

## การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของ Pivot Bearing โดยใช้ Laser Doppler Vibrometer Axial Vibration Analysis of Pivot Bearing using Laser Doppler Vibrometer

พิพัฒน์ อ่ำไพพิพัฒน์กุล<sup>1\*</sup> สันติ เศรษฐสิทธิโชค<sup>2</sup> ศศิพิมพ์ โพธิ์ผล<sup>3</sup> เทวิน พันภัย<sup>4</sup> และ ดร.ธีระ เจียศิริพงษ์กุล<sup>5</sup>  
<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120  
โทร 0-25643001 ต่อ 3169 โทรสาร 0-2564300 ต่อ 3049 \*อีเมลล์ 491032145@engr.tu.ac.th  
<sup>5</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120  
โทร 0-25643001 ต่อ 3194 โทรสาร 0-2564300 ต่อ 3049 อีเมลล์ jtthira@engr.tu.ac.th

Pipat Ampaipatgul<sup>1\*</sup>, Santi Sedsittichoke<sup>2</sup>, Sasipim Phopli<sup>3</sup>, Tawin Phonpai<sup>4</sup> and Dr.Thira Jearsiripongkul<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University,  
Klong-Luang, Patumthani 12120, Thailand

Tel: 0-25643001 ext 3169, Fax: 0-2564300 ext 3049, \*E-mail: 4910032145@engr.tu.ac.th

<sup>5</sup> Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University,  
Klong-Luang, Patumthani 12120, Thailand

Tel: 0-25643001 ext 3194, Fax: 0-2564300 ext 3049, E-mail: jtthira@engr.tu.ac.th

### บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาถึงการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของแบริ่ง (Pivot Bearing) ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้เป็นแกนหมุนของแขนหัวอ่าน/เขียน (Actuator Arm) ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive: HDD) ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติและรูปแบบการสั่นสะเทือนของแบริ่ง พร้อมกับเปรียบเทียบค่าที่ได้กับการทดสอบโดยใช้ LDV (Laser Doppler Vibrometer) เป็นตัววัดการสั่นสะเทือนทางแสง ผลที่ได้จากการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนโดยใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ และผลจากการทดสอบด้วย LDV แสดงให้เห็นว่าค่าความถี่ธรรมชาติ ของทั้ง 2 วิธีมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ข้อมูลดังกล่าวนี้สามารถนำมาใช้เพื่อปรับปรุงแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์แบริ่งและพัฒนาหรือวิจัยในระดับสูงต่อไป

### Abstract

A hard disk drive (HDD) is a storage component, which is commonly used in computer, electronic device etc. It has been continuously developed by means of either capacity or size to achieve the customer's requirements. This paper is to study and to analyze the vibrations of the pivot bearing, one important part of Head Stack Assembly (HSA) in HDD and inducing vibrations, using FEM (Finite Element Method) software and LDV (Laser Doppler Vibrometer) to find out the natural frequencies. The

results of the natural frequencies from both FEM and LDV show a good agreement and this information can also be used to further study the vibrations of Head Stack Assembly (HSA) and to develop the finite element model of the actuator arm

### 1. บทนำ

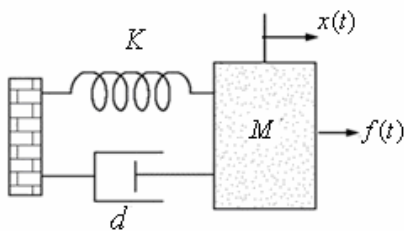
เนื่องจากปัจจุบันเทคโนโลยีการจัดเก็บข้อมูลถูกพัฒนาอย่างรวดเร็วเพื่อรองรับในการใช้งานในรูปแบบต่างๆ ดังนั้นความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลจึงเป็นสิ่งที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เป็นอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลที่มีความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยขีดความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลของตัวฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ปรกติจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบการหมุนของจานดิสก์ หรือ ความเร็วในการอ่าน/เขียนข้อมูลของตัวหัวอ่าน ดังนั้นในการหมุนที่ความเร็วรอบค่อนข้างสูง การสั่นสะเทือนจึงเป็นอีกปัจจัยที่ต้องได้รับการศึกษาและควบคุม [1]

ในบทความนี้การสั่นสะเทือนของแบริ่ง (Pivot Bearing) จะถูกนำมาวิเคราะห์ โดยใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ และตรวจสอบโดยใช้ LDV เป็นตัวตรวจวัดการสั่นสะเทือนทางแสง [2] เพื่อทำการหาค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequencies) ของแบริ่ง การสั่นสะเทือนของแบริ่งนั้นสามารถเกิดขึ้นได้หลายปัจจัยด้วยกัน เช่น เกิดจากความไม่สมดุลของแบริ่ง หรือเกิดจากการสั่นจากตัว HSA เพราะการสั่นสะเทือนของแบริ่งถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญต่อการเคลื่อนที่ของทั้งหมด

ของหัวอ่านเขียน ฉะนั้นเมื่อเกิดการสั่นขึ้นที่ตัวแปรที่ยอมส่งผลกระทบต่อ การอ่านข้อมูลของหัวอ่านเขียน ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์จะนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบด้วย LDV เพื่อจะแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์มีความสอดคล้องหรือใกล้เคียงกับการใช้งานจริง และจะนำแบบจำลองที่ได้ไปปรับปรุงหรือพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นในอนาคต [3]

## 2. การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน

สำหรับการสั่นสะเทือนทางวิศวกรรม ซึ่งเป็นการสั่นของระบบที่ตกอยู่ภายใต้แรงกระทำหรือการสั่นโดยอิสระก็ตามจะต้องมีการรบกวนระบบซึ่งเป็นค่าอินพุต (Input) ที่ให้กับระบบและระบบจะมีการตอบสนอง (Response) เป็นผลลัพธ์ ในการศึกษาเรื่องการสั่นสะเทือนทางวิศวกรรมมักจะเกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) เพื่อแทนสิ่งที่มีอยู่จริงทางกายภาพ โดยพยายามสร้างแบบจำลองที่มีพฤติกรรมคล้ายกับระบบจริงให้มากที่สุด เพื่อให้สามารถคณิตศาสตร์ที่สามารถแทนการสั่นสะเทือนของระบบได้อย่างถูกต้อง ดังแสดงในรูปที่ 1 หลังจากที่ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการหาสมการการเคลื่อนที่ของแบบจำลองที่สร้างขึ้นมา แล้วก็หาผลเฉลยของสมการการเคลื่อนที่ จากนั้นนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาพฤติกรรมการสั่นสะเทือนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สุดท้ายถือว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมาก ใน การอธิบายและสรุปผลลัพธ์ที่ได้ และนอกจากนี้ยังสามารถนำแบบจำลองของระบบไปพัฒนาสำหรับแก้ไขปัญหาในรูปแบบที่คล้ายกันได้ ในอนาคต วิธีการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ที่จะเปลี่ยนสมการเชิงอนุพันธ์ของการเคลื่อนที่ ดังในสมการที่ (1) เป็นการแก้ปัญหามาแบบโอเกน (Eigenvalue Problem) แล้วสามารถนำค่าที่ได้ไปหาเวกเตอร์เจาะจง (Eigenvector) เพื่อใช้ในการศึกษารูปแบบการสั่นสะเทือน หลังจากนั้นนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบ [4]



รูปที่ 1 แบบจำลองทางกายภาพของระบบสั่นสะเทือน

สมการเชิงอนุพันธ์ของการเคลื่อนที่ที่สามารถเขียนได้ดังนี้ [4]

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [D]\{\dot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = \{f(t)\} \quad (1)$$

โดยที่  $[M]$  คือ เมทริกซ์มวล (Mass)  
 $[D]$  คือ เมทริกซ์ความหน่วง (Damping)  
 $[K]$  คือ เมทริกซ์ความแข็งตึง (Stiffness)  
 $\{f(t)\}$  คือ เวกเตอร์แรง  
 $\{\ddot{x}(t)\}$  คือ เวกเตอร์ความเร่ง

$\{\dot{x}(t)\}$  คือ เวกเตอร์ความเร็ว

$\{x(t)\}$  คือ เวกเตอร์การกระจัด

## 2.1 ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อใช้คำนวณหาผลเฉลยโดยประมาณของปัญหาที่กำหนดมาให้เช่นกัน โดยการแบ่งรูปร่างขอบเขตของปัญหาเป็นชิ้นส่วนย่อยๆ ที่เรียกว่าเอลิเมนต์ (Element) แล้วสร้างสมการของแต่ละเอลิเมนต์ให้สอดคล้องกับปัญหาสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหานั้น เอลิเมนต์ต่างๆ เหล่านี้เชื่อมต่อกันที่จุดต่อ (Node) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่จะคำนวณหาค่าของตัวแปรที่ต้องการ ในบทความวิจัยนี้ได้แบ่งรูปร่างขอบเขตของปัญหาเป็นชิ้นส่วนย่อยๆ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการแก้ปัญหา ดังแสดงในรูปที่ 2 เป็นการแบ่งรูปร่างของปัญหาของออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ [6] สำหรับปัญหาในทางปฏิบัติทั่วไป แรงจากภายนอกที่มากระทำต่อวัตถุ นั้นโดยปกติจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาทำให้เกิดการเคลื่อนที่ เมื่อวัตถุเปลี่ยนแปลงไปตามเวลามากกว่า จะก่อให้เกิดแรงเพิ่มขึ้นมาคือแรงเฉื่อย (Inertia force) และแรงหน่วง (damping force) แรงทั้งสองนี้จะมีทิศทางตรงกันทิศทางการเคลื่อนที่ จากสมการที่ (1) โดยไหลดเวกเตอร์  $\{f(t)\}$  ทางด้านขวามือนั้นรวมแรงทุกๆ อย่างที่มากระทำหรือเกิดขึ้นบนวัตถุนั้น ความเครียดและความเค้นจะแปรผันไปตามเวลาด้วย การแก้สมการไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อคำนวณหาการเคลื่อนที่ที่แปรผันไปตามเวลาโดยวิธีทับซ้อนโหมด (Modal Superposition) ประกอบด้วยสองส่วนที่สำคัญคือ ขั้นตอนแรกเป็นขั้นตอนการหาค่าเจาะจง (Eigenvalue) และเวกเตอร์เจาะจง (Eigenvector) และขั้นตอนที่สองเป็นขั้นตอนการแก้สมการเพื่อหาผลตอบสนองชั่วคราว (Transient Response) [6]

ขั้นตอนแรกเป็นขั้นตอนการในการหาค่าเจาะจงและเวกเตอร์เจาะจง เริ่มจากสมการที่ (1) ในกรณีที่ไม่มี ความหน่วงและแรงมากระทำจากภายนอกมากกว่าแล้วทำการแก้ปัญหาค่าสั่นแบบอิสระ โดยการแก้สมการระบบ

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = 0 \quad (2)$$

จากสมการที่ (2) จะทำการสมมติเวกเตอร์ของการเคลื่อนที่ให้อยู่ในรูปแบบดังนี้

$$\{x(t)\} = \{\Phi\} \sin \omega t \quad (3)$$

$$\{\ddot{x}(t)\} = -\omega^2 \{\Phi\} \sin \omega t \quad (4)$$

โดยที่  $\omega$  แทนความถี่ (Frequencies) ต่างๆ และ  $\{\Phi\}$  แทนรูปร่างของโหมด (Mode Shapes) แทนเวกเตอร์ของการเคลื่อนที่ตัวและความเร่งจากสมการที่ (2) จะได้

$$[K] - \omega^2 [M] \{\Phi\} = 0 \quad (5)$$

สาการนี้จะมีผลที่เป็นจริงได้หาค่าของตัวกำหนด (Determinant) เท่ากับศูนย์ นั่นคือ

$$[K] - \omega^2 [M] = 0 \quad (6)$$

ซึ่งให้ผลออกมาเป็นสมการพหุนาม (Polynomial) ในรูปแบบดังนี้

$$(\omega^2)^n + D_1(\omega^2)^{n-1} + \dots + D_{n-1}(\omega^2) + D_n = 0 \quad (7)$$

โดยที่  $D_i, i = 1, n$  เป็นค่าคงที่และ  $n$  แทนสมการจำนวนย่อยทั้งหมด ในสมการระบบรวมที่ (2) และ (7) ทำให้สามารถหา  $\omega_1$  ต่างๆ ได้ จากนั้นคำนวณหารูปร่างโหมด  $\{\Phi\}_i$  ได้

สำหรับขั้นตอนในส่วนที่สองเป็นการหาผลตอบสนองชั่วคราว (Transient Response) โดยเริ่มจากสมมุติฐานที่ว่าเคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งต่างๆ บนวัตถุจะอยู่ในรูปแบบของการผสมผสานระหว่างรูปร่างโหมดที่เกิดขึ้นทั้งหมด นั่นคือ

$$\{x(t)\} = \underbrace{[\{\Phi\}_1 + \{\Phi\}_2 + \{\Phi\}_3 \dots \{\Phi\}_n]}_{[A]} \{\Lambda(t)\} \quad (8)$$

โดยที่  $[A]$  เป็นเมตริกซ์จัตุรัสที่ประกอบด้วยเวกเตอร์รูปร่างของโหมดที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่หนึ่ง และ  $[\Lambda(t)]$  เวกเตอร์ขนาดของโหมด (Modal Amplitude) ที่จำเป็นต้องหาค่า แทนสมการ (8) ลงในสมการ (1) แล้วคูณข้างหน้าทุกพจน์ด้วยเมตริกซ์สลับเปลี่ยนของเมตริกซ์  $[A]$  จะได้

$$\begin{aligned} & \underbrace{[A]^T [M] [A]}_{[M^*]} \{\ddot{\Lambda}\} + \underbrace{[A]^T [C] [A]}_{[C^*]} \{\dot{\Lambda}\} + \underbrace{[A]^T [K] [A]}_{[K^*]} \{\Lambda\} \\ & = \underbrace{[A]^T}_{[F^*]} \{F(t)\} \end{aligned} \quad (9)$$

นั่นคือ

$$[M^*] \{\ddot{\Lambda}\} + [D^*] \{\dot{\Lambda}\} + [K^*] \{\Lambda\} = \{F^*\} \quad (10)$$

จากคุณสมบัติเชิงตั้งฉากจะเห็นว่าเมตริกซ์  $[M^*], [D^*]$  และ  $[K^*]$  ซึ่งอยู่ทางซ้ายมือของสมการ (10) ต่างเป็นเมตริกเฉียง (Diagonal matrix) ทั้งสิ้น ดังนั้นสมการย่อยต่างๆ ในระบบสมการรวมจะไม่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กันหรือเป็นอิสระต่อกัน สมการย่อยในระบบรวม (10) สามารถเขียนให้อยู่ในรูป

$$M^* \ddot{\Lambda} + 2\xi\omega M^* \dot{\Lambda} + \omega^2 M^* \Lambda = \{F^*\} \quad (11)$$

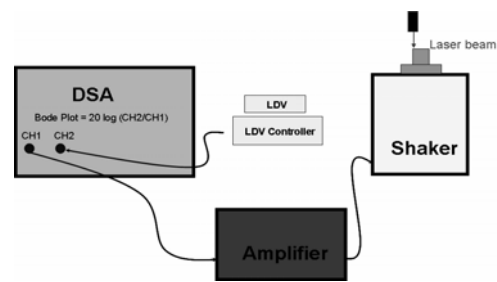
โดย  $\xi$  แทนอัตราส่วนระหว่างความหน่วงและความเฉื่อย ทำการหารตลอดด้วย  $M^*$  จะได้

$$\ddot{\Lambda} + 2\xi\omega \dot{\Lambda} + \omega^2 \Lambda = \left\{ \frac{F^*}{M^*} \right\} \quad (12)$$

สมการ (12) เป็นสมการเชิงอนุพันธ์สามัญเชิงเส้นอันดับสองที่สามารถทำการแก้ได้โดยง่ายเพื่อหาขนาดของโหมด ซึ่งเมื่อคำนวณหาขนาดของโหมดต่างๆ ได้แล้วจึงแทนกลับลงในสมการ (8) เพื่อหาคำตอบของการเคลื่อนที่ที่ต้องการ [7]

## 2.2 การวัดการสั่นสะเทือน

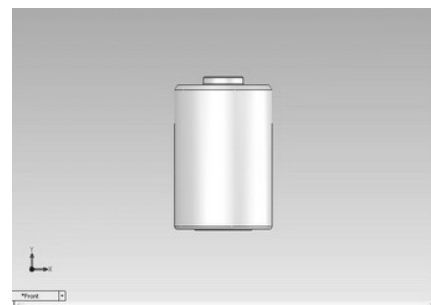
ในการทดสอบการวัดการสั่นสะเทือนในงานวิจัยนี้ ได้ใช้ LDV (Laser Doppler Vibrometer) ในการวัดการสั่นสะเทือน โดยการตรวจจับจะทำการยิงแสงไปยังวัตถุที่ต้องการจะทำการทดสอบ ในการทดสอบในแต่ละครั้งจะสามารถยิงแสงไปที่วัตถุได้ตำแหน่งเดียวถ้าต้องการวัดการสั่นสะเทือนหลายๆ จุดจะต้องทำการวัดหลายครั้ง และแสงจะสะท้อนกลับจากวัตถุนั้นมายังตัวรับของ LDV ผลของการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้นจะทำให้มุมของการสะท้อนกลับ (Phase angle) ที่สะท้อนกลับมาเปลี่ยนแปลงไป ผลจากการเปลี่ยนแปลงมุมของการสะท้อนกลับ LDV ก็จะแปลงมุมของการสะท้อนกลับเป็นความเร็วหรือระยะทางในการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้นๆ แล้วจะแสดงผลที่ Dynamics Signal Analyzer (DSA) ดังแสดงในรูปที่ 2 แสดงถึงการใช้งาน LDV



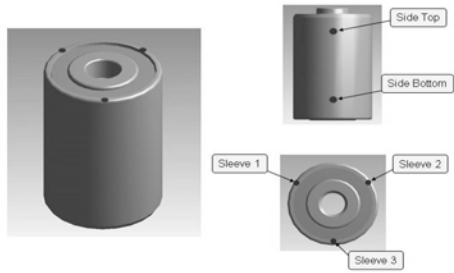
รูปที่ 2 แสดงขั้นตอนการใช้งาน SLDV

## 3. การทดสอบการสั่นสะเทือน

ในบทความนี้ได้เน้นการทดสอบที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของโครงสร้างของแบริ่ง (Pivot Bearing) ในหัวอ่าน/เขียน (HSA) โดยแบริ่งที่นำมาทดสอบนั้นเป็นแบบทรงกระบอก ดังแสดงในรูปที่ 3 การทดสอบนั้นจะต้องมีที่ยึด (Fixture) ถูกสร้างมาเพื่อยึดแบริ่ง (Bearing) กับ Shaker ซึ่ง Shaker จะทำหน้าที่กระตุ้นระบบในงานวิจัยนี้ความถี่ที่กระตุ้นให้กับ Shaker จะอยู่ในช่วง 500 ถึง 18,000 Hz เพราะเป็นช่วงที่อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของหัวอ่าน/เขียน ลักษณะดังรูปที่ 2 โดยการวัดจะทำการวัดที่ตัวของแบริ่งจำนวน 5 จุดด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 4 เพื่อให้เห็นการสั่นสะเทือนในหลายๆ จุดบนตัวแบริ่ง หลังจากนั้นใช้อุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือนทางแสง LDV ตรวจจับการเคลื่อนที่หรือการสั่นสะเทือนที่จุดด้านบนของแบริ่งทุกจุดที่ต้องการจะวัด ข้อมูลของการเคลื่อนที่ที่ถูกส่งไปยัง Dynamics Signal Analyzer เพื่อที่จะนำไปหา FRF



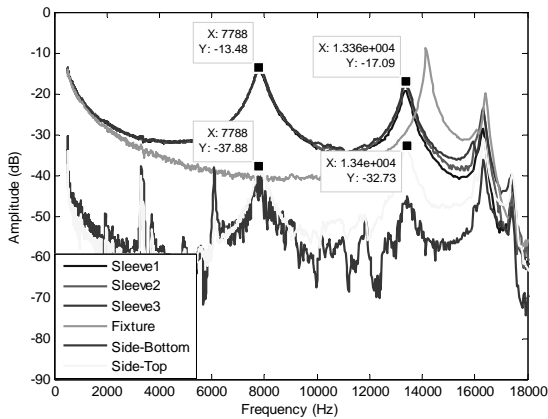
รูปที่ 3 แบบจำลองของแบริ่งที่นำมาทดสอบ



รูปที่ 4 แสดงตำแหน่งของการวัดจาก LDV

#### 4. ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบที่ได้จาก LDV จะอยู่ในรูป Frequency Response Function (FRF) ของแบริ่ง ผลการทดสอบจากจะเห็นได้ว่า ลักษณะของการสั่นสะเทือนจากการวัดทั้ง 5 จุดนั้น สามารถบอกได้ว่า การสั่นสะเทือนในโหมดแรกนั้นเป็นการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในแนวแกนหรือการสั่นขึ้นลงของแบริ่ง (Axial Vibration) เพราะในตำแหน่งในการวัดของจุดที่ Sleeve1, Sleeve2 และ Sleeve3 เป็นการวัดจากด้านบนและมีขนาดของการสั่นสะเทือนที่สูงกว่าทางด้านข้างในตำแหน่ง Side Top และ Side Bottom ดังแสดงในรูปที่ 5 สามารถอธิบายได้ว่าเกิดการสั่นสะเทือนขึ้นในแนวแกน และในโหมดของการเคลื่อนที่ต่อมาเป็นการสั่นสะเทือนที่เกิดจากตัวฐานที่ยึดทำการทดลอง (Fixture) เพราะว่าได้ทำการทดสอบเพียงแค่ตัวฐานเพียงอย่างเดียวและผลของการตอบสนองการสั่นเกิดขึ้นในส่วนของฐานยึดของการทดสอบ ดังแสดงในรูป FRF ในรูปที่ 5 ได้และแสดงค่าของความถี่ธรรมชาติในแต่ละโหมดไว้ดังตารางที่ 1



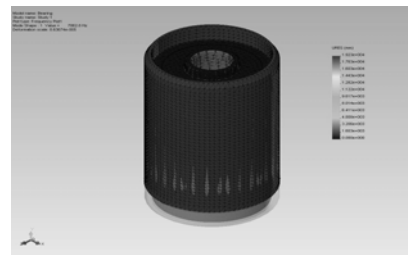
รูปที่ 5 แสดงลักษณะการสั่นสะเทือน Coil Bending

ตารางที่ 1 ค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากการทดสอบด้วย SLDV

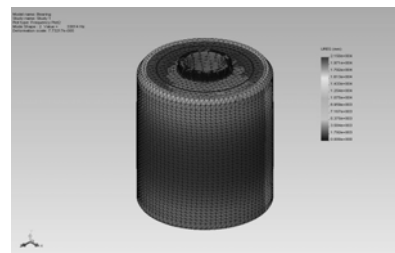
โหมด (Mode)	ความถี่ธรรมชาติ (Natural)
1. Sleeve 1	7,788
2. Sleeve 2	7,808
3. Sleeve 3	7,808
4. Fixture1	14,140
5. Fixture2	16,410
6. Side-Bottom	7,788
7. Side-Top	7,788

#### 5. การวิเคราะห์วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นได้กำหนดเงื่อนไขของขอบเขตให้มีความใกล้เคียงกับการทดสอบจริงมากที่สุด เริ่มจากการสร้างแบบจำลองให้เหมือนกับวัตถุที่จะมาทดสอบมากที่สุด หลังจากนั้นเลือกรูปแบบที่จะทำการทดสอบ สำหรับในงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์หาค่าความถี่ธรรมชาติ และก็มาถึงขั้นตอนสำคัญคือ การกำหนดเงื่อนไขของขอบเขต เช่น คุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุ การยึดวัตถุ และการกำหนดแรงที่จะมากระตุ้นต่อวัตถุ ผลการทดสอบด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ได้เลือกรูปแบบที่จะมาเปรียบเทียบทั้งหมด 2 รูปแบบด้วยกัน ทั้งนี้การวิเคราะห์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถมีรูปแบบการสั่นสะเทือนได้เป็นอนันต์ แต่จะแสดงเพื่อให้เห็นว่าในความถี่ธรรมชาติที่ใกล้เคียงกันจะต้องมีรูปแบบการสั่นสะเทือนที่เหมือนกันด้วย ดังแสดงไว้ดังรูปที่ 6 และ 7 เป็นลักษณะของการเคลื่อนที่ในโหมดที่ 1 คือการเคลื่อนที่ขึ้นลงในส่วนของ Sleeve (Axial Vibration) ความถี่ธรรมชาติที่ได้มีค่า 7,862 Hz ดังจะเห็นได้ในรูปที่ 6 ค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้ในโหมดที่ 2 เป็นการเคลื่อนที่ในส่วนของแกนของแบริ่งซึ่งความถี่ธรรมชาติที่ได้มีค่า 33,814 Hz ความถี่ธรรมชาติในโหมดนี้หรือหลังจากโหมดนี้ความถี่ธรรมชาติจะสูงมาก จนเกินกว่าที่ทางผู้วิจัยได้ทำการทดสอบจากเครื่อง LDV ฉะนั้นหลังจากโหมดแรกเราจึงไม่ได้สนใจการสั่นสะเทือนในโหมดอื่นๆ จากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถอธิบายได้ว่าค่าความถี่ธรรมชาติและรูปแบบของการสั่นสะเทือนมีค่าใกล้เคียงกับการทดลอง ในส่วนที่มีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อยอาจจะมาจากการกำหนดเงื่อนไขของขอบเขตที่มีความผิดพลาด หรืออาจเกิดจากการสร้างแบบจำลองที่ผิดไปจากลักษณะของจริงบ้าง ดังจะเห็นได้จากตารางการเปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากการทดสอบด้วย LDV กับวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในตารางที่ 2



รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในโหมด 1



รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในโหมด 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากการทดสอบด้วย LDV กับวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

โหมด (Mode)	ความถี่ธรรมชาติ SLDV (Hz)	ความถี่ธรรมชาติ FEM (Hz)	% ความผิดพลาด
1. Sleeve 1	7,788	7862	1
2. Sleeve 2	7,808	7862	0.7
3. Sleeve 3	7,808	7862	0.7

## 6. สรุป

จากการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของแบร์ริง (Pivot Bering) ในหัวอ่านเขียน (HSA) โดยใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ค่าความถี่ธรรมชาติและรูปแบบของการสั่นสะเทือนที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบโดยใช้ LDV ความคลาดเคลื่อนอาจจะมาจากการกำหนดเงื่อนไขของขอบเขตมีความคลาดเคลื่อน หรือเกิดจากการสร้างแบบจำลองที่ผิดไปจากลักษณะของจริงบ้าง ผลจากงานวิจัยนี้สามารถนำแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ไปศึกษาหรือพัฒนารูปแบบที่มีความซับซ้อนมากขึ้นได้ในอนาคต

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณบริษัท Seagate Technology (Thailand) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนด้านอุปกรณ์ทดสอบ และขอขอบคุณ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ ภายใต้โครงการพัฒนาทรัพยากรบุคคล ในอุตสาหกรรม Hard Disk Drive สัญญาเลขที่ HDD 08-002B

## เอกสารอ้างอิง

- [1] John R. Edwards, "Finite Element Analysis of the Shock Response and Head Slap Behavior of a Hard Disk Drive", Western Digital Corporation, IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS. Vol. 35, No. 2, March 1999.
- [2] L. M. Xu, S. Zeng, N.Q. Guo, R.M. Lin "The QR Modes Measurement and Modeling in the Head Actuator Assembly", *IEEE Tran*, 2000.
- [3] J. Luoa, D.W. Shua, B.J. Shia, Q.Y. Ngb, R. Zambrub, J.H.T. Lauba "Study of the shock response of the HDD with ANSYS-LSDYNA" *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* (2006), Available online 20 February 2006.
- [4] กนต์ธร ชำนิประศาสน์, การสั่นทางกล, เพียร์สัน เอ็ด ดูเคชัน อินโดไชน่า จำกัด, กรุงเทพฯ, 2545.
- [5] Ewins, D. J., *Modal Testing: Theory and Practice*, John Wiley & Sons, Inc., 1984.
- [6] ปราโมทย์ เดชะอำไพ, ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [7] ปราโมทย์ เดชะอำไพ, ไฟไนต์เอลิเมนต์ในวิศวกรรม, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย