



วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

ผลของตำแหน่งในการจับยึดแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีต่อค่าความถี่ธรรมชาติ

The effect of the position constraining of HDD actuator arm to the natural frequencies

กุลทรัพย์ ผ่องศรีสุข^{1*} กฤษณา จะนา¹ ธิติชัย นาคทอง¹ ไกรฤกษ์ พันแจ²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ 50300

² บริษัท เบลตันอินดัสเตรียล (ประเทศไทย) จำกัด ปทุมธานี 12120

Kullasup Phongsrisuk^{1*} Kitsada Jana¹ Thitichai Nakthong¹ Krairoek Fanchaeng²

¹ Department of Mechanical Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiangmai 50300

² Belton Industrial (Thailand) Ltd. Pathumthani 12120

* Corresponding author.

E-mail: phongsrisuk@gmail.com; Telephone: 0 5392 1444

วันที่รับบทความ 29 มกราคม 2563; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 19 มีนาคม 2563 ; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 1 ตุลาคม 2563

วันที่ตอบรับบทความ 10 ตุลาคม 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาผลของตำแหน่งในการจับยึดแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีต่อค่าความถี่ธรรมชาติ โดยทำการสร้างแบบจำลองแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ โปรแกรม ANSYS จากนั้นทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งในการจับยึดแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ทั้งหมด 9 ตำแหน่ง จากผลการวิจัยพบว่าตำแหน่งในการจับยึดแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีผลต่อค่าความถี่ธรรมชาติในแต่ละรูปร่างการสั่นสะเทือน โดยจะส่งผลมากที่สุด 3112 Hz ที่รูปร่างการสั่นสะเทือน Coil sway และส่งผลน้อยสุด 32 Hz ที่รูปร่างการสั่นสะเทือน Arm bending การปรับเปลี่ยนตำแหน่งในการจับยึดแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มหรือลดค่าความถี่ธรรมชาติ เพื่อให้ค่าความถี่ธรรมชาติอยู่นอกย่านความถี่ของแรงภายนอกที่มากระตุ้น ซึ่งทำให้แขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อยู่ภายใต้การสั่นสะเทือนปกติ

คำสำคัญ

แขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ไฟไนต์เอลิเมนต์ ความถี่ธรรมชาติ รูปร่างการสั่นสะเทือน

Abstract

This research aimed to study the effect of the position constraining of the HDD actuator arm to the natural frequencies. A finite element software, ANSYS, was used to create the HDD actuator arm model. After that, the position constraining of the HDD actuator arm was adjusted, for a total of nine positions. The results demonstrated that the position constraining of the HDD actuator arm affected the natural frequencies at each mode shape. The maximum effect was 3112 Hz, which occurred in the Coil sway mode shape and the minimum effect was 32 Hz, which occurred in the Arm bending mode shape. Adjusting the position constraining of the HDD actuator arm was the one method to increase or decrease the natural frequencies hence the natural frequencies were outside the frequency band of the external force, resulting in the HDD actuator arm to be under normal vibration.

Keywords

HDD actuator arm; finite element; natural frequency, mode shape

1. คำนำ

การเติบโตของปริมาณข้อมูลมหัต (Big data) ทำให้การผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์รุ่นใหม่ต้องการเวลาในการค้นหาร่อง (Seek time) น้อยลงแต่เนื้อที่จัดเก็บข้อมูลมีมากขึ้น เพื่อให้เวลาในการค้นหาร่องน้อยลงนั้น หัวอ่าน/บันทึก (Read/Write head) ซึ่งติดอยู่ที่ปลายแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard disk drive actuator arm) ดังแสดงในรูปที่ 1 จะต้องอ่าน/บันทึกข้อมูลจากจานแม่เหล็ก (Platters) ได้เร็วขึ้น โดยการอ่าน/บันทึกข้อมูลจากจานแม่เหล็กของหัวอ่าน/บันทึก จะอาศัยการเคลื่อนที่หมุนกลับไปกลับมาของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งการเคลื่อนที่หมุนกลับไปกลับมาของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในแต่ละครั้ง เป็นผลให้แขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เกิดการสั่นสะเทือน และถ้าแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อยู่ภายใต้การสั่นสะเทือนขนาดใหญ่ จะทำให้ตำแหน่งของหัวอ่าน/บันทึก ยากแก่การควบคุม



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ [1]

ความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency) ของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จึงได้ถูกนำมาศึกษา เพราะถ้าความถี่ของแรงภายนอกที่มากระตุ้นตรงกับความถี่ธรรมชาติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะทำให้แขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อยู่

ภายใต้การสั่นสะเทือนขนาดใหญ่ ซึ่งเรียกว่าปรากฏการณ์การสั่นพ้อง (Resonance phenomena) ในการหาค่าความถี่ธรรมชาติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะจำลองแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ (Finite element software) เพื่อสร้างแบบจำลองแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่สามารถทำนายรูปร่างการสั่นสะเทือนและค่าความถี่ธรรมชาติ [2-3] ซึ่งเมื่อทราบค่าความถี่ธรรมชาติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แล้ว จะทำการควบคุมการสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ค่าความถี่ธรรมชาตินั้น

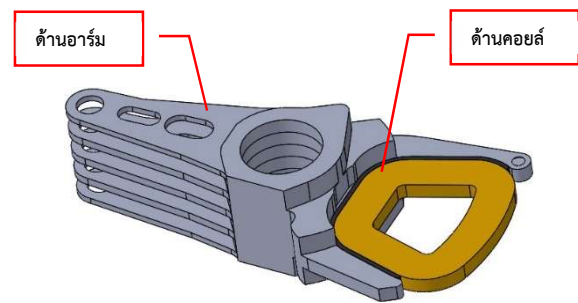
การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อค่าความถี่ธรรมชาติเป็นแนวทางหนึ่งที่จะควบคุมการสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เนื่องจากความถี่ของแรงภายนอกที่มากระตุ้นจะมีค่าอยู่ย่านหนึ่ง ถ้าสามารถเพิ่มหรือลดค่าความถี่ธรรมชาติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้อยู่นอกย่านความถี่ของแรงภายนอกที่มากระตุ้น จะทำให้แขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อยู่ภายใต้การสั่นสะเทือนปกติ การสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่หมุนกลับไปกลับมาของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะเกี่ยวเนื่องอยู่กับ Pivot bearing, Tolerance ring และกาวยูวี เนื่องจากแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะถูกสวมเข้ากับ Pivot bearing ซึ่งเป็นแกนหมุนสำหรับการเคลื่อนที่หมุนกลับไปกลับมาของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยมี Tolerance ring หรือกาวยูวีทำหน้าที่ยึดผิวด้านนอกของ Pivot bearing เข้ากับผิวด้านในของแกนหมุนของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

การศึกษารูปร่างการสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่หมุนกลับไปกลับมาของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จึงมีการสร้างแบบจำลอง Pivot bearing ในไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ [4-5] เพื่อศึกษารูปร่างการสั่นสะเทือนและค่าความถี่ธรรมชาติ

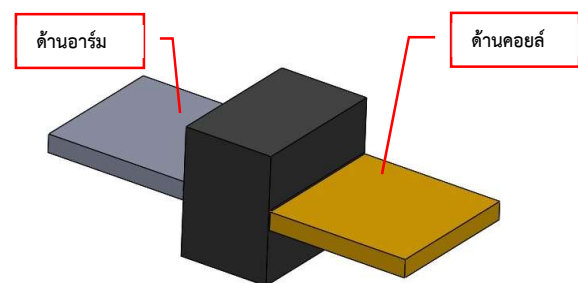
ของ Pivot bearing รวมไปถึงผลของการสวมอัด Pivot bearing ที่มีต่อค่าความถี่ธรรมชาติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์[6] การออกแบบผิวด้านนอกของ Tolerance ring ให้มีลักษณะนูนเป็นรูปครึ่งทรงกระบอก [7] รูปครึ่งวงรี [8] รูปลิ้น [9-10] เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างผิวด้านนอกของ Tolerance ring กับผิวด้านในของแกนหมุนของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ การสร้างแบบจำลอง Tolerance ring ในไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ที่ผิวด้านนอกของ Tolerance ring มีลักษณะนูนเป็นลูกคลื่น เพื่อศึกษาผลของลูกคลื่นที่มีต่อค่าความถี่ธรรมชาติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์[11] การสร้างแบบจำลองการยูวีในไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์เพื่อศึกษาผลของคุณสมบัติเชิงกลของการยูวีที่มีต่อค่าความถี่ธรรมชาติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์[12]

จากการที่ผิวด้านในของแกนหมุนของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์บางรุ่นมีลักษณะเป็นขั้นบันได (Stepped)[13] ตำแหน่งที่เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีขนาดเล็กที่สุดจะเป็นตำแหน่งในการจับยึด Pivot bearing หรือ Tolerance ring เข้ากับผิวด้านในของแกนหมุนของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จึงเป็นไปได้ที่ตำแหน่งในการจับยึดแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อค่าความถี่ธรรมชาติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ งานวิจัยนี้จึงทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งในการจับยึดแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพื่อศึกษาผลที่มีต่อค่าความถี่ธรรมชาติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

freedom) เป็นอนันต์ (Infinity) ทำให้รูปร่างการสั่นสะเทือนและค่าความถี่ธรรมชาติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีจำนวนเป็นอนันต์ตามไปด้วย แขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีรูปร่างที่ซับซ้อนจึงทำให้ยังไม่มีสมการสำหรับอธิบายพฤติกรรม การสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมการสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จึงพิจารณาแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้มีรูปร่างอย่างง่าย[2] ดังแสดงในรูปที่ 2 และพิจารณาการสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ออกเป็น การเคลื่อนที่ของด้านอาร์มและด้านคอยล์



(ก) แขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



(ข) แขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีรูปร่างอย่างง่าย

รูปที่ 2 การจำลองแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

2. ทฤษฎี

2.1 การสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

การสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นการสั่นสะเทือนของระบบต่อเนื่อง (Continuous system) เนื่องจากมีจำนวนลำดับชั้นความเป็นอิสระ (Degree of

การเคลื่อนที่ของด้านอาร์มจะก่อให้เกิดรูปร่างการสั่นสะเทือน Arm bending (AB), Arm torsion (AT) และ Arm sway (AS) ส่วนการเคลื่อนที่ของด้านคอยล์จะก่อให้เกิดรูปร่างการสั่นสะเทือน Coil bending (CB), Coil torsion (CT) และ Coil sway (CS) โดยรูปร่างการสั่นสะเทือน Arm

Bending และ Coil bending จะเป็นการเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวตั้งของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ส่วนรูปร่างการสั่นสะเทือน Arm sway และ Coil sway จะเป็นการเคลื่อนที่ซ้ายขวาในแนวระนาบของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งจะเหมือนกับการสั่นสะเทือนตามแนวขวางของคานที่มีปลายข้างหนึ่งยึดแน่นและปลายอีกข้างหนึ่งปล่อยอิสระ โดยมีสมการความถี่ธรรมชาติเป็น

$$f_n = \frac{\alpha^2}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \quad (1)$$

โดย f_n คือ ความถี่ธรรมชาติ (Hz)

α คือ ค่าคงตัวที่ขึ้นอยู่กับการรองรับและลำดับของการสั่นสะเทือน

E คือ โมดูลัสยืดหยุ่น (N/m²)

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด (m⁴)

ρ คือ ความหนาแน่น (kg/m³)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (m²)

รูปร่างการสั่นสะเทือน Arm torsion และ Coil torsion จะเป็นการเคลื่อนที่บิดกลับไปกลับมาของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งจะเหมือนกับการสั่นสะเทือนแบบบิดของเพลามีปลายข้างหนึ่งยึดแน่นและปลายอีกข้างหนึ่งปล่อยอิสระ โดยมีสมการความถี่ธรรมชาติเป็น

$$f_n = \frac{\beta}{2\pi} \sqrt{\frac{GJ}{I_o}} \quad (2)$$

โดย β คือ ค่าคงตัวที่ขึ้นอยู่กับการรองรับและลำดับของการสั่นสะเทือน

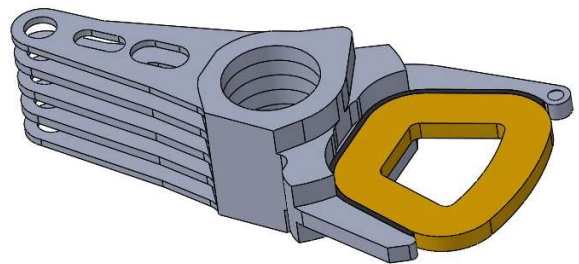
G คือ โมดูลัสการเฉือน (N/m²)

J คือ โพลาร์โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด (m⁴)

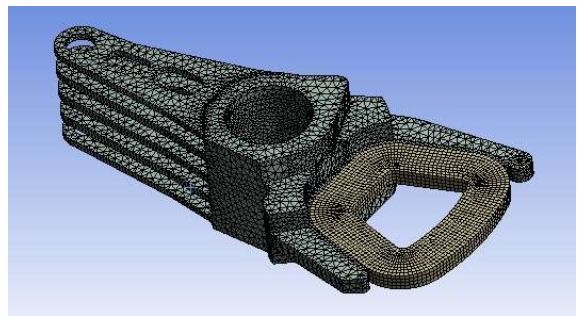
I_o คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของมวล (kg.m²)

