13	4.62	0.62	4.00
14	4.07	2.79	1.29
15	4.44	2.07	2.38
16	3.96	6.56	2.60
17	4.59	6.12	1.53
18	5.59	0.83	4.76
19	9.40	1.00	8.40
20	7.93	1.00	6.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ 5.59 เพื่อการศึกษาเท่านั้น 0.83 อนุญาตให้นำไปใช้ 4.76 โยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 19 ห้ามมิให้ตัดแปดเนื้อหา และต้องอ้างอิง 1.00 จำของเอกสารทุก 8.40 ที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัดในแนวระดับ
ด้านหน้าขวา (ต่อ)

ระยะทางจริง (cm)	เปอร์เซ็นต์ความคลาด เคลื่อนก่อนการ ปรับเทียบ (%)	เปอร์เซ็นต์ความคลาด เคลื่อนหลังการ ปรับเทียบ (%)	ความแตกต่างของ เปอร์เซ็นต์ความ คลาดเคลื่อนก่อนและ หลังปรับเทียบ (%)
21	4.76	1.33	3.43
22	5.05	1.36	3.68
23	5.96	1.57	4.39
24	3.15	1.54	1.61
25	1.85	3.40	1.55
26	1.82	1.23	0.59
27	2.65	2.96	0.31
28	4.23	1.57	2.65
29	2.25	1.41	0.84
30	3.26	1.27	1.99
31	2.11	2.94	0.83
32	3.11	2.94	0.18
33	3.81	2.55	1.26
34	1.80	3.12	1.31
35	1.81	1.34	0.47
36	0.39	2.97	2.58
37	2.27	2.73	0.46
38	1.88	2.50	0.62
39	0.79	3.62	2.83
40	0.18	2.73	2.55

จากตารางที่ 4.2 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยก่อนการปรับเทียบ
เท่ากับ 3.60 % และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยหลังการปรับเทียบเท่ากับ 2.50 % ความ
ไม่เท่ากันนี้เกิดทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
แตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบลดลง 2.30 %

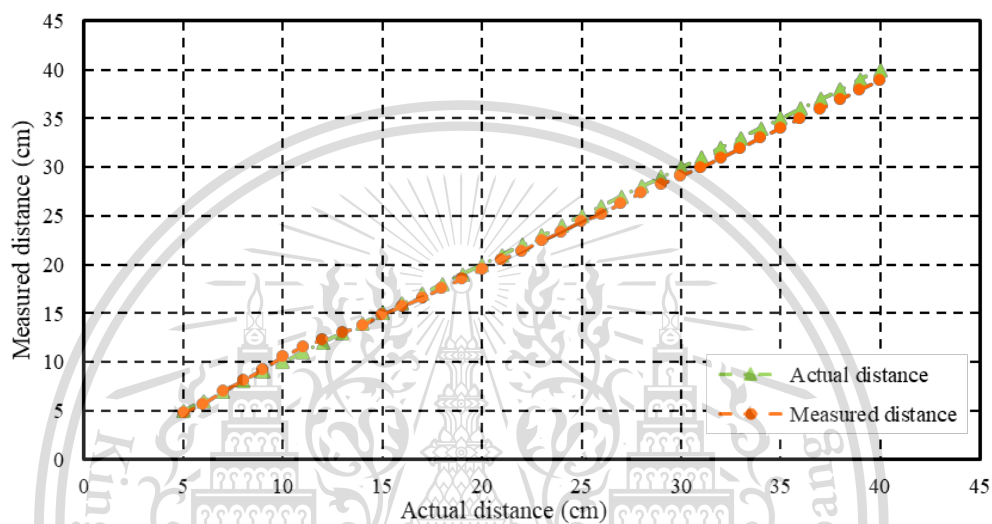
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.1.3 ผลการทดสอบการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะแนวระดับด้านหน้าตรง

กลาง

ทำการเก็บข้อมูลระยะทางที่วัดได้จากเซนเซอร์และนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้ในช่วง 5 – 40 cm แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้ก่อนการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะแนวระดับด้านหน้าตรงกลาง

นำกราฟในช่วง 10 – 18 cm มาปรับเทียบโดยใช้สมการที่ (4.5) ในการปรับเทียบ

$$D = 1.1201M - 1.703 \quad (4.5)$$

โดยที่ M คือ ระยะทางก่อนการปรับเทียบเซนเซอร์ (cm)

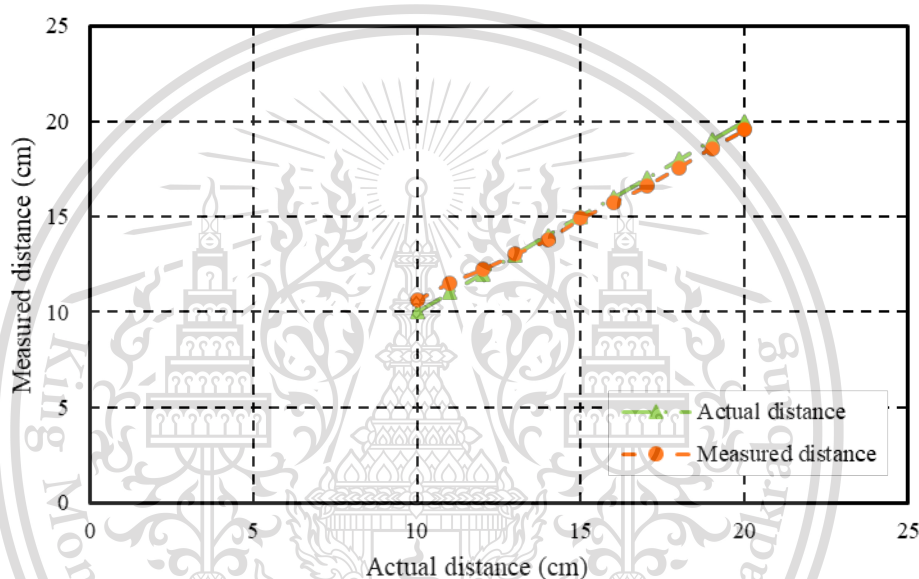
D คือ ระยะทางหลังการปรับเทียบเซนเซอร์ (cm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้แสดงดังรูปที่ 4.8 และหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของระยะทางที่วัดได้ (Measured distance) เทียบกับระยะทางจริง (Actual distance) และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความคลาดเคลื่อนก่อน (B) และหลังการปรับเทียบ (A) ได้จากสมการที่ (4.2) และสมการที่ (4.3) ตามลำดับ จากนั้นเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัดในแนวระดับพบว่าหลังจากการปรับเทียบมีความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยลดลง โดยผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้หลังการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะแนวระดับด้านหน้าตรงกลาง

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัดระยะแนวระดับด้านหน้าตรงกลาง

ระยะทางจริง (cm)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบ (%)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหลังการปรับเทียบ (%)	ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบ (%)
10	6.30	1.50	4.80
11	3.39	2.73	0.67
12	3.14	2.83	0.31

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

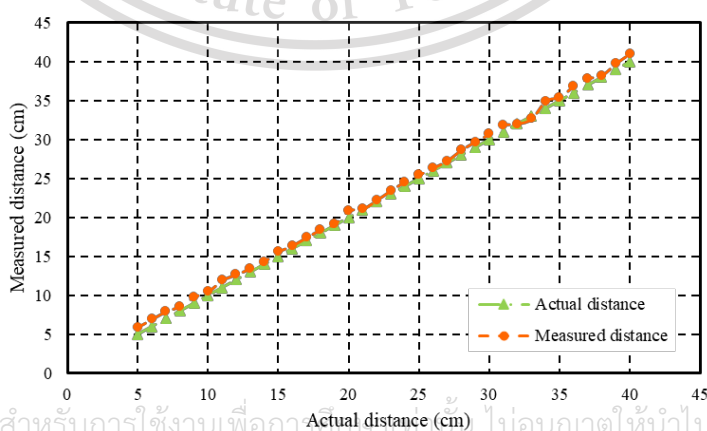
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัดระยะแนวระดับ
ด้านหน้าตรงกลาง(ต่อ)

ระยะทางจริง (cm)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบ (%)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหลังการปรับเทียบ (%)	ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบ (%)
13	2.33	0.38	1.95
14	4.71	0.71	4.00
15	1.44	0.33	1.11
16	4.92	0.50	4.42
17	3.80	0.06	3.75
18	4.07	0.83	3.24

จากตารางที่ 4.5 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยก่อนการปรับเทียบเท่ากับ 3.79 % และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยหลังการปรับเทียบเท่ากับ 1.10 % ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบลดลง 2.69 %

4.1.1.4 ผลการทดสอบการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะในแนวระดับด้านซ้าย
ทำการเก็บข้อมูลระยะทางที่วัดได้จากเซนเซอร์และนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้ในช่วง 5 - 40 cm แสดงดังรูปที่ 4.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยทางวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดรูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้ก่อนการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะ

ในแนวระดับด้านซ้าย

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

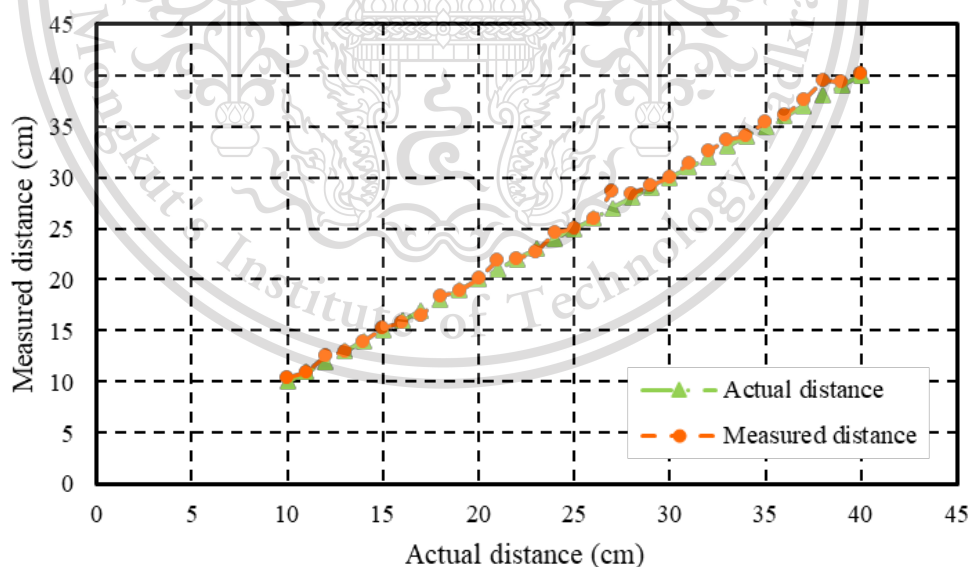
นำกราฟในช่วง 10 – 40 cm มาเปรียบเทียบโดยใช้สมการที่ (4.6) ในการเปรียบเทียบ

$$D = 1.0029M - 0.763 \quad (4.6)$$

โดยที่ M คือ ระยะทางก่อนการปรับเทียบเซนเซอร์ (cm)

D คือ ระยะทางหลังการปรับเทียบเซนเซอร์ (cm)

จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้แสดงดังรูปที่ 4.10 และหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของระยะทางที่วัดได้ (Measured distance) เทียบกับระยะทางจริง (Actual distance) และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความคลาดเคลื่อนก่อน (B) และหลังการปรับเทียบ (A) ได้จากสมการที่ (4.2) และสมการที่ (4.3) ตามลำดับ จากนั้นเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัดได้ในแนวระดับพบว่าหลังจากการปรับเทียบมีความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยลดลง โดยผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้หลังการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะในแนวระดับด้านซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัดในแนวระดับ
ด้านซ้าย

ระยะทางจริง (cm)	เปอร์เซ็นต์ความคลาด เคลื่อนก่อนการ ปรับเทียบ (%)	เปอร์เซ็นต์ความคลาด เคลื่อนหลังการ ปรับเทียบ (%)	ความแตกต่างของ เปอร์เซ็นต์ความ คลาดเคลื่อนก่อนและ หลังปรับเทียบ (%)
10	4.77	3.90	0.87
11	8.55	0.27	8.27
12	5.58	4.42	1.17
13	3.41	0.69	2.72
14	2.57	0.71	1.86
15	4.02	1.80	2.22
16	2.48	1.63	0.85
17	2.51	2.71	0.20
18	2.44	1.78	0.67
19	0.91	0.58	0.33
20	4.30	1.00	3.30
21	0.51	3.95	3.44
22	1.06	0.00	1.06
23	2.06	1.48	0.58
24	2.40	2.58	0.18
25	1.85	0.28	1.57
26	1.41	0.04	1.37
27	1.02	6.15	5.12
28	2.38	1.25	1.13
29	2.41	0.86	1.55
30	2.39	0.07	2.32
31	2.67	1.26	1.41
32	0.03	1.66	1.63
33	1.05	2.00	0.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หรือทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงผู้เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัดในแนวระดับ
ด้านซ้าย (ต่อ)

ระยะทางจริง (cm)	เปอร์เซ็นต์ความคลาด เคลื่อนก่อนการ ปรับเทียบ (%)	เปอร์เซ็นต์ความคลาด เคลื่อนหลังการ ปรับเทียบ (%)	ความแตกต่างของ เปอร์เซ็นต์ความ คลาดเคลื่อนก่อนและ หลังปรับเทียบ (%)
34	2.79	0.24	2.56
35	1.30	1.37	0.08
36	2.33	0.19	2.14
37	2.23	1.57	0.66
38	0.66	3.74	3.08
39	1.97	0.72	1.26
40	2.58	0.55	2.03

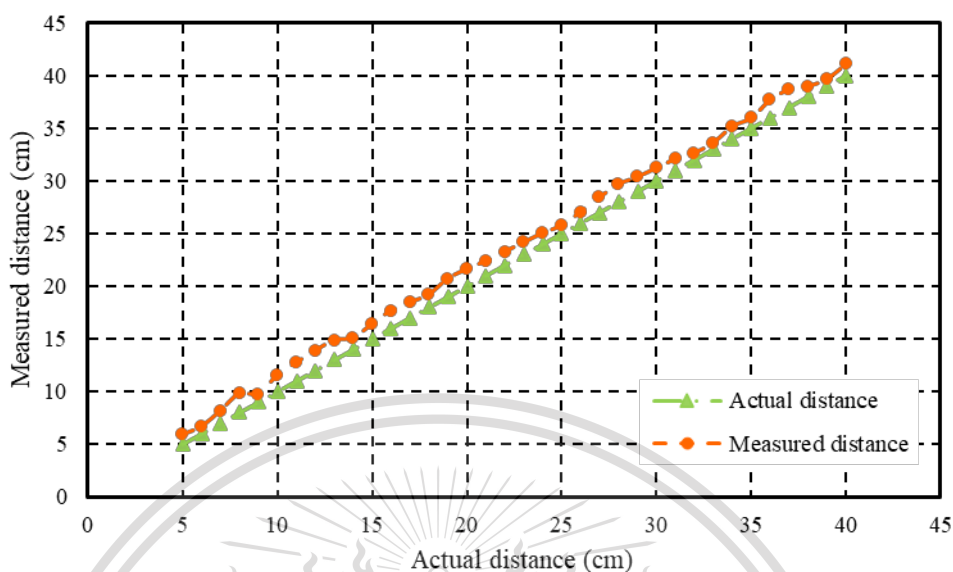
จากตารางที่ 4.4 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยก่อนการปรับเทียบเท่ากับ 2.47 % และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยหลังการปรับเทียบเท่ากับ 1.59 % ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบลดลง 0.88 %

4.1.1.5 ผลการทดสอบการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะในแนวระดับด้านขวา
ทำการเก็บข้อมูลระยะทางที่วัดได้จากเซนเซอร์และนำมาพล็อตกราฟ
ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้ในช่วง 5 – 40 cm แสดงดังรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้ก่อนการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะในแนวระดับด้านขวา

นำกราฟในช่วง 10 – 40 cm มาปรับเทียบโดยใช้สมการที่ (4.7) ในการปรับเทียบ

$$D = 1.0059M - 1.422 \quad (4.7)$$

โดยที่ M คือ ระยะทางก่อนการปรับเทียบเซนเซอร์ (cm)

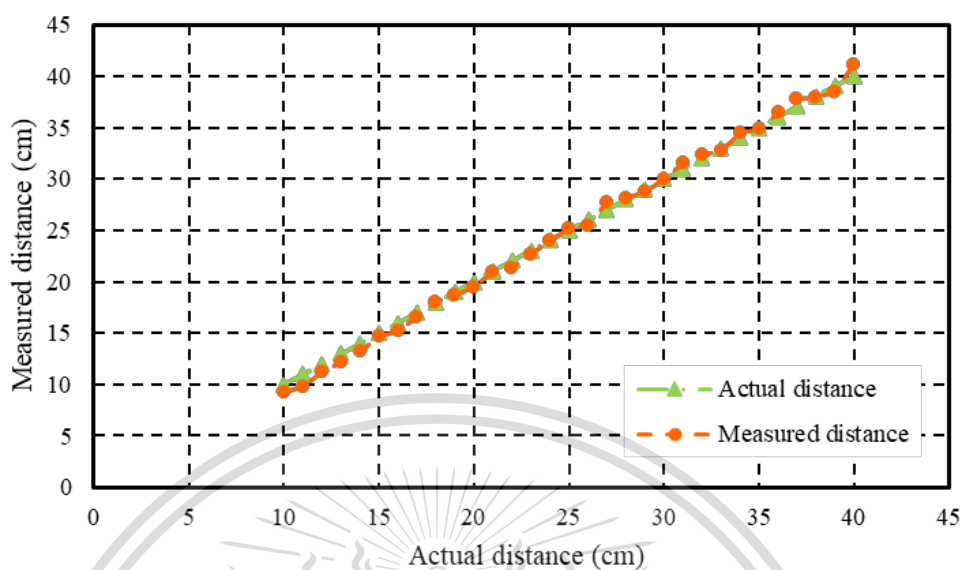
D คือ ระยะทางหลังการปรับเทียบเซนเซอร์ (cm)

จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้แสดงดังรูปที่ 4.12 และหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของระยะทางที่วัดได้ (Measured distance) เทียบกับระยะทางจริง (Actual distance) และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความคลาดเคลื่อนก่อน (B) และหลังการปรับเทียบ (A) ได้จากสมการที่ (4.2) และสมการที่ (4.3) ตามลำดับ จากนั้นเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัดในแนวระดับพบว่าหลังจากการปรับเทียบมีความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยลดลง โดยผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้หลังการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะในแนวระดับด้านขวา

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัดในแนวระดับด้านขวา

ระยะทางจริง (cm)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบ (%)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหลังการปรับเทียบ (%)	ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบ (%)
10	15.03	7.40	7.63
11	15.58	10.73	4.85
12	15.61	6.25	9.36
13	14.13	6.77	7.36
14	7.83	5.14	2.69
15	9.27	2.20	7.07
16	10.50	5.25	5.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัดในแนวระดับ
ด้านขวา (ต่อ)

ระยะทางจริง (cm)	เปอร์เซ็นต์ความคลาด เคลื่อนก่อนการ ปรับเทียบ (%)	เปอร์เซ็นต์ความคลาด เคลื่อนหลังการ ปรับเทียบ (%)	ความแตกต่างของ เปอร์เซ็นต์ความ คลาดเคลื่อนก่อนและ หลังปรับเทียบ (%)
17	8.51	2.82	5.69
18	6.76	0.28	6.48
19	9.07	1.68	7.39
20	8.02	2.70	5.32
21	6.62	0.48	6.14
22	5.83	0.00	2.97
23	5.03	1.48	3.72
24	4.40	2.58	4.19
25	3.07	0.28	2.27
26	4.08	0.04	2.00
27	5.38	6.15	2.94
28	6.00	1.25	5.54
29	4.78	0.86	4.13
30	4.10	0.07	4.03
31	3.51	1.26	1.83
32	2.05	1.66	0.90
33	1.97	2.00	1.12
34	3.50	0.24	2.29
35	2.78	1.37	2.44
36	4.81	0.19	3.39
37	4.55	1.57	2.52
38	2.61	3.74	2.40
39	1.86	0.72	0.63
40	2.78	0.55	0.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น สิ่งทั้งหมดมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

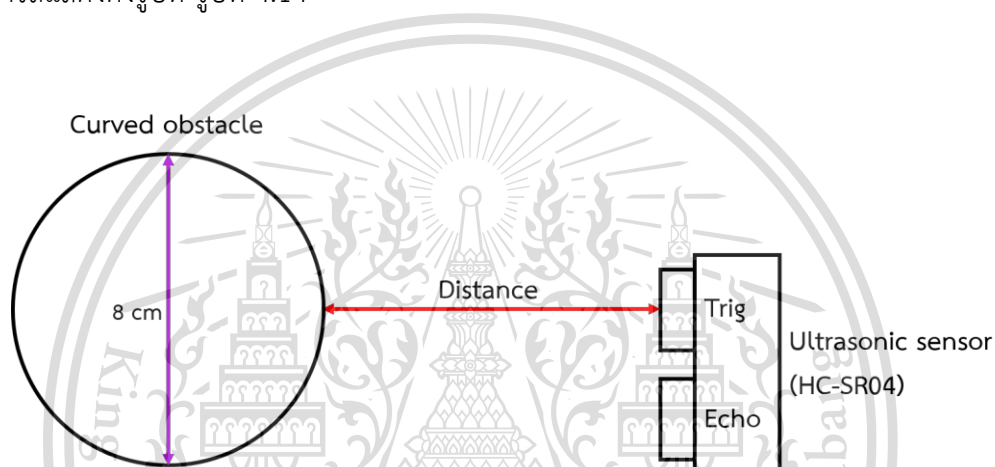
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากตารางที่ 4.5 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยก่อนการปรับเทียบเท่ากับ 6.45 % และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยหลังการปรับเทียบเท่ากับ 2.43 % ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบลดลง 4.02 %

4.1.2 วัตถุจำลองเป็นวัตถุผิวโค้ง

สำหรับการปรับเทียบเซนเซอร์โดยใช้วัตถุจำลองเป็นวัตถุผิวโค้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 cm ทำการทดลอง 3 ครั้งและภาพจำลองการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.13 และภาพการทดสอบสามารถแสดงดังรูปที่ รูปที่ 4.14



รูปที่ 4.13 ภาพจำลองการทดสอบการวัดระยะของโมดูลวัดระยะชนิดอัลตราโซนิกครุ่น HC-SR04 โดยใช้วัตถุจำลองเป็นวัตถุผิวโค้ง



รูปที่ 4.14 การทดลองวัดระยะด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์โดยใช้วัตถุจำลองเป็นกระถางต้นไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

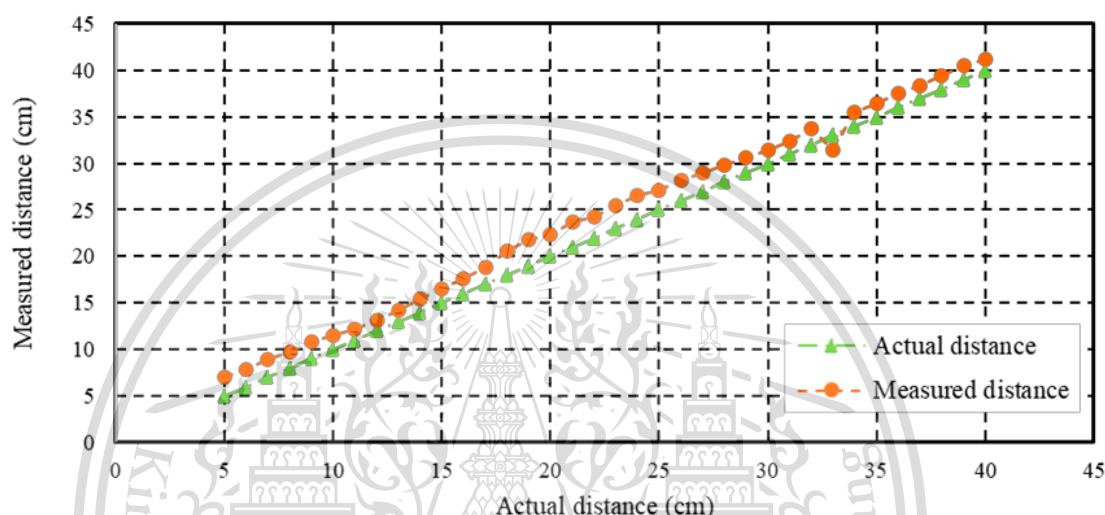
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.2.1 ผลการทดสอบการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะแนวระดับด้านหน้า

ซ้าย

ทำการเก็บข้อมูลระยะทางที่ทดสอบได้จากเซนเซอร์และนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ในช่วง 5 – 40 cm แสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ก่อนการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าฝั่งซ้าย

นำกราฟในช่วง 10 – 40 cm มาปรับเทียบโดยใช้สมการที่ (4.8) ในการปรับเทียบ

$$D = 0.941M - 0.1667 \quad (4.8)$$

โดยที่ M คือ ระยะทางก่อนการปรับเทียบเซนเซอร์ (cm)

D คือ ระยะทางหลังการปรับเทียบเซนเซอร์ (cm)

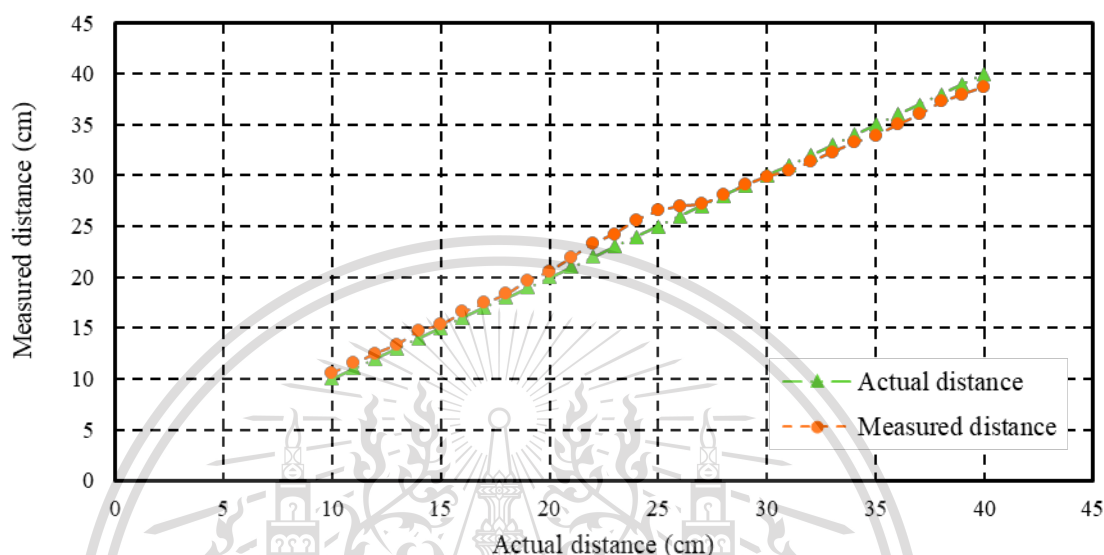
จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้แสดงดังรูปที่ 4.16 และหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของระยะทางที่ทดสอบได้ (Measured distance) เทียบกับระยะทางจริง (Actual distance) และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความคลาดเคลื่อนก่อน (B) และหลังการปรับเทียบ (A) ได้จากสมการที่ (4.2) และสมการที่ (4.3) ตามลำดับ จากนั้นเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับอาจารย์ผู้สอนเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในแนวระดับพบว่าหลังจากการปรับเทียบมีความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยลดลง โดยผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้หลังการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าฝั่งซ้าย

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าฝั่งซ้าย

ระยะทางจริง (cm)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบ (%)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหลังการปรับเทียบ (%)	ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังการปรับเทียบ
10	15.57	5.60	9.97
11	11.21	4.91	6.30
12	9.61	4.00	5.61
13	9.13	2.92	6.21
14	10.10	5.43	4.67
15	9.71	2.33	7.38
16	10.13	3.56	6.56
17	11.02	2.65	8.37
18	14.02	1.83	12.19
19	14.40	3.63	10.77

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าซ้าย (ต่อ)

ระยะทางจริง (cm)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบ (%)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหลังการปรับเทียบ (%)	ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังการปรับเทียบ
20	11.52	2.70	8.82
21	12.67	4.38	8.29
22	10.39	6.00	4.39
23	10.48	5.22	5.26
24	10.51	6.67	3.85
25	8.47	6.20	2.27
26	8.14	3.81	4.33
27	7.28	0.81	6.47
28	6.44	0.18	6.26
29	5.49	0.31	5.18
30	4.82	0.23	4.59
31	4.65	1.65	3.00
32	5.38	1.97	3.41
33	4.88	2.09	2.79
34	4.34	2.15	2.20
35	4.12	3.00	1.12
36	4.26	2.75	1.51
37	3.53	2.68	0.86
38	3.88	1.87	2.01
39	3.94	2.62	1.32
40	3.07	3.10	0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ใช้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้ผู้อื่นใช้ประโยชน์จากการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ห้ามมิให้ผู้อื่นนำเนื้อหาบางส่วนหรือทั้งหมดไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

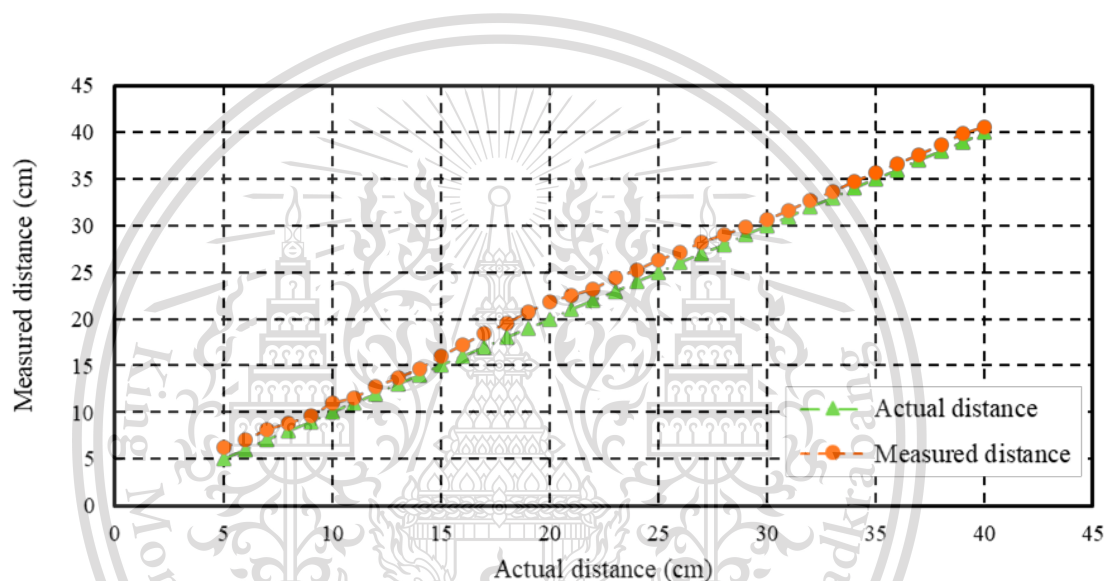
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบลดลง 5.03 % ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

4.1.2.2 ผลการทดสอบการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะแนวระดับด้านหน้า ขวา

ทำการเก็บข้อมูลระยะทางที่ทดสอบได้จากเซนเซอร์และนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ในช่วง 5 – 40 cm แสดงดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ก่อนการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าฝั่งขวา

นำกราฟในช่วง 10 – 40 cm มาปรับเทียบโดยใช้สมการที่ (4.9) ในการปรับเทียบ

$$D = 0.953M - 0.0337 \quad (4.9)$$

โดยที่ M คือ ระยะทางก่อนการปรับเทียบเซนเซอร์ (cm)

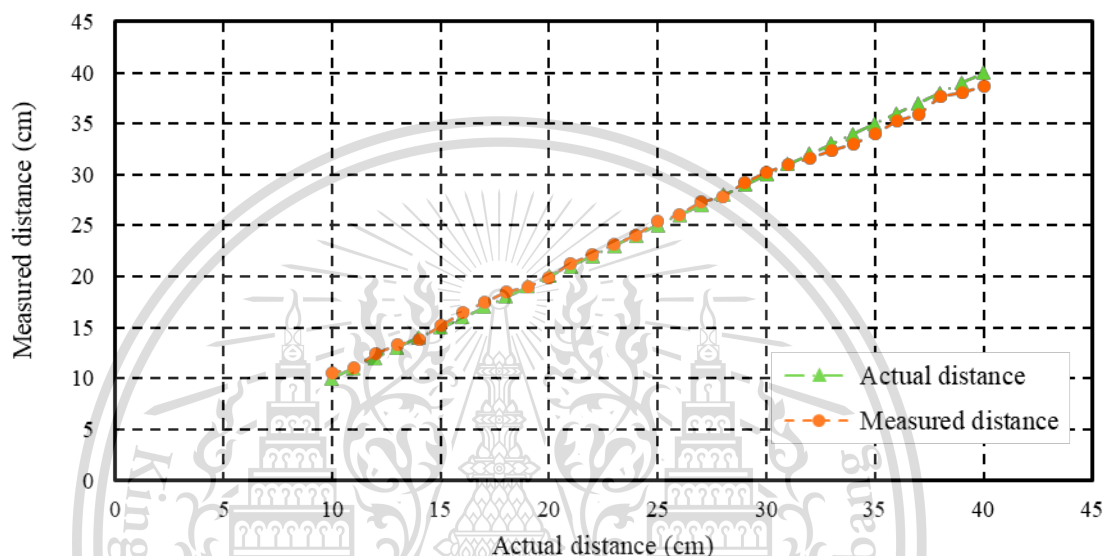
D คือ ระยะทางหลังการปรับเทียบเซนเซอร์ (cm)

จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้แสดงดังรูปที่ 4.18 และหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของระยะทางที่ทดสอบได้ (Measured distance) เทียบกับระยะทางจริง (Actual distance) และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความคลาดเคลื่อนก่อน (B) และหลังการปรับเทียบ (A) ได้จากสมการที่ (4.2) และสมการที่ (4.3) ตามลำดับ จากนั้นเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัดในแนวระดับพบว่าหลังจากการปรับเทียบมีความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยลดลง โดยผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้หลังการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าฝั่งขวา

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าฝั่งขวา

ระยะทางจริง (cm)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบ (%)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหลังการปรับเทียบ (%)	ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังการปรับเทียบ
10	10.53	5.50	5.03
11	5.06	0.36	4.70
12	6.81	3.17	3.64
13	5.26	2.54	2.72
14	4.52	1.57	2.95
15	6.56	1.20	5.36
16	7.58	3.25	4.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ผู้ใช้ปรับแต่งหรือแก้ไขเนื้อหา
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลือทั้งหมดมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าขวา (ต่อ)

ระยะทางจริง (cm)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบ (%)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหลังการปรับเทียบ (%)	ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังการปรับเทียบ
17	8.53	2.94	5.59
18	8.61	2.83	5.78
19	9.14	0.21	8.93
20	8.98	0.70	8.28
21	7.46	1.00	6.46
22	5.73	0.86	4.86
23	5.97	0.83	5.14
24	5.10	0.29	4.81
25	5.12	1.56	3.56
26	4.14	0.00	4.14
27	4.51	1.11	3.40
28	3.81	0.50	3.31
29	2.76	0.66	2.10
30	2.40	0.77	1.63
31	2.15	0.10	2.05
32	1.99	1.31	0.68
33	1.90	1.79	0.11
34	2.33	2.82	0.49
35	1.81	2.80	0.99
36	1.73	1.86	0.13
37	1.61	3.05	1.44
38	1.85	0.97	0.88
39	2.13	2.31	0.18
40	1.33	3.35	2.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

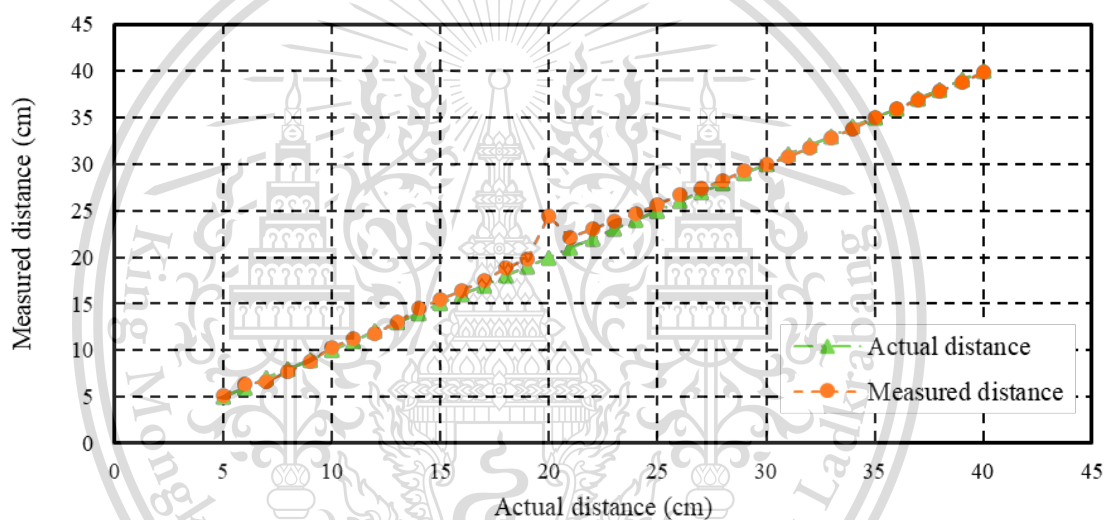
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากตารางที่ 4.7 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยก่อนการปรับเทียบเท่ากับ 4.76 % และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยหลังการปรับเทียบเท่ากับ 1.68 % ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบลดลง 3.07 % ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

4.1.2.3 ผลการทดสอบการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะแนวระดับด้านหน้าตรงกลาง

ทำการเก็บข้อมูลระยะทางที่ทดสอบได้จากเซนเซอร์และนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ในช่วง 5 – 40 cm แสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ก่อนการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าตรงกลาง

นำกราฟในช่วง 10 – 40 cm มาปรับเทียบโดยใช้สมการที่ (4.10) ในการปรับเทียบ

$$D = 0.9985M - 0.001 \quad (4.10)$$

โดยที่ M คือ ระยะทางก่อนการปรับเทียบเซนเซอร์ (cm)

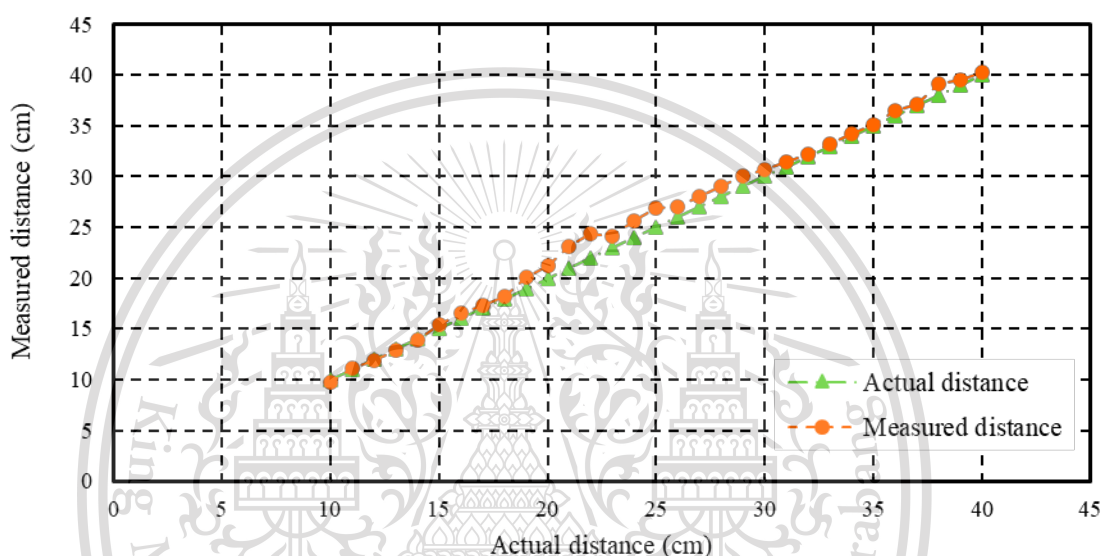
D คือ ระยะทางหลังการปรับเทียบเซนเซอร์ (cm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้แสดง
 ไม่ว่าจะตีพิมพ์โดยหนังสือพิมพ์ นิตยสาร นิตยสาร และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ดังรูปที่ 4.20 และหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของระยะทางที่ทดสอบได้ (Measured

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

distance) เทียบกับระยะทางจริง (Actual distance) และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความคลาดเคลื่อนก่อน (B) และหลังการปรับเทียบ (A) ได้จากสมการที่ (4.2) และสมการที่ (4.3) ตามลำดับ จากนั้นเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัดในแนวระดับพบว่าหลังจากการปรับเทียบมีความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยลดลง โดยผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้หลังการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าตรงกลาง

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าตรงกลาง

ระยะทางจริง (cm)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบ (%)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหลังการปรับเทียบ (%)	ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังการปรับเทียบ
10	2.50	2.87	0.37
11	1.91	0.90	1.01
12	2.06	1.41	0.64
13	0.08	0.46	0.38
14	3.40	1.04	2.37

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าตรงกลาง (ต่อ)

ระยะทางจริง (cm)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบ (%)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหลังการปรับเทียบ (%)	ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังการปรับเทียบ
15	3.29	2.66	0.63
16	2.46	3.41	0.95
17	2.94	1.63	1.31
18	4.46	1.01	3.45
19	4.47	5.75	1.28
20	22.18	5.56	16.63
21	5.00	9.21	4.21
22	4.62	10.20	5.58
23	3.55	4.55	1.00
24	2.89	6.64	3.75
25	2.29	7.25	4.95
26	2.76	4.01	1.25
27	1.44	3.68	2.24
28	0.86	3.66	2.81
29	1.11	3.44	2.33
30	0.22	2.29	2.06
31	0.56	1.63	1.07
32	0.66	0.50	0.16
33	0.63	0.75	0.13
34	0.77	0.50	0.28
35	0.14	0.34	0.20
36	0.04	1.37	1.33
37	0.25	0.27	0.01
38	0.34	3.05	2.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ซึ่งทั้งหมดมิให้ตัดแปลงหรือทำซ้ำ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

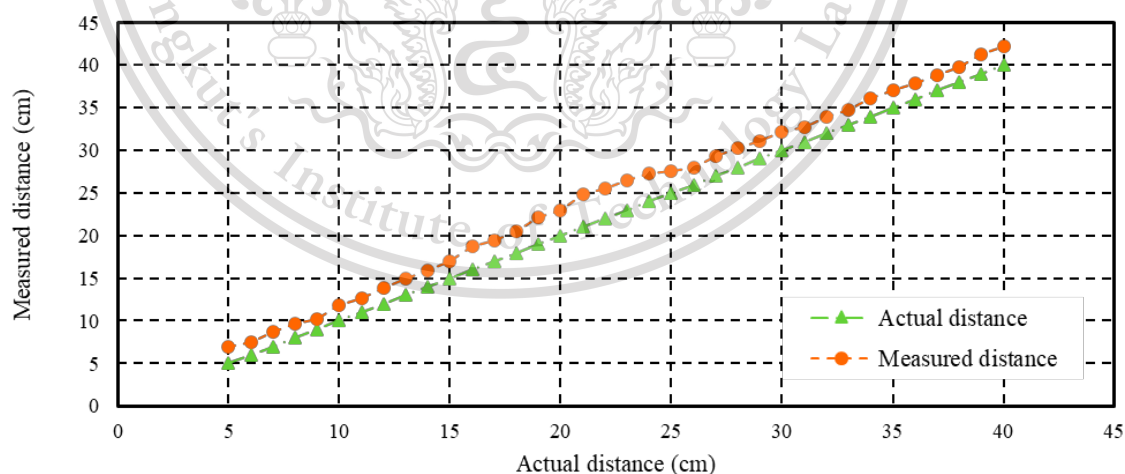
ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าตรงกลาง (ต่อ)

ระยะทางจริง (cm)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบ (%)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหลังการปรับเทียบ (%)	ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังการปรับเทียบ
39	0.46	1.25	0.79
40	0.43	0.70	0.27

จากตารางที่ 4.8 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยก่อนการปรับเทียบเท่ากับ 2.54 % และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยหลังการปรับเทียบเท่ากับ 1.79 % ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบลดลง 0.75 % ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

4.1.2.4 ผลการทดสอบการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะแนวระดับด้านซ้าย

ทำการเก็บข้อมูลระยะทางที่ทดสอบได้จากเซนเซอร์และนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ในช่วง 5 – 40 cm แสดงดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ก่อนการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

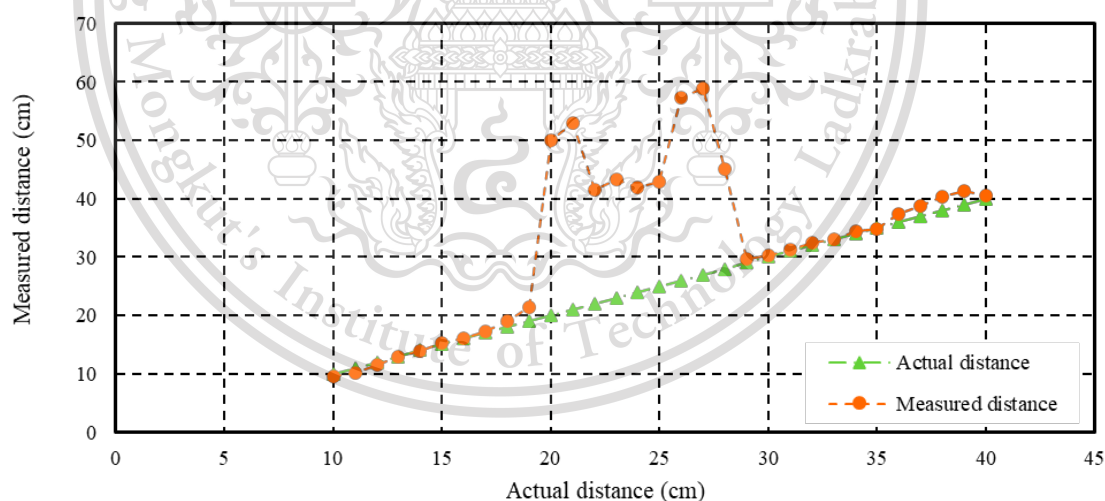
นำกราฟในช่วงที่ 10 – 40 cm มาเปรียบเทียบโดยใช้สมการที่ (4.11) ในการเปรียบเทียบ

$$D = 0.9857M - 2.2555 \quad (4.11)$$

โดยที่ M คือ ระยะทางก่อนการปรับเทียบเซนเซอร์ (cm)

D คือ ระยะทางหลังการปรับเทียบเซนเซอร์ (cm)

จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้แสดงดังรูปที่ 4.22 และหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของระยะทางที่ทดสอบได้ (Measured distance) เทียบกับระยะทางจริง (Actual distance) และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความคลาดเคลื่อนก่อน (B) และหลังการปรับเทียบ (A) ได้จากสมการที่ (4.2) และสมการที่ (4.3) ตามลำดับ จากนั้นเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัดในแนวระดับพบว่าหลังจากการปรับเทียบมีความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยลดลง โดยผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 4.9



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้หลังการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านซ้าย

ระยะทางจริง (cm)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบ (%)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหลังการปรับเทียบ (%)	ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังการปรับเทียบ
10	18.67	3.90	14.77
11	15.33	7.36	7.97
12	15.33	3.58	11.75
13	15.00	0.62	14.38
14	13.95	0.29	13.67
15	13.16	1.27	11.89
16	17.19	1.00	16.19
17	14.65	1.18	13.47
18	14.19	6.17	8.02
19	16.54	12.28	4.26
20	15.02	149.80	134.78
21	18.30	152.67	134.37
22	15.97	88.95	72.98
23	15.39	87.87	72.48
24	13.88	74.92	61.04
25	10.16	71.96	61.80
26	7.58	120.08	112.50
27	8.60	118.19	109.58
28	8.07	61.25	53.18
29	7.32	2.17	5.15
30	7.19	1.17	6.02
31	5.63	0.77	4.86
32	5.94	1.59	4.34
33	5.32	0.03	5.29
34	6.09	1.44	4.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถือว่าห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านซ้าย (ต่อ)

ระยะทางจริง (cm)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบ (%)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหลังการปรับเทียบ (%)	ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังการปรับเทียบ
35	5.88	0.49	5.39
36	5.17	3.58	1.58
37	5.00	4.51	0.49
38	4.68	6.08	1.40
39	5.74	6.10	0.37
40	5.52	1.58	3.94

จากตารางที่ 4.9 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยก่อนการปรับเทียบเท่ากับ 10.85 % และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยหลังการปรับเทียบเท่ากับ 32.03 % ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเพิ่มขึ้น 21.17 % เนื่องจากระยะ 20 – 30 cm คลื่นอัลตราโซนิกเกิดการสะท้อนและหักเหไปในทิศทางอื่น ขา Echo ของอัลตราโซนิกเซนเซอร์จึงได้รับคลื่นที่สะท้อนกลับมาช้ากว่าปกติ ทำให้ระยะที่ทดสอบได้เกิดการคลาดเคลื่อน ทางผู้จัดทำจะทำการปรับปรุงแก้ไขต่อไปในภายหลัง

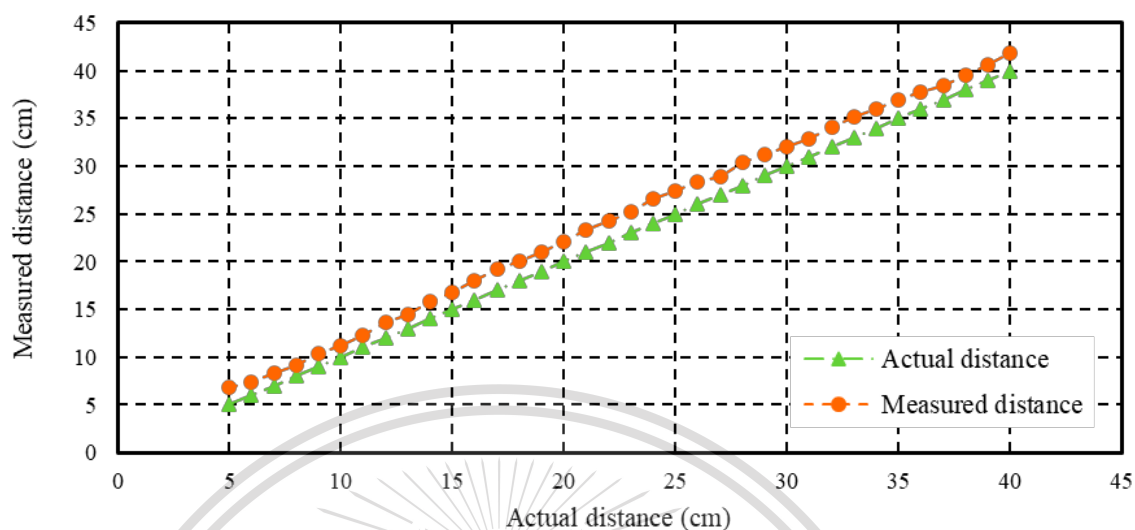
4.1.2.5 ผลการทดสอบการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะแนวระดับด้านขวา

ทำการเก็บข้อมูลระยะทางที่ทดสอบได้จากเซนเซอร์และนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ในช่วง 5 – 40 cm แสดงดังรูปที่ 4.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ก่อนการปรับเทียบ
เซนเซอร์วัดระยะด้านขวา

นักรูปในช่วง 10 – 40 cm มาปรับเทียบโดยใช้สมการที่ (4.12) ในการ
ปรับเทียบ

$$D = 1.0056M - 1.8062 \quad (4.12)$$

โดยที่ M คือ ระยะทางก่อนการปรับเทียบเซนเซอร์ (cm)

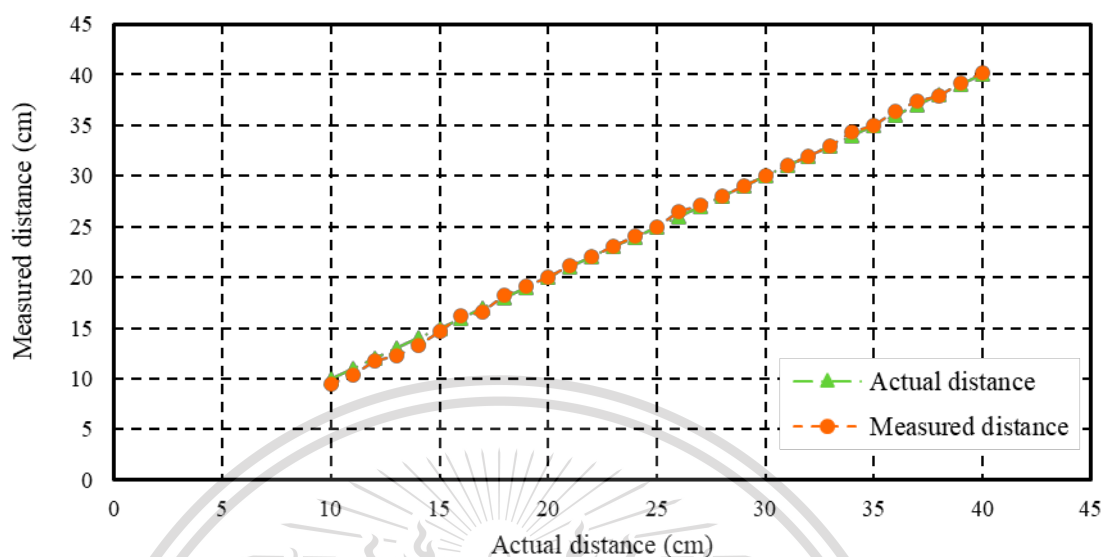
D คือ ระยะทางหลังการปรับเทียบเซนเซอร์ (cm)

จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้แสดง
ดังรูปที่ 4.24 และหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของระยะทางที่ทดสอบได้ (Measured
distance) เทียบกับระยะทางจริง (Actual distance) และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความ
คลาดเคลื่อนก่อน (B) และหลังการปรับเทียบ (A) ได้จากสมการที่ (4.2) และสมการที่ (4.3)
ตามลำดับ จากนั้นเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบและหลังปรับเทียบเซนเซอร์ที่วัด
ในแนวระดับพบว่าหลังจากการปรับเทียบมีความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยลดลง โดยผลลัพธ์แสดงดัง
ตารางที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้หลังการปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านขวา

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านขวา

ระยะทางจริง (cm)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบ (%)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหลังการปรับเทียบ (%)	ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังการปรับเทียบ
10	11.97	5.50	6.47
11	12.00	5.36	6.64
12	13.17	2.08	11.08
13	11.03	5.23	5.79
14	13.36	5.29	8.07
15	11.91	1.87	10.04
16	12.73	0.94	11.79
17	13.08	2.06	11.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะด้านขวา (ต่อ)

ระยะทางจริง (cm)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนการปรับเทียบ (%)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหลังการปรับเทียบ (%)	ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังการปรับเทียบ
18	11.46	1.33	10.13
19	10.26	0.37	9.89
20	10.57	0.20	10.37
21	11.32	0.52	10.79
22	10.12	0.05	10.08
23	9.93	0.17	9.75
24	10.74	0.13	10.61
25	9.68	0.08	9.60
26	9.22	2.00	7.22
27	7.17	0.33	6.84
28	8.36	0.14	8.21
29	7.62	0.00	7.62
30	6.80	0.03	6.77
31	6.08	0.03	6.04
32	6.64	0.00	6.64
33	6.68	0.09	6.59
34	5.93	1.00	4.93
35	5.68	0.23	5.45
36	4.99	0.92	4.07
37	3.95	1.05	2.89
38	4.17	0.29	3.88
39	4.29	0.51	3.78
40	4.52	0.60	3.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากตารางที่ 4.10 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยก่อนการเปรียบเทียบเท่ากับ 8.88 % และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยหลังการเปรียบเทียบเท่ากับ 1.24 % ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก่อนและหลังเปรียบเทียบลดลง 7.64 % ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

4.1.3 วัสดุจำลองเป็นช่อดอกไม้

สำหรับการเปรียบเทียบเซนเซอร์โดยใช้วัสดุจำลองเป็นช่อดอกไม้ ทำการทดลอง 3 ครั้ง และภาพการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 การทดสอบการวัดระยะของโมดูลวัดระยะชนิดอัลตราโซนิก รุ่น HC-SR04 โดยใช้วัสดุจำลองเป็นช่อดอกไม้

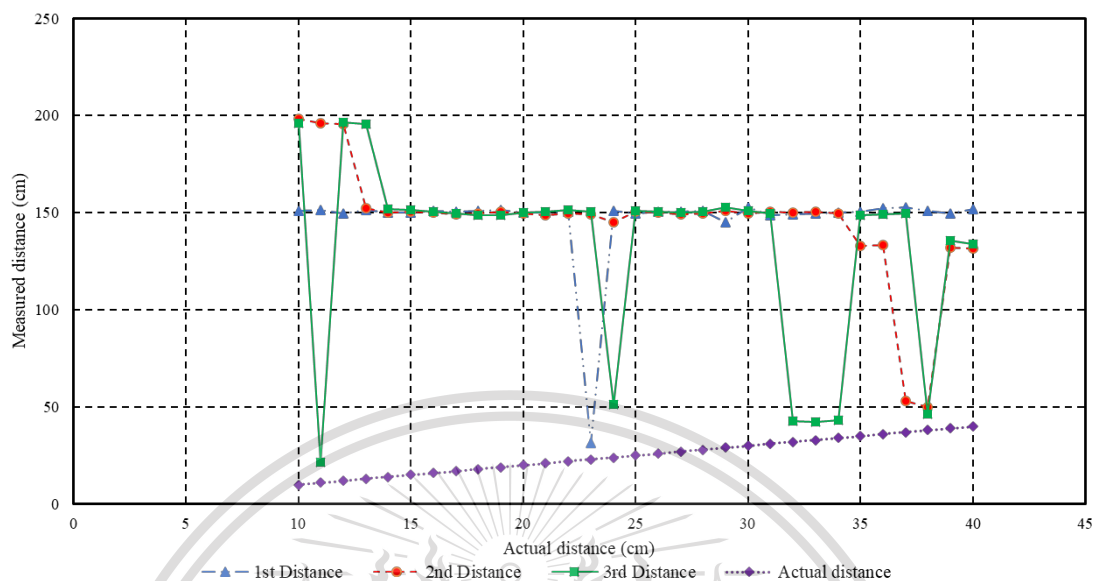
4.1.3.1 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบเซนเซอร์วัดระยะแนวระดับด้านหน้า ซ้าย

ทำการเก็บข้อมูลระยะทางที่ทดสอบได้จากเซนเซอร์และนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ในช่วง 10 – 40 cm แสดงดังรูปที่ 4.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ด้วยเซนเซอร์วัดระยะทางด้านหน้าซ้าย

จากกราฟพบว่าค่าระยะทางที่วัดด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์มีความคลาดเคลื่อนมาก เนื่องจากคลื่นเกิดการสะท้อนและหักเหกับวัตถุพื้นผิวไม่เรียบ จึงไม่สามารถทำการเปรียบเทียบเซนเซอร์กับวัตถุที่มีความซับซ้อนมากได้

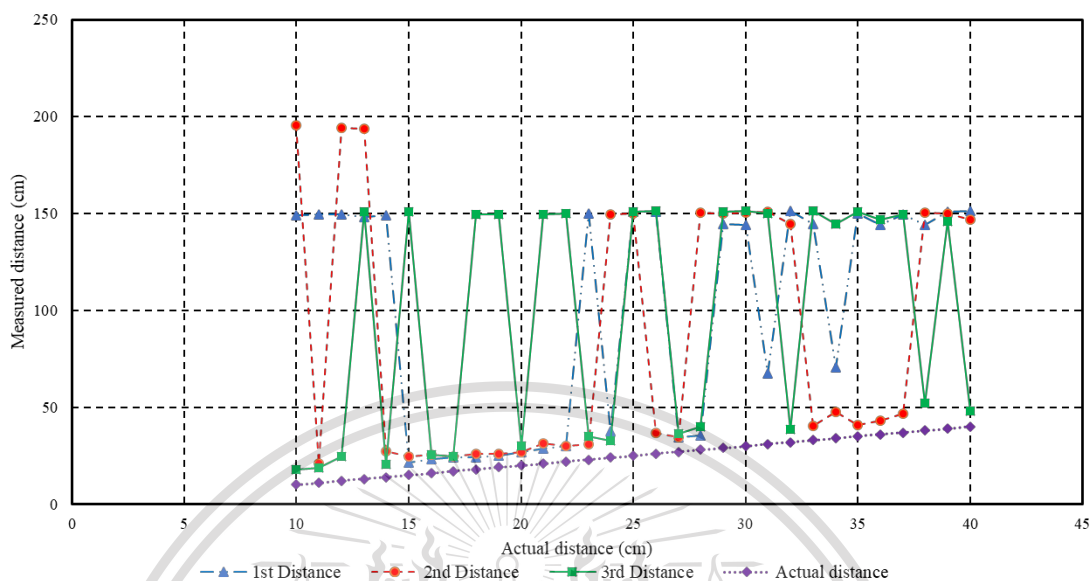
4.1.3.2 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบเซนเซอร์วัดระยะแนวระดับด้านหน้า
ขวา

ทำการเก็บข้อมูลระยะทางที่ทดสอบได้จากเซนเซอร์และนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ในช่วง 10 – 40 cm แสดงดังรูปที่ 4.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ด้วยเซนเซอร์วัดระยะ
ด้านหน้าขวา

จากกราฟพบว่าค่าระยะทางที่วัดด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์มีความคลาดเคลื่อนมาก เนื่องจากคลื่นเกิดการสะท้อนและหักเหกับวัตถุพื้นผิวไม่เรียบ จึงไม่สามารถทำการเปรียบเทียบเซนเซอร์กับวัตถุที่มีความซับซ้อนมากได้ ทางผู้จัดทำจะทำการทดลองและแก้ไขต่อไปในภายหลัง

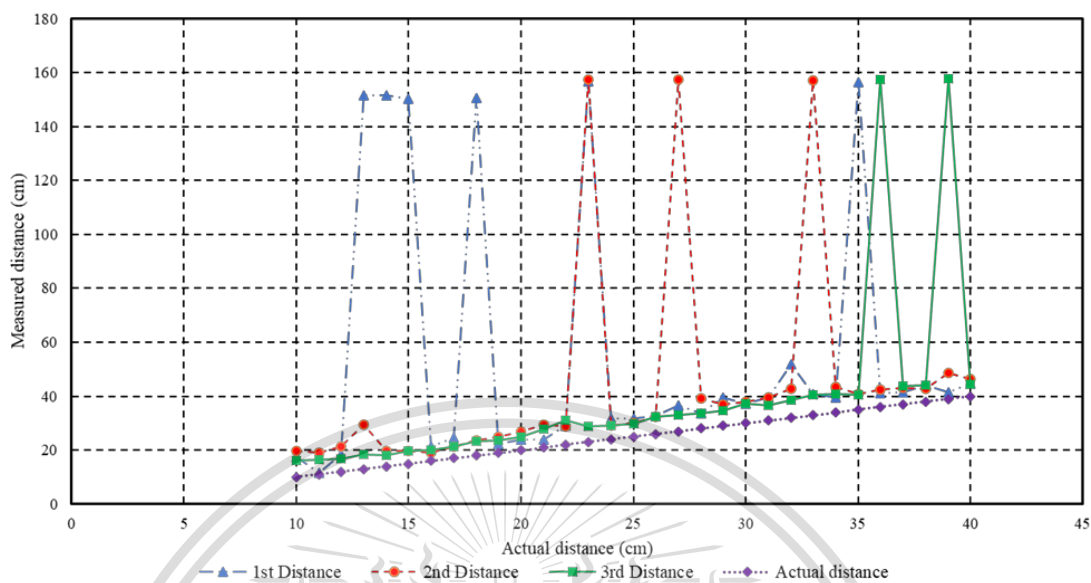
4.1.3.3 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบเซนเซอร์วัดระยะแนวระดับด้านหน้าตรงกลาง

ทำการเก็บข้อมูลระยะทางที่ทดสอบได้จากเซนเซอร์และนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ในช่วง 10 – 40 cm แสดงดังรูปที่ 4.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ด้วยเซนเซอร์วัดระยะด้านหน้าตรงกลาง

จากกราฟพบว่าค่าระยะทางที่วัดด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์มีความคลาดเคลื่อนมาก เนื่องจากคลื่นเกิดการสะท้อนและหักเหกับวัตถุพื้นผิวไม่เรียบ จึงไม่สามารถทำการเปรียบเทียบเซนเซอร์กับวัตถุที่มีความซับซ้อนมากได้

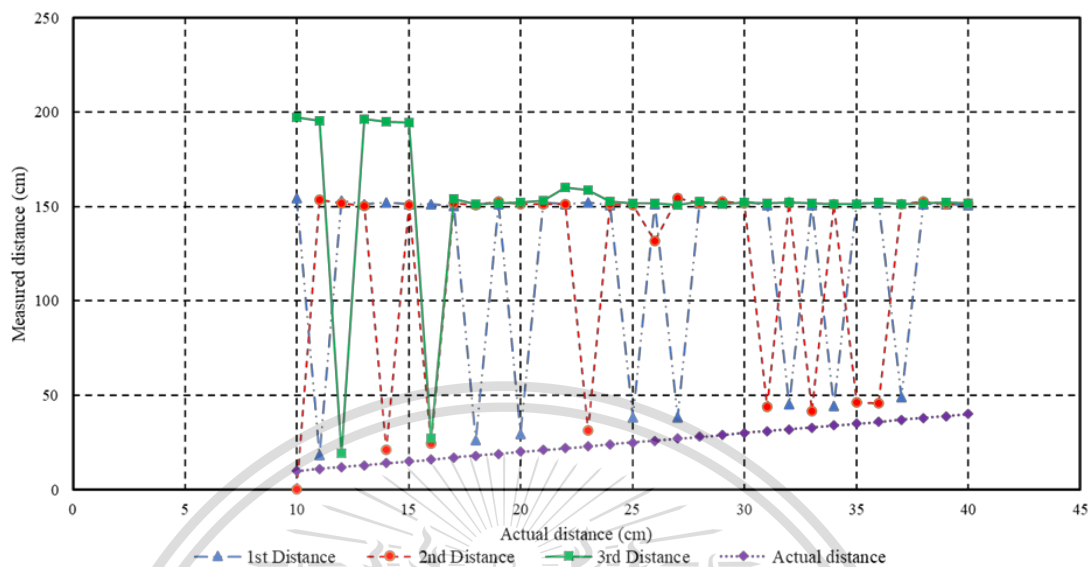
4.1.3.4 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบเซนเซอร์วัดระยะแนวระดับด้านซ้าย

ทำการเก็บข้อมูลระยะทางที่ทดสอบได้จากเซนเซอร์และนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ในช่วง 10 – 40 cm แสดงดังรูปที่ 4.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ด้วยเซนเซอร์วัดระยะ
ด้านซ้าย

จากกราฟพบว่าค่าระยะทางที่วัดด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์มีความคลาดเคลื่อนมาก เนื่องจากคลื่นเกิดการสะท้อนและหักเหกับวัตถุพื้นผิวไม่เรียบ จึงไม่สามารถทำการเปรียบเทียบเซนเซอร์กับวัตถุที่มีความซับซ้อนมากได้

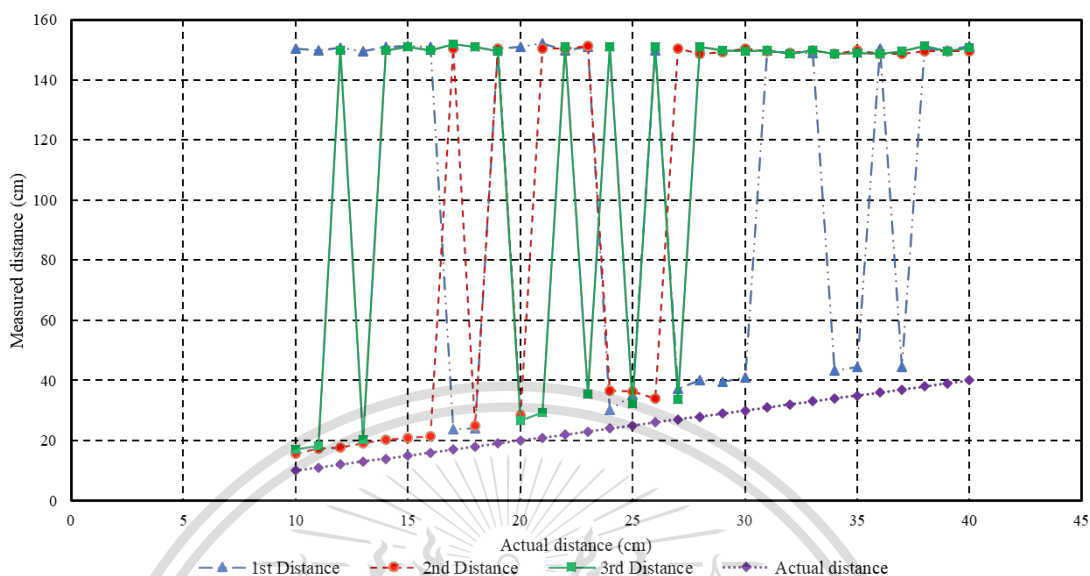
4.1.3.5 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบเซนเซอร์วัดระยะแนวระดับด้านขวา

ทำการเก็บข้อมูลระยะทางที่ทดสอบได้จากเซนเซอร์และนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ในช่วง 10 – 40 cm แสดงดังรูปที่ 4.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่ทดสอบได้ด้วยเซนเซอร์วัดระยะด้านขวา

จากกราฟพบว่าค่าระยะทางที่วัดด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์มีความคลาดเคลื่อนมาก เนื่องจากคลื่นเกิดการสะท้อนและหักเหกับวัตถุพื้นผิวไม่เรียบ จึงไม่สามารถทำการเปรียบเทียบเซนเซอร์กับวัตถุที่มีความซับซ้อนมากได้

จากผลการทดสอบและการเปรียบเทียบเซนเซอร์วัดระยะทาง ทางผู้จัดทำใช้สมการในการเปรียบเทียบเมื่อวัตถุจำลองเป็นวัตถุผิวโค้ง เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 7.79 % ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ ดังนั้นจึงใช้สมการที่ (4.8) สำหรับเปรียบเทียบเซนเซอร์วัดระยะแนวระดับด้านหน้าซ้าย สมการที่ (4.9) สำหรับเปรียบเทียบเซนเซอร์วัดระยะแนวระดับด้านหน้าขวา สมการที่ (4.10) สำหรับเปรียบเทียบเซนเซอร์วัดระยะแนวระดับด้านหน้าตรงกลาง สมการที่ (4.11) สำหรับเปรียบเทียบเซนเซอร์วัดระยะแนวระดับด้านซ้าย และสมการที่ (4.12) สำหรับเปรียบเทียบเซนเซอร์วัดระยะแนวระดับด้านขวา

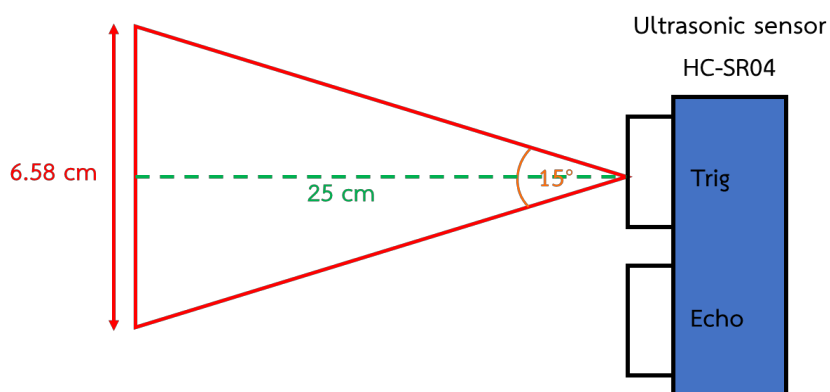
4.2 ผลการทดสอบความครอบคลุมการวัดระยะของอัลตราโซนิกเซนเซอร์ HC-SR04

ในการทดสอบความครอบคลุมการวัดระยะของอัลตราโซนิกเซนเซอร์จะคำนวณหาความกว้างของลำคลื่นที่ระยะ 25 cm จากมุมการวัด 15 degree ได้ความครอบคลุมของการวัดเท่ากับ 6.58 cm ดังแสดงในรูปที่ 4.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

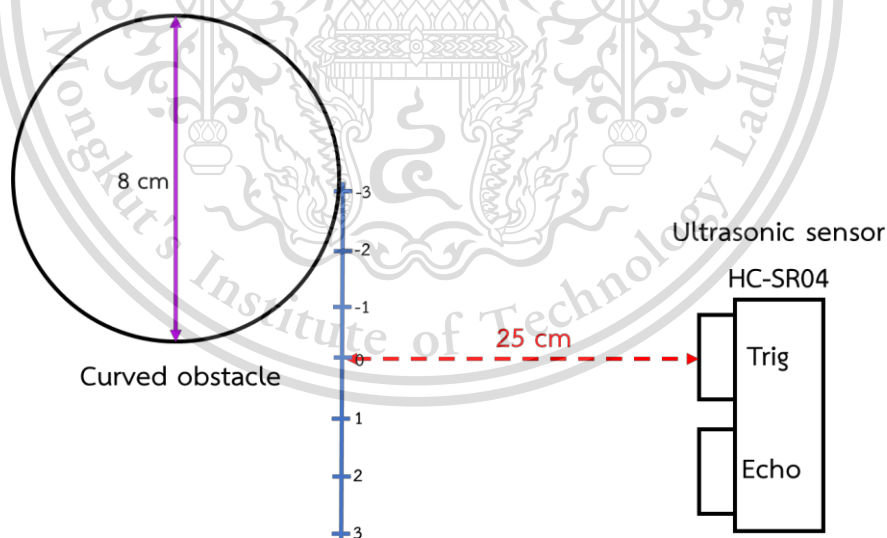
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.31 ความครอบคลุมการวัดระยะของอัลตราโซนิกเซนเซอร์ HC-SR04

จากนั้นทำการทดสอบความครอบคลุมการวัดระยะของอัลตราโซนิกเซนเซอร์ทั้ง 5 ตัวที่ระยะ 25 cm โดยใช้วัตถุจำลองเป็นวัตถุผิวโค้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 cm และวัดระยะวัตถุที่ตำแหน่ง -3 ถึง +3 ภาพจำลองการทดสอบความครอบคลุมการวัดระยะของอัลตราโซนิกเซนเซอร์และภาพการทดสอบความครอบคลุมการวัดระยะของอัลตราโซนิกเซนเซอร์แสดงได้ดังรูปที่ 4.32 และ 4.33 ตามลำดับ

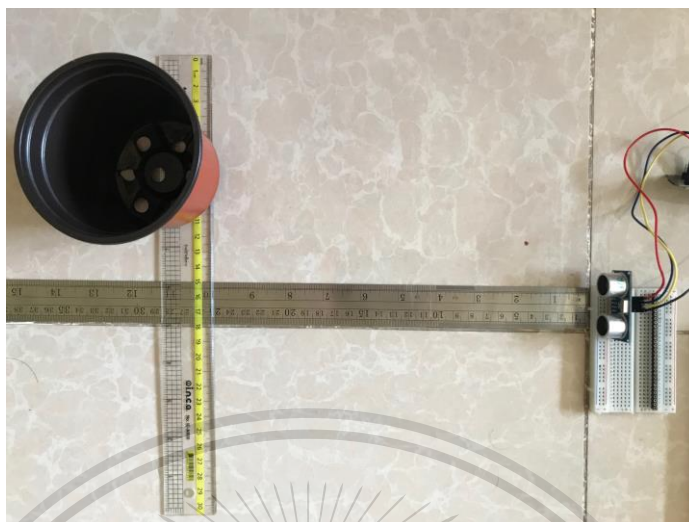


รูปที่ 4.32 ภาพจำลองการทดสอบความครอบคลุมการวัดระยะของอัลตราโซนิกเซนเซอร์ HC-SR04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

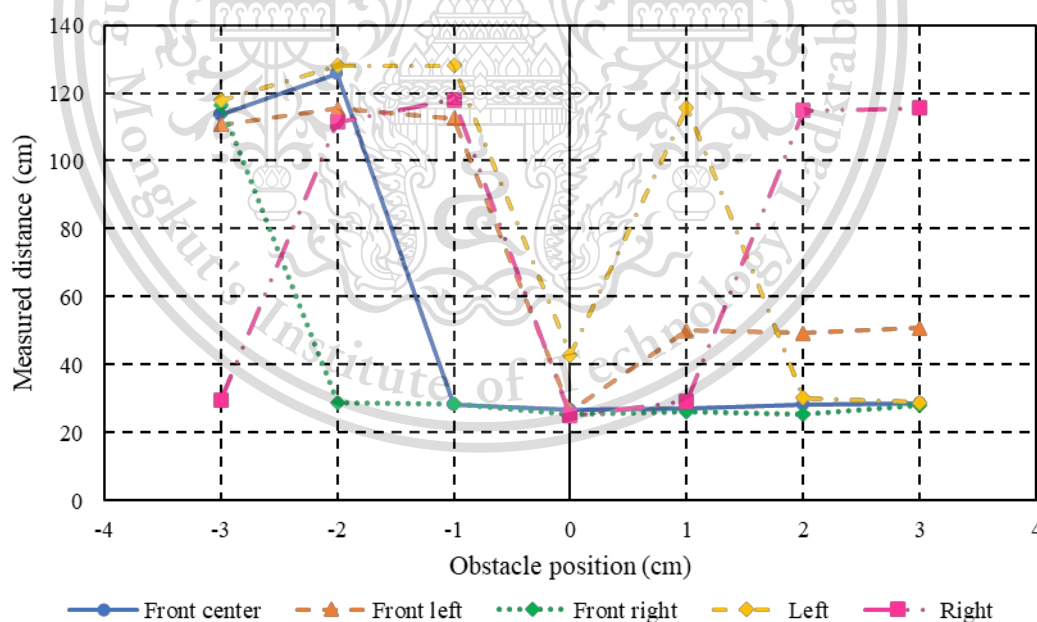
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.33 การทดสอบความครอบคลุมการวัดระยะของอัลตราโซนิกเซนเซอร์ HC-SR04

บันทึกค่าระยะทางที่วัดได้ด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์ทั้ง 5 ตัว และนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและระยะทางที่วัดได้แสดงดังรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งวัตถุและระยะทางที่วัดได้ที่ระยะ 25 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนจากรูปที่ 3.34 พบว่าระยะทางที่วัดได้ด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์ที่ตำแหน่ง -3 มีไม่ว่ากรณีใดเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 287.26 % ระยะทางที่วัดได้ด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์ที่ตำแหน่ง -2 มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 306.03 % ระยะทางที่วัดได้ด้วยอัลตราโซ-

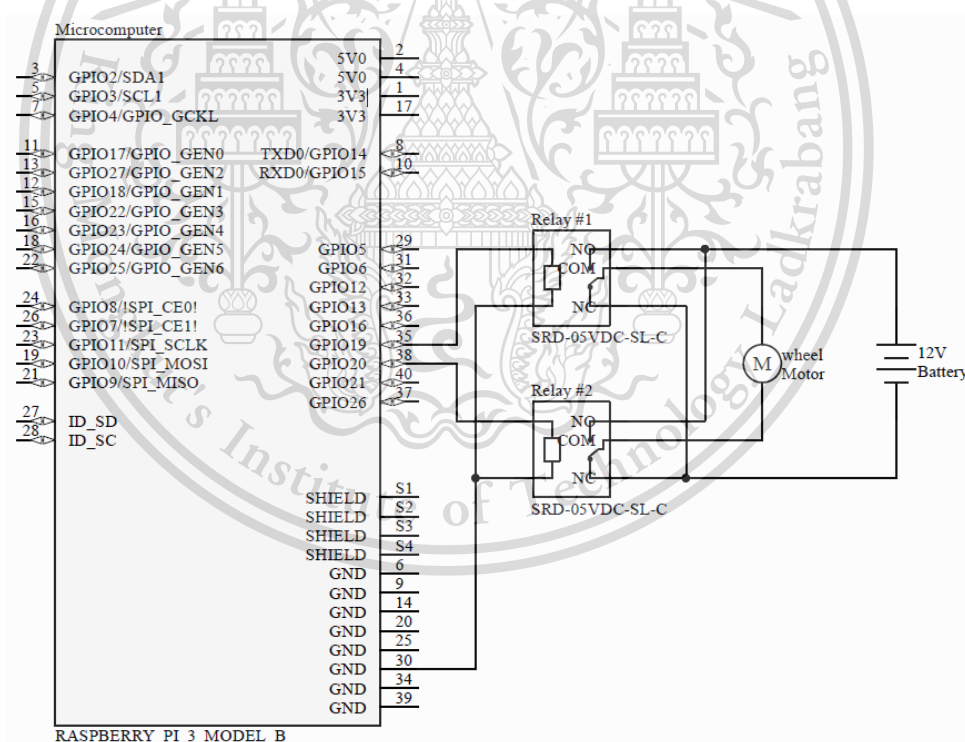
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

นิคเซนเซอร์ที่ตำแหน่ง -1 มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 231.92 % ระยะทางที่วัดได้ด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์ที่ตำแหน่ง 0 มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 17.45 % ระยะทางที่วัดได้ด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์ที่ตำแหน่ง 1 มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 96.75 % ระยะทางที่วัดได้ด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์ที่ตำแหน่ง 2 มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 97.68 % และระยะทางที่วัดได้ด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์ที่ตำแหน่ง 3 มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 101.53 % ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ไม่สามารถยอมรับได้และอาจส่งผลให้ระบบการทำงานของระบบผิดพลาดได้

4.3 ผลการทดสอบการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงร่วมกับ 2-Channel relay

ปริญญานิพนธ์นี้เลือกใช้ 2-Channel relay ในการควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยอาศัยการประมวลผลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งมีการเชื่อมต่อดังรูปที่ 4.35



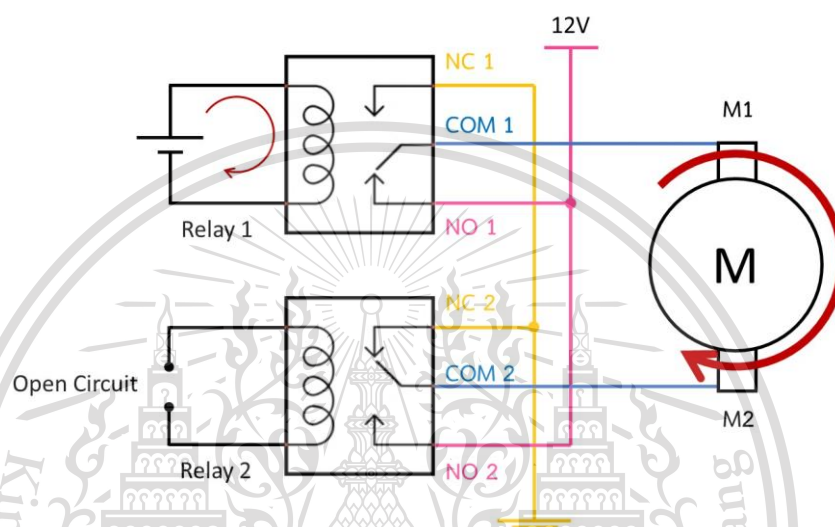
รูปที่ 4.35 ภาพจำลองการต่อวงจรระหว่างมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงกับ 2-Channel relay และไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

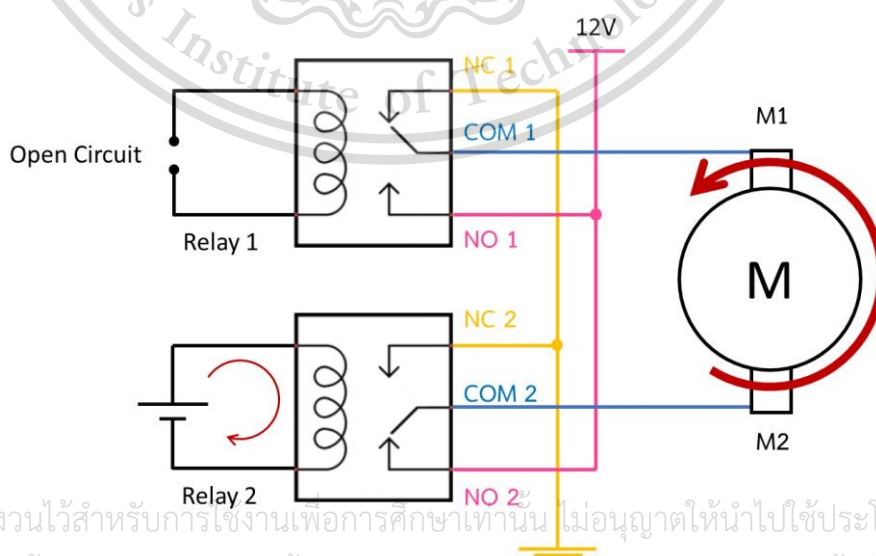
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากการทดสอบจะได้ว่าเมื่อมีการเปิด Relay #1 และปิด Relay #2 จะทำให้กระแสจากแหล่งจ่ายออกจาก COM 1 ไปมอเตอร์ทาง M1 ทำให้มอเตอร์หมุนเป็นทิศทางตามเข็มนาฬิกาดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 ผลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบทิศตามเข็มนาฬิกา

เมื่อทำการเปิด Relay #2 และปิด Relay #1 จะทำให้กระแสวิ่งจากแหล่งจ่ายออกไปทาง COM2 ไปหามอเตอร์ทาง M2 ทำให้มอเตอร์หมุนเป็นทิศทางทวนเข็มนาฬิกาดังรูปที่ 4.37



รูปที่ 4.37 ผลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบทิศทวนเข็มนาฬิกา

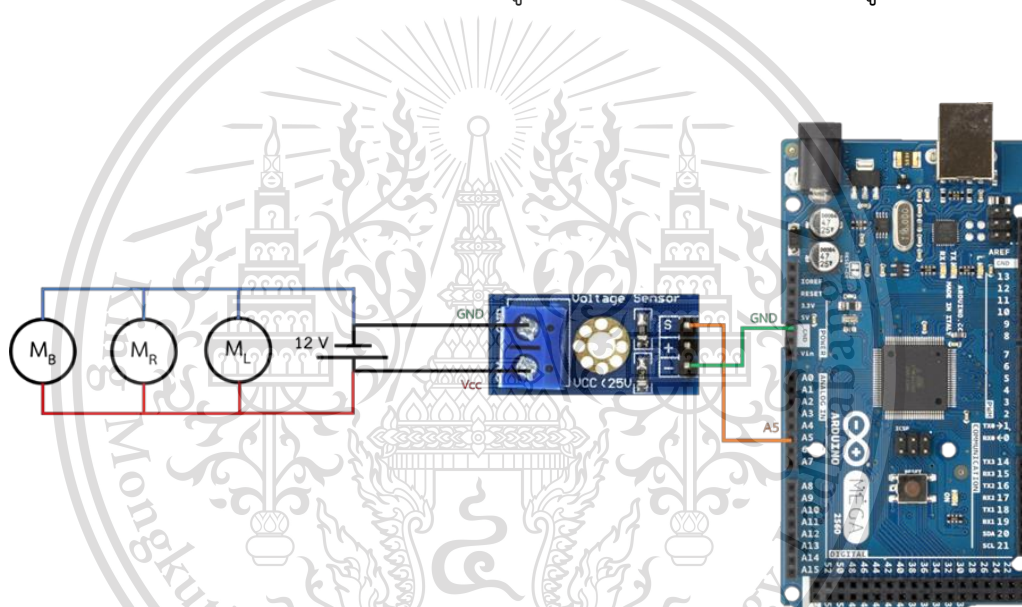
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังห้ามนำข้อมูลนี้ไปเผยแพร่หรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4 ผลการทดสอบวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ด้วยโมดูลเซนเซอร์วัดแรงดัน

ในการวัดแรงดันจะทำการวัดแรงดันขณะเปิดมอเตอร์ครบทั้ง 3 ตัว โดยต่อแบตเตอรี่ 12 V เข้ากับขา Vcc และขา GND ของโมดูลเซนเซอร์วัดแรงดันและต่อขา S กับขา A5 ของ Arduino Mega 2560 ตามลำดับแสดงได้ดังรูปที่ 4.38 ขา A5 ของ Arduino Mega 2560 จะแปลงแรงดันที่รับเข้ามาจากค่าแอนะล็อกเป็นค่าดิจิทัลขนาด 10 bits จากนั้นทำการเขียนโปรแกรมแปลงค่าแรงดันดิจิทัลกลับเป็นค่าแรงดันแอนะล็อก (V_{Analog}) และแทนค่าแรงดันแอนะล็อกดังกล่าวลงในสมการที่ (2.2) ซึ่งเป็นสมการแบ่งแรงดันเพื่อหาค่าแรงดันที่ต้องการวัด (V_{In}) ผลลัพธ์การวัดระดับแรงดันของแบตเตอรี่โดยใช้โมดูลเซนเซอร์วัดแรงดันแสดงได้ดังรูปที่ 4.39



รูปที่ 4.38 การเชื่อมต่อระหว่างโมดูลเซนเซอร์วัดแรงดันกับ Arduino Mega 2560

Output Digital Voltage = 480

Output Analog Voltage = 2.34

Input Voltage = 11.72 V

รูปที่ 4.39 ผลลัพธ์ค่าแรงดันของแบตเตอรี่ที่วัดด้วยโมดูลเซนเซอร์วัดแรงดันแสดงผลบน Serial Monitor

ค่าแรงดันที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์ (V_{meter}) ขณะเปิดมอเตอร์ทั้ง 3 ตัวเท่ากับ 12.12 V

และค่าแรงดันที่วัดได้จากโมดูลเซนเซอร์วัดแรงดัน (V_{sensor}) ขณะเปิดมอเตอร์ทั้ง 3 ตัวเท่ากับ 11.72 V

สามารถหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าแรงดันที่วัดได้จากโมดูลเซนเซอร์วัดแรงดัน (V_{sensor})

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เทียบกับค่าแรงดันที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์ (V_{meter}) ได้จากสมการที่ (4.12) จะได้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 3.3 % ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

$$\text{Error percentage} = \frac{|V_{\text{meter}} - V_{\text{sensor}}|}{V_{\text{meter}}} \times 100 \quad (4.12)$$

4.5 การคำนวณอัตราการบริโภคพลังงานของระบบ

ผู้จัดทำได้คำนวณกำลังงานไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ภายในระบบประกอบด้วยมอเตอร์ล้อย้าย มอเตอร์ล้อยาว และมอเตอร์ใบมีดจากสมการที่ 4.13 โดยผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 7

$$P = IV \quad (4.13)$$

โดยที่ P คือ กำลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ (W)

I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์ (A)

V คือ แรงดันไฟฟ้าของอุปกรณ์ (V)

ตารางที่ 4.11 กำลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ภายในระบบ

อุปกรณ์	กำลังงานไฟฟ้า (W)
มอเตอร์ล้อย้าย	1.19
มอเตอร์ล้อยาว	1.36
มอเตอร์ใบมีด	8.30
แบตเตอรี่	17.67

