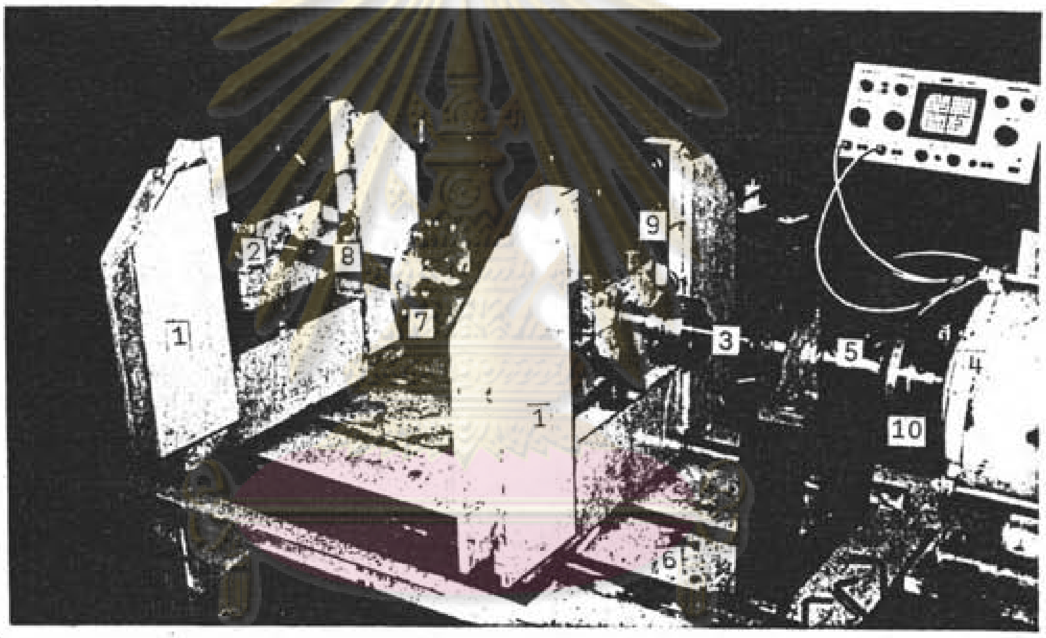
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือประกอบการทดลองและเครื่องมือวัด

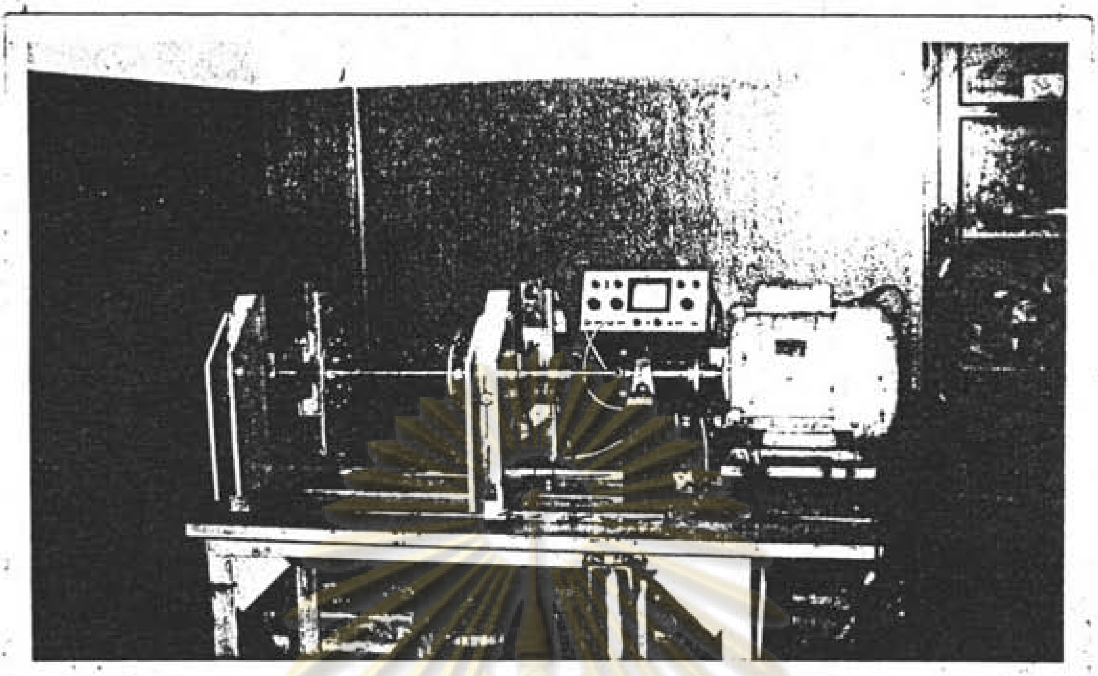


รูปที่ 3-1 การทดสอบสมรรถนะแบบระนาบเดี่ยว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวเครื่องตรวจสอบสมดุลย์ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3-1

1. Pesdestal
2. Bearing (upper and lower)
3. Flexible shaft Coupling
4. Drive motor
5. Sleeve Coupling
6. Table
7. Test disk
8. Shaft
9. Strain gage transducer and spring
10. Dial protractor



รูปที่ 3-2 การทดสอบสมรรถนะแบบสองระนาบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3-3 เครื่องมือวัดขนาดและตำแหน่งของความไม่สมดุลย์

เครื่องมือวัดประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. Analyzer
2. Ammeter
3. Stroboscopic Lamp
4. Oscilloscope

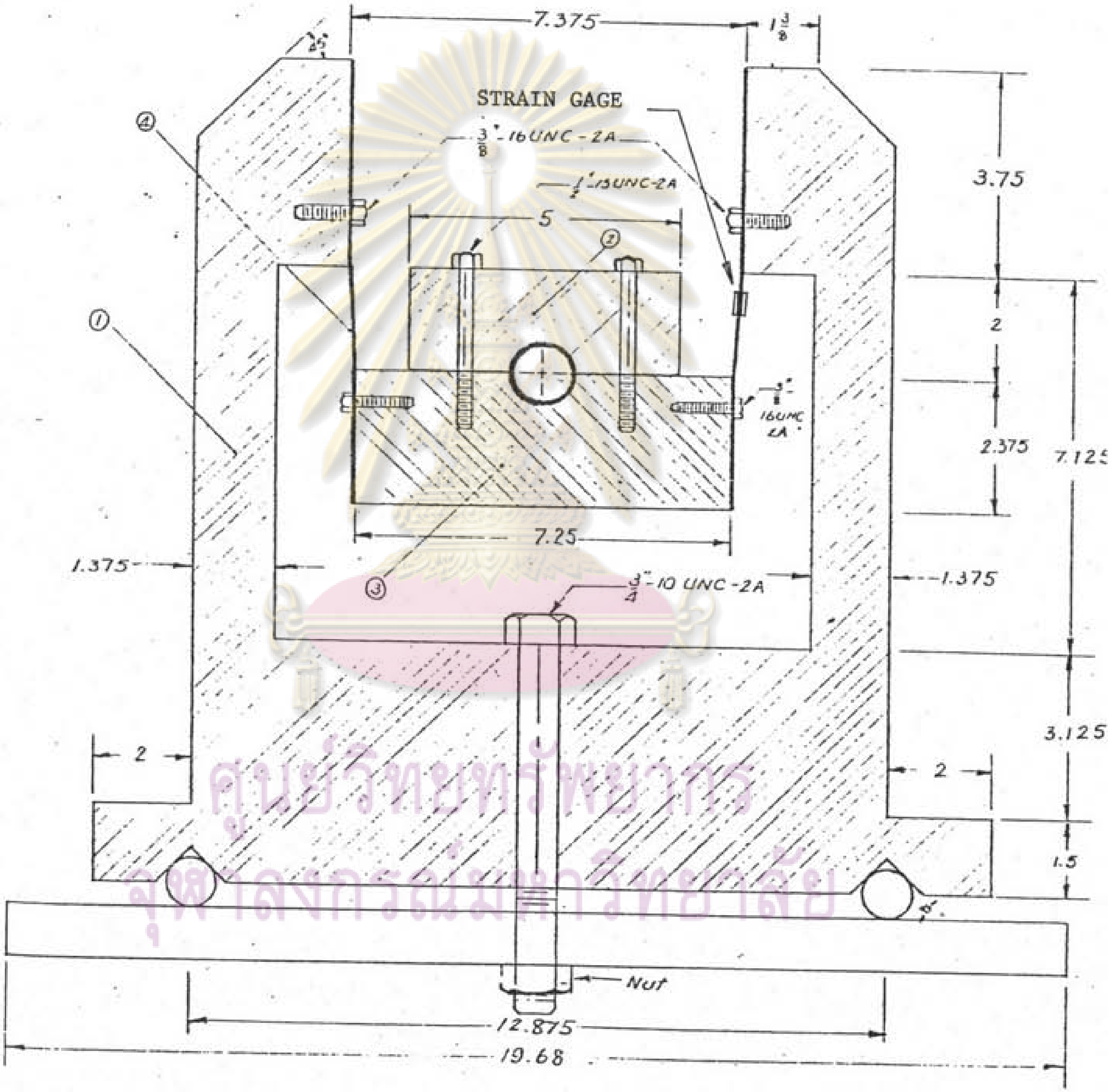
ตารางที่ 3-1

รายการละเอียดประกอบ Drawing

Item No.	parts Name	Material
1	Pedestal	Mild steel 1 ½" Thick
2	Bearing (upper)	Mild steel 1 ½" Thick
3	Bearing (lower)	Mild steel 1 ½" Thick
4	Spring	Stainless Steel strip
5	Shaft Coupling	Cold Roll Steel
6	Ring	Hot Roll Steel
7	Rod	Cold Roll Steel
8	Hollow Cylinder	Cold Roll steel
9	Ball	-
10	Rectangular Pin	Stainless Steel
11	Hollow shaft	Hot Roll Steel
12	Sleeve Coupling	Hot Roll Steel
13	Shaft	Cold Roll Steel
14	Set screw	-
15	Nut	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Bearing & Pedestal



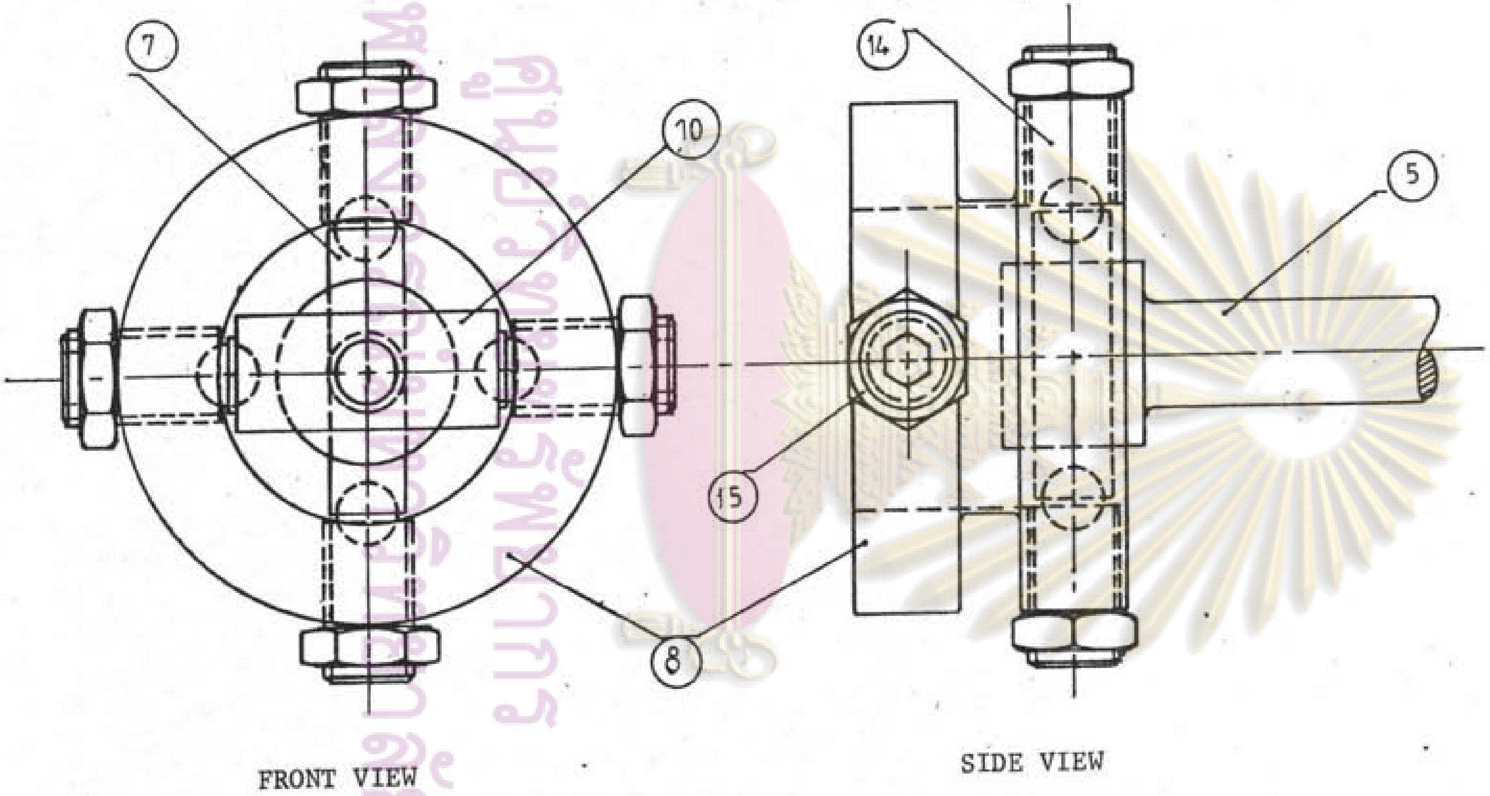
All Dimension in inch

Scale 1:3

รูปที่ 3-4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

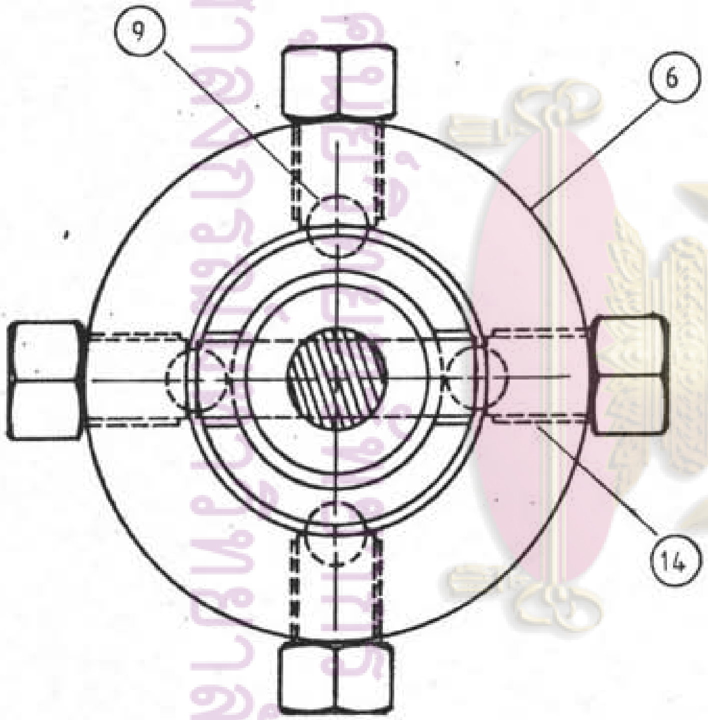
FLEXIBLE SHAFT COUPLING ASSEMBLY



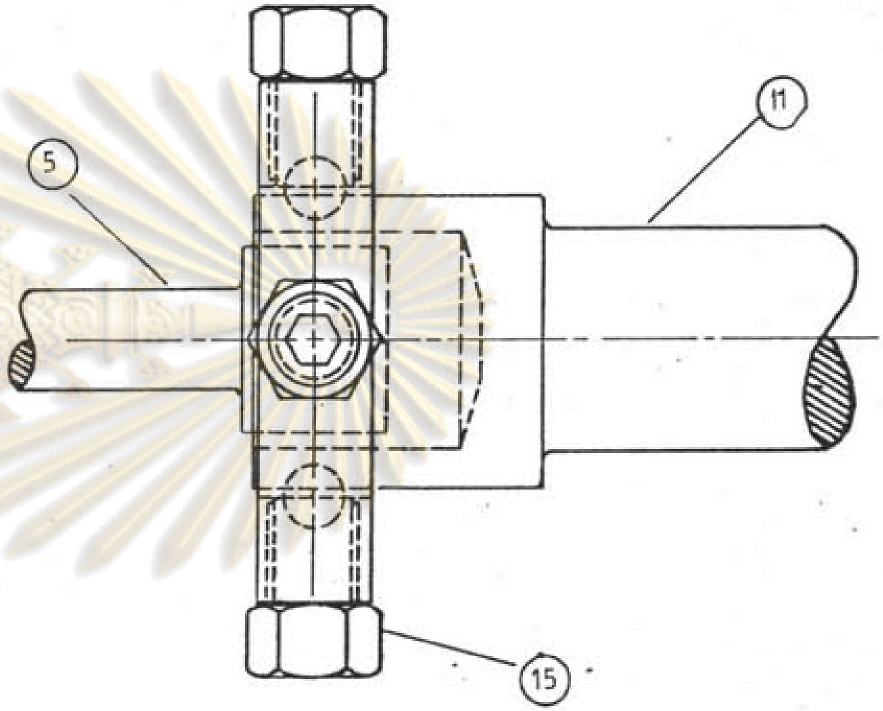
NOT TO SCALE

รูปที่ 3-5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



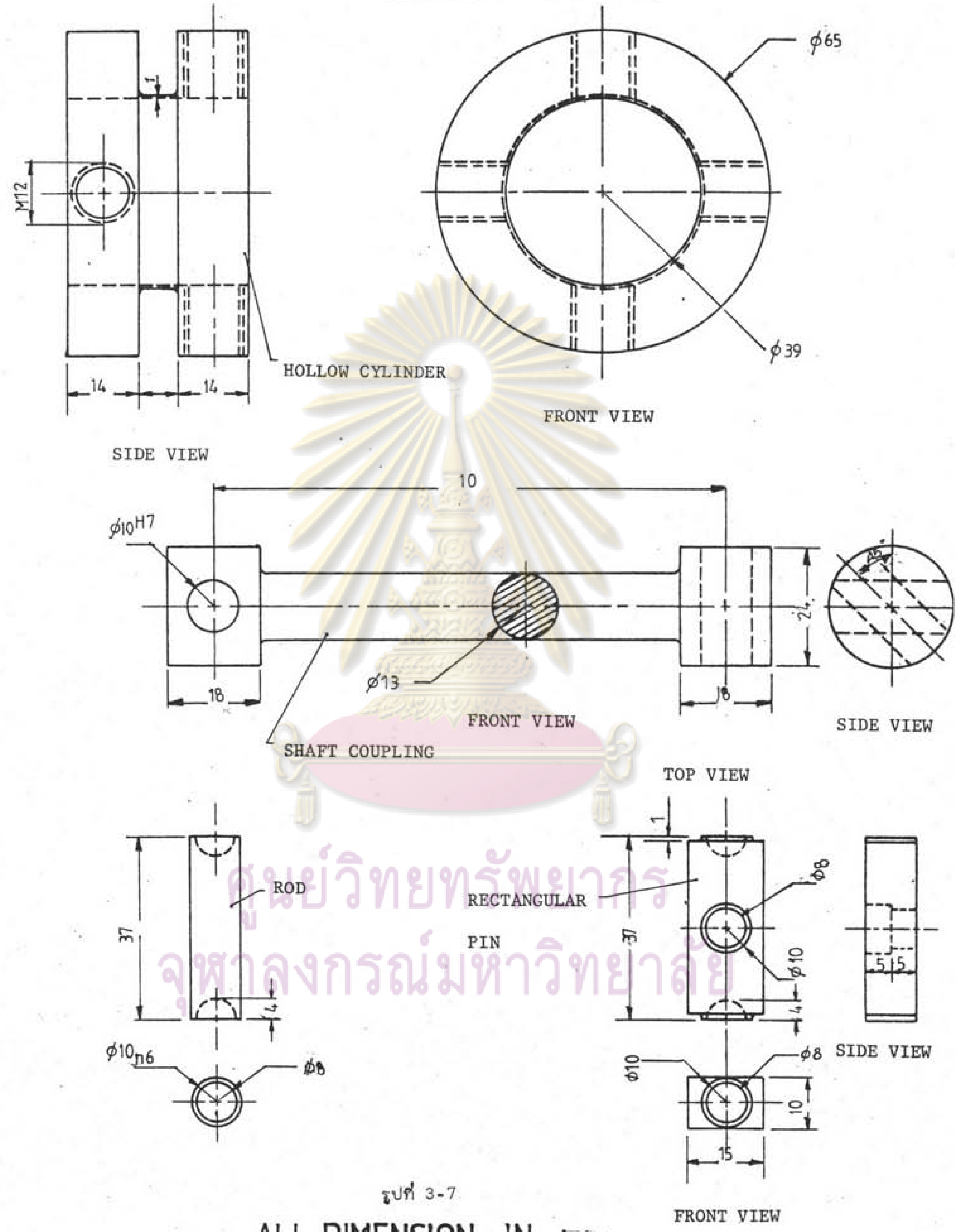
FRONT VIEW



SIDE VIEW

รูปที่ 3-6

DETAILS DRAWING

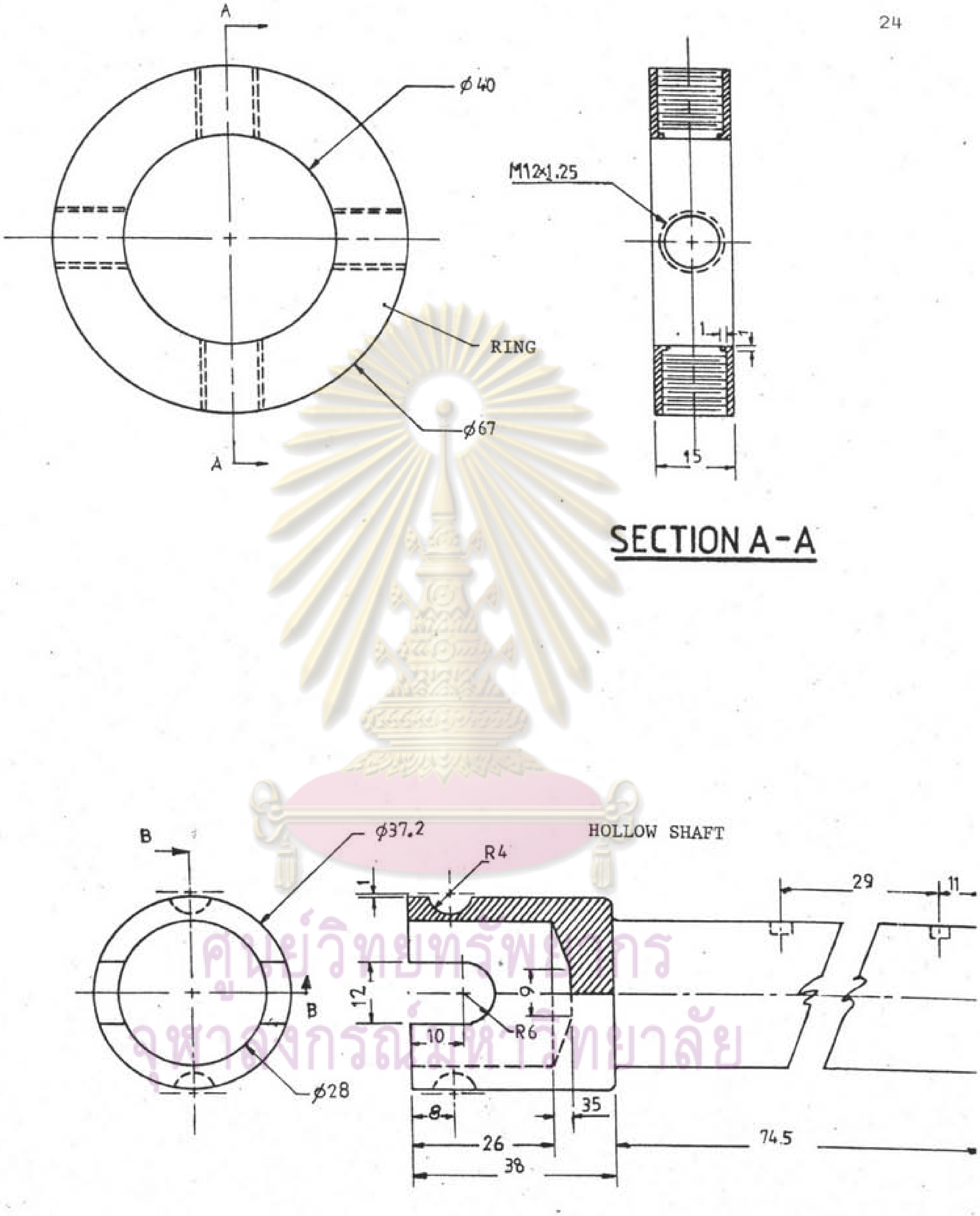


รูปที่ 3-7

ALL DIMENSION IN mm

SCALE 1:1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

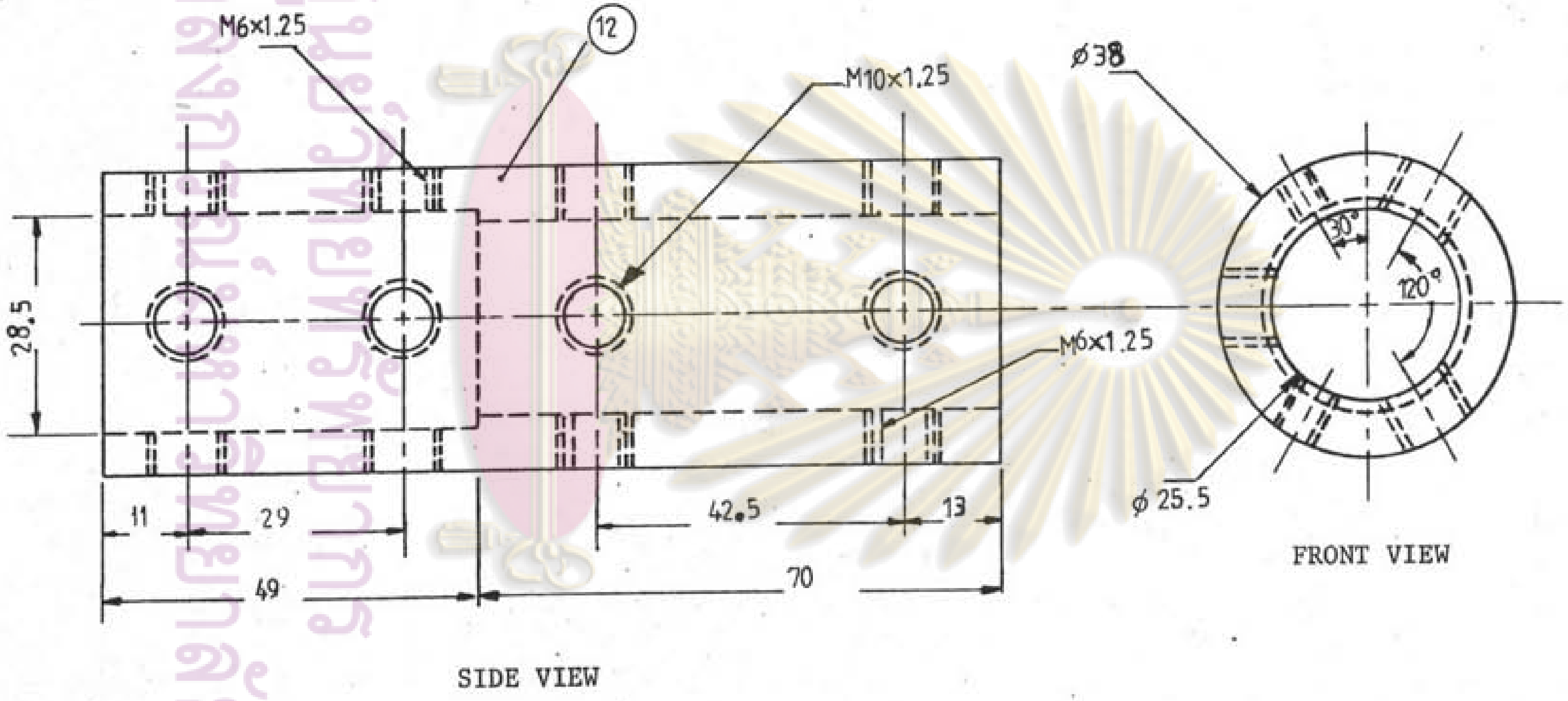


ALL DIMENSION IN MM.

รูปที่ 3-8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SLEEVE COUPLING



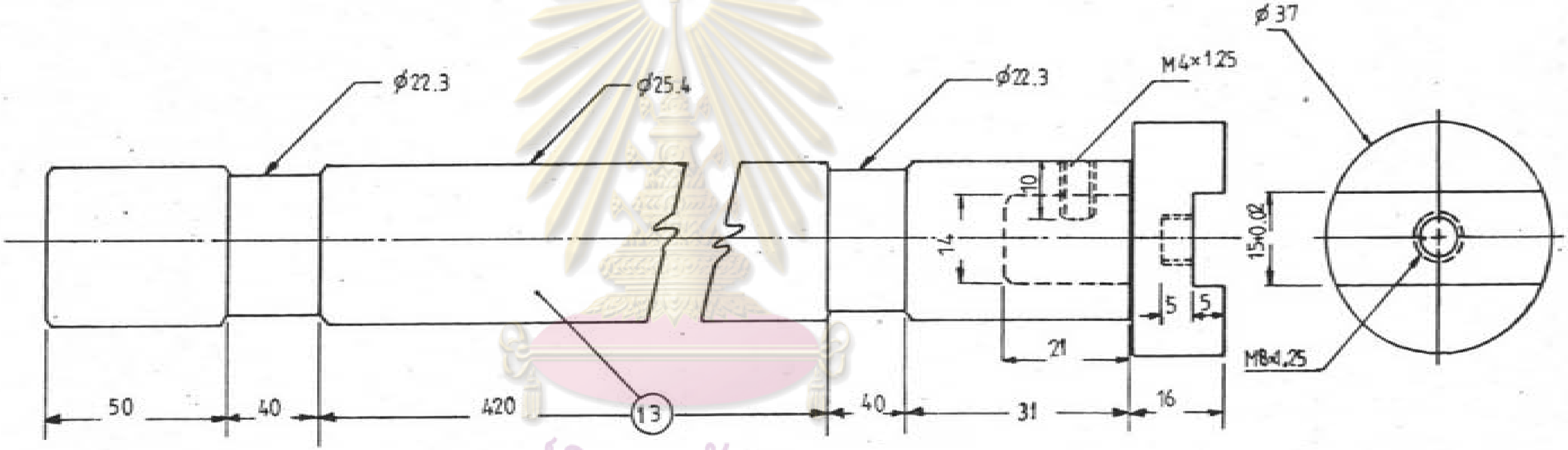
ALL DIMENSION IN MM.

SCALE 1:1

รูปที่ 3-9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SHAFT



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NOT TO SCALE

รูปที่ 3-10

3.2 การปรับปรุงเครื่องตรวจสอบสมดุลย์

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องตรวจสอบ

1. วิธีการส่งกำลังขับ (Drive method)

2. ระบบแขวนแบริ่งรองรับเพลา (Support System)

3. เพลาหมุนและฐานเครื่องตรวจสอบ (Rotating shaft and Machine Base)

4. ตัวรับสัญญาณและชุดวิเคราะห์สัญญาณ (Transducer and Analyzer)

วิธีการส่งกำลังขับ (Drive method)

อุปกรณ์ส่วนนี้ประกอบด้วย : มอเตอร์ sleeve coupling และ Flexible shaft coupling มอเตอร์เป็นแบบอินดักชั่นมอเตอร์ชนิดไฟกระแสสลับ มีระบบสตาร์ต ด้วยคาปาซิสเตอร์ ขนาด 2 แรงม้า เฟสเดียว , 220 โวลท์ 50 ไซเกิล มี starting current เท่ากับ 25 - 30 แอมแปร์ , No load เท่ากับ 5 แอมแปร์ และมีกระแสไหลขณะอยู่ภายใต้โหลดเต็มที่เท่ากับ 12.5 แอมแปร์ มอเตอร์ตัวนี้ยึดกับแท่นรองรับวางอยู่บนโต๊ะ มียางรองกันสะเทือนทั้งสี่มุมของแท่น ซึ่งสามารถปรับระดับของมอเตอร์ได้ตามความต้องการด้วยแป้นเกลียว การปรับระดับของตัวมอเตอร์ต้องใช้ความระมัดระวังมาก เพราะถ้าหากใช้รองยางรองกันสะเทือนอ่อนหรือแข็งเกินไปเวลายึดมอเตอร์จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนมาก เลือกขนาดของยางไม่อ่อนหรือแข็งเกินไป การขันแป้นเกลียวก็เช่นเดียวกันต้องขันให้แน่นพอดี จะเห็นได้ว่ามอเตอร์เป็นแหล่งใหญ่ที่จะก่อให้เกิดการสั่นเนื่องจากการหมุนของตัวโรเตอร์ตัดสนามแม่เหล็กเกิดการเหนี่ยวนำ และตัวโรเตอร์อาจอยู่ในสภาพไม่สมดุลย์บ้าง ดังนั้นกำลังหมุนที่ได้ออกมาแล้วส่งถ่ายทอดไปยังอุปกรณ์ชุดคัปปลิ้งควรให้เป็น pure torque เพียงอย่างเดียว และก่อนนำไปใช้งานต้องตรวจสภาพของมอเตอร์ เช่น การตรวจเช็คสภาพของแบริ่ง เป็นต้น

Sleeve Coupling

มีลักษณะรูปร่างทรงกระบอกกลวง มีความยาวและความหนาดังแสดงในรูปที่ 3-9 ทำหน้า

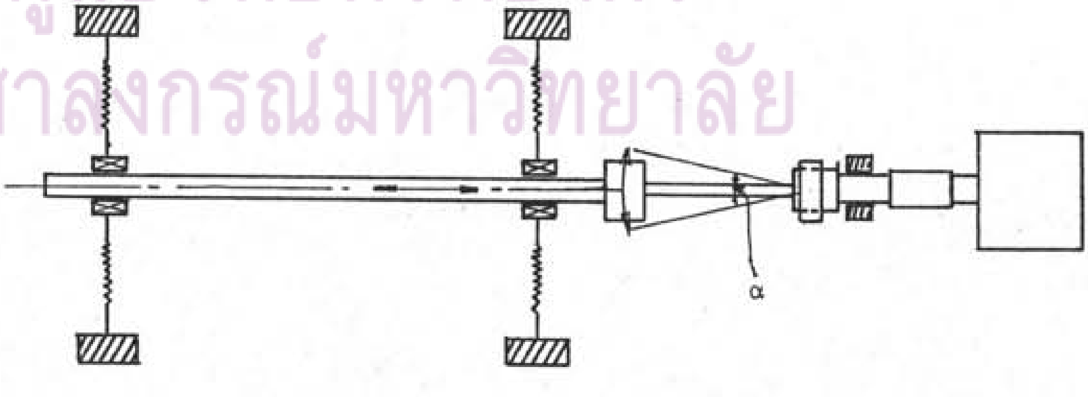
ที่ถ่ายทอดกำลังโดยตรงจากมอเตอร์ไปให้กับชุดแฟล็กซิเบิ้ล ชาร์ฟ คัปปลิ้ง โดยด้านหนึ่งสวมพอดีมีระยะเผื่อบ้างเข้ากับเพลาที่ยื่นออกของมอเตอร์สามารถปรับแกนเพลาและแกนของคัปปริ้งให้อยู่ในแนวแกนเดียวกันง่ายด้วยเซทสกรูโดยตรวจสอบด้วยไดอัลเกจ ขณะเดียวกันสามารถทำหน้าที่ล็อคให้แน่นได้ภายในตัว ดังนั้นคัปปลิ้งชุดนี้รับจำนวนแรงบิด ได้มากแค่ไหนขึ้นอยู่กับกำลังยึดของเซทสกรูทั้งหมด

Flexible Shaft Coupling

การส่งกำลังขับด้วยมอเตอร์ขับชิ้นงานให้หมุนด้วยความเร็วรอบที่ต้องการนั้นได้ปรับปรุงใช้วิธีการขับโดยตรง (Direct drive) และให้ผ่านชุดแฟล็กซิเบิ้ล ชาร์ฟ คัปปลิ้ง อีกทอดหนึ่ง ซึ่งเป็นชุดที่สองอยู่ในรูปแบบของยูนิเวอร์ซัล คัปปลิ้ง ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นจัดวางให้อยู่ในแนวแกน มีรูปร่างภายในที่ธรรมดา ส่งกำลังขับหมุนชิ้นงานจากความเร็วรอบเป็นศูนย์ไปยังความเร็วรอบที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว ประหยัดเวลาที่ใช้ขับหมุนชิ้นงาน การเลือกคัปปลิ้งแบบนี้มาใช้กับเครื่องตรวจสอบชนิด Soft-Bearing ต้องระมัดระวังมากเกี่ยวกับ Machine Tolerance เมื่อประกอบเข้าด้วยกัน และการไม่อยู่ในแนวแกนต้องแน่ใจว่าไม่มีผลต่อความสามารถของเครื่องตรวจสอบมากจนเกินไปพอจะยอมให้ได้บ้าง และนอกจากนั้นสามารถประกอบเข้าเป็นชุด Assembly ไม่ลำบากมากนัก สะดวกต่อการปรับ (adjustment) ส่วนสกรูและแป้นเกลียวต่าง ๆ จัดวางตำแหน่งให้สมมาตรกับแกนรัศมี อยู่ในแนวทำมุม 90° และ 180° สามารถตรวจสอบการเบี้ยวหรือเยื้องศูนย์ได้สะดวกด้วย

หลักการทำงานของคัปปลิ้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-11

ลักษณะรูปร่างของคัปปลิ้งโดยละเอียด (ดู Drawing ประกอบ) และหลักการทำงานเบื้องต้นของคัปปลิ้งจะต้องยืดหยุ่นได้เกือบทุก ๆ องค์ของการหมุนรับ Mode ของการสั่นที่จะเกิดขึ้นกับเพลาไม่ว่าจะเป็นแบบ Conical mode หรือ Translation mode แต่ว่า mode ของการสั่นส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในลักษณะของรูปกรวยและจุดตัดของยอดกรวยจะอยู่ทางด้านใดหรือตัดกับแกนเพลาหรือไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของความไม่สมดุลย์ที่มีอยู่ในชิ้นงาน ส่วนลักษณะอาการส่ายคือมุม α จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความยาวฮาร์ฟ คัปปลิ้ง จะได้ไม่เป็นตัวหน่วงเหนี่ยวกับ Displacement ที่เกิดขึ้นต่อแบริ่งด้านขวามือมากจนเกินไป ฉะนั้นทางเดิน (line of path) ที่ปลายของคัปปลิ้งเป็นลักษณะของ Circular path เมื่อเป็นเช่นนี้เป็นเหตุทำให้เพลาจะเลื่อนเข้าและออกได้บ้างในแนวแกนเพลาเป็นจังหวะ 1 รอบการหมุน ต้องกลึงเพลาระยะความยาวตกบ่านั่งบนแบริ่งเผื่อไว้ทั้งสองด้าน สำหรับการคำนวณหาขนาดของ Flexible Shaft Coupling ดูภาคผนวก ข.

<u>ระบบแขวนแบริ่งรองรับเพลา (Support System)</u>

ลักษณะการแขวนแบริ่งรองรับเพลา ดู Drawing ประกอบรูปที่ 3-4 ของเครื่องตรวจสอบของเราจะเห็นได้ว่าแบริ่งทั้งสองถูกแขวนไว้ด้วยสปริงแผ่นยึดกับพีเดสตอลเคลื่อนที่ได้ในแนวนอน สามารถแกว่งไปมาได้อย่างอิสระในลักษณะของฮาร์โมนิค ส่วนในแนวดิ่งเคลื่อนที่ได้น้อยมาก แบริ่งคู่นี้ได้ออกแบบไว้สำหรับรองรับเพลาที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ในการติดตั้งแบริ่งทั้งสองต้องยึดและปรับให้ได้ระดับ ต้องมีจุดศูนย์กลางร่วมกับจุดศูนย์กลางของเพลา ส่วนพีเดสตอลทั้งสองวางอยู่บนเพลากลมยาวสองเพลาซึ่งเชื่อมติดกับโต๊ะในแนวขนาน ระยะห่างระหว่างพีเดสตอลสามารถปรับได้ตามความยาวของชิ้นงาน อย่างไรก็ตามต้องปรับให้ได้ระดับทั้งแนวนอนและแนวดิ่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร

<u>เพลาหมุนและฐานเครื่องตรวจสอบ (Rotating Shaft and Machine Base)</u>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การพิจารณาเพลาที่จะนำมาใช้กับงานตรวจสอบสมดุลย์ ต้องได้รับการตรวจสภาพก่อนที่จะนำมาใช้งานด้วยการเช็คและตรวจสอบการโก่งหรือคดงอ ผิวเพลา การเบี้ยวของเพลาและโดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับการกลึงตกบ่าของเพลา ต้องระมัดระวังมาก ป้องกันการเกิดการเยื้อง นอกจากนั้นต้องผ่านการตรวจสอบสมดุลย์เสียก่อน เมื่อติดตั้งเพลาจำเป็นต้องตั้งศูนย์

ระหว่างเพลากับมอเตอร์และคัปปลิ้งให้อยู่ในแนวเส้นตรง อันเดียวกันด้วยการใช้ Dummy shaft, Dial gauge, ลูกดิ่งและระดับน้ำเป็นเครื่องมือช่วยในการปรับให้อยู่ในแนวเส้นตรงอันเดียวกัน

สำหรับฐานของเครื่องตรวจสอบของเราได้สร้างขึ้นมามีลักษณะแบบโต๊ะทั่ว ๆ ไป มีขาตั้งเหล็กฉาก แผ่นเหล็กหนารองรับอุปกรณ์ (Balancing Equipment) ทั้งหมด โต๊ะตัวนี้แข็งแกร่งมากพอสมควร และตั้งให้ได้ระดับ ในการปรับปรุงเครื่องส่วนนี้ได้ดำเนินการเทคอนกรีตบริเวณขาโต๊ะทั้งสี่กับพื้นซึ่งยึดขาในลักษณะของ Built up และได้ทำการเชื่อมเหล็กฉาก Cross ที่ขาโต๊ะทั้งสองด้านลดการส่ายไปมาในแนวราบของพื้นโต๊ะ

<u>หลักการของเครื่องมือวัดขนาดและตำแหน่งของความไม่สมดุลย์ทั่ว ๆ ไป</u>

หลักที่สำคัญที่จะต้องพิจารณาเกี่ยวกับการรับสัญญาณของขนาดและตำแหน่งของความไม่สมดุลย์

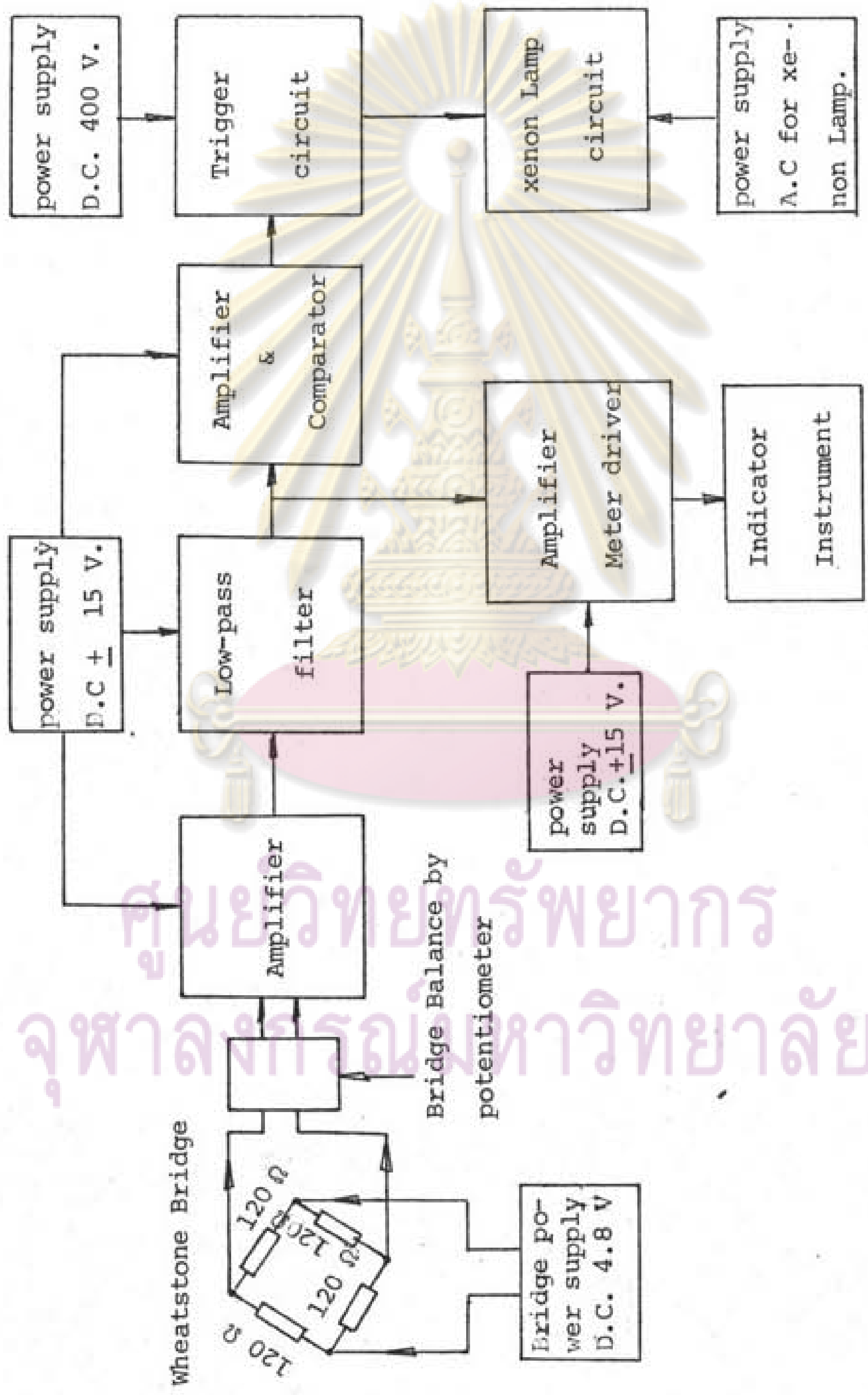
1. การรับสัญญาณของการสั่นจะต้องเป็นสัญญาณที่เกิดจากแรงหนีศูนย์เท่านั้น สัญญาณแทรกซ้อนต่าง ๆ จะถูกกรองให้เหลือน้อยที่สุด

2. จะต้องมีความแน่นอนทั้งขนาดของสัญญาณและตำแหน่งมุมที่เกิดจากแรงหนีศูนย์ ในการทดสอบครั้งนี้ เราใช้สเตรนเกจเป็นตัวรับสัญญาณขนาดของการสั่น

ส่วนต่าง ๆ ของเครื่องมือวัด (Transducer และ Analyzer) ดังแสดงในรูปที่ 3-12 สำหรับ Analyzer เป็นชุดเครื่องมือวัดขนาดและตำแหน่งของความไม่สมดุลย์ มี sensitivity สองค่าด้วยกัน เป็นค่าที่อยู่ในช่วงของ linear ช่วงแรกมีค่าเท่ากับ 1.37 mA/gm-mm ส่วนช่วงที่ 2 มีค่าเท่ากับ 1.847 mA/gm-mm., Ammeter เป็นแบบ Type M35 Range measurement ที่ Full scale: 0-1 mA.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนต่าง ๆ ของเครื่องมือวัด (Transducer และ Analyzer)



รูปที่ 3-12

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Strain gage Transducer

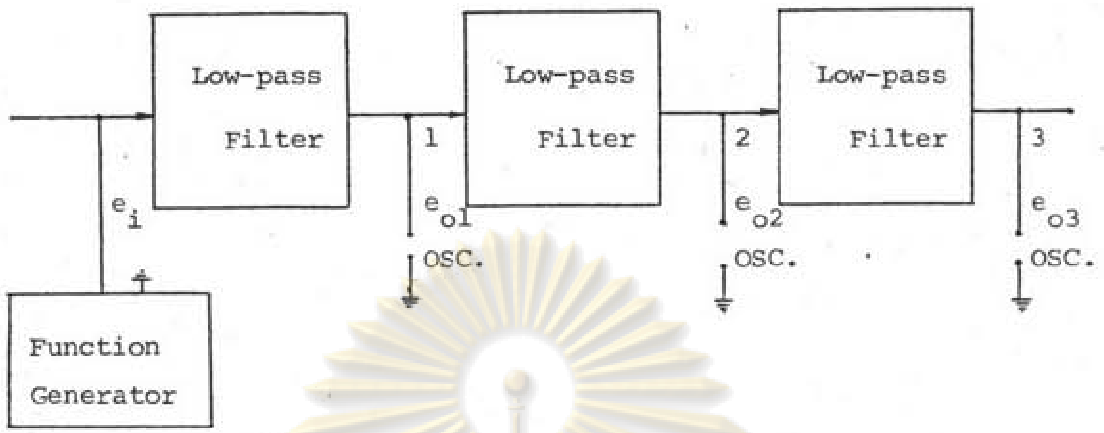
ระบบการรองรับของเครื่องตรวจสอบยืดในลักษณะของการแขวนแบริ่งรองรับชิ้นงานหมุนขณะเกิดความไม่สมดุลย์ แรงหนีศูนย์ที่เกิดขึ้นจะส่งผ่านแบริ่งทำให้สปริงแผ่นเกิดโมเมนต์ดัด ดังนั้นผิวของสปริงแผ่นด้านหนึ่งจะเกิดความเค้นดึง และอีกด้านหนึ่งเกิดความเค้นอัด ในการพิจารณาสเตรนเกจที่จะนำมาใช้รับสัญญาณการสั่นที่เกิดขึ้นกับแบริ่งได้เลือกเกจแบบ Foil ชนิด ไดนามิค สเตรนเกจ เหมือนกันทั้งสี่ตัว นำมาติดกับสปริงแผ่นต่อวงจรในรูป วีตสโตนบริดจ์ ดังแสดงในบล็อกไดอะแกรม สำหรับหลักการทำงานของวงจรบริดจ์ ดูได้จากภาคผนวก ฉ.

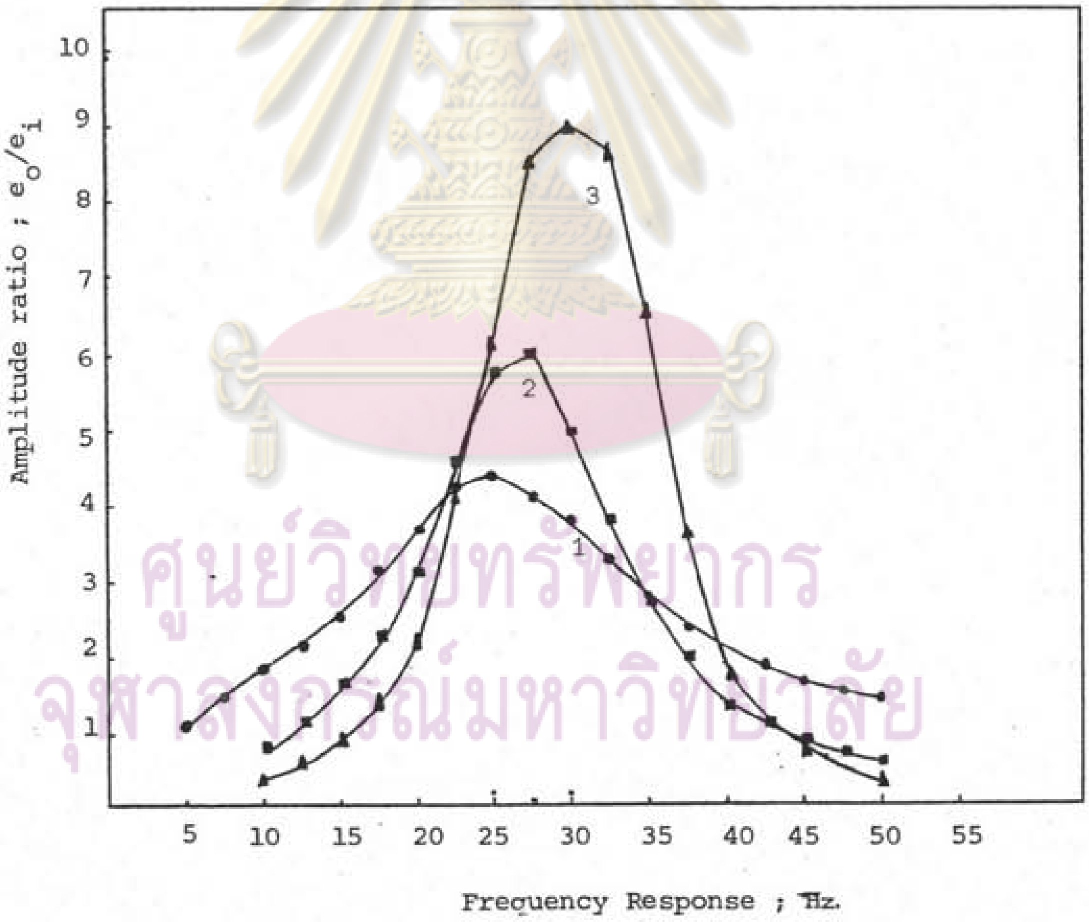
ชุดวิเคราะห์สัญญาณ (Analyzer)

สัญญาณที่ออกจาก Transducer ไม่ได้เป็นแบบ Simple sinusoidal ซึ่งเกิดจาก Cyclic effect ของความไม่สมดุลย์ แต่มันจะประกอบไปด้วยสัญญาณต่าง ๆ ที่เกิดจากการสั่นอันไม่พึงประสงค์ จะต้องนำมาเข้าชุด Analyzer วิเคราะห์สัญญาณ เพื่อที่จะให้เป็นสัญญาณของความไม่สมดุลย์เพียงอย่างเดียวเท่านั้น จากนั้นก็จะแสดงขนาดและตำแหน่งของความไม่สมดุลย์ภายในชุด Analyzer ประกอบด้วยวงจรภาคต่าง ๆ ดังแสดงในบล็อกไดอะแกรม และสำหรับหลักการทำงานดูได้จากภาคผนวก ช.

การปรับปรุงชุดวิเคราะห์สัญญาณ ซึ่งได้ต่อวงจรภาคต่าง ๆ ประกอบขึ้นมาเป็นชุดบรรจุอยู่ในกล่องครั้งแรกได้นำมาลองทดสอบดู ขนาดการสั่นจำนวนน้อย ๆ ประมาณ 5-15 μm มิเตอร์ไม่สามารถอ่านค่าขนาดการสั่นได้ จำเป็นต้องเพิ่มอัตราการขยายของภาคขยายแบบกลับเฟส เมื่อนำไปทดสอบก็สามารถอ่านค่าขนาดการสั่นจำนวนน้อย ๆ ได้ ขณะนั้นสภาวะการทำงานของเครื่องวัดยังไม่สมบูรณ์เต็มที่ โดยเฉพาะวงจรทริกเกอร์ เมื่อนำสโตรโบสโคป หรือ Xenon lamp ไปส่องบนไดอัลโปรแทรกเตอร์ เพื่อที่จะดูการแสดงตำแหน่ง (Phase Angle) ของการสั่น ปรากฏว่าเห็นตัวเลขมีอาการขยับไปมาอย่างรวดเร็ว ทำให้ลำบากในการอ่านตำแหน่งมุมของการสั่นที่ปรากฏให้เห็นจึงได้ตัดสินใจต่อวงจรภาคกรองความถี่ต่ำเพิ่มขึ้นเป็นสองชุด รวมทั้งหมดเป็นสามชุด แต่ยังไม่ทราบว่าจะทำให้ดีขึ้นหรือไม่ ต้องนำเครื่องไปทดสอบโดยการป้อนคลื่นรูป Sine เข้าไปที่ภาคกรองความถี่ต่ำชุดแรกด้วยขนาดของ Amplitude ที่คงที่ เปลี่ยนแปลงความถี่จาก 10 ถึง 35 Hz วัด Output voltage ที่ออกจากภาคกรองความถี่ต่ำ ชุดที่ 1,2 และ 3 นำค่ามาพล็อตกราฟระหว่างความถี่กับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 3-13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Frequency Response กับ Amplitude ratio

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Amplitude ratio (e_o/e_i) ผลออกมาปรากฏดังนี้ ที่ Stage 1 ลักษณะของ Curve ไม่ Sharp, ที่ Stage ที่ 2 และ 3 รูปร่างของ Curve มีลักษณะแนวโน้ม Sharp มากขึ้นเรื่อย ๆ และทำให้ Center - frequency ของ Curve ที่ Stage 2 และ 3 ขยับไปจากเดิม 25 Hz ไปเป็น 27.5 Hz และ 30 Hz สาเหตุเนื่องมาจากค่าความจุ และค่าความต้านทานของอุปกรณ์ที่ต่อเป็นวงจรภาคกรองความถี่ต่ำ แต่ละตัวมีค่า Error ถึง ± 10 % ดังแสดงในกราฟรูปที่ 3-13

นำ Analyzer ไปลองกับเครื่องตรวจสอบขณะเดินเครื่องปรากฏว่าวงจรทริกเกอร์ทำงานด้วยอัตราการ Trigg เร็วขึ้นกว่าปกติ เดินเครื่องใช้เวลาประมาณ 1 นาที คาปาซิสเตอร์ (C_2) ของวงจร Power supply สำหรับ Xenon lamp ร้อนมากขึ้นจนผิดปกติเกรงว่าอาจจะระเบิดขึ้นได้ ต้องเปลี่ยนใหม่ ซึ่งขนาดของเดิมใช้ขนาดความจุ 2 µF 450 V มาเป็น 1 µF 630 V เป็นแบบ A.C. คาปาซิสเตอร์ได้ตัดวงจรความถี่ต่ำออก 1 ชุด ลองเดินเครื่องสังเกตอัตราการทริกสม่ำเสมอดี อ่านตำแหน่งได้ง่ายขึ้น เมื่อดูสัญญาณที่ออกจากภาคกรองความถี่ต่ำชุดท้าย มีลักษณะคลื่นรูป sine หยุดเดินเครื่องตรวจสอบ Balance bridge ใหม่ ลองทดสอบดูว่า ถ้าหากไม่มีสัญญาณจากสเตรนเกจเข้ามายังชุด Analyzer, วงจรทริกเกอร์ทำงานหรือไม่ กดสวิทย์ อยู่ตำแหน่ง "ON" ปรากฏว่าวงจรทำงานต่อเนื่องทันที ถึงตอนนี้ผู้เขียนอยากจะให้ข้อสังเกตว่า ถ้าหากไม่มีสัญญาณจากสเตรนเกจ วงจรทริกเกอร์ไม่ควรจะทำงาน สัญญาณที่เข้ามาทำให้ SCR ทำงานคงจะมาจากแหล่งภายนอกแทรกซ้อนปะปนเข้ามา เช่น Noise เป็นต้น

ได้สำรวจดูอีกครั้งว่าจุดใดบ้างที่สัญญาณจากแหล่งภายนอกแทรกซ้อน และมีผลต่อชุด Analyzer ได้ลงความเห็นในลักษณะของความเป็นไปได้ คือ ช่วงจากสเตรนเกจถึงภาคขยาย มีผลมาก และได้ดำเนินการเปลี่ยนสายไฟช่วงนี้จากเดิมซึ่งเป็นสายไฟธรรมดามาเป็นสาย Shield ที่ห่อหุ้มด้วยตะแกรงลวดหนาขึ้นกว่าเดิมมาก นอกจากนั้นใช้กระดาษกาวพันสายไฟรัดสายไฟเส้นเล็ก ๆ ระหว่างสเตรนเกจถึงสายไฟแบบสาย Shield ให้เป็นเส้นเดียวกัน ป้องกันการเกิด Signal loop ระหว่างสายเส้นเล็กด้วยกัน เมื่อดำเนินการเสร็จเรียบร้อยได้ทดสอบ Analyzer โดยที่ไม่ต้องเดินเครื่องตรวจสอบ กดสวิทย์ อยู่ในตำแหน่ง "ON" วงจรทริกเกอร์ไม่ทำงานแสดงว่าสัญญาณจากแหล่งภายนอกที่ไม่ต้องการลดลง

พอสมควร จึงไม่มีผลต่อ Analyzer ทดลองเดินเครื่องตรวจสอบ ขนาดการสั่นประมาณ 0 → 5 μm วงจรทริกเกอร์ไม่ทำงานเพิ่มขนาดขึ้นเป็น 7 → 20 μm ทำงานได้เป็นปกติ มองเห็นตัวเลขบนไดอัลโปรแทรกเตอร์ได้ชัดเจน แต่มีอาการขยับไปมาและอาการ drift บ้าง สังเกตดูสัญญาณที่ออกจากภาคกรองความถี่ต่ำ ปรากฏว่าคลื่นรูป sine เปลี่ยนไปเป็น sinusoidal wave มีรูป curve บิดเบี้ยวไปบ้างพอสมควร ดังนั้นเครื่องมือวัดอยู่ในสภาพที่พอใช้งานได้

3.3 ข้อกำหนดการทดสอบสมรรถนะของเครื่องตรวจสอบสมดุลย์

การพิจารณาน้ำหนักของ Test Weight ที่จะนำมาเติมให้กับแผ่นดิส โดยพิจารณาจาก Balancing grade (G) ดูกรู๊ฟของ rigid rotor ปรากฏว่ารูปร่างของชิ้นงานเป็นแผ่นดิสอยู่ใน Balance quality grade (G 0.4) ที่ความเร็วรอบ 1440 rpm ได้ Acceptable residual unbalance per unit of rotor Weight เท่ากับ 4.5 gm-mm/Kg. ดูภาคผนวกตารางที่ ข-2 และรูปที่ ข-3

แต่ 1 gm-mm/Kg เทียบเท่ากับ การกระจัด ของจุด c.g. = 0.001 mm.

ดังนั้น 4.5 gm-mm/Kg. = 0.0045 mm.

ความไม่สมดุลย์ที่เหลืออยู่พอยอมได้ หาได้จากสูตรดังนี้ สำหรับ single plane correction

$$U_F = 1,000 \ Wd.$$

U_F = allowable residual unbalance ; gm-mm

W = น.น. ของ Test disk ; Kg

d = การกระจัดของจุดศูนย์ถ่วง จากแกนหมุน; mm.

ต้องกำหนดอนุกรมของความไม่สมดุลย์ขนาดต่าง ๆ จากน้อยไปหามาก หรือก็เท่าของ U_F ที่จะนำมาเติมให้กับแผ่นดิส ดังแสดงในตารางที่ 3-2

$$U_F = 1,000 \ Wd = 1,000 \times 0.5946 \times 0.0045$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
I16000523

$= 2.6757$ gm-mm

ตารางที่ 3-2

No. of unbalance	U_F gm-mm	r mm.	$W_F = U_F/r$ gm.
$24U_F$	64.216	64.2	1
$48U_F$	128.433	64.2	2
$72U_F$	192.650	64.2	3
$96U_F$	256.867	64.2	4
$120U_F$	321.084	64.2	5
$144U_F$	385.300	64.2	6

ความไม่สมดุลย์ที่เหลืออยู่พอยอมได้ สำหรับ Two - plane correction หาได้จากสูตร ดังนี้

$$U = 500 \; Wx$$

U = allowable residual unbalance ในแต่ละระนาบแก้ gram - mm.

W = น.น ของ Test disks ; Kg

x = Specified allowable bearing displacement ; mm.

$$\therefore U = 500 \times 1.1896 \times 0.00225$$

$$= 1.3383 \text{ gm-mm}$$

กำหนดอนุกรมขนาดของความไม่สมดุลย์ต่าง ๆ จากน้อยไปหามากหรือที่เท่าของ U ที่จะนำมาเติมให้กับระนาบแก้ ดังแสดงในตารางที่ 3-3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-3 อนุกรมของน้ำหนักทดลองใช้ทดลองสมรรถนะแบบสองระนาบ

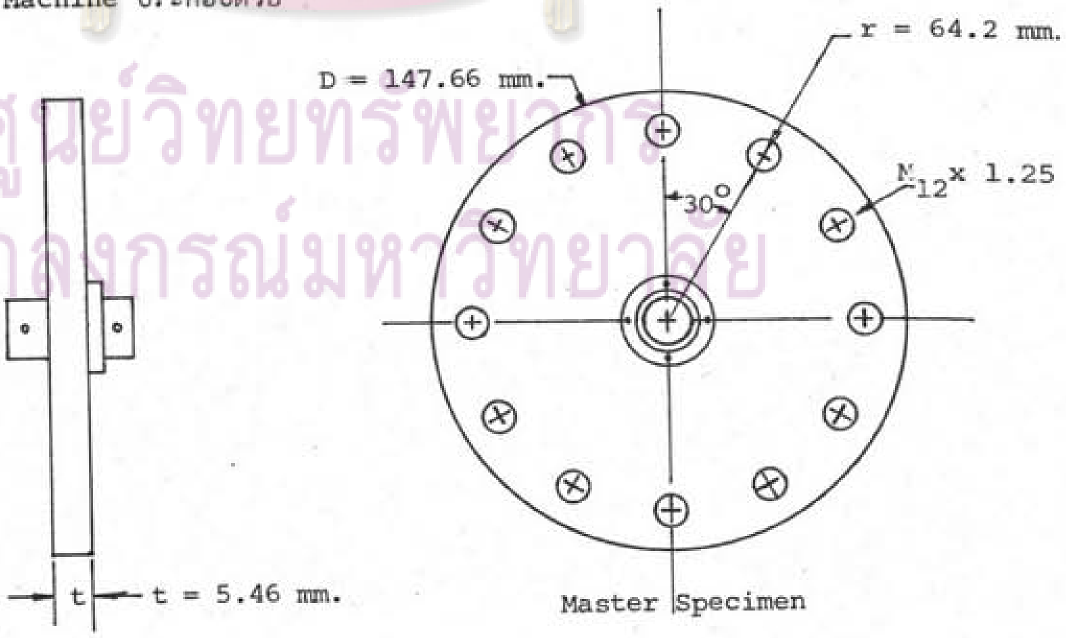
No of unbalance	U gm-mm	r mm	w=U/r gram
48U	64.238	64.2	1
96U	128.476	64.2	2
144U	192.715	64.2	3
192U	256.955	64.2	4
240U	321.192	64.2	5
288U	385.450	64.2	6

w_F , w = น้ำหนักทดลอง ; gm

r = ระยะห่างจากแกนหมุนถึงจุด c.g ของน้ำหนักทดลองที่เติม ; mm

3.3.1 <u>การเตรียมการก่อนทดลองสมรรถนะของเครื่องตรวจสอบสำหรับระนาบเดียวและสองระนาบ</u>

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสำหรับระนาบเดียวและสองระนาบ มีดังนี้ single-plane Balancing Machine ประกอบด้วย



รูปที่ 3-14

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ชิ้นงานที่รูปร่างลักษณะกลมบาง (Disc-shaped parts) จำนวน 1 ชิ้นหนัก 594.6 กรัม มีเส้นผ่าศูนย์กลางและความหนา t เจาะรูทำเกลียวสำหรับเติม unbalance Weight ซึ่งแต่ละตำแหน่งของรูเจาะห่างกัน 30^0 ตามเส้นรอบวง ส่วนมิติต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3-14

2. จัดหาน้ำหนักทดลอบ (Test Weight) จำนวน 6 ก้อน ซึ่งขนาดน้ำหนักต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3-2 สำหรับน้ำหนักทดลอบทำมาจากเซ่ทสกรู (ตัวหนอน) ขนาดเกลียว M12x1.25 นำมาแต่งหรือตะไบให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ

สำหรับ Two-plane Balancing Machine: จะประกอบด้วย

1. ชิ้นงานทดลอบที่มีรูปร่างเหมือนกันทุกประการกับการทดลอบแบบระนาบเดียว แต่การทดลอบแบบสองระนาบนั้นประกอบด้วย Test disk จำนวน 2 แผ่นด้วยกัน ซึ่งมีมิติต่าง ๆ เหมือนกันทั้ง 2 แบบ

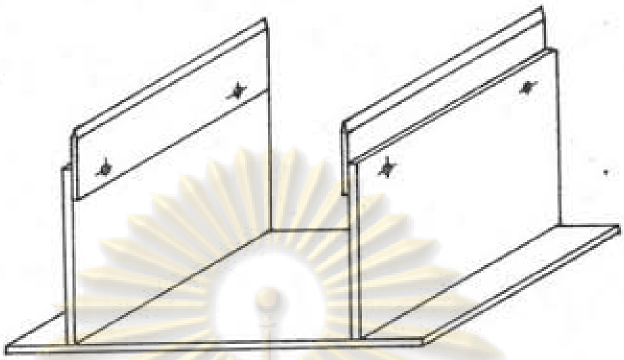
2. สำหรับน้ำหนักทดลอบ (Test Weight) ใช้จำนวน 6 ก้อน เช่นเดียวกัน ซึ่งขนาดน้ำหนักต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3-3

การพิจารณาวัสดุที่นำมาใช้ทำ Test disk เป็นวัสดุแผ่นผ่านขบวนการรีด เพราะว่าความเป็นเนื้อเดียวกันของวัสดุจะดีกว่าผ่านขบวนหล่อ การทดลอบครั้งนี้เราใช้วัสดุเป็นอลูมิเนียมแผ่น ซึ่งวัสดุประเภทนี้ไม่เป็นสนิม กลึงง่าย ผิวเรียบด้วย

สำหรับวัสดุที่ใช้ทำเป็นบูช ซึ่งทำหน้าที่ยึดแผ่นดิสก์กับเพลานั้นใช้เหล็กที่มีความต้านแรงสูงหน่อย เพราะต้องเจาะรูทำเกลียวตามเส้นรอบวงสำหรับใส่เซ่ทสกรู ล็อคแผ่นดิสก์กับเพลาให้แน่นป้องกันเกลียวหวานหรือชำรุด การกลึงชิ้นงานทดลอบแต่ละชิ้นต้องทำด้วยความปราณีตสูงหน่อย เช่นการเจาะตำแหน่งรูทำเกลียวเติม unbalance weight การเจาะรูตำแหน่งตามเส้นรอบวงของบูชกับแผ่นดิสก์ มีระยะความเผื่อระหว่างบูชกับเพลาต้องสวมพอดี การปิดเบี้ยวระหว่างการกลึงต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ Test specimens ที่จะนำมาทดลอบสมบูรณ์ทั้งแบบระนาบเดียวและสองระนาบ ต้องนำไปตรวจสอบสมดุลย์แบบสแตติคเสียก่อนด้วย Static Balancing Machine จุดประสงค์ต้องการทำให้เป็น Master specimens

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.2 Static Balancing Machine



รูปที่ 3-15

เครื่องตรวจสอบสมดุลย์แบบสแตติค ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1. คมมีดจำนวน 2 ชิ้น ผ่านการ machine โดยทำมุมเป็น 45°
2. เพลาตันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว จำนวน 1 ท่อน
3. โครงสร้างสำหรับยึดคมมีด ดังแสดงในรูปที่ 3-15

เครื่องตรวจสอบที่ได้สร้างขึ้นมานี้เหมาะสมกับชิ้นงานทดสอบที่มีลักษณะกลมบาง มีขนาดน้ำหนักไม่มากนักประมาณ 0 → 3 กิโลกรัม เส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงานไม่เกิน 24 ซม. ความหนาประมาณ 15 ซม. สามารถนำไปตั้งทดสอบที่ใดก็ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.3 การเตรียมการทดสอบแบบ Static Balance

1. ประกอบแผ่นดิสเข้ากับบูช และยึดให้แน่นด้วยโบลท์จำนวน 4 ตัว ทั้ง 2 แผ่น

2. เตรียมจัดหาน้ำหนักถ่วง ซึ่งเป็นน้ำหนักลอง (Trial weight) อาทิเช่น ดินเหนียว ดินน้ำมัน หรือ แผ่นเหล็กบาง ๆ สำหรับหนีบไว้ที่ขอบของแผ่นดิส

3. ต้องคัดเลือกเพลาตันด้วยการพิจารณาผิวของเพลา ไม่เป็นเรียว การคดงอตลอดความเบี้ยวของเพลา สำหรับความโตของเพลาต้องสวมพอดีกับบูช ระยะความเผื่อให้น้อย

ที่สุด

4. ประกอบคมมีดเข้ากับโครงยึดคมมีดด้วยโบลท์ 4 ตัว ซึ่งสามารถปรับคมมีดให้ได้ระดับ และขนานกันด้วยการรอง shim เมื่อติดตั้งเรียบร้อย ยึดให้แน่นเป็นการถาวร