2.2 ไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์

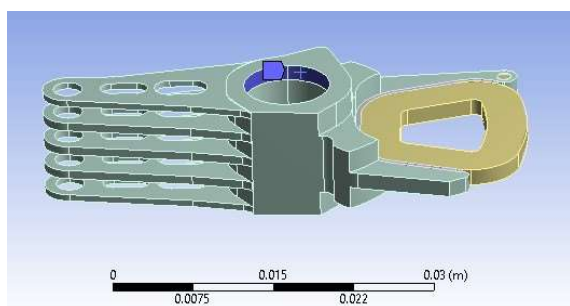
ไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์เป็นกระบวนการหาผลเฉลยโดยประมาณของสมการเชิงอนุพันธ์ โดยการแบ่งแบบจำลองแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ออกเป็นเอลิเมนต์เล็ก ๆ แต่ละเอลิเมนต์จะต่อเชื่อมกันที่จุดต่อ อันเป็นตำแหน่งที่จะคำนวณตัวแปรไม่ทราบค่า โดยการสร้างฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์ให้มีความสอดคล้องกับสมการกำกับทำให้ได้สมการไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับเอลิเมนต์นั้น ๆ เมื่อนำสมการไฟไนต์เอลิเมนต์มาประกอบเข้าด้วยกันจะได้สมการรวม (Global equation) จากนั้นแก้ปัญหาด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical method) กระบวนการของไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์จะประกอบด้วย กระบวนการขั้นต้น (Pre-Processing) กระบวนการวิเคราะห์ (Processing) และกระบวนการขั้นท้าย (Post-Processing)



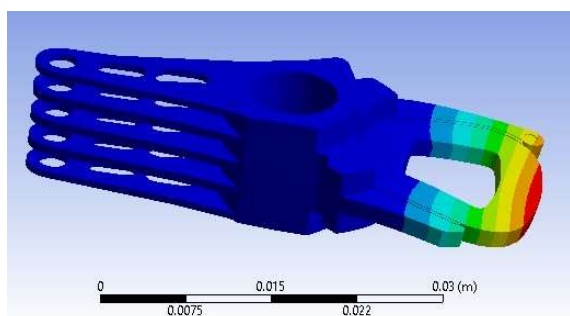
รูปที่ 3 แบบจำลองแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



รูปที่ 4 เอลิเมนต์ของแบบจำลองแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



รูปที่ 5 การกำหนดจุดจับยึด



รูปที่ 6 ตัวอย่างรูปร่างการสั่นสะเทือน

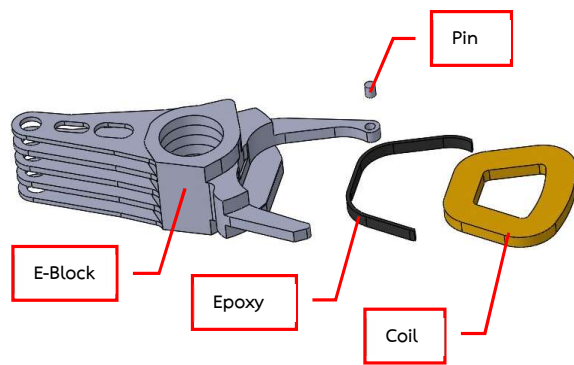
- 1) กระบวนการขึ้นต้น เป็นการเตรียมข้อมูลก่อนส่งให้กระบวนการวิเคราะห์ ประกอบไปด้วย ขั้นตอน 4 รูปที่) คือ การสร้างแบบจำลอง3) การกำหนดคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ การแบ่งแบบจำลองออกเป็นเอลิเมนต์ (รูปที่ 4) การกำหนดจุดจับยึดติดตั้งด้วยสีน้ำเงินในรูปที่ 5
- 2) กระบวนการวิเคราะห์ ไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์จะสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับทุกเอลิเมนต์ จากนั้นประกอบสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ของทุกเอลิเมนต์เข้าด้วยกันทำให้ได้สมการรวม และทำการแก้สมการรวม โดยเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะขึ้นอยู่กับจำนวนเอลิเมนต์และจุดต่อ
- 3) กระบวนการขึ้นท้าย คือ การแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการวิเคราะห์ ในกรณีของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นรูปร่างการ

สั่นสะเทือนของแต่ละความถี่ (รูปที่ 6) โดยแถบสีแดงหมายถึงผลลัพธ์ที่มีค่ามาก ส่วนแถบสีน้ำเงินหมายถึงผลลัพธ์ที่มีค่าน้อย

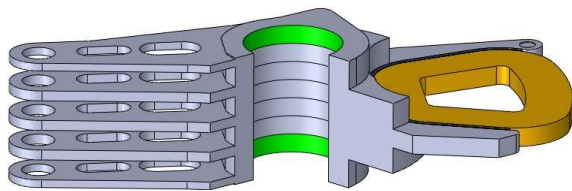
3. วิธีการศึกษา

ในการศึกษาผลของตำแหน่งในการจับยึดแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีต่อค่าความถี่ธรรมชาติ จะทำการสร้างแบบจำลองแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ โปรแกรม ANSYS จากนั้นทวนสอบแบบจำลองโดยการวัดและแสดงผลของรูปร่างการสั่นสะเทือนและค่าความถี่ธรรมชาติด้วยเครื่อง Polytec Scanning Vibrometer 400 (PSV400) โดยแบบจำลองที่ผ่านการทวนสอบแล้ว จะถูกนำมาปรับเปลี่ยนตำแหน่งในการจับยึดแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพื่อดูผลที่เกิดขึ้นกับค่าความถี่ธรรมชาติในแต่ละรูปร่างการสั่นสะเทือน

แบบจำลองแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะประกอบไปด้วย แขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ยังไม่ได้ประกอบคอยล์ (E-Block) กาวอีพอกซี (Epoxy) คอยล์ (Coil) และสลัก (Pin) ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งทำจากวัสดุไอโซทรอปิก (Isotropic material) ที่มีความอดุลย์ยืดหยุ่น อัตราส่วนปัวซองส์และความหนาแน่น ตามกำหนดของ บริษัท เบลตัน อินดัสเตรียล (ประเทศไทย) จำกัด แบบจำลองที่สร้างจะถูกแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์สามมิติ โดยจำนวนเอลิเมนต์จะมีผลต่อความถูกต้องและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ การหาจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสมจะพิจารณาจากการลู่เข้าของค่าความถี่ธรรมชาติในแต่ละรูปร่างการสั่นสะเทือนที่เอลิเมนต์ขนาดต่าง ๆ ซึ่งพบว่าเอลิเมนต์ที่มีขนาดเล็กสุด 0.0004 m จะทำให้ค่าความถี่ธรรมชาติในแต่ละรูปร่างการสั่นสะเทือนมีค่าลู่เข้า แบบจำลองที่ถูกแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์จะถูกกำหนดตำแหน่งในการจับยึดแบบแน่น (Fix) ที่ผิวด้านในของแกนหมุนของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ดังแสดงด้วยสีเขียวในรูปที่ 8



รูปที่ 7 ส่วนประกอบของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

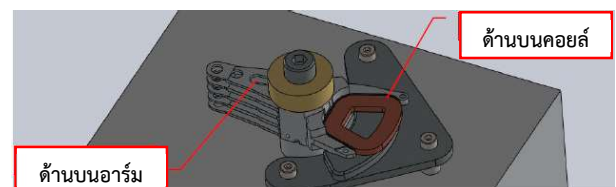


รูปที่ 8 ตำแหน่งในการจับยึดแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

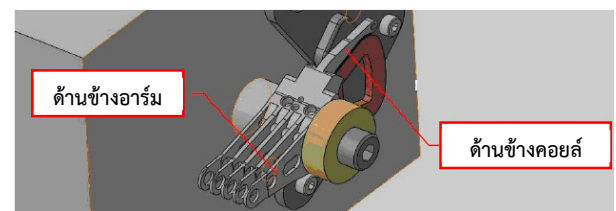
ในการทวนสอบแบบจำลองแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยการทดสอบด้วยเครื่อง PSV400 จะทำการวัดค่าความถี่ธรรมชาติของรูปร่างการสั่นสะเทือน Arm bending, Arm torsion, Coil bending และ Coil torsion ณ ตำแหน่งด้านบนของด้านอาร์มและด้านคอยล์ (รูปที่ 9) ส่วนค่าความถี่ธรรมชาติของรูปร่างการสั่นสะเทือน Arm sway และ Coil sway จะทำการวัด ณ ตำแหน่งด้านข้างของด้านอาร์มและด้านคอยล์ (รูปที่ 10) จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติของรูปร่างการสั่นสะเทือน Arm bending, Arm torsion, Arm sway, Coil bending, Coil torsion และ Coil sway ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยกำหนดให้มีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative error) น้อยกว่าร้อยละ 10

ตารางที่ 1 รูปร่างการสั่นสะเทือน

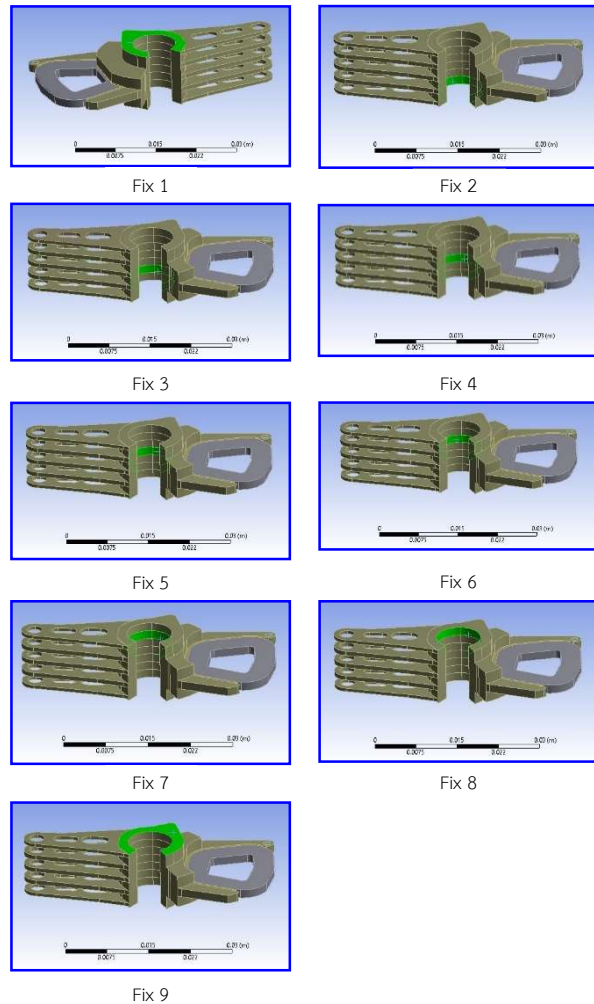
	FEM	PSV400
Arm bending		
Arm torsion		
Arm sway		
Coil bending		
Coil torsion		
Coil sway		



รูปที่ 9 การวัดรูปร่างการสั่นสะเทือนด้านบนอาร์มและคอยล์



รูปที่ 10 การวัดรูปร่างการสั่นสะเทือนด้านข้างอาร์มและคอยล์



รูปที่ 11 ตำแหน่งการจับยึดแกนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

แบบจำลองที่ผ่านการทวนสอบแล้ว จะทำการศึกษาผลของตำแหน่งในการจับยึดแกนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีต่อค่าความถี่ธรรมชาติ โดยจะทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการจับยึดแบบแน่นที่ผิวด้านในของแกนหมุนของแกนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทั้งหมด 7 ตำแหน่ง คือ Fix 2 - 8 และที่บริเวณขอบด้านบนและด้านล่างของแกนหมุนของแกนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ คือ Fix 1 และ Fix 9 ตามลำดับ ดังแสดงด้วยสีเขียวในรูปที่ 11

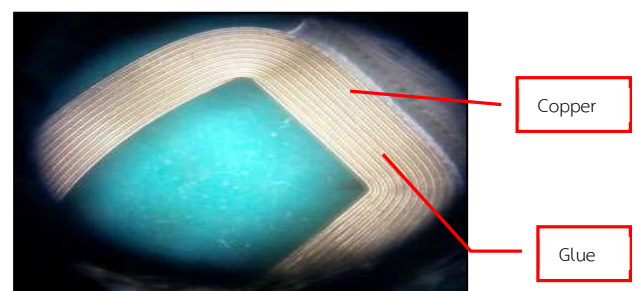
4. ผลการศึกษา

1) จากการทวนสอบผลการคำนวณค่าความถี่ธรรมชาติของแกนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์

ซอฟต์แวร์กับการทดสอบด้วยเครื่อง PSV400 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าค่าความถี่ธรรมชาติของแกนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์จะมีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์จากการทดสอบด้วยเครื่อง PSV400 โดยรูปร่างการสั่นสะเทือนด้านอาร์ม อันได้แก่ Arm bending, Arm torsion และ Arm sway จะมีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อยกว่าร้อยละ 1 ส่วนรูปร่างการสั่นสะเทือนด้านคอยล์ อันได้แก่ Coil bending, Coil torsion และ Coil sway จะมีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์มากกว่าร้อยละ 1 โดยมีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์สูงสุดร้อยละ 9.636 ที่รูปร่างการสั่นสะเทือน Coil bending ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เกิดจากความแตกต่างในการสร้างแบบจำลองแกนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ความแตกต่างในการกำหนดค่าคุณสมบัติเชิงกลของแบบจำลอง โดยเฉพาะแบบจำลองคอยล์ที่ประกอบไปด้วยทองแดง (Copper) และกาว (Glue) ซึ่งถูกผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 12 ทำให้ค่าคุณสมบัติเชิงกลของแบบจำลองคอยล์ที่ได้จาก บริษัท เบลตัน อินดัสเตรียล (ประเทศไทย) จำกัด ยังคงเป็นค่าประมาณ

ตารางที่ 2 ผลการทวนสอบค่าความถี่ธรรมชาติ

Mode shape	FEM (Hz)	PSV400 (Hz)	%Error
Arm bending	2423.60	2406.00	0.732
Arm torsion	12280.00	12160.00	0.987
Arm sway	22123.00	22230.00	0.481
Coil bending	3925.40	4344.00	9.636
Coil torsion	7748.40	7953.00	2.573
Coil sway	11938.00	10980.00	8.725



รูปที่ 12 ภาพขยายส่วนคอยล์

2) จากการปรับเปลี่ยนตำแหน่งในการจับยึดทั้งหมด 9 ตำแหน่ง เมื่อพิจารณารูปร่างการสั่นสะเทือนด้านอาร์ม (ตารางที่ 3) จะพบว่าการปรับเปลี่ยนตำแหน่งในการจับยึดจะส่งผลต่อค่าความถี่ธรรมชาติในแต่ละรูปร่างการสั่นสะเทือน โดยส่งผลต่อพิสัย (Range) ของค่าความถี่ธรรมชาติมากที่สุด 1283.00 Hz ที่รูปร่างการสั่นสะเทือน Arm sway และน้อยสุด 32.00 Hz ที่รูปร่างการสั่นสะเทือน Arm bending และเมื่อพิจารณาค่าความถี่ธรรมชาติในแต่ละรูปร่างการสั่นสะเทือนจะพบว่าตำแหน่งในการจับยึด Fix 9 จะมีค่าความถี่ธรรมชาติสูงกว่าตำแหน่งในการจับยึด Fix 1 - 8 เนื่องจากตำแหน่งในการจับยึด Fix 9 ใกล้กับตำแหน่งในการเกิดรูปร่างการสั่นสะเทือน Arm bending, Arm torsion และ Arm sway จึงทำให้ตำแหน่งในการจับยึด Fix 9 ส่งผลให้ค่าคงตัว α และ β ของระบบสูงขึ้น มีผลทำให้ค่าความถี่ธรรมชาติของระบบสูงขึ้นตาม

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติด้านอาร์ม

ตำแหน่ง	ค่าความถี่ธรรมชาติ (Hz)		
	Arm bending	Arm torsion	Arm sway
Fix 1	2414.40	12245.00	22546.00
Fix 2	2414.50	12250.00	22620.00
Fix 3	2415.40	12253.00	22760.00
Fix 4	2415.30	12252.00	22786.00
Fix 5	2414.80	12246.00	23100.00
Fix 6	2417.60	12261.00	23148.00
Fix 7	2421.60	12271.00	23214.00
Fix 8	2424.00	12280.00	23255.00
Fix 9	2446.50	12383.00	23829.00
พิสัย	32.10	138.00	1283.00

3) จากการปรับเปลี่ยนตำแหน่งในการจับยึดทั้งหมด 9 ตำแหน่ง เมื่อพิจารณารูปร่างการสั่นสะเทือนด้านคอยล์ (ตารางที่ 4) จะพบว่าการปรับเปลี่ยนตำแหน่งในการจับยึดจะส่งผลต่อค่าความถี่ธรรมชาติในแต่ละรูปร่างการสั่นสะเทือน

โดยส่งผลต่อพิสัยของค่าความถี่ธรรมชาติมากที่สุด 3112.20 Hz ที่รูปร่างการสั่นสะเทือน Coil sway และน้อยสุด 187.50 Hz ที่รูปร่างการสั่นสะเทือน Coil bending และเมื่อพิจารณาค่าความถี่ธรรมชาติในแต่ละรูปร่างการสั่นสะเทือนจะพบว่าตำแหน่งในการจับยึด Fix 5 มีค่าความถี่ธรรมชาติสูงกว่าตำแหน่งในการจับยึด Fix 1 - 4 และ Fix 6 - 9 เนื่องจากตำแหน่งในการจับยึด Fix 5 ใกล้กับตำแหน่งในการเกิดรูปร่างการสั่นสะเทือน Coil bending, Coil torsion และ Coil sway จึงทำให้ตำแหน่งในการจับยึด Fix 5 ส่งผลให้ค่าคงที่ α และ β ของระบบสูงขึ้น มีผลทำให้ค่าความถี่ธรรมชาติของระบบสูงขึ้นตาม

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติด้านคอยล์

ตำแหน่ง	ค่าความถี่ธรรมชาติ (Hz)		
	Coil bending	Coil torsion	Coil sway
Fix 1	3673.00	7234.50	10542.00
Fix 2	3735.40	7381.90	11172.00
Fix 3	3769.80	7422.90	11234.00
Fix 4	3782.10	7486.30	11819.00
Fix 5	3860.50	7599.00	13108.00
Fix 6	3763.10	7477.50	10798.00
Fix 7	3730.50	7388.50	10644.00
Fix 8	3712.50	7385.10	10560.00
Fix 9	3690.80	7285.70	9995.80
พิสัย	187.50	364.50	3112.20

5. สรุปผลการศึกษา

- 1) แบบจำลองแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์สามารถทำนายค่าความถี่ธรรมชาติในแต่ละรูปร่างการสั่นสะเทือนได้ โดยมีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของค่าความถี่ธรรมชาติสูงสุดร้อยละ 9.636
- 2) ตำแหน่งในการจับยึดแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีผลต่อค่าความถี่ธรรมชาติในแต่ละรูปร่างการสั่นสะเทือน โดยจะส่งผลมากที่สุด 3112.00 Hz ที่รูปร่างการสั่นสะเทือน Coil sway ซึ่งเป็นรูปร่างการสั่นสะเทือนที่มีลักษณะการ

เคลื่อนที่ซ้ายขวากลับไปกลับมาในแนวระนาบ และส่งผลน้อยสุด 32.00 Hz ที่รูปร่างการสั่นสะเทือน Arm bending ซึ่งเป็นรูปร่างการสั่นสะเทือนที่มีลักษณะการเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวดิ่ง

- 3) ตำแหน่งการจับยึดแบบแน่นที่บริเวณขอบด้านล่างของแกนหมุนของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Fix 9) จะส่งผลให้ค่าความถี่ธรรมชาติในรูปร่างการสั่นสะเทือนด้านอาร์มมีค่าสูงขึ้น ส่วนตำแหน่งการจับยึดแบบแน่นที่ผิวด้านในบริเวณตรงกลางของแกนหมุนของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Fix 5) จะส่งผลให้ค่าความถี่ธรรมชาติในรูปร่างการสั่นสะเทือนด้านคอยล์มีค่าสูงขึ้น
- 4) การเพิ่มหรือลดค่าความถี่ธรรมชาติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพื่อให้ค่าความถี่ธรรมชาติอยู่นอกย่านความถี่ของแรงภายนอกที่มากระตุ้น โดยการปรับเปลี่ยนตำแหน่งในการจับยึดแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สามารถเป็นแนวทางหนึ่งในการควบคุมให้แขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อยู่ภายใต้การสั่นสะเทือนปกติ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณโครงการส่งเสริมให้บุคลากรวิจัยในสถาบันอุดมศึกษาไปปฏิบัติงานเพื่อแก้ไขปัญหาและเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตให้กับภาคอุตสาหกรรม (Talent Mobility) ประจำปีงบประมาณ 2559 ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณตลอดโครงการวิจัย และขอขอบคุณบริษัท เบลตันอินดัสเทรียล (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนด้านอุปกรณ์ทดสอบและไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chen BM, Lee TH, Peng K, Vengataramanan V. *Hard Disk Drive Servo System*. London: Springer-Verlag; 2002.
- [2] Okawa, R, Terada K, Ito K, Watanabe S, Imai T, Tanihira. K. Modal analysis of HDD's actuators. *Fujikura Technical Review*. 2002;31:7-11.
- [3] Phonpai T, Jearsipongkul T. Vibration analysis of actuator arm in HDD using FEM and identification using LDV. *KKU Engineering Journal*. 2007;34(4):477-488.
- [4] Luo J, Shu DW, Ng QY, Zambri R, Lau JHT, Shi BJ. On the simulation of the pivot bearing inside HDD. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2006;303:e81-e85.
- [5] Ampaipipatgul P, Sedsitichoke S, Phopli S, Phonpai T, Jearsipongkul T. Axial vibration analysis of pivot bearing using LDV/SLDV and identification using FEM. *KKU Research Journal*. 2008;13(4):423-429.
- [6] Achawakorn K, Jearsipongkul T, Fanchaeng K. The effect of HDD pivot bearing assembly process on actuator arm modal frequency. *KKU Engineering Journal*. 2013;40(1):29-33.
- [7] Misso NF, Seewald DA, Jones IL, Eddings DP. Tolerance ring with high hoop strength to resist deformation. *World Intellectual Property Organization*. 2001:WO 01/59314 A1.
- [8] Misso NF, Seewald DA, Jones IL. Tolerance ring with low consistent installation force profile. *United States Patent*. 2001:US 6,333,839 B1.
- [9] Hanrahan KP, Dexter DD, Schmidt RJ, Sprankle MS. Tolerance ring with high axial static friction. *United States Patent*. 2006:US 2006/0275076 A1.
- [10] Hanrahan KP, Dexter DD, Schmidt RJ, Sprankle MS. Tolerance ring with having variable height

and/or asymmetrically located bumps. *United Stated Patent*. 2009:US 7,611,303 B2.

- [11] Suthaweesub S, Dheeravongkit A. Design of the tolerance ring in the actuator arm of a hard disk drive using finite element analysis. *Computer-Aided Design & Applications*. 2011;8(a):1-14.
- [12] Khotputorn A, Tangchaichit K. A study of the relation between the natural frequencies and adhesive's properties in pivot bearing. *KKU Research Journal (Graduate Studies)* . 2016;16(1):1-11.
- [13] Brause DD, Heil JE, Sandor MJ. Actuator comb having a stepped inner bore. *United Stated Patent*. 2016:US 9,239,162 B1.