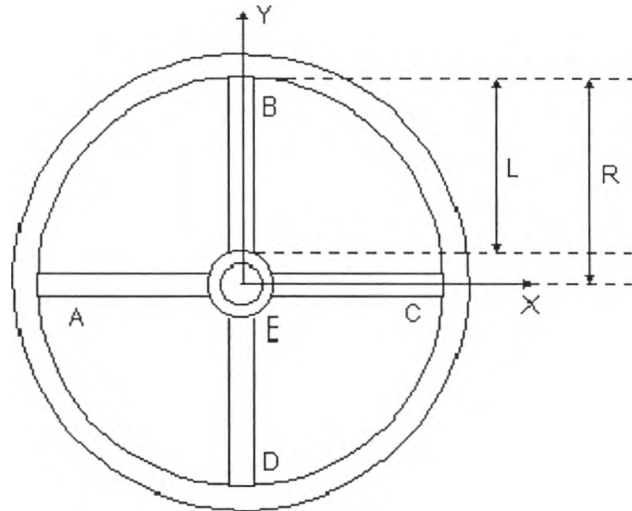


บทที่ 4

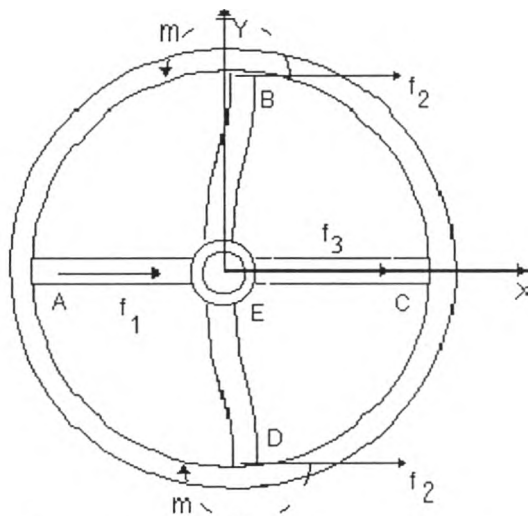
การพิจารณาแรงและโมเมนต์ในทิศทางต่างๆที่กระทำต่อ
อุปกรณ์ตรวจจู้แรงและแรงบิดด้วยทฤษฎีของคาน



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของอุปกรณ์ตรวจจู้แรงและแรงบิดในสภาพปกติ
กำหนดให้ ความยาวของแกนทั้ง 4 แกน เท่ากับ L
หน้าตัดของแกนทั้ง 4 แกน เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีความกว้างยาวเท่ากับ b
ครึ่งหนึ่งของ b เท่ากับ c

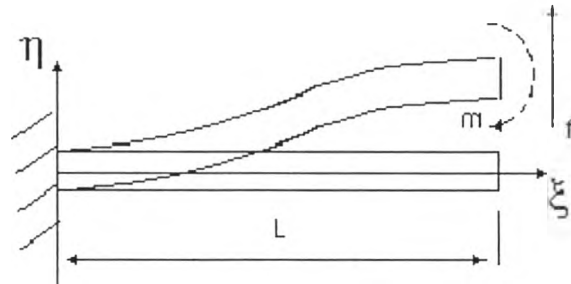
การพิจารณาแรงในแนวแกน x

จากลักษณะรูปร่างของอุปกรณ์ตรวจจู้แรงและแรงบิด เมื่อมีแรงในแนวแกน x มากจะทำให้เกิดลักษณะดังรูปที่ 4.2 เนื่องจากอุปกรณ์ตรวจจู้แรงและแรงบิดมีการเสียรูปไปน้อยมาก ดังนั้นเราจึงถือว่าวงกลมยังรักษาสภาพความเป็นวงกลมอยู่ได้



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะการเสียรูป เมื่อมี F_x มากกระทำ

เนื่องจากศูนย์กลางของอุปกรณ์ตรวจรู้แรงและแรงบิด (จุด E) นั้นถูกยึดอยู่กับที่ และวงกลมมีลักษณะของความสมมาตร แกน B และแกน D จึงมีขนาดของแรงและโมเมนต์ที่มากกระทำเท่ากัน



รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะการโก่งงอของแกน B และ D เมื่อมี F_x มากกระทำ เมื่อพิจารณาแรงในแนวแกน x ที่มากกระทำจะได้ว่า

$$F_x = f_1 + 2 \cdot f_2 + f_3 \quad \dots 4.1$$

พิจารณาการโก่งงอของแกน B และ D

เนื่องจากอุปกรณ์ตรวจรู้แรงและแรงบิดมีการบิดเสียรูปไปน้อยมาก ดังนั้นเราจึงถือว่าวงกลมยังรักษาสภาพความเป็นวงกลมอยู่ได้ ดังนั้นเราจะได้ว่า มีเงื่อนไขขอบเขตดังนี้

$$\eta(0) = 0 \quad \dots 4.2$$

$$\frac{d\eta(0)}{d\xi} = 0 \quad \dots 4.3$$

$$\frac{d\eta(L)}{d\xi} = 0 \quad \dots 4.4$$

จากทฤษฎีการโก่งงอของคาน

$$M = f \cdot (L - \xi) - m \quad \dots 4.5$$

$$\frac{d^2\eta}{d\xi^2} = \frac{M}{EI} \quad \dots 4.6$$

$$\frac{d^2\eta}{d\xi^2} = \frac{f \cdot (L - \xi) - m}{EI} \quad \dots 4.7$$

$$\frac{d\eta}{d\xi} = \theta = \frac{1}{EI} \cdot \left(f \cdot L \cdot \xi - \frac{f \cdot \xi^2}{2} - m \cdot \xi + c_1 \right) \quad \dots 4.8$$

$$\eta = \frac{1}{EI} \cdot \left(\frac{f \cdot L \cdot \xi^2}{2} - \frac{f \cdot \xi^3}{6} - \frac{m \cdot \xi^2}{2} + c_1 \cdot \xi + c_2 \right) \quad \dots 4.9$$

จากเงื่อนไขขอบเขตสมการที่ 4.2, 4.3 เราได้ว่า c_1 และ c_2 เท่ากับ 0

จากเงื่อนไขขอบเขตสมการที่ 4.4 เราได้ว่า

$$m = \frac{f \cdot L}{2} \quad \dots 4.10$$

เพราะฉะนั้น สมการ 4.5, 4.8 และ 4.9 จะกลายเป็น

$$M = f \cdot \left(\frac{L}{2} - \xi \right) \quad \dots 4.11$$

$$\frac{d\eta}{d\xi} = \frac{1}{E \cdot I} \cdot \left(\frac{f \cdot L \cdot \xi}{2} - \frac{f \cdot \xi^2}{2} \right) \quad \dots 4.12$$

$$\eta = \frac{1}{E \cdot I} \cdot \left(\frac{f \cdot L \cdot \xi^2}{4} - \frac{f \cdot \xi^3}{6} \right) \quad \dots 4.13$$

โดยที่ f ในสมการ 4.11, 4.12 และ 4.13 คือ f_2 ในรูปที่ 4.2
ระยะการโก่งตัวที่ปลายด้านนอกของแกน B และ D เท่ากับ

$$\eta(L) = \frac{f_2 \cdot L^3}{12 \cdot E \cdot I} \quad \dots 4.14$$

เมื่อทำการพิจารณาที่แกน A

ระยะที่แกน A หดตัวเท่ากับ
$$\delta = \frac{f_1 \cdot L}{A \cdot E} \quad \dots 4.15$$

เพราะเหตุว่าวงกลมรักษาสภาพความเป็นวงกลมอยู่ได้ ดังนั้นระยะที่แกน B และ D โก่งงอลงมาที่ปลายด้านนอก จึงเท่ากับระยะที่แกน A หดตัว และแกน C ยึดตัวออก ดังนั้นจึงได้ว่า

$$\frac{f_1 \cdot L}{A \cdot E} = \frac{f_2 \cdot L^3}{12 \cdot E \cdot I} \quad \dots 4.16$$

$$f_1 = \frac{f_2 \cdot L^2 \cdot A}{12 \cdot I} \quad \dots 4.17$$

การพิจารณาแรง f_3 ที่แกน c ก็เป็นไปในทำนองเดียวกับที่ได้แสดงข้างต้น
ดังนั้นเราจะได้ว่า

$$f_3 = \frac{f_2 \cdot L^2 \cdot A}{12 \cdot I}$$

จากสมการ 4.1 เราจะได้ว่า

$$F_x = 2 \cdot \left(\frac{L^2 \cdot A}{12 \cdot I} + 1 \right) \cdot f_2 \quad \dots 4.18$$

$$f_2 = \frac{F_x}{2 \cdot \left(\frac{L^2 \cdot A}{12 \cdot I} + 1 \right)} \quad \dots 4.19$$

จากสมการ 4.11 จะได้

$$M = \frac{F_x \cdot \left(\frac{L}{2} - \xi \right)}{2 \cdot \left(\frac{L^2 \cdot A}{12 \cdot I} + 1 \right)} \quad \dots 4.20$$

$$\varepsilon = \frac{M \cdot c}{E \cdot I}$$

$$\varepsilon = \frac{F_x \cdot \left(\frac{L}{2} - \xi \right) \cdot c}{2 \cdot \left(\frac{L^2 \cdot A}{12 \cdot I} + 1 \right) \cdot E \cdot I} \quad \dots 4.21$$

โดยที่

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

moment of inertia

$$I = \frac{b^4}{12}$$

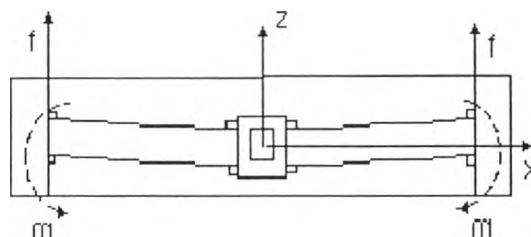
จากลักษณะในการติดสเตรนเกจเข้ากับอุปกรณ์ตรวจรับแรงและแรงบิดและจากการที่ใช้วงจรแบบ half bridge จะทำให้ในทางทฤษฎีแล้ว การวัดค่าความเครียดที่คู่ของสเตรนเกจชุด $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4, \varepsilon_5$ และ ε_7 จะได้ค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากคู่ของชุดสเตรนเกจเกิดความเครียดขึ้นมาเท่ากัน ส่วนสเตรนเกจชุด $\varepsilon_6, \varepsilon_8$ จะวัดค่าความเครียดได้เป็นสัดส่วนตรงกับแรงที่มากระทำตามสมการ 4.21

การพิจารณาแรงในแนวแกน y

ก็เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับการพิจารณาแรงในแนวแกน x

การพิจารณาแรงในแนวแกน z

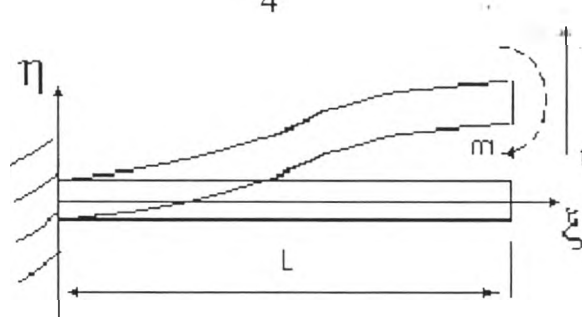
จากการพิจารณาพบว่า เมื่อมีแรงมากระทำจะทำให้แกนทั้ง 4 รับภาระเท่าๆกัน ดังนั้น



รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะของอุปกรณ์ตรวจรับแรงและแรงบิดเมื่อมี F_z มากระทำ

เมื่อพิจารณาลักษณะของแรงในแนวแกน z ที่มากระทำ จะได้ว่า

$$f = \frac{F_z}{4} \quad \dots 4.22$$



รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะการโก่งงอของแกน เมื่อมี F_z มากระทำ

จะเห็นได้ว่าลักษณะการโก่งงอของแกนก็เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับการพิจารณาการโก่งงอเนื่องจากแรงในแนวแกน x ต่างกันเพียงแต่ทิศทางในการโก่งงอเท่านั้น ดังนั้นเราจึงได้ว่า

$$M = f \cdot \left(\frac{L}{2} - \xi \right) \quad \dots 4.23$$

$$M = \frac{F_z}{4} \cdot \left(\frac{L}{2} - \xi \right) \quad \dots 4.24$$

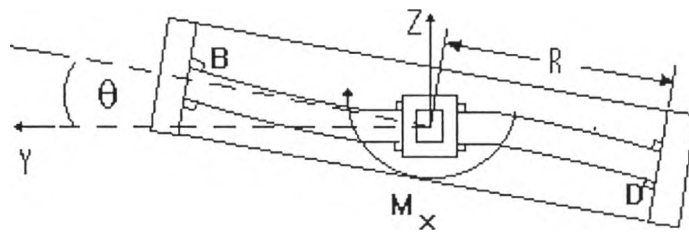
เพราะฉะนั้น จึงได้ว่า

$$\varepsilon = \frac{F_z \cdot \left(\frac{L}{2} - \xi \right) \cdot c}{4 \cdot E \cdot I} \quad \dots 4.25$$

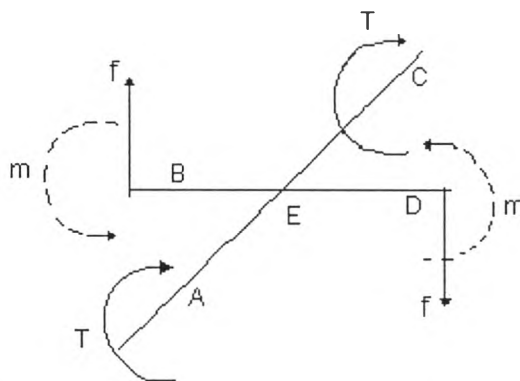
จากลักษณะในการติดสเตรนเกจเข้ากับอุปกรณ์ตรวจรู้แรงและแรงบิดและจากการที่ใช้วงจรแบบ half bridge จะทำให้ในทางทฤษฎีแล้ว การวัดค่าความเครียดที่คู่ของสเตรนเกจชุด ε_2 , ε_4 , ε_6 และ ε_8 จะได้ค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากคู่ของชุดสเตรนเกจเกิดความเครียดขึ้นมาเท่ากัน ส่วนสเตรนเกจชุด ε_1 , ε_3 , ε_5 และ ε_7 จะวัดค่าความเครียดได้เป็นสัดส่วนตรงกับแรงที่มากระทำ ตามสมการ 4.25

การพิจารณาโมเมนต์ในแนวแกน x

เมื่อพิจารณาจะเห็นได้ว่าเมื่อมีโมเมนต์มากระทำ แกน A และ แกน C จะรับแรงบิด ส่วนแกน B และ แกน D จะรับโมเมนต์ดัด



รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะของอุปกรณ์ตรวจรู้แรงและแรงบิด เมื่อมี M_x มากกระทำ



รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะที่แกนต่างๆเมื่อมี M_x มากกระทำ

พิจารณาที่ แกน A และ แกน C

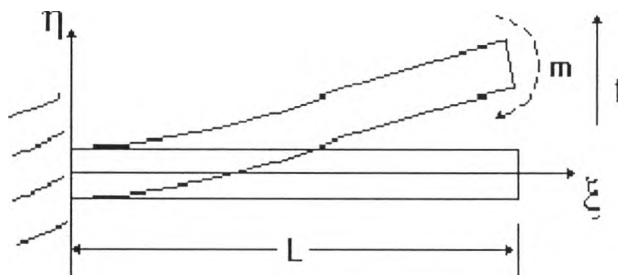
เราจะได้ว่าแกน A และ C บิดไปเป็นมุมทั้งหมด

$$\theta = \frac{T \cdot L}{J \cdot G} \quad \dots 4.26$$

polar moment of inertia for square area

$$J = 0.141 \cdot b^4$$

พิจารณาที่ แกน B



รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะการโก่งงอของแกน เมื่อมี M_x มากกระทำ

โดยมีเงื่อนไขขอบเขตดังนี้

$$\eta(0) = 0 \quad \dots 4.27$$

$$\frac{d\eta(0)}{d\xi} = 0 \quad \dots 4.28$$

จากทฤษฎีการโก่งงอของคานและเงื่อนไขขอบเขตสมการ 4.27 และ 4.28 เราจะได้ว่า

$$M = f \cdot (L - \xi) - m \quad \dots 4.29$$

$$\frac{d^2\eta}{d\xi^2} = \frac{M}{EI} \quad \dots 4.30$$

$$\frac{d^2\eta}{d\xi^2} = \frac{f \cdot (L - \xi) - m}{EI} \quad \dots 4.31$$

$$\frac{d\eta}{d\xi} = \theta = \frac{1}{EI} \cdot \left(f \cdot L \cdot \xi - \frac{f \cdot \xi^2}{2} - m \cdot \xi \right) \quad \dots 4.32$$

$$\eta = \frac{1}{EI} \cdot \left(\frac{f \cdot L \cdot \xi^2}{2} - \frac{f \cdot \xi^3}{6} - \frac{m \cdot \xi^2}{2} \right) \quad \dots 4.33$$

เนื่องจากอุปกรณ์ตรวจรู้แรงและแรงบิดมีการเสียรูปไปน้อยมาก และวงกลมยังรักษาสภาพความเป็นวงกลมไว้ได้ ดังนั้นเราจึงสามารถกำหนดให้

$$\sin(\theta) = \theta = \frac{\eta(L)}{R} \quad \dots 4.34$$

โดยที่ R คือ ระยะทางจากจุดศูนย์กลางของอุปกรณ์ตรวจรู้แรงและแรงบิดถึงปลายคานด้านที่ติดกับวงแหวนนอก

θ คือ มุมที่วงแหวนนอกของอุปกรณ์ตรวจรู้แรงและแรงบิดหมุนไป

จากสมการ 4.32, 4.33 และ 4.34 เราได้

$$\frac{1}{EI} \cdot \left(\frac{f \cdot L^3}{3} - \frac{m \cdot L^2}{2} \right) = \frac{R}{EI} \cdot \left(\frac{f \cdot L^2}{2} - m \cdot L \right) \quad \dots 4.35$$

$$f \cdot L \cdot \left(\frac{R}{2} - \frac{L}{3} \right) = m \cdot \left(R - \frac{L}{2} \right) \quad \dots 4.36$$

$$m = \frac{f \cdot L \cdot \left(\frac{R}{2} - \frac{L}{3} \right)}{R - \frac{L}{2}} = \frac{f \cdot L \cdot (3 \cdot R - 2 \cdot L)}{3 \cdot (2 \cdot R - L)} \quad \dots 4.37$$

มุมที่แกน A และ แกน C บิดไปเท่ากับมุมที่เกิดขึ้นที่ปลายคานด้านที่ติดกับวงแหวนด้านนอก ดังนั้นได้ว่า

$$\frac{T \cdot L}{J \cdot G} = \frac{1}{EI} \cdot \left(\frac{f \cdot L^2}{2} - m \cdot L \right) \quad \dots 4.38$$

แทนค่าของ m ลงไปจะได้

$$\frac{T \cdot L}{J \cdot G} = \frac{1}{EI} \cdot \left(\frac{f \cdot L^2}{2} - \frac{f \cdot L^2 \cdot (3 \cdot R - 2 \cdot L)}{3 \cdot (2 \cdot R - L)} \right) = \frac{f \cdot L^2}{E \cdot I} \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{(3 \cdot R - 2 \cdot L)}{3 \cdot (2 \cdot R - L)} \right) \quad 4.39$$

$$T = \frac{f \cdot L \cdot J \cdot G}{E \cdot I} \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{(3 \cdot R - 2 \cdot L)}{3 \cdot (2 \cdot R - L)} \right) \quad \dots 4.40$$

สมการของโมเมนต์แกน x ที่มากระทำเขียนได้เป็น

$$M_x = 2 \cdot T + 2 \cdot f \cdot R - 2 \cdot m \quad \dots 4.41$$

แทนค่าของ T , m ลงในสมการข้างต้น จะได้

$$M_x = \frac{2 \cdot f \cdot L \cdot J \cdot G}{E \cdot I} \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{(3 \cdot R - 2 \cdot L)}{3 \cdot (2 \cdot R - L)} \right) + 2 \cdot f \cdot R - \frac{2 \cdot f \cdot L \cdot (3 \cdot R - 2 \cdot L)}{3 \cdot (2 \cdot R - L)} \quad \dots 4.42$$

สุดท้ายจะได้ว่า

$$f = \frac{M_x}{\frac{2 \cdot L \cdot J \cdot G}{E \cdot I} \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{(3 \cdot R - 2 \cdot L)}{3 \cdot (2 \cdot R - L)} \right) + 2 \cdot R - \frac{2 \cdot L \cdot (3 \cdot R - 2 \cdot L)}{3 \cdot (2 \cdot R - L)}} \quad \dots 4.43$$

$$M = f \cdot \left(L - \xi - \frac{L \cdot (3 \cdot R - 2 \cdot L)}{3 \cdot (2 \cdot R - L)} \right) \quad \dots 4.44$$

$$M = \frac{M_x \cdot \left(L - \xi - \frac{L \cdot (3 \cdot R - 2 \cdot L)}{3 \cdot (2 \cdot R - L)} \right)}{\frac{2 \cdot L \cdot J \cdot G}{E \cdot I} \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{(3 \cdot R - 2 \cdot L)}{3 \cdot (2 \cdot R - L)} \right) + 2 \cdot R - \frac{2 \cdot L \cdot (3 \cdot R - 2 \cdot L)}{3 \cdot (2 \cdot R - L)}} \quad \dots 4.45$$

จากลักษณะในการติดสเตรนเกจเข้ากับอุปกรณ์ตรวจรู้แรงและแรงบิดและจากการที่ใช้งานระบบ half bridge จะทำให้ในทางทฤษฎีแล้ว การวัดค่าความเครียดที่เกิดขึ้นที่คู่ของสเตรนเกจชุด ϵ_1 , ϵ_3 , ϵ_5 , ϵ_6 , ϵ_7 และ ϵ_8 จะได้ค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากคู่ของชุด สเตรนเกจ เกิดความเครียดขึ้นมาเท่ากัน ส่วนสเตรนเกจชุด ϵ_2 และ ϵ_4 จะวัดค่าความเครียดได้เป็นสัดส่วนตรงกับโมเมนต์ที่มากกระทำ

ค่าความเครียดที่เกิดขึ้นกับคู่สเตรนเกจชุด ϵ_2 และ ϵ_4 เท่ากับ

$$\epsilon = \frac{M_x \cdot \left(L - \xi - \frac{L \cdot (3 \cdot R - 2 \cdot L)}{3 \cdot (2 \cdot R - L)} \right) \cdot c}{E \cdot I \cdot \left(\frac{2 \cdot L \cdot J \cdot G}{E \cdot I} \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{(3 \cdot R - 2 \cdot L)}{3 \cdot (2 \cdot R - L)} \right) + 2 \cdot R - \frac{2 \cdot L \cdot (3 \cdot R - 2 \cdot L)}{3 \cdot (2 \cdot R - L)} \right)}$$

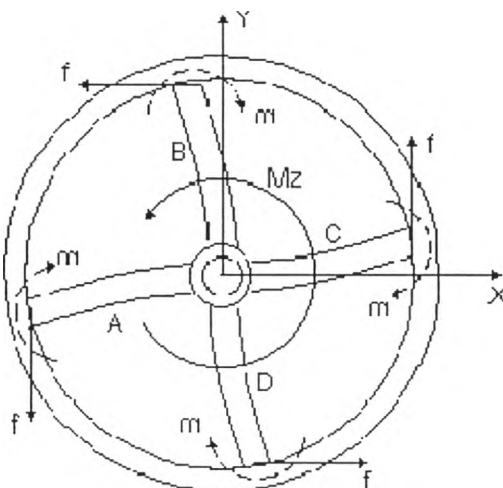
...4.46

การพิจารณาโมเมนต์ในแนวแกน y

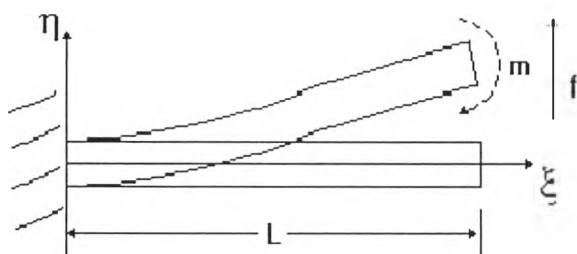
ก็เป็นไปในลักษณะเดียวกับการพิจารณาโมเมนต์ในแนวแกน x

การพิจารณาโมเมนต์ในแนวแกน z

จากการพิจารณาพบว่า เมื่อมีโมเมนต์ในแกน z มากกระทำ จะทำให้แกนทั้ง 4 รับภาระเท่าๆกัน ดังนั้น



รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะของอุปกรณ์ตรวจรู้แรงและแรงบิด เมื่อมี Mz มากกระทำ เมื่อพิจารณาที่แต่ละแกน พบว่ามีเงื่อนไขขอบเขตดังนี้



รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะการโก่งงอของคานเมื่อมี Mz มากกระทำ

$$\eta(0) = 0 \quad \dots 4.47$$

$$\frac{d\eta(0)}{d\xi} = 0 \quad \dots 4.48$$

$$M = f \cdot (L - \xi) - m \quad \dots 4.50$$

$$\frac{d^2 \eta}{d\xi^2} = \frac{M}{EI} \quad \dots 4.51$$

$$\frac{d^2 \eta}{d\xi^2} = \frac{f \cdot (L - \xi) - m}{EI} \quad \dots 4.52$$

$$\frac{d\eta}{d\xi} = \theta = \frac{1}{EI} \cdot \left(f \cdot L \cdot \xi - \frac{f \cdot \xi^2}{2} - m \cdot \xi \right) \quad \dots 4.53$$

$$\eta = \frac{1}{EI} \cdot \left(\frac{f \cdot L \cdot \xi^2}{2} - \frac{f \cdot \xi^3}{6} - \frac{m \cdot \xi^2}{2} \right) \quad \dots 4.54$$

เนื่องจากอุปกรณ์ตรวจรู้แรงและแรงบิดมีการเสียรูปไปน้อยมาก และวงกลมยังรักษาสภาพความเป็นวงกลมไว้ได้ ดังนั้นเราจึงสามารถกำหนดให้

$$\sin(\theta) = \theta = \frac{\eta(L)}{R} \quad \dots 4.55$$

โดยที่ R คือ ระยะทางจากจุดศูนย์กลางของอุปกรณ์ตรวจรู้แรงและแรงบิดถึงปลายคานด้านที่ติดกับวงแหวนนอก

θ คือ มุมที่วงแหวนนอกของอุปกรณ์ตรวจรู้แรงและแรงบิดหมุนไป
ดังนั้นจากสมการ 4.53, 4.54 และ 4.55 จะได้

$$\frac{1}{E \cdot I} \cdot \left(\frac{f \cdot L^3}{3} - \frac{m \cdot L^2}{2} \right) = \frac{R}{E \cdot I} \cdot \left(\frac{f \cdot L^2}{2} - m \cdot L \right) \quad \dots 4.56$$

$$m = \frac{f \cdot L \cdot (2 \cdot L - 3 \cdot R)}{3 \cdot (L - 2 \cdot R)} \quad \dots 4.57$$

สมการของ M_z ที่มากระทำเขียนได้เป็น

$$M_z = 4 \cdot f \cdot R - 4 \cdot m \quad \dots 4.58$$

$$M_z = 4 \cdot f \cdot R - 4 \cdot \frac{f \cdot L \cdot (2 \cdot L - 3 \cdot R)}{3 \cdot (L - 2 \cdot R)} \quad \dots 4.59$$

$$f = \frac{M_z}{4 \cdot R - 4 \cdot \frac{L \cdot (2 \cdot L - 3 \cdot R)}{3 \cdot (L - 2 \cdot R)}} \quad \dots 4.60$$

เพราะฉะนั้นจากสมการ 4.50 และ 4.57 เราจะได้ว่า

$$M = f \cdot \left[(L - \xi) - \frac{L \cdot (2 \cdot L - 3 \cdot R)}{3 \cdot (L - 2 \cdot R)} \right] \quad \dots 4.61$$

จากสมการ 4.60 และ 4.61 เราจะได้

$$M = \frac{M_z}{4 \cdot R - 4 \cdot \frac{L \cdot (2 \cdot L - 3 \cdot R)}{3 \cdot (L - 2 \cdot R)}} \cdot \left[(L - \xi) - \frac{L \cdot (2 \cdot L - 3 \cdot R)}{3 \cdot (L - 2 \cdot R)} \right] \dots 4.62$$

$$\varepsilon = \frac{M_z \cdot \left[(L - \xi) - \frac{L \cdot (2 \cdot L - 3 \cdot R)}{3 \cdot (L - 2 \cdot R)} \right] \cdot c}{E \cdot I \cdot \left(4 \cdot R - 4 \cdot \frac{L \cdot (2 \cdot L - 3 \cdot R)}{3 \cdot (L - 2 \cdot R)} \right)} \dots 4.63$$

จากลักษณะในการติดสเตรนเกจเข้ากับอุปกรณ์ตรวจรู้แรงและแรงบิดและจากการที่ใช้วงจรแบบ half bridge จะทำให้ในทางทฤษฎีแล้ว การวัดค่าความเครียดที่เกิดขึ้นกับคู่ของสเตรนเกจชุด $\varepsilon_1, \varepsilon_3, \varepsilon_5$ และ ε_7 จะได้ค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากคู่ของชุดสเตรนเกจเกิดความเครียดขึ้นมาเท่ากัน ส่วนสเตรนเกจชุด $\varepsilon_2, \varepsilon_4, \varepsilon_6$ และ ε_8 จะวัดค่าความเครียดได้เป็นสัดส่วนตรงกับโมเมนต์ที่มากระทำ ตามสมการ 4.63

ผลการคำนวณ

เมื่อกำหนดให้

$$\begin{aligned} R &= 0.04 \text{ m.} & L &= 0.0315 \text{ m.} & J &= 0.141 \cdot 5^4 \cdot 10^{-12} \text{ m}^4 \\ E &= 70,000 \text{ MPa} & G &= 26923 \text{ MPa} & I &= (5^4 \cdot 10^{-12}) / 12 \text{ m}^4 \\ b &= 0.005 \text{ mm.} & c &= 0.0025 \text{ mm.} & A &= b^2 \end{aligned}$$

ตำแหน่งที่ติดสเตรนเกจคือ ที่ระยะ 13.5 mm. จากจุดศูนย์กลางของอุปกรณ์ตรวจรู้แรงและแรงบิดไปตามแนวแกน หรือเท่ากับ 5 mm. จากขอบนอกของวงแหวนใน เพราะฉะนั้น

$$\xi = 0.005 \text{ mm.}$$

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความเครียดที่ได้จากการคำนวณด้วยทฤษฎีของคาน

Load	ที่ตำแหน่ง	ผลจากทฤษฎีของคาน
Fx	$\varepsilon_6, \varepsilon_8$	0.090
Fy	$\varepsilon_5, \varepsilon_7$	0.090
Fz	$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4$	1.843
Mx	$\varepsilon_2, \varepsilon_4$	162.481
My	$\varepsilon_1, \varepsilon_3$	162.481
Mz	$\varepsilon_5, \varepsilon_6, \varepsilon_7, \varepsilon_8$	87.751

จากค่าความเครียดที่หาได้ เราได้ strain compliance matrix เท่ากับ

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1.843 & 0 & -162.481 & 0 \\ 0 & 0 & -1.843 & -162.481 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.843 & 0 & 162.481 & 0 \\ 0 & 0 & -1.843 & 162.481 & 0 & 0 \\ 0 & 0.090 & 0 & 0 & 0 & 87.751 \\ 0.090 & 0 & 0 & 0 & 0 & -87.751 \\ 0 & -0.090 & 0 & 0 & 0 & 87.751 \\ -0.090 & 0 & 0 & 0 & 0 & -87.751 \end{bmatrix}$$

จาก strain compliance matrix ที่หาได้นี้ เราสามารถหาค่า singular value ได้เท่ากับ

$$\sigma_1=229.7828 \quad \sigma_2=229.7828 \quad \sigma_3=175.502$$

$$\sigma_4=3.686 \quad \sigma_5=0.1273 \quad \sigma_6=0.1273$$

จากสมการ 3.28 เราจะได้ condition number เท่ากับ $229.7828/0.1273= 1805.05$