สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การออกแบบส่วนประกอบ

5.1 กล่าวนำ

เนื่องจากที่กล่าวในบทที่ 4 ว่า ไดนาโมมิเตอร์แบบกระแสหมุนวน ที่ออกแบบและสร้างเพื่อใช้ทดสอบในงานวิทยานิพนธ์นี้ เป็นการสร้างตามเครื่องต้นแบบ ซึ่งแสดงข้อมูลที่ภาคผนวก ก แต่มีการปรับลักษณะของส่วนประกอบบางอย่างเพื่อให้สามารถทำการทดสอบได้ตามขอบเขตของวิทยานิพนธ์ โดยในการออกแบบได้ใช้โปรแกรม Solid Works ในการเขียนส่วนประกอบแต่ละชิ้นและตรวจสอบโดยการนำชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมาประกอบกัน เมื่อได้ขนาดที่เหมาะสมจึงนำแบบของชิ้นส่วนเหล่านั้นมาทำการสร้างเครื่องเพื่อใช้ทดสอบต่อไป

ดังนั้น ในเนื้อหาของบทที่ 5 นี้ จะเป็นการแสดงวิธีการคำนวณเพื่อหาขนาดของส่วนประกอบที่เป็นส่วนหลักๆ ของเครื่องไดนาโมมิเตอร์แบบกระแสหมุนวน อันได้แก่ หลักวิธีในการหาจำนวนรอบของชุดขดลวดทองแดงเพื่อใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็ก, และชิ้นส่วนที่ต้องมีการหมุนที่ความเร็วรอบมากๆ ซึ่งต้องมีการเผื่อขนาดเอาไว้ให้ปลอดภัยในการทำงาน ได้แก่ ขนาดของเพลาส่งกำลัง , การหาแรงกระทำทั้งหมดที่เกิดกับแบริ่งเพื่อเลือกแบริ่งมาใช้งานให้สามารถทนแรงกระทำนั้นได้ และการพิสูจน์ให้เห็นว่าขนาดของแผ่นจานหมุนที่เลือกใช้นั้นจะไม่เกิดอันตรายเมื่อมีการหมุนที่ความเร็วสูง โดยใช้ค่าต่างๆ ที่ได้เหล่านี้เป็นขนาดอ้างอิงเพื่อใช้ในการออกแบบสำหรับสร้างเครื่องไดนาโมมิเตอร์นี้ ให้สามารถทำงานได้อย่างปลอดภัย

5.2 หลักการคำนวณของการหาจำนวนรอบในการพันขดลวดทองแดง

เนื่องจากว่างานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างชุดขดลวดทองแดงตามต้นแบบที่มีอยู่แล้วจึงไม่ต้องทำการออกแบบขึ้นใหม่ แต่ในเรื่องที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นการแสดงถึงขั้นตอนที่ใช้คำนวณเพื่อหาจำนวนรอบของขดลวดทองแดงที่ต้องพันเพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กตามต้องการ[5] ซึ่งมีหลักดังนี้

จากสมการที่ (4.9) แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ $e.m.f. = Blv$

ถ้าสมมติว่า แผ่นตัวนำรูปวงกลมหนา t ม. เคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็ก ของขั้วแม่เหล็กที่มีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมซึ่งมีระยะความยาวตามแนวรัศมี b ม. และกว้าง d ม. ด้วยความเร็วเชิงมุม ω rad/s และมีระยะห่างในแนวรัศมีระหว่างจุดศูนย์กลางของแผ่นตัวนำถึงจุดศูนย์กลางของชุดขั้วแม่เหล็ก r ม. ดังนั้น แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจากสมการ 4.9 จะเปลี่ยนเป็น

$$\text{e.m.f.} = Bb\omega r \quad \text{โวลต์} \tag{5.1}$$

จากสมการที่ (4.11) ค่าความต้านทานของกระแสหมุนวน $R = \frac{b\rho}{dt}$

แต่เนื่องจากค่า R ในสมการ (4.11) เป็นค่าความต้านทานสำหรับไฟฟ้ากระแสตรง แต่แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดบนแผ่นตัวนำเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้นค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นจะต้องมีค่าเป็น

$$R = \frac{Kb\rho}{dt} \tag{5.2}$$

ซึ่ง K เป็นค่าคงที่ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 ในทุกตำแหน่งรัศมีของขั้วแม่เหล็ก

จากกฎของโอห์ม $I = \frac{V}{R}$ แทนค่าสมการ(5.1) และ(5.2)

ดังนั้น กระแสหมุนวนที่เกิดขึ้น มีค่าเท่ากับ $i_e = \frac{Bb\omega rdt}{Kb\rho}$

$$= \frac{B\omega rdt}{K\rho} \quad \text{แอมแปร์} \tag{5.3}$$

จากสมการที่ (4.13) แรงบิดต้านบนแผ่นตัวนำ $T = Bli$

โดยที่ l = ความยาวของตัวนำในส่วนที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก (เมตร, m.)

ในที่นี้ l คือความยาวของตัวนำภายใต้สนามแม่เหล็ก = b

แทนค่า l และสมการ (5.3) จะได้ $T = \frac{B^2 b\omega r^2 dt}{K\rho}$ นิวตัน-เมตร (5.4)

เนื่องจากในที่นี้ พื้นที่หน้าตัดของขั้วแม่เหล็ก (A) = bd และจากสมการ (ข.3) $T = Fr$

ดังนั้น สมการ (5.4) จะเปลี่ยนเป็น $F = \frac{B^2 A\omega rt}{K\rho}$ นิวตัน (5.5)

ซึ่งก็คือ แรงต้านที่เกิดบนแผ่นตัวนำที่เกิดจากขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า 1 คู่

โดยที่ B = ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (เวเบอร์ต่อตารางเมตร, $Wb/m.^2$)

A = พื้นที่หน้าตัดของขั้วแม่เหล็ก (ตารางเมตร, $m.^2$)

ω = ความเร็วเชิงมุมของแผ่นตัวนำ (เรเดียนต่อวินาที, rad/s)

r = ระยะห่างในแนวรัศมีระหว่างจุดศูนย์กลางของแผ่นตัวนำถึงจุดศูนย์กลางของชุดขั้วแม่เหล็ก (เมตร, m.)

t = ความหนาของแผ่นตัวนำ (เมตร, m.)

ρ = ค่าสภาพความต้านทาน (โอห์ม-เมตร, Ω-m) เช่นอลูมิเนียม = 28.3×10^{-9} Ω-m

K = 1.5

ขั้นต่อมาจะมากล่าวในส่วนของ เครื่องต้นกำลังที่ต้องการทดสอบ

สมมติเป็น มอเตอร์ขนาด H_1 แรงม้า ความเร็ว N_1 รอบต่อนาที

จากสมการ (ข.4) $P = T\omega$

$= T(2\pi f)$

จะได้ แรงบิดที่มอเตอร์สร้างได้ $T = \frac{746 \times H_1 \times 60}{2\pi \times N_1}$

$= \frac{7123.78H_1}{N_1}$ นิวตัน-เมตร (5.6)

จากสมการ (ข.3) $T = Fr$ ดังนั้นจะได้ $F = \frac{7123.78H_1}{rN_1}$ นิวตัน (5.7)

กำหนดให้ใช้ ขั้วขดลวดทั้งหมด n คู่ แทนค่าในสมการ (5.7)

ดังนั้น แรงบิดต้านต่อขั้วแม่เหล็ก 1 คู่ $= \frac{7123.78H_1}{nrN_1}$ นิวตัน (5.8)

นำสมการ (5.5) = (5.8) $\frac{B^2 A\omega rt}{K\rho} = \frac{7123.78H_1}{nrN_1}$

จะได้ ค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่ต้องใช้ (B) $= \sqrt{\frac{7123.78K\rho H_1}{A\omega r^2 nN_1 t}}$ เทสลา (5.9)

จากสมการ (4.2) $\mu = \frac{B}{H}$

จากสมการ (4.5) $H = \frac{IN}{l}$

แทนค่า สมการ(4.5) ในสมการ(4.2) จะได้

$$B = \frac{\mu NI}{l} \qquad (5.10)$$

โดยที่ l = ความยาวของวงจรแม่เหล็ก (เมตร, m.)

μ = ค่าความซึมซาบได้ของตัวนำใดๆ

I = กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวด (แอมแปร์, A)

N = จำนวนรอบของขดลวด

ถ้าแทนค่า μ, I และ l ตามเงื่อนไขที่ต้องการจะได้ค่า B ออกมา นำไปเทียบกับ สมการ (5.9) แล้ว แทนค่าตัวแปรต่างๆ ในสมการ ทำการแก้สมการออกมา
จะได้ค่า

N = จำนวนรอบของชุดขดลวด

ที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นขั้นตอนวิธีในการหาค่าจำนวนรอบของการพันชุดขดลวดทองแดงที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็กในตัวนำที่หมุนตัดสนามแม่เหล็ก แต่เนื่องจากว่าในการทดสอบของงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการสร้างชุดขดลวดทองแดงตามชิ้นงานต้นแบบซึ่งมีจำนวนรอบในการพันขดลวดทองแดงมีค่า 850 รอบ และรายละเอียดของขนาดต่างๆ ได้กล่าวในภาคผนวก ก ทำให้ไม่ได้ใช้หลักที่กล่าวมานี้ในการออกแบบ

ดังนั้น หลักการที่กล่าวมานี้จะใช้เป็นแนวทางสำหรับการคำนวณเพื่อทำการสร้างชุดขดลวดทองแดงให้เหมาะสมกับขนาดของเครื่องจักรต้นกำลัง คือให้สามารถสร้างแรงต้านทั้งหมดเท่ากับแรงบิดที่สร้างจากเครื่องต้นกำลังได้ ทำให้ผู้ที่สนใจได้ใช้เป็นแนวทางในการสร้างแรงต้านการหมุนของแผ่นตัวนำที่มีต่อเครื่องจักรต้นกำลังที่ต้องการทดสอบได้ แต่ได้มีการนำเสนอ

ตัวอย่างสำหรับการคำนวณโดยใช้หลักการดังกล่าวนี้เพื่อแสดงให้เห็นถึงจำนวนรอบของขดลวดทองแดงที่ใช้ในการทดสอบว่าควรมีขนาดเท่าไร ในภาคผนวก ก

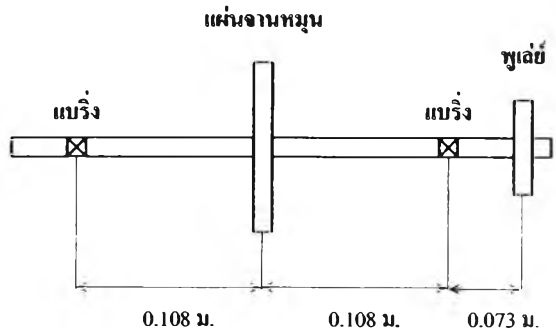
5.3 การคำนวณหาขนาดของเพลาส่งกำลัง

<u>กำหนด</u> เหล็กที่เลือกใช้ คือ เกรด AISI 1040 (ตาราง ก.1)

โดยมีค่า Ultimate Strength, σ_u = 520 MN/m^2

Tensile Yield Strength, σ_y = 290 MN/m^2

<u>เงื่อนไขที่ใช้ในการออกแบบ</u> การส่งกำลังของเพลาจากมอเตอร์มายังเครื่องไดนาโมมิเตอร์ มีรายละเอียด ดังรูป 5.1 โดยแผ่นจานหมุนมีน้ำหนัก 10 กิโลกรัม และเส้นผ่านศูนย์กลาง 440 มม.



รูปที่ 5.1 รายละเอียดของเพลาส่งกำลัง

จากสมการ (4.14) โมเมนต์บิดที่กระทำบนเพลา (M_t) [8]

$$M_t = \frac{P \times 1000 \times 60}{2\pi n} = \frac{9550 \times P}{n}$$

พิจารณา ที่ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ 3 ค่าคือ 600, 1,450 และ 3,000 รอบต่อนาที และมีการส่งกำลังจากมอเตอร์ขนาด 10 แรงม้า = 7.46 kW.

แทนค่า ความเร็ว 600 รอบต่อนาที จะได้ ค่าโมเมนต์บิด $M_t = \frac{9550 \times 7.46}{600} = 118.738$ N-m.

ความเร็ว 1,450 รอบต่อนาทีจะได้ ค่าโมเมนต์บิด $M_t = \frac{9550 \times 7.46}{1,450} = 49.133$ N-m.

ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาทีจะได้ ค่าโมเมนต์บิด $M_t = \frac{9550 \times 7.46}{3,000} = 23.748$ N-m.

ดังนั้น เลือกคำนวณที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที เพราะว่าได้โมเมนต์บิดมากที่สุด

จากภาคผนวก จ พูเล่ย์ของเครื่องไดนาโมมิเตอร์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_p) = 11 นิ้ว = 279.4 มม.
(น้ำหนัก 3 กิโลกรัม)

พูเล่ย์ของมอเตอร์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (d_p) = 5.5 นิ้ว = 139.7 มม.

ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางพูเล่ย์ (C) = 511.46 มม.

<u>การขับของสายพานเป็นแบบ Open Drive</u>

มุมที่สายพานทำกับแนวระดับ [8] หาจาก $\sin\beta = \frac{D_p - d_p}{C}$

$= \frac{279.4 - 139.7}{511.46}$

จะได้ $\beta = 0.277$ เรเดียน

$= 15.8$ องศา

จากสมการ (4.15) โมเมนต์บิด $M_t = (F_1 - F_2)D_p/2$

$118.738 = (F_1 - F_2)(0.2794/2)$

$F_1 - F_2 = 849.95$ นิวตัน (5.11)

<u>พิจารณาที่พูเล่ย์ขับ</u> [8] ความตึงของสายพาน $\frac{F_1}{F_2} = e^{\mu\infty}$

โดยที่ $\infty = \pi - 2\mathrm{Sin}^{-1}\left(\frac{D_p - d_p}{2C}\right)$

$= \pi - 2\mathrm{Sin}^{-1}\frac{279.4 \quad 139.7}{2(511.46)}$

$= 2.868$ เรเดียน

และ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างสายพานกับพูเล่ย์ (μ_b) = 0.35

แทนค่า $\frac{F_1}{F_2} = e^{(2.868)(0.35)}$

$= 2.729$

$F_1 = 2.729\, F_2$ (5.12)

นำ (5.12) แทนใน (5.11) $2.729\, F_2 - F_2 = 849.95$

$F_2 = 491.585$ นิวตัน

นำ $F_2 = 491.585$ นิวตัน แทนใน (5.12) จะได้ $F_1 = 1{,}341.535$ นิวตัน

ดังนั้น แรงสุทธิ (F) $= F_1 + F_2 = 491.585 + 1341.535 = 1833.12$ นิวตัน

เนื่องจากว่า มุมที่สายพานทำในแนวระดับ (β) = 15.8 องศา

ทำให้เกิด แรงในแนวระดับ $= 1833.12 \cos 15.8^\circ = 1{,}763.86$ นิวตัน

แรงในแนวดิ่ง $= 1833.12 \sin 15.8^\circ = 499.12$ นิวตัน

และ แผ่นจานหมุนมีแรงที่กระทำเป็นแรงในแนวดิ่งเนื่องมาจากน้ำหนักเพียงอย่างเดียว

ดังนั้น แรงในแนวดิ่งของแผ่นจานหมุน $= 10 \times 9.81 = 98.1$ นิวตัน

แต่แรงในแนวดิ่งของพูเล่ย์ต้องรวมเอาน้ำหนักเข้าไปด้วย จะได้

แรงในแนวดิ่งของพูเล่ย์ $= 499.12 - (3 \times 9.81) = 469.69$ นิวตัน

นำแรงที่เกิดขึ้นทั้งหมดมาแสดงในรูปที่ 5.1 จะได้ และใช้วิธี Superposition ในการหาโมเมนต์ดัดในแนวดิ่งและแนวระดับ

<u>พิจารณาแรงในแนวดิ่ง</u>

[$\Sigma M_A = 0$, ทิศทวนเข็ม+ และ $F_C \uparrow$] $(469.69 \times 289) + 216F_C - (98.1 \times 108) = 0$

$F_C = -579.37$

ดังนั้น $F_C = 579.37$ นิวตัน $\downarrow$

[$\Sigma F = 0$, $\downarrow +$ และ $F_A \uparrow$] $579.37 + 98.1 - 469.69 - F_A = 0$

$F_A = 207.78$

ดังนั้น $F_A = 207.78$ นิวตัน $\uparrow$

<u>พิจารณาโมเมนต์ดัดในแนวดิ่ง</u>

ส่วนตัดด้านซ้ายช่วง AB ($0 < x < 0.108$)

[$M = (\sum M)_L$, ทิศตามเข็ม+]

$M_{AB} = 207.78x$ นิวตัน-เมตร

ส่วนตัดด้านซ้ายช่วง BC ($0.108 < x < 0.216$)

[$M = (\sum M)_L$, ทิศตามเข็ม+]

M_{BC} = $207.78x-(98.1)(x-0.108)$ นิวตัน-เมตร

ส่วนตัดด้านซ้ายช่วง CD ($0.216 < x < 0.289$)

[$M = (\sum M)_L$, ทิศตามเข็ม+]

M_{CD} = $207.78x-(98.1)(x-0.108)-(579.37)(x-0.216)$ นิวตัน-เมตร

แทนค่าที่จุดต่างๆ จะได้ $M_A = 0$ นิวตัน-เมตร

$M_B = 22.44$ นิวตัน-เมตร

$M_C = 34.29$ นิวตัน-เมตร

$M_D = 0$ นิวตัน-เมตร

<u>พิจารณาแรงในแนวระดับ</u> (ทิศทางจะกำหนดเหมือนแนวดิ่งเพื่อให้ง่ายแก่การเข้าใจ)

เนื่องจากที่จุด B หรือแผ่นจานหมุนจะคิดเฉพาะแรงเนื่องจากน้ำหนักซึ่งเป็นแรงในแนวดิ่ง ดังนั้น แรงในแนวระดับหรือ $F_B = 0$ และ F ของพูเล่ย์ = 1763.86 นิวตัน ให้ทิศทาง ↓ เสมือนเป็นแรงกด

[$\Sigma M_A = 0$, ทิศตามเข็ม+ และF_C ↑] $-216F_C+(1763.86)(289) = 0$

ดังนั้น $F_C = 2359.98$ นิวตัน ↑

[$\Sigma F = 0$, ↓+ และF_A ↓] $1763.86-2359.98+F_A = 0$

ดังนั้น $F_A = 596.12$ นิวตัน ↓

<u>พิจารณาโมเมนต์คัดในแนวระดับ</u>

ส่วนตัดด้านซ้ายช่วง AB ($0 < x < 0.108$)

[$M = (\sum M)_L$, ทิศตามเข็ม+]

M_{AC} = $-596.12x$ นิวตัน-เมตร

ส่วนตัดด้านซ้ายช่วง BC ($0.108 < x < 0.216$)

[$M = (\sum M)_L$, ทิศตามเข็ม+]

M_{AC} = $-596.12x-0$ นิวตัน-เมตร

ส่วนตัดด้านซ้ายช่วง CD ($0.216 < x < 0.289$)

[$M = (\sum M)_L$, ทิศตามเข็ม+]

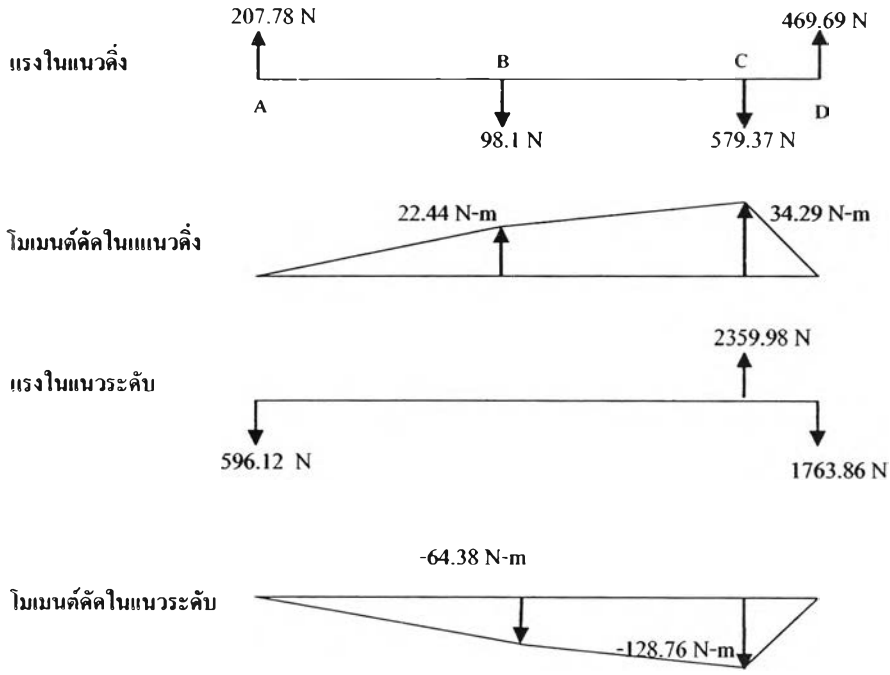
M_{CD} = $-596.12x+(2359.98)(x-0.216)$ นิวตัน-เมตร

แทนค่าที่จุดต่างๆ จะได้ $M_A = 0$ นิวตัน-เมตร

$M_B = -64.38$ นิวตัน-เมตร

$M_C = -128.76$ นิวตัน-เมตร

$M_D = 0$ นิวตัน-เมตร



รูปที่ 5.2 แสดงแผนภูมิแสดงแรงกระทำและโมเมนต์ดัดในแนวดิ่งและแนวระดับ

ดังนั้น โมเมนต์ดัด $M_b = \sqrt{(34.29)^2 + (-128.76)^2}$

$= 133.25$ นิวตัน-เมตร

จาก สมการที่ใช้หาขนาดของเพลาตัน (4.14) [8] ดังนี้

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau}[(K_bM_b)^2+(K_tM_t)^2]^{1/2}$$

โดยที่ M_t = โมเมนต์บิด (นิวตัน-เมตร, N-m.)

M_b = โมเมนต์ดัด (นิวตัน-เมตร, N-m.)

τ = ค่าความเค้นเฉือนใช้งาน

ตามโค้ดของ ASME จะระบุเอาไว้ ดังนี้ = 55 N/mm.^{2} สำหรับเพลาที่ไม่มีร่องลิ่ม

= 41 N/mm.^{2} สำหรับเพลาที่มีร่องลิ่ม

แต่ถ้ากำหนด วัสดุของเพลาที่บอกหมายเลขโลหะ หรือส่วนผสมของโลหะให้ใช้ค่าตามนี้
$= 0.3\sigma_y$ หรือ $0.18\sigma_u$ โดยดูค่า σ_y และ σ_u จากตารางคุณสมบัติของโลหะนั้นโดยจะเลือกค่าน้อยมาคำนวณ และถ้าเพลามีร่องลิ่ม ค่านี้จะใช้เพียง 75%

จากตาราง ก.3 ที่เหล็กเกรด AISI 1040 จะได้ Ultimate Strength, $\sigma_u = 520$ MN/m^2

Tensile Yield Strength, $\sigma_y = 290$ MN/m^2

ดังนั้น $0.3\sigma_y = 0.3(290) = 87$ MN/m^2

$0.18\sigma_u = 0.18(520) = 93.6$ MN/m^2

จะเลือกใช้ ค่า 87 MN/m^2 และเพลามีร่องลิ่ม

ดังนั้น ค่าความเค้นเฉือนใช้งาน (τ) $= 0.75(87)$

$= 65.25$ MN/m^2

จากตาราง ค่าK_b และK_t เลือกใช้กรณีเพลาหมุน แรงกระตุกอย่างแรง $= 2$

แทนค่า

$$d^3 = \frac{16}{\pi 65.25\times 10^6}[(2\times 133.25)^2+(2\times 118.74)^2]^{1/2}$$

$$d = 30.3 \text{ มม.}$$

ดังนั้น จะเลือกใช้เพลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง มากกว่า 30 มม. ขึ้นไป ในการสร้างเพื่อประกอบเข้าใช้งานกับเครื่องไดนาโมมิเตอร์ เครื่องนี้

5.4 การออกแบบแบริ่งสำหรับแผ่นจานหมุน

<u>กำหนด</u> เลือกใช้แบริ่ง แบบ Ball Bearing สำหรับการทำงานประมาณ 8 ชั่วโมงต่อวัน ที่อัตราเร็ว 3,000 รอบต่อนาที (เป็นความเร็วสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบ)

<u>เงื่อนไขที่ใช้ในการออกแบบ</u> เครื่องไดนาโมมิเตอร์มีการทำงานในลักษณะของการหมุน ไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวแกนเนื่องจากตรึงไว้ด้วยเบ้ายึดและแกนเพลา ดังนั้นแรงที่กระทำจะเป็นแรงในแนวรัศมีเพียงอย่างเดียว

<u>พิจารณาแรงในแนวดิ่ง</u>

จากรูปที่ 5.2 การคำนวณจะอาศัยหลักการเดียวกับการออกแบบเพลาเพียงแต่แรงในแนวดิ่งจะพิจารณารวมน้ำหนักของเพลาเข้ากับแผ่นจานหมุนด้วย

ดังนั้น น้ำหนักรวม = 20 กิโลกรัม = 196.2 นิวตัน เกิดที่จุด B ในรูป

[$\Sigma M_A = 0$, ทิศทวนเข็ม+ และF_C ↑] $-(469.69\times289)+217F_C+(196.2\times108) = 0$

$F_C = -527.88$

ดังนั้น $F_C = 527.88$ นิวตัน ↓

[$\Sigma F = 0$, ↓+ และF_A ↑] $527.88+196.2-469.69-F_A = 0$

$F_A = 254.39$ นิวตัน ↑

<u>พิจารณาแรงในแนวระดับ</u>

จากรูปที่ 5.2 แรงที่เกิดขึ้นในแนวระดับจะมีค่าเท่ากับการออกแบบเพลา ดังนี้

$F_A = 590.67$ นิวตัน และ$F_C = 2354.53$ นิวตัน

ดังนั้น แรงกระทำลัพธ์ที่แต่ละจุด $F_{A,\text{ลัพธ์}} = \sqrt{(254.39)^2+(590.67)^2} = 643.12$ นิวตัน

$F_{C,\text{ลัพธ์}} = \sqrt{(527.88)^2+(2354.53)^2} = 2412.98$ นิวตัน

เลือกใช้แรงกระทำที่จุด C เป็นค่าที่ใช้ในการเลือกแบริ่ง

เนื่องจาก $F_t / F_r < 0.35$ ดังนั้น จากสมการ (4.15) จะได้ $F_e = F_r = F_{C,\text{ลัพธ์}} = 2.41$ kN.

จากตาราง ก.2 เลือกใช้แบบ Moderate impact ที่ Ball bearing จะได้ $K_a = 1.8$

จากตาราง ก.4 เลือก 20,000 ชั่วโมงสำหรับอายุใช้งาน

ดังนั้น จากสมการ (4.18ข) อายุใช้งานคิดเป็นจำนวนรอบ (L) = 3000 rpm.×20000ช.ม.×60

$= 3600\times10^6$ รอบ

จากรูป ก.5 เลือกที่ reliability90 % จะได้ $K_r = 1$

และตาราง ก.3 สำหรับ $L_R = 90\times10^6$ รอบ

จากสมการ (4.19) $C_{req} = F_c K_a \left(\frac{L}{K_r L_R}\right)^{0.3}$

แทนค่า $= (2.41)(1.8)(3600/90)^{0.3}$

$= 13.12$ kN

จากตาราง ก.3 ดูที่ Radial Ball สามารถเลือกแบริ่งได้ 3 แบบที่รับแรงได้มากกว่า 13.12 kN คือ L00, 200 และ300 ซึ่งแต่ละแบบ จะมีขนาด bore ต่างกันดังนี้ คือ ที่ L00 = 80 มม., ที่200 = 60 มม. และที่ 300 = 45 มม. ทำให้สามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมกับส่วนประกอบอื่นๆ

5.5 การพิสูจน์ความแข็งแกร่งของแผ่นจานหมุน

<u>กำหนด</u> แผ่นจานหมุน (Rotor Disk) ที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้งานในเครื่องไดนาโมมิเตอร์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก 440 มม. ,เส้นผ่านศูนย์กลางรูตรงกลาง 69 มม. และความหนา = 15 มม. (ค่าความเร็วสูงสุดที่ใช้งาน คือ 3,000 รอบต่อนาที)

<u>เงื่อนไขที่ใช้ในการออกแบบ</u> วัสดุที่ใช้เพื่อทำแผ่นจานหมุนคือ อลูมิเนียม 6061 มีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้ Modulus of Elasticity (E) = 69 GN/m^2

ค่าความหนาแน่น (γ) = 2,700 kg/m^3

Poisson Ratio (μ_c) = 0.33

และ Yield Strength (σ_y) = 276 MN/m^2

ความเค้นที่เกิดจากการหมุนของแผ่นจาน สามารถหาได้จากสมการ 4.32 และ4.33 และพิจารณาร่วมกับ รูปที่ 4.18

สมการ 4.32 คือ $$2\sigma_r = \gamma \upsilon^2 \frac{3+\mu_c}{8}\left(1+\alpha^2-x^2-\frac{\alpha^2}{x^2}\right)$$

และสมการ 4.33 คือ $$2\sigma_\theta = \gamma \upsilon^2 \frac{3+\mu_c}{8}\left(1+\alpha^2-\frac{1+3\mu_c}{3+\mu_c}x^2+\frac{\alpha^2}{x^2}\right)$$

โดยที่ $\frac{a}{b} = \alpha$, $\frac{r}{b} = x$ และ $b\omega = \upsilon$

แทนค่า ที่ r = b = 0.44 ม. , r = a = 0.069 ม. และ $\omega = 2\pi f = 2\pi(3000/60) = 314.16$ rad/s

จากสมการ 4.32 จะได้ $$2(\sigma_r)_{r=b} = \gamma \upsilon^2 \frac{3+\mu_c}{8}\left(1+\alpha^2-x^2-\frac{\alpha^2}{x^2}\right)$$

$$= 2700(0.44\times 314.16)^2 \frac{3+0.33}{8}\left[1+(0.069/0.44)^2-(0.44/0.44)^2-\frac{(0.069/0.44)^2}{(0.44/0.44)^2}\right]$$

$$= 0$$

และ $$2(\sigma_r)_{r=a} = \gamma\upsilon^2 \frac{3+\mu_c}{8}\left(1+\alpha^2-x^2-\frac{\alpha^2}{x^2}\right)$$

$$= 2700(0.44\times314.16)^2 \frac{3+0.33}{8}\left[1+(0.069/0.44)^2-\right.$$

$$\left.(0.069/0.44)^2-\frac{(0.069/0.44)^2}{(0.069/0.44)^2}\right]$$

$$= 0$$

จากสมการ 4.33 จะได้ $$2(\sigma_\theta)_{r=b} = \gamma\upsilon^2 \frac{3+\mu_c}{8}\left(1+\alpha^2-\frac{1+3\mu_c}{3+\mu_c}x^2+\frac{\alpha^2}{x^2}\right)$$

$$= 2700(0.44\times314.16)^2 \frac{3+0.33}{8}\left[1+(0.069/0.44)^2-\right.$$

$$\left.\frac{1+3(0.33)}{3+0.33}(0.44/0.44)^2+\frac{(0.069/0.44)^2}{(0.44/0.44)^2}\right]$$

จะได้ $$= 21.2 \text{ MN/m}^2$$

และ $$2(\sigma_\theta)_{r=a} = \gamma\upsilon^2 \frac{3+\mu_c}{8}\left(1+\alpha^2-\frac{1+3\mu_c}{3+\mu_c}x^2+\frac{\alpha^2}{x^2}\right)$$

$$= 2700(0.44\times314.16)^2 \frac{3+0.33}{8}\left[1+(0.069/0.44)^2-\right.$$

$$\left.\frac{1+3(0.33)}{3+0.33}(0.069/0.44)^2+\frac{(0.069/0.44)^2}{(0.069/0.44)^2}\right]$$

จะได้ $$= 43.2 \text{ MN/m}^2$$

เนื่องมาจากว่า $2\tau_{max} = (\sigma_\theta-\sigma_r)/2$ และ $2\tau_{max} = \sigma_y/2$

ดังนั้น $(\tau_{max})_{r=a} = 43.2/2 = 21.6 \text{ MN/m}^2$

$(\tau_{max})_{r=b} = 21.2/2 = 10.6 \text{ MN/m}^2$

ซึ่งพบว่า ค่า τ_{max} ที่เกิดขึ้นทั้ง 2 ค่ามีค่าน้อยกว่า $\sigma_y/2 = 276/2 = 138 \text{ MN/m}^2$ มากจึงสามารถใช้แผ่นจานหมุนนี้ทำงานที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที ได้อย่างปลอดภัย