การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของ HSA ในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ พร้อมทั้งตรวจสอบการสั่นสะเทือนโดยการใช้ SLDV

HSA of HDD vibration analysis using FEM and identification using SLDV

นายเทวิน พันภัย[1*] และ ดร.ธีระ เจียศิริพงษ์กุล[2]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
โทร 0-25643001 ต่อ 3169 โทรสาร 0-2564300 ต่อ 3049 *อีเมล์ 4910032145@engr.tu.ac.th
[2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
โทร 0-25643001 ต่อ 3194 โทรสาร 0-2564300 ต่อ 3049 อีเมล์ jthira@engr.tu.ac.th

Tawin Phonpai[1*] and Dr.Thira Jearsiripongkul[2]
[1] 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
[2] 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: jthira@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาถึงการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของหัวอ่าน/เขียน (Head Stack Assembly: HSA) ในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Hard Disk Drive: HDD) ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติและรูปแบบการสั่นสะเทือนของหัวอ่าน/เขียน พร้อมกับเปรียบเทียบค่าที่ได้กับการทดสอบโดยการใช้ SLDV (Scanning Laser Doppler Vibrometer) เป็นตัววัดการสั่นสะเทือนทางแสง ผลที่ได้จากการวิเคราะห์การสั่นสะ เทือนโดยใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ และผลจากการทดสอบด้วย SLDV แสดงให้เห็นว่าค่าความถี่ธรรมชาติ ของทั้ง 2 วิธีมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ข้อมูลดังกล่าวนี้สามารถนำมาใช้เพื่อปรับปรุงแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของหัวอ่าน/เขียนและพัฒนาหรือวิจัยในระดับสูงต่อไป

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 Head Stack Assembly (HSA) in HDD using FEM (Finite Element Method) software and SLDV (Scanning Laser Doppler Vibrometer) to find out the natural frequencies. The results of the natural frequencies from both FEM and SLDV 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

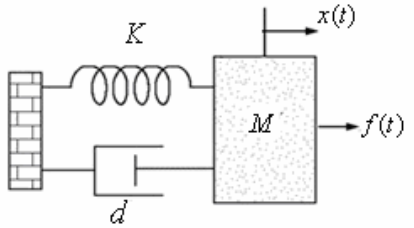
เนื่องจากปัจจุบันเทคโนโลยีการจัดเก็บข้อมูลถูกพัฒนาอย่างรวดเร็วเพื่อรองรับในการใช้งานในรูปแบบต่างๆดังนั้นความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลจึงเป็นสิ่งที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์ ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเป็นอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยขีดความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลของตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ปรกติจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบการหมุนของจานดิสก์ หรือ ความเร็วในการอ่าน/เขียนข้อมูลของตัวหัวอ่าน ดังนั้นในการหมุนที่ความเร็วรอบค่อนข้างสูงการสั่นสะเทือนจึงเป็นอีกปัจจัยที่ต้องได้รับการศึกษาและควบคุม [1]

ในบทความนี้การสั่นสะเทือนของ HSA จะถูกนำมาวิเคราะห์โดยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ และตรวจสอบโดยการใช้ SLDV เป็นตัวตรวจจับการสั่นสะเทือนทางแสง [2] เพื่อทำการหาค่าความถี่ธรรมชาติ

(Natural Frequencies) ของ HSA การสั่นสะเทือนของ HAS นั้นสามารถเกิดขึ้นได้หลายปัจจัยด้วยกัน เช่น เกิดจากตัวขับเคลื่อน (Voice Coil Motor: VCM) หรือเกิดจากอากาศไหลวนบนแผ่นดิสก์เนื่องจากการหมุนของแผ่นดิสก์ (Air Flow) จากปัจจัยเหล่านี้ทำให้เกิดการเสียหายจากการอ่านข้อมูลของตัวหัวอ่าน (Slider) ได้ ในงานวิจัยในครั้งนี้จะทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในส่วนที่เกิดการสั่นสะเทือนจากตัว VCM เพียงอย่างเดียวทั้งนี้เพื่อเป็นการง่ายต่อการวิเคราะห์ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์จะนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบด้วย SLDV เพื่อจะแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์มีความสอดคล้องหรือใกล้เคียงกับการใช้งานจริง และจะนำแบบจำลองที่ได้ไปปรับปรุงหรือพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นในอนาคต [3]

2. การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน

สำหรับการสั่นสะเทือนทางวิศวกรรม ซึ่งเป็นการสั่นของระบบที่ตกอยู่ภายใต้แรงกระทำหรือการสั่นโดยอิสระก็ตามจะต้องมีการรบกวนระบบซึ่งเป็นค่าอินพุท (Input) ที่ให้กับระบบและระบบจะมีการตอบสนอง (Response) เป็นผลลัพธ์ ในการศึกษาเรื่องการสั่นสะเทือนทางวิศวกรรมมักจะเกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) เพื่อแทนสิ่งที่มีอยู่จริงทางกายภาพ โดยพยายามสร้างแบบจำลองที่มีพฤติกรรมคล้ายกับระบบจริงให้มากที่สุดเพื่อให้สมการคณิตศาสตร์ที่ได้สามารถแทนการสั่นสะเทือนของระบบได้อย่างถูกต้อง ดังแสดงในรูปที่ 1 หลังจากที่ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการหาสมการการเคลื่อนที่ของแบบจำลองที่สร้างขึ้นมา แล้วก็หาผลเฉลยของสมการการเคลื่อนที่จากนั้นนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาพฤติกรรมการสั่นสะเทือนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สุดท้ายถือว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ในการอธิบายและสรุปผลลัพธ์ที่ได้ และนอกจากนี้ยังสามารถนำแบบจำลองของระบบไปพัฒนาสำหรับแก้ไขปัญหาในรูปแบบที่คล้ายกันได้ในอนาคต วิธีการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ก็จะเปลี่ยนสมการเชิงอนุพันธ์ของการเคลื่อนที่ ดังในสมการที่ (1) เป็นการแก้ปัญหาแบบไอเกน (Eigenvalue Problem) แล้วสามารถนำค่าที่ได้ไปหาเวกเตอร์เจาะจง (Eigenvector) เพื่อใช้ในการศึกษารูปแบบการสั่นสะเทือน หลังจากนั้นนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบ [4]



รูปที่ 1 แบบจำลองทางกายภาพของระบบสั่นสะเทือน

สมการเชิงอนุพันธ์ของการเคลื่อนที่จะสามารถเขียนได้ดังนี้ [4]

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

โดยที่ $[M]$ คือ เมทริกซ์มวล (Mass)

$[D]$ คือ เมทริกซ์ความหน่วง (Damping)

$[K]$ คือ เมทริกซ์ความแข็งตรึง (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 แรงจากภายนอกที่มากระทำต่อวัตถุนั้นโดยปรกติจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ เมื่อวัตถุเปลี่ยนแปลงไปตามเวลามากระทำ จะก่อให้เกิดแรงเพิ่มขึ้นมาคือแรงเฉื่อย (Inertia force) และแรงหน่วง (damping force) แรงทั้งสองนี้จะมีทิศทางตรงกับทิศทางของการเคลื่อนที่ จากสมการที่ (1) โดยโหลดเวกเตอร์ $\{f(t)\}$ ทางด้านขวามือนั้นรวมแรงทุกๆ อย่างที่มากระทำหรือเกิดขึ้นบนวัตถุนั้น ความเครียดและความเค้นจะแปรผันไปตามเวลาด้วย การแก้สมการไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อคำนวณหาการเคลื่อนที่ที่แปรผันไปตามเวลาโดยวิธีทับซ้อนโหมด (Modal Superposition) ประกอบด้วยสองส่วนที่สำคัญคือ ขั้นตอนแรกเป็นเป็นกระบวนการการหาค่าเจาะจง (Eigenvalue) และเวกเตอร์เจาะจง (Eigenvector) และขั้นตอนที่สองเป็นกระบวนการแก้สมการเพื่อหาผลตอบสนองชั่วครู่ (Transient Response) [6]

ขั้นตอนแรกเป็นกระบวนการในการหาค่าเจาะจงและเวกเตอร์เจาะจง เริ่มจากสมการที่ (1) ในกรณีที่ไม่มีความหน่วงและแรงมากระทำจากภายนอกมากระทำแล้วทำการแก้ปัญหาการสั่นแบบอิสระโดยการแก้สมการระบบ

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

จากสมการที่ (2) จะทำการสมมุติเวกเตอร์ของการเคลื่อนตัวให้อยู่ในรูปแบบดังนี้

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

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

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

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

สาการนี้จะมีผลที่เป็นจริงได้หากค่าของตัวกำหนด (Determinant) เท่ากับศูนย์ นั่นคือ

$$\left[\left[K\right]-\omega^2\left[M\right]\right]=0 \qquad (6)$$

ซึ่งให้ผลออกมาเป็นสมการพหุนาม (Polynomial) ในรูปแบบดังนี้

$$\left(\omega^2\right)^n+D_1\left(\omega^2\right)^{n-1}+\ldots+D_{n-1}\left(\omega^2\right)+D_n=0 \qquad (7)$$

โดยที่ $D_{\mathrm{i}}, \mathrm{i}=1,n$ เป็นค่าคงที่และ n แทนสมการจำนวนย่อยทั้งหมด ในสมการระบบรวมที่ (2) และ (7) ทำให้สามารถหา ω_{i} ต่างๆ ได้ จากนั้นคำนวณหารูปร่างโหมด $\left\{\Phi\right\}_{\mathrm{i}}$ ได้

สำหรับขั้นตอนในส่วนที่สองเป็นการหาผลตอบสนองชั่วครู่ (Transient Response) โดยเริ่มจากสมมุติฐานที่ว่าการเคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งต่างๆ บนวัตถุนั้นจะอยู่ในรูปแบบของการผสมผสานระหว่างรูปร่างโหมดที่เกิดขึ้นทั้งหมด นั่นคือ

$$\left\{x\left(t\right)\right\}=\underbrace{\left[\left\{\Phi\right\}_1+\left\{\Phi\right\}_2+\left\{\Phi\right\}_3\ldots\left\{\Phi\right\}_n\right]}_{\left[\mathrm{A}\right]}\left\{\Lambda(t)\right\} \qquad (8)$$

โดยที่ $\left[\mathrm{A}\right]$ เป็นเมตริกซ์จัตุรัสที่ประกอบด้วยเวกเตอร์รูปร่างของโหมดที่คำนวณมาได้จากขั้นตอนที่หนึ่ง และ $\left[\Lambda\left(t\right)\right]$ เวกเตอร์ขนาดของโหมด (Modal Amplitude) ที่จำเป็นต้องหาค่า แทนสมการ (8) ลงในสมการ (1) แล้วคูณข้างหน้าทุกพจน์ด้วยเมตริกซ์สลับเปลี่ยนของเมตริกซ์ $\left[\mathrm{A}\right]$ จะได้

$$\underbrace{\left[\mathrm{A}\right]^{\mathrm{T}}\left[M\right]\left[\mathrm{A}\right]}_{\left[M^*\right]}\left\{\ddot{\Lambda}\right\}+\underbrace{\left[\mathrm{A}\right]^{\mathrm{T}}\left[C\right]\left[\mathrm{A}\right]}_{\left[C^*\right]}\left\{\dot{\Lambda}\right\}+\underbrace{\left[\mathrm{A}\right]^{\mathrm{T}}\left[K\right]\left[\mathrm{A}\right]}_{\left[K^*\right]}\left\{\Lambda\right\}$$

$$=\underbrace{\left[\mathrm{A}\right]^{\mathrm{T}}\left\{F(t)\right\}}_{\left[F^*\right]} \qquad (9)$$

นั่นคือ

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

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

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

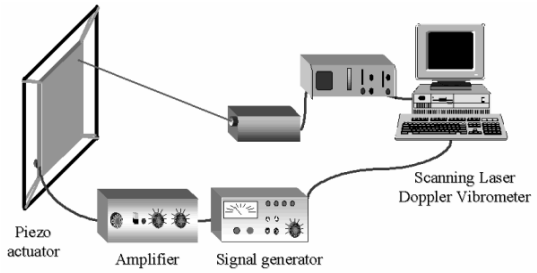
โดย ξ แทนอัตราส่วนระหว่างความหน่วงและความเฉื่อย ทำการหารตลอดด้วย M^* จะได้

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

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

2.2 การวัดการสั่นสะเทือน

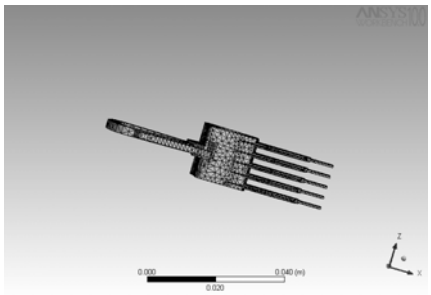
ในการทดสอบการวัดการสั่นสะเทือนในงานวิจัยนี้ ได้ใช้ SLDV (Scanning Laser Doppler Vibrometer) ในการวัดการสั่นสะเทือน โดยการตรวจจับจะทำการยิงแสงไปยังวัตถุที่ต้องการจะทำการทดสอบ และแสงจะสะท้อนกลับจากวัตถุนั้นมายังตัวรับของ SLDV ผลของการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้นจะทำให้มุมของการสะท้อนกลับ (Phase angle) ที่สะท้อนกลับมาเปลี่ยนแปลงไป ผลจากการเปลี่ยนแปลงมุมของการสะท้อนกลับ SLDV ก็จะแปลงมุมของการสะท้อนกลับเป็นความเร็วหรือระยะทางในการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้นๆ แล้วจะแสดงผลที่คอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2 แสดงถึงการใช้งาน SLDV



รูปที่ 2 แสดงขั้นตอนการใช้งาน SLDV

3. การทดสอบการสั่นสะเทือน

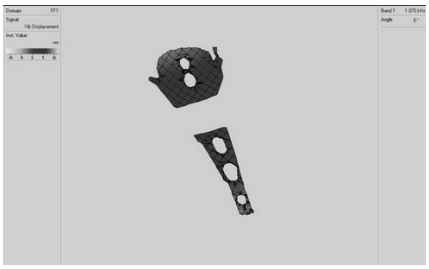
ในบทความนี้ได้เน้นการทดสอบที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของโครงสร้างของหัวอ่าน/เขียน (Head Stack Assembly: HSA) ในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยที่หัวอ่าน/เขียนที่นำมาทดสอบนั้นเป็นแบบหลายแขน (Multi Arm) ดังแสดงในรูปที่ 3 การทดสอบโดยให้ฮาร์ดดิสก์ทำงานเป็นปรกติเหมือนการใช้งานทั่วไป หลังจากนั้นใช้อุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือนทางแสง SLDV ตรวจจับการเคลื่อนที่หรือการสั่นสะเทือนที่ผิวด้านบนของหัวอ่าน/เขียนเพียงอย่างเดียว ข้อมูลของการเคลื่อนที่จากการสั่นจะถูกส่งไปยัง Dynamics Signal Analyzer เพื่อที่จะนำไปหาความถี่ธรรมชาติและรูปแบบของการสั่นสะเทือน



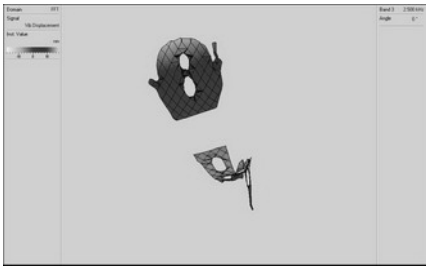
รูปที่ 3 แบบจำลองของหัวอ่าน/เขียนที่นำมาทดสอบ

4. ผลการทดสอบ

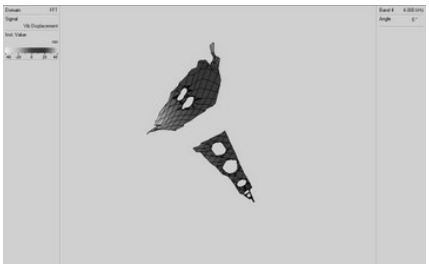
ผลการทดสอบที่ได้จาก SLDV จะอยู่ในรูปความถี่ธรรมชาติและรูปแบบของการสั่นสะเทือนของหัวอ่าน/เขียน (HSA) ในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ผลการทดสอบจาก SLDV ได้เลือกมาทั้งหมด 4 รูปแบบในการสั่นสะเทือนด้วยกัน เพื่อจะเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ในส่วนของรูปแบบการสั่นสะเทือนที่ 1 คือ การเคลื่อนที่ในส่วนของคอยล์ (Coil Bending) ลักษณะจะเป็นการดีดตัวขึ้นลงของคอยล์ ส่วนการเคลื่อนที่ต่อมาเป็นการเคลื่อนที่ในส่วนของแขน (Arm Bending) จะมีลักษณะคล้ายกับรูปแบบแรกจะแตกต่างกันตรงตำแหน่งของการเคลื่อนที่ รูปแบบของการเคลื่อนที่ต่อมาเป็นการเคลื่อนที่บิดไปบิดมาของคอยล์ (Coil Torsion) เป็นการบิดตัวขึ้นลงในส่วนของคอยล์ และรูปแบบสุดท้ายที่จะแสดงคือเป็นการเคลื่อนที่คล้ายรูปถ้วย (Coil Cupping) ดังแสดงในรูปที่ 5 ถึง 8 จากการทดสอบสามารถอธิบายได้ว่าความถี่ธรรมชาติ ที่ได้จากการทดสอบนั้น มีการเคลื่อนที่ในหลายมิติ ลักษณะของการสั่นสะเทือนนั้นก็สามารถบอกได้ว่า ส่วนต่างๆ ของหัวอ่าน/เขียน มีความถี่ของวัสดุที่สามารถตอบสนองต่อการสั่นสะเทือนเมื่อมีแรงมากระทำจากภายนอกมีความถี่เท่าไหร่ ค่าความถี่ของวัสดุหรือความถี่ธรรมชาติ ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 1



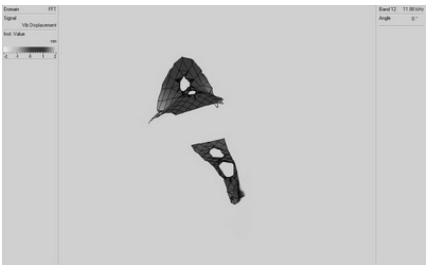
รูปที่ 5 แสดงลักษณะการสั่นสะเทือน Coil Bending



รูปที่ 6 แสดงลักษณะการสั่นสะเทือน Arm Bending



รูปที่ 7 แสดงลักษณะการสั่นสะเทือน Coil Torsion



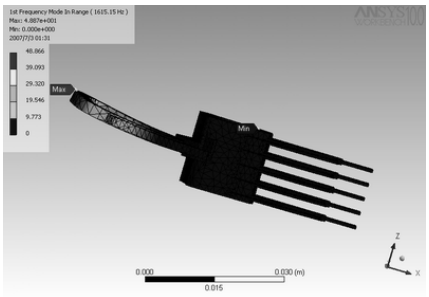
รูปที่ 8 แสดงลักษณะการสั่นสะเทือน Coil Cupping

ตารางที่ 1 ค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากการทดสอบด้วย SLDV

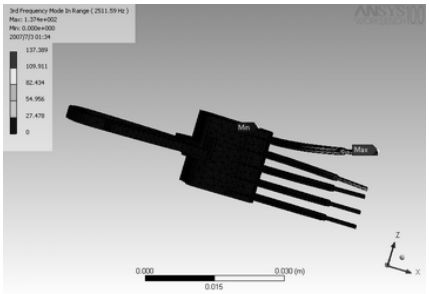
โหมด (Mode)	ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequencies) Hz
1. Coil Bending	1,875
2. Arm Bending	2,500
3. Coil Torsion	6,688
4. Coil Cupping	11,880

5. การวิเคราะห์วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

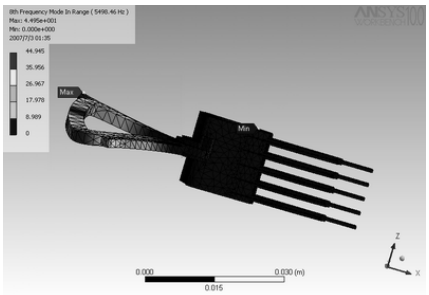
ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นได้กำหนดเงื่อนไขและขอบเขตให้มีความใกล้เคียงกับการทดสอบจริงมากที่สุด เริ่มจากการสร้างแบบจำลองให้เหมือนกับวัตถุที่จะมาทดสอบมากที่สุด หลังจากนั้นเลือกรูปแบบที่จะทำการทดสอบ สำหรับในงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์หาค่าความที่ธรรมชาติ และก็มาถึงขั้นตอนสำคัญคือ การกำหนดเงื่อนไขของขอบเขต เช่น คุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุ การยึดวัตถุ และการกำหนดแรงที่จะมากระตุ้นต่อวัตถุ ผลการทดสอบด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ได้เลือกรูปแบบที่จะมาเปรียบเทียบทั้งหมด 4 รูปแบบด้วยกัน ทั้งนี้การวิเคราะห์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถมีรูปแบบการสั่นสะเทือนได้เป็นอนันต์ แต่จะแสดงเพื่อให้เห็นว่าในความถี่ธรรมชาติที่ใกล้เคียงกันจะต้องมีรูปแบบการสั่นสะเทือนที่เหมือนกันด้วย ดังแสดงไว้ดังรูปที่ 9 ถึง 12 เป็นลักษณะของการเคลื่อนที่ในโหมดที่ 1 คือการเคลื่อนที่ในส่วนของคอยล์ (Coil Torsion) ความถี่ธรรมชาติที่ได้มีค่า 1,615 Hz ดังจะเห็นได้ในรูปที่ 9 ค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้ในโหมดที่ 2 เป็นการเคลื่อนที่ในส่วนของแขน (Arm Bending) ความถี่ธรรมชาติที่ได้มีค่า 2,511 Hz และต่อมาจะเป็นการเคลื่อนที่บิดไปมาของคอยล์ (Coil Torsion) ในโหมดที่ 3 มีค่าความถี่ธรรมชาติ 5,498 Hz และสุดท้ายที่จะแสดงคือเป็นการเคลื่อนที่ไปมาคล้ายกับรูปถ้วยสลับขึ้นลงระหว่างคอยล์กับแขนของหัวอ่าน/เขียนในโหมดที่ 4 ซึ่งความถี่ธรรมชาติที่ได้มีค่า 11,235 Hz จากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถอธิบายได้ว่าค่าความถี่ธรรมชาติและรูปแบบของการสั่นสะเทือนมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองในส่วนที่มีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อยอาจจะมาจากการกำหนดเงื่อนไขของขอบเขตที่มีความผิดพลาด หรืออาจเกิดจากการสร้างแบบจำลองที่ผิดไปจากลักษณะของจริงบ้าง ดังจะเห็นได้จากตารางการเปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากการทดสอบด้วย SLDV กับวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในตารางที่ 2



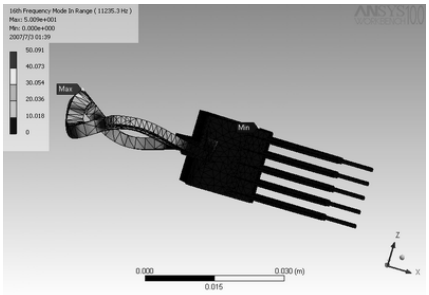
รูปที่ 9 ผลการวิเคราะห์วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในโหมด 1



รูปที่ 10 ผลการวิเคราะห์วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในโหมด 2



รูปที่ 11 ผลการวิเคราะห์วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในโหมด 3



รูปที่ 12 ผลการวิเคราะห์วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในโหมด 4

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากการทดสอบด้วย SLDV กับวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

โหมด (Mode)	ความถี่ธรรมชาติ SLDV (Hz)	ความถี่ธรรมชาติ FEM (Hz)	% ความผิดพลาด
1. Coil Bending	1,875	1,615	13
2. Arm Bending	2,500	2,511	0.5
3. Coil Torsion	6,688	5,498	17
4. Coil Cupping	11,880	11,235	5.4

6. สรุป

จากการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของหัวอ่าน/เขียน (Head Stack Assembly: HSA) ในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (HDD) โดยใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ค่าความถี่ธรรมชาติและรูปแบบของการสั่นสะเทือนที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบโดยการใช้ SLDV ความคลาดเคลื่อนอาจจะมาจากการกำหนดเงื่อนไขของขอบเขตมีความคลาดเคลื่อน หรือเกิดจากการสร้างแบบจำลองที่ผิดไปจากลักษณะของจริงบ้าง ผลจากงานวิจัยนี้สามารถนำแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ไปศึกษาหรือพัฒนารูปแบบที่มีความซับซ้อนมากขึ้นได้ในอนาคต

7.กิตติกรรมประกาศ

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

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. Zambrib, J.HT. 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, กรุงเทพ ฯ, 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