บทที่ 5

การอภิปรายผลการวิจัย

5.1 อภิปรายผลการตรวจล่อบสมดุลย์เพลา

พิจารณาจากผลการตรวจล่อบสมดุลย์เพลา ปรากฏว่าสามารถลดขนาดการสั่นที่แบริ่งทั้ง 2 ลงได้ โดยมีความไม่สมดุลย์เหลืออยู่ 0.01 mA หรือ 1 µm ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ ก-2 ถ้าเปลี่ยน residual unbalance ให้อยู่ในหน่วย gm-mm/kg จะได้เท่ากับ $\frac{0.001 \text{ mm} \times 2683.63 \text{ gm}}{2.68363 \text{ Kg}} = 1 \text{ gm-mm/kg}$ ฉะนั้นผลที่ได้ออกมาเปรียบเทียบกับ Balancing Quality Group A ภาคผนวกรูปที่ ข-1 สำหรับเพลา ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.2 - 1.0 gm-mm/kg อยู่ในช่วงที่ยอมให้เหลือขนาดการสั่นได้

5.2 อภิปรายผลการทดล่อบสมรรถนะของเครื่องตรวจล่อบแบบระนาบเดียว

การทดล่อบ proportionality หรือเรียกว่า Balancing Machine response check ทำให้เราทราบถึงคุณลักษณะของเครื่องมือวัดและพฤติกรรมที่แสดงออกมาของตัวเครื่องตรวจล่อบ จากการทดล่อบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของความไม่สมดุลย์กับ Amplitude ที่เกิดขึ้นในระบบเมื่อเติมความไม่สมดุลย์จำนวนน้อย ๆ เครื่องรับสัญญาณขนาดของการสั่นได้ เมื่อเพิ่มจำนวนของความไม่สมดุลย์มากขึ้นเรื่อย ๆ ขนาดการสั่นที่อ่านได้เพิ่มขึ้นไม่เป็นสัดส่วนโดยตรง แต่อัตราการเพิ่มของขนาดการสั่นมีแนวโน้มเข้าหาความเป็นสัดส่วน สำหรับค่า sensitivity หากนำค่าเฉลี่ยเป็น reference ปรากฏว่าค่า sensitivity ต่าง ๆ เบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยดังนี้สำหรับด้าน แบริงซ้าย มากกว่าค่าเฉลี่ยมากที่สุด 13.10 % และน้อยกว่าค่าเฉลี่ยมากที่สุด 6.95 % ส่วนด้าน แบริงขวามากกว่าค่าเฉลี่ยสูงสุด 22.78 % และน้อยกว่าค่าเฉลี่ยมากที่สุด 21.62 % จะเห็นได้ว่าการเบี่ยงเบนส่วนใหญ่มีแนวโน้มน้อยกว่าเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 4-1

การหาขนาดของความไม่สมดุลย์ ปกติแล้วหากเติมความไม่สมดุลย์ ด้วยขนาดจำนวนหนึ่งไม่ว่าจะเปลี่ยนตำแหน่งเติมไปที่ใด ๆ ก็ตามขนาดการสั่นควรจะอ่านออกมาได้เท่ากัน จากผลการทดล่อบขนาดการสั่นอ่านออกมาใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีความไม่สมดุลย์หลงเหลือ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อยู่บ้างแต่มีน้อย และค่าคลาดเคลื่อนจากการวัดเพราะเข็มมิเตอร์ล่ายไปมายณะวัด ส่วนการทดลอบหาตำแหน่งของความไม่สมดุลย์พิจารณาตารางข้อมูลที่ ก-3 หรือ ก-4 เมื่อกำหนดตำแหน่งของ mr โดย การแปรเปลี่ยนมวลที่เติมเข้าไปปรากฏว่าเครื่องมือวัดแสดงตำแหน่งไม่ค่อย stable เมื่อเติมขนาดของความไม่สมดุลย์จำนวนน้อย ๆ และจะ stable มากขึ้นเมื่อขนาดเพิ่มขึ้น โดยที่ค่าคลาดเคลื่อนจากการอ่านตำแหน่ง $\pm 3^{\circ}$ ถึง $\pm 6^{\circ}$ หาก พิจารณาตารางที่ 4-4 phase relation ระหว่าง cause กับ Effect ยังไม่คงที่เท่าที่ควร แต่ก็อยู่ในช่วงพอจะยอมให้ได้

5.3 อภิปรายผลการทดลอบสมรรถนะของเครื่องตรวจสอบแบบสองระนาบ

ในการทดลอบสมรรถนะแบบ 2 ระนาบ ได้วางตำแหน่งของแผ่น disk ทั้ง 2 แผ่น โดยให้ระนาบแก้ทั้งสองห่างจากแบริ่งทั้ง 2 ด้านเท่ากัน แต่จุด C.g. ของชิ้นงานไม่ได้อยู่ที่ตรงกลางแต่จะ shift มาทางขวามือ เนื่องจากจุด c.g. ของเพลาไม่ได้อยู่ตรงระหว่างกลางเพลา ดังนั้นการทดลอบความเป็นสัดส่วนจะเห็นได้ว่ากราฟรูปที่ 4-6 จะ shift ต่ำลงมาข้างล่าง ถ้าเทียบกับกราฟรูปที่ 4-5 เพราะโมเมนต์ของความไม่สมดุลย์ทั้งสองด้านไม่เท่ากัน โดยที่โมเมนต์ของความไม่สมดุลย์ที่กระทำต่อระนาบแก้ข้ายมือมากกว่าด้านขวามือ รวมกับการถูก restrained จากศีปปลิ้ง เนื่องจากแรงที่ใช้ยับหมุนชิ้นงาน และตลอดจนถึงความผิดที่มีอยู่ระหว่างผิวสัมผัสของลูกปืน ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักทดลอบกับขนาดการสั่น มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น คงจะเนื่องมาจากการสั่นที่ไม่พึงประสงค์จากมอเตอร์ทำให้พีเคลตอลสั่นบ้าง ความเร็วรอบของมอเตอร์ไม่คงที่ การอ่านขนาดการสั่นผิดพลาดบ้าง สปริงยดที่อยู่ในมิเตอร์แสดงขนาดการสั่นมีค่า stiffness อาจไม่คงที่ ลักษณะของโหลดต่าง ๆ ที่ต่อขึ้นเป็นวงจรชุด Meter driver และภาคขยายที่มีอยู่ในชุด Analyzer ตลอดจนถึงตัวรับสัญญาณซึ่งก็มีส่วนอยู่บ้างแต่ก็น้อยมาก

พิจารณาค่า sensitivity ต่าง ๆ ที่หาได้จากการทดลอบความเป็นสัดส่วนที่ระนาบแก้ข้ายมือ ถ้ากำหนดให้ sensitivity เฉลี่ยเป็น reference, sensitivity ต่าง ๆ เปรียบเทียบจากค่าเฉลี่ยดังนี้สำหรับด้านแบริ่งข้ายมากกว่าเฉลี่ยมากที่สุด 21.18 % น้อยกว่าค่าเฉลี่ยมากที่สุด 20.44 % และ sensitivity ทางด้านแบริ่งขวามือ มากกว่าเฉลี่ยมากที่สุด 33.08 % และน้อยกว่าเฉลี่ยมากที่สุด 38.57 % สำหรับ sensitivity ที่หาได้จากการทดลอบความเป็นสัดส่วนต่อระนาบแก้ขวามือ เปรียบเทียบจากค่าเฉลี่ยมากที่สุด 29.39 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และน้อยกว่าเฉลี่ยมากที่สุด 32.49 % ส่วนด้าน cross Effect มากกว่าเฉลี่ยมากที่สุด 34.11 % และน้อยกว่าเฉลี่ยมากที่สุด 37.49 % ส่วนใหญ่แนวโน้มมากกว่าค่าเฉลี่ย

เครื่องตรวจสอบของเราเป็นชนิด soft-bearing เคลื่อนที่ได้อิสระในแนวนอน ถ้าเติม ความไม่สมดุลย์ ซึ่งทราบจำนวนในระนาบแก้ด้านใดด้านหนึ่ง ของ Test disks ซึ่งผ่านการตรวจสอบสมดุลย์ เมื่อเดินเครื่องขนาดการสั่นที่เกิดขึ้นกับแบริ่งที่อยู่ใกล้กับระนาบแก้ที่ได้เติม unbalance wt. ก็จะเกิดการสั่นมากกว่าแบริ่งที่อยู่ไกลออกไป เราจะวัดการสั่นที่มากกว่าโดยที่เครื่องแสดงค่าขนาดออกมาในหน่วย mA. ซึ่งจะเห็นได้ว่าสามารถแทนขนาดของความไม่สมดุลย์ที่เติมเข้าไปได้โดยที่ไม่ต้องคำนึงถึงการสั่นที่เกิดขึ้นกับแบริ่งอีกด้านหนึ่ง

การหาขนาดของความไม่สมดุลย์เราได้เติม ความไม่สมดุลย์ ทุก ๆ ตำแหน่งเชิงมุมห่างกัน 30° ขนาดการสั่นที่อ่านได้ออกมาอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน สาเหตุที่อ่านค่าออกมาไม่เท่ากัน เนื่องจากว่าปกติแล้วมิเตอร์ที่ใช้สำหรับอ่านค่าเข็มซึ่งแสดงค่าอ่านโดยสายไปมาอยู่ตลอดเวลา ทำให้เกิดความผิดพลาดในการอ่าน residual unbalance มีส่วนบ้างแต่ว่าเล็กน้อย นอกจากนั้นอาจจะเนื่องมาจากยุดศูนย์ลังสายตัวไปมาได้ไม่เท่ากันได้ทุก ๆ ทิศทาง เพราะมีความผิดที่ผิวสัมผัสของลูกปืนแต่ละจุดไม่เท่ากัน ผิวสัมผัสไม่สามารถ machine ให้ผิวเรียบที่สุดได้

สำหรับการทดสอบหาตำแหน่งของความไม่สมดุลย์เครื่องมือวัดอ่านตำแหน่งของความไม่สมดุลย์ไม่ stable ปกติแล้วเมื่อเอาสโตรโบสโคปแสดงที่ไดอัลโปรแทรกเตอร์ ควรจะเห็นตัวเลขนิ่งอยู่กับที่ ไม่ควรมีลักษณะอาการ drift แต่จากการทดสอบของเราจะเห็นตัวเลขมีลักษณะอาการขยับไปมาอยู่ตลอดเวลา ถ้าจำนวนของความไม่สมดุลย์น้อย ๆ ตัวเลขขยับไปมาสูงสุด $\pm 7^{\circ}$ แต่เมื่อความไม่สมดุลย์เพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ขยับไปมาในช่วงนี้น้อยลงประมาณ $\pm 3^{\circ}$ ถึง $\pm 4^{\circ}$ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากเกิดการ oscillate ของสัญญาณขณะแสดงตำแหน่งบวกกับสัญญาณจากแหล่งภายนอกมารบกวน เช่น Noise เป็นต้น

พิจารณา phase lag ของระบบ เราทดสอบยืนงานที่ความเร็วรอบค่อนข้างจะคงที่ ดังนั้น phase lag ทั้ง 2 ด้านควรจะเท่ากัน แต่จากผลการทดสอบปรากฏว่า phase lag หรือ Angle of lag ทั้ง 2 ด้านไม่เท่ากันโดยทางด้านแบริงซ้ายมากกว่าทางด้าน แบริงขวา ประมาณ 5° สาเหตุเนื่องมาจากเห็นตัวเลขขยับไปมา และ

เกิดการสั่นของมอร์เตอร์เขย่าโต๊ะมีผลทำให้พีเคล่ตอลสั่นด้วยความถี่ที่ใกล้เคียงกับความถี่การหมุนของชิ้นงานทดล่อบ ดังนั้นทิศทางการเคลื่อนที่ในลักษณะ linear motion ของแบริ่งทั้ง 2 กับตัวพีเคล่ตอล ซึ่งยึดล่ปริงแผ่นเคลื่อนที่ over lap กันนิดหน่อย ทำให้สัญญาณที่ได้ออกมาเหลื่อมล้ำกันบ้าง

หากพิจารณาความเร็วรอบที่ทดล่อบคือ 1440 RPM จะเห็นได้ว่าความเร็วรอบไม่สูงจนเกินไปในการขับหมุนชิ้นงาน ซึ่งยึดอยู่บนแบริ่งทั้ง 2 ถูกแขวนไว้ด้วยล่ปริงแผ่นจะ soft มาก ๆ ในทิศทางแนวนอน และจะแข็งแกร่งมาก ๆ ในแนวดิ่ง จะเห็นได้ว่าระบบการรองรับ ชิ้นงานมีความถี่ธรรมชาติต่ำในระนาบแนวนอน และตัวล่ปริงแผ่น Small damping จากการคำนวณความถี่ธรรมชาติของระบบ การรองรับ ของเรา 103 rpm หากพิจารณาความเร็วที่ใช้ทดล่อบ จะเห็นได้ว่า $\omega/\omega_n \simeq 14$ ดังนั้นความเร็วรอบที่ใช้ทดล่อบห่างไกลจากความถี่ธรรมชาติของระบบมากพอล่มควร มุม ล้าหลังควรจะอยู่ในย่าง 90° - 180° แต่เนื่องจากว่าระบบ การรองรับ เป็นแบบ Small damping มุม ล้าหลังควรจะมากกว่า 90° นิดหน่อย แต่คงไม่ถึง 180°

จะเห็นได้ว่านอกจาก Mechanical damping แล้วยังมี Electrical damping ที่มีอยู่ในตัวเครื่องมือวัด ซึ่งมีอิทธิพลเหมือนกัน

ล้าหรับล่าเหตุทำให้ระบบของเครื่องแล่ดง phase Angle ไม่ consistence เท่าที่ควร เนื่องมาจาก 2 ประการใหญ่ ๆ ประการแรกเกี่ยวกับตัวเครื่องตรวจล่อบคือ Test disk มีความไม่ล่มดุลย์หลงเหลืออยู่บ้าง ความไม่ล่มบูรณ์จากการ machine ของยุดศัปปลิ้ง เช่น มี Clearance และ Eccentric อยู่บ้าง ประการที่ 2 เกี่ยวกับตัวเครื่องมือวัด สัญญาณที่ออกจากทรานซ์ดิวเซ่อร์ไม่ค่อยดี มีสัญญาณแทรกซ้อนปะปนเข้ามาในระบบเครื่องมือวัด

5.4 อภิปรายผลการตรวจล่อบล่มดุลย์ระนาบเดียว

ชิ้นงานที่นำมาใช้ในการทดล่อบครั้งนี้ได้มาจากชิ้นงานที่ถูกล่ร้างชิ้นมาล้าหรับทดล่อบล่มรรถนะของเครื่องตรวจล่อบนั่นเอง แผ่นดิล่ชิ้นแรกได้ผ่านการตรวจล่อบล่มดุลย์แล้ว แต่ยังมีความไม่ล่มดุลย์หลงเหลืออยู่ 0.01 mA หรือ 1 μm ซึ่งมีค่าเท่ากับ 594.6x0.001/

0.5946 = 1 gm-mm/kg ถ้าหากเปรียบเทียบกับ Balancing Quality Group 0.4 ในภาคผนวกรูปที่ ข-2 และ ข-3 สำหรับแผ่นดีล่ ซึ่ง Residual unbalance ยอมให้เหลือได้ 4.5 gm-mm/Kg ซึ่งก็อยู่ในช่วงที่ยอมให้ได้ สำหรับแผ่นดีล่ยื้นที่ 2 ทดล่อบเดินเครื่องเพียงครั้งเดียว วัดขนาดการสั่น และตำแหน่ง ซึ่งเกิดจาก Initial unbalance สำมารถถ่วงน้ำหนักได้เลย เมื่อถ่วงแล้ว เดินเครื่อง (check run) ปรากฏว่าก็ยังมีความไม่สมดุลย์เหลืออยู่ 0.03 mA หรือ 2 µm หรือเท่ากับ 595 gm x 0.002 mm/0.595 Kg = 2 gm-mm/kg อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมให้ได้

5.5 <u>อภิปรายผลการตรวจล่อบสมดุลย์แบบล่องระนาบ</u>

จุดประสงค์ของการทดล่อบครั้งนี้ ต้องการเย็ดดูว่า วิธีการตรวจล่อบสมดุลย์เป็นเทคนิค หรือวิธีการอีกแบบหนึ่งที่กำหนดยื้นมาสำมารถใย้ในการตรวจล่อบกับยื้นงานที่เป็นแบบล่องระนาบได้เหมือนกัน สำมารถลดจำนวนครั้งในการเดินเครื่อง จากการทดล่อบจะเห็นได้ว่าเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้ออกมา ปรากฏว่าด้านระนาบแก้ I น้อยกว่าค่าที่ได้เติมเย้าไปเป็นจำนวน 7.498 gm-mm สำหรับระนาบแก้ II น้อยกว่าหรือคลาดเคลื่อน 9.877 gm-mm ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดยื้น เนื่องมาจากอ่าน Initial reading ผิดพลาดทั้ง Amplitude และ phase Angle ตลอดจนค่า Complex dynamic influence Number ทั้ง 4 ค่า ผิดพลาดไปบ้าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย