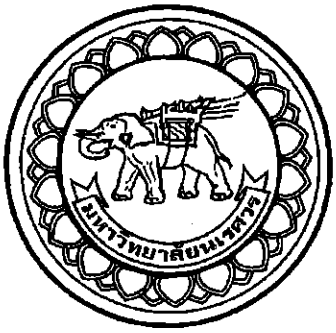


ปรับปรุงเครื่องวัดแรงม้าแบบลูกกลิ้ง

Overhaul the Chassis Dynamometer

นายกฤษณพงศ์ สุภายะ รหัส 54363071

นายจตุพล บุตรราช รหัส 54363132

นายอนันต์ พลันการ รหัส 54363545

30 ก.ย. 2558

1641 4706

ว.

ก 281 ป 2557

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2557

ใบรับรองโครงงาน

ชื่อหัวข้อโครงงาน : ปรับปรุงเครื่องวัดแรงม้าแบบลูกกลิ้ง
Overhaul the Chassis Dynamometer

ผู้ดำเนินโครงงาน : นายกฤษณพงศ์ สุภายะ รหัสนิสิต 54363071
นายจตุพล บุตรราช รหัสนิสิต 54363132
นายอนันต์ พลันการ รหัสนิสิต 54363545

ที่ปรึกษาโครงงาน : นายสุรเจษฎ์ สุขไชยพร

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงงาน

Surajed S. ที่ปรึกษาโครงงาน
(อ.สุรเจษฎ์ สุขไชยพร)

กรรมการ
(อ.ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ)

กรรมการ
(ผศ.นพรัตน์ สีหะวงษ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน : ปรับปรุงเครื่องวัดแรงม้าแบบลูกกลิ้ง
ผู้ดำเนินโครงงาน : นายกฤษณพงศ์ สุภายะ รหัสนิสิต 54363071
นายจตุพล บุตรราช รหัสนิสิต 54363132
นายอนันต์ พลันการ รหัสนิสิต 54363545
ที่ปรึกษาโครงงาน : นายสุรเจษฎ์ สุขไชยพร
ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา : 2557

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงเครื่อง Chassis Dynamometer ซึ่งเป็นเครื่องที่อยู่ในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล และการทดสอบความเร็วรอบ, แรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ การปรับปรุงที่สำคัญได้แก่ การตรวจเช็คอุปกรณ์ การซ่อมแซมและการทดสอบ โดยการสร้างแผงวงจร Comparator with Hysteresis และแผงวงจร Pulse Width Modulation (PWM) จากนั้นทำการทดสอบ Force Sensor, Eddy current brake เพื่อตรวจสอบการทำงาน ทำการทดสอบเซนเซอร์วัดความเร็วรอบแบบ Magnetic pickup เพื่อใช้ต่อกับวงจร Comparator With Hysteresis ทำการทดสอบ Crydom M505012F เพื่อใช้งานกับแผงวงจร Pulse Width Modulation (PWM) และการทดสอบบอร์ด Arduino ซึ่งเป็นบอร์ดที่นำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆแทนบอร์ดของเครื่อง Chassis Dynamometer ที่ชำรุด จากนั้นทำการเขียน Code คำสั่งบอร์ด Arduino ซึ่งเป็นโครงสร้างควบคุมพื้นฐานการทำงานแบบ (Repetition)

ผลการทดสอบเครื่อง Chassis Dynamometer ที่ปรับปรุงแล้ว โดยการใช้โปรแกรม Arduino ป้อนคำสั่งเข้าไปที่บอร์ด Arduino โดยเซตค่าการทดสอบที่ความเร็วรอบ 300 rpm, 400 rpm และ 500 rpm และเพื่อความปลอดภัย จึงได้เลือกใช้รถจักรยานยนต์ในการทดสอบ ผลการทดสอบที่ความเร็วรอบ 300 rpm ได้ค่าเฉลี่ยความเร็วรอบ, แรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ที่ทดสอบเท่ากับ 311.061 rpm, 3432.162 N.mm และ 111.978 mW ตามลำดับ ผลการทดสอบที่ความเร็วรอบ 400 rpm ค่าเฉลี่ยความเร็วรอบ, แรงบิดและกำลังเท่ากับ 418.682 rpm, 3467.662 N.mm และ 152.4 mW ตามลำดับ ผลการทดสอบที่ความเร็วรอบ 500 rpm ค่าเฉลี่ยความเร็วรอบ, แรงบิดและกำลังเท่ากับ 519.917 rpm, 3775.08 N.mm และ 205.832 mW ตามลำดับ

Project TItle : Overhaul the Chassis Dynamometer
Name : Mr. Krisanapong Supaya ID : 54363071
Mr. Jatupol Butrach ID : 54363132
Mr. Anan Plankarn ID : 54363545
Project Advisor : Mr. Surajed Sookchaiyaporn
Academic Year : 2014

Abstract

This project aims to improve Chassis Dynamometer, which is in the Work Shop Mechanical Engineering and test Speed, Torque and Power. The important improvement is the equipment checks repairing and testing by creating circuit board, "Comparator with Hysteresis" and "Pulse Width Modulation (PWM)" then test Force Sensor and Eddy current brake to check efficiency and test sensors speed series Magnetic pickup to take to the circuit Comparator With Hysteresis, test Crydom M505012F for use with circuit Pulse Width Modulation (PWM) and test board Aduino, the board applied to control devices instead of the Chassis Dynamometer board which be ruined, then written Code and Arduino's statement which is a structure to control functions (Repetition).

The test results improved of Chassis Dynamometer by using Arduino Key a statement to Arduino's board by setting the speed 300 rpm, 400 rpm and 500 rpm and using the motorcycle in test for safety. The test results at 300 rpm have an average speed, Torque and Power are 311.061 rpm, 3432.162 N.mm and 111.978 mW, respectively. The test results at 400 rpm have an average speed, Torque and Power are 418.682 rpm, 3467.662 N.mm and 152.4 mW, respectively. The test results at 500 rpm have an average speed, Torque and Power are 519.917 rpm , 3775.08 N.mm and 205.832 mW, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือในด้านการให้คำแนะนำในการทำโครงงานจาก นายสุรเจษฎ์ สุขไชยพร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานให้คำปรึกษาแก่ผู้ดำเนินโครงงานตลอดมา ผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณบุคคลอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูล แนะนำช่วยเหลือในการจัดทำโครงงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

และขอขอบพระคุณบิดา – มารดา ที่สนับสนุนและให้กำลังใจกับผู้ดำเนินโครงงานจนโครงงานฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

นายกฤษณพงศ์ สุภายะ
นายจตุพล บุตรราช
นายอนันต์ พลันการ

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองโครงงาน ก
บทคัดย่อ ข
Abstract ค
กิตติกรรมประกาศ ง
สารบัญ จ
สารบัญตาราง ช
สารบัญรูป ซ
สัญลักษณ์และอักษรย่อ ญ

บทที่ 1 บทนำ
1.1 ที่มาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 1
1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน 1
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน 2
1.6 แผนการดำเนินงาน 2
1.7 งบประมาณ 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี
2.1 เครื่อง Chassis Dynamometer ต้นแบบ 4
2.2 สมการที่ใช้ในโครงงาน 10
2.3 การเขียนโปรแกรมพื้นฐาน Arduino 12

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน
3.1 ปัญหาและแนวทางการปรับปรุงเครื่อง Chassis Dynamometer ต้นแบบ 19
3.2 วิธีการทดลองอุปกรณ์ต่างๆของเครื่อง Chassis Dynamometer และบอร์ด Arduino ในห้องปฏิบัติการ และสร้างแผงวงจร Comparator with Hysteresis กับแผงวงจร Pulse Width Modulation (PWM) 23
3.3 เขียน Code คำสั่งของ บอร์ด Arduino 34
3.4 ทดสอบเครื่อง Chassis Dynamometer ที่อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล 36

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดสอบของเครื่อง Chassis Dynamometer ในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกลที่ปรับปรุงแล้ว 38

4.2 ปัญหาที่พบระหว่างการทดสอบเครื่อง Chassis Dynamometer 41

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปสมบัติของเครื่อง Chassis Dynamometer ที่ปรับปรุงแล้ว 43

5.2 ข้อเสนอแนะ 45

เอกสารอ้างอิง 46

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก 48

ภาคผนวก ข 50

ภาคผนวก ค 53

ภาคผนวก ง 59

ภาคผนวก จ 61

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	แผนการดำเนินงาน	2
ตารางที่ 1.2	งบประมาณการดำเนินงาน	3
ตารางที่ 5.1	ข้อมูลจำเพาะของเครื่อง Chassis Dynamometer และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง	43

มหาวิทยาลัยนเรศวร

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	เครื่อง Engine Dynamometer	4
รูปที่ 2.2	เครื่อง Chassis Dynamometer	5
รูปที่ 2.3	เครื่อง Chassis Dynamometer ก่อนปฏิบัติงาน	6
รูปที่ 2.4	ลักษณะลูกกลิ้งของ Dynamometer	6
รูปที่ 2.5	ตำแหน่งกล่องแผงบอร์ดและเซนเซอร์วัดความเร็วรอบ	7
รูปที่ 2.6	ลักษณะเซนเซอร์วัดความเร็วรอบ	7
รูปที่ 2.7	ลักษณะของแผงบอร์ดลักษณะของแผงบอร์ด	7
รูปที่ 2.8	ตำแหน่งของ Eddy current brake และForce Sensor	8
รูปที่ 2.9	ลักษณะของ Eddy current brake และ Force Sensor	8
รูปที่ 2.30	ลักษณะและอุปกรณ์ภายในตู้ควบคุม	9
รูปที่ 2.31	FBD ลักษณะของแนวแรงที่กระทำต่อลูกกลิ้ง	10
รูปที่ 2.32	ตัวอย่างจะเป็นชื่อ sketch_feb02a	14
รูปที่ 2.33	เมนูลัด	14
รูปที่ 2.34	การ Save	15
รูปที่ 2.35	เขียนโค้ดโปรแกรม แสดงผล LED ติด-ดับ สลับกัน	15
รูปที่ 2.36	ตรวจสอบโค้ดโปรแกรม แสดงผล LED ติด-ดับ สลับกัน	16
รูปที่ 2.37	ตรวจสอบตำแหน่งพอร์ตของบอร์ดที่เชื่อมต่อที่เกิดขึ้นใหม่ในDevice Manager	16
รูปที่ 2.38	กำหนดบอร์ดใช้งาน	17
รูปที่ 2.39	กำหนดพอร์ตใช้งาน	17
รูปที่ 2.40	การอัดโปรแกรมลงในบอร์ด	18
รูปที่ 3.1	ปัญหาเครื่อง Chassis Dynamometer ไม่ได้มีการใช้งานและไม่ได้มีการดูแล	19
รูปที่ 3.2	ทำการปรับปรุงเครื่อง Chassis Dynamometer	20
รูปที่ 3.3	ปัญหาคอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่อง Chassis Dynamometer เสียหาย	20
รูปที่ 3.4	บอร์ด Arduino UNO-R3	21
รูปที่ 3.5	บอร์ด control	21
รูปที่ 3.6	สายสัญญาณ force sensor	21
รูปที่ 3.7	สายสัญญาณ force sensor ที่ปรับปรุงแล้ว	22
รูปที่ 3.8	หัวเซนเซอร์วัดความเร็วรอบแบบ Magnetic pickup	22
รูปที่ 3.9	หัวเซนเซอร์วัดความเร็วรอบแบบ Magnetic pickup ที่ปรับปรุงแล้ว	22
รูปที่ 3.10	Diagram ของเครื่อง Chassis Dynamometer	24
รูปที่ 3.11	แผงวงจร Comparator with Hysteresis	26

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.12	ทดสอบแผงวงจร Comparator with Hysteresis ด้วยเซนเซอร์วัดความเร็วรอบแบบ Magnetic pickup	27
รูปที่ 3.13	แผงวงจร Pulse Width Modulation	28
รูปที่ 3.14	ค่าและดูกราฟจากเครื่องออสซิลโลสโคป	28
รูปที่ 3.15	ทดสอบForce Sensor	29
รูปที่ 3.16	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Force กับ V_{avg}	30
รูปที่ 3.17	การวัดความเร็วรอบ	31
รูปที่ 3.18	Eddy current brake	32
รูปที่ 3.19	Crydom M505012F	33
รูปที่ 3.20	บอร์ด Arduino และโปรแกรม Arduino 1.0.5-r2	34
รูปที่ 3.21	Flowchart แสดงของการทำงานของบอร์ด Arduino	35
รูปที่ 3.22	การเตรียมการทดสอบ	36
รูปที่ 3.23	การออกแบบการทดสอบ	37
รูปที่ 4.1	ผลการทดสอบหาแรงบิดและกำลังของรถจักรยานยนต์ที่ความเร็วรอบ 300 RPM	38
รูปที่ 4.2	ผลการทดสอบหาแรงบิดและกำลังของรถจักรยานยนต์ที่ความเร็วรอบ 400 RPM	39
รูปที่ 4.3	ผลการทดสอบหาแรงบิดและกำลังของรถจักรยานยนต์ที่ความเร็วรอบ 500 RPM	40
รูปที่ 4.4	ใช้จักรยานยนต์ในการทดสอบ	41
รูปที่ 4.5	Eddy current brake ที่เกิดเสียงดังออกมาระหว่างทำการทดสอบ	41

สัญลักษณ์และอักษรย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
N	จำนวนสัญญาณพัลส์ของลูกกลิ้ง มีค่าเท่ากับ 96	รอบต่อนาที (rpm)
D	เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อรถ	เซนติเมตร (cm)
D	เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาเครื่อง Dynamometer	เซนติเมตร (cm)
F	ความถี่ที่วัดได้	เฮิรตซ์ (Hz)
N	จำนวนรอบจริงที่ได้จากการคำนวณ	รอบต่อนาที (rpm)
$\vec{T}$	ทอร์กของแรง	นิวตันเมตร (N·m)
$\vec{r}$	รัศมีการหมุนของวัตถุ	เมตร (m)
$\vec{F}$	แรงที่กระทำต่อวัตถุในทิศตั้งฉากกับรัศมีของการหมุน	นิวตัน (N)
W	งาน	จูล (J)
P	กำลัง	วัตต์ (Watt)
S	ระยะทาง	เมตร (m)
T	เวลา	วินาที (s)
V	ความเร็ว	เมตรต่อวินาที (m/s)

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกลนั้นมีเครื่องมือที่สามารถใช้ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ได้นั้นคือเครื่อง Dynamometer ชนิด Chassis แต่ปัญหาคือเครื่องได้ถูกปล่อยทิ้งไว้โดยไม่ได้มีการใช้งานเป็นเวลานานหลายปีและไม่ทราบสาเหตุของเครื่อง Chassis Dynamometer นั้นเสียหายหรืออุปกรณ์ส่วนไหนชำรุด ในจุดนี้ในกลุ่มของข้าพเจ้าได้เล็งเห็นถึงความสำคัญ ของอุปกรณ์ที่สามารถสร้างประโยชน์และองค์ความรู้ในด้านการศึกษาใหม่ๆขึ้นมาได้ จึงได้มีการจัดทำโครงการ การศึกษาและการปรับปรุงเครื่อง Chassis Dynamometer ขึ้นมา ทั้งนี้อาจทำให้นิสิตรุ่นต่อๆไปได้ใช้ประโยชน์และได้มีอุปกรณ์ปฏิบัติการเกี่ยวกับเครื่อง Dynamometer ให้ศึกษาอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการทฤษฎีการวัดพลังงาน

1.2.2 ศึกษาการทำงานของเครื่อง Chassis Dynamometer

1.2.3 ศึกษาส่วนประกอบ, ชิ้นส่วน, ระบบกลไกของเครื่อง Chassis Dynamometer ยี่ห้อ Dyno Max

1.2.4 ทำการปรับปรุงซ่อมแซมเครื่อง Chassis Dynamometer ให้สามารถใช้งานได้

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 เข้าใจถึงหลักการวัดเครื่อง Chassis Dynamometer ตลอดจนเข้าใจถึงการทำงานของเครื่องมือที่ใช้

1.3.2 เครื่อง Chassis dynamometer ที่ได้รับการซ่อมแซมปรับปรุงให้มีสภาพการทำงานได้

1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน

1.4.1 ศึกษาหลักการทำงานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานทั้งหมดของเครื่อง Chassis Dynamometer

1.4.2 ปรับปรุงซ่อมแซมเครื่อง Chassis Dynamometer ในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล ให้สามารถใช้งานได้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลเนื้อหาเกี่ยวกับเครื่องวัดแรงม้า แบบลูกกลิ้ง

1.5.2 ศึกษาการปรับปรุงเครื่องวัดแรงม้าแบบลูกกลิ้ง

1.5.3 เริ่มกระบวนการปฏิบัติงานปรับปรุง หาสาเหตุข้อบกพร่องในการทำงานของเครื่องวัดแรงม้าแบบลูกกลิ้ง

1.5.4 ทำการทดสอบการใช้งานเครื่องเก็บข้อมูลรายละเอียดในการปรับปรุงเครื่องวัดแรงม้าแบบลูกกลิ้ง

1.5.5 แก้ไขข้อบกพร่องในการทดสอบของเครื่องวัดแรงม้าแบบลูกกลิ้งเก็บข้อมูล

1.5.6 สรุปผล จัดทำรายงานและอภิปรายผลจากการปฏิบัติงาน

1.6 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนในการดำเนินงานในช่วงเวลาต่างๆ แสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	2557					2558				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลเนื้อหาเกี่ยวกับเครื่องวัดแรงม้าแบบลูกกลิ้ง										
2.ศึกษาการปรับปรุงเครื่องวัดแรงม้าแบบลูกกลิ้ง										
3.เริ่มกระบวนการปฏิบัติงานปรับปรุงหาสาเหตุข้อบกพร่องในการทำงานของเครื่องวัดแรงม้าแบบลูกกลิ้ง										
4.ทำการทดสอบการใช้งานเครื่องเก็บข้อมูลรายละเอียดในการปรับปรุงเครื่องวัดแรงม้าแบบลูกกลิ้ง										
5.แก้ไขข้อบกพร่องในการทดสอบงานของเครื่องวัดแรงม้าแบบลูกกลิ้งเก็บข้อมูล										
6.สรุปผล จัดทำรายงานและอภิปรายผลจากการปฏิบัติงาน										

1.7 งบประมาณ

ตารางที่ 1.2 งบประมาณการดำเนินงาน

รายการ	จำนวนเงิน
บอร์ด Arduino UNO R3	320 บาท
แผงวงจร Load cell	1,200 บาท
กล่อง Universal phase angle	2668.85 บาท
หม้อแปลง 12 V	85 บาท
อะแดปเตอร์แปลงไฟ AC-DC 9 V	150 บาท
ตัวต้านทาน 5 ตัว (5 บาท/ตัว)	25 บาท
ตัวเก็บประจุ	20 บาท
แผ่นปริ้นเปล่า 2 แผ่น (80 บาท/แผ่น)	160 บาท
ออปแอมป์	40 บาท
กรดกัดปริ้น	50 บาท
น้ำยาเคลือบปริ้น	20 บาท
ตะกั่ว	20 บาท
ท่อหด	20 บาท
หลอดไฟ	20 บาท
สายไฟ	200 บาท
วัสดุอุปกรณ์การจัดทำรายงาน	1,600 บาท
ค่าเชื้อเพลิง	300 บาท
รวมทั้งสิ้น	6,898.85 บาท

บทที่ 2

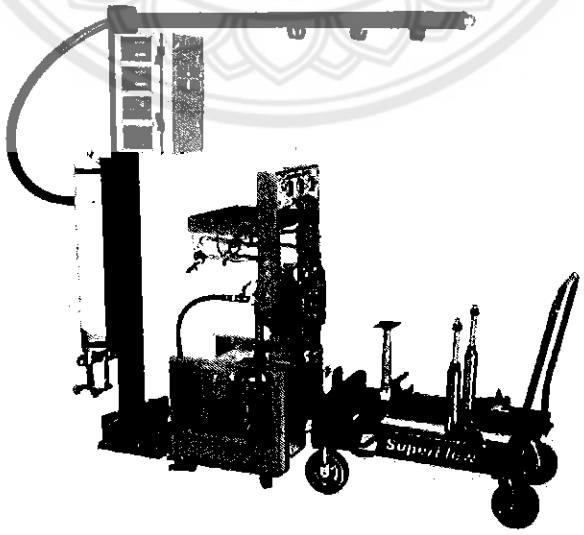
หลักการและทฤษฎี

2.1 Dynamometer

เป็นอุปกรณ์ใช้ในการวัด Moment of force (torque) and power หรือวัดแรงม้าและแรงบิด Dynamometer มีสองชนิดหลักๆคือ Engine Dynamometer และ Chassis Dynamometer ซึ่ง Dynamometer เครื่องที่ตั้งอยู่ในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล คือ Dynamometer ชนิด Chassis dynamometer โดย Dynamometer ทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันดังนี้

2.1.1 Engine Dynamometer

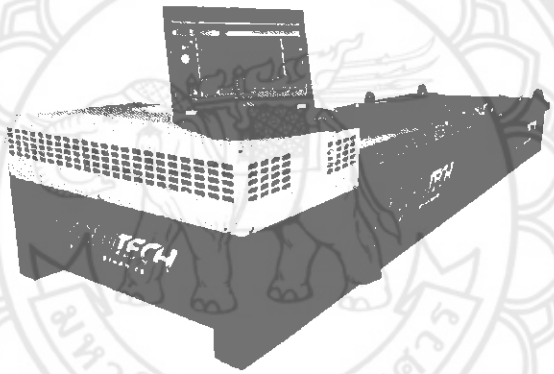
Engine Dynamometer เป็นเครื่องวัดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ เครื่องมือวัดชนิดนี้จะวัดแรงม้าและแรงบิดจากตัวกลางในการถ่ายทอดกำลังขับเคลื่อนของเครื่องยนต์ ด้วยการนำเครื่องมือวัดมาติดตั้งเข้ากับตัวเครื่องยนต์โดยตรง โดยที่ยังไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์โดยรอบแต่อย่างใด ส่วนใหญ่การวัดแบบนี้จะพบได้จากบริษัทผู้ผลิตและงานรถยนต์ที่แสดงสมรรถนะของเครื่องยนต์ของค่ายต่างๆ เพื่อนำมาใช้ประกอบในการขาย[5]



รูปที่ 2.1 Engine Dynamometer [11]

2.1.2 Chassis Dynamometer

Chassis Dynamometer เป็นเครื่องวัดประสิทธิภาพทั้งหมดของรถยนต์ผ่านภาระการใช้งานจริง หรือเป็นการทดสอบในขณะที่เครื่องยนต์ถูกนำไปติดตั้งอยู่ในตัวรถเพื่อใช้งานจริง ซึ่งจะมีภาระต่างๆที่เพิ่มเข้ามาไม่ว่าจะเป็นอัตราทดของเกียร์และเฟืองท้าย ล้วนมีผลทำให้แรงม้านั้นตกหล่นสูญหายไปบ้าง เป็นเหตุที่เวลาซื้อรถใหม่มาขึ้นทดสอบแรงม้าแล้วไม่ได้ตามที่โรงงานทดสอบไว้ โดยเครื่องวัดชนิดนี้จะมีลักษณะคล้ายลูกกลิ้งสองตัวหมุนอยู่กับล้อของรถยนต์ที่เราจะทำการทดสอบ และมีการจำลองภาระ (Load) ในการใช้งานจริงให้เสมือนกับล้อที่วิ่งอยู่บนพื้นถนน โดยจะทำการวัดในส่วนของล้อที่ทำการขับเคลื่อน เช่นขับเคลื่อนล้อหน้าต้องทำการวัดที่ล้อหน้า ขับเคลื่อนล้อหลังต้องทำการวัดที่ล้อหลัง แต่ในบางที่จะมีไว้รองรับการทดสอบแบบขับเคลื่อน 4 ล้อด้วยเช่นกัน[5]

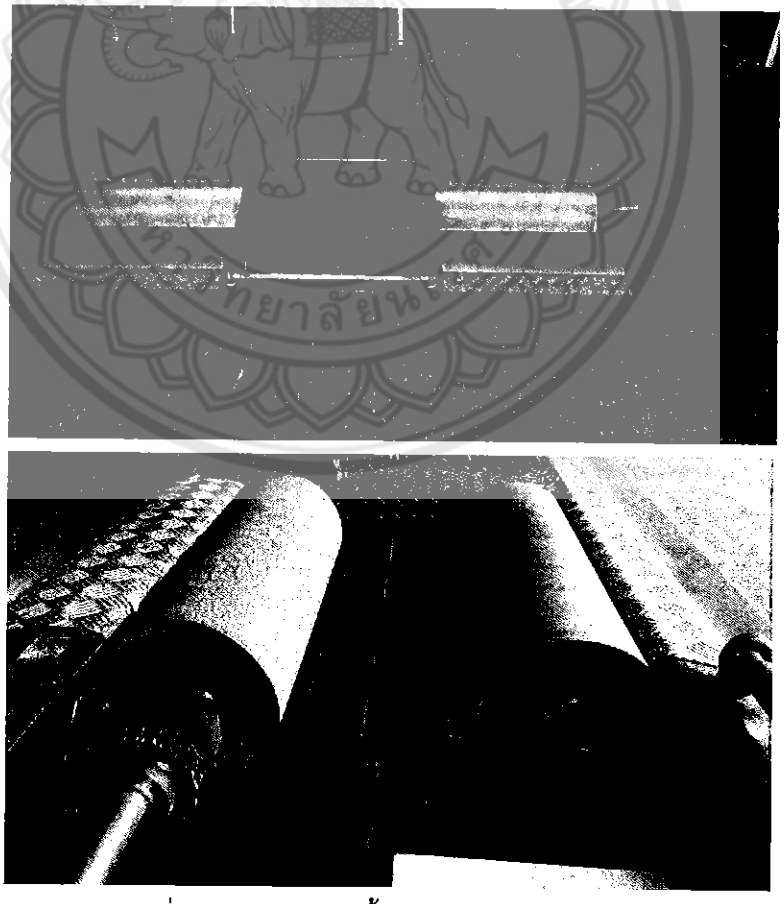


รูปที่ 2.2 Chassis Dynamometer [12]

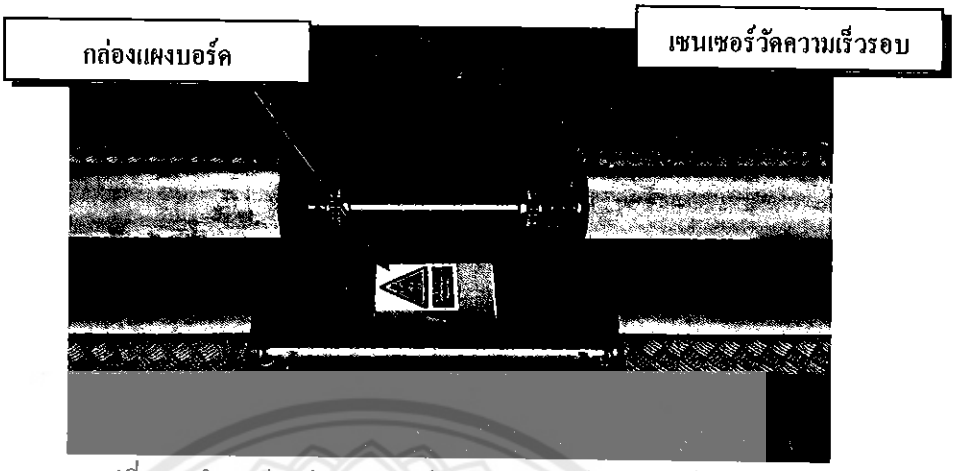
2.1.3 Dynamometer ในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล

Dynamometer ที่ตั้งอยู่ในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล คือ Dynamometer ชนิด Chassis Dynamometer ยี่ห้อ Dyno Max งบประมาณปี 2543 โดยลักษณะและส่วนประกอบต่างๆ ของ Dynamometer ในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล ดังแสดงในรูปที่ 2.3 -2.30

รูปที่ 2.3 เครื่อง Chassis Dynamometer ก่อนปฏิบัติงาน



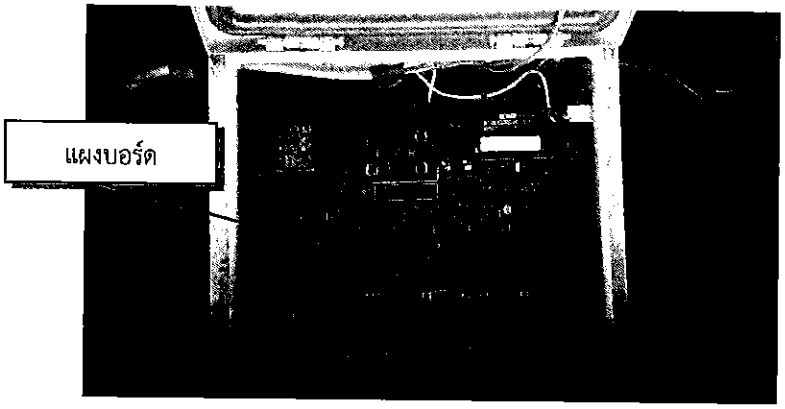
รูปที่ 2.4 ลักษณะลูกกลิ้งของ Dynamometer



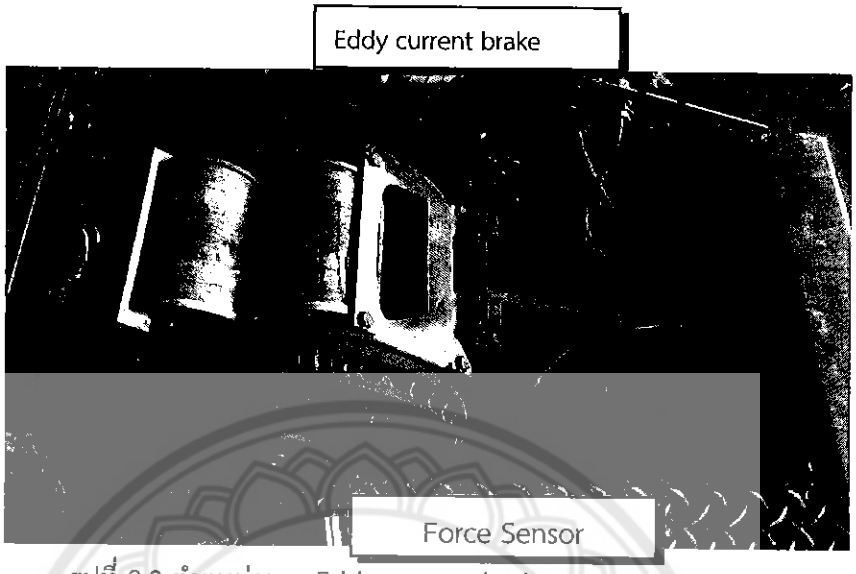
รูปที่ 2.5 ตำแหน่งกล่องแผงบอร์ดและเซนเซอร์วัดความเร็วรอบ

รูปที่ 2.6 ลักษณะเซนเซอร์วัดความเร็วรอบ

เซนเซอร์วัดความเร็วรอบเป็นแบบ Magnetic pickup อาศัยหลักการตรวจนับสัญญาณพัลส์ที่มีการส่งออกมาเมื่อมีการหมุนครบรอบในช่วงเวลาหนึ่ง

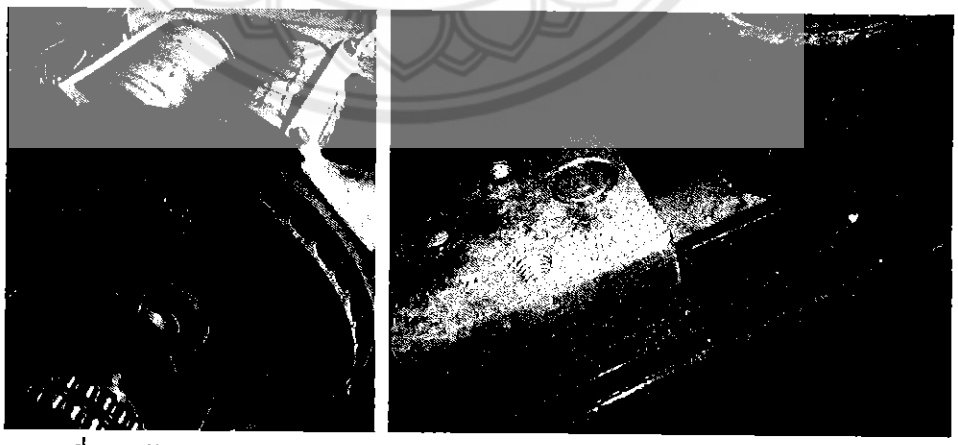


รูปที่ 2.7 ลักษณะของแผงบอร์ด



รูปที่ 2.8 ตำแหน่งของ Eddy current brake และForce Sensor

Eddy current brake หลักการทางไฟฟ้า โดยใช้หลักการของ Eddy Current ที่จะเหนี่ยวนำขึ้นในแผ่นโลหะที่หมุนได้โดยใช้สนามแม่เหล็ก จะทำให้แผ่นโลหะนี้เกิดการสูญเสียแบบ Eddy Current ทำให้แผ่นโลหะไม่สามารถหมุนได้อย่างอิสระ หรือถูกหน่วงหรือเบรกให้หมุนช้าลง โดยแรงบิดที่เบรกจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มสนามแม่เหล็ก ซึ่งความเข้มสนามแม่เหล็กแปรผันตรงกับกระแสที่จ่ายให้ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก ดังนั้นเราสามารถควบคุมแรงบิดที่ใช้ในการเบรกได้จากกระแสที่จ่ายให้กับขดลวดได้



รูปที่ 2.9 ลักษณะของ Eddy current brake (ซ้าย) และ Force Sensor (ขวา)

Force sensor ที่อยู่ใน Dynamometer เป็นแบบรุ่น Kelba Model KA-250 Load Cell รับน้ำหนักหรือแรงกดได้สูงสุด 250 กิโลกรัม ซึ่งรายละเอียดของ Kelba Model KA-250 Load Cell มีดังนี้

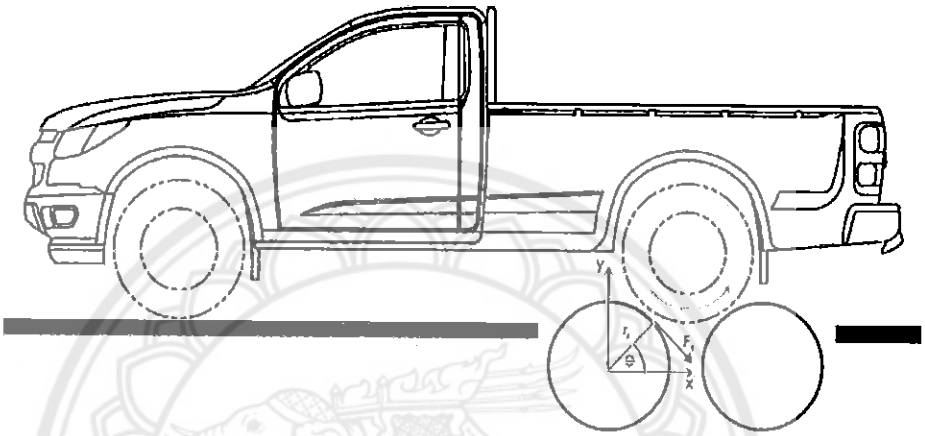
Model number	KA-250
Maximum rated capacity	250 kg
Output rating (nominal)	2.2 mV/V
Maximum number of verification scale intervols	1000
Minimum dead load	10 kg
Minimum value of verification scale interval	0.1 kg
Cable length (± 0.1 m)	2 m
Input impedance (nominal)	350 Ω
Supply voltage	10-15 V DC or AC
No. of leads	4

รูปที่ 2.30 ลักษณะและอุปกรณ์ภายในตู้ควบคุม

อุปกรณ์ภายในตู้ควบคุมประกอบไปด้วยชุดคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมต่างๆ ซึ่งจากการตรวจเช็คพบว่า อุปกรณ์ทั้งหลายภายในตู้ควบคุมมีการชำรุดไม่สามารถใช้งานได้

2.2 สมการที่ใช้ในโครงงาน

2.2.1 เนื่องจากเครื่อง Chassis Dynamometer มีลักษณะการทำงาน โดยมีการนำแรงส่งถ่ายจากรถล้อรถยนต์มากระทำที่ลูกกลิ้งทรงกระบอกทำให้เกิดการหมุนและมีไดนาโมปั่นกระแสออกมาเพื่อนำมาคำนวณหาค่าแรงม้าและแรงบิด



รูปที่ 2.31 FBD ลักษณะของแนวแรงที่กระทำต่อลูกกลิ้ง

2.2.2 สมการหาความเร็วรอบ

การคำนวณหาความเร็วรอบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1

$$n = (N)\left(\frac{D}{d}\right)$$

$$f = n \cdot \frac{N \cdot D}{d}$$

$$f = 96 \cdot \frac{N \cdot D}{d}(\text{rpm})$$

$$f(\text{Hz}) = \frac{96 \cdot N \cdot D}{60 \cdot d}$$

$$\therefore N = \frac{5 \cdot d \cdot f}{8 \cdot D} \qquad (2.1)$$

เมื่อ n คือ จำนวนสัญญาณพัลส์ของลูกกลิ้ง มีค่าเท่ากับ 96 มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (rpm)
D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อรถ มีหน่วยเป็นเซนติเมตร (Cm)
d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาเครื่อง Dynamometer มีหน่วยเป็นเซนติเมตร (Cm)
F คือ ความถี่ที่วัดได้ มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz)
N คือ จำนวนรอบจริงที่ได้จากการคำนวณ มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (rpm)

2.2.3 สมการหา factor

การคำนวณหา factor สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2

จากสมการ 2.2.1 จะได้ว่า

$$f \cdot factor = N$$

$$\frac{f \cdot 60 \cdot d}{D \cdot 96} = N$$

$$\therefore factor = \frac{60 \cdot d}{D \cdot 96} \qquad (2.2)$$

2.2.4 สมการหาทอร์ก

การคำนวณหา ทอร์ก สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3

$$\vec{T} = \vec{r} \times \vec{F} \qquad (2.3)$$

เมื่อ $\vec{T}$ คือ ทอร์กของแรง มีหน่วยเป็น นิวตันคูณเมตร (N·m)
$\vec{r}$ คือ รัศมีการหมุนของวัตถุ มีหน่วยเป็นเมตร (m)
$\vec{F}$ คือ แรงที่กระทำต่อวัตถุในทิศตั้งฉากกับรัศมีของการหมุน มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

2.2.5 สมการหากำลังของเครื่องยนต์

การคำนวณหา ทอร์ก สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

$$\frac{W}{t} = F \cdot \frac{S}{t}$$

$$P = \frac{W}{t}$$

$$P = F \cdot V \tag{2.4}$$

เมื่อ W คือ งาน มีหน่วยเป็นจูล (J)
P คือ กำลัง มีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt)
S คือ ระยะทาง มีหน่วยเป็นเมตร (m)
t คือ เวลา มีหน่วยเป็นวินาที (s)
V คือ ความเร็ว มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)

2.3 การเขียนโปรแกรมพื้นฐาน Arduino

การเขียนโปรแกรม Arduino จะใช้รูปแบบการเขียนของภาษาซี ซึ่งสามารถแบ่งส่วนประกอบได้ 3 ส่วน คือ [9]

ส่วนที่ 1 การประกาศใช้ตัวแปร หรือประกาศใช้ฟังก์ชั่นพิเศษ
ส่วนที่ 2 ส่วนสำหรับการกำหนดค่าต่างๆ
ส่วนที่ 3 ส่วนของการสั่งโปรแกรมทำงาน

ส่วนที่ 1 การประกาศใช้ตัวแปร หรือประกาศใช้ฟังก์ชั่นพิเศษ

```
int led1 = 13;

void setup ()
    {
    }
```

ส่วนที่ 2 จะเป็นการกำหนดค่าต่างๆ เช่น จะใช้กำหนดขาในการใช้งานให้เป็น INPUT หรือ OUTPUT ซึ่งการกำหนดส่วนนี้จะกำหนดพียงครั้งเดียวเท่านั้น **เช่น**

```
 void setup()
    {
    pinMode(led1, OUTPUT);
    }


    Void loop ()
    {
    }
```

ส่วนที่ 3 จะเป็นส่วนการเขียนโปรแกรมและสั่งให้โปรแกรมทำงาน ซึ่งในการทำงานจะเป็นแบบวนลูปไปเรื่อยๆ เช่น

```
void loop()
    {
    digitalWrite(led1,HIGH); )
    delay(1000);
    digitalWrite(led1,LOW); );
    delay(1000);
    }
```

เมื่อนำทั้ง 3 ส่วนมารวมกันจะได้ ดังนี้

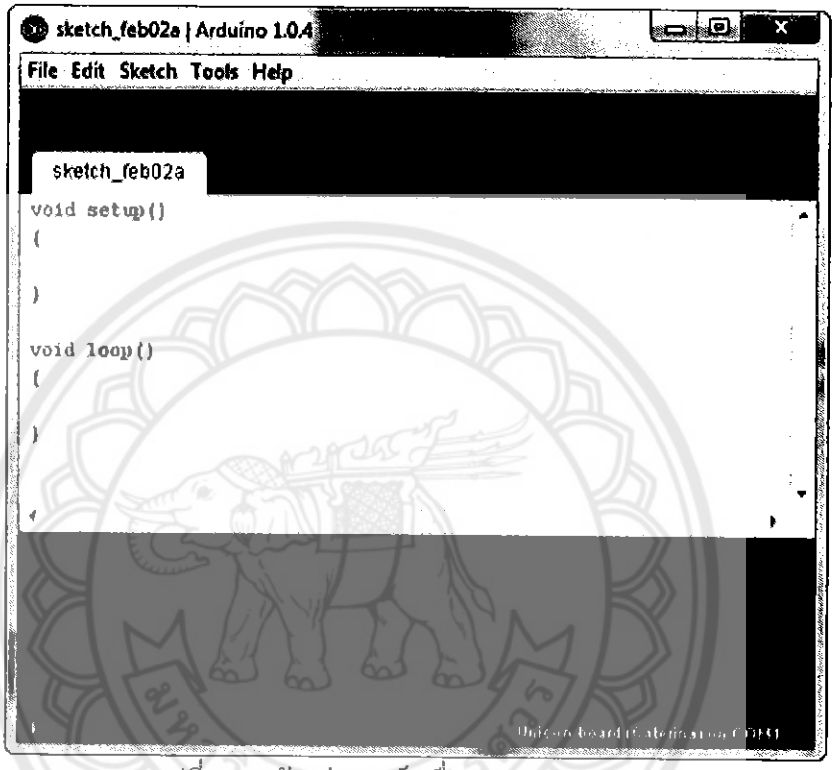
```
int led1 = 13; // กำหนดตัวแปร Digital pin 13 ชื่อ led1
    void setup()
    {
    pinMode(led1, OUTPUT); // ให้ led1 ทำหน้าที่เป็น output
    }
    void loop()
    {
    digitalWrite(led1,HIGH); // ส่งข้อมูลออกจาก led1 เป็น HIGH (ไฟติด)
    delay(1000); // หน่วงเวลา 1000 มิลลิวินาที
    digitalWrite(led1,LOW); ); // ส่งข้อมูลออกจาก led1 เป็น LOW (ไฟดับ)
    delay(1000); // หน่วงเวลา 1000 มิลลิวินาที
}
```

คำสั่งในการใช้งานพื้นฐาน

```
int led1 = 13;  // กำหนด ค่าตัวแปรและขาใช้งาน
pinMode(led1, OUTPUT);   // กำหนดว่าให้ขาใช้งานนั้นเป็น INPUT หรือ OUTPUT
digitalWrite(led1,HIGH);  // กำหนด ให้ส่งข้อมูล เป็น HIGH หรือ LOW
delay(1000);     // กำหนดในการหน่วงเวลา ประมาณ 1 วินาที
```

โปรแกรม Arduino สามารถเข้าไปดาวน์โหลดที่ http://www.arduino.cc/en/Main/Software

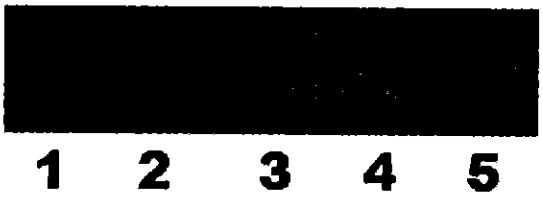
1. เมื่อเปิดโปรแกรม Arduino จะกำหนดชื่อให้อัตโนมัติ จากตัวอย่างจะเป็นชื่อ sketch_feb02a ลักษณะดังรูป



รูปที่ 2.32 ตัวอย่างจะเป็นชื่อ sketch_feb02a

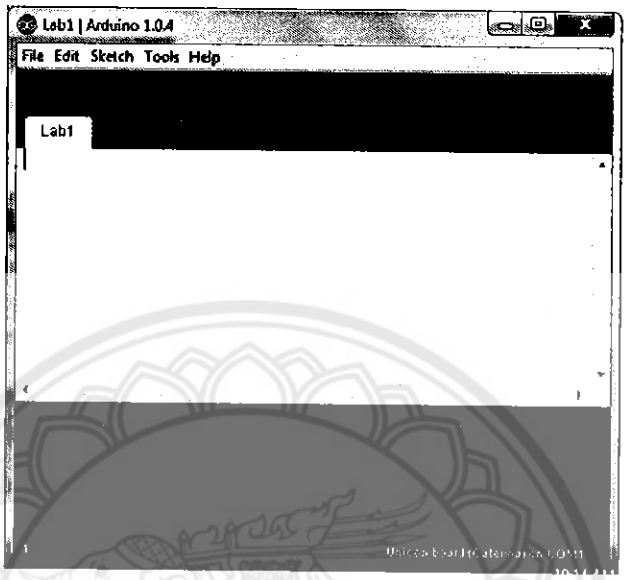
2. เมนูลัดที่ใช้บ่อยๆ

1. Verify ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของการเขียนโปรแกรม
2. Upload to I/O Board ใช้อัดโปรแกรมเข้ากับ บอร์ดทดลอง
3. New ใช้สร้างไฟล์งานหรือสร้าง project ใหม่
4. Open ใช้เปิดไฟล์
5. Save ใช้บันทึกไฟล์งานนั้นๆ



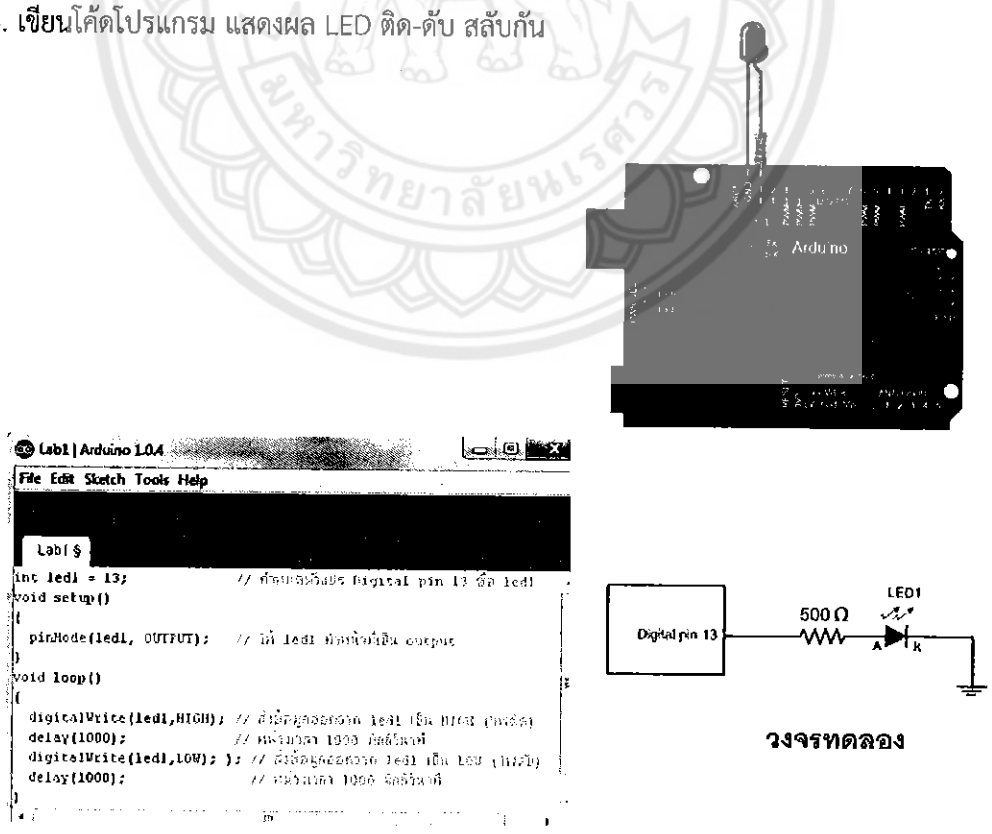
รูปที่ 3.33 เมนูลัดที่ใช้บ่อยๆ

3. หากต้องการสร้างหน้าต่างใหม่ ไปที่เมนู File > New จะได้หน้าต่างใหม่ขึ้นมา
4. การ Save ไปที่เมนู File > Save แล้วตั้งชื่อใหม่แล้วเก็บใน Folder ที่ต้องการ



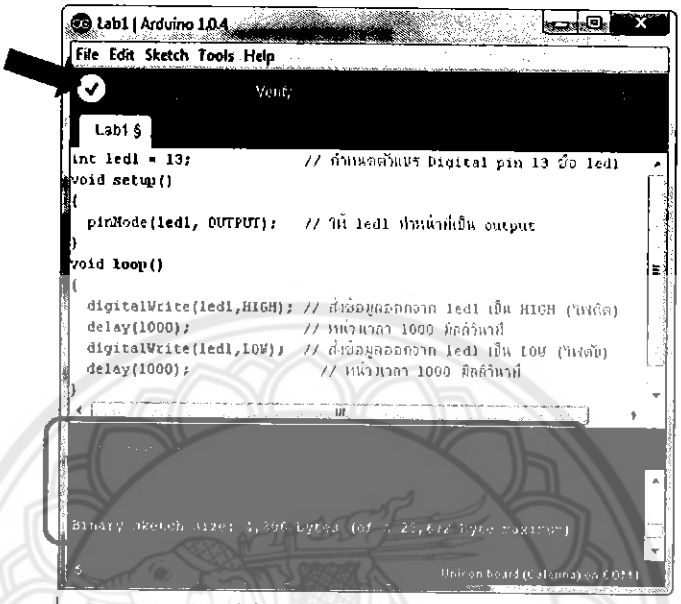
รูปที่ 2.35 การ Save

5. เขียนโค้ดโปรแกรม แสดงผล LED ติด-ดับ สลับกัน



รูปที่ 2.36 เขียนโค้ดโปรแกรม แสดงผล LED ติด-ดับ สลับกัน

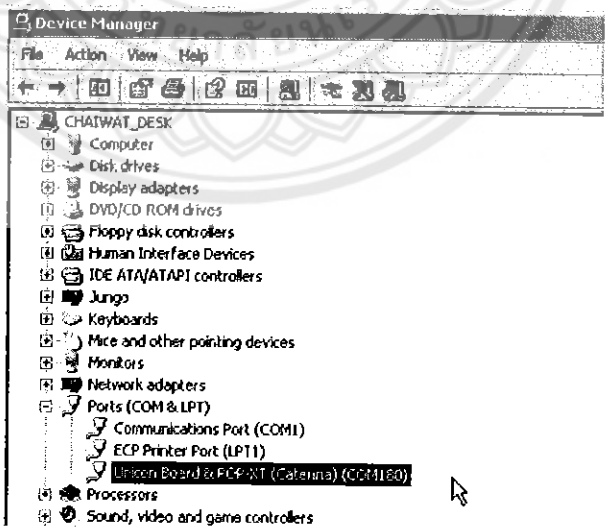
6. Verify โปรแกรมที่เขียนเรียบร้อยแล้ว หากโปรแกรมไม่มีข้อผิดพลาด จะแสดงดังภาพ



รูปที่ 2.37 ตรวจสอบโค้ดโปรแกรม แสดงผล LED ติด-ดับ สลับกัน

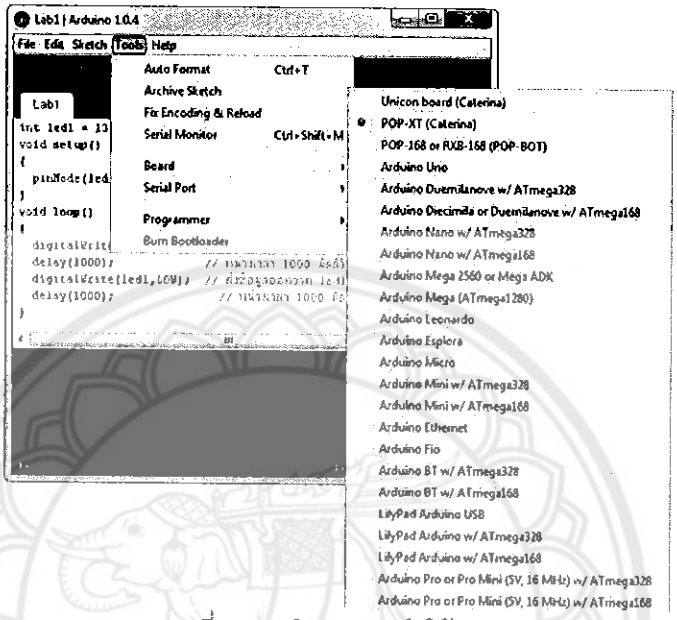
7. โหลดข้อมูลลงบอร์ด Arduino

8. ตรวจสอบตำแหน่งพอร์ตของบอร์ดที่เชื่อมต่อ ที่เกิดขึ้นใหม่ใน Device Manager ดูที่รายการ Ports จะพบชื่อบอร์ดที่เชื่อมต่อ เช่น Unicon Board & POP-XT (COM xx)



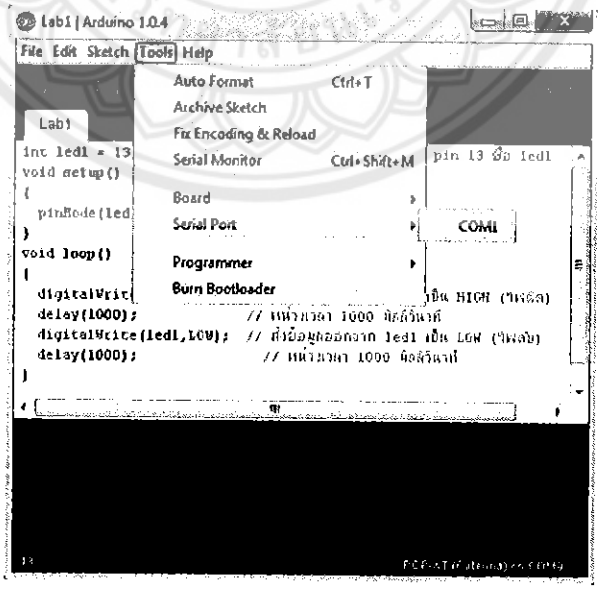
รูปที่ 2.38 ตรวจสอบตำแหน่งพอร์ตของบอร์ดที่เชื่อมต่อ
ที่เกิดขึ้นใหม่ใน Device Manager

9. กำหนดบอร์ดใช้งาน ก่อนที่จะทำการอัดโปรแกรมเข้ากับบอร์ดทดลองเราต้องทำการเลือกบอร์ดให้ตรงกับการใช้งาน (รุ่น หรือ เบอร์ IC ให้ตรง) สามารถกำหนดได้ดังนี้ ไปที่เมนู Tool >Board จากนั้นเลือกบอร์ดให้ตรงกับรุ่นที่ใช้งาน



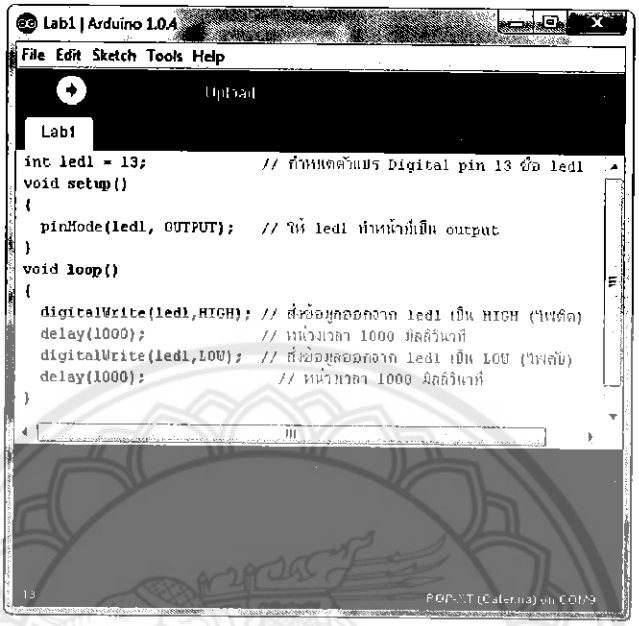
รูปที่ 2.39 กำหนดบอร์ดใช้งาน

10. เมื่อกำหนดบอร์ดแล้วให้กำหนด port ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร ซึ่งกำหนดได้ดังนี้ ไปที่เมนู Tool >Serial Port จากนั้นให้เลือก port ที่ใช้ในการติดต่อกับบอร์ด



รูปที่ 2.40 กำหนดบอร์ดใช้งาน

11. การอัดโปรแกรมลงในบอร์ด คลิกปุ่ม Upload



รูปที่ 2.41 การอัดโปรแกรมลงในบอร์ด

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงาน

โครงงานนี้มีขั้นตอนการดำเนินงาน แบ่งเป็นการศึกษาปัญหาของเครื่อง Chassis Dynamometer การปรับปรุงเครื่อง Chassis Dynamometer และการทดสอบเครื่อง Chassis Dynamometer ที่ปรับปรุงแล้ว รายละเอียดของแต่ละขั้นตอน มีดังต่อไปนี้

3.1 ปัญหาและแนวทางการปรับปรุงเครื่อง Chassis Dynamometer

เมื่อทำการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่อง Chassis Dynamometer พบว่ามีปัญหาที่สำคัญ คือ เครื่อง Chassis Dynamometer ไม่ได้มีการใช้งานและไม่ได้มีการดูแลเป็นเวลาหลายปี, คอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่อง Chassis Dynamometer ชำรุด, บอร์ด control เครื่อง Chassis Dynamometer ชำรุด, สายสัญญาณ Force sensor ชำรุด, หัวเซนเซอร์วัดความเร็วรอบแบบ Magnetic pickup สกปรก, รายละเอียดของปัญหาดังกล่าวและแนวทางในการปรับปรุง มีดังต่อไปนี้

3.1.1 ปัญหาเครื่อง Chassis Dynamometer ไม่ได้มีการใช้งานและไม่ได้มีการดูแล

1) ลักษณะของปัญหา

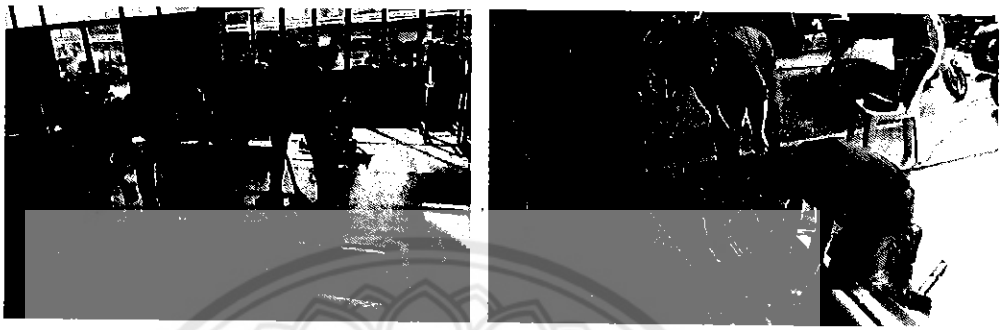
มีฝุ่นเกาะตามเครื่อง Chassis Dynamometer สายสัญญาณที่ใช้ในการเชื่อมต่อเข้าพอร์ตต่างๆมีการชำรุด และสายสัญญาณโดนถอดออก ทำให้ไม่ทราบว่าสายสัญญาณต้องต่อเข้าพอร์ตไหนบ้าง แสดงดังรูปที่ 3.1

(ก) ฝุ่นเกาะตามเครื่อง (ข) สายสัญญาณไม่ได้เชื่อมต่อ

รูปที่ 3.1 ปัญหาเครื่อง Chassis Dynamometer ไม่ได้มีการใช้งานและไม่ได้มีการดูแล

2) แนวทางการปรับปรุง

ทำความสะอาดเครื่อง Chassis Dynamometer ตรวจเช็คอุปกรณ์และศึกษาคู่มือการใช้งานเครื่อง Chassis Dynamometer แล้วทำการเสียบสายสัญญาณเข้าพอร์ตต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3.2



(ก) ทำความสะอาดเครื่อง (ข) เชื่อมต่อสายญาณที่ไม่ได้เสียบ

รูปที่ 3.2 ทำการปรับปรุงเครื่อง Chassis Dynamometer

3.1.2 ปัญหาคอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่อง Chassis Dynamometer เสียหาย

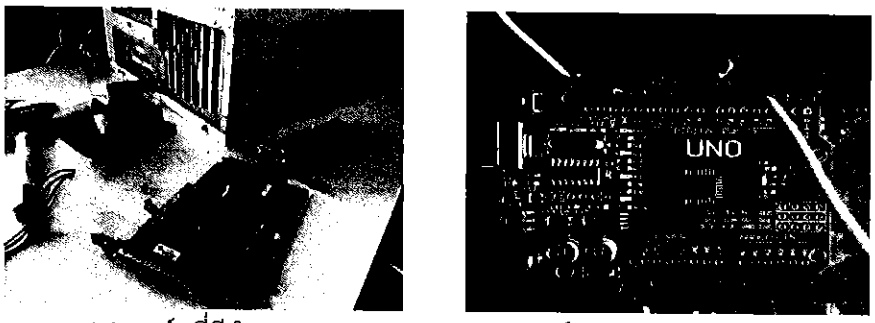
1) ลักษณะของปัญหา

เมื่อทำการเปิดคอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่อง Chassis Dynamometer คอมพิวเตอร์จะมีเสียงร้องออกมาจาก CPU ทำให้ไม่สามารถเข้าหน้าวินโดว์ได้ แสดงดังรูป 3.3

รูปที่ 3.3 ปัญหาคอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่อง Chassis Dynamometer เสียหาย

2) แนวทางการปรับปรุง

ทำการซ่อมแซมเปลี่ยนอะไหล่ที่ชำรุด (ไม่สามารถซ่อมแซมได้ เนื่องจากบอร์ดคอมพิวเตอร์ควบคุมมีความเสียหายมาก) ทั้งนี้จึงได้มีการแก้ไขปัญหาโดยการนำบอร์ดและโปรแกรม Arduino รุ่น UNO-R3 มาประยุกต์ใช้งานแทน แสดงดังรูป 3.4



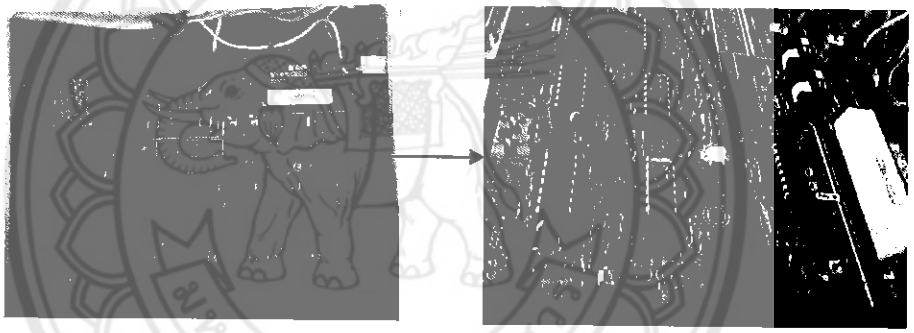
(ก) บอร์ดที่มีชำรุด (ข) บอร์ด Arduino รุ่น UNO-R3

รูปที่ 3.4 บอร์ด Arduino UNO-R3

3.1.3 บอร์ด control เครื่อง Chassis Dynamometer ชำรุด

1) ลักษณะของปัญหา

บอร์ด control เครื่อง Chassis Dynamometer มีอะไหล่ระเบิดแตก แสดงดังรูป 3.5



รูปที่ 3.5 บอร์ด control

2) แนวทางการปรับปรุง

ทำการซ่อมแซมเปลี่ยนอะไหล่ที่ชำรุด (ไม่สามารถซ่อมแซมได้เนื่องจาก บอร์ดมีความเสียหายมาก) จึงได้นำบอร์ด Arduino รุ่น UNO-R3 มาประยุกต์ใช้แทน

3.1.4 สายสัญญาณ Force sensor ชำรุด

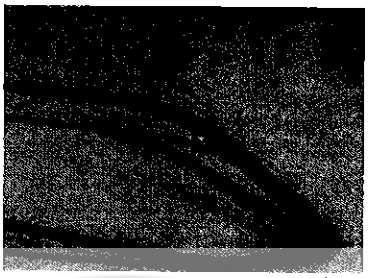
1) ลักษณะของปัญหา

สายสัญญาณขาด เนื่องจากโดนหนูกัดและสกปรก อาจทำให้การส่งข้อมูลผิดพลาดได้ แสดงดังรูป 3.6

รูปที่ 3.6 สายสัญญาณ force sensor

2) แนวทางการปรับปรุง

ทำการเชื่อมต่อสายสัญญาณ force sensor ตรงตำแหน่งที่ขาด แสดงดังรูป 3.7



รูปที่ 3.7 สายสัญญาณ force sensor ที่ปรับปรุงแล้ว

3.1.5 หัวเซนเซอร์วัดความเร็วรอบแบบ Magnetic pickup สกปรก

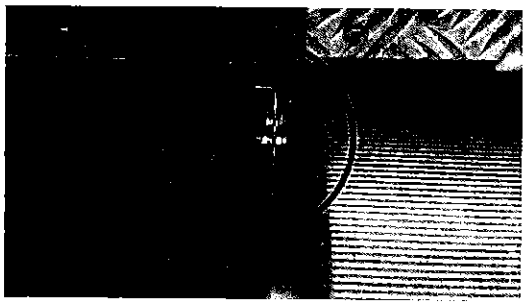
1) ลักษณะของปัญหา

มีฝุ่นเกาะในตำแหน่งหัวเซนเซอร์วัดความเร็วรอบแบบ Magnetic pickup ทำให้ความสามารถในการรับข้อมูลต่ำลง แสดงดังรูป 3.8

รูปที่ 3.8 หัวเซนเซอร์วัดความเร็วรอบแบบ Magnetic pickup

2) แนวทางการปรับปรุง

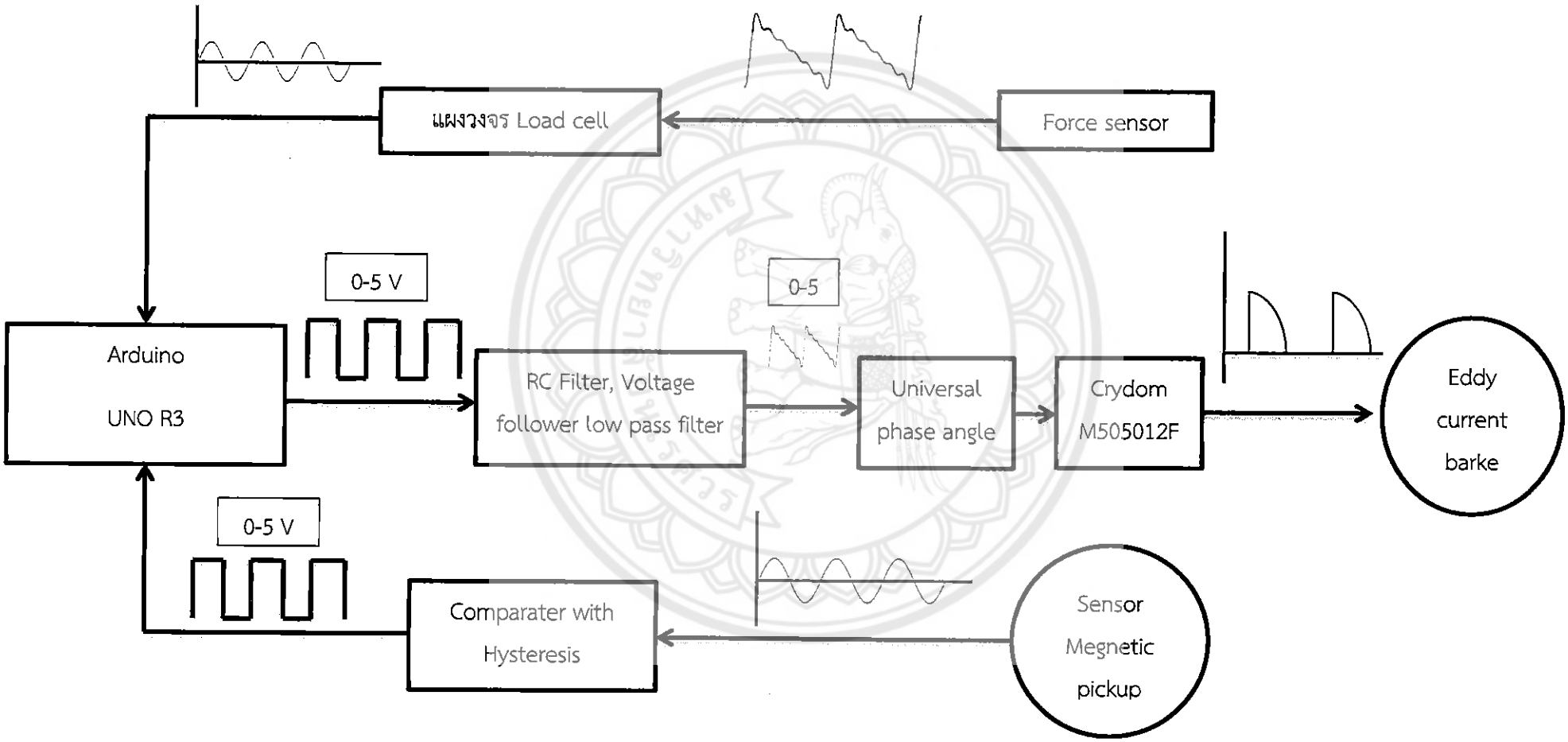
ทำความสะอาดที่ตำแหน่งหัวเซนเซอร์วัดความเร็วรอบแบบ Magnetic pickup แสดงดังรูป 3.9



รูปที่ 3.9 เซนเซอร์วัดความเร็วรอบแบบ Magnetic pickup ที่ปรับปรุงแล้ว

3.2 วิธีการทดลองอุปกรณ์ต่างๆของเครื่อง Chassis Dynamometer และบอร์ด Arduino ในห้องปฏิบัติการ และสร้างแผงวงจร Comparator with Hysteresis กับแผงวงจร Pulse Width Modulation (PWM)

การศึกษาอุปกรณ์ของเครื่อง Chassis Dynamometer และการใช้งานของบอร์ด Arduino ในห้องปฏิบัติการ มีวัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบการทำงานของ Force Sensor, เซนเซอร์วัดความเร็วรอบแบบ Magnetic pickup, Eddy current brake, Crydom M505012F และบอร์ด Arduino โดยรายละเอียดของวิธีการศึกษาและทดสอบมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.10 Diagram ของเครื่อง Chassis Dynamometer

จากรูปที่ 3.10 บอร์ด Arduino UNO R3 สามารถรับ-ส่งสัญญาณได้ 2 แบบ คือสัญญาณอนาล็อกกับสัญญาณดิจิตอล

- แผงวงจรโหลดเซลล์ ทำหน้าที่รับสัญญาณจากโหลดเซลล์และปรับเปลี่ยนอัตราการขยายค่าเป็นค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า มีลักษณะสัญญาณเป็นอนาล็อกเข้าบอร์ด Arduino
- RC Filter ทำหน้าที่แปลงสัญญาณ PWM เป็นอนาล็อก
- Voltage follower low pass filter ทำหน้าที่ชดเชยแรงดันคำสั่งสัญญาณก่อนเข้าสู่ Universal phase angle
- Universal phase angle ทำหน้าที่เปรียบเทียบตัดมุมเฟสเพื่อจะให้ได้มุมเฟสที่เหมาะสม
- Comparator with Hysteresis ทำหน้าที่แปลงสัญญาณลักษณะอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลและป้องกันสัญญาณรบกวน

3.2.1 สร้างแผงวงจร Comparator with Hysteresis

สร้างแผงวงจร Comparator with Hysteresis นี้ขึ้นมาเพื่อจะนำไปใช้งานร่วมกับเซนเซอร์วัดความเร็วรอบแบบ Magnetic pickup แสดงดังภาคผนวก ข

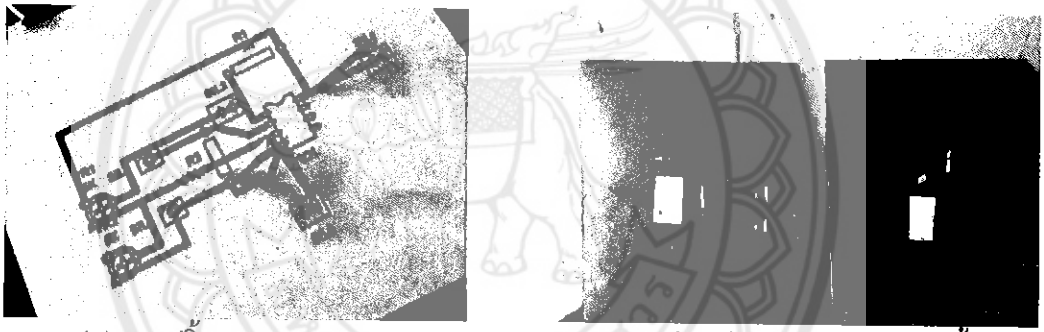
อุปกรณ์ที่ใช้

1) แผ่นปริ้นเปล่า
2) น้ำยากัดแผ่นปริ้น
3) น้ำยาเคลือบแผ่นปริ้น
4) ตะกั่ว
5) หัวแร้ง
6) ตัวต้านทานค่า 10KΩ, 100KΩ
7) ตัวต้านทานปรับค่าได้ 5KΩ จำนวน 2 ตัว
8) ออปแอมป์ เบอร์ LM 393
9) โปรแกรม PCBWiz
10) กระดาษรูปวงจร
11) กาวสองหน้า 3M
12) ปากกาเคมี
13) มีดคัตเตอร์
14) ถัง
15) กระดาษทราย เบอร์ 800
16) น้ำยาล้างจาน
17) ดอกสว่านขนาด 0.1 mm

วิธีการทำแผงวงจร

1) วาดรูปวงจรโดยใช้โปรแกรม PCBWiz
2) นำแผงปริ้นเปล่ามาขัดด้านที่เป็นทองแดงให้เงา จากนั้นไปล้างด้วยน้ำยาล้างจาน
3) นำรูปวงจรมาติดกับแผ่นปริ้นเปล่าที่ขัดแล้ว และใช้มีดคัตเตอร์แกะตามลายวงจร
4) เมื่อแกะเสร็จ ใช้ปากกาเคมีเขียนตามลายวงจรที่แกะ แล้วแกะกระดาษออก
5) นำแผ่นปริ้นแช่น้ำยา ประมาณ 20-30 นาที
6) เมื่อน้ำยากัดลายวงจรตามที่แกะแล้ว ให้นำไปล้างออกด้วยน้ำเปล่า
7) นำแผ่นปริ้นเจาะรูด้วยดอกสว่านขนาด 0.1 mm ตามที่กำหนด
8) ทำการใส่อะไหล่ต่างๆลงในแผ่นปริ้นเชื่อมด้วยตะกั่ว
9) นำแผ่นปริ้นเสร็จแล้ว มาน้ำเคลือบยาประมาณ 1 ชั่วโมง
10) เมื่อน้ำยาเคลือบแห้งแล้ว นำไปทดสอบ

หมายเหตุ รูปวิธีการทำแผงวงจร แสดงดังภาคผนวก ข



(ก) แกะปริ้นตามลายวงจร (ข) ใส่อะไหล่ต่างๆลงในแผ่นปริ้น

รูปที่ 3.11 แผงวงจร Comparator with Hysteresis

วิธีทำการทดสอบ

1) นำเซนเซอร์วัดความเร็วรอบแบบ Magnetic pickup มาต่อกับแผงวงจร Comparator with Hysteresis
2) จากนั้นเครื่อง ออสซิลโลสโคป มาต่อกับแผงวงจร เพื่อที่จะอ่านค่าและดูกราฟ
3) ใช้มอเตอร์ DC ที่ใส่วงล้อ รถทามิย่ามาติดตั้งใกล้ๆ เซนเซอร์วัดความเร็วรอบแบบ Magnetic pickup
4) อ่านค่าและดูกราฟจากเครื่อง ออสซิลโลสโคป ว่าได้ตามที่เราคาดหวังไว้หรือไม่แสดงดังรูป 3.12

รูปที่ 3.12 ทดสอบแผงวงจร Comparator with Hysteresis ด้วย
เซนเซอร์วัดความเร็วรอบแบบ Magnetic pickup

3.2.2 สร้างแผงวงจร Pulse Width Modulation

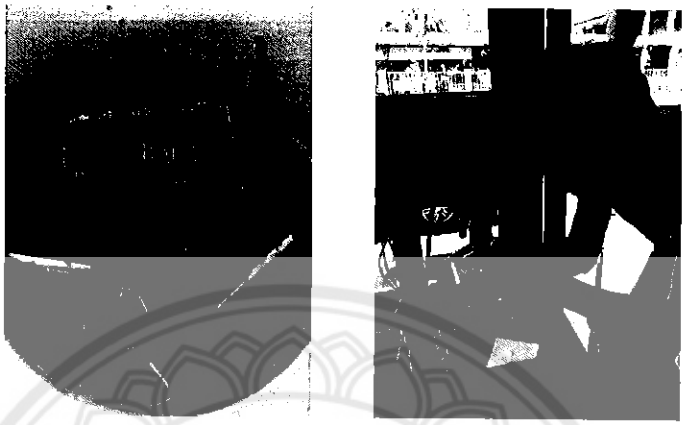
สร้างแผงวงจร Pulse Width Modulation นี้ขึ้นมาเพื่อจะนำไปใช้งานร่วมกับ Crydom M505012F แสดงดังภาคผนวก ข

อุปกรณ์ที่ใช้

1) แผ่นปริ้นเปล่า
2) น้ำยากัดแผ่นปริ้น
3) น้ำยาเคลือบแผ่นปริ้น
4) ตะกั่ว
5) หัวแร้ง
6) ตัวต้านทานค่า 10KΩ
7) ตัวเก็บประจุ 0.1 μf 50 V
8) ออปแอมป์ เบอร์ LM 358
9) โปรแกรม PCBWiz
10) กระดาษรูปวงจร
11) กาวสองหน้า 3M
12) ปากกาเคมี
13) มีดคัตเตอร์
14) ถัง
15) กระดาษทราย เบอร์ 800
16) น้ำยาล้างจาน
17) ดอกสว่านขนาด 0.1 mm

วิธีการทำแผงวงจร

หมายเหตุ วิธีการทำเหมือนกับแผงวงจร Comparator with Hysteresis แสดงดังรูป 3.13

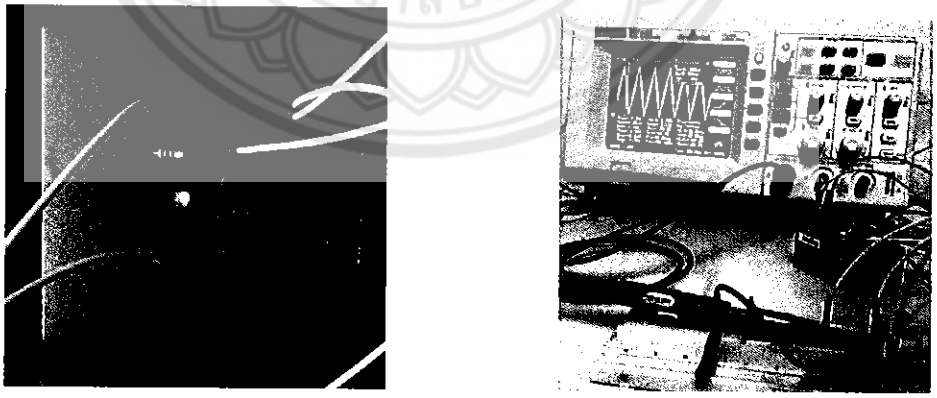


(ก) กัดลายวงจร (ข) เจาะรูแผงวงจร

รูปที่ 3.13 แผงวงจร Pulse Width Modulation

วิธีทำการทดสอบ

1) นำบอร์ด Arduino มาต่อกับแผงวงจร Pulse Width Modulation
2) จากนั้นนำเครื่อง ออสซิลโลสโคป มาต่อกับแผงวงจร เพื่อที่จะอ่านค่าและดูกราฟ
3) ใช้บอร์ด Arduino สั่งจ่ายกระแสไฟออกไปยังแผงวงจร
4) อ่านค่าและดูกราฟจากเครื่อง ออสซิลโลสโคป แสดงดังรูป 3.14



(ก) แผงวงจร Pulse Width Modulation (ข) วัดค่าเครื่องออสซิลโลสโคป

รูปที่ 3.14 ค่าและดูกราฟจากเครื่องออสซิลโลสโคป

3.2.3 ทดสอบการทำงานของ Force Sensor

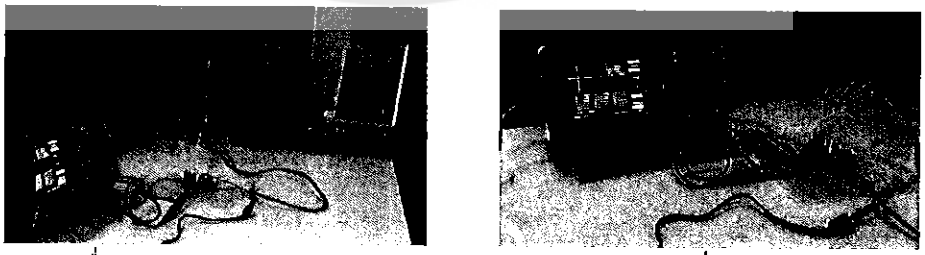
การทดสอบนี้ดำเนินการในห้องปฏิบัติการโดย Force Sensor จะถูกถอดออกจากเครื่อง Chassis Dynamometer เพื่อนำไปติดกับแผ่นเหล็ก มีวัตถุประสงค์เพื่อสอบเทียบหาค่าต่างๆ ในการทดลองได้กำหนดโหลดแต่ละช่วง แสดงดังภาคผนวก ก

อุปกรณ์ที่ใช้

1) Force Sensor
2) เครื่อง Universal testing machine
3) เครื่อง ออสซิลโลสโคป
4) แผงวงจรแปลงสัญญาณ
5) แผ่นเหล็กยึด Force Sensor
6) AC-DC ADAPTOR
7) สายสัญญาณ

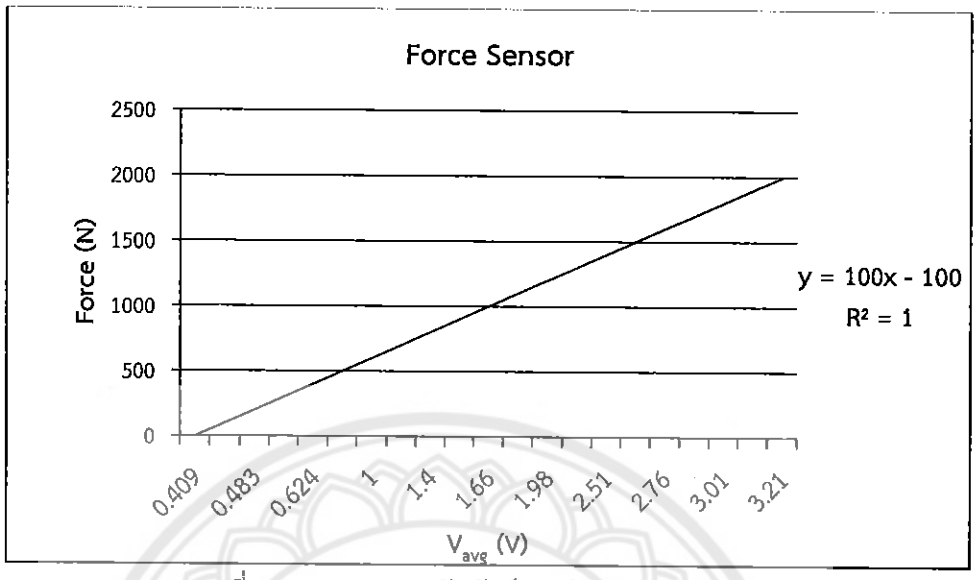
วิธีการทดสอบ

1) นำ Force Sensor ยึดกับแผ่นเหล็กและนำไปทดสอบแรงกดด้วยเครื่อง Universal testing machine
2) ต่อสายสัญญาณ Force Sensor กับแผงวงจรแปลงสัญญาณ
3) ต่อสายสัญญาณเครื่องออสซิลโลสโคป กับแผงวงจรแปลงสัญญาณ
4) ทำการ Run เครื่อง Universal testing machine ตามโหลดที่กำหนดไว้ แสดงดังรูป 3.14
5) จดบันทึกค่าจากเครื่องออสซิลโลสโคป ที่ทำการวัดได้ แสดงดังรูป 3.15



(ก) Run เครื่อง Universal testing machine (ข) ค่าจากเครื่องออสซิลโลสโคป

รูปที่ 3.15 ทดสอบ Force Sensor



รูปที่ 3.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Force กับ V_{avg}

3.2.4 ทดสอบเซนเซอร์วัดความเร็วรอบแบบ Magnetic pickup

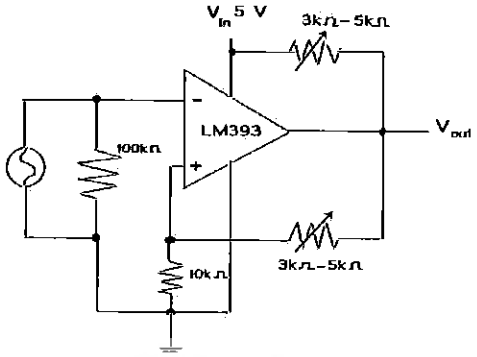
การทดสอบนี้ดำเนินการในห้องปฏิบัติการโดย เซนเซอร์วัดความเร็วรอบแบบ Magnetic pickup จะถูกถอดออกจากเครื่อง Chassis Dynamometer เพื่อนำไปต่อกับแผงวงจร Comparator with Hysteresis

อุปกรณ์ที่ใช้

1) เซนเซอร์วัดความเร็วรอบแบบ Magnetic pickup
2) แผงวงจร Comparator with Hysteresis
3) เครื่อง ออสซิลโลสโคป
4) มอเตอร์ DC

วิธีการทดสอบ

1) นำเซนเซอร์วัดความเร็วรอบแบบ Magnetic pickup มาต่อกับแผงวงจร Comparator with Hysteresis
2) จากนั้นนำเครื่อง ออสซิลโลสโคป มาต่อกับแผงวงจร เพื่อที่จะอ่านค่าและดูกราฟ
3) ใช้รถทามิย่าที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ DC ติดตะปูที่วงล้อ แล้วปั่นวงล้อใกล้ๆเซนเซอร์วัดความเร็วรอบ
4) อ่านค่าและดูกราฟจากเครื่อง ออสซิลโลสโคป



(ก) วงจรทดสอบเซนเซอร์วัดความเร็วรอบแบบ Magnetic pickup

(ข) ทดสอบเซนเซอร์วัดความเร็วรอบแบบ Magnetic pickup

รูปที่ 3.17 การวัดความเร็วรอบ

3.2.5 ทดสอบ Eddy current brake

การทดสอบนี้ดำเนินการในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล โดย Eddy current brake ไม่ต้องถอดออกจากเครื่อง Chassis Dynamometer

อุปกรณ์ที่ใช้

1) Eddy current brake
2) Battery 12 V

วิธีการทดสอบ

1) หมุนลูกกลิ้งของเครื่อง Chassis Dynamometer จากนั้นนำ Battery 12 V จ่ายไฟเข้าไปที่สายไฟที่ต่อออกมาจาก Eddy current brake
2) หมุนลูกกลิ้งของเครื่อง Chassis Dynamometer อีกครั้งว่ามีการหน่วงเกิดขึ้นหรือไม่

หมายเหตุ ถ้าลูกกลิ้งเกิดการหน่วงขึ้นแสดงว่า Eddy current brake ใช้งานได้ตามปกติ

รูปที่ 3.18 Eddy current brake

3.2.6 ทดสอบ Crydom M505012F

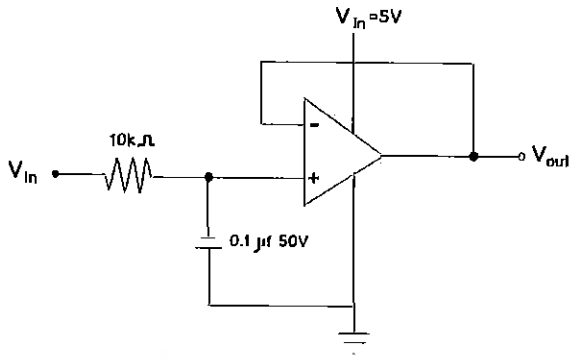
การทดสอบนี้ดำเนินการในห้องปฏิบัติการโดย Crydom M505012F จะถูกถอดออกจากบอร์ด control เครื่อง Chassis Dynamometer เพื่อนำไปต่อกับอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องใช้แทนอุปกรณ์เดิม

อุปกรณ์ที่ใช้

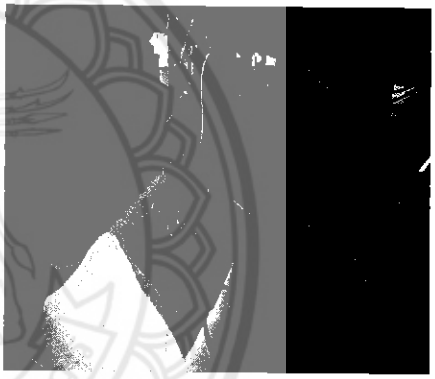
1) Crydom M505012F
2) สายไฟ
3) หลอดไฟ
4) ตัวต้านทานปรับค่าได้
5) ปลั๊กไฟ
6) หม้อแปลงไฟ 12 V
7) กล่อง Universal phase angle
8) ออสซิลโลสโคป

วิธีการทดสอบ

1) ต่อหลอดไฟ ตัวต้านทานปรับค่าได้ เข้า Crydom M505012F
2) นำกล่อง Universal phase angle ตัวต้านทานปรับค่าได้ หม้อแปลงไฟต่อรวมกัน จากนั้นนำไปต่อกับ Crydom M505012F
3) นำเครื่อง ออสซิลโลสโคป ต่อที่ขาหลอดไฟ
4) หมุนตัวต้านปรับค่าได้ และดูการเปลี่ยนแปลงของแสงที่หลอดไฟ นั้นอ่านค่าจากออสซิลโลสโคป



(ก) วงจรทดสอบ Crydom M505012F



(ข) Crydom M505012F (ค) ทดสอบ Crydom M505012F

รูปที่ 3.19 Crydom M505012F

3.2.7 ทดสอบบอร์ด Arduino

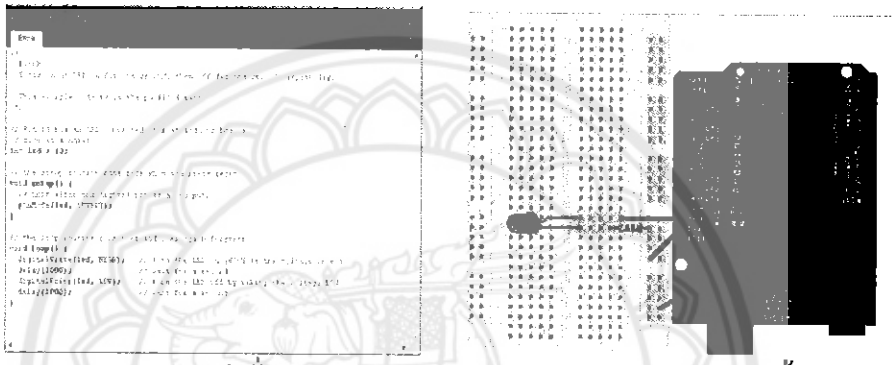
การทดสอบนี้ดำเนินการในห้องปฏิบัติการโดย บอร์ด Arduino จะถูกต่อเชื่อมเข้ากับ Notebook ซึ่งเป็นบอร์ดที่นำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ แทนบอร์ดตัวเดิมที่ชำรุด

อุปกรณ์ที่ใช้

1) บอร์ด Arduino
2) Notebook
3) โปรแกรม Arduino 1.0.5-r2
4) หลอดไฟ LED
5) ตัวต้านทานค่า 47 Ω

วิธีทดสอบ

1) เปิด Notebook จากนั้นเชื่อมต่อเข้าบอร์ด Arduino
2) เปิดโปรแกรม Arduino 1.0.5-r2
3) พิมพ์ Code คำสั่งต่างๆ เพื่อทำจะ Upload
4) Upload code ลงบอร์ด Arduino
5) สังเกตการณ์เปลี่ยนของหลอดไฟที่บอร์ด Arduino



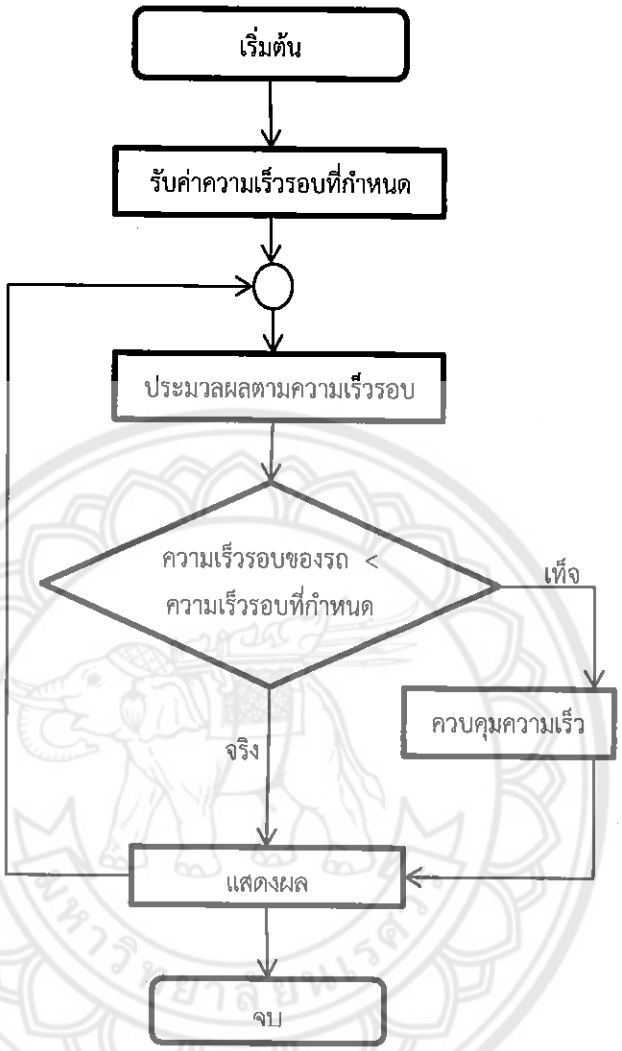
(ก) Code คำสั่ง (ข) ทดสอบบอร์ด Arduino เบื้องต้น

รูปที่ 3.20 บอร์ด Arduino และโปรแกรม Arduino 1.0.5-r2 [10]

3.3 เขียน Code คำสั่งของ บอร์ด Arduino

3.3.1 Flowchart แสดงของการทำงานของบอร์ด Arduino

Flowchart แสดงของการทำงานของบอร์ด Arduino ซึ่งเป็นโครงสร้างควบคุมพื้นฐานการทำงานแบบวนรอบ (Repetition) แสดงดังรูป 3.21



รูปที่ 3.21 Flowchart แสดงของการทำงานของบอร์ด Arduino

3.3.2 Code คำสั่งบอร์ด Arduino

Code คำสั่งบอร์ด Arduino เป็น Code ที่เขียนขึ้นเพื่อนำมาใช้ในการควบคุมระบบของเครื่อง Chassis Dynamometer ที่อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล แสดงดังภาคผนวก ค

3.4 ทดสอบเครื่อง Chassis Dynamometer ในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล

การทดสอบเครื่อง Chassis Dynamometer ในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาค่าแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ ในโครงงานนี้ได้รับความอนุเคราะห์เครื่อง Chassis Dynamometer ทดสอบจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลในอาคารปฏิบัติการ โดยรายละเอียดของวิธีการทดสอบและอุปกรณ์ที่ใช้ มีดังต่อไปนี้

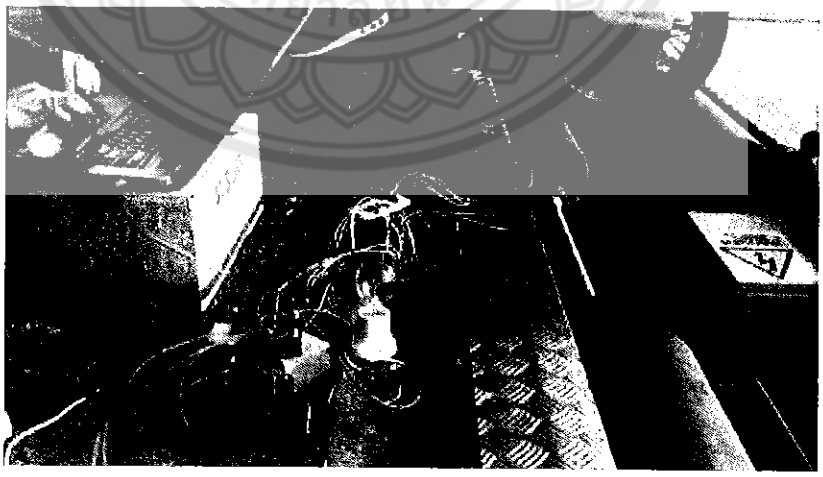
อุปกรณ์ที่ใช้

1) เครื่อง Chassis Dynamometer ที่ปรับปรุงแล้ว
2) รถจักรยานยนต์ เพื่อเป็นต้นกำลัง
3) Notebook
4) ปลั๊กไฟ

3.4.1 การเตรียมการทดสอบ

การเตรียมระบบสำหรับการทำการทดสอบเครื่อง Chassis Dynamometer มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) เตรียมพื้นที่ให้สะดวกในการทำงาน
2) เตรียมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบให้พร้อม
3) ทำการต่อแผงวงจรที่ใช้ในการแปลงสัญญาณต่อเข้ากับเซนเซอร์วัดความเร็วรอบ Eddy current brake และ Force Sensor ที่ติดตั้งอยู่กับ Dynamometer
4) ทำการต่อวงจรทั้งหมด และติดตั้งอุปกรณ์ให้พร้อมสำหรับการทำงาน
5) เซตอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน บอร์ด Arduino ที่ใช้สั่งการระบบทั้งหมด

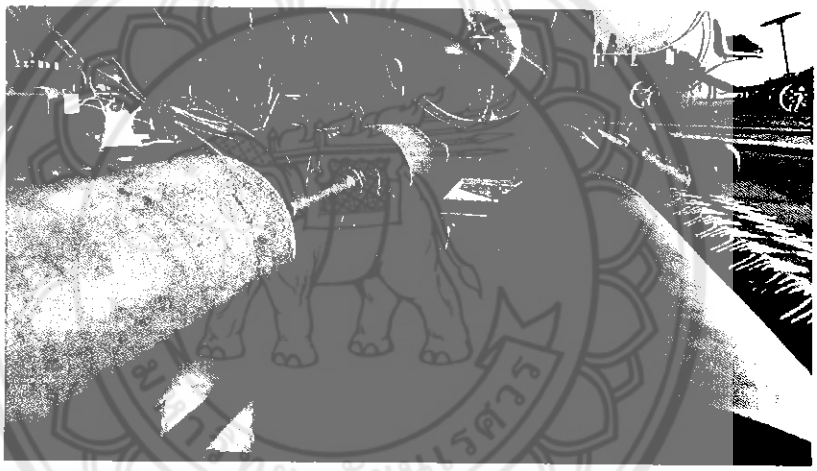


รูปที่ 3.22 การเตรียมการทดสอบ

3.4.2 การออกแบบการทดสอบ

การทดสอบจะดำเนินการโดยใช้โปรแกรม Arduino ป้อนคำสั่งเข้าไปที่บอร์ด Arduino โดยจะเซตค่าความเร็วรอบของล้อรถในการทดสอบที่ 300 RPM, 400 RPM และ500 RPM และทำการทดสอบโดยการสตาร์ทรถจักรยานยนต์และทำการเร่งความเร็วของรถ จากนั้นโปรแกรม Arduino ก็จะแสดงค่าความเร็วรอบ แรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ เมื่อความเร็วของรถเร่งเกิดความเร็วรอบที่ได้ตั้งไว้ บอร์ดจะทำให้เกิดการจ่ายค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ทำให้ Eddy current brake เริ่มทำงาน โดยจะทำการคอยเบรกความเร็วรอบของลูกกลิ้งเพื่อไม่ให้ความเร็วรอบของรถเกินอัตราที่ตั้งค่าไว้ในการทดสอบ จากนั้นทำการอ่านค่าความเร็วรอบ แรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ ที่ได้ออกมาเพื่อนำไปวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

หมายเหตุ ภาพประกอบระหว่างทำการทดสอบ แสดงดังภาคผนวก ง



รูปที่ 3.23 การออกแบบการทดสอบ

3.4.3 การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูล จะทำการเก็บค่าความเร็วรอบ แรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ โปรแกรม Arduino ได้แสดงผลจากการทดสอบออกมา โดยจะทำการทดสอบในความเร็วรอบเดียวกันซ้ำๆกันหลายครั้งเพื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบข้อมูล เพื่อความแม่นยำและเที่ยงตรงเป็นที่น่าพอใจในการทดสอบเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

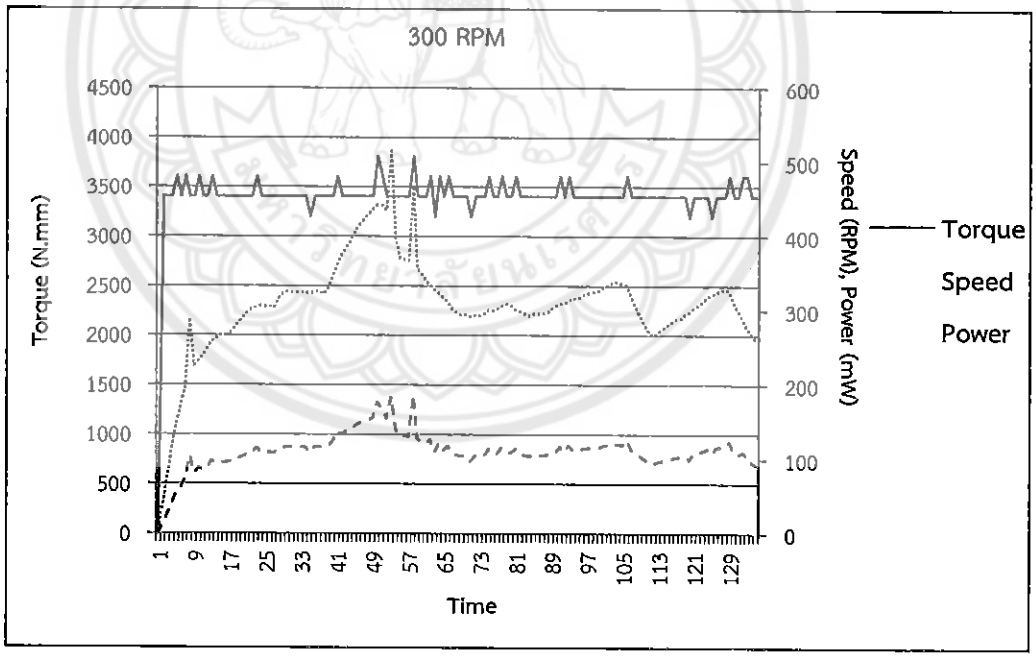
บทที่ 4
ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

ผลการทดสอบของเครื่อง Chassis Dynamometer ในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล ที่ปรับปรุงแล้ว และการวิเคราะห์ผล สรุปได้ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบของเครื่อง Chassis Dynamometer ในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกลที่ปรับปรุงแล้ว

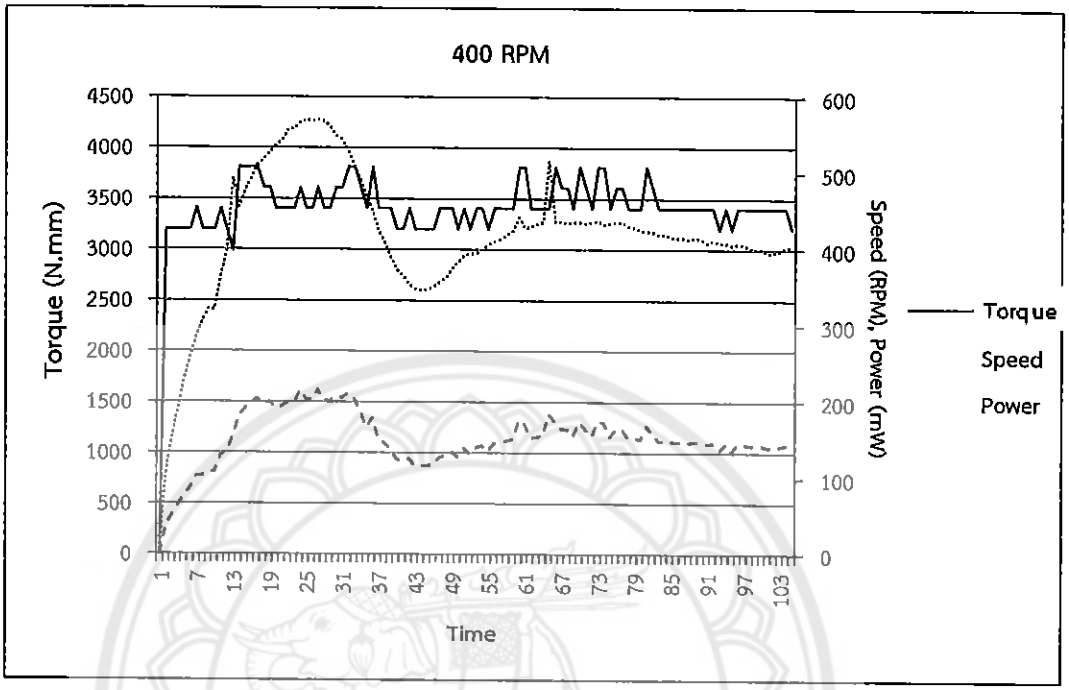
4.1.1 ผลการทดสอบหาแรงบิดและแรงม้าของรถจักรยานยนต์

ผลการทดสอบหาแรงบิดและกำลังของรถจักรยานยนต์เมื่อผ่านเครื่อง Chassis Dynamometer ที่ปรับปรุงแล้วในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล โดยการทดสอบนี้กำหนดที่ความเร็วรอบ 300, 400 และ 500 RPM แสดงรูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ



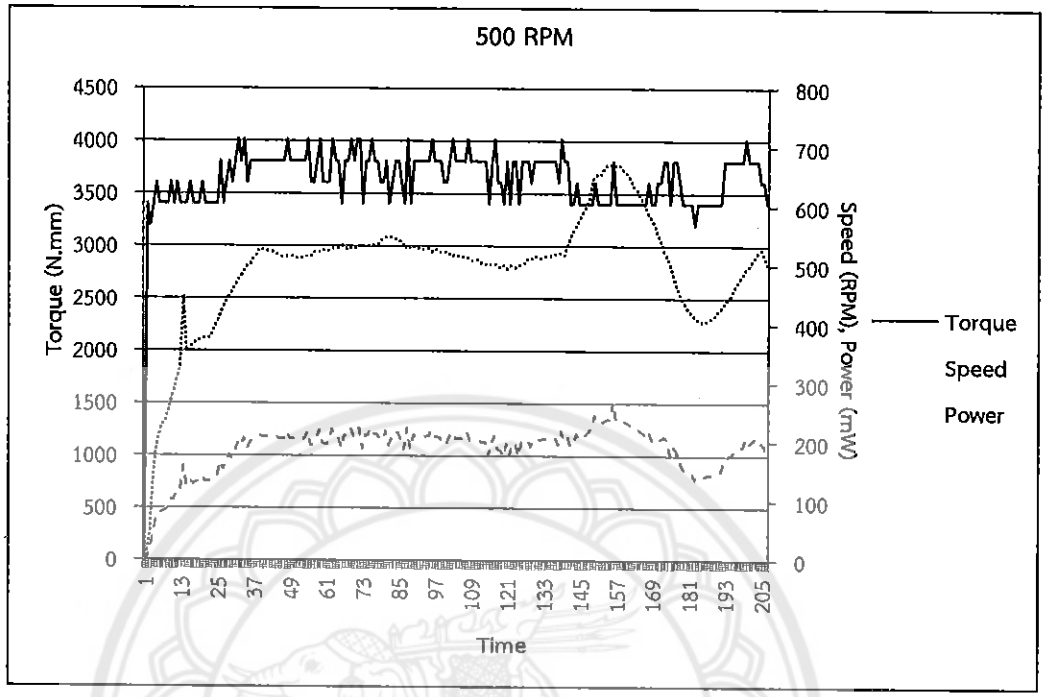
รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบหาแรงบิดและกำลังของรถจักรยานยนต์ที่ความเร็วรอบ 300 RPM

จากกราฟในรูป 4.1 แสดงผลการทดสอบแรงบิดและกำลังของรถจักรยานยนต์เมื่อผ่านเครื่อง Chassis Dynamometer ที่ปรับปรุงแล้ว จะเห็นได้ว่าจากการที่ทดสอบที่ความเร็วรอบที่ 300 RPM ค่าเฉลี่ยของความเร็วรอบ, แรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ที่ทดสอบได้เท่ากับ 311.061 RPM, 3432.162 N.mm และ 111.978 mW ตามลำดับ โดยทำการเฉลี่ยจากช่วงที่ทำให้ความเร็วรอบมีความเสถียรมากที่สุด จากช่วงที่ 61 ถึง110 แสดงดังภาคผนวก จ



รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบหาแรงบิดและกำลังของรถจักรยานยนต์ที่ความเร็วรอบ 400 RPM

จากกราฟในรูป 4.2 แสดงผลการทดสอบแรงบิดและกำลังของรถจักรยานยนต์เมื่อผ่านเครื่อง Chassis Dynamometer ที่ปรับปรุงแล้ว จะเห็นได้ว่าจากการที่ทดสอบที่ความเร็วรอบที่ 400 RPM ค่าเฉลี่ยของความเร็วรอบ, แรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ที่ทดสอบได้เท่ากับ 418.682 RPM, 3467.662 N.mm และ 152.4 mW ตามลำดับ โดยทำการเฉลี่ยจากช่วงที่ทำให้ความเร็วรอบมีความเสถียรมากที่สุด จากช่วงที่ 66 ถึง 109 แสดงดังภาคผนวก จ



รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบหาแรงบิดและกำลังของรถจักรยานยนต์ที่ความเร็วรอบ 500 RPM

จากกราฟในรูป 4.3 แสดงผลการทดสอบแรงบิดและกำลังของรถจักรยานยนต์เมื่อผ่านเครื่อง Chassis Dynamometer ที่ปรับปรุงแล้ว จะเห็นได้ว่าจากการที่ทดสอบที่ความเร็วรอบที่ 500 RPM ค่าเฉลี่ยของความเร็วรอบ, แรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ที่ทดสอบได้เท่ากับ 519.917 RPM, 3775.08 N.mm และ 205.832 mW ตามลำดับ โดยทำการเฉลี่ยจากช่วงที่ทำให้ความเร็วรอบมีความเสถียรมากที่สุด จากช่วงที่ 33 ถึง 141 แสดงดังภาคผนวก จ

4.2 ปัญหาที่พบระหว่างการทดสอบเครื่อง Chassis Dynamometer

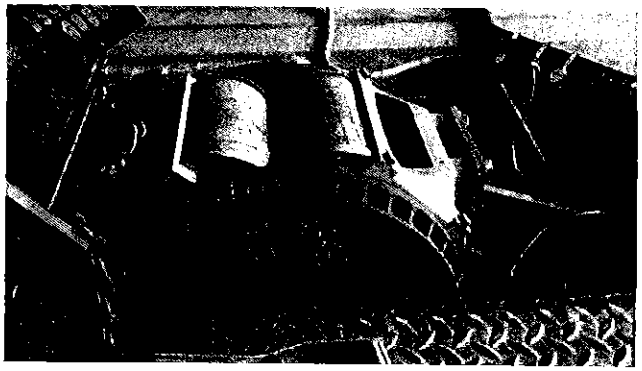
(1) เนื่องจากการเขียนโปรแกรมในการควบคุมเครื่องนั้นยังไม่สมบูรณ์ จึงทำให้มีการต้องทดสอบเครื่อง Chassis Dynamometer เป็นเวลานานหลายชั่วโมงติดต่อกัน

(2) เนื่องจากในการทดสอบเครื่อง Chassis Dynamometer เบื้องต้นนี้ได้ใช้จักรยานยนต์ในการทดสอบ ซึ่งกำลังของรถน้อยมากเมื่อเทียบกับรถยนต์ จึงทำให้ผลที่ได้ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงเท่าที่ควร

(3) รถจักรยานยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ มีเครื่องยนต์ขนาดความจุค่อนข้างต่ำ ทำให้การทดสอบต้องทดสอบที่ความเร็วรอบต่ำ

รูปที่ 4.4 ใช้จักรยานยนต์ในการทดสอบ

(4) เกิดเสียงดังรบกวนในการทดสอบเครื่อง Chassis Dynamometer บริเวณ Eddy current brake เนื่องจาก เครื่องมีสนิมจับ เพราะไม่ได้มีการใช้งานเป็นเวลานานมาก



รูปที่ 4.5 Eddy current brake ที่เกิดเสียงดังออกมาระหว่างทำการทดสอบ

โดยสรุป การทดสอบเครื่อง Chassis Dynamometer ที่ได้ทำการปรับปรุงแล้วนั้น สามารถนำกลับมาใช้ทดสอบสมรรถนะของรถได้อีกครั้ง หลังจากที่เครื่องชำรุดเสียหายและถูกปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลานานหลายปี โดยในการปรับปรุงเครื่อง Chassis Dynamometer แล้วนั้น ทำให้สามารถวัดค่าแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ได้ ซึ่งเห็นได้จากผลการทดสอบที่ได้เห็นตามข้างต้นนี้แล้ว เนื่องจากข้อมูลการทดสอบเครื่อง Chassis Dynamometer ที่ได้ยังไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร เช่น การใช้รถจักรยานยนต์ในการทดสอบ และโปรแกรมควบคุมที่ต้องมีการพัฒนาในระดับต่อไป ดังนั้นจึงควรที่จะต้องมีการทดสอบเครื่องและปรับปรุงเครื่อง Chassis Dynamometer เพิ่มเติมอีกในอนาคต รวมถึงการปรับปรุงแก้ไขเครื่องเพื่อแก้ปัญหาบางประการที่ยังเหลืออยู่ในการใช้ทดสอบสมรรถนะของรถเป็นต้น

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปสมบัติของเครื่อง Chassis Dynamometer ที่ปรับปรุงแล้ว

เครื่อง Chassis Dynamometer ที่ปรับปรุงแล้ว ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ใช้รถจักรยานยนต์เป็นต้นกำลัง มีอุปกรณ์หลัก คือ Force Sensor (Load cell), Eddy current brake, เซนเซอร์วัดความเร็วรอบ (Magnetic pickup), ลูกกลิ้งของเครื่อง ข้อมูลจำเพาะเชิงเทคนิคของเครื่องสรุปได้ดังตารางที่ 5.1

ตาราง 5.1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่อง Chassis Dynamometer และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

รายละเอียด	
Chassis Dynamometer	
Force Sensor (Load cell)	
-Model number	KA-250
-Maximum rated capacity	250 kg
-Output rating (nominal)	2.2 mV/V
-Maximum number of verification scale intervols	1000
-Minimum dead load	10 kg
-Minimum value of verification scale interval	0.1 kg
-Cable length (± 0.1 m)	2 m
-Input impedance (nominal)	350 Ω
-Supply voltage	10-15 V DC or AC
-No. of leads	4
Eddy current brake	
-Max. Braking Torque	1.5 Nm
-Total Retarder weight	149 Kg
-Stator weight	109 Kg
-Rotor weight	40 Kg
-Max. driveline Torque	11.5 Nm
-Max. RPM	5 rpm
-Rotors mass inertia	1.72 kg/m^2

-Rotors Air Gap -Voltage -Widerstand -Max. working Amps	1.5-1.7 mm 96 V 2.92 Ω 33 A
หัวเซนเซอร์วัดความเร็วรอบ (Magnetic pickup) -Output Voltage -Coil Resistance -Inductance -Operating Temperature	 10 V 130 Ω 12 mH -40 to 60 Ċ
ลูกกลิ้งของเครื่อง -เส้นผ่านศูนย์กลาง -จำนวนสัญญาณพัลส์	 7.002 Cm 96 rpm
อุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ	
Universal testing machine (UTM)	5000 N
ออสซิลโลสโคป (Oscilloscopes)	
แผ่นเหล็กยืด Force Sensor	50Cm x 10Cm x 0.05 Cm
AC-DC ADAPTOR	
มอเตอร์ DC	
อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมเครื่อง	
บอร์ด Arduino รุ่น UNO-R3 -โปรแกรม	 Arduino 1.0.5-r2
แผงวงจร Pulse Width Modulation (PWM) -ตัวต้านทานค่า -ตัวเก็บประจุ -ออปแอมป์ -โปรแกรม	 10KΩ 0.1 µf 50 V เบอร์ LM 358 PCBWiz
แผงวงจร Comparator with Hysteresis -ตัวต้านทานค่า -ตัวต้านทานปรับค่าได้ จำนวน 2 ตัว -ออปแอมป์ -โปรแกรม	 10KΩ, 100KΩ 5KΩ เบอร์ LM 393 PCBWiz

อุปกรณ์เสริมในการทดสอบเครื่อง	
รถจักรยานยนต์	
-รุ่น	Wave 125 S
-เครื่องยนต์	4 จังหวะ แบบโอเวอร์เฮดแคมชาฟท์ ระบายความร้อนด้วยอากาศ
-ปริมาตรกระบอกสูบ	124.9 cc
-กระบอกสูบ x ช่วงชัก	52.4 x 57.9 mm
-ระบบการติดเครื่องยนต์	มีทั้งรุ่นสตาร์ทมือและสตาร์ทเท้า
-อัตราส่วนแรงอัด	9.3 : 1
-ระบบเกียร์	โรตารี่ (เกียร์วน) 4 ระดับ
-ขนาด (กว้าง x ยาว x สูง)	703 x 1,881 x 1,060 mm
-ระยะห่างช่วงล้อ	1,239 mm
-น้ำหนักสุทธิ	96 kg
-ระบบห้ามล้อ	หน้าหลังดิสก์เบรกลูกสูบคู่ (DUAL PISTON CALIPER) ดรัมเบรก
-ขนาดยาง หน้า หลัง	60/100 - 17 M/C 33P 70/90-17 M/C 43P

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การปรับปรุงแก้ไขเครื่อง Chassis Dynamometer

- ควรมีการตรวจสอบและปรับปรุงเครื่องให้มีความพร้อมในการใช้งานอยู่ตลอดเวลา
- ควรจัดการติดตั้งอุปกรณ์ Safety เพื่อใช้ในการทดสอบเครื่อง
- ควรหมั่นดูแลบำรุงรักษาเครื่องอยู่เป็นประจำ เพื่อให้เครื่องมีอายุการใช้งานที่ยาวขึ้น

5.2.2 การเก็บผลการทดสอบจากเครื่อง Chassis Dynamometer

- ควรมีการทดสอบเครื่องเพิ่มเติม เพื่อพัฒนาโปรแกรมในการหาค่าความเร็วรอบ, ค่าแรงบิด และกำลังของเครื่องยนต์ เพื่อนำมาคำนวณหากำลังและประสิทธิภาพของรถต่อไป

- ควรมีการพัฒนาโปรแกรมในส่วนการควบคุมความเร็วของรถที่ใช้ในการทดสอบ ให้เข้าสู่ความเร็วรอบที่ตั้งไว้ได้อย่างรวดเร็วและมีเสถียรภาพมากขึ้นกว่านี้

- ควรมีการปรับปรุงการตั้งค่า Offset ของโหลดเซลล์

- ควรมีการใช้เซ็นเซอร์วัด P.ไอดี, T.ไอดี ร่วมในการประมวลผล เพื่อให้ผลการทดสอบสามารถนำไปใช้เปรียบเทียบกับมาตรฐานการทดสอบรถได้

อ้างอิง

[1] Winther, J. B. (1975). Dynamometer Handbook of Basic Theory and Applications. Cleveland, Ohio: Eaton Corporation.

[2] Martyr, A.; Plint, M. (2007). Engine Testing - Theory and Practice (Fourth ed.). Oxford, UK: ELSEVIER. ISBN 978-0-08-096949-7.

[3] กรมควบคุมมลพิษ. (10 พฤษภาคม 2555).คุณภาพอากาศและเสียง.สืบค้นเมื่อ,20 กันยายน 2557,จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/air_diesel_autolab.html

[4] วิโรจน์ พุทธวิถี. (2556).การทดสอบเครื่องยนต์.สืบค้นเมื่อ,21 สิงหาคม 2557, จาก http://waterpacific.com/index.php/2013-07-08-13-44-41

[5] จ๊อด Gettuned Tuning Serviceและทีมงาน Car performance. (20 กันยายน 2556). Dyno คืออะไร.สืบค้นเมื่อ,14 สิงหาคม 2557,จาก https://www.facebook.com/GettunedTuningService/posts/718243844869168

[6] นักเลงรถ.(6 มิถุนายน 2557). Fly Wheel ตัวกลางถ่ายทอดกาลังจากเครื่องยนต์. สืบค้นเมื่อ, 30 สิงหาคม 2557,จาก http://car.kapook.com/view90110.html

[7] Pcman (24 สิงหาคม 2554). คู่มือการโปรแกรม arduino board. สืบค้นเมื่อ, 18 ธันวาคม 2557,จาก http://www.logicthai.net/node/10

[8] ไอเลิร์น ช็อป.(10 มกราคม 2557). การเขียนโปรแกรมพื้นฐาน Arduino. สืบค้นเมื่อ, 20 ธันวาคม 2557,จาก http://ilearn.lnwshop.com

[9] เจริญมอเตอร์(วิเชียรบุรี) (10 มกราคม 2549). HONDA Wave 125. สืบค้นเมื่อ, 6 , มกราคม 2558,จาก http://www.jrmotor.com/wave125r.html

[10] Sportdevices (10 มกราคม 2549). How to choose the suitable load cell for your dynamometer. สืบค้นเมื่อ, 27 ,กุมภาพันธ์ 2558,จาก http://www.sportdevices.com/dyno/load_cell.htm

[11] Precision Automotive Machinists and Engine Rebuilders. Engine Dynamomet. สืบค้นเมื่อ,20 กันยายน 2557,จาก www.superflow

[12] Dave's Diesel Angola L.L.C. Chassis Dynamometer. สืบค้นเมื่อ,20 กันยายน 2557, จาก www.angoladavesdiesel.com

ภาคผนวก

ภาพผนวก ก

ตารางบันทึกผลการทดสอบ Force sensor ห้องปฏิบัติการ

ตารางบันทึกผลการการทดสอบ Force sensor ห้องปฏิบัติการ

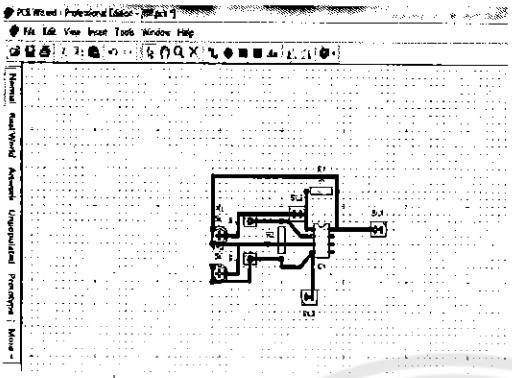
ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบ Force sensor

V_{max} (V)	V_{avg} (V)	V_{rms} (V)	Force(N)
0.8	0.409	0.4	0
0.8	0.432	0.4	100
0.8	0.483	0.4	200
0.8	0.58	0.566	300
1.2	0.624	0.566	400
1.2	0.905	0.894	500
1.2	1	0.98	600
1.6	1.26	1.2	700
1.6	1.4	1.39	800
1.6	1.57	1.55	900
2	1.66	1.65	1000
2.4	1.8	1.79	1100
2.4	1.98	1.96	1200
2.8	2.2	2.19	1300
2.8	2.51	2.5	1400
2.8	2.61	2.59	1500
3.2	2.76	2.74	1600
3.2	2.9	2.9	1700
3.2	3.01	2.99	1800
3.2	3.19	3.18	1900
3.6	3.21	3.2	2000

หมายเหตุ ใช้ R 330 Ω เพื่อใช้เป็นอัตราขยาย

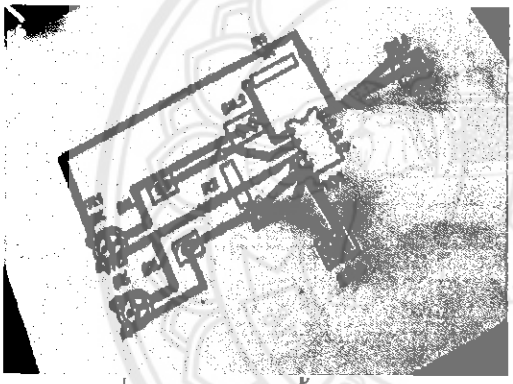
ภาพผนวก ข

รูปการทำแผงวงจร Comparator with Hysteresis

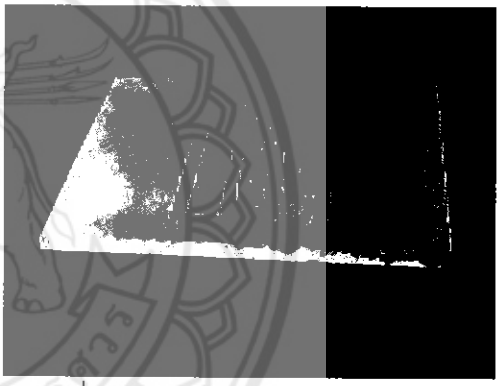


รูปที่ ข.1 วาดวงจร

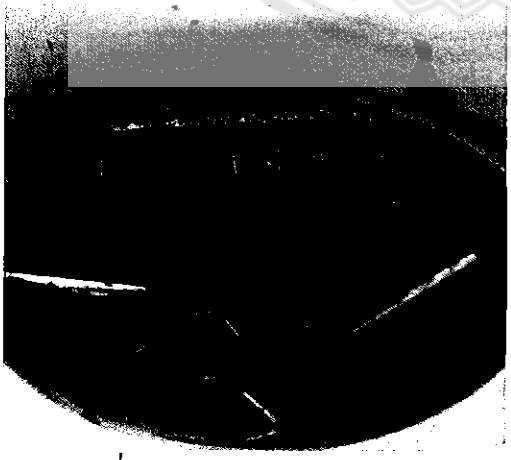
รูปที่ ข.2 ขัดแผ่นปริ้น



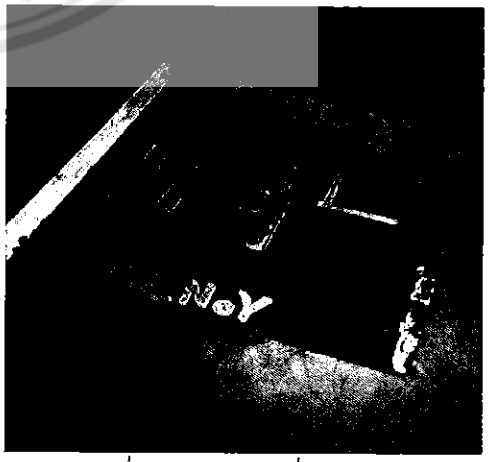
รูปที่ ข.3 แกะแผ่นปริ้น



รูปที่ ข.4 ปากกาเคมีเขียนทับลายวงจร



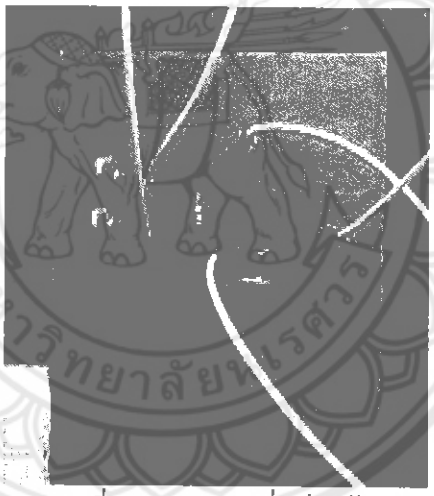
รูปที่ ข.5 กัดลายวงจร



รูปที่ ข.6 แผงวงจรที่กัดแล้ว

รูปที่ ข.7 เจาะรูเสียบขาอะไหล่

รูปที่ ข.8 ใส่อะไหล่ลงวงจร



รูปที่ ข.9 แผงวงจรที่เสร็จแล้ว

ภาพผนวก ค

Code คำสั่งของบอร์ด Arduino ในการควบคุมระบบของเครื่อง Chassis Dynamometer

Code คำสั่งที่ใช้ในการควบคุมระบบของเครื่อง Chassis Dynamometer

```
//include avr library
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#define EXT_INT 1   // Uno: D3 pin used to be EXT_INT (1)
        volatile uint16_t ovf_count = 0;
        ISR(TIMER1_OVF_vect) { // overflow rate: every 32768 usec (32.768msec)
  ovf_count++;
}
void timer1_start() {
  uint8_t SREG_tmp = SREG;  // save the status register
  ovf_count = 0;          // reset overflow counter
  cli();                  // disable interrupts
  TIMSK1 = 0;
  TCNT1  = 0;             // reset Timer1 count register
  TCCR1A = 0;
  TCCR1B = 0;
  // use Timer1 in Normal mode
  TIMSK1 |= (1<<TOIE1);     // Enable Timer1 overflow interrupt
  TCCR1B |= (1<<CS11);      // start timer at f_CPU/8: 16Mhz/8=2MHz => 0.5usec
step,
  SREG = SREG_tmp;          // restore the status register
}
volatile uint8_t edge_count;
volatile boolean done;
volatile uint32_t prev_ts;
volatile uint32_t period;

uint32_t get_timestamp() { // get current time with 0.5usec precision
  uint8_t SREG_tmp = SREG;
  cli();
  uint16_t count_value = TCNT1;
  // In normal operation the Timer/Counter Overflow Flag (TOV1) will be
  // set in the same timer clock cycle as the TCNT1 becomes zero.
  if ( TIFR1 & _BV(TOV1) ) { // check overflow
    TIFR1 |= _BV(TOV1); // clear overflow flag
```

```
    ++ovf_count;
  }
  uint32_t ts = ovf_count;
  ts = ((ts << 16) + count_value);
  SREG = SREG_tmp;
  return ts;
}
void ext_isr() {
  if (edge_count==1) {
    prev_ts = get_timestamp();
  }
  else if (edge_count==5) {
    // period (usec) = (difference between two timestamps / 4) * 0.5 usec
    period = (get_timestamp() - prev_ts) >> 3;
    done = true;
  }
  edge_count++;
}
uint32_t period_measure() {
  edge_count = 0;
  done = false;
  uint8_t TCCR2A_tmp = TCCR2A;
  uint8_t TCCR2B_tmp = TCCR2B;
  TCCR2A = 0;
  TCCR2B = 0;
  attachInterrupt( EXT_INT, ext_isr, FALLING );
  while (!done) ;
  detachInterrupt( EXT_INT );
  TCCR2A = TCCR2A_tmp;
  TCCR2B = TCCR2B_tmp;
  return period;
}
char sbuf[32];
  int freq1;
  float dN;     //Speed different
  int v = 0;    //voltage command is set to 0 (0 to 255)
```

```
int dv = 10;   //Factor for voltage Diff
float Nset; //Desired Speed
int Speed;
int fcread;  //voltage from force sensor
float force;    //force from sensor
float torque;   //torque in N.m
float factor = 0.2684; //freq to speed convertor
float factor2 = 416.925; //radius of retarder
float F0;
float F1;
float F2;
float F3;
float P;
float ratio;
boolean fnsh = false;
int ctrl = 6;     //set voltage command into pin 6
int readf = A4;    //set reading force into pin 3

void setup() {
  analogWrite(ctrl, v);
  Serial.begin( 115200 );
  Serial.println( "Dyno Start" );
  Serial.println("Please set engine speed in rpm : ");  //Set Nset
  while(Serial.available()==0){ }  //Waiting for Nset

  Nset = Serial.parseInt();  //convert ascii into int
  Serial.println("Setting Speed is : ");
  Serial.print(Nset);
  Serial.println(" rpm");

  timer1_start();

  pinMode(ctrl, OUTPUT);
  pinMode(readf, INPUT);
  TCCR0A = _BV(COM0A1) | _BV(COM0B1) | _BV(WGM01) | _BV(WGM00); //setting
register timer on pin 5,6
```

```
  TCCR0B = _BV(CS00);   //Setting Register timer on pin 5,6
}
void loop() {
    period = period_measure();
    freq1 = (1000000ul)/period;
    Speed = freq1*factor;  //factor = freq to speed in rpm convertor
    dN = Speed - Nset;
    ratio = dN/Nset;
    v = v + dv*ratio; //algorithm to control voltage
    if(v < 0) {
      v = 0;
    }
    else if(v > 180) {  //to limit v not exceed 100
      v = 180;
    }
      analogWrite(ctrl, v);

    //Printing Output
        fcread = analogRead(readf);
        F0 = (float) fcread;
        F1 = fcread*5;
        F2 = F1/1023;
        F3 = F2-0.5;
        force =100*F3;  //***Convert voltage into Force
        torque = force*factor2;
        P = (torque * Speed)/9535.434;

        Serial.print("v is now : ");
        Serial.print(v);
        Serial.print(" ,dN is now : ");
        Serial.print(dN);
        Serial.print(" ,ratio is now : ");
        Serial.print(ratio);
        Serial.print(" ,Speed is : ");
        Serial.print(Speed);
        Serial.print(" rpm , Torque is : ");
```

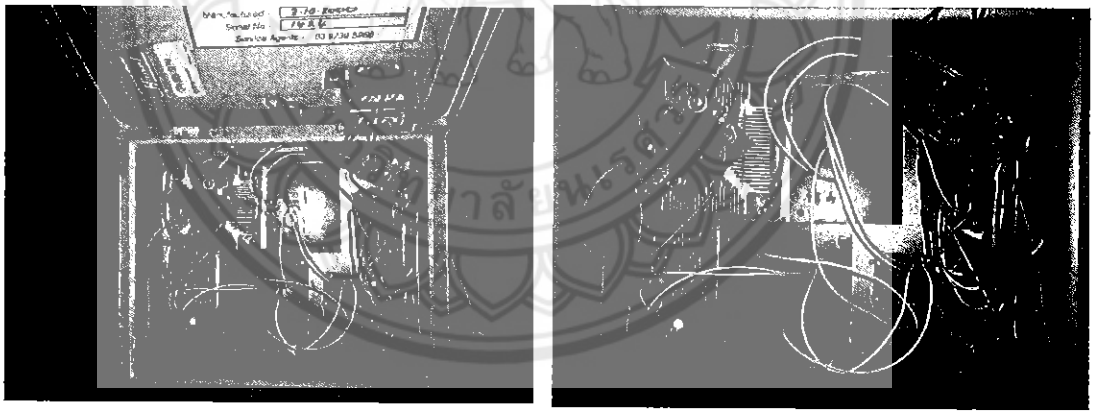
```
)

            Serial.print(torque);
            Serial.print(" mN.m");
            Serial.print(" , Power is : ");
            Serial.print(P);
            Serial.println(" mW");
          //Serial.println("Press any key to restart.. ");
        delay(50000);
}
/* frequency measure
  uint32_t period = period_measure();
  uint32_t freq = (1000000ul)/period;
  sprintf( sbuf, "Period = %lu us, Freq. = %lu Hz", period, freq );
  Serial.println( sbuf );
  delay(1000);
*/
```

ภาพผนวก ง

ภาพประกอบระหว่างทำการทดสอบ

รูปที่ ง.1 การ safety ระหว่างการทดสอบ

รูปที่ ง.2 ระหว่างการทดสอบ



รูปที่ ง.3 บอร์ดที่ใช้ในการทดสอบ

ภาพผนวก จ

ตารางผลการทดสอบหาแรงบิดและกำลังของรถจักรยานยนต์

เมื่อผ่านเครื่อง Chassis Dynamometer ที่ปรับปรุงแล้ว

ตารางที่ จ.1 แรงบิดและกำลังของรถจักรยานยนต์ที่ความเร็วรอบ 300 RPM

300 RPM		
Speed (RPM)	Torque (N.mm)	Power (mW)
0	0	0
38	3403.05	13.56162
73	3403.05	26.05258
113	3403.05	40.32797
147	3606.83	55.60355
173	3403.05	61.74104
196	3606.83	74.13807
290	3403.05	103.4965
226	3403.05	80.65593
232	3606.83	87.75527
239	3403.05	85.29543
249	3403.05	88.86428
259	3606.83	97.96816
263	3403.05	93.86066
267	3403.05	95.2882
268	3403.05	95.64509
269	3403.05	96.00197
277	3403.05	98.85705
285	3403.05	101.7121
291	3403.05	103.8534
298	3403.05	106.3516
303	3403.05	108.136
305	3606.83	115.3679
307	3403.05	109.5636
306	3403.05	109.2067
306	3403.05	109.2067
304	3403.05	108.4929
317	3403.05	113.1324
324	3403.05	115.6306
326	3403.05	116.3444
325	3403.05	115.9875
325	3403.05	115.9875

325	3403.05	115.9875
325	3403.05	115.9875
323	3199.28	108.3713
325	3403.05	115.9875
327	3403.05	116.7013
322	3403.05	114.9169
330	3403.05	117.7719
348	3403.05	124.1959
362	3606.83	136.9285
376	3403.05	134.1886
384	3403.05	137.0437
395	3403.05	140.9694
406	3403.05	144.8952
416	3403.05	148.464
423	3403.05	150.9622
429	3403.05	153.1035
437	3403.05	155.9586
443	3810.6	177.034
442	3606.83	167.1889
435	3403.05	155.2448
515	3403.05	183.7956
396	3403.05	141.3263
371	3403.05	132.4042
369	3403.05	131.6904
367	3403.05	130.9767
467	3810.6	186.625
356	3403.05	127.0509
349	3403.05	124.5527
340	3403.05	121.3408
334	3606.83	126.3373
328	3199.28	110.0489
323	3606.83	122.1765
317	3403.05	113.1324
311	3606.83	117.6374
302	3403.05	107.7792

296	3403.05	105.6379
294	3403.05	104.9241
295	3403.05	105.281
292	3199.28	97.97035
294	3403.05	104.9241
293	3403.05	104.5672
296	3403.05	105.6379
301	3606.83	113.8549
300	3403.05	107.0654
303	3403.05	108.136
306	3606.83	115.7462
309	3403.05	110.2774
307	3403.05	109.5636
301	3606.83	113.8549
299	3403.05	106.7085
296	3403.05	105.6379
293	3403.05	104.5672
296	3403.05	105.6379
296	3403.05	105.6379
296	3403.05	105.6379
297	3403.05	105.9947
302	3403.05	107.7792
306	3403.05	109.2067
309	3606.83	116.8809
310	3403.05	110.6342
313	3606.83	118.394
317	3403.05	113.1324
316	3403.05	112.7755
321	3403.05	114.56
323	3403.05	115.2737
325	3403.05	115.9875
326	3403.05	116.3444
328	3403.05	117.0582
333	3403.05	118.8426
335	3403.05	119.5564

339	3403.05	120.9839
339	3403.05	120.9839
336	3403.05	119.9132
334	3606.83	126.3373
317	3403.05	113.1324
305	3403.05	108.8498
293	3403.05	104.5672
282	3403.05	100.6415
271	3403.05	96.71574
266	3403.05	94.93132
272	3403.05	97.07262
276	3403.05	98.50016
281	3403.05	100.2846
285	3403.05	101.7121
289	3403.05	103.1397
290	3403.05	103.4965
295	3403.05	105.281
298	3199.28	99.98343
304	3403.05	108.4929
308	3403.05	109.9205
313	3403.05	111.7049
319	3403.05	113.8462
322	3199.28	108.0358
326	3403.05	116.3444
327	3403.05	116.7013
330	3403.05	117.7719
327	3606.83	123.6895
311	3403.05	110.9911
300	3403.05	107.0654
288	3606.83	108.9376
277	3606.83	104.7768
268	3403.05	95.64509
261	3403.05	93.14689

ตารางที่ จ.2 ค่าเฉลี่ยแรงบิดและกำลังของรถจักรยานยนต์ที่ความเร็วรอบอยู่ในช่วง 300 RPM จากตารางที่ จ.1

300 RPM		
Speed (RPM)	Torque (N.mm)	Power (mW)
340	3403.05	121.3408
334	3606.83	126.3373
328	3199.28	110.0489
323	3606.83	122.1765
317	3403.05	113.1324
311	3606.83	117.6374
302	3403.05	107.7792
296	3403.05	105.6379
294	3403.05	104.9241
295	3403.05	105.281
292	3199.28	97.97035
294	3403.05	104.9241
293	3403.05	104.5672
296	3403.05	105.6379
301	3606.83	113.8549
300	3403.05	107.0654
303	3403.05	108.136
306	3606.83	115.7462
309	3403.05	110.2774
307	3403.05	109.5636
301	3606.83	113.8549
299	3403.05	106.7085
296	3403.05	105.6379
293	3403.05	104.5672
296	3403.05	105.6379
296	3403.05	105.6379
296	3403.05	105.6379
297	3403.05	105.9947
302	3403.05	107.7792
306	3403.05	109.2067
309	3606.83	116.8809

310	3403.05	110.6342
313	3606.83	118.394
317	3403.05	113.1324
316	3403.05	112.7755
321	3403.05	114.56
323	3403.05	115.2737
325	3403.05	115.9875
326	3403.05	116.3444
328	3403.05	117.0582
333	3403.05	118.8426
335	3403.05	119.5564
339	3403.05	120.9839
339	3403.05	120.9839
336	3403.05	119.9132
334	3606.83	126.3373
317	3403.05	113.1324
305	3403.05	108.8498
293	3403.05	104.5672

ค่าเฉลี่ยของช่วงที่ 61 ถึง 110 ค่า Speed = 311.0612 RPM, Torque = 3432.162 N.mm, Power= 111.978 mW

ตารางที่ จ.3 แรงบิดและกำลังของรถจักรยานยนต์ที่ความเร็วรอบ 400 RPM

400 RPM		
Speed (RPM)	Torque (N.mm)	Power (mW)
0	0	0
107	3199.28	35.90009
152	3199.28	50.99826
193	3199.28	64.75437
229	3199.28	76.83291
259	3199.28	86.89835
287	3403.05	102.4259
307	3199.28	103.0031
323	3199.28	108.3713
322	3199.28	108.0358
366	3403.05	130.6198
399	3199.28	133.8704
494	2995.5	155.1872
456	3810.6	182.2291
478	3810.6	191.0209
493	3810.6	197.0152
511	3810.6	204.2085
519	3606.83	196.3146
529	3606.83	200.0971
536	3403.05	191.2902
544	3403.05	194.1452
559	3403.05	199.4985
559	3403.05	199.4985
567	3606.83	214.4708
570	3403.05	203.4242
568	3403.05	202.7105
570	3606.83	215.6056
568	3403.05	202.7105
561	3403.05	200.2123
549	3606.83	207.6622
544	3606.83	205.771
529	3810.6	211.4017

508	3810.6	203.0096
491	3606.83	185.7234
469	3403.05	167.3789
450	3810.6	179.8314
424	3403.05	151.3191
410	3403.05	146.3227
391	3403.05	139.5419
374	3199.28	125.4826
366	3199.28	122.7984
354	3403.05	126.3372
348	3199.28	116.7592
347	3199.28	116.4237
348	3199.28	116.7592
351	3199.28	117.7657
358	3403.05	127.7647
364	3403.05	129.906
376	3403.05	134.1886
384	3199.28	128.8377
392	3403.05	139.8988
395	3199.28	132.5284
395	3403.05	140.9694
400	3403.05	142.7539
406	3199.28	136.219
410	3403.05	146.3227
414	3403.05	147.7502
419	3403.05	149.5347
425	3403.05	151.676
442	3810.6	176.6344
428	3810.6	171.0396
430	3403.05	153.4604
433	3403.05	154.5311
436	3403.05	155.6017
516	3403.05	184.1525
436	3810.6	174.2366
437	3606.83	165.2976

435	3606.83	164.5411
436	3403.05	155.6017
436	3810.6	174.2366
434	3606.83	164.1629
436	3403.05	155.6017
438	3810.6	175.0359
433	3810.6	173.0377
435	3403.05	155.2448
436	3606.83	164.9194
436	3606.83	164.9194
431	3403.05	153.8173
429	3403.05	153.1035
425	3403.05	151.676
424	3810.6	169.4411
423	3606.83	160.0021
420	3403.05	149.8916
420	3403.05	149.8916
417	3403.05	148.8209
416	3403.05	148.464
416	3403.05	148.464
414	3403.05	147.7502
416	3403.05	148.464
414	3403.05	147.7502
409	3403.05	145.9658
412	3403.05	147.0365
409	3199.28	137.2256
409	3403.05	145.9658
406	3199.28	136.219
408	3403.05	145.6089
406	3403.05	144.8952
402	3403.05	143.4676
401	3403.05	143.1107
401	3403.05	143.1107
396	3403.05	141.3263
398	3403.05	142.0401

399	3403.05	142.397
404	3403.05	144.1814
404	3199.28	135.548
409	3403.05	145.9658

ตารางที่ จ.4 ค่าเฉลี่ยแรงบิดและกำลังของรถจักรยานยนต์ที่ความเร็วรอบอยู่ในช่วง 400 RPM จากตารางที่ จ.3

400 RPM		
Speed (RPM)	Torque (N.mm)	Power (mW)
436	3810.6	174.2366
437	3606.83	165.2976
435	3606.83	164.5411
436	3403.05	155.6017
436	3810.6	174.2366
434	3606.83	164.1629
436	3403.05	155.6017
438	3810.6	175.0359
433	3810.6	173.0377
435	3403.05	155.2448
436	3606.83	164.9194
436	3606.83	164.9194
431	3403.05	153.8173
429	3403.05	153.1035
425	3403.05	151.676
424	3810.6	169.4411
423	3606.83	160.0021
420	3403.05	149.8916
420	3403.05	149.8916
417	3403.05	148.8209
416	3403.05	148.464
416	3403.05	148.464
414	3403.05	147.7502
416	3403.05	148.464
414	3403.05	147.7502
409	3403.05	145.9658

412	3403.05	147.0365
409	3199.28	137.2256
409	3403.05	145.9658
406	3199.28	136.219
408	3403.05	145.6089
406	3403.05	144.8952
402	3403.05	143.4676
401	3403.05	143.1107
401	3403.05	143.1107
396	3403.05	141.3263
398	3403.05	142.0401
399	3403.05	142.397
404	3403.05	144.1814
404	3199.28	135.548
409	3403.05	145.9658

ค่าเฉลี่ยของช่วงที่ 66 ถึง 109 ค่า Speed = 418.683 RPM, Torque = 3467.663 N.mm , Power= 152.4001 mW

ตารางที่ จ.5 แรงบิดและกำลังของรถจักรยานยนต์ที่ความเร็วรอบ 500 RPM

500 RPM		
Speed (RPM)	Torque (N.mm)	Power (mW)
0	0	0
15	3403.05	5.35327
51	3199.28	17.11126
146	3403.05	52.10516
189	3606.83	71.49028
214	3403.05	76.37331
230	3403.05	82.08347
234	3403.05	83.51101
251	3403.05	89.57805
271	3606.83	102.5072
291	3403.05	103.8534
310	3606.83	117.2592
328	3403.05	117.0582
450	3403.05	160.5981
354	3403.05	126.3372
360	3606.83	136.172
367	3403.05	130.9767
372	3403.05	132.7611
374	3403.05	133.4749
377	3606.83	142.6023
377	3403.05	134.5455
378	3403.05	134.9024
378	3403.05	134.9024
394	3403.05	140.6126
405	3403.05	144.5383
417	3810.6	166.6437
431	3403.05	153.8173

439	3606.83	166.0541
450	3810.6	179.8314
457	3606.83	172.8627
466	3810.6	186.2254
476	4014.38	200.3941
482	3810.6	192.6194
491	4014.38	206.7091
500	3606.83	189.1277
501	3810.6	200.2122
513	3810.6	205.0077
519	3810.6	207.4055
528	3810.6	211.0021
527	3810.6	210.6025
526	3810.6	210.2029
524	3810.6	209.4036
524	3810.6	209.4036
522	3810.6	208.6044
519	3810.6	207.4055
516	3810.6	206.2066
516	3810.6	206.2066
516	4014.38	217.234
516	3810.6	206.2066
516	3810.6	206.2066
513	3810.6	205.0077
513	3810.6	205.0077
513	3810.6	205.0077
516	3810.6	206.2066
516	4014.38	217.234
516	3606.83	195.1798
522	3606.83	197.4494

524	3810.6	209.4036
524	4014.38	220.6019
527	3606.83	199.3406
523	3606.83	197.8276
526	3606.83	198.9624
529	4014.38	222.7069
531	3810.6	212.201
530	3810.6	211.8014
534	3403.05	190.5764
532	3810.6	212.6006
526	3810.6	210.2029
530	4014.38	223.1279
528	3810.6	211.0021
532	4014.38	223.9699
533	4014.38	224.3909
531	3403.05	189.5057
534	3810.6	213.3999
534	3810.6	213.3999
534	4014.38	224.8119
536	3810.6	214.1991
536	3810.6	214.1991
541	3606.83	204.6362
545	3606.83	206.1492
548	3810.6	218.9946
549	3403.05	195.9297
548	3606.83	207.284
545	3810.6	217.7958
541	3810.6	216.1972
541	3606.83	204.6362
530	3403.05	189.1489

534	4014.38	224.8119
530	3403.05	189.1489
532	3810.6	212.6006
528	3810.6	211.0021
530	3810.6	211.8014
527	3810.6	210.6025
529	3810.6	211.4017
529	3810.6	211.4017
524	4014.38	220.6019
528	3810.6	211.0021
526	3810.6	210.2029
522	3810.6	208.6044
522	3606.83	197.4494
523	3606.83	197.8276
520	3810.6	207.8051
516	4014.38	217.234
519	3810.6	207.4055
516	3810.6	206.2066
516	3810.6	206.2066
513	3810.6	205.0077
513	4014.38	215.971
509	3810.6	203.4092
508	3810.6	203.0096
510	3810.6	203.8089
506	3810.6	202.2104
503	3810.6	201.0115
503	3810.6	201.0115
500	3403.05	178.4423
504	3810.6	201.4111
503	4014.38	211.761

500	3606.83	189.1277
496	3606.83	187.6147
500	3403.05	178.4423
495	3810.6	197.8145
500	3403.05	178.4423
497	3810.6	198.6137
497	3810.6	198.6137
499	3403.05	178.0854
504	3810.6	201.4111
505	3810.6	201.8107
513	3810.6	205.0077
511	3606.83	193.2885
516	3810.6	206.2066
516	3810.6	206.2066
513	3810.6	205.0077
516	3810.6	206.2066
516	3810.6	206.2066
516	3810.6	206.2066
518	3810.6	207.0059
520	3810.6	207.8051
522	3606.83	197.4494
520	4014.38	218.9179
518	3810.6	207.0059
533	3810.6	213.0002
549	3403.05	195.9297
560	3403.05	199.8554
569	3606.83	215.2274
578	3403.05	206.2793
589	3403.05	210.2051
601	3403.05	214.4877

612	3403.05	218.4134
646	3403.05	230.5475
651	3606.83	246.2443
657	3403.05	234.4732
655	3403.05	233.7594
667	3403.05	238.0421
671	3403.05	239.4696
671	3403.05	239.4696
672	3810.6	268.5482
669	3403.05	238.7558
671	3403.05	239.4696
664	3403.05	236.9714
659	3403.05	235.187
654	3403.05	233.4026
646	3403.05	230.5475
634	3403.05	226.2649
629	3403.05	224.4804
616	3403.05	219.8409
611	3403.05	218.0565
601	3403.05	214.4877
587	3606.83	222.036
578	3403.05	206.2793
569	3403.05	203.0674
554	3606.83	209.5535
543	3606.83	205.3927
524	3810.6	209.4036
516	3810.6	206.2066
500	3403.05	178.4423
482	3810.6	192.6194
467	3810.6	186.625

451	3606.83	170.5932
441	3403.05	157.3861
432	3403.05	154.1742
425	3403.05	151.676
419	3403.05	149.5347
414	3199.28	138.9032
409	3403.05	145.9658
406	3403.05	144.8952
404	3403.05	144.1814
407	3403.05	145.2521
410	3403.05	146.3227
414	3403.05	147.7502
417	3403.05	148.8209
427	3403.05	152.3897
429	3403.05	153.1035
438	3810.6	175.0359
445	3810.6	177.8332
450	3810.6	179.8314
462	3810.6	184.6269
470	3810.6	187.8239
479	3810.6	191.4205
486	3810.6	194.2179
496	4014.38	208.814
499	3810.6	199.413
509	3810.6	203.4092
516	3810.6	206.2066
524	3810.6	209.4036
527	3606.83	199.3406
516	3606.83	195.1798
500	3403.05	178.4423

492	3810.6	196.6156
474	3810.6	189.4224

ตารางที่ จ.6 ค่าเฉลี่ยแรงบิดและกำลังของรถจักรยานยนต์ที่ความเร็วรอบอยู่ในช่วง 500 RPM จากตารางที่ จ.5

500 RPM		
Speed (RPM)	Torque (N.mm)	Power (mW)
482	3810.6	192.6194
491	3810.6	206.7091
500	3810.6	189.1277
501	3810.6	200.2122
513	3810.6	205.0077
519	3810.6	207.4055
528	3810.6	211.0021
527	3810.6	210.6025
526	3810.6	210.2029
524	3810.6	209.4036
524	3810.6	209.4036
522	3810.6	208.6044
519	3810.6	207.4055
516	3810.6	206.2066
516	3810.6	206.2066
516	4014.38	217.234
516	3810.6	206.2066
516	3810.6	206.2066
513	3810.6	205.0077
513	3810.6	205.0077
513	3810.6	205.0077
516	3810.6	206.2066
516	4014.38	217.234
516	3606.83	195.1798
522	3606.83	197.4494
524	3810.6	209.4036
524	4014.38	220.6019
527	3606.83	199.3406

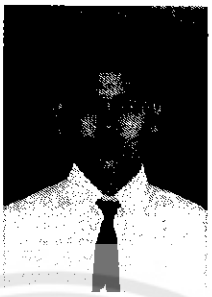
523	3606.83	197.8276
526	3606.83	198.9624
529	4014.38	222.7069
531	3810.6	212.201
530	3810.6	211.8014
534	3403.05	190.5764
532	3810.6	212.6006
526	3810.6	210.2029
530	4014.38	223.1279
528	3810.6	211.0021
532	4014.38	223.9699
533	4014.38	224.3909
531	3403.05	189.5057
534	3810.6	213.3999
534	3810.6	213.3999
534	4014.38	224.8119
536	3810.6	214.1991
536	3810.6	214.1991
541	3606.83	204.6362
545	3606.83	206.1492
548	3810.6	218.9946
549	3403.05	195.9297
548	3606.83	207.284
545	3810.6	217.7958
541	3810.6	216.1972
541	3606.83	204.6362
530	3403.05	189.1489
534	4014.38	224.8119
530	3403.05	189.1489
532	3810.6	212.6006
528	3810.6	211.0021
530	3810.6	211.8014
527	3810.6	210.6025
529	3810.6	211.4017
529	3810.6	211.4017

524	4014.38	220.6019
528	3810.6	211.0021
526	3810.6	210.2029
522	3810.6	208.6044
522	3606.83	197.4494
523	3606.83	197.8276
520	3810.6	207.8051
516	4014.38	217.234
519	3810.6	207.4055
516	3810.6	206.2066
516	3810.6	206.2066
513	3810.6	205.0077
513	4014.38	215.971
509	3810.6	203.4092
508	3810.6	203.0096
510	3810.6	203.8089
506	3810.6	202.2104
503	3810.6	201.0115
503	3810.6	201.0115
500	3403.05	178.4423
504	3810.6	201.4111
503	4014.38	211.761
500	3606.83	189.1277
496	3606.83	187.6147
500	3403.05	178.4423
495	3810.6	197.8145
500	3403.05	178.4423
497	3810.6	198.6137
497	3810.6	198.6137
499	3403.05	178.0854
504	3810.6	201.4111
505	3810.6	201.8107
513	3810.6	205.0077
511	3606.83	193.2885
516	3810.6	206.2066

516	3810.6	206.2066
513	3810.6	205.0077
516	3810.6	206.2066
516	3810.6	206.2066
516	3810.6	206.2066
518	3810.6	207.0059
520	3810.6	207.8051
522	3606.83	197.4494
520	4014.38	218.9179
518	3810.6	207.0059
533	3810.6	213.0002

ค่าเฉลี่ยของช่วงที่ 33 ถึง 141 ค่า Speed = 519.917 RPM, Torque = 3775.08 N.mm , Power= 205.832 mW

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน



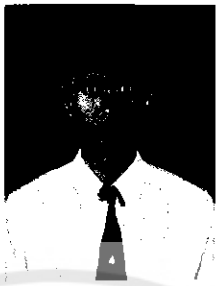
นายกฤษณพงศ์ สุภายะ

รหัสนิสิต 54363071

ปีการศึกษา 2553 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนมัธยมวิทยา

ปีการศึกษา 2557 กำลังศึกษาอยู่ที่มหาวิทยาลัยนเรศวร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน



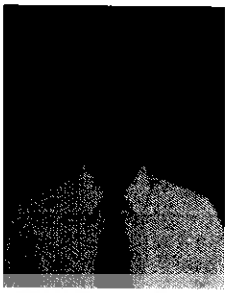
นายจตุพล บุตรราช

รหัสนิสิต 54363132

ปีการศึกษา 2553 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนสตรีสิริเกศ

ปีการศึกษา 2557 กำลังศึกษาอยู่ที่มหาวิทยาลัยนเรศวร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน



นายอนันต์ พลันการ

รหัสนิสิต 54363545

ปีการศึกษา 2553 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนทับปุดวิทยา

ปีการศึกษา 2557 กำลังศึกษาอยู่ที่มหาวิทยาลัยนเรศวร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล