เครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระ

Rotaring Bending Fatigue Testing Machine

พิเชฐ จิรประเสริฐวงศ์

สุทธิพงษ์ จำรูญรัตน์

ภิรมย์ ตั้งจิตเพียรผล

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2560

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

เครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระ

Rotaring Bending Fatigue Testing Machine

พิเชฐ จิรประเสริฐวงศ์

สุทธิพงษ์ จำรูญรัตน์

ภิรมย์ ตั้งจิตเพียรผล

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อเรื่อง : เครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระ
ผู้วิจัย : นายพิเชฐ จิรประเสริฐวงศ์ นายสุทธิพงษ์ จำรูญรัตน์ และนายภิรมย์ ตั้งจิตเพียผล
พ.ศ. : 2560

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อ สร้างเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุแบบหมุนดัดปลายอิสระ และหาประสิทธิภาพเครื่องที่สร้างขึ้น โดยเปรียบเทียบกับเครื่องที่ได้มาตรฐานจากต่างประเทศ เครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุแบบหมุนดัดปลายอิสระที่สร้างขึ้น เป็นเครื่องที่มีขนาดกะทัดรัด ใช้ตุ้มน้ำหนักเป็นภาระแรงในการทดสอบ สามารถทดสอบแรงกระทำช่วง 50–300 นิวตัน (N) ใช้มอเตอร์เป็นตัวส่งกำลังขนาด 1 HP ความเร็วรอบ 2,800 รอบ/นาที โดยเริ่มจากการกดปุ่ม Start เพื่อปลดน้ำหนักที่ส่งกำลังให้ชิ้นงาน พร้อมทำการนับของ Sensor ในการตรวจจับรอบการขาดของวัสดุที่ทำการทดสอบ การหาประสิทธิภาพเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระที่สร้างขึ้นมา โดยใช้เพลาเหล็กกล้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานของเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระ จำนวน 10 ชิ้น และทดสอบเพื่อเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระที่ได้มาตรฐาน จำนวน 10 ชิ้น โดยใช้แรงกระทำ 150 N สำหรับการวิเคราะห์เพื่อทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Minitab ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าค่าที่ได้จากการทดลองเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุแบบหมุนดัดปลายอิสระที่ทำสร้างขึ้น ไม่มีความแตกต่างกับเครื่องที่ได้มาตรฐานจากต่างประเทศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งค่าทั้งหมดอยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ สรุปได้ว่าเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุแบบหมุนดัดปลายอิสระที่ทำสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุแบบหมุนดัดปลายอิสระที่ได้มาตรฐานจากต่างประเทศ

Title : Rotaring Bending Fatigue Testing Machine

Researcher : Mr. Pichet Jiraprasertwong, Mr. Sutthipong Jumroonrut and Mr. Pirom Thangchitpianpol

Year : 2017

Abstract

The purpose of this research was to construct the rotating bending fatigue testing machine for metal material to find out the built-in machine performance and compare it with machines that meet international standards. The machine built into a compact machine using weight knob for a heavy load in testing. It can test the force range 50-300 Newton (N), the motor is a 1 HP transmitter with a speed of 2,800 rpm. Start by pressing the Start button to release the weight that sends power to the workpiece and attend a sensor counting is available to detect the lack of testing material. For the efficiency performance of the machine uses 10 piece steel shafts, diameter of 8 mm according to the standard of the material fatigue tester by independent end bend rotation. For testing to compare with the test international standard machine also uses 10 piece steel shafts, using force 150 N. For the analysis to test statistical hypotheses with the Minitab computer program at the significance level of 0.05, it was found that the values obtained from be made the rotating bending fatigue testing machine for metal material, there is no difference with standard machines from statistically significant. All values are within the set limits. In conclusion, the machine was created to be as effective as the international standard machine.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง เครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการสนับสนุน และความช่วยเหลือจากหลายๆ ท่าน คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ. สุภัทรา โกไศยกานนท์ อธิการบดี ผศ.ดร.วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนการทำงานวิจัยของอาจารย์มาตั้งแต่เริ่มต้น และขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่ให้การอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

ท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่ให้ทุนสนับสนุน ในการทำงานวิจัยฉบับนี้

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีความล้าตัว	3
2.2 มอเตอร์	8
2.3 เพลาส่งกำลัง	14
2.4 การบิด	17
2.5 ตลับลูกปืน	19
2.6 สวิตซ์	23
2.7 แม่แรง	27
2.8 **การทดสอบสมมติฐานของกลุ่มตัวอย่าง**	29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	34
3.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูล	35
3.2 ออกแบบเครื่อง	36
3.3 การดำเนินการสร้างเครื่องทดสอบความล้า	38
3.4 ทดสอบหาประสิทธิภาพเครื่อง	45
3.5 สรุปและประเมินผล	53

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	55
4.1 **ทดสอบประสิทธิภาพเครื่อง**	55
4.2 สรุปผลการทดสอบ	56
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	57
5.1 สรุปผลการวิจัย	57
5.2 อภิปรายผล	57
5.3 ข้อเสนอแนะ	57
บรรณานุกรม	58
ภาคผนวก ก แบบและรายละเอียดของเครื่องทดสอบความล้า	59
ภาคผนวก ข คู่มือการใช้งานและการบำรุงรักษาเครื่องทดสอบความล้า	78
ประวัติผู้วิจัย	89

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2-1 แสดงค่า σ_{ba} และค่า *N* ที่ใช้เขียนแผนภาพ 6

2-2 แสดงขนาดระบุของเพลาตามมาตรฐาน ISO / R 755 – 1969 17

3-1 แสดงระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย 35

3-2 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องทดสอบความล้า 38

3-3 แสดงผลการทดสอบเครื่องทดสอบความล้าที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบความล้าที่ได้มาตรฐาน แรงกระทำ 150 N 54

4-1 แสดงผลการทดสอบทางสถิติประเภท F -test 55

4.2 แสดงผลการทดสอบทางสถิติหาประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบความล้าของวัสดุแบบหมุนดัดปลายอิสระที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับ เครื่องทดสอบความล้าที่ได้มาตรฐาน 56

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2-1 แสดงลักษณะรอยหักแบบล้า 3
2-2 แสดงลักษณะความเค้นที่นำไปสู่การแตกหัก แบบภาระเกิน แบบคืบ และแบบล้า 4
2-3 แสดงความเค้นเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการหมุนของเพลา 4
2-4 แสดงการขาดของชิ้นงานทดสอบ 6
2-5 แสดงแผนภาพของ Wohler (Stress = Number of Cycles) 6
2-6 แสดงเครื่องทดสอบความล้าแบบชิ้นทดสอบปลายหมุนอิสระ 7
2-7 แสดงลักษณะของชิ้นงานทดสอบปลายอิสระ 7
2-8 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสปลิทเฟสมอเตอร์ (Split-phase Motor) 8
2-9 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับรีพัลชั่นมอเตอร์ 9
2-10 แสดงลักษณะของยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ 10
2-11 แสดงลักษณะโดยทั่วไปของเซลเดดโพลมอเตอร์ 11
2-12 แสดงขั้วแม่เหล็ก (Pole) 11
2-13 แสดงลักษณะตัวโรเตอร์ 12
2-14 แสดงวงจรการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม 13
2-15 แสดงการทำงานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน 13
2-16 แสดงการทำงานมอเตอร์ไฟฟ้ากระตรง 14
2-17 แสดงเพลาส่งกำลัง 15
2-18 แสดงการส่งกำลังด้วยเพลา 15
2-19 แสดงกำลังต้านทานเพลา 16
2-20 แสดงโมเมนต์ที่กระทำรอบแกน 18
2-21 แสดงตลับลูกปืนที่มีเม็ดกลมและตลับลูกปืนที่มีเม็ดยาว 20
2-22 แสดงความสามารถในการรับแรง 20
2-23 แสดงโครงสร้างของตลับลูกปืน 21
2-24 แสดงตลับลูกปืนตุ๊กตา 21
2-25 แสดงตลับลูกปืนเม็ดกลมสองแถวปรับแนวได้ 22
2-26 แสดงสวิตช์ปุ่มกดแบบต่างๆ 24
2-27 แสดงโครงสร้างภายนอกสวิตช์ 24
2-28 แสดงการทำงานของสวิตช์ปุ่มกด 25
2-29 แสดงสวิตช์ปุ่มกดแบบธรรมดา 25
2-30 แสดงสวิตช์ปุ่มกดที่ใช้ในการเริ่มเดิม (Start) และหยุดหมุน 26
2-31 แสดงสวิตช์ปุ่มกดฉุกเฉิน (Emergency Push Button) 26
2-32 แสดงสวิตช์เลือก (Selector Switch) 27

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

2-33 แสดงลิมิตสวิตช์จำกัดระยะทาง 27
2-34 แสดงแม่แรงยก 28
2-35 แสดงแม่แรงยกแบบตั้งพื้น 28
2-36 แสดงแม่แรงดันแบบเคลื่อนที่ 29
3-1 แสดง Flow-chart ขั้นตอนการดำเนินงาน 34
3-2 แสดงลักษณะเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระ ที่ได้มาตราฐาน จากต่างประเทศ 36
3-3 แสดงแนวทางโครงสร้างเครื่องทดสอบความล้าที่ออกแบบ 37
3-4 แสดงโครงสร้างเครื่องทดสอบความล้า 39
3-5 แสดงการติดตั้งมอเตอร์และเพลาส่งกำลัง 40
3-6 แสดงการติดตั้ง Sensor นับรอบมอเตอร์ 40
3-7 แสดงการติดตั้งชุดถ่วงน้ำหนักพร้อมลิมิตสวิตช์ 41
3-8 แสดงขนาดต่างๆ ของตุ้มน้ำหนัก 41
3-9 แสดงการติดตั้งแม่แรงไฟฟ้า 42
3-10 แสดงการติดตั้งตู้ไฟฟ้าเข้ากับคานใต้เครื่อง 42
3-11 แสดงการติดตั้งชุดกล่องควบคุมไฟฟ้าเข้ากับเครื่องทดสอบ 43
3-12 แสดงการติดตั้งกล่องเก็บอุปกรณ์ 43
3-13 แสดงตะแกรงครอบ 44
3-14 แสดงการตรวจสอบและทำความสะอาดเครื่องทดสอบ 44
3-15 แสดงลักษณะภายนอกของเครื่องทดสอบ 45
3-16 แสดงการตรวจสอบเบรกเกอร์ 45
3-17 แสดงชิ้นงานในการทดสอบ 46
3-18 แสดงวิธีการใส่ตุ้มน้ำหนักตามต้องการ 46
3-19 แสดงปุ่มควบคุมแม่แรงไฟฟ้า 47
3-20 แสดงการนำชิ้นงานทดสอบใส่เครื่องทดสอบ 47
3-21 แสดงตำแหน่งของชิ้นงานทดสอบและชุดถ่วงน้ำหนัก 48
3-22 แสดงใช้ประแจในการขันหัวจับชิ้นงาน 48
3-23 แสดงการใช้ตะแกรงครอบปิดขณะจะทำการทดสอบ 49
3-24 แสดงการ Reset หน้าจอ 49
3-25 แสดงการกดปุ่ม ON 50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

3-26 แสดงการบิดปุ่ม START เพื่อเริ่มทำการทดสอบ 50
3-27 แสดงลักษณะการทำงานของเครื่องขณะทำการทดสอบ 51
3-28 แสดงลักษณะการขาดของชิ้นงานทดสอบ 51
3-29 แสดงผลจำนวนรอบของมอเตอร์เมื่อทำการทดสอบสำเร็จ 52
3-30 แสดงชิ้นงานทดสอบที่ได้จากการทดสอบ 52
3-31 แสดงอุปกรณ์เสริมในการทดสอบ 53
3-32 แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบความล้ามาตรฐาน 53
ก-1 แสดงภาพสามมิติแยกชิ้น 60
ก-2 แสดงภาพสามมิติประกอบ 61
ก-3 แสดง Standard Part 62
ก-4 แสดงโต๊ะ 63
ก-5 แสดงโต๊ะ 64
ก-6 แสดงฐานพอกซ์นับรอบมอเตอร์ 65
ก-7 แสดงฐานรองตลับลูกปืนตุ๊กตา 66
ก-8 แสดงเพลาส่งกำลัง 67
ก-9 แสดงเสาประคองตลับลูกปืน 8 mm 68
ก-10 แสดงตลับลูกปืน 8 mm 69
ก-11 แสดงตัวยึดเสาตลับลูกปืน 70
ก-12 แสดงชิ้นงานทดสอบ 71
ก-13 แสดงฐานลิมิตสวิตซ์ 72
ก-14 แสดงตะแกรงฝาครอบเพลา 73
ก-15 แสดงตุ้มน้ำหนัก 74
ก-16 แสดงตู้เก็บเครื่องมือ 75
ก-17 แสดงฝาตู้เก็บเครื่องมือ 76
ก-18 แสดงเสาตุ้มน้ำหนัก 77
ข-1 แสดงลักษณะภายนอกของเครื่องทดสอบ 79
ข-2 แสดงการตรวจสอบเบรกเกอร์ 79
ข-3 แสดงชิ้นงานในการทดสอบ 80
ข-4 แสดงวิธีการใส่ตุ้มน้ำหนักตามต้องการ 81
ข-5 แสดงปุ่มควบคุมแม่แรงไฟฟ้าเพื่อให้ตุ้มเหล็กถ่วงน้ำหนักยกขึ้นตรงศูนย์ชิ้นงานทดสอบ 81
ข-6 แสดงการนำชิ้นงานทดสอบใส่เครื่องทดสอบ 81

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

ข-7 แสดงตำแหน่งของชิ้นงานทดสอบและปลอกสไลด์ 82
ข-8 แสดงใช้ประแจในการขันหัวจับชิ้นงาน 82
ข-9 แสดงการใช้ตะแกรงครอบปิดขณะจะทำการทดสอบ 83
ข-10 แสดงการ Reset หน้าจอ 83
ข-11 แสดงการกดปุ่ม ON 84
ข-12 แสดงการบิดปุ่ม START เพื่อเริ่มทำการทดสอบ 84
ข-13 แสดงลักษณะการทำงานของเครื่องขณะทำการทดสอบ 85
ข-14 แสดงลักษณะการขาดของชิ้นงานทดสอบ 85
ข-15 แสดงผลจำนวนรอบของมอเตอร์เมื่อทำการทดสอบสำเร็จ 86
ข-16 แสดงชิ้นงานทดสอบที่ได้จากการทดสอบ 86
ข-17 แสดงอุปกรณ์เสริมในการทดสอบ 87
ข-18 แสดงวงจรควบคุมของเครื่องทดสอบ 88

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมต่างๆ ทั้งในประเทศและนอกประเทศ ที่ผลิตชิ้นส่วนของหลายผลิตภัณฑ์ขึ้นมาหรือชิ้นส่วนทางอุตสาหกรรม ซึ่งใช้โลหะเป็นวัตถุดิบสำคัญ ดังนั้นคุณสมบัติหรือส่วนผสมในโลหะที่นำมาใช้ประกอบนั้นสำคัญมาก เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ตรงตามความต้องการ จึงจำเป็นอย่างมากที่จะต้องมีการทดสอบความแข็งแรงหรือความคงทนของชิ้นส่วนนั้นๆ ก่อนนำไปประกอบชิ้นส่วนทางอุตสาหกรรมต่างๆ ต่อไป ซึ่งในการทดสอบวัสดุของชิ้นส่วนมีหลายแบบหลายชนิด หนึ่งในการทดสอบวัสดุของชิ้นส่วนนั้นๆ คือ การทดสอบความล้าตัวของวัสดุ โดยจะใช้เครื่องทดสอบความล้าตัวแบบหมุนดัดปลายอิสระ ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีการผลิตใช้ขึ้นเองในประเทศ จำเป็นที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศทั้งหมด และมีราคาค่อนข้างสูง

ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงมีแนวความคิดที่จะทำการศึกษาและสร้างเครื่องทดสอบความล้าตัวแบบหมุนดัดปลายอิสระ โดยจะต้องให้ได้มาตรฐานและคุณภาพที่ทัดเทียมกับเครื่องที่ผลิตจากต่างประเทศ และเป็นที่ยอมรับตามมาตรฐานสากล

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระ

1.2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระที่สร้างขึ้น เปรียบเทียบกับเครื่องจากต่างประเทศ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 เครื่องสามารถทดสอบแรงกระทำในช่วง 50–300 นิวตัน(N) โดยเพิ่มช่วงละ 5 นิวตัน(N)

1.3.2 ใช้ทดสอบกับชิ้นงานที่เป็นโลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มม. มีความยาว 146 มม.

1.3.3 ใช้ระบบแม่แรงไฟฟ้าควบคุมภาระแรงในการทดสอบ

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูล

1.4.2 ออกแบบและสร้างเครื่อง

1.4.3 ทดลอง และปรับปรุงเครื่อง

1.4.4 ทดสอบหาประสิทธิภาพเครื่อง

1.4.5 สรุปและประเมินผล

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้เครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระ ที่ใช้งานได้จริงและมีประสิทธิภาพ

1.5.2 ได้รู้ถึงวิธีการและเทคนิคในการออกแบบกลไกและระบบของเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระ

1.5.3 ช่วยลดงบประมาณในการสั่งซื้อเครื่องใหม่ที่มีราคาแพงจากต่างประเทศ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

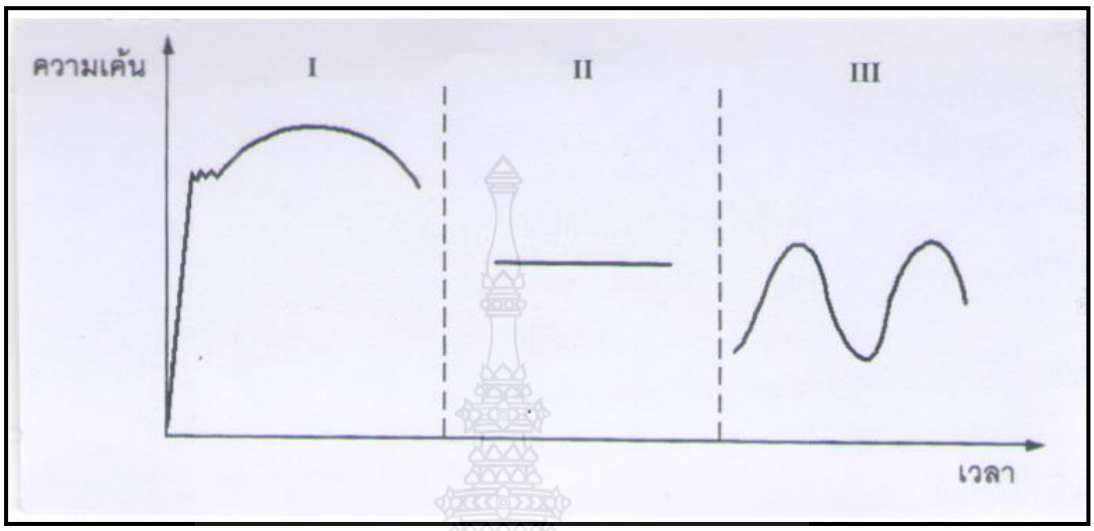
สำหรับการทำวิจัยเรื่อง เครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระ ในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีความล้า (Fatigue)

การเสียหายจากการแตกหักของชิ้นส่วน 90 เปอร์เซ็นต์ มาจากการแตกหักแบบล้า การแตกหักแบบล้าจะไม่เกิดขึ้นอย่างฉับพลันแต่จะค่อยๆ เกิดจากรอยร้าวก่อน และขยายจนแตกหักในที่สุด ดังภาพที่ 2-1 แสดงลักษณะของรอยหักแบบล้าซึ่งมีลักษณะเฉพาะ โดยรอยหักจะประกอบด้วยพื้นที่ 2 ส่วนพื้นที่แรกมีลักษณะผิวเรียบ และเห็นแนวลายเส้นเป็นเส้นโค้ง โดยมีจุดเริ่มต้นที่ผิวและขนาดเส้นโค้งขยายใหญ่ขึ้น ซึ่งพื้นที่นี้เป็นการเกิดรอยร้าวขึ้นก่อนและรอยร้าวขยายใหญ่ขึ้น พื้นที่ที่เหลือมีลักษณะผิวขรุขระ ซึ่งเป็นลักษณะของการหักแบบรับภาระเกิน (Over Load) ซึ่งรูปร่างของชิ้นงานบริเวณนี้อาจมีการเสียรูปทรง

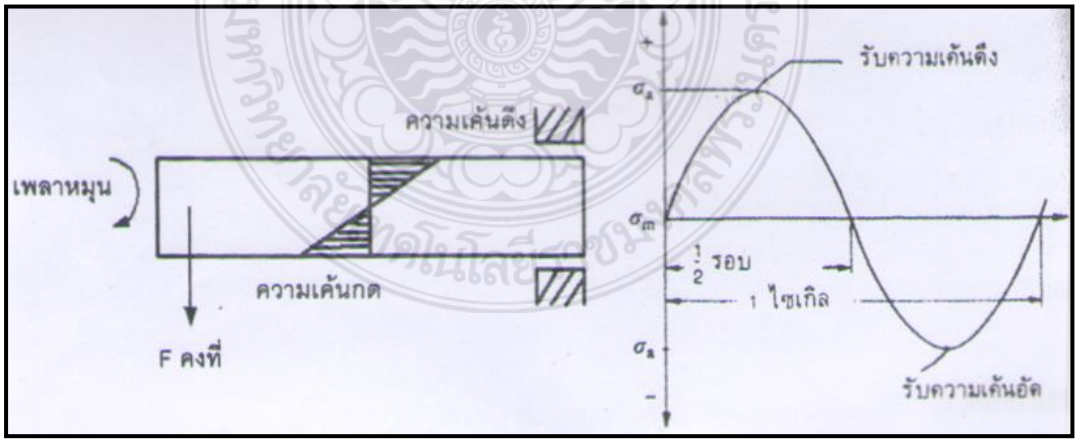
ภาพที่ 2-1 แสดงลักษณะรอยหักแบบล้า

ลักษณะของความเค้นที่กระทำกับชิ้นงานที่นำไปสู่การหักแบบล้า มีขนาดต่ำกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุ แต่เป็นความเค้นแบบเปลี่ยนแปลง หรือความเค้นพลวัต (Dynamic Stress)



ภาพที่ 2-2 แสดงลักษณะความเค้นที่นำไปสู่การแตกหัก แบบภาระเกิน แบบคืบ และแบบล้า

ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลส่วนใหญ่ที่ขณะใช้งานมีการหมุนหรือเคลื่อนที่ ความเค้นที่กระทำจะเป็นความเค้นเปลี่ยนแปลง ในภาพที่ 2-3 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของความเค้นดัดของเพลากลมซึ่งแรงดัด F มีขนาดคงที่แต่เพลามีการหมุน ทั้งนี้เพราะผิวบนของเพลารับความเค้นดึง ในขณะที่ผิวล่างรับความเค้นกด เมื่อเพลาหมุนผิวบนมาอยู่ในตำแหน่งล่าง จึงเปลี่ยนจากการรับความเค้นดึงมารับความเค้นกด ส่วนผิวล่างเป็นไปในทำนองเดียวกัน



ภาพที่ 2-3 แสดงความเค้นเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการหมุนของเพลา

ในการทดสอบวิธีนี้แรงที่กระทำต่อชิ้นทดสอบจะเป็นแรงแบบไม่คงที่ โดยจะเปลี่ยนแปลงไประหว่างแรงต่ำสุดและแรงสูงสุด ลักษณะของแรงที่กระทำ ได้แก่ แรงดึง-กด ตัวอย่างชิ้นงาน เช่น ก้าน

สูบเครื่องยนต์ แรงบิด ตัวอย่างชิ้นงาน เช่น เพลาหมุนต่างๆ แรงหักงอ เช่น แหนบรถยนต์ แรงหักงอแบบหมุนรอบ เช่น เพลาล้อรถไฟ เป็นต้น

การทดสอบวิธีนี้เพื่อหาค่าความต้านการล้าของวัสดุ (Fatigue Strenght) ซึ่งหมายถึง ความเค้นสูงสุดแบบเปลี่ยนแปลงที่กระทำต่อชิ้นงาน เป็นจำนวนไม่สิ้นสุดครั้ง (Infinity) โดยที่ชิ้นงานไม่เสียหาย ถ้าความเค้นที่กระทำต่อชิ้นงานมีขนาดสูงกว่าความต้านการล้าของวัสดุก็จะทำให้ชิ้นงานแตกหักแบบล้าได้ ซึ่งอาจเกิดการแตกหักภายหลังจากรับความเค้นภายในเวลาสั้นๆ ไม่กี่นาที หรือหลังจากรับแรงเป็นระยะเวลานานนับปี แม้ว่าขนาดของความเค้นที่กระทำจะอยู่ในช่วงยืดหยุ่น (Elastic) ก็ตามชิ้นงานที่หักจะไม่มีการเสียรูป แม้นวัสดุจะมีคุณสมบัติเหนียว

การที่วัสดุจะมีการแตกหักแบบล้าหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับขนาดของความเค้นและจำนวนครั้งที่กระทำต่อชิ้นงาน โดยทั่วไปการเสียหายของชิ้นส่วนเครื่องจักร 90 เปอร์เซ็นต์ จะเป็นการแตกหักแบบล้าตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นส่วนอีก 10 เปอร์เซ็นต์จะเป็นการแตกหักแบบภาระเกินอีกประการหนึ่งค่าความเค้นล้าซึ่งได้มาจากการทดสอบนั้น จะมีค่าแตกต่างไปจากค่าที่ใช้ในการออกแบบสำหรับใช้งานจริง ทั้งนี้เนื่องมาจากรูปร่างของชิ้นงานก็เป็นตัวแปรตัวหนึ่งที่ทำให้ความเค้นล้าของวัสดุลดลง เช่น ร่องลิ่ม รูเจาะ รวมทั้งความหยาบของผิวชิ้นงาน ซึ่งในการคำนวณออกแบบจะต้องคำนึงถึงตัวแปรเหล่านี้ทั้งหมดด้วย โดยที่ค่าตัวแปรเหล่านี้จะได้จากตารางซึ่งได้รวบรวมไว้จากการทดสอบ เหตุผลอีกข้อหนึ่งที่จะนำไปสู่การแตกร้าวคือ ข้อบกพร่องของเนื้อวัสดุเอง เช่น รูพรุนจากการเชื่อม บริเวณแยกตัวของสาร (Segregtion) บริเวณแยกชั้น (Lamination) และบริเวณเกิดการกัดกร่อน ในทางตรงกันข้ามความต้านการล้าของวัสดุอาจเพิ่มขึ้นได้ถ้าผิวชิ้นงานมีความเค้นกด เช่น จากความเค้นกดผิวเนื่องจากการชุบผิวแข็ง

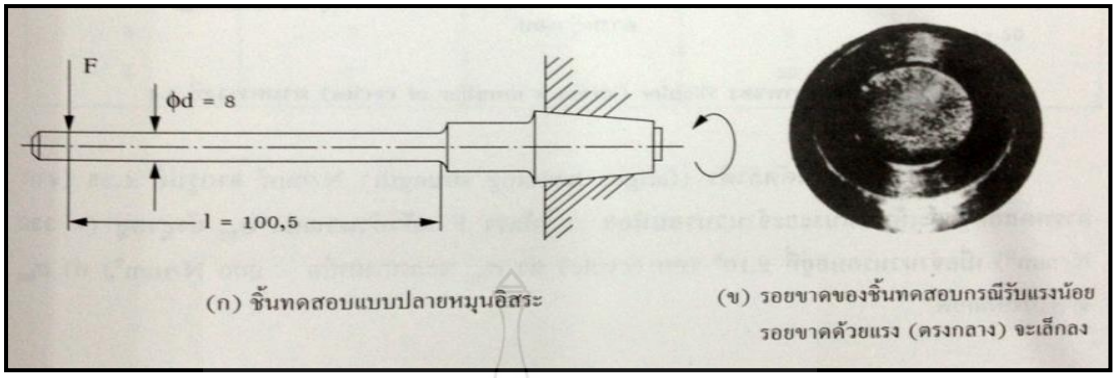
ตัวอย่างการทดสอบความล้าหมุน – ดัด แบบปลายอิสระปลายด้านหนึ่งจะยึดติดกับเครื่องทดสอบ (มอเตอร์) ขับชิ้นงานทดสอบให้หมุนจนได้ความเร็วสูงสุด จากนั้นจะใช้แรง F กดที่ปลายอีกด้านหนึ่งของชิ้นงานทดสอบและวัดจำนวนรอบของชิ้นงานทดสอบจนขาดจะสามารถคำนวณหาค่า ความเค้นดัดสลับ (Alternating Bending Stress;σ_{ba})

$$\sigma_{ba} = \frac{M_b}{W_b} = F.l / (\pi.d^3/32) \qquad (2.1)$$

σ_{ba} = ความเค้นดัดสลับ (Alternating Bending Stress) หน่วย N/mm^2

W_b = โมดูลัสภาคตัด (Section Modulus) หน่วย mm^3

M_b = โมเมนต์ดัด หน่วย $N.mm$

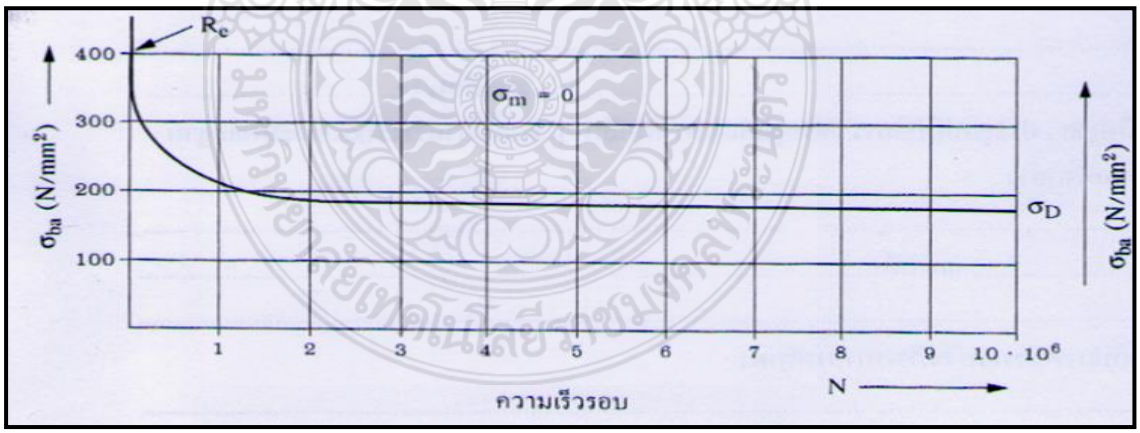


ภาพที่ 2-4 แสดงการขาดของชิ้นงานทดสอบ

ในการเพิ่มแรง F จะมีการบันทึกค่าแรงที่ต่างกัน คำนวณหาค่า σ_{ba} ได้พร้อมกับบันทึกจำนวนรอบของชิ้นงานทดสอบที่หมุนไปจนขาด ดังตัวอย่างตารางที่ 2-1

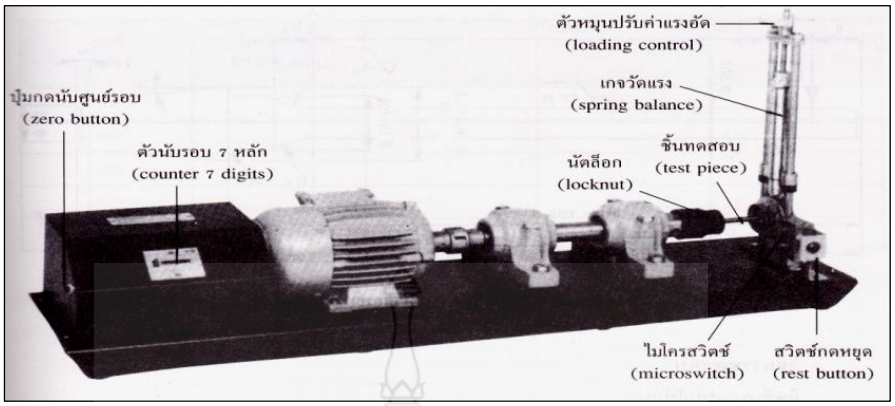
ตารางที่ 2-1 แสดงค่า σ_{ba} และค่า *N* ที่ใช้เขียนแผนภาพตามภาพที่ 2-5

แรง F(N)	**ความเค้นดัดสลับ** $\sigma_{ba}(N/mm^2)$	**จำนวนรอบจนขาด (N)**
200	400	10041
150	300	84488
125	250	396930
100	200	1974247

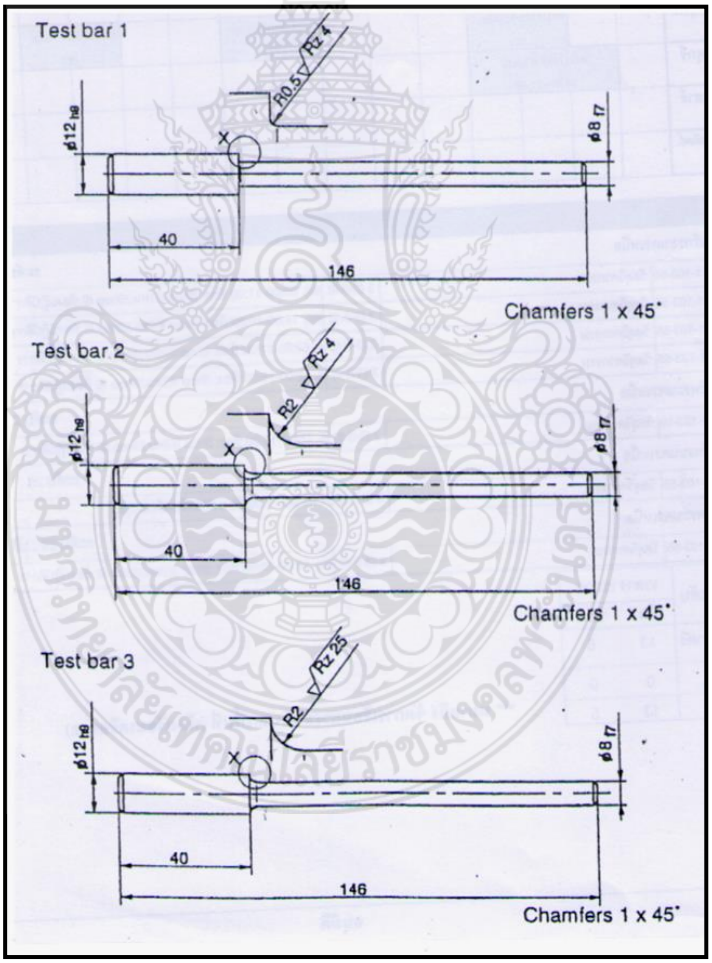


ภาพที่ 2-5 แสดงแผนภาพของ Wohler (Stress = Number of Cycles) ตามตารางที่ 2-1

σ_D = ค่าความเค้นดัดล้าตัว (Fatigue Bending Strength) N/mm² จากภาพที่ 2-5 (จากการทดสอบ) จะพบได้ว่าในระยะจำนวนรอบน้อยๆ ให้แรง F แล้วคำนวณค่า σ_{ba} ยังสูงอยู่ (≈ 330 N/mm²) เมื่อจำนวนรอบอยู่ที่ 2.10^6 รอบ (Cycle) ค่า σ_{ba} จะคงที่ตลอดไป



ภาพที่ 2-6 แสดงเครื่องทดสอบความล้าแบบชิ้นทดสอบปลายหมุนอิสระ



ภาพที่ 2-7 แสดงลักษณะของชิ้นงานทดสอบปลายอิสระ

2.2 มอเตอร์

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานต่างเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมเครื่องจักรกลต่างๆ ในงานอุตสาหกรรมมอเตอร์มีหลายแบบหลายชนิดที่ใช้ให้เหมาะสมกับงานดังนั้นเราจึงต้องทราบถึงความหมายและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าตลอดคุณสมบัติการใช้งานของมอเตอร์แต่ละชนิดเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งานของมอเตอร์นั้นๆ และสามารถเลือกใช้งานให้เหมาะสมกับงานออกแบบระบบประปาหมู่บ้านหรืองานอื่นที่เกี่ยวข้องได้

มอเตอร์ไฟฟ้าแบ่งออกตามการใช้ของกระแสไฟฟ้าได้ 2 ชนิดดังนี้

2.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor) หรือเรียกว่า เอ.ซี มอเตอร์ (A.C. MOTOR) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

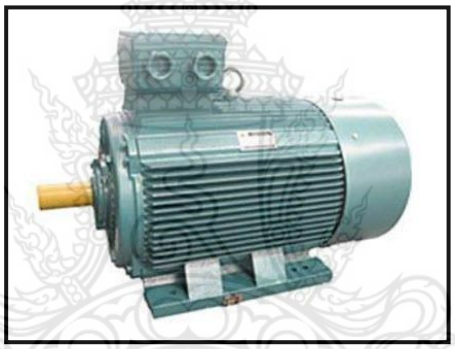
2.2.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้าสลับชนิด 1 เฟส (Single Phase Motor)

1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสปลิทเฟสมอเตอร์ (Split - phase Motor) มีขนาดแรงม้าขนาดตั้งแต่ 1/4 แรงม้า, 1/3 แรงม้า, 1/2 แรงม้า แต่จะมีขนาดไม่เกิน 1 แรงม้า บางทีนิยมเรียกว่า อินดักชั่นมอเตอร์ (Induction Motor) มอเตอร์ชนิดนี้นิยมใช้งานมากในตู้เย็น หรือเครื่องสูบน้ำขนาดเล็ก เครื่องซักผ้า เป็นต้น

ภาพที่ 2-8 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสปลิทเฟสมอเตอร์ (Split-phase Motor)

2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับคาปาซิเตอร์มอเตอร์ (Capacitor Motor) เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟสที่มีลักษณะคล้ายสปลิทเฟสมอเตอร์มาก ต่างกันตรงที่มีคาปาซิสเตอร์เพิ่มขึ้นมา ทำให้มอเตอร์แบบนี้มีคุณสมบัติพิเศษกว่าสปลิทเฟสมอเตอร์ คือมีแรงบิดขณะสตาร์ทสูง ใช้กระแสขณะสตาร์ทน้อย มอเตอร์ชนิดนี้มีขนาดตั้งแต่ 1/20 แรงม้าถึง 10 แรงม้า มอเตอร์นี้นิยมใช้งานเกี่ยวกับ ปั๊มน้ำ เครื่องอัดลม ตู้แช่ ตู้เย็น หลักการทำงานของคาปาซิเตอร์มอเตอร์ลักษณะโครงสร้างทั่วไปของคาปาซิเตอร์มอเตอร์เหมือนกับสปลิทเฟส แต่ว่าวงจรขดลวดสตาร์ทถูกพันด้วยขดลวดใหญ่ขึ้นกว่าสปลิทเฟส และพันจำนวนรอบมากขึ้นกว่าขดลวดชุดรัน แล้วต่อตัวคาปาซิเตอร์ (ชนิดอิเล็กโทรไลต์) อนุกรมเข้าในวงจรขดลวดสตาร์ท มีสวิตช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางตัดตัวคาปาซิสเตอร์และขดสตาร์ทออกจากวงจร

3) รีพัลชั่นมอเตอร์ (Repulsion Motor) เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ที่มีโรเตอร์เป็นแบบวาล์ว ให้แรงบิดสูง เหมาะสำหรับใช้กับงานที่ต้องการแรงบิดเริ่มหมุนมากๆ เช่น มอเตอร์ของเครื่องปั๊มลมขนาดใหญ่ มอเตอร์ของเครื่องปั๊มน้ำขนาดใหญ่ มอเตอร์ของเครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่หรือตู้แช่ เป็นต้น หลักการทำงานของรีพัลชั่นมอเตอร์อุปกรณ์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง จะทำหน้าที่กดวงแหวนตัวนำ (Neck Lace) ให้ติดกับซี่คอมมิวเตเตอร์ เหมือนกับลัดวงจรคอมมิวเตเตอร์ การลัดซี่คอมมิวเตเตอร์นั้น เพื่อให้ขณะที่มอเตอร์สตาร์ทไปแล้วที่ความเร็วประมาณ 75% ของความเร็วพิกัดของมอเตอร์ อุปกรณ์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางนี้จะทำงานโดยกดวงแหวนตัวนำลัดซี่คอมมิวเตเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนรันไปแบบอินดักชั่น เพราะขณะนี้โรเตอร์จะมีคุณสมบัติเหมือนโรเตอร์แบบกรงกระรอก รีพัลชั่นมอเตอร์บางชนิดจะมีตัวยกแปรงถ่านออกจากคอมมิวเตเตอร์ ในขณะที่อุปกรณ์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางทำงานอีกด้วย ส่วนประกอบที่สำคัญของรีพัลชั่นมอเตอร์ประกอบไปด้วย สเตเตอร์ (Stator) โรเตอร์ (Rotor) แปรงถ่านและซองแปรงถ่าน (Brush and Brush Holder) ฝาปิดหัวท้าย (End Plate) อุปกรณ์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Device)



ภาพที่ 2-9 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับรีพัลชั่นมอเตอร์

4) ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ขนาดเล็กมีขนาดกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 1/200 แรงม้าถึง 1/30แรงม้า นำไปใช้ได้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และใช้ได้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ชนิด 1 เฟส มอเตอร์ชนิดนี้มีคุณสมบัติที่โดดเด่น คือให้แรงบิดเริ่มหมุนสูง นำไปปรับตั้งความเร็วได้ง่าย ทั้งวงจรลดแรงดันและวงจรควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ นิยมนำไปใช้เป็นตัวขับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เช่นเครื่องบดและผสมอาหารมีดโกนหนวดไฟฟ้าเครื่องนวดไฟฟ้า มอเตอร์จักรเย็บผ้า สว่านไฟฟ้า เป็นต้น หลักการทำงานของยูนิเวอร์แซลมอเตอร์นั้น ขดลวดอาร์เมเจอร์และขดลวดสนามแม่เหล็กจะต่ออนุกรมกัน เมื่อจ่ายไฟฟ้าเข้าไปจะเกิดขั้วแม่เหล็กขึ้น ที่ตัวอาร์เมเจอร์และที่ขั้วสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดแรงผลักกันทำให้มอเตอร์หมุนไปได้

ส่วนประกอบของยูนิเวอร์แซลมอเตอร์

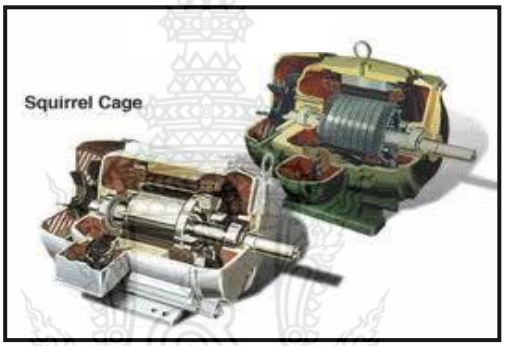
1. ฝาปิดหัวท้าย (End Plate) ลักษณะเหมือนกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั่วไป ตรงกลางมีร่องสำหรับใส่เพลาของมอเตอร์ และมีลูกปืนรองรับเพลาทั้งสองด้าน

2. โครงสร้าง (Frame) เป็นเปลือกหุ้มมอเตอร์ ทำด้วยเหล็กเหนียวและเหล็กหล่อ มีรูปร่างหลายแบบ ส่วนใหญ่จะมีลักษณะทรงกระบอกกลม

3. ขั้วสนามแม่เหล็ก (Field Pole) จะมี 2 ขั้ว โดยทำจากแกนเหล็กบาง ๆ อัดซ้อนกัน (Laminated Core)

4. อาร์เมเจอร์ (Armature) มีโครงสร้างเกี่ยวกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง คือ เป็นแท่งกลมมีร่องสำหรับพันขดลวดอาเมเจอร์อาร์เมเจอร์ (Armature) มีโครงสร้างเกี่ยวกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง คือ เป็นแท่งกลมมีร่องสำหรับพันขดลวดอาร์เมเจอร์

5. แปรงถ่าน (Brush) ทำด้วยคาร์บอนติดตั้งในซองแปรงถ่าน มีสปริงกดแปรงถ่านให้แน่นกับคอมมิวเนเตอร์เพื่อนำกระแสไฟฟ้าเข้าและออกจากมอเตอร์



ภาพที่ 2-10 แสดงลักษณะของยูนิเวอร์แซลมอเตอร์

5) เชดเดดโพลมอเตอร์ (Shaded Pole Motor)

เป็นมอเตอร์ขนาดเล็กที่สุดมีแรงบิดเริ่มหมุนต่ำมาก นำไปใช้งานได้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก ๆ เช่น ไดร์เป่าผม พัดลมขนาดเล็ก หลักการทำงานของเชดเดดโพลมอเตอร์จะมีขดลวดที่ช่วยหมุนคือลวดทองแดงเส้นใหญ่ที่พันอยู่กับขั้วสนามแม่เหล็กเรียกว่า เชดเดด (Shaded Coil) หรือขดลวดช่วยหมุน (Auxiliary Winding) เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับเข้าขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กเคลื่อนที่ผ่านโรเตอร์ของมอเตอร์และมีสนามแม่เหล็กส่วนหนึ่งที่ผ่านขดลวดเชดเดด ทำให้เกิดแรงแม่เหล็กบิดเบี้ยวไป การบิดเบี้ยวไปนี้ ทำให้เกิดแรงบิดหมุนขนาดเล็กๆ

ส่วนประกอบของเชดเดดโพลมอเตอร์

1. ขดลวดสนามแม่เหล็ก จะพันอยู่รอบๆ แกนของตัวสเตเตอร์
2. โรเตอร์ (ตัวหมุน) มีลักษณะเป็นโรเตอร์ แบบกรงกระรอก
3. สเตเตอร์ เป็นเหล็กบางวางอัดซ้อนกันบริเวณขั้วสนามแม่เหล็กแต่ละด้านแบ่ง 2 ส่วน ส่วนที่เล็กกว่าจะมีวงแหวนทองแดงพันอยู่รอบ ๆ
4. วงแหวนทองแดง (Shaded Coil)

ภาพที่2-11 แสดงลักษณะโดยทั่วไปของเชดเดดโพลมอเตอร์

2.2.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้าสลับชนิด 2 เฟส (A.C. Two Phase Motor)

2.2.1.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟส (A.C. Three Phase Motor)

2.2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรม เพราะมีคุณสมบัติที่ดีเด่นในด้านการปรับความเร็วได้ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะ หรือให้เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า เป็นต้นในการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจึงควรรู้จักอุปกรณ์ต่างๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเข้าใจถึงหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่างๆ

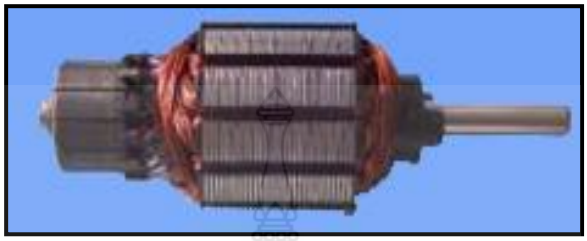
2.2.2.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนดังนี้

1) เฟรมหรือโยค (Frame or Yoke) เป็นโครงภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือไปขั้วใต้ให้ครบวงจรและยึดส่วนประกอบอื่นๆ ให้แข็งแรงทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นหนาม้วนเป็นรูปทรงกระบอก

ภาพที่ 2-12 แสดงขั้วแม่เหล็ก (Pole)

2) ตัวหมุน (Rotor) ตัวหมุนหรือเรียกว่าโรเตอร์ตัวหมุนนี้ทำให้เกิดกำลังงานมีแกนวางอยู่ในตลับลูกปืน (Ball Bearing) ซึ่งประกอบอยู่ในแผ่นปิดหัวท้าย (End Plate) ของมอเตอร์ ตัวโรเตอร์ประกอบด้วย 4 ส่วน ดังนี้



ภาพที่ 2-13 แสดงลักษณะตัวโรเตอร์

ก) แกนเพลา (Shaft) เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ประกอบเป็นตัวโรเตอร์แกนเพลานี้จะวางอยู่บนแบริ่ง เพื่อบังคับให้หมุนอยู่ในแนวนิ่งไม่มีการสั่นสะเทือนได้

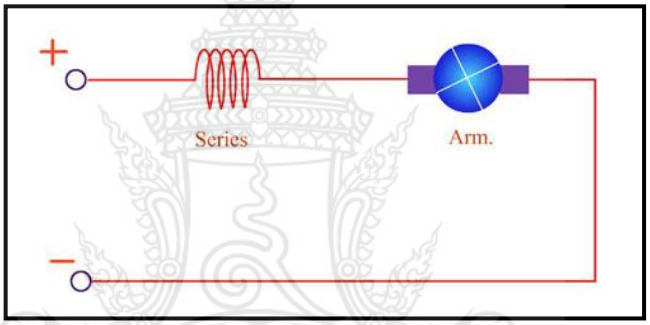
ข) แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอาบฉนวน (Laminated Sheet Steel) เป็นที่สำหรับพันขดลวดอาร์มาเจอร์ซึ่งสร้างแรงบิด (Torque)

ค) คอมมิวเตเตอร์ (Commutate) ทำด้วยทองแดงออกแบบเป็นซี่แต่ละซี่มีฉนวนไมก้า (Mica) คั่นระหว่างซี่ของคอมมิวเตเตอร์ ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์ จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสาย ของขดลวดอาร์มาเจอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์นี้อัดแน่นติดกับแกนเพลา เป็นรูปกลมทรงกระบอก มีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่าน (Carbon Brushes) เพื่อรับกระแสจากสายป้อนเข้าไปยังขดลวดอาร์มาเจอร์เพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วนหนึ่งให้เกิดการหักล้างและเสริมกันกับเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วน ซึ่งเกิดจากขดลวดขั้วแม่เหล็ก ดังกล่าวมาแล้วเรียกว่าปฏิกิริยามอเตอร์ (Motor Action)

ง) ขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Winding) เป็นขดลวดพันอยู่ในร่องสลอท (Slot) ของแกนอาร์มาเจอร์ ขนาดของลวดจะเล็กหรือใหญ่และจำนวนรอบจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบของตัวโรเตอร์ชนิดนั้นๆ เพื่อที่จะให้เหมาะสมกับงานต่างๆ ที่ต้องการ หลักการของมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรง (Motor Action) เป็นแรงดันกระแสไฟฟ้าตรงเข้าไปในมอเตอร์ ส่วนหนึ่งจะแปรงถ่านผ่านคอมมิวเตเตอร์เข้าไปในขดลวดอาร์มาเจอร์สร้างสนามแม่เหล็กขึ้น และกระแสไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะไหลเข้าไปในขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil) สร้างขั้วเหนือ - ใต้ขึ้นจะเกิดสนามแม่เหล็ก 2 สนาม ในขณะเดียวกัน ตามคุณสมบัติของเส้นแรง แม่เหล็ก จะไม่ตัดกันทิศทางตรงข้ามจะหักล้างกันและทิศทางเดียวจะเสริมแรงกัน ทำให้เกิดแรงบิดในตัวอาร์มาเจอร์ ซึ่งวางแกนเพลาและแกนเพลานี้สวมอยู่กับตลับลูกปืนของมอเตอร์ ทำให้อาร์มาเจอร์นี้หมุนได้ ขณะที่ตัวอาร์มาเจอร์ทำหน้าที่หมุนได้นี้เรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) ซึ่งหมายความว่าตัวหมุน การที่อำนาจเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองมีปฏิกิริยาต่อกัน ทำให้ขดลวดอาร์มาเจอร์ หรือโรเตอร์หมุนไปนั้นเป็นไปตามกฎซ้ายของเฟลมมิ่ง (Fleming left Hand Rule)

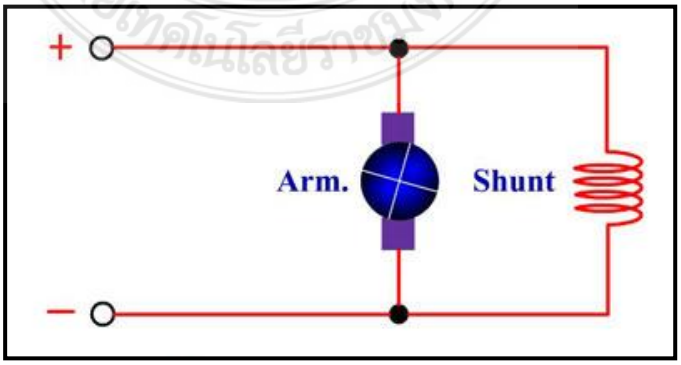
2.2.2.2 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1) มอเตอร์แบบอนุกรม (Series Motor) มอเตอร์ที่ต่อขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรมกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้ว่า ซีรีสฟิลด์ (Series Field) มีคุณลักษณะที่ดีคือให้แรงบิดสูง นิยมใช้เป็นต้นกำลังของรถไฟฟ้ารถยกของเครนไฟฟ้า ความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมเมื่อไม่มีโหลดความเร็วจะสูงมากแต่ถ้ามีโหลดมาต่อความเร็ว ก็จะลดลงตามโหลด โหลดมากหรือทำงานหนักความเร็วลดลง แต่ขดลวด ของมอเตอร์ ไม่เป็นอันตราย จากคุณสมบัตินี้จึงนิยมนำมาใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า ในบ้านหลายอย่าง เช่น เครื่องดูดฝุ่น เครื่องผสมอาหาร สว่านไฟฟ้า จักรเย็บผ้า เครื่องเป่าผม มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม ใช้งานหนักได้ดีเมื่อใช้งานหนักกระแสจะมากความเร็วรอบ จะลดลงเมื่อไม่มีโหลดมาต่อความเร็วจะสูงมากอาจเกิดอันตรายได้ดังนั้นเมื่อเริ่มสตาร์ทมอเตอร์แบบอนุกรมจึงต้องมีโหลดมาต่ออยู่เสมอ



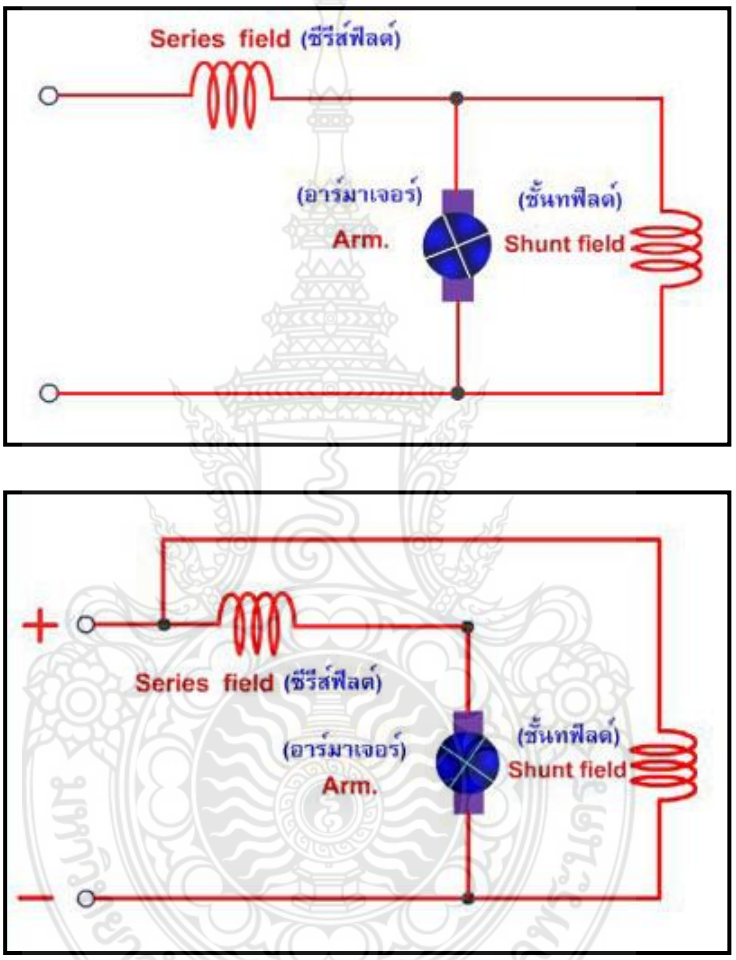
ภาพที่ 2-14 แสดงวงจรการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระตรงแบบอนุกรม

2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor) หรือเรียกว่าชันท์มอเตอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้ ขดลวดสนามแม่เหล็กจะต่อ (Field Coil) จะต่อขนานกับขดลวด ชุดอาเมเจอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้มีคุณลักษณะ มีความเร็วคงที่ แรงบิดเริ่มหมุนต่ำ แต่ความเร็วรอบคงที่ชันท์มอเตอร์ส่วนมากเหมาะกับงานดังนี้พัดลมเพราะพัดลมต้องการความเร็วคงที่ และต้องการเปลี่ยนความเร็วได้ง่าย



ภาพที่ 2-15 แสดงการทำงานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน

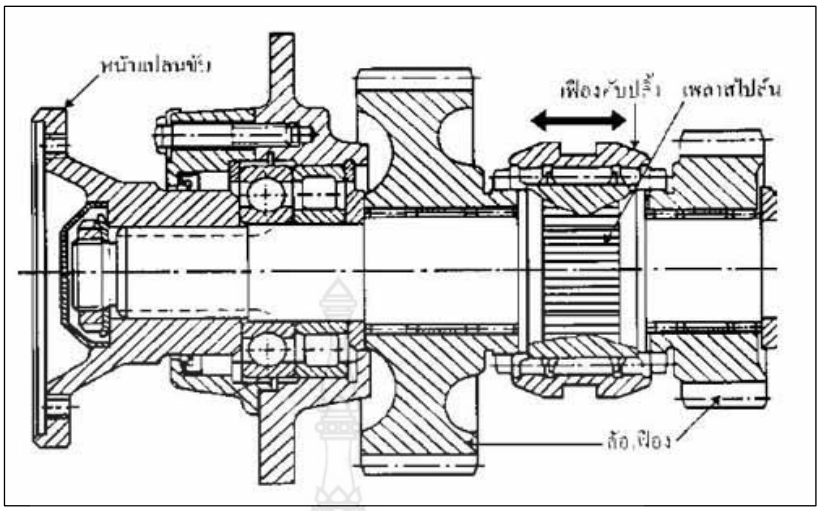
3) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound Motor) หรือเรียกว่าคอมเปาว์มอเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมนี้ จะนำคุณลักษณะที่ดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน และแบบอนุกรมมารวมกัน มอเตอร์แบบผสม มีคุณลักษณะพิเศษคือมีแรงบิดสูง (High Staring Torque) แต่ความเร็วรอบคงที่ ตั้งแต่ยังไม่มีโหลดจนกระทั่งมีโหลดเต็มที่



ภาพที่ 2-16 แสดงการทำงานมอเตอร์ไฟฟ้ากระตรง

2.3 เพลาส่งกำลัง

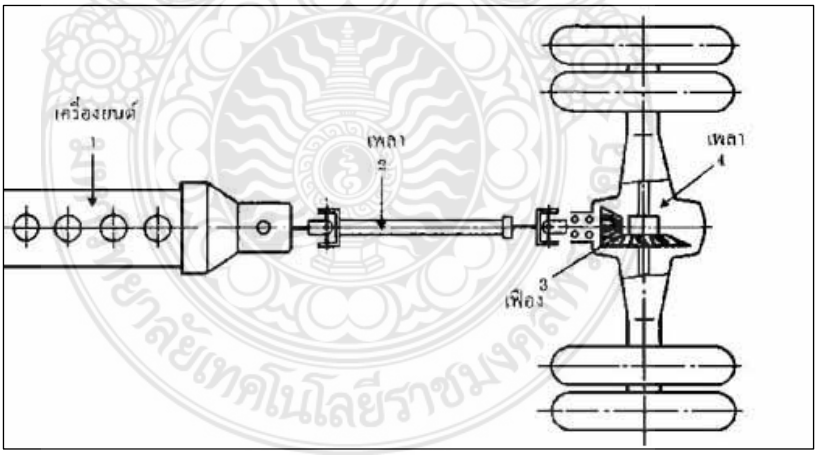
เพลาส่งกำลัง (Transmission Shafts) เพลาชนิดนี้ใช้เฉพาะการบิดหรืออาจรับทั้งการบิดและการดัดผสมกันก็ได้ การส่งกำลังจะถ่ายทอดผ่านเพลาโดยอาศัยแผ่นประกบต่อเพลา (Coupling) ผ่านเฟือง ผ่านพู่เล่ย์ ผ่านสายพาน จานโซ่ หรือโซ่ เป็นต้น ดังภาพที่ 2-17



ภาพที่ 2-17 แสดงเพลาส่งกำลัง

2.3.1 หน้าที่การใช้งานของเพลา

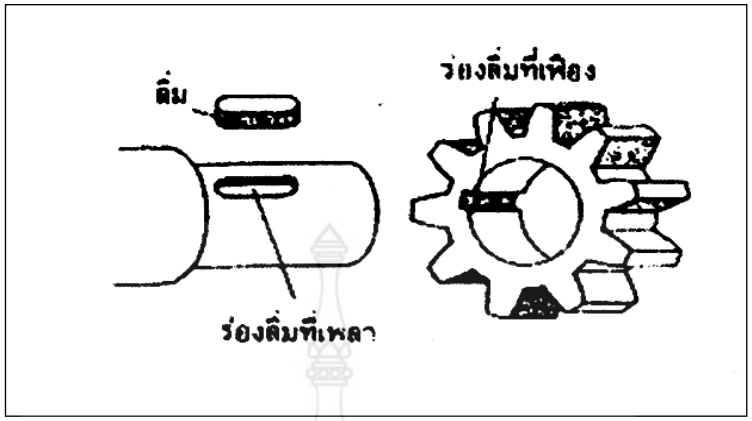
เพลาส่งกำลัง เพลาชนิดนี้มีหน้าที่ส่งถ่ายกำลังจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งโดยผ่านชิ้นส่วนอื่นต่างๆ ดังนี้ เช่น ส่งถ่ายกำลังมาจากเฟือง มาจากพู่เล่ย์ มาจากคลัตช์ ซึ่งชิ้นส่วนต่างๆ เหล่านี้ได้ต้นกำลังมาจากมอเตอร์ หรือเครื่องยนต์ ดังภาพที่ 2-18



ภาพที่ 2-18 แสดงการส่งกำลังด้วยเพลา (http://www.ie.psu.ac.th)

2.3.2 กำลังต้านทานเพลา

การส่งถ่ายกำลังของเพลาส่วนใหญ่ส่งถ่ายกำลังผ่านลิ่ม ลิ่มเป็นตัวกลางระหว่างเพลากับเฟือง หรือล้อสายพาน เพลาและเฟืองต้องมีร่องให้พอดีกับขนาดลิ่มที่ใช้ ร่องลิ่มทำให้กำลังความต้านทานเพลาลดลง ทั้งในลักษณะความเค้นบิดและความเค้นดัดประมาณ 25%



ภาพที่ 2-19 แสดงกำลังต้านทานเพลา (http://www.ie.psu.ac.th)

2.3.3 วัสดุเพลาและขนาดเพลา

การออกแบบเพลาต้องให้ขนาดไม่ใหญ่โต ไม่เกิดการแตกหักจากการล้าตัว มีรูปถอดประกอบง่าย และราคาไม่แพง ดังนั้นเพลาควรมีรูปร่างและคุณสมบัติดังนี้

2.3.4 วัสดุเพลา

2.3.4.1. เหล็กเหนียวหรือเหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) ได้แก่ St37 St42 St44 St50 และ St60 หากรับภาระไม่มากนักหรือรับภาระปกติทั่วไป เช่น เพลาของระบบสายพานลำเลียงอุปกรณ์ต้นกำลังมีขนาดขับไม่มากนัก

2.3.4.2. เหล็กกล้าผสมต่ำความต้านทานแรงสูง (Hight Strength Low Alloy Steel) ได้แก่ 25crMo4 28Mn6 ตัวอย่างเช่น เพลาของรถยนต์ แกนเพลามอเตอร์ เพลาเครื่องมือกล หรือเพลาของเทอไบน์

2.3.4.3. เหล็กกล้าชุบผิวแข็ง (Case Hardening Steel) ได้แก่ เกรด C15, Ck15, 17Cr Ni, Mo6, 16Mn, Cr5 เป็นต้น วัสดุกลุ่มนี้เพลาจะมีผิวแข็งทนการสึกหรอได้ดี ส่วนแกนกลางจะเหนียวทำให้ทนต่อแรงกระตุ้นเป็นพิเศษ อายุการใช้งานยาวนาน

เพลาสำหรับการรับโหลดปกติ ควรใช้เหล็กสร้างทั่วไป เช่น St 37, St 44, St50 และ St60 ส่วนเพลาที่รับโหลดสูง เช่น เพลาสำหรับงานสร้างยานยนต์ เครื่องยนต์ เครื่องมือกลหนักใช้เหล็กสำหรับชุบแข็ง เช่น 25 CrMo4 40Mo4 เป็นต้น สำหรับการรับโหลดที่ต้องคงทนต่อการเสียดสีควรใช้เหล็กสำหรับชุดผิวแข็ง เช่น C15, 18 CrNi 8 เป็นต้น

2.3.5 กำหนดขนาดของเพลา

ขนาดของเพลากำหนดให้เป็นมาตรฐานสากลได้กำหนดขนาดระบุเพลา ตั้งแต่ 6-10 มิลลิเมตรเพิ่มขึ้นทีละ 1 มิลลิเมตร เพิ่มขึ้นทีละ 2 มิลลิเมตร จนถึง 20 มิลลิเมตร เพิ่มขึ้นทีละ 5 มิลลิเมตร จนถึง 100 มิลลิเมตร และเพิ่มขึ้นทีละ10 มิลลิเมตร จนถึง 210 มิลลิเมตรหลังจากนั้นเพิ่มขึ้นทีละ 20 มิลลิเมตร จนถึง 380 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2-2 แสดงขนาดระบุของเพลาตามมาตรฐาน ISO / R 755 – 1969

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เป็นมิลลิเมตร				
6	25	70	130	240
7	30	75	140	260
8	35	80	150	280
9	40	85	160	300
10	45	90	170	320
12	50	95	180	340
14	55	100	190	360
18	60	110	200	380
20	65	120	220	-

2.3.6 การคำนวณเพลา

เนื่องจากเพลาเป็นชิ้นส่วนทางกลที่ใช้ส่งถ่ายโมเมนต์แรงบิด (Torque) เป็นหลักซึ่งทอร์คหรือโมเมนต์แรงบิดดังกล่าวจะทำให้เกิดภาระความเค้นลักษณะต่างๆ ขึ้นกับเพลาดังนั้นจึงควรหาขนาดทอร์คก่อน

2.3.7 การออกแบบและคำนวณหาขนาดของเพลา

ในการออกแบบเพื่อหาขนาดของเพลาจะต้องมีการพิจารณาถึงสิ่งเหล่านี้ คือ

2.3.7.1 กำลังงาน (Power) และภาระ (Load) ที่เพลาต้องส่งกำลัง

2.3.7.2 ความเค้นที่เกิดขึ้นกับเพลารวมทั้งรูปร่าง ขนาด วัสดุทำเพลา และผิวงานสำเร็จของเพลา ซึ่งจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเค้นสะสม (Stress Concentration)

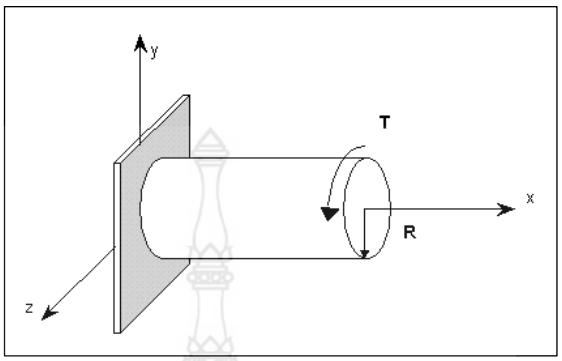
2.3.7.3 ความแกร่ง (Rigidity) หมายถึง ความคงทนต่อการแอ่นตัวหรือปิดไปของเพลาเมื่อรับภาระ

2.3.7.4 ความเร็ววิกฤติของเพลา (Critical Speed)

2.4 การบิด (Torsion)

โมเมนต์บิดหรือแรงบิด คือ โมเมนต์ที่กระทำรอบแกนที่ตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของเพลา ดังแสดงในภาพที่ 2-20 จะเห็นได้ว่ามีแกนอยู่ 3 แกน แกนที่ตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดคือแกน X มีโมเมนต์บิด T กระทำรอบแกน X ในที่นี้เราเรียกว่า แรงบิด หรือ โมเมนต์บิดจากภาพ เมื่อใส่แรงบิด T ให้กับเพลา ทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนรูป แต่หน้าตัดเพลาไม่มีการเปลี่ยนรูป ไม่บิดเบี้ยว (Not Warp) หรือไม่นูนออกมา รัศมียังคงเป็นเส้นตรงระหว่างการเปลี่ยนรูป จะสังเกตเห็นว่าหน้าตัดเพลายังคงเป็นเพลนอยู่ และหมุนผ่านมุมระหว่างการเปลี่ยนรูป ยิ่งกว่านั้นเราสมมติว่า มุมของการหมุนเล็กมาก ความยาวและรัศมียังคงไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นถ้าให้เพลาถูกยึดปลายข้างหนึ่งดังภาพ และใส่แรงบิดที่ปลายอีกข้างหนึ่ง เพลนที่

แรงเาจะถูกบิดจนเสียรูป ในที่นี้ มุมที่เปลี่ยนไปบนหน้าตัดเพลาระยะ X เป็นมุม ϕ(x) และมุมนี้เรียกว่า มุมบิด (Angle of Twist) ถ้าเพลามีความยาว L มุมบิดจะเป็น ϕ



ภาพที่ 2-20 แสดงโมเมนต์ที่กระทำรอบแกน (http://www.industrial.cmru.ac.th)

สมการที่ใช้คำนวณการบิด

สมการความเค้นเฉือน ณ ตำแหน่ง รัศมีใดๆ

$$\tau = \frac{Tp}{J} \tag{2.2}$$

สมการความเค้นเฉือนสูงสุดของเพลา

$$\tau_{max} = \frac{Tc}{J} \tag{2.3}$$

τ_{max} คือ ความเค้นเฉือนสูงสุดของเพลาที่เกิดขึ้นที่ผิวนอกสุดมีหน่วยเป็น $\frac{N}{m^2}$, $\frac{Ib}{in^2}$

T คือ แรงบิดภายในที่กระทำรอบแกนที่ตั้งฉากกับหน้าตัดเพลามีหน่วยเป็น N.m , lb.in

ขั้นตอนการวิเคราะห์

การหาภาระภายในจากหน้าตัดของเพลา ณ ตำแหน่งที่ต้องการหาค่าความเค้นเฉือน (Shear Stress) เขียนไดอะแกรมรูปอิสระ และเขียนสมการสมดุลของแรงบิดภายใน

หาค่า J ของหน้าตัด Section $J_{เพลาตัน} = \frac{\pi}{2} C^4$ (2.4)

$$J_{เพลากลวง} = \frac{\pi}{2}(C_0^4 - C_1^4) \tag{2.5}$$

หาค่า τ จากสมการ $\frac{Tp}{J}$ และ $\tau_{max} = \frac{Tc}{J}$

p หมายถึง รัศมี ณ ตำแหน่งใดๆ ของหน้าตัดเพลา

c หมายถึง รัศมี ณ ตำแหน่งนอกสุดของหน้าตัดเพลา

ค่าทอร์ค

$$T = F \times R \tag{2.6}$$

โดยที่ T = แรงบิด (Nm)
F = แรงที่กระทำ (N)
R = รัศมีของเพลา (mm)

กำลังมอเตอร์

$$P = \frac{2 \times \pi \times T \times N}{60} \tag{2.7}$$

โดยที่ P = กำลังมอเตอร์ (W)
T = โมเมนต์แรงบิดของเพลา (Nm)
N = ความเร็วรอบมอเตอร์ (rpm)

2.5 ตลับลูกปืน

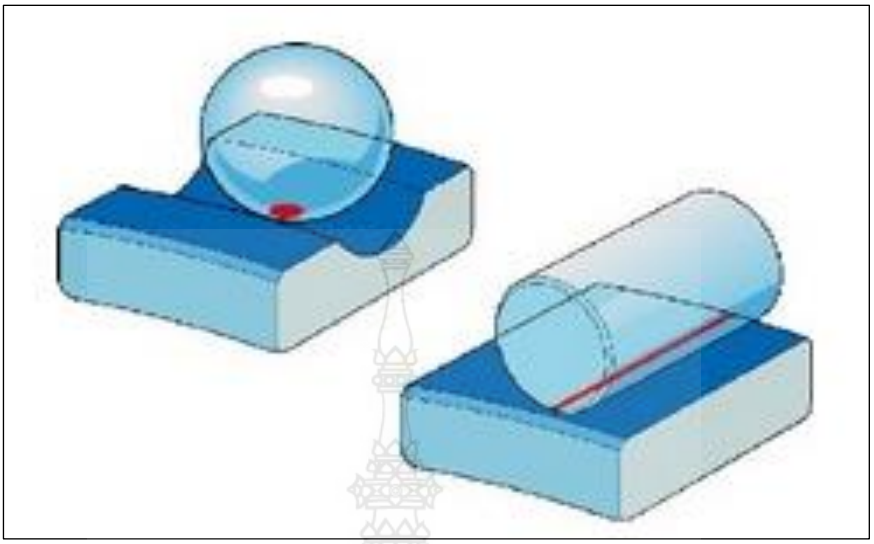
เครื่องมือกลแทบทุกชนิด จะประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักที่สำคัญชิ้นส่วนหนึ่งคือ ตลับลูกปืน ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์รองรับและประคองการหมุนของเพลา ทั้งเพลางาน (Work Spindle) และเพลาชุดเฟืองทดรอบ (Shaft) นอกจากนี้ตลับลูกปืนยังทำหน้าที่ถ่ายทอดหรือส่งผ่านแรงที่เกิดขึ้นจากการทำงานบนเพลาให้ผ่านลงไปสู่ฐานเครื่อง หากเปรียบหน้าที่การทำงานของตลับลูกปืนกับชิ้นส่วนอื่นๆ ของเครื่องมือกลแล้ว จะเห็นได้ว่า ตลับลูกปืนเป็นจุดวิกฤตจุดหนึ่งของเครื่องมือกลเพราะต้องเป็นชิ้นส่วนที่ต้องทำหน้าที่ การทำงานหรือเสียหายจึงมักเกิดขึ้นที่ตลับลูกปืน การเลือกชนิดของตลับลูกปืน การถอดและประกอบตลับลูกปืนและการบำรุงรักษาจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในงานเครื่องมือกล

ตลับลูกปืนทำหน้าที่ลดความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส ทำให้สามารถลดปริมาณพลังงานที่จำเป็นต้องใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรและเนื่องจากความเสียดทานที่ลดลง จึงช่วยเพิ่มสมรรถนะในการทำงานของเครื่องจักร ลดการสึกหรอ มีผลให้การดูแลรักษาง่ายขึ้น

2.5.1 ประเภทของตลับลูกปืนมีวิธีในการแบ่งแยกประเภทของตลับลูกปืน โดยอาศัยปัจจัยในด้านโครงสร้าง ออกได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ

2.5.1.1 ตลับลูกปืนที่มีเม็ดกลมและตลับลูกปืนที่มีเม็ดยาว

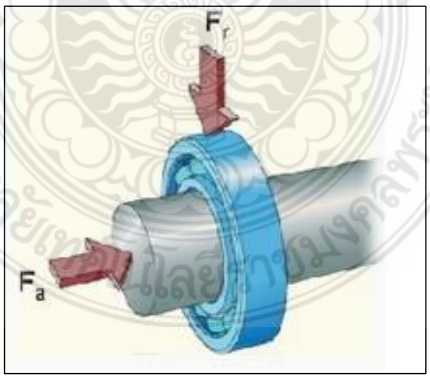
ด้วยการออกแบบของเม็ดลูกกลิ้งที่แตกต่างกัน ทำให้ตลับลูกปืนที่มีมิติขนาดเท่ากัน เม็ดยาวจะสามารถรับแรงได้มากกว่าเม็ดกลม แต่ในทางตรงข้ามตลับลูกปืนเม็ดยาวสามารถทำงานได้ที่ความเร็วรอบที่ต่ำกว่าเม็ดกลม เนื่องจากความเสียดทานที่สูงกว่าของผิวสัมผัสนั่นเอง



ภาพที่ 2-21 แสดงตลับลูกปืนที่มีเม็ดกลมและตลับลูกปืนที่มีเม็ดยาว (http://ebearing.samitkoyom.com)

2.5.1.2 ความสามารถในการรับแรง ตลับลูกปืนอาจแบ่งแยกประเภทตามการรับแรงได้เป็น 3 ประเภท คือ

1) ตลับลูกปืนรับแรงแนวรัศมี (Fr)
2) ตลับลูกปืนรับแรงรวมในแนวแกน (Fa)
3) ตลับลูกปืนรับแรงแนวรัศมีและแรงรวมได้ในขณะเดียวกัน

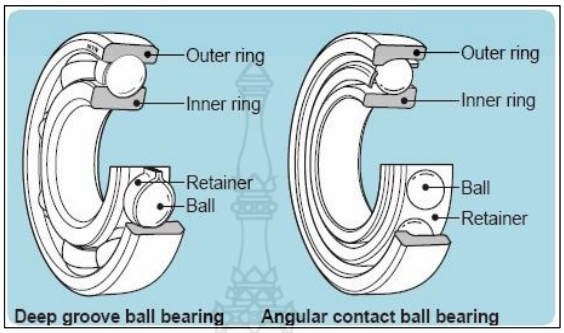


ภาพที่ 2-22 แสดงความสามารถในการรับแรง (http://ebearing.samitkoyom.com)

2.5.2 โครงสร้างของตลับลูกปืน

ภาระที่กระทำในเครื่องจักรกล สามารถจำแนกออกได้เป็นภาระในแนวรัศมีและภาระในแนวแกน ตลับลูกปืนที่ใช้ในการรองรับจำเป็นที่จะต้องรับภาระที่กระทำทั้งสองแกนหรือแนวใดแนวหนึ่ง

การออกแบบรูปร่างของตลับลูกปืนจึงต้องออกแบบให้โครงสร้างของตลับลูกปืนเหมาะสมต่อขนาดและทิศทางของการรับภาระที่กระทำ ดังนั้น ตลับลูกปืนที่มีอยู่ในท้องตลาดจึงต้องมีรูปร่างและโครงสร้างต่างๆ กัน ด้วยเหตุที่ตลับลูกปืนมีชนิดและขนาดต่างกันเป็นจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องกำหนดตลับลูกปืนขึ้นเป็นมาตรฐาน เพื่อสะดวกต่อการออกแบบเครื่องจักรกล



ภาพที่ 2-23 แสดงโครงสร้างของตลับลูกปืน (http://ebearing.samitkoyom.com)

ตลับลูกปืนทั่วไปจะประกอบไปด้วยแหวนสองส่วนคือ แหวนใน (Inner Ring) และแหวนนอก (Outer Ring) แหวนในจะใช้สวมเข้ากับเพลาและแหวนนอกจะยึดอยู่ในตัวเรือน มีลูกกลิ้งแบบเม็ดกลม (Ball) หรือแบบเม็ดทรงกระบอก (Roller) อยู่ระหว่างแหวนในและแหวนนอก โดยจะมีกรงหรือรัง (Cage) หรือเรียกว่า Retainer คั่นแยกลูกกลิ้งให้มีระยะห่างคงที่ เมื่อแหวนใดแหวนหนึ่งหมุน ลูกกลิ้งก็จะกลิ้งอยู่ในรางของแหวน แหวนใน, แหวนนอกและเม็ดลูกปืน โดยทั่วไปจะทำจากโลหะคาร์บอนเกรดสูงชุบโครเมียม

2.5.3 ตลับลูกปืนตุ๊กตา (Bearing Units)

ภาพที่ 2-24 แสดงตลับลูกปืนตุ๊กตา (http://www.xn--12c3bncg1db8gscr.net)

ตลับลูกปืนตุ๊กตาของ NTN ประกอบด้วย ตลับลูกปืนเม็ดกลมรับแรงในแนวรัศมี ซีลกันฝุ่นและตัวเสื้อที่มีทั้งชนิดเหล็กหล่อคุณภาพสูง (High-Grade Cast Iron) และชนิดเหล็กแผ่นปั๊มขึ้นรูป (Press Steel) สำหรับโครงสร้างและลักษณะรูปร่างนั้น มีมากมายหลายชนิด สามารถเลือกใช้ได้ตาม

ความเหมาะสม ผิวด้านนอกของตลับลูกปืน และผิวด้านในของตัวเสื้อตุ๊กตา ออกแบบให้มีลักษณะโค้งมนเพื่อทำให้ตลับลูกปืนภายในสามารถปรับแนวในการรับ ภาระได้ อุปกรณ์กันฝุ่นที่ติดตั้งอยู่กับตลับปืนประกอบด้วยแผ่นซีล 2 ชั้น ชั้นในเป็นยางสังเคราะห์เสริมด้วยแผ่นเหล็ก (Synthetic Rubber Seal) ชั้นนอกเป็นฝาเหล็ก (Slinger) ที่มีการปั๊มนูน เพื่อให้ประโยชน์ในการตีกระจายฝุ่น เป็นการป้องกันไม่ให้ฝุ่นหลุดลอดเข้ามาในตลับลูกปืน ซึ่งฝาเหล็กขนาดนี้ เป็นการคิดค้นและพัฒนา รวมไปถึงลิขสิทธิ์เฉพาะของ NTN เท่านั้น คุณสมบัติพิเศษที่มีเฉพาะตลับลูกปืนตุ๊กตาของ NTN คือ การออกแบบตัวสกรูสำหรับยึดตลับลูกปืนให้แน่นกับเพลา โดยใช้ BALL-END SET SCREW ประสิทธิภาพของชิ้นส่วนดังกล่าวได้ผ่านการทดสอบการใช้งาน ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวล็อคชนิดอื่นๆ และยังสามารถใช้งานได้ดีในสภาวะที่มีแรงสั่นสะเทือนและแรงกระชากสูงๆ

2.5.4 ตลับลูกปืนเม็ดกลมสองแถวปรับแนวได้เอง

ภาพที่ 2-25 แสดงตลับลูกปืนเม็ดกลมสองแถวปรับแนวได้ (http://ebearing.samitkoyom.com)

เป็นตลับลูกปืนเหมาะสำหรับลักษณะการใช้งานที่ต้องมีลักษณะของการเยื้องแนวเกิดขึ้น (Misalignment) มีทั้งแบบเปิดและแบบที่มีฝาปิดกันฝุ่นสองข้าง และภายในตลับลูกปืนมีจาระบีบรรจุอยู่มาจากโรงงานและไม่จำเป็นต้องมีการอัดจาระบีเพิ่มเติม (Maintenance-free) นอกจากนั้น ยังมีแบบรุ่นที่มีรูเรียวสำหรับใช้งานกับปลอกปรับขนาดเพลาติดตั้งในชุดเสื้อพลัมเมอร์บล็อก เหมาะกับการออกแบบเครื่องจักรที่ต้องการความประหยัด

2.5.5 การบำรุงรักษาตลับลูกปืน

การหล่อลื่นตลับลูกปืนมีอยู่สองวิธีการคือ การหล่อลื่นด้วยจาระบีและน้ำมัน

2.5.5.1 การหล่อลื่นด้วยจาระบี

ตลับลูกปืนกว่า 36% ที่เสียหายก่อนกำหนด มีสาเหตุมาจากการหล่อลื่นที่ไม่ถูกต้อง จาระบีสารพัดประโยชน์ไม่เพียงพอต่อความต้องการเฉพาะของตลับลูกปืน ในเครื่องจักรแต่ละ

แบบและจะทำให้เกิดปัญหามากกว่าประโยชน์ ตลับลูกปืนมีสภาพการทำงานที่หลากหลายและการหล่อลื่นที่ถูกต้อง จำเป็นต้องใช้จาระบีเฉพาะงาน

ในขณะที่ตลับลูกปืนทำงาน จำเป็นจะต้องเติมสารหล่อลื่นเพิ่ม การเลือกใช้จาระบีและการเติมด้วยปริมาณที่ไม่ถูกต้องจะส่งผลต่ออายุการทำงานของตลับลูกปืน นอกจากนี้วิธีการเติมที่ถูกต้องจะช่วยยืดอายุตลับลูกปืนได้

หน้าที่หลักของการหล่อลื่นตลับลูกปืน คือ การเน้นไปที่การป้องกันการสัมผัสกันของโลหะระหว่างเม็ดลูกกลิ้งและรางวิ่ง ก็เพื่อที่จะลดแรงเสียดทานและป้องกันการสึกหรอ หน้าที่รองของสารหล่อลื่นคือ การป้องกันตลับลูกปืนจากการกัดกร่อนและสิ่งปนเปื้อนภายนอก

2.5.5.2 การหล่อลื่นด้วยน้ำมัน

มีตลับลูกปืนน้อยกว่า 20% หล่อลื่นด้วยน้ำมัน เราจะไม่เน้นไปที่การหล่อลื่นด้วยวิธีนี้ นอกจากนี้ การหล่อลื่นด้วยน้ำมันเป็นเรื่องที่ไม่ซับซ้อน คุณสมบัติที่สำคัญในการเลือกใช้น้ำมันหล่อลื่น คือ ความหนืดและชนิดของน้ำมัน

การหล่อลื่นควรใช้น้ำมันหล่อลื่นชนิดที่เหมาะสมกับความต้องการและมีปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่เพียงพอ ห้องเครื่องของเพลางานควรได้รับการตรวจสอบคุณภาพและปริมาณของน้ำมันหล่อลื่นที่มีอยู่ในห้องของเพลางาน ควรได้รับการตรวจสอบคุณภาพและปริมาณของน้ำมันหล่อลื่นที่มีอยู่ในห้องเครื่องตามคำแนะนำของผู้ผลิตเครื่องมือกลอยู่เสมอ

การเลือกใช้น้ำมันจะขึ้นอยู่กับความหนืดที่ต้องใช้ในการหล่อลื่นมีเพียงพอแก่ตลับลูกปืนที่อุณหภูมิ น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานโดยทั่วไปแบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่

1) น้ำมันแร่ (90%)
2) น้ำมันสังเคราะห์ (10%)
3) น้ำมันจากสัตว์และพืช (<1%)

ในขณะทำงาน การตรวจสอบสภาพตลับลูกปืนเป็นสิ่งสำคัญที่ควรทำอย่างสม่ำเสมอ ปัจจัยที่ต้องตรวจสอบ เช่น อุณหภูมิ, ความสั่นสะเทือนและการวัดระดับเสียง การตรวจสอบสิ่งเหล่านี้เป็นประจำ ทำให้สามารถแก้ปัญหาที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้และช่วยป้องกันความเสียหายที่ไม่คาดคิด เครื่องมือในขั้นตอนนี้ ได้แก่ เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เสียง ความเร็วและความสั่นสะเทือน

2.6 สวิตซ์

การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้านั้นมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมอย่างมากมาย อุปกรณ์ที่ใช้งานนั้นต้องเลือกให้เหมาะสมกับงานในการควบคุมอุปกรณ์ ในการควบคุมที่สำคัญเป็นพื้นฐานหลัก เช่น สวิตช์ปุ่มกด แมคเนติคคอนแทคเตอร์ตลอดจนอุปกรณ์ป้องกันอันตรายต่างๆ ในการควบคุมมอเตอร์ ดังมีอุปกรณ์ที่ต้องศึกษาดังต่อไปนี้

2.6.1 สวิตช์ปุ่มกด (Push Button Switch)

อุปกรณ์ที่มีหน้าสัมผัสอยู่ภายในการเปิดปิดหน้าสัมผัส ได้โดยใช้มือกดใช้ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ สวิตช์ปุ่มกดที่ใช้ในการเริ่มเดิน (Start) เรียกว่าสวิตช์ปกติเปิด (Normally Open) หรือที่เรียกว่า เอ็น โอ (N.O.) สวิตช์ปุ่มกดหยุดการทำงาน (Stop) เรียกว่าสวิตช์ปกติปิด (Normally Close) หรือที่เรียกว่าเอ็น ซี (N.C.)

ภาพที่ 2-26 แสดงสวิตช์ปุ่มกดแบบต่างๆ

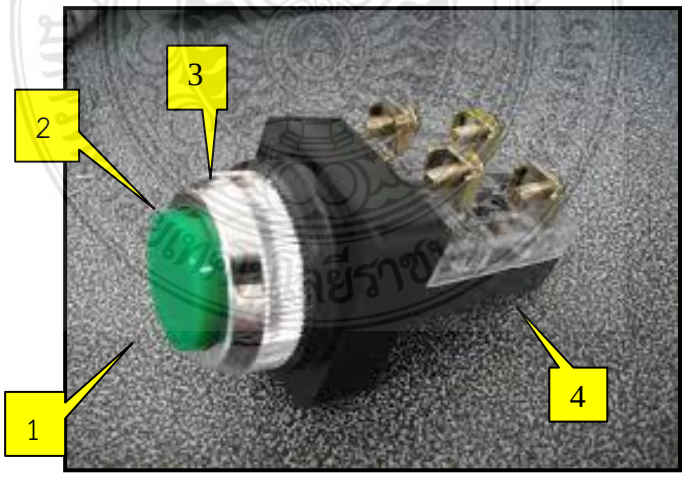
โครงสร้างภายนอกของสวิตช์ปุ่มกด

2.6.1.1 ปุ่มกด ทำด้วยพลาสติกอาจเป็นสีเขียวแดงหรือเหลือง ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน

2.6.1.2 แหวนล็อก

2.6.1.3 ยางรอง

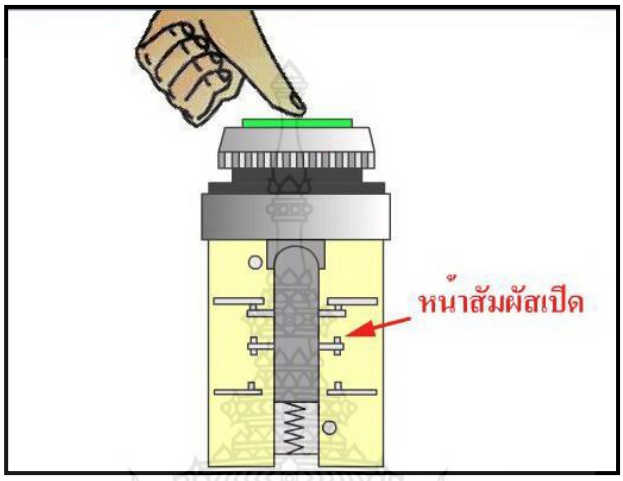
2.6.1.4 ชุดกลไกหน้าสัมผัส



ภาพที่ 2-27 แสดงโครงสร้างภายนอกสวิตช์

2.6.2 การทำงานของสวิตช์ปุ่มกด

ใช้นิ้วกดที่ปุ่มกดทำให้มีแรงดันหน้าสัมผัสให้เคลื่อนที่ หน้าสัมผัสที่ปิดจะเปิดส่วน หน้าสัมผัสที่เปิดจะปิด เมื่อปล่อยนิ้วออกหน้าสัมผัส จะกลับสภาพเดิม ด้วยแรงสปริงนำไปใช้งานใช้ในการควบคุมการเริ่มเดิน และหยุดหมุนมอเตอร์



ภาพที่ 2-28 แสดงการทำงานของสวิตซ์ปุ่มกด

2.6.3 ชนิดของสวิตช์ปุ่มกด

สวิตช์ปุ่มกดที่นิยมใช้มีอยู่ด้วยกันหลายชนิดเช่น

2.6.3.1 สวิตช์ปุ่มกดแบบธรรมดา ใช้ในงานเริ่มเดิน (Start) และหยุดหมุน (Stop) สวิตช์สีเขียวใช้ในการสตาร์ท หน้าสัมผัส เป็นชนิดปกติเปิด (Normally Open) หรือที่เรียกว่า เอ็น โอ (N.O.) สวิตช์สีแดงใช้ในการหยุดการทำงาน (Stop) หน้าสัมผัสเป็นชนิดปกติปิด (Normally Close) หรือที่เรียกว่าเอ็น ซี (N.C.)

ภาพที่ 2-29 แสดงสวิตซ์ปุ่มกดแบบธรรมดา

2.6.3.2 สวิตช์ปุ่มกดที่ใช้ในการเริ่มเดิน (Start) และหยุดหมุนอยู่ในกล่องเดียวกัน ปุ่มสีเขียวสำหรับกดเริ่มเดินมอเตอร์ (Start) ปุ่มสีแดงสำหรับกดหยุดหมุน (Stop) เหมาะกับการใช้งานมอเตอร์ขนาดเล็กใช้งานธรรมดาที่ใช้กระแสไม่สูงสามารถต่อได้โดยตรง ใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดใหญ่

กว่า 1/2 แรงม้าต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่น เช่น สวิตช์แม่เหล็ก (Magnetic Contactor) และอุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ทำงานเกินกำลัง (Over Load Protection) ดังนั้นจึงทำให้ระบบควบคุม การเริ่มเดินมอเตอร์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ภาพที่ 2-30 แสดงสวิตช์ปุ่มกดที่ใช้ในการเริ่มเดิน (Start) และหยุดหมุน

2.6.3.3 สวิตช์ปุ่มกดฉุกเฉิน (Emergency Push Button) สวิตช์ปุ่มกดฉุกเฉินหรือเรียกทั่วไปว่าสวิตช์ดอกเห็ดเป็นสวิตช์หัวใหญ่กว่าสวิตช์แบบธรรมดาเป็นสวิตช์ที่เหมาะกับงานที่เกิดเหตุฉุกเฉินหรืองานที่ต้องการหยุดทันที

ภาพที่ 2-31 แสดงสวิตช์ปุ่มกดฉุกเฉิน (Emergency Push Button)

2.6.3.4 สวิตช์เลือก (Selector Switch) มีมากในงานที่ควบคุมการทำงานด้วยมือ แสดงตัวอย่างของสวิตช์เลือกแบบ 3 ตำแหน่ง และตารางแสดงการทำงานของสวิตช์เลือกเครื่องหมาย X ในตารางแทนด้วยหน้าสัมผัสปิด สวิตช์เลือกมี 3 ตำแหน่งคือ ตำแหน่งหยุด (Off) ตำแหน่งมือ (Hand) และ ตำแหน่งออโต (Automatic) ในตำแหน่งหยุดหน้าสัมผัสทุกอันจะปิดหมด ส่วนในตำแหน่ง

มือหน้าสัมผัส A1 จะปิด หน้าสัมผัส A2 จะเปิด และในตำแหน่งออโตหน้าสัมผัส A2 จะปิดหน้าสัมผัส A1 จะเปิด

ภาพที่ 2-32 แสดงสวิตช์เลือก (Selector Switch)

2.6.4 สวิตช์จำกัดระยะ (Limit Switch)

ลิมิตสวิตช์เป็นสวิตช์ที่จำกัดระยะทาง การทำงานอาศัยแรงกดภายนอกมากระทำ เช่น วางของทับที่ปุ่มกดหรือลูกเบี้ยวมาชนที่ปุ่มกดและสามารถมีคอนแทคได้หลายอันมีคอนแทคปกติปิดและปกติเปิดมีโครงสร้างคล้ายสวิตช์ปุ่มกด

ภาพที่ 2-33 แสดงลิมิตสวิตช์จำกัดระยะทาง

2.7 แม่แรง (Power Tool and Repairing Frame Damage)

ตามปกติตัวถังและโครงรถยนต์ จะต้องทำการซ่อมเนื่องมาจากอุบัติเหตุ ทำให้โครงตัวถังรถเกิดการโค้งงอ บิดตัว แตกหัก หรือฉีกขาด ซึ่งจะต้องทำการซ่อมบริเวณส่วนที่โค้งงอ บิดตัว ให้ตรงเหมือนเดิม (Straightening) โดยใช้เครื่องมือที่ให้กำลัง (Power Tool) สำหรับดึง และดันซึ่งแล้วแต่

ลักษณะของงานที่จะซ่อมนั้นๆ และตัวถังบางชิ้นที่ซ่อมไม่ได้จะต้องเปลี่ยนใหม่ด้วยเครื่องมือที่ให้กำลัง (Power Tool) ในการซ่อมตัวถังและโครงรถ มีแม่แรงแบบต่างๆ เช่น

2.7.1 แม่แรงยก (Hydraulic Hand Jack)

แม่แรงยกแบบนี้เป็นแม่แรงยกขนาดเล็กที่ใช้ยกงานที่ไม่หนักเกินไปและใช้ยกในช่วงสั้นๆ และสามารถดันงานตัวถังและโครงรถ เพื่อให้ตัวถังและโครงรถได้ศูนย์ขณะซ่อมงานตัวถังด้วย และแม่แรงยกโดยตรงจะมีแม่ปั๊มกับกระบอกดันรวมอยู่ในชุดเดียวกันลักษณะการทำงานจะทำการยกหรือดัน

ภาพที่ 2-34 แสดงแม่แรงยก

2.7.2 แม่แรงยกแบบตั้งพื้น (Hydraulic Floor Jack)

แม่แรงยกแบบตั้งพื้น เป็นแม่แรงยกอาศัยหลักการทำงานของระบบไฮดรอลิค จะใช้ยกส่วนหน้า ส่วนหลัง และด้านข้างของรถยนต์ ซึ่งแม่แรงยกตั้งพื้นจะมีขนาดต่างๆ กันและสามารถยกน้ำหนักได้ตั้งแต่ 1-20 ตัน ย่อมขึ้นอยู่กับการเลือกขนาดที่นำไปใช้งานและแม่แรงยกแบบตั้งพื้นแม่ปั๊มและกระบอกดันจะอยู่ในชุดเดียวกัน

ภาพที่ 2-35 แสดงแม่แรงยกแบบตั้งพื้น

2.7.3 แม่แรงดันแบบเคลื่อนที่ (Portable Hydraulic Jack)

แม่แรงดันเป็นแม่แรงที่ให้กำลังในการดันงานโลหะตัวถังและโครงรถที่เกิดจากการบิดตัว โค้งงอ เนื่องจากการชนหรือจากอุบัติเหตุอื่นๆ ให้ตรงและได้ศูนย์ ซึ่งแม่แรงดันแบบเคลื่อนที่จะประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

2.7.3.1. แม่ปั๊ม (Pump)

2.7.3.2. สายต่อ (Flexible Hose)

2.7.3.3. กระบอกดัน (Ram Unit)

แม่แรงดันแบบเคลื่อนที่ แม่ปั๊มกับกระบอกดัน จะอยู่แยกกัน ซึ่งจะมีสายยางที่ทนกำลังดันสูงต่อเข้าระหว่างแม่ปั๊มกับกระบอกดัน ทั้งนี้เพื่อสะดวกแก่การใช้งานดันตัวถังรถยนต์ตัวกระบอกดัน (Ram) และลูกสูบดัน (Ram Plunger) ของแม่แรงดันแบบเคลื่อนที่แต่ละแบบแต่ละบริษัทผู้ผลิต จะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน โดยเฉพาะเกลียวที่กระบอกดัน และเกลียวที่ลูกสูบดัน ของแม่แรงจะเป็นเกลียวแบบมาตรฐานทั่วไปที่ใช้กัน เมื่อนำเครื่องมืออุปกรณ์ประกอบเข้า เช่น ท่อต่อ ฐานรอง ฐานยาง ก็สามารถนำมาประกอบกันเข้าได้แม้จะเป็นบริษัทอื่นก็ตาม

ภาพที่ 2-36 แสดงแม่แรงดันแบบเคลื่อนที่

2.8 การทดสอบสมมติฐานของกลุ่มตัวอย่าง *t* -test ใช้ทดสอบต่างๆ 2 กรณี ดังนี้

2.8.1 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มเดียว

การทดสอบแบบนี้ใช้ในกรณีผู้วิจัยสุ่มตัวอย่างมาเพียงกลุ่มเดียว แล้วต้องการทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มนี้จะแตกต่างจากค่าเฉลี่ยมาตรฐานอื่นๆ หรือไม่ค่าต่างๆ ที่กำหนดเป็นเกณฑ์ถือว่าเป็นค่าเฉลี่ยของประชากร

ขั้นตอนในการทดสอบ

1) ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของสถิติทดสอบ มีดังนี้

1.1 กลุ่มตัวอย่างได้มาจากการสุ่มและเป็นอิสระจากกัน

1.2 ประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ

1.3 ไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากร

1.4 ข้อมูลอยู่ในมาตราอันตรภาคหรืออัตราส่วน

2) กำหนดสมมติฐานทางสถิติ

สำหรับการทดสอบแบบสองทิศทาง

$H_0 : \mu = \mu_0$

$H_0 : \mu \neq \mu_0$

สำหรับการทดสอบแบบทิศทางเดียว

$H_0 : \mu = \mu_0$

$H_1 : \mu > \mu_0$ หรือ $\mu < \mu_0$ อย่างใดอย่างหนึ่ง

3) กำหนด α

4) สูตรการคำนวณค่าสถิติ t

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \qquad (2.5)$$

เมื่อ (degree of freedom) df= n -1

5) กำหนดขอบเขตวิกฤตโดยหาค่า t วิกฤต

5.1 $t < -t_{\frac{\alpha}{2}}$ และ $t > t_{\frac{\alpha}{2}}$ สำหรับ $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

5.2 $t \leq t_\alpha$ สำหรับ $H_1 : \mu < \mu_0$

5.3 $t \geq t_\alpha$ สำหรับ $H_1 : \mu > \mu_0$

6) สรุปผลการทดลอง

พิจารณาตัวเลขเท่านั้นไม่คิดเครื่องหมาย

$t \geq t$ วิกฤต จะปฏิเสธ H_0

$t < t$ วิกฤต จะยอมรับ H_0

2.8.2 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่ม

กรณีกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มเป็นอิสระจากกัน (Independent Samples)

เป็นการทดสอบสมมติฐานเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่ม กรณีที่ไม่ทราบความแปรปรวนของประชากร และกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มที่มีขนาดเล็ก คือ $n_1 < 30$ และ $n_2 < 30$ ซึ่งก่อนที่จะทำการทดสอบโดยใช้สถิติทดสอบ t-test จะต้องนำค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มไปทดสอบเพื่อสรุปว่า ประชากรที่ศึกษานั้นมีความแปรปรวนเท่ากันหรือ

ขั้นตอนในการทดสอบ

1) ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของสถิติทดสอบ มีดังนี้

1.1 กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มได้มาโดยการสุ่มอย่างเป็นอิสระจากกัน

1.2 ประชากรทั้งสองกลุ่มมีการแจกแจงแบบปกติ

1.3 ข้อมูลอยู่ในมาตราอันตรภาคหรืออัตราส่วน

1.4 ไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากร

2) กำหนดสมมติฐานทางสถิติ

สำหรับการทดสอบแบบสองทิศทาง

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

สำหรับการทดสอบแบบทิศทางเดียว

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$

$H_1 : \mu_1 > \mu_2$ หรือ $\mu_1 < \mu_2$ อย่างใดอย่างหนึ่ง

3) กำหนด α

4) สูตรการคำนวณค่าสถิติ t-test ชนิด Pooled Variance

เมื่อทดสอบได้ว่า $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ เรียกสูตรนี้ว่า t – test ชนิด Pooled Variance

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{S_p^2\left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right]}} \qquad (2.6)$$

มี df = $n_1 + n_2 - 2$

5) สูตรการคำนวณค่า S_p^2

$$s_p^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 + 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \qquad (2.7)$$

เมื่อทดสอบได้ว่า $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ เรียกสูตรนี้ว่าt – test ชนิด Separated Variance

6) สูตรการคำนวณค่าสถิติ t-test ชนิด Separated Variance

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \qquad (2.8)$$

7) กำหนดขอบเขตวิกฤตโดยหาค่า t วิกฤต

8) สรุปผลการทดลอง

พิจารณาตัวเลขไม่คิดเครื่องหมาย

$t \geq t$ วิกฤต จะปฏิเสธ H_0

$t > t$ วิกฤต จะยอมรับ H_0

2.8.3 สถิติทดสอบเอฟ (F-test Statistic)

การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยกรณีกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม ที่เป็นอิสระจากกันโดยใช้สถิติ ทดสอบที ซึ่งมีสูตรในการคำนวณค่าสถิติ t แบบ Pooled Variance และ Separated Variance

การแจกแจงเอฟ (F -distribution) ผู้ค้นพบการแจกแจงชนิดนี้ คือ Sir Ronald Fisher จึงให้ชื่อการแจกแจงนี้ว่า การแจกแจงแบบเอฟ (F-distribution) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของประชากร ถ้าให้ S_1^2 และ S_2^2 เป็นค่าความแปรปรวนจากกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่ม ซึ่งเป็นอิสระต่อกัน และมี ขนาดตัวอย่างเท่ากับ n_1 และ n_2 ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มได้มาโดยการสุ่มมาจากประชากร ซึ่งมีการแจกแจงแบบปกติ และมีค่าความแปรปรวนของประชากรเท่ากับ σ_1^2 และ σ_2^2 ตามลำดับ

การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่างของความแปรปรวนของประชากรเมื่อต้องการทราบว่าความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มมีความแตกต่างกันหรือไม่จะทำการทดสอบโดยใช้สถิติทดสอบเอฟ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1) ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของสถิติทดสอบ F
2) กำหนดสมมติฐานทางสถิติ

สำหรับการทดสอบแบบสองทิศทาง

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

สำหรับการทดสอบแบบทิศทางเดียว

$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$

$H_1 : \sigma_1^2 > \sigma_2^2$ หรือ $\sigma_1^2 < \sigma_2^2$ อย่างใดอย่างหนึ่ง

3) กำหนด α
4) สูตรการคำนวณหาค่าสถิติ F

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \qquad (2.9)$$

มี df1 $= n_1 - 1$ และ df 2 $= n_2 - 1$

ในทางสถิติมักนิยมคำนวณค่า F โดยใช้ค่าความแปรปรวนจากกลุ่มตัวอย่างที่มีค่ามากเป็นตัวเศษ ซึ่ง จะทำให้ขอบเขตวิกฤตอยู่ทางขวาเสมอ

5) กำหนดขอบเขตวิกฤต โดยหาค่า F วิกฤต $(\mathrm{F}_{\alpha,\mathrm{df},\mathrm{df}_2})$
6) สรุปผลการทดสอบ

$F \geq F$ วิกฤต จะปฏิเสธ H_0

$F < F$ วิกฤต จะยอมรับ H_0

2.8.4 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean)

ค่าเฉลี่ยเลขคณิต เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลในระดับอัตรภาค (Interval Scales) หรือระดับอัตราส่วน (Ratio Scales) ซึ่งข้อมูลเป็นเชิงปริมาณ คือข้อมูลใช้แทนขนาด หรือ ปริมาณ ซึ่งวัดค่าออกมาเป็นค่าของตัวเลขโดยตรง เช่น อายุ ส่วนสูง น้ำหนัก คะแนน เป็นต้น ดังนั้นการวัดเพื่อหาแนวโน้มสู่ส่วนกลางของข้อมูล ค่าเฉลี่ยเลขคณิต เป็นค่า “หนึ่งค่า” ที่ใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลกลุ่ม หรือค่าเฉลี่ย (Average) ที่ใช้แทนกลุ่มทั้งหมด

ค่าเฉลี่ยเลขคณิต หมายถึง ค่าที่หาได้จากการรวมของข้อมูลทั้งหมดหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมดของข้อมูลชุดนั้น

สัญลักษณ์ที่ใช้ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างใช้ $\bar{X}$ และค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรใช้ μ

สูตรการคำนวณ $\bar{X}$

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n} \qquad (2.10)$$

$\sum n$ = ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด

$\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

n = จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2.8.5 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: $S.D.$)

คือ รากที่สองที่ไม่เป็นจำนวนลบ ของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของผลต่างระหว่างค่าในข้อมูลกับค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลนั้น หรือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หมายถึง ผลรวมของทุกค่าที่ห่างจากค่ากลางของข้อมูล $(x - \bar{x})$ ที่ยกกำลังสอง หารด้วยจำนวนข้อมูลแล้วนำค่าที่ได้มาหาค่ารากที่สอง $(\sqrt{})$ สัญลักษณ์ที่ใช้ แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานคือ S หรือ $S.D.$ กรณีเป็นกลุ่มตัวอย่าง และ σ ซิกมา (Sigma) ในกรณีที่เป็นประชากร

สูตรการคำนวณ $S.D.$

$$S.D. = \frac{\sqrt{(X - \bar{X})^2}}{n-1} \qquad (2.11)$$

X = ข้อมูลของประชากร

$\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง

n = จำนวนข้อมูลทั้งหมด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับการทำงานวิจัยเรื่อง เครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระ ในครั้งนี้ ผู้วิจัยมีวิธีดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

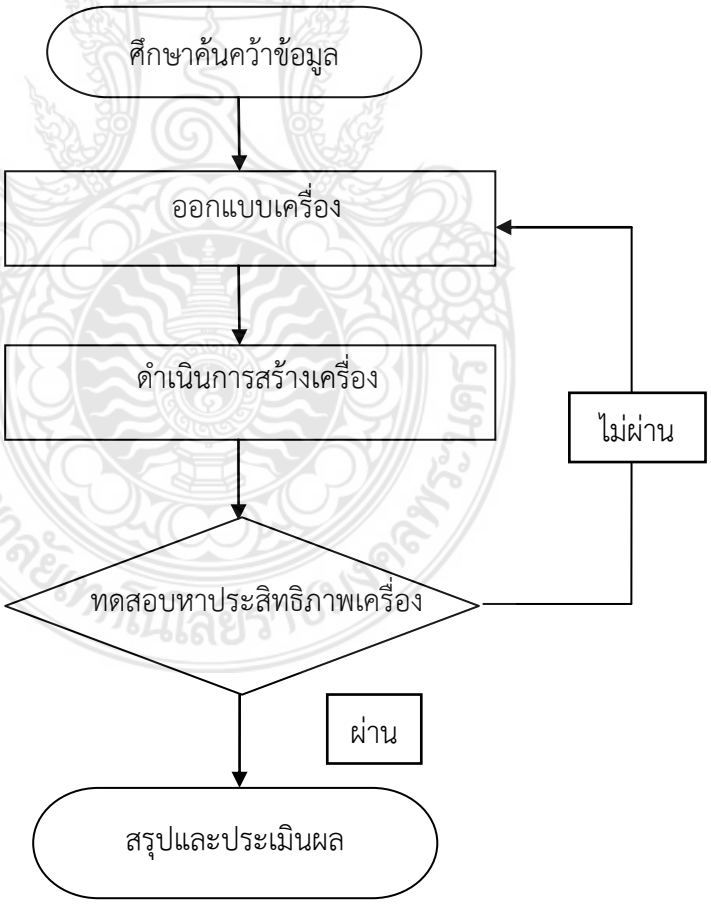
3.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูล

3.2 ออกแบบเครื่อง

3.3 ดำเนินการสร้างเครื่อง

3.4 ทดสอบหาประสิทธิภาพเครื่อง

3.5 สรุปและประเมินผล



ภาพที่ 3-1 แสดง Flow-chart ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ตารางที่ 3-1 แสดงระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

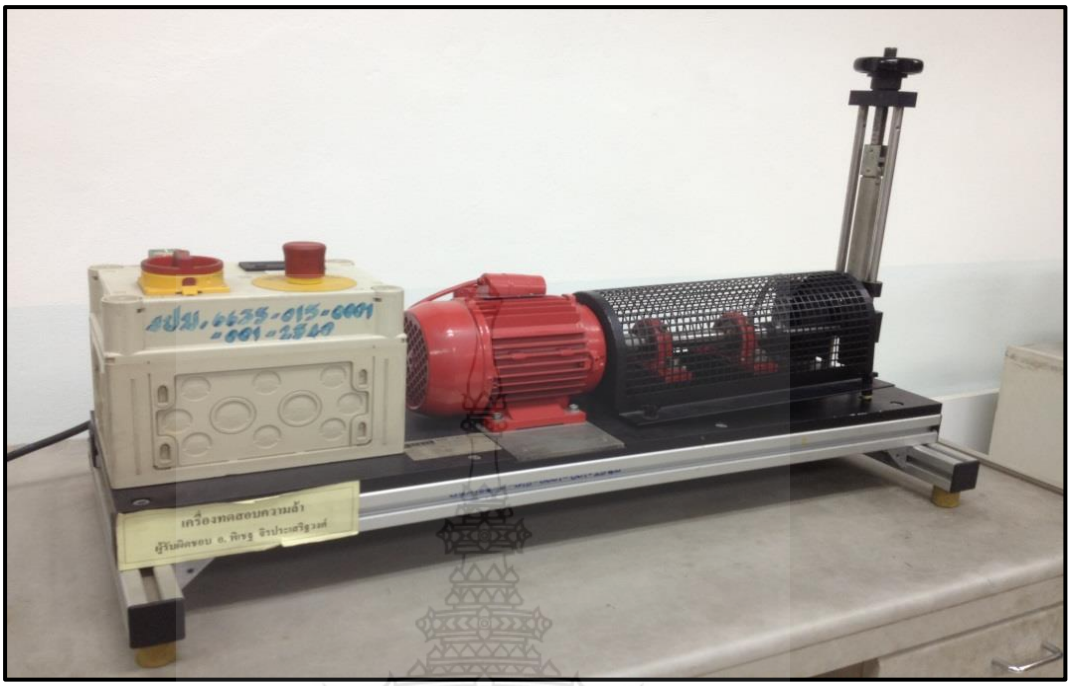
กิจกรรม		ระยะเวลา											
		พ.ศ. 2559							พ.ศ. 2560				
		ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เมย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย
1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูล	P	←	———	→									
	A	←	- - - -	→									
2. ออกแบบเครื่อง	P			←	———	→							
	A			←	- - -	→							
3. ดำเนินการสร้างเครื่อง					←	———	———	———	→				
					←	- - - -	- - - -	- - - -	→				
4. ทดสอบหาประสิทธิภาพเครื่อง	P									←	———	→	
	A									←	- - - -	→	
5. สรุปและประเมินผล	P											←	——— →
	A											←	- - - - →

P = Plan (การวางแผน) ←———→

A = Action (การปฏิบัติ) ←- - - -→

3.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูล

การสร้างเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระ มีขั้นตอนและรายละเอียดต่างๆ มากมาย อีกทั้งต้องคำนึงถึงความปลอดภัยตลอดการพัฒนาเครื่องรวมทั้งการใช้งานจริง จึงจำเป็นต้องมีการวางแผนการทำงานอย่างรอบคอบและรัดกุม โดยผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลของเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระ ที่ได้มาตราฐานจากต่างประเทศ ซึ่งใช้งานในสถานศึกษา นอกจากนั้นยังศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างเครื่อง



ภาพที่ 3-2 แสดงลักษณะเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระ ที่ได้มาตราฐานจากต่างประเทศ

3.2 ออกแบบเครื่อง

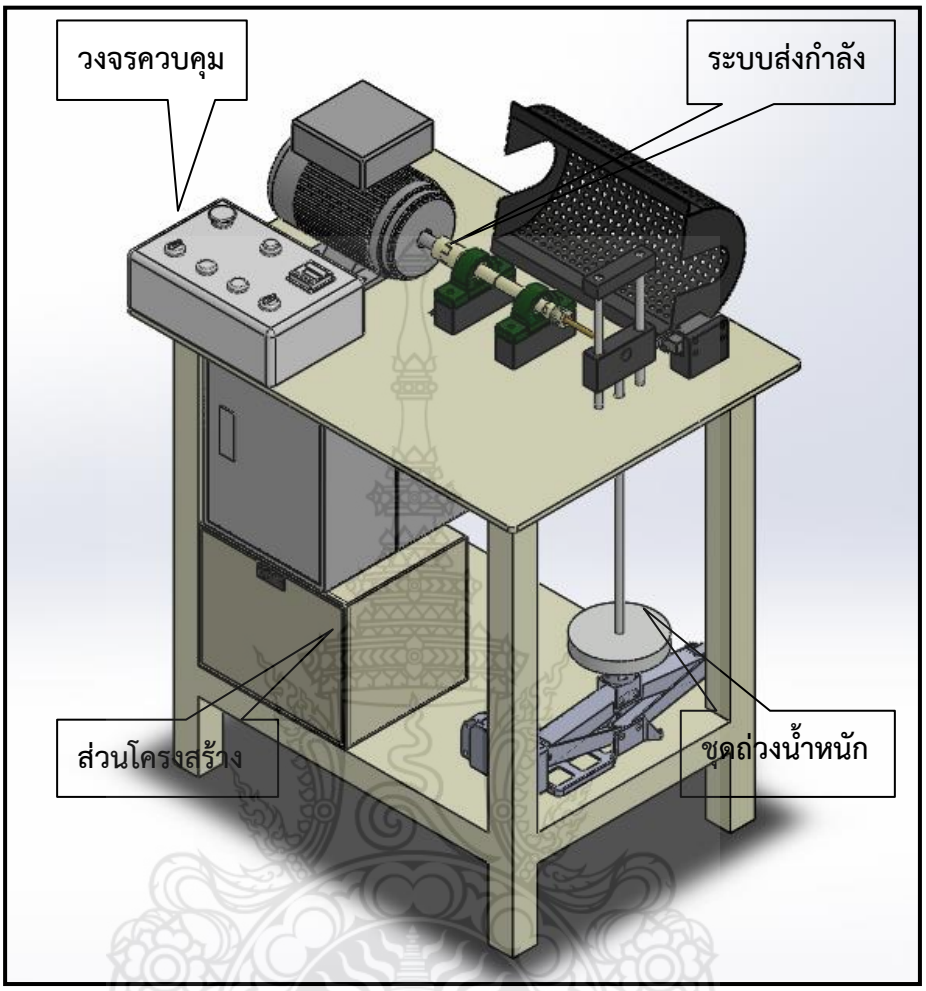
ในการออกแบบเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระสร้างขึ้นเพื่อใช้งานจริงในการทำการทดสอบความล้าตัวของวัสดุต่างๆ มีข้อที่พิจารณาดังนี้

1) ชิ้นส่วนประกอบหลักของเครื่อง ประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้ คือ โครงสร้างเครื่อง , วงจรควบคุม, ระบบส่งกำลัง และชุดถ่วงน้ำหนัก

2) เป็นเครื่องที่ใช้งานได้ง่าย ไม่ซับซ้อน

3) เครื่องทำงานเป็นระบบ โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้งาน

4) สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบความล้าตัวของวัสดุในห้องทดลองของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ



ภาพที่ 3-3 แสดงแนวทางโครงสร้างเครื่องทดสอบความล้าที่ออกแบบ

3.2.1 การคำนวณหาค่าแรงเค้นดัดสลับที่กระทำกับชิ้นงานทดสอบ

$$\sigma_{ba} = \frac{M_b}{W_b} = F.l/(\pi.d^3/32)$$ จากสมการที่ (2.1)

เมื่อ σ_{ba} คือ ความเค้นดัดสลับที่กระทำกับชิ้นงานทดสอบ (N/mm²)

F คือ ภาระแรงกระทำในการทดสอบ 100 N

L คือ ความยาวของชิ้นงานที่รับภาระแรงกระทำ = 100.5 mm

d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน = 8 mm

แทนค่าสมการที่ (2.1) $\sigma_{ba} = 100 \times 100.5/(\pi \times 8^3/32)$

$= 199.94\ N/mm^2$

3.2.2 การคำนวณหาค่า Torque

$$T = F \times R$$ จากสมการที่ (2.6)

เมื่อ T คือ แรงบิด (Nm)

F คือ แรงที่กระทำ = 300 N

R คือ รัศมีของเพลา = 4 mm

แทนค่าสมการที่ (2.6) T = 300 x 4 = 1,200 Nmm

= 1.2 Nm

3.2.3 การคำนวณหากำลังมอเตอร์

$$P = \frac{2 \times \pi \times T \times N}{60}$$ จากสมการที่ (2.7)

เมื่อ P คือ กำลังมอเตอร์ (W)

T คือ โมเมนต์แรงบิดของเพลา = 1.2 Nm

N คือ ความเร็วรอบมอเตอร์ = 2,800 rpm

แทนค่าสมการที่ (2.7) $P = \frac{2 \times 3.1416 \times 1.2 \times 2,800}{60}$

= 351.86 W หรือ 0.351 kW

เนื่องจากการทดสอบความล้ามีจำนวนรอบของการทดสอบหมุนดัดเป็นหลักแสนถึงหลักล้าน และใช้เวลานานทำให้มอเตอร์ทำงานหนักดังนั้นจึงเผื่อค่า Safety เพิ่มอีก 1 เท่า จึงใช้กำลังมอเตอร์ที่ 0.75 kW หรือ 1 แรงม้า

3.3 ดำเนินการสร้างเครื่องทดสอบความล้า

3.3.1 จัดซื้ออุปกรณ์ในการสร้างเครื่องทดสอบความล้า ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องทดสอบความล้า

ลำดับ	รายการ	จำนวน (หน่วย)
1	เหล็กกล่อง 2 x 2 นิ้ว ยาว 6 เมตร	2 เส้น
2	แผ่นปิดเหล็กกล่อง 2 x 2 นิ้ว	4 ชิ้น
3	เหล็กแผ่น 800 x 600 x 10 cm	1 แผ่น
4	เหล็กแผ่น 700 x 500 x 0.32 cm	1 แผ่น
5	ขายางตั้งโต๊ะ	4 ชิ้น
6	แม่แรงไฟฟ้า	1 ชุด
7	กล่องเก็บเครื่องมือ 250 x 300 x 250 cm	1 กล่อง
8	มอเตอร์ ขนาด 220 โวลต์ 0.75 kW	1 ตัว

9	คัปปลิ้ง	1 ชิ้น
10	ตลับลูกปืนตุ๊กตา	2 ตลับ
11	ตลับลูกปืน ø 8 mm	1 ตลับ
12	เพลาส่งกำลัง ø 20 x 22 cm	1 เส้น
13	ฐานรองตลับลูกปืนตุ๊กตา 38 x 128 x 46 mm	2 ชิ้น
14	ตัวประคองเสา 30 x 120 x 25 mm	1 ชิ้น
15	ตัวประคองตลับลูกปืน 30 x 120 x 60 mm	1 ชิ้น
16	ฐานลิมิตสวิตซ์ 40 x 80 x 70 mm	1 ชิ้น
17	ลิมิตสวิทช์	1 ชิ้น
18	สแตนเลส ø 12 mm ยาว 1 เมตร	1 เส้น
19	กล่องไฟ เบอร์ 0	2 กล่อง
21	กล่องไฟพลาสติก 200 x 300 x 100 mm	1 กล่อง
22	ตะแกรงฝาครอบ ยาว 370 mm	1 ชิ้น

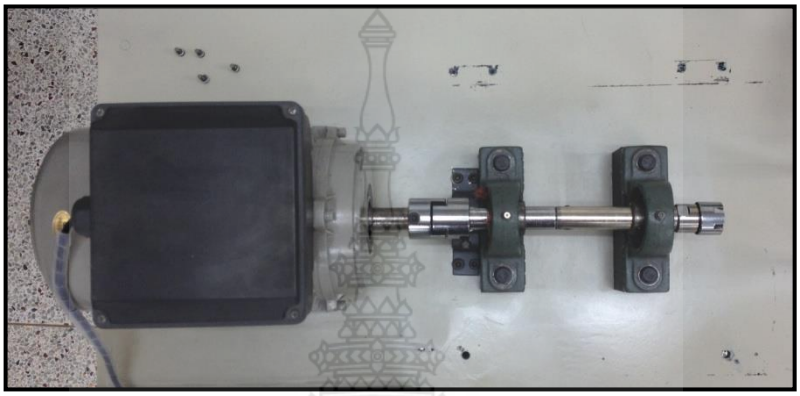
3.3.2 การทำโครงสร้างเครื่องทดสอบความล้า

ขนาดของเครื่องทดสอบ 500x700x830 mm โดยใช้วัสดุเหล็กกล่องขนาด 2x2 นิ้ว เป็นขาเครื่องทดสอบและขนาดของพื้นโต๊ะทดสอบ 800x600x10 mm

ภาพที่ 3-4 แสดงโครงสร้างเครื่องทดสอบความล้า

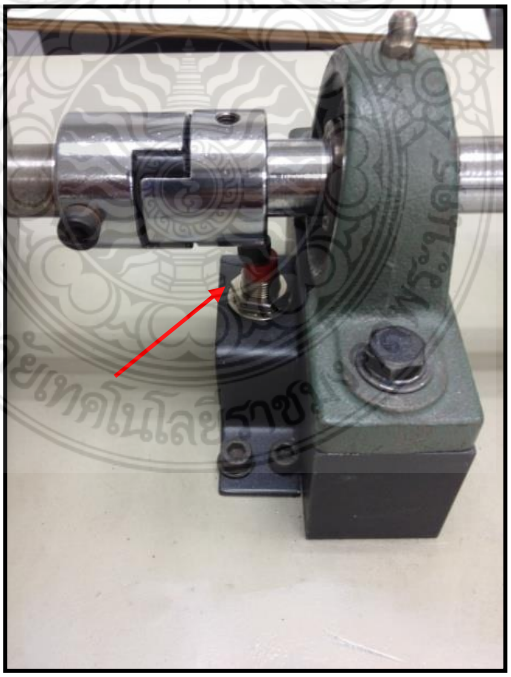
3.3.3 การติดตั้งมอเตอร์และเพลาส่งกำลัง

โดยหลังจากการขึ้นโครงสร้างได้ทำการเจาะรูขนาดต่างๆ เพื่อติดตั้งมอเตอร์และอุปกรณ์จับยึดตลับลูกปืนตุ๊กตา



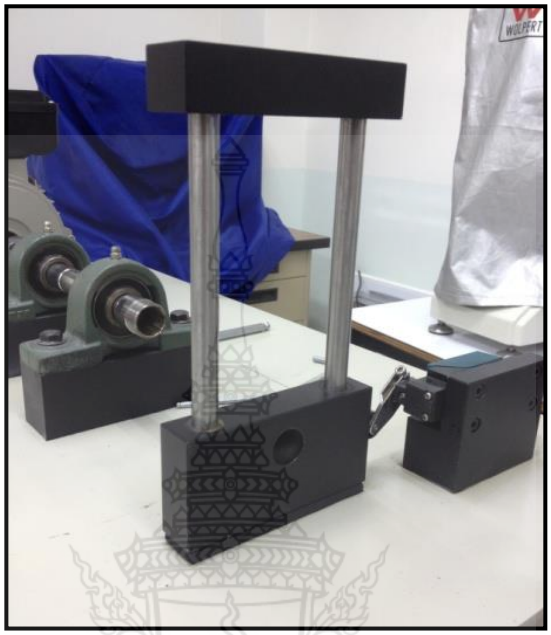
ภาพที่ 3-5 แสดงการติดตั้งมอเตอร์และเพลาส่งกำลัง

3.3.4 ติดตั้ง Sensor นับรอบมอเตอร์



ภาพที่ 3-6 แสดงการติดตั้ง Sensor นับรอบมอเตอร์

3.3.5 การติดตั้งชุดถ่วงน้ำหนักพร้อมลิมิตสวิตซ์



ภาพที่ 3-7 แสดงการติดตั้งชุดถ่วงน้ำหนักพร้อมลิมิตสวิตซ์

3.3.6 ตุ้มน้ำหนัก

ขนาดตุ้มน้ำหนักที่สามารถใช้ในการทดสอบมีขนาดต่างๆ ดังต่อไปนี้ 100 N, 50 N, 20 N, 10 N, 5 N รวมทั้งสิ้นมีตุ้มน้ำหนักทั้งหมดจำนวน 8 ตัว

ภาพที่ 3-8 แสดงขนาดต่างๆ ของตุ้มน้ำหนัก

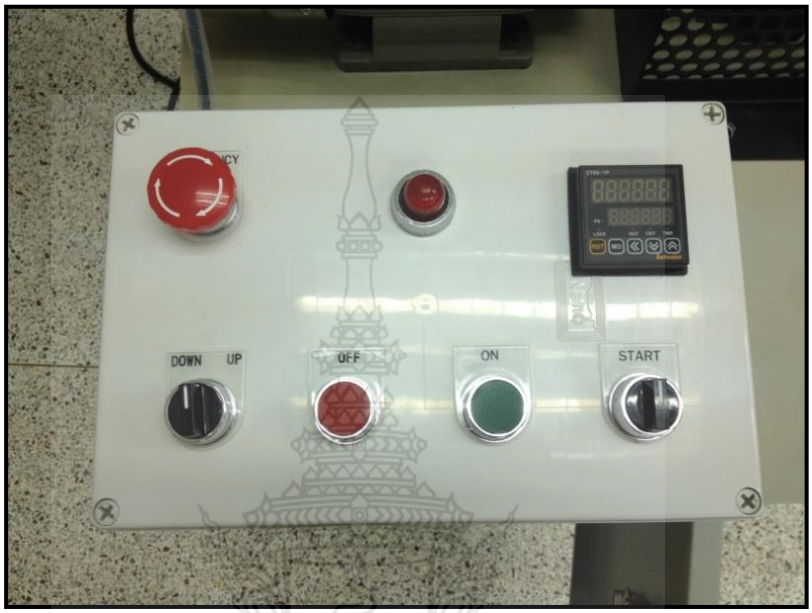
3.3.7 การติดตั้งแม่แรงไฟฟ้า

ภาพที่ 3-9 แสดงการติดตั้งแม่แรงไฟฟ้า

3.3.8 ติดตั้งตู้ไฟฟ้า

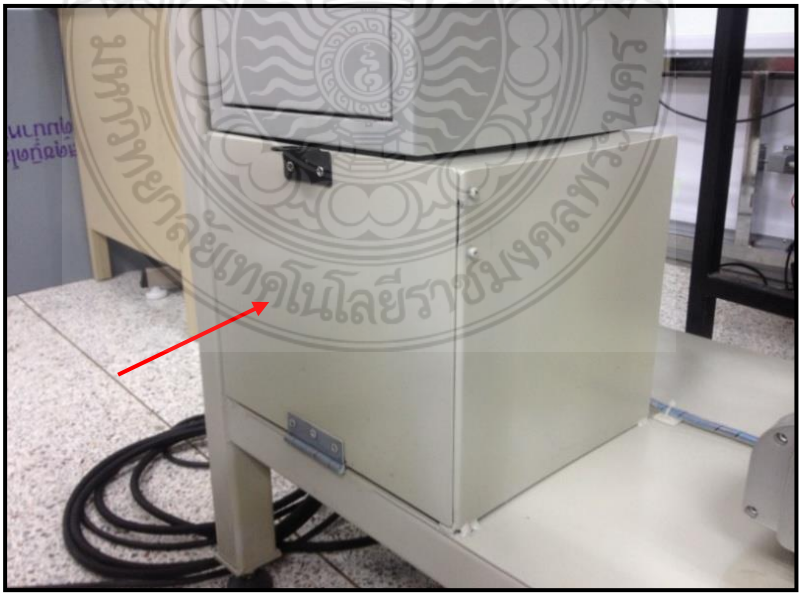
ภาพที่ 3-10 แสดงการติดตั้งตู้ไฟฟ้าเข้ากับคานใต้เครื่อง

3.3.9 ติดตั้งชุดกล่องควบคุมไฟฟ้าเข้ากับเครื่องทดสอบ



ภาพที่ 3-11 แสดงการติดตั้งชุดกล่องควบคุมไฟฟ้าเข้ากับเครื่องทดสอบ

3.3.10 ติดตั้งกล่องเก็บเครื่องมือ



ภาพที่ 3-12 แสดงการติดตั้งกล่องเก็บอุปกรณ์

3.3.11 ทำตะแกรงสำหรับครอบขณะทำการทดสอบ

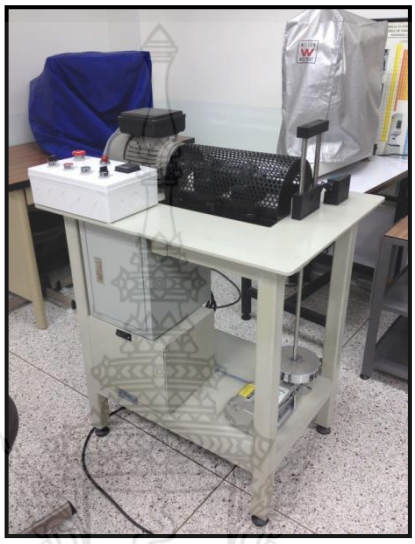
ภาพที่ 3-13 แสดงตะแกรงครอบ

3.3.12 ตรวจสอบและทำความสะอาดเครื่องทดสอบ

ภาพที่ 3-14 แสดงการตรวจสอบและทำความสะอาดเครื่องทดสอบ

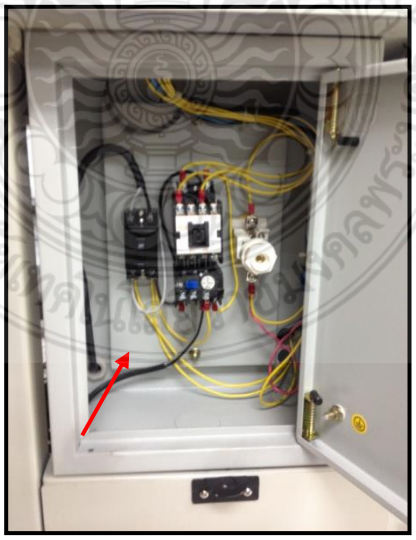
3.4 ทดสอบหาประสิทธิijาพเครื่อง

3.4.1 ตรวจสอบสภาพทั่วไปภายนอกของเครื่องทดสอบว่ามีความเสียหายหรือผิดปกติหรือไม่



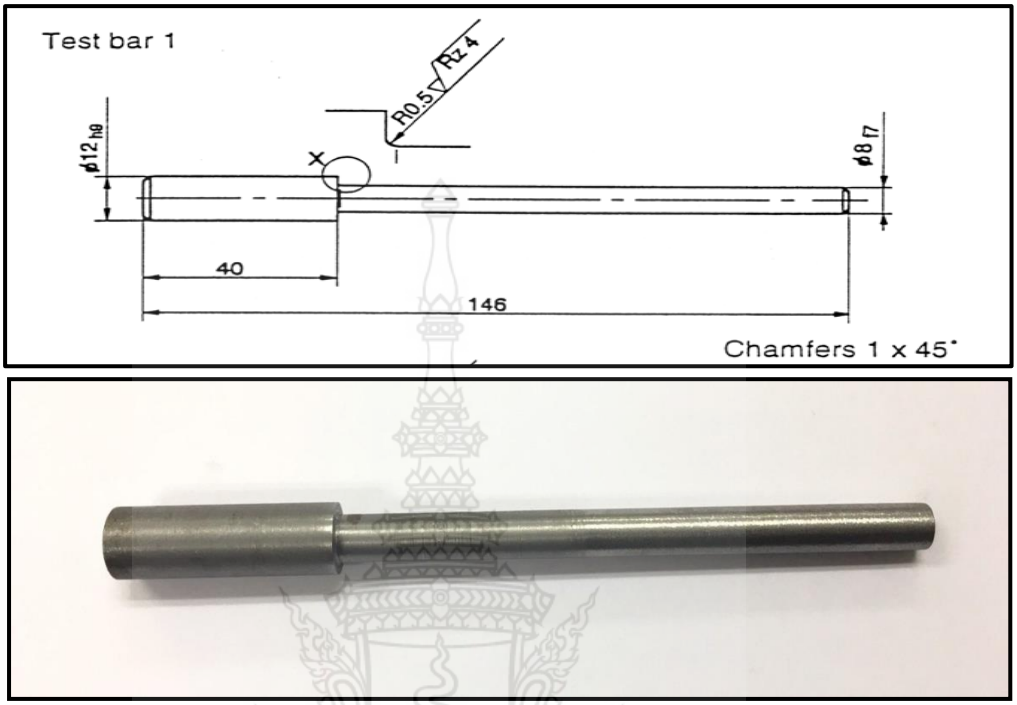
ภาพที่ 3-15 แสดงลักษณะภายนอกของเครื่องทดสอบ

3.4.2 ตรวจสอบการทำงานของเบรกเกอร์ว่ามีการทำงานผิดปกติหรือไม่



ภาพที่ 3-16 แสดงการตรวจสอบเบรกเกอร์

3.4.3 เตรียมชิ้นงานในการทดสอบ

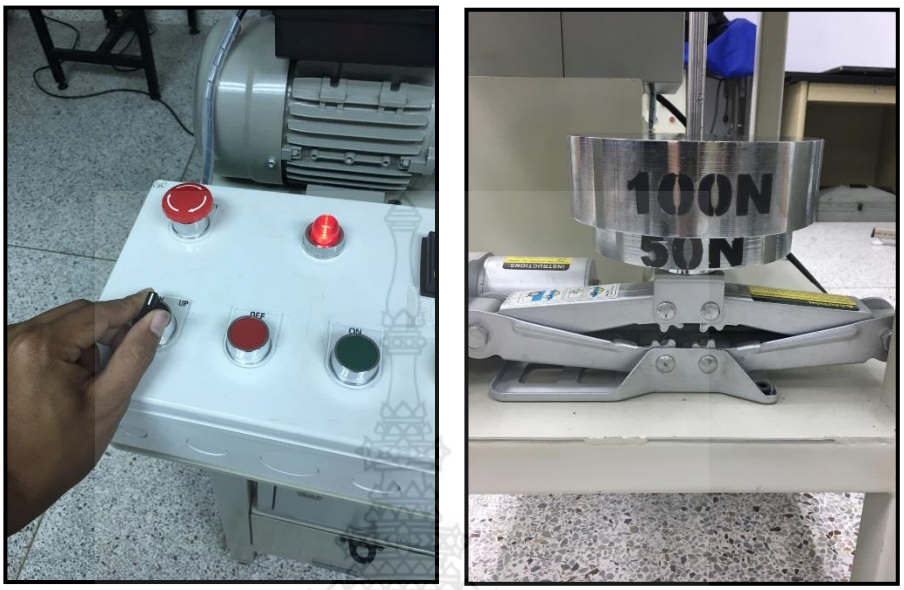


ภาพที่ 3-17 แสดงชิ้นงานในการทดสอบ

3.4.4 เตรียมการทดสอบ โดยทำการใส่ตุ้มน้ำหนักตามที่ต้องการ

ภาพที่ 3-18 แสดงวิธีการใส่ตุ้มน้ำหนักตามต้องการ

3.4.5 ควบคุมแม่แรงไฟฟ้าเพื่อให้ตุ้มเหล็กถ่วงน้ำหนักยกขึ้นตรงศูนย์ชิ้นงานทดสอบ

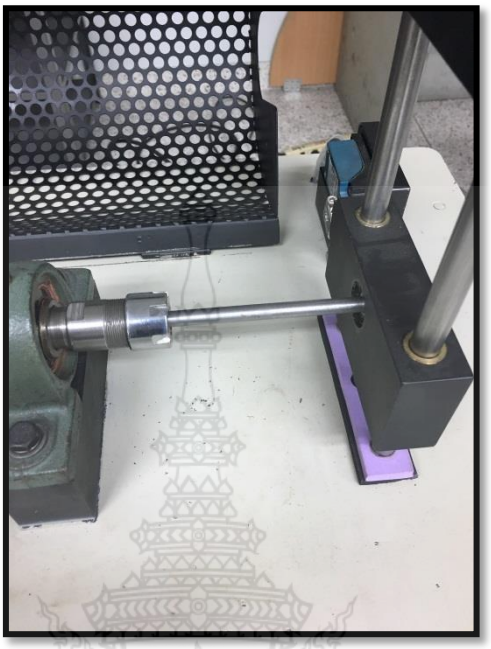


ภาพที่ 3-19 แสดงปุ่มควบคุมแม่แรงไฟฟ้าเพื่อให้ตุ้มเหล็กถ่วงน้ำหนักยกขึ้นตรงศูนย์ชิ้นงานทดสอบ

3.4.6 นำชิ้นงานใส่เครื่องทดสอบ

ภาพที่ 3-20 แสดงการนำชิ้นงานทดสอบใส่เครื่องทดสอบ

3.4.7 ตรวจสอบให้ชุดถ่วงน้ำหนักและชิ้นงานที่ทำการทดสอบตรงกัน



ภาพที่ 3-21 แสดงตำแหน่งของชิ้นงานทดสอบและชุดถ่วงน้ำหนัก

3.4.8 ใช้ประแจในการขันหัวจับชิ้นงาน

ภาพที่ 3-22 แสดงใช้ประแจในการขันหัวจับชิ้นงาน

3.4.9 ปิดฝาตะแกรงครอบส่วนเพลาและชิ้นงานทดสอบเพื่อกันชิ้นงานกระเด็น

ภาพที่ 3-23 แสดงการใช้ตะแกรงครอบปิดขณะจะทำการทดสอบ

3.4.10 กดปุ่ม Reset เพื่อให้หน้าจอของตัววัดรอบเป็นศูนย์

ภาพที่ 3-24 แสดงการ Reset หน้าจอ

3.4.11 กดปุ่ม ON เพื่อเริ่มการทำงานของมอเตอร์

ภาพที่ 3-25 แสดงการกดปุ่ม ON

3.4.12 บิดปุ่ม START เพื่อเริ่มทำการทดสอบ

ภาพที่ 3-26 แสดงการบิดปุ่ม START เพื่อเริ่มทำการทดสอบ

3.4.13 การทำงานของเครื่องขณะทำการทดสอบ

ภาพที่ 3-27 แสดงลักษณะการทำงานของเครื่องขณะทำการทดสอบ

3.4.14 ลักษณะการขาดของชิ้นงานทดสอบ

ภาพที่ 3-28 แสดงลักษณะการขาดของชิ้นงานทดสอบ

3.4.15 จดบันทึกจำนวนรอบที่ได้

ภาพที่ 3-29 แสดงผลจำนวนรอบของมอเตอร์เมื่อทำการทดสอบสำเร็จ

3.4.16 ชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบ

ภาพที่ 3-30 แสดงชิ้นงานทดสอบที่ได้จากการทดสอบ

3.4.1 อุปกรณ์เสริมในการทดสอบ

ภาพที่ 3-31 แสดงอุปกรณ์เสริมในการทดสอบ

3.5 สรุปและประเมินผล

3.5.1 ทำการทดสอบจากเครื่องมาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง

ภาพที่ 3-32 แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบความล้ามาตรฐาน

ตารางที่ 3-3 แสดงผลการทดสอบเครื่องทดสอบความล้าที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบความล้าที่ได้มาตรฐาน แรงกระทำ 150 N

วัสดุ / ชิ้นที่	**เดรื่องทดสอบความล้าที่สร้างขึ้น (จำนวนรอบที่ขาด)**	**เครื่องทดความล้าที่ได้มาตรฐาน (จำนวนรอบที่ขาด)**
1	29,099	29,378
2	29,818	29,556
3	29,166	28,879
4	29,753	29,654
5	28,986	28,566
6	29,356	28,875
7	28,882	29,640
8	29,564	28,842
9	28,891	29,426
10	29,405	28,988

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ขั้นตอนการทดสอบและการวิเคราะห์เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากเพราะเป็นสิ่งที่จะสามารถยืนยันได้ถึงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระที่สร้างขึ้นว่าเป็นไปตามขอบเขตและวัตถุประสงค์ของการวิจัยหรือไม่ โดยข้อมูลต่างๆ นี้ได้จากการทดสอบปฏิบัติจริงตามขั้นตอนทุกประการ ซึ่งรายละเอียดตารางการทดสอบและผลการทดสอบจะแสดงดังหัวข้อต่อไปนี้

4.1 ทดสอบประสิทธิภาพเครื่องทดสอบความล้าของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระที่สร้างขึ้น

จากตารางที่ 3-3 นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความล้าเพลาเหล็กกล้าของเครื่องทดสอบความล้าของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความล้าเพลาเหล็กกล้าของเครื่องทดสอบความล้าของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระที่ได้มาตรฐาน พบว่าข้อมูลต้องใช้การทดสอบทางสถิติประเภท 2 ประชากร ซึ่งข้อมูลนี้ไม่ทราบความแปรปรวนและ $n \leq 30$ ก่อนทำการวิเคราะห์ต้องเลือกประเภทของการทดสอบทางสถิติโดยต้องพิจารณาหาค่า σ_1^2, σ_2^2 เท่ากันหรือไม่ เพื่อเลือกใช้ประเภทของ t = test โดยการทดสอบแบบ F-test ผ่านโปรแกรม Minitab ดังต่อไปนี้

ตั้งสมมติฐานเพื่อการทดสอบ F-test

$H_0 : \sigma_1^2 / \sigma_2^2 = 1$ ค่าความแปรปรวนของประชากรทั้งสองเท่ากัน

$H_1 : \sigma_1^2 / \sigma_2^2 \neq 1$ ค่าความแปรปรวนของประชากรทั้งสองไม่เท่ากัน

คำนวณหาค่าความแปรปรวนโดยโปรแกรม Minitab ได้ผลดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 แสดงผลการทดสอบทางสถิติประเภท F-test

DF1	DF2	Test Statistic	P-value
9	9	0.76	0.689

สรุปผลการทดสอบ F-test

จากการคำนวณด้วยโปรแกรมไม่สามารถสรุปผลวิธีเดียวกับการคำนวณด้วยมือซึ่งโปรแกรมจะพิจารณาจากค่า P-value เมื่อ P-value > (α =0.05) แสดงว่าอยู่ในพื้นที่ยอมรับ (H_0) หรือ P-value < (α =0.05) จะอยู่ในพื้นที่ปฏิเสธ (H_1) ดังนั้นจากตารางที่ 4-1 ค่า P-value = 0.689 จะอยู่ในพื้นที่ยอม (H_0) แสดงว่าค่าความแปรปรวนของประชากรทั้ง 2 เท่ากัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จึงตั้งสมมติฐานเพื่อการทดสอบหาประสิทธิภาพเครื่องทดสอบความล้าของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระ

ตั้งสมมติฐานเพื่อการทดสอบ t-test ประเภท Pooled Variance

$H_0 : \mu =$ เครื่องทดสอบความล้าของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระที่สร้างขึ้นได้มาตรฐาน

$H_0 : \mu \neq$ เครื่องทดสอบความล้าของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระที่สร้างขึ้นไม่ได้มาตรฐาน

จากการคำนวณผ่านโปรแกรม Minitab ได้ผลดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 แสดงผลการทดสอบทางสถิติหาประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบความล้าของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระที่สร้างขึ้น เปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบความล้าที่ได้มาตรฐาน

เครื่องทดสอบความล้า	n	$\bar{X}$	$S.D.$	t-test	P-value
เครื่องที่สร้างขึ้น	10	29,292	342	0.68	0.507
เครื่องที่ได้มาตรฐาน	10	29,180	393		

สรุปผลการทดสอบ t-test

โดยนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองของเครื่องทดสอบความล้าทั้ง 2 เครื่อง มาวิเคราะห์สมมติฐานทางสถิติ จากตารางที่ 4-2 ค่า P-value = 0.507 จะตกอยู่ในพื้นที่ยอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) แสดงว่าเครื่องทดสอบความล้าของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระที่สร้างขึ้นใช้งานได้จริงเหมือนกับเครื่องทดสอบความล้าของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระที่มีมาตรฐาน

4.2 สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบชิ้นงานตามมาตรฐานของเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระที่ทำสร้างขึ้น จำนวน 10 ชิ้น และเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระที่ได้มาตรฐาน จำนวน 10 ชิ้น โดยใช้แรงกระทำ 150 N สำหรับการวิเคราะห์เพื่อทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Minitab ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าค่าที่ได้จากการทดลองเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุแบบหมุนดัดปลายอิสระที่ทำสร้างขึ้น ไม่มีความแตกต่างกับเครื่องที่ได้มาตรฐานจากต่างประเทศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งค่าทั้งหมดอยู่ในขอบเขตที่กำหนด

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลเพื่อสรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ ที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัย โดยมีรายละเอียด ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการสร้างเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระ พร้อมทั้งหาประสิทธิภาพของการทำงาน โดยใช้เพลาเหล็กกล้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานของเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระ ทำการทดสอบกับเครื่องทดสอบความล้าของวัสดุที่สร้างขึ้น จำนวน 10 ชิ้น และทดสอบเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระที่ได้มาตรฐาน จำนวน 10 ชิ้น โดยใช้แรงกระทำ 150 N สำหรับการวิเคราะห์เพื่อทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Minitab ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าค่าที่ได้จากการทดลองเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุแบบหมุนดัดปลายอิสระที่ทำสร้างขึ้น ไม่มีความแตกต่างกับเครื่องที่ได้มาตรฐานจากต่างประเทศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งค่าทั้งหมดอยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้

5.2 อภิปรายผล

เครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระที่ทำสร้างขึ้น มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระที่ได้มาตรฐานจากต่างประเทศ สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้ ทำให้สามารถลดงบประมาณค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุจากต่างประเทศ

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรพัฒนาต่อยอดเครื่องทดสอบความล้าที่สามารถใช้ทดสอบลักษณะงานแบบอื่น ๆ

5.3.2 ควรพัฒนต่อยอดเครื่องทดสอบความล้าให้สามารถผลิตเพื่อจำหน่ายเชิงพาณิชย์

บรรณานุกรม

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2558). *มอเตอร์*. ค้นเมื่อ 25 มิถุนายน 2557, จาก http://202.129.59.73/tn/motor10-52/motor3.htm.

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2558). *สวิตซ์*. ค้นเมื่อ 2 กรกฎาคม 2557, จาก http://202.129.59.73/tn/motor10-52/motor9.htm

เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล. (2504). *การศึกษางาน Work Study.* กรุงเทพฯ: ประกอบเมไตร.

ธิดาเดียว มยุรีสวรรค์. (2544). *สถิติสำหรับวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์.* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

แบริ่งเซ็นเตอร์. (2553). *ตลับลูกปืน*. ค้นเมื่อ 24 มิถุนายน 2557, จาก http://www.xn--12c3bncg1db8gscr.net

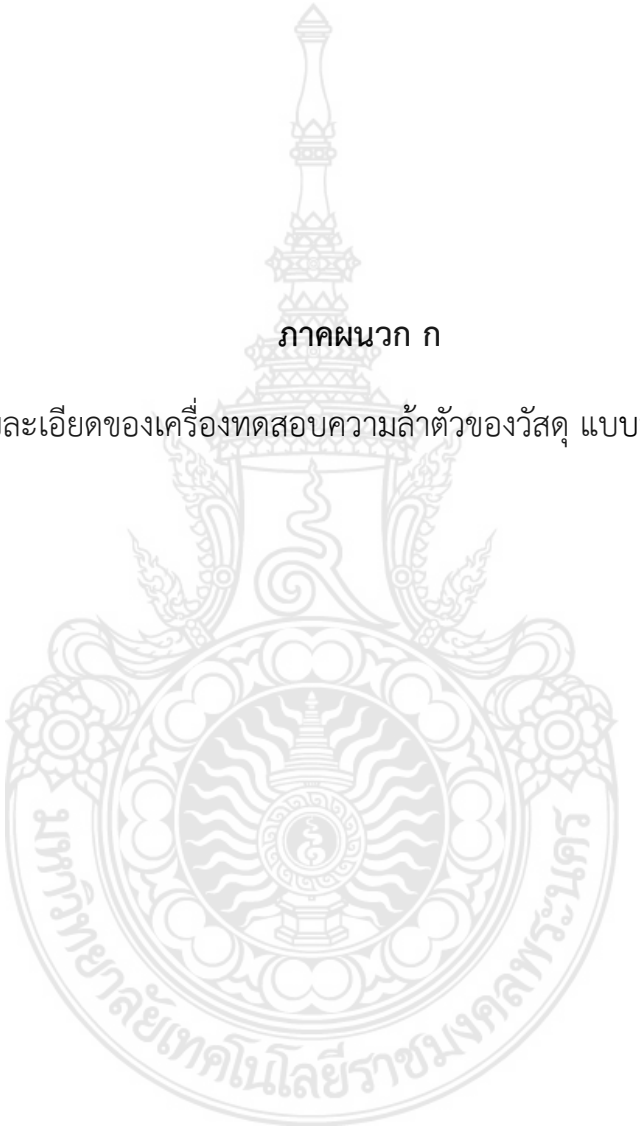
เพ็ญศรี รอดมา. (2551). *ความไม่แน่นอนของการวัด*. ค้นเมื่อ 2 กรกฎาคม 2557, จาก http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:hqPiOGtMBOUJ:hqPiOGtMBOUJ:dmsc2.dmsc.moph.go.th/webroot/suratthani/File/File_download/MU%2520clinical%2520pensri%25202008%25201.ppt+&cd=1&hl=th&ct=clnk&gl=th

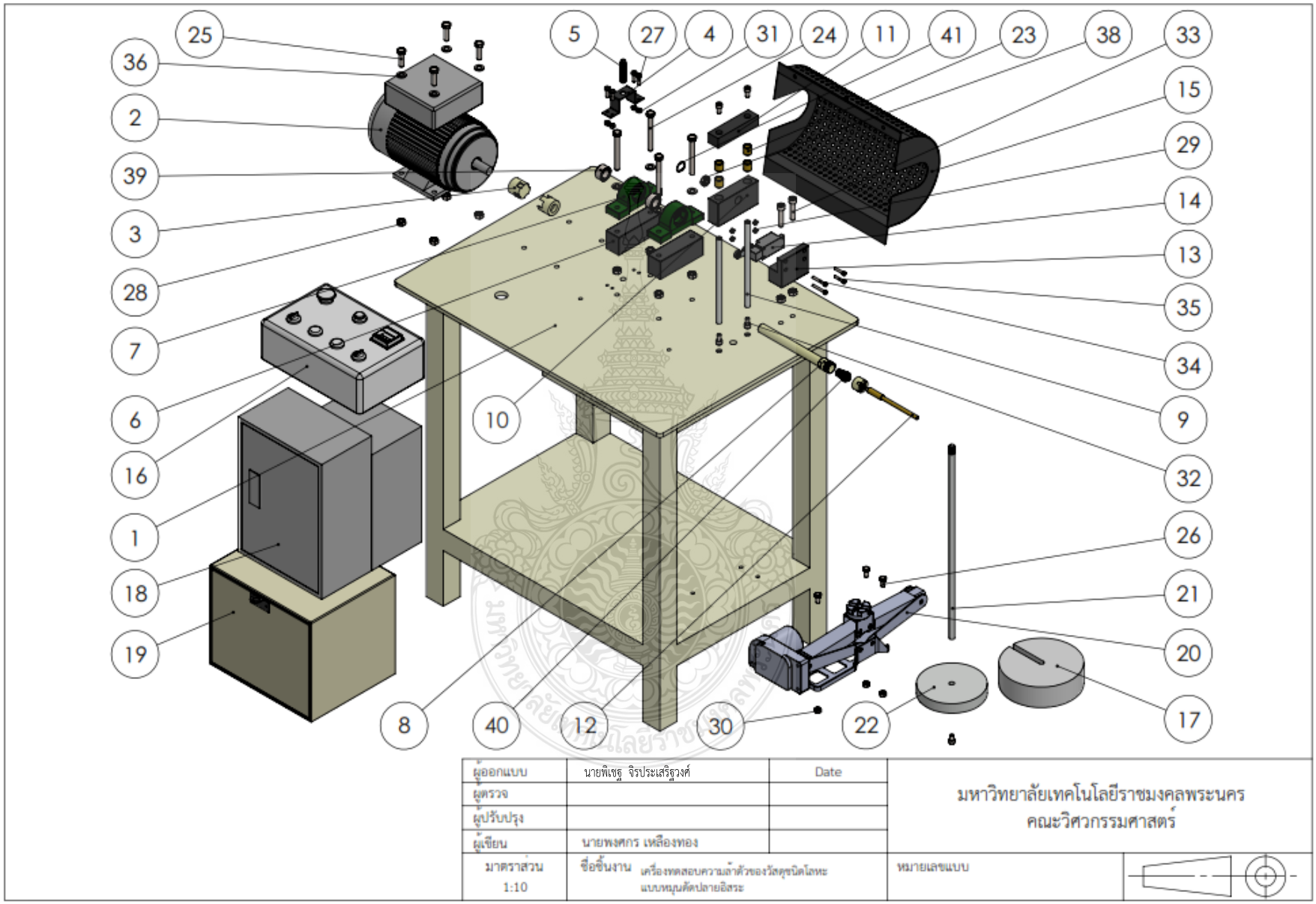
มานพ ตันตระบัณฑิตย์. (2549). *เขียนแบบวิศวกรรม*.(พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพฯ:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

มานพ ตันตระบัณฑิตย์. (2546). *วัสดุวิศวกรรม*.(พิมพ์ครั้งที่ 6). กรุงเทพฯ:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

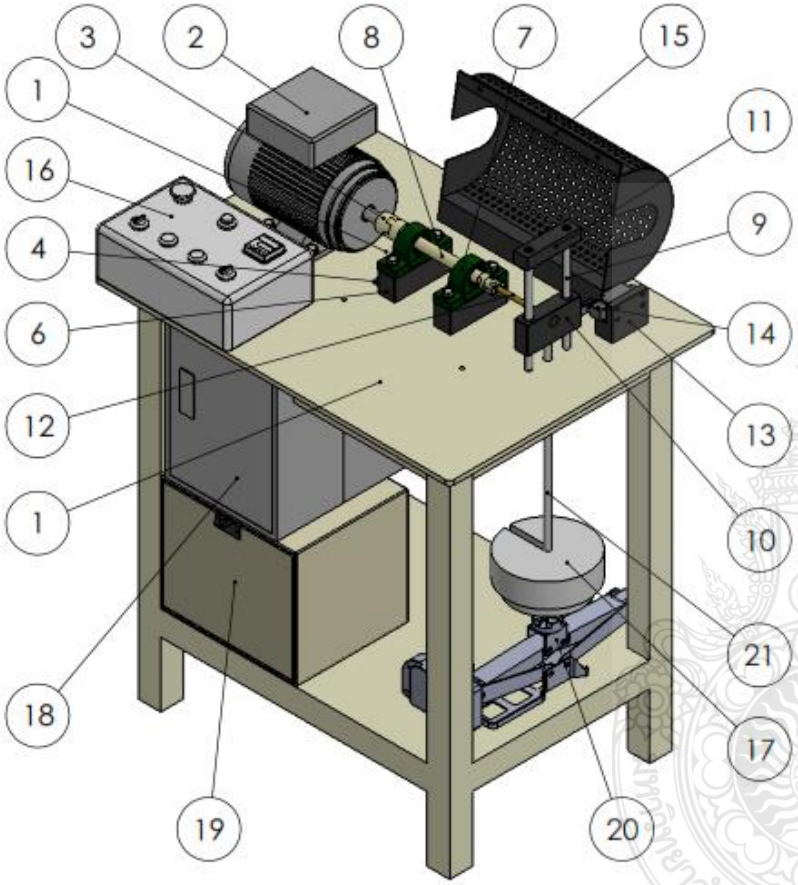
ภาคผนวก ก

แบบและรายละเอียดของเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระ





ภาพที่ ก-1 แสดงภาพสามมิติแยกชิ้น



ลำดับ	รายการ	วัสดุ	ขนาดวัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
22	ฐานรองตุ้มน้ำหนัก	ST-37	∅ 150x24.75	RBFTM 022	1
21	เสาตุ้มน้ำหนัก	AISI304	∅ 12.5x500	RBFTM 021	1
20	แม่แรงไฟฟ้า	-	-	RBFTM 020	1
19	กล่องเก็บอุปกรณ์	SS 400	303x258x253	RBFTM 019	1
18	ตู้ไฟ	-	-	RBFTM 018	1
17	ชุดตุ้มน้ำหนัก	ST-37	-	RBFTM 017	7
16	ชุดควบคุม	-	-	RBFTM 016	1
15	ตะแกรงฝาครอบเพลา	ST-37	270x370	RBFTM 015	1
14	ลิมิตสวิตช์	-	-	RBFTM 014	1
13	ฐานลิมิตสวิตช์	ST-37	80x40x70	RBFTM 013	1
12	ชิ้นงาน	C3604	∅ 12x146	RBFTM 012	1
11	ตัวยึดเสาประคอง	ST-37	120x30x125	RBFTM 011	1
10	ตลับลูกปืน 8mm.	ST-37	120x30x60	RBFTM 010	1
9	เสาประคองตลับลูกปืน	AISI304	∅ 12.5x219	RBFTM 009	2
8	ชุดเพลาส่งกำลัง	ST-37	∅ 24.25x211.5	RBFTM 008	1
7	ตลับลูกปืนตุ๊กตา	-	-	RBFTM 007	2
6	ฐานรองตลับลูกปืนตุ๊กตา	ST-37	128x38x46	RBFTM 006	2
5	พอกซ์นับรอบมอเตอร์	-	-	RBFTM 005	1
4	ฐานพอกซ์นับรอบมอเตอร์	AISI304	170x25	RBFTM 004	1
3	คัปปิ้ง	ST-37	∅ 35x50	RBFTM 003	1
2	มอเตอร์	-	-	RBFTM 002	1
1	โต๊ะ	ST-37/SS 400	800x600x820	RBFTM 001	1

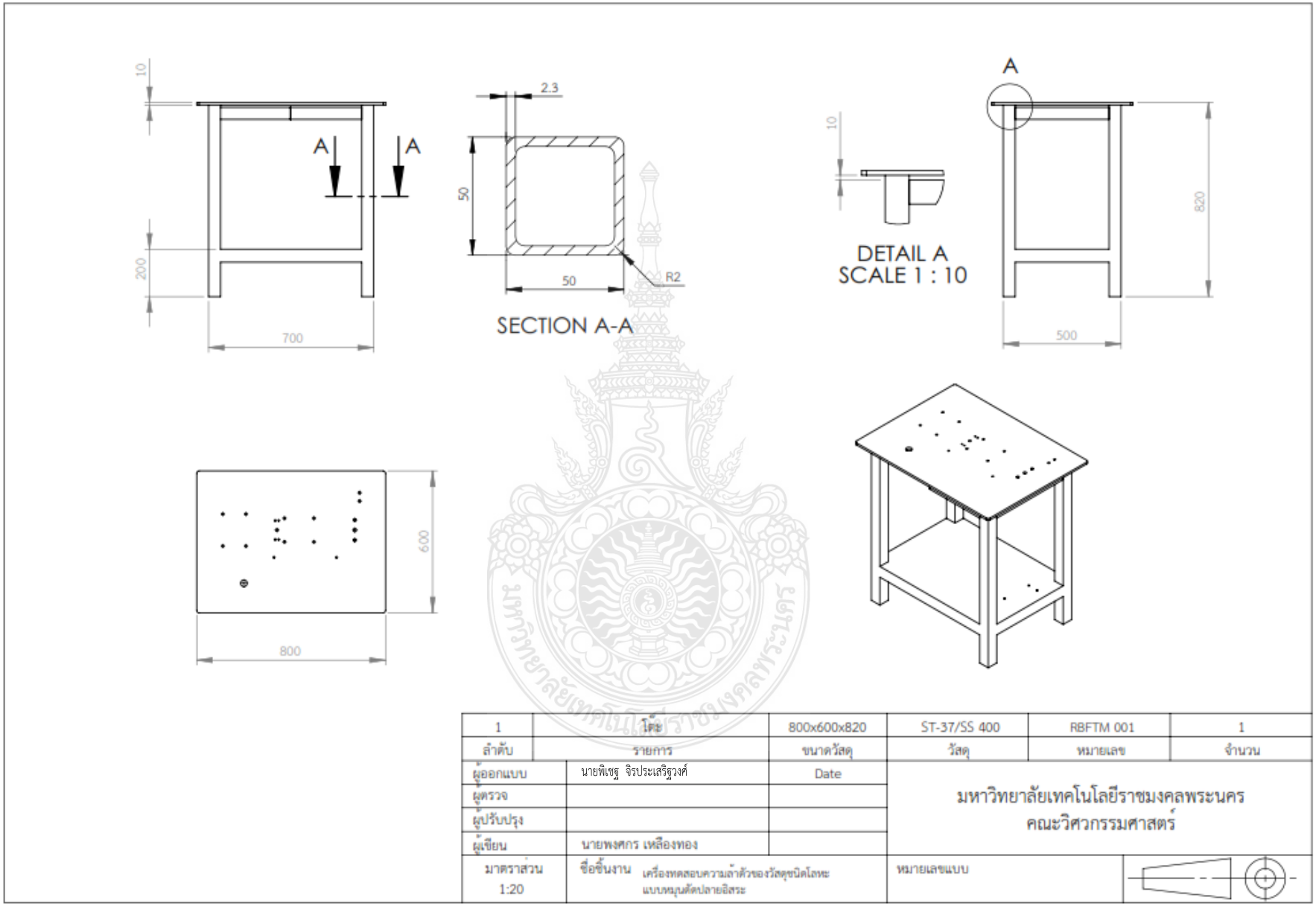
ผู้ออกแบบ	นายพิเชฐ จิรประเสริฐวงศ์	Date	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ตรวจ			
ผู้ปรับปรุง			
ผู้เขียน	นายพงศกร เหลืองทอง		
มาตราส่วน 1:10	ชื่อชิ้นงาน เครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุชนิดโลหะแบบหมุนดัดปลายอิสระ		หมายเลขแบบ

ภาพที่ ก-2 แสดงภาพสามมิติประกอบ

ลำดับ	รายการ	วัสดุ	ขนาดวัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
41	Internal retaining ring	-	M23	RBFTM 041	1
40	Collet	-	M12	RBFTM 040	1
39	Bearing	-	20x32x16	RBFTM 039	2
38	Ball bearing	-	8x22x7	RBFTM 038	1
37	Knobs	-	M8x15	RBFTM 037	2
36	Plain washer	ST-37	M10	RBFTM 036	8
35	Hex SHCS	ST-37	M5x25	RBFTM 035	2
34	Hex SHCS	ST-37	M5x35	RBFTM 034	2
33	Hex SHCS	ST-37	M10x45	RBFTM 033	2
32	Hex SHCS	ST-37	M8x16	RBFTM 032	5
31	Hex nut	ST-37	M6	RBFTM 031	4
30	Hex nut	ST-37	M8	RBFTM 030	3
29	Hex nut	ST-37	M5	RBFTM 029	4
28	Hex nut	ST-37	M10	RBFTM 028	10
27	Hex screw	ST-37	M6x20	RBFTM 027	4
26	Hex screw	ST-37	M8x16	RBFTM 026	3
25	Hex screw	ST-37	M10x35	RBFTM 025	4
24	Hex screw	ST-37	M10x90	RBFTM 024	4
23	Bushing Brass	BC6C	12.5x18x18	RBFTM 023	4

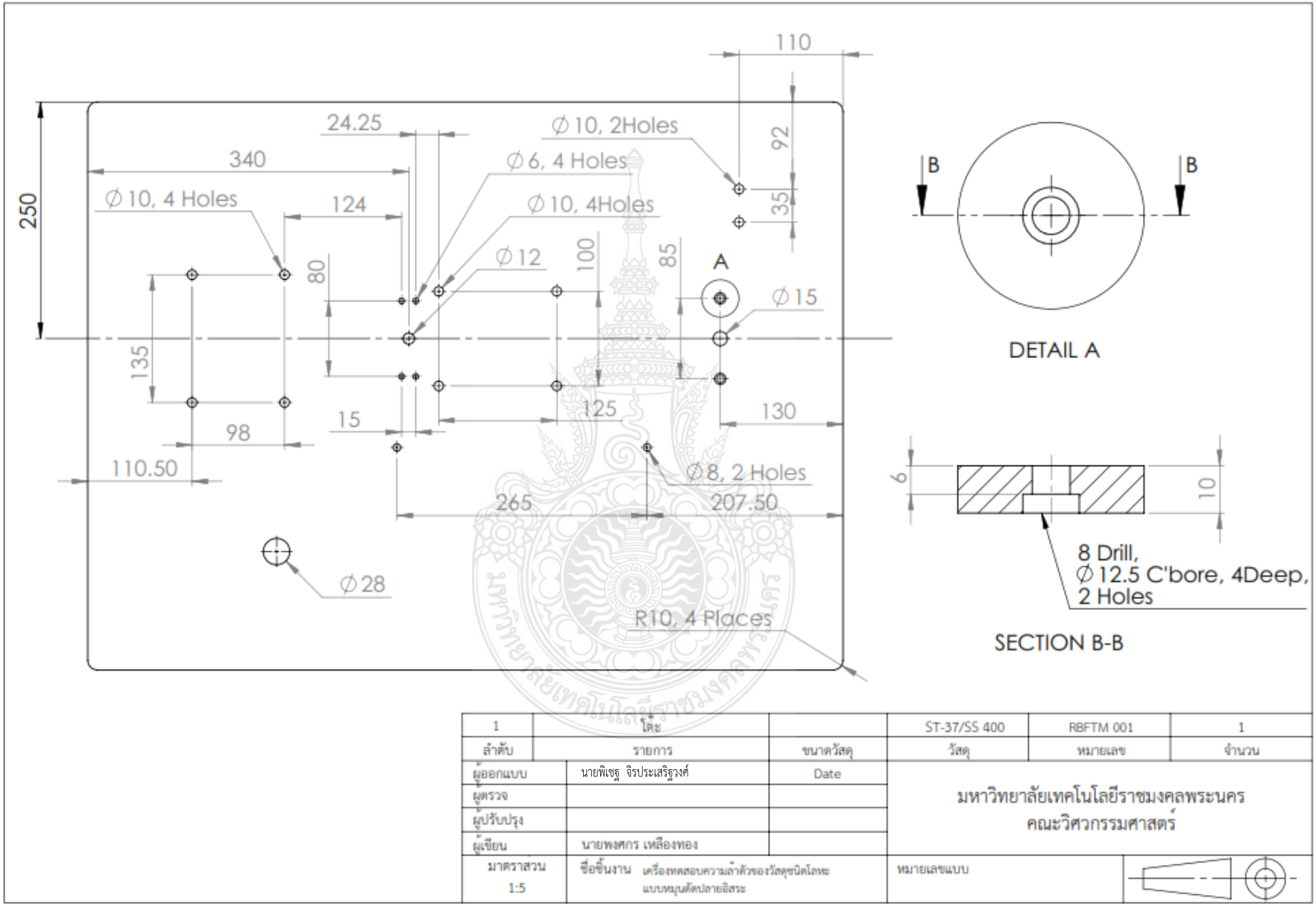
ผู้ออกแบบ	นายพิเชฐ จิรประเสริฐวงศ์	Date	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ตรวจ			
ผู้ปรับปรุง			
ผู้เขียน	นายพงศกร เหลืองทอง		
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน เครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุชนิดโลหะแบบหมุนดัดปลายอิสระ		หมายเลขแบบ

ภาพที่ ก-3 แสดง Standard Part

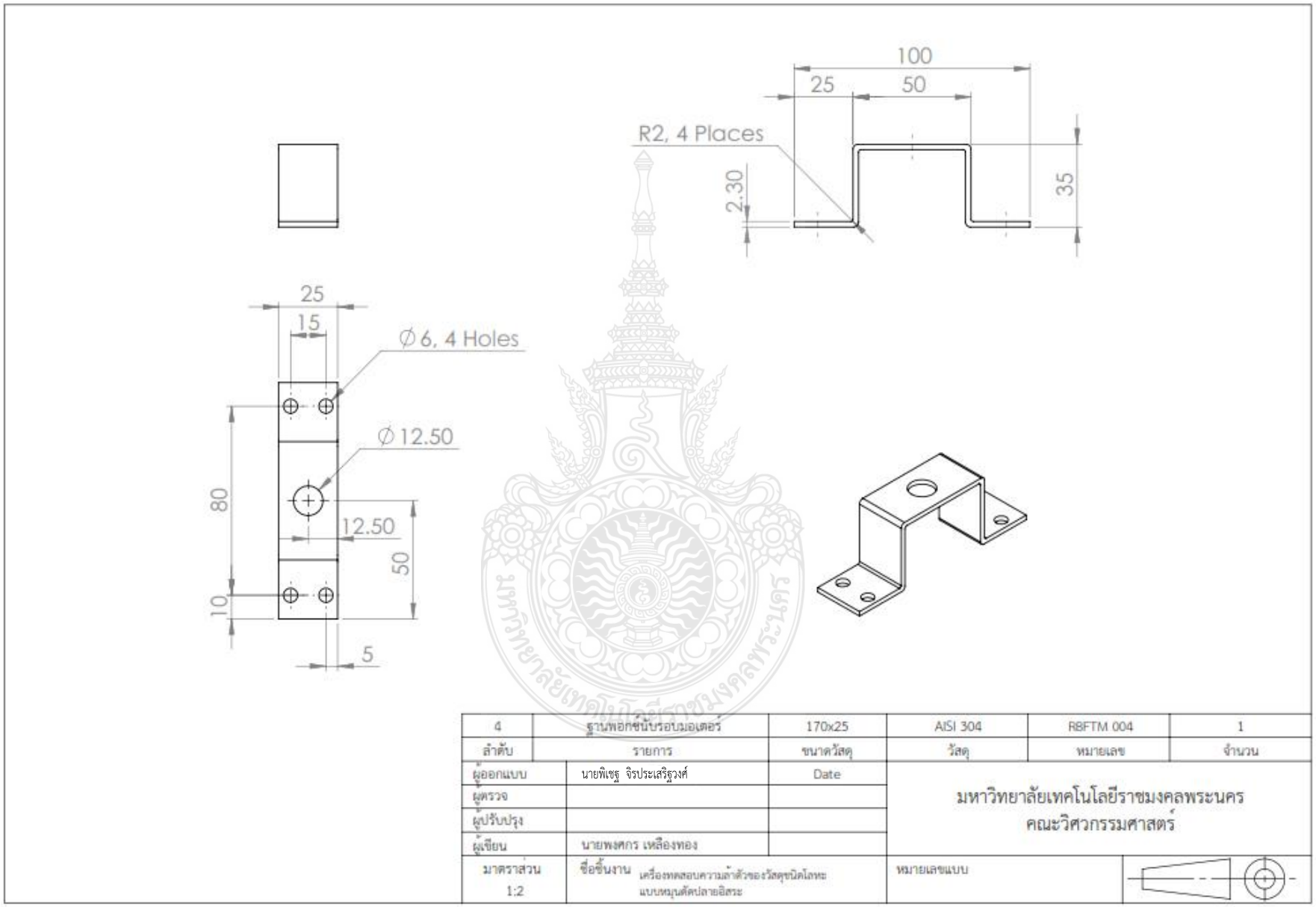


1	โต๊ะ	800x600x820	ST-37/SS 400	RBFTM 001	1
ลำดับ	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลข	จำนวน
ผู้ออกแบบ	นายพิเชฐ จิรประเสริฐวงศ์	Date	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์		
ผู้ตรวจ					
ผู้ปรับปรุง					
ผู้เขียน	นายพงศกร เหลืองทอง				
มาตราส่วน 1:20	ชื่อชิ้นงาน เครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุชนิดโลหะแบบหมุนดัดปลายอิสระ		หมายเลขแบบ		

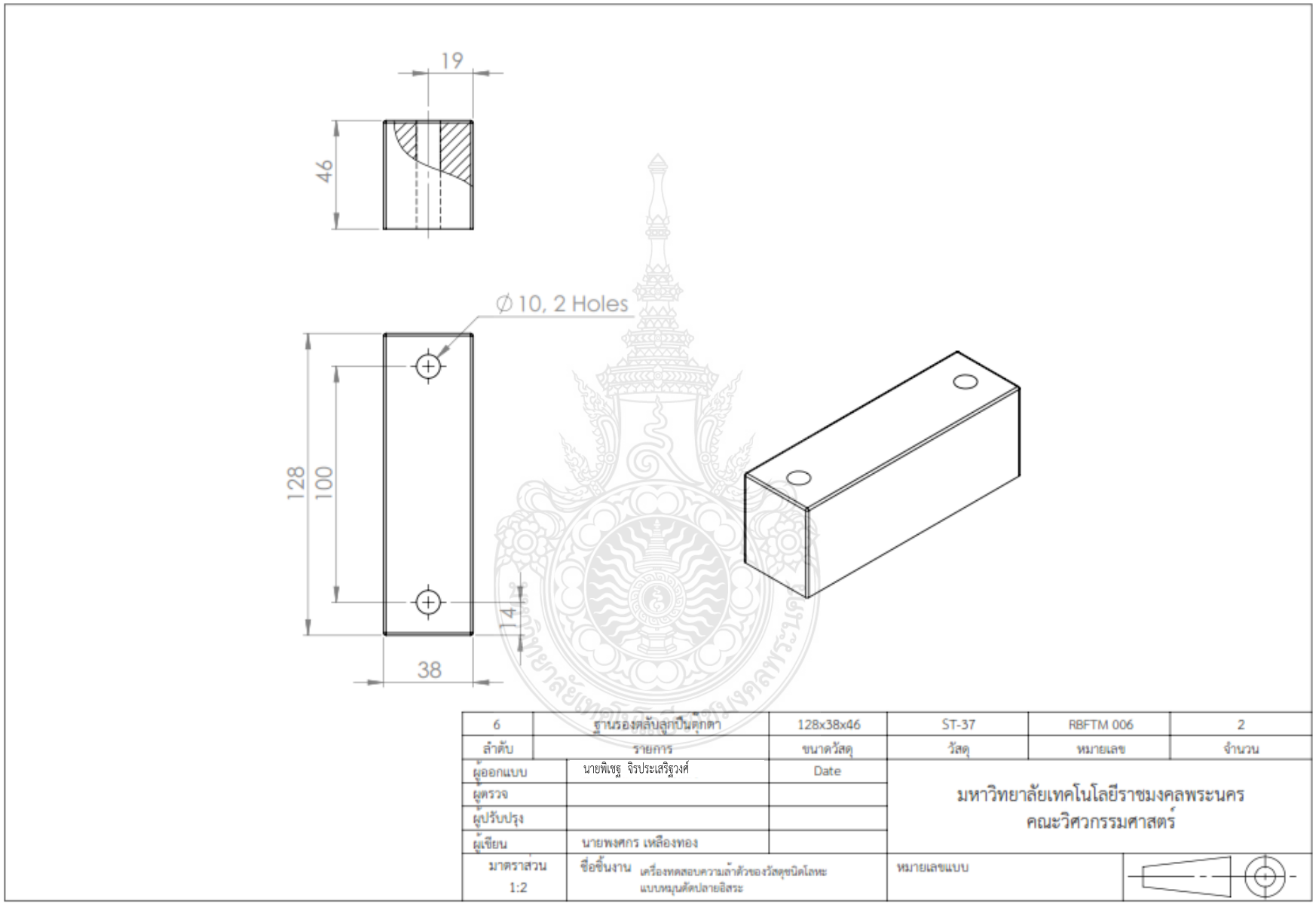
ภาพที่ ก-4 แสดงโต๊ะ



ภาพที่ ก-5 แสดงโต๊ะ

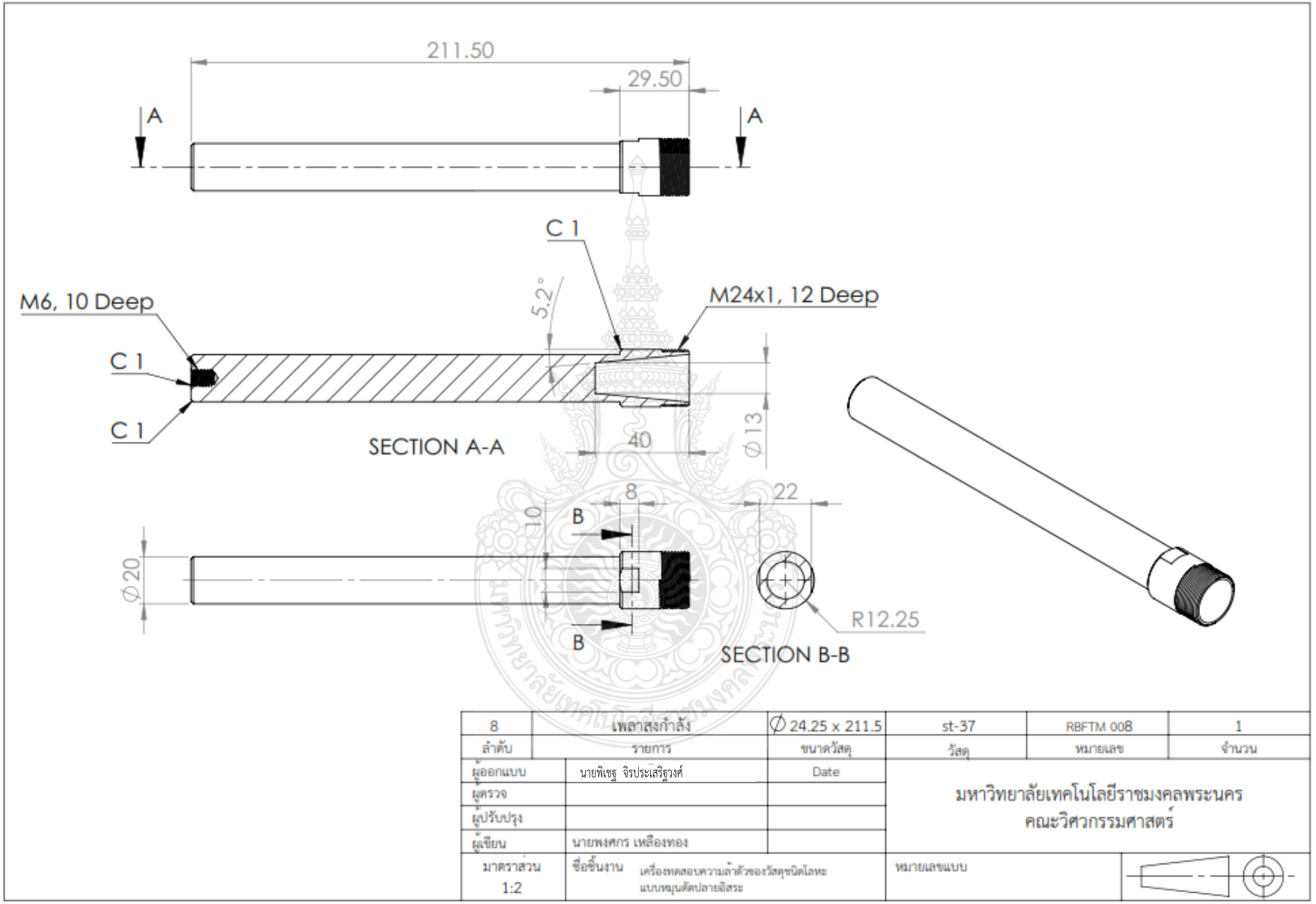


ภาพที่ ก-6 แสดงฐานพอกซ์นับรอบมอเตอร์

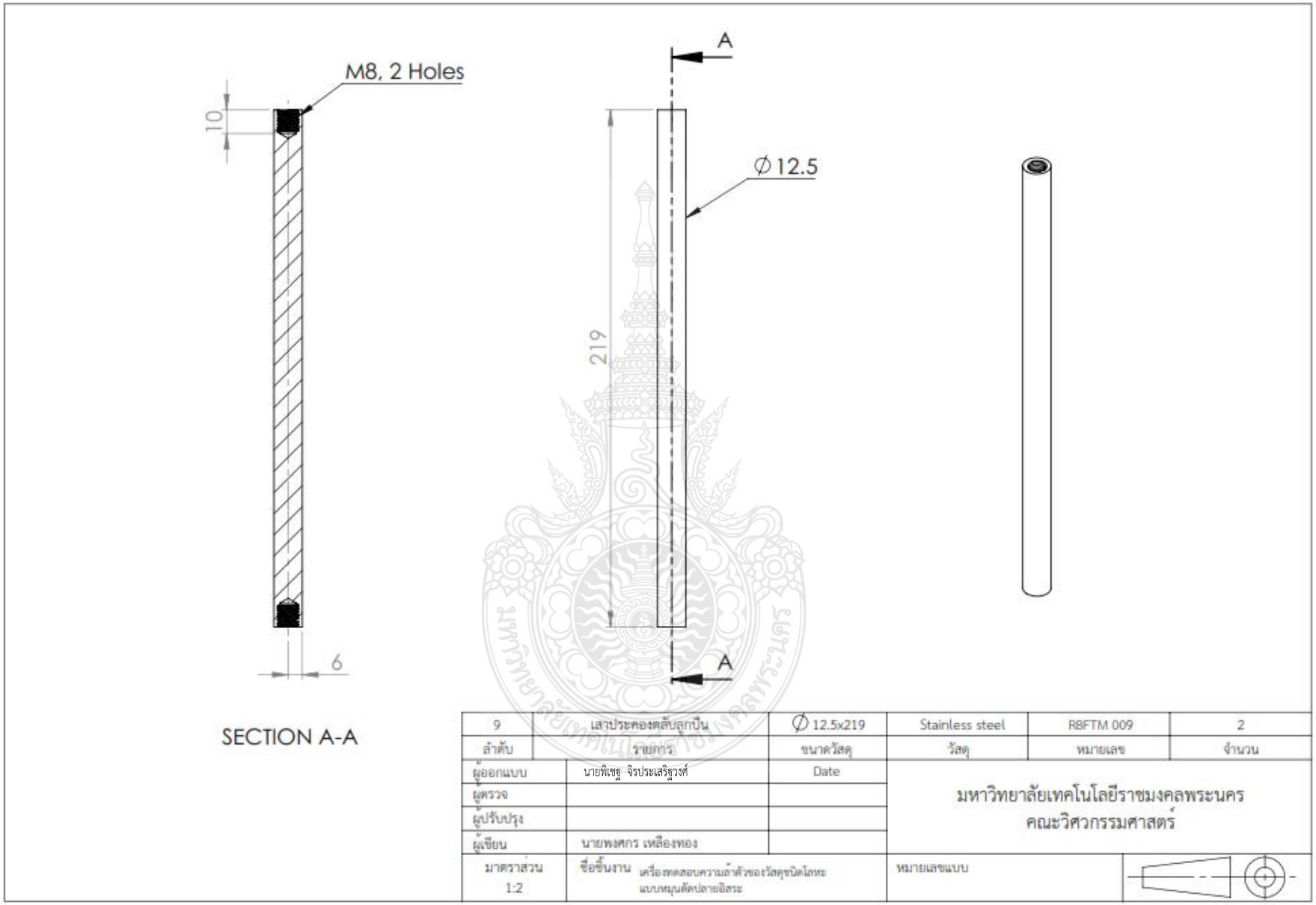


6	ฐานรองตลับลูกปืนตุ๊กตา	128x38x46	ST-37	RBFTM 006	2
ลำดับ	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลข	จำนวน
ผู้ออกแบบ	นายพิเชฐ จิรประเสริฐวงศ์	Date	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์		
ผู้ตรวจ					
ผู้ปรับปรุง					
ผู้เขียน	นายพงศกร เหลืองทอง				
มาตราส่วน 1:2	ชื่อชิ้นงาน เครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุชนิดโลหะแบบหมุนดัดปลายอิสระ		หมายเลขแบบ		

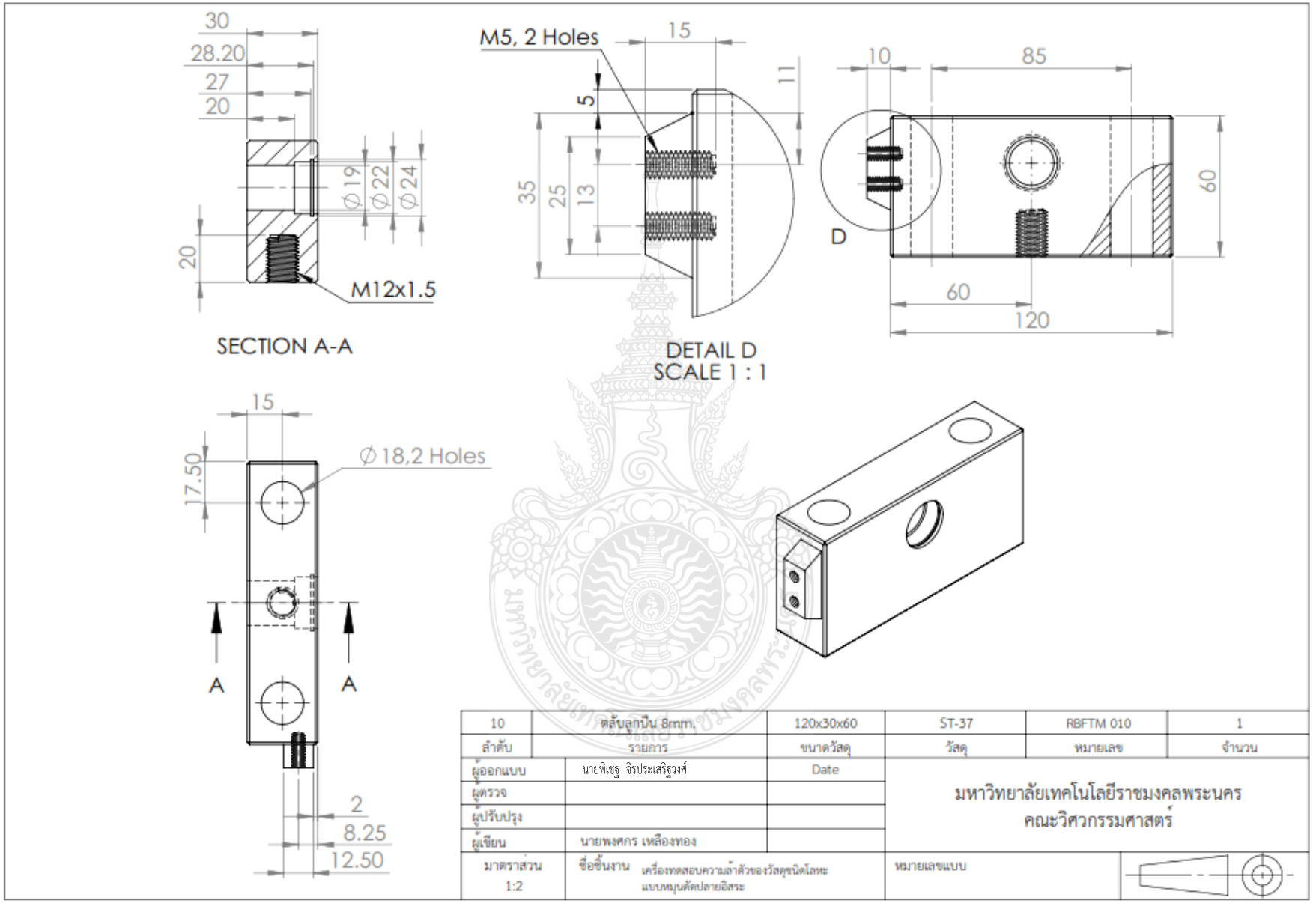
ภาพที่ ก-7 แสดงฐานรองตลับลูกปืนตุ๊กตา



ภาพที่ ก-8 แสดงเพลาส่งกำลัง

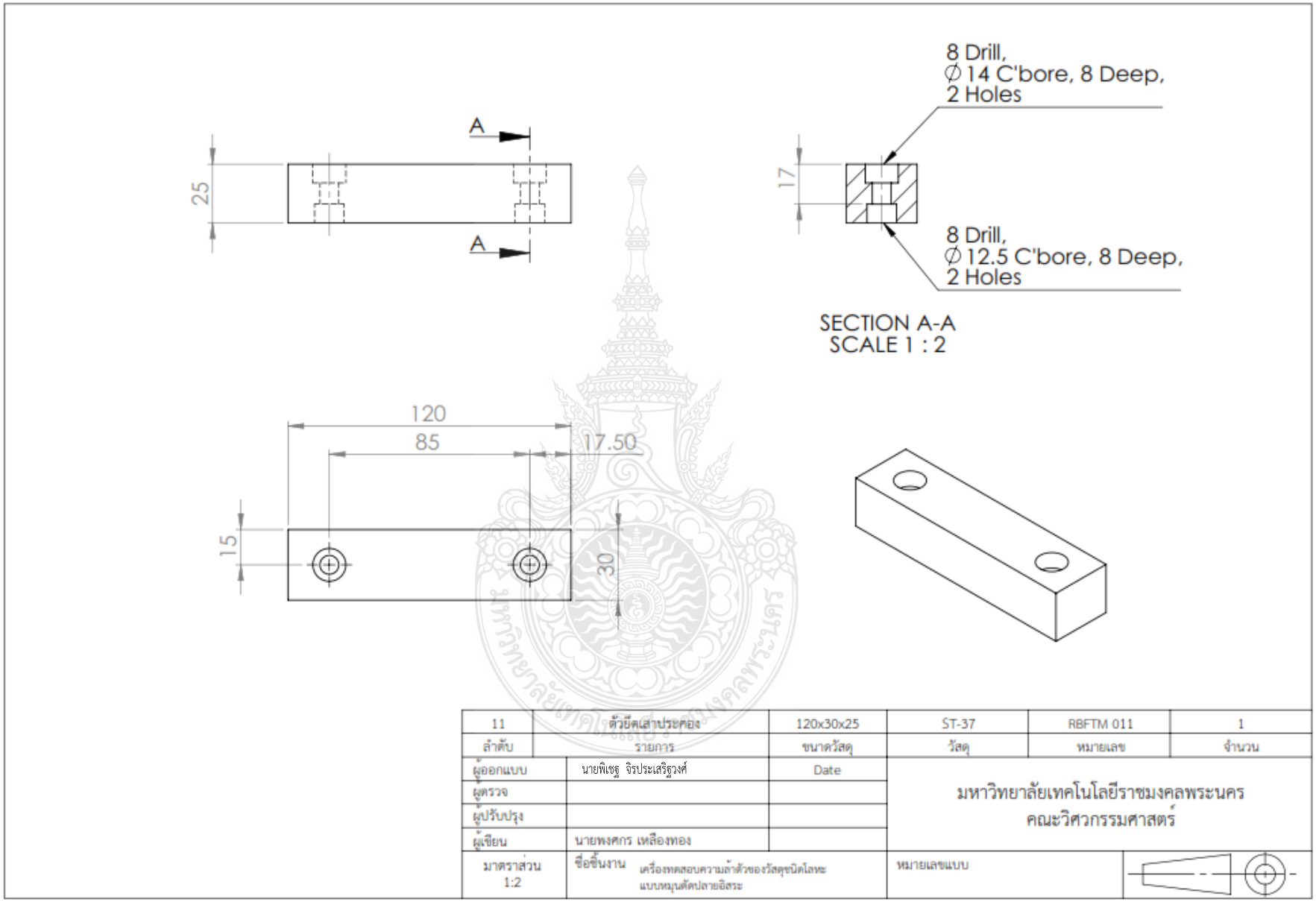


ภาพที่ ก-9 แสดงเสาประคองตลับลูกปืน 8 mm

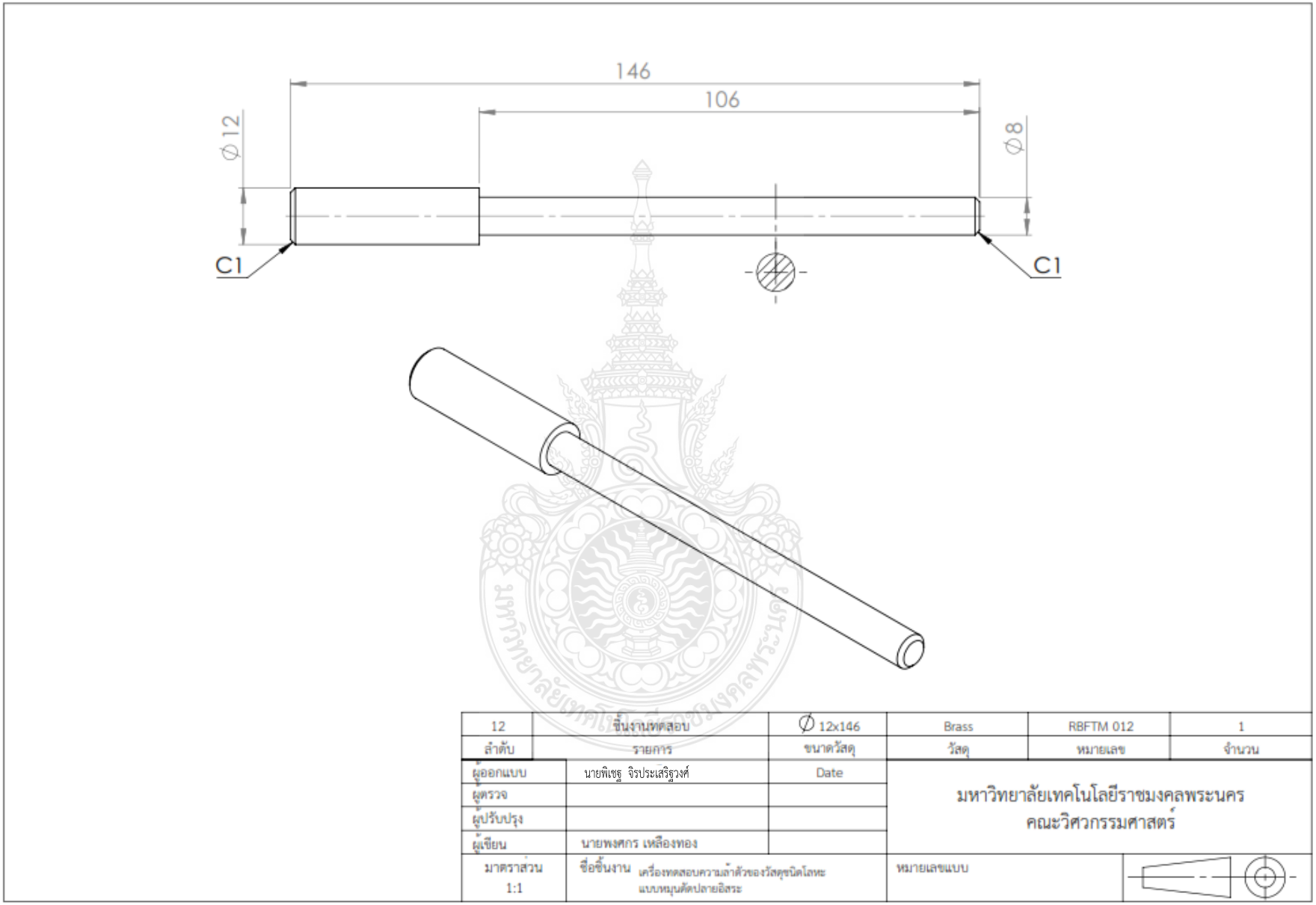


10	ตลับลูกปืน 8mm.	120x30x60	ST-37	RBFTM 010	1
ลำดับ	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลข	จำนวน
ผู้ออกแบบ	นายพิเชฐ จิรประเสริฐวงศ์	Date	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์		
ผู้ตรวจ					
ผู้ปรับปรุง					
ผู้เขียน	นายพงศกร เหลืองทอง				
มาตราส่วน 1:2	ชื่อชิ้นงาน เครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุชนิดโลหะแบบหมุนดัดปลายอิสระ		หมายเลขแบบ		

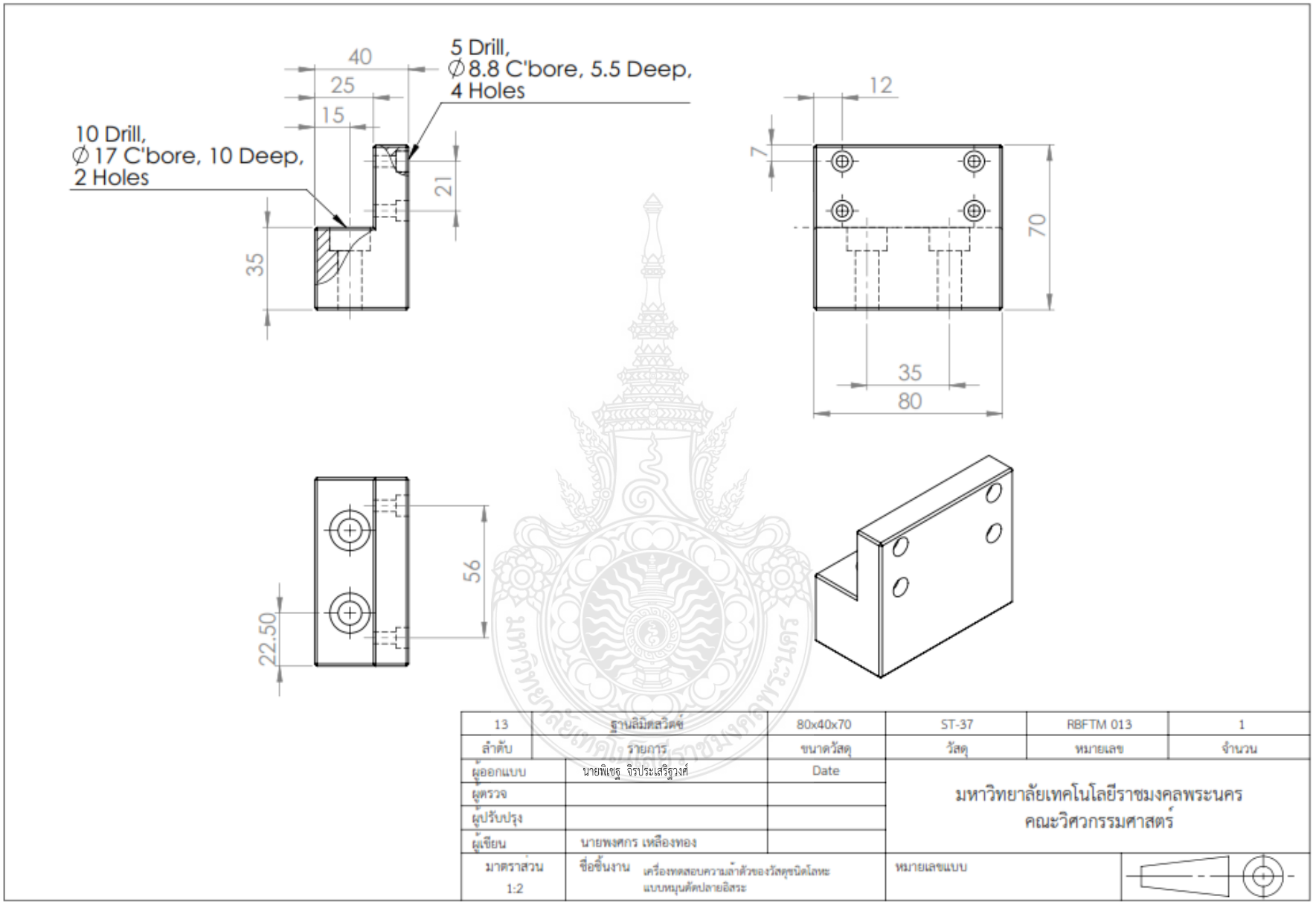
ภาพที่ ก-10 แสดงตลับลูกปืน 8 mm



ภาพที่ ก-11 แสดงตัวยึดเสาตลับลูกปืน

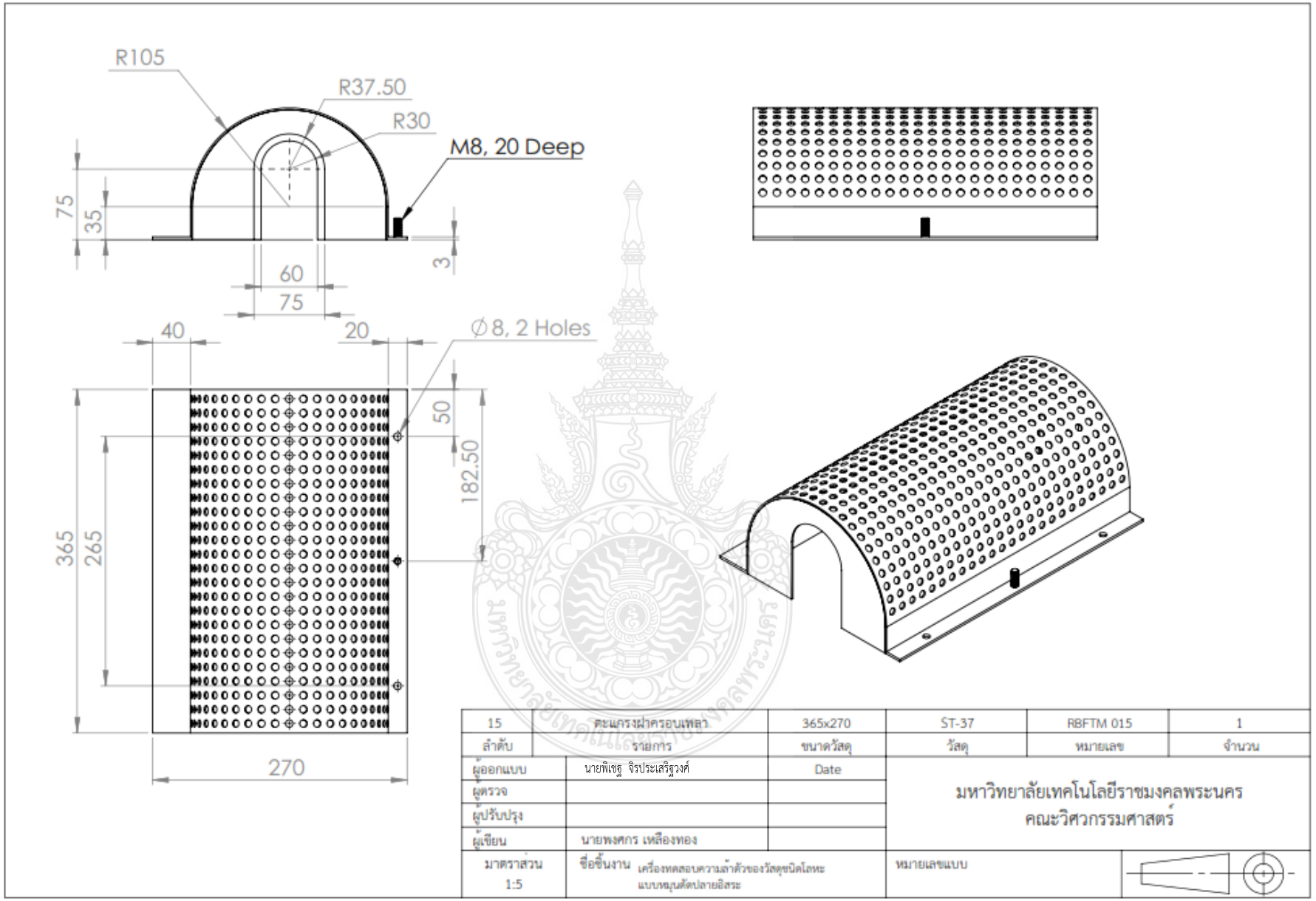


ภาพที่ ก-12 แสดงชิ้นงานทดสอบ



13	ฐานลิมิตสวิตช์	80x40x70	ST-37	RBFTM 013	1
ลำดับ	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลข	จำนวน
ผู้ออกแบบ	นายพิเชฐ จิรประเสริฐวงศ์	Date	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์		
ผู้ตรวจ					
ผู้ปรับปรุง					
ผู้เขียน	นายพงศกร เหลืองทอง				
มาตราส่วน 1:2	ชื่อชิ้นงาน เครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุชนิดโลหะแบบหมุนดัดปลายอิสระ		หมายเลขแบบ		

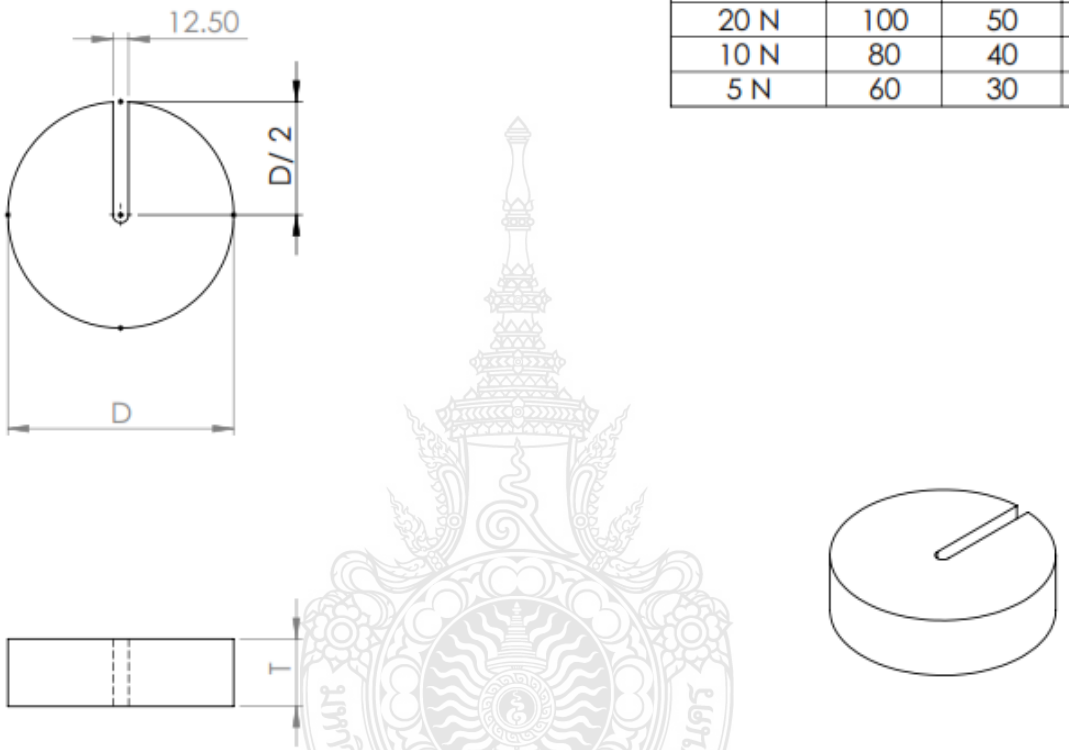
ภาพที่ ก-13 แสดงฐานลิมิตสวิตช์



15	ตะแกรงฝาครอบเพลา	365x270	ST-37	RBFTM 015	1
ลำดับ	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลข	จำนวน
ผู้ออกแบบ	นายพิเชฐ จิรประเสริฐวงศ์	Date	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์		
ผู้ตรวจ					
ผู้ปรับปรุง					
ผู้เขียน	นายพงศกร เหลืองทอง				
มาตราส่วน 1:5	ชื่อชิ้นงาน เครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุชนิดโลหะแบบหมุนดัดปลายอิสระ		หมายเลขแบบ		

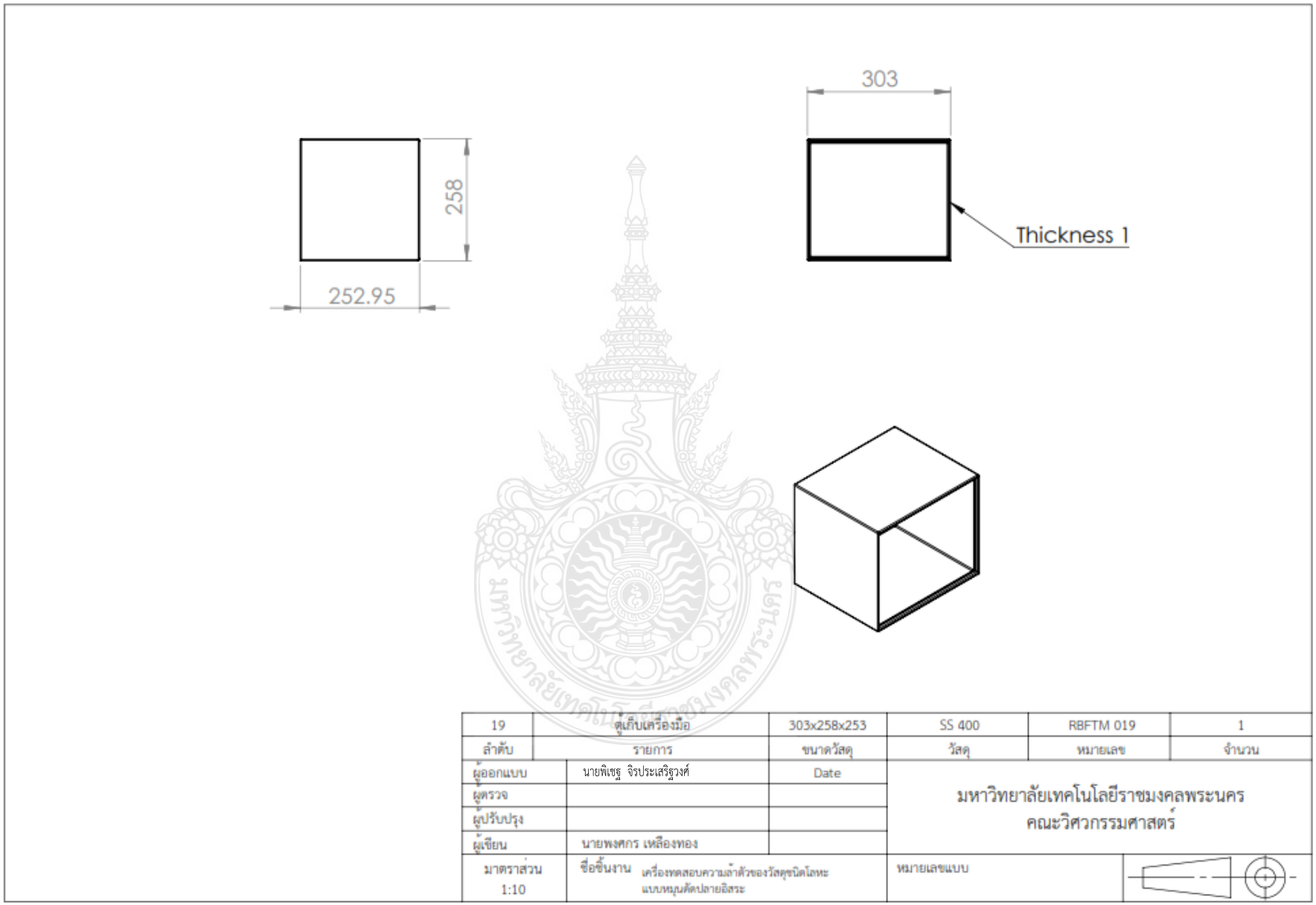
ภาพที่ ก-14 แสดงตะแกรงฝาครอบเพลา

No. Item	D	D/2	T	QTY.
100 N	180	90	54.8	2
50 N	140	70	46.5	1
20 N	100	50	37.0	1
10 N	80	40	30.8	2
5 N	60	30	28.0	1

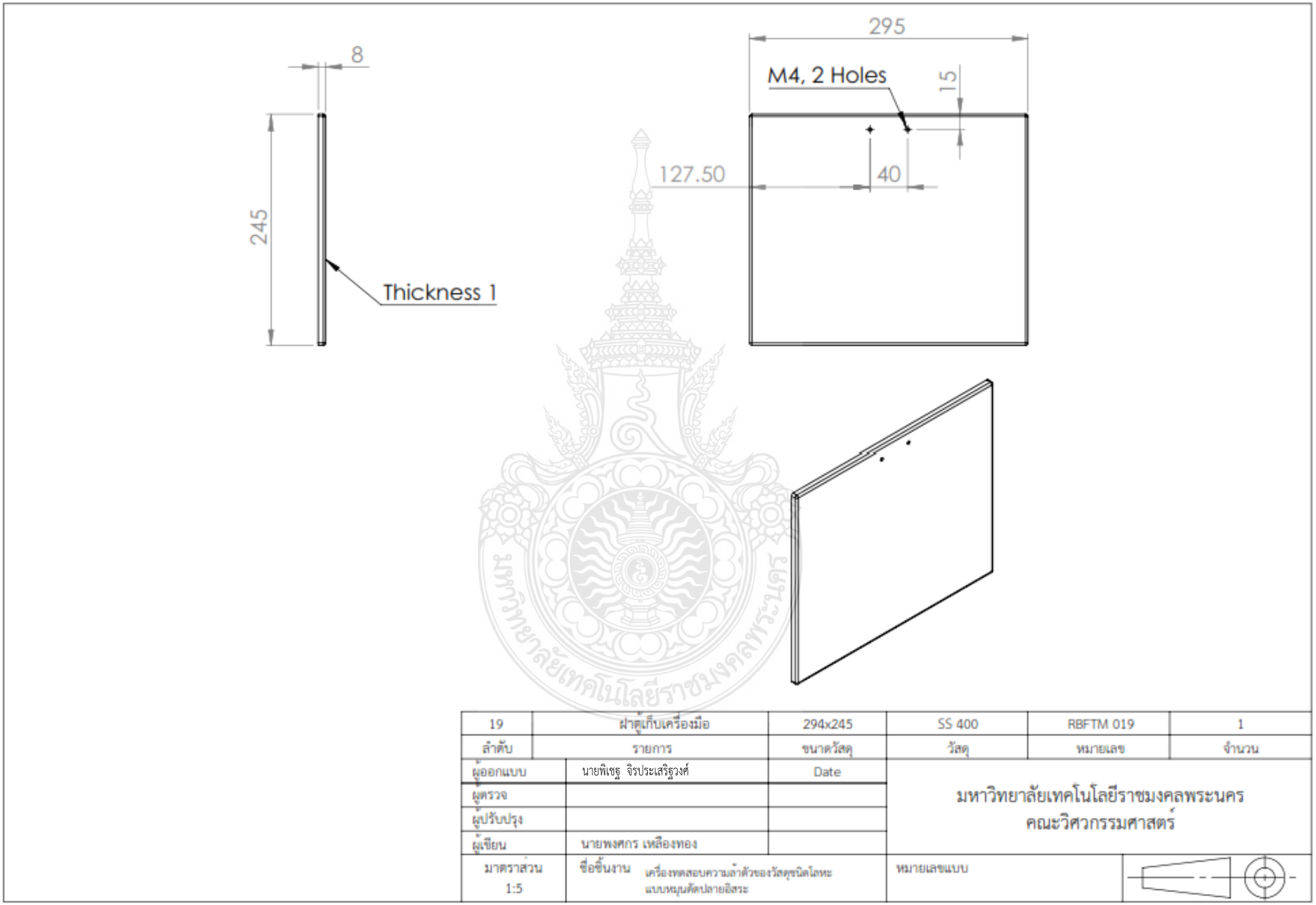


17	ตุ้มน้ำหนัก		ST-37	RBFTM 017	7
ลำดับ	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลข	จำนวน
ผู้ออกแบบ	นายพิเชฐ จิรประเสริฐวงศ์	Date	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์		
ผู้ตรวจ					
ผู้ปรับปรุง					
ผู้เขียน	นายพงศกร เหลืองทอง				
มาตราส่วน 1:5	ชื่อชิ้นงาน เครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุชนิดโลหะแบบหมุนดัดปลายอิสระ		หมายเลขแบบ		

ภาพที่ ก-15 แสดงตุ้มน้ำหนัก

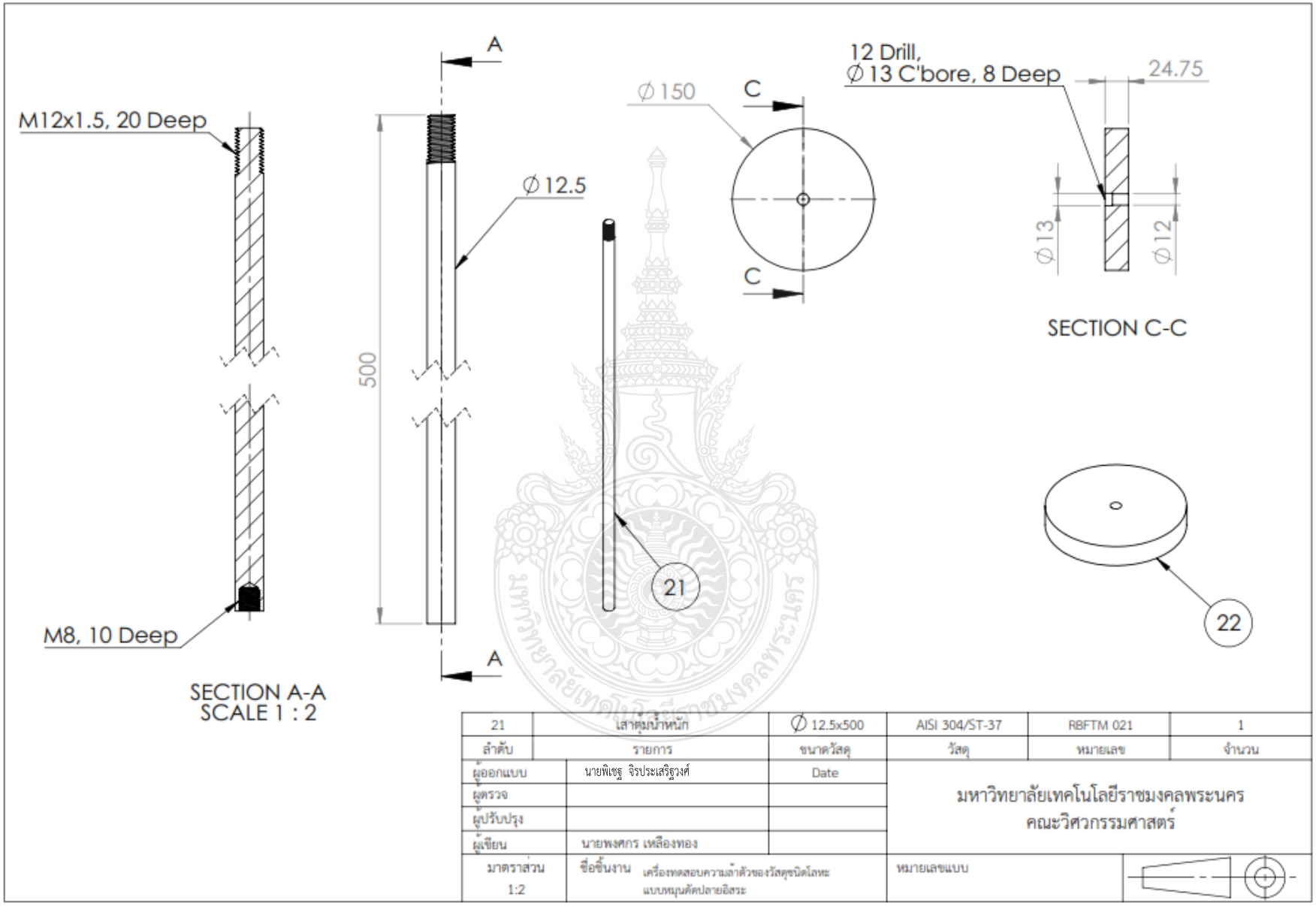


ภาพที่ ก-16 แสดงตู้เก็บเครื่องมือ



19	ฝาตู้เก็บเครื่องมือ	294x245	SS 400	RBFTM 019	1
ลำดับ	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลข	จำนวน
ผู้ออกแบบ	นายพิเชฐ จิรประเสริฐวงศ์	Date	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์		
ผู้ตรวจ					
ผู้ปรับปรุง					
ผู้เขียน	นายพงศกร เหลืองทอง				
มาตราส่วน 1:5	ชื่อชิ้นงาน เครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุชนิดโลหะแบบหมุนดัดปลายอิสระ		หมายเลขแบบ		

ภาพที่ ก-17 แสดงฝาตู้เก็บเครื่องมือ



ภาพที่ ก-18 แสดงเสาตุ้มน้ำหนัก

ภาคผนวก ข

คู่มือการใช้งานและการบำรุงรักษาเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ

แบบหมุนดัดปลายอิสระ

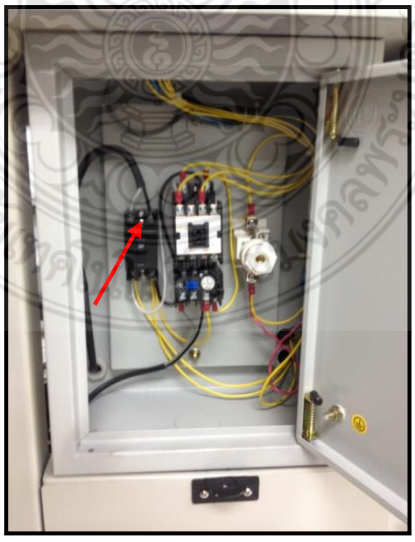
คู่มือการใช้งานและการบำรุงรักษาเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุแบบหมุนดัดปลายอิสระ

1. การใช้งาน

1.1 ตรวจสอบสภาพทั่วไปภายนอกของเครื่องทดสอบว่ามีความเสียหายหรือผิดปกติหรือไม่

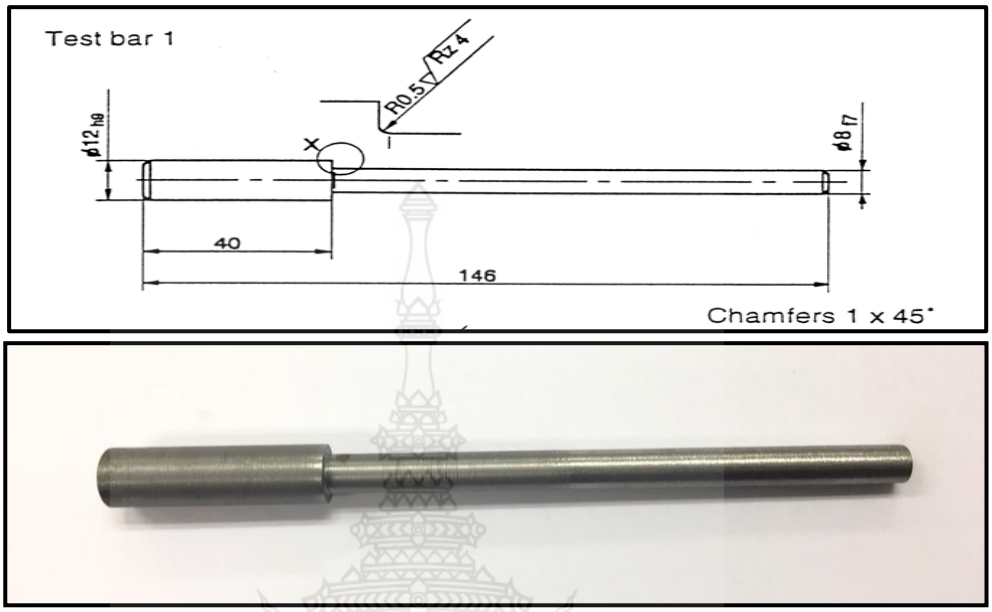
ภาพที่ ข-1 แสดงลักษณะภายนอกของเครื่องทดสอบ

1.2 ตรวจสอบการทำงานของเบรกเกอร์ว่ามีการทำงานผิดปกติหรือไม่



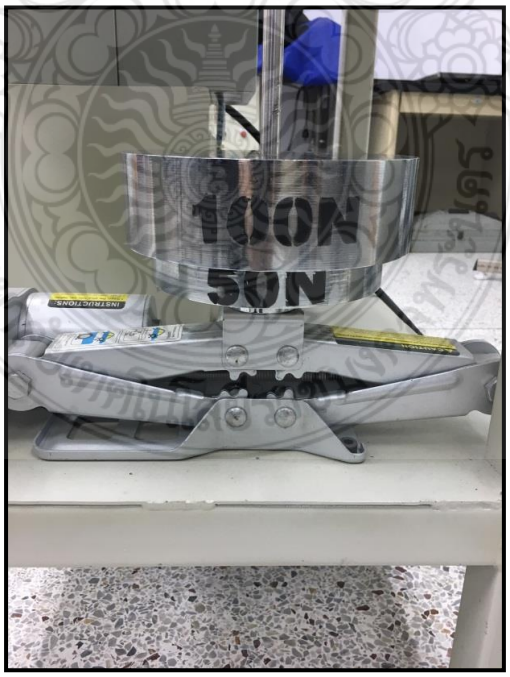
ภาพที่ ข-2 แสดงการตรวจสอบเบรกเกอร์

1.3 เตรียมชิ้นงานในการทดสอบ



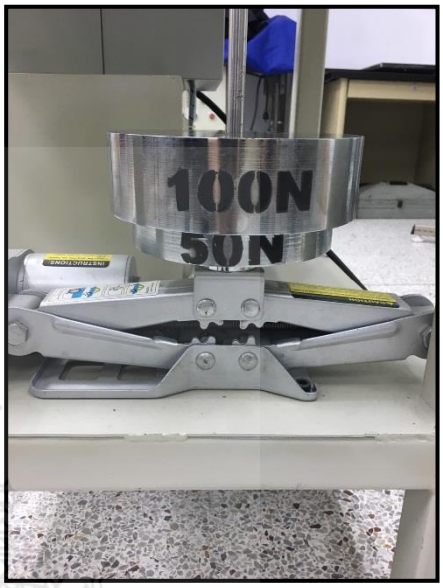
ภาพที่ ข-3 แสดงชิ้นงานในการทดสอบ

1.4 เตรียมการทดสอบ โดยทำการใส่ตุ้มน้ำหนักตามที่ต้องการ



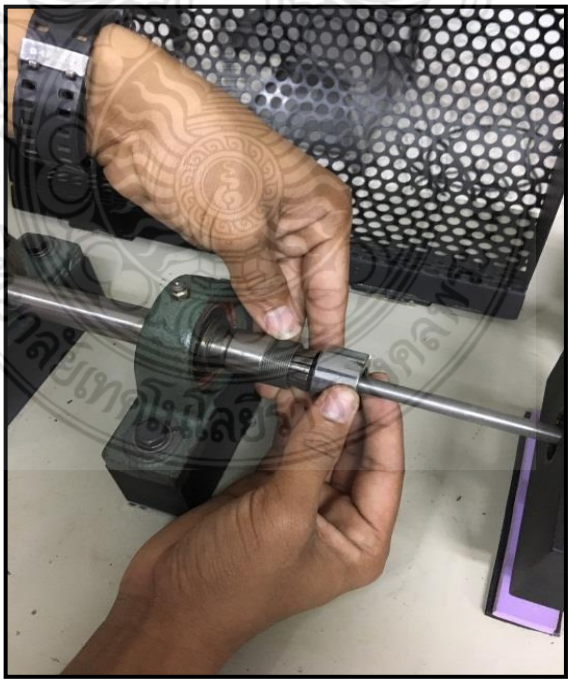
ภาพที่ ข-4 แสดงวิธีการใส่ตุ้มน้ำหนักตามต้องการ

1.5 ควบคุมแม่แรงไฟฟ้าเพื่อให้ตุ้มเหล็กถ่วงน้ำหนักยกขึ้นตรงศูนย์ชิ้นงานทดสอบ



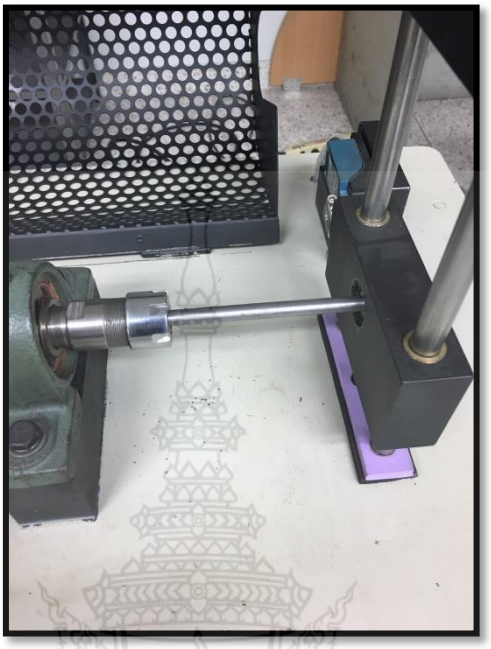
ภาพที่ ข-5 แสดงปุ่มควบคุมแม่แรงไฟฟ้าเพื่อให้ตุ้มเหล็กถ่วงน้ำหนักยกขึ้นตรงศูนย์ชิ้นงานทดสอบ

1.6 นำชิ้นงานใส่เครื่องทดสอบ



ภาพที่ ข-6 แสดงการนำชิ้นงานทดสอบใส่เครื่องทดสอบ

1.7 ตรวจสอบให้ชุดถ่วงน้ำหนักและชิ้นงานที่ทำการทดสอบตรงกัน



ภาพที่ ข-7 แสดงตำแหน่งของชิ้นงานทดสอบและชุดถ่วงน้ำหนัก

1.8 ใช้ประแจในการขันหัวจับชิ้นงาน

ภาพที่ ข-8 แสดงใช้ประแจในการขันหัวจับชิ้นงาน

1.9 ปิดฝาตะแกรงครอบส่วนเพลาและชิ้นงานทดสอบเพื่อกันชิ้นงานกระเด็น

ภาพที่ ข-9 แสดงการใช้ตะแกรงครอบปิดขณะจะทำการทดสอบ

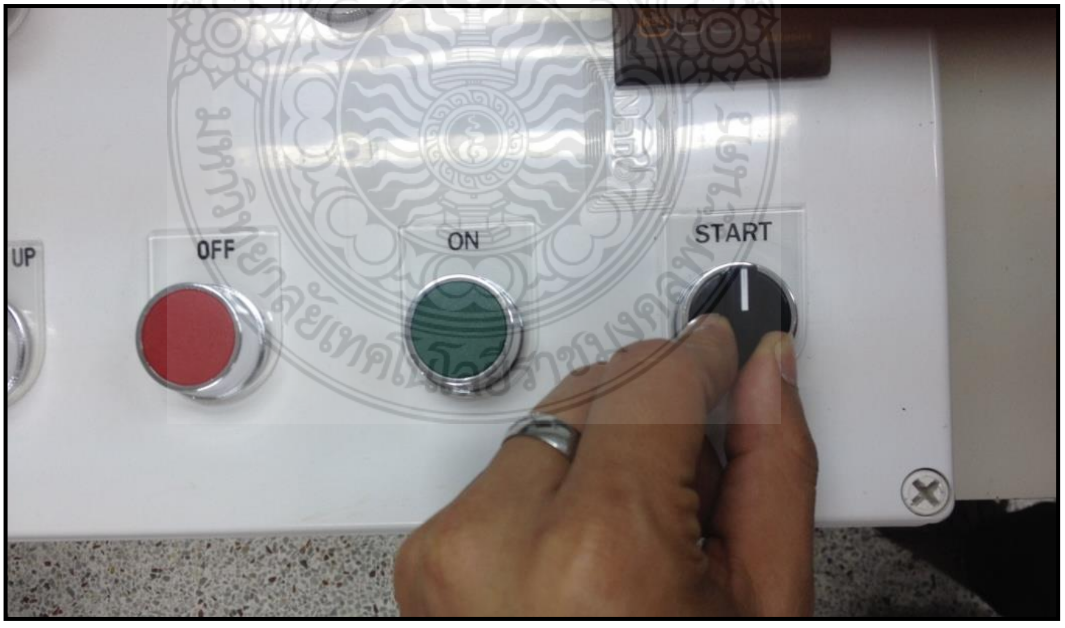
1.10 กดปุ่ม Reset เพื่อให้หน้าจอของตัววัดรอบเป็นศูนย์

ภาพที่ ข-10 แสดงการ Reset หน้าจอ

1.11 กดปุ่ม ON เพื่อเริ่มการทำงานของมอเตอร์

ภาพที่ ข-11 แสดงการกดปุ่ม ON

1.12 บิดปุ่ม START เพื่อเริ่มทำการทดสอบ

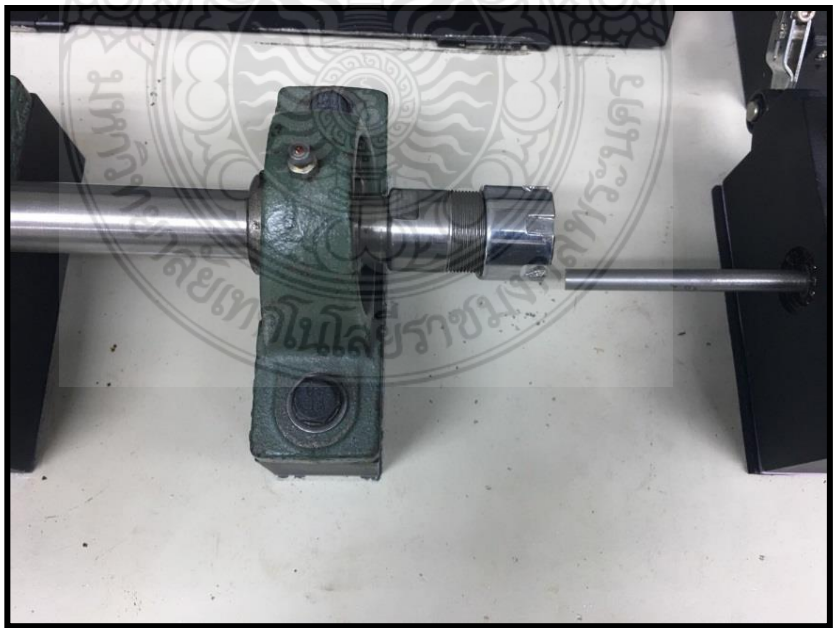


ภาพที่ ข-12 แสดงการบิดปุ่ม START เพื่อเริ่มทำการทดสอบ

1.13 การทำงานของเครื่องขณะทำการทดสอบ

ภาพที่ ข-13 แสดงลักษณะการทำงานของเครื่องขณะทำการทดสอบ

1.14 ลักษณะการขาดของชิ้นงานทดสอบ



ภาพที่ ข-14 แสดงลักษณะการขาดของชิ้นงานทดสอบ

1.15 จดบันทึกจำนวนรอบที่ได้

ภาพที่ ข-15 แสดงผลจำนวนรอบของมอเตอร์เมื่อทำการทดสอบสำเร็จ

1.16 ชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบ

ภาพที่ ข-16 แสดงชิ้นงานทดสอบที่ได้จากการทดสอบ

1.17 อุปกรณ์เสริมในการทดสอบ

ภาพที่ ข-17 แสดงอุปกรณ์เสริมในการทดสอบ

2. ขั้นตอนการบำรุงรักษา

2.1 ควรทำความสะอาดชิ้นงานก่อนทำการทดสอบทุกครั้ง

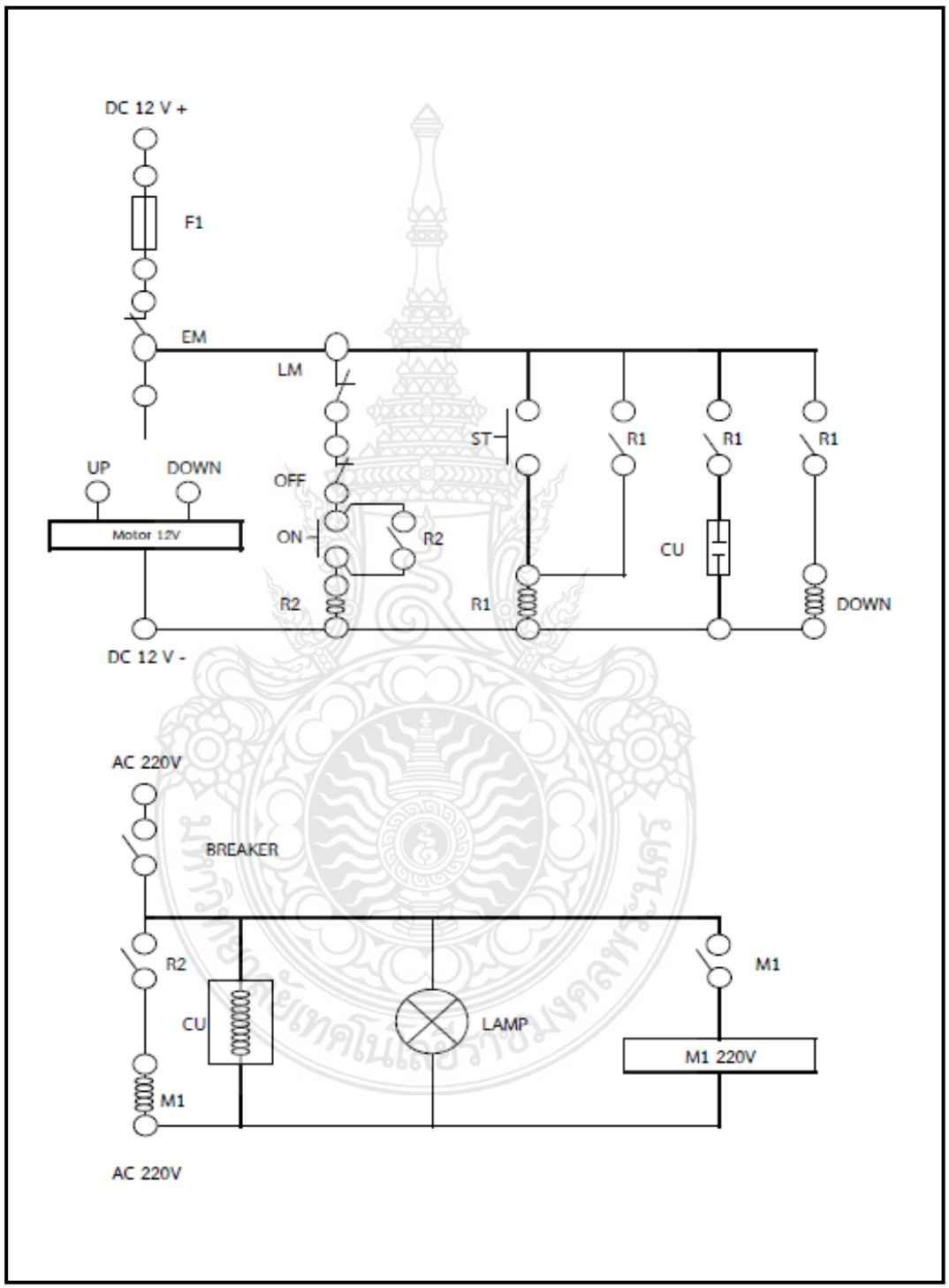
2.2 ทาน้ำมันหล่อลื่นบนเพลาเพื่อกันสนิม

2.3 หากเกิดเสียงการเสียดสีให้อัดจาระบีที่ลูกปืนตุ๊กตา

2.4 ตรวจสอบเครื่องทดสอบก่อน-หลัง การทดสอบทุกครั้ง

2.5 ทำความสะอาดเครื่องทดสอบทุกครั้งหลังทำการทดสอบวัสดุเสร็จแล้ว

3. วงจรควบคุมของเครื่องทดสอบความล้าตัวของวัสดุ แบบหมุนดัดปลายอิสระ



ภาพที่ ข-18 แสดงวงจรควบคุมของเครื่องทดสอบ

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อสกุล-: นายพิเชฐ จิรประเสริฐวงศ์
(Mr.Pichet Jiraprasertwong)
ตำแหน่ง: อาจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
การศึกษา: ค.อ.ม. (เทคโนโลยีเทคนิคศึกษา) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อสกุล-: นายสุทธิพงษ์ จำรูญรัตน์
(Mr. Sutthipong Jumroonrut)
ตำแหน่ง: อาจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
การศึกษา: วศ.ม.(วิศวกรรมการผลิต) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อสกุล-: นายภิรมย์ ตั้งจิตเพียรผล
(Mr. Pirom Thangchitpianpol)
ตำแหน่ง: อาจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
การศึกษา: วศ.ม.(วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