รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

แบบจำลองประตูกั้นชานชาลาแบบเต็มความสูงสำหรับรถไฟใต้ดิน
Full Height Platform Screen Door Model for Underground

นางสาวโฆมพัสตร์ วรรณมโนมัย

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สาขาวิศวกรรมขนส่งทางราง
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

แบบจำลองประตูกั้นชานชาลาแบบเต็มความสูงสำหรับรถไฟใต้ดิน

Full Height Platform Screen Door Model for Underground

นางสาวโชมพัสตร์ วรรณมโนมัย

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สาขาวิศวกรรมขนส่งทางราง

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา แบบจำลองประตูกั้นชานชาลาแบบเต็มความสูงสำหรับรถไฟใต้ดิน

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นางสาว โขมพัสตร์ วรรณมโนมัย

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมเครื่องกล

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ดร.จิตราภรณ์ วงศางาม

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นาง ชุติมาภรณ์ แก้วประทุม

สถานประกอบการ บริษัท ซีเมนส์ จำกัด

บทคัดย่อ

ระบบประตูกั้นชานชาลาเป็นระบบที่สำคัญของการขนส่งผู้โดยสารทางราง ซึ่งประตูกั้นชานชาลาช่วยป้องกันบุคคลหรือวัตถุตกลงไปในรางรถไฟ และลดการสูญเสียอากาศเย็นภายในสถานี โดยอนาคตข้างหน้านี้รัฐบาลมีแผนการก่อสร้างโครงข่ายรถไฟฟ้าหลายสายในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และระบบประตูกั้นชานชาลาก็เป็นส่วนหนึ่งในการก่อสร้างด้วยเช่นกัน จึงทำให้มีหลายบริษัทหันมาให้ความสนใจในธุรกิจด้านนี้เพิ่มมากขึ้นและทำให้การเรียนรู้เรื่องระบบประตูกั้นชานชาลามีความสำคัญมากขึ้นเช่นกัน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา เพื่อใช้ในการศึกษาระบบประตูกั้นชานชาลาและเพื่อเรียนรู้หลักการและความสำคัญของไฟแสดงสถานะ การออกแบบแบบจำลองระบบประตูกั้นชานชาลาแบบเต็มความสูงนี้อ้างอิงจากระบบประตูกั้นชานชาลาของบริษัท ทางด่วนและรถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน) หรือรถไฟฟ้าใต้ดิน (MRT) ทั้งหลักการทำงานของระบบโดยนำมาจำลองอุปกรณ์ให้เข้ากับแบบจำลองที่มีขนาดเล็กและขนาดบานประตูเลื่อนกำหนดให้ขนาดเล็กกว่าระบบจริง 10 เท่า ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Arduino ในการควบคุมการทำงานของระบบประตูกั้นชานชาลา โดยใช้สายพานมาเป็นกลไกการเคลื่อนที่และสเต็ปมอเตอร์มาขับเคลื่อน ขอบเขตของงานวิจัยนี้ จำลองการทำงานในการเปิด-ปิดประตูกั้นชานชาลาใน 2 กรณี โดยกรณีแรก เมื่อรถไฟเข้าจอดตรงตำแหน่งที่ถูกต้องแบบจำลองประตูกั้นชานชาลาแบบเต็มความสูงแสดงการทำงาน ทำให้ประตูกั้นชานชาลาเปิด ไฟแสดงสถานะประตูด้านชานชาลาและไฟแสดงสถานะประตูด้านพนักงานควบคุมรถ ดับลง และไฟสัญญาณเปิดประตู สว่างขึ้น จากนั้นประตูกั้นชานชาลาจะถูกปิดลงเมื่อกดปุ่มปิดประตูรถไฟ จากนั้นประตูกั้นชานชาลาปิดลงอัตโนมัติ ไฟแสดงสถานะประตูด้านชานชาลาและไฟแสดงสถานะประตูด้านพนักงานควบคุมรถ สว่างขึ้น และไฟสัญญาณเปิดประตู ดับลง เป็นการแจ้งให้ทราบว่าประตูกั้นชานชาลาปิดสนิทและพร้อมเริ่มการทำงานใหม่และในกรณีที่สอง รถไฟเข้าจอดที่ตำแหน่งไม่ถูกต้อง แบบจำลองประตูกั้นชานชาลาแบบเต็มความสูงจะไม่แสดงการทำงาน

คำสำคัญ : ประตูกั้นชานชาลาแบบเต็มความสูง, ไฟแสดงสถานะ, แบบจำลอง, สเต็ปมอเตอร์, Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cooperative Title : Full Height Platform Screen Door Model for Underground

Student intern name : Miss Khommapat Wannamanomai

Faculty : Engineering Department : Mechanical Engineering

Advisor name : Dr. Jittraporn Wongsa-Ngam

Mentor name : Mrs. Chutimaporn Kaewpratum

Company : Siemens Limited, Thailand

ABSTRACT

Platform screen doors are an important system of railway passenger transport, to protect people and object falling into the tracks and the energy loss of air conditioner. In the future, the government plans to build several metro lines and the platform screen door system is also part of the construction. As a result, many companies are increasingly interested in this business and learning about platform screen door systems is also important. So the objective of this research project is to create a model of full height platform screen door, for studying of platform screen door system and learning the indicator lamp and their importance in each lamp. This model of platform screen door, working principle and equipment, is adapted to use in a model and designed actual size to have sliding doors smaller than 10 times of the actual size based on the door system of Bangkok and Expressway Metro Public Company Limited. This research use Arduino program for control system, belt mechanism and stepping motor. By the scope of the research, the simulator demonstrates the different in the action of opening and closing platform screen door. First, when the train arrived and stopped at the correct position then full height platform screen door model will open, Platform Indicator and Driver Indicator (Green LED) will turn off, Door Open Indicator (Yellow LED) will turn on. The platform screen door will close after pressing the button to close passenger door. After the door closed and proven closed, Platform Indicator and Driver Indicator (Green LED) will turn on and Door Open Indicator (Yellow LED) will turn off. Second, when the train arrived and stopped at the incorrect position, it will not respond.

Keyword : Full height platform screen door, indicator lamp, Model, Stepping motor, Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยความอนุเคราะห์เป็นอย่างดีจากบุคคลหลายฝ่าย ที่ ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ คำชี้แนะ และคอยให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับการดำเนินงานต่างๆ ซึ่ง ผู้จัดทำขอขอบคุณ ดร.จิตราภรณ์ วงศางาม อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่คอยให้ คำปรึกษาและคำแนะนำเป็นอย่างดี จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี

ขอขอบคุณบริษัท ซีเมนส์ จำกัด ที่ให้ความกรุณาให้ประสบการณ์ในการทำงาน ทั้งการฝึกงาน และสหกิจศึกษา ขอขอบคุณพี่แผนก AFC/PSD ได้แก่ Mrs. Chutimaporn Kaewpratum, Mr. Jadtapol Angitanon, Mr. Nirawit Jaisuk, Mr. Weerachai Danpo, Mr. Kriangkrai Yiinda, Ms. Suppasin Tonqdang, Mr. Natthawut Khemtip, Mr. Nattachai Nuanprajak และคนอื่นๆ ที่ช่วย สนับสนุน คำแนะนำ คำชี้แนะ และคอยเป็นที่ปรึกษาปัญหาต่างๆ ช่วยเหลือข้อมูลและโปรแกรมในการทำ ปริญญานิพนธ์และขอขอบคุณบริษัท ทางด่วนและรถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน) ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลในการ ทำวิจัยครั้งนี้ และสุดท้ายขอขอบคุณพ่อแม่ที่ให้คำปรึกษาในทุกเรื่อง

โขมพัสตร์ วรรณมโนมัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญรูป VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตการศึกษา 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.5 วิธีการดำเนินงาน 2

1.6 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย 3

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบการทำงานของประตูกั้นชานชาลา 4

2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการควบคุมโดยใช้ Arduino 13

2.3 หลักการการขับเคลื่อนของสเต็ปมอเตอร์ 20

2.4 ความรู้เกี่ยวกับแหล่งจ่ายไฟของชุดควบคุม (Power Supply) 28

2.5 ความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์เพิ่มเติม 31

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 37

3.1 การออกแบบโครงสร้างของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา 38

3.2 การออกแบบวงจรควบคุมแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา 53

3.3 การเขียนโค้ดควบคุมแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย 65

4.1 ผลการออกแบบโครงสร้างและชุดควบคุมของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา 65

4.2 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองในกรณีที่รถไฟจอดตรงตำแหน่งที่ถูกต้อง 67

4.3 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองในกรณีที่รถไฟจอดตรงตำแหน่งที่ไม่ถูกต้อง 71

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินการวิจัย 72

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 72

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข 78

5.3 ข้อเสนอแนะ 79

เอกสารอ้างอิง 80

ภาคผนวก 82

ภาคผนวก (ก) ขนาดของส่วนประกอบโครงสร้างแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา 83

ภาคผนวก (ข) ภาพขั้นตอนการทำแบบจำลองและภาพชิ้นงานในส่วนต่างๆ 90

ภาคผนวก (ค) เอกสารในการอ้างอิงขนาดของประตูกั้นชานชาลา 96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบของประตูกั้นชานชาลา 11

2.2 แสดงการเปรียบเทียบของรูปแบบกลไกการเคลื่อนที่ของประตูกั้นชานชาลา 12

2.3 ความละเอียดในการควบคุม Microstep 27

3.1 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ขนาดบานประตูเลื่อนต้นแบบกับแบบจำลอง 38

5.1 ความแตกต่างของอุปกรณ์บางส่วนของระบบการทำงานจริงกับระบบแบบจำลอง 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 อุปกรณ์หลักของชุดประตูกั้นชานชาลา 7

2.2 อุปกรณ์เพิ่มเติมในชุดกล่องควบคุมพิเศษ 8

2.3 แสดงโครงสร้างของกลไกแบบสกรูของต้นแบบ 8

2.4 รูปแบบของประตูกั้นชานชาลาแบบเต็มความสูง 9

2.5 รูปแบบของประตูกั้นชานชาลาแบบกึ่งเต็มความสูง 10

2.6 รูปแบบของประตูกั้นชานชาลาแบบครึ่งความสูง 10

2.7 แสดงลักษณะของรูปแบบกลไกลการเคลื่อนที่แบบสกรู 11

2.8 แสดงลักษณะของรูปแบบกลไกลการเคลื่อนที่แบบสายพาน 12

2.9 แสดงส่วนประกอบของบอร์ด Arduino 14

2.10 แสดงส่วนประกอบภายในของสเต็ปมอเตอร์ 20

2.11 (ก) การต่อแบบ Unipolar (ข) การต่อแบบ Bipolar 21

2.12 การควบคุมการหมุนแบบสองเฟส (Two Phase) หรือ Full Step Drive 22

2.13 แสดงขั้นตอนการเลือกสเต็ปมอเตอร์ 23

2.14 กลไกการเคลื่อนที่แบบสายพาน 24

2.15 กลไกการเคลื่อนที่แบบสายพานแสดงแรงที่ใช้ในการเคลื่อนที่และแรงเสียดทาน 24

2.16 แผนภาพการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับตัวขับสเต็ปมอเตอร์แบบ A4988 26

2.17 วงจรแหล่งจ่ายไฟบวกเชิงเส้นแบบปรับค่าได้ กับการป้องกันไดโอด 28

2.18 แสดงลักษณะของ Switching Power Supply 29

2.19 แสดงการทำงานของสวิตชิ่งพาวเวอร์ซัพพาย 29

2.20 สวิตช์แม่เหล็กสำหรับประตู 31

2.21 รูปการทำงานของรีสวิตช์ 31

2.22 (ก) ทรานซิสเตอร์แบบ NPN (ข) ทานซิสเตอร์แบบ PNP 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

2.23 (ก) โครงสร้างภายในของหลอดไฟLED (ข) สัญลักษณ์ของ LED 34

2.24 Band Diagram of P-N Junction Semiconductors 34

2.25 โครงสร้างภายนอกของลิมิตสวิตช์ 36

2.25 ลักษณะการทำงานของลิมิตสวิตช์ 36

3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 37

3.2 แสดงแบบจำลองประตูกั้นชานชาลาโดยใช้โปรแกรม AutoCAD 38

3.3 แสดงลักษณะและตำแหน่งการวางของชุดแบบจำลองทั้งหมด 39

3.4 แสดงส่วนประกอบของโครงสร้างชุดอุปกรณ์เหนือประตู 40

3.5 ส่วนประกอบของชุดโครสร้างแบบจำลอง 41

3.6 โครงสร้างชุดแผงกั้น 41

3.7 ส่วนประกอบโครงสร้างของชุดประตูบานเลื่อน 42

3.8 ส่วนประกอบโครงสร้างของฐานวางชุดทดลอง 42

3.9 แสดงลักษณะของสเต็ปมอเตอร์ PK244-01A 43

3.10 แสดงลักษณะของ Timing Belts STS 1080 S3M 43

3.11 แสดงลักษณะของพลูเล่ย์อะลูมิเนียม (High Torque Timing Pulleys S3M) 44

3.12 แสดงลักษณะของปลอกสไลด์ลูกปืน 44

3.13 แสดงลักษณะของตัวยึดจับเพลา 44

3.14 แสดงลักษณะของลิมิตสวิทช์ 45

3.15 แสดงลักษณะของ Magnetic Door Switch 45

3.16 แสดงลักษณะของหลอดไฟ LED 46

3.17 แสดงลักษณะของรางนำร่องประตู 46

3.18 แสดงความสามารถของสเต็ปมอเตอร์รุ่น (PK244-01A) 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ หน้า

3.19 ส่วนประกอบวงจรควบคุมแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา 53

3.20 แสดงลักษณะการออกแบบวงจรควบคุมแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา 54

3.21 การต่อขาของทรานซิสเตอร์ 56

3.22 แผนผังการทำงานของแบบจำลองที่เมื่อเกิดไฟสัญญาณประตูบกพร่อง 57

3.23 แผนผังการทำงานของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา 58

3.24 คลื่นพัลส์ในอุดมคติ 59

3.25 แสดงโปรแกรม Arduino ในส่วนเริ่มต้น 61

3.26 แสดงโปรแกรมในส่วนการประกาศขา Input/Output 61

3.27 แสดงโปรแกรมในส่วนของฟังก์ชันหลัก 62

3.28 แสดงฟังก์ชัน start_arduino_checking 62

3.29 แสดงฟังก์ชัน program 63

3.30 แสดงต่อจากภาพ 3.29 ในฟังก์ชัน program 64

4.1 โครงสร้างแบบจำลองประตูกั้นชานชาลาแบบเต็มความสูง 65

4.2 (ก) ชุดควบคุมการทำงาน (ข) ปุ่มควบคุมการทำงาน 66

4.3 (ก) แสดงการเริ่มต้นการทำงานของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา 67

(ข) แสดงไฟสถานะประตูด้านชานชาลาและด้านพนักงานควบคุมรถ (ไฟสีเขียว) สว่างขึ้น 67

(ค) แสดงไฟสัญญาณเปิดประตู (ไฟสีเหลือง) และไฟสัญญาณประตูบกพร่อง (ไฟสีแดง) ดับลง 68

4.4 จำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟในกรณี จอดตรงตำแหน่ง 68

4.5 แสดงการเปิดของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา 69

4.6 ปุ่มปิดประตูรถไฟ 69

4.7 ไฟสัญญาณประตูบกพร่อง สว่างขึ้น 70

4.8 ปุ่ม Reset ในบอร์ด Arduino 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.9 แสดงการจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟในกรณี จอดไม่ตรงตำแหน่ง 71

5.1 ขั้นตอนเปิดประตูกั้นชานชาลาของระบบต้นแบบ 72

5.2 ขั้นตอนเปิดประตูกั้นชานชาลาของระบบแบบจำลอง 73

5.3 ขั้นตอนปิดประตูกั้นชานชาลาของระบบต้นแบบ 74

5.4 ขั้นตอนปิดประตูกั้นชานชาลาของระบบแบบจำลอง 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การพัฒนาการขนส่งทางระบบรางมีบทบาทสำคัญในแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการคมนาคม เพื่อสร้างความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ สังคม และพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชน ซึ่งนำไปสู่การก่อสร้างโครงข่ายรถไฟฟ้าหลายสายใน กรุงเทพมหานคร และปริมณฑล การพัฒนาระบบขนส่งระบบรางของรถไฟฟ้า นอกจากจะต้องคำนึงถึง การตรงเวลา ความสะดวกสบาย ความปลอดภัยของผู้ใช้บริการถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงมาเป็นอันดับแรก

ระบบประตูกั้นชานชาลา ถือเป็นระบบที่สำคัญระบบหนึ่งในการคมนาคมขนส่งทางระบบรางโดยมีประโยชน์หลัก คือ ความปลอดภัย ประตูกั้นชานชาลาช่วยป้องกันผู้โดยสารผลัดตกลงไปในรางรถไฟฟ้าและป้องกันอุบัติเหตุที่ไม่คาดคิด โดยมีกรณีให้เห็นในประเทศญี่ปุ่น เด็กชายวัย 11 ปีประท้วงการปิดโรงเรียน ด้วยการกระโดดลงรางรถไฟฆ่าตัวตาย ในปี 2556 [1] หญิงพลัดตกรางรถไฟ Airport Rail Link ซึ่งเพิ่งเกิดเหตุในประเทศไทย ปี 2560 [2] โดยประเทศไทยมีกฎกระทรวงกำหนดลักษณะหรือการจัดให้มีอุปกรณ์ สิ่งอำนวยความสะดวกหรือบริการในอาคารสถานที่ ยานพาหนะหรือบริการขนส่งประกาศให้สถานีรถไฟฟ้าติดตั้งอุปกรณ์กั้น ราวกันตกหรือผนังกันตก โดยมีผลบังคับใช้ตั้งแต่ปี 2556 [3] และ ประโยชน์รอง คือ การประหยัดพลังงาน ประตูกั้นชานชาลาในระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน สามารถช่วยลดการสูญเสียพลังงาน จากการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณภายในสถานีไปยังอุโมงค์ จากเหตุผลที่ได้กล่าวมานั้น ทำให้ระบบรถไฟฟ้าภายในประเทศไทยต้องมีการใช้ระบบประตูกั้นชานชาลาในโครงข่ายรถไฟฟ้าทุกสาย โดยอนาคตข้างหน้านี้รัฐบาลมีแผนการก่อสร้างโครงข่ายรถไฟฟ้าหลายสายในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และระบบประตูกั้นชานชาลาก็เป็นส่วนหนึ่งในการก่อสร้างด้วยเช่นกัน จึงทำให้มีหลายบริษัทหันมาให้ความสนใจในธุรกิจด้านนี้เพิ่มมากขึ้นและทำให้การเรียนรู้เรื่องระบบประตูกั้นชานชาลามีความสำคัญมากขึ้นเช่นกัน

จากที่กล่าวมาข้างต้น เป็นที่มาที่ทำให้เกิดงานวิจัยนี้ขึ้นมา ซึ่งการสร้างแบบจำลองประตูกั้นชานชาลานี้ การออกแบบจะอ้างอิงจากรูปแบบระบบของรถไฟฟ้าใต้ดิน บริษัท ทางด่วนและรถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน) โดยปรับขนาดแบบจำลองให้เล็กกว่าต้นแบบ 10 เท่าและปรับอุปกรณ์ให้เข้ากับแบบจำลองระบบประตูกั้นชานชาลา งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา เพื่อใช้ในการศึกษาระบบประตูกั้นชานชาลาและเพื่อเรียนรู้ หลักการและความสำคัญของไฟแสดงสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อสร้างแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา

1.2.2 เพื่อใช้ในการศึกษาระบบประตูกั้นชานชาลา

1.2.3 เพื่อเรียนรู้หลักการและความสำคัญของไฟแสดงสถานะ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ขนาดของบานประตูกั้นชานชาลามีขนาดเล็กกว่า 10 เท่า ของต้นแบบ โดยอ้างอิงขนาดบานประตูเลื่อนจากประตูกั้นชานชาลาของบริษัท ทางด่วนและรถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน)

1.3.2 แบบจำลองแสดงการทำงานการเปิดปิดของระบบประตูกั้นชานชาลาใน 2 กรณี ดังนี้

- เมื่อรถไฟเข้าจอดตรงตำแหน่งของประตูกั้นชานชาลา
- เมื่อรถไฟเข้าจอดไม่ตรงตำแหน่งของประตูกั้นชานชาลา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้เห็นการทำงานของประตูกั้นชานชาลาจากแบบจำลอง

1.4.2 ได้ศึกษาระบบประตูกั้นชานชาลา

1.4.3 ได้ศึกษาหลักการและความสำคัญของไฟแสดงสถานะของประตูกั้นชานชาลา

1.5 วิธีการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1.5.2 ออกแบบโครงสร้างและกลไกการทำงานของประตูกั้นชานชาลา

1.5.3 สร้างแบบจำลอง

1.5.4 เขียนcodeในการควบคุม

1.5.5 ออกแบบชุดควบคุมของประตู

1.5.6 ทดสอบการทำงานและแก้ไขข้อบกพร่อง

1.5.7 สรุปผลทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

ลำดับ	ขั้นตอนการดำเนินงาน	สิงหาคม				กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	ศึกษาทฤษฎี วิจัยที่เกี่ยวข้อง และหาข้อมูลเกี่ยวกับประตูกั้นชานชาลา โปรแกรมควบคุม																
2	วางแผนและออกแบบโครงสร้าง																
3	สร้างแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา																
4	เขียนคำสั่งการควบคุมลงโปรแกรม Arduino																
5	ทดสอบการทำงาน																
6	ปรับปรุงแก้ไขจุดบกพร่องต่างๆ																
7	สรุปและอภิปราย																
8	จัดทำรายงานและนำเสนอ																

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ จำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐาน ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบการทำงานของประตูกั้นชานชาลาเบื้องต้น ระบบการขับเคลื่อนของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา ระบบควบคุมการทำงานของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลาและส่วนของอุปกรณ์การทำงานเพิ่มเติม

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบการทำงานของประตูกั้นชานชาลา [4]

ประตูกั้นชานชาลาจะอยู่ตรงตำแหน่งที่สอดคล้องกับประตูของรถไฟฟ้า ในขณะที่รถจอด และจะถูกควบคุมให้เปิดหรือปิดตามการสั่งงานของพนักงานควบคุมรถ หรือคำสั่งของระบบเดินรถอัตโนมัติ ซึ่งส่งมาจากระบบอาณัติสัญญาณ โดยโครงสร้างของประตูกั้นชานชาลาจะมีการออกแบบตามแผนผังของรถไฟฟ้าสำหรับ โครงสร้างของรถไฟฟ้า 3 ตู้/ขบวน (รถไฟฟ้าขบวนสั้น) หรือ โครงสร้างรถไฟฟ้า 6 ตู้/ขบวน จึงต้องมีการติดตั้งประตูกั้นชานชาลาหลายบานซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนโครงสร้างของรถไฟฟ้า ระบบประตูกั้นชานชาลาที่ติดตั้งบนชานชาลาหนึ่งจะเป็นอิสระอย่างสมบูรณ์กับระบบประตูกั้นชานชาลาที่ติดตั้งที่อีกชานชาลาหนึ่งในสถานีเดียวกัน

2.1.1 จุดประสงค์ของระบบประตูกั้นชานชาลามีดังต่อไปนี้

- ป้องกันบุคคลหรือวัตถุไม่ให้ตกลงไปในราง
- ให้คนเดินเข้า/ออกตัวรถไฟฟ้าได้เมื่อรถไฟฟ้าหยุดตรงตำแหน่งในสถานี
- ทำหน้าที่เป็นแผงกั้นเพื่อลดการสูญเสียอากาศเย็นภายในสถานี

2.1.2 รายละเอียดการทำงานของประตูกั้นชานชาลา (PSD functional description) [4]

ขั้นตอนการเปิดประตูกั้นชานชาลาโดยปกติ

1. ในขณะที่รถไฟฟ้าหยุด ณ สถานี ในตำแหน่งที่ถูกต้องกับชานชาลา ระบบอาณัติสัญญาณจะส่งสัญญาณ “Open Enable” และสัญญาณการเปิดประตู “Open Short Train” ไปยังแผงเชื่อมต่อสัญญาณประตูกั้นชานชาลา (PSDIP) หลังจากนั้นแผง เชื่อมต่อสัญญาณประตูกั้นชานชาลา (PSDIP) จะส่งสัญญาณดังกล่าวไปยังชุดควบคุมประตู (DCU) ที่อยู่บนประตูกั้นชาน ชาลาทั้งหมดในชานชาลาเดียวกัน

2. รายละเอียดการเปิดประตูกั้นชานชาลาทุกบานนั้น

- ชุดควบคุมประตูกั้นชานชาลาได้รับพลังงานจากมอเตอร์ เพื่อปลดล็อคประตู ทำให้สวิตช์ปลดล็อค (DLS) ทั้ง 2 ตัวปลดออก
- บานประตูกั้นชานชาลาจะเลื่อนเปิดออกตามแนวประตู ซึ่งได้ติดตั้งอุปกรณ์ทั้งในส่วนที่อยู่เหนือประตูและในส่วนของธรณีประตูด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชุดควบคุมประตูจะทำการคำนวณช่วงในการเลื่อนของประตู (อาศัยกำลังจากมอเตอร์และการวัดค่ากระแสไฟฟ้า) เพื่อให้ชุดเคลื่อนที่ (Trolley) เลื่อนมาจนสุดปลายของอุปกรณ์อย่างราบรื่น ระดับความเร็วของการหมุนของมอเตอร จะลดต่ำลง เมื่อประตูฯ เลื่อนมาถึงจุดปลายสุด

- ชุดควบคุมประตูจะตัดไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้กับมอเตอร เมื่อกระแสไฟฟ้าในขณะนั้นมีค่าเท่ากับค่าที่ได้กำหนดล่วงหน้า

3. แผงเชื่อมต่อสัญญาณประตูกั้นชานชาลา (PSDIP) จะยกเลิกการส่งสัญญาณ “PSD closed and locked” ไปยังระบบอาณัติสัญญาณ

- ไฟสัญญาณที่ชานชาลาจะดับลง
- ไฟสัญญาณที่เขียนคำว่า “PSD Clearance” บนแผงควบคุมหลักของประตูกั้นชานชาลา (Main LCP) จะดับลง
- ไฟสัญญาณสำหรับพนักงานควบคุมรถไฟฟ้าจะดับลง
- ไฟสัญญาณแสดงประตูเปิดที่อยู่เหนือชุดประตูแต่ละบานจะสว่างขึ้น

ขั้นตอนการปิดประตูกั้นชานชาลาโดยปกติ

1. ขั้นตอนการปิดประตูจะเริ่มต้นก็ต่อเมื่อระบบอาณัติสัญญาณได้ยกเลิกสัญญาณ “Open Short Train”

2. ในกรณีนี้ ประตูกั้นชานชาลาทั้งหมดบนชานชาลาเดียวกันจะปิดลง

3. เมื่อชุดประตูปิดและล็อคเรียบร้อยแล้ว ไฟสัญญาณแสดงประตูเปิดบนกล่องเหนือประตู (Header Box) จะดับลง

4. เมื่อประตูกั้นชานชาลาทุกบานได้รับการตรวจสอบความเรียบร้อยในการปิดและล็อคแล้วนั้นสัญญาณ “PSD closed and locked” จะถูกส่งไปยังระบบอาณัติสัญญาณ

- ไฟสัญญาณที่เขียนว่า “PSD Clearance” บนแผงควบคุมหลักของประตูกั้นชานชาลา (Main LCP) จะสว่างขึ้น
- ไฟสัญญาณสำหรับพนักงานควบคุมรถไฟฟ้าจะสว่างขึ้น
- ไฟสัญญาณที่ชานชาลาจะสว่างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 อุปกรณ์หลักของชุดประตูกั้นชานชาลาของต้นแบบ [4]

• **กล่องอุปกรณ์เหนือประตู (Header box)** กล่องอุปกรณ์เหนือประตูจะติดตั้งอยู่เหนือบานประตูกั้นชานชาลา และประกอบด้วยอุปกรณ์เปิด/ปิดประตู ชุดควบคุมประตู (DCU) กล่องอุปกรณ์สลับสัญญาณ (Commutation box) และกล่องควบคุมประตูฯ (LCB) โดยแต่ละกล่องอุปกรณ์เหนือประตูจะถูกปิดด้วยฝา ปิด/เปิดกล่อง (Access panels) 3 ชุด ฝาปิด/เปิดกล่องตรงกลางจะมีหลอดไฟสัญญาณอยู่ 3 หลอด (LED) ดังภาพที่ 2.1 (หมายเลข 1)

• **อุปกรณ์เปิด/ปิดประตู (Door operator)** จะอยู่ภายในกล่องอุปกรณ์เหนือประตูประกอบด้วยระบบขับเคลื่อนและมอเตอร์ที่ทำหน้าที่เปิด/ปิดประตูเลื่อนอย่างอัตโนมัติ ดังภาพที่ 2.1 (หมายเลข 2)

• **ชุดควบคุมประตูกั้นชานชาลา (DCU)** เป็นกล่องอุปกรณ์อิเล็คทรอนิกส์อยู่ในส่วนของอุปกรณ์เปิด/ปิดประตู และมีหน้าที่ควบคุมและตรวจตราการเคลื่อนที่ของบาน ประตูฯ ตามคำสั่งที่ได้รับมาจากชุดควบคุมการติดต่อสื่อสารระบบประตูฯ (PSDIP) หรือกล่องควบคุมประตูฯ (LCB) ดังภาพที่ 2.1 (หมายเลข 3)

• **กล่องอุปกรณ์สลับสัญญาณ (Commutation box)** มีหน้าที่อนุญาตให้ชุดประตูทำงานโดยอาศัยชุดควบคุมประตูสำรอง (Backup DCU) ในกรณีที่ขุดควบคุมประตูนั้นเสีย ดังภาพที่ 2.1 (หมายเลข 8)

• **กล่องควบคุมประตูกั้นชานชาลา (Local Control Box)** อยู่บนส่วนของอุปกรณ์เปิด/ปิดประตู มีหน้าที่อนุญาตให้ควบคุมชุดประตูเฉพาะประตูนั้นๆ ในการเปิด/ปิดหรือแยกโดดประตู ดังภาพที่ 2.1 (หมายเลข 4)

• **ไฟสัญญาณ (LED)** จะติดตั้งบนฝาปิด/เปิดกล่อง ตรงกลางของแต่ละกล่องอุปกรณ์เหนือประตู โดยมีไฟสีส้ม 2 ดวงซึ่งจะทำงาน (สว่าง) เมื่อบานประตูกั้นชานชาลานั้นไม่ได้ปิดและล็อค ไฟสีแดงจะแสดงถึงความบกพร่องของประตู ดังภาพที่ 2.1 (หมายเลข 9)

• **บานประตูกั้นชานชาลา** บานประตูกั้นชานชาลาทำจากแผ่นกระจกที่มีราวกั้นตามแนวขวาง ณ กึ่งกลางความสูงของประตู บานประตูกั้นชานชาลาส่วนบนจะแขวนอยู่กับชุดล้อเลื่อนในกล่องอุปกรณ์เหนือประตู ซึ่งจะเลื่อนไปตามแนวร่องนำประตู โดยส่วนล่างของประตูจะเลื่อนไปตามแนวร่องของธรณีประตู ประตูจะถูกขับเคลื่อนในทิศทางเปิดหรือปิดโดยอุปกรณ์เปิด/ปิดประตู ดังภาพที่ 2.1 (หมายเลข 6)

• **แผงกั้นกระจก (Fixed panel)** แผงกั้นกระจกเป็นแผ่นกระจกที่มีราวกั้นตามแนวขวาง ณ กึ่งกลางความสูงของแผง ถูกจับยึดอยู่กับที่โดยเสาที่ตั้งตรงในแนวดิ่ง ดังภาพที่ 2.1 (หมายเลข 5)

• **ธรณีประตู (Threshold)** ธรณีประตูจะทำจากแผ่นอะลูมิเนียมที่มีผิวด้านบนเป็นร่อง เพื่อป้องกันลื่นประกอบด้วยวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าและร่องแนว ประตูสำหรับเป็นแนวให้บานประตูกั้นชานชาลาเคลื่อนที่ ดังภาพที่ 2.1 (หมายเลข 7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• **กล่องอุปกรณ์เรียงกระแสไฟฟ้า (Rectifier Boxes)** ทำหน้าที่ แปลงกระแสไฟสลับสำหรับจ่ายไฟในสถานีจาก 380VAC - 50Hz – 3 เฟส เป็น 100VDC. ดังภาพที่ 2.2 (หมายเลข 3)

• **กล่องจ่ายไฟกระแสตรง (DC Output Box)** ทำหน้าที่ จ่ายไฟกระแสตรงให้กับวงจรการทำงาน 5 วงจรของอุปกรณ์ประตูกั้นชานชาลา ดังภาพที่ 2.2 (หมายเลข 2)

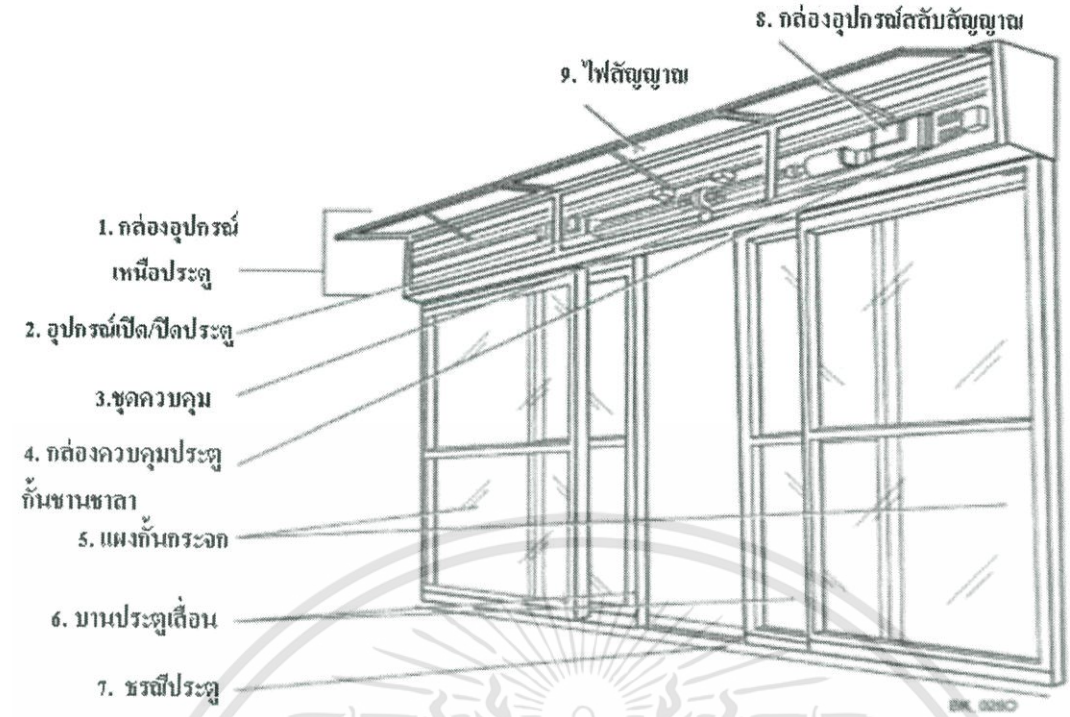
• **ชุดควบคุมการติดต่อสื่อสารระบบประตูกั้นชานชาลา (Platform Screen Door Interface Panel)** ทำหน้าที่ ควบคุมและตรวจตราระบบประตูกั้นชานชาลาทั้งหมดของชานชาลา ดังภาพที่ 2.2 (หมายเลข 1)

• **ชุดควบคุมประตูสำรอง (Backup DCU)** ซึ่งจะทำหน้าที่แทนชุดควบคุมประตูที่บกพร่องของประตูกั้นชานชาลาหนึ่งใน 12 ประตูที่ใช้งานอย่างอัตโนมัติ ดังภาพที่ 2.2 (หมายเลข 4)

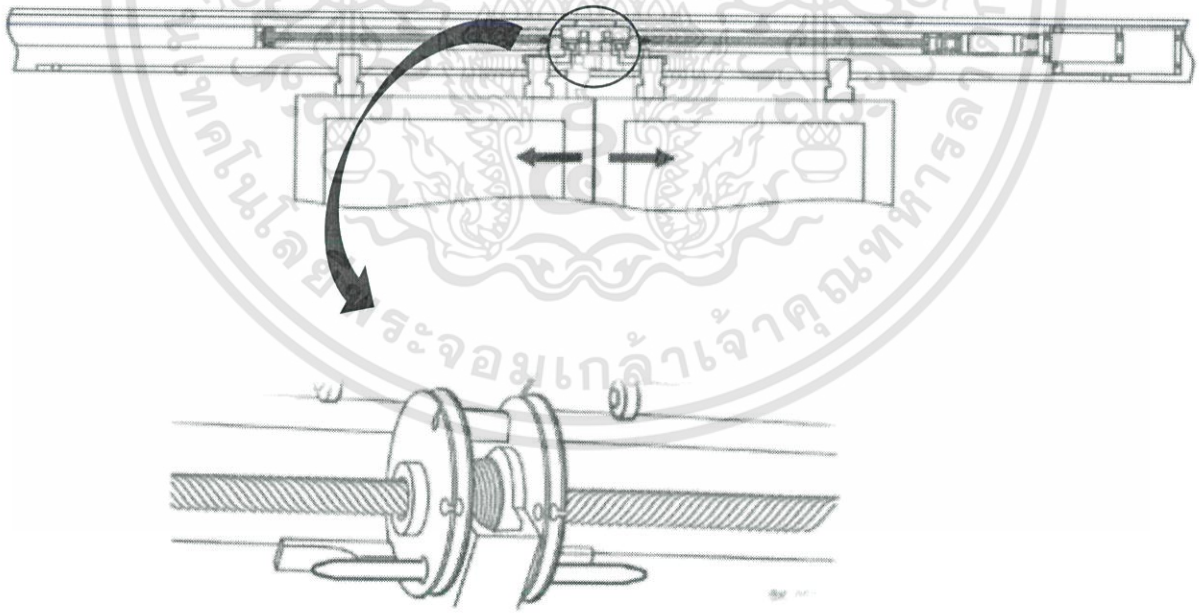
• **แผงเข้าสาย (Terminal block)** เพื่อเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ประตูกั้นชานชาลาและระบบ SCADA ดังภาพที่ 2.2 (หมายเลข 5)

ภาพที่ 2.1 อุปกรณ์หลักของชุดประตูกั้นชานชาลา [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 อุปกรณ์เพิ่มเติมในชุดกล่องควบคุมพิเศษ [4]



ภาพที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของกลไกแบบสกรูของต้นแบบ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 รูปแบบของประตูกั้นชานชาลา [5]

ประตูกั้นชานชาลารถไฟฟ้าเป็นหนึ่งในระบบของประตูอัตโนมัติที่นำมาประยุกต์ใช้งานกับสถานีรถไฟฟ้ายกระดับ รถไฟระดับพื้นดินและรถไฟฟ้าใต้ดิน ซึ่งรูปแบบของประตูกั้นชานชาลามีด้วยกัน 3 แบบ คือ ประตูกั้นชานชาลาแบบเต็มความสูง (Full Height) ประตูกั้นชานชาลาแบบกึ่งเต็มความสูง (Semi-Full) และประตูกั้นชานชาลาแบบครึ่งความสูง (Half Height) ซึ่งรูปแบบการเลือกใช้งานของประตูกั้นชานชาลามีวัตถุประสงค์ในการเลือกใช้งานที่แตกต่างกันในแต่ละแบบ เพื่อให้เหมาะสมกับรูปแบบสถานีและมีข้อดี ข้อเสียที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.1

- **ประตูกั้นชานชาลาแบบเต็มความสูง (Full Height Platform Screen Door)**

ประตูกั้นชานชาลาแบบเต็มความสูง คือ ประตูกั้นชานชาลาที่มีความสูงจากพื้นไปจนถึงฝ้าเพดานของชานชาลา โดยมีชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนอยู่ด้านบนของบานประตู ประตูกั้นชานชาลาแบบเต็มความสูงช่วยในเรื่องของความปลอดภัย ป้องกันฝุ่นละออง ลดระดับเสียงและมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน รูปแบบประตูกั้นชานชาลาแบบเต็มความสูงนี้ เหมาะกับชานชาลาที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศ เช่น ชานชาลาของสถานีรถไฟใต้ดิน ดังภาพที่ 2.4

ภาพที่ 2.4 รูปแบบของประตูกั้นชานชาลาแบบเต็มความสูง [20]

- **ประตูกั้นชานชาลาแบบกึ่งเต็มความสูง (Semi-Full Height Platform Screen Door)**

ประตูกั้นชานชาลาแบบกึ่งเต็มความสูง คือ ประตูกั้นชานชาลาที่มีความสูงจากพื้นไปจนถึงฝ้าเพดานของชานชาลาหรือสูงถึงระดับความสูงของขบวน โดยส่วนมากชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนอยู่ด้านบนของบานประตู ประตูกั้นชานชาลาแบบกึ่งเต็มความสูงช่วยในเรื่องของความปลอดภัย ป้องกันฝุ่นละอองเพียงบางส่วน การระบายอากาศเป็นตามธรรมชาติ รูปแบบประตูกั้นชานชาลาแบบกึ่งเต็มความสูงนี้ เหมาะกับการติดตั้งในสถานีที่ไม่มีระบบปรับอากาศ เช่น ชานชาลาของสถานีรถไฟฟ้ายกระดับ ดังภาพที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.5 รูปแบบของประตูกั้นชานชาลาแบบกึ่งเต็มความสูง [20]

- **ประตูกั้นชานชาลาแบบครึ่งความสูง (Half Height Platform Screen Door)**

ประตูกั้นชานชาลาแบบครึ่งความสูง คือ ประตูกั้นชานชาลาที่มีความสูงจากพื้นไปจนถึงความสูงครึ่งหนึ่งของประตูกั้นชานชาลาแบบเต็มความสูงหรือถึงระดับอกของผู้โดยสาร ประตูกั้นชานชาลารูปแบบนี้นั้นจะมีชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนอยู่ด้านข้างของบานประตู ประตูกั้นชานชาลาแบบครึ่งความสูงช่วยในเรื่องของความปลอดภัย ซึ่งเป็นความปลอดภัยที่มองเห็นได้และง่ายต่อการติดตั้ง รูปแบบประตูกั้นชานชาลาแบบครึ่งความสูงนี้ เหมาะกับการติดตั้งในสถานีที่ไม่มีระบบปรับอากาศ เช่น ชานชาลาของสถานีรถไฟฟ้ายกระดับ ดังภาพที่ 2.6

ภาพที่ 2.6 รูปแบบของประตูกั้นชานชาลาแบบครึ่งความสูง [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบของประตูกั้นชานชาลา

	แบบเต็มความสูง	แบบกึ่งเต็มความสูง	แบบครึ่งความสูง
ข้อดี	- ความปลอดภัย (100%) - ลดเสียงและไม่มีฝุ่นละออง - มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน	- ความปลอดภัย (100%) - ลดเสียงและฝุ่นละอองได้บางส่วน - ระบายอากาศได้ตามธรรมชาติ	- ความปลอดภัยของผู้โดยสาร (40%) - เป็นความปลอดภัยที่มองเห็นได้ - ติดตั้งง่าย - ไม่ต้องติดกับเพดาน
ข้อเสีย	- ต้นทุนสูง	- ต้นทุนสูง	- มีความเสถียรภาพในด้านโครงสร้างน้อย
เป้าหมายการใช้งาน	- รถไฟระดับใต้ดิน	- รถไฟระดับพื้นดิน - รถไฟยกระดับ	- รถไฟระดับพื้นดิน - รถไฟยกระดับ

2.1.5 รูปแบบของกลไกการเคลื่อนที่ของประตูกั้นชานชาลา [5]

รูปแบบของกลไกการเคลื่อนที่ของประตูกั้นชานชาลามี 2 รูปแบบ คือ กลไกลการเคลื่อนที่แบบสกรูและกลไกการขับเคลื่อนแบบสายพาน ซึ่งทั้ง 2 รูปแบบนี้มีข้อดี ข้อเสีย ดังตารางที่ 2.2

- กลไกการเคลื่อนที่แบบสกรู (Screw Drive Mechanism)

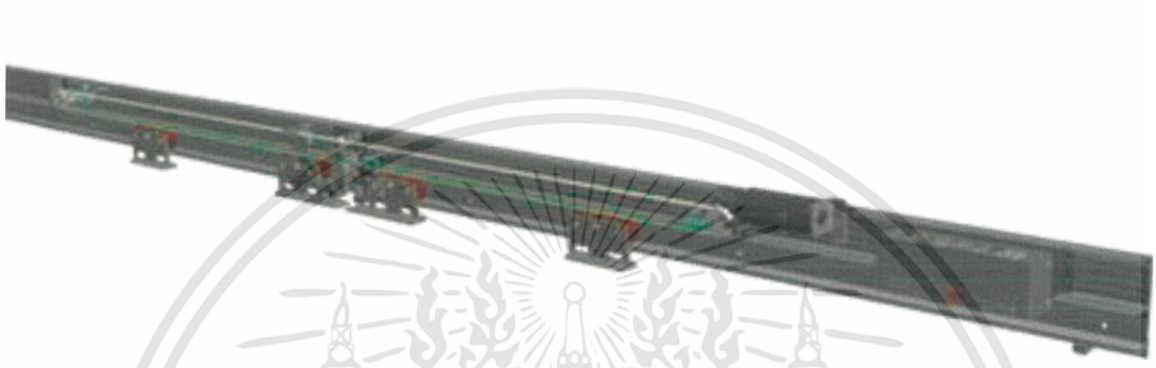
กลไกการเคลื่อนที่แบบสกรู ใช้สกรูขนาดยาวต่อเข้ากับมอเตอร์ โดยเมื่อมอเตอร์ทำงานทำให้สกรูหมุนจุดที่เชื่อมต่อกับสกรูและบานประตูเลื่อนก็จะเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงตามทิศทางการหมุนเข้าหรือหมุนออกของมอเตอร์ รูปแบบกลไกลการเคลื่อนที่แบบสกรูมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน แต่มีต้นทุนการติดตั้งที่สูง โดยลักษณะของรูปแบบกลไกลการเคลื่อนที่แบบสกรูเป็นดังภาพที่ 2.7

ภาพที่ 2.7 แสดงลักษณะของรูปแบบกลไกลการเคลื่อนที่แบบสกรู [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กลไกการเคลื่อนที่แบบสายพาน (Belt Drive Mechanism)

กลไกการเคลื่อนที่แบบสายพาน ใช้สายพานและพลูเล่ย์ต่อเข้ากับมอเตอร์ โดยจุดที่เชื่อมต่อสายพานกับบานประตูเลื่อนจะเชื่อมต่อกันกับเส้นบนและเส้นล่างของสายพาน โดยเมื่อมอเตอร์ทำงานทำให้สายพานเคลื่อนที่และประตูบานเลื่อน 2 บานเลื่อนออกจากกันหรือเลื่อนเข้าหากันตามการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ รูปแบบกลไกลการเคลื่อนที่แบบสายพานมีอายุการใช้งานพื้นฐานประมาณ 3 ปี แต่มีต้นทุนการติดตั้งที่ต่ำกว่าแบบสกรู 30 % โดยลักษณะของรูปแบบกลไกลการเคลื่อนที่แบบสายพานเป็นดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 แสดงลักษณะของรูปแบบกลไกลการเคลื่อนที่แบบสายพาน [5]

ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบของรูปแบบกลไกการเคลื่อนที่ของประตูกั้นชานชาลา

	สายพาน	**สกรู**
อายุการใช้งาน	- อายุการใช้งานพื้นฐาน 3 ปี	- เกือบถาวร
การดูแลรักษา	- ตรวจสอบชิ้นส่วนและจุดเชื่อมต่อ - เปลี่ยนสายพานตามรอบการดูแล - ปรับสายพานหลังติดตั้งให้เหมาะสม	- ทำความสะอาดและมั่นเปลี่ยนสลักเกลียว - เปลี่ยนโมดูลต่างๆ - ไม่ต้องปรับเปลี่ยนหลังติดตั้ง
ต้นทุน	- ต่ำกว่าแบบสกรู 30 %	- สูงกว่าแบบสายพาน 30 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการควบคุมโดยใช้ Arduino [6]

Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิคส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield และArduino GPRS Shield เป็นต้น นำมาเชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย

จุดเด่นของบอร์ด Arduino

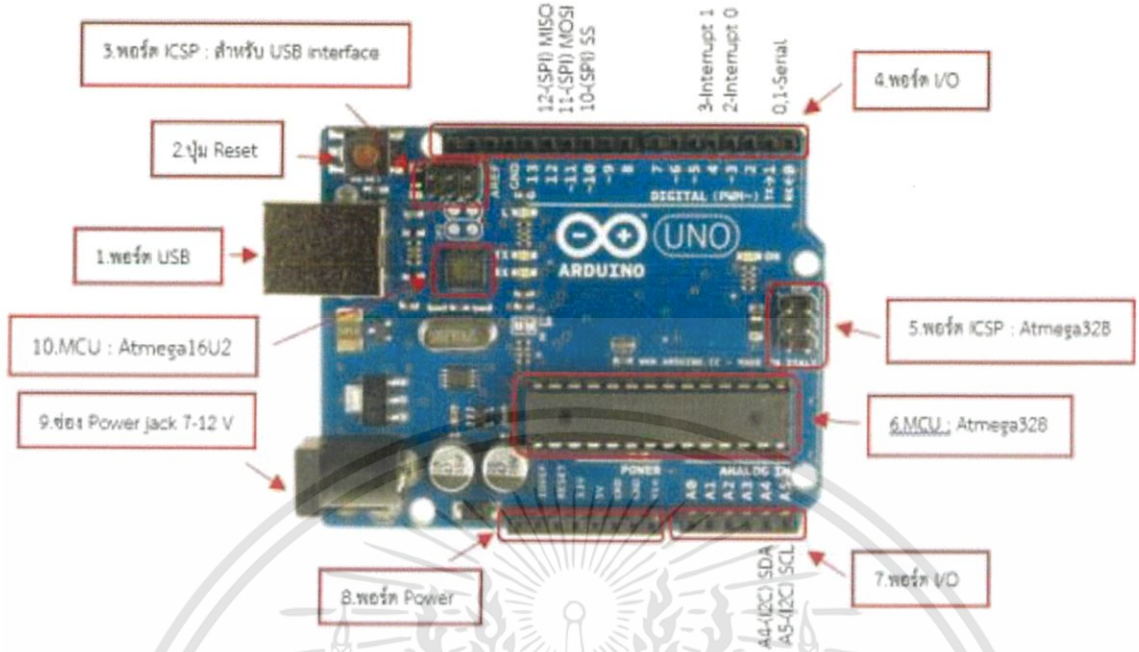
- ง่ายต่อการพัฒนา มีรูปแบบคำสั่งพื้นฐานไม่ซับซ้อนเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น
- มี Arduino Community กลุ่มคนที่ร่วมกันพัฒนา
- Open Hardware ทำให้ผู้ใช้สามารถนำบอร์ดไปต่อยอดใช้งานได้หลายด้าน
- ราคาไม่แพง

ชนิดของตัวแปรและฟังก์ชันพื้นฐานในเขียนโปรแกรม Arduino

การกำหนดตัวแปรเพื่อให้โปรแกรมสามารถคำนวณ หรือแสดงผลตามที่ต้องการ โดยตัวแปรจะมีหลายประเภทให้เลือกใช้งานดังนี้

1) Boolean เป็นตัวแปรตรรกศาสตร์ True หรือ Fault
2) Char เป็นตัวหนังสือ หรือตัวเลข -128 ถึง 127
3) Unsigned Char เป็นตัวหนังสือ หรือตัวเลข 0 ถึง 225
4) Byte เป็นตัวเลข 0 ถึง 225
5) Int เป็นตัวเลขจำนวนเต็ม -32768 ถึง 32768
6) Unsinged Int ตัวเลขจำนวนเต็ม 0 ถึง 65535
7) Long เป็นตัวเลขจำนวนเต็ม -2147483648 ถึง 214748367
8) Unsinged Long เป็นตัวเลขจำนวนเต็ม 0 ถึง 4294967295
9) Float เป็นตัวเลขทศนิยม
10) String เป็นข้อความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.9 แสดงส่วนประกอบของบอร์ด Arduino [6]

ส่วนประกอบของบอร์ด Arduino ดังภาพที่ 2.9 มีดังต่อไปนี้

1. USBPort: ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออับโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด

2. Reset Button: เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่

3. ICSP Port ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2

4. I/OPort:Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM

5. ICSP Port: Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader

6. MCU: Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino

7. I/OPort: นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0-A5

8. Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง 3.3 V, 5V, GND, Vin

9. Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V

10. MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาษาของการเขียนโปรแกรมใช้งาน Arduino Board [7]

มีพื้นฐานจากภาษา C/C++ โดยประกอบด้วย Structure,values (variables and constants) และ Functions

- **ฟังก์ชั่นหลัก (Structure)** : เป็นฟังก์ชั่นหลักในการเขียนโปรแกรม จำเป็นต้องมีในทุกโปรแกรม

Setup()

คือ ฟังก์ชั่นใช้ในการประกาศค่าเริ่มต้น ตำแหน่งพอร์ตที่ใช้งาน รวมถึงฟังก์ชั่นที่อยู่ไลบารี่ที่ใช้งาน เป็นฟังก์ชั่นที่ทำงานเพียงครั้งเดียว จะทำงานทุกครั้ง ที่มีการรีเซต หรือรีบูตเครื่องใหม่ เท่านั้น

เช่น

```
intbuttonPin = 3;// การตั้งค่าตัวแปร buttonPin เท่ากับ 3
void setup()
{
    Serial.begin(9600); //ประกาศการใช้งานการสื่อสารรับส่งข้อมูลผ่าน พอร์ตRS232
     pinMode(buttonPin, INPUT);// การตั้งค่าโหมด ของตัวแปรแบบคงที่ buttonPin เป็นโหมดอินพุต
}
void loop()
{
  // ...
}
```

Loop () คือ ฟังก์ชั่นใช้ในการเขียนโค้ดโปรแกรมการทำงานของArduinoเป็นฟังก์ชั่นการวนลูปไปเรื่อยๆ

เช่น

```
constintbuttonPin = 3; // การตั้งค่าตัวแปร buttonPin เท่ากับ 3
void setup()
{
   Serial.begin(9600);//ประกาศการใช้งานการสื่อสารรับส่งข้อมูลผ่าน พอร์ตRS232
   pinMode(buttonPin, INPUT);// การตั้งค่าโหมด ของตัวแปรแบบคงที่ buttonPin เป็นโหมด อินพุต
}

void loop ()
{
        if (digitalRead(buttonPin) == HIGH)// ตรวจสอบค่าอินพุตที่รับมา เป็น HIGH ใช่หรือไม่
       Serial.write('H');// ใช่ ส่งค่าอักษร H ผ่าน พอร์ตRS232
        else
       Serial.write('L');// ไม่ ส่งค่าอักษร L ผ่าน พอร์ตRS232
   delay(1000); //หน่วงเวลา 1วินาที
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ชุดคำสั่งในการควบคุม (Control Structures)** : เป็นชุดคำสั่งในการใช้ในการตัดสินใจหาทางออก เพื่อใช้ในการทำงาน

If คือ คำสั่งในการตัดสินใจ แบบตัวเลือกเดียว โดยใช้งานร่วมกับ And, Or Not, ==, !=, <, > เพื่อใช้ในการตัดสินใจในการหาคำตอบ

If...else คือ คำสั่งในการตัดสินใจ แบบหลายตัวเลือก โดยใช้งานร่วมกับ And, Or Not, ==, !=, <, > เพื่อใช้ในการตัดสินใจในการหาคำตอบ

For คือ คำสั่ง FOR เป็นคำสั่งกำหนดเงื่อนไขเป็นจำนวนครั้งที่จะทำตามชุดคำสั่งต่าง ๆ ภายใน loop เหมาะที่จะใช้กับงานประเภทที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

Switch case คือ คำสั่ง switch case ใช้ในการจัดการเงื่อนไขหลายเงื่อนไขโดยเฉพาะการใช้งานโครงสร้าง การจำแนกเงื่อนไขไม่จำเป็นต้องอาศัยเฉพาะตัวแปรที่เก็บค่าจำนวนเต็มเท่านั้น ข้อมูลแบบอื่นก็

While คือ คำสั่ง While คือเงื่อนไขที่จะทำการตรวจสอบว่าเป็นจริงหรือเท็จ ชุดคำสั่งก็คือ ส่วนที่ทำงานซ้ำๆ โดยจะต้องมีคำสั่งที่จะทำให้ เงื่อน เป็นเท็จ

Do... while คือ คำสั่ง do while เป็นคำสั่งที่กำหนดให้มีการทำงานวนรอบ คล้าย ๆ คำสั่ง While แต่แตกต่างกันที่คำสั่ง do while จะให้ทำคำสั่งใน loop do ก่อน แล้วค่อยพิจารณาเงื่อนไขใน while ถ้าค่าเงื่อนไขใน while เป็นจริง จึงจะวนรอบทำคำสั่งในลูป do ต่อไป

Break คือ คำสั่ง break เป็นคำสั่งที่ให้โปรแกรมออกจาก loop ทันที โดยไม่ทำคำสั่งที่เหลือต่อส่วนมาก ก่อนจะใช้คำสั่งนี้ ก็จะมีการตรวจสอบอะไรซักอย่างเสียก่อน ซึ่งคำสั่ง break นี้ สามารถใช้ได้กับ loop หลาย ๆ loop ไม่ว่าจะเป็น while, do while, for, switch และอื่น ๆ

Continue คือ คำสั่ง continue ใช้สำหรับสั่งให้กลับไปเริ่มต้นที่จุดเริ่มต้นใหม่ ใช้ร่วมกับคำสั่งการวนลูปต่างๆจะต่างกับคำสั่งเพราะว่า คำสั่ง break นั้นจะเป็นคำสั่งเพื่อออกจาก loop ส่วนคำสั่ง continue นั้นจะเป็นคำสั่งเพื่อกระโดดไปยังต้น loop

Return คือ คำสั่ง return คือคำสั่งที่ส่งค่าอะไรก็ได้กลับออกไปจากฟังก์ชั่น

- **สัญลักษณ์**

; (semicolon) จะใช้ ; (semicolon) เมื่อจบคำสั่งเช่น int ตัวแปร = 13;

{ } (curly braces)

วงเว็บปีกกาหรือ {} เป็นส่วนที่สำคัญของการเขียนโปรแกรมภาษา C มีการใช้ในโครงสร้างที่แตกต่างกันหลายประการที่ระบุ และบางครั้งอาจจะทำให้เกิดความสับสน

// (single line comment) คือ คำสั่งสำหรับอธิบายหรือ comment ในภาษาซี คือส่วนที่หมายถึงเหตุของโปรแกรมมีไว้เพื่อให้ผู้เขียนโปรแกรมอธิบายกำกับลงไปใน source code ซึ่งคอมไพเลอร์จะข้ามการแปลผลในส่วนที่เป็นคอมเม้น ส่วนของ // (single line comment) จะเป็นการคอมเม้นบรรทัดเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

/* */ (multi-line comment) คือ คำสั่งสำหรับอธิบายหรือ comment ในภาษาซี คือส่วนที่หมายถึงเหตุของโปรแกรมมีไว้เพื่อให้ผู้เขียนโปรแกรมอธิบายกำกับลงไปใน source code ซึ่งคอมไพเลอร์จะข้ามการแปลผลในส่วนที่เป็นคอมเม้น ส่วนของ /* */ (multi-line comment) จะเป็นการคอมเม้นหลายบรรทัด

#define คือ Define เป็นการกำหนดค่านิพจน์ต่างๆ ให้กับชื่อของตัวคงที่เช่น #define ledPin 3

#include คือ การกำหนดชื่อไฟล์ตามหลัง Include จะใช้เครื่องหมาย <>ซึ่งจะเป็นการอ่านไฟล์จากไดเร็กทอรี หรือโฟลเดอร์ที่กำหนดไว้ก่อนแล้ว โดยปกติจะเป็นโฟลเดอร์ include แต่ถ้าใช้เครื่องหมาย “ ” เป็นการอ่านไฟล์จาก โฟลเดอร์ หรือ ไดเร็กทอรี ที่กำลังติดต่ออยู่และไฟล์ที่จะ include เข้ามานี้จะต้องไม่มีฟังก์ชัน main() โดยมากจะประกอบไปด้วยโปรแกรมย่อย ค่าคงที่ หรือข้อความต่างๆ

- **ตัวดำเนินการทางเลขคณิต**

= (assignment operator) คือ เครื่องหมาย = หมายถึง นำค่าจาก operand ฝั่งขวาไปใส่ใน operand ฝั่งซ้าย
+ (addition) คือ เครื่องหมาย + หมายถึง การบวก
- (subtraction) คือ เครื่องหมาย - หมายถึง การลบ
* (multiplication) คือ เครื่องหมาย * หมายถึง การคูณ
/ (division) คือ เครื่องหมาย / หมายถึง การคูณ
% (modulo) คือ เครื่องหมาย % หมายถึงหาเศษจากการหาร

- **ตัวดำเนินการเปรียบเทียบ**

== (equal to) คือ เครื่องหมาย == หมายถึงเท่ากับ
!= (not equal to) คือ เครื่องหมาย != หมายถึงไม่เท่ากับ
< (less than) คือ เครื่องหมาย < หมายถึงน้อยกว่า
> (greater than) คือ เครื่องหมาย > หมายถึงมากกว่า
<= (less than or equal to) คือ เครื่องหมาย <= หมายถึงมากกว่าหรือเท่ากับ
>= (greater than or equal to) คือ เครื่องหมาย >= หมายถึงน้อยกว่าหรือเท่ากับ

- Boolean Operators

&& (and) คือ เครื่องหมาย&& (and) หมายถึง และ(and)
|| (or) คือ เครื่องหมาย || (or) หมายถึง หรือ (or)
! (not) คือ เครื่องหมาย ! (not) หมายถึง ไม่ (not)

- Bitwise Operators

& (bitwise and) คือ เครื่องหมาย& (bitwise and) หมายถึง การ and บิตต่อบิต
| (bitwise or) คือ เครื่องหมาย | (bitwise or) หมายถึง การ or บิตต่อบิต
^ (bitwise xor) คือ เครื่องหมาย ^ (bitwise xor) หมายถึง การ xorบิตต่อบิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

~ (bitwise not) คือ การกลับบิตทั้งหมดเป็นค่าตรงกันข้าม
<< (bitshift left) คือ การเลื่อนบิตมาทางซ้าย
>> (bitshift right) คือ การเลื่อนบิตมาทางขวา

- Compound Operators

++ (increment) คือ เครื่องหมาย++ (increment) หมายถึง การเพิ่มค่าหนึ่งค่าให้กับตัวแปร
-- (decrement) คือ การลดค่าหนึ่งค่าให้กับตัวแปร
+= (compound addition) คือ การบวกค่าให้กับตัวแปร
-= (compound subtraction) คือ การลบค่าให้กับตัวแปร
*= (compound multiplication) คือ การคูณค่าให้กับตัวแปร
/= (compound division) คือ การหารค่าให้กับตัวแปร
&= (compound bitwise and) คือ การ and ค่าให้กับตัวแปร
|= (compound bitwise or) คือ การ or ค่าให้กับตัวแปร

- Variables

Constants เป็นค่าคงที่ตัวแปรที่กำหนดไว้ล่วงหน้าคือตัวอักขระที่นำมาประกอบกันตั้งแต่ 1 ตัวอักขระขึ้นไป เพื่อบอกลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่งของข้อมูล
INPUT | OUTPUT| INPUT_PULLUP ค่าคงที่เหล่านี้แสดงถึงระดับลอจิกที่ขาไอซีว่าเป็น HIGH หรือ LOW และใช้เมื่อมีการอ่านหรือเขียนไปที่ขาไอซี HIGH จะแทนระดับลอจิก 1, ON, หรือ 5 volts ในขณะที่ LOW คือระดับลอจิก 0, OFF, หรือ 0 volts
true | false คือ ค่าเหล่านี้เป็นค่าคงที่ booleanซึ่งบอกสถานะระดับลอจิก FALSE หมายถึง 0(ศูนย์) ในขณะที่ TRUE จะหมายถึง 1, หรืออะไรก็ได้ที่ไม่ใช่ ศูนย์ ดังนั้นในทางลอจิกแล้ว -1, 2, -200 จะหมายถึง TRUE
Integer constants คือ เป็นตัวแปรพื้นฐานที่เก็บตัวเลขโดยไม่มีจุดทศนิยม และเก็บค่า 16 bit มีค่าระหว่าง 32,767 ถึง -32,768
Floating point constants คือ เป็นตัวแปรพื้นฐานที่เก็บตัวเลขโดยไม่มีจุดทศนิยม และเก็บค่า 16 bit มีค่าระหว่าง 32,767 ถึง -32,768
Boolean เป็นค่าคงที่ มีสองค่า คือ true และ false
Char คือ ข้อมูลชนิดอักขระ ใช้เนื้อที่ 1 byte
Unsigned char คือ ข้อมูลชนิดอักขระ ไม่คิดเครื่องหมาย
Byte คือ ตัวแปร byte เก็บตัวเลข 8 bit ไม่มีทศนิยม มีค่า 0 – 255 เช่น
byte b = B10010; // "B" is the binary formatter (B10010 = 18 decimal)
Int คือ เป็นตัวแปรพื้นฐานที่เก็บตัวเลขโดยไม่มีจุดทศนิยม และเก็บค่า 16 bit มีค่าระหว่าง 32,767 ถึง -32,768
UnsignedInt คือ ข้อมูลชนิดจำนวนเต็ม ไม่คิดเครื่องหมาย
Word คือ คำเก็บ 16 บิต เก็บค่าตั้งแต่ 0-65535 เช่นเดียวกับ int

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Functions

- **Pin Mode ()** ใช้ในกลุ่ม void setup() เพื่อกำหนดหน้าที่ขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ให้เป็น ขารับสัญญาณ INPUT หรือขาส่งสัญญาณ OUTPUT
- **Digital Write ()** คือ ส่งค่าลอจิกHIGH หรือ LOW (เปิด หรือ ปิด) ไปยังขา digital ที่กำหนดหมายเลขขาไอซี
- **Digital Read ()** คือ คำสั่งนี้อ่านค่าจาก ขาไอซีที่ถูกกำหนดให้เป็น digital pin ซึ่งจะได้ผลลัพท์เป็น HIGH หรือ LOW หมายเลขขาไอซีอาจกำหนดเป็นตัวแปรหรือค่าคงที่ (0-13)

Analog I/O

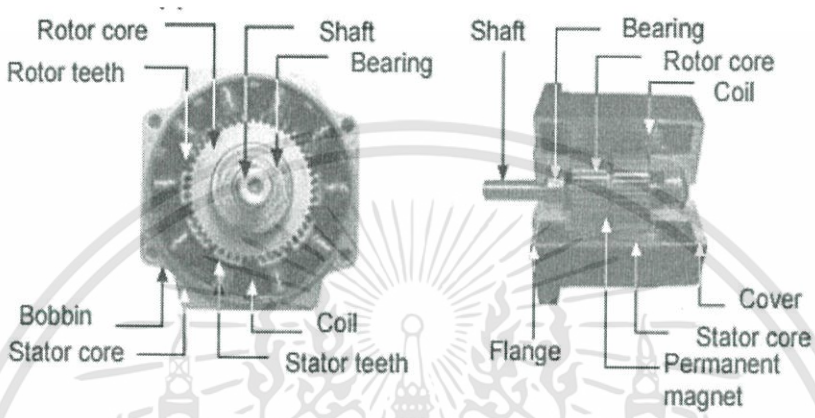
- **Analog Reference ()** คือ คำสั่งนี้ควรจะใช้ในการตั้งแรงดันอ้างอิงซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับอนาล็อกตัวเลือกที่เป็นไปได้หลังจากที่แรงดันไฟฟ้าอ้างอิงอนาล็อกที่มีการเปลี่ยนแปลงก็อาจจะดีว่าผลแรกจากอนาล็อกอ่าน () จะไม่ถูกต้อง
- **Analog Read ()** คือ คำสั่งนี้อ่านค่าจากขา Analog จะได้ค่า 10 bit คำสั่งนี้จะทำงานกับขา analog input
- **Pulse In ()** (สูงหรือต่ำ) เมื่อขาออก ตัวอย่างเช่นถ้าค่าสูงรอ Pulse In จนกระทั่งขาไป HIGH, เวลาเริ่มต้นแล้วรอจนขาอยู่ในระดับต่ำและเวลาที่จะหยุด ถูกส่งกลับไปตามความยาวของ Pulse In ใน microseconds หลังจากเวลาที่แน่นอน, 0 ถูกส่งกลับถ้าไม่มี Pulse In มานับเวลาฟังก์ชั่นนี้ได้รับการพิจารณาตาประสบการณ์และจะแสดงข้อผิดพลาดในอีกพอร์ตอื่นต่อไป ทำงานร่วมกับพอร์ตไมโคลระหว่าง 10 วินาทีและ 3 นาที
- **Millis ()** คือ คำสั่งนี้จะได้ผลลัพธ์ค่าเวลาเป็นมิลลิวินาทีแสดงค่าที่ Arduino board1 เริ่มต้นทำโปรแกรมปัจจุบัน ค่าที่ได้เป็นค่า unsigned long ขนาด 32 bit
- **Micros ()** คือ ส่งกลับจำนวนของ microseconds ที่ได้ผ่านไปนับตั้งแต่บอร์ด Arduinoทำงานปัจจุบันโปรแกรม จำนวน microseconds ตั้งแต่โปรแกรมเริ่มต้น
- **Delay ()** คือ การหยุดการทำงานโปรแกรมสำหรับจำนวนของเวลา (ใน milliseconds) ระบุเป็นพารามิเตอร์ (มี 1,000 มิลลิวินาทีในที่สองเป็น.)Milliseconds = จำนวนมิลลิวินาทีในการหยุดการทำงานชั่วคราว
- **Delay Microseconds ()** คือ จำนวน microseconds เพื่อหยุดโปรแกรมจำนวนของเวลา (ใน microseconds) ระบุเป็นพารามิเตอร์ มีพัน microseconds ในมิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 หลักการการขับเคลื่อนของสเต็ปมอเตอร์

การขับเคลื่อนกลไกการเคลื่อนที่ของประตูกั้นชานชาลา โดยใช้สเต็ปมอเตอร์ จำเป็นต้องมีความรู้ในเรื่อง หลักการทำงานของสเต็ปมอเตอร์เบื้องต้น หลักการการเลือกสเต็ปมอเตอร์และโมดูลควบคุมการทำงานของสเต็ปมอเตอร์

2.3.1 หลักการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ [8]



ภาพที่ 2.10 แสดงส่วนประกอบภายในของสเต็ปมอเตอร์ [19]

สเต็ปมอเตอร์เป็นการเคลื่อนที่เชิงมุมของเพลาที่สามารถควบคุมเป็น degree/stepได้ โดยสเต็ปมอเตอร์สามารถนำไปสู่การใช้งานในระบบควบคุมความเร็วและตำแหน่งได้เช่น อุปกรณ์ต่อพ่วงคอมพิวเตอร์ กล้องโทรทรรศน์ ระบบตำแหน่งจานดาวเทียม แขนหุ่นยนต์ และเครื่องCNC เป็นต้น โครงสร้างภายในทั่วไปของสเต็ปมอเตอร์ (ภาพที่ 2.10) ประกอบด้วย ส่วนที่ทำการหมุน คือ Rotor จะเป็นแม่เหล็กถาวร ส่วนที่อยู่กับที่ คือ Stator เป็นขดลวดที่พันไว้จำนวนหลายๆขด โดยมีการจำแนกสเต็ปมอเตอร์ได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

- **แบบแม่เหล็กถาวร (PERMANENT MAGNET_PM)**

สเต็ปมอเตอร์แบบ PM จะมีสเตเตอร์ (STATOR) ที่พันขดลวดไว้หลายๆ โพลและมีโรเตอร์ (ROTOR) ทำด้วยแม่เหล็กถาวร รูปทรงเป็นกระบอกฟันเลื่อย เมื่อป้อนไฟกระแสตรงให้กับขดลวด สเตเตอร์จะทำให้เกิด แรงแม่เหล็กไฟฟ้าผลักต่อโรเตอร์ทำให้มอเตอร์หมุน มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรจะเกิดแรงฉุดยึดให้โรเตอร์หยุดอยู่กับที่แม้จะไม่ได้ป้อนไฟเข้าขดลวด ขนาดของStep angle จะเป็น 1.8, 7.5, 15, 30, 45 และ 90องศา

- **แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ (VARIABLE RELUCTANCE- VR)**

สเต็ปมอเตอร์แบบVR โรเตอร์ทำจากสารเฟอร์โรแมกเนติกกำลังอ่อน หรือที่เรียกว่า เหล็กอ่อน มอเตอร์ แบบนั้นในขณะที่ไม่จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้ามอเตอร์ โรเตอร์สามารถหมุนได้อย่างอิสระ โรเตอร์มีลักษณะเป็น ฟันเลื่อย รูปทรงกระบอกโดยจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนโพลในสเตเตอร์แรงบิดที่เกิดขึ้นจะไป หมุนโรเตอร์ ไปในเส้นทางของอำนาจแม่เหล็กที่มีค่ารีลักแตนท์ต่ำที่สุด ตำแหน่งที่จะเกิด

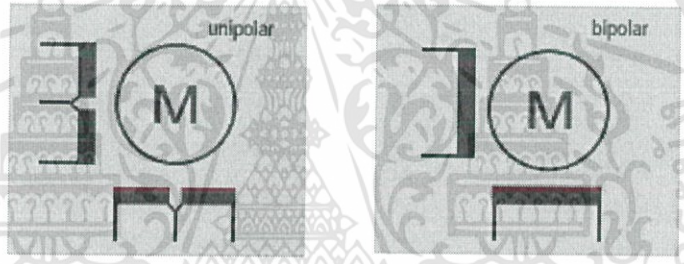
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แน่นอนและมี เสถียรภาพแต่จะเกิดขึ้นได้หลายๆ จุด ดังนั้นเมื่อป้อนไฟเข้าขดลวดต่างๆ ในมอเตอร์แตกต่างขดกันไป ก็ทำให้มอเตอร์หมุนไปตำแหน่งต่างๆ กันโรเตอร์ของ VR จะมีความเฉื่อยของโรเตอร์น้อยจึงมีความเร็วรอบสูงกว่ามอเตอร์แบบ PM

- **แบบผสม (HYBRID-H)**

สเต็ปมอเตอร์แบบ H จะเป็นลูกผสมของ VR กับ PM โดยจะมีสเตเตอร์คล้ายกับที่ใช้ใน VR โรเตอร์มีหมวก หุ้มปลายซึ่งมีลักษณะของสารแม่เหล็กที่มีกำลังสูง โดยการควบคุมขนาดรูปร่างของหมวกแม่เหล็กอย่างดี ทำให้ได้มุม การหมุนที่แม่นยำ ข้อดีก็คือ ให้แรงบิดสูงและมีขนาดกะทัดรัดและให้แรงฉุดยึดโรเตอร์นิ่งกับที่ตอนไม่จ่ายไฟสำหรับ

สเต็ปมอเตอร์แบบ VR ไม่มีการเปลี่ยนขั้วของกระแสไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเปลี่ยนทิศทางของแรงบิด แต่สเต็ปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรต้องมีการเปลี่ยนขั้วของกระแสไฟฟ้า ในปัจจุบันซึ่งมีขั้วสองขั้วซึ่งหมายความว่าสามารถควบคุม unipolar หรือ Bipolar ในไบโพลาร์จะมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าแม้ว่าใน unipolar มีการเชื่อมต่อที่ง่ายกว่า



ภาพที่ที่ 2.11 (ก) การต่อแบบ Unipolar (ข) การต่อแบบ Bipolar [8]

- Unipolar

ขดลวดแต่ละสเตเตอร์มีเชื่อมกันตรงกลางที่มีการเชื่อมต่อถาวรกับแรงดันไฟฟ้า ดังภาพที่ 2.11 (ก) กระแสไหลผ่านเฟสขดลวดในทิศทางเดียวเนื่องจากแต่ละเฟสมีการต่อแบบขนานกันสองสาย ทิศทางปัจจุบันของขดลวดสเตเตอร์ขึ้นอยู่กับปลายขดลวดที่ลงพื้นดิน การกำหนดค่านี้ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับการควบคุม ข้อเสียคือมีแรงบิดที่มีอยู่น้อยกว่าเพราะเพียงครึ่งหนึ่งของขดลวดเท่านั้นที่สามารถกระตุ้นได้ตลอดเวลา

- Bipolar

ขั้วแต่ละเฟสขดลวดของสเต็ปมอเตอร์จะได้รับแบบเต็มรูปแบบและสามารถนำกระแสทั้งสองทิศทางไปได้ ดังนั้นขั้วของขดลวดทั้งหมดจะกลับในทุกกรณี ไม่เพียงครึ่งหนึ่ง หากเฟสสเต็ปมอเตอร์มีรอยต่อด้วยสายคู่ขนานสองเส้นให้ขั้วทั้งสองของขดลวดเชื่อมต่อแบบขนาน ทำให้มีเกิดแรงบิดได้มากกว่าแบบ Unipolar ดังภาพที่ 2.11 (ข)

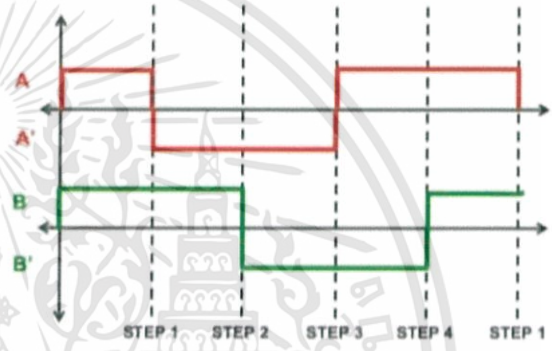
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการควบคุมสเต็ปมอเตอร์ที่จะให้ทำการหมุน มีวิธีการควบคุมกระแสไฟที่จ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์ (Stator) ในแต่ละเฟสของ Stepper Motor อย่างเป็นลำดับที่แน่นอน โดยถ้าหากเราต้องการให้กระแสไหลในเฟสใดๆ ก็จะทำให้สถานะของเฟสนั้นๆเป็นสถานะลอจิก "1" และในการกระตุ้นเฟสของ Stepper Motor มีอยู่ด้วยกันอยู่หลายแบบ

2.3.2. การควบคุมการหมุนแบบสองเฟส (Two Phase) หรือ Full Step Drive [9]

เป็นการป้อนกระแสไฟให้กับขดลวดของสเต็ปมอเตอร์ทั้ง 2 ขด พร้อมๆ กันไป และป้อนกระแสเรียงตามลำดับกันไปดังภาพที่ 2.5 ดังนั้นจึงมีกระแสไหลในขดลวดของมอเตอร์มากขึ้น และจะทำให้มอเตอร์มีแรงบิดมากขึ้น

Step	Phase A	Phase B	Phase A'	Phase B'
1	1	1	0	0
2	0	1	1	0
3	0	0	1	1
4	1	0	0	1
5		Back to Step 1		



ภาพที่ 2.12 การควบคุมการหมุนแบบสองเฟส (Two Phase) หรือ Full Step Drive [9]

2.3.3 Steps VS. Step Angle [10]

จำนวน Steps จะเพิ่มขึ้นเมื่อ มุมของแต่ละ Steps เล็กลง ดังนั้น ถ้า Stepper motor มี 6 Steps สำหรับการหมุน1รอบของเพลา ดังนั้นแต่ละ Steps ต้องเป็น 60 องศา การหมุนครบรอบได้ 360 องศา และ นี้คือการเท่ากันเสมอของจำนวน Steps และมุมของ Steps คือ 6✕60 = 360 ดังนั้นมุมของ Step สามารถคำนวณหาได้จากจำนวน Steps 360 มุม Step มีหน่วยเป็น องศา เสมอเช่น มุมของ Steps คือ 18 องศา ดังนั้น 360/18 = 20 Steps

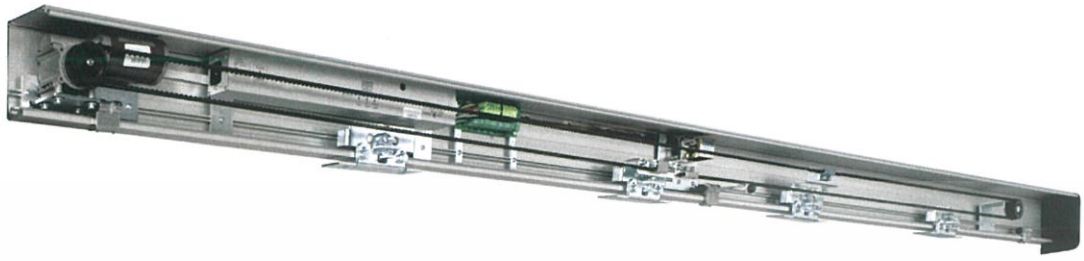
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 ขั้นตอนการเลือกสเต็ปมอเตอร์ [11]

ภาพที่ 2.13 แสดงขั้นตอนการเลือกสเต็ปมอเตอร์ [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 การคำนวณหาแรงบิดของสเต็ปมอเตอร์ [11]



ภาพที่ 2.14 กลไกการเคลื่อนที่แบบสายพาน [5]

กลไกการเคลื่อนที่ของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลาเลือกใช้เป็นแบบสายพาน เนื่องจากขนาดของแบบจำลองมีขนาดเล็กจึงทำให้กลไกการเคลื่อนที่แบบสกรูหาขนาดของวัสดุอุปกรณ์ที่พอดีกับแบบจำลองได้ยากกว่าแบบสายพาน

ภาพที่ 2.15 กลไกการเคลื่อนที่แบบสายพานแสดงแรงที่ใช้ในการเคลื่อนที่และแรงเสียดทาน [6]

จากกลไกการเคลื่อนที่ แรงบิดที่ต้องการทั้งหมด คือ ผลรวมของแรงบิดจากโหลดและแรงบิดจากความเร่ง ซึ่งโดยปกติจะคูณค่าความปลอดภัย (K) ประมาณ 1.5 ถึง 2

$$\tau_M = (\tau_{acc} + \tau_{Load}) \times K \qquad (2\text{-}1)$$

เมื่อ τ_M คือ แรงบิดที่ต้องการ (kgf.m)

τ_{acc} คือ แรงบิดจากความเร่ง (kgf.m)

τ_{Load} คือ แรงบิดจากโหลด (kgf.m)

K คือ ค่า Safety Factor = 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาแรงบิดที่เกิดจากโหลด

$$\tau_{Load} = \frac{FD}{2\eta} \quad (2\text{-}2)$$

จากภาพที่ 2.2.2 แสดงแรงที่กระทำทั้งหมดกับระบบโดยแรงรวมสามารถหาได้จาก

$$F = F_A + W(\sin\alpha + \mu\cos\alpha) \quad (2\text{-}3)$$

เมื่อ μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเสียดสีของพื้นผิวไถล = 0.05

W คือ น้ำหนักของโหลด (N.m)

F_A คือ แรงภายนอก (N)

α คือ มุมเอียง (Degree)

η คือ ค่าประสิทธิภาพประมาณ 0.85 ถึง 0.95

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางพูลเล่ย์ (มิลลิเมตร)

การหาแรงบิดจากความเร่งหรือความหน่วง

$$\tau_{acc} = \frac{(J_{motor}+J_{load})}{g} \times \frac{\pi}{180} \times \frac{f}{Ta} \times \theta_s \quad (2\text{-}4)$$

เมื่อ J_{motor} คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของโรเตอร์ในมอเตอร์ (kg.r^2)

J_{load} คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของโหลด (kg.r^2)

θ_s คือ Step Angle (deg/step)

f คือ ความถี่ของพัลส์ (plus/sec)

T_a คือ เวลาของความเร่งหรือความหน่วง (sec)

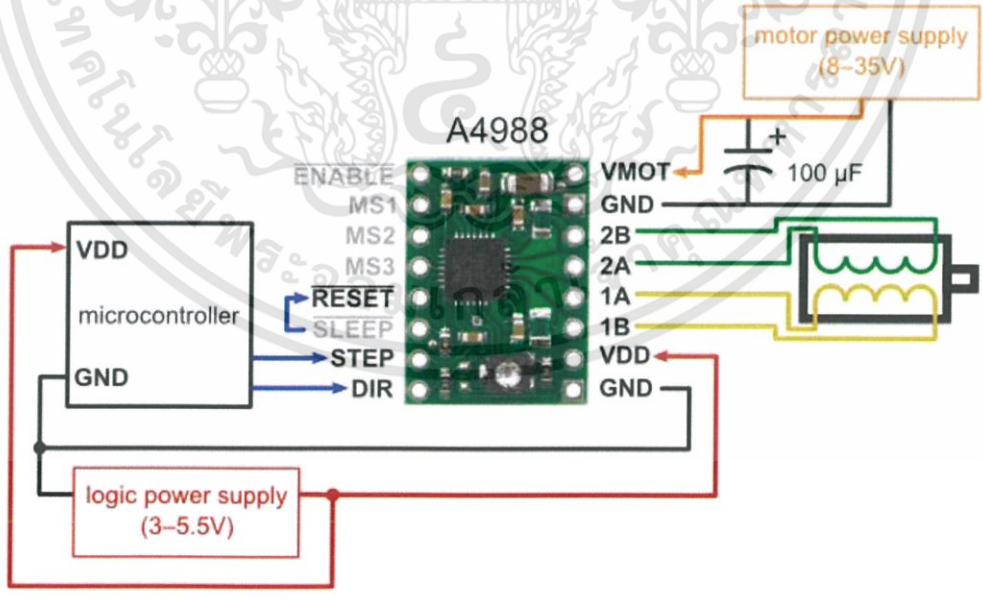
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 Driver of Stepper Motor [12]

สเต็ปมอเตอร์ไดร์เวอร์ คือ บอร์ดที่มีคุณสมบัติในการควบคุมกระแสไฟฟ้าที่สามารถป้องกันกระแสเกินและอุณหภูมิเกินได้ มีความละเอียดของ microstep 5 ระดับ (ลดลงเหลือ 1/16 step) สามารถทำงานได้ตั้งแต่ 8 โวลต์ถึง 35 โวลต์และสามารถส่งมอบได้ประมาณ 1 A ต่อเฟสโดยไม่ต้องระบายความร้อนหรือมีการไหลเวียนของอากาศที่ถูกต้อง (ได้รับการจัดอันดับให้เป็น 2 A ต่อขดลวดและระบายความร้อนเพิ่มเติม)

คุณลักษณะสำคัญของการควบคุม

- ควบคุมขั้นตอนและทิศทางสัญญาณให้เรียบ
- ความละเอียดขั้นตอนที่ต่างกัน 5 ขั้นตอน: full-step, half-step, quarter-step, eighth-step และ sixteenth-step
- การควบคุมกระแสไฟฟ้าที่สามารถปรับได้ช่วยให้คุณสามารถตั้งเอาต์พุตกระแสสูงสุดได้ด้วยโพเทนชิออมิเตอร์ซึ่งจะช่วยให้คุณสามารถใช้แรงดันไฟฟ้าที่อยู่เหนือแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับการจัดอันดับของมอเตอร์สตาร์ทมอเตอร์ของคุณเพื่อให้ได้อัตราขั้นที่สูงขึ้น
- ตัวควบคุมการตัดกระแสที่อัจฉริยะในเลือกโหมดการตัดกระแสที่ถูกต้องในทันทีโดยอัตโนมัติ (การสลายตัวที่รวดเร็วหรือการสลายตัวช้า)
- การระบายความร้อนด้วยอุณหภูมิสูงการควบคุมแรงดันไฟฟ้าต่ำและการป้องกันการไขว้กันของกระแส
- ป้องกันการลัดวงจร



ภาพที่ 2.16 แผนภาพการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับตัวขับสเต็ปมอเตอร์แบบ A4988 [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังภาพที่ 2.15 ไดรเวอร์ต้องใช้แรงดันไฟลอจิก (3 - 5.5 V) ที่จะเชื่อมต่อผ่านขา VDD และ GND และแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ (8 - 35 V) ที่จะเชื่อมต่อผ่าน VMOT และ GND อุปกรณ์เหล่านี้ควรมีตัวเก็บประจุแบบแยกตัวที่เหมาะสมกับบอร์ดและควรสามารถส่งกระแสที่คาดว่าจะได้ (สูงสุดถึง 4 A สำหรับมอเตอร์)

- **ขนาดของ step หรือ microstep**

สเต็ปเปอร์มอเตอร์ มักมีขนาดที่จำเพาะ (เช่น 1.8 °หรือ 200 step/รอบ) ซึ่งสามารถใช้กับ แบบ microstepping เช่น A4988 ได้ ช่วยให้มีความละเอียดสูงขึ้น

วิธีการในการเลือก input ความละเอียด (step size) (MS1, MS2 และ MS3) สามารถเลือกจากความละเอียดขั้นตอนที่ห้าตามตารางที่ 2.3 MS1 และ MS3 มีตัวต้านทานแบบดึงลง100 kΩ ภายในตัว MS2 มีตัวต้านทานแบบดึงลง 50 kΩ ดังนั้น ถ้าต้องการออกจากดังนั้นออกจาก 3 microstep นี้ เลือกขาที่ไม่เชื่อมต่อ ผลจะเป็น Full step mode

ตารางที่ 2.3 ความละเอียดในการควบคุม Microstep [12]

MS1	MS2	MS3	Microstep Resolution
Low	Low	Low	Full step
High	Low	Low	Half step
Low	High	Low	Quarter step
High	High	Low	Eighth step
High	High	High	Sixteenth step

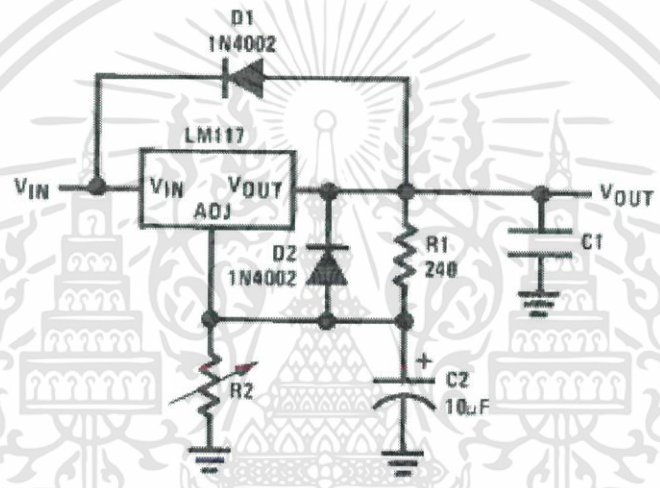
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ความรู้เกี่ยวกับแหล่งจ่ายไฟของชุดควบคุม (Power Supply)

ในส่วนของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลาจำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายไฟ ซึ่งมีส่วนของแหล่งจ่ายไฟบวกเชิงเส้นแบบปรับค่าได้ (Voltage Regulator) และส่วนของ Switching Power Supply

2.4.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟบวกเชิงเส้นแบบปรับค่าได้ LM317 (Voltage Regulator) [13]

แหล่งจ่ายไฟบวกเชิงเส้นแบบปรับค่าได้ ประกอบด้วย ขาอินพุต ขาเอาต์พุต และขาปรับแรงดัน LM317 เป็นไอซีเรคกูเรเตอร์ ใช้สำหรับควบคุมแรงดันให้คงที่ โดยคุณสมบัติของไอซีตัวนี้คือ สามารถปรับค่าแรงดันเอาต์พุตได้ตั้งแต่ 1.25-35V โดยใช้ตัวต้านทาน 2 ตัว และทนกระแสได้สูงสุด 1.5A สามารถรับแรงดันอินพุตได้สูงสุด 40V มีกระแสไหลขา Adjust สูงสุดเพียง 100μA



ภาพที่ 2.17 วงจรแหล่งจ่ายไฟบวกเชิงเส้นแบบปรับค่าได้ กับการป้องกันไดโอด[13]

การคำนวณการปรับค่าแรงดัน ซึ่งนำไปหาค่าของตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ เพื่อให้ได้ความต่างศักย์ (V out) ตามสมการที่ต้องการ โดยกำหนดค่า R1 และ R2

$$V_{out} = 1.25V\left(1 + \frac{R2}{R1}\right) + I_{ADJ}\,R_2 \qquad (2\text{-}5)$$

เมื่อ $R1$ คือ ความต้านทาน (Ω)

$R2$ คือ ความต้านทาน (Ω)

V_{out} คือ แรงดันขาออก (Volt)

I_{ADJ} คือ 100 μA ; กระแสไฟฟ้าที่ขา Adjust

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 Switching Power Supply [14]

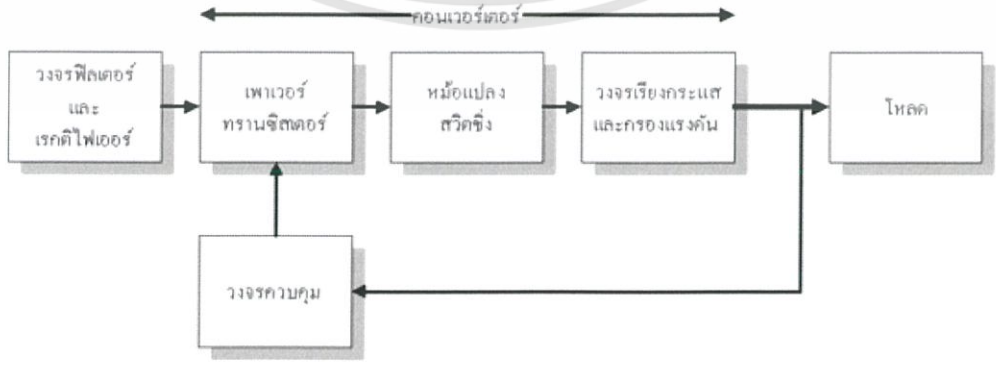
ภาพที่ 2.18 แสดงลักษณะของ Switching Power Supply

สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply) เป็นแหล่งจ่ายไฟตรงคงค่าแรงดันแบบหนึ่ง และสามารถเปลี่ยนแรงดันไฟจากไปสลับโวลต์สูง ให้เป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำ เพื่อใช้ในงานอิเลคทรอนิกส์ได้ เช่นเดียวกันแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น (Linear Power Supply) ถึงแม้เพาเวอร์ซัพพลายทั้งสองแบบจะต้องมีการใช้หม้อแปลงในการลดทอนแรงดันสูงให้เป็นแรงดันต่ำเช่นเดียวกัน แต่สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายจะต้องการใช้หม้อแปลงที่มีขนาดเล็ก และน้ำหนักน้อย เมื่อเทียบกับแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น อีกทั้งสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายยังมีประสิทธิภาพสูงกว่าอีกด้วย

ในปัจจุบันสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายได้เข้ามามีบทบาทกับชีวิตเราอย่างมาก เครื่องใช้อิเลคทรอนิกส์ขนาดเล็กซึ่งต้องการแหล่งจ่ายไฟที่มีกำลังสูงแต่มีขนาดเล็ก เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องโทรสาร และโทรทัศน์ จำเป็นจะต้องใช้สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย แนวโน้มการนำสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายมาใช้ในเครื่องใช้อิเลคทรอนิกส์ทุกประเภทจึงเป็นไปได้สูง การศึกษาหลักการทำงานและการออกแบบสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานอิเลคทรอนิกส์ทุกประเภท

หลักการทำงานของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย

สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายโดยทั่วไปมีองค์ประกอบพื้นฐานที่คล้ายคลึงกัน และไม่ซับซ้อนมากนัก ดังแสดงในภาพที่ 2.19 สิ่งสำคัญของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายจะอยู่ที่คอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากทำหน้าที่ทั้งลดทอนแรงดันและคงค่าแรงดันเอาต์พุตด้วย องค์ประกอบต่างๆ ทำงานตามลำดับดังนี้



ภาพที่ 2.19 แสดงการทำงานของสวิตชิ่งพาวเวอร์ซัพพาย [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟสลับค่าสูงจะผ่านเข้ามาทางวงจร RFI ฟิลเตอร์ เพื่อกรองสัญญาณรบกวนและแปลงเป็นไฟตรงค่าสูงด้วยวงจรเรกติไฟเออร์ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะทำงานเป็นเพาเวอร์คอนเวอร์เตอร์โดยการตัดต่อแรงดันเป็นช่วงๆ ที่ความถี่ประมาณ 20-200 KHz จากนั้นจะผ่านไปยังหม้อแปลงสวิตชิ่งเพื่อลดแรงดันลง เอาต์พุตของหม้อแปลงจะต่อกับวงจรเรียงกระแส และกรองแรงดันให้เรียบ การคงค่าแรงดันจะทำได้โดยการป้อนกลับคาแรงดันที่เอาต์พุตกลับมายังวงจรควบคุม เพื่อควบคุมให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแสมากขึ้นหรือน้อยลงตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุต ซึ่งจะมีผลทำให้แรงดันเอาต์พุตคงที่ได้

ส่วนประกอบสำคัญมีดังนี้

- คอนเวอร์เตอร์ (Convertor) มีหน้าที่ลดทอนแรงดันไฟตรงค่าสูงลงมาเป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำ และสามารถคงค่าแรงดันได้
- วงจรควบคุม เนื่องจากคอนเวอร์เตอร์เกือบทุกแบบจะคงค่าแรงดันเอาต์พุตได้ด้วยการควบคุมช่วงเวลานำกระแส ของ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นวงจรควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์โดยทั่วไปจึงมักนิยมใช้เทคนิคพัลส์วิดท์มอดูเลชั่น (Pulse Width Modulation - PWM) เป็นหลัก การใช้ PWM เพื่อควบคุมช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์สามารถทำได้สองลักษณะ คือ ควบคุมจากแรงดัน และ ควบคุมจากกระแส
- วงจรตัวอย่างและไอซีที่ใช้งานในสวิทชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย

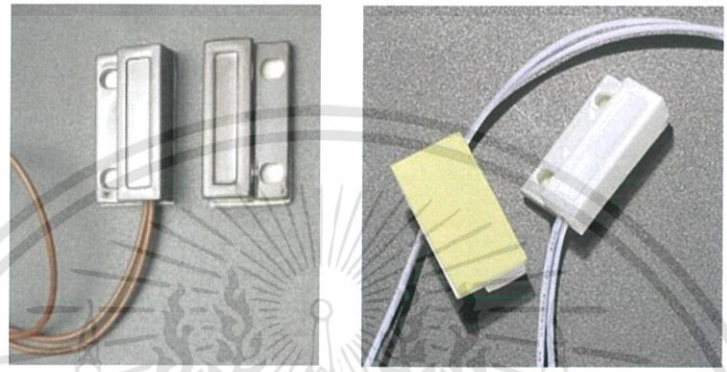
สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย เป็นแหล่งจ่ายไฟตรงที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงกว่าและมีน้ำหนักเบากว่าเพาเวอร์ซัพพลายเชิงเส้น สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายทำงานโดยแปลงแรงดันไฟสลับความถี่ต่ำจากอินพุตให้เป็นไฟตรง จากนั้นจึงเปลี่ยนกลับไปเป็นไฟสลับ (พัลส์) ที่ความถี่สูง แล้วส่งผ่านหม้อแปลงเพื่อลดแรงดันลง และผ่านวงจรเรียงกระแสและกรองแรงดันเพื่อให้ได้ไฟตรงอีกครั้งหนึ่ง สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ คือ วงจรฟิลเตอร์และเรกติไฟเออร์ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟสลับเป็นไฟตรง คอนเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่แปลงไฟตรงเป็นไฟสลับความถี่สูง และแปลงกลับเป็นไฟตรงโวลต์ต่ำ และวงจรควบคุมทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ได้แรงดันเอาต์พุตตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์เพิ่มเติม

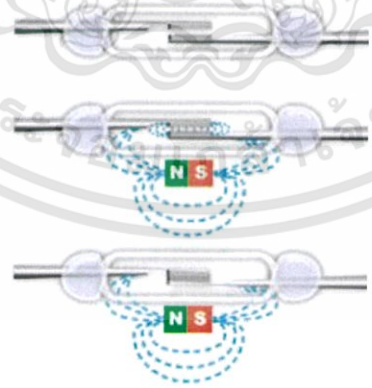
ในส่วนของอุปกรณ์เพิ่มเติมนั้นเป็นส่วนย่อยของการทำงาน แต่มีความสำคัญจึงต้องเรียนรู้และทำความเข้าใจในแต่ละอุปกรณ์ เช่น Magnetic Door Switch ทรานซิสเตอร์ หลักการทำงานของไดโอดเปล่งแสง (LED) และลิมิตสวิตช์ที่ใช้ในการตรวจสอบการทำงานของการเปิด-ปิดประตูกั้นชานชาลา

- Magnetic Door Switch [15]



ภาพที่ 2.20 สวิตช์แม่เหล็กสำหรับประตู [15]

ภายในจะมี รีดสวิตช์ (Reed switch) ซึ่งเป็นแม็กเนติกเซนเซอร์ที่มีลักษณะเป็นแบบหน้าสัมผัส โดยปกติทั่วไปแล้ว จะเป็นหน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (Normally Open : NO) สวิตช์นี้จะทำงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็ก ซึ่งอาจจะเห็นแม่เหล็กถาวร หรือแม่เหล็กไฟฟ้าก็ได้ แผ่นหน้าสัมผัสจะทำมาจากสารที่มีผลต่อสนามแม่เหล็ก (ferromagnetic) และติดตั้งอยู่ภายในกระเปาะแก้วเล็กๆที่มีการเติมก๊าซเฉื่อย เพื่อทำให้การตัดต่อการส่งกระแสไฟฟ้าได้เร็วยิ่งขึ้น โดยมีระยะการตรวจจับสนามแม่เหล็กได้ไกลประมาณ 8 มิลลิเมตร



ภาพที่ 2.21 รูปการทำงานของรีสวิตช์ [15]

จากภาพที่ 2.21 รีดสวิตช์ คือสวิตช์ที่ควบคุมการทำงานโดยใช้แม่เหล็ก ในการใช้งาน จะยึดรีดสวิตช์ไว้ที่ตัวกระบอกสูบดังรูป โดยตัวกระบอกสูบต้องทำจากอลูมิเนียม ลูกสูบต้องมีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กถาวร ซึ่งการใช้รีดสวิตช์มีความสะดวกในเรื่องของการติดตั้งที่ง่ายกว่าลิมิตสวิตช์ทั่วไป การทำงาน เมื่อลูกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนที่เข้าสุด อำนาจแม่เหล็กที่ตัวลูกสูบจะไปดึงดูดให้หน้าสัมผัสของรีดสวิตช์ต่อกัน ซึ่งปกติหน้าสัมผัสเปิด เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่มาตรงกับตำแหน่งของรีดสวิตช์ รีดสวิตช์ก็จะปิดวงจร และเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ออกไปตรงกับตำแหน่งของรีดสวิตช์ตัวนอก อำนาจแม่เหล็กของลูกสูบก็จะดึงดูดให้รีดสวิตช์ปิดวงจรเช่นกัน

- Transistor BF423 [16]

ทรานซิสเตอร์ มีหน้าที่ในการควบคุมทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า (ทั้งอนุญาตให้ไหล และป้องกันไม่ให้ไหลผ่าน) ซึ่งคล้ายๆกับไดโอด แต่ทรานซิสเตอร์สามารถทำอะไรได้มากกว่า เพราะนอกจากจะควบคุมทิศทางการไหลได้แล้วยังสามารถควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าได้ด้วย ความสามารถดังกล่าวเกิดขึ้นได้เพราะสารกึ่งตัวนำภายในตัวมัน ทรานซิสเตอร์ถือเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสาร Semiconductor ชนิดหนึ่ง ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถเป็นทั้งตัวนำและฉนวนได้ในตัวเดียวกันทรานซิสเตอร์มีบทบาทสำคัญมากตั้งแต่ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์เล็กๆ ไปจนถึงเครื่องจักรใหญ่ๆในโรงงานอุตสาหกรรมเลย ปัจจุบัน สารกึ่งตัวนำที่นิยมนำมาใช้จะมีส่วนประกอบของ Silicon หรือ Germanium หรือ GalliumArsenic ประเภทของทรานซิสเตอร์แบบพื้นฐานจะมีสารกึ่งตัวนำวางเรียงกัน 3 ชั้น ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. NPN สารกึ่งตัวนำของทรานซิสเตอร์ประเภทนี้ ประกอบด้วยสารชนิด N 2 ตัวและชนิด P 1 ตัววางตัวสลับกันหรืออาจเรียกได้ว่า (Negative-Positve-Negative)

2. PNP สารกึ่งตัวนำของทรานซิสเตอร์ประเภทนี้ ประกอบด้วยสารชนิด P 2 ตัวและชนิด N 1 ตัววางตัวสลับกัน (Positve-Negative-Positve)

ทรานซิสเตอร์แบบพื้นฐานมีขา 3 ขา ได้แก่

- ขา C หรือ Collector
- ขา E หรือ Emitter
- ขา B หรือ Base (ขาคอนโทรล)

สัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์

- แบบ NPN สังเกตที่หัวลูกศรมีทิศจาก C ไป E นั่นคือในสภาวะทำงานปกติ กระแสไฟฟ้าจะไหลจาก C ไป E (E เป็นกราวด์) ดังภาพที่ 2.22 (ก)

- แบบ PNP หัวลูกศรมีทิศจาก E ไป C นั่นคือในสภาวะทำงานปกติ กระแสไฟฟ้าจะไหลจาก E ไป C (C เป็นกราวด์) ดังภาพที่ 2.22 (ข)

ภาพที่ 2.22 (ก) ทรานซิสเตอร์แบบ NPN (ข) ทานซิสเตอร์แบบ PNP [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานของทรานซิสเตอร์

ตามที่กล่าวไว้ข้างต้นว่า ทรานซิสเตอร์มีหน้าที่ในการคอนโทรลทิศทางทางและปริมาณกระแสไฟฟ้า แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น หลักการสำคัญหรือเรียกได้ว่าเป็นจุดประสงค์หลักของมันเลยก็คือ"การใช้กระแสไฟฟ้าน้อยๆ ควบคุมกระแสไฟฟ้ามากๆ" หมายถึง เมื่อมีปริมาณกระแสไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยที่ขา Base ก็จะสามารถควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าที่มากกว่าหลายเท่าตัวของขา Collector และ Emitter ได้ เนื่องจากทรานซิสเตอร์มีค่ากำลังขยายหรือที่เรียกว่า Current Gain หรือ HFE หรือ β นั่นเอง

- หลักการทำงานของ NPN Transistor คือ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยที่ขา B ทรานซิสเตอร์ก็จะอยู่ในสภาวะทำงาน มันก็จะยอมให้กระแสไฟฟ้าที่มากกว่าหลายเท่า ไหลผ่านขา C ไปยังขา E ได้ แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้าไม่มีกระแสไฟฟ้าที่ขา B เลย ทรานซิสเตอร์จะอยู่ในสภาวะ Cut-Off คือมันจะป้องกันไม่ให้กระไสไฟฟ้าไหลผ่านขา C ไป E ได้ (แบบ NPN ขา E ทำหน้าที่เป็นกราวด์)

- หลักการทำงานของ PNP Transistor คือ จะตรงข้ามกับแบบ NPN เลย คือ ขา C จะทำหน้าที่เป็นกราวด์แทน ,เมื่อมีกระแสไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยที่ขา B มันจะทำการป้องกันไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจากขา E ไป C ได้ แต่เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าที่ขา B เลยหรือกระแสไฟฟ้าติดลบ มันก็จะยอมให้กระแสไฟฟ้าที่มากกว่าไหลผ่านจากขา E ไปขา C

สูตรการคำนวณการหาค่าความต้านทานขา B (R_B)

$$R_B = \frac{(V_B - V_{BE})}{I_B} \quad (2\text{-}6)$$

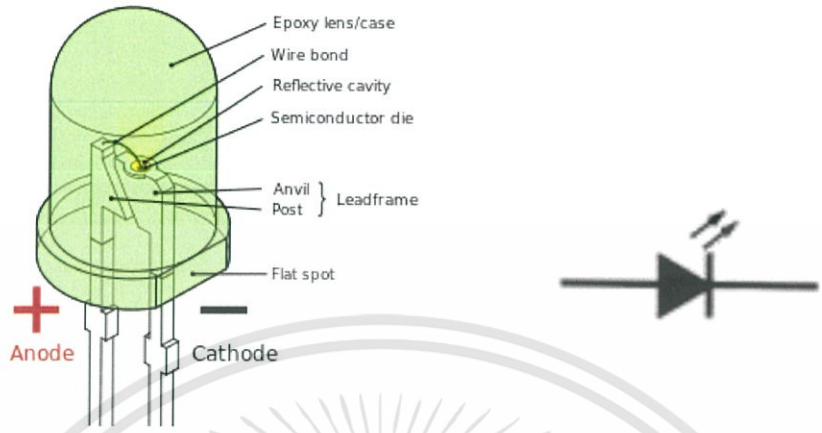
เมื่อ V_B คือ แหล่งจ่ายของขา B (Volt)

V_{BE} คือ 0.6 Volt [14] ; แรงดันระหว่างขา B และขา E (ชนิด ซิลิกอน)

I_B คือ กระแสของขา B (A)

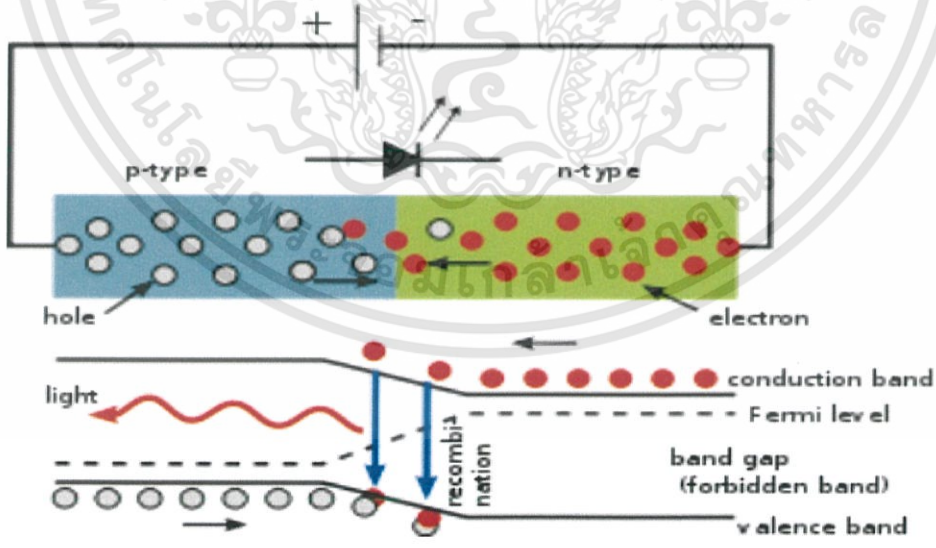
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **หลักการทำงานของไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode หรือย่อว่า LED) [17]**



ภาพที่ 2.23 (ก) โครงสร้างภายในของหลอดไฟLED (ข) สัญลักษณ์ของ LED [17]

โครงสร้างประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำสองชนิด (สารกึ่งตัวนำชนิด N และสารกึ่งตัวนำชนิด P) ประกบเข้าด้วยกันมีผิวข้างหนึ่งเรียบคล้ายกระจก ดังรูป 2.7.1 เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงผ่านตัว LED โดยจ่ายไฟบวกให้ขาแอโนด (A) จ่ายไฟลบให้ขาแคโทด (K) ทำให้อิเล็กตรอนที่สารกึ่งตัวนำชนิด N มีพลังงานสูงขึ้นจนสามารถวิ่งข้ามรอยต่อจากสารชนิด N ไปรวมกับสารชนิด P การที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อ PN ทำให้เกิดกระแสไหลเป็นผลให้ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเปลี่ยนไปและคายพลังงานออกมาในรูปคลื่นแสง ดังภาพที่ 2.23



ภาพที่ 2.24 Band Diagram of P-N Junction Semiconductors. [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 2.23 สีของแสงที่เกิดจากรอยต่อจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาใช้ในการสร้าง LED ทั้งชนิดที่เป็นของเหลวและก๊าซเช่น ใช้แกลเลียมฟอสไฟด์ (GALLIUM PHOSPHIDE,GaP) ทำให้เกิดแสงสีแดง ใช้แกลเลียมอาซีไนด์ฟอสไฟด์ (GALLIUM ARSENIDE PHOSPHIDE,GaAsP) เกิดแสงสีเหลืองและสีเขียว

การควบคุมปริมาณแสงสว่างจะควบคุมกระแสที่ไหลผ่านหลอด LED หากกระแสที่ไหลสูงมากจะทำให้หลอดมีความสว่างมากแต่หากป้อนกระแสสูงมากเกินไปจะทำให้บริเวณรอยต่อของสารกึ่งตัวนำเกิดความร้อนปริมาณมากจนทำให้โครงสร้างหลอดเสียหายไม่สามารถใช้งานได้อีก ดังนั้น เมื่อเราต่อหลอด LED เข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันโดยตรง หลอด LED อาจได้รับแรงดันตกคร่อมและกระแสมากเกินไป จึงต้องนำตัวต้านทานมาช่วย โดยตัวต้านทานจะมีหน้าที่รับแรงดันส่วนที่มากเกิน ไปตกคร่อมตัวมันแทน ทำให้ LED ได้รับแรงดันและกระแสที่เหมาะสม

การหาค่าความต้านทานที่เหมาะสมจากสูตรของโอห์ม

$$R = \frac{(V_{cc} - V_F)}{I_F} \qquad (2\text{-}7)$$

เมื่อ V_{cc} คือ แรงดันจากแหล่งจ่าย (Volt)

V_F คือ แรงดันจากหลอดไฟ LED (Volt)

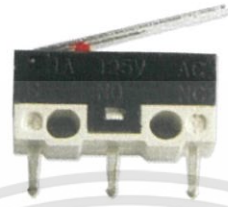
I_F คือ กระแสที่ไหลผ่าน LED (A)

ค่าใน Datasheet ของแต่ละหลอดไฟ LED จะเห็นได้ว่าทั้งค่า I_F และ V_F จะบอกมาเป็นช่วงๆ (Min, Max) ถ้าเลือกใช้ค่าต่ำกว่าค่า Min หลอดไฟจะไม่ติด แต่ถ้าใช้ค่าสูงกว่าค่า Max หลอดไฟอาจขาดเสียหายได้ ดังนั้น ค่าที่เราจะเลือกใช้ควรเป็นค่าที่อยู่ในช่วงนี้ บาง Datasheet อาจมีค่าแนะนำมาให้อยู่แล้วหรือที่เรียกว่าค่า Typical หรือ Suggestion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **หลักการทำงานของลิมิตสวิตช์ (Limit Switch) [18]**

เป็นสวิตช์ที่จำกัดระยะทาง การทำงานอาศัยแรงกดภายนอกมากระทำเช่น วางของทับที่ปุ่มกดหรือลูกเบี้ยวมาชนที่ปุ่มกด และเป็นผลทำให้หน้าสัมผัสที่ต่ออยู่กับก้านชน เปิด-ปิด ตามจังหวะของการชน



ภาพที่ 2.25 โครงสร้างภายนอกของลิมิตสวิตช์ [18]

ลิมิตสวิทช์ โดยปกติแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ ปกติ (NO) และปิด (NC) จากโครงสร้างภายในตำแหน่งปกติ หน้าสัมผัสจะไม่ต่อถึงกัน ทำให้กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านได้ ตำแหน่งทำงาน เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ เช่น ลูกสูบเคลื่อนที่ออกมากดลิมิตสวิทช์ ทำให้สภาวะการทำงานเปลี่ยนจากปกติเปิด (NO) เป็นปกติปิด (NC) มีผลทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปได้ และเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่กลับจะทำให้ลิมิตสวิทช์ กลับสู่สภาพเดิมจากปกติปิด (NC) เป็นปกติเปิด (NO) ทำให้ตัดวงจรการทำงาน

ภาพที่ 2.26 ลักษณะการทำงานของลิมิตสวิตช์ [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

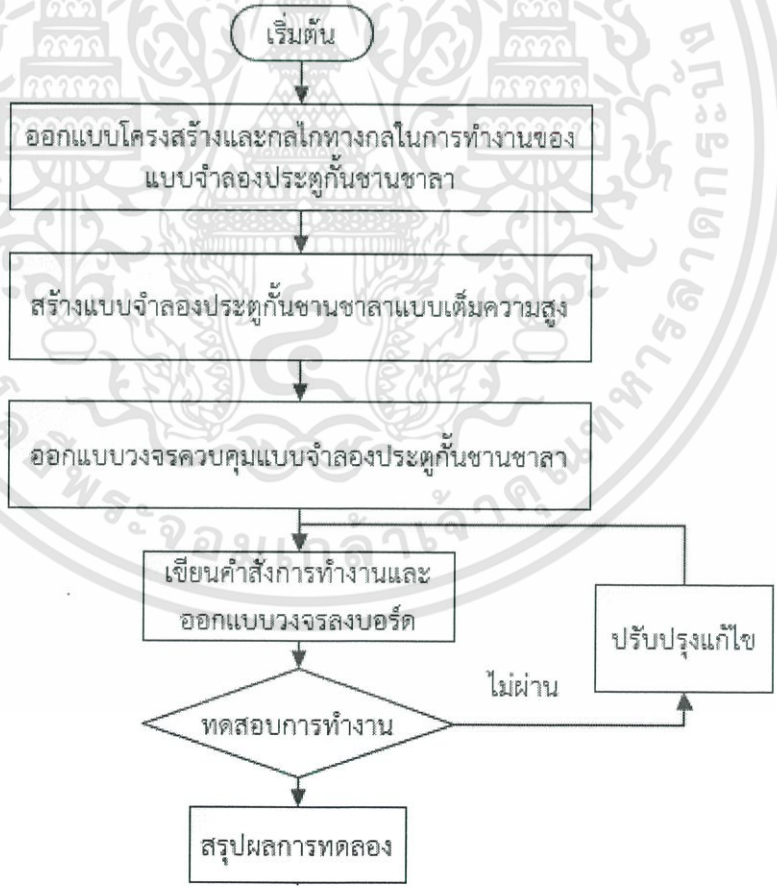
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

แบบจำลองระบบประตูกั้นชานชาลาแบบเต็มความสูง แสดงการทำงานในการเปิด-ปิดของประตูกั้นชานชาลา โดยการควบคุมการเปิด-ปิดประตูจำเป็นต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาช่วย ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำโปรแกรม Arduino เข้ามาใช้ในการควบคุมการทำงาน ซึ่ง Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำเร็จรูปที่เขียนโค้ดในการควบคุมได้ง่ายและมีข้อมูลเกี่ยวกับการเขียนโค้ดที่สามารถเข้าถึงได้ง่าย ในส่วนของการออกแบบโครงสร้างแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา ได้นำโปรแกรม AutoCAD เข้ามาช่วยในการออกแบบเพื่อเห็นภาพของแบบจำลองได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแสดงไว้ในภาพที่ 3.1 โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ๆได้ดังนี้

1. การออกแบบโครงสร้างของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา
2. การออกแบบวงจรควบคุมแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา
3. การเขียนโค้ดควบคุมแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา

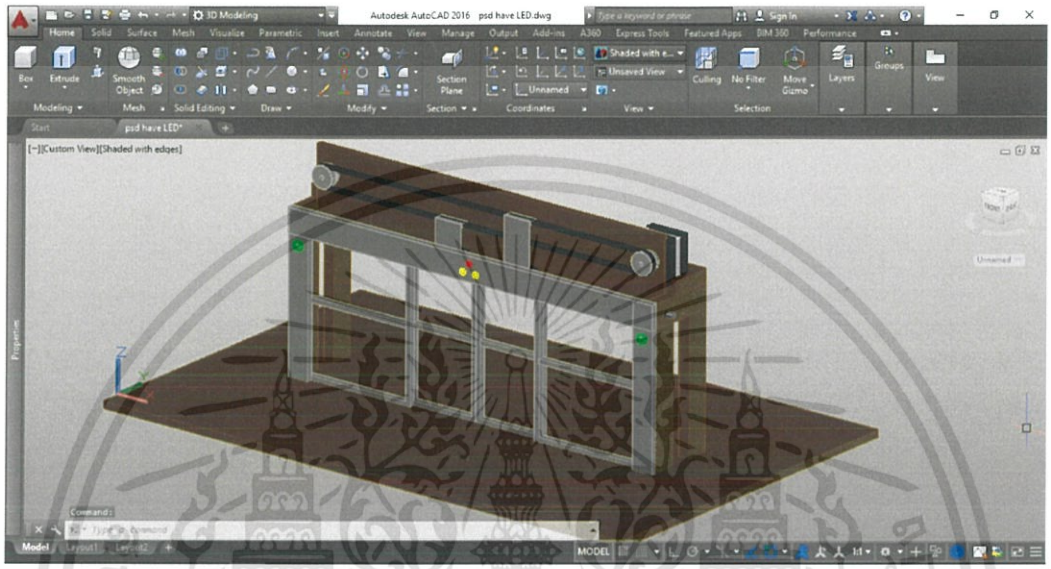


ภาพที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การออกแบบโครงสร้างของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา

ประตูกั้นชานชาลาที่นำมาใช้ในการศึกษาเป็นประตูกั้นชานชาลาของรถไฟฟ้าใต้ดินในโครงการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนสายเฉลิมรัชมงคล (Blue Line) จากบริษัท ทางด่วนและรถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน) ตามขนาดที่ได้ระบุไว้ใน ภาคผนวก (ก) และมีการออกแบบโครงสร้างเพื่อให้เข้ากับแบบจำลองระบบประตูกั้นชานชาลา ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 แสดงแบบจำลองประตูกั้นชานชาลาโดยใช้โปรแกรม AutoCAD

ในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สอดคล้องกับขนาดของประตูบานเลื่อนของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลาที่มีอัตราการย่อส่วนเท่ากับ 1:10 ของประตูบานเลื่อนต้นแบบ

จากค่าอัตราการย่อส่วนดังกล่าวสามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆเปรียบเทียบระหว่างขนาดของบานประตูเลื่อนต้นแบบกับบานประตูเลื่อนแบบจำลองดังแสดงในตารางที่ 3.1

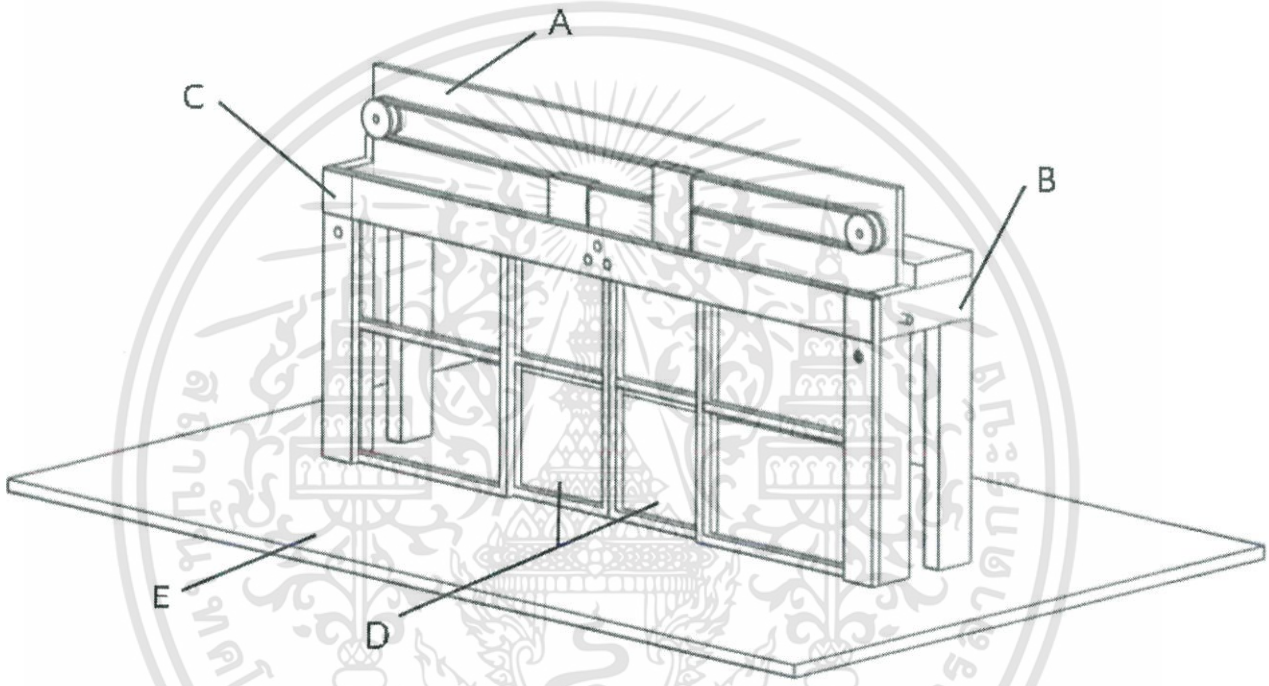
ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ขนาดบานประตูเลื่อนต้นแบบกับแบบจำลอง

พารามิเตอร์	**บานประตูจริง**	**บานประตูจำลอง**
วัสดุ	กระจกใส	อะคริลิกใส
ความยาว (มิลลิเมตร)	2010 ± 1	201.00
ความกว้าง (มิลลิเมตร)	1067.5 ± 1	106.75
มวล (กิโลกรัม)	63	0.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **การออกแบบโครงสร้างในแต่ละส่วนของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา**

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการประกอบโครงสร้างแต่ละส่วน รายละเอียดของขนาดของชิ้นส่วนต่างๆที่นำมาประกอบเป็นโครงสร้างแสดงอยู่ในภาคผนวก ก ซึ่งชุดแบบจำลองสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ส่วน คือ ชุดอุปกรณ์เหนือประตู (A), ชุดโครงสร้าง (B), ชุดแผงกั้น (Fixed panel) (C), ชุดประตูบานเลื่อน (D), ฐานวางชุดทดลอง (E) ดังภาพที่ 3.3 ซึ่งในส่วนของ A, B และ E ใช้ ไม้อัด เป็นวัสดุทางโครงสร้าง และในส่วนของ C และ D ใช้ อะคริลิกใส เป็นวัสดุแทนบานกระจกประตู

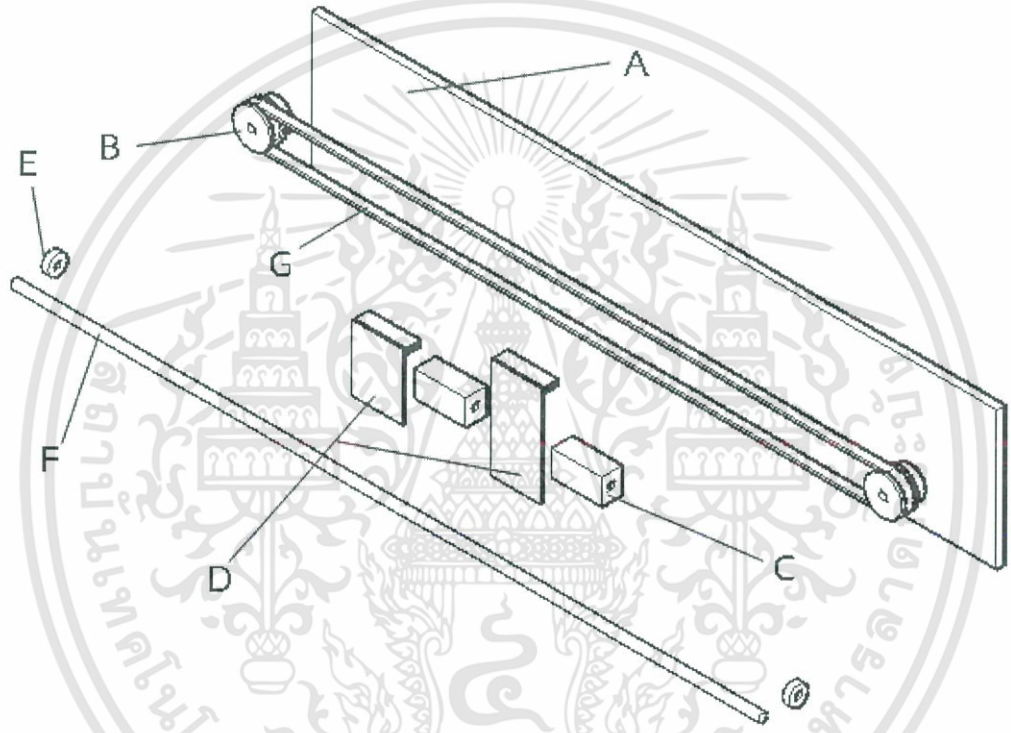


ภาพที่ 3.3 แสดงลักษณะและตำแหน่งการวางของชุดแบบจำลองทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วน A โครงสร้างของชุดอุปกรณ์เหนือประตู

ชุดอุปกรณ์เหนือประตู มีส่วนประกอบหลัก 6 ส่วนได้แก่ แผ่นไม้อัดสำหรับยึดมอเตอร์ (A), Pulley (B), ลูกปืนสไลด์ปลอก (C), แผ่นอะลูมิเนียม (D), ปลอกยึดเพลา (E), เพลา (F), สายพาน (G) ดังภาพที่ 3.4 โดยส่วน A เป็นส่วนที่ยึดมอเตอร์และรอกไว้ด้วยกัน ส่วนของ C ช่วยในการเคลื่อนที่ของประตูโดยผ่านการเชื่อมต่อกับส่วน D ที่ยึดติดกับสายพาน และยึดไว้กับเพลา ซึ่งเพลาช่วยในการถ่ายเทน้ำหนักและควบคุมทิศทาง โดยมีปลอกยึดเพลาช่วยยึดให้อยู่กับที่

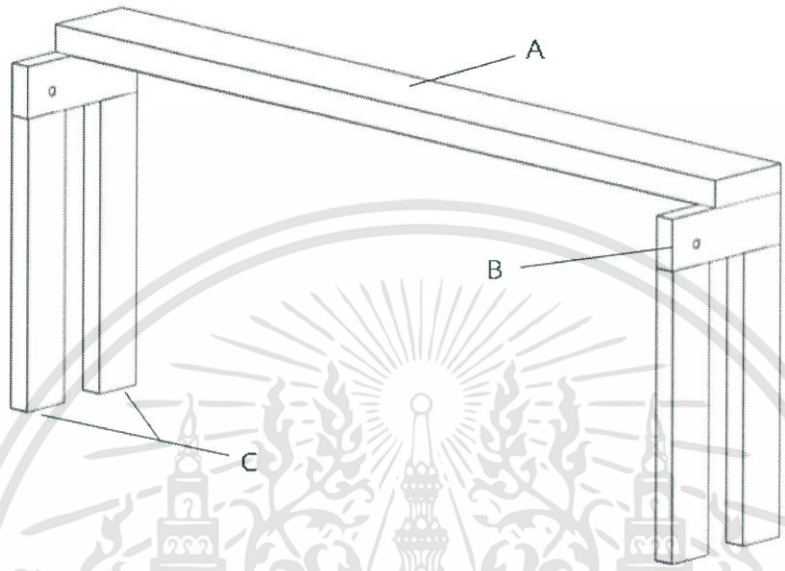


ภาพที่ 3.4 แสดงส่วนประกอบของโครงสร้างชุดอุปกรณ์เหนือประตู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วน B โครงสร้างของชุดโครสร้างแบบจำลอง

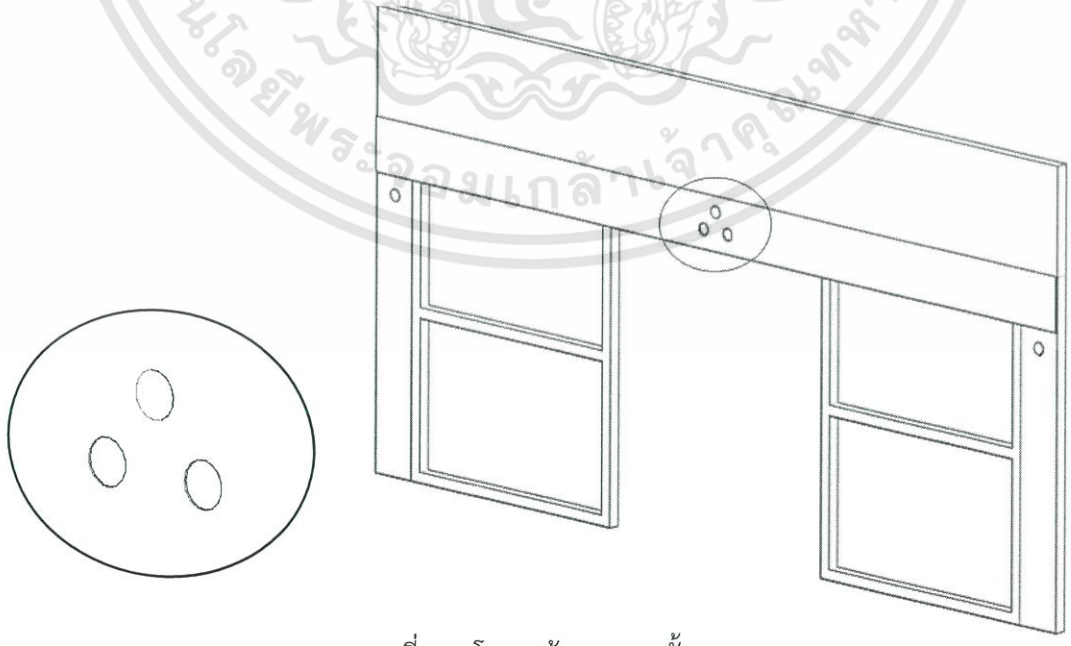
ชุดโครสร้างแบบจำลองทำหน้าที่รับแรงของส่วนประกอบต่างๆในชุดแบบจำลอง ซึ่งเป็นวัสดุจากไม้ทั้งหมด โดยขนาดในส่วนประกอบแสดงในภาคผนวก ก จากภาพ 3.5 ในส่วนของ B จะมีรูเจาะไว้สำหรับเพลา



ภาพที่ 3.5 ส่วนประกอบของชุดโครสร้างแบบจำลอง

ส่วน C โครงสร้างชุดแผงกั้น

จากภาพที่ 3.6 เป็นโครงสร้างของชุดแผงกั้น โดยทำจากอะคริลิกเสมือนเป็นกระจกใส และใช้กระดาษสีเทาเป็นเหมือนโครงอะลูมิเนียม และมีตำแหนงเจาะรูสำหรับใส่หลอดไฟ LED ซึ่งเป็นไฟสัญญาณ



ภาพที่ 3.6 โครงสร้างชุดแผงกั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

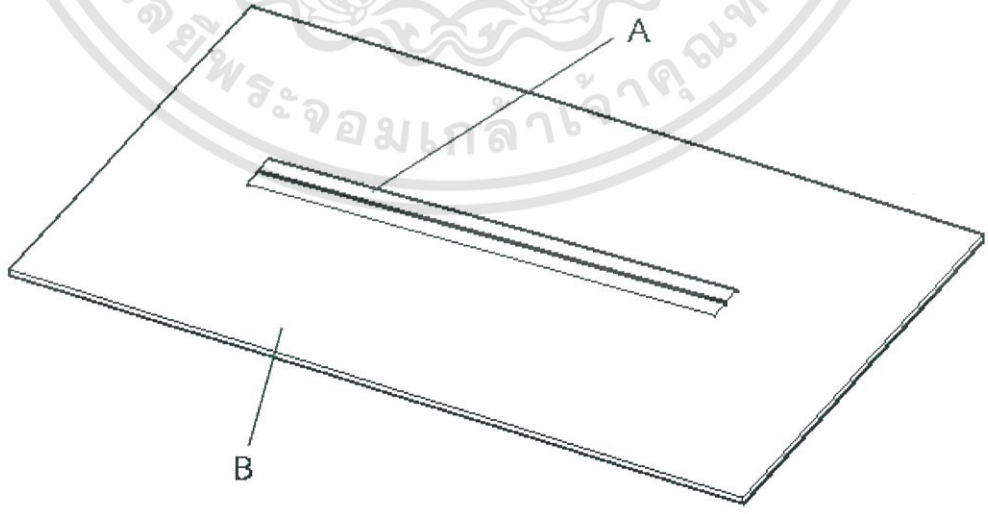
ส่วน D โครงสร้างของชุดประตูบานเลื่อน

จากภาพ 3.7 เป็นชุดประตูบานเลื่อน ทำหน้าที่เปรียบเสมือนบานประตูกั้นชานชาลา โดยวัสดุที่ใช้คือ อะคริลิกใส และกระดาษสีเทา

ภาพที่ 3.7 ส่วนประกอบโครงสร้างของชุดประตูบานเลื่อน

ส่วน E โครงสร้างของฐานวางชุดทดลอง

จากภาพ 3.8 เป็นฐานวางชุดทดลอง ทำหน้าที่รับแรงทั้งหมดและเป็นส่วนที่ยึดกับรางนำร่องประตู (A) ซึ่งช่วยในการลดแรงเสียดทานของบานประตูกับฐาน โดยที่ฐานทำมาจากไม้ และรางนำร่องเป็นพลาสติก



ภาพที่ 3.8 ส่วนประกอบโครงสร้างของฐานวางชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **อุปกรณ์ที่ติดตั้งในโครงสร้างแบบจำลอง**

อุปกรณ์ที่ติดตั้งในโครงสร้างเป็นส่วนของอุปกรณ์การขับเคลื่อน ส่วนของการควบคุม และส่วนของอุปกรณ์ในการแสดงการทำงาน อุปกรณ์เหล่านี้มีความสำคัญกับแบบจำลองระบบประตูกั้นชานชาลา และมีสาเหตุการเลือกใช้ดังต่อไปนี้

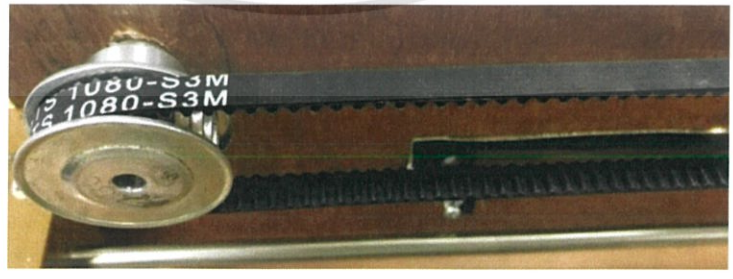
1) สเต็ปมอเตอร์ (VEXTA Oriental Motor PK244-01A)

สเต็ปมอเตอร์ใช้ในส่วนของต้นกำลังขับเคลื่อนของสายพาน สเต็ปมอเตอร์รุ่นนี้ PK244-01A เป็นประเภทไบโพลาร์ มีกระแสต่อเฟส 0.85 และมี Holding Toque ที่ 0.33 N.m ดังภาพที่ 3.9 สาเหตุของการเลือกใช้ : เนื่องจากการคำนวณหาแรงบิดและความเร็วรอบ ไม่เกินแรงบิดของสเต็ปมอเตอร์รุ่นนี้และหาซื้อได้ในราคาที่ไม่แพง

ภาพที่ 3.9 แสดงลักษณะของสเต็ปมอเตอร์ PK244-01A

2) สายพาน (Timing Belts STS 1080 S3M)

สายพานจะใช้ในส่วนของกลไกการเคลื่อนที่ระหว่างสเต็ปมอเตอร์กับประตูบานเลื่อน ซึ่งจำนวนฟังของสายพาน S3M 1080 คือ 360 ฟันและเส้นผ่านศูนย์กลางของสายพาน 1080 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 3.10 สาเหตุของการเลือกใช้ : เนื่องจากมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสมกับความยาวของโครงสร้างการเคลื่อนที่ของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา

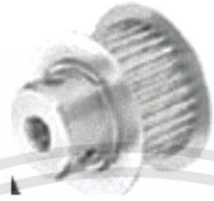


ภาพที่ 3.10 แสดงลักษณะของ Timing Belts STS 1080 S3M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) พลูเล่ย์อะลูมิเนียม (High Torque Timing Pulleys S3M)

พลูเล่ย์เป็นตัวกลางระหว่างสเต็ปมอเตอร์และสายพาน โดยมีจำนวนฟัน 30 และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง (P.D.) 28.65 mm และ O.D. เท่ากับ 27.89 mm ซึ่งต้องมีขนาดเหมาะสมกับสายพาน ดังภาพที่ 3.11 สาเหตุของการเลือกใช้ : เนื่องจากขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางและความกว้างของสายพานต้องเหมาะสมกับพลูเล่ย์และขนาดของโครงสร้างแบบจำลองต้องเหมาะสมกัน



ภาพที่ 3.11 แสดงลักษณะของพลูเล่ย์อะลูมิเนียม (High Torque Timing Pulleys S3M)

4) ปลอกสไลด์ลูกปืน (Linear bearing)

ปลอกสไลด์ลูกปืนทำหน้าที่นำการเคลื่อนที่เพื่อนให้เคลื่อนที่ตามทิศทางตามเพลา โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 มิลลิเมตร ดังภาพ 3.12 สาเหตุการเลือกใช้ : เนื่องจากมีลักษณะแนวการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงและมีรูสำหรับการยึดบานประตูและยึดแผ่นอะลูมิเนียมที่ใช้ยึดจับกับสายพานได้

ภาพที่ 3.12 แสดงลักษณะของปลอกสไลด์ลูกปืน

5) ตัวยึดจับเพลา

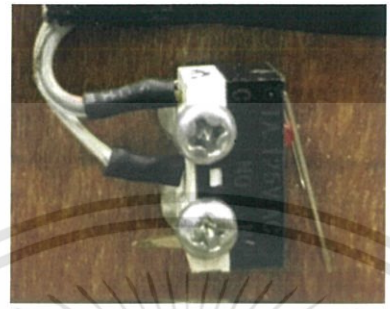
ตัวยึดจับเพลาทำหน้าที่ยึดเพลาให้อยู่กับที่เพื่อไม่ให้เพลาขยับตามปลอกสไลด์ โดยตัวยึดจับเพลามีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 3.13 สาเหตุการเลือกใช้ : เนื่องจากมีเกลียวตัวหนอนสามารถล็อคการเคลื่อนที่ของเพลาได้

ภาพที่ 3.13 แสดงลักษณะของตัวยึดจับเพลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) ลิมิตสวิทช์ (Limit Switch)

ลิมิตสวิทช์ทำหน้าที่ตรวจสอบการทำงานของการปิดประตูสนิทและการเปิดประตูที่ถูกต้องตำแหน่ง โดยลิมิตสวิทช์นี้มีขนาดเล็ก 1 A ดังภาพที่ 3.14 สาเหตุการเลือกใช้ : เนื่องจากลิมิตสวิทช์มีขนาดเล็กเหมาะกับการใช้งานกับแบบจำลอง และหาซื้อได้ง่าย



ภาพที่ 3.14 แสดงลักษณะของลิมิตสวิทช์

7) Magnetic Door Switch

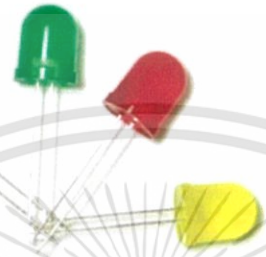
Magnetic Door Switch ทำหน้าที่ในการตรวจจับแม่เหล็กจากรถไฟ โดยใช้หลักการของ reed switch เมื่อมีสนามแม่เหล็กเข้าใกล้จะทำให้ส่งสัญญาณไปที่บอร์ด Arduino เพื่อสั่งการทำงาน มีลักษณะดังภาพที่ 3.15 สาเหตุการเลือกใช้ : เนื่องจากมีความสามารถในการทำงานใกล้เคียงกับระบบการทำงานของต้นแบบ และหาซื้อได้ง่าย

ภาพที่ 3.15 แสดงลักษณะของ Magnetic Door Switch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) หลอดไฟ LED

หลอดไฟ LED ขนาดเล็กใช้เพื่อแสดงไฟสถานะในส่วนต่างๆ โดยใช้สีแดง สีเหลืองและสีเขียว ซึ่งขนาดของหลอดไฟคือ 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งในแต่ละสีไฟมีความหมายและความสำคัญของแต่ละสีที่แตกต่างกัน มีลักษณะดังภาพที่ 3.16 สาเหตุการเลือกใช้ : เนื่องจากหาซื้อได้ง่ายและมีขนาดที่เหมาะสมกับแบบจำลอง



ภาพที่ 3.16 แสดงลักษณะของหลอดไฟ LED

9) รางนำร่องประตู

รางนำร่องประตูใช้สำหรับนำร่องการเคลื่อนที่ของบานประตูเลื่อน เพื่อไม่ให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างฐานกับบานประตูเลื่อน ซึ่งมีขนาดความยาว 50 เซนติเมตร ทำจากพลาสติก ดังภาพที่ 3.17 สาเหตุในการเลือกใช้ : เนื่องจากสามารถหาซื้อได้ง่าย

ภาพที่ 3.17 แสดงลักษณะของรางนำร่องประตู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **การคำนวณเพื่อเลือกสเต็ปมอเตอร์**

จากขั้นตอนการเลือกสเต็ปมอเตอร์ในบทที่ 2 เลือกกลไกการเคลื่อนที่ของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลาเป็นแบบสายพาน เนื่องจากขนาดของแบบจำลองมีขนาดเล็กจึงทำให้กลไกการเคลื่อนที่แบบสายพานสกรูหาขนาดของวัสดุอุปกรณ์ที่พอดีกับแบบจำลองได้ยาก ในการคำนวณต้องอาศัยความรู้ในเรื่องของ Step และ Step Angle และต้องอาศัยความรู้เรื่องของการหาความเร็วรอบและแรงบิด เพื่อนำมาเปรียบเทียบค่า pullout torque ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถใช้งานได้

การคำนวณหา Step ของสเต็ปมอเตอร์ในการเคลื่อนที่

กำหนดให้ Stepper Motor (PK244-01A) เคลื่อนที่เป็น 1.8 °/step

จำนวนฟันของรอก (Pulley) 30 ฟัน

สายพานมีระยะพิทช์ (Pitch) 3 pitch

ระยะทางที่เคลื่อนที่ในการเปิดประตูกั้นชานชาลา 1 บาน = 100 มิลลิเมตร

จากบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.3.3 Steps VS. Step Angle ทำให้ทราบว่าการหมุน 1 รอบ = 360 °

ดังนั้น ถ้าสเต็ปเปอร์มอเตอร์หมุน 1 รอบ จะต้องใช้ $\frac{360^\circ}{1.8^\circ} = 200\ steps$

การที่รอก (Pulley) หมุน 1 รอบ จะทำให้สายพานเคลื่อนที่เป็นระยะทาง $30 \times 3 = 90\ mm$

$$90\ mm = 1\ rev$$

$$\frac{100\ mm}{90\ mm} \times 1\ rev = 1.111\ rev$$

การเคลื่อนที่ของบานประตูกั้นชานชาลา 100 มิลลิเมตร ทำให้รอก(Pulley) ต้องหมุน 1.111 รอบ

รอก (Pulley) หมุน 1.111 รอบ ซึ่งเท่ากับหมุนได้มุมทั้งหมด $1.111 \times 360° = 400°$

$$1.8° = 1\ step$$

$$\frac{400°}{1.8°} \times 1\ step = 222.2\ steps$$

ดังนั้น Stepper motor ต้องเคลื่อนที่เป็น step ทั้งหมด ประมาณ 223 steps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาความเร็วรอบ (RPM) ที่ใช้ในการเคลื่อนที่

จากการคำนวณหา Step ของสเต็ปมอเตอร์ในการเคลื่อนที่ ทำให้ทราบถึงจำนวน step ที่เคลื่อนที่ทั้งหมด ประมาณ 223 step ซึ่ง 1 pulse เท่ากับ 1 step

หาจำนวน pulse/second ในการเคลื่อนที่ (f)

$$f = \frac{pulse}{T - T_a} \tag{3-1}$$

กำหนด f คือ จำนวนพัลส์ต่อวินาที (pulse/sec)

T คือ เวลาในการเคลื่อนที่ทั้งหมด (sec)

T_a คือ เวลาที่ใช้ในการเร่งหรือหน่วงความเร็ว (sec)

แทนค่าลงสมการที่ (3-1)

$$f = \frac{223}{1 - 0.25}$$

$$f = 297.3 \ pulse/sec$$

แปลงหน่วยเป็น RPM

$$\frac{1\ rev}{360\ °} \times \frac{1.8°}{1\ step} \times \frac{1 step}{1 pulse} \times \frac{297.33\ pulse}{1\ sec} \times \frac{60\ sec}{1\ min} = 89.19\ RPM$$

ดังนั้น ควรเลือกสเต็ปมอเตอร์ที่มีความเร็วมอเตอร์ประมาณ 90 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาแรงบิดเพื่อใช้เลือกสเต็ปมอเตอร์

จาก สูตรหาแรงบิดของมอเตอร์ $$\tau_M = (\tau_{acc} + \tau_{Load}) \times K \quad (2\text{-}1)$$

โดยที่ K คือ Safety Factor = 2

- หาทอร์กจากความเร่ง $$\tau_{acc} = \frac{J_{Motor} + J_{Load}}{g} \times \frac{\pi}{180} \times \frac{f}{T_a} \times \theta_s \quad (2\text{-}4)$$

เมื่อ J_{Motor} คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของมอเตอร์ที่เราต้องการเลือก (kg.m^2)

J_{Load} คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของภาระทั้งหมด (kg.m^2)

g คือ ค่าคงตัวความโน้มถ่วงสากล 9.81 m/s^2

θ_s คือ องศาการเคลื่อนที่ใน 1 step (^{o})

f คือ จำนวนพัลส์ต่อวินาที (pulse/sec)

T_a คือ เวลาที่ใช้ในการเร่งหรือหน่วงความเร็ว (sec)

- หาโมเมนต์ความเฉื่อยของภาระทั้งหมด (J_{Load})

$$J_{Load} = J_{Pulley} + J_{Mass} \quad (3\text{-}2)$$

- หาโมเมนต์ความเฉื่อยของพลูเล่ย์

$$J_{Pulley} = \frac{1}{8} \times M_{Pulley} D^2 \quad (3\text{-}3)$$

กำหนดให้ M_{Pulley} คือ มวลของพลูเล่ย์ (kg)

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางพลูเล่ย์ (m)

- หามวลพลูเล่ย์ $$M_{Pulley} = \rho \times V \quad (3\text{-}4)$$

กำหนดให้ ρ คือ ความหนาแน่นของอะลูมิเนียม ประมาณ 2712 kg/m^3

V คือ ปริมาตรพลูเล่ย์ (m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หาปริมาตรพลูเล่ย์ $$V = \frac{\pi D^2}{4} \times L \quad (3\text{-}5)$$

กำหนดให้ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางพลูเล่ย์

L คือ ความหนาของพลูเล่ย์

จากสมการ (3-5) $$V = \frac{\pi \times (28.65 \times 10^{-3})^2}{4} \times (1.970 \times 10^{-3})$$

$$V = 1.251 \times 10^{-3}\ m^3$$

จากสมการ (3-4) $$M_{Pulley} = 2712 \times (1.251 \times 10^{-3})$$

$$M_{Pulley} = 3.392 \times 10^{-3}\ kg$$

จากสมการ (3-3) $$J_{Pulley} = \frac{1}{8} \times (3.392 \times 10^{-3})(28.62 \times 10^{-3})^2$$

$$J_{Pulley} = 3.480 \times 10^{-7}\ kg.m^2$$

จำนวนพลูเล่ย์มี 2 ตัว

$$J_{Pulley} = 6.961 \times 10^{-7}\ kg.m^2$$

- หาโมเมนต์ความเฉื่อยของมวล $$J_{Mass} = M_{Mass} \times (\frac{D}{2})^2 \quad (3\text{-}6)$$

กำหนดให้ M_{Mass} คือ มวลของประตูเลื่อนและสายพาน (kg)

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางพลูเล่ย์ (m)

จากสมการ (3-6) $$J_{Mass} = 0.2 \times (\frac{(28.65 \times 10^{-3})}{2})^2$$

$$J_{Mass} = 4.104 \times 10^{-5}\ kg.m^2$$

จากสมการ (3-2) $$J_{Load} = J_{Pulley} + J_{Mass}$$

$$J_{Load} = (6.961 \times 10^{-7}) + (4.104 \times 10^{-5})$$

$$J_{Load} = 4.174 \times 10^{-5}\ kg.m^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (2-4) ทอร์กเนื่องจากความเร่ง $\tau_{acc} = \frac{J\,motor+Jload}{g} \times \frac{\pi}{180} \times \frac{f}{Ta} \times \theta S$

$$\tau_{acc} = \frac{Jmotor + (4.174\times10^{-5})}{9.81} \times \frac{\pi}{180} \times \frac{297.3}{0.25} \times 1.8$$

$$\tau_{acc} = \frac{Jmotor + (4.174\times10^{-5})}{9.81} \times 37.36 \qquad (3\text{-}7)$$

- หาทอร์กจากภาระโหลดจากสมการที่ (2-2) $\tau_{Load} = \frac{FD}{2\eta}$

กำหนดให้ F คือ แรงเสียดทาน (N)

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางพลูเล่ย์ (m)

η คือ ค่าประสิทธิภาพ = 0.9

- หาแรงเสียดทาน $F = \mu \times M_{Mass}g$

โดยที่ μ คือ ค่าสัมประสิทธ์ของแรงเสียดทาน เท่ากับ 0.04

$$F = 0.004 \times 0.2 \times 9.81$$

$$F = 0.07848\ N$$

ถ้า 1 N เท่ากับ 9.8 kg.f $F = 0.07848 \times 9.8$

$$F = 0.7691\ kg.f$$

จากสมการ (2-2) $\tau_{Load} = \frac{0.7691\times(28.65\times10^{-3})}{2\times0.9}$

$$\tau_{Load} = 0.01224\ kg.f$$

จากสมการ (2-1) $\tau_M = (\tau_{acc} + \tau_{Load}) \times K$

$$\tau_M = (\left[\frac{Jmotor + (4.174\times10^{-5})}{9.81} \times 37.36\right] + [0.01224]) \times 2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสเต็ปเปอร์มอเตอร์ ORIENTAL MOTOR รุ่น Pk 244-1A (1.8^{o}) มีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยมอเตอร์เท่ากับ 54×10^{-7} $kg.m^2$

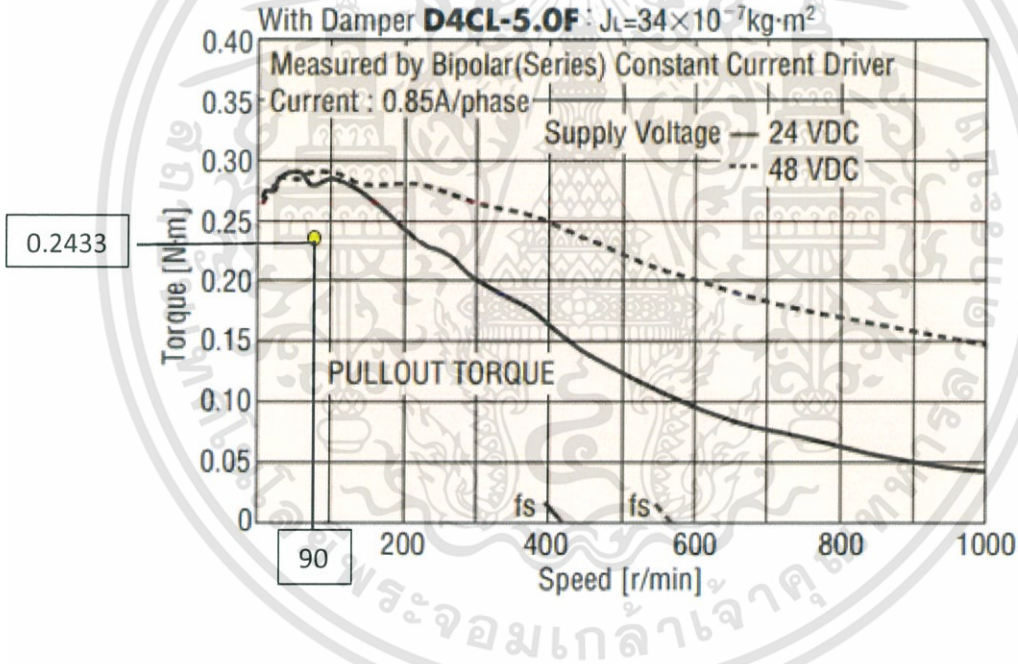
$$\tau_M = 0.02483\ kgf.m$$

โดยที่ 1 kilogram force meter = 9.81 N.m

$$\tau_M = 0.02483 \times 9.81$$

$$\tau_M = 0.2433\ N.m$$

ดังนั้นควรเลือก สเต็ปเปอร์มอเตอร์ จาก Datasheet โดยดูความเร็วรอบประมาณ 90 รอบต่อนาทีและทอร์ก มีค่าประมาณ 0.2433 N.m จุดตัดไม่ควรเกินเส้นกราฟ Pullout Torque ของมอเตอร์ ดังภาพที่ 3.18 จากจุดสีเหลือง แสดงให้เห็นว่าสเต็ปมอเตอร์รุ่น (PK244-01A) นี้สามารถใช้งานกับโครงสร้างทางเชิงกลได้



ภาพที่ 3.18 แสดงความสามารถของสเต็ปมอเตอร์รุ่น (PK244-01A) [22]

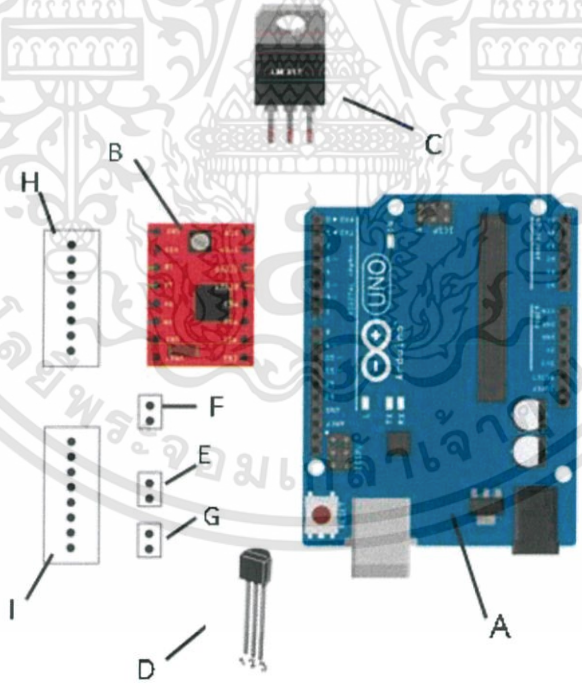
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบวงจรควบคุมแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา

การควบคุมหลักของวงจรคือ บอร์ด Arduino จะทำหน้าที่ควบคุมโดยการเขียน code ลงบอร์ดโดยภายในบอร์ดจะมีไฟเลี้ยง 5 V ในส่วนของ Driver motor ทำหน้าที่ในการควบคุม Stepper motor ซึ่ง Stepper motor ต้องการแรงดันในการขับเคลื่อนประมาณ 5.6 V ทำให้ต้องมี วงจร Voltage Regulator LM317 มาช่วยในการลดแรงดันเพื่อใช้กับ Stepper motor และ Switching Power Supply ที่ แปลงไฟบ้าน 220v AC มาเป็น DC 12V 5A ในส่วนของ Transistor เข้ามาช่วยในการทำงานของไฟแสดงสถานะประตูด้านชานชาลากับไฟสัญญาณประตูเปิด

- **ส่วนประกอบของวงจรควบคุมแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา**

ส่วนประกอบของวงจรในการควบคุมแบบจำลองประตูกั้นชานชาลาประกอบด้วย 9 ส่วน ดังภาพที่ 3.19 ได้แก่ บอร์ด Arduino Uno3 (A), Driver Motor (B), วงจร Voltage Regulator LM317 (C), วงจร Transistor BF423 (D), ขา Switch ปิดประตู (E), ขาไฟสัญญาณเปิดประตูและไฟสัญญาณประตูบกพร่อง (F), ขาไฟแสดงสถานะประตู (G), ขา stepping motor (H), ขารวม ทั้ง Magnetic switch, Limit Switch และ ขา Ground

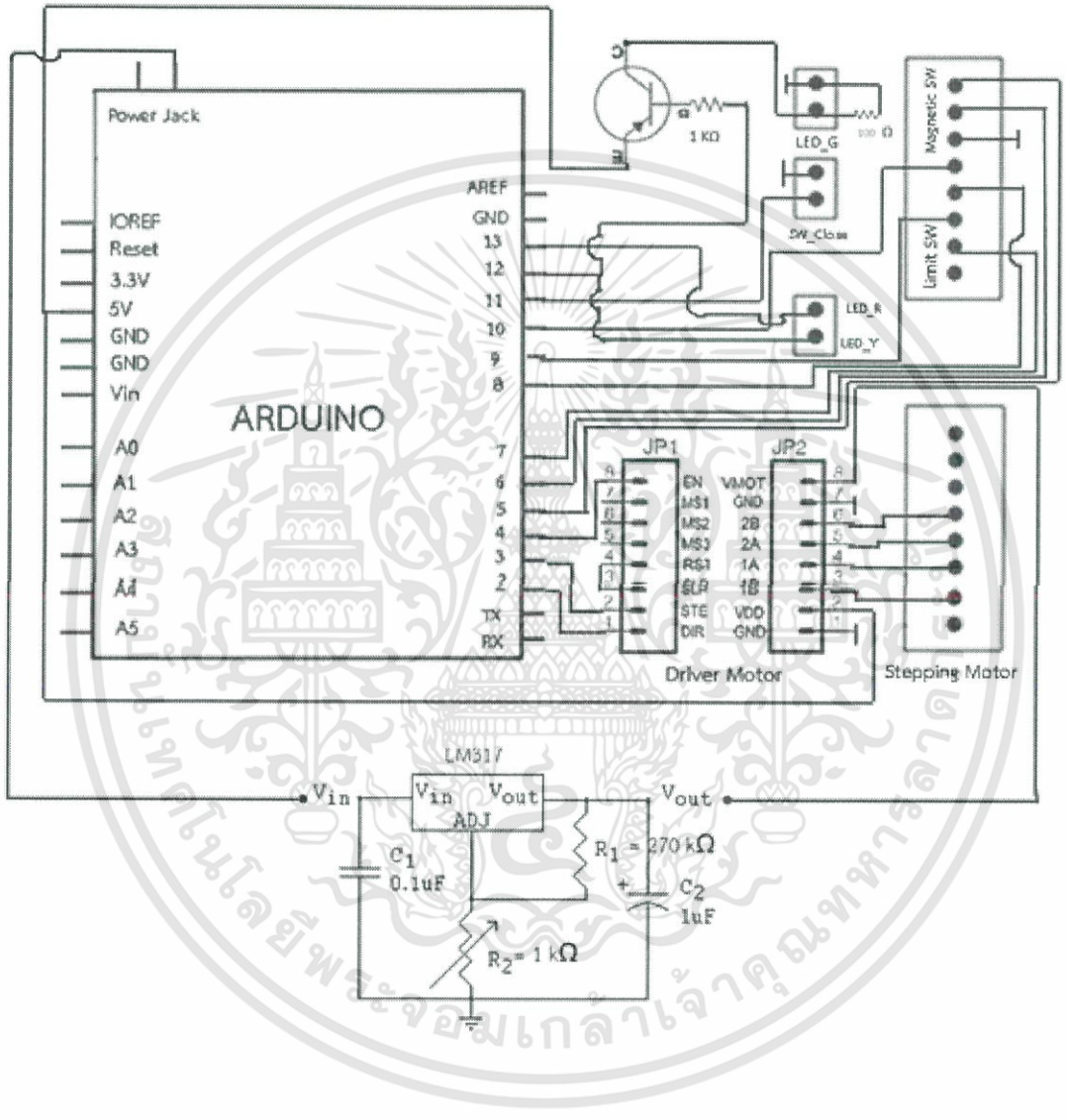


ภาพที่ 3.19 ส่วนประกอบวงจรควบคุมแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ออกแบบวงจรควบคุมแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา**

ในแต่ละพอร์ตของฝั่งดิจิตอลมีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งในส่วนของ Driver Stepper Motor ไฟแสดงสถานะ Magnetic Door Switch และ ปุ่มควบคุมการปิดประตู โดยมีการออกแบบดังภาพที่ 3.20



ภาพที่ 3.20 แสดงลักษณะการออกแบบวงจรควบคุมแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **การคำนวณในส่วนต่างๆของชุดควบคุม**

ในส่วนของการควบคุมจำเป็นต้องมีการคำนวณในส่วนต่างๆ ทั้งในส่วนของการคำนวณการหาค่าความต้านทานเพื่อให้เพียงพอต่อการปรับค่าแรงดัน (Voltage Regulator) และการคำนวณหาค่าความต้านทานที่เหมาะสมในการต่อกับทรานซิสเตอร์

1) การคำนวณการปรับค่าแรงดัน (Voltage Regulator)

จากสมการที่ (2-5) ในบทที่ 2 การหาค่าของตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ เพื่อให้ได้ความต่างศักย์ (V out) ตามที่ต้องการ ซึ่ง V out คือ แรงดันที่สเต็ปมอเตอร์ต้องการ

กำหนดให้ $V_{out} = 5.6 \ Volt$

$R_2 = 1000 \ \Omega$

$I_{ADJ} = 100 \ \mu A$

ดังนั้นแทนค่าลงไปในสมการที่ (2-5)

$$V_{out} = 1.25V \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) + I_{ADJ} R_2 \qquad (2\text{-}5)$$

$$5.6 = 1.25V \left(1 + \frac{1000}{R1}\right) + (100 \times 10^{-6})(1000)$$

$$\frac{5.6 - 0.1}{1.25} = \frac{R_1 + 1000}{R_1}$$

$$4.4(R_1) = R_1 + 1000$$

$$3.4(R_1) = 1000$$

$$R_1 = 294.1 \ \Omega$$

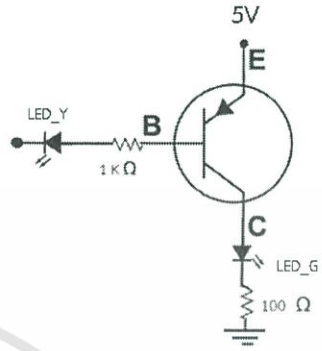
ดังนั้น จากค่าความต้านทานมาตรฐาน จึงควรใช้ R1 ที่ค่า 270 โอห์ม เนื่องจากถ้าค่าความต้านทานมากกว่าที่คำนวณได้อาจทำให้ไม่สามารถส่งแรงดันให้กับสเต็ปมอเตอร์ได้มากเพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การคำนวณหาค่าความต้านทานที่เหมาะสมในการต่อกับทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์ที่เข้ามาใช้ ในลักษณะการทำงานของไฟ LED โดยใช้ทรานซิสเตอร์แบบ PNP โดยกำหนดขาดังภาพที่ 3.21

- ขา B เชื่อมต่อกับ LED_Y (ขาที่ 12 ของพอร์ต Arduino) เป็นไฟสัญญาณประตูเปิด
- ขา C เชื่อมต่อกับ ไฟ LED สีเขียว (ไฟแสดงสถานะประตูด้านชานชาลา)
- ขา E เชื่อมกับ 5 Volt ของบอร์ด Arduino



ภาพที่ 3.21 การต่อขาของทรานซิสเตอร์

โดยที่ขา B จำเป็นต้องมีความต้านทานเข้ามาช่วยทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าที่ขา B เลยหรือกระแสไฟฟ้าติดลบมันก็จะยอมให้กระแสไฟฟ้าที่มากกว่าไหลผ่านจากขา E ไปขา C ขณะนั้นไฟ LED สีเขียวจะสว่าง เป็นการแสดงสถานะประตูด้านชานชาลาว่าพร้อมใช้งาน แต่เมื่อ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยที่ขา B มันจะทำการป้องกันไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจากขา E ไป C ได้ ขณะนั้นไฟ LED สีเขียวจะดับ เป็นการแสดงสถานะประตูด้านชานชาลาว่าประตูกั้นชานชาลากำลังดำเนินการ

จากสมการ (2-6) บทที่ 2 กฎของโอห์ม

กำหนดให้ $V_B = 5\ Volt$

$I_B = 5\ mA$

$V_{BE} = 0.6\ Volt$; แรงดันระหว่างขา B และขา E (ชนิด ซิลิกอน)

แทนค่าลงสมการที่ (2-6)

$$R_B = \frac{(V_B - V_{BE})}{I_B} \qquad (2\text{-}6)$$

$$R_B = \frac{(5 - 0.6)}{5 \times 10^{-3}}$$

$$R_B = 880\ \Omega$$

จากค่ามาตรฐานของความต้านทาน ควรใช้ R_B = 1000 Ω เนื่องจากความต้านทานนี้ต้องการนำมาช่วยลดกระแสไฟฟ้าในขา B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

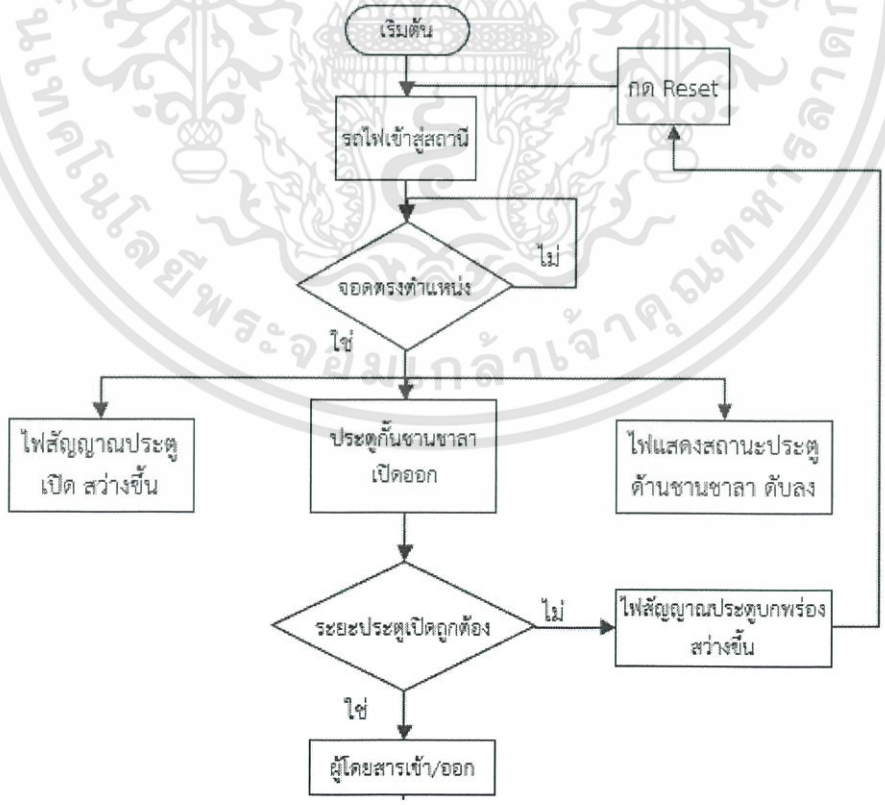
3.3 การเขียนโค้ดควบคุมแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา

การเขียนโค้ดสำหรับการควบคุมแบบจำลอง จำเป็นต้องรู้ในส่วนของการทำงานของแบบจำลองเป็นอย่างแรก จากนั้นคำนวณการหาค่า delayMicroseconds เพื่อใช้ในการเขียนโค้ดควบคุมการทำงานของสเต็ปมอเตอร์และควบคุมส่วนอื่นๆได้อย่างถูกต้อง

- **การทำงานของแบบจำลองระบบประตูกั้นชานชาลา**

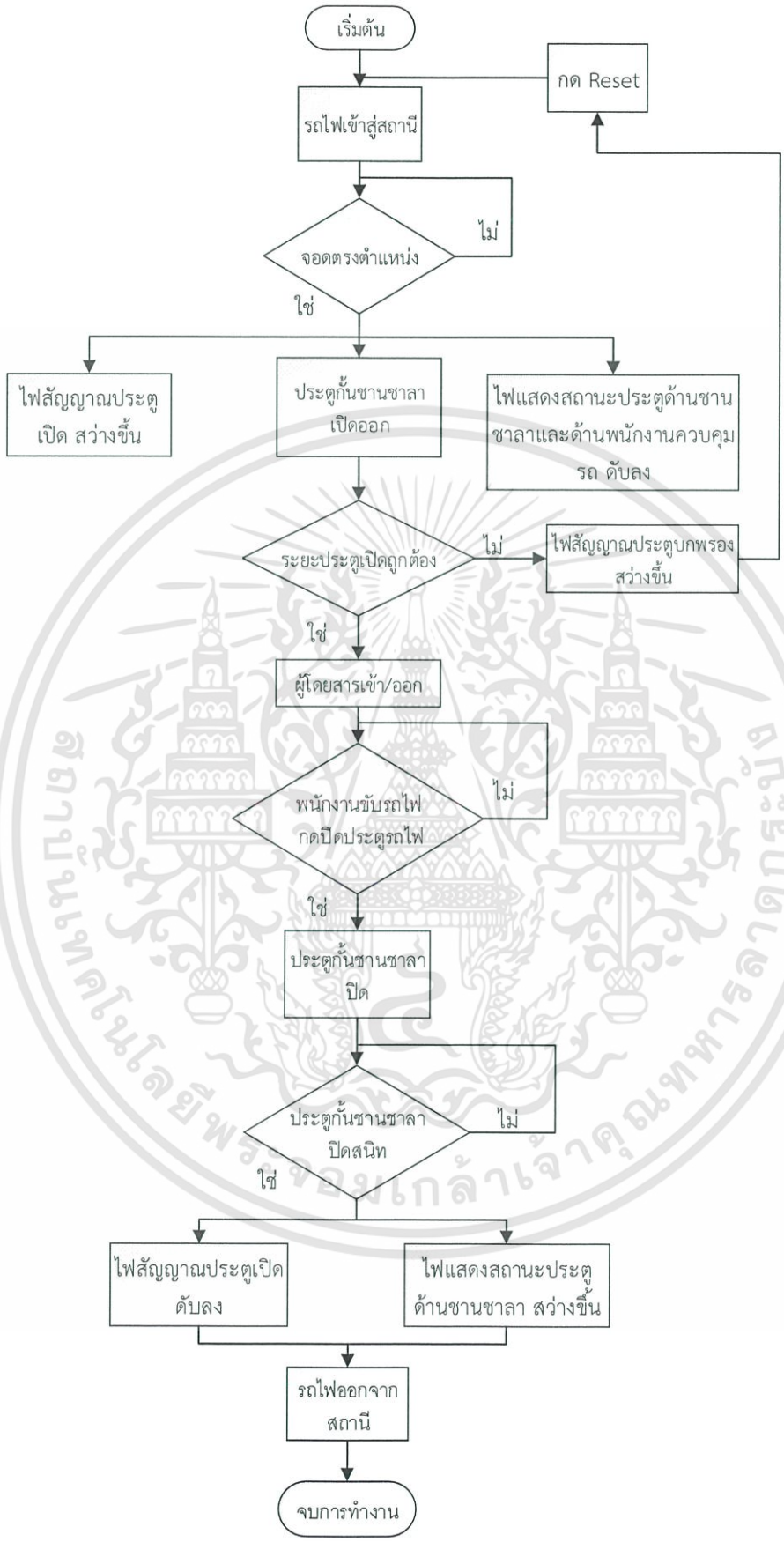
เมื่อรถไฟเข้าสู่ชานชาลาจะมีการตรวจสอบการจอดที่ตรงตำแหน่งที่ถูกต้องหรือไม่ ในกรณีจอดตรงตำแหน่งที่ถูกต้อง ประตูกั้นชานชาลาจะทำการเปิดประตูอัตโนมัติ ขณะประตูกำลังเปิด ไฟสัญญาณเปิดประตู (DOI) จะสว่างขึ้น และ ไฟแสดงสถานะประตูด้านชานชาลาและไฟแสดงสถานะพนักงานควบคุมรถ จะดับลง ในกรณีระบบเกิดขัดข้อง ไฟสัญญาณประตูบกพร่อง (DOS) จะสว่างขึ้น ถ้าเกิดไฟสัญญาณประตูบกพร่องเกิดขึ้นจะไม่สามารถกดปิดประตูได้ ต้องแก้ไขด้วยการกด Reset ที่บอร์ด Arduino เท่านั้น จากนั้นประตูจะทำการปิดอัตโนมัติและเริ่มต้นการทำงานใหม่ ดังในภาพที่ 3.22 ถ้าไม่เกิดกรณีระบบขัดข้องประตูกั้นชานชาลาจะถูกปิดลง เมื่อคนขับรถไฟกดปิดประตูรถไฟและประตูกั้นชานชาลาจะปิดเองโดยอัตโนมัติ

ส่วนในกรณีที่รถไฟจอดไม่ตรงตำแหน่งที่ถูกต้อง ประตูกั้นชานชาลาจะไม่ทำการเปิดประตู โดยระยะความคาดเคลื่อนในการจอดไม่เกิน 8 มิลลิเมตร จากเส้นกึ่งกลางถ้าเกินค่าดังต่อไปนี้ ประตูกั้นชานชาลาจะไม่เปิดอัตโนมัติ โดยที่ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองทั้งหมดเป็นดังภาพที่ 3.23



ภาพที่ 3.22 แผนผังการทำงานของแบบจำลองที่เมื่อเกิดไฟสัญญาณประตูบกพร่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.23 แผนผังการทำงานของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การคำนวณหาค่า delayMicroseconds

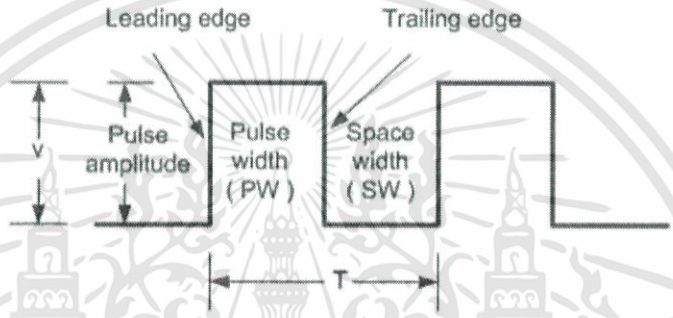
จากคำสั่ง digitalWrite(stpPin, HIGH);

delayMicroseconds(pulse width);

digitalWrite(stpPin, LOW);

delayMicroseconds(space width);

เปรียบเสมือนเป็นการใส่ค่า Pulse width ลงใน delayMicroseconds(pulsating); ดังภาพที่ 3.24



ภาพที่ 3.24 คลื่นพัลส์ในอุดมคติ [21]

กำหนด

ระยะทางในการเคลื่อนที่ทั้งหมด 0.1 เมตร

เวลาในการเคลื่อนที่ 1 วินาที

เส้นผ่านศูนย์กลางพูเล่ย์ 28.65 มิลลิเมตร

- หาความเร็วของประตู $V = \frac{s}{t}$

$$V = \frac{0.1}{1}$$

$$V = 0.1\ m/s$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หาความเร็วเชิงมุม $V = \omega r$

$$\omega = \frac{0.1}{0.0143}$$

$$\omega = 6.981\ rad/s$$

- หาคาบเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ $T = \frac{2\pi}{\omega}$

$$T = \frac{2\pi}{6.981}$$

$$T = 0.900\ \ 1/s$$

จากการคำนวณจำนวนพัลส์ต้องยิงสัญญาณออกทั้งหมดคือ 223 พัลส์ และคาบเวลาที่เคลื่อนที่ต้องเท่ากับคาบเวลาการเคลื่อนที่ของพัลส์ทั้งหมด

- หาคาบเวลาของพัลส์ $T = T_{pulse} \times$ จำนวนพัลส์ทั้งหมด

$$0.900 = T_{pulse} \times 223$$

$$T_{pulse} = 4.036 \times 10^{-3}\ \ s$$

ดังนั้น คาบเวลาของพัลส์ ประมาณ 4036 μS และค่าที่ delayMicroseconds คือ 2018 μS

แต่ในค่าที่ควรใส่ delayMicroseconds ควรบวกเพิ่มระยะเวลาในการรันของโปรแกรมในแต่ละบรรทัด ซึ่งเวลาทั้งหมด 1 วินาที ดังนั้น คาบเวลาของพัลส์ควรมีค่าประมาณ 4484 μS ดังนั้น ค่า delayMicroseconds คือ 2242 μS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **การเขียนโค้ดควบคุมการทำงานของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลาโดยใช้ Arduino**

```
const int stepM=3;   //
const int dirM=2;    //ประกาศขาของ driver motor
const int enM=4;     //
//input
const int sw_1=5;    //ประกาศขาของ Magnetic Switch
const int sw_2=6;    //
const int limit_sw_1 = 9;       //
const int limit_sw_2 = 8;       // ประกาศขาของ Limit Switch
const int limit_sw_3 = 7;       //
const int limit_sw_4 = 10;      //
const int sw_driver = 11;    // ประกาศขาของ Switch ปิดประตู

//OUTPUT
const int LED_Y = 12;     // ประกาศขาของ ไฟสัญญาณเปิดประตู
const int LED_R = 13;     // ประกาศขาของ ไฟสัญญาณประตูบกพร่อง

int count = 0 ;        //ประกาศคารนับ เพื่อหน่วงเวลาในการเปิดประตู
```

ภาพที่ 3.25 แสดงโปรแกรม Arduino ในส่วนเริ่มต้น

จากภาพที่ 3.25 เป็นการประกาศขาของ Driver Motor ส่วนของขา Input และ ขาของ Output โดยเลือกใช้คำสั่ง const int โดยเป็นคำสั่งที่ ค่าที่เก็บจะคงเดิม ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจนจบโปรแกรม

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);   //การประกาศเรียกใช้ Serial Monitor

  pinMode(sw_1,INPUT_PULLUP);              //
  pinMode(sw_2,INPUT_PULLUP);              //
  pinMode(limit_sw_1,INPUT_PULLUP);        //การกำหนดขา input
  pinMode(limit_sw_2,INPUT_PULLUP);        //
  pinMode(limit_sw_3,INPUT_PULLUP);        //pullup กดsw=0
  pinMode(limit_sw_4,INPUT_PULLUP);        //
  pinMode(sw_driver,INPUT_PULLUP);         //

  pinMode(stepM,OUTPUT);                   //
  pinMode(dirM,OUTPUT);                    //
  pinMode(enM,OUTPUT);                     //การกำหนดขา output
  pinMode(LED_Y,OUTPUT);                   //
  pinMode(LED_R,OUTPUT);                   //

  digitalWrite(enM,LOW);       //ประกาศให้ขา = LOW เพื่อให้ทำการล็อคมอเตอร์
  digitalWrite(LED_Y,LOW);        //ตั้งค่าเริ่มต้นให้ไฟ LED ดับ
  digitalWrite(LED_R,LOW);        //
}
```

ภาพที่ 3.26 แสดงโปรแกรมในส่วนการประกาศขา Input/Output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void loop(){

  start_arduino_checking();              //ตรวจสอบสถานะประตูให้อยู่ในสถานะปิดประตู
  Serial.print("Stanby _ OK");                  //แสดงสถานะการเริ่มต้นใช้งานใน Serial Monitor
  while(1){                          //ฟังค์ชันโปรแกรมหลัก
    Serial.println(count);                     //แสดงสถานะการเริ่มนับ Serial Monitor
    if(digitalRead(sw_1) == LOW &&digitalRead(sw_2)== LOW){      //ถ้าMagnetic SW ตรวจจับสนามแม่เหล็กได้
      count++;                                                   //ทำการบวกไป
      program();                                                 //เข้าสู่ฟังค์ชันvoid program
    }
    if(digitalRead(sw_1) == HIGH &&digitalRead(sw_2)== HIGH){     //ถ้าMagnetic SW ไม่พบสนามแม่เหล็ก
      count=0;                                                   //ให้การนับ=0
    }

  }
}
```

ภาพที่ 3.27 แสดงโปรแกรมในส่วนของฟังก์ชันหลัก

จากภาพที่ 3.27 เป็นฟังก์ชันหลักในการทำงาน โดยจะเริ่มเข้าในฟังก์ชัน start_arduino_checking ดังในภาพที่ 3.28 เพื่อเป็นการตรวจสอบก่อนการจำลอง ว่าประตูกั้นชานชาลาปิดอยู่ (เป็นสถานะเริ่มต้นก่อนเริ่มการจำลอง) จากนั้นจะเข้าไปใน loop while (1) โดยถ้าเมื่อมีสนามแม่เหล็ก (จากตัวรถไฟ) ตรงตำแหน่งที่ถูกต้องกับ Magnetic switch ทำให้เป็น Low จากนั้นเข้าสู่ ฟังก์ชัน program ต่อไป

```
void start_arduino_checking(){
  if(digitalRead(limit_sw_1)==HIGH &&digitalRead(limit_sw_2) == HIGH){ //ถ้าLimit sw เป็นHigh(ประตูเปิดอยู่)
    Serial.println("On");                                              //แสดงสถานะ on
    while(1){
      digitalWrite(dirM,LOW);              //ให้มอเตอร์หมุนตามเข็มเพื่อปิดประตู
      for(int i=0;i<1000;i++){             //หมุนมากสุด 1000 step
        digitalWrite(stepM,HIGH);
        delayMicroseconds(2242);       //ความกว้าง pulse ด้าน high
        digitalWrite(stepM,LOW);
        delayMicroseconds(2242);       //ความกว้าง pulse ด้าน low
   if(digitalRead(limit_sw_1)==LOW &&digitalRead(limit_sw_2) == LOW){  //ถ้าLimit swเป็น Low(ประตูปิดอยู่)
     Serial.println("Off");                                            //แสดงสถานะ off
          i=1000;
        }
      }
      break;             //ออกจาก loop while
    }
  }
  digitalWrite(LED_R,HIGH);    //ไฟสีแดงสว่าง
  delay(1000);                 //นาน 1 sec
  digitalWrite(LED_Y,HIGH);    //ไฟสีเหลือง
  delay(1000);                 //นาน 1 sec
  digitalWrite(LED_R,LOW);        //ไฟสีแดงดับลง
  digitalWrite(LED_Y,LOW);        //ไฟสีเหลืองดับลง
}
```

ภาพที่ 3.28 แสดงฟังก์ชัน start_arduino_checking

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 3.28 เป็นฟังก์ชัน start_arduino_checking ทำหน้าที่ในการตรวจสอบก่อนเริ่มการจำลองให้ประตูกั้นชานชาลาให้อยู่ในท่าเริ่มต้นเสมอ โดยตรวจสอบจาก limit switch 2 ตัวกลาง ในกรณีที่ประตูเปิดอยู่ โปรแกรมจะทำการปิดประตูให้ก่อน และในกรณีที่ประตูปิดอยู่จะออกจาก loop while แล้วไฟสีแดงและสีเหลืองจะสว่างขึ้นแล้วดับลงแค่ 1 วินาที เป็นการแสดงสถานะประตูว่าพร้อมใช้งาน

```
void program(){
  if(count >=300){          //หน่วงเวลาในการเปิดประตู
    digitalWrite(LED_Y,HIGH);      //ไฟสัญญาณเปิดประตู สว่าง
    digitalWrite(dirM,HIGH);       //มอเตอร์ทำงาน (หมุนทวนเข็ม)
    for(int i=0;i<223;i++){        //จำนวนstepในการเคลื่อนที่
      digitalWrite(stepM,HIGH);
      delayMicroseconds(2242);
      digitalWrite(stepM,LOW);
      delayMicroseconds(2242);
    }

    while(1){
      if(digitalRead(limit_sw_3)==LOW || digitalRead(limit_sw_4)==LOW){ //ในกรณีที่มอเตอร์ทำงานผิดพลาด
        digitalWrite(LED_R,HIGH);                                       //ไฟสัญญาณประตูบกพร่อง สว่าง
        while(1){};                  //เข้าสู่ใน loop while วนไปเรื่อยจนกด reset ถึงจะออกจาก loop
      }
      if(digitalRead(sw_driver)==LOW && digitalRead(LED_R)==LOW){ //กดรฟปิดประตูและไฟดับลง
        digitalWrite(dirM,LOW);          //ขากลับเปลี่ยนเป็นlow (หมุนตามเข็ม)
        for(int i=0;i<223;i++){
          digitalWrite(stepM,HIGH);
          delayMicroseconds(2242);
          digitalWrite(stepM,LOW);
          delayMicroseconds(2242);
        }
```

ภาพที่ 3.29 แสดงฟังก์ชัน program

จากภาพที่ 3.29 เป็นฟังก์ชัน program ทำหน้าที่หลักในจำลองการทำงานของประตูกั้นชานชาลา จากภาพที่ 3.27 เมื่อมีสนามแม่เหล็กตรงตำแหน่งกับ Magnetic switch แล้วจึงทำการเข้าสู่ฟังก์ชัน program โดยจำนวน step ในการเคลื่อนที่หาจากการคำนวณ step ของสเต็ปมอเตอร์จากนั้นเมื่อประตูกั้นชานชาลา เปิด

กรณีที่มอเตอร์เกิดความผิดพลาดจนทำให้ประตูเปิดกว้างมากเกิน จนไปโดน limit switch ด้านข้าง ทำให้ไฟสัญญาณประตูบกพร่อง สว่างขึ้น จากนั้นจะไม่สามารถกดปุ่มปิดประตูรถไฟได้ วิธีแก้ไขคือ กดปุ่ม reset ที่บอร์ด จากนั้นประตูจะปิดลงและเริ่มต้นการทำงานใหม่อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        while(1){
          if(digitalRead(limit_sw_1)==LOW && digitalRead(limit_sw_2)==LOW){ //ตรวจสอบประตูปิดสนิท
            digitalWrite(LED_Y,LOW);                                        //ไฟสัญญาณเปิดประตู ดับ
          }

          if(digitalRead(sw_1) == HIGH && digitalRead(sw_2)== HIGH){    //เมื่อไม่มีสนามแม่เหล็ก(รถไฟออก)
            count = 0 ;                                                 //ทำการ set ค่าเริ่มต้น = 0
            break;
          }
        }
        break;
      }
    }

  }
}
```

ภาพที่ 3.30 แสดงต่อจากภาพ 3.29 ในฟังก์ชัน program

จากภาพที่ 3.29 เมื่อทำการปิดประตูกั้นชานชาลาลงแล้ว ในภาพ 3.30 แสดงถึงการตรวจสอบโดย limit switch ด้านใน เมื่อประตูปิดสนิทลง จำทำให้ไปโดนกับ limit switch และไฟสัญญาณเปิดประตู ดับลง จากนั้นจะเริ่มต้นทำงานใหม่ โดยตั้งค่าการนับเท่ากับศูนย์ เพื่อกลับไปวน loop เช่นเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

จากการออกแบบโครงสร้างและวงจรควบคุมการทำงานของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลาในบทที่ 3 ทำให้ได้โครงสร้างและชุดควบคุมของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา ดังภาพที่ 4.1 ในส่วนของการจำลองการทำงานของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลาจะแบ่งเป็น 2 การจำลอง คือ จำลองการทำงานของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลาในกรณีที่รถไฟเข้าสู่ชานชาลาและ “จอดตรงตำแหน่ง” และในกรณีที่รถไฟเข้าสู่ชานชาลาและ “จอดไม่ตรงตำแหน่ง” โดยในการเริ่มต้นการทำงานของแบบจำลองทุกครั้งระบบจะมีการตรวจสอบให้แบบจำลองประตูกั้นชานชาลาปิดก่อนเริ่มการจำลองการทำงานเสมอ ซึ่งผลการดำเนินงานวิจัยสามารถหัวข้อใหญ่ๆได้ดังนี้

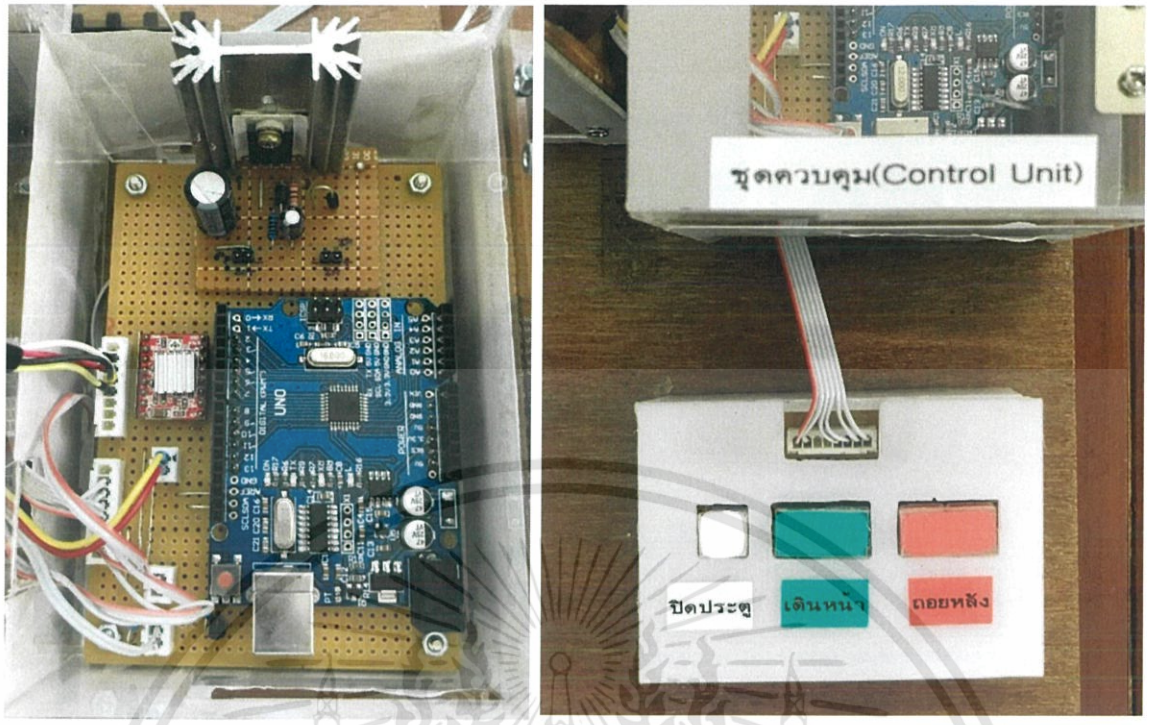
1. ผลการออกแบบโครงสร้างและชุดควบคุมของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา
2. ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลาในกรณีที่รถไฟเข้าสู่ชานชาลาและจอดตรงตำแหน่งที่ถูกต้อง
3. ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลาในกรณีที่รถไฟเข้าสู่ชานชาลาและจอดไม่ตรงตำแหน่งที่ถูกต้อง

4.1 ผลการออกแบบโครงสร้างและชุดควบคุมของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา

จากการออกแบบโครงสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม AutoCAD และการออกแบบชุดวงจรควบคุม จากนั้นทำการสร้างแบบจำลองขึ้นมาตามขนาดในแต่ละส่วนที่ระบุไว้ใน ภาคผนวก ก. จากภาพที่ 4.1 แสดงภาพแบบจำลองประตูกั้นชานชาลาแบบเต็มความสูงและภาพที่ 4.2 แสดงวงจรควบคุมในกล่องควบคุมและปุ่มควบคุมการทำงาน

ภาพที่ 4.1 โครงสร้างแบบจำลองประตูกั้นชานชาลาแบบเต็มความสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 (ก) ชุดควบคุมการทำงาน (ข) ปุ่มควบคุมการทำงาน

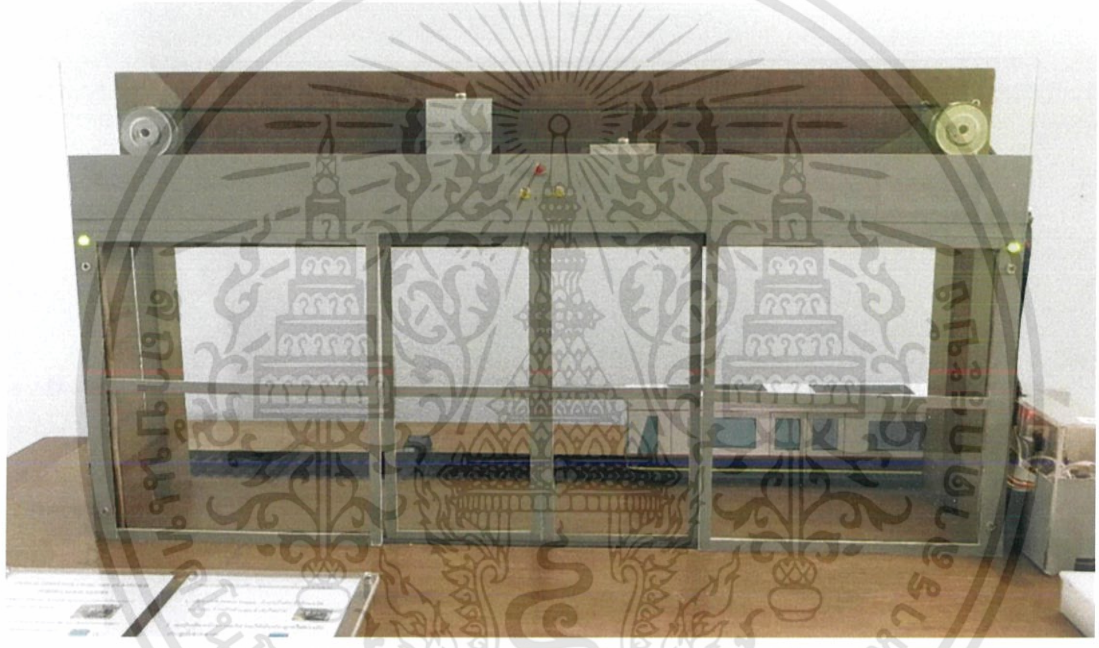
จากภาพที่ 4.2 (ข) ปุ่มควบคุมการทำงานมีความสำคัญในการควบคุมการทำงานของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลาดังนี้

- ปุ่มปิดประตู : เปรียบเสมือนเป็นปุ่มปิดประตูบนรถไฟสำหรับพนักงานควบคุมรถ เมื่อผู้โดยสารเข้าสู่รถไฟเรียบร้อย คนขับรถไฟจะกดปุ่มเพื่อปิดประตูรถไฟ และขณะเดียวกันประตูกั้นชานชาลาจะปิดพร้อมประตูรถไฟ ซึ่งปุ่มปิดรถไฟจะเชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino เพียงปุ่มเดียว
- ปุ่มเดินหน้า : สำหรับการควบคุมการเดินหน้ารถไฟในการเข้าสู่สถานี ซึ่งปุ่มเดินหน้าเชื่อมต่อกับตัวรถไฟโดยตรง
- ปุ่มถอยหลัง : สำหรับการควบคุมการถอยหลังของรถไฟ ซึ่งปุ่มเดินหน้าเชื่อมต่อกับตัวรถไฟโดยตรง

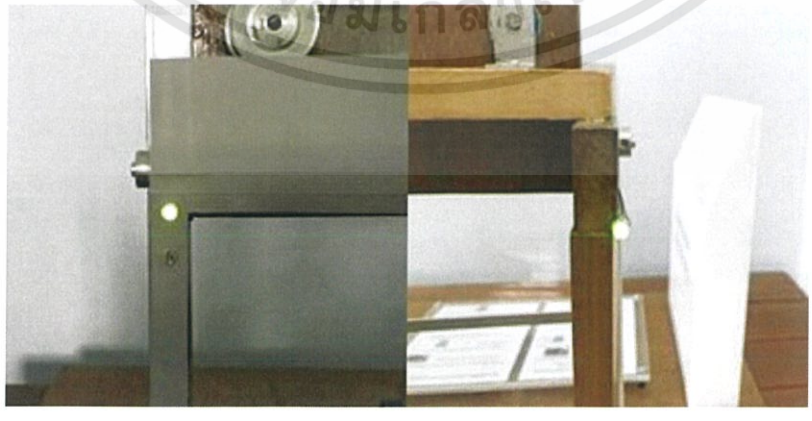
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองในกรณีที่รถไฟจอดตรงตำแหน่งที่ถูกต้อง

การจำลองการทำงานเปิด-ปิดประตูกั้นชานชาลาของแบบจำลองมีเงื่อนไขในการทำงานมี 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่ เงื่อนไขของระยะการเปิดประตู และเงื่อนไขการตรวจสอบการปิดประตูสนิท โดยในการเริ่มต้นการทำงานของแบบจำลองทุกครั้ง ระบบจะมีการตรวจสอบให้แบบจำลองประตูกั้นชานชาลาปิดก่อนเริ่มการจำลองในการทำงานเสมอ ดังภาพที่ 4.3 (ก) และในส่วนของการเริ่มต้นการทำงานของไฟแสดงสถานะจะเป็นดังนี้ ไฟแสดงสถานะประตูด้านชานชาลาและด้านพนักงานควบคุมรถ (ไฟสีเขียว) สว่างขึ้น ดังภาพที่ 4.3 (ข), ไฟสัญญาณเปิดประตู (ไฟสีเหลือง) ดับลง และ ไฟสัญญาณประตูบกพร่อง (ไฟสีแดง) ดับลง ดังภาพที่ 4.3 (ค)

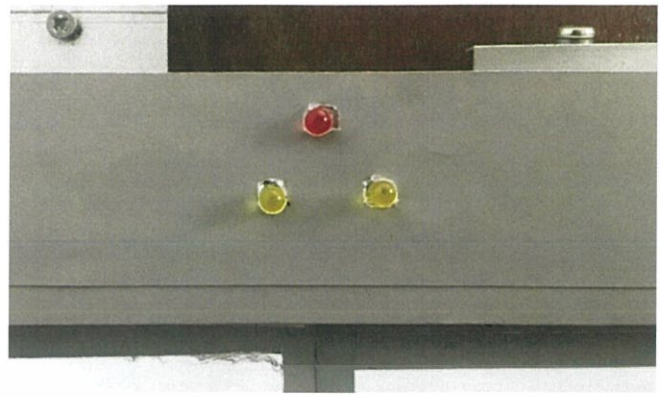


ภาพที่ 4.3 (ก) แสดงการเริ่มต้นการทำงานของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา



ภาพที่ 4.3 (ข) แสดงไฟสถานะประตูด้านชานชาลาและด้านพนักงานควบคุมรถ (ไฟสีเขียว) สว่างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 (ค) แสดงไฟสัญญาณเปิดประตู (ไฟสีเหลือง) และไฟสัญญาณประตูบกพร่อง (ไฟสีแดง) ดับลง

เมื่อรถไฟเข้าสู่สถานีและจอดตรงตำแหน่งโดยมีความคาดเคลื่อนได้ประมาณ 8 มิลลิเมตรจากกึ่งกลางของเส้นประตูกั้นชานชาลา ดังภาพที่ 4.4 โดยระบบจะทำการหน่วงเวลาในการเปิดประตู 0.3 วินาที เพื่อตรวจสอบว่ารถไฟจอดเรียบร้อยแล้ว

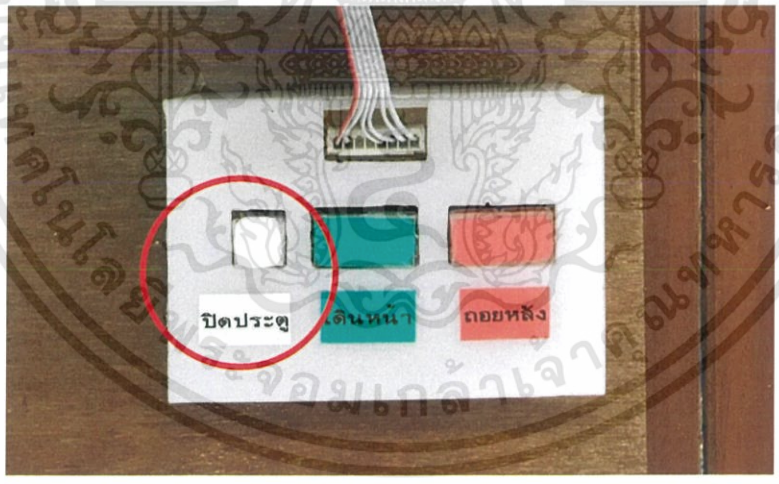
ภาพที่ 4.4 จำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟในกรณี จอดตรงตำแหน่ง

จากนั้น ชุดขับเคลื่อนประตูกั้นชานชาลาทำงานทำให้ประตูกั้นชานชาลาเปิด ไฟแสดงสถานะประตูด้านชานชาลาและด้านพนักงานควบคุมรถ ดับลง และไฟสัญญาณเปิดประตู สว่างขึ้น ดังภาพที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.5 แสดงการเปิดของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา

ในส่วนของการปิดประตูกั้นชานชาลา จะเปรียบเสมือนผู้ศึกษาเป็นพนักงานควบคุมรถ กดปุ่มปิดประตูรถไฟ ดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 ปุ่มปิดประตูรถไฟ

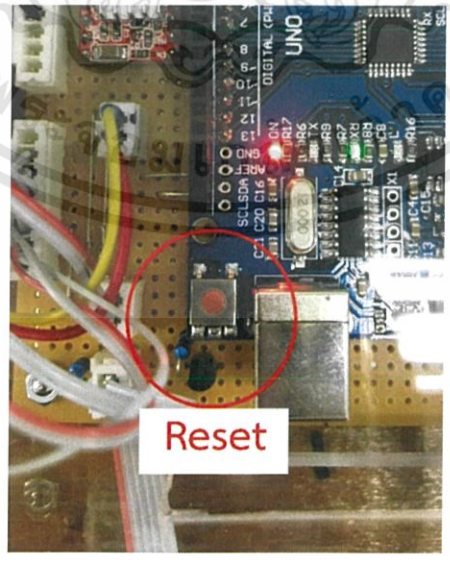
จากนั้นชุดขับเคลื่อนประตูกั้นชานชาลาทำงาน เพื่อปิดประตูกั้นชานชาลา ในเงื่อนไขการตรวจสอบการปิดประตูสนิท ถ้าประตูกั้นชานชาลาปิดประตูสนิทจะทำให้ระบบกลับไปสู่ท่าเริ่มต้นดังภาพที่ 4.3 (ก) โดยไฟแสดงสถานะประตูด้านชานชาลาและด้านพนักงานควบคุมรถ สว่างขึ้น, ไฟสัญญาณเปิดประตู และไฟสัญญาณประตูบกพร่อง ดับลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขของระยะการเปิดประตู ในกรณีชุดขับเคลื่อนประตูกั้นชานชาลามีการทำงานที่ผิดปกติทำให้เปิดประตูกว้างมากกว่า 14 เซนติเมตร จากจุดเริ่มต้นการเปิดประตู (ระยะการเปิดประตูปกติอยู่ที่บานละ 10 เซนติเมตร) จะทำให้ไฟสัญญาณประตูบกพร่อง สว่างขึ้น ดังภาพที่ 4.6

ภาพที่ 4.7 ไฟสัญญาณประตูบกพร่อง สว่างขึ้น

ถ้าไฟสัญญาณประตูบกพร่อง สว่างขึ้น ดังภาพที่ 4.6 จะไม่สามารถกดปุ่มปิดประตูรถไฟแล้วประตูกั้นชานชาลาจะปิดลงได้ ต้องแก้ไขด้วยการกดปุ่ม Reset ที่บอร์ด Arduino ดังภาพที่ 4.7 จากนั้นระบบจะทำการปิดประตูอัตโนมัติและเริ่มต้นการทำงานใหม่

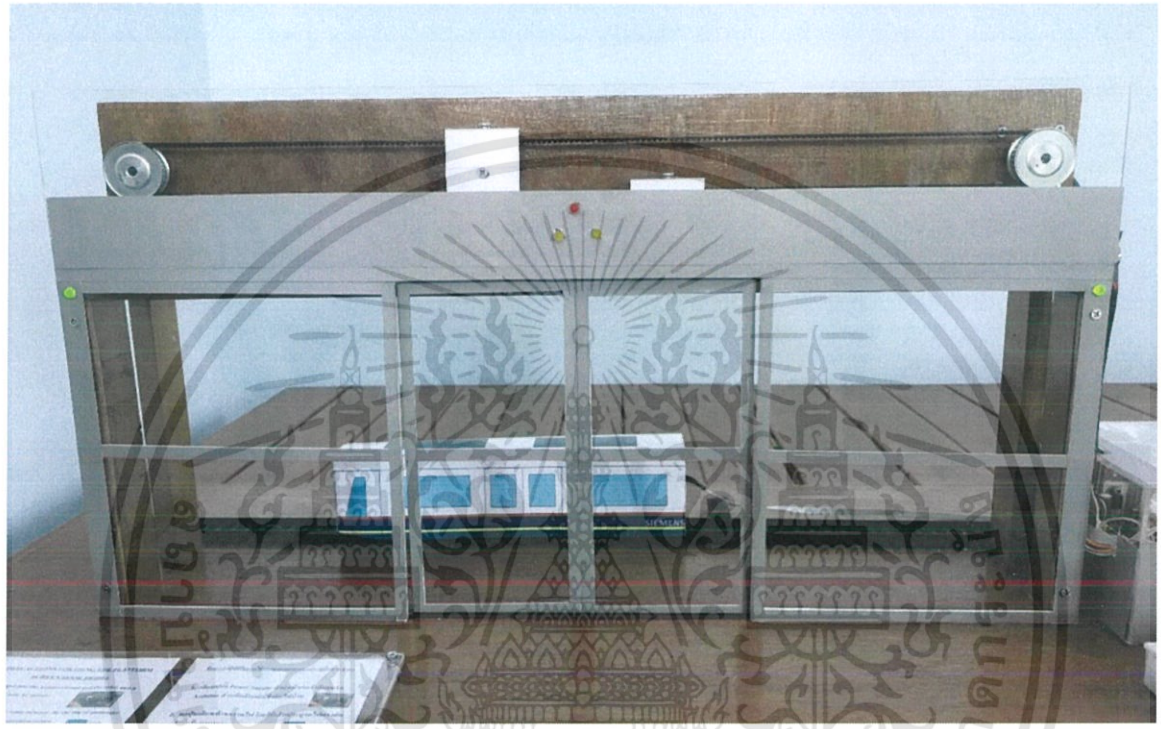


ภาพที่ 4.8 ปุ่ม Reset ในบอร์ด Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลองในกรณีที่รถไฟจอดตรงตำแหน่งที่ไม่ถูกต้อง

การจำลองการทำงานการเปิด-ปิดประตูกั้นชานชาลาของแบบจำลอง ในกรณีที่รถไฟเข้าสู่ชานชาลาแต่จอดไม่ตรงตำแหน่งที่กำหนดไว้ ทำให้แบบจำลองประตูกั้นชานชาลาจะไม่ตอบสนองในการทำงาน ดังภาพที่ 4.8 ระบบจะเปรียบเสมือนไม่มีรถไฟเข้าสู่สถานี ในกรณีที่รถไฟจอดไม่ตรงตำแหน่ง ประตูกั้นชานชาลาจะอยู่ในท่าเริ่มต้น



ภาพที่ 4.9 แสดงการจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟในกรณี จอดไม่ตรงตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

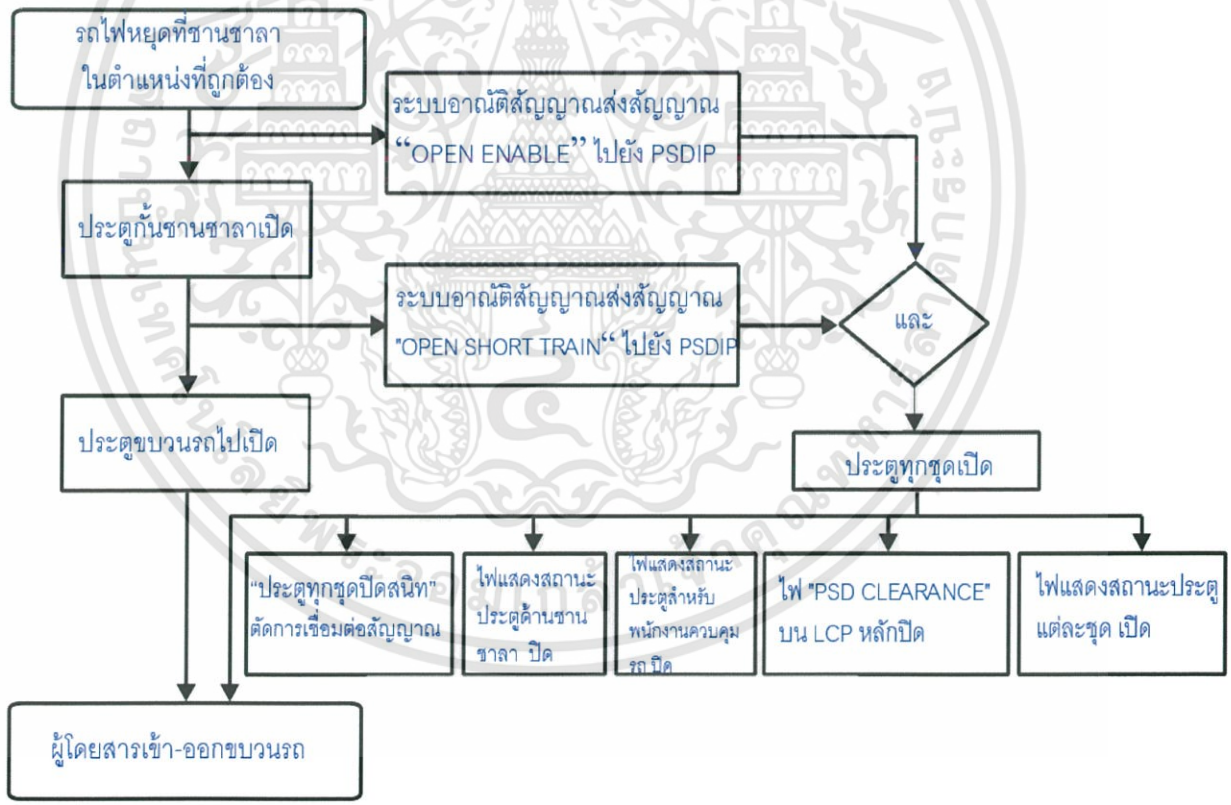
สรุปผลการดำเนินการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยแบบจำลองระบบประตูกั้นชานชาลาแบบเต็มบานในรถไฟฟ้าใต้ดิน โดยสามารถนำมาสรุปผลการดำเนินงาน สรุปปัญหาและข้อเสนอแนะได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

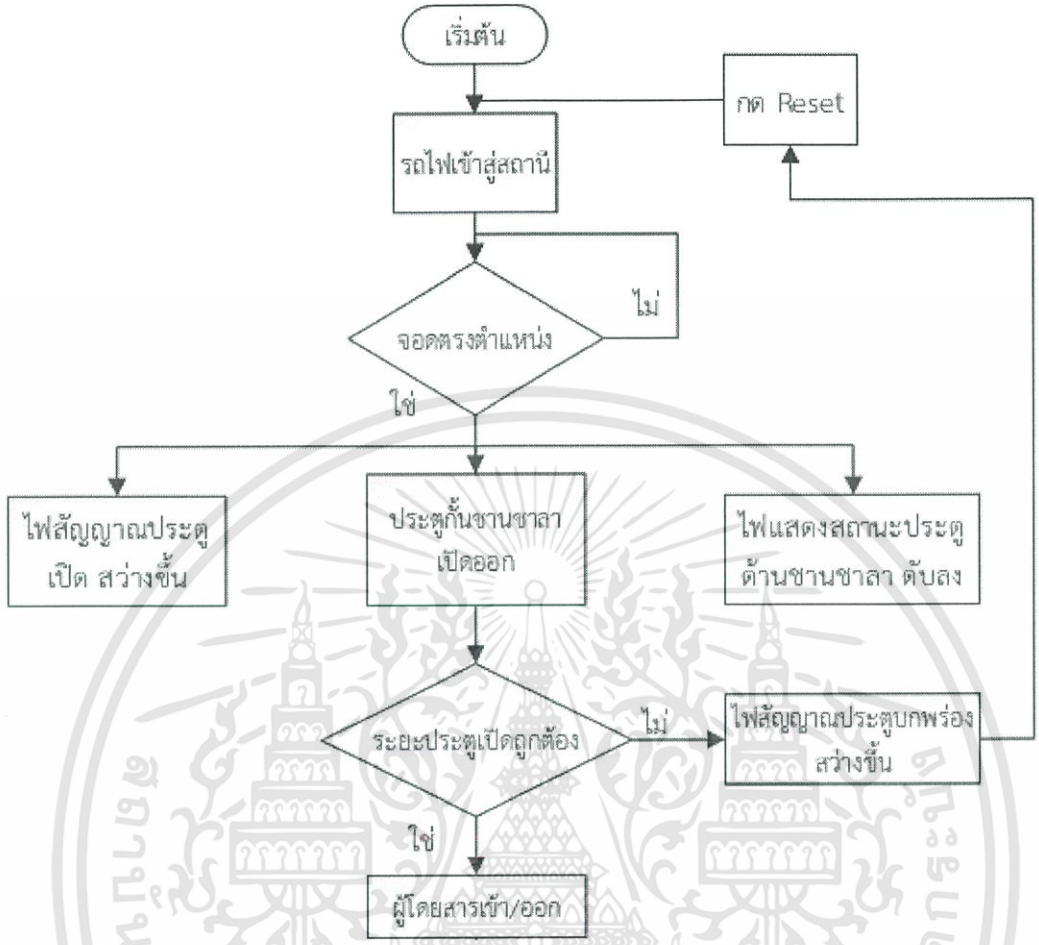
ในการจัดทำแบบจำลองระบบประตูกั้นชานชาลา เป็นเพียงการนำระบบการทำงานบางส่วนของระบบประตูกั้นชานชาลาต้นแบบ โดยหลักการทำงานของระบบจริงเป็นดังภาพที่ 5.1 ขั้นตอนเปิดประตูกั้นชานชาลาของระบบต้นแบบ

5.1.1 เปรียบเทียบขั้นตอนเปิดประตูกั้นชานชาลาของระบบต้นแบบและของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา



ภาพที่ 5.1 ขั้นตอนเปิดประตูกั้นชานชาลาของระบบต้นแบบ [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

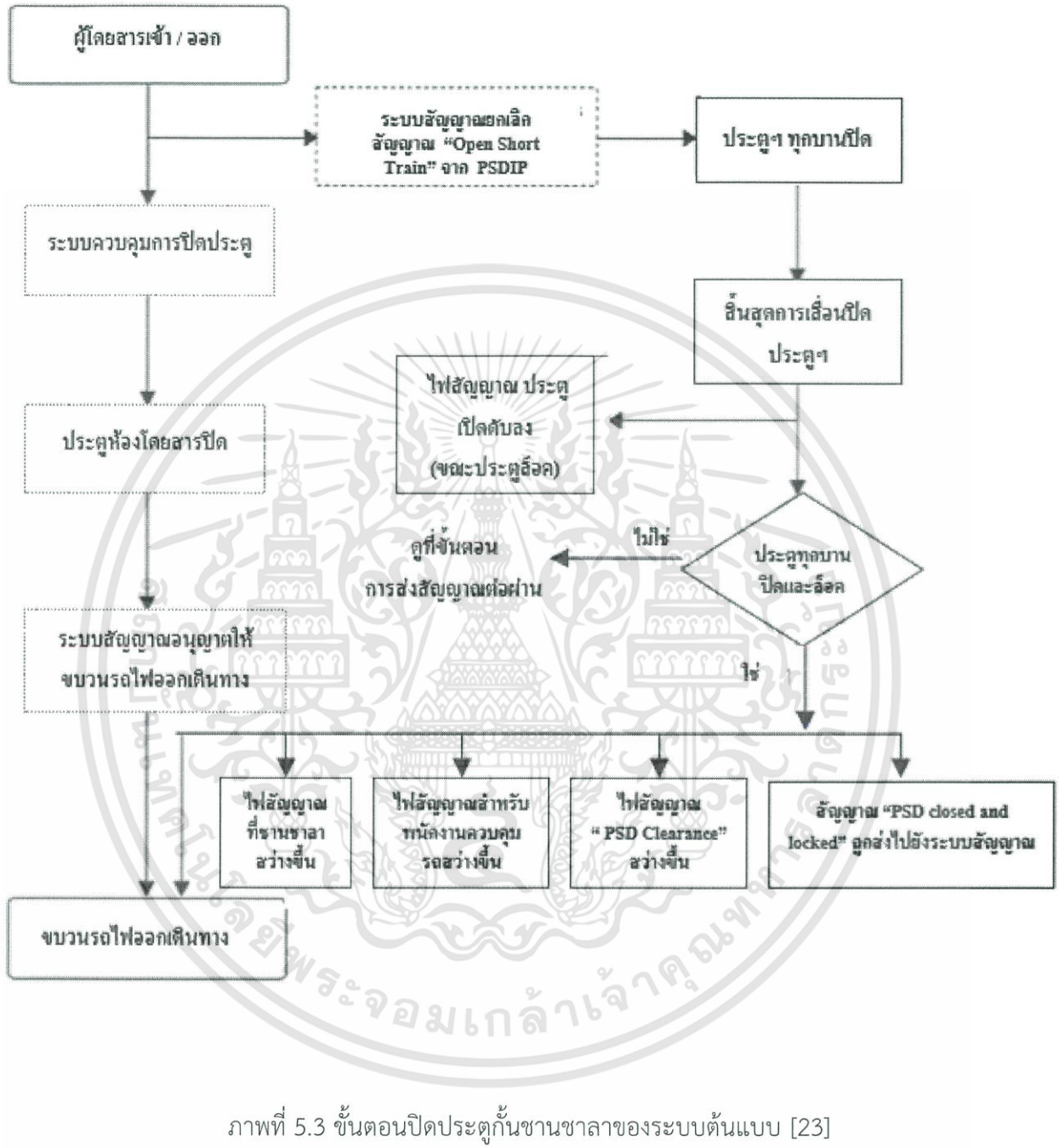


ภาพที่ 5.2 ขั้นตอนเปิดประตูกั้นชานชาลาของระบบแบบจำลอง

จากภาพที่ 5.1 และภาพที่ 5.2 แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการทำงานที่แตกต่างกันในส่วนของการส่งสัญญาณ จาก Antenna เข้าสู่ตัวรับสัญญาณ (Beacon or Balise) และทำการส่งสัญญาณไปยังระบบ Signalling จากนั้นระบบ Signalling ก็จะส่งสัญญาณ 2 สัญญาณออกมาให้กับระบบประตูกั้นชานชาลา คือ Open Enable และ Open Short Train โดยในส่วนของแบบจำลองจะเปรียบเสมือนจำลองการส่งสัญญาณโดยผ่าน Magnetic Door Switch และส่วนของไฟ PSD Clearance บนแผงควบคุมระบบประตูกั้นชานชาลาที่อยู่ข้างประตู (Local Control Panel) ซึ่งในระบบแบบจำลองไม่ครอบคลุมการทำงานในส่วนนี้เนื่องจากส่วนนี้เกี่ยวข้องกับระบบ Signalling

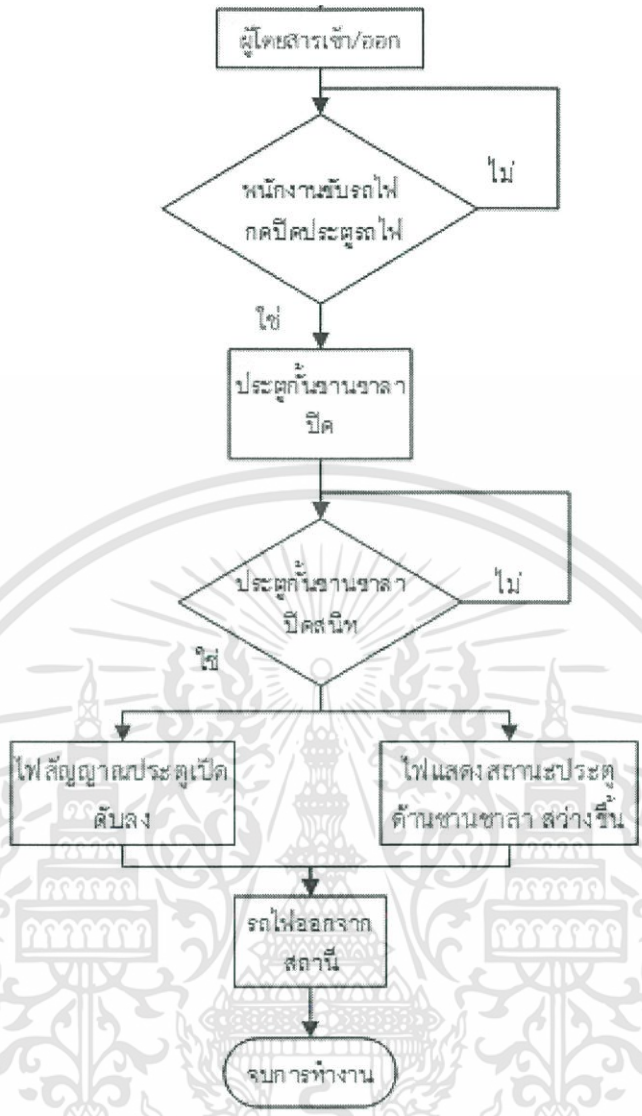
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 เปรียบเทียบขั้นตอนปิดประตูกั้นชานชาลาของระบบจริงและของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา



ภาพที่ 5.3 ขั้นตอนปิดประตูกั้นชานชาลาของระบบต้นแบบ [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.4 ขั้นตอนปิดประตูกั้นชานชาลาของระบบแบบจำลอง

ในส่วนของขั้นตอนปิดประตูกั้นชานชาลาของระบบจริงกับระบบแบบจำลอง จากภาพที่ 5.3 และภาพที่ 5.4 แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการทำงานในส่วนของการยกเลิกส่งสัญญาณ Open Short Train โดยพนักงานควบคุมรถจะเป็นคนกดปุ่มปิดประตูเพื่อเป็นการยกเลิกส่งสัญญาณ ทำให้ประตูกั้นชานชาลาปิดลง ซึ่งในแบบจำลองได้ทำปุ่มสำหรับปิดประตูรถไฟเพื่อเปรียบเสมือนเป็นพนักงานควบคุมรถไฟที่กดปิดประตูรถไฟเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแตกต่างของอุปกรณ์บางส่วนของระบบการทำงานจริงกับระบบแบบจำลอง

ตารางที่ 5.1 ความแตกต่างของอุปกรณ์บางส่วนของระบบการทำงานจริงกับระบบแบบจำลอง

ระบบของจริง	ระบบแบบจำลอง	สาเหตุ
Motor Dc แบบแม่เหล็กถาวร	Stepper Motor	สามารถควบคุมการทำงานได้ง่าย
Screw Type	Belt Type	มีขนาดเหมาะสมกับแบบจำลองและราคาประหยัด
Balise or electronic beacon	Magnetic Door Switch	มีขนาดเหมาะสมกับแบบจำลอง หาได้ง่าย ราคาประหยัด
Antenna	แม่เหล็กก้อน	ขนาดเล็กติดกับตัวรถไฟได้ง่าย
บานประตูและแผงกั้นเป็นกระจกทนแรงอัด	อะคริลิกใส	มีน้ำหนักเบา หาได้ง่าย
ธรณีเป็นแผ่นอะลูมิเนียม	พลาสติกรางนำร่อง	มีขนาดเหมาะสม หาได้ง่ายและราคาประหยัด

ความแตกต่างของอุปกรณ์เป็นแค่บางส่วนที่ยกตัวอย่างมา ในระบบจริงมีอุปกรณ์ในการทำงานที่เยอะมากกว่านี้ ตารางที่ 5.1 เป็นเพียงแค่บางอุปกรณ์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบเท่านั้น ในระบบการทำงานที่มีขนาดงานที่ใหญ่ขึ้น จำเป็นต้องเลือกใช้อุปกรณ์ที่ขนาดและคุณสมบัติที่เหมาะกับการทำงานนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของระบบแบบจำลองประตูกั้นชานชาลาแบบเต็มบานมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ศึกษาแบบจำลอง เข้าใจขั้นตอนการทำงานของระบบประตูกั้นชานชาลามากขึ้น โดยมีขอบเขตการศึกษา ในการจำลองการทำงานกรณีที่ รถไฟจอดตรงตำแหน่งที่ถูกต้อง ประตูกั้นชานชาลาจะทำการเปิดประตูอัตโนมัติ ขณะประตูกำลังเปิด ไฟสัญญาณเปิดประตู (DOI) จะสว่างขึ้น และ ไฟแสดงสถานะประตูด้านชานชาลาและไฟแสดงสถานะพนักงานควบคุมรถ จะดับลง ในกรณีระบบเกิดขัดข้อง ไฟสัญญาณประตูบกพร่อง (DOS) จะสว่างขึ้น ถ้าเกิดไฟสัญญาณประตูบกพร่องเกิดขึ้น จะไม่สามารถกดปิดประตูได้ ต้องแก้ไขด้วยการกด Reset ที่บอร์ด Arduino เท่านั้นจากนั้นประตูจะทำการปิดอัตโนมัติและเริ่มต้นการทำงานใหม่ ถ้าไม่เกิดกรณีระบบขัดข้องประตูกั้นชานชาลาจะถูกปิดลง เมื่อคนขับรถไฟกดปิดประตูรถไฟและประตูกั้นชานชาลาจะปิดเองโดยอัตโนมัติพร้อมๆกันกับประตูรถไฟ ส่วนในกรณีที่ รถไฟจอดไม่ตรงตำแหน่งที่ถูกต้อง ประตูกั้นชานชาลาจะไม่ทำการเปิดประตู โดยระยะความคาดเคลื่อนในการจอดไม่เกิน 8 มิลลิเมตร จากเส้นกึ่งกลางถ้าเกินค่าดังต่อไปนี้ ประตูกั้นชานชาลาจะไม่เปิดอัตโนมัติ

โปรแกรมการควบคุมการทำงาน ใช้บอร์ด Arduino เป็นตัวควบคุมสั่งการการเคลื่อนที่ของ Stepper motor โดยมี Driver Motor เข้ามาช่วย และควบคุมส่วนต่างๆในการรับ Input และ Output ออกไปในรูปแบบต่างๆ

- ส่วนแรกของโปรแกรมจะเป็นการตรวจสอบท่าของประตูก่อนเริ่มทำงาน โดยจะใช้Limit Switch ด้านใน ตรวจสอบว่าประตูปิดอยู่ (ถูกกด Low) หรือเปิดอยู่ (ไม่ถูกกด High) จากนั้นจะทำให้อยู่ในท่าเริ่มต้นก่อน นั้นคือท่าปิดประตู จากนั้น ไฟสัญญาณประตูเปิดและไฟสัญญาณประตูบกพร่องจะกระพริบขึ้นและดับลง เป็นการแสดงความพร้อมของการเริ่มต้นการทำงาน
- ส่วนที่สอง เป็นส่วนของการตรวจจับตำแหน่งที่ถูกต้องจะใช้ Magnetic Door Switch ติดไว้ข้างรางรถไฟจำลองและติดแม่เหล็กก้อนที่บนตัวรถทั้งหัวและท้ายรถไฟ จากนั้นถ้า Magnetic Door Switch สามารถตรวจจับสนามแม่เหล็กของทั้ง 2 ตำแหน่งได้ Switch จะส่งสัญญาณเป็น low (0) ที่เชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino จากนั้นจะทำการรันตามขั้นตอนดังใน code ที่เขียนในโปรแกรม แล้วประตูกั้นชานชาลาจะปิดลงอัตโนมัติ เมื่อพนักงานควบคุมรถทำการกดปิดประตูรถไฟ โดยการกดที่ ปุ่มปิดประตู

ปุ่มสำหรับกดทั้ง 3 ปุ่มในชุดแบบจำลอง ได้แก่ ปุ่มกดสำหรับปิดประตูรถไฟ, ปุ่มเดินหน้าของรถไฟ และ ปุ่มถอยหลังของรถไฟ โดย ปุ่มกดสำหรับปิดประตูรถไฟจะเชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino โดยจำลองปุ่มนี้เป็นปุ่มกดสำหรับคนขับรถไฟที่ต้องกดปิดประตูรถไฟ โดยหลังจากที่กดปุ่มปิดประ ตูรถไฟแล้วขณะเดียวกันประตูกั้นชานชาลาก็จะปิดลง ในส่วนของปุ่มเดินหน้าและถอยหลังของรถไฟ จะแยกจากการควบคุมของบอร์ด Arduino จะควบคุมรถไฟโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

1. จำนวน Port ฝั่ง Digital ขาไป 1 ซึ่งไฟแสดงสถานะประตูด้านชานชาลาไม่มี Port ในการเชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino

แนวทางการแก้ไข

นำวงจรทรานซิสเตอร์ BF423 แบบ PNP เข้ามาเชื่อมต่อกับขาของไฟสัญญาณเปิดประตู เนื่องจากการทำงานของไฟสัญญาณเปิดประตูมีการทำงานที่ตรงกันข้ามกับไฟแสดงสถานะประตูด้านชานชาลา

2. โครงสร้างการเจาะรูเพื่อยึดเพลากับพลูเล่ย์ ด้านหมุนตามสเต็ปมอเตอร์ เมื่อมีการยึดสายพานที่ตึงทำให้รูมีขนาดใหญ่ขึ้นและทำให้พลูเล่ย์เอียง

แนวทางการแก้ไข

นำอะลูมิเนียมฉากขนาดเล็กมาช่วยในการยึดเพลากับไม้ที่รองมอเตอร์เพื่อไม่ให้พลูเล่ย์เอียงตามสายพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ในการกดปุ่มเคลื่อนที่ของรถไฟเพื่อให้หยุดตรงกับประตูกั้นชานชาลา ต้องใช้จังหวะในการกดของผู้ทดลองเอง เนื่องจากข้อจำกัดในการควบคุมและระยะเวลาในการทำแบบจำลอง ทำให้ไม่สามารถออกแบบให้รถไฟจอดตรงประตูกั้นชานชาลาได้ทันทีที่กด ดังนั้นจึงควรแก้ไขในเรื่องการควบคุมการเคลื่อนที่ของตัวรถไฟ เพื่อให้ง่ายสำหรับผู้ทดลอง

2. ระบบประตูกั้นชานชาลามีระบบที่เกี่ยวข้อง เช่น ระบบ Signalling เป็นระบบในการรับส่งสัญญาณของประตูกั้นชานชาลา เนื่องจากระยะเวลาและการทำงานร่วมกันข้ามแผนกไม่สามารถทำได้โดยง่าย ดังนั้น หากทำแบบจำลองเชื่อมต่อกับระบบ Signalling ได้ก็จะทำให้การจำลองการทำงานสมจริงมากยิ่งขึ้น

3. ระบบประตูกั้นชานชาลามีความสามารถในเรื่องของความปลอดภัย ในการตรวจจับสิ่งกีดขวางของประตูกั้นชานชาลา เนื่องจากระยะเวลาที่มีจำกัดทำให้ไม่สามารถครอบคลุมการทำงานในส่วนนั้นด้วยได้ ดังนั้นหากมีการตรวจจับสิ่งกีดขวางประตูกั้นชานชาลาเข้ามาร่วมกับการทำงานของเดิมก็จะทำให้การจำลองการทำงานสมจริงมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] **"เด็กชายวัย 11 ปีประท้วงการปิดโรงเรียน ด้วยการกระโดดลงรางรถไฟฆ่าตัวตาย"** [ออนไลน์] : https://www.posttoday.com/world/205076.เข้าถึงข้อมูล : มิถุนายน, 2561.

[2] **"ระทึก! หญิงพลัดตกรางแอร์พอร์ตลิงก์บ้านทับช้าง หยุดเดินรถชั่วคราว"** [ออนไลน์] : https://www.thairath.co.th/content/976978. 2560. เข้าถึงข้อมูล : มิถุนายน, 2561.

[3] **"กฎกระทรวงกำหนดลักษณะ หรือการจัดให้มีอุปกรณ์ สิ่งอำนวยความสะดวกหรือบริการในอาคารสถานที่ ยานพาหนะหรือบริการขนส่ง ฯ พ.ศ. 2556"** หมวด3 บริการขนส่ง ข้อที่ 14 /6 [ออนไลน์]: http://dep.go.th/?q=th/law. (2556). เข้าถึงข้อมูล : มิถุนายน, 2561.

[4] บริษัท รถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัดและซีเมนส จำกัด. **ประตูกั้นชานชาลา คูมือการปฏิบัติงาน เอกสารเลขที่ PSD/6009.** 2546. หน้า 10-15.

[5] NRT. **"PSD Type and Driving Mechanism"** [Online] : http://www. platform- screen-doors.com/platform-screen-doors/drive-mechanism/. Accessed : June, 2018.

[6] ArduinoAll Tutor.**"เริ่มต้น สอน Arduino: แนะนำการใช้บอร์ด Arduino Uno"** [ออนไลน์] : http://www.arduinoall.net/arduino-tutor/lessons. เข้าถึงข้อมูล : กรกฎาคม, 2561.

[7] Sattagan Tarapong. **"Arduino ภาษา C/C++"** [ออนไลน์] : https://arduinothing. blogspot.com/2016/04/arduino-cc.html. 2559. เข้าถึงข้อมูล : กรกฎาคม, 2561.

[8] BeckhoFF New Automation Technology. **"Stepper Motor (DK9222-0410-0014)"**. pp 1-9

[9] Aimagin Blog. **"การขับ Step Motor และ RC Servo Motor".** [ออนไลน์]. http://aimagin.com/blog/driving-step-motor-and-rc-servo-motor/?lang=th. 2014. . เข้าถึงข้อมูล : กรกฎาคม, 2561.

[10] Martin Clifford. **Modern Electric/Electronic Motors**. 1990. pp 260.

[11] Smart Motor Devices. **"Theory of Stepper Motor."** [Online] : http://stepmotor biz/theory.htm. (2010). Accessed : July, 2018.

[12] Commandronestore. **"A4988 Stepper Driver".** [Online] : http://commandro: nestore.com/products/cm4988. (2016) Accessed : July, 2018.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[13] Nongnuch Sonthaya. **“LM317 การคำนวณ และการประยุกต์ใช้”** [ออนไลน์] : http://www.elec-za.com/lm317. (2014). เข้าถึงข้อมูล : กรกฎาคม, 2561.

[14] ศิริชัย คล่องการพานิช, **"เข้าใจไม่ยากกับการทำงานของสวิตชิ่งเรกูเลเตอร์",** เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 160, มิถุนายน 2539.

[15] Phchitchai. **“รีดสวิตช์ (reed switch)”** [ออนไลน์] **:** .http://phchitchai.wbvschool.net/archive/1402. (2013). เข้าถึงข้อมูล : กรกฎาคม, 2561.

[16] Commandronestore. **“ทรานซิสเตอร์คืออะไร”** [ออนไลน์] : http://commandronestore.com/learning/transistor000. (2010). เข้าถึงข้อมูล : กรกฎาคม, 2561.

[17] Commandronestore. **“การเลือกตัวต้านทานให้ LED.”** [ออนไลน์] : http://commandronestore .com/learning/resistor001.php. (2016). เข้าถึงข้อมูล : กรกฎาคม, 2561.

[18] อิเลคทริคอล พาร์ท แอนด์ เอ็นจิเนียริ่ง. **“ลิมิตสวิตช์ Limit Switch”** [ออนไลน์] : http://www.eeeasyshop.com/category/10/ลิมิตสวิตช์. เข้าถึงข้อมูล : กรกฎาคม, 2561.

[19] Factomart.**“หลักการทำงานของ Stepping Motor”** [ออนไลน์] :.https://www.factomart.com/th/factomartblog/principle-of-stepping-motor/. เข้าถึงข้อมูล : กรกฎาคม, 2561.

[20] **“พูดถึง ประตูกั้นชานชาลา ในสถานีรถไฟใต้ดินทั่วโลก”**. [ออนไลน์] : https://pantip.com/topic /31882290. (2557). เข้าถึงข้อมูล : กรกฎาคม, 2561.

[21] Sangsuwan Jittawat. **“มาทำความรู้จักคลื่น "PWM" กัน”**. [ออนไลน์] : http://highleveljj.blogspot.com/2016/02/pwm.html. (2016). เข้าถึงข้อมูล : กรกฎาคม, 2561.

[22] ORIENTAL MOTOR GENERAL CATALOGUE. **“Stepping Motor PK244-01A”.** pp B-210

[23] บริษัท รถไฟฟากรุงเทพ จำกัดและซีเมนส จำกัด. **ประตูกั้นชานชาลา คูมือการปฏิบัติงาน เอกสารเลขที่ PSD/6009.** 2546. หน้า 49-52.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

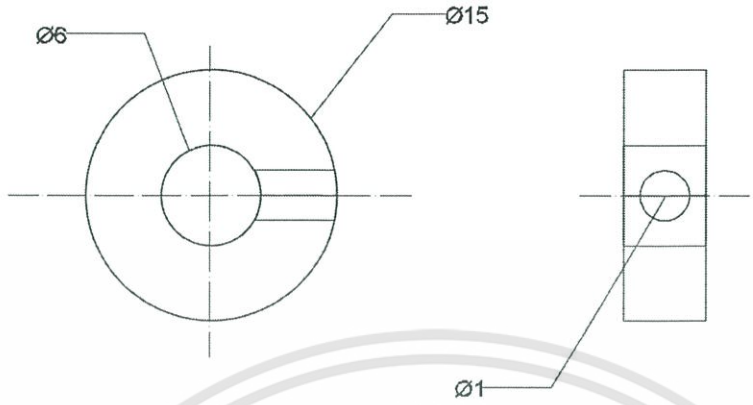
ภาคผนวก ก

ขนาดของส่วนประกอบโครงสร้างแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา

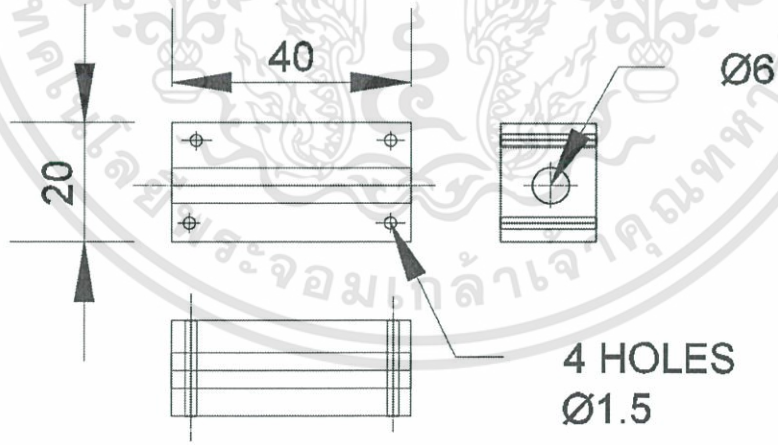
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TITLE : Stainless Round Bar	
MATERIAL: Stainless	QUANTITY: 1
UNIT: mm	SHEET: 1/11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

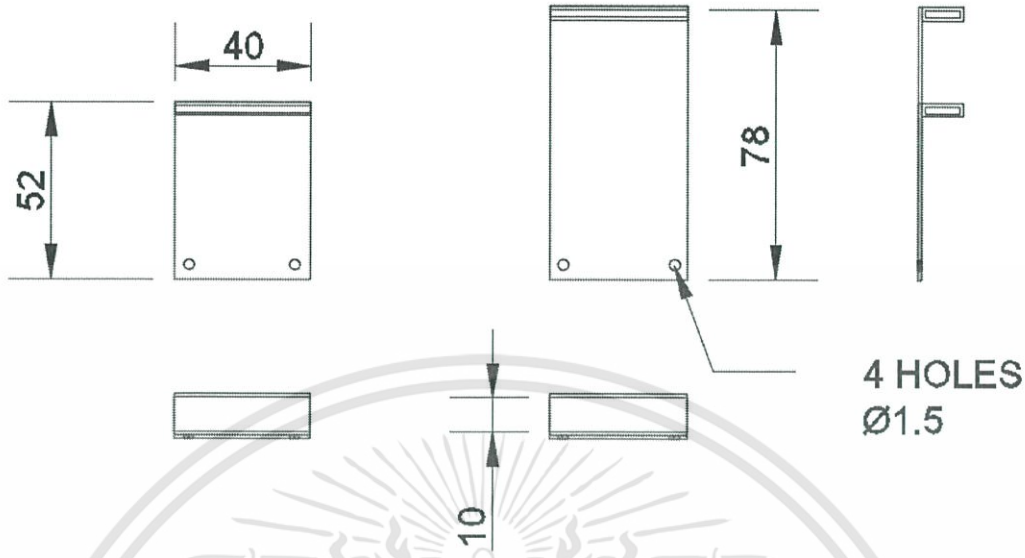


TITLE : Coupling	
MATERIAL: Iron	QUANTITY: 2
UNIT: mm	SHEET: 2/11

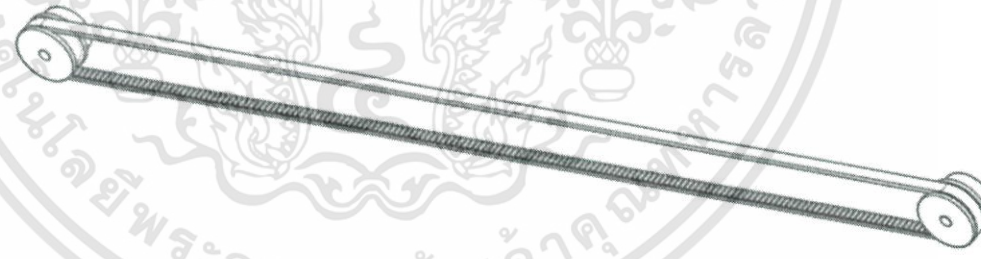


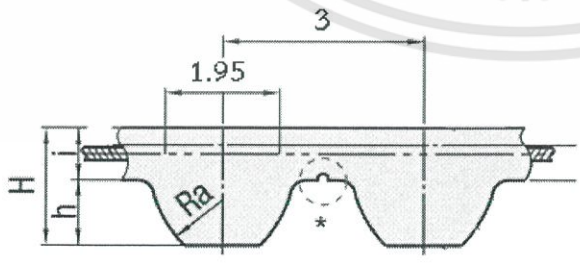
TITLE : Linear Ball Slide Bearing	
MATERIAL: Aluminium	QUANTITY: 2
UNIT: mm	SHEET: 3/11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



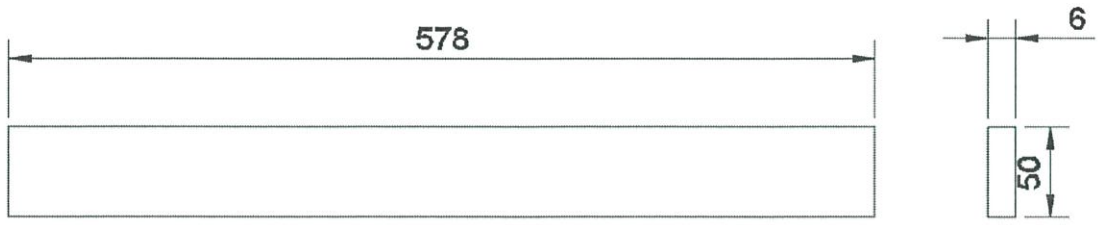
TITLE : Belt Clamp		
MATERIAL: Aluminium	QUANTITY: 2	
UNIT: mm	SHEET: 4/11	



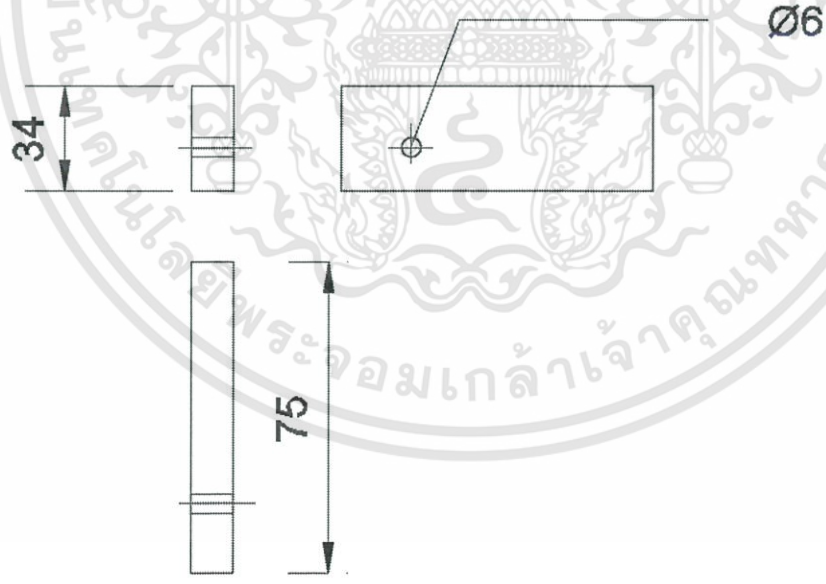


TITLE : Belt		
MATERIAL: Rubber	QUANTITY: 1	
UNIT: mm	SHEET: 5/11	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

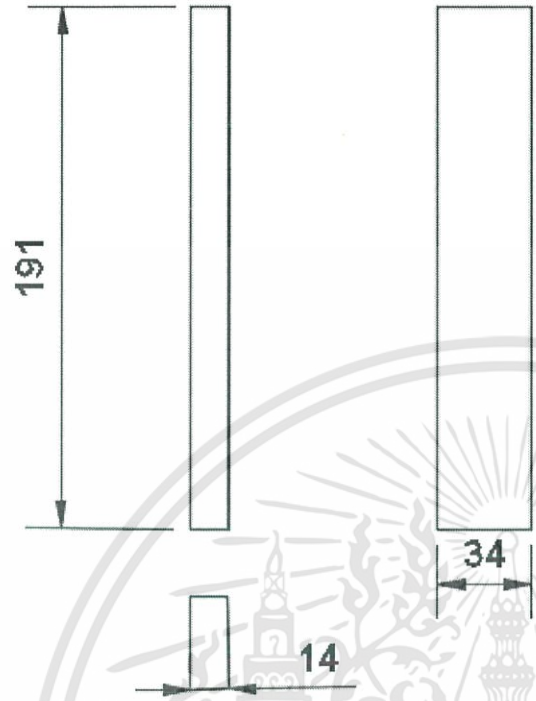


TITLE : Model Structure Part A	
MATERIAL: Wood	QUANTITY: 1
UNIT: mm	SHEET: 6/11

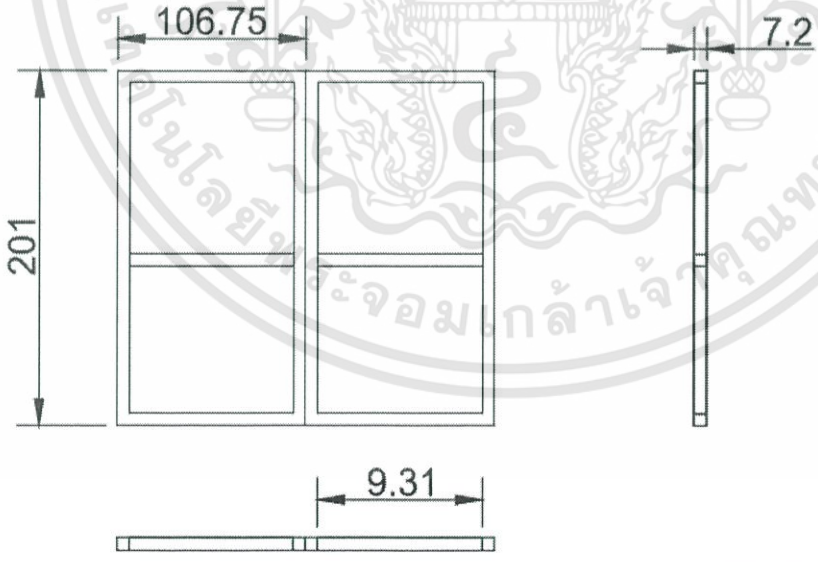


TITLE : Model Structure Part B	
MATERIAL: Wood	QUANTITY: 2
UNIT: mm	SHEET: 7/11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

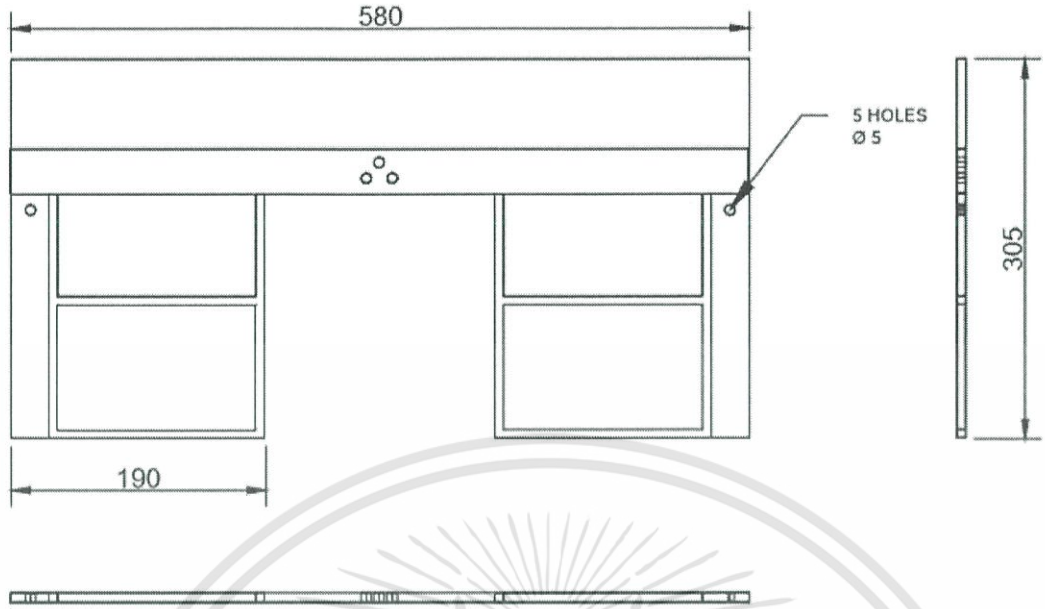


TITLE : Model Structure Part C		
MATERIAL: Wood	QUANTITY: 4	
UNIT: mm	SHEET: 8/11	



TITLE : Sliding Door		
MATERIAL: Acrylic	QUANTITY: 2	
UNIT: mm	SHEET: 9/11	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TITLE : Fixed Door	
MATERIAL: Acrylic	QUANTITY: 1
UNIT: mm	SHEET: 10/11

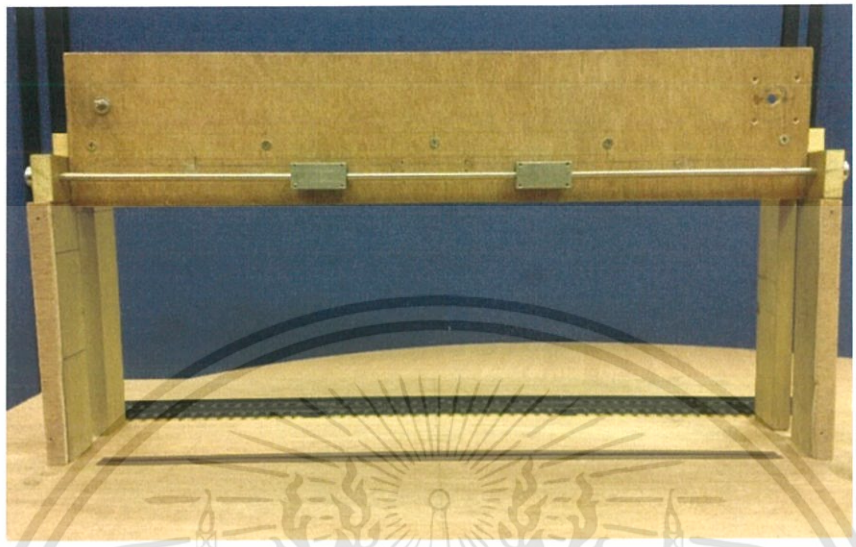
TITLE : Base	
MATERIAL: Wood	QUANTITY: 1
UNIT: mm	SHEET: 11/11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

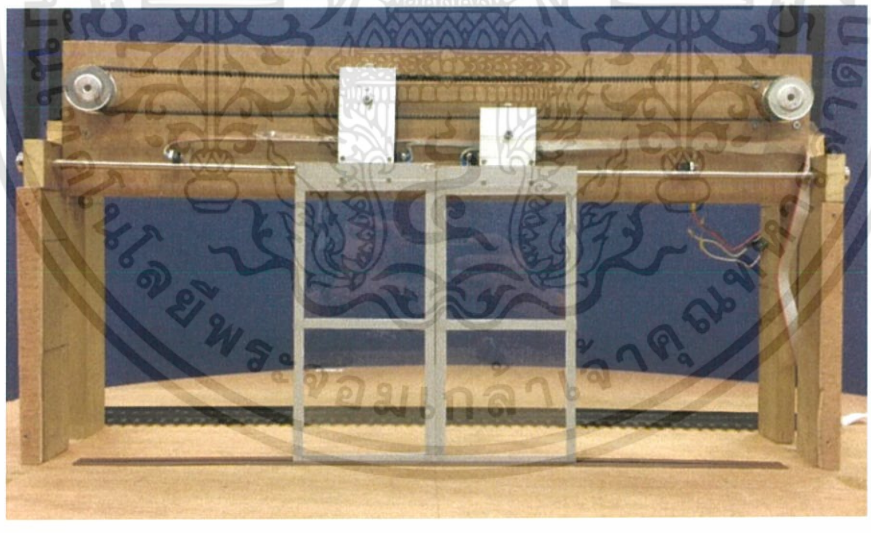
ภาคผนวก ข

ภาพขั้นตอนการทำแบบจำลองและภาพชิ้นงานในส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

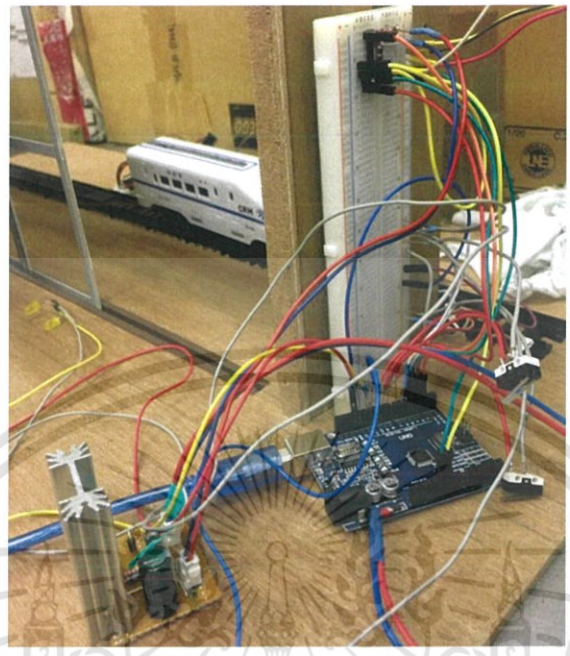


ภาพที่ ข-1 แสดงโครงสร้างภายนอกของแบบจำลองประตูกั้นชานชาลา

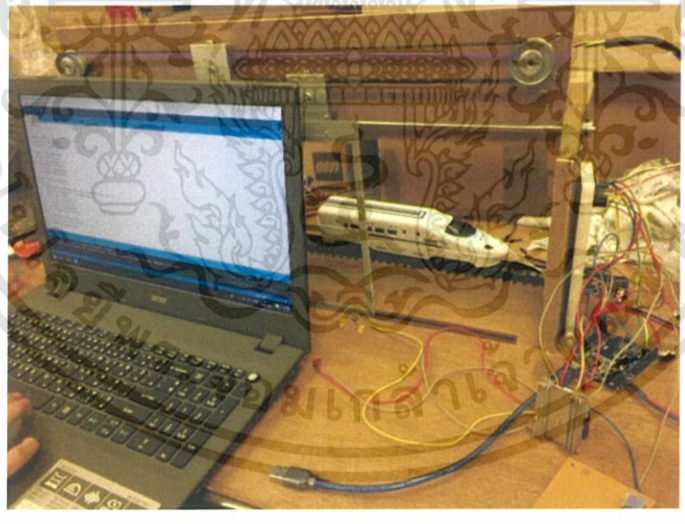


ภาพที่ ข-2 แสดงโครงสร้างของบานประตูและการติดตั้งชุดกลไก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

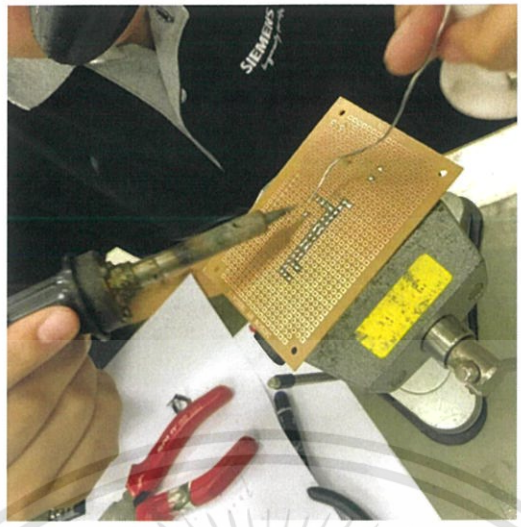


ภาพที่ ข-3 แสดงการเชื่อมต่อวงจรเพื่อลงโปรแกรม

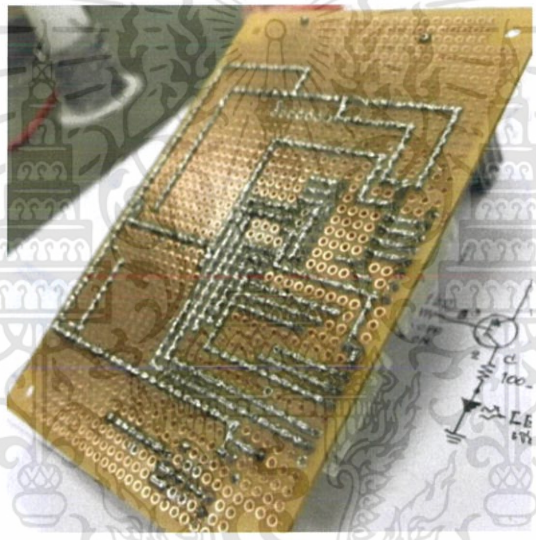


ภาพที่ ข-4 แสดงการเขียนcodeลงโปรแกรม

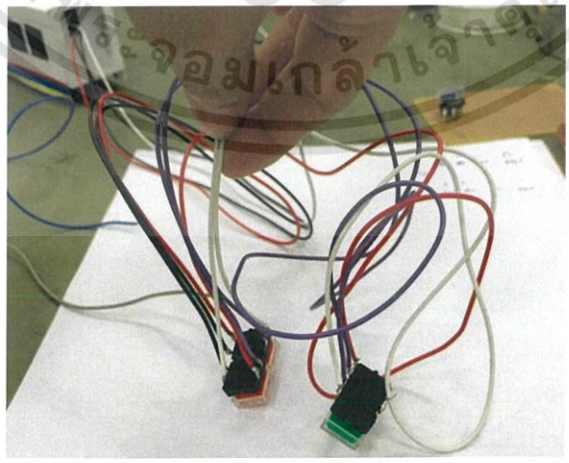
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข-5 แสดงการบัดกรีบอร์ดปุ่มกดควบคุมรถไฟ

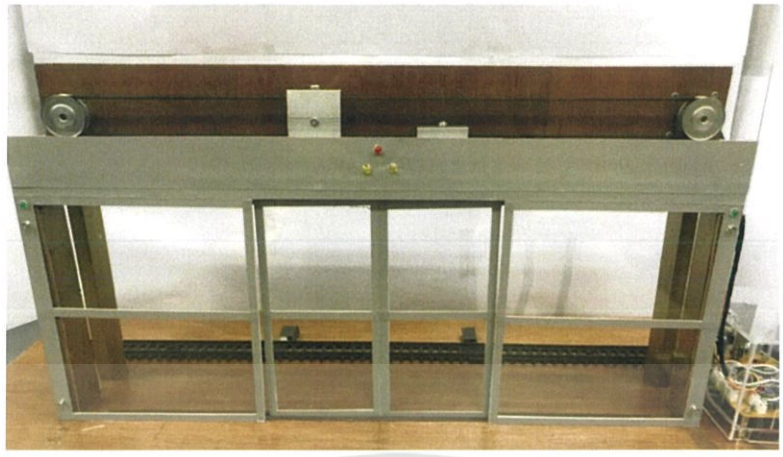


ภาพที่ ข-6 แสดงบอร์ดควบคุมหลัก



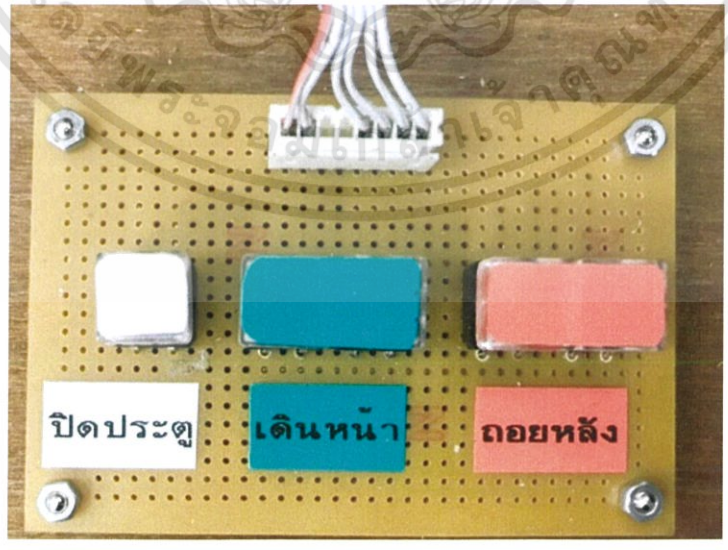
ภาพที่ ข-7 แสดงการเชื่อมต่อรถไฟกับปุ่มควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข-8 แสดงโครงสร้างประตูทั้งหมด

ภาพที่ ข-9 แสดงการยึดของลิมิตสวิตช์



ภาพที่ ข-10 แสดงการเชื่อมต่อปุ่มควบคุมรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ข-11 แสดงการเชื่อมต่อของวงจรกับแบบจำลอง

ภาพที่ ข-12 แบบจำลองประตูกั้นชานชาลาแบบเต็มบาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

เอกสารในการอ้างอิงขนาดของประตูกั้นชานชาลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.2 PSD leaves

Overall dimensions:	see figure 1-39
Weight (right PSD Leaf):	62.5 kg
Weight (left PSD Leaf):	63 kg

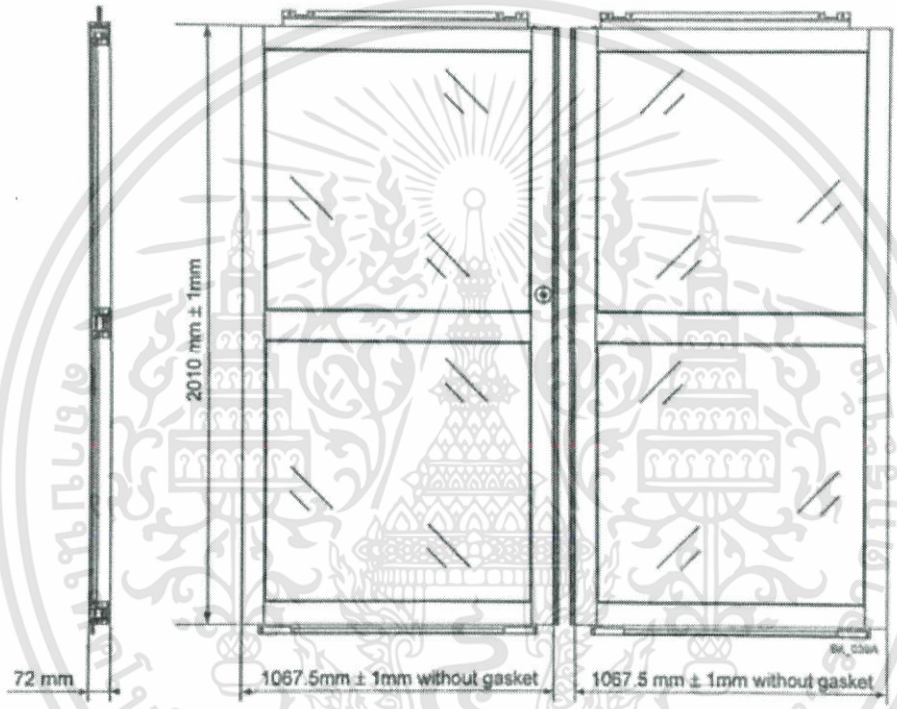


Figure 1-39: PSD leaves - dimensions

Copyright © Siemens Limited 2003. All Rights Reserved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้ามนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ห้ามดัดแปลง ทำซ้ำ หรือเผยแพร่ในรูปแบบอื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาต