ปฏิบัติการระบบควบคุม

การถ่วงสมดุล โรเตอร์ แบบหนึ่งระนาบ (Single plane balancing)

1. วัตถุประสงค์

1.1 เข้าใจหลักการถ่วงสมดุลโรเตอร์แบบหนึ่งระนาบ แบบ Polar plot

1.2 เข้าใจหลักการประเมินการถ่วงสมดุลด้วยมาตรฐาน ต่างๆ

1.3 สามารถใช้ซอฟแวร์ในการถ่วงสมดุลโรเตอร์แบบหนึ่งระนาบได้

2. กล่าวนำ

โดยปกติเครื่องจักรหมุนหรืออุปกรณ์ที่มีการหมุนอาทิ เช่น โบลเวอร์(Blower), พัดลมอุตสาหกรรม (Industrial fan), โรเตอร์ต่างๆ (Rotor) เป็นต้น เมื่อเกิดการหมุนย่อมส่งผลให้เครื่องจักรเกิดการสั่นสะเทือนไม่มากก็น้อย เนื่องจากผลกระทบจากแรงหนีศูนย์ (Centrifugal force, Fc)

โบลเวอร์(Blower)

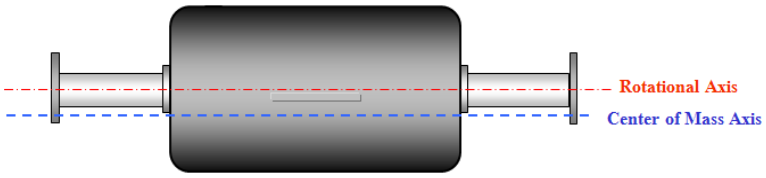
พัดลมอุตสาหกรรม (Industrial Fan)

โรเตอร์ของมอเตอร์ (Motor Rotor)

พูเล่ (Pulley)

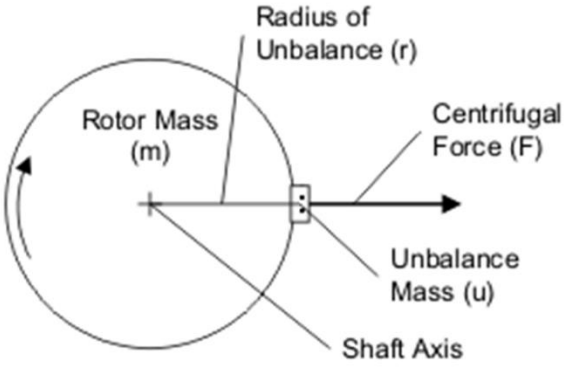
รูปที่ 1 แสดงตัวอย่าง เครื่องจักรหมุนและอุปกรณ์หมุนที่พบในอุตสาหกรรม

ซึ่งโดยปกติแล้วนั้น ความไม่สมดุล ของเครื่องจักรเกิดจาก เพลา, ใบพัด, Rotor หรือ วัตถุหมุนต่าง ๆ จะเกิดความไม่สมดุลขึ้น เมื่อมีมวลไม่สมมาตร ซึ่งเกิดจากการที่มีมวลเกินหรือมวลเดิมหายไปทำให้เกิดแรงเหวี่ยงที่ไม่สมดุลเกิดขึ้น ทำให้เส้นแกนของมวล (Center of Gravity Axis – cm.) เลื่อนไปจากตำแหน่งเดิม ไม่อยู่ในตำแหน่งเดียวกันกับเส้นแกนของการหมุน (Rotational Axis) ดังรูปที่2



รูปที่ 2 แสดงลักษณะความไม่สมดุลของโรเตอร์

โดยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) จะเกิดขึ้นเมื่อชิ้นส่วนมีการหมุน แรงเหวี่ยงนี้จะกระทำต่อมวลของส่วนหมุนโดยพยายามเหวี่ยงมวลต่าง ๆ ออกจากแนวแกนหมุนเป็นวงกลม เมื่อชิ้นส่วนนั้นมีมวลเท่ากันตลอด แรงเหวี่ยงนั้นก็จะกระทำต่อจุดศูนย์กลางของส่วนหมุนเท่ากัน ซึ่งจะทำให้ชิ้นส่วนหมุนอยู่ในสภาวะสมดุล แต่ถ้าหากส่วนใดส่วนหนึ่งเกิดมีมวลมากกว่าส่วนอื่น ๆ ภายในชิ้นส่วนหมุนนั้น แรงเหวี่ยงนี้ก็จะกระทำต่อมวลของส่วนนั้นมากกว่าส่วนอื่น ๆ แรงเหวี่ยงนี้ก็จะพยายามดึงชิ้นส่วนทั้งระบบไปทางใดทางหนึ่ง ซึ่งจะทำให้เกิดการไม่สมดุลขึ้นในเครื่องจักรนั้น



รูปที่ 3 แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force)

สมการแรงหนีศูนย์กลาง

$$F_c = ur\omega^2$$

โดยที่

Fc = แรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force)

u = มวลไม่สมดุล (Unbalance mass)

r = ระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางการหมุน ถึง มวลไม่สมดุล (Radius of unbalance)

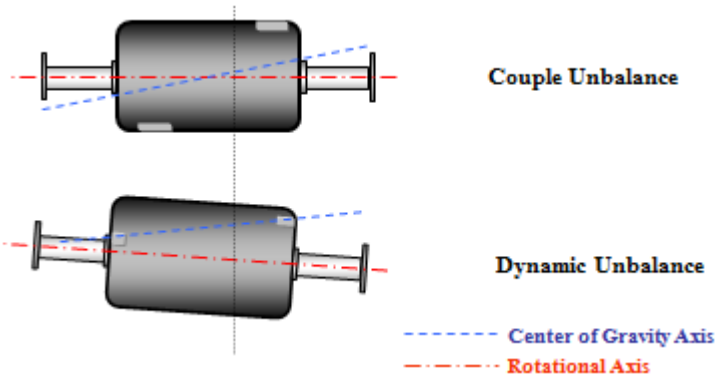
ω = ความเร็วเชิงมุม (rad/sec)

จากสมการที่1 พบว่า ถ้าเครื่องจักรที่มีความเร็วการหมุนสูง จะทำให้เครื่องจักรเกิดการสั่นสะเทือนเนื่องจากการเสียสมดุลมากนั้นเอง

โดยปกติเมื่อกล่าวถึง การเสียสมดุลของเครื่องจักรหมุน สามารถจำแนกได้เป็น 2 จำพวก คือ

- **การเสียสมดุลสถิต (Static unbalance)** เกิดขึ้นเมื่อเส้นแกนของมวลขนานกับเส้นแกนของการหมุน ดังรูปที่2

- **การเสียสมดุลพลวัตร (Dynamics unbalance)** เกิดขึ้นเมื่อเส้นแกนของมวลไม่ขนานและไม่ตัดกับเส้นแกนของการหมุนหรืออยู่ต่างระนาบกัน



รูปที่ 4 แสดงสภาพปัญหา Dynamic unbalance กับ Couple unbalance

ในการแก้ปัญหาการเสียสมดุลนั้น กระทำได้โดยการถ่วงสมดุลเครื่องจักร ซึ่งสามารถจำแนกการถ่วงสมดลได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. การถ่วงสมดุลย์ด้วยแท่นถ่วงสมดุลย์ (Shop Balancing) วิธีการนี้ ต้องมีการถอดอุปกรณ์ส่วนหมุน เช่น โรเตอร์, ใบพัด เป็นต้น ไปทำการถ่วงสมดุลที่แท่นถ่วงสมดุล ข้อดีคือ เหมาะกับเครื่องจักรที่ถูกนำมาซ่อมบำรุงที่หน่วยงาน (Shop) ได้แก่ การซ่อมมอเตอร์ในกระบวนการผลิต การตรวจสอบโรเตอร์ ต้องมีการทำการถ่วงสมดุลโร-เตอร์ แล้วจึงค่อยนำมาประกอบเข้ากับส่วนอื่นๆ เป็นต้น แต่การถ่วงสมดุลแบบแท่นสมดุลมีข้อเสียคือ ไม่สามารถทำการถ่วงสมดุลที่ความเร็วใช้งาน (Operating speed) ได้ นอกจากนั้นยังต้องถอดชิ้นส่วนที่จะทำการสมดุลออกจากตัวเครื่องจักรก่อน

รูปที่ 5 แสดงแท่นถ่วงสมดุลแบบสายพาน

2. การทำการถ่วงสมดุลย์ภาคสนาม (Field Balancing) คือการถ่วงสมดุลย์ชิ้นส่วนหมุนของเครื่องจักร เช่น ใบพัด, Rotor, พูเล่ย์, จานเกียร์บนตัวของเครื่องจักรนั้น ๆ โดยไม่ต้องถอดออกมา โดยวิธีการถ่วงสมดุลภาคสนามนั้น วิธีการที่นิยมใช้กันมี 2 แบบ

2.1. การถ่วงสมดุล 1 - ระนาบ (Single plane balance) เป็นวิธีการแก้ไขความไม่สมดุลย์สถิตย์ (Static Unbalancing) ซึ่งเหมาะกับชิ้นส่วนที่มีลักษณะที่มีความหนาไม่มากหรือพวกจานหมุนต่าง ๆ (Disc-shaped rotor) เช่น พัดลม, ใบพัดของปั๊ม, พูเล่ย์, จานเกียร์ ต่าง ๆ เป็นต้น

2.2. การถ่วงสมดุล 2 – ระนาบ (Two plane balance) เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการแก้ไขความไม่สมดุลแบบ Dynamic Unbalance และ Couple Unbalance โดยวิธีการนี้เหมาะกับชิ้นส่วนหมุนของเครื่องจักรที่มีความหนาหรือความยาวมาก ๆ เช่น ลูกกลิ้งต่าง ๆ ของ Spindle, Rotor bar เป็นต้น

รูปที่ 6 ลักษณะการถ่วงสมดุลแบบภาคสนาม

การตรวจสอบความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency)

เนื่องจากในทางปฏิบัติปัญหาการเสียสมดุล อาจเกิดความถี่ตรงกับความถี่ธรรมชาติ (natural frequency, fn) แล้วเกิดการสั่นพ้อง (resonance) ซึ่งในการถ่วงสมดุลเครื่องจักรหมุนจะต้องทำการแก้ปัญหาการสั่นพ้อง ก่อนที่จะทำการแก้ปัญหาการเสียสมดุล โดยวิธีการทดสอบหาความถี่ธรรมชาติสามารถกระทำได้โดยการใช้วิธี Bump test คือการกระตุ้นการสั่นสะเทือนด้วยการสร้าง Impulse (การกระตุ้นด้วยค้อนยางหรืออุปกรณ์นุ่นๆ) เข้าไปในระบบขณะที่อุปกรณ์ไม่ทำงานและวัดการตอบสนองของระบบว่ามีค่า Peak หรือ ค่าสูงสุดเกิดที่ตำแหน่งใด นั่นแสดงว่าความถี่นั้นๆ คือความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency) ของระบบ

สมการความถี่ธรรมชาติ

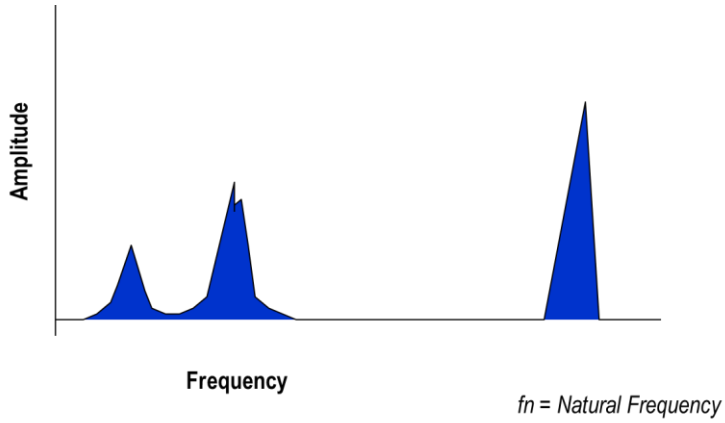
$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

โดยที่

f_n คือ ความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency)

K คือ ค่าความแข็ง (Stiffness)

M คือ มวลของวัตถุ (mass)



รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างกราฟ ที่ได้จากการทดสอบ Bump test

เมื่ออุปกรณ์เกิดการหมุนรอบแกนของวัตถุที่มีมวลหากขาดความสมดุลในการหมุนจะก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้น เช่น การหมุนของเพลาข้อเหวี่ยงในเครื่องยนต์ เป็นต้น ดังรูปที่ 4 สมมุติให้มวลดังกล่าวแทนด้วย m และให้ M แทนมวลรวมของระบบ r เป็นระยะเยื้องศูนย์ ของมวล m ที่เคลื่อนที่รอบแกนด้วยความเร็วเชิงมุม หากการเคลื่อนที่ของระบบมีเฉพาะในแนวดิ่ง แรงที่กระทำกับระบบและการตอบสนองในรูปไร้มิติของระบบที่สภาวะคงตัวแสดงดังสมการ

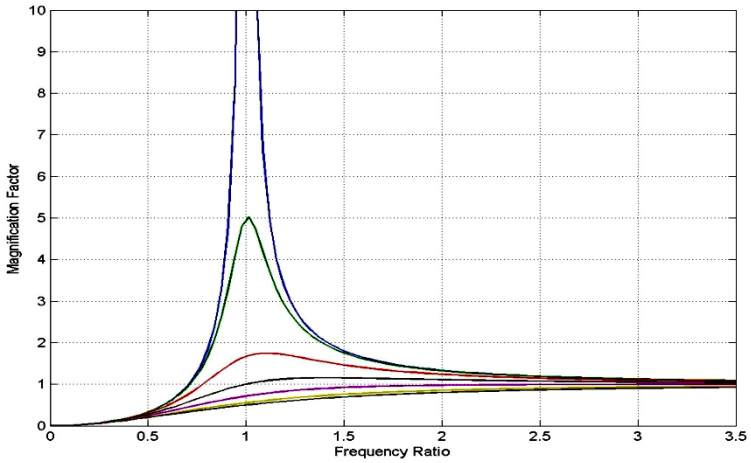
$$f(t) = m\omega^2 r \sin \omega t$$

และ

$$\frac{MX}{m'r_c} = \frac{(\omega/\omega_n)^2}{\sqrt{\left[1-(\omega/\omega_n)^2\right]^2 + (2\zeta\omega/\omega_n)^2}}$$

และความต่างเฟส คือ

$$\phi = \tan^{-1}\frac{2\zeta\omega/\omega_n}{1-(\omega/\omega_n)^2}$$



รูปที่ 8 กราฟการตอบสนองของระบบเนื่องจากการที่หมุนไม่สมดุล

เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

ขั้นตอนการทดลอง

การตรวจสอบปัญหาการเสียสมดุลของเครื่องจักรหมุนสามารถทำได้ด้วยเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนแบบ FFT โดยจะได้สัญญาณตามรูปที่ 8

การเสียสมดุลของเครื่องจักร

Problem	Spectrum	Phase
Static unbalance		In phase (± 30 degree)
Dynamic unbalance		Out of phase

การทดลองที่ 1 Vibration analysis for rotor unbalance

<u>วัตถุประสงค์</u> - เพื่อศึกษาการประเมินปัญหาการเสียสมดุลของเครื่องจักรหมุนจากผลกระทบของความเร็วรอบ

<u>ขั้นตอนการทดลอง</u>

1. ติดตั้งหัววัดการสั่นสะเทือน เข้ากับชุดจำลองการสั่นสะเทือน
2. ตั้งค่าพารามิเตอร์ภายในเครื่องวัดการสั่นสะเทือน รุ่น fieldpaqII
3. เปิดสวิทช์ชุดจำลองการสั่นสะเทือนตั้งค่าความเร็วรอบตามตาราง

ตารางที่ 1 แสดงค่าความเร็ว (rpm) กับขนาดการสั่นสะเทือน (mm/sec) โดยน้ำหนัก rotor Radius of unbalance, r =.....mm.

นำหนัก	ความเร็วรอบ (rpm)	ขนาดการสั่นสะเทือน (g)	Phase, องศา
5 กรัม	500		
	1000		
	1500		
	2000		
	2500		
	3000		
7 กรัม	500		
	1000		
	1500		
	2000		
	2500		
	3000		
10 กรัม	500		
	1000		
	1500		
	2000		
	2500		
	3000		

<u>วิเคราะห์ผล</u>

1. นำผลการทดลอง Plot ระหว่าง g กับ rpm ที่มวล (m) เปลี่ยนแปลง แล้วสรุปพฤติกรรมที่เกิดขึ้น
2. ปัญหาการเสียสมดุลของชุดจำลองความเสียหายเป็นการเสียสมดุลแบบสถิตย์หรือแบบพลวัตร เพราะเหตุใด

การทดลองที่ 2 Resonance testing

วัตถุประสงค์ - เพื่อศึกษาการหาความถี่ธรรมชาติ โดยใช้วิธีการ Bump test

ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งหัววัดการสั่นสะเทือน เข้ากับชุดจำลองการสั่นสะเทือน
2. ตั้งค่าพารามิเตอร์ภายในเครื่องวัดการสั่นสะเทือน รุ่น fieldpaqll
3. ทำการเคาะเครื่องจักรด้วยค้อนยาง

ตารางที่ 2 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติ

ลำดับ	ความถี่ (CPS)	ความถี่ (CPM)
1st		
2nd		
3rd		
4th		

วิเคราะห์ผล

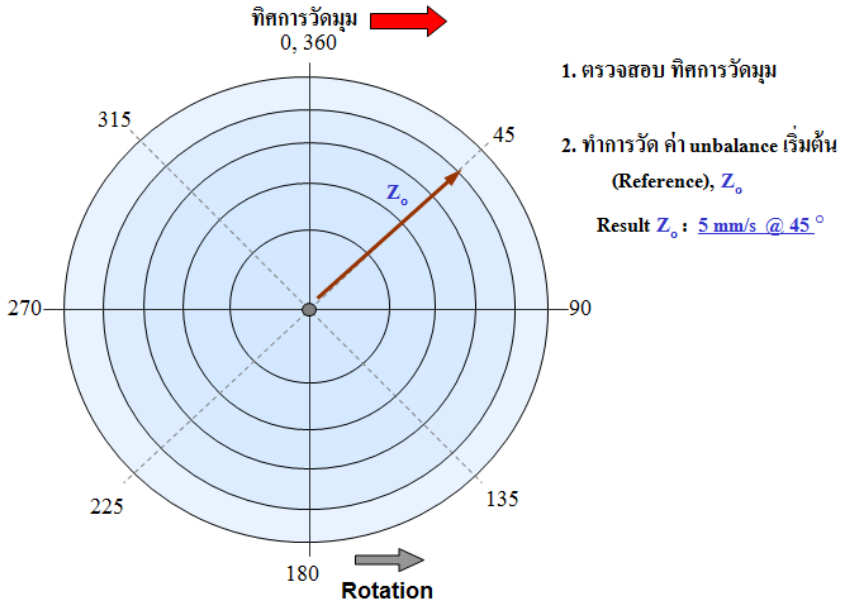
1. สรุปผลกระทบของความถี่ธรรมชาติ กับ การสั่นสะเทือน
2. หากต้องการแก้ไข การเกิดการสั่นพ้อง หรือ รีโซแนนซ์ ควรทำอย่างไร

การทดลองที่ 3 การแก้ไขการเสียสมดุลแบบ Single plane balance แบบ Polar plot

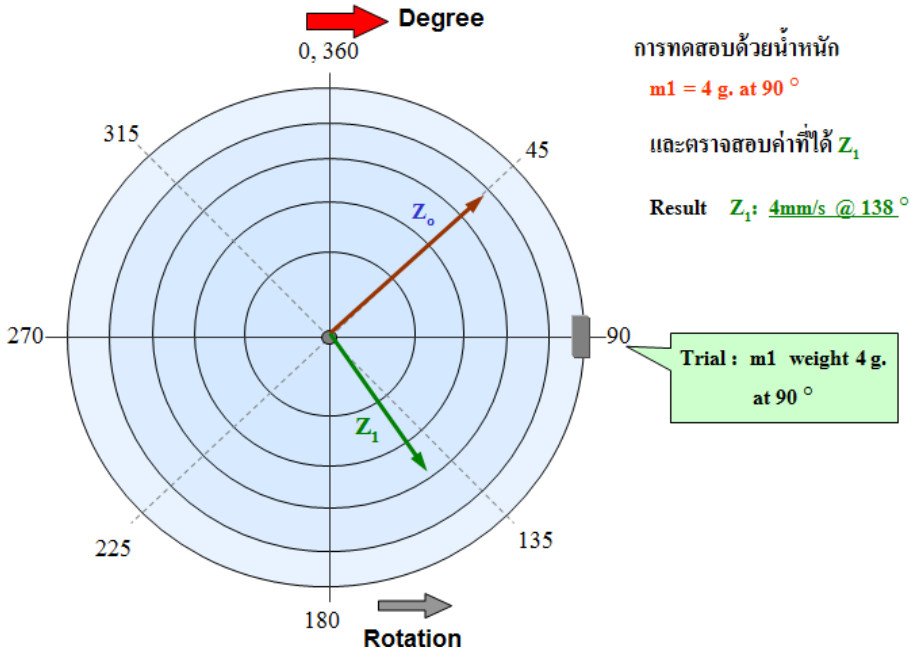
วัตถุประสงค์ - เพื่อศึกษาวิธีการถ่วงสมดุลโรเตอร์แบบ Single plane balance โดยใช้วิธี Polar polt

ขั้นตอนการทดลอง

1. ตรวจสอบทิศการวัดมุม โดยดูทิศทางการหมุนของเพลา
2. ทำการวัดค่า unbalance เริ่มต้น (Reference), Zo



3. การทดสอบด้วยน้ำหนักและการประมาณน้ำหนักที่จะใช้ และตรวจสอบค่าที่ได้ Z1



เมื่อ

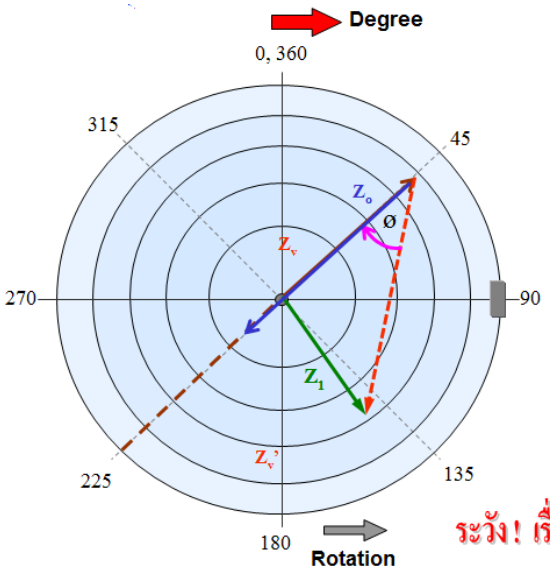
$$m_{trial} = 30\frac{m_{rotor}}{r_{trial}}$$

m_{trial} = มวลของ Trial Weight, grams

m_{rotor} = มวลของ Rotor, kg.

r_{trial} = รัศมีของมวลที่จำทำการทดสอบ, mm

4. คำนวณหา ø และมุมที่จะติดตั้ง มวลที่ใช้แก้ไข unbalance

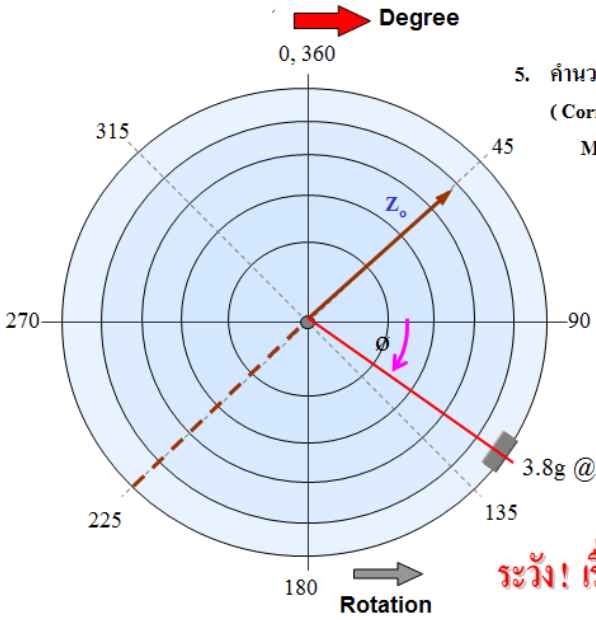


3. คำนวณหา Ø :

Ø = +38 °

ระวัง! เรื่องทิศทางของการวัดมุม

5. คำนวณหามวลที่ใช้แก้ไข unbalance



5. คำนวณหา มวลที่ใช้แก้ไข unbalance

(Correction Weight, Mc)

Mc = m_1 x (Z_o / Z_v)

= 4 x (5 / 5.2)

= 3.8 g.

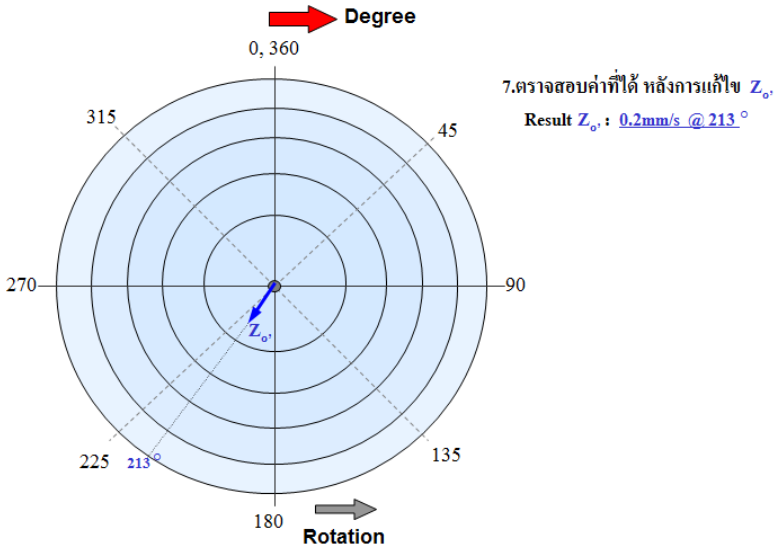
6. ทำการติดตั้งมวลที่ใช้ แก้ไข unbalance บนเครื่องจักร

3.8g @ 90 + 38 = 128 °

ระวัง! เรื่องทิศทางของการวัดมุม

6. ทำการติดตั้งมวลที่ใช้แก้ไข unbalance บนเครื่องจักร

7. ตรวจสอบค่าที่ได้ หลังการแก้ไข Zo’



8. เปรียบเทียบผลที่ได้กับ Specification เพื่อตัดสินใจว่าจะ Trim Balance ต่อหรือไม่

<u>วิเคราะห์ผล</u>

แสดงขั้นตอนการถ่วงสมดุลใน Polar plot และ แสดงค่าการสั่นสะเทือนสุดท้าย

ตัวอย่าง Polar plot สำหรับ ใช้ในการทำการถ่วงสมดุลเครื่องจักร