

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

ออกแบบเครื่องกดลูกยางในกระบวนการประกอบโอดีเอ็มมอเตอร์

Design Rubber Pressing Machine in ODM Motor Assembly Process

นายณัฏฐ์ชาวิน เนื่องจำนงค์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา ออกแบบเครื่องกดลูกยางในกระบวนการประกอบโอดีเอ็มมอเตอร์
ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายณัฏฐ์ชาวิน เนื่องจำนงค์
คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมเครื่องกล
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.ดร.เอกพจน์ ตันตราภิวัฒน์
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายปิติภัทร์ พูนบำนาญ
สถานประกอบการ บริษัท ไดกิ้นอินดัสทรีส์ (ประเทศไทย) จำกัด

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ออกแบบเครื่องจักรสำหรับกดมอเตอร์ลงไปประกอบกับลูกยางให้ได้ระดับความลึกและได้ระนาบตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ เพื่อแก้ไขปัญหาคุณภาพในกระบวนการประกอบโอดีเอ็มมอเตอร์ ในกระบวนการนี้คือการนำมอเตอร์ประกอบกับลูกยาง โดยผู้จัดทำได้ทำการวิเคราะห์ความเสียหายจากแรงสถิต ความเสียหายจากความล้า และการเสียรูปของส่วนประกอบต่างๆ เพื่อเลือกส่วนประกอบจากแคตตาล็อค รวมถึงออกแบบการทำงานเชิงกลและวงจรนิวเมตริกด้วยความรู้จากวิชาออกแบบเครื่องจักรกล และระบบกำลังของไหล ซึ่งเครื่องจักรสามารถกดมอเตอร์จำนวน 3 รุ่นลงไปประกอบกับลูกยางได้ภายใต้เงื่อนไขที่ว่ากระบอกสูบลมที่มีต้นกำลังจ่ายลมความดัน 0.6 เมกะปาสคาล มีการทำงานของระบบทางกลที่มีความซับซ้อนน้อย และภายในงบประมาณ 40,000 บาท

คำสำคัญ : เครื่องกดลูกยาง, โอดีเอ็มมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cooperative Title: Design Rubber Pressing Machine in ODM Motor Assembly Process
Student intern name: Mr. Natchawin Nuengchumnong
Faculty: Engineering **Department:** Mechanical Engineering
Advisor name: Asst.Prof.Dr. Akapot Tantrapiwat
Mentor name: Mr. Pitiphat Poonbumnan
Company: Daikin Industries (Thailand) Ltd.

ABSTRACT

This project is design rubber pressing machine for reducing the quality problem in the ODM motor assembly process. The process has pressing the motors to assemble the rubber. The editor analyzes static failure, fatigue failure, and deformation in each assembly to select them from catalogs. The design is separated into a mechanic working system and pneumatic system by applying the theory from Machine design and Fluid power system. The machine can press the 3 series of the motor to assemble the rubber under some conditions which are air cylinder having pressure supply 0.6 MPa, less complex mechanic working system, and budget of 40,000 Baht.

Keywords: Rubber pressing machine, ODM motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ไดกิ้น อินดัสทรีส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่มอบโอกาสให้ผู้จัดทำได้ดำเนินโครงงาน และมีผู้ช่วยเหลือในการดำเนินโครงงานคือหน่วยงานการผลิตซึ่งได้ช่วยเหลือด้านเครื่องมืออุปกรณ์และทุนทรัพย์สำหรับการดำเนินงานต่างๆ นอกจากนี้ยังได้รับความช่วยเหลือจาก ผศ.ดร. เอกพจน์ ตันตราภิวัฒน์ อาจารย์นิเทศ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำปริญญานิพนธ์ อีกทั้งช่วยให้ความรู้ และคำแนะนำสำหรับแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างดำเนินงานสหกิจศึกษา

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ซึ่งให้การสนับสนุนด้านการศึกษา การเงิน และกำลังใจ รวมถึงเพื่อนร่วมงานทุกคนและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงงานสหกิจฉบับนี้ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายณัฏฐ์ชาวิน เนื่องจำนงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง X

สารบัญรูป XI

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย 2

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 ทฤษฎีสำหรับการเลือกสปริง 3

2.1.1 ทฤษฎีแรงภายในสปริง 3

2.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะกดตัวของสปริงจากน้ำหนักกับระยะกดสูงสุด 3

2.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะกดติดของสปริงจากน้ำหนักกับความสูงของแท่นวางลูกยางและมอเตอร์ 3

2.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น มวล และปริมาตร 4

2.2 ทฤษฎีสำหรับการเลือกฐานอลูมิเนียม 4

2.2.1 การหาแรงกระจาย 4

2.2.2 ทฤษฎีแรงเฉือนบนคาน 4

2.2.3 ทฤษฎีโมเมนต์บนคาน 5

2.2.4 ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดบนคาน 6

2.2.5 ทฤษฎีความเค้นดัด 6

2.3 ทฤษฎีสำหรับการเลือกกระบอกสูบ 7

2.3.1 การหาความดันที่ใช้เป็นต้นกำลัง 7

2.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน, แรง และพื้นที่ของกระบอกสูบ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ทฤษฎีสำหรับการเลือกตัวผลักมอเตอร์ 7
2.4.1 ทฤษฎีความเค้นอัด 7
2.5 ทฤษฎีสำหรับการเลือกคานโลหะ 8
2.5.1 ทฤษฎีแรงเฉือนบนคานระนาบ x-y 8
2.5.2 ทฤษฎีโมเมนต์บนคานระนาบ x-y 8
2.5.3 ทฤษฎีแรงเฉือนบนคานระนาบ y-z 9
2.5.4 ทฤษฎีโมเมนต์บนคานระนาบ y-z 9
2.5.5 ทฤษฎีการรวมโมเมนต์2ระนาบ 9
2.5.6 ทฤษฎีการเสียรูปของคาน 10
2.6 ทฤษฎีสำหรับการเลือกสกรู 10
2.6.1 ทฤษฎีตัวยึดที่รับภาระก่อนภาระแรงดึง 10
2.6.2 ทฤษฎีตัวยึดที่รับภาระก่อนของตัวยึดในภาระสถิต 11
2.6.3 ทฤษฎีภาระในเกลียว 11
2.6.4 ทฤษฎีความเสียหายของโบลต์ 12
2.7 ทฤษฎีสำหรับการเลือกเสา 13
2.7.1 ทฤษฎีความเค้นดัดบนเสากลวง 13
2.7.2 ทฤษฎีความเค้นปกติบนเสากลวง 13
2.7.3 ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดบนเสากลวง 14
2.7.4 ทฤษฎีความโก่งของเสา 14
2.8 ทฤษฎีสำหรับการเลือกตัวช่วยค้ำเสา 15
2.8.1 ทฤษฎีการยึดออกของสกรู 15
2.8.2 ทฤษฎีความดันในการสวมอัด 15
2.8.3 ทฤษฎีความเค้นบนวัตถุที่ได้รับแรงดัน 15
2.8.4 กฎข้อที่ 2 ของนิวตัน 16
2.8.5 ทฤษฎีความเค้นวอนมิสเซส 16
2.9 ทฤษฎีสำหรับการเลือกบุชชิ่ง 16
2.10 ทฤษฎีสำหรับเลือกตัวจับยึดเซนเซอร์ 17
2.10.1 ความเค้นเฉือนในสกรู 17
2.10.2 โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่วัสดุประกอบบริเวณที่มีรูเกลียว 17
2.11 ทฤษฎีความเสียหาย 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.1 ทฤษฎีความเสียหายจากภาระสถิต 18
2.11.2 ทฤษฎีความเสียหายจากความล้า 18
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย 20
3.1 การหาเงื่อนไขเริ่มต้นที่ใช้กำหนดขอบเขตการคำนวณ 20
3.2 การเลือกบ่ารองมอเตอร์ 20
3.3 การออกแบบฐานวางมอเตอร์ 20
3.4 การออกเลือกสปริง 21
3.4.1 การหาแรงที่สปริงแต่ละตัวได้รับ 21
3.4.2 การหาระยะกดทั้งหมดของสปริง 22
3.4.3 การหาแรงในสปริงแต่ละรุ่นเมื่อสปริงกดสุดระยะ 22
3.4.4 การเลือกสปริงจากแคตตาล็อค 22
3.5 การตรวจสอบความเสียหายของฐานวางมอเตอร์จากสปริงที่เลือก 23
3.5.1 หาแรงกระจายเนื่องจากน้ำหนักของมอเตอร์ 23
3.5.2 หาแรงเฉือนที่กระทำบนฐานวางมอเตอร์ขณะกระบอกสูบเคลื่อนที่ลงสุด 23
3.5.3 หาโมเมนต์ที่กระทำบนฐานวางมอเตอร์ขณะกระบอกสูบเคลื่อนที่ลงสุด 25
3.5.4 หาแรงเฉือนที่กระทำบนฐานวางมอเตอร์ขณะกระบอกสูบชักเข้า 26
3.5.5 หาโมเมนต์ที่กระทำบนฐานวางมอเตอร์ขณะกระบอกสูบชักเข้า 27
3.5.6 หาความเค้นเฉือนที่กระทำบนฐานวางมอเตอร์ 28
3.5.7 วิเคราะห์ความเสียหายเมื่อรับแรงสถิตของฐานวางมอเตอร์ 28
3.5.8 หาความเค้นเฉือนที่กระทำบนฐานวางมอเตอร์ 29
3.5.9 วิเคราะห์ความเสียหายเมื่อรับแรงสถิตของฐานวางมอเตอร์ 29
3.6 การเลือกกระบอกสูบ 29
3.6.1 การหาแรงที่น้อยที่สุดกระบอกสูบทำได้ 29
3.6.2 การหาขนาดของกระบอกสูบ 30
3.6.3 การเปรียบเทียบเพื่อเลือกกระบอกสูบ 30
3.7 การเลือกลูกสูบผลักงาน 31
3.7.1 เลือกลูกสูบผลักชิ้นงานจากคุณสมบัติวัสดุ 31
3.7.2 ตรวจสอบความเสียหายลูกสูบผลักชิ้นงาน 31
3.8 การออกแบบแท่นวางลูกยาง 32
3.9 การออกแบบคานวางกระบอกสูบ 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.1 หาแรงที่กระทำกับคานเมื่อกดมอเตอร์รุ่นBMS 33
3.9.2 หาแรงลัพธ์ทุกจุดที่กระทำกับคานขณะกระบอกสูบชักออกสุดในระนาบ x-y 34
3.9.3 หาแรงเฉือนที่กระทำกับคานขณะกระบอกสูบชักออกสุดในระนาบ x-y 34
3.9.4 หาโมเมนต์ที่กระทำกับคานขณะกระบอกสูบชักออกสุดในระนาบ x-y 35
3.9.5 หาแรงที่กระทำกับคานจากน้ำหนักกระบอกสูบในระนาบ x-y 36
3.9.6 หาแรงเฉือนที่กระทำกับคานขณะกระบอกสูบชักเข้าในระนาบ x-y 37
3.9.7 หาโมเมนต์ที่กระทำกับคานขณะกระบอกสูบชักเข้าในระนาบ x-y 38
3.9.8 หาแรงเฉือนที่กระทำกับคานขณะกระบอกสูบชักออกสุดในระนาบ y-z 39
3.9.9 หาโมเมนต์ที่กระทำกับคานขณะกระบอกสูบชักออกสุดในระนาบ y-z 40
3.9.10 หาแรงเฉือนที่กระทำกับคานขณะกระบอกสูบชักเข้าในระนาบ y-z 40
3.9.11 หาโมเมนต์ที่กระทำกับคานขณะกระบอกสูบชักเข้าในระนาบ y-z 41
3.9.12 หาความเค้นเฉือนสูงสุดบนคานในระนาบ x-y 42
3.9.13 วิเคราะห์ความเสียหายเมื่อรับแรงสถิตของคานเมื่อกระบอกสูบเคลื่อนที่ออกสุดในระนาบ x-y 43
3.9.14 หาความเค้นเฉือนสูงสุดบนคานในระนาบ y-z 43
3.9.15 วิเคราะห์ความเสียหายเมื่อรับแรงสถิตของคานเมื่อกระบอกสูบเคลื่อนที่ออกสุดในระนาบy-z 43
3.9.16 โมเมนต์รวมในระนาบx-yกับระนาบy-zจังหวะกระบอกสูบชักออกสุด 44
3.9.17 โมเมนต์รวมในระนาบx-yกับระนาบy-zจังหวะกระบอกสูบชักเข้า 44
3.9.18 หาความเค้นมากสุดจากโมเมนต์ที่กระทำกับคานที่บริเวณจุดยึด 44
3.9.19 หาความหนาของคานจากโมเมนต์ที่มากที่สุด 44
3.9.20 หาความเค้นน้อยสุดจากโมเมนต์ที่กระทำกับคานที่บริเวณจุดยึด 44
3.9.21 หาค่าความกว้างของความเค้น 45
3.9.22 หาค่ากลางของความเค้น 45
3.9.23 หาค่าขีดจำกัดความทนทาน 45
3.9.24 หาความโก่งของคานในระนาบx-y 47
3.9.25 หาความโก่งของคานในระนาบy-z 47
3.10 การเลือกสกรูยึดระหว่างคานกับเสาค้ำ 47
3.10.1 ค่าความแข็งของตัวยึด 48
3.10.2 ค่าความแข็งของวัสดุประกอบ 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10.3 หาค่าคงที่ความแข็งของตัวยึด 49
3.10.4 หาภาระรับก่อนสำหรับแรงสถิตของสกูล 49
3.10.5 หาความเค้นที่กระทำกับสกรู 49
3.10.6 หาค่าความปลอดภัยเนื่องจากความเสียหายจากแรงสถิต 50
3.10.7 หาค่าความปลอดภัยเนื่องจากความเสียหายจากการล้า 50
3.10.8 สรุปค่าต่างๆ ตามขนาดของสกรูตั้งแต่M3ถึงM12 50
3.11 การคำนวณหาขนาดเสา 51
3.11.1 ตรวจสอบความเสียหายของเสาบริเวณเกลียวยึด 51
3.11.2 ความสูงของเสา 52
3.11.3 หาแรงลัพธ์และโมเมนต์ที่กระทำกับเสาขณะลูกสูบชักออกสุด 52
3.11.4 หาแรงลัพธ์และโมเมนต์ที่กระทำกับเสาขณะลูกสูบชักเข้า 52
3.11.5 หาความเค้นมากที่สุดที่กระทำกับเสา 53
3.11.6 หาความเค้นน้อยที่สุดที่กระทำกับเสา 53
3.11.7 หาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเมื่อทำการวิเคราะห์ความเสียหายแบบสถิต ... 53
3.11.8 หาค่าขีดกำจัดความล้า 54
3.11.9 หาค่าความเค้นสลับ 55
3.11.10 หาค่าความเค้นเฉลี่ย 55
3.11.11 หาเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเมื่อวิเคราะห์ความเสียหายแบบความล้า 56
3.11.12 หาเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเพื่อไม่ให้เกิดความโก่ง 56
3.12 การคำนวณเพื่อเลือกตัวช่วยค้ำเสา 57
3.12.1 หาภาระที่ตัวช่วยค้ำเสารับได้ในแนวแกน 57
3.13 ตรวจสอบความเสียหายเสาบริเวณจุดที่ยึดด้วยตัวช่วยค้ำเสา 58
3.13.1 ตรวจสอบความเสียหายของเสานำการเคลื่อนที่เมื่อโดนขันเข้ามากสุด 58
3.13.2 ตรวจสอบความเสียหายเนื่องจากความล้า 60
3.14 การเลือกสกรูยึดเสานำการเคลื่อนที่กับฐานวางมอเตอร์ 60
3.14.1 หาแรงที่มากสุดกระทำกับฐานบริเวณสกรูยึด 60
3.14.2 ค่าความแข็งของตัวยึด 61
3.14.3 ค่าความแข็งของวัสดุประกอบ 61
3.14.4 หาค่าคงที่ความแข็งของตัวยึด 62
3.14.5 หาภาระรับก่อนสำหรับแรงสถิตของสกูล 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.14.6 หาความเค้นที่กระทำกับสกรู 62
3.14.7 หาค่าความปลอดภัยเนื่องจากความเสียหายจากแรงสถิต 62
3.14.8 หาค่าความปลอดภัยเนื่องจากความเสียหายจากการล้า 63
3.14.9 สรุปค่าต่างๆ ตามขนาดของสกรูตั้งแต่M3ถึงM10 63
3.15 การเลือกบุชชิ่ง 64
3.16 การเลือกเสานำการเคลื่อนที่ 65
3.16.1 หาแรงที่มากที่สุดที่กระทำกับเสานำการเคลื่อนที่ 65
3.16.2 วิเคราะห์ความเสียหายจากบริเวณเกลียวยึด 65
3.16.3 วิเคราะห์แรงที่สามารถรับได้เมื่อถูกกระแทกจากขนาดที่เลือก 66
3.16.4 ตรวจสอบหาความเสียหายจากแรงเฉือนในสกรูอีกครั้ง 66
3.17 การเลือกปลอกยึด 67
3.17.1 ตรวจสอบว่าปลอกยึด จะเลื่อนหรือไม่เมื่อใช้แรงบิดของสกรูสูงสุด 67
3.18 ตรวจสอบความเสียหายเสานำการเคลื่อนที่บริเวณจุดที่ยึดด้วยปลอกยึด 68
3.18.1 ตรวจสอบความเสียหายของเสานำการเคลื่อนที่เมื่อโดนขันเข้ามากสุด 68
3.18.2 ตรวจสอบความเสียหายเนื่องจากความล้า 70
3.19 การเลือกตัวจับยึดเซนเซอร์ 70
3.19.1 ความเสียหายจากความเค้นเฉือนในสกรู 70
3.19.2 ความเสียหายจากความเค้นดึงบนเกลียววัสดุประกอบ 72
3.19.3 ความเสียหายจากความเค้นบนสกรู 72
3.19.4 ความเสียหายจากความเค้นบนวัสดุประกอบ 73
3.20 การออกแบบวงจรนิวเมตริก 74
3.21 การประเมินเวลาต่อหนึ่งรอบการทำงานของเครื่องจักร 74
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 76
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง 78
5.1 สรุปผลการทดลอง 78
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง 78
5.3 ข้อเสนอแนะ 78
เอกสารอ้างอิง 79
ภาคผนวก ก. 81
ภาคผนวก ข. 86
ภาคผนวก ค. 102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 แสดงระยะกดเนื่องจากน้ำหนักลัพธ์, ระยะกดทั้งหมด และแรงที่ระยะกดทั้งหมดของ 22

3.2 แสดงค่าความปลอดภัยของสกรูขนาดM3 ถึงM12 50

3.3 แสดงค่าความปลอดภัยของสกรูขนาดM3 ถึงM10 63

3.4 ระยะเวลาของแต่ละกระบวนการทำงานของเครื่องจักร 74

4.1 ขนาดและชนิดวัสดุของส่วนประกอบต่างๆ 76

4.2 ผลการลัพธ์การทำงานและการออกแบบเครื่องจักร 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แรงลัพธ์ที่กระทำบนฐานอลูมิเนียม 4

2.2 แรงลัพธ์ที่กระทำบนคานโลหะระนาบx-y 8

2.3 แรงลัพธ์ที่กระทำบนคานโลหะระนาบy-z 9

3.1 กราฟแรงเฉือน ณ ตำแหน่งใดๆที่กระทำบนฐานอลูมิเนียมขณะกระบอกสูบชักออก 24

3.2 กราฟโมเมนต์ ณ ตำแหน่งใดๆที่กระทำบนฐานอลูมิเนียมขณะกระบอกสูบชักออก 26

3.3 กราฟแรงเฉือน ณ ตำแหน่งใดๆที่กระทำบนฐานอลูมิเนียมขณะกระบอกสูบชักเข้า 27

3.4 กราฟโมเมนต์ ณ ตำแหน่งใดๆที่กระทำบนฐานอลูมิเนียมขณะกระบอกสูบชักเข้า 28

3.5 การกำหนดขนาดของคานวางกระบอกสูบ 33

3.6 กราฟแรงเฉือน ณ ตำแหน่งใดๆที่กระทำบนคานโลหะขณะกระบอกสูบชักออกระนาบx-y 35

3.7 กราฟโมเมนต์ ณ ตำแหน่งใดๆที่กระทำบนคานโลหะขณะกระบอกสูบชักออกระนาบx-y 36

3.8 กราฟแรงเฉือน ณ ตำแหน่งใดๆที่กระทำบนคานโลหะขณะกระบอกสูบชักเข้าระนาบx-y..... 38

3.9 กราฟโมเมนต์ ณ ตำแหน่งใดๆที่กระทำบนคานโลหะขณะกระบอกสูบชักเข้าระนาบx-y..... 39

3.10 กราฟแรงเฉือน ณ ตำแหน่งใดๆที่กระทำบนคานโลหะขณะกระบอกสูบชักออกระนาบy-z.... 40

3.11 กราฟโมเมนต์ ณ ตำแหน่งใดๆที่กระทำบนคานโลหะขณะกระบอกสูบชักออกระนาบy-z..... 40

3.12 กราฟแรงเฉือน ณ ตำแหน่งใดๆที่กระทำบนคานโลหะขณะกระบอกสูบชักเข้าระนาบy-z 41

3.13 กราฟโมเมนต์ ณ ตำแหน่งใดๆที่กระทำบนคานโลหะขณะกระบอกสูบชักเข้าระนาบy-z..... 42

3.14 วงจรนิเมตริกสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องจักร 74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

บริษัท ไดกิ้น อินดัสทรีส์ (ประเทศไทย) จำกัด เป็นฐานการผลิตเครื่องปรับอากาศที่ใหญ่ที่สุด โดยการนำเทคโนโลยีที่ล้ำหน้าหน้าเข้ามาใช้เพื่อผลิตคอมเพรสเซอร์, เครื่องปรับอากาศสำหรับที่พักอาศัย และเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่สำหรับการพาณิชย์ โดยภายในบริษัทมีการมุ่งเน้นการผลิตให้ได้มาตรฐานจึงมีการออกแบบเครื่องจักรมาเป็นเครื่องทุ่นแรงหรือทำงานแทนมนุษย์เพื่อลดความผิดพลาดในกระบวนการต่างๆ โดยส่วนใหญ่จะนำเครื่องจักรมาช่วยในงานที่ต้องการความละเอียดหรือใช้แรงมากจนมนุษย์ไม่สามารถทำได้ เนื่องจากมีปัญหาหลังจากการขายให้ผู้ใช้งานหากมีการประกอบไม่ได้ตรงตามมาตรฐานการผลิต เช่นเกิดเสียงดังเมื่อพัดลมเครื่องปรับอากาศตัวในอาคารทำงาน ซึ่งบริษัทได้ทราบถึงปัญหานี้จึงได้ให้ผู้จัดทำนำปัญหาเรื่องการเกิดเสียงดังเมื่อเครื่องปรับอากาศตัวในอาคารทำงานมาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหานี้ จึงได้ทราบว่าปัญหานี้เกิดขึ้นจากลูกยางในมอเตอร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวจับเพลา ส่วนประกอบนี้เกิดการคลอนซึ่งเกิดจากการที่พนักงานกดมอเตอร์ลงไปประกอบกับลูกยางไม่ได้ระดับความลึกและไม่ได้ระนาบตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังนั้นจึงทำให้แกนเพลาที่จับกับลูกยางเกิดการคลอนเวลามอเตอร์ทำงานและส่งเสียงดังออกมา

ดังนั้นโครงงานนี้จึงได้หาวิธีการแก้ไขปัญหานี้โดยการออกแบบเครื่องจักรที่ทำการกดมอเตอร์ 3 รุ่น ได้แก่ CSI, BMS และBMLลงไปประกอบกับลูกยาง เพื่อให้ลูกยางได้ระดับความลึกและได้ระนาบตามมาตรฐานที่กำหนดไว้และยังทำเป็นเครื่องต้นแบบสำหรับการประกอบแบบอัตโนมัติต่อไป โดยการออกแบบนั้นเครื่องจักรจะต้องมีความซับซ้อนน้อยที่สุดเพื่อให้ง่ายต่อการซ่อมแซมและประกอบ มีต้นกำลังจากลมที่จ่ายมาจากปั๊มกลางที่ทีความดัน 0.6 เมกะปาสคาล มีระบบป้องกันการทำงานพลาดของพนักงานและมีขนาดเครื่องจักรที่ไม่ใหญ่จนเกินไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อแก้ไขปัญหาคุณภาพเรื่องเสียงจากพัดลมเครื่องปรับอากาศตัวในอาคารโดยการออกแบบเครื่องจักรซึ่งมีวัตถุประสงค์การออกแบบดังต่อไปนี้

1.2.1 กดลูกยางลงไปประกอบกับมอเตอร์ให้ได้ระดับความลึกและได้ระนาบตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ในมอเตอร์ทั้ง 3 รุ่น

1.2.2 ออกแบบไม่ให้เครื่องจักรเกิดความเสียหายทางกล

1.2.3 ออกแบบให้มีระยะเวลาการทำงานต่อหนึ่งรอบน้อยที่สุด

1.2.4 ออกแบบวงจรนิวเมตริกให้ก้านสูบเคลื่อนที่กลับเมื่อไม่ได้รับคำสั่งใดๆจากภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 สร้างเครื่องจักรภายในงบประมาณ 40,000 บาท

1.3.2 ออกแบบและสร้างภายในระยะเวลา 4 เดือน

1.3.3 เลือกส่วนประกอบต่างๆจากแคตตาล็อค

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาขั้นตอนและวิธีการกดลูกยางลงในมอเตอร์จากการทำงานของพนักงาน

1.4.2 ศึกษาการออกแบบเครื่องจักรโดยวิเคราะห์ความเสียหายจากภาระในรูปแบบต่างๆ

1.4.3 ศึกษาชิ้นส่วนต่างๆในแคตตาล็อก

1.4.4 ร่างแบบเครื่องจักรที่จะทำการกดมอเตอร์ลงไปประกอบกับลูกยางโดยที่เวลาการทำงานต่อหนึ่งรอบให้น้อยที่สุด

1.4.5 การหาเงื่อนไขเริ่มต้นที่ใช้ในการคำนวณ ได้แก่ แรงที่สามารถกดมอเตอร์ลงไปประกอบกับลูกยางได้ และรายละเอียดของมอเตอร์ทั้ง 3 รุ่นและลูกยาง

1.4.6 คำนวณเพื่อเลือกวัสดุที่จะนำมาประกอบโดยคำนึงถึงความเสียหายทางกล และการเสียรูปเป็นหลัก

1.4.7 ออกแบบระบบนิวเมตริกเพื่อรองรับการทำงานของเครื่องจักรที่ออกแบบ

1.4.8 เปรียบเทียบชิ้นส่วนจากแคตตาล็อค เพื่อให้มีราคาต้นทุนน้อยที่สุด

1.4.9 ทำรายการของส่วนประกอบเพื่อสั่งซื้อชิ้นส่วนต่างๆและทำการประกอบ

1.4.10 ทดสอบเครื่องจักรและวิเคราะห์ปัญหาหน้างาน หากเครื่องไม่สามารถกดมอเตอร์ลงไปประกอบกับลูกยางได้ตามมาตรฐาน จากนั้นทำการแก้ไข

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

จากการที่บริษัทได้รับเรื่องร้องเรียนเรื่องปัญหาคุณภาพมานั้นทางบริษัทจะมีการแก้ไขงานอย่างมีระบบแบบแผนทำให้สามารถจัดการปัญหาได้ในส่วนนี้จึงทำให้ได้มองเห็นถึงกระบวนการแก้ปัญหาการทำงานอย่างมีแบบแผนภายในบริษัทโดยในส่วนของการแก้ไขปัญหาที่ผู้จัดทำได้รับนั้นคือการสร้างเครื่องจักรมาเพื่อแก้ไขการทำงานที่ผิดพลาดจึงได้เรียนรู้ในส่วนของกระบวนการออกแบบและสร้างเครื่องจักรขององค์กรและหลังจากสร้างแล้วนั้นต้องมีการติดตามผลการทำงานและวิเคราะห์ปัญหาเมื่อมีปัญหาในขั้นตอนการติดตั้งหรือขั้นตอนการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้คือทฤษฎีสำหรับการคำนวณเชิงวิศวกรรมเพื่อนำไปเลือกชนิดและขนาดของส่วนประกอบที่นำมาสร้างเครื่องจักร

2.1 ทฤษฎีสำหรับการเลือกสปริง

สปริงเป็นส่วนประกอบที่อยู่ส่วนใต้ของฐานอลูมิเนียมซึ่งมีหน้าที่ในการยกฐานอลูมิเนียมขึ้นหลังจากทำการปรกอบมอเตอร์และลูกยางแล้ว

2.1.1 ทฤษฎีแรงภายในสปริง

แรงที่สปริงใช้ในการต้านน้ำหนักของฐานอลูมิเนียม บ่ารองมอเตอร์และมอเตอร์

$$F = kx \tag{1}$$

เมื่อ F คือ แรงที่กระทำในแนวตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด (N)

k คือ ค่านิจของสปริง (N /mm)

x คือ ระยะอัดของสปริง (mm)

2.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะกดตัวของสปริงจากน้ำหนักกับระยะกดสูงสุด

เมื่อกำหนดระยะการทำงานจากการกดคือ 35 มิลลิเมตร

$$F_{max} \geq x + 35 \tag{2}$$

เมื่อ F_{max} คือ ระยะกดสูงสุดของสปริง (mm)

x คือ ระยะอัดของสปริง (mm)

2.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะกดติดของสปริงจากน้ำหนักกับความสูงของแท่นวางลูกยางและมอเตอร์

ระยะกดติดของสปริงจะมีขนาดน้อยกว่าความสูงส่วนฐานของแท่นวางมอเตอร์รวมกับความสูงของมอเตอร์รุ่น BMS เพื่อป้องกันระยะการทำงานไม่ได้ตามระยะที่กำหนด

$$t + h_{BMS} \geq L_s \tag{3}$$

เมื่อ t คือ ความสูงส่วนฐานของแท่นวางมอเตอร์ (mm)

h_{BMS} คือ ความสูงของมอเตอร์รุ่น BMS (mm)

L_s คือ ระยะกดติดของสปริง (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น มวล และปริมาตร

$$W = g\rho V \tag{4}$$

$$\rho = SG \times \rho_{H_2O} \tag{5}$$

เมื่อ W คือ น้ำหนัก (N)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (mm/s^2)

ρ คือ ความหนาแน่น (kg/mm^3)

ρ_{H_2O} คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/mm^3)

V คือ ปริมาตร (mm^3)

SG คือ ความถ่วงจำเพาะ

2.2 ทฤษฎีสำหรับการเลือกฐานอลูมิเนียม

ฐานอลูมิเนียมเป็นส่วนหลักที่ใช้ในการวางมอเตอร์และฐานล็อคมอเตอร์

2.2.1 การหาแรงกระจาย

บนฐานอลูมิเนียมเกิดแรงกระจายเนื่องจากน้ำหนักของมอเตอร์และบ่ารองมอเตอร์

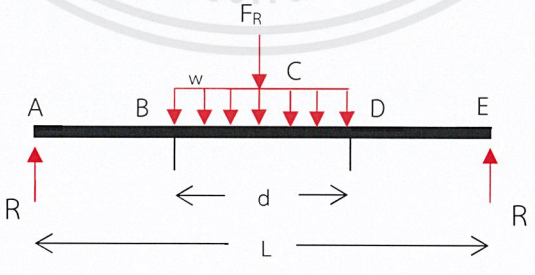
$$w = \frac{\sum F_y}{d} \tag{6}$$

เมื่อ w คือ แรงกระจายเนื่องจากน้ำหนักของมอเตอร์และบ่ารองมอเตอร์ (N /mm)

$\sum F_y$ คือ แรงเนื่องจากน้ำหนักของมอเตอร์และบ่ารองมอเตอร์ (N)

d คือ ระยะทางของแรงกระจายเนื่องจากน้ำหนักของมอเตอร์และบ่ารองมอเตอร์ (mm)

2.2.2 ทฤษฎีแรงเฉือนบนคาน



รูปที่ 2.1 แรงลัพธ์ที่กระทำบนฐานอลูมิเนียม

$$V_{AB} = R \tag{7}$$

$$V_{BC} = R - \left[x - \left(\frac{L-d}{2}\right)\right] w \tag{8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{CD} = R - \left[x - \left(\frac{L-d}{2}\right)\right] w - F_R \quad (9)$$

$$V_{DE} = R - wd - F_R \quad (10)$$

เมื่อ R คือ แรงจากสปริง (N)

F_R คือ แรงต้านจากกระบอกสูบ (N)

L คือ ความยาวของคานอลูมิเนียม (mm)

x คือ ความยาวใดๆ บนคานอลูมิเนียม (mm)

d คือ ระยะทางของแรงกระจายเนื่องจากน้ำหนักของมอเตอร์และบ่ารองมอเตอร์ (mm)

w คือ แรงกระจายเนื่องจากน้ำหนักของมอเตอร์และบ่ารองมอเตอร์ (N/mm)

V_{AB} คือ แรงเฉือนที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด A ถึงก่อนจุด B (N)

V_{BC} คือ แรงเฉือนที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด B ถึงก่อนจุด C (N)

V_{CD} คือ แรงเฉือนที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด C ถึงก่อนจุด D (N)

V_{DE} คือ แรงเฉือนที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด D ถึงก่อนจุด E (N)

2.2.3 ทฤษฎีโมเมนต์บนคาน

$$M_{AB} = Rx \quad (11)$$

$$M_{BC} = Rx - \frac{w}{2}\left(x - \frac{L-d}{2}\right)^2 \quad (12)$$

$$M_{CD} = Rx - \frac{w}{2}\left(x - \frac{L-d}{2}\right)^2 - F_R\frac{d}{2} \quad (13)$$

$$M_{DE} = Rx - wd\left(\frac{L}{2}\right) - F_R\frac{L}{2} \quad (14)$$

เมื่อ R คือ แรงจากสปริง (N)

F_R คือ แรงต้านจากกระบอกสูบ (N)

L คือ ความยาวของคานอลูมิเนียม (mm)

x คือ ความยาวใดๆ บนคานอลูมิเนียม (mm)

d คือ ระยะทางของแรงกระจายเนื่องจากน้ำหนักของมอเตอร์และบ่ารองมอเตอร์ (mm)

w คือ แรงกระจายเนื่องจากน้ำหนักของมอเตอร์และบ่ารองมอเตอร์(N/mm)

M_{AB} คือ โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด A ถึงก่อนจุด B (N.mm)

M_{BC} คือ โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด B ถึงก่อนจุด C (N.mm)

M_{CD} คือ โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด C ถึงก่อนจุด D (N.mm)

M_{DE} คือ โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด D ถึงก่อนจุด E (N.mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดบนคาน

ความเค้นเฉือนจะโมเมนต์ดัดจะเกิดมากที่สุดที่แกนสะเทิน

$$\tau = \frac{VQ}{Ib} \tag{15}$$

โดยที่

$$Q = \frac{w}{2}\left(c^2 - y_1{}^2\right) \tag{16}$$

$$I = \frac{(w - d)h^3}{12} \tag{17}$$

ความเค้นเฉือนสูงสุดที่คานเจาะรูตรงกลาง คำนวณได้จากสมการ

$$\tau_{max} = \frac{V}{\frac{(w - d)h^3}{12}b}\frac{b}{2}\left(c^2 - y_1{}^2\right) \tag{18}$$

เมื่อ τ_{max} คือ ความเค้นเฉือนมากสุดที่เกิดขึ้นบนคานอลูมิเนียม (MPa)

V คือ แรงเฉือนมากสุดที่เกิดขึ้นบนคานอลูมิเนียม (N)

Q คือ โมเมนต์ของพื้นที่หน้าตัด (mm^3)

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่คานที่มีรู (mm^4)

w คือ ความกว้างพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (mm)

c คือ ความสูงจากเส้นแกนกลางถึงผิวบน (mm)

y_1 คือ ระยะจากเส้นแกนกลางถึงจุดใดๆ (mm)

h คือ ความสูงพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (mm)

d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูบนชิ้นงาน (mm)

2.2.5 ทฤษฎีความเค้นดัด

ความเค้นดัดสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ผิวนอกสุดของวัสดุ

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}c}{I} \tag{19}$$

โดยที่

$$I = \frac{(w - d)h^3}{12} \tag{20}$$

ความเค้นดัดสูงสุดที่คานเจาะรูตรงกลาง คำนวณได้จากสมการ

$$\sigma = \frac{6M}{(w - d)h^2} \tag{21}$$

เมื่อ σ คือ ความเค้นดัดที่เกิดขึ้นบนคานอลูมิเนียม (MPa)

M คือ โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นบนคานอลูมิเนียม (N.mm)

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ (mm^4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

w คือ ความกว้างพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (mm)
c คือ ความสูงจากเส้นแกนกลางถึงผิวบน (mm)
h คือ ความสูงพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (mm)
d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูบนชิ้นงาน (mm)

2.3 ทฤษฎีสำหรับการเลือกกระบอกสูบ

กระบอกสูบทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังลมที่จ่ายมาจากท่อลมเป็นต้นกำลังที่ใช้ในการกดมอเตอร์ไปประกอบกับลูกยาง

2.3.1 การหาความดันที่ใช้เป็นต้นกำลัง

โดยทั่วไปจะติดตัวปรับแรงดันลมเพื่อลดกำลังลมจากต้นกำลังลง85เปอร์เซ็นต์ เพื่อป้องกันการเกิดความดันตกคร่อม

$$P \leq 0.85P_{supply} \tag{22}$$

เมื่อ P คือ ความดันของกระบอกสูบ (MPa)
P_{supply} คือ ความดันของจากแหล่งจ่าย (MPa)

2.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน, แรง และพื้นที่ของกระบอกสูบ

$$F = PA\eta \tag{23}$$

เมื่อ F คือ แรงที่กระบอกสูบทำได้ (N)
P คือ ความดันของกระบอกสูบ (MPa)
A คือ พื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบ (mm^2)
η คือ ค่าปรับปรุงจากการวางตัวของกระบอกสูบ

2.4 ทฤษฎีสำหรับการเลือกตัวผลักมอเตอร์

ตัวผลักมอเตอร์เป็นส่วนที่ติดไว้บริเวณปลายก้านสูบของกระบอกสูบเพื่อซับแรงกระแทกจากมอเตอร์ โดยจะเลือกที่มีค่าความแข็งน้อยกว่ามอเตอร์เพื่อป้องกันการกัดของเนื้อวัสดุ

2.4.1 ทฤษฎีความเค้นอัด

แรงอัดที่กระทำวัตถุในแนวตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดนั้นๆ ทำให้เกิดความเค้นอัด ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{24}$$

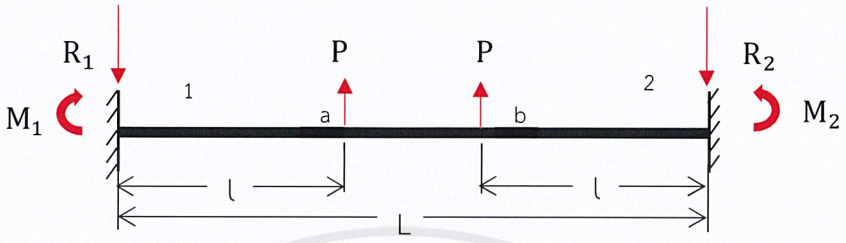
เมื่อ σ คือ ความเค้นอัด (MPa)
F คือ แรงอัดกระทำวัตถุ (N)
A คือ พื้นที่หน้าตัดที่รับแรงอัด (mm^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ทฤษฎีสำหรับการเลือกคานโลหะ

คานโลหะเป็นส่วนที่อยู่บนสุดของเครื่องจักร ทำหน้าที่แบกน้ำหนักของกระบอกสูบและรับแรงต้านของกระบอกสูบในจังหวะชักออกสุด

2.5.1 ทฤษฎีแรงเฉือนบนคานระนาบ x-y



รูปที่ 2.2 แรงลัพธ์ที่กระทำบนคานโลหะระนาบx-y

$$V_{1a} = R_1 \tag{25}$$

$$V_{ab} = R_1 + P \tag{26}$$

$$V_{b2} = R_1 + P + P \tag{27}$$

เมื่อ V_{1a} คือ แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ 1 ถึงจุด a (N)

V_{ab} คือ แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ a ถึงจุด b (N)

V_{b2} คือ แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ b ถึงจุด 1 (N)

P คือ แรงที่กระทำกับคาน (N)

R_1 คือ แรงจากเสากระทำกับด้านซ้ายของคาน (N)

2.5.2 ทฤษฎีโมเมนต์บนคานระนาบ x-y

$$M_{1a} = -\frac{P}{L}\left(Lx - lL + l^2\right) \tag{28}$$

$$M_{ab} = \frac{Pl^2}{L} \tag{29}$$

$$M_{b2} = -\frac{P}{L}\left(L^2 - Lx - Ll + l^2\right) \tag{30}$$

เมื่อ P คือ แรงลัพธ์ที่กระทำกับคาน (N)

L คือ ความยาวของคานโลหะ (mm)

l คือ ระยะทางจากจุดยึดถึงแรงลัพธ์ (mm)

x คือ ความยาวใดๆบนคานอลูมิเนียม (mm)

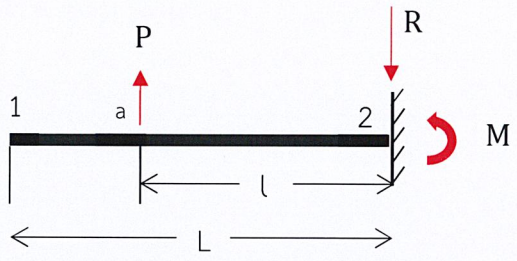
M_{1a} คือ โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด 1 ถึงก่อนจุด a (N.mm)

M_{ab} คือ โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด a ถึงก่อนจุด b (N.mm)

M_{b2} คือ โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด b ถึงก่อนจุด 2 (N.mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 ทฤษฎีแรงเฉือนบนคานระนาบ y-z



รูปที่ 2.3 แรงลัพธ์ที่กระทำบนคานโลหะระนาบy-z

$$V_{1a} = 0 \tag{31}$$

$$V_{a2} = \frac{P}{2} \tag{32}$$

เมื่อ V_{1a} คือ แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ 1 ถึงจุด a (N)
V_{a2} คือ แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ a ถึงจุด b (N)
P คือ แรงที่กระทำกับคาน (N)
L คือ ความยาวของคานโลหะ (mm)
l คือ ระยะทางจากจุดยึดถึงแรงลัพธ์ (mm)

2.5.4 ทฤษฎีโมเมนต์บนคานระนาบ y-z

$$M_{1a} = 0 \tag{33}$$

$$M_{a2} = \frac{P}{2}(x - l) \tag{34}$$

เมื่อ P คือ แรงที่กระทำกับคาน (N)
L คือ ความยาวของคานโลหะ (mm)
l คือ ระยะทางจากจุดยึดถึงแรงลัพธ์ (mm)
x คือ ความยาวใดๆบนคานอลูมิเนียม (mm)
M_{1a} คือ โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด 1 ถึงก่อนจุด a (N.mm)
M_{a2} คือ โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด a ถึงก่อนจุด 2 (N.mm)

2.5.5 ทฤษฎีการรวมโมเมนต์2ระนาบ

$$M = \sqrt{M_{xy}^{\,2} + M_{yz}^{\,2}} \tag{35}$$

เมื่อ M คือ โมเมนต์รวม (N.mm)
M_{xy} คือ โมเมนต์ที่กระทำบนคานในระนาบ x-y (N.mm)
M_{yz} คือ โมเมนต์ที่กระทำบนคานในระนาบ y-z (N.mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.6 ทฤษฎีการเสียรูปของคาน

$$\delta_{max,xy} = \frac{Pl}{24EI}\left(3L^2 - 4l^2\right) \quad (36)$$

$$\delta_{max,yz} = \frac{Pl^2}{6EI}(3L - l) \quad (37)$$

เมื่อ $\delta_{max,xy}$ คือ ระยะเสียรูปของคานในระนาบ x-y (mm)
$\delta_{max,yz}$ คือ ระยะเสียรูปของคานในระนาบ y-z (mm)
P คือ แรงลัพธ์ที่กระทำกับคาน (N)
L คือ ความยาวของคานโลหะ (mm)
l คือ ระยะทางจากจุดยึดถึงแรงลัพธ์ (mm)
I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ (mm^4)
E คือ โมดูลัสความยืดหยุ่น (MPa)

2.6 ทฤษฎีสำหรับการเลือกสกรู

สกรูทำหน้าที่ยึดระหว่างคานโลหะกับเสาค้ำ และยึดระหว่างฐานอลูมิเนียมกับเสานำการเคลื่อนที่

2.6.1 ทฤษฎีตัวยึดที่รับภาระก่อนภาระแรงดึง

ค่าความแข็งของตัวยึด

$$k_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_t + A_t l_d} \quad (38)$$

$$k_b = \frac{A_t E}{l_t} \quad (39)$$

เมื่อ k_b คือ ค่าความแข็งของตัวยึด (N/mm)
A_d คือ พื้นที่หน้าตัดตัวยึด (mm^2)
A_t คือ พื้นที่หน้าตัดตัวยึดที่ได้รับแรงดึง (mm^2)
l_t คือ ความยาวของตัวยึดส่วนที่เป็นเกลียว (mm)
l_d คือ ความยาวของตัวยึดส่วนที่ไม่เป็นเกลียว (mm)
E คือ โมดูลัสความยืดหยุ่น (MPa)

ค่าความแข็งของวัสดุประกอบ

$$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} \quad (40)$$

$$k = \frac{\pi E d \tan\alpha}{\ln\frac{(1.155t + D - d)(D + d)}{(1.155t + D + d)(D - d)}} \quad (41)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $\alpha=30^{\circ}$

$$k=\frac{0.5774\pi Ed}{\ln\frac{(1.155t+D-d)(D+d)}{(1.155t+D+d)(D-d)}} \quad (42)$$

เมื่อ k_m คือ ค่าความแข็งของวัสดุประกอบ (N/mm)
k คือ ค่าความแข็งของวัสดุประกอบแต่ละส่วน (N/mm)
d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวยึด (mm)
D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวตัวยึด (mm)
E คือ โมดูลัสความยืดหยุ่น (MPa)
t คือ ความยาวสกรูภายใต้แรงก่อนแรงสถิต (mm)

$$C=\frac{k_b}{k_b+k_m} \quad (43)$$

เมื่อ C คือ ค่าคงที่ความแข็งของตัวยึด
k_b คือ ค่าความแข็งของตัวยึด (N/mm)
k_m คือ ค่าความแข็งของวัสดุประกอบ (N/mm)

2.6.2 ทฤษฎีตัวยึดที่รับภาระก่อนของตัวยึดในภาระสถิต

ภาระรับก่อนสำหรับแรงสถิต

$$F_p = A_t S_p \quad (44)$$

$$F_i = 0.75F_p \quad (45)$$

$$F_i=0.75A_tS_p \quad (46)$$

เมื่อ F_p คือ ภาระพิสูจน์ (N)
A_t คือ พื้นที่หน้าตัดตัวยึดที่ได้รับแรงดึง (mm^2)
S_p คือ ค่าความต้านภาระพิสูจน์ (MPa)
F_i คือ แรงกระทำเบื้องต้นบนเกลียว (N)

2.6.3 ทฤษฎีภาระในเกลียว

$$F_m = P_m - F_i \quad (47)$$

$$P_m = (1 - C)P \quad (48)$$

เมื่อ F_m คือ แรงลัพธ์ที่ชิ้นงานได้รับ (N)
P_m คือ ภาระส่วนที่ชิ้นงานได้รับ (N)
F_i คือ แรงกระทำเบื้องต้นบนเกลียว (N)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C คือ ค่าคงที่ความแข็งของตัวยึด

P คือ แรงภายที่กระทำต่อข้อต่อ (N)

2.6.4 ทฤษฎีความเสียหายของโบลต์

ความเค้นมากสุดที่โบลต์ได้รับ

$$\sigma_b = \frac{CP}{A_t} + \frac{F_i}{A_t} + \frac{Mc}{I} \tag{49}$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \tag{50}$$

$$c = \frac{d}{2} \tag{51}$$

$$\sigma_b = \frac{CP}{A_t} + \frac{F_i}{A_t} + \frac{M\frac{d}{2}}{\frac{\pi d^4}{64}} \tag{52}$$

เมื่อ σ_b คือ ความเค้นในสลักเกลียว (MPa)

C คือ ค่าคงที่ความแข็งของตัวยึด

P คือ แรงภายที่กระทำต่อข้อต่อ (N)

A_t คือ พื้นที่หน้าตัดตัวยึดที่ได้รับแรงดึง (mm^2)

M คือ โมเมนต์ที่กระทำกับสลักเกลียว (N.mm)

c คือ ระยะจากเส้นสะเทินถึงผิวนอกสุด (mm)

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ (mm^4)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู (mm)

ค่าความปลอดภัยของสกรู

$$n_p = \frac{S_p}{\sigma_{b,max}} \tag{53}$$

$$n_L = \frac{S_p - \frac{F_i}{A_t}}{\frac{Mc}{I} + \frac{CP}{A_t}} \tag{54}$$

$$n_0 = \frac{F_i}{P(1 - C)} \tag{55}$$

$$n_f = \frac{S_e(S_{ut} - \sigma_i)}{\sigma_a(S_{ut} + S_e)} \tag{56}$$

เมื่อ n_p คือ ค่าความปลอดภัยของความคราก

n_L คือ ค่าความปลอดภัยของภาระ

n_0 คือ ค่าภาระป้องกันการแยกออกของตัวยึด

n_f คือ ค่าความปลอดภัยความล้า(Modified Goodman)

σ_i คือ ค่าความเค้นจากภาระรับก่อนสำหรับแรงสถิต (MPa)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

σ_a คือ ค่าความเค้นสลับ (MPa)
S_e คือ ขีดจำกัดความล้า (MPa)
S_{ut} คือ ขีดจำกัดความทนทาน (MPa)

2.7 ทฤษฎีสำหรับการเลือกเสา

เสาแบ่งเป็น 2 ส่วนคือเสาค้ำคานและเสานำการเคลื่อนที่ โดยที่เสาค้ำมีหน้าที่รับน้ำหนักคานและจะต้องค้ำโดยที่ให้คานตั้งฉากกับแท่นวางลูกยาง ส่วนเสานำการเคลื่อนที่มีหน้าที่เป็นแกนสำหรับเคลื่อนที่ผ่านบุชชิ่งโดยต้องรับแรงดึงจากสปริงขณะเครื่องจักรไม่ได้ทำงาน

2.7.1 ทฤษฎีความเค้นดัดบนเสากลวง

$$\sigma_{m,max} = \frac{M_{max}c}{I_s} \tag{57}$$

$$I_s = \frac{\pi}{64}\left(D^4 - d^4\right) \tag{58}$$

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}\frac{D}{2}}{\frac{\pi D^4}{64} - \frac{\pi d^4}{64}} \tag{59}$$

เมื่อ $\sigma_{m,max}$ คือ ความเค้นมากสุดจากโมเมนต์บนเสา (MPa)
M_{max} คือ โมเมนต์มากสุดที่กระทำกับเสา (N.mm)
c คือ ระยะจากเส้นสะเทินถึงผิวนอก (mm)
I_s คือ โมเมนต์ความเฉื่อยพื้นที่ของเสากลวง (mm^4)
D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเสา (mm)
d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเสา (mm)

2.7.2 ทฤษฎีความเค้นปกติบนเสากลวง

$$\sigma_{a,max} = \frac{F_{s,max}}{A} \tag{60}$$

$$A = \frac{\pi}{4}\left(D^2 - d^2\right) \tag{61}$$

$$\sigma_{a,max} = \frac{F_{s,max}}{\frac{\pi}{4}\left(D^2 - d^2\right)} \tag{62}$$

เมื่อ $\sigma_{a,max}$ คือ ความเค้นมากสุดจากแรงตามแนวแกนบนเสา (MPa)
F_{max} คือ แรงตามแนวแกนที่กระทำกับเสา (N)
A คือ พื้นที่หน้าตัดเสากลวง (mm^2)
D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเสา (mm)
d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเสา (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดบนเสากลวง

$$\tau_{max} = \frac{2V}{A} \tag{63}$$

$$\tau_{max} = \frac{2V}{\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)} \tag{64}$$

เมื่อ τ_{max} คือ ความเค้นเฉือนสูงสุดบนเสา (MPa)
V คือ แรงเฉือนสูงสุดที่กระทำกับเสา (N)
A คือ พื้นที่หน้าตัดเสากลวง (mm^2)
D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเสา (mm)
d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเสา (mm)

2.7.4 ทฤษฎีความโก่งของเสา

$$\frac{nP}{A} = \frac{S_{yc}}{1 + \left(\frac{ec}{k^2}\right)\sec\left[(l/2k)\sqrt{P/AE}\right]} \tag{65}$$

$$\frac{nP}{A} = \frac{C\pi^2 E}{(l/k)^2} \tag{66}$$

$$k^2 = \frac{I}{A} \tag{67}$$

$$c = \frac{D}{2} \tag{68}$$

เมื่อ n คือ ค่าความปลอดภัย
P คือ แรงภายนอกที่กระทำกับเสา (N)
A คือ พื้นที่หน้าตัดของเสา (mm^2)
S_{yc} คือ ความต้านทานกดคราก (MPa)
e คือ ระยะแรงกดเยื้องศูนย์ (mm)
c คือ ระยะจากเส้นสะเทินถึงผิวนอก (mm)
k คือ รัศมีไจเรชั่นของพื้นที่หน้าตัด (mm)
l คือ ความสูงของเสา (mm)
E คือ โมดูลัสความยืดหยุ่น (MPa)
I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ (mm^4)
D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเสา (mm)
C คือ ค่าปรับแก้การโก่งเดาะของเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ทฤษฎีสำหรับการเลือกตัวช่วยค้ำเสา

ตัวช่วยค้ำเสาทำหน้าที่จับยึดให้เสาตั้งฉากกับฐานเพื่อให้กระบอกสูบกดมอเตอร์ลงไปได้ตรง และยังคอยช่วยสกรูรับแรงดึงอีกด้วย

2.8.1 ทฤษฎีการยืดออกของสกรู

$$F_i = \frac{T}{Kd} \tag{69}$$

$$\delta = \frac{F_i l}{AE} \tag{70}$$

เมื่อ F_i คือ แรงกระทำเบื้องต้นบนเกลียว (N)
T คือ แรงบิด (N.mm)
K คือ สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์บิด
d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู (mm)
δ คือ ระยะยืดออกของสกรู (mm)
l คือ ความยาวของสกรู (mm)
A คือ พื้นที่หน้าตัดสกรู (mm^2)
E คือ โมดูลัสความยืดหยุ่นสกรู (MPa)

2.8.2 ทฤษฎีความดันในการสวมอัด

$$p = \frac{E\delta}{2d^3}\left(\frac{(d_o^2 - d^2)(d^2 - d_i^2)}{d_o^2 - d_i^2}\right) \tag{71}$$

เมื่อ p คือ แรงเนื่องจากการสวมอัด (N)
E คือ โมดูลัสความยืดหยุ่น (MPa)
δ คือ ระยะยืดออกของสกรู (mm)
d_o คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเสา (mm)
d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเสา (mm)
d_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกวัสดุประกบ (mm)

2.8.3 ทฤษฎีความเค้นบนวัตถุที่ได้รับแรงดัน

$$\sigma_t = p\frac{d_o^2 + d^2}{d_o^2 - d^2} \tag{72}$$

$$\sigma_r = -p \tag{73}$$

$$\sigma_a = \frac{F}{A} \tag{74}$$

เมื่อ σ_t คือ ความเค้นในแนวเส้นสัมผัส (MPa)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

σ_r คือ ความเค้นในแนวรัศมี (MPa)
σ_a คือ ความเค้นในแนวแกน (MPa)
p คือ แรงเนื่องจากการสวมอัด (N)
d_o คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเสา (mm)
d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเสา (mm)
F คือ แรงภายนอกที่ทำกับเสาในแนวแกน (N)
A คือ พื้นที่หน้าตัดส่วนที่รับแรงในแนวแกน (mm^2)

2.8.4 กฎข้อที่ 2 ของนิวตัน

$$F = ma \tag{75}$$

แรงต้านการเคลื่อนที่เมื่อมีแรงเสียดทานระหว่างผิววัตถุ

$$F = \mu N \tag{76}$$

เมื่อ F คือ แรงลัพธ์ (N)
m คือ มวล (kg)
a คือ ความเร่ง (m/s^2)
μ คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างผิว
N คือ แรงปฏิกิริยา (N)

2.8.5 ทฤษฎีความเค้นวอนมิสเซส Von Mises Stress

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} + 3\tau^2} \tag{77}$$

เมื่อ σ' คือ ความเค้นวอนมิสเซส (von misses stress) (MPa)
σ_1 คือ ความเค้นบนแกน x (MPa)
σ_2 คือ ความเค้นบนแกน y (MPa)
σ_3 คือ ความเค้นบนแกน z (MPa)
τ คือ ความเค้นเฉือน (MPa)

2.9 ทฤษฎีสำหรับการเลือกบุชชิ่ง

บุชชิ่งเป็นส่วนประกอบที่ติดไว้กับฐานล่างเพื่อให้เป็นรางสำหรับนำการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงและยังช่วยรับแรงในแนวรัศมีหากเกิดการกระแทก

$$L_h = \frac{L \times 10^3}{2 \times l_s \times n_1 \times 60} \tag{78}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V = \frac{2 \times l_s \times n_1}{60} \tag{79}$$

$$L = \left(\frac{f_h f_t f_c}{f_w} \times \frac{C}{F} \right)^3 \times 50 \tag{80}$$

$$C_{max} = 1.41C \tag{81}$$

เมื่อ L_h คือ เวลาการทำงานน้อยสุด (hr)

L คือ ระยะทางการทำงานน้อยสุด (km)

l_s คือ ระยะเคลื่อนที่ผ่านบุชชิ่ง (m)

n_1 คือ จำนวนการเคลื่อนที่ผ่านบุชชิ่ง

V คือ ความเร็วเคลื่อนที่ผ่านบุชชิ่ง (m/s)

f_h คือ ตัวประกอบความแข็ง

f_t คือ ตัวประกอบอุณหภูมิ

f_c คือ ตัวประกอบสัมผัส

f_w คือ ตัวประกอบภาระ

C คือ ความสามารถรับภาระไดนามิก (N)

C_{max} คือ ความสามารถรับภาระไดนามิกสูงสุด (N)

F คือ ภาระลัพธ์ (N)

2.10 ทฤษฎีสำหรับเลือกตัวจับยึดเซนเซอร์

ตัวจับยึดเซนเซอร์เป็นส่วนประกอบที่ติดไว้ด้านข้างของฐานอลูมิเนียมเพื่อเป็นตัวเชื่อมระหว่างฐานอลูมิเนียมกับเซนเซอร์ตรวจเช็คลูกยาง

2.10.1 ความเค้นเฉือนในสกรู

$$\tau = \frac{F}{CA} \tag{82}$$

เมื่อ τ คือ ความเค้นเฉือน (MPa)

F คือ แรงภายนอกที่กระทำกับสกรู (N)

C คือ จำนวนสกรู

A คือ พื้นที่หน้าตัดสกรู (mm^2)

2.10.2 โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่วัสดุประกอบบริเวณที่มีรูเกลียว

$$I = \frac{bh^3}{12} - 2\frac{dh^3}{12} \tag{83}$$

เมื่อ I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ (mm^4)

b คือ ความกว้างของพื้นที่หน้าตัด (mm)

h คือ ความสูงของพื้นที่หน้าตัด (mm)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 ทฤษฎีความเสียหาย

การออกแบบวัสดุนั้นต้องมีการกำหนดค่าความปลอดภัยสำหรับการออกแบบเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นโดยความเสียหายจะมี2ลักษณะ คือ ความเสียหายจากภาระสถิตและความเสียหายจากความล้า

2.11.1 ทฤษฎีความเสียหายจากภาระสถิต

$$n_{tensile} = \frac{S_y}{\sigma'} \tag{84}$$

$$n_{shear} = \frac{S_y}{2\tau_{max}} \tag{85}$$

เมื่อ $n_{tensile}$ คือ ค่าความปลอดภัยจากความเค้นดึง

n_{shear} คือ ค่าความปลอดภัยจากความเค้นเฉือน

σ' คือ ความเค้นวอนมิสเซส (von misses stress) (MPa)

τ_{max} คือ ความเค้นเฉือนสูงสุด (MPa)

S_y คือ ความต้านทานคราก (MPa)

S_{sy} คือ ความต้านทานเฉือนคราก (MPa)

2.11.2 ทฤษฎีความเสียหายจากความล้า

เมื่อวัตถุได้รับความเค้นแบบกลับไปกลับมาจะเกิดความเสียหายเนื่องจากความล้าขึ้น จึงนำหลักการของModified Goodman

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \tag{86}$$

ค่าขีดจำกัดความทนทาน

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \tag{87}$$

$$k_a = aS_{ut}^{\ b} \tag{88}$$

$$k_b = 1.51d^{-0.157} \tag{89}$$

$$d_e = 0.808(hb)^{1/2} \tag{90-1}$$

$$d_e = 0.37d \tag{90-2}$$

$$k_e = 1 - 0.08z_a \tag{91}$$

$$S'_e = 0.5S_{ut} \tag{92}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเค้นสลับ

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \right| \quad (93)$$

ค่าความเค้นเฉลี่ย

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (94)$$

เมื่อ σ_a คือ ค่าความเค้นสลับ (MPa)

σ_m คือ ค่าความเค้นเฉลี่ย (MPa)

n คือ ค่าความปลอดภัย

S_e คือ ขีดจำกัดความทนทาน (MPa)

k_a คือ ตัวประกอบพื้นผิว

k_b คือ ตัวประกอบขนาด

k_c คือ ตัวประกอบภาระ

k_d คือ ตัวประกอบอุณหภูมิ

k_e คือ ตัวประกอบความน่าเชื่อถือ

k_f คือ ตัวประกอบอื่นๆ

S'_e คือ ขีดจำกัดความทนทานจากการทดลอง (MPa)

S_{ut} คือ ความแข็งแรงแรงดึงสูงสุด (MPa)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)

d_e คือ เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล (mm)

h คือ ความสูงของพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (mm)

b คือ ความกว้างของพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการคำนวณเพื่อเลือกชิ้นส่วนจากแคตตาล็อค โดยเริ่มจากเงื่อนไขเริ่มต้นสำหรับการออกแบบ และส่วนประกอบต่างๆ

3.1 การหาเงื่อนไขเริ่มต้นที่ใช้กำหนดขอบเขตการคำนวณ

3.1.1 การหาน้ำหนักและขนาดของมอเตอร์ทั้ง 3 รุ่น

3.1.1.1 มอเตอร์รุ่นBMSและCSIหนัก 0.5 กิโลกรัม

3.1.1.2 มอเตอร์รุ่นBMLหนัก 0.8 กิโลกรัม

3.1.2 ใช้เกจวัดแรงกดมอเตอร์ไปประกอบกับลูกยางได้ 42.5 นิวตัน

3.1.3 ตำแหน่งความลึกมาตรฐานที่สามารถกดลูกยางลงไปในมอเตอร์ได้

3.1.3.1 มอเตอร์รุ่นBMSและCSIสวมลูกยางพอดีกับฐานของมอเตอร์

3.1.3.2 มอเตอร์รุ่นBMLสวมลึกจากฐานของมอเตอร์ 2 มิลลิเมตร

3.1.4 การกำหนดขนาดของชิ้นส่วนต่างๆเพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานของพนักงาน

3.2 การเลือกบ่ารองมอเตอร์

ตามแคทตาล็อกมีบ่ารอง 2 ประเภท คือแบบโลหะและแบบเรซิ่น ทางผู้จัดทำได้เลือกแบบเรซิ่นที่ทำจากวัสดุประเภท MC ไนลอน เนื่องจากมีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าต่ำเพื่อป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิตซึ่งอาจส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ภายในมอเตอร์จากนั้นเลือกรูปร่างโดยเลือกเป็นทรงกระบอกมีหน้าแปลนเจาะรูตรงกลางที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 83.00 มิลลิเมตรและมีส่วนหน้าแปลนเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 103.00 มิลลิเมตรจึงได้เลือกเป็นบ่ารองแบบมีหน้าแปลนตามรูปที่ ข.2 (ก)และ(ข) บ่ารองต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในอย่างน้อย 6 มิลลิเมตรเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายในมีขนาด 58.50-90.00 มิลลิเมตรจึงได้เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 89.00 มิลลิเมตรกำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของหน้าแปลนมีขนาด 110.00 มิลลิเมตร เนื่องจากยิ่งพื้นที่ส่วนนี้มากจะกระจายแรงกดไปบนฐานวางมอเตอร์ได้มากกำหนดให้หน้าแปลนหนา 10.00 มิลลิเมตรและกัดลงไปอีก 5.00 มิลลิเมตรเพื่อเผื่อระยะกัดงานให้มีรูปร่างที่จะจับมอเตอร์ให้อยู่นิ่งได้ และกำหนดความยาวทั้งหมดคือ 20.00 มิลลิเมตร

3.3 การออกแบบฐานวางมอเตอร์

ฐานวางมอเตอร์ต้องมีน้ำหนักเบาเพื่อให้สปริงมีขนาดเล็กที่สุดที่สามารถยกฐานวางมอเตอร์ที่วางมอเตอร์รุ่นที่มีน้ำหนักมากที่สุดขึ้นไปได้ จึงได้ทดลองเลือกฐานทำจากอลูมิเนียม อัลลอย(A5052P) เนื่องจากมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำ(2.68 กรัมต่อตารางเซนติเมตร)เมื่อเทียบกับอลูมิเนียม อัลลอยประเภทอื่น โดยกำหนดให้ฐานมีขนาดความกว้างxยาวxสูงเท่ากับ 150x150x10 มิลลิเมตร เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังไม่ทราบแรงที่กระทำกับฐานวางมอเตอร์จึงทดลองกำหนดความสูงเท่ากับ 10 มิลลิเมตร และมีรูเจาะตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 83 มิลลิเมตรเพื่อรองรับกับบ่ารอง

3.4 การออกเลือกสปริง

สปริงจะต้องสามารถดันมอเตอร์ที่สวมลูกยางแล้วพร้อมฐานวางมอเตอร์ขึ้นไปได้ โดยใช้ชิ้นส่วนจากบริษัท Misumi

3.4.1 การหาแรงที่สปริงแต่ละตัวได้รับ

น้ำหนักของฐานวางมอเตอร์แทนค่าในสามการที่(4)

$$W_{\text{ฐานวางมอเตอร์}} = 9.81\times2.68\times10^{-6}\times\left[\left\{(150\times150)-\left(\frac{\pi}{4}\times83^2\right)\right\}\times10\right]$$

จะได้ $$W_{\text{ฐานวางมอเตอร์}} = 4.49\ \text{N}$$

ดังนั้น น้ำหนักของฐานวางมอเตอร์ คือ 4.49 นิวตัน

น้ำหนักของฐานล็อคมอเตอร์แทนค่าในสมการที่(4)และ(5)

$$W_{\text{ฐานล็อคมอเตอร์}} = 9.81\times1.16\times1000\times\left[\frac{\pi}{4}\left\{\left(0.11^2\times0.01\right)+\left(0.089^2\times0.01\right)-\left(0.083^2\times0.01\right)\right\}\right]$$

จะได้ $$W_{\text{ฐานล็อคมอเตอร์}} = 1.17\ \text{N}$$

ดังนั้น น้ำหนักของฐานล็อคมอเตอร์ คือ 1.17 นิวตัน

น้ำหนักลัพธ์ในแนวแกน y

$$\sum W = W_{\text{ฐานวางมอเตอร์}} + W_{\text{ฐานล็อคมอเตอร์}} + W_{\text{มอเตอร์รุ่นBML}}$$

$$\sum W = 4.49+1.17+7.85$$

จะได้ $$\sum W = 13.51\ \text{N}$$

ดังนั้น น้ำหนักลัพธ์ในแนวแกน y คือ 13.51 นิวตัน

แรงที่สปริงแต่ละตัวได้รับ

$$F_{\text{สปริงแต่ละตัว}} = \frac{\sum W}{4}$$

$$F_{\text{สปริงแต่ละตัว}} = \frac{13.51}{4}$$

จะได้ $$F_{\text{สปริงแต่ละตัว}} = 3.38\ \text{N}$$

ดังนั้น แรงที่สปริงแต่ละตัวได้รับ คือ 3.38 นิวตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การหาระยะกดทั้งหมดของสปริง

หาระยะที่สปริงถูกกดลงมาจากน้ำหนักลัพธ์ฐานวางมอเตอร์ ในแนวแกน y และนำไปรวมกับระยะที่ฐานวางมอเตอร์เลื่อนลงมา โดยใช้สปริงรุ่นที่อ้างอิงจากเส้นผ่านศูนย์กลางภายในตามรูปที่ ข. 3(ก)และ(ข) เนื่องจากจะต้องนำเสามานำทางการเคลื่อนที่ของสปริง

กำหนด ฐานวางมอเตอร์เลื่อนลงมา $l=35$ mm.

เมื่อ ระยะกดทั้งหมดของสปริง คือ L

ระยะกดลงจากน้ำหนักลัพธ์ คือ x

โดยที่ ค่านิจของสปริงรุ่นVUR $k_{VUR}=0.29$ N/mm

ค่านิจของสปริงรุ่นVUF $k_{VUF}=0.49$ N/mm

ค่านิจของสปริงรุ่นVUL $k_{VUL}=0.98$ N/mm

ค่านิจของสปริงรุ่นVUM $k_{VUM}=2.94$ N/mm

ระยะกดลงจากน้ำหนักลัพธ์ของสปริงแต่ละตัวรุ่นแทนค่าในสามการที่(1) และระยะกดทั้งหมดของสปริงคำนวณได้จากความสัมพันธ์ด้านล่าง

$$L = x+l$$

3.4.3 การหาแรงในสปริงแต่ละรุ่นเมื่อสปริงกดสุดระยะ

แรงในสปริงเมื่อสปริงกดสุดระยะแทนค่าในสามการที่(1)

เมื่อ แรงที่ได้จากสปริงเมื่อกดสุดระยะ คือ F

จะได้ว่าสปริงที่มีแรงต้านน้อยที่สุดคือสปริงรุ่นVUR แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงระยะกดเนื่องจากน้ำหนักลัพธ์, ระยะกดทั้งหมด และแรงที่ระยะกดทั้งหมดของสปริงรุ่น VUR, VUF, VUL และVUM

รุ่นของสปริง	k (N/mm)	x (mm)	L (mm)	F (N)
VUR	0.29	11.65	46.65	13.53
VUL	0.49	6.89	41.90	20.53
VUF	0.98	3.45	38.45	37.68
VUM	2.94	1.15	36.15	106.28

3.4.4 การเลือกสปริงจากแคตตาล็อค

เลือกสปริงรุ่นVURเนื่องจากสปริงรุ่นVUR หลังจากกดลงไปแล้วจะมีแรงสปริงที่กระทำกับฐานรองมอเตอร์น้อยที่สุดเท่ากับ 13.53 นิวตัน

ระยะกดสูงสุดสปริงทำได้ คำนวณได้จากสมการที่(2)

โดยที่ ความสูงส่วนฐานแท่นวางลูกยาง $t=25.5$ mm

$$F_{max} \geq x+35$$

$$F_{max} \geq 11.65+35$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ $$F_{max} \geq 46.65$$

ดังนั้น ระยะกดสูงสุดสปริงทำได้ คือ มากกว่า 46.65 มิลลิเมตร

ระยะกดติดของสปริง คำนวณได้จากสมการที่(3)

$$t + h_{BMS} \geq L_s$$

$$27.5+26 \geq L_s$$

จะได้ $$53.5 \geq L_s$$

ดังนั้น ระยะกดติดของสปริง คือ น้อยกว่า 53.5 มิลลิเมตร

สรุป ใช้สปริงรุ่นVUR12ที่มีความยาวทั้งหมด 80 มิลลิเมตรที่มีระยะกดมากสุด 48 มิลลิเมตรและมีความยาวกดติด 25.3 มิลลิเมตร

3.5 การตรวจสอบความเสียหายของฐานวางมอเตอร์จากสปริงที่เลือก

3.5.1 หาแรงกระจายเนื่องจากน้ำหนักของมอเตอร์

โดยที่ แรงของสปริงแต่ละตัวที่ตำแหน่งต่ำสุด F_s=13.52N

เส้นผ่านศูนย์กลางรูวงกลม d = 89 mm

แรงกระจายบนคานคำนวณได้จากสมการที่(6)

$$w = \frac{13.51}{89}$$

จะได้ $$w = 0.15 \text{N/mm}$$

ดังนั้นแรงกระจายเนื่องจากน้ำหนักของมอเตอร์ 0.15 นิวตันต่อมิลลิเมตร

3.5.2 หาแรงเฉือนที่กระทำบนฐานวางมอเตอร์ขณะกระบอกสูบเคลื่อนที่ลงสุด

กำหนด แรงเฉือนที่จุด A ถึง B คือ $V_{o,AB}$

แรงเฉือนที่จุด B ถึง C คือ $V_{o,BC}$

แรงเฉือนที่จุด C ถึง D คือ $V_{o,CD}$

แรงเฉือนที่จุด D ถึง E คือ $V_{o,DE}$

แรงต้านที่กระบอกสูบได้รับคือ F_R

แรงจากสปริงที่กระทำกับคาน คือ $R = 2F_s$

แรงต้านที่กระบอกสูบได้รับ

$$F_R = 4F_s - \sum W$$

$$F_R = 4(13.52)-(13.51)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ $$F_R = 40.57\ N$$

ดังนั้น แรงต้านที่กระบอกสูบได้รับ คือ 40.57 นิวตัน

แรงเฉือนที่จุด A ถึง B คำนวณได้จากสมการที่(7)

$$V_{o,AB} = 2(13.52)$$

จะได้ $$V_{o,AB} = 27.04\ N$$

ดังนั้น แรงเฉือนที่จุด A ถึง B คือ 27.04 นิวตัน

แรงเฉือนที่จุด B ถึง C คำนวณได้จากสมการที่(8)

$$V_{o,BC} = 2\ (13.52) - \frac{(0.15)(89)}{2}$$

จะได้ $$V_{o,BC} = 20.28\ N$$

ดังนั้น แรงเฉือนที่จุด B ถึง C คือ 20.28 นิวตัน

แรงเฉือนที่จุด C ถึง D คำนวณได้จากสมการที่(9)

$$V_{o,CD} = 2(13.52) - \frac{(0.15)(89)}{2} - 40.57$$

จะได้ $$V_{o,CD} = -20.28\ N$$

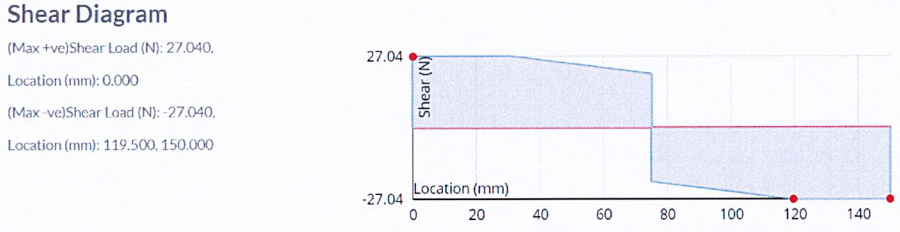
ดังนั้น แรงเฉือนที่จุด C ถึง D คือ -20.28 นิวตัน

แรงเฉือนที่จุด D ถึง E คำนวณได้จากสมการที่(10)

$$V_{o,DE} = 2(13.52) - \frac{(0.15)(89)}{2} - 40.57 - \frac{(0.15)(89)}{2}$$

จะได้ $$V_{o,DE} = -27.04\ N$$

ดังนั้น แรงเฉือนที่จุด D ถึง E คือ -27.04 นิวตัน



รูปที่ 3.1 กราฟแรงเฉือน ณ ตำแหน่งใดๆที่กระทำบนฐานอลูมิเนียมขณะกระบอกสูบชักออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 หาโมเมนต์ที่กระทำบนฐานวางมอเตอร์ขณะกระบอกสูบเคลื่อนที่ลงสุด

กำหนด โมเมนต์ที่จุด A ถึง B คือ $M_{o,AB}$

โมเมนต์ที่จุด B ถึง C คือ $M_{o,BC}$

โมเมนต์ที่จุด C ถึง D คือ $M_{o,CD}$

โมเมนต์ที่จุด D ถึง E คือ $M_{o,DE}$

โมเมนต์ที่จุด A (x=0มิลลิเมตร) คำนวณได้จากสมการที่(11)

$$M_{o,AB} = 2(13.52)(0)$$

จะได้ $$M_{o,AB}=0 \text{ N·mm}$$

ดังนั้น โมเมนต์ที่จุด A คือ 0 นิวตัน.มิลลิเมตร

โมเมนต์ที่จุด B (x=30.5มิลลิเมตร)คำนวณได้จากสมการที่(11)

$$M_{o,AB} = 2(13.52)(30.5)$$

จะได้ $$M_{o,AB} = 824.72 \text{ N·mm}$$

ดังนั้น โมเมนต์ที่จุดB คือ 824.72 นิวตัน.มิลลิเมตร

โมเมนต์ที่จุด C (x=75มิลลิเมตร) คำนวณได้จากสมการที่(12)

$$M_{o,BC} = 2(13.52)(75)-\frac{0.1518}{2}\left(\frac{150}{2}-\frac{150-89}{2}\right)^2$$

จะได้ $$M_{o,BC} = 1877.71 \text{ N·mm}$$

ดังนั้น โมเมนต์ที่จุด C คือ 1877.71 นิวตัน.มิลลิเมตร

โมเมนต์ที่จุด D (x=119.5มิลลิเมตร) คำนวณได้จากสมการที่(14)

$$M_{o,CD} = 2(13.52)(119.5)-13.51\left(\frac{89}{2}\right)-40.57\frac{89}{2}$$

จะได้ $$M_{o,CD}=824.72 \text{ N·mm}$$

ดังนั้น โมเมนต์ที่จุด D คือ 824.72 นิวตัน.มิลลิเมตร

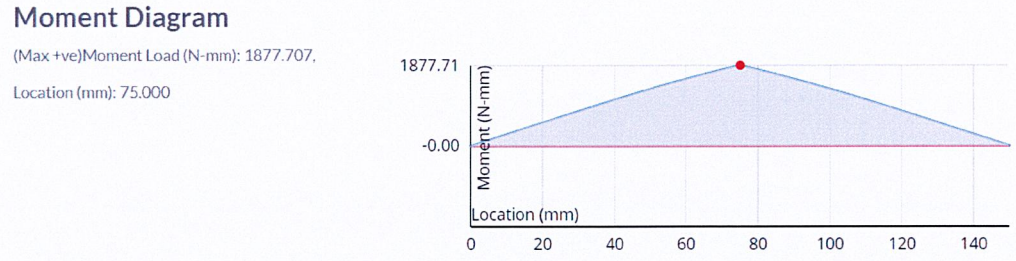
โมเมนต์ที่จุด E (x=150มิลลิเมตร) คำนวณได้จากสมการที่(14)

$$M_{o,DE} = 2(13.52)(150)-13.51\left(\frac{150}{2}\right)-40.57\frac{150}{2}$$

จะได้ $$M_{o,DE}=0 \text{ N·mm}$$

ดังนั้น โมเมนต์ที่จุด E คือ 0 นิวตัน.มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 กราฟโมเมนต์ ณ ตำแหน่งใดๆที่กระทำบนฐานอลูมิเนียมขณะกระบอกสูบชักออก

3.5.4 หาแรงเฉือนที่กระทำบนฐานวางมอเตอร์ขณะกระบอกสูบชักเข้า

กำหนด แรงเฉือนที่จุด A ถึง B คือ $V_{i,AB}$

แรงเฉือนที่จุด B ถึง C คือ $V_{i,BC}$

แรงเฉือนที่จุด C ถึง D คือ $V_{i,CD}$

แรงจากสปริงที่กระทำกับคาน คือ R

แรงจากสปริงที่กระทำกับคาน

$$R = \frac{\sum F_y}{2}$$

$$R = \frac{13.51}{2}$$

จะได้ $$R = 6.76N$$

ดังนั้น แรงต้านที่กระบอกสูบได้รับ คือ 6.76 นิวตัน

แรงเฉือนที่จุด A ถึง B คำนวณได้จากสมการที่(7)

จะได้ $$V_{i,AB}=6.76\ N$$

ดังนั้น แรงเฉือนที่จุด A ถึง B คือ 6.76 นิวตัน

แรงเฉือนที่จุด B ถึง D คำนวณได้จากสมการที่(8)

$$V_{i,BC} = 6.76 - (0.15)(89/2)$$

จะได้ $$V_{i,BC} = -\ 0\ N$$

ดังนั้น แรงเฉือนที่จุด B ถึง D คือ 0 นิวตัน

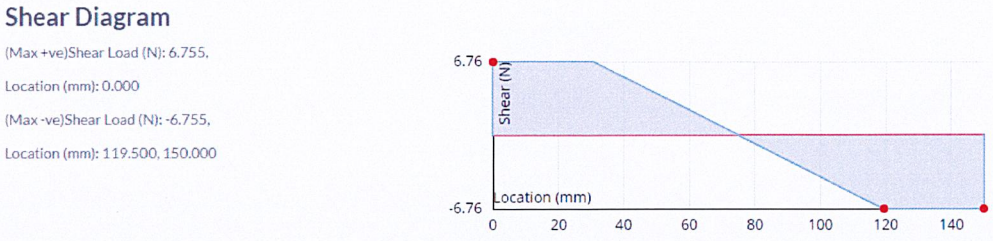
แรงเฉือนที่จุด E คำนวณได้จากสมการที่(10)

$$V_{i,D} = 6.76-(0.15)(89)-6.76$$

จะได้ $$V_{i,D} = -\ 6.76\ N$$

ดังนั้น แรงเฉือนที่จุด E คือ -6.76 นิวตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 กราฟแรงเฉือน ณ ตำแหน่งใดๆที่กระทำบนฐานอลูมิเนียมขณะกระบอกสูบชักเข้า

3.5.5 หาโมเมนต์ที่กระทำบนฐานวางมอเตอร์ขณะกระบอกสูบชักเข้า

กำหนด โมเมนต์ที่จุด A ถึง B คือ $M_{i,AB}$

โมเมนต์ที่จุด B ถึง C คือ $M_{i,BC}$

โมเมนต์ที่จุด C ถึง D คือ $M_{i,CD}$

โมเมนต์ที่จุด D ถึง E คือ $M_{i,DE}$

โมเมนต์ที่จุด A (x=0มิลลิเมตร) คำนวณได้จากสมการที่(11)

$$M_{i,A} = (6.76)(0)$$

จะได้ $$M_{i,A} = 0 \text{ N·mm}$$

ดังนั้น โมเมนต์ที่จุด A คือ 0 นิวตัน.มิลลิเมตร

โมเมนต์ที่จุด B (x=30.5มิลลิเมตร) คำนวณได้จากสมการที่(11)

$$M_{o,AB} = (6.76)(30.5)$$

จะได้ $$M_{o,AB} = 206.18 \text{ N·mm}$$

ดังนั้น โมเมนต์ที่จุด B คือ 206.18 นิวตัน.มิลลิเมตร

โมเมนต์ที่จุด C (x=75มิลลิเมตร) คำนวณได้จากสมการที่(12)

$$M_{o,BC} = (6.76)(75) - \frac{0.1518}{2}\left(\frac{150}{2} - \frac{150-89}{2}\right)^2$$

จะได้ $$M_{o,BC} = 356.33 \text{ N·mm}$$

ดังนั้น โมเมนต์ที่จุด C คือ 356.33 นิวตัน.มิลลิเมตร

โมเมนต์ที่จุด D (x=119.5มิลลิเมตร) คำนวณได้จากสมการที่(14)

$$M_{o,CD} = (6.76)(119.5) - 13.51\left(\frac{89}{2}\right)$$

จะได้ $$M_{o,CD} = 206.18 \text{ N·mm}$$

ดังนั้น โมเมนต์ที่จุด D คือ 206.18 นิวตัน.มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

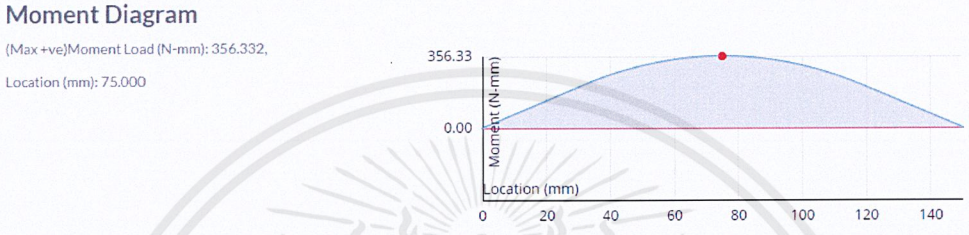
โมเมนต์ที่จุด E (x=150มิลลิเมตร) คำนวณได้จากสมการที่(14)

$$M_{o,DE} = Rx\text{-}wd\left(\frac{d}{2}\right)$$

$$M_{o,DE} = (6.76)(150)\text{-}13.51\left(\frac{150}{2}\right)$$

จะได้ $$M_{o,DE} = 0 \ \ N{\cdot}mm$$

ดังนั้น โมเมนต์ที่จุด E คือ 0 นิวตัน.มิลลิเมตร



รูปที่ 3.4 กราฟโมเมนต์ ณ ตำแหน่งใดๆที่กระทำบนฐานอลูมิเนียมขณะกระบอกสูบชักเข้า

3.5.6 หาความเค้นเฉือนที่กระทำบนฐานวางมอเตอร์

หาความเค้นเฉือนจะโมเมนต์ดัดจะเกิดมากที่สุดที่กึ่งกลางของคาน คำนวณได้จากสมการที่(18)

โดยที่ ระยะจากเส้นแกนกลางถึงแกนสะเทิน คือ $y_1 = 0$ mm

ความสูงจากเส้นแกนกลางถึงผิวบน คือ $c = \frac{h}{2}$

$$\tau_{max} = \frac{3V}{2(w\text{-}d)h}$$

$$\tau_{max} = \frac{3(27.04)}{2(150\text{-}89)(10)}$$

จะได้ $$\tau_{max} = 0.067 \text{ MPa}$$

ดังนั้น ความเค้นเฉือนมากสุดที่กระทำบนฐานอลูมิเนียม คือ 0.067 เมกะปาสคาล

3.5.7 วิเคราะห์ความเสียหายเมื่อรับแรงสถิตของฐานวางมอเตอร์

ค่าความปลอดภัยเมื่อได้รับแรงเฉือนสูงสุด คำนวณได้จากสมการที่สมการที่(85)

โดยที่ ความเค้นจุดครากของอลูมิเนียม คือ S_y=125 MPa

$$0.067 = \frac{125}{2(n)}$$

จะได้ $$n = 932.84$$

ดังนั้น ค่าความปลอดภัยจากความเค้นเฉือน คือ 932.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.8 หาความเค้นเฉือนที่กระทำบนฐานวางมอเตอร์

หาความเค้นดัดสูงสุดบนฐานอลูมิเนียมจากสมการที่(21)

$$\sigma_{max}=\frac{6(1877.71)}{(150\text{-}89)(10)^2}$$

จะได้ $\sigma_{max}=1.85$ MPa

ดังนั้น ความเค้นดัดสูงสุดบนฐานอลูมิเนียม คือ 1.85 เมกะปาสคาล

3.5.9 วิเคราะห์ความเสียหายเมื่อรับแรงสถิตของฐานวางมอเตอร์

หาค่าความปลอดภัยเมื่อได้รับโมเมนต์มากสุด คำนวณได้จากสมการที่(84)

โดยที่ ความเค้นจุดครากของอลูมิเนียม คือ $S_y=125$ MPa

$$1.85=\frac{125}{n}$$

จะได้ $n=67.57$

ดังนั้น ค่าความปลอดภัยจากความเค้นดัด คือ 67.57

<u>หมายเหตุ</u> อลูมิเนียม อัลลอยไม่มีขีดจำกัดความล้า แต่รอบการทำงาน$5x10^8$รอบ จึงไม่ทำการคำนวณเพื่อป้องกันความเสียหายจากความล้า

3.6 การเลือกกระบอกสูบ

กระบอกสูบที่เลือกใช้เป็นของบริษัทSMC(ประเทศไทย) แบบก้านสูบเดี่ยวเคลื่อนที่สองทิศทางและมีต้นกำลังเป็นลมที่มีความดันจากปั๊มลมกลางขนาด 0.6 เมกะปาสคาล

3.6.1 การหาแรงที่น้อยที่สุดกระบอกสูบทำได้

โดยที่ แรงที่สามรถกดลูกยางลงในมอเตอร์ $f=42.4$ N

เมื่อ แรงที่กระบอกต้องทำได้ คือ $\sum F_{cyl}$

แรงสปริงเมื่อกระบอกสูบกดลงสุด คือ $\sum F_s$

น้ำหนักของฐานอลูมิเนียม คือ $W_{ฐานวางมอเตอร์}$

น้ำหนักของบ่ารองมอเตอร์ คือ $W_{บ่ารองมอเตอร์}$

น้ำหนักของมอเตอร์รุ่น BMS คือ $W_{มอเตอร์รุ่นBMS}$

แรงลัพธ์ของสปริงทั้งหมดในแนวแกน y

$$\sum F_s=4\times F_s$$

$$\sum F_s=4\times 13.52$$

จะได้ $\sum F_s=54.08$N

ดังนั้น แรงลัพธ์ของสปริงทั้งหมดในแนวแกน y คือ 54.08 นิวตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงที่กระบอกสูบต้องทำ

$$\sum F_{cyl} = \sum F_s + f - \left(W_{\text{ฐานวางมอเตอร์}} + W_{\text{บ่ารองมอเตอร์}} + W_{\text{มอเตอร์รุ่นBMS}}\right)$$

$$\sum F_{cyl} = 54.08 + 42.4 - (4.493 + 1.174 + 4.905)$$

จะได้ $$\sum F_{cyl} = 85.91\text{N}$$

ดังนั้น แรงที่กระบอกสูบต้องทำ 85.91 นิวตัน

3.6.2 การหาขนาดของกระบอกสูบ

โดยทั่วไปจะติดตัวปรับแรงดันลมเพื่อลดกำลังลมจากต้นกำลังลง85เปอร์เซ็นต์ เพื่อป้องกันการเกิดความดันลดเนื่องจากความต่างของระยะทางจากบริเวณแหล่งจ่ายถึงตำแหน่งเครื่องจักร

แรงดันลมที่กระบอกสูบใช้คำนวณจากสมการที่(22)

$$P_{cyl} \leq 0.85 \times 0.6$$

จะได้ $$P_{cyl} \leq 0.51\ \text{MPa}$$

ดังนั้น แรงดันลมที่กระบอกสูบใช้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.51 เมกะปาสคาล

ขนาดของกระบอกสูบคำนวณได้จากสมการที่(23)

กำหนด พื้นที่ก้านสูบฝั่งหัวกระบอกสูบ คือ A

เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบฝั่งหัวกระบอกสูบ คือ D

โดยที่ ประสิทธิภาพกระบอกสูบเมื่อเคลื่อนที่ในทิศขึ้นลง $\eta = 0.5$

ความดันของกระบอกสูบ $P_{cyl} = 0.51\ \text{MPa}$

แรงที่กระบอกสูบต้องทำได้ $\sum F_{cyl} = 85.91\text{N}$

$$\sum F_{cyl} = P_{cyl} \frac{\pi}{4} D^2 \eta$$

$$85.91 = 0.51 \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \times 0.5$$

จะได้ $$D = 20.71\ \text{mm}$$

ดังนั้น ขนาดของกระบอกสูบ 20.71 มิลลิเมตร

3.6.3 การเปรียบเทียบเพื่อเลือกกระบอกสูบ

การคำนวณหาขนาดของกระบอกสูบได้ 20.42 มิลลิเมตรแต่ในมาตรฐานไม่มีกระบอกสูบขนาด 20.42 มิลลิเมตร จึงต้องเลือกกระบอกสูบขนาด25มิลลิเมตรซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าจากรูปที่ข.5(ก) มีกระบอกสูบ2รุ่นที่มีขนาดกระบอกสูบ 25 มิลลิเมตร ได้แก่ CM2และ CG1ซึ่งในบริษัทมีกระบอกสูบ CM2 ขนาด 25 มิลลิเมตรสำรองไว้ ทางผู้จัดทำจึงได้นำกระบอกสูบรุ่นนี้มาเทียบคุณลักษณะเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเทียบรุ่นกระบอกสูบที่มี กับแคตตาล็อคของSMC พบว่ากระบอกสูบที่มีนั้นเป็นกระบอกสูบที่มีขนาด25มิลลิเมตร ระยะชักยาวสุด 100 มิลลิเมตร ภายในมีแม่เหล็กเพื่อสามารถนำสวิตช์อัตโนมัติมาติดเพื่อให้ทราบตำแหน่งของลูกสูบได้ มีการจับยึดแบบยึดส่วนหัว ขับเคลื่อนด้วยระบบลม สามารถรับแรงดันสูงสุดได้ 1.0 เมกะปาสคาลและแรงดันต่ำสุดที่ใช้ในการขับเคลื่อนคือ 0.05 เมกะปาสคาล

ซึ่งจากการเทียบคุณสมบัติดูนั้นพบว่ากระบอกสูบรุ่นCDM2F25-100Zนั้นสามารถนำมาใช้งานได้เพียงแค่ต้องเปลี่ยนตำแหน่งของตัวจับยึดจากบริเวณหัวกระบอกสูบไปจับยึดบริเวณฝั่งก้านกระบอกสูบแทน

3.7 การเลือกลูกสูบผลักงาน

3.7.1 เลือกลูกสูบผลักชิ้นงานจากคุณสมบัติวัสดุ

เนื่องจากกระบอกสูบที่มีเป็นกระบอกสูบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร จึงทำให้ทราบว่าก้านสูบเป็นเกลียวในขนาด M10x1.25
เนื่องจากไม่ได้ใช้งานเกี่ยวกับความร้อนหรือสารเคมี จึงเลือกใช้เอสเทอโพลิยูรีเทน

3.7.2 ตรวจสอบความเสียหายลูกสูบผลักชิ้นงาน

ความดันที่กระบอกสูบใช้เมื่อเพิ่มขนาดของกระบอกสูบ คำนวณได้จากสมการที่(23)

กำหนด เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ คือ D
โดยที่ ความดันบรรยากาศ คือ $P_{atm}=0.101$ MPa
เส้นผ่านศูนย์กลางของก้านกระบอกสูบ คือ $d=10$ mm
ค่าปรับปรุงจากการวางตัวของกระบอกสูบ คือ $\eta = 1$

$$\sum F_{cyl} = \left[\left(P_{cyl}\frac{\pi}{4}D^2\right) - \left(P_{atm}\frac{\pi}{4}(D^2-d^2)\right)\right]\eta$$

$$85.91 = \left[\left(P_{cyl}\frac{\pi}{4}25^2\right) - \left(0.101\frac{\pi}{4}(25^2-10^2)\right)\right]0.5$$

จะได้ $$P_{cyl}=0.43 \text{ MPa}$$

ดังนั้น ความดันที่กระบอกสูบใช้ คือ 0.43 เมกะปาสคาล

แรงที่มากที่สุดที่ลูกสูบผลักงานได้รับ

กำหนด เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ คือ D
โดยที่ ค่าปรับปรุงจากการวางตัวของกระบอกสูบ คือ $\eta = 1$

$$F = 2\sum F_{cyl}$$

$$F = 2(85.91)$$

จะได้ $$F = 171.81 \text{ N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น แรงที่มากที่สุดที่ลูกสูบผลักงานได้ คือ 171.81 นิวตัน

ความเค้นมากสุดที่ลูกสูบผลักได้รับคำนวณได้จากสมการที่(24)

กำหนด เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบผลักงาน คือ d

$$\sigma = \frac{F}{\frac{\pi}{4}d^2}$$

$$\sigma = \frac{171.81}{\frac{\pi}{4}25^2}$$

จะได้ $\sigma = 0.35$ MPa

ดังนั้น ความเค้นมากสุดที่ลูกสูบผลักได้รับ คือ 0.35 เมกะปาสคาล

ค่าความปลอดภัยเมื่อได้รับความเค้นสูงสุด คำนวณได้จากสมการที่(84)

$$n = \frac{56}{0.35}$$

จะได้ $n = 160$

ดังนั้น ค่าความปลอดภัยของลูกสูบผลักงาน คือ 160

3.8 การออกแบบแท่นวางลูกยาง

ออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน 4 ส่วน เพื่อรองรับการกดมอเตอร์ 3 รุ่น โดยความสูงในชั้นที่2จะกำหนดให้สูง 2 มิลลิเมตรเนื่องจากมอเตอร์รุ่นBMLต้องสวมลูกยางลึกจากฐานมอเตอร์ 2 มิลลิเมตร

ความเค้นมากสุดที่แท่นวางลูกยางได้รับคำนวณได้จากสมการที่(24)

โดยที่ เส้นผ่านศูนย์กลางของแท่นวางลูกยางส่วนบน คือ $d = 5.5$ mm

$$\sigma = \frac{F}{\frac{\pi}{4}d^2}$$

$$\sigma = \frac{171.81}{\frac{\pi}{4}5.5^2}$$

จะได้ $\sigma = 7.23$ MPa

ดังนั้น ความเค้นมากสุดที่แท่นวางลูกยางได้รับ คือ 7.23 เมกะปาสคาล

ความเค้นจุดครากของแท่นวางลูกยางคำนวณได้จากสมการที่(84)

โดยที่ ค่าความปลอดภัยของแท่นวางลูกยางส่วนบน คือ $n = 10$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$10 = \frac{S_y}{7.23}$$

จะได้ $S_y = 72.3 \text{MPa}$

ดังนั้น ต้องเลือกวัสดุที่มีค่าความเค้นจุดคราก มากกว่า 72.3 เมกะปาสคาล

โมดูลัสความยืดหยุ่นเพื่อไม่ให้เกิดการโก่งเดาะ คำนวณได้จากสมการที่(66)

โดยที่ แรงภายนอกที่กระทำกับเสา คือ $P=171.81$ N

ค่าความปลอดภัย คือ $n=10$

ค่าปรับแก้การยืด คือ $C=0.25$

เส้นผ่านศูนย์กลาง คือ $d=5.5$mm

ความสูงของแท่นส่วนบน คือ $l=20$mm

$$E = \frac{64Pnl^2}{C\pi^3 d^4}$$

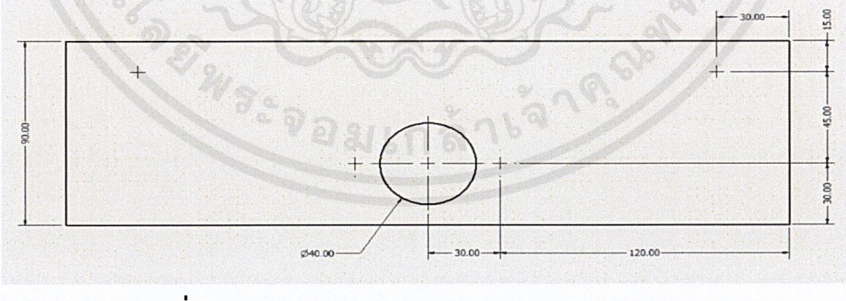
$$E = \frac{64(171.81)(10)(20)^2}{(0.25)\pi^3(5.5)^4}$$

จะได้ $E=6200.8$ MPa

ดังนั้น โมดูลัสความยืดหยุ่นเพื่อไม่ให้เกิดการโก่งเดาะ คือ 6200.8 เมกะปาสคาล

3.9 การออกแบบคานวางกระบอกสูบ

กำหนดขนาดของคานวางกระบอกสูบดังรูปที่ (ไม่รวมถึงความหนา)



รูปที่ 3.5 การกำหนดขนาดของคานวางกระบอกสูบ

3.9.1 หาแรงที่กระทำกับคานเมื่อกดมอเตอร์รุ่นBMS

แรงลัพธ์ที่กระทำกับคานในจังหวะกระบอกสูบชักออกสุดมีค่าเท่ากับแรงสปริงเมื่อถูกกดไปสุดระยะชักของกระบอกสูบรวมกับแรงที่กระบอกสูบทำได้

แรงลัพธ์มากที่สุดกระทำกับคาน

กำหนด แรงมากสุดที่กระทำกับคาน คือ $\sum F_y$

โดยที่ แรงลัพธ์ของสปริง คือ $\sum F_s = 54.08$ N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักมอเตอร์รุ่นBMS คือ $W_{มอเตอร์รุ่นBML} = 4.91N$

$$\sum F_y = \sum F_s - W_{มอเตอร์รุ่นBMS} + \sum F_{cyl}$$

$$\sum F_y = 54.08 - 4.91 + 171.81$$

$$\sum F_y = 220.98N$$

ดังนั้น แรงลัพธ์มากที่สุดกระทำกับคาน คือ 220.98 นิวตัน

3.9.2 หาแรงลัพธ์ทุกจุดที่กระทำกับคานขณะกระบอกสูบชักออกสุดในระนาบ x-y

กำหนด แรงของเสาต้นที่ 1 ที่กระทำกับคานในระนาบ x-y $R_{o,1}$

แรงของเสาต้นที่ 2 ที่กระทำกับคานในระนาบ x-y $R_{o,2}$

แรงที่สกรูดกระบอกสูบตัวที่ 1 กระทำกับคานในระนาบ x-y $F_{o,a}$

แรงที่สกรูยึดกระบอกสูบตัวที่ 2 กระทำกับคานในระนาบ x-y $F_{o,b}$

แรงที่สกรูแรงที่สกรูยึดกระบอกสูบตัวที่1และ2กระทำกับคานขณะกระบอกสูบชักออกสุดในระนาบ x-y

$$F_{o,a} = F_{o,b} = \frac{\sum F_y}{2}$$

$$F_{o,a} = F_{o,b} = \frac{220.98}{2}$$

จะได้ $$F_{o,a} = F_{o,b} = 110.49\ N$$

ดังนั้น แรงที่สกรูแรงที่สกรูยึดกระบอกสูบตัวที่1และ2กระทำกับคานขณะกระบอกสูบชักออกสุดในระนาบ x-y คือ 110.49 นิวตัน

แรงของเสาต้นที่1และ2กระทำกับคานขณะกระบอกสูบชักออกสุดในระนาบ x-y

$$R_{o,1} = R_{o,2} = -\frac{\sum F_y}{2}$$

$$R_{o,1} = R_{o,2} = -\frac{220.98}{2}$$

จะได้ $$R_{o,1} = R_{o,2} = -110.49\ N$$

ดังนั้น แรงของเสาต้นที่1และ2กระทำกับคานขณะกระบอกสูบชักออกสุดในระนาบ x-y คือ -110.49 นิวตัน

3.9.3 หาแรงเฉือนที่กระทำกับคานขณะกระบอกสูบชักออกสุดในระนาบ x-y

กำหนด แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ 1 ถึงก่อนจุด a คือ $V_{o,1a}$

แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุด a ถึงก่อนจุด b คือ $V_{o,ab}$

แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุด b ถึงจุดที่ 2 คือ $V_{o,b2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ 1 ถึงก่อนจุด a คำนวณจากสมการที่(25)

$$V_{o,1a} = R_{o1}$$

จะได้ $$V_{o,1a} = -110.49N$$

ดังนั้น แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ 1 ถึงก่อนจุด a คือ -110.49 นิวตัน

แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุด a ถึงก่อนจุด b คำนวณจากสมการที่(26)

$$V_{o,ab} = -110.49+110.49$$

จะได้ $$V_{o,ab} = 0\ N$$

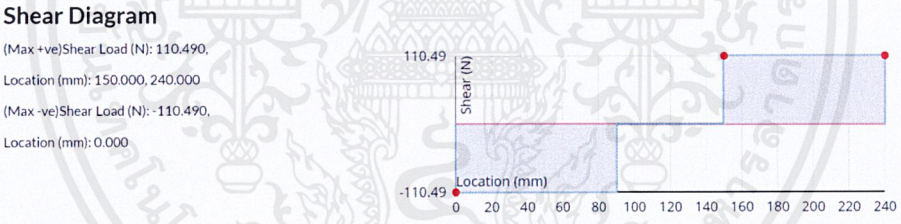
ดังนั้น แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุด a ถึงก่อนจุด b คือ 0 นิวตัน

แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุด b ถึงจุดที่ 2 คำนวณจากสมการที่(27)

$$V_{o,b2} = -110.49+110.49+110.49$$

จะได้ $$V_{o,b2} = 110.4\ 9N$$

ดังนั้น แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุด b ถึงจุดที่ 2 คือ 110.49 นิวตัน



รูปที่ 3.6 กราฟแรงเฉือน ณ ตำแหน่งใดๆที่กระทำบนคานโลหะขณะกระบอกสูบชักออกระนาบx-y

3.9.4 หาโมเมนต์ที่กระทำกับคานขณะกระบอกสูบชักออกสุดในระนาบ x-y

กำหนด โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด 1 ถึงก่อนจุด a คือ $M_{o,1a}$

โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด a ถึงก่อนจุด b คือ $M_{o,ab}$

โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด b ถึงก่อนจุด 2 คือ $M_{o,b2}$

โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด 1 ถึงก่อนจุด a คำนวณได้จากสมการที่(28)

$$M_{o,1a} = -\frac{F_{o,a}}{L}\left(L(0)-lL+l^2\right)$$

$$M_{o,1a} = -\frac{110.49}{240}\left(240(0)-(90)(240)+(90)^2\right)$$

จะได้ $$M_{o,1a} = 6215.06\ N{\cdot}mm$$

ดังนั้น โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด 1 ถึงก่อนจุด a คือ 6215.06 นิวตัน.มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด a ถึงก่อนจุด b คำนวณได้จากสมการที่(29)

$$M_{o,ab}=\frac{F_{o,a}l^2}{L}$$

$$M_{o,ab}=\frac{(-110.49)(90)^2}{240}$$

จะได้ $$M_{o,ab}=-3729.04\ \text{N·mm}$$

ดังนั้น โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด a ถึงก่อนจุด b คือ -3729.04 นิวตัน.มิลลิเมตร

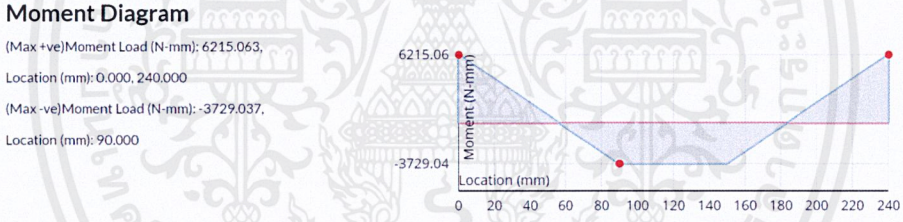
โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด b ถึงก่อนจุด 2 คำนวณได้จากสมการที่(30)

$$M_{o,b2}=-\frac{F_{o,a}}{L}\left(L^2-L(240)-Ll+l^2\right)$$

$$M_{o,b2}=-\frac{110.49}{240}\left(240^2-(240)(240)-(240)(90)+(90)^2\right)$$

จะได้ $$M_{o,b2}=6215.06\ \text{N·mm}$$

ดังนั้น โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด b ถึงก่อนจุด 2 คือ 6215.06 นิวตัน.มิลลิเมตร



รูปที่ 3.7 กราฟโมเมนต์ ณ ตำแหน่งใดๆที่กระทำบนคานโลหะขณะกระบอกสูบชักออกระนาบx-y

3.9.5 หาแรงที่กระทำกับคานจากน้ำหนักกระบอกสูบในระนาบ x-y

กำหนด แรงของเสาต้นที่ 1 ที่กระทำกับคานในระนาบ x-y คือ R_{i1}

แรงของเสาต้นที่ 2 ที่กระทำกับคานในระนาบ x-y คือ R_{i2}

แรงที่สกรูยึดกระบอกสูบตัวที่ 1 กระทำกับคานในระนาบ x-y คือ F_{ia}

แรงที่สกรูยึดกระบอกสูบตัวที่ 2 กระทำกับคานในระนาบ x-y คือ F_{ib}

น้ำหนักของกระบอกสูบ คือ W_{cyl}

โดยที่ น้ำหนักของกระบอกสูบ คือ $$W_{cyl}=9.81\times\left(0.3+0.06\times\frac{100}{50}\right)=4.1202\ \text{N}$$

แรงที่สกรูยึดกระบอกสูบตัวที่ 1 และ 2 กระทำกับคานในระนาบ x-y

$$F_{i,a}=F_{i,b}=-\frac{W_{cyl}}{2}$$

$$F_{i,a}=F_{i,b}=-\frac{4.1202}{2}$$

จะได้ $$F_{i,a}=F_{i,b}=-2.06\ \text{N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น แรงที่สกรูยึดกระบอกสูบตัวที่1และ2กระทำกับคานในระนาบx-y คือ -2.06 นิวตัน

แรงของเสาต้นที่1และ2ที่กระทำกับคานในระนาบx-y

$$R_{i,1}=R_{i,2}=\frac{W_{cyl}}{2}$$

$$R_{i,1}=R_{i,2}=\frac{4.1202}{2}$$

จะได้ $$R_{i,1}=R_{i,2}=2.06\ N$$

ดังนั้นแรงของเสาต้นที่1และ2ที่กระทำกับคานในระนาบx-y คือ 2.06 นิวตัน

3.9.6 หาแรงเฉือนที่กระทำกับคานขณะกระบอกสูบชักเข้าในระนาบ x-y

กำหนด แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ 1 ถึงจุด a คือ $V_{i,1a}$

แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ a ถึงจุด b คือ $V_{i,ab}$

แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ b ถึงจุด 1 คือ $V_{i,b2}$

แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ 1 ถึงจุด a คำนวณได้จากสมการที่(25)

จะได้ $$V_{i,1a}=2.06N$$

ดังนั้น แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ 1 ถึงจุด a คือ 2.06นิวตัน

แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ a ถึงจุด b คำนวณได้จากสมการที่(26)

$$V_{i,ab}=R_{i1}+F_{ia}$$

$$V_{i,ab}=2.06-2.06$$

จะได้ $$V_{i,ab}=0\ N$$

ดังนั้น แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ a ถึงจุด b คือ 0 นิวตัน

แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ b ถึงจุด 1 คำนวณได้จากสมการที่(27)

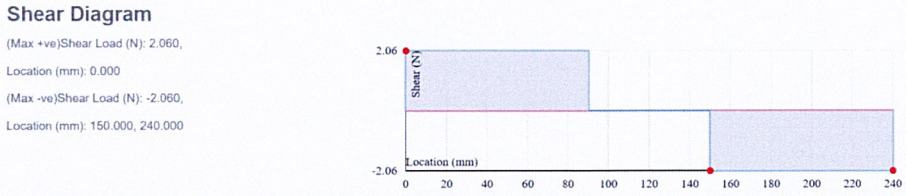
$$V_{i,b2}=R_{i1}+F_{ia}+F_{ib}$$

$$V_{i,b2}=2.06-2.06-2.06$$

จะได้ $$V_{i,b2}=-2.06N$$

ดังนั้น แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ b ถึงจุด 1 คือ -2.06นิวตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 กราฟแรงเฉือน ณ ตำแหน่งใดๆที่กระทำบนคานโลหะขณะกระบอกสูบชักเข้าระนาบx-y

3.9.7 หาโมเมนต์ที่กระทำกับคานขณะกระบอกสูบชักเข้าในระนาบ x-y

กำหนด โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด 1 ถึงก่อนจุด a คือ $M_{i,1a}$

โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด a ถึงก่อนจุด b คือ $M_{i,ab}$

โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด b ถึงก่อนจุด 2 คือ $M_{i,b2}$

โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด 1 ถึงก่อนจุด a คำนวณจากสมการที่(28)

$$M_{i,1a}=\frac{F_{ia}}{L}\left(L(0)-lL+l^2\right)$$

$$M_{i,1a}=\frac{2.06}{240}\left(240(0)-(90)(240)+(90)^2\right)$$

จะได้ $$M_{i,1a}=-115.88\ \text{N·mm}$$

ดังนั้น โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด 1 ถึงก่อนจุด a คือ -115.88นิวตันมิลลิเมตร

โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด a ถึงก่อนจุด b คำนวณจากสมการที่(29)

$$M_{i,ab}=\frac{F_{ia}a^2}{L}$$

$$M_{i,ab}=\frac{(2.06)(90)^2}{240}$$

จะได้ $$M_{i,ab}=69.53\ \text{N·mm}$$

ดังนั้น โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด a ถึงก่อนจุด b คือ 69.53 นิวตันมิลลิเมตร

โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด b ถึงก่อนจุด 2 คำนวณจากสมการที่(30)

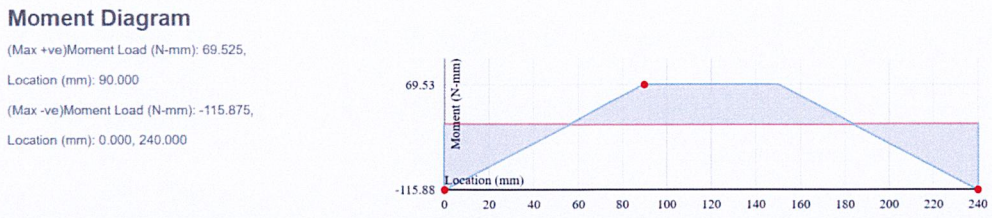
$$M_{i,b2}=\frac{F_{ia}}{L}\left(L^2-L(240)-Ll+l^2\right)$$

$$M_{i,b2}=\frac{2.06}{240}\left(240^2-(240)(240)-(240)(90)+(90)^2\right)$$

จะได้ $$M_{i,b2}=-115.88\ \text{N·mm}$$

ดังนั้น โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด b ถึงก่อนจุด 2คือ -115.88 นิวตันมิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 กราฟโมเมนต์ ณ ตำแหน่งใดๆที่กระทำบนคานโลหะขณะกระบอกสูบชักเข้าระนาบx-y

3.9.8 หาแรงเฉือนที่กระทำกับคานขณะกระบอกสูบชักออกสุดในระนาบ y-z

กำหนด แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ 1 ถึงจุด a คือ $V_{o,1a}$

แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ a ถึงจุด b คือ $V_{o,ab}$

แรงที่กระบอกสูบทำกับคานเมื่อเคลื่อนที่ออกสุด คือ $F_{o,a}$

แรงที่เสาแต่ละต้นทำกับคานในจังหวะชักออกสุด คือ $R_{o,2}$

แรงที่กระบอกสูบทำกับคานเมื่อกระบอกสูบเคลื่อนที่ออกสุด

$$F_{o,a}=\sum F_y$$

จะได้ $$F_{o,a}=220.98\ \text{N}$$

ดังนั้น แรงที่กระบอกสูบทำกับคานเมื่อกระบอกสูบเคลื่อนที่ออกสุด คือ 220.98 นิวตัน

แรงที่เสาทำกับคานในจังหวะกระบอกสูบชักออกสุดในระนาบ y-z

$$R_{o,2}=\frac{F_{o,a}}{2}$$

จะได้ $$R_{o,2}=110.49\ \text{N}$$

ดังนั้น แรงที่เสาทำกับคานในจังหวะกระบอกสูบชักออกสุดในระนาบy-z คือ 110.49 นิวตัน

แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ 1 ถึงจุด a คำนวณได้จากสมการที่(31)

จะได้ $$V_{o,1a}=0\ \text{N}$$

ดังนั้น แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ 1 ถึงจุด a คือ 0นิวตัน

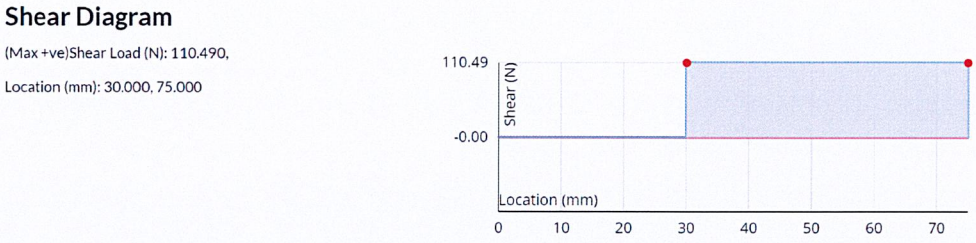
แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ a ถึงจุด b คำนวณได้จากสมการที่(32)

$$V_{o,a2}=\frac{F_{o,a}}{2}$$

จะได้ $$V_{o,a2}=110.49\text{N}$$

ดังนั้น แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ a ถึงจุด b คือ 110.49 นิวตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 กราฟแรงเฉือน ณ ตำแหน่งใดๆที่กระทำบนคานโลหะขณะกระบอกสูบชักออกระนาบy-z

3.9.9 หาโมเมนต์ที่กระทำกับคานขณะกระบอกสูบชักออกสุดในระนาบ y-z

กำหนด โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด 1 ถึงก่อนจุด a คือ $M_{o,1a}$

โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด a ถึงก่อนจุด 2 คือ $M_{o,a2}$

โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด 1 ถึงก่อนจุด a คำนวณได้จากสมการที่(33)

จะได้ $$M_{o,1a}=0 \text{ N·mm}$$

ดังนั้น โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด 1 ถึงก่อนจุด a คือ 0 นิวตันมิลลิเมตร

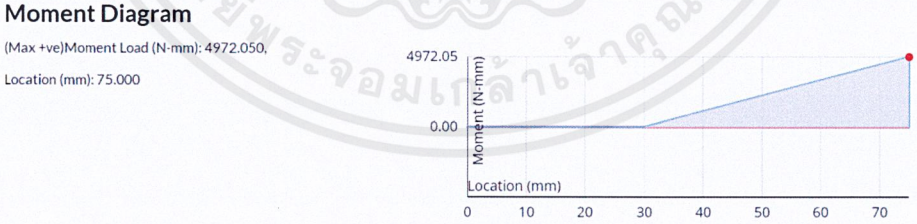
โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด a ถึงก่อนจุด 2 คำนวณได้จากสมการที่(34)

$$M_{o,a2}=\frac{F_{o,a}}{2}(x\text{-}l)$$

$$M_{o,a2}=110.49(75\text{-}30)$$

จะได้ $$M_{o,a2}=4972.05 \text{ N·mm}$$

ดังนั้น โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด a ถึงก่อนจุด 2 คือ 4972.05 นิวตัน.มิลลิเมตร



รูปที่ 3.11 กราฟโมเมนต์ ณ ตำแหน่งใดๆที่กระทำบนคานโลหะขณะกระบอกสูบชักออกระนาบy-z

3.9.10 หาแรงเฉือนที่กระทำกับคานขณะกระบอกสูบชักเข้าในระนาบ y-z

กำหนด แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ 1 ถึงจุด aคือ $V_{i,1a}$

แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ a ถึงจุด b คือ $V_{i,ab}$

แรงที่กระบอกสูบทำกับคานเมื่อเคลื่อนที่เข้า คือ $F_{i,a}$

แรงที่เสาแต่ละต้นทำกับคานในจังหวะชักเข้า คือ $R_{i,2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงที่กระบอกสูบทำกับคานเมื่อกระบอกสูบเคลื่อนที่เข้า

$$F_{i,a}=\sum F_{cyl}$$

จะได้ $$F_{i,a}=4.12\ N$$

ดังนั้น แรงที่กระบอกสูบทำกับคานเมื่อกระบอกสูบเคลื่อนที่เข้าสุด คือ 4.12 นิวตัน

แรงที่เสาทำกับคานในจังหวะกระบอกสูบชักเข้าในระนาบ y-z

$$R_{i,2}=\frac{F_{i,a}}{2}$$

$$R_{i,2}=\frac{4.12}{2}$$

จะได้ $$R_{i,2}=2.06\ N$$

จะได้ แรงที่เสาทำกับคานในจังหวะกระบอกสูบชักเข้าในระนาบ y-z คือ 2.06 นิวตัน

แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ 1 ถึงจุด a คำนวณได้จากสมการที่(31)

จะได้ $$V_{i,1a}=0\ N$$

ดังนั้น แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ 1 ถึงจุด a คือ 0นิวตัน

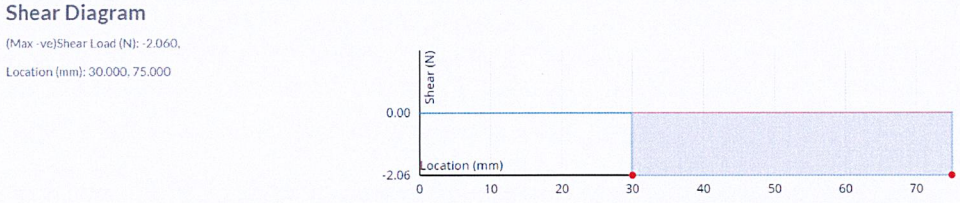
แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ a ถึงจุด b คำนวณได้จากสมการที่(32)

$$V_{i,a2}=\frac{-F_{i,a}}{2}$$

$$V_{i,a2}=\frac{-4.12}{2}$$

$$V_{i,a2}=-2.06N$$

ดังนั้น แรงเฉือนที่กระทำช่วงจุดที่ a ถึงจุด b คือ -2.06 นิวตัน



รูปที่ 3.12 กราฟแรงเฉือน ณ ตำแหน่งใดๆที่กระทำบนคานโลหะขณะกระบอกสูบชักเข้าระนาบy-z

3.9.11 หาโมเมนต์ที่กระทำกับคานขณะกระบอกสูบชักเข้าในระนาบ y-z

กำหนด โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด 1 ถึงก่อนจุด a คือ $M_{i,1a}$

โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด a ถึงก่อนจุด 2 คือ $M_{i,a2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด 1 ถึงก่อนจุด a คำนวณได้จากสมการที่(33)

จะได้ $$M_{i,1a}=0 N\cdot mm$$

ดังนั้น โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด 1 ถึงก่อนจุด a คือ 0 นิวตันมิลลิเมตร

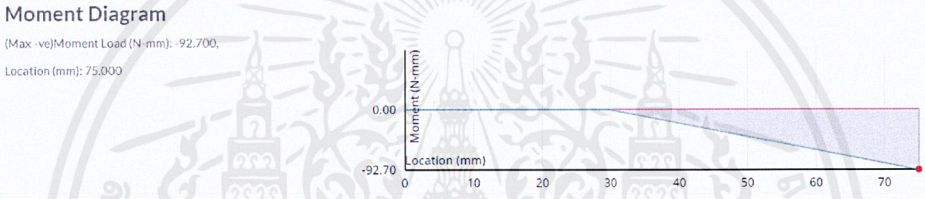
โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด a ถึงก่อนจุด 2 คำนวณได้จากสมการที่(34)

$$M_{i,a2}=\frac{-F_{i,a}}{2}(x-l)$$

$$M_{i,a2}=-2.06(75-30)$$

จะได้ $$M_{i,a2}= -92.70 N\cdot mm$$

ดังนั้น โมเมนต์ที่กระทำบนคานตั้งแต่จุด a ถึงก่อนจุด 2 คือ -92.70 นิวตันมิลลิเมตร



รูปที่ 3.13 กราฟโมเมนต์ ณ ตำแหน่งใดๆที่กระทำบนคานโลหะขณะกระบอกสูบชักเข้าระนาบy-z

3.9.12 หาความเค้นเฉือนสูงสุดบนคานในระนาบ x-y

กำหนด ความเค้นเฉือนมากสุดที่เกิดบนคานระนาบ x-y คือ τ_{x-y}

แรงเฉือนมากสุดที่เกิดบนคานระนาบ x-y คือ V

โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่คานที่มรู คือ I

โดยที่ ระยะจุดที่วิเคราะห์จากแกนสะเทิน คือ $y_1=0$

ระยะจากผิวถึงแกนสะเทิน คือ $c=\frac{h}{2}$

ความเค้นเฉือนมากสุดที่เกิดบนคานระนาบ x-y คำนวณได้จากสมการที่(18)

$$\tau_{x-y}=\frac{3V}{2(w-d)h}$$

$$\tau_{x-y}=\frac{3(66.07)}{2(90-40)h}$$

จะได้ $$\tau_{x-y}=\frac{198.21}{100h}\ MPa$$

ดังนั้น ความเค้นเฉือนมากสุดที่เกิดบนคานระนาบ x-y คือ 198.21/(100h) เมกะปาสคาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.13 วิเคราะห์ความเสียหายเมื่อรับแรงสถิตของคานเมื่อกระบอกสูบเคลื่อนที่ออกสุดในระนาบ x-y

ความหนาของคานเมื่อได้รับความเค้นเฉือนสูงสุดในระนาบ x-y คำนวณจากสมการที่(85)

โดยที่ ความเค้นจุดครากของโลหะ คือ S_y=205 MPa

ค่าความปลอดภัย คือ n=2

$$\frac{198.21}{100h}=\frac{205}{2(2)}$$

จะได้ h=0.039 mm

ดังนั้น ความหนาของคาน คือ 0.039 มิลลิเมตร

3.9.14 หาความเค้นเฉือนสูงสุดบนคานในระนาบ y-z

กำหนด ความเค้นเฉือนมากสุดที่เกิดบนคานระนาบ y-z คือ $\tau_{y\text{-}z}$

แรงเฉือนมากสุดที่เกิดบนคาน คือ V

โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่คานที่มรู คือ I

โดยที่ ระยะจุดที่วิเคราะห์จากแกนสะเทิน คือ y_1=0

ระยะจากผิวถึงแกนสะเทิน คือ $c=\frac{h}{2}$

ความเค้นเฉือนมากสุดที่เกิดบนคานระนาบ y-z คำนวณได้จากสมการที่(18)

$$\tau_{y\text{-}z}=\frac{3V}{2(w\text{-}d)h}$$

$$\tau_{y\text{-}z}=\frac{3(66.07)}{2(300\text{-}40)h}$$

จะได้ $$\tau_{y\text{-}z}=\frac{198.21}{520h}\ \text{MPa}$$

ดังนั้น ความเค้นเฉือนมากสุดที่เกิดบนคานระนาบ y-z คือ 198.21/(520h) เมกะปาสคาล

3.9.15 วิเคราะห์ความเสียหายเมื่อรับแรงสถิตของคานเมื่อกระบอกสูบเคลื่อนที่ออกสุดในระนาบy-z

ความหนาของคานเมื่อได้รับความเค้นเฉือนสูงสุดในระนาบ y-z คำนวณจากสมการที่(85)

โดยที่ ความเค้นจุดครากของโลหะ คือ S_y=205 MPa

ค่าความปลอดภัย คือ n=2

$$\frac{198.21}{520h}=\frac{205}{2(2)}$$

จะได้ h=0.0074 mm

ดังนั้น ความหนาของคาน คือ 0.0074 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.16 โมเมนต์รวมในระนาบx-yกับระนาบy-zจังหวะกระบอกสูบชักออกสุด

รวมโมเมนต์มากสุดใน 2 ระนาบ คำนวณได้จากสมการที่(35)

$$M_{max}=\sqrt{6215.06^2+4972.05^2}$$

จะได้ $M_{max}=7959.16\ N\cdot mm$

ดังนั้น รวมโมเมนต์มากสุดใน 2 ระนาบ คือ 7959.16 นิวตันมิลลิเมตร

3.9.17 โมเมนต์รวมในระนาบx-yกับระนาบy-zจังหวะกระบอกสูบชักเข้า

รวมโมเมนต์น้อยสุดใน 2 ระนาบ คำนวณได้จากสมการที่(35)

$$M_{min}=\sqrt{-115.88^2+-92.70^2}$$

จะได้ $M_{min}=-148.40\ N\cdot mm$

ดังนั้น รวมโมเมนต์น้อยสุดใน 2 ระนาบ คือ -148.40 นิวตันมิลลิเมตร

3.9.18 หาความเค้นมากสุดจากโมเมนต์ที่กระทำกับคานที่บริเวณจุดยึด

เลือกบริเวณจุดยึดมาคำนวณหาความเค้นเนื่องจากบริเวณจุดยึดเป็นจุดที่ได้รับโมเมนต์มากที่สุด จึงจะเป็นจุดที่เกิดความเค้นจากโมเมนต์มากสุด

กำหนด ความเค้นดัดมากสุดที่เกิดบนคาน คือ σ_{max}

โดยที่ คานมีรูเจาะขนาด $d=40mm$

คานมีความกว้าง $w=90mm$

ความเค้นจากโมเมนต์ดัดมากสุด คำนวณได้จากสมการที่(21)

$$\sigma_{max}=\frac{6(7959.16)}{(90-40)h^2}$$

จะได้ $\sigma_{max}=\frac{955.10}{h^2}\ MPa$

ดังนั้น ความเค้นจากโมเมนต์ดัดมากสุด คือ $955.10/h^2$ เมกะปาสคาล

3.9.19 หาความหนาของคานจากโมเมนต์ที่มากที่สุด

ความหนาของคานเมื่อได้รับความเค้นดัดสูงสุด คำนวณได้จากสมการที่(84)

$$\frac{955.10}{h^2}=\frac{205}{2}$$

จะได้ $h=3.053mm$

ดังนั้น ความหนาของคานจากโมเมนต์ดัด คือ 3.053 มิลลิเมตร

3.9.20 หาความเค้นน้อยสุดจากโมเมนต์ที่กระทำกับคานที่บริเวณจุดยึด

กำหนด ความเค้นดัดน้อยสุดที่เกิดบนคาน คือ σ_{min}

โดยที่ คานมีรูเจาะขนาด $d=40\ mm$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คานมีความกว้าง $w=90$ mm

ความเค้นจากโมเมนต์ดัดน้อยสุด คำนวณได้จากสมการที่(21)

$$\sigma_{min}=\frac{6(-148.40)}{(90-40)h^2}$$

จะได้ $$\sigma_{min}=\frac{-17.81}{h^2}\ \text{MPa}$$

ดังนั้น ความเค้นจากโมเมนต์ดัดน้อยสุด คือ $-17.81/h^2$ เมกะปาสคาล

3.9.21 หาค่าความกว้างของความเค้น

ค่าความเค้นสลับ คำนวณได้จากสมการที่(96)

$$\sigma_a=\left|\frac{\frac{955.10}{h^2}-\frac{-17.81}{h^2}}{2}\right|$$

จะได้ $$\sigma_a=\left|\frac{486.46}{h^2}\right|\ \text{MPa}$$

ดังนั้น ค่าความกว้างความเค้น $\left|\frac{486.46}{h^2}\right|$ เมกะปาสคาล

3.9.22 หาค่ากลางของความเค้น

ค่ากลางของความเค้น คำนวณได้จากสมการที่(97)

$$\sigma_m=\frac{\frac{955.10}{h^2}+\frac{-17.81}{h^2}}{2}$$

จะได้ $$\sigma_m=\frac{468.65}{h^2}\ \text{MPa}$$

ดังนั้น ค่ากลางของความ คือ $\frac{468.65}{h^2}$ เมกะปาสคาล

3.9.23 หาค่าขีดจำกัดความทนทาน

เมื่อ การปรับแต่งผิวครั้งสุดท้ายคือการกัด

ค่าตัวประกอบภาระพื้นผิว คำนวณได้จากสมการที่(88)

จากตารางที่ ก.5 ค่าคงที่ a คือ 4.51

ค่าคงที่ b คือ -0.265

$$k_a=(4.51)(400)^{-0.265}$$

จะได้ $$k_a=0.922$$

ดังนั้น ค่าตัวประกอบภาระพื้นผิว คือ 0.922

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวประกอบขนาด คำนวณได้จากสมการที่(89)

เมื่อ คำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลากลวงได้จากสมการที่(90-1)

$$d_e=0.808(h90)^{1/2}$$

จะได้ $$d_e=72.72(h)^{1/2}$$

กำหนด ความหนาของคาน คือ $h>1$

$$k_b=1.51\left(72.72(h)^{1/2}\right)^{-0.157}$$

จะได้ $$k_b=\frac{1.51}{72.72^{0.157}h^{0.157/2}}$$

ดังนั้น ตัวประกอบขนาด คือ $\frac{1.51}{72.72^{0.157}h^{0.157/2}}$

ตัวประกอบความน่าเชื่อถือ คำนวณได้จากสมการที่(93)

กำหนด ค่าความน่าเชื่อถือ99% จากตารางที่ ก.8 $z_a=2.326$

$$k_e=1-(0.08)(2.326)$$

จะได้ $$k_e=0.814$$

ดังนั้น ตัวประกอบความน่าเชื่อถือ คือ 0.814

ขีดจำกัดความทนทานจากการทดลอง คำนวณได้จากสมการที่(91)

โดยที่ ความแข็งแรงแรงดึงสูงสุดของโลหะ คือ $S_{ut}=400$ MPa

$$S'_e=0.5(400)$$

จะได้ $$S'_e=200 \text{ MPa}$$

ดังนั้น ขีดจำกัดความทนทานจากการทดลอง คือ 200 เมกะปาสคาล

ขีดจำกัดความทนทาน คำนวณได้จากสมการที่(87)

เมื่อ $$k_c=k_d=k_f=1$$

$$S_e=(0.922)\left(\frac{1.51}{72.72^{0.157}h^{\frac{0.157}{2}}}\right)(1)(1)(0.814)(1)(200)$$

จะได้ $$S_e=\frac{115.63}{h^{\left(\frac{0.157}{2}\right)}} \text{ MPa}$$

ดังนั้น ขีดจำกัดความทนทาน คือ $\frac{115.63}{h^{\left(\frac{0.157}{2}\right)}}$ เมกะปาสคาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาของคาน คำนวณได้จากสมการที่(86)

$$\frac{\left|\frac{486.46}{h^2}\right|}{\frac{115.63}{h^{\frac{0.157}{2}}}}+\frac{\frac{468.65}{h^2}}{400}=\frac{1}{10}$$

จะได้ $h=7.82mm$

ดังนั้น คานมีความหนามากกว่า 7.82 มิลลิเมตร

3.9.24 หาความโก่งของคานในระนาบx-y

การโก่งงอมากสุดที่กลางคานในระนาบ x-y คำนวณได้จากสมการที่(36)

$$\delta_{max,xy}=\frac{Pl}{24E\left(\frac{(w-d)h^3}{12}\right)}\left(3L^2-4l^2\right)$$

$$\delta_{max,xy}=\frac{(220.98)(90)}{24(190\times10^3)\times\left(\frac{(90-40)10^3}{12}\right)}\left(3(240)^2-4(90)^2\right)$$

จะได้ $\delta_{max,xy}=0.147mm$

ดังนั้น การโก่งงอมากสุดที่กลางคานในระนาบ x-y คือ 0.147 มิลลิเมตร

3.9.25 หาความโก่งของคานในระนาบy-z

การโก่งงอมากสุดที่กลางคานในระนาบ y-z คำนวณได้จากสมการที่(37)

$$\delta_{max,yz}=\frac{Pl^2}{6E\left(\frac{(w-d)h^3}{12}\right)}(3L-l)$$

$$\delta_{max,yz}=\frac{(220.98)(45^2)}{6(190\times10^3)\left(\frac{(300-40)10^3}{12}\right)}(3(75)-45)$$

จะได้ $\delta_{max,yz}=0.0033mm$

ดังนั้น การโก่งงอมากสุดที่กลางคานในระนาบ y-z คือ 0.0033 มิลลิเมตร

ดังนั้น การโก่งงอทั้งหมดของคาน คือ $\sum\delta_{max}=0.148+0.0033=0.151$ มิลลิเมตร

3.10 การเลือกสกรูยึดระหว่างคานกับเสาค้ำ

วัสดุที่ใช้ทำคานคือเหล็กSS400 ส่วนวัสดุที่ใช้ทำเสาคือเหล็กSUJ2 สกรู6เหลี่ยมเกลียวเต็มทำจากวัสดุเหล็กSCM435

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10.1 ค่าความแข็งของตัวยึด

โดยที่ ค่าโมดูลัสของสกรู คือ $E_{screw}=190\times10^3$ MPa

ค่าโมดูลัสของคานโลหะ คือ $E_{beam}=190\times10^3$ MPa

ค่าโมดูลัสของเสา คือ $E_{shaft}=206\times10^3$ MPa

กำหนด สกรูมีความยาวส่วนเกลียว คือ $l_t=25$ mm

สกรูมีความยาวส่วนไม่มีเกลียว คือ $l_d = 0\ mm$

เมื่อ $$l_t\begin{cases}h+\frac{t_2}{2}, & t_2<d\\ h+\frac{d}{2}, & t_2\geq d\end{cases}$$

ค่าความแข็งของตัวยึด คำนวณได้จากสมการที่(39)

$$k_b=\frac{A_tE_{screw}}{l_t}$$

จะได้ $$k_b=\frac{A_t(190\times10^3)}{l_t}\ \text{N/mm}$$

ดังนั้น ค่าความแข็งของตัวยึด คือ $\frac{A_t(190\times10^3)}{l_t}$ นิวตันต่อมิลลิเมตร

3.10.2 ค่าความแข็งของวัสดุประกอบ

โดยที่ เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวตัวยึด คือ D

เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวยึด คือ d

เมื่อ ความยาวสกรูภายใต้แรงก่อนแรงสถิตของ k_1 คือ $t=\frac{l}{2}$

ความยาวสกรูภายใต้แรงก่อนแรงสถิตของ k_2 คือ $t=\frac{l}{2}$-(l-10)

ความยาวสกรูภายใต้แรงก่อนแรงสถิตของ k_3 คือ t=l-10

ค่าความแข็งของวัสดุประกอบแต่ละส่วน คำนวณได้จากสมการที่(42)

$$k_1=\frac{0.5774\pi E_{screw}d}{\ln\frac{(1.155t+D-d)(D+d)}{(1.155t+D+d)(D-d)}}$$

จะได้ $$k_1=\frac{0.5774\pi(190\times10^3)d}{\ln\frac{\left(1.155\frac{1}{2}+D-d\right)(D+d)}{\left(1.155\frac{1}{2}+D+d\right)(D-d)}}$$

$$k2 = \frac{0.5774\pi E_{screw}d}{\ln\frac{((1.155t)+(D+2(l-10)\tan30\ )-d)((D+2(l-10)\tan30\ )+d)}{((1.155t)+(D+2(l-10)\tan30\ )+d)((D+2(l-10)\tan30\ )-d)}}$$

จะได้ $$k2 = \frac{0.5774\pi(190\times10^3)d}{\ln\frac{((1.155\times\left(\frac{1}{2}-(l-10)\right))+(D+2(l-10)\tan30\ )-d)((D+2(l-10)\tan30\ )+d)}{((1.155\times\left(\frac{1}{2}-(l-10)\right))+(D+2(l-10)\tan30\ )+d)((D+2(l-10)\tan30\ )-d)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$k_3=\frac{0.5774\pi E_{screw}d}{\ln\frac{(1.155t+D-d)(D+d)}{(1.155t+D+d)(D-d)}}$$

จะได้ $$k_3=\frac{0.5774\pi(206\times10^3)d}{\ln\frac{(1.155(l-10)+D-d)(D+d)}{(1.155(l-10)+D+d)(D-d)}}$$

ค่าความแข็งของวัสดุประกอบ คำนวณได้จากสมการที่(40)

$$\frac{1}{k_m}=\frac{1}{k_1}+\frac{1}{k_2}+\frac{1}{k_3}$$

3.10.3 หาค่าคงที่ความแข็งของตัวยึด

ค่าคงที่ความแข็งของตัวยึด คำนวณได้จากสมการที่(43)

$$C=\frac{k_b}{k_b+k_m}$$

3.10.4 หาภาระรับก่อนสำหรับแรงสลิตของสกูล

โดยที่ ความเค้นพิสูจน์ของสกรู คือ S_p=970 MPa

ภาระรับก่อนสำหรับแรงสลิต คำนวณได้จากสมการที่(46)

จะได้ $$F_i=0.75\left(A_t(970)\right)$$

3.10.5 หาความเค้นที่กระทำกับสกรู

โดยที่ โมเมนต์มากสุดที่กระทำกับสกรู คือ M_{max}=7959.16N/mm

โมเมนต์น้อยสุดที่กระทำกับสกรู คือ M_{min}= -148.4N/mm

กำหนด ความเค้นมากสุดที่กระทำกับสกรู คือ $\sigma_{b,max}$

ความเค้นน้อยสุดที่กระทำกับสกรู คือ $\sigma_{b,min}$

โมเมนต์มากสุดที่กระทำกับสกรู คือ M_{max}

โมเมนต์น้อยสุดที่กระทำกับสกรู คือ M_{min}

ความเค้นมากสุดที่กระทำกับสกรูและความเค้นน้อยสุดที่กระทำกับสกรู คำนวณได้จากสมการที่(52)

$$\sigma_{b,max}=\frac{CP}{A_t}+\frac{F_i}{A_t}+\frac{M_{max}\frac{d}{2}}{\frac{\pi d^4}{64}}$$

$$\sigma_{b,min}=\frac{CP}{A_t}+\frac{F_i}{A_t}+\frac{M_{min}\frac{d}{2}}{\frac{\pi d^4}{64}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10.6 หาค่าความปลอดภัยเนื่องจากความเสียหายจากแรงสถิต

ค่าความปลอดภัยของความคราก คำนวณได้จากสมการที่(53)

$$n_p=\frac{S_p}{\sigma_{b,max}}$$

ค่าความปลอดภัยของความภาระ คำนวณได้จากสมการที่(54)

$$n_L=\frac{S_p-\frac{F_i}{A_t}}{\frac{Mc}{I}+\frac{CP}{A_t}}$$

ค่าภาระป้องกันการแยกออกของตัวยึด คำนวณได้จากสมการที่(55)

$$n_0=\frac{F_i}{P(1-C)}$$

3.10.7 หาค่าความปลอดภัยเนื่องจากความเสียหายจากการล้า

ค่าความเค้นสลับ คำนวณได้จากสมการที่(92)

$$\sigma_a=\left|\frac{\sigma_{b,max}-\sigma_{b,min}}{2}\right|$$

ค่าความเค้นเฉลี่ยคำนวณได้จากสมการที่(24)และ(93)

$$\sigma_m=\frac{\sigma_{b,max}+\sigma_{b,min}}{2}-\frac{F_i}{A_t}$$

ค่าความเค้นจากภาระรับก่อนสำหรับแรงสถิต คำนวณได้จากสมการที่(24)

$$\sigma_i=\frac{F_i}{A_t}$$

ค่าความปลอดภัยความล้า คำนวณได้จากสมการที่(56)

เมื่อ ค่าความแข็งแรงแรงดึงสูงสุด คือ S_{ut}=1200MPa

ค่าขีดจำกัดความทนทาน คือ S_e=190MPa

$$n_f=\frac{S_e(S_{ut}-\sigma_i)}{\sigma_a(S_{ut}+S_e)}$$

3.10.8 สรุปค่าต่างๆ ตามขนาดของสกรูตั้งแต่M3ถึงM12

เลือกสกรูขนาด M12 เนื่องจากมีค่าความปลอดภัย

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าความปลอดภัยของสกรูขนาดM3 ถึงM12

d (mm)	D (mm)	A_t (mm^2)	F_i (N)	k_m (N/m)	k_b (N/m)	C	n_L	n_p	n_0	n_f
3	5.5	5.03	3659.32	363624	83104	0.19	0.08	0.26	40.69	0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

4	7	8.78	6387.45	492065	139016	0.22	0.19	0.49	74.14	0.10
5	8.5	14.2	10330.50	630252	215840	0.26	0.37	0.70	125.52	0.20
6	10	20.1	14622.75	776956	293769	0.27	0.64	0.88	182.38	0.35
8	13	36.6	26626.50	1091960	496714	0.31	1.52	1.09	350.61	0.82
10	16	58	42195.00	1430593	734666	0.34	2.97	1.20	578.01	1.61
12	18	84.3	61328.25	1566988	1001063	0.39	5.11	1.25	909.65	2.78

3.11 การคำนวณหาขนาดเสา

เสามีเจาะรูเกลียวหัวท้ายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ลึก 15 มิลลิเมตร

3.11.1 ตรวจสอบความเสียหายของเสาบริเวณเกลียวยึด

โดยที่ เลือกใช้วัสดุSUJ2ซึ่งมีค่าความคราก คือ S_y=1176 MPa

ภาระบนชิ้นส่วนประกอบ คำนวณได้จากสมการที่ (47) (48)

$$F_m=(1-0.39)(110.49)-61328.25$$

จะได้ $$F_m= -61260.9N$$

ดังนั้น ภาระบนชิ้นส่วนประกอบ คือ 61260.9 นิวตัน

ความเค้นบนเกลียวชิ้นส่วนประกอบ คำนวณได้จากสมการที่ (24)

กำหนด ความเค้นบนเกลียวชิ้นส่วนประกอบ คือ σ_m

$$\sigma_m=\frac{61260.9}{84.3}$$

จะได้ $$\sigma_m=726.7 \text{ MPa}$$

ดังนั้น ความเค้นบนเกลียวชิ้นส่วนประกอบ คือ 726.7 เมกกะปาสคาล

ค่าความปลอดภัยบนเกลียว คำนวณได้จากสมการที่ (84)

$$726.7=\frac{1176}{n}$$

จะได้ $$n=1.62$$

ดังนั้น ค่าความปลอดภัยบนเกลียว คือ 1.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11.2 ความสูงของเสา

กำหนด ความสูงของเสา คือ L

หาความสูงของเสา

L=ความสูงแท่นวางลูกยางส่วนฐาน+ความสูงมอเตอร์รุ่นBMS+ระยะชักสูงสุด+ระยะยื่นของก้านกระบอกสูบ

$$L=(25.5+2)+26+100+45$$

จะได้ $$L=198.5 \text{ mm}$$

ดังนั้น ความสูงของเสา คือ198.5 มิลลิเมตร

3.11.3 หาแรงลัพธ์และโมเมนต์ที่กระทำกับเสาขณะลูกสูบชักออกสุด

คำนวณจากเอลิเมนต์ที่ผิวนอกสุดของเสาบริเวณที่ยึดกับฐานล่าง

กำหนด แรงลัพธ์ที่กระทำกับเสาขณะกระบอกสูบชักออกสุด คือ $F_{s,max}$

โมเมนต์ที่กระทำกับเสาขณะกระบอกสูบชักออกสุด คือ $M_{s,max}$

แรงลัพธ์ที่กระทำกับเสาขณะกระบอกสูบชักออกสุด

$$F_{s,max}=\frac{F_{o,a}}{2}$$

$$F_{s,max}=\frac{220.98}{2}$$

จะได้ $$F_{s,max}=110.49 \text{ N}$$

ดังนั้น แรงลัพธ์ที่กระทำกับเสาขณะกระบอกสูบชักออกสุด คือ 110.49 นิวตัน

โมเมนต์ที่กระทำกับเสาขณะกระบอกสูบชักออกสุด

$$M_{s,max}=M_{beam,max}$$

จะได้ $$M_{s,max}=7959.16 \text{ N.mm}$$

ดังนั้นโมเมนต์ที่กระทำกับเสาขณะกระบอกสูบชักออกสุด คือ 7959.16 นิวตัน.มิลลิเมตร

3.11.4 หาแรงลัพธ์และโมเมนต์ที่กระทำกับเสาขณะลูกสูบชักเข้า

คำนวณจากเอลิเมนต์ที่ผิวนอกสุดของเสาบริเวณที่ยึดกับฐานล่าง

กำหนด แรงลัพธ์ที่กระทำกับเสาขณะกระบอกสูบชักชักเข้าคือ $F_{s,min}$

โมเมนต์ที่กระทำกับเสาขณะกระบอกสูบชักชักเข้าคือ $M_{s,min}$

แรงลัพธ์ที่กระทำกับเสาขณะกระบอกสูบชักชักเข้า

$$F_{s,min}=\frac{F_{i,a}}{2}$$

$$F_{s,min}=-\frac{4.12}{2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ $F_{s,min} = -2.06\ N$

ดังนั้น แรงลัพธ์ที่กระทำกับเสาขณะกระบอกสูบชักชักเข้า คือ -2.06 นิวตัน

โมเมนต์ที่กระทำกับเสาขณะกระบอกสูบชักชักเข้า

$$M_{s,min} = M_{beam,min}$$

จะได้ $M_{s,min} = -148.40\ N.mm$

ดังนั้นโมเมนต์ที่กระทำกับเสาขณะกระบอกสูบชักชักเข้า คือ -148.40 นิวตัน.มิลลิเมตร

3.11.5 หาความเค้นมากที่สุดที่กระทำกับเสา

ความเค้นมากที่สุดที่กระทำกับเสา คำนวณได้จากสมการที่(24)(57)

$$\sigma_{max} = \frac{M_{s,max}c}{I_s} + \frac{F_{s,max}}{A}$$

$$\sigma_{max} = \frac{M_{s,max}\frac{D}{2}}{\frac{\pi D^4}{64} - \frac{\pi 12^4}{64}} + \frac{F_{s,max}}{\frac{\pi}{4}\left(D^2 - 12^2\right)}$$

จะได้ $\sigma_{max} = \frac{(7959.16)D}{\frac{\pi D^4}{32} - \frac{\pi 12^4}{32}} + \frac{110.49}{\frac{\pi D^2}{4} - 36\pi}\ MPa$

ดังนั้น ความเค้นมากที่สุดที่กระทำกับเสาติดตัวแปรD คือ $\frac{(7959.16)D}{\frac{\pi D^4}{32} - \frac{\pi 12^4}{32}} + \frac{110.49}{\frac{\pi D^2}{4} - 36\pi}$ เมกะปาสคาล

3.11.6 หาความเค้นน้อยที่สุดที่กระทำกับเสา

ความเค้นมากที่สุดที่กระทำกับเสา คำนวณได้จากสมการที่(24)(57)

$$\sigma_{min} = \frac{M_{s,min}c}{I_s} + \frac{F_{s,min}}{A}$$

$$\sigma_{min} = \frac{M_{s,min}\frac{D}{2}}{\frac{\pi D^4}{64} - \frac{\pi 12^4}{64}} + \frac{F_{s,min}}{\frac{\pi}{4}\left(D^2 - 12^2\right)}$$

จะได้ $\sigma_{min} = \frac{(-148.40)D}{\frac{\pi D^4}{32} - \frac{\pi 12^4}{32}} + \frac{(-2.06)}{\frac{\pi}{4}D^2 - 36\pi}\ MPa$

ดังนั้น ความเค้นน้อยที่สุดที่กระทำกับเสาติดตัวแปรD คือ $\frac{(-148.40)D}{\frac{\pi D^4}{32} - \frac{\pi 12^4}{32}} + \frac{(-2.06)}{\frac{\pi}{4}D^2 - 36\pi}$ เมกะปาสคาล

3.11.7 หาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเมื่อทำการวิเคราะห์ความเสียหายแบบสถิต

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกจากความเค้นดึง คำนวณจากสมการที่(84)

กำหนด ค่าความปลอดภัย คือ $n=2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$n=\frac{S_y}{\sigma_{s,max}}$$

$$2=\frac{1176}{\frac{(7959.16)D}{\frac{\pi D^4}{32}-\frac{\pi 12^4}{64}}+\frac{110.49}{\frac{\pi D^2}{4}-36\pi}}$$

จะได้ $D=12.02mm$

ดังนั้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเมื่อทำการวิเคราะห์ความเสียหายแบบสถิต คือ 9.82 มิลลิเมตร

3.11.8 หาค่าขีดกำจัดความล้า

เมื่อ การปรับแต่งผิวครั้งสุดท้ายคือการพ่นทราย

โดยที่ ความแข็งแรงแรงดึงสูงสุด คือ $S_{ut}=1617\ MPa$

ค่าตัวประกอบภาระพื้นผิว คำนวณได้จากสมการที่(88)

จากตารางที่ ก.5 ค่าคงที่ a คือ 1.58

ค่าคงที่ b คือ -0.085

$$k_a=(1.58)(1617)^{-0.085}$$

จะได้ $k_a=0.84$

ดังนั้น ค่าตัวประกอบภาระพื้นผิว คือ 0.84

ตัวประกอบขนาด คำนวณได้จากสมการที่(89) (90-2)

$$k_b=1.51d_e^{-0.157}$$

จะได้ $k_b=1.51(0.37d)^{-0.157}$

ดังนั้น ตัวประกอบขนาด คือ $1.51(0.37d)^{-0.157}$

ตัวประกอบความน่าเชื่อถือ คำนวณได้จากสมการที่(91)

กำหนด ค่าความน่าเชื่อถือ99% จากตารางที่ ก.8 คือ $z_a=2.326$

$$k_e=1-(0.08)(2.326)$$

จะได้ $k_e=0.814$

ดังนั้น ตัวประกอบความน่าเชื่อถือ คือ 0.814

ขีดจำกัดความทนทานจากการทดลอง คำนวณได้จากสมการที่(92)

โดยที่ ความแข็งแรงแรงดึงสูงสุดของเสา คือ $S_{ut}=1617$

$$S'_e=0.5(1617)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ $S'_e=808.5$ MPa

ดังนั้น ขีดจำกัดความทนทานจากการทดลอง คือ 808.5 เมกะปาสคาล

ขีดจำกัดความทนทาน คำนวณได้จากสมการที่(87)

เมื่อ $k_c=k_d=k_f=1$

$$S_e=(0.84)\left(1.51(0.37d)^{-0.157}\right)(1)(1)(0.814)(1)(808.5)$$

จะได้ $S_e=\frac{834.76}{(0.37d)^{0.157}}$ MPa

ดังนั้น ขีดจำกัดความทนทาน คือ $\frac{834.76}{(0.37d)^{0.157}}$ เมกะปาสคาล

3.11.9 หาค่าความเค้นสลับ

ค่าความเค้นสลับ คำนวณได้จากสมการที่(93)

$$\sigma_a=\left|\frac{\left[\frac{(7959.16\ )D}{\frac{\pi D^4}{32}-\frac{\pi 12^4}{32}}+\frac{110.49}{\frac{\pi D^2}{4}-36\pi}\right]-\left[\frac{(-148.40)D}{\frac{\pi D^4}{32}-\frac{\pi 12^4}{32}}+\frac{(-2.06)}{\frac{\pi}{4}D^2-36\pi}\right]}{2}\right|$$

จะได้ $\sigma_a=\left|\frac{1}{2}\left[\frac{8107.56D}{\frac{\pi D^4}{32}-\frac{\pi 12^4}{32}}+\frac{112.58}{\frac{\pi D^2}{4}-36\pi}\right]\right|$ MPa

ดังนั้น ค่าความเค้นสลับ คือ $\left|\frac{1}{2}\left[\frac{8107.56D}{\frac{\pi D^4}{32}-\frac{\pi 12^4}{32}}+\frac{112.58}{\frac{\pi D^2}{4}-36\pi}\right]\right|$ เมกะปาสคาล

3.11.10 หาค่าความเค้นเฉลี่ย

ค่าความเค้นเฉลี่ย คำนวณได้จากสมการที่(94)

$$\sigma_m=\frac{\left[\frac{(7853.2\ )D}{\frac{\pi D^4}{32}-\frac{\pi 12^4}{32}}+\frac{109.019}{\frac{\pi D^2}{4}-36\pi}\right]+\left[\frac{(-148.40)D}{\frac{\pi D^4}{32}-\frac{\pi 12^4}{32}}+\frac{(-2.06)}{\frac{\pi}{4}D^2-36\pi}\right]}{2}$$

จะได้ $\sigma_m=\frac{1}{2}\left[\frac{7810.76D}{\frac{\pi D^4}{32}-\frac{\pi 12^4}{32}}+\frac{108.43}{\frac{\pi D^2}{4}-36\pi}\right]$ MPa

ดังนั้น ค่าความเค้นเฉลี่ย คือ $\frac{1}{2}\left[\frac{7810.76D}{\frac{\pi D^4}{32}-\frac{\pi 12^4}{32}}+\frac{108.43}{\frac{\pi D^2}{4}-36\pi}\right]$ เมกะปาสคาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11.11 หาเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเมื่อวิเคราะห์ความเสียหายแบบความล้า

กำหนด ค่าความปลอดภัยของเสา คือ $n=10$

เส้นผ่านศูนย์กลางของเสา คำนวณได้จากสมการที่(91)

$$\frac{\left|\frac{1}{2}\left[\frac{8107.56D}{\frac{\pi D^4}{32}-\frac{\pi 12^4}{32}}+\frac{112.58}{\frac{\pi D^2}{4}-36\pi}\right]\right|}{\frac{834.76}{(0.37d)^{0.157}}}+\frac{\frac{1}{2}\left[\frac{7810.76D}{\frac{\pi D^4}{32}-\frac{\pi 12^4}{32}}+\frac{108.43}{\frac{\pi D^2}{4}-36\pi}\right]}{1617}=\frac{1}{10}$$

จะได้ $D=12.94$ mm

ดังนั้น เส้นผ่านศูนย์กลางของเสา คือ 12.94 มิลลิเมตร

3.11.12 หาเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเพื่อไม่ให้เกิดความโก่ง

เมื่อ ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นคือ $E=190\times10^3$ MPa

ค่าความจุดคราก กดของโลหะ คือ $S_{yc}=S_y=1176$MPa

กำหนด ค่าความปลอดภัย คือ $n=10$

เส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเพื่อไม่ให้เกิดความโก่ง คำนวณได้จากสมการที่(65)(67)(68)

$$k^2=\frac{I}{A}$$

$$k^2=\frac{\frac{\pi\left(D^4-d^4\right)}{64}}{\frac{\pi\left(D^2-d^2\right)}{4}}$$

$$k^2=\frac{D^4-d^4}{16\left(D^2-d^2\right)}$$

$$c=\frac{D}{2}$$

$$e=\sqrt{90^2+45^2}$$

$$e=100.63$$

$$P=110.49\text{N}$$

$$\frac{10\times110.49}{\frac{\pi(D^2-12^2)}{4}}=\frac{1176}{1+\left(\frac{(100.63)(\frac{D}{2})}{\frac{D^4-12^4}{16(D^2-12^2)}}\right)\sec\left[\left(\frac{198.5}{2\sqrt{\frac{D^4-12^4}{16(D^2-12^2)}}}\right)\sqrt{\frac{110.49}{\frac{\pi(D^2-12^2)190\times10^3}{4}}}\right]}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ $D=13.61$ mm

ดังนั้น เส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเพื่อไม่ให้เกิดความโก่งคือ 13.16 มิลลิเมตร
จากแคตตาล็อคเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร เสาต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 18 มิลลิเมตร

3.12 การคำนวณเพื่อเลือกตัวช่วยค้ำเสา

เลือกตัวช่วยค้ำเสาที่มีการขึ้นรูปแบบการหล่อแบบแม่นยำเนื่องจากไม่มีความคลาดเคลื่อนในกระบวนการกดมอเตอร์

3.12.1 หาภาระที่ตัวช่วยค้ำเสารับได้ในแนวแกน

ตัวช่วยค้ำเสาเส้นผ่านศูนย์กลาง18มิลลิเมตร ใช้สกรูM5
โดยที่ แรงบิดคือ $T=7.54$ N.m

ภาระรับก่อนสำหรับแรงสถิต คำนวณจากสมการที่(69)

$$F_i=\frac{7.54}{(0.2)(0.005)}$$

จะได้ $F_i=7540$ N

ดังนั้น ภาระรับก่อนสำหรับแรงสถิต คือ 7540 นิวตัน

สมมุติว่าระยะที่เกลียวยืดออกเป็นระยะที่ตัวช่วยค้ำเสาหดเข้า
ระยะหดของสกรู คำนวณได้จากสมการที่(70)

$$\delta=\frac{F_i l}{\frac{\pi}{4}d^2E}$$

$$\delta=\frac{(7540)(22)}{\frac{\pi}{4}(4)^2(190\times10^3)}$$

จะได้ $\delta=0.069$ mm

ดังนั้น ระยะหดของสกรู คือ 0.069 มิลลิเมตร

แรงดันที่เกิดขึ้นเมื่อใช้แรงขันมากสุด คำนวณได้จากสมการที่(71)

$$p=\frac{(190\times10^3)(0.069)}{2(18)^3}\left(\frac{(34^2-18^2)(18^2-12^2)}{34^2-12^2}\right)$$

จะได้ $p=166.33$MPa

ดังนั้น แรงดันที่เกิดขึ้นเมื่อใช้แรงขันมากสุด คือ 166.33 เมกะปาสคาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาความเค้นตามแนวรัศมี คำนวณได้จากสมการที่(73)

จะได้ $\sigma_r = -p = -166.33$ MPa

ดังนั้น ความเค้นตามแนวรัศมี คือ -166.33 เมกะปาสคาล

แรงที่กระทำกับเสาในแนวรัศมี คำนวณได้จากสมการที่(24)

$$N=\sigma_r \pi dL$$

$$N=166.33\pi(18)(20)$$

จะได้ $N=188115$ N

ดังนั้น แรงที่กระทำกับเสาในแนวรัศมี คือ 188115 นิวตัน

แรงต้านการเคลื่อนที่ของเสา คำนวณได้จากสมการที่(76)

โดยที่ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างผิว คือ $\mu=0.23$

$$F=0.23(188115)$$

จะได้ $F=43266.4$ N

ดังนั้น แรงต้านการเคลื่อนที่ของเสา คือ 43266.4 นิวตัน

3.13 ตรวจสอบความเสียหายเสาบริเวณจุดที่ยึดด้วยตัวช่วยค้ำเสา

3.13.1 ตรวจสอบความเสียหายของเสานำการเคลื่อนที่เมื่อโดนขันเข้ามากสุด

หาความเค้นตามแนวผิววงกลม คำนวณได้จากสมการที่(72)

$$\sigma_t = -166.33\frac{(18^2+12^2)}{(18^2-12^2)}$$

จะได้ $\sigma_t = -432.46$ MPa

ดังนั้น ความเค้นตามแนวผิววงกลม คือ -432.46 เมกะปาสคาล

หาความเค้นตามแนวรัศมี คำนวณได้จากสมการที่(73)

จะได้ $\sigma_r = -p = -166.33$ MPa

ดังนั้น ความเค้นตามแนวรัศมี คือ -166.33 เมกะปาสคาล

หาความเค้นตามแนวแกน คำนวณได้จากสมการที่(74)

จะได้ $\sigma_a = \sigma_{shaft}$

ดังนั้น ความเค้นตามแนวแกนมีค่าเท่ากับความเค้นที่เสาได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้เงื่อนไขดังนี้

$$\sigma_1=\sigma_r=-p=-166.33\ \text{MPa}$$

$$\sigma_2=\sigma_t=-432.46\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{3,max}=\frac{(7853.2\ )D}{\frac{\pi D^4}{32}-\frac{\pi d^4}{32}}+\frac{110.49}{\frac{\pi D^2}{4}-36\pi}$$

$$\sigma_{3,max}=\frac{(7853.2\ )18}{\frac{\pi 18^4}{32}-\frac{\pi 12^4}{32}}+\frac{110.49}{\frac{\pi 18^2}{4}-36\pi}$$

$$\sigma_{3,max}=17.87\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{3,min}=\frac{(-148.40)D}{\frac{\pi D^4}{32}-\frac{\pi d^4}{32}}+\frac{(-2.06)}{\frac{\pi}{4}D^2-36\pi}$$

$$\sigma_{3,min}=\frac{(-148.40)18}{\frac{\pi 18^4}{32}-\frac{\pi 12^4}{32}}+\frac{(-2.06)}{\frac{\pi}{4}18^2-36\pi}$$

$$\sigma_{3,min}=-0.30\ \text{MPa}$$

$$\tau=0\ \text{MPa}$$

ความเค้นรวมสุทธิ คำนวณได้จากสมการที่(77)

โดยที่ ความเค้นรวมสุทธิมากสุด คือ σ'_{max}

ความเค้นรวมสุทธิน้อยสุด คือ σ'_{min}

$$\sigma'_{max}=\sqrt{\frac{(-166.33-(-432.46))^2+(-432.46-17.87)^2+(17.87-(-166.33))^2}{2}+3(0)^2}$$

จะได้ $$\sigma'_{max}=392.14\ \text{MPa}$$

$$\sigma'_{min}=\sqrt{\frac{(-166.33-(-432.46))^2+(-432.46-(-0.30))^2+(-0.30-(-166.33))^2}{2}+3(0)^2}$$

จะได้ $$\sigma'_{min}=377.59\ \text{MPa}$$

ค่าความปลอดภัยสถิต คำนวณได้จากสมการที่(84)

$$392.14=\frac{1176}{n}$$

จะได้ $$n=2.99$$

ดังนั้น ค่าความปลอดภัยสถิต คือ 3.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.13.2 ตรวจสอบความเสียหายเนื่องจากความล้า

ค่าความเค้นสลับ คำนวณได้จากสมการที่(93)

$$\sigma_a=\left|\frac{\sigma_{von,max}-\sigma_{von,min}}{2}\right|$$

$$\sigma_a=\left|\frac{392.14-377.59}{2}\right|$$

จะได้ $\sigma_a=7.28$ MPa

ดังนั้น ค่าความเค้นสลับ คือ 7.28 เมกะปาสคาล

ค่าความเค้นเฉลี่ย คำนวณได้จากสมการที่(94)

$$\sigma_m=\frac{\sigma_{von,max}+\sigma_{von,min}}{2}$$

$$\sigma_m=\frac{392.14+377.59}{2}$$

จะได้ $\sigma_m=384.87$ MPa

ดังนั้น ค่ากลางของความเค้น คือ 384.87 เมกะปาสคาล

ค่าความปลอดภัยจากความล้า คำนวณได้จากสมการที่(86)

$$\frac{\sigma_a}{S_e}+\frac{\sigma_m}{S_{ut}}=\frac{1}{n}$$

$$\frac{7.28}{\frac{834.76}{(0.37(13))^{0.157}}}+\frac{384.87}{1617}=\frac{1}{n}$$

จะได้ $n=4.01$

ดังนั้น ค่าความปลอดภัยจากความล้า คือ 4.01

3.14 การเลือกสกรูยึดเสานำการเคลื่อนที่กับฐานวางมอเตอร์

สกรูจะได้รับแรงดึงมากสุดเมื่อฐานเคลื่อนที่ขึ้นสูงสุดโดยไม่มีน้ำหนักมอเตอร์กด

3.14.1 หาแรงที่มากสุดกระทำกับฐานบริเวณสกรูยึด

$$\sum F=kx-\left(\frac{W_{ฐานวางมอเตอร์}+W_{ฐานล็อคมอเตอร์}}{4}\right)$$

$$\sum F=0.29(80-62.5)-\left(\frac{4.49294+1.17367}{4}\right)$$

จะได้ $\sum F=3.66$ N

ดังนั้น แรงมากสุดที่กระทำกับฐานบริเวณสกรูยึด คือ 3.66 นิวตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.14.2 ค่าความแข็งของตัวยึด

โดยที่ ค่าโมดูลัสของสกรู คือ $E_{screw}=190\times10^3$ MPa

ค่าโมดูลัสของฐานอลูมิเนียม คือ $E_{beam}=90.3\times10^3$ MPa

ค่าโมดูลัสของเสา คือ $E_{shaft}=206\times10^3$ MPa

กำหนด สกรูมีความยาวส่วนเกลียว คือ $l_t=25$ mm

สกรูมีความยาวส่วนไม่มีเกลียว คือ $l_d=0$ mm

เมื่อ $l_t\begin{cases}h+\frac{t_2}{2}, & t_2<d\\ h+\frac{d}{2}, & t_2\geq d\end{cases}$

ค่าความแข็งของตัวยึด คำนวณได้จากสมการที่(39)

$$k_b=\frac{A_tE_{screw}}{l_t}$$

จะได้ $$k_b=\frac{A_t(190\times10^3)}{l_t}\ \text{N/mm}$$

ดังนั้น ค่าความแข็งของตัวยึด คือ $\frac{A_t(190\times10^3)}{l_t}$ นิวตันต่อมิลลิเมตร

3.14.3 ค่าความแข็งของวัสดุประกอบ

โดยที่ เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวตัวยึด คือ D

เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวยึด คือ d

เมื่อ ความยาวสกรูภายใต้แรงก่อนแรงสถิตของ k_1 คือ $t=\frac{1}{2}$

ความยาวสกรูภายใต้แรงก่อนแรงสถิตของ k_2 คือ $t=\frac{1}{2}$-(l-10)

ความยาวสกรูภายใต้แรงก่อนแรงสถิตของ k_3 คือ t=l-10

ค่าความแข็งของวัสดุประกอบแต่ละส่วน คำนวณได้จากสมการที่(42)

$$k_1=\frac{0.5774\pi E_{screw}d}{\ln\frac{(1.155t+D-d)(D+d)}{(1.155t+D+d)(D-d)}}$$

จะได้ $$k_1=\frac{0.5774\pi(190\times10^3)d}{\ln\frac{\left(1.155\frac{1}{2}+D-d\right)(D+d)}{\left(1.155\frac{1}{2}+D+d\right)(D-d)}}$$

$$k2\ =\ \frac{0.5774\pi E_{screw}d}{\ln\frac{((1.155t)+(D+2(l-10)\tan30\ )-d)((D+2(l-10)\tan30\ )+d)}{((1.155t)+(D+2(l-10)\tan30\ )+d)((D+2(l-10)\tan30\ )-d)}}$$

จะได้ $$k2\ =\ \frac{0.5774\pi(190\times10^3)d}{\ln\frac{((1.155\times\left(\frac{1}{2}-(l-10)\right))+(D+2(l-10)\tan30\ )-d)((D+2(l-10)\tan30\ )+d)}{((1.155\times\left(\frac{1}{2}-(l-10)\right))+(D+2(l-10)\tan30\ )+d)((D+2(l-10)\tan30\ )-d)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$k_3=\frac{0.5774\pi E_{screw}d}{\ln\frac{(1.155t+D-d)(D+d)}{(1.155t+D+d)(D-d)}}$$

จะได้ $$k_3=\frac{0.5774\pi(206\times10^3)d}{\ln\frac{(1.155(l-10)+D-d)(D+d)}{(1.155(l-10)+D+d)(D-d)}}$$

ค่าความแข็งของวัสดุประกอบ คำนวณได้จากสมการที่(40)

$$\frac{1}{k_m}=\frac{1}{k_1}+\frac{1}{k_2}+\frac{1}{k_3}$$

3.14.4 หาค่าคงที่ความแข็งของตัวยึด

ค่าคงที่ความแข็งของตัวยึด คำนวณได้จากสมการที่(43)

$$C=\frac{k_b}{k_b+k_m}$$

3.14.5 หาภาระรับก่อนสำหรับแรงสถิตของสกูล

โดยที่ ความเค้นพิสูจน์ของสกรู คือ S_p=970 MPa

ภาระรับก่อนสำหรับแรงสถิต คำนวณได้จากสมการที่(46)

จะได้ $$F_i=0.75\left(A_t(970)\right)$$

3.14.6 หาความเค้นที่กระทำกับสกรู

กำหนด ความเค้นมากสุดที่กระทำกับสกรู คือ $\sigma_{b,max}$

ความเค้นน้อยสุดที่กระทำกับสกรู คือ $\sigma_{b,min}$

โมเมนต์มากสุดที่กระทำกับสกรู คือ M_{max}

โมเมนต์น้อยสุดที่กระทำกับสกรู คือ M_{min}

ความเค้นมากสุดที่กระทำกับสกรูและความเค้นน้อยสุดที่กระทำกับสกรู คำนวณได้จากสมการที่(52)

$$\sigma_{b,max}=\frac{CP}{A_t}+\frac{F_i}{A_t}$$

$$\sigma_{b,min}=\frac{CP}{A_t}+\frac{F_i}{A_t}$$

3.14.7 หาค่าความปลอดภัยเนื่องจากความเสียหายจากแรงสถิต

ค่าความปลอดภัยของความคราก คำนวณได้จากสมการที่(53)

$$n_p=\frac{S_pA_t}{CP+F_i}$$

ค่าความปลอดภัยของความภาระ คำนวณได้จากสมการที่(54)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$n_L=\frac{S_pA_t-F_i}{CP}$$

ค่าภาระป้องกันการแยกออกของตัวยึด คำนวณได้จากสมการที่(55)

$$n_0=\frac{F_i}{P(1-C)}$$

3.14.8 หาค่าความปลอดภัยเนื่องจากความเสียหายจากการล้า

ค่าความเค้นสลับ คำนวณได้จากสมการที่(93)

$$\sigma_a=\left|\frac{\sigma_{b,max}-\sigma_{b,min}}{2}\right|$$

ค่าความเค้นเฉลี่ย คำนวณได้จากสมการที่(24)และ(94)

$$\sigma_m=\frac{\sigma_{b,max}+\sigma_{b,min}}{2}-\frac{F_i}{A_t}$$

ค่าความเค้นจากภาระรับก่อนสำหรับแรงสถิต คำนวณได้จากสมการที่(24)

$$\sigma_i=\frac{F_i}{A_t}$$

ค่าความปลอดภัยความล้า คำนวณได้จากสมการที่(56)

โดยที่ ค่าความแข็งแรงแรงดึงสูงสุด คือ S_{ut}=1200MPa

ค่าขีดจำกัดความทนทาน คือ S_e=190MPa

$$n_f=\frac{S_e(S_{ut}-\sigma_i)}{\sigma_a(S_{ut}+S_e)}$$

3.14.9 สรุปค่าต่างๆ ตามขนาดของสกรูตั้งแต่M3ถึงM10

เลือกสกรูขนาด M3 เนื่องจากมีค่าความปลอดภัย

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าความปลอดภัยของสกรูขนาดM3 ถึงM10

d (mm)	D (mm)	A_t (mm^2)	F_i (N)	k_m (N/m)	k_b (N/m)	C	n_L	n_p	n_0	n_f
3	5.5	5.03	3659.33	195512.6	83104	0.30	1117.33	1.33	121.70	611.56
4	7	8.78	6387.45	269242.4	139016	0.34	1708.41	1.33	226.03	935.09
5	8.5	14.2	10330.50	350068.1	215840	0.38	2466.79	1.33	389.73	1350.18
6	10	20.1	14622.75	437477.4	305520	0.41	3238.73	1.33	579.58	1772.69
8	13	36.6	26626.50	636063.2	556320	0.47	5197.60	1.33	1164.87	2844.87
10	16	58	42195.00	866188.6	881600	0.50	7618.61	1.33	1986.95	4169.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.15 การเลือกบุชชิ่ง

ระยะทางการทำงานน้อยสุด คำนวณได้จากสมการที่(78)

โดยที่ เวลาการทำงานน้อยสุด คือ L_h=15000 hr

ระยะเคลื่อนที่ผ่านบุชชิ่ง คือ l_s=0.035m

จำนวนการชักต่อนาที คือ n_1=12

$$L=\frac{L_h 2\times l_s \times n_1 \times 60}{10^3}$$

$$L=\frac{(15000)2\times 0.035\times 12\times 60}{10^3}$$

จะได้ L=756 km

ดังนั้น ระยะทางการทำงานน้อยสุด คือ 756 กิโลเมตร

ความสามารถรับภาระไดนามิก คำนวณได้จากสมการที่(80)

กำหนด ภาระลัพธ์ คือ F=50 N

โดยที่ ตัวประกอบอุณหภูมิ คือ f_t=1

ตัวประกอบสัมผัส คือ f_c=0.66

ตัวประกอบภาระ คือ f_w=1

ตัวประกอบความแข็ง คือ f_h=0.95

$$C=\frac{50\times 1\times \sqrt[3]{756/50}}{(0.95)(1)(0.66)}$$

จะได้ C=197.19 N

ดังนั้น ความสามารถรับภาระไดนามิก คือ 197.19 นิวตัน

เนื่องจากบุชชิ่ง มีบอลอยู่4แถว จึงต้องทำการคูณความสามารถในการรับภาระ เนื่องจากจะมีบอลไม่ได้รับโหลดเท่ากันทุกแถว จึงต้องคูณค่าปรับแก้ตามสมการที่(81)

$$C_{max}=1.41(197.19)$$

จะได้ C_{max}=278.04 N

ดังนั้น ความสามารถรับภาระไดนามิกสูงสุด คือ 278.04 นิวตัน

สรุป บุชชิ่งที่เลือกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.16 การเลือกเสานำการเคลื่อนที่

เสามีรูเจาะด้านเดียวขนาดM3ลึก16มิลลิเมตร ยาว40มิลลิเมตร เลือกให้เสาทำจากวัสดุSUJ2 เนื่องจากจะเป็นวัสดุชนิดเดียวกับบุชชิ่ง

3.16.1 หาแรงที่มากที่สุดที่กระทำกับเสานำการเคลื่อนที่

แรงที่มากที่สุดจะเกิดขึ้นเมื่อกระบอกสูบชักเข้าและไม่มีน้ำหนักของมอเตอร์คอยกดไว้

$$\sum F=kx-\left(\frac{W_{\text{ฐานวางมอเตอร์}}+W_{\text{ฐานล็อคมอเตอร์}}}{4}\right)$$

$$\sum F=0.29(80-62.5)-\left(\frac{4.49294+1.17367}{4}\right)$$

$$\sum F=3.66N$$

ดังนั้น แรงที่มากที่สุดที่กระทำกับเสานำการเคลื่อนที่ คือ 3.66 นิวตัน

3.16.2 วิเคราะห์ความเสียหายจากบริเวณเกลียวยึด

โดยที่ เลือกใช้วัสดุSUJ2ซึ่งมีค่าความคราก คือ $S_y=1176$ MPa

ภาระบนชิ้นส่วนประกอบ คำนวณได้จากสมการที่ (47) (48)

$$F_m=(1-0.30)(3.66)-3659.325$$

จะได้ $F_m=-3656.76N$

ดังนั้น ภาระบนชิ้นส่วนประกอบ คือ -3635.76 นิวตัน

ความเค้นบนเกลียวชิ้นส่วนประกอบ คำนวณได้จากสมการที่ (24)

กำหนด ความเค้นบนเกลียวชิ้นส่วนประกอบ คือ σ_m

$$\sigma_m=\frac{3656.76}{5.03}$$

จะได้ $\sigma_m=726.99$ MPa

ดังนั้น ความเค้นบนเกลียวชิ้นส่วนประกอบ คือ 726.99 เมกกะปาสคาล

ค่าความปลอดภัยบนเกลียว คำนวณได้จากสมการที่ (84)

$$726.99=\frac{1176}{n}$$

จะได้ $n=1.618$

ดังนั้น ค่าความปลอดภัยบนเกลียว คือ 1.618

จึงเลือกสกรูขนาดM4ซึ่งมีค่าความปลอดภัย 2.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.16.3 วิเคราะห์แรงที่สามารถรับได้เมื่อถูกกระแทกจากขนาดที่เลือก

แรงที่รับได้เมื่อได้รับแรงเฉือนสูงสุด คำนวณได้จากสมการที่(64)(85)

$$\tau=\frac{2V}{\frac{\pi}{4}(10^2-4^2)}$$

$$\tau=\frac{2V}{\frac{\pi}{4}(86)}$$

$$\tau=\frac{1176}{2(10)}$$

$$\frac{2V}{\frac{\pi}{4}(86)}=\frac{1176}{2(10)}$$

จะได้ $V=1985.80N$

ดังนั้น แรงที่รับได้เมื่อได้รับแรงเฉือนสูงสุด คือ 1985.80 นิวตัน

แรงที่รับได้เมื่อได้รับโมเมนต์สูงสุด คำนวณได้จากสมการที่(59)(84)

กำหนดค่าความปลอดภัย คือ $n=10$

$$\sigma=\frac{Fl\frac{D}{2}}{\frac{\pi D^4-d^4}{64}}$$

$$\sigma=\frac{64Fl\frac{D}{2}}{\pi D^4-d^4}$$

$$\sigma=\frac{1176}{10}$$

$$\frac{64F(105)\frac{10}{2}}{\pi(10^4-4^4)}=\frac{1176}{10}$$

จะได้ $F=107.14\ N$

ดังนั้น แรงที่รับได้เมื่อได้รับโมเมนต์สูงสุด คือ 107.14 นิวตัน

3.16.4 ตรวจสอบหาความเสียหายจากแรงเฉือนในสกรูอีกครั้ง

ความเค้นเฉือนที่สกรูได้รับ คำนวณจากสมการที่(82)

โดยที่ แรงเฉือนที่สกรูได้รับ คือ $F_s=107.14\ N$

$$\tau=\frac{F_s}{A_s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau=\frac{F_s}{\frac{\pi d^2}{4}}$$

$$\tau=\frac{107.14}{\frac{\pi 4^2}{4}}$$

จะได้ $\tau=8.53\text{MPa}$

ดังนั้น ความเค้นเฉือนที่สกรูได้รับ คือ 8.53 เมกะปาสคาล

ค่าความปลอดภัยจากความเค้นเฉือนเนื่องจากแรงที่ทำให้เกิดโมเมนต์สูงสุด คำนวณได้จากสมการที่(85)

$$n=\frac{S_y}{2\tau}$$

$$n=\frac{1176}{2(4.20)}$$

จะได้ $n=140$

ดังนั้น ค่าความปลอดภัย คือ140

3.17 การเลือกปลอกยึด

3.17.1 ตรวจสอบว่าปลอกยึด จะเลื่อนหรือไม่เมื่อใช้แรงบิดของสกรูสูงสุด

หาระยะที่ปลอกยึดกดลงไปเมื่อไขสกรูเข้าไปด้วยแรงบิดที่ทำให้เกิดthrust load มากที่สุด โดยการสมมุตติว่าเมื่อใช้แรงบิดสูงสุดสกรูไม่ยืดออกแต่ปลอกยึด จะหดเข้า

โดยที่ แรงบิดคือ $T=1.61\text{ N.m}$

ภาระรับก่อนสำหรับแรงสถิต คำนวณจากสมการที่(69)

$$F_i=\frac{1.61}{(0.2)(0.003)}$$

จะได้ $F_i=2683.33\text{ N}$

ดังนั้น ภาระรับก่อนสำหรับแรงสถิต คือ 2683.33 นิวตัน

ระยะหดของสกรู คำนวณได้จากสมการที่(70)

สมมุติว่าระยะที่เกลียวยืดออกเป็นระยะที่ปลอกยึดหด

$$\delta=\frac{F_i l}{\frac{\pi}{4}d^2E}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\delta=\frac{(2683.33)(5)}{\frac{\pi}{4}(3)^2(190\times10^3)}$$

จะได้ $\delta=0.01$ mm

ดังนั้น ระยะหดของสกรู คือ 0.01 มิลลิเมตร

แรงดันที่เกิดขึ้นเมื่อใช้แรงขันมากสุด คำนวณได้จากสมการที่(71)

$$p=\frac{(190\times10^3)(0.01)}{2(10)^3}\left(\frac{(30^2-10^2)(10^2-0^2)}{30^2-0^2}\right)$$

จะได้ $p=84.44$ MPa

ดังนั้น แรงดันที่เกิดขึ้นเมื่อใช้แรงขันมากสุด คือ 84.44 เมกะปาสคาล

หาความเค้นตามแนวรัศมี คำนวณได้จากสมการที่(73)

จะได้ $\sigma_r=-p=-84.44$ MPa

ดังนั้น ความเค้นตามแนวรัศมี คือ -84.44 เมกะปาสคาล

แรงที่กระทำกับเสาในแนวรัศมี คำนวณได้จากสมการที่(24)

$$N=\sigma_r\pi dL$$

$$N=84.44\pi(10)(10)$$

จะได้ $N=26527.6$ N

ดังนั้น แรงที่กระทำกับเสาในแนวรัศมี คือ 26527.6 นิวตัน

แรงต้านการเคลื่อนที่ของเสา คำนวณได้จากสมการที่(76)

โดยที่ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างผิว คือ $\mu=0.23$

$$F=0.23(26527.6)$$

จะได้ $F=6101.35$ N

ดังนั้น แรงต้านการเคลื่อนที่ของเสา คือ 6101.35 นิวตัน

3.18 ตรวจสอบความเสียหายเสานำการเคลื่อนที่บริเวณจุดที่ยึดด้วยปลอกยึด

3.18.1 ตรวจสอบความเสียหายของเสานำการเคลื่อนที่เมื่อโดนขันเข้ามากสุด

ความเค้นตามแนวผิววงลม คำนวณได้จากสมการที่(72)

$$\sigma_t=-125.93\frac{(6^2+0^2)}{(6^2-0^2)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ $\sigma_t = -125.93$ MPa

ดังนั้น ความเค้นตามแนวผิววงลม คือ -125.93 เมกะปาสคาล

ความเค้นตามแนวรัศมี คำนวณได้จากสมการที่(74)

จะได้ $\sigma_r = -p = -125.93$ MPa

ดังนั้น ความเค้นตามแนวรัศมี คือ -125.93 เมกะปาสคาล

ความเค้นตามแนวแกน คำนวณได้จากสมการที่(24)

$$\sigma_a = \frac{3.66}{\frac{\pi(6)^2}{4}}$$

จะได้ $\sigma_a = 0.13$MPa

ดังนั้น ความเค้นตามแนวแกน คือ 0.13 เมกะปาสคาล

ได้เงื่อนไขดังนี้

$$\sigma_1 = \sigma_r = -p = -125.93 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \sigma_t = -125.93 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3 = \sigma_a = 0.13 \text{ MPa}$$

$$\tau = 0 \text{ MPa}$$

ความเค้นรวมสุทธิ คำนวณได้จากสมการที่(77)

โดยที่ ความเค้นรวมสุทธิมากสุด คือ σ'_{max}

ความเค้นรวมสุทธิน้อยสุด คือ σ'_{min}

$$\sigma'_{max} = \sqrt{\frac{(-125.93-(-125.93))^2+(-125.93-0.13)^2+(0.13-(-125.93))^2}{2}+3(0)^2}$$

จะได้ $\sigma'_{max} = 126.06$ MPa

$$\sigma'_{min} = \sqrt{\frac{(-125.93-(-125.93))^2+(-125.93-0)^2+(0-(-125.93))^2}{2}+3(0)^2}$$

จะได้ $\sigma'_{min} = 125.93$ MPa

ค่าความปลอดภัยสถิต คำนวณได้จากสมการที่(84)

$$126.06 = \frac{1176}{n}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ $n=9.32$

ดังนั้น ค่าความปลอดภัยสถิต คือ 9.32

3.18.2 ตรวจสอบความเสียหายเนื่องจากความล้า

ค่าความเค้นสลับ คำนวณได้จากสมการที่(93)

$$\sigma_a=\left|\frac{\sigma_{von,max}-\sigma_{von,min}}{2}\right|$$

$$\sigma_a=\left|\frac{126.06-125.93}{2}\right|$$

จะได้ $\sigma_a=0.065$ MPa

ดังนั้น ค่าความเค้นสลับ คือ 0.065 เมกะปาสคาล

ค่าความเค้นเฉลี่ย คำนวณได้จากสมการที่(94)

$$\sigma_m=\frac{\sigma_{von,max}+\sigma_{von,min}}{2}$$

$$\sigma_m=\frac{126.06+125.93}{2}$$

จะได้ $\sigma_m=126$ MPa

ดังนั้น ค่าความเค้นเฉลี่ย คือ 126 เมกะปาสคาล

ค่าความปลอดภัยจากความล้า คำนวณได้จากสมการที่(86)

$$\frac{\sigma_a}{S_e}+\frac{\sigma_m}{S_{ut}}=\frac{1}{n}$$

$$\frac{0.065}{\frac{834.76}{(0.37(10))^{0.157}}}+\frac{126}{1617}=\frac{1}{n}$$

จะได้ $n=12.82$

ดังนั้น ค่าความปลอดภัยจากความล้า คือ 12.82

3.19 การเลือกตัวจับยึดเซนเซอร์

ทดลองใช้เหล็กหนา1.5มิลลิเมตรซึ่งมีความหนาน้อยสุดในแคตตาล็อคเพื่อนำไปตรวจสอบความเสียหายในตัววัสดุและสกรูที่ใช้ยึด

3.19.1 ความเสียหายจากความเค้นเฉือนในสกรู

ปริมาตรของที่จับยึดเซนเซอร์

เมื่อ ปริมาตรของที่จับยึดเซนเซอร์ คือ V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ ความยาวส่วนบนของที่จับยึดเซนเซอร์ คือ A=22 mm
ความยาวส่วนล่างของที่จับยึดเซนเซอร์ คือ B=22 mm
ความกว้างของที่จับยึดเซนเซอร์ คือ L=35 mm
ความหนาของที่จับยึดเซนเซอร์ คือ t=1.5 mm

$$V=(A+B-t)\times L\times t$$

$$V=(22+22-1.5)\times 35\times 1.5$$

จะได้ $$V=2231.25mm^3$$

ดังนั้น ปริมาตรของที่จับยึดเซนเซอร์ คือ 2231.25 ลูกบาศก์มิลลิเมตร

น้ำหนักรวมของที่จับยึดเซนเซอร์ คำนวณจากสมการที่(4)
เมื่อ น้ำหนักของที่จับยึดเซนเซอร์ คือ m_{backet}
น้ำหนักของเซนเซอร์ คือ m_{sensor}

$$m_{backet}=\left(\frac{2.68\times 9.81}{10^6}\right)2231.25$$

$$m_{backet}=0.059\,N$$

$$m_{sensor}=0.01\times 9.81$$

$$m_{sensor}=0.0981N$$

$$\sum m=m_{backet}+m_{sensor}$$

$$\sum m=0.059+0.0981$$

จะได้ $$\sum m=0.1571N$$

ดังนั้น น้ำหนักรวมของที่จับยึดเซนเซอร์ คือ 0.1571 นิวตัน

ความเค้นเฉือนในสกรู คำนวณได้จากสมการที่(82)

$$\tau=\frac{0.1571}{2\left(\frac{\pi(3^2)}{4}\right)}$$

จะได้ $$\tau=0.56\,MPa$$

ดังนั้น ความเค้นเฉือนในสกรู คือ 0.56 เมกะปาสคาล

ค่าความปลอดภัย คำนวณได้จากสมการที่(85)
โดยที่ ค่าความแข็งจุดครากของสกรู คือ $S_y=1100$ MPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$n=\frac{1100}{2(0.56)}$$

จะได้ $n=982.14$

ดังนั้น ค่าความปลอดภัย คือ 982.14

3.19.2 ความเสียหายจากความเค้นดึงบนเกลียววัสดุประกอบ

พื้นที่หน้าตัดวัสดุประกอบบริเวณที่มีเกลียว

$$A_t=(35-(3\times2))\times1.5$$

จะได้ $A_t=43.5mm^2$

ดังนั้น พื้นที่หน้าตัดวัสดุประกอบบริเวณที่มีเกลียว คือ 43.5 ตารางมิลลิเมตร

โมเมนต์ความเฉื่อยพื้นที่วัสดุประกอบบริเวณที่มีรูเกลียว คำนวณได้จากสมการที่(83)

$$I=\frac{35(1.5)^3}{12}-2\frac{3(1.5)^3}{12}$$

จะได้ $I=8.16\ mm^4$

ดังนั้น โมเมนต์ความเฉื่อยพื้นที่วัสดุประกอบบริเวณที่มีรูเกลียว คือ 8.16 มิลลิเมตร^4

ความเค้นดึงบนเกลียววัสดุประกอบ คำนวณได้จากสมการที่(24)(57)

$$\sigma_t=\frac{0.1571}{43.5}+\frac{0.1571(5.8-\frac{1.5}{2})(\frac{1.5}{2})}{8.156}$$

จะได้ $\sigma_t=0.077MPa$

ดังนั้น ความเค้นดึงบนเกลียววัสดุประกอบ คือ 0.077 เมกะปาสคาล

ค่าความปลอดภัย คำนวณได้จากสมการที่(84)

โดยที่ ค่าความแข็งจุดครากของวัสดุประกอบ คือ $S_y=70MPa$

$$n=\frac{70}{0.077}$$

จะได้ $n=909.09$

ดังนั้น ค่าความปลอดภัย คือ 909.09

3.19.3 ความเสียหายจากความเค้นบนสกรู

พื้นที่หน้าตัดเกลียวบริเวณรูเกลียว

กำหนด พื้นที่หน้าตัดเกลียวบริเวณรูเกลียว คือ A_b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู คือ $d=3$ mm

$$A_b=td$$

$$A_b=(1.5)(3)$$

จะได้ $A_b=4.5\ mm^2$

ดังนั้น พื้นที่หน้าตัดเกลียวบริเวณรูเกลียว คือ 4.5 ตารางมิลลิเมตร

ความเค้นบนสกรู คำนวณได้จากสมการที่(24)(57)

$$\sigma_b=\frac{-\frac{F}{2}}{A_b}+\frac{\left(\frac{M}{2}\right)c}{I}$$

$$\sigma_b=\frac{-0.1571/2}{4.5}+\frac{(\frac{M}{2})(\frac{t}{2})}{(\frac{dt^3}{12})}$$

$$\sigma_b=\frac{-0.1571/2}{4.5}-\frac{3\left(0.1571\times\left(5.8-\frac{1.5}{2}\right)\right)1.5}{(3)(1.5)^3}$$

จะได้ $\sigma_b=-0.37$ MPa

ดังนั้น ความเค้นบนสกรู คือ -0.37 เมกะปาสคาล

ค่าความปลอดภัย คำนวณได้จากสมการที่(84)

โดยที่ ค่าความแข็งจุดครากของสกรู คือ $S_y=1100$ MPa

$$n=\frac{1100}{|-0.37|}$$

จะได้ $n=2972.98$

ดังนั้น ค่าความปลอดภัย คือ 2972.98

3.19.4 ความเสียหายจากความเค้นบนวัสดุประกอบ

ค่าความปลอดภัย คำนวณได้จากสมการที่(84)

โดยที่ ค่าความแข็งจุดครากของวัสดุประกอบ คือ $S_y=70$MPa

$$n=\frac{70}{|-0.37|}$$

จะได้ $n=189.19$

ดังนั้น ค่าความปลอดภัย คือ 189.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.20 การออกแบบวงจรนิวเมตริก

ระบบนิวเมตริกต้องทำงานให้กระบอกสูบชักออกเมื่อกดปุ่ม และชักเข้าเมื่อต้องการให้เครื่องจักรหยุดการทำงานใดๆ เพื่อเป็นการป้องกันอุบัติเหตุจากการทำงานของพนักงาน

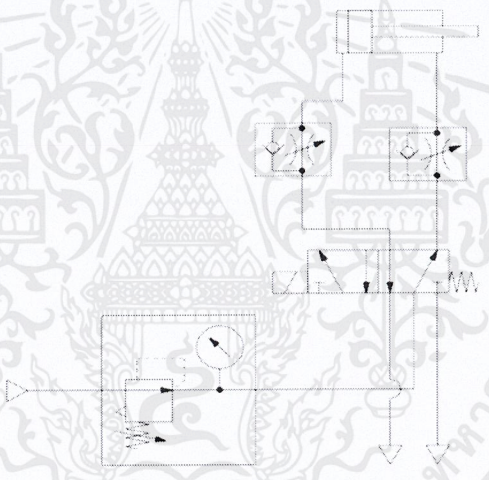
ทางผู้จัดทำจึงได้ทำการออกแบบวงจรนิวเมตริกหลังได้รับลมต้นกำลังออกมาจากท่อลมดังรูปที่ 3.13 โดยมีอุปกรณ์ประกอบด้วย

1.) กระบอกสูบนิวเมตริก 1 กระบอก ทำหน้าที่แปลงความดันลมเป็นแรงที่กดมอเตอร์ไปประกอบกับลูกยาง

2.) วาล์วควบคุมอัตราการไหล 2 ตัว ทำหน้าที่ปรับความเร็วของก้านสูบเพื่อไม่ให้ลูกสูบผลักงานกระแทกกับมอเตอร์

3.) วาล์วควบคุมทิศทาง 5/2 1 ตัว ทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการไหลของลมเพื่อใช้ในการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของก้านสูบ

4.) วาล์วควบคุมความดัน 1 ตัว ทำหน้าที่ลดความดันลมจากปั๊มกลางเพื่อป้องกันการเกิดความดันตกคร่อมจากท่อลม



รูปที่ 3.14 วงจรนิเมตริกสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องจักร

3.21 การประเมินเวลาต่อหนึ่งรอบการทำงานของเครื่องจักร

ทำการออกแบบและวิเคราะห์การทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการต่างๆ โดยมีการบวนการทำงานที่น้อยและไม่ซับซ้อน จากนั้นทำการประเมินเวลาการทำงานในแต่ละขั้นตอน

ตารางที่ 3.4 ระยะเวลาของแต่ละกระบวนการทำงานของเครื่องจักร

ลำดับ	กระบวนการทำงาน	เวลา (วินาที)	
		คน	เครื่องจักร
1	ใส่ลูกยาง	1.5	-
2	ใส่มอเตอร์	2	-
3	กดปุ่มทำงาน	1	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

4	เซนเซอร์ตรวจสอบลูกยาง	-	
5	ก้านสูบกดมอเตอร์ไปประกอบกับลูกยาง	-	1.5
6	กดมอเตอร์ค้างขณะประกอบกัน	-	1
7	ก้านสูบเคลื่อนที่กลับ	-	1.5
8	นำมอเตอร์ออก	1.5	-
รวม		10	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

หลังจากการออกแบบผู้จัดทำทำการตรวจสอบขนาดชิ้นส่วนจากที่คำนวณกับส่วนประกอบสำเร็จตามแคตตาล็อคโดยเลือกให้มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับค่าที่ทำการคำนวณไว้ จากนั้นได้มีการทำรายการส่วนประกอบและแบบวาดของเครื่องจักรเพื่อนำไปเสนอบริษัทผู้จำหน่ายเพื่อทำการเปรียบเทียบและประเมินราคา โดยหลังจากที่ทำการเลือกบริษัทสำหรับการทำชิ้นส่วนแล้วทางบริษัทนั้นจะส่งใบเสนอราคากลับมาให้ทางบริษัทไดกิ้นอินดัสทรีส์ ดำเนินการอนุมัติการจ่ายงบประมาณเมื่อทางบริษัททำชิ้นส่วนได้รับเงินแล้วจะทำการส่งชิ้นส่วนทั้งหมดให้ภายใน1สัปดาห์

ตารางที่ 4.1 ขนาดและชนิดวัสดุของส่วนประกอบต่างๆ

ลำดับ	ขนาด	ชื่อส่วนประกอบ	ชนิดวัสดุ
1	V83-D89-H110-T10-L20	บ่ารองมอเตอร์	MC Nylon
2	150x150x10	ฐานอลูมิเนียม	A5052P
3	VUR12x80	สปริง	SUS304
4	หนา1.5	ตัวจับยึดเซนเซอร์	A5052
5	Ø25x1.25	ลูกสูบผลักงาน	Ester Polyurethane
6	300x90x10	คานวางกระบอกสูบ	SS400
7	Ø18	เสาค้ำคาน	SUJ2
8	Ø18	ตัวช่วยค้ำเสา	S45C
9	Ø10	เสานำการเคลื่อนที่	SUJ2
10	Ø10	บุชชิ่ง	SUJ2
11	Ø10	ปลอกยึด	Aluminium casting alloy
13	M4x25	สกรู	SCM435
14	M12x25	สกรู	SCM435
15	Ø25x100	กระบอกสูบ	-

เมื่อได้รับชิ้นส่วนทั้งหมดแล้ว จึงทำการประกอบงานตามแบบวาดที่ได้ทำการออกแบบไว้ จากนั้นทำการต่อท่อลมที่จ่ายลมมาจากปั๊มกลางเพื่อทดสอบระบบการทำงานของเครื่องจักรในขั้นตอนนี้มีการตั้งวาล์วควบคุมอัตราการไหลให้ก้านสูบเคลื่อนได้เวลาตามที่ประเมินไว้ในตารางที่ 3.4 เมื่อตั้งวาล์วควบคุมอัตราการไหลแล้วจึงได้ทดลองนำมอเตอร์ทั้ง3รุ่นมาทดสอบ ปรากฏว่าพบปัญหาในรุ่นBMLซึ่งเกิดการสวมไม่ได้ความลึก 2 มิลลิเมตรจากฐานมอเตอร์ จึงได้ทำการตรวจสอบปัญหานี้พบว่าเกิดจากตำแหน่งชิ้นส่วนในตอนติดตั้งเกิดการเคลื่อนที่ไปจากแบบวาด จึงทำการแก้ไขและทดสอบใหม่ เมื่อเครื่องจักรได้ผลลัพธ์ที่ต้องการแล้วจึงทำการเขียนวงจร PLC ในซอฟต์แวร์Cx-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Programmerและเดินสายไฟเพื่อให้ระบบทำงานได้ จากนั้นนำไปติดตั้งเพื่อให้พนักงานทดลองใช้งาน ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 ผลการลัพธ์การทำงานและการออกแบบเครื่องจักร

วัตถุประสงค์การออกแบบ	**ผลลัพธ์**
การสวมลูกยางในมอเตอร์รุ่นCSI	สวมได้
การสวมลูกยางในมอเตอร์รุ่นBMS	สวมได้
การสวมลูกยางในมอเตอร์รุ่นBML	สวมได้
ระยะเวลาการทำงานต่อ1รอบ	11.00 วินาที
ความเสียหายทางกลของชิ้นส่วน	ไม่เกิดความเสียหาย
วงเงิน	36,501.21 บาท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

เครื่องจักรสามารถกดมอเตอร์ไปประกอบกับลูกยางได้ในระยะตามมาตรฐานได้ทั้ง 3 รุ่น และตัวลูกยางไม่เกิดการเอียง เวลาการทำงานในหนึ่งรอบใช้ไป 11.00 วินาที ส่วนประกอบไม่เกิดความเสียหายทางกลและมีวงเงินการออกแบบรวมทั้งหมด 36,501.21 บาท

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

ในทดสอบเครื่องครั้งแรกไม่สามารถการกดมอเตอร์รุ่นBMLลงไปประกอบกับลูกยางได้สุดระยะ และเวลาการทำงานต่อรอบเกินที่คาดการณ์ไว้

สาเหตุเนื่องมาจาก

การประกอบส่วนของแท่นวางลูกยางมีการเคลื่อนที่ไปจากตำแหน่งที่ได้ออกแบบไว้ และพนักงานยังไม่ชำนาญในการใส่มอเตอร์และลูกยาง

5.3 ข้อเสนอแนะ

ทำการกัดชิ้นงานส่วนฐานล่างสุดลึกลงไป 1 มิลลิเมตรให้เป็นตัวล็อคตำแหน่งการติดตั้งของส่วนประกอบทุกส่วน และให้พนักงานประจำทำงานในสถานีนี้เพื่อให้เกิดความชำนาญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett. Editors. **Mechanical Engineering Design.** 10th ED. New York : McGraw-Hill Education, Inc.2015

[2] Misumi. **Misumi FA Mechanical Standard Component.** Misumi Company, Inc.2014

[3] SMC. **SMC Air Cylinders Catalog.** www.smcworld.com/products/en/s.do?ca_id=458. Retrieved Aug 17, 2019

[4] น.อ.รศ.ภาณุฤธิ์ ยุกตะทัต. **การออกแบบเครื่องจักรกล1.** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ท้อป. 2552

[5] น.อ.รศ.ภาณุฤธิ์ ยุกตะทัต. **การออกแบบเครื่องจักรกล2.** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ท้อป. 2548

[6] Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston, Jr., John T. DeWolf, David F. Mazurek. **Mechanics of Materials.** 6th ED. New York : McGraw-Hill Education, Inc.2012

[7] Matweb. **Material Property Data.** www.matweb.com. Retrieved Aug 28, 2019

[8] THK. **Guide Ball Bushing/Linear Bushing.** http://www.inb.co.th/download/8.linear-bush.pdf. Retrieved Oct 12, 2019

[9] The Engineering Toolbox. **Friction Coefficients.** www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html. Retrieved Oct 19, 2019

[10] AWC. **Beam Formulas with Shear and Moment Diagrams.** Washington,DC : American Forest & Paper Association, Inc.2007

[11] Dominick Rosato, Donald Rosato. **Plastics Engineered Product Design.** Elsevier Advanced Technology, Inc.2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

Type of load	*Safety factor*
Static short-term loads	1 to 2.5
Static long-term loads	2 to 5
Repeated loads	5 to 15
Variable changing loads	4 to 10
Fatigue loads	5 to 15
Impact loads	10 to 15

ตารางที่ ก.1 ตารางแสดงค่าความปลอดภัยตามลักษณะของภาระ

■f_T:Temperature Factor
The temperature of the environment where the Guide Ball Bushing is used must be 80℃ or below. Therefore, adopt a temperature factor f_T = 1.0.
The Guide Ball Bushing does not support high temperature. Therefore, if the environment temperature exceeds 80℃, it is necessary to use another product.

รูปที่ ก.1 ค่าตัวประกอบอุณหภูมิที่อุณหภูมิต่ำกว่า 80°C

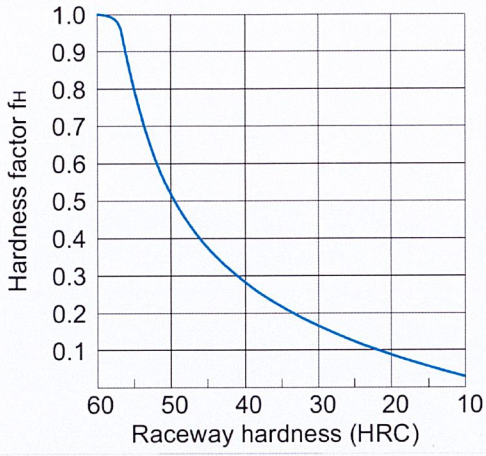
Number of nuts in close contact with each other	Contact factor f_C
2	0.81
3	0.72
4	0.66
5	0.61
Normal use	1

ตารางที่ ก.2 ตารางแสดงตัวประกอบสัมผัส

Vibrations/ impact	Speed(V)	f_W
Faint	Very low V≦0.25m/s	1 to 1.2
Weak	Slow 0.25<V≦1m/s	1.2 to 1.5
Medium	Medium 1<V≦2m/s	1.5 to 2
Strong	High V>2m/s	2 to 3.5

ตารางที่ ก.3 ตารางแสดงตัวประกอบภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ ก.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความแข็งกับตัวประกอบความแข็ง

Nominal	Tightening Torque (N·m)	
	S45C Equivalent / SUS304 Equivalent	A2017
M2.6	0.94	-
M3	1.61	1.61
M4	3.71	3.71
M5	7.54	7.54
M6	12.87	7.54
M8	31.2	12.87
M10	61.75	12.87
M16	267	-

ตารางที่ ก.4 ตารางแสดงค่าแรงบิดสูงสุดสำหรับสกรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

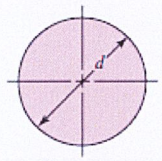
Material 1:	Material 2:	Mu static:	Mu dynamic:	Restitution coefficient:
Dry steel	Dry steel	0.70	0.57	0.80
Greasy steel	Dry steel	0.23	0.16	0.90
Greasy steel	Greasy steel	0.23	0.16	0.90
Dry aluminium	Dry steel	0.70	0.50	0.85
Dry aluminium	Greasy steel	0.23	0.16	0.85
Dry aluminium	Dry aluminium	0.70	0.50	0.85
Greasy aluminium	Dry steel	0.30	0.20	0.85
Greasy aluminium	Greasy steel	0.23	0.16	0.85
Greasy aluminium	Dry aluminium	0.30	0.20	0.85
Greasy aluminium	Greasy aluminium	0.30	0.20	0.85
Acrylic	Dry steel	0.20	0.15	0.70
Acrylic	Greasy steel	0.20	0.15	0.70
Acrylic	Dry aluminium	0.20	0.15	0.70
Acrylic	Greasy aluminium	0.20	0.15	0.70
Acrylic	Acrylic	0.20	0.15	0.70
Nylon	Dry steel	0.10	0.06	0.70
Nylon	Greasy steel	0.10	0.06	0.70
Nylon	Dry aluminium	0.10	0.06	0.70
Nylon	Greasy aluminium	0.10	0.06	0.70
Nylon	Acrylic	0.10	0.06	0.65
Nylon	Nylon	0.10	0.06	0.70
Dry rubber	Dry Steel	0.80	0.76	0.95
Dry rubber	Greasy steel	0.80	0.76	0.95
Dry rubber	Dry aluminium	0.80	0.76	0.95
Dry rubber	Greasy aluminium	0.80	0.76	0.95
Dry rubber	Acrylic	0.80	0.76	0.95
Dry rubber	Nylon	0.80	0.76	0.95
Dry rubber	Dry rubber	0.80	0.76	0.95
Greasy rubber	Dry steel	0.63	0.56	0.95
Greasy rubber	Greasy steel	0.63	0.56	0.95
Greasy rubber	Dry aluminium	0.63	0.56	0.95
Greasy rubber	Greasy aluminium	0.63	0.56	0.95
Greasy rubber	Acrylic	0.63	0.56	0.95
Greasy rubber	Nylon	0.63	0.56	0.95
Greasy rubber	Dry rubber	0.63	0.56	0.95
Greasy rubber	Greasy rubber	0.63	0.56	0.95

ตารางที่ ก.4 ตารางแสดงสัมประสิทธิ์เสียดทานระหว่างผิวของวัสดุชนิดใดๆ

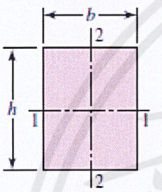
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Surface Finish	Factor a S_{ut}, kpsi	Factor a S_{ut}, MPa	Exponent b
Ground	1.34	1.58	−0.085
Machined or cold-drawn	2.70	4.51	−0.265
Hot-rolled	14.4	57.7	−0.718
As-forged	39.9	272.	−0.995

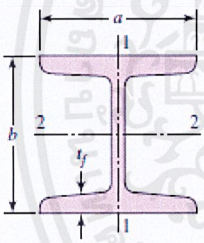
ตารางที่ ก.5 ตารางแสดงค่าตัวประกอบ a และ b กับการขึ้นรูปผิวสำเร็จ



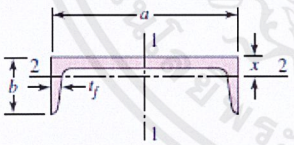
$$A_{0.95\sigma} = 0.01046d^2$$
$$d_e = 0.370d$$



$$A_{0.95\sigma} = 0.05hb$$
$$d_e = 0.808\sqrt{hb}$$



$$A_{0.95\sigma} = \begin{cases} 0.10at_f & \text{axis 1-1} \\ 0.05ba \quad t_f > 0.025a & \text{axis 2-2} \end{cases}$$



$$A_{0.95\sigma} = \begin{cases} 0.05ab & \text{axis 1-1} \\ 0.052xa + 0.1t_f(b-x) & \text{axis 2-2} \end{cases}$$

ตารางที่ ก.6 ตารางแสดงเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Temperature, °C	S_T/S_{RT}	Temperature, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1000	0.698
550	0.672	1100	0.567
600	0.549		

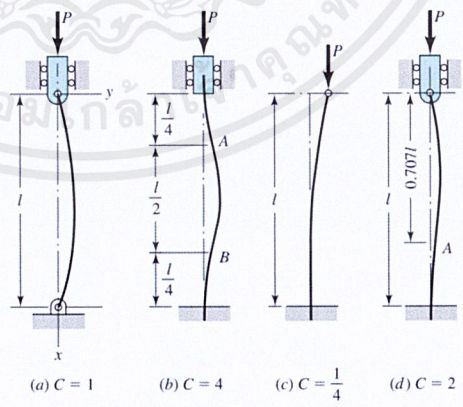
ตารางที่ ก.7 ตารางแสดงพิกัดการล้าของวัสดุที่อุณภูมิใดๆ

Reliability, %	Transformation Variate z_a	Reliability Factor k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

ตารางที่ ก.8 ตารางแสดงระดับความน่าเชื่อถือ

Figure 4–18

(*a*) Both ends rounded or pivoted; (*b*) both ends fixed; (*c*) one end free and one end fixed; (*d*) one end rounded and pivoted, and one end fixed.



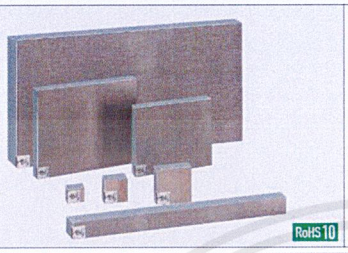
รูปที่ ก.2 ค่าปรับแก้การโก่งเดาะของเสา

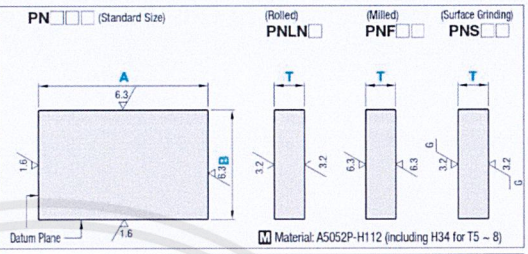
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

Configurable Plates - Aluminum

A5052P (Aℓ-Mg Aluminum Alloy)





RoHS10

Type		Part Number: Upper-Lower Surface Finish	① Plate Thickness Tolerance	② A, B Dimension Tolerance	0.5mm Increment: A	0.5mm Increment: B (A≥B)	T: Selectable/Configurable
Standard	PN	L (Rolled)	N	P Q N M	25~ 500	10~ 300	5, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30 , 40 , 50
Standard	PN	F (Milled)	P Q N M	P Q N M	25~ 500	10~ 300	5~49 (0.5mm Increment)
	PN	S (Surface Grinding)			25~ 500	10~ 300	5, 6, 7~49 (0.5mm Increment)

① Plate Thickness Tolerance

Upper-Lower Surface Finish	Available for N only: T Dimension										
	3	4, 5	6	8	10	12, 15	20	25	30, 35	40	45, 50
N (Rolled)	±0.2	±0.35	±0.45	±0.5	±0.6	±0.7	±0.8	±0.9	±1.0	±1.1	±1.3

Upper-Lower Surface Finish	A, B Length	P	Q	N	M
F (Milled)	550mm or Less	+0.1~+0.3	0~0.2	±0.1	-0.2~0
	550.5mm or More	+0.1~+0.4	0~0.3	±0.15	-0.3~0
S (Surface Grinding)		+0.1~+0.2	0~0.1	±0.05	-0.1~0

② A, B Dimension Tolerance

Upper-Lower Surface Finish	A, B Dimension	P	Q	N	M
L (Rolled) F (Milled) S (Surface Grinding)	250mm or Less	+0.1~+0.3	0~+0.2	±0.1	-0.2~0
	250.5mm or More	+0.1~+0.6	0~+0.5	±0.25	-0.5~0

Precision Standards (Max. Value)

Item		Upper-Lower Surface Finish: L (Rolled)	F (Milled)	S (Surface Grinding)
Thickness Parallelism (per 100mm)	T3~6.5	-		0.025
	T7~12.5		0.05	0.03
	T13~15.5			0.05
	T16~20.5		0.07	0.07
	T21~50		0.1	0.1
Flatness (per 100mm)	T3~8.5	0.15	0.15	0.12
	T9~12.5		0.13	0.06
	T13~20.5		0.12	
	T21~50		0.1	
Perpendicularity of Datum Plane		0.015 per 100mm		
Circumference Chamfering		Standard		C0.3 or Less

Ordering Example

Part Number: Type	Upper-Lower Surface Finish	Plate Thickness Tolerance	A, B Dimension Tolerance	- A - B - T
PN	F	Q	M	- 255 - 220 - 18

Alterations Part Number - A - B - T -(CSC, CBC··· etc.)
PNFNM - 300 - 280 - 20 - CSC

Alterations	Circumference Chamfering		Corner Cut
Code	CSC	(See below)	CCA, CCB, CCC, CCD
Spec.	Reduce the circumference chamfering dimension. Standard C0.3⇢ C0.1 or Less Applicable to Standard Size only.	Increase the circumference chamfering dimension. Size: Standard → Standards: C0.3 or Less → Modified Value: C0.5~C1.0 → Code: CBC	Cuts any corners. 1≤ Corner Cut ≤50: 1mm Increment $C \leq \frac{A}{2}, \frac{B}{2}$ Ordering Code (Ex.)When the corners of A and D are cut by C5, ⇢ CCA5-CCD5 1mm Increment: 1~5, 6~10, 11~20, 21~30, 31~40, 41~50

รูปที่ ข.1 แคตตาล็อกฐานอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

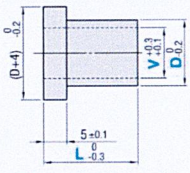
Resin Collar
Flanged



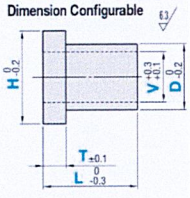
RoHS10

Dimension Selectable	Dimension Configurable	Material		Color
CLJHJ	FCLJHJ	Polyacetal		White
CLJHK	FCLJHK			Black
CLJHM	FCLJHM	MC Nylon		Blue
CLJHW	FCLJHW	Standard Grade		Ivory
CLJHD	FCLJHD	MC Nylon	CDR2	Black
CLJHT	FCLJHT	Conductive Grade	CDR6	
CLJHB	FCLJHB	Bakelite	Paper Base	Natural Color
CLJHN	FCLJHN		Cloth Base	Natural Color
CLJHF	FCLJHF	Fluororesin		White
CLJHP	FCLJHP	PEEK		Gray
CLJHE	FCLJHE	Epoxy Glass		Green

Dimension Selectable



Dimension Configurable



Material Properties P.141

■Dimension Selectable

Part Number Type	V	D Selection	L 0.5mm Increment	Unit Price CLJHJ CLJHK	CLJHM CLJHW	CLJHD	CLJHB	CLJHN	CLJHT	CLJHF	CLJHP	CLJHE
CLJHJ CLJHK CLJHM CLJHW CLJHD CLJHT CLJHB CLJHN CLJHF CLJHP CLJHE	2 3	(4) 5 6 8 10 (4)···V2 only	10.0~ 25.0									
			25.5~ 30.0									
	4 5	(6) 8 10 11 12 13 14 15 16 20 25 (6)···V4 only	10.0~ 25.0									
			25.5~ 50.0									
	6	8 10 11 12 13 14 15 16 20 25	10.0~ 25.0									
			25.5~ 50.0									
	8	10 11 12 13 14 15 16 20 25 30	10.0~ 25.0									
			25.5~ 50.0									
			50.5~ 75.0							-	-	-
			75.5~100.0									
	10	12 13 14 15 16 20 25 30	10.0~ 25.0									
			25.5~ 50.0									
			50.5~ 75.0							-	-	-
			75.5~100.0									
		35 40 50	10.0~ 25.0									
			25.5~ 50.0									
			50.5~ 75.0							-	-	-
			75.5~100.0									
	12	15 16 20 25 30	10.0~ 25.0									
			25.5~ 50.0									
			50.5~ 75.0							-	-	-
			75.5~100.0									
		35 40 50	10.0~ 25.0									
			25.5~ 50.0									
			50.5~ 75.0							-	-	-
			75.5~100.0									
		20 25 30	10.0~ 25.0									
			25.5~ 50.0									
			50.5~ 75.0							-	-	-
			75.5~100.0									
	15	35 40 50	10.0~ 25.0									
			25.5~ 50.0									
			50.5~ 75.0							-	-	-
	16		75.5~100.0									
		60	10.0~ 25.0									
			25.5~ 50.0							-	-	-
			50.5~ 75.0									
			75.5~100.0									
		(25) 30 (25)···V20 only	10.0~ 25.0									
			25.5~ 50.0									
			50.5~ 75.0							-	-	-
			75.5~100.0									
	20	35 40 50	10.0~ 25.0									
			25.5~ 50.0									
			50.5~ 75.0							-	-	-
	25		75.5~100.0									
		60	10.0~ 25.0									
			25.5~ 50.0							-	-	-
			50.5~ 75.0									
			75.5~100.0									
	30	40 50	10.0~ 25.0									
			25.5~ 50.0									
			50.5~ 75.0							-	-	-
			75.5~100.0									
		60	10.0~ 25.0									
			25.5~ 50.0							-	-	-
			50.5~ 75.0									
			75.5~100.0									

H≤50 for CLJHT, CLJHF, CLJHP and CLJHE.

No specification available for those without value.

Ordering Example: Part Number - D - L
CLJHM10 - 16 - 20.0

(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■Dimension Configurable

Part Number	V V≦0.6 or Less: Selection V≧0.8 or More: 0.2mm Increments	D 0.5mm Increment D21 or More: 1mm Increment	H 0.5mm Increment H58 or More: 1mm Increment	T 1mm Increment	L 0.5mm Increment	Unit Price FCLJHJ FCLJHK	FCLJHM FCLJHW	FCLJHD	FCLJHT	FCLJHB	FCLJHN	FCLJHF	FCLJHP	FCLJHE
FCLJHJ	0 (No Hole Machining)	4.0~10 (0.5mm Increment)	6.0~20 (0.5mm Increment)	2~20 L−T≧1	10.0~ 25.0 25.5~ 50.0 50.5~ 75.0 75.5~100.0							-	-	-
FCLJHK	2.0	10.5~20 (0.5mm Increment)	12.5~30 (0.5mm Increment)		10.0~ 25.0 25.5~ 50.0 50.5~ 75.0 75.5~100.0							-	-	-
FCLJHM	2.6	21~30 (1mm Increment)	23~40 (0.5mm Increment)		10.0~ 25.0 25.5~ 50.0 50.5~ 75.0 75.5~100.0							-	-	-
FCLJHW														
FCLJHD	3.0~58.0 (0.5mm Increment) 10.0 ≦L≦ 50.0 ⋯▸ V≦D−2 50.5 ≦L≦ 100 ⋯▸V≦D−6 58.5~90.0 V≦D−6	31~40 (1mm Increment)	33~50 (0.5mm Increment)		10.0~ 25.0 25.5~ 50.0 50.5~ 75.0 75.5~100.0							-	-	-
FCLJHT														
FCLJHB		41~50 (1mm Increment)	43~60 (0.5mm Increment)		10.0~ 25.0 25.5~ 50.0 50.5~ 75.0 75.5~100.0							-	-	-
FCLJHN														
FCLJHF		51~60 (1mm Increment)	53~70 (0.5mm Increment)		10.0~ 25.0 25.5~ 50.0 50.5~ 75.0 75.5~100.0				-			-	-	-
FCLJHP														
FCLJHE		61~80 (1mm Increment)	63~90 (0.5mm Increment)		10.0~ 25.0 25.5~ 50.0 50.5~ 75.0 75.5~100.0				-			-	-	-
		81~100 (1mm Increment)	83~110 (1mm Increment)		10.0~ 25.0 25.5~ 50.0 50.5~ 75.0 75.5~100.0				-			-	-	-

Machining Conditions ▼H−D≧2 ▼D4−5⋯▸Lmax=50 ▼L≦Vx8 ▼H≦50 for FCLJHT, FCLJHF, FCLJHP and FCLJHE.

▼No specification available for those without value.

Ordering Example

Part Number	-	V	-	D	-	H	-	T	-	L
FCLJHM	-	V15	-	D21	-	H26	-	T6	-	L50.5

Alterations

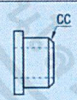
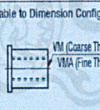
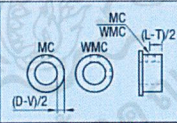
• Dimension Selectable

Part Number	-	D	-	L	- (CC, SLC⋯etc.)
CLJHM15	-	35	-	75.5	- SLC

• Dimension Configurable

Part Number	-	V (VM, VMA)	-	D	-	H	-	T	-	L	- (CC, SLC⋯etc.)
FCLJHT	-	VMA18	-	D25	-	H28	-	T5	-	L15	- MC3

⊗Material: Not applicable to Bakelite, Epoxy Glass and Fluororesin. ▼Alteration is available from D10.

	C Chamfering (One Side - Both Sides)	Tapping	Set Screw Hole (1-set 2-set)	Slitting
Alterations		▼Applicable to Dimension Configurable Type only. 		▼Combination with other alterations is not available.
Code	CC	VM (Coarse Thread) VMA (Fine Thread)	MC, WMC	SLC
Spec.	Chamfers C plane. Ordering Code CC1.5 ▼CC=0.5mm Increment ▼0.5≦CC<(D-V)/2	Adds a tapped hole (through). Ordering Code VM4: V should be specified as VM or VMA. Ex.) FCLJHJ - VM4 - D10 - H15 - T6 - L10 ▼For the machining limits of tap dia. and overall length L, see the table below. Tap dia.≦D/2	Adds a tapped hole (coarse thread) at D part. Ordering Code MC3, WMC5 ▼For the condition of thickness (D-V) / 2, see the table below. ▼L≧MC, WMCx3 ▼MC, WMC=Select from table below.	Adds a slit. Ordering Code SLC ▼For the condition of thickness (D-V) / 2, see the table below. ▼Slit width is fixed.

Tapped Hole Dia. VM, VMA	VM Pitch (Coarse)	VMA Pitch (Fine)	L max
4	0.7	0.5	20
5	0.8		30
6	1.0	0.75	35
8	1.25		45
10	1.5	1.0	60
12	1.75		70
16	2.0	1.5	90
18	-		100
20	2.5		

MC, WMC	(D-V)/2
3, 4	3 or More
5, 6, 8	5 or More
10, 12	8 or More

O.D. D	SLC	(D-V)/2
10.0~20.0	1	5 or Less
20.5~40	2	10 or Less
41~	5	20 or Less

▼I.D./O.D. tolerances are the values before alteration. They may change after alteration depending on materials.

2-150

(ข)

รูปที่ ข.2 แคตตาล็อกฐานบ่ารองมอเตอร์

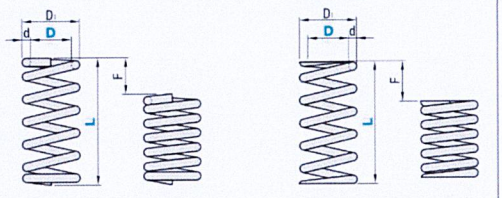
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Round Coil Springs

I.D. Referenced

VUR
VUF
VUL
VUM





RoHS 10

M Material SUS304-WPB Spring Constant ±10%

I.D. D Ø 8 or Less $^{+0.6mm}_{+0.1mm}$ Ø10 or More $^{+0.8mm}_{+0.1mm}$ Free Length L 50 or Less ±1mm 60 or More ±2mm

■**VUR**:Fmax. (Allowable Deflection) = Lx60% Spring Constant 0.29N/mm {0.03kgf/mm}

Part Number Type D - L	O.D. D1	Wire Dia. d	F max.	N{kgf} max.	Reference Pitch	Reference Solid Length	Reference Total Coils	Unit Price 1 - 3 pcs.	Volume Discount Rate 4 – 9	10 – 19	20 – 100
VUR 5 - 15	5.9	0.45	9	2.65{0.27}	1.7	5.0	10				
20			12	3.53{0.36}	2.2						
25	6.0	0.50	15	4.41{0.45}	1.9	7.5	14				
30			18	5.29{0.54}	2.3						
35	6.1	0.55	21	6.17{0.63}	2.3	9.6	16.5				
40			24	7.06{0.72}	2.6						
45	6.2	0.60	27	7.94{0.81}	2.1	13.8	22				
50			30	8.82{0.90}	2.4						
VUR 6 - 15	7.0	0.50	9	2.65{0.27}	1.9	5.0	9				
20	7.1	0.55	12	3.53{0.36}	2.0	6.6	11				
25			15	4.41{0.45}	2.5						
30			18	5.29{0.54}	3.0						
35	7.2	0.60	21	6.17{0.63}	2.7	9.0	14				
40			24	7.06{0.72}	3.0						
45	7.3	0.65	27	7.94{0.81}	2.4	13.3	19.5				
50			30	8.82{0.90}	2.7						
55	7.4	0.70	33	9.70{0.99}	2.3	18.2	25				
60			36	10.59{1.08}	2.5						
VUR 8 - 20	9.3	0.65	12	3.53{0.36}	2.4	6.8	9.5				
25			15	4.41{0.45}	2.9						
30			18	5.29{0.54}	2.7						
35	9.4	0.70	21	6.17{0.63}	3.2	9.1	12				
40			24	7.06{0.72}	3.6						
45	9.6	0.80	27	7.94{0.81}	2.4	16.8	20				
50			30	8.82{0.90}	2.6						
55			33	9.70{0.99}	2.9						
60			36	10.58{1.08}	3.2						
65			39	11.47{1.17}	2.2						
70	9.8	0.90	42	12.36{1.26}	2.3	28.8	31				
80			48	14.12{1.44}	2.7						
VUR 10 - 20	11.4	0.70	12	3.53{0.36}	3.3	5.6	7				
25	11.5	0.75	15	4.41{0.45}	3.1	7.5	9				
30	11.6	0.80	18	5.29{0.54}	2.7	10.4	12				
35			21	6.17{0.63}	3.2						
40			24	7.06{0.72}	3.6						
45	11.8	0.90	27	7.94{0.81}	2.8	16.2	17				
50			30	8.82{0.90}	3.1						
55			33	9.70{0.99}	3.4						
60			36	10.58{1.08}	3.8						
65			39	11.47{1.17}	4.1						
70	12.0	1.00	42	12.60{1.26}	2.9	26.0	25				
80			48	14.12{1.44}	3.3						
VUR 12 - 25	13.6	0.80	15	4.41{0.45}	3.6	7.2	8				
30			18	5.29{0.54}	4.3						
35	13.8	0.90	21	6.17{0.63}	3.3	11.3	11.5				
40			24	7.06{0.72}	3.8						
45			27	7.94{0.81}	4.3						
50	14.0	1.00	30	8.82{0.90}	3.3	17.0	16				
55			33	9.70{0.99}	3.7						
60			36	10.58{1.08}	4.0						
65			39	11.47{1.17}	4.3						
70	14.2	1.10	42	12.35{1.26}	3.3	25.3	22				
80			48	14.11{1.44}	3.8						
90			54	15.88{1.62}	4.3						
VUR 16 - 35	18.0	1.00	21	6.17{0.63}	4.7	9.5	8.5				
40			24	7.06{0.72}	5.3						
45	18.2	1.10	27	7.94{0.81}	4.5	13.2	11				
50			30	8.82{0.90}	5.0						
55			33	9.70{0.99}	5.5						
60			36	10.58{1.08}	6.0						
65	18.4	1.20	39	11.47{1.17}	5.0	18.0	14				
70			42	12.35{1.26}	5.4						
80			48	14.11{1.44}	6.2						
90			54	15.88{1.62}	6.9						
100			60	17.64{1.80}	7.7						

The values of solid length are for reference only. There may be some variations depending on the lot.
Both ends are not ground for all sizes.
Usage Count: 1 Million Times

■**VUF**:Fmax. (Allowable Deflection) = Lx45% Spring Constant 0.49N/mm {0.05kgf/mm}

Part Number Type D - L	O.D. D1	Wire Dia. d	F max.	N{kgf} max.	Reference Pitch	Reference Solid Length	Reference Total Coils	Unit Price 1 - 3 pcs.	Volume Discount Rate 4 – 9	10 – 19	20 – 100
VUF 5 - 15*	6.0	0.50	6.8	3.33{0.34}	2.3	4.3	7.5				
20*			9.0	4.41{0.45}	3.1						
25	6.2	0.60	11.3	5.49{0.56}	2.1	8.4	13				
30			13.5	6.57{0.67}	2.5						
35	6.4	0.70	15.8	7.64{0.78}	2.9	16.1	22				
40			18.0	8.82{0.90}	1.9						
45			20.3	9.90{1.01}	2.1						
50			22.5	10.98{1.12}	2.4						
VUF 6 - 15	7.2	0.60	6.8	3.33{0.34}	1.9	6.0	9				
20			9.0	4.41{0.45}	2.5						
25			11.3	5.49{0.56}	3.1						
30			13.5	6.57{0.67}	3.8						
35	7.4	0.70	15.8	7.64{0.78}	2.7	10.5	14				
40			18.0	8.82{0.90}	3.1						
45			20.3	9.90{1.01}	3.5						
50			22.5	10.98{1.12}	2.4						
55	7.6	0.80	24.8	12.05{1.23}	2.6	18.4	22				
60			27.0	13.23{1.35}	2.9						
VUF 8 - 20	9.4	0.70	9.0	4.41{0.45}	3.1	6.0	7.5				
25			11.3	5.49{0.56}	3.8						
30			13.5	6.57{0.67}	4.6						
35	9.6	0.80	15.8	7.64{0.78}	3.3	10.0	11.5				
40			18.0	8.82{0.90}	3.8						
45			20.3	9.90{1.01}	4.3						
50			22.5	10.98{1.12}	4.8						
55	10.0	1.00	24.8	12.05{1.23}	2.5	24.0	23				
60			27.0	13.23{1.35}	2.7						
65			29.3	14.31{1.46}	3.0						
70			31.5	15.39{1.57}	3.2						
80			36.0	17.64{1.80}	3.6						
VUF 10 - 20	11.6	0.80	9.0	4.41{0.45}	3.3	6.4	7				
25			11.3	5.49{0.56}	4.2						
30			13.5	6.57{0.67}	5.0						
35	11.8	0.90	15.8	7.64{0.78}	3.9	9.9	10				
40			18.0	8.82{0.90}	4.4						
45			20.3	9.90{1.01}	5.0						
50			22.5	10.98{1.12}	5.6						
55	12.2	1.10	24.8	12.05{1.23}	3.1	21.5	18.5				
60			27.0	13.23{1.35}	3.4						
65			29.3	14.31{1.46}	3.7						
70			31.5	15.39{1.57}	4.0						
80			36.0	17.64{1.80}	4.6						
VUF 12 - 25	14.0	1.00	11.3	5.49{0.56}	3.1	10.0	9				
30			13.5	6.57{0.67}	3.8						
35			15.8	7.64{0.78}	4.4						
40			18.0	8.82{0.90}	5.0						
45			20.3	9.90{1.01}	5.6						
50	14.2	1.10	22.5	10.98{1.12}	4.3	14.9	12.5				
55			24.8	12.05{1.23}	4.8						
60			27.0	13.23{1.35}	5.2						
65			29.3	14.31{1.46}	5.7						
70			31.5	15.39{1.57}	4.4						
80	14.4	1.20	36.0	17.64{1.80}	5.0	21.6	17				
90			40.5	19.80{2.02}	5.6						
VUF 16 - 35	18.4	1.20	15.8	7.64{0.78}	4.7	11.4	8.5				
40			18.0	8.82{0.90}	5.3						
45			20.3	9.90{1.01}	6.0						
50			22.5	10.98{1.12}	6.7						
55	18.6	1.30	24.8	12.05{1.23}	5.2	16.3	11.5				
60			27.0	13.23{1.35}	5.7						
65			29.3	14.31{1.46}	6.2						
70			31.5	15.39{1.57}	5.4						
80	18.8	1.40	36.0	17.64{1.80}	6.2	21.0	14				
90			40.5	19.80{2.02}	6.9						
100			45.0	22.05{2.25}	7.7						

The values of solid length are for reference only. There may be some variations depending on the lot.
Both ends are not ground for * marked types; both ends are ground for others.
Usage Count: 1 Million Times

(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■VUL:Fmax. (Allowable Deflection) = Lx40% Spring Constant 0.98N/mm{0.10kgf/mm}

Part Number Type D - L	O.D. D1	Wire Dia. d	F max.	N{kgf} max.	Reference Pitch	Reference Solid Length	Reference Total Coils	Unit Price 1~3 pcs.	Volume Discount Rate 4~9	10~19	20~100
VUL 5 - 15	6.2	0.60	6	5.88{0.60}	2.5	4.8	7				
20			8	7.84{0.80}	3.3						
25	6.4	0.70	10	9.80{1.00}	2.3	9.1	12				
30			12	11.76{1.20}	2.7						
35			14	13.72{1.40}	3.2						
40	6.6	0.80	16	15.68{1.60}	2.2	16.0	19				
45			18	17.64{1.80}	2.5						
50			20	19.60{2.00}	2.8						
VUL 6 - 15	7.4	0.70	6	5.88{0.60}	2.1	6.3	8				
20			8	7.84{0.80}	2.9						
25	7.6	0.80	10	9.80{1.00}	2.3	10.4	12				
30			12	11.76{1.20}	2.7						
35			14	13.72{1.40}	3.2						
40	7.8	0.90	16	15.68{1.60}	2.5	16.2	17				
45			18	17.64{1.80}	2.8						
50			20	19.60{2.00}	3.1						
55			22	21.56{2.20}	3.4						
60			24	23.52{2.40}	3.8						
VUL 8 - 20	9.8	0.90	8	7.84{0.80}	2.4	9.5	9.5				
25			10	9.80{1.00}	2.9						
30	10.0	1.00	12	11.76{1.20}	2.5	14.0	13				
35			14	13.72{1.40}	2.9						
40			16	15.68{1.60}	3.3						
45			18	17.64{1.80}	3.8						
50			20	19.60{2.00}	4.2						
55			22	21.56{2.20}	4.6						
60	10.4	1.20	24	23.52{2.40}	2.7	28.8	23				
65			26	25.48{2.60}	3.0						
70			28	27.44{2.80}	3.2						
80			32	31.36{3.20}	3.6						
VUL 10 - 20	12.0	1.00	8	7.84{0.80}	3.1	8.5	7.5				
25			10	9.80{1.00}	3.8						
30	12.2	1.10	12	11.76{1.20}	3.2	12.7	10.5				
35			14	13.72{1.40}	3.7						
40			16	15.68{1.60}	4.2						
45			18	17.64{1.80}	4.7						
50			20	19.60{2.00}	5.3						
55	12.6	1.30	22	21.56{2.20}	3.1	25.4	18.5				
60			24	23.52{2.40}	3.4						
65			26	25.48{2.60}	3.7						
70			28	27.44{2.80}	4.0						
80			32	31.36{3.20}	4.6						
VUL 12 - 25	14.4	1.20	10	9.80{1.00}	2.9	12.6	9.5				
30			12	11.76{1.20}	3.5						
35			14	13.72{1.40}	4.1						
40			16	15.68{1.60}	4.7						
45			18	17.64{1.80}	5.3						
50			20	19.60{2.00}	5.9						
55	14.8	1.40	22	21.56{2.20}	4.1	21.7	14.5				
60			24	23.52{2.40}	4.4						
65			26	25.48{2.60}	4.8						
70			28	27.44{2.80}	5.2						
80			32	31.36{3.20}	5.9						
90			36	35.28{3.60}	6.7						
VUL 16 - 35	19.0	1.50	14	13.72{1.40}	4.1	15.8	9.5				
40			16	15.68{1.60}	4.7						
45			18	17.64{1.80}	5.3						
50			20	19.60{2.00}	5.9						
55	19.4	1.70	22	21.56{2.20}	4.4	24.7	13.5				
60			24	23.52{2.40}	4.8						
65			26	25.48{2.60}	5.2						
70			28	27.44{2.80}	5.6						
80			32	31.36{3.20}	6.4						
90			36	35.28{3.60}	7.2						
100			40	39.20{4.00}	8.0						

The values of solid length are for reference only. There may be some variations depending on the lot.
Both ends are ground for all sizes.
Usage Count: 1 Million Times

■VUM:Fmax. (Allowable Deflection) = Lx35% Spring Constant 2.94N/mm{0.30kgf/mm}

Part Number Type D - L	O.D. D1	Wire Dia. d	F max.	N{kgf} max.	Reference Pitch	Reference Solid Length	Reference Total Coils	Unit Price 1~3 pcs.	Volume Discount Rate 4~9	10~19	20~100
VUM 5 - 15	6.6	0.80	5.3	15.39{1.57}	2.3	6.8	7.5				
20	6.8	0.90	7.0	20.58{2.10}	1.8	11.7	12				
25			8.8	25.68{2.62}	2.3						
30	7.0	1.00	10.5	30.87{3.15}	2.4	14.5	13.5				
35			12.3	35.97{3.67}	2.8						
40			14.0	41.16{4.20}	3.2						
45	7.2	1.10	15.8	46.26{4.72}	2.5	22.0	19				
50			17.5	51.45{5.25}	2.8						
VUM 6 - 15	7.8	0.90	5.3	15.39{1.57}	2.3	7.7	7.5				
20			7.0	20.58{2.10}	3.0						
25	8.0	1.00	8.8	25.68{2.62}	2.8	11.0	10				
30			10.5	30.87{3.15}	3.3						
35			12.3	35.97{3.67}	3.9						
40	8.4	1.20	14.0	41.16{4.20}	2.6	21.0	16.5				
45			15.8	46.26{4.72}	2.9						
50			17.5	51.45{5.25}	3.2						
55	8.6	1.30	19.3	56.55{5.77}	2.6	29.9	22				
60			21.0	61.74{6.30}	2.9						
VUM 8 - 20	10.2	1.10	7.0	20.58{2.10}	3.3	8.8	7				
25			8.8	25.68{2.62}	4.2						
30	10.6	1.30	10.5	30.87{3.15}	5.0	15.6	11				
35			12.3	35.97{3.67}	3.5						
40			14.0	41.16{4.20}	4.0						
45			15.8	46.26{4.72}	4.5						
50			17.5	51.45{5.25}	5.0						
55	11.0	1.50	19.3	56.55{5.77}	3.3	27.8	17.5				
60			21.0	61.74{6.30}	3.6						
65			22.8	66.84{6.82}	3.9						
70			24.5	72.03{7.35}	4.2						
80			28.0	82.32{8.40}	4.8						
VUM 10 - 20	12.4	1.20	7.0	20.58{2.10}	4.0	8.4	6				
25	12.6	1.30	8.8	25.68{2.62}	4.2	10.4	7				
30			10.5	30.87{3.15}	5.0						
35			12.3	35.97{3.67}	5.8						
40	13.0	1.50	14.0	41.16{4.20}	3.8	18.8	11.5				
45			15.8	46.26{4.72}	4.3						
50			17.5	51.45{5.25}	4.8						
55			19.3	56.55{5.77}	5.2						
60			21.0	61.74{6.30}	5.7						
65	13.4	1.70	22.8	66.84{6.82}	4.3	28.9	16				
70			24.5	72.03{7.35}	4.7						
80			28.0	82.32{8.40}	5.3						
VUM 12 - 25	14.8	1.40	8.8	25.68{2.62}	5.0	9.8	6				
30			10.5	30.87{3.15}	6.0						
35			12.3	35.97{3.67}	7.0						
40	15.2	1.60	14.0	41.16{4.20}	5.0	16.0	9				
45			15.8	46.26{4.72}	5.6						
50			17.5	51.45{5.25}	6.3						
55			19.3	56.55{5.77}	6.9						
60	15.6	1.80	21.0	61.74{6.30}	5.5	23.4	12				
65			22.8	66.84{6.82}	5.9						
70			24.5	72.03{7.35}	6.4						
80			28.0	82.32{8.40}	7.3						
90			31.5	92.61{9.45}	8.2						
VUM 16 - 35	19.6	1.80	12.3	35.97{3.67}	5.8	14.4	7				
40			14.0	41.16{4.20}	6.7						
45			15.8	46.26{4.72}	7.5						
50			17.5	51.45{5.25}	8.3						
55			19.3	56.55{5.77}	9.2						
60	20.4	2.20	21.0	61.74{6.30}	5.5	28.6	12				
65			22.8	66.84{6.82}	5.9						
70			24.5	72.03{7.35}	6.4						
80			28.0	82.32{8.40}	7.3						
90			31.5	92.61{9.45}	8.2						
100			35.0	102.90{10.50}	9.1						

The values of solid length are for reference only. There may be some variations depending on the lot.
Both ends are ground for all sizes.
Usage Count: 1 Million Times

Ordering Example

Part Number	-	L
VUR10	-	40

■Spring Constant

D \ Type	VUR	VUF	VUL	VUM
5				
6	N/mm {kgf/mm}	N/mm {kgf/mm}	N/mm {kgf/mm}	N/mm {kgf/mm}
8	0.29 {0.03}	0.49 {0.05}	0.98 {0.10}	2.94 {0.30}
10				
12				
16				
Fmax.	F=Lx60%	F=Lx45%	F=Lx40%	F=Lx35%

(ข)

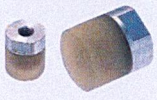
รูปที่ ข.3 แคตตาล็อกสปริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Urethane Rubber Pushers

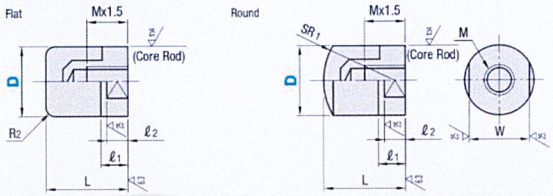
Features: Pushers with shore A30 ~ 90 are available.

Tapped Type



Type		Pushers		Core Rod
Flat	Round	H Hardness	M Material	M Material
URLH	URSH	Shore A90	Ether Polyurethane	SUS304
URLM	URSM	Shore A70	Ester Polyurethane	
URLL	URSL	Shore A50		
PSHLH	RSHLH	Shore A30		

For urethane rubber properties, see **P.389**.



Part Number Type	D	L	MxPitch	SR1	R2	ℓ1	ℓ2	W	Unit Price URLH URSH	Unit Price URLM, URLL URSM, URSL	Unit Price PSHLH RSHLH
Flat URLH URLM URLL PSHLH / Round URSH URSM URSL RSHLH	8	12	M3x0.5	8	1	5	4	7			
	10	15	M4x0.7	10				8			
	12	16	M5x0.8	12	2			10			
	16	20	M6x1.0	16		6	5	14			
	20	25	M8x1.25	20	3	8	6	17			
	25	30	M10x1.5	25		10	8	22			-
	25A		M10x1.25								
	30	35	M12x1.75	30				27			-
	32	37	M14x1.5	32				30			-
	36	45	M18x1.5	36	3.5	12	10	32			-
	40	50	M20x1.5	40		14	12	36			-
	40A		M22x1.5								

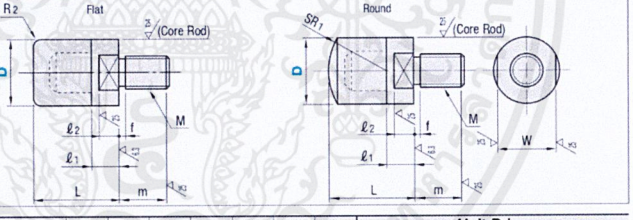
Pitches of D Dimension 25A are fine threaded. The thread of D dimension 40A is M22x1.5. Urethane rubber is thermally bonded to the core rod.
Urethane may discolor over time but there is no effect on properties.

Threaded Type



Type		Pushers		Core Rod
Flat	Round	H Hardness	M Material	M Material
USLH	USSH	Shore A90	Ether Polyurethane	SUS304
USLM	USSM	Shore A70	Ester Polyurethane	
USLL	USSL	Shore A50		
PSHMLH	RSHMLH	Shore A30		

For urethane rubber properties, see **P.389**.



Part Number Type	D	L	MxPitch (Coarse)	SR1	R2	m	ℓ1	ℓ2	f	W	Unit Price USLH USSH	Unit Price USLM, USLL USSM, USSL	Unit Price PSHMLH RSHMLH
Flat USLH USLM USLL PSHMLH / Round USSH USSM USSL RSHMLH	6	10	M3x0.5	6	1	4.5	5	4	1	5			
	8	12	M4x0.7	8		6				7			
	10	15	M5x0.8	10		7				8			
	12	16	M6x1.0	12	2	10			1.5	10			
	16	20	M8x1.25	16		12	6	5	2	14			
	20	25	M10x1.5	20		14	8	6		17			-
	25	30	M16x2.0	25	3	18	10	8	3	22			-
	32	37	M20x2.5	32		22			3.5	30			-
	36	45	M22x2.5	36	3.5	24	12	10		32			-

Urethane may discolor over time but there is no effect on properties. Urethane rubber is thermally bonded to the core rod.

Ordering Example — Part Number: URLM10, USLM12

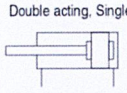
รูปที่ ข.4 แคตตาล็อกลูกสูบผลักงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

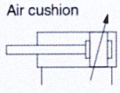


Symbol

Double acting, Single rod



Air cushion



Refer to pages 262 to 266 for cylinders with auto switches

- Auto switch proper mounting position (detection at stroke end) and its mounting height
- Minimum stroke for auto switch mounting
- Operating range
- Auto switch mounting brackets/Part no.

Made to Order

Made to Order: Individual Specifications (For details, refer to page 267.)

Symbol	Specifications
-X446	PTFE grease

Made to Order
Click here for details

Symbol	Specifications
-XA□	Change of rod end shape
-XB6	Heat resistant cylinder (–10 to 150°C)
-XB7	Cold resistant cylinder (–40 to 70°C)*1
-XB9	Low speed cylinder (10 to 50 mm/s)*1
-XB12	External stainless steel cylinder*2
-XB13	Low speed cylinder (5 to 50 mm/s)*2
-XC3	Special port location
-XC4	With heavy duty scraper
-XC5	Heat resistant cylinder (–10 to 110°C)
-XC6	Made of stainless steel
-XC8	Adjustable stroke cylinder/Adjustable extension type
-XC9	Adjustable stroke cylinder/Adjustable retraction type
-XC10	Dual stroke cylinder/Double rod type*1
-XC11	Dual stroke cylinder/Single rod type
-XC12	Tandem cylinder*1
-XC13	Auto switch rail mounting
-XC20	Head cover axial port
-XC22	Fluororubber seal
-XC25	No fixed throttle of connection port*1
-XC27	Double clevis and double knuckle pins made of stainless steel
-XC29	Double knuckle joint with spring pin
-XC35	With coil scraper*1
-XC52	Mounting nut with set screw
-XC85	Grease for food processing equipment

*1 Rubber bumper only.
*2 The shape is the same as the current product.

Specifications

Bore size (mm)			20	25	32	40
Type			Pneumatic			
Action			Double acting, Single rod			
Fluid			Air			
Proof pressure			1.5 MPa			
Maximum operating pressure			1.0 MPa			
Minimum operating pressure			0.05 MPa			
Ambient and fluid temperature			Without auto switch: –10°C to 70°C With auto switch: –10°C to 60°C (No freezing)			
Lubrication			Not required (Non-lube)			
Stroke length tolerance			$^{+1.4}_{0}$ mm			
Piston speed			50 to 750 mm/s			
Cushion			Rubber bumper, Air cushion			
Allowable kinetic energy	Rubber bumper	Male thread	0.27 J	0.4 J	0.65 J	1.2 J
		Female thread	0.11 J	0.18 J	0.29 J	0.52 J
	Air cushion (Effective cushion length (mm))	Male thread	0.54 J (11.0)	0.78 J (11.0)	1.27 J (11.0)	2.35 J (11.8)
		Female thread	0.11 J	0.18 J	0.29 J	0.52 J

* Operate the cylinder with in the allowable kinetic energy.

Standard Strokes

Bore size (mm)	Standard stroke (mm) Note 1)	Maximum manufacturable stroke (mm)
20	25, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300	1000
25		1500
32		2000
40		

Note 1) Intermediate strokes not listed above are produced upon receipt of order. Manufacture of intermediate strokes in 1 mm increments is possible. (Spacers are not used.)
Note 2) Applicable strokes should be confirmed according to the usage. For details, refer to "Air Cylinders Model Selection" on front matter pages. In addition, the products that exceed the standard stroke might not be able to fulfill the specifications due to the deflection etc.

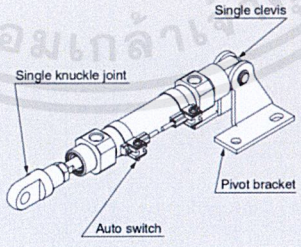
Rod Boot Material

Symbol	Rod boot material	Maximum ambient temperature
J	Nylon tarpaulin	70°C
K	Heat resistant tarpaulin	110°C*1

*1 Maximum ambient temperature for the rod boot itself.

Option: Ordering Example of Cylinder Assembly

Cylinder model: CDM2C20-50Z-NV-M9BW



Mounting C: Single clevis
Pivot bracket N: Yes
Rod end bracket V: Single knuckle joint
Auto switch D-M9BW: 2 pcs.

* Pivot bracket, single knuckle joint and auto switch are shipped together with the product, but not assembled.
* Pivot bracket is available only for C, T, U, E, V, UZ mounting types.
* No bracket is provided for the female rod end.

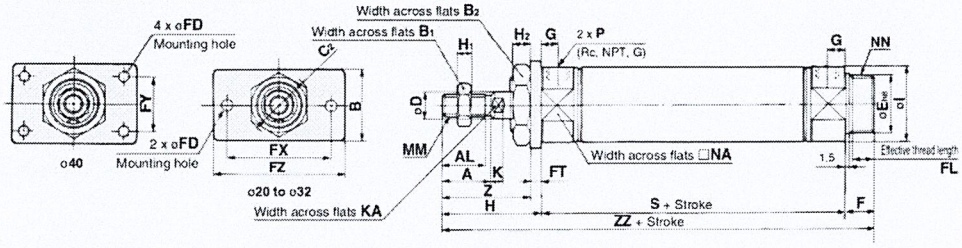
(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

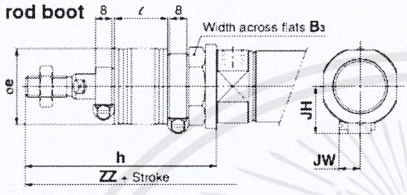
CM2 Series

Rod Flange (F)

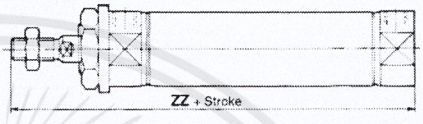
CM2F Bore size – Stroke ☐ Z



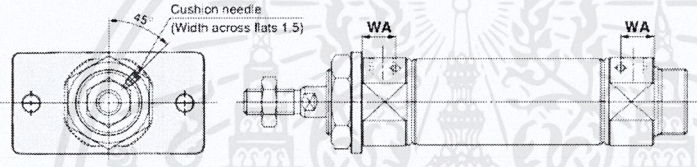
With rod boot



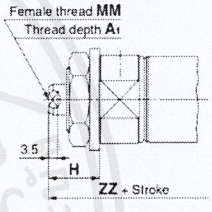
Boss-cut



With air cushion



Female rod end



(mm)

Bore size	A	AL	B	B1	B2	C2	D	E	F	FL	FD	FT	FX	FY	FZ	G	H	H1	H2	I	K	KA	MM	NA	NN	P	S	Z	ZZ
20	18	15.5	34	13	26	30	8	20 -0.013 -0.034	13	10.5	7	4	60	—	75	8	41	5	8	28	5	6	M8 x 1.25	24	M20 x 1.5	1/8	62	37	116
25	22	19.5	40	17	32	37	10	26 -0.013 -0.034	13	10.5	7	4	60	—	75	8	45	6	8	33.5	5.5	8	M10 x 1.25	30	M26 x 1.5	1/8	62	41	120
32	22	19.5	40	17	32	37	12	26 -0.013 -0.034	13	10.5	7	4	60	—	75	8	45	6	8	37.5	5.5	10	M10 x 1.25	34.5	M26 x 1.5	1/8	64	41	122
40	24	21	52	22	41	47.3	14	32 -0.016 -0.041	16	13.5	7	5	66	36	82	11	50	8	10	46.5	7	12	M14 x 1.5	42.5	M32 x 2	1/4	88	45	154

With Rod Boot (mm)

Bore size \ Symbol	B3	e	h							ℓ							ZZ						
			1 to 50	51 to 100	101 to 150	151 to 200	201 to 300	301 to 400	401 to 500	1 to 50	51 to 100	101 to 150	151 to 200	201 to 300	301 to 400	401 to 500	1 to 50	51 to 100	101 to 150	151 to 200	201 to 300	301 to 400	401 to 500
20	30	36	68	81	93	106	131	156	181	12.5	25	37.5	50	75	100	125	143	156	168	181	206	231	256
25	32	36	72	85	97	110	135	160	185	12.5	25	37.5	50	75	100	125	147	160	172	185	210	235	260
32	32	36	72	85	97	110	135	160	185	12.5	25	37.5	50	75	100	125	149	162	174	187	212	237	262
40	41	46	77	90	102	115	140	165	190	12.5	25	37.5	50	75	100	125	181	194	206	219	244	269	294

With Rod Boot (mm)

Bore size	JH	JW
20	23.5	10.5
25	23.5	10.5
32	23.5	10.5
40	27	10.5

With Air Cushion (mm)

Bore size	WA
20	12
25	12
32	11
40	16

Boss-cut (mm)

Bore size	ZZ							
	Without rod boot	With rod boot						
		1 to 50	51 to 100	101 to 150	151 to 200	201 to 300	301 to 400	401 to 500
20	103	130	143	155	168	193	218	243
25	107	134	147	159	172	197	222	247
32	109	136	149	161	174	199	224	249
40	138	165	178	190	203	228	253	278

* The bracket is shipped together.

Female Rod End (mm)

Bore size	A1	H	MM	ZZ
20	8	20	M4 x 0.7	95
25	8	20	M5 x 0.8	95
32	12	20	M6 x 1	97
40	13	21	M8 x 1.25	125

* When female thread is used, use a thin wrench when tightening the piston rod.
* When female thread is used, use a washer etc. to prevent the contact part at the rod end from being deformed depending on the material of the workpiece.

SMC

(ข)

รูปที่ ข.5 แคตตาล็อกกระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Configurable Plates - SS400



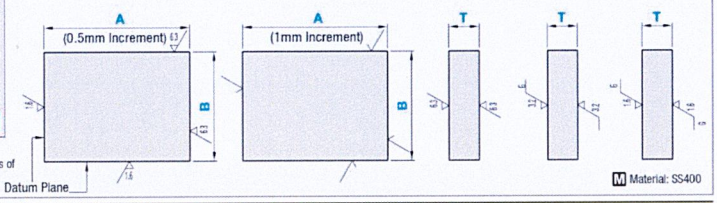
RoHS10

Hot rolled, torch cutting, and saw cutting surfaces might remain on A and B surfaces of (L-)SS2F. Rusts may remain.

6-Surface Finish
PS□□□

Upper-Lower Surface Finished (4-Side Not Finished)
SS2F□

Upper-Lower Finish Method
(Milled) SS2F□ PSF□□
(Rotary Grinding) PSR□
(Surface Grinding) PSS□□



Material: SS400

6-Surface Finish

Upper-Lower Finish Method		Part Number Type	① Plate Thickness Tolerance	② A, B Dimension Tolerance	0.5mm Increment A	B	T
					A≥B		
Milled	Standard	PSF	P Q N M	P Q N M	20~500	20~300	4~50
Rotary Grinding	Standard	PSR			20~500	20~300	4~50
Surface Grinding	Standard	PSS			20~500	20~300	4~50

Upper-Lower Surface Finished (Sides Not Finished) Tolerance should be noted.

Upper-Lower Finish Method		Part Number Type	① Plate Thickness Tolerance	② A, B Dimension Tolerance	1mm Increment A	B	0.5mm Increment T
					A≥B		
Milled	Standard	SS2F	P Q N M	$A^{+\frac{3}{0}}$ $B^{+\frac{3}{0}}$	20~500	10~300	5~50

There are non machinable areas. See the price list for the details.

① Plate Thickness Tolerance

Upper-Lower Finish Method	P	Q	N	M
Milled	+0.1~+0.3	0~+0.2	±0.1	-0.2~0
Rotary Grinding	+0.1~+0.3	0~+0.2	±0.1	-0.2~0
Surface Grinding	+0.1~+0.2	0~+0.1	±0.05	-0.1~0

② A, B Dimension Tolerance (Applicable to 6-Surface Finish only)

A, B Dimension	P	Q	N	M
250mm or Less	+0.1~+0.3	0~+0.2	±0.1	-0.2~0
250.5mm or More	+0.1~+0.6	0~+0.5	±0.25	-0.5~0

Accuracy Standards - Standard Size (Max. Value)

Item		Upper-Lower Finish Method Milled	Rotary Grinding	Surface Grinding
Thickness Parallelism (per 100mm)		0.05	0.012	0.012
Flatness (per 100mm)	T4~7.5	0.1	0.05	0.05
	T8~15.5	0.07	0.03	0.03
	T16~25.5	0.05	0.015	0.015
	T26~50	0.05	0.012	0.012
Perpendicularity of Datum Plane	Applicable to 6-Surface Finished Products	0.015 per 100mm		
Circumference Chamfering	Upper-Lower Surface Finished	Deburring Only		
	6-Surface Finish	C0.2~C0.5		

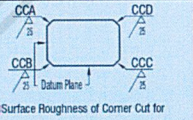
Ordering Example

Part Number							
Type	Upper-Lower Surface Finish	Plate Thickness Tolerance	A, B Dimension Tolerance	-	A	- B	- T
PS	F	Q	M	-	255	- 220	- 18

Alterations

Part Number - A - B - T -(CSC, CBC, CCA···etc.)
PSRNM - 1200 -610-30 - CSC

Alteration is not available for 4-side unfinished (L-) SS2F.

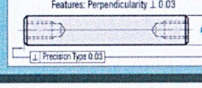
	Circumference Chamfering	Corner Cut
Alterations		 Surface Roughness of Corner Cut for
Code	CSC, CBC	CCA, CCB, CCC, CCD
Spec.	Changes the circumference chamfering dimension. Chamfering Dimension: Standards CSC C0.2~0.5, CBC C0.1 or Less, CSC C0.5~1.0	Cuts any corners. 1≤ Corner Cut ≤50 1mm Increment. Ordering Code (Ex.) When the corners of A and D are cut by CS → CCA5-CCD5. 1mm Increment: 1~5, 6~10, 11~20, 21~30, 31~40, 41~50

2-1729

รูปที่ ข.6 แคตตาล็อกคานโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shafts
Both Ends Tapped

High Precision Linear Shafts for High Precision Assembly
Features: Perpendicularity ⊥ 0.03


P.221

■For High Precision Linear Shafts with high perpendicular precision of the shaft end (⊥ 0.03), see P.221. ■For Shafts with Wrench Flats and Cross-Drilled Hole, see P.149.

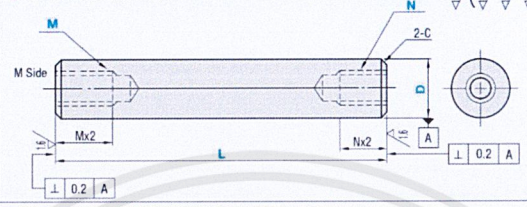


RoHS 10

- Annealing may lower hardness at shaft end machined areas (effective thread length + approx. 10mm). P.142
- Full Length Hardness Guaranteed Shafts P.155
- L Dimension Tolerance, Circularity, Straightness, Perpendicularity, Concentricity and Changes in Hardness P.141
- Features of Low Temp. Black Chrome Plating P.156

Type			Material	Hardness	Surface Treatment
D Tol. g6	D Tol. h5	D Tol. f8			
SFJW	SFUW	-	SUJ2	Effective Hardened Depth of Induction Hardening P.142 SUJ2 58HRC~ SUS440C Equivalent 56HRC~	-
SSFJW	SSFUW	-	SUS440C Equivalent		Hard Chrome Plating - Plating Hardness: HV750 ~, Plating Thickness: 5μ or More
PSFJW	PSFUW	-	SUJ2		Low Temp. Black Chrome Plating
PSSFJW	PSSFUW	-	SUS440C Equivalent		Hard Chrome Plating - Plating Hardness: HV750 ~, Plating Thickness: 10μ or More
RSFJW	-	-	SUJ2		-
-	-	PSFGW	S45C Equivalent	-	
-	-	PSSFGW	SUS304		

For plated products, the surface roughness of D part is 0.4 and for unplated products, it is 0.4 (6.3 / 1.6 / 0.4 / 0.4)



D	D Tol. g6	D Tol. h5	D Tol. f8
4			-
5	-0.004 -0.012	0 -0.005	-0.010 -0.028
6			
8	-0.005 -0.014	0 -0.006	-0.013 -0.035
10			
12			
13	-0.006 -0.017	0 -0.008	-0.016 -0.043
15			
16			
18			
20	-0.007 -0.020	0 -0.009	-0.020 -0.053
25			
30			
35	-0.009 -0.025	0 -0.011	-0.025 -0.064
40			
50			

Part Number Type	D	L specified in 1mm Increments	M (Coarse), N (Coarse) Selection	C
	4	20~ 300	2	0.2 or Less
	5	20~ 400	2.6 3	
(D Tol. g6) / (D Tol. h5)	6	20~ 800	3	0.5 or Less
SFJW / SFUW	8	20~1000	3 4 5	
SSFJW / SSFUW	10	20~1000	3 4 5 6	
PSFJW / PSFUW	12	20~1200	4 5 6 8	
PSSFJW / PSSFUW	13	25~1200	4 5 6 8	
	15	25~1200	4 5 6 8 10	
RSFJW(D≤30,L≤500)	16	30~1200	4 5 6 8 10	
	18	30~1200	4 5 6 8 10 12	
(D Tol. f8)	20	30~1200	4 5 6 8 10 12	
PSFGW	25	35~1200	4 5 6 8 10 12 16	1.0 or Less
PSSFGW	30	35~1500	6 8 10 12 16 20	
	35	35~1500	8 10 12 16 20 24	
	40	50~1500	10 12 16 20 24 30	
	50	65~1500	12 16 20 24 30	

L requires Mx2+Nx2≤L. When Mx2.5+4+Nx2.5+4≥L, tap pilot holes may go through and the effective length of the smaller tap part may be shortened.

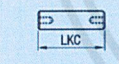
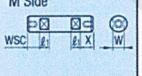
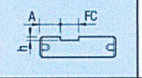
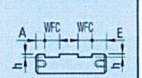
Ordering Example

Part Number	L	M	N
SFJW8	200	M4	N4
SSFJW20	500	M6	N10

Alterations

Part Number	L	M(MSC, MD)	N(NSC, MD)	(LKC~etc.)
SFJW30	500	M8	N10	LKC

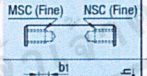
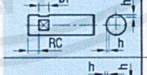
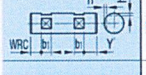
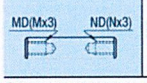
Alteration Details P.143

Alterations	Code	Spec.
	LKC	Alteration to L dimension tolerance Ordering Code: LKC L dimensions can be specified in 0.1mm increment for LKC. L<200 ···L±0.03 200≤L<500 ···L±0.05 L≥500 ···L±0.1
	WSC	Wrench Flats at Two Locations Ordering Code: WSC12-X8 Application Notes: Applicable to D=6 or more. WSC X≥1mm Increment WSC+X+ℓ1x2<L WSC(X)≥0 Variation between two set screw flats is not coplanar. Not available in combination with FC.
	FC	Set Screw Flat at One Location Ordering Code: FC10-A8 FC, A=1mm Increment D≤30:FC≤5xD, D≥35:FC≥3xD E=0 or A≥2 Not available in combination with WFC.
	WFC	Set Screw Flats at Two Locations Ordering Code: WFC8-A8-E2 WFC, A, E=1mm Increment D≤30:WFC≤5xD, D≥35:WFC≥3xD A(E)=0 or A(E)≥2 Orientation between set screw flats is not coplanar. Not available in combination with FC.

D	W	ℓ1
6	5	8
8	7	
10	8	
12	10	10
13	11	
15	13	
16	14	
18	16	10
20	17	
25	22	
30	27	15
35	30	
40	36	20
50	41	

D	h
4~ 5	0.5
6~18	1
20~40	2
50	3

D	h
4~ 5	0.5
6~18	1
20~40	2
50	3

Alterations	Code	Spec.
Keyway at one location.  Keyways at two locations. 	KC WKC	Keyway Ordering Code: KC10-G10 WKC10-C8-KC10-G10 Application Notes: Only applicable to D=12, 16, 20, 25 and 30. The Alteration cannot be applied to any tapped thread (M≥2.5+4).
	MSC NSC	Change to Fine Tapped Thread Ordering Code: MSC14 (M is changed to MSC) NSC14 (N is changed to NSC) Application Notes: Applicable to D=12 or more
	RC	90-deg. Set Screw Flat at One Location Ordering Code: RC10 Application Notes: Only applicable to D=10 ~ 30. Not available in combination with WRC.
	WRC	90-deg. Set Screw Flats at Two Locations Ordering Code: WRC10-Y10 Application Notes: Only applicable to D=10 ~ 30. Not available in combination with RC. Orientation between two set screw flats is not coplanar.
	MD ND	Change the effective tap depth to M(N)x3. Ordering Code: MD6/ND6 (M is changed to MD, N is changed to ND) Application Notes: Only applicable to D=10~30 and M (N) = 6~20 One End Tapped: MDx3.5+4≤L Both Ends Tapped: MDx3.5+4+NDx3.5+4≤L Not available in combination with KC, WSC.

For details, see Shaft Alteration Overview. P.143

Please see Shaft Alteration Overview for details if provided. P.143
When selecting multiple alteration additions, the distance between machined areas should be greater than 2mm. P.144
Alterations may lower hardness. See P.142.

รูปที่ ข.7 แคตตาล็อกเสาค้ำคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shaft Supports - Flanged Slit (Cast)

Standard / Long Sleeve

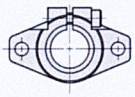
Features: Most economical and popular shaft support. Machined products are recommended for precision requiring applications.

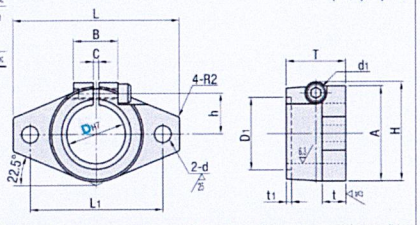
Standard



Type	Material	Surface Treatment	Accessory
SHFT	S45C Equivalent	Black Oxide	Hex Socket Head Cap Screw 1 pc.
SHFM		Electroless Nickel Plating	Hex Socket Head Cap Screw 1 pc. (SUS)
SHFSS	SUS304 Equivalent	-	
SHF	AC7A	Clear Anodize	
SHFD		Black Anodize	Hex Socket Head Cap Screw 1 pc.

Depending on the type and size, 2 cutouts may be provided.





RoHS 10

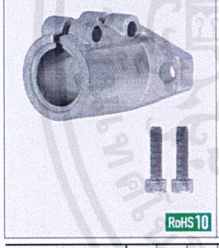
Slit is machined after the mounting hole D is bored to H7 tolerance. The tolerance may become H8 or so depending on the machining condition.

Part Number Type	D	L	T	t	H	A	L1	d	d1	D1	t1	B	C	h	Tightening Screw M	Mass g	Unit Price SHFT	SHFM	SHFSS	SHF	SHFD
D8~16, 20~50 SHFT SHFM SHFSS	3	43	10	5	24	20	32	5.5	9	10	1.5	18	2	9.5	M4	32(11)	-	-	-		-
	4															32(11)					
	5															32(11)					
	6															32(11)					
	8															29(10)					
	10									12						29(10)					
	12	47	13	7	28	25	36			14			2.5	11		52(18)					
	13									16						52(18)					
D3~50 SHF	15	50	16	8	31	28	40			20				12.5		64(22)					-
	16															64(22)					
	18	60	20		37	34	48	7	10	24	2			15	M5	110(38)	-	-	-		-
D8~16, 20~30 SHFD	20															110(38)					
	25	70	25	10	42	40	56	9	12	30		22		17	M6	179(62)					-
	30	80	30	12	50	46	64			35				21		278(96)					
	35	92	35	14	58	50	72	12	15	40				25.5	M8	350(121)					-
	40	102	40	16	67	56	80	12	18	45	3			30	M10	500(173)					-
	50	122	50	19	83	70	96	14	20	55				38	M12	952(329)					-

Values in ( ) are the mass for aluminum products.

Features: MISUMI's original. Longer sleeve than standard type enhances strength against falling.

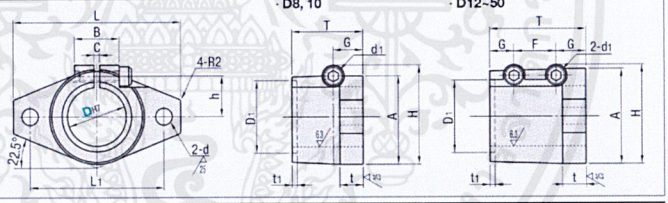
Long Sleeve



Type	Material	Surface Treatment	Accessory
SHFTL	S45C Equivalent	Black Oxide	Hex Socket Head Cap Screws 2 pcs.
SHFML		Electroless Nickel Plating	Hex Socket Head Cap Screw 2 pcs. (SUS)
SHFSSL	SUS304 Equivalent	-	
SHFL	AC7A	Clear Anodize	
SHFDL		Black Anodize	Hex Socket Head Cap Screws 2 pcs.

D dimension 8 and 10 come with 1 screw.

Slit is machined after the mounting hole D is bored to H7 tolerance. The tolerance may become H8 or so depending on the machining condition.



RoHS 10

Part Number Type	D	L	T	t	H	A	L1	d	d1	D1	t1	B	C	h	G	F	Tightening Screw M	Mass g	Unit Price SHFTL	SHFML	SHFSSL	SHFL	SHFDL
D8~50 SHFTL SHFML SHFSSL SHFL	8	43	20	5	25.5	20	32	5.5	10	10	1.5	18	2	10.5	10	-	M5	51(18)					
	10									12								47(17)					
	12	47	28	7	28	25	36		9	14				11	7	14	M4	91(32)					
	13									16								87(30)					
	15	50	32	8	31	28	40			20			2.5	12.5	8	16		114(41)					-
	16																	112(39)					
	20	60	40		37	34	48	7	10	24	2	22		15	10	20	M5	191(66)					
	25	70	50	10	42	40	56			30				17	12.5	25		300(104)					
D8~13, 16~30 SHFDL	30	80	60	12	50	46	64	9	12	35				21	15	30	M6	450(156)					
	35	92	70	14	58	50	72	12	15	40				25.5	17.5	35	M8	592(205)					-
	40	102	80	16	67	56	80		18	45	3		2.5	30	20	40	M10	831(288)					-
	50	122	90	19	83	70	96	14	20	55				38	22.5	45	M12	1446(410)					-

Values in ( ) are the mass for aluminum products.

Ordering Example: Part Number SHFTL16

รูปที่ ข.8 แคตตาล็อกตัวช่วยค้ำเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shafts
One End Tapped

High Precision Linear Shafts for High Precision Assembly
Features: Perpendicularity ⊥ 0.03
P.223

■For High Precision Linear Shafts with high perpendicular precision of the shaft end (⊥ 0.03), see P.223. ■For Shafts with Wrench Flats and Cross-Drilled Hole, see P.153.

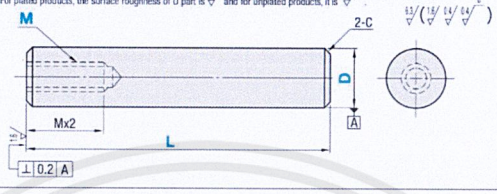


RoHS 10

- Annealing may lower hardness at shaft end machined areas (effective thread length + approx. 10mm) P.142
- Full Length Hardness Guaranteed Shafts P.155
- L Dimension Tolerance, Circularity, Straightness, Perpendicularity, Concentricity and Changes in Hardness P.141
- Features of Low Temp. Black Chrome Plating P.156

Type D Tol. g6	Type D Tol. h5	Type D Tol. f8	Material	Hardness	Surface Treatment
SFJT	SFUT	-	SUJ2	Effective Hardened Depth of Induction Hardening P.142 SUJ2 58HRC~ SUS440C Equivalent 56HRC~	-
SSFJT	SSFUT	-	SUS440C Equivalent		Hard Chrome Plating - Plating Hardness: HV750 ~, Plating Thickness: 5μ or More
PSFJT	PSFUT	-	SUJ2		Low Temp. Black Chrome Plating
PSSFJT	PSSFUT	-	SUS440C Equivalent		Hard Chrome Plating - Plating Hardness: HV750 ~, Plating Thickness: 10μ or More
RSFJT	-	-	SUJ2		
-	-	PSFGT	S45C Equivalent	-	
-	-	PSSFGT	SUS304		

For plated products, the surface roughness of D part is $\sqrt{}^{0.4}$ and for unplated products, it is $\sqrt{}^{0.4}$



D	D Tol. g6	D Tol. h5	D Tol. f8
4			-
5	-0.004 -0.012	0 -0.005	-0.010 -0.028
6			
8	-0.005 -0.014	0 -0.006	-0.013 -0.035
10			
12			
13			
15	-0.006 -0.017	0 -0.008	-0.016 -0.043
16			
18			
20			
25	-0.007 -0.020	0 -0.009	-0.020 -0.053
30			
35			
40	-0.009 -0.025	0 -0.011	-0.025 -0.064
50			

Part Number Type	D	L specified in 1mm Increments	M (Coarse) Selection	C
	4	20~ 300	2	0.2 or Less
	5	20~ 400	2.6 3	
	6	15~ 800	3	0.5 or Less
(D Tol. g6) (D Tol. h5) SFJT SFUT	8	15~1000	3 4 5	
SSFJT SSFUT	10	15~1000	3 4 5 6	
PSFJT PSFUT	12	15~1200	4 5 6 8	
PSSFJT PSSFUT	13	15~1200	4 5 6 8	
RSFJT (D≤30,L≤500)	15	15~1200	4 5 6 8 10	
	16	30~1200	4 5 6 8 10	
(D Tol. f8)	18	30~1200	4 5 6 8 10 12	
PSFGT (D≥6)	20	30~1200	4 5 6 8 10 12	1.0 or Less
PSSFGT (D≥6)	25	35~1200	4 5 6 8 10 12 16	
	30	35~1500	6 8 10 12 16 20	
	35	35~1500	8 10 12 16 20 24	
	40	50~1500	10 12 16 20 24 30	
	50	65~1500	12 16 20 24 30	

When Mx2.5+4≥L, tap pilot holes may go through.

Ordering Example

Part Number	-	L	-	M
SFJT8	-	200	-	M4
RSFJT20	-	325	-	M8

Alterations

Part Number	-	L	-	M(MSC, MD)	-	(LKC···etc.)
SFJT30	-	250	-	M12	-	LKC

Alteration Details P.143

Alterations	Code	Spec.
LKC	LKC	Alteration to L dimension tolerance Ordering Code: LKC L dimensions can be specified in 0.1mm increment for LKC. L<200 ···L±0.03 200≤L<500 ···L±0.05 L≥500 ···L±0.1
FC	FC	Set Screw Flat at One Location Ordering Code: FC10-E8 FC, E=1mm Increment D≤30:FC≤5xD, D≥35:FC≥3xD E=0 or E≥2 ⊗ Not available in combination with WFC. D: 4~5 h: 0.5; 6~18: 1; 20~40: 2; 50: 3
WFC	WFC	Set Screw Flats at Two Locations Ordering Code: WFC8-A8-E4 WFC, A, E=1mm Increment D≤30:WFC≤5xD, D≥35:WFC≥3xD A(E)=0 or A(E)≥2 ⊗Orientation between set screw flats is not captured. Not available in combination with FC. D: 4~5 h: 0.5; 6~18: 1; 20~40: 2; 50: 3
MSC (Fine)	MSC	Change to Fine Tapped Thread Ordering Code: MSC14 (M is changed to MSC) Application Notes: Applicable to D=12 or more For details, see Shaft Alteration Guide. P.143

Alterations	Code	Spec.
RC	RC	90-deg. Set Screw Flat at One Location Ordering Code: RC10 Application Notes: Only applicable to D=10~30. ⊗Not available in combination with WRC.
WRC	WRC	90-deg. Set Screw Flats at Two Locations Ordering Code: WRC10-Y10 Application Notes: Only applicable to D=10~30. ⊗Not available in combination with RC. ⊗Orientation between two set screw flats is not captured.
Keyway at one location. Keyways at two locations.	KC WKC	Keyway Ordering Code: KC10-G10 WKC10-C8-KC10-LT10 Application Notes: Only applicable to D=12, 16, 20, 25 and 30. ⊗This Alteration cannot be applied to any tapped thread (Mx2.5+4).
MD(Mx3)	MD	Change the effective length of tapped part to Mx3. Ordering Code: MD6 (M is changed to MD) Application Notes: Only applicable to D=10~30 and M=6~20 One End Tapped: MDx3.5+4≤L ⊗Not available in combination with KC, WSC.

For details, see Shaft Alteration Overview. P.143

Please see Shaft Alteration Overview for details if provided. P.143
When selecting multiple alteration additions, the distance between machined areas should be greater than 2mm. P.144
Alterations may lower hardness. See P.142.

รูปที่ ข.9 แคตตาล็อกเสานำการเคลื่อนที่

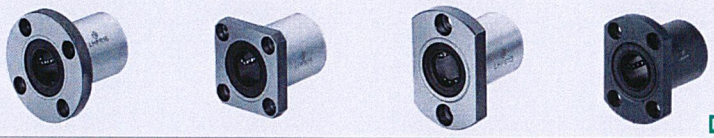
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flanged Linear Bushings
Single, Opposite Counterbored Hole

= For customers using industry standard products =
The part enclosed in the red frame is as per industry standard specifications (Outer cylinder SUJ2 equivalent, Retainer resin).
Consider these specifications while selecting the product.

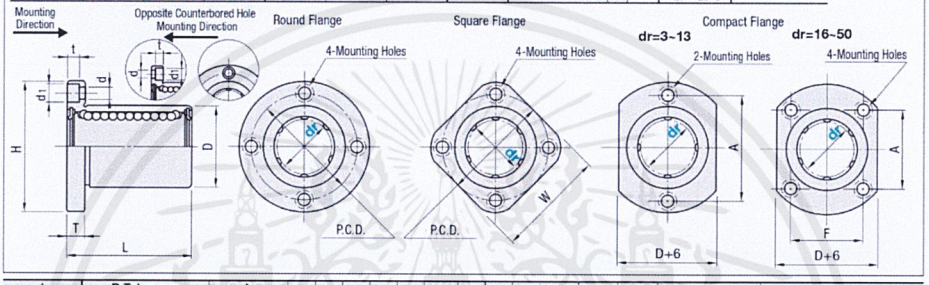
Features: Easy to assemble with bolt-on flanges.

Industry Standard



RoHS 10

Counterbored Holes	Type: Round Flange	Square Flange	Compact Flange	Outer Cylinder: M Material	H Hardness	S Surface Treatment	Balls: M Material	Retainer: M Material	Ambient Operating Temp.	A Accessory
Opposite Counterbored	LHZR	LHZS	LHZC							
	LHFR-N No Seal	LHFS-N No Seal	LHFC-N No Seal							
Standard	LHFR	LHFS	LHFC	SUJ2 Equivalent	58HRC~	-	SUJ2 Equivalent	Plastic (Duracon M90 Equivalent)	-20~ 80°C	Seal M Material Nitrile Rubber (-20~120°C)
	LHFRF	LHFSF	LHFCF			Low Temperature Black Chrome Plating		Stainless Steel (SUS)	-20~110°C	
	LHFRR	LHFSR	LHFCR			Electroless Nickel Plating	SUS440C Equivalent	Plastic (Duracon M90 Equivalent)	-20~ 80°C	
	LHFRM	LHFSM	LHFCM					Stainless Steel (SUS)	-20~110°C	
	LHFRMF	LHFSMF	LHFCMF					Plastic (Duracon M90 Equivalent)	-20~ 80°C	
	SLHFR	SLHFS	SLHFC	SUS440C Equivalent	56HRC~	-		Stainless Steel (SUS)	-20~120°C	
	SLHFRS	SLHFSS	SLHFCS							



dr	Tolerance	D	D Tolerance: No Surface Treatment	D Tolerance: Surface Treatment	L	L Tolerance	H	T	d	d1	t	P.C.D.	W	F	A	Eccentricity	Rows of Balls	Perpendicularity	Basic Load Rating C (Dynamic)	Basic Load Rating N/Co (Static)	Mass (g): Round Flange	Mass (g): Square Flange	Mass (g): Compact Flange
3	0 -0.008	7	0 -0.011	0 -0.015	10	±0.3	19	3.5	2.5	4.5	2.1	13	15	-	13	0.008	4	0.008	69	105	7	5.1	6
4		8			12		20					14	16	-	14				88	127	8	6.2	7
5		10			15		25					17	20	-	17				167	206	17	13	14
6	0 -0.009	12	0 -0.013	0 -0.018	19		28	5	3.5	6	3.1	20	22	-	20	0.012		0.012	206	265	24	18	21
8		15			24		32					24	25	-	24				265	380	37	29	33
10		19			29		40					29	30	-	29				372	549	72	52	64
12		21	0 -0.016	0 -0.021	30		42	6	4.5	7.5	4.1	32	32	-	32				412	598	76	57	68
13		23			32		43					33	34	-	33				510	784	88	72	81
16		28			37		48					38	37	22	31				775	1180	120	104	112
20	0 -0.010	32	0 -0.019	0 -0.025	42		54	8	5.5	9	5.1	43	42	24	36	0.015	5	0.015	882	1370	180	145	167
25		40			59		62					51	50	32	40		6		980	1570	340	300	325
30		45			64		74	10	6.6	11	6.1	60	58	35	49				1570	2740	470	375	388
35	0 -0.012	52	0 -0.022	0 -0.030	70		82					67	64	38	55	0.020		0.020	1670	3140	650	560	575
40		60			80		96	13	9	14	8.1	78	75	45	64				2160	4020	1060	880	913
50		80			100		116					98	92	56	80				3820	7940	2200	2000	2037

kgf=Nx0.101972

For Precautions for Use, see P.303. Select Height-adjusting Spacers for Flanged Bushings from P.330.
No seal for dr=3 and 4, LHFR-N, LHFS-N and LHFC-N. Reversed counterbored type can be bolted from the reverse side.

dr	Unit Price: Round Flange											Square Flange								Compact Flange							
	LHZR	LHFR-N	LHFR	LHFRF	LHFRR	LHFRM	LHFRMF	SLHFR	SLHFRS	LHZS	LHFS-N	LHFS	LHFSF	LHFSR	LHFSM	LHFSMF	SLHFS	SLHFSS	LHZC	LHFC-N	LHFC	LHFCF	LHFCR	LHFCM	LHFCMF	SLHFC	SLHFCS
3	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-							
4	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-			-	-	-		-
5	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-			-	-	-		-
6																											
8																											
10																											
12																											
13																											
16																											
20																											
25																											
30																											
35	-	-		-	-		-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-
40	-	-		-	-		-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-
50	-	-		-	-		-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-

Ordering Example — Part Number

LHFC8
LHFC-N10 (No Seal)
LHFCR8 (Low Temperature Black Chrome Plating)
LHFCR10L (L Type Greased)

For Features of Low Temperature Black Chrome Plating, see P.304.
Alternative grease types available. Alternative grease types available.
For Days to Ship, Price and Performance, see P.304.

รูปที่ ข.10 แคตตาล็อกบุชชิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shaft Collar Standard / Compact with Urethane

Clamp / Split

Features: Standard with Urethane: Reduces noises generated by metal-to-metal contact.
Compact with Urethane: Smaller by up to 44% in width (B dimension) and 25% in O.D. (D_1 dimension) than Standard Type with Urethane.

Standard with Urethane, Clamp Type



RoHS 10

Standard with Urethane, Split Type

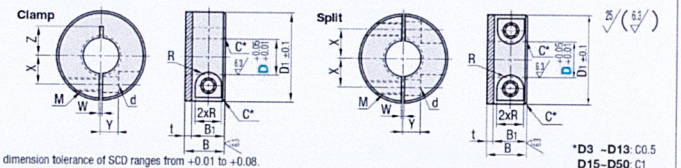


RoHS 10

Type		Material	Surface Treatment	Accessory
Clamp	Split			
SCD	SCSPD	S45C Equivalent	Black Oxide Coating	Clamp: Hex Socket Head Cap Screw 1 pc. Split: Hex Socket Head Cap Screw 2 pcs. M SCM435 Equivalent
PSCD	PSCSPD		Electroless Nickel Plating	Clamp: Hex Socket Head Cap Screw 1 pc. (SUS) Split: Hex Socket Head Cap Screw 2 pcs. (SUS) M SUS304 Equivalent
SSCD	SSCSPD	SUS304	-	

Damper
M Material: Urethane
H Hardness Clamp: Shore A70: No.3 ~ 6 (Ester Type); Shore A90: No.8 ~ 50 (Ether Type)
Split: Shore A70 (Ester Type)
(Allowable Temperature: 70°C)

Urethane Rubber Features P.2-389



D dimension tolerance of SCD ranges from +0.01 to +0.08.

Part Number Type	D	B	D_1	B_1	t	M (Coarse)	d	R	W	X	Y	Z	Unit Price SCD	PSCD	SSCD	SCSPD	PSCSPD	SSCSPD
(Clamp) SCD PSCD SSCD * marked dimensions are for Clamp Type only.	*3	10	15	8	2	M3	3.4	3	1.0	4.5	3	3~5				-	-	-
	*4											3.5~6				-	-	-
	*5	12	20	10		M4	4.5	3.75		6	4	6~7				-	-	-
	6											6~6.5						
	8	18	30	15	3	M6	7	6	1.5	9	5	7~10						
	10		35							10	6	8~12.5						
	12									11		9~12.5						
	13											10~12.5						
	15		40							13	8	11~13						
	16											11~13						
(Split) SCSPD PSCSPD SSCSPD	20	20	45	15	5					15		13~15						
	25		50							18	10	16~18						
	30		55							20		15~20						
	*35		60							23	12	17.5~21				-	-	-
	*40	23	70	18		M8	9	7	2.0	26	13	20~23				-	-	-
	*50	27	85	22		M10	11	9		32	16	25~28			-	-	-	-

Compact with Urethane, Clamp Type



RoHS 10

Compact with Urethane, Split Type



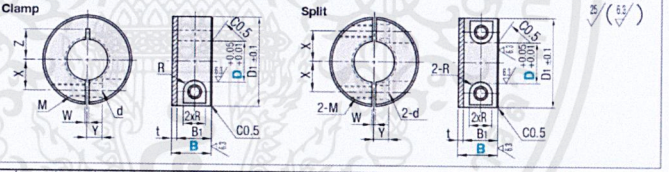
RoHS 10

Type		Material	Surface Treatment	Accessory
Clamp	Split			
SCDJ	SCSPDJ	S45C Equivalent	Black Oxide Coating	Clamp: Hex Socket Head Cap Screw 1 pc. Split: Hex Socket Head Cap Screw 2 pcs. M SCM435 Equivalent
PSCDJ	PSCSPDJ		Electroless Nickel Plating	Clamp: Hex Socket Head Cap Screw 1 pc. (SUS) Split: Hex Socket Head Cap Screw 2 pcs. (SUS) M SUS304 Equivalent
SSCDJ	SSCSPDJ	SUS304	-	

Refer to Size Comparison Table below.

Damper
M Material: Ester Urethane
H Hardness: Shore A70
(Allowable Temperature: 70°C)

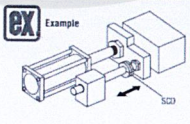
Urethane Rubber Features P.2-389



Part Number Type	D	B Selection	D_1	B_1	t	M (Coarse)	d	R	W	X	Y	Z	Unit Price Clamp Type SCDJ	PSCDJ	SSCDJ	Split SCSPDJ	PSCSPDJ	SSCSPDJ
(Clamp) SCDJ PSCDJ SSCDJ * marked dimensions are for Clamp Type only. (Split) SCSPDJ PSCSPDJ SSCSPDJ	8	10	25	8	2	M3	3.4	3	1.5	8	5	7~9						
	10		30							9		8~10						
	12									10		9~10						
	16	12	35	10		M5	5.5	4.5		12	6	11~12						
	20	13	40		3					14	7	13						
	25	15	45	12						17		16						
	30		50							20	6	18~20						
	*40		60						2	25		23				-	-	-
	*50	21	80	18		M8	9	7	3	32	15	28				-	-	-

Ordering Example: Part Number - B
SCSPD8
SCDJ8 - 10
SCSPDJ10 - 10

EX Example



Size Comparison Table

D	Size Differences B (Thickness)	Size Differences D_1 (O.D.)	Compact B (Thickness)	Compact D_1 (O.D.)	Standard B (Thickness)	Standard D_1 (O.D.)
8	-8	-5	10	25	18	30
10	-8	-5	10	30	18	35
12	-8	-10	10	30	18	40
16	-6	-5	12	35	18	40
20	-7	-5	13	40	20	45
25	-5	-5	15	45	20	50
30	-5	-5	15	50	20	55
40	-8	-10	15	60	23	70
50	-6	-5	21	80	27	85

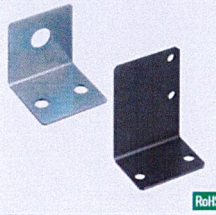
รูปที่ ข.11 แคตตาล็อกปลอกยึด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L Sheet Metal Mounting Plates, Brackets

Dimension Configurable Type

As opposed to the "Center Symmetrical Type" on the previous page, general tolerance is the guaranteed value for external dimensions.



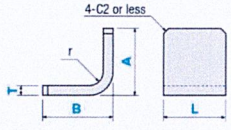
RoHS 10

Part Number Type	Material Symbol	M Material	S Surface Treatment
FALZS	SP	SPCC	-
FALAS FAPAS	SPB		Black Oxide
FALCS FADAS	SPU		Trivalent Chromate (Clear)
FALDS FADBS	SPK		Trivalent Chromate (Black)
FACAS FAMDS	AM	A5052	-
FALBS FAEAS	AMW		Anodize (Clear)
FASBS FAMBS	AMB		Anodize (Black)
FAMAS FANAS	SUD	SUS304(2B)	-
FAMCS FATBS			

4.5, 6.0 thickness type is SPHC material.

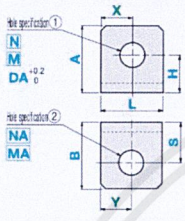
FALZS

(Common Dimension)

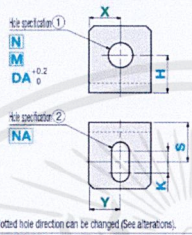


There may be some hanger holes on anodized FALZS (See Specifications and Machining Limits)

FALAS

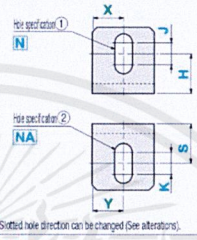


FALCS



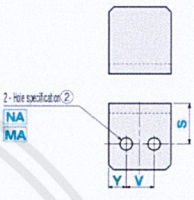
Slotted hole direction can be changed (See alterations).

FALDS

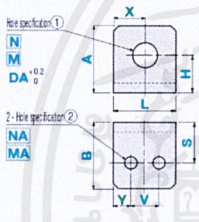


Slotted hole direction can be changed (See alterations).

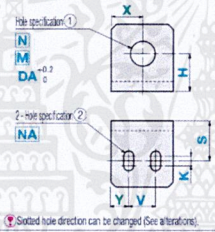
FACAS



FALBS

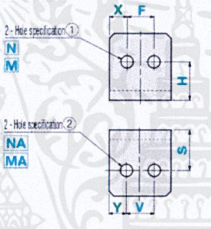


FASBS

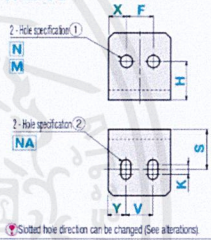


Slotted hole direction can be changed (See alterations).

FAMAS

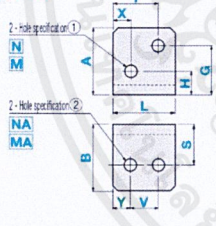


FAMCS

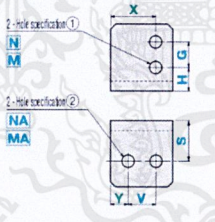


Slotted hole direction can be changed (See alterations).

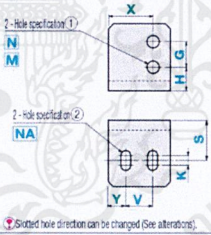
FAPAS



FADAS

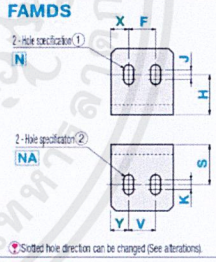


FADBS



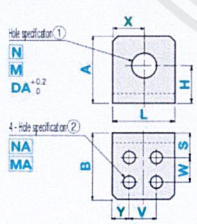
Slotted hole direction can be changed (See alterations).

FAMDS

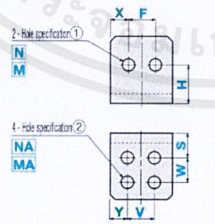


Slotted hole direction can be changed (See alterations).

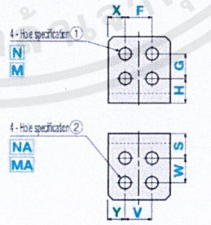
FAEAS



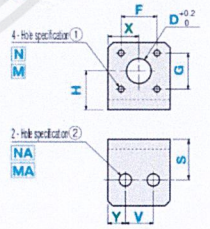
FAMBS



FANAS



FATBS



Green colored parameters can be omitted. If the parameter setting is omitted, the holes will be evenly distributed about the center. For details, see P.1834.

(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Part Number Type	Material Symbol	Selection T			1mm Increment A	B	L	X F H G	Hole Specification ① Code Designation	D	J Y V S W	Hole Specification ② Code Designation	K
FALZS FALAS FAPAS FALCS FADAS FALDS FADBS FACAS FAMDS FALBS FAEAS FASBS FAMBS FAMAS FANAS FAMCS FATBS	SP	SPCC (SPHC)	A5052	SUS304	20 ~ 200	15 ~ 200	10 ~ 200	0.1mm Increment	N (Bolt Hole) ⑨ 0, 3, 4, 5, 6, 8, 10 (Select)	3~30 (0.5 Inc.)	0.1mm Increment ⑨J≦Nx5	NA (Bolt Hole) ⑨ 0, 3, 4, 5 6, 8, 10 (Select)	0.1mm Increment ⑨K≦NA×5
	SPB	1.6	1.5	1.5					M (Tapped Holes) 0, 3, 4, 5, 6, 8, 10 (Select)			MA (Tapped Holes) 0, 3, 4, 5 6, 8, 10 (Select)	
	SPU			1.0									
	SPK	1.6	1.5	1.5									
	AM	2.3	2.0	2.0									
	AMW	3.2	3.0	3.0	For T6.0 ~300	For T6.0 20~	For T6.0 20~						
	AMB	4.5	4.0	4.0									
	SUD	6.0	5.0	5.0					DA (Through Hole) 3~30 (0.5mm Increment)				

⑨Holes may deform if the hole locations are too close to the ends and bends, but they will be machined as specified if they are within the machining limits.

⑨N, NA machining dimensions

N, NA specified Value	0	3	4	5	6	8	10
Through Hole Dia. (d)	(No Hole)	3.5	4.5	5.5	6.5	9	11

Ordering Example

Part Number - Type - Material Symbol - T - A - B - L - X - F - H - G - Hole Specification ① Code, Nominal Value - D - J - Y - V - S - W - Hole Specification ② Code, Nominal Value - K

FALAS - SPB - T1.6 - A30 - B30 - L30 - X15 - H20 - N5 - Y15 - S15 - NA6

FAMBS - AM - T1.5 - A80 - B60 - L60 - X50 - F0 - H70 - N4 - Y15 - V30 - S20 - W20 - NA5

Hole Type Selection Chart

Hole Type	Bolt Hole	Tapped Holes (Coarse Thread)	Through Hole
Code	N, NA	M, MA	D, DA
Shape Diagram	d ⑨	M MA	D : DA ⑨2

⑨For d dimension, see "N, NA Machining Dimensions" on lower section of specification chart.

Specifications, Machining Limits

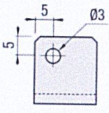
⑨1. Burr height 0.1 or less

⑨2. Bend angle tolerance ±1°

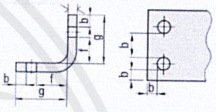
⑨3. There will be scratches and bulges by Press Brake. For details and bend radius information, P.1832

⑨4. Slotted holes may be shaped as shown below depending on dimensions. (No negative effects on mounting functionality)

⑨5. Anodized FALZS There are hanger holes above T4.



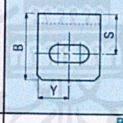
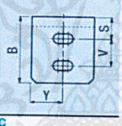
⑨6. There are machining limits on b, f, and g shown in below diagram. For details, P.1834.



Alterations

Part Number - Type - Material Symbol - T - A - B - L - X - F - H - G - Hole Specification ① Code, Nominal Value - D - J - Y - V - S - W - Hole Specification ② Code, Nominal Value - K - (RC)

FALCS - SP - T1.6 - A30 - B30 - L30 - X15 - H20 - N5 - Y15 - S15 - NA3 - K2 - RC

Alterations	Slotted Hole Angle Change FALCS, FALDS	FASBS, FAMCSFADBS, FAMDS
		
Code	RC	
Spec.	Slotted holes are changed as shown above. ⑨Note the dimensions relationship Ordering Code Add RC at the end of the type designation (Ex.)---RC	

·Price Calculations

Add surface treatment charges to the body prices.(Ex.)

For FA_ZS-SPU-T1.6-A100-B50-L50

Main Body Price + Surface treatment Charge = Price

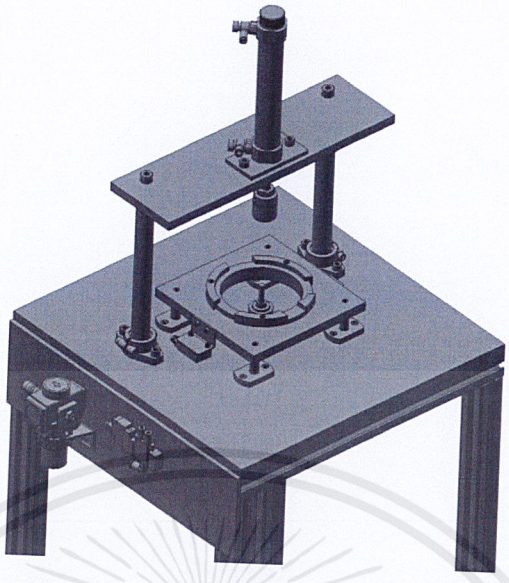
A	L	T	Body Price Unit Price FALZS SPCC SPHC	FALZS A5052	FALZS SUS304	FALAS FACAS SPCC SPHC	FALAS FACAS A5052	FALAS FACAS SUS304	FALBS FALCS SPCC SPHC	FALBS FALCS A5052	FALBS FALCS SUS304	FAMAS FAPAS FASBS FADAS FALDS FAEAS SPCC SPHC	FAMAS FAPAS FASBS FADAS FALDS FAEAS A5052	FAMAS FAPAS FASBS FADAS FALDS FAEAS SUS304	FAMBS FAMCS FADBS FATBS FANAS FAMDS SPCC SPHC	FAMBS FAMCS FADBS FATBS FANAS FAMDS A5052	FAMBS FAMCS FADBS FATBS FANAS FAMDS SUS304	Surface Treatment Charge (Body Price+) SPCC Black Oxide Trivalent Chromate (Clear, Black)	Surface Treatment Charge (Body Price+) A5052 Anodize (Clear)	Surface Treatment Charge (Body Price+) A5052 Anodize (Black)
			SP	AM	SUD	SP	AM	SUD	SP	AM	SUD	SP	AM	SUD	SP	AM	SUD	SPB SPU SPK	AMW	AMB
20~100	10~100	1.0~1.6																		
		2.0~3.2																		
		4.0~6.0																		
	101~200	1.0~1.6																		
		2.0~3.2																		
		4.0~6.0																		
101~200	10~100	1.0~1.6																		
		2.0~3.2																		
		4.0~6.0																		
	101~200	1.0~1.6																		
		2.0~3.2																		
		4.0~6.0																		
201~300	10~100	6.0	-	-		-	-		-	-		-	-		-	-		-	-	
	101~200	6.0	-	-		-	-		-	-		-	-		-	-		-	-	

(ข)

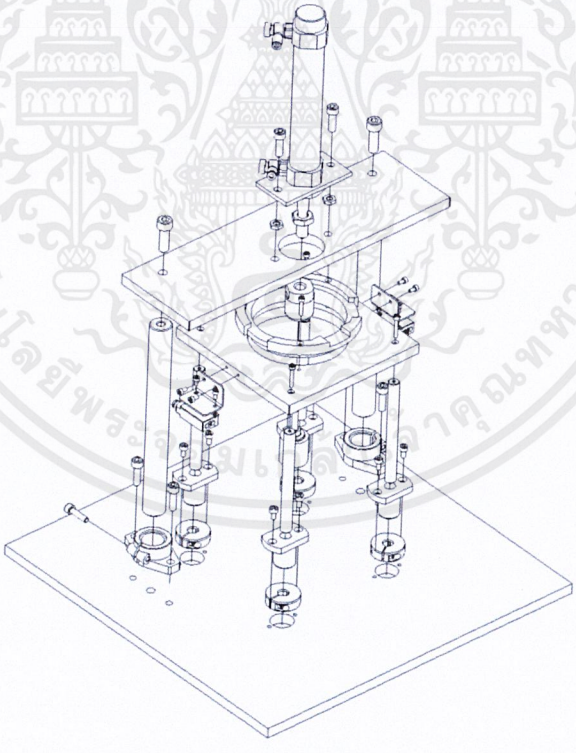
รูปที่ ข.12 แคตตาล็อกตัวจับยึด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.



รูปที่ ค.1 ภาพเขียนเครื่องกดลูกยาง



รูปที่ ค.2 ภาพชิ้นส่วนประกอบเครื่องกดลูกยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้