# ภาคผนวก

# ภาคผนวก ก

การออกแบบและการคำนวณ

## การหากำลังของมอเตอร์ที่ต้องการ

**1. ชุดแปรงขัด**

กำหนดให้ น้ำหนักแปรงขัดแต่ละชุด = 13.5 kg
น้ำหนักอ้อย = 1.5 kg
เส้นผ่าศูนย์กลางเพลา = 25.4 mm

แรงเฉือนซึ่งเกิดจากน้ำหนักของชุดแปรงขัดและอ้อย

$$F = mg$$

$$= (13.5 + 13.5 + 1.5) \times 9.81 = 279.585 \text{ N}$$

ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในหน้าตัดของเพลา

$$\tau = \frac{F}{2A}$$

$$= \frac{279.585}{2 \times (\pi (25.4 \times 10^{-3} / 2)^2)} = 275884.03 \text{ N/m}^2$$

โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของพื้นที่ (polar area moment of inertia) สำหรับเพลากลมตัน

$$J = \frac{\pi}{32} d^4$$

$$= \frac{\pi}{32} (25.4 \times 10^{-3})^4 = 4.09 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

โมเมนต์บิดในเพลา

$$T = \frac{\tau \times J}{R}$$

$$= (275884.03 \times 4.09 \times 10^{-8}) / (25.4 \times 10^{-3} / 2) = 0.89 \text{ Nm}$$

เครื่องจักรกลส่งกำลังมาตามเพลา

$$P = \frac{T \times n}{9.551}$$

$$= \frac{0.89 \times 1080}{9.551} = 100.64 \text{ W}$$

ประสิทธิภาพในการถ่ายทอดกำลัง = 70 เปอร์เซ็นต์

ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า = 50 เปอร์เซ็นต์

กำลังของมอเตอร์ที่ต้องการ = 100.64 / (0.5 x 0.7) = 287.54 W

ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 โวลต์ ขนาด 1 แรงม้า (746 วัตต์)

**2. <u>ชุดป้อน</u>**

ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 โวลต์ ขนาด 1/4 แรงม้า (186.5 วัตต์) ซึ่งเป็นมอเตอร์ขนาดเล็กสุดที่สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาด

## การออกแบบระบบส่งกำลังด้วยสายพาน

### 1. ชุดแปรงขัด

กำหนดให้ $n_1$ = 1440 rpm (ความเร็วรอบมอเตอร์)

$n_2$ = 1080 rpm (ความเร็วรอบแปรงขัด)

ขนาดล้อสายพาน

$d_p$ = 3 x 25.4 = 76.2 mm (ล้อสายพานที่มอเตอร์)

$D_p$ = 4 x 25.4 = 101.6 mm (ล้อสายพานที่ชุดแปรงขัด)

อัตราทด

$$m_\omega = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_p}{D_p}$$

$$m_\omega = \frac{1440}{1080} = \frac{101.6}{76.2} = 1.33$$

ดังนั้นที่ชุดแปรงขัดได้ทำการทดความเร็วรอบ 1 ครั้ง จากมอเตอร์ซึ่งหมุนด้วยความเร็วรอบ 1440 รอบ/นาที ไปยังเพลาของชุดแปรงขัดโดยที่ความเร็วลดลง 1.33 เท่า

สายพานที่ใช้เป็นสายพานลิ่ม (V-belt) แบบ B เพราะสายพานลิ่มส่งกำลังได้มาก สามารถรับแรงกระตุกได้ มีประสิทธิภาพดี และแบริ่งไม่ต้องรับแรงมากเกินไป

ความยาวพิตช์โดยประมาณ (วริทธิ์ และชาญ, 2541)

$$L_p = 2C + 1.57(D_p + d_p) + \frac{(D_p - d_p)^2}{4C}$$

$$= 2(600) + 1.57(101.6 + 76.2) + [(101.6 - 76.2)^2 / (4x600)]$$

$$= 1479.4 \text{ mm} \sim 1480 \text{ mm}$$

เลือกใช้สายพาน $L_p$ = 1493 mm (ตารางผนวกที่ ฉ6)

ค่าแนะนำระยะห่างระหว่างศูนย์กลางล้อสายพาน (วริทธิ์ และชาญ, 2541)

$C_{max} = 2(d_p+D_p) = 2(76.2+101.2) = 355.6$ mm

$C_{min} = 0.7(d_p+D_p) = 0.7(76.2+101.2) = 124.46$mm

$p = 0.25L_p - 0.393(D_p + d_p)$

$= 0.25(1493) – 0.393(101.6 + 76.2)$ $= 303.37$ mm

$q = 0.125(D_p - d_p)^2$

$= 0.125(101.6 – 76.2)^2$ $= 80.645$ mm

ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางคำนวณได้จาก (วริทธิ์ และชาญ, 2541)

$$C = p + \sqrt{p^2 - q}$$

$$= 303.37 + \sqrt{303.37^2 - 80.645}$$ = 606.6 mm ~ 607 mm

แต่ค่า C ที่ใช้จริงคือ 600 mm

ส่วนโค้งสัมผัส

$$\frac{D_p - d_p}{C} = \frac{101.6 - 76.2}{600} = 0.042$$

ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส (ตารางผนวกที่ ฉ5)

$N_a = 1$

ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน (ตารางผนวกที่ ฉ6)

$N_l = 0.91$

สมรรถนะในการส่งกำลังต่อเส้น (ตารางผนวกที่ ฉ6)

$P_R = 0.76$ kW

ตัวประกอบการใช้งาน (ตารางผนวกที่ ฉ4)

$N_s = 1$

จำนวนสายพาน (วริทธิ์ และชาญ, 2541)

$$Z = \frac{W_p \times N_s}{P_R \times N_a \times N_1}$$

$$= \frac{0.745 \times 1}{0.76 \times 1 \times 0.91} = 1.07$$

ใช้สายพานแบบ B x $1450L_i$ 1 เส้น (ต่อ 1 เพลา)

มุมสัมผัสของล้อสายพาน (วริทธิ์ และชาญ, 2541)

$$\alpha_1 = \pi - 2\sin^{-1}\left(\frac{(D_p - d_p)}{2C}\right)$$

$$= \pi - 2\sin^{-1}\left(\frac{(101.6 - 76.2)}{2 \times 600}\right) = 177.57^\circ$$

ความเร็วสายพาน

$$v = \pi \times d_p \times n$$

$$= \pi \times \frac{76.2}{100} \times \frac{1440}{60} = 57.45 m/s$$

แรงดึงในสายพานขณะส่งกำลัง

$$F = \frac{W_p}{v} = \frac{746}{57.45} = 12.98 N$$

แรงดึงในสายพานขณะส่งกำลังที่ได้จะนำไปใช้ในการออกแบบขนาดเพลาของชุดแปรงขัดต่อไป

ตัวประกอบการใช้งาน

$K_1$ = 1.3 (ตารางผนวกที่ ฉ2)

$K_2$ = 0.385 (ตารางผนวกที่ ฉ3)

แรงดึงขั้นต้นในสายพาน (วริทธิ์ และชาญ, 2541)

$$F_1 = (K_1 F + Z K_2 V^2)\sin\frac{\alpha}{2}$$

$$= \left((1.3 \times 12.98) + (1 \times 0.385 \times 57.45^2\right)\sin\frac{177.6}{2} = 1287.29 N$$

**2. <u>ชุดป้อน</u>**

กำหนดให้ $n_1$ = 1440 rpm (ความเร็วรอบมอเตอร์)

$n_2$ = 1080 rpm (ความเร็วรอบแปรงขัด)

ขนาดล้อสายพาน

ชุดที่ 1 $d_p$ = 3x25.4 = 76.6 mm (ล้อสายพานที่มอเตอร์)

$D_p$ = 6X25.4 = 152.4 mm (ล้อสายพานที่ชุดเกียร์ทดขาเข้า)

ชุดที่ 2 $d_p$ = 3x25.4 = 76.6 mm (ล้อสายพานที่ชุดเกียร์ทดขาออก)

$D_p$ = 6X25.4 = 152.4 mm (ล้อสายพานที่ลูกกลิ้งชุดป้อน)

อัตราทด

ครั้งที่ 1 $m_{\omega 1} = \frac{6}{3} = 2$

$n_2 = \frac{1450}{2} = 725\text{rpm}$

ครั้งที่2 $m_{\omega 2} = \frac{10}{1} = 10$

$n_3 = \frac{725}{10} = 72.5\text{rpm}$

ครั้งที่ 3 $m_{\omega 3} = \frac{6}{3} = 2$

$n_4 = \frac{72.5}{2} = 36.25\text{rpm}$

สรุป อัตราทด $m_{\omega} = \frac{1450}{36.25} = 40$

ดังนั้นที่ชุดป้อนได้ทำการทดความเร็วรอบทั้งหมด 3 ครั้ง จากมอเตอร์ซึ่งหมุนด้วยความเร็วรอบ 1450 รอบ/นาที ไปยังลูกกลิ้งชุดป้อนโดยที่ความเร็วลดลง 40 เท่า

สายพานที่ใช้เป็นสายพานลิ่ม (V-belt) แบบ A

ความยาวพิตช์โดยประมาณ (วริทธิ์ และชาญ, 2541)

$$L_p = 2C + 1.57(D_p + d_p) + \frac{(D_p - d_p)^2}{4C}$$

ชุดที่ 1 $L_{p1} = 2(330) + 1.57(152.4 + 76.2) + [( 152.4 - 76.2)^2 / (4 \times 330)]$

$= 1023.3$ mm ~ 1024 mm

เลือกใช้สายพาน $L_p = 1030$ mm

ชุดที่ 2 $L_{p2} = 2(480) + 1.57(152.4 + 76.2) + [( 152.4 - 76.2)^2 / (4 \times 480)]$

$= 1321.93$ mm ~ 1322 mm

เลือกใช้สายพาน $L_p = 1330$ mm

ค่าแนะนำระยะห่างระหว่างศูนย์กลางล้อสายพาน (วริทธิ์ และชาญ, 2541)

$C_{max} = 2(d_p+D_p) = 2(76.2+152.4) = 457.2$ mm

$C_{min} = 0.7(d_p+D_p) = 0.7(76.2+152.4) = 160.02$ mm

$p = 0.25L_p - 0.393(D_p + d_p)$

ชุดที่ 1 $p_1 = 0.25(1030) – 0.393(76.2+152.4) = 167.66$ mm

ชุดที่ 2 $p_1 = 0.25(1330) – 0.393(76.2+152.4) = 242.66$ mm

$q = 0.125(D_p - d_p)^2$

$= 0.125(152.4 – 76.2)^2 = 725.805$ mm

ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางคำนวณได้จาก (วริทธิ์ และชาญ, 2541)

$$C = p + \sqrt{p^2 - q}$$

ชุดที่ 1 $C_1 = 167.66 + \sqrt{167.66^2 - 725.805} = 337.47$ mm ~ 338 mm

ชุดที่ 2 $C_2 = 242.66 + \sqrt{242.66^2 - 725.805} = 486.81$ mm ~ 487 mm

แต่ค่า C ที่ใช้จริงคือ $C_1 = 330$ mm และ $C_2 = 480$ mm

ส่วนโค้งสัมผัส

ชุดที่ 1 $\frac{D_p - d_p}{C} = \frac{152.4 - 76.2}{330} = 0.23$

ชุดที่ 2 $\frac{D_p - d_p}{C} = \frac{152.4 - 76.2}{480} = 0.159$

ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส (ตารางผนวกที่ ฉ5)

ชุดที่ 1 $N_a = 0.965$

ชุดที่ 2 $N_a = 0.98$

ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน (ตารางผนวกที่ ฉ7)

ชุดที่ 1 $N_l = 0.89$

ชุดที่ 2 $N_l = 0.945$

สมรรถนะในการส่งกำลังต่อเส้น (ตารางผนวกที่ ฉ7)

ชุดที่ 1 $P_R = 1.1$ kW

ชุดที่ 2 $P_R = 1.07$ kW

ตัวประกอบการใช้งาน (ตารางผนวกที่ ฉ4)

$N_s = 1$

จำนวนสายพาน (วริทธิ์ และชาญ, 2541)

$$Z = \frac{W_p - N_s}{P_R \times N_a \times N_l}$$

ชุดที่ 1 $$Z_1 = \frac{(0.746/4)\times 1}{1.1\times 1\times 0.965} = 0.18$$

ชุดที่ 2 $$Z_2 = \frac{(0.746/4)\times 1}{1.07\times 1\times 0.98} = 0.18$$

ใช้สายพาน A x $1000L_i$ 1 เส้น ในล้อสายพานชุดที่ 1 และ A x $1300L_i$ 1 เส้น ในล้อสายพานชุดที่ 2

มุมสัมผัสของล้อสายพาน

$$\alpha_1 = \pi - 2\sin^{-1}\left(\frac{(D_p - d_p)}{2C}\right)$$

ชุดที่ 1 $$\alpha_{1,1} = \pi - 2\sin^{-1}\left(\frac{(152.4-76.2)}{2\times 330}\right) = 166.74^\circ$$

ชุดที่ 2 $$\alpha_{1,2} = \pi - 2\sin^{-1}\left(\frac{(152.4-76.2)}{2\times 480}\right) = 170.89^\circ$$

ความเร็วสายพาน

$$v = \pi \times d_p \times n$$

ชุดที่ 1 $$v_1 = \pi \times \frac{76.2}{100} \times \frac{1450}{60} = 57.85 m/s$$

ชุดที่ 2 $$v_2 = \pi \times \frac{76.2}{100} \times \frac{72.5}{60} = 2.89 m/s$$

แรงดึงในสายพานขณะส่งกำลัง

$$F = \frac{W_p}{V}$$

ชุดที่ 1 $$F_1 = \frac{746/4}{57.45} = 3.22 N$$

ชุดที่ 2 $$F_2 = \frac{746/4}{2.89} = 64.53 N$$

ตัวประกอบการใช้งาน

$K_1$ = 1.3 (ตารางผนวกที่ ฉ2)

$K_2$ = 0.217 (ตารางผนวกที่ ฉ3)

แรงดึงขั้นต้นในสายพาน

$$F_I = (K_1 F + Z K_2 V^2) \sin \frac{\alpha}{2}$$

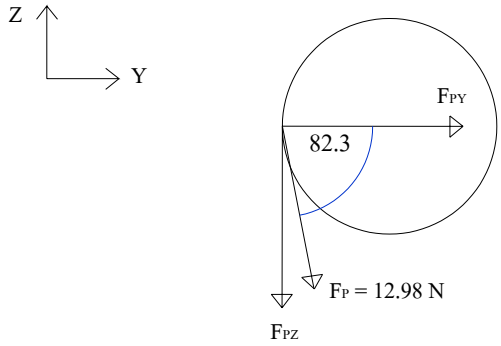
ชุดที่ 1 $$F_{I,1} = \left((1.3 \times 3.22) + (0.18 \times 0.217 \times 57.85^2\right) \sin \frac{166.74}{2} = 134 N$$

ชุดที่ 2 $$F_{I,2} = \left((1.3 \times 64.53) + (0.173 \times 0.18 \times 2.89^2\right) \sin \frac{170.89}{2} = 83.95 N$$

## การออกแบบเพลาส่งกำลัง

### 1. ทิศทางของแรงที่กระทำกับเพลาที่ชุดแปรงขัด

1.1. แรงที่เกิดจากแรงดึงในล้อสายพานขณะส่งกำลัง ($F_p$)

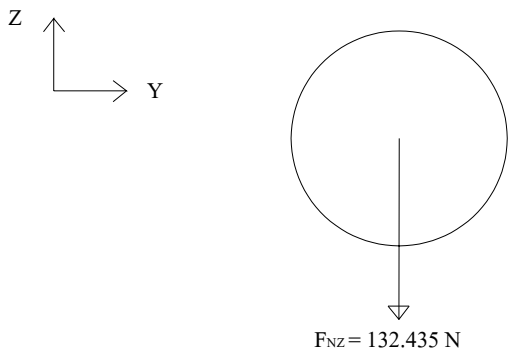



ภาพผนวกที่ ก1 ทิศทางของแรงที่เกิดจากแรงดึงในล้อสายพาน

$$F_{PZ} = 12.98(\sin 82.3°) = 12.86 \text{ N}$$

$$F_{PY} = 12.98(\cos 82.3°) = 1.74 \text{ N}$$

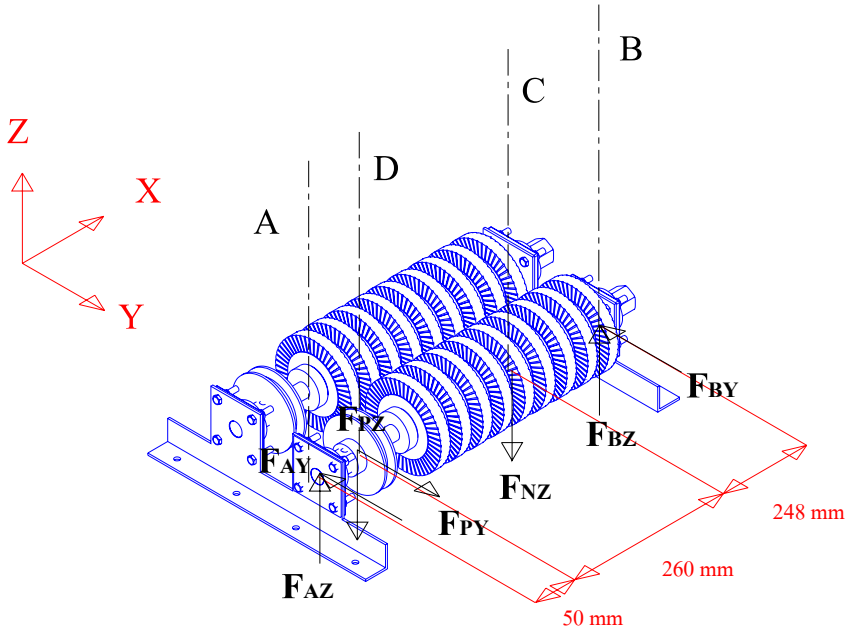
1.2. แรงจากน้ำหนักของชุดแปรงขัด




ภาพผนวกที่ ก2 ทิศทางของแรงจากน้ำหนักของชุดแปรงขัด

$$F_{NY} = 13.5 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 132.435 \text{ N}$$

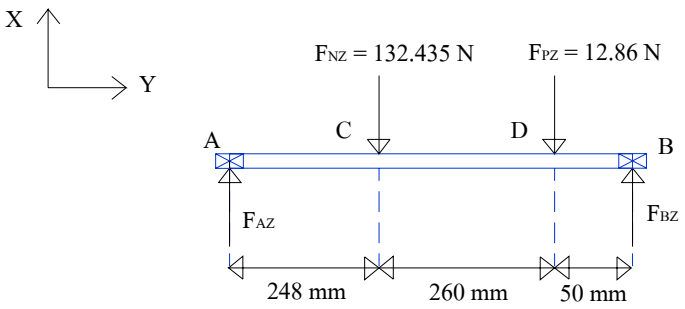
**2. <u>แรงที่กระทำที่จุดรองรับ Bearing A และ B</u>**




<u>ภาพผนวกที่ ก3</u> แรงที่กระทำกับเพลาแปรงขัด

โดยที่ จุด A และ B คือ ตำแหน่งกึ่งกลางชุดรองรับ
จุด C คือ ตำแหน่งกึ่งกลางชุดแปรงขัด
จุด D คือ ตำแหน่งกึ่งกลางล้อสายพาน

2.1. ระนาบ X-Y




<u>ภาพผนวกที่ ก4</u> ทิศทางของแรงที่กระทำกับเพลาส่งกำลังในระนาบ X-Y

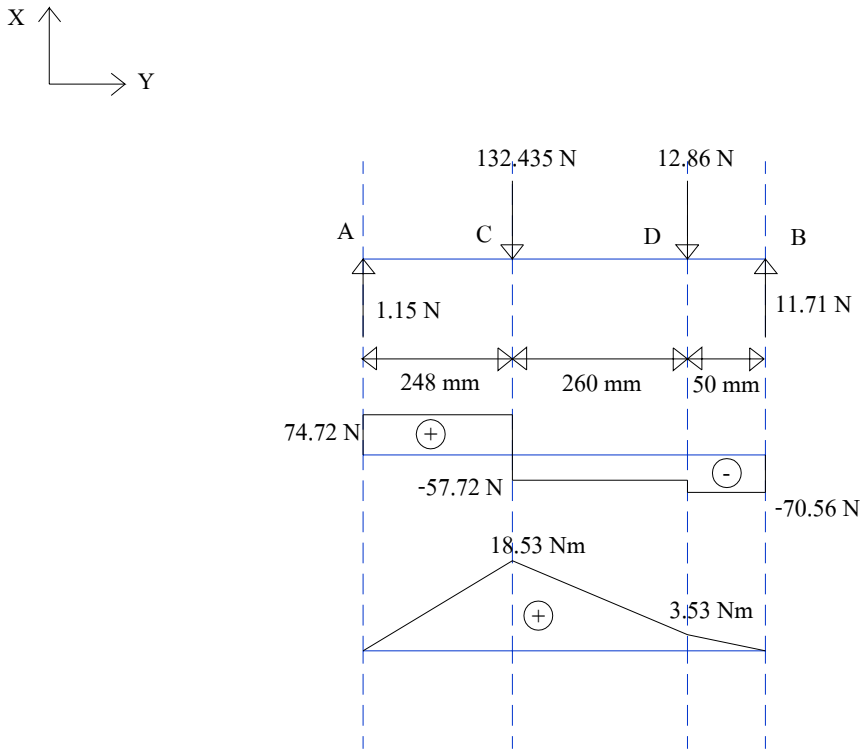
Take moment at point A

$$\sum M_A = 0; \qquad (132.435 \times 248) + (12.86 \times 508) - 558F_{BZ} = 0$$

$$F_{BZ} = 70.56 \text{ N}$$

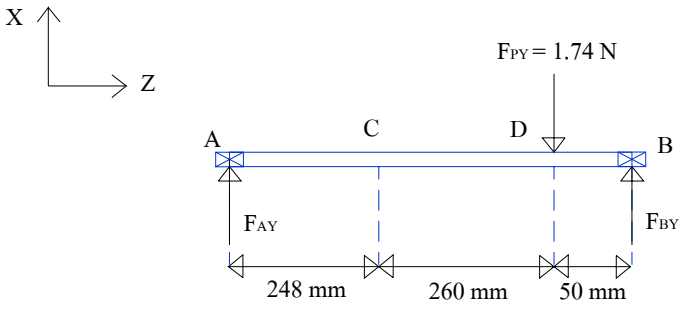
$$\sum F_Z = 0; \qquad F_{AZ} - 132.435 - 12.86 + F_{BZ} = 0$$

$$F_{AZ} = 74.72 \text{ N}$$




<u>ภาพผนวกที่ ก5</u> โมเมนต์ดัดที่กระทำกับเพลาในระนาบ X-Y

2.2. ระนาบ X-Z




<u>ภาพผนวกที่ ก6</u> ทิศทางของแรงที่กระทำกับเพลาส่งกำลังในระนาบ X-Z

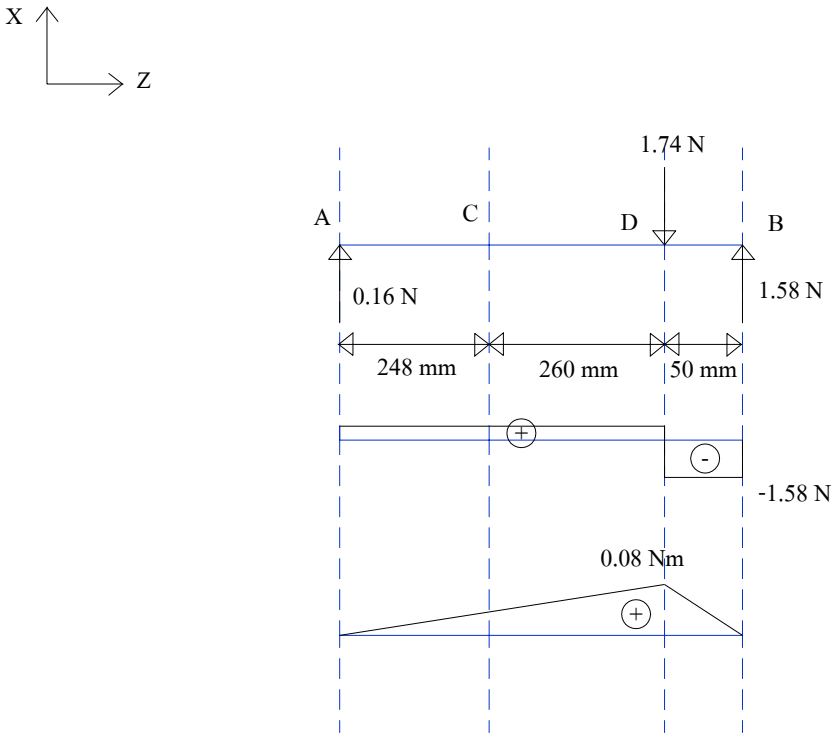
Take moment at point A

$$\sum M_A = 0; \qquad (1.74 \times 508) - 558F_{BY} = 0$$

$$F_{BY} = 1.58 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0; \qquad F_{AY} - 1.74 + F_{BY} = 0$$

$$F_{AY} = 0.16 \text{ N}$$




<u>ภาพผนวกที่ ก7</u> โมเมนต์ดัดที่กระทำกับเพลาในระนาบ X-Z

$$M_{CZ} = \frac{0.08 \times 248}{508} = 0.04 \text{ Nm}$$

**3. <u>การหาขนาดเพลาส่งกำลัง</u>**

3.1. โมเมนต์สูงสุด

โมเมนต์ที่เกิดที่จุด C

$$M_C = \sqrt{M_{CZ}^2 + M_{CY}^2}$$

$$M_C = \sqrt{18.53^2 + 0.04^2} = 18.53\text{Nm}$$

โมเมนต์ที่เกิดที่จุด D

$$M_D = \sqrt{M_{DZ}^2 + M_{DY}^2}$$

$$M_D = \sqrt{3.53^2 + 0.08^2} = 3.53\text{Nm}$$

$\therefore$ โมเมนต์สูงสุดเกิดที่จุด C

3.2. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพลา

แรงบิดของมอเตอร์

$$P = \frac{T \times n}{9.551}$$

$$T = \frac{9.551P}{n} = \frac{9.551 \times 746}{1440} = 4.95\text{Nm}$$

ค่าตัวประกอบความล้าสำหรับเพลาหมุน : แรงกระตุกอย่างแรง (ตารางผนวกที่ ฉ1)

$$C_t = 2 \qquad C_m = 2.5$$

โค้ดของ ASME ระบุเอาไว้ว่าเพลาซึ่งมีใช้อยู่ในงานธรรมดาทั่วไปควรมีความค้นเฉือนใช้งานดังนี้

$$\tau_d = 55\text{N/mm}^2 \qquad \text{สำหรับเพลาที่ไม่มีร่องลิ่ม}$$

สำหรับเพลาตัน

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau}\left[(C_t T)^2 + (C_m M)^2\right]^{1/2}$$

$$d^3 = \frac{16}{\pi \times 55 \times 10^6}\left[(2 \times 4.95)^2 + (2.5 \times 18.53)^2\right]^{1/2}$$

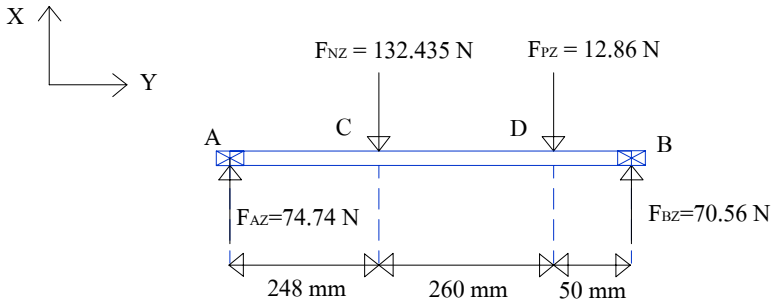
d = 16.31 mm

ใช้เพลาเส้นผ่าศูนย์กลาง 25.4 mm

3.3. ระยะโก่งของเพลาส่งกำลัง

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi \times 25.4^4}{64} = 20.43 \times 10^3 \text{ mm}^4$$

3.3.1. ระนาบ X-Y




กำหนด E = 205 N/mm$^2$

L = 558 mm

พิจารณาชุดแปรงขัดที่ตำแหน่ง C

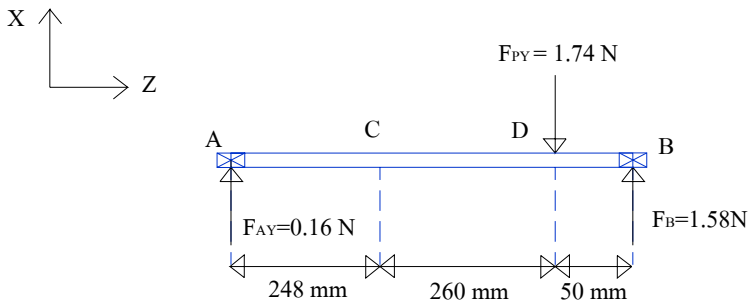
$$Y = \frac{FL^3}{48EI}$$

$$Y = \frac{132.435 \times 558^3}{48 \times 205 \times 10^3 \times 20.43 \times 10^3} = 0.114 \text{mm}$$

พิจารณาล้อสายพาน D

$$Y = \frac{12.86 \times 558^3}{48 \times 205 \times 10^3 \times 20.43 \times 10^3} = 0.011 \text{mm}$$

3.3.2. ระนาบ X-Z




พิจารณาล้อสายพาน D

$$Y = \frac{1.74 \times 558^3}{48 \times 205 \times 10^3 \times 20.43 \times 10^3} = 1.5 \times 10^3 \text{ mm}$$

3.4. ความเร็ววิกฤตของเพลา

$$n_C = 945\left[\frac{\sum WY}{\sum WY^2}\right]^{1/2}$$

$W_C = 132.435$ N

$$W_D = \sqrt{12.86^2 + 1.74^2} = 12.98\text{N}$$

$Y_C = 0.114$ mm

$$Y_D = \sqrt{0.011^2 + (1.5 \times 10^{-3})^2} = 0.011\text{mm}$$

$$n_C = 945\left(\frac{[(132.435 \times 0.114) + (12.98 \times 0.011)]}{[(132.435 \times 0.114^2) + (12.98 \times 0.011^2)]}\right)^{1/2}$$

$$n_C = 945\left(\frac{15.24}{1.72}\right)^{1/2} = 2811.3\text{rpm}$$

ความเร็วรอบที่ใช้จริงคือ 1440 รอบต่อนาที