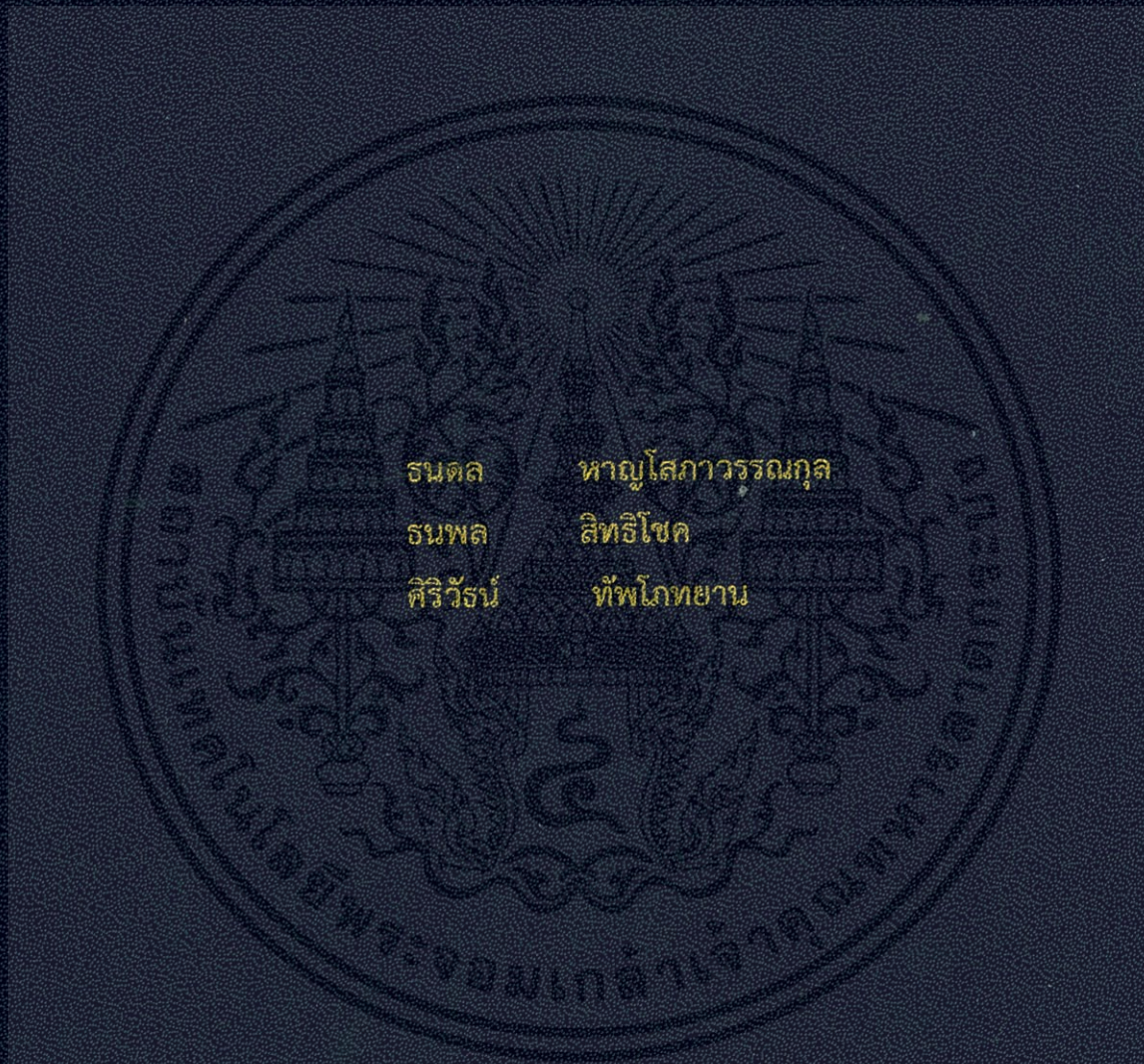


โมดูลขับเคลื่อนและระบบควบคุมหุ่นยนต์กู้ภัย
TRANSMISSION MODULE AND CONTROL SYSTEM
FOR RESCUE ROBOT



รณดล ชาญโสภากววรรณกุล
รณพล สิทธิโชค
ศิริวัฒน์ ทัพโกทยาน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

โมดูลขับเคลื่อนและระบบควบคุมหุ่นยนต์กู้ภัย

TRANSMISSION MODULE AND CONTROL SYSTEM
FOR RESCUE ROBOT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2556
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRANSMISSION MODULE AND CONTROL SYSTEM
FOR RESCUE ROBOT



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHATRONICS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นว่าเป็นประโยชน์ในด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง โมดูลขับเคลื่อนและระบบควบคุมหุ่นยนต์กู้ภัย
TRANSMISSION MODULE AND CONTROL SYSTEM FOR RESCUE ROBOT

ผู้จัดทำ นายธนดล หาญโสภารรณกุล 53010620
นายธนพล สิทธิโชค 53010638
นายศิริวัฒน์ ทัพโกทยาน 53011577

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุมิตร พนาอุดมทรัพย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ คมวัชระ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมดูลขับเคลื่อนและระบบควบคุมหุ่นยนต์กู้ภัย

โดย

นายธนดล หาญโสภารรณกุล 53010620

นายธนพล สิทธิโชค 53010638

นายศิริวัฒน์ ทัพโกทยาน 53011577

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุมิตร พนาอุดมทรัพย์

รองศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ คมวิษระ

ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ปัจจุบันปฏิเสธไม่ได้ว่าหุ่นยนต์มีบทบาทหน้าที่ที่สำคัญในการช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกให้แก่มนุษย์เรื่อยมา ซึ่งมีการพัฒนาเทคโนโลยีให้หุ่นยนต์มีความสามารถในการทำงานต่าง ๆ ที่มนุษย์ไม่สามารถทำได้ จำเป็นต้องอาศัยหุ่นยนต์เป็นกำลังหลัก การเข้าไปสำรวจในพื้นที่ที่อันตรายยากต่อการที่มนุษย์จะเข้าถึง การทำงานที่มีความละเอียดสูง เพื่อให้มีความปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอทฤษฎีและการออกแบบหุ่นยนต์สำหรับการสำรวจกู้ภัย โดยมุ่งเน้นการออกแบบและคำนวณโครงสร้างของระบบขับเคลื่อนให้สามารถถอดประกอบชิ้นส่วนได้ง่าย สะดวกในการพัฒนารูปแบบ มีความแข็งแรง มีความสมดุลในการเคลื่อนที่ สามารถเข้าถึงพื้นที่ปฏิบัติงานที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ในการเข้าไปสำรวจได้ และสามารถรองรับโมดูลได้หลากหลายแบบ สามารถต่อยอดโมดูลที่จะมารองรับในอนาคตได้ การทำงานของระบบจะควบคุมได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็น Arduino เนื่องจากเป็นที่แพร่หลาย เครื่องมือที่ใช้ในการเขียนคำสั่งต่าง ๆ ล้วนเป็น open Source ดังนั้นมาตรฐานในการพัฒนาจะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน การควบคุมจะส่งผ่านข้อมูลนาล็อกผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งการทำงานผ่านวงจรเอชบริดจ์เพื่อให้ควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยพัลส์ได้ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้ภาษาซีในการเขียนโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRANSMISSION MODULE AND CONTROL SYSTEM FOR RESCUE ROBOT

By

Mr. Thanadon Harnsopawanakul 53010620

Mr. Tanapon Sittichok 53010638

Mr. Siriwat Tubpotayan 53011577

Advisors

Asst.Prof. Sumit Panaudomsup

Assoc.Prof. Dr. Kiattisak Kumwachara

Academic Year 2013

ABSTRACT

Nowadays, robot has an important role in assisting and facilitating for the human. Development of robots technology to give robots the ability to perform tasks that humans can not do that requires the robot as the main force. In addition, robot can explore dangerous areas where humans are difficult to reach and working with high resolution for secure and effective.

This thesis presents the theory and design of robots for exploration and rescue. By focusing on the design and calculate structure of the drive system that can be easily disassembled parts, facilitate the development of a model, strength and balanced movement. Access to operational areas that are dangerous to humans. It can support a variety of modules to extend the module will be supported in the future. The system is controlled through the microcontroller "Arduino". Tools that used to write commands are open source, so the development would be in the same direction. The controller will transmit analog data via microcontrollers in order to command through the H-Bridge circuit to control DC motors with Pulse. The microcontroller uses C language programming.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้และตัวโครงงานนั้น สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความกรุณาเป็นอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุมิตร พนาอุดมทรัพย์ รองศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ คมวิษระ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คงศักดิ์ อนันตศิริรัตน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง อีกทั้งยังได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และสนับสนุนในเรื่องของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้จัดทำ อีกทั้งยังช่วยชี้แนะ และให้คำปรึกษาแก่ผู้จัดทำด้วย อีกทั้งคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวของผู้จัดทำ ซึ่งได้ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำมาโดยตลอด

ขอขอบคุณเพื่อนทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจคอยช่วยเหลือทั้งด้านการเรียน การทำงาน และยังเป็นพี่ปรึกษา จนทำให้ผู้จัดทำได้ทำงานนี้จนสำเร็จลุล่วง

คณะผู้จัดทำ

นายชนดล ชาญโสภาวรณกุล

นายชนพล สิทธิโชค

นายศิริวัฒน์ ทัพโกทยาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	XIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบข่ายของโครงการ	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	3
2.1 Mechanical Design	3
2.1.1 Load & Stress Analysis	3
2.1.1.1 ความเค้น (Stress)	3
2.1.1.2 แรงเฉือน (Shearing Force)	4
2.1.1.3 โมเมนต์ดัด (Bending Moment)	4
2.1.1.4 การบิด (Torsion)	4
2.1.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการออกแบบเพลลา	5
2.1.3 การรับแรงของแบริ่ง (Bearing)	7
2.1.4 การคำนวณหาค่าลึงของมอเตอร์	8
2.1.5 การส่งกำลังเกียร์ (Gear)	9
2.1.6 งานและพลังงาน	9
2.2 Electronics	11
2.2.1 H-Bridge	11
2.2.2 การส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Transmission)	12
2.2.3 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Transmission)	13
2.2.4 การสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous Transmission)	13
2.2.5 การสื่อสารแบบซิงโครนัสที่มักใช้ในการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์	15
2.2.6 ทิศทางของการสื่อสารข้อมูล	16
2.2.7 เซนเซอร์ตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่น การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและคำนวณ	20
3.1 การออกแบบ	20
3.1.1 โครงสร้าง	20
3.2 การคำนวณ	27
3.2.1 ค่าความเสียหายในวัสดุระหว่าง Member3 กับสลักเกลียว	27
3.2.2 ค่าทนแรงอัดของโพน	29
3.2.3 แรงบิดมอเตอร์	30
3.2.4 ค่าความเสียหายในวัสดุระหว่าง Member4 กับเพลลา 6 มม	31
3.2.5 ค่าความเสียหายบนเพลลา 6 มม	33
บทที่ 4 การทดลอง	34
4.1 การทดสอบระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	34
4.2 การทดสอบระบบขับเคลื่อน	42
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	44
5.1 สรุปผลการทดลอง	44
5.1.1 การทดสอบระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	44
5.1.2 การทดสอบระบบขับเคลื่อน	44
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข	44
5.2.1 ปัญหาที่พบ	44
5.2.2 แนวทางการแก้ไข	44
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนาต่อ	45
เอกสารอ้างอิง	46
ภาคผนวก	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะของแรงกระทำชนิดต่าง ๆ	3
2.2 แรงเฉือนและโมเมนต์ดัด	4
2.3 การเปลี่ยนรูปจากแรงบิด	4
2.4 ตัวอย่างเพลลา	5
2.5 แบริ่งชนิดต่าง ๆ	7
2.6 ลักษณะภายในบอลแบริ่ง	8
2.7 เฟืองตอกจอกแบบเฟืองตรง (Straight Bevel Gear)	9
2.8 พิจารณาแรงลัพท์ของการเคลื่อนที่หุ่นยนต์	10
2.9 ตัวอย่างวงจร H-Bridge	11
2.10 การจ่ายกระแสวงจร H-Bridge	12
2.11 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม	12
2.12 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัสที่ไม่ได้ใช้พาริตีบิต (Parity Bit)	13
2.13 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัสที่ใช้พาริตีบิต (Parity Bit)	13
2.14 ลักษณะการส่งผ่านข้อมูล 1	13
2.15 ลักษณะการส่งผ่านข้อมูล 2	14
2.16 ตัวอย่างการใช้อักขระซิง 2 ตัวในการสื่อสารแบบซิงโครนัส	14
2.17 แสดงการตัดแฉวของบิตออกเป็นกลุ่ม ๆ ละ 8 บิต	14
2.18 การส่งผ่านข้อมูลแบบซิงโครนัส	15
2.19 การส่งผ่านข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	15
2.20 การสื่อสารของข้อมูลแบบทิศทางเดียว	16
2.21 การสื่อสารของข้อมูลแบบกึ่งสองทิศทาง	17
2.22 การสื่อสารของข้อมูลแบบสองทิศทาง	17
2.23 วงจรเซนเซอร์ตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	17
2.24 หาค่าความต้านทานของ RS โดย Ohm Meter	18
2.25 หาค่าความต้านทานของ RS โดย Voltage Divider	18
2.26 กฎการแบ่งแรงดัน	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 ระบบขับเคลื่อนที่ทำการออกแบบมุม Isometric	20
3.2 ชิ้นส่วนโครงสร้างใน Solidworks	21
3.3 ชิ้นส่วนโครงสร้าง	21
3.4 ล้อโพลี	22
3.5 Member 1	22
3.6 เพลา	23
3.7 เพลาติดล้อ	23
3.8 แกนด้านข้าง	24
3.9 Member 2	24
3.10 มอเตอร์	25
3.11 Member 3	25
3.12 Member 4	26
3.13 เฟืองส่งกำลัง	26
3.14 สายพาน	27
3.15 Compressive Strength ของโพลี Polystyrene	30
3.16 แผนภาพอิสระของเพลากลม 6 มม	31
3.17 ภาพตัดเพลา	31
3.18 Shear and Bending Moment Diagram	32
4.1 ทดสอบการควบคุมมอเตอร์	34
4.2 โปรแกรมควบคุม PWM (1)	35
4.3 โปรแกรมควบคุม PWM (2)	35
4.4 โปรแกรมควบคุม PWM (3)	36
4.5 โปรแกรมควบคุม PWM (4)	36
4.6 ตัวอย่างข้อมูลเมื่อมีการใส่สัญญาณอินพุต	41
4.7 ค่า Sensor Volt Output	42
4.8 ทดสอบการขับเคลื่อนผ่านสิ่งกีดขวาง	43
4.9 ทดสอบการขับเคลื่อนขึ้นเนินเอียง	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

2.1 ตารางแสดงค่าแฟคเตอร์แก้ไขโมเมนต์ดัดและบิด

7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ปัจจุบันปฏิเสธไม่ได้ว่าหุ่นยนต์มีบทบาทหน้าที่ที่สำคัญในการช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกให้แก่มนุษย์เรื่อยมา ซึ่งมีการพัฒนาเทคโนโลยีให้หุ่นยนต์มีความสามารถในการทำงานต่าง ๆ ที่มนุษย์ไม่สามารถทำได้ จำเป็นต้องอาศัยหุ่นยนต์เป็นกำลังหลัก การเข้าไปสำรวจในพื้นที่ที่อันตราย ยากต่อการที่มนุษย์จะเข้าถึง การทำงานที่มีความละเอียดสูง เพื่อให้มีความปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ ความต้องการใช้กำลังในการผลิตที่มากและรวดเร็ว เพื่อลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มจำนวนการผลิต การช่วยเหลือในการอำนวยความสะดวก อีกทั้งยังสามารถให้ความบันเทิงในการที่สามารถตอบสนองต่อมนุษย์ได้อีกด้วย

ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีการสร้างหุ่นยนต์ได้มีการพัฒนามากขึ้นและพยายามที่จะสร้างให้สามารถเข้าไปสำรวจในพื้นที่ที่มนุษย์ยากที่จะเข้าไปสำรวจหรือพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงโดยที่มนุษย์สามารถควบคุมหุ่นยนต์ได้จากระยะไกล เห็นได้จากการสร้างหุ่นยนต์ที่ใช้ในสงครามสำหรับสำรวจพื้นที่ได้รับความเสียหายจากระเบิดหรือจากเหตุการณ์ต่าง ๆ ดังนั้นหุ่นยนต์ก็มักจะเป็นหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นเพื่อเข้าไปสำรวจในพื้นที่ที่ยากต่อการเข้าถึง และหุ่นยนต์ก็ยังสามารถเคลื่อนที่ไปได้ในหลากหลายของพื้นที่ ซึ่งได้มีการพึงพาการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันออกไป

นำเสนอทฤษฎีและการออกแบบหุ่นยนต์สำหรับการสำรวจกู้ภัย โดยมุ่งเน้นการออกแบบและคำนวณโครงสร้างของระบบขับเคลื่อนให้สามารถถอดประกอบชิ้นส่วนได้ง่าย สะดวกในการพัฒนารูปแบบ มีความแข็งแรง มีความสมดุลในการเคลื่อนที่ สามารถเข้าถึงพื้นที่ปฏิบัติงานที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ในการเข้าไปสำรวจได้ และสามารถรองรับโมดูลได้หลากหลายแบบสามารถถอดโมดูลที่จะมารองรับในอนาคตได้ การทำงานของระบบจะควบคุมได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็น Arduino เนื่องจากเป็นที่แพร่หลาย เครื่องมือที่ใช้ในการเขียนคำสั่งต่าง ๆ ล้วนเป็น Open Source ดังนั้นมาตรฐานในการพัฒนาจะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน การควบคุมจะส่งผ่านข้อมูลอนาล็อกผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งการทำงานผ่านวงจรเอชบริดจ์เพื่อให้ควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยพัลส์ได้ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้ภาษาซีในการเขียนโปรแกรม หุ่นยนต์กู้ภัยนี้เหมาะเป็นหุ่นยนต์แบบเสนอเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อนำความรู้ทางด้านพลศาสตร์ และกลศาสตร์เครื่องจักรกล มาใช้วิเคราะห์หุ่นยนต์ กู้ภัย
2. เพื่อออกแบบหุ่นยนต์ในแบบโมดูล สะดวกต่อการปรับปรุงแก้ไข
3. เพื่อศึกษาคำนวณขีดความสามารถโครงสร้างของหุ่นยนต์
4. เพื่อศึกษาชุดควบคุมวงจรรีเลย์ทรานซิสต์ต่าง ๆ เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์, เอชบริดจ์
5. เพื่อสามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการเขียนชุดคำสั่งควบคุม
6. เพื่อใช้เป็นหุ่นยนต์ต้นแบบเสนอเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาต่อไปในอนาคต

1.3 ขอบข่ายของโครงการ

1. ออกแบบหุ่นยนต์โดยใช้โปรแกรม Solidwork
2. ควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบอนาล็อก ให้ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ กระแสตรงได้
3. โปรแกรมชุดคำสั่งผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino
4. หุ่นยนต์สามารถหลบหลีก ข้ามผ่านสิ่งกีดขวางและอุปสรรคต่าง ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 Mechanical Design

2.1.1 Load & Stress Analysis

2.1.1.1 ความเค้น (Stress)

ความเค้น คือ แรงภายนอกที่มากกระทำผ่านจุดศูนย์กลางของพื้นที่หน้าตัดของวัสดุชิ้นหนึ่ง หรือแรงภายนอกต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ใช้สัญลักษณ์ว่า σ (Sigma)

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

เมื่อ σ คือ ความเค้น (Stress) มีหน่วยเป็นปาสกาล (Pa, 1 Pa = 1N/m²)

P คือ แรงภายนอกที่มากกระทำ มีหน่วยเป็น N

A คือ พื้นที่ภาคตัดขวางที่แรงกระทำ มีหน่วยเป็น m²

โดยทั่วไปความเค้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของแรงที่มากกระทำ

ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน ดังรูปที่ 2.1a

ความเค้นแรงอัด (Compressive Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง ดังรูปที่ 2.1b

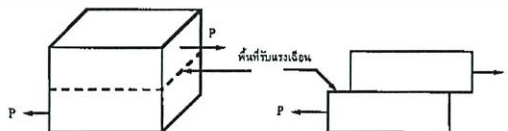
ความเค้นแรงเฉือน (Shear Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากกระทำให้ทิศทางขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อให้วัสดุเคลื่อนผ่านจากกันดังรูปที่ 2.1c มีค่าเท่ากับแรงเฉือน (Shear Force) ทหารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวาง A ซึ่งขนานกับทิศทางของแรงเฉือน ในทางปฏิบัติความเค้นที่เกิดจะมีทั้ง 3 แบบนี้พร้อม ๆ กัน



a) แรงดึง (Tension)



b) แรงกด (Compression)



c) แรงเฉือน (Shear)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้รูปที่ 2.1 ลักษณะของแรงกระทำชนิดต่าง ๆ ปรากฏทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 แรงเฉือน (Shearing Force)

ค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการออกแบบโครงสร้างโมเมนต์ดัดจะเป็นตัวกำหนดขนาดหน้าตัดของแรงเฉือน ซึ่งเป็นแรงที่จะทำให้คานขาดออกจากกันในแนวตั้ง ซึ่งมีผลมากต่อโครงสร้างหุ่นยนต์

2.1.1.3 โมเมนต์ดัด (Bending Moment)

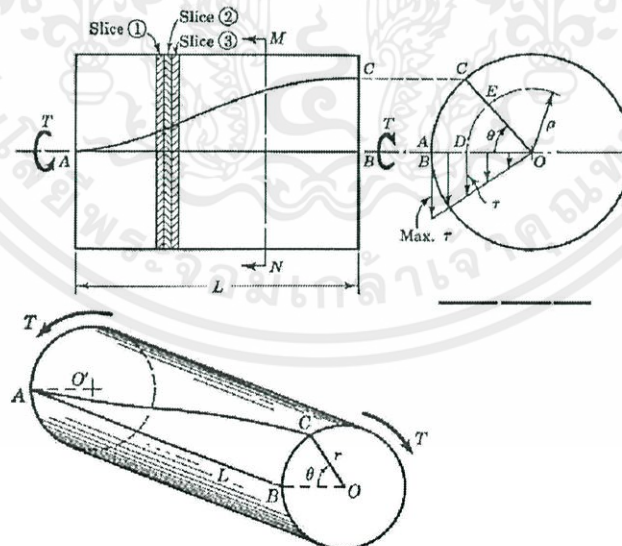
โมเมนต์ดัด เป็นผลที่เกิดขึ้นจากการที่คานถูกแรงเฉือนพยายามจะเฉือนให้คานขาดออกจากกันจนเกิดการโค้งงอของคานซึ่งมีผลต่อโครงสร้างมากเช่นกัน



รูปที่ 2.2 แรงเฉือนและโมเมนต์ดัด

2.1.1.4 การบิด (Torsion)

การบิด คือ โมเมนต์ที่กระทำรอบแกนที่ตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของเพลลา เมื่อใส่แรงบิดให้กับเพลลา ทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนรูป แต่หน้าตัดเพลลาไม่มีการเปลี่ยนรูป ไม่บิดเบี้ยว (Not Warp) หรือไม่นูนออกมา รัศมียังคงเป็นเส้นตรงระหว่างการเปลี่ยนรูป จะสังเกตเห็นว่าหน้าตัดเพลลา ยังคงเป็นเพลลาอยู่ และหมุนผ่านมุมระหว่างการเปลี่ยนรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.3 การเปลี่ยนรูปจากแรงบิด ญาติให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ใช้คำนวณการบิด

$$\tau_{\max} = \frac{Tc}{J}$$

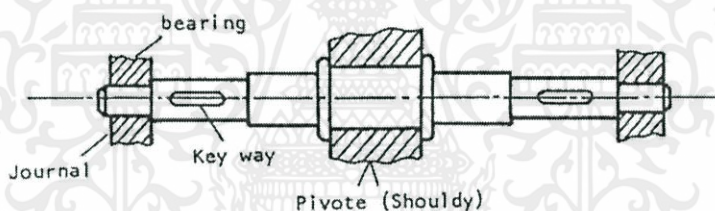
เมื่อ τ_{\max} คือ ความเค้นเฉือนสูงสุดของเพลลาที่เกิดขึ้นที่ผิวนอกสุด

T คือ แรงบิดภายในที่กระทำรอบแกนที่ตั้งฉากกับหน้าตัดเพลลา

J คือ โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของ พื้นที่หน้าตัดเพลลา (Polar Moment of Inertia) โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของพื้นที่

2.1.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบเพลลา

เพลลาเป็นส่วนเครื่องมืองล ที่มีความสำคัญของระบบส่งผ่านกำลัง กำลังที่ส่งผ่านเพลลาอยู่ในรูปของโมเมนต์แรงบิด (Torque) ในการส่งกำลังผ่านระหว่างเพลลาหนึ่งไปยังอีกเพลลาหนึ่งจำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง เช่น เฟือง โซ่ สายพาน ฯลฯ ดังนั้นจึงเกิดแรงซึ่งเกิดจากการขบกันของเฟือง แรงเนื่องจากการฉุดของโซ่ หรือแรงดึงของสายพานมากระทำต่อเพลลาอันเป็นผลให้เกิดโมเมนต์ดัด (Bending Moments) ขึ้นบนเพลลาด้วย ดังนั้นขณะที่เพลลาทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังเพลลาจะรับทั้งโมเมนต์บิดและโมเมนต์ดัดพร้อม ๆ กัน



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างเพลลา

เพลลาเป็นส่วนที่มีอยู่ในเครื่องจักรกลเกือบทุกชนิด ดังนั้นจึงสมควรที่จะได้พิจารณาถึงการออกแบบเพลลา โดยเพลลาอาจมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามลักษณะของการใช้งานดังต่อไปนี้ คือ

1. เพลลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่มีการหมุนและใช้ในการส่งกำลัง
2. แกน (Axle) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกันกับเพลลาแต่ไม่มีการหมุน ส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นงานที่หมุน เช่น ล้อ ล้อสายพาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามทั้งเพลลา และแกนที่นิยมเรียกรวมกันว่า “เพลลา” ไม่ว่าจะชิ้นส่วนนั้นจะหมุนหรือหยุดนิ่งก็ตาม
3. สปินเดิล (Spindle) เป็นขนาดสั้นที่ไม่หมุน เช่น เพลลาที่แทนหัวกลึง (Head-Shock Spindle) เป็นต้น

4. เพลลาอ่อน (Flexible Shaft) เป็นเพลลาที่สามารถอ่อนตัวหรือโค้ง ให้เพลลาประเภทนี้ทำด้วยสายลวดใหญ่ (Cable) ลวดสปริงหรือลวดเกลียว (Wire Rope) ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่แกนหมุนทำมุมกันได้ แต่ส่งกำลังได้น้อย

นอกจากนี้ยังมีเพลลาที่ใช้ในงานเพื่อการศึกษาด้านอื่น ไม่นับเฉพาะนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ เพลลาอาจจะรับแรงดึง แรงกด แรงบิด หรือแรงดัด หรือแรงหลายอย่างรวมกันได้ ดังนั้นการคำนวณจึงต้องใช้ความเค้นผสมเข้าช่วย แรงเหล่านี้ยังอาจมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลา ทำให้

เพลาลื่นเสียหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องออกแบบเพล่าให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะนี้ นอกจากนั้นเพล่ายังจะต้องมีความแข็งแกร่ง (Rigidity) เพียงพอเพื่อลดมุมบิดภายในเพล่าให้อยู่ในขีดจำกัดที่พอเหมาะ ระยะโก่ง (Deflection) ของเพล่าก็เป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดของเพล่าเช่นเดียวกัน เพราะถ้าเพล่ามีระยะโก่งมากก็จะเกิดการแกว่งขณะหมุน ทำให้ความเร็ววิกฤต (Critical Speed) ของเพล่าลดลง ซึ่งอาจทำให้เพล่ามีการสั่นอย่างรุนแรงในขณะที่ความเร็วของเพล่าเข้าใกล้ความเร็ววิกฤตนี้ได้ ระยะโก่งนี้ยังมีผลต่อการเลือกชนิดของที่รองรับเพล่า เช่น บอลเบริง (Ball Bearing) ก็ต้องมีการเอียงแนว (Misalignment) ในการใช้งานที่พอเหมาะกับเพล่าด้วย

การออกแบบเพล่าสำหรับภาระคงที่ (Static Load)

ในการคำนวณกำลังงานและภาระของเพล่า สามารถคำนวณได้จากสูตร

สูตรหาคำลัง

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot T \cdot n}{60 \times 1000}$$

เมื่อ P คือ กำลัง (kW)
n คือ ความเร็วรอบ (rpm)
T คือ โมเมนต์บิด (Nm)

สูตรสำหรับออกแบบเพล่างาน

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M \cdot \alpha_b}{\pi \cdot \tau_d}} \quad (\text{สำหรับเพล่ารับความเค้นดัด})$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T \cdot \alpha_t}{\pi \cdot \tau_d}} \quad (\text{สำหรับเพล่ารับความเค้นเฉือน})$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi \cdot \tau_d} \cdot [(M \cdot \alpha_b)^2 + (T \cdot \alpha_t)^2]^{1/2}} \quad (\text{สำหรับเพล่าความเค้นดัดและเฉือน})$$

เมื่อ α_b คือ แฟคเตอร์แก้ไขโมเมนต์ดัด

α_t คือ แฟคเตอร์แก้ไขโมเมนต์บิด

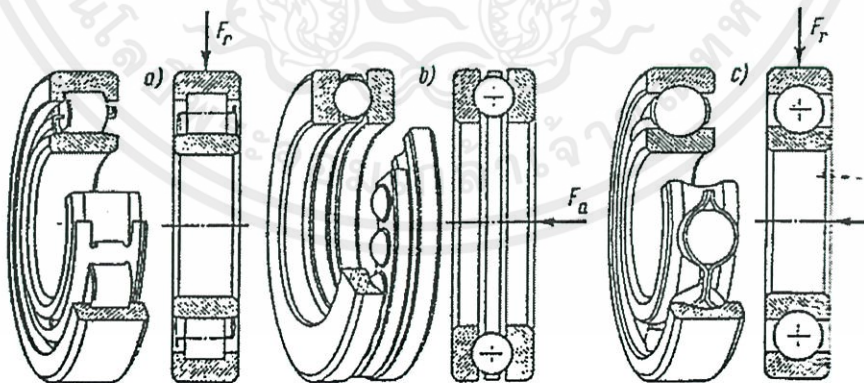
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงค่าแฟคเตอร์แก้ไขโมเมนต์ตัดและบิด

ชนิดของภาระ	α_b	α_t
เพลายูนิ่ง		
- แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ	1.0	1.0
- แรงกระตุก	1.5-2.0	1.5-2.0
เพลามุม		
- แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ	1.5	1.0
- แรงกระตุกเบา ๆ	1.5-2.0	1.0-1.5
- แรงกระตุกอย่างแรง	2.0-3.0	1.5-3.0

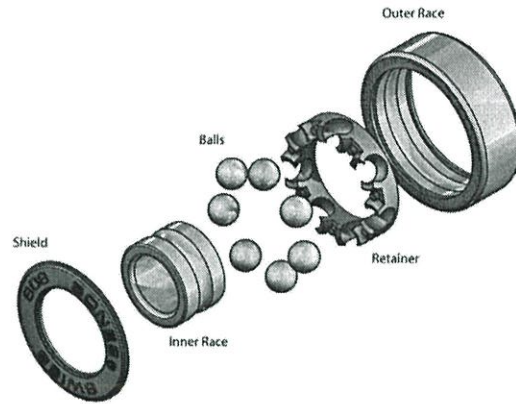
2.1.3 การรับแรงของแบริ่ง (Bearing)

AFBMA (Anti-Friction Bearing Manufacturers Association) ได้มีมาตรฐานเกี่ยวกับความสามารถรับแรงของแบริ่ง โดยไม่คำนึงถึงความเร็ว ซึ่งเรียกว่า ความสามารถในการรับแรงพื้นฐาน (Basic load Rating) ความสามารถในการรับแรงพื้นฐาน C_R มีความนิยามว่าเป็นความสามารถของแบริ่งที่รับแรงคงที่ทาง radial ได้ โดยหมุนวงแหวนวงในหนึ่งล้านครั้ง ค่าหนึ่งล้านรอบเลือกใช้เพื่อให้คำนวณง่าย โรลลิ่งแบริ่ง (Rolling Bearings) หมายถึง แบริ่งที่รับแรงโดยอาศัยชิ้นส่วนของแบริ่งที่มีลักษณะเป็นผิวสัมผัสแบบกลิ้ง (Rolling Contact) แทนที่จะเป็นผิวสัมผัสแบบเลื่อน (Sliding Contact) เนื่องจากแบริ่งชนิดนี้มีค่าความเสียหายน้อยมาก ซึ่งประกอบด้วย วงแหวนเหล็กกล้า 2 วง ที่แยกออกจากกัน ด้วยลูกกลิ้งทรงกลม ลูกกลิ้งเหล่านี้รับแรงมาจากวงแหวนวงหนึ่ง แล้วส่งแรงนี้ไปยังวงแหวนอีกวงหนึ่ง โดยการกลิ้งไปบนวงแหวน



รูปที่ 2.5 แบริ่งชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ลักษณะภายในบอลเบริง

2.1.4 การคำนวณกำลังของมอเตอร์

เมื่อต้องการจะคำนวณหามอเตอร์จะได้ F นิวตัน ที่กระทำสัมผัสกับเพลลาทำให้เพลลาหมุนด้วยความเร็วรอบ n รอบต่อนาที ขณะที่เพลลาหมุนไป 1 รอบสามารถหาค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้การคำนวณหาระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ ขณะที่เพลลาหมุนไป 1 รอบ

สมการที่ใช้คำนวณหาระยะทางที่เคลื่อนที่

$$S = 2\pi r$$

สมการที่ใช้คำนวณหางาน

$$W_F = F \times 2\pi r$$

สมการที่ใช้ในการคำนวณหางานที่เพลลากระทำต่อวินาที

$$W_F = F \times 2\pi r \times n$$

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาแรงบิด

$$T = F \times r$$

เพราะฉะนั้น การคำนวณกำลังมอเตอร์สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot T \cdot n}{60}$$

เมื่อ P คือ กำลังที่เพลลาได้รับแรงจากมอเตอร์มีหน่วยเป็นวัตต์ (W) หรือกิโลวัตต์ (kW)

T คือ โมเมนต์แรงบิด มีหน่วยเป็นนิวตันเมตร

N คือ ความเร็วรอบของเพลลา มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที rpm (1 รอบ = 2 เเรเดียน)

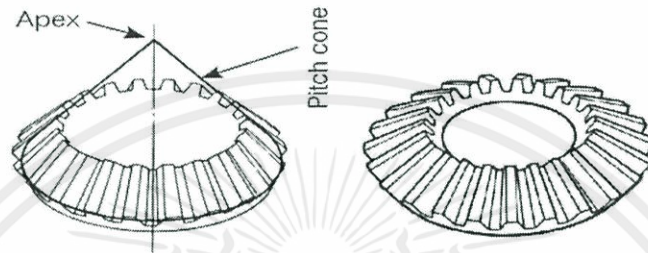
r คือ รัศมีของเพลลา มีหน่วยเป็นเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 การส่งกำลังเกียร์ (Gear)

1. เฟืองดอกจอก (Bevel Gear)

เฟืองดอกจอกจะมีรูปทรงคล้ายกับกรวยมีทั้งแบบเฟืองตรง (Straight Bevel Gear) และแบบเฟืองเฉียง (Spiral Bevel Gear) เฟืองดอกจอกจะเป็นเฟืองสองตัวที่ขบกันในลักษณะแนวเพลลา (Shaft) ของเพลลาทั้งคู่จะตั้งฉากหรือตัดกัน (Intersect) ส่วนมากแล้วเพลลาของเฟืองทั้งคู่จะตั้งฉากกัน เป็นมุม 90 องศา



รูปที่ 2.7 เฟืองดอกจอกแบบเฟืองตรง (Straight Bevel Gear)

2. เฟืองดอกจอกแบบเฟืองตรง (Straight Bevel Gear)

จะมีลักษณะของฟันเฟืองที่เป็นเฟืองตรง โดยที่แนวของฟันเฟืองจะเป็นแนวเดียวกับยอดของเฟือง โดยที่แนวของฟันเฟืองจะเป็นมุมตัดกับแนวแกนเพลลา คุณสมบัติเฉพาะของเฟืองแบบนี้คือง่ายต่อการผลิตจึงทำให้มีราคาถูกกว่าและสามารถทำอัตราทดสูงสุดได้ถึง 1.5 ส่วนใหญ่แล้วจะใช้งานส่วนประกอบของเครื่องจักร และเฟืองท้ายของรถยนต์โดยทำหน้าที่เป็นเฟืองบายศรี (Differential Gear) ป้องกันการสับของล้อทั้งสองข้างขณะเลี้ยว

2.1.6 งานและพลังงาน

พลังงานศักย์โน้มถ่วง (Gravitational Potential Energy) เป็นพลังงานศักย์ที่สะสม ในวัตถุเมื่ออยู่บนที่สูง พลังงานศักย์ขึ้นอยู่กับตำแหน่ง หากวัตถุอยู่บริเวณพื้นผิวโลกที่มีแรงดึงดูดของโลก หรือสนามความโน้มถ่วงของโลก พลังงานศักย์ที่อยู่ที่สูงซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุ

ถ้าเรายกวัตถุมวล m ให้สูงขึ้นในแนวตั้งจากพื้นดินเป็นระยะ h โดยที่วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวแล้ว เราจะต้องออกแรง F ขนาดหนึ่งที่มีขนาดเท่ากับขนาดของน้ำหนักของวัตถุ mg จึงจะสามารถยกวัตถุขึ้นได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

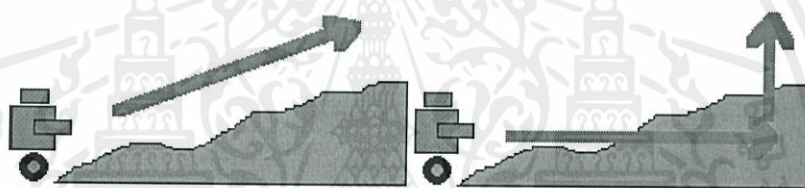
$$E_p = mgh$$

- เมื่อ E_p คือ พลังงานศักย์จากแรงโน้มถ่วง (จูล)
 m คือ มวลของวัตถุ (กิโลกรัม)
 h คือ ความสูงของวัตถุ

พลังงานจลน์ เป็นพลังงานที่เกิดขึ้นขณะวัตถุกำลังเคลื่อนที่เนื่องจากมีแรงมากกระทำต่อวัตถุ และมีค่าเปลี่ยนแปลงตามอัตราเร็วของวัตถุเคลื่อนที่

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

- เมื่อ E_k คือ พลังงานจลน์ (จูล)
 m คือ มวลของวัตถุ (กิโลกรัม)
 v คือ อัตราเร็วของวัตถุ (เมตรต่อวินาที)



รูปที่ 2.8 พิจารณาแรงลัพธ์ของการเคลื่อนที่หุ่นยนต์

แรงเสียดทาน (friction) เป็นแรงที่เกิดขึ้นเมื่อวัตถุหนึ่งพยายามเคลื่อนที่ หรือกำลังเคลื่อนที่ไปบนผิวของอีกวัตถุ เนื่องจากมีแรงมากกระทำมีลักษณะที่สำคัญคือ เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุ และมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางที่วัตถุเคลื่อนที่หรือตรงข้ามทิศทางของแรงที่พยายามทำให้วัตถุเคลื่อนที่

$$F_s = \mu_s N$$

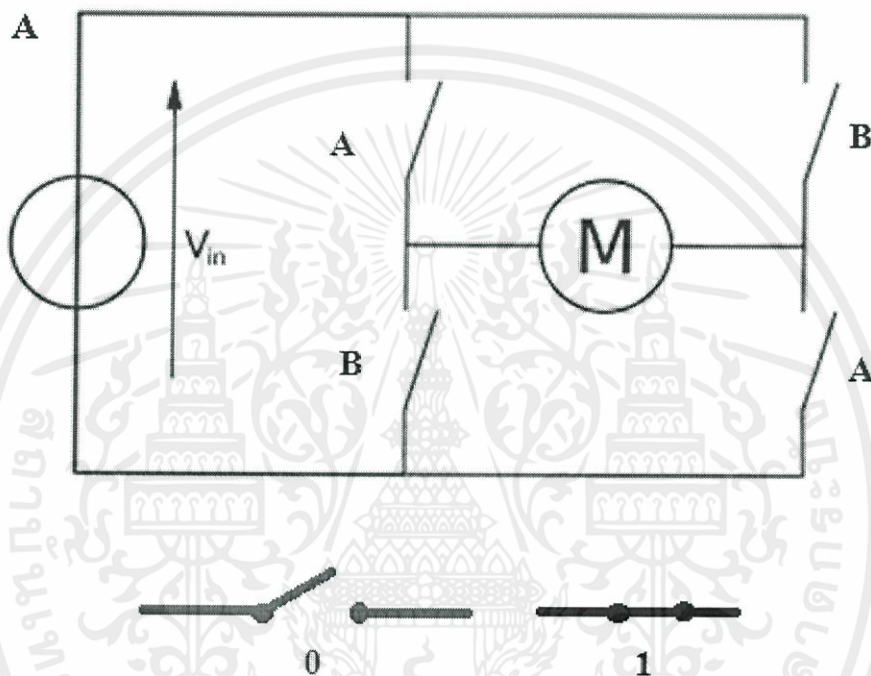
- เมื่อ F_s คือ ค่าแรงเสียดทาน
 N คือ แรงกดที่ตั้งฉากกับวัตถุ
 μ_s คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Static Friction Coefficient)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 Electronic

2.2.1 H-Bridge

เป็นรูปแบบการต่อวงจรที่ทำงานเชื่อมต่อระหว่างวงจรทางไฟฟ้า และการทำงานทางกล ส่วนมากมักจะใช้ในการควบคุมมอเตอร์ ให้สามารถจ่ายกระแสกลับทิศทางกันได้ ในการบังคับให้ DC Motor ทำงานมีอยู่ 2 แนวทางที่นิยมใช้กันคือ การใช้ Relay และ การใช้ Transistor ต่อกันเป็น H-Bridge อย่างไรก็ตามทั้ง 2 วิธีมีแนวทางที่คล้ายคลึงกัน



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างวงจร H-Bridge

หลักการการทำงานแบ่งได้เป็น 4 กรณี คือ

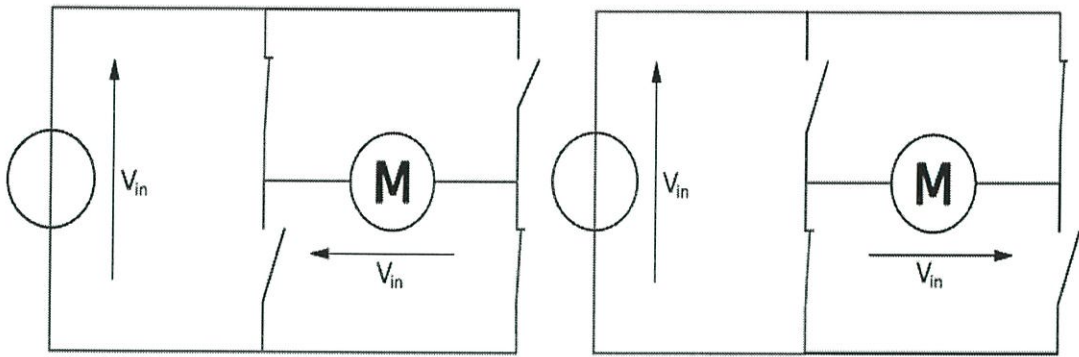
กรณีที่ 1 : $A=0$ $B=0$: ไม่เกิดอะไรขึ้น

กรณีที่ 2 : $A=1$ $B=0$: มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา

กรณีที่ 3 : $A=0$ $B=1$: มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา

กรณีที่ 4 : $A=1$ $B=1$: ไฟฟ้าลัดวงจร และอาจเกิดระเบิดได้

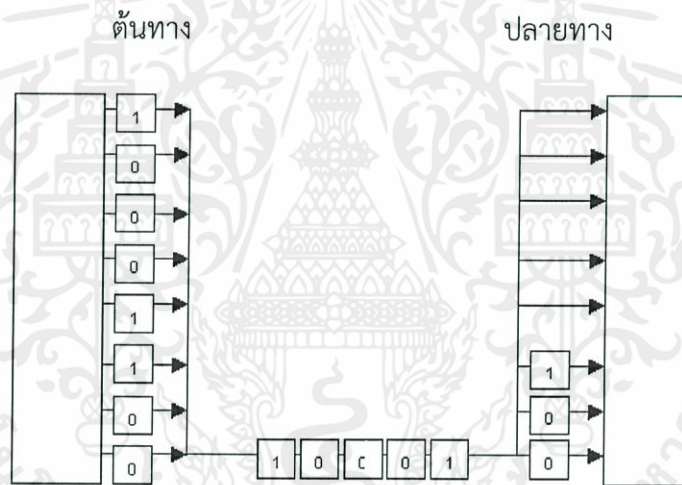
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 การจ่ายกระแสแรงจร H-Bridge

2.2.2 การส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Transmission)

รูปแบบการส่งผ่านข้อมูลในลักษณะนี้ทุกบิตที่เข้ารหัสแทนข้อมูลหนึ่งตัวอักษรจะถูกส่งผ่านไป ตามสายส่งเรียงลำดับกันไปทีละบิตในสายส่งเพียงเส้นเดียว ดังรูปที่ 2.11



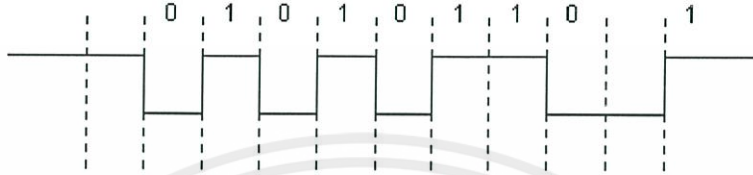
รูปที่ 2.11 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม

จากรูปตัวอักษรจะประกอบด้วย 8 บิต เรียงเป็นลำดับ ข้อมูลจะถูกส่งออกมาทีละบิตระหว่าง ต้นทางและปลายทาง และปลายทางจะรวบรวมบิตเหล่านี้ทีละบิตจนครบ 8 บิต เป็น 1 ตัวอักษร จะ เห็นว่าการส่งข้อมูลแบบนี้จะช้ากว่าแบบขนาน แต่ค่าใช้จ่ายจะถูกกว่าแบบขนาน ซึ่งเหมาะสำหรับ การส่งระยะทางไกล ๆ

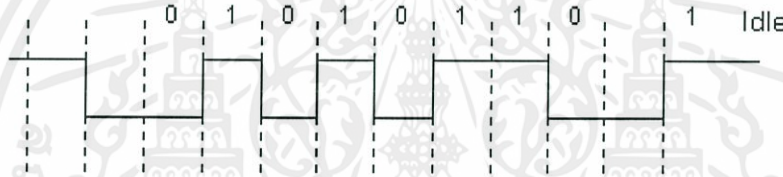
โดยทั่วไปแล้วการส่งข้อมูลนั้นจะประกอบไปด้วยกลุ่มของตัวอักษร ดังนั้นในการส่งข้อมูลแบบ อนุกรมนี้จึงเกิดปัญหาขึ้นว่า แล้วต้นทางและปลายทางจะทราบได้อย่างไรว่าจะแบ่งแต่ละตัวอักษร ตรงบิตใด จึงเกิดวิธีการสื่อสารข้อมูลขึ้น 2 แบบคือ การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous การกำ ไรว่าการ Transmission) และการสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous Transmission) ทุกครั้งที่มีการนำ ไปใช้

2.2.3 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Transmission)

การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเป็นการสื่อสารแบบระบุจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุด (Start-Stop Transmission) ลักษณะของสัญญาณที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกันจะประกอบไปด้วยบิตเริ่มต้น (Start Bit) บิตของข้อมูลที่สื่อสาร (Transmission Data) จำนวน 8 บิต บิตตรวจสอบข้อผิดพลาด (Parity Bit) และบิตสิ้นสุด (Stop Bit) สำหรับบิตตรวจสอบข้อผิดพลาดจะใช้หรือไม่ใช้ก็ได้ ดังนั้นสัญญาณจึงต้องประกอบด้วยส่วนประกอบอย่างน้อย 3 ส่วน ดังรูปที่ 2.12 และรูปที่ 2.13



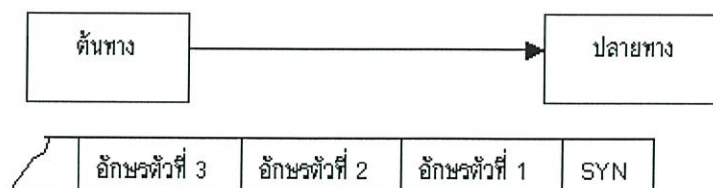
รูปที่ 2.12 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัสที่ไม่ได้ใช้พาริตีบิต (Parity Bit)



รูปที่ 2.13 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัสที่ใช้พาริตีบิต (Parity Bit)

2.2.4 การสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous Transmission)

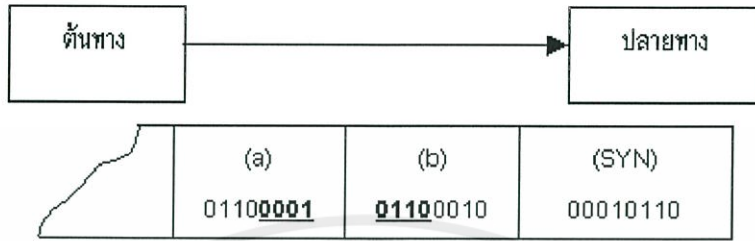
การสื่อสารแบบซิงโครนัส จะทำการจัดกลุ่มของข้อมูลเป็นกลุ่ม ๆ และทำการส่งข้อมูลทั้งกลุ่มไปพร้อมกันในทีเดียว เราเรียกกลุ่มของข้อมูลนี้ว่า บล็อกของข้อมูล (Block of Data) ซึ่งตัวอักษรตัวแรก และตัวถัดไปที่อยู่ในบล็อกเดียวกันจะไม่มีอะไรมาคั่นเหมือนอย่างแบบอะซิงโครนัส ที่ต้องใช้บิตเริ่มต้น และบิตสิ้นสุดคั่นทุกๆ ตัวอักษร แต่จะมีข้อมูลเริ่มต้นซึ่งเป็นลักษณะของบิตพิเศษที่ส่งมาเพื่อให้รู้ว่ำนั้นคือ จุดเริ่มต้นของกลุ่มตัวอักษรที่กำลังส่งเรียงกันเข้ามา เช่น อักขระซิง (SYN Character) โดยที่อักขระซิงมีรูปแบบบิต คือ 00010110 ตัวอย่างของการส่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ลักษณะการส่งผ่านข้อมูล 1

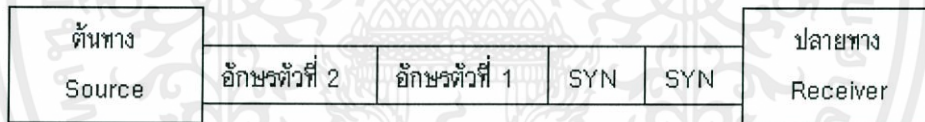
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยและการสื่อสารเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเมื่อสายทางตรวจพบอักขระซิง หรือ 00010110 แล้วจะทราบได้ทันทีว่าบิตที่ตามมาคือบิตตัวอักษรแต่ละตัว แต่การใช้อักขระซิงเพียงตัวเดียวอาจเกิดข้อผิดพลาดได้ เช่น ถ้าเราส่งตัวอักษร b และตัวอักษร a ติดต่อกันไป ซึ่งตัวอักษร b มีรูปแบบบิตคือ 01100010 และตัวอักษร a มีรูปแบบบิตคือ 01100001 การส่งจะแสดงได้ดังรูปที่ 2.15

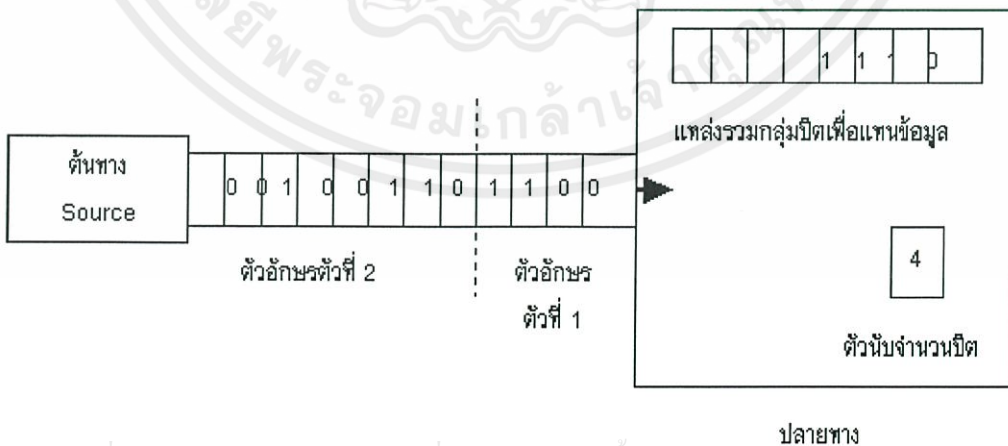


รูปที่ 2.15 ลักษณะการส่งผ่านข้อมูล 2

จะเห็นว่าเครื่องปลายทางจะตรวจพบอักขระซิงระหว่างบิตของตัวอักษร b และตัวอักษร a ทำให้เข้าใจว่าบิตต่อไปจะเป็นบิตของกลุ่มข้อมูล ซึ่งจะทำให้การรับข้อมูลนั้นเกิดผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นจึงแก้ปัญหาด้วยการใช้อักขระซิง 2 ตัวต่อกันเป็นลักษณะของบิตพิเศษที่บอกให้ทราบว่าเป็นจุดเริ่มต้นบิตของกลุ่มข้อมูล ตัวอย่างของการใช้อักขระซิง 2 ตัวในการสื่อสารแบบซิงโครนัส และการตัดแฉวของบิตข้อมูลออกเป็นกลุ่มทีละ 8 บิต เพื่อแทนข้อมูลแสดงได้ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างการใช้อักขระซิง 2 ตัวในการสื่อสารแบบซิงโครนัส



ปลายทาง

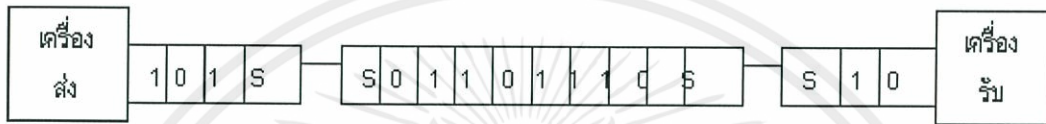
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.17 แสดงการตัดแฉวของบิตออกเป็นกลุ่ม ๆ ละ 8 บิต
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 การสื่อสารแบบซิงโครนัสที่มักใช้ในการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์

ประสิทธิภาพของการส่งผ่านข้อมูลแบบอะซิงโครนัส และแบบซิงโครนัส



รูปที่ 2.18 การส่งผ่านข้อมูลแบบซิงโครนัส



รูปที่ 2.19 การส่งผ่านข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

จากรูปที่ 2.18 แสดงให้เห็นว่าการส่งผ่านข้อมูลแบบซิงโครนัสนั้นส่วนมากแล้ว ตลอดทางของสายส่งจะใช้ส่งผ่านข้อมูลเต็มตลอดทั้งสาย ส่วนรูปที่ 2.19 แสดงให้เห็นว่าการส่งผ่านข้อมูลแบบอะซิงโครนัสนั้นสายส่งจะขาดความต่อเนื่องของสัญญาณข้อมูลที่ส่งผ่าน หรือถ้ามีสัญญาณข้อมูลที่ส่งผ่านต่อเนื่องกันเต็มตลอดทั้งสายแล้ว ก็จะมีสูญเสียช่องทางในการส่งไปกับการส่งบิตเริ่มต้น และบิตสิ้นสุดของแต่ละตัวอักษร

ตัวอย่างเช่น กรณีที่ส่งผ่านข้อมูลที่อยู่ในรูปของรหัส ASCII ซึ่งตัวอักษรหนึ่งตัวถูกแทนด้วย 8 บิต ถ้ามีการส่งกลุ่มของข้อมูล 240 ตัวอักษร ในกรณีการส่งผ่านข้อมูลแบบซิงโครนัสมีการใช้ตัวอักษรซิง 3 ตัว และการส่งผ่าน ข้อมูลแบบอะซิงโครนัสไม่มีการใช้บิตตรวจข้อผิดพลาด ดังนั้นเราสามารถคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างการส่งข้อมูลได้ ดังนี้

บิตทั้งหมดของตัวอักษรที่ส่งจะได้ $240 \text{ ตัวอักษร} \times 8 \text{ บิต/ตัวอักษร} = 1920 \text{ บิต}$

แบบซิงโครนัส

บิตของตัวอักษรซิงที่ใช้จะได้ SYN 3 ตัว เท่ากับ $3 \times 8 \text{ บิต} = 24 \text{ บิต}$

ผลรวมของบิตที่ต้องส่งทั้งหมด = $1920 + 24 = 1944 \text{ บิต}$

อัตราส่วนระหว่างการส่งข้อมูลที่ต้องส่งจริง กับจำนวนบิตทั้งหมดที่จำเป็นต้องส่งคือ

$1920 \text{ บิต} / 1944 \text{ บิต} \approx 99\%$

แบบอะซิงโครนัส

บิตตรวจข้อผิดพลาด หรือพาริตีบิต จะเป็นบิตที่ใช้เพื่อทำหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ส่ง ซึ่งมีอยู่ 2 แบบด้วยกันคือ การตรวจสอบจำนวนคี่ (Odd Parity) และการตรวจสอบจำนวนคู่ (Even Parity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำออกจำหน่าย หรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัยได้

1. การตรวจสอบจำนวนคี่ (Odd Parity) หมายถึง บิตตรวจสอบจะต้องนับบิตที่มีค่าของ 1 สำหรับกลุ่มของบิตที่จะส่ง และต้องการตรวจสอบอยู่เป็นจำนวนคี่ เช่น ถ้านับบิตที่มีค่าของ 1 ในกลุ่มของบิตที่จะส่ง และต้องการตรวจสอบได้เป็นจำนวนคี่ บิตตรวจสอบนี้จะต้องมีค่าเป็น 1 เพื่อที่จะรวมเป็นจำนวนคี่ แต่ถ้าจำนวนนับได้เป็นจำนวนคู่ บิตตรวจสอบก็จะมีค่าเป็น 0

สมมติว่าถ้าข้อมูลที่ต้องการส่งมี 7 บิต คือ 0110011 บิตตรวจสอบจำนวนคี่จะต้องมีค่าเป็น 1 เพราะนับบิตที่มีค่าของ 1 ได้เท่ากับ 4 ตัว ซึ่งเป็นเลขคู่ เมื่อรวมกับบิตตรวจสอบจำนวนคี่ที่มีค่าเป็น 1 ก็จะนับได้เป็น 5 ตัว ซึ่งเป็นเลขคี่และการส่งข้อมูลพร้อมบิตตรวจสอบไปจะได้เป็น 10110011

2. การตรวจสอบจำนวนคู่ (Even Parity) หมายถึง บิตตรวจสอบจะต้องนับบิตที่มีค่าของ 1 สำหรับกลุ่มของบิตที่จะส่ง และต้องการตรวจสอบอยู่เป็นจำนวนคู่ เช่น ถ้านับบิตที่มีค่าของ 1 ในกลุ่มของบิตที่จะส่ง และต้องการตรวจสอบได้เป็นจำนวนคู่ บิตตรวจสอบนี้จะต้องมีค่าเป็น 0 เพื่อที่จะรวมเป็นจำนวนคู่ แต่ถ้าจำนวนนับได้เป็นจำนวนคี่ บิตตรวจสอบก็จะมีค่าเป็น 1

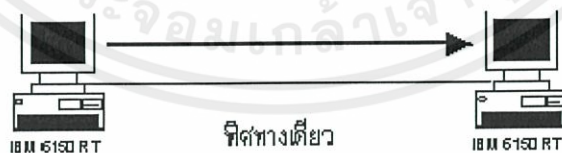
สมมติว่าถ้าข้อมูลที่ต้องการส่งมี 7 บิต คือ 0110011 บิตตรวจสอบจำนวนคู่จะต้องมีค่าเป็น 0 เพราะนับบิตที่มีค่าของ 1 ได้เท่ากับ 4 ตัว ซึ่งเป็นเลขคู่ การส่งข้อมูลพร้อมบิตตรวจสอบไปจะได้เป็น 00110011

การตรวจสอบความถูกต้องทำได้โดยระหว่างต้นทางและปลายทาง จะต้องตกลงกันว่าจะใช้ตัวตรวจข้อผิดพลาดชนิดใด ถ้าใช้ตัวตรวจข้อผิดพลาดแบบจำนวนคี่แล้วเมื่อปลายทางรับข้อมูลจะตรวจสอบจำนวนบิตที่มีค่าเป็น 1 ว่าเป็นจำนวนคี่หรือไม่ ถ้าไม่เป็นจำนวนคี่แสดงว่าข้อมูลเกิดความผิดพลาดขึ้น ปลายทางจะต้องแจ้งให้ต้นทางทราบ อาจจะทำให้ต้นทางส่งข้อมูลมาใหม่อีกครั้ง ส่วนการใช้ตัวตรวจข้อผิดพลาดแบบจำนวนคู่ก็ใช้หลักการคล้าย ๆ กัน

2.2.6 ทิศทางของการสื่อสารข้อมูล

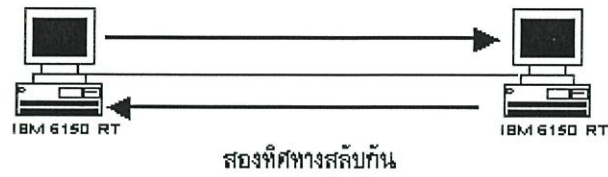
สามารถแบ่งทิศทางการสื่อสารของข้อมูลได้เป็น 3 แบบ คือ

1. แบบทิศทางเดียว (Simplex) เป็นทิศทางการสื่อสารข้อมูลแบบที่ข้อมูลจะถูกส่งจากทิศทางหนึ่งไปยังอีกทิศทางโดยไม่สามารถส่งข้อมูลย้อนกลับมาได้ เช่น ระบบวิทยุ หรือโทรทัศน์



รูปที่ 2.20 การสื่อสารของข้อมูลแบบทิศทางเดียว

2. แบบกึ่งสองทิศทาง (Half Duplex) เป็นทิศทางการสื่อสารข้อมูลแบบที่ข้อมูลสามารถส่งกลับกันได้ 2 ทิศทาง แต่จะไม่สามารถส่งพร้อมกันได้ โดยต้องผลัดกันส่งครั้งละทิศทางเท่านั้น เช่น การค้าไม่ว่าการวิทยุสื่อสารแบบผลัดกันพูดที่ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 การสื่อสารของข้อมูลแบบกึ่งสองทิศทาง

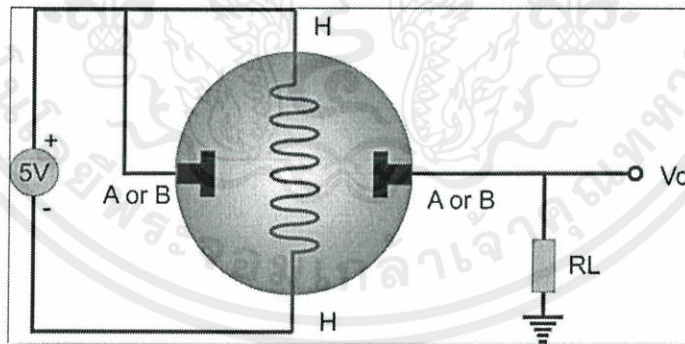
3. แบบสองทิศทาง (Full Duplex) เป็นทิศทางการสื่อสารข้อมูลแบบที่ข้อมูลสามารถส่งพร้อม ๆ กันได้ทั้ง 2 ทิศทาง ในเวลาเดียวกัน เช่น ระบบโทรศัพท์



รูปที่ 2.22 การสื่อสารของข้อมูลแบบสองทิศทาง

2.2.7 เซนเซอร์ตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

เซนเซอร์ตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นเซนเซอร์ตรวจสอบคุณภาพของอากาศโดยจะตรวจจับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ซึ่งเมื่อเราเริ่มจ่ายพลังงานที่ขา H ทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่ขดลวด เมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เข้ามาทำปฏิกิริยาจะทำให้ค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นระหว่างขา A และ B (RS) ลดลง



รูปที่ 2.23 วงจรเซนเซอร์ตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

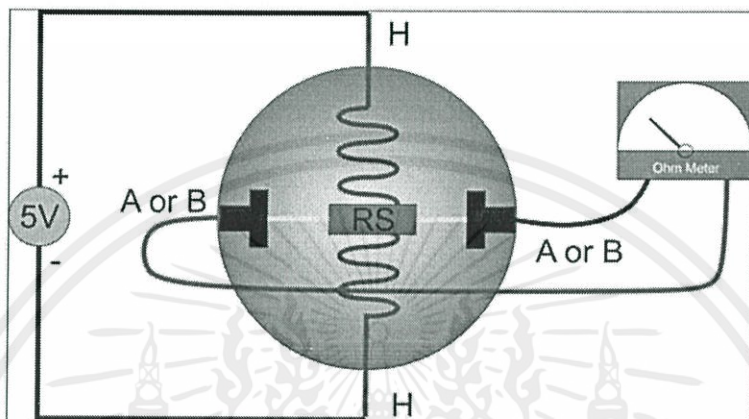
เมื่อจ่ายพลังงานให้กับขา H จะทำให้เกิดพลังงานความร้อนเพื่อให้อาร์เคมีภายในตัวเซนเซอร์สามารถทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ และเมื่อเซนเซอร์ตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสารได้จะทำให้ค่าความต้านทานระหว่างขา A และขา B เปลี่ยนแปลง (ขา A และ B เป็นขาที่ไม่ตายตัว การคำนวณว่าขา A หรือขา B เป็นขา A หรือขา B โดยเลือกขาใดเป็นขา A และขาที่อยู่ฝั่งตรงข้ามจะเป็นขา B) โดยเมื่อเซนเซอร์

ตรวจจับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากจะทำให้ค่าความต้านทาน R_S ลดลงหรือค่าความต้านทานแปรผกผันกับปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

วิธีการหาค่าของความต้านทาน R_S

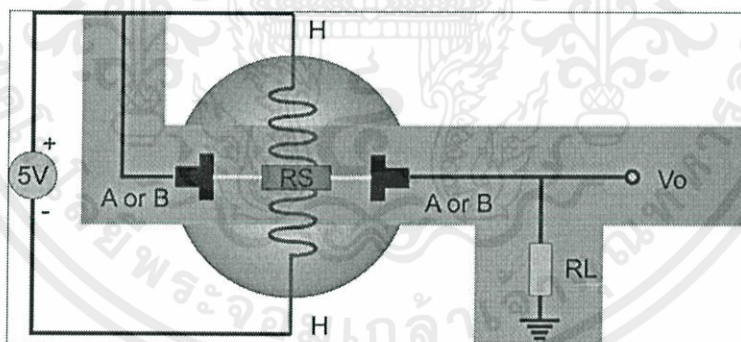
การหาค่าความต้านทานของ R_S สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 สามารถใช้ Ohm meter วัดหาค่าความต้านทานที่ขา A และ B ได้โดยตรง ดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 หาค่าความต้านทานของ R_S โดย Ohm meter

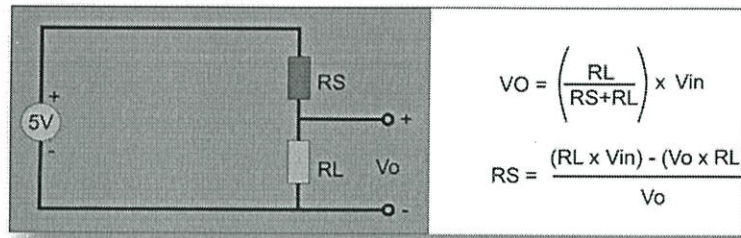
วิธีที่ 2 เป็นวิธีการวัดโดยอ้อมโดยใช้กฎแบ่งแรงดัน Voltage Divider



รูปที่ 2.25 หาค่าความต้านทานของ R_S โดย Voltage Divider

จากรูปที่ 2.25 ตามแถบสีเขียวจะเห็นว่าจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้ามาทาง ขา A or B ทางด้านซ้าย ซึ่งเมื่อนำมาจัดเรียงใหม่ให้เป็นรูปกฎแบ่งแรงดันจะเป็นรูปที่ 2.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 กฎการแบ่งแรงดัน

การหาค่า R_S โดยใช้กฎแบ่งแรงดันนี้สามารถนำไปใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ โดยนำค่า Output ที่ได้ป้อนเข้าขา ADC ของไมโครคอนโทรลเลอร์ (การป้อนแรงดันเข้าขา ADC ของ MCU ต้องแน่ใจว่าระดับแรงดันที่ป้อนเข้าไปไม่เกินกว่าที่ Port ADC ของ MCU จะรับได้) และจะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จะมีค่ามากขึ้นเมื่อ R_S ลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

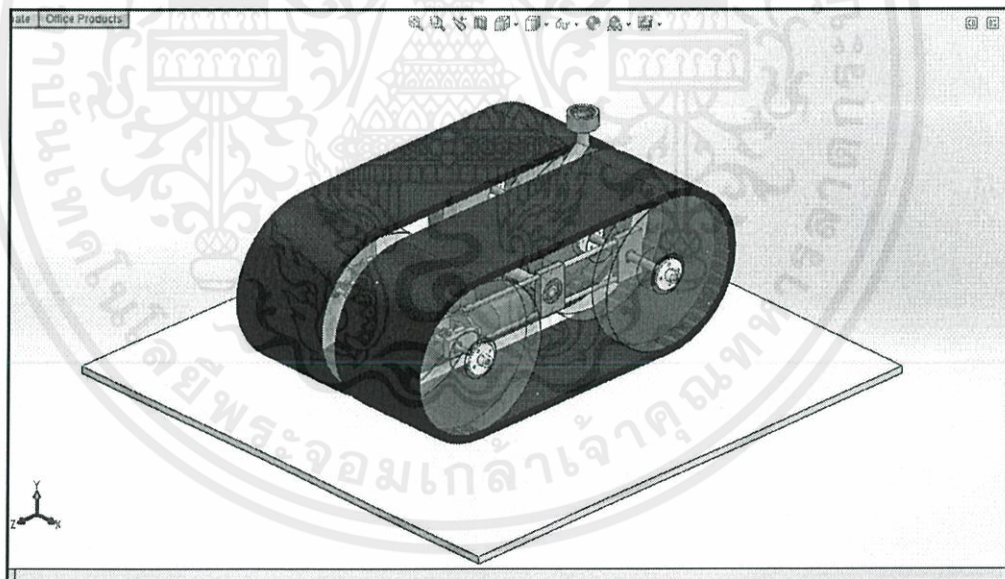
บทที่ 3

การออกแบบและคำนวณ

สำหรับการออกแบบเป็นการออกแบบ ในส่วนต้นแบบโครงสร้างและระบบขับเคลื่อนของหุ่นยนต์กู้ภัย ซึ่งมีลักษณะเด่นพิเศษจำเพาะคือทุกชิ้นส่วนออกแบบในลักษณะของโมดูล ให้สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมในแต่ละสถานการณ์ โดยการออกแบบจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Solidworks จำลองภาพสามมิติ วิเคราะห์การเคลื่อนไหว คำนวณความแข็งแรงของการออกแบบ ก่อนที่จะปรับแก้เพื่อนำไปสู่การสร้างหุ่นต้นแบบ ในส่วนของระบบควบคุม โดยสามารถควบคุมความเร็วและทิศทางของมอเตอร์ได้โดยการเปลี่ยนแปลง PWM จากเซนเซอร์ที่รีโมทคอนโทรลโดยใช้สัญญาณอนาล็อกส่งไปยังคอนโทรลเลอร์ Arduino จะสามารถทำการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

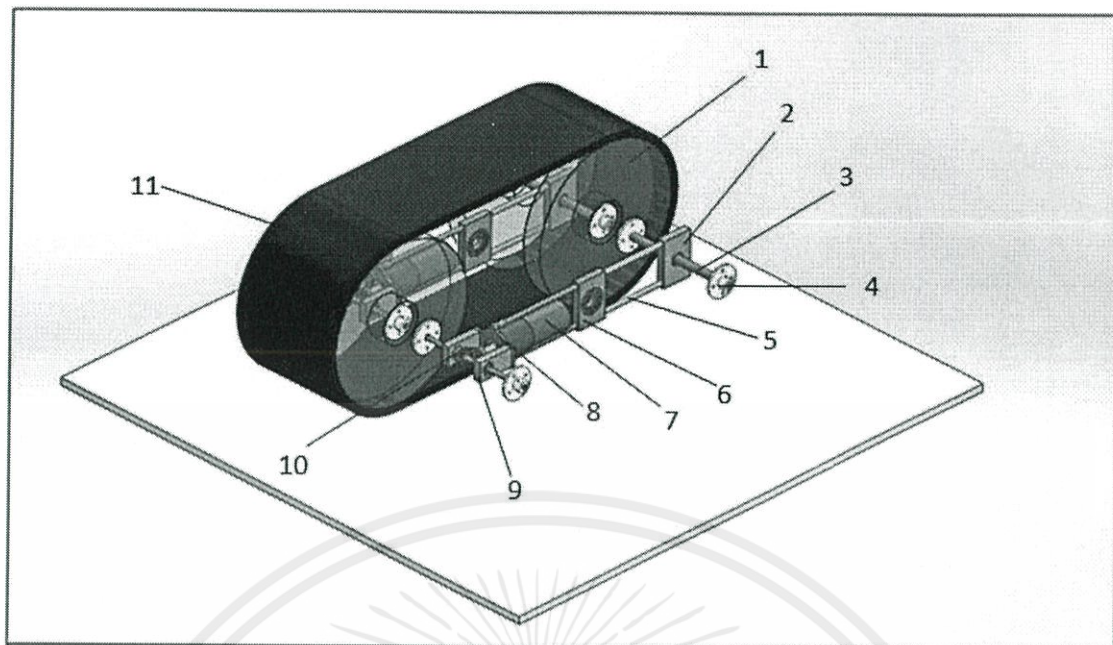
3.1 การออกแบบ

3.1.1 โครงสร้าง



รูปที่ 3.1 ระบบขับเคลื่อนที่ทำการออกแบบมุม Isometric

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



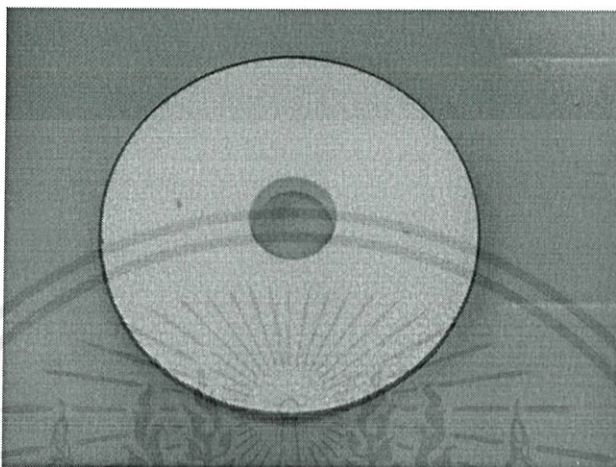
รูปที่ 3.2 ชิ้นส่วนโครงสร้างใน Solidworks



รูปที่ 3.3 ชิ้นส่วนโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ล้อโฟม โฟมชนิด Polystyrene
เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 220 mm
เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 52 mm
หนา 25 mm



รูปที่ 3.4 ล้อโฟม

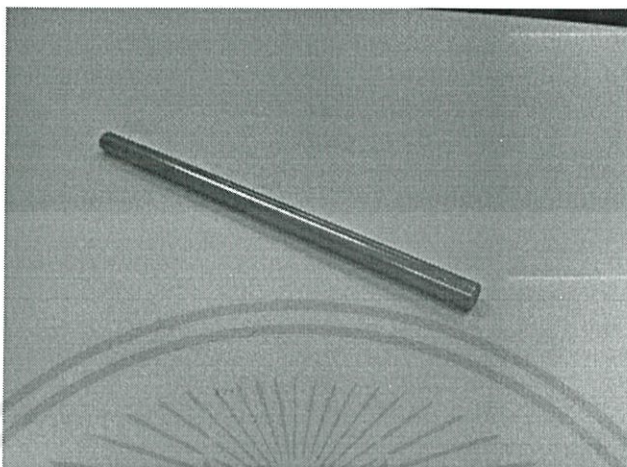
2. Member 1 อลูมิเนียม เจาะรูสวมลูกปืนสำหรับสวมเฟลาขนาด 8 mm กว้าง 10 mm, ยาว 60 mm, สูง 40 mm
เจาะรูใช้ยึดแกนด้านข้างสองแกน ขนาด 6 mm



รูปที่ 3.5 Member 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เพลลา เหล็กเพลากกลม 8 mm
ยาว 160 mm
เป็นเพลลาในส่วนท้ายรถ



รูปที่ 3.6 เพลลา

4. เพลทติดล้อ พลาสติกชนิด Polyamide
เส้นผ่าศูนย์กลาง 40 mm
เจาะรูกลางสำหรับสวมเพลลา 8 mm
เจาะรูยึดสลักเกลียวขนาด 3 mm



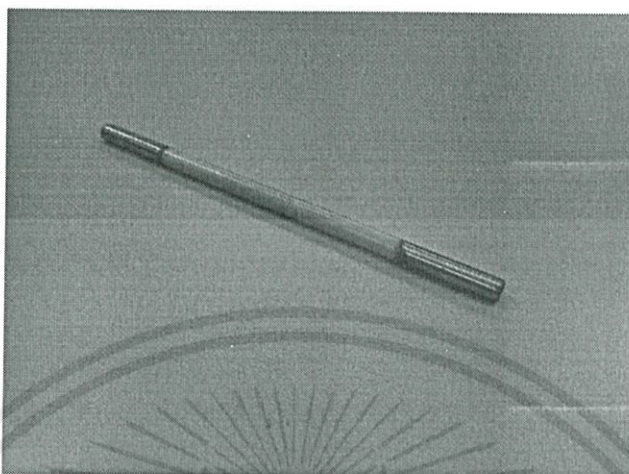
รูปที่ 3.7 เพลทติดล้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. แกนด้านข้าง เหล็กเพลากลม 6 mm

ยาว 140 mm

เจาะรูสำหรับชั้นสลักเกลียวขนาด 3 mm



รูปที่ 3.8 แกนด้านข้าง

6. Member 2 อลูมิเนียม เจาะรูสวมลูกปืนสำหรับสวมเพลาขนาด 15 mm

กว้าง 10 mm, ยาว 60 mm, สูง 40 mm

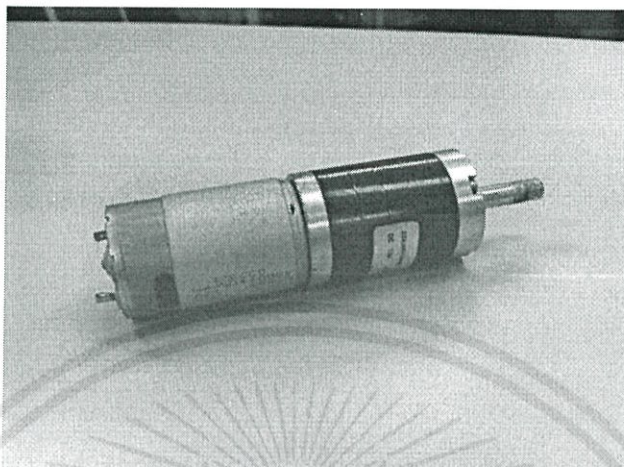
เจาะรูใช้ยึดแกนด้านข้างสองแกน ขนาด 6 mm



รูปที่ 3.9 Member 2

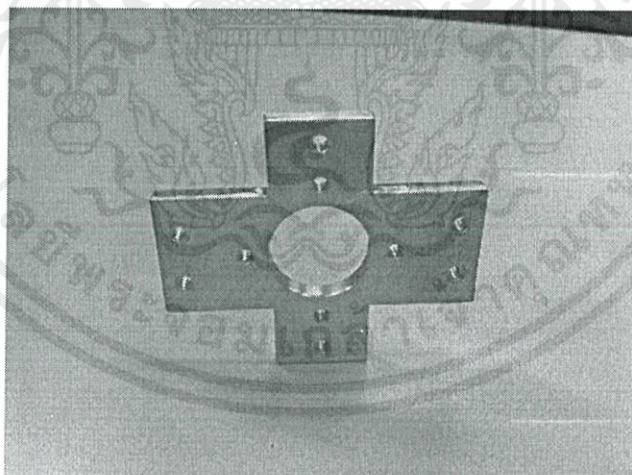
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. มอเตอร์ มอเตอร์เฟืองทด
 ความเร็วรอบ 300 rpm
 ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์



รูปที่ 3.10 มอเตอร์

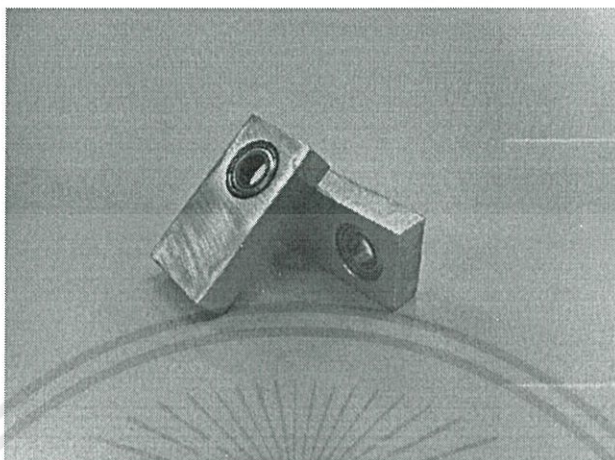
8. Member 3 อลูมิเนียม เป็นป่าสำหรับรองรับมอเตอร์
 เจาะรูกลางเส้นผ่าศูนย์กลาง 22 mm
 เจาะรูผ่านสำหรับยึดสลักเกลียวขนาด 3 mm



รูปที่ 3.11 Member 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. Member 4 อลูมิเนียม เจาะรูสวมลูกปืนสำหรับสวมเพลลาขนาด 6 mm
กว้าง 10 mm, ยาว 45 mm, สูง 25 mm
เจาะรูยึดสลักเกลียวขนาด 3 mm



รูปที่ 3.12 Member 4

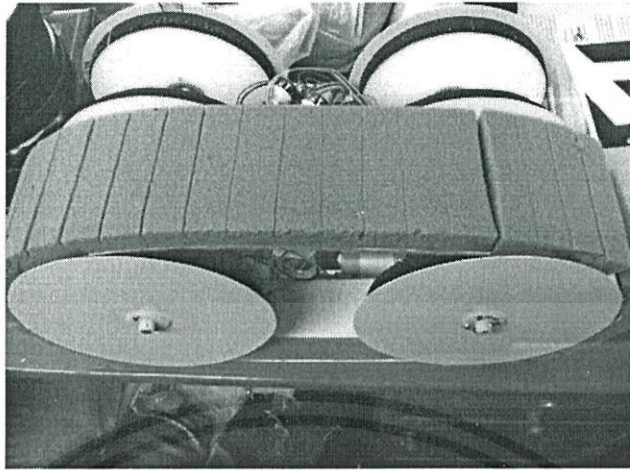
10. เฟืองส่งกำลัง เฟืองทองเหลือง สำหรับเพลลา 6 mm
ส่งกำลังผ่านต้นกำลัง (มอเตอร์) ขับแกนเพลลา 6 mm
อัตราทดส่งกำลัง 1:1



รูปที่ 3.13 เฟืองส่งกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. สายพาน พองน้ำ



รูปที่ 3.14 สายพาน

*ทั้งโครงสร้างใช้สลักเกลียวขนาด 3 mm

3.2 การคำนวณ

3.2.1 ค่าความเสียหายในวัสดุระหว่าง Member 3 กับสลักเกลียว

ค่าความเค้นวิกฤตของ Member 3 ; S_y of Member = 69 MPa

ค่าความเค้นวิกฤตของสลักเกลียว ; S_y of Bolt = 970 MPa

ค่าความเค้นเฉือนวิกฤตของสลักเกลียว ; S_{sy} of Bolt = $(0.577)(990) = 559.69$ MPa

แรงที่กระทำในแนวตั้งฉากที่กระทำต่อสลักเกลียวแต่ละตัว

$$F_A' = F_B' = \frac{2.943}{2} = 1.4715 \text{ N}$$

โมเมนต์ที่กระทำต่อสลักเกลียว

$$M = 2.943 \times 34 = 105.948 \text{ N}\cdot\text{M}$$

แรงที่กระทำในแนวขนานต่อสลักเกลียว

$$F_A'' = F_B'' = \frac{105.948}{12} = 8.829 \text{ N}$$

แรงลัพธ์ที่เกิดจากแรงในแนวตั้งฉากและแรงในแนวขนานที่กระทำต่อสลักเกลียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิใช่อัปโหลดขึ้นเว็บไซต์สาธารณะ การทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_A = F_B = \sqrt{(1.4715)^2 + (8.829)^2} = 8.95 \text{ N}$$

คำนวณค่าความปลอดภัยในกรณีแรงเฉือนที่กระทำต่อสลักเกลียว

$$A_s = \pi r^2 = \pi (1.5 \times 10^{-3})^2 = 7.07 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\tau = \frac{F}{A_s} = \frac{8.95}{7.07 \times 10^{-6}} = 1.266 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_{sy}}{\tau} = \frac{559.69 \text{ MPa}}{1.266 \text{ MPa}} = 442$$

- เมื่อ A_s คือ พื้นที่หน้าตัดรูใส่สลักเกลียว
 τ คือ ความเค้นเฉือนที่กระทำต่อสลักเกลียว
 F คือ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อสลักเกลียว
 S_{sy} คือ ค่าความเค้นเฉือนวิกฤตของสลักเกลียว
 n คือ ค่าความปลอดภัยของสลักเกลียว

คำนวณค่าความปลอดภัยในกรณีค่าแรงแบกทานของสลักเกลียว

$$A_b = (3 \times 10^{-3})(5 \times 10^{-3}) = 15 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\sigma_b = \frac{8.95}{15 \times 10^{-6}} = 0.596 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_y}{|\sigma_b|} = \frac{970 \text{ MPa}}{0.596 \text{ MPa}} = 1,627$$

- เมื่อ A_b คือ พื้นที่หน้าตัดของสลักเกลียวบน Member 3
 σ_b คือ ความเค้นที่กระทำ
 S_y คือ ค่าความเค้นวิกฤตของสลักเกลียว
 n คือ ค่าความปลอดภัยของสลักเกลียว

คำนวณค่าความปลอดภัยในกรณีค่าแรงแบกทานของ Member 3

$$\sigma_b = 0.596 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_y}{|\sigma_b|} = \frac{69 \text{ MPa}}{0.596 \text{ MPa}} = 115.7$$

- เมื่อ σ_b คือ ความเค้นที่กระทำ
 S_y คือ ค่าความเค้นวิกฤตของ Member 3
 n คือ ค่าความปลอดภัยของ Member 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณค่าความปลอดภัยในกรณีเสียรูปแบบตัดโค้งของ Member 3

$$I = \frac{(5)(28)^3}{12} - \frac{(5)(3)^3}{12} - 2\left[\frac{5(3)^3}{12} + 6^2(5)(3)\right] = 8032.92 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$\sigma = \frac{MC}{I} = \frac{105.948 \times 14 \times 10^{-3}}{8032.92 \times 10^{-9}} = 0.184 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{69 \text{ MPa}}{0.184 \text{ MPa}} = 375$$

- เมื่อ σ คือ ความเค้นดัด
 M คือ โมเมนต์ที่กระทำต่อสลักเกลียว
 C คือ ระยะจากขอบของ Member 3 ถึงจุดศูนย์กลาง
 S_y คือ ค่าความเค้นวิกฤตของ Member 3
 n คือ ค่าความปลอดภัยของ Member 3

3.2.2 ค่าทนแรงอัดของโฟม

คำนวณความหนาแน่นของโฟม

$$A = \pi(R-r)^2$$

$$A = \pi(0.11-0.026)^2 = 0.02217 \text{ m}^2$$

$$V = Ah$$

$$V = 0.025 \times 0.02217 = 0.55 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$D = \frac{M}{V}$$

$$D = \frac{18 \times 10^{-3}}{0.55 \times 10^{-3}} = 32.327 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดโฟม
 R คือ รัศมีภายในของพื้นที่หน้าตัดโฟม
 r คือ รัศมีภายนอกของพื้นที่หน้าตัดโฟม
 V คือ ปริมาตรโฟม
 h คือ ความหนาโฟม
 D คือ ความหนาแน่นโฟม
 m คือ มวลโฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

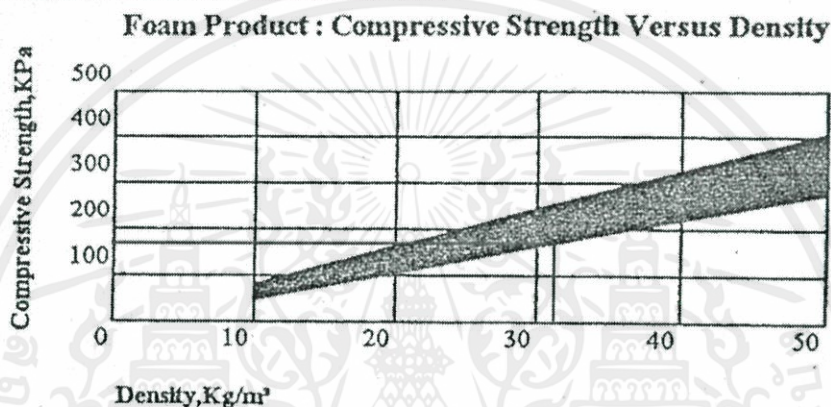
คำนวณแรงกดอัดของโฟมสภาวะ no load

$$P = \frac{F}{A}$$

$$P = \frac{2.943}{1.3 \times 10^{-3}} = 2.263 \text{ KPa}$$

- เมื่อ P คือ แรงกดอัด
F คือ แรงที่กระทำ
A คือ พื้นที่หน้าตัดที่แรงกระทำ

COMPRESSIVE STRENGTH



รูปที่ 3.15 Compressive Strength ของโฟม Polystyrene

จากรูปที่ 3.15 Compressive Strength จะได้ค่าประมาณ 160 KPa เป็นแรงกดอัดต่ำสุดที่จะทำให้โฟมเสียหาย ดังนั้นน้ำหนักสูงสุดที่สามารถรองรับได้ $= (1.3 \times 10^{-3})(160 \times 10^3) = 208 \text{ N}$

3.2.3 แรงบิดมอเตอร์

ลือคมอเตอร์หาค่ากระแสสูงสุดได้ 3A และวัตต์โวลต์ได้ 6V

กำลังมอเตอร์ = 18W และรอบมอเตอร์ = 300rpm

คำนวณแรงบิดมอเตอร์

$$\text{Velocity} = 300 \times \frac{2\pi}{60} = 31.416 \text{ rad/sec}$$

$$\text{Power} = (\text{Velocity})(\text{Torque})$$

$$\text{Torque} = \frac{18}{31.416} = 0.573 \text{ N}\cdot\text{m} = 5.841 \text{ kg}\cdot\text{cm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตามหากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและขอสงวนสิทธิ์ในการนำไปใช้

คำนวณความเร็วสูงสุด: ล้อมีรัศมี 0.11m, รอบมอเตอร์ = 300rpm

$$\text{หมุน 1 รอบ} = 2\pi r = 2\pi(0.11) = 0.69\text{m}$$

$$\text{ใน 1 นาที จะได้ระยะทาง} = 300 \times 0.69 = 207\text{m}$$

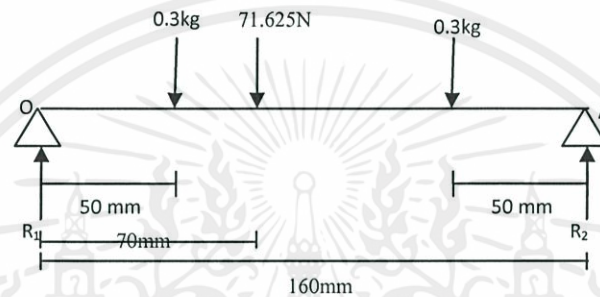
$$\text{ความเร็วสูงสุด} = \frac{207}{60} = 3.45 \text{ m/s} = 12.44 \text{ km/hr}$$

3.2.4 ค่าความเสียหายในวัสดุระหว่าง Member 4 กับเพลลา 6 มม

ค่าความเค้นวิกฤตของ Member 4 ; S_y of Member = 69 MPa

ค่าความเค้นวิกฤตของเพลลา ; S_y of Shaft = 648 MPa

คำนวณโมเมนต์ตัดและแรงเฉือนของเพลลา



รูปที่ 3.16 แผนภาพอิสระของเพลลา 6 มม

$$T = F \times R = 0.573$$

$$F = \frac{0.573}{0.008} = 71.625 \text{ N}$$

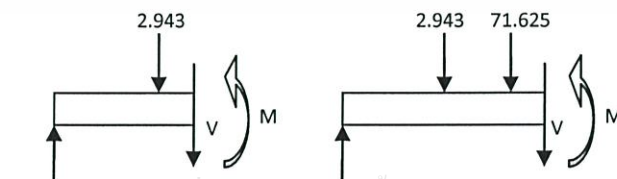
$$\sum M_0 = 0: R_2(0.16) = 0.3(9.81)(0.05) + 0.3(9.81)(0.11) + (71.625)(0.07)$$

$$R_2 = 34.2789 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0: R_1 + R_2 = [(0.3+0.3) \times 9.81] + 71.625$$

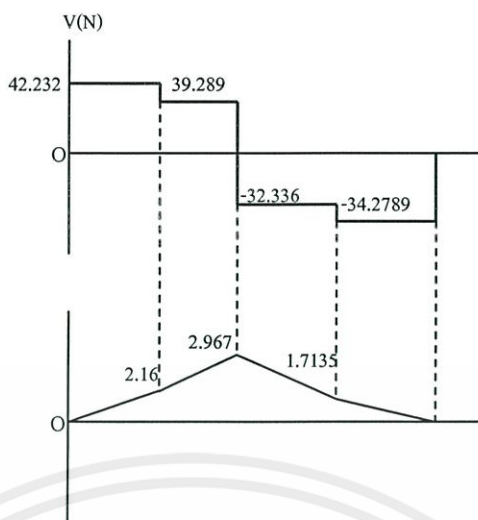
$$R_1 = 43.232 \text{ N}$$

- เมื่อ M_0 คือ โมเมนต์ที่จุด O
 R_1 คือ แรงปฏิกิริยาที่จุด O
 R_2 คือ แรงปฏิกิริยาที่จุด A
 F_y คือ แรงตามแนวแกน Y



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษา $R_1=43.232$ $R_1=43.232$ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเป็นต้นฉบับ และต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.17 ภาพตัดเพลลา



รูปที่ 3.18 Shear and Bending Moment Diagram

คำนวณค่าความเค้นสูงสุด

$$I_x = I_y = \frac{\pi D^4}{64} = \frac{\pi(0.006)^4}{64}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{2.96738(0.003)}{\frac{\pi(0.006)^4}{64}} = 139.9 \text{ MPa}$$

- เมื่อ
- I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของเพลลา
 - D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของเพลลา
 - σ_{\max} คือ ความเค้นสูงสุด
 - M คือ โมเมนต์ของเพลลา
 - C คือ ระยะจากขอบของ Member 4 ถึงจุดศูนย์กลาง

คำนวณค่าความปลอดภัยระหว่าง Member 4 กับเพลลา 6 มม

$$\sigma_b = 139.9 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_y}{|\sigma_b|} = \frac{648 \text{ MPa}}{139.9 \text{ MPa}} = 4.632$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 ค่าความเสียหายบนเพลลา 6 มม

คำนวณค่าแรงเฉือนบิด

$$\tau_{\max} = \frac{16T}{\pi d^3} = \frac{16 \times 0.573}{\pi (0.006)^3}$$

$$\tau_{\max} = 13.51 \text{ MPa}$$

คำนวณค่าความปลอดภัยบนเพลลา 6 มม

$$n = \frac{0.5S_y}{\tau_{\max}} = \frac{0.5(648)}{13.51} = 23.98$$

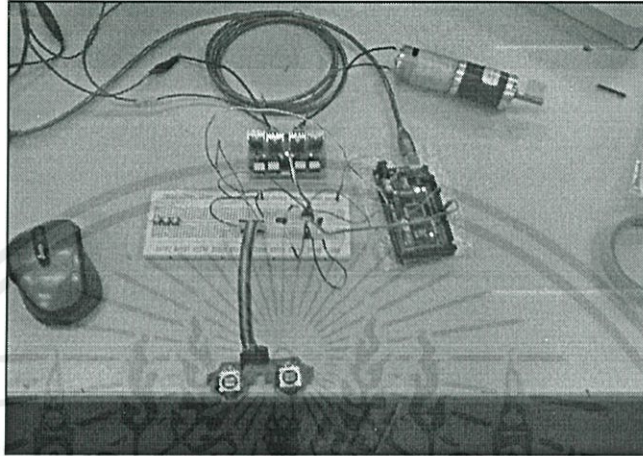


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง

4.1 การทดสอบระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



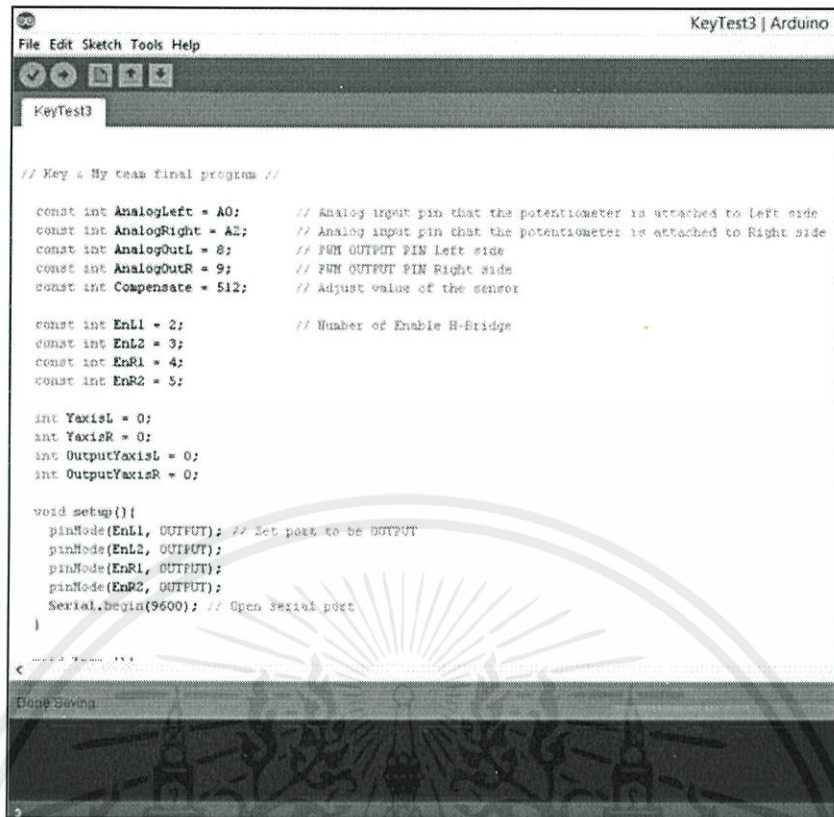
รูปที่ 4.1 ทดสอบการควบคุมมอเตอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เลือกใช้ Arduino mega 2560 r3 ซึ่งมีข้อมูลทางเทคนิค ดังนี้

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (14 Provide PWM Output, 4 UART TTL)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB (8 KB Used By Bootloader)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีการดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

KeyTest3 | Arduino
File Edit Sketch Tools Help
KeyTest3
// Key & My team final program //

const int AnalogLeft = A0; // Analog input pin that the potentiometer is attached to Left side
const int AnalogRight = A2; // Analog input pin that the potentiometer is attached to Right side
const int AnalogOutL = 8; // PWM OUTPUT PIN Left side
const int AnalogOutR = 9; // PWM OUTPUT PIN Right side
const int Compensate = 512; // Adjust value of the sensor

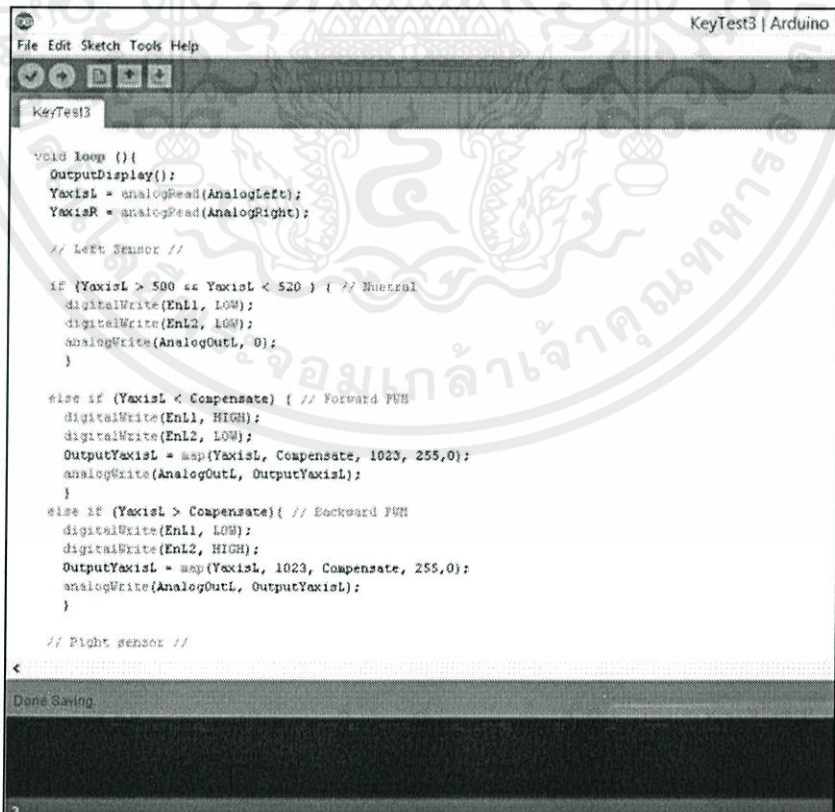
const int EnL1 = 2; // Number of Enable H-Bridge
const int EnL2 = 3;
const int EnR1 = 4;
const int EnR2 = 5;

int YaxisL = 0;
int YaxisR = 0;
int OutputYaxisL = 0;
int OutputYaxisR = 0;

void setup(){
  pinMode(EnL1, OUTPUT); // Set pins to be OUTPUT
  pinMode(EnL2, OUTPUT);
  pinMode(EnR1, OUTPUT);
  pinMode(EnR2, OUTPUT);
  Serial.begin(9600); // Open serial port
}
Done Saving

```

รูปที่ 4.2 โปรแกรมควบคุม PWM (1)



```

KeyTest3 | Arduino
File Edit Sketch Tools Help
KeyTest3
void loop () {
  OutputDisplay();
  YaxisL = analogRead(AnalogLeft);
  YaxisR = analogRead(AnalogRight);

  // Left Sensor //
  if (YaxisL > 500 && YaxisL < 520 ) { // Neutral
    digitalWrite(EnL1, LOW);
    digitalWrite(EnL2, LOW);
    analogWrite(AnalogOutL, 0);
  }

  else if (YaxisL < Compensate) { // Forward PWM
    digitalWrite(EnL1, HIGH);
    digitalWrite(EnL2, LOW);
    OutputYaxisL = map(YaxisL, Compensate, 1023, 255,0);
    analogWrite(AnalogOutL, OutputYaxisL);
  }

  else if (YaxisL > Compensate){ // Backward PWM
    digitalWrite(EnL1, LOW);
    digitalWrite(EnL2, HIGH);
    OutputYaxisL = map(YaxisL, 1023, Compensate, 255,0);
    analogWrite(AnalogOutL, OutputYaxisL);
  }

  // Right sensor //
}
Done Saving

```

รูปที่ 4.3 โปรแกรมควบคุม PWM (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

ะโยชน์ด้านการค้า
การนำไปใช้

```

File Edit Sketch Tools Help
KeyTest3
// Right sensor //

if (YaxisR > 500 && YaxisR < 520 ) {
  digitalWrite(EnR1, LOW);
  digitalWrite(EnR2, LOW);
  analogWrite(AnalogOutL, 0);
}
else if (YaxisR < Compensate ) {
  digitalWrite(EnR1, HIGH);
  digitalWrite(EnR2, LOW);
  OutputYaxisR = map(YaxisR, Compensate, 1023, 255,0);
  analogWrite(AnalogOutR, OutputYaxisR);
}
else if (YaxisR > Compensate ){
  digitalWrite(EnR1, LOW);
  digitalWrite(EnR2, HIGH);
  OutputYaxisR = map(YaxisR, 1023, Compensate, 255,0);
  analogWrite(AnalogOutR, OutputYaxisR);
}
}

void OutputDisplay() {
  Serial.print(YaxisL);
  Serial.print(",");
  Serial.print(OutputYaxisL);
  Serial.print(",");
  Serial.print(EnL1);
  Serial.print(EnL2);
}
Done Saving

```

รูปที่ 4.4 โปรแกรมควบคุม PWM (3)

```

File Edit Sketch Tools Help
KeyTest3
OutputYaxisR = map(YaxisR, 1023, Compensate, 255,0);
analogWrite(AnalogOutR, OutputYaxisR);
}
}

void OutputDisplay() {
  Serial.print(YaxisL);
  Serial.print(",");
  Serial.print(OutputYaxisL);
  Serial.print(",");
  Serial.print(EnL1);
  Serial.print(EnL2);
  Serial.print ("---");

  Serial.print(YaxisR);
  Serial.print(",");
  Serial.print(OutputYaxisR);
  Serial.print(",");
  Serial.print(EnR1);
  Serial.print(EnR2);

  Serial.println ("-----"); // Serial Monitor Print out
}

// End //
Done Saving

```

รูปที่ 4.5 โปรแกรมควบคุม PWM (4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในอาคารศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โค้ดที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์กระแสตรง และคำอธิบาย

```

const int AnalogLeft = A0; // รับสัญญาณอนาล็อกมาจากเซนเซอร์ที่รีโมทคอนโทรล [ข้าง
                             ซ้าย]
const int AnalogRight = A2; // รับสัญญาณอนาล็อกมาจากเซนเซอร์ที่รีโมทคอนโทรล [ข้าง
                              ขวา]
const int AnalogOutL = 8; // กำหนดพอร์ต 8 เป็นขาที่ส่งค่า "AnalogOutL"
const int AnalogOutR = 9; // กำหนดพอร์ต 9 เป็นขาที่ส่งค่า "AnalogOutR"
const int Compensate = 512; // ประกาศค่าตัวชดเชยเซนเซอร์รีโมทคอนโทรล
const int EnL1 = 2; // กำหนดพอร์ต 2 เป็นขาที่ส่งค่า "EnL1" เพื่อควบคุมวงจร
                    H-Bridge
const int EnL2 = 3; // กำหนดพอร์ต 3 เป็นขาที่ส่งค่า "EnL2" เพื่อควบคุมวงจร
                    H-Bridge
const int EnR1 = 4; // กำหนดพอร์ต 4 เป็นขาที่ส่งค่า "EnR1" เพื่อควบคุมวงจร
                    H-Bridge
const int EnR2 = 5; // กำหนดพอร์ต 5 เป็นขาที่ส่งค่า "EnR2" เพื่อควบคุมวงจร
                    H-Bridge

int YaxisL = 0; // ประกาศค่าตัวแปร "YaxisL"
int YaxisR = 0; // ประกาศค่าตัวแปร "YaxisR"
int OutputYaxisL = 0; // ประกาศค่าตัวแปร "OutputYaxisL"
int OutputYaxisR = 0; // ประกาศค่าตัวแปร "OutputYaxisR"
int adcPin = 5; // ประกาศขาอินพุตเซนเซอร์เป็นขาเบอร์ 5
int adcValue = 0; // ประกาศค่าตัวแปร "adcValue"
float v; // ประกาศการคิดแบบทศนิยม
float rs,ppm;

void setup() { // คำสั่งตั้งค่าต่าง ๆ ตอนเริ่มโปรแกรม
  pinMode(EnL1, OUTPUT); // กำหนดขา EnL1 เป็นขาที่ส่งค่าเอาต์พุต
  pinMode(EnL2, OUTPUT); // กำหนดขา EnL2 เป็นขาที่ส่งค่าเอาต์พุต
  pinMode(EnR1, OUTPUT); // กำหนดขา EnR1 เป็นขาที่ส่งค่าเอาต์พุต
  pinMode(EnR2, OUTPUT); // กำหนดขา EnR2 เป็นขาที่ส่งค่าเอาต์พุต
  Serial.begin(9600); // เปิดพอร์ตสื่อสารแบบอนุกรม

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษามาก่อน เป็นอนาล็อกให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
void loop (){ // เปิดฟังก์ชันทำงานต่อเนื่อง
  OutputDisplay(); // ฟังก์ชันย่อย สำหรับอ่านค่าอินพุต และ
                  // เอาต์พุต
  Sensor(); // ฟังก์ชันย่อย ระบบเซนเซอร์
  YaxisL = analogRead(AnalogLeft); // อ่านค่าอนาล็อก แล้วนำค่าไปเก็บไว้ในตัวแปร
  YaxisR = analogRead(AnalogRight); // ค่าที่อ่านเป็นสัญญาณอนาล็อก

// ต่อกันเป็นส่วนโปรแกรมจากเซนเซอร์ทางซ้าย เพื่อควบคุมมอเตอร์ฝั่งซ้าย //
if (YaxisL > 500 && YaxisL < 520 ) { // เงื่อนไขการทำงานที่ 1 ทำงานสำหรับเกียร์ว่าง
  digitalWrite(EnL1, LOW); // สั่งเขียนสัญญาณดิจิทัล V= 0 ขา EnL1
  digitalWrite(EnL2, LOW); // สั่งเขียนสัญญาณดิจิทัล V= 0 ขา EnL2
  analogWrite(AnalogOutL, 0); // เขียนสัญญาณอนาล็อกส่งค่า 0 ออกเอาต์พุต
}
else if (YaxisL < Compensate) { // เงื่อนไขการทำงานที่ 2 เมื่อค่าอินพุตน้อยกว่า
                                // ค่าชดเชย
  digitalWrite(EnL1, HIGH); // สั่งเขียนสัญญาณดิจิทัล V= 5 ขา EnL1
  digitalWrite(EnL2, LOW); // สั่งเขียนสัญญาณดิจิทัล V= 0 ขา EnL2
  OutputYaxisL = map(YaxisL, Compensate, 1023, 255,0);
  // เปรียบเทียบค่าสัญญาณ แล้วแปลงค่าจาก 10 บิต เป็นค่า 8 บิตเพื่อนำไปจ่าย PWM
  analogWrite(AnalogOutL, OutputYaxisL);
  // เขียนสัญญาณอนาล็อกส่งค่าจาก AnalogOutL ไป OutputYaxisL
}
else if (YaxisL > Compensate){ // เงื่อนไขการทำงานที่ 3 เมื่อค่าอินพุตมากกว่า
                                // ค่าชดเชย
  digitalWrite(EnL1, LOW); // สั่งเขียนสัญญาณดิจิทัล V= 0 ขา EnL1
  digitalWrite(EnL2, HIGH); // สั่งเขียนสัญญาณดิจิทัล V= 5 ขา EnL2
  OutputYaxisL = map(YaxisL, 1023, Compensate, 255,0);
  // เปรียบเทียบค่าสัญญาณ แล้วแปลงค่าจาก 10 บิต เป็นค่า 8 บิตเพื่อนำไปจ่าย PWM
  analogWrite(AnalogOutL, OutputYaxisL);
  // เขียนสัญญาณอนาล็อกส่งค่าจาก AnalogOutL ไป OutputYaxisL
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// ส่วนถัดไปเป็นโปรแกรมจากเซนเซอร์ทางขวา ซึ่งทำงานลักษณะเดียวกันกับทางด้านซ้าย //
if (YaxisR > 500 && YaxisR < 520 ) {
    digitalWrite(EnR1, LOW);
    digitalWrite(EnR2, LOW);
    analogWrite(AnalogOutR, 0);
}
else if (YaxisR < Compensate ) {
    digitalWrite(EnR1, HIGH);
    digitalWrite(EnR2, LOW);
    OutputYaxisR = map(YaxisR, Compensate, 1023, 255,0);
    analogWrite(AnalogOutR, OutputYaxisR);
}
else if (YaxisR > Compensate ){
    digitalWrite(EnR1, LOW);
    digitalWrite(EnR2, HIGH);
    OutputYaxisR = map(YaxisR, 1023, Compensate, 255,0);
    analogWrite(AnalogOutR, OutputYaxisR);
}
}

void OutputDisplay() { // ฟังก์ชันย่อย เพื่อแสดงค่าส่งผ่านมาที่จอควบคุม
    Serial.print(YaxisL); // คำสั่งเขียนค่า "YaxisL" มาแสดงที่จอควบคุม
    Serial.print(","); // คำสั่งเขียนค่า "," มาแสดงต่อที่จอควบคุม
    Serial.print(OutputYaxisL); // คำสั่งเขียนค่า "OutputYaxisL" มาแสดงที่จอควบคุม
    Serial.print(","); // คำสั่งเขียนค่า "," มาแสดงต่อที่จอควบคุม
    Serial.print(EnL1); // คำสั่งเขียนค่า "EnL1" มาแสดงต่อที่จอควบคุม
    Serial.print(EnL2); // คำสั่งเขียนค่า "EnL2" มาแสดงต่อที่จอควบคุม
    Serial.print ("---"); // คำสั่งเขียนค่า "---" มาแสดงต่อที่จอควบคุม
    Serial.print(YaxisR); // คำสั่งเขียนค่า "YaxisR" มาแสดงต่อที่จอควบคุม
    Serial.print(","); // คำสั่งเขียนค่า "," มาแสดงต่อที่จอควบคุม
    Serial.print(OutputYaxisR); // คำสั่งเขียนค่า "OutputYaxisR" มาแสดงต่อที่จอควบคุม
    Serial.print(","); // คำสั่งเขียนค่า "," มาแสดงต่อที่จอควบคุม
    Serial.print(EnR1); // คำสั่งเขียนค่า "EnR1" มาแสดงต่อที่จอควบคุม
    Serial.print(EnR2); // คำสั่งเขียนค่า "EnR2" มาแสดงต่อที่จอควบคุม
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.println ("-----");           // คำสั่งเขียนค่า “-----” ก่อนแสดงต่อที่จอควบคุม
Serial.print("Sensor Volt Output");   // คำสั่งเขียนค่า “Sensor Volt Output” ก่อนแสดง
                                        ต่อที่จอควบคุม
Serial.println (v);                   // คำสั่งเขียนค่า “v” มาแสดงต่อที่จอควบคุม
Serial.print("Reading Sensor=");     // คำสั่งเขียน “Reading Sensor=” มาแสดงต่อที่จอ
                                        ควบคุม
Serial.println (rs);                  // คำสั่งเขียนค่า “rs” มาแสดงต่อที่จอควบคุม
}

```

จากโปรแกรมข้างต้นเป็นการรับข้อมูลจากเซนเซอร์อนาล็อกผ่านไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วประมวลผลก่อนส่งค่าออกไปยัง Output โดยเซนเซอร์ของการบังคับจะรับค่าสัญญาณอนาล็อกเข้าพอร์ต A₀ และ A₂ เป็นเลขค่า 10 บิต จากนั้น MCU นำค่าที่ได้ไปประมวลผลในฟังก์ชันที่กำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ไว้ เพื่อที่จะไปทำการควบคุมวงจร H-Bridge 2 วงจร ผ่านพอร์ต 2, 3, 4 และ 5 นอกจากนี้ยังคำนวณส่งค่าสัญญาณ PWM เพื่อควบคุมความเร็วมอเตอร์ ซึ่งจะส่งค่าออกมาเป็น 8 บิต ทางขา 8 และ 9 หลังจากที่ได้รับค่าทั้งหมด ยังเปิดพอร์ตการส่งข้อมูลแบบ Serial Port เพื่อสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ และสามารถเช็คค่าข้อมูลต่าง ๆ ผ่านทางหน้าจออินเทอร์เฟซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

COM3
Sensor Volt Output0.00
Reading Sensor=0.00
Sensor Volt Output1.67
Reading Sensor=39.71
Sensor Volt Output1.67
Reading Sensor=39.88
Sensor Volt Output1.67
Reading Sensor=40.06
Sensor Volt Output1.67
Reading Sensor=40.06
Sensor Volt Output1.67
Reading Sensor=39.71
Sensor Volt Output1.67
Reading Sensor=39.71
Sensor Volt Output3.44
Reading Sensor=9.05
Sensor Volt Output5.96
Reading Sensor=5.25
Sensor Volt Output4.07
Reading Sensor=4.59
Sensor Volt Output4.13
Reading Sensor=4.21
Sensor Volt Output3.88
Reading Sensor=5.76
Sensor Volt Output4.34
Reading Sensor=3.04
Sensor Volt Output4.52
Reading Sensor=2.12
Sensor Volt Output4.50
Reading Sensor=2.24
Sensor Volt Output5.95
Reading Sensor=5.35
Sensor Volt Output3.28
Reading Sensor=10.48
Sensor Volt Output2.75
Reading Sensor=16.31
Sensor Volt Output2.40
Reading Sensor=21.71
Autoscroll

```

รูปที่ 4.7 ค่า Sensor Volt Output

ค่า Sensor Volt Output จะเป็นค่าที่แสดงความต้านทานภายในตัวเซนเซอร์ตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในสภาวะปกติจะแสดงค่าคงที่ค่าหนึ่ง แต่ถ้ามีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะทำให้ความต้านทานภายในเปลี่ยนไป ซึ่งจากรูปที่ 4.7 เมื่อตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ค่าเซนเซอร์ Volt Output จะมีค่าลดลงอย่างชัดเจน

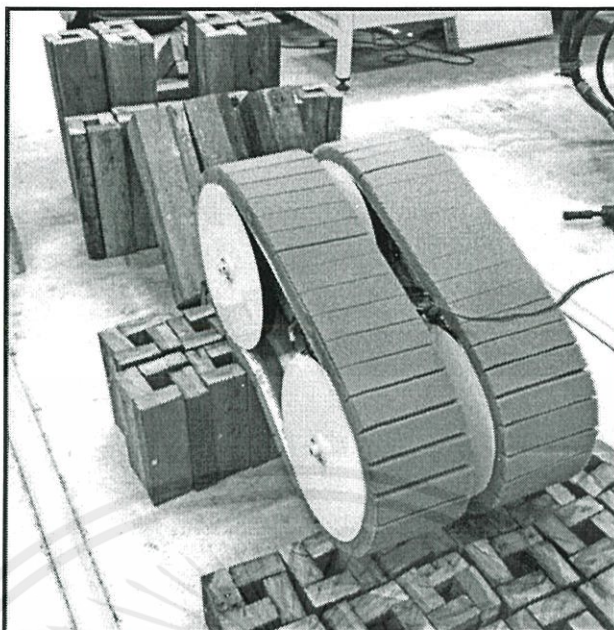
4.2 การทดสอบระบบขับเคลื่อน

เครื่องมือและวิธีการ

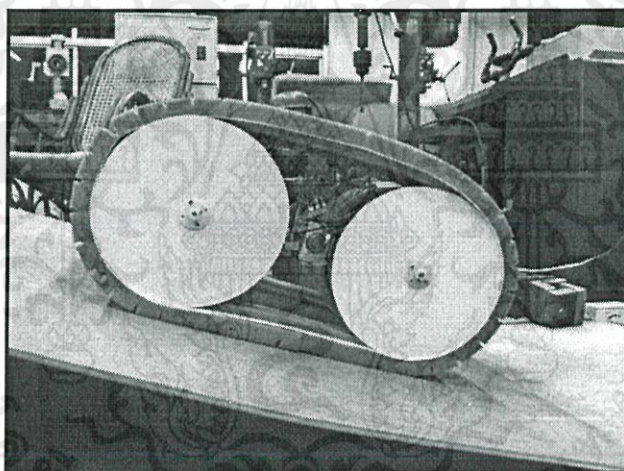
สนามจำลองประกอบด้วยเนินเอียง 15° สลับในทิศทางต่างๆ พื้นเอียง 45° และ 60° เพื่อทดสอบแรงบิดของมอเตอร์ และแรงเสียดทานในการยึดเกาะของหุ่นยนต์ พื้นที่ใช้แบบสลับโดยสร้างจากท่อไม้ที่มีหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 10 เซนติเมตร ที่มีความสูง 10, 20, 30, 40 และ 50 เซนติเมตรสลับกันไป ซึ่งจะทำให้เกิดพื้นที่ ราบ เนิน และปุ่มแบบสุ่ม ตามแบบของการแข่งขันหุ่นยนต์ กู้ภัยระดับชาติ

ซึ่งในส่วนนี้ของโครงการนี้จะทำการทดสอบโมดูลระบบขับเคลื่อนที่ได้ออกแบบมา โดยนำไปติดกับล้อแบบสายพาน เพื่อการทดสอบประสิทธิภาพ ความแข็งแรง และระบบควบคุมของโมดูลขับเคลื่อนในสถานการณ์จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ทดสอบการขับเคลื่อนผ่านสิ่งกีดขวาง



รูปที่ 4.9 ทดสอบการขับเคลื่อนขึ้นเนินเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การทดสอบระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

จากการทดลองข้างต้น “การทดสอบระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์” ระบบสามารถควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า และโลจิกเปิด/ปิด จากการที่รับค่าสัญญาณอนาล็อก เข้ามาประมวลผลแล้วเปลี่ยนค่าที่รับมาได้เป็นสัญญาณลูกคลื่น PWM เพื่อควบคุมความเร็วมอเตอร์ พร้อมทั้งส่งค่าโลจิกควบคุมวงจร H-Bridge ในการบังคับทิศทางของมอเตอร์ รวมถึงการสื่อสารส่งสัญญาณแบบอนุกรมติดต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถตอบสนองได้รวดเร็ว ลักษณะแบบ Real Time

5.1.2 การทดสอบระบบขับเคลื่อน

จากการทดสอบระบบขับเคลื่อน โมดูลขับเคลื่อนเมื่อนำมาประกอบเข้ากับล้อสายพาน สามารถขับเคลื่อนข้ามผ่านสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ได้ สามารถปีนป่ายได้สูงสุดที่ความสูงเท่ากับขนานล้อสายพาน แต่ในส่วนของล้อบางส่วนเกิดความเสียหาย และในบางกรณีการออกแบบตัวโครงหุ่นไม่สอดคล้องกับการเคลื่อนไหวประเภทปีนป่าย หลังจากทำการทดลองได้ตรวจสอบความแข็งแรง และคงทนของโมดูล ทุกอย่างอยู่ในสภาพดี ไม่เกิดความเสียหายที่ตัวโมดูลขับเคลื่อนตามที่ได้คำนวณไว้

5.2 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ไข

5.2.1 ปัญหาที่พบ

ในส่วนต่าง ๆ ที่ออกแบบมา เมื่อนำไปทำโมดูลต้นแบบแล้วนั้น ในหลาย ๆ ชิ้นส่วนมีขนาดและความผิดพลาดไปจากแบบเดิม ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาหลายอย่างตามมา ในส่วนโปรแกรมเริ่มแรกมีปัญหาความผิดพลาดบ้างเล็กน้อยในการนำไปใช้จริงหลังจากการทดลอง เนื่องด้วยสัญญาณรบกวนทั้งภายนอกและภายใน ที่มากระทบกับไมโครคอนโทรลเลอร์

5.2.2 แนวทางการแก้ไข

สำหรับการสร้างโมเดลต้นแบบมานั้นมีข้อผิดพลาดส่วนใหญ่มาจากความเที่ยงตรง และคุณภาพของการผลิตชิ้นส่วนต้นแบบ ซึ่งอาจเกิดจากทักษะและความสามารถในการใช้อุปกรณ์ของตัวผู้สร้างเองที่มีไม่เพียงพอ แต่จะสามารถแก้ปัญหาได้โดยในส่วนที่ต้องการความเที่ยงตรง และแม่นยำสูง อาจจะต้องใช้เครื่องมือที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ เช่น เครื่อง CNC และการเจาะชิ้นงานต่าง ๆ ควรจะต้องมีการเจาะนำคุนยก่อนทุกครั้งโดยเฉพาะในส่วนของล้อที่ใช้ขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนาต่อ

สำหรับโครงการในครั้งนี้เป็นส่วนหนึ่งของหุ่นยนต์กู้ภัยซึ่งได้ทำการออกแบบเฉพาะโมดูลขับเคลื่อนที่สามารถดัดแปลงแปลง ต่อเติมได้ตามสถานการณ์ต่าง ๆ และชุดควบคุมการขับเคลื่อน แต่เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในสถานการณ์จริง ยังต้องมีส่วนประกอบอื่น ๆ อีก อาทิ ระบบส่งสัญญาณสื่อสารระยะไกล ระบบการมองเห็น และระบบเซ็นเซอร์ต่าง ๆ รวมทั้งการออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์ที่สามารถทำการศึกษา ค้นคว้า และออกแบบเพิ่มเติมได้อีกในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett. *Shigley's Mechanical Engineering Design*. 9th ED. New York : McGraw-Hill. 2011.
- [2] "Society of Robot." [Online]. Available : <http://www.societyofrobots.com>. 2005.
- [3] "ARDUINO." [Online]. Available : <http://www.arduino.cc>. 2006.
- [4] Asia Polyplastic Industry co., LTD. "ความรู้เกี่ยวกับ EPS FOAM." [Online]. Available : http://www.asiapolyplastic.co.th/eps_foam.html. 2001.
- [5] eFunda, Inc. "Carbon Steels." [Online]. Available : http://www.efunda.com/materials/alloys/carbon_steels/carbon.cfm. 1998
- [6] "Thai Easy Electronics." [Online]. Available : <http://www.thaieasyelec.com>. 2010



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table A-21**Mean Mechanical Properties of Some Heat-Treated Steels**

[These are typical properties for materials normalized and annealed. The properties for quenched and tempered (Q&T) steels are from a single heat. Because of the many variables, the properties listed are global averages. In all cases, data were obtained from specimens of diameter 0.505 in, machined from 1-in rounds, and of gauge length 2 in, unless noted, all specimens were oil-quenched.] *Source: ASM Metals Reference Book, 2d ed., American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1983.*

1	2	3	4	5	6	7	8
AISI No.	Treatment	Temperature °C (°F)	Tensile Strength MPa (kpsi)	Yield Strength, MPa (kpsi)	Elongation, %	Reduction in Area, %	Brinell Hardness
1030	Q&T*	205 (400)	848 (123)	648 (94)	17	47	495
	Q&T*	315 (600)	800 (116)	621 (90)	19	53	401
	Q&T*	425 (800)	731 (106)	579 (84)	23	60	302
	Q&T*	540 (1000)	669 (97)	517 (75)	28	65	255
	Q&T*	650 (1200)	586 (85)	441 (64)	32	70	207
	Normalized	925 (1700)	521 (75)	345 (50)	32	61	149
	Annealed	870 (1600)	430 (62)	317 (46)	35	64	137
1040	Q&T	205 (400)	779 (113)	593 (86)	19	48	262
	Q&T	425 (800)	758 (110)	552 (80)	21	54	241
	Q&T	650 (1200)	634 (92)	434 (63)	29	65	192
	Normalized	900 (1650)	590 (86)	374 (54)	28	55	170
	Annealed	790 (1450)	519 (75)	353 (51)	30	57	149
1050	Q&T*	205 (400)	1120 (163)	807 (117)	9	27	514
	Q&T*	425 (800)	1090 (158)	793 (115)	13	36	444
	Q&T*	650 (1200)	717 (104)	538 (78)	28	65	235
	Normalized	900 (1650)	748 (108)	427 (62)	20	39	217
	Annealed	790 (1450)	636 (92)	365 (53)	24	40	187
1060	Q&T	425 (800)	1080 (156)	765 (111)	14	41	311
	Q&T	540 (1000)	965 (140)	669 (97)	17	45	277
	Q&T	650 (1200)	800 (116)	524 (76)	23	54	229
	Normalized	900 (1650)	776 (112)	421 (61)	18	37	229
	Annealed	790 (1450)	626 (91)	372 (54)	22	38	179
1095	Q&T	315 (600)	1260 (183)	813 (118)	10	30	375
	Q&T	425 (800)	1210 (176)	772 (112)	12	32	363
	Q&T	540 (1000)	1090 (158)	676 (98)	15	37	321
	Q&T	650 (1200)	896 (130)	552 (80)	21	47	269
	Normalized	900 (1650)	1010 (147)	500 (72)	9	13	293
1141	Annealed	790 (1450)	658 (95)	380 (55)	13	21	192
	Q&T	315 (600)	1460 (212)	1280 (186)	9	32	415
	Q&T	540 (1000)	896 (130)	765 (111)	18	57	262

(continued)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table A-24Mechanical Properties of Three Non-Steel Metals (*Continued*)

(b) Mechanical Properties of Some Aluminum Alloys

[These are typical properties for sizes of about $\frac{1}{2}$ in; similar properties can be obtained by using proper purchase specifications. The values given for fatigue strength correspond to $50(10^7)$ cycles of completely reversed stress.

Alluminum alloys do not have an endurance limit. Yield strengths were obtained by the 0.2 percent offset method.]

Aluminum Association Number	Temper	Strength			Elongation in 2 in, %	Brinell Hardness H_B
		Yield, S_y , MPa (kpsi)	Tensile, S_{UT} , MPa (kpsi)	Fatigue, S_f , MPa (kpsi)		
Wrought:						
2017	O	70 (10)	179 (26)	90 (13)	22	45
2024	O	76 (11)	186 (27)	90 (13)	22	47
	T3	345 (50)	482 (70)	138 (20)	16	120
3003	H12	117 (17)	131 (19)	55 (8)	20	35
	H16	165 (24)	179 (26)	65 (9.5)	14	47
3004	H34	186 (27)	234 (34)	103 (15)	12	63
	H38	234 (34)	276 (40)	110 (16)	6	77
5052	H32	186 (27)	234 (34)	117 (17)	18	62
	H36	234 (34)	269 (39)	124 (18)	10	74
Cast:						
319.0*	T6	165 (24)	248 (36)	69 (10)	2.0	80
333.0†	T5	172 (25)	234 (34)	83 (12)	1.0	100
	T6	207 (30)	289 (42)	103 (15)	1.5	105
335.0*	T6	172 (25)	241 (35)	62 (9)	3.0	80
	T7	248 (36)	262 (38)	62 (9)	0.5	85

*Sand casting.

†Permanent-mold casting.

(c) Mechanical Properties of Some Titanium Alloys

Titanium Alloy	Condition	Yield, S_y , (0.2% offset) MPa (kpsi)	Strength Tensile, S_{UT} , MPa (kpsi)	Elongation in 2 in, %	Hardness (Brinell or Rockwell)
Ti-35A [†]	Annealed	210 (30)	275 (40)	30	135 HB
Ti-50A [†]	Annealed	310 (45)	380 (55)	25	215 HB
Ti-0.2 Pd	Annealed	280 (40)	340 (50)	28	200 HB
Ti-5 Al-2.5 Sn	Annealed	760 (110)	790 (115)	16	36 HRC
Ti-8 Al-1 Mo-1 V	Annealed	900 (130)	965 (140)	15	39 HRC
Ti-6 Al-6 V-2 Sn	Annealed	970 (140)	1030 (150)	14	38 HRC
Ti-6Al-4V	Annealed	830 (120)	900 (130)	14	36 HRC
Ti-13 V-11 Cr-3 Al	Sol. + aging	1207 (175)	1276 (185)	8	40 HRC








[†]Commercially pure alpha titanium.

1047

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 8-11

Metric Mechanical-Property Classes for Steel Bolts, Screws, and Studs*

Property Class	Size Range, Inclusive	Minimum Proof Strength, [†] MPa	Minimum Tensile Strength, [†] MPa	Minimum Yield Strength, [†] MPa	Material	Head Marking
4.6	M5–M36	225	400	240	Low or medium carbon	
4.8	M1.6–M16	310	420	340	Low or medium carbon	
5.8	M5–M24	380	520	420	Low or medium carbon	
8.8	M16–M36	600	830	660	Medium carbon, Q&T	
9.8	M1.6–M16	650	900	720	Medium carbon, Q&T	
10.9	M5–M36	830	1040	940	Low-carbon martensite, Q&T	
12.9	M1.6–M36	970	1220	1100	Alloy, Q&T	

*The thread length for bolts and cap screws is

$$L_T = \begin{cases} 2d + 6 & L \leq 125 \\ 2d + 12 & 125 < L \leq 200 \\ 2d + 25 & L > 200 \end{cases}$$

where L is the bolt length. The thread length for structural bolts is slightly shorter than given above.

†Minimum strengths are strengths exceeded by 99 percent of fasteners.

8-7 Tension Joints—The External Load

Let us now consider what happens when an external tensile load P , as in Fig. 8-13, is applied to a bolted connection. It is to be assumed, of course, that the clamping force, which we will call the *preload* F_i , has been correctly applied by tightening the nut *before* P is applied. The nomenclature used is:

$$F_i = \text{preload}$$

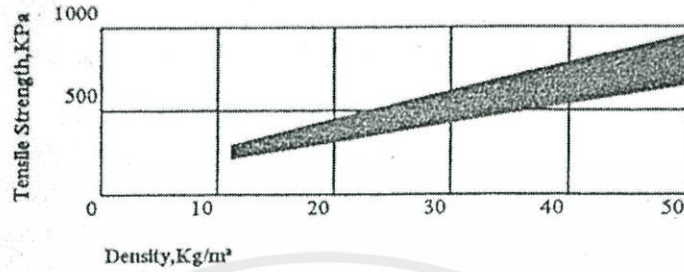
$$P_{\text{total}} = \text{Total external tensile load applied to the joint}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Expandable Polystyrene

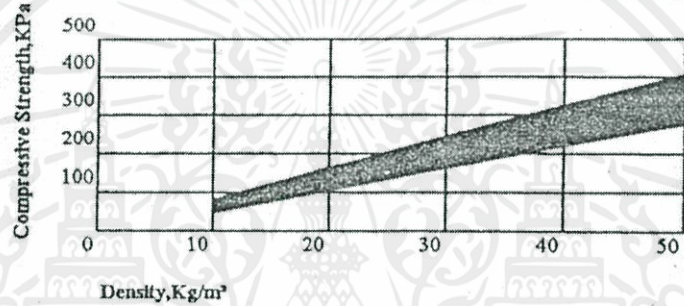
TENSILE STRENGTH

Foam Product : Tensile Strength Versus Density



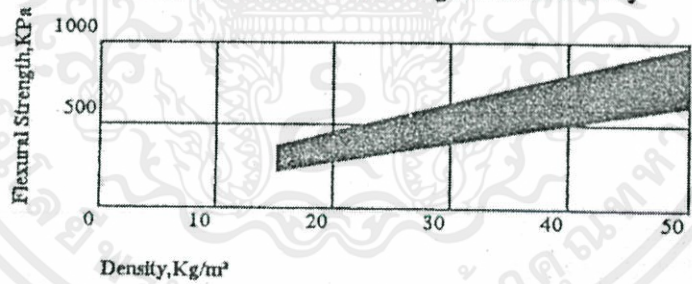
COMPRESSIVE STRENGTH

Foam Product : Compressive Strength Versus Density



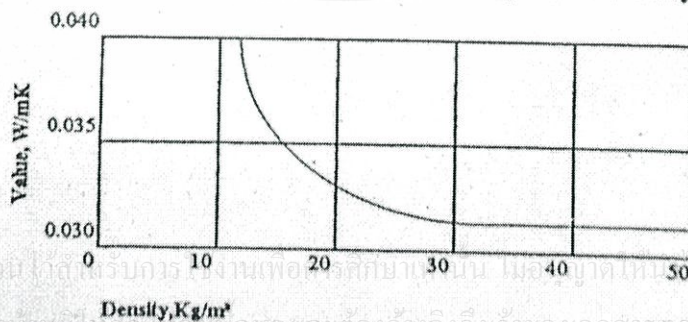
FLEXURAL STRENGTH

Foam Product : Flexural Strength Versus Density



THERMAL CONDUCTIVITY

Foam Product : Thermal Conductivity Versus Density 10 ° C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม หากท่านเห็นผิดหรือมีข้อสงสัย กรุณาแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีอำนาจนำไปใช้

Unit : mm

ชื่อขนาด NOMINAL SIZE	เส้นผ่าศูนย์กลาง ภายนอก (OD)	ความหนา (THICKNESS)			ความยาว ต่อท่อน (LENGTH)	น้ำหนักต่อท่อน-กิโลกรัม (WEIGHT PER LENGTH, Kg)		
		PVC 5	PVC 8.5	PVC 13.5		PVC 5	PVC 8.5	PVC 13.5
18 (1/2")	22±0.15	-	2.0±0.20	2.5±0.20	4,000 + 30 - 0	-	0.72	0.88
20 (3/4")	26±0.15	-	2.0±0.20	2.5±0.20		-	0.86	1.06
25 (1")	34±0.15	-	2.0±0.20	3.0±0.25		-	1.15	1.67
35 (1 1/4")	42±0.15	1.5±0.15	2.0±0.20	3.1±0.25		1.09	1.44	2.17
40 (1 1/2")	48±0.15	1.5±0.15	2.3±0.20	3.5±0.25		1.25	1.89	2.80
55 (2")	60±0.15	1.8±0.20	2.9±0.25	4.3±0.30		1.88	2.98	4.30
65 (2 1/2")	76±0.20	2.2±0.20	3.5±0.25	5.4±0.35		2.92	4.56	6.85
80 (3")	89±0.20	2.5±0.20	4.1±0.30	6.4±0.40		3.89	6.26	9.50
100 (4")	114±0.30	3.2±0.25	5.2±0.35	8.1±0.50		6.37	10.17	15.41
125 (5")	140±0.30	3.9±0.30	6.4±0.40	9.9±0.55		9.55	15.40	23.23
150 (6")	165±0.40	4.6±0.30	7.5±0.45	11.7±0.65		13.28	21.29	32.37
200 (8")	216±0.50	5.4±0.35	8.8±0.50	13.7±0.75		20.48	32.87	50.06
250 (10")	267±0.70	6.6±0.40	10.9±0.60	16.9±0.90		30.96	50.37	76.43
300 (12")	318±0.80	7.8±0.45	12.9±0.70	20.1±1.05		43.61	71.07	108.40
350 (14")	370±0.90	9.1±0.55	15.0±0.80	23.4±1.20		59.22	96.22	147.01
400 (16")	420±1.10	10.3±0.60	17.0±0.90	26.5±1.35		76.12	123.89	189.23
450 (18")	470±1.20	11.5±0.65	19.0±1.00	29.7±1.50		95.16	155.07	237.58
500 (20")	520±1.30	12.7±0.70	21.0±1.10	32.8±1.65		116.32	189.78	290.65
600 (24")	630±1.60	15.3±0.80	25.4±1.30	39.7±2.00		169.97	278.57	427.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้