



การศึกษาความไม่สมดุลของแผ่นดิสก์ในฮาร์ดดิสก์อันเนื่องมาจาก

การขันสกรูโดยใช้หลักการไฟไนต์เอลิเมนต์

The study on Rotating Unbalance in Hard Disk Drive Due to Screw Tightening Using the Finite Element Method

สามารถ มุ่งโตกลาง¹ อุนนัต พินโสพน¹ ปัญญา สิงห์นาม²

Samart Mungtoklang¹ Unnat Pinsopon¹ Panya Singnam²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

² บริษัท ฮิตาชิ โกลบอล สตอเรจ เทคโนโลยีส์ (ประเทศไทย) จำกัด จ.ปทุมธานี

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้ทำการศึกษาถึงความไม่สมดุลของชุดแผ่นดิสก์ในฮาร์ดดิสก์อันเนื่องมาจากการขันสกรูในกระบวนการการผลิต ชุดแผ่นดิสก์จะถูกประกอบเข้ากับแกนหมุนด้วยการขันสกรู และทำการปรับสมดุลเพื่อให้ค่าความไม่สมดุลที่เกิดขึ้นนั้นอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ จากนั้นจะขันสกรูแน่นครั้งสุดท้ายและตรวจสอบความสมดุล แต่ปรากฏว่าความไม่สมดุลมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากการขันสกรูแน่นครั้งสุดท้าย บทความนี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์จากแบบจำลองและใช้หลักการไฟไนต์เอลิเมนต์ในการคำนวณ ผลจากการคำนวณได้ถูกเปรียบเทียบกับผลจากการทดลอง พบว่าการที่สกรูแม้จะถูกขันด้วยแรงบิดที่เท่ากันอาจจะมีค่าของแรงที่มีค่าไม่เท่ากันในแต่ละตัวทำให้เกิดความไม่สมดุลขึ้น ผลจากการคำนวณมีค่าคลาดเคลื่อนจากผลการทดลอง 28.5% แต่พฤติกรรมของการเกิดความไม่สมดุลในทุกกรณีของการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

คำสำคัญ: ความไม่สมดุล, ฮาร์ดดิสก์, การขันสกรู, หลักการไฟไนต์เอลิเมนต์

ABSTRACT

This paper presents the study on the unbalance of the rotating disks in hard disk drive caused by the manufacturing process. The disks are assembled to the spindle with screws. The disk-spindle mechanism is then balanced until the unbalance level is within the acceptance limit. The screws are then finally tightened with higher torque, and the unbalance in disk-spindle mechanism is found to be increased after the process. This paper is to investigate the reason of the increase of unbalance. The unbalance of the disk-spindle is computer simulated using finite element technique. It is found that screws tightened at the same torque may not have the same preload force. The differences in preload forces result in the unbalance. The results from computer simulation differ from the experimental results by 28.5%, however the results from both sources agree on the same trend.

Keywords: Unbalance, Hard Disk Drive, Screw tightening, Finite Element Technique.

1. บทนำ

ในช่วงที่ผ่านมา ประสิทธิภาพของฮาร์ดดิสก์ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว กล่าวคือ ทางด้านของข้อมูลจำนวนร่องเก็บข้อมูลในหนึ่งหน่วยความยาวแนวรัศมี (Track Per Inch) เพิ่มขึ้นไปมากกว่า 25,000 ร่องในปัจจุบัน ทางด้านของความไว ความเร็วรอบของมอเตอร์ ปัจจุบันขึ้นไปถึง 10,000 รอบต่อนาที เมื่อ TPI (Track Per Inch) และความเร็วรอบของมอเตอร์มีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ การสั่นสะเทือนใดๆ ของระบบชุดแผ่นดิสก์และแกนหมุนในฮาร์ดดิสก์ ที่เกิดขึ้นในแนวรัศมีของแผ่นดิสก์จึงเป็นปัญหาสำคัญ เพราะการสั่นสะเทือนเนื่องจากความไม่สมดุลจะมีความรุนแรงมากขึ้นตามความเร็วรอบที่สูงขึ้น และการสั่นสะเทือนในแนวรัศมีทำให้เกิดการเคลื่อนที่สัมผัสระหว่างแผ่นดิสก์และหัวอ่าน ขณะที่หัวอ่านกำลังอ่านหรือเขียนข้อมูล ทำให้การอ่านหรือการเขียนข้อมูลผิดพลาด ดังนั้นการสั่นสะเทือนของระบบชุดแผ่นดิสก์และแกนหมุนในแนวรัศมีของแผ่นดิสก์จึงเป็นปัญหาสำคัญที่อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์จำเป็นต้องแก้ไข

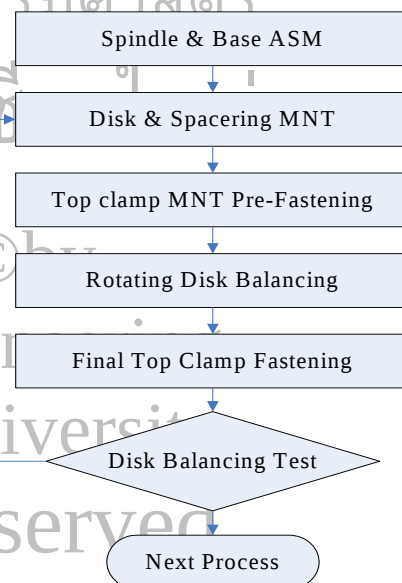
การวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนของระบบชุดแผ่นดิสก์และแกนหมุนในฮาร์ดดิสก์มักจะชี้สาเหตุของปัญหาว่าเกิดจากคุณภาพของวัตถุดิบและส่วนประกอบของระบบชุดแผ่นดิสก์และแกน อย่างเช่น Branislav Hredzak [1] กล่าวว่า สาเหตุหนึ่งของการสั่นสะเทือนเนื่องมาจากการกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอของมวลของชิ้นส่วนที่หมุนในฮาร์ดดิสก์ และ ฐิติมา จินตนาวัน [5] พบว่าการสั่นสะเทือนในแนวระนาบของระบบชุดแผ่นดิสก์และแกนหมุน เกิดจากการแกว่งและ precession ของแกนหมุนเป็นสาเหตุหลัก เป็นต้น การวิจัยที่ผ่านมาซึ่งไม่มีการศึกษาและวิเคราะห์ถึงความไม่สมดุลที่เกิดขึ้นในกระบวนการประกอบชุดแผ่นดิสก์

ในบทความนี้จะศึกษาถึงความไม่สมดุลของแผ่นดิสก์ในฮาร์ดดิสก์ที่เพิ่มขึ้นจากการขันสกรูแน่น โดยใช้หลักการไฟไนต์เอลิเมนต์ช่วยในการคำนวณ ซึ่งปัจจุบันการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นที่นิยมมากขึ้นทั้งสถาบันการศึกษาและ

ภาคอุตสาหกรรม ทั้งนี้เพราะขีดความสามารถของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์และโปรแกรมมาตรฐานสำหรับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้พัฒนาขึ้นอย่างมาก การใช้งานสะดวก รวดเร็ว ถูกต้องแม่นยำและเสียค่าใช้จ่ายไม่มากนัก

2. กระบวนการประกอบชุดแผ่นดิสก์

กระบวนการประกอบชุดแผ่นดิสก์กับแกนหมุนเริ่มจากการประกอบแกนหมุนยึดเข้ากับโครงฐาน (Spindle & Base ASM) ต่อมาจะประกอบแผ่นดิสก์และแผ่นรองเข้ากับแกนหมุน (Disk & Spacing MNT) จากนั้นประกอบแผ่นยึดแผ่นดิสก์ (Top clamp) แล้วขันสกรูหลวม เพื่อยึดแผ่นดิสก์และแผ่นรอง (Spacer) ให้ติดกับแกนหมุน (Top clamp MNT pre-fastening) ต่อมาเป็นการปรับสมดุล (Rotating Disk Balancing) เมื่อชุดแผ่นดิสก์ถูกปรับสมดุลแล้วจะทำการขันสกรูแน่นครั้งสุดท้าย (Final Top clamp fastening) ขั้นตอนสุดท้ายคือการทดสอบความสมดุลของชุดแผ่นดิสก์ (Disk Balancing Test) ถ้าความไม่สมดุลของชุดแผ่นดิสก์มีค่าเกินกว่าที่กำหนดก็จะถูกส่งกลับไปยังขั้นตอน (Disk & Spacing MNT) เพื่อเริ่มกระบวนการขันสกรูและปรับสมดุลอีกครั้ง ดังแสดงใน รูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการประกอบชุดแผ่นดิสก์กับแกนหมุน

เมื่อพิจารณากระบวนการผลิตที่กล่าวมาข้างต้น ชุดแผ่นดิสก์จะถูกประกอบเข้ากับแกนหมุนด้วยการขันสกรูหลวมและทำการปรับสมดุลเพื่อให้ค่าความไม่สมดุลที่เกิดขึ้นนั้นอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ จากนั้นจะขันสกรูแน่นครั้งสุดท้ายและตรวจสอบความสมดุล แต่ปรากฏว่าความไม่สมดุลมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากการขันสกรูแน่นครั้งสุดท้าย ขั้นตอนที่ทำให้ความไม่สมดุลเพิ่มขึ้นก็คือขั้นตอนการขันสกรูแน่นครั้งสุดท้าย ในขั้นตอนนี้จะขันสกรูด้วยเครื่องจักร โดยควบคุมแรงบิดของสกรูแต่ละตัวให้เท่ากัน จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต พบว่าการที่สกรูแม่จะถูกขันด้วยแรงบิดที่เท่ากันอาจจะมีค่าของแรงที่มีค่าไม่เท่ากันในแต่ละตัวได้ [2, 3] แต่ในกระบวนการการผลิตไม่สามารถวัดแรงของสกรูโดยตรงได้ จึงไม่สามารถควบคุมแรงของสกรูแต่ละตัวให้เท่ากันได้

3. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและแรงสกรู

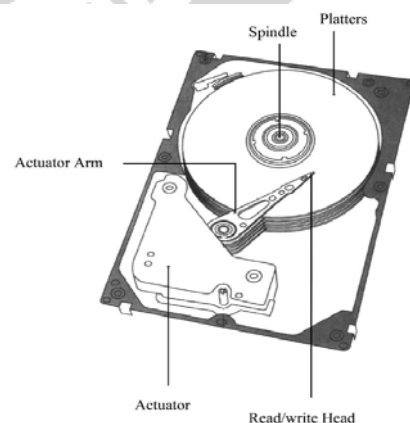
การควบคุมแรงของสกรูโดยอ้างอิงจากแรงบิดของสกรูนั้นจะพบว่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีได้มากถึง $\pm 30\%$ [2, 3] และถึงแม้จะมีการหล่อลื่นที่สกรูแล้วความผิดพลาดก็สามารถเกิดขึ้นได้มากถึง $\pm 15\%$ แต่ในการผลิตฮาร์ดดิสก์ต้องคำนึงถึงความสะอาดเป็นอย่างมาก สกรูที่ใช้จึงไม่ได้รับการหล่อลื่น ทำให้แรงที่เกิดขึ้นบนสกรูแต่ละตัวอาจมีขนาดแตกต่างกันได้ถึง $\pm 30\%$ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและแรงสกรูสามารถอธิบายได้ด้วยสมการข้างล่างดังนี้

$$\mu = \mu_c = \text{Friction coefficient}$$

จากสมการ (2) จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ของแรงบิด K_i ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน μ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสกรูแต่ละตัวก็จะส่งผลถึงแรงบิดของสกรูแต่ละตัวด้วย ดังนั้นสมมุติฐานได้ว่าสาเหตุที่ทำให้ความไม่สมดุลเพิ่มขึ้นหลังจากการขันสกรูแน่นครั้งสุดท้ายอาจเนื่องมาจากการขันสกรูด้วยแรงบิดที่เท่ากันแต่แรงของสกรูแต่ละตัวนั้นอาจไม่เท่ากัน

4. การจำลองความไม่สมดุลของฮาร์ดดิสก์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

องค์ประกอบทั่วไปของฮาร์ดดิสก์นั้นจะประกอบไปด้วย ชุดหัวอ่าน, ชุดแกนหมุน และชุดแผ่นดิสก์ ดังได้แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 องค์ประกอบของฮาร์ดดิสก์โดยทั่วไป

$$T_i \cong K_i F_i d \quad (1)$$

$$K_i \cong \left[0.50 \frac{(\mu + \tan \lambda \cos \alpha)}{\cos \alpha - \mu \tan \lambda} + 0.625 \mu_c \right] \quad (2)$$

เมื่อ

T_i = Torque

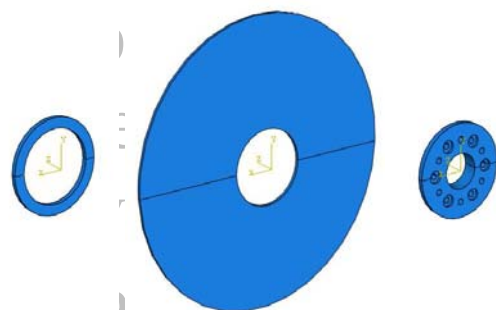
F = Screw force

K_i = Torque coefficient

d = diameter

λ = Lead angle

α = Radial angle of thread

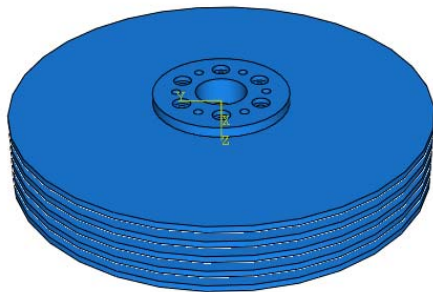


(ก) แผ่นรอง (ข) แผ่นดิสก์ (ค) แผ่นขีดแผ่นดิสก์

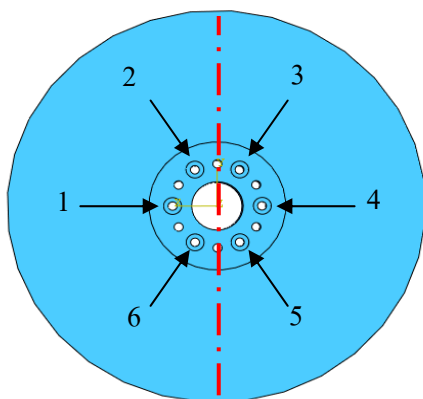
รูปที่ 3 แสดงส่วนประกอบของชุดแผ่นดิสก์

โมเดลของชุดแผ่นดิสก์นั้นจะมีส่วนประกอบหลักดังต่อไปนี้ แผ่นรอง (Spacers) แสดงในรูปที่ 3 (ก) แผ่นดิสก์ (Disks) แสดงในรูปที่ 3 (ข) และแผ่นยึดแผ่นดิสก์ (Top Clamp) แสดงในรูปที่ 3 (ค)

ชุดแผ่นดิสก์จะประกอบด้วย แผ่นดิสก์ 5 แผ่น แผ่นรอง 5 ตัว และแผ่นยึดแผ่นดิสก์ 1 ตัว ลักษณะการประกอบกันของชุดแผ่นดิสก์จะเริ่มด้วยแผ่นรองอยู่ด้านล่างสุด จากนั้นจะซ้อนทับด้วยแผ่นดิสก์แล้วจะสลับกันจนครบ 5 ชุด และที่บนสุดจะปิดด้วยแผ่นยึดแผ่นดิสก์เพื่อยึดชุดแผ่นดิสก์ให้ติดกับชุดแกนหมุน ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงลักษณะของชุดแผ่นดิสก์

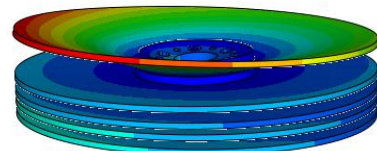
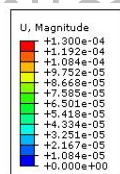


รูปที่ 5 แสดงตำแหน่งรูสกรูของชุดแผ่นดิสก์

จากสมมุติฐานที่ว่าสาเหตุที่ทำให้ความไม่สมดุลเพิ่มขึ้นหลังจากการขันสกรูแน่นครั้งสุดท้ายอาจเนื่องมาจากการขันสกรูด้วยแรงบิดที่เท่ากันแต่แรงของสกรูแต่ละตัวอาจไม่เท่ากัน แต่กระบวนการประกอบชุด

แผ่นดิสก์ไม่สามารถวัดแรงของสกรูแต่ละตัวโดยตรงได้ทำให้ไม่ทราบค่าแรงของสกรูแต่ละตัวแตกต่างกันหรือไม่ จึงได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของความไม่สมดุลโดยกำหนดให้แรงของสกรูแต่ละตัวไม่เท่ากัน

ในกรณีนี้ได้กำหนดการเป็นแบบความดันที่รูสกรูบนแผ่นยึดแผ่นดิสก์จำนวน 6 รู (คำนวณหาความดันจากแรงสกรูที่ได้จากสมการที่ (1) และ (2)) และยึดแผ่นรองแผ่นล่างสุดไม่ให้เคลื่อนที่ พิจารณาแบ่งสกรูออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกได้แก่สกรูที่ 1, 2 และ 6 กลุ่มที่สองสกรูที่ 3, 4 และ 5 (ตำแหน่งรูสกรูตามรูปที่ 5) ภาระของสกรูทั้งสองกลุ่มสามารถต่างกันได้มากถึง 60% หรือก็คือ $\pm 30\%$ ตามที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ผ่านมา ดังนั้นจึงกำหนดให้สกรูกลุ่มแรกมีความดันถึงที่ 100% สกรูกลุ่มที่สองมีความดัน 40% เพื่อให้ภาระของสกรูทั้งสองกลุ่มต่างกันมากที่สุด 60% แล้วเพิ่มความดันสกรูกลุ่มที่สองขึ้นเพื่อให้ภาระของสกรูทั้งสองกลุ่มต่างกันน้อยลง แล้วศึกษาพฤติกรรมของความไม่สมดุลที่เกิดขึ้น ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้ในกรณีสกรูทั้งสองกลุ่มมีความดันต่างกัน 60% แสดงดังรูปที่ 6 ซึ่งได้ขยายอัตราการเสียรูป (Deformation Scale Factor) เป็น 50 เท่า เพื่อให้เห็นรูปร่างที่เปลี่ยนไปได้ชัดเจนยิ่งขึ้น จะเห็นว่าด้านที่มีความดันมากจะมีการเสียรูปมากกว่าด้านที่มีความดันน้อย การเสียรูปของแผ่นดิสก์ทั้ง 5 แผ่นจะมีลักษณะคล้ายกันทั้งหมด ต่างกันเพียงขนาดการเสียรูป



รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์กรณีความดันต่างกัน 60%

หลังจากที่ได้ผลลัพธ์และข้อมูลที่ต้องการออกมาจากโปรแกรม ABAQUS แล้ว จะได้นำข้อมูลดังกล่าวนี้มา

คำนวณหาตำแหน่งใหม่ของจุดกึ่งกลางมวลและค่าความไม่สมดุลที่เกิดขึ้นโดยใช้โปรแกรม MATLAB ช่วยในการคำนวณ ซึ่งจะได้นำเสนอขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1. กำหนดตำแหน่งเริ่มต้นและระยะขจัดที่เปลี่ยนไปของแต่ละโหนด

ขั้นตอนที่ 2. คำนวณหาตำแหน่งใหม่ของแต่ละโหนด

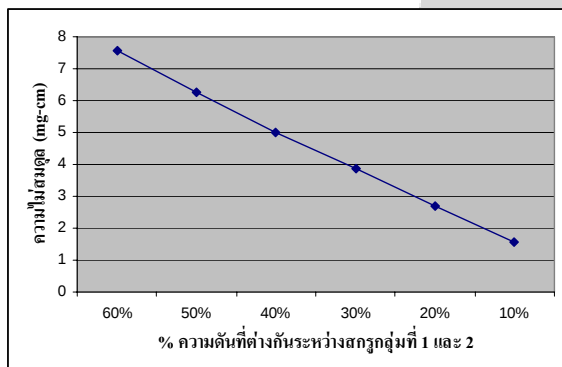
ขั้นตอนที่ 3. คำนวณหาตำแหน่งของจุดกึ่งกลางมวลของแต่ละเอลิเมนต์

ขั้นตอนที่ 4. คำนวณหาปริมาตรของแต่ละเอลิเมนต์

ขั้นตอนที่ 5. คำนวณหาตำแหน่งของจุดกึ่งกลางมวลที่เปลี่ยนไปของชุดแผ่นดิสก์

ขั้นตอนที่ 6. คำนวณหาความไม่สมดุลที่เกิดขึ้น

นำผลที่ได้จากการคำนวณหาความไม่สมดุลมาเขียนกราฟดังแสดงในรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าเมื่อสกรูกลุ่มแรกและสกรูกลุ่มที่สองมีความดันแตกต่างกัน 60% จะมีค่าความไม่สมดุลมากที่สุดถึง 7.565 mg-cm และเมื่อความดันของสกรูทั้ง 2 กลุ่มต่างกันน้อยลง ความไม่สมดุลก็จะลดลงด้วยเช่นกัน โดยมีลักษณะเป็นเชิงเส้น



รูปที่ 7 แสดงกราฟความไม่สมดุลในกรณีต่างๆ

5. การทดลองและผลการทดลอง

ในกระบวนการประกอบชุดแผ่นดิสก์จะไม่สามารถวัดแรงของสกรูแต่ละตัวโดยตรงได้ ดังนั้นจึงทำการทดลองโดยกำหนดให้ภาระเป็นแบบแรงบิดของสกรูแต่ละตัวไม่เท่ากัน เพื่อทำการศึกษาพฤติกรรมของความไม่สมดุลที่เกิดขึ้น เนื่องจากการทดลองถูกกำหนดให้คล้ายกับ

เงื่อนไขในการคำนวณเพื่อที่จะนำมาทดสอบความถูกต้องของการคำนวณด้วยผลการทดลอง โดยพิจารณาแบ่งสกรูออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกสกรูที่ 1, 2 และ 6 กลุ่มที่สองสกรูที่ 3, 4 และ 5 (ตำแหน่งสกรูตามรูปที่ 5) โดยขันสกรูกลุ่มแรกด้วยแรงบิดคงที่ 100% และเปลี่ยนแปลงแรงบิดของสกรูกลุ่มที่สองจากน้อยไปหามาก เพื่อหาความไม่สมดุลที่เกิดขึ้นแล้วนำไปเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ ซึ่งทำการทดลองกับฮาร์ดดิสก์ 10 ตัว และมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

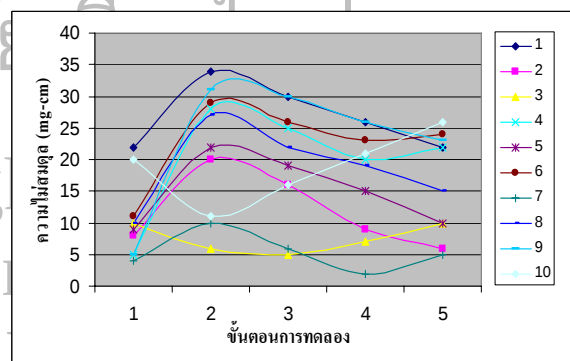
ขั้นตอนที่ 1. ทดสอบค่าความไม่สมดุลก่อนการขันสกรูแน่น

ขั้นตอนที่ 2. ขันสกรูกลุ่มแรกด้วยแรงบิด 100% และกลุ่มที่สองด้วยแรงบิด 40% เพื่อให้สกรูทั้งสองกลุ่มมีแรงบิดต่างกัน 60% แล้วทดสอบค่าความไม่สมดุล

ขั้นตอนที่ 3. ขันสกรูกลุ่มที่สองเพิ่มแรงบิดเป็น 60% เพื่อให้สกรูทั้งสองกลุ่มมีแรงบิดต่างกันลดลงเหลือ 40% แล้วทดสอบค่าความไม่สมดุล

ขั้นตอนที่ 4. ขันสกรูกลุ่มที่สองเพิ่มแรงบิดเป็น 80% เพื่อให้สกรูทั้งสองกลุ่มมีแรงบิดต่างกันลดลงเหลือ 20% แล้วทดสอบค่าความไม่สมดุล

ขั้นตอนที่ 5. ขันสกรูกลุ่มที่สองเพิ่มแรงบิดเป็น 100% เพื่อให้สกรูทั้งสองกลุ่มมีแรงบิดเท่ากัน แล้วทดสอบค่าความไม่สมดุล



รูปที่ 8 แสดงกราฟความไม่สมดุลจากการทดลอง

ผลจากการทดลองของฮาร์ดดิสก์ทั้ง 10 ตัวได้แสดงดังรูปที่ 8 จะเห็นว่ามีค่าความไม่สมดุลเกิดขึ้นก่อนการขันสกรู

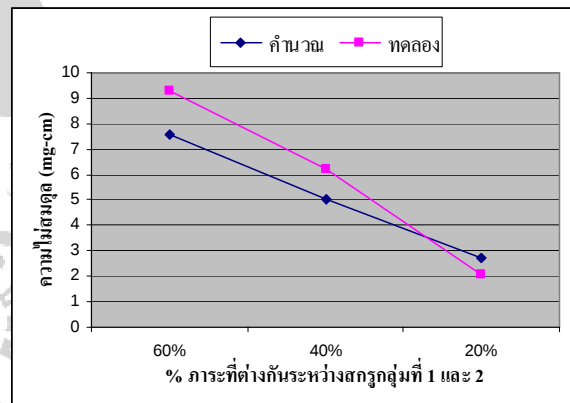
เมื่อขึ้นสกรูในขั้นตอนที่ 2 ความไม่สมดุลก็จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากสกรูทั้งสองกลุ่มมีแรงบิดต่างกัน เมื่อแรงบิดของสกรูทั้งสองกลุ่มต่างกันน้อยลงในขั้นตอนต่อๆ มา ความไม่สมดุลก็จะลดลงด้วย ผลการทดลองส่วนใหญ่จะมีลักษณะเหมือนกัน แต่มีบางกรณี เช่น ผลการทดลองของชาร์ดิสก์ตัวที่ 10 จะมีลักษณะลดลงในขั้นตอนที่ 2 แล้วจากนั้นก็เพิ่มขึ้นในขั้นตอนที่ 3, 4 และ 5 นั้นเพราะว่าเฟสของความไม่สมดุลที่เกิดขึ้นก่อนการขึ้นสกรูแน่นในขั้นตอนที่ 1 และเฟสของความไม่สมดุลที่เกิดขึ้นจากการขึ้นสกรูแน่นในขั้นตอนที่ 2 มีมุมตรงกันข้ามทำให้ความไม่สมดุลทั้งสองหักล้างกัน

นำผลที่ได้จากการทดลองมาหาค่าเฉลี่ยผลต่างของความไม่สมดุลที่เกิดจากภาระที่ต่างกันของสกรูทั้งสองกลุ่มแล้วนำมาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณโดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 9 จะเห็นว่าผลการทดลองกับผลการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนั้นมาจากหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น ค่าคุณสมบัติของวัสดุ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ใช้ในการคำนวณ

ความไม่สมดุลอันเนื่องมาจากการขึ้นสกรูในกรณีที่ได้พิจารณาไว้สามารถแก้ไขให้ความไม่สมดุลลดลงได้โดยขึ้นสกรูด้านตรงข้ามเพิ่ม ซึ่งจะสังเกตได้จากผลการทดลอง (รูปที่ 8) เช่น เมื่อขึ้นสกรูกลุ่มที่สองเพิ่มเพื่อให้แรงบิดของสกรูทั้งสองกลุ่มต่างกันน้อยลงทำให้ความไม่สมดุลนั้นลดลงตามไปด้วย

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบค่าความไม่สมดุล

ภาระของสกรูทั้ง 2 กลุ่ม	ความไม่สมดุล (mg-cm)	
	คำนวณ	ทดลอง
แตกต่างกัน 60%	7.565	9.3
แตกต่างกัน 40%	5.011	6.2
แตกต่างกัน 20%	2.698	2.1



รูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบค่าความไม่สมดุล

6. สรุป

จากการศึกษาและวิเคราะห์ความไม่สมดุลอันเนื่องมาจากการขึ้นสกรูทำให้ทราบว่า

1. แรงของสกรูแต่ละตัวมีผลต่อจุดกึ่งกลางมวลของชุดแผ่นดิสก์ ซึ่งจุดกึ่งกลางมวลจะเคลื่อนตัวไปในทิศทางของสกรูตัวที่ได้รับแรงมากกว่าสกรูตัวอื่นๆ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดความไม่สมดุล
2. ความไม่สมดุลอันเนื่องมาจากการขึ้นสกรูในกรณีที่ได้พิจารณานี้สามารถแก้ไขให้ความไม่สมดุลลดลงได้โดยขึ้นสกรูด้านตรงข้ามเพิ่ม
3. การใช้หลักการไฟไนต์เอลิเมนต์ช่วยในการคำนวณมีค่าคลาดเคลื่อนจากผลการทดลอง 28.5% แต่สามารถใช้การอ้างอิงพฤติกรรมในการเกิดความไม่สมดุลได้

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักวิจัยร่วมด้านเทคโนโลยี การบันทึกข้อมูลและการประยุกต์ใช้งาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่สนับสนุนเงินทุนวิจัย และขอขอบคุณ บริษัท ฮิตาชิ โกลบอล สโตเรจ เทคโนโลยีส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ช่วยสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Branislav Hredzak and Guoxiao, Investigation of the feasibility of active balancing of hard disk drives, Mechatronics 14, pp. 853-859, 2004.
- [2] T. H. Lambert, Effect of Variation in the Screw Thread Coefficient of Friction on Clamping Force of Bolted Connection, J. Mech Eng. Sci.4, p. 401, 1962.
- [3] Robert L. Norton., Machine Design An Integrated Approach Second Edition, Prentice-Hall International, p. 854
- [4] V. Wowk., Machinery Vibration : Balancing, McGraw-Hill, Inc. p. 57
- [5] จิตติมา จินตนาวัน. การสันสะเทือนทางกลของระบบคอมพิวเตอร์ Hard Disk Drives (HDD). วารสารสมาคมวิชาการหุ่นยนต์ไทย, ปีที่ 1, ฉบับที่ 1 ,หน้า 54-60, มีนาคม, 2544.
- [6] ปราโมทย์ เชะอำไพ. ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- [7] ปราโมทย์ เชะอำไพ. ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
- [8] เดช พุทธเจริญทอง. การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. กรุงเทพฯ : พิมพ์ดี, 2541.
- [9] บรรจบ อรชร. กลศาสตร์ของแข็ง. กรุงเทพฯ : พิมพ์ดี, 2541.

ลิขสิทธิ์คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright©by
Faculty of Engineering
Chiang Mai University
All Right Reserved