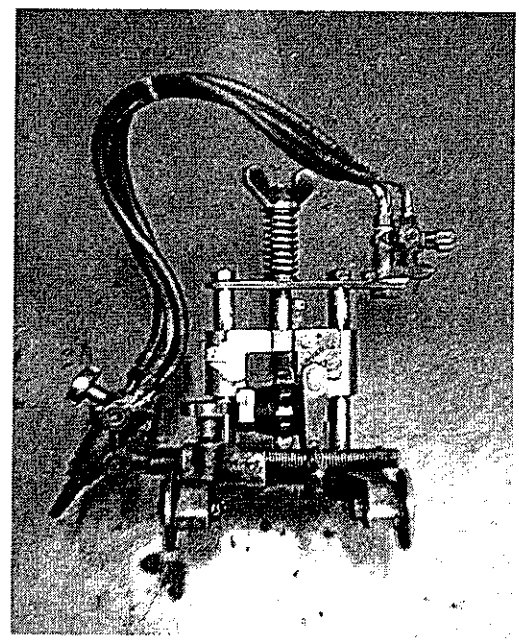
# บทที่ 3
# วิธีการดำเนินโครงงาน

## 3.1 สำรวจรวมรวมข้อมูล

การสำรวจรวบรวมและศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการทำโครงงานนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องเจียรปากท่อโลหะให้มีคุณภาพ และเหมาะสมสำหรับการใช้งาน ซึ่งแหล่งของข้อมูลต่าง ๆ ได้มาจากโรงงานอุตสาหกรรม หนังสือ และอินเตอร์เน็ต ข้อมูลที่ได้สำรวจรวบรวมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 3.1.1 เครื่องตัดท่อด้วยแก๊ส

การติดตั้งหรือประกอบท่อใน line หรือระบบต่างๆ วิธีการส่วนหนึ่งที่พบคือจะต้องมีการตัดท่อด้วยเครื่องตัดแก๊สดังรูปที่ 3.1 หลังจากนั้นจะต้องบากหรือแต่งปากท่อให้เป็นมุมเฉียงเพื่อสำหรับการเชื่อม โดยส่วนใหญ่ในระบบการประกอบและการติดตั้งท่ออุตสาหกรรมขนาดต่าง ๆ จะบากปากท่อให้เฉียงเป็นมุม 45 องศา



รูปที่ 3.1 เครื่องตัดท่อด้วยแก๊ส

เครื่องตัดท่อด้วยแก๊สมีหลักการทำงาน คือใช้แก๊สอาร์กอนเป่าออกจากหัวตัดที่ยื่นออกมาจากชุดกลไกไปหลอมละลายท่อโลหะ ซึ่งชุดหัวตัดปรับยื่นเข้า-ออกได้ และมีตัวปรับองศาของหัวตัดติดอยู่ ชุดกลไกจะเคลื่อนที่ไปรอบท่อด้วยการหมุนของมือหมุนผ่านไปยังชุดเฟืองหนอนและล้อฟันเฟือง โดยที่ชุดกลไกยึดติดกับท่อด้วยโซ่ โซ่คล้องกับท่อและล้อฟันเฟือง ซึ่งโซ่จะอยู่กับที่และไม่เกิดการลื่นไถล

**3.1.2 การเจียระไน**

การเจียรปากท่อส่วนใหญ่จะเจียรให้เฉียงเป็นมุม 45 องศา สำหรับการเชื่อมต่อ และเครื่องเจียรที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือ เครื่องเจียระไนมือ ซึ่งจะมีอยู่ด้วยกันหลายแบบตามขนาดของหินเจียร (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหินเจียร) เช่น เครื่องเจียระไนมือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 mm (4 นิ้ว) 152.4 mm (6 นิ้ว) เป็นต้น ส่วนรูปร่างลักษณะ ขนาด ความเร็วรอบของเครื่องเจียรจะมากขึ้นตามขนาดของหินเจียร และการออกแบบของผู้ที่ผลิตออกมาจำหน่าย เครื่องเจียระไนมือสามารถใช้เจียรปากท่อที่ทำจากวัสดุหลายประเภทได้เช่น ท่อที่ทำจากเหล็กเหนียว เหล็กกล้า ท่อเหล็กหล่อ ท่อทองเหลือง ท่อทองทองแดง เป็นต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของหินเจียร โดยที่หินเจียรสามารถถอดออกเปลี่ยนได้ให้เหมาะสมกับวัสดุของท่อที่ต้องการเจียร

## 3.2 ขั้นตอนการออกแบบ การคำนวณ และการดำเนินการสร้าง

การสร้างเครื่องเจียรปากท่อโลหะมีขั้นตอนการออกแบบ การคำนวณและการดำเนินการสร้างดังนี้

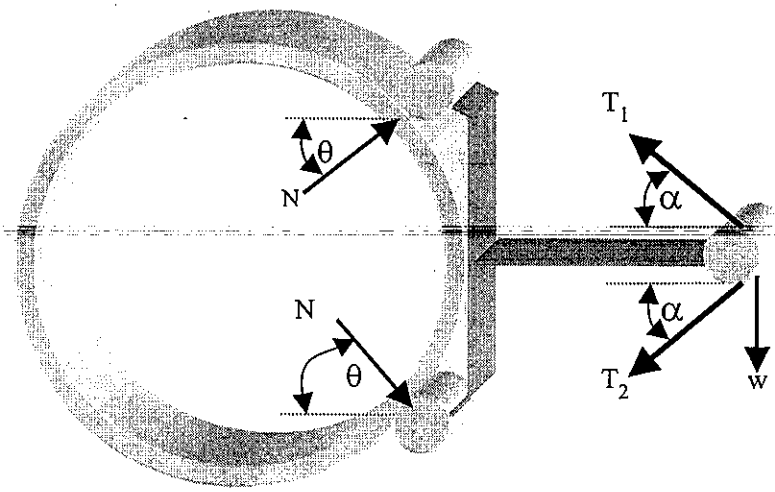
1. ปัญหาและความต้องการ

จากการที่ได้สำรวจ รวบรวมและทำการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าปัญหาหลัก ๆ ที่เกิดขึ้นในการเจียรปากท่อให้มีมุมเฉียงนั้นมีอยู่ 3 ด้านดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 1.1

จากปัญหาดังกล่าว จึงได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องเจียรปากท่อโลหะให้สามารถแก้ไขปัญหาเหล่านั้นได้ ช่วยลดระยะเวลาในการปฏิบัติงาน ปฏิบัติงานในที่สูงได้โดยมีผู้ควบคุมอยู่ด้านล่าง ได้มุมเฉียงและความเรียบของผิวที่เจียรตามที่ต้องการ

2. ศึกษารายละเอียดของสิ่งที่ทำการออกแบบ

เริ่มต้นการออกแบบนั้นพิจารณาขณะเครื่องเจียรอยู่บนท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 203.2 mm (8 นิ้ว) ตำแหน่งที่มีภาระกระทำสูงสุดดังรูปที่ 3.2 เพื่อนำค่าต่าง ๆ ไปเป็นข้อจำกัดในการออกแบบและคำนวณหาขนาดต่าง ๆ ของส่วนประกอบโดยการพิจารณาดังนี้




รูปที่ 3.2 เครื่องเจียร ณ ตำแหน่งที่มีภาระสูงสุด

พิจารณาในกรณีมีแรงเนื่องจากน้ำหนักของตัวรถ (w) และถ้าโซ่ที่คล้องท่อไม่เกิดการลื่นไถล ณ ตำแหน่งภาระสูงสุดดัง

$[\sum y = 0, \quad +\uparrow]$

$$T_1 \sin\alpha - w - T_2 \sin\alpha + N_{(บน)}\sin\theta - N_{(ล่าง)}\sin\theta = 0$$

$$T_1 = (w + T_2 \sin\alpha - N_{(บน)}\sin\theta + N_{(ล่าง)}\sin\theta) / \sin\alpha$$

$[\sum x = 0, \longrightarrow +]$

$$N_{(บน)}\cos\theta + N_{(ล่าง)}\cos\theta - T_1 \cos\alpha - T_2 \cos\alpha = 0$$

$$T_1 = (N_{(บน)}\cos\theta + N_{(ล่าง)}\cos\theta - T_2 \cos\alpha) / \cos\alpha$$

โดยที่ $\theta$ = มุมของแรงปฏิกิริยา (N)ที่ผิวสัมผัสระหว่างท่อกับล้อ (45 องศา)

$\alpha$ = มุมระหว่างโซ่กับเฟืองโซ่ (30 องศา)

N = แรงปฏิกิริยา (นิวตัน)

การพิจารณาดังกล่าวเพื่อต้องการหาแรงตึงโซ่ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้นที่ใช้ในการคำนวณออกแบบ แต่จากสมการหาแรงตึงโซ่ T ($T_1$ และ $T_2$) พบว่าไม่สามารถหาค่าได้เนื่องจากตัวแปรที่ไม่ทราบค่าคือแรงปฏิกิริยา (N) น้ำหนัก (w) และแรงตึงโซ่ ($T_1$ และ $T_2$) สิ่งสำคัญที่ต้องทราบคือ ต้องใช้แรงที่สปริงตึงโซ่เท่าไร โซ่ถึงจะไม่เกิดการลื่นไถล โดยแรงที่สปริง $F_s = (T_1 + T_2)\cos\theta$

จึงเริ่มต้นด้วยการเลือกสปริงมาหนึ่งขนาด ใช้ค่าแรงสูงสุดที่สปริงนี้มาเป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวณออกแบบ รายละเอียดในหัวข้อที่ 3

3. ออกแบบหลักการทำงาน

เครื่องเจียรปากท่อโลหะมีหลักการทำงานคล้ายเครื่องตัดท่อด้วยแก๊ส คือใช้เครื่องเจียระไนมือยื่นออกมาจากตัวรถเจียรปากท่อ ซึ่งเครื่องเจียระไนมือสามารถปรับยื่นเข้าออกได้ ตัวรถจะเคลื่อนที่ไปรอบท่อด้วยการหมุน โดยมีมอเตอร์ขับชุดเฟืองหนอนผ่านไปยังล้อฟันเฟือง ล้อฟันเฟืองจะหมุนไปกับโซ่ทำให้ตัวรถเคลื่อนที่ไปรอบท่อได้ ตัวรถยึดติดกับท่อด้วยโซ่ โซ่จะไม่เคลื่อนที่และไม่เกิดการลื่นไถล เครื่องเจียรปากท่อโลหะนี้สามารถใช้เจียรท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 203.2 mm 304.8 mm และ 355.6 mm (8 12 และ 14 นิ้ว) ออกแบบให้สามารถใช้งานได้ทั้งใน line และใน shop ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องเจียรปากท่อโลหะมีดังนี้

1) เครื่องเจียระไนมือ
2) หินเจียร
3) มอเตอร์
4) ชุดเฟืองทด โซ่และเฟือง
5) สปริงตึงโซ่ และสปริงดึงหินเจียร
6) ตัวรถ

4. คำนวณและออกแบบรายละเอียด

จากการออกแบบหลักการทำงานจะได้แบบคร่าว ๆ แล้วนำมาคำนวณหาขนาดชิ้นส่วน วัสดุที่ใช้และเขียนแบบรายละเอียดของชุดอุปกรณ์

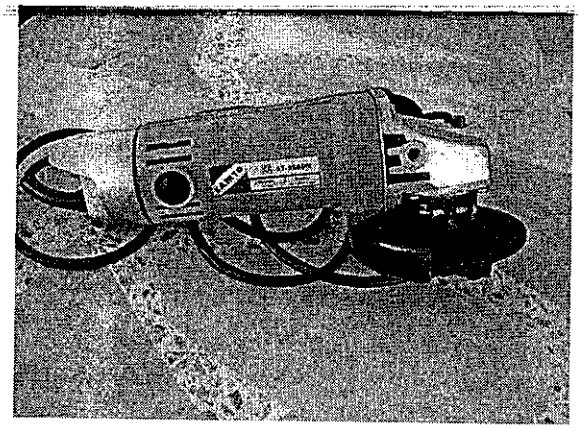
5. สร้างต้นแบบ

เมื่อออกแบบเครื่องเจียรปากท่อโลหะเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงดำเนินการสร้าง และนำไปทำการทดสอบ

### 3.2.1 เครื่องเจียระไนมือ

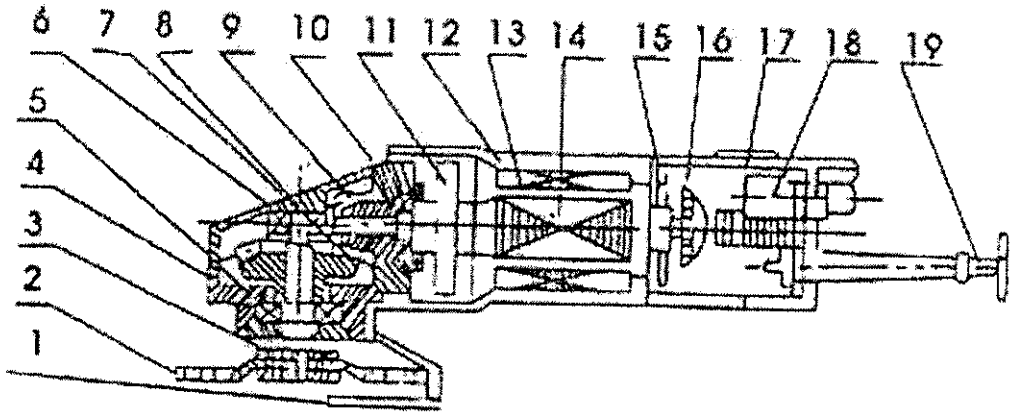
การเลือกเครื่องเจียระไนมือโดยพิจารณาจากที่มีใช้และจำหน่ายอยู่โดยทั่วไปในปัจจุบัน เพราะว่าเครื่องเจียระไนมือเหล่านั้นได้มีการทดสอบสมรรถนะ ประสิทธิภาพจากผู้ผลิตมาเรียบร้อยแล้ว ซึ่งจะมีคุณภาพและความปลอดภัยในการใช้งาน

เครื่องเจียระไนมือที่เลือกใช้คือ ยี่ห้อ SAMTO ส่วนประกอบของเครื่องเจียระไนมือและข้อมูลจำเพาะทางเทคนิคแสดงดังรูปที่ 3.3 และตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบของเครื่องเจียระไนมือ

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจำเพาะทางเทคนิคของเครื่องเจียรปากท่อ

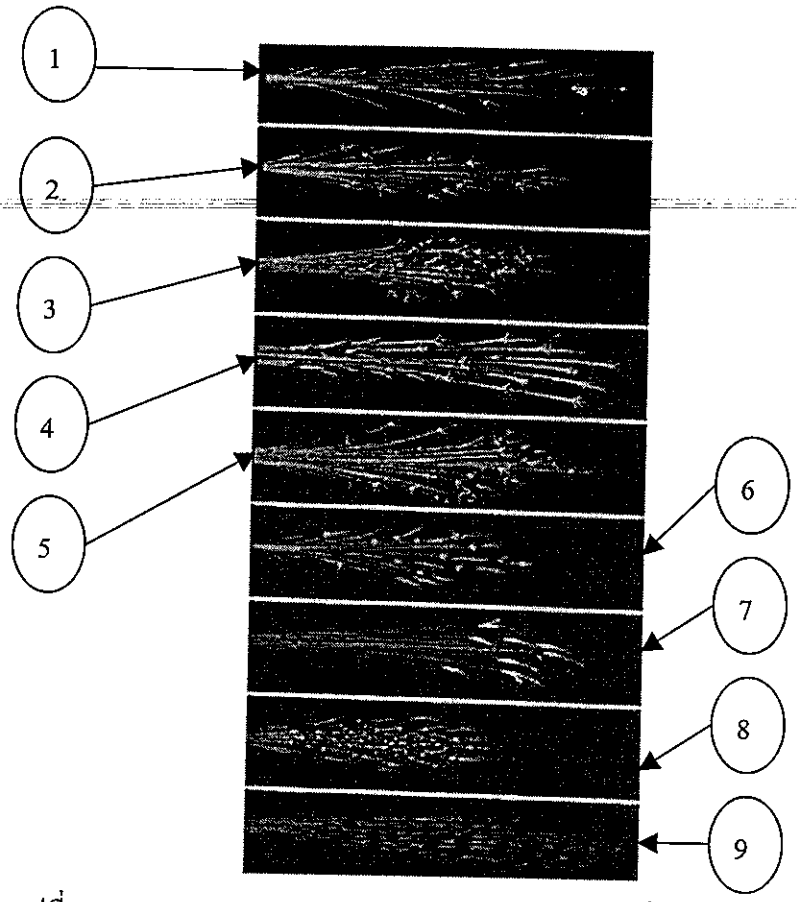



| | | |
|---|---|---|
| 1. Wheel cover | 8. Reduction gear | 15. Carbon brush |
| 2. Grinding | 9. Pinion | 16. Bearing D |
| 3. Output spindle | 10. Bearing C | 17. Handle |
| 4. Bearing A | 11. Fan | 18. Switch |
| 5. Front cover | 12. Housing | 19. Cord and plug |
| 6. Fore | 13. Stator | |
| 7. Bearing B | 14. Armature | |

| Type of grinder | ST6-100(ST6-9500N) |
|---|---|
| Max disk diameter (mm) | 100 |
| Hole diameter of disk (mm) | 22 |
| Spindle thread | M14 |
| Rated voltage (V) | 110/220-240 |
| Rated frequency (Hz) | 50-60 |
| Rated power input (W) | 570 |
| Rated no-load speed (r/min) | 12000 |

### 3.2.2 หินเจียร

เนื่องจากท่อตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบในการเจียร ซึ่งได้มาจากกรมชลประทานเป็นท่อเหล็กหล่อไร้ตะเข็บ ทำการทดลองเจียรเพื่อเปรียบเทียบประกายไฟของท่อตัวอย่างกับรูปที่ 3.4 ทำให้ทราบว่าท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 203.2 mm (8 นิ้ว) ยาว 939.8 mm (37 นิ้ว) มีวัสดุส่วนผสมคือ 1.05 C; 0.25 Si 1.0 Mn; 1.0 Cr; 1.2 W และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 355.6 mm (14 นิ้ว) ยาว 863.6 mm (34 นิ้ว) มีวัสดุส่วนผสมคือ case hardening steel 0.15 C; 25 Si; 0.37 Mn ใช้ในการลำเลียงน้ำ จึงเลือกใช้หินเจียรที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 mm (4 นิ้ว) ยี่ห้อ Kinik รอบสูงสุด 13000 rpm ชนิดสารเจียรคือ Fused Alumina (A) เบอร์ 24Q สามารถเจียรท่อดังที่กล่าวมาได้ ดังรูปที่ 3.5

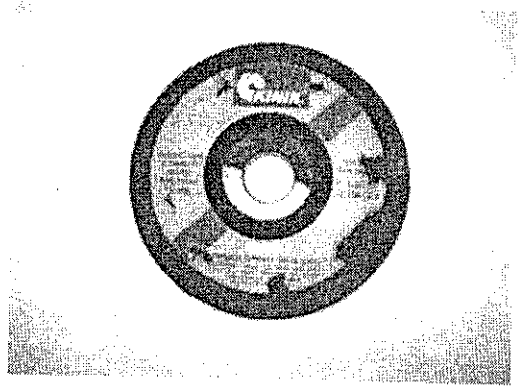



รูปที่ 3.4 การกระจายตัวของประกายไฟจากการเจียรท่อที่ทำจากวัสดุต่าง ๆ
(ที่มา : ตารางโลหะ, บรรเลง ศรนิล)

อธิบายรูปที่ 3.4 (วัสดุส่วนผสม ,%)

1. Case hardening steel 0.15; 25 Si; 0.37 Mn ประกายไฟเรียบ C – แตกน้อย ผลของ C
2. Heat treatment steel 0.45 C; 0.25 Si; 0.65 Mn ประกายไฟ C - แตกคล้ายลวดหนาม ผลของ C
3. เหล็กเครื่องมือ 1.0 C; 0.25 Mn ประกายไฟ C-แตกเป็นกิ่งจำนวนมาก ผลของ C
4. เหล็กเครื่องมือผสม 0.6 C; 1.0 Si; 1.0 Mn ประกายไฟ C – แตกเป็นจำนวนมากก่อนจะมีประกายไฟสว่าง ผลของ C และ Si
5. เหล็กสปริง 0.45 C; 0.25 Si; 0.7 Mn; 1.4 Cr; 0.7 Mo; 0.3 V ประกายไฟลำแสงเส้นบางมีปลายหอก ผลของ C และ Mo
6. เหล็กเครื่องมือผสม 1.05 C; 0.25 Si; 1.0 Mn; 1.0 Cr; 1.2 W ประกายไฟ ลำแสงลำแสงเส้นบางและมีลิ้นที่ปลาย ผลของ W

7. เหล็กใช้งานร้อน 0.45 C; 1.0 Si; 0.3 Mn; 1.1 Cr; 0.2 V; 2.0 W ประกายไฟ C แตกน้อย ปลายสว่าง ผลของ W และ Si
8. เหล็กใช้งานเย็น 2.1 C; 0.3 Si; 0.3 M; 12 Cr; 1.7 W ประกายไฟกลุ่มสั้น เมื่อชุบแข็งลัวจะมีประกายแตกของ C – มาก ผลของ W และ C
9. เหล็กรอบสูง 0.75 C; 18 W; 1.1 V; 4.2 Cr ประกายไฟขาดเป็นช่วง มีประกายแตกของ C-เล็กน้อย ผลของ W และ C



รูปที่ 3.5 หินเจียร

**3.2.3 สปริงสำหรับตึงโซ่**

สปริงเป็นส่วนที่จะทำให้โซ่ตึง โดยที่แรงตึงของโซ่มีมากเท่าที่จะไม่ทำให้โซ่เกิดการลื่นไถล ซึ่งแรงนี้ไม่สามารถทราบได้ จึงได้ทำการเลือกสปริงมาหนึ่งขนาด (ดูรูปที่ 3.6) คือ Compression spring ; 3.2 x 32 x 190 DIN 2098 ; d = 3.2 mm , $D_m$ = 32 mm , $L_0$ = 190 mm , f = 136 mm , i = 12.5 ขด $F_s$ = 368 N และ k = 368/136 = 2.71 N/mm จากตาราง ก 3 (ภาคผนวก ก)

โดยที่ d = ขนาดความโตเส้นลวด,mm.

i = จำนวนขดสปริง

f = ระยะหดตัวสูงสุด,mm.

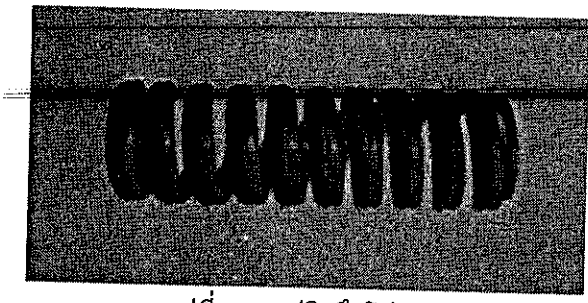
k = ค่าความแข็งตึงของสปริง,N/mm.

$D_m$ = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของสปริง,mm.

$L_0$ = ความยาวของสปริง,mm.

$F_s$ = แรงกดสปริงสูงสุด, N

ใช้แรงสูงสุดของสปริง 368 N นำไปเป็นค่าเริ่มต้นในการออกแบบส่วนประกอบอื่น ๆ แรงสปริงที่ทำให้โซ่ตึงและไม่เกิดการลื่นไถลจะต้องน้อยกว่า 368 N ซึ่งแรงนี้จะได้จากการทดลอง

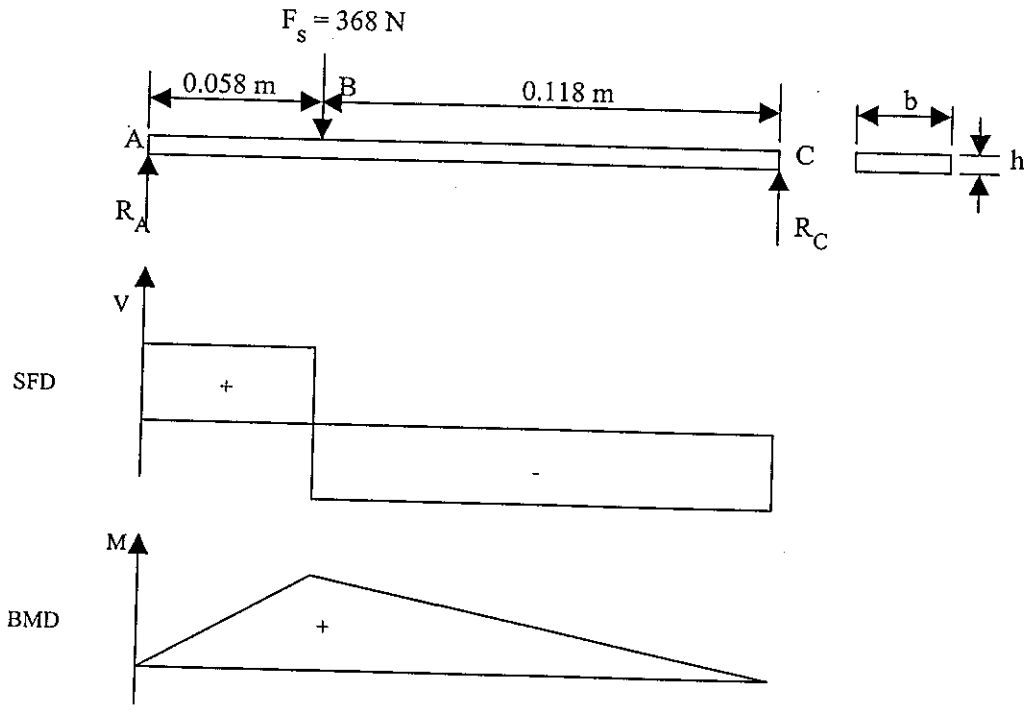


รูปที่ 3.6 สปริงตึงโซ่

### 3.2.4 คานรับแรงกดจากสปริง

เป็นส่วนประกอบที่อยู่บนเสาสไลด์ทั้งสองสามารถรับแรงกดจากสปริง 368 N โดยไม่เกิดการโก่ง คานมีความยาว 216 mm

1) ข้อจำกัดในการออกแบบ
   - คานมีความยาว 216 mm
   - รับแรงกดจากสปริง $F_s = 368$ N
2) วิธีการคำนวณ



$[\sum M_C = 0, \circlearrowleft +]$

$$(368.00 \times 0.118) - 0.176R_A = 0$$

$$R_A = 246.73 \text{ N}$$

$[\sum y = 0, \uparrow +]$

$$246.73 + R_C - 368.00 = 0$$

$$R_C = 121.27 \text{ N}$$

ที่หน้าตัด $0 < x < 0.058$

$v = R_A = 246.73$ N

$M = R_A(x) = 246.73(x)$ Nm

$x = 0$ m ; $M = 0$ Nm

$x = 0.058$ m ; $M = 246.73(0.058) = 14.31$ Nm

ที่หน้าตัด $0.058 < x < 0.176$

$v = 246.73\text{-}368.00 = -121.27$ N

$M = 246.73(x) - 368.00(x\text{-}0.058)$ Nm

$x = 0.058$ m ; $M = 246.73(0.058)\text{-}368.00(0.058\text{-}0.058)$

$= 14.31$ Nm

$x = 0.167$ m ; $M = 246.73(0.176) - 368.00\ (0.176\text{-}0.058)$

$M = 0.00048$ Nm

$\therefore$ โมเมนต์สูงสุดเท่ากับ 14.31 Nm กระทำที่จุดห่างจาก A = 0.058 m. ไปทางขวามือ

เลือกใช้วัสดุ AISI 1010 HR จากตาราง ก 3 (ภาคผนวก ก)

ใช้ความต้านแรงดึงครากเป็นหลัก

$$\sigma_y = 42 \text{ ksi.} = 42 \times 6.895 = 289.59 \text{ N/mm}^2$$

จากตาราง ก 5 (ภาคผนวก ก) เลือกใช้ $N_s = 2$ แรงอยู่นิ่ง; $C = h/2$

ให้ $h = 4$; $C = 4/2 = 2$ mm; $I = (1/12) \times b \times h^3$

จากสูตร $\sigma_{max} = Mc/I$

โดยที่ M = โมเมนต์,Nm

c = ระยะจุดสะเทิน,mm

I = โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนสะเทิน,$mm^4$

$N_s$ = ค่าความปลอดภัย

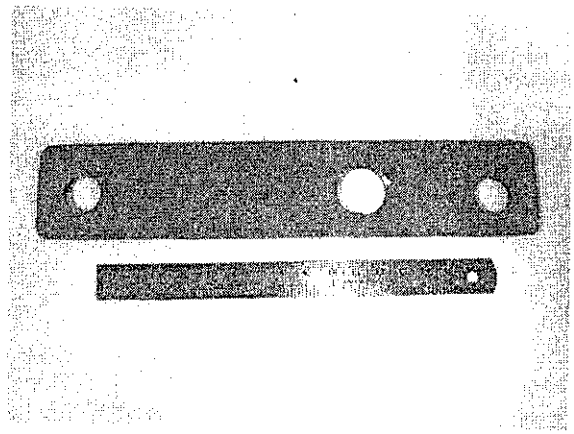
$(289.59/2) = (14.31 \times 1000 \times 2)/((1/12) \times b \times 4^3)$

b = 37.06 mm

∴ คานมีความกว้างอย่างน้อย 37.06 mm

3) การดำเนินการสร้าง

จากค่าที่ได้นำไปเลือกซื้อเหล็กสำหรับสร้างคานรับแรงจากสปริง ซึ่งตามท้องตลาดมีจำหน่ายเป็นเหล็กขนาด h = 4 mm และ b = 40 mm ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 คานรับแรงกดจากสปริง

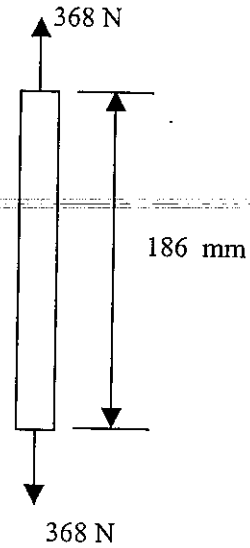
### 3.2.5 เสาตึงโซ่

เสาตึงโซ่ทำหน้าที่ดึงตัวสไลด์และชุดขับเคลื่อนขึ้นลง เพื่อตึงโซ่โดยรับแรงดึงจากสปริงขึ้นด้านบนเท่ากับ 368 N ด้านหนึ่งทำเกลียวยาว 81 mm และอีกด้านหนึ่งทำเกลียวยาว 20 mm ทำจากเหล็กกลม

1) ข้อจำกัดในการออกแบบ

- รับแรงดึง 368 N
- มีความยาว186 mm

2) วิธีการคำนวณ




เลือกใช้วัสดุ AISI 1010 HR จากตาราง ก 4 (ภาคผนวก ก) ใช้ค่าความต้านแรงดึงคราก เป็นหลัก ให้ค่าความปลอดภัย $N_s = 4$

$$\sigma_y = 42 \text{ ksi} = 42 \times 6.895 = 298.59 \text{ N/mm}^2$$

จากสูตร $(\sigma_y / N_s) = (F/A)$

$$(298.59/4) = (368/((\pi/4) \times d^2))$$

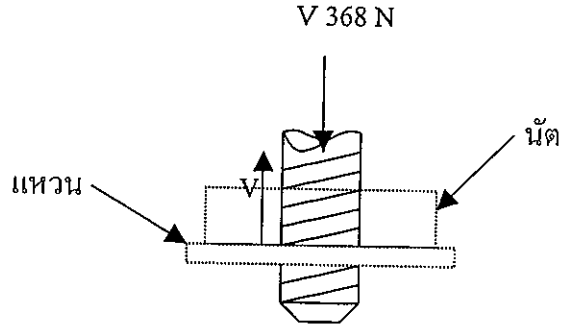
$$d = 2.51 \text{ mm}$$

โดยที่ A = พื้นที่รับแรง,$mm^2$

F = แรงดึง,N

d = เส้นผ่านศูนย์กลาง,mm

คำนวณหาขนาดเกลียวทั้งสองด้านที่ยาว 81 mm และ 20 mm ดังนี้



ความเค้นเฉือนที่สลักเกลียว

จากสูตร

$$\sigma = V/A_s$$

โดยที่ V = แรงเฉือนที่สลักเกลียว,N

$A_s$ = พื้นที่รับแรงเฉือนในสลักเกลียว,$mm^2$ ($A_s = \pi \times$เส้นผ่านศูนย์กลางโคนเกลียว$\times$ความสูงของนัต)

เลือกทำเกลียวขั้นคุณสมบัติ 3.6 จากตาราง ก 6 (ภาคผนวก ก) มีความต้านแรงดึงครากต่ำสุด 200 $N/mm^2$ ให้ค่าความปลอดภัย $N_s = 4$

ความเค้นใช้งาน

$$\sigma_{td} = 200/4 = 50 \ N/mm^2$$

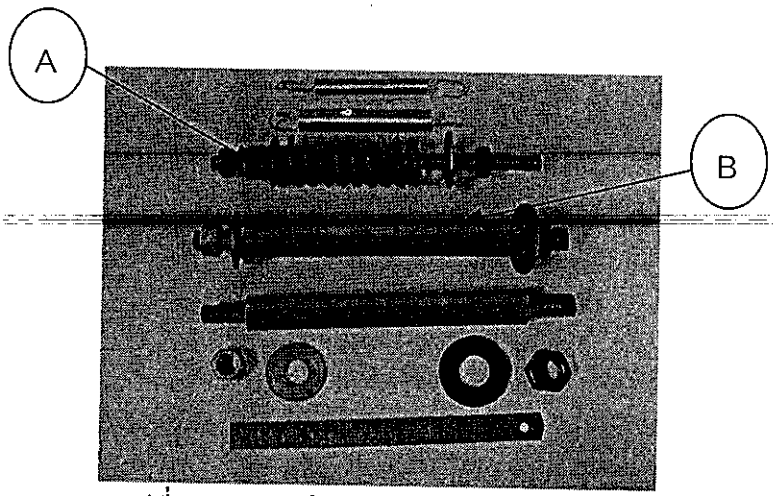
$$50 = 368/A_s$$

$$A_s = 7.36 \ mm^2$$

จากตาราง ก 7 (ภาคผนวก ก) เลือกทำเกลียวขนาด M5 ใช้นัตหกเหลี่ยมขนาด M 5 จากตาราง ก 8 (ภาคผนวก ก) และแหวนรองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในเท่ากับ 5.3 mm ด้านนอก 10 mm หนา 1 mm จากตาราง ก (ภาคผนวก ก)

3) การดำเนินการสร้าง

จากการคำนวณเสาและขนาดเกลียวที่สามารถรับแรงได้โดยไม่เกิดความเสียหาย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาดเล็ก จึงเลือกซื้อเหล็กเพลาที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดขนาด 10 mm มาสร้างเป็นเสา โดยส่วนปลายทั้งสองด้านทำเกลียวขนาด M5 และส่วนที่เหลือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm เลือกใช้นัตหกเหลี่ยม M5 และแหวนรองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในเท่ากับ 10 mm ด้านนอก 37 mm หนา 2 mm ดังรูปที่ 3.8 (A)

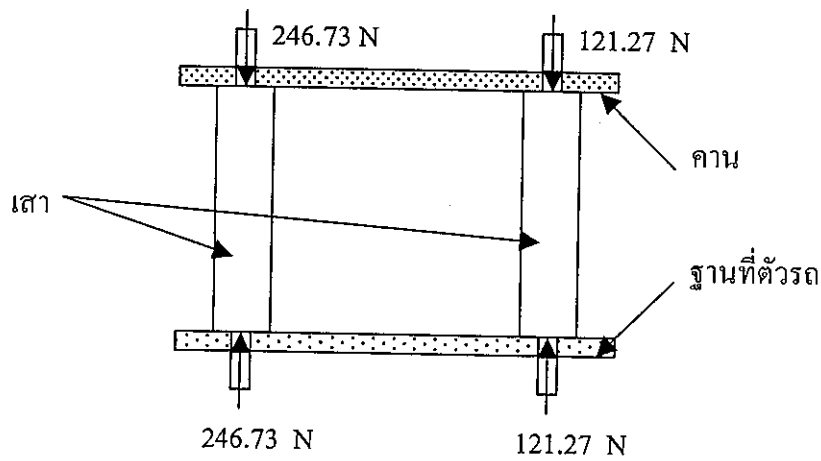



รูปที่ 3.8 (A)เสาตึงโซ่ (B) เสาสไลด์ นัตและแหวน

### 3.2.6 เสาสไลด์

ทำหน้าที่สำหรับให้ตัวสไลด์ ดึงชุดขับเคลื่อนขึ้นลงเพื่อตึงโซ่ มีจำนวน 2 เสา รับแรงกดมาจากคาน ซึ่งเสาหนึ่งรับแรง 246.73 N (แรงปฏิกิริยา $R_A$ จากหัวข้อ 3.2.4 ) และอีกเสาหนึ่งรับแรง 121.27 N (แรงปฏิกิริยา $R_C$ จากหัวข้อ 3.2.4 ) มีลักษณะเป็นเสากลมยาวทั้งหมด 204 mm ปลายทั้งสองด้านทำเกลียวยาว 27 mm แต่ความยาวส่วนที่รับแรงคือ 150 mm การคำนวณจะพิจารณาเสาที่รับแรงสูงสุดคือ 246.73 N

1) ข้อจำกัดในการออกแบบ
   - รับแรงสูงสุดเท่ากับ 246.73 N
   - ความยาวส่วนที่รับแรงเท่ากับ 150 mm
2) วิธีการคำนวณ



เลือกใช้วัสดุทำเสา AISI 1010 HR จากตาราง ก 4 (ภาคผนวก ก) ใช้ค่าความปลอดภัย $N_s = 2$ ใช้ค่าความต้านแรงดึงครากเป็นหลัก

$$\sigma_y = 42 \text{ ksi} = 42 \times 6.895 = 298.59 \text{ N/mm}^2$$

จากสูตร $\sigma = \alpha F/A_s$

โดยที่ $\alpha = 1/(1-(\sigma_y (L_e/k)^2/4\pi^2 E)$

$L_e$ = ความยาวสมมูล (equivalent length),mm

$k = (I/A)^{½}$

I = โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด, $cm^4$

A = พื้นที่หน้าตัด,$mm^2$

E = โมดุลัสความยืดหยุ่น,$kN/mm^2$

เสาเป็นแบบปลายอิสระ (CF : Clamped-free)

$L_e = 2L = 2 \times 150 = 300$, $k = d/4$, $E = 207$ $kN/mm^2$ (จากตาราง ก10 ภาคผนวก ก) $L_e/k = (300 \times 4)/d = 1200/d$

$$\alpha = 1/(1-(289.59 (1200/d)^2/(4\pi^2 \times 207000)$$

$$= d^2/(d^2-51.03)$$

เพราะฉะนั้น

$$\sigma = (d^2/(d^2-51.03)) \times (246.73/((\pi/4) \times d^2))$$

$$= 314.15/(d^2-51.03) \quad N/mm^2$$

จากสูตร $\sigma_y / N_s = \sigma_y$

$$289.59/2 = 314.15/(d^2-51.03)$$

$$d = 7.3 \text{ mm}$$

$\therefore$ เสามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 7.30 mm

3) การดำเนินการสร้าง

จากการคำนวณพบว่าเสาต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 7.30 mm ถึงจะไม่เกิดความเสียหาย และได้เลือกซื้อเหล็กขนาดที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดคือ 10 mm มาสร้างตามที่ออกแบบไว้ข้างต้น โดยปลายเสาทั้งสองด้านเลือกทำเกลียวขนาด M8 นัตขนาด M8 เช่นกัน พร้อมด้วยแหวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกเท่ากับ 17 mm ด้านในเท่ากับ 8.4 mm หนา 1.6 mm ดังรูปที่ 3.8 (B)

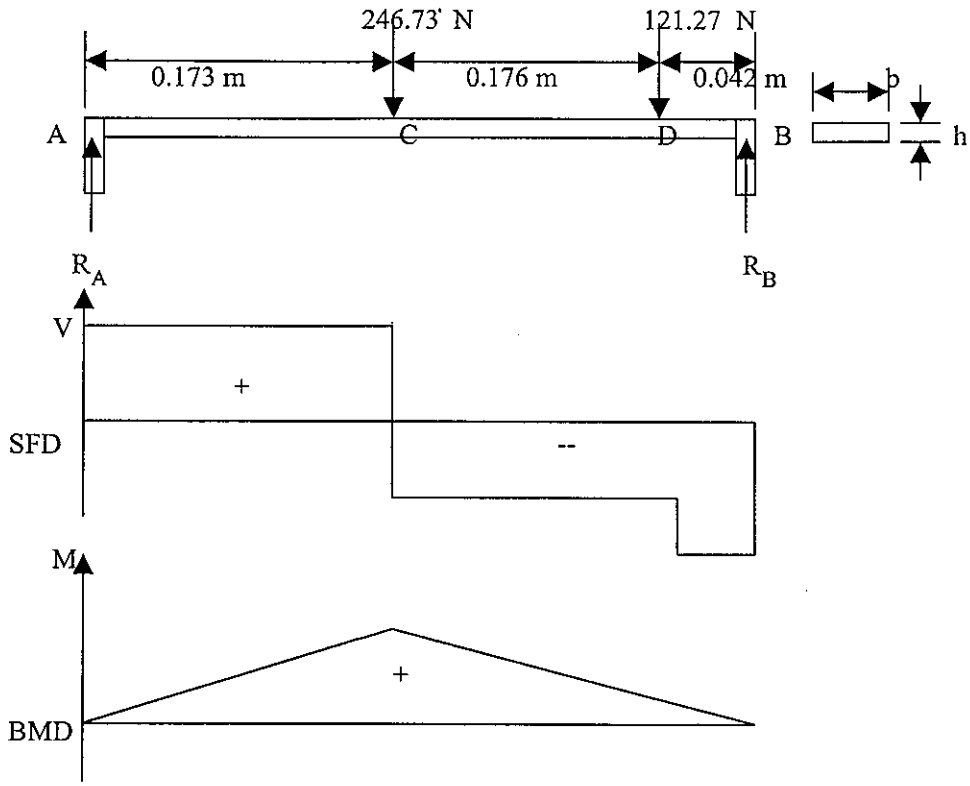
**3.2.7 ตัวรถ**

ทำหน้าที่เป็นฐานสำหรับยึดจับของส่วนประกอบอื่น ๆ และเคลื่อนที่ไปรอบ ๆ ท่อ รับแรงกดมาจากเสาสไลด์ทั้งสอง เท่ากับ 246.73 N และ 121.27 N

1) ข้อจำกัดในการออกแบบ

- รับแรงกดเท่ากับ 246.73 N และ 121.27 N
- มีความยาว 391 mm

2) วิธีการคำนวณ



$[\sum M_A = 0, \circlearrowleft +]$

$$-246.73(0.173)-121.27(0.349)+R_B(0.391) = 0$$

$$R_B = 217.41 \text{ N}$$

$[\sum y = 0, \uparrow +]$

$$R_A + 217.41-246.73-121.27 = 0$$

$$R_A = 150.59 \text{ N}$$

ที่หน้าตัด $0 < x < 0.173$

$$v = R_A = 150.59 \text{ N}$$

$$M = R_A x = 150.59(x) \text{ Nm}$$

$x = 0$ m; $M = 0$ Nm

$x = 0.173$ m; $M = 150.59\ (0.173)$

$= 26.05$ Nm

ที่หน้าตัด $0.173 < x < 0.349$

$$v = 150.59-246.73 = -96.14 \text{ N}$$

$$M = R_A x - 246.73(x-0.173) \text{ Nm}$$

$x = 0.173$ m; $M = (150.59 \times 0.173)-246.73(0.173-0.173)$

$M = 26.05$ Nm

$x = 0.349$ m; $M = (150.59 \times 0.349)-246.73(0.349-0.173)$

$M = 9.13$ Nm

ที่หน้าตัด $0.349 < x < 0.391$

$$v = 150.59-246.73-121.27 = -217.41 \text{ N}$$

$$M = 150.59x-246.73(x-0.173)-121.27(x-0.349) \text{ Nm}$$

$x = 0.349$ m; $M = (150.59 \times 0.349)-246.73(0.349-0.173)-121.27(0.349-0.349)$

$M = 9.13$ Nm

$x = 0.391$ m; $M = (150.59 \times 0.391)-246.73(0.391-0.173)-121.27(0.391-0.349)$

$M = 0.00021$ Nm

$\therefore$ โมเมนต์สูงสุดเท่ากับ 26.05 Nm กระทำที่จุดห่างจาก C = 0.173 m. ไปทางขวามือ

เลือกใช้วัสดุ AISI 1010 HR จากตาราง ก 4 (ภาคผนวก ก)
ใช้ความต้านแรงดึงครากเป็นหลัก

$$\sigma_y = 42 \text{ ksi.} = 42 \times 6.895 = 289.59 \text{ N/mm}^2$$

จากตาราง ก 5 (ภาคผนวก ก) เลือกใช้ $N_s = 4$ แรงอยู่นิ่ง; $C = h/2$

ให้ $h = 5$ mm ; $C = 5/2 = 2.5$ mm; $I = (1/12) \times b \times h^3$

จากสูตร

$$\sigma_{max} = Mc/I$$

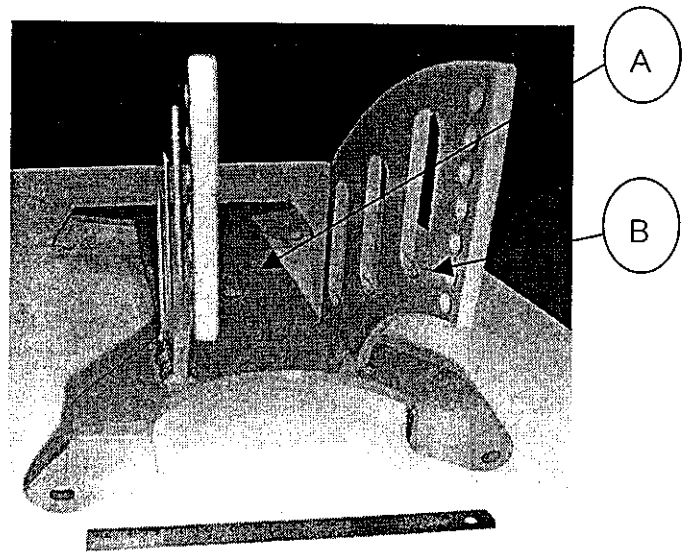
$$(289.59/4) = (26.05 \times 1000 \times 2.5)/((1/12) \times b \times 5^3)$$

$$b = 86.35 \text{ mm}$$

∴ คานมีความกว้างอย่างน้อย 86.35 mm

3) การดำเนินการสร้าง

ซื้อเหล็กแผ่นหนา 5 mm มาสร้างตามรูปร่างที่ออกแบบไว้ โดยมีความกว้างส่วนที่น้อยที่สุดเท่ากับ 88 mm ดังรูปที่ 3.9 (A) ซึ่งตัวรถยังประกอบด้วยส่วนที่รองรับเครื่องเจียระไนมือซึ่งการคำนวณขนาดอยู่ในหัวข้อที่ 3.2.8




รูปที่ 3.9 ตัวรถ (A) ที่รองรับเครื่องเจียระไนมือ (B)

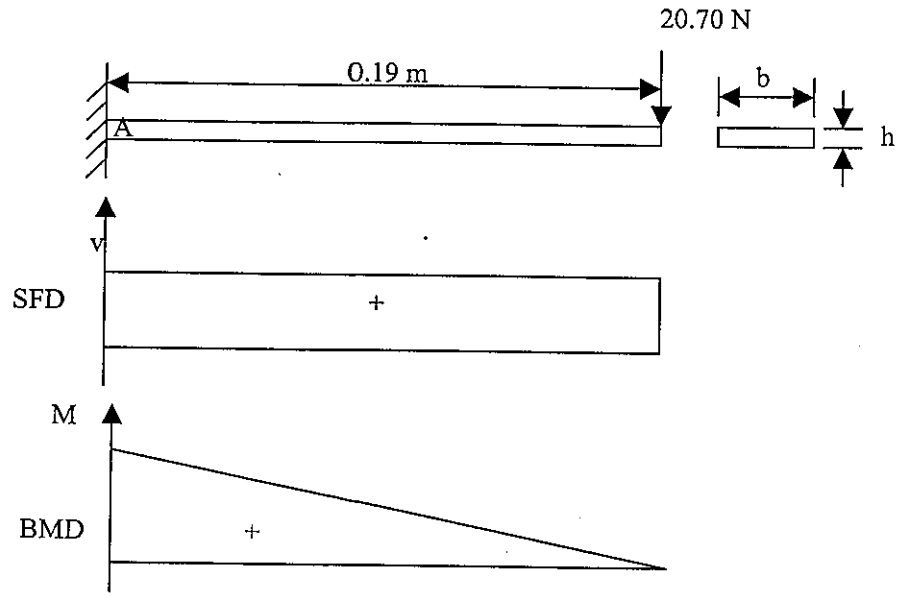
### 3.2.8 ที่รองรับเครื่องเจียระไนมือ

เป็นส่วนที่รองรับ ปรับระดับและรับแรง (น้ำหนัก) ของเครื่องเจียระไนมือเท่ากับ 20.70 N (2.11 kg) โดยมีรูไว้ใส่สลักสำหรับปรับระดับต่าง ๆ จำนวน 7 ระดับ มีรูปร่างแสดงดังรูปที่ 3.9 (B) ติดกับตัวรถโดยการเชื่อม การคำนวณจะพิจารณาในขณะรับภาระสูงสุดเมื่ออยู่ตำแหน่งด้านข้างของท่อ

1) ข้อจำกัดในการออกแบบ

- รับแรง 20.70 N

2) วิธีการคำนวณ




ที่หน้าตัด $0 < x < 0.19$

$$v = 20.7 \text{ N}$$

$$M = 20.7x \text{ Nm}$$

$x = 0$ m ; $M = 0$ Nm

$x = 0.19$ ; $M = 20.7 \times 0.19 = 3.93$ Nm

$\therefore$ โมเมนต์สูงสุดเท่ากับ 3.93 Nm กระทำที่จุดห่างจาก A = 0.19 m. ไปทางขวามือ

เลือกใช้วัสดุ AISI 1010 HR จากตาราง ก 4 (ภาคผนวก ก)

ใช้ความต้านแรงดึงครากเป็นหลัก

$$\sigma_y = 42 \text{ ksi.} = 42 \times 6.895 = 289.59 \text{ N/mm}^2$$

จากตาราง ก 5 (ภาคผนวก ก) เลือกใช้ $N_s$ = 2 แรงอยู่นิ่ง; C = h/2

ให้ h = 4 mm ; C = 4/2 = 2 mm; $I = (1/12) \times b \times h^3$

จากสูตร $\sigma_{max} = Mc/I$

$$(289.59/4) = (3.93 \times 1000 \times 2)/((1/12) \times b \times 4^3)$$

$$b = 10.18 \text{ mm}$$

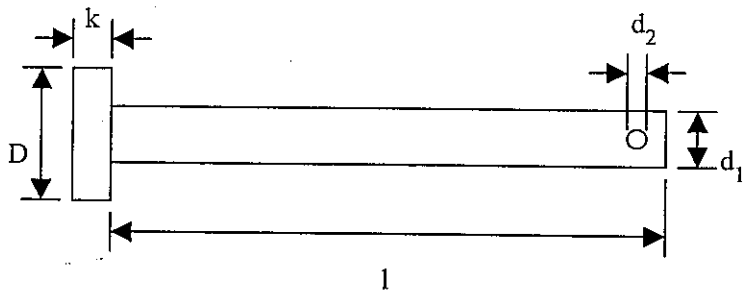
∴ มีความกว้างอย่างน้อย 10.18 mm

3) การดำเนินการสร้าง

โดยการนำแผ่นเหล็กหนา 4 mm มาสร้างให้มีรูปร่าง ลักษณะตามที่ออกแบบไว้ ให้มีความกว้างส่วนที่น้อยที่สุดเท่ากับ 15 mm มีรูสำหรับปรับระดับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm ดังรูปที่ 3.9 (B)

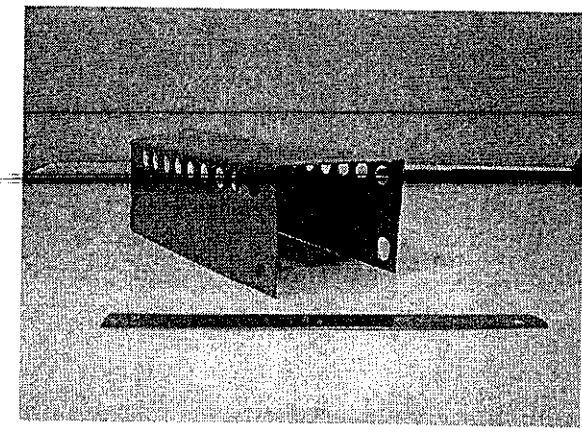
### 3.2.9 สลักและที่จับยึดสำหรับปรับระดับเครื่องเจียระไนมือ

ที่จับยึดเครื่องเจียระไนมือมีลักษณะรูปร่างดังรูปที่ 3.10 โดยมีรูสำหรับปรับระดับจำนวน 9 รู ทำจากเหล็กแผ่นบาง 1.2 mm ขนาดต่าง ๆ ดูได้จากภาพ Drawing ภาคผนวก ข ส่วนขนาดของสลักเลือกจากตาราง ก 11 (ภาคผนวก ก) แบบเคลวิสมีหัวใช้วัสดุ AISI 1010 HR ดังรูปที่ 3.11 (A) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับรูปรับระดับ 10 mm และมีสลักที่ปลาย เป็นแบบสลักถ่างดังรูปที่ 3.11 (B)ขนาดอื่น ๆ ของสลักมีดังนี้

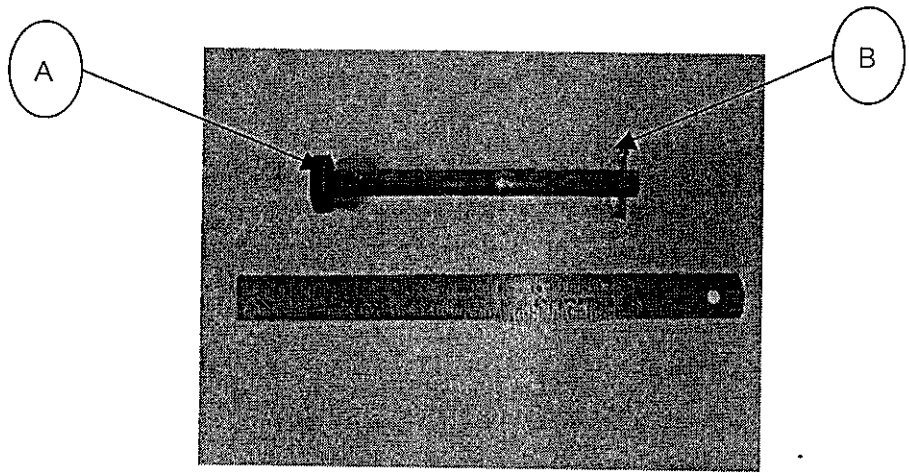



$d_1$ = 10 mm $d_2$ = 3.2 mm k = 4 mm

D = 18mm l = 100 mm



รูปที่ 3.10 ที่จับยึดเครื่องเจียระไน



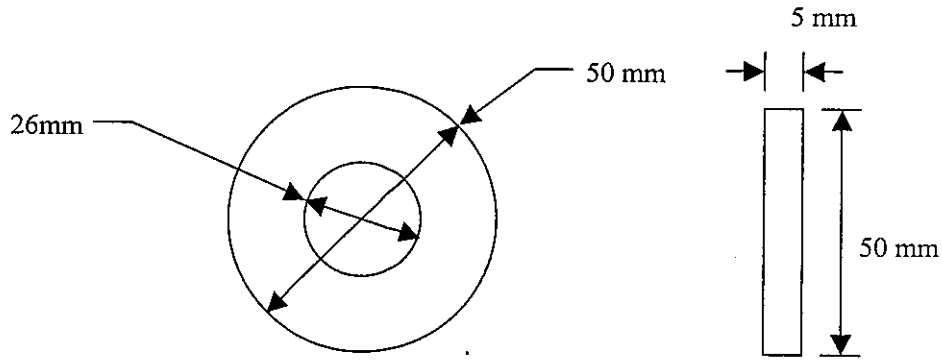

รูปที่ 3.11 สลัก(A) และสลักถ่าง (B)

### 3.2.10 ล้อ นัต แหวน สลักเกลียว และแบริ่ง

ล้อเป็นส่วนที่รองรับตัวรถและส่วนประกอบอื่น ๆ รับน้ำหนักทั้งหมด 104.28 N (10.63 kg) กลิ้งไปบนท่อไม่เกิดการลื่นไถล (ดังรูปที่ 3.12 (A)) โดยที่ล้อใส่แบริ่งเบอร์ 6000 RS ยี่ห้อ KOYO มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 10 mm ภายนอกเท่ากับ 26 mm (ดังรูปที่ 3.12 (B)) ทั้ง 4 ล้อ เพื่อเป็นการลดแรงเสียดทานระหว่างล้อกับสลักเกลียว สลักเกลียวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตรงที่ใส่ล้อ 10 mm เพื่อสวมเข้ากับแบริ่ง ส่วนของเกลียวเป็นเกลียวขนาด M8 (ดังรูปที่ 3.12 (C)) นัตมีขนาด M8 เช่นกัน (ดังรูปที่ 3.12 (D)) และแหวน (ดังรูปที่ 3.12 (E)) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 8.4 mm ภายนอก 17 mm หนา 1.4 mm (จากตาราง ก 9 ภาคผนวก ก)

จากการออกแบบล้อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 50 mm ภายใน 26 mm เพื่อใส่แบริ่งหนา 5 mm การคำนวณจะตรวจสอบดูว่ารับภาระแล้วเกิดการเสียหายหรือไม่

1) ข้อจำกัดในการออกแบบ
   - รับภาระเท่ากับ 104.28 N
   - เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 50 mm ภายในเท่ากับ 26 mm
2) วิธีการคำนวณ




เลือกใช้วัสดุ AISI 1010 HR จากตาราง ก 4 (ภาคผนวก ก) ใช้ค่าความปลอดภัย $N_s = 4$ ใช้ความต้านแรงดึงครากเป็นหลัก

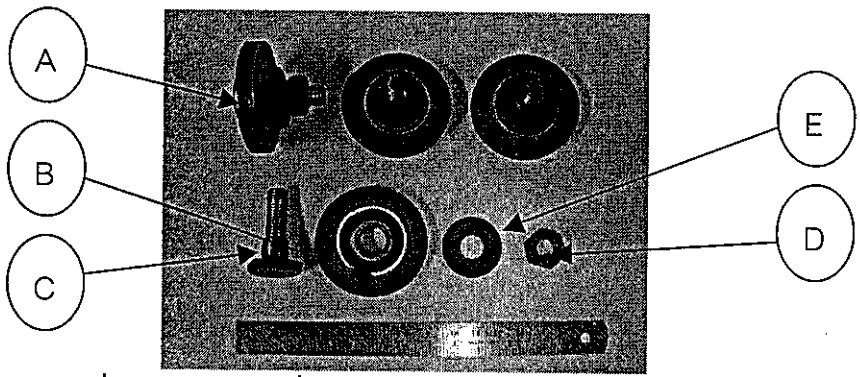
$$\sigma_y = 42 \text{ ksi} = 42 \times 6.895 = 289.59 \text{ N/mm}^2$$

จากสูตร $\sigma = P/A_s$

$$289.59/4 = 104.28/((50-26) \times b)$$

$$b = 0.06 \text{ mm}$$

∴ จะเห็นว่าความหนาที่ออกแบบเท่ากับ 5 mm ใช้ได้




รูปที่ 3.12 ล้อ(A) แบริ่ง(B) สลักเกลียว (C) นัต(D) และแหวน(E)

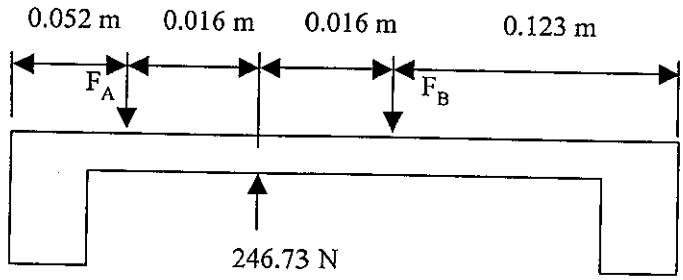
### 3.2.11 ตัวสไลด์กับเสา

ทำหน้าที่สไลด์กับเสาดึงชุดขับเคลื่อนขึ้นลงเพื่อตึงโซ่ รับแรงจากเสาตึงโซ่ 368 N การคำนวณเพื่อหาความกว้าง (b) ความหนา (h) และมีความยาวเท่ากับ 207.5 mm ตามที่ออกแบบ

1) ข้อจำกัดในการออกแบบ

- รับภาระสูงสุดเท่ากับ 368 N
- มีความยาว 207.5 mm

2) วิธีการคำนวณ




พบว่าเป็นโมเมนต์แรงคู่ควบ $F_A = F_A = 368/2 = 184$ N และ

$M = 184 \times 0.016 = 2.944$ Nm

เลือกใช้วัสดุ AISI 1010 HR จากตาราง ก 4 (ภาคผนวก ก)

ใช้ความต้านแรงดึงดรากเป็นหลัก

$$\sigma_y = 42 \text{ ksi.} = 42 \times 6.895 = 289.59 \text{ N/mm}^2$$

จากตาราง ก 5 (ภาคผนวก ก) เลือกใช้ $N_s = 4$ แรงอยู่นิ่ง; $C = h/2$

ให้ $h = 4$ mm ; $C = 4/2 = 2$ mm; $I = (1/12) \times b \times h^3$

จากสูตร $\sigma_{max} = Mc/I$

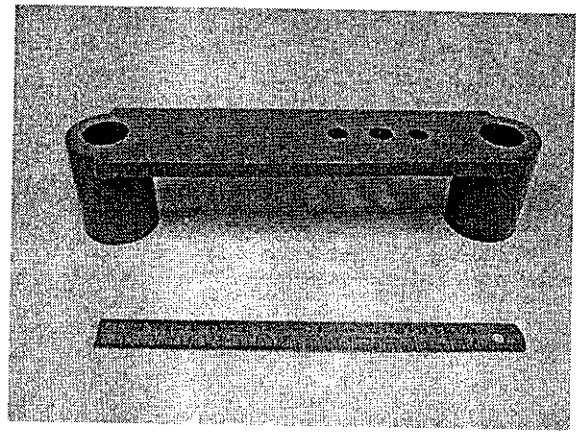
$$(289.59/4) = (2.944 \times 1000 \times 2)/((1/12) \times b \times 4^3)$$

$$b = 15.25 \text{ mm}$$

$\therefore$ มีความกว้างอย่างน้อย 15.25 mm

3) วิธีการดำเนินการสร้าง

สร้างโดยการซื้อเหล็กที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดคือ หนา 4 mm กว้าง 40 mm เนื่องจากมีการเจาะรูใส่นัตยึดชุดขับเคลื่อนและปลายทั้งสองด้านเชื่อมติดกับเหล็กกลมที่มีรูสำหรับสวมกับเสาสไลด์ดังรูปที่ 3.13 ขนาดต่าง ๆ ดูได้จากภาพ Drawing ภาคผนวก ข



รูปที่ 3.13 ตัวยึดของชุดขับเคลื่อนสไลด์กับเสา

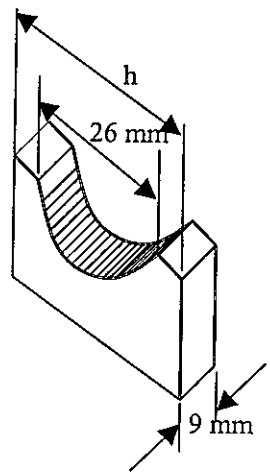
### 3.2.12 ตัวจับยึดชุดขับเคลื่อน

ทำหน้าที่เป็นส่วนที่จับยึดของมอเตอร์ เพลา เฟืองโซ่ และชุดเฟืองหนอน ยึดติดกับตัวสไลด์ด้วยนัตสลักเกลียว มีส่วนที่ใส่แบริ่งขนาดเดียวกันกับที่ล้อคือเบอร์ 6000 RS การคำนวณจะพิจารณาแรงที่กระทำมาจากการกดลงของปลายเพลาผ่านแบริ่งเท่ากับ 368/2 =184 N

1) ข้อจำกัดในการออกแบบ

- รูที่ใส่แบริ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 26 mm หนา 9 mm เท่ากับแบริ่ง
- รับแรงกด 184 N

2) วิธีการคำนวณ



เลือกใช้วัสดุ AISI 1010 HR จากตาราง ก 4 (ภาคผนวก ก)
ใช้ความต้านแรงดึงครากเป็นหลัก

$$\sigma_y = 42 \text{ ksi.} = 42 \times 6.895$$

$$= 289.59 \text{ N/mm}^2$$

จากตาราง ก 5 (ภาคผนวก ก) เลือกใช้ $N_s = 4$ แรงอยู่นิ่ง

จากสูตร

$$\sigma = F/A_s$$

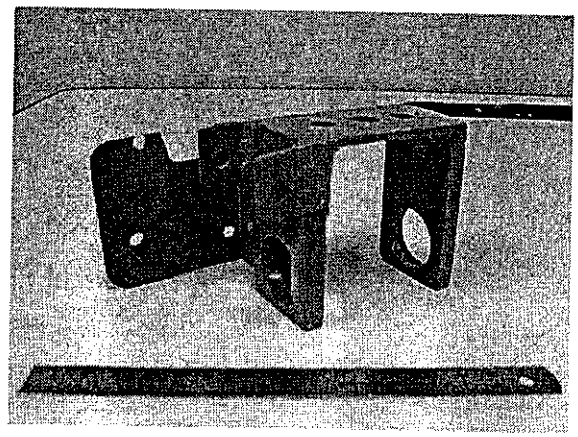
$$(289.59/4) = 184/((h-26) \times 9)$$

$$h = 26.28 \text{ mm}$$

∴ ความกว้าง h อย่างน้อย 26.28 mm

3) การดำเนินการสร้าง

ขนาดจากการคำนวณได้ h อย่างน้อย 26.28 mm แต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของแบริ่งที่จะใส่เท่ากับ 26 mm พบว่ามีความหนาน้อยสุดหนึ่งข้างเท่ากับ 0.14 เท่านั้น จึงสร้างให้มีความหนากว่านี้ได้ คือเหล็กที่มีขายตามท้องตลาดมีขนาด หนา 9 mm กว้าง (h) เท่ากับ 35 mm ดังรูปที่ 3.14 ขนาดต่าง ๆ ดูได้จากภาพ Drawing ภาคผนวก ข



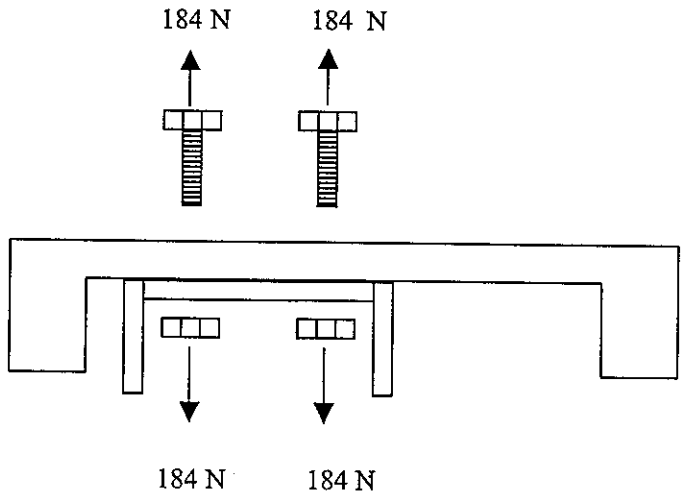
รูปที่ 3.14 ตัวจับยึดชุดขับเคลื่อน

### 3.2.13 นัต สลักเกลียว ที่จับยึดตัวสไลด์กับชุดขับเคลื่อน

1) ข้อจำกัดในการออกแบบ

- รับแรงเท่ากับ 184 N จำนวน 2 ตัว
- สลักเกลียวมีความยาวทั้งหมดเท่ากับ 25 mm

2) วิธีการคำนวณ




เลือกขั้นคุณสมบัติของสลักเกลียว 3.6 จากตาราง ก 6 (ภาคผนวก ก) มีความต้านแรงดึงต่ำสุด 200 $N/mm^2$ ให้ค่าความปลอดภัย $N_s = 4$

จากสูตร

$$\sigma = F/A_s$$

$$(200/4) = 184/A_s$$

$$A_s = 3.68\ mm^2$$

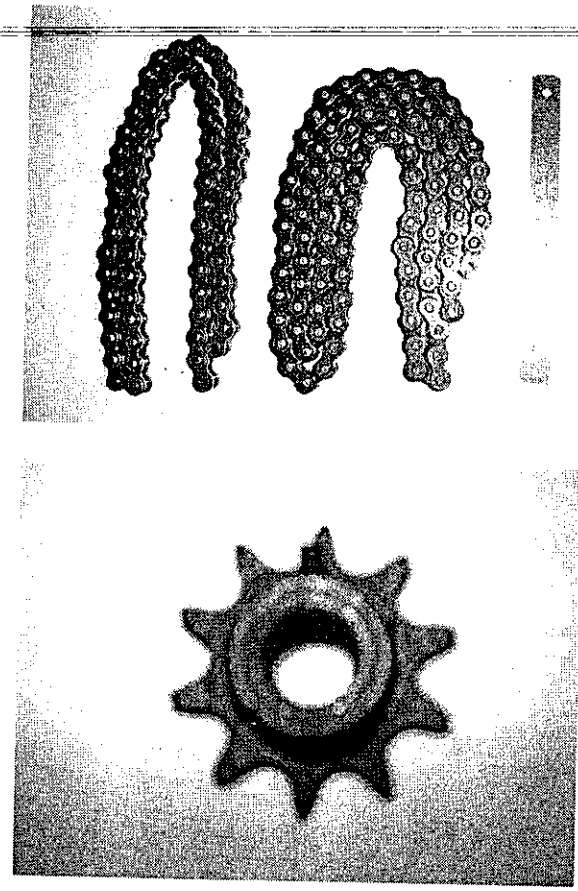
∴ จากตาราง ก 7 (ภาคผนวก ก) เลือกใช้เกลียวขนาด M4 ทั้งสองตัว นัตขนาด M4 เช่นกัน

### 3.2.14 โซ่และเฟืองโซ่

โซ่ที่ต้องการใช้มี 2 ขนาดคือ โซ่ที่ใช้กับท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 203.2 mm (8 นิ้ว) และ 355.6 mm (14 นิ้ว) มีความยาว 838.2 mm จำนวนข้อ 66 ข้อ และ 1295.4 mm จำนวนข้อ 98 ข้อ ตามลำดับ แรงที่กระทำกับโซ่จัดว่าเป็นแรงกระทำสม่ำเสมอ

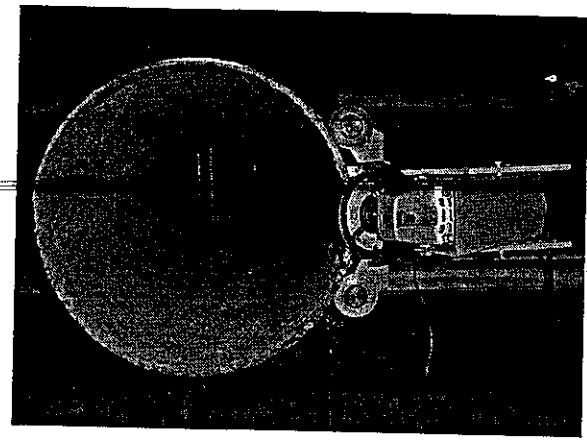
จากแผนภูมิรูป ก และตาราง ก 12 (ภาคผนวก ก) เลือกใช้โซ่ 1 ชั้น ที่มีระยะพิตช์ 12.70 mm ซึ่งให้ชื่อเป็นมาตรฐานว่า โซ่โรลเล่อร์ ISO / R606 10B-1 ซึ่งมีแรงแตกหัก 22.27 kN จำนวน

2 เส้น เป็นโซ่ยี่ห้อ OSK 428 และเลือกเฟืองโซ่ มี 10 ฟัน เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. เพราะว่านำมาใช้ที่ความเร็วรอบต่ำ 3 rpm และมีขนาดเล็กสุดที่มีขายตามท้องตลาด ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 โซ่และเฟือง

เมื่อได้ส่วนประกอบทั้งหมดแล้ว ทำการประกอบแล้วนำไปทดสอบเพื่อหาแรงกดสปริงตึงโซ่ที่ไม่ทำให้เกิดการลื่นไถล และสปริงที่เลือกในตอนแรกใช้ได้หรือไม่โดยนำไปติดตั้งกับท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 203.2 mm (8 นิ้ว) ที่ตำแหน่งด้านข้างของท่อดังรูปที่ 3.16 ขันนัตด้านบนจนโซ่ไม่เกิดการลื่นไถล วัดระยะสปริงที่หด แล้วนำมาคำนวณหาแรง และจากการทดลองสปริงมีระยะหดเท่ากับ 23.55 mm นำมาคำนวณหาแรง จากสูตร $F = kx = 2.71 \times 23.55 = 80.89$ N พบว่าสปริงที่เลือกใช้งานได้ และสามารถเลือกให้มีขนาดเล็กกว่านี้ได้ เช่น Compression spring ; 1.6 x 16 x 110 DIN 2098 เป็นต้น



รูปที่ 3.16 ตำแหน่งของการทดลองหาแรงกดสปริง

**3.2.15 มอเตอร์**

มอเตอร์ที่ต้องการคือ มีความเร็วรอบต่ำ แรงบิดสูง โดยที่ความเร็วรอบของมอเตอร์จะทดลงมาด้วยชุดเฟืองทดให้เหลือ 3 รอบต่อนาที (เป็นความเร็วรอบที่เพลาเฟืองโซ่ที่ต้องการออกแบบ)

การเลือกมอเตอร์พิจารณาจากแผนภูมิรูปภาพ (ภาคผนวก ก) โดยจะต้องมีกำลัง (Wp) อย่างน้อยประมาณ 0.2 kW (จากการเลือกโซ่) หรือสามารถพิจารณาจากแรงตึงโซ่คือ ถ้าให้โซ่มีแรงตึงทั้งสองข้างเท่ากัน มีค่าเท่ากับ $368/2\cos 30^{\circ} = 212.465$ N เฟืองโซ่มีรัศมีตรงจุดที่ส่งถ่ายแรงเท่ากับ 16 mm เพราะฉะนั้นแรงบิดสูงสุดเท่ากับ $212.465 \times 0.016 = 3.40$ Nm จากสูตร

$$P = T(2\pi f)$$

โดยที่ P = กำลังมอเตอร์ (kW)

T = แรงบิด (Nm)

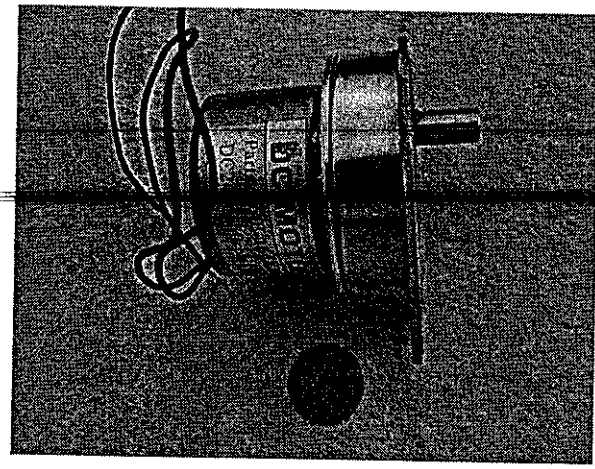
f = ความถี่ (rpm)

แทนค่า

$$P = (3.40)(2\pi(3/60))$$

$$= 1.1 \text{ W}$$

มอเตอร์ที่สามารถเลือกซื้อมาได้ตามท้องตลาดคือ มอเตอร์ DC 24 V 150 rpm 0.5 แรงม้า พร้อมชุดเฟืองทดมีกำลัง (Wp) เท่ากับ 0.37 kW และแรงบิดเท่ากับ 23.41 Nm ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 มอเตอร์ DC 24 V 150 rpm 1 แรงม้า พร้อมชุดทดเกียร์

### 3.2.16 เพลาที่เกลียวตัวหนอน และเพลาที่เฟืองโซ่

ทำหน้าที่รับแรงบิดจากมอเตอร์ 23.41 Nm หมุนด้วยความเร็วรอบ 150 rpm แล้วส่งไปยังชุดเฟืองหนอน เพลาที่เกลียวตัวหนอนมีความยาวเท่ากับ 55 mm และเพลาที่เฟืองโซ่มีความยาว 90 mm การคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพื่อให้เพลารับแรงบิดนี้ได้

1) ข้อจำกัดในการออกแบบ

- รับแรงบิดจากมอเตอร์เท่ากับ 23.41 Nm

2) วิธีการคำนวณ

เลือกใช้วัสดุ AISI 1010 HR จากตาราง ก 4 (ภาคผนวก ก)

$$\sigma_y = 42 \text{ ksi.} = 42 \times 6.895 = 289.59 \text{ N/mm}^2$$

ใช้ความต้านแรงเฉือนดรากเป็นหลักในการออกแบบ

$$\tau = 0.6\sigma_y = 0.6 \times 289.59 = 173.75 \text{ N/mm}^2$$

จากตาราง ก 5 (ภาคผนวก ก) เลือกใช้ค่าความปลอดภัย $N_s = 2$ (แรงอยู่นิ่ง )

จากสูตร $\tau = Tr/J = (16T)/(\pi d^3)$

$$(173.75/2) = (16 \times 23.41 \times 1000)/(\pi d^3)$$

$$d = 11 \text{ mm}$$

$\therefore$ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลาเท่ากับ 11 mm

3) การดำเนินการสร้าง

เส้นผ่านศูนย์กลางเพลาที่คำนวณได้เท่ากับ 11 mm แต่ขนาดที่มีจำหน่ายอยู่ทั่วไปตามท้องตลาดคือ 10 mm จึงเลือกใช้ขนาดนี้

### 3.2.17 ชุดเฟืองหนอน

ชุดเฟืองหนอน (worm gear set) ใช้สำหรับส่งกำลังระหว่างเพลาที่ไม่ขนานกันและไม่ติดกัน ซึ่งต้องการให้มีอัตราทดสูง ชุดเฟืองหนอนที่ออกแบบประกอบด้วยเกลียวตัวหนอน (worm) และเฟืองหนอน (worm gear) โดยจะใช้ชุดเฟืองหนอนส่งกำลังระหว่างเพลาที่ทำมุมกัน 90° ส่งกำลังจากมอเตอร์ 0.37 kW และทดความเร็วรอบจาก150 rpm ไปยังเพลา 3 rpm การคำนวณเพื่อหาวัสดุและขนาดของชุดเฟืองหนอน

1) ข้อจำกัดในการออกแบบ

- ส่งกำลัง 0.37 kW
- ทดความเร็วรอบจาก150 rpm ไปยังเพลา 3 rpm

2) วิธีการคำนวณ

อัตราทด $m_\omega = 150/3 = 50$

ให้มุมกดนอมัลเท่ากับ 14.5 จากตาราง ก 13 (ภาคผนวก ก) มุมหลีดของเกลียวตัวหนอนควรอยู่ระหว่าง 0-15 องศา เลือกจำนวนปาก $N_w = 1$ ปาก

ดังนั้น $N_g = (1)(50) = 50$ ฟัน

หลีดเท่ากับ $L = (1)P$ mm

เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของเฟืองหนอน

$$d_g = N_g P/\pi = 50P/\pi = 15.92P \text{ mm}$$

ความเร็วพิตช์

$$v = \pi d_g n_g = \pi(15.92P/1000)(3/60) = 0.0025P \text{ m/s}$$

แรงที่ส่งผ่าน

$$F_t = W_p/v = 370/0.0025P = 148000/P \text{ N}$$

จากสมการแรงพลวัต

$$F_d = ((6+v)/6)(F_t) = ((6+0.0025P)/6)(148000/P)$$

$$= (148000/P)+61.67 \text{ N}$$

ทดลองเลือก $P = P_a$ (แอ็คเซียลพิตช์) = 6 mm และหาขนาดเกลียวตัวหนอน โดยประมาณจากสมการ

$$d_w = 2.35\,P + 10 = 2.35(6) + 10 = 24.1 \text{ mm}$$

เลือกขนาด $d_w = 24$ ดังนั้นมุมหลีด $\tan\lambda_w = L/\pi d_w = 6/(\pi 25) = 0.0.076$ $\lambda_w = 4.37$ องศา ซึ่งอยู่ในระหว่างค่า 0-15 องศา

ดังนั้น $d_g = 15.92 \times 6 = 95.52$ mm

แรงพลวัต $F_d = (148000/6) + 61.67 = 24728$ N

แรงที่ส่งผ่าน $F_t = 148000/6 = 24666$ N

และนอมัลเซอคิวลาพิตช์ $P_n = P \cos\lambda_w = 6 \cos 4.37 = 5.98$ mm

จากสมการ $F_b = \sigma b y P_n = \sigma b(0.1)(5.98) = 0.60\sigma b$

โดยที่ $\sigma$ = ความเค้น

b = ความหนาฟันเฟืองหนอน

y = ตัวประกอบของลูอิสเท่ากับ 0.1

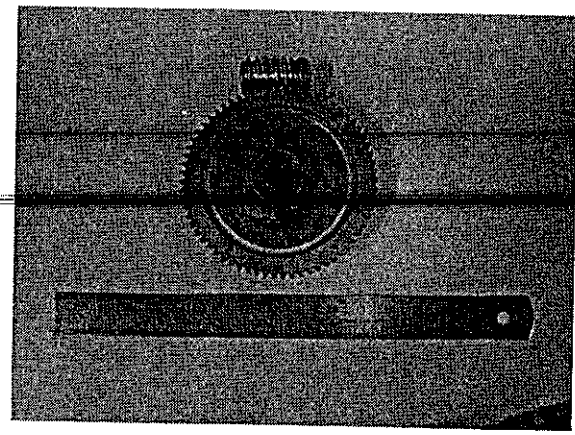
$P_n$ = นอมัลเซอคิวลาพิตช์

ถ้าให้ $F_b = F_d$ และ b = 20 mm จะได้ว่า $\sigma = 2067$ N/mm$^2$ จากตาราง ก 14 (ภาคผนวก ก) เลือกวัสดุของเฟืองหนอนเป็น AISI 9255 Alloy steels,Hardening Grades มีความเค้นใช้งาน $\sigma$ = 1985.76 N/mm$^2$ (มากที่สุดจากตาราง)

และ $F_b = (198.576)(20)(0.1)(5.98) = 2374.86$ N

$\therefore$ ชุดเฟืองหนอนมีเกลียวตัวหนอนชนิด 1 ปาก เฟืองหนอนมีฟัน 50 ฟัน ทำจาก Alloy มุมกดนอมัลเท่ากับ 14.5

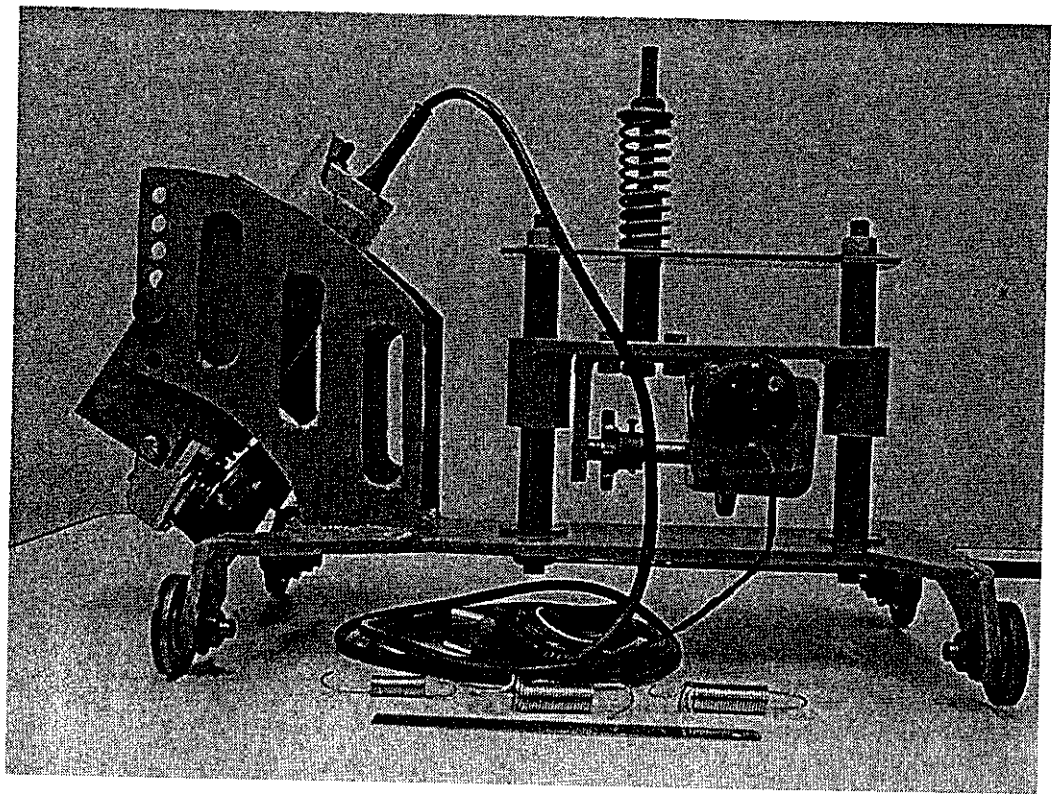
3) การดำเนินการสร้าง โดยชุดเฟืองหนอนที่ออกแบบนี้ได้จ้างให้กับร้านผู้รับผลิตจำนวน 1 ชุด ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ชุดเฟืองหนอน

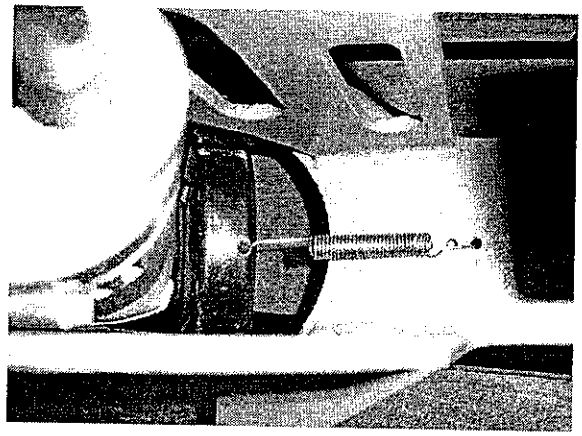
**3.2.18 การประกอบเครื่องเจียรปากท่อโลหะ**

การประกอบชิ้นส่วนเครื่องเจียรปากท่อมีขั้นตอนดังนี้ (ดูรูปที่ 3.19 ประกอบ)



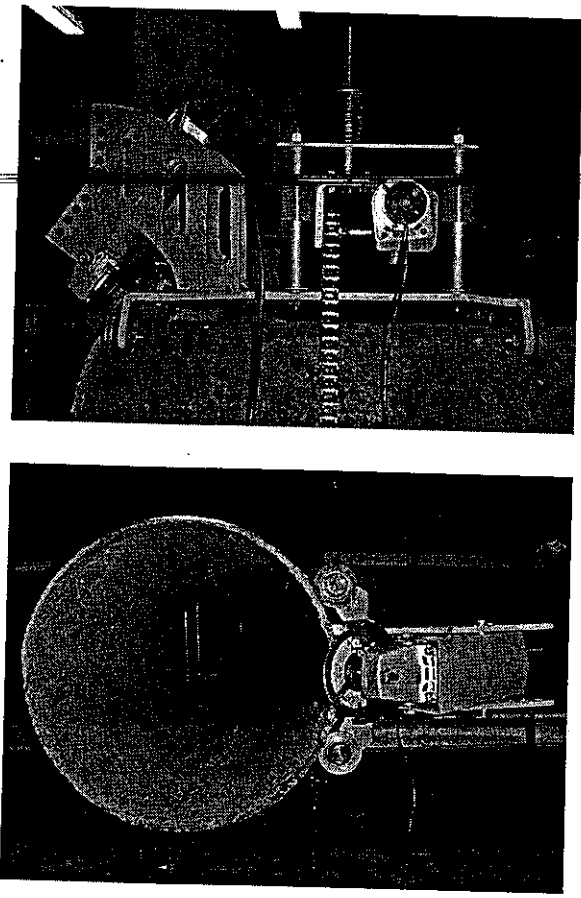
รูปที่ 3.19 เครื่องเจียรปากท่อ

1) ใส่ล้อดังรูปที่ 3.19 แล้วขันให้แน่นทั้ง 4 ล้อ
2) นำเสา 2 เสา ขันเข้าไปในรูเกลียว M10 ที่ตัว Body รถ และใส่นัตพร้อมแหวนด้านล่าง แล้วขันให้แน่น
3) ประกอบชุดเฟืองหนอน เพลา มอเตอร์ บูท เฟืองโซ่ แบริ่ง เข้ากับตัวจับยึด ขันสกรูให้แน่น แล้วประกอบตัวยึดเข้ากับตัวสไลด์ พร้อมกับเสาสปริง ขัดนัตให้แน่น จากนั้นสวมตัวสไลด์เข้ากับเสา ดังรูปที่ 3.19
4) ใส่คานด้านบน ใส่สปริง ใส่นัต แล้วขันให้แน่น
5) ประกอบตัวจับเครื่องเจียระไนมือ แล้วประกอบเข้ากับตัว Body รถ ใส่สลักและใส่สลักถ่างที่ปลายสลัก
6) ใส่สปริงดึงหินเจียรที่การ์ดกับรูที่ตัว Body รถดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 การประกอบสปริงดึงหินเจียรกดติดกับปากท่อ

จากนั้นเมื่อประกอบเสร็จทำการทดสอบเดินเครื่องเพื่อตรวจเช็คความเรียบร้อยและการทำงาน โดยนำไปติดตั้งที่ท่อ ทำการเดินเครื่องให้หมุนไปรอบท่อ ถ้าเกิดลื่นไถลของโซ่ ให้ตึงโซ่อีกโดยขัดนัตด้านบน ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 การทดสอบขณะเครื่องทำงาน

**3.3 การทดสอบ** มีการทดสอบดังต่อไปนี้

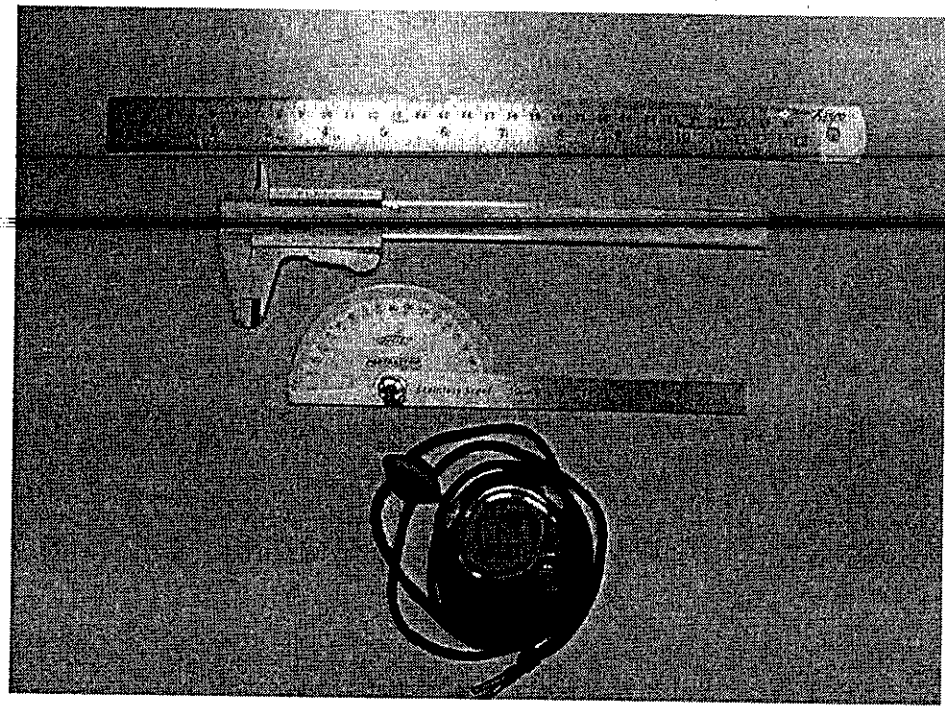
**3.3.1 การสำรวจและจัดหาเครื่องมือ อุปกรณ์ ที่ต้องใช้ในการทดสอบดังนี้**

1) ท่อตัวอย่างเป็นท่อเหล็กหล่อไร้ตะเข็บ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 203.2 mm (8 นิ้ว) มีวัสดุส่วนผสมคือ case hardening steel 0.15 C; 25 Si; 0.37 Mn และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 355.6 mm (14 นิ้ว) มีวัสดุส่วนผสมคือ case hardening steel 1.05 C; 0.25 Si 1.0 Mn; 1.0 Cr; 1.2 W ใช้ในการลำเลียงน้ำ

2) Adaptor หรือ หม้อแปลงไฟฟ้าจาก AC 220 V 50 Hz มาเป็น DC 24 V 800 mA เพื่อจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ของชุดขับเคลื่อน

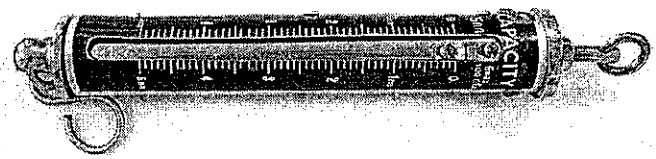
3) ปลั๊กไฟ 3 ตา จำนวน 1 ปลั๊ก

4) Protractor 1 อัน ,Vernier 1 อัน, ฟุตเหล็ก 1 อัน และนาฬิกาจับเวลา1 เครื่อง ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.2 Protractor, Vernier, ฟุตเหล็ก และนาฬิกาจับเวลา

5) ตาชั่งสปริง เพื่อนำมาทดสอบหาแรงกดของหินเจียรกับท่อ ดังรูปที่ 3.23



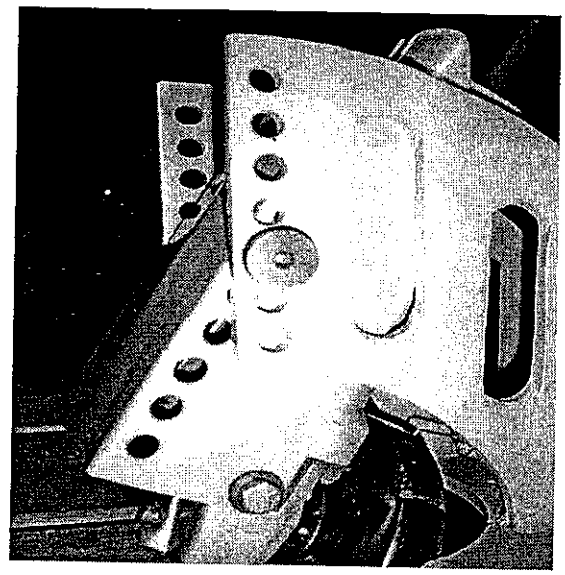
รูปที่ 3.23 ตาชั่งสปริง

6 ) โต๊ะสำหรับวางท่อ มีความสูงจากพื้น 18 นิ้ว

### 3.3.2 การทดสอบหาแรงกดของเครื่องเจียระไนมือที่กระทำต่อปากท่อโลหะ

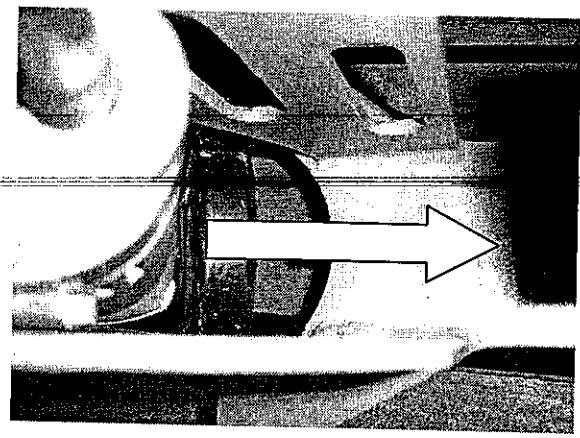
เพื่อทดสอบหาแรงกดของเครื่องเจียระไนมือที่กระทำต่อปากท่อที่เหมาะสมและปลอดภัย กล่าวคือ ถ้าใช้แรงกดมากอาจทำให้หินเจียรแตกกระเด็น เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน หรือถ้าแรงกดน้อยเกินไปการเจียรก็จะไม่เข้าเนื้อเหล็ก และเพื่อนำแรงนี้ไปคำนวณหาขนาดสปริงขดแบบดึงมาใช้ มีขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้

1) นำเครื่องเจียรปากท่อโลหะไปติดตั้งพร้อมใช้งานบนท่อตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 203.2 mm (8 นิ้ว) โดยใส่สลักรูที่ 3 จากทางด้านล่างของตัวรถ และรูที่ 6 จากทางด้านล่างของตัวจับเครื่องเจียระไนมือ และวางให้ล้อห่างจากปากท่อ 55 mm (การวางล้อห่างจากปากท่อ 55 mm ตำแหน่งนี้สามารถเจียรได้ 45 องศา ไม่ว่าจะเป็นท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 203.2 mm (8 นิ้ว) หรือเส้นผ่านศูนย์กลาง 355.6 mm (14 นิ้ว) ดังรูปที่ 3.24

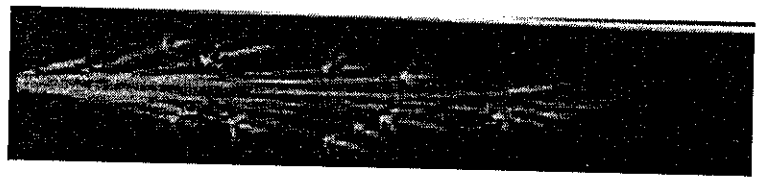


รูปที่ 3.24 ตำแหน่งการจับยึดเครื่องเจียระไนมือใช้กับท่อ 14 นิ้ว

2) นำตาชั่งสปริง เกี่ยวปลายด้านหนึ่งเข้าที่การ์ด แล้ววางตาชั่งสปริงตามแนวดังรูปที่ 3.25
3) ทำการเดินเครื่องไปรอบท่อ 1 รอบ แล้วหมุนกลับ ขณะเดียวกันก็ใช้มือดึงตาชั่งสปริงขึ้นเรื่อย ๆ แล้วสังเกตประกายไฟที่เกิดขึ้น
4) ทำการบันทึกค่าเมื่อเกิดประกายไฟที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบจากรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.25 การวางแนวตาชั่งสปริงเพื่อทดสอบหาแรงกด



รูปที่ 3.26 ประกายไฟที่เหมาะสม
(ที่มา : ตารางโลหะ,รศ.บรรเลง ศรนิล)

5) ทำตามขั้นตอนที่ 1-4 แต่เปลี่ยนไปทดสอบกับท่อตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 355.6 mm (14 นิ้ว) โดยใส่สลักรูที่ 3 ทางด้านล่างของตัวรถและรูที่ 4 จากทางด้านล่างของตัวจับเครื่องเจียระไนมือ
6) นำค่าที่ได้มาคำนวณหาขนาดสปริงขดแบบดึง

**3.3.3 ผลการทดสอบหาแรงกด**

1) สำหรับท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 203.2 mm (8 นิ้ว)

จากการทดสอบได้แรงกดที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 1.5-2 kg หรือ 14.72-19.62 นิวตัน เลือกค่า 19.62 นิวตัน มาคำนวณหาขนาดสปริง โดยใช้วัสดุ ASTM A227 (Hand drawn wire) ให้สปริงยืด 30 mm.

จากตาราง ก 15 (ภาคผนวก ก) และจากสูตร

$$\sigma_u = A/d^x = 1780/d^{0.19} \text{ N/mm}^2$$

$$G = 80 \text{ kN/mm}^2$$

จัดว่าเป็นงานประเภทปานกลางจากตาราง ก 16 (ภาคผนวก ก) ความเค้นออกแบบ

$$\tau_d = (0.8 \times 0.275)\sigma_u$$

$$= 391.6 / d^{0.19} \text{ N/mm}^2$$

ทดลองเลือกดัชนีสปริงเท่ากับ 7 จากรูป ก $K = 1.2$ และให้แรงดึงขั้นต้นเป็นศูนย์

$$\tau_d = K8FC/\pi d^2$$

$$(391.6 / d^{0.19}) = (1.2x8x17.17x7)/\pi d^2$$

$$d = 0.99 \text{ mm.}$$

เลือกใช้ลวดสปริงขนาด 1 mm

ค่าความแข็งตึงของสปริง $K = F/\delta = 19.62/30 = 0.65$ N/mm

$$n = Gd/8kC^3 = (80000x1)/(8x0.65x7^3)$$

$$= 44 \text{ ขด}$$

ความยาวเฉพาะขดของสปริงขณะที่ยังไม่ยืดเท่ากับ

$$L = d(n+1) = 1(44+1) = 45 \text{ mm}$$

ความยาวระหว่างศูนย์กลางของขอเกี่ยว

$$L_c = L+Di$$

แต่ $Di = D-d = (7x1)-1 = 6$ mm

$$L_c = 45+6 = 51 \text{ mm}$$

ต่อไปตรวจสอบว่ามุมขดในขณะใช้งานไม่โตกว่า 12 องศา ในขณะใช้งาน $L = 45+30 = 75$ mm

$$L = Pn+d$$

$$75 = 44P+1$$

$$P = 1.6818 \text{ mm}$$

มุมขด $\tan\alpha = P/\pi D = 1.6818/7\pi$

$\alpha$ = 4.37 องศา

$\therefore$ ใช้สปริงขดแบบดึง ค่าความแข็งตึงของสปริงเท่ากับ 0.65 N/mm

2) สำหรับท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 355.6 mm (14 นิ้ว)

จากการทดสอบได้แรงกดที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 1.8-2.3 kg หรือ 17.66-22.56 นิวตัน เลือกค่า 22.56 นิวตัน มาคำนวณหาขนาดสปริง โดยใช้วัสดุ ASTM A227 (Hand drawn wire) ให้สปริงยืด 30 mm.

จากตาราง ก 15 (ภาคผนวก ก) และจากสูตร

$$\sigma_u = A/d^x = 1780/d^{0.19} \text{ N/mm}^2$$

$$G = 80 \text{ kN/mm}^2$$

จัดว่าเป็นงานประเภทปานกลางจากตาราง ก 16 (ภาคผนวก ก) ความเค้นออกแบบ

$$\tau_d = (0.8 \times 0.275)\sigma_u$$

$$= 391.6 / d^{0.19} \text{ N/mm}^2$$

ทดลองเลือกดัชนีสปริงเท่ากับ 8 จากรูป ก K = 1.18 และให้แรงดึงขั้นต้นเป็นศูนย์

$$\tau_d = K8FC/\pi d^2$$

$$(391.60 / d^{0.19}) = (1.18 \times 8 \times 22.56 \times 8)/\pi d^2$$

$$d = 1.39 \text{ mm.}$$

เลือกใช้ลวดสปริงขนาด 1.5 mm

ค่าความแข็งตึงของสปริง $K = F/\delta = 22.56/30 = 0.75$ N/mm

$$n = Gd/8kC^3 = (80000 \times 1.5)/(8 \times 0.75 \times 8^3)$$

$$= 39 \text{ ขด}$$

ความยาวเฉพาะขดของสปริงขณะที่ยังไม่ยืดเท่ากับ

$$L = d(n+1) = 1.5(39+1) = 60 \text{ mm}$$

ความยาวระหว่างศูนย์กลางของขอเกี่ยว

$$L_c = L+Di$$

แต่ $Di = D-d = (8x1.5)-1.5 = 10.5$ mm

$L_c = 60+10.5 = 70.5$ mm

ต่อไปตรวจสอบว่ามุมขดในขณะใช้งานไม่โตกว่า 12 องศา ในขณะใช้งาน $L = 60+30 = 90$ mm

$$L = Pn+d$$

$$90 = 39P+1.5$$

$$P = 2.269 \text{ mm}$$

มุมขด $\tan \alpha = P/\pi D = 2.269/12\pi$

$$\alpha = 3.44 \text{ องศา}$$

$\therefore$ ใช้สปริงขดแบบดึง ค่าความแข็งตึงของสปริงเท่ากับ 0.75 N/mm

**3.3.4 การทดสอบหาเวลาในการเจียร**

เพื่อหาเวลาในการเจียรปากท่อให้เฉียง 45.องศา จากขอบในถึงขอบนอกท่อ ตามที่ต้องการ มีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

1) ติดตั้งเครื่องเจียรปากท่อบนท่อตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 203.2 mm (8 นิ้ว) พร้อมใช้งาน โดยวางตำแหน่งเครื่องเจียรเหมือนกับการทดสอบหาแรงกด จากนั้นเริ่มทำการเดินเครื่องทดสอบพร้อมกับจับเวลา โดยให้หมุนไป 1 รอบ แล้วหมุนกลับทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนปากท่อเฉียง 45 องศา จากขอบในถึงขอบนอกท่อ บันทึกเวลาที่ใช้
2) เมื่อเจียรปากท่อจากขอบในถึงขอบนอกท่อแล้วใช้ Protractor วัดองศาและความเรียบของผิว บันทึกผล
3) เจียรปากท่อให้มีมุม 90 องศา แล้วทำตามขั้นตอนที่ 1 และ 2 ซ้ำอีก 2 ครั้ง (ทั้งหมด 3 ครั้ง)
4) ทดสอบเหมือนขั้นตอนที่ 1 และ 2 แต่เปลี่ยนไปเป็นท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 355.6 mm (14 นิ้ว) โดยวางตำแหน่งเหมือนกับการทดสอบหาแรงกด บันทึกเวลาที่ใช้