



การสั่นสะเทือนที่มีผลต่อการอ่านเขียนนอกแนวข้อมูลของชุดหัวอ่านเพียโซอิเล็กทริกในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

Effects of vibration on the off-track positioning of the piezoelectric head gimbal assembly in hard disk drive

นิติพันธุ์ วิทยผดุง และ พฤทธิกร สมิตไมตรี*

Nitipan Vittayaphadung and Pruittikorn Smithmaitrie*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา 90112

Received September 2011

Accepted January 2012

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาคุณลักษณะการสั่นสะเทือนของชุดหัวอ่านเพียโซอิเล็กทริกในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และตรวจสอบความถูกต้องโดยเปรียบเทียบกับผลการทดสอบการสั่นสะเทือน เพื่อให้ได้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่มีความแม่นยำ และนำไปศึกษาผลของการสั่นสะเทือนที่มีต่อการอ่านเขียนนอกแนวข้อมูล ทั้งนี้การสั่นพ้องที่โหมดการสั่นแบบบิดและโหมดการสั่นแบบส่ายของชุดหัวอ่าน รสั่นสะเทือน โดยทำการวัดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่ปลายหัวอ่านในแนวระดับ แล้วแสดงผลอยู่ในรูปการตอบสนองเชิงความถี่เทียบกับตำแหน่งฐานของชุดหัวอ่าน จากการศึกษาพบว่า ผลการเปรียบเทียบความถี่ธรรมชาติ และโหมดการสั่นสะเทือนระหว่างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลการทดลองมีความสอดคล้องกัน ทำให้ได้แบบจำลองชุดหัวอ่านเพียโซอิเล็กทริกที่มีความแม่นยำสามารถนำไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างและพัฒนาระบบควบคุม เพื่อลดความผิดพลาดของการอ่าน-เขียนข้อมูลเนื่องจากการส่ายนอกเส้นแนวข้อมูลต่อไป

คำสำคัญ : การสั่นสะเทือน ชุดหัวอ่านเพียโซอิเล็กทริก แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ การทดลอง การตรวจสอบความถูกต้อง

Abstract

The piezoelectric head gimbal assembly was designed to compensate the off-track vibration in a hard disk drive. The off-track vibration caused by the torsion and sway vibration modes induces the

*Corresponding author. Tel.: 074-287-035, 074-287-214; fax: 074-558-830

Email address: spruitti@me.psu.ac.th

read-write error rate. Thus, vibration modes of the piezoelectric head gimbal assembly that may cause the off-track positioning are reported in this work. The vibration characteristic of the piezoelectric head gimbal assembly is studied by using the finite element method. The finite element model is validated by compared with the experimental result. The frequency response function result of the experiment was measured by using the laser doppler vibrometer at the side of the slider in the horizontal plane. The comparison of natural frequencies and vibration mode shapes shows good agreement between the finite element and experimental results. This research provides a procedure and a validated model of the piezoelectric head gimbal assembly which is useful for further design and development of its structure and the control system to reduce the read-write error due to the off-track vibration.

Keywords : Vibrations, Piezoelectric head gimbal assembly, Finite element model, Experiment validation

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นฐานที่ตั้งของอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของผู้ผลิตรายใหญ่ของโลก และฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ยังคงเป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์พื้นฐานที่มีความจำเป็นอยู่ ถึงแม้จะเริ่มมีการนำระบบเก็บข้อมูลแบบโซลิด สเตตไดรฟ์เข้ามาใช้แล้วก็ตาม ทั้งนี้เพราะ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลที่มีความคุ้มค่ามากที่สุด ทั้งด้านความจุ ราคา และความสะดวกในการใช้งาน ซึ่งแนวโน้มในปัจจุบัน ได้มีการเพิ่มความจุและเพิ่มอัตราการเข้าถึงข้อมูลให้มีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น เพื่อรองรับการใช้งานที่หลากหลายและไฟล์ที่มีขนาดใหญ่ เช่น ไฟล์ภาพเคลื่อนไหว ซึ่งปัจจัยที่ช่วยให้เกิดการพัฒนาอุปกรณ์ ได้แก่ การปรับปรุงคุณภาพของสื่อบันทึก หรือ แผ่นดิสก์ (platter) ให้มีความราบเรียบยิ่งขึ้น [1-2] การออกแบบหัวอ่านเขียนแบบแนวตั้ง (perpendicular read/write head) [3-4] การควบคุมตำแหน่งที่มีความแม่นยำ และการควบคุมความเร็วในการอ่าน-เขียนข้อมูล [5-6] เป็นต้น

นอกจากนี้ การสั่นสะเทือนเชิงกลของส่วนประกอบต่างๆ ภายในฮาร์ดดิสก์ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความเร็วในการเข้าถึงข้อมูล เพราะมีส่วน

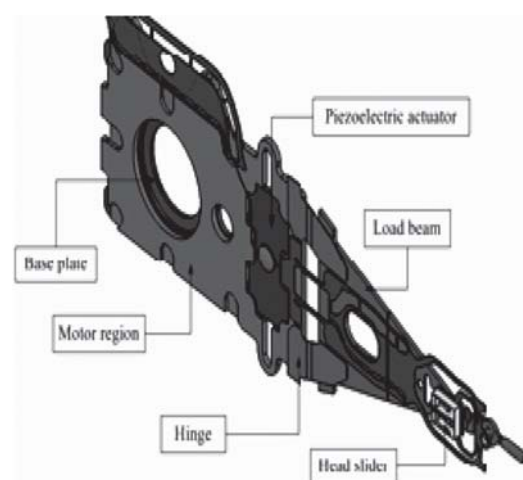
ประกอบที่เกิดการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา ได้แก่ ชุดแขนเลื่อน (actuator arm) และแผ่นดิสก์ หรือแผ่นจานสำหรับบันทึกข้อมูล [7-9] โดยทั่วไปแผ่นจานจะหมุนด้วยความเร็ว 5,400 และ 7,200 รอบต่อนาที (rpm) และมีการเก็บข้อมูลในเส้นแนวข้อมูล (data track) มีลักษณะเป็นแถบวงกลมภายในแผ่นจาน และเรียงต่อกันจนเต็มแผ่น และฮาร์ดดิสก์ที่มีความหนาแน่นของเส้นแนวข้อมูล (track density) สูงถึง 500,000 เส้นแนวข้อมูลต่อนิ้ว (tracks per inch: TPI) จะมีความกว้างของเส้นแนวข้อมูลเพียง 50 nm [10] ทำให้การเคลื่อนที่ของแขนเลื่อนเพื่อนำหัวอ่านเขียนไปยังตำแหน่งที่ต้องการจะต้องมีความแม่นยำ และความรวดเร็ว ซึ่งการใช้มอเตอร์ขดลวด (voice coil motor) เพียงอย่างเดียวนั้นไม่ละเอียดพอ จึงได้มีการออกแบบชุดแขนเลื่อนแบบสองขั้นตอน [11-12] ที่ใช้มอเตอร์ขดลวดสำหรับการเข้าถึงแบบหยาบ และใช้ตัวทำงานเพียโซ อิเล็กทริกสำหรับการเข้าถึงเส้นแนวข้อมูลแบบละเอียด [13-15] และต้องออกแบบระบบควบคุมให้ลดหรือหลีกเลี่ยงการสั่นสะเทือนที่ทำให้เกิดการอ่านเขียนนอกเส้นแนวข้อมูล (off-track vibration) ได้แก่ โหมดการสั่นแบบบิด (torsional vibration mode) และการสั่นแบบสาย

(sway vibration mode) [10-11,16] โดยระบบจะเกิดการสั่นพ้อง (resonance) เมื่อตัวทำงานกระตุ้นที่ความถี่ธรรมชาติซึ่งเป็นคุณลักษณะเฉพาะขึ้นอยู่กับรูปร่าง โครงสร้าง และวัสดุที่ใช้ในการประกอบเป็นชุดแขนเลื่อนแต่ละแบบ [17]

การทดสอบการสั่นสะเทือนทั่วไปสามารถทำได้โดยการติดตั้งเซนเซอร์วัดความเร่ง (accelerometer) ไปยังตำแหน่งที่ต้องการวัด และทำการกระตุ้นให้โครงสร้างเกิดการสั่นสะเทือน [18-19] จากนั้นจึงนำผลที่ได้มาวิเคราะห์การสั่นสะเทือนต่อไป แต่สำหรับชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้นมีขนาดเล็ก จะไม่สะดวกและไม่นิยมติดตั้งเซนเซอร์วัดความเร่งลงบนชิ้นงาน อีกทั้งน้ำหนักของตัวเซนเซอร์เองจะส่งผลให้ความถี่ธรรมชาติที่วัดได้เกิดความคลาดเคลื่อน ในกระบวนการผลิตชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้น จึงใช้ตัววัดความเร็วโดยใช้การสะท้อนของแสงเลเซอร์ (laser doppler vibrometer: LDV) ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังชิ้นงาน ซึ่งไม่ต้องสัมผัสกับชิ้นงาน [5, 10, 13-15, 20-23] และผลที่ได้จากการวัดการสั่นสะเทือนโดยใช้เลเซอร์นี้มีความละเอียด และมีความถูกต้องมากกว่าการใช้เซนเซอร์วัดความเร่ง

รูปที่ 1 แสดงชุดหัวอ่านเพียโซอิเล็กทริกที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ ซึ่งส่วนปลายสุดของชุดหัวอ่านเป็นที่ติดตั้งหัวอ่านเขียนข้อมูลอยู่บนชิ้นส่วนสไลเดอร์ และที่ปลายอีกข้างหนึ่งคือแผ่นฐาน (base plate) สำหรับประกอบกับชุดแขนเลื่อนโดยการยึดที่ตำแหน่งรูของ boss hole โดยที่ชุดหัวอ่านนี้มีตัวทำงานเพียโซอิเล็กทริกติดตั้งในช่องของแผ่นสำหรับวางมอเตอร์เพียโซอิเล็กทริก (motor region) โดยจะมี

แขนจับ (hinge) ต่อไปยัง load beam และสไลเดอร์ต่อไป ชุดหัวอ่านนี้ได้ถูกออกแบบให้ตัวทำงานเพียโซอิเล็กทริกทำการส่ายหัวอ่านเขียนในแนวระนาบได้ทำให้เข้าถึงเส้นแนวข้อมูลได้เร็วขึ้นและรักษาตำแหน่งตามเส้นแนวข้อมูล (track following) ได้ดียิ่งขึ้น งานวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของชุดหัวอ่านเพียโซอิเล็กทริก และเปรียบเทียบกับผลการทดสอบชิ้นงานเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สร้างขึ้น และเมื่อแบบจำลองมีความถูกต้องแม่นยำแล้ว สามารถนำมาศึกษาผลกระทบของการสั่นสะเทือนที่มีต่อการอ่านเขียนนอกแนวข้อมูล และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ ออกแบบ และพัฒนาชุดหัวอ่านเพียโซอิเล็กทริกในรุ่นต่อไปได้อีก ก่อนที่จะทำการสร้างชิ้นงานจริงขึ้นมา



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของชุดหัวอ่านเพียโซอิเล็กทริก

2. การทดสอบการสั่นสะเทือน

ชุดทดสอบการสั่นสะเทือนของชุดหัวอ่านเพียโซอิเล็กทริกแสดงในรูปที่ 2 ประกอบด้วย LDV จำนวน 2 ตัว สำหรับวัดความเร็วที่ตำแหน่งฐานของชุดหัวอ่าน (สัญญาณเข้าช่องที่ 1) และที่ตำแหน่งปลายของชุดหัวอ่าน (สัญญาณเข้าช่องที่ 2) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ (frequency response function: FRF) ของชุดหัวอ่าน เพียโซอิเล็กทริกดังสมการ

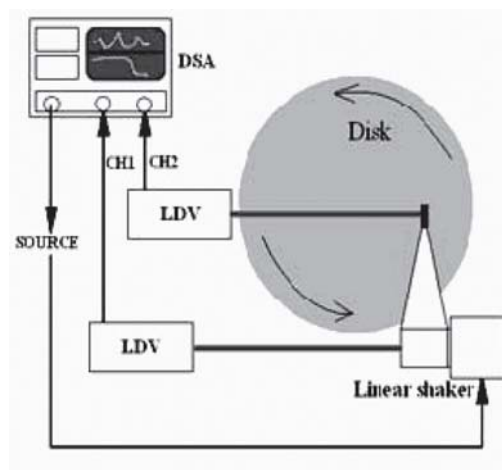
$$FRF(f) = \frac{V_{output}(f)}{V_{input}(f)} \quad (1)$$

เมื่อ FRF คือผลตอบสนองเชิงความถี่ V_{output} คือความเร็วที่ตำแหน่งปลายของชุดหัวอ่าน และ V_{input} คือความเร็วที่ตำแหน่งฐาน [24] ขนาดของการสั่นสะเทือน (magnitude) ในหน่วยเดซิเบล (dB) เป็นไปตามสมการ

$$Magnitude \text{ (dB)} = 20 \log_{10} \left(\frac{V_{output}}{V_{input}} \right) \quad (2)$$

ชุดทดสอบประกอบด้วยเครื่องมือวิเคราะห์สัญญาณ (dynamics signal analyzer: DSA) ซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่รับสัญญาณจาก LDV ทั้งสองช่องสัญญาณแล้วยังทำหน้าที่ส่งสัญญาณกระตุ้นการสั่นสะเทือนไปที่ฐานชุดหัวอ่านผ่านมอเตอร์เชิงเส้นที่เรียกว่า shaker การศึกษาการสั่นสะเทือนที่ทำให้เกิดการสั่นนอกเส้นแนวข้อมูลนั้น จะต้องทำการกระตุ้นการสั่นสะเทือนของฐานชุดหัวอ่านในแนวระนาบในช่วงความถี่ตั้งแต่ 0.5-30 kHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ทำงานของมอเตอร์ขดลวด [10, 14-15]

ชุดทดสอบใช้แผ่นจานหมุนมาตรฐานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาด 3.5 นิ้ว และกำหนดให้แผ่นจานหมุนที่ความเร็ว 7,200 รอบต่อนาที เช่นเดียวกับการทำงานจริงของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ลำแสงเลเซอร์ LDV ของช่องสัญญาณที่ 2 ขึ้นไปที่ตำแหน่งด้านข้างของสไลเดอร์เพื่อวัดผลตอบสนองเชิงความถี่จากความเร็วของการสั่นสะเทือนที่ปลายหัวอ่านเทียบกับความเร็วของการกระตุ้นที่ฐานของชุดหัวอ่านจากช่องสัญญาณที่ 1 เมื่อนำสัญญาณที่วัดได้ไปวิเคราะห์โดยการกรองผลของการสั่นสะเทือนในแนวระนาบที่เกิดจากแรงลม (windage) อันเนื่องมาจากการหมุนของแผ่นจานออกไปแล้วนั้น จะทราบความถี่ธรรมชาติและโหมดการสั่นสะเทือนที่ทำให้เกิดการอ่านเขียนนอกเส้นแนวข้อมูลของชุดหัวอ่านเพียโซอิเล็กทริก ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อผลการทดลองต่อไป

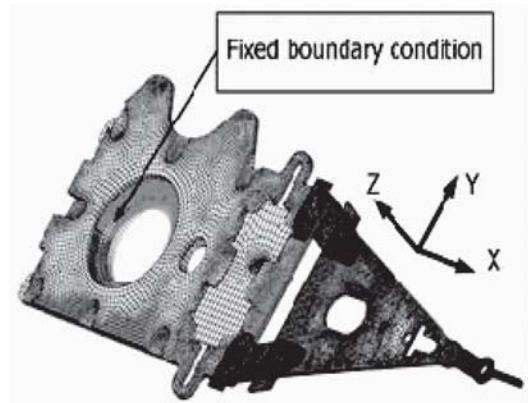


รูปที่ 2 ชุดทดสอบการสั่นสะเทือนของชุดหัวอ่านเพียโซอิเล็กทริก

3. แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์และการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน

แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของระบบชุดหัวอ่านเพียโซอิเล็กทริกประกอบจากเอลิเมนต์ทรงเหลี่ยมหกหน้าที่มี 8 โหนดต่อหนึ่งเอลิเมนต์ (8-node hexahedron element) โดยสร้างเอลิเมนต์แยกตามส่วนประกอบดังรูปที่ 1 จากนั้นจึงนำมาประกอบเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 3 มีจำนวนทั้งหมด 46,550 เอลิเมนต์ และทำการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนแบบอิสระ (free vibration analysis) และการสั่นสะเทือนแบบฮาร์โมนิก (harmonic analysis) โดยใช้โปรแกรม MSC.Marc 2007 r1 เพื่อวิเคราะห์ความถี่ธรรมชาติและโหมดการสั่นสะเทือนของระบบ ชนิดของเอลิเมนต์ที่ใช้แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ วัสดุเพียโซอิเล็กทริกใช้เอลิเมนต์ชนิด 3D piezoelectric arbitrary distorted brick (element type 163) แต่ละโหนดมี 4 DOF ได้แก่การกระจัดในสามมิติ และความต่างศักย์ไฟฟ้า สำหรับเอลิเมนต์ที่เหลือซึ่งเป็นวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม และ สไลเดอร์นั้นใช้เอลิเมนต์ชนิด 3D 8-node solid shell (element type 185) แต่ละโหนดมี 3 DOF ได้แก่ การกระจัดในสามมิติ ซึ่งเอลิเมนต์ชนิดนี้ให้ผลการวิเคราะห์การโก่ง และแรงเฉือนที่เกิดจากการโก่งได้ดีกว่า shell element สำหรับ contact analysis และยังสามารถลดระยะเวลาในการวิเคราะห์อีกด้วย โดยที่การประกอบชิ้นส่วนแต่ละชิ้นเข้าด้วยกันนั้น กำหนดให้ติดกันแบบสมบูรณ์ (perfect bonding) โดยกำหนดให้พื้นที่สัมผัสเป็นรูปวงกลมมีขนาดรัศมีเท่ากับพื้นที่รอยเชื่อมแบบจุดที่ชิ้นงานจริงถูกยึดเข้าด้วยกัน ทั้งนี้สมบัติเชิงกลของวัสดุกำหนดตามตารางที่ 1 ได้แก่ แผ่นฐานของชุดหัวอ่าน แผ่นสำหรับวางตัวทำงาน วัสดุเพียโซอิเล็กทริก แขนจับ load beam ซึ่งขึ้นรูปจากเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless

steel 304) และสไลเดอร์ [5, 25] ซึ่งขึ้นรูปจากวัสดุผสมอลูมิเนียมไททาเนียมคาร์ไบด์ ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$) การกำหนดเงื่อนไขขอบ (boundary condition) ของการวิเคราะห์ คือ ตรึงการเคลื่อนที่ของโหนดที่อยู่บริเวณด้านในของรู boss hole ของแผ่นฐาน ดังรูปที่ 3 เช่นเดียวกับการจับยึดแผ่นฐานของชุดหัวอ่านไว้กับมอเตอร์เชิงเส้นของชุดทดสอบ ดังรูปที่ 2 แล้วจึงทำการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนแบบอิสระ โดยเลือกช่วงความถี่ตั้งแต่ 0.5 kHz ถึง 30 kHz เช่นเดียวกับการทดสอบจริง เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับโหมดการสั่นสะเทือนและความถี่ธรรมชาติ โดยที่ผลของตัวหน่วงทางโครงสร้าง (structure damper) นั้นไม่ได้นำมาพิจารณาเนื่องจากในทางทฤษฎีไม่มีผลต่อโหมดการสั่นสะเทือนและความถี่ธรรมชาติ อีกทั้งชุดหัวอ่าน เพียโซอิเล็กทริกที่ทำการศึกษานี้เป็นชิ้นงานประกอบจึงไม่สามารถคำนวณตัวหน่วงทางโครงสร้างได้โดยตรงจากผลตอบสนองเชิงความถี่ที่ได้จากการทดสอบ จะต้องใช้วิธีการแทนค่าตัวหน่วงของแต่ละชิ้นส่วน เพื่อให้ได้ผลการตอบสนองรวมของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใกล้เคียงกับผลตอบสนองรวมของชิ้นงานจริง



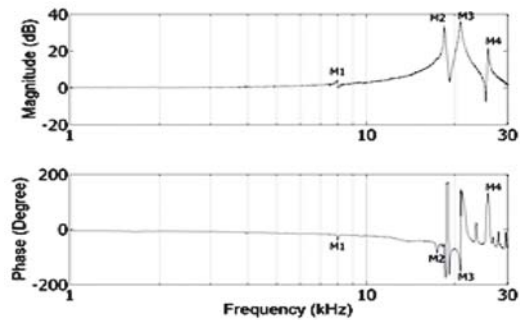
รูปที่ 3 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของชุดหัวอ่านเพียโซอิเล็กทริก

ตารางที่ 1 สมบัติเชิงกลของวัสดุในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

	Elastic modulus (GPa)	Poisson ratio	Density (kg/m ³)
SST-304	160	0.28	7,930
Al ₂ O ₃ -TiC	393	0.23	4,222
PZT	64	0.31	7,850

4. ผลการทดลองและระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ผลตอบสนองเชิงความถี่ของชุดหัวอ่านเพียโซอิเล็กทริก ที่ได้จากการทดลองแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งมีจุดยอดของกราฟเกิดขึ้นจำนวน 4 จุดยอด ได้แก่ จุดยอด M1 ที่ความถี่ 7.98 kHz จุดยอด M2 ที่ความถี่ 17.2 kHz จุดยอด M3 ที่ความถี่ 20.9 kHz และจุดยอด M4 ที่ความถี่ 25.6 kHz ซึ่งจุดยอดทั้ง 4 ดังกล่าวนั้นเป็นความถี่ธรรมชาติของการสั่นในแนวระนาบที่ทำให้เกิดการอ่านเขียนนอกเส้นแนวข้อมูล โดยที่โหมดการสั่นสามารถวิเคราะห์ได้จากมุมเฟส (phase) ซึ่งในทางทฤษฎี [21] พบว่าการสั่นสะเทือนแบบบิดนั้นจะมีมุมเฟสอยู่ที่ 0 หรือ 360 องศา และการสั่นสะเทือนแบบการส่ายนั้นจะมีมุมเฟสอยู่ที่ -180 หรือ +180 องศา ดังนั้นจากมุมเฟสในรูปที่ 4 พบว่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นทั้ง 4 จุดยอดนั้น เป็นโหมดการสั่นสะเทือนแบบรวมโหมด (coupling mode) เนื่องจากที่ความถี่ M1 และ M2 มีมุมเฟสเท่ากับ -24.7 และ -74.9 องศา ตามลำดับ ซึ่งจะเป็นโหมดการสั่นสะเทือนที่ใกล้เคียงกับการสั่นแบบบิด (torsional vibration) ส่วนที่ความถี่ M3 และ M4 นั้นมีมุมเฟสเท่ากับ -151.1 และ +126.1 องศาตามลำดับ ซึ่งจะใกล้เคียงโหมดการสั่นสะเทือนแบบส่าย นอกจากนี้ขนาดของจุดยอด (magnitude) ของ M2 M3 และ M4 ซึ่งมีขนาดสูงกว่าจุดยอด M1 แสดงให้เห็นว่าการสั่นสะเทือนแบบ บิดที่ 1 นั้นส่งผลกระทบต่อ



รูปที่ 4 ผลการทดสอบการสั่นสะเทือนของชุดหัวอ่านเพียโซอิเล็กทริก

นอกจากนี้ การวิเคราะห์จุดยอดและรูปแบบการสั่นสะเทือนด้วยมุมเฟสจากการวัดในแนวระนาบ มีความสอดคล้องกับผลการตรวจสอบจุดยอดของการสั่นสะเทือนและจำแนกรูปแบบการสั่นสะเทือนด้วยการวัดในแนวตั้งฉาก แต่ไม่ได้รายงานผลการตรวจสอบความถูกต้องในบทความนี้ เนื่องจากจุดประสงค์หลักของชุดหัวอ่านนี้ได้ออกแบบให้ตัวทำงานเพียโซอิเล็กทริกสามารถควบคุมการขยับของสไลเดอร์ เพื่อป้องกันการสั่นในแนวส่าย (sway) ในแนวระนาบ จึงทำการนำเสนอเฉพาะผลการศึกษากการสั่นสะเทือนในแนวระนาบที่ส่งผลให้เกิดการอ่านเขียนนอกเส้นแนวข้อมูล

รูปที่ 5 แสดงโหมดการสั่นสะเทือนและธรรมชาติของชุดหัวอ่านเพียโซอิเล็กทริกจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ เมื่อวิเคราะห์รูปแบบการสั่นสะเทือนที่ทำให้เกิดการอ่านเขียนนอกเส้นแนวข้อมูลพบว่า M1 และ M2 เป็นการสั่นสะเทือนแบบบิด และ M3 และ M4 เป็นการสั่นสะเทือนแบบส่าย ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการทดลองกับผลที่ได้จากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่า มีความคลาดเคลื่อนของความถี่ธรรมชาติของโหมดการสั่นสะเทือนที่ทำให้เกิดการอ่านเขียนนอกเส้นแนวข้อมูลน้อยกว่า 10%



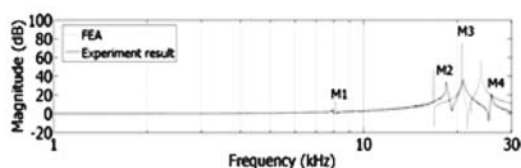
รูปที่ 5 โหมดการสั่นสะเทือนที่ทำให้เกิดการอ่านเขียนนอกเส้นแนวข้อมูล

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบความถี่ธรรมชาติ และ โหมดการสั่นสะเทือนที่ทำให้เกิดการอ่านเขียนนอกเส้นแนวข้อมูล

โหมดการสั่นสะเทือน	ความถี่ธรรมชาติ		ความคลาดเคลื่อน (%)
	(kHz)		
	ผลการทดลอง	FEA	
การสั่นแบบการบิดที่ 1 (M1)	7.98	7.92	-0.75
การสั่นแบบการบิดที่ 2 (M2)	17.2	16.6	-3.49
การสั่นแบบการส่ายที่ 1 (M3)	20.9	20.4	-2.39
การสั่นแบบการส่ายที่ 2 (M4)	25.6	23.4	-8.59

รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบสนองเชิงความถี่จากการทดสอบเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่า ความถี่ธรรมชาติของโหมดการสั่นสะเทือนมีความใกล้เคียงกัน และผลการตอบสนองที่ความถี่ต่ำมีขนาดของจุดยอดใกล้เคียงกัน แต่ผลการตอบสนองของระบบที่ความถี่สูงมีความแตกต่างกันอยู่บ้าง ซึ่งความคลาดเคลื่อนนี้อาจเกิดจากการสร้างแบบจำลองที่เน้นการศึกษาเฉพาะโครงสร้างส่วนประกอบหลักและการวิเคราะห์แบบ contact analysis ของชุดหัวอ่านเพียโซอิเล็กทริก โดยลดความซับซ้อนของแบบจำลองในส่วนของการประสานระหว่างชิ้นงานและชิ้นส่วนของสายสัญญาณที่มีวัสดุต่างชนิดกันหลายชั้นลง

อย่างไรก็ตามแบบจำลองที่ได้ยังคงมีความถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้และสามารถนำไปใช้วิเคราะห์และออกแบบชุดหัวอ่านเพียโซอิเล็กทริกในรูปแบบอื่นๆ ได้ต่อไป



รูปที่ 6 ผลตอบสนองเชิงความถี่จากการทดสอบเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ไฟไนต์ เอลิเมนต์

5. บทสรุป

จากการศึกษาสันสะท้อนของชุดหัวอ่านเพียโซอิเล็กทริก พบว่า การกระตุ้นที่ความถี่ที่ตรงกับความถี่ธรรมชาตินั้นจะทำให้เกิดการสั่นพ้องของชุดหัวอ่าน และ โหมดการสั่นสะท้อนแบบบิดและการสั่นสะท้อนแบบสาย ส่งผลให้เกิดการอ่านเขียนนอกเส้นแนวข้อมูลได้ ทั้งนี้ โหมดการสั่นสะท้อนแบบสายมีผลต่อความผิดพลาดในการอ่านเขียนนอกเส้นแนวข้อมูลมากกว่าการสั่นแบบบิด จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์และผลการทดลองในช่วงความถี่ทำงานของมอเตอร์ขดลวด พบว่า โหมดการสั่นสะท้อนและความถี่ธรรมชาตินั้นมีความใกล้เคียงกัน ดังนั้น ในการออกแบบโครงสร้างของชุดหัวอ่านเพียโซอิเล็กทริก ควรปรับให้ความถี่ธรรมชาติของการสั่นสะท้อนแบบสายอยู่นอกช่วงความถี่ทำงานของมอเตอร์ขดลวด หรือออกแบบระบบควบคุมตัวทำงานเพียโซ อิเล็กทริกให้สามารถลดผลของการสั่นสะท้อนแบบสายที่จะทำให้เกิดการอ่านเขียนข้อมูลผิดพลาดได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย

ขอนแก่น (CPN-HR 13-04-51 M) คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด ที่เอื้อเฟื้อชุดทดสอบ สถานที่ ค่าปรึกษา และข้อมูลสนับสนุน การวิจัย ขอขอบคุณโครงการจัดตั้งศูนย์กริด มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (PSU Grid Center) สำหรับการประมวลผลโดยใช้คอมพิวเตอร์สมรรถนะสูง และทุนสนับสนุนที่มวิจัยสมาร์ท-เมคาทรอนิกส์ จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Honchi M, Kohira H, Matsumoto M. Numerical simulation of slider dynamics during slider-disk contact. Tribology International. 2003; 36: 235-240.
- [2] Hua W, Liu B, Yu S, Zhou W. Nanoscale roughness contact in a slider-disk interface. Nanotechnology. 2009; 20: 1-7.
- [3] Tanaka Y. Recording performance and system integration of perpendicular magnetic recording. Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2005; 287: 468-474.
- [4] Kanai Y, Yamakawa, K. Narrow-track perpendicular write heads. Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2009; 321: 518-525.
- [5] Zhou L, Beck M, Gatzen HH, Altshuler KJ, Talke FE. Slider vibration reduction using slider surface texture. Microsystem Technologies. 2005; 11: 857-866.
- [6] Al-Mamun A, Guo GX, Bi C. Hard disk drive: mechatronics and control. Florida: CRC Press; 2006.

- [7] Yap FF, Vahdati N, Harmoko H. Design and analysis of vibration of isolation systems for hard disk drives. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2006; 303: 52-56.
- [8] Feliss B, Murthy AN, Talke FE. Microdrive operational and non-operational shock and vibration testing. *Microsystem Technologies*. 2007; 13: 1015-1021.
- [9] Pinheiro E, Weber WD, Barroso LA. Failure trends in a large disk drive population. In: *Proceeding of the 5th USENIX Conference on File and Storage Technologies*; 2007 February 13-16; California, USA; 2007. p. 17-29.
- [10] Huang X, Horowitz R, Li Y. Track-following control with active vibration damping and compensation of a dual-stage servo system. *Microsystems Technology*. 2005; 11: 1276-1286.
- [11] Soeno Y, Ichikawa S, Tsuna T, Sato Y, Sato I. Piezoelectric piggy-back microactuator for hard disk drive. *IEEE transactions on magnetics*. 1999; 35: 983-987.
- [12] Suzuki K, Kurita M. Active-head sliders for flying-height adjustment in magnetic storage. In: *Proceeding of the 17th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems*; 2004 January 25-26; Maastricht, Netherlands. p. 865-868.
- [13] Peng K, Chen BM, Lee TH. Design and implementation of a dual-stage actuated HDD servo system via composite nonlinear control approach. *Mechatronics*. 2004; 14: 965-988.
- [14] Zhong ZW, Sun J. A suspension integrated with a piezoelectric microactuator for dual stage actuation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2004; 24: 686-692.
- [15] Horowitz R, Li Y, Oldham K, Kon S, Huang X. Dual-stage servo systems and vibration compensation in computer hard disk drives. *Control Engineering Practice*. 2007; 15: 291-305.
- [16] Jiang L, Miles RN. A passive damper for the vibration modes of the head actuator in hard disk drives. *Journal of Sound and Vibration*. 1999; 220: 683-694.
- [17] Jang E, Chang J. Overwrite performance change due to air-flow induced vibration of head stack assembly. *IEEE transactions on magnetics*. 2008; 44: 3734-3737.
- [18] Allen AM, Bogy DB. Effects of shock on the head-disk interface. *IEEE Transactions on Magnetics*. 1996; 32: 3717-3719.
- [19] Oboe R. MEMS-based accelerometers use in hard disk drives. *Microsystem Technologies*. 2002; 8: 174-181.
- [20] 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 (In Thai).
- [21] Kilian S, Zander U, Talke FE. Suspension modeling and optimization using finite element analysis. *Tribology International*. 2003; 36: 317-324.

- [22] Murthy AN, Feliss B, Gillis D, Talke FE. Experimental and numerical investigation of shock response in 3.5 and 2.5 in. form factor hard disk drives. *Microsystem Technologies*. 2006; 12: 1109-1116.
- [23] Kon S, Horowitz R. A high-resolution MEMS piezoelectric strain sensor for structural vibration detection. *IEEE Sensors Journal*. 2008; 8: 2027-2035.
- [24] International Disk Drive Equipment and Materials Association. H17-04: FRF & windage standard definitions document. IDEMA Standards 2004 [cited 2010 Oct]. Available from: URL : http://www.idema.org/?page_id=109.
- [25] Juang JY, Ambekar RP, Bogy DB, and Bhatia CS. Fabrication and experimental study of Al₂O₃-TiC sliders with piezoelectric nanoactuators for flying height control. *Microsystem Technologies*. 2007; 13: 751-757.