



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและติดตั้งระบบขับเคลื่อนสำหรับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03
Design and Installation the Driving System for Rail Grinding
Machine MV-03

นายปิยะพงษ์ จันทะสิงห์

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและติดตั้งระบบขับเคลื่อนสำหรับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03
Design and Installation the Driving System for Rail Grinding
Machine MV-03

นายปิยะพงษ์ จันทะสิงห์

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การออกแบบและติดตั้งระบบขับเคลื่อนสำหรับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03

ชื่อ - สกุล นาย ปิยะพงษ์ จันทะสิงห์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ชื่อ - สกุล อาจารย์นิเทศดร.จิตรภรณ์ วงศาภาม

ชื่อ - สกุล ผู้นิเทศงาน นาย สรศักดิ์ สิทธิถาวรทรัพย์

ชื่อสถานประกอบการ บริษัท ซีเมนต์ จำกัด

บทคัดย่อ

เครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 ที่ใช้ในปัจจุบันเพื่อซ่อมบำรุงทางรถไฟสายสีน้ำเงินในช่วงสถานีหัวลำโพง-บางซื่อ (เตาปูน) นั้นเคลื่อนที่โดยใช้แรงงานคน ซึ่งปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบระบบขับเคลื่อนสำหรับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 เพื่อช่วยทุ่นแรงผู้ใช้งาน โดยให้ระบบขับเคลื่อนนั้นมีมอเตอร์เป็นต้นกำลัง ส่งกำลังผ่านเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอน ใช้ล้อวางต้นในการเคลื่อนที่ไปบนราง และสามารถควบคุมมอเตอร์ผ่านตู้ควบคุมได้ ซึ่งสามารถควบคุมได้ทั้งทิศทางและความเร็ว นอกจากนี้ยังมีการแสดงสถานะของตู้ควบคุมมอเตอร์ขณะใช้งานผ่านไฟลัดแลมป์ โดยเครื่องเจียรรางรุ่น RG-1 ซึ่งมีลักษณะของระบบขับเคลื่อนตรงตามที่ต้องการจะถูกนำมาเป็นต้นแบบที่ใช้ในการศึกษา เมื่อออกแบบ จัดทำ และติดตั้งระบบขับเคลื่อนให้กับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 แล้วจึงทำการทดสอบ โดยผลการทดสอบนั้นพบว่าน้ำหนักรวมของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 และระบบขับเคลื่อนนั้นมีน้ำหนักรวมประมาณ 200 กิโลกรัม สามารถควบคุมทิศทางในการเคลื่อนที่ได้ สามารถควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ได้ โดยทำความเร็วสูงสุดได้ 2.02 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ใช้เวลาในการเร่งความเร็วและลดความเร็วสูงสุด 5 วินาที สามารถหยุดการเคลื่อนที่ได้ทันทีในกรณีฉุกเฉิน และสามารถแสดงสถานะของตู้ควบคุมมอเตอร์ได้ทั้ง 3 สถานะ ดังนี้ สถานะพร้อมใช้งาน ไฟลัดแลมป์สีเขียว สถานะมอเตอร์กำลังทำงาน ไฟลัดแลมป์สีเหลือง และสถานะหยุดฉุกเฉิน ไฟลัดแลมป์สีแดง ในกรณีที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าจ่ายมายังตู้ควบคุมมอเตอร์ เนื่องจากเซอร์กิตเบรกเกอร์อยู่ในสถานะ OFF หรือ เกิดการ Trip เนื่องจากกระแสไฟฟ้าเกิน จะไม่มีไฟลัดแลมป์ดวงใดสว่าง

Co-operation Title: Design and Installation the Driving System for Rail Grinding Machine MV-03
Student name: Mr. Piyaphong Jantasing
Faculty: Engineering **Department:** Mechanical Engineering
Advisor name: Dr. Jitraporn Wongsan-Ngarm
Mentor name: Mr.Sorrasuk Sittithawornsup
Company: Siemens Limited

Abstract

At present, the MV-03 rail grinding machine that used for maintenance the railway track of Metropolitan Rapid Transit Chaloem Ratchamongkhon Line, MRT Blue Line (Hua Lamphong-Taopoon) is manually moved. This thesis is study of the MV-03 rail grinding machine drive system design to labor-saving. For the drive system is designed as the motor power, power transmissibility by the worm gear reducer, solid tires is used for moving on the rail and be able to be controlled by the control cabinet. The control cabinet is able to control the direction and the speed. The cabinet status is shown while the machine in use via the pilot lamp. The RG-1 rail grinding machine which its drive system according to the suitable characteristic drive system is used to study for this thesis. After designed, built and set the drive system for MV-03 rail grinding machine, it is tested and the result is the mass of MV-03 rail grinding machine and drive system is about 200 kg., be able to be controlled the direction and speed, the maximum speed is 2.02 km/hr, the maximum time that used for acceleration and deceleration is 5 seconds, be able to be immediately stopped for emergency and it can be shown the cabinet status, there are green pilot lamp for available status, yellow pilot lamp for active status, red pilot lamp for emergency stop and in case of have no electric current flow in the control cabinet because circuit breaker is shown off status or it is tripped due to the overload electric current so the pilot lamp are all unlit.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือ คอยให้คำปรึกษา และคำแนะนำเป็นอย่างดีจากบุคลากรหลายฝ่าย

ขอขอบคุณ บริษัท ซีเมนส์ จำกัด ที่ให้ความกรุณาสับสนุนในด้านทรัพยากรในการทำปริญญาานิพนธ์

ขอขอบคุณ ดร.จิตรราภรณ์ วงศางาม อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ อาจารย์ทุกท่านทั้งในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และอาจารย์ท่านอื่นๆที่เคยสั่งสอนและให้ความรู้แก่ข้าพเจ้ามา

ขอขอบคุณบุคลากรภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ติดต่อประสานงานกับทาง บริษัท ซีเมนส์ จำกัด ทำให้ข้าพเจ้าได้มีโอกาสทำปริญญาานิพนธ์ร่วมกับบริษัทในโครงการสหกิจศึกษา



สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน..... | 2 |
| ตารางที่ 2.1 สภาพการทำงานของมอเตอร์..... | 19 |
| ตารางที่ 3.1 การตั้งค่าพารามิเตอร์ของอินเวอร์เตอร์..... | 51 |
| ตารางที่ 3.2 ความหมายบนจอแสดงผลของอินเวอร์เตอร์..... | 60 |
| ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความสามารถของระบบขับเคลื่อนของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03..... | 62 |
| ตารางที่ 4.2 ค่าที่อ่านได้จากหน้าจอแสดงผลของอินเวอร์เตอร์..... | 63 |
| ตารางที่ 4.3 กำลังขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่จ่ายให้กับมอเตอร์และกำลังขาออกจากมอเตอร์..... | 66 |
| ตารางที่ 4.4 เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ 10 เมตรด้วยความเร็วคงที่..... | 68 |



สารบัญรูปภาพ

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 2.1 เครื่องเจียรรางรุ่น RG-1 | 3 |
| รูปที่ 2.2 เครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 | 4 |
| รูปที่ 2.3 ความบกพร่องแบบ Head Check ระดับที่ 5 | 5 |
| รูปที่ 2.4 ความบกพร่องแบบ Head Check ระดับที่ 4 | 5 |
| รูปที่ 2.5 ความบกพร่องแบบ Head Check ระดับที่ 3 | 5 |
| รูปที่ 2.6 ความบกพร่องแบบ Head Check ระดับที่ 2-1 | 5 |
| รูปที่ 2.7 ความบกพร่องแบบ Single Squat..... | 6 |
| รูปที่ 2.8 ความบกพร่องแบบ Squats | 6 |
| รูปที่ 2.9 ความบกพร่องแบบ Corrugation | 6 |
| รูปที่ 2.10 ความบกพร่องที่เกิดจากสนิมจากการที่มีน้ำรั่วภายในอุโมงค์ (Rusty Rail due to Water Leakage in Tunnel) | 7 |
| รูปที่ 2.11 รางสีกร่อน (Corroded Rail) | 7 |
| รูปที่ 2.12 การแตกที่ผิวราง (Crack in Running Surface)..... | 7 |
| รูปที่ 2.13 ความบกพร่องที่เกิดจากการผลิต (Rail Defect due to Fabrication Failure)..... | 8 |
| รูปที่ 2.14 ผิวของรางไม่สม่ำเสมอ (Surface Deficiency of running rail)..... | 8 |
| รูปที่ 2.15 ตัวอย่างโครงสร้างมอเตอร์เหนี่ยวนำ | 9 |
| รูปที่ 2.16 โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์..... | 11 |
| รูปที่ 2.17 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสพื้นฐาน | 11 |
| รูปที่ 2.18 การสร้างไฟสลับ 3 เฟส..... | 12 |
| รูปที่ 2.19 อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ | 12 |
| รูปที่ 2.20 การควบคุมรูปคลื่นแรงดันของอินเวอร์เตอร์ | 13 |
| รูปที่ 2.21 การทำงานย่านแรงบิดคงที่และแรงดันคงที่ | 14 |
| รูปที่ 2.22 เปรียบเทียบกระแสและแรงบิดของมอเตอร์เมื่อเทียบกับแหล่งจ่ายไฟและอินเวอร์เตอร์..... | 15 |
| รูปที่ 2.23 แรงบิดสตาร์ท | 16 |
| รูปที่ 2.24 การเร่งความเร็วโดยตั้งเวลาเร่งสั้นเกินไป | 17 |
| รูปที่ 2.25 การเร่งความเร็วโดยตั้งเวลาเร่งยาวพอดี | 17 |
| รูปที่ 2.26 การป้องกันสตอลในระหว่างเร่งความเร็ว..... | 18 |
| รูปที่ 2.27 การป้องกันสตอลในระหว่างเดินเครื่องความเร็วคงที่ | 18 |
| รูปที่ 2.28 วงจรเบรกคืนพลังงาน | 19 |
| รูปที่ 2.29 การหยุดของมอเตอร์..... | 20 |
| รูปที่ 2.30 แรงต้านที่เกิดจากการยุบตัวของล้อ | 21 |
| รูปที่ 2.31 สาย IV หรือ สายVSF..... | 24 |

สารบัญรูปรูปภาพ (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 2.32 สาย VCT | 24 |
| รูปที่ 2.33 ตัวอย่างของเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอน..... | 25 |
| รูปที่ 3.1 ชุดมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรูน RG-1..... | 27 |
| รูปที่ 3.2 แทนวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเครื่องเจียรรางรูน RG-1..... | 28 |
| รูปที่ 3.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเครื่องเจียรรางรูน RG-1 | 28 |
| รูปที่ 3.4 โครงสำหรับยึดตู้ควบคุมมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรูน RG-1 | 28 |
| รูปที่ 3.5 ด้านบนของตู้ควบคุมมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรูน RG-1..... | 29 |
| รูปที่ 3.6 ส่วนประกอบภายในตู้ควบคุมมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรูน RG-1 | 29 |
| รูปที่ 3.7 รูปแบบการติดตั้งชุดมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรูน RG-1 | 30 |
| รูปที่ 3.8 แทนวางมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรูน MV-03 | 31 |
| รูปที่ 3.9 ชั้นส่วนต้นแบบของแทนวางมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรูน RG-1 ชั้นส่วนที่1 | 32 |
| รูปที่ 3.10 ชั้นส่วนที่ทำการปรับเปลี่ยนจากแทนวางมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรูน RG-1 ชั้นส่วนที่ 1..... | 32 |
| รูปที่ 3.11 ชั้นส่วนต้นแบบของแทนวางมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรูน RG-1 ชั้นส่วนที่ 2..... | 33 |
| รูปที่ 3.12 ชั้นส่วนที่ทำการปรับเปลี่ยนจากแทนวางมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรูน RG-1 ชั้นส่วนที่ 2..... | 33 |
| รูปที่ 3.13 เพลาเชื่อมต่อเพลาของชุดเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอนและล้อของ ของเครื่องเจียรรางรูน MV-03 | 34 |
| รูปที่ 3.14 ล้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว..... | 34 |
| รูปที่ 3.15 แทนวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโครงสำหรับยึดตู้ควบคุมมอเตอร์ของ เครื่องเจียรรางรูน MV-03 | 35 |
| รูปที่ 3.16 วงจรภายในตู้ควบคุมมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรูน MV-03 | 36 |
| รูปที่ 3.17 ตารางแสดงขนาดของมอเตอร์ Suntech MH Series แบบหน้าแปลน 4 ขั้ว | 38 |
| รูปที่ 3.18 ตารางแสดงขนาดของเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองหนอน..... | 38 |
| รูปที่ 3.19 (ก) แผนภูมิอิสระของเครื่องเจียรรางรูน MV-03 (ข) แผนภูมิจลนพลศาสตร์ของทั้งระบบ | 39 |
| รูปที่ 3.20 (ก)แผนภาพวัตถุอิสระของล้อต้น (ข)แผนภูมิจลนพลศาสตร์ของล้อต้น..... | 41 |
| รูปที่ 3.21 ตารางแสดงคุณสมบัติของเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอน | 43 |
| รูปที่ 3.22 JADEN DLM1-01D5S2G..... | 47 |
| รูปที่ 3.23 No Fuse Breaker Mitsubishi Model NF30-CS 15 A 2 poles | 47 |
| รูปที่ 3.24 Magnetic contactor Mitsubishi Model S-T12..... | 47 |

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 3.25 สาย VCT 4 แกน..... | 48 |
| รูปที่ 3.26 สาย VCT 3 แกน | 48 |
| รูปที่ 3.27 สาย VSF 4 ลี..... | 48 |
| รูปที่ 3.28 เคเบิลเกลนด์..... | 48 |
| รูปที่ 3.29 ซีลคเตอร์สวิตช์แบบสามตำแหน่งและสองตำแหน่ง..... | 49 |
| รูปที่ 3.30 สวิตช์ฉุกเฉิน..... | 49 |
| รูปที่ 3.31 โฟเทนซิโอมอเตอร์ขนาด 10K..... | 49 |
| รูปที่ 3.32 ไฟลอตแลมป์ 3 ลี | 49 |
| รูปที่ 3.33 ตู้ควบคุมมอเตอร์ขนาด 300x450x170 มม ³ | 50 |
| รูปที่ 3.34 การติดตั้งอุปกรณ์ตามตำแหน่งที่กำหนดไว้..... | 50 |
| รูปที่ 3.35 การเดินสายไฟและสายควบคุมตามแบบไฟฟ้า..... | 51 |
| รูปที่ 3.36 ชุดมอเตอร์สำหรับเครื่องเจียรรางรูน MV-03..... | 54 |
| รูปที่ 3.37 เครื่องเจียรรางรูน MV-03 พร้อมติดตั้งระบบขับเคลื่อน | 55 |
| รูปที่ 3.38 เครื่องขังน้ำหนักดิจิตอลแบบแขวน | 55 |
| รูปที่ 3.39 เครื่องขังน้ำหนักดิจิตอลแบบวางพื้น | 55 |
| รูปที่ 3.40 บริเวณที่ทำการทดสอบ..... | 56 |
| รูปที่ 3.41 การปรับระดับความสูงของล้ออย่างให้สัมผัสกับราง..... | 57 |
| รูปที่ 3.42 ปลั๊กไฟสามเฟสตัวผู้และตัวเมีย | 57 |
| รูปที่ 3.43 ปลั๊กไฟหนึ่งเฟส 220 VAC | 57 |
| รูปที่ 3.44 ไฟลอตแลมป์แสดงสถานะพร้อมใช้งานของตู้ควบคุมมอเตอร์..... | 58 |
| รูปที่ 3.45 ซีลคเตอร์สวิตช์สองตำแหน่งสำหรับเปิด-ปิด หลอด LED..... | 58 |
| รูปที่ 3.46 ซีลคเตอร์สวิตช์สามตำแหน่งสำหรับควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์..... | 58 |
| รูปที่ 3.47 ไฟลอตแลมป์แสดงสถานะใช้งานของมอเตอร์ | 59 |
| รูปที่ 3.48 โฟเทนซิโอสื่อสำหรับควบคุมความเร็ว | 59 |
| รูปที่ 3.49 ไฟลอตแลมป์แสดงสถานะการหยุดฉุกเฉิน | 59 |
| รูปที่ 4.1 การใช้งานเครื่องเจียรรางรูน MV-03 ก่อนการติดตั้งระบบขับเคลื่อน | 61 |
| รูปที่ 4.2 การใช้งานเครื่องเจียรรางรูน MV-03 หลังการติดตั้งระบบขับเคลื่อน | 61 |
| รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ขาออกจากอินเวอร์เตอร์ และความเร็วรอบของมอเตอร์..... | 64 |
| รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกจากอินเวอร์เตอร์ และความเร็วรอบของมอเตอร์..... | 64 |

สารบัญรูปร่าง (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกจากอินเวอร์เตอร์ และความถี่ขาออกจากอินเวอร์เตอร์ | 65 |
| รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสขาออกจากอินเวอร์เตอร์ และความเร็วรอบของมอเตอร์..... | 65 |
| รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังขาออกจากอินเวอร์เตอร์ กำลังขาออกจากมอเตอร์ และความเร็วรอบของมอเตอร์..... | 67 |
| รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเคลื่อนที่จากการคำนวณ ความเร็วในการเคลื่อนที่จากการวัดจริงและความเร็วรอบของมอเตอร์..... | 69 |



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันระบบขนส่งทางรางนั้นเป็นทางเลือกหนึ่งที่สำคัญที่ผู้เดินทางเลือกใช้บริการในการเดินทาง โดยมีเส้นทางหลายเส้นทางที่ได้เปิดให้บริการแล้วในปัจจุบันและในอนาคตนั้นยังมีโครงการก่อสร้างและพัฒนาาระบบขนส่งทางรางทั้งภายในกรุงเทพมหานครและหัวเมืองสำคัญต่างๆ ภายในประเทศอีกหลายโครงการ เพื่อที่จะให้ระบบขนส่งทางรางนั้นพร้อมใช้งานอยู่ตลอดเวลาปัจจัยหลักที่สำคัญสิ่งหนึ่งนั้นคือการซ่อมบำรุง การเจียรรางโดยใช้เครื่องเจียรรางเป็นหนึ่งในวิธีการซ่อมบำรุงทางรถไฟโดยเป็นการทำให้รางนั้นมีรูปร่างตามโปรไฟล์ (Profile) เดิมของราง เพื่อให้ขบวนรถไฟนั้นสามารถวิ่งได้อย่างราบรื่นทำให้ผู้โดยสารรู้สึกสะดวกสบายและปลอดภัย โดยสาเหตุที่ทำให้โปรไฟล์ของรางนั้นเปลี่ยนไปจากเดิมนั้นมาจากจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นกับรางที่เกิดขึ้นจากการใช้งานและสภาพแวดล้อมโดยรอบ โดยเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 เป็นหนึ่งในเครื่องเจียรรางที่ใช้งานในรถไฟฟ้ามหานคร สายสีน้ำเงิน ช่วงสถานีหัวลำโพง-บางซื่อ (เตาปูน) โดยลักษณะของการเคลื่อนที่ไปบนรางในขณะที่ใช้งานนั้นเป็นการใช้แรงของผู้ใช้งานในการดันและดึงเครื่องเจียรราง ทำให้ผู้ใช้งานต้องออกแรงในการควบคุมทั้งความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องเจียรรางและคอยควบคุมระดับของหินเจียรรางควบคู่ไปด้วย และในบางพื้นที่ที่ทำการเจียรรางนั้นมีความชันทำให้ผู้ใช้งานต้องใช้แรงเพิ่มมากขึ้นในการทำงาน

จากที่กล่าวมาข้างต้นจึงเป็นที่มาของการจัดทำปริญญาานิพนธ์ การออกแบบและติดตั้งระบบขับเคลื่อนสำหรับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 ของทางผู้จัดทำ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยทุ่นแรงและเพิ่มความสะดวกในการทำงานระหว่างการใช้งานเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 ให้แก่ผู้ใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาและออกแบบระบบขับเคลื่อนสำหรับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03
2. จัดทำและติดตั้งระบบขับเคลื่อนสำหรับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 เพื่อช่วยลดภาระจากการใช้แรงงานของผู้ใช้งาน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ระบบขับเคลื่อนลูกออกแบบเพื่อใช้กับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03
2. ระบบขับเคลื่อนลูกออกแบบให้สามารถควบคุมทิศทางได้ 3 ลักษณะคือ เคลื่อนที่ไปด้านหน้าหยุดและเคลื่อนที่ไปด้านหลัง และมีการแสดงสถานะการทำงานผ่านไฟลัดแลมป์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบและจัดทำระบบขับเคลื่อนโดยใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Induction Motor) การส่งกำลังผ่านเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอน (Worm Gear Reducer) และการออกแบบตู้ควบคุมมอเตอร์
2. ระบบขับเคลื่อนเพื่อช่วยทุ่นแรงและเพิ่มความสะดวกในการทำงานระหว่างการใช้งานเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 ของผู้ใช้งาน

1.5 วิธีการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

| หัวข้อ | เดือน | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. |
|---|-------|------|------|------|------|
| | | 2561 | 2561 | 2561 | 2561 |
| 1. ศึกษาหลักการทำงานของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 และเครื่องเจียรรางรุ่น RG-1 ต้นแบบที่ใช้ในการศึกษา | | | | | |
| 2. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการออกแบบระบบขับเคลื่อน | | | | | |
| 3. ออกแบบระบบขับเคลื่อนสำหรับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 | | | | | |
| 4. จัดทำและติดตั้งระบบขับเคลื่อนสำหรับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 | | | | | |
| 5. ทดลองและเก็บผลการทดลอง | | | | | |
| 6. วิเคราะห์ผลการทดลอง เปรียบเทียบกับทางทฤษฎี | | | | | |
| 7. สรุปผลการทดลอง | | | | | |

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในการออกแบบระบบขับเคลื่อนสำหรับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 จำเป็นต้องศึกษาระบบขับเคลื่อนของเครื่องเจียรรางรุ่น RG-1 ซึ่งเป็นต้นแบบที่ใช้ในการศึกษา และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 ความบกพร่องของราง หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก หลักการทำงานของเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอน และอุปกรณ์ภายในตู้ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า

2.2 ต้นแบบที่ใช้ในการศึกษา

รูปที่ 2.1 แสดงเครื่องเจียรรางรุ่น RG-1 เป็นเครื่องเจียรแบบกึ่งอัตโนมัติ ที่ถูกนำมาใช้งานในการเจียรรางในรถไฟไฟฟ้าสายสีน้ำเงินช่วง สถานีหัวลำโพง-บางซื่อ (เตาปูน) โดยลักษณะในการเจียรนั้นแกนหมุนของหินเจียรจะตัดขวางกับแนวความยาวของราง โดยหน้าสัมผัสของหินเจียรที่สัมผัสกับรางนั้นจะสามารถเจียรได้แค่ผิวหน้าของรางไม่สามารถเจียรบริเวณขอบของรางได้ จึงต้องใช้ควบคู่กับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 ที่สามารถปรับองศาในการเจียรได้เพื่อเจียรบริเวณขอบของรางเพื่อให้รางมีโปรไฟล์ตามที่กำหนด ซึ่งเครื่องเจียรรางรุ่น RG-1 นั้นมีระบบขับเคลื่อนโดยใช้ต้นกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกโดยสามารถควบคุมความเร็วและทิศทางในการเคลื่อนที่โดยตู้ควบคุมมอเตอร์ และมีระบบให้แสงสว่างให้กับผู้ใช้งาน ทำให้ผู้ใช้งานนั้นสามารถลดการใช้แรงในการควบคุมการเคลื่อนที่และควบคุมความเร็วของเครื่องเจียรรางรุ่น RG-1 ให้ตรงกับความต้องการได้



รูปที่ 2.1 เครื่องเจียรรางรุ่น RG-1

2.3 ทฤษฎี

2.3.1 เครื่องเจียรรางรางรุ่น MV-03

รูปที่ 2.2 เครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 นั้นใช้สำหรับเจียรรางด้านล่างแบน (Flat Bottom Rail) รางกัน (Check Rail) ทั้งใน ทางผ่าน (Crossings) และประแจ (Switching) โดยผู้ใช้งานสามารถปรับระดับได้ สามทิศทาง ดังนี้ 385 มิลลิเมตรในแนวขวางโดยประมาณ 200 มิลลิเมตรในแนวตั้ง โดยประมาณและ สามารถปรับมุมได้ $\pm 30^\circ$ โดยหินเจียรนั้นเป็นหินเจียรรูปถ้วย (Cup Type Stone) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร โดยตัวเครื่องมีล้อเหล็กไว้สำหรับเคลื่อนที่ไปบนราง และมีต้นกำลังเป็นเครื่องยนต์ HONDA GXV340



รูปที่ 2.2 เครื่องเจียรรางรุ่น MV-03

2.3.2 ความบกพร่องของราง (Rail Defect)

รางที่ใช้ในทางวิ่งของรถไฟฟ้าสายสีน้ำเงินช่วงสถานีหัวลำโพง-บางซื่อเป็นรางประเภท UIC 54 และ ช่วงสถานีบางซื่อ-เตาปูนเป็นรางประเภท UIC60 โดยการตรวจหาความบกพร่องของรางนั้นสามารถทำได้โดยการสังเกต (Visual Inspection) การตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Test) และ/หรือ เอกสารผลการตรวจสอบโดย เครื่องมือวัด RM1200 เครื่องมือวัด DQM เครื่องมือวัดหัวราง (Rail Head Measuring) และสามารถตรวจหาได้จากรูปภาพ

การแก้ไขเมื่อพบความบกพร่องของรางนั้นสามารถทำได้โดยการใช้ เครื่องเจียรราง RGM, MP 6, MP 12, หรือ MV 3 หรือทำการเปลี่ยนรางใหม่ในช่วงระยะทางที่เกิดความบกพร่อง โดยความบกพร่องของรางที่เกิดขึ้นนั้นมีดังต่อไปนี้

1. ความบกพร่องแบบ Head Check

ความบกพร่องแบบ Head Check นั้นเกิดจากการที่ขั้วของล้อรถไฟเสียดสีกับราง ทำให้รางมีความบกพร่องลักษณะเป็นรอยแตกซึ่งจะเกิดบริเวณรางด้านใน ซึ่งมีทั้งหมด 5 ระดับ โดยเรียงลำดับความเสียหายจากน้อยไปมาก เป็นระดับ 5-1 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.3-2.6



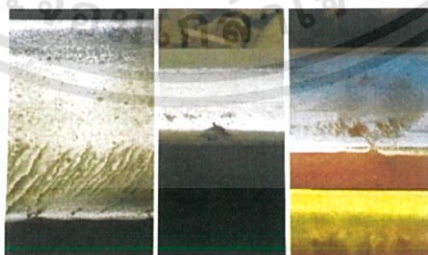
รูปที่ 2.3 ความบกพร่องแบบ Head Check ระดับที่ 5



รูปที่ 2.4 ความบกพร่องแบบ Head Check ระดับที่ 4



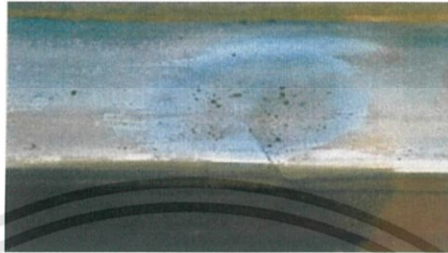
รูปที่ 2.5 ความบกพร่องแบบ Head Check ระดับที่ 3



รูปที่ 2.6 ความบกพร่องแบบ Head Check ระดับที่ 2-1

2. ความบกพร่องแบบ Squat

ความบกพร่องแบบ Squat นั้นเกิดจากการที่น้ำหนักของตัวรถที่กดลงบนรางผ่านล้อของรถไฟ ทำให้รางมีความบกพร่องลักษณะเป็นหลุม ซึ่งมีสองลักษณะ คือ Single Squat เป็นลักษณะหลุมเดี่ยว แสดงในรูปที่ 2.7 และ Squats ซึ่งมีลักษณะเป็นหลุมต่อเนื่องหลายจุด แสดงในรูปที่ 2.8



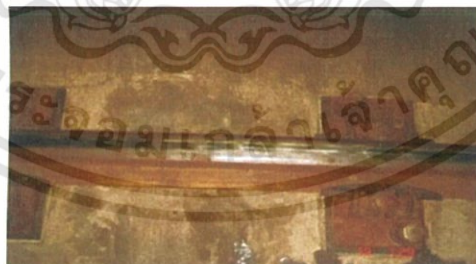
รูปที่ 2.7 ความบกพร่องแบบ Single Squat



รูปที่ 2.8 ความบกพร่องแบบ Squats

3. ความบกพร่องแบบ Corrugation

ความบกพร่องแบบ Corrugation นั้นเกิดจากแรงกดของล้อรถไฟขณะออกตัวและเข้าโค้งทำให้รางมีความบกพร่องลักษณะเป็นคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ความบกพร่องแบบ Corrugation

4. สนิมบนรางเนื่องจากการที่มีน้ำรั่วภายในอุโมงค์ (Rusty Rail due to Water Leakage in Tunnel)

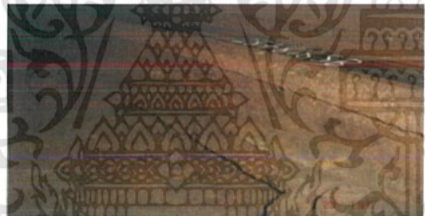
สนิมบนรางนั้นเกิดจากการที่มีน้ำรั่วภายในอุโมงค์ ทำให้เกิดความชื้นซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสนิมบนราง ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ความบกพร่องที่เกิดจากสนิมจากการที่มีน้ำรั่วภายในอุโมงค์ (Rusty Rail due to Water Leakage in Tunnel)

5. รางสีกร่อน (Corroded Rail)

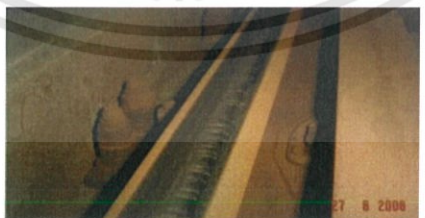
รางสีกร่อนนั้นเกิดจากการที่รางที่เกิดสนิมไม่ได้รับการซ่อมบำรุงโดยการจัดการรอยน้ำรั่วภายในอุโมงค์ ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 รางสีกร่อน (Corroded Rail)

6. การแตกที่ผิวราง (Crack in Running Surface)

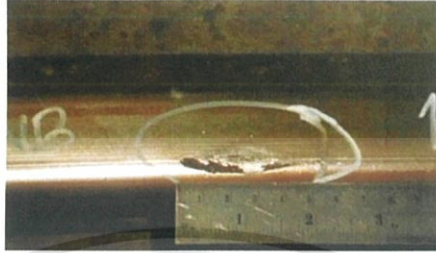
การแตกที่ผิวรางนั้นเกิดจากนั้น เป็นความบกพร่องที่มีลักษณะที่เกิดรอยแตกตลอดบริเวณผิวหน้าของราง ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การแตกที่ผิวราง (Crack in Running Surface)

7. ความบกพร่องของรางที่เกิดจากการผลิต (Rail Defect due to Fabrication Failure)

ความบกพร่องที่เกิดจากการผลิตนั้น โดยมากจะไม่พบในตอนเริ่มต้นที่นำไปติดตั้งแต่จะพบเมื่อผ่านการใช้งานไปได้เพียงระยะหนึ่ง จะปรากฏความบกพร่องนี้ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ความบกพร่องที่เกิดจากการผลิต (Rail Defect due to Fabrication Failure)

8. ผิวของรางไม่สม่ำเสมอ (Surface Deficiency of Running Rail)

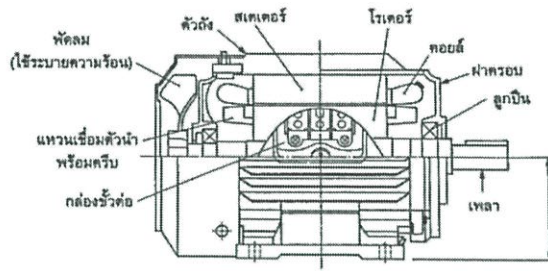
ผิวของรางที่ไม่สม่ำเสมอนั้นเกิดจากการที่ผิวของรางบางส่วนนั้นหายไปจากการเสียดสีระหว่างล้อกับราง ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ผิวของรางไม่สม่ำเสมอ (Surface Deficiency of running rail)

2.3.3 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Induction Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก เป็นมอเตอร์ที่มีโครงสร้างง่ายและแข็งแรง จึงเป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลาย โดยรูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบหุ้มมิตชิด ส่วนสำคัญของมอเตอร์จะแบ่งเป็นส่วนที่เป็นสเตเตอร์ (Stator) ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่กับที่ และส่วนที่เป็นโรเตอร์ (Rotor) ซึ่งเป็นส่วนที่หมุน แต่ละส่วนก็จะประกอบด้วยทั้งส่วนเครื่องกลและไฟฟ้า และพัดลมระบายอากาศที่ติดอยู่กับเพลาของมอเตอร์จะมีหน้าที่ระบายความร้อนให้กับตัวมอเตอร์ขณะหมุน



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างโครงสร้างมอเตอร์เหนี่ยวนำ

โดยลักษณะสมบัติของมอเตอร์ที่ควรทราบมีดังต่อไปนี้

1. ความเร็วรอบของมอเตอร์

ความเร็วของมอเตอร์นั้นนอกจากจะถูกกำหนดโดยแรงบิดของโหลดแล้ว ยังเกี่ยวพันกับจำนวนขั้วของมอเตอร์ และความถี่ของแหล่งจ่ายไฟที่ใช้ขับมอเตอร์ด้วย ตามสมการ (2.1)

$$N = \frac{120 \times f}{P} \cdot (1 - S) \quad (2.1)$$

โดยที่ N คือ ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)

f คือ ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ (เฮิรตซ์)

P คือ จำนวนขั้วของมอเตอร์

S คือ สลิป

2. สลิป (Slip)

เมื่อมอเตอร์หมุนขับโหลด ความเร็วรอบของมอเตอร์จะลดต่ำลงจากความเร็วซิงโครนัสเล็กน้อย ขนาดความเร็วที่ลดลงมานี้เรียกว่า สลิป ตามสมการ (2.2)

$$S = \frac{N_o - N}{N_o} \times 100\% \quad (2.2)$$

โดยที่ N_o คือ ความเร็วซิงโครนัส (รอบต่อนาที)

ในขณะที่สตาร์ท มอเตอร์จะหยุดนิ่งสลิปจะมีค่า 100% (หรือมีค่าเท่ากับ 1) เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นค่าสลิปจะมีค่าลดลง จนมีค่าประมาณไม่กี่เปอร์เซ็นต์ ถ้าให้มอเตอร์ขับโหลดด้วยแรงบิดปกติ ค่าสลิปจะมีค่าระหว่าง 3-5% ถ้าโหลดเพิ่มมากขึ้นค่าสลิปก็จะเพิ่มมากขึ้น และกระแสที่ป้อนเข้ามอเตอร์ก็จะเพิ่มสูงมากขึ้น โดยสลิปจะมีค่าเป็นลบเมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์สูงกว่าความเร็วซิงโครนัส

3. แรงบิดพิกัด (Rated Torque)

แรงที่เพลลาของมอเตอร์ผลิตขึ้นมาเรียกว่า แรงบิด (Torque) ปกติแรงที่กระทำเชิงเส้นจะมีหน่วยเป็นกิโลกรัมแรง [kgf] หรือ นิวตัน [N] แต่แรงบิดที่เกิดจากเพลลาของมอเตอร์ขณะหมุน จึงเป็นแรงที่เกิดจากการหมุน มีหน่วยเป็น [kgf.m] หรือ [N.m] เราสามารถคำนวณหาแรงบิดพิกัดของมอเตอร์ ได้จากสมการ (2.3)

$$T_M = 9550 \times \frac{P_M}{N_M} \quad (2.3)$$

โดยที่ T_M คือ แรงบิดพิกัด (นิวตันเมตร)

P_M คือ กำลังขาออกพิกัด (กิโลวัตต์)

N_M คือ ความเร็วรอบพิกัด (รอบต่อนาที)

หมายเหตุ ความเร็วรอบพิกัด หมายถึง ความเร็วของมอเตอร์เมื่อป้อนแรงดันและความถี่พิกัดให้กับมอเตอร์ และมอเตอร์ผลิตแรงบิดพิกัดให้กับโหลด และ แรงบิดพิกัดของมอเตอร์ ไม่ได้หมายถึงแรงบิดที่มอเตอร์ผลิตขึ้น แต่หมายถึงแรงบิดของโหลดที่มอเตอร์สามารถขับได้เมื่อมอเตอร์หมุนต่อเนื่องจากความเร็วรอบพิกัด

4. ความถี่ฐาน (Base frequency)

ความถี่ฐาน หมายถึง ความถี่ที่มอเตอร์ให้แรงบิดพิกัด โดยมอเตอร์มาตรฐานจะถูกออกแบบให้สามารถใช้งานได้ทั้ง 50 เฮิรตซ์ และ 60 เฮิรตซ์ ความถี่ฐานจะถูกกำหนดไว้ที่ 50 เฮิรตซ์ หรือ 60 เฮิรตซ์ ค่าใดค่าหนึ่งเมื่อคำนึงถึงปัญหาความร้อนที่เกิดในมอเตอร์ ควรเซตความถี่ฐานไว้ที่ 60 เฮิรตซ์

5. การเพิ่มอุณหภูมิของมอเตอร์

ฉนวนที่ใช้ในมอเตอร์จะมีชนิดต่างๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการทนความร้อน อันเนื่องมาจากการเพิ่มอุณหภูมิของมอเตอร์ โดยมอเตอร์มาตรฐานทั่วไปขนาดเล็กจะใช้ ฉนวนชนิด E หรือ B ถ้าเป็นมอเตอร์ขนาดกลางขึ้นไปจะใช้ฉนวนชนิด F ถ้าต้องใช้มอเตอร์ที่มีอุณหภูมิสูงหรือต้องการแรงบิดสูงๆ จากมอเตอร์โดยไม่ต้องเพิ่มขนาดมอเตอร์ จำเป็นต้องใช้ฉนวนที่เกรดสูงขึ้น

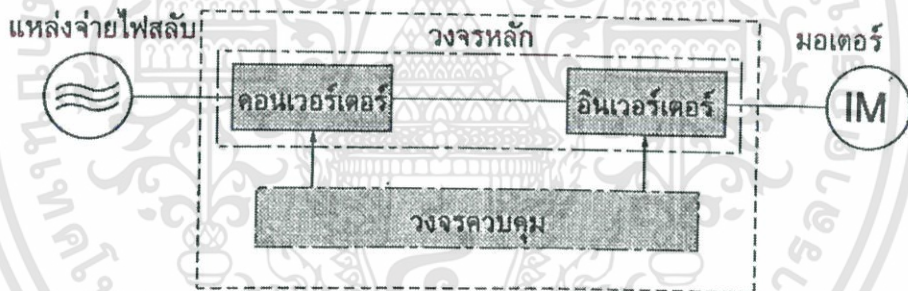
2.3.4 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสลับชนิดเหนี่ยวนำ (Induction Motor) ปัจจุบันเริ่มเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถแปรค่าความเร็วของมอเตอร์ได้อย่างต่อเนื่อง ลดกระแสสตาร์ท และมีฟังก์ชันในการควบคุมมอเตอร์มากมาย ทำให้สามารถใช้งานได้สะดวก และทำให้การควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำมีลักษณะสมบัติใกล้เคียงกับมอเตอร์กระแสตรงที่มีราคาสูง

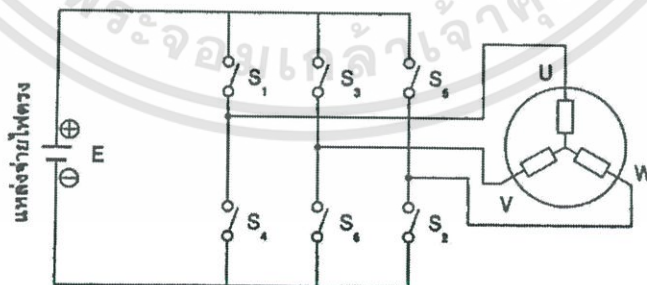
ในโรงงานอุตสาหกรรมนิยมใช้อินเวอร์เตอร์ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ ซึ่งเป็นต้นกำลังของการขับเคลื่อนของเครื่องจักรต่างๆเช่น สายพานลำเลียง โซ่ลำเลียง เครื่องอัดเม็ด เป็นต้น อินเวอร์เตอร์จะถูกใช้ในการขับปั๊มน้ำและพัดลมเป่าอากาศ ซึ่งมีใช้กันมาก ทำให้เกิดการประหยัดพลังงานอย่างมากเนื่องจาก อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง จึงมีคุณสมบัติและการใช้งานแตกต่างจากแหล่งจ่ายไฟทั่วไปนอกจากนั้นคุณสมบัติของมอเตอร์จะต่างจากการต่อกับแหล่งจ่ายไฟโดยตรง

2.3.4.1 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์

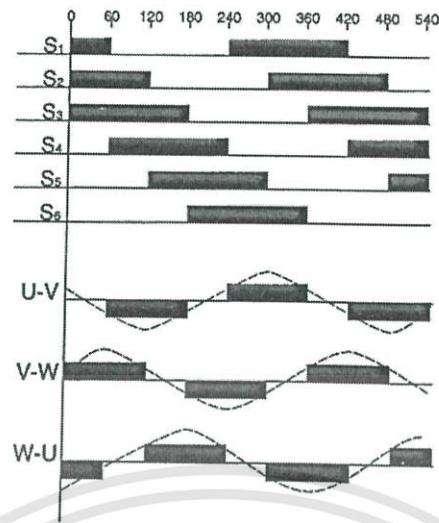
รูปที่ 2.16 แสดงโครงสร้างของอินเวอร์เตอร์โดย อินพุต (Input) ของ อินเวอร์เตอร์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายไฟ (50 เฮิรตซ์ หรือ 60 เฮิรตซ์) ไฟฟ้ากระแสสลับนี้จะถูกแปลงเป็นไฟตรงโดยวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter) จากนั้นจะถูกแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถแปรขนาดแรงดันและความถี่ได้โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter) วงจรทั้งสองส่วนนี้เป็นวงจรหลักที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงรูปคลื่นและผ่านพลังงานของอินเวอร์เตอร์ นอกจากนั้นยังมีวงจรควบคุมสำหรับควบคุมการทำงานของวงจรทั้งสองส่วนนั้น อินเวอร์เตอร์ชนิดใช้งานทั่วไปนั้นจะประกอบด้วยส่วนวงจรคอนเวอร์เตอร์ และวงจรอินเวอร์เตอร์รวมอยู่ในเครื่องเดียวกันเสมอ สองส่วนนี้จะใช้องค์ประกอบวงจรที่ต่างกันไป และมีการทำงานที่ต่างกัันดังนี้ ในกรณีนี้จะอธิบายหลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ชนิด 3 เฟส ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์



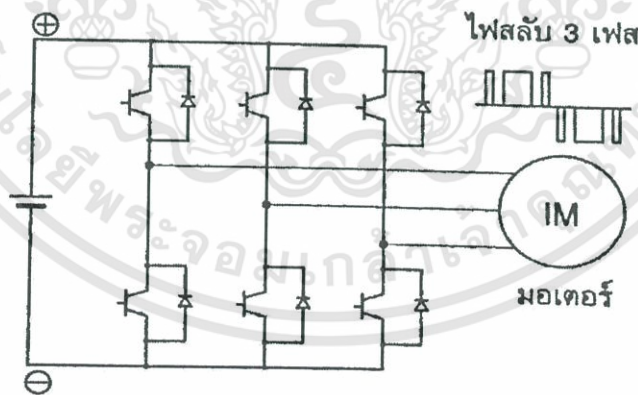
รูปที่ 2.17 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสพื้นฐาน



รูปที่ 2.18 การสร้างไฟสลั 3 เฟส

ถ้าให้สวิตช์ (Switch) S1 ถึง S6 ในวงจรเปิดปิดตามจังหวะก็จะมีกระแสไหลผ่านขั้ว U-V, V-W และ W-U ของมอเตอร์ตามรูปคลื่นที่แสดงในรูป 2.18 รูปคลื่นของกระแสจะเป็นกระแสไฟสลัของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีช่วงกว้างและช่วงห่างระหว่างคลื่นเท่ากัน ถ้าเปลี่ยนช่วงเวลาของการเปิดปิดสวิตช์เหล่านี้ก็จะทำให้ความถี่ของไฟสลัเปลี่ยนไปได้ และถ้าเปลี่ยนขนาดของแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงก็จะทำให้ขนาดของแรงดันไฟสลัของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเปลี่ยนไปได้เช่นเดียวกัน

อินเวอร์เตอร์จะใช้ทรานซิสเตอร์ (Transistor) แทนสวิตช์ ทั้ง 6 ตัว ดังแสดงในรูป 2.19 เมื่อต่อเอาต์พุตเข้ากับมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟสและควบคุมทรานซิสเตอร์ ให้เปิดปิดตามจังหวะในรูปที่ 2.18 ก็จะทำให้มอเตอร์หมุนได้ และถ้าเปลี่ยนลำดับการเปิดปิดของทรานซิสเตอร์ก็สามารถบังคับให้มอเตอร์หมุนกลับทางได้



รูปที่ 2.19 อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์

2.3.4.2 รูปแบบ v/f (v/f Pattern)

เมื่อใช้อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ นอกจากการแปรความถี่เพื่อปรับความเร็วขอมอเตอร์แล้วยังต้องแปรขนาดแรงดันตามความถี่ที่เปลี่ยนไปเพื่อรักษาอัตราส่วน v/f ให้คงที่ การแปรขนาดแรงดันของ อินเวอร์เตอร์นั้นมีหลายวิธี วิธีที่นิยมกันมากในอินเวอร์เตอร์ชนิดใช้งานทั่วไปคือวิธีการแปรรูปคลื่นของแรงดันขาออกที่ป้อนให้มอเตอร์ ซึ่งมีหลายวิธีดังแสดงในรูปที่ 2.20

| (E : แรงดันไฟตรง) | | | |
|---|------------------------|------------------------|--|
| วิธีควบคุม | ความถี่ต่ำ (แรงดันต่ำ) | ความถี่สูง (แรงดันสูง) | จุดเด่น |
| วิธี PAM PULSE AMPLITUDE MODULATION | | | <ul style="list-style-type: none"> - เสียขอมอเตอร์เบา - ประสิทธิภาพดี - ควบคุมขนาดแรงดันที่คอนเวอร์เตอร์ - ผลตอบซ้ำ |
| วิธี PWM PULSE WIDTH MODULATION | | | <ul style="list-style-type: none"> - ส่วนอินเวอร์เตอร์สามารถควบคุมความถี่และแรงดันได้ทั้งหมด - ได้ยินเสียงความถี่สูงจากมอเตอร์ |
| วิธี PWM ที่ให้แรงดันเป็นรูปซายน์ | | | <ul style="list-style-type: none"> - เครื่องมอเตอร์ได้เรียบที่ความเร็วต่ำ - ชาร์โมนิคความถี่ต่ำมีขนาดเล็ก - ได้ยินเสียงความถี่สูงจากมอเตอร์ |

รูปที่ 2.20 การควบคุมรูปคลื่นแรงดันของอินเวอร์เตอร์

สาเหตุที่ต้องเปลี่ยนแรงดันเมื่อเปลี่ยนความถี่เพื่อควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์นั้น เพราะความเร็วรอบของมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับความถี่เท่านั้น แต่เมื่อเปลี่ยนความถี่ไปโดยให้แรงดันคงที่ เช่น ลดความถี่ต่ำกว่า 50 เฮิร์ตซ์ ในขณะที่แรงดันเป็น 380 โวลต์ จะทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กอิ่มตัว กระแสก็จะเพิ่มมากขึ้นและมอเตอร์ก็จะร้อนขึ้นจนเสียหายได้ วิธีการแก้ปัญหานี้คือการรักษาฟลักซ์แม่เหล็กให้มีค่าคงที่ ฟลักซ์แม่เหล็กจะแปรผันโดยตรงกับแรงดันและแปรผกผันกับความถี่ ตามสมการ (2.4)

$$\alpha = \frac{V}{f} \quad (2.4)$$

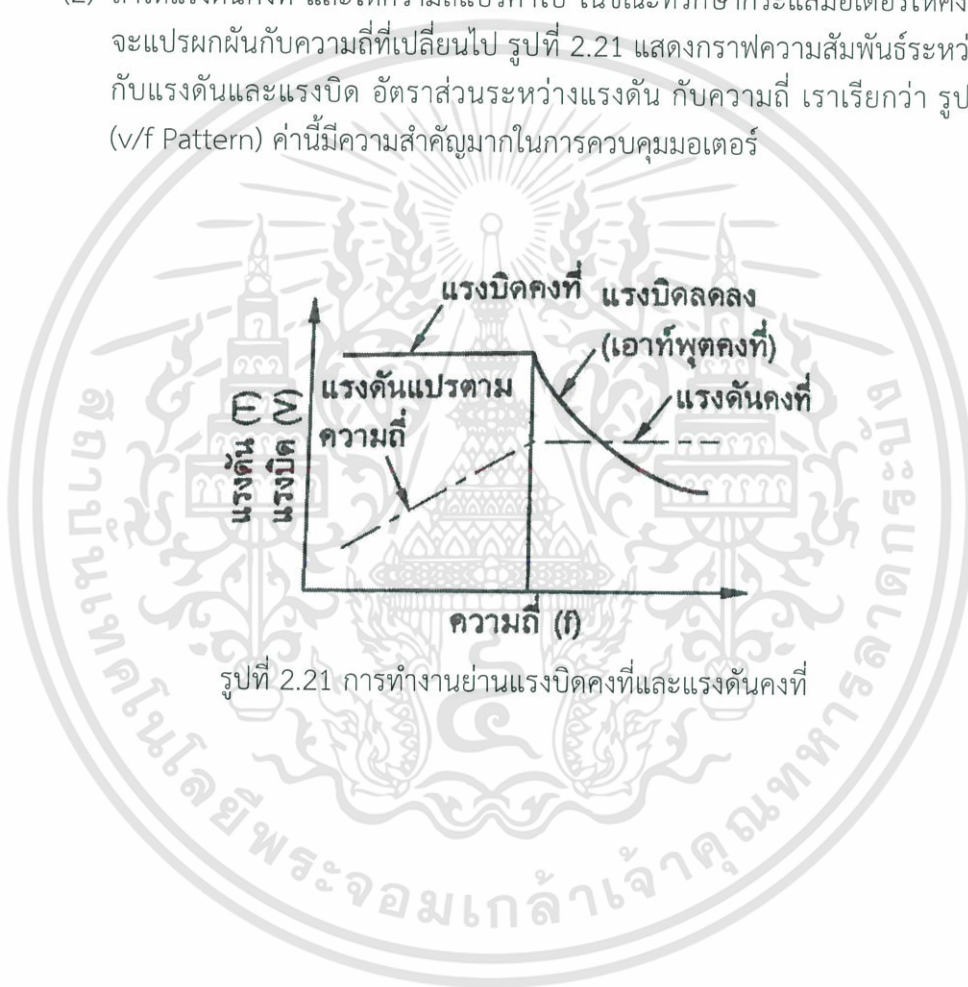
โดยที่ α คือ ฟลักซ์แม่เหล็ก (เทสลา)
 V คือ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)
 f คือ ความถี่ (เฮิร์ตซ์)

การแปรค่าแรงดันเพื่อแก้ปัญหาความร้อนของมอเตอร์นั้นต้องคำนึงถึงแรงบิดด้วย เช่นเดียวกัน โดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด กับ กระแส และอัตราส่วน V/f แสดงดังสมการที่ (2.5)

$$T = K \cdot \frac{V}{f} \cdot I \quad (2.5)$$

โดยที่ K คือ ค่าคงที่
 I คือ กระแส (แอมแปร์)

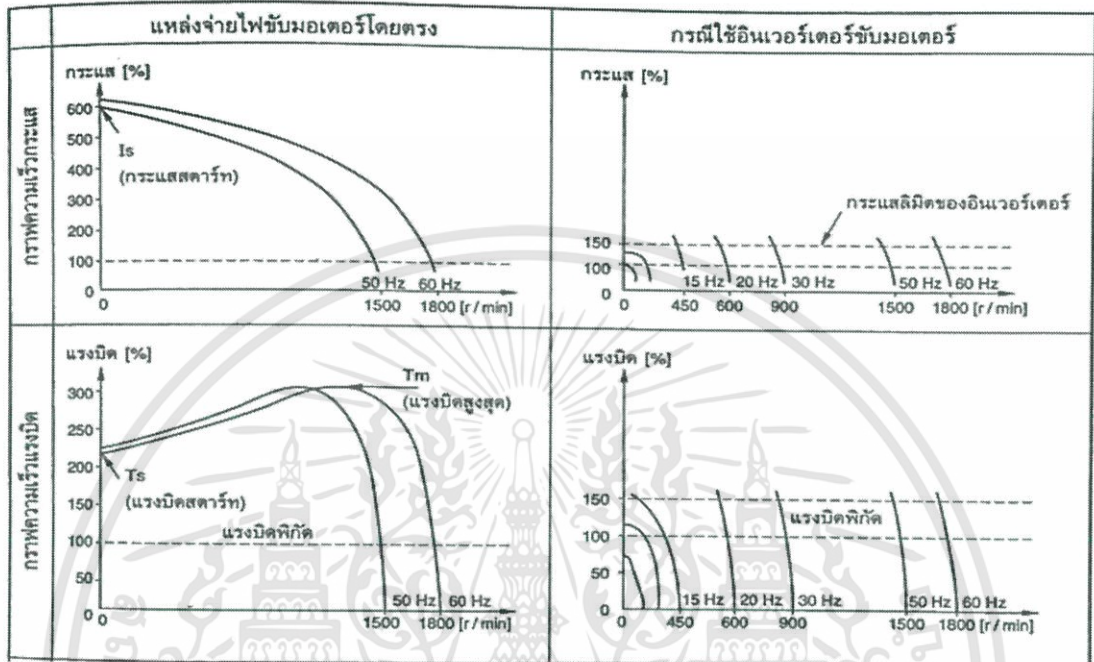
- (1) ถ้าอัตราส่วน v/f คงที่ก็จะทำให้แรงบิดคงที่ด้วย
- (2) ถ้าให้แรงดันคงที่ และให้ความถี่แปรค่าไป ในขณะที่รักษากระแสมอเตอร์ให้คงที่ แรงบิด จะแปรผกผันกับความถี่ที่เปลี่ยนไป รูปที่ 2.21 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ กับแรงดันและแรงบิด อัตราส่วนระหว่างแรงดัน กับความถี่ เราเรียกว่า รูปแบบ v/f (v/f Pattern) ค่านี้มีความสำคัญมากในการควบคุมมอเตอร์



รูปที่ 2.21 การทำงานย่านแรงบิดคงที่และแรงดันคงที่

2.3.4.3 ลักษณะสมบัติแรงบิด-กระแสของมอเตอร์เมื่อถูกขับด้วยอินเวอร์เตอร์

รูปที่ 2.22 แสดงกราฟความเร็วรอบกับแรงบิดและกระแสของมอเตอร์ โดยเปรียบเทียบระหว่างกรณีต่อกับแหล่งจ่ายไฟกับกรณีขับด้วยอินเวอร์เตอร์หน่วยเปอร์เซ็นต์ (%) ในกราฟหมายถึง คิดเป็นกิโลวัตต์ของแรงบิดพิกัดหรือกระแสพิกัด ในตัวอย่างนี้เป็นมอเตอร์ชนิด 4 ขั้ว



รูปที่ 2.22 เปรียบเทียบกระแสและแรงบิดของมอเตอร์เมื่อต่อกับแหล่งจ่ายไฟและอินเวอร์เตอร์

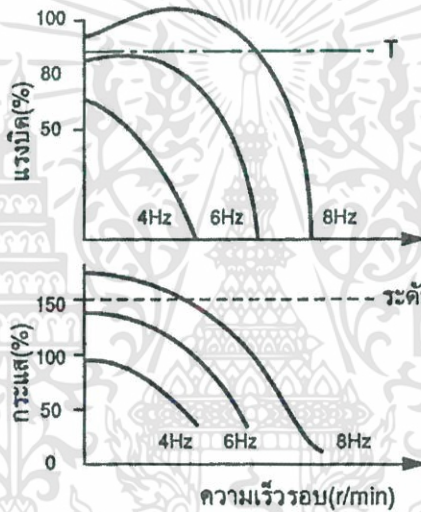
จากรูปที่ 2.22 จะเห็นได้ว่า มอเตอร์ถูกขับด้วยอินเวอร์เตอร์จะมีจุดเด่นคือ สามารถควบคุมกระแสสตาร์ทที่ให้มีขนาดเล็กได้ โดยการสตาร์ทจากความเร็วต่ำๆ แต่ก็จะได้แรงบิดสตาร์ทขนาดเล็กด้วย และสามารถปรับความเร็วรอบได้โดยไม่ขึ้นกับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ ต่างจากการต่อกับแหล่งจ่ายไฟที่จะให้แรงบิดสตาร์ทที่สูง แต่ก็เกิดกระแสสตาร์ทที่สูงตามไปด้วย และความเร็วจะคงที่และขึ้นอยู่กับความถี่ของแหล่งจ่าย

เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีต่อกับมอเตอร์กับแหล่งจ่ายไฟ การใช้อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์จะทำให้กระแสไหลผ่านมอเตอร์เพิ่มมากขึ้นที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากรูปคลื่นของแรงดันที่อินเวอร์เตอร์ผลิตออกมาจะไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ที่เดียวนัก จะมีฮาร์โมนิคปนอยู่ทำให้กระแสของมอเตอร์มีขนาดมากกว่ากรณีต่อกับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงประมาณ 10% และจะทำให้มอเตอร์ร้อนกว่าด้วย โดยทั่วไปในแคตตาล็อกของ อินเวอร์เตอร์มักจะเขียนแนะนำว่า ถ้าใช้อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์อย่างต่อเนื่อง ควรลดโหลดเหลือ 85% เมื่อหมุนที่ความเร็ว 50 เฮิรตซ์ ก็เนื่องจากเหตุผลนี้ แต่ในกรณีที่หมุนด้วยความถี่ 60 เฮิรตซ์ ไม่จำเป็นต้องทำการลดโหลด เนื่องจากอุณหภูมิยังห่างจากค่ากำหนดมาก แม้กระแสจะไหลเพิ่มมากขึ้น ก็ไม่เป็นปัญหาด้านความร้อน

2.3.4.4 ลักษณะสมบัติการเร่งความเร็วและการเดินเครื่องมอเตอร์เมื่อขับด้วยอินเวอร์เตอร์

1. การสตาร์ท

เมื่อให้สัญญาณสตาร์ท และให้สัญญาณตั้งความเร็วแก่อินเวอร์เตอร์เริ่มแรก อินเวอร์เตอร์จะให้เอาต์พุตไปที่มอเตอร์ด้วยความถี่สตาร์ท มอเตอร์ก็จะผลิตแรงบิด ถ้าแรงบิดสตาร์ทของมอเตอร์ที่ความถี่สตาร์ทมากกว่าแรงบิดของโหลด มอเตอร์ก็จะเริ่มหมุน แต่ถ้าแรงบิดของโหลดใหญ่กว่ามอเตอร์ก็จะยังไม่หมุนจะหยุดอยู่ในสภาพล๊อคอินเวอร์เตอร์จะค่อยๆเพิ่มความถี่ขึ้นไป ดังแสดงในรูปที่ 2.23 จนกระทั่งแรงบิดของมอเตอร์สูงกว่าแรงบิดของโหลดมอเตอร์จึงเริ่มหมุน ถ้าตั้งค่าความถี่สตาร์ทที่สูงกว่ากระแสของมอเตอร์ในสภาพล๊อคจะสูงมากจนเกินระดับกระแสเกิน ทำให้เกิดการตัดกระแสเกินหรือโหลดเกินได้



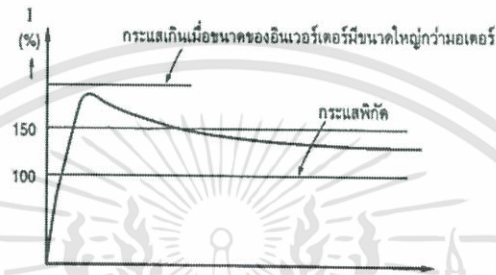
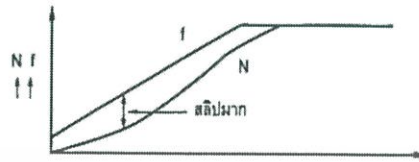
รูปที่ 2.23 แรงบิดสตาร์ท

เมื่อขับมอเตอร์ด้วยอินเวอร์เตอร์การควบคุมแบบ v/f ในย่านความถี่ต่ำ แรงบิดสตาร์ทจะเท่ากับแรงบิดสูงสุดซึ่งไม่ทำให้กระแสอินเวอร์เตอร์เกิน 150% จะเห็นว่าแรงบิดสตาร์ทของมอเตอร์กรณีขับด้วย อินเวอร์เตอร์จะแตกต่างจากกรณีที่มอเตอร์ต่อกับแหล่งจ่ายไฟโดยตรง แรงบิดสตาร์ทนี้ เรียกว่าเป็นแรงบิดสตาร์ทสูงสุด

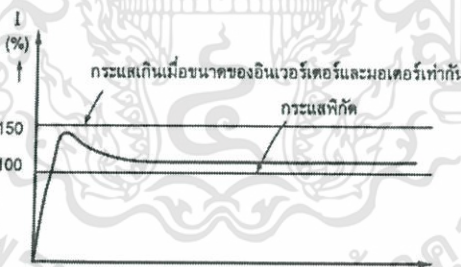
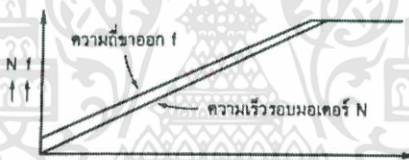
2. การเร่งความเร็ว

หลังจากสตาร์ทอินเวอร์เตอร์และมอเตอร์แล้วความถี่ขาออกจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงความถี่ที่ต้องการ ช่วงเวลาในการเพิ่มความถี่นี้คือ เวลาในการเร่งความเร็ว ดังที่กล่าวมาข้างต้นในเรื่องสลิปว่า มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็ว N ไล่ตามความถี่ f ด้วยค่าสลิปเสมอ ค่าสลิปนี้ขึ้นอยู่กับแรงบิดของโหลด และแรงบิดของมอเตอร์ ถ้าตั้งเวลาการเร่งความเร็วไว้ยาวพอ ก็จะทำให้มอเตอร์เพิ่มความเร็วไล่ระดับตามความถี่ไปเรื่อยๆตามรูปที่ 2.24 แต่ถ้าตั้งช่วงเวลานี้สั้นเกินไป จะทำให้ค่า f และค่า N นั้นต่างกันมากทำให้ค่าสลิปมากดังแสดงในรูปที่ 2.24 กระแสของมอเตอร์ก็จะไหลมากจนอาจเกิดการตัดเนื่องจากการกระแสเกินได้

(ถ้าทำการเพิ่มขนาดของอินเวอร์เตอร์ให้ใหญ่ขึ้นก็จะทำให้ระดับกระแสเกินเพิ่มมากขึ้น ฟังก์ชันป้องกันการทำงานจะทำงานยากขึ้น) ดังนั้นการจำกัดกระแสสตาร์ทของอินเวอร์เตอร์ จะต้องตั้งช่วงเวลาการเร่งความเร็วให้พอเหมาะกับโหลดเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.25



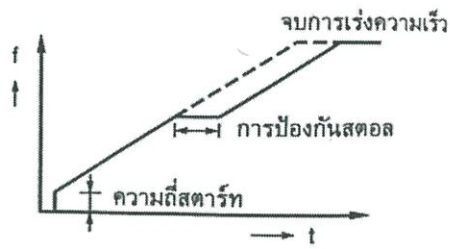
รูปที่ 2.24 การเร่งความเร็วโดยตั้งเวลาเร่งสั้นเกินไป



รูปที่ 2.25 การเร่งความเร็วโดยตั้งเวลาเร่งยาวพอดี

3. การป้องกันสตอล (Stall)

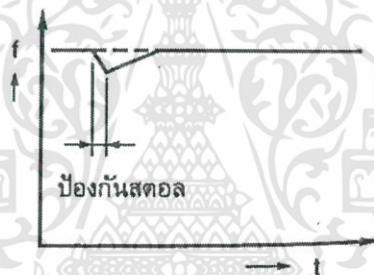
ในระหว่างเร่งความเร็ว ถ้ากระแสของมอเตอร์สูงกว่า 150% (ระดับกระแสเกิน) เพื่อไม่ให้เกิดการตัดเนื่องจากกระแสเกินก็จะหยุดการเพิ่มความถี่ไว้ชั่วคราวเพื่อไม่ให้เกิดการตัดเนื่องจากกระแสเกิน ดังแสดงในรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 การป้องกันสตอลในระหว่างเร่งความเร็ว

4. การเดินเครื่องความเร็วคงที่

เมื่อความถี่ขาออกเท่ากับความถี่ที่ต้องการ ขั้นตอนการเร่งความเร็วก็สำเร็จ อินเวอร์เตอร์จะเข้าสู่การทำงานในช่วงการเดินเครื่องด้วยความเร็วคงที่ ในช่วงการเดินเครื่อง ความเร็วที่ ถ้ากระแสของมอเตอร์มีค่าเกิน 150% (ระดับกระแสเกิน) เพื่อไม่ให้เกิดการตัด เนื่องจากกระแสเกิน จะมีการลดความถี่ลงชั่วคราว เมื่อกระแสลดลงต่ำกว่า 150% ก็จะมี ความถี่เท่าเดิม ดังแสดงในรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 การป้องกันสตอลในระหว่างเดินเครื่องความเร็วคงที่

2.3.4.5 ลักษณะสมบัติการลดความเร็วและการหยุดมอเตอร์เมื่อขับด้วยอินเวอร์เตอร์

1. การลดความเร็ว

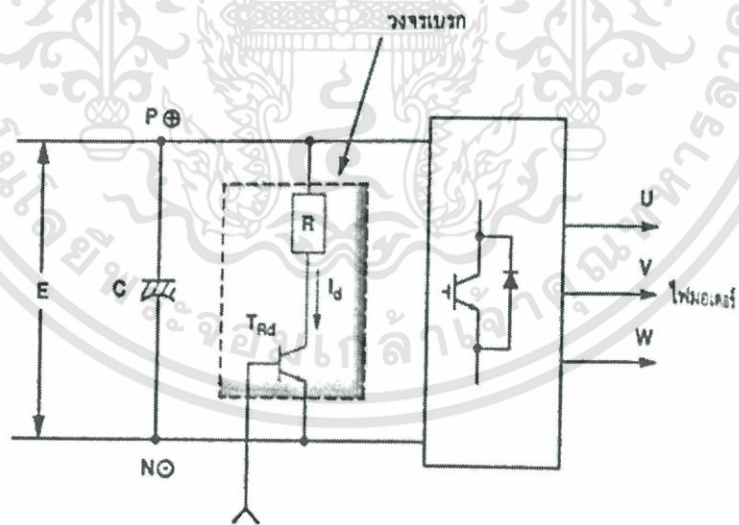
เมื่อให้สัญญาณ OFF หรือตั้งค่าความถี่ให้ต่ำกว่าความถี่ขาออกอินเวอร์เตอร์จะลด ความถี่ลงมาเรื่อยๆ ตามช่วงเวลาการลดความเร็วที่ตั้งไว้ ในขณะที่ลดความถี่ความเร็วรอบของ มอเตอร์จะมีค่ามากกว่าความถี่ขาออกของอินเวอร์เตอร์ทำให้ค่าสลลิปเป็นลบ และมอเตอร์ ทำงานเหมือนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตไฟจ่ายกลับคืนอินเวอร์เตอร์ทำให้แรงดันไฟตรงมีค่า เพิ่มขึ้น โดยเมื่อให้สัญญาณ OFF แล้วมอเตอร์จะไม่หมุนฟรีแล้วหยุดเองแต่จะลด ความเร็วลงมาจนกระทั่งหยุด โดยใช้เวลาการหยุดตามที่ตั้งค่าไว้จากการตั้งค่าเวลาในการลด ความเร็วมอเตอร์จะมีสภาพการทำงานดังตาราง 2.1

ตารางที่ 2.1 สภาพการทำงานของมอเตอร์

| เงื่อนไขการลดความเร็ว | สภาพการทำงาน | สลิป |
|--|-----------------|--------|
| เวลาการลดความเร็ว > เวลาหยุดเมื่อหมุนฟรี | มอเตอร์ | < 3-5% |
| เวลาการลดความเร็ว < เวลาหยุดเมื่อหมุนฟรี | เครื่องกำเนิดไฟ | ค่าลบ |

2. การทำงานของวงจรเบรกคืนพลังงาน (Regeneration Brake Circuit)

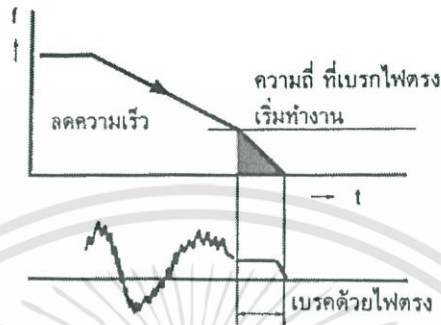
ภายในอินเวอร์เตอร์จะมีวงจรที่ทำหน้าที่รับพลังงานที่เกิดจากการที่มอเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการเบรกมอเตอร์ วงจรนี้เรียกว่า วงจรเบรกคืนพลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.28 โดยการทำงานของวงจรเบรกคืนพลังงานชนิดที่ติดตั้งอยู่ในอินเวอร์เตอร์พลังงานที่เกิดจากการคืนพลังงานป้อนกลับมาซาร์ทประจุที่คอนเดนเซอร์ (Condenser) ทำให้แรงดัน E มีค่าสูงขึ้น ถ้าแรงดันสูงเกินค่าที่กำหนด ทรานซิสเตอร์ TRd ในวงจรเบรกจะทำงาน ทำให้มีกระแส I_d ไหลผ่านตัวต้านทานเบรก R ทำให้ตัวต้านทานร้อน เป็นการเผาผลาญพลังงานที่เกิดจากการเบรกคืนพลังงานและพลังงานที่เก็บสะสมในคอนเดนเซอร์ก็จะถูกคายออกมาด้วย ทำให้แรงดัน E มีค่าลดลง เมื่อลดลงต่ำกว่าค่าที่กำหนด ทรานซิสเตอร์ TRd ก็จะหยุดทำงานกระแสเบรกก็จะหยุดไหล ในช่วงการลดความเร็วก็จะทำงานในลักษณะนี้หลายครั้ง ถ้าพลังงานมีค่าน้อย (แรงบิดที่จำเป็นสำหรับการลดความเร็วมีขนาดเล็ก) อัตราการใช้วงจรเบรกก็จะต่ำ บางครั้งอาจจะไม่ทำงานเลยก็ได้



รูปที่ 2.28 วงจรเบรกคืนพลังงาน

3. การหยุด

เมื่อให้สัญญาณสตาร์ท OFF แล้วอินเวอร์เตอร์จะลดความเร็วจนความถี่ต่ำกว่าความถี่หนึ่ง อินเวอร์เตอร์จะผลิตไฟตรงจ่ายเข้าไปในมอเตอร์ เพื่อทำงานเป็นเบรกจนมอเตอร์หยุด ดังแสดงในรูปที่ 2.29 การจ่ายไฟตรงให้มอเตอร์หยุดนี้เรียกว่าการเบรกด้วยไฟตรง หลังจากการเบรกด้วยไฟตรงในช่วงเวลาหนึ่งก็จะปิดสัญญาณที่จ่ายให้ทรานซิสเตอร์เพื่อตัดเอาต์พุต



รูปที่ 2.29 การหยุดของมอเตอร์

2.3.4.6 การเลือกขนาดอินเวอร์เตอร์

การเลือกขนาดของอินเวอร์เตอร์ไม่เพียงแต่จะต้องดูขนาดของมอเตอร์เท่านั้น แต่ต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของโหลด วิธีและรูปแบบการเดินเครื่องด้วย โดยวิธีการเดินเครื่องโดยทั่วไปนั้นมีดังนี้

1. ใช้อินเวอร์เตอร์หนึ่งตัวขับเคลื่อนมอเตอร์เพียงตัวเดียว
2. ใช้อินเวอร์เตอร์หนึ่งตัวขับเคลื่อนมอเตอร์หลายตัว
3. ใช้อินเวอร์เตอร์หนึ่งตัวสตาร์ทมอเตอร์หลายตัวตามกันตามลำดับ
4. เปิดปิดมอเตอร์หนึ่งตัวที่ด้านขาออกของอินเวอร์เตอร์
5. ติดตั้งคลัทช์ที่เพลาของมอเตอร์

ในที่นี้เป็นกรณีมอเตอร์ตัวเดียว ซึ่งการเลือกขนาดของอินเวอร์เตอร์ต้องเป็นไปตามเงื่อนไขนี้

กระแสขาออกพิกัดของอินเวอร์เตอร์ \geq กระแสพิกัดของมอเตอร์ $\times 1.1$ (ส่วนชดเชยฮาร์มอนิก)

โดยกระแสพิกัดขาออกของอินเวอร์เตอร์สามารถหาได้จากคู่มือของอินเวอร์เตอร์ และกระแสพิกัดของมอเตอร์สามารถหาได้จากเนมเพลต (Nameplate) ของมอเตอร์

2.3.4.7 ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ขนาดของอุปกรณ์จ่ายไฟที่ป้อนไฟให้กับอินเวอร์เตอร์นั้นสามารถประมาณได้เป็น 1.2-1.5 เท่าของกำลังขาออกของอินเวอร์เตอร์ (kVA) ซึ่งสามารถหาได้จากคู่มือของอินเวอร์เตอร์

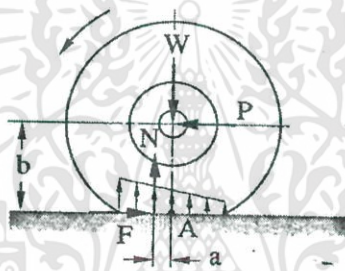
2.3.5 แรงต้านการเคลื่อนที่ (Resistance Force)

2.3.5.1 แรงต้านการหมุนของล้อ (Rolling Resistance Force)

แรงต้านการหมุนของล้อที่เกิดขึ้นบริเวณล้อของเครื่องจักรเวลาเครื่องจักรมีการเคลื่อนที่ตามสมการ (2.6)

$$R_r = \frac{C_i W}{r} \quad (2.6)$$

โดยที่ R_r คือ แรงต้านการหมุนของล้อ (นิวตัน)
 C_i คือ สัมประสิทธิ์ต้านทานการหมุนของล้อ (มิลลิเมตร)
 W คือ น้ำหนักของเครื่องจักร (มิลลิเมตร)
 r คือ รัศมีของล้อ (มิลลิเมตร)



รูปที่ 2.30 แรงต้านที่เกิดจากการยุบตัวของล้อ

เมื่อ P เป็นแรงดันที่ทำให้ล้อสามารถลัดไปไต่บนราง ดังแสดงในรูปที่ 2.30 ในขณะที่ล้อลัดไปบนรางจะทำให้เกิดความเสียหายขึ้นและก่อให้เกิดความร้อนขึ้น ถ้าให้ N เป็นแรงลัพธ์ทั้งหมดของแรงย่อยในแนวตั้งฉากกับรางและ W เป็นน้ำหนักที่กดลงบนล้อเมื่อล้อลัดด้วยความเร็วคงที่

$$\sum F_y = 0, N = W$$

$$\sum MA = 0$$

$$Pb - Na = 0$$

$$P = \frac{Na}{b} = \frac{Wa}{b}$$

แรงต้านการหมุนของล้อจะมีค่าเท่ากับแรง P ในขณะนั้นแรงต้านของล้อจะมีค่ามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่าง a/b และเรียกสัดส่วนนี้ว่า สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ

2.3.5.2 แรงต้านอากาศ (Air Resistance Force)

แรงต้านอากาศเกิดขึ้นจากวัตถุเคลื่อนที่ผ่านอากาศที่มีความดันด้านหน้าและความดันด้านหลังแตกต่างกัน ตามสมการ (2.7)

$$R_a = \frac{1}{2} \rho A C_D V^2 \quad (2.7)$$

| | | |
|--------|--------|--|
| โดยที่ | R_a | คือ แรงต้านอากาศ (นิวตัน) |
| | ρ | คือ ความหนาแน่นของอากาศ(กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) |
| | A | คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ (ตารางเมตร) |
| | C_D | คือ สัมประสิทธิ์แรงฉุดของอากาศ |
| | V | คือ ความเร็วของอากาศ (เมตรต่อวินาที) |

2.3.5.3 แรงต้านทางชัน (Gradient Resistance Force)

ขณะที่เครื่องจักรเคลื่อนที่ขึ้นทางชันต้องใช้แรงในการเอาชนะแรงต้านทางชัน ตามสมการ (2.8)

$$R_g = \frac{WG}{100} \quad (2.8)$$

| | | |
|--------|-------|------------------------------------|
| โดยที่ | R_g | คือ แรงต้านทางชัน (นิวตัน) |
| | W | คือ น้ำหนักของเครื่องจักร (นิวตัน) |
| | G | คือ ความชัน (เปอร์เซ็นต์) |

2.3.5.4 แรงต้านทั้งหมด (Total Resistance Force)

แรงต้านทั้งหมดนั้นเกิดจากผลรวมของแรงต้านการหมุนของล้อ แรงต้านอากาศ และแรงต้านทางชัน ตามสมการ (2.9)

$$R_t = R_r + R_a + R_g \quad (2.9)$$

| | | |
|--------|-------|-----------------------------|
| โดยที่ | R_t | คือ แรงต้านทั้งหมด (นิวตัน) |
|--------|-------|-----------------------------|

2.3.6 อุปกรณ์ภายในตู้ควบคุมมอเตอร์

1. เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)

เซอร์กิตเบรกเกอร์คือสวิตช์ไฟฟ้าอัตโนมัติที่ออกแบบมาเพื่อป้องกันวงจรไฟฟ้าจากความเสียหายที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าส่วนเกิน โดยทั่วไปเกิดจากโหลดเกินหรือไฟฟ้าลัดวงจร หลักการทำงานคือตัดกระแสไฟฟ้าหลังจากตรวจพบความผิดปกติในวงจรไฟฟ้า ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ป้องกันกระแสเกินหรือลัดวงจรได้เช่นเดียวกับฟิวส์ (Fuse) แต่จะแตกต่างที่เมื่อตัดวงจรแล้วสามารถที่จะต่อวงจรได้ทันทีหลังจากแก้ปัญหาแล้ว โดยประเภทของเซอร์กิตเบรกเกอร์นั้นมีหลายแบบ การเลือกสำหรับอินเวอร์เตอร์นั้นควรดูรายละเอียดจากคู่มือของอินเวอร์เตอร์รุ่นนั้น

2. แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor) และ รีเลย์ (Relay)

แมกเนติกคอนแทคเตอร์และรีเลย์คืออุปกรณ์ตัดต่อวงจรไฟฟ้าจากการเปิดและปิดของหน้าสัมผัส (Contact) ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กช่วยในการเปิดและปิดของหน้าสัมผัส โดยจะมีส่วนประกอบที่สำคัญต่อการทำงานได้แก่ แกนเหล็ก (Core) ขดลวด (Coil) หน้าสัมผัส (Contact) และสปริง (Spring)

3. สวิตช์ (Switch)

สวิตช์คืออุปกรณ์ใช้ตัดต่อวงจรไฟฟ้าเพื่อให้มีการจ่ายแรงดันเข้าวงจร หรือกระจายแรงดันเข้าวงจร จะมีแรงดันจ่ายเข้าวงจรเมื่อสวิตช์ต่อวงจร (Close Circuit) และไม่มีแรงดันจ่ายเข้าวงจรเมื่อสวิตช์ตัดวงจร (Open Circuit) โดยสวิตช์นั้นมีรูปแบบการใช้งานที่หลากหลายขึ้นอยู่กับลักษณะของงาน และความต้องการของผู้ใช้งาน

4. ไฟลวดแลมป์ (Pilot Lamp)

ไฟลวดแลมป์คือหลอดไฟแสดงสถานะหน้าตู้ควบคุม เพื่อบอกสถานะบอกให้ผู้ใช้ระบบทราบการทำงานของระบบ สถานะที่ใช้ในทั่วไป เช่น แสดงการทำงาน การหยุดทำงาน การเกิดการแจ้งเตือน การเกิดโหลดเกิน (Overload) การเปิดหรือปิดระบบ ไฟแสดงเฟสระบบไฟฟ้า และอื่นๆ

5. สายไฟ (Wire)

การแบ่งประเภทของสายไฟจะถูกจำแนกออกเป็น 2 ประเภทตามแรงดันไฟ คือ สายสำหรับไฟแรงดันต่ำ และ สำหรับไฟแรงดันสูง ในที่นี้จะพูดถึงสายไฟแรงดันต่ำประเภทสาย IV หรือ VSF และ สาย VCT

(1) สาย IV หรือ สาย VSF

รูปที่ 2.31 แสดงสายไฟประเภทนี้มีลักษณะเป็นสายเดี่ยวหรือแกนเดี่ยวชนิดทน แรงดันไฟ 300 โวลต์ ใช้เป็นสายเดินเข้าอาคารสำหรับที่พักอาศัยที่ใช้ ระบบ 1 เฟส และห้ามใช้กับ ระบบ 3 เฟส ที่มีแรงดัน 380 โวลต์ การใช้งาน ถ้าเดินสายลอยต้องยึดด้วยวัสดุฉนวน หรือ เดินในช่องเดินสายสายในสถานที่แห้ง แต่ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง



รูปที่ 2.31 สาย IV หรือ สาย VSF

(2) สาย VCT

รูปที่ 2.32 แสดงสายไฟประเภทนี้เป็นสายกลมมีทั้ง 1 แกน 2 แกน 3 แกน และ 4 แกน สามารถทนแรงดันได้ 750 โวลต์มีฉนวนและเปลือก มีข้อพิเศษคือตัวนำจะประกอบด้วยทองแดงฝอยเส้นเล็กๆร้อยรวมกันเป็น หนึ่งแกน ทำให้มีข้อดีคืออ่อนตัวและทนต่อสภาพการสั่นสะเทือนได้ดี เหมาะที่จะใช้เป็นสายเดินเข้าเครื่องจักรที่มีการสั่นสะเทือนขณะใช้งานสายชนิดนี้ใช้งานได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังมีสาย VCT เป็นชนิด VCT-G ซึ่งมี 2 แกน 3 แกน และ 4 แกน และมีสายดินเดินรวมไปด้วยอีกเส้นหนึ่งเพื่อให้เหมาะสำหรับใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดินซึ่งสามารถเดินแบบฝังดินโดยตรงได้



รูปที่ 2.32 สาย VCT

2.3.7 เฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอน (Worm Gear Reducer)

รูปที่ 2.33 แสดงตัวอย่างของเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอน ซึ่งมีส่วนประกอบสองส่วนหลักได้แก่ ล้อตัวหนอน (Worm Wheel) และเฟืองตัวหนอน (Worm Gear) โดยการใช้งานเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอนกับมอเตอร์นั้นมีข้อดีคือ ช่วยลดความเร็วรอบที่ได้จากมอเตอร์ซึ่งมีความเร็วรอบที่สูงให้มีค่าลดลงใกล้เคียงกับความเร็วที่ต้องการใช้งาน โดยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอเตอร์ และอัตราทดของเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอนทำให้ได้แรงบิดที่สูงขึ้น นอกจากนั้นยังสามารถเลือกทิศทางของเพลลาที่จะออกจากเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอนได้สองทิศทางขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้งาน โดยเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอนนั้นมีข้อเสียคือ มีการสูญเสียพลังงานและที่แรงกระทำบนชิ้นส่วนเฟืองที่มากกว่าการทดเฟือง

ในลักษณะอื่นๆ โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิดและอัตราทดนั้นสามารถแสดงได้ตามสมการ (2.10)

$$i = \frac{\omega_o}{\omega_i} = \eta_G \frac{T_i}{T_o} \quad (2.10)$$

| | | |
|--------|------------|---|
| โดยที่ | i | คือ อัตราทดของเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอน |
| | ω_i | คือ ความเร็วรอบเพลลาของมอเตอร์ (รอบต่อนาที) |
| | ω_o | คือ ความเร็วรอบเพลลาของเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอน (รอบต่อนาที) |
| | η_G | คือ ประสิทธิภาพของเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอน |
| | T_i | คือ แรงบิดเพลลาของมอเตอร์ (นิวตันเมตร) |
| | T_o | คือ แรงบิดเพลลาของเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอน (นิวตันเมตร) |



รูปที่ 2.33 ตัวอย่างของเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอน

2.3.8 กำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าสามเฟส

กำลังไฟฟ้าจริงในระบบไฟฟ้าสามเฟสสามารถหาได้จากสมการ (2.11)

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} V_L I_L \cos\theta \quad (2.11)$$

| | | |
|--------|--------------|---|
| โดยที่ | $P_{3\phi}$ | คือ กำลังไฟฟ้าจริงในระบบไฟฟ้าสามเฟส (วัตต์) |
| | V_L | คือ แรงดันอาร์เอ็มเอส (โวลต์) |
| | I_L | คือ กระแสอาร์เอ็มเอส (แอมแปร์) |
| | $\cos\theta$ | คือ ตัวประกอบกำลัง |

กำลังไฟฟ้าขาออกจากอินเวอร์เตอร์นั้น หาได้จากสมการ (2.12)

$$P_{out,inv} = \sqrt{3} V_{L,inv} I_{L,inv} \cos\theta_{inv} \quad (2.12)$$

| | | |
|--------|--------------------|---|
| โดยที่ | $P_{out,inv}$ | คือ กำลังไฟฟ้าขาออกจากอินเวอร์เตอร์ (วัตต์) |
| | $V_{L,inv}$ | คือ แรงดันขาออกจากอินเวอร์เตอร์ (โวลต์) |
| | $I_{L,inv}$ | คือ กระแสขาออกจากอินเวอร์เตอร์ (แอมแปร์) |
| | $\cos\theta_{inv}$ | คือ ตัวประกอบกำลังของอินเวอร์เตอร์ |

กำลังขาออกจากมอเตอร์และชุดเฟืองลดความเร็วรอบแบบเพื่อตัวหนอนนั้นต้องพิจารณา ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) และ ประสิทธิภาพของมอเตอร์และเฟืองลดความเร็วรอบแบบ เพื่อตัวหนอน (Efficient) ซึ่งแสดงในเนมเพลต ดังนั้นกำลังขาออกจากมอเตอร์ที่ประกอบชุดเฟืองลดความเร็วรอบแบบเพื่อตัวหนอนหาได้จากสมการที่ (2.13)

$$P_{out,shaft} = P_{out,inv} \cos\theta_m \eta_m \eta_G \quad (2.13)$$

โดยที่ $P_{out,shaft}$ คือ กำลังขาออกจากมอเตอร์ (วัตต์)
 $\cos\theta_m$ คือ ตัวประกอบกำลังของมอเตอร์
 η_m คือ ประสิทธิภาพของมอเตอร์
 η_G คือ ประสิทธิภาพของเฟืองลดความเร็วรอบแบบ
 เพื่อตัวหนอน



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานในการออกแบบ จัดทำ และติดตั้งระบบขับเคลื่อนสำหรับเครื่องเจียรรางรูน MV-03 ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. ศึกษารูปแบบการทำงานของระบบขับเคลื่อนของเครื่องเจียรรางรูน RG-1
2. ออกแบบระบบขับเคลื่อนสำหรับเครื่องเจียรรางรูน MV-03
3. จัดทำระบบขับเคลื่อนสำหรับเครื่องเจียรรางรูน MV-03
4. ติดตั้งระบบขับเคลื่อนสำหรับเครื่องเจียรรางรูน MV-03
5. ทดลองใช้งานระบบขับเคลื่อนสำหรับเครื่องเจียรรางรูน MV-03

3.1 ศึกษารูปแบบการทำงานของระบบขับเคลื่อนของเครื่องเจียรราง RG-1

3.1.1 ส่วนประกอบของระบบขับเคลื่อนของเครื่องเจียรราง RG-1

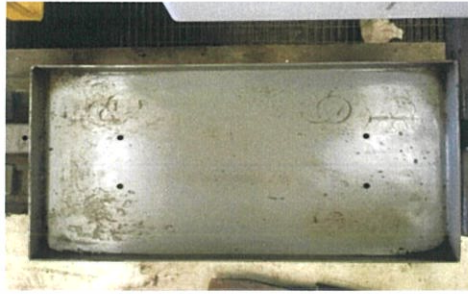
1. ชุดมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรูน RG-1



รูปที่ 3.1 ชุดมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรูน RG-1

รูปที่ 3.1 แสดงชุดมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรูน RG-1 ซึ่งประกอบไปด้วย แผ่นวางมอเตอร์ มอเตอร์แบบหน้าแปลน 2 ขั้ว ขนาด 0.75 กิโลวัตต์ เพื่อลดความเร็วรอบแบบเฟืองหนอนอัตราทด 1:50 ล้อยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 นิ้ว โดยชิ้นส่วนของแผ่นวางมอเตอร์นั้นผ่านการตัดโดยใช้เลเซอร์ให้ได้ตามรูปร่างตามแบบจากนั้นทำการประกอบกัน

2. แทนวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเครื่องเจียรรางรุ่น RG-1



รูปที่ 3.2 แทนวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเครื่องเจียรรางรุ่น RG-1

แทนวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรูปที่ 3.2 นั้นจะมีลักษณะเป็นกระเบื้องที่ทำจากเหล็กแผ่น ทำการพับม้วนแล้วทำการเชื่อม หากต้องการใช้งานเครื่องเจียรรางจึงนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 1 เฟส 220 โวลต์ ขนาด 2,000 วัตต์ ดังรูปที่ 3.3 มาวางด้านบนของแทนวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 3.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเครื่องเจียรรางรุ่น RG-1

3. โครงสำหรับยึดตู้ควบคุมมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรุ่น RG-1



รูปที่ 3.4 โครงสำหรับยึดตู้ควบคุมมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรุ่น RG-1

รูปที่ 3.4 แสดงโครงสำหรับยึดตู้ควบคุมมอเตอร์นั้นจะมีลักษณะเป็นเหล็กกล่องที่ถูกเชื่อมให้ติดกันแล้วทำการเจาะรูเพื่อยึดตู้ควบคุมมอเตอร์

4. ตัวควบคุมมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรุ่น RG-1



รูปที่ 3.5 ด้านบนของตัวควบคุมมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรุ่น RG-1

รูปที่ 3.5 แสดงด้านบนของตัวควบคุมมอเตอร์นั้นซึ่งมีอุปกรณ์สำหรับการควบคุมอยู่ทั้งหมด 3 ประเภท ได้แก่

(1) ซีเลคเตอร์สวิตช์ (Selector Switch)

เป็นสวิตช์ที่มีลักษณะการใช้งานโดยทำการบิดไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเปิดและปิดหน้าสัมผัส โดยมีทั้งแบบ 2 ตำแหน่งและ 3 แห่ง และยังมีแบบเมื่อบิดแล้วสามารถค้างไว้ยังตำแหน่งนั้นและแบบที่เมื่อปล่อยจะกลับคืนสู่ตำแหน่งเดิม โดยในที่นี้มีทั้งหมด 2 ตัว ได้แก่ แบบสามตำแหน่งบิดแล้วค้างตำแหน่งเดิมสำหรับควบคุมทิศทางของมอเตอร์ไฟฟ้า และแบบสองตำแหน่งบิดแล้วค้างตำแหน่งเดิมสำหรับเปิดและปิดหลอดไฟ LED

(2) สวิตช์ฉุกเฉิน (Emergency Switch)

เป็นสวิตช์ที่ใช้ในกรณีที่ต้องการหยุดการทำงานในทันที การใช้งานนั้นทำได้โดยการกดสวิตช์ลงไปซึ่งเป็นการตัดวงจรเพื่อหยุดการทำงานของมอเตอร์ทันที เมื่อต้องการมอเตอร์กลับมาทำงานได้ต้องดึง สวิตช์กลับคืนตำแหน่งเดิม

(3) โปเทนซิโอมิเตอร์ (Potentiometer)

เป็นตัวต้านทานที่สามารถเปลี่ยนค่าได้ ซึ่งมีหน้าที่ใช้ในการปรับเพิ่มและลดความเร็วของมอเตอร์ โดยจะมีแกนหมุนขากลางไว้สำหรับเปลี่ยนค่าความต้านทานโดยทั่วไปจะเรียกว่า VR (Volume Resistor)



รูปที่ 3.6 ส่วนประกอบภายในตัวควบคุมมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรุ่น RG-1

รูปที่ 3.6 แสดงส่วนประกอบภายในตู้ควบคุมมอเตอร์ ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

- (1) เซอร์คิตเบรกเกอร์
- (2) ฟิวส์
- (3) รีเลย์ สำหรับวงจรหยุดฉุกเฉิน (Emergency Stop Circuit)
- (4) อินเวอร์เตอร์
- (5) แบตเตอรี่ (Battery) โดยพลังงานนั้นใช้สำหรับเป็นไฟเลี้ยงรีเลย์ หลอดไฟ LED และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องยนต์ที่เป็นต้นกำลังของหินเจียร

โดยรายละเอียดของอุปกรณ์ 1-4 นั้นได้กล่าวไปแล้วในบทที่2

3.1.2 ขั้นตอนการใช้งานเครื่องเจียรรางรุ่น RG-1

1. ติดตั้งชุดมอเตอร์กับเครื่องเจียรรางรุ่น RG-1 ดังแสดงในรูปที่ 3.7
2. เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเดินเครื่องยนต์ HONDA GXV690
3. ควบคุมมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ตามทิศทาง และความเร็วที่ต้องการผ่านตู้ควบคุมมอเตอร์
4. ปรับระยะการกัดของหินเจียรโดยให้มีความสัมพันธ์กับความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่



รูปที่ 3.7 รูปแบบการติดตั้งชุดมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรุ่น RG-1

3.2 ออกแบบระบบขับเคลื่อนสำหรับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03

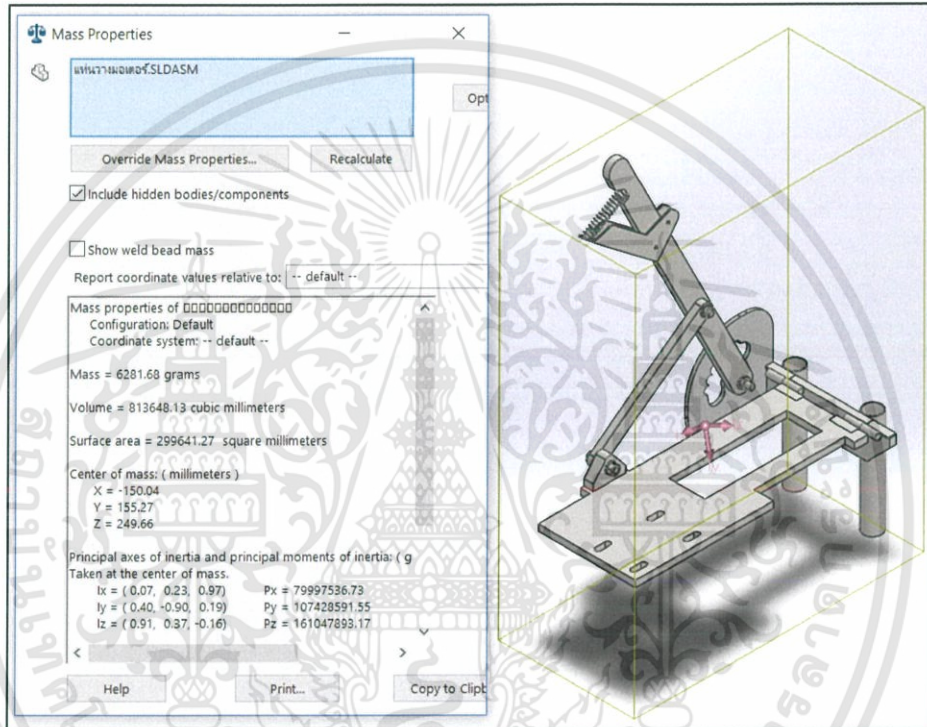
ส่วนประกอบของระบบขับเคลื่อนของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 นั้นประกอบไปด้วย 3 ส่วนได้แก่

1. ชุดมอเตอร์
2. แทนวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
3. โครงสำหรับยึดตู้ควบคุมมอเตอร์และตู้ควบคุมมอเตอร์

3.2.1 การเขียนแบบ

รายละเอียดขนาดของ แท่นวางมอเตอร์ที่ได้ทำการอ้างอิงจากเครื่องเจียรราง RG-1 และทำการปรับขนาดและปรับตำแหน่งในบางส่วนให้เหมาะสมกับเครื่องเจียรราง MV-03 นั้นได้เขียนแบบด้วยโปรแกรม Solidwork แสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก และวัสดุที่ใช้ทำนั้นเลือก เหล็ก SS400 รายละเอียดขนาดของโครงสร้างยึดตู้ควบคุมมอเตอร์และ แท่นวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อยู่ในหัวข้อ 3.2.4.3 และ 3.2.4.4 ตามลำดับ

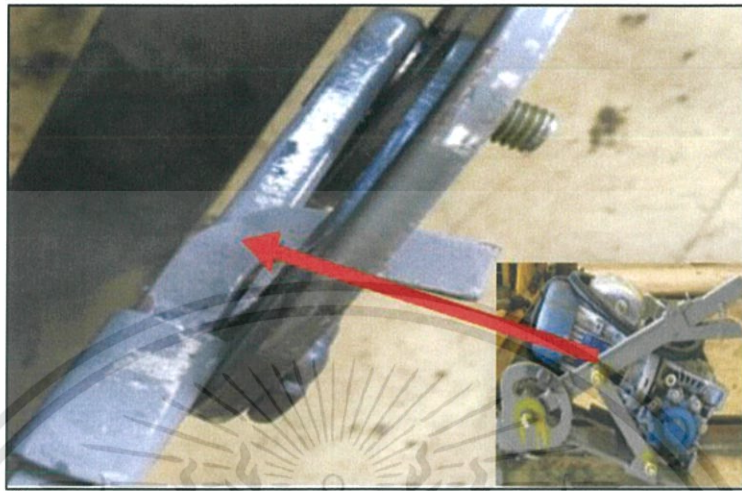
1. แท่นวางมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03



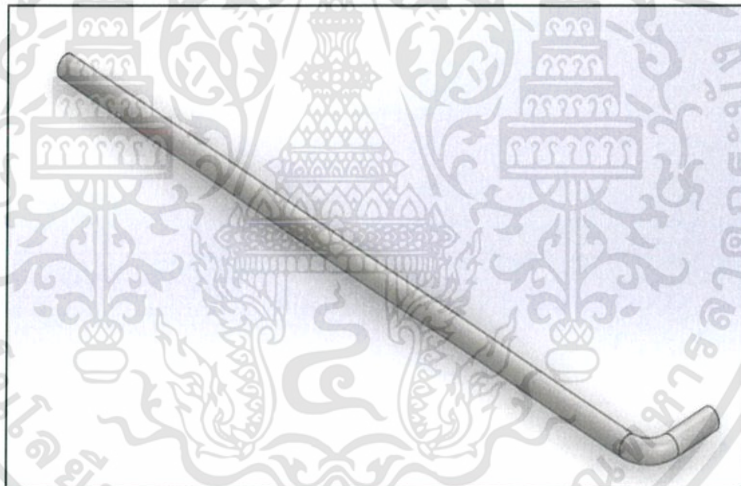
รูปที่ 3.8 แท่นวางมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03

รูปที่ 3.8 แสดงรูปแบบของแท่นวางมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 และการคำนวณน้ำหนักในโปรแกรม Solidwork ซึ่งแท่นวางมอเตอร์สำหรับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 จะมีน้ำหนักประมาณ 6.28 กิโลกรัม โดยในการทำแท่นวางมอเตอร์สำหรับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 นั้นได้ทำการปรับเปลี่ยนชิ้นส่วนในแท่นวางมอเตอร์ของเครื่องเจียรราง RG-1 ดังนี้

(1) ชิ้นส่วนในรูปที่ 3.9 ทำจากเหล็กแบนหนา 3 มิลลิเมตร เปลี่ยนเป็นเพลลาขาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร แสดงในรูปที่ 3.10 เนื่องจากได้สังเกตเห็นการบิดงอของชิ้นส่วนดังกล่าว ซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดความเสียหายได้



รูปที่ 3.9 ชิ้นส่วนต้นแบบของแท่นวางมอเตอร์ของเครื่องเจียรร่างรุ่น RG-1 ชิ้นส่วนที่1



รูปที่ 3.10 ชิ้นส่วนที่ทำการปรับเปลี่ยนจากแท่นวางมอเตอร์ของเครื่องเจียรร่างรุ่น RG-1 ชิ้นส่วนที่ 1

(2) ชิ้นส่วนในรูปที่ 3.11 มีลักษณะร่องเพื่อให้อับกับชิ้นส่วนในรูปที่ 3.9 จากเดิมที่มีลักษณะเป็นร่องสามเหลี่ยม เปลี่ยนเป็นลักษณะของร่องวงกลมเพื่อให้อับกับเพลลาขาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตรในข้อที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.12

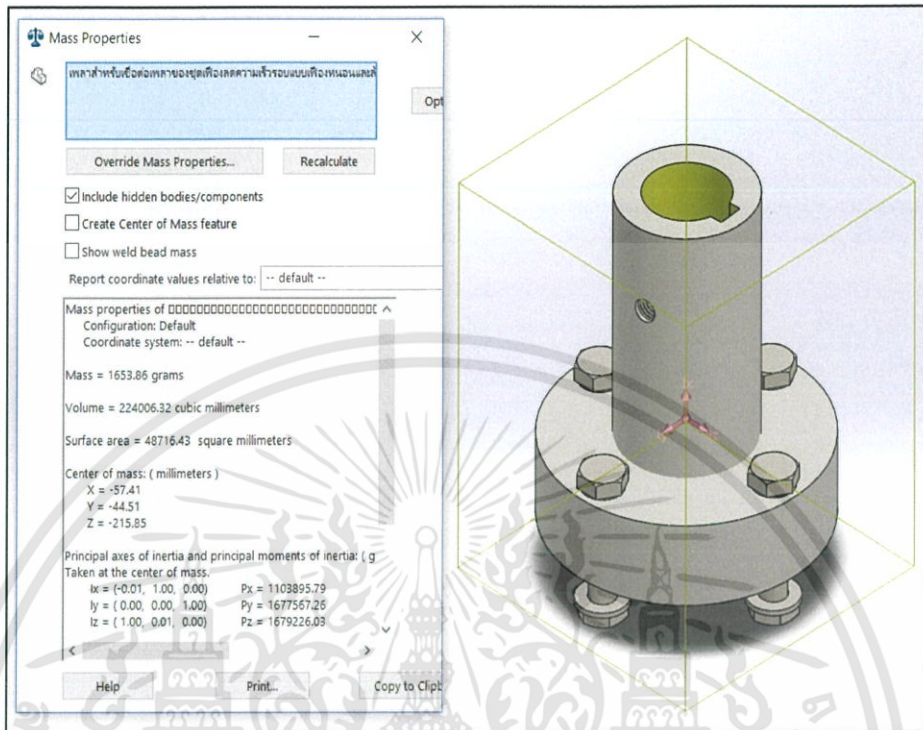


รูปที่ 3.11 ชิ้นส่วนต้นแบบของแท่นวางมอเตอร์ของเครื่องเจียรทรงรูน RG-1 ชิ้นส่วนที่ 2



รูปที่ 3.12 ชิ้นส่วนที่ทำการปรับเปลี่ยนจากแท่นวางมอเตอร์ของเครื่องเจียรทรงรูน RG-1 ชิ้นส่วนที่ 2

2. เพลากล่อมต่อเพลากล่อมของชุดเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอนและล้อของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03



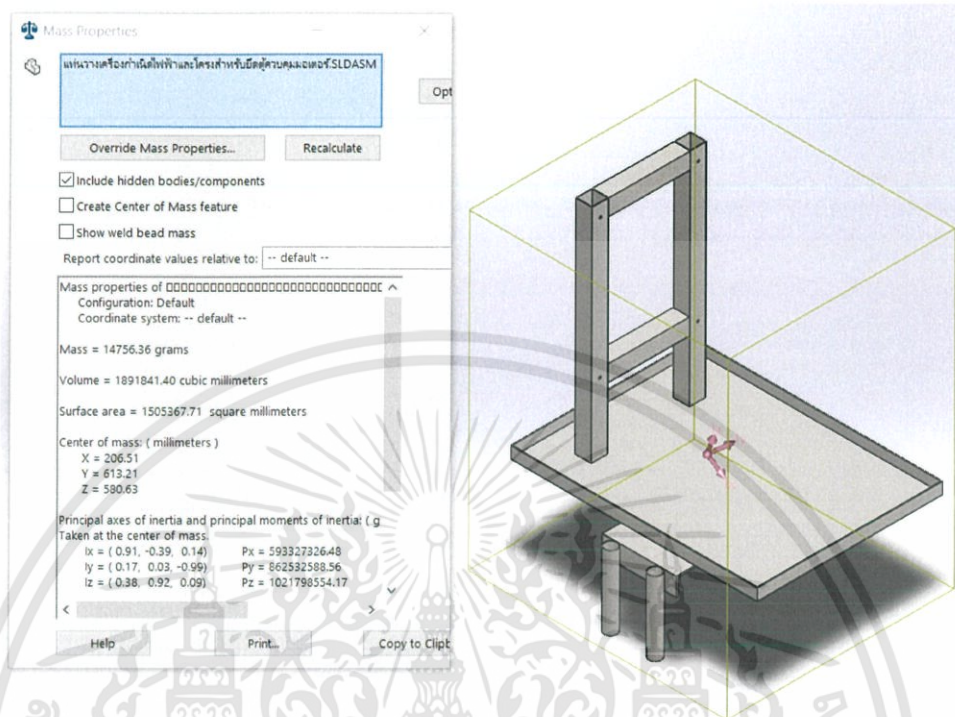
รูปที่ 3.13 เพลากล่อมต่อเพลากล่อมของชุดเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอนและล้อของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03

รูปที่ 3.13 แสดงรูปแบบของเพลากล่อมต่อเพลากล่อมของชุดเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอนและล้อของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 และการคำนวณน้ำหนักในโปรแกรม Solidwork ซึ่งเพลากล่อมต่อเพลากล่อมของชุดเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอนและล้อของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 จะมีน้ำหนักประมาณ 1.65 กิโลกรัม และทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างต้นขนาด 8 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.14 นั้นมีน้ำหนักประมาณ 2.95 กิโลกรัม



รูปที่ 3.14 ล้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว

3. แทนวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโครงสำหรับยึดตู้ควบคุมมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03

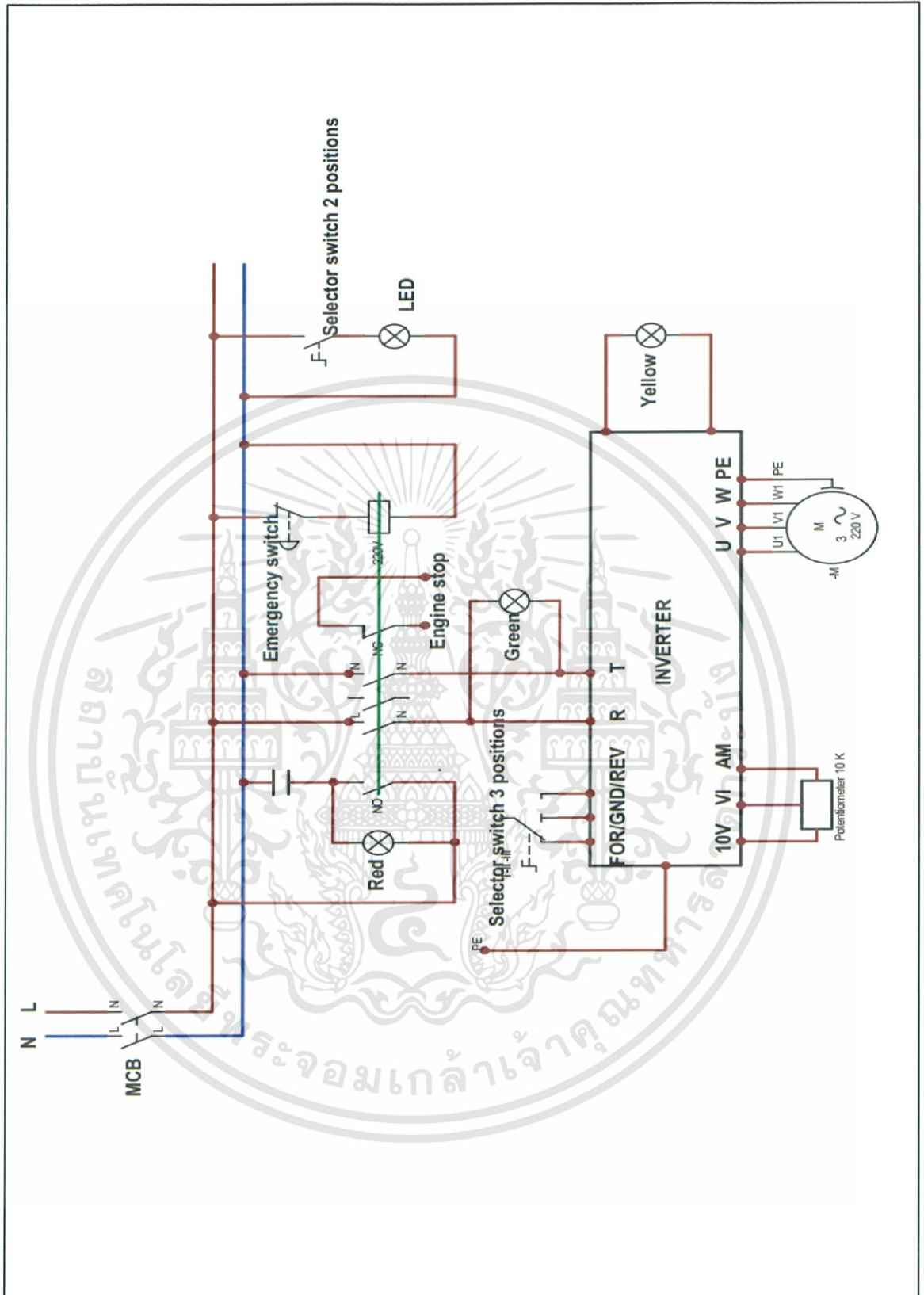


รูปที่ 3.15 แทนวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโครงสำหรับยึดตู้ควบคุมมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03

รูปที่ 3.15 แสดงรูปแบบของแทนวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโครงสำหรับยึดตู้ควบคุมมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 และการคำนวณน้ำหนักในโปรแกรม Solidwork ซึ่งแทนวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโครงสำหรับยึดตู้ควบคุมมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 จะมีน้ำหนักประมาณ 14.76 กิโลกรัม

4. วจรภายในตู้ควบคุมมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03

เนื่องจากปัญหาที่พบในตู้ควบคุมมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรุ่น RG-1 นั้นในบางครั้งมอเตอร์ไม่สามารถตอบสนองต่อคำสั่งของผู้ใช้งานที่ทำการสั่งงานผ่านสวิตช์ที่อยู่ด้านบนของตู้ควบคุมมอเตอร์ได้ ซึ่งผู้ใช้งานไม่สามารถทราบสาเหตุของการไม่ทำงานนั้นได้ว่าเกิดจากสาเหตุใด ซึ่งจากการวิเคราะห์สาเหตุของข้อบกพร่องแล้วนั้นพบว่ามีความผิดปกติคือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดความผิดปกติไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับตู้ควบคุมมอเตอร์ได้ และสวิตช์หยุดฉุกเฉินไม่กลับคืนสู่ตำแหน่งเดิมหรือตำแหน่งพร้อมใช้งาน ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบตู้ควบคุมมอเตอร์สำหรับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 ให้มีการแสดงสถานะของตู้ควบคุมมอเตอร์โดยใช้ไฟสถานะโดยใช้ทั้งหมด 3 สี ได้แก่ สีเขียว สีเหลือง และ สีแดง



รูปที่ 3.16 วงจรภายในตู้ควบคุมมอเตอร์ของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.16 แสดงวงจรภายในตู้ควบคุมมอเตอร์สำหรับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 โดยหลักการการทำงานของวงจรภายในตู้ควบคุมมอเตอร์สำหรับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 นั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเริ่มทำงานนั้นจะทำการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟสให้กับเซอร์กิตเบรกเกอร์ เมื่อให้เซอร์กิตเบรกเกอร์อยู่ในสถานะ ON นั้น กระแสไฟฟ้าจะจ่ายให้กับขดลวดของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ ทำให้หน้าสัมผัสปกติเปิดเปลี่ยนสถานะเป็นหน้าสัมผัสปกติปิดซึ่งต่อกับวงจรฝั่งขาเข้าของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ ทำให้อินเวอร์เตอร์มีสถานะพร้อมใช้งาน ไฟลोटแลมป์สีเขียวซึ่งต่ออนุกรมกับวงจรฝั่งขาเข้าของอินเวอร์เตอร์ทำให้ไฟลोटแลมป์สีเขียวนั้นมีแสงสว่างขึ้นมาเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลไปยังฝั่งขาเข้าของอินเวอร์เตอร์

เมื่อทำการสั่งคำสั่งให้กับอินเวอร์เตอร์เตอร์ผ่านสวิตช์บนตู้ควบคุมมอเตอร์ ทำให้อินเวอร์เตอร์เริ่มทำงาน (มีการหมุน) นั้น รีเลย์ภายในอินเวอร์เตอร์จะทำการเปลี่ยนจากหน้าสัมผัสปกติเปิด เปิดหน้าสัมผัสปกติปิด ทำให้มีกระแสไฟฟ้าหนึ่งเฟสนั้นไหลผ่านวงจรไฟลोटแลมป์สีเขียวซึ่งต่ออนุกรมอยู่ ทำให้ไฟลोटแลมป์สีเขียวนั้นมีแสงสว่างขึ้นมาเป็นการแสดงสถานะว่าอินเวอร์เตอร์นั้นอยู่ในสถานะถูกใช้งานอยู่ และเมื่อทำการให้คำสั่งหยุดกับมอเตอร์ หน้าสัมผัสของรีเลย์ก็จะกลับไปอยู่ในสถานะหน้าสัมผัสปกติเปิดทำให้แสงสว่างของไฟลोटแลมป์สีเขียวดับไป

เมื่อเกิดกรณีที่ตรงทำการหยุดฉุกเฉินโดยการตกลงบนสวิตช์ฉุกเฉิน ในขณะที่ยังมีกระแสไฟฟ้าจ่ายผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์นั้น จะทำให้แสงสว่างของไฟลोटแลมป์สีเขียวและสีเหลืองดับไป และทำให้ ไฟลोटแลมป์สีแดงนั้นมีแสงสว่างขึ้นมา เนื่องจากสวิตช์ฉุกเฉินนั้นต่ออนุกรมเข้ากับวงจรของขดลวดของ แมกเนติกคอนแทคเตอร์ทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าผ่านไปยังขดลวดของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังอินเวอร์เตอร์ทำให้แสงสว่างของไฟลोटแลมป์สีเขียวและสีเหลืองดับไป และเนื่องจากวงจรของไฟลोटแลมป์สีแดงนั้นต่อขนานกับหน้าสัมผัสปกติเปิดของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ ถ้าเซอร์กิตเบรกเกอร์ยังอยู่ในสถานะ ON จะทำให้วงจรของไฟลोटแลมป์สีแดงนั้นครบวงจรและมีแสงสว่างขึ้นมาโดยตัวเก็บประจุที่ต่อกับวงจรของไฟลोटแลมป์สีแดงนั้นมีหน้าที่ป้องกันการลัดวงจรในกรณีที่มีไฟไหลผ่านขดลวดทำให้หน้าสัมผัสปกติเปิดของแมกเนติกคอนแทคเตอร์เปลี่ยนเป็นหน้าสัมผัสปกติปิด ซึ่งในสภาวะนี้นั้นหากไม่มีตัวเก็บประจุต่ออนุกรมอยู่จะทำให้เกิดการลัดวงจรซึ่งก่อให้เกิดอันตรายได้ ในกรณีที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าจ่ายมายังตู้ควบคุมมอเตอร์ เนื่องจากเซอร์กิตเบรกเกอร์อยู่ในสถานะ OFF หรือเกิดการ Trip เนื่องจากกระแสไฟฟ้าเกินจะไม่มีไฟลोटแลมป์ดวงใดสว่าง

ในส่วนวงจรควบคุมของอินเวอร์เตอร์นั้นจะทำการต่อโทเทนชิโอมิเตอร์สามขาเข้ากับขั้ว 10 V ขั้ว VI และ ขั้ว AM ซึ่งมีหน้าที่ในการปรับเพิ่ม-ลดความเร็วของมอเตอร์จากค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไป จากนั้นทำการต่อซีเลคเตอร์สวิตช์แบบสามตำแหน่งเข้ากับขั้ว FWD, REV และ GND เพื่อควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ และทำการต่อขั้ว U, V, W และ PE ของอินเวอร์เตอร์เข้ากับขั้ว U2, V2, W2 และ PE ของมอเตอร์โดยทำการต่อวงจรแบบเดลต้าเนื่องจากการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส แรงดัน 220 โวลต์ โดยทุกวงจรต้องมีการต่อ PE เข้ากับโครงของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03

3.2.2 การคำนวณแรงบิดที่ต้องใช้จากมอเตอร์ในการขับภาระ

จากหัวข้อที่ 3.2.1 ได้แสดงรูปแบบและการคำนวณน้ำหนักของแท่นวางมอเตอร์ เลา สำหรับเชื่อมต่อเพลลาของชุดเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองหนอนและล้อย่างตัน ล้อย่างตัน แท่นวาง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโครงสำหรับยึดตู้ควบคุมมอเตอร์ สำหรับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 นั้นมีค่าน้ำหนักรวมประมาณ 25.64 กิโลกรัม และมอเตอร์ที่ใช้จะอยู่ในช่วงขนาดไม่เกิน 0.75 กิโลวัตต์ โดยอ้างอิงจากเครื่องเจียรรางรุ่น RG-1 ที่มีน้ำหนักเครื่องรวมประมาณ 428 กิโลกรัม ที่ใช้มอเตอร์แบบหน้าแปลน 2 ขั้ว ขนาด 0.75 กิโลวัตต์ พร้อมชุดเกียร์ลดความเร็วรอบอัตราทด 1:50 เมื่อพิจารณาน้ำหนักของมอเตอร์ Suntech MH Series แบบหน้าแปลน 4 ขั้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.17 น้ำหนักของมอเตอร์ขนาด 0.75 กิโลวัตต์มีค่า 8.6 กิโลกรัม และน้ำหนักเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอนดังแสดงในรูปที่ 3.18 มีน้ำหนัก 3.6 กิโลกรัม จะมีน้ำหนักรวมสูงสุดประมาณ 12.2 กิโลกรัมและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้จะเป็นเครื่องเดิมที่ใช้กับเครื่องเจียรรางรุ่น RG-1 ซึ่งมีน้ำหนัก 20.5 กิโลกรัม และต้องพิจารณาในส่วนของน้ำหนักของตู้ควบคุมมอเตอร์ซึ่งกำหนดให้น้ำหนักของตู้ควบคุมมอเตอร์มีน้ำหนักไม่เกิน 10 กิโลกรัม ดังนั้นจึงพิจารณาน้ำหนักรวมของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 132 กิโลกรัม และ ระบบขับเคลื่อนจะมีน้ำหนักรวมประมาณ 200 กิโลกรัม โดยขั้นตอนในการคำนวณแรงบิดที่ต้องใช้จากมอเตอร์ในการขับภาระมีดังนี้

| 4POLE 1420RPM | | | | | | | | | | | |
|---------------|------------|--------------|------|---------------------|--------------------------------|-----------|--------------|-------------------|------------|----------|------------------|
| Type | Frame size | Rated output | | Full load Speed rpm | Full load current at 380 V Amp | Torque Nm | Efficiency % | Power factor cosφ | Bearing | | Weight approx kg |
| | | Hp | kW | | | | | | Power side | Fan side | |
| MH711-4 | 71 | 0.33 | 0.25 | 1390 | 0.90 | 1.8 | 65.0 | 0.72 | 6202 | 6202 | 4.8 |
| MH712-4 | 71 | 0.50 | 0.37 | 1400 | 1.20 | 2.6 | 69.0 | 0.71 | 6202 | 6202 | 6.0 |
| MH801-4 | 80 | 0.75 | 0.55 | 1400 | 1.50 | 3.8 | 74.0 | 0.77 | 6204 | 6204 | 7.7 |
| MH802-4 | 80 | 1.00 | 0.75 | 1400 | 2.20 | 5.2 | 76.0 | 0.78 | 6204 | 6204 | 8.6 |

รูปที่ 3.17 ตารางแสดงขนาดของมอเตอร์ Suntech MH Series แบบหน้าแปลน 4 ขั้ว

[8]

| PAM-IEC 适用电机 | N (H8) | M | P | bm | tm | S | Dm (H7) | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|------|------|----|------|-----|---------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| | | | | | | | 5 | 7.5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 80 | 100 |
| 80B5 | Ø130 | Ø165 | Ø200 | 6 | 21.8 | Ø11 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | - | - | - | - | 40 |
| 80B14 | Ø80 | Ø100 | Ø120 | 6 | 21.8 | Ø7 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | - | 30 |
| 71B5 | Ø110 | Ø130 | Ø160 | 5 | 16.3 | Ø11 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | - | 30 |
| 71B14 | Ø70 | Ø85 | Ø105 | 5 | 16.3 | Ø7 | - | - | - | - | - | - | - | 11 | 11 | 11 | 11 | 23 |
| 63B5 | Ø95 | Ø115 | Ø140 | 4 | 12.8 | Ø9 | - | - | - | - | - | - | - | 11 | 11 | 11 | 11 | 23 |

Weight : 3.6kg
重量 : 3.6kg

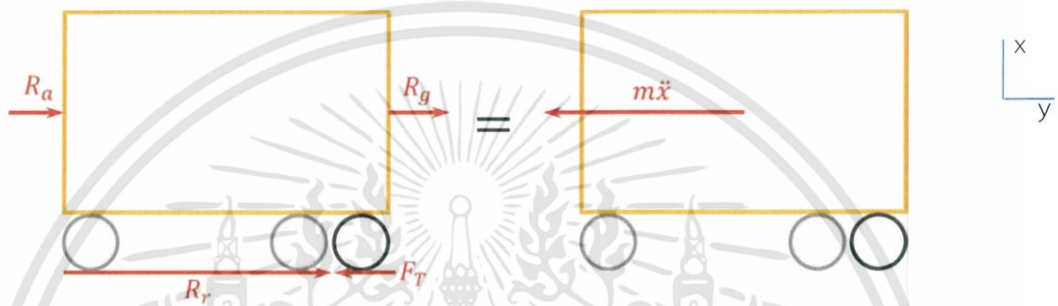
รูปที่ 3.18 ตารางแสดงขนาดของเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองหนอน

[8]

1. พิจารณาแรงต้านทั้งหมดที่มากระทำกับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03

สมมติฐาน

- (1) น้ำหนักรวมของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 และระบบขับเคลื่อนมีค่าประมาณ 200 kg
- (2) สัมประสิทธิ์ด้านการหมุนของล้อ $C_i=0.5$ mm
- (3) ไม่คิดแรงต้านการกลิ้งของล้อของมอเตอร์
- (4) ไม่คิดผลจากแรงต้านอากาศ
- (5) เปอร์เซนต์ความชันสูงสุดมีค่าเท่ากับ 6.3 % อ้างอิงจาก MRTA Drawing Blue Line
- (6) ไม่คิดผลของความผิดของบังไปล้อของเครื่องเจียรราง
- (7) ให้ระบบขับเคลื่อนทำให้เครื่องเจียรรางเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงสุด 2 km/hr



รูปที่ 3.19 (ก) แผนภูมิอิสระของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 (ข) แผนภูมิจลนพลศาสตร์ของทั้งระบบ

จากรูปที่ 3.19 แสดงแผนภูมิอิสระของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 และแผนภูมิจลนพลศาสตร์และกฎการเคลื่อนที่เชิงเส้นข้อที่ 2 ของนิวตัน $\sum F_x = m\ddot{x}$ จะได้

$$F_T - R_a - R_r - R_g = m\ddot{x}$$

เมื่อ F_T คือ แรงขับที่ต้องใช้ต้านภาระจากแรงต้านรวม

ดังนั้น เพื่อให้วัตถุเคลื่อนที่ $F_T \geq R_a + R_r + R_g$

พิจารณาที่ความเร็วคงที่ ดังนั้น $\ddot{x} = 0$ ทำให้ $m\ddot{x} = 0$

จะได้ $F_T = R_a + R_r + R_g$

จากสมการที่ (2.9) $R_t = R_a + R_r + R_g$

ดังนั้น $F_T = R_t$

1.1 แรงต้านการหมุนของล้อ (Rolling Resistance Force)

จากสมการที่ (2.6)
$$R_r = \frac{C_i W}{r}$$

เมื่อ $C_i = 0.5 \text{ mm}$, $r = 22.5 \text{ mm}$, $W = 200 \times 9.81 \text{ N}$

จะได้
$$R_r = \frac{0.5 \times 200 \times 9.81}{22.5} = 43.6 \text{ N}$$

1.2 แรงต้านอากาศ (Air Resistance Force)

จากสมการที่ (2.7)
$$R_a = \frac{1}{2} \rho A C_D V^2$$

หมายเหตุ ไม่พิจารณาแรงต้านอากาศเนื่องจากใช้งานเครื่องเจียรรางในความเร็วที่ต่ำ

1.3 แรงต้านทางชัน (Gradient Resistance Force)

จากสมการที่ (2.8)
$$R_g = \frac{WG}{100}$$

เมื่อ $W = 200 \times 9.81 \text{ N}$, $G = 6.3 \%$ (ข้อมูลจาก drawing MRTA Blue Line)

$$R_g = \frac{200 \times 9.81 \times 6.3}{100} = 123.606 \text{ N}$$

1.4 แรงต้านทั้งหมด (Total Resistance Force)

จากสมการที่ (2.9)
$$R_t = R_a + R_r + R_g$$

จะได้
$$R_t = 43.6 + 0 + 123.606$$

$$R_t = 167.206 \text{ N}$$

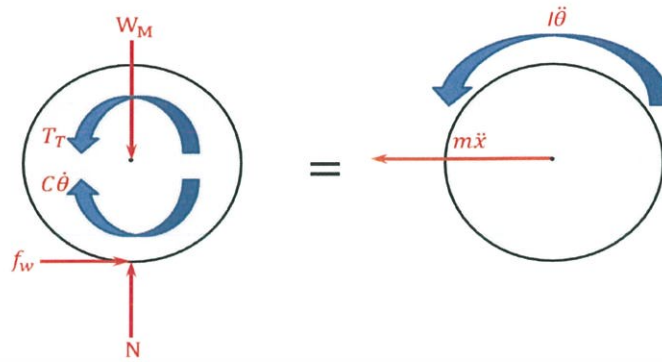
ดังนั้น
$$F_T \geq 167.206 \text{ N}$$

2. พิจารณาล้อย่างต้น

สมมติฐาน

(1) ไม่คิดค่าความหนืดต้านการหมุนของตลับลูกปืนภายในมอเตอร์และเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอน

(2) แรงต้านทั้งหมดกระทำกับล้อย่างต้นเพียงล้อเดียว



รูปที่ 3.20 (ก) แผนภาพวัตถุอิสระของล้อยางตัน (ข) แผนภูมิจลนพลศาสตร์ของล้อยางตัน

จากรูปที่ 3.20 จะได้ $T_M - T_T - c\dot{\theta} = I\ddot{\theta}$

เมื่อ T_M คือ แรงบิดที่ต้องการจากมอเตอร์

T_T คือ แรงบิดที่ต้องใช้ต้านภาระจากแรงต้านรวม

จากสมมติฐาน ไม่คิดค่าความหนืดด้านการหมุนของตลับลูกปืนภายในมอเตอร์และเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอน

จะได้ $c\dot{\theta} = 0$

ดังนั้น $T_M - T_T = I\ddot{\theta}$

เมื่อ $\ddot{\theta} = a/r, T_T = F_T r$

การหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อย I ของเพลาล้อและล้อยางตัน นั้นจะพิจารณาเป็นรูปทรงอย่างง่าย ดังนี้

1.1 ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย I ของเพลาล้อ (เพลาล้อของชุดเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองหนอนและเพลาล้อสำหรับเชื่อมต่อเพลาล้อของชุดเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองหนอนและล้อยางในส่วนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 มิลลิเมตร)

จากสมการ $I = \frac{1}{8} m d^2$

เมื่อ $m = \rho V, V = \frac{\pi}{4} d^2 h$

เมื่อ $d = 40 \text{ mm}, h = 80 \text{ mm}$

จะได้ $V = \frac{\pi}{4} \times 0.040^2 \times 0.080 = 1.0053 \times 10^{-4} \text{ m}^3$

กำหนดให้ความหนาแน่นของเหล็กมีค่า $\rho = 7.86 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

ดังนั้น $m = 7.86 \times 10^3 \times 1.0053 \times 10^{-4}$

$$m = 0.7902 \text{ kg}$$

$$I = \frac{1}{8} \times 0.7902 \times 0.040^2 = 1.5804 \times 10^{-4} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

1.2 ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย I ของล้อยางตัน (ล้อยางตันและเพลาสําหรับเชื่อมต่อเพลาของชุดเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองหนอนและล้อยาง ในส่วนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 850 มิลลิเมตร)

ล้อยางตัน

เมื่อ $m=2.95 \text{ kg}$ $d=203.2 \text{ mm}$

จะได้ $I=\frac{1}{8} \times 2.95 \times 0.2032^2=0.0152 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

เพลาสําหรับเชื่อมต่อเพลาของชุดเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองหนอนและล้อยาง ในส่วนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 850 มิลลิเมตร

เมื่อ $m=\rho V$, $d=85 \text{ mm}$, $h=25 \text{ mm}$

จะได้ $V=\frac{\pi}{4} \times 0.085^2 \times 0.025=1.4186 \times 10^{-4} \text{ m}^3$

กำหนดให้ความหนาแน่นของเหล็กมีค่า $\rho=7.86 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

จะได้ $m=7.86 \times 10^3 \times 1.4186 \times 10^{-4}$

$m=1.1150 \text{ kg}$

$I=\frac{1}{8} \times 1.1150 \times 0.085^2=1.007 \times 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

จาก 1.1-1.2

ดังนั้นค่าโมเมนต์ความเฉื่อยทั้งหมดมีค่าเท่ากับ

$I=1.5804 \times 10^{-4}+0.0152+1.007 \times 10^{-3}=0.0164 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

จากสมการ $v=u+at$

เมื่อ $v=2 \frac{\text{km}}{\text{h}}=0.56 \text{ m/s}$, $u=0$, $t=5 \text{ s}$

จะได้ $0.56=0+a \times 5$

$a=0.112 \text{ m/s}^2$

จากสมการ $\alpha=a/r$

เมื่อ $r=0.1016 \text{ m}$

จะได้ $\alpha=0.112/0.1016$

$\alpha=1.1 \text{ rad/s}^2$

จากสมการ $T_T=F_T r$

เมื่อ $F_T=167.206 \text{ N}$, $r=0.1016 \text{ m}$

จะได้ $T_T=167.206 \times 0.1016=16.99 \text{ N}\cdot\text{m} \approx 17 \text{ N}\cdot\text{m}$

จากสมการ $T_M - T_T = I\alpha$

จะได้ $T_M - 17 = 0.0164 \times 1.1$

$$T_M = 17 + 0.0180 = 17.0180 \text{ N} \approx 17 \text{ N.m}$$

ดังนั้น ต้องการแรงบิดจากมอเตอร์ในการขับภาระ $T_M \geq 17 \text{ N.m}$

3.2.3 เลือกขนาดมอเตอร์และเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอน

โดยเฟืองลดความเร็วรอบในรุ่นนี้สามารถใช้ได้กับเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอนได้ในกรณีที่เฟืองมอเตอร์แบบ 4 ขั้วขึ้นไป จึงเลือกมอเตอร์ Suntech MH Series แบบหน้าแปลน 4 ขั้ว โดยความเร็วรอบพิกัดของมอเตอร์ Suntech MH Series แบบหน้าแปลน 4 ขั้ว นั้นมีค่าเท่ากับ 1400 รอบต่อนาที ล้อยางตันที่เลือกใช้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว และความเร็วสูงสุดที่ต้องการให้เครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 เคลื่อนที่ได้มีค่าเท่ากับ 2 km/hr ดังนั้น อัตราทดของเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอนหาจากสมการ (2.10)

จากสมการที่ (2.10) $i = \frac{\omega_o}{\omega_i} = \eta_G \frac{T_i}{T_o}$

เมื่อ $\omega_o = \frac{V_o}{r}, V_o = 2 \frac{\text{km}}{\text{h}}, r = 0.1016 \text{ m}$

$$\omega_o = \frac{2 \times \frac{1000}{3600}}{0.1016}$$

$$\omega_o = 5.468 \text{ rad/s} = 52 \text{ rpm}$$

เมื่อ $\omega_i = N_M = 1400 \text{ rpm}$

ดังนั้น $i = \frac{1400}{52} = 26.92$

ดังนั้น เลือก อัตราทด 1:25 $i = 25$



Parameter Schedule (With 4p, n=1400r/min motor)
转矩功率参数表(配4级n=1400r/min电机)

| i | n _i (r/min) | Size 中心距25 | | | Size 中心距30 | | | Size 中心距40 | | | Size 中心距50 | | |
|-----|------------------------|------------|----------------------|------|------------|----------------------|------|------------|----------------------|------|------------|----------------------|------|
| | | P.(kw) | M _i (N.m) | s.f. | P.(kw) | M _i (N.m) | s.f. | P.(kw) | M _i (N.m) | s.f. | P.(kw) | M _i (N.m) | s.f. |
| 5 | 280 | - | - | - | 0.18 | 5.3 | 3.4 | 0.37 | 11.2 | 3 | 0.75 | 22.8 | 2.7 |
| 7.5 | 186.7 | - | - | - | 0.18 | 7.8 | 2.3 | 0.37 | 16 | 2.4 | 0.75 | 34 | 2.1 |
| 10 | 140 | - | - | - | 0.18 | 10 | 1.8 | 0.37 | 21 | 1.9 | 0.75 | 44 | 1.6 |
| 15 | 93.3 | 0.09 | 7.3 | 1.6 | 0.18 | 14 | 1.3 | 0.37 | 31 | 0.8 | 0.75 | 63 | 1.2 |
| 20 | 70 | 0.09 | 9.2 | 1.3 | 0.18 | 18 | 1 | 0.37 | 39 | 1 | 0.75 | 81 | 0.9 |
| 25 | 56 | 0.09 | 10 | 1.2 | 0.18 | 21 | 1 | 0.37 | 47 | 0.8 | 0.55 | 71 | 1 |
| 30 | 46.7 | 0.09 | 12 | 1.1 | 0.18 | 24 | 0.8 | 0.37 | 53 | 0.8 | 0.55 | 81 | 1 |
| 40 | 35 | 0.09 | 15 | 0.8 | 0.12 | 19 | 0.9 | 0.25 | 44 | 0.9 | 0.37 | 68 | 1.1 |
| 50 | 28 | 0.06 | 12 | 0.9 | 0.12 | 23 | 0.8 | 0.22 | 47 | 0.8 | 0.37 | 80 | 0.9 |
| 60 | 23.3 | 0.06 | 14 | 0.7 | 0.09 | 19 | 0.9 | 0.18 | 43 | 0.8 | 0.37 | 89 | 0.8 |
| 80 | 17.5 | - | - | - | 0.06 | 14 | 0.9 | 0.12 | 34 | 1 | 0.25 | 72 | 0.9 |
| 100 | 14 | - | - | - | - | - | - | 0.12 | 38 | 0.8 | 0.18 | 60 | 0.9 |

รูปที่ 3.21 ตารางแสดงคุณสมบัติของเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอน

จากรูปที่ 3.21 จะเห็นได้ว่าหากต้องการใช้ชุดเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองหนอนอัตราทด 1:25 และพิจารณาขนาดมอเตอร์ไม่เกิน 0.75 kw นั้น ซึ่งมีมอเตอร์ Suntech MH Series ที่ตรงกับขนาดในรูปที่ 3.18 ให้เลือกสองขนาด ได้แก่ 0.37 kw, 0.55 kw ซึ่งขนาด 0.37 kw นั้นให้แรงบิดอยู่ที่ 47 นิวตันเมตร ขนาด 0.55 kw ให้แรงบิดอยู่ที่ 71 เมตร ซึ่งมีค่ามากกว่าแรงบิดที่ต้องใช้ในการรับภาระที่คำนวณได้ในหัวข้อที่ 3.2.2 ที่มีค่าเท่ากับ 17 นิวตันเมตร คิดเป็น 2.76 เท่า และ 4.18 เท่าตามลำดับ นอกจากนั้นยังต้องมีการเผื่อค่าแรงบิดสำหรับรับภาระจากแรงเสียดทานระหว่างหินเจียรและรางที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการเจียรรางด้วย ดังนั้นจึงเลือกมอเตอร์ขนาด 0.55 kw เนื่องจากได้แรงบิดที่สูงกว่าและมีขนาดพัลลภระบายความร้อนที่ใหญ่กว่าตามข้อมูลที่แสดงในรูปที่ 3.22 ซึ่งมีข้อดีคือช่วยให้มอเตอร์ไม่ต้องทำงานหนักและระบายความร้อนได้ดีช่วยยืดอายุการใช้งานของมอเตอร์ให้มีอายุการใช้งานที่นานขึ้น ดังนั้น ความเร็วรอบพิกัดจากเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอนอัตราทด 1:25 มีค่าเท่ากับ 56 รอบต่ออนาที เมื่อเลือกใช้ล้อขนาด 8 นิ้วนั้นจะทำให้ได้ความเร็วสูงสุดที่เครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 สามารถเคลื่อนที่ได้มีค่าเท่ากับ

$$V_o = \omega_o \times r$$

จะได้

$$V_o = 56 \times \frac{2\pi}{60} \times 0.1016 \times \frac{3600}{1000} = 2.14 \text{ km/hr}$$

ค่าแรงบิดพิกัด (Rated torque) สามารถหาได้จากสมการที่ (2.3)

$$T_r = 9550 \times \frac{P_M}{N_M}$$

จะได้

$$T_r = 9550 \times \frac{0.55}{1400} = 3.75 \text{ N.m}$$

ซึ่งค่าแรงบิดพิกัดที่ได้จากการคำนวณและค่าแรงบิดพิกัดที่แสดงในรูปที่ 3.18 นั้นมีค่าใกล้เคียงกันโดยในตารางแสดงค่าแรงบิดพิกัดเท่ากับ 3.8 N.m

ถ้าเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอนไม่มีการสูญเสียทางกล

จากสมการที่ (2.10)

$$i = \frac{\omega_o}{\omega_i} = \eta_G \frac{T_i}{T_o}$$

จะได้

$$T_o = \eta_G \frac{T_i}{i}$$

$$T_o = 25 \times 3.75 \times 1 = 93.75$$

ประสิทธิภาพของเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอนสามารถหาได้จากสมการ

$$\eta_G = \frac{T_o, \text{actual}}{T_o, \text{Theory}}$$

จากรูปที่ 3.22 ค่าแรงบิดพิกัดมีค่าเท่ากับ 71 นิวตันเมตร

ดังนั้น

$$\eta_G = \frac{71}{93.75}$$

$$\eta_G = 0.7573 \approx 0.76$$

ดังนั้นประสิทธิภาพของเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอนมีค่าเท่ากับ 76 %

พิจารณาเพื่อไม่ให้เกิดการลื่นไถล $F_T \leq f_w$
 เมื่อ $F_T = 167.206 \text{ N}$
 ดังนั้น $f_w \geq 167.206 \text{ N}$
 เมื่อ f_w เป็นแรงเสียดทานระหว่างล้อยางและราง และกำหนดให้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต
 ของล้อยางและรางมีค่าเท่ากับ $\mu_s = 1$

จากสมการ $f_w = \mu_s \times N$
 โดย $N = W_m = m_m \times g$
 $m_m = 22.18 \text{ kg}$
 $f_w = 1 \times 22.18 \times 9.81$
 $f_w = 203.8 \text{ N}$

ดังนั้นไม่เกิดการลื่นไถล $F_T \leq f_w$

ทำการเปรียบเทียบค่าของแรงบิดและความเร็วที่ต้องการแล้ว สามารถใช้ขนาดมอเตอร์และ
 อัตราทดของเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอนตามที่ได้เลือกได้ คือมอเตอร์ Suntech MH
 Series แบบหน้าแปลน 4 ขั้ว ขนาด 0.55 กิโลวัตต์ และ เฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอน
 อัตราทด 1:25

3.3 จัดทำระบบขับเคลื่อนสำหรับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03

3.3.1 จัดทำแท่นวางมอเตอร์

- นำเหล็กขนาดต่างๆมาทำการตัดโดยใช้เลเซอร์ให้ได้ชิ้นส่วนตามที่ออกแบบไว้
- นำชิ้นส่วนต่างๆมายึดติดกันโดยใช้น็อตและสกรู และใช้วิธีการเชื่อม
- ทาสีรองพื้นกันสนิม

3.3.2 จัดทำเพลาลูกเบี้ยวเชื่อมต่อเพลาลูกเบี้ยวของชุดเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองหนอนและล้อยาง

- นำเพลาลูกเบี้ยวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตรความยาว 80 มิลลิเมตรมาทำการกลึง
 ผิวด้านนอกให้เหลือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตรและทำการคว้านรูในขนาด 25
 มิลลิเมตรพร้อมทำการคว้านร่องลิ้นมีความลึก 50 มิลลิเมตรเพื่อให้สามารถสวมเข้ากับเพลาลูก
 เบี้ยวของมอเตอร์ได้ และในฝั่งตรงข้ามทำการคว้านรูในให้มีขนาด 25 มิลลิเมตร ความลึก 10
 มิลลิเมตร เพื่อนำไปสวมกับเพลาลูกเบี้ยวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตร
- นำเพลาลูกเบี้ยวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตรนั้นมาเจาะรูขนาดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
 6.8 มิลลิเมตร และทำการตัดแปรงเกลียวขนาด M8 เพื่อเป็นจุดยึดเพลาลูกเบี้ยวของมอเตอร์ไว้
 กับเพลาลูกเบี้ยวสำหรับเชื่อมต่อกับชุดเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองหนอนและล้อยาง
- นำเพลาลูกเบี้ยวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตรความยาว 35 มิลลิเมตรมาทำการ
 กลึงผิวด้านนอกให้เหลือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตรให้มีความยาว 25 มิลลิเมตร
 และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24.5 มิลลิเมตร ความยาว 10 มิลลิเมตร

- นำชิ้นส่วนที่ได้ในขั้นตอนที่ 3 มาทำการเจาะรู จำนวน 4 รู ขนาด 10 มิลลิเมตร ห่างจากจุดศูนย์กลาง 34 มิลลิเมตร ตามแนววงกลมแต่ละรูวางตัวห่างกัน 90 องศา
- นำชิ้นส่วนที่ได้ในขั้นตอนที่ 2 และ 4 มาทำการสวมกัน ทำการเชื่อมยึดติด และกลึงให้ตรงศูนย์

3.3.3 จัดทำโครงสำหรับยึดตู้ควบคุมมอเตอร์

- นำเหล็กกล่องขนาด $1\frac{3}{4} \times 1\frac{3}{4}$ นิ้ว² มาทำการตัดโดยใช้เลื่อย ให้มีความยาว 600 มิลลิเมตร 2 ท่อน และ 22 มิลลิเมตร 2 ท่อน
- นำชิ้นส่วนในขั้นตอนที่ 1 มาทำการเชื่อมติดกัน
- เจาะรูขนาด 8 มิลลิเมตร 4 รู บนเหล็กกล่องขึ้นที่มีความยาว 600 มิลลิเมตร ห่างจากขอบด้านบน 50 มิลลิเมตร

3.3.4 จัดทำแท่นวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

- นำเหล็กแผ่นหนา 2 มิลลิเมตรขนาด 730×560 มิลลิเมตร² มาทำการตัดสี่มุมแล้วทำการพับ ขึ้นรูปให้เป็นลักษณะกระปาะขนาด 670×500 มิลลิเมตร²
- ทำการเชื่อมชิ้นส่วนในขั้นตอนที่ 1 ทั้งสี่มุม
- นำโครงสำหรับยึดตู้ควบคุมมอเตอร์ในหัวข้อ 3.2.3 มาทำการเชื่อมติดกับชิ้นส่วนในขั้นตอนที่ 2
- นำเหล็กฉาก 50×50 มิลลิเมตร² ความยาว 20 มิลลิเมตร และท่อขนาด $1\frac{1}{2}$ นิ้ว 2 ท่อนมาทำการเชื่อมติดกับแท่นวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อเป็นที่สำหรับสวมชุดมอเตอร์
- นำเหล็กกล่องขนาด 100×50 มิลลิเมตร² ความยาว 50 มิลลิเมตร 2 ท่อนมาทำการตัดด้าน 50 มิลลิเมตร ออก 1 ด้านสำหรับสวมกับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 และทำการเจาะรูขนาด 10 มิลลิเมตร 2 รู ห่างจากขอบด้านนอก 50 มิลลิเมตร แล้วนำไปเชื่อมกับด้านล่างของแท่นวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- ทาสีรองพื้นกันสนิม

3.3.5 จัดทำตู้ควบคุมมอเตอร์

3.3.5.1 อุปกรณ์ภายในตู้ควบคุมมอเตอร์

- อินเวอร์เตอร์

เลือกใช้อินเวอร์เตอร์รุ่น JADEN DLM1-01D5S2G ดังแสดงในรูปที่ 3.22 ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

Input: Single Phase 220 V 50Hz

Capacity: 2.8 kVA

Power: 1.5 kW

Suitable Motor: 1.5 kW

Output Current: 7.0 A



รูปที่ 3.22 JADEN DLM1-01D5S2G

สาเหตุที่เลือกใช้งานขนาดอินเวอร์เตอร์ที่ใหญ่กว่าขนาดของมอเตอร์ที่เลือกใช้งาน เนื่องจากราคาของขนาด 0.75 kw และ 1.5 kw นั้นไม่แตกต่างกันมาก จึงทำการเลือกขนาด 1.5 kw โดยมีกระแสขาออก 7.0 แอมแปร์ เมื่อกระแสพิกัดของมอเตอร์มีค่าเท่ากับ 1.5 แอมแปร์ ซึ่งตรงตามเงื่อนไขในหัวข้อที่ 2.3.4.6 การเลือกขนาดอินเวอร์เตอร์ กระแสขาออกพิกัดของอินเวอร์เตอร์ \geq กระแสพิกัดของมอเตอร์ \times 1.1 (ส่วนชดเชยฮาร์มอนิก)

1. เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)

จากคู่มือของ Inverter JADEN DLM1-01D5S2G นั้นแนะนำให้ใช้ No Fuse Breaker ขนาด 16 A ดังนั้นจึงเลือก Mitsubishi Model NF30-CS ขนาด 15 A 2 poles ดังแสดงใน รูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 No Fuse Breaker Mitsubishi Model NF30-CS 15 A 2 poles

2. แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor)

เลือก Magnetic Contactor Mitsubishi Model S-T12 1 NO (หน้าสัมผัสปกติเปิด) และ 1 NC (หน้าสัมผัสปกติปิด) ดังแสดงในรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 Magnetic contactor Mitsubishi Model S-T12

3. สายไฟ (Wire)

เลือกใช้สายไฟขนาด 2.5 mm² จากคำแนะนำในคู่มือของอินเวอร์เตอร์ ทั้งสายไฟ VCT 4 แกนดังแสดงในรูปที่ 3.25 สาย VCT 3 แกน ดังแสดงในรูปที่ 3.26 สายไฟ VSF โดยสาย VSF เลือกใช้ 4 สี ได้แก่ สีแดง สีขาว สีน้ำเงิน และสีเขียว ดังแสดงในรูปที่ 3.27 และเลือกใช้เคเบิลเกลนด์ขนาด 16 mm ดังแสดงในรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.25 สาย VCT 4 แกน



รูปที่ 3.26 สาย VCT 3 แกน



รูปที่ 3.27 สาย VSF 4 สี



รูปที่ 3.28 เคเบิลเกลนด์

4. สวิตช์ (Switch)

ใช้สวิตช์ทั้งหมดสามตัว ได้แก่ ซีเลคเตอร์สวิตช์สามตำแหน่งสำหรับควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ซีเลคเตอร์สวิตช์สองตำแหน่ง สำหรับเปิด-ปิด หลอด LED ดังแสดงในรูปที่ 3.29 และในรูปที่ 3.30 แสดงสวิตช์ฉุกเฉินสำหรับหยุดในกรณีฉุกเฉิน



รูปที่ 3.29 ซีเลคเตอร์สวิตช์แบบสามตำแหน่งและสองตำแหน่ง



รูปที่ 3.30 สวิตช์ฉุกเฉิน

6. โปเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer)

รูปที่ 3.31 แสดงโปเทนชิโอมิเตอร์ขนาด 10K ที่เลือกใช้สำหรับควบคุมความเร็วของมอเตอร์



รูปที่ 3.31 โปเทนชิโอมิเตอร์ขนาด 10K

7. ไฟลวดแลมป์ (Pilot Lamp)

รูปที่ 3.32 แสดงไฟลวดแลมป์ทั้งหมดสามสี ได้แก่ สีเขียว สีเหลือง และสีแดง สำหรับแสดงสถานะของตู้ควบคุมมอเตอร์



รูปที่ 3.32 ไฟลวดแลมป์ 3 สี

8. ตู้ควบคุมมอเตอร์

รูปที่ 3.33 แสดงตู้ควบคุมมอเตอร์ ขนาด 300×450×170 มม³ โดยภายในตู้ควบคุมมอเตอร์นั้น เลือกใช้ Viaduct รุ่น CP4030 ในการเดินสายไฟภายในตู้ควบคุมมอเตอร์เพื่อให้มีความเป็นระเบียบภายในตู้ควบคุมมอเตอร์



รูปที่ 3.33 ตู้ควบคุมมอเตอร์ขนาด 300×450×170 มม³

3.3.5.2 ขั้นตอนการทำตู้ควบคุมมอเตอร์

1. หาดำเนินการของอุปกรณ์ภายในตู้ควบคุมให้เหมาะสม โดยทำการทดลองวางอุปกรณ์ตามภาพเพื่อหาดำเนินการให้เหมาะสมที่สุด โดยแบ่งเป็นสองส่วน ได้แก่ อุปกรณ์ที่อยู่ภายในตู้ควบคุม และ สวิตช์ที่อยู่ด้านบนของตู้ควบคุม โดยเมื่อได้ตำแหน่งแล้วจึงทำการกำหนดตำแหน่งเพื่อทำการเจาะรู
2. เจาะรูตู้ตามขนาดของจุดยึดของอุปกรณ์แต่ละส่วน โดยทำการใช้สว่านไฟฟ้าในการเจาะรูขนาดสำหรับสกรู M4 สำหรับยึดอุปกรณ์ภายในตู้ควบคุมและใช้ Hold Saw ขนาด 22 มิลลิเมตร สำหรับยึดสวิตช์ด้านบนของตู้ควบคุม และสำหรับเคเบิลเกลอนของสายไฟด้านล่างของตู้ควบคุม หลังจากทำการเจาะเสร็จแล้วจึงทำการตะไบเพื่อความเรียบร้อยของรูที่ทำการเจาะแล้ว และใช้แปรงขัดผงเหล็กเพื่อทำความสะอาด
3. ติดตั้งอุปกรณ์ตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ดังแสดงในรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 การติดตั้งอุปกรณ์ตามตำแหน่งที่กำหนดไว้

4. เดินสายไฟตามแบบไฟฟ้าที่ได้ทำการเขียนแบบไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 การเดินสายไฟและสายควบคุมตามแบบไฟฟ้า

5. ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ของอินเวอร์เตอร์

เมื่อทำการเดินสายไฟและสายควบคุมตามแบบไฟฟ้าแล้ว ต้องทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของอินเวอร์เตอร์ให้เหมาะสมกับมอเตอร์และสอดคล้องกับการใช้งาน โดยในที่นี้จะอธิบายในเฉพาะบางพารามิเตอร์ที่มีความจำเป็นและเกี่ยวข้องกับลักษณะการใช้งานที่ทางผู้ใช้งานต้องการ โดยทำการกดปุ่ม MON 2 ครั้งแล้วหน้าจอแสดงผลของอินเวอร์เตอร์จะแสดง P000 จากนั้นทำการกดปุ่ม ENTER จากนั้นทำการปรับค่าตามที่ต้องการแล้วกดปุ่ม ENTER ค้างจดจอกะพริบสามครั้งเพื่อยืนยันการตั้งค่าพารามิเตอร์ซึ่งต้องทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ P120 เป็นอันดับแรกเพื่อให้สามารถตั้งค่าพารามิเตอร์ตัวอื่นๆ ได้ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การตั้งค่าพารามิเตอร์ของอินเวอร์เตอร์

| Parameter | Set range | Unit | Factory setting | ค่าที่ใช้งาน |
|--------------------------|--|---------|-----------------|--------------|
| P000 Main frequency | 0.00-600.00 Hz | 0.01 Hz | 0.00 Hz | 50.00 |
| P001 Acceleration time | 0.1-6500.0 s | 0.1 s | 5.0 s | 5.0 |
| P002 Deceleration time | 0.1-6500.0 s | 0.1 s | 5.0 s | 5.0 |
| P003 V/F curve | 0-16 | 1 | 0 | 11 |
| P004 Max. Output voltage | 0.1-255/510 V | 0.1 V | 220/380 V | 220 |
| P005 Base frequency | 0.01-600 Hz | 0.01 Hz | 50/60 Hz | 50 |
| P008 Min. Voltage | 0.1-50.0V Set the lowest starting voltage in V/F curve. | 0.1V | * | 8.7 |
| P009 Min. Frequency | 0.1-20.00Hz | 0.01 Hz | * | 1.25 |

| | | | | |
|---------------------------------|---|---------|----------|-------|
| | Set the lowest starting frequency in V/F curve. | | | |
| P010 Max frequency | 50.00-600.00Hz | 0.01 Hz | 50.00 Hz | 50.00 |
| P012 Operation Command Source | 0-2 0: Digital operator 1: External terminal or potentiometers 2: Communication port, such as RS485 Important: CN1 JUMPER PIN 1&2 for panel potentiometer PIN 2&3 for external terminals. | 1 | 0 | 1 |
| P013 Operation frequency source | 0-2 0: Digital operator 1: External terminal or potentiometers 2: Communication port, such as RS485 Important: CN1 JUMPER PIN 1&2 for panel potentiometer | 1 | 0 | 1 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการรักษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | | |
|---|---|--------|------|------|
| | PIN 2&3 for external terminals. | | | |
| P016 Reverse Rotation Selection | 0-1 0: Reverse run is forbidden. 1: Reverse run is allowed. | 1 | 0 | 1 |
| P017 STOP key selection | 0-1 0: STOP is invalid. 1: STOP is valid. | 1 | 0 | 1 |
| P020 Starting frequency | 0.1-10 Hz | 0.1 Hz | 0.5 | 0.5 |
| P021 Stopping frequency | 0.1-10 Hz | 0.1 Hz | 0.5 | 0.5 |
| P050 Multi-Input FOR | - | - | 02 | 02 |
| P051 Multi-Input REV | - | - | 03 | 03 |
| P052 Multi-Input RST | - | - | 10 | 04 |
| P079 Overvoltage stall prevention | 0-1 | 1 | 1 | 1 |
| P080 stall prevention level during acceleration | 0-200% | 1% | 150 | 150 |
| P081 Stall prevention level at constant speed | 0-200% | 1% | 0 | 150% |
| P082 Stall prevention level during deceleration | 0-200% | 1% | 180% | 180 |
| P083 Overtorque detect level | 0-200% | 1% | 0 | 150 |
| P084 Overtorque detect time | 0-20S | 0.1S | 1.0 | 5 |
| P085 Rated motor voltage | - It is set according to the rated value of the nameplate | - | - | 220 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 53
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | | |
|-------------------------------|--|------|------|------|
| P086 Rated motor current | - It is set according to the rated value of the nameplate | - | - | 2.6 |
| P087 Motor poles | 02-10 | 1 | 04 | 04 |
| P088 Rated motor revolution | 0-9999 | Rpm | 1440 | 1400 |
| P089 motor no load current | 0-100 | 1 | 40 | 40 |
| P090 Slip compensation | 0-1.0 | 1 | 0 | 1 |
| P094 Frequency track time | 0.0-20.0S | 0.1S | 2.0S | 5.0 |
| P100 Auto torque Compensation | 0.1-10% | 0.1% | 2.0% | 5.0 |
| P120 Parameter lock | 0-1 0: Invalid the parameter can be set 1: Valid | 1 | 0 | 0-1 |

3.4 ติดตั้งระบบขับเคลื่อนสำหรับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03

1. ยึดมอเตอร์และชุดเกียร์ลดความเร็วรอบ เข้ากับแท่นวางมอเตอร์โดยใช้ M8x20 mm ดังแสดงในรูปที่ 3.36
2. ยึดแท่นวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เข้ากับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 โดยใช้ M8x60 mm
3. ยึดตู้ควบคุมมอเตอร์เข้ากับโครงสำหรับยึดตู้ควบคุมมอเตอร์โดยใช้ M6x60 mm



รูปที่ 3.36 ชุดมอเตอร์สำหรับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03

3.5 ทดลองใช้งานระบบขับเคลื่อนสำหรับเครื่องเจียรรางรูน MV-03

3.5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องเจียรรางรูน MV-03 พร้อมติดตั้งระบบขับเคลื่อนดังแสดงในรูปที่ 3.37



รูปที่ 3.37 เครื่องเจียรรางรูน MV-03 พร้อมติดตั้งระบบขับเคลื่อน

2. นาฬิกาจับเวลา
3. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลแบบแขวนและแบบวางพื้น ดังแสดงในรูปที่ 3.38 และ รูปที่ 3.39ตามลำดับ



รูปที่ 3.38 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลแบบแขวน



รูปที่ 3.39 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลแบบวางพื้น

3.5.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.5.2.1 เปรียบเทียบน้ำหนักของระบบขับเคลื่อนจากการคำนวณและน้ำหนักที่ได้จากการชั่ง

1. ชั่งน้ำหนักของแท่นวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโครงยึดตู้ควบคุมมอเตอร์ โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลแบบแขวน น้ำหนักที่ได้จากการชั่งมีค่าเท่ากับ 17.07 กิโลกรัมซึ่งมีค่ามากกว่าน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณซึ่งมีค่าเท่ากับ 14.76 กิโลกรัม
2. ชั่งน้ำหนักของชุดมอเตอร์ โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลแบบวางพื้น น้ำหนักที่ได้จากการชั่งมีค่าเท่ากับ 23.92 กิโลกรัม ซึ่งมีค่ามากกว่าน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณซึ่งมีค่าเท่ากับ 22.18 กิโลกรัม

3.5.2.2 ทดสอบความสามารถระบบขับเคลื่อนของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03

โดยในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบความสามารถในการเคลื่อนที่เดินหน้า ถอยหลัง และการปรับความเร็ว ในขณะที่มีการใช้งานเครื่องเจียร ว่าระบบขับเคลื่อนนั้นสามารถตอบสนองกับความต้องการของผู้ใช้งานได้หรือไม่, ทำการทดสอบการหยุดทันทีในกรณีฉุกเฉิน ว่าสามารถตอบสนองได้หรือไม่ และทดสอบระบบแสงสว่างว่าสามารถสั่งงานเปิดปิดได้หรือไม่ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบความสามารถของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 ระหว่างก่อนการติดตั้งระบบขับเคลื่อนและหลังจากการติดตั้งระบบขับเคลื่อน โดยบริเวณที่ทำการทดสอบนั้นมีค่าความชันของทางเป็น 0% เนื่องจากเป็นบริเวณที่จอดของรถ Unimog และ Flat Wagon ดังแสดงในรูปที่ 3.40



รูปที่ 3.40 บริเวณที่ทำการทดสอบ

โดยขั้นตอนในการใช้งานระบบขับเคลื่อนสำหรับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 นั้นมีดังนี้

1. นำเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาวางบริเวณตำแหน่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และนำขาของแท่นวางมอเตอร์มาสวมกับที่สวมสำหรับแท่นวางมอเตอร์ พร้อมกับปรับระดับความสูงของล้ออย่างให้สัมผัสกับรางดังแสดงในรูปที่ 3.41



รูปที่ 3.41 การปรับระดับความสูงของล้ออย่างให้สัมผัสกับราง

2. เสียบปลั๊กไฟสามเฟสตัวผู้ของมอเตอร์เข้ากับเต้ารับไฟสามเฟสของตู้ควบคุมมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.42 และเสียบปลั๊กไฟหนึ่งเฟส 220 VAC ของตู้ควบคุมมอเตอร์เข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้างดังแสดงในรูปที่ 3.43



รูปที่ 3.42 ปลั๊กไฟสามเฟสตัวผู้และตัวเมีย



รูปที่ 3.43 ปลั๊กไฟหนึ่งเฟส 220 VAC

3. สตาร์ทเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยไฟลัดแลมป์สีเขียวบนตู้ควบคุมจะสว่างขึ้นมาเป็นการบ่งบอกสถานะพร้อมใช้งานของตู้ควบคุมมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.44



รูปที่ 3.44 ไฟลัดแลมป์แสดงสถานะพร้อมใช้งานของตู้ควบคุมมอเตอร์

4. เปิด-ปิดระบบแสงสว่างโดยการบิดซีเล็คเตอร์สวิตช์สองตำแหน่ง หากต้องการใช้งานทำการบิดไปยังตำแหน่ง ON ดังแสดงในรูปที่ 3.45



รูปที่ 3.45 ซีเล็คเตอร์สวิตช์สองตำแหน่งสำหรับเปิด-ปิด หลอด LED

5. เลือกลักษณะของการเคลื่อนที่โดยทำการเลือกผ่านการบิดซีเล็คเตอร์สวิตช์สามตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.46 ดังนี้ FOR คือการเคลื่อนที่ไปด้านหน้า REV คือการเคลื่อนที่ไปด้านหลัง และ STOP คือการหยุดนิ่ง โดยเมื่อทำการเลือก FOR หรือ REV ไฟลัดแลมป์สีเหลืองบนตู้ควบคุมจะสว่างขึ้นมาเพื่อเป็นการบ่งบอกสถานะว่าในขณะนี้มีการสั่งงานให้มอเตอร์นั้นมีการเคลื่อนที่ดังแสดงในรูปที่ 3.47 โดยหากต้องการเปลี่ยนทิศทางในการเคลื่อนที่นั้นควรปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ให้มีค่าเป็นศูนย์ก่อนเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 3.48

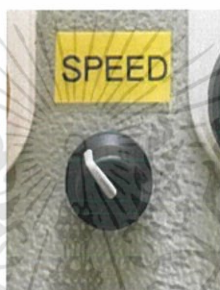


รูปที่ 3.46 ซีเล็คเตอร์สวิตช์สามตำแหน่งสำหรับควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์



รูปที่ 3.47 ไฟลอตแลมป์แสดงสถานะใช้งานของมอเตอร์

6. ปรับระดับความเร็วรอบของมอเตอร์โดยทำปรับผ่านโพเทนซิโอมิเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.48



รูปที่ 3.48 โพเทนซิโอสําหรับควบคุมความเร็ว

7. การหยุดในกรณีฉุกเฉิน ทำการตบลงบนสวิตช์ฉุกเฉินจากนั้นไฟลอตแลมป์สีแดงบนตู้ควบคุมจะสว่างขึ้นมาและไฟลอตแลมป์สีเขียวและสีเหลืองจะดับไปดังแสดงในรูปที่ 3.49 เพื่อบ่งบอกสถานะว่ามีการหยุดฉุกเฉิน โดยหากต้องการกลับมาใช้งานนั้นต้องรอ 30 วินาที จึงจะสามารถทำการหมุนสวิตช์ฉุกเฉินในทิศตามเข็มนาฬิกาเพื่อให้ ตู้ควบคุมมอเตอร์กลับมาอยู่ในสถานะพร้อมใช้งานอีกครั้ง






รูปที่ 3.49 ไฟลอตแลมป์แสดงสถานะการหยุดฉุกเฉิน

3.5.2.3 การบันทึกค่าที่แสดงทางจอแสดงผลของอินเวอร์เตอร์

ในการทดสอบนี้ จะทำการเปลี่ยนค่าความเร็วรอบของมอเตอร์จาก 0 จนถึง 1400 รอบต่อนาที โดยความละเอียดในการปรับนั้น มีค่า 100 รอบต่อนาที แล้วทำการบันทึกค่าที่แสดงทางจอแสดงผลของอินเวอร์เตอร์ และทำการจับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ระยะ 10 เมตรในขณะที่มีความเร็วคงที่ในความเร็วรอบต่างๆ โดยใช้นาฬิกาจับเวลาและในการทดสอบในกรณีนี้ จะไม่ทำการเจียรรางเนื่องจากมีผลเกี่ยวกับความปลอดภัยและอุปกรณ์ภายในตู้ควบคุมมอเตอร์อาจจะเกิดความเสียหายเนื่องจากสะเก็ดไฟและฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นได้ โดยบริเวณที่ทำการทดสอบนั้นมีค่าความชันของทางเป็น 0 % เนื่องจากเป็นบริเวณที่จอดของรถ Unimog และ Flat Wagon โดยความหมายบนจอแสดงผลของอินเวอร์เตอร์นั้นแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ความหมายบนจอแสดงผลของอินเวอร์เตอร์

| หน้าจอแสดงผล | ความหมาย |
|---|--|
|  | ความถี่ขาออกมีค่าเท่ากับ 50 เฮิรตซ์ |
|  | กระแสขาออกมีค่าเท่ากับ 2.0 แอมแปร์ |
|  | แรงดันขาออกมีค่าเท่ากับ 220 โวลต์ |
|  | อุณหภูมิของอินเวอร์เตอร์มีค่าเท่ากับ 39.0 องศาเซลเซียส |
|  | ความเร็วรอบของมอเตอร์มีค่าเท่ากับ 0 รอบต่อนาที |

โดยขั้นตอนในการบันทึกค่าที่แสดงทางจอแสดงผลของอินเวอร์เตอร์มีดังนี้

1. กดปุ่ม ENTER ให้จอแสดงผลแสดงผลความเร็วรอบ
2. ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เริ่มต้นที่ 100 รอบต่อนาที โดยตัวเลขจะแสดงเป็น 010.0 หมายถึง ความเร็วรอบของมอเตอร์มีค่า 100 รอบต่อนาที
3. กดปุ่ม ENTER ให้หน้าจอแสดงผลแสดงผลของความถี่ขาออก กระแสขาออก แรงดันขาออก และอุณหภูมิของอินเวอร์เตอร์ ตามลำดับ แล้วทำการบันทึกผล
4. ทำข้อ 1-3 ซ้ำ โดยปรับความเร็วรอบเพิ่มขึ้นทีละ 100 รอบต่อนาที จนถึง 1400 รอบต่อนาที

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบความสามารถของระบบขับเคลื่อนสำหรับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03

ผลการทดสอบความสามารถของระบบขับเคลื่อนของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 นั้นพบว่า ก่อนการติดตั้งระบบขับเคลื่อนนั้นการทำให้เครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 เคลื่อนที่นั้นต้องอาศัยการใช้แรงของผู้ใช้งานดังแสดงในรูปที่ 4.1 หลังจากการติดตั้งระบบขับเคลื่อนให้กับเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 แล้วทำเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 นั้นสามารถเคลื่อนที่ได้โดยไม่ต้องอาศัยการใช้แรงจาก ผู้ใช้งานดังแสดงในรูปที่ 4.2 โดยระบบขับเคลื่อนสามารถตอบสนองต่อผู้ใช้งานได้ดีโดยการควบคุมผ่านตู้ควบคุมมอเตอร์ผู้ใช้งานสามารถควบคุมทิศทางในการเคลื่อนที่ให้เคลื่อนที่ไปเดินหน้า เคลื่อนที่ไปด้านหลังและหยุดได้ และยังสามารถควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ได้ โดยสามารถสั่งงานให้หยุดเคลื่อนที่ทันทีได้ในกรณีฉุกเฉิน และมีระบบแสงสว่างอำนวยความสะดวกในขณะที่ใช้งาน โดยผลการทดสอบความสามารถของระบบขับเคลื่อนของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 สามารถสรุปได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การใช้งานเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 ก่อนการติดตั้งระบบขับเคลื่อน



รูปที่ 4.2 การใช้งานเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03 หลังการติดตั้งระบบขับเคลื่อน

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความสามารถของระบบขับเคลื่อนของเครื่องเจียรรางรุ่น MV-03

| คำสั่ง | หลังการติดตั้งระบบขับเคลื่อน |
|--|------------------------------|
| การเคลื่อนที่ | |
| -เคลื่อนที่ไปด้านหน้า เมื่อให้คำสั่ง FOR | ✓ |
| -เคลื่อนที่ไปด้านหลัง เมื่อให้คำสั่ง REV | ✓ |
| -ไม่เคลื่อนที่ เมื่อให้คำสั่ง STOP | ✓ |
| การควบคุมความเร็ว | |
| -สามารถปรับความเร็วได้โดยทำการปรับค่า Potentiometer (Volume) | ✓ |
| การหยุดในกรณีฉุกเฉิน | |
| -หยุดเคลื่อนที่ในทันทีเมื่อทำการ กดปุ่ม emergency stop | ✓ |
| ระบบแสงสว่างจากหลอด LED | ✓ |
| -สามารถสั่งงานเปิด-ปิดหลอด LED | ✓ |
| การแสดงสถานะผ่าน pilot lamp | |
| -สามารถแสดงสถานะการทำงานผ่าน pilot lamp ได้ถูกต้อง | ✓ |

4.2 วิเคราะห์ผลค่าที่แสดงจากจอแสดงผลของอินเวอร์เตอร์

ค่าที่ได้จากการบันทึกจากจอแสดงผลของอินเวอร์เตอร์ ได้แก่ แรงดันขาออก กระแสไฟฟ้าขาออก และความถี่ขาออก จากอินเวอร์เตอร์โดยแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าที่อ่านได้จากหน้าจอแสดงผลของอินเวอร์เตอร์

| ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที) | แรงดันขาออก (โวลต์) | กระแสไฟฟ้าขาออก (แอมแปร์) | ความถี่ขาออก (เฮิรตซ์) |
|-----------------------------|------------------------|------------------------------|---------------------------|
| 100 | 19.8 | 0.6 | 3.6 |
| 200 | 35.2 | 1.2 | 7.2 |
| 300 | 50.5 | 1.5 | 10.8 |
| 400 | 65.7 | 1.6 | 14.3 |
| 500 | 81.4 | 1.7 | 17.9 |
| 600 | 96.6 | 1.8 | 21.5 |
| 700 | 112 | 1.8 | 25.1 |
| 800 | 127 | 1.8 | 28.6 |
| 900 | 143 | 1.8 | 32.2 |
| 1000 | 158 | 1.8 | 35.7 |
| 1100 | 173 | 1.8 | 39.3 |
| 1200 | 190 | 1.8 | 42.9 |
| 1300 | 205 | 1.8 | 46.5 |
| 1400 | 220 | 1.8 | 50 |

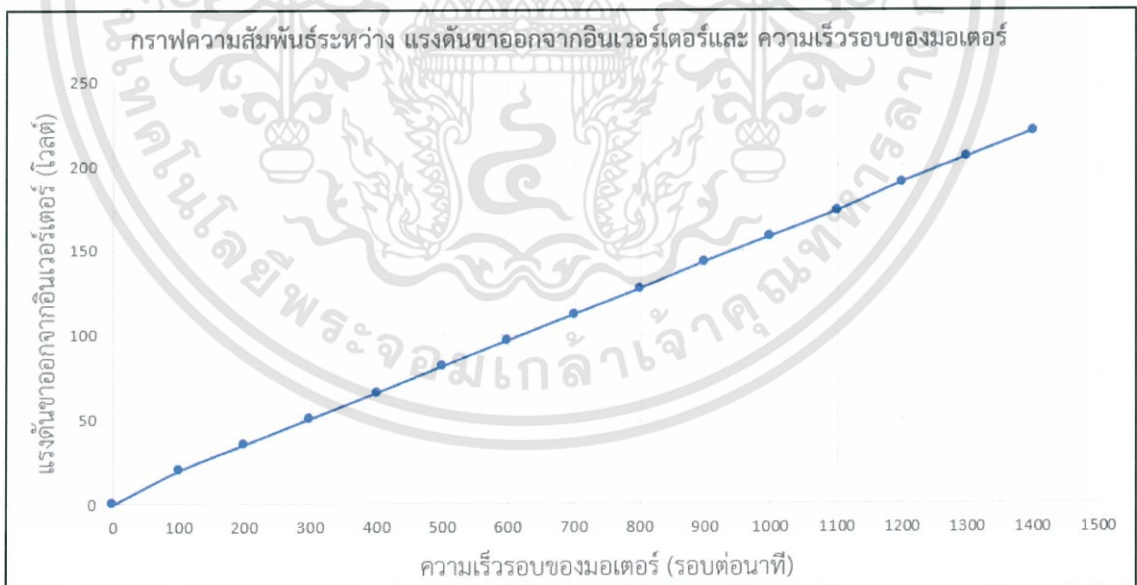
จากการวิเคราะห์ค่าที่ได้จากการบันทึกจากจอแสดงผลแสดงในตารางที่ 4.2 นั้นพบว่า

1. เมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์เพิ่มขึ้น ความถี่ขาออกที่อินเวอร์เตอร์จ่ายออกมาให้กับมอเตอร์ก็มีค่าที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ (2.1) ความเร็วรอบของมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับความถี่ แสดงความสัมพันธ์เป็นกราฟได้ในรูปที่ 4.3

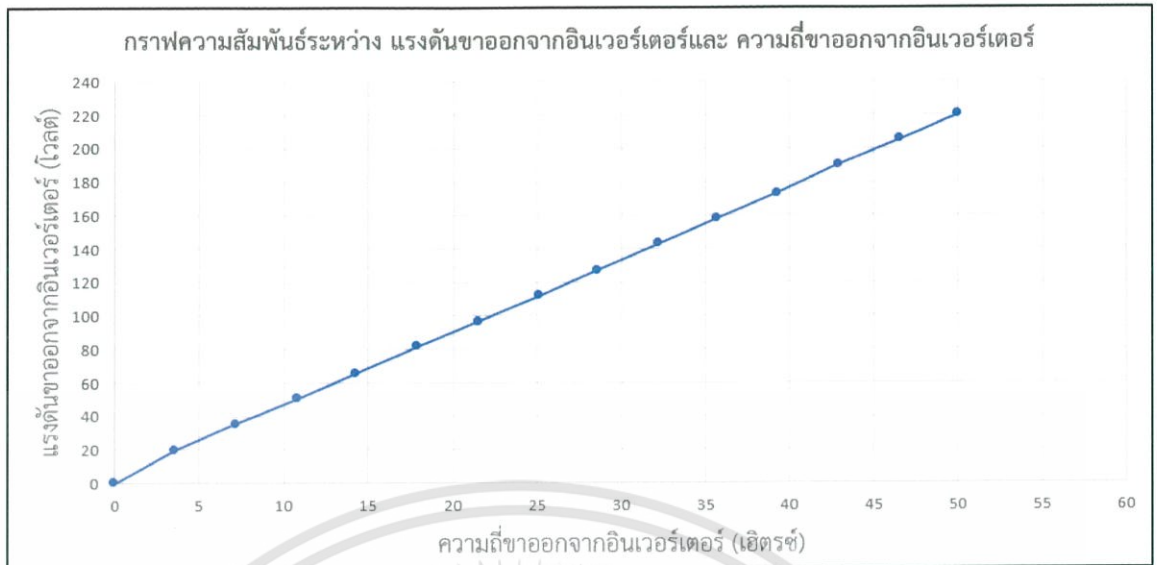


รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ขาออกจากอินเวอร์เตอร์และความเร็วรอบของมอเตอร์

2. เมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์เพิ่มขึ้น แรงดันขาออกจากอินเวอร์เตอร์ที่จ่ายออกมาให้กับมอเตอร์ ก็มีค่าที่เพิ่มขึ้น แสดงความสัมพันธ์เป็นกราฟได้ในรูปที่ 4.4 ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ (2.4) ถึงแม้ความเร็วของมอเตอร์จะแปรผันตรงกับความถี่ที่อินเวอร์เตอร์จ่ายให้กับมอเตอร์ก็ตาม แต่ถ้าหากทำการเพิ่มความถี่โดยที่ให้แรงดันคงที่ จะทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กนั้นเพิ่มมากขึ้นจนอิ่มตัว กระแสจะเพิ่มมากขึ้นทำให้มอเตอร์ร้อนและเสียหายได้ อินเวอร์เตอร์จึงเพิ่มแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ให้สูงขึ้นเพื่อรักษาฟลักซ์แม่เหล็กให้คงที่ แสดงความสัมพันธ์เป็นกราฟได้ในรูปที่ 4.5

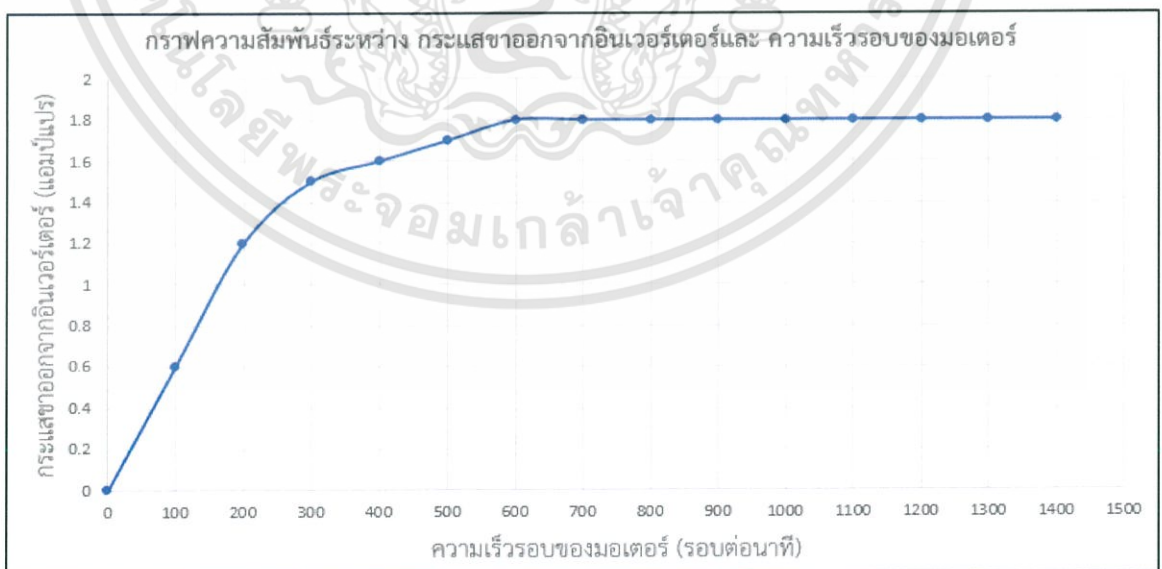


รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกจากอินเวอร์เตอร์และความเร็วรอบของมอเตอร์



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกจากรีเลย์อินเวอร์เตอร์และความถี่ขาออกจากรีเลย์อินเวอร์เตอร์

3. เมื่อภาระของมอเตอร์นั้นคงที่อินเวอร์เตอร์จะรักษาแรงบิดให้คงที่ ดังนั้นเมื่ออินเวอร์เตอร์ทำการรักษาอัตราส่วนระหว่างแรงดันขาออกจากรีเลย์อินเวอร์เตอร์กับความถี่ขาออกจากรีเลย์อินเวอร์เตอร์แล้ว จึงทำการรักษาปริมาณของกระแสไฟฟ้าขาออกจากรีเลย์อินเวอร์เตอร์ควบคุมไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ (2.5) โดยในช่วงความเร็วรอบก่อน 300 รอบต่อนาทีนั้นล้อยของมอเตอร์นั้นไม่มีการตอบสนองและหมุนอาจจะเป็นผลมาจากกระแสที่ได้นั้นมีค่าน้อยเกินไปส่งผลให้แรงบิดที่ได้ไม่เพียงพอที่จะสามารถขับภาระได้ ในช่วงความเร็วรอบ 300-600 รอบนั้นกระแสที่ใช้มีค่าน้อยกว่าช่วงความเร็วรอบมากกว่า 600 รอบต่อนาทีเล็กน้อยอาจจะเป็นผลเนื่องมาจากอัตราส่วนระหว่างแรงดันขาออกจากรีเลย์อินเวอร์เตอร์กับความถี่ขาออกจากรีเลย์อินเวอร์เตอร์นั้นมีค่ามากกว่าเล็กน้อย แสดงความสัมพันธ์เป็นกราฟได้ในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสขาออกจากรีเลย์อินเวอร์เตอร์และความเร็วรอบของมอเตอร์

4. กำลังขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่จ่ายให้กับมอเตอร์และกำลังขาออกจากมอเตอร์ สามารถคำนวณได้จากค่าในตารางที่ 4.2 ดังนี้

จากสมการที่ (2.12) กำลังขาออกของอินเวอร์เตอร์ $P_{3\phi,inv} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \cos\theta$

จากสมการที่ (2.13) กำลังขาออกจากมอเตอร์ $P_{out,shaft} = P_{3\phi,inv} \times \eta_m \times \eta_G \times \cos\theta_m$

กำหนดให้ $\cos\theta_{inv} = 1, \eta_m = 0.74, \eta_G = 0.76, \cos\theta_m = 0.77$

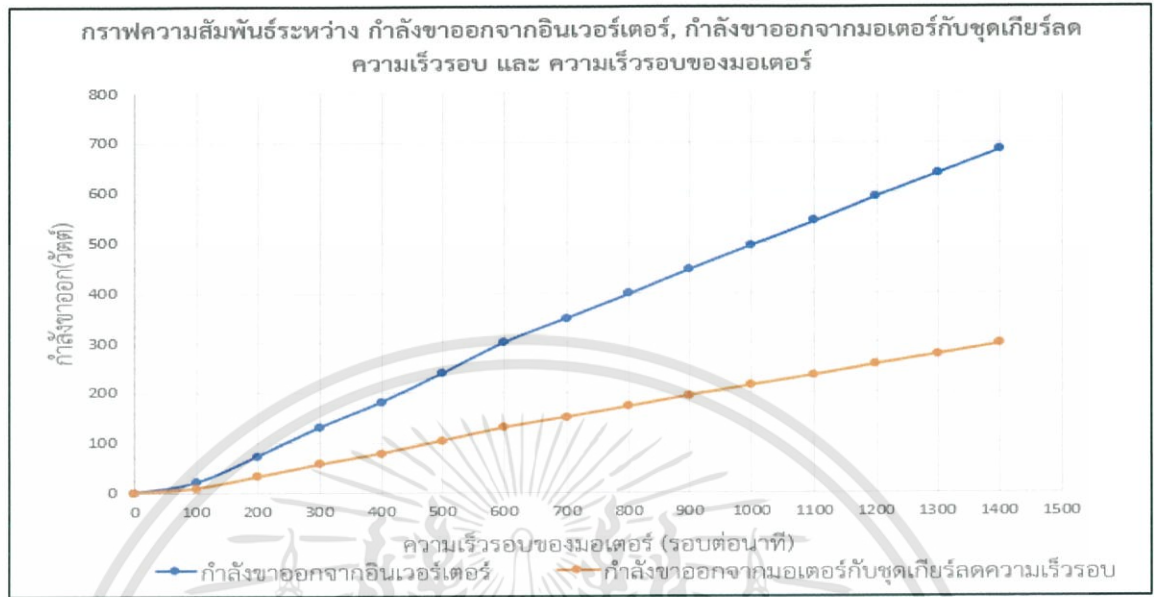
กำลังขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่จ่ายให้กับมอเตอร์และกำลังขาออกจากมอเตอร์แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 กำลังขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่จ่ายให้กับมอเตอร์และกำลังขาออกจากมอเตอร์

| ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที) | กระแสไฟฟ้าขาออก (แอมแปร์) | แรงดันขาออก (โวลต์) | กำลังขาออกจากอินเวอร์เตอร์ (วัตต์) | กำลังขาออกจากมอเตอร์ (วัตต์) |
|--------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------------------|------------------------------|
| 100 | 0.6 | 19.8 | 20.5768 | 8.9107 |
| 200 | 1.2 | 35.2 | 73.1618 | 31.6826 |
| 300 | 1.5 | 50.5 | 131.2028 | 56.8171 |
| 400 | 1.6 | 65.7 | 182.0732 | 78.8464 |
| 500 | 1.7 | 81.4 | 239.6812 | 103.7934 |
| 600 | 1.8 | 96.6 | 301.1690 | 130.4206 |
| 700 | 1.8 | 112.2 | 349.8050 | 151.4824 |
| 800 | 1.8 | 127.5 | 397.5057 | 172.1390 |
| 900 | 1.8 | 143.3 | 446.7652 | 193.4708 |
| 1000 | 1.8 | 158.8 | 495.0894 | 214.3974 |
| 1100 | 1.8 | 174.1 | 542.7901 | 235.0542 |
| 1200 | 1.8 | 190.1 | 592.6731 | 256.6560 |
| 1300 | 1.8 | 205.0 | 639.1267 | 276.7725 |
| 1400 | 1.8 | 220.0 | 685.8921 | 297.02419 |

จากค่าที่แสดงในตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่ากำลังขาออกจากมอเตอร์นี้มีค่าน้อยกว่ากำลังขาออกจากอินเวอร์เตอร์ซึ่งเป็นผลมาจากมอเตอร์นั้นมีการสูญเสียเกิดขึ้นในส่วนของประสิทธิภาพและการสูญเสียกำลังของมอเตอร์ ก่อนที่จะได้กำลังขาออกจากเพลาของมอเตอร์ และในกรณีนี้เราสามารถ

ต่อมอเตอร์เข้ากับชุดเกียร์ลดความเร็วรอบซึ่งเกิดความสูญเสียกำลังเพิ่มเติมจากแรงเสียดทานภายในชิ้นส่วนต่างๆ จากความร้อนที่เกิดขึ้น เป็นต้น โดยแสดงความสัมพันธ์เป็นกราฟได้ในรูปที่ 4.7

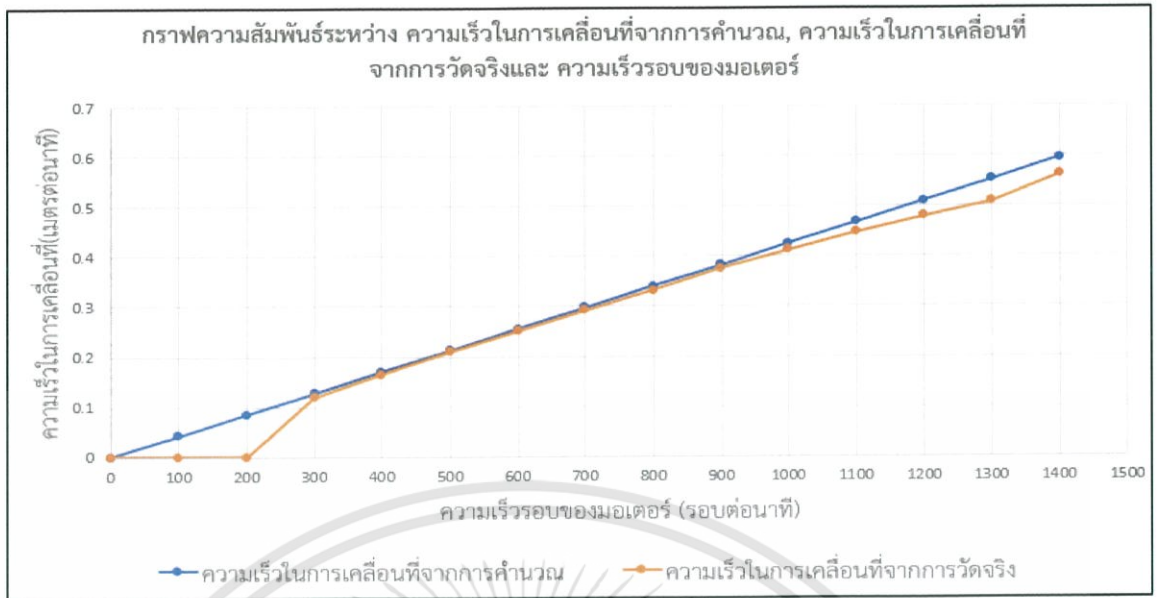


รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังขาออกจากอินเวอร์เตอร์ กำลังขาออกจากมอเตอร์ และความเร็วรอบของมอเตอร์

5. จากข้อมูลในตารางที่ 4.4 แสดงความเร็วในการเคลื่อนที่จากการคำนวณ และในการเคลื่อนที่จากการวัดจริงพบว่า ความเร็วในการเคลื่อนที่จากการคำนวณจะเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ตามความเร็วรอบของมอเตอร์ที่เพิ่มขึ้น และในส่วนของความเร็วในการเคลื่อนที่จากการวัดจริงนั้นจะมีค่าเท่ากับ 0 ในช่วงความเร็วรอบก่อน 300 รอบต่อนาที จากนั้นจะเพิ่มขึ้นหลังจากความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที ซึ่งในช่วงความเร็วรอบ 300-900 นั้นอัตราเร็วของล้อมอเตอร์จากการวัดจริงและมีความใกล้เคียงกับความเร็วของล้อมอเตอร์จากการคำนวณ และในช่วงความเร็วรอบ 900-1400 รอบต่อนาทีนั้นความเร็วในการเคลื่อนที่จากการวัดจริงจะมีค่าน้อยกว่าความเร็วในการเคลื่อนที่จากการคำนวณเล็กน้อย อาจมาจากสาเหตุความไม่แม่นยำในการจับเวลาในการเคลื่อนที่ของผู้ที่ทำการจับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ โดยข้อมูลแสดงความสัมพันธ์เป็นกราฟได้ในรูปที่ 4.8 ความเร็วในการเคลื่อนที่จากการวัดจริงสูงสุดที่สามารถทำได้นั้นมีค่าเท่ากับ 0.5622 เมตรต่อวินาที หรือประมาณ 2.02 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยใช้เวลาในการเร่งจากหยุดนิ่งจนถึงความเร็วรอบสูงสุดประมาณ 5 วินาที และเวลาที่ใช้ในการลดความเร็วจากความเร็วรอบสูงสุดจนหยุดนิ่งมีค่าประมาณ 5 วินาทีซึ่งตรงตามค่าของพารามิเตอร์ที่ตั้งไว้ในพารามิเตอร์ที่ P001 และ P002 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ 10 เมตรด้วยความเร็วคงที่

| ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที) | ครั้งที่ 1 (วินาที) | ครั้งที่ 2 (วินาที) | ครั้งที่ 3 (วินาที) | ค่าเฉลี่ย (วินาที) | ความเร็วในการ เคลื่อนที่ จากการคำนวณ (เมตรต่อวินาที) | ความเร็วในการ เคลื่อนที่ จากการวัดจริง (เมตรต่อวินาที) |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|---|---|
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0426 | 0 |
| 200 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0851 | 0 |
| 300 | 84.46 | 84.54 | 84.18 | 84.3933 | 0.1277 | 0.1185 |
| 400 | 60.78 | 61.10 | 60.74 | 60.8733 | 0.1702 | 0.1643 |
| 500 | 47.60 | 47.92 | 47.78 | 47.7667 | 0.2128 | 0.2094 |
| 600 | 39.86 | 39.74 | 39.78 | 39.7933 | 0.2553 | 0.2513 |
| 700 | 34.06 | 34.54 | 34.34 | 34.3133 | 0.2979 | 0.2914 |
| 800 | 30.14 | 29.92 | 30.38 | 30.1467 | 0.3405 | 0.3317 |
| 900 | 26.72 | 26.32 | 26.86 | 26.6333 | 0.3830 | 0.3755 |
| 1000 | 24.38 | 23.98 | 24.32 | 24.2267 | 0.4256 | 0.4128 |
| 1100 | 22.24 | 22.46 | 22.26 | 22.3200 | 0.4681 | 0.4480 |
| 1200 | 20.94 | 21.18 | 20.32 | 20.8133 | 0.5107 | 0.4805 |
| 1300 | 19.68 | 19.58 | 19.64 | 19.6333 | 0.5532 | 0.5093 |
| 1400 | 18.00 | 17.84 | 17.52 | 17.7867 | 0.5958 | 0.5622 |



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเคลื่อนที่จากการคำนวณ ความเร็วในการเคลื่อนที่จากการวัดจริงและความเร็วรอบของมอเตอร์



บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลและอภิปรายผลการทดลอง

จากการศึกษา ออกแบบ และจัดทำระบบขับเคลื่อนสำหรับเครื่องเจียรรางรูน MV-03 นั้นพบว่า

1. สามารถใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก Suntech MH Series แบบหน้าแปลน 4 ขั้วขนาด 550 วัตต์ในการสร้างกำลังขับเคลื่อนเพื่อขับเคลื่อนเครื่องเจียรรางรูน MV-03 ให้เคลื่อนที่ได้ โดยส่งกำลังผ่านชุดเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอนอัตราทด 1:25 และ ล้อยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว โดยควบคุมผ่านตู้ควบคุมมอเตอร์
2. แทนวางมอเตอร์มีความแข็งแรงพอในการรับน้ำหนักของมอเตอร์และชุดเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอน แทนวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความแข็งแรงเพียงพอในการรับน้ำหนักของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และโครงสร้างยึดตู้ควบคุมมอเตอร์นั้นมีความแข็งแรงเพียงพอในการรับน้ำหนักของตู้ควบคุมมอเตอร์ได้
3. ภายในตู้ควบคุมมอเตอร์การตั้งค่าพารามิเตอร์ของอินเวอร์เตอร์ให้มีความเหมาะสมและ สอดคล้องนั้นมีผลอย่างมาก เพราะพารามิเตอร์แต่ละตัวนั้นมีความเชื่อมโยงกับพารามิเตอร์ ตัวอื่นๆ หากทำการตั้งค่าไม่เหมาะสมอาจจะส่งผลเสียต่อตัวอินเวอร์เตอร์เอง และยังส่งผลต่อ มอเตอร์อาจทำให้เกิดความเสียหายได้
4. จากการทดลองใช้งานระบบขับเคลื่อนของเครื่องเจียรรางรูน MV-03 พบว่าระบบขับเคลื่อนที่ได้ติดตั้งให้กับเครื่องเจียรรางรูน MV-03 นั้นสามารถทำได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการได้ และสามารถทำได้ตามขอบเขตการศึกษาที่กำหนดไว้ได้โดยสามารถช่วยทุ่นแรงให้กับผู้ใช้งานได้ โดยปกติแล้วผู้ใช้งานจะต้องออกแรงในการทำให้เครื่องเจียรรางรูน MV-03 นั้นเคลื่อนที่ แต่หลังจากทำการติดตั้งระบบขับเคลื่อนนั้นทำให้ผู้ใช้งานนั้นไม่ต้องออกแรงในการทำให้เครื่องเจียรรางรูน MV-03 นั้นเคลื่อนที่ แต่ใช้แรงขับเคลื่อนจากมอเตอร์ที่ส่งกำลังผ่านชุดเฟืองลดความเร็วรอบแบบเฟืองตัวหนอนและล้อยางตัน ที่สามารถควบคุมความเร็วรอบ และทิศทางการเคลื่อนที่ผ่านตู้ควบคุมมอเตอร์ได้ โดยสามารถทำความเร็วสูงสุดตามที่ ต้องการคือ 2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และสามารถเคลื่อนที่ไปด้านหน้า หยุด และเคลื่อนที่ไป ด้านหลัง โดยในขณะที่ใช้งานมีการแสดงสถานะการทำงานผ่านไฟลัดแลมป์ได้ทั้งสามสถานะ ได้แก่ พร้อมใช้งาน กำลังเคลื่อนที่ และหยุดในกรณีฉุกเฉิน โดยในการใช้งานนั้นผู้ใช้งานมีหน้าที่ในการควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องเจียรรางรูน MV-03 ให้มีความสัมพันธ์กับระยะการกดของหินเจียรเพื่อให้ได้ผิวของรางที่ผ่านการเจียรนั้นมีความเรียบ สม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาที่พบในการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

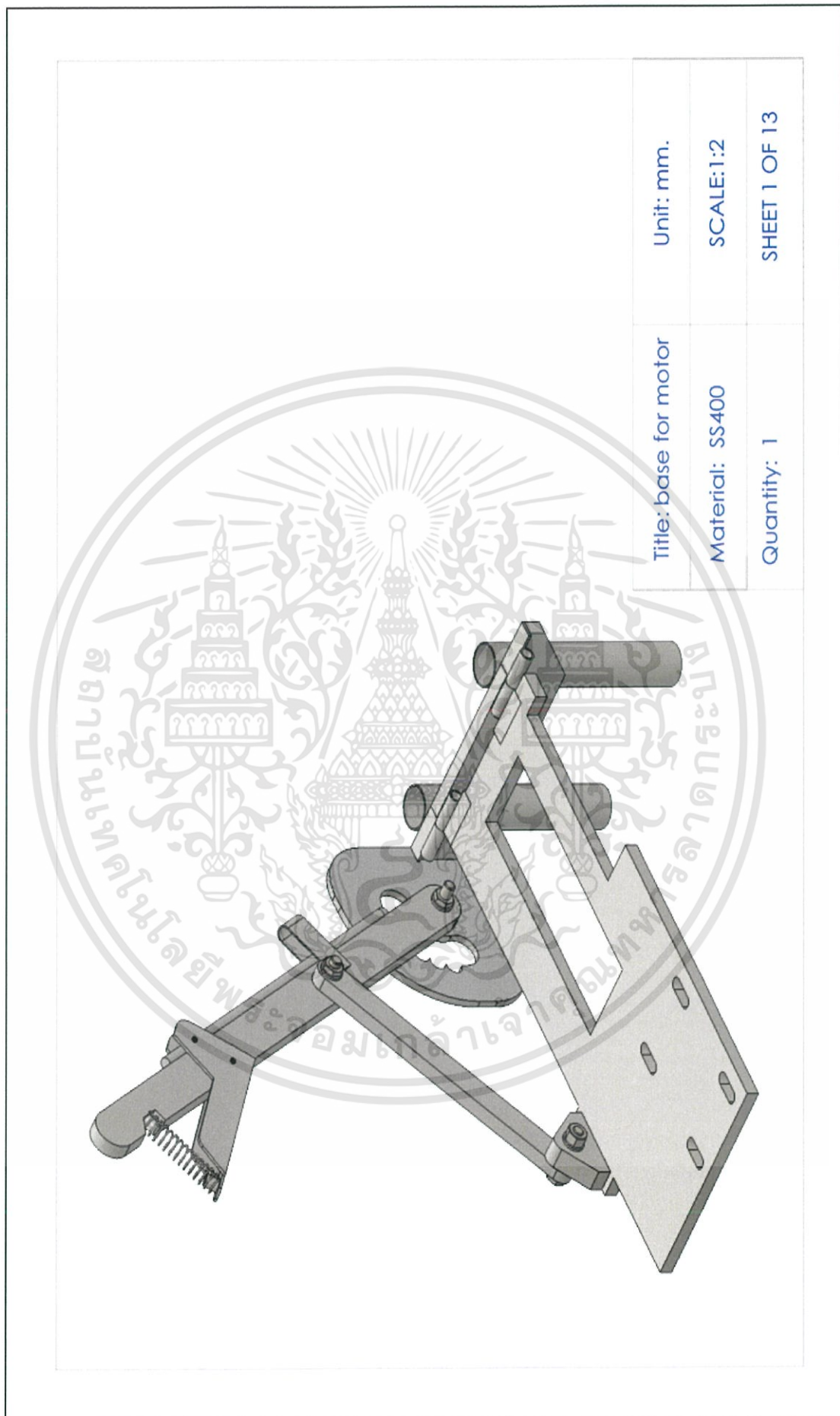
1. การเลือกใช้อุปกรณ์ในการจัดทำระบบขับเคลื่อนนั้นควรใช้อุปกรณ์ที่มีความน่าเชื่อถือเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน และสามารถหาได้ทั่วไป เพราะง่ายต่อการซ่อมบำรุงดูแลรักษา และการเปลี่ยนชิ้นส่วนในกรณีเกิดการชำรุดหรือเสียหาย
2. การทำการทดลองและการเก็บผลการทดลองนั้น ในการเก็บค่าที่อ่านได้จากหน้าจอแสดงผลของอินเวอร์เตอร์ ควรมีเครื่องมือวัดแคลมป์มิเตอร์ ใช้วัดช่วยเพื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากหน้าจอแสดงผลว่ามีความคลาดเคลื่อนหรือไม่ และในการทดลองนั้นควรทำการทดลองในบริเวณที่จะนำไปใช้งานจริง โดยในการเก็บผลการทดลองนั้นควรมีการทดสอบเพิ่มเติมคือทดสอบแรงบิดและความเร็วรอบที่ได้จริงจากมอเตอร์เพื่อลดความผิดพลาดของข้อมูล
3. ควรมีการติดตั้งสวิทช์หยุดฉุกเฉินแบบสายคล้อง เพื่อคล้องกับตัวผู้ใช้งานในกรณีที่ผู้ใช้งานนั้นหกล้มหรือปล่อยให้เครื่องเจียร์รางเคลื่อนที่ไปห่างจากตัวเอง เครื่องเจียร์รางจะได้หยุดการเคลื่อนที่และควรที่การต่อวงจรการหยุดฉุกเฉินของผู้ควบคุมมอเตอร์ไปยังเครื่องยนต์ที่เป็นต้นกำลังของหินเจียร์เพื่อที่จะทำให้หินเจียร์นั้นหยุดหมุนพร้อมกับการหยุดการเคลื่อนที่ของเครื่องเจียร์รางในกรณีที่ทำการหยุดฉุกเฉิน แต่ด้วยระยะเวลาที่จำกัดจึงไม่สามารถหาอุปกรณ์และจัดทำได้
4. ระบบขับเคลื่อนสำหรับเครื่องเจียร์รางรุ่น MV-03 นี้สามารถพัฒนาต่อยอดได้โดยการทำที่นั่งให้กับผู้ใช้งานโดยให้ผู้ใช้งานนั้นสามารถควบคุมการเจียร์รางและการเคลื่อนที่ได้โดยที่ไม่ต้องเดินตามเครื่องเจียร์ราง แต่ต้องมีการปรับโครงสร้างในการรับน้ำหนักและต้องมีการเพิ่มระดับของความปลอดภัยให้สูงขึ้นตามไปด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] อีระยุทธ สุวรรณปะทีป, (2550). วิศวกรรมยานยนต์. (พิมพ์ครั้งที่ 7). กรุงเทพฯ: วิทยพัฒน์ จำกัด
- [2] กฤษดา วิศวธีรานนท์. (2539). Inverter หลักการทำงานและเทคนิคการใช้งาน. (พิมพ์ครั้งที่4). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [3] Factomart. (ม.ป.ป.). คู่มือ ไฟแสดงสถานะ (Pilot lamp manual). (หน้า 1-12) กรุงเทพฯ: แฟ็คโตมาร์ท จำกัด
- [4] Factomart. (ม.ป.ป.). คู่มือ แมกเนติก คอนแทคเตอร์ (Magnetic contactor manual). (หน้า 1-42) กรุงเทพฯ: แฟ็คโตมาร์ท จำกัด
- [5] Factomart. (ม.ป.ป.). คู่มือ เซอร์กิต เบรกเกอร์ (Circuit breaker manual). (หน้า 1-20) กรุงเทพฯ: แฟ็คโตมาร์ท จำกัด
- [6] Program Solidwork 2016
- [7] The Engineering Toolbox. (2551). Rolling Resistance. สืบค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2561, จาก https://www.engineeringtoolbox.com/rolling-friction-resistance-d_1303.html
- [8] บริษัท ฟอ์จูน เมคคานิค แอนด์ ซัพพลาย จำกัด. (2561). หมวดหมู่สินค้ามอเตอร์เกียร์. สืบค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2561, จาก <https://www.ftsupply.com/th/products/category/4068>
- [9] ANIRUTH M. (2550). Trackwork Maintenance Guide [เอกสารประกอบคำบรรยาย]. แผนกtrw/trd: SIEMENS Limited

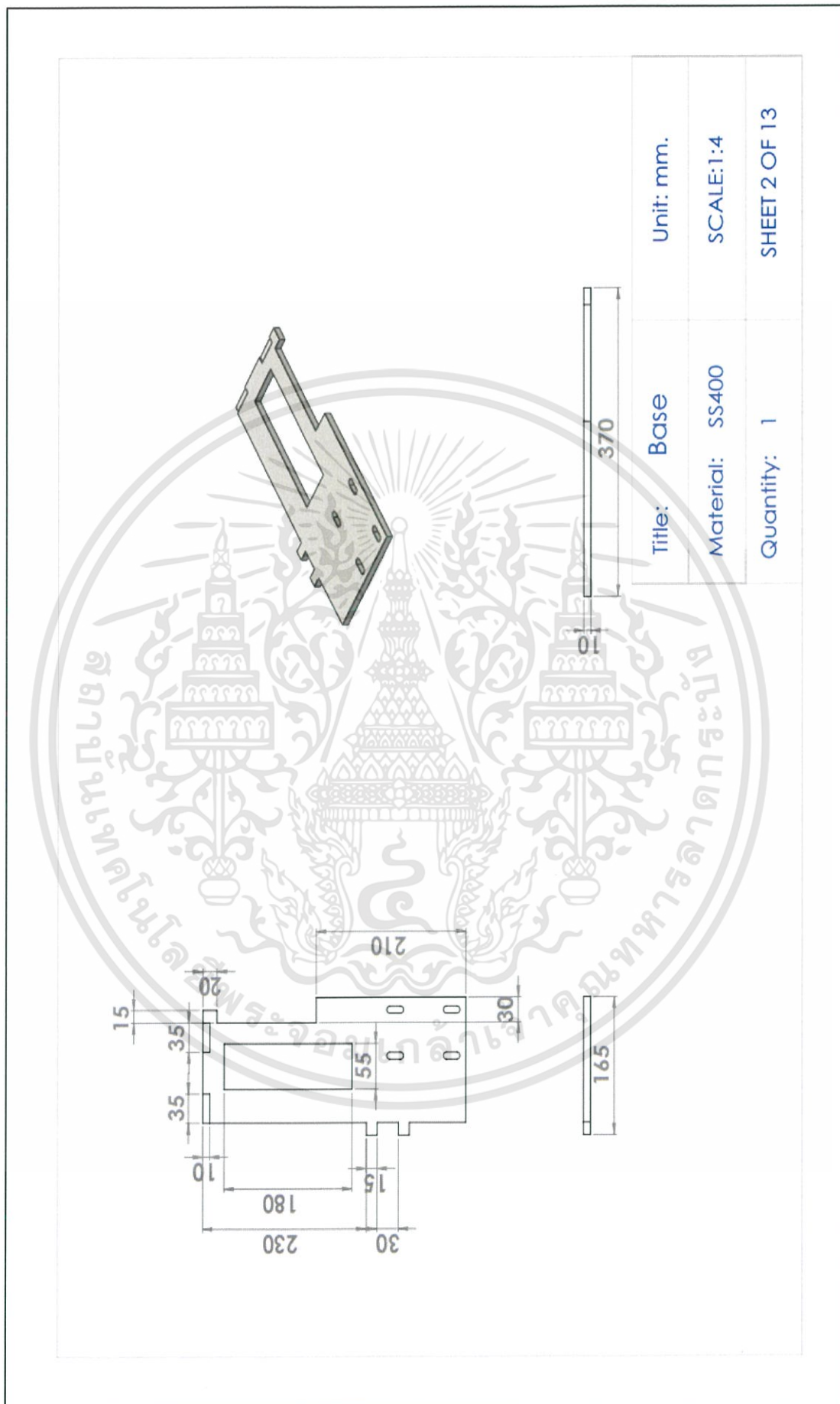


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

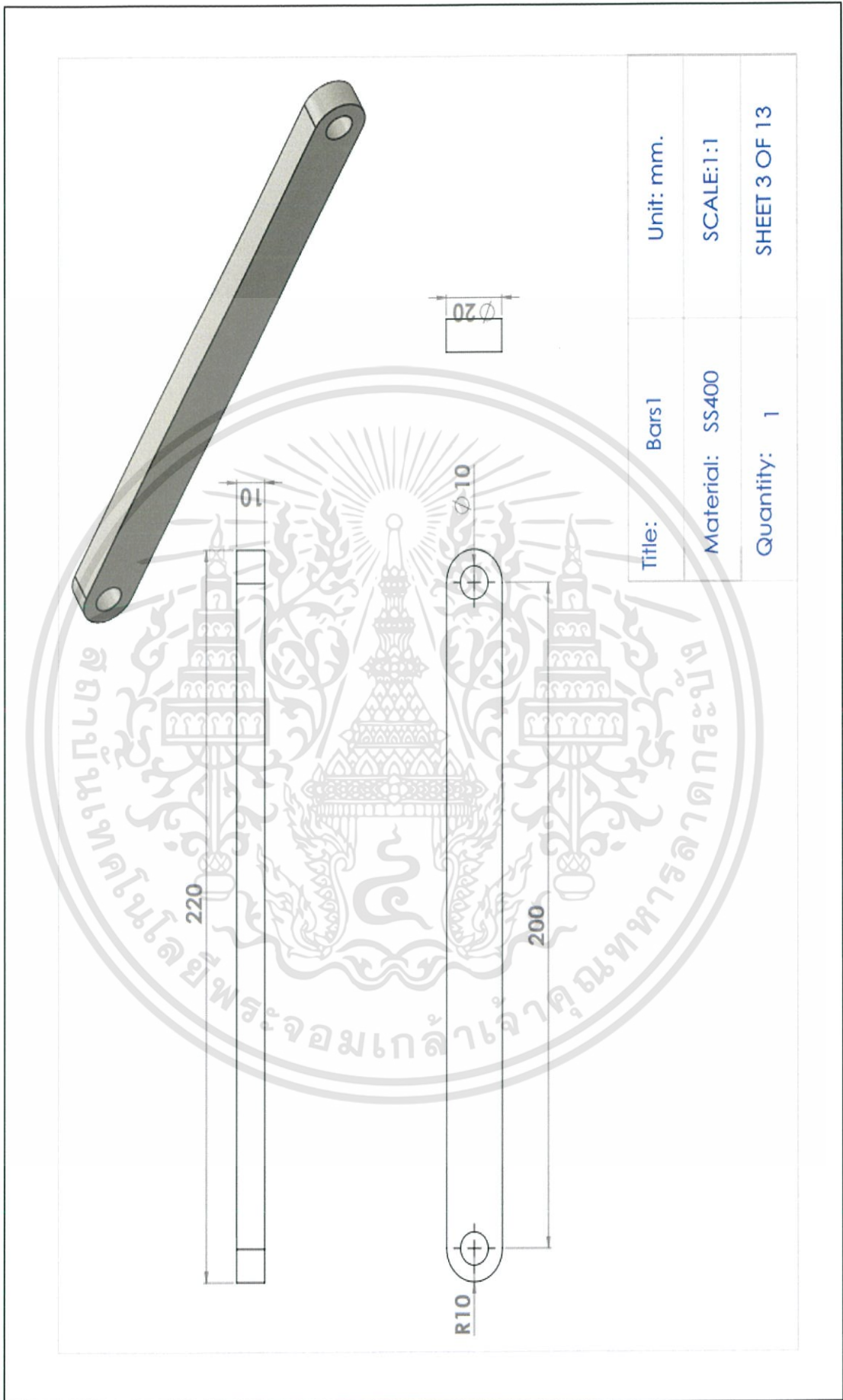


| | |
|-----------------------|---------------|
| Title: base for motor | Unit: mm. |
| Material: SS400 | SCALE:1:2 |
| Quantity: 1 | SHEET 1 OF 13 |

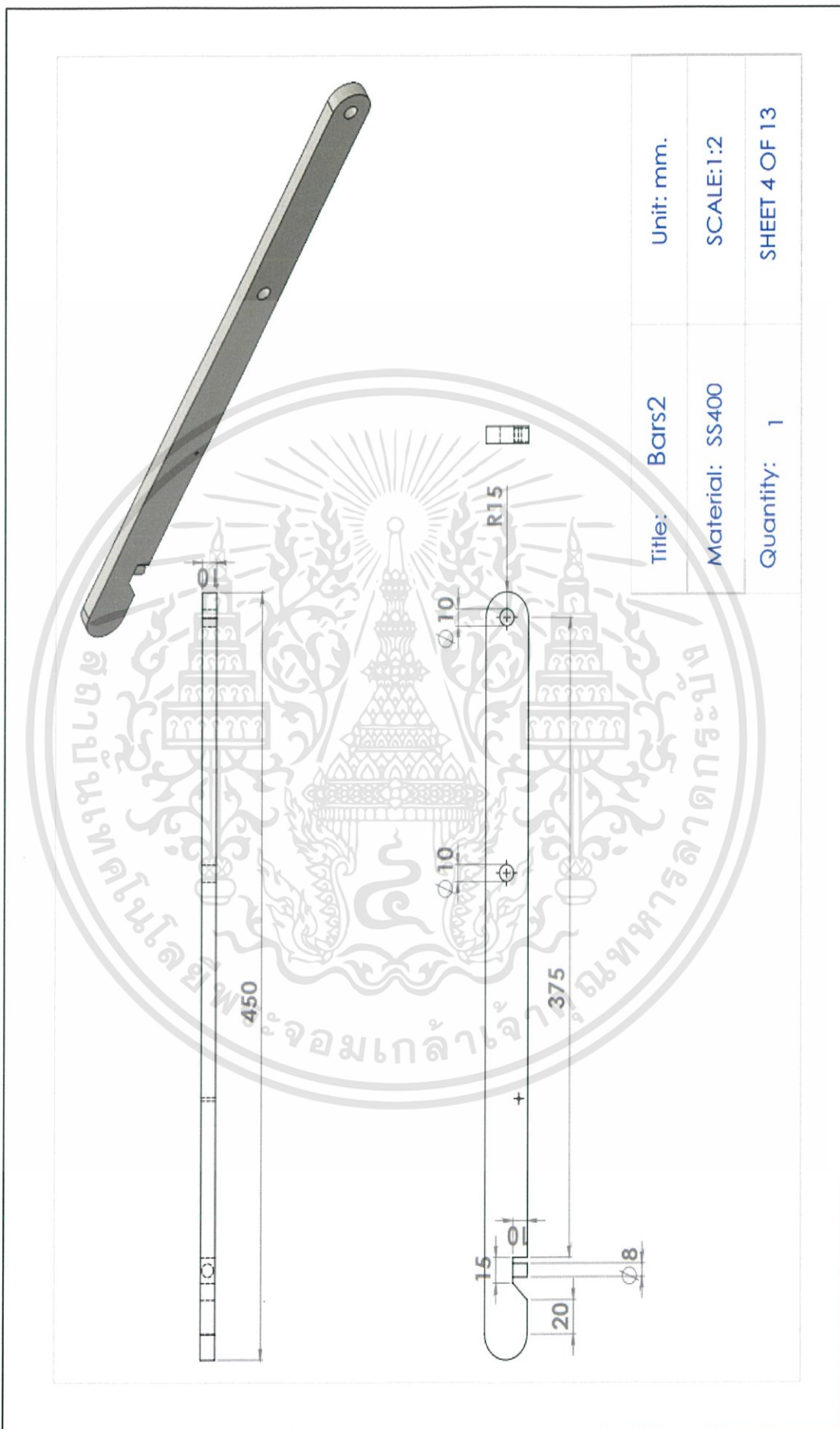
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



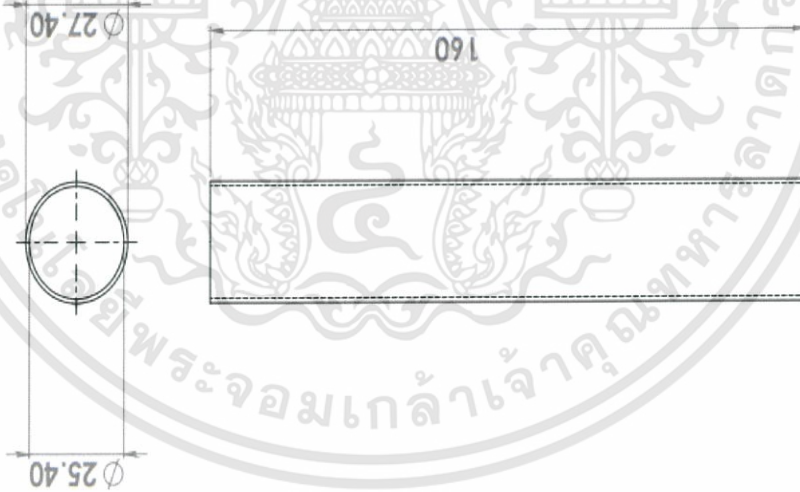
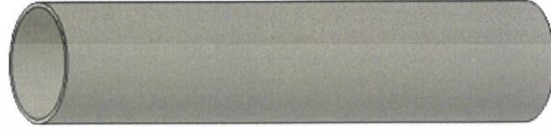
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 75
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



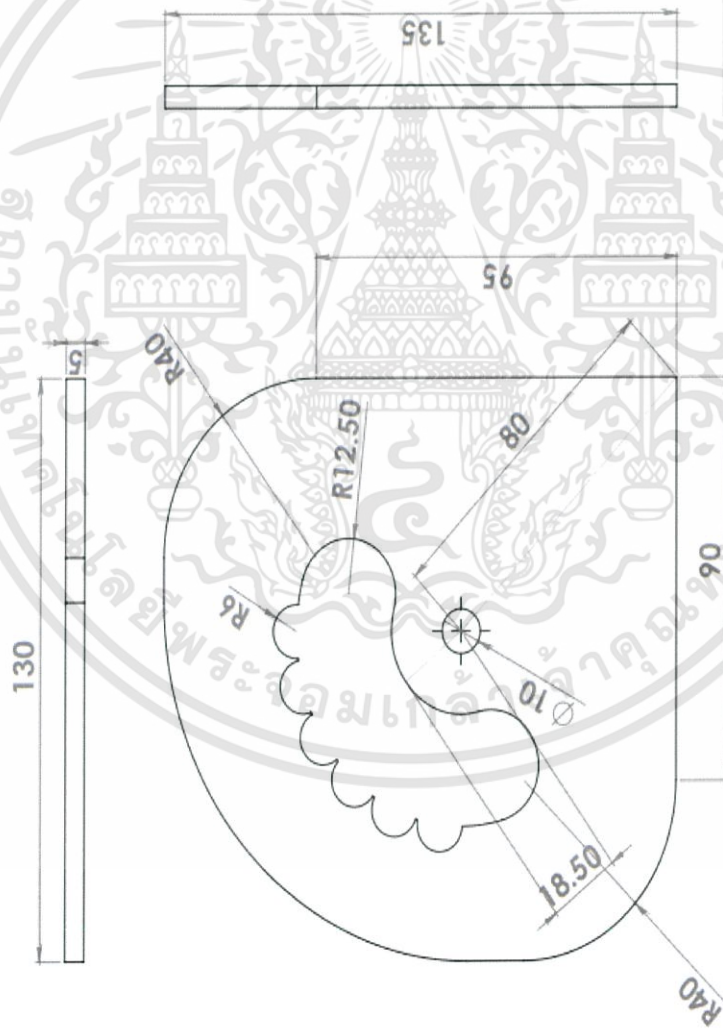
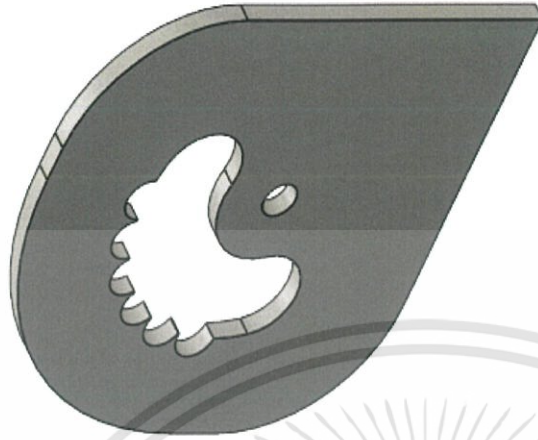
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 76
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



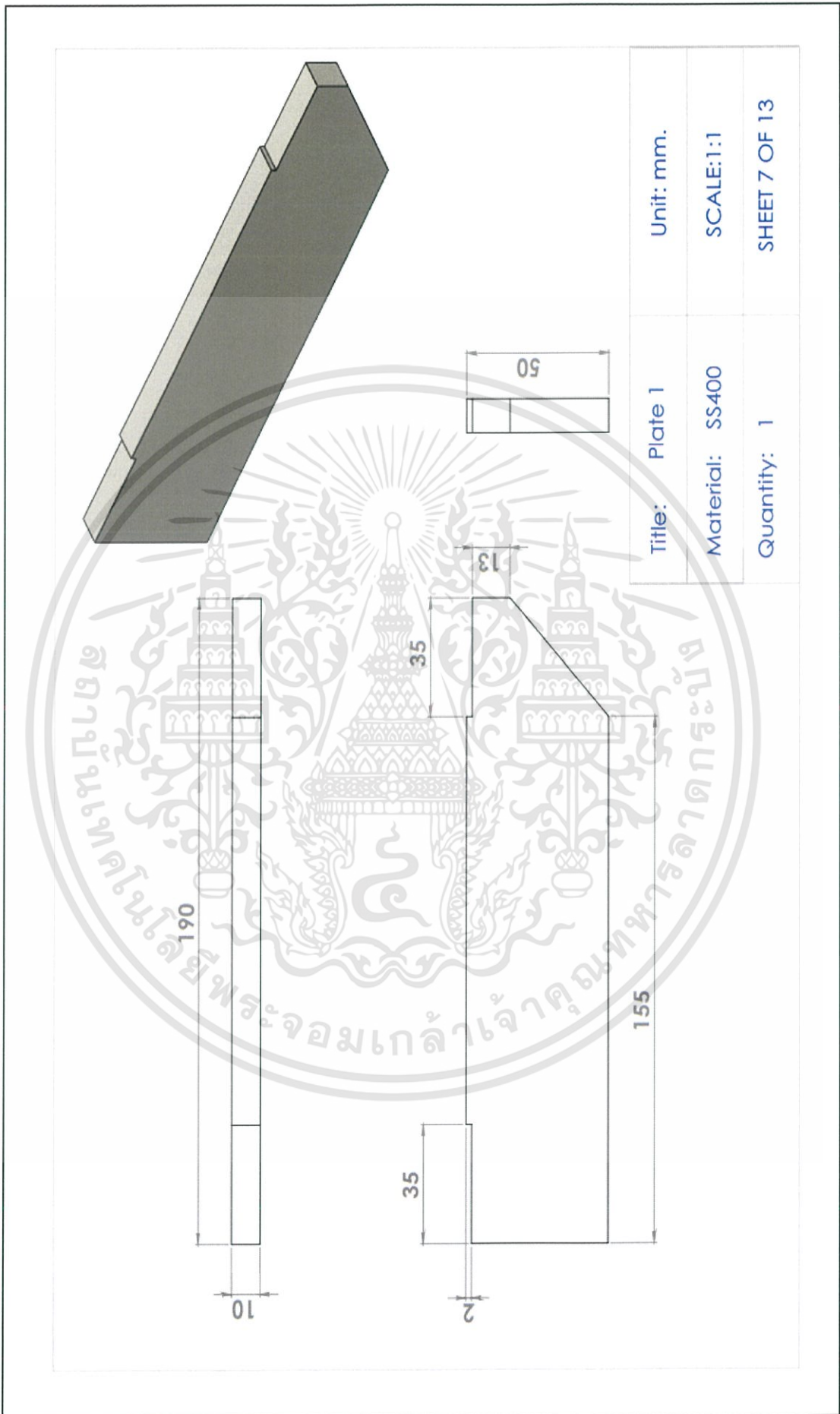
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 77
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



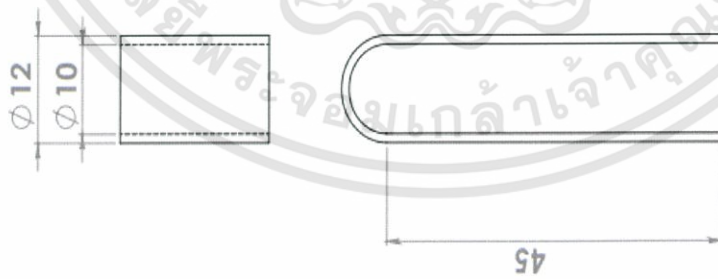
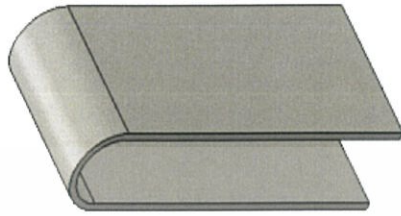
| | | |
|-----------|-------|---------------|
| Title: | Pipe | Unit: mm. |
| Material: | SS400 | SCALE:1:1 |
| Quantity: | 2 | SHEET 5 OF 13 |



| | |
|-----------------|---------------|
| Title: Plate 2 | Unit: mm. |
| Material: SS400 | SCALE:1:1.5 |
| Quantity: 1 | SHEET 6 OF 13 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 80
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Unit: mm.

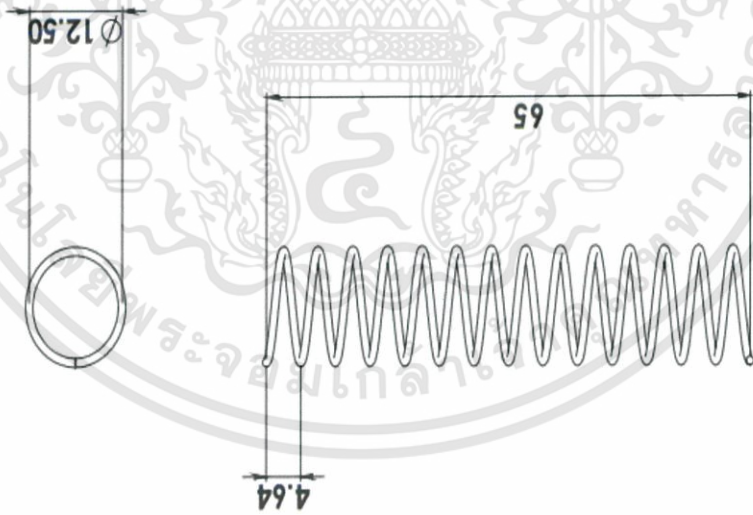
SCALE:2:1

Title: Locker

Material: SS400

SHEET 9 OF 13

Quantity: 1



Unit: mm.

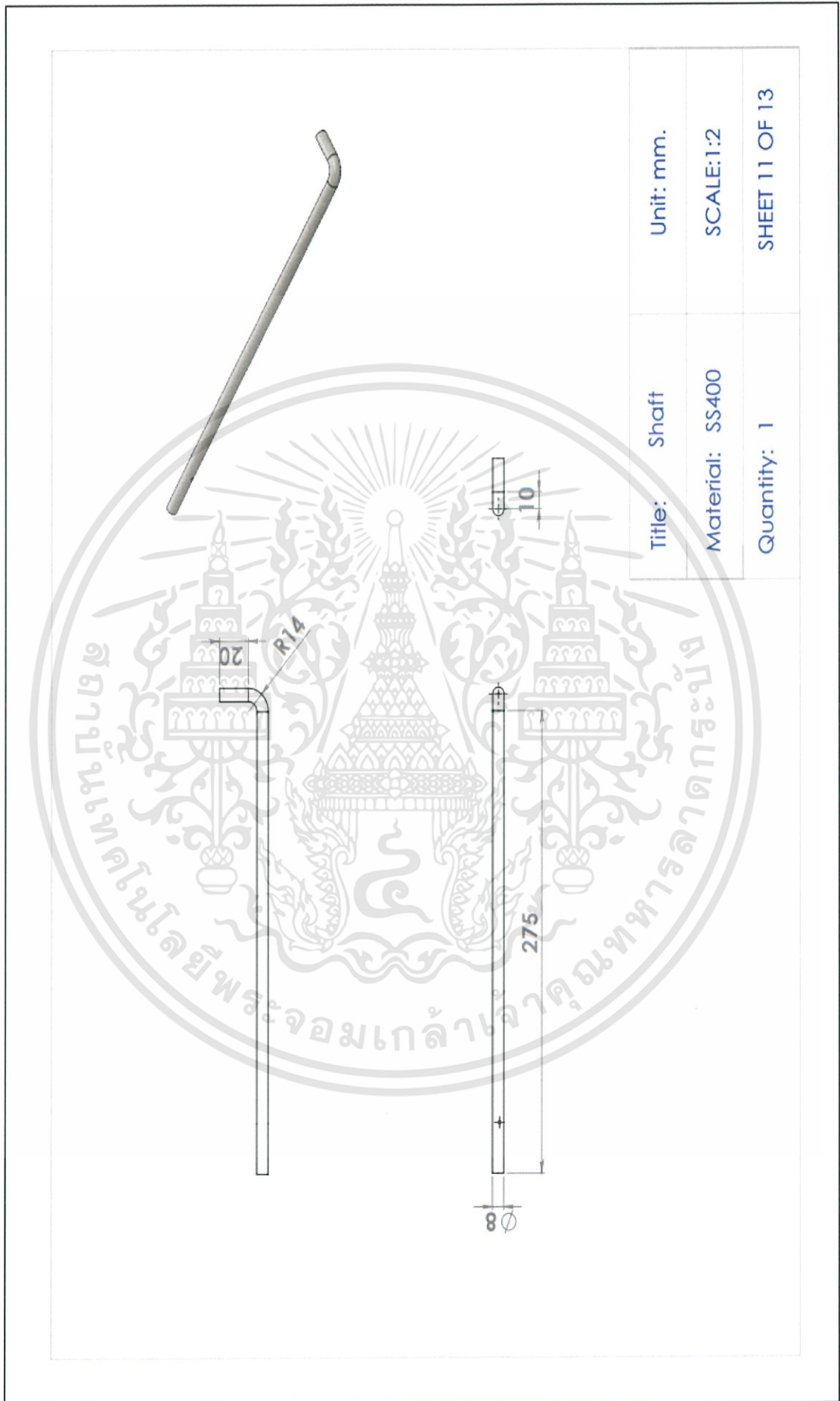
SCALE:2:1

SHEET 10 OF 13

Title: Spring

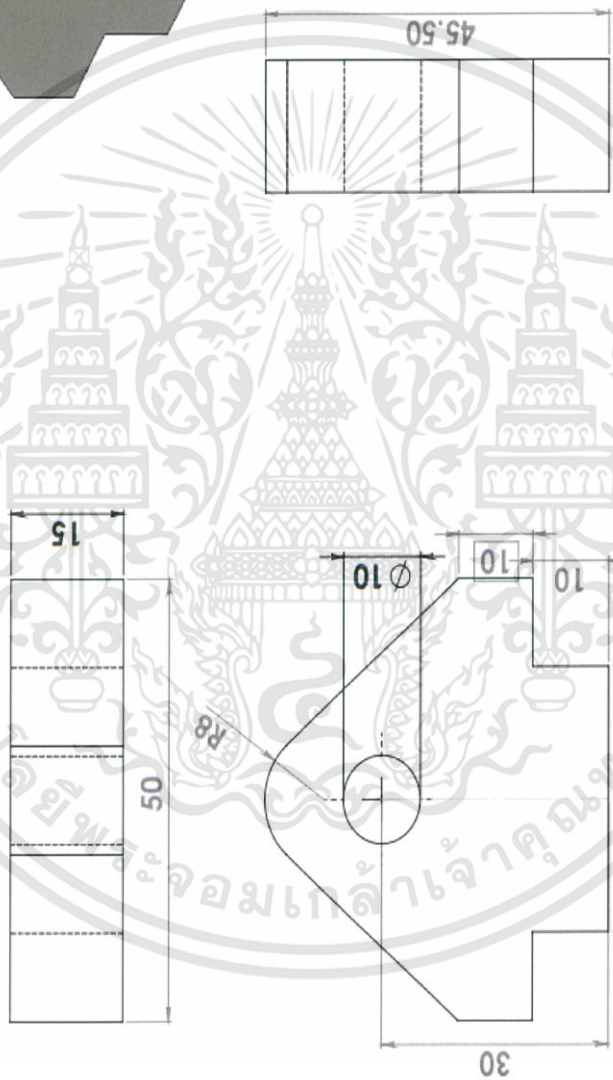
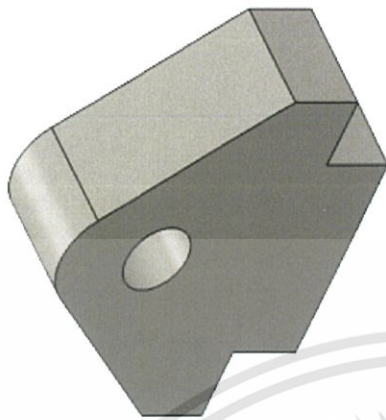
Material: SS400

Quantity: 1

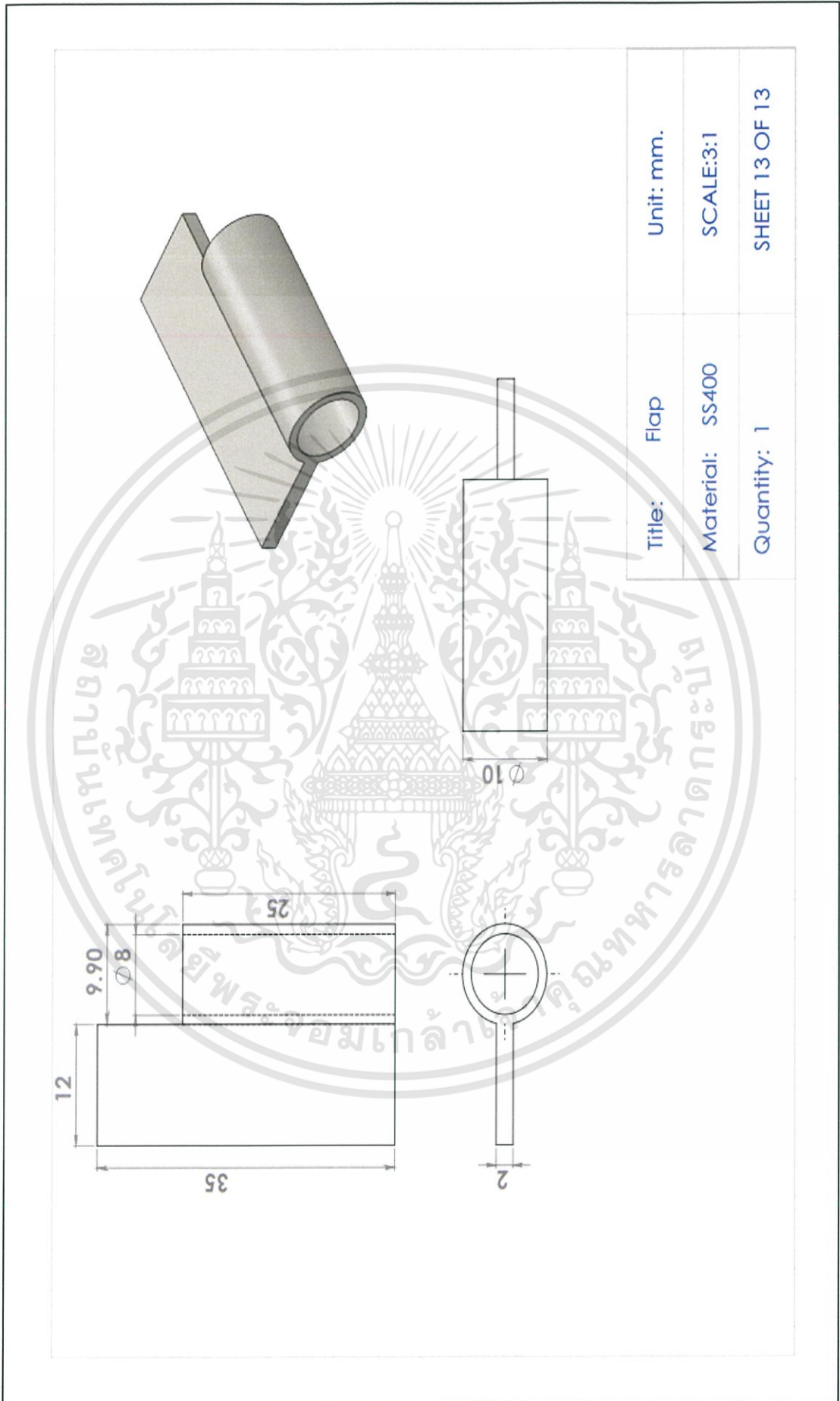


| | | |
|-----------|-------|----------------|
| Title: | Shaft | Unit: mm. |
| Material: | SS400 | SCALE:1:2 |
| Quantity: | 1 | SHEET 11 OF 13 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 84
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



| | |
|-----------------|----------------|
| Title: Bracket | Unit: mm. |
| Material: SS400 | SCALE: 2:1 |
| Quantity: 1 | SHEET 12 OF 13 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 86
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้