



ศึกษาการควบคุมแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้า  
STUDY TORQUE CONTROL OF ELECTRIC MOTORS

นางสาวไอลดา ทองสันทัด รหัส 53363263

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์  
วันที่รับ..... 19 / พ.ค. / 57  
เลขทะเบียน..... 16563910  
เลขเรียกหนังสือ..... ๗๙  
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๒๕๕๘

๒๕๕๐

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
ปีการศึกษา 2556



## ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ      ศึกษาการควบคุมแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้า  
ผู้ดำเนินโครงการ      นางสาวไอลดา ทองสันทัด      รหัส 53363263  
ที่ปรึกษาโครงการ      ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพร เรืองสินชัชวานิช  
สาขาวิชา      วิศวกรรมไฟฟ้า  
ภาควิชา      วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา      2556

.....  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพร เรืองสินชัชวานิช)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัครพันธ์ วงศ์กั้งแห)

.....กรรมการ  
(ดร. สุพรรณนิภา วัฒนนะ)

ชื่อหัวข้อโครงการ	ศึกษาการควบคุมแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้า
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวไอลดา ทองสันทัด รหัส 53363263
ที่ปรึกษาโครงการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คร.สมพร เรืองสินชัยวานิช
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2556

---

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการทดสอบผลกระทบของแรงบิดภายในมอเตอร์ไฟฟ้าขณะขับโหลดโดยตรง ซึ่งจะทำให้การทดสอบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ, เฟส และมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน สำหรับในกรณีทดสอบแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะแบ่งการควบคุมมอเตอร์ออกเป็น 2 วิธีคือ ควบคุมด้วยรีเลย์ และควบคุมด้วยโซลิตสเตริเลย์ โดยทำการปรับค่า Sampling Rate Times ไว้ที่ 10 ms และ 100 ms ทั้งสองวิธีการควบคุมมอเตอร์ และกำหนดค่าเป้าหมายของโหลดไว้ที่ 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัม เพื่อเปรียบเทียบผลของแรงบิดภายในมอเตอร์ที่กระทำต่อโหลดในขณะนั้น

จากการทดลองควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยวงจร วัลติสเตริเลย์ โดยปรับ Sampling Rate Times ไว้ที่ 10 ms พบว่าค่าแรงดึงที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุด และมีการใช้ปริมาณพลังงานน้อยเมื่อเทียบกับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยวิธีอื่น สำหรับมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านให้แรงดึงที่มีความถูกต้องใกล้เคียงกับเป้าหมาย แต่มีการใช้ปริมาณกระแสสูงเนื่องจากชุดควบคุมมอเตอร์ต้องรักษาระดับกระแสที่จ่ายเข้ามอเตอร์เพื่อให้มอเตอร์รักษาระดับแรงดึง

**Project title** Study Torque Control of Electric Motors  
**Name** Ms.Ilada Thongsanthad ID. 53363263  
**Project advisor** Assistant Professor Somporn Ruangsinchaiwanich, Ph.D.  
**Major** Electrical Engineering  
**Department** Electrical and Computer Engineering  
**Academic year** 2013

.....

### **Abstract**

This project is to test the effect of torque while the electric motor drives the load directly. This will be tested with a Single Phase Induction Motor and Brushless DC Motor. In case of the induction motor torque control motors are divided into two ways; controlled with relays and controlled with solid state relay. By setting the Sampling Rate Times at 10 ms and 100 ms both motor control and setting weight of the load in 10 20 30 40 and 50 kg. To compare the results of the motor torque acting on the load at that time.

From experimental Induction Motor control by solid state relay, adjusted Sampling Rate Times = 10 ms found that tension with minimal error. And they use less energy compared to the motor control in other way. For Brushless DC Motor to tension with accuracy close to the target. But with the amount of high current due to the motor controller maintain the current supplied to the motor.

## กิตติกรรมประกาศ

ในการทำปริญญาบัตรครั้งนี้สำเร็จล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพร เรืองสินชัชวานิช อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตร ซึ่งได้กรุณาให้แนวความคิด และช่วยแนะนำแหล่งข้อมูลในการทำปริญญาบัตรในครั้งนี้ ผู้ดำเนินโครงการ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคุณสุทธิพงษ์ เพ็งประเดิม นิสิตปริญญาเอก ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับอุปกรณ์ และวิธีการทดลองในระหว่างดำเนินโครงการ

ท้ายสุดขอขอบพระคุณบิดา มารดา อาจารย์ทุกท่าน และเพื่อนๆ พี่ๆทุกคนที่แนะนำและให้การสนับสนุนผู้จัดทำโครงการ จนสำเร็จล่วงไปได้ด้วยดี



นางสาวไอลดา ทองสันทัด

## สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ

### บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของ โครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของ โครงการ.....	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 แผนการดำเนินงาน.....	2
1.6 ขั้นตอนการดำเนินการ.....	2
1.7 งบประมาณ.....	2

### บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

2.1 บทนำ.....	3
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	4
2.3 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส.....	7
2.4 รีเลย์.....	10
2.5 โซลิตสเตตรีเลย์.....	11

### บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง.....

3.1 ปรกรณ์การทดลอง.....	12
3.2 การทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	13
3.3 การทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรง.....	18
3.4 การออกแบบการเขียนโปรแกรม.....	20

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	
4.1 จุดประสงค์การทดลอง.....	27
4.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	27
4.3 ผลการทดลอง.....	28
4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	74
<b>บทที่ 5 บทสรุป</b>	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	75
5.2 ปัญหาในการทำงานและแนวทางแก้ไข.....	77
5.3 ประเมินผล.....	77
5.4 แนวทางสำหรับการพัฒนา.....	77
เอกสารอ้างอิง.....	78
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	79

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงรายละเอียดของมอเตอร์เหนี่ยวนำรุ่น S90R40GXHE.....	17
3.2 แสดงรายละเอียดของมอเตอร์กระแสตรงรุ่น MY-1020 24V <sub>DC</sub> .....	19
4.1 แรงดึงเฉลี่ยที่ค่าเป้าหมาย 10 กิโลกรัม.....	29
4.2 เวลาเข้าถึงค่าเป้าหมาย 10 กิโลกรัม.....	34
4.3 แรงดึงเฉลี่ยที่ค่าเป้าหมาย 20 กิโลกรัม.....	35
4.4 เวลาเข้าถึงค่าเป้าหมาย 20 กิโลกรัม.....	40
4.5 ผลแรงดึงเฉลี่ยที่ค่าเป้าหมาย 30 กิโลกรัม.....	41
4.6 เวลาเข้าถึงค่าเป้าหมาย 30 กิโลกรัม.....	46
4.7 แรงดึงเฉลี่ยที่ค่าเป้าหมาย 40 กิโลกรัม.....	47
4.8 เวลาเข้าถึงค่าเป้าหมาย 40 กิโลกรัม.....	52
4.9 แรงดึงเฉลี่ยที่ค่าเป้าหมาย 50 กิโลกรัม.....	53
4.10 เวลาเข้าถึงค่าเป้าหมาย 50 กิโลกรัม.....	58
4.11 แรงดึงเฉลี่ยที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ ควบคุมด้วยรีเลย์ โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 10 ms.....	59
4.12 แรงดึงเฉลี่ยที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ ควบคุมด้วยรีเลย์ โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 100 ms.....	61
4.13 แรงดึงเฉลี่ยที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ ควบคุมด้วยโซลิดสเตต โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 10 ms.....	62
4.14 แรงดึงเฉลี่ยที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ ควบคุมด้วยโซลิดสเตต โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 100 ms.....	63
4.15 แรงดึงเฉลี่ยที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์กระแสตรง.....	64
4.16 ปริมาณเวลาการใช้กระแสที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ ควบคุมด้วยรีเลย์โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 10 ms.....	65
4.17 ปริมาณเวลาการใช้กระแสที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ ควบคุมด้วยรีเลย์โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 100 ms.....	66



## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.18 ปริมาณเวลาการใช้กระแสที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยโซลิตสแตตโดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 10 ms .....	67
4.19 ปริมาณเวลาการใช้กระแสที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยโซลิตสแตตโดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 100 ms .....	68
4.20 ปริมาณกระแสที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์กระแสตรง .....	69
4.21 ปริมาณการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัม .....	71
4.22 ปริมาณการใช้พลังงานของมอเตอร์กระแสตรงที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัม .....	73
5.1 รูปและเปรียบเทียบข้อดี-ข้อด้อยระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำและมอเตอร์กระแสตรง .....	77

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างหลักของมอเตอร์.....	3
2.2 กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่งและลักษณะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	5
2.3 โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรง.....	5
2.4 ส่วนประกอบของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน.....	6
2.5 วงจรสมมูลและกราฟคุณลักษณะของมอเตอร์กระแสตรงแบบขานาน.....	6
2.6 คาปาซิเตอร์มอเตอร์.....	8
2.7 คาปาซิเตอร์ชนิดอิเล็กโทรไลต์.....	8
2.8 วงจรสมมูลของมอเตอร์แบบคาปาซิเตอร์สตาร์ทมอเตอร์.....	9
2.9 กราฟคุณลักษณะระหว่างแรงบิดกับเปอร์เซ็นต์ความเร็วของมอเตอร์แบบคาปาซิเตอร์สตาร์ทมอเตอร์.....	9
2.10 สัญลักษณ์แทนโครงสร้างของรีเลย์.....	10
2.11 วงจรภายในของ โซลิดสเตตรีเลย์.....	11
3.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส.....	12
3.2 มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน 24 V <sub>DC</sub> .....	12
3.3 เครื่องวัดแรงดึง (Load Cell).....	12
3.4 อุปกรณ์แปลงสัญญาณไฟฟ้า (Transmitter).....	12
3.5 USB-6008 DAQ Device.....	13
3.6 แหล่งจ่าย 5 V <sub>DC</sub> .....	13
3.7 บอร์ดรีเลย์.....	13
3.8 บอร์ด โซลิดสเตตรีเลย์.....	13
3.9 โค้ดแกรมการทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	13
3.10 วงจรรีเลย์ควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	15
3.11 วงจร โซลิดสเตตรีเลย์ควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	16
3.12 มอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	17
3.13 โค้ดแกรมการทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน.....	18
3.14 มอเตอร์กระแสตรง.....	19
3.15 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	20
3.16 หน้าต่างโปรแกรมควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	21

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.17 โคอะแกรมการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยรีเลย์.....	22
3.18 โคอะแกรมการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วย โซลิดสเตตรีเลย์.....	22
3.19 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรง.....	24
3.20 หน้าต่างโปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรง .....	25
3.21 โคอะแกรมการควบคุมมอเตอร์กระแสตรง.....	26
4.1 การต่อวงจรรีเลย์เข้ามอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	27
4.2 การต่อใช้งานมอเตอร์กระแสตรง.....	28
4.3 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ (T = 10 ms) ค่าเป้าหมาย 10 กิโลกรัม .....	30
4.4 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ (T = 100 ms) ค่าเป้าหมาย 10 กิโลกรัม .....	30
4.5 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วย โซลิดสเตต (T = 10 ms) ค่าเป้าหมาย 10 กิโลกรัม .....	31
4.6 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วย โซลิดสเตต (T = 100 ms) ค่าเป้าหมาย 10 กิโลกรัม .....	31
4.7 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์กระแสตรงที่ค่าเป้าหมาย 10 กิโลกรัม .....	32
4.8 กราฟเปรียบเทียบแรงดึงระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำกับมอเตอร์กระแสตรง ค่าเป้าหมาย 10 กิโลกรัม .....	32
4.9 กราฟแสดงเวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายที่ 10 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	33
4.10 กราฟแสดงเวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายที่ 10 กิโลกรัมของมอเตอร์กระแสตรง .....	33
4.11 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ (T = 10 ms) ค่าเป้าหมาย 20 กิโลกรัม .....	36
4.12 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ (T = 100 ms) ค่าเป้าหมาย 20 กิโลกรัม .....	36
4.13 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วย โซลิดสเตต (T = 10 ms) ค่าเป้าหมาย 20 กิโลกรัม .....	37
4.14 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วย โซลิดสเตต (T = 100 ms) ที่ค่าเป้าหมาย 20 กิโลกรัม.....	37

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์กระแสตรงที่ค่าเป้าหมาย 20 กิโลกรัม .....	38
4.16 กราฟเปรียบเทียบแรงดึงระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำกับมอเตอร์กระแสตรง ค่าเป้าหมาย 20 กิโลกรัม .....	38
4.17 กราฟแสดงเวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายที่ 20 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	39
4.18 กราฟแสดงเวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายที่ 20 กิโลกรัมของมอเตอร์กระแสตรง .....	39
4.19 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ (T = 10 ms) ค่าเป้าหมาย 30 กิโลกรัม .....	42
4.20 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ (T = 100 ms) ค่าเป้าหมาย 30 กิโลกรัม .....	42
4.21 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วย โซลิดสเตต (T = 10 ms) ค่าเป้าหมาย 30 กิโลกรัม .....	43
4.22 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วย โซลิดสเตต (T = 100 ms) ค่าเป้าหมาย 30 กิโลกรัม .....	43
4.23 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์กระแสตรงที่ค่าเป้าหมาย 30 กิโลกรัม .....	44
4.24 กราฟเปรียบเทียบแรงดึงระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำกับมอเตอร์กระแสตรงที่ ค่าเป้าหมาย 30 กิโลกรัม .....	44
4.25 กราฟแสดงเวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายที่ 30 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	45
4.26 กราฟแสดงเวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายที่ 30 กิโลกรัมของมอเตอร์กระแสตรง .....	45
4.27 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ (T = 10 ms) ค่าเป้าหมาย 40 กิโลกรัม .....	48
4.28 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ (T = 100 ms) ค่าเป้าหมาย 40 กิโลกรัม .....	48
4.29 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วย โซลิดสเตต (T = 10 ms) ค่าเป้าหมาย 40 กิโลกรัม .....	49
4.30 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วย โซลิดสเตต (T = 100 ms) ค่าเป้าหมาย 40 กิโลกรัม .....	49
4.31 กราฟแรงดึงของมอเตอร์กระแสตรงที่ค่าเป้าหมาย 40 กิโลกรัม.....	50

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.32 กราฟเปรียบเทียบแรงดึงระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำกับมอเตอร์กระแสตรง ค่าเป้าหมาย 40 กิโลกรัม.....	50
4.33 กราฟแสดงเวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายที่ 40 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	51
4.34 กราฟแสดงเวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายที่ 40 กิโลกรัมของมอเตอร์กระแสตรง .....	51
4.35 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ (T = 10 ms) ค่าเป้าหมาย 50 กิโลกรัม .....	54
4.36 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ (T = 100 ms) ค่าเป้าหมาย 50 กิโลกรัม .....	54
4.37 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วย โซลิดสเตต (T = 10 ms) ค่าเป้าหมาย 50 กิโลกรัม .....	55
4.38 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วย โซลิดสเตต (T = 100 ms) ค่าเป้าหมาย 50 กิโลกรัม .....	55
4.39 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์กระแสตรงที่ค่าเป้าหมาย 50 กิโลกรัม .....	56
4.40 กราฟเปรียบเทียบแรงดึงระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำกับมอเตอร์กระแสตรง ค่าเป้าหมาย 50 กิโลกรัม .....	56
4.41 กราฟแสดงเวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายที่ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	57
4.42 กราฟแสดงเวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายที่ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์กระแสตรง .....	57
4.43 กราฟแรงดึงของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัม ที่ควบคุมด้วยรีเลย์ โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 10 ms.....	60
4.44 กราฟแรงดึงของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัม ที่ควบคุมด้วยรีเลย์ โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 100 ms.....	61
4.45 กราฟแรงดึงของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัม ที่ควบคุมด้วย โซลิดสเตต โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 10 ms .....	62
4.46 กราฟแรงดึงของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัม ที่ควบคุมด้วย โซลิดสเตต โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 100 ms .....	63

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.47 กราฟแรงดึงของมอเตอร์กระแสตรงที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัม.....	64
4.48 ปริมาณเวลาการใช้กระแสที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ที่ควบคุมด้วยรีเลย์โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 10 ms.....	65
4.49 ปริมาณเวลาการใช้กระแสที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ที่ควบคุมด้วยรีเลย์โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 100 ms.....	66
4.50 ปริมาณเวลาการใช้กระแสที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ที่ควบคุมด้วยโซลิดสเตตโดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 10 ms..	67
4.51 ปริมาณเวลาการใช้กระแสที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ที่ควบคุมด้วยโซลิดสเตตโดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 100 ms ..	68
4.52 ปริมาณกระแสเฉลี่ยที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์กระแสตรง .....	69
4.53 ปริมาณการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ค่าเป้าหมาย 10 กิโลกรัม .....	70
4.54 ปริมาณการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ค่าเป้าหมาย 20 กิโลกรัม .....	71
4.55 ปริมาณการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ค่าเป้าหมาย 30 กิโลกรัม .....	71
4.56 ปริมาณการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ค่าเป้าหมาย 40 กิโลกรัม .....	72
4.57 ปริมาณการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ค่าเป้าหมาย 50 กิโลกรัม .....	72
4.58 ปริมาณการใช้พลังงานของมอเตอร์กระแสตรง ที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัม .....	73

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่ามอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งในภาคอุตสาหกรรม และภาคครัวเรือนทั่วไป มอเตอร์ไฟฟ้าทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานทางกลในรูปการหมุนเคลื่อนที่ สามารถแบ่งตามลักษณะของแหล่งจ่ายไฟฟ้า คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) และ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor)

การเลือกมอเตอร์ให้เหมาะสมกับงานนับว่าเป็นเรื่องสำคัญ ซึ่งส่วนใหญ่การเลือกใช้งานมอเตอร์จะคำนึงถึงสภาพของโหลดเสมอ เช่น ความต้องการความเร็วที่คงที่ (Constant Speed) หรือ ความต้องการต่อการตอบสนองต่อแรงบิดที่ดี (High Torque) โดยทั้งสองพารามิเตอร์จะมีความสัมพันธ์ต่อกันยกตัวอย่างเช่น ถ้าแรงบิดของมอเตอร์ต่ำเกินไปขณะขับโหลด มอเตอร์จะหมุนช้าลง ส่งผลให้มีความต้องการกระแสที่เพิ่มขึ้น หากแหล่งจ่ายไม่สามารถตอบสนองค่ากระแสได้ มอเตอร์นั้น ๆ อาจหยุดลง โครงการนี้จึงเป็นการศึกษาและเปรียบเทียบผลกระทบของแรงบิดภายในมอเตอร์ไฟฟ้าขณะขับโหลด เพื่อที่จะได้นำข้อมูลที่เป็นประโยชน์ไปใช้ในการเลือกมอเตอร์ไฟฟ้าให้ตรงตามลักษณะโหลดที่ต้องการ

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาผลกระทบของแรงบิดภายในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน และมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสขณะขับโหลด
2. เพื่อเปรียบเทียบเวลาในการเข้าถึงค่าเป้าหมายของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน และมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสขณะขับโหลด
3. เพื่อศึกษาการควบคุมมอเตอร์ด้วยโปรแกรมแลปวิว (Lab View)

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาคุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ
2. ศึกษาโปรแกรมแลปวิว (Lab View)
3. ทดสอบการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าขณะขับโหลดโดยตรง
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทำงานของมอเตอร์

### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงผลกระทบของแรงบิดภายในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน และมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสขณะขับโหลด
2. ทราบถึงการใช้เวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน และมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสขณะขับโหลด
3. สามารถควบคุมมอเตอร์โดยโปรแกรมแลปวิว (Lab View)
4. เลือกใช้งานมอเตอร์ตรงกับลักษณะความต้องการของโหลด

### 1.5 แผนการดำเนินโครงการ

กิจกรรม	ปี 2556									
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
1. ศึกษาการทำงานของมอเตอร์กระแสสลับและมอเตอร์กระแสตรง	←→									
2. ทำการออกแบบ โปรแกรมควบคุมมอเตอร์			←→							
3. ทดสอบการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าขณะขับโหลด				←→						
4. เปรียบเทียบ และวิเคราะห์ผล					←→					
5. สรุปผลและเขียนปริญญานิพนธ์								←→		

หมายเหตุ ช่วงเวลาดังกล่าวอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสม

### 1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาคุณสมบัติการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับและกระแสตรง
2. ทำการออกแบบการควบคุมและทดสอบการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าขณะขับโหลด
3. ทำการทดลอง เก็บค่าและวิเคราะห์ผลการทดลอง
4. เขียนปริญญานิพนธ์

### 1.7 งบประมาณ

ค่าจัดทำรายงาน                      1,000 บาท  
รวมทั้งสิ้น                                1,000 บาท (หนึ่งพันบาทถ้วน)

หมายเหตุ ขออนุมัติด้วยเกล้าทุกรายการ



## บทที่ 2

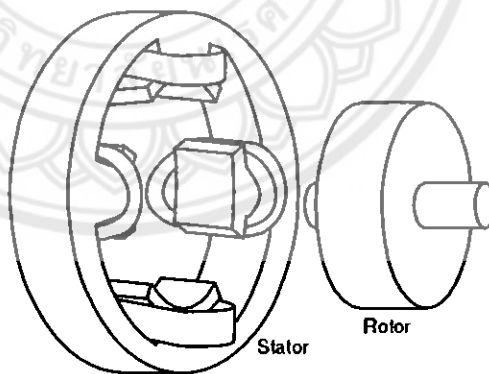
### หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

#### 2.1 บทนำ

มอเตอร์ไฟฟ้า (Electrical Motor) เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล โดยส่งผ่านพลังงานกลที่แกนเพลลาเพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ ใช้เป็นต้นกำลังสำหรับขับเคลื่อนในระบบงานต่างๆ

มอเตอร์ไฟฟ้าที่ถูกผลิตขึ้นมาใช้งานสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสตรง ถือเป็นมอเตอร์แบบเบื้องต้นที่ถูกผลิตมาใช้งาน และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor) ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ มอเตอร์ชนิดนี้ถูกพัฒนามาจากมอเตอร์กระแสตรงเพื่อให้สามารถใช้งานได้กว้างขวางมากยิ่งขึ้น

โครงสร้างเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้าที่สำคัญมี 2 ส่วน คือ สเตเตอร์ (Stator) เป็นส่วนที่อยู่กับที่ และโรเตอร์ (Rotor) เป็นส่วนที่หมุนเคลื่อนที่ การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าอาศัยสนามแม่เหล็ก 2 ชุด ได้แก่ สนามแม่เหล็กถาวร และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของขดลวดตัวนำ ผลของการผลักกันและดูดกันของสนามแม่เหล็กทั้งสองทำให้ขดลวดโรเตอร์ ที่วางอยู่กลางแม่เหล็กถาวรเกิดการหมุนเคลื่อนที่



รูปที่ 2.1 โครงสร้างหลักของมอเตอร์ [1]

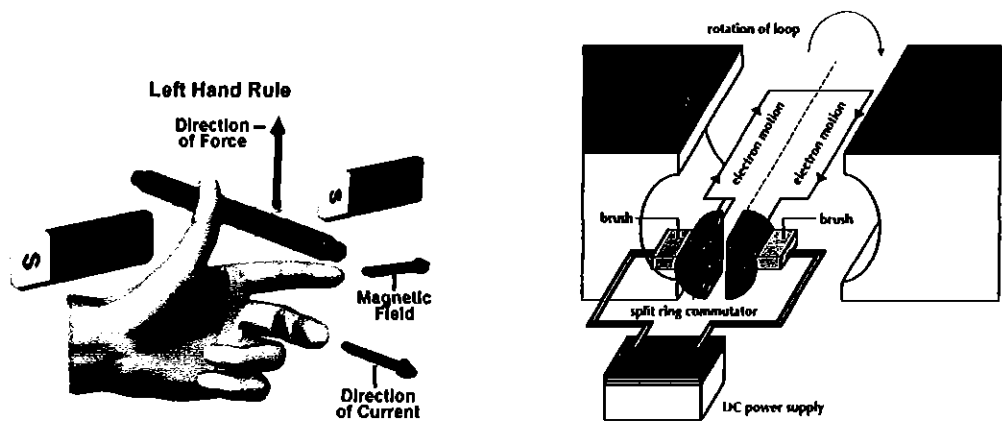
## 2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงมีส่วนประกอบสำคัญเหมือนกัน ซึ่งหากพิจารณาจากภายนอกแล้วจะมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ ส่วนที่แตกต่างกันคือลักษณะการใช้งานเท่านั้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้รับพลังงานกลจากภายนอกมาขับอามเจอร์ให้หมุนติดกับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดฟิลด์คอยล์ในเครื่องกำเนิดนั้น ส่วนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะได้รับพลังงานไฟฟ้าจากภายนอกมาทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น ในมอเตอร์ไปขับขดลวดตัวนำในอามเจอร์ส่งผลให้เพลลาของมอเตอร์หมุนส่งผ่านพลังงานกลออกไปใช้งาน

เมื่อขดลวดตัวนำหมุนติดกับสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวดตัวนำนั้นและทิศทางการไหลของกระแสในขดลวดตัวนำจะไหลในทิศทางที่ต้านการหมุนของขดลวดตัวนำนั้น ซึ่งกฎในเรื่องทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้านี้เรียกว่ากฎของเลนซ์ เซอร์เฟลมมิ่งได้ค้นพบวิธีพิจารณาว่าการหมุนของมอเตอร์จะหมุนไปในทิศทางใดนั้น ถ้าทราบทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าก็จะพบความสัมพันธ์ดังนี้คือ ถ้าทราบทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในตัวนำจะทำให้ทราบทิศทางการหมุนของขดลวดตัวนำได้ การค้นพบนี้เรียกว่ากฎมือซ้ายของเฟลมมิ่งซึ่งกระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำจะสร้างสนามแม่เหล็กและขดลวดตัวนำจะอยู่ห่างจากศูนย์กลางการหมุนจึงได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลลาและกระแสดังสมการที่ 2.1

$$T = k\phi I \quad (2.1)$$

เมื่อ	$T$	คือ แรงบิดของเพลลา (นิวตัน/เมตร)
	$\phi$	คือ เส้นแรงแม่เหล็ก (เวเบอร์)
	$I$	คือ กระแส (แอมแปร์)
	$k$	คือ ค่าคงที่ของมอเตอร์ (ตาม โครงสร้างการออกแบบ)



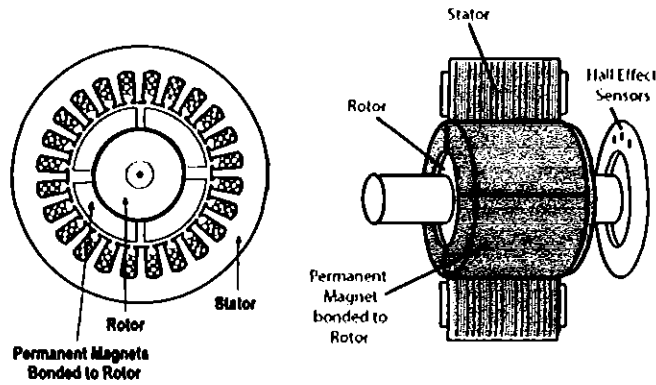
รูปที่ 2.2 กฎมือซ้ายของเฟลมมิงและลักษณะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง [2][3]



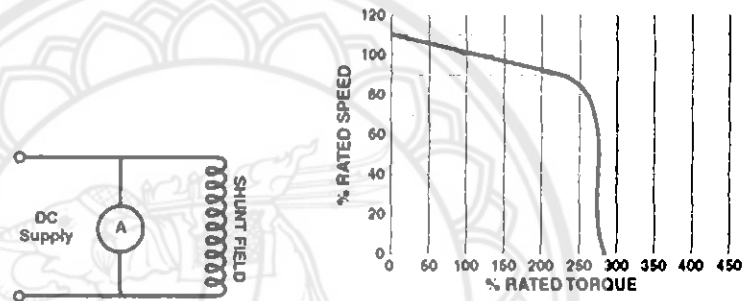
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรง [4]

2.3.1 มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor)

มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านเป็นมอเตอร์ที่ใช้แม่เหล็กถาวรในการสร้างสนามแม่เหล็กและมีการเปลี่ยนแปลงขั้วที่สแตเตอร์ทำให้มอเตอร์เกิดการหมุน มอเตอร์ชนิดนี้ไม่สามารถต่อกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายได้โดยตรง ต้องทำงานร่วมกับชุดควบคุมมอเตอร์เท่านั้น และมีตัวตรวจจับสนามแม่เหล็ก (Hall Sensor) ติดตั้งเป็นส่วนหนึ่งของสแตเตอร์ มีหน้าที่แทนการทำงานของแปรงถ่านและคอมมิวเตเตอร์ มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านสามารถเริ่มหมุนได้ในสถานะไม่มีโหลด (No Load) ขณะที่มอเตอร์กระแสตรงทั่วไปอาจไม่สามารถทำได้ (จะเกิดการเสียดาย) มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านมีโครงสร้างที่ซับซ้อนมากกว่ามอเตอร์กระแสตรงที่มีแปรงถ่าน โดยมีส่วนประกอบสำคัญแสดงในรูปที่ 2.4 โดยมีส่วนประกอบดังนี้ โรเตอร์ (Rotor) สแตเตอร์ (Stator) และแม่เหล็กถาวร (Permanence Magnet)



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน [5][6]



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลและกราฟคุณลักษณะของมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน [7]

เนื่องจากมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านจัดเป็นมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน ซึ่งมอเตอร์ลักษณะนี้ ขดลวดอาร์เมเจอร์จะต่อขนานกับขดลวดสเตเตอร์ ให้ความเร็วรอบคงที่ และแรงบิดเริ่มหมุนต่ำ

ข้อดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถจ่ายแรงบิดที่จะทำให้อัตราการหมุนได้มากกว่าแรงบิดขณะใช้งานปกติถึง 3 เท่า หรือมากกว่านั้นและในสถานการณ์ฉุกเฉินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถที่จะจ่ายแรงบิดได้มากถึง 5 เท่าของแรงบิดใช้งานปกติโดยไม่หยุดทำงานกลางคัน

## 2.3 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 1 เฟสมีโครงสร้างคล้ายกับมอเตอร์ 3 เฟส แต่มีข้อแตกต่างกันตรงที่ สเตเตอร์ของแบบ 1 เฟสมีการพันขดลวดในลักษณะแบบเฟสเดียว และต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า กระแสสลับเพียง 1 เฟส ดังนั้นสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่สเตเตอร์จึงไม่ใช่สนามแม่เหล็กที่หมุนด้วยความเร็วซิงโครนัสเหมือนกับในกรณีของมอเตอร์ 3 เฟสที่ได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส จึงเป็นเหตุให้สนามแม่เหล็กที่เกิดการกลับ ไปกลับมาอยู่ที่สเตเตอร์นั้น ไม่สามารถทำให้มอเตอร์เกิด แรงบิด และหมุนขึ้นได้ในขณะที่โรเตอร์นั้นยังหยุดอยู่ เป็นสาเหตุว่าทำไมมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ไม่สามารถเริ่มหมุนได้ด้วยตัวเอง แต่จะหมุนได้ก็ต่อเมื่อ โรเตอร์ถูกทำให้หมุนด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง ซึ่ง หมายถึงต้องทำให้เริ่มหมุนด้วยมือหรืออุปกรณ์อื่นๆก่อน และเมื่อมอเตอร์ถูกช่วยทำให้หมุนไป ทิศทางใดทิศทางหนึ่งแล้ว จะทำให้เกิดแรงบิดและอัตราเร่งขึ้นในโรเตอร์นั้นจนกระทั่งได้ความเร็ว เต็มพิกัดของมอเตอร์

### 2.3.1 คาปาซิเตอร์มอเตอร์ (Capacitor Motor)

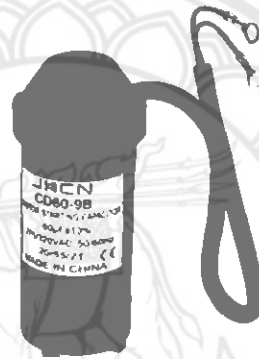
คาปาซิเตอร์มอเตอร์เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับชนิด 1 เฟสที่มีคุณสมบัติพิเศษคือ แรงบิดขณะสตาร์ทสูง ใช้กระแสขณะสตาร์ทน้อย มีขนาดตั้งแต่ 1/20 -10 แรงม้า และเป็นที่ยอมรับใช้ งานเกี่ยวกับปั้มน้ำ เครื่องอัดลม ตู้แช่ ตู้เย็น และงานขับ โหลดด้วยสายพานที่มีความถี่สูง เป็นต้น

#### ส่วนประกอบของคาปาซิเตอร์มอเตอร์

1. โรเตอร์เป็นแบบกรงกระรอก
2. สเตเตอร์ประกอบด้วยขดลวด 2 ชุดคือ
  - 2.1 ขดลวดชุดสตาร์ท (Starting Winding) เป็นขดลวด ไฟฟ้าเส้นเล็ก มีค่าความต้านทาน ไฟฟ้าสูง แต่มีค่ารีแอกแตนซ์ต่ำ พันอยู่ด้านบนของสล็อตจึงมีเนื้อที่สัมผัสกับแกน เหล็กน้อย
  - 2.2 ขดลวดชุดรัน (Running Winding) เป็นขดลวดไฟฟ้าเส้นใหญ่ มีค่าความต้านทาน ไฟฟ้าต่ำ แต่มีค่ารีแอกแตนซ์สูง พันอยู่ด้านล่างของสล็อตจึงมีเนื้อที่สัมผัสกับแกน เหล็กมาก
3. ฝาปิดหัวท้ายประกอบด้วยปลอกทองเหลือง (Bush) หรือคลับลูกปืน (Ball Bearing) สำหรับรองรับเพลลา
4. คาปาซิเตอร์ หรือคอนเดนเซอร์ (Capacitor or Condenser)



รูปที่ 2.6 คาปาซิเตอร์มอเตอร์ [8]



รูปที่ 2.7 คาปาซิเตอร์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์ [9]

### 2.3.2 หลักการทำงานของคาปาซิเตอร์มอเตอร์

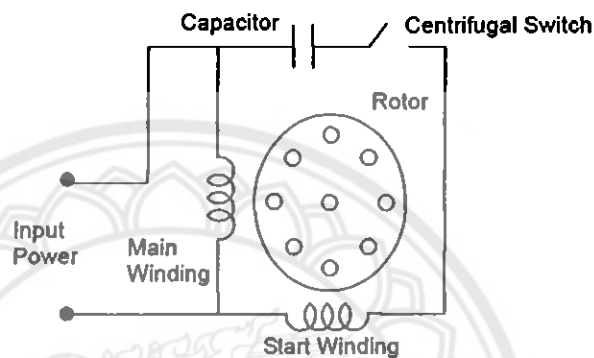
การทำงานของคาปาซิเตอร์มอเตอร์อาศัยหลักการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า โดยที่ขดลวดชุดรันและขดลวดชุดสตาร์ทซึ่งมีคาปาซิเตอร์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์ต่ออนุกรมอยู่ วางทำมุมห่างกัน 90 องศา เพื่อทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไปเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลในขดลวดโรเตอร์ กระแสไฟฟ้าส่วนนี้จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาเพื่อไปสลับกับสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ เกิดเป็นแรงบิดที่โรเตอร์ให้หมุนเคลื่อนที่

คาปาซิเตอร์มอเตอร์แบ่งออกเป็น 3 แบบคือ คาปาซิเตอร์สตาร์ทมอเตอร์ (Capacitor Start Motor) คาปาซิเตอร์รันมอเตอร์ (Capacitor Run Motor) และคาปาซิเตอร์สตาร์ทและรันมอเตอร์ (Capacitor Start and Run Motor)

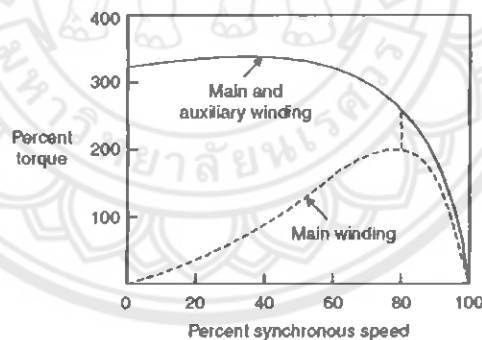
สำหรับในโครงงานนี้จะกล่าวถึงคาปาซิเตอร์มอเตอร์ชนิดคาปาซิเตอร์สตาร์ทมอเตอร์แต่เพียงอย่างเดียวเพื่อให้สอดคล้องกับการทดลองในบทต่อไป

### 2.3.3 คาปาซิเตอร์สตาร์ทมอเตอร์ (Capacitor Start Motor)

คาปาซิเตอร์สตาร์ทมอเตอร์มีขดลวดชุดสตาร์ทที่ต่ออนุกรมกับคาปาซิเตอร์ กระแสที่ไหลเข้าในขดลวดชุดสตาร์ทถึงจุดสูงสุดก่อนขดลวดชุดรัน ทำให้กระแสในขดลวดชุดสตาร์ทนำหน้าขดลวดชุดรัน จึงส่งผลให้มีแรงบิดขณะสตาร์ทสูง หลังจากสตาร์ทแล้วมอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วรอบถึง 75 เปอร์เซ็นต์ของความเร็วสูงสุด สวิตช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะตัดตัวคาปาซิเตอร์และขดลวดชุดสตาร์ทออกจากวงจร



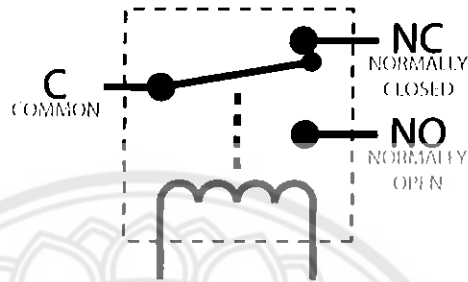
รูปที่ 2.8 วงจรสมมูลของมอเตอร์แบบคาปาซิเตอร์สตาร์ทมอเตอร์ [10]



รูปที่ 2.9 กราฟคุณลักษณะระหว่างแรงบิดกับเปอร์เซ็นต์ความเร็วของมอเตอร์แบบคาปาซิเตอร์สตาร์ทมอเตอร์ [11]

## 2.4 รีเลย์

รีเลย์ (Relay) คือ เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแม่เหล็ก เพื่อใช้ในการ คึงดูดหน้าสัมผัสของคอนแทกให้เปลี่ยนสถานะ โดยการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวด เพื่อทำ การปิดหรือเปิดหน้าสัมผัสคล้ายกับสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับขดลวด แม่เหล็กไฟฟ้าหรือ โซลินอยด์ (Solenoid)



รูปที่ 2.1 สัญลักษณ์แทน โครงสร้างของรีเลย์ [12]

### หลักการทำงานของรีเลย์

ภายในโครงสร้างของ รีเลย์ จะประกอบไปด้วยขดลวด 1 ชุด และ หน้าสัมผัส ซึ่งใน หน้าสัมผัส 1 ชุด ซึ่งจะประกอบไปด้วย หน้าสัมผัสแบบปกติปิด (Normally Close: NC.) ซึ่งใน สถานะปกติ ขานี้จะต่ออยู่กับขาร่วม (Common) และ หน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (Normally Open: NO.) ขานี้จะต่อเข้ากับขาร่วม (Common) เมื่อขดลวดมีแรงดันตกคร่อม หรือกระแสไหลผ่านใน ปริมาณที่เพียงพอ

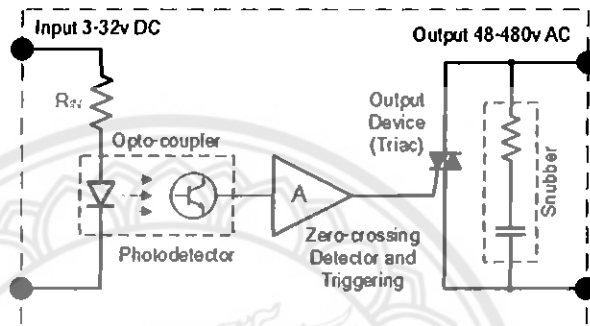
ขาของรีเลย์จะประกอบไปด้วยตำแหน่งต่างๆดังนี้

1. ขาจ่ายแรงดันใช้งาน ซึ่งจะมีอยู่ 2 ขา จากรูปจะเห็นสัญลักษณ์เป็นขดลวด
2. ขาคอมมอน (Common) จะเป็นต่อร่วมระหว่างขาปกติเปิด และ ขาปกติปิด
3. ขาปกติเปิด (Normally Opened: NO) ปกติขานี้จะเปิดเอาไว้ และจะทำงานเมื่อได้รับ แรงดันป้อนให้กับรีเลย์หรือกระแสไหลผ่านขดลวดของรีเลย์ในปริมาณที่เพียงพอ
4. ขาปกติปิด (Normally Closed: NC) ปกติขานี้จะต่อกับขาคอมมอน ในกรณีที่ยังไม่มีการ จ่ายแรงดัน



## 2.5 โซลิดสเตตรีเลย์

โซลิดสเตตรีเลย์ (Solid State Relay) คือ รีเลย์ที่ไม่ใช้หน้าสัมผัสซึ่งใช้เทคโนโลยีของสารกึ่งตัวนำทำให้ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ เพื่อลดเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นจากรีเลย์แบบหน้าสัมผัส และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานระยะยาว โซลิดสเตตเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างส่วนควบคุมซึ่งเป็นวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ กับส่วนวงจรไฟฟ้ากำลัง โดยทั้งสองส่วนจะมีระบบกราวด์ที่แยกออกจากกันทำให้สามารถป้องกันการลัดวงจร และการรบกวนซึ่งกันและกันได้



รูปที่ 2.11 วงจรภายในของโซลิดสเตตรีเลย์ [13]

หลักการทำงานของโซลิดสเตตรีเลย์ คือ ส่วนที่เป็นวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ จะรับสัญญาณควบคุมเพื่อบังคับส่วนวงจรไฟฟ้ากำลังปิดหรือเปิดวงจร โดยจะมีการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตและเอาต์พุต

ถือได้ว่าเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ออกแบบมาเพื่อใช้แทนแ่งอาร์เมเจอร์ของรีเลย์แม่เหล็กแต่มีข้อดีกว่าคือ มีขนาดเล็ก มีความไวในการทำงานที่สูง มีอายุการทำงานนานกว่า เป็นต้น

## บทที่ 3

### การออกแบบการทดลอง

#### 3.1 อุปกรณ์การทดลอง

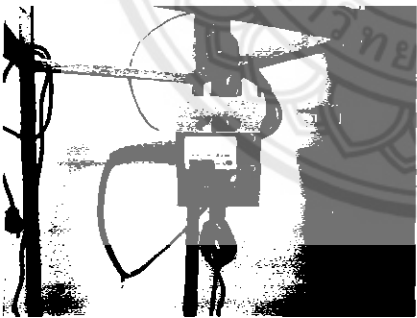
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีเครื่องคอมพิวเตอร์ใช้ในการเขียน โปรแกรม รีเลย์ควบคุม วงจร โซลิตสแตตรีเลย์ เครื่องวัดแรงดึง โครงรองรับมอเตอร์ เครื่องแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นสัญญาณ ดิจิตอล รวมทั้งอุปกรณ์ต่างๆแสดงดังรูป



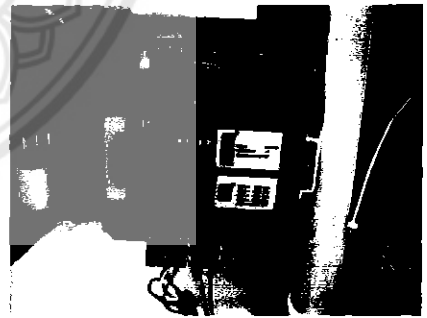
รูปที่ 3.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส



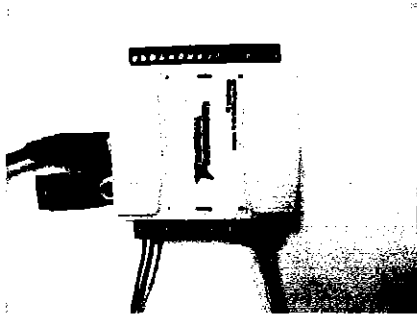
รูปที่ 3.2 มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน 24 V<sub>DC</sub>



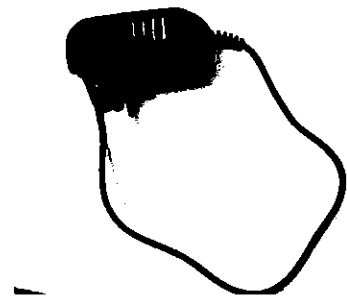
รูปที่ 3.3 เครื่องวัดแรงดึง (Load Cell)



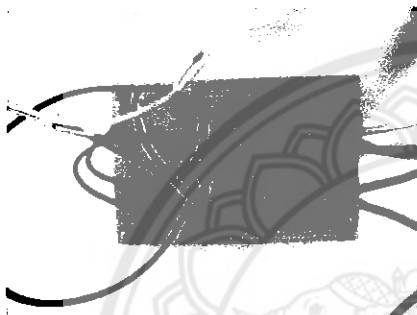
รูปที่ 3.4 อุปกรณ์แปลงสัญญาณไฟฟ้า (Transmitter)



รูปที่ 3.5 USB-6009 DAQ Device



รูปที่ 3.6 แหล่งจ่าย 5 V<sub>DC</sub>



รูปที่ 3.7 บอร์ดรีเลย์ควบคุม

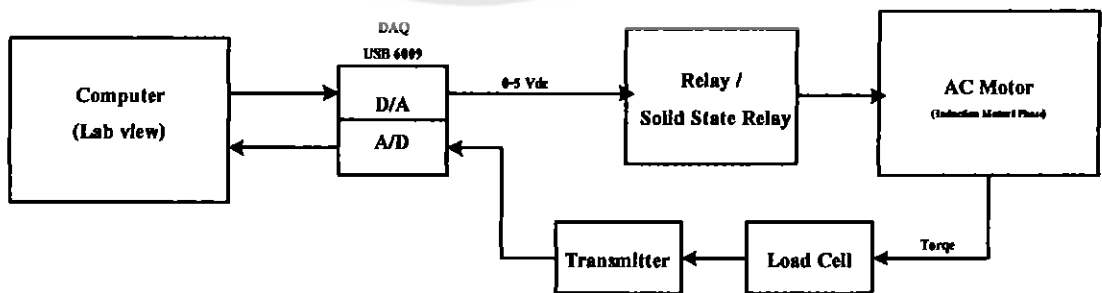


รูปที่ 3.8 บอร์ดโซลิดสเตตรีเลย์

### 3.2 การทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ

การทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ ที่ได้ทำการออกแบบประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ โดยการทำงานของระบบสามารถอธิบายตามบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่

3.9



รูปที่ 3.9 ไดอะแกรมการทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ

จากบล็อกโคอะแกรมแสดงการทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. คอมพิวเตอร์ (โปรแกรม Lab View) จะทำหน้าที่สั่งการเปิด-ปิดวงจรรีเลย์ควบคุมหรือวงจรโซลิดสเตต และบันทึกค่าแรงบิดของมอเตอร์ในสภาพวะค่าโหลดต่างๆ ซึ่งค่าแรงบิดของมอเตอร์มาจากเครื่องวัดแรงบิด โดยรับส่งสัญญาณผ่าน DAQ
2. DAQ (Data Acquisition) ทำหน้าที่ประมวลผลความหมายหรือเปลี่ยนสัญญาณจากแอนาล็อกให้มาอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล โดยรับส่งคำสั่งมาจากโปรแกรมแลปวิว
3. รีเลย์ควบคุมทำหน้าที่เป็นสวิทช์เปิด-ปิดวงจร โดยรับคำสั่งมาจากโปรแกรมแลปวิว เพื่อส่งงานไปยังมอเตอร์ให้ทำงานตามค่าแรงบิดที่กำหนดไว้
4. เครื่องวัดแรงบิด (Load Cell) ทำหน้าที่วัดแรงบิดในขณะที่มอเตอร์กระทำต่อโหลด
5. อุปกรณ์แปลงสัญญาณไฟฟ้า (Transmitter) เนื่องจากค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องวัดแรงบิดมีขนาดเล็กจึงต้องใช้งานร่วมกับอุปกรณ์แปลงสัญญาณเพื่อขยายก่อนส่งเข้า DAQ



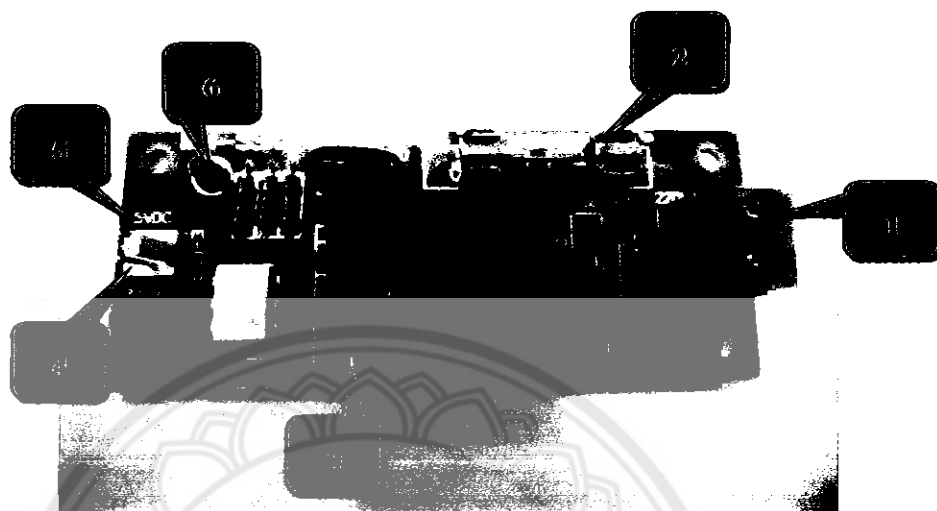
### 3.3.1. รีเลย์ควบคุม



รูปที่ 3.10 วงจรรีเลย์ควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ

1. ขั้วปกติเปิด (Normal Open) และปกติปิด (Normal Close)
2. บอร์ดรีเลย์ขนาดเล็ก หน้าคอนแทกใช้ได้กับระบบไฟ 220 V<sub>AC</sub>, 5 A
3. ฟิวส์ป้องกันหน้าคอนแทกเสียหายกรณีกระแสไหลเกิน
4. อินพุตระดับ Logic TTL ต่อกับพอร์ทของ MTU ได้ทันที (Active Low)
5. ใช้ไฟเลี้ยง 5 V<sub>DC</sub> กระแส 60 mA
6. แอลอีดีแสดงสถานะการทำงาน (ติดสว่างเมื่อรีเลย์ทำงาน)

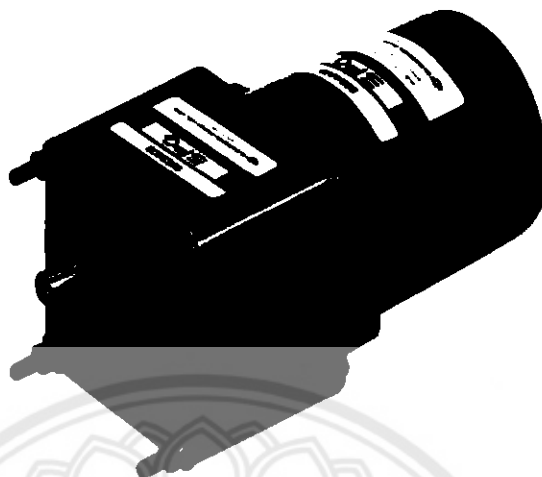
### 3.3.2. โซลิตสเตรีย



รูปที่ 3.11 วงจร โซลิตสเตรียควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ

1. ขั้วต่อส่วนเอาต์พุตต่อกับ โหลด
2. ฟิวส์ป้องกันอุปกรณ์เสียหายกรณีกระแสไหลเกิน
3. โมดูล โซลิตสเตรียขนาด  $220\text{ V}_{AC}$ ,  $3\text{ A}$  (Zero Voltage Crossing)
4. ขาอินพุต
5. ใช้ไฟเลี้ยง  $5\text{ V}_{DC}$  กระแส  $10\text{ mA}$
6. แอลอีดีแสดงสถานะการทำงาน (ติดสว่างเมื่อ โซลิตสเตรียทำงาน)

### 3.3.3. มอเตอร์เหนี่ยวนำ



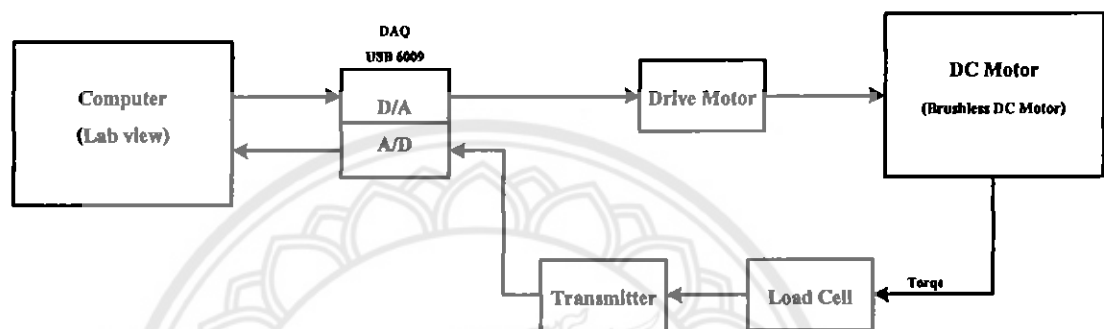
รูปที่ 3.12 มอเตอร์เหนี่ยวนำรุ่น S90R40GXH - E [15]

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของมอเตอร์เหนี่ยวนำรุ่น S90R40GXH-E

Induction Motor (Brake Motor)	S90R40GXH-E
Supply Voltage ( $V_{ac}$ / Hz)	230 / 50
Output Power (W)	40
Speed (RPM)	1250
Torque (Ncm)	33
Current (A)	0.42
Capacitor ( $\mu$ F)	3.0
Mass With Gear (Kg)	3.9
Pole	4

### 3.3 การทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

สำหรับการทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรงนั้นจะ โครงสร้างการทำงานที่คล้ายๆ กับระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ แต่ส่วนที่แตกต่างกันก็คือ การสั่งงานให้มอเตอร์เริ่มทำงานจะส่งผ่านชุดขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงแทนการส่งทางผ่านรีเลย์ เนื่องจากมอเตอร์กระแสตรงต้องต่อเข้ากับแหล่งจ่ายระบบไฟฟ้ากระแสตรงจึงต้องมีชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ในการเริ่มทำงาน สามารถอธิบายได้ตามบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ไดอะแกรมการทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

ชุดควบคุมมอเตอร์กระแสตรงทำหน้าที่รับสัญญาณกระแส หรือแรงดันมาจากชุดจ่ายแหล่งไฟฟ้ากระแสตรง โดยที่ชุดควบคุมมอเตอร์จะถูกควบคุมด้วยค่าที่ถูกกำหนดไว้ในโปรแกรม จากนั้นชุดควบคุมมอเตอร์จะเป็นตัวสั่งงานให้มอเตอร์เริ่มทำงานเพื่อให้ได้ค่าแรงบิดที่กระทำต่อโหลดตามค่าเป้าหมายที่ต้องการ



### 3.3.4. มอเตอร์กระแสตรง



รูปที่ 3.14 มอเตอร์กระแสตรงรุ่น MY-1020 24V<sub>DC</sub> [16]

ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของมอเตอร์กระแสตรงรุ่น MY-1020 24V<sub>DC</sub>

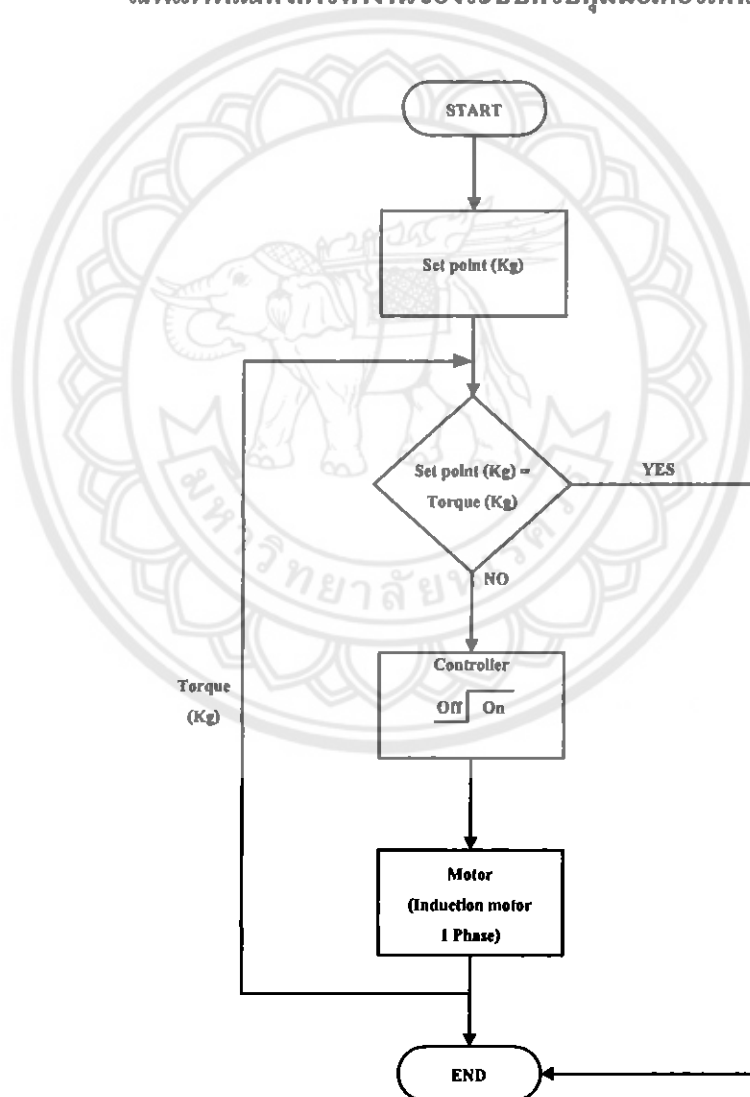
Model	MY-1020
Supply Voltage (V <sub>DC</sub> )	24
Power Output (W)	500
Rated Speed (RPM)	2500
Rated Current (A)	27.4
Efficiency (%)	≥78

### 3.4 การออกแบบการเขียนโปรแกรม

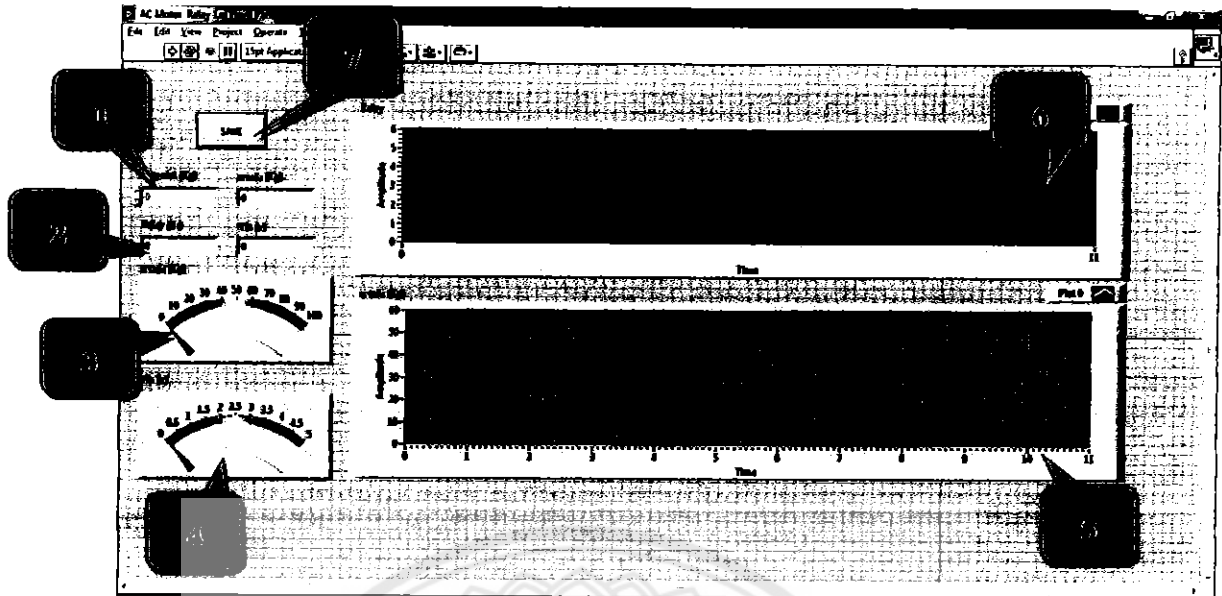
ในการออกแบบการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำและมอเตอร์กระแสตรงนั้นจะใช้คำสั่งในโปรแกรมแลปวิว และทำการเก็บค่าบันทึกค่าแรงบิดที่มอเตอร์กระทำต่อโหลดในสถานะโหลดที่ค่าน้ำหนักต่างๆ เพื่อศึกษาผลกระทบของแรงบิดภายในมอเตอร์ขณะขับโหลด โดยหลักการการทำงานของโปรแกรมควบคุมมอเตอร์ทั้งสองชนิดจะแสดงตามวิธีการควบคุมต่อไปนี้

#### 3.4.1. โปรแกรมควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ

แผนภาพแสดงการทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ



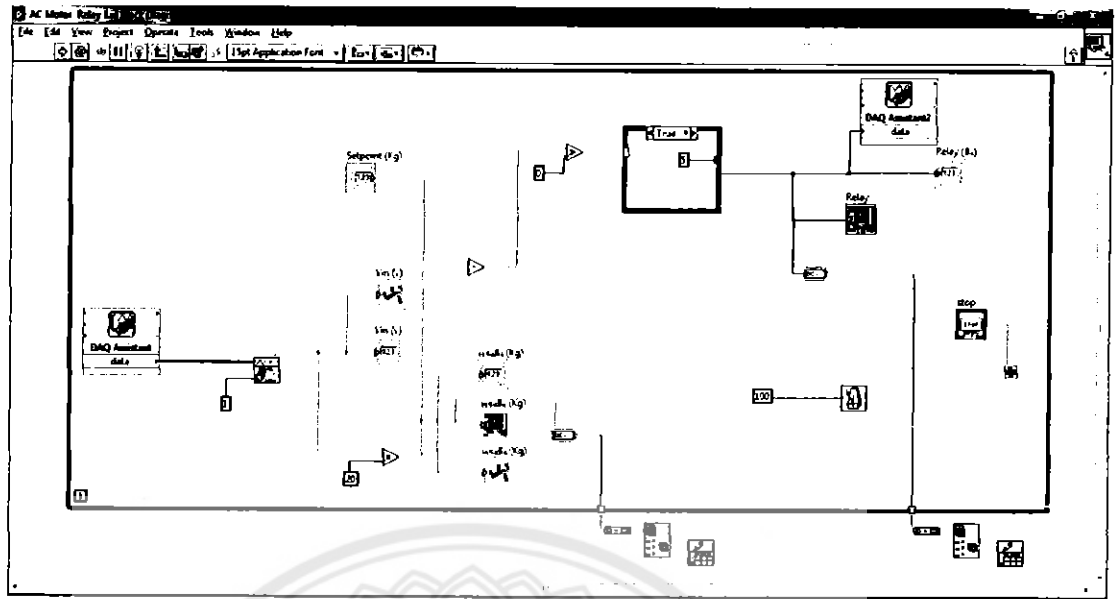
รูปที่ 3.15 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ



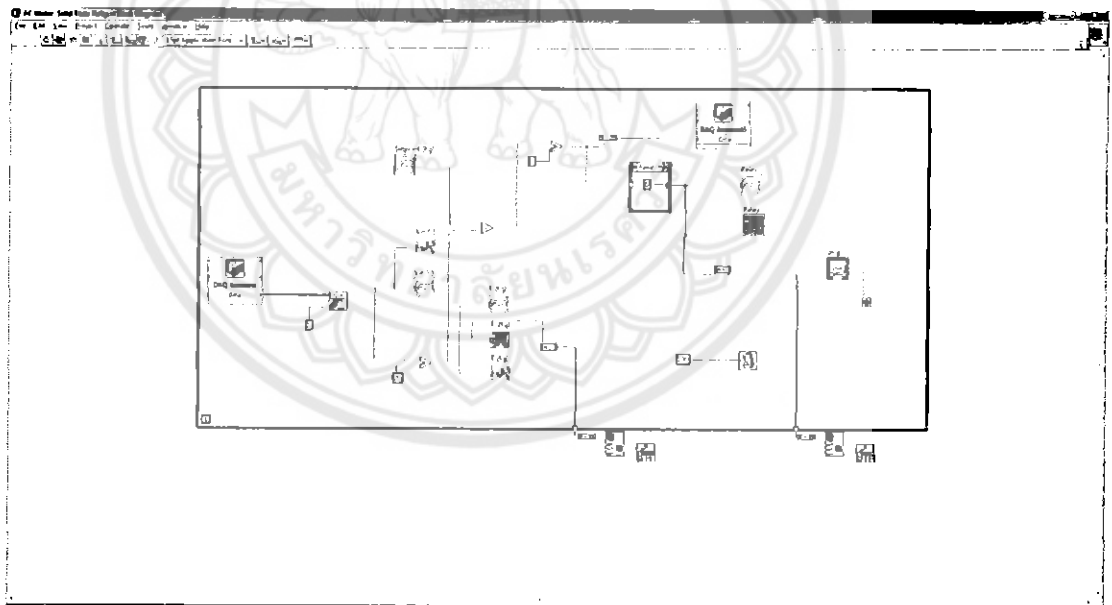
รูปที่ 3.16 หน้าต่างโปรแกรมควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ

จากรูปที่ 3.16 สามารถอธิบายรายละเอียดส่วนต่างๆของโปรแกรมตามหมายเลขได้ดังนี้

1. ช่องป้อนค่าเริ่มต้น (Set point)
2. ช่องแสดงค่าป้อนกลับจะแสดงค่าแรงดึง (Kg) แรงดัน (V) และสถานะทำงานของรีเลย์
3. หน้าจอแสดงค่าแรงดึง (Kg)
4. หน้าจอแสดงค่าแรงดัน (V)
5. กราฟแสดงค่าแรงดึง ณ ช่วงเวลาต่างๆ
6. กราฟแสดงสถานการณ์ทำงานของรีเลย์
7. ปุ่มบันทึกค่าเมื่อแรงดึงที่วัดได้มีค่าตามค่าเป้าหมายที่กำหนด



รูปที่ 3.17 โค้ดโปรแกรมการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยรีเลย์



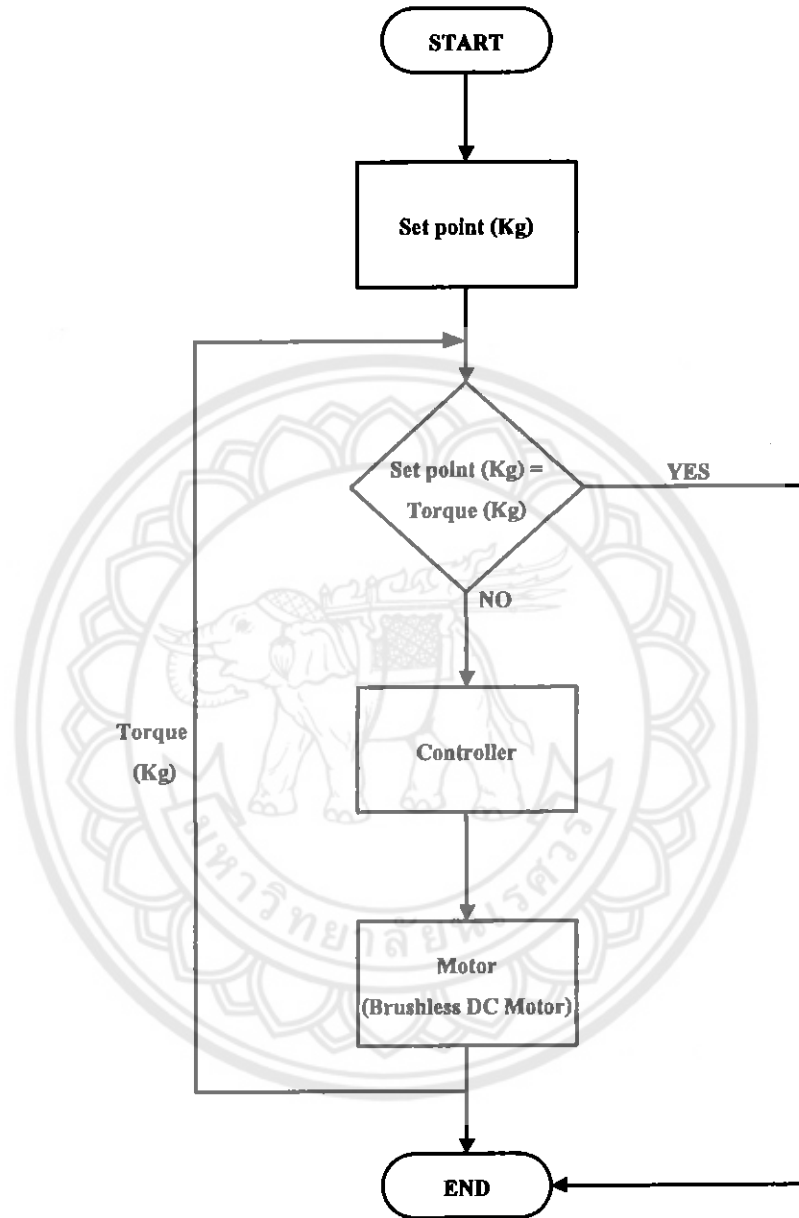
รูปที่ 3.18 โค้ดโปรแกรมการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยไซลิสต์เรตริ์ล

หลักการการทำงานของโปรแกรมควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยการใช้รีเลย์และโซลิดสเตตจะทำงานในลักษณะเดียวกันคือจะตัด-ต่อตำแหน่งจ่ายไฟกับมอเตอร์ คือ โปรแกรมจะทำการตรวจสอบเงื่อนไขค่าแรงบิดที่มอเตอร์กระทำต่อโหลดโดยวัดผ่านโหลดเซลล์ที่มีค่าเท่ากับแรงดึงเป้าหมายที่กำหนดไว้หรือไม่ เมื่อเงื่อนไขถูกต้อง โปรแกรมจะส่งงานผ่านการ์ด DAQ เพื่อให้วงจรรีเลย์หรือโซลิดสเตตตัดแหล่งจ่ายไฟออกจากมอเตอร์ เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลองเป็นมอเตอร์แบบมีเบรกเมื่อมอเตอร์หยุดการทำงานจะล๊อคโรเตอร์ไว้ในตำแหน่งเดิมทันที จากนั้นทำการทดลองเพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของแรงดึงเป็นระยะเวลาสิบนาทีจึงเก็บบันทึกค่าลงในคอมพิวเตอร์ แต่ตรวจสอบเงื่อนไขแล้วพบว่า เป็นเท็จหรือแรงดึงที่วัดได้จากแรงบิดของมอเตอร์กระทำต่อโหลดมีค่าน้อยกว่าแรงดึงเป้าหมายที่กำหนดไว้ โปรแกรมจะส่งงานไปยังรีเลย์หรือโซลิดสเตต โดยผ่านการ์ด DAQ ให้ต่อวงจรแหล่งจ่ายไฟเข้ากับมอเตอร์และให้มอเตอร์หมุนจนกว่าจะได้ค่าแรงดึงที่มีค่าเท่ากับแรงดึงเป้าหมายไว้จากนั้นจึงเก็บบันทึกค่าลงคอมพิวเตอร์

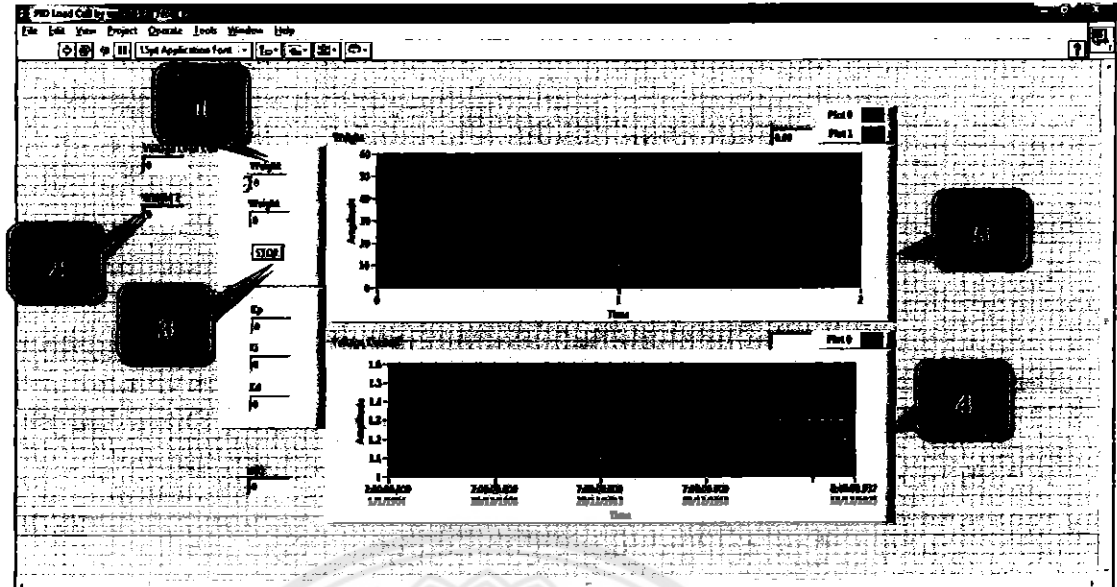
ตัวแปรสำคัญอีกตัวที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมมอเตอร์ คือ การปรับตั้งค่าเวลา Sampling Rate Times โดยในโครงการนี้ผู้ทดลองได้ทำการปรับตั้งเวลาไว้ที่ 10 มิลลิวินาที และ 100 มิลลิวินาทีสำหรับการควบคุมมอเตอร์ทั้งสองชนิด เพื่อเปรียบเทียบผลของแรงดึงที่ได้จากมอเตอร์และดูช่วงเวลาเข้าถึงค่าเป้าหมาย

### 3.4.2. โปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

แผนภาพแสดงการทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

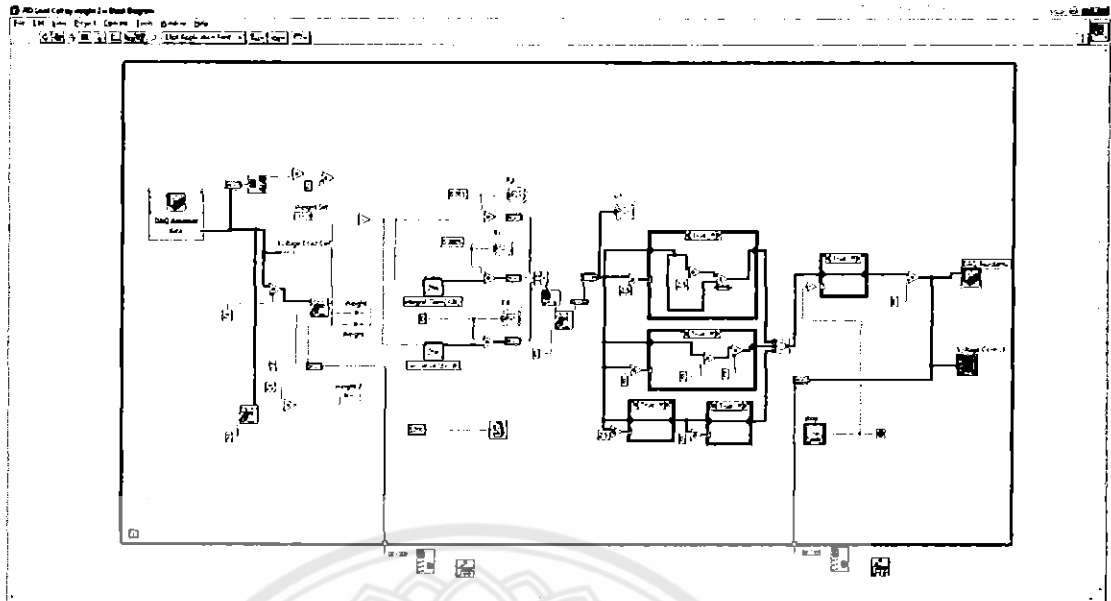


รูปที่ 3.19 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรง



รูปที่ 3.20 หน้าต่างโปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

1. ช่องป้อนค่าเริ่มต้น (Set point)
2. หน้าจอแสดงค่าแรงดึง (Kg) แรงดัน (V)
3. ปุ่มบันทึกค่าเมื่อแรงดึงที่วัดได้มีค่าตามค่าเป้าหมายที่กำหนด
4. กราฟแสดงค่าแรงดึง ณ ช่วงเวลาต่างๆ
5. กราฟแสดงแรงดันที่ป้อนเข้าสู่ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์



รูปที่ 3.21 โค้ดโปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

หลักการการทำงานของ โปรแกรมควบคุมมอเตอร์กระแสตรงจะทำงาน โดยการสั่งผ่านชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ โดยโปรแกรมจะทำการตรวจสอบเงื่อนไขระหว่างแรงดันที่มอเตอร์กระทำต่อโหลดและค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ ถ้าเงื่อนไขเป็นจริงหรือเมื่อแรงดันที่มอเตอร์กระทำต่อโหลดมีค่าเท่ากับแรงดันเป้าหมาย โปรแกรมจะสั่งงานไปยังชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ให้รักษาระดับกระแสไว้ เพื่อให้มอเตอร์รักษาระดับแรงดันที่กระทำต่อโหลดค่านั้นไว้ จากนั้นทำการทดลองเป็นเวลาสิบนาที เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงแรงดันและกระแสของมอเตอร์ เก็บบันทึกค่าลงคอมพิวเตอร์ แต่ถ้าโปรแกรมตรวจสอบเงื่อนไขและพบว่าเป็นเท็จหรือแรงดันที่มอเตอร์กระทำต่อโหลดอาจมีค่าน้อยหรือมากกว่าแรงดันเป้าหมายที่ โปรแกรมจะสั่งงานไปยังชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ให้ปรับเพิ่มหรือลดกระแสตามปริมาณแรงดันที่วัดได้เมื่อแรงดันมีค่าน้อยกว่าค่าเป้าหมาย โปรแกรมจะสั่งงานให้ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์จ่ายกระแสเพิ่มขึ้นเพื่อให้มอเตอร์เพิ่มแรงดันที่มากขึ้น แต่ถ้าหากว่าแรงดันที่วัดได้มีค่ามากกว่าค่าเป้าหมาย โปรแกรมจะทำการสั่งให้ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ลดระดับกระแสที่จ่ายเข้ามอเตอร์เพื่อให้มอเตอร์คลายแรงบิดที่กระทำต่อโหลดจนกว่าแรงดันที่ได้จะเข้าสู่ค่าเป้าหมาย



## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 จุดประสงค์การทดลอง

- 4.1.1. ทดสอบมอเตอร์เพื่อดูกราฟแรงดึงระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำ และมอเตอร์กระแสตรง
- 4.1.2. เพื่อดูเวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำ และมอเตอร์กระแสตรง
- 4.1.3. เพื่อดูปริมาณกระแสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ และมอเตอร์กระแสตรง
- 4.1.4. เพื่อดูปริมาณการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ และมอเตอร์กระแสตรง

#### 4.2 ขั้นตอนการทดลอง

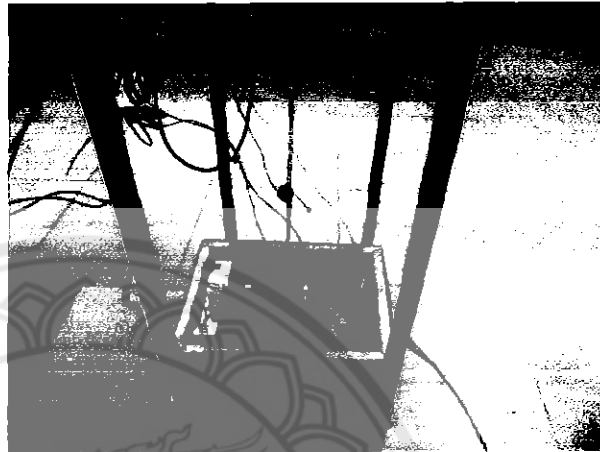
- 4.2.1. ทดสอบแรงดึงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ
  - ทำการทดลอง โดยแบ่งการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ 2 วิธีคือ
    1. ใช้วงจรรีเลย์ควบคุม
    2. ใช้วงจร โซลิดสเตตรีเลย์
  - ทำการต่อการ์ด DAQ เข้ากับวงจรรีเลย์ หรือวงจร โซลิดสเตต
  - ต่อขั้วสถานะปกติเปิดของวงจรเข้ากับมอเตอร์
  - จัดตำแหน่งของแกนเพลลาให้ตรงกับตำแหน่งเริ่มต้น



รูปที่ 4.1 การต่อวงจรรีเลย์เข้ามอเตอร์เหนี่ยวนำ

#### 4.2.2. ทดสอบแรงดึงของมอเตอร์กระแสตรง

- ต่อแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงเข้ากับชุดขับเคลื่อนมอเตอร์และมอเตอร์เข้าด้วยกัน
- จัดตำแหน่งของแกนเพลลาให้ตรงกับตำแหน่งเริ่มต้น



รูปที่ 4.2 การต่อใช้งานมอเตอร์กระแสตรง

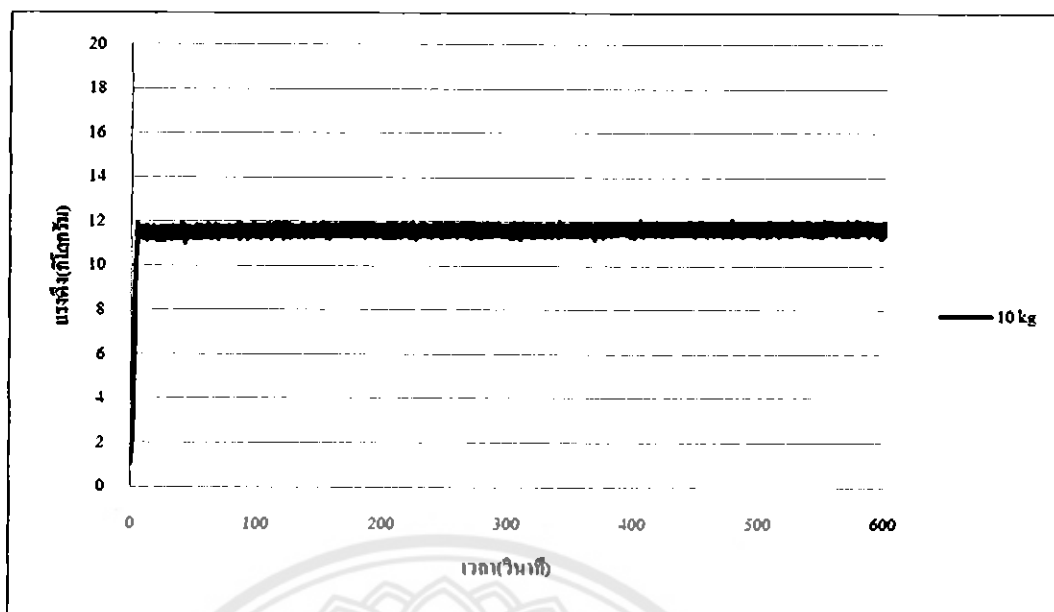
#### 4.3 ผลการทดลอง

จากการทดลองผู้ทดลองจะกำหนดค่าเป้าหมายไว้ที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 กิโลกรัมตามลำดับ โดยจะทำการทดลองครั้งละสิบนาที เป็นจำนวนสิบครั้งต่อหนึ่งค่าเป้าหมายหนึ่งค่า ซึ่งจะทดลองเหมือนกันกับมอเตอร์ทั้งสองชนิด สำหรับการควบคุมการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยรีเลย์ และโซลิดสเตตนั้นจะทำการทดลองโดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times ไว้ที่ 10 ms และ 100 ms ผลการทดลองจะแสดงดังตารางและกราฟต่อไปนี้

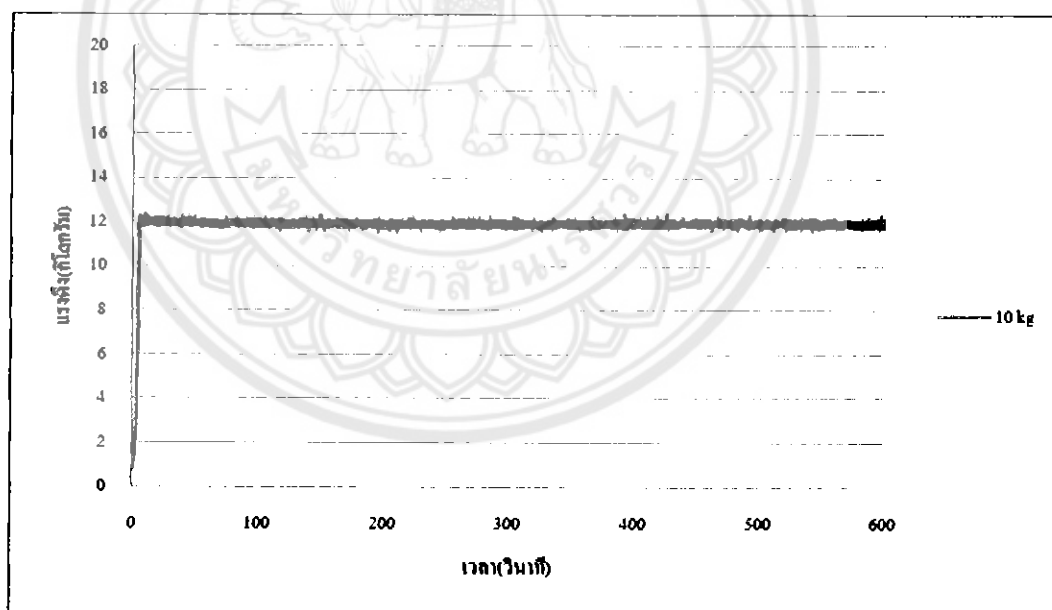
4.3.1. ผลการทดลองแรงดึงที่ค่าเป้าหมาย 10 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำและมอเตอร์  
กระแสตรง

ตารางที่ 4.1 แรงดึงเฉลี่ยที่ค่าเป้าหมาย 10 กิโลกรัม

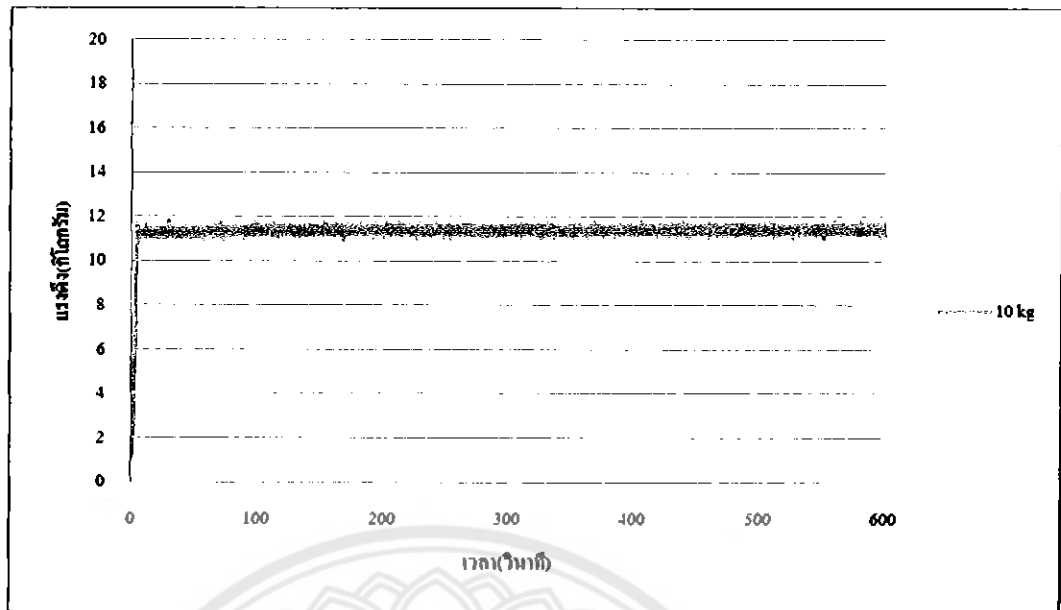
จำนวนการทดลอง	มอเตอร์เหนี่ยวนำ				มอเตอร์ กระแสตรง
	รีเลย์ควบคุม		โซลิตสเตต		
	T = 10 ms	T = 100 ms	T = 10 ms	T = 100 ms	
ครั้งที่ 1	11.526	12.606	11.423	12.341	10.125
ครั้งที่ 2	11.490	12.157	11.450	11.820	10.097
ครั้งที่ 3	11.558	11.726	11.586	12.184	9.965
ครั้งที่ 4	11.532	12.051	11.457	12.221	9.909
ครั้งที่ 5	11.553	11.814	11.401	12.107	9.936
ครั้งที่ 6	11.626	11.644	11.275	12.221	9.896
ครั้งที่ 7	11.672	11.970	11.289	11.800	9.903
ครั้งที่ 8	11.786	11.790	11.410	11.563	9.983
ครั้งที่ 9	11.628	11.852	11.217	12.401	9.927
ครั้งที่ 10	11.642	11.667	11.275	11.825	9.928
ค่าเฉลี่ย	11.601	11.928	11.378	12.048	9.967
%ความผิดพลาด	16.018	19.283	13.787	20.484	0.326



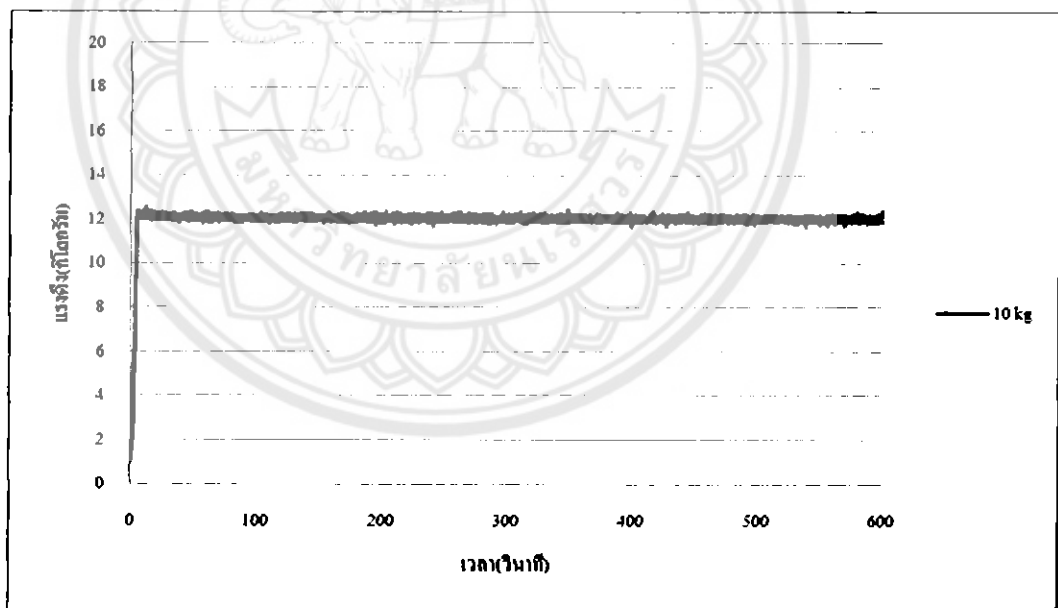
รูปที่ 4.3 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ (T = 10 ms)  
ค่าเป้าหมาย 10 กิโลกรัม



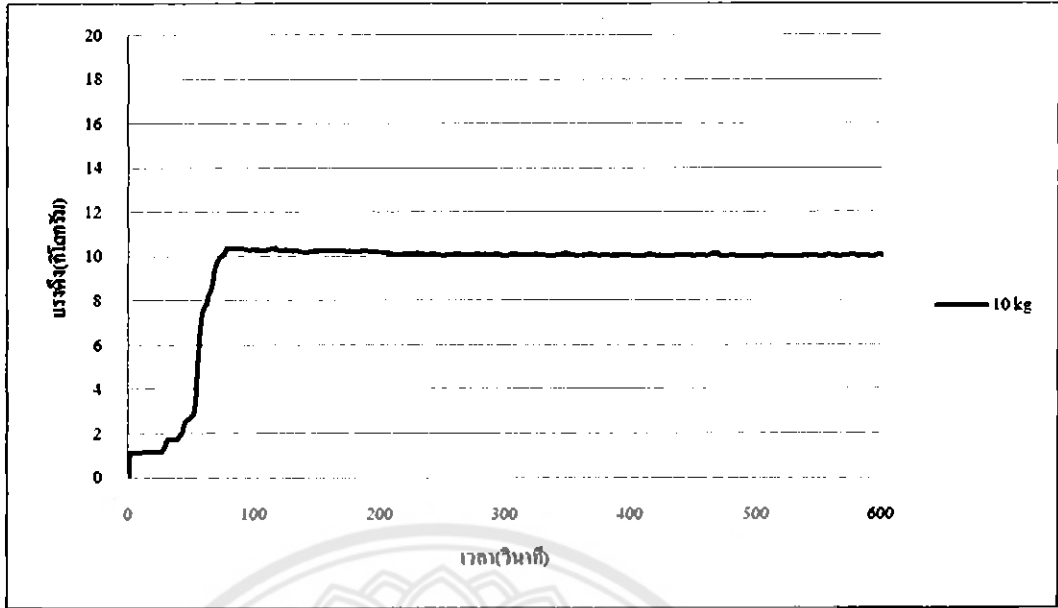
รูปที่ 4.4 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ (T = 100 ms)  
ค่าเป้าหมาย 10 กิโลกรัม



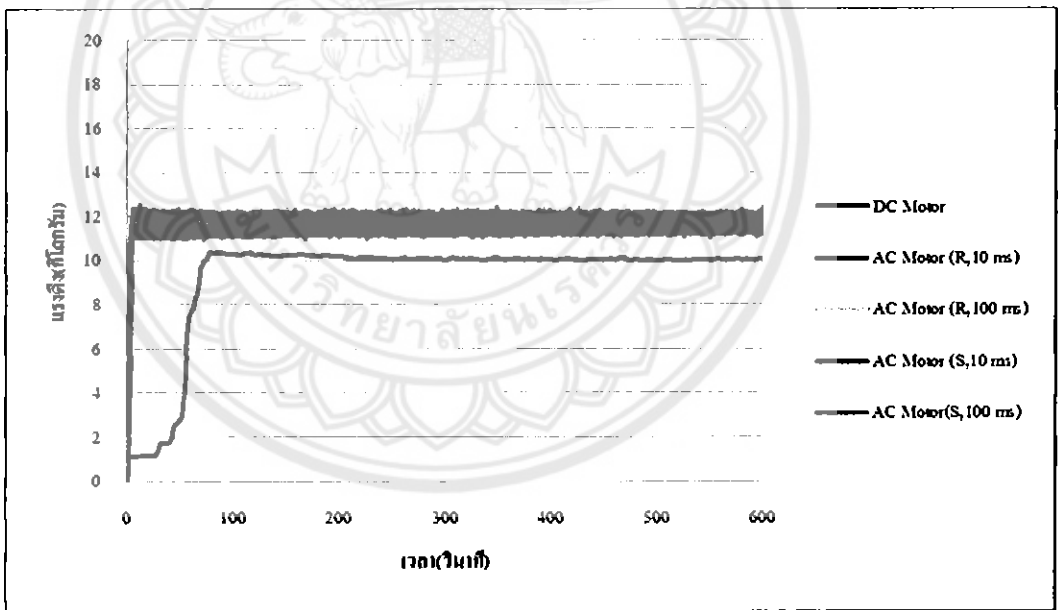
รูปที่ 4.5 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนียวนำที่ควบคุมด้วยโซลิตสแตต ( $T = 10$  ms)  
ค่าเป้าหมาย 10 กิโลกรัม



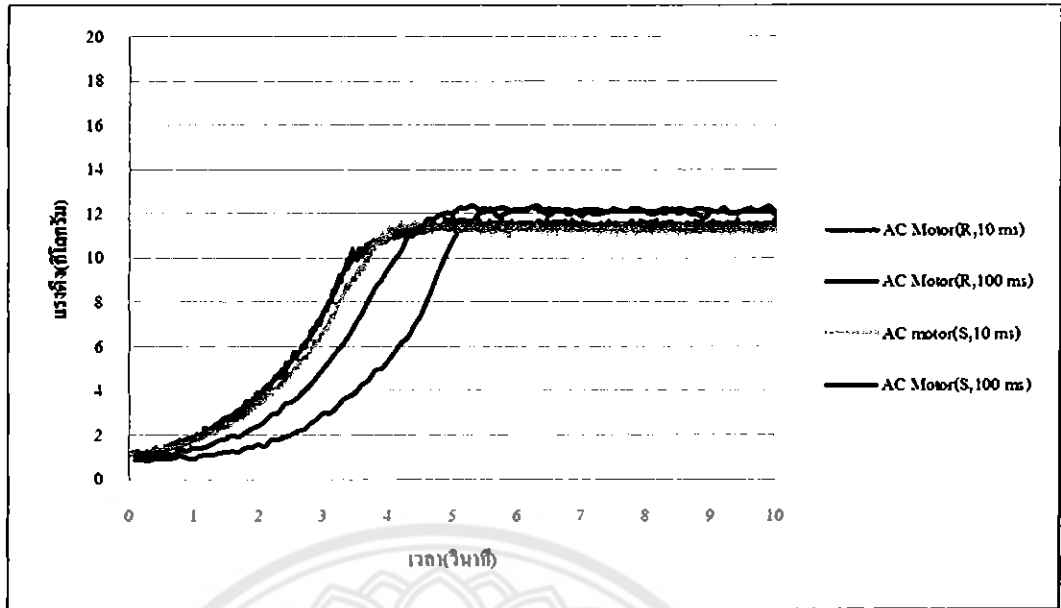
รูปที่ 4.6 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนียวนำที่ควบคุมด้วยโซลิตสแตต ( $T = 100$  ms)  
ค่าเป้าหมาย 10 กิโลกรัม



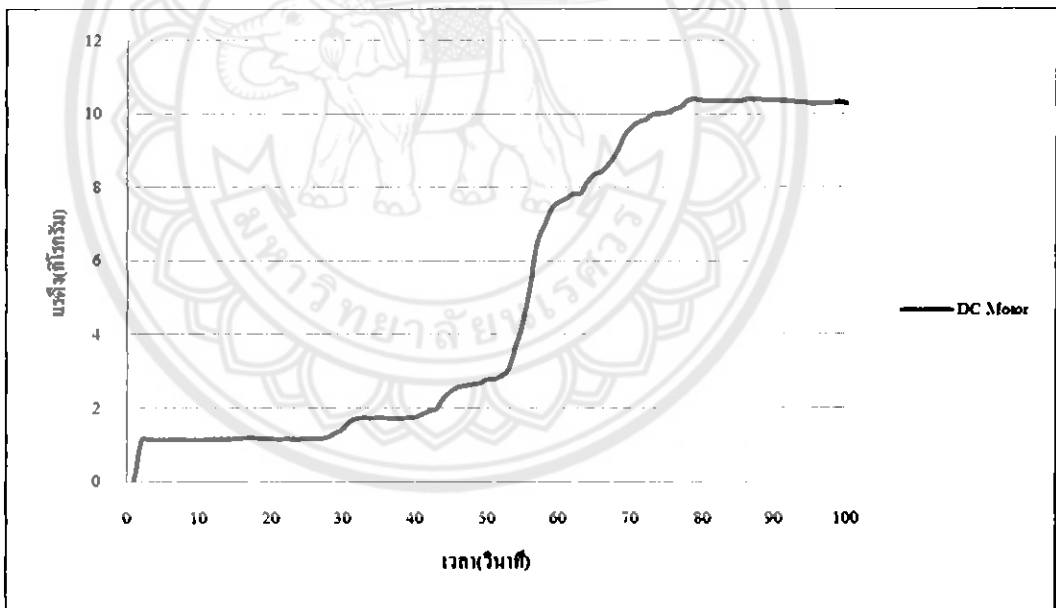
รูปที่ 4.7 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์กระแสตรงที่ค่าเป้าหมาย 10 กิโลกรัม



รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบแรงดึงระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำกับมอเตอร์กระแสตรง  
ค่าเป้าหมาย 10 กิโลกรัม



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงเวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายที่ 10 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงเวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายที่ 10 กิโลกรัมของมอเตอร์กระแสตรง

ตารางที่ 4.2 เวลาเข้าถึงค่าเป้าหมาย 10 กิโลกรัม

ชนิดของมอเตอร์		แรงดึงเฉลี่ย (กิโลกรัม)	เวลาเข้าที่ (วินาที)	%ความ ผิดพลาด (กิโลกรัม)	
มอเตอร์ เหนียวนำ	รีเลย์ควบคุม	T = 10 ms	11.601	4.00	16.018(+1.601)
		T= 100 ms	11.928	5.10	19.283(+1.928)
	โซลิตสเตรด	T = 10 ms	11.378	3.90	13.787(+1.378)
		T= 100 ms	12.048	4.60	20.484(+2.048)
มอเตอร์กระแสตรง		9.967	70.00	0.326(-0.033)	

จากตารางที่ 4.1 และกราฟรูปที่ 4.3 - 4.7 เป็นการแสดงค่าแรงดึงเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองทั้งหมดสิบครั้งของมอเตอร์ทั้งสองชนิดที่ค่าเป้าหมาย 10 กิโลกรัม พบว่ามอเตอร์เหนียวนำที่ควบคุมการทำงานด้วยโซลิตสเตรดที่ Sampling Rate Times = 10 ms ให้ค่าแรงดึงที่มีค่าความผิดพลาด 13.787 เปอร์เซ็นต์ หรือมีค่าแรงดึงผิดพลาดอยู่ +1.378 กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์เหนียวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ หรือ โซลิตสเตรดที่ Sampling Rate Times ต่างๆถือว่ามีค่าผิดพลาดที่น้อยสุดในกรณีของมอเตอร์เหนียวนำ

สำหรับมอเตอร์กระแสตรงพบว่าได้มีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ 0.326 เปอร์เซ็นต์หรือมีค่าแรงดึงผิดพลาดอยู่ -0.033 กิโลกรัม ซึ่งถือว่ามีค่าผิดพลาดน้อยกว่ามอเตอร์เหนียวนำ และมีค่าแรงดึงใกล้เคียงค่าเป้าหมายมากกว่า

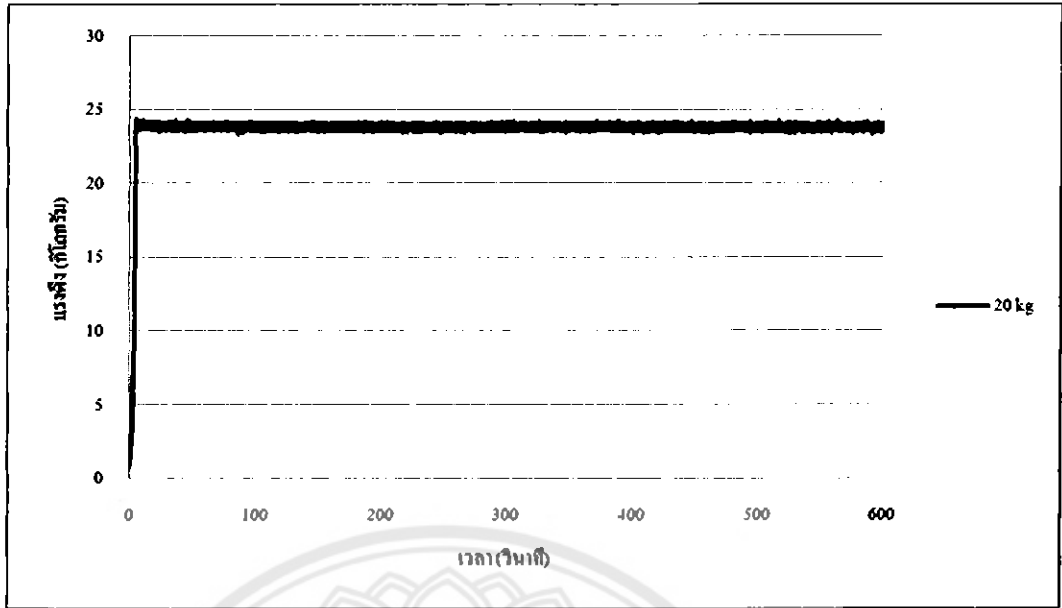
เวลาเข้าที่ (Settling Time) ตามรูปที่ 4.9 และ 4.10 มอเตอร์เหนียวนำที่ควบคุมด้วยโซลิตสเตรดใช้เวลาเข้าที่อยู่ที่ 3.9 วินาที ส่วนมอเตอร์กระแสตรงใช้เวลาเข้าที่อยู่ที่ 70 วินาที จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามอเตอร์เหนียวนำใช้เวลาเข้าที่น้อยกว่ามอเตอร์กระแสตรง



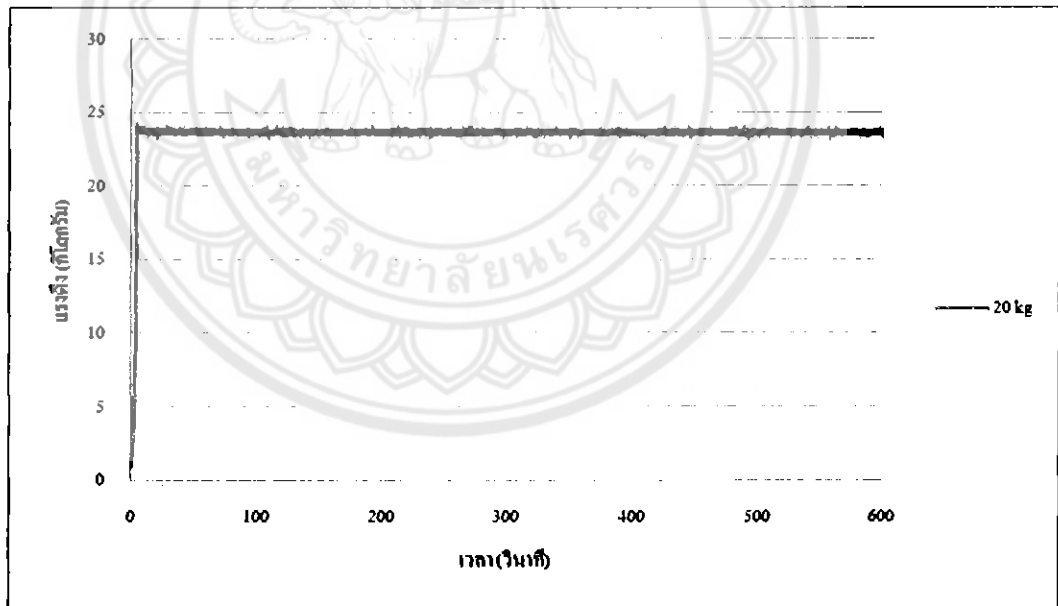
4.3.2. ผลการทดลองแรงดึงที่ค่าเป้าหมาย 20 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนียวนำและมอเตอร์  
กระแสตรง

ตารางที่ 4.3 แรงดึงเฉลี่ยที่ค่าเป้าหมาย 20 กิโลกรัม

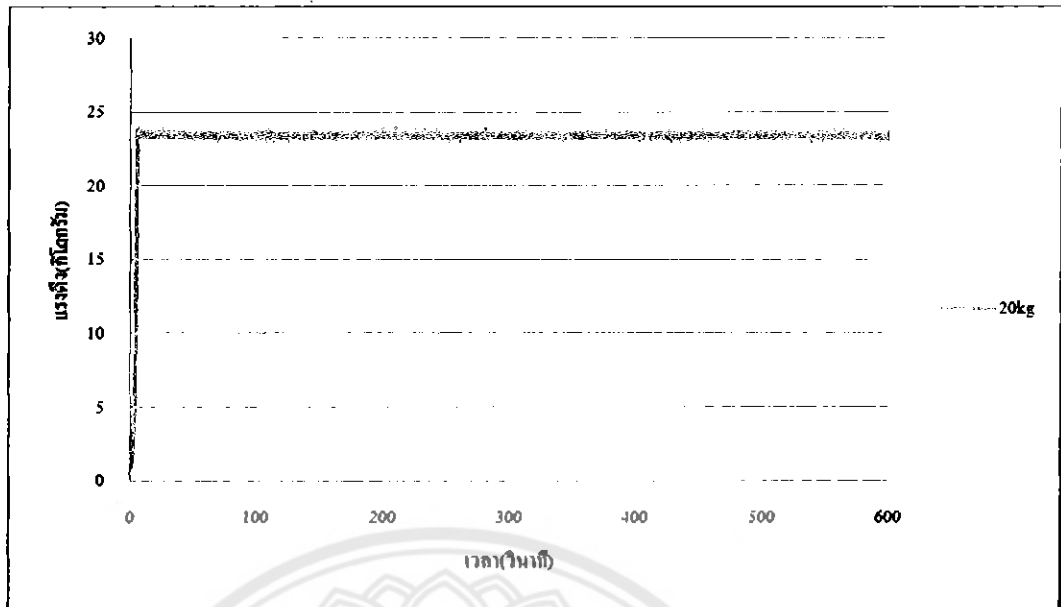
จำนวนการทดลอง	มอเตอร์เหนียวนำ				มอเตอร์ กระแสตรง
	รีเลย์ควบคุม		โซลิตสเตต		
	T = 10 ms	T = 100 ms	T = 10 ms	T = 100 ms	
ครั้งที่ 1	24.094	23.567	23.495	23.143	19.927
ครั้งที่ 2	23.984	23.801	23.551	24.218	19.941
ครั้งที่ 3	23.196	24.463	23.344	23.284	19.839
ครั้งที่ 4	23.266	23.367	23.297	23.178	19.839
ครั้งที่ 5	23.430	22.018	23.741	24.185	19.894
ครั้งที่ 6	23.703	24.785	23.694	24.417	19.898
ครั้งที่ 7	24.487	23.855	23.190	24.885	19.915
ครั้งที่ 8	24.241	23.521	23.210	24.423	19.948
ครั้งที่ 9	23.976	23.521	22.986	23.662	19.934
ครั้งที่ 10	23.731	23.378	23.408	24.348	19.915
ค่าเฉลี่ย	23.811	23.628	23.391	23.974	19.905
%ความผิดพลาด	19.056	18.140	16.959	19.874	0.472



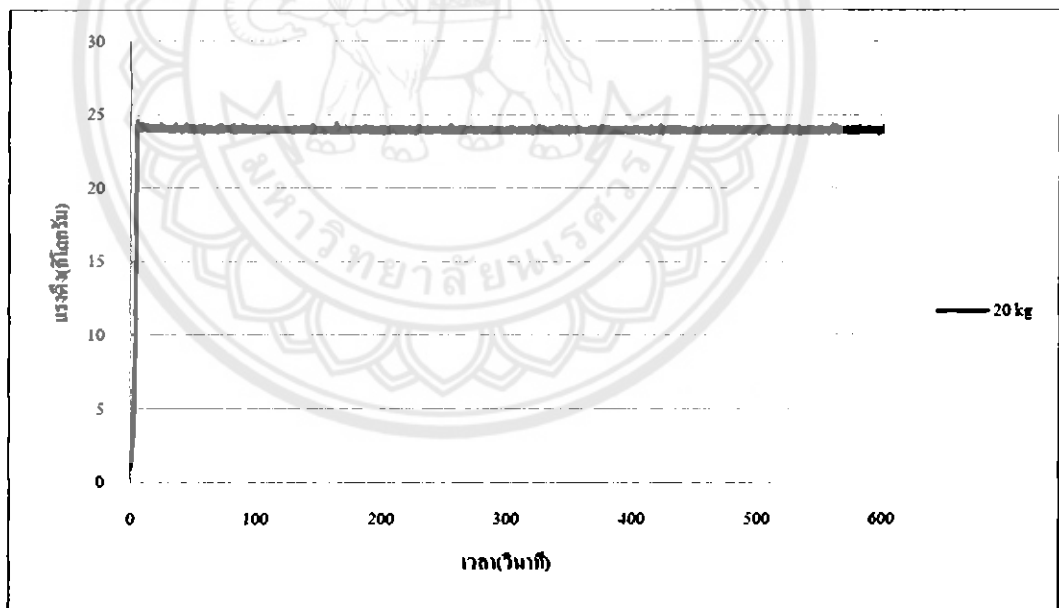
รูปที่ 4.11 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ ( $T = 10$  ms)  
ค่าเป้าหมาย 20 กิโลกรัม



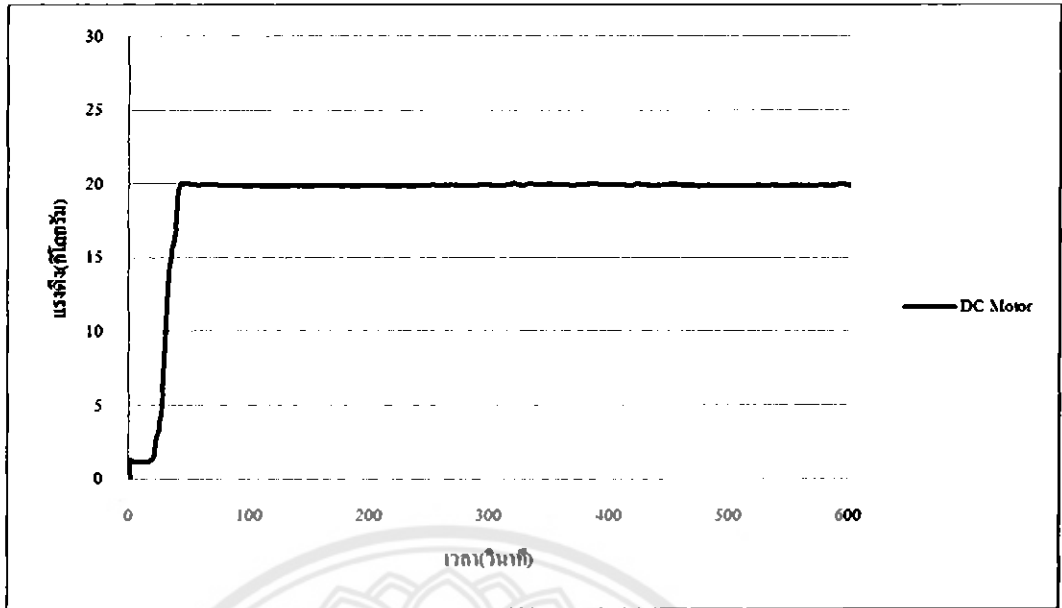
รูปที่ 4.12 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ ( $T = 100$  ms)  
ค่าเป้าหมาย 20 กิโลกรัม



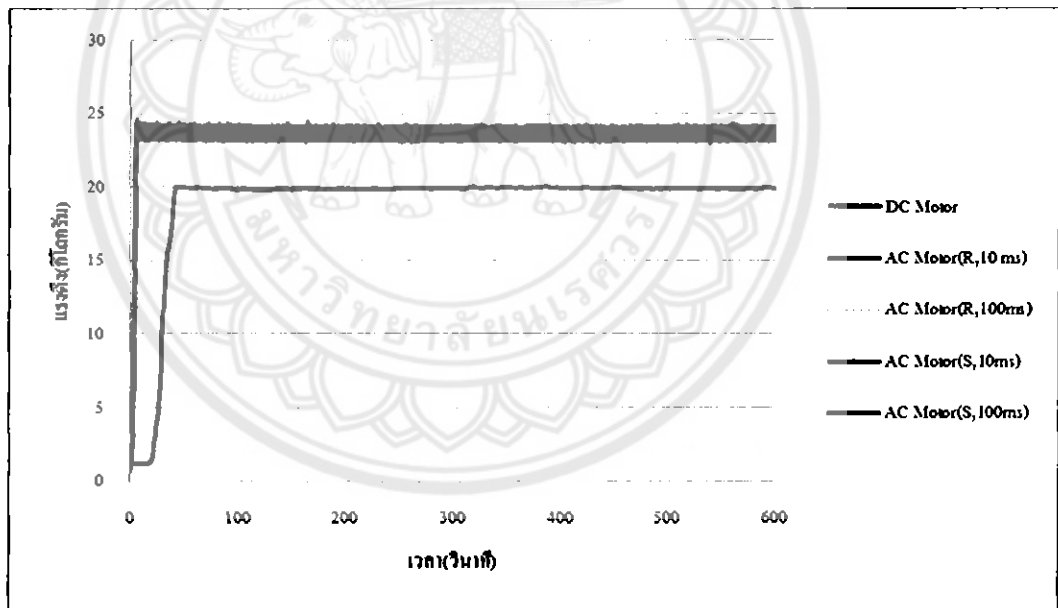
รูปที่ 4.13 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยโซลิตสแตต ( $T = 10$  ms)  
ค่าเป้าหมาย 20 กิโลกรัม



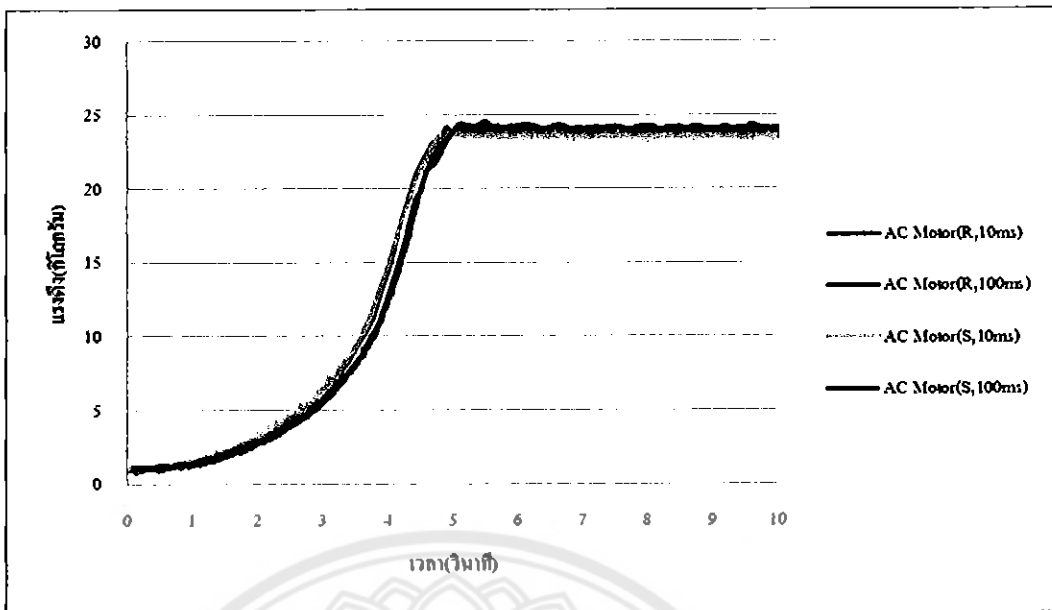
รูปที่ 4.14 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยโซลิตสแตต ( $T = 100$  ms)  
ค่าเป้าหมาย 20 กิโลกรัม



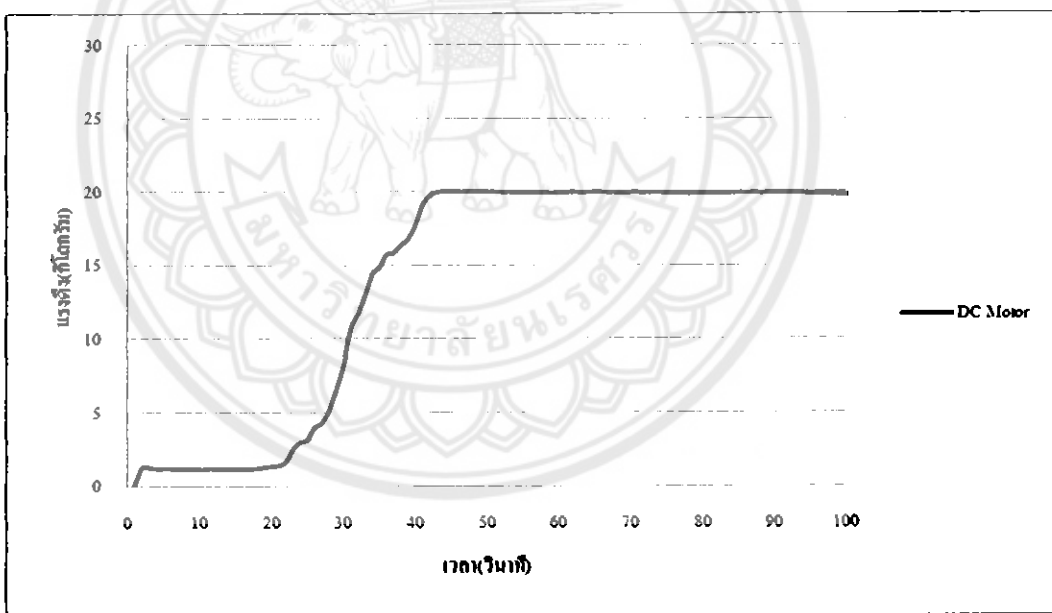
รูปที่ 4.15 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์กระแสตรงที่ค่าเป้าหมาย 20 กิโลกรัม



รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบแรงดึงระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำกับมอเตอร์กระแสตรง  
ค่าเป้าหมาย 20 กิโลกรัม



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงเวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายที่ 20 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงเวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายที่ 20 กิโลกรัมของมอเตอร์กระแสตรง

ตารางที่ 4.4 เวลาเข้าถึงค่าเป้าหมาย 20 กิโลกรัม

ชนิดของมอเตอร์			แรงดึงเฉลี่ย (กิโลกรัม)	เวลาเข้าที่ (วินาที)	%ความ ผิดพลาด (กิโลกรัม)
มอเตอร์ เหนียวนำ	รีเลย์ควบคุม	T = 10 ms	23.811	4.76	19.056(+3.811)
		T = 100 ms	23.628	4.60	18.140(+3.628)
	โซลิดสเตต	T = 10 ms	23.391	4.56	16.959(+3.391)
		T = 100 ms	23.974	4.90	19.874(+3.974)
มอเตอร์กระแสตรง			19.905	40.00	0.472(-0.095)

จากตารางที่ 4.3 และกราฟดังรูปที่ 4.11 - 4.15 เป็นการแสดงค่าแรงดึงเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองทั้งหมดสิบครั้งของมอเตอร์ทั้งสองชนิดที่ค่าเป้าหมาย 20 กิโลกรัม พบว่ามอเตอร์เหนียวนำที่ควบคุมการทำงานด้วยโซลิดสเตตที่ Sampling Rate Times = 10 ms ให้ค่าแรงดึงที่มีค่าความผิดพลาด 16.959 เปอร์เซ็นต์ หรือมีค่าแรงดึงผิดพลาดอยู่ +3.391 กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์เหนียวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ หรือโซลิดสเตตที่ Sampling Rate Times ต่างๆถือว่ามีค่าผิดพลาดที่น้อยสุดในกรณีของมอเตอร์เหนียวนำ

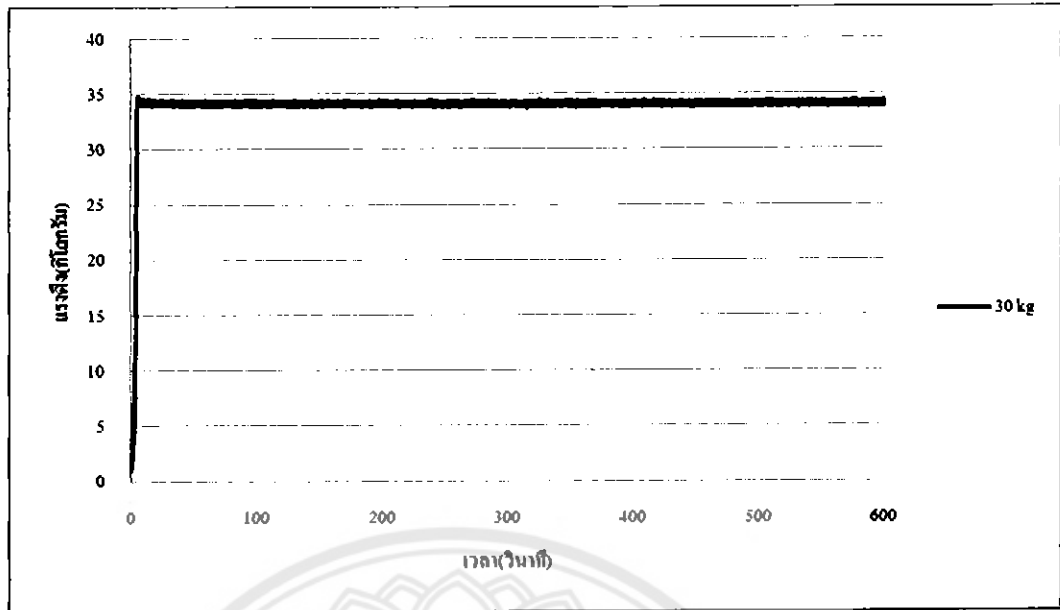
สำหรับมอเตอร์กระแสตรงพบว่าได้มีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ 0.472 เปอร์เซ็นต์หรือมีค่าแรงดึงผิดพลาดอยู่ -0.095 กิโลกรัม ซึ่งถือว่ามีค่าผิดพลาดน้อยกว่ามอเตอร์เหนียวนำ และมีค่าแรงดึงใกล้เคียงค่าเป้าหมายมากกว่า

เวลาเข้าที่ (Settling Time) ตามรูปที่ 4.17 และ 4.18 มอเตอร์เหนียวนำที่ควบคุมด้วยโซลิดสเตตใช้เวลาเข้าที่อยู่ที่ 4.56 วินาที ส่วนมอเตอร์กระแสตรงใช้เวลาเข้าที่อยู่ที่ 40 วินาที จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามอเตอร์เหนียวนำใช้เวลาเข้าที่น้อยกว่ามอเตอร์กระแสตรง

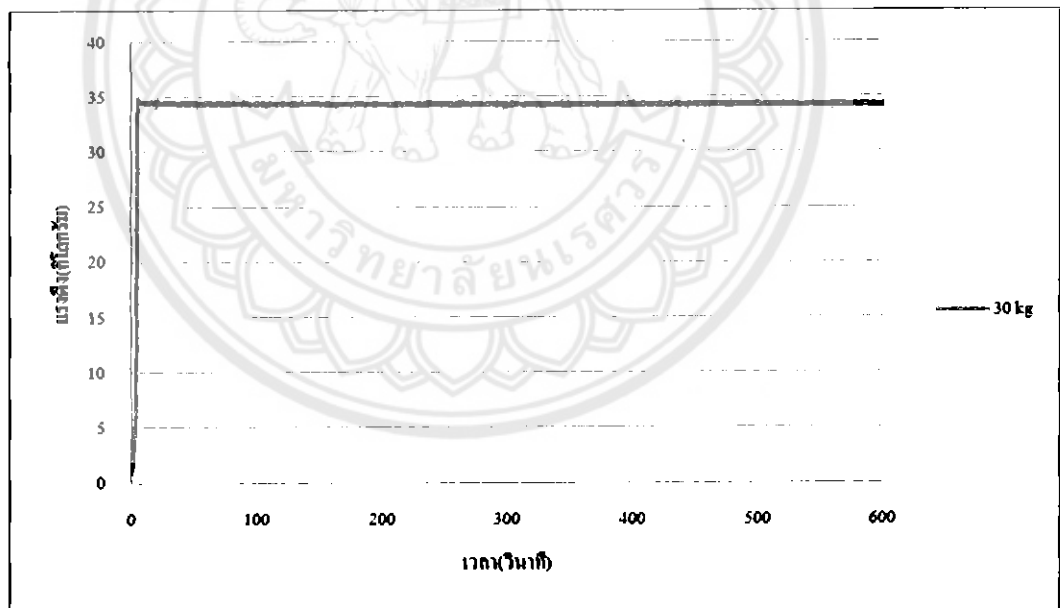
4.3.3. ผลการทดลองแรงดึงที่ค่าเป้าหมาย 30 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำและมอเตอร์  
กระแสตรง

ตารางที่ 4.5 ผลแรงดึงเฉลี่ยที่ค่าเป้าหมาย 30 กิโลกรัม

จำนวนการทดลอง	มอเตอร์เหนี่ยวนำ				มอเตอร์ กระแสตรง
	รีเลย์ควบคุม		โซลิดสเตต		
	T = 10 ms	T = 100 ms	T = 10 ms	T = 100 ms	
ครั้งที่ 1	33.827	34.280	33.401	33.777	29.937
ครั้งที่ 2	34.065	34.749	34.179	34.857	30.027
ครั้งที่ 3	33.800	35.422	34.437	35.244	29.907
ครั้งที่ 4	34.121	35.273	34.354	35.023	30.064
ครั้งที่ 5	34.177	33.967	34.119	34.183	30.013
ครั้งที่ 6	34.179	35.345	33.856	34.637	29.883
ครั้งที่ 7	34.457	32.484	34.149	34.721	29.991
ครั้งที่ 8	33.853	34.431	34.124	34.351	29.910
ครั้งที่ 9	34.345	33.366	34.412	34.853	29.773
ครั้งที่ 10	33.887	33.733	33.440	34.420	29.953
ค่าเฉลี่ย	34.071	34.305	34.047	34.607	29.946
%ความผิดพลาด	13.571	14.351	13.491	15.356	0.179

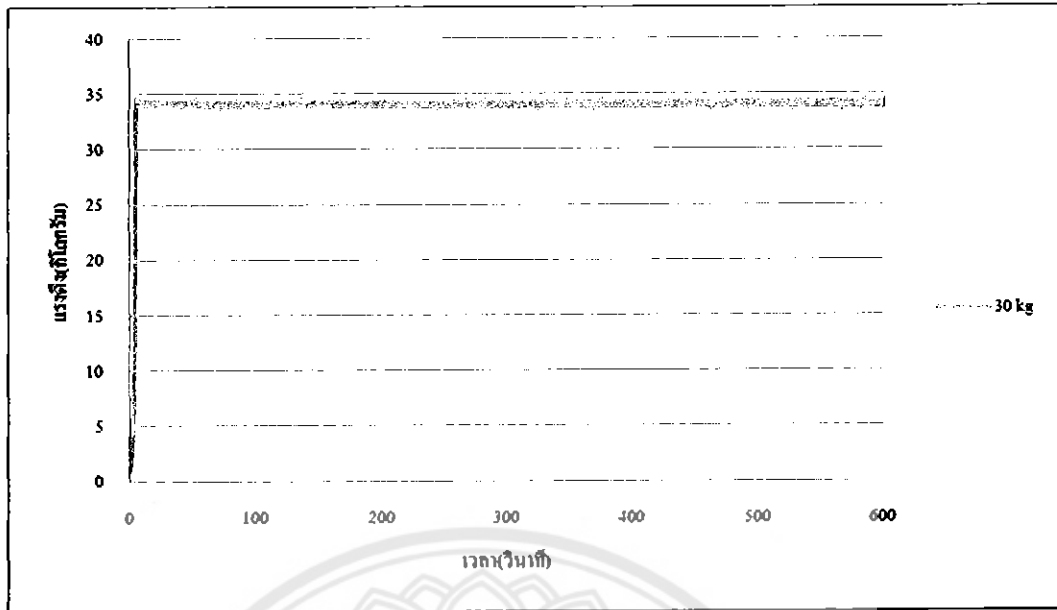


รูปที่ 4.19 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ ( $T = 10$  ms)  
ค่าเป้าหมาย 30 กิโลกรัม

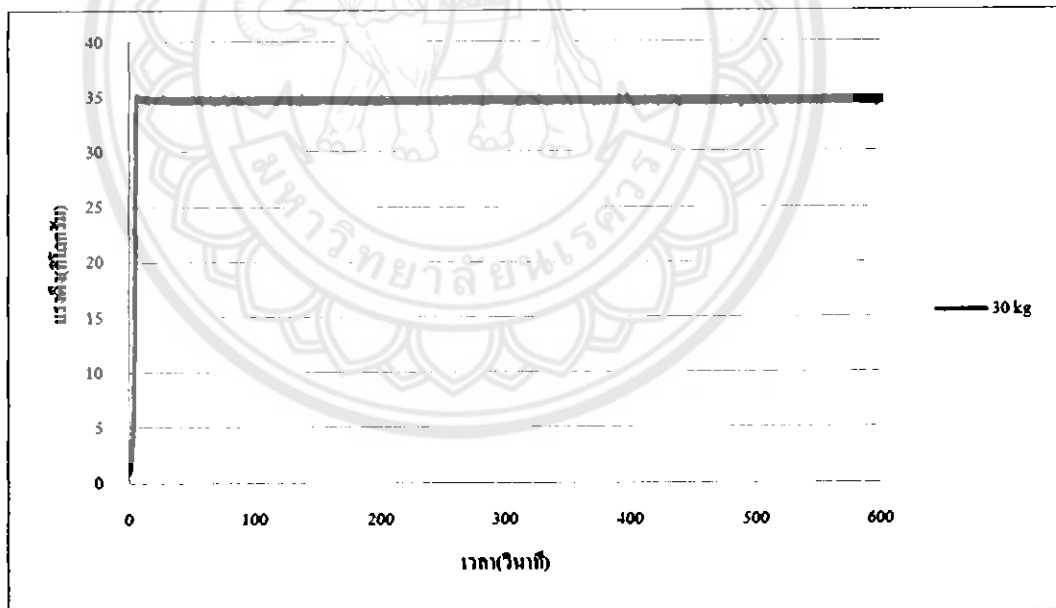


รูปที่ 4.20 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ ( $T = 100$  ms)  
ค่าเป้าหมาย 30 กิโลกรัม

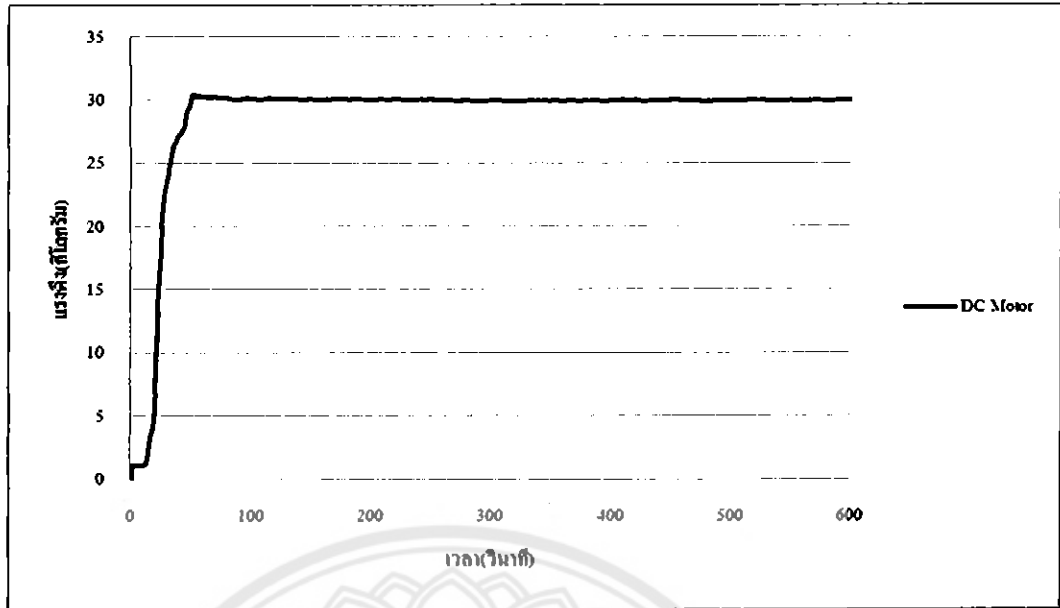




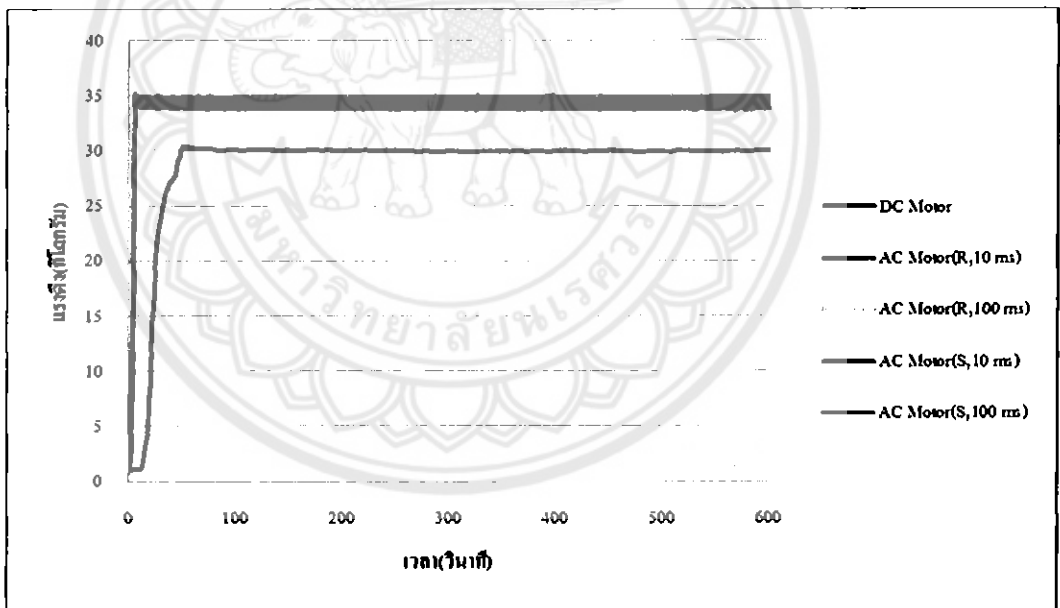
รูปที่ 4.21 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยโซลิตสแตต ( $T = 10$  ms)  
ค่าเป้าหมาย 30 กิโลกรัม



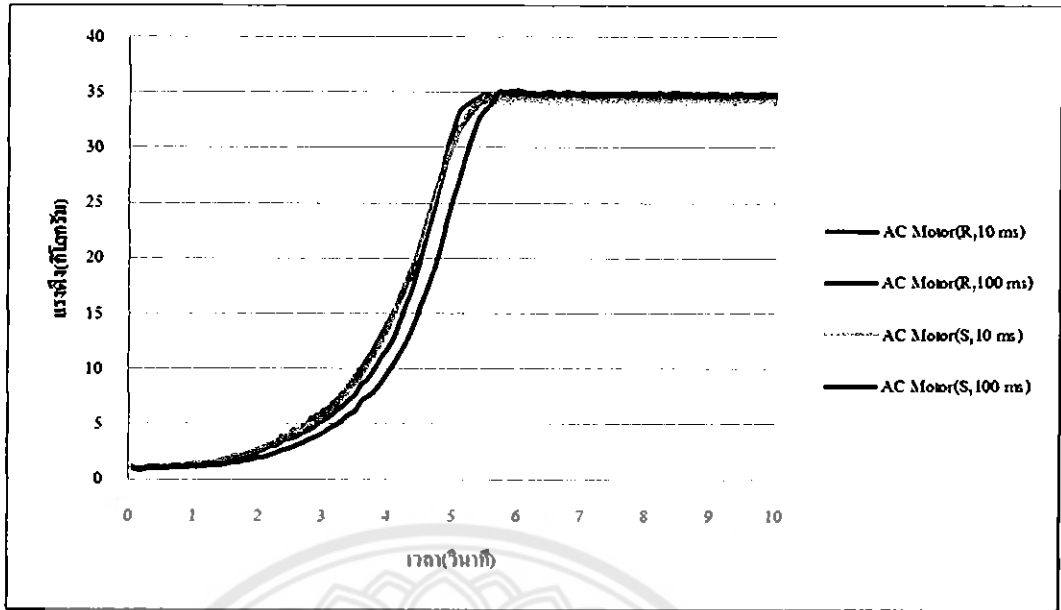
รูปที่ 4.22 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยโซลิตสแตต ( $T = 100$  ms)  
ค่าเป้าหมาย 30 กิโลกรัม



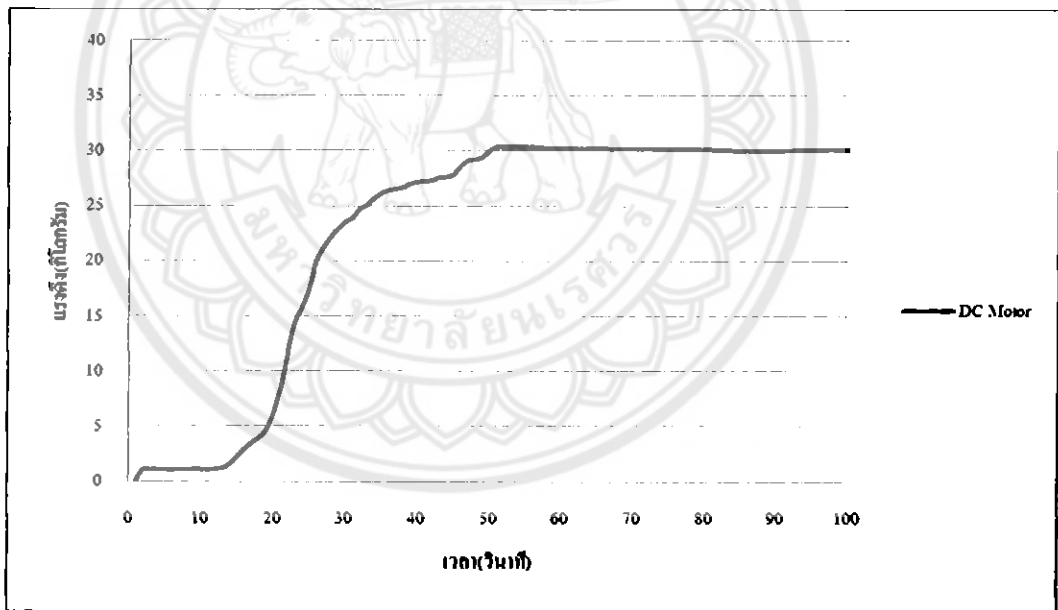
รูปที่ 4.23 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์กระแสตรงที่ค่าเป้าหมาย 30 กิโลกรัม



รูปที่ 4.24 กราฟเปรียบเทียบแรงดึงระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำกับมอเตอร์กระแสตรง ค่าเป้าหมาย 30 กิโลกรัม



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงเวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายที่ 30 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงเวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายที่ 30 กิโลกรัมของมอเตอร์กระแสตรง

ตารางที่ 4.6 เวลาเข้าถึงค่าเป้าหมาย 30 กิโลกรัม

ชนิดของมอเตอร์			แรงดึงเฉลี่ย (กิโลกรัม)	เวลาเข้าที่ (วินาที)	%ความ ผิดพลาด (กิโลกรัม)
มอเตอร์ เหนี่ยวนำ	รีเลย์ควบคุม	T = 10 ms	34.071	5.11	13.571(+4.071)
		T = 100 ms	34.305	5.17	14.351(+4.305)
	โซลิดสเตต	T = 10 ms	34.047	5.10	13.491(+4.047)
		T = 100 ms	34.607	5.50	15.356(+4.607)
มอเตอร์กระแสตรง			29.946	45.00	0.179(-0.054)

จากตารางที่ 4.5 และกราฟดังรูปที่ 4.19 - 4.23 เป็นการแสดงค่าแรงดึงเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองทั้งหมดสิบครั้งของมอเตอร์ทั้งสองชนิดที่ค่าเป้าหมาย 30 กิโลกรัม พบว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมการทำงานด้วย โซลิดสเตตที่ Sampling Rate Times = 10 ms ให้ค่าแรงดึงที่มีค่าความผิดพลาด 13.491 เปอร์เซ็นต์ หรือมีค่าแรงดึงผิดพลาดอยู่ +4.047 กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ หรือโซลิดสเตตที่ Sampling Rate Times ต่างๆถือว่ามีค่าผิดพลาดที่น้อยสุดในกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

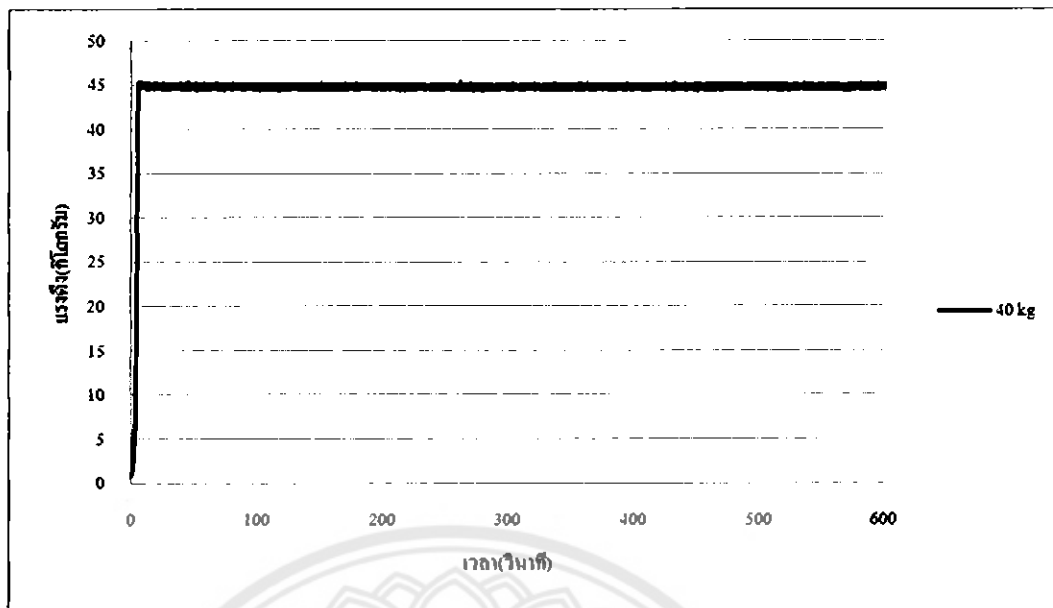
สำหรับมอเตอร์กระแสตรงพบว่าได้มีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ 0.179 เปอร์เซ็นต์หรือมีค่าแรงดึงผิดพลาดอยู่ -0.054 กิโลกรัม ซึ่งถือว่ามีค่าผิดพลาดน้อยกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำ และมีค่าแรงดึงใกล้เคียงค่าเป้าหมายมากกว่า

เวลาเข้าที่ (Settling Time) ตามรูปที่ 4.25 และ 4.26 มอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยโซลิดสเตตใช้เวลาเข้าที่อยู่ที่ 5.10 วินาที ส่วนมอเตอร์กระแสตรงใช้เวลาเข้าที่อยู่ที่ 45 วินาที จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำใช้เวลาเข้าที่น้อยกว่ามอเตอร์กระแสตรง

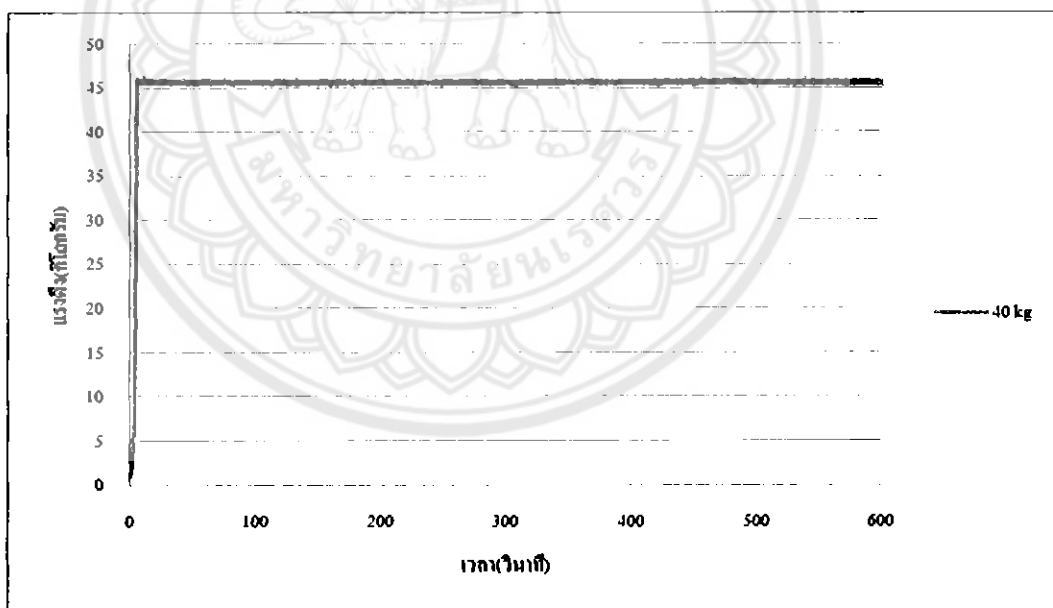
4.3.4. ผลการทดลองแรงดึงที่ค่าเป้าหมาย 40 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำและมอเตอร์  
กระแสตรง

ตารางที่ 4.7 แรงดึงเฉลี่ยที่ค่าเป้าหมาย 40 กิโลกรัม

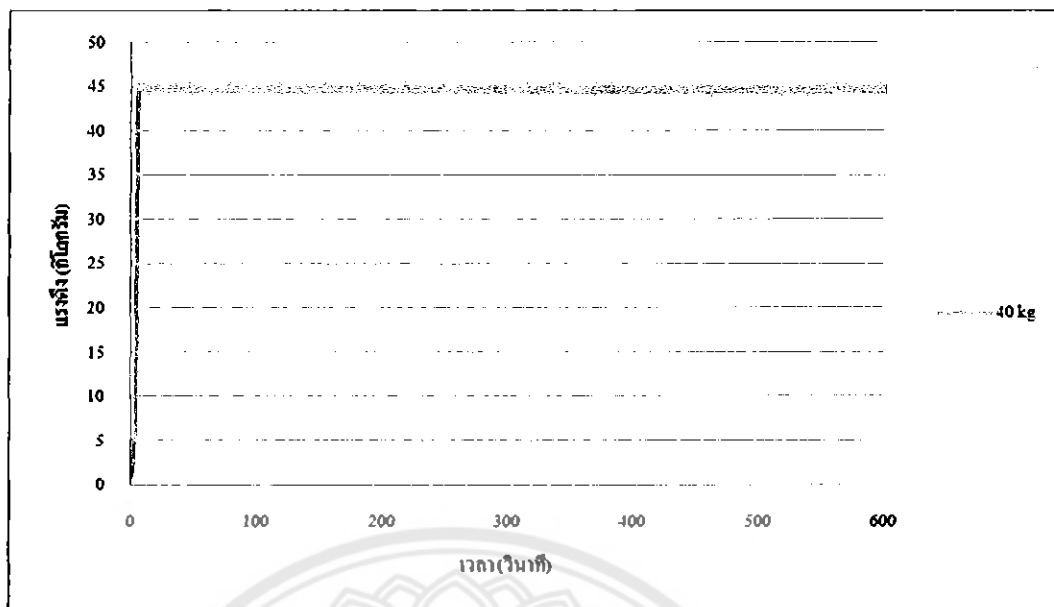
จำนวนการทดลอง	มอเตอร์เหนี่ยวนำ				มอเตอร์ กระแสตรง
	รีเลย์ควบคุม		โซลิตสเตต		
	T = 10 ms	T = 100 ms	T = 10 ms	T = 100 ms	
ครั้งที่ 1	44.321	45.895	45.125	43.615	40.247
ครั้งที่ 2	44.587	46.346	44.532	43.910	40.086
ครั้งที่ 3	44.619	46.112	44.624	44.873	39.957
ครั้งที่ 4	44.358	45.807	45.385	44.991	40.094
ครั้งที่ 5	44.646	46.176	44.326	45.424	39.972
ครั้งที่ 6	44.842	45.536	43.721	44.492	39.956
ครั้งที่ 7	44.986	45.203	44.873	46.098	40.131
ครั้งที่ 8	45.335	45.026	44.653	44.093	39.947
ครั้งที่ 9	45.042	45.606	44.554	44.336	39.971
ครั้งที่ 10	44.942	44.428	44.554	45.791	40.003
ค่าเฉลี่ย	44.768	45.613	44.635	44.762	40.036
%ความผิดพลาด	11.920	14.034	11.588	11.907	0.092



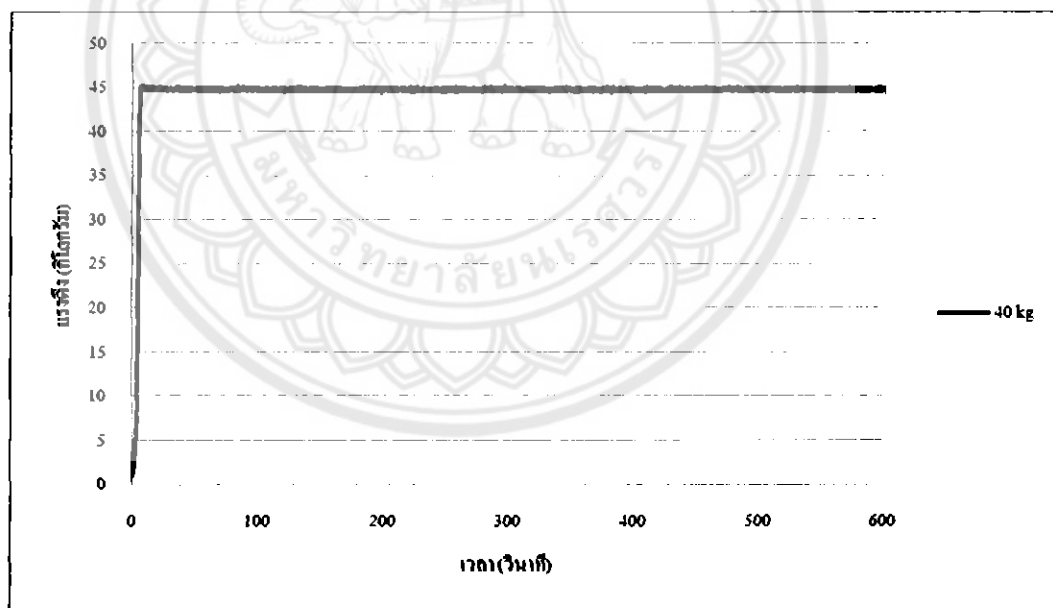
รูปที่ 4.27 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ ( $T = 10$  ms)  
ค่าเป้าหมาย 40 กิโลกรัม



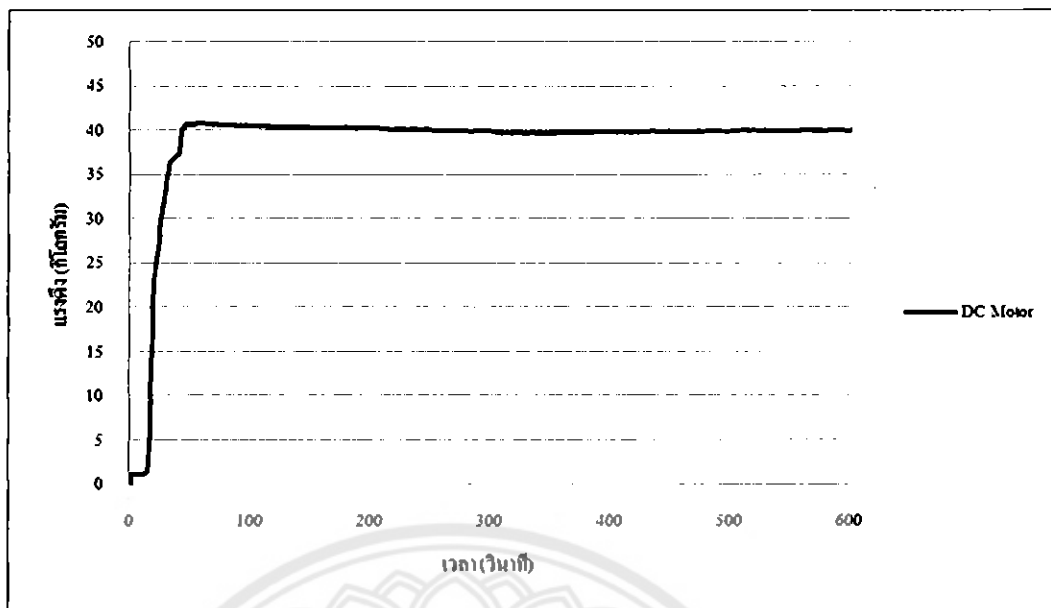
รูปที่ 4.28 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ ( $T = 100$  ms)  
ค่าเป้าหมาย 40 กิโลกรัม



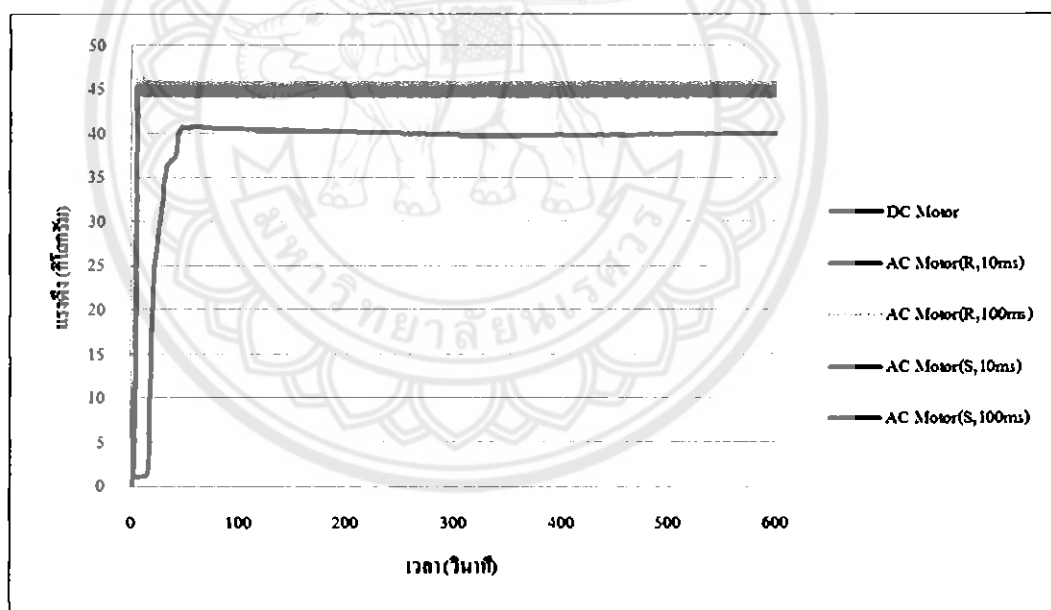
รูปที่ 4.29 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนียวนำที่ควบคุมด้วยโซลิตสแตต ( $T = 10$  ms)  
ค่าเป้าหมาย 40 กิโลกรัม



รูปที่ 4.30 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนียวนำที่ควบคุมด้วยโซลิตสแตต ( $T = 100$  ms)  
ค่าเป้าหมาย 40 กิโลกรัม

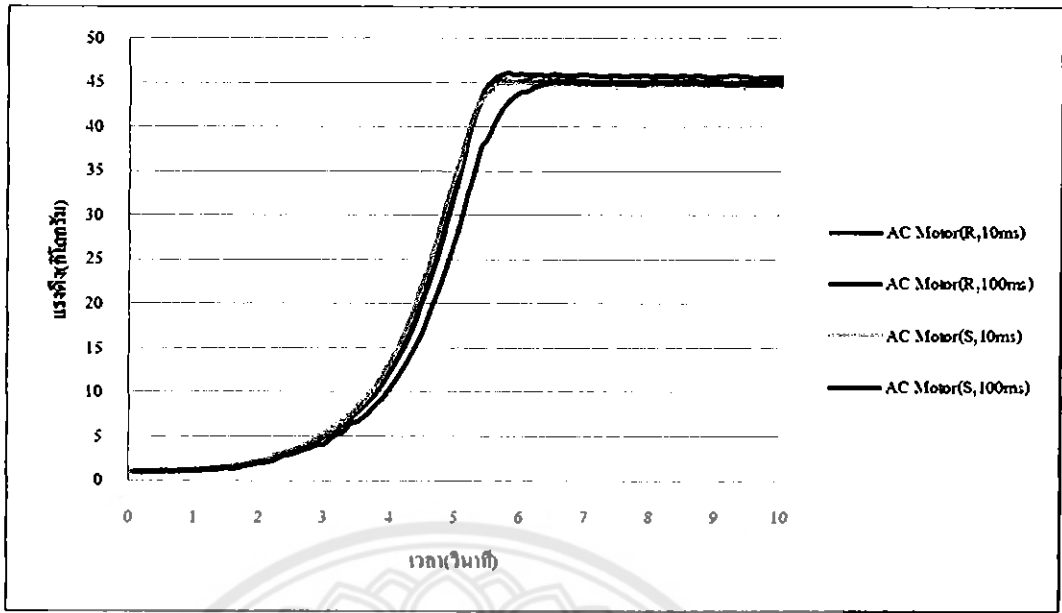


รูปที่ 4.31 กราฟแรงดึงของมอเตอร์กระแสตรงที่ค่าเป้าหมาย 40 กิโลกรัม

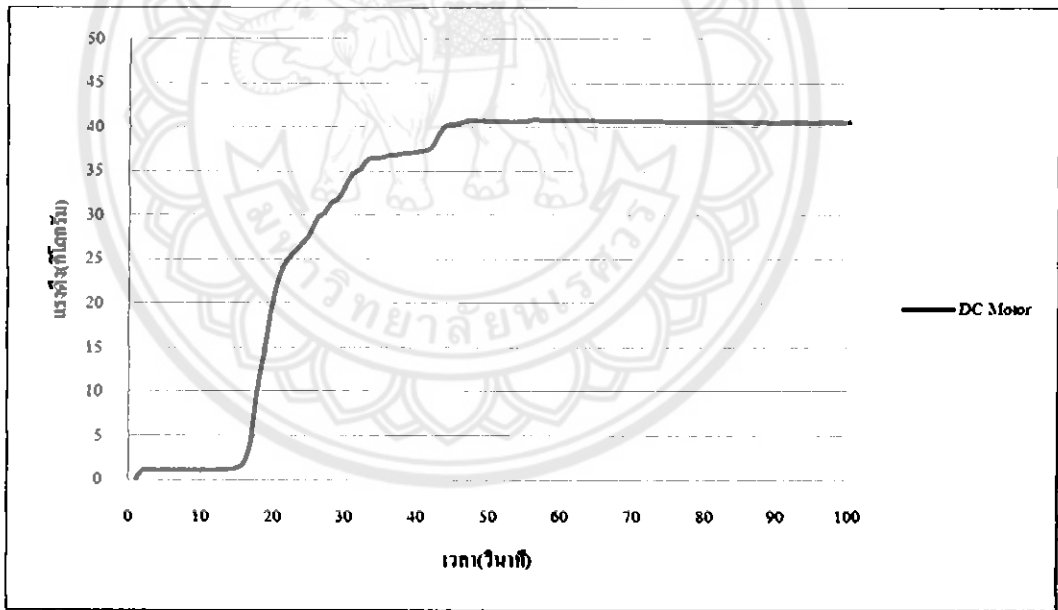


รูปที่ 4.32 กราฟเปรียบเทียบแรงดึงระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำกับมอเตอร์กระแสตรงที่ค่าเป้าหมาย 40 กิโลกรัม





รูปที่ 4.33 กราฟแสดงเวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายที่ 40 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงเวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายที่ 40 กิโลกรัมของมอเตอร์กระแสตรง

ตารางที่ 4.8 เวลาเข้าถึงค่าเป้าหมาย 40 กิโลกรัม

ชนิดของมอเตอร์		แรงดึงเฉลี่ย (กิโลกรัม)	เวลาเข้าที่ (วินาที)	%ความ ผิดพลาด (กิโลกรัม)	
มอเตอร์ เหนี่ยวนำ	รีเลย์ควบคุม	T = 10 ms	44.768	5.40	11.920(+4.768)
		T= 100 ms	45.613	5.50	14.034(+5.613)
	โซลิตสเตรค	T = 10 ms	44.635	5.37	11.588(+4.635)
		T= 100 ms	44.762	5.80	11.907(+4.762)
มอเตอร์กระแสตรง		40.036	48.00	0.092(+0.036)	

จากตารางที่ 4.7 และกราฟดังรูปที่ 4.27 - 4.31 เป็นการแสดงค่าแรงดึงเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองทั้งหมดสิบครั้งของมอเตอร์ทั้งสองชนิดที่ค่าเป้าหมาย 40 กิโลกรัม พบว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมการทำงานด้วยโซลิตสเตรคที่ Sampling Rate Times = 10 ms ให้ค่าแรงดึงที่มีค่าความผิดพลาด 11.588 เปอร์เซ็นต์ หรือมีค่าแรงดึงผิดพลาดอยู่ +4.635 กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ หรือ โซลิตสเตรคที่ Sampling Rate Times ต่างๆ ถือว่ามีค่าผิดพลาดที่น้อยสุดในกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

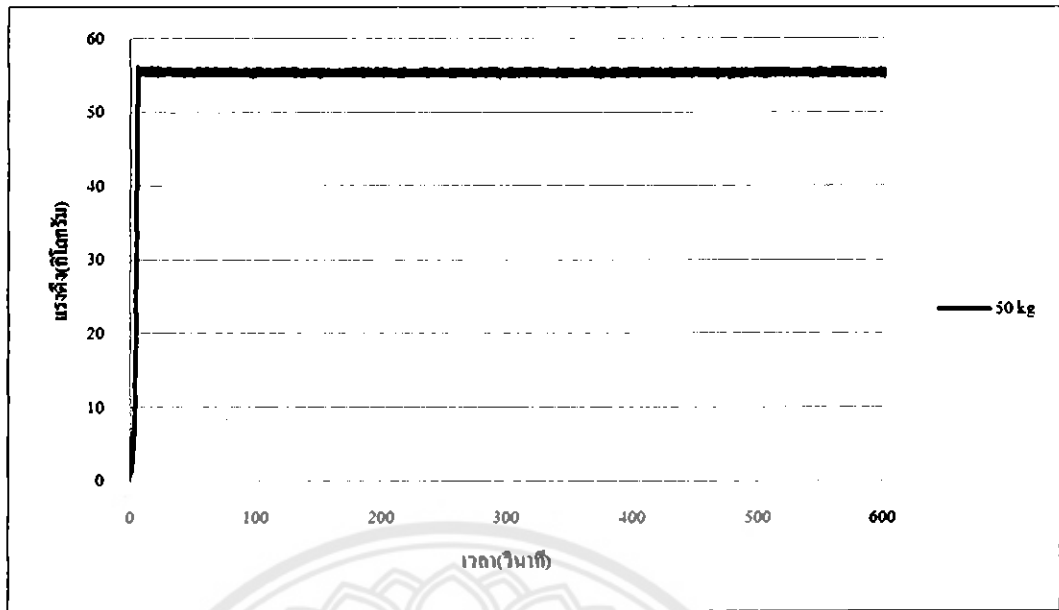
สำหรับมอเตอร์กระแสตรงพบว่า ได้มีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ 0.092 เปอร์เซ็นต์หรือมีค่าแรงดึงผิดพลาดอยู่ +0.036 กิโลกรัม ซึ่งถือว่ามีค่าผิดพลาดน้อยกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำ และมีค่าแรงดึงใกล้เคียงค่าเป้าหมายมากกว่า

เวลาเข้าที่ (Settling Time) ตามรูปที่ 4.33 และ 4.34 มอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยโซลิตสเตรคใช้เวลาเข้าที่อยู่ที่ 5.37 วินาที ส่วนมอเตอร์กระแสตรงใช้เวลาเข้าที่อยู่ที่ 48 วินาที จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำใช้เวลาเข้าที่น้อยกว่ามอเตอร์กระแสตรง

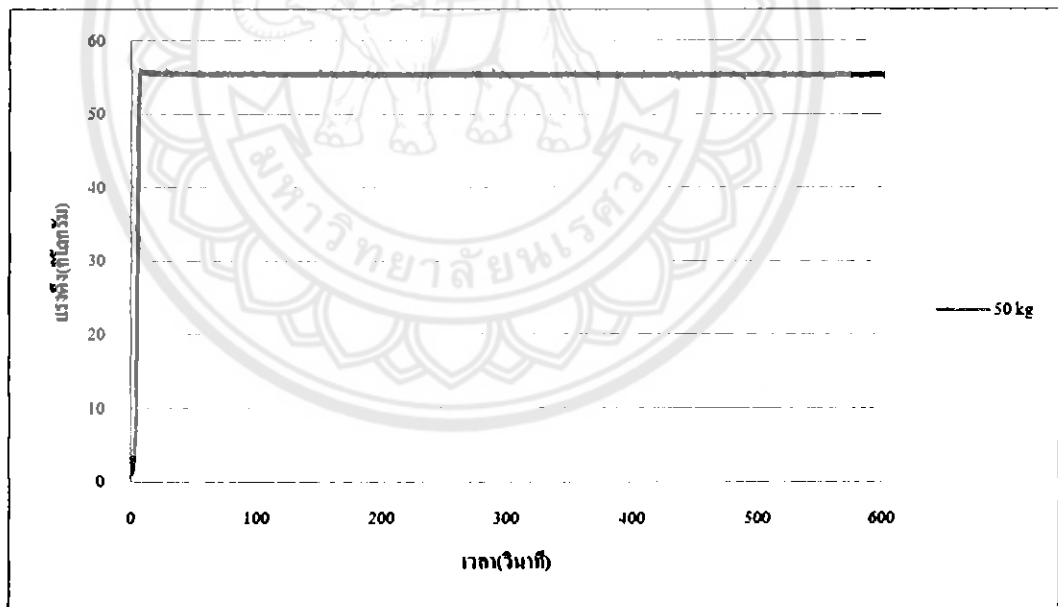
4.3.5. ผลการทดลองแรงดึงที่ค่าเป้าหมาย 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำและมอเตอร์  
กระแสตรง

ตารางที่ 4.9 แรงดึงเฉลี่ยที่ค่าเป้าหมาย 50 กิโลกรัม

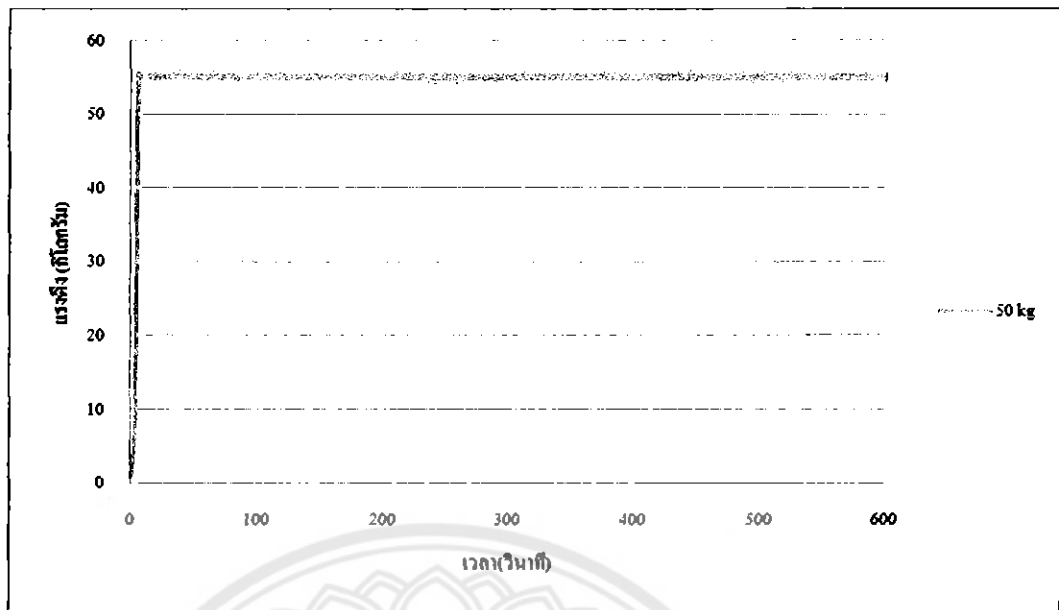
จำนวนการทดลอง	มอเตอร์เหนี่ยวนำ				มอเตอร์ กระแสตรง
	รีเลย์ควบคุม		โซลิดสเตต		
	T = 10 ms	T = 100 ms	T = 10 ms	T = 100 ms	
ครั้งที่ 1	54.987	54.973	54.841	54.895	50.102
ครั้งที่ 2	55.570	55.614	54.527	56.017	50.057
ครั้งที่ 3	55.492	55.505	54.824	56.277	49.784
ครั้งที่ 4	55.791	56.475	55.553	54.971	49.931
ครั้งที่ 5	55.184	54.991	54.514	55.513	49.923
ครั้งที่ 6	55.376	54.818	55.525	53.998	49.862
ครั้งที่ 7	54.805	54.881	55.064	56.903	49.814
ครั้งที่ 8	55.235	55.918	54.871	55.246	49.827
ครั้งที่ 9	55.861	55.505	54.905	54.834	49.737
ครั้งที่ 10	55.139	54.958	55.465	55.494	49.715
ค่าเฉลี่ย	55.344	55.364	55.009	55.415	49.875
%ความผิดพลาด	10.686	10.728	10.018	10.830	0.248



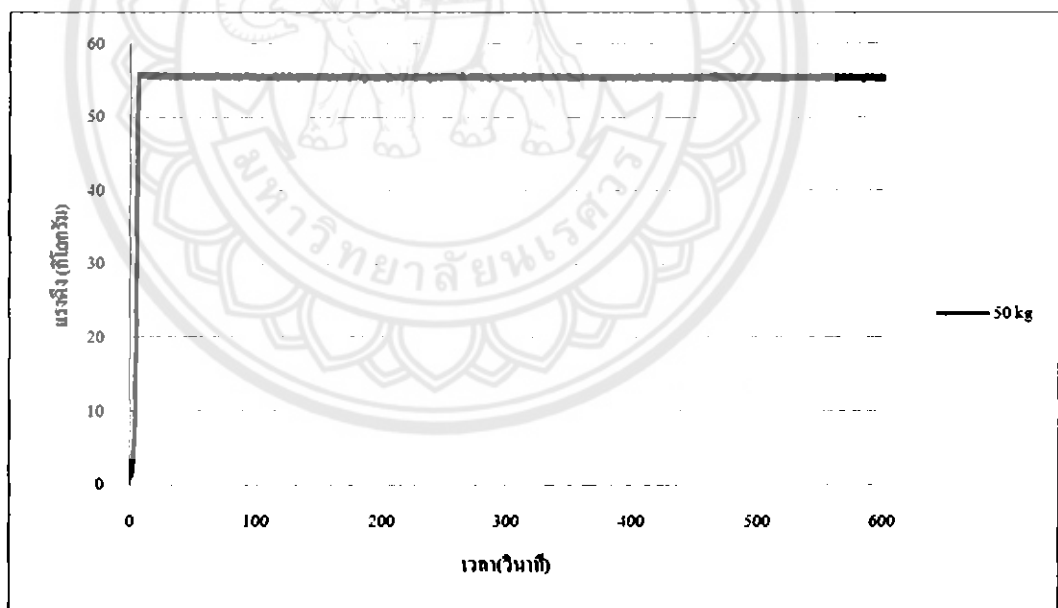
รูปที่ 4.35 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ ( $T = 10 \text{ ms}$ )  
ที่ค่าเป้าหมาย 50 กิโลกรัม



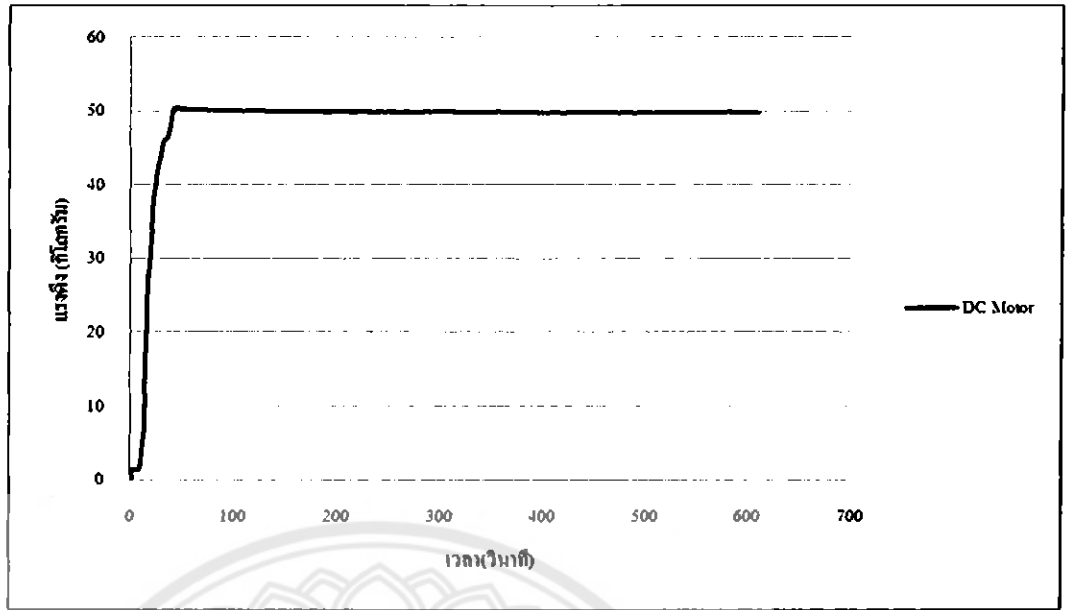
รูปที่ 4.36 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ ( $T = 100 \text{ ms}$ )  
ที่ค่าเป้าหมาย 50 กิโลกรัม



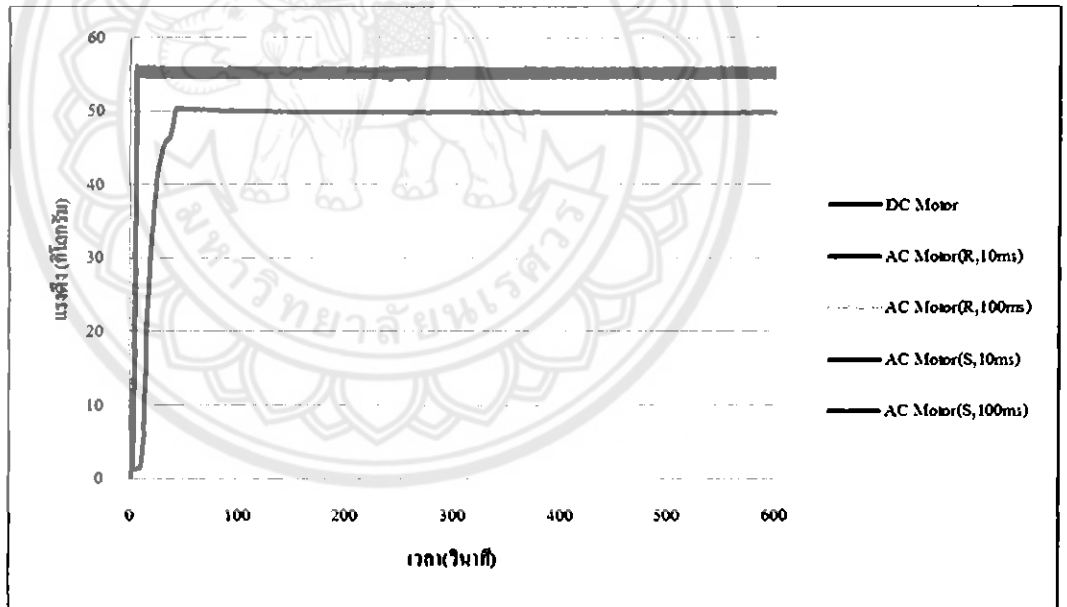
รูปที่ 4.37 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยโซลิตสแตต ( $T = 10$  ms)  
ค่าเป้าหมาย 50 กิโลกรัม



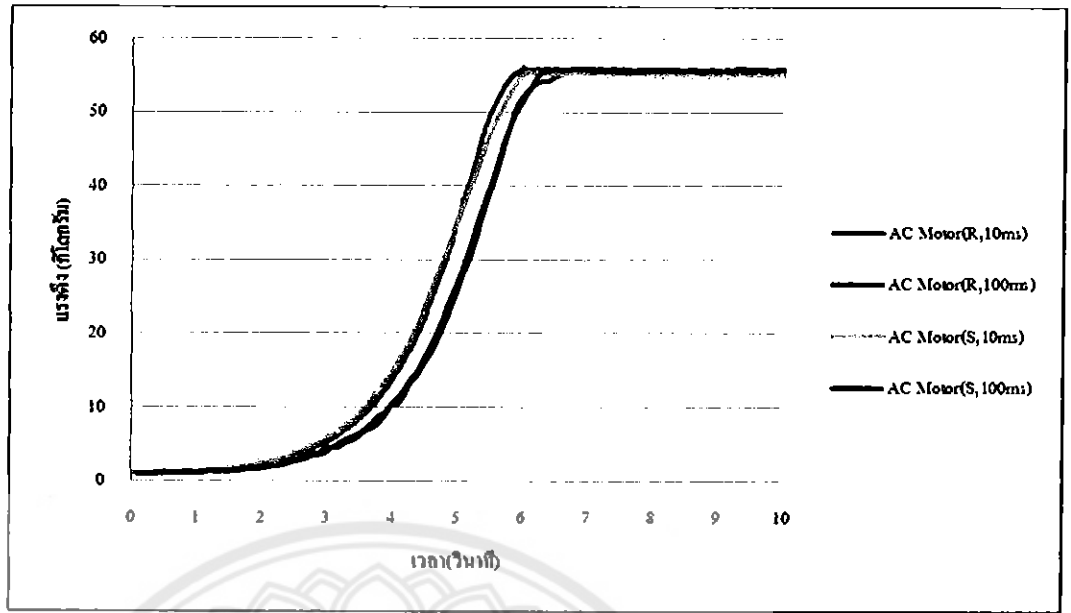
รูปที่ 4.38 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยโซลิตสแตต ( $T = 100$  ms)  
ค่าเป้าหมาย 50 กิโลกรัม



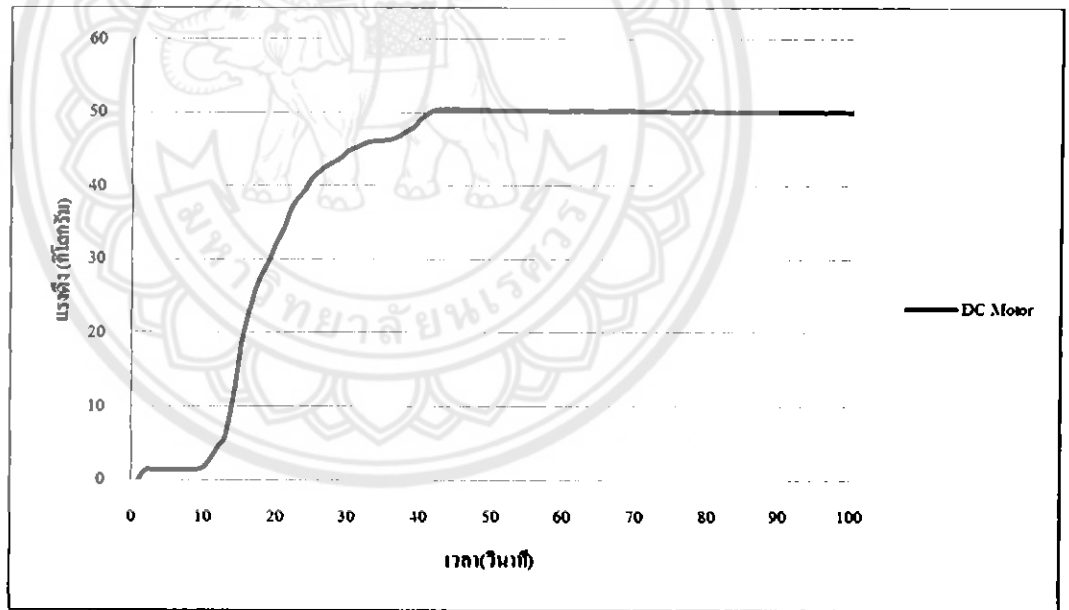
รูปที่ 4.39 กราฟแรงดึงเฉลี่ยของมอเตอร์กระแสตรงที่ค่าเป้าหมาย 50 กิโลกรัม



รูปที่ 4.40 กราฟเปรียบเทียบแรงดึงระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำกับมอเตอร์กระแสตรงที่ค่าเป้าหมาย 50 กิโลกรัม



รูปที่ 4.41 กราฟแสดงเวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายที่ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 4.42 กราฟแสดงเวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายที่ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์กระแสตรง

ตารางที่ 4.10 เวลาเข้าถึงค่าเป้าหมาย 50 กิโลกรัม

ชนิดของมอเตอร์		แรงดึงเฉลี่ย (กิโลกรัม)	เวลาเข้าที่ (วินาที)	%ความ ผิดพลาด (กิโลกรัม)	
มอเตอร์ เหนียวนำ	รีเลย์ควบคุม	T = 10 ms	55.344	6.10	10.689(+5.344)
		T = 100 ms	55.364	6.12	10.728(+5.364)
	โซลิดสเตต	T = 10 ms	55.009	5.66	10.018(+5.009)
		T = 100 ms	55.415	5.18	10.830(+5.415)
มอเตอร์กระแสตรง		49.875	42.00	0.248(-0.125)	

จากตารางที่ 4.9 และกราฟดังรูปที่ 4.35 – 4.40 เป็นการแสดงค่าแรงดึงเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองทั้งหมดสิบครั้งของมอเตอร์ทั้งสองชนิดที่ค่าเป้าหมาย 50 กิโลกรัม พบว่ามอเตอร์เหนียวนำที่ควบคุมการทำงานด้วยโซลิดสเตตที่ Sampling Rate Times = 10 ms ให้ค่าแรงดึงที่มีค่าความผิดพลาด 10.018 เปอร์เซ็นต์ หรือมีค่าแรงดึงผิดพลาดอยู่ +5.009 กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์เหนียวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ หรือ โซลิดสเตตที่ Sampling Rate Times ต่างๆถือว่ามีค่าผิดพลาดที่น้อยสุดในกรณีของมอเตอร์เหนียวนำ

สำหรับมอเตอร์กระแสตรงพบว่า ได้มีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ 0.248 เปอร์เซ็นต์หรือมีค่าแรงดึงผิดพลาดอยู่ -0.125 กิโลกรัม ซึ่งถือว่ามีค่าผิดพลาดน้อยกว่ามอเตอร์เหนียวนำ และมีค่าแรงดึงใกล้เคียงค่าเป้าหมายมากกว่า

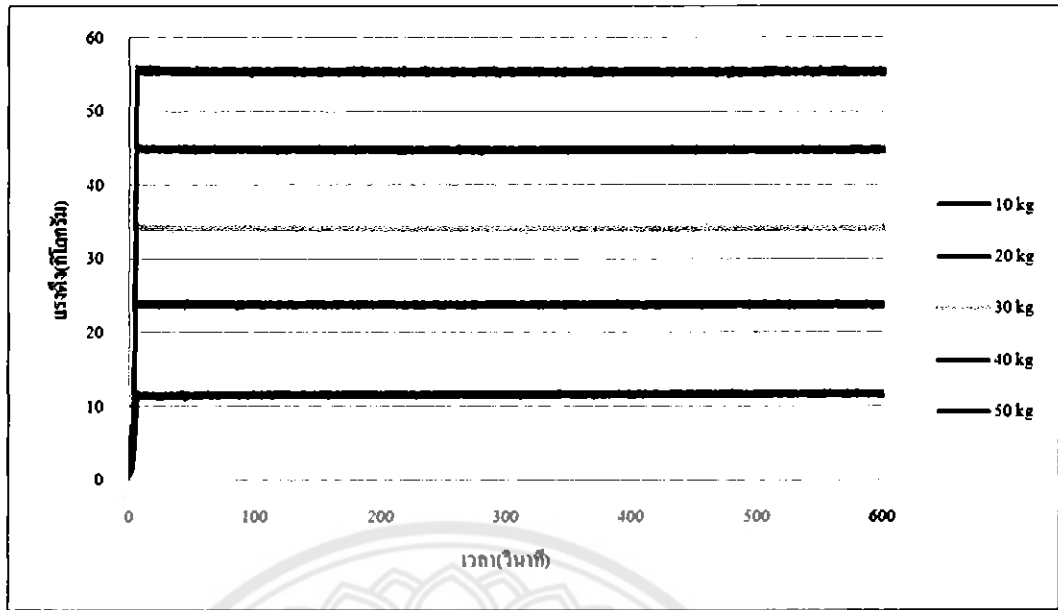
เวลาเข้าที่ (Settling Time) ตามรูปที่ 4.41 และ 4.42 มอเตอร์เหนียวนำที่ควบคุมด้วยโซลิดสเตตใช้เวลาเข้าที่อยู่ที่ 5.66 วินาที ส่วนมอเตอร์กระแสตรงใช้เวลาเข้าที่อยู่ที่ 42 วินาที จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามอเตอร์เหนียวนำใช้เวลาเข้าที่น้อยกว่ามอเตอร์กระแสตรง



4.3.6. ผลการทดลองแรงดึงที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ และมอเตอร์กระแสตรง

ตารางที่ 4.11 แรงดึงเฉลี่ยที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 10 ms

จำนวนการทดลอง	10 kg	20 kg	30 kg	40 kg	50 kg
ครั้งที่ 1	11.526	24.094	33.827	44.321	54.987
ครั้งที่ 2	11.490	23.984	34.065	44.587	55.570
ครั้งที่ 3	11.558	23.196	33.800	44.619	55.492
ครั้งที่ 4	11.532	23.266	34.121	44.358	55.791
ครั้งที่ 5	11.553	23.430	34.177	44.646	55.184
ครั้งที่ 6	11.626	23.703	34.179	44.842	55.376
ครั้งที่ 7	11.672	24.487	34.457	44.986	54.805
ครั้งที่ 8	11.786	24.241	33.853	45.335	55.235
ครั้งที่ 9	11.628	23.976	34.345	45.042	55.861
ครั้งที่ 10	11.642	23.731	33.887	44.942	55.139
ค่าเฉลี่ย	11.601	23.811	34.071	44.768	55.344
%ความผิดพลาด	16.018	19.056	13.571	11.920	10.689

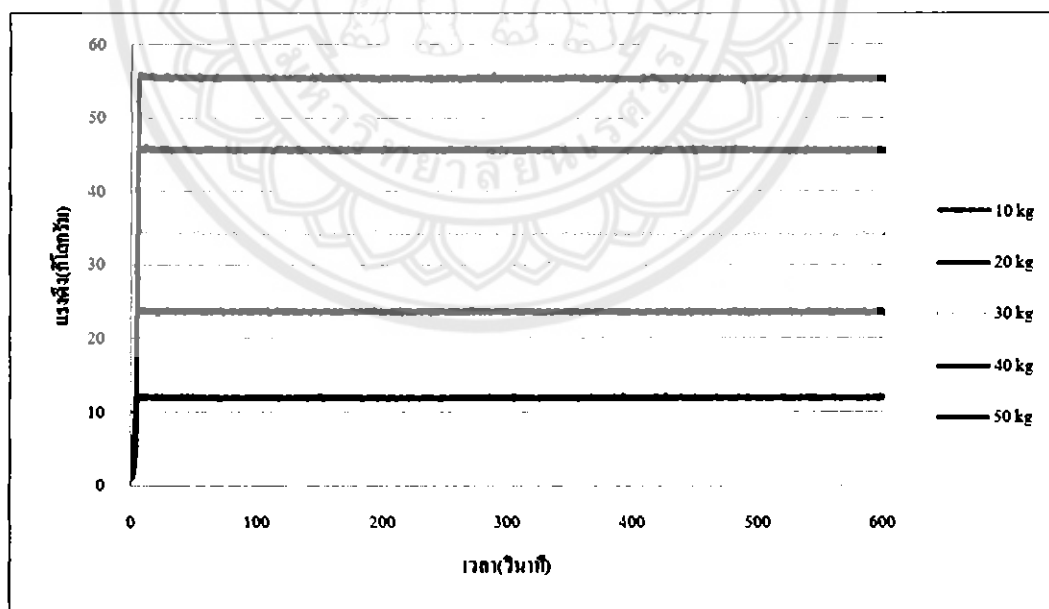


รูปที่ 4.43 กราฟแรงดึงของมอเตอร์เหนียวนำที่ค่าเป้าหมาย 10, 20, 30, 40 และ 50 กิโลกรัม ที่ควบคุมด้วยรีเลย์ โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 10 ms



ตารางที่ 4.12 แรงดึงเฉลี่ยที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์ โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 100 ms

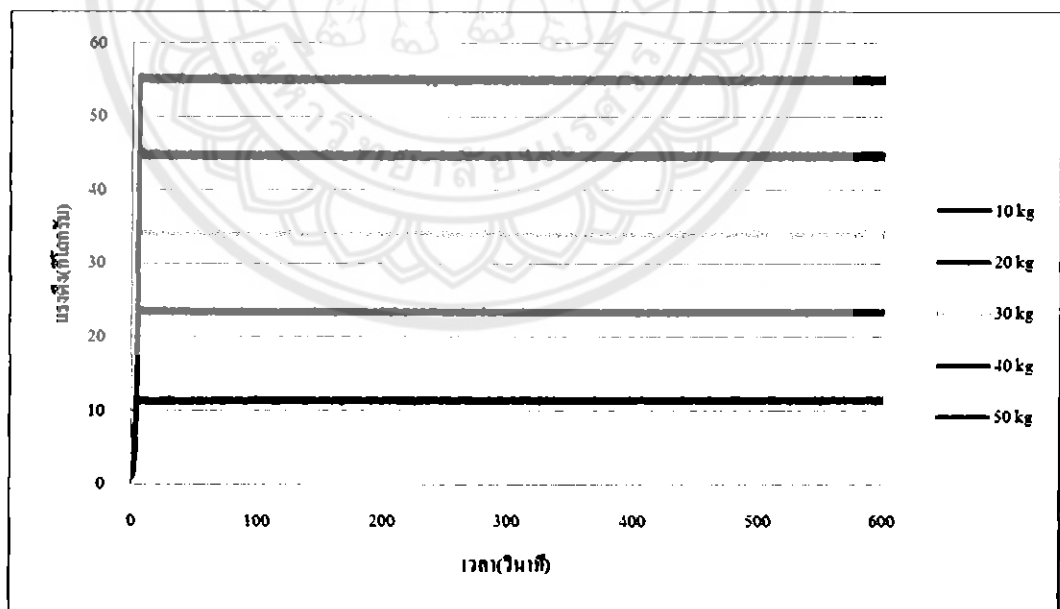
จำนวนการทดลอง	10 kg	20 kg	30 kg	40 kg	50 kg
ครั้งที่ 1	12.606	23.567	34.280	45.895	54.973
ครั้งที่ 2	12.157	23.801	34.749	46.346	55.614
ครั้งที่ 3	11.726	24.463	35.422	46.112	55.505
ครั้งที่ 4	12.051	23.367	35.273	45.807	56.475
ครั้งที่ 5	11.814	22.018	33.967	46.176	54.991
ครั้งที่ 6	11.644	24.785	35.345	45.536	54.818
ครั้งที่ 7	11.970	23.855	32.484	45.203	54.881
ครั้งที่ 8	11.790	23.521	34.431	45.026	55.918
ครั้งที่ 9	11.852	23.521	33.366	45.606	55.505
ครั้งที่ 10	11.667	23.378	33.733	44.428	54.958
ค่าเฉลี่ย	11.928	23.628	34.305	45.613	55.364
%ความผิดพลาด	19.283	18.140	14.351	14.034	10.728



รูปที่ 4.44 กราฟแรงดึงของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ค่าเป้าหมาย 10, 20, 30, 40 และ 50 กิโลกรัมที่ควบคุมด้วยรีเลย์ โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 100 ms

ตารางที่ 4.13 แรงดึงเฉลี่ยที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่  
ควบคุมด้วยไซคลิกสแตต โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 10 ms

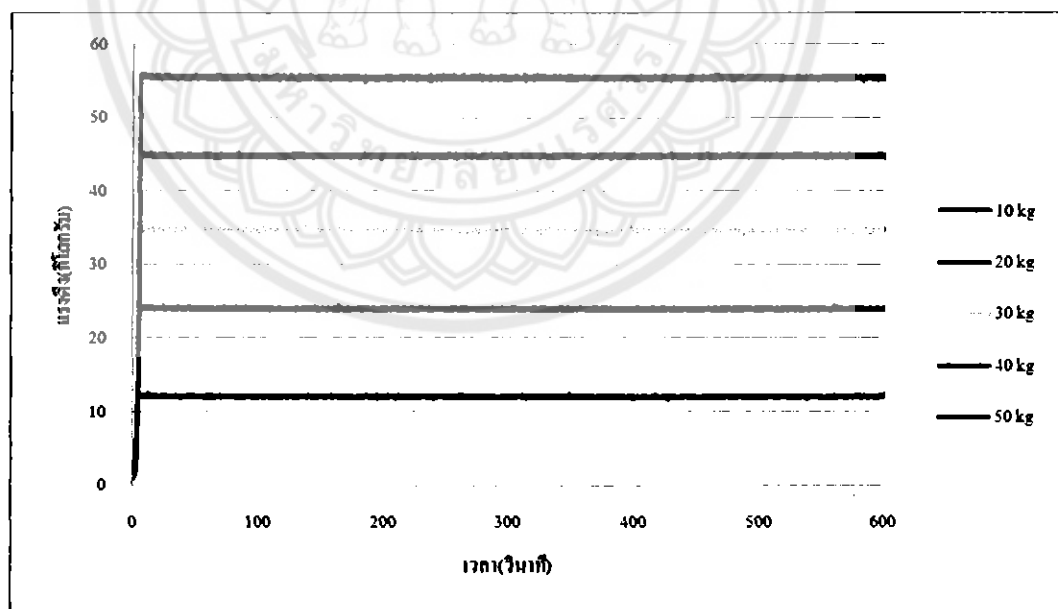
จำนวนการทดลอง	10 kg	20 kg	30 kg	40 kg	50 kg
ครั้งที่ 1	11.423	23.495	33.401	45.125	54.841
ครั้งที่ 2	11.450	23.551	34.179	44.532	54.527
ครั้งที่ 3	11.586	23.344	34.437	44.624	54.824
ครั้งที่ 4	11.457	23.297	34.354	45.385	55.553
ครั้งที่ 5	11.401	23.741	34.119	44.326	54.514
ครั้งที่ 6	11.275	23.694	33.856	43.721	55.525
ครั้งที่ 7	11.289	23.190	34.149	44.873	55.064
ครั้งที่ 8	11.410	23.210	34.124	44.653	54.871
ครั้งที่ 9	11.217	22.986	34.412	44.554	54.905
ครั้งที่ 10	11.275	23.408	33.440	44.554	55.465
ค่าเฉลี่ย	11.378	23.391	34.047	44.635	55.009
%ความผิดพลาด	13.787	16.959	13.491	11.588	10.018



รูปที่ 4.45 กราฟแรงดึงของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัม  
ที่ควบคุมด้วยไซคลิกสแตต โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 10 ms

ตารางที่ 4.14 แรงดึงเฉลี่ยที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยโซลิตสแตต โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 100 ms

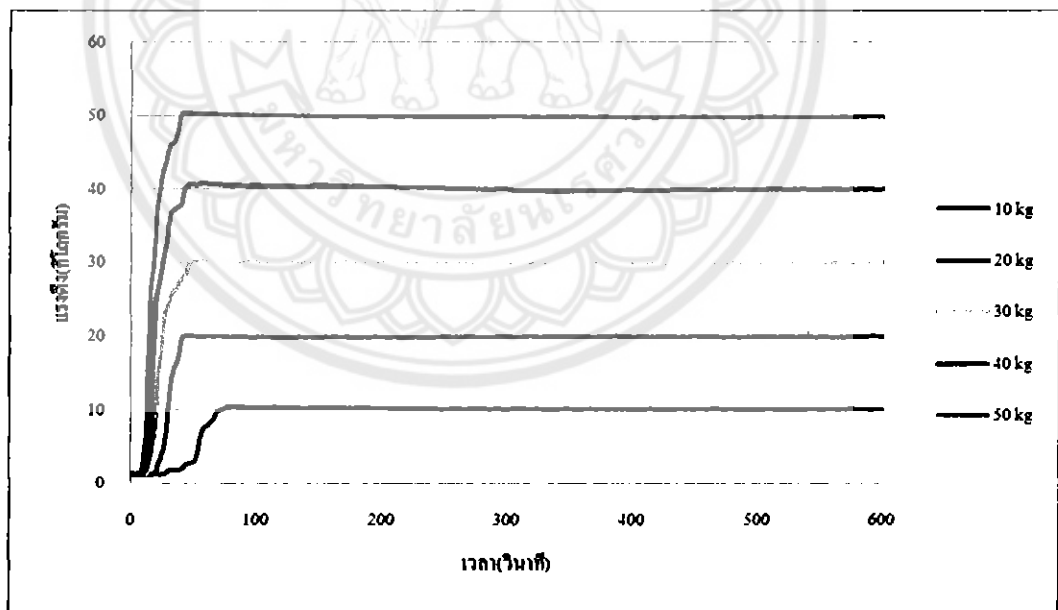
จำนวนการทดลอง	10 kg	20 kg	30 kg	40 kg	50 kg
ครั้งที่ 1	12.341	23.143	33.777	43.615	54.895
ครั้งที่ 2	11.820	24.218	34.857	43.910	56.017
ครั้งที่ 3	12.184	23.284	35.244	44.873	56.277
ครั้งที่ 4	12.221	23.178	35.023	44.991	54.971
ครั้งที่ 5	12.107	24.185	34.183	45.424	55.513
ครั้งที่ 6	12.221	24.417	34.637	44.492	53.998
ครั้งที่ 7	11.800	24.885	34.721	46.098	56.903
ครั้งที่ 8	11.563	24.423	34.351	44.093	55.246
ครั้งที่ 9	12.401	23.662	34.853	44.336	54.834
ครั้งที่ 10	11.825	24.348	34.420	45.791	55.494
ค่าเฉลี่ย	12.048	23.974	34.607	44.762	55.415
%ความผิดพลาด	20.484	19.874	15.356	11.907	10.830



รูปที่ 4.46 กราฟแรงดึงของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมที่ควบคุมด้วยโซลิตสแตต โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 100 ms

ตารางที่ 4.15 แรงดึงเฉลี่ยที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์กระแสตรง

จำนวนการทดลอง	10 kg	20 kg	30 kg	40 kg	50 kg
ครั้งที่ 1	10.125	19.927	29.937	40.247	50.102
ครั้งที่ 2	10.097	19.941	30.027	40.086	50.057
ครั้งที่ 3	9.965	19.839	29.907	39.957	49.784
ครั้งที่ 4	9.909	19.839	30.064	40.094	49.931
ครั้งที่ 5	9.936	19.894	30.013	39.972	49.923
ครั้งที่ 6	9.896	19.898	29.883	39.956	49.862
ครั้งที่ 7	9.903	19.915	29.991	40.131	49.814
ครั้งที่ 8	9.983	19.948	29.910	39.947	49.827
ครั้งที่ 9	9.927	19.934	29.773	39.971	49.737
ครั้งที่ 10	9.928	19.915	29.953	40.003	49.715
ค่าเฉลี่ย	9.967	19.905	29.946	40.036	49.875
%ความผิดพลาด	0.326	0.472	0.179	0.092	0.2487

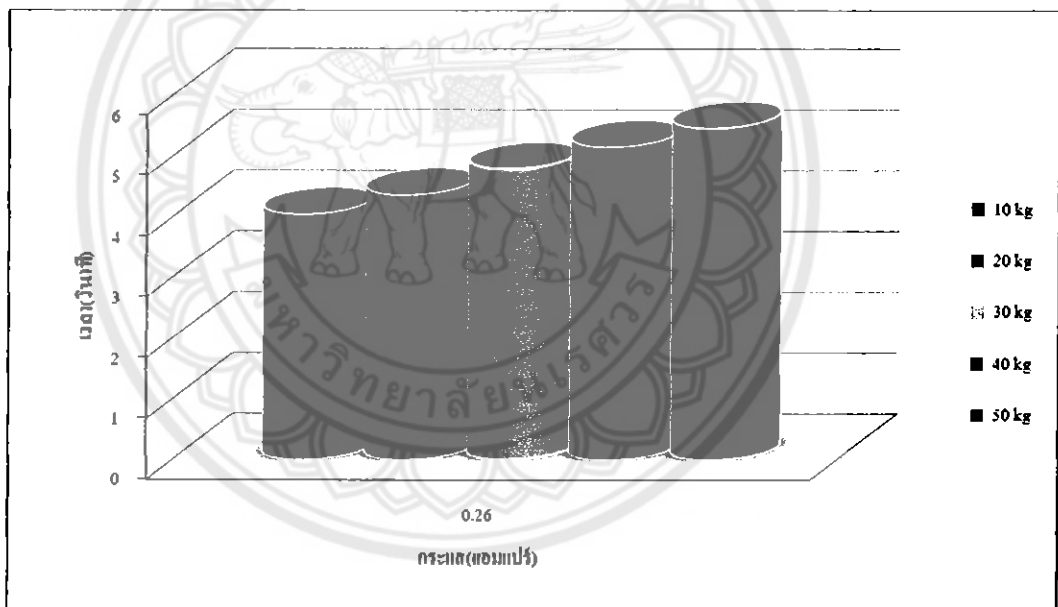


รูปที่ 4.47 กราฟแรงดึงของมอเตอร์กระแสตรงที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัม

4.3.7. ผลการทดลองปริมาณเวลาการใช้กระแสที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ตารางที่ 4.16 ปริมาณเวลาการใช้กระแสที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 10 ms

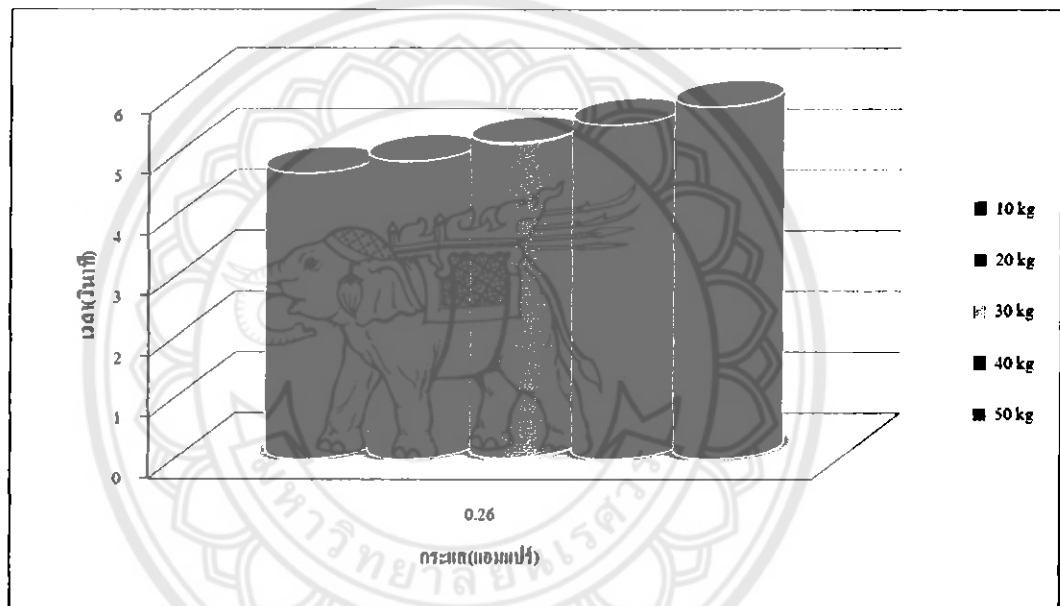
จำนวนการทดลอง	ปริมาณกระแส (แอมแปร์)	เวลาที่ใช้ (วินาที)
10 kg	0.26	4.04
20 kg	0.26	4.36
30 kg	0.26	4.79
40 kg	0.26	5.15
50 kg	0.26	5.46



รูปที่ 4.48 ปริมาณเวลาการใช้กระแสที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 10 ms

ตารางที่ 4.17 ปริมาณกระแสที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 100 ms

จำนวนการทดลอง	ปริมาณกระแส (แอมแปร์)	เวลาที่ใช้ (วินาที)
10 kg	0.26	4.70
20 kg	0.26	4.90
30 kg	0.26	5.20
40 kg	0.26	5.50
50 kg	0.26	5.80

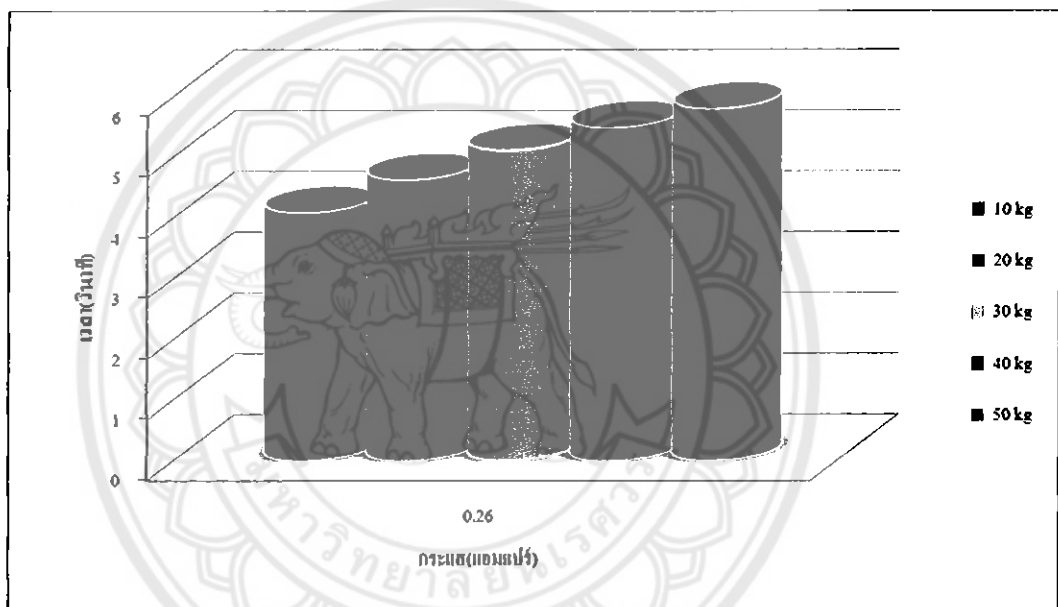


รูปที่ 4.49 ปริมาณเวลาการใช้กระแสที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยรีเลย์โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 100 ms



ตารางที่ 4.18 ปริมาณเวลาการใช้กระแสที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์  
เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยโซลิตสแตต โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 10 ms

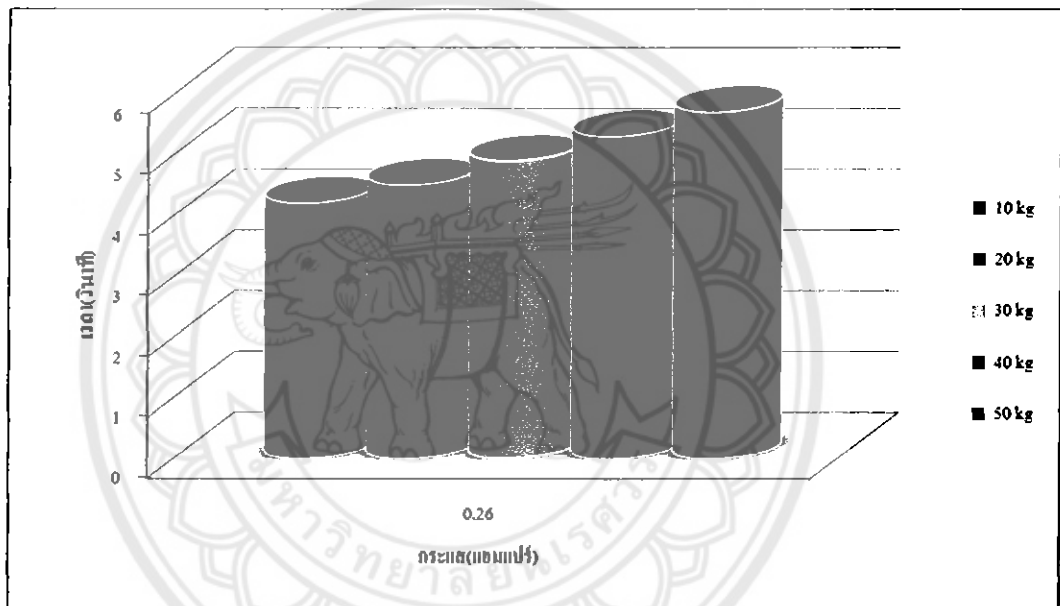
จำนวนการทดลอง	ปริมาณกระแส (แอมแปร์)	เวลาที่ใช้ (วินาที)
10 kg	0.26	4.08
20 kg	0.26	4.62
30 kg	0.26	5.11
40 kg	0.26	5.48
50 kg	0.26	5.79



รูปที่ 4.50 ปริมาณเวลาการใช้กระแสที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์  
เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยโซลิตสแตต โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 10 ms

ตารางที่ 4.19 ปริมาณเวลาการใช้กระแสที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์  
เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยโซลิตสแตต โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 100 ms

จำนวนการทดลอง	ปริมาณกระแส (แอมแปร์)	เวลาที่ใช้ (วินาที)
10 kg	0.26	4.20
20 kg	0.26	4.50
30 kg	0.26	4.90
40 kg	0.26	5.30
50 kg	0.26	5.70

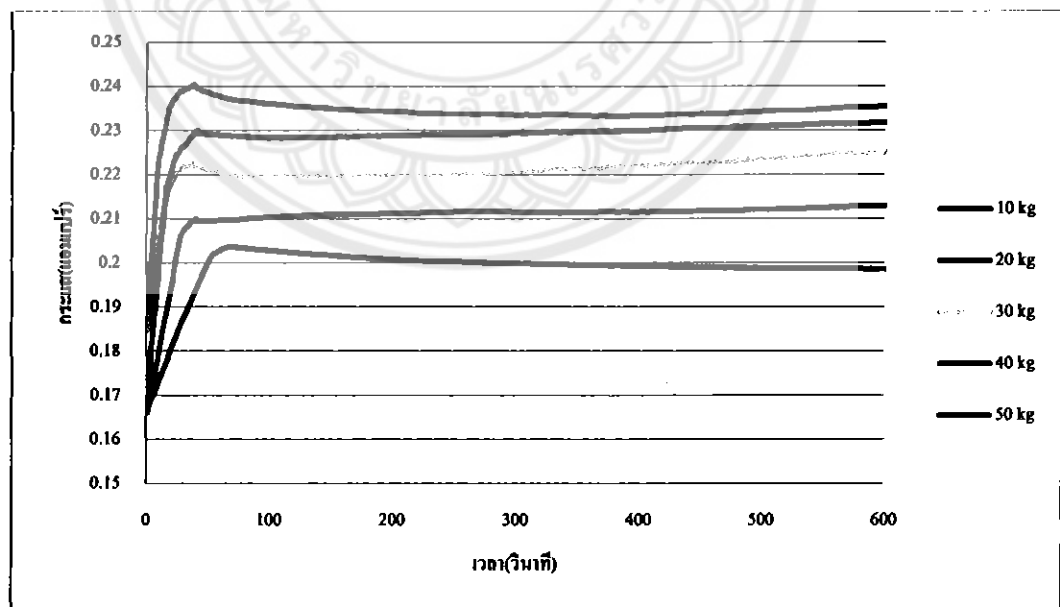


รูปที่ 4.51 ปริมาณเวลาการใช้กระแสที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์  
เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยโซลิตสแตต โดยปรับตั้งค่า Sampling Rate Times = 100 ms

4.3.8. ผลการทดลองปริมาณกระแสเฉลี่ยที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์กระแสตรง

ตารางที่ 4.20 ปริมาณกระแสที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์กระแสตรง

จำนวนการทดลอง	10 kg (A)	20 kg (A)	30 kg (A)	40 kg (A)	50 kg (A)
ครั้งที่ 1	0.197	0.209	0.220	0.230	0.234
ครั้งที่ 2	0.206	0.209	0.225	0.227	0.235
ครั้งที่ 3	0.198	0.203	0.225	0.228	0.238
ครั้งที่ 4	0.197	0.201	0.216	0.221	0.235
ครั้งที่ 5	0.197	0.207	0.217	0.224	0.237
ครั้งที่ 6	0.197	0.210	0.221	0.225	0.239
ครั้งที่ 7	0.195	0.211	0.213	0.221	0.239
ครั้งที่ 8	0.198	0.211	0.208	0.223	0.241
ครั้งที่ 9	0.197	0.211	0.221	0.225	0.234
ครั้งที่ 10	0.197	0.212	0.211	0.224	0.237
ค่าเฉลี่ย	0.198	0.209	0.218	0.225	0.237

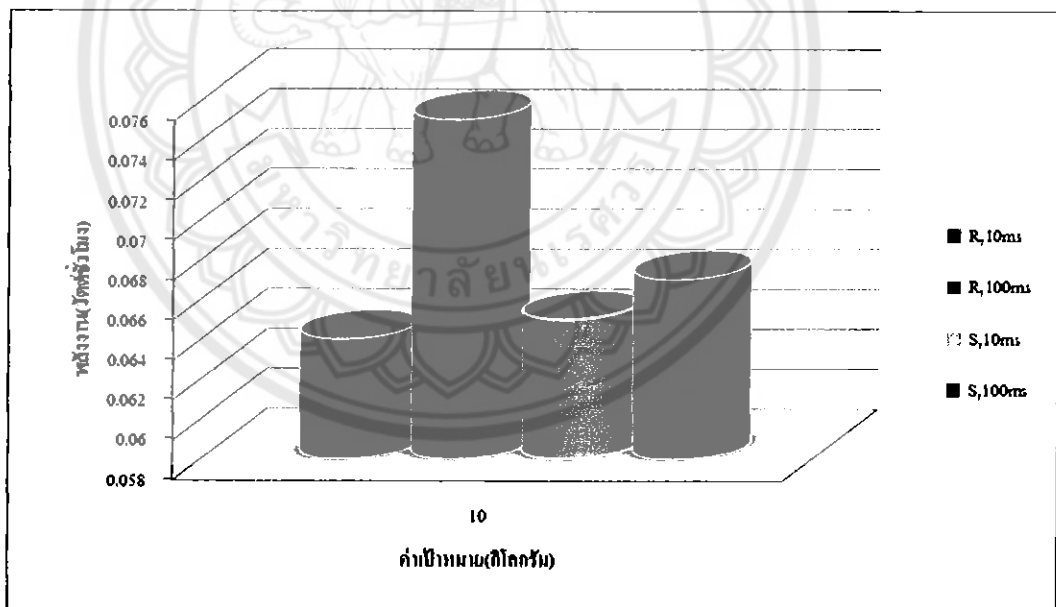


รูปที่ 4.52 ปริมาณกระแสเฉลี่ยที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัมของมอเตอร์กระแสตรง

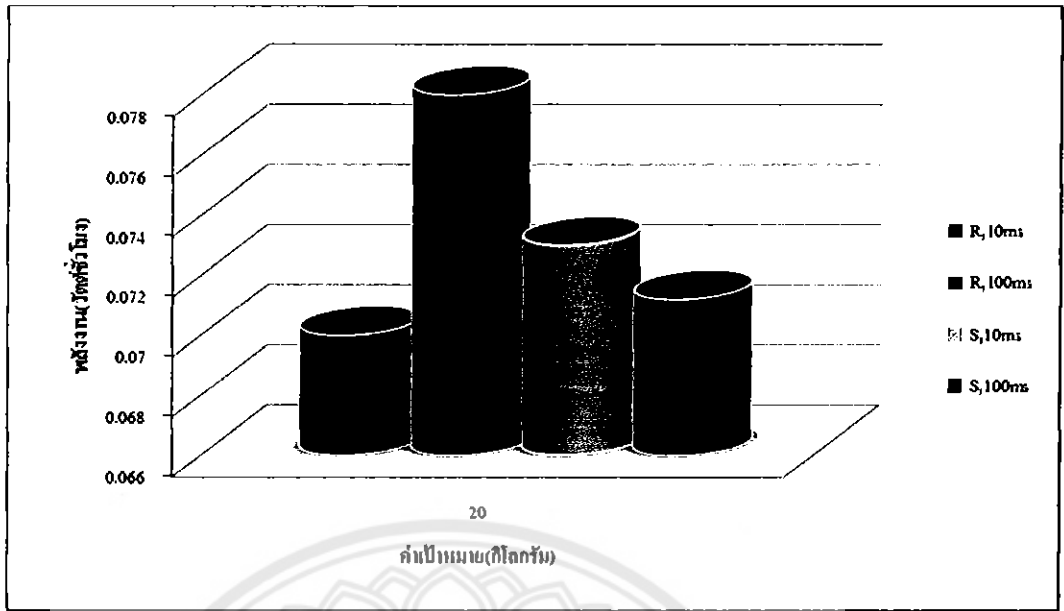
4.3.9. ผลการทดลองปริมาณการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.21 ปริมาณการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัม

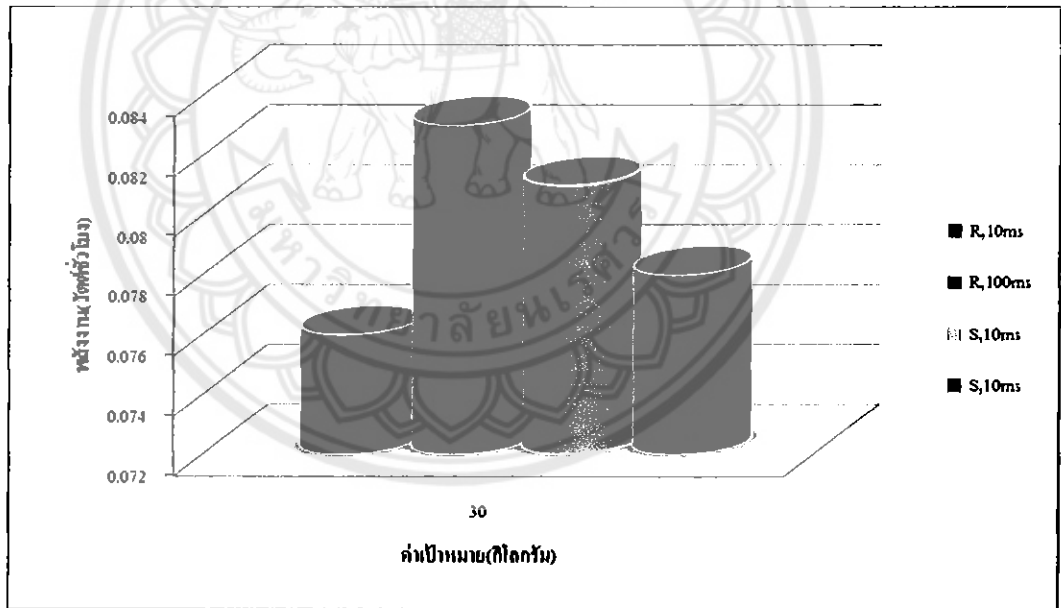
จำนวนการทดลอง	พลังงาน(วัตต์ชั่วโมง)			
	รีเลย์		โซลิตสเตรค	
	T=10 ms	T=100 ms	T=10 ms	T=100 ms
10 kg	0.062	0.075	0.065	0.067
20 kg	0.069	0.078	0.073	0.072
30 kg	0.075	0.083	0.081	0.078
40 kg	0.076	0.086	0.087	0.084
50 kg	0.087	0.092	0.092	0.091



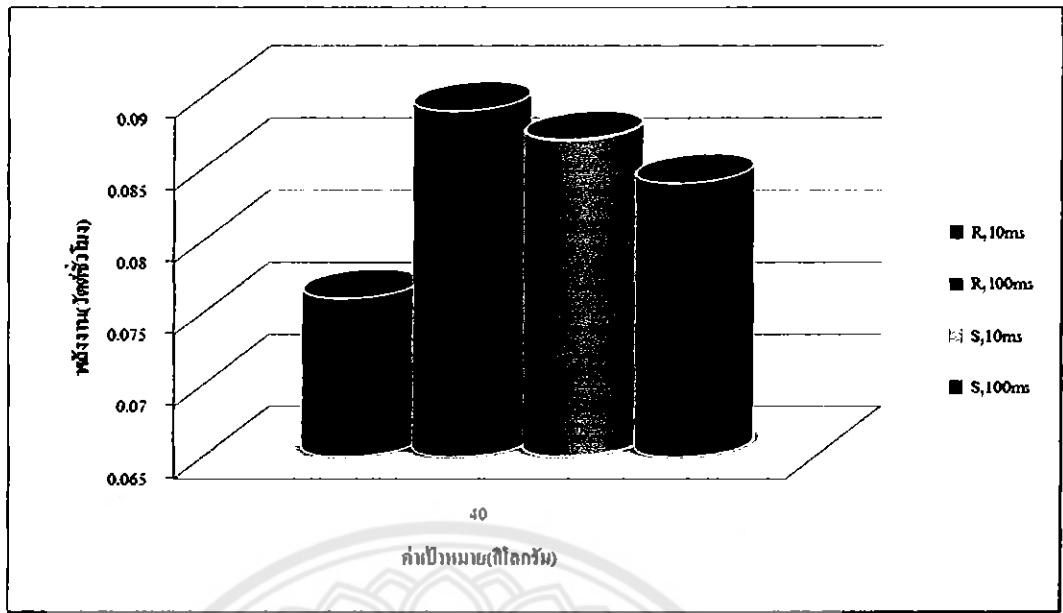
รูปที่ 4.53 ปริมาณการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ค่าเป้าหมาย 10 กิโลกรัม



รูปที่ 4.54 ปริมาณการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำค่าเป้าหมาย 20 กิโลกรัม



รูปที่ 4.55 ปริมาณการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ค่าเป้าหมาย 30 กิโลกรัม



รูปที่ 4.56 ปริมาณการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ค่าเป้าหมาย 40 กิโลกรัม

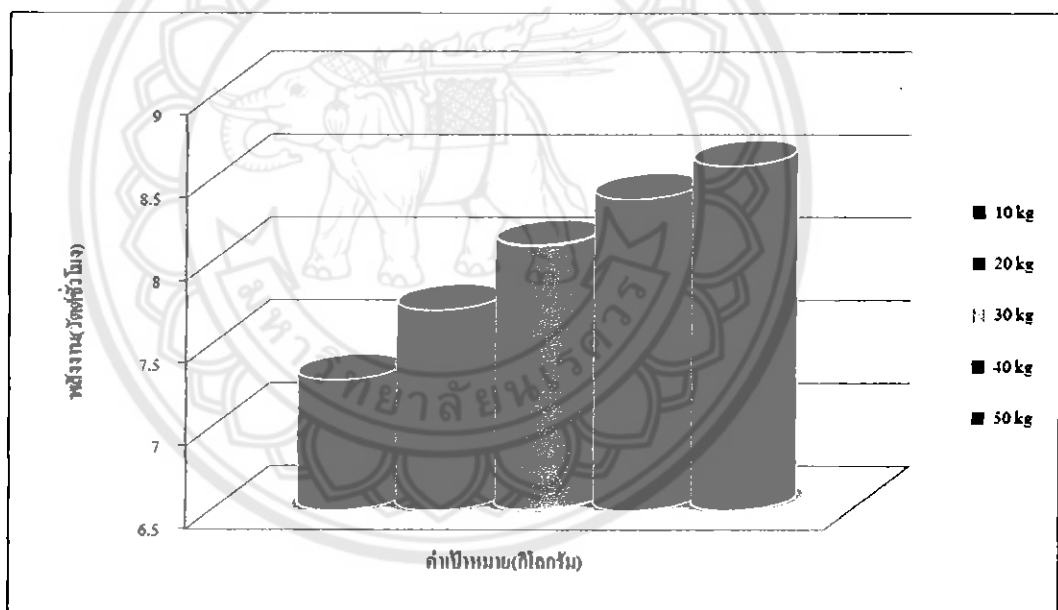


รูปที่ 4.57 ปริมาณการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ค่าเป้าหมาย 50 กิโลกรัม

4.3.10. ผลการทดลองปริมาณการใช้พลังงานของมอเตอร์กระแสตรงที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ50 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.22 ปริมาณการใช้พลังงานของมอเตอร์กระแสตรงที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัม

จำนวนการทดลอง	พลังงาน(วัตต์ชั่วโมง)
10 kg	7.288
20 kg	7.710
30 kg	8.101
40 kg	8.382
50 kg	8.585



รูปที่ 4.58 ปริมาณการใช้พลังงานของมอเตอร์กระแสตรง ที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ50 กิโลกรัม

#### 4.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.53 - 4.57 เป็นการแสดงปริมาณการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัม สำหรับการควบคุมมอเตอร์ด้วยรีเลย์และ โซลิตสแตตที่ค่า Sampling Rate Times = 10 ms และ 100 ms จากกราฟแกนแนวนอนหมายถึงค่าเป้าหมาย(กิโลกรัม) ส่วนแนวตั้งหมายถึงปริมาณพลังงานที่มอเตอร์เหนี่ยวนำใช้ในหน่วย วัตต์ชั่วโมง จากการทดลองพบว่า มอเตอร์เหนี่ยวนำมีควบคุมด้วยรีเลย์และปรับ Sampling Rate Times ไว้ที่ 100 ms จะใช้ปริมาณพลังงานมากสุดในทุกๆค่าเป้าหมาย และมีอัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเมื่อค่าเป้าหมายเพิ่มมากขึ้น จากการใช้รีเลย์ในการควบคุมมอเตอร์โดยปรับ Sampling Rate Times ไว้ที่ 100 ms นั้นใช้เวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายช้ากว่าการควบคุมด้วยรีเลย์และ โซลิตสแตตที่ปรับ Sampling Rate Times ไว้ที่ เวลาอื่นๆ

จากรูปที่ 4.58 เป็นการแสดงปริมาณการใช้พลังงานของมอเตอร์กระแสตรงที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัม จากกราฟแกนแนวนอนหมายถึงค่าเป้าหมาย(กิโลกรัม) ส่วนแนวตั้ง หมายถึงปริมาณพลังงานที่มอเตอร์กระแสตรงใช้ในหน่วย วัตต์ชั่วโมง จากการทดลองพบว่า มอเตอร์กระแสตรงมีการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้น

จากการทดลองมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยควบคุมการทำงานของมอเตอร์ด้วยรีเลย์และ โซลิตสแตต ที่ปรับตั้งค่า Sampling Rate Times ไว้ที่ 10 ms และ 100 ms พบว่าแรงคิงที่ได้จากการควบคุม มอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้โซลิตสแตตที่ Sampling Rate Times = 10 ms ให้ค่าแรงคิงที่มีค่าความ ผิดพลาดน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยวิธีอื่นๆ แต่มอเตอร์กระแสตรงจะ ให้ค่าแรงคิงที่มีความถูกต้องใกล้เคียงกับค่าเป้าหมาย

การใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะใช้ในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับมอเตอร์กระแสตรง เนื่องจากมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อค่าแรงคิงที่ออกจากมอเตอร์มีค่าเข้าถึงค่าเป้าหมายวงจรควบคุม มอเตอร์ก็อริเลย์ หรือ โซลิตสแตตจะทำการตัดวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าออกจากมอเตอร์ทันที ส่วน มอเตอร์กระแสตรงนั้นเมื่อแรงคิงที่ออกจากมอเตอร์ถึงค่าเป้าหมายแล้วชุดควบคุมมอเตอร์จะ พยายามรักษาระดับแรงคิงนั้นไว้ โดยการเพิ่มลดระดับกระแสเมื่อแรงคิงที่ออกจากมอเตอร์น้อย หรือเพิ่มขึ้นกว่าค่าเป้าหมาย จึงส่งผลให้มอเตอร์กระแสตรงต้องใช้ปริมาณพลังงานสูงกว่ามอเตอร์ เหนี่ยวนำ



## บทที่ 5

### บทสรุป

ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดลองในโครงการ พร้อมเสนอแนะแนวทางในการนำโครงการนี้ไปพัฒนาต่อให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในอนาคต

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้เป็นการทดสอบผลกระทบของแรงบิดภายในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส และมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านขณะขับโหลดที่ค่าเป้าหมาย 10,20,30,40 และ 50 กิโลกรัม

โดยผู้ทดลองได้ออกแบบระบบควบคุมโดยใช้โปรแกรมแลปวิวควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ 2 วิธี คือ ใช้วงจรรีเลย์ควบคุมและใช้วงจรีโวลติสเทต โดยทำการปรับตั้งค่า Sampling Rate Times ไว้ที่ 10 ms และ 100 ms สำหรับการรักษาระดับแรงดึงของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยวงจรรีเลย์และโวลติสเทตนั้นจะเป็นลักษณะกราฟที่มีความชันมากในช่วงค่าเริ่มต้น จนเมื่อค่าแรงดึงที่มอเตอร์จ่ายออกมาเข้าถึงค่าเป้าหมายลักษณะกราฟจะเป็นแนวเส้นตรงที่ค่าสุดท้ายที่โปรแกรมรับค่ามาจากโหลดเซลล์และคงค่าไว้จนจบการทดลอง

จากการทดลองมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมวงจรรีเลย์ที่ปรับตั้งค่า Sampling Rate Times ไว้ที่ 100 ms จะให้ค่าแรงดึงที่มีค่าความผิดพลาดมากที่สุดในทุกกรณีเมื่อเทียบกับแรงดึงที่ได้มาจากการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยวิธีอื่น แต่สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยวงจรีโวลติสเทตที่ปรับตั้งค่า Sampling Rate Times ไว้ที่ 10 ms จะให้แรงดึงที่มีค่าความผิดพลาดน้อยสุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่น

สำหรับมอเตอร์กระแสตรงขณะขับโหลดที่ค่าเป้าหมายนั้นจากการทดลองพบว่าได้แรงดึงที่ต้องการใกล้เคียงค่าเป้าหมายเนื่องจากการควบคุมมอเตอร์ทำโดยการรักษาระดับกระแสที่จ่ายเข้าภายในมอเตอร์ เพื่อให้คงค่าแรงดึงให้ได้ใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายมากที่สุด ดังนั้นเมื่อแรงดึงที่โหลดเซลล์รับค่าเข้ามามีค่าน้อยหรือมากกว่าค่าแรงดึงเป้าหมายระบบควบคุมจะพยายามปรับกระแสให้เพิ่มหรือน้อยลงตามค่าแรงดึงที่รับเข้ามา

ตารางที่ 5.1 สรุปและเปรียบเทียบข้อดี-ข้อด้อยระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำและมอเตอร์กระแสตรง

ชนิดของมอเตอร์	ข้อดี	ข้อด้อย
มอเตอร์เหนี่ยวนำ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ระบบควบคุมสามารถออกแบบได้ง่าย</li> <li>2. วงจรที่ใช้ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ (วงจรรีเลย์หรือโซลิตสแตต) มีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย</li> <li>3. เวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายสั้น</li> <li>4. ใช้ปริมาณพลังงานน้อย เพราะเมื่อค่าแรงดึงถึงค่าเป้าหมายวงจรควบคุมก็จะตัดแหล่งจ่ายไฟออกจากมอเตอร์ทันที</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. แรงดึงที่ต้องการมีค่ามากกว่าค่าเป้าหมาย</li> <li>2. แรงดึงไม่สามารถเข้าถึงค่าเป้าหมายต่ำๆ ได้</li> </ol>
มอเตอร์กระแสตรง	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. แรงดึงที่ต้องการมีค่าใกล้เคียงค่าเป้าหมาย</li> <li>2. สามารถเข้าถึงค่าเป้าหมายต่ำๆ ได้ดี</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ระบบควบคุมมีความยุ่งยากซับซ้อน</li> <li>2. ชุดควบคุมมอเตอร์มีราคาสูง</li> <li>3. ใช้เวลาเข้าถึงค่าเป้าหมายนาน</li> <li>4. ใช้ปริมาณพลังงานสูง เนื่องจากมอเตอร์ต้องการกระแสจ่ายเข้าตลอดเวลา</li> <li>5. มีความร้อนสูง เมื่อใช้งานที่ค่าเป้าหมายสูงหรือเปิดใช้งานเป็นเวลานาน</li> </ol>

## 5.2 ปัญหาในการทำงานและแนวทางแก้ไข

1. การ์ด DAQ หลุดหรือ Error ทำให้ไม่สามารถเชื่อมต่อคำสั่งจากโปรแกรมไปยังวงจรควบคุมมอเตอร์ได้

<u>สาเหตุ</u>	เนื่องจากสาย USB ของการ์ด DAQ หลวมหรือค้อไม่แน่น
<u>ผล</u>	ไม่สามารถเชื่อมต่อคำสั่งจากโปรแกรมไปยังวงจรควบคุมมอเตอร์ได้
<u>วิธีแก้ไข</u>	ตรวจสอบสาย USB ของการ์ด DAQ ทุกครั้งก่อนทำการทดลอง

## 5.3 ประเมินผล

จากการดำเนิน โครงการเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุประสงค์ในการทำโครงการ ได้ผลดังนี้

- 5.3.1 ทราบถึงผลกระทบของแรงบิดภายในมอเตอร์เหนี่ยวนำและมอเตอร์กระแสตรงขณะขับ โหลด
- 5.3.2 ทราบเวลาที่ใช้ในการเข้าถึงค่าเป้าหมายของมอเตอร์เหนี่ยวนำและมอเตอร์กระแสตรงขณะขับ โหลด
- 5.3.3 สามารถออกแบบ โปรแกรมแลปวิวเพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

## 5.4 แนวทางสำหรับการพัฒนา

- 5.4.1 ออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำให้แรงดึงที่วัด ได้มีค่าความผิดพลาดน้อยลง
- 5.4.2 เลือกใช้งานวงจรควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดอื่นที่มีความไวต่อการตัดต่อวงจร

## เอกสารอ้างอิง

- [1] [http://www.ibiblio.org/kuphaldt/electricCircuits/AC/AC\\_13.html](http://www.ibiblio.org/kuphaldt/electricCircuits/AC/AC_13.html)  
สืบค้นเมื่อ 6 สิงหาคม พ.ศ.2556
- [2] <http://www.lamptech.ac.th/webprg/vitsawa/> สืบค้นเมื่อวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ.2556
- [3] <http://media.web.britannica.com/eb-media/75/63375-004-9F253D8F.gif>  
สืบค้นเมื่อวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ.2556
- [4] <http://cfnewsads.thomasnet.com/images/large/826/826816.jpg>  
สืบค้นเมื่อ 1 พฤศจิกายน พ.ศ.2556
- [5] [http://www.orientalmotor.com/images/in\\_motion/bldc-motor-construction-2.jpg](http://www.orientalmotor.com/images/in_motion/bldc-motor-construction-2.jpg)  
สืบค้นเมื่อ 1 พฤศจิกายน พ.ศ.2556
- [6] [http://gearmotorblog.files.wordpress.com/2013/08/bodine-bldc-technology\\_3-12\\_motor-comparisons1.jpg?w=500&h=208](http://gearmotorblog.files.wordpress.com/2013/08/bodine-bldc-technology_3-12_motor-comparisons1.jpg?w=500&h=208) สืบค้นเมื่อ 1 พฤศจิกายน พ.ศ.2556
- [7] <http://www.reliance.com/mtr/images/mtdfig19a.gif>  
สืบค้นเมื่อ 6 สิงหาคม พ.ศ.2556
- [8] <http://ecx.images-amazon.com/images/I/61CIPQ9rcuL.jpg>  
สืบค้นเมื่อ 2 พฤศจิกายน พ.ศ.2556
- [9] <http://image.made-in-china.com/2f0j00CjeQWwAcQaqJ/Motor-Starting-Capacitor-CD609B-.jpg> สืบค้นเมื่อ 6 สิงหาคม พ.ศ.2556
- [10] <http://4.bp.blogspot.com/yRHV1J9b5hY/T7UKxFH248I/AAAAAAACEs/3Uq7uIMnmXY/s640/capacitor+start.JPG> สืบค้นเมื่อ 2 พฤศจิกายน พ.ศ.2556
- [11] [http://www.electrical-knowhow.com/2012/05/classification-of-electric-motorspart\\_17.html](http://www.electrical-knowhow.com/2012/05/classification-of-electric-motorspart_17.html) สืบค้นเมื่อ 6 สิงหาคม พ.ศ.2556
- [12] [http://www.phidgets.com/wiki/images/1/1d/3051\\_1\\_Relay\\_Diagram.jpg](http://www.phidgets.com/wiki/images/1/1d/3051_1_Relay_Diagram.jpg)  
สืบค้นเมื่อ 3 ธันวาคม พ.ศ.2556
- [13] <http://www.electronics-tutorials.ws/io/io27.gif>  
สืบค้นเมื่อ 3 ธันวาคม พ.ศ.2556