3.3.4 ขั้นตอนการทดสอบสมดุลย์แบบสแตติค

1. ติดตั้งแผ่นดิสเข้ากับเพลาซัน โดยวางตำแหน่งอยู่ระหว่างตรงกลางเพลาล๊อคด้วยเซทสกูรให้แน่น

2. นำไปวางบนคมมีด แล้วกลิ้งด้วยมืออย่างเบา ๆ และยอมให้มันไถลไปจนกระทั่งมันหยุดอยู่กับที่แล้วทำเครื่องหมายด้วยชอล์กที่จุดต่ำสุดด้านล่างขอบของแผ่นดิส กระทำซ้ำ ๆ กันถึง 4 หรือ 5 ครั้ง หากว่า เครื่องหมาย ยังมีอยู่ในตำแหน่งเดิม (หมายถึงด้านล่าง) แสดงว่าเป็นตำแหน่งที่อยู่ของความไม่สมดุลย์เราเรียกว่าจุดหนัก (Heavy spot) ขณะนี้แผ่นดิสอยู่ในสภาพ statically unbalanced แสดงว่าแกนของเพลากับจุดศูนย์ถ่วงของแผ่นดิสไม่ได้ทับกัน

3. ดังนั้นตำแหน่งของน้ำหนักถ่วงต้องอยู่ในตำแหน่งตรงกันข้ามกับจุดหนักยังไม่สามารถทราบขนาดน้ำหนักถ่วงที่แท้จริง หาโดย Trial and Error

4. ลองเติมน้ำหนักด้วยขนาดที่เหมาะสมในตำแหน่งตรงกันข้ามกับความไม่สมดุลย์ เมื่อเติมแล้วผลที่เกิดขึ้นตามมา 2 กรณีด้วยกัน คือ หาก TW. มากกว่า unbalance weight จุดหนักจะเปลี่ยนไปถ้า TW. น้อยกว่าจุดหนักยังอยู่ที่เดิม ถ้าหากกรณีที่ 1 ค่อย ๆ ดึง TW. ออกครั้งละนิดหน่อย หากเป็นกรณีที่ 2 ค่อย ๆ เพิ่ม TW. เข้าไปจนกระทั่ง TW. เท่ากับ unbalance weight หรือใกล้เคียงกันมากที่สุด เมื่อถึงช่วงนี้ก็ให้ค่อย ๆ เปลี่ยนตำแหน่งการวางแผ่นดิสบนคมมีด กระทำซ้ำ ๆ หลาย ๆ ครั้งหากปรากฏว่าแผ่นดิส และเพลาแกว่งไปมาเล็กน้อยแล้วหยุดอยู่กับที่ ไม่ว่าจะวางตำแหน่งใด ๆ ก็ตามแสดงว่าแผ่นดิสอยู่ในสภาพสมดุลย์แบบสแตติค

5. นำ TW. ไปชั่งหาขนาดน้ำหนักในหน่วยกรัม แล้วนำน้ำหนักถ่วงมายึดเป็นการถาวรใหม่อีกครั้ง ผลที่ได้ออกมา ดังแสดงในตารางที่ 3-4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.5 ผลการตรวจสอบ Static Balance

ชนิดของงานทดสอบ : Disk จำนวน 2 แผ่น

ตารางที่ 3-4

Condition	ตำแหน่งของจุดหนัก (Heavy Spot)	ตำแหน่งถ่วง	ขนาดน้ำหนักถ่วง gram
แผ่นดิสก์ชิ้นแรกมีน้ำหนัก 594.6 กรัม วางบนคมมีด	ด้านล่าง	ตรงกันข้ามกับ Heavy Spot	0.321
แผ่นดิสก์ชิ้นที่ 2 มีน้ำหนัก 595 กรัม วางบนคมมีด	ด้านล่าง	ตรงกันข้ามกับ Heavy Spot	0.385

3.4 วิธีการทดสอบสมรรถนะและการตรวจสอบสมดุลย์ระนาบเดียวและสองระนาบ

3.4.1 วิธีการตรวจสอบสมดุลย์เพลา

วิธีการตรวจสอบสมดุลย์แบบ 2 ระนาบนั้นปกติแล้วจะใช้วิธี Trial and Error แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสถานะภาพของความไม่สมดุลย์ที่มีอยู่ในชิ้นงานนั้น ๆ หมายความว่าหากมีความไม่สมดุลย์อยู่ในชิ้นงานมากก็จะทำให้เกิดการสั่นมาก เพราะฉะนั้นเครื่องสามารถตรวจสอบได้ทั้งขนาดและตำแหน่ง แต่บางครั้งตรวจสอบได้เฉพาะขนาดของการสั่น, phase Angle เราวัดไม่ได้ เพราะมีความไม่สมดุลย์ ในชิ้นงานน้อย ตัวอย่างเช่นเพลา เป็นต้น

ด้วยเหตุความจำเป็นอันนี้เอง จำต้องหาวิธีการตรวจสอบสมดุลย์แบบ 2 ระนาบ โดยวัดเฉพาะขนาดการสั่นที่แบริ่งทั้ง 2 นำมาเป็นข้อมูล ใช้สำหรับคำนวณหาขนาดของน้ำหนัก และตำแหน่งถ่วง เพื่อที่จะให้เกิดความสมดุลย์แก่เพลา และเราจะเรียกวิธีการตรวจสอบสมดุลย์นี้ว่า "การตรวจสอบสมดุลย์ปราศจากการวัดตำแหน่ง" (Balancing without phase measure) วิธีการนี้ไม่สามารถตรวจสอบสมดุลย์เพลาพร้อมกันทั้ง 2 ระนาบใน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เวลาเดียวกัน แต่จะตรวจสอบสมดุลย์ที่ระนาบแก้ทั้ง 2 ไม่พร้อมกัน ในแต่ละระนาบแก้ โดยจะเริ่มตรวจสอบระนาบแก้ด้านขวามือก่อนเป็นอันดับแรก แล้วค่อยไปตรวจสอบระนาบซ้ายมือเป็นอันดับต่อไป ดังจะกำหนดลำดับขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้

1. เดินเครื่องหมุนเพลาที่จะทำการถ่วงสมดุลย์ จากนั้นวัดขนาดการสั่น (original reading) จากเครื่องมือวัด กำหนดให้เป็น u ได้ค่าตามตารางที่ ก-1 จากนั้นพล็อตลงกราฟ ตามรูปที่ 4-1 โดยการเขียนวงกลมให้จุด 0 เป็นจุดศูนย์กลาง ด้วยมาตราส่วนที่กำหนดให้

2. แบ่ง ตำแหน่งเชิงมุมบนเพลาออกเป็น 3 ตำแหน่ง โดยกำหนดให้ช่วงของตำแหน่งห่าง 120° โดยเริ่มที่ 0° , 120° และ 240° ตามลำดับ จัดหา TW. 1 ก้อน ด้วยขนาดน้ำหนักจำนวนพอเหมาะในครั้งนี้ใช้ TW.= 0.5 กรัม เติมเข้าไปที่ผิวของเพลาเริ่มที่ 0° หลังจากนั้นเดินเครื่องด้วยความเร็วรอบเท่ากับครั้งแรก วัดขนาดการสั่น กำหนดให้เป็น r_a แล้วหยุดเครื่องดึง TW. ออกนำมาเติมที่ตำแหน่ง 120° และ 240° ตามลำดับ วัดขนาดการสั่นจากเครื่องมือวัดได้ออกมา กำหนดให้เป็น r_b และ r_c ได้ค่าตามตารางที่ ก-1

3. นำค่าขนาดการสั่น 4 ค่า จากการเดินเครื่อง 4 ครั้ง คือ u, r_a , r_b และ r_c มาเขียนกราฟ โดยเริ่มนำเอาขนาดการสั่น original reading (u) มากำหนดเป็น OA , OB และ OC ซึ่งมีความยาวเท่ากับ u มาเขียนเส้นสามเส้นแทนที่ตำแหน่งมุมต่อเนื่องของ TW. ที่เติมเข้าไป (คือ 0 , 120 , 240) จากจุดศูนย์กลาง (0) ลากเส้นไปยังจุด A , B , C จากนั้นใช้จุด A , B , C เป็นจุดศูนย์กลาง เขียนส่วนโค้งด้วยรัศมีเท่ากับ r_a, r_b และ r_c ให้ตัดกันที่บริเวณหนึ่ง กำหนดให้พื้นที่น้อย ๆ (D) , เสร็จแล้ว กำหนดจุด ๆ หนึ่งบนพื้นที่น้อย (D) โดยพยายามให้จุดนี้อยู่ตรงกลางของพื้นที่น้อย ๆ จากจุดศูนย์กลาง ลากเส้นไปยังจุด A , B , C และจุด 0 ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4-1

4. ระยะความยาว OD จะแทนขนาดการสั่นที่เกิดจากการเติมของ TW. เพียงอย่างเดียว ซึ่งระยะ OD = 2 ซม. ฉะนั้นน้ำหนักของความไม่สมดุลย์มีค่าเท่ากับอัตราส่วนของ u ต่อ t คูณด้วย TW. ที่ได้เติมเข้าไป

$$U \quad = \quad T_1 \frac{(u)}{t} \quad = \quad 0.5 \times \frac{0.10}{0.040}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$= 1.25 \text{ กรัม}$$

ตำแหน่งของความไม่สมดุลย์อยู่ในทิศทางที่แสดงด้วยเวคเตอร์เส้นประ จะนั้นเวลาเติมน้ำหนักแก้ต้องเติมในตำแหน่งตรงกันข้าม

5. เติมน้ำหนักแก้ด้วยขนาด 1.25 กรัม ตำแหน่ง 150° ที่ระนาบแก้ขวามือ จากนั้นเดินเครื่องแล้ววัดขนาดการสั่นที่แบริงขวามือ ตามผลในตารางที่ ก-1 และในขณะเดียวกันก็ถือโอกาสวัดขนาดการสั่นที่แบริงซ้ายมือ ไปด้วย ซึ่งเป็น original reading ดังแสดงในตารางที่ ก-1

6. แบ่ง ตำแหน่งเชิงมุมบนเพลาที่ระนาบแก้ซ้ายมือ ออกมาในลักษณะเช่นเดียวกันกับทางด้านระนาบแก้ขวามือและต้องให้อยู่ในแนวเดียวกันด้วย เติม T.W. = 0.5 กรัม โดยเริ่มที่ตำแหน่ง 0° 120° และ 240° ตามลำดับ วัดขนาดการสั่นทุกครั้งที่เปลี่ยนตำแหน่ง T.W. กำหนดให้เป็น r_a , r_b และ r_c เช่นเดียวกันได้ค่าตามตารางที่ ก-2 จากนั้นนำค่า u , r_a , r_b และ r_c ไปเขียนกราฟ ดังแสดงกราฟรูปที่ 4-2 ดำเนินการตามขั้นตอนเหมือนกันกับกราฟรูปที่ 4-1

7. วัดระยะความยาว OD ซึ่งเป็นขนาดการสั่นที่เกิดจากการเติมของ T.W. มีค่าเท่ากับ 2.5 cm. ดังนั้นขนาดน้ำหนักของความไม่สมดุลย์มีค่าเท่ากับ

$$U = {}^{T}\frac{1(u)}{(t)} = 0.5 \times \frac{(0.05)}{(0.05)}$$

$$= 0.5 \text{ gm}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร

ตำแหน่งของความไม่สมดุลย์อยู่ในทิศทางที่แสดงด้วยเวคเตอร์เส้นประ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8. เติมน้ำหนักแก้ด้วยขนาด 0.5 กรัม ที่ตำแหน่ง 167° ที่ระนาบแก้ซ้ายมือ plane จากนั้นเดินเครื่องแล้วเช็คขนาดการสั่นที่แบริงด้านขวา และแบริงด้านซ้ายมือ ดังแสดงในตารางผลการทดลองที่ ก-2

3.4.2 การทดลอบสมรรถนะของเครื่องตรวจสอบ (Performance Test for a Balancing Machine)

เครื่องตรวจสอบของเราเป็นแบบ ไดนามิค ชนิด Soft-bearing จัดอยู่ในประเภท (class) Trial-and Error Balancing Machine สามารถใช้ทรานดิวเซอร์แบบใดแบบหนึ่งก็ได้ โดยเลือกมาใช้ให้เหมาะสมกับเครื่อง ดังนั้นเครื่องแบบนี้มีวิธีตรวจสอบสมดุลย์ที่ใช้กันอยู่ เราเรียกว่า Trial and Error procedure ซึ่งใช้ TW. เป็นตัว calibrate เพื่อที่จะนำไปสู่การหาขนาดและตำแหน่งของความไม่สมดุลย์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวเครื่องตรวจสอบแบบนี้ไม่สามารถแสดงขนาดของความไม่สมดุลย์ในหน่วย ออนซ์ , กรัม ในระนาบแก้โดยตรงได้ แต่จะแสดงขนาดของความไม่สมดุลย์ออกมาในรูปของการกระจัด ความเร็วของการสั่น หรือหากใช้สเตรนเกจเป็นทรานดิวเซอร์ ที่ต่อในรูปของวีตสโตนบริดจ์ จะแสดงค่าของความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปจากการยืดและหดของชุดสเตรนเกจ ก่อให้เกิดเอ้าพุทโวลท์เทจ ต่อจากนั้นนำสัญญาณไปเข้าชุด Analyzer แสดงค่าขนาดของความไม่สมดุลย์ในรูปของหน่วย มิลลิแอมแปร์

ดังนั้นเครื่องตรวจสอบแบบนี้ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญที่สุด 2 ส่วนด้วยกัน คือ

1. ตัวเครื่องตรวจสอบสมดุลย์

2. ตัวรับสัญญาณและชุดวิเคราะห์ ซึ่งประกอบเป็นชุดเครื่องมือวัดขนาดการสั่น

จะเห็นได้ว่าส่วนประกอบ 2 ส่วนนี้มีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนกว่ากัน โดยเฉพาะส่วนแรกนั้น ตัวเครื่องตรวจสอบซึ่งประกอบด้วยระบบดังนี้ ระบบยึดชิ้นงาน , ระบบส่งกำลังขับเป็นต้น เราต้องคำนึงถึงการสั่นที่ไม่ต้องการ ซึ่งจะมีส่วนส่งผลกระทบต่อตัวเครื่องตรวจสอบ ความต้องการส่วนนี้ต้องการที่จะให้เครื่องตรวจสอบแสดงคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างขนาดการสั่นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความไม่สมดุลย์

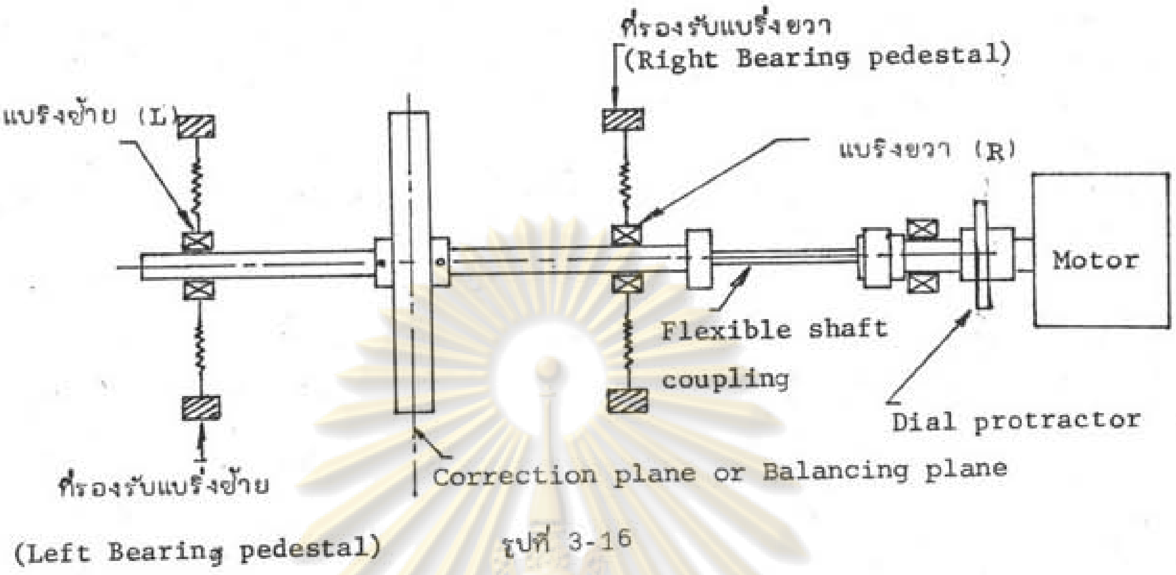
สำหรับส่วนที่ 2 นั้น จัดเป็นอีกระบบหนึ่ง ซึ่งมีความสำคัญเป็นระบบการวัดขนาดการสั่น (measuring system) จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของเครื่องตรวจสอบ

ดังนั้นการทดสอบสมรรถนะของเครื่องตรวจสอบแบบระนาบเดียว และสองระนาบต้องการศึกษาถึงพฤติกรรมของตัวเครื่องตรวจสอบ ระบบการวัดขนาดของความไม่สมดุลย์ตลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จนตำแหน่ง ดังจะได้กำหนดต่อไป

3.4.3 <u>การทดลอบสมรรถนะของเครื่องตรวจสอบสำหรับระนาบเดียว</u>



รูปที่ 3-16

<u>วิธีดำเนินการทดลอบ</u>

1. แผ่นดิสซึ่งผ่านการตรวจสอบสมดุลย์แล้วนำไปติดตั้งบนเพลา ตำแหน่งตรงกลางระหว่างแบริ่งทั้ง 2 ล็อคด้วยเซทสกรูให้แน่น เติมน้ำมันเครื่องหล่อลื่นแบริ่งทั้ง 2 นำฝาครอบแบริ่งมาปิดแล้วขันโบลท์ให้แน่นพอสมควร

2. ต่อสายไฟของยุดสเตรนเกจทั้ง 2 ด้านเข้ากับเครื่องมือวัด และต่อสายไฟของออสซิลโลสโคปเข้ากับเครื่องมือวัดตรงบริเวณที่สัญญาณออกจากภาคขยายและภาคกรองความถี่ต่ำ หลังจากนั้นป้อนไฟให้กับออสซิลโลสโคปปรับปุ่มต่าง ๆ ให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ

3. เปิดสวิทย์ป้อนไฟ AC. 220 V ให้กับเครื่องมือวัด จากนั้นเพาเวอร์ซัพพลาย ซึ่งเป็นระบบย่อยหน่วยหนึ่งของเครื่อง จะทำงานจ่ายไฟ DC. 4.8 V ให้กับสเตรนเกจ ทั้ง 2 ยุด ในเวลาเดียวกัน ดำเนินการปรับสมดุลย์ วงจรวัดสโตนบริดจ์ของยุดสเตนเกจทั้ง 2 โดยการปรับปุ่ม Coarse กับ Fine เพื่อที่จะให้ Output voltage differenceของสเตรนเกจมีค่าเป็นศูนย์ สังเกตุได้จากสัญญาณไฟ DC. ซึ่งเป็นเส้นตรงที่ปรากฏออกมาบนจอภาพของสโคปมาอยู่ตรงจุดตัดของทั้ง 2 แกน

4. เติมน้ำหนักทดลอบ (Test weight) ด้วยขนาด 1 , 2 , 3 , 4 , 5

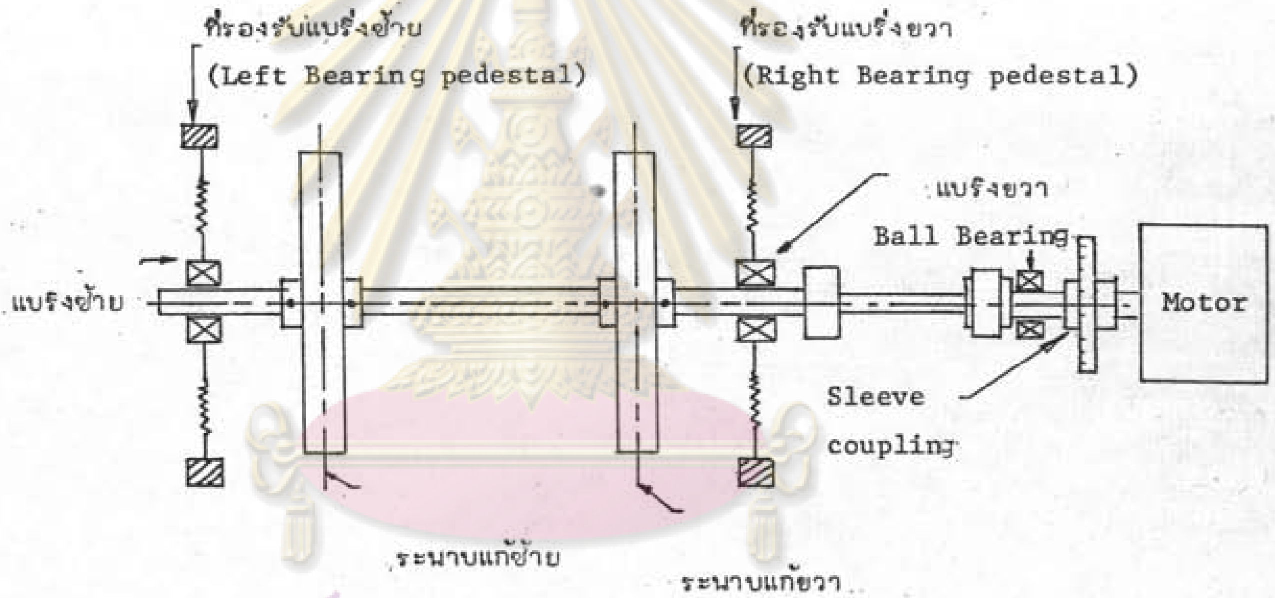
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และ 6 กรัม ที่รัศมี 64.2 มม. ตำแหน่ง 90 องศา อย่างต่อเนื่อง เดินเครื่องครั้งที่ 1 , 2 และ 3 กระทำเหมือนกันกับขนาดน้ำหนักต่าง ๆ ที่เปลี่ยน จากนั้นอ่านค่าขนาดการสั่น (Amplitude) และตำแหน่ง (phase Angle) ดังแสดงในตารางที่ ก-3

5. เติมน้ำหนักทดลอบด้วยขนาด 5 กรัม ที่รัศมี 64.2 mm. ที่ตำแหน่ง 0° , 30° , 60° จนถึง 330° เดินเครื่อง 12 ครั้ง อ่านค่าขนาดการสั่น และตำแหน่ง ดังแสดงในตารางข้อมูลที่ ก-5

หมายเหตุ หลังจากได้เติมน้ำหนักทดลอบในแต่ละครั้ง หรือก่อนเดินเครื่องตรวจสอบ จำเป็นต้องปรับสมดุลย์ วงจรบริดจ์ของยุดล่ำ ตรนเกจทุกครั้ง

3.4.4 การทดลอบสมรรถนะของเครื่องตรวจสอบสำหรับสองระนาบ



รูปที่ 3-17

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>วิธีดำเนินการทดลอบ</u>

1. นำแผ่นดิสจำนวน 2 แผ่น ซึ่งได้ผ่านการตรวจสอบสมดุลย์ไปติดตั้งบนเครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 3-17 โดยวางตำแหน่งเชิงมุมของรูเจาะทั้ง 2 แผ่น ตรงกันหรือให้อยู่ในแนวเดียวกัน

2. เติมอนุกรมของน้ำหนักทดลอบด้วยขนาด 1 , 2 , 3 , 4 , 5 และ 6 กรัม ที่รัศมี 64.2 mm. ตำแหน่ง 0° ระนาบแก้ซ้ายมืออย่างต่อเนื่อง เดินเครื่องตรวจสอบครั้ง

ที่ 1 , 2 และ 3 กระทำเหมือนกันเมื่อเติมน้ำหนักทดลอบขนาดอื่น ๆ วัดขนาดการสั่น (Amplitude) และ phase Angle ที่แบริ่งซ้ายและขวามือ ดังแสดงในตารางข้อมูลที่ ก-6

3. เติมน้ำหนักทดลอบ (Test weight) ด้วยขนาด 1 , 2 , 3 , 4 , 5 และ 6 กรัม ที่รัศมี 64.2 mm ตำแหน่ง 180° ระนาบแก้ขวามืออย่างต่อเนื่อง เดินเครื่องตรวจสอบครั้งที่ 1 , 2 และ 3 กระทำเหมือนกัน เมื่อเปลี่ยนขนาด Test Weight เป็นขนาดอื่น ๆ วัดขนาดการสั่นและ phase Angle ที่แบริ่งขวาและซ้ายมือ ดังแสดงในตารางข้อมูลที่ ก-7

4. เติมน้ำหนักทดลอบด้วยขนาด 4 กรัม ที่รัศมี 64.2 mm. ระนาบแก้ซ้ายมือ โดยเริ่มจากตำแหน่งมุม 0° , 30° , 60° จนถึง 330° เดินเครื่องจากนั้นอ่านค่า Amplitude และ phase Angle แบริ่งทั้ง 2 ด้าน ดังแสดงในตารางข้อมูลที่ ก-10

5. เติมน้ำหนักทดลอบด้วยขนาด 4 กรัม ที่รัศมี 64.2 mm ระนาบแก้ขวามือ ตำแหน่งมุมจาก 0° , 30° จนถึง 330° เดินเครื่องวัดขนาดการสั่น และตำแหน่งที่แบริงขวาและซ้ายมือ ตามตารางข้อมูลที่ ก-11

หมายเหตุ ก่อนเดินเครื่องแต่ละครั้ง จำเป็นต้องปรับสมดุลย์วงจรวีตสโตนบริดจ์ทุกครั้ง

3.4.5 <u>การกำหนดวิธีการตรวจสอบสมดุลย์สำหรับระนาบเดียว</u>

ในการพิจารณาชิ้นส่วนหมุนหรือชิ้นงานที่จะทำการตรวจสอบแบบระนาบเดียว คือ ต้องมีความยาวในแนวแกนสั้นเมื่อเทียบกับเส้นผ่าศูนย์กลาง เมื่อหมุนที่ความเร็วรอบต่าง ๆ จะเกิด dynamic couple น้อยมาก ดังนั้นวิธีการตรวจสอบสมดุลย์ที่ใช้กันอยู่ก็คือ Trial and Error method

ตามวิธีการดังกล่าว ต้องเดินเครื่องตรวจสอบถึง 2 ครั้ง จึงจะสามารถตรวจสอบสมดุลย์ ชิ้นงานเสร็จสิ้นได้ 1 ชิ้น หากชิ้นงานมีจำนวนหลายแผ่นต้องใช้เวลามากพอสมควร และทำให้สิ้นเปลืองด้วย ทำอย่างไรถึงจะลดเวลาให้น้อยลงกว่าเดิมในการตรวจสอบสมดุลย์ต่อชิ้นงาน 1 ชิ้น เสร็จสมบูรณ์ ดังนั้นจึงต้องกำหนดวิธีการตรวจสอบสมดุลย์เสียใหม่สำหรับแบบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระนาบเดียว สมมุติว่าเรามีแผ่นดิสหลายแผ่น มีลักษณะรูปร่างเหมือนกันทุกประการ (Identically) น้ำหนักและขนาด (dimension) ใกล้เคียงกันมาก ตลอดลักษณะการกระจายของมวล (mass distribution) เหมือนกัน ฉะนั้นขั้นตอนการดำเนินการตรวจสอบ ดังจะได้กำหนดดังต่อไปนี้

1. ต้องตรวจสอบสมดุลย์แผ่นดิสชิ้นแรกในจำนวนหลายแผ่น ให้อยู่ในสภาพสมดุลย์เสียก่อน และให้เหลือ residual unbalance น้อยที่สุด แต่จากการทดลองครั้งนี้ได้ทำการตรวจสอบสมดุลย์แบบสแตติค

2. นำแผ่นดิสผ่านการตรวจสอบแล้วไปติดตั้งบนเครื่องตรวจสอบ เดินเครื่องวัด Amplitude ที่แบริ่งทั้ง 2 สำหรับ residual unbalance ที่ยังเหลืออยู่ ดังแสดงในตารางที่ ก-12 แล้วหยุดเครื่อง

3. เติมความไม่สมดุลย์ด้วยขนาดเท่ากับ 4x64.2 gm-mm ให้กับแผ่นดิสตรงตำแหน่งใด ๆ ก็ได้ ในที่นี้จะใช้ตำแหน่งศูนย์องศา จากนั้นเดินเครื่องวัดขนาดการสั่นและ phase angle ดังแสดงในตารางที่ ก-12

4. นำข้อมูลไปคำนวณหาค่า Rotor sensitivity มีหน่วยเป็น mA/gm-mm และพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างจุดส่องกับจุดหนัก แสดงในตารางที่ ก-13 นำข้อมูลทั้ง 2 นี้ มาใช้ให้เป็นประโยชน์กับแผ่นดิสชิ้นต่อไป ซึ่งอยู่ในสภาพของความไม่สมดุลย์

5. นำแผ่นดิสชิ้นที่ 2 ซึ่งอยู่ในสภาพสมดุลย์อยู่แล้ว ไปติดตั้งบนเครื่องตรวจสอบแล้วทำให้แผ่นดิสอยู่ในสภาพของความไม่สมดุลย์ โดยการเติมน้ำหนักเข้าไปที่รัศมี 64.2 mm. จำนวน 3 อัน ที่ตำแหน่งมุม 90°, 180° และ 330° ด้วยขนาดน้ำหนักเท่ากับ 1 , 5 และ 2 กรัม ตามลำดับ

6. เดินเครื่องตรวจสอบสมดุลย์ น้ำหนักที่เติมเข้าไปเราเรียกว่า original unbalance ซึ่งทำให้เกิดการสั่น วัด Amplitude และ phase angle ดังแสดงในตารางข้อมูลที่ ก-14 นำค่าที่ได้มาไปคำนวณหาน้ำหนักถ่วงที่จะต้องเติมเข้าไป ทำให้เกิดการสมดุลย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังนั้น Balance wt. = $\frac{\text{original Amplitude reading}}{\text{Rotor ' sensitivity}}$

= $0.23/1.09034\times10^{-3}\times 64.2$

B.W. = 3.29 gm

สำหรับตำแหน่งของความไม่สมดุลย์ให้พิจารณาจากค่า phase angle ที่อ่านได้จากตารางข้อมูลที่ ก-12 หรือ ก-13 ซึ่งจะเห็นได้ว่าจากตารางผลการทดลอบ phase lag 110° ซึ่งค่านี้จะคงที่ตลอดไป สำหรับแผ่นดิสอยู่ในสภาพของความไม่สมดุลย์ชิ้นต่อ ๆ ไปด้วย ต่อไปพิจารณาค่าที่อ่านได้ในตารางข้อมูลที่ ก-14 ซึ่งวัด phase angle 294° เพราะฉะนั้นตำแหน่งของความไม่สมดุลย์จริง ๆ อยู่ที่ตำแหน่งล่วงหน้าจุดล่องไป 110° ดังนั้นตำแหน่งอยู่ที่ 184°

7. เติมน้ำหนักถ่วงด้วยขนาด 3.29 กรัม ที่ตำแหน่งมุม 4° จากนั้นเดินเครื่องเช็คค่า Amplitude ดังแสดงตามผลในตารางที่ ก-14

3.4.6 <u>การกำหนดวิธีการตรวจสอบสมดุลย์แบบ 2 ระนาบ</u>

เนื่องจากว่าวิธีดำเนินการตรวจสอบสมดุลย์ต่อชิ้นงานหมุน 1 ชิ้นนั้น แต่เดิมนั้นใช้ Trial and Error Method หมายความว่าต้องเดินเครื่องถึง 3 ครั้ง จึงจะเสร็จสิ้นขบวนการการตรวจสอบสมดุลย์ต่อชิ้นงาน 1 ชิ้น สำหรับกรณีที่จะตรวจสมดุลย์ ชิ้นงานหมุนที่มีจำนวน 2 ชิ้นขึ้นไป ซึ่งมีรูปร่างคล้ายคลึงกัน น้ำหนักใกล้เคียงกันมากตลอดจนถึงการกระจายของมวลเหมือนกันด้วย หากใช้วิธีการดังกล่าวต่อชิ้นงานทุกชิ้น ต้องใช้เวลามากพอสมควร

การตรวจสอบสมดุลย์สำหรับชิ้นงานที่มีความยาวในแนวแกน หรือประกอบด้วยแผ่นดิสหลายแผ่น มีเทคนิคการตรวจสอบหลายวิธีการด้วยกัน ฉะนั้นเทคนิคต่าง ๆ ที่จะนำเอามาใช้ให้เหมาะสมกับเครื่องตรวจสอบแต่ละชนิดหรือประเภทขึ้นอยู่กับเครื่อง สำหรับวิธีการตรวจสอบสมดุลย์ที่จะดำเนินการทดลอบต่อไปนี้เหมาะสมกับเครื่องชนิด Soft-Bearing จะได้กำหนดรายละเอียดดังต่อไปนี้

<u>วิธีดำเนินการทดลอบ</u>

สำหรับการทดลอบครั้งนี้จะใช้ Master specimen เป็นชิ้นงานทดลอบซึ่งประกอบด้วยแผ่นดิส 2 แผ่น ติดตั้งในตำแหน่งเดียวกันกับการทดลอบสมรรถนะแบบ 2 ระนาบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ตรวจสอบสมดุลย์แผ่นดิสทั้ง 2 แผ่น จนกระทั่งไม่สามารถลด residual unbalance ต่อไปได้อีกแล้ว ด้วยวิธีการแบบ static balance หรือ dynamic balance ก็ได้

2. นำแผ่นดิสทั้ง 2 ไปติดตั้งบนเครื่องตรวจสอบ เดินเครื่องตรวจสอบแล้วเช็ค Amplitude ที่แบริ่งซ้ายและแบริ่งขวา ดังแสดงในตารางที่ ก-15

3. ถ้าเติมความไม่สมดุลย์เท่ากับ a unit unbalance (1 gm-mm) ที่ rotating reference mark (ในที่นี้จะใช้ที่ตำแหน่งเชิงมุม 0°) ในระนาบแก้ I เดินเครื่องหมุนชิ้นงาน จากการที่ได้เติม unbalance wt. เข้าไปในระนาบแก้ ทำให้เกิดการสั่นที่แบริ่งซ้ายมือ (กำหนดให้เป็นแบริ่ง a) และการสั่นที่เกิดขึ้นกับแบริ่ง a กำหนดให้เป็น α_{aI} น้ำหนักก้อนนี้ไม่เพียงทำให้เกิดการสั่นต่อแบริ่ง a แต่มีผลทำให้เกิดการสั่นต่อแบริ่งขวามือ (แบริ่ง b) กำหนดให้เป็น α_{bI} วัด Amplitude และ phase Angle ที่แบริ่งทั้ง 2 ดังแสดงในตารางที่ ก-16 หยุดเดินเครื่องดึงน้ำหนักก้อนนี้ออกจากระนาบแก้

4. ถ้า a unit unbalance (1 gm-mm) นำมาเติมในระนาบแก้ II ที่ rotating reference mark (ใช้ตำแหน่งเชิงมุม 0 เช่นเดียวกัน) เดินเครื่องก็จะทำให้เกิดการสั่นกับแบริ่งขวาและแบริ่งซ้าย กำหนดให้เป็น α_{bII} และ α_{aII} วัด Amplitude และ phase angle ที่แบริ่งทั้ง 2 ดังแสดงในตารางที่ ก-16 จะเห็นได้ว่าค่าขนาดการสั่น 4 ค่า คือ α_{aI} , α_{bI} , α_{bII} , α_{aII} มีขนาดและตำแหน่งเราเรียกว่า complex dynamic influence numbers

5. ที่นี้สมมุติว่าความไม่สมดุลย์อยู่ในระนาบแก้ I ไม่เท่ากับ a unit unbalance ที่ 0° แต่เป็นความไม่สมดุลย์ ซึ่งมีขนาดอื่น ๆ หรือมีขนาดมากกว่าหรือน้อยกว่า a unit unbalance ที่มีอยู่ในระนาบแก้ I ที่ตำแหน่งเชิงมุมต่าง ๆ กำหนดให้เป็น complex No. $\bar{U}_1$ ความไม่สมดุลย์จำนวนนี้ทำให้เกิดการสั่นต่อแบริ่ง a (ซึ่งเป็นการสั่นส่วนหนึ่ง) กำหนดให้เป็นผลคูณของ $\alpha_{aI}\bar{U}_I$ รวมกับการสั่นอีกส่วนหนึ่ง เนื่องมาจากความไม่สมดุลย์ที่ไม่ใช่ a unit unbalance ซึ่งมีอยู่ในระนาบแก้ II ไม่ได้อยู่ที่ตำแหน่ง 0° แต่เป็นตำแหน่งเชิงมุมอื่น ๆ กำหนดให้เป็นผลคูณของ $\alpha_{aII}\bar{U}_{II}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังนั้น การสั่นทั้งหมดที่เกิดขึ้นกับแบริ่ง a จริง ๆ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ Vibration vector (V) ที่แบริ่ง a ในเทอมของความไม่สมดุลย์ทั่ว ๆ ไป $\bar{U}_I$ และ $\bar{U}_{II}$ ได้ดังนี้

$$\bar{V}_a = \alpha_{aI}\bar{U}_I + \alpha_{aII}\bar{U}_{II}$$

ในลักษณะเช่นเดียวกันการสั่นทั้งหมดที่เกิดขึ้นกับแบริ่ง b เขียนอยู่ในรูปของเวคเตอร์การสั่นในเทอมของความไม่สมดุลย์ทั่ว ๆ ไป ได้ดังนี้

$$\bar{V}_b = \alpha_{bI}\bar{U}_I + \alpha_{bII}\bar{U}_{II}$$

จัดสมการใหม่

$$\alpha_{aI}\bar{U}_I + \alpha_{aII}\bar{U}_{II} = \bar{V}a \quad \text{--------------------} \quad (1)$$

$$\alpha_{bI}\bar{U}_I + \alpha_{bII}\bar{U}_{II} = \bar{V}b \quad \text{--------------------} \quad (2)$$

Determinant ของสมการ 1 และ 2

$$\Delta = \begin{vmatrix} \alpha_{aI} & \alpha_{aII} \\ \alpha_{bI} & \alpha_{bII} \end{vmatrix}$$

$$= \alpha_{aI}\alpha_{bII} - \alpha_{bI}\alpha_{aII}$$

using cramer's rule solve หา $\bar{U}_I$ และ $\bar{U}_{II}$

$$\bar{U}_I = \frac{\begin{vmatrix} \bar{V}_a & \alpha_{aII} \\ \bar{V}_b & \alpha_{bII} \end{vmatrix}}{\Delta}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$= \frac{\alpha_{bII}\bar{V}_a - \alpha_{aII}\bar{V}_b}{\Delta}$$

$$\bar{U}_{II} = \frac{\begin{vmatrix} \alpha_{aI} & \bar{V}_a \\ \alpha_{bI} & \bar{V}_b \end{vmatrix}}{\Delta}$$

$$= \frac{\alpha_{aI}\bar{V}_b - \alpha_{bI}\bar{V}_a}{\Delta}$$

ดังนั้น

$$\bar{U}_I = \frac{\alpha_{bII}\bar{V}_a}{\Delta} - \frac{\alpha_{aII}\bar{V}_b}{\Delta} \quad \text{---------} \quad (3)$$

$$\bar{U}_{II} = \frac{\alpha_{aI}\bar{V}_b}{\Delta} - \frac{\alpha_{bI}\bar{V}_a}{\Delta} \quad \text{---------} \quad (4)$$

ขนาดของความไม่สมดุลย์ $\bar{U}_I$ และ $\bar{U}_{II}$ มีอยู่ในระนาบแก้ I และ II สมมุติว่าอยู่ที่ตำแหน่งเชิงมุม ϕ_I และ ϕ_{II} จาก rotating reference mark เมื่อหาขนาดและตำแหน่งได้แล้วจะต้องเติมน้ำหนักถ่วง (Balance wt.) ในทิศทางตรงกันข้าม

ดังนั้น Balance wt. ในระนาบแก้ I และ II

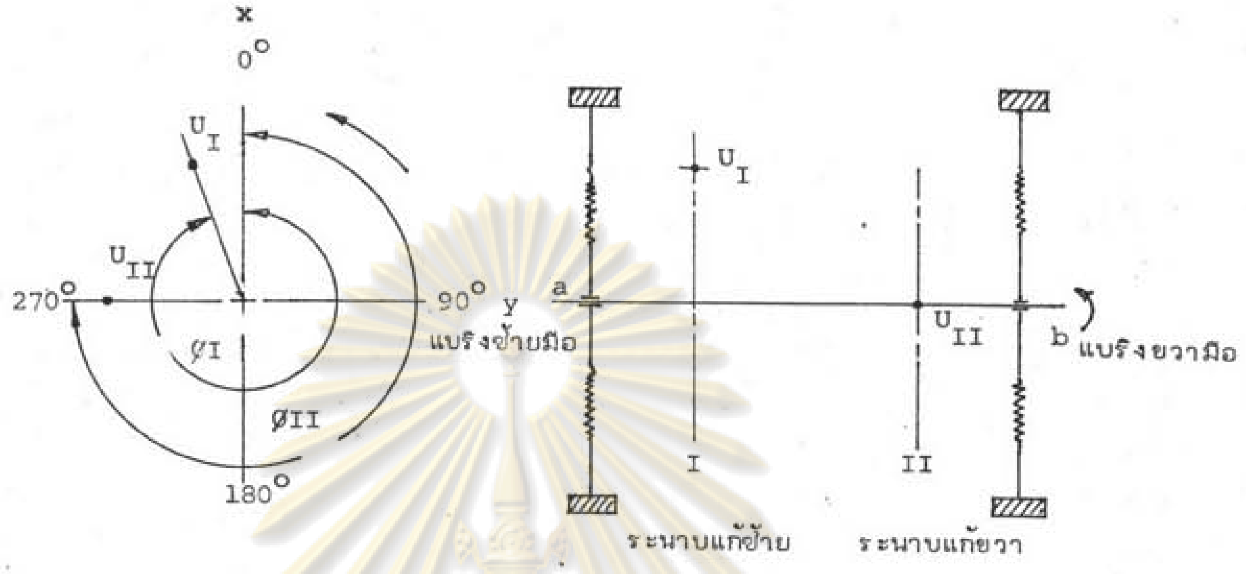
ศูนย์วิทยทรัพยากร

$$B_I = -U_I \quad \text{--------------------} \quad (5)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$B_{II} = -U_{II} \quad \text{--------------------} \quad (6)$$

6. เมื่อทราบค่า complex dynamic influence Number 4 ค่า ดังแสดงในตารางที่ ก-16 หากเราเติม unbalance wt. ด้วยขนาด 3 กรัม ที่รัศมี 64.2 มม ในระนาบแก้ I ตำแหน่ง 330° ($\bar{U}_I$) และขนาด 4 กรัมที่รัศมี 64.2 มม. ตำแหน่ง 270° ในระนาบแก้ II ($\bar{U}_{II}$) ให้กับแผ่นดิสก์ทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 3-18



รูปที่ 3-18 แสดงขนาดและตำแหน่งการเติมความไม่สมดุลย์

7. ให้สมมุติว่า U_I และ U_{II} เป็นความไม่สมดุลย์ทั่ว ๆ ไป ที่มีอยู่ในชิ้นงานหรือที่ได้ตั้งใจเติมเข้าไปให้กับชิ้นงานซึ่งอยู่ในสภาพสมดุลย์อยู่ก่อนแล้ว เพื่อการทดลอบ กำหนดให้เป็น original unbalance เดินเครื่องตรวจสอบ จะก่อให้เกิดการสั่นกับแบริ่ง $a(\bar{V}_a)$ และแบริ่ง $b(\bar{V}_b)$ จากนั้นวัดขนาดการสั่นและ phase Angle ที่แบริ่งทั้งสอง ดังแสดงในตารางที่ ก-17

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย