



บทความวิจัย

ผลของค่าพิสัยความถี่ที่มีต่อค่าความถี่ธรรมชาติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

The tolerance effect of natural frequencies of HDD actuator arm

กุลทรัพย์ ผ่องศรีสุข^{1*} อิศรพงษ์ สุวรรณ¹ ธิติชัย นาคทอง¹ ไกรฤกษ์ ฟันแจ้ง²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ 50300

² บริษัท เบลตันอินดัสเตรียล (ประเทศไทย) จำกัด ปทุมธานี 12120

Kullasup Phongsrisuk^{1*} Isarapong Suwan¹ 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 16 ตุลาคม 2563; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 29 ธันวาคม 2563 ; วันที่ตอบรับบทความ 11 มกราคม 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาผลของค่าพิสัยความถี่ที่มีต่อค่าความถี่ธรรมชาติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อลดเวลาในการทำงานของเครื่องซีเอ็นซีในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ในการศึกษา แขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะถูกจำลองด้วยแบบจำลองสามมิติในไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ ขนาดของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะถูกปรับเปลี่ยนไปตามเกณฑ์ของค่าพิสัยความถี่ของ บริษัทผู้ผลิตแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จากนั้นคำนวณค่าความถี่ธรรมชาติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าค่าพิสัยความถี่ของ Heat sink thickness, Hub diameter, Swage pad diameter และ Arm slot 1 diameter มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่ธรรมชาติน้อยกว่า 50 เฮิรตซ์ ดังนั้นเวลาในการทำงานของเครื่องซีเอ็นซีในตำแหน่งดังกล่าวเพื่อให้ได้ความแม่นยำสูงสามารถลดลงได้เนื่องจากค่าพิสัยความถี่ของตำแหน่งดังกล่าวไม่ส่งผลต่อค่าความถี่ธรรมชาติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

คำสำคัญ

แขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ไฟไนต์เอลิเมนต์ ความถี่ธรรมชาติ ค่าพิสัยความถี่ ซีเอ็นซี

Abstract

This research aimed to study the tolerance effect of the natural frequencies of the HDD actuator arm to reduce the working time of the CNC machine in HDD manufacturing. In the study, the HDD actuator arm was simulated with a three-dimensional model in the finite element software. The HDD actuator arm dimensions were varied within the tolerance criteria of the HDD manufacturer. The natural frequencies of the HDD actuator arm were evaluated by using the finite element software. The results demonstrated that the tolerance of Heat sink thickness, Hub diameter, Swage pad diameter, and Arm slot 1 diameter had a natural frequency variation less than 50 Hz. Therefore, the working time for those positions production by CNC machine to obtain a high precision can be reduced due to the tolerance of that positions are not significant in the natural frequencies of the HDD actuator.

Keywords

HDD actuator arm; finite element; natural frequency, tolerance, CNC

1. คำนำ

ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก โดยตลาดของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในปัจจุบัน คือ การประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ (Cloud computing) และเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (Internet of things) ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยทั่วไปจะประกอบไปด้วย จานแม่เหล็ก (Platters) มอเตอร์หมุนจานแม่เหล็ก (Spindle motor) หัวอ่าน/บันทึก (Read/write head) แขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (HDD actuator arm) และมอเตอร์ขดลวดเสียง (Voice coil motor) โดยมอเตอร์หมุนจานแม่เหล็กจะทำหน้าที่หมุนจานแม่เหล็กให้ตำแหน่งของข้อมูลที่ต้องการ ผ่านหัวอ่าน/บันทึก ในขณะที่มอเตอร์ขดลวดเสียงจะทำการหมุนแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพื่อให้หัวอ่าน/บันทึก ซึ่งติดอยู่ที่ปลายแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เคลื่อนไปยังตำแหน่งของข้อมูลที่ต้องการ การเคลื่อนที่หมุนกลับไปกลับมาของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในแต่ละครั้ง เป็นผลให้แขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เกิดการสั่นสะเทือน ซึ่งส่งผลถึงความแม่นยำในการอ่าน/บันทึกข้อมูล ของหัวอ่าน/บันทึก

การสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จึงได้นำมาวิจัย โดยเริ่มแรกได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในแต่ละรูปร่างการสั่นสะเทือน จากนั้นได้สร้างแบบจำลองสามมิติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ประกอบไปด้วย E-Block และ Coil ในไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ (Finite element software)[1-3] ซึ่งพบว่าความคลาดเคลื่อนของค่าความถี่ธรรมชาติมีค่าสูงที่รูปร่างการสั่นสะเทือนด้าน Coil[4] แบบจำลองสามมิติของ Coil ในแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จึงได้ถูกพัฒนาโดยการสร้างแบบจำลองสามมิติของ Coil ที่ทำจากวัสดุเชิงประกอบ (Composite material)[5] และทำการปรับปรุงค่าคุณสมบัติเชิงกลของแบบจำลองสามมิติของ Coil[6] รวมไปถึงการสร้างแบบจำลองสามมิติของ Coil ที่เป็นการนำลวดทองแดงมาวนทับกันคล้ายสปริงเพื่อให้แบบจำลองสามมิติของ Coil มีลักษณะคล้ายกับชิ้นงานจริงมากขึ้น[7] และจากการที่แขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ถูกสวมเข้ากับ Pivot bearing ซึ่งเป็นแกนหมุนสำหรับการเคลื่อนที่หมุนกลับไปกลับมา จึงได้มีการสร้างแบบจำลองสามมิติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ประกอบไปด้วย E-Block, Coil และ Pivot bearing เพื่อศึกษา

ผลของ Pivot bearing ที่มีต่อค่าความถี่ธรรมชาติในแต่ละรูปร่างการสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์[8-10] ส่วนการศึกษามุมเอียงที่เกิดขึ้นระหว่างหัวอ่าน/บันทึก ที่ปลายแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กับทิศทางการหมุนของจานแม่เหล็กได้ทำการสร้างแบบจำลองสามมิติของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ [11] แบบจำลองสามมิติในไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์จะช่วยให้บริษัทผู้ผลิตแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สามารถศึกษาถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าความถี่ธรรมชาติในแต่ละรูปร่างการสั่นสะเทือน ทำให้สามารถออกแบบแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์รุ่นใหม่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

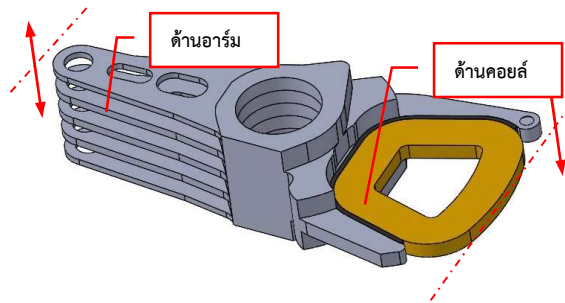
ขนาดของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นหนึ่งในตัวแปรที่มีผลต่อค่าความถี่ธรรมชาติในแต่ละรูปร่างการสั่นสะเทือน การควบคุมขนาดของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จึงมีความสำคัญในกระบวนการผลิตแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จึงต้องการความแม่นยำ (Precision) และความถูกต้อง (Accuracy) ที่สูง ซึ่งจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับเวลาที่ใช้ของเครื่องซีเอ็นซี (CNC) ในกระบวนการผลิต โดยเครื่องซีเอ็นซีจะต้องใช้เวลาในกระบวนการผลิตที่มากเพื่อลดค่าผิดพลาดความถี่ที่จะเกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งค่าผิดพลาดนี้ที่กำหนดในการผลิตแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์บางตำแหน่งอาจจะไม่มีผลต่อค่าความถี่ธรรมชาติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จึงทำให้ตำแหน่งดังกล่าวทางบริษัทผู้ผลิตแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สามารถผลิตได้ตามขนาดที่มีค่ามากที่สุดและน้อยสุด ซึ่งทำให้สามารถเพิ่มความเร็วในการทำงานของเครื่องซีเอ็นซีในตำแหน่งดังกล่าวได้ อันจะส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการผลิตแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ลดลง งานวิจัยนี้จึงต้องการลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของเครื่องซีเอ็นซีโดยการศึกษาผลของค่าผิดพลาดความถี่ที่ส่งผลต่อค่าความถี่ธรรมชาติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

2. ทฤษฎี

2.1 การสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

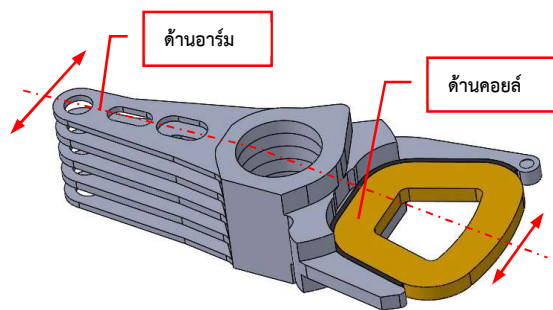
การสั่นสะเทือน คือ การเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของวัตถุผ่านตำแหน่งสมดุลในช่วงเวลาหนึ่ง การสั่นสะเทือนจะเป็นการถ่ายเทพลังงานศักย์ไปเป็นพลังงานจลน์ และจากพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานศักย์ การสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์

ไดรฟ์จะพิจารณาการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของด้านอาร์มและด้านคอยล์ของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งสามารถแบ่งการเคลื่อนที่ออกเป็น



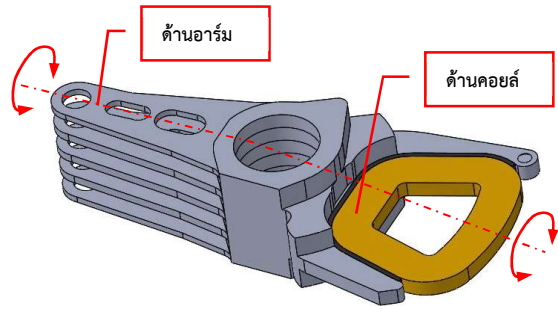
รูปที่ 1 รูปร่างการสั่นสะเทือน Arm bending และ Coil bending

1) การเคลื่อนที่ขึ้นลงกลับไปกลับมาในแนวตั้งของด้านอาร์มและด้านคอยล์ของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งจะเรียกรูปร่างการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการเคลื่อนที่แบบนี้ว่า รูปร่างการสั่นสะเทือน Arm bending และรูปร่างการสั่นสะเทือน Coil bending ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 2 รูปร่างการสั่นสะเทือน Arm sway และ Coil sway

