

## การสั่นสะเทือนที่มีผลต่อเสียงของสปินเดิลมอเตอร์ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

### Vibro-Acoustic of Spindle Motors in Hard Disk Drives

ชานนท์ วรวรชานนท์ ฐาปณีย์ ภมรบุตร และ นพดไน อาชวาคม\*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถ. พญาไท กรุงเทพฯ 10330

โทร 0-2218-6610 โทรสาร 0-2252-2889 \*อีเมลล์ Nopdanai.a@chula.ac.th

Chanon Worawatsanan, Tapanee Pamornbutr, and Nopdanai Ajavakom\*

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Phayathai Road, Bangkok 10330

Tel: 02218-6610, Fax: 0-2252-2889 \*Email: Nopdanai.a@chula.ac.th

#### บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาผลกระทบจากการหมุนของสปินเดิลมอเตอร์ชนิด Fluid-Dynamic Bearing (FDB) ที่ใช้ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งได้แก่ การสั่นสะเทือน และเสียงรบกวน โดยจะศึกษาแนวทางปฏิบัติในการทดสอบหาคุณสมบัติการสั่นสะเทือน (vibration characteristics) ได้แก่ ความถี่ธรรมชาติของ สปินเดิลมอเตอร์ อีกทั้งยังทดสอบการตอบสนองเชิงความถี่ของมอเตอร์ขณะหมุน ซึ่งเป็นผลมาจากแรงแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ ผลการทดสอบแสดงถึงการตอบสนองเชิงความถี่ของมอเตอร์ขณะหมุน ซึ่งปรากฏเป็นยอดแหลมที่ harmonic อันดับต่างๆ ของความเร็วรอบ โดยอันดับที่ปรากฏสอดคล้องกับจำนวน pole และ slot ของมอเตอร์ และจากผลการทดสอบการสั่นสะเทือนทั้งสองลักษณะ พบว่าผลการตอบสนองเชิงความถี่ของมอเตอร์นั้นมีความถี่หนึ่งที่ความถี่ที่ harmonic ที่ 36 มีค่าใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของมอเตอร์ซึ่งจะทำให้มอเตอร์มีการสั่นสะเทือนสูง ซึ่งส่งผลให้เกิดระดับเสียงที่แพร่ออกมาจากมอเตอร์ที่สูงกว่าปกติ ณ ความถี่นั้น การลดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ดังกล่าวสามารถทำได้ โดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของมอเตอร์เพื่อที่จะเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติของมอเตอร์ให้ปรากฏ ณ ความถี่อื่น

#### Abstract:

This article is to study vibro-acoustic of the spinning motors for hard disk drives. Vibration tests are performed to obtain the Frequency Response Functions (FRF) and the forced response of spinning motors. The natural frequency of the motor structure is determined from the FRF. The spinning motor responds to the electromagnetic excitation such that the response frequencies appear as harmonic numbers of spinning speed where these

numbers correspond to the numbers of pole and slot in the motor. In addition, the harmonic number of 36<sup>th</sup> in the forced response is close to the resonance frequency, resulting in large vibration and hence high level of sound power at that frequency. To reduce this vibration the resonance frequency can be moved by a redesigned motor structure.

#### 1. บทนำ

ฮาร์ดดิสก์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญภายในคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์เพื่อความบันเทิงเช่น เครื่องเล่น MP3 กล้องถ่ายรูป PDA และอุปกรณ์มือถือ การสั่นสะเทือน และ เสียงรบกวนเป็นปัญหาที่พบได้ในฮาร์ดดิสก์ ซึ่งส่วนหนึ่งเกิดจากมอเตอร์ที่กำลังทำงานโดยการหมุนแผ่นดิสก์ซึ่งบรรจุข้อมูลไว้ภายในฮาร์ดดิสก์ สาเหตุของการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในฮาร์ดดิสก์มีอยู่สองอย่าง [1] สาเหตุแรกเกิดจากการหมุนที่ไม่สมดุล (unbalance) เนื่องจากรูปร่างที่ไม่สมดุลของโรเตอร์ (rotor) ซึ่งเป็นความผิดพลาดจากการผลิต หรือ การประกอบชิ้นส่วน สาเหตุที่สองเกิดจากแรงแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นแรงที่จำเป็นในการขับเคลื่อนของมอเตอร์ แรงแม่เหล็กไฟฟ้าที่ไม่สมดุลก่อให้เกิดการเคลื่อนตัว หรือ การเปลี่ยนรูปไปของชิ้นส่วนเช่น โรเตอร์ สเตเตอร์ (stator) ซึ่งทำให้เกิดการสั่นสะเทือนในที่สุด การสั่นสะเทือนจากสาเหตุต่างๆ เหล่านี้ยังก่อให้เกิดเสียงอันไม่พึงประสงค์ตามมา เนื่องจากความต้องการในการลดเสียงให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เป็นสิ่งจำเป็น

บทความนี้จึงเน้นการศึกษาการสั่นสะเทือนของสปินเดิลมอเตอร์ที่จะมีผลต่อการแพร่ไปสู่เสียงในชิ้นส่วนหลักของฮาร์ดดิสก์ และศึกษาเสียงที่เกิดจากมอเตอร์โดยตรงอีกด้วย บทความนี้ได้ทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติเชิงการสั่นสะเทือนของโครงสร้างมอเตอร์ ได้แก่ Frequency Response Function (FRF) และ ความถี่ธรรมชาติ ทดสอบการ

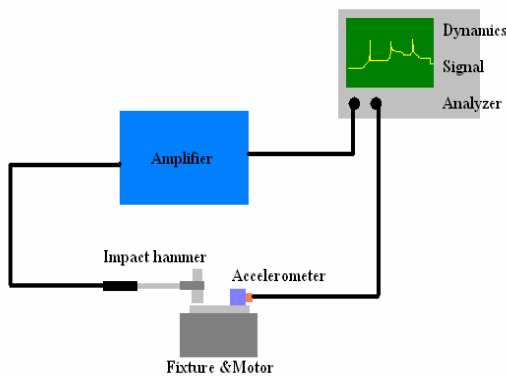
AMM042

ตอบสนองเชิงความถี่ของสปินเดิลมอเตอร์ขณะหมุนต่อแรง  
 แม่เหล็กไฟฟ้า และทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาเสียงรบกวนในมอเตอร์

2. การทดสอบการสั่นสะเทือน

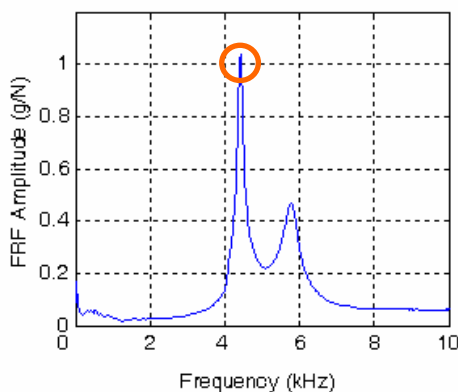
การทดสอบสปินเดิลมอเตอร์ในบทความนี้เน้นการทดสอบการ  
 สั่นสะเทือนที่นำจะมีผลต่อการแพร่เสียงและการสั่นสะเทือนของ  
 โครงสร้างมอเตอร์ มอเตอร์ที่นำมาทดสอบเป็นชนิด Fluid Dynamic  
 Bearings (FDB) สำหรับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (HDD) ขนาด 3.5 นิ้ว ที่มี  
 จำนวน pole และ slot 12 และ 9 ตามลำดับ การทดสอบการ  
 สั่นสะเทือนแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

ส่วนแรกเป็นการทดสอบหา Frequency Response Function  
 ของมอเตอร์เพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์หาความถี่ธรรมชาติ โดยการนำ  
 มอเตอร์ติดตั้งไว้ที่ฐานจับยึด (fixture) ใช้ accelerometer วัดความถี่ที่  
 ฐานของมอเตอร์และใช้ impact hammer กระตุ้นที่ฐานของมอเตอร์ด้วย  
 การเคาะเบาๆ ข้อมูลของแรงที่ใช้เคาะจาก impact hammer และ  
 ความถี่ที่วัดได้จาก accelerometer จะถูกส่งไปยัง Dynamics Signal  
 Analyzer เพื่อคำนวณ และแสดง FRF ไดอะแกรมแสดงการทดสอบ  
 แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การทดสอบหา Frequency Response Function

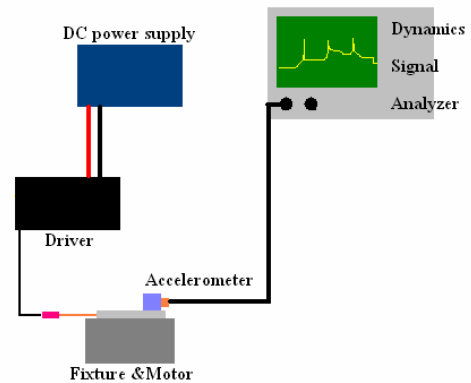
รูปที่ 2 แสดงผล FRF ที่ความถี่ 0-10 kHz ที่ได้จากการทดสอบ  
 ข้างต้น ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติของสปิน  
 เดิลมอเตอร์นี้ได้ประมาณ 4.2 kHz ซึ่งพิจารณาได้จาก ณ ความถี่นั้น  
 ขนาดแอมพลิจูดของ FRF มีค่าสูงสุดและในช่วงเกิด resonance มีการ  
 เปลี่ยนเฟสไป 180°



รูปที่ 2 Frequency Response Function ของมอเตอร์

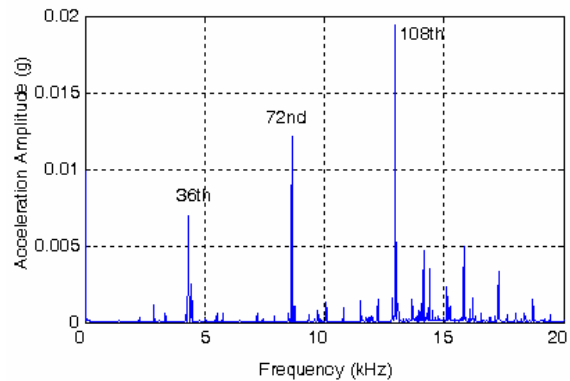
เนื่องจากเราวัดการสั่นสะเทือนที่ฐานของมอเตอร์ซึ่งมีลักษณะเป็น  
 แผ่นจานกลม การสั่นสะเทือนของโหมมดัดงกล่าวน่าจะมีทิศทางในแนว  
 ชั้ดลง หรือในแนวขวางกับแผ่นฐานนั่นเอง

ส่วนที่สองเป็นการทดสอบหาผลการตอบสนองเชิงความถี่  
 ของสปินเดิลมอเตอร์ในขณะหมุนเพื่อศึกษาลักษณะของแรง  
 แม่เหล็กไฟฟ้า ที่เป็นสาเหตุหลักของการเกิดการสั่นสะเทือนและเสียง  
 ในมอเตอร์ชนิดนี้ การทดสอบเป็นการวัดความถี่ที่ฐานมอเตอร์ ที่ยึด  
 ติดไว้กับฐานยึด โดยใช้ accelerometer ที่ติดอยู่ที่ฐานมอเตอร์ ในขณะ  
 ที่มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วคงที่เท่ากับ 7200 rpm และ ไดอะแกรม  
 แสดงการทดสอบแสดงไว้ในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การทดสอบผลการตอบสนองเชิงความถี่

ผลการตอบสนองเชิงความถี่ของสปินเดิลมอเตอร์ขณะหมุน แสดง  
 ในรูปที่ 4 ข้างล่าง



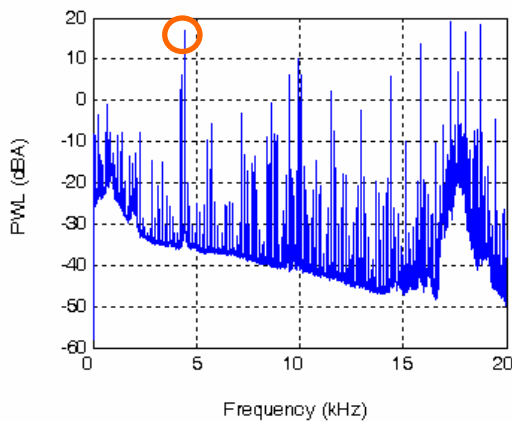
รูปที่ 4 ผลตอบสนองเชิงความถี่ของมอเตอร์ขณะหมุน

รูปที่ 4 แสดงผลการตอบสนองเชิงความถี่เป็นค่าความถี่ ณ  
 ความถี่ต่างๆ จากการสังเกตที่รูปจะเห็นยอดสูงปรากฏที่ความถี่ต่างๆ  
 ซึ่งมีลักษณะเป็นอันดับ harmonics ของความเร็วรอบของการหมุนของ  
 มอเตอร์ (จำนวนเท่าของ 120 Hz = 7,200 rpm) แสดงว่าผลของการ  
 ตอบสนองของมอเตอร์ต่อแรงที่กระทำมีลักษณะเป็นสัญญาณ periodic  
 บนโดเมนของเวลา นั้นสามารถอธิบายทางอ้อมถึงลักษณะของแรงที่  
 กระทำต่อมอเตอร์ว่ามีลักษณะเป็นฟังก์ชัน periodic เช่นกัน ซึ่งแรง  
 ดังกล่าวที่สำคัญได้แก่ แรงแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีความถี่สัมพันธ์กับ  
 จำนวน slot และ pole ของมอเตอร์ และความเร็วรอบ จากรูปที่ 4 เรา  
 พบการตอบสนองเชิงความถี่ปรากฏเป็น ยอดสูงโดยส่วนใหญ่เกิดที่

ความถี่ที่เป็น harmonics อันดับที่ 36, 72, 108, และ 144 (แสดงบนรูป) ซึ่งเมื่อลองพิจารณาอันดับของ harmonics เหล่านี้แล้วเราพบว่าตัวเลขเหล่านี้เป็นอนุกรมของตัวเลข 36 ซึ่งเป็นค่าคูณร่วมน้อย (ค.ร.น.) ของ 9 และ 12 และตัวเลขดังกล่าวสอดคล้องกับจำนวน slot และ pole ตามลำดับ สาเหตุของการเกิด harmonics เหล่านี้จะมาจากแรงบิดจากแม่เหล็กไฟฟ้าที่ไม่สมดุล (unbalance electromagnetic torque) ซึ่งอธิบายโดย Hartman และ Lorimer [2]

### 3. การทดสอบเสียงเบื้องต้นในมอเตอร์

การทดสอบเสียงที่แพร่จากมอเตอร์ ทำได้โดยการนำมอเตอร์มาติดตั้งบนฐานยึดติด ซึ่งเป็นตัวเดียวกับที่เราทำการทดสอบการสั่นสะเทือน และวางไว้ในห้อง anechoic chamber การวัดเสียงที่แพร่ออกเป็นแบบ sound power spectrum โดยการใช้ไมโครโฟนที่หมุนได้รอบมอเตอร์เป็นครึ่งทรงกลมรัศมี 30 ซม วัดเสียงเป็นจำนวน 10 จุดบนครึ่งทรงกลม ผลของกำลังเสียงที่วัดได้จากมอเตอร์แสดงในรูปที่ 5 จากผลดังกล่าวพบว่ากำลังเสียงที่ความถี่ประมาณ 4.32 kHz ซึ่งเป็นระดับเสียงที่สูงนั้น สอดคล้องกับอันดับ harmonic ที่ 36 ในรูปที่ 4 และใกล้เคียงกับค่าความถี่ธรรมชาติของมอเตอร์ ซึ่งประมาณ 4.2 kHz ในรูปที่ 2



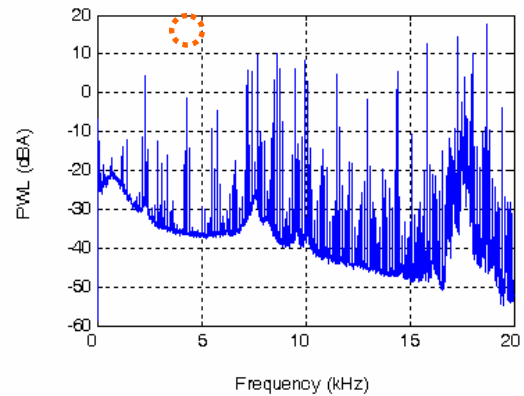
รูปที่ 5 กำลังเสียงที่แพร่จากมอเตอร์ขณะหมุนที่ความเร็วรอบ 7200 rpm

อย่างไรก็ตามได้ทำการทดสอบเสียงที่แพร่จากมอเตอร์อีกครั้ง โดยการเปลี่ยนรูปแบบการยึดติดมอเตอร์ โดยที่การทดสอบครั้งนี้ได้ใช้ boundary condition เป็นแบบ freely supported โดยการห้อยมอเตอร์ไว้ด้วยเชือก ซึ่งจะทำให้ความถี่ธรรมชาติของมอเตอร์และฐานยึดเปลี่ยนไป เพื่อเปรียบเทียบว่า ถ้าความถี่ธรรมชาติไม่ได้เกิดขึ้นที่ 4.2 kHz ดังรูปที่ 2 แล้วยอดสูงในเสียงที่ 4.32 kHz ดังรูปที่ 5 จะมีขนาดเล็กหรือไม่

ผลการทดสอบเสียง ที่วัดได้โดยใช้รูปแบบการวัดเสียงเดิมดังที่อธิบายไว้ข้างต้น แต่การยึดติดมอเตอร์เป็นชนิด free boundary condition แสดงไว้ในรูปที่ 6 เมื่อเทียบผลการทดสอบเสียงของรูปที่ 5 และ รูปที่ 6 สามารถสรุปได้ว่า ยอดแหลมที่ 4.32 kHz ได้ลดขนาดลงมากตามที่คาดคิด

ดังนั้นหากต้องการลดระดับเสียงที่ 4.32 kHz ซึ่งเป็นสาเหตุมาจาก

การสั่นพ้องสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของมอเตอร์ โดยเฉพาะที่การยึดติดมอเตอร์ เพื่อเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติ



รูปที่ 6 กำลังเสียงที่แพร่จากมอเตอร์ขณะหมุนที่ความเร็วรอบ 7200 rpm (freely supported)

### 4. สรุป

บทความนี้ทดสอบการสั่นสะเทือนเพื่อศึกษาการสั่นสะเทือนและเสียงรบกวนซึ่งจากการหมุนของสปินเดิลมอเตอร์ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ผลการทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้คือ จากการทดสอบหา FRF และความถี่ธรรมชาติ พบความถี่ธรรมชาติของมอเตอร์และฐานยึดที่ 4.2 kHz การตอบสนองเชิงความถี่ของมอเตอร์ขณะหมุนเกิดยอดสูงที่อันดับ harmonic ที่ 36, 72, 108, 144 และ 180 ซึ่งเกิดจากแรงแม่เหล็กไฟฟ้าที่ไม่สมดุล นอกจากนั้น ยอดสูงที่อันดับ harmonic ที่ 36 ยังมีความถี่ใกล้เคียงกับ ความถี่ธรรมชาติ ของมอเตอร์และฐานยึด ซึ่งทำให้เกิด เสียงแพร่จากมอเตอร์ที่มีแอมพลิจูดสูงที่ความถี่นั้นอีกด้วย และเมื่อเปลี่ยนโครงสร้างการยึดติดมอเตอร์ ซึ่งมีผลให้ความถี่ธรรมชาติเปลี่ยนไป จึงทำให้ยอดสูงของเสียงที่ความถี่ดังกล่าวลดลง ดังนั้นการศึกษานี้จึงทำให้เกิดความเข้าใจถึง สาเหตุและลักษณะของการสั่นสะเทือนที่มีผลต่อเสียง ความเข้าใจดังกล่าวสามารถนำไปสู่การแก้ไขเพื่อลดการสั่นสะเทือนที่เป็นผลต่อการแพร่ของเสียงในมอเตอร์ต่อไป

### 5. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนพัฒนาอาจารย์ใหม่/นักวิจัยใหม่ รัชดาภิเษกสมโภช และจากบริษัท NIDEC (Thailand) ในด้านอุปกรณ์ทดสอบ

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Beranek, L. L., and Ver I. L., 1992. Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Applications. John Wiley & Sons, New York, pp. 709-734.
- [2] Hartman, A., and Lorimer, W., 2001. Undriven Vibration in Brushless DC Motors. IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 37, No.2, pp 789-792.