

ผลกระทบที่เกิดจากแรงกระตุ้นภายในฮาร์ดดิสก์ต่อการสั่นสะเทือนของหัวอ่าน

EFFECT OF VARIOUS INTERNAL EXCITATIONS ON VIBRATION IN HDD HEAD STACK ASSEMBLY

ก่อกศักดิ์ อาชาวาร

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
นักศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
E-mail : khosak.ac@spu.ac.th

ธีระ เจียรศิริพงษ์กุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
E-mail : jthira@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือการศึกษาผลของแรงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในฮาร์ดดิสก์ที่มีต่อการสั่นสะเทือนของแขนยึดหัวอ่าน ซึ่งในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์จะพิจารณาว่าการสั่นสะเทือนในแขนยึดหัวอ่านเป็นตัวแปรสำคัญที่ต้องควบคุม เนื่องจากการสั่นสะเทือนของแขนยึดหัวอ่านเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งส่งผลต่อสมรรถนะและอายุการใช้งานของฮาร์ดดิสก์ งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ธรรมชาติของแขนยึดหัวอ่านและแรงกระตุ้นภายในที่เกิดขึ้นในฮาร์ดดิสก์ คือ การกระตุ้นจากรอยขีดข่วนมอเตอร์ และการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการหมุนของดิสก์โดยทำการวัดการสั่นสะเทือนของแขนยึดหัวอ่านในเงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยใช้เครื่องมือสแกนนิ่งเลเซอร์ดอปเพลอไวโบรมิเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการวัด ซึ่งผลการวัดแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการสั่นพ้องและการกระตุ้นที่เป็นผลจากการหมุนของดิสก์ที่ความถี่ 1.25 kHz และ 4.75 kHz และพบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของโหมดการสั่นสะเทือนในช่วง 8-10 kHz ในทุกเงื่อนไขของการทดลอง ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองนี้จะสามารถเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ในการพัฒนากระบวนการวิเคราะห์การสั่นพ้องและการออกแบบผลิตภัณฑ์ต่อไป

คำสำคัญ : ฮาร์ดดิสก์ แขนยึดหัวอ่าน การสั่นสะเทือน ความถี่ธรรมชาติ

ABSTRACT

The relationships between the vibration in the Head Stack Assembly (HSA) of the Hard Disk Drive and its internal excitations have been investigated. Since the vibration in HSA directly relates to the performance and the durability of HDD, the manufacturer considers the vibration in the HSA as an important controlled parameter. The experiment focuses on the various excitation, e.g. Voice Coil Motor (VCM) excitation, and disk spinning. The vibration has been measured under different conditions using Scanning Laser Doppler Vibrometer (SLDV). The result shows the outstanding relationship between the vibration of HSA and the effect from disk spinning at 1.25 kHz and 4.75 kHz

only. The modal frequencies between 8-10 kHz are shifted in each experimental condition. The experiment results are useful information for development of resonance analysis method and product design.

KEYWORDS : HDD, Actuator Arm, Vibration, Natural Frequency

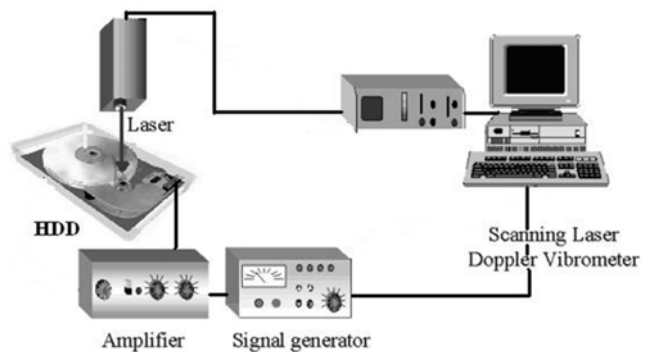
1. บทนำ

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีด้านอุปกรณ์บันทึกข้อมูลพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ควบคู่ไปกับเทคโนโลยีอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์ ส่งผลให้อุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์เติบโตอย่างรวดเร็วและมีการใช้เทคโนโลยีที่มีความทันสมัยในด้านต่างๆ ในการปรับปรุงและพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพสูงและมีความทนทานมากขึ้นเพื่อให้สามารถแข่งขันกับนวัตกรรมด้านการเก็บข้อมูลด้วยอุปกรณ์ชนิดอื่นๆ ได้ และด้วยเหตุผลด้านการตลาดนี้เองทำให้ผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์จำเป็นต้องพัฒนาฮาร์ดดิสก์รุ่นใหม่ออกสู่ตลาดอย่างต่อเนื่อง โดยมีเงื่อนไขที่สำคัญคือความต้องการของลูกค้าที่ต้องการฮาร์ดดิสก์ที่มีความจุมากขึ้น มีความเร็วในการเข้าถึงข้อมูลสูงขึ้น มีความเชื่อถือได้สูง

เพื่อให้เกิดการพัฒนานวัตกรรมที่มีคุณภาพสูง จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมคุณภาพในทุกกระบวนการที่เกี่ยวข้องอย่างเข้มงวด ตัวแปรควบคุมจำนวนมากถูกกำหนดขึ้นเพื่อให้แน่ใจว่าเมื่ออุปกรณ์ทุกชิ้นประกอบเข้าด้วยกันแล้วจะได้เป็นฮาร์ดดิสก์ที่มีคุณภาพ นอกจากนี้ยังมีความพยายามในการเพิ่มสมรรถนะในการทำงานของฮาร์ดดิสก์โดยการเร่งความเร็วในการเข้าถึงข้อมูลด้วยวิธีการต่างๆ เช่น เพิ่มความหนาแน่นของข้อมูลในดิสก์ เพิ่มความเร็วรอบของการหมุนดิสก์ การลดช่องว่างระหว่างหัวอ่านและดิสก์ ส่งผลให้การควบคุมการสั่นสะเทือนในฮาร์ดดิสก์มีความสำคัญมากโดยเฉพาะการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในแขนยึดหัวอ่านซึ่งส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการทำงาน โดยจำเป็นต้องควบคุมการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นให้อยู่ในระดับที่ไม่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการอ่านข้อมูลหรือเกิดความเสียหายต่อตัวดิสก์และตัวหัวอ่านเอง การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในแขนยึดหัวอ่านจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในทิศทางต่างๆ คือ การเคลื่อนที่ในแนวระนาบของดิสก์ซึ่งสามารถส่งผลให้เกิดการอ่านข้อมูลผิดพลาดได้ และการเคลื่อนที่ในทิศทางตั้งฉากกับดิสก์ซึ่งอาจรุนแรงถึงขั้นทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างหัวอ่าน

และดิสก์ ในกรณีของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับระนาบของดิสก์จนกระทั่งเกิดการสัมผัสกันระหว่างหัวอ่านและดิสก์แม้จะเกิดขึ้นได้ยากแต่ก็ไม่อาจละเลยได้เนื่องจากหากเกิดการสัมผัสแม้เพียงเล็กน้อยก็อาจส่งผลให้ข้อมูลสูญหายหรืออ่านข้อมูลไม่ได้ซึ่งข้อมูลอาจมีมูลค่าสูงกว่าฮาร์ดดิสก์ ดังนั้นผู้ผลิตและนักวิจัยจึงให้ความสนใจกับการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการสั่นสะเทือนในฮาร์ดดิสก์

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสั่นสะเทือนในฮาร์ดดิสก์พบว่ามีงานวิจัยที่ให้ความสำคัญต่อการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในชิ้นส่วนต่างๆ ของฮาร์ดดิสก์ที่ส่งผลต่อการสั่นสะเทือนของแขนยึดหัวอ่าน เช่น Ampaipipatgul P. et al. (2007) ได้ทำการศึกษาการสั่นสะเทือนในพิวอตแบริง (Pivot Bearing) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยส่งผลต่อการสั่นสะเทือนของแขนยึดหัวอ่าน Phonpai T. และ Jearsiripongkul T. (2007) ได้ทำการศึกษาการสั่นสะเทือนของแขนยึดหัวอ่านโดยใช้ SLDV และด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์พบว่า แม้วิธีไฟไนท์เอลิเมนต์จะสามารถวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในแขนยึดหัวอ่านได้แต่ยังมีข้อจำกัดหลายประการส่งผลต่อความแม่นยำของผลการวิเคราะห์แขนยึดหัวอ่านด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ R. Ogawa et al. (2002)



รูปที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

นำเสนอแนวทางวัดและการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเพื่อหาสาเหตุของการสั่นพ้องที่เกิดขึ้นในแขนยึดหัวอ่าน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำผลงานวิจัยไปใช้ในการพัฒนากระบวนการออกแบบและทดสอบฮาร์ดดิสก์ต่อไป นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่มุ่งศึกษาการสั่นสะเทือนในแขนยึดหัวอ่านโดยตรงที่ได้รับการขึ้นทะเบียนสิทธิบัตร เช่น Walter L. Prater (2002) ทำการศึกษาวัสดุสำหรับใช้ผลิต Tolerance Ring โดยได้นำเสนอวัสดุที่มีคุณสมบัติสามารถลดการสั่นสะเทือนในแขนยึดหัวอ่านได้ Nils E. Larson (1998) ศึกษาการพัฒนาไพวอตแบริงที่สามารถลดการสั่นสะเทือนในแขนยึดหัวอ่าน John Robert Edwards et al. (1997) ทำการศึกษากระบวนการประกอบไพวอตแบริงโดยใช้วัสดุที่มีความยืดหยุ่นเป็นส่วนประกอบ พบว่าสามารถลดการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในหัวอ่านได้ T. Jintanawan. et al. (2004) ได้ศึกษาผลของการใช้แบริงแบบไฮโดรไดนามิกในสปินเดิลมอเตอร์ที่มีต่อการสั่นสะเทือนของดิสก์ และนอกจากนั้นยังมีนักวิจัยที่ได้ศึกษาการสั่นสะเทือนในฮาร์ดดิสก์ด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ เช่น L.M. Xu. และ N. Guo. (2003) J. Lue et al. (2006) F. Gao. et al. (2005) L.M. Xu และ N. Gao. (2003)

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษากการสั่นสะเทือนในแขนยึดหัวอ่านที่เป็นผลมาจากแรงกระตุ้นภายในฮาร์ดดิสก์สองอย่าง คือแรงกระตุ้นที่เกิดจากการใช้งานวอยซ์คอยล์มอเตอร์ และแรงกระตุ้นที่เกิดจากการหมุนของแผ่นดิสก์

2. การทดลอง

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองที่ได้แสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วยฮาร์ดดิสก์ (HDD) ใช้เป็นชิ้นงานเพื่อการทดสอบ โดยฮาร์ดดิสก์นี้จะถูกดัดแปลงโดยเปิดฝาครอบออกเพื่อให้สามารถทำการวัดการสั่นสะเทือนที่หัวอ่าน และจะถูกดัดแปลงเพิ่มเติมอีกตามเงื่อนไขในการทดลอง ฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นฮาร์ดดิสก์ที่มีดิสก์หลายชั้น ทำการกระตุ้นให้เกิดการสั่นสะเทือนโดยใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ PSV-S-SIG-M Internal Signal Generator สร้างสัญญาณแบบฟังก์ชันคาบ (Periodic Function) ในช่วงความถี่ 0-25 kHz ซึ่งครอบคลุมความถี่ที่ผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ใช้ทดสอบชุดหัวอ่านในกระบวนการควบคุมคุณภาพ ในการกระตุ้นเป็นการกระตุ้นแบบ Forcing Function คือทำให้เกิดการสั่นสะเทือนอย่างต่อเนื่องใน

วอยซ์คอยล์มอเตอร์ และวัดการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในชุดหัวอ่านโดยใช้เครื่องสแกนนิ่งเลเซอร์ทรอปเพลอวโบริมอเตอร์ (SLDV) รุ่น PSV400 ร่วมกับวโบริมอเตอร์คอนโทรลเลอร์ OFV-5000 และ VD-02 ผลิตโดยบริษัท Polytec GmbH ซึ่งสามารถวัดการสั่นสะเทือนที่ความถี่สูงสุด 1.5 MHz โดยทำการวัดการเคลื่อนที่ของระนาบบนสุดของแขนยึดหัวอ่านขณะที่ยังมีภาระกระตุ้นวอยซ์คอยล์อย่างต่อเนื่อง

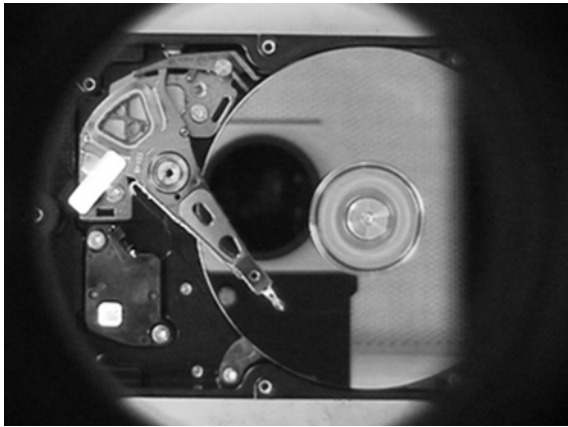
2.2 เงื่อนไขในการทดลอง

ทำการทดลองบนพื้นฐานของสมมติฐานว่าโหมดการสั่นสะเทือน แต่ละโหมดในชุดหัวอ่านมีสาเหตุจากแรงกระตุ้นที่ต่างกัน โดยออกแบ่งการทดลองออกเป็นสี่กรณีดังนี้ การทดลองที่หนึ่งเป็นการทดลองที่ออกแบบใหม่แรงที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่คล้ายการทำงานจริง คือ กำหนดให้ดิสก์หมุนด้วยความเร็ว 7,200 รอบต่อนาทีเท่ากับการใช้งานตามปกติของฮาร์ดดิสก์รุ่นที่ใช้ในการทดลอง และทำการกระตุ้นวอยซ์คอยล์มอเตอร์โดยสัญญาณที่สร้างจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ

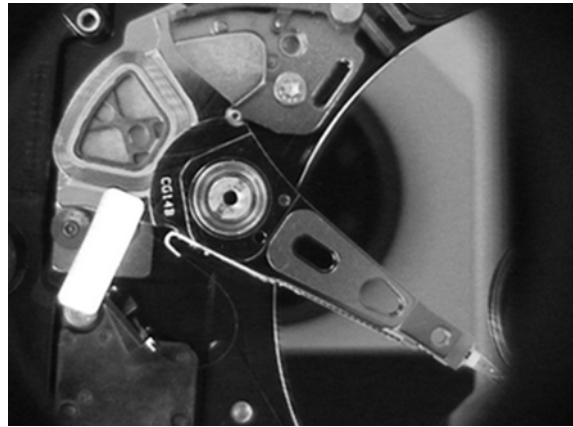
การทดลองที่สองเป็นการหาโหมดการสั่นสะเทือนที่เป็นผลของแรงกระตุ้นที่เกิดจากการหมุนของดิสก์ ทำการทดลองโดยวัดการสั่นสะเทือนในชุดหัวอ่านที่ไม่ทำการกระตุ้นวอยซ์คอยล์มอเตอร์ แต่ปล่อยให้ดิสก์หมุนด้วยความเร็ว 7,200 รอบต่อนาที ซึ่งจะใช้การติดตั้งอุปกรณ์ทุกอย่างเหมือนกับการทดลองที่หนึ่ง

การทดลองที่สามเป็นการวัดการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการกระตุ้นวอยซ์คอยล์ด้วยความถี่เท่ากับการทดลองที่หนึ่งแต่สั่งให้ดิสก์ไม่หมุนเพื่อศึกษาผลของการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการกระตุ้นวอยซ์คอยล์มอเตอร์ อย่างไรก็ตามการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดสอบภายใต้เงื่อนไขของการทดลองที่สามนี้มีเงื่อนไขเฉพาะอย่างหนึ่งคือตำแหน่งของชุดหัวอ่านที่จะต้องหยุด ณ ตำแหน่งด้านในสุดเท่านั้น โดยเป็นผลมาจากระยะยกตัวของหัวอ่านซึ่งโดยปกติหัวอ่าน จะยกตัวขึ้นเล็กน้อยด้วยหลักการอากาศพลศาสตร์ขณะที่ดิสก์หมุน แต่ในกรณีนี้ดิสก์ไม่หมุนจึงจะต้องเลื่อนชุดหัวอ่านให้ไปอยู่เหนือบริเวณดังกล่าวเพื่อป้องกันไม่ให้หัวอ่านสัมผัสกับดิสก์ เนื่องจากตำแหน่งดังกล่าว ถูกออกแบบไว้สำหรับกรณีที่ฮาร์ดดิสก์หยุดทำงาน โดยรูปที่ 2(ข) แสดงลักษณะติดตั้งอุปกรณ์ สำหรับกรณีที่ดิสก์ไม่หมุน

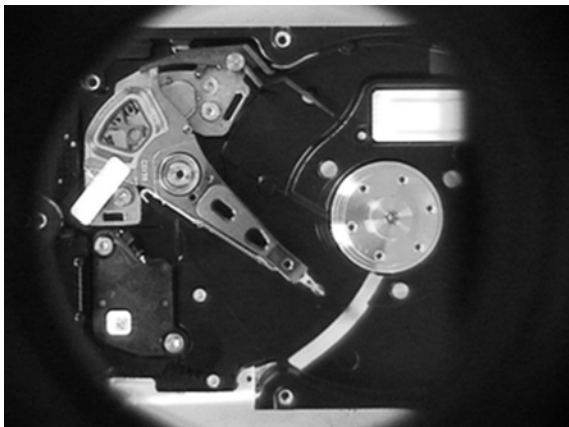
การทดลองที่สี่เป็นการกระตุ้นวอยซ์คอยล์มอเตอร์โดยนำดิสก์ออกจากตัวฮาร์ดดิสก์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหา



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2 แสดงลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง

(ก) การทดลองที่ 1 และ 2

(ข) การทดลองที่ 3

(ค) การทดลองที่ 4

ที่เกิดขึ้นในการทดลองที่สาม คือตำแหน่งของชุดหัวอ่านที่ไม่สามารถ ตั้งอยู่ตำแหน่งเดียวกับการทดลองที่หนึ่งและการทดลองที่สอง เพราะจะเกิดการสัมผัสกันระหว่างดิสก์และหัวอ่าน ดังนั้นจึงได้ทดลองถอดดิสก์ออกจากระบบ ซึ่งการทำเช่นนี้ทำให้สามารถวัดการสั่นสะเทือนในชุดหัวอ่านโดยทำการติดตั้งที่ตำแหน่งเดียวกันกับการทดลองที่หนึ่งและการทดลองที่สองได้

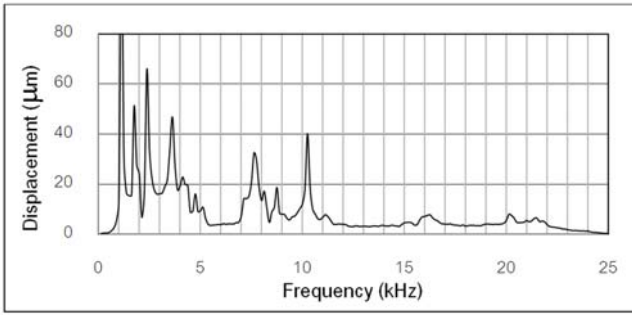
3. ผลการทดลอง

ผลการทดลองแสดงความเชื่อมโยงระหว่างแรงกระตุ้นทั้งสองและโหมดการสั่นสะเทือนของหัวอ่าน รูปที่ 3 แสดงผลการทดลองที่หนึ่งคือสภาวะการทำงานที่คล้ายการใช้งานจริง ซึ่งในรูปแสดงค่าความถี่ต่างๆ ที่มีการสั่นสะเทือนชัดเจนคือ 1.125 kHz, 1.750 kHz, 2.375 kHz, 3.625 kHz, 4.125 kHz, 4.750 kHz, 7.625 kHz, 8.750 kHz และ 10.250 kHz ตามลำดับ ซึ่งในที่นี้จะใช้ผลที่ได้จากการทดลองที่หนึ่งนี้เป็นค่าอ้างอิงของสภาวะการทำงาน

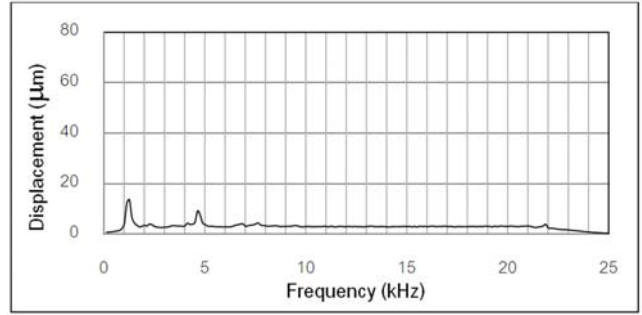
ที่คล้ายกับการทำงานปกติ

รูปที่ 4 แสดงผลของการทดลองที่สอง ซึ่งเป็นการวัดการสั่นสะเทือนของชุดหัวอ่านโดยไม่มีภาระกระตุ้นวอยซ์คอยล์มอเตอร์ จากผลการทดลองที่สองนี้พบว่าขนาดของการสั่นสะเทือนลดลงมาก เมื่อเทียบกับผลของการทดลองแรก อย่างไรก็ตามโหมดการสั่นที่มีความชัดเจนที่สุดมีความถี่เท่ากับ 1.250 kHz และ 4.750 kHz ซึ่งเป็นค่าความถี่ที่พบได้ในการทดลองของการทดลองแรกด้วยเช่นกัน

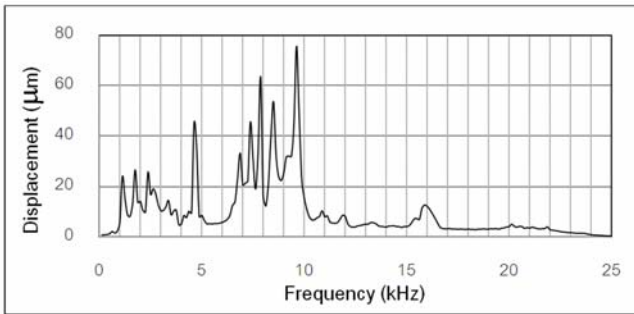
ผลการทดลองที่สาม ซึ่งเป็นการทดลองวัดการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการกระตุ้นวอยซ์คอยล์มอเตอร์เมื่อดิสก์ไม่หมุน ก็มีโหมดการสั่นสะเทือนที่ตรงกับการทดลองที่หนึ่งดังแสดงในรูปที่ 5 และผลการทดลองจากการทดลองที่สี่ที่ทำการวัดการสั่นสะเทือน โดยถอดดิสก์ออกก็มีโหมดการสั่นสะเทือนตรงกับผลการทดลองในเงื่อนไขอื่นด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 6



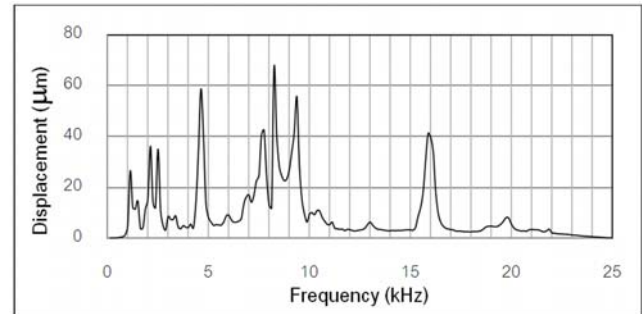
รูปที่ 3 ผลการทดลองของการทดลองที่หนึ่ง (กระตุ้นวอยล์คอยล์และดิสก์หมุน)



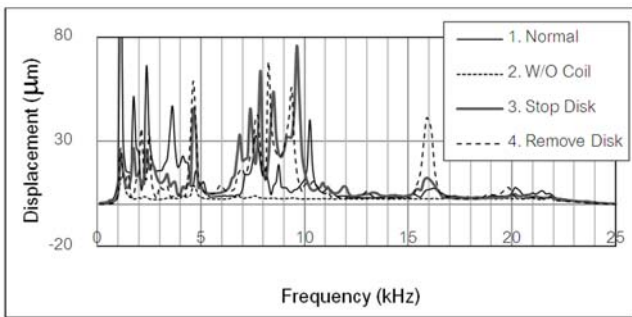
รูปที่ 4 ผลการทดลองของการทดลองที่สอง (ไม่กระตุ้นวอยล์คอยล์และดิสก์หมุน)



รูปที่ 5 ผลการทดลองของการทดลองที่สาม (กระตุ้นวอยล์คอยล์และดิสก์ไม่หมุน)



รูปที่ 6 ผลการทดลองของการทดลองที่สี่ (กระตุ้นวอยล์คอยล์และถอดดิสก์)



รูปที่ 7 เปรียบเทียบผลการทดลองแต่ละเงื่อนไข

รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งสิ้นพบว่าโหมดการสั่นสะเทือนของหัวอ่านแตกต่างกันในบางโหมดของแต่ละการทดลอง และโหมดการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในการทดลองที่สองมีเพียงสองโหมดเท่านั้นที่ชัดเจนคือ 1.250 kHz และ 4.750 kHz และการเปรียบเทียบผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 7 ยังแสดงให้เห็นอีกว่า ขนาดของการสั่นสะเทือนในช่วงความถี่ต่ำกว่า 5 kHz

นั้นจะมีค่าสูงมากในการทดลองที่หนึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลของการทดลองอื่นๆ ที่เป็นการทดลองโดยการตัดแรงกระตุ้นที่เกิดจากการกระตุ้นวอยล์คอยล์มอเตอร์และการหมุนดิสก์ออก และรูปที่ 7 ยังแสดงให้เห็นว่าขนาดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 16 kHz ในการทดลองที่สี่ มีขนาดมากกว่าขนาดการสั่นสะเทือนในการทดลองอื่นๆ ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากการที่ถอดดิสก์ออกจึงไม่มีแรงดึงดูดระหว่างดิสก์และชุดหัวอ่าน ส่งผลให้การสั่นสะเทือนมีขนาดมากกว่าปกติ

4. สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการหมุนของดิสก์มีอิทธิพลต่อขนาดของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนจากรูปที่ 5 และรูปที่ 6 ซึ่งเป็นผลของการทดลองภายใต้สภาวะที่ไม่มีมีการกระตุ้นที่เกิดจากการหมุนของดิสก์ พบว่าขนาดของการสั่นสะเทือนในย่านความถี่ต่ำกว่า 5 kHz มีค่าความถี่เท่ากัน

ในทุกการทดลอง แต่มีขนาดของการสั่นสะเทือนต่ำกว่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากการทดลองที่หนึ่งอย่างชัดเจน และในรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของโหมดการสั่นสะเทือนในช่วง 8-10 kHz ในทุกเงื่อนไขของการทดลอง

อย่างไรก็ตามการทดลองทั้งสี่เงื่อนไขได้ทำ ภายใต้สภาวะการทำงานที่ไม่ปกติ คือเปิดฝาครอบฮาร์ดดิสก์ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการไหลเวียนอากาศที่ต่างจากการทำงานในสภาวะปกติ ซึ่งอาจส่งผลต่อผลการทดลอง และในอนาคตจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ เพิ่มเติม โดยทำการศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างแขนยึดหัวอ่านและตัวแปรควบคุมต่างๆ เพื่อสามารถควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการสั่นสะเทือนในฮาร์ดดิสก์ได้

จากข้อสรุปข้างต้น ภาคอุตสาหกรรมสามารถนำผลจากการทดลองนี้ไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์การสั่นพ้องที่เกิดขึ้นในหัวอ่าน ฮาร์ดดิสก์และเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการออกแบบในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านการผลิตขั้นสูง อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (I/U CRC รหัสทุน HDD-08-01-50D) และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ในการให้การสนับสนุนข้อมูลและทุนวิจัย

บรรณานุกรม

Ampaipatgul P., Sedsittichoke S., Phopli S., Phonpai T. and, Jeasiripongkul T. 2007. "Analysis of Pivot Bearing Vibration using FEM and Identification using LDV." **Proceeding of the 21st conference of Mechanical Engineering Network of Thailand.** 2007.

Feng Gao, Fook Fah Yap, and Ying Yan. 2005. "Modeling of Hard Disk Drive for Variation Analysis Using a flexible Multibody dynamics Formulation." **IEEE Transactions on Magnetics**, 41, 2: 744-749.

J. Lue et al. 2006. "On the simulation of the pivot bearing inside HDD." **Journal of Magnetism and Magnetic Materials.** 303: e81-e84.

John Robert Edwards et al. 1997. "Disk Drive having elastomeric interface in pivot bearing assembly." **United States Patent.** No. US 5, 666, 242.

L. M. Xu, N. Guo. 2003. "Modal testing and finite element modeling of subsystems in hard disk drives." **Mechanical System Signal Process.** 17: 747-764.

Nils E. Larson. 1998. "Hard Disk assembly having a pivot bearing assembly comprising fingers bearing on a shaft." **United States Patent** No. US 5,757,588.

Phonpai T. and Jeasiripongkul T. 2007. "HSA Vibration Analysis using FEM and Identification using SLDV." **Proceeding of the 21st Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand.** 2007.

R. Ogawa, T. Kazuhiro, I. Kenichiro, W. Singeru, I. Takayuki, and T. Kazuo. 2002. "Modal analysis of HDD's actuators." **Fujikura Technical Review.** 2002: 7-12.

T. Jintanawan, C. P. R. Ku, J. Zhu. 2004. "Effects of Thrust Hydrodynamic Bearing Stiffness and Damping on Disk-Spindle Axial Vibration in Hard Disk Drives." **Microsystem Technologies,** 10: 338-344.

Walter L. Prater. 2002. "Hard Disk Drive actuator assembly with damped tolerance ring for enhances drive performance during structural resonance mode." **United States Patent** No. US 6,480,363 B1.



>> ดร. ก่อศักดิ์ อาชวากร

สำเร็จการศึกษา ปริญญาเอก ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด.) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปริญญาโท Master of Engineering (M.Eng.) สาขา Mechatronics จาก Asian Institute of Technology ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีประสบการณ์ทำงานด้านการออกแบบระบบอัตโนมัติและการจัดการกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำ และดำรงตำแหน่งหัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม หัวข้อวิจัยที่เชี่ยวชาญได้แก่ ระบบเครื่องมือวัด ระบบควบคุมอัตโนมัติ และการสันสะเทือนทางกล



>> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชีระ เจียรพงษ์กุล

สำเร็จการศึกษา ปริญญาเอก Dr.-Ing. สาขา Applied Mechanics จาก Technical University of Darmstadt , Darmstadt, Germany ปริญญาโท Master of Engineering (M.Eng.) สาขา Mechatronics จาก Asian Institute of Technology ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และผู้อำนวยการโครงการ Twinning Engineering Programmes and Thammasat English Programme of Engineering หัวข้อวิจัยที่เชี่ยวชาญได้แก่ Linear and Non-linear Vibrations, Modal Analysis, Multi-body System Dynamics และ Structure and Complex System