จากตารางที่ 4.11 พบว่ากำลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ล้อย้ายไม่เท่ากับกำลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ล้อยาวส่งผลให้ล้อทั้งสองข้างหมุนด้วยอัตราเร็วเชิงมุมไม่เท่ากัน และกำลังงานไฟฟ้าของระบบทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 10.85 W และกำลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 17.67 W ดังนั้นกำลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่จึงเพียงพอต่อการจ่ายให้กับระบบทั้งหมด

4.6 ผลการทดสอบวงจรเลือกแบตเตอรี่สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

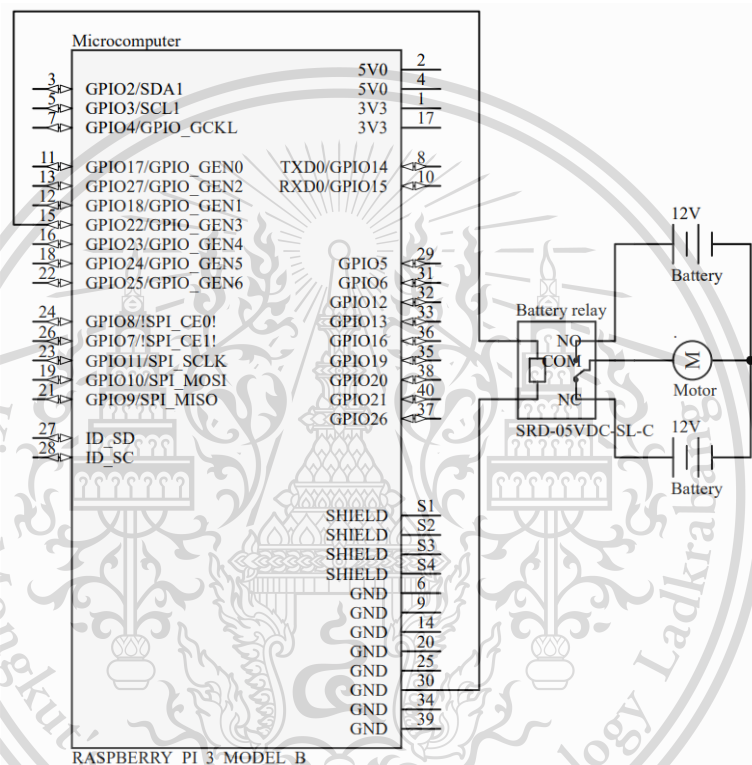
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารที่กรังหมี่กรุ๊ปไปใช้

พลังงานมาเก็บไว้ในแบตเตอรี่ก้อนที่ 1 ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสำรองและแบตเตอรี่ก้อนที่ 2 จะใช้

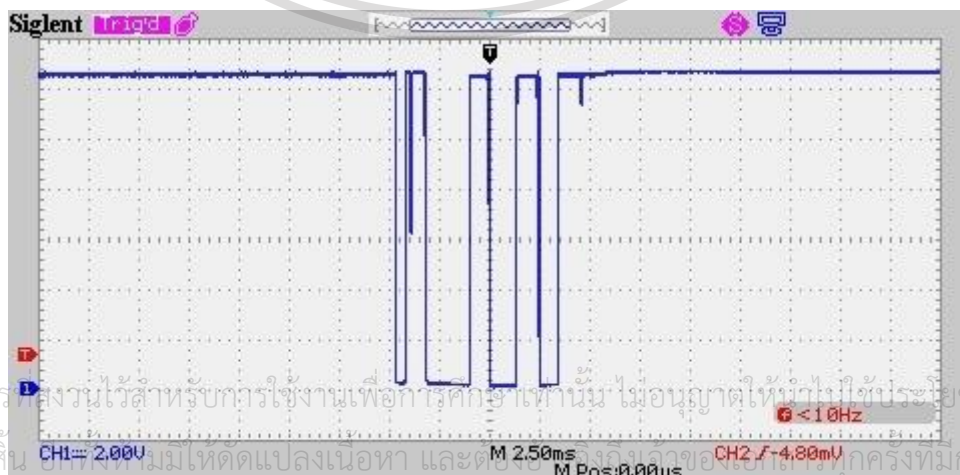
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

พลังงานจากไฟฟ้าภายในครัวเรือน โดยปริยญาณิพจน์นี้เลือกใช้ Relay เป็นอุปกรณ์เลือกแบตเตอรี่ เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ สำหรับการทดสอบการเลือกแบตเตอรี่สามารถทำได้โดยการต่อวงจรดังรูปที่ 4.40 และทำการต่อออสซิลโลสโคปไปที่ขา COM ของ Relay เพื่อตรวจวัดช่วงเวลาที่เกิดไฟกระชาก เมื่อมีการสลับแบตเตอรี่ พบว่าเกิดไฟกระชากเป็นเวลา 10 ms แสดงได้ดังรูปที่ 4.41 แต่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบกับการทำงานของมอเตอร์



รูปที่ 4.40 ภาพจำลองการต่อวงจรระหว่าง Relay และแบตเตอรี่ 2 ก้อน



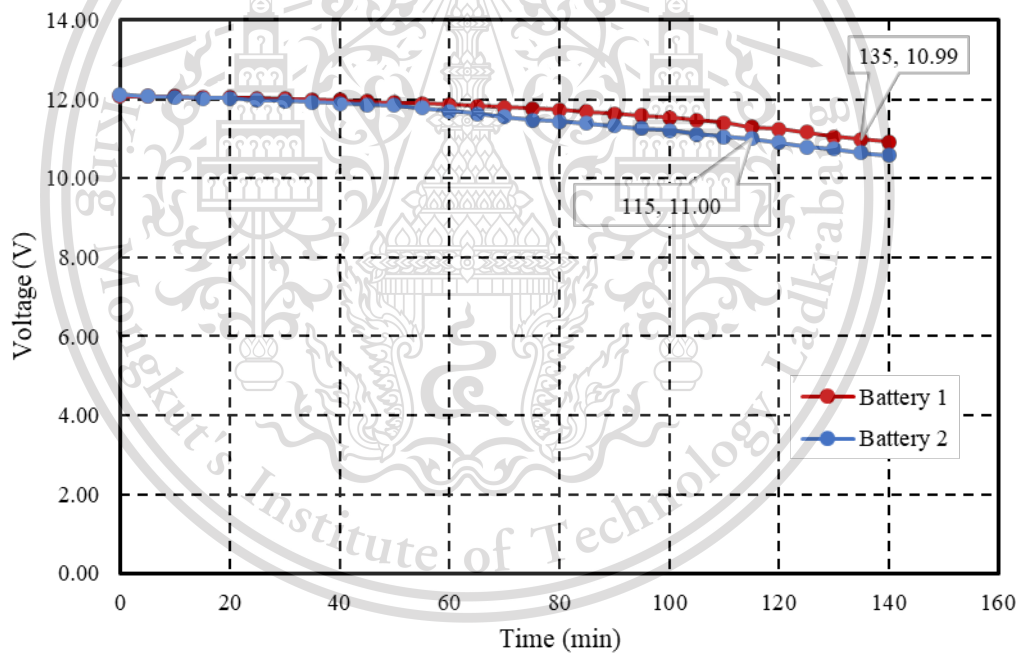
รูปที่ 4.41 ระยะเวลาที่ไฟกระชากบันทึกด้วยออสซิลโลสโคป

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.7 ทดสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

ทำการทดสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่จำนวน 2 ก้อน ซึ่งแบตเตอรี่ก้อนที่ 1 มีค่าแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นเท่ากับ 12.51 V และแบตเตอรี่ก้อนที่ 2 มีค่าแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นเท่ากับ 12.46 V โดยทำการต่อแบตเตอรี่ครั้งละ 1 ก้อนเข้ากับมอเตอร์ทั้ง 3 ตัวที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องตัดหญ้าและใบมีดตัดหญ้า และทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ทุก 5 นาที จนกระทั่งค่าแรงดันน้อยกว่า 11.00 V จากนั้นพล็อตกราฟแนวโน้มแรงดันไฟฟ้าขณะใช้งานของแบตเตอรี่ก้อนที่ 1 และก้อนที่ 2 ได้ดังรูปที่ 4.42 เมื่อเวลาผ่านไป 140 นาที แบตเตอรี่ก้อนที่ 1 มีค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 10.92 V แบตเตอรี่ก้อนที่ 2 มีค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 10.58 V และหลังจากถอดแบตเตอรี่ออกจากมอเตอร์ทั้ง 3 และปล่อยให้ค่าแรงดันคงที่ แบตเตอรี่ก้อนที่ 1 มีค่าแรงดันเท่ากับ 12.01 V และแบตเตอรี่ก้อนที่ 2 มีค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 11.81 V



รูปที่ 4.42 กราฟแนวโน้มแรงดันไฟฟ้าขณะใช้งานของแบตเตอรี่ก้อนที่ 1 และก้อนที่ 2

จากรูปที่ 4.42 พบว่าแบตเตอรี่ก้อนที่ 1 มีระยะเวลาการใช้งานประมาณ 135 นาที หรือ 2 ชั่วโมง 15 นาที และแบตเตอรี่ก้อนที่ 2 มีระยะเวลาการใช้งานประมาณ 115 นาที หรือ 1 ชั่วโมง 55 นาที

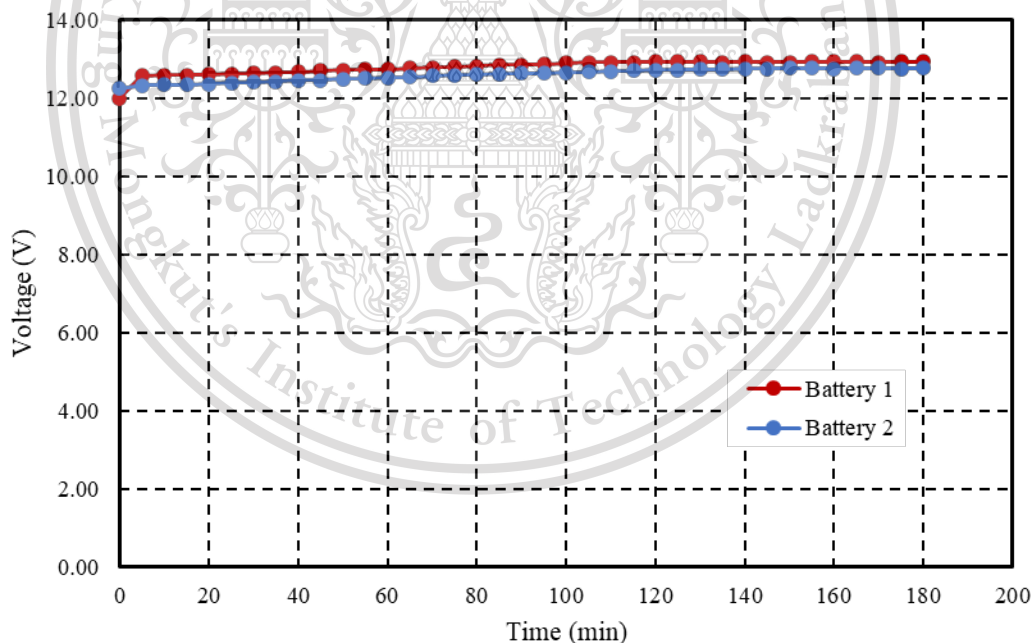
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.8 ทดลองการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยแผงพลังงานแสงอาทิตย์

ในการแก้ไขการทดลองชาร์จแบตเตอรี่ด้วยแผงพลังงานแสงอาทิตย์ทำการทดลองกับแบตเตอรี่ 2 ก้อน ทดลองในสภาพอากาศท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆบดบัง ทุกเซลล์บนแผงพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับแสงเท่ากัน เครื่องควบคุมการชาร์จระหว่างแผงพลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ให้แรงดันไฟฟ้าขนาด 13.00 V ให้กับแบตเตอรี่ทั้ง 2 ก้อน โดยแบตเตอรี่ก้อนที่ 1 มีค่าแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นเท่ากับ 12.01 V และแบตเตอรี่ก้อนที่ 2 มีค่าแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นเท่ากับ 11.81 V ทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของแบตเตอรี่ทุก 5 นาที เป็นเวลา 180 นาที แล้วนำมาพล็อตกราฟแนวโน้มแรงดันไฟฟ้าขณะชาร์จแบตเตอรี่ด้วยแผงพลังงานแสงอาทิตย์ของแบตเตอรี่ก้อนที่ 1 และแบตเตอรี่ก้อนที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.43 เมื่อครบเวลา 3 ชั่วโมง แบตเตอรี่ก้อนที่ 1 มีค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 12.94 V แบตเตอรี่ก้อนที่ 2 มีค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 12.77 V และเมื่อถอดแผงพลังงานแสงอาทิตย์ออกค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ก้อนที่ 1 จะค่อย ๆ ลดลงจนคงที่ด้วยค่าแรงดันไฟฟ้า 12.44 V และแบตเตอรี่ก้อนที่ 2 คงที่ด้วยค่าแรงดันไฟฟ้า 12.37 V



รูปที่ 4.43 กราฟแนวโน้มแรงดันไฟฟ้าขณะชาร์จแบตเตอรี่ด้วยแผงพลังงานแสงอาทิตย์ของแบตเตอรี่ 2 ก้อน

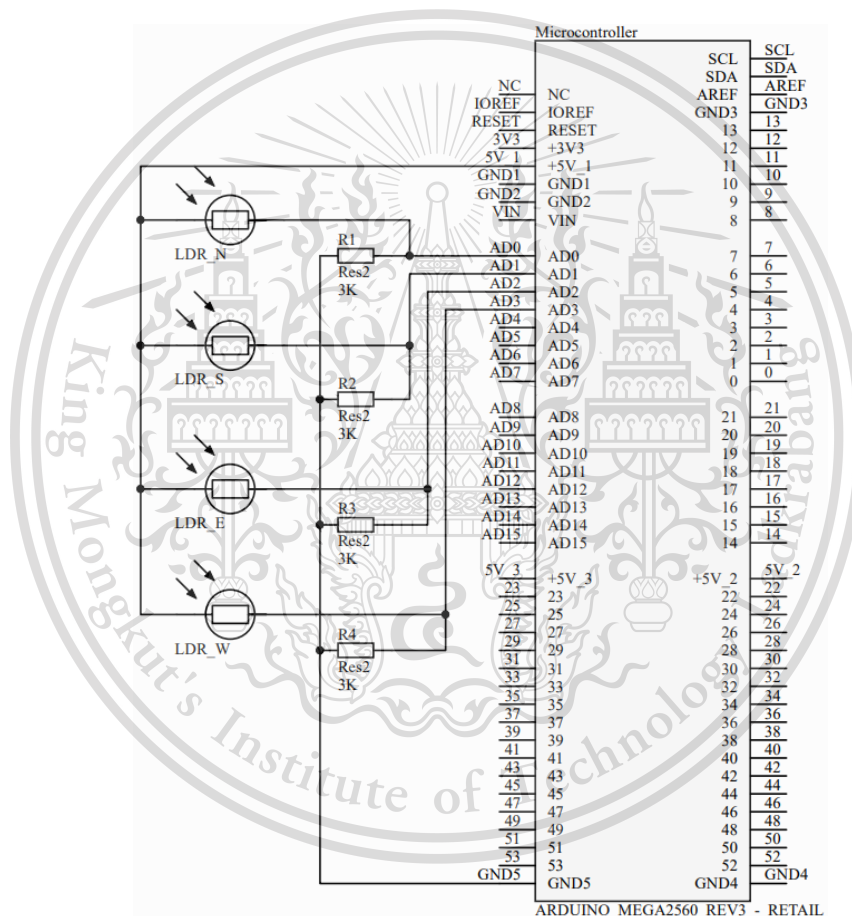
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

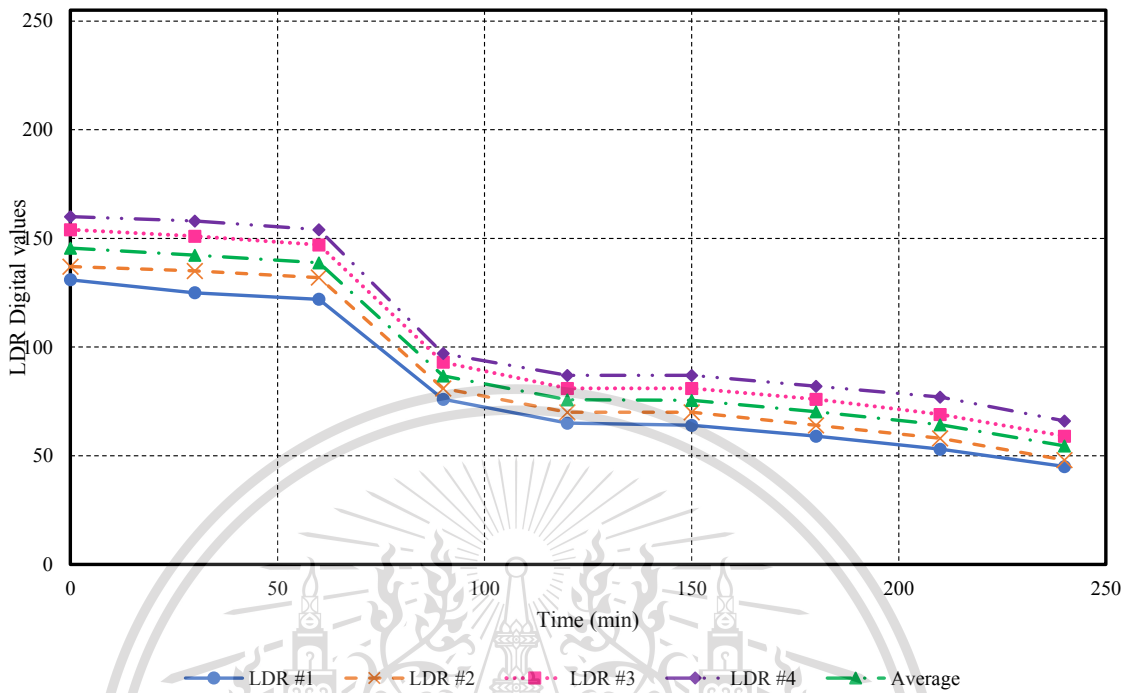
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

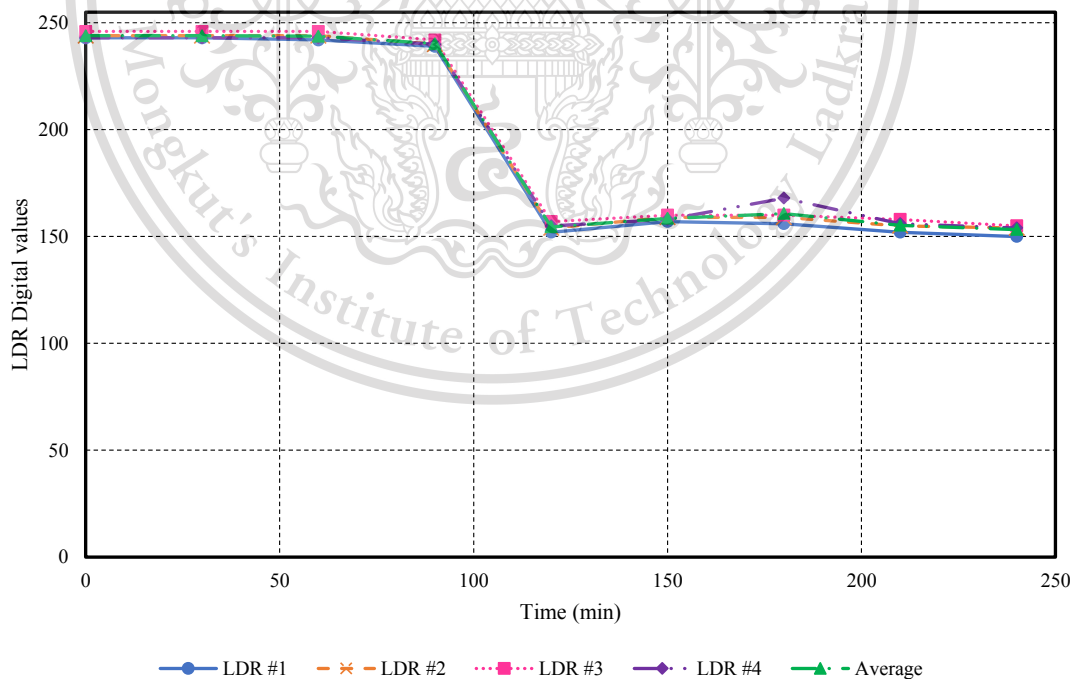
4.9 ผลการทดลองใช้งานตัวต้านทานไวแสงร่วมกับแสงอาทิตย์

สำหรับการทดลองใช้งานตัวต้านทานไวแสงร่วมกับแสงอาทิตย์จะทำติดตั้งตัวต้านทานบนแผงพลังงานแสงอาทิตย์ดังรูปที่ 3.15 รับค่าความต้านทานที่วัดได้ด้วยตัวต้านทานไวแสงซึ่งเป็นค่าแอนะล็อกผ่านขาแอนะล็อกของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 ที่ทำหน้าที่เป็น Analog to Digital Converter (ADC) เพื่อแปลงเป็นค่าดิจิทัล 8 bits ภาพจำลองการเชื่อมต่อสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.44





รูปที่ 4.45 กราฟค่าความต้านทานของตัวต้านทานไวแสงเมื่อวัดค่าในที่ร่ม



รูปที่ 4.46 กราฟค่าความต้านทานของตัวต้านทานไวแสงเมื่อวัดค่ากลางแจ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 4.44 และ 4.45 ทำการหาค่าผลต่างระหว่างค่าความต้านทานและค่าเฉลี่ยพบว่าเมื่อวัดค่าในที่มีค่าความต้านทานของตัวต้านทานไวแสงตัวที่ 3 มีผลต่างระหว่างค่าความต้านทานและค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดอยู่ที่ 6.39 และเมื่อวัดค่ากลางแจ้งค่าความต้านทานของตัวต้านทานไวแสงตัวที่ 2 มีผลต่างระหว่างค่าความต้านทานและค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดอยู่ที่ 0.47

4.10 ผลการทดสอบและเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้า

4.10.1 การเคลื่อนที่ไปทางด้านหน้า

ทำการหาความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ไปทางด้านหน้าจากล้อที่ใช้ขับเคลื่อนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter) เท่ากับ 17.65 cm นำมาหาเส้นรอบวง (Circumference) จากสมการที่ (4.14)

$$\text{Circumference} = \pi \times \text{Diameter} \quad (4.14)$$

จะได้เส้นรอบวงเท่ากับ 55.45 cm และมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนมีอัตราเร็วในการหมุน (Rotational speed) เท่ากับ 20 rpm ซึ่งต่อเข้ากับล้อโดยตรง นำค่าเส้นรอบวงและอัตราเร็วในการหมุนของมอเตอร์มาหาระยะทางที่เครื่องตัดหญ้าจะเคลื่อนที่ได้ตามสมการที่ (4.15)

$$\text{Distance} = \text{Rotational speed} \times \text{Circumference} \times \text{Time} \quad (4.15)$$

เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบการเคลื่อนที่ไปด้านหน้ากำหนดให้เคลื่อนที่ไปด้านหน้าเป็นระยะเวลา 30 s จะคำนวณได้ระยะทางเท่ากับ 554.49 cm จากนั้นทำการทดลองขณะปิดมอเตอร์ไบริบิต 10 ครั้ง และทดลองขณะเปิดมอเตอร์ไบริบิตอีก 10 ครั้ง แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของระยะทางที่วัดได้เทียบกับระยะทางที่คำนวณ และความเร็วจากสมการที่ (4.16) และสมการที่ (4.17) ตามลำดับ ซึ่งจะได้ผลการทดลองขณะปิดมอเตอร์ไบริบิตตามตารางที่ 4.12 และได้ผลการทดลองขณะเปิดมอเตอร์ไบริบิตตามตารางที่ 4.13

$$\text{Percentage error} = \frac{|\text{Actual distance} - \text{Measured distance}|}{\text{Actual distance}} \times 100 \quad (4.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อยอดไปถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนี้นำไปใช้

$$\text{Velocity} = \frac{\text{Distance}}{\text{Time}} \quad (4.17)$$

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.12 การทดสอบการเคลื่อนที่ไปด้านหน้าขณะปิดมอเตอร์ใบมีด

ครั้งที่	ระยะทางที่วัดได้ (cm)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ของระยะทาง (%)	ความเร็ว (km/hr)
1	496.50	10.46	0.5958
2	498.30	10.13	0.5980
3	502.90	9.30	0.6035
4	499.50	9.92	0.5994
5	501.50	9.56	0.6018
6	502.00	9.47	0.6024
7	502.40	9.39	0.6029
8	506.00	8.74	0.6072
9	503.00	9.29	0.6036
10	505.10	8.91	0.6061

จากตารางที่ 4.12 พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 9.52 % และมีความเร็วเฉลี่ย 0.6062 km/hr

ตารางที่ 4.13 การทดสอบการเคลื่อนที่ไปด้านหน้าขณะเปิดมอเตอร์ใบมีด

ครั้งที่	ระยะทางที่วัดได้ (cm)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ของระยะทาง (%)	ความเร็ว (km/hr)
1	441.70	20.34	0.5300
2	450.10	18.83	0.5401
3	453.60	18.20	0.5443
4	454.00	18.12	0.5448
5	453.30	18.25	0.5440
6	451.60	18.56	0.5419
7	451.90	18.50	0.5423
8	450.80	18.70	0.5410
9	448.00	19.21	0.5376
10	450.50	18.75	0.5406

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หากพบมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากตารางที่ 4.13 พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 18.75 % ซึ่งเพิ่มขึ้นจากขณะปิดมอเตอร์ไบริด 9.23 % และมีความเร็วเฉลี่ย 0.5407 km/hr ซึ่งลดลงจากขณะปิดมอเตอร์ไบริด 10.81 %

4.10.2 การทดลองการหมุนของตัวรถแบบทวนเข็มนาฬิกา

ในการทดลองการหมุนของตัวรถแบบทวนเข็มนาฬิกาดังรูปที่ 4.47 จะทำการหาเวลาที่ใช้ในการหมุนต่อ 1 degree โดยให้ตัวรถหมุนแบบทวนเข็มนาฬิกาเป็นเวลา 10 s และทำการวัดมุมที่เปลี่ยนไป จากนั้นหาความเร็วเชิงมุม (ω) ขณะปิดมอเตอร์ไบริดและขณะเปิดมอเตอร์ไบริดโดยการนำค่ามุมที่วัดได้ (θ) หารด้วยเวลาที่ใช้ในการหมุน (t) ดังสมการที่ (4.18) แสดงผลลัพธ์ขณะปิดมอเตอร์ไบริดตามตารางที่ 4.14 และผลลัพธ์ขณะเปิดมอเตอร์ไบริดตามตารางที่ 4.15



รูปที่ 4.47 การหมุนของตัวรถแบบทวนเข็มนาฬิกา

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

(4.18)

ตารางที่ 4.14 ผลลัพธ์การทดสอบการหมุนของตัวรถแบบทวนเข็มนาฬิกาขณะปิดมอเตอร์ไบริด

ครั้งที่	มุมที่เพิ่มขึ้น (degree)	อัตราเร็วเชิงมุม (degree/s)
1	350.14	35.01
2	350.39	35.04
3	350.50	35.05
4	349.88	34.99
5	351.11	35.11
6	349.42	34.94
7	349.60	34.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.14 ผลลัพธ์การทดสอบการหมุนของตัวรถแบบทวนเข็มนาฬิกาขณะปิดมอเตอร์ใบมีด (ต่อ)

ครั้งที่	มุมที่เพิ่มขึ้น (degree)	อัตราเร็วเชิงมุม (degree/s)
8	347.81	34.78
9	348.60	34.86
10	349.16	34.92

จากตารางที่ 4.14 พบว่ามีอัตราเร็วเชิงมุมเฉลี่ย 34.97 degree/s

ตารางที่ 4.15 ผลลัพธ์การทดสอบการหมุนของตัวรถแบบทวนเข็มนาฬิกาขณะเปิดมอเตอร์ใบมีด

ครั้งที่	มุมที่เพิ่มขึ้น (degree)	อัตราเร็วเชิงมุม (degree/s)
1	314.69	31.47
2	321.36	32.14
3	320.80	32.08
4	320.02	32.00
5	318.14	31.81
6	318.97	31.90
7	320.05	32.01
8	321.34	32.13
9	318.63	31.86
10	317.69	31.77

จากตารางที่ 4.15 พบว่ามีอัตราเร็วเชิงมุมเฉลี่ย 31.92 degree/s ซึ่งลดลงจากขณะปิดมอเตอร์ใบมีด 8.72 %

4.10.3 การทดลองการหมุนของตัวรถแบบตามเข็มนาฬิกา

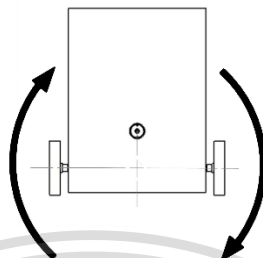
ในการทดลองการหมุนของตัวรถแบบตามเข็มนาฬิกาดังรูปที่ 4.48 จะทำการหาเวลาที่ใช้

ในการหมุนต่อ 1 degree โดยให้ตัวรถหมุนแบบทวนเข็มนาฬิกาเป็นเวลา 10 s และทำการวัดมุมที่เปลี่ยนไป จากนั้นหาความเร็วเชิงมุม (ω) ขณะปิดมอเตอร์ใบมีดและขณะเปิดมอเตอร์ใบมีดโดยการไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

นำค่ามุมที่วัดได้ (θ) ทหารด้วยเวลาที่ใช้ในการหมุน (t) ดังสมการที่ (4.18) แสดงผลลัพธ์ขณะปิดมอเตอร์ไวมิตตามตารางที่ 4.16 และผลลัพธ์ขณะเปิดมอเตอร์ไวมิตตามตารางที่ 4.17



รูปที่ 4.48 การหมุนของตัวรถแบบตามเข็มนาฬิกา

ตารางที่ 4.16 ผลลัพธ์การทดสอบการหมุนของตัวรถแบบตามเข็มนาฬิกาขณะปิดมอเตอร์ไวมิต

ครั้งที่	มุมที่เพิ่มขึ้น (degree)	อัตราเร็วเชิงมุม (degree/s)
1	349.62	34.96
2	352.27	35.23
3	350.70	35.07
4	351.84	35.18
5	350.98	35.10
6	350.50	35.05
7	348.90	34.89
8	349.51	34.95
9	350.01	35.00
10	351.66	35.17

จากตารางที่ 4.16 พบว่ามีอัตราเร็วเชิงมุมเฉลี่ย 35.06 degree/s

ตารางที่ 4.17 ผลลัพธ์การทดสอบการหมุนของตัวรถแบบตามเข็มนาฬิกาขณะเปิดมอเตอร์ไวมิต

ครั้งที่	มุมที่เพิ่มขึ้น (degree)	อัตราเร็วเชิงมุม (degree/s)
1	311.80	31.18
2	309.39	30.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

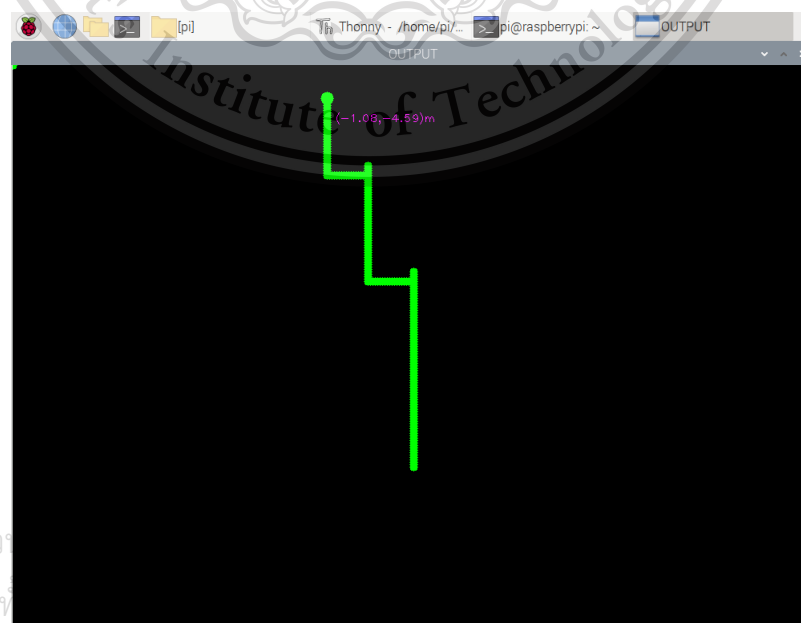
ตารางที่ 4.17 ผลลัพธ์การทดสอบการหมุนของตัวรถแบบตามเข็มนาฬิกาขณะเปิดมอเตอร์ไบนิด (ต่อ)

ครั้งที่	มุมที่เพิ่มขึ้น (degree)	อัตราเร็วเชิงมุม (degree/s)
3	310.36	31.04
4	308.19	30.82
5	308.35	30.83
6	307.34	30.73
7	305.22	30.52
8	307.99	30.80
9	311.80	31.18
10	307.34	30.73

จากตารางที่ 4.17 พบว่ามีอัตราเร็วเชิงมุมเฉลี่ย 30.88 degree/s ซึ่งลดลงจากขณะปิดมอเตอร์ไบนิด 11.92 %

4.11 ผลการทดสอบระบบจดจำการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้า

ทำการทดสอบโดยใช้คำสั่ง `cv2.circle()` ของไลบรารี OpenCV ในการเขียนจุดตามพิกัดตำแหน่งที่กำหนดให้จากนั้นทำการลองเพิ่มและลดค่าพิกัดตำแหน่ง จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.49



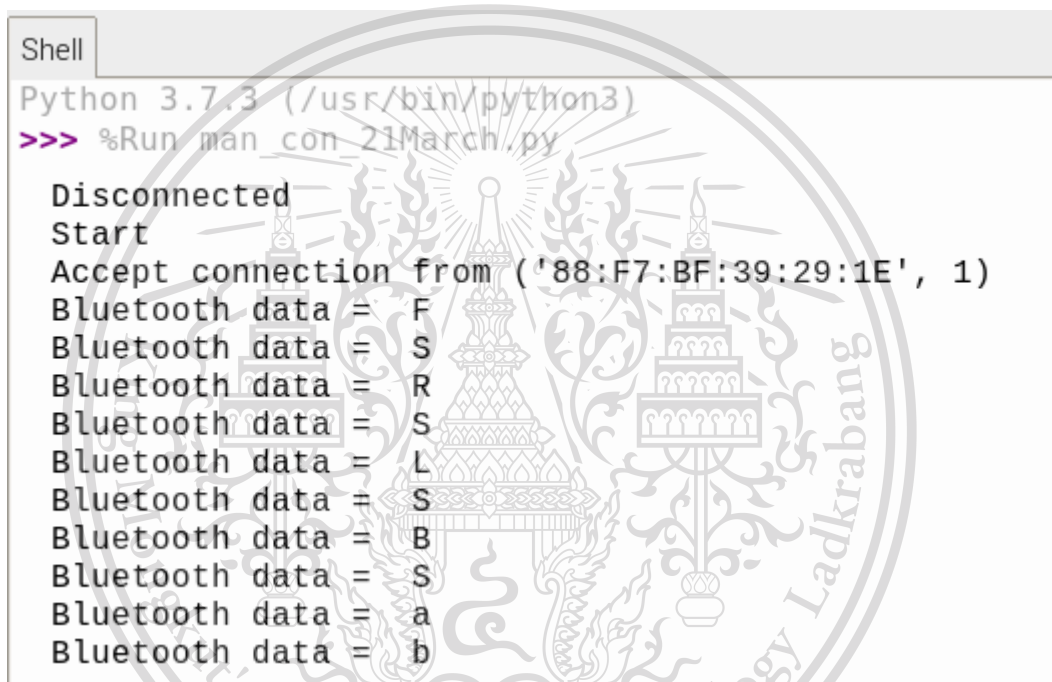
รูปที่ 4.49 ผลการทดสอบระบบจดจำการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้า

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.12 ผลการทดสอบการสื่อสารระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้

ในการทดสอบการสื่อสารระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้ เริ่มต้นด้วยการเลือก Mac address ของไมโครคอมพิวเตอร์บนหน้าต่างค้นหาอุปกรณ์บลูทูธจากนั้น ทำการกดปุ่มบนหน้าต่างควบคุมระบบการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้า จะได้ผลลัพธ์แสดงบนไมโครคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 4.50



```

Shell
Python 3.7.3 (/usr/bin/python3)
>>> %Run man_con_21March.py

Disconnected
Start
Accept connection from ('88:F7:BF:39:29:1E', 1)
Bluetooth data = F
Bluetooth data = S
Bluetooth data = R
Bluetooth data = L
Bluetooth data = S
Bluetooth data = B
Bluetooth data = S
Bluetooth data = a
Bluetooth data = b

```

รูปที่ 4.50 ผลทดสอบการสื่อสารระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้

4.13 ผลการทดสอบชุดคำสั่งควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้า

ทำการทดสอบระบบการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้าในแต่ละรูปแบบการใช้งาน มีผลการทดสอบดังนี้

4.13.1 ผลการทดสอบระบบการเคลื่อนที่เข้าหาแสง

เริ่มต้นด้วยการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลค่าความต้านทานของตัวต้านทางไวแสงจากนั้นให้ส่งคำสั่งในการเคลื่อนที่ผ่านพอร์ตอนุกรมเพื่อให้ไมโครคอมพิวเตอร์ทำการประมวลผลต่อ ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 4.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

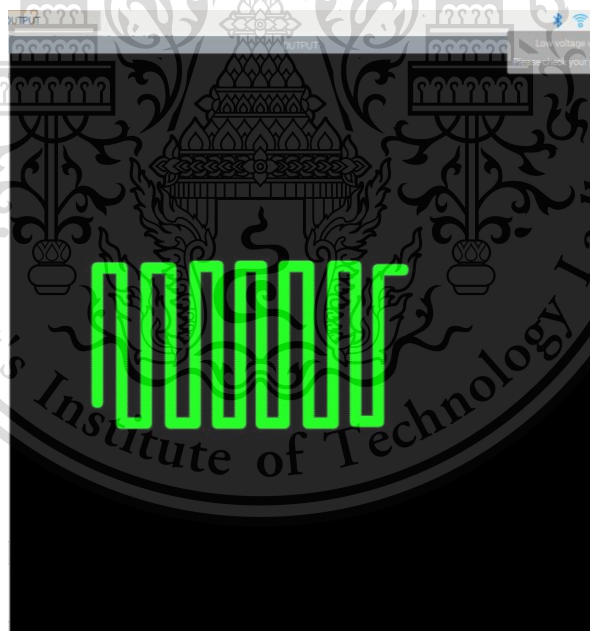
Average LDR S_E = 228.0
ST
Average LDR = 235.0
Average LDR N_E = 236.0
Average LDR N_W = 236.0
Average LDR S_W = 234.0
Average LDR S_E = 234.0
ST
Average LDR = 234.0
Average LDR N_E = 235.0
Average LDR N_W = 232.0
Average LDR S_W = 232.0

```

รูปที่ 4.51 ผลการทดสอบระบบการเคลื่อนที่เข้าหาแสง

4.13.2 ผลการทดสอบระบบตัดหญ้าอัตโนมัติ

เริ่มต้นการทดสอบโดยการรับคำสั่งจากส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้เพื่อเปิดการใช้งาน เมื่อทำงานสิ้นสุดจะแสดงผลพอร์ออกมาผ่านระบบจดจำการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้าดังรูปที่ 4.52



รูปที่ 4.52 ผลการทดสอบระบบตัดหญ้าอัตโนมัติผ่านระบบจดจำการเคลื่อนที่

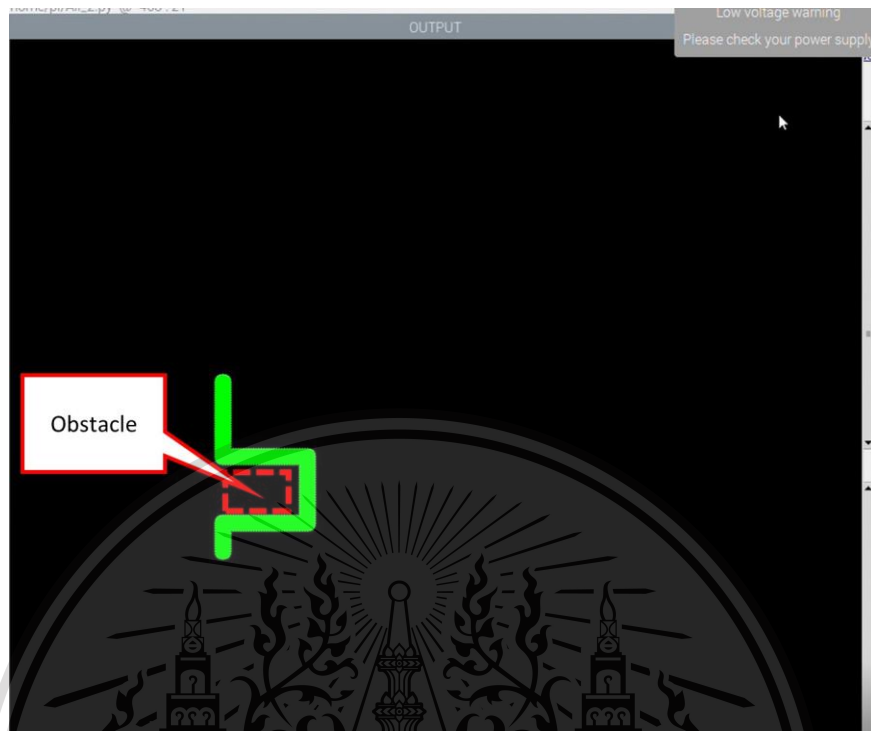
4.13.3 ผลการทดสอบอัลกอริธึมหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

เริ่มต้นการทดสอบโดยการเพิ่มสิ่งกีดขวางในระหว่างอยู่ในระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเมื่อทำการหลบสิ่งกีดขวางเสร็จสิ้นแล้วจะแสดงผลพอร์ออกมาผ่านระบบจดจำการเคลื่อนที่ของเครื่องการค่าไม่ว่ากรณีใดตัดหญ้าดังรูปที่ 4.53 มิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.53 ผลการทดสอบอัลกอริธึมหลบหลีกสิ่งกีดขวางผ่านระบบจดจำการเคลื่อนที่

4.13.4 ผลการทดสอบระบบกำหนดขอบเขตในการเคลื่อนที่

เริ่มต้นการทดสอบโดยการรับคำสั่งจากส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้เพื่อเปิดการใช้งาน และจะแสดงผลพร้อมเมื่อหยุดใช้งานดังรูปที่ 4.54 และ 4.55 ตามลำดับ

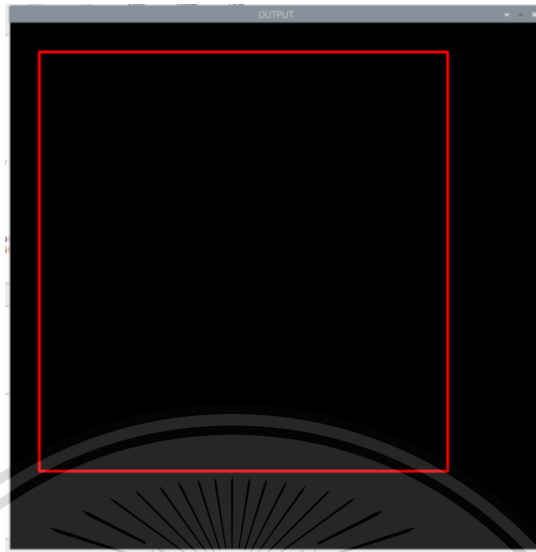
```
Border making mode activated
Bluetooth data = M2
Border making mode deactivated
807 822
```

รูปที่ 4.54 ผลการทดสอบระบบกำหนดขอบเขตในการเคลื่อนที่บน Monitor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.55 ผลการทดสอบระบบกำหนดขอบเขตในการเคลื่อนที่หลังจากหยุดใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปริญญานิพนธ์มีเป้าหมายเพื่อศึกษาการเก็บเกี่ยวพลังงานแสงอาทิตย์และพัฒนาเป็นเครื่องตัดหญ้าที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยอัตโนมัติและใช้งานร่วมกับแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งระบบประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนการเก็บเกี่ยวพลังงานโดยใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับตัวต้านทานไวแสงในการติดตามทิศทางของแสงอาทิตย์ และส่วนการเคลื่อนที่ซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงผนวกกับอัลกอริธึมวางแผนการเคลื่อนที่โดยรับค่าจากเซนเซอร์ในการประมวลผล ซึ่งระบบทั้งหมดถูกควบคุมผ่านไมโครคอมพิวเตอร์

ผู้จัดทำได้ออกแบบและจัดทำเครื่องตัดหญ้า ทดสอบการเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางโดยประมวลผลจากค่าระยะทางที่ได้รับจากเซนเซอร์วัดระยะ โดยสมการที่ใช้ปรับเทียบเซนเซอร์วัดระยะจะใช้สมการเมื่อวัตถุจำลองเป็นวัตถุผิวโค้ง เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 7.97 % ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้และวัตถุผิวโค้งมีโอกาสพบเจอได้บ่อยกว่าวัตถุเรียบ คำนวณอัตราการบริโภคพลังงานของเครื่องตัดหญ้า พบว่ากำลังงานไฟฟ้าของระบบทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 10.85 W และกำลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 17.67 W ดังนั้นกำลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่จึงเพียงพอต่อการจ่ายให้กับระบบทั้งหมดทดสอบวงจรเลือกแบตเตอรี่ซึ่งจะมีการเคลื่อนที่ พบว่าเกิดไฟกระชากเป็นเวลา 10 ms แต่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบกับการทำงานของมอเตอร์ ทดลองใช้งานตัวต้านทานไวแสงร่วมกับแสงอาทิตย์ เพื่อหาค่าความต้านต่ำสุดที่ทำให้แผงพลังงานแสงอาทิตย์สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้ พบว่าค่าความต้านดิจิทัลต่ำสุดที่ทำให้แผงพลังงานแสงอาทิตย์สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้เท่ากับ 230 ทดสอบการทำงานของระบบการเคลื่อนที่เบื้องต้น ได้แก่ การเคลื่อนที่ไปด้านหน้า การเคลื่อนที่หมุนตัวรถแบบทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกา พบว่าการเคลื่อนที่ไปด้านหน้ามีความเร็วเฉลี่ย 0.5407 km/hr การเคลื่อนที่หมุนตัวรถแบบทวนเข็มนาฬิกา มีอัตราเร็วเชิงมุมเฉลี่ย 31.92 degree/s การเคลื่อนที่หมุนตัวรถแบบตามเข็มนาฬิกา มีอัตราเร็วเชิงมุมเฉลี่ย 30.88 degree/s ทดสอบระบบจดจำการเคลื่อนที่ พบว่าผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 4.46 ตรงกับการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้า ทดสอบการสื่อสารระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้ พบว่าสามารถเชื่อมต่อกันได้โดยผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 4.47 ทดสอบระบบการเคลื่อนที่เข้าหาแสง พบว่าเครื่องตัดหญ้าสามารถเคลื่อนที่ไปยังทิศทางที่มีความเข้มแสงอาทิตย์มากที่สุดได้ ทดสอบระบบตัดหญ้าอัตโนมัติ พบว่าการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้าไม่เป็นรูปที่ 4.49 เนื่องจากไม่สามารถควบคุมองศาในการเลี้ยวได้เนื่องจากไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลประการอื่น และต้องอ้างอิงถึงเวลาของเอกสารทุกครั้งที่มาปรึกษาคุณสมบัติเฉพาะของมอเตอร์ล้อซ้ายและขวามีอัตราการบริโภคพลังงานต่างกันถึง 170 mW ทั้งนี้การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายกเว้นกรณีอื่น มิอนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลประการอื่น และต้องอ้างอิงถึงเวลาของเอกสารทุกครั้งที่มาปรึกษาคุณสมบัติเฉพาะของมอเตอร์ล้อซ้ายและขวามีอัตราการบริโภคพลังงานต่างกันถึง 170 mW ทั้งนี้การ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โปรแกรมชุดคำสั่งในกรณีที่ให้ล้อหมุนด้วยอัตราที่เท่ากันส่งผลให้ตัวรถหมุนไม่เป็นไปตามที่คาดการณ์ อย่างไรก็ตามการทดสอบระบบกำหนดขอบเขตในการเคลื่อนที่ พบว่าการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้าสามารถควบคุมผ่านแอปพลิเคชันและสามารถทำงานได้ดีตลอดจนการตอบสนองของรถตัดหญ้าเป็นไปด้วยความเหมาะสม

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในขณะนี้การเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางที่อาศัยข้อมูลจากเซนเซอร์วัดระยะมีข้อผิดพลาด คือเซนเซอร์วัดระยะประมวลผลค่าระยะทางผิดพลาดส่งผลให้การเคลื่อนที่ของเครื่องตัดหญ้ามมีปัญหา ซึ่งอาจแก้ไขได้โดยเลือกใช้เซนเซอร์วัดระยะที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เนื่องจากพื้นที่ใช้งานมีผิวสัมผัสที่ไม่สม่ำเสมอและมอเตอร์ขับเคลื่อนของเครื่องตัดหญ้าทั้ง 2 ข้างมีอัตราเร็วในการหมุนไม่เท่ากันทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการเคลื่อนที่และไม่สามารถควบคุมองศาในการเคลื่อนที่และการหมุนได้ ควรมีอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสำหรับการควบคุมองศาการเคลื่อนที่ เพื่อลดข้อผิดพลาดดังกล่าวและการใช้ล้ออิสระส่งผลให้การออกตัวไม่เป็นไปตามสมมติฐาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

- [1] บริษัท ไตรเทพ อินดัสทรี จำกัด. “การเก็บเกี่ยวพลังงานแสงอาทิตย์.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.ลดค่าไฟฟ้า.com/14507750/-ที่มาและหลักการทำงานของโซลาร์เซลล์>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 28 สิงหาคม 2563)
- [2] ซันโพรโซลาร์. “รูปการทำงานของแผงพลังงานแสงอาทิตย์.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.sunpro-solar.net/article/5/หลักการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์เบื้องต้น>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 28 สิงหาคม 2563)
- [3] บริษัท อิมเม้นซ์ คอร์ปอเรชั่น. “แผงโซลาร์เซลล์ คืออะไร?” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.gump.in.th/article/535?fb_comment_id=2716230148404607_3449136415113973. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 28 สิงหาคม 2563)
- [4] “ประสิทธิภาพของย่านความถี่ที่ใช้งาน.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : energynext.co.th/ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์/. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 30 สิงหาคม 2563)
- [5] บริษัท ไทยแอลอีทีโซลาร์ จำกัด. “เครื่องควบคุมประจุแบตเตอรี่ของโซลาร์เซลล์.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.thailedsolar.com/article/16/เครื่องควบคุมประจุแบตเตอรี่ของโซลาร์เซลล์>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 1 กันยายน 2563)
- [6] “รูปการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์กับแบตเตอรี่.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://es.aliexpress.com/i/4000080171412.html>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 1 กันยายน 2563)
- [7] “รูปการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์กับแบตเตอรี่.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://es.aliexpress.com/i/4000080171412.html>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 1 กันยายน 2563)
- [8] “LDR ตัวต้านทานไวแสง.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://sites.google.com/site/elecso25/menu/8>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 11 มกราคม 2563).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [9] “รูป Ultrasonic Sensor Module HC-SR04.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :
<https://www.ktshopth.com/product/619/ultrasonic-เซนเซอร์วัดระยะทาง-ultrasonic-module-hc-sr04-arduino>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 1 กันยายน 2563)
- [10] “Ultrasonic Ranging Module HC - SR04 .” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :
<https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 1 กันยายน)
- [11] “มอเตอร์ไฟฟ้าคืออะไร?” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :
<https://www.psptech.co.th/มอเตอร์motorคืออะไร-19171.page>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 5 กันยายน 2563)
- [12] Kiran Daware. “Fleming's Left Hand Rule And Right Hand Rule.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.electricaleasy.com/2014/03/flemings-left-and-right-hand-rule.html>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 5 กันยายน 2563)
- [13] “รูป 2-Channel Relay.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :
<https://www.lazada.co.th/products/5v-2ch-relay-module-shield-for-arduino-arm-pic-avr-dsp-electronics-1-pcs-i110001765.html>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 31 ตุลาคม 2563).
- [14] SUPPORT THAIEASYELEC. “ตัวอย่างการใช้งาน Arduino + Relay Module ควบคุมการเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://blog.thaieasyelec.com/example-project-for-control-electrical-device-using-arduino-and-relay-module/>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 7 กันยายน 2563)
- [15] โมดูลเซนเซอร์วัดแรงดัน.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :
<https://components101.com/sensors/voltage-sensor-module>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 1 ตุลาคม 2563)
- [16] ลุงเมกเกอร์. “Arduino Mega 2560.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

<http://www.lungmaker.com/arduino-mega-2560-การใช้งาน/>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 13 มกราคม 2563).

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [17] Asalama. “พอร์ตการเชื่อมต่อ Arduino Mega 2560.” [ออนไลน์.] เข้าถึงได้จาก :
https://classes.engineering.wustl.edu/ese205/core/index.php?title=File:Arduino_mega.png. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 13 มกราคม 2563).
- [18] “วิธีใช้งานโปรแกรม Arduino IDE เบื้องต้น.” [ออนไลน์.] เข้าถึงได้จาก :
<https://poundxi.com/วิธีใช้งานโปรแกรม-arduino-ide-เบื้องต้น/>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 12 กันยายน 2563).
- [19] kampanart.c. “ส่วนประกอบและคุณสมบัติ Raspberry pi mode B”. [ออนไลน์.]
 เข้าถึงได้จาก : <https://sysadmin.psu.ac.th/2018/01/29/raspberry-pi-3-overview/>. (สืบค้นข้อมูลวันที่: 16 ตุลาคม 2563).
- [20] “Android คือ อะไร.” [ออนไลน์.] เข้าถึงได้จาก :
<https://sites.google.com/a/thantong.ac.th/rabb-ptibati-kar-android/android-khux-xari>. (สืบค้นข้อมูลวันที่: 16 ตุลาคม 2563).
- [21] Plam’s. “Android Studio.” [ออนไลน์.] เข้าถึงได้จาก :
<https://medium.com/@palmz/เริ่มต้นสร้าง-android-application-พื้นฐานด้วย-android-studio-lab-3sb04-3fda43b07a1>. (สืบค้นข้อมูลวันที่: 16 ตุลาคม 2563).
- [22] “Android Studio.” [ออนไลน์.] เข้าถึงได้จาก :
<https://android-studio.th.uptodown.com/windows>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 25 มกราคม 2564).
- [23] BorntoDev Co. “Socket Programming คืออะไร” [ออนไลน์.] เข้าถึงได้จาก :
<https://www.borntodev.com/2020/05/12/socket-programming-คืออะไร/>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 25 มกราคม 2564)
- [24] Applicadthai. “SOLIDWORKS.” [ออนไลน์.] เข้าถึงได้จาก :
<https://www.applicadthai.com/articles/autocad-กับ-solidworks-โปรแกรม-cad-ไหนที่ใช่-และเหมาะกับงานคุณที่สุด/>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 25 กันยายน 2563).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [25] Sarayut Nonsiri, PhD. “ภาษาโปรแกรม Python คืออะไร ?.” [ออนไลน์.] เข้าถึงได้จาก :
<https://www.9experttraining.com/articles/python-คืออะไร>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 25 ตุลาคม 2563).
- [26] .pySerial โมดูลสำหรับใช้ python ติดต่อกับ serial port.” [ออนไลน์.] เข้าถึงได้จาก :
<https://sites.google.com/site/pythonclassroom/module-package-python/pySerial-module>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 25 ตุลาคม 2563)
- [27] Chatchapong Mekgamol. “Kotlin คืออะไร และทำไมต้อง Kotlin.” [ออนไลน์.]
 เข้าถึงได้จาก : <https://medium.com/@minhokokocrunch/kotlin-คืออะไร-และทำไมต้อง-kotlin-548a84ca4cf>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 20 มกราคม 2564)
- [28] kamolc. “การเคลื่อนที่บนพื้นด้วยล้อและสายพาน.” [ออนไลน์.] เข้าถึงได้จาก :
<https://www.thairobotics.com/2013/10/11/byob-wheel-and-track/>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 13 กันยายน 2563)
- [29] Meriam J. L., and Kraige L. G. “*Engineering Mechanics: Dynamics*,” 6th Ed., John Wiley and Sons, Inc, 2007. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 13 กันยายน 2563)
- [30] “Lithium Power Expansion Board for Raspberry Pi 3.” [ออนไลน์.] เข้าถึงได้จาก :
<https://www.arduitronics.com/product/1242/lithium-power-expansion-board-for-raspberry-pi-3> (สืบค้นข้อมูลวันที่: 16 ตุลาคม 2563).
- [31] Juanjeng20. “รูปีไม่มีดัดหญา.” [ออนไลน์.] เข้าถึงได้จาก :
https://www.lazada.co.th/products/mo02-12v-i466480783-s853344691.html?dsource=share&laz_share_info=123736508_2_100_1526604_113590843_null&laz_token=0d89ec996633a7770a5511d6bdb352f1. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 30 กันยายน 2563).
- [32] CSB Battery. “แบตเตอรี่รี.” [ออนไลน์.] เข้าถึงได้จาก :
https://www.csb-battery.com.tw/english/01_product/02_detail.php?fid=5&pid=11#. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 19 กันยายน 2563).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในสถานศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [33] บริษัท กราวิเทคไทย (ไทยแลนด์) จำกัด. “สวิตช์สามขา” [ออนไลน์.] เข้าถึงได้จาก :
www.gravitechthai.com/product-detail.php?WP=oGI3ARj0oH9axUF5nrO4Ljo7o3Qo7o3Q. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 19 กันยายน 2563).
- [34] Amorn Electronic. “แผงโซลาร์เซลล์ 20 watt 12V Poly-crystalline.” [ออนไลน์.]
 เข้าถึงได้จาก :<https://supersaleth.com/product/topray-แผงโซลาร์เซลล์-20-watt-12v-poly-crystalline-อมร-อิเล็กทรอนิกส์-อมรออนไลน์-แผงโซลาร์-โซลาร์เซลล์-แผง20watt-s20730326-p2809375996.html>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 20 มกราคม 2564).
- [35] ครูชลิต พานทอง. “Solar Charge Controller.” [ออนไลน์.] เข้าถึงได้จาก :
<https://elearnkrutung.blogspot.com/2018/07/solar-charge-controller.html>.
 (วันที่สืบค้นข้อมูล : 18 มกราคม 2563).
- [36] vivo Mobile Communication Co. “V11i.” [ออนไลน์.] เข้าถึงได้จาก :
<https://www.vivo.com/th/products/param/v11i>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 25 มกราคม 2563).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
const int trig = D1;
int echo = D2;

float duration,cm;

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    pinMode(trig, OUTPUT);
    pinMode(echo, INPUT);
}
void loop()
{
    digitalWrite(trig, LOW);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trig, HIGH);
    delayMicroseconds(20);
    digitalWrite(trig, LOW);
    duration = pulseIn(echo, HIGH);
    cm = (346*duration)/20000;
    if(cm<300.00){
        Serial.print("Distance before calibration:");
        Serial.print(cm);
        Serial.println("cm");
        Serial.println();
        delay(1000);
    }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

#include "Wire.h"
#include <MPU6050_light.h>
MPU6050 mpu(Wire);
const int voltageSensor_1 = A4;
const int voltageSensor_2 = A5;

float vOUT_1 = 0.0,vOUT_2 = 0.0;
float vIN_1 = 0.0,vIN_2 = 0.0;
float R1 = 30000.0;
float R2 = 7500.0;
int value_1 = 0,value_2 = 0;
int relay_bat= 22;
int LED_red=23;
int LED_green=24;
int relay_solar=25;
int relay_state1,i=0,j=0;

int analogPin_0 = A0; //ประกาศตัวแปร ให้ analogPin แทนขา analog ขาA0
int analogPin_1 = A1;
int analogPin_2 = A2;
int analogPin_3 = A3;
int val_0 = 0,val_1 = 0,val_2 = 0,val_3 = 0;
int digital8_0,digital8_1,digital8_2,digital8_3;
float norm_0,norm_1,norm_2,norm_3;
float average_LDR,avg_13,avg_14,avg_24,avg_23;
int a=0,c=0;

void setup()
{
  Wire.begin();
  Serial.begin(115200);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลีขงทั้งห้าฉบับให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

Serial.println("HelloRPI");
byte status = mpu.begin();
Serial.print(F("MPU6050 status: "));
Serial.println(status);
while (status != 0) { } // stop everything if could not connect to MPU6050
Serial.println(F("Calculating offsets, do not move MPU6050"));
delay(1000);
mpu.calcOffsets(); // gyro and accelero
Serial.println("Done!\n");
pinMode(A0,INPUT);
pinMode(A1,INPUT);
pinMode(A2,INPUT);
pinMode(A3,INPUT);
pinMode(A4,INPUT);
pinMode(A5,INPUT);
pinMode(relay_bat,OUTPUT);
pinMode(LED_red,OUTPUT);
pinMode(LED_green,OUTPUT);
delay(100);
}

void loop()
{
  relay_state();

  value_1 = analogRead(voltageSensor_1);
  value_2 = analogRead(voltageSensor_2);
  //Serial.print("Output Digital Voltage = ");
  //Serial.println(value);          //digital
  vOUT_1 = value_1*(5/1024.0);
  vOUT_2 = value_2*(5/1024.0);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขข้อมูลแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

//Serial.print("Output Analog Voltage = ");
//Serial.println(vOUT);          //analog
vIN_1 = vOUT_1 / (R2/(R1+R2));
vIN_2 = vOUT_2 / (R2/(R1+R2));
//vIN_1 = (vIN_1*103)/100;
//vIN_2 = (vIN_2*103)/100;
//vIN = vOUT*4.7744;           //calibration ;decrease error from quantization;
multiply by 5 for convert to input voltage
Serial.print("Input Voltage_1 = ");
Serial.print(vIN_1);
Serial.println(" V");
Serial.print("Input Voltage_2 = ");
Serial.print(vIN_2);
Serial.println(" V");
Serial.println();
Serial.println(".");
//Serial.println(j);
gyro();
delay(100);

Check_BatteryLevel();

}

void gyro(){
  mpu.update();
  Serial.print("Z : ");
  Serial.println(mpu.getAngleZ());

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
void relay_state(){ //check currently state of battery relay
```

```
    relay_state1 = digitalRead(relay_bat);
```

```
    if(relay_state1==1)
```

```
    {
```

```
        digitalWrite(LED_red,HIGH);
```

```
        digitalWrite(LED_green,LOW);
```

```
    }
```

```
    else
```

```
    {
```

```
        digitalWrite(LED_red,LOW);
```

```
        digitalWrite(LED_green,HIGH);
```

```
    }
```

```
}
```

```
void Check_BatteryLevel(){
```

```
    if(vIN_1 < 10.50 && vIN_2 <10.50) //แบตเตอรี่ทั้ง 2 ก้อน
```

```
    {
```

```
        i++;
```

```
        if(i==5) // i=5 แสดงว่าแบตเตอรี่จริง
```

```
        {
```

```
            j++;
```

```
            // digitalWrite(relay_bat,!digitalRead(relay_bat));
```

```
            // digitalWrite(relay_solar,!digitalRead(relay_solar));
```

```
            if(relay_state1==1)
```

```
            {
```

```
                digitalWrite(LED_red,LOW);
```

```
                digitalWrite(LED_green,HIGH);
```

```
                //Serial.println("LED green HIGH");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลิขสิทธิ์นี้เป็นของเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

        i=0;
    }
else
{
    digitalWrite(LED_red,HIGH);
    digitalWrite(LED_green,LOW);
    //Serial.println("LED red HIGH");
    i=0;
}
if(j==5)
{
    a=5;
    send_data(a);
    //Serial.print("a= ");
    //Serial.println(a);
    //Serial.println("Find LDR max value and move");
}
}
//
}
else if(relay_state1==0 && vIN_1 < 10.50){
    digitalWrite(relay_bat,digitalRead(relay_bat));
    digitalWrite(relay_solar,!digitalRead(relay_solar));
}
else if(relay_state1==1 && vIN_2 < 10.50){
    digitalWrite(relay_bat,digitalRead(relay_bat));
    digitalWrite(relay_solar,!digitalRead(relay_solar));
}
else
{
    i=0;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

    j=0;
  }
  LDR();
}

```

```

void LDR(){

```

```

  val_0 = analogRead(analogPin_0); //อ่านค่าสัญญาณ analog ขาA0 ที่ต่อกับ LDR
  val_1 = analogRead(analogPin_1);
  val_2 = analogRead(analogPin_2);
  val_3 = analogRead(analogPin_3);
  digital8_0 = map(val_0, 0, 1023, 0, 255);
  digital8_1 = map(val_1, 0, 1023, 0, 255);
  digital8_2 = map(val_2, 0, 1023, 0, 255);
  digital8_3 = map(val_3, 0, 1023, 0, 255);
  Serial.println();
  Average_4LDR();
  Serial.println();
  delay(100);
}

```

```

void Average_4LDR()

```

```

{
  average_LDR = (digital8_0 + digital8_1 + digital8_2 + digital8_3) / 4;
  avg_13 = (digital8_0 + digital8_2) / 2;
  avg_14 = (digital8_0 + digital8_3) / 2;
  avg_24 = (digital8_1 + digital8_3) / 2;
  avg_23 = (digital8_1 + digital8_2) / 2;
  Serial.print("Average LDR = ");
  Serial.println(average_LDR);
  Serial.print("Average LDR N_E = ");
  Serial.println(avg_13);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำไปใช้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

Serial.print("Average LDR N_W = ");
Serial.println(avg_14);
Serial.print("Average LDR S_W = ");
Serial.println(avg_24);
Serial.print("Average LDR S_E = ");
Serial.println(avg_23);

check_LDRvalues();
}

void send_data(int b){
  char c;
  switch(b){
    case 1:{
      for (const char * p = "FW\r"; c = *p; p++) {
        Serial.print(c);
      }
      Serial.println();
      delay(100);
      break;
    }
    case 2:{
      for (const char * p = "BW\r"; c = *p; p++) {
        Serial.print(c);
      }
      Serial.println();
      delay(100);
      break;
    }
    case 3:{
      for (const char * p = "RV\r"; c = *p; p++) {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลีขงทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

Serial.print(c);
}
Serial.println();
delay(100);
break;
}
case 4:{
  for (const char * p = "L\r" ; c = *p; p++) {
    Serial.print(c);
  }
  Serial.println();
  delay(100);
  break;
}
case 5:{
  for (const char * p = "C_ON\r" ; c = *p; p++) {
    Serial.print(c);
  }
  Serial.println();
  delay(100);
  break;
}
case 6:{
  for (const char * p = "C_OFF\r" ; c = *p; p++) {
    Serial.print(c);
  }
  Serial.println();
  delay(100);
  break;
}
case 7:{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

for (const char * p = "ST\r" ; c = *p; p++) {
  Serial.print(c);
}
Serial.println();
delay(100);
break;
}
}
}

```

```

void check_LDRvalues()
{
  if(average_LDR >= 230)
  {
    a=7;
    send_data(a);
    value_1 = analogRead(voltageSensor_1);
    value_2 = analogRead(voltageSensor_2);
    vOUT_1 = value_1*(5/1024.0);
    vOUT_2 = value_2*(5/1024.0);
    vIN_1 = vOUT_1 / (R2/(R1+R2));
    vIN_2 = vOUT_2 / (R2/(R1+R2));
    if(vIN_1 > 12.90 || vIN_2 > 12.90)
    {
      digitalWrite(relay_bat,!digitalRead(relay_bat));
      c++;
      if(c==2)
      {
        a=6;
        send_data(a);
        c=0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

    }
  }
}
else
{
  if(avg_13 == avg_24 || avg_14 == avg_23) //check ก่อนว่ามี LDR ตัวไหนเท่ากันมัย
  {
    if(digital8_0 > digital8_1 && digital8_0 > digital8_2 && digital8_0 > digital8_3)
    {
      // Serial.println("1_LDR north max");
      // Serial.println("Move forward");
      a=1;
      // Serial.print("a= ");
      // Serial.println(a);
      send_data(a);
    }
    else if(digital8_1 > digital8_0 && digital8_1 > digital8_2 && digital8_1 > digital8_3)
    {
      // Serial.println("2_LDR south max");
      // Serial.println("Move backward");
      a=2;
      // Serial.print("a= ");
      // Serial.println(a);
      send_data(a);
    }
    else if(digital8_2 > digital8_0 && digital8_2 > digital8_1 && digital8_2 > digital8_3)
    {
      // Serial.println("3_LDR east max");
      // Serial.println("Turn right");
      a=3;
      // Serial.print("a= ");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ลิขสิทธิ์ของเนื้อหาให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

// Serial.println(a);
send_data(a);
}
else if(digital8_3 > digital8_0 && digital8_3 > digital8_1 && digital8_3 > digital8_2)
{
// Serial.println("4_LDR west max");
// Serial.println("Turn left");
a=4;
// Serial.print("a= ");
// Serial.println(a);
send_data(a);
}
}
else if(avg_13 == avg_14)
{
if(digital8_0 > digital8_2 && digital8_0 > digital8_3)
{
// Serial.println("1_LDR north max");
// Serial.println("Move forward");
a=1;
// Serial.print("a= ");
// Serial.println(a);
send_data(a);
}
else if(digital8_2 > digital8_0 && digital8_2 > digital8_3)
{
// Serial.println("3_LDR east max");
// Serial.println("Turn right");
a=3;
// Serial.print("a= ");
// Serial.println(a);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ลิขสิทธิ์นี้เป็นให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

        send_data(a);
    }
    else if(digital8_3 > digital8_0 && digital8_3 > digital8_2)
    {
//      Serial.println("4_LDR west max");
//      Serial.println("Turn left");
        a=4;
//      Serial.print("a= ");
//      Serial.println(a);
        send_data(a);
    }
}
else if(avg_13 == avg_23)
{
    if(digital8_0 > digital8_1 && digital8_0 > digital8_2)
    {
//      Serial.println("1_LDR north max");
//      Serial.println("Move forward");
        a=1;
//      Serial.print("a= ");
//      Serial.println(a);
        send_data(a);
    }
    else if(digital8_1 > digital8_0 && digital8_1 > digital8_2)
//      {
//      Serial.println("2_LDR south max");
//      Serial.println("Move backward");
        a=2;
//      Serial.print("a= ");
//      Serial.println(a);
        send_data(a);
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลีภังหวัณเจีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

}
else if(digital8_2 > digital8_0 && digital8_2 > digital8_1)
{
//   Serial.println("3_LDR east max");
//   Serial.println("Turn right");
  a=3;
//   Serial.print("a= ");
//   Serial.println(a);
  send_data(a);
}
else if(avg_14 == avg_24)
{
  if(digital8_0 > digital8_1 && digital8_0 > digital8_3)
  {
//   Serial.println("1_LDR north max");
//   Serial.println("Move forward");
    a=1;
//   Serial.print("a= ");
//   Serial.println(a);
    send_data(a);
  }
  else if(digital8_1 > digital8_0 && digital8_1 > digital8_3)
  {
//   Serial.println("2_LDR south max");
//   Serial.println("Move backward");
    a=2;
//   Serial.print("a= ");
//   Serial.println(a);
    send_data(a);
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น คือทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

    {
//      Serial.println("4_LDR west max");
//      Serial.println("Turn left");
      a=4;
//      Serial.print("a= ");
//      Serial.println(a);
      send_data(a);
    }
  }
  else if(avg_24 == avg_23)
  {
    if(digital8_1 > digital8_2 && digital8_1 > digital8_3)
    {
//      Serial.println("2_LDR south max");
//      Serial.println("Move backward");
      a=2;
//      Serial.print("a= ");
//      Serial.println(a);
      send_data(a);
    }
    else if(digital8_2 > digital8_1 && digital8_2 > digital8_3)
    {
//      Serial.println("3_LDR east max");
//      Serial.println("Turn right");
      a=3;
//      Serial.print("a= ");
//      Serial.println(a);
      send_data(a);
    }
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

// Serial.println("4_LDR west max");
// Serial.println("Turn left");
a=4;
// Serial.print("a= ");
// Serial.println(a);
send_data(a);
}
}
else
{
if(avg_13 > avg_14 && avg_13 > avg_24 && avg_13 > avg_23)
{
//Serial.println("1_LDR north-3_east max");
if(digital8_0 > digital8_2)
{
//Serial.println("Move forward");
a=1;
// Serial.print("a= ");
// Serial.println(a);
send_data(a);
}
else
{
//Serial.println("Turn right");
a=3;
// Serial.print("a= ");
// Serial.println(a);
send_data(a);
}
}
}
else if (avg_14 > avg_13 && avg_14 > avg_24 && avg_14 > avg_23)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถือว่าห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

{
  //Serial.println("1_LDR north-4_west max");
  if(digital8_0 > digital8_3)
  {
    //Serial.println("Move forward");
    a=1;
//    Serial.print("a= ");
//    Serial.println(a);
    send_data(a);
  }
  else
  {
    //Serial.println("Turn left");
    a=4;
//    Serial.print("a= ");
//    Serial.println(a);
    send_data(a);
  }
}
else if(avg_24 > avg_13 && avg_24 > avg_14 && avg_24 > avg_23)
{
  //Serial.println("2_LDR south-4_west max");
  if(digital8_1 > digital8_3)
  {
    //Serial.println("Move backward");
    a=2;
//    Serial.print("a= ");
//    Serial.println(a);
    send_data(a);
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถือว่าห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

import time
import RPi.GPIO as GPIO
import threading
import mysql.connector
import bluetooth
import numpy as np
import cv2
import math
import serial
import smbus

```

```

GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setmode(GPIO.BCM)

```

```
Trig_L = 23
```

```
Echo_L = 24
```

```
Trig_R = 17
```

```
Echo_R = 27
```

```
Trig_FL= 12
```

```
Echo_FL= 16
```

```
Trig_FR= 20
```

```
Echo_FR= 21
```

```
Trig_FM= 22
```

```
Echo_FM= 26
```

```
IN1_L = 5
```

```
IN2_L = 6
```

```
IN1_R = 13
```

```
IN2_R = 19
```

```
Blade = 4
```

```
ser = serial.Serial('/dev/ttyACM0', 115200)
```

```
global IN1_LS,IN1_RS,IN2_LS,IN2_RS,Blade_S,turn_cnt
```

```
IN1_LS=IN1_RS=IN2_LS=IN2_RS=c_status=a_status=m_status=False
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ลิขสิทธิ์นี้ให้ด้วยนิตยสาร และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

Blade_S=True
width=1000
length=1000
img= np.zeros((round(length),round(width), 3),np.uint8)
cmd=[]
last_turn=[]
direction=np.array(['N','E','S','W'])
turn_cnt=0
msg=[]
speed = 13.8
interval=0.25
dInterval=speed*interval
x, y = 250,600
x_max=x_min=x
y_max=y_min=y
points = [(0,0), (0,0)]
t_frag=True

GPIO.setup(23,GPIO.OUT)
GPIO.setup(24,GPIO.IN)
GPIO.setup(17,GPIO.OUT)
GPIO.setup(27,GPIO.IN)
GPIO.setup(12,GPIO.OUT)
GPIO.setup(16,GPIO.IN)
GPIO.setup(20,GPIO.OUT)
GPIO.setup(21,GPIO.IN)
GPIO.setup(22,GPIO.OUT)
GPIO.setup(26,GPIO.IN)
GPIO.setup(5,GPIO.OUT)
GPIO.setup(6,GPIO.OUT)
GPIO.setup(13,GPIO.OUT)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
GPIO.setup(19,GPIO.OUT)
GPIO.setup(4,GPIO.OUT)
server_sock = bluetooth.BluetoothSocket( bluetooth.RFCOMM)
```

```
port = 1
server_sock.bind(("",port))
server_sock.listen(1)
```

```
#Right
```

```
def R_Sensor():
    print("R_Sensor Started")
    while(True):
        GPIO.output(Trig_R, True)
        time.sleep(0.00001)
        GPIO.output(Trig_R, False)
        while GPIO.input(Echo_R) == 0:
            pulse_start1 = time.time()
        while GPIO.input(Echo_R) == 1:
            pulse_end1 = time.time()
        pulse_duration1 = pulse_end1 - pulse_start1
        distance_R = pulse_duration1*17300
        distance_R = round(distance_R,5)
        global Realdistance_R
        Realdistance_R = (distance_R*1.0056)-1.8062
        Realdistance_R = round(Realdistance_R, 2)
        #print("Right Distance = ",Realdistance_R)
        time.sleep(0.5)
```

```
#Left
```

```
def L_Sensor():
```

```
    print("L_Sensor Started")
```

```
    while(True):
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

GPIO.output(Trig_L, True)
time.sleep(0.00001)
GPIO.output(Trig_L, False)
while GPIO.input(Echo_L) == 0:
    pulse_start2 = time.time()
while GPIO.input(Echo_L) == 1:
    pulse_end2 = time.time()
pulse_duration2 = pulse_end2 - pulse_start2
distance_L = pulse_duration2*17300
distance_L = round(distance_L,5)
global Realdistance_L
Realdistance_L = (distance_L*0.9857)-2.2555
Realdistance_L = round(Realdistance_L, 2)
#print("Left Distance = ",Realdistance_L)
time.sleep(0.5)
#Front Right
def FR_Sensor():
    print("FR_Sensor Started")
    while(True):
        GPIO.output(Trig_FR, True)
        time.sleep(0.00001)
        GPIO.output(Trig_FR, False)
        while GPIO.input(Echo_FR) == 0:
            pulse_start2 = time.time()
        while GPIO.input(Echo_FR) == 1:
            pulse_end2 = time.time()
        pulse_duration2 = pulse_end2 - pulse_start2
        distance_FR = pulse_duration2*17300
        distance_FR = round(distance_FR,5)
        global Realdistance_FR
        Realdistance_FR = (distance_FR*0.953)-0.0337

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถือว่าห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

    Realdistance_FR = round(Realdistance_FR, 2)
#    print("Front Right Distance = ",Realdistance_FR)
    time.sleep(0.5)
#Front Left
def FL_Sensor():
    print("FL_Sensor Started")
    while(True):
        GPIO.output(Trig_FL, True)
        time.sleep(0.00001)
        GPIO.output(Trig_FL, False)
        while GPIO.input(Echo_FL) == 0:
            pulse_start2 = time.time()
        while GPIO.input(Echo_FL) == 1:
            pulse_end2 = time.time()
        pulse_duration2 = pulse_end2 - pulse_start2
        distance_FL = pulse_duration2*17300
        distance_FL = round(distance_FL,5)
        global Realdistance_FL
        Realdistance_FL = (distance_FL*0.941)-0.1667
        Realdistance_FL = round(Realdistance_FL, 2)
#    print("Front Left Distance = ",Realdistance_FL)
    time.sleep(0.5)

```

```

#Front Mid

```

```

def FM_Sensor():
    print("FM_Sensor Started")
    while(True):
        GPIO.output(Trig_FM, True)
        time.sleep(0.00001)
        GPIO.output(Trig_FM, False)
        while GPIO.input(Echo_FM) == 0:
            pulse_start2 = time.time()

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

while GPIO.input(Echo_FM) == 1:
    pulse_end2 = time.time()
    pulse_duration2 = pulse_end2 - pulse_start2
    distance_FM = pulse_duration2*17300
    distance_FM = round(distance_FM,5)
    global Realdistance_FM
    Realdistance_FM = (distance_FM*0.9985)-0.001
    Realdistance_FM = round(Realdistance_FM, 2)
#    print("Front Mid Distance = ",Realdistance_FM)
    time.sleep(0.5)

def mapping():
    def getCoordinate():
        lr,fb=0,0
        global x,y
        a,d=0,0
        if (msg=='W'):
            lr = -speed
            d = dInterval
            a = -180
        elif (msg=='E'):
            lr = speed
            d = -dInterval
            a = 180
        elif (msg=='N'):
            fb = speed
            d = dInterval
            a = 270
        elif (msg=='S'):
            fb = -speed
            d = -dInterval

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอให้อัปเดตเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

a = -90
time.sleep(0.25/2)
x += int(d*math.cos(math.radians(a)))
if x<=0:
    x=0
elif x>=width:
    x=round(width)
y += int(d*math.sin(math.radians(a)))
if y<=0:
    y=0
elif y>=length:
    y=round(length)
return [lr,fb,x,y]

while True:
    vals = getCoordinate()
    cv2.circle(img,(x,y),10,(0,255,0),cv2.FILLED)
    cv2.imshow("OUTPUT",img)
    cv2.waitKey(1)

def forward():
    global IN1_RS,IN1_LS,IN2_RS,IN2_LS,cmd,msg,Blade_S
    cmd='forward'
    msg=direction[turn_cnt%4]
    IN1_RS=True
    IN1_LS=True
    IN2_LS=False
    IN2_RS=False
    Blade_S=False

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

def stop():
    global IN1_RS,IN1_LS,IN2_RS,IN2_LS,cmd,msg,Blade_S
    cmd='stop'
    msg=[]
    IN1_RS=False
    IN1_LS=False
    IN2_RS=False
    IN2_LS=False
    Blade_S=True

def left():
    global IN1_RS,IN1_LS,IN2_RS,IN2_LS,cmd,last_turn,turn_cnt,Blade_S
    cmd='left'
    last_turn='left'
    turn_cnt=turn_cnt-1
    IN1_RS=True
    IN1_LS=False
    IN2_RS=False
    IN2_LS=True
    Blade_S=False

def right():
    global IN1_RS,IN1_LS,IN2_RS,IN2_LS,cmd,last_turn,turn_cnt,Blade_S
    cmd='right'
    last_turn='right'
    turn_cnt=turn_cnt+1
    IN1_RS=False
    IN1_LS=True
    IN2_RS=True
    IN2_LS=False
    Blade_S=False

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

def back():
    #print('back')
    global IN1_RS,IN1_LS,IN2_RS,IN2_LS,cmd,msg,Blade_S
    cmd='backward'
    msg=direction[(turn_cnt+2)%4]
    IN1_RS=False
    IN1_LS=False
    IN2_RS=True
    IN2_LS=True
    Blade_S=False

def turn_left():
    left()
    s_angle=angle
    turn90degree(s_angle)
    stop()

def turn_right():
    right()
    s_angle=angle
    turn90degree(s_angle)
    stop()

def turn90degree(s_angle):
    global reset_status
    start_ang=s_angle
    while True:
        current_ang=angle
        difference_ang=np.abs(start_ang-current_ang)
        if(reset_status):
            start_ang=0
            current_ang=0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

while True:
    current_ang=angle
    difference_ang2=np.abs(start_ang-current_ang)
    if(difference_ang2>90-difference_ang):
        break
    break
if(difference_ang>90):
    break

```

```

def left_m():
    global IN1_RS,IN1_LS,IN2_RS,IN2_LS,cmd,Blade_S
    cmd='left'
    IN1_RS=True
    IN1_LS=False
    IN2_RS=False
    IN2_LS=True
    Blade_S=False

```

```

def right_m():
    #print('right')
    global IN1_RS,IN1_LS,IN2_RS,IN2_LS,cmd,Blade_S
    cmd='right'
    IN1_RS=False
    IN1_LS=True
    IN2_RS=True
    IN2_LS=False
    Blade_S=False

```

```

def R_state():

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

while(True):

```

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

if(IN1_RS):
    GPIO.output(13,True)
else:
    GPIO.output(13,False)
if(IN1_LS):
    GPIO.output(5,True)
else:
    GPIO.output(5,False)
if(IN2_RS):
    GPIO.output(19,True)
else:
    GPIO.output(19,False)
if(IN2_LS):
    GPIO.output(6,True)
else:
    GPIO.output(6,False)
if(Blade_S):
    GPIO.output(4,True)
else:
    GPIO.output(4,False)

def S_state():
    while True:
        try:
            global s_data,s_status,angle,reset_status
            data=ser.readline()
            temp_data=data.decode('UTF-8')
            ss_data=temp_data.strip()
            if(ss_data=="HelloRPI"):
                reset_status=True
            if(ss_data[0]=="Z"):

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลีขทั้งหมดนี้ให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

        angle=ss_data[4:len(ss_data)]
        if(ss_data=="FW" or ss_data=="BW" or ss_data=="L" or ss_data=="R" or
ss_data=="ST"):
            s_data=ss_data
            print("Serial message = ", s_data)
        if((ss_data=="C_ON") or (ss_data=="C_OFF")):
            s_status=ss_data
            print("Charge status = ",s_status)
    except:
        print("Serial dead")
        time.sleep(2)
        ser = serial.Serial('/dev/ttyACM0', 115200)
def B_state():
    while True:
        try:
            global b_data,b_status,Mark
            data=client_sock.recv(1024)
            b_data=data.decode("UTF-8")
            if((b_data=="M1") or (b_data=="M2")):
                Mark=(b_data)
            if((b_data=="a") or (b_data=="b")):
                b_status=b_data
                print(b_status)

        except:
            b_data="S"
            print("Disconnected")

```

```
client_sock,address = server_sock.accept()
```

```
print("Accept connection from", address)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

def reset_turn():
    global last_turn
    last_turn='no'

def status():
    sen_c=True
    global b_status,s_status,Mark,img
    Mark="M2"
    b_status="b"
    s_status="C_OFF"
    while True:
        global c_status,m_status,a_status
        if(b_status=="a"):
            if(s_status=="C_ON"):
                c_status=True
                m_status=False
                a_status=False
            else:
                c_status=False
                m_status=False
                a_status=True
            if(sen_c):
                L_sen.start()
                R_sen.start()
                FL_sen.start()
                FR_sen.start()
                FM_sen.start()
                sen_c=False

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

c_status=False
m_status=True
a_status=False

if(Mark=="M1"):
    if (x>x_max):
        x=x_max
    if (x<x_min):
        x=x_min
    if (y>y_max):
        y=y_max
    if (y<y_min):
        y=y_min
    f=1
elif(Mark=="M2" and f==1):
    x_dif=x_max-x_min
    y_dif=y_max-y_min
    img=np.zeros((x_dif,y_dif),3,np.uint8)
    f=0

```

```

L_sen=threading.Thread(target=L_Sensor)
R_sen=threading.Thread(target=R_Sensor)
FL_sen=threading.Thread(target=FL_Sensor)
FR_sen=threading.Thread(target=FR_Sensor)
FM_sen=threading.Thread(target=FM_Sensor)
R_state=threading.Thread(target=R_state)
mapping=threading.Thread(target=mapping)
S_state=threading.Thread(target=S_state)
B_state=threading.Thread(target=B_state)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ลิขสิทธิ์นี้เป็นของเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

status=threading.Thread(target=status)
angle=threading.Thread(target=angle)
R_state.start()
mapping.start()
S_state.start()
B_state.start()
status.start()
angle.start()

def avoid(last):
    case=direction[turn_cnt%4]
    if(last=="right" and Realdistance_L<50 and (case=='W' or case == 'E')):
        x_b4=x
        forward()
        while(Realdistance_L<50):
            pass
            time.sleep(0.5)
        stop()
        turn_left()
        forward()
        time.sleep(2)
        while(Realdistance_L<50):
            pass
            time.sleep(0.5)
        stop()
        turn_left()
        forward()
        if(x>x_b4):
            while(x>x_b4):
                pass
                stop()

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลีขงท่งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

elif(x<x_b4):
    while(x<x_b4):
        pass
    stop()
turn_right()

```

elif(last=="left" and Realdistance_R<50 and (case=="W" or case == 'E')):

```

x_b4=x
forward()
while(Realdistance_R<50):
    pass
time.sleep(0.5)
stop()
turn_right()
forward()
time.sleep(2)
while(Realdistance_R<50):
    pass
time.sleep(0.5)
stop()
turn_right()
forward()
if(x>x_b4):
    while(x>x_b4):
        pass
    stop()
elif(x<x_b4):
    while(x<x_b4):
        pass

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
elif(last=="right" and Realdistance_L<50 and (case=="N" or case == 'S')):
```

```

    y_b4=y
    forward()
    while(Realdistance_L<50):
        pass
    time.sleep(0.5)
    stop()
    turn_left()
    forward()
    time.sleep(2)
    while(Realdistance_L<50):
        pass
    time.sleep(0.5)
    stop()
    turn_left()
    forward()
    if(y>y_b4):
        while(y>y_b4):
            pass
        stop()
    elif(y<y_b4):
        while(y<y_b4):
            pass
        stop()
    turn_right()

```

```
elif(last=="left" and Realdistance_R<50 and (case=="N" or case == 'S')):
```

```

    y_b4=y
    forward()
    while(Realdistance_R<50):
        pass

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

time.sleep(0.5)
stop()
turn_right()
forward()
time.sleep(2)
while(Realdistance_R<50):
    pass
time.sleep(0.5)
stop()
turn_right()
forward()
if(y>y_b4):
    while(y>y_b4):
        pass
    stop()
elif(y<y_b4):
    while(y<y_b4):
        pass
    stop()
turn_left()
else:
    if(last=="left"):
        turn_right()
    elif(last=="right"):
        turn_left()
while True:
    stop()
    while(c_status):

```

```

    global x_before,y_before,x_after,y_after

```

```

    x_before=x

```

```

    y_before=y

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลีองทั้งหมดมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

while(c_status):
    try:
        if(s_data=="FW"):
            forward()
        elif(s_data=="L"):
            turn_left()
            forward()
            time.sleep(3)
        elif(s_data=="R"):
            turn_right()
            forward()
            time.sleep(3)
        elif(s_data=="ST"):
            stop()
        elif(s_data=="BW"):
            back()
    except:
        print("Serial Not Ready!")
        time.sleep(1)
x_after=x
y_after=y

```

```
while(m_status):
```

```

    try:
        if(b_data=="F"):
            forward()
        elif(b_data=="L"):
            print("Before ",direction[turn_cnt%4])
            while(b_data=="L"):

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

    left_m()
    turn_cnt=turn_cnt-1
    print("Heading ",direction[turn_cnt%4])
elif(b_data=="R"):
    print("Before ",direction[turn_cnt%4])
    while(b_data=="R"):
        right_m()
        turn_cnt=turn_cnt+1
        print("Heading ",direction[turn_cnt%4])
elif(b_data=="S"):
    stop()
elif(b_data=="B"):
    back()
except:
    print("Bluetooth Not Ready!")
    time.sleep(1)
while(a_status):
    if(x>650):
        global b_status
        b_status="b"
        print("Automation done")
    if(cmd!=='forward'):
        forward()

    if((y<y_min) and t_frag and x<x_max and x>x_min):
        turn_right()
        forward()
        time.sleep(5.06)
        turn_right()

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลีภังษ์พาณิชย์ให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

t_frag=False
elif((y>y_max) and (not(t_frag)) and x<x_max and x>x_min):
    turn_left()
    forward()
    time.sleep(5.06)
    turn_left()
    t_frag=True

```

try:

```

if(Realdistance_FL<50):
    print('FL detected Distance =',Realdistance_FL)
    #back()
    turn_right()
    avoid("right")
elif(Realdistance_FR<50):
    print('FR detected Distance =',Realdistance_FR)
    #back()
    turn_left()
    avoid("left")
elif(Realdistance_FM<50):
    print('FM detected Distance = ',Realdistance_FM)
    #back()

```

```

if(Realdistance_FL>Realdistance_FR):

```

```

    turn_right()
    avoid("right")

```

```

else:

```

```

    turn_left()
    avoid("left")

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

except:
pass



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.