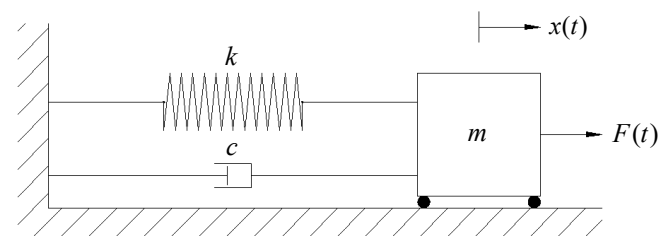
2) การเคลื่อนที่ซ้ายขวากลับไปกลับมาในแนวระนาบของด้านอาร์มและด้านคอยล์ของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งจะเรียกรูปร่างการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการเคลื่อนที่แบบนี้ว่า รูปร่างการสั่นสะเทือน Arm sway และรูปร่างการสั่นสะเทือน Coil sway ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 3 รูปร่างการสั่นสะเทือน Arm torsion และ Coil torsion

3) การเคลื่อนที่บิดกลับไปกลับมาของด้านอาร์มและด้านคอยล์ของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งจะเรียกรูปร่างการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการเคลื่อนที่แบบนี้ว่า รูปร่างการสั่นสะเทือน Arm torsion และรูปร่างการสั่นสะเทือน Coil torsion ดังแสดงในรูปที่ 3

แต่ละรูปร่างการสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ยังไม่มีการอธิบายพฤติกรรมการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น เนื่องจากรูปทรงของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีความซับซ้อน เพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมการสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยระบบดังรูปที่ 4 โดยมีมวลแทนส่วนที่เป็นแหล่งสะสมพลังงานจลน์ สปริงแทนส่วนที่เป็นแหล่งสะสมพลังงานศักย์ และตัวหน่วงแทนส่วนที่เป็นการสูญเสียพลังงาน ซึ่งสามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่ของระบบได้เป็น



รูปที่ 4 ระบบมวล-สปริง-ตัวหน่วง

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \quad (1)$$

โดย

m คือ มวลของระบบ (kg)

c คือ ค่าคงตัวการหน่วงของระบบ (N.s/m)

k คือ ค่าคงตัวสปริงของระบบ (N/m)

$F(t)$ คือ แรงภายนอก (N)

จากสมการที่ (1) สามารถเขียนสมการความถี่ธรรมชาติของระบบได้เป็น

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

โดย f_n คือ ความถี่ธรรมชาติ (Hz)

2.2 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะอยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial differential equation: PDE) ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method: FEM) เป็นการนำระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical methods) มาประยุกต์ใช้เพื่อหาผลเฉลยโดยประมาณ (Approximate solution) ของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย โดยจะทำการแบ่งแบบจำลองสามมิติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ออกเป็นชิ้นส่วนย่อยที่เรียกว่าเอลิเมนต์ (Element) แต่ละเอลิเมนต์จะมีความมอดุลัสความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) อัตราส่วนปัวซองส์ (Poisson's ratio) และค่าความหนาแน่น (Density) ตามวัสดุของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เอลิเมนต์ต่าง ๆ เหล่านี้จะเชื่อมต่อกันที่จุดต่อ (Node) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่จะคำนวณตัวแปรไม่ทราบค่า โดยจะทำการสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element equation) ที่มีความสอดคล้องกับสมการกำกับ (Governing equation) ของแต่ละเอลิเมนต์ จากนั้นรวมสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ของแต่ละเอลิเมนต์ทำให้ได้สมการรวม (Global equation) เมื่อแก้สมการรวมจะทำให้ทราบตัวแปรไม่ทราบค่าที่จุดต่อ

สมการไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนจะเขียนอยู่ในรูป

$$[m]\{\ddot{D}\} + [c]\{\dot{D}\} + k\{D\} = \{F\} \quad (3)$$

โดย $[m]$ คือ เมทริกซ์ของมวล (kg)

$[c]$ คือ เมทริกซ์ของความหน่วง (N.s/m)

$[k]$ คือ เมทริกซ์ของค่านิจ (N/m)

$\{D\}$ คือ เวกเตอร์ของการกระจัด (m)

$\{F\}$ คือ เวกเตอร์ของแรง (N)

กรณีการสั่นสะเทือนแบบอิสระที่ไม่มีความหน่วง สามารถลดรูปสมการ (3) ได้เป็น

$$[m]\{\ddot{D}\} + k\{D\} = \{0\} \quad (4)$$

เมื่อกำหนดให้การกระจัดของทุกจุดต่อเป็น

$$\{D\} = \{A\} \sin \omega t \quad (5)$$

โดย $\{A\}$ คือ เวกเตอร์ของแอมพลิจูด (m)

ω คือ ความถี่เชิงกล (rad/s)

แทนสมการ (5) ในสมการ (4) ทำให้ได้

$$([k] - \omega^2[m])\{A\} = \{0\}$$

เมื่อ $\{A\}$ มีค่าไม่เป็นศูนย์ ทำให้ได้

$$[k] - \omega^2[m] = \{0\} \quad (6)$$

ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขจะทำการแก้สมการ (6) เพื่อหาค่า ω^2 ซึ่งเป็นตัวแปรไม่ทราบค่าที่จุดต่อ

3. วิธีการศึกษา

ในการศึกษาผลของค่าพิกัดความถี่ที่มีต่อค่าความถี่ธรรมชาติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ สามารถแบ่งการศึกษาออกเป็นสามส่วน ดังนี้

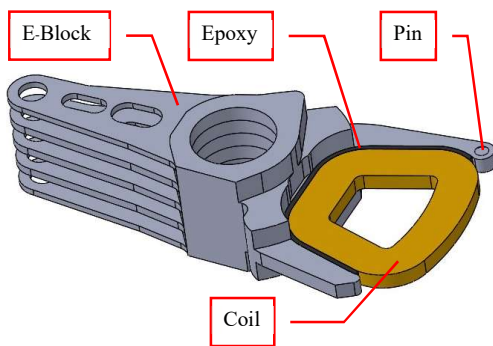
1) การจำลองแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยแบบจำลองสามมิติในไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์

2) การปรับเปลี่ยนค่าพิกัดความถี่ของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์

3) การลดเวลาในการทำงานของเครื่องซีเอ็นซีในการผลิตแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

3.1 การจำลองแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยแบบจำลองสามมิติในไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์

แขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะถูกจำลองด้วยแบบจำลองสามมิติในไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ โปรแกรม ANSYS โดยแบบจำลองสามมิติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะประกอบไปด้วยแบบจำลองสามมิติของ E-Block, Coil, Epoxy และ Pin ซึ่งจะทำให้การรวมแบบจำลองสามมิติทั้งหมดเข้าด้วยกันแบบผนึก (Bonded) ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แบบจำลองสามมิติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ความถูกต้องในการสร้างแบบจำลองสามมิติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะถูกตรวจสอบโดยการนำผลการคำนวณค่าความถี่ธรรมชาติในรูปร่างการสั่นสะเทือน Arm bending, Arm torsion, Arm sway, Coil bending, Coil torsion และ Coil sway ที่ได้จากการวิเคราะห์แบบโมดัล (Modal analysis) ในไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์มาเปรียบเทียบกับการวัดและแสดงผลด้วยเครื่อง Polytec Scanning Vibrometer 400 (PSV400) ในไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์แบบจำลองสามมิติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะถูกแบ่งออกเป็น 21915 เอลิเมนต์ ซึ่งมี 44643 จุดต่อ โดยแต่ละเอลิเมนต์จะกำหนดค่ามอดุลัสความยืดหยุ่น อัตราส่วนปัวซองส์และค่าความหนาแน่น ตามกำหนดของบริษัท เบลตัน อินดัสเตรียล (ประเทศไทย) จำกัด

3.2 การปรับเปลี่ยนค่าพิกัดความเผื่อของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์

แบบจำลองสามมิติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีความคลาดเคลื่อนของค่าความถี่ธรรมชาติจากการวัดและแสดงผลด้วยเครื่อง PSV400 ไม่เกินร้อยละ 10 จะถูกนำมาปรับเปลี่ยนค่าพิกัดความเผื่อของความหนา (ตารางที่ 1) เส้นผ่านศูนย์กลาง (ตารางที่ 2) และความยาว (ตารางที่ 3) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่ธรรมชาติในแต่ละรูปร่างการสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยค่าพิกัดความเผื่อจะพิจารณาจากแบบแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ตารางที่ 1 การปรับเปลี่ยนค่าพิกัดความเผื่อของความหนา

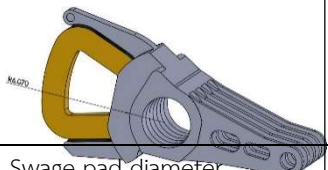
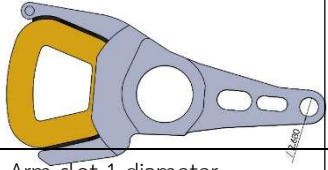
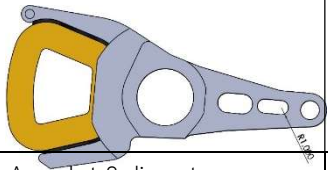
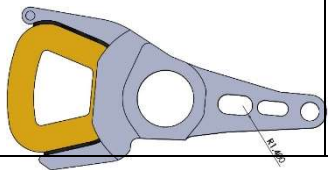
ตำแหน่ง	ค่าปกติ (mm)	ค่าความเผื่อ (mm)
Arm thickness	0.640	± 0.040
Swage pad thickness	0.835	± 0.025
Coil thickness	1.560	± 0.100
Heat sink thickness	5.885	± 0.100
Fantail thickness	1.560	± 0.050

3.3 การลดเวลาในการทำงานของเครื่องซีเอ็นซีในการผลิตแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

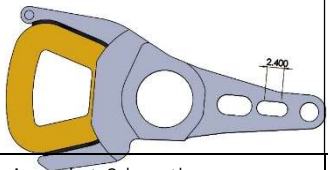
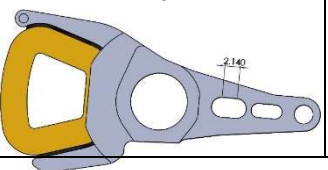
ตำแหน่งในแบบจำลองสามมิติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ปรับเปลี่ยนค่าพิกัดความเผื่อแล้ว มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่ธรรมชาติในแต่ละรูปร่างการสั่นสะเทือนไม่เกิน 50 Hz ซึ่งเป็นค่าที่ทางบริษัท เบลตันอินดัสเตรียล (ประเทศไทย) จำกัด ยอมรับได้ จะถูกลดเวลาในการทำงานของเครื่องซีเอ็นซีโดยจะทำการเพิ่มความเร็วรอบในการทำงานของเครื่อง

ซีเอ็นซีร้อยละ 10 เพื่อผลิตชิ้นงานตัวอย่างของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จำนวน 3 ชิ้น ชิ้นงานตัวอย่างของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะถูกนำไปทดสอบเพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติโดยเครื่อง PSV400 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่ธรรมชาติในแต่ละรูปร่างการสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อันเนื่องมาจากการเพิ่มความเร็วรอบของเครื่องซีเอ็นซี

ตารางที่ 2 การปรับเปลี่ยนค่าพิสัยความถี่ของเส้นผ่านศูนย์กลาง

ตำแหน่ง	ค่าปกติ (mm)	ค่าความถี่ (mm)
Hub diameter 	6.070	± 0.010
Swage pad diameter 	2.680	± 0.100
Arm slot 1 diameter 	1.000	± 0.100
Arm slot 2 diameter 	1.400	± 0.100

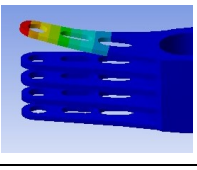
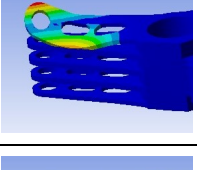
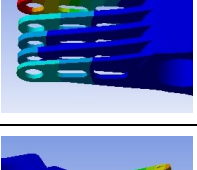
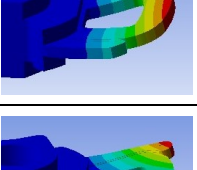
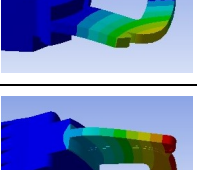
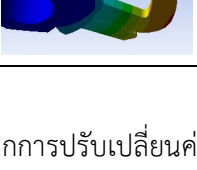
ตารางที่ 3 การปรับเปลี่ยนค่าพิสัยความถี่ของความยาว

ตำแหน่ง	ค่าปกติ (mm)	ค่าความถี่ (mm)
Arm slot 1 length 	2.400	± 0.100
Arm slot 2 length 	2.140	± 0.100

4. ผลการศึกษา

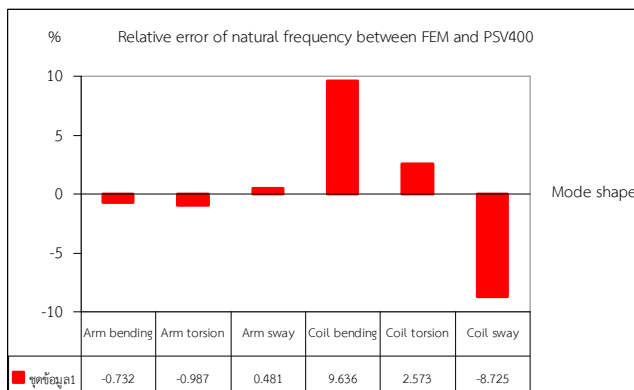
1) ผลการคำนวณค่าความถี่ธรรมชาติในแต่ละรูปร่างการสั่นสะเทือนที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ (ตารางที่ 4) มีความคลาดเคลื่อนจากค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากการวัดและแสดงผลด้วยเครื่อง PSV400 อยู่ระหว่างร้อยละ 0.481 ถึง 9.636 โดยรูปร่างการสั่นสะเทือน Arm sway มีความคลาดเคลื่อนต่ำสุดอยู่ที่ร้อยละ 0.481 ส่วนรูปร่างการสั่นสะเทือน Coil bending มีความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 9.636 ดังแสดงในรูปที่ 6

ตารางที่ 4 ค่าความถี่ธรรมชาติในแต่ละรูปร่างการสั่นสะเทือน

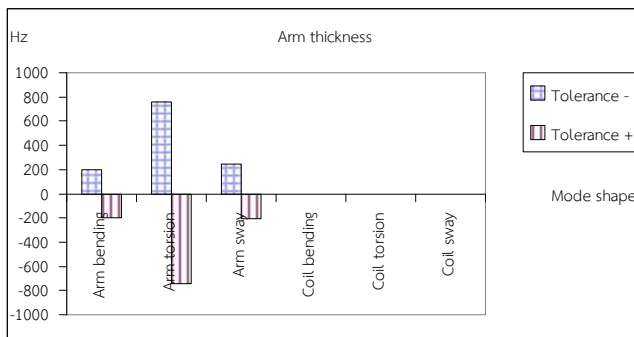
	รูปร่างการสั่นสะเทือน	ความถี่ (Hz)
Arm bending 		2423.60
Arm torsion 		12280.00
Arm sway 		22123.00
Coil bending 		3925.40
Coil torsion 		7748.40
Coil sway 		11938.00

2) จากการปรับเปลี่ยนค่าพิสัยความถี่ของความหนาในแบบจำลองสามมิติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ พบว่าการปรับเปลี่ยนค่าพิสัยความถี่ของ Arm thickness, Swage

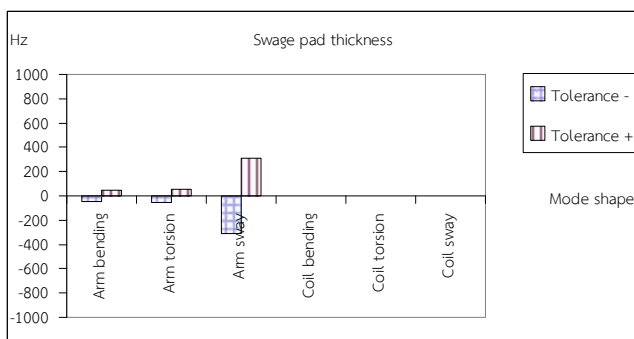
pad thickness, Coil thickness และ Fantail thickness จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่ธรรมชาติมากกว่า 50 Hz โดยการปรับเปลี่ยนค่าพิกัดความถี่ของ Arm thickness จะส่งผลให้รูปร่างการสั่นสะเทือน Arm torsion มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่ธรรมชาติมากถึง 761 Hz ส่วนการปรับเปลี่ยนค่าพิกัดความถี่ของ Heat sink thickness จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่ธรรมชาติน้อยกว่า 50 Hz โดยรูปร่างการสั่นสะเทือน Coil sway จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่ธรรมชาติมากที่สุด 24 Hz ดังแสดงในรูปที่ 7-11



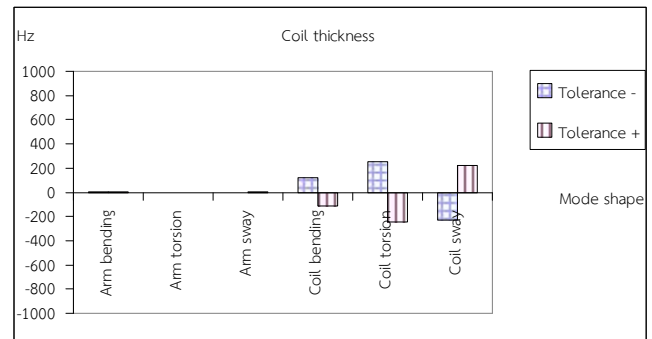
รูปที่ 6 ความคลาดเคลื่อนของค่าความถี่ธรรมชาติ



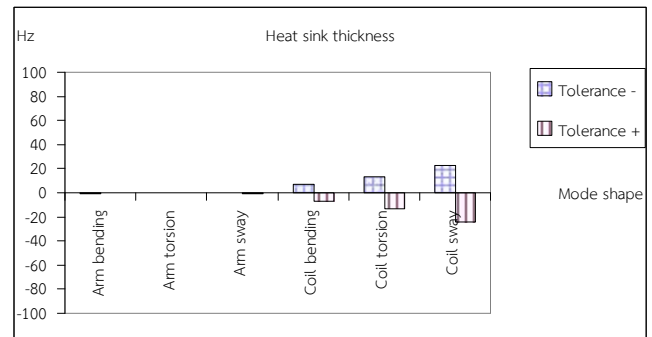
รูปที่ 7 ผลการปรับค่าพิกัดความถี่ของ Arm thickness



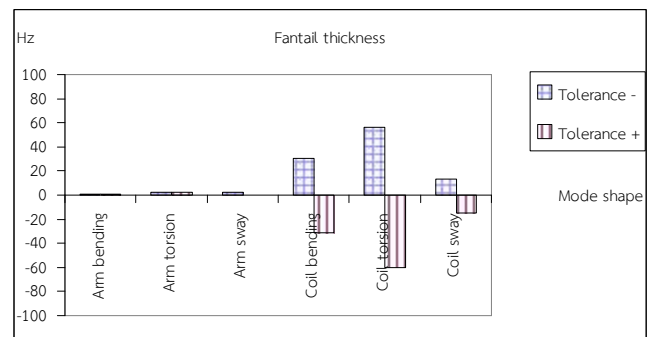
รูปที่ 8 ผลการปรับค่าพิกัดความถี่ของ Swage pad thickness



รูปที่ 9 ผลการปรับค่าพิกัดความถี่ของ Coil thickness



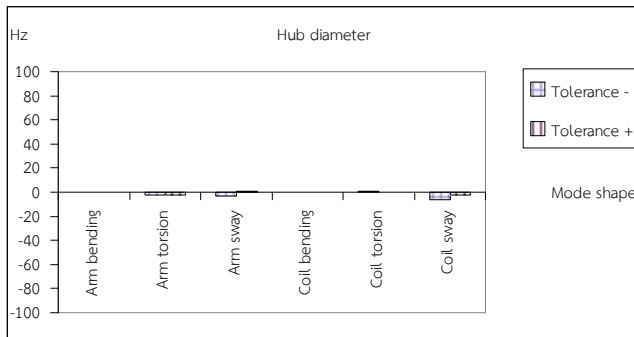
รูปที่ 10 ผลการปรับค่าพิกัดความถี่ของ Heat sink thickness



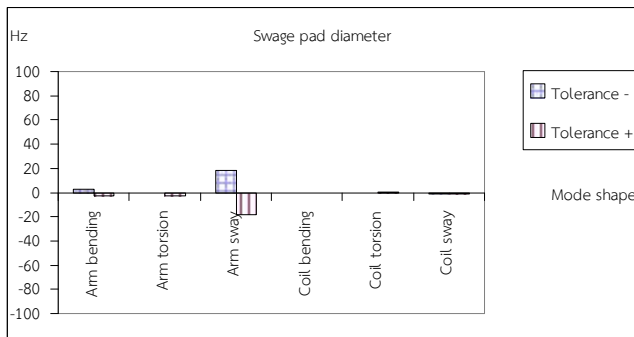
รูปที่ 11 ผลการปรับค่าพิกัดความถี่ของ Fantail thickness

3) จากการปรับเปลี่ยนค่าพิกัดความถี่ของเส้นผ่านศูนย์กลางในแบบจำลองสามมิติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ พบว่าการปรับเปลี่ยนค่าพิกัดความถี่ของ Hub diameter, Swage pad diameter และ Arm slot 1 diameter จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่ธรรมชาติต่ำกว่า 50 Hz โดยการปรับเปลี่ยนค่าพิกัดความถี่ของ Swage pad diameter จะส่งผลให้รูปร่างการสั่นสะเทือน Arm sway มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่ธรรมชาติมากที่สุด 18 Hz ส่วนการปรับเปลี่ยนค่าพิกัดความถี่ของ Arm slot 2 diameter จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่ธรรมชาติมากกว่า 50 Hz

โดยรูปร่างการสั่นสะเทือน Arm sway จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่ธรรมชาติมากที่สุด 197 Hz ดังแสดงในรูปที่ 12-15

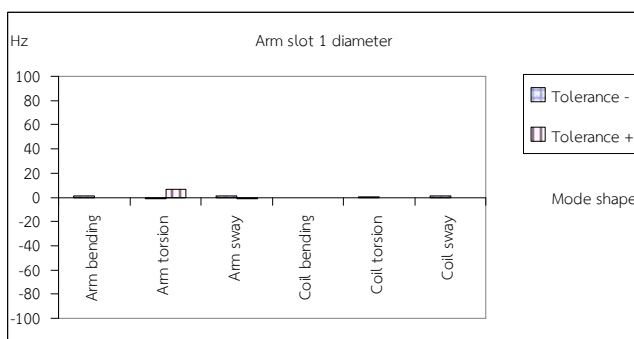


รูปที่ 12 ผลการปรับค่าพิกัดความถี่ของ Hub diameter

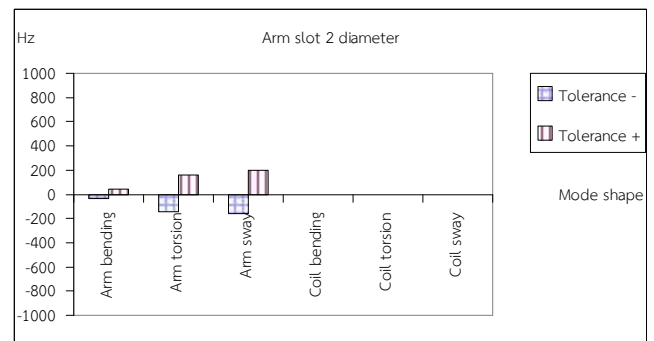


รูปที่ 13 ผลการปรับค่าพิกัดความถี่ของ Swage pad diameter

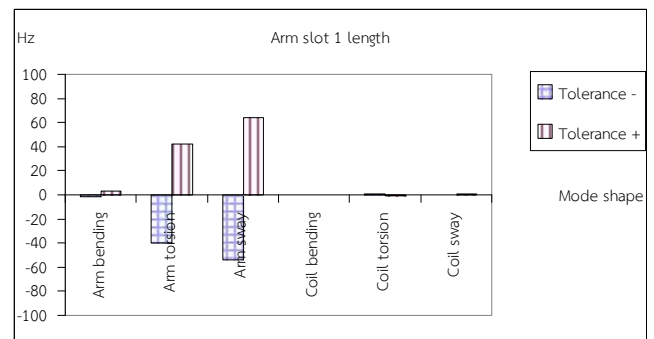
4) จากการปรับเปลี่ยนค่าพิกัดความถี่ของความยาวในแบบจำลองสามมิติของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ พบว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่ธรรมชาติมากกว่า 50 Hz โดยการปรับเปลี่ยนค่าพิกัดความถี่ของ Arm slot 2 length จะส่งผลให้รูปร่างการสั่นสะเทือน Arm sway มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่ธรรมชาติมากที่สุด 73 Hz ดังแสดงในรูปที่ 16-17



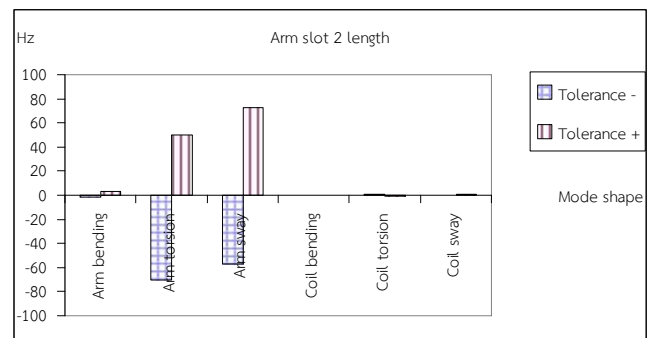
รูปที่ 14 ผลการปรับค่าพิกัดความถี่ของ Arm slot 1 diameter



รูปที่ 15 ผลการปรับค่าพิกัดความถี่ของ Arm slot 2 diameter



รูปที่ 16 ผลการปรับค่าพิกัดความถี่ของ Arm slot 1 length



รูปที่ 17 ผลการปรับค่าพิกัดความถี่ของ Arm slot 2 length

ตารางที่ 5 ค่าความถี่ธรรมชาติเนื่องจากการเพิ่มความเร็วยรอบในการทำงานของเครื่อง ซีเอ็นซี

รูปร่างการสั่นสะเทือน	ความถี่ธรรมชาติของชิ้นงานตัวอย่าง (Hz)			
	ค่าปกติ	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3
Arm bending	2423.60	2425.00	2427.00	2421.00
Arm torsion	12280.00	12312.00	12324.00	12236.00
Arm sway	22123.00	22127.00	22125.00	22121.00
Coil bending	3925.40	3927.00	3929.00	3923.00
Coil torsion	7748.40	7752.00	7750.00	7746.00
Coil sway	11938.00	11940.00	11942.00	11936.00

5) จากการที่ค่าพิกัดความเผื่อของ Heat sink thickness, Hub diameter, Swage pad diameter และ Arm slot 1 diameter มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่ธรรมชาติน้อยกว่า 50 Hz แต่เนื่องด้วยตำแหน่ง Heat sink, Hub และ Swage pad จะมีความเกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนอื่นที่จะมาประกอบ จึงทำการเพิ่มความเร็วรอบในการทำงานของเครื่องซีเอ็นซีในตำแหน่ง Arm slot 1 เพียงตำแหน่งเดียว ซึ่งพบว่าค่าความถี่ธรรมชาติในรูปร่างการสั่นสะเทือน Arm torsion ของชิ้นงานตัวอย่างของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีการเปลี่ยนแปลงมากกว่ารูปร่างการสั่นสะเทือนอื่น ดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งมีความสอดคล้องกับการปรับเปลี่ยนค่าพิกัดความเผื่อของ Arm slot 1 diameter ในไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ (รูปที่ 14) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความเร็วรอบในการทำงานของเครื่องซีเอ็นซีในตำแหน่ง Arm slot 1 สามารถทำได้

5. สรุปผลการศึกษา

1) แขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สามารถจำลองได้ด้วยแบบจำลองสามมิติในไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ ซึ่งสามารถคำนวณค่าความถี่ธรรมชาติในรูปร่างการสั่นสะเทือน Arm bending, Arm torsion, Arm sway, Coil bending, Coil torsion และ Coil sway ได้ โดยมีความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบด้วยเครื่อง PSV400 สูงสุดร้อยละ 9.636

2) การปรับเปลี่ยนค่าพิกัดความเผื่อของ Heat sink thickness, Hub diameter, Swage pad diameter และ Arm slot 1 diameter ของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จะส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่ธรรมชาติในแต่ละรูปร่างการสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์น้อยกว่า 50 Hz

3) การเพิ่มความเร็วรอบในการทำงานของเครื่องซีเอ็นซีร้อยละ 10 ในตำแหน่ง Arm slot 1 สามารถทำได้ โดยจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่ธรรมชาติในรูปร่างการสั่นสะเทือน Arm torsion อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณโครงการส่งเสริมให้บุคลากรวิจัยในสถาบันอุดมศึกษาไปปฏิบัติงานเพื่อแก้ไขปัญหาและเพิ่มขีดความสามารถในการ

ผลิตให้กับภาคอุตสาหกรรม (Talent Mobility) ประจำปีงบประมาณ 2559 ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณตลอดโครงการวิจัย และขอขอบคุณบริษัท เบลตันอินดัสเตรียล (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนด้านอุปกรณ์ทดสอบและไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Ruangsinchaiwanich S, Phanphanit S. Influence of damper position on multi - arm actuator resonance in HDD. In *IEEE (ed) 2009 International Conference on Electrical Machines and System*, 15-18 November 2009, Tokyo, Japan. p. 1-6.
- [4] อิศรพงษ์ สุวรรณ. การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนแบบอิสระของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา; 2559.
- [5] Puengkhom V, Thongsri J, Pimsarn M. On finite element modeling aspect of HDD's head stack assembly vibration analysis. In: King Mongkut's Institute of Technology Ladkraband (ed.) *The 5th Thai Society of Mechanical Engineers, International Conference on Mechanical Engineering*, 17-19 December 2014, Chiangmai, Thailand. AMM055-p. 67.
- [6] Kim DW, Lee JK, Park NC, Park YP. Vibration analysis of HDD actuator with equivalent finite element model of VCM coil. *KSME International Journal*. 2003;17(5): 679-690.
- [7] กฤษฎา จะนา, อิตติชัย นาคทอง. การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของขดลวดเสียงในแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา; 2560.

- [8] 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.
- [9] Ampaipipatgul P, Sedsitichoke S, Phopli S, Phonpai T, Jearsiripongkul T. Axial vibration analysis of pivot bearing using LDV/SLDV and identification using FEM. *KKU Researchs Journal*. 2008;13(4): 423-429.
- [10] Achawakorn K, Jearsiripongkul T, Fanchaeng K. The effect of HDD pivot bearing assembly process on actuator arm modal frequency. *KKU Engineering Journal*. 2013;40(1): 29-33.
- [11] He ZM, Mou JQ, Chan KS, Lam SH, Lin W. Mechanisms of minimum skew angle actuation for hard disk drives. In: MATEC Web of Conferences (ed.) *The 3rd International Conference on Control, Mechatronics and Automation*, 21-22 December 2015, Barcelona, Spain. 02002-p. 1-5.