

การพัฒนาและสร้างชุดวัดระดับรางที่สามของระบบรถไฟฟ้า

DEVELOPMENT AND CONSTRUCTION OF THIRD RAIL MEASUREMENT DEVICE
IN ELECTRIC TRAIN



นางสาวกฤษณา กุดแกลง

นายฉัตรชัย ศรีเจริญ

นางสาวแพรวพฐ เพียรชูชัย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาและสร้างชุดวัดระดับรางที่สามของระบบรถไฟไฟฟ้า

DEVELOPMENT AND CONSTRUCTION OF THIRD RAIL MEASUREMENT DEVICE
IN ELECTRIC TRAIN



นางสาวกฤษณา กุดแกลง

นายฉัตรชัย ศรีเจริญ

นางสาวแพรวพรุ เพียรชูชัย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT AND CONSTRUCTION OF THIRD RAIL MEASUREMENT DEVICE
IN ELECTRIC TRAIN



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาและสร้างชุดวัดระดับแรงที่สามของระบบรถไฟฟ้

นางสาว กฤษณา กุดแกลง	59010046
นาย ฉัตรชัย ศรีเจริญ	59010241
นางสาว แพรวพรุ เพ็ชรชูชัย	59011003
ดร.ณัฐวุฒิ เรืองตระกูล	อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

รางที่สามเป็นอุปกรณ์จ่ายไฟที่สำคัญในการเดินรถของระบบขนส่งมวลชนแบบระบบราง เนื่องจากรางที่สามนั้นจะทำหน้าที่จ่ายไฟให้กับตัวรถไฟฟ้า หากรางที่สามนั้นวางตัวในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลให้ตัวรับกระแสไฟฟ้า (Current collector shoe) ไม่สามารถรับไฟจากรางที่สามเพื่อส่งให้ตัวรถได้ โดยปัจจุบันการซ่อมบำรุงและตรวจสอบตำแหน่งในการวางตัวของรางที่สามนั้นเป็นการวัดระดับด้วยอุปกรณ์ซึ่งทำมาจากเหล็ก อ่านค่าด้วยสายตา และจดบันทึกด้วยมือ ซึ่งปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาและสร้างชุดวัดระดับรางที่สาม เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายและความแม่นยำในการซ่อมบำรุง โดยได้ออกแบบชุดวัดระดับรางที่สามใหม่ให้มีน้ำหนักเบา โดยเลือกวัสดุในการสร้างเป็นอลูมิเนียมโปรไฟล์ ออกแบบให้สามารถเซ็นได้เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย ใช้ดีสเพลสเมนต์เลเซอร์ เซนเซอร์ ยี่ห้อ HEYI รุ่น LC-S100MN ในการวัดตำแหน่งของรางที่สามและสามารถบันทึกค่าตำแหน่งในแต่ละจุดลงบน SD การ์ด โดยอุปกรณ์เหล่านี้ทำงานและประมวลผลผ่านบอร์ด Arduino nano และโปรแกรม Arduino IDE ซึ่งหลังจากออกแบบ สร้าง และติดตั้งอุปกรณ์ ได้ทำการสอบเทียบเลเซอร์ที่ใช้ในการวัด และได้ทดลองหาความแม่นยำในการวัด โดยชุดวัดระดับรางที่สามนี้สามารถวัดค่าได้โดยมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงเพียงมากที่สุดเพียง 3 มิลลิเมตร คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 4.286 % ซึ่งในการซ่อมบำรุงจริงสามารถยอมรับความคลาดเคลื่อนได้มากถึง ± 10 มิลลิเมตร ชุดวัดระดับรางที่สามนี้มีระยะการติดตั้งเลเซอร์ที่เหมาะสมคือ 100 มิลลิเมตร โดยระยะนี้จะให้ค่าในการวัดที่แม่นยำที่สุด และ SD การ์ดสามารถบันทึกค่าได้ตามคำสั่งของปุ่มใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development and Construction of Third Rail Measurement Device in Electric Train

Kitsana Kudtalang	59010046
Chutchai Sricharoen	59010241
Phraewpatu Phianchuchai	59011003
Dr.Natthawut Ruangtrakoon	Advisor

Abstract

The third rail is an important power supply equipment for the rail transport system. Because the third rail will provide power to the train. If the third rail is positioned improperly, the collector shoe will not be able to receive electricity from the third rail to deliver to the train. Currently, maintenance and inspection of the position of the third rail is to measure the level of equipment made of steel, read values visually and take notes by hand. The dissertation has been prepared for the development and construction of the third level measurement set for increased convenience and accuracy in maintenance by re-designing the third level measurement set to be lightweight by choosing materials to build into aluminum profiles. Designed to be able to be pushed for ease of mobility. Using the HEYI LC-S100MN laser sensor to measure the position of the third rail, record the position at each point on the SD card. These devices operate and process through the Arduino nano board and the Arduino IDE program. which after designing, creating and installing device has calibrated the laser used in the measurement and experimented with measuring accuracy. The level can be measured with only the maximum deviation of only 3 mm. as a percentage error 4.286 %. In actual maintenance, the tolerance can be as much as ± 10 mm. The suitable laser installation is 100 millimeters. This distance will give the most accurate measurement values. The SD card can be recorded according to the instructions of the operation button.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมาจาก ดร.ณัฐวุฒิ เรื่องตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่เอื้อเพื่อให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้ และขอบคุณพี่เจช ที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆในการทำโครงการนี้

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



นางสาวกฤษณา กุดแกลง
นายฉัตรชัย ศรีเจริญ
นางสาวแพรวพฐ เพ็ชรชูชัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปภาพ.....	VIII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 โครงสร้างรายงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 วิธีการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ระบบรางที่สาม	4
2.2 ตำแหน่งของรางรถไฟและรางที่สาม	5
2.3 เครื่องมือวัดระยะ	6
2.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้วัดโดยสัมผัสชิ้นงานโดยตรง	6
2.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้วัดโดยไม่สัมผัสชิ้นงาน	7
2.4 เซนเซอร์สำหรับงานวัดแบบเลเซอร์	7
2.5 อาร์ดูโน้ (Arduino).....	10
2.5.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware)	10
2.5.2 ซอฟต์แวร์ (Software)	12
2.6 บอร์ดอาร์ดูโน้ นาโน (Arduino nano).....	13
2.7 ภาษาทางคอมพิวเตอร์	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และหวังอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7.1 ภาษา C++	15
2.7.2 คอมไพเลอร์.....	16
2.8 อลูมิเนียมโปรไฟล์ (Aluminum Profile).....	17
2.9 ลูกล้ออุตสาหกรรม.....	17
2.9.1 ล้อยางธรรมชาติ	18
2.9.2 ล้อเหล็กหล่อ.....	18
2.9.3 ล้อไนลอน	19
2.9.4 ล้อยูรีเทน.....	19
บทที่ 3 การดำเนินงาน.....	20
3.1 ชุดวัดระดับรางที่สามส่วนโครงสร้างทางกล.....	20
3.1.1 การออกแบบ และการเขียนแบบ	21
3.1.2 การเลือกวัสดุ.....	22
3.1.2.1 โครงสร้างหลักของชุดวัดระดับรางที่สาม	22
3.1.2.2 ล้อ.....	25
3.1.2.3 ตลับลูกปืน	26
3.1.2.4 Spring and Core	27
3.1.2.5 บานพับ	28
3.1.2.6 Handle.....	29
3.2 ชุดวัดระดับรางที่สามส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	30
3.2.1 การออกแบบขั้นตอนการทำงาน	30
3.2.2 แผนผังการทำงานของชุดวัดระดับรางที่สาม	31
3.2.3 แผนผังวงจรของชุดวัดระดับรางที่สาม	33
3.2.4 การต่อวงจรของชุดวัดระดับรางที่สาม.....	34
3.2.5 การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน	34
3.2.6 การเลือกใช้แบตเตอรี่.....	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	40
4.1 ผลการทดสอบการทำงานของเลเซอร์ก่อนการติดตั้ง	40
4.1.1 ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัด (Calibration)	40
4.1.2 ผลการทดสอบการทำงานของเลเซอร์หลังการสอบเทียบอุปกรณ์	42
4.2 ผลการทดสอบการทำงานของเลเซอร์หลังการติดตั้ง	43
4.2.1 ผลการทดสอบการทำงานของเลเซอร์หลังจากติดตั้ง	43
4.2.2 ผลการทดสอบการบันทึกค่าผ่าน SD การ์ด	45
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	49
5.1 สรุปผลการทดลอง	49
5.2 ข้อเสนอแนะ	49
เอกสารอ้างอิง	51
ภาคผนวก ก ขั้นตอนการประกอบเครื่องมือ	52
ภาคผนวก ข รูปการสร้างรางที่สามจำลอง	60
ภาคผนวก ค รูปขณะทดสอบเลเซอร์	63
ภาคผนวก ง ทดสอบการบันทึกค่าและการแจ้งเตือน	65
ภาคผนวก จ โค้ดในการสั่งการเซนเซอร์ ผ่านโปรแกรม Arduinio IDE	67
ภาคผนวก ฉ การออกแบบเพิ่มเติมผ่านโปรแกรม Auto CAD	74

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของเลเซอร์ HEYI รุ่น LC-S100MN.....	8
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบอาคูโนรุ่นต่างๆ.....	11
ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติ Arduino nano	14
ตารางที่ 3.1 ชื่อชิ้นส่วนต่างๆของชุดวัดระดับรางที่สาม.....	22
ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทางกลของ Aluminum Profile 45x45L (Aluminum 6063 T5),..... Stainless Steel 304 45x45 , Carbon Fiber 45x45.....	23
ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติทางกลของ Natural rubber, Nylon6, Urethane.....	25
ตารางที่ 4.1 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการสอบเทียบอุปกรณ์.....	41
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการทำงานของเลเซอร์.....	43
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการใช้งานจริง	44
ตารางที่ 4.4 ความคลาดเคลื่อนจากการทดลองการใช้งานจริง	44

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 รางที่สาม หรือ รางตัวนำ	4
รูปที่ 2.2 แบบจำลองรางที่สาม หรือ รางตัวนำ	5
รูปที่ 2.3 ตำแหน่งในของรางรถไฟและรางที่สาม	6
รูปที่ 2.4 หลักการทำงานของ Displacement Laser Sensors	8
รูปที่ 2.6 บอร์ดอาดูโน่ Nano	10
รูปที่ 2.7 บอร์ดอาดูโน่ Mega	11
รูปที่ 2.8 โปรแกรม Arduino IDE	12
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างโค้ดสำหรับการเขียนโปรแกรม Arduino IDE	12
รูปที่ 2.10 โครงสร้าง Arduino nano	13
รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของบอร์ด Arduino nano	14
รูปที่ 2.12 อลูมิเนียมโปรไฟล์	17
รูปที่ 2.13 ล้อยางธรรมชาติ	18
รูปที่ 2.14 ล้อเหล็กหล่อ	18
รูปที่ 2.15 ล้อไนลอน	19
รูปที่ 2.16 ล้อยูรีเทน	19
รูปที่ 3.1 ชุดวัดระดับรางที่สามในปัจจุบัน	20
รูปที่ 3.2 ชุดวัดระดับรางที่สามมุมมองด้านหน้า	21
รูปที่ 3.3 ชุดวัดระดับรางที่สามด้านบน	21
รูปที่ 3.4 ชิ้นส่วนต่างๆของชุดวัดระดับรางที่สาม	21
รูปที่ 3.5 การจำลองการทำงานของชุดวัดระดับรางที่สาม	22
รูปที่ 3.6 Aluminum Profile 45x45L	23
รูปที่ 3.7 ขนาดของแรงแต่ละตำแหน่งที่กระทำชุดวัดระดับรางที่สาม	24
รูปที่ 3.8 ล้อ	25
รูปที่ 3.9 ตัวอย่าง Deep Groove Ball Bearings	26
รูปที่ 3.10 Deep Groove Ball Bearings ขณะหมุนข้างรางรถไฟ	26

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.11	ตลับลูกปืนจากการออกแบบ.....	27
รูปที่ 3.12	Spring and Core.....	27
รูปที่ 3.13	บานพับที่ออกแบบเพื่อให้สามารถพับได้เกิน 180 องศา.....	28
รูปที่ 3.14 และ 3.15	ตัวอย่างการพับ.....	28
รูปที่ 3.16	จำลองการใช้งาน Handle.....	29
รูปที่ 3.17	การปรับมุม Handle มุมมองด้านข้าง และการจำลองการใช้งาน.....	29
รูปที่ 3.18	Handle ที่พับเก็บแล้ว.....	30
รูปที่ 3.19	แผนผังการทำงานของชุดวัดระดับรางที่สาม.....	31
รูปที่ 3.20	แผนผังวงจรของชุดวัดระดับรางที่.....	33
รูปที่ 3.21	Header ของโปรแกรม.....	34
รูปที่ 3.22	การประกาศตัวแปรของอุปกรณ์.....	35
รูปที่ 3.23	ฟังก์ชัน setup.....	36
รูปที่ 3.24	ส่วนแรกของฟังก์ชัน loop.....	37
รูปที่ 3.25	ส่วนที่สองของฟังก์ชัน loop.....	37
รูปที่ 3.26	ส่วนเงื่อนไขสุดท้ายของการวัดค่า.....	38
รูปที่ 3.27	ส่วนที่ใช้ในการบันทึกค่าลง SD card.....	38
รูปที่ 3.28	ตัวอย่างแบตเตอรี่ Li-ion.....	39
รูปที่ 4.1	ชุดวัดระดับรางที่สาม.....	40
รูปที่ 4.2	การทดสอบเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้ากับระยะห่างของวัตถุ.....	41
รูปที่ 4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของวัตถุกับแรงดันไฟฟ้า.....	42
รูปที่ 4.4	การทดสอบการใช้งานจริงบนรางจำลอง.....	43
รูปที่ 4.5	การทดสอบการบันทึกค่ากรณีที่วัตถุอยู่ในช่วงที่สามารถวัดค่าได้ทั้ง 2 แกน.....	45
รูปที่ 4.6	การทดสอบการบันทึกค่ากรณีที่แกนใดแกนหนึ่งไม่อยู่ในช่วงที่วัดค่าได้ (1).....	45
รูปที่ 4.7	การทดสอบการบันทึกค่ากรณีที่แกนใดแกนหนึ่งไม่อยู่ในช่วงที่วัดค่าได้ (2).....	46
รูปที่ 4.8	การทดสอบการบันทึกค่ากรณีที่ไม่สามารถวัดค่าได้ทั้ง 2 แกน.....	46
รูปที่ 4.9	ผลการบันทึกค่ากรณีที่วัตถุอยู่ในช่วงที่สามารถวัดค่าได้ทั้ง 2 แกน.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ ^{IX} หวังอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.10 ผลการบันทึกค่ากรณีที่แกนใดแกนหนึ่งไม่อยู่ในช่วงที่วัดค่าได้..... 47

รูปที่ 4.11 ผลการบันทึกค่ากรณีที่ไม่สามารถวัดค่าได้ทั้ง 2 แกน..... 47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

PLC	Programmable logic control
UART	Universal asynchronous receiver and transmitter
M_r	โมเมนต์ที่ศทวนเข็มนาฬิกา, Nm
M_c	โมเมนต์ที่ศตามเข็มนาฬิกา, Nm
M_{total}	ผลรวมของโมเมนต์, Nm
LED	Light-emitting diode
LCD	Liquid crystal display
I2C	Inter integrate circuit bus
Li-ion	Lithium-ion battery
COVID-19	Corona virus disease 2019

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันระบบขนส่งมวลชนที่สำคัญของประเทศไทยนั้นคือระบบขนส่งทางราง ซึ่งระบบขนส่งทางรางนั้นเป็นระบบขนส่งที่สำคัญที่สุดของคนในเมืองหลวง เนื่องจากประหยัดเวลาในการเดินทาง และสามารถวางแผนเรื่องเวลาในการเดินทางได้ดีกว่าระบบขนส่งมวลชนประเภทอื่นๆ ปัจจุบันระบบขนส่งทางรางได้เริ่มมีการขยายตัวอย่างมากในประเทศไทย ได้มีการสร้างรถไฟฟ้าหลายเส้นทางทั่วกรุงเทพมหานคร และสร้างรถไฟฟ้าเชื่อมต่อระหว่างหลายจังหวัด เช่น รถไฟความเร็วสูงเชื่อมต่อระหว่างกรุงเทพมหานคร – นครราชสีมา รถไฟความเร็วสูงเชื่อมต่อ 3 สนามบิน (สนามบินดอนเมือง – สุวรรณภูมิ – อู่ตะเภา) ฯลฯ ปัจจัยที่มีผลต่อการเดินทางอย่างมีประสิทธิภาพมีมากมาย โดยปัจจัยที่สำคัญคือการซ่อมบำรุง การซ่อมบำรุงที่ดีนั้นจะต้องคงประสิทธิภาพของตัวรถและรางให้พร้อมใช้งานอย่างสม่ำเสมอ เช่น ระบบการจ่ายไฟของรถไฟฟ้า ซึ่งหมายถึงระบบจ่ายไฟของรางที่สาม ซึ่งระบบนี้เป็นหัวใจหลักในการเดินทางของรถไฟฟ้าในปัจจุบัน

รางที่สาม (Third rail) เป็นรางตัวนำลักษณะกึ่งแข็งที่มีกระแสไฟฟ้าเพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับขบวนรถไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง รางนี้จะถูกวางที่ด้านข้างรางวิ่งของรถไฟ โดยทั่วไปมักจะถูกใช้ในระบบขนส่งมวลชนหรือระบบรถไฟฟ้าขนส่งความเร็วสูง ส่วนใหญ่รางที่สามจะจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ระบบรถไฟฟ้ามหานครของกรุงเทพ ใช้ไฟฟ้า 750 โวลต์ ดังนั้นรางที่สามของรถไฟนั้นจึงควรอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถจ่ายไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง หากการวางตัวของรางที่สามอยู่ในตำแหน่งที่ไม่ได้มาตรฐาน จะส่งผลกระทบต่อการทำงานของขบวนรถ และอาจก่อให้เกิดความเสียหายกับตัวรับกระแสไฟฟ้า (Current collector shoe) และรางที่สาม

โดยในการซ่อมบำรุงแต่ละรอบนั้นจะมีการวัดค่าประมาณ 10 จุดขึ้นไป ในช่วงระยะทาง 3.5 กิโลเมตร ซึ่งโครงสร้างหลักของชุดวัดระดับรางที่สามแบบเดิมนั้นทำจากเหล็ก มีน้ำหนักมาก ส่งผลให้ไม่สะดวกในการขนย้าย มีการอ่านค่าด้วยสายตาซึ่งมีความแม่นยำในการวัดต่ำ ชุดวัดระดับรางที่สามที่ได้ออกแบบใหม่นั้น เลือกใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบาทำเป็นโครงสร้างหลัก ใช้เลเซอร์ในการวัดการวางตัวของรางที่สามในแนวนอนและแนวตั้ง โดยอ้างอิงจากระดับหัวรางวิ่งรถไฟ ฟันที่ติดกับรางที่สาม ซึ่งมีความแม่นยำสูง และมีความทนทานในจุดที่ต้องการวัดได้

จากที่กล่าวมาข้างต้นเป็นความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์เล่มนี้ของทางคณะผู้จัดทำ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความสะดวกสบายในการใช้งานชุดวัดระดับรางที่สามแก่ผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 ศึกษา ออกแบบ และพัฒนาชุดวัดระดับรางที่สาม
- 1.2.2 ศึกษาระบบการทำงานของเซนเซอร์ชนิด ดิสเพลสเมนต์เลเซอร์เซนเซอร์(Displacement Laser sensor)
- 1.2.3 ศึกษาการเขียนซอฟต์แวร์อาดูโน่ ในการควบคุมการทำงานของเลเซอร์เพื่อตรวจจับตำแหน่งการวางตัวของรางที่สาม
- 1.2.4 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเลเซอร์และชุดวัดระดับรางที่สาม

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ออกแบบและสร้างชุดวัดระดับรางที่สาม โดยใช้หลักการทำงานของของดิสเพลสเมนต์เลเซอร์เซนเซอร์
- 1.3.2 สร้างชุดอุปกรณ์วัดระดับรางที่สาม โดยสามารถแสดงผลผ่านหน้าจ้ออาดูโน่ขณะใช้งาน และสามารถบันทึกค่าระหว่างการใช้งาน
- 1.3.3 ศึกษาวิธีการวัดตำแหน่งของรางที่สาม โดยการเขียนโค้ดผ่านโปรแกรม Arduino IDE

1.4 โครงสร้างรายงาน

รายงานฉบับนี้ได้อธิบายขั้นตอนและวิธีในการออกแบบ รวมทั้งผลการทดลอง โดยมีรายละเอียดเนื้อหาดังต่อไปนี้

- บทที่ 1 บทนำ
- บทที่ 2 หลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- บทที่ 3 การออกแบบ และการตั้งค่าอุปกรณ์
- บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง
- บทที่ 5 บทสรุป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถเพิ่มความแม่นยำ และความสะดวกรวดสบายในการวัดตำแหน่งของรางที่สาม
- 1.5.2 สามารถเขียนโปรแกรม Arduino IDE ควบคุมการทำงานของเลเซอร์ได้
- 1.5.3 เรียนรู้ระบบการทำงานของเลเซอร์ และอาดูโน่
- 1.5.4 สามารถพัฒนาและสร้างชุดวัดระดับรางที่สามให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น และมีฟังก์ชันการทำงานให้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 วิธีการดำเนินงาน

1.6.1 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีเกี่ยวกับการทำงานของ โปรแกรมอาคูโนและดิสเพลสเมนต์เลเซอร์ เซนเซอร์

1.6.2 เขียนแผนผังการทำงานของดิสเพลสเมนต์เลเซอร์เซนเซอร์ และออกแบบชุดวัดระดับรางที่สามส่วนโครงสร้างทางกล

1.6.3 ทดลองสั่งการทำงานดิสเพลสเมนต์เลเซอร์เซนเซอร์

1.6.4 ประกอบชุดวัดระดับรางที่สามส่วนโครงสร้างทางกลและส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้าด้วยกัน ทดสอบการใช้งาน และบันทึกข้อมูล

1.6.5 สรุปการใช้งานชุดวัดระดับรางที่สาม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

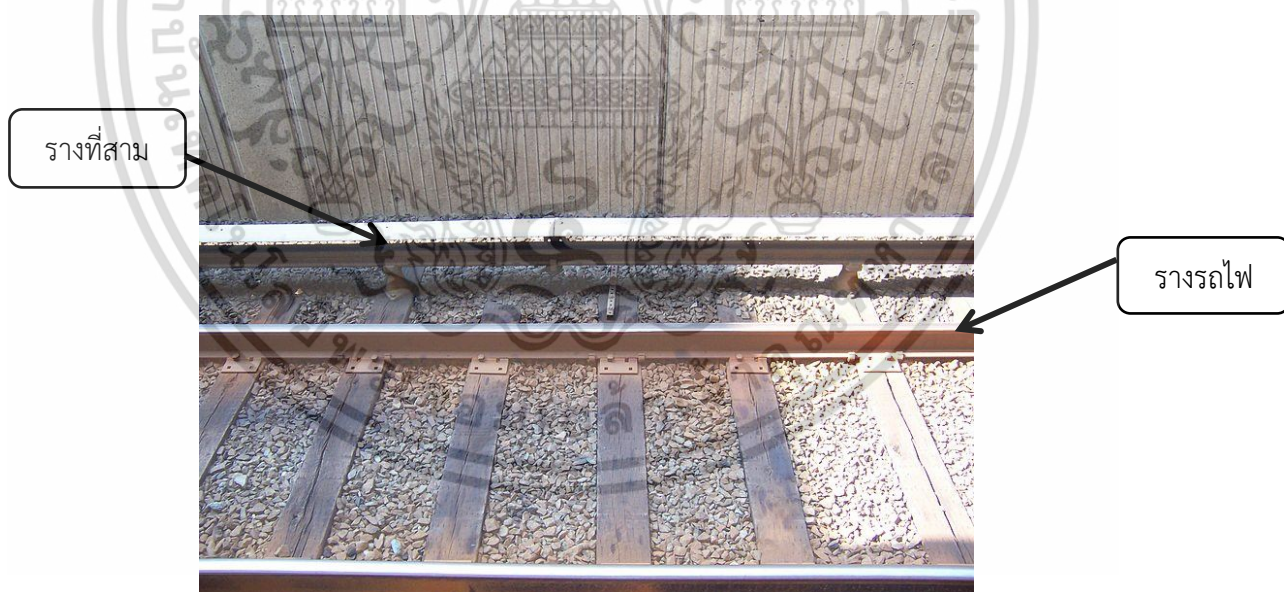
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

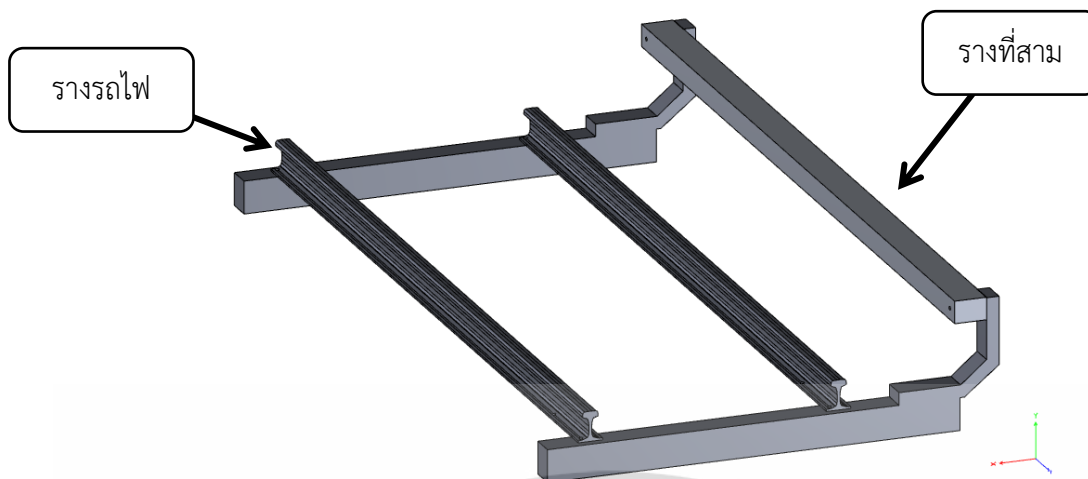
2.1 ระบบรางที่สาม

ระบบรางที่สาม หรือ รางตัวนำ (Third rail system) เป็นรางลักษณะกึ่งแข็งที่มีกระแสไฟฟ้า เป็นระบบจ่ายไฟฟ้าหลักที่สำคัญของระบบขนส่งทางราง ทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับขบวนรถไฟอย่างต่อเนื่อง รางนี้จะถูกวางที่ด้านข้างหรือระหว่างรางวิ่งของรถไฟ โดยทั่วไปมักจะถูกใช้ในระบบขนส่งมวลชนหรือระบบรถไฟฟ้าขนส่ง ส่วนใหญ่รางที่สามจะจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ระบบรถไฟฟ้ามหานครกรุงเทพ ใช้ไฟ 750 โวลต์ รางที่สามมักจะทำจากเหล็กหรืออลูมิเนียม การนำไฟฟ้าสูงและรางวิ่งแต่ละช่วงจะต้องถูกเชื่อมต่อทางไฟฟ้าโดยใช้การหลอมติดกันด้วยลวดหรืออุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อลดความต้านทานในวงจรไฟฟ้า รางที่สามมักถูกยึดด้วยฉนวนเซรามิก หรือฉนวนก้ำมปู โดยทั่วไปแล้วทุกๆระยะ 10 ฟุต หรือ 3.0 เมตร

หัวรถจักรจะมีบล็อกหน้าสัมผัสโลหะที่เรียกว่า รางเท้าหน้าสัมผัส หรือ รางเท้ารับไฟ ซึ่งแตะกับรางที่สาม กระแสไฟฟ้าจะไหลจากรางที่สามจ่ายให้มอเตอร์กระแสตรงที่เป็นเครื่องยนต์ขับเคลื่อนขบวนรถไฟ และถูกส่งกลับให้ครบวงจรไปยังสถานีผลิตไฟฟ้าผ่านทางรางวิ่ง



รูปที่ 2.1 รางที่สาม หรือ รางตัวนำ



รูปที่ 2.2 แบบจำลองรางที่สาม หรือ รางตัวนำ

ข้อดีของรางที่สาม

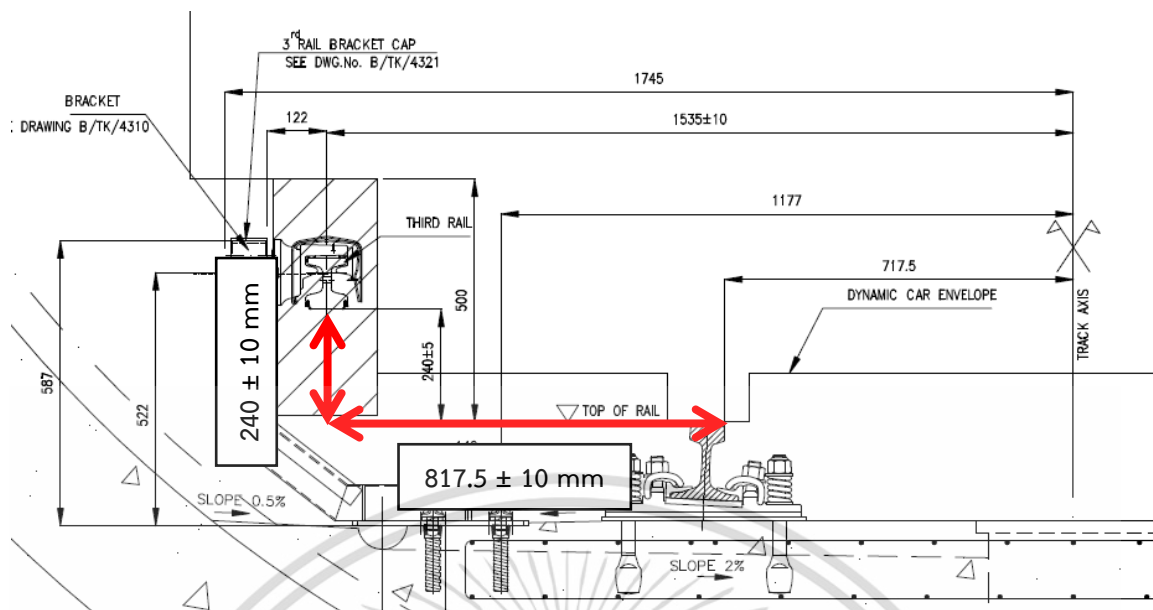
1. ระบบรางที่สามมีราคาถูกกว่าการติดตั้งระบบจ่ายไฟฟ้าเหนือหัวขบวน เนื่องจากไม่ต้องมีโครงสร้างตามถนนสำหรับติดตั้งระบบจ่ายไฟฟ้า
2. ไม่มีความจำเป็นต้องสร้างสะพานลอยหรืออุโมงค์ใหม่เพื่อให้มีระยะห่างจากตัวขบวนรถไฟพอสมควร ทำให้เสียค่าใช้จ่ายมาก และไม่บังคับทัศนียภาพ

ข้อเสียของรางที่สาม

1. ต้องมีจุดป้องกันพลังงาน (สถานีไฟฟ้าย่อย) เพื่อลดปัญหา Electric shock ในบริเวณที่อยู่ใกล้กับพื้นดิน ซึ่งจะทำให้สูญเสียความต้านทานในระบบ ดังนั้นจึงต้องมีสถานีไฟฟ้าย่อยใกล้ๆ เพื่อลดปัญหานี้
2. เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างรอยต่อของรางที่สาม (เช่นที่ระดับข้ามและระดับชุมทาง) มีความเป็นไปได้ที่รถไฟจะหยุดอยู่ในตำแหน่งที่รองรับกระแสไฟฟ้ทุกตัวอยู่ในช่องว่างพอดี ทำให้ไม่มีไฟฟ้าจ่ายให้ขบวนรถไฟได้ เหตุการณ์นี้รถไฟจะถูกเรียกว่า “ตกแกร็บ” (gapped)

2.2 ตำแหน่งของรางรถไฟและรางที่สาม

ขนาดความกว้างระหว่างรางรถไฟ หรือ แทร็คเกจ (Track gauge) หมายถึง ระยะห่างที่วัดระหว่างหัวรางรถไฟด้านในของทั้งสองราง ซึ่งปริณญาณินพนธ์เล่มนี้ใช้มาตรฐานรางของรถไฟสายสีน้ำเงินเป็นหลัก ซึ่งมี Standard gauge คือ 1.435 เมตร และใช้ระบบรางที่สามในการจ่ายไฟให้แก่ขบวนรถไฟ โดยรางที่สามมีการวางตำแหน่งดัง รูปที่ 2.3 โดยตำแหน่งของรางที่สามมีระยะตามแกน X 817.5 มิลลิเมตร และมีระยะตามแกน Y 240 มิลลิเมตร โดยทั้ง 2 ค่านี้วัดจากด้านในหัวรางรถไฟฝั่งที่ติดกับรางที่สาม และในการซ่อมบำรุงแต่ละครั้งตำแหน่งของรางที่สามสามารถคลาดเคลื่อนได้ 10 มิลลิเมตร หากมีการคลาดเคลื่อนเกินนี้ต้องทำการซ่อมบำรุง เพื่อให้รถไฟสามารถเดินรถได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ตำแหน่งในของรางรถไฟและรางที่สาม

2.3 เครื่องมือวัดระยะ

ในปัจจุบันการวัดระยะ หรือ การวัดความสูงของชิ้นงานนั้นจะมีอุปกรณ์ที่นำมาใช้วัดอยู่หลากหลายรูปแบบ โดยอุปกรณ์แต่ละแบบนี้จะมีคุณสมบัติ และลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป การเลือกอุปกรณ์ในการวัดควรเลือกเครื่องมือให้เหมาะสมกับชิ้นงานและสภาพแวดล้อม ซึ่งสามารถแบ่งอุปกรณ์สำหรับการวัดตามลักษณะการใช้งานได้ 2 ประเภท ดังนี้

2.3.1. อุปกรณ์ที่ใช้วัดโดยสัมผัสชิ้นงานโดยตรง เช่น ไม้บรรทัด ตลับเมตร เวอเนียร์คาลิเปอร์ เซนเซอร์แบบกดสัมผัสชิ้นงาน เป็นต้น

ข้อดีของอุปกรณ์ประเภทนี้ คือ

- ติดตั้งและง่ายต่อการใช้งาน
- ใช้ได้กับวัสดุทุกประเภท และทุกสภาพผิว
- ราคาถูก

ข้อเสียของอุปกรณ์ประเภทนี้ คือ

- เนื่องจากอุปกรณ์การวัดต้องสัมผัสชิ้นงานขณะวัด จึงอาจทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหาย หรือเป็นรอยได้ง่าย เช่น กระจก ชิปขนาดเล็ก เป็นต้น
- ความละเอียดในการวัดต่ำ
- ช่วงเวลาในการวัดและเวลาตอบสนองในการวัดจะช้ากว่าอุปกรณ์การวัดที่ไม่ต้องสัมผัสชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไม่สามารถวัดชิ้นงานที่ลักษณะการผลิตเป็นแบบยาวต่อเนื่องหรือเคลื่อนที่ตลอดเวลาได้ เช่น ยางแผ่นยาว ท่อ PVC แท่งเหล็กยาว เป็นต้น

2.3.2. อุปกรณ์ที่ใช้วัดโดยไม่สัมผัสชิ้นงาน เช่น เซนเซอร์สำหรับงานวัดแบบเลเซอร์, อุลตราโซนิกเซนเซอร์ (Ultrasonic sensor), เซนเซอร์สำหรับงานวัดชนิดสนามแม่เหล็ก (High accuracy eddy current type displacement sensor), โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ (Photoelectric sensor) เป็นต้น

ข้อดีของอุปกรณ์ประเภทนี้ คือ

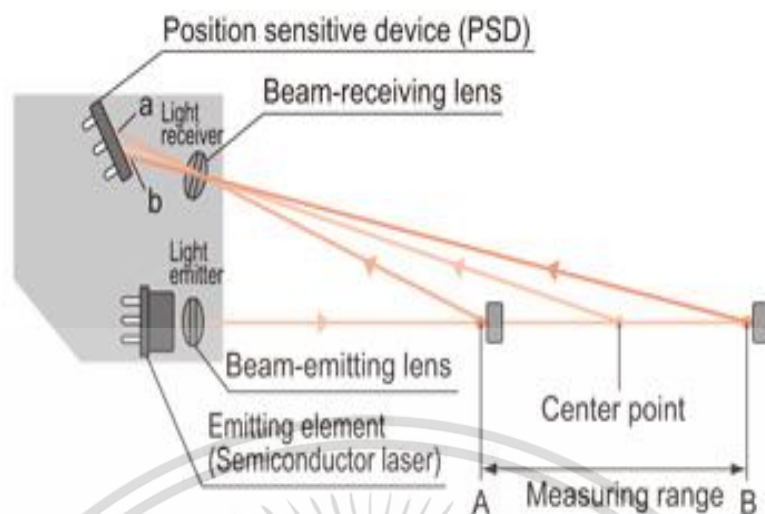
- เนื่องจากการวัดประเภทนี้ไม่มีการสัมผัสชิ้นงาน ทำให้ไม่เกิดการเสียหายในชิ้นงาน
- สามารถใช้วัดชิ้นงานขณะที่เคลื่อนที่ได้ หรือในชิ้นงานที่มีการผลิตอย่างต่อเนื่อง
- สามารถวัดได้ในระยะไกล
- มีอายุการใช้งานที่ยาวนานเนื่องจากไม่มีการสัมผัสกับชิ้นงาน ทำให้เครื่องมือไม่เกิดความเสียหาย
- ความเร็วในการตอบสนองรวดเร็ว และสามารถแสดงผลได้อย่างต่อเนื่อง
- มีความแม่นยำและความละเอียดในการวัด

ข้อเสียของอุปกรณ์ประเภทนี้ คือ

- ต้องมีความชำนาญและมีความรู้ในการเลือกประเภทของเซนเซอร์ให้เหมาะสมกับชิ้นงานและสภาพแวดล้อม โดยอุปกรณ์ประเภทนี้มีข้อจำกัดในการทำงาน เช่น เซนเซอร์บางประเภทเหมาะสำหรับการวัดกระจก แต่ไม่เหมาะสมกับการวัดอลูมิเนียม เป็นต้น
- ราคาค่อนข้างสูงกว่าอุปกรณ์ที่ใช้วัดโดยสัมผัสชิ้นงานโดยตรง

2.4 เซนเซอร์สำหรับงานวัดแบบเลเซอร์

เซนเซอร์สำหรับงานวัดแบบเลเซอร์ คือ เซนเซอร์ตรวจจับระยะทางและขนาดชิ้นงานแบบไม่สัมผัสกับวัตถุ สามารถเชื่อมตัวกับคอมพิวเตอร์หรือพีแอลซี (PLC) ได้ โดยหลักการทำงานของเซนเซอร์ คือ จะใช้ลำแสงเลเซอร์เป็นตัวส่ง โดยการยิงลำแสงเลเซอร์ไปยังตัววัตถุและสะท้อนกลับมายังตัวรับของเซนเซอร์ ตัวรับจะทำการประมวลผลค่าที่อ่านได้แล้วแสดงผลออกมาในรูปแบบตัวเลขผ่านหน้าจอแสดงผลแบบดิจิทัล ซึ่งภาพที่ 2.4 ได้แสดงถึงหลักการทำงานของเลเซอร์ประเภทนี้ไว้ โดยปริญาณิพนธ์เล่มนี้ได้เลือกการใช้เลเซอร์ ยี่ห้อ HEYI รุ่น LC-S100MN โดยมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.4 หลักการทำงานของ Displacement Laser Sensors

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของเลเซอร์ HEYL รุ่น LC-S100MN

Type	Dual output
Model	LC-S100MN
Measurement center distance	100 mm.
Measurement range	± 35 mm.
Repeatability	100 μ m
Linearity	$\pm 0.1\%$ F.S.
Temperature characteristic	0.03%F.S./ $^{\circ}$ C
Light source	Red semiconductor laser Class 2 (JIS / IEC / GB) / Class II Max. output: 1mW, Emission peak wavelength: 655nm
Beam diameter	about \varnothing 150 μ m
Supply voltage	12 to 24V DC $\pm 10\%$, Ripple P-P 10% or less
Power consumption	40mA or less (at 24V DC supply voltage), 60mA or less (at 12V DC supply voltage)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Control output	<p><NPN output type></p> <p>NPN open-collector transistor</p> <ul style="list-style-type: none"> • Maximum sink current: 50mA • Applied voltage: 30V DC or less • Residual voltage: 1.5V or less • Leakage current: 0.1 mA or less
Output operation	Switchable either Light-ON or Dark-ON
Analogue output	<p>Output range: 0 to 5V</p> <p>Output impedance: 100Ω</p> <p>Output range: 4 to 20 mA</p> <p>Load impedance: 300 Ω or less</p>
Response time	Switchable between 1.5ms / 5ms / 10ms
External input	<p>NPN non-contact input, Valid: 0 to +1.2V DC</p> <p>Input impedance: Approx. 10kΩ</p>
Protection	IP67(IEC)
Degree of pollution	2
Ambient temperature	-10 to +45°C , Storage: -20 to +60°C
Ambient humidity	35 to 85% RH, Storage: 35 to 85% RH
Ambient illuminance	Incandescent lamp: Acceptance surface illuminance 3,000lx or less
Operating altitude	2,000m or less
Cable	0.15mm ² 5-core composite cable, 2m long
Material	Enclosure: Aluminum die-cast, Front cover: Acrylic
Weight	Approx. 35g (without cable), pprox.. 85g (including cable)
Applicable standard	EMC Directive Compliance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

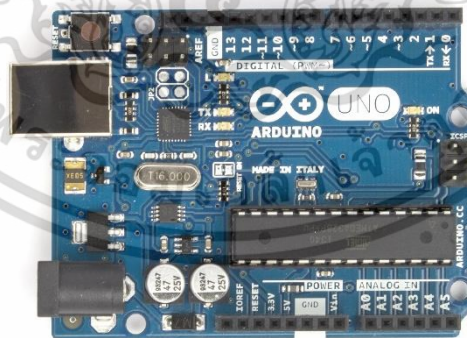
2.5 อาดูโน่ (Arduino)

อาดูโน่ เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็ก โดยใช้ AVR ขนาดเล็กเป็นตัวประมวลผลและสั่งงาน โดยการนำชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ร่วมกับภาษาซี ซึ่งภาษาซีนี้เป็นลักษณะเฉพาะ คือมีการเขียนไลบลำดับของอาดูโน่ ขึ้นมาเพื่อให้การสั่งงานไมโครคอนโทรลเลอร์ที่แตกต่างกัน สามารถใช้งานโค้ดตัวเดียวกันได้ โดยแพลตฟอร์มของอาดูโน่ นั้นถูกออกแบบมาให้ใช้งานง่าย เหมาะสำหรับนำไปใช้ในการศึกษาเรียนรู้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ และนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมอุปกรณ์ อินพุท (Input) และเอาต์พุท (Output) ต่างๆ ทั้งในที่เป็นการทำงานตัวเดียวอิสระ หรือทำงานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น คอมพิวเตอร์ โดยอาดูโน่ สนับสนุนการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ทั้งแบบดิจิทัล และอนาล็อก เช่น การรับค่าจากสวิตช์ หรือ อุปกรณ์ตรวจจับแบบต่างๆ รวมไปถึง การควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุตตั้งแต่ รีเลย์ หลอดไฟ มอเตอร์ และ ฯลฯ โดยส่วนประกอบหลักของอาดูโน่ นั้นประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์

2.5.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

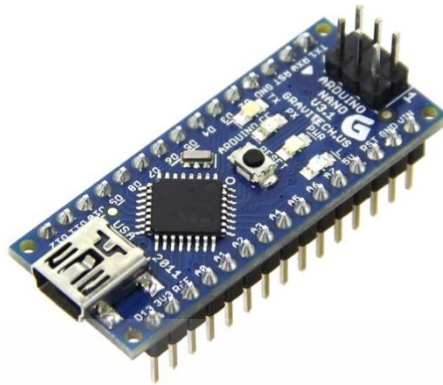
ฮาร์ดแวร์ของอาดูโน่ หรือ บอร์ดอาดูโน่ เป็นบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่ไม่มีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นชิ้นส่วนหลักประกอบกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอื่นๆ โดยบอร์ดอาดูโน่ มีหลากหลายรุ่นที่มีประสิทธิภาพแตกต่างกันในเรื่องของขนาดบอร์ด หรือแบบเช่น จำนวนของขาในการรับส่งสัญญาณ แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ ประสิทธิภาพของ MCU เป็นต้น

ตัวอย่างบอร์ดอาดูโน่ รุ่นที่นิยมใช้งาน



รูปที่ 2.5 บอร์ดอาดูโน่ Uno

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 บอร์ดอาดูโน่ Nano



รูปที่ 2.7 บอร์ดอาดูโน่ Mega

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ต่างๆ

Name	Processor	Operating Input Voltage	CPU Speed	Analog In/Out	Digital IO/PWM	USB
101	Intel® Curie	3.3 V / 7-12V	32MHz	6 / 0	14 / 4	Regular
LilyPad	ATmega168V	2.7-5.5 V	8MHz	6 / 0	14 / 6	-
LilyPad USB	ATmega32U4	3.3 V / 3.8-5 V	8 MHz	4 / 0	9 / 4	Micro
Mega 2560	ATmega2560	5 V / 7-12 V	16 MHz	16 / 0	54 / 15	Regular
Pro	ATmega168	3.3 V / 3.35-12 V	8 MHz	6 / 0	14 / 6	-
Uno	ATmega328P	5V / 7-12 V	16 MHz	6 / 0	14 / 6	Regular
Zero	ATSAMD21G18	3.3V / 7-12V	48 MHz	6 / 1	14 / 10	2 Micro
Leonardo	ATmega32U4	5V / 7-12 V	16 MHz	12 / 0	20 / 7	Micro
Mini	ATmega328P	5 V / 7-9 V	16 MHz	8 / 0	14 / 6	-
Nano	ATmega168	5 V / 7-9 V	16 MHz	8 / 0	14 / 6	Mini

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2. ซอฟต์แวร์ (Software)

ภาษาที่ใช้เขียนโค้ดควบคุมบอร์ดอาดูโน่ เป็นภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมที่มีไวยากรณ์แบบเดียวกับภาษาซี และโปรแกรมอาดูโน่ IDE เป็นเครื่องมือสำหรับเขียนโค้ดโปรแกรม การคอมไพล์โปรแกรม และอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ด



รูปที่ 2.8 โปรแกรม Arduino IDE



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างโค้ดสำหรับการเขียนโปรแกรม Arduino IDE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 บอร์ดอาร์ดูโนโน (Arduino nano)

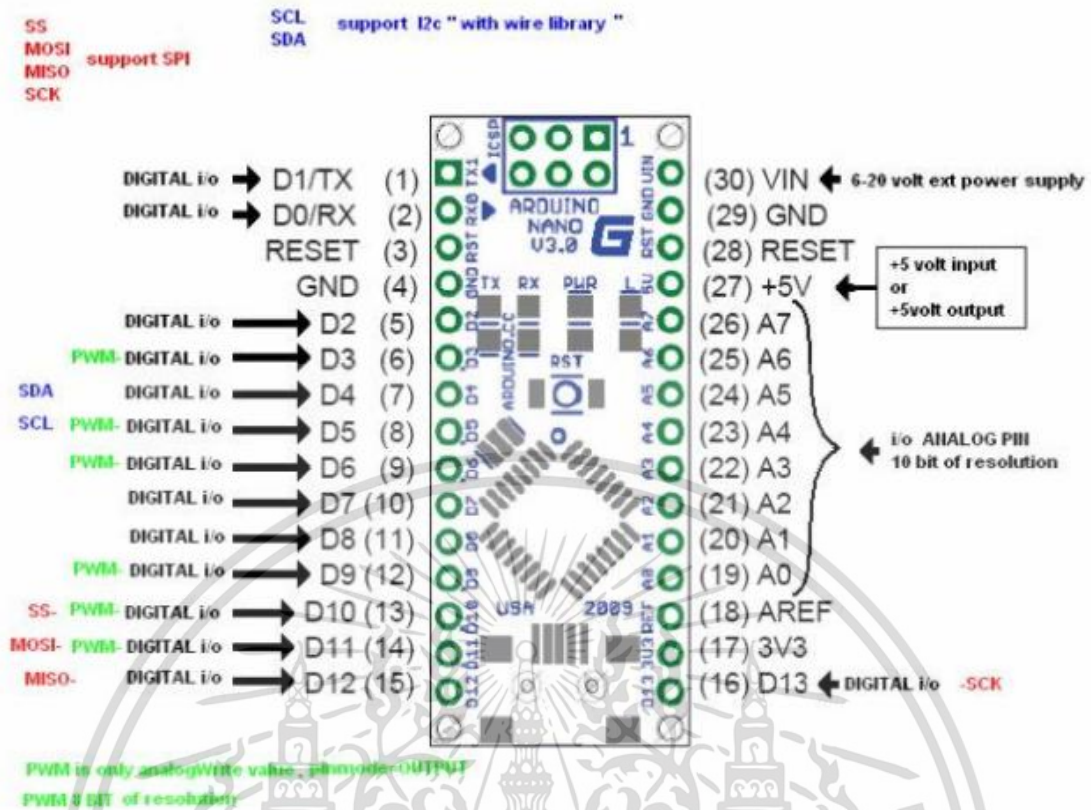
บอร์ดอาร์ดูโนโน ออกแบบมาให้มีขนาดเล็ก และใช้กับงานทั่วไป ใช้ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์ ATmega328P โปรแกรมผ่านโปรโตคอล UART มีชิป USB to UART ใช้ Mini USB เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ มีพอร์ตดิจิทัลอินพุตเอาต์พุต 14 พอร์ต มีพอร์ตอนาล็อกอินพุต 8 พอร์ต บนบอร์ดยังมีเรกกูเลเตอร์ สามารถจ่ายไฟได้ตั้งแต่ 7 - 12V เพื่อให้บอร์ดทำงานได้ (จ่ายไฟที่ขา VIN) กรณีมีแหล่งจ่ายไฟ 5V อยู่แล้วก็จ่ายไฟเข้าได้ที่ขา 5V

Arduino Nano เป็น Arduino ที่ใช้หน่วยประมวลผล ATmega328 เช่นเดียวกับ Arduino Uno ความสามารถจึงเท่ากัน แตกต่างที่ Arduino Nano ถูกออกแบบให้มีขนาดเล็ก โดยตัดส่วนของ Socket ที่ไม่จำเป็นออก และยังคงความสามารถในการติดต่อผ่าน USB port เหมือนบอร์ด Arduino ตัวใหญ่ไว้ เรียกได้ว่า Arduino Nano คือ Arduino Uno ขนาดย่อส่วนลงมา



รูปที่ 2.10 โครงสร้าง Arduino nano

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของบอร์ด Arduino nano

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติ Arduino nano

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage	7-12V (limit 6-20 V)
Digital I/O Pins	14 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	8
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของ Arduino nano

1. ราคาไม่สูง และมีโปรแกรมในการดาวน์โหลดฟรี
2. โปรแกรมที่ใช้พัฒนาของอาดูโน่ รองรับการทำงานทั้ง Windows, Linux และ Macintosh OS X
3. มีรูปแบบคำสั่งที่ง่ายต่อการใช้งาน แต่สามารถนำไปใช้ในงานที่มีความซับซ้อนได้ และยังสามารถสร้างคำสั่ง Library ใหม่ ๆ ขึ้นมาใช้งานเองได้
4. มีการเปิดเผยวงจร และ Source code ทั้งหมด สามารถทำให้ไปพัฒนาต่อยอดเพิ่มเติมได้ทั้งทางด้าน Hardware และ Software
5. ขนาดเล็ก กะทัดรัด ง่ายต่อการติดตั้งกับชุดทดลอง

2.7 ภาษาทางคอมพิวเตอร์

ภาษาทางคอมพิวเตอร์ เป็นภาษาที่ใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารกันระหว่างผู้ใช้งานและคอมพิวเตอร์ หรือระหว่างคอมพิวเตอร์กับคอมพิวเตอร์ เพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกันสามารถประมวลผลออกมาได้ โดยภาษาทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์นี้คือ ภาษา C++

2.7.1 ภาษา C++

ภาษา C++ เป็นภาษาคอมพิวเตอร์เพื่อวัตถุประสงค์ทั่วไป ซึ่งสามารถเขียนโปรแกรมได้ทั้งแบบ ออบเจกต์ และการเขียนแบบปกติทั่วไป และยังมีเครื่องมืออำนวยความสะดวกในการจัดการและเข้าถึงระดับหน่วยความจำนอกจากนี้มันยังถูกนำไปใช้ในการเขียนโปรแกรมแบบต่างๆ มากมาย เช่น โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ระบบฝังตัว (Embedded) เว็บเซิร์ฟเวอร์ การพัฒนาเกม และแอปพลิเคชันที่ต้องการประสิทธิภาพอย่างสูง ภาษา C++ เป็นภาษาที่ถูกออกแบบมาในการเขียนโปรแกรมระบบ ซึ่งมีประสิทธิภาพและความยืดหยุ่นในการออกแบบโปรแกรมสูง C++ เป็นภาษาที่ต้องคอมไพล์ก่อนที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งสามารถพัฒนาได้ในหลายๆ แพลตฟอร์ม ซึ่งได้รับการสนับสนุนโดยองค์กรต่างๆ ที่ประกอบไปด้วย Free Software Foundation (FSF's GCC) LLVM Microsoft Intel และ IBM

ภาษา C++ นั้นถูกกำหนดให้เป็นภาษาที่เป็นมาตรฐานโดย International Organization for Standardization (ISO) ซึ่งเวอร์ชันล่าสุดนั้นเผยแพร่ในธันวาคม 2014 คือ ISO/IEC 14882:2014 หรือที่รู้จักกันในชื่อของ C++14 โดยที่ภาษา C++ ได้เริ่มกำหนดมาตรฐานครั้งแรกในปี 1998 คือ ISO/IEC 14882:1998 ภาษา C++ ถูกพัฒนาโดย Bjarne Stroustrup ที่ Bell Labs ตั้งแต่ปี 1979 ซึ่งในตอนแรกเป็นส่วนขยายของภาษา C โดยที่เขาต้องการที่จะพัฒนาภาษาที่มีประสิทธิภาพและยืดหยุ่นเหมือนกับภาษา C และยังมีคุณสมบัติใหม่ที่สูงกว่าสำหรับพัฒนาโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของภาษา C++

1. เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่มีการพัฒนาขึ้นใช้งานเพื่อเป็นภาษามาตรฐานที่ไม่ขึ้นกับโปรแกรมจัดระบบงานและไม่ขึ้นกับฮาร์ดแวร์
2. เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่อาศัยหลักการที่เรียกว่า "โปรแกรมโครงสร้าง" จึงเป็นภาษาที่เหมาะสมกับการพัฒนาโปรแกรมระบบ
3. เป็นคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง ให้รหัสอบเจกต์สั้น ทำงานได้รวดเร็ว เหมาะกับงานที่ต้องการความรวดเร็วเป็นสำคัญ
4. มีความคล่องตัวคล้ายภาษาแอสแซมบลี ภาษาซีสามารถเขียนแทนภาษาแอสแซมบลีได้ดี ค้นหาที่ผิดหรือ แก้โปรแกรมได้ง่าย ภาษาซีจึงเป็นภาษาระดับสูงที่ทำงานเหมือนภาษาระดับต่ำ
5. มีความคล่องตัวที่จะประยุกต์เข้ากับงานต่างๆ ได้เป็นอย่างดี การพัฒนาโปรแกรม เช่น สเปรดชีต ดาตาเบส ฯลฯ มักใช้ภาษาซีเป็นภาษาสำหรับการพัฒนา
6. เป็นภาษาที่มีอยู่บนเกือบทุกโปรแกรมจัดระบบงาน มีในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ตั้งแต่ 8 บิต ไปจนถึง 32 บิต เครื่องมินิคอมพิวเตอร์ และเมนเฟรม
7. เป็นภาษาที่รวมข้อดีเด่นในเรื่องการพัฒนา จนทำให้เป็นภาษาที่มีผู้สนใจมากมายที่จะเรียนรู้หลักการของภาษา และวิธีการเขียนโปรแกรม ตลอดจนการพัฒนางานบนภาษานี้

ข้อเสียของภาษา C++

1. เป็นภาษาที่เรียนรู้ยาก
2. การตรวจสอบโปรแกรมทำได้ยาก
3. ไม่เหมาะกับการเขียนโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการออกรายงานที่มีรูปแบบซับซ้อนมากๆ

2.7.2 คอมไพเลอร์

คอมไพเลอร์คือโปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือกลุ่มของโปรแกรมที่แปลงซอสโค้ดที่เขียนขึ้นในภาษา C++ ไปเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ (Target language) หลังจากที่ทำกรแปลงแล้วจะได้ข้อมูลในรูปแบบของฐานสอง (Binary) ที่เรียกกันว่า Object code เหตุผลที่ต้องแปลงโปรแกรมจากภาษาเขียนโปรแกรมไปเป็นภาษาเครื่องโดยคอมไพเลอร์ก็เพื่อสร้างโปรแกรมที่สามารถทำงานได้ (Executable program) คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจแค่ภาษาเครื่อง ภาษาที่ประกอบไปด้วยตัวเลข 1 และ 0 จำเป็นต้องใช้คอมไพเลอร์เพื่อแปลงโปรแกรมที่เขียนไปเป็นภาษาเครื่องที่ให้คอมพิวเตอร์สามารถทำงานได้

2.8 อลูมิเนียมโปรไฟล์ (Aluminum Profile)

อลูมิเนียมโปรไฟล์ หรือ อลูมิเนียมเฟรม (Aluminum Frame) คือโครงสร้างอลูมิเนียมที่ขึ้นรูปเป็นแท่งยาว มีโครงสร้างที่แตกต่างกันตามแต่ละยี่ห้อ โดยอัลลอยด์ที่นิยมนำมาขึ้นรูปนั้น คือ อัลลอยด์ 6063, 6061, 6005A, 6082 อลูมิเนียมโปรไฟล์ สามารถนำกลับมาหมุนเวียนใช้ได้ใหม่จึงเป็นทางเลือกที่จะช่วยประหยัดทรัพยากรได้ อลูมิเนียมโปรไฟล์ถูกใช้ในงานโครงสร้างและงานอุตสาหกรรม อย่างแพร่หลาย แทนที่เหล็ก ด้วยข้อดีที่น้ำหนักเบา ไม่เป็นสนิม และรองรับน้ำหนักได้สูง เหมาะสำหรับงาน: อุตสาหกรรม ยานยนต์, อิเล็กทรอนิกส์, ก่อสร้าง, สถาปัตยกรรม, เฟอร์นิเจอร์

คุณสมบัติอลูมิเนียมโปรไฟล์ คือ

1. มีน้ำหนักเบา แต่มีความแข็งแรง
2. ทนทานต่อการสึกกร่อน
3. นำพาความร้อนและกระแสไฟได้ดี ไม่เป็นพิษและไม่ติดไฟ
4. สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานต่างๆ ได้หลายประเภท
5. สามารถนำไปประกอบ, ตัด, เจาะ, ตัด, บีม
6. สามารถเชื่อมต่อได้หลายวิธี



รูปที่ 2.12 อลูมิเนียมโปรไฟล์

2.9 ลูกล้ออุตสาหกรรม

ลูกล้ออุตสาหกรรมในปัจจุบันมีมากมายและหลากหลายประเภท มีวัตถุประสงค์ในการใช้งานแตกต่างกันออกไป เช่น ล้อรถเข็นใช้เกี่ยวกับการเคลื่อนย้าย ขนของ ล้อรถยกลาก เหมาะกับการยกและเคลื่อนย้ายของหนักด้วยวิธีลากส่วนใหญ่จะใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมหรือโกดังเก็บของต่างๆ โดยลูกล้อในเชิงอุตสาหกรรมสามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1 ล้อยางธรรมชาติ

ล้อยางธรรมชาติเป็นล้อที่มีความนิ่ม มีคุณสมบัติยืดหยุ่น ทำให้ไม่เกิดเสียงดังขณะเวลาเดิน ไม่ทำให้พื้นเป็นรอย เหมาะกับการใช้งานที่มีการเคลื่อนย้ายบ่อย โดยปกติล้อยางคุณภาพต่ำจะมีคุณสมบัติเกี่ยวกับปัญหาเนื้อยางร่วน ปริแตก และ ฉีกขาดหลังจากผ่านการใช้งานในระยะสั้นๆ เนื่องจากในเนื้อยางมีส่วนผสมของแป้ง และสารประกอบอื่นๆอยู่มาก



รูปที่ 2.13 ล้อยางธรรมชาติ

2.9.2 ล้อเหล็กหล่อ

ล้อเหล็กหล่อ คือ ล้อที่มีความแข็งแรงทนทานที่สุด เหมาะกับการใช้งานบนพื้นคอนกรีตที่ขรุขระมาก หรือใช้กับงานกลางแจ้ง เวลาเดินล้อเหล็กอาจมีเสียงดังรบกวน และทำให้พื้นผิวเป็นรอย จึงควรเลือกใช้ให้เหมาะสม กับประเภทของงาน



รูปที่ 2.14 ล้อเหล็กหล่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3 ล้อไถล่อน

ล้อไถล่อนผลิตจากวัสดุที่สะอาด ไม่ทิ้งคราบ เป็นวัสดุที่มีความแข็งแรง ไม่ยุบตัว ไม่ควรใช้กับพื้นไม้หรือพื้นที่ยื่นอ่อน เพราะความแข็งแรงของล้อไถล่อนอาจทำให้พื้นเป็นรอยได้ เหมาะสมกับพื้นหินหยาบหรือพื้นที่มีซี่กึ่งเหล็กเป็นต้น



รูปที่ 2.15 ล้อไถล่อน

2.9.4 ล้อยูรีเทน

ล้อยูรีเทน คือ ล้อที่รวมข้อดีของล้อยางและล้อไถล่อน คือไม่ก่อให้เกิดเสียงรบกวน ไม่ทำให้พื้นเป็นรอยและสะอาด ไม่ทิ้งคราบ ละไม่ยุบตัว แม้จะต้องรองรับน้ำหนักอยู่เรื่อยๆ เป็นเวลานาน ล้อยูรีเทนเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรง ทนทาน ไม่ฉีกขาด จึงสามารถใช้กับพื้นผิวขรุขระ หรือแหลมคมได้



รูปที่ 2.16 ล้อยูรีเทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

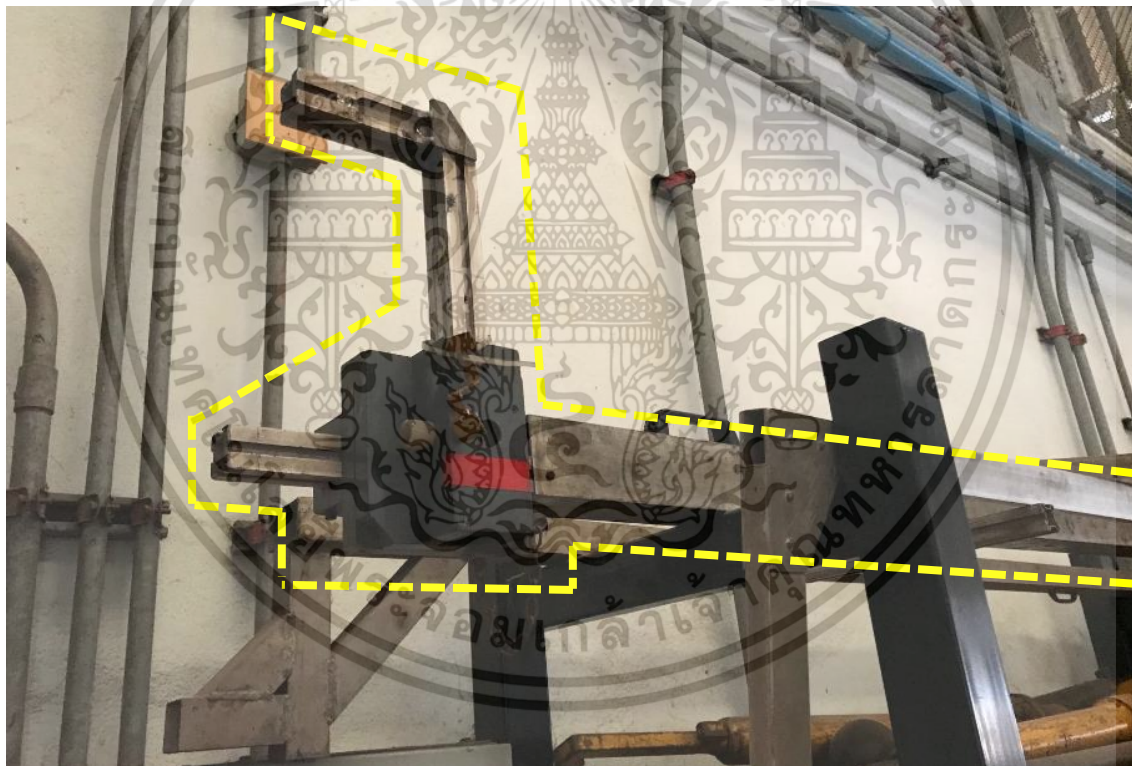
บทที่ 3

การดำเนินงาน

การออกแบบชุดวัดระดับรางที่สามนั้น ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนโครงสร้างทางกล และส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

3.1 ชุดวัดระดับรางที่สามส่วนโครงสร้างทางกล

เนื่องจากชุดวัดระดับรางที่สามในปัจจุบันนั้นทำจากเหล็ก ซึ่งทำให้มีน้ำหนักมาก ไม่สะดวกในการขนย้าย (ดังรูปที่ 3.1) จึงได้มีการออกแบบพัฒนาเพิ่มเติมให้ชุดวัดระดับรางที่สามมีน้ำหนักที่เบา ขนย้ายสะดวก และสามารถเคลื่อนที่ได้โดยง่าย โดยทำการเลือกใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบากว่าเหล็กที่ใช้ในปัจจุบัน มีความแข็งแรงทนทานสูง และติดตั้งล้อเพื่อช่วยในการเคลื่อนที่

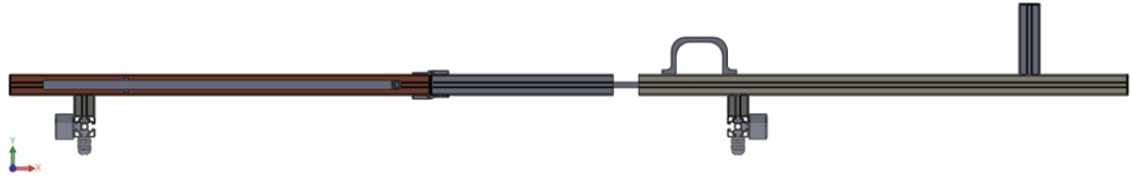


รูปที่ 3.1 ชุดวัดระดับรางที่สามในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 การออกแบบ และการเขียนแบบ

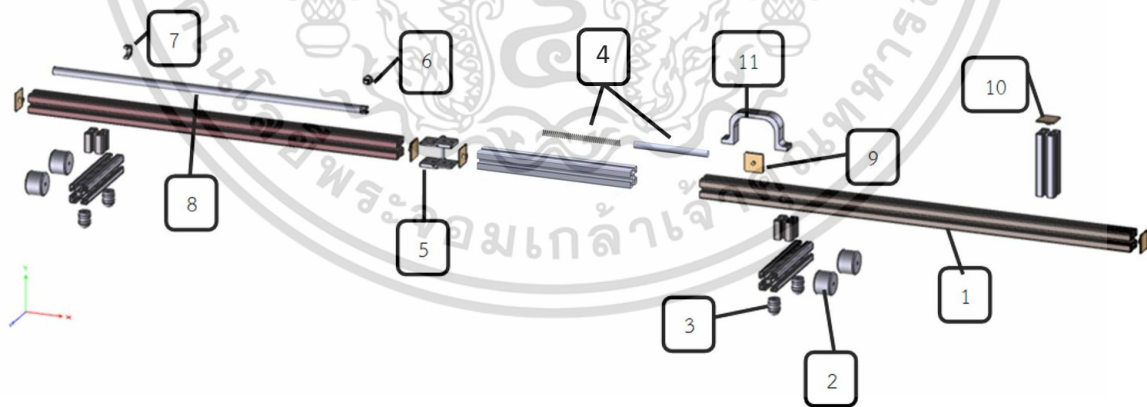
การออกแบบชุดวัดระดับรางที่สามนั้น ได้มีการออกแบบให้ขนาดมีความสัมพันธ์กับระยะต่างๆของการวางตัวของรางรถไฟ และรางที่สาม โดยอ้างอิงขนาดจากรูปที่ 2.3 และได้มีการเขียนแบบด้วยโปรแกรม Solidworks



รูปที่ 3.2 ชุดวัดระดับรางที่สามมุมมองด้านหน้า



รูปที่ 3.3 ชุดวัดระดับรางที่สามด้านบน

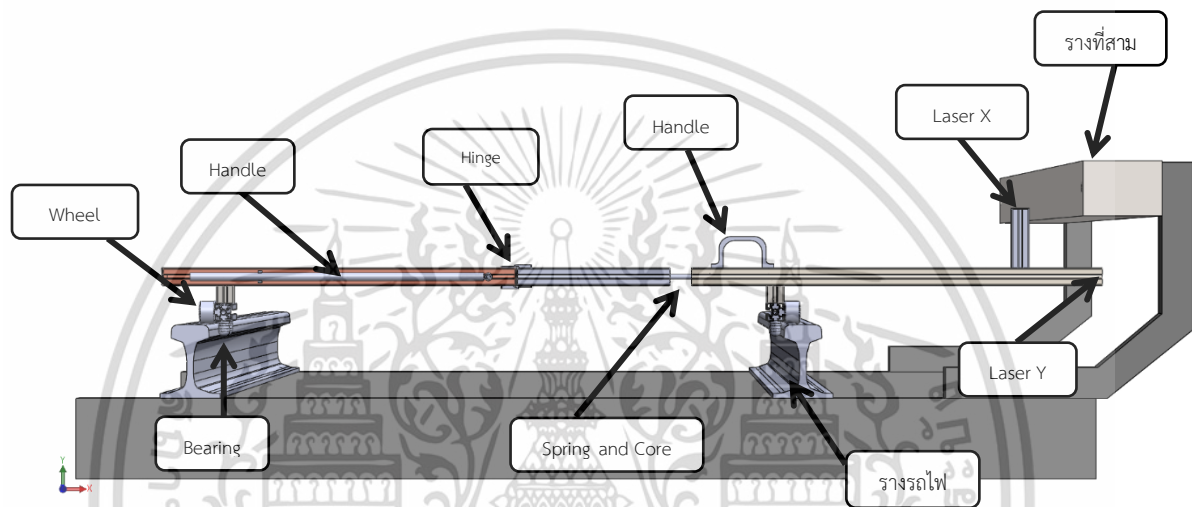


รูปที่ 3.4 ชิ้นส่วนต่างๆของชุดวัดระดับรางที่สาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ชื่อชิ้นส่วนต่างๆของชุดวัดระดับรางที่สาม

1	Main structure	7	Supporter handle
2	Wheel	8	Handle
3	Deep groove ball bearing	9	Supporter
4	Spring and Core	10	Cab end
5	Hinges	11	Hand grip
6	Free joint		



รูปที่ 3.5 การจำลองการทำงานของชุดวัดระดับรางที่สาม

3.1.2 การเลือกวัสดุ

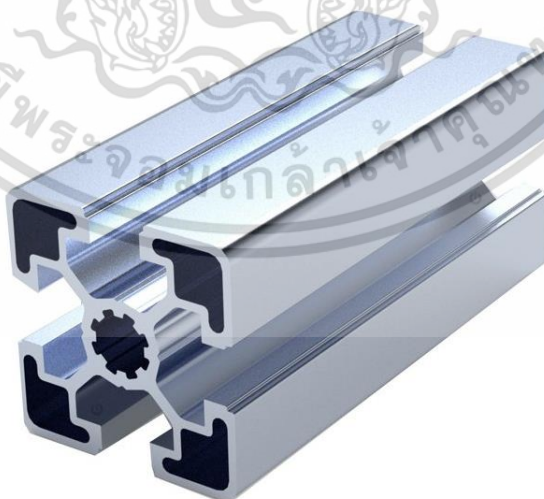
3.1.2.1 โครงสร้างหลักของชุดวัดระดับรางที่สาม

ในการเลือกวัสดุในการสร้าง ชุดวัดระดับรางที่สามนั้น จำเป็นที่จะต้องใช้วัสดุที่มีความทนทาน แข็งแรง และน้ำหนักเบา เนื่องจากอุปกรณ์นี้ต้องมีการขนย้าย สำหรับการซ่อมบำรุงรถไฟไฟฟ้าในแต่ละสถานี และต้องนำไปใช้เช่นบนรางที่มีความแข็ง ดังนั้นต้องใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติข้างต้น

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทางกลของ Aluminum Profile 45x45L (Aluminum 6063 T5),
Stainless Steel 304 45x45 , Carbon Fiber 45x45

Mechanical Properties	Aluminum Profile 45x45L	Stainless Steel 304 45x45	Carbon Fiber 45x45
Ultimate Tensile Strength	186 MPa	505 MPa	1030 MPa
Tensile Yield Strength	145MPa	215MPa	1250 MPa
Elongation	12%	40%	11%
Modulus of Elasticity	68.9GPa	193 GPa	95.2 GPa
Weight	1.6 Kg./m	2.73 Kg/m	0.522 Kg/m
Cost	300 Bath/m	240 Bath/m	7000 Bath/m

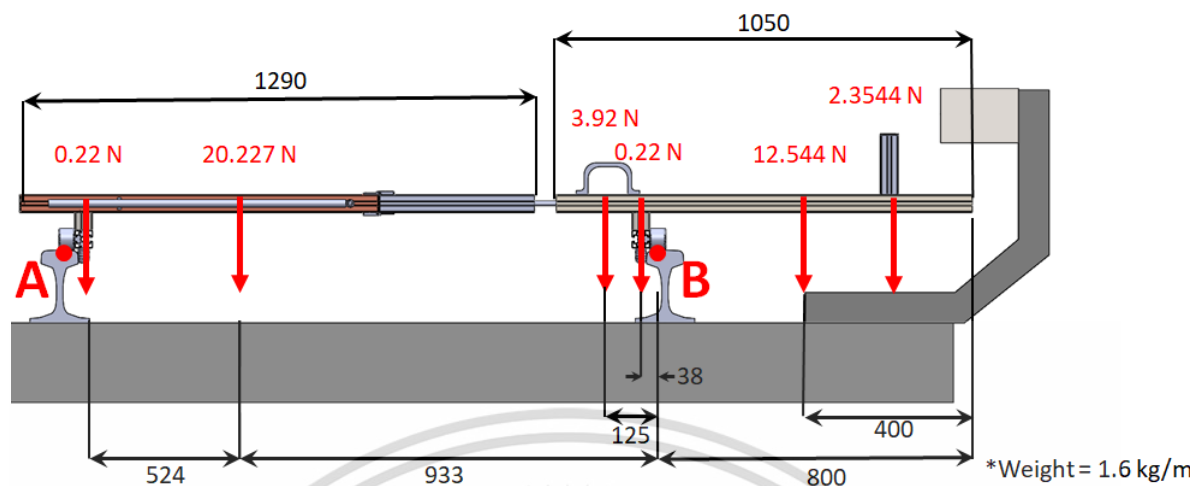
จากตารางคุณสมบัติทางกลของวัสดุทั้ง 3 ชนิด จะเห็นได้ว่าคาร์บอนไฟเบอร์นั้น เป็นวัสดุที่สามารถรับแรงได้มากที่สุด และมีน้ำหนักเบาที่สุด ซึ่งเป็นวัสดุที่เหมาะสมที่สุดในการเลือกใช้ แต่คาร์บอนไฟเบอร์มีราคาที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากงบประมาณที่มีจำกัดจึงไม่สามารถใช้วัสดุนี้ในการผลิตได้ จึงเลือกใช้วัสดุ Aluminum Profile 45x45L ในการสร้าง เพราะ คุณสมบัติของ Aluminum Profile 45x45L และ Stainless Steel 304 45x45 สามารถรับแรงขึ้นของผู้ใช้งานได้ทั้งคู่ แต่ Aluminum Profile 45x45L มีน้ำหนักที่เบาว่า โดยมีราคาไม่ต่างกันมากนัก จึงเป็นเหตุผลให้ใช้ Aluminum Profile 45x45L ในการสร้าง และ ยังง่ายในการประกอบและติดตั้งเครื่อง เนื่องจากการผลิตอะไหล่ที่เป็นมาตรฐาน ไม่จำเป็นต้องใช้การเชื่อมในการประกอบ ใช้เพียง T-nut ตามขนาดของแต่ละโปรไฟล์



รูปที่ 3.6 Aluminum Profile 45x45L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณสภาพสมดุลทางกลและโมเมนต์



รูปที่ 3.7 ขนาดของแรงแต่ละตำแหน่งที่กระทำชุดวัดระดับรางที่สาม

สมดุลทางกล (Mechanical Equilibrium)

สมดุลกล คือ การที่แรงลัพธ์ซึ่งกระทำกับวัตถุแล้วสามารถคงสภาพการเคลื่อนที่ หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่ กล่าวคือ วัตถุอยู่นิ่งก็ยังคงสภาพนิ่ง หรือวัตถุเคลื่อนที่ก็จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงเดิม

โมเมนต์ (Moment)

โมเมนต์ คือ ปริมาณที่ใช้วัดผลการหมุนรอบจุดใดจุดหนึ่ง ขนาดของโมเมนต์หาได้จาก ผลคูณของแรงกับระยะทางที่ตั้งฉากจากจุดหมุนถึงแนวแรง

เงื่อนไขการเกิดสมดุลโมเมนต์ $\sum M = 0$

ให้จุดสัมผัสของล้อด้านขวาเป็นจุดหมุน (จุด B)

$$M_r = (0.22 \times 1.457) + (20.227 \times 0.933) + (3.92 \times 0.125) + (0.22 \times 0.038)$$

$$= 19.69 \text{ Nm}$$

โมเมนต์ที่ติดตามเข็มนาฬิกา คือ

$$M_c = (2.3544 \times 0.8) + (12.544 \times 0.4)$$

$$= 6.901 \text{ Nm}$$

ผลรวมโมเมนต์ที่ติดตามเข็มนาฬิกา คือ

$$M_{\text{total}} = 19.69 - 6.901 = 12.789 \text{ Nm}$$

ดังนั้นจึงสามารถติดตั้งเลเซอร์ที่ตำแหน่งปลายทางได้ โดยเลเซอร์ต้องมีน้ำหนักไม่เกิน

$$12.789 / (9.8 \times 0.8) = 1.631 \text{ Kg}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.2 ล้อ

ในการเลือกวัสดุในการผลิตล้อนั้น ต้องเลือกวัสดุที่ทนทาน แข็งแรง และไม่นำไฟฟ้า เนื่องจากล้อนั้น เป็นส่วนที่ต้องวิ่งบนรางรถไฟซึ่งทำมาจากเหล็ก และบนรางนั้นจะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน โดยจะเลือก เปรียบเทียบวัสดุ 3 ชนิดที่นิยมนำมาทำล้อเชิงอุตสาหกรรมคือ ล้อยางธรรมชาติ (Natural rubber), ล้อ ไนลอน (Nylon6 หรือ Superlene Nylon) และล้อยูรีเทน (Urethane)

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติทางกลของ Natural rubber, Nylon6, Urethane

Mechanical Properties	Natural rubber	Nylon6	Urethane
Ultimate Tensile Strength	28MPa	74.6 MPa	37.4 MPa
Tensile Yield Strength	28MPa	63.5 MPa	13.9MPa
Modulus of Elasticity	1.5MPa	2.57GPa	0.371GPa

คุณสมบัติทางกลของวัสดุทั้ง 3 ชนิด จะเห็นว่า Nylon6 หรือ Superlene เป็นวัสดุที่มีความแข็งแรง และสามารถรองรับแรงได้มากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้ Nylon6 หรือ Superlene มาใช้ในการผลิตล้อของ ชุดวัดระดับรางที่สาม

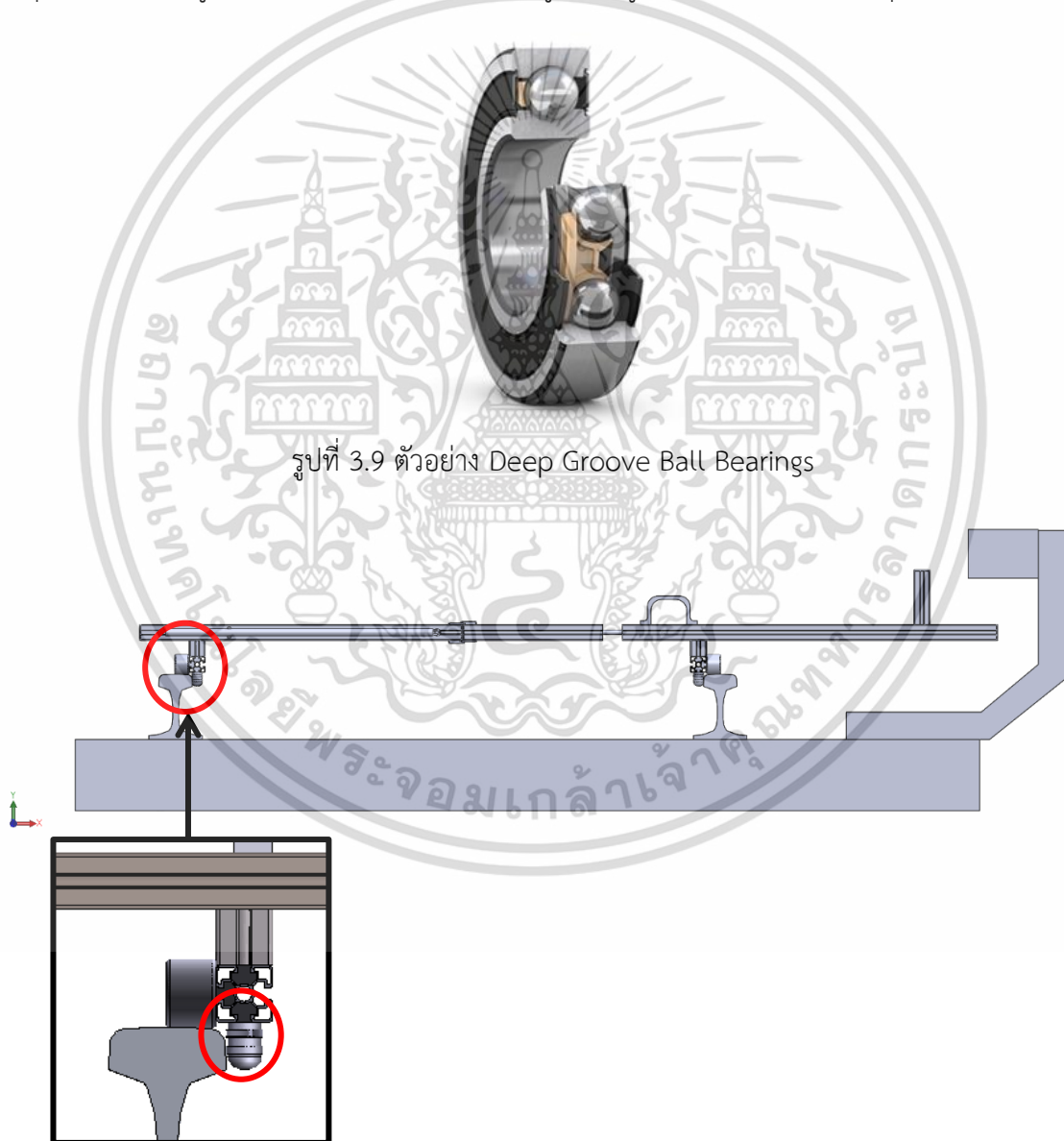


รูปที่ 3.8 ล้อ

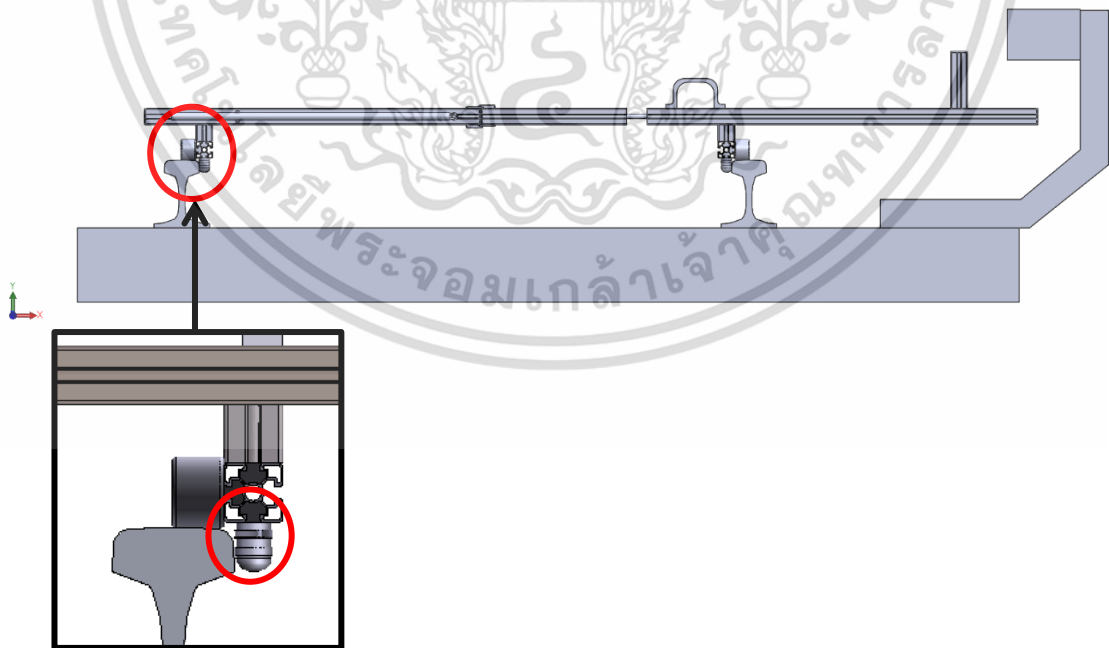
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.3 ตลับลูกปืน

ในการออกแบบชุดวัดระดับรางที่สามนั้น จะทำการออกแบบให้สามารถวิ่งบนตัวรางรถไฟได้ โดยจะเลือกใช้ล้อตามที่กล่าวมาข้างต้น เพื่อให้ชุดวัดระดับรางที่สามสามารถตั้งอยู่บนรางรถไฟได้อย่างพอดีกับรางรถไฟ และเพื่อป้องกันการเอียงของตัวรถ จะมีการติดตั้งตลับลูกปืนเพิ่มเติม ชนิด Deep Groove Ball Bearings เพราะว่าตลับลูกปืนประเภทนี้แยกส่วนไม่ได้ เหมาะกับงานที่ต้องการความเร็วสูงและทนทาน โดยไม่จำเป็นต้องบำรุงรักษามาก ด้วยรางวิ่งร่องลึกที่มีความละเอียดสูง การสัมผัสระหว่างเม็ดลูกกลิ้งและรางวิ่งที่ได้รับการออกแบบมาอย่างดี ทำให้แม้ว่าในลักษณะงานที่ความเร็วสูงๆ ตลับลูกปืนเม็ดกลมร่องลึกก็สามารถรับแรงรุนได้สองทิศทาง ทั้งในแนวรัศมีและแนวแกน นอกเหนือไปจากแรงในแนวรัศมี ด้วยเหตุผลเหล่านี้ตลับลูกปืนเม็ดกลมร่องลึกจึงเป็นตลับลูกปืนที่ถูกเลือกมาใช้ในการผลิตชุดวัดระดับรางที่สาม



รูปที่ 3.9 ตัวอย่าง Deep Groove Ball Bearings



รูปที่ 3.10 Deep Groove Ball Bearings ขณะหมุนข้างรางรถไฟ

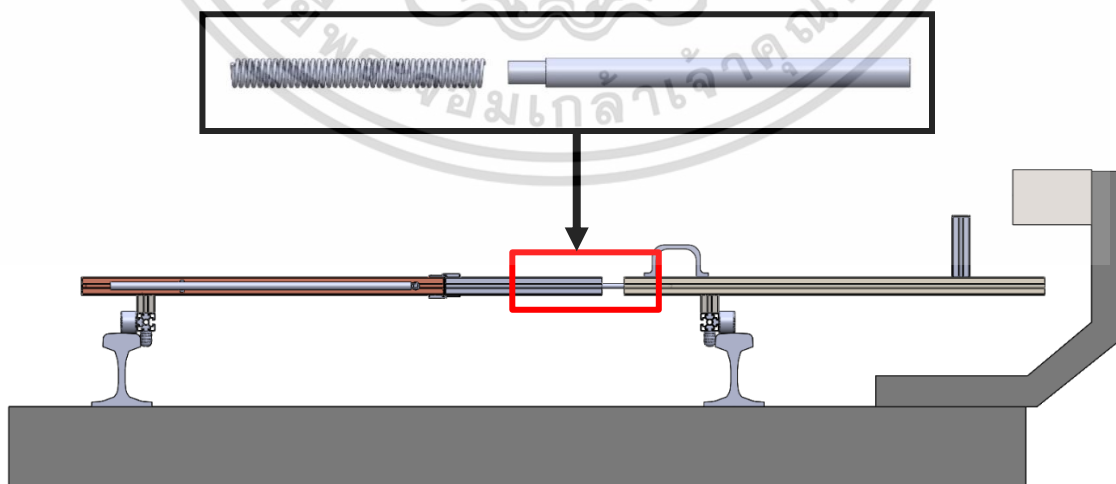
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ตลับลูกปืนจากการออกแบบ

3.1.2.4 Spring and Core

จากการออกแบบชุดวัดระดับรางที่สามมีความไม่สมมาตร หากนำไปใช้งานจริงตัวเครื่องวัดอาจเอนเอียงหรือตกรางขณะที่ใช้งานได้ จึงจำเป็นต้องออกแบบล้อ ตลับลูกปืน และ Spring and Core ให้เคลื่อนที่สัมพันธ์กัน โดย Spring and Core จะทำหน้าที่ดันโครงสร้างหลักให้พอดีกับราง ทำให้ตัวเครื่องไม่เอนเอียง และส่งผลให้ตลับลูกปืนและล้อแนบชิดกับพื้นผิวรางรถไฟ และสามารถเคลื่อนที่ได้โดยไม่เกิดเอนเอียงหรือตกรางขณะที่ใช้งาน Spring and Core นั้นมีความทนทาน น้ำหนักน้อย มีขนาดและแรงที่ใช้ให้เลือกหลายแบบ ลักษณะของปลายแกนให้เลือกมากมาย ทำให้ง่ายต่อการติดตั้ง โดย Spring ที่เลือกใช้งาน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) = 10 มิลลิเมตร , ขนาดลวด (d) = 1.5 มิลลิเมตร , ระยะ pitch (P) = 2.5 มิลลิเมตร , ความยาว (l) = 100 มิลลิเมตร และเลือกใช้เฟลา (core) ที่ทำมาจากสแตนเลส ซึ่งมีความแข็งแรง ทนทาน น้ำหนักเบา และราคาไม่แพง

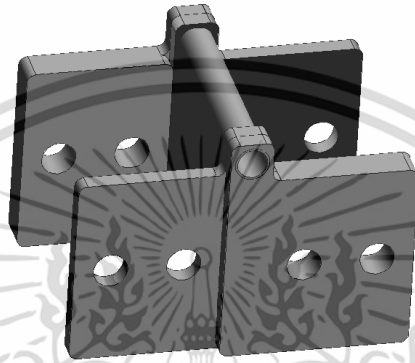


รูปที่ 3.12 Spring and Core

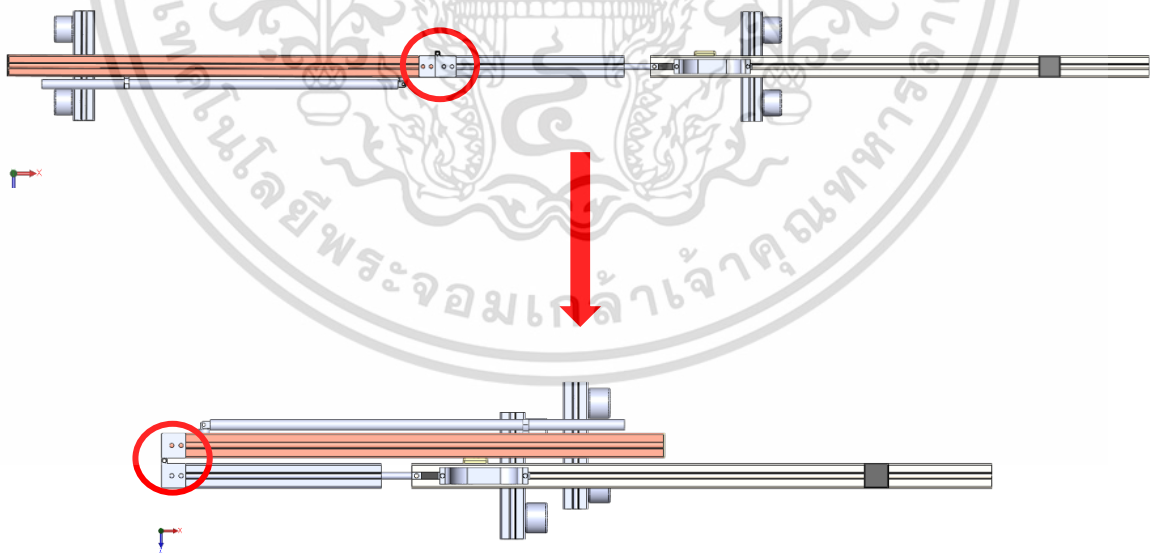
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.5 บานพับ

การออกแบบชุดวัดระดับรางที่สามนั้นมีความยาวประมาณ 2.7 เมตร ความยาวขนาดนี้ทำให้ยากต่อการขนย้ายอุปกรณ์ จึงออกแบบติดตั้งบานพับเพิ่มเติม เลือกบานพับที่สามารถพับได้ 180 องศาขึ้นไป เพื่อให้พับความยาวของชุดวัดระดับรางที่สามลดลง ทำให้การขนย้ายอุปกรณ์สะดวกมากขึ้น โดยวัสดุที่นำมาใช้ในการทำบานพับคือ เหล็กชุบสังกะสี เนื่องจากส่วนของบานพับเป็นส่วนที่ต้องรับแรงอยู่ตลอด จึงเลือกใช้วัสดุที่แข็งแรง ทนทานต่อการใช้งาน และชุบสังกะสีเพื่อไม่ก่อให้เกิดสนิม



รูปที่ 3.13 บานพับที่ออกแบบเพื่อให้สามารถพับได้เกิน 180 องศา

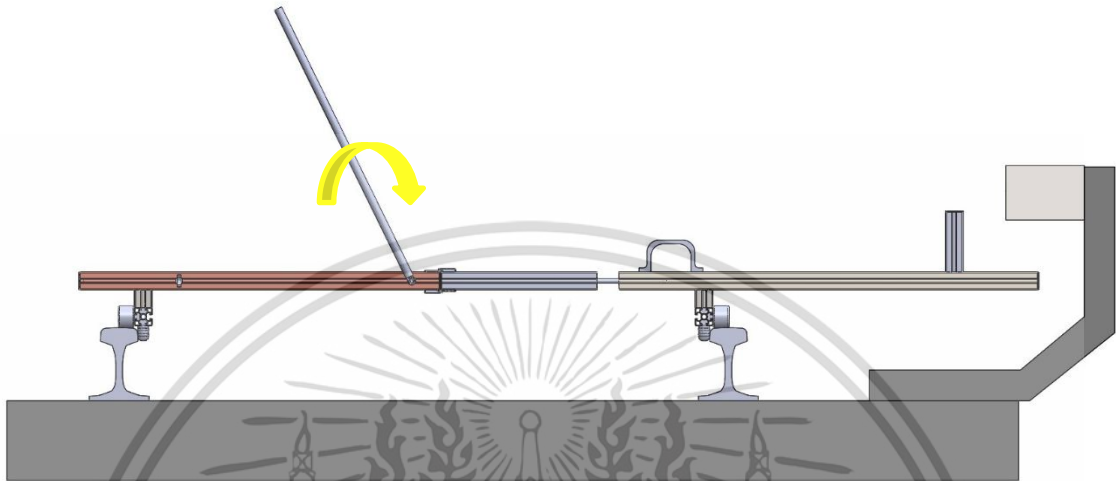


รูปที่ 3.14 และ 3.15 ตัวอย่างการพับ

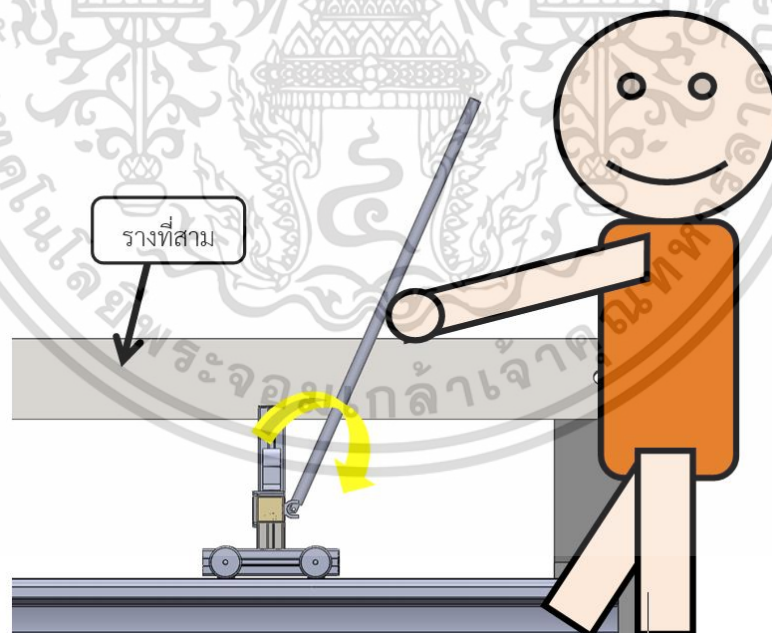
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.6 Handle

ในการออกแบบ Handle นั้น เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานจึงออกแบบให้ปรับมุมได้หลายองศา เพื่อให้เข้ากับระดับความสูงของผู้ใช้งาน สามารถขยับซ้ายขวาได้ขณะใช้งานบริเวณทางโค้ง และออกแบบให้ Handle สามารถพับเก็บได้ จึงได้ออกแบบออกมาดังนี้

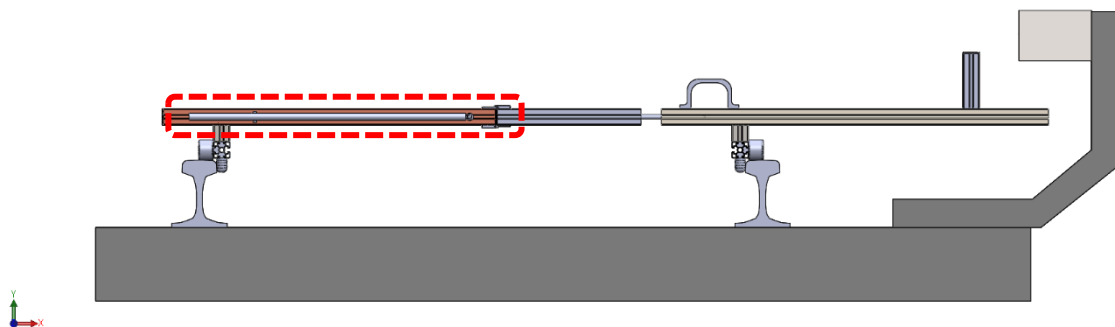


รูปที่ 3.16 จำลองการใช้งาน Handle



รูปที่ 3.17 การปรับมุม Handle มุมมองด้านข้าง และการจำลองการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



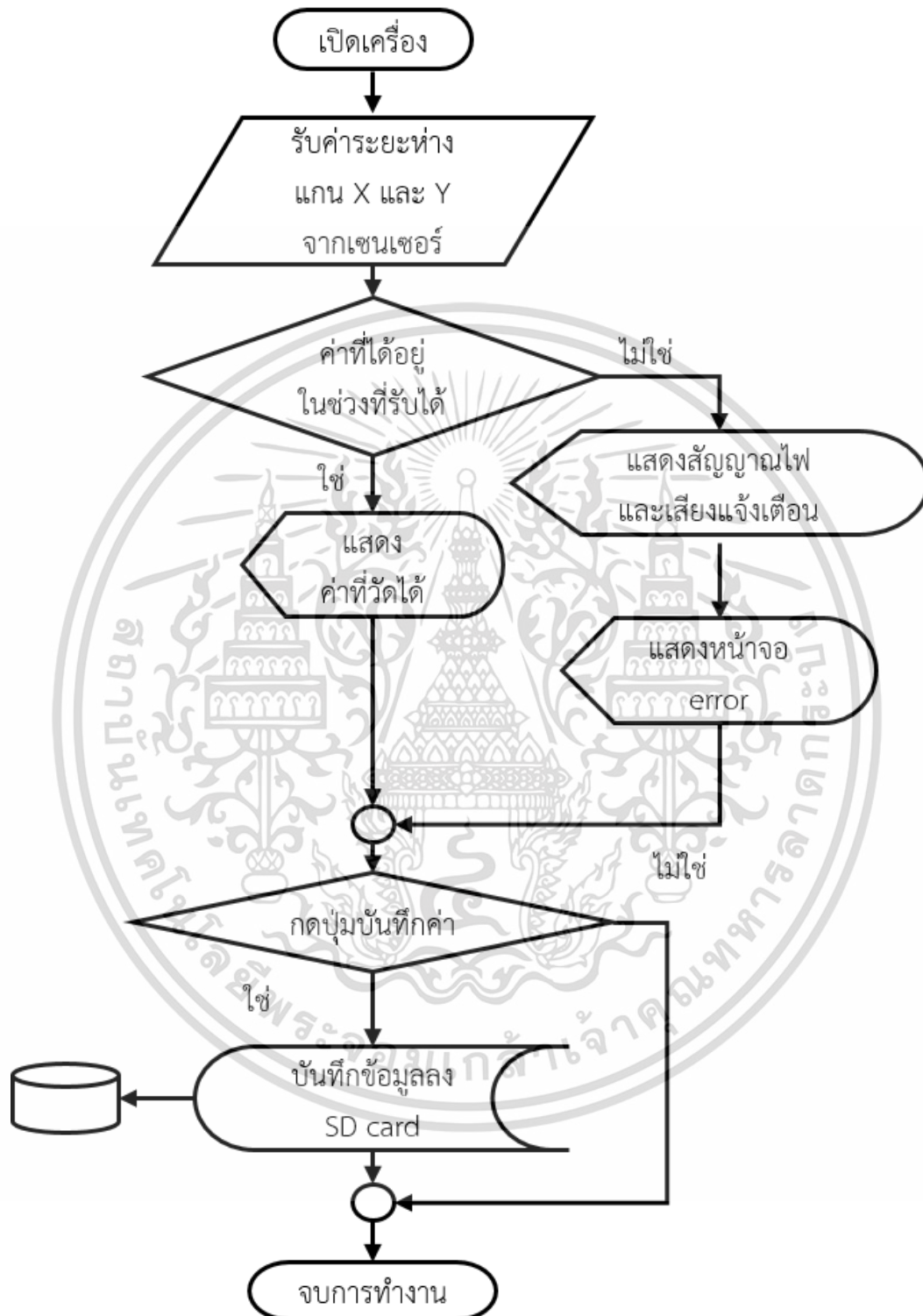
รูปที่ 3.18 Handle ที่พับเก็บแล้ว

3.2 ชุดวัดระดับรางที่สามส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

3.2.1 การออกแบบขั้นตอนการทำงาน

- 1) เปิดเครื่อง
- 2) ดิสเพลสเมนต์เลเซอร์เซนเซอร์จะรับค่าระยะห่างของรางที่สามทั้งแกนตั้งและแกนนอนอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา
- 3) หากระยะห่างของรางที่สามที่วัดได้จากดิสเพลสเมนต์เลเซอร์เซนเซอร์เกินกว่าช่วงที่กำหนด จะส่งสัญญาณเตือนด้วย หลอด LED และ เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง
- 4) แสดงผลค่าที่ได้บนหน้าจอ LCD หรือแสดงข้อความแจ้งเตือนแทน หากมีเลเซอร์อย่างน้อยหนึ่งตัวที่วัดค่าที่เกินได้
- 5) หากต้องการบันทึกค่าที่ตำแหน่งใด สามารถทำการกดปุ่มเพื่อบันทึกค่าที่กำลังแสดงผลอยู่บนหน้าจอ บันทึกลงใน SD card

3.2.2 แผนผังการทำงานของชุดวัดระดับรางที่สาม



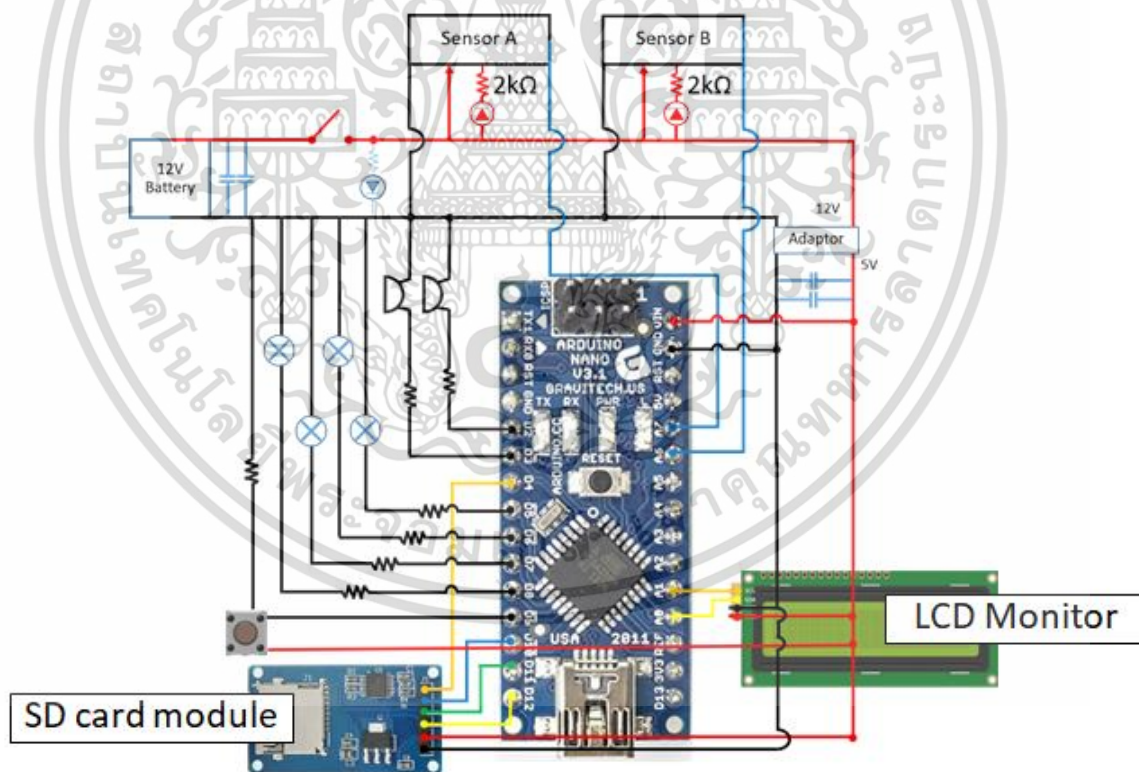
รูปที่ 3.19 แผนผังการทำงานของชุดวัดระดับรางที่สาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 แผนผังวงจรของชุดวัดระดับรางที่สาม

แผนภาพการต่อวงจรของชุดวัดระดับรางที่สามประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆ ดังนี้

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano
2. ดิสเพลสเมนต์เลเซอร์เซนเซอร์
3. แหล่งจ่ายไฟ
4. Adaptor 5V
5. หลอด LED
6. แหล่งกำเนิดเสียง
7. จอแสดงผล LCD
8. SD การ์ด โมดูล และ SD การ์ด
9. ปุ่มกด



รูปที่ 3.20 แผนผังวงจรของชุดวัดระดับรางที่สาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การต่อวงจรของชุดวัดระดับรางที่สาม

เริ่มต้นด้วยการต่อดิสเพลสเมนต์เลเซอร์เซนเซอร์ทั้งสอง เข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยใช้แรงดันไฟเลี้ยง 12 โวลต์ และต่ออินพุทเข้าทางอนาล็อกพิน เพื่อให้สามารถรับข้อมูลที่มีลักษณะแบบต่อเนื่อง โดยดิสเพลสเมนต์เลเซอร์เซนเซอร์ จะทำหน้าที่วัดตำแหน่งของรางที่สามในแกนตั้งและแกนนอน จากนั้นมาต่อ Adaptor เพื่อแปลงแรงดันไฟ 12V จากแหล่งจ่าย เป็น 5V ก่อนต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์อื่นๆ ถัดมาต่อแหล่งกำเนิดเสียงประเภทแอกทีฟ, หลอดไฟ LED และ ปุ่มกด เข้ากับพินดิจิตอล ใช้แรงดันไฟเลี้ยง 5 โวลต์ ต้องต่อตัวต้านทานในรูปแบบอนุกรมกับขากราวด์ของอุปกรณ์ข้างต้นทุกตัว โดยใช้ตัวต้านทาน 4.7-10 k Ω กับปุ่มกดและ 330 Ω กับหลอดไฟและแหล่งกำเนิดเสียง แล้วต่อ จอแสดงผล LCD และ SD การ์ดโมดูล เข้ากับ พินอนาล็อก จอ LCD จะทำหน้าที่ในการแสดงผลข้อมูลระยะห่างของรางที่สามที่วัดได้ และ SD การ์ดโมดูล ใช้เก็บข้อมูลที่ได้อ่านใน SD การ์ด

3.2.5 การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน

ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของชุดวัดระดับรางที่สามนั้นนั้น ใช้ภาษา C++ ในการเขียน เนื่องจากตัวโปรแกรมคอมไพเลอร์ที่ใช้ในการอ่านและส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ Arduino IDE ซึ่งอ่านภาษา C++ สาเหตุที่เลือกใช้ Arduino IDE นั้น เนื่องมาจากเป็นโปรแกรม Open source ที่ใช้งานง่ายและสามารถดาวน์โหลดมาใช้ได้ โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย สามารถเพิ่มไลบรารีเข้ามาใช้ได้ทันที ทำให้การเขียนโปรแกรมนั้น สะดวกยิ่งขึ้น

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <SD.h>
```

รูปที่ 3.21 ส่วน Header ของโปรแกรม

ส่วนของ Header นั้นคือการนำเข้าไลบรารีเข้ามาใช้ในโปรแกรมเพื่อที่จะสามารถใช้งานฟังก์ชันต่างๆ ภายในไลบรารีนั้นๆได้ ซึ่งในที่นี้ประกอบไปด้วย

- Wire.h นำมาใช้เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถสื่อสารข้อมูลผ่านบัส I2C ได้
- LiquidCrystal_I2C.h เพื่อเรียกใช้ฟังก์ชันต่างๆสำหรับควบคุมจอ LCD
- SD.h เพื่อเรียกใช้ฟังก์ชันต่างๆสำหรับการอ่านหรือเขียนข้อมูลผ่านทาง SD การ์ดโมดูล

```

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
float sensor1 = A1;
float sensor2 = A2;
int buzzer1 = 8;
int buzzer2 = 9;
int led1 = 7;
int led2 = 6;
int led4 = 4;
int led5 = 5;
int button = 17;//ปุ่มกด
int I = 1;
int chipSelect = 11;
File myFile;

```

รูปที่ 3.22 ส่วนของการประกาศตัวแปรของอุปกรณ์

ฟังก์ชัน LiquidCrystal_I2C lcd (0x27,16,2); คือการกำหนดขนาดหน้าจอ LCD ให้จอกว้าง 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด รหัสประจำตัว 0x27 ในส่วนการกำหนดพอร์ตของตัวแปรแต่ละตัวนั้นกำหนดตามการต่อวงจร ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2.4 และ รูปที่ 31 แต่ละอุปกรณ์นั้นสามารถต่อพอร์ตหมายเลขใดก็ได้ แต่ต้องไม่ซ้ำกัน และ ถูกประเภทของพอร์ต โดยการกำหนดตัวแปรของอุปกรณ์ที่ต่อกับพอร์ตอนาล็อก จะกำหนดให้เท่ากับ A ตามด้วยหมายเลขพอร์ต เช่น A1,A2 หมายถึง พอร์ตอนาล็อก 1 และ 2 ส่วนที่เป็นอุปกรณ์ที่ต่อกับพอร์ตดิจิทัล สามารถกำหนดตัวแปรให้เท่ากับหมายเลขพอร์ตได้เลย สุดท้ายคือตัวแปร File เป็นการประกาศตัวแปรสำหรับการอ่านหรือเขียนไฟล์ใน SD การ์ด ในที่นี้ให้ตัวแปรนี้ชื่อว่า myFile

```

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  pinMode(sensor1, INPUT);
  pinMode(sensor2, INPUT);
  pinMode(buzzer1, OUTPUT);
  pinMode(buzzer2, OUTPUT);
  pinMode(led1, OUTPUT);
  pinMode(led2, OUTPUT);
  Serial.print("Initializing SD card...");
  pinMode(SS, OUTPUT);
  pinMode(button, INPUT);
  pinMode(chipSelect, OUTPUT);
  if (!SD.begin(chipSelect))
  {
    Serial.println("initialization failed!");
  }
}

```

รูปที่ 3.23 ส่วนของฟังก์ชัน setup

ฟังก์ชัน setup คือ ฟังก์ชันใช้ในการประกาศค่าเริ่มต้น ตำแหน่งพอร์ตที่ใช้งาน รวมถึงฟังก์ชันที่อยู่ไลบรารีที่ใช้งานเป็นฟังก์ชันที่ทำงานเพียงครั้งเดียว จะทำงานทุกครั้งที่มีการรีเซต หรือรีบูตเครื่องใหม่เท่านั้น โดยในโปรแกรมนี้เริ่มต้นด้วยการสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานด้วยฟังก์ชัน Serial.begin(9600) ตามด้วยจอ LCD ทำงาน ด้วยฟังก์ชัน lcd.init(); และ lcd.backlight(); กำหนดพอร์ตของ เลเซอร์และปุ่มกด เป็นพอร์ต INPUT เพื่อใช้รับค่า และ พอร์ตของ ไฟสัญญาณ เสียง และ SD การ์ด เป็นพอร์ต OUTPUT เพื่อส่งข้อมูล ในฟังก์ชัน if() นั้น เป็นการตรวจสอบ SD การ์ด หาก SD การ์ด โมดูลตรวจไม่พบ SD การ์ด จะแสดงข้อความในหน้าจอคอมพิวเตอร์ คำสั่งนี้ใช้ในการทดสอบเท่านั้น ในการใช้จริงสามารถนำออกได้

```

void loop() {
  float volt1 = analogRead(sensor1);
  float Rdis1 = 135-0.68*volt1;
  float volt2 = analogRead(sensor2);
  float Rdis2 = 135-0.68*volt2;
}

```

รูปที่ 3.24 ส่วนแรกของฟังก์ชัน loop

คำสั่งที่อยู่ในฟังก์ชัน loop() จะทำงานวนซ้ำตลอดเวลาการทำงาน ส่วนแรกนี้คือการประกาศตัวแปรสำหรับเก็บค่าแรงดันไฟฟ้าจากเลเซอร์ และแปลงค่าให้เป็นระยะทางจริงที่วัดได้ ที่มาของสมการแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและระยะทางจริงจะอยู่ในบทที่ 4 สรุปผลการทดลอง

```

lcd.clear();
if(volt1<=1020 && volt2<=1020){
  digitalWrite(buzzer1,LOW);
  digitalWrite(led1,LOW);
  digitalWrite(buzzer2,LOW);
  digitalWrite(led2,LOW);
  digitalWrite(led4,HIGH);
  digitalWrite(led5,HIGH);
  lcd.print("sensor1=");
  lcd.print(Rdis1);
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("sensor2=");
  lcd.print(Rdis2);
}else if(volt1>1022 && volt2<=1022){
  digitalWrite(buzzer1,HIGH);
  digitalWrite(led1,HIGH);
  digitalWrite(buzzer2,LOW);
  digitalWrite(led2,LOW);
  digitalWrite(led4,HIGH);
  digitalWrite(led5,LOW);
  lcd.print("sensor1 OUT");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("sensor2=");
  lcd.print(Rdis2);
}else if(volt1<=1022 && volt2>1022){
  digitalWrite(buzzer1,LOW);
  digitalWrite(led1,LOW);
  digitalWrite(buzzer2,HIGH);
  digitalWrite(led2,HIGH);
  digitalWrite(led4,LOW);
  digitalWrite(led5,HIGH);
  lcd.print("sensor1=");
  lcd.print(Rdis1);
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("sensor2 OUT");
}

```

รูปที่ 3.25 ส่วนที่สองของฟังก์ชัน loop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่สองนี้เป็นส่วนของเงื่อนไขของค่าที่วัดได้จากเลเซอร์ เงื่อนไขแรกคือทั้งสองเลเซอร์อยู่ในช่วงที่วัดค่าได้และแสดงสัญญาณไฟสีเขียวและแสดงค่าทั้งสองบนจอ เงื่อนไขที่สองและสามคือมีเลเซอร์ตัวใดตัวหนึ่งที่ไม่อยู่ในช่วงที่วัดค่าได้ จะแสดงสัญญาณไฟสีแดงหนึ่งดวงและฟ้าหนึ่งดวงและสัญญาณเสียงแจ้งเตือนพร้อมแสดงข้อความให้เห็นว่าเลเซอร์ตัวใดที่ไม่อยู่ในช่วงที่วัดค่าได้

```

}else{
    digitalWrite(buzzer1,HIGH);
    digitalWrite(led1,HIGH);
    digitalWrite(buzzer2,HIGH);
    digitalWrite(led2,HIGH);
    digitalWrite(led4,LOW);
    digitalWrite(led5,LOW);
    lcd.print("sensor1&2 OUT");
}

```

รูปที่ 3.26 ส่วนเงื่อนไขสุดท้ายของการวัดค่า

หากไม่เข้าเงื่อนไขใดเลย หมายถึง เลเซอร์ทั้งสองไม่อยู่ในระยะที่สามารถวัดค่าได้ ซึ่งจะแสดงสัญญาณไฟสีแดงสองดวงและสัญญาณเสียงแจ้งเตือน

```

if (button == HIGH)
{
    myFile = SD.open("test.txt", FILE_WRITE);
    Serial.println("\nPosition");
    Serial.println(I);
    Serial.println("\nX=");
    Serial.println(Rdis1);
    Serial.println("\nY=");
    Serial.println(Rdis2);
    myFile.println("\nPosition");
    myFile.println(I);
    myFile.println("\nX=");
    myFile.println(Rdis1);
    myFile.println("\nY=");
    myFile.println(Rdis2);
    I++;
    myFile.close();
}
delay(1000);

```

รูปที่ 3.27 ส่วนที่ใช้ในการบันทึกค่าลง SD card

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนสุดท้ายของโปรแกรมใช้สำหรับการบันทึกค่าลง SD การ์ด จะบันทึกเมื่อผู้ใช้งานกดปุ่มบันทึก เมื่อสัญญาณจากปุ่มกดเป็น HIGH จะทำตามคำสั่ง เริ่มจากเปิดไฟล์ test.txt เพื่อเขียน จากนั้นบันทึกตำแหน่งที่บันทึก พร้อมค่าจากแกน x และ y แล้วจึงปิดไฟล์ โปรแกรมจะทำงานใหม่ทุกๆหนึ่งวินาทีด้วยคำสั่ง delay(1000);

3.2.6 การเลือกใช้แบตเตอรี่

ชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดนั้นใช้กระแสไฟฟ้า 2A ต่อชั่วโมง และ แรงดันไฟสูงสุดที่ต้องการคือ 12V หากใช้แบตเตอรี่ Li-ion 3.7V 9800 mAh จำนวน 4 ก้อน จะสามารถใช้งานได้

$$(9800 / 2000) \times 4 = 19.6 \text{ hr}$$

ซึ่งถือว่าเพียงพอต่อการใช้งาน



รูปที่ 3.28 ตัวอย่างแบตเตอรี่ Li-ion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินการประกอบชุดวัดระดับรางที่สามจะปรากฏดังภาคผนวก โดยเมื่อนำส่วนที่สำคัญทั้งหมดที่ออกแบบไว้ในบทที่ 3 มาประกอบเข้าด้วยกันจะได้ชุดวัดระดับรางที่สามดังรูปที่ 4.1

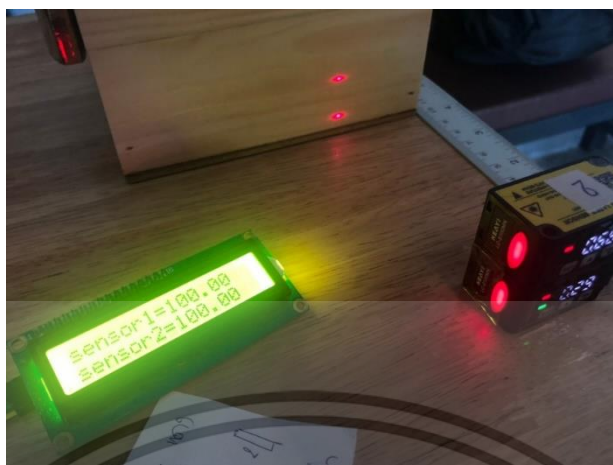


รูปที่ 4.1 ชุดวัดระดับรางที่สาม

4.1 ผลการทดสอบการทำงานของเลเซอร์ก่อนการติดตั้ง

4.1.1 ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัด (Calibration)

เนื่องจากค่าที่เลเซอร์ส่งเข้ามายังไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น คือ ค่าแรงดันไฟฟ้า หากต้องการแสดงค่าระยะห่างของวัตถุที่วัดได้ลงบนหน้าจอ LCD จำเป็นต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและระยะทางที่วัดได้ก่อน ซึ่งการทดสอบในช่วงนี้จะเป็นการทดสอบ ชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพียงอย่างเดียว ช่วงแนะนำการใช้งานตามคู่มือของเลเซอร์นั้นคือ 65 - 135 มิลลิเมตร ฉะนั้นจะสามารถหาสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง แรงดันไฟฟ้ากับระยะห่างได้ในช่วงนี้



รูปที่ 4.2 การทดสอบเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้ากับระยะห่างของวัตถุ

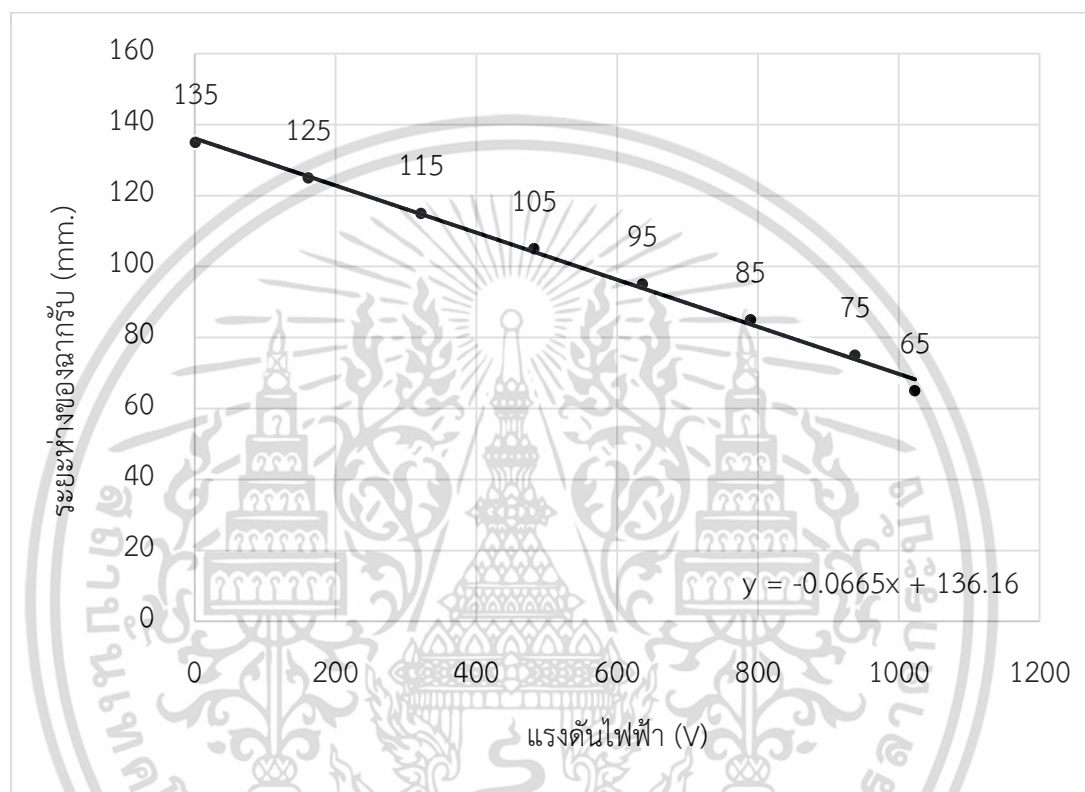
ในการทดสอบนี้จะเป็นการให้เลเซอร์ทั้งสองชี้ไปที่วัตถุที่เป็นวัตถุในระยะ 65 - 135 มิลลิเมตร โดยเริ่มจากที่ระยะ 65 มิลลิเมตร เลเซอร์จะส่งข้อมูลเข้ามายังไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะสามารถอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าได้จากหน้าจอบอร์ดคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม Arduino IDE แล้วทำการบันทึกค่า เลื่อนวัตถุให้ห่างออกไปครั้งละ 10 มิลลิเมตร เพื่อบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าในตำแหน่งต่อไป จากนั้นนำค่าแรงดันไฟฟ้าและระยะห่างของวัตถุมาวาดกราฟและเขียนสมการความสัมพันธ์เพื่อใช้ในการหาค่าระยะห่างวัตถุที่จะใช้แสดงบนหน้าจอ LCD ได้ผลดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการสอบเทียบอุปกรณ์

ระยะห่างของวัตถุ (mm.)	แรงดันไฟฟ้า(V)		
	เลเซอร์ 1	เลเซอร์ 2	เฉลี่ย
65	1023	1023	1023
75	937	939	938
85	788	791	789.5
95	634	638	636
105	480	484	482
115	320	323	321.5
125	160	163	161.5
135	0	3	1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบช่วงก่อนการติดตั้งจะสังเกตได้ว่ายิ่งวัตถุอยู่ห่างจากเลเซอร์มากเท่าไร แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลงตามไปด้วยและนอกจากนั้น ยังพบว่าเมื่อวัตถุอยู่นอกเหนือจากช่วงที่สามารถวัดได้ของเลเซอร์ ค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับ 1024 V สามารถหาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับระยะห่างของวัตถุได้จากกราฟดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของวัตถุกับแรงดันไฟฟ้า

จากกราฟจะได้สมการความสัมพันธ์คือ ระยะห่าง = $136.16 - 0.0665 \times$ แรงดันไฟฟ้า

4.1.2 ผลการทดสอบการทำงานของเลเซอร์หลังการสอบเทียบอุปกรณ์

หลังจากที่สามารถหาค่าระยะห่างของวัตถุจากค่าแรงดันไฟฟ้าของเลเซอร์ได้แล้ว ได้ทำการสอบเทียบวัดความแม่นยำของเลเซอร์กับไม้บรรทัด ซึ่งช่วงแนะนำการใช้งานตามคู่มือของเลเซอร์นั้นคือช่วง 65 - 135 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงทำการทดสอบในช่วงระยะ 70 - 130 มิลลิเมตร โดยทำการขยับวัตถุเข้า - ออกจากเลเซอร์ แล้วอ่านค่าเทียบกับไม้บรรทัดว่าสามารถตรวจจับระยะได้เท่ากับค่าจริงหรือไม่ ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการทำงานของเลเซอร์

Length (mm.)	70	80	90	100	110	120	130
measure value (mm)	67	78	90	100	110	122	133
% error	4.478	2.564	0.000	0.000	0.000	-1.639	-2.256

4.2 ผลการทดสอบการทำงานของเลเซอร์หลังการติดตั้ง

4.2.1 ผลการทดสอบการทำงานของเลเซอร์หลังจากติดตั้ง

หลังจากทดสอบการทำงานของเลเซอร์แล้วจึงนำเลเซอร์ไปประกอบเข้ากับตัวรถเข็น เพื่อทำการทดลองใช้จริง ซึ่งการทดลองนี้ จะใช้ชุดทดลองที่ทำขึ้นให้มีลักษณะการวางตัวคล้ายกับรางที่สามและรางวิ่ง ทดสอบโดยการทดลองเซ็นเซอร์วัดระดับรางที่สามบนรางจำลอง เปิดใช้งานเลเซอร์ แล้วจดบันทึกค่า



รูปที่ 4.4 การทดสอบการใช้งานจริงบนรางจำลอง

การทดลองจะทำการกำหนดจุด 5 จุดบนรางที่สามจำลอง แต่ละจุดห่างกัน 200 มิลลิเมตร แล้วใช้เครื่องวัดระดับรางที่สามวัดค่าระยะห่างของรางที่สามจำลองนั้นออกมาทีละจุด ทำซ้ำทั้งหมด 10 ครั้ง เพื่อนำค่าที่ได้แต่ละค่ามาเปรียบเทียบกับระยะห่างจริงเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน และแนวโน้มความคลาดเคลื่อนหากใช้เครื่องวัดเป็นเวลานานๆ ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการใช้งานจริง

รอบที่	ระยะห่างจุดที่ 1 (mm.)		ระยะห่างจุดที่ 2 (mm.)		ระยะห่างจุดที่ 3 (mm.)		ระยะห่างจุดที่ 4 (mm.)		ระยะห่างจุดที่ 5 (mm.)	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
	1	84	78	87	77	89	76	91	75	92
2	85	78	89	77	93	77	94	76	92	76
3	85	78	88	77	86	76	86	77	88	77
4	79	78	81	78	84	76	86	75	88	76
5	80	78	81	77	84	76	86	77	89	77
6	79	78	81	78	83	77	85	77	88	77
7	80	78	81	80	84	78	86	78	88	77
8	79	78	82	78	84	76	86	80	88	77
9	79	79	82	78	84	78	86	80	88	76
10	79	78	81	80	83	80	86	78	89	77
ค่าจริง	79	78	82	78	84	76	87	77	88	77

จากการทดสอบการใช้งานจริงที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นจะสังเกตได้ว่าแนวโน้มความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดค่อนข้างคงที่ ค่าที่ได้มีการแกว่งเล็กน้อย แต่ไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลง และเมื่อนำค่าในแต่ละรอบมาเฉลี่ยเพื่อนำมาหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความคลาดเคลื่อนจากผลการทดลองการใช้งานจริง

	ระยะห่างจุดที่ 1 (mm.)		ระยะห่างจุดที่ 2 (mm.)		ระยะห่างจุดที่ 3 (mm.)		ระยะห่างจุดที่ 4 (mm.)		ระยะห่างจุดที่ 5 (mm.)	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
ค่าเฉลี่ย	80.9	78.1	83.3	78	85.4	77	87.2	77.3	89	76.6
ค่าจริง	79	78	82	78	84	76	87	77	88	77
% error	2.405	0.128	1.585	0	1.667	1.316	0.230	0.390	1.136	0.519

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการทดสอบการบันทึกค่าผ่าน SD การ์ด

เพื่อให้แน่ใจว่าชุดวัดระดับแรงที่สามสามารถบันทึกค่าลงใน SD การ์ดได้ จึงทำการทดสอบการบันทึกค่าโดยใช้เลเซอร์วัดระยะของวัตถุและบันทึกค่าจากนั้นนำไฟล์ที่ใช้บันทึกค่านั้นมาเปิดดูในคอมพิวเตอร์ซึ่งจะทำการทดสอบทั้งหมด 3 กรณี

1. กรณีที่วัตถุอยู่ในช่วงที่สามารถวัดค่าได้ทั้ง 2 แกน



รูปที่ 4.5 การทดสอบการบันทึกค่ากรณีวัตถุอยู่ในช่วงที่สามารถวัดค่าได้ทั้ง 2 แกน

2. กรณีที่แกนใดแกนหนึ่งไม่อยู่ในช่วงที่วัดค่าได้



รูปที่ 4.6 การทดสอบการบันทึกค่ากรณีที่แกนใดแกนหนึ่งไม่อยู่ในช่วงที่วัดค่าได้ (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การทดสอบการบันทึกค่ากรณีที่แกนใดแกนหนึ่งไม่อยู่ในช่วงที่วัดค่าได้ (2)

3. กรณีที่ไม่สามารถวัดค่าได้ทั้ง 2 แกน



รูปที่ 4.8 การทดสอบการบันทึกค่ากรณีที่ไม่สามารถวัดค่าได้ทั้ง 2 แกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

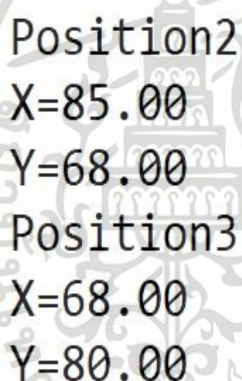
4.2.2.1 กรณีที่วัดอยู่ในช่วงที่สามารถวัดค่าได้ทั้ง 2 แกน



```
test.txt - Notepad
File Edit Format View Help
Position1
X=92.00
Y=89.00
```

รูปที่ 4.9 ผลการบันทึกค่ากรณีที่วัดอยู่ในช่วงที่สามารถวัดค่าได้ทั้ง 2 แกน

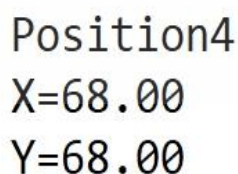
4.2.2.2 กรณีที่แกนใดแกนหนึ่งไม่อยู่ในช่วงที่วัดค่าได้



```
Position2
X=85.00
Y=68.00
Position3
X=68.00
Y=80.00
```

รูปที่ 4.10 ผลการบันทึกค่ากรณีที่แกนใดแกนหนึ่งไม่อยู่ในช่วงที่วัดค่าได้

4.2.2.3 กรณีที่ไม่สามารถวัดค่าได้ทั้ง 2 แกน



```
Position4
X=68.00
Y=68.00
```

รูปที่ 4.11 ผลการบันทึกค่ากรณีที่ไม่สามารถวัดค่าได้ทั้ง 2 แกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสรุปแล้วสามารถบันทึกค่าลงใน SD การ์ดได้ในทุกกรณี แต่ในกรณีที่วัดอยู่นอกระยะที่เลเซอร์สามารถวัดได้ ค่าที่บันทึกจะได้เป็น 68 มิลลิเมตร เนื่องจากค่าแรงดันไฟฟ้าของเลเซอร์เมื่อวัดอยู่นอกเหนือระยะของเลเซอร์ จะมีค่าเท่ากับ 1024 โวลต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการสร้างและพัฒนาชุดวัดระดับแรงที่สาม ด้วยการประมวลผลตำแหน่งการวางตัวของรางที่สาม จากการทำงานของดิสเพลสเมนต์เลเซอร์เซนเซอร์ เพื่อวัดระดับรางที่สามในระบบรถไฟฟ้า และทำการ แจ็งเตือนอัตโนมัติเมื่อพบค่าในการวางตัวเกิน หรือ ขาดจากค่าที่ยอมรับได้ผ่านระบบหน้าจอ LCD และ หลอดไฟ LED หลังจากการทำทดลองพบว่า

ในส่วนโครงสร้างทางกลหรือรถเข็นสามารถใช้งานได้จริง โครงสร้างหลักมีความทนทานต่อการใช้งาน โดยในระหว่างทำการทดลองโครงสร้างหลักไม่เกิดความเสียหาย ตลับลูกปืนสามารถหมุนข้างราง จำลองได้โดยไม่เกิดการแตกหัก และอุปกรณ์อื่นๆสามารถทำการทดสอบได้โดยไม่เกิดความเสียหายใดๆ

ในส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือเลเซอร์ จากการทดสอบพบว่าเมื่อใช้ระยะการติดตั้งเลเซอร์ที่เหมาะสม คือระยะ 100 มิลลิเมตร (โดยวัดจากตำแหน่งที่ติดตั้งไปจนถึงวัตถุที่ต้องการวัด) ในการทดสอบ หาค่าระยะห่าง การติดตั้งเลเซอร์ในระยะนี้มีความแม่นยำมากที่สุด หากมีการติดตั้งในช่วงการใช้งานอื่น ภายในช่วงการใช้งานตามคู่มือคือ 65 – 135 มิลลิเมตร จะมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงเพียงมากที่สุด เพียง 3 มิลลิเมตร คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 4.286 % ซึ่งในการซ่อมบำรุงจริงสามารถ ยอมรับความคลาดเคลื่อนได้มากถึง ± 10 มิลลิเมตร และเลเซอร์สามารถทำงานแยกส่วนกันได้ จอ LCD จะแสดงผลค่าที่วัดได้ขณะนั้น ไฟแจ้งเตือนจะขึ้นเป็นสีฟ้า หากมีเลเซอร์ตัวใดตัวหนึ่งไม่สามารถวัดค่าได้ที่ จอ LCD จะขึ้น OUT ไฟแจ้งเตือนการทำงานจะขึ้นสีแดง และมีเสียงแจ้งเตือน ในด้านของ SD การ์ด สามารถบันทึกค่าได้ตามคำสั่งของปุ่มใช้งาน รูปอ้างอิงดังปรากฏอยู่ในภาคผนวก ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากปัญหาการระบาดของโรค COVID-19 ทำให้ไม่สามารถนำชุดวัดระดับรางที่สามไป ทดสอบ ณ สถานที่จริงได้ จึงต้องมีการจำลองชุดทดลองขึ้นมาเพื่อใช้ในการทดสอบ ส่งผลให้อาจมีความ คลาดเคลื่อนของค่าขณะทดสอบจากการใช้งานที่รางจำลอง เนื่องจากพื้นบริเวณรางจำลองไม่สม่ำเสมอ และรางจำลองไม่มั่นคงเพราะไม่ได้ยึดติดกับพื้น
2. รางจำลองที่นำมาทดลองนั้นมีระยะที่สั้นเกินไปจึงทำให้ไม่สามารถวัดค่าตำแหน่งได้หลายจุด

3. สปริงและคอร์ที่ติดตั้งนั้นยังไม่ได้ทดสอบการใช้งาน เพราะร่างจำลองนั้นไม่ได้มาตรฐาน รางวิ่งไม่ได้ยึดติดกับพื้น จึงไม่สามารถทดสอบได้ แต่ได้ทดสอบการหดของสปริงด้วยแรงกดจากผู้ใช้งานแล้ว สปริงสามารถหดได้จริง
4. ควรติดตั้งเลเซอร์ให้อยู่ในระยะที่แม่นยำ แน่นหนา เพื่อให้ขณะใช้งานไม่เกิดค่าคลาดเคลื่อน
5. ควรติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันแฉวงจรด้านหลังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano เพื่อป้องกันสายไฟหลุด ป้องกันฝุ่นและน้ำ
6. ด้วยงบประมาณที่มีจำกัด ส่งผลให้ไม่สามารถใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีราคาสูงได้ จึงส่งผลให้การประมวลผลล่าช้าในบางครั้ง ซึ่งสามารถพัฒนาต่อด้วยการใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีคุณภาพสูงได้ เช่น บอร์ด Raspberry Pi



เอกสารอ้างอิง

- [1] ประกาศ สุวรรณเพชร (2554) เรียนรู้และลองเล่น Arduino เบื้องต้น, ชัยภูมิ: วิทยาลัยเทคนิค สุวรรณภูมิ
- [2] ประกาศ พุ่มพวง (2558) การเขียนและการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม ARDUINO, กรุงเทพฯ ฯ ซี เอ็ดดูเคชั่น.
- [3] ภาสกร พาเจริญ (2556) พัฒนา IOT บนแพลตฟอร์ม Arduino ด้วย NodeMCU, กรุงเทพฯ ฯ Se-ed.
- [4] สุวรรณชัย วงศ์สุกิจวัฒน์ (2550) วัสดุศาสตร์และวิศวกรรมวัสดุพื้นฐาน, กรุงเทพฯ: Top Book.
- [5] EN 50163 Railway applications. Supply voltages of traction systems ,Available at:https://infostore.saiglobal.com/preview/98702211742.pdf?sku=859803_SAIG_NSAI_NSAI_2045490 (Accessed: 2 March 2020).
- [6] Guangzhou Heyi Technology Co., Ltd (2016): CMOS laser displacement LC-S100 Series , Available at: <https://www.heyisensors.com/cmos-laser-displacement-sensor-lc-s100-series> (Accessed: 23 September 2019).
- [7] IEC 60850: Railway applications – Supply voltages of traction systems, 3 rd edition (2007) , the United States of America: CRC Press.
- [8] R.C.HIBBELER (2011) MECHANICS OF MATERIALS EIGHTH EDITION, the United States of America: Pearson Prentice Hall.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เตรียมอลูมิเนียมโพรไฟล์ ล้อ และตลับลูกปืนให้ได้ตามขนาดที่ออกแบบไว้



รูปที่ 1 อลูมิเนียมโพรไฟล์



รูปที่ 2 ล้อ



รูปที่ 3 ตลับลูกปืน

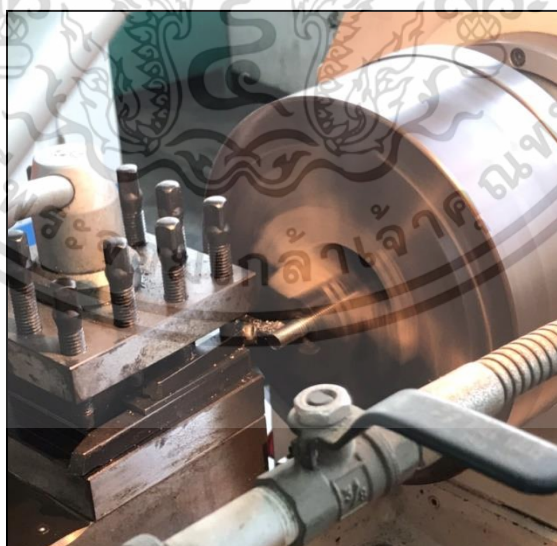
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เจาะรูตรงกลางอะลูมิเนียมชิ้นที่ยาว 390 mm เจาะลึก 150 mm เพื่อใส่สปริง



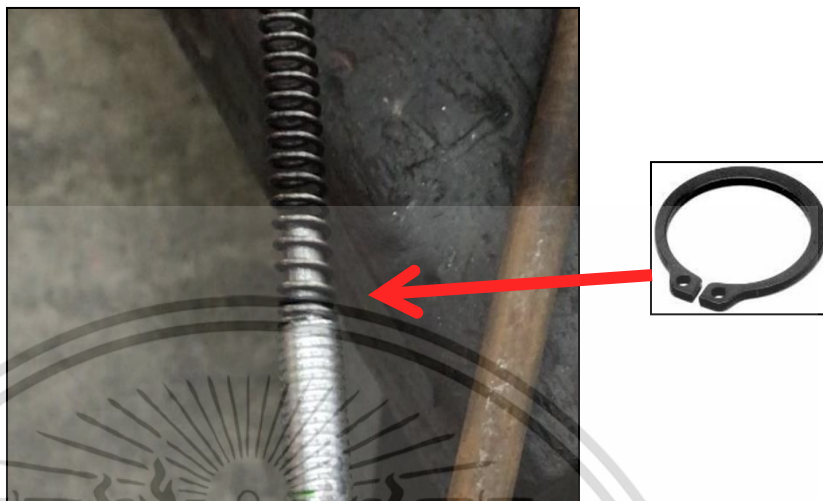
รูปที่ 4 เจาะรูอลูมิเนียม

3. กลึง Core แล้วยึดสปริงและ Core เข้าด้วยกันโดยใส่แหวนล็อคนอก



รูปที่ 5 กลึง Core

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 ยึดสปริงและ Core เข้าด้วยกันโดยใส่แหวนล๊อคคนอก

4. ประกอบลูมิเนียมโปรไฟล์เข้ากับสปริงและ Core แล้วยึดด้วยน็อต



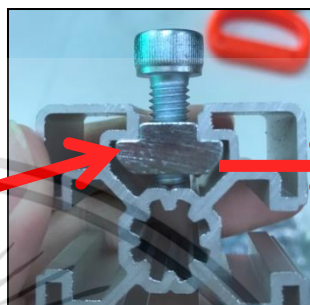
รูปที่ 7 และ 8 ประกอบลูมิเนียมโปรไฟล์เข้ากับสปริงและ Core

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

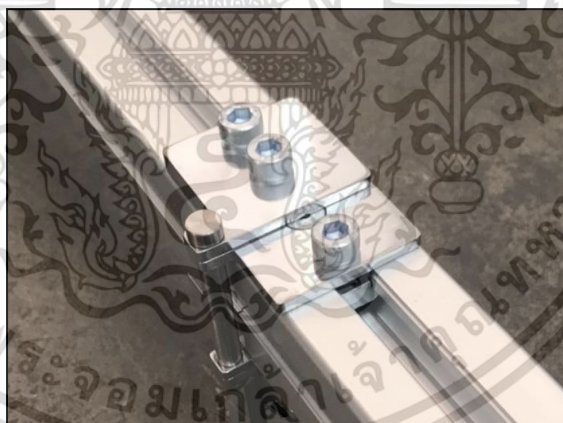
5. ประกอบชิ้นส่วนทั้งหมดเข้าด้วยกันด้วย T- Nut



รูปที่ 9 ประกอบฉากด้วย T- Nut



รูปที่ 10 และ 11 T- Nut

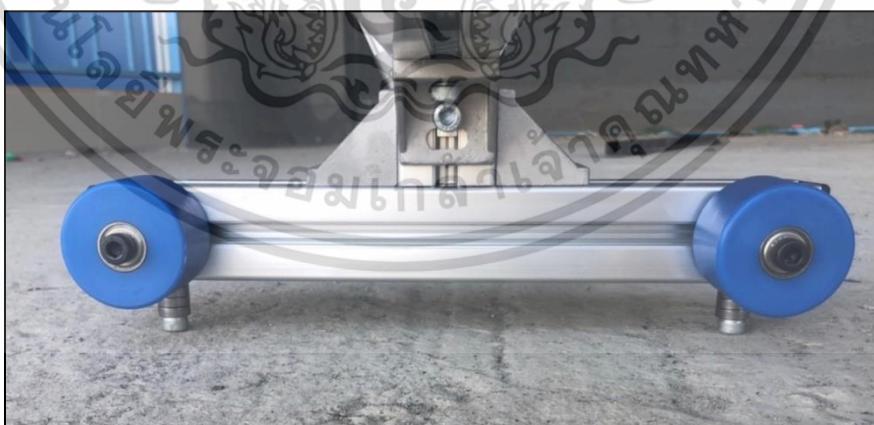


รูปที่ 12 ประกอบบานพับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13 ประกอบชิ้นส่วนที่เหลือ

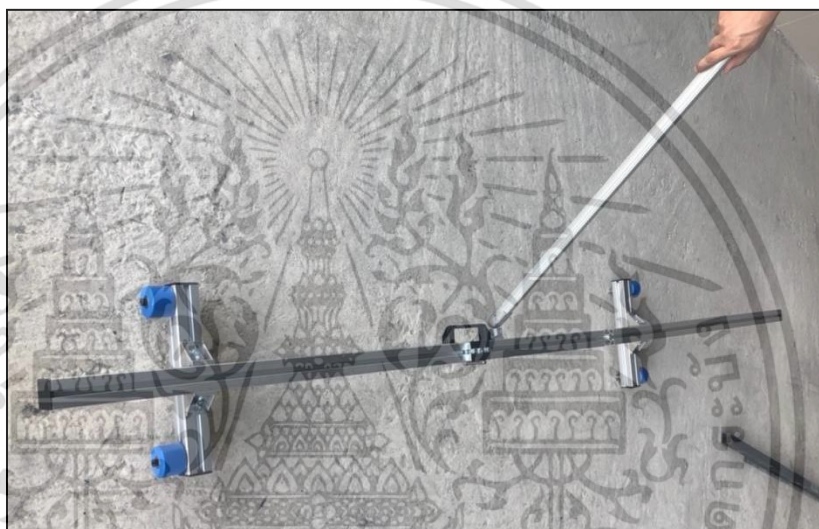


รูปที่ 14 ประกอบล้อและแบริ่งเข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 15 ประกอบ Handle



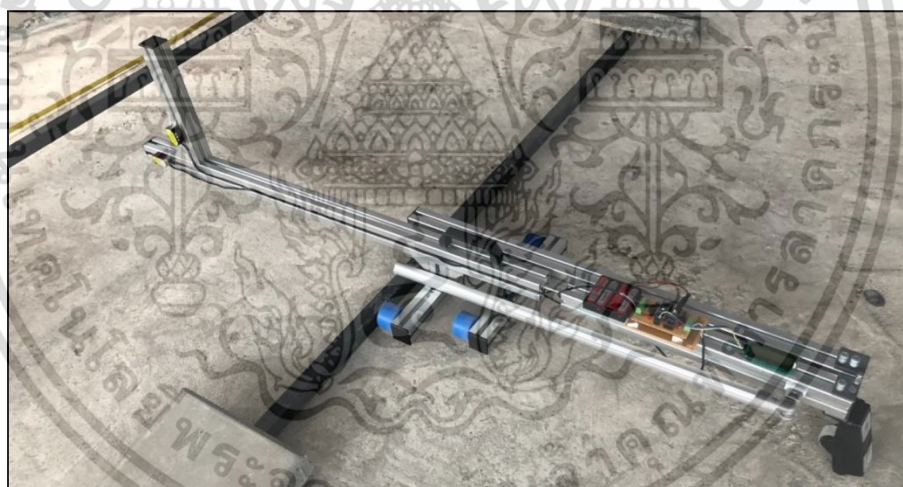
รูปที่ 16 ประกอบ Handle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ติดตั้งเลเซอร์เข้ากับอลูมิเนียมโปรไฟล์ สมบูรณ์พร้อมใช้งาน



รูปที่ 17 ติดตั้งเลเซอร์เข้ากับอลูมิเนียมโปรไฟล์



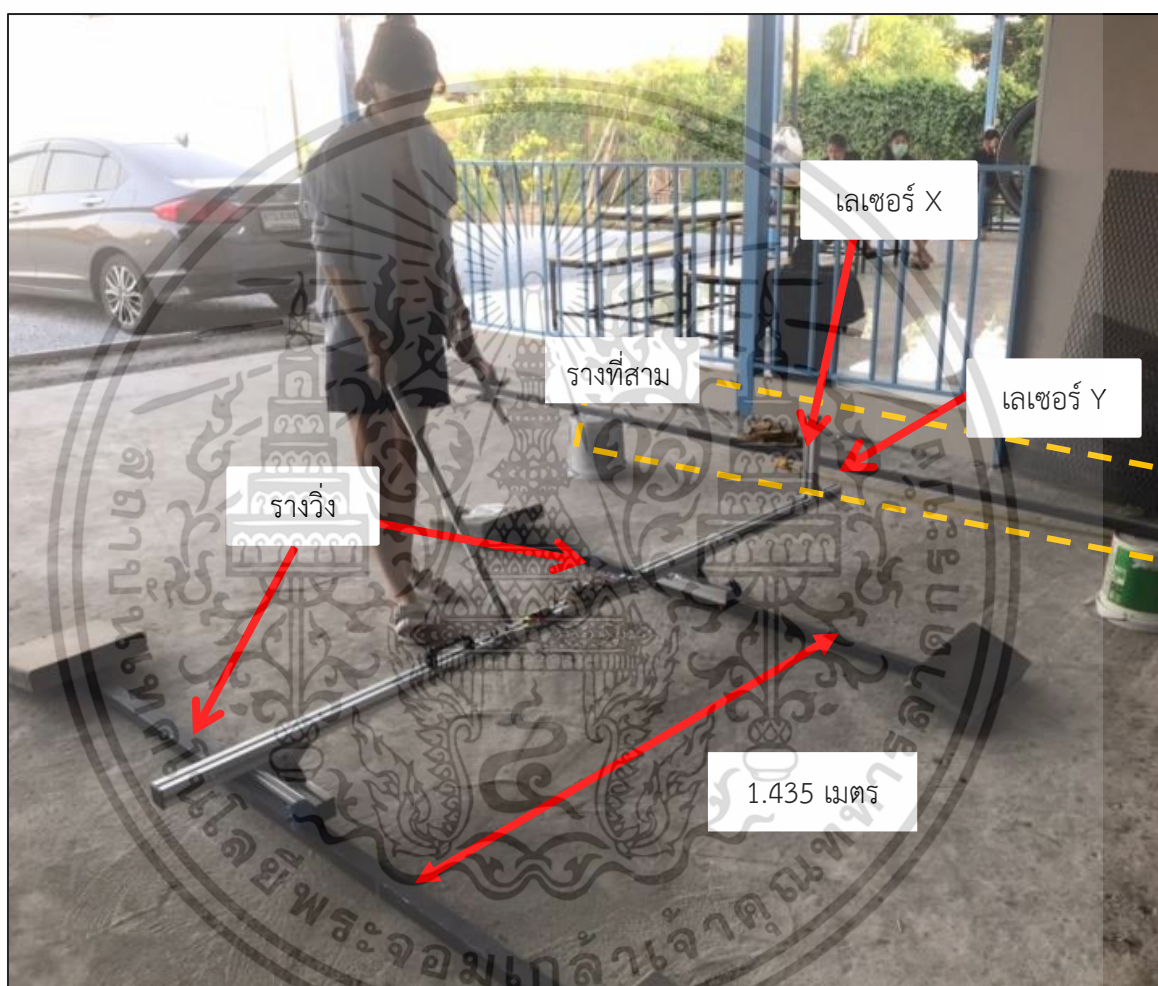
รูปที่ 18 ตัวอย่างการพับเก็บชุดวัดระดับรางที่สาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



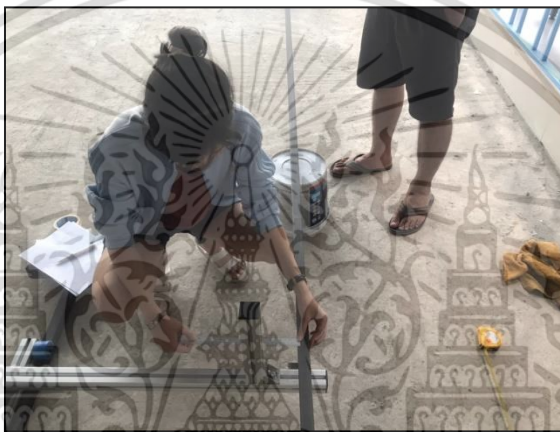
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากสถานการณ์โควิด 19 ในปัจจุบัน ทำให้ไม่สามารถทดลองชุดวัดระดับรางที่สาม ณ สถานที่จริงได้ ผู้จัดทำจึงได้สร้างรางและรางที่สามจำลองขึ้นมา โดยสร้างระยะห่างของรางวิ่งให้เท่ากับรางวิ่งจริง คือ 1.435 เมตร และเลือกระยะห่างระหว่างรางที่สามกับเลเซอร์ในช่วงที่แม่นยำที่สุด คือ 10 เซนติเมตร



รูปที่ 1 สร้างรางวิ่งจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 และ 3 วัดระยะห่างของเลเซอร์และรางที่สามจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 ทดลองเซ็นเซอร์วัดระดับรางที่สามบนรางวิ่งจำลอง



รูปที่ 2 ทดสอบเลเซอร์และจดบันทึกผล

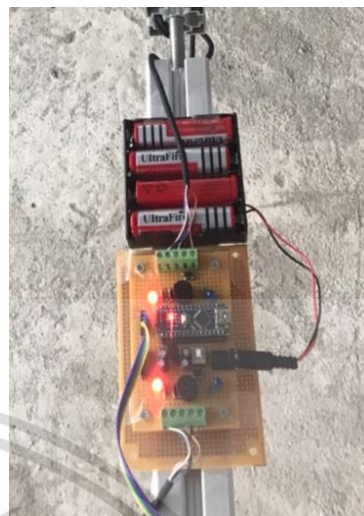
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



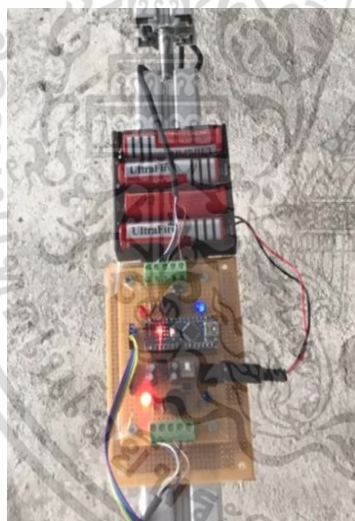
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



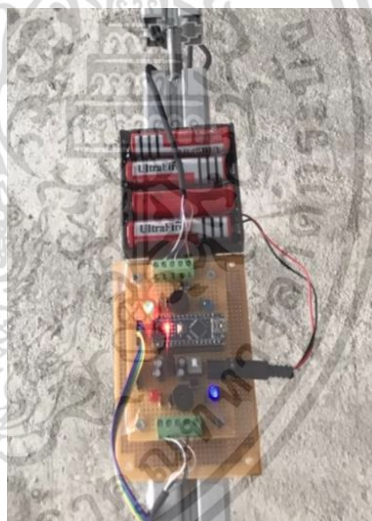
1. เลเซอร์สถานะปกติจะแสดงไฟสีฟ้า 2 ดวง



2. เลเซอร์ OUT 2 ตัว จะแสดงไฟสีแดง 2 ดวง
และมีเสียงแจ้งเตือน



3. เลเซอร์ 1 หรือ 2 OUT 2 จะแสดงไฟสีฟ้า 1 ดวง ไฟสีแดง 1 ดวงและมีเสียงแจ้งเตือน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#include <SD.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);

float sensor1 = A1;

float sensor2 = A2;

int buzzer1 = 8;

int buzzer2 = 9;

int led1 = 7;

int led2 = 6;

int led4 = 4;

int led5 = 5;

int button = 17; //ปุ่มกด

int I = 1;

int chipSelect = 11;

File myFile;

void setup(){

    Serial.begin(9600);

    lcd.init();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lcd.backlight();

pinMode(sensor1,INPUT);

pinMode(sensor2,INPUT);

pinMode(buzzer1,OUTPUT);

pinMode(buzzer2,OUTPUT);

pinMode(led1,OUTPUT);

pinMode(led2,OUTPUT);

Serial.print("Initializing SD card...");

pinMode(SS, OUTPUT);

pinMode(button,INPUT);

pinMode(chipSelect,OUTPUT);

if (!SD.begin(chipSelect))

{

Serial.println("initialization failed!");

}

}

void loop(){

float volt1 = analogRead(sensor1);

float Rdis1 = 136-0.066*volt1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

float volt2 = analogRead(sensor2);

float Rdis2 = 136-0.066*volt2;

Serial.print(volt1);

Serial.print(" =>distance1 =");

Serial.print(Rdis1);

Serial.println("mm");

Serial.print(volt2);

Serial.print(" =>distance2 =");

Serial.print(Rdis2);

Serial.println("mm");

lcd.clear();

if(volt1<=1020 && volt2<=1020){

digitalWrite(buzzer1,LOW);

digitalWrite(led1,LOW);

digitalWrite(buzzer2,LOW);

digitalWrite(led2,LOW);

digitalWrite(led4,HIGH);

digitalWrite(led5,HIGH);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lcd.print("sensor1=");

lcd.print(Rdis1);

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print("sensor2=");

lcd.print(Rdis2);

}else if(volt1>1022 && volt2<=1022){

    digitalWrite(buzzer1,HIGH);

    digitalWrite(led1,HIGH);

    digitalWrite(buzzer2,LOW);

    digitalWrite(led2,LOW);

    digitalWrite(led4,HIGH);

    digitalWrite(led5,LOW);

    lcd.print("sensor1 OUT");

    lcd.setCursor(0,1);

    lcd.print("sensor2=");

    lcd.print(Rdis2);

}else if(volt1<=1022 && volt2>1022){

    digitalWrite(buzzer1,LOW);

    digitalWrite(led1,LOW);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

digitalWrite(buzzer2,HIGH);

digitalWrite(led2,HIGH);

digitalWrite(led4,LOW);

digitalWrite(led5,HIGH);

lcd.print("sensor1=");

lcd.print(Rdis1);

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print("sensor2 OUT");
}else{
digitalWrite(buzzer1,HIGH);
digitalWrite(led1,HIGH);
digitalWrite(buzzer2,HIGH);
digitalWrite(led2,HIGH);
digitalWrite(led4,LOW);
digitalWrite(led5,LOW);

lcd.print("sensor1&2 OUT");

}

if(button == HIGH)
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

myFile = SD.open("test.txt", FILE_WRITE);

Serial.println("\nPosition");

Serial.println(l);

Serial.println("\nX=");

Serial.println(Rdis1);

Serial.println("\nY=");

Serial.println(Rdis2);

myFile.println("\nPosition");
myFile.println(l);
myFile.println("\nX=");
myFile.println(Rdis1);
myFile.println("\nY=");
myFile.println(Rdis2);

l++;

myFile.close();

}

delay(1000);

}

```



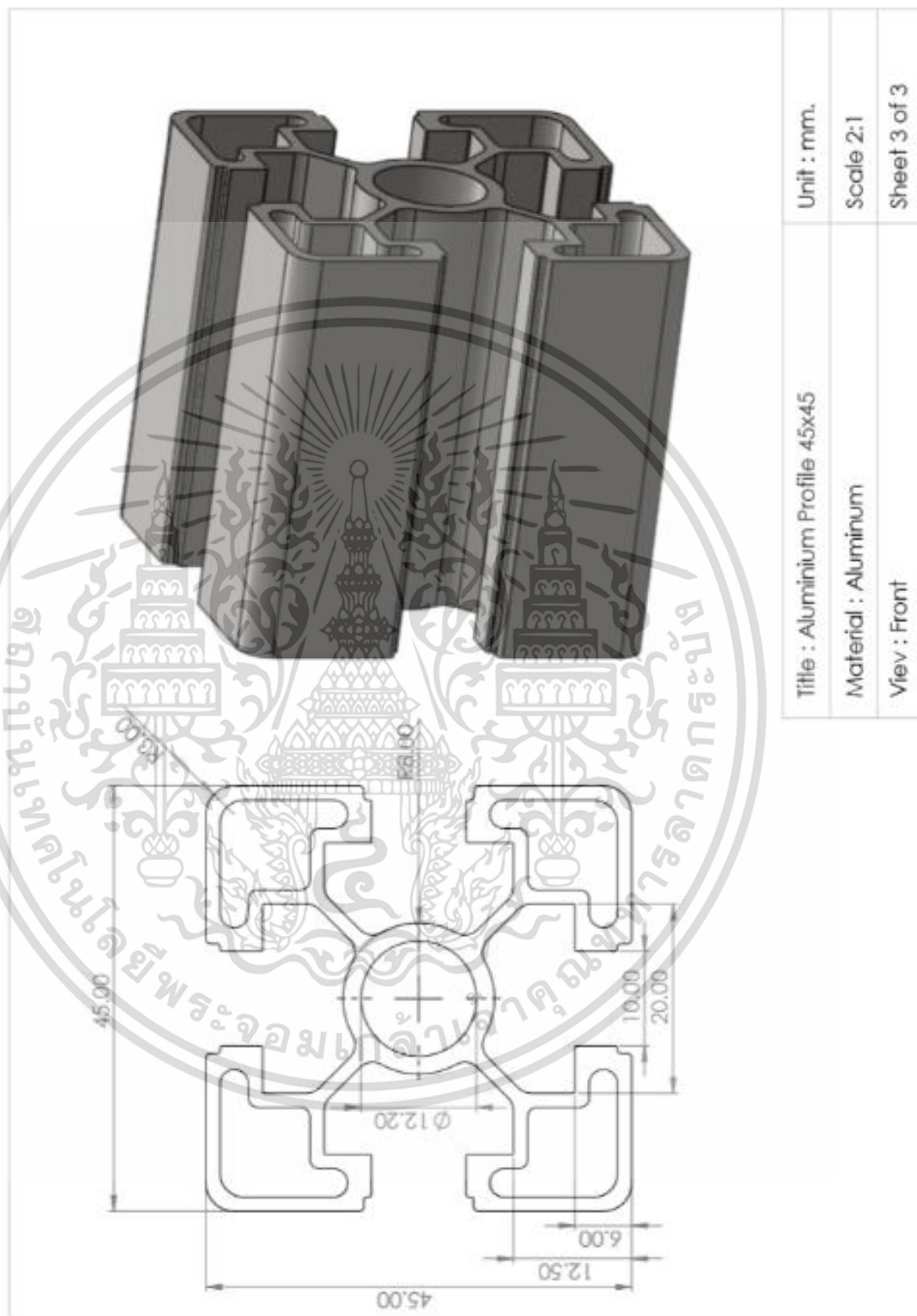
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



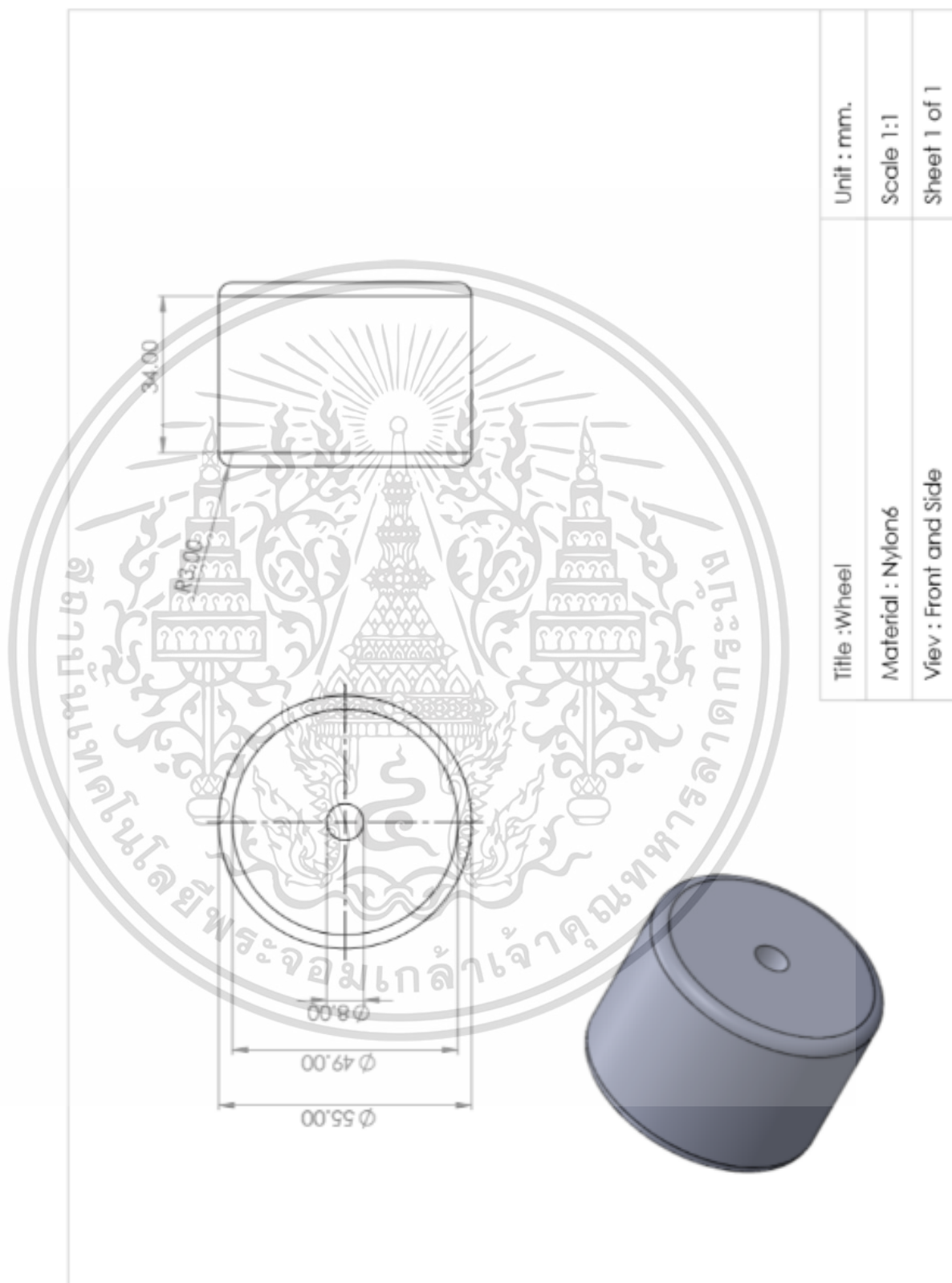
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



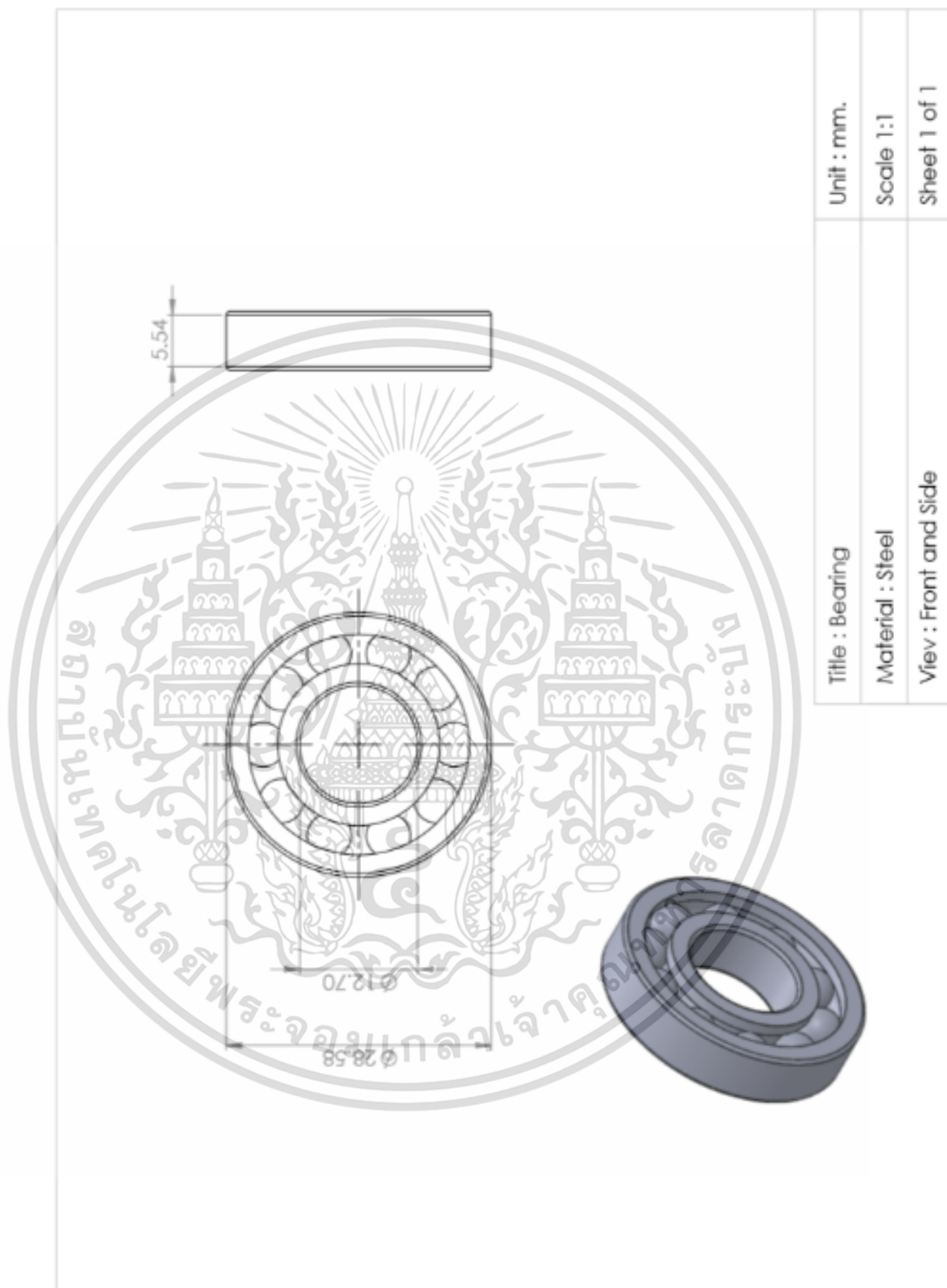
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



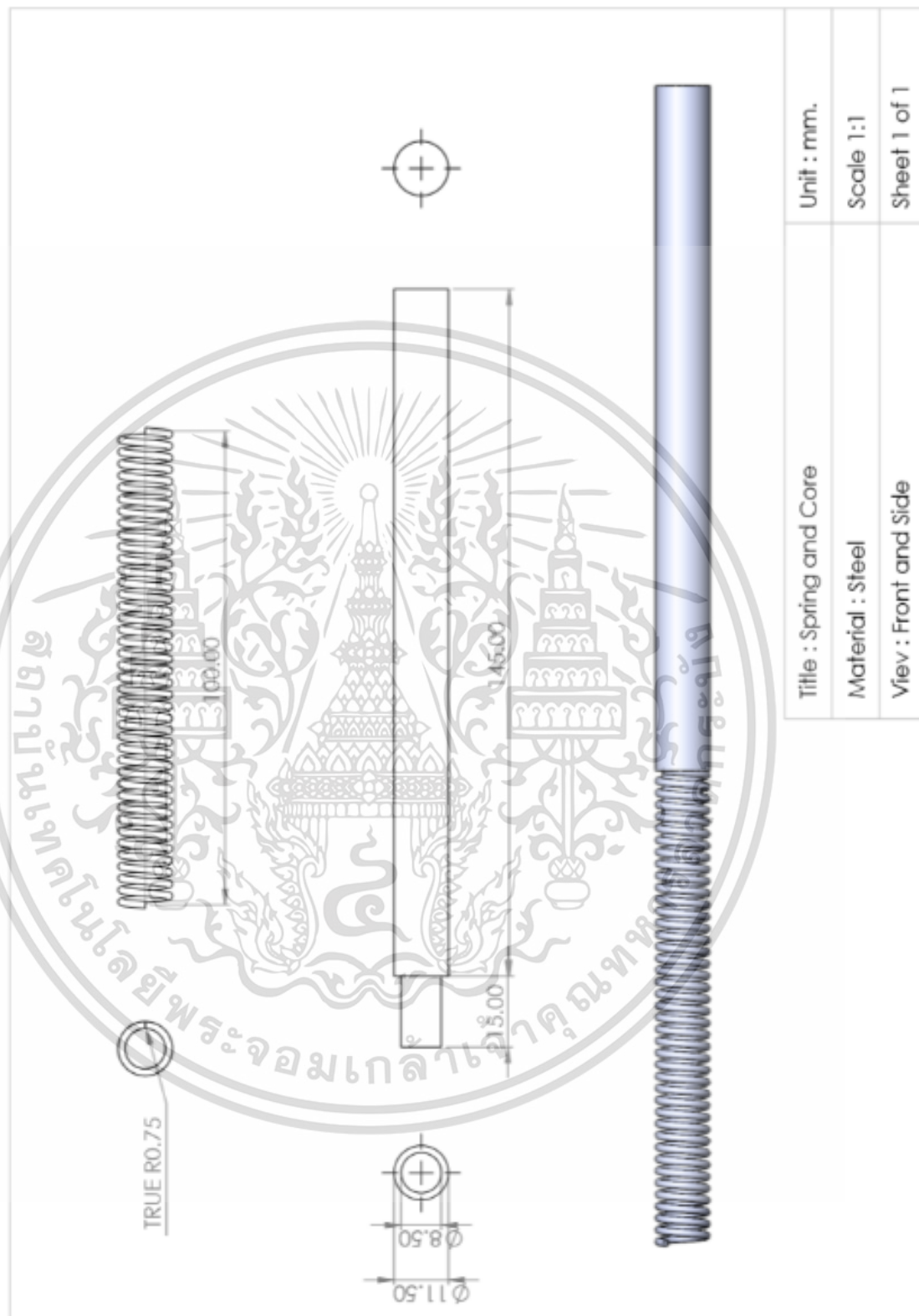
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



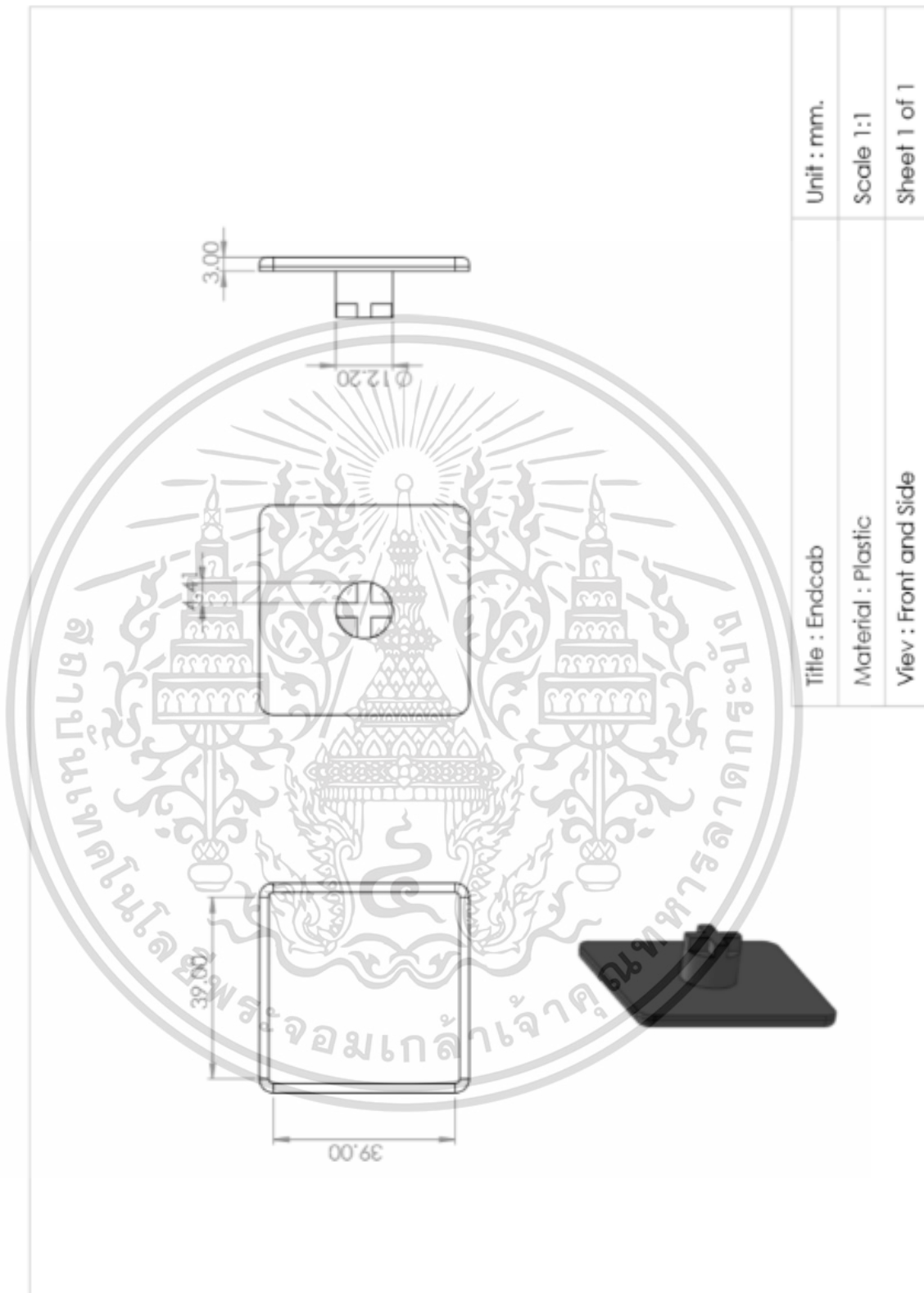
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้