

การศึกษาการสั้นสะเทือน และการส่งผ่านพลังงานการสั้นสะเทือน
ของส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

นางสาวพัฒนภรณ์ ตันธนาศิริกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

The Study of Vibration and Transmission of Vibrational Energy
of the Main Components of Hard Disk Drive

Miss Pinporn Tanthanasirikul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการสั้นสะเทือน และการส่งผ่านพลังงาน
	การสั้นสะเทือนของส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
โดย	นางสาวพัฒนกรณ์ ดันธนาศิริกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภคณัย อาชวาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.จิตติมา จินตนาวัน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภคณัย อาชวาคม)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนัดต์ รัตนสุมาวงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักร จันทลักขณา)

พัฒนาการด้านนาสิริกุล : การศึกษาการสั่นสะเทือนและการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือน
ของส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์. (THE STUDY OF VIBRATION AND
TRANSMISSION OF VIBRATIONAL ENERGY OF THE MAIN COMPONENTS OF
HARD DISK DRIVE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. นกนัย อาชาวาคม, 134 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาการสั่นสะเทือนของส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
ขนาด 2.5 นิ้ว ซึ่งใช้งานในคอมพิวเตอร์พกพา ด้วยวิธีการทดลอง โดยมีวัตถุประสงค์หลัก คือ ระบุ
ส่วนประกอบที่เป็นต้นเหตุหลักของการสั่นสะเทือน และศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการ
ส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนระหว่างองค์ประกอบด้วยหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ
ส่วนประกอบที่เป็นต้นเหตุหลักของการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งระบุจากการวิเคราะห์
ผลการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำงานในสถานะหยุดนิ่ง ร่วมกับฟังก์ชันการตอบสนองเชิง
ความถี่ และค่าความถี่ธรรมชาติจากการทดลองโมดัลขององค์ประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ คือ
แผ่นดิสก์ ส่วนพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนนั้น คือค่าพารามิเตอร์
ของหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติซึ่งได้จากการทดลองวัดพลังงานสั่นสะเทือนเฉลี่ยต่อพื้นที่
ขององค์ประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ผลการประมาณค่าพลังงานการ
สั่นสะเทือนด้วยพารามิเตอร์นี้ให้แนวโน้มที่ใกล้เคียงกับผลการทดลองมาก สามารถกล่าวได้ว่า
หลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติสามารถใช้ในการศึกษาการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้
และจากการประมาณค่ากำลังการสั่นสะเทือนส่งผ่านพบว่า การส่งผ่านการสั่นสะเทือนเป็นสาเหตุ
หนึ่งของการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เนื่องจากในช่วงความถี่ที่การสั่นสะเทือนของ
ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สูง การส่งผ่านกำลังการสั่นสะเทือนระหว่างองค์ประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ก็มี
ค่าสูงเช่นเดียวกัน วิทยานิพนธ์นี้จึงได้แนะแนวทางเพื่อลดกำลังการส่งผ่านการสั่นสะเทือนระหว่าง
องค์ประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไว้เบื้องต้นด้วย

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา.....2555.....

5570318021 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEYWORDS : VIBRATION / VIBRATIONAL ENERGY / HARDDISK DRIVE

PINPORN TANTHANASIRIKUL : THE STUDY OF VIBRATION AND TRANSMISSION OF VIBRATIONAL ENERGY OF THE MAIN COMPONENTS OF HARD DISK DRIVE. ADVISOR : ASST. PROF. NOPDANAI AJAVAKOM, Ph.D., 134 pp.

This study covers the vibration of the main components of 2.5-inch hard disk drive by experimental method. The main objectives are identifying the component that is the source of the vibration and studying the parameters relating to the vibrational energy transmission between the components of hard disk drive. The component that effects the vibration is identified by analyzing the vibration responses of the idling hard disk drive from vibration testing and the frequency response functions and natural frequencies of the main components from modal testing. The result shows that platter is the main component that mainly effects the vibration of hard disk drive. The parameters relating to the vibrational energy transmission in this study are the statistical energy analysis parameters (SEA parameters) getting from the vibration testing of the components of hard disk drive and hard disk drive in the form of spatial average vibrational energy. The SEA solution is proved with the experimental result. The transmission of the vibrational power approximated from SEA parameters shows that the transmission of the vibration between the components causes the vibration of the hard disk drive since the transmission is high at the same range of frequencies as the vibration response of the working hard disk drive. This study includes the suggestion of reducing the vibrational energy transmission between the components as well.

Department : Mechanical Engineering .. Student's Signature:

Field of Study : Mechanical Engineering .. Advisor's Signature:

Academic Year :2012.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภดน้อย อาชวาคม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง สำหรับความรู้ คำแนะนำ การสนับสนุน และการช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ตลอดการดำเนินงานจนวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ฐิติมา จินตนาวัน ที่กรุณาให้เกียรติมาเป็นประธานกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนัดต์ รัตนสุมาวงศ์ และ ผศ.จักร จันทลักษณ์ ที่กรุณาให้เกียรติมาเป็นกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้คำแนะนำ และความรู้ต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ นายกิติพงษ์ กาญจนธนาเลิศ ที่คอยให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการใช้งาน และติดตั้งอุปกรณ์การทดลองต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน และเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ด
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 แผนการดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.6 ลำดับเนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	7
2.1 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	7
2.2 พื้นฐานการสั่นสะเทือนทางกล.....	102
2.3 สัญญาณการสั่นสะเทือน.....	102
2.4 การทดลอง โมดัล (Modal Testing).....	14
2.5 การวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ (Statistical Energy Analysis: SEA).....	19

บทที่ 3 ปรัชญานวัตกรรม	26
3.1 ผลงานวิจัยที่ศึกษาลักษณะการสั้นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์	26
3.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้หลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติในการศึกษาการสั้นสะเทือน	26
บทที่ 4 การทดลองหาส่วนประกอบที่เป็นต้นเหตุหลักของการสั้นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์	34
4.1 ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่ใช้ในการศึกษา	34
4.2 การทดลองโมดัลขององค์ประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์	35
4.3 การทดลองหาลักษณะการสั้นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์	44
4.4 สรุปผลการศึกษาหาส่วนประกอบที่เป็นต้นเหตุหลักของการสั้นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์	53
บทที่ 5 การศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการส่งผ่านพลังงานการสั้นสะเทือน	55
5.1 ระบบย่อย	55
5.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบย่อย	57
5.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อย	63
5.4 การประมาณค่าพลังงานการสั้นสะเทือนด้วยหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ	70
5.5 การส่งผ่านพลังงานการสั้นสะเทือนระหว่างระบบย่อย	75
บทที่ 6 แนวทางการลดการส่งผ่านพลังงานการสั้นสะเทือนระหว่างระบบย่อยของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์	78
6.1 การออกแบบแนวทางการลดการส่งผ่านพลังงานการสั้นสะเทือน	78
6.2 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง	82
บทที่ 7 บทสรุป	87
7.1 สรุปผลการศึกษา	87
7.2 ประโยชน์ที่ได้รับ และข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต	90
รายการอ้างอิง	92
ภาคผนวก	93

ภาคผนวก ก อุปกรณ์การทดลอง.....	95
ก.1 ค้อนเคาะ (Impact Hammer) และอุปกรณ์ปรับสัญญาณ (Signal Conditioner).....	95
ก.2 เครื่องสั่นสะเทือน (Shaker)	96
ก.3 อุปกรณ์วัดความเร่ง (Accelerometer)	99
ก.4 อุปกรณ์วัดความเร็วเลเซอร์ดอปเปลอร์ไวโบรมิเตอร์ (Laser Doppler Vibrometer).....	102
ก.5 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ (Signal Analyzer).....	102
ก.6 ซอฟต์แวร์	102
ก.7 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ (Tachometer)	105
ก.8 ฟองน้ำ และ เส้นด้าย.....	106
ก.9 โต๊ะรักษาระดับ (Vibration Isolation Table)	107
ภาคผนวก ข การออกแบบการทดลองโมดัล.....	108
ภาคผนวก ค การออกแบบการทดลองวัดการสั่นสะเทือน.....	124
ภาคผนวก ง ค่าสัมประสิทธิ์เนื่องจากความหน่วงของวัสดุ.....	124
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	134

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 แผนการดำเนินการวิจัย.....	3
ตารางที่ 2 รายละเอียดของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ.....	35
ตารางที่ 3 ค่าความถี่ธรรมชาติของส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ	38
ตารางที่ 4 กรณิหทดลองวัดลักษณะการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ	45
ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบพลังงานการสั่นสะเทือนรวมของระบบย่อยที่ได้จากการทดลอง และ หลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ	74
ตารางที่ 6 เปรียบเทียบการส่งผ่านกำลังการสั่นสะเทือนสุทธิระหว่างระบบย่อย	76
ตารางที่ 7 เปรียบเทียบกำลังส่งผ่านการสั่นสะเทือนสุทธิระหว่างระบบย่อยที่ 3 และ 2	85
ตารางที่ 8 คุณสมบัติของอุปกรณ์วัดแรงที่หัวค้อนเคาะ (Impact Hammer)	95
ตารางที่ 9 คุณสมบัติของอุปกรณ์ปรับสัญญาณ (Signal Conditioner).....	96
ตารางที่ 10 คุณสมบัติของเครื่องสั่นสะเทือน.....	97
ตารางที่ 11 คุณสมบัติเครื่องขยายสัญญาณ	98
ตารางที่ 12 คุณสมบัติของอุปกรณ์วัดความเร่งที่ใช้ในการทดลอง	99
ตารางที่ 13 คุณสมบัติของอุปกรณ์วัดความเร็วเลเซอร์คอปเปิลอร์ไว โบรมิเตอร์	100
ตารางที่ 14 คุณสมบัติของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ	102
ตารางที่ 15 คุณสมบัติของอุปกรณ์วัดความเร็วรอบ.....	106
ตารางที่ 16 การเปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติของแผ่นดิสก์ที่ได้จากการทดลองโมดัล ด้วยการเคาะ และการทดลองโมดัลด้วยเครื่องสั่นสะเทือนโดยใช้แท่งส่งผ่านการ สั่นสะเทือนที่มีความยาวแตกต่างกัน 3 ขนาด คือ 12 9 และ 6 นิ้ว.....	117
ตารางที่ 17 การเปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติของชุดแกนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดิล มอเตอร์ติดอยู่ที่ได้จากการทดลองโมดัลด้วยการเคาะ และการทดลองโมดัล ด้วยเครื่องสั่นสะเทือน โดยใช้แท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนที่มีความยาวแตกต่าง กัน 3 ขนาด คือ 12 9 และ 6 นิ้ว	122

ตารางที่ 18	กรณีการทดลองหาลักษณะการสั้นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟ.....	125
ตารางที่ 19	ช่วงความถี่ที่ระบบฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟรูปแบบต่าง ๆ สูญเสียเนื่องจากความหน่วง สูงกว่าฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟปกติ.....	131
ตารางที่ 20	ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียเนื่องจากความหน่วง	131

สารบัญรูป

รูปที่ 1 ส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	7
รูปที่ 2 ฝาปิดบน (Top Cover)	8
รูปที่ 3 แผงวงจร (Logic Board)	8
รูปที่ 4 การประกอบกันของฝาปิดบนกับฐานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	8
รูปที่ 5 การยึดระหว่างแผ่นดิสก์กับสปินเดิลมอเตอร์.....	9
รูปที่ 6 สเตเตอร์ของมอเตอร์ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	9
รูปที่ 7 ชุดแขนควบคุม	10
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่แสดงบนโดเมนเวลา และ โดเมนความถี่ [2]	12
รูปที่ 9 ตัวอย่างการพิจารณาสัญญาณที่มีลักษณะเป็นคาบ	13
รูปที่ 10 ตัวอย่างการแปลงสเปกตรัม [2].....	14
รูปที่ 11 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่.....	15
รูปที่ 12 ค้อนเคาะ	16
รูปที่ 13 เครื่องสั่นสะเทือน.....	16
รูปที่ 14 เครื่องสั่นสะเทือนที่ติดตั้งแท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือน [2]	16
รูปที่ 15 เครื่องเลเซอร์ดรอปเปอร์ไวโบรมิเตอร์ (Laser Dropper Vibrometer).....	17
รูปที่ 16 หัววัดความเร่ง (Accelerometer).....	17
รูปที่ 17 การติดตั้งการทดลองโมดัล [2].....	18
รูปที่ 18 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ [2]	19
รูปที่ 19 แบบจำลองการถ่ายทอดพลังงานของระบบที่ประกอบไปด้วย 3 ระบบย่อย	21
รูปที่ 20 วิธีการทดลองเพื่อหาค่าการสูญเสียพลังงานของระบบย่อย	24
รูปที่ 21 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติของแผ่นดิสก์ที่หมุนที่ความเร็วรอบ ต่าง ๆ [9].....	28
รูปที่ 22 องค์ประกอบของระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ศึกษา [10]	28

รูปที่ 23 แบบจำลองส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่หุยคินึง [10]29

รูปที่ 24 ส่วนประกอบหลักของมอเตอร์ [12]30

รูปที่ 25 ระบบที่ศึกษาการถ่ายทอดพลังงานตามหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ [12]31

รูปที่ 26 แบบจำลองการถ่ายทอดพลังงานตามหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ [12].....32

รูปที่ 27 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์รุ่น โมเมนตัส 5400.634

รูปที่ 28 การติดตั้งการทดลองโมดัลด้วยการเคาะ37

รูปที่ 29 การติดตั้งการทดลองโมดัลด้วยเครื่องสั่นสะเทือน.....37

รูปที่ 30 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของแผ่นดิสก์จากการทดลองโมดัลด้วยการเคาะ40

รูปที่ 31 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของฝาปิดบนจากการทดลองโมดัลด้วยการเคาะ41

รูปที่ 32 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของชุดแกนควบคุมกับฐาน41

รูปที่ 33 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของชุดแผ่นดิสก์ซึ่งหมุน และชุดแกนควบคุมกับฐาน ...42

รูปที่ 34 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของแผ่นดิสก์42

รูปที่ 35 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของฝาปิดบน43

รูปที่ 36 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของชุดแกนควบคุมกับฐาน43

รูปที่ 37 การติดตั้งการทดลองวัดการสั่นสะเทือน45

รูปที่ 38 ระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กรณีที่1 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่สมบูรณ์46

รูปที่ 39 ระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กรณีที่ 246

รูปที่ 40 ระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กรณีที่ 346

รูปที่ 41 ระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กรณีที่ 446

รูปที่ 42 ระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กรณีที่ 546

รูปที่ 43 เปรียบการสั่นสะเทือนระหว่างระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กรณีที่มี และ ไม่มีแผ่นดิสก์48

รูปที่ 44 เปรียบการสั่นสะเทือนระหว่างระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กรณีที่มี และ ไม่มีฝาปิดบน.....49

รูปที่ 45 เปรียบการสั่นสะเทือนระหว่างระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กรณีที่มี และ ไม่มีชุดแกนควบคุม..50

รูปที่ 46 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการสั่นสะเทือน และค่าความถี่ธรรมชาติ.....51

รูปที่ 47 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการสั่นสะเทือน และค่าความถี่ธรรมชาติ.....52

รูปที่ 48 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการสั่นสะเทือน และค่าความถี่ธรรมชาติ.....53

รูปที่ 49 รูปแบบการแบ่ง และการเชื่อมต่อระบบย่อย	56
รูปที่ 50 แบบจำลองการถ่ายทอดพลังงานของระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	56
รูปที่ 51 แผนภาพการออกแบบการทดลองหาค่าการสูญเสียพลังงานของระบบย่อย.....	58
รูปที่ 52 การติดตั้งการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบย่อย	59
รูปที่ 53 ตำแหน่งการกระตุ้น และการวัดสัญญาณในการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ของการ สูญเสียพลังงานของระบบย่อยที่ 1 ชุดแผ่นดิสก์ และ โรเตอร์	60
รูปที่ 54 ตำแหน่งการกระตุ้น และการวัดสัญญาณในการทดลองหา.....	60
รูปที่ 55 ตำแหน่งการกระตุ้น และการวัดสัญญาณในการทดลองหา.....	60
รูปที่ 56 ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบ.....	61
รูปที่ 57 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของ	62
รูปที่ 58 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบย่อยที่ 2 ฝาปิดบนและฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของฝาปิดบน	62
รูปที่ 59 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของ	63
รูปที่ 60 แผนภาพการออกแบบการทดลองหา	64
รูปที่ 61 แผนภาพการทดลองย่อยประกอบการออกแบบการทดลอง	65
รูปที่ 62 การติดตั้งการทดลองหาค่าการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อย	67
รูปที่ 63 ตำแหน่งกระตุ้น และวัดสัญญาณในการทดลองเพื่อหา.....	67
รูปที่ 64 ตำแหน่งกระตุ้น และวัดสัญญาณในการทดลองเพื่อหา.....	68
รูปที่ 65 ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยที่ 1 และ 3.....	69
รูปที่ 66 ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยที่ 2 และ 3.....	70
รูปที่ 67 กำลังกระตุ้นระบบ.....	72
รูปที่ 68 การเปรียบเทียบพลังงานการสั่นสะเทือนของระบบย่อยที่ 1 ที่ได้จากการทดลอง และ หลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ	72
รูปที่ 69 การเปรียบเทียบพลังงานการสั่นสะเทือนของระบบย่อยที่ 2 ที่ได้จากการทดลอง และ หลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ.....	73

รูปที่ 70 การเปรียบเทียบพลังงานการสั่นสะเทือนของระบบย่อยที่ 3 ที่ได้จากการทดลอง และ
 หลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ73

รูปที่ 71 ก) กำลังการสั่นสะเทือนสุทธิที่ส่งผ่านระหว่างระบบย่อย76

รูปที่ 72 สเตเตอร์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบย่อยที่ 3 ชุดแกนควบคุมกับฐานซึ่งมีสเตเตอร์.....79

รูปที่ 73 โรเตอร์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบย่อยที่ 1 ชุดแผ่นดิสก์กับโรเตอร์.....79

รูปที่ 74 แนวทางการลดการส่งผ่านการสั่นสะเทือนด้วยกาวยูสุ81

รูปที่ 75 แนวทางการลดการส่งผ่านการสั่นสะเทือนด้วยกระดาษ81

รูปที่ 76 แนวทางการลดการส่งผ่านการสั่นสะเทือนด้วยกาวสองหน้า81

รูปที่ 77 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยที่ 2 และ 3.....82

รูปที่ 78 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยที่ 2 และ 3.....83

รูปที่ 79 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยที่ 2 และ 3.....83

รูปที่ 80 เปรียบเทียบการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือน84

รูปที่ 81 เปรียบเทียบการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือน84

รูปที่ 82 เปรียบเทียบการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือน85

รูปที่ 83 ค้อนเคาะที่ใช้ในการทดลอง.....96

รูปที่ 84 อุปกรณ์ปรับสัญญาณ96

รูปที่ 85 เครื่องสั่นสะเทือนและแท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนซึ่งมีอุปกรณ์วัดสัญญาณแรงบิดอยู่98

รูปที่ 86 เครื่องขยายสัญญาณ.....98

รูปที่ 87 อุปกรณ์วัดความเร่ง (Accelerometer).....100

รูปที่ 88 อุปกรณ์วัดความเร็ว เลเซอร์ดอปเพลอร์ไว โบบิเตอร์101

รูปที่ 89 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ (Signal Analyzer).....102

รูปที่ 90 ซอฟต์แวร์ NVGate6.7.....103

รูปที่ 91 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ (Tachometer).....106

รูปที่ 92 โต้ะรักษาระดับ107

รูปที่ 93 แผนภาพการประกอบเข้าด้วยกันของส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ.....108

รูปที่ 94 แสดงตำแหน่งวัดและตำแหน่งกระตุ้นระบบ โดย (ก) แผ่นดิสก์ (ข) ฝาปิดบน	
(ค) ชุดเซนเซอร์ควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดลิโมเตอร์ติดอยู่.....	109
รูปที่ 95 ทางเลือกกรณีที่ 1.....	110
รูปที่ 96 ทางเลือกกรณีที่ 2.....	111
รูปที่ 97 ทางเลือกกรณีที่ 3.....	111
รูปที่ 98 ผลของสัญญาณแรงที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 กรณี	112
รูปที่ 99 ผลฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของกรณีที่ 2 และ 3 ของแผ่นดิสก์.....	113
รูปที่ 100 แสดงการติดตั้งระบบชุดเซนเซอร์ควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดลิโมเตอร์ติดอยู่.....	114
รูปที่ 101 รูปแบบการวางตัวของเครื่องสั่นสะเทือนในการกระตุ้นชิ้นงาน.....	115
รูปที่ 102 แท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนขนาด 12 นิ้ว 9 นิ้ว และ 6 นิ้ว.....	116
รูปที่ 103 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของแผ่นดิสก์ที่ได้จากการทดลองโมดัลด้วยเครื่อง สั่นสะเทือนโดยใช้แท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือน ที่มีความยาวแตกต่างกัน 3 ขนาด คือ 12 9 และ 6 นิ้ว.....	116
รูปที่ 104 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของแท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนขนาด 12 นิ้ว.....	118
รูปที่ 105 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของแท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนขนาด 9 นิ้ว.....	119
รูปที่ 106 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของแท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนขนาด 6 นิ้ว.....	120
รูปที่ 107 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของชุดเซนเซอร์ควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดลิโมเตอร์ ติดอยู่ที่ได้จากการทดลองโมดัลด้วยเครื่องสั่นสะเทือน	121
รูปที่ 108 ผลการทดลองเบื้องต้นประกอบการสังเคราะห์ทางเลือกของการออกแบบ.....	124
รูปที่ 109 ตำแหน่งวัดการสั่นสะเทือน.....	126
รูปที่ 110 การหาค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียเนื่องจากความหน่วงด้วยวิธีความกว้าง ช่วงความถี่.....	126
รูปที่ 111 การติดตั้งการทดลองโมดัล.....	126
รูปที่ 112 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของ (ก) ฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟปกติ (ข) ฮาร์ดดิสก์ ไคร์ฟแบบที่ 1 (ค) ฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟแบบที่ 3 (ง) ฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟแบบที่ 4.....	126
รูปที่ 113 ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียเนื่องจากความหน่วงของระบบฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟ.....	126

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

x	คือ	การขจัด หรือ ระยะการเคลื่อนที่ (เมตร)
v	คือ	ความเร็ว (เมตร/วินาที)
a	คือ	ความเร่ง (เมตร/วินาที ²)
P_{in}	คือ	กำลังกระตุ้น (วัตต์)
P_{diss}	คือ	กำลังสูญเสียสู่สิ่งแวดล้อม (วัตต์)
P_{ij}	คือ	กำลังส่งผ่านจากระบบย่อย i ไปยังระบบย่อย j (วัตต์)
E	คือ	พลังงาน (จูล)
F	คือ	แรง (นิวตัน)
f	คือ	ความถี่ (เฮิรตซ์)
t	คือ	เวลา (วินาที)
ω	คือ	ความถี่รอบ (รอบต่อวินาที)
M	คือ	มวล (กิโลกรัม)
η_i	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบย่อย i
η_{ij}	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อย i และ ระบบย่อย j

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำหลักในการจัดเก็บข้อมูลต่าง ๆ อย่างถาวรไว้ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จัดได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่เป็นองค์ประกอบจำเป็นอย่างมากของเครื่องคอมพิวเตอร์ไม่ว่าจะเป็นคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ หรือคอมพิวเตอร์พกพา ฯลฯ และเนื่องจากอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์เกิดการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จึงต้องมีการพัฒนาควบคู่ไปด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ในปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นส่วนอุตสาหกรรมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญต่อการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอย่างมาก มีมูลค่าการส่งออกสูงขึ้นไปต่อเนื่อง โดยในปี 2548 ประเทศไทยได้ก้าวขึ้นมาเป็นผู้ส่งออกฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อันดับหนึ่งของโลก

ในการพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น เป้าหมายหลักของการพัฒนา คือการลดความผิดพลาดในการอ่านหรือบันทึกข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งของความผิดพลาดนั้น คือการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ อย่างไรก็ตาม นอกจากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นนั้น จะส่งผลต่อการทำงานที่ผิดพลาดของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แล้ว ยังก่อให้เกิดเสียงรบกวนอันนำมาซึ่งความรำคาญแก่ผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์พกพาอีกด้วย ดังนั้น การศึกษาลักษณะการสั่นสะเทือนของส่วนประกอบต่าง ๆ ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จากส่วนประกอบที่เป็นต้นเหตุหลักไปยังบริเวณอื่น ๆ ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จึงเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยให้ทราบถึงสาเหตุหลักของการสั่นสะเทือน และลักษณะการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การคิดหาวิธีการลดหรือแก้ไขปัญหาคการสั่นสะเทือน ก่อให้เกิดประโยชน์ในการพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้เกิดข้อผิดพลาดน้อยที่สุด และเกิดประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1) หาฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ (Frequency Response Function) และความถี่ธรรมชาติของส่วนประกอบหลักต่าง ๆ ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ด้วยวิธีการทดลอง

2) หาลักษณะการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ด้วยวิธีการทดลอง และ ศึกษาความสัมพันธ์ของการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์กับค่าความถี่ธรรมชาติของส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เพื่อระบุส่วนประกอบที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนรวมมากที่สุด

3) ศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนภายในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

4) นำเอาผลการทดลองที่ได้จากข้อ 2 และข้อ 3 มาวิเคราะห์เพื่อแนะนำวิธีการลดปริมาณการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

โครงการการศึกษาการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์นี้ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่ใช้คือฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ขนาด 2.5 นิ้ว ซึ่งเป็นฮาร์ดดิสก์ไครฟ์สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์พกพา (Laptop) สามารถหาซื้อได้ทั่วไปในปัจจุบัน โดยจะทำการศึกษาในช่วงความถี่ 0-5,000 เฮิรตซ์ ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เกิดการสั่นสะเทือนสูง

การศึกษากการสั่นสะเทือน และการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนของส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรก คือการหาส่วนประกอบที่เป็นต้นเหตุหลักของการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ด้วยการทดลองโมดัล (Modal Testing) เพื่อหาฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ (Frequency Response Function: FRF) และค่าความถี่ธรรมชาติของส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ และด้วยการทดลองการสั่นสะเทือน (Vibration Testing) ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ เพื่อหาส่วนประกอบที่ส่งผลต่อการสั่นสะเทือนโดยรวมของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

การดำเนินการวิจัย	เดือน (ปี 2555 – 2556)									
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
11) วิเคราะห์ผลการทดลอง										
12) สรุปผล และจัดทำวิทยานิพนธ์										

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยนี้จะช่วยให้ทราบถึงฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของส่วนประกอบหลักของ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และลักษณะการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ซึ่งจะนำไปสู่การค้นพบ ส่วนประกอบที่เป็นต้นเหตุหลักของการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ รวมถึงช่วยให้ทราบถึง พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนจากส่วนประกอบที่เป็นต้นเหตุหลัก ของการสั่นสะเทือน ไปยังส่วนประกอบอื่น ๆ ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งการค้นพบต้นเหตุหลักของ การสั่นสะเทือน และลักษณะการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้นทำให้เพิ่ม แนวทางการคิดหาวิธีลด และแก้ไขปัญหการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้

1.6 ลำดับเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหา 7 บท และ ภาคผนวก 3 บท โดยมีลำดับเนื้อหาและ รายละเอียดดังนี้

บทที่ 1 คือบทนำ โดยกล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญ วัตถุประสงค์ ขอบเขตของการ วิจัย แผนการดำเนินการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำวิทยานิพนธ์ และลำดับเนื้อหา ของวิทยานิพนธ์นี้

บทที่ 2 กล่าวถึงความรู้พื้นฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ความรู้พื้นฐานการสันสะเทือน ความรู้ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดลองการสันสะเทือน รวมถึงความรู้ที่เกี่ยวกับหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ

บทที่ 3 แสดงปริทัศน์วรรณกรรม โดยกล่าวถึงการสำรวจและทบทวนบทความ และงานวิจัยที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งกลุ่มผลงานเป็น 2 กลุ่ม คือ ผลงานที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการสันสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และ ผลงานที่เกี่ยวข้องกับหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ

บทที่ 4 แสดงรายละเอียดการทดลองเพื่อระบุส่วนประกอบที่เป็นต้นเหตุหลักของการสันสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ อันได้แก่การทดลองโมดัลของส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และการทดลองวัดการสันสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

บทที่ 5 กล่าวถึงการหาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการส่งผ่านพลังงานการสันสะเทือนตามหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติด้วยวิธีทดลอง และแสดงการนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมาคำนวณหาค่าลังการสันสะเทือนส่งผ่านระหว่างองค์ประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

บทที่ 6 กล่าวถึงแนวทางเบื้องต้นเพื่อลดการส่งผ่านพลังงานการสันสะเทือนระหว่างองค์ประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

บทที่ 7 คือบทสรุป โดยกล่าวถึงบทสรุปของวิทยานิพนธ์ ประโยชน์ที่ได้รับ และข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไปในอนาคต

ในส่วนของภาคผนวกนั้น จะประกอบไปด้วย ภาคผนวก ก ซึ่งแสดงรายการและการตั้งค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ภาคผนวก ข ซึ่งแสดงรายละเอียดการออกแบบการทดลองโมดัลเพื่อประกอบเนื้อหาบทที่ 4 และ ภาคผนวก ค ซึ่งแสดงรายละเอียดการออกแบบการทดลองวัดการสันสะเทือนเพื่อประกอบเนื้อหาบทที่ 4

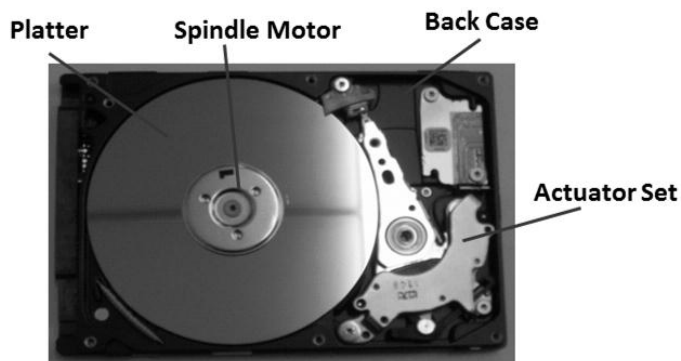
บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการสันสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

บทที่ 2 กล่าวถึงความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ ได้แก่ความรู้เกี่ยวกับ ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ทฤษฎีพื้นฐานของการสันสะเทือน การทดลองที่เกี่ยวข้องกับการสันสะเทือน และ ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ

2.1 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำหลัก ทำหน้าที่เก็บสำรองข้อมูลต่าง ๆ ของเครื่องคอมพิวเตอร์ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประกอบไปด้วยส่วนประกอบ 6 ชิ้นส่วน คือ ฝาปิดบน (Top Cover) แผ่นดิสก์ (Platter) สปินเดิลมอเตอร์ (Spindle Motor) ชุดแขนควบคุม (Actuator Set) แผงวงจร (Logic Board) และฐาน (Back Cover) ซึ่งองค์ประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แสดงในรูปที่ 1 2 และ 3



รูปที่ 1 ส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



รูปที่ 2 ฝาปิดบน (Top Cover)

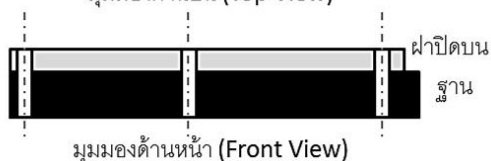


รูปที่ 3 แผงวงจร (Logic Board)

ฝาปิดบนเป็นส่วนประกอบที่ยึดกับฐานของฮาร์ดดิสก์ด้วยสกรู ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยฝาปิดบนทำหน้าที่เก็บส่วนประกอบอื่น ๆ ไว้ภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ รวมถึงช่วยป้องกันฝุ่นละออง หรือวัตถุแปลกปลอมอื่น ๆ ที่อาจเข้าไปขัดขวางการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



มุมมองด้านบน (Top View)



มุมมองด้านหน้า (Front View)

รูปที่ 4 การประกอบกันของฝาปิดบนกับฐานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

แผ่นดิสก์มีลักษณะเป็นแผ่นจานกลมซึ่งมีสารแม่เหล็กเคลือบอยู่ ทำหน้าที่เก็บและบันทึกข้อมูล โดยแผ่นดิสก์จะยึดเข้ากับสปินเดิลมอเตอร์ด้วยสกรู ดังแสดงในรูปที่ 5 สปินเดิลมอเตอร์ประกอบไปด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ ส่วนสเตเตอร์ (Stator) ซึ่งประกอบในลักษณะเป็นส่วนประกอบเดียวกับฐานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ดังแสดงในรูปที่ 6 และ ส่วนโรเตอร์ (Rotor) ซึ่งยึดติดกับสเตเตอร์ด้วยแรงแม่เหล็ก ในขณะที่ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำงานนั้น สปินเดิลมอเตอร์จะหมุน ซึ่งส่งผลให้แผ่นดิสก์หมุนไปด้วย โดยทั่วไปสปินเดิลมอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วรอบ 5400 รอบต่อนาที หรือ 7200 รอบต่อนาที



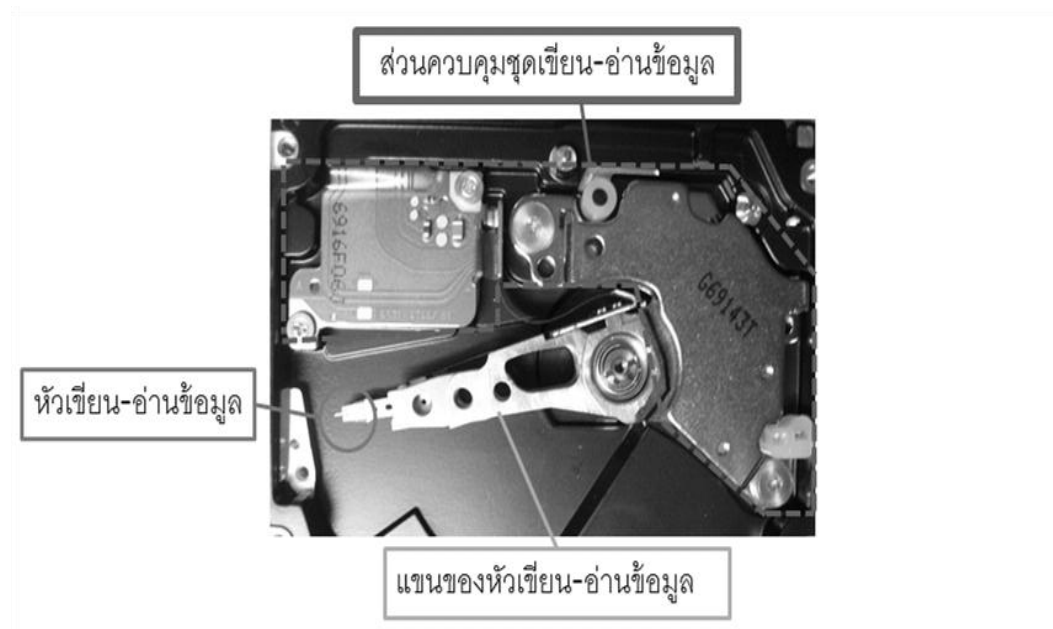
รูปที่ 5 การยึดระหว่างแผ่นดิสก์กับสปินเดิลมอเตอร์
(ตำแหน่งหัวลูกศร แสดงการยึดด้วยสกรู)



รูปที่ 6 สเตเตอร์ของมอเตอร์ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ชุดแกนควบคุมประกอบด้วยหัวเขียน-อ่านข้อมูล แกนของหัวเขียน-อ่านข้อมูล และส่วนควบคุมชุดแกนควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยชุดแกนควบคุมจะยึดติดกับฐานด้วยสกรูที่สองบริเวณด้วยกัน คือส่วนแกนของหัวเขียน-อ่านข้อมูล และส่วนควบคุมชุดแกนควบคุม นอกจากการยึดติดกับฐานแล้ว ส่วนควบคุมชุดแกนควบคุมนั้นก็ยึดกันเองด้วยแรงแม่เหล็กอีกด้วย ในการทำงานนั้น ส่วนควบคุมชุดแกนควบคุมจะควบคุมการทำงานของแกนของหัวเขียน-อ่านข้อมูลในการ

เคลื่อนไปบนแผ่นดิสก์รวมถึงควบคุมการทำงานของหัวเขียน-อ่าน ในการบันทึกและอ่านข้อมูลบนแผ่นดิสก์ด้วยเช่นกัน



รูปที่ 7 ชุดแขนควบคุม

แผงวงจรเป็นส่วนประกอบที่ควบคุมระบบไฟทั้งหมดของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ไม่ว่าจะไฟที่ใช้ในการทำงานของสปินเดิลมอเตอร์ หรือ ชุดแขนควบคุมก็ตาม โดยแผงวงจรจะยึดอยู่ที่ด้านหลังของฐานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยสกรู

ฐานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยม ฝาปิดบน ชุดแขนควบคุม และแผงวงจรจะยึดติดกับฐานด้วยสกรู โดยฐานทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบที่ทำให้ส่วนประกอบต่าง ๆ ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประกอบเข้าด้วยกัน

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ผลิตขึ้นในปัจจุบันนั้นจะมีการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นในขณะที่ทำงาน ซึ่งการสั่นสะเทือนนี้จัดเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เกิดการ ทำงานผิดพลาด ซึ่งจากการศึกษาผลงานวิจัยต่าง ๆ ที่ผ่านมา พบว่าทั้งส่วนประกอบและลักษณะการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้นมีผลต่อการสั่นสะเทือนทั้งสิ้น ซึ่งส่วนประกอบที่เป็นสาเหตุโดยตรงของการสั่นสะเทือนนั้นมักเกี่ยวข้องกับส่วนประกอบที่มีการเคลื่อนที่ ซึ่งได้แก่ สปินเดิลมอเตอร์ แผ่นดิสก์ และชุดแขนควบคุม

2.2 พื้นฐานการสั่นสะเทือนทางกล

การสั่นสะเทือน คือปรากฏการณ์ของการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของวัตถุภายใต้แรงกระทำ ซึ่งอาจเป็นแรงภายใน หรือแรงภายนอกก็ได้ทำให้สามารถแบ่งการสั่นสะเทือนออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ การสั่นสะเทือนแบบอิสระ (Free Vibration) หรือคือการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นโดยปราศจากการกระทำของแรงภายนอก และการสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้น (Force Vibration) หรือคือการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากแรงภายนอก

การสั่นสะเทือนสามารถอธิบายเป็นแบบจำลองทางกายภาพได้ด้วยพารามิเตอร์ 3 ตัว คือ ความยืดหยุ่น (Elastic) ความเฉื่อย (Inertia) และความหน่วง (Damping) ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้จะช่วยให้ง่ายต่อการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการสั่นสะเทือน

การตอบสนองทั้งหมดที่เกิดขึ้นของระบบนั้นจะมีค่าเป็นผลรวมระหว่างผลการตอบสนองฮาร์มอนิก (Harmonic Response) ซึ่งคือผลที่เกิดจากแรงฮาร์มอนิกที่กระตุ้นระบบ กับผลการตอบสนองในภาวะชั่วคราว (Transient Response) ซึ่งคือผลที่เกิดจากสถานะเริ่มต้น และจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป

2.3 สัญญาณการสั่นสะเทือน

สัญญาณที่ได้จากการทดลองการสั่นสะเทือนนั้น จะอยู่ในรูปของพารามิเตอร์ คือ ขนาด ความถี่ และ เฟส สำหรับขนาดของการสั่นสะเทือนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ การขจัดหรือระยะการเคลื่อนที่ ซึ่งคือระยะการเคลื่อนที่ของมวลจากตำแหน่งสมดุล ความเร็ว ซึ่งคืออัตราการเปลี่ยนแปลงระยะการเคลื่อนที่ของการเคลื่อนที่กลับไป-กลับมา และความเร่ง ซึ่งคืออัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมวลในการเคลื่อนที่กลับไป-กลับมา โดยความสัมพันธ์ระหว่างขนาดทั้งสามนั้นแสดงดังสมการที่ (1) (2) และ (3) ซึ่งขนาดทั้งสามรูปแบบนั้นมีความเหมาะสมต่อการวัดการสั่นสะเทือนที่แตกต่างกันขึ้นกับช่วงความถี่ที่ต้องการวัดสัญญาณ [1]

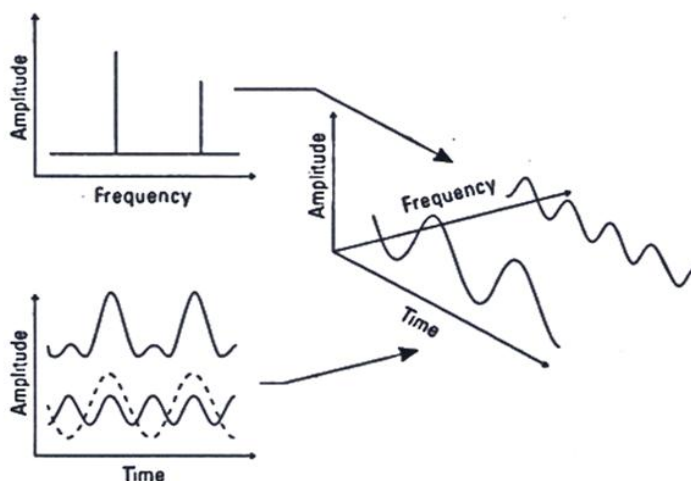
$$x = A_0 \sin(2\pi ft) \quad (1)$$

$$v = \dot{x} = (2\pi f)A_0 \cos(2\pi ft) \quad (2)$$

$$a = \ddot{x} = -(2\pi f)^2 A_0 \sin(2\pi ft) \quad (3)$$

โดยที่ A_0 คือ ขนาดของการขจัดสูงสุด

สัญญาณการสั่นสะเทือนในปัจจุบันนิยมวัดได้ 2 รูปแบบ คือ บนโดเมนเวลา (Time Domain) และโดเมนความถี่ (Frequency Domain) ซึ่งลักษณะของสัญญาณที่แสดงบนโดเมนทั้งสองนั้นมีความสัมพันธ์กัน ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่แสดงบน โดเมนเวลา และ โดเมนความถี่ [2]

สัญญาณการสั่นสะเทือนที่แสดงบน โดเมนทั้งสองต่างก็มีจุดเด่น-จุดด้อยที่แตกต่างกันในการวิเคราะห์ผล เนื่องจากการวินิจฉัยสัญญาณบน โดเมนเวลานั้นจะพิจารณาได้จากขนาดเพียงอย่างเดียว ในขณะที่ผลบน โดเมนความถี่นั้นจะวิเคราะห์ได้จากทั้งขนาดและความถี่ แต่หากพิจารณาถึงความยากง่าย และเวลาที่ใช้จะพบว่า การที่จะได้ผลการสั่นสะเทือนบน โดเมนความถี่นั้นจะต้องแปลงมาจากผลบน โดเมนเวลาอีกต่อหนึ่งด้วย ซึ่งวิธีการแปลงที่ใช้ในปัจจุบันคือการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform : FFT)

การแปลงฟูเรียร์แบบเร็วนี้เป็นการประยุกต์ใช้สมการอนุกรมฟูเรียร์ร่วมกับวิทยาการทางคอมพิวเตอร์เพื่อให้การแปลงฟูเรียร์ทำได้สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น วิธีการแปลงจากผลการ

สั้นสะท้อนบนโดเมนเวลามาเป็นผลการสั้นสะท้อนบนโดเมนความถี่โดยอาศัยวิธีการแปลงฟูรีเยร์ นั้น มาจากหลักการ คือสัญญาณการสั้นสะท้อนที่รูปแบบของสัญญาณมีลักษณะเป็นคาบ (Periodic Signal) นั้น จะสามารถพิจารณาเป็นสัญญาณที่มีรูปแบบสัญญาณฮาร์มอนิกได้ โดยสัญญาณที่มีลักษณะเป็นคาบจะมีค่าเท่ากับผลรวมของสัญญาณในรูปแบบฮาร์มอนิกที่มีค่าความถี่ต่าง ๆ กันได้ สมการอนุกรมฟูรีเยร์ของสมการที่มีรูปแบบเป็นคาบ (Periodic Function) แสดงในสมการที่ (4) ส่วนตัวอย่างการพิจารณาสัญญาณที่มีลักษณะเป็นคาบในรูปแบบของสัญญาณฮาร์มอนิก และ ตัวอย่างผลการแปลงสัญญาณจากโดเมนเวลาเป็นสัญญาณบนโดเมนความถี่แสดงในรูปที่ 9 และ 10 ตามลำดับ

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t)] \quad (4)$$

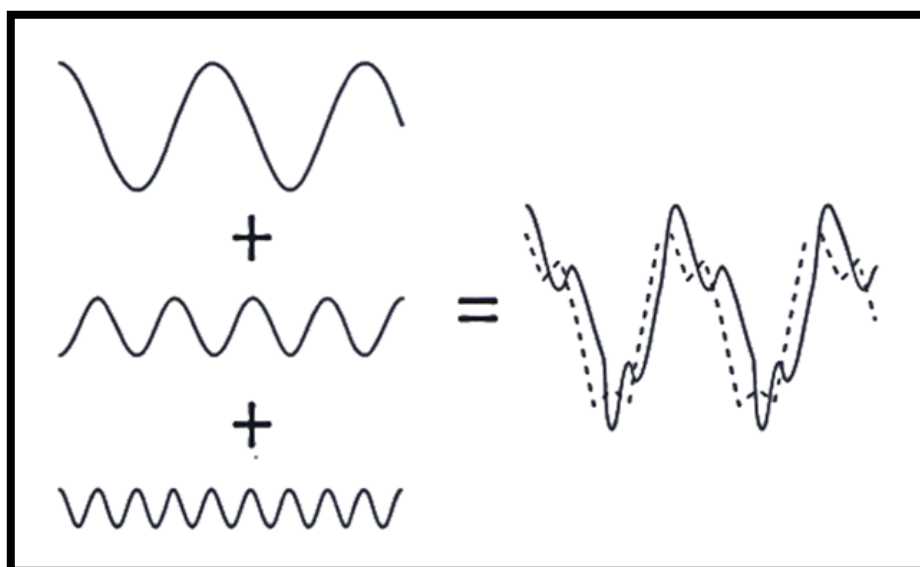
$$\text{โดยที่} \quad \omega_0 = \frac{2\pi}{T} \quad (5)$$

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (6)$$

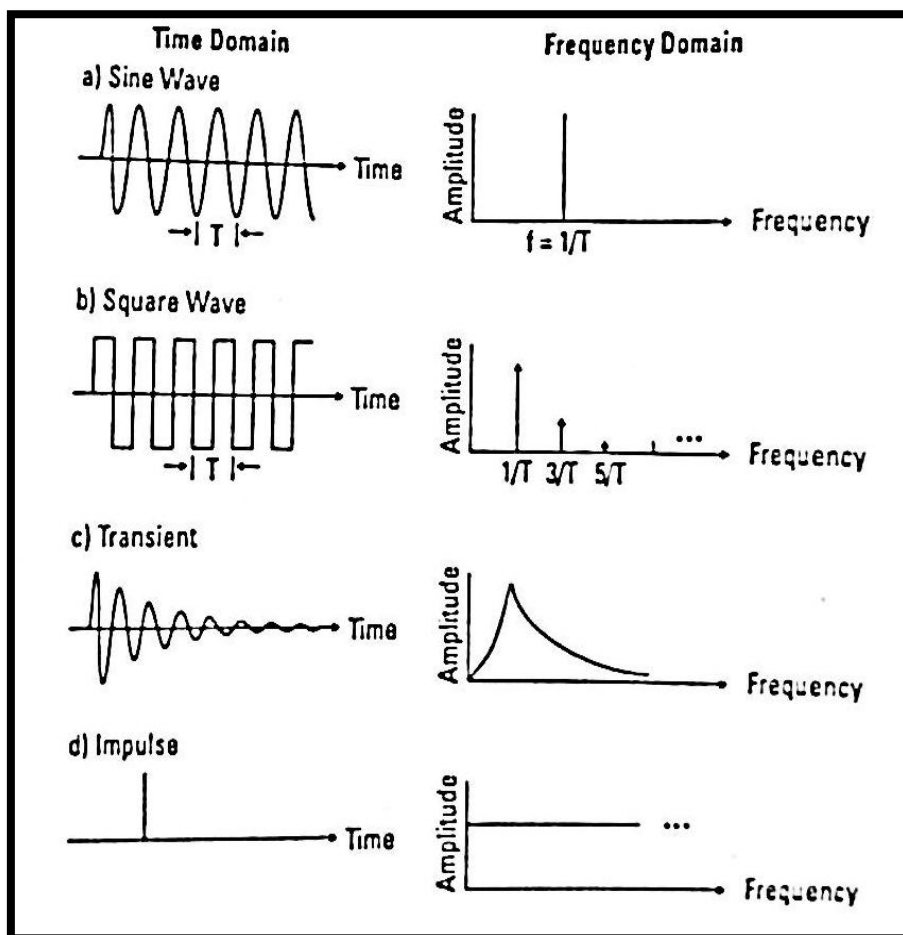
$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos(n\omega_0 t) dt \quad (7)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin(n\omega_0 t) dt \quad (8)$$

โดยที่ T คือ คาบของสัญญาณ



รูปที่ 9 ตัวอย่างการพิจารณาสัญญาณที่มีลักษณะเป็นคาบ
ในรูปแบบของสัญญาณฮาร์มอนิก [2]

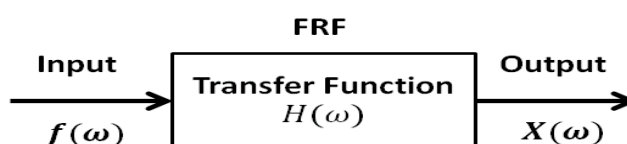


รูปที่ 10 ตัวอย่างการแปลงสเปกตรัม [2]

2.4 การทดลองโมดัล (Modal Testing)

การทดลองโมดัล เป็นการทดลองการสั่นสะเทือนรูปแบบหนึ่ง เพื่อหาลักษณะเฉพาะทางพลวัตของระบบนั้น ๆ ในการทดลองจะใส่แรงกระตุ้นเข้าไปในระบบเพื่อให้ระบบเกิดการสั่นสะเทือน จากนั้นจึงวัดผลการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น ผลการทดลองจะอยู่ในรูปของฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ (Frequency Response Function: FRF) ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ คือ อัตราส่วนระหว่างผลการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น ซึ่งแล้วแต่ลักษณะการสั่นสะเทือนที่วัด ไม่ว่าจะเป็นระยะเคลื่อนที่ ความเร็ว หรือความเร่งก็ได้ ต่อ แรงที่ใส่เข้าไปในระบบ ดังแสดงเป็นแผนภาพดังรูปที่ 11 โดยผลของฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ที่ได้จากการทดลองจะมีทั้งขนาดและเฟส โดย

ลักษณะของฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่นั้นจะมีความสัมพันธ์กับเฟส และขึ้นอยู่กับค่าความถี่ และค่าอัตราส่วนความหน่วง โดยลักษณะการตอบสนองเชิงความถี่จะแปรผกผันกับค่าอัตราส่วนความหน่วง ส่วนค่าความถี่นั้นเมื่อความถี่ของแรงที่มากระตุ้นมีค่ามากกว่าความถี่ธรรมชาติ หรือน้อยกว่าความถี่ธรรมชาติ ลักษณะการสั่นสะเทือนจะเกิดขึ้นน้อย ในขณะที่ถ้าความถี่ของแรงที่มากระตุ้นมีค่าใกล้เคียงค่าความถี่ธรรมชาติ การสั่นสะเทือนจะเกิดขึ้นมาก



รูปที่ 11 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่

การทดลองโมดัลนั้นสามารถแบ่งได้อีกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะแรงที่กระตุ้น หรือวิธีใส่แรงเข้าไปในระบบ ได้แก่ การทดลองโมดัลด้วยการเคาะ (Impact Testing) และการทดลองโมดัลด้วยการใช้เครื่องสั่นสะเทือน (Shaker Testing)

การทดลองโมดัลด้วยการเคาะ คือการทดลองโมดัลที่กระตุ้นระบบด้วยแรงจากการเคาะด้วยค้อนเคาะ (Impact Hammer) ดังรูปที่ 12 ซึ่งแรงที่ได้จะมีลักษณะเป็นแรงดล การทดลองโมดัลด้วยวิธีนี้ค่อนข้างเป็นที่นิยมเนื่องจากใช้เวลาในการทดลองน้อย และแทบไม่ต้องใช้อุปกรณ์เสริมอื่น ๆ เลย เพียงเคาะระบบด้วยค้อนเคาะก็จะได้สัญญาณออกมา แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้ก็ยังมีข้อเสียอยู่บ้าง คือสัญญาณที่ได้จะเกิดสัญญาณรบกวนค่อนข้างมาก ซึ่งส่งผลให้ผลการทดลองในรูปแบบฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่มีสัญญาณรบกวนไปด้วย ส่วนการทดลองโมดัลด้วยการใช้เครื่องสั่นสะเทือนนั้น เป็นการทดลองที่กระตุ้นระบบด้วยแรงจากเครื่องสั่นสะเทือน (Shaker) ดังรูปที่ 13 ลักษณะแรงที่ได้ขึ้นอยู่กับค่าเครื่องกำเนิด (Generator) เช่น สัญญาณในลักษณะรูปลูกคลื่นไซน์ (Sine) หรือโคไซน์ (Cosine) สัญญาณในลักษณะสุ่ม (Random) เป็นต้น การทดลองโมดัลด้วยวิธีนี้มีข้อควรระวัง คือการส่งผลของเครื่องสั่นสะเทือนต่อระบบที่ทำการทดลอง เนื่องจากเครื่องสั่นสะเทือนมีมวลค่อนข้างมาก มวลของเครื่องสั่นสะเทือนอาจส่งผลต่อมวลของระบบ ทำให้ในการทดลองด้วยเครื่องสั่นสะเทือนจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เสริมใช้ในการเชื่อมต่อเครื่อง

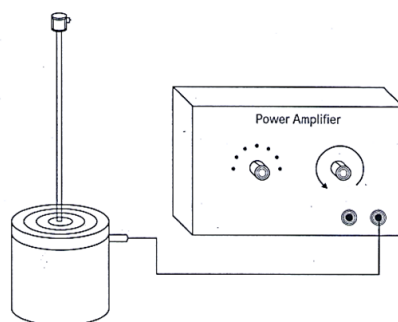
สันสะท้อนเข้ากับระบบ เพื่อลดผลกระทบนี้ ซึ่งอุปกรณ์เสริมนี้เรียกว่า แท่งส่งผ่านการสันสะท้อน (Stinger) มีลักษณะเป็นแท่งเรียวทรงกระบอก ทำหน้าที่รับแรงตามแนวแกนเท่านั้น จึงมีความแข็งเกร็งตามแนวแกน (Axial stiffness) สูง แต่มีความแข็งเกร็งงอ (Bending Stiffness) และความแข็งเกร็งเฉือน (Shear Stiffness) ต่ำ เครื่องสันสะท้อนที่ประกอบเข้ากับแท่งส่งผ่านการสันสะท้อน แสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 12 ค้อนเคาะ



รูปที่ 13 เครื่องสันสะท้อน



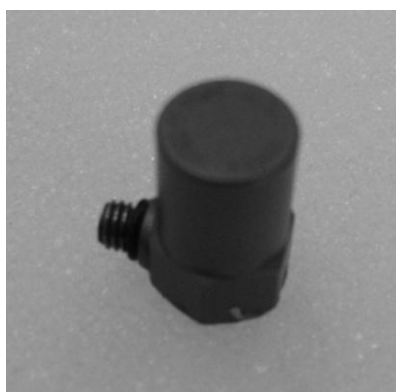
รูปที่ 14 เครื่องสันสะท้อนที่ติดตั้งแท่งส่งผ่านการสันสะท้อน [2]

ส่วนขนาดของการสันสะท้อนนั้นตามที่ระบุไว้ในหัวข้อ 2.1.2 มีอยู่ 3 รูปแบบ คือ ระยะเวลาเคลื่อนที่ ความเร็ว และ ความเร่ง ซึ่งอุปกรณ์วัดระยะเวลาเคลื่อนที่ จะเป็นหัววัดแบบที่ไม่ต้องมีการสัมผัสกับชิ้นส่วนทดลองโดยตรง จะใช้หลักการของการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าของขดลวดที่มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากการไหลของกระแสไฟฟ้าสลับที่ป้อนเข้าไป อุปกรณ์วัดความเร็ว เช่น เลเซอร์ดรอปปเปอร์ไวโบรมิเตอร์ (Laser Dropper Vibrometer : LDV) แสดงในรูปที่ 15 เป็นอุปกรณ์วัดแบบที่ไม่ต้องมีการสัมผัสกับชิ้นส่วนทดลองโดยตรง มีแสงเลเซอร์เป็นตัวตรวจจับการ

สิ้นสะท้อน ส่วนอุปกรณ์วัดความเร่ง ได้แก่ หัววัดความเร่ง (Accelerometer) แสดงในรูปที่ 16 เป็น อุปกรณ์วัดชนิดที่สัมผัสกับชิ้นส่วนทดลองโดยตรง มีหลายขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่

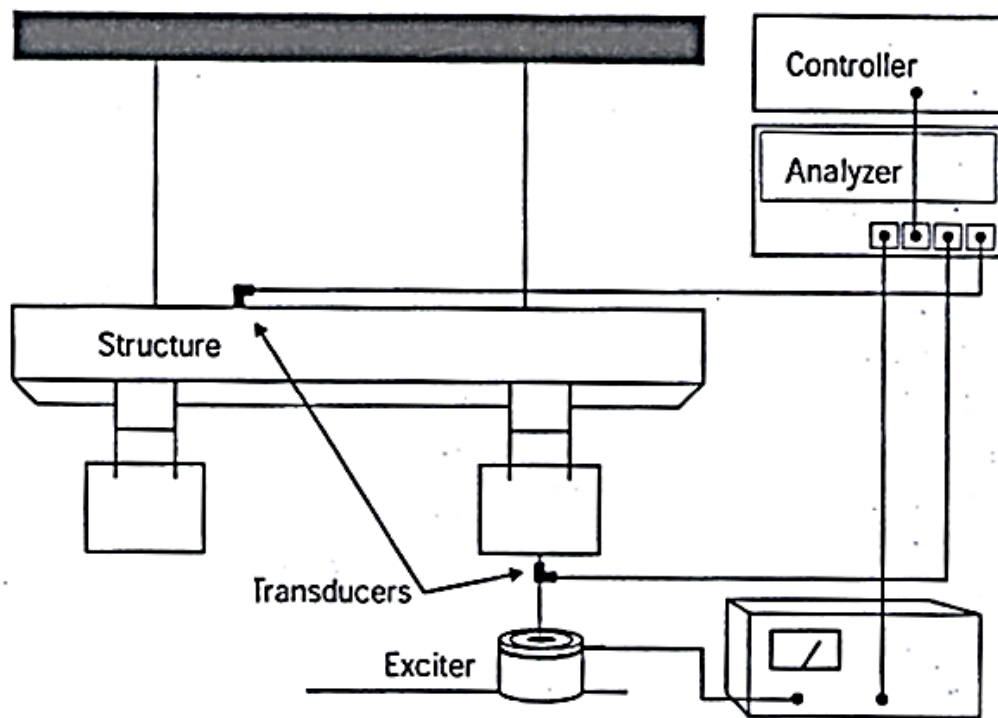


รูปที่ 15 เครื่องเลเซอร์ดรอปเปอร์ไวบรอมิเตอร์ (Laser Dropper Vibrometer)



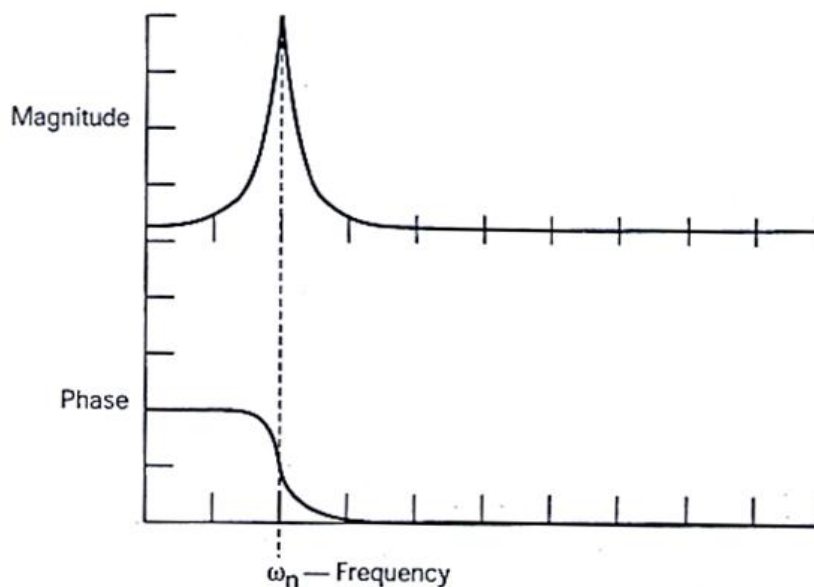
รูปที่ 16 หัววัดความเร่ง (Accelerometer)

ในการทดลองโมดล้นสัญญาณแรงและปริมาณการสิ้นสะท้อนที่วัดได้จากหัววัด (Transducer) จะถูกส่งเข้าเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ (Signal Analyzer) ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ และจัดการสัญญาณให้ออกมาในลักษณะของขนาดซึ่งคืออัตราส่วนระหว่างผลการตอบสนองกับแรงกระตุ้นระบบ และ เฟสบนโคเมนความถี่ ลักษณะการติดตั้งการทดลองโมดล้น แสดงดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 การติดตั้งการทดลองโมดัล [2]

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ คือ ค่าความถี่ธรรมชาติ ซึ่งค่าความถี่ธรรมชาติ คือค่าความถี่ที่ทำให้ระบบนั้น ๆ ยังคงเกิดการสั่นสะเทือนแม้ว่าจะไม่มีแรงภายนอกกระทำต่อระบบนั้น และถ้ามีการใส่แรงภายนอกซึ่งมีความถี่เท่ากับค่าความถี่ธรรมชาติของระบบให้แก่ระบบ ระบบจะเกิดการสั่นสะเทือนสูงขึ้นอย่างมาก ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าปรากฏการณ์สั่นพ้อง (Resonant) ซึ่งจากการพิจารณาฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่จะพบว่าค่าความถี่ธรรมชาติของระบบคือค่าความถี่ที่มีขนาดของการสั่นสะเทือนมีลักษณะสูงขึ้นมาเป็นยอด (Peak) และมีเฟสเปลี่ยนไป 180° ดังแสดงในรูปที่ 18



รูปที่ 18 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ [2]

2.5 การวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ (Statistical Energy Analysis: SEA)

2.5.1 ทฤษฎีการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ

การวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ เป็นหลักการวิเคราะห์โดยพิจารณาจากพลังงานการสั่นสะเทือนของระบบ ความรู้ที่คิดค้นโดย R.H. Lyon [3] เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาการสั่นสะเทือนของโครงสร้างที่ซับซ้อน โดยชื่อที่ตั้งขึ้นนั้นมีความหมายในตัวเอง คำว่า “สถิติ” หมายความว่า การตั้งสมมติฐานในการใช้หลักสถิติในการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เนื่องจากในการศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ นั้นจะศึกษาในรูปของค่าเฉลี่ยต่อพื้นที่ (Spatial Average) คำว่า “พลังงาน” หมายความว่า ปริมาณทางพลังงานอันได้แก่ พลังงาน และกำลัง เป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในการศึกษา คำว่า “การวิเคราะห์” เป็นการเน้นว่าการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิตินี้เป็นเพียงกรอบการศึกษาปัญหาโดยทั่วไปมากกว่าจะเป็นเทคนิคเฉพาะทาง [3]

หลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิตินี้ ก่อให้เกิดประโยชน์และข้อดีอย่างมากต่อการศึกษาการสั่นสะเทือน เนื่องจากพารามิเตอร์หลักในการศึกษาคือ ปริมาณทางพลังงาน ซึ่งเมื่อพารามิเตอร์อื่น ๆ มีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อปริมาณทางพลังงานเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อีกทั้งยังเป็น

พารามิเตอร์ที่ง่ายต่อการหาค่าเฉลี่ยทางสถิติอีกด้วย นอกจากนี้การนำหลักทางสถิติในรูปของค่าเฉลี่ยมาใช้ในการศึกษานั้นช่วยให้ใช้ได้แม้กับระบบที่ซับซ้อน รวมถึงการศึกษาการสั่นสะเทือนในขั้นต้น เช่นขั้นตอนการออกแบบ แต่อย่างไรก็ตามหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิตินี้ก็ยังมีข้อจำกัดในการศึกษาการสั่นสะเทือนอยู่บ้าง เนื่องจากการศึกษาเชิงสถิติ ทำให้ความแม่นยำของผลการสั่นสะเทือนมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง ข้อจำกัดอีกข้อหนึ่งของหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ คือ เหมาะสำหรับการศึกษาในช่วงความถี่สูงซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่โดยทั่วไปมีจำนวนโหมดการสั่นสะเทือนมาก หรือถ้าใช้ศึกษาการสั่นสะเทือนในช่วงความถี่ต่ำ ระบบที่ศึกษานั้นควรมีจำนวนโหมดการสั่นสะเทือนในช่วงความถี่ดังกล่าวอย่างน้อยห้าโหมด [4]

หลักการของการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิตินั้น คือการแบ่งระบบที่ศึกษาเป็นระบบย่อย ๆ ที่มีลักษณะการสะสมพลังงานในตัวเองคล้ายคลึงกัน โดยเมื่อระบบย่อยใดถูกกระตุ้นด้วยแรงกระตุ้นจากภายนอก เกิดกำลังกระตุ้นระบบ (Input Power, $P_{i,in}$) ระบบย่อยแต่ละระบบจะมีการสะสมพลังงานภายในตัวเอง (Storing Energy, E_i) ในรูปของพลังงานการสั่นสะเทือน (Vibrational Energy) มีการสูญเสียกำลังบางส่วนไปสู่สิ่งแวดล้อม (Dissipation Power, $P_{i,diss}$) และมีการส่งผ่านกำลังระหว่างกัน (Transfer Power, P_{ij}) ในการพิจารณาพลังงาน และกำลังต่าง ๆ ของระบบด้วยการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิตินั้น ได้ประยุกต์ใช้กฎการอนุรักษ์พลังงาน ร่วมกับการใช้พารามิเตอร์ของการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ (SEA Parameter) อันได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบย่อย (Dissipation Loss Factor, η_i) และค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อย (Coupling Loss Factor, η_{ij})

กฎการอนุรักษ์พลังงานนั้น สามารถแสดงในรูปของสมการเชิงคณิตศาสตร์ได้ดังแสดงในสมการที่ (9)

$$\sum E_{in} = \sum E_{out} \quad (9)$$

โดยที่ E_{in} คือ พลังงานขาเข้า

E_{out} คือ พลังงานขาออก

ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบย่อย เป็นพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติที่แสดงถึงความสามารถในการสูญเสียพลังงานของระบบย่อยเนื่องจากความหน่วงของระบบย่อยนั้น โดยค่าพารามิเตอร์นี้นำไปสู่การหาค่ากำลังสูญเสียจากระบบย่อยนั้น ๆ ไปสู่

สิ่งแวดลอม ดังแสดงในสมการที่ (10) จากสมการจะพบว่าค่ากำลังสูญเสียจากระบบย่อยไปสู่สิ่งแวดลอมนั้นมีความสัมพันธ์กับพลังงานการสั่นสะเทือนของระบบย่อย

$$P_{i,diss} = \omega \eta_i E_i \quad (10)$$

โดยที่ $\omega = 2\pi f$

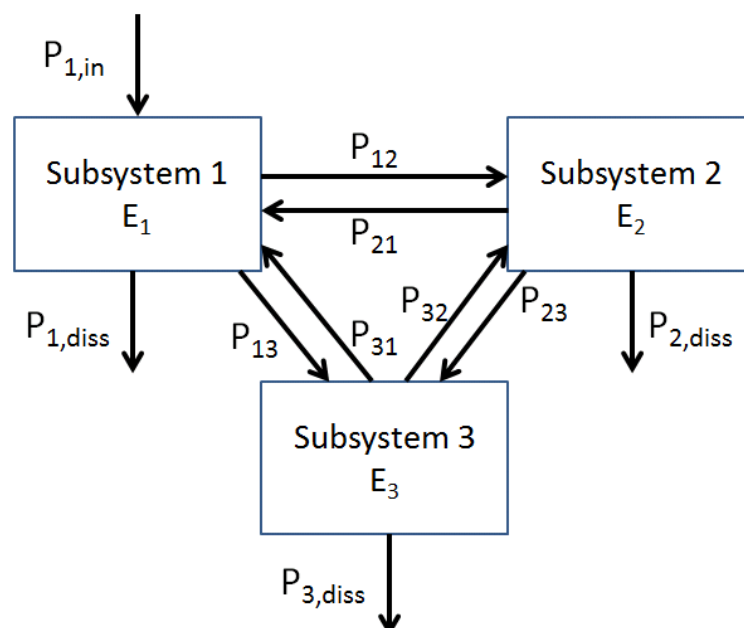
f คือค่าความถี่ (เฮิรตซ์)

และที่สภาวะคงตัว (Steady State) นั้น จะเสมือนว่ากำลังกระตุ้นระบบจะมีค่าเท่ากับกำลังสูญเสียจากระบบย่อยไปสู่สิ่งแวดลอม ดังสมการที่ (11) [5]

$$P_{i,in} = P_{i,diss} \quad (11)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อย เป็นพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติที่แสดงถึงความสามารถในการส่งผ่านกำลังระหว่างระบบย่อย 2 ระบบ เนื่องจากรูปแบบการประกอบเข้าด้วยกัน โดยกำลังที่ส่งผ่านระหว่างระบบย่อยนั้นก็มีความสัมพันธ์กับพลังงานการสั่นสะเทือนของระบบย่อยเช่นเดียวกับค่าการสูญเสียพลังงานของระบบย่อย ดังสมการที่ (12)

$$P_{ij} = \omega \eta_{ij} E_i \quad (12)$$



รูปที่ 19 แบบจำลองการถ่ายทอดพลังงานของระบบที่ประกอบไปด้วย 3 ระบบย่อย

สมมติให้ระบบที่ศึกษาประกอบไปด้วย 3 ระบบย่อย และมีแรงกระตุ้นที่ระบบย่อยเดียว ดังแสดงในรูปที่ 19 ระบบดังกล่าวจะสามารถเขียนสมการของระบบตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน ได้ดังสมการที่ (13) (14) และ (15)

$$P_{1,in} = P_{1,diss} + P_{12} + P_{13} - P_{21} - P_{31} \quad (13)$$

$$0 = P_{2,diss} + P_{21} + P_{23} - P_{12} - P_{32} \quad (14)$$

$$0 = P_{3,diss} + P_{31} + P_{32} - P_{13} - P_{23} \quad (15)$$

เมื่อแทนค่ากำลังสูญเสียจากระบบย่อยสู่สิ่งแวดล้อม และค่ากำลังสูญเสียระหว่างระบบย่อย ด้วยการคำนวณจากพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ ดังแสดงในสมการที่ (11) และ (12) ในสมการอนุรักษ์พลังงานจะเขียนเป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการประยุกต์ใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานร่วมกับพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติได้ดังสมการที่ (16) [6] ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าว จะนำไปสู่การทำนายเพื่อประมาณค่าพลังงานการสันสะเทือนได้

$$\omega \begin{pmatrix} \eta_{1,total} & -\eta_{21} & -\eta_{31} \\ -\eta_{12} & \eta_{2,total} & -\eta_{32} \\ -\eta_{13} & -\eta_{23} & \eta_{3,total} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (16)$$

โดยที่
$$\eta_{i,total} = \eta_i + \sum_{j,j \neq i} \eta_{ij} \quad (17)$$

2.5.2 การประยุกต์ใช้หลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติด้วยวิธีการทดลอง

ในการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิตินั้นจะต้องมีการสร้างแบบจำลองการถ่ายทอดพลังงานที่เกิดขึ้นของระบบที่ศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 19 โดยปัจจัยที่สำคัญในการสร้างแบบจำลองนั้น ได้แก่

- 1) แหล่งกำเนิดของกำลังที่กระตุ้นระบบ โดยระบบจะถูกกระตุ้นจากแรงภายนอก โดยแรงกระตุ้นนั้นควรมีค่าใกล้เคียงกัน และครอบคลุมตลอดช่วงความถี่ที่ศึกษา
- 2) ระบบย่อย (Subsystem, SS) ซึ่งก็คือกลุ่มขององค์ประกอบของระบบที่มีลักษณะการสะสมพลังงานใกล้เคียงกัน และสามารถสันสะเทือนได้อย่างอิสระจากระบบย่อยอื่น ๆ
- 3) ความสามารถในการเก็บสะสมพลังงานของแต่ละระบบย่อย โดยในการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิตินั้นจะตั้งสมมติฐานให้ระบบย่อยสามารถสะสมพลังงานในตัวเองได้อย่างจำกัด
- 4) จุดเชื่อมต่อระหว่างระบบย่อย โดยระบบย่อยแต่ละระบบจะเกิดการส่งผ่านพลังงานระหว่างกันได้เมื่อมีจุดเชื่อมต่อ หรือจุดสัมผัสระหว่างระบบย่อยนั้น ๆ

แบบจำลองการถ่ายทอดพลังงานของระบบนั้น สามารถสร้างได้จากการพิจารณาลักษณะทางกายภาพของระบบ แต่ในการหาค่าพลังงาน หรือกำลังต่าง ๆ นั้นจะได้จากการดำเนินการตามขั้นตอนของการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ ซึ่งวิธีการตามหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิตินั้น คือ การหาค่าพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ ซึ่งสามารถหาพารามิเตอร์ที่สำคัญต่าง ๆ ได้ดังนี้

1) กำลังกระตุ้นระบบ (Input Power) โดยทั่วไปกำลังกระตุ้นระบบนั้นเป็นพารามิเตอร์ที่รู้ค่า เนื่องจากในการทดลองนั้นอุปกรณ์ที่ใช้ในการกระตุ้นระบบมักจะเป็นเครื่องสั่นสะเทือน หรือ ค้อนเคาะซึ่งมีอุปกรณ์วัดแรงติดอยู่ระหว่างอุปกรณ์กระตุ้นกับชิ้นส่วนทดลองทำให้สามารถวัดแรงกระตุ้นระบบ (F_{in}) ได้โดยตรง นอกจากการวัดแรงแล้วยังต้องมีการวัดความเร็วของการกระตุ้นระบบ (v_{in}) อีกด้วย ซึ่งสามารถวัดได้ด้วยอุปกรณ์วัดความเร็ว โดยค่ากำลังมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างแรง กับความเร็ว ดังสมการที่ (18)

$$P_{i,in} = F_{in} \times v_{in} \quad (18)$$

2) ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบย่อย (Dissipation Loss Factor) เพื่อให้ง่ายต่อการหาค่าการสูญเสียพลังงานของระบบย่อย มีเทคนิคพิเศษ คือเทคนิคการวัดกำลังกระตุ้น (Input Power technique) [3] ซึ่งเป็นการหาค่าการสูญเสียพลังงานของระบบจากการทดลองดังแสดงในรูปที่ 20 โดยในรูปที่ 20 นั้นแสดงการทดลองโดยวิธีการกระตุ้นด้วยเครื่องสั่นสะเทือน โดยที่ตำแหน่งกระตุ้นนั้นมีอุปกรณ์วัดสัญญาณแรง และอุปกรณ์วัดสัญญาณความเร็วติดอยู่ เพื่อหาค่ากำลังกระตุ้นชิ้นงาน นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์วัดสัญญาณความเร่งติดอยู่เพื่อวัดผลการตอบสนองหรือ ผลการสั่นสะเทือนของระบบ เพื่อหาค่าความเร็วเฉลี่ยตามพื้นที่ของชิ้นงานทดลอง ($\langle v^2 \rangle$) และแทนค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองในสมการที่ (19)

$$\eta_i = \frac{P_{i,in}}{M_i \langle v^2 \rangle \omega} \quad (19)$$

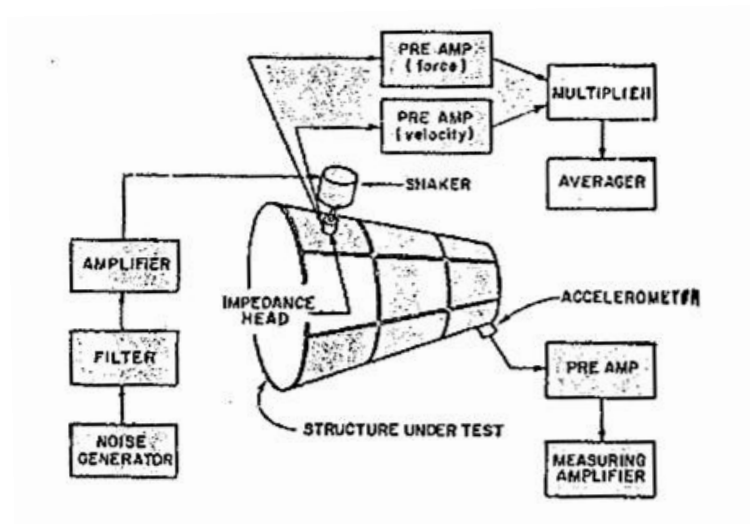
$$\text{โดยที่} \quad \langle v^2 \rangle = \frac{(\sum_{j=1}^N v_{i,j}^2 A_j)}{A_{Total}} \quad (20)$$

M_i คือ มวลของระบบย่อย i

$v_{i,j}$ คือ ความเร็วที่ผิวบนตำแหน่งที่ j ใด ๆ ของระบบย่อย i

A_j คือ พื้นที่ผิวของการวัดการสั่นสะเทือนใด ๆ ที่ตำแหน่งที่ j ใด ๆ

A_{Total} คือ ผลรวมของพื้นที่ผิวของตำแหน่งวัดการสั่นสะเทือนทั้งหมดของระบบย่อย
 N คือ จำนวนพื้นที่ผิวที่แบ่งในการวัดการสั่นสะเทือนของระบบย่อย i



รูปที่ 20 วิธีการทดลองเพื่อหาค่าการสูญเสียพลังงานของระบบย่อย
 ด้วยเทคนิคการวัดกำลังกระตุ้น [3]

3) ค่าการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อย (Coupling Loss Factor) สามารถหาได้จากการแก้สมการตามกฎอนุรักษ์พลังงานดังสมการที่ (16) แต่เนื่องจากความซับซ้อนของสมการทำให้ยากต่อการคำนวณ จึงได้มีการศึกษาต่อ ๆ มา ซึ่งจากงานศึกษาของ Lalor [4] นั้น ได้หาวิธีประมาณค่าการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยให้ง่ายขึ้น ด้วยวิธีการทดลอง และอาศัยข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาคำนวณตามสมการที่ (21) [4]

$$\eta_{ij} \approx \frac{1}{\omega} \frac{\langle E_{ji} \rangle \langle P_j \rangle}{\langle E_{ii} \rangle \langle E_{jj} \rangle} \quad (21)$$

โดยที่ $\langle E_{ji} \rangle$ คือ พลังงานการสั่นสะเทือนเฉลี่ยตามพื้นที่ซึ่งงานทดลอง

ที่วัดที่ตำแหน่งระบบย่อย j เมื่อกระตุ้นระบบที่ระบบย่อย i

$\langle E_{ii} \rangle$ คือ พลังงานการสั่นสะเทือนเฉลี่ยตามพื้นที่ซึ่งงานทดลอง

ที่วัดที่ตำแหน่งระบบย่อย i เมื่อกระตุ้นระบบที่ระบบย่อย i

$\langle E_{jj} \rangle$ คือ พลังงานการสั่นสะเทือนเฉลี่ยตามพื้นที่ซึ่งงานทดลอง

ที่วัดที่ตำแหน่งระบบย่อย j เมื่อกระตุ้นระบบที่ระบบย่อย j

พารามิเตอร์ของการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติที่คำนวณได้เหล่านี้จะนำไปสู่การหาค่าที่ตั้งส่งผ่านจากระบบหนึ่งไปยังระบบย่อยอีกระบบย่อยหนึ่งได้ ด้วยการแทนค่าย้อนกลับโดยนำค่าการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยแทนในสมการที่ (12)

4) พลังงานการสั่นสะเทือน (Vibrational Energy) หรือพลังงานสะสมของระบบย่อย (Storing Energy) สามารถประมาณค่าได้จากค่าพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ โดยจากสมการที่ (16) เมื่อทราบค่ากำลังกระตุ้น ค่าการสูญเสียพลังงานของระบบ และค่าการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อย และแทนค่าลงในสมการดังกล่าว และสมมติให้เกิดการส่งผ่านพลังงานจากระบบย่อย 1 ไปยังระบบย่อย 2 และจากระบบย่อย 2 ไปยังระบบย่อย 3 หรือคือไม่มีการส่งผ่านพลังงานระหว่างระบบย่อยที่ 1 และ 3 ($\eta_{13} = \eta_{31} = 0$) จะสามารถแก้สมการเพื่อหาค่าพลังงานการสั่นสะเทือนโดยประมาณ ($E_{i,Total}$) ได้ดังสมการที่ (22) (23) และ (24)

$$E_{1,Total} = P_i(\eta_{2,Total}\eta_{3,Total} - \eta_{23}\eta_{32})/(\omega\Delta) \quad (22)$$

$$E_{2,Total} = E_{1,Total} \frac{\eta_{12}\eta_{3,Total}}{\eta_{2,Total}\eta_{3,Total} - \eta_{23}\eta_{32}} \quad (23)$$

$$E_{3,Total} = E_{2,Total} \frac{\eta_{23}}{\eta_{3,Total}} \quad (24)$$

โดยที่ $\Delta = \begin{vmatrix} \eta_{1,total} & -\eta_{21} & -\eta_{31} \\ -\eta_{12} & \eta_{2,total} & -\eta_{32} \\ -\eta_{13} & -\eta_{23} & \eta_{3,total} \end{vmatrix}$ (25)

ถ้าสมมติให้ค่าการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยมีค่าน้อยกว่าค่าการสูญเสียพลังงานรวมของระบบย่อย ($\eta_{23} < \eta_{2,Total}$ และ $\eta_{32} < \eta_{3,Total}$) ผลเฉลยโดยประมาณดังสมการที่ (22) (23) และ (24) นั้น สามารถลดรูปได้ดังสมการที่ (26) และ (27)

$$E_{1,Total} = \frac{P_i}{\omega\eta_1} \quad (26)$$

$$E_{3,Total} = E_{2,Total} \frac{\eta_{23}}{\eta_{3,Total}} = E_{1,Total} \frac{\eta_{12}}{\eta_{2,Total}} \frac{\eta_{23}}{\eta_{3,Total}} \quad (27)$$

5) กำลังส่งผ่านระหว่างระบบย่อยสุทธิ (Transmission Power, $P_{ij,Net}$) คือค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างกำลังส่งผ่านการสั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อย โดยสามารถประมาณค่าด้วยหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติได้ดังสมการที่ (28)

$$P_{ij,Net} = P_{ij} - P_{ji} = \omega\eta_{ij}E_{i,Total} - \omega\eta_{ji}E_{j,Total} \quad (28)$$

บทที่ 3

ปริทัศน์วรรณกรรม

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาลักษณะการสั้นสะเทือนของส่วนประกอบหลักของ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยวิธีการทดลอง และการศึกษาลักษณะการส่งผ่านพลังงานการสั้นสะเทือนของ ส่วนประกอบหลักภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ เพื่อแนะนำวิธีลด หรือแก้ไขปัญหาการสั้นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่เกิดขึ้น ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงการสำรวจ และทบทวนผลงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 ส่วน คือ 1. ผลงานวิจัยที่ เกี่ยวข้องกับการสั้นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และ 2. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ หลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติในการศึกษาการสั้นสะเทือน

3.1 ผลงานวิจัยที่ศึกษาลักษณะการสั้นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

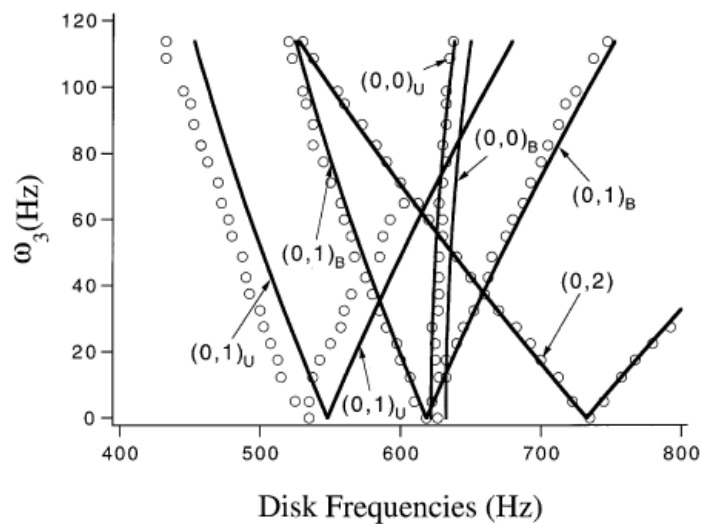
เนื่องจากการสั้นสะเทือนเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เกิดความเสียหายได้ ทำให้ มีผลงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับการสั้นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งโดยมากจะเป็น ผลงานวิจัยเพื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการสั้นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

Tandon Rao และ Agrawal [7] ได้วิเคราะห์ลักษณะการสั้นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยพิจารณาที่แผ่นดิสก์ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นหลัก ผลงานนี้ครอบคลุม การศึกษาหาค่าความถี่ธรรมชาติของแผ่นดิสก์ ด้วย 3 วิธี คือ วิธีเชิงทฤษฎี วิธีเชิงวิเคราะห์ด้วย ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และวิธีการทดลอง เปรียบเทียบกัน ซึ่งผลการทดลองที่ได้จากทั้งสาม วิธีนั้น มีค่าแตกต่างกันอยู่บ้างแต่ก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งความแตกต่างนั้นน่าจะเป็นผลมาจาก เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) ซึ่งไม่สามารถติดตั้งการทดลองให้สมบูรณ์ได้ นอกจาก การศึกษาค่าความถี่ธรรมชาติแล้ว ผลงานนี้ยังศึกษาลักษณะการสั้นสะเทือนของแผ่นดิสก์ในขณะที่ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำงานที่ความเร็วรอบที่แตกต่างกัน 5 ค่า คือ 4,500 5,400 7,200 10,000 และ 15,000

รอบต่อนาที ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ห้ขนาดการสั่นสะเทือนรวม (Overall Vibration) ของแผ่นดิสก์นั้น พบว่าขนาดการสั่นสะเทือนรวมมีค่าสูงสุดที่ค่าความเร็ว 7,200 รอบต่อนาที และมีค่าต่ำสุดที่ค่าความเร็วรอบ 15,000 รอบต่อนาที ส่วนผลจากการวิเคราะห์สเปกตรัมการสั่นสะเทือนของแผ่นดิสก์นั้นพบว่าเกิดการสั่นสะเทือนสูงที่สุดที่ค่าความถี่ทำงาน และที่ความถี่ที่เป็นฮาร์มอนิกของค่าความถี่ทำงาน ตามลำดับ

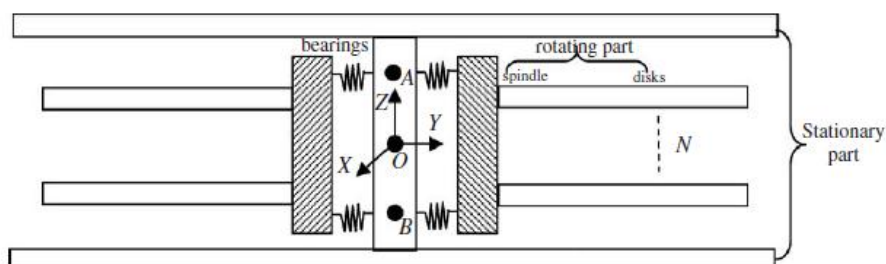
นอกจากผลงานวิจัยที่ศึกษาผลการสั่นสะเทือนของแผ่นดิสก์แล้ว ทั้งสามคนยังมีผลงานวิจัยที่ศึกษาผลของระยะห่างระหว่างหัวอ่านที่ปลายแขนควบคุม (Head Actuator) กับแผ่นดิสก์ที่มีต่อการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ด้วยเทคนิคการเฝ้าตรวจการสั่นสะเทือน (Vibration Monitoring) ซึ่งผลการศึกษาพบว่าการสั่นสะเทือนจะเพิ่มขึ้น เมื่อระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ลดลง และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อระยะใกล้มาก ๆ จนกระทั่งเกิดการชนกัน ซึ่งผลจากงานศึกษานี้สามารถช่วยป้องกันไม่ให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เสียหายจากการชนกันของหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ หรือผลจากการสั่นสะเทือนสูงเกินไปได้ โดยการพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ด้วยการดีไซน์เซอร์ ฮยุดการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เมื่อเกิดการสั่นสะเทือนสูง [8]

Shen [9] ได้รวบรวมข้อมูลการศึกษาการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบที่เกิดการหมุนเมื่อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำงาน ซึ่งคือแผ่นดิสก์ และแกนหมุน (Spindle) โดยการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นนั้นเกิดได้ 2 รูปแบบ คือ การสั่นสะเทือนจากการแกว่งสายไปมา (In-plane Vibration) ด้วยผลของการคลายตัวของลูกปืน (Bearing) เนื่องจากความไม่สมดุล (Unbalance Moment) รอบแกนหมุน และ การสั่นสะเทือนจากการเปลี่ยนแปลงของแผ่นดิสก์ขณะหมุน โดยผลงานนี้ แสดงวิธีการติดตั้งการทดลองหาฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของชุดแผ่นดิสก์ที่ประกอบด้วยสปินเดิลมอเตอร์เมื่อสปินเดิลมอเตอร์หมุนที่ความเร็วรอบต่าง ๆ และแสดงผลการหาค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้ ซึ่งพบว่าค่าความถี่ธรรมชาติของแผ่นดิสก์จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อความเร็วรอบทำงานเปลี่ยนแปลงไป โดยรูปที่ 21 เป็นตัวอย่างแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติของระบบแผ่นดิสก์ 4 แผ่น ซึ่งประกอบด้วยสปินเดิลมอเตอร์เมื่อแผ่นดิสก์หมุนด้วยความเร็วรอบที่เปลี่ยนไปโดยแสดงผลที่ได้จากวิธีการทดลองซึ่งแสดงด้วยสัญลักษณ์วงกลม เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากวิธีเชิงทฤษฎีซึ่งแสดงด้วยเส้นทึบ

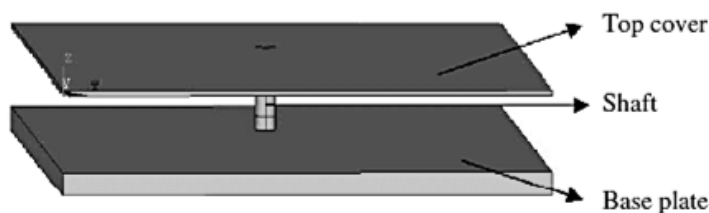


รูปที่ 21 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติของแผ่นดิสก์ที่หมุนที่ความเร็วรอบต่าง ๆ [9]

Ying Gao และ Ya [10] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ระหว่างลักษณะการสั่นสะเทือนขององค์ประกอบหลักแต่ละองค์ประกอบขณะหยุดนิ่งในรูปแบบของค่าความถี่ธรรมชาติ กับลักษณะการสั่นสะเทือนขณะฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำงานในสถานะหยุดนิ่งขององค์ประกอบหลักเมื่อประกอบเข้าด้วยกันแล้ว ทั้งด้วยวิธีเชิงทฤษฎี และวิธีเชิงวิเคราะห์ โดยในการศึกษานั้น แบ่งองค์ประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็น 3 ระบบ ดังแสดงในรูปที่ 22 ซึ่งคือ 1. ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่เกิดการหมุนขณะฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำงาน อันได้แก่ แผ่นดิสก์ และแกนสปินเดิล 2. ลูกปืน และ 3. ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่หยุดนิ่งขณะฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำงาน อันได้แก่ ฝาปิดบน และฐาน โดยจำลองระบบทั้ง 3 ดังรูปที่ 23



รูปที่ 22 องค์ประกอบของระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ศึกษา [10]



รูปที่ 23 แบบจำลองส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่หยุดนิ่ง [10]

ผลจากการศึกษาพบว่า ระบบซึ่งประกอบไปด้วยส่วนประกอบที่เกิดการหมุนขณะฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำงานนั้น ค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้เมื่อค่าความเร็วรอบเปลี่ยนไป จะมีค่าแตกต่างกันไปจากขณะหยุดนิ่ง โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติมีรูปแบบเช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Shen [9] ดังกล่าวไปแล้ว ส่วนระบบที่ประกอบไปด้วยส่วนประกอบที่หยุดนิ่งขณะฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำงานนั้น พบว่าค่าความถี่ธรรมชาติของระบบเมื่อประกอบเข้ากับระบบอื่น ๆ แล้ว แม้ว่าจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไป แต่ก็เล็กน้อยเท่านั้น

จากผลงานวิจัยที่ผ่านมาดังกล่าวข้างต้น จะพบว่ารูปแบบการศึกษาลักษณะการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้น จะเน้นศึกษาจากลักษณะการสั่นสะเทือน จากค่าความถี่ธรรมชาติเป็นหลัก รวมถึงการหาปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนมากขึ้น ไม่ว่าจะผลของความถี่รอบที่เปลี่ยนแปลง หรือ ผลของการสัมผัสกันระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ โดยรูปแบบการศึกษานั้น มีทั้งวิธีเชิงทฤษฎี วิธีเชิงวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และ วิธีการทดลอง ซึ่งผลการศึกษา ลักษณะการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ได้จากทั้ง 3 วิธีนั้น ต่างก็เป็นที่ยอมรับ เนื่องจากมีความใกล้เคียงกันมาก

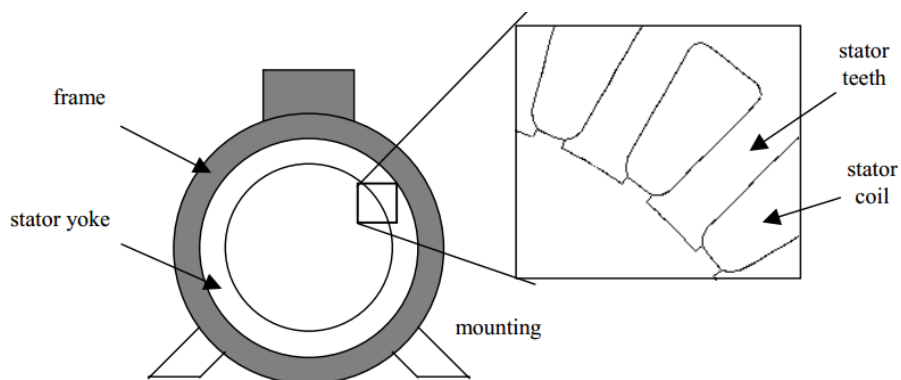
ส่วนการศึกษาลักษณะการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในแง่ของการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนนั้น ยังมีไม่มากนัก แต่ก็ยังมีอยู่บ้าง ดังผลงานวิจัยของ Xu Lee และ Lu [11] ซึ่งศึกษาถึงการส่งผ่านพลังงานภายในระบบที่ประกอบไปด้วยส่วนประกอบที่เกิดการหมุนเมื่อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำงานอันได้แก่ แผ่นดิสก์ ลูกปืน และสปริงเดลิมาเตอร์ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยอาศัยเทคนิคความเข้มของโครงสร้าง (Structural Intensity Technique) หรือก็คือการศึกษาในรูปของอัตราการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเส้นทางพลังงานของพลังงานการสั่นสะเทือนของระบบหมุนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อันประกอบด้วย แผ่นดิสก์ 3 แผ่น

สปินเดิลมอเตอร์ บอลเบริง (Ball Bearing) และเพลา รวมถึงศึกษาผลของตัวนำวง เช่นคุณสมบัติของวัสดุของระบบ การนำวงจากผลของหัวเขียน-อ่านข้อมูล เป็นต้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อลักษณะการไหลของพลังงานสั้นสะเทือนที่เกิดขึ้น

3.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้หลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติในการศึกษาการสั้นสะเทือน

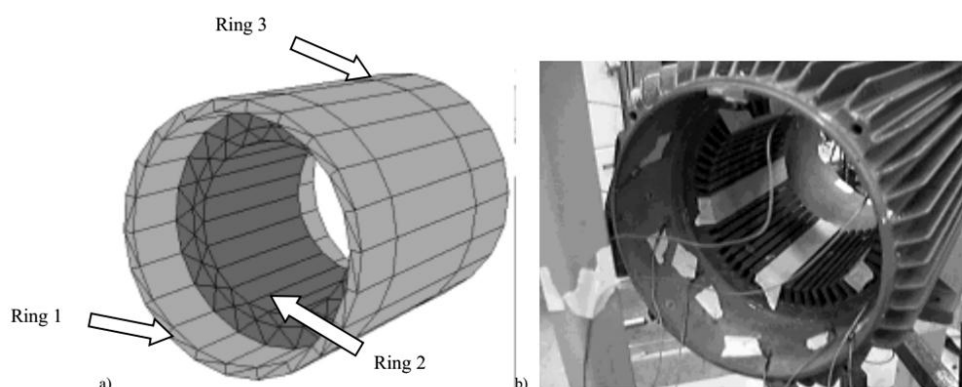
เนื่องจากผลงานวิจัยที่ศึกษาการส่งผ่านพลังงานการสั้นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ยังมีไม่มากนัก เท่าที่พบจะเป็นการศึกษาด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นส่วนใหญ่ และจากการสำรวจยังไม่พบผลงานที่ศึกษาการสั้นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ด้วยหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติแต่อย่างใด ดังนั้น ในหัวข้อนี้จึงเป็นการศึกษาและทบทวนผลงานวิจัยที่ศึกษาการส่งผ่านพลังงานการสั้นสะเทือนด้วยหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติของโครงสร้างอื่น ๆ ซึ่งไม่ใช่ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

Delaere Iadevaia Sas Hameyer และ Belmans [12] ได้แสดงผลงานการสร้างแบบจำลองการถ่ายทอดพลังงานการสั้นสะเทือนตามหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติของมอเตอร์ไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้เริ่มจากการออกแบบระบบย่อย เนื่องจากข้อจำกัดของส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีความซับซ้อน โดยส่วนประกอบหลักของมอเตอร์แสดงในรูปที่ 24 ในเบื้องต้นมอเตอร์ไฟฟ้าถูก



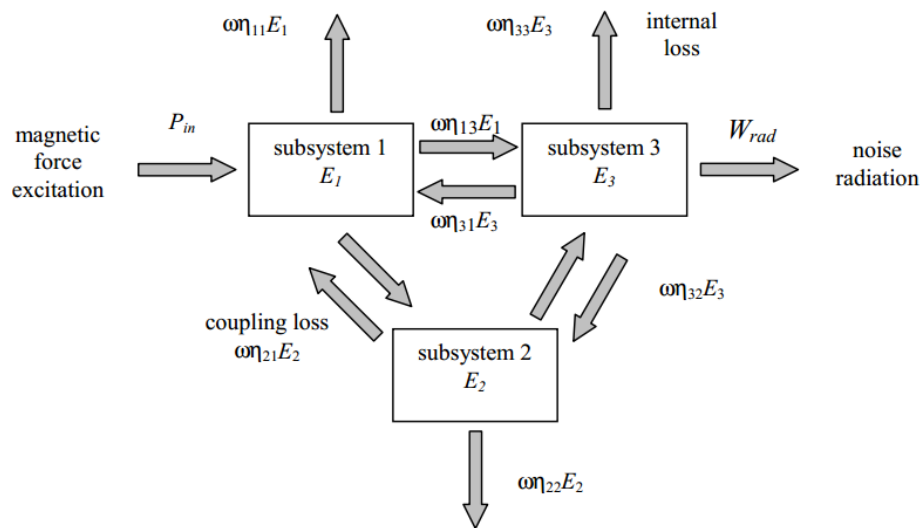
รูปที่ 24 ส่วนประกอบหลักของมอเตอร์ [12]

แบ่งออกเป็น 3 ระบบย่อยตามส่วนประกอบหลัก คือ 1. โครงสเตเตอร์ 2. ขดสเตเตอร์ 3. เรือนมอเตอร์ แต่เนื่องจากส่วนสเตเตอร์นั้นสามารถเข้าถึงได้แค่ส่วนขดสเตเตอร์ แต่ไม่สามารถเข้าถึง โครงสเตเตอร์ อีกทั้งส่วนของเรือนมอเตอร์นั้นก็มีบางบริเวณที่ไม่สามารถเข้าถึงได้เพราะเป็นบริเวณที่สัมผัสกับสเตเตอร์ ดังนั้นระบบมอเตอร์ไฟฟ้าถูกพิจารณาเป็น 3 ระบบย่อย คือ 1. โครงเรือนมอเตอร์ฝั่งซ้ายของสเตเตอร์ 2. สเตเตอร์ 3. โครงเรือนมอเตอร์ฝั่งขวาของสเตเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 25



รูปที่ 25 ระบบที่ศึกษาการถ่ายทอดพลังงานตามหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ [12]

ซึ่งระบบที่ประกอบด้วย 3 ระบบย่อยนั้น สามารถเขียนแบบจำลองการถ่ายทอดพลังงานตามหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ ดังรูปที่ 26 โดยระบบย่อยที่ 1 จะถูกกระตุ้นจากแรงภายนอก คือ แรงแม่เหล็ก และแต่ละระบบย่อยนั้นจะมีการเก็บสะสมพลังงานภายในระบบย่อยเอง มีการสูญเสียพลังงานจากแต่ละระบบย่อยสู่สิ่งแวดล้อมเนื่องจากความหน่วงของแต่ละระบบย่อย และมีการส่งผ่านพลังงานระหว่างระบบย่อยเนื่องจากการเชื่อมต่อกันระหว่างระบบย่อย



รูปที่ 26 แบบจำลองการถ่ายเทพลังงานตามหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ [12]

และเพื่อให้แบบจำลองสมบูรณ์ ผลงานวิจัยนี้ยังทำการทดลองด้วยวิธีการวัดกำลังกระตุ้นเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ อันได้แก่ ค่าการสูญเสียพลังงานของระบบย่อยแต่ละระบบย่อย และค่าการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อย โดยในการทดลองนั้นติดตั้งการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองโมดัล และกระตุ้นระบบด้วยค้อนเคาะ

Koizumi Tsujiuchi Tanaka Okubo และ Shinomiya [13] ได้วิจัยหาวิธีทำนายลักษณะการสั่นสะเทือนภายในตึกโดยอาศัยหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ โดยเริ่มจากการสร้างแบบจำลองอาคาร การสร้างสมการการถ่ายเทพลังงานของระบบ จากนั้นจึงหาค่าพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติด้วยการใช้วิธีเชิงวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ควบคู่กับการใช้วิธีทดลอง ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ให้ผลที่แม่นยำ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติที่ได้ทำให้ระบบสมการการถ่ายเทพลังงานของระบบสมบูรณ์ สามารถนำมาคำนวณหาผลการตอบสนองของระบบได้ ซึ่งจากงานวิจัยนี้พบว่า สามารถทำนายลักษณะการสั่นสะเทือนของตึกโดยอาศัยหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติได้

Steel [14] ได้นำเอาหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติมาปรับใช้ในการทำนายหาแนวโน้มการสั่นสะเทือนของโครงสร้างของรถยนต์ โดยจำลองระบบให้ประกอบไปด้วยระบบย่อยที่มีลักษณะแผ่นประกอบกัน และสมมติให้แต่ละระบบย่อยประกอบกันแบบข้อต่อหมุน (pinned-joint) จากนั้นจึงคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ เพื่อให้ได้ระบบสมการ

ถ่ายเทพลังงานที่สมบูรณ์ ซึ่งจากระบบสมการดังกล่าวทำให้สามารถคำนวณหาพลังงานการ
สันสะเทือนส่งผ่านระหว่างระบบย่อยได้ ผลการคำนวณหาพลังงานการสันสะเทือนส่งผ่านระหว่าง
ระบบย่อยที่คำนวณได้ตามหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ ได้นำไปเปรียบเทียบกับค่าพลังงาน
การสันสะเทือนส่งผ่านระหว่างระบบย่อยที่ได้จากวิธีการทดลอง ซึ่งผลงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า
หลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติสามารถใช้ทำนายแนวโน้มการสันสะเทือนของโครงสร้าง
รถยนต์ได้จริง

จากที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าในปัจจุบันหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิตินั้นได้เข้ามามี
บทบาทสำคัญต่อการทำนายลักษณะการสันสะเทือนของโครงสร้างต่าง ๆ มากขึ้น ไม่ว่าจะเป็น
โครงสร้างอาคาร หรือ โครงสร้างรถยนต์ ซึ่งผลที่ได้จากการประมาณด้วยหลักการวิเคราะห์พลังงาน
เชิงสถิตินั้นใกล้เคียงกับผลการสันสะเทือนที่เกิดขึ้นจริงอย่างมาก แสดงให้เห็นว่าหลักการวิเคราะห์
พลังงานเชิงสถิติซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายต่อการดำเนินการแม้จะใช้กับระบบที่มีความซับซ้อนนั้นมีความ
แม่นยำอย่างมากในการทำนายการสันสะเทือน แต่อย่างไรก็ตามหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ
นั้น ยังไม่มีการนำมาใช้กับระบบซับซ้อนขนาดเล็กรถยนต์

บทที่ 4

การทดลองหาส่วนประกอบ

ที่เป็นต้นเหตุหลักของการสั้นสะท้อนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ในบทที่ 4 นี้กล่าวถึงการหาส่วนประกอบที่เป็นต้นเหตุหลักของการสั้นสะท้อนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยวิธีการทดลอง ซึ่งการศึกษาดังกล่าว ประกอบไปด้วย 2 การทดลอง คือ การทดลองโมดัลขององค์ประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และ การทดลองหาลักษณะการสั้นสะท้อนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จากนั้นจึงนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์หาส่วนประกอบที่เป็นต้นเหตุหลักของการสั้นสะท้อนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

4.1 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ใช้ในการศึกษา

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ใช้ในการทดลองเป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สำหรับคอมพิวเตอร์พกพา ขนาด 2.5 นิ้ว ของบริษัทซีเกต รุ่น โมเมนตัส (Momentus) 5400.6 ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แสดงในรูปที่ 27



รูปที่ 27 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์รุ่น โมเมนตัส 5400.6

ตารางที่ 2 รายละเอียดของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

หัวข้อ	รายละเอียด
ยี่ห้อ	ซีเกต
รุ่น	โมเมนตัส
รหัสโมเดล (Model Number)	ST9320325AS
อินเตอร์เฟซ (Interface)	SATA 3 GB/s
หน่วยความจำ (Capacity)	500 GB
ความยาว	100.35 มม.
ความกว้าง	69.85 มม.
ความหนา	9.5 มม.
น้ำหนัก	98.8 กรัม
ความเร็วรอบการหมุน (Motor Speed)	5400 รอบต่อนาที

4.2 การทดลองโมดัลขององค์ประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการทดลองโมดัลขององค์ประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ และค่าความถี่ธรรมชาติของส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 ของวิทยานิพนธ์นี้ โดยการทดลองโมดัลนี้ ได้ทำการทดลอง 2 ชุด ด้วยอุปกรณ์กระตุ้นระบบที่แตกต่างกัน คือ ค้อนเคาะ (Impact Hammer) และเครื่องสั่นสะเทือน (Shaker) เพื่อให้ได้ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ และค่าความถี่ธรรมชาติที่ครบถ้วนที่สุด

4.2.1 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

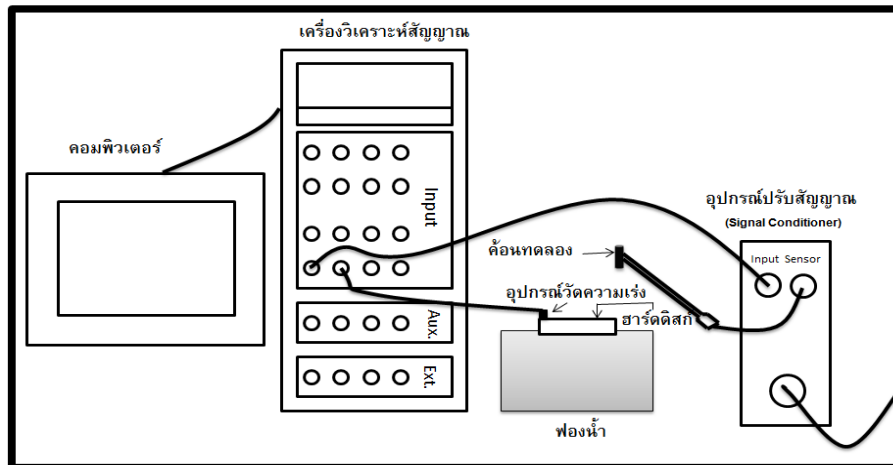
สำหรับการทดลองโมดัลขององค์ประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้น ในเบื้องต้นได้มีการออกแบบการทดลองในหลายประเด็น ไม่ว่าจะเป็นการพิจารณาระบบ หรือองค์ประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่จะทำการทดลอง ช่วงความถี่ที่พิจารณา ตำแหน่งกระตุ้นและตำแหน่งวัด รูปแบบการติดตั้งการทดลองโมดัลโดยการกระตุ้นระบบด้วยค้อนเคาะ (Impact Testing) และรูปแบบการ

ติดตั้งการทดลองโมดัล โดยการกระตุ้นระบบด้วยเครื่องสั่นสะเทือน (Shaker Testing) ซึ่งรายละเอียดการออกแบบการทดลองแสดงไว้ในภาคผนวก ข

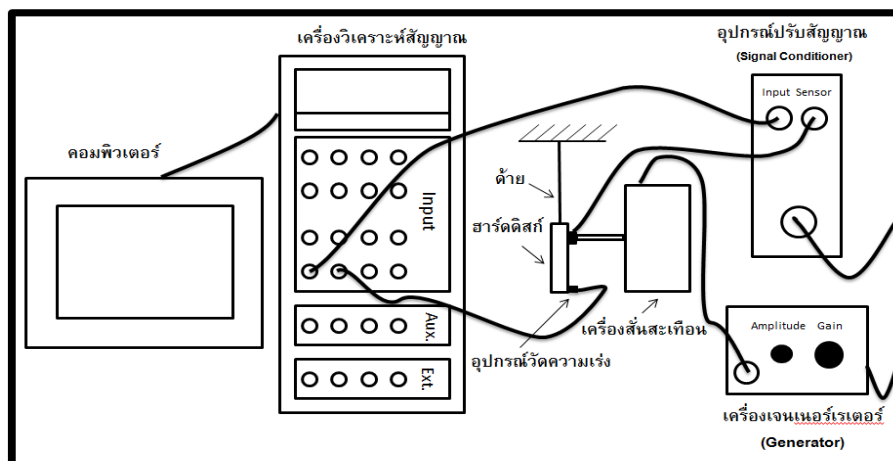
จากผลการออกแบบการทดลอง สามารถสรุปได้ดังนี้ ระบบที่จะทำการทดลองโมดัล ประกอบไปด้วย 4 ระบบคือ แผ่นดิสก์ ชุดแผ่นดิสก์กับสปริงเดลมอเตอร์ขณะหมุนซึ่งติดอยู่กับฐานฝาปิดบน และ ชุดแขนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดลมอเตอร์ติดอยู่ และเพื่อให้ระบบอยู่ในสภาวะขอบเขตแบบอิสระ (Free-Boundary Condition) ส่วนประกอบที่มีน้ำหนักเบาอันได้แก่ แผ่นดิสก์ และฝาปิดบนจะแขวนด้วยด้าย ในขณะที่ส่วนประกอบที่มีน้ำหนัก คือชุดแผ่นดิสก์กับสปริงเดลมอเตอร์ขณะหมุนซึ่งติดอยู่กับฐาน และชุดแขนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดลมอเตอร์ติดอยู่จะวางบนฟองน้ำสำหรับการทดลองโมดัลด้วยการเคาะ ในขณะที่ทั้งชุดแผ่นดิสก์กับสปริงเดลมอเตอร์ขณะหมุนซึ่งติดอยู่กับฐาน ฝาปิดบน และชุดแขนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดลมอเตอร์ติดอยู่จะถูกแขวนด้วยด้ายสำหรับการทดลองโมดัลด้วยเครื่องสั่นสะเทือน ในการทดลองโมดัลด้วยเครื่องสั่นสะเทือน นั้นมีความยุ่งยากอีกประการคือการเลือกใช้แท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือน ซึ่งคืออุปกรณ์เสริมที่ติดอยู่ระหว่างเครื่องสั่นสะเทือน และชิ้นส่วนทดลอง มีหน้าที่ลดผลของมวลของเครื่องสั่นสะเทือนต่อชิ้นส่วนทดลอง ความยาวแท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือน เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อผลการทดลองโมดัล ซึ่งจากผลการออกแบบการทดลองนั้น แท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือน ที่เลือกใช้ในการทดลองโมดัลของส่วนประกอบที่มีน้ำหนักเบาคือแผ่นดิสก์ และฝาปิดบนนั้น คือแท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือน ที่มีความยาว 12 นิ้ว และที่ใช้ในการทดลองโมดัลของชุดแผ่นดิสก์กับสปริงเดลมอเตอร์ขณะหมุนซึ่งติดอยู่กับฐาน และชุดแขนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดลมอเตอร์ติดอยู่คือความยาว 6 นิ้ว

ในการติดตั้งการทดลองโมดัลระบบจะมีอุปกรณ์วัดความเร่ง (Accelerometer) ติดอยู่เพื่อวัดการสั่นสะเทือน ในการทดลองชิ้นส่วนจะถูกกระตุ้นด้วยแรงจากภายนอก ซึ่งสัญญาณแรงกระตุ้นจากอุปกรณ์วัดสัญญาณแรงที่ติดอยู่ระหว่างอุปกรณ์กระตุ้นกับชิ้นส่วนทดลอง และสัญญาณการสั่นสะเทือนจากอุปกรณ์วัดความเร่งจะถูกส่งเข้าเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ ซึ่งถูกควบคุมการทำงานแปลงสัญญาณด้วย FFT และเขียนกราฟด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยการทดลองโมดัลนี้จะทำครอบคลุมช่วงความถี่ 0-5,000 เฮิร์ตซ์ สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองโมดัลด้วยการเคาะ และ

การทดลองโมดัลด้วยเครื่องสั่นสะเทือน แสดงได้ด้วยแผนภาพในรูปที่ 28 และ 29 ตามลำดับ ส่วนรายละเอียดอุปกรณ์ทดลองที่ใช้จริงนั้น แสดงอยู่ในภาคผนวก ก



รูปที่ 28 การติดตั้งการทดลองโมดัลด้วยการเคาะ



รูปที่ 29 การติดตั้งการทดลองโมดัลด้วยเครื่องสั่นสะเทือน

4.2.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองโมดัลจะแสดงในรูปแบบของฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ที่ประกอบไปด้วย ขนาด และ เฟส ผลที่ได้จากการวัดที่ตำแหน่งต่าง ๆ นั้นพบว่ามีความถี่เหมือนกันเพียงแต่ผลจากการวัดที่บางตำแหน่งนั้นที่ความถี่บางความถี่ไม่เห็นเป็นยอดขึ้นมา ในขณะที่บางตำแหน่งเห็น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากลักษณะการสั่นสะเทือนของแต่ละตำแหน่งวัดนั้นไม่เหมือนกัน

ทำให้ผลการวัดบางตำแหน่งไม่เห็นเป็นยอดขึ้นมาที่บางความถี่ ดังนั้นจึงเลือกแสดงฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ที่ได้จากการวัดที่ดีที่สุด 2 ตำแหน่งซึ่งคือตำแหน่งวัดที่สามารถเห็นขนาดที่มีลักษณะเป็นยอดได้ครอบคลุมทุกค่าความถี่ที่เกิดขึ้นจริงขององค์ประกอบนั้น ๆ ซึ่งรูปที่ 30 - 33 แสดงฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ที่ได้จากการทดลองโมดัลด้วยการเกาะของแผ่นดิสก์ ชุดแผ่นดิสก์กับสปินเดิลมอเตอร์ขณะหมุนซึ่งติดอยู่กับฐาน ฝาปิดบน และชุดแขนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปินเดิลมอเตอร์ติดอยู่ตามลำดับ และรูปที่ 34 - 36 จะแสดงฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ที่ได้จากการทดลองโมดัลด้วยเครื่องสั่นสะเทือนของแผ่นดิสก์ ฝาปิดบน และชุดแขนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปินเดิลมอเตอร์ติดอยู่ตามลำดับ จากนั้นจึงนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติของระบบ ซึ่งสรุปอยู่ในตารางที่ 3

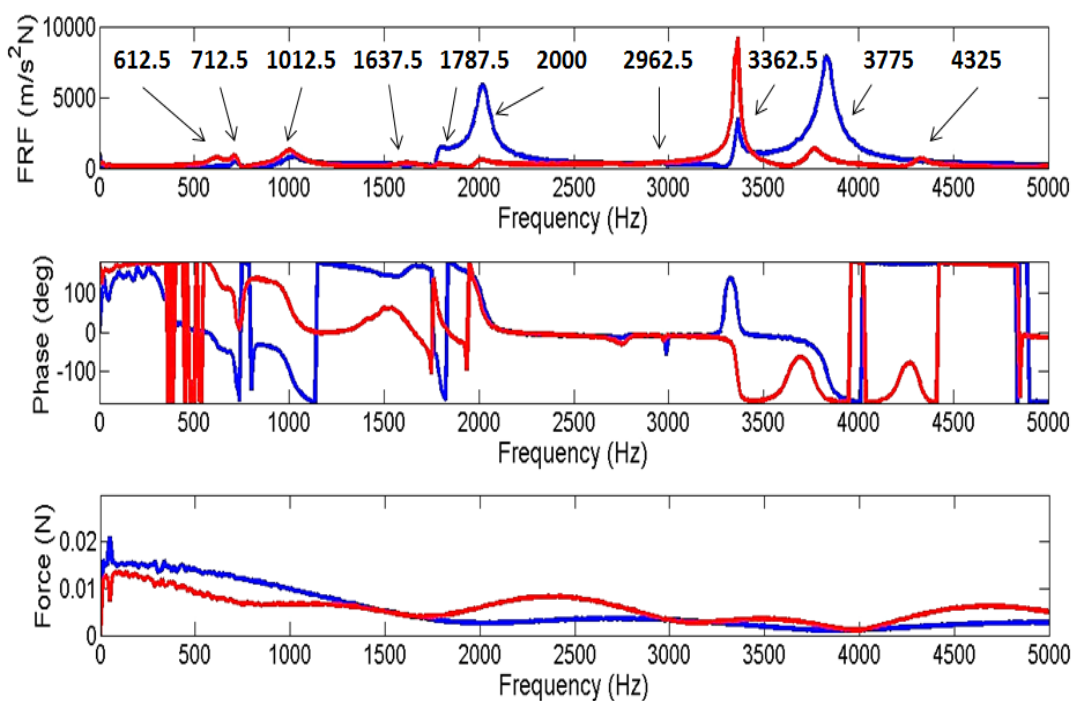
ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่าค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากเครื่องสั่นสะเทือนนั้นครอบคลุมทุกค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากการทดลองโมดัลด้วยการเกาะ ซึ่งค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากการทดลองทั้งสองวิธีมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก นอกจากนี้ยังพบค่าความถี่ธรรมชาติบางค่าเพิ่มขึ้นจากค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากการทดลองโมดัลด้วยการเกาะอีกด้วย เช่น ในการทดลองโมดัลกับแผ่นดิสก์ด้วยเครื่องสั่นสะเทือนพบว่าแผ่นดิสก์มีค่าความถี่ธรรมชาติที่ 2138 และ 2775 เฮิรตซ์ ซึ่งค่าความถี่ธรรมชาติดังกล่าวไม่พบจากการทดลองโมดัลด้วยการเกาะ ดังนั้นการทดลองโมดัลด้วยเครื่องสั่นสะเทือนจึงให้ผลการทดลองที่ครบถ้วนกว่าการทดลองด้วยการเกาะ

ตารางที่ 3 ค่าความถี่ธรรมชาติของส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

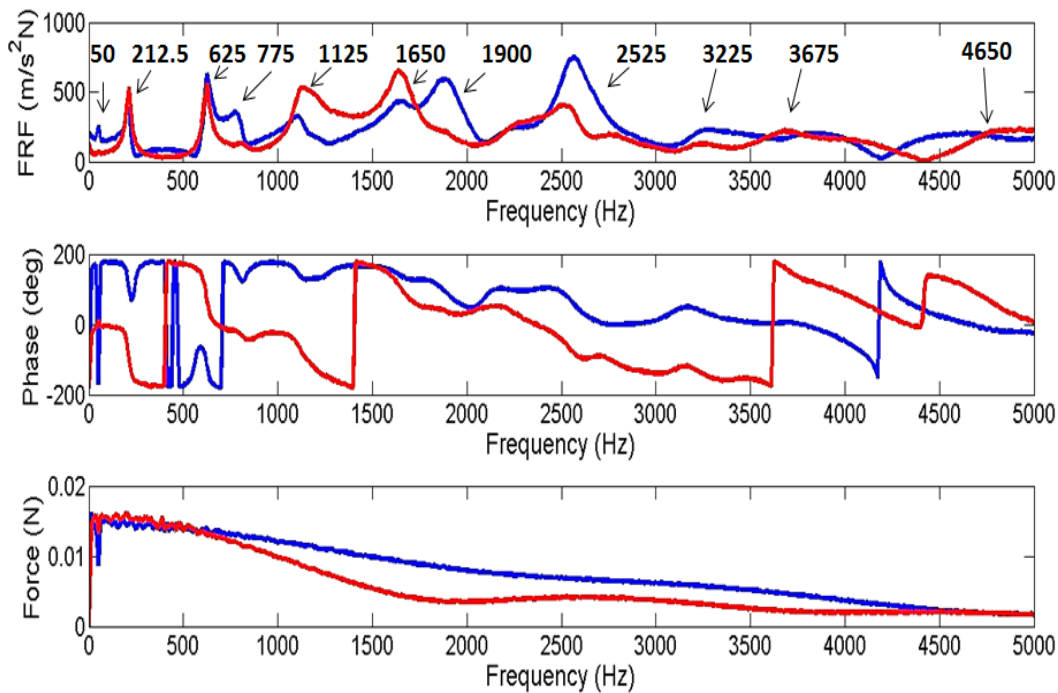
ค่าความถี่ธรรมชาติ (เฮิรตซ์)						
ฝาปิดบน		แผ่นดิสก์		ชุดแขนควบคุมกับฐาน ซึ่งมีสปินเดิลมอเตอร์ ติดอยู่		ชุดแผ่นดิสก์ และชุด แขนควบคุมกับฐานซึ่ง มีสปินเดิลมอเตอร์ติดอยู่
ก้อน เกาะ	เครื่อง สั่นสะเทือน	ก้อน เกาะ	เครื่อง สั่นสะเทือน	ก้อน เกาะ	เครื่อง สั่นสะเทือน	ก้อนเกาะ
50	75	-	-	-	-	37.5
212.5	212.5	-	-	62.5	75	-
-	500	-	-	-	-	100

ค่าความถี่ธรรมชาติ (เฮิรตซ์)						
ฝาปิดบน		แผ่นดิสก์		ชุดแกนควบคุมกับฐาน ซึ่งมีสปริงเดลมอเตอร์ ติดอยู่		ชุดแผ่นดิสก์ และชุด แกนควบคุมกับฐานซึ่ง มีสปริงเดลมอเตอร์ติดอยู่
ก้อน เคาะ	เครื่อง สั้นสะเทือน	ก้อน เคาะ	เครื่อง สั้นสะเทือน	ก้อน เคาะ	เครื่อง สั้นสะเทือน	ก้อนเคาะ
625	612.5	-	-	-	-	362.5
775	700	-	-	-	-	575
-	925	612.5	675	637.5	690	-
1125	1050	712.5	780	-	-	-
-	1338	-	-	-	-	812
1650	1625	1012	1030	-	-	1025
1900	2050	-	-	1100	1100	-
2525	2573	-	1200	1212	1225	-
3225	3125	-	-	1325	1300	1388
3675	3700	-	-	1475	1513	1425
-	4250	1637	1575	1675	1650	-
		1787	1725	-	-	1725
		-	-	-	-	1788
		-	-	1850	1863	1875
		2000	1950	-	-	-
		-	2138	2125	2113	2188
		-	-	2338	2338	-
		-	-	-	2550	2500
		-	2775	2850	2875	2850
		2962	2975	-	-	-
		-	-	3150	3136	3188
		3362	3288	3675	-	-
		3775	-	-	3850	3888

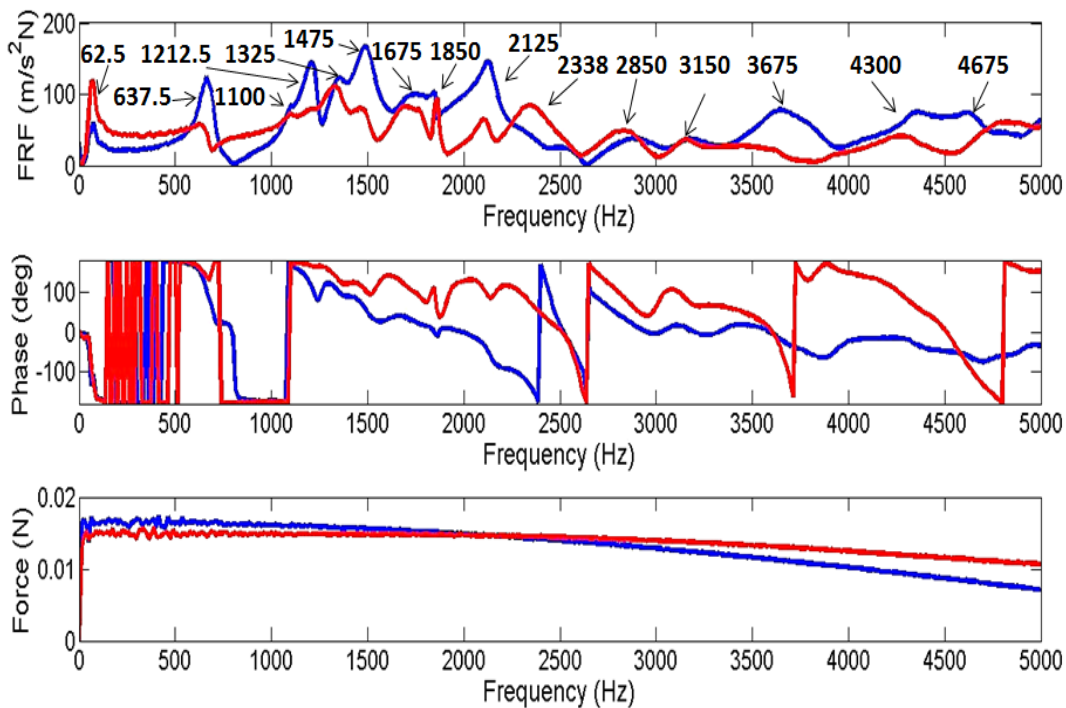
ค่าความถี่ธรรมชาติ (เฮิรตซ์)						
ฝาปิดบน		แผ่นดิสก์		ชุดแกนควบคุมกับฐาน ซึ่งมีสปริงเดลมอเตอร์ ติดอยู่		ชุดแผ่นดิสก์ และชุด แกนควบคุมกับฐานซึ่ง มีสปริงเดลมอเตอร์ติดอยู่
ก่อน เกาะ	เครื่อง สั่นสะเทือน	ก่อน เกาะ	เครื่อง สั่นสะเทือน	ก่อน เกาะ	เครื่อง สั่นสะเทือน	ก่อนเกาะ
		-	4000	-	-	-
		-	4138	-	4100	-
		4325	4288	4300	4325	-



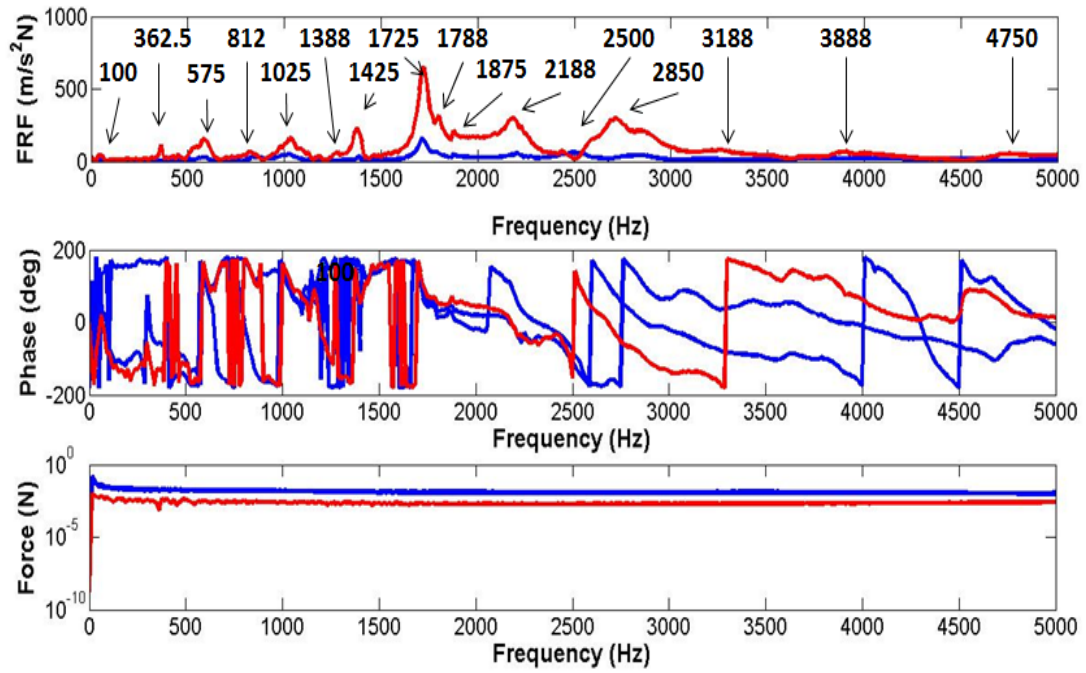
รูปที่ 30 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของแผ่นดิสก์จากการทดลองโมดัลด้วยการเกาะ



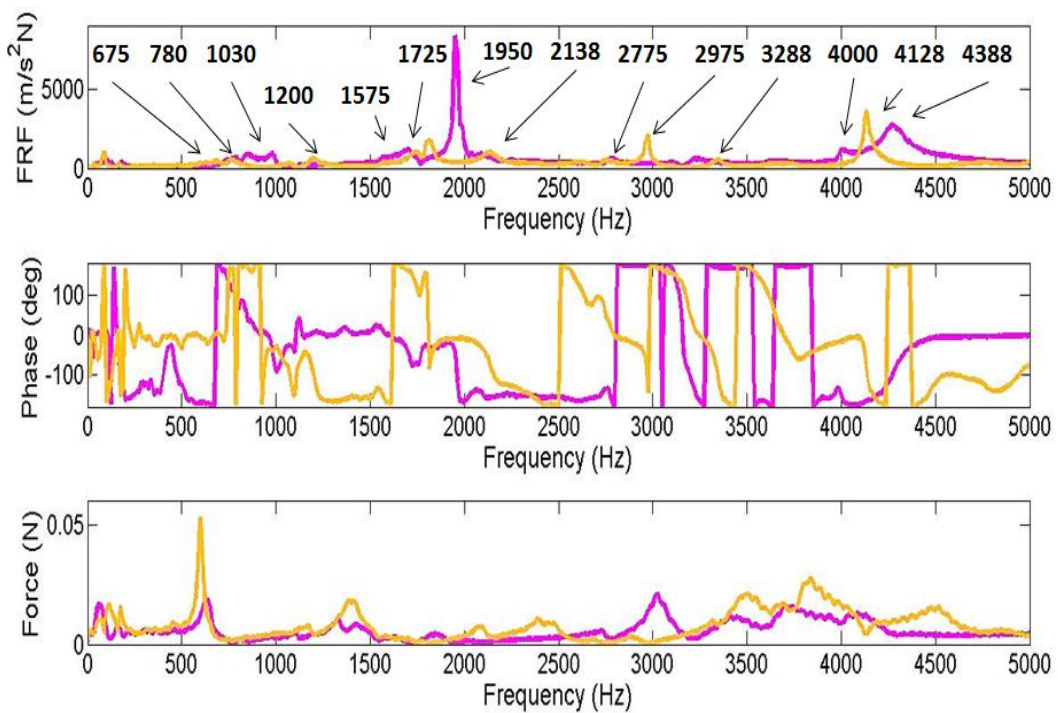
รูปที่ 31 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของฝาปิดบนจากการทดลองโมดัลด้วยการเคาะ



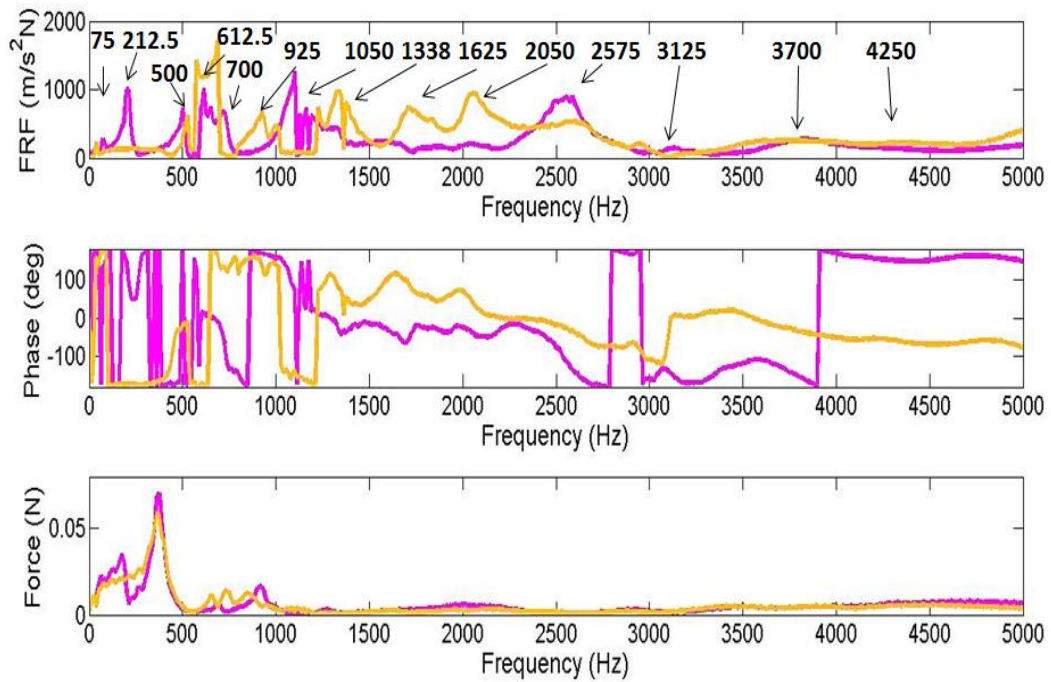
รูปที่ 32 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของชุดแขวนควมคุมกับฐาน
ซึ่งมีสปริงเดลิโมเตอร์ติดอยู่จากการทดลองโมดัลด้วยการเคาะ



รูปที่ 33 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของชุดแผ่นดิสก์ซึ่งหมุน และชุดแขนควบคุมกับฐาน ซึ่งมีสปริงเดลมอเตอร์ติดอยู่จากการทดลองโมดัลด้วยการเคาะ

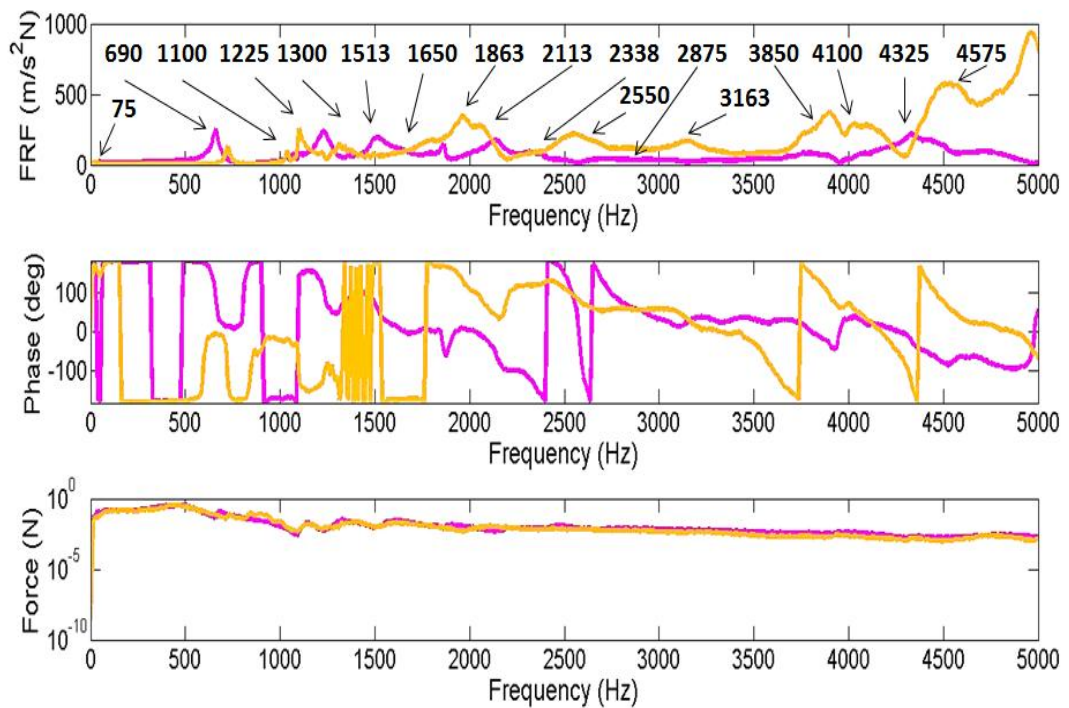


รูปที่ 34 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของแผ่นดิสก์ จากการทดลองโมดัลด้วยเครื่องสั่นสะเทือน



รูปที่ 35 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของฝาปิดบน

จากการทดลองโมดัลด้วยเครื่องสั่นสะเทือน



รูปที่ 36 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของชุดแขวนควบคุมกับฐาน
ซึ่งมีสปริงเดิลมอเตอร์ติดอยู่จากการทดลองโมดัลด้วยเครื่องสั่นสะเทือน

4.3 การทดลองหาลักษณะการสันสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการทดลองหาลักษณะการสันสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ เพื่อหาส่วนประกอบที่เป็นต้นเหตุหลักของการสันสะเทือนที่เกิดขึ้น และเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการสันสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์กับค่าความถี่ธรรมชาติของส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่ได้จากการทดลองโมดัลของส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ดังกล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 4.2 ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่ใช้ในการทดลองนี้จะเป็นฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่ทำงานในสภาพการทำงานที่ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ไม่มีการอ่านหรือเขียนข้อมูล (Idle Condition)

4.3.1 การติดตั้งการทดลอง

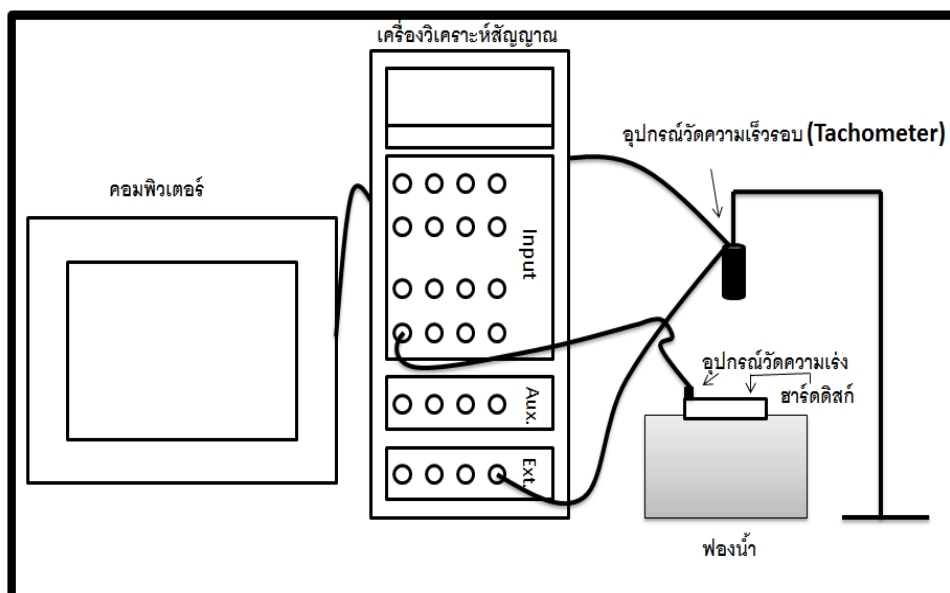
สำหรับการติดตั้งการทดลองหาลักษณะการสันสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์นั้น ในเบื้องต้นได้มีการออกแบบการทดลองเพื่อพิจารณาช่วงความถี่ทดลอง รูปแบบการติดตั้งระบบทดลองเพื่อให้อยู่ในสถานะขอบเขตแบบอิสระ กรณีทดลอง และตำแหน่งวัดการสันสะเทือน ซึ่งรายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ก

จากผลการออกแบบการติดตั้งการทดลองสามารถสรุปกรณีทดลอง 8 กรณี ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยในการติดตั้งการทดลองจะวางระบบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แต่ละกรณีบนฟองน้ำเพื่อให้ระบบอยู่ในสถานะขอบเขตแบบอิสระ จากนั้นวัดการสันสะเทือนด้วยอุปกรณ์วัดความเร่ง และ วัดความเร็วรอบด้วยอุปกรณ์วัดความเร็วรอบ (tachometer) สัญญาณจากอุปกรณ์วัดนั้นจะถูกส่งเข้าเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ ซึ่งถูกควบคุมการทำงานด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์นอกจากจะควบคุมการทำงานของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแล้ว คอมพิวเตอร์ยังทำหน้าที่วิเคราะห์ผล ประมวลผล และแสดงผลอีกด้วย โดยจะทำการทดลองในช่วงความถี่ 0-5,000 เฮิรตซ์ ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เกิดการสันสะเทือนสูง

ระบบของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ซึ่งเป็นกรณีทดลองนั้นแสดงในรูปที่ 38-42 โดยที่รูปที่ 38 แสดงกรณีทดลองที่ 1 6 7 และ 8 ซึ่งเป็นกรณีที่มีฝาปิดบนเป็นส่วนประกอบ ส่วนรูปที่ 39-42 แสดงกรณีทดลองที่ 2-5 ตามลำดับ ส่วนการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองหาลักษณะการสันสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ แสดงในรูปที่ 37 โดยรายละเอียดอุปกรณ์การทดลองแสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4 กรณีทดลองวัดลักษณะการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

กรณี	ฝาปิดบน	แผ่นดิสก์	ชุดแขนควบคุม	ฐานและสปริงเดลมอเตอร์
1	มี	มี	มี	มี
2	ไม่มี	มี	มี	มี
3	ไม่มี	ไม่มี	มี	มี
4	ไม่มี	มี	ไม่มี	มี
5	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	มี
6	มี	ไม่มี	มี	มี
7	มี	ไม่มี	ไม่มี	มี
8	มี	มี	ไม่มี	มี



รูปที่ 37 การติดตั้งการทดลองวัดการสั่นสะเทือน



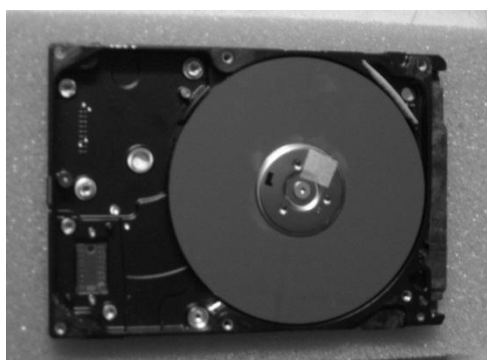
รูปที่ 38 ระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กรณีที่ 1 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่สมบูรณ์



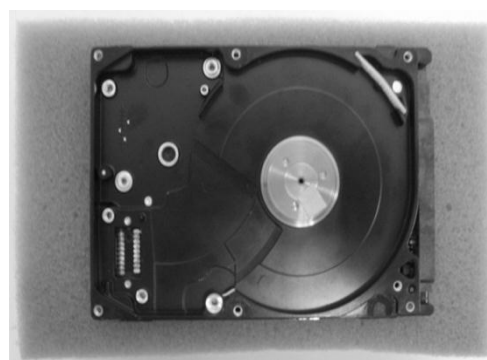
รูปที่ 39 ระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กรณีที่ 2 ฮาร์ดดิสก์ที่ไม่มีฝาปิดบน



รูปที่ 40 ระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กรณีที่ 3 ฮาร์ดดิสก์ที่ไม่มีฝาปิดบนและชุดแขนควบคุม



รูปที่ 41 ระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กรณีที่ 4 ฮาร์ดดิสก์ที่ไม่มีฝาปิดบนและแผ่นดิสก์



รูปที่ 42 ระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กรณีที่ 5 ฮาร์ดดิสก์ที่ไม่มีฝาปิดบน แผ่นดิสก์ และชุดแขนควบคุม

4.3.2 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

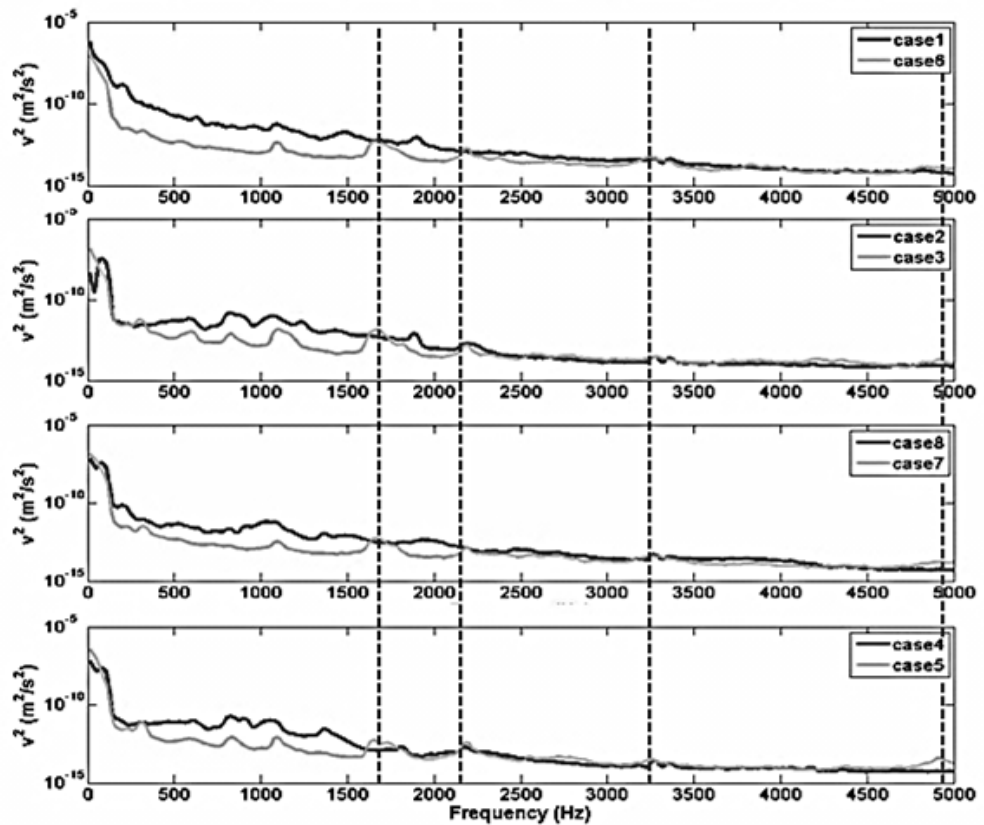
ผลการทดลองที่ได้นั้น เป็นการวัดผลการสั้นสะเทือนในรูปแบบของความเร่งบนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์บริเวณขอบทั้งหมด 6 ตำแหน่ง เพื่อนำมาแปลงเป็นพลังงานเฉลี่ยบนพื้นที่ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในรูปแบบ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความเร็ว $\langle v^2 \rangle$

4.3.2.1 ส่วนประกอบที่เป็นต้นเหตุหลักของการสั้นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาส่วนประกอบหลักที่เป็นต้นเหตุหลักของการสั้นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้น ได้พิจารณาผลของแต่ละส่วนประกอบหลัก อันได้แก่ แผ่นดิสก์ ฝาปิดบน และชุดแขนควบคุม ซึ่งส่งผลต่อการสั้นสะเทือนโดยรวมของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยเปรียบเทียบลักษณะการสั้นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กรณีที่มี และไม่มีส่วนประกอบนั้น ๆ ดังนี้

1) ผลของแผ่นดิสก์ที่ส่งผลต่อการสั้นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ในการพิจารณาผลของแผ่นดิสก์นั้น ได้พิจารณาเปรียบเทียบผลการสั้นสะเทือนระหว่างกรณีที่มี และไม่มีแผ่นดิสก์ทั้งหมด 4 คู่กรณี คือ กรณีที่ 1 (ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่สมบูรณ์) กับ กรณีที่ 6 (ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีแผ่นดิสก์) กรณีที่ 2 (ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีฝาปิดบน) กับ กรณีที่ 3 (ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีฝาปิดบน และแผ่นดิสก์) กรณีที่ 8 (ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีชุดแขนควบคุม) กับ กรณีที่ 7 (ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีชุดแขนควบคุม และแผ่นดิสก์) และกรณีที่ 4 (ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีฝาปิดบน และชุดแขนควบคุม) กับ กรณีที่ 5 (ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีฝาปิดบน ชุดแขนควบคุม และ แผ่นดิสก์) ดังแสดงในรูปที่ 43



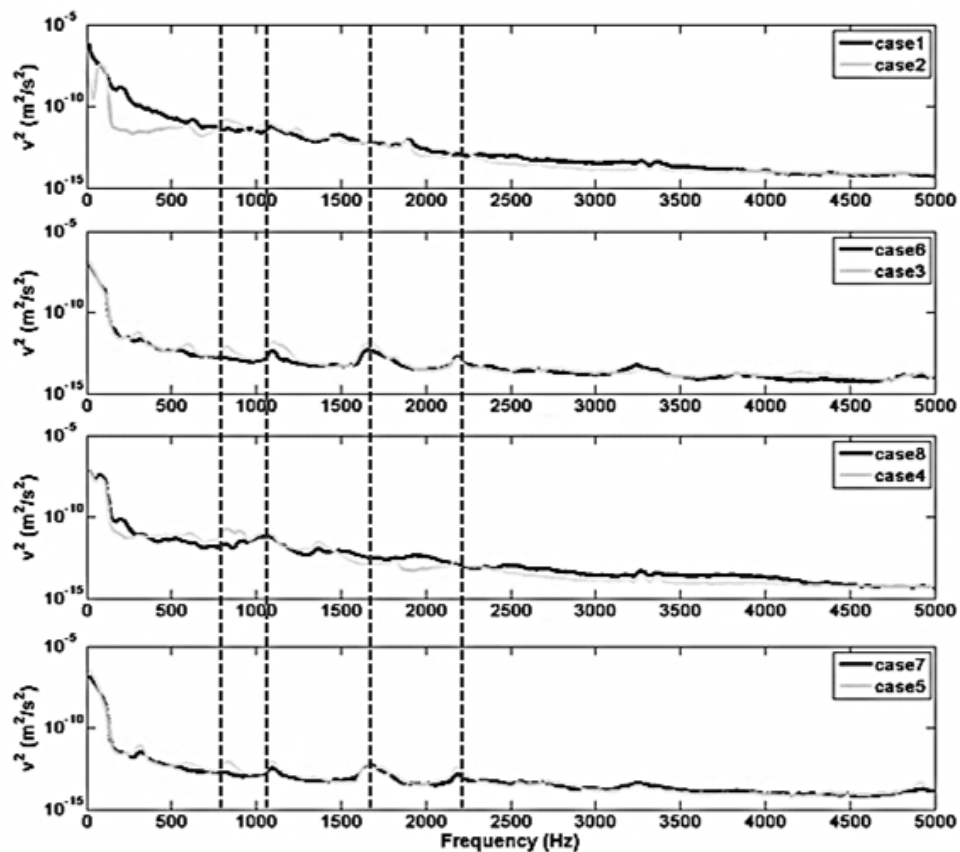
รูปที่ 43 เปรียบการสั่นสะเทือนระหว่างระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กรณีที่มี และ ไม่มีแผ่นดิสก์

จากผลการเปรียบเทียบจะพบว่า ระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กรณีที่มีแผ่นดิสก์มีพลังงานการสั่นสะเทือนสูงกว่าระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กรณีที่ไม่มีแผ่นดิสก์เกือบตลอดช่วงความถี่ในทุกคู่กรณีเปรียบเทียบ โดยมีค่าต่างกันอย่างมากในช่วงความถี่ต่ำ แต่อย่างไรก็ตามก็ที่ยังค่าความถี่ที่ไม่ได้มีแนวโน้มเช่นนั้น ก็คือการมีแผ่นดิสก์ช่วยให้การสั่นสะเทือนต่ำลง แต่ก็เป็นเพียงส่วนน้อยเท่านั้น ซึ่งค่าความถี่ดังกล่าวได้แก่ 37.5 1675 2188 3250 และ 4925 เฮิรตซ์

2) ผลของฝาปิดบนที่ส่งผลต่อการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ในการพิจารณาผลของฝาปิดบนนั้น ได้พิจารณาเปรียบเทียบผลการสั่นสะเทือนระหว่างกรณีที่มี และ ไม่มีฝาปิดบนทั้งหมด 4 คู่กรณี คือ กรณีที่ 1 (ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่สมบูรณ์) กับ กรณีที่ 2 (ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีฝาปิดบน) กรณีที่ 6 (ฮาร์ดดิสก์ที่ไม่มีแผ่นดิสก์) กับ กรณีที่ 3 (ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีแผ่นดิสก์ และ ฝาปิดบน) กรณีที่ 8

(ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีชุดแขนควบคุม) กับ กรณีที่ 4 (ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีชุดแขนควบคุม กับฝาปิดบน) และกรณีที่ 7 (ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีแผ่นดิสก์ และชุดแขนควบคุม) กับ กรณีที่ 5 (ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีแผ่นดิสก์ ชุดแขนควบคุม และ ฝาปิดบน ดังแสดงในรูปที่ 44



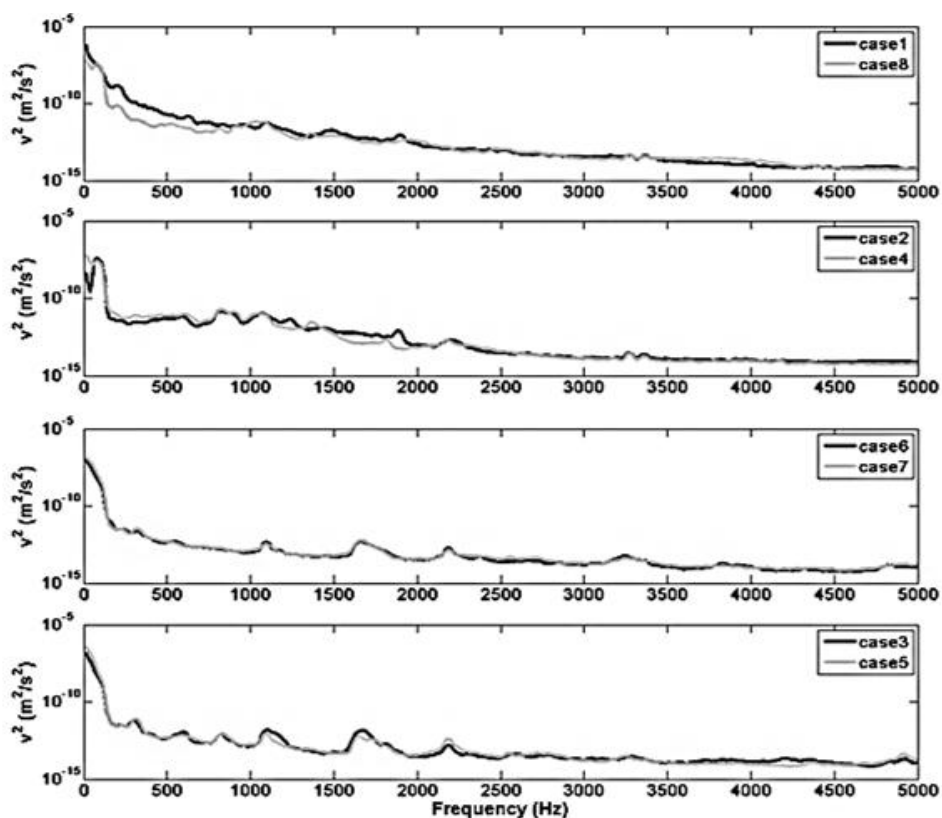
รูปที่ 44 เปรียบการสั่นสะเทือนระหว่างระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กรณีที่มี และ ไม่มีฝาปิดบน

จากผลการเปรียบเทียบ จะพบว่าพลังงานการสั่นสะเทือนของระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีฝาปิดบน และ ไม่มีฝาปิดบนนั้นใกล้เคียงกันมากในการเปรียบเทียบระหว่างคู่กรณีที่ไม่มีแผ่นดิสก์ด้วยทั้งคู่ หรือคือการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ 6 กับ 3 และ กรณีที่ 7 กับ 5 และพบว่าพลังงานการสั่นสะเทือนของระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีฝาปิดบนจะสูงกว่ากรณีที่ไม่มีฝาปิดบนเล็กน้อยในกรณีที่ระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีแผ่นดิสก์ประกอบอยู่ด้วย ดังผลการเปรียบเทียบระหว่างคู่กรณีที่ 1 กับ 2 และกรณีที่ 8 กับ 4 นอกจากนี้ยังพบว่า

ที่บางค่าความถี่ ค่าพลังงานการสั่นสะเทือนของระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีฝาปิดบน ต่ำกว่ากรณีที่ไม่มีฝาปิดบน ซึ่งค่าความถี่ดังกล่าว ได้แก่ 825 1100 1675 1875 2175 เฮิรตซ์

3) ผลของชุดแขนควบคุมที่ส่งผลต่อการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ในการพิจารณาผลของฝาปิดบนนั้น ได้พิจารณาเปรียบเทียบผลการสั่นสะเทือนระหว่างกรณีที่มี และไม่มีฝาปิดบนทั้งหมด 4 คู่กรณี คือ กรณีที่ 1 (ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่สมบูรณ์) กับ กรณีที่ 8 (ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีชุดแขนควบคุม) กรณีที่ 2 (ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีฝาปิดบน) กับ กรณีที่ 4 (ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีฝาปิดบน และ ชุดแขนควบคุม) กรณีที่ 6 (ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีแผ่นดิสก์) กับ กรณีที่ 7 (ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีแผ่นดิสก์ และ ชุดแขนควบคุม) และกรณีที่ 3 (ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีฝาปิดบน และ แผ่นดิสก์) กับ กรณีที่ 5 (ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีฝาปิดบน แผ่นดิสก์ และ ชุดแขนควบคุม) ดังแสดงในรูปที่ 45



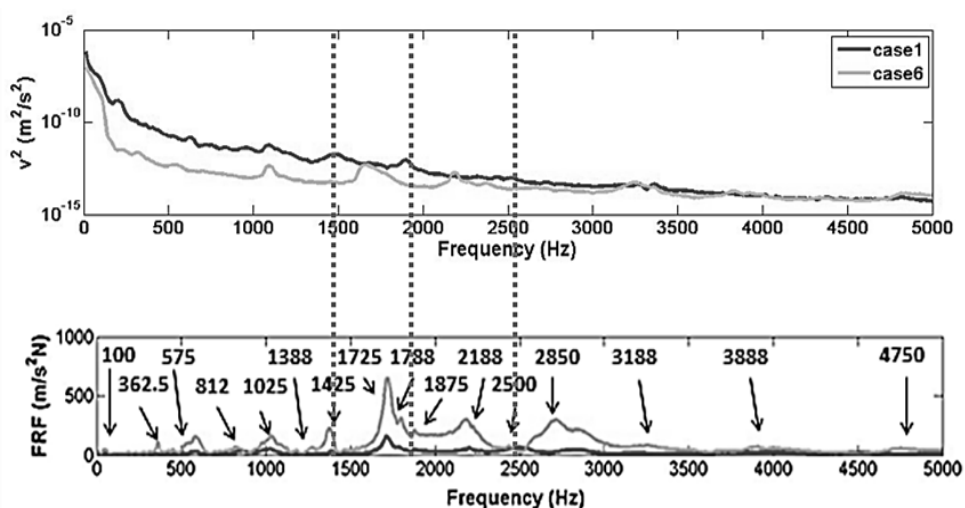
รูปที่ 45 เปรียบการสั่นสะเทือนระหว่างระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กรณีที่มี และ ไม่มีชุดแขนควบคุม

จากผลการเปรียบเทียบ พบว่าพลังงานการสั่นสะเทือนของระบบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ระหว่างกรณีที่มี และ ไม่มีชุดแขวนควบคุมนั้นใกล้เคียงกันมากตลอดช่วงความถี่ 0 – 5000 เฮิรตซ์

4.3.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์กับค่าความถี่ธรรมชาติของส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

1) ผลของค่าความถี่ธรรมชาติของแผ่นดิสก์

ในการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์กับค่าความถี่ธรรมชาติของแผ่นดิสก์นั้น ค่าความถี่ธรรมชาติที่ใช้นั้น จะไม่ใช่ค่าความถี่ธรรมชาติของแผ่นดิสก์ในการพิจารณา เนื่องจากในสภาวะที่ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ทำงานนั้น แผ่นดิสก์มีการหมุน ซึ่งจากงานวิจัยต่าง ๆ ที่ผ่านมา จะพบว่าค่าความถี่ธรรมชาติของแผ่นดิสก์จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อความเร็วรอบของการหมุนเปลี่ยนไป ดังนั้นในการพิจารณานี้ จึงพิจารณาลักษณะการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ร่วมกับค่าความถี่ธรรมชาติของระบบอันประกอบไปด้วยชุดแผ่นดิสก์ และชุดแขวนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดลมอเตอร์ติดอยู่ในสภาวะที่มอเตอร์ และชุดแผ่นดิสก์หมุนที่ความเร็วรอบทำงานปกติ ดังแสดงในรูปที่ 46

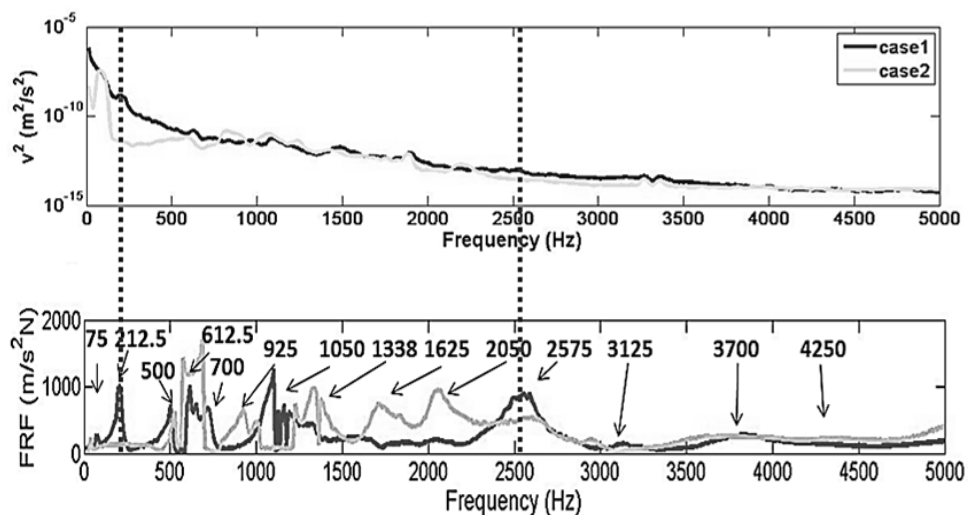


รูปที่ 46 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการสั่นสะเทือน และค่าความถี่ธรรมชาติอันเป็นผลจากแผ่นดิสก์

จากการวิเคราะห์ พบว่า ค่าความถี่ธรรมชาติของชุดแผ่นดิสก์ และชุดแขนควบคุม กับฐานซึ่งมีสปริงเดอมอเตอร์ติดอยู่ในสภาวะทำงาน บางค่าส่งผลต่อการสั่นสะเทือนของ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่สมบูรณ์ (กรณีที่ 1) เมื่อพิจารณาร่วมกับการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ ไดรฟ์ที่ไม่มีแผ่นดิสก์ (กรณีที่ 6) ซึ่งค่าความถี่ธรรมชาติดังกล่าวได้แก่ 1425 1875 และ 2500 เฮิรตซ์

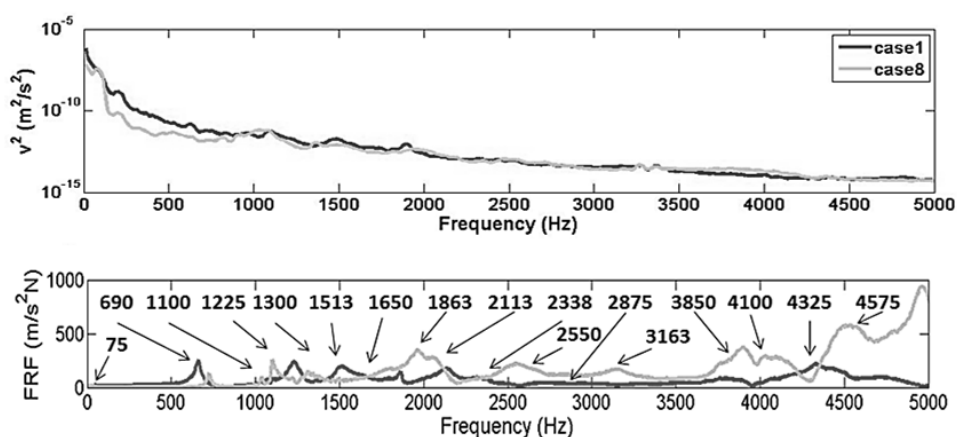
2) ผลของค่าความถี่ธรรมชาติของฝาปิดบน

ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ธรรมชาติของฝาปิดบนกับ ลักษณะการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่สมบูรณ์ (กรณีที่ 1) เมื่อพิจารณาร่วมกับการ สั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีฝาปิดบน (กรณีที่ 2) ดังรูปที่ 47 พบว่า ค่าความถี่ ธรรมชาติของฝาปิดบนบางค่า อันได้แก่ 212.5 และ 2575 เฮิรตซ์ ส่งผลต่อการสั่นสะเทือน ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่สมบูรณ์



รูปที่ 47 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการสั่นสะเทือน และค่าความถี่ธรรมชาติ อันเป็นผลจากฝาปิดบน

3) ผลของค่าความถี่ธรรมชาติของชุดแกนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดลมอเตอร์อยู่ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ธรรมชาติของชุดแกนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดลมอเตอร์ติดอยู่ร่วมกับลักษณะการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่สมบูรณ์ (กรณีที่ 1) เมื่อพิจารณาร่วมกับการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีชุดแกนควบคุม (กรณีที่ 8) ดังรูปที่ 48 พบว่า เนื่องจากพลังงานการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มี และไม่มีชุดแกนควบคุมใกล้เคียงกันมาก ผลของค่าความถี่ธรรมชาติของชุดแกนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดลมอเตอร์ติดอยู่จึงไม่พบแต่อย่างใด



รูปที่ 48 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการสั่นสะเทือน และค่าความถี่ธรรมชาติอันเป็นผลจากชุดแกนควบคุม

4.4 สรุปผลการศึกษหาส่วนประกอบที่เป็นต้นเหตุหลักของการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

เมื่อพิจารณาผลขององค์ประกอบของแผ่นดิสก์ที่มีต่อการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์พบว่า แม้ที่บางค่าความถี่ แผ่นดิสก์จะช่วยให้การสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์น้อยลง แต่โดยรวมแล้ว แผ่นดิสก์ส่งผลอย่างมาก ต่อการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กรณีที่ไม่มีแผ่นดิสก์ นอกจากนี้ค่าความถี่ธรรมชาติ

บางค่าของชุดแผ่นดิสก์ และชุดแขนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปีนเดิลมอเตอร์ติดอยู่ขณะหมุนนั้น ก็ส่งผลต่อการสั่นสะเทือนเช่นกัน

ส่วนผลขององค์ประกอบของฝาปิดบนนั้น สำหรับระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กรณีที่มีแผ่นดิสก์ การมีฝาปิดบนส่งผลอยู่บ้างต่อการสั่นสะเทือนที่เพิ่มขึ้น แต่ก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น และที่บางค่าความถี่ ฝาปิดบนก็ช่วยให้การสั่นสะเทือนเกิดขึ้นน้อยลงเช่นเดียวกัน ส่วนค่าความถี่ธรรมชาติของฝาปิดบนก็ส่งผลอยู่บ้างเล็กน้อยต่อการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่บางค่าความถี่

สำหรับการพิจารณาผลของชุดแขนควบคุมที่มีต่อการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้น พบว่าทั้งส่วนประกอบชุดแขนควบคุม และ ค่าความถี่ธรรมชาติของชุดแขนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปีนเดิลมอเตอร์ติดอยู่ แทบจะไม่ส่งผลต่อการสั่นสะเทือนโดยรวมของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แต่อย่างใด

ดังนั้น ส่วนประกอบหลักที่เป็นต้นเหตุหลักของการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยรวม คือ แผ่นดิสก์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ส่งผลให้การสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีแผ่นดิสก์ รวมถึงเป็นองค์ประกอบที่ค่าความถี่ธรรมชาติบางส่วนส่งผลด้วยเช่นเดียวกัน

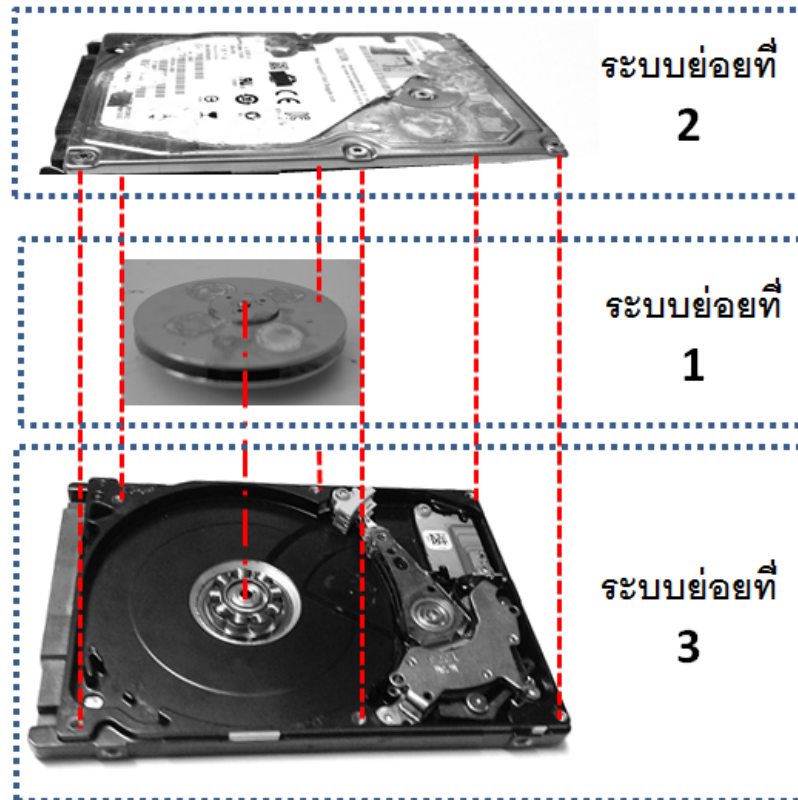
บทที่ 5

การศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการส่งผ่านการสั่นสะเทือน

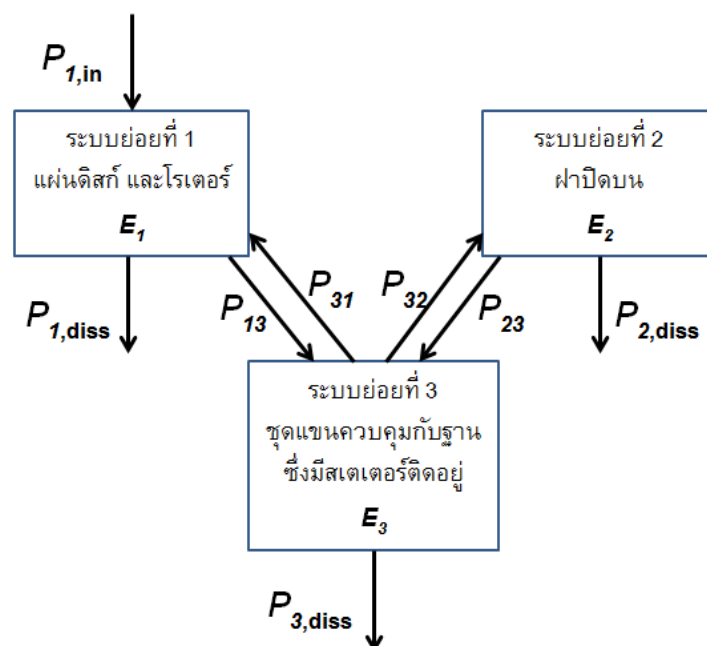
ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวทางการศึกษาการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนจากองค์ประกอบที่เป็นต้นเหตุหลักของการสั่นสะเทือน ซึ่งคือแผ่นดิสก์ ไปยังส่วนประกอบหลักอื่น ๆ ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ในลักษณะที่ส่วนประกอบต่างๆอยู่ในสถานะหยุดนิ่ง โดยการประยุกต์ใช้หลักการอนุรักษ์พลังงานเชิงสถิติในการศึกษา โดยเริ่มจากการหาค่าพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ อันได้แก่ค่าการสูญเสียพลังงานของระบบย่อย ค่าการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อย ด้วยวิธีการทดลอง ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ได้นี้จะนำไปสู่การคำนวณหาพลังงานส่งผ่านการสั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อยสองระบบย่อย

5.1 ระบบย่อย

ในการศึกษาการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นี้ จะแบ่งระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็น 3 ระบบย่อย ดังนี้ ระบบย่อยที่ 1 (SS1) ประกอบด้วย แผ่นดิสก์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่เป็นต้นเหตุของการสั่นสะเทือน และโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่มีการหมุนเมื่อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อยู่ในสภาพทำงาน ระบบย่อยที่ 2 (SS2) คือ ฝาปิดบน และระบบย่อยที่ 3 ประกอบด้วย ชุดแขนควบคุม และฐานซึ่งมีสเตเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์อยู่ ซึ่งการประกอบเข้าด้วยกันของระบบย่อยทั้ง 3 (SS3) นั้น จะอยู่ในลักษณะคือ ระบบย่อยที่ 1 ซึ่งคือแผ่นดิสก์ซึ่งสวมเข้ากับโรเตอร์นั้น ส่วนของโรเตอร์จะประกอบเข้ากับสเตเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งของระบบย่อยที่ 3 ด้วยแรงแม่เหล็ก ส่วนระบบย่อยที่ 2 หรือคือฝาปิดบนนั้นจะประกอบเข้ากับฐานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งของระบบย่อยที่ 3 ด้วยการยึดด้วยสกรู ส่วนระบบย่อยที่ 3 นั้น จะประกอบไปด้วยชุดแขนควบคุมซึ่งยึดด้วยสกรูกับฐาน และสเตเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์ซึ่งเป็นส่วนเดียวกับฐาน ดังแสดงในรูปที่ 49 ซึ่งจากการพิจารณาลักษณะการประกอบกันของระบบย่อยแล้วสามารถเขียนแบบจำลองการถ่ายทอดพลังงานของระบบย่อยทั้ง 3 ได้ดังแสดงในรูปที่ 50



รูปที่ 49 รูปแบบการแบ่ง และการเชื่อมต่อระบบย่อย



รูปที่ 50 แบบจำลองการถ่ายทอดพลังงานของระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

กำลัง (Power) ที่เกี่ยวข้องกับระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ได้แก่ กำลังกระตุ้นระบบ (Input Power, $P_{i,im}$) ซึ่งกระตุ้นที่ระบบย่อยที่ 1 เพื่อเป็นการจำลองการสิ้นสะท้อนที่ต้นเหตุหลักซึ่งคือการสิ้นสะท้อนของแผ่นดิสก์ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ กำลังสูญเสียของระบบย่อยผู้ส่งแวล้อม (Dissipation Power, $P_{i,diss}$) และ กำลังส่งผ่านจากระบบย่อยหนึ่งไปยังอีกระบบย่อยหนึ่ง (Transfer Power, P_{ij}) ซึ่งกำลังนี้จะเกิดขึ้นระหว่างระบบย่อยที่มีจุดเชื่อมต่อกัน สำหรับระบบนี้ ได้แก่ กำลังส่งผ่านระหว่างระบบย่อยที่ 1 กับ 3 ซึ่งมีจุดเชื่อมต่อระหว่างโรเตอร์ของระบบย่อยที่ 1 และ สเตเตอร์ของระบบย่อยที่ 3 และ กำลังส่งผ่านระหว่างระบบย่อยที่ 2 กับ 3 ซึ่งมีจุดเชื่อมต่อระหว่างขอบของฝาปิดบนกับขอบของฐานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

จากแบบจำลองการถ่ายทอดพลังงานของระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ สามารถเขียนสมการตามกฎการอนุรักษ์พลังงานด้วยพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ ในรูปแบบเช่นเดียวกับสมการที่ (16) ได้ดังสมการที่ (29)

$$\begin{pmatrix} \eta_1 + \eta_{13} & 0 & -\eta_{31} \\ 0 & \eta_2 + \eta_{23} & -\eta_{32} \\ -\eta_{13} & -\eta_{23} & \eta_3 + \eta_{31} + \eta_{32} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{P_1}{\omega} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (29)$$

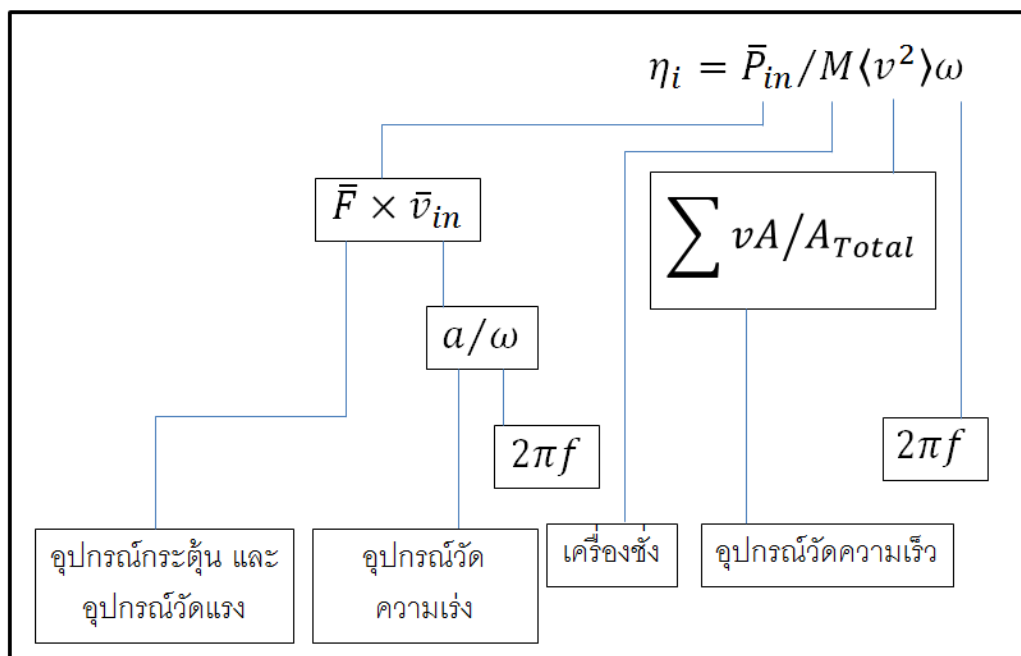
5.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบย่อย

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานของระบบย่อย ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติที่แสดงถึงความสามารถในการสูญเสียพลังงานของระบบย่อย ด้วยวิธีการทดลอง

5.2.1) การติดตั้งการทดลอง

ในการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานของระบบย่อยนี้ ได้อาศัยเทคนิคการวัดกำลังกระตุ้น ดังแสดงรายละเอียดอยู่ในบทที่ 2 หัวข้อย่อย 2.5.2 ซึ่งจากเทคนิคดังกล่าวสามารถออกแบบการทดลองหาค่าการสูญเสียพลังงานของระบบย่อยด้วยเทคนิคการวัดกำลังกระตุ้นได้ ดังแผนภาพในรูปที่ 51 ซึ่งตามเทคนิคนี้สามารถแบ่งส่วนประกอบของการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

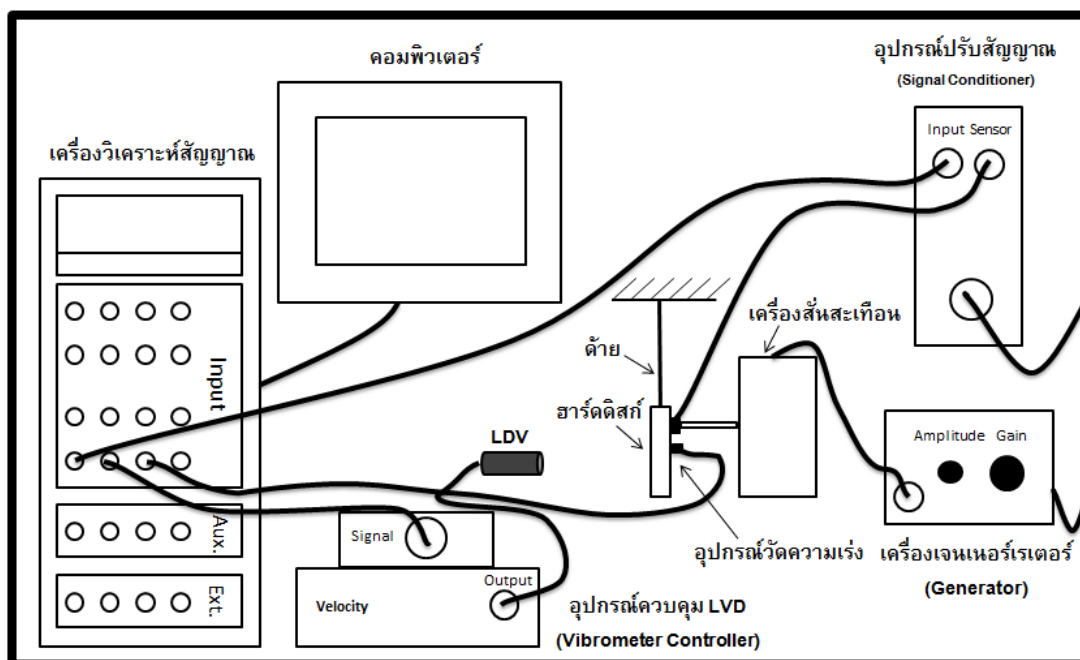
คือส่วนที่แสดงกำลังกระตุ้นระบบ ซึ่งได้จากผลคูณของ แรง และความเร็วกระตุ้นระบบ และ ส่วนที่แสดงการตอบสนองของระบบ ซึ่งอยู่ในรูปผลคูณของมวลกับความถี่เฉลี่ยต่อพื้นที่ซึ่งระบบเกิดการตอบสนองจากการถูกกระตุ้น



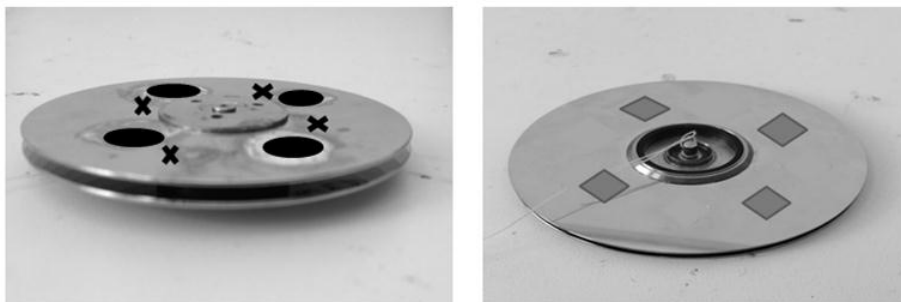
รูปที่ 51 แผนภาพการออกแบบการทดลองหาค่าการสูญเสียพลังงานของระบบย่อย ด้วยเทคนิคการวัดกำลังกระตุ้น

จากแผนภาพดังกล่าวสามารถติดตั้งการทดลองได้ดังแสดงในรูปที่ 52 ระบบย่อยที่ทำการทดลองจะถูกแขวนด้วยด้าย ในส่วนของการกระตุ้นระบบนั้น ใช้เครื่องสั่นสะเทือนซึ่งมีอุปกรณ์วัดแรงติดอยู่ที่ปลายแท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนในการกระตุ้นระบบ โดยมีอุปกรณ์วัดความเร่งติดอยู่บริเวณใกล้เคียงเพื่อวัดความเร่งกระตุ้นระบบซึ่งค่าความเร่งที่ได้สามารถแปลงเป็นค่าความเร็วในการหาลำกำลังกระตุ้นระบบได้ แรงที่เครื่องสั่นสะเทือนกระตุ้นระบบนั้นคือ แรงที่กระตุ้นที่ทุกความถี่ในช่วง 0-5000 เฮิรตซ์ ส่วนการตอบสนองของระบบนั้น วัดการตอบสนองของระบบที่ตำแหน่งต่าง ๆ ครอบคลุมทั้งระบบย่อยในรูปของความเร็วด้วยอุปกรณ์วัดความเร็วเลเซอร์ดอปเพลอร์ไวโบริมิเตอร์ ซึ่งสัญญาณแรง ความเร่ง และ ความเร็วจะถูกส่งเข้าเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ ซึ่งถูกควบคุมการทำงาน แปลงสัญญาณด้วย FFT และเขียนกราฟด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งในการทดลองเพื่อหา

ค่าการสูญเสียพลังงานของแต่ละระบบย่อย (η_1, η_2, η_3) นั้น สำหรับระบบย่อยที่ 1 คือ ชุดแผ่นดิสก์ และ โรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์นั้น จะแบ่งพื้นที่ผิวของระบบย่อยเป็น 4 บริเวณ ดังรูปที่ 53 คือ ทำการกระตุ้นที่ตำแหน่งแตกต่างกัน 4 ตำแหน่ง และในการกระตุ้นแต่ละตำแหน่งนั้น จะวัดการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งอื่นๆ อีก 3 ตำแหน่ง ส่วนระบบย่อยที่ 2 คือ ฝาปิดบน และระบบย่อยที่ 3 ชุดแขนควบคุมกับฐานซึ่งมีสเตเตอร์อยู่นั้น จะแบ่งพื้นที่ของระบบย่อยเป็น 9 บริเวณ ดังรูปที่ 54 และ 55 คือ ทำการกระตุ้นที่ตำแหน่งแตกต่างกัน 9 ตำแหน่ง และในการกระตุ้นแต่ละตำแหน่งนั้น จะวัดการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งอื่นๆ อีก 8 ตำแหน่ง ในการเก็บข้อมูลแต่ละตำแหน่งทำการเก็บผลการทดลองทั้งหมด 2 ครั้ง ผลการวัดจากทุกครั้งที่ทดลองที่ทุกตำแหน่ง นำมาคำนวณเพื่อหาค่ากำลังเฉลี่ยต่อพื้นที่ และ ค่ากำลังสองของความเร็วเฉลี่ยต่อพื้นที่ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียของระบบย่อย



รูปที่ 52 การติดตั้งการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบย่อย



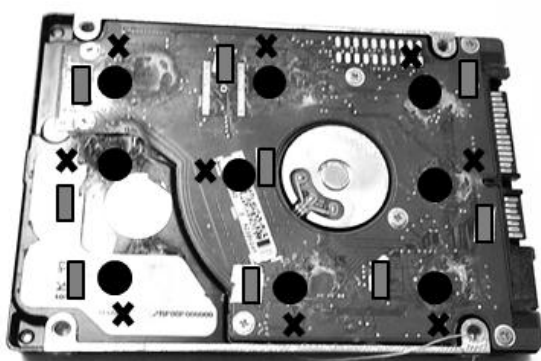
● ตำแหน่งกระตุ้นด้วยแรงจากภายนอก ✕ ตำแหน่งวัดความเร่งกระตุ้น ◆ ตำแหน่งวัดการสั่นสะเทือน

รูปที่ 53 ตำแหน่งการกระตุ้น และการวัดสัญญาณในการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบย่อยที่ 1 ชุดแผ่นดิสก์ และ โรเตอร์



● ตำแหน่งกระตุ้นด้วยแรงจากภายนอก
✕ ตำแหน่งวัดความเร่งกระตุ้น
◆ ตำแหน่งวัดการสั่นสะเทือน

รูปที่ 54 ตำแหน่งการกระตุ้น และการวัดสัญญาณในการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบย่อยที่ 2 ฝาปิดบน

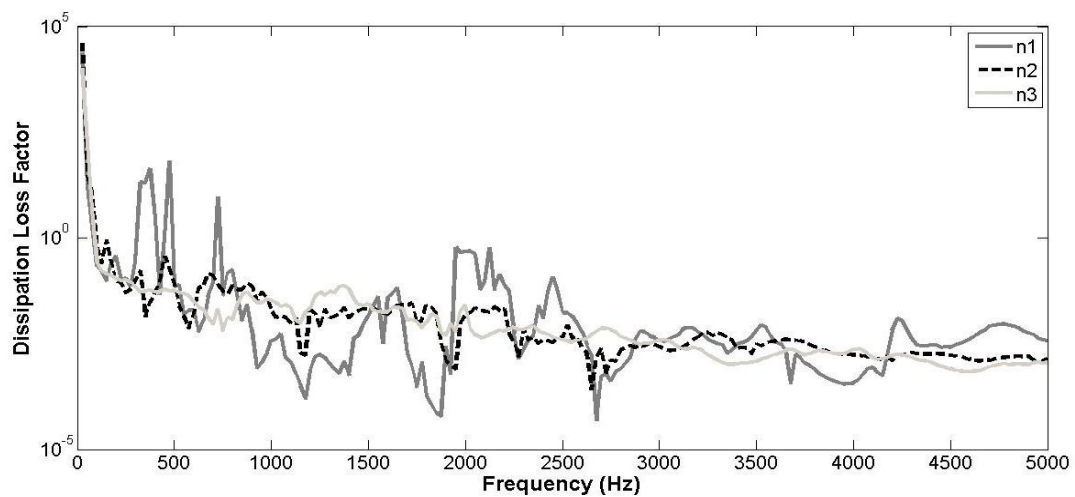


● ตำแหน่งกระตุ้นด้วยแรงจากภายนอก
✕ ตำแหน่งวัดความเร่งกระตุ้น
◆ ตำแหน่งวัดการสั่นสะเทือน

รูปที่ 55 ตำแหน่งการกระตุ้น และการวัดสัญญาณ ในการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบย่อยที่ 3 ชุดแขนควบคุม กับฐานซึ่งมีสเตเตอร์อยู่

5.2.2 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการวัดกำลังกระตุ้นระบบ และการสั่นสะเทือนของแต่ละระบบย่อย เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณตามหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบย่อยแต่ละระบบย่อย ดังแสดงในรูปที่ 56

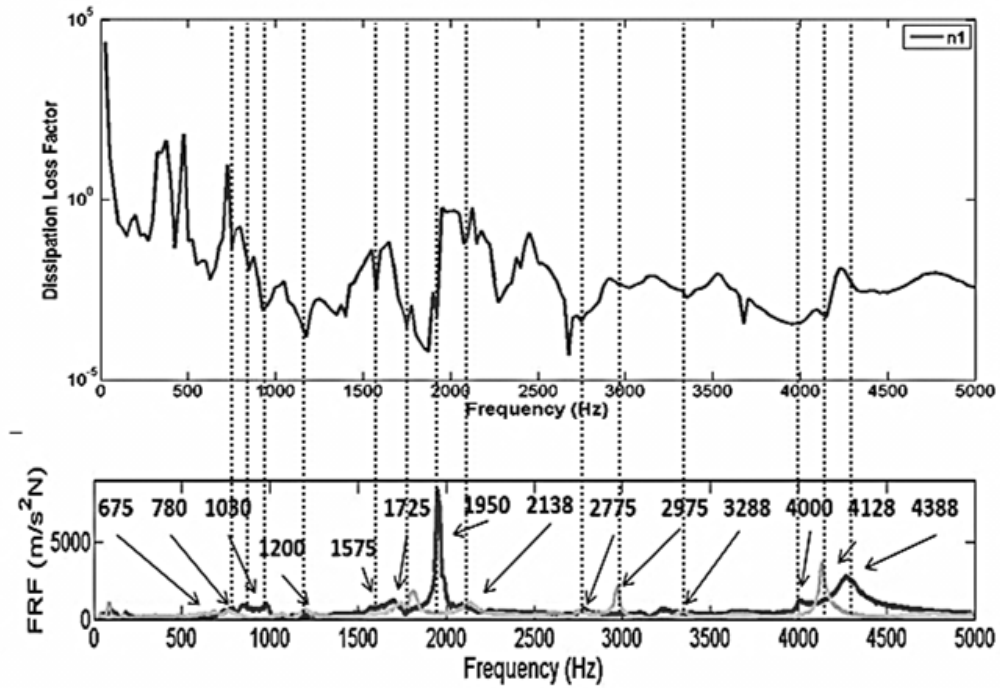


รูปที่ 56 ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบ

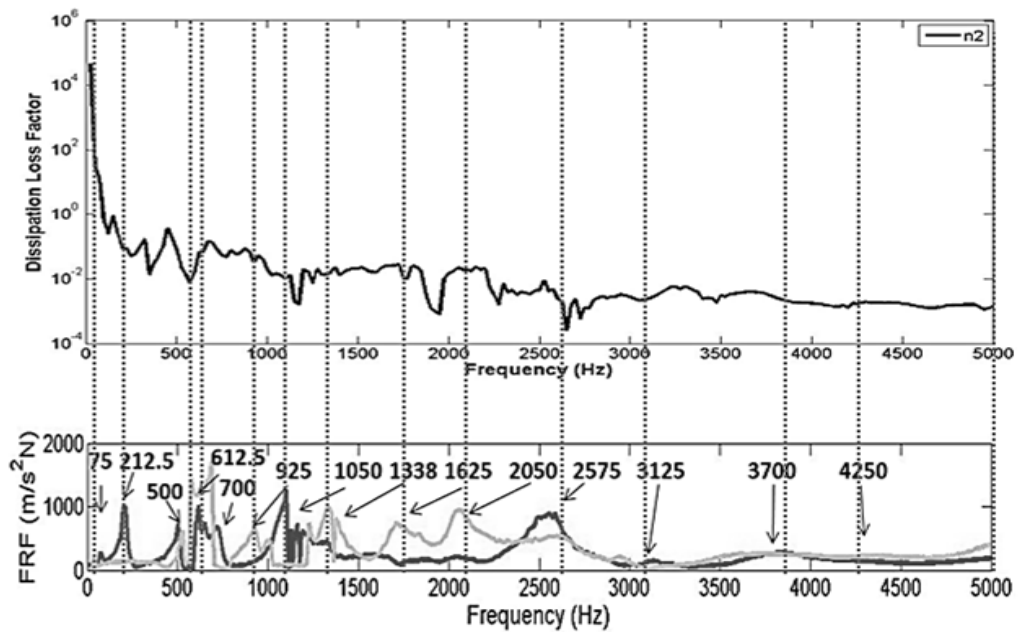
เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบย่อย กับฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของระบบย่อย จะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบย่อยจะแปรผกผันกับฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ หรือคือที่ค่าความถี่ธรรมชาติ ซึ่งเป็นค่าความถี่ที่ขนาดของฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่มีค่าสูงนั้น ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบย่อยจะมีค่าต่ำ แสดงดังรูปที่ 57-59 ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ เป็นไปตามรูปแบบสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบย่อยด้วยเทคนิคการวัดกำลังกระตุ้นดังแสดงในสมการที่ (20) ซึ่งจากสมการที่ (30) จะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบย่อยจะแปรผกผันกับกำลังสองของฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ ดังแสดงในสมการที่ (31)

$$\eta = \frac{P_{in}}{\omega m \langle v^2 \rangle} = \frac{F_{in} v_{in}}{\omega m \langle v \rangle \langle v \rangle} = \frac{F_{in}}{\langle v \rangle} \frac{v_{in}}{\omega m \langle v \rangle} = \frac{F_{in}}{\langle v \rangle} \frac{v_{in}}{\langle v \rangle} \frac{1}{\omega m} \quad (30)$$

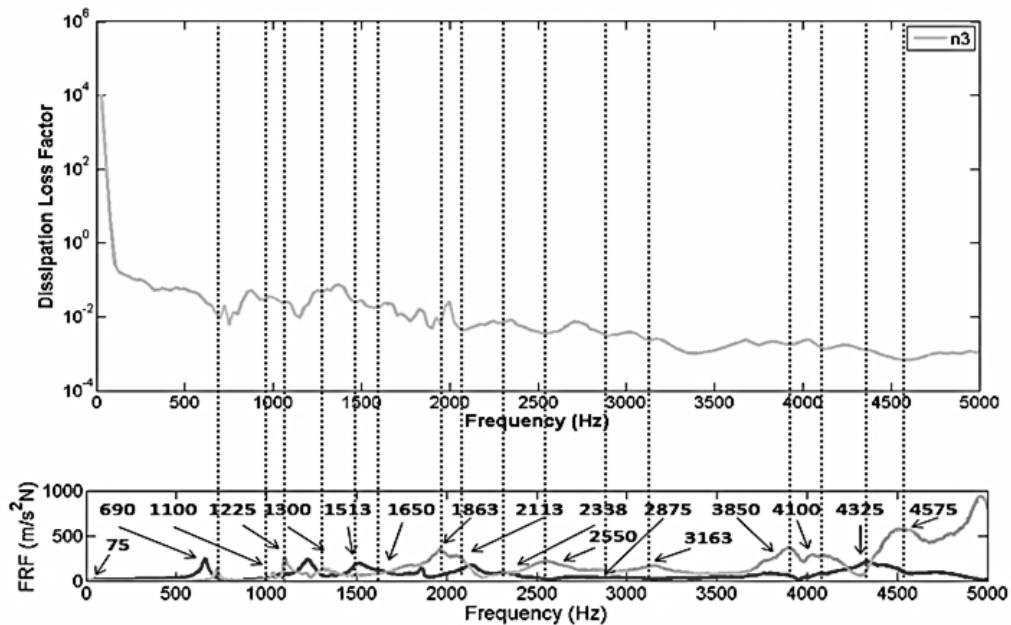
$$\eta \propto \frac{1}{FRF^2} \quad (31)$$



รูปที่ 57 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบย่อยที่ 1 ชุดแผ่นดิสก์กับโรเตอร์ และฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของแผ่นดิสก์



รูปที่ 58 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบย่อยที่ 2 ฝาปิดบนและฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของฝาปิดบน



รูปที่ 59 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบย่อยที่ 3 ชุดแกนควบคุมกับฐานซึ่งมีสเตเตอร์ และฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของชุดแกนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดลมอเตอร์ติดอยู่

5.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อย

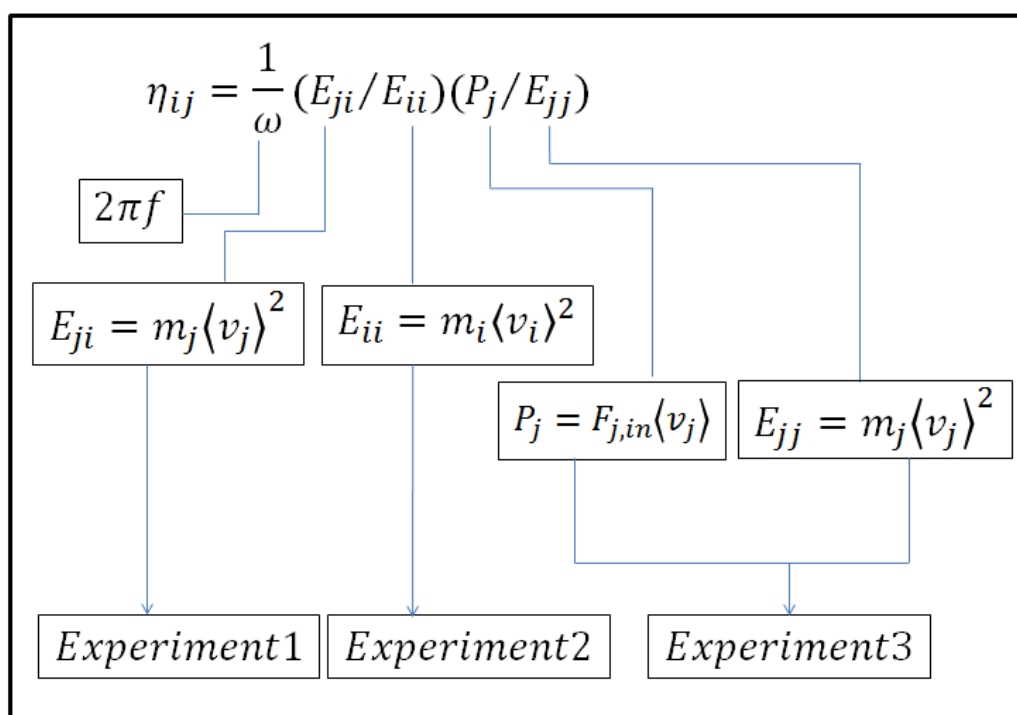
หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการหาค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อย ซึ่ง เป็นพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติที่แสดงถึงความสามารถในการส่งผ่านกำลังระหว่างระบบย่อย 2 ระบบด้วยวิธีการทดลอง

5.3.1 การติดตั้งการทดลอง

ในการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยนี้ ได้อาศัยสมการที่ประยุกต์โดย Lalor [4] ดังสมการที่ (21) ซึ่งได้แสดงรายละเอียดอยู่ในบทที่ 2 หัวข้อย่อย 2.5.2 ซึ่งจากสมการดังกล่าวสามารถออกแบบการทดลองได้ดังแผนภาพในรูปที่ 60

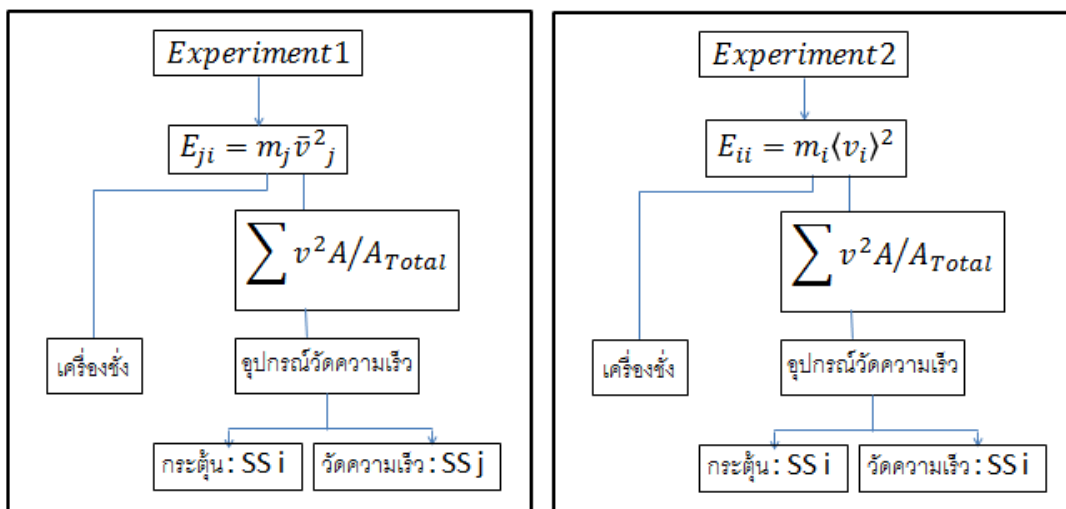
จากแผนภาพจะพบว่าในการหาค่ากำลัง และพลังงานต่าง ๆ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของสมการหาค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อย 2 ระบบย่อยนั้น จะประกอบไปด้วยการทดลองย่อย 3 การทดลอง โดยการทดลองย่อยที่ 1 เป็นการทดลองเพื่อหาพลังงานการ

สิ้นสะท้อนเฉลี่ยตามพื้นที่ของระบบย่อย j เมื่อระบบย่อย i ถูกกระตุ้นด้วยแรงกระตุ้นจากภายนอก ในขณะที่การทดลองย่อยที่ 2 เป็นการทดลองเพื่อหาพลังงานการสิ้นสะท้อนเฉลี่ยตามพื้นที่ของระบบย่อย i เมื่อระบบย่อย i ถูกกระตุ้น และการทดลองย่อยที่ 3 เป็นการทดลองเพื่อหาพลังงานการสิ้นสะท้อนเฉลี่ยตามพื้นที่ของระบบย่อย j และ หากำลังกระตุ้นระบบย่อย เมื่อระบบย่อย j ถูกกระตุ้น ซึ่งแผนภาพการทดลองย่อยทั้ง 3 แสดงในรูปที่ 61



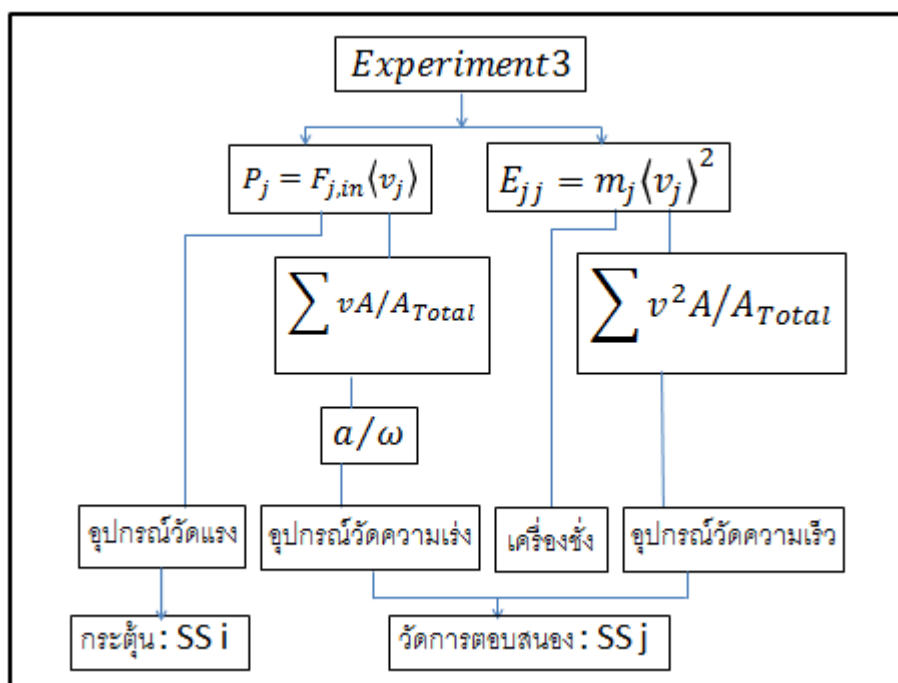
รูปที่ 60 แผนภาพการออกแบบการทดลองหา

ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยด้วยการประมาณค่าของเลเดอร์ [4]



(ก) การทดลองย่อยที่ 1

(ข) การทดลองย่อยที่ 2

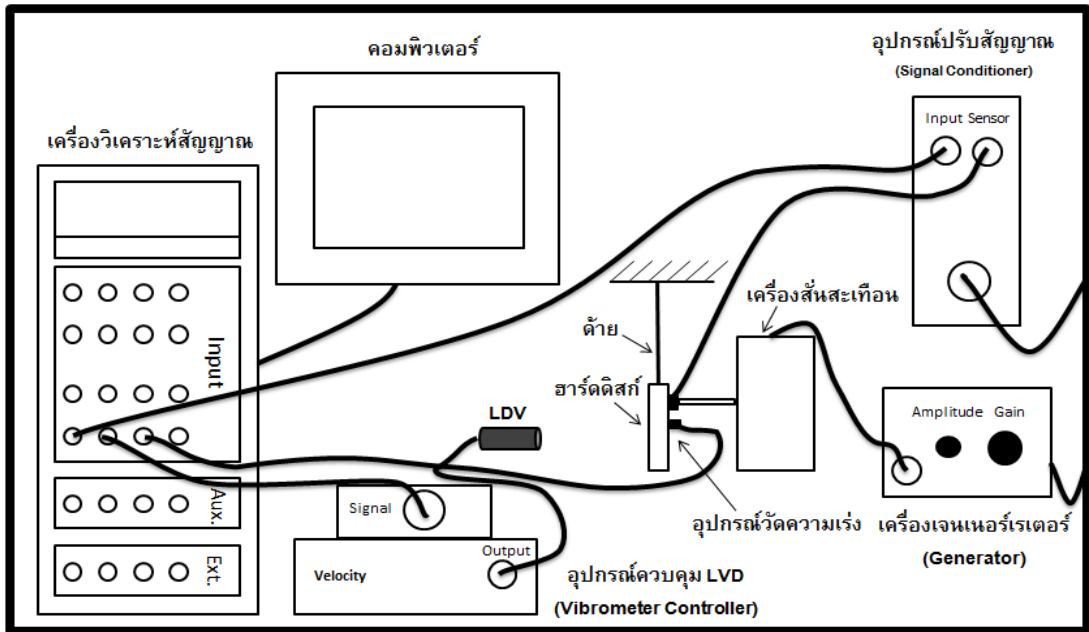


(ค) การทดลองย่อยที่ 3

รูปที่ 61 แผนภาพการทดลองย่อยประกอบการออกแบบการทดลอง
 หาค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยด้วยการประมาณค่าของเลเลอร์ [4]

จากแผนภาพดังกล่าวสามารถติดตั้งการทดลองย่อยทั้งสามได้ดังแสดงในรูปที่ 62 ซึ่งค่า
 สัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยที่จะทำการหานั้น มีทั้งหมด 4 ค่า คือ ค่า

ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานจากระบบย่อย 1 ไประบบย่อย 3 (η_{13}) ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานจากระบบย่อย 2 ไประบบย่อย 3 (η_{23}) ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานจากระบบย่อย 3 ไประบบย่อย 1 (η_{31}) และค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานจากระบบย่อย 3 ไประบบย่อย 2 (η_{32}) โดยในการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานจากระบบย่อย 2 ไประบบย่อย 3 (η_{23}) และค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานจากระบบย่อย 3 ไประบบย่อย 2 (η_{32}) จะทดลองกับระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่สมบูรณ์ซึ่งถูกแขวนด้วยค้ำ โดยมีตำแหน่งกระตุ้น และวัดสัญญาณต่าง ๆ ดังรูปที่ 63 ส่วนในการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานจากระบบย่อย 1 ไประบบย่อย 3 (η_{13}) และ ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานจากระบบย่อย 3 ไประบบย่อย 1 (η_{31}) นั้น จะทดลองกับระบบที่ประกอบไปด้วยระบบย่อยที่ 1 ประกอบเข้ากับระบบย่อยที่ 3 โดยมีตำแหน่งกระตุ้น และตำแหน่งวัดสัญญาณดังรูปที่ 64 เนื่องจากระบบย่อยที่ 1 ซึ่งคือชุดแผ่นดิสก์กับโรเตอร์ของสปีนเดิลมอเตอร์นั้นเป็นส่วนประกอบที่อยู่ภายใน ถ้าทดลองกับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่สมบูรณ์ คือมีฝาปิดบนปิดอยู่ จะไม่สามารถกระตุ้น หรือ วัดการสั่นสะเทือนของระบบย่อยที่ 1 ได้ นอกจากนี้การทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยที่ 1 และ 3 นั้น ยังมีข้อจำกัดอีกปัจจัยหนึ่ง คือไม่สามารถวัดการสั่นสะเทือนครอบคลุมบริเวณพื้นที่ผิวทั้งหมดของระบบย่อยที่ 1 ได้ เนื่องจากเมื่อประกอบระบบย่อยที่ 1 เข้ากับระบบย่อยที่ 3 แล้ว จะสามารถวัดการสั่นสะเทือนได้เพียงแค่พื้นที่ผิวของแผ่นดิสก์แผ่นบนเพียงแผ่นเดียวโดยที่ไม่สามารถวัดการสั่นสะเทือนของแผ่นดิสก์แผ่นล่างได้ ในการกระตุ้นระบบนั้น ใช้เครื่องสั่นสะเทือนซึ่งมีอุปกรณ์วัดแรงติดอยู่ในการกระตุ้นระบบ โดยมีอุปกรณ์วัดความเร่ง วัดความเร่งกระตุ้นระบบซึ่งค่าความเร่งที่ได้สามารถแปลงเป็นค่าความเร็ว ในการหาค่าลึงกระตุ้นระบบได้ ส่วนการตอบสนองของระบบนั้น วัดการตอบสนองของระบบที่ตำแหน่งต่าง ๆ ครอบคลุมทั้งระบบย่อยในรูปของความเร็วด้วยอุปกรณ์วัดความเร็ว เลเซอร์คอปเปอเรเตอร์ไวโบริมิเตอร์ ซึ่งสัญญาณแรง ความเร่ง และ ความเร็วจะถูกส่งเข้าเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ ซึ่งถูกควบคุมการทำงาน แปลงสัญญาณด้วย FFT และเขียนกราฟด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 62 การติดตั้งการทดลองหาค่าการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อย



- ตำแหน่งกระตุ้นด้วยแรงจากภายนอก
- ✕ ตำแหน่งวัดความเร่งกระตุ้น
- ◆ ตำแหน่งวัดการสั่นสะเทือน

รูปที่ 63 ตำแหน่งกระตุ้น และวัดสัญญาณในการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยที่ 2 ซึ่งคือฝาปิดบน และ ระบบย่อยที่ 3 ซึ่งคือ ชุดแกนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดอมอเตอร์ติดอยู่

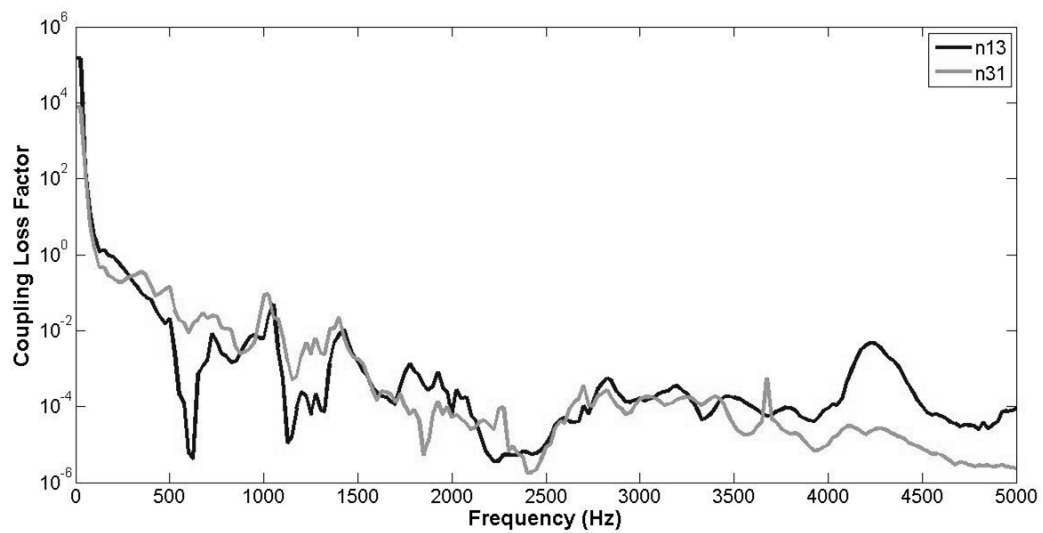


- ตำแหน่งกระตุ้นด้วยแรงจากภายนอก
- × ตำแหน่งวัดความเร่งกระตุ้น
- ◆ ตำแหน่งวัดการสั่นสะเทือน

รูปที่ 64 ตำแหน่งกระตุ้น และวัดสัญญาณ ในการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยที่ 1 ซึ่งคือชุดแผ่นดิสก์กับโรเตอร์ และ ระบบย่อยที่ 3 ซึ่งคือ ชุดแขนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดลมอเตอร์ติดอยู่

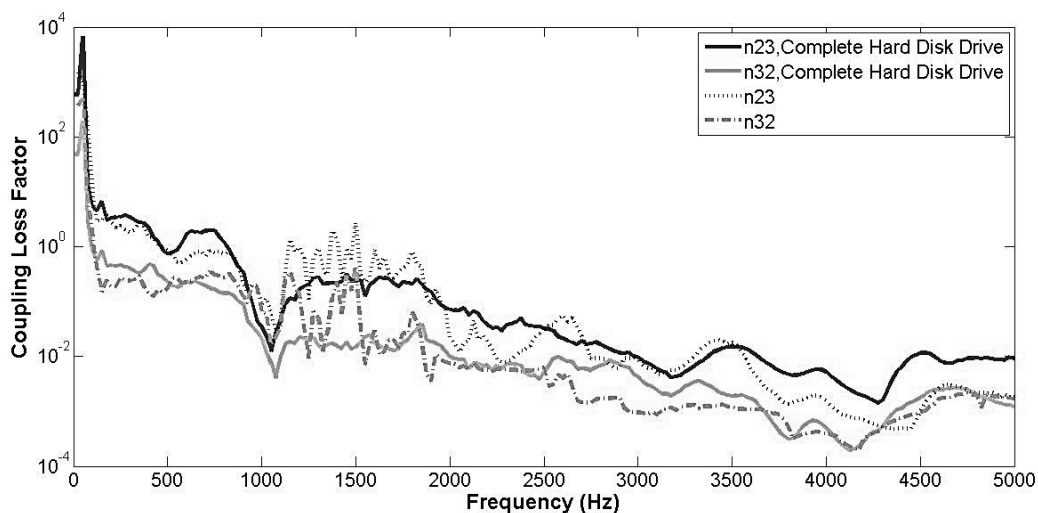
5.3.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากผลการวัดกำลังกระตุ้นระบบ และการสั่นสะเทือนของระบบที่ประกอบไประบบย่อยที่ 1 ซึ่งคือชุดแผ่นดิสก์กับโรเตอร์ และ ระบบย่อยที่ 3 ซึ่งคือชุดแขนควบคุมกับฐานซึ่งมีสเตเตอร์อยู่ มาคำนวณตามหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยที่ 1 และ 3 ดังแสดงในรูปที่ 65



รูปที่ 65 ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยที่ 1 และ 3

และสำหรับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยที่ 2 ซึ่งคือฝาปิดบน และระบบย่อยที่ 3 ซึ่งคือชุดแกนควบคุมกับฐานซึ่งมีสเตเตอร์ ด้วยหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิตินั้น ข้อมูลผลการทดลองที่นำมาใช้ในการคำนวณนั้น ประกอบไปด้วย ข้อมูล 2 ชุด คือ ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองกับระบบฮาร์ดดิสก์ที่สมบูรณ์ และ ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองกับระบบที่ประกอบไปด้วยระบบย่อยที่ 2 และ 3 เท่านั้น ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยที่ 2 และ 3 ที่ได้จากชุดข้อมูลทั้งสองนั้น แสดงดังรูปที่ 66



รูปที่ 66 ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยที่ 2 และ 3

ผลการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยที่ได้จากการใช้ข้อมูลผลการทดลองทั้งสองแบบ พบว่า แม้ว่าค่าที่ได้จะมีค่าแตกต่างกัน แต่ค่าที่ได้มีรูปแบบและแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยที่ 1 และ 3 ซึ่งได้จากการใช้ข้อมูลผลการทดลองกับระบบที่ประกอบไปด้วยระบบย่อยที่ 1 และ 3 เท่านั้น (เนื่องจากข้อจำกัดของระบบที่ไม่สามารถใช้ข้อมูลผลการทดลองที่ได้จากการทดลองกับฮาร์ดดิสก์ที่สมบูรณ์ ดังกล่าวไว้แล้วข้างต้นในหัวข้อที่ 5.3.1) สามารถใช้ประมาณค่าตามหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติได้

5.4 การประมาณค่าพลังงานการสั่นสะเทือนด้วยหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ

เมื่อพิจารณาลักษณะการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนของระบบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่ศึกษา นั้น ระบบย่อยที่ 1 ชุดแผ่นดิสก์และโรเตอร์ จะถูกกระตุ้นด้วยแรงภายนอก หรือคือพลังงานกระตุ้นจะถูกส่งเข้าระบบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จากระบบย่อยที่ 1 และเนื่องจากการประกอบกับของแต่ละระบบย่อย ในลักษณะที่ชุดแผ่นดิสก์และ โรเตอร์ จะถูกประกอบเข้ากับฐานซึ่งเป็นระบบย่อยที่ 3 เท่านั้น เช่นเดียวกับฝาปิดบนซึ่งเป็นระบบย่อยที่ 2 ที่ถูกประกอบเข้ากับฐานเท่านั้น ดังนั้น รูปแบบการ

ส่งผ่านพลังงานของระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตามแบบจำลอง คือ เกิดการส่งพลังงานจากระบบย่อยที่ 1 ไปยังระบบย่อยที่ 3 และจากระบบย่อยที่ 3 ส่งไปยังระบบย่อยที่ 2 หรือคือไม่มีการส่งผ่านพลังงานระหว่างระบบย่อยที่ 1 และ ระบบย่อยที่ 2

ในการประมาณค่าพลังงานการสิ้นสະเทือนนั้น สามารถอาศัยหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติได้ โดยเมื่อทราบค่าพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์พลังงานการสิ้นสະเทือน อันได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบย่อย และ ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อย รวมถึงทราบปริมาณกำลังกระตุ้นระบบ สามารถแทนค่าดังกล่าวลงในระบบสมการที่ (16) ซึ่งเป็นระบบสมการที่ได้จากการประยุกต์กฎการอนุรักษ์พลังงาน ร่วมกับหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ ดังกล่าวไปแล้วในบทที่ 2 หัวข้อ 2.5

จากผลการแก้สมการดังสมการที่ (26) – (27) จะได้ว่าสำหรับระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ศึกษา นี้ ค่าพลังงานการสิ้นสະเทือนที่ประมาณค่าได้ตามหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ นั้น จะคำนวณได้ตามสมการที่ (32)–(34)

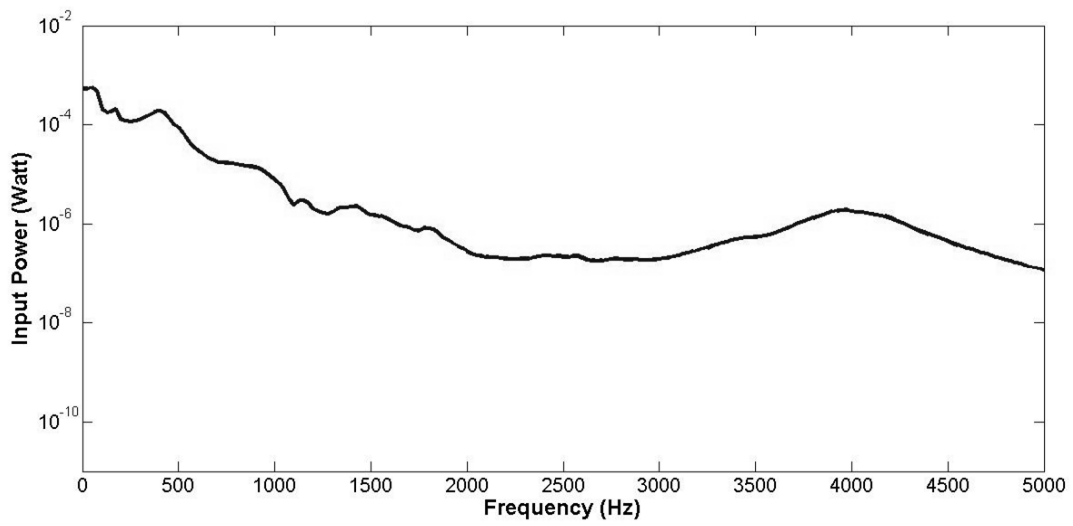
$$E_{1,Total} = \frac{P_1}{\omega\eta_1} \quad (32)$$

$$E_{3,Total} = E_{1,Total} \frac{\eta_{13}}{\eta_{3,Total}} \quad (33)$$

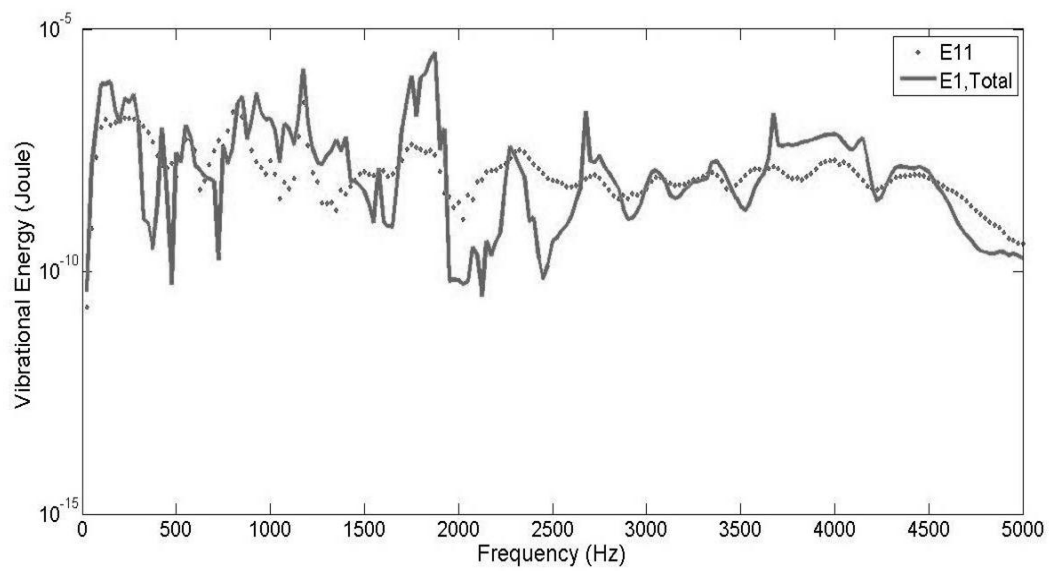
$$E_{2,Total} = E_{3,Total} \frac{\eta_{32}}{\eta_{2,Total}} \quad (34)$$

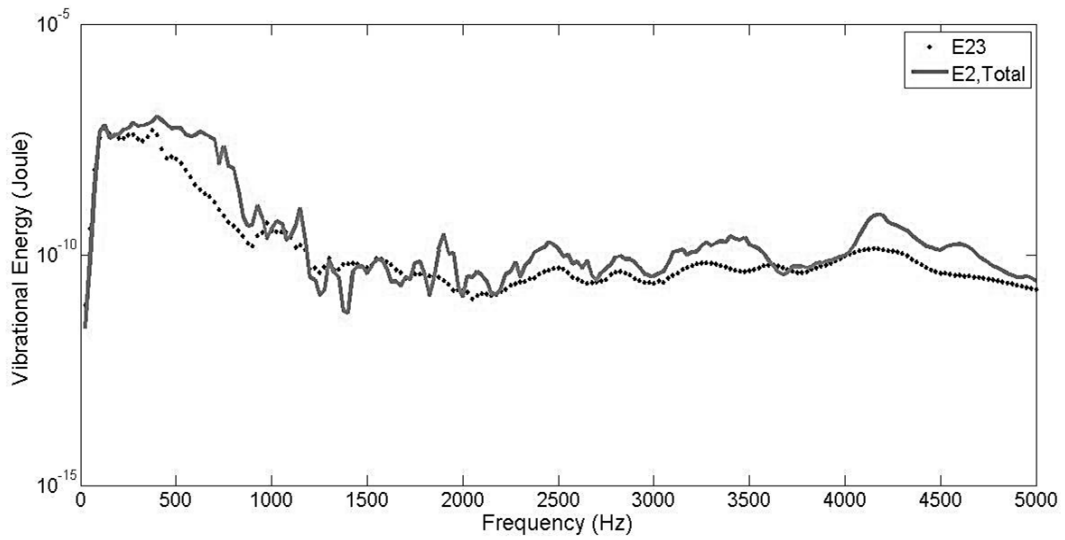
พลังงานการสิ้นสະเทือนที่ได้จากการประมาณค่าตามหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ

และ การพิจารณาเปรียบเทียบกับพลังงานการสิ้นสະเทือนที่ได้จากการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อย ซึ่งได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 5.3 ซึ่งได้จากการกระตุ้นระบบที่ระบบย่อยที่ 1 ด้วยกำลังกระตุ้น ดังแสดงในรูปที่ 67 จะได้ผลการเปรียบเทียบดังรูปที่ 68 69 และ 70

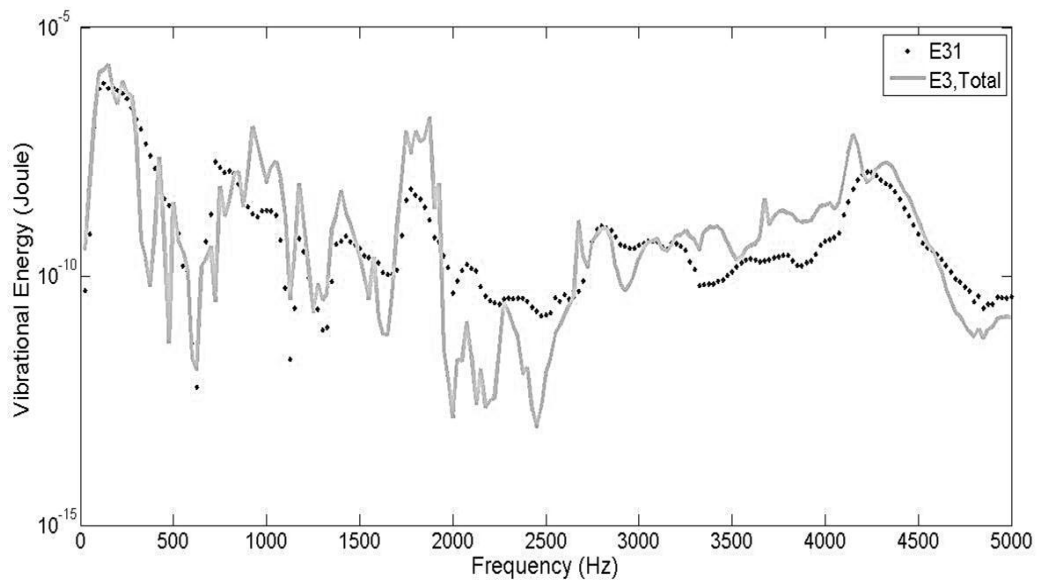


รูปที่ 67 กำลังกระตุ้นระบบ

รูปที่ 68 การเปรียบเทียบพลังงานการสั่นสะเทือนของระบบย่อยที่ 1 ที่ได้จากการทดลอง และ
หลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ



รูปที่ 69 การเปรียบเทียบพลังงานการสั่นสะเทือนของระบบย่อยที่ 2 ที่ได้จากการทดลอง และ
หลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ



รูปที่ 70 การเปรียบเทียบพลังงานการสั่นสะเทือนของระบบย่อยที่ 3 ที่ได้จากการทดลอง และ
หลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบพลังงานการสันสะเทือนรวมของระบบย่อยที่ได้จากการทดลอง และ
หลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ

ระบบย่อย	พลังงานการสันสะเทือนรวม		% ความแตกต่าง
	ผลการทดลอง	ผลการประมาณด้วย SEA	
1	4.55×10^{-6}	2.47×10^{-7}	94.57
2	6.36×10^{-7}	9.87×10^{-7}	55.19
3	4.86×10^{-6}	8.27×10^{-6}	70.16

จากการวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานการสันสะเทือนรวมที่ได้จากการทดลอง และหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ พบว่า ผลที่ได้จากการประมาณด้วยหลักการวิเคราะห์ พลังงานเชิงสถิตินั้น ให้ค่าที่แตกต่างจากผลการทดลองค่อนข้างมาก ดังแสดงในตารางที่ 5 แต่เมื่อ พิจารณาแนวโน้มของค่าพลังงานการสันสะเทือนที่ความถี่ต่าง ๆ ดังรูปที่ 68-70 จะพบว่าผล ประมาณที่ได้จากหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติมีรูปแบบที่มีแนวโน้มใกล้เคียงกับผลที่ได้จาก การทดลองอย่างมาก คือ เมื่อพลังงานการสันสะเทือนที่ได้จากการทดลองมีค่าสูงในช่วงความถี่ใด พลังงานการสันสะเทือนที่ได้จากการประมาณด้วยหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติก็มีค่าสูง ในช่วงความถี่ใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะในช่วงความถี่ 0-300 เฮิร์ตซ์ ที่ความแตกต่างของค่าพลังงาน การสันสะเทือนของแต่ละระบบย่อยมีค่าใกล้เคียงกันมาก ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลมา จากข้อจำกัดของหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติดังกล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อ 2.5 คือ หลักการ วิเคราะห์พลังงานเชิงสถิตินี้เป็นการศึกษาเชิงสถิติ พลังงานการสันสะเทือนที่ได้จากหลักการ วิเคราะห์พลังงานเชิงสถิตินี้ ได้จากการคำนวณโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของหลักการวิเคราะห์พลังงาน เชิงสถิติ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิตินี้ก็ได้จากการคำนวณโดยใช้ ค่าเฉลี่ยทางสถิติของผลการทดลองอีกต่อหนึ่ง และเพราะข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณตามหลักการ วิเคราะห์พลังงานเชิงสถิตินี้คือค่าเฉลี่ยต่อพื้นที่ของระบบ ทำให้การแบ่งพื้นที่ผิวของระบบเพื่อแบ่ง ตำแหน่งกระตุ้น และ วัดผลการสันสะเทือน และ จำนวนครั้งของการทดลองจึงมีความสำคัญ ยิ่ง จำนวนตำแหน่งกระตุ้น และ วัดผลการสันสะเทือน และจำนวนครั้งของการทดลองมาก ผลการ คำนวณที่ได้ก็จะมีความแม่นยำยิ่งขึ้น

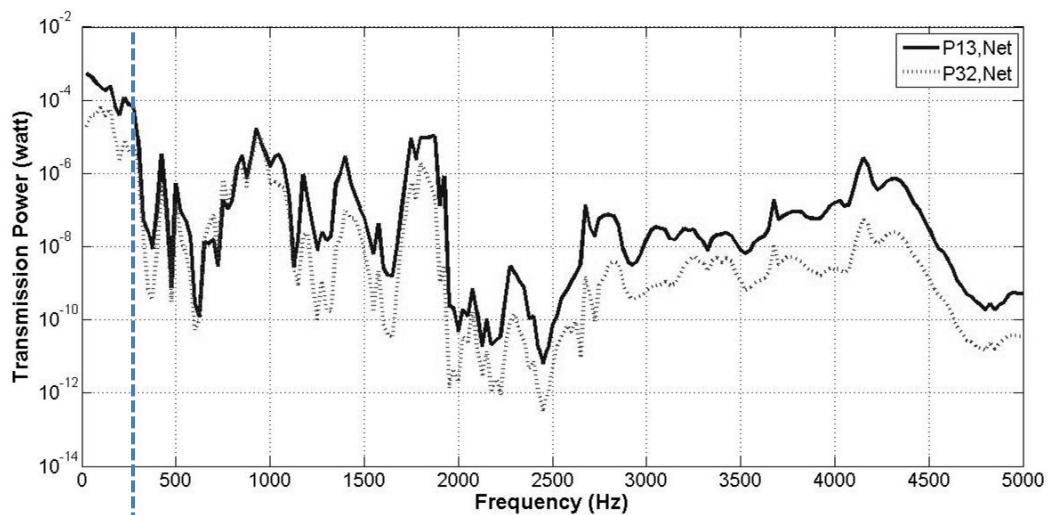
5.5 การส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อย

ปริมาณพลังงานการสั่นสะเทือนที่เกิดการส่งผ่านระหว่างระบบย่อยนั้น สามารถประมาณค่าได้ตามหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติตามสมการที่ (28) ซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อ 2.5 โดยองค์ประกอบของสมการดังกล่าวประกอบไปด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อย ซึ่งได้จากการทดลองดังกล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 5.3 และค่าพลังงานการสั่นสะเทือน ซึ่งได้จากการคำนวณดังแสดงไว้ในหัวข้อที่ 5.4

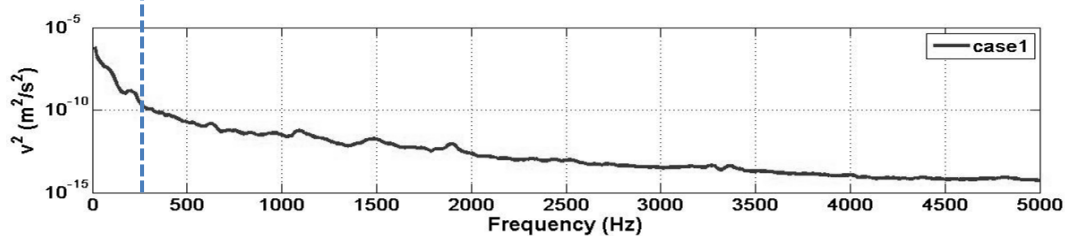
สำหรับระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นี้จะได้ว่ากำลังการสั่นสะเทือนสุทธิที่ถูกส่งผ่านจากระบบย่อยที่ 1 หรือชุดแผ่นดิสก์และโรเตอร์ ไปยังระบบย่อยที่ 3 หรือชุดแขนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดลมอเตอร์ติดอยู่ และกำลังการสั่นสะเทือนสุทธิที่ถูกส่งผ่านจากระบบย่อยที่ 3 ไปยังระบบย่อยที่ 2 หรือฝาปิดบนนั้นสามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ (35) และ (36)

$$P_{13,Net} = P_{13} - P_{31} = \omega\eta_{13}E_{1,Total} - \omega\eta_{31}E_{3,Total} \quad (35)$$

$$P_{32,Net} = P_{32} - P_{23} = \omega\eta_{32}E_{3,Total} - \omega\eta_{23}E_{2,Total} \quad (36)$$



ก)



ข)

รูปที่ 71 ก) กำลังการสั่นสะเทือนสุทธิที่ส่งผ่านระหว่างระบบย่อย

ข) ขนาดการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟที่สมบูรณ์

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบการส่งผ่านกำลังการสั่นสะเทือนสุทธิระหว่างระบบย่อย

Transmission Power (Watt)	ช่วงความถี่ (เฮิรตซ์)			
	0-300	300-1200	1200-5000	0-5000
Pinput	9.23×10^{-4}	3.69×10^{-4}	9.10×10^{-5}	1.38×10^{-3}
$P_{13,Net}$	2.30×10^{-3}	5.14×10^{-5}	7.22×10^{-5}	2.42×10^{-3}
%Transmission $P_{13,Net}$	249.0	13.9	79.3	175.1
$P_{32,Net}$	2.86×10^{-4}	3.27×10^{-5}	5.27×10^{-6}	3.24×10^{-4}
%Transmission $P_{32,Net}$	31.0	8.86	5.79	23.5

จากผลการคำนวณหากำลังการสั่นสะเทือนสุทธิที่ส่งผ่านระหว่างระบบย่อยตามหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ ดังตารางที่ 6 จะพบว่าเกิดการส่งผ่านกำลังการสั่นสะเทือนจากระบบย่อยที่ 1 ไปยังระบบย่อยที่ 3 สูงกว่าการส่งผ่านกำลังการสั่นสะเทือนจากระบบย่อยที่ 3 ไปยังระบบย่อยที่ 2 ตลอดช่วงความถี่ 0-5000 เฮิรตซ์ โดยเฉพาะในช่วงความถี่ต่ำ 0-300 เฮิรตซ์ ที่เกิดการส่งผ่านสูงมากเมื่อเทียบกับช่วงความถี่อื่น ๆ และเมื่อพิจารณาแนวโน้มของการส่งผ่านกำลังการสั่นสะเทือนระหว่างการส่งผ่านจากระบบย่อยที่ 1 ไปยังระบบย่อยที่ 3 และการส่งผ่านจากระบบย่อยที่ 3 ไปยังระบบย่อยที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 71 จะพบว่าเมื่อเกิดการส่งผ่านกำลังการสั่นสะเทือนจากระบบย่อยที่ 1 ไปยังระบบย่อยที่ 3 สูงนั้น การส่งผ่านกำลังการสั่นสะเทือนจากระบบย่อยที่ 3 ไปยังระบบย่อยที่ 2 ก็มีค่าสูงด้วย และเมื่อการส่งผ่านกำลังการสั่นสะเทือนจากระบบย่อยที่ 1 ไปยังระบบย่อยที่ 3 มีค่าน้อย การส่งผ่านกำลังการสั่นสะเทือนจากระบบย่อยที่ 3 ไปยังระบบย่อยที่ 2 ก็มีค่าลดลงด้วยเช่นกัน เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการส่งผ่านกำลังการสั่นสะเทือน กับ ลักษณะการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ที่ได้จากการทดลองดังกล่าวในบทที่ 4 หัวข้อที่ 4.3 จะพบว่าในช่วงความถี่ 0-300 เฮิรตซ์ ซึ่งมีการส่งผ่านกำลังการสั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อย ทั้งระหว่างระบบย่อยที่ 1 และ 3 และระหว่างระบบย่อยที่ 3 และ 2 นั้นมีค่าสูงนั้น การสั่นสะเทือนโดยรวมของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ก็มีค่าสูงด้วย และเป็นช่วงความถี่ที่การสั่นสะเทือนสูงว่ามากเมื่อเทียบกับช่วงความถี่อื่น ๆ ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนเป็นสาเหตุหนึ่งส่งผลให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เกิดการสั่นสะเทือนสูง

บทที่ 6

แนวทางการลดการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาหาแนวทางการลดการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อย ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยลดปริมาณการสั่นสะเทือนโดยรวมของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้ โดยในการศึกษานี้ จะเริ่มจากการออกแบบ จากนั้นจึงศึกษาการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อย โดยการใช้หลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติด้วยวิธีทดลองเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือน เช่นเดียวกับการศึกษาในบทที่ 5 ซึ่งได้กล่าวมาแล้ว

6.1 การออกแบบแนวทางการลดการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือน

ในการหาแนวทางการลดการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อยของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้น สามารถลดได้ 2 แนวทาง แนวทางแรกคือลดการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อยที่ 1 คือ ชุดแผ่นดิสก์และโรเตอร์ กับระบบย่อยที่ 3 คือชุดแกนควบคุมกับฐานซึ่งสเตเตอร์อยู่ และแนวทางที่สองคือลดการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อยที่ 3 และระบบย่อยที่ 2 คือ ฟาปีคบน สำหรับแนวทางแรกนั้น จะเพียงแต่แนะนำแนวทางเท่านั้น คือไม่มีการทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบการส่งผ่านการสั่นสะเทือนจากการประมาณด้วยหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ เนื่องจากข้อจำกัดของการประกอบกันระหว่างระบบย่อยที่ 1 และ 3 เมื่อแยกส่วนประกอบสปินเดิลมอเตอร์ออกเป็นโรเตอร์ และ สเตเตอร์ แล้วทำการปรับการประกอบเข้าด้วยกันตามแนวทางที่ออกแบบแล้ว การประกอบเข้าให้สปินเดิลมอเตอร์สามารถทำงานได้เช่นเดิมนั้น จำเป็นที่จะต้องมียุคกรณ์ และเครื่องมือประกอบโดยเฉพาะ ในขณะที่แนวทางที่ 2 นั้น จะทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลของการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนด้วยการประมาณตามหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ ระหว่างแนวทางที่ออกแบบกับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ดั้งเดิม

6.1.1 การลดการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อยที่ 1 กับ ระบบย่อยที่ 3

ระบบย่อยที่ 1 ซึ่งก็คือชุดแผ่นดิสก์และโรเตอร์นั้น เชื่อมต่อกับระบบย่อยที่ 3 ซึ่งก็คือชุดแกนควบคุมกับฐานซึ่งมีสเตเตอร์อยู่นั้น ด้วยแรงแม่เหล็กกระหว่างสเตเตอร์ของระบบย่อยที่ 3 ดังแสดงในรูปที่ 72 และ โรเตอร์ของระบบย่อยที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 73 ซึ่งเป็นการประกอบเข้าด้วยกันของสปินเดิลมอเตอร์ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ รวมถึงเชื่อมต่อกันด้วยเจอนัลแบร์ริง (Journal Bearing) ซึ่งอยู่บริเวณแกนกลางของสปินเดิลมอเตอร์ด้วย



รูปที่ 72 สเตเตอร์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบย่อยที่ 3 ชุดแกนควบคุมกับฐานซึ่งมีสเตเตอร์



รูปที่ 73 โรเตอร์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบย่อยที่ 1 ชุดแผ่นดิสก์กับ โรเตอร์

แนวทางการลดการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อยที่ 1 กับ ระบบย่อยที่ 3 นี้ สามารถทำได้จากการออกแบบสปริงเดลมอเตอร์ให้เกิดการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนระหว่างชิ้นส่วนสเตเตอร์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบย่อยที่ 3 และชิ้นส่วนโรเตอร์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบย่อยที่ 2 ณ บริเวณที่เชื่อมต่อกันด้วยแรงแม่เหล็กก็ได้ หรือจะลดการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนด้วยการเพิ่มแฉกเปอร์ที่บริเวณที่ชิ้นส่วนทั้งสองเชื่อมต่อกันที่บริเวณเจนัลแบริงก็ได้

6.1.2 การลดการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อยที่ 3 กับ ระบบย่อยที่ 2

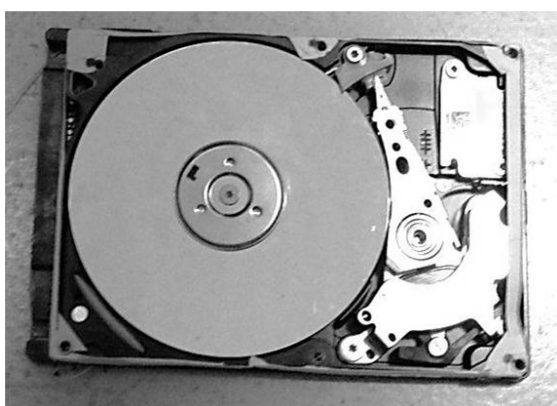
ระบบย่อยที่ 3 ซึ่งคือ ชุดแกนควบคุมซึ่งติดอยู่กับฐานซึ่งมีสเตเตอร์อยู่นั้น เชื่อมต่อกับระบบย่อยที่ 2 ซึ่งคือฝาปิดบน ที่บริเวณขอบของฐาน และแกนของชุดแกนควบคุม ซึ่งเป็นส่วนประกอบของระบบย่อยที่ 3 กับฝาปิดบนด้วยสกรู

แนวทางการลดการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อยที่ 3 กับ ระบบย่อยที่ 2 นี้จึงต้องลดการสั่นสะเทือนบริเวณจุดเชื่อมต่อระหว่างระบบย่อยดังกล่าว จึงออกแบบแนวทางการลดการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อยที่ 3 กับระบบย่อยที่ 2 ด้วยการใส่ตัวหน่วงที่บริเวณขอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ระหว่างฐาน และ ฝาปิดบน ซึ่งวัสดุที่จะใช้เป็นตัวหน่วงที่บริเวณขอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ระหว่างฐาน และฝาปิดบนได้นั้น จะต้องเป็นวัสดุที่บางเพื่อสามารถปรับเข้ากับระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ดั้งเดิมได้ วิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกใช้วัสดุที่แตกต่างกัน สามชนิด ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความบาง หรือสามารถกำหนดความบางได้ และเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย วัสดุทั้งสามชนิดคือ 1) กาวอเนกประสงค์ (Adhesive Glue) ดังแสดงในรูปที่ 74 2) กระดาษ 80 แกรม ดังแสดงในรูปที่ 75 3) กาวสองหน้าชนิดบาง ดังแสดงในรูปที่ 76 ซึ่งความหน่วงของระบบที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อใส่วัสดุทั้งสามชนิดบริเวณขอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ระหว่างฝาปิดบน และฐาน จะได้จากการทดลองดังแสดงในภาคผนวก ง

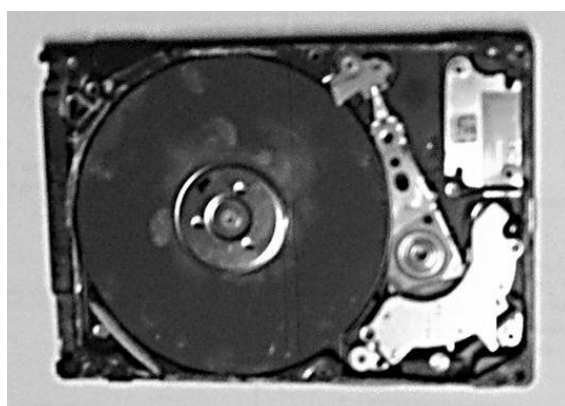
ซึ่งแนวทางการลดการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อยที่ 3 กับ ระบบย่อยที่ 2 ที่จะแนะนำไว้ในหัวข้อนี้ จะมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นเมื่อศึกษา ภาคผนวก ง คำสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียเนื่องจากความหน่วงของวัสดุ ประกอบไปด้วย



รูปที่ 74 แนวทางการลดการส่งผ่านการสั่นสะเทือนด้วยกาวยูยู



รูปที่ 75 แนวทางการลดการส่งผ่านการ
สั่นสะเทือนด้วยกระดาษ



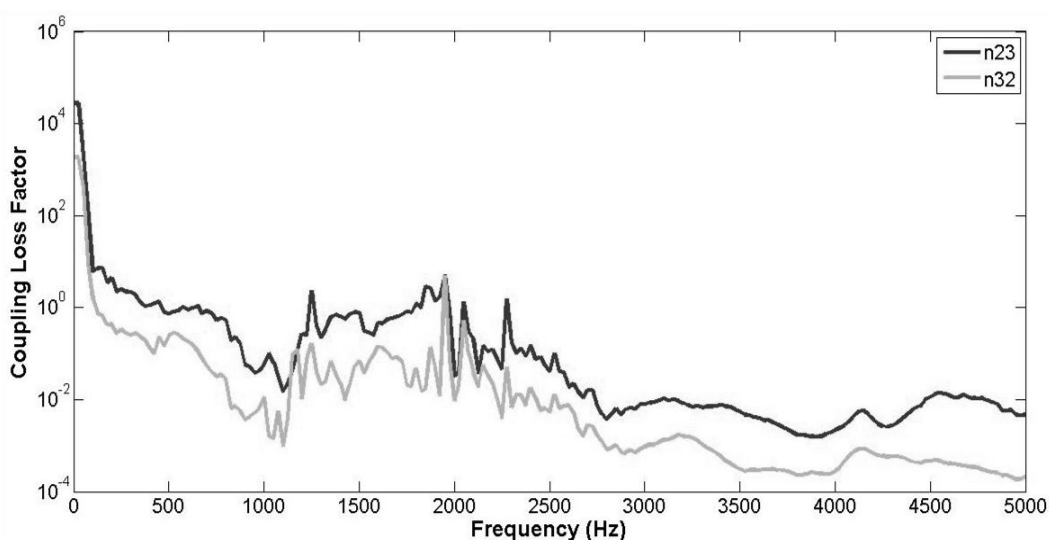
รูปที่ 76 แนวทางการลดการส่งผ่านการ
สั่นสะเทือนด้วยกาวสองหน้า

แนวทางการลดการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อยที่ 3 กับระบบย่อยที่ 2 ด้วยการใส่วัสดุที่แตกต่างกับสามชนิดบริเวณของฮาร์ดดิสก์ไดร์ระหว่างระบบย่อยทั้งสองที่ได้ ออกแบบไว้นั้น ระบบฮาร์ดดิสก์ไดร์ที่ปรับระบบฮาร์ดดิสก์ไดร์ดั้งเดิมด้วยการใส่วัสดุเพิ่มเติมไปที่บริเวณขอบของฮาร์ดดิสก์ไดร์ระหว่างฝาปิดบนและฐานนั้นจะพยายามควบคุมปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการประกอบระบบย่อยที่ 2 ซึ่งคือฝาปิดบน และระบบย่อยที่ 3 ซึ่งคือชุดแขนควบคุมกับฐานซึ่งมีสเตเตอร์อยู่ให้ใกล้เคียงกับระบบฮาร์ดดิสก์ไดร์ดั้งเดิมที่สุด เนื่องจากระบบย่อยทั้งสองนั้นเชื่อมต่อเข้าด้วยกันด้วยสกรู ในการปรับฮาร์ดดิสก์ไดร์จึงนับจำนวนรอบของการขันสกรู เพื่อให้ ความแน่น และแรงที่ใช้ในการประกอบแต่ละครั้งมีความใกล้เคียงกันมากที่สุด

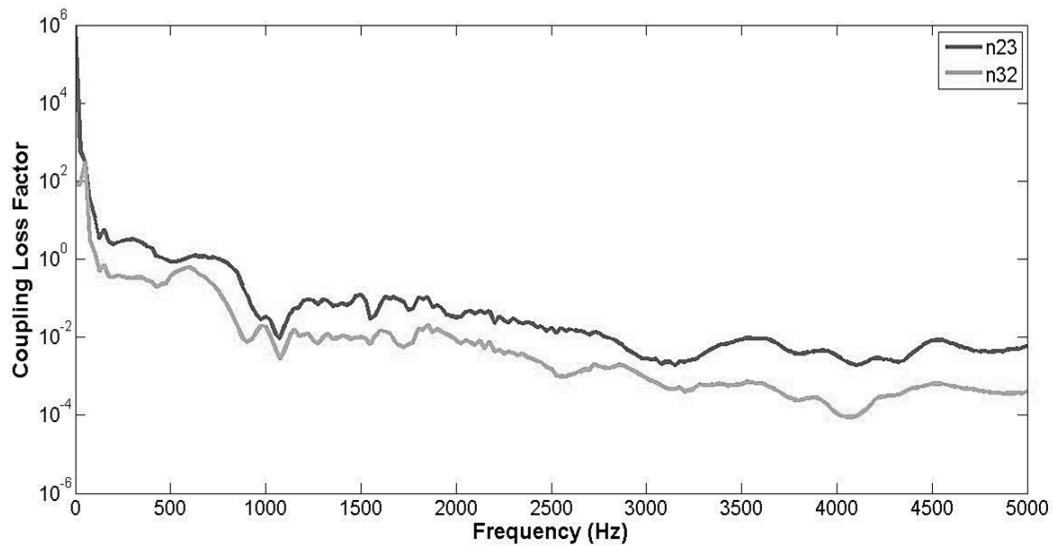
ระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่สมบูรณ์ซึ่งถูกปรับในการหาแนวทางลดการส่งผ่านกำลังการ
 สั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อยที่ 2 และ 3 นั้น ถูกนำไปทดลองด้วยการกระตุ้นด้วยแรงจากเครื่อง
 สั่นสะเทือน จากนั้นวัดการสั่นสะเทือนเพื่อหาพลังงานการสั่นสะเทือนโดยเฉลี่ย เพื่อนำมา
 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยที่ 2 และ 3 (η_{23} , η_{32}) และ
 กำลังการสั่นสะเทือนส่งผ่านระหว่างระบบย่อยที่ 3 และ 2 ($P_{32,Net}$) ใหม่ ตามหลักการวิเคราะห์
 พลังงานเชิงสถิติเพื่อเปรียบเทียบ การส่งผ่านกำลังการสั่นสะเทือนกับระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เดิม
 ดังที่ทดลองและคำนวณค่าไว้แล้วในบทที่ 5 ซึ่งรายละเอียดขั้นตอนการทดลองและวิธีการคำนวณ
 ตามหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติแสดงรายละเอียดไว้ในบทที่ 5 หัวข้อ 5.3-5.5

6.2 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

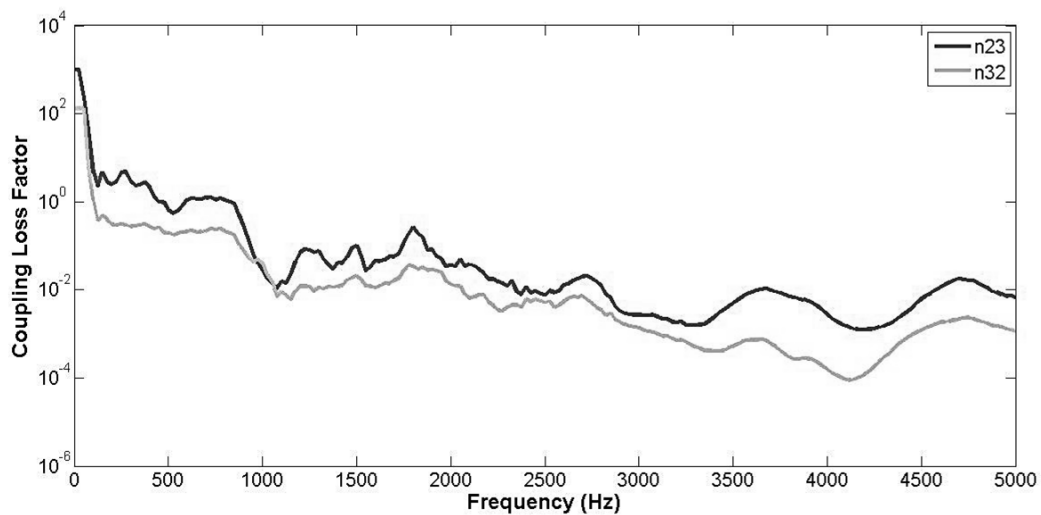
เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองมาคำนวณตามหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ จะ
 ได้ค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างระบบย่อยที่ 2 และ 3 ของแต่ละแนวทาง ดังแสดงในรูปที่ 77 78 และ 79



รูปที่ 77 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยที่ 2 และ 3
 ของระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แนวทางที่ 1 (กาวยูสุ)



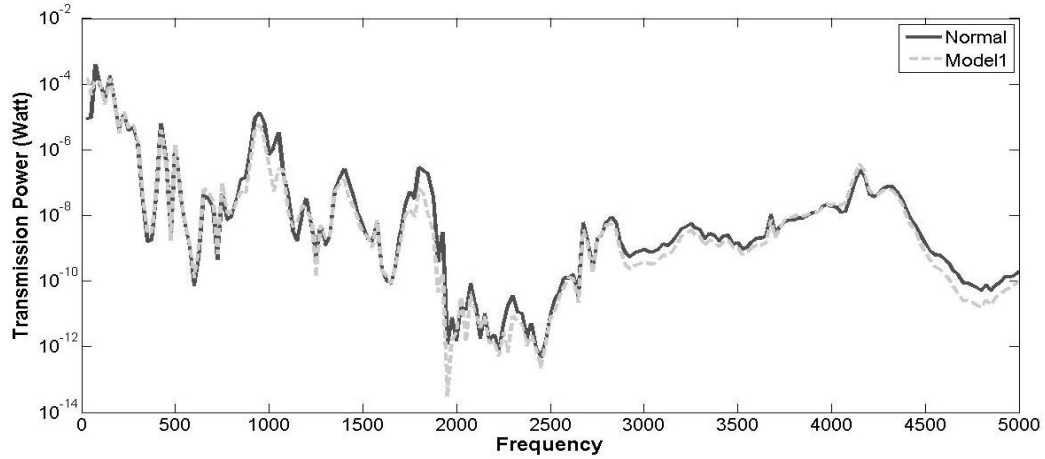
รูปที่ 78 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยที่ 2 และ 3
ของระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แนวทางที่ 2 (กระดาษ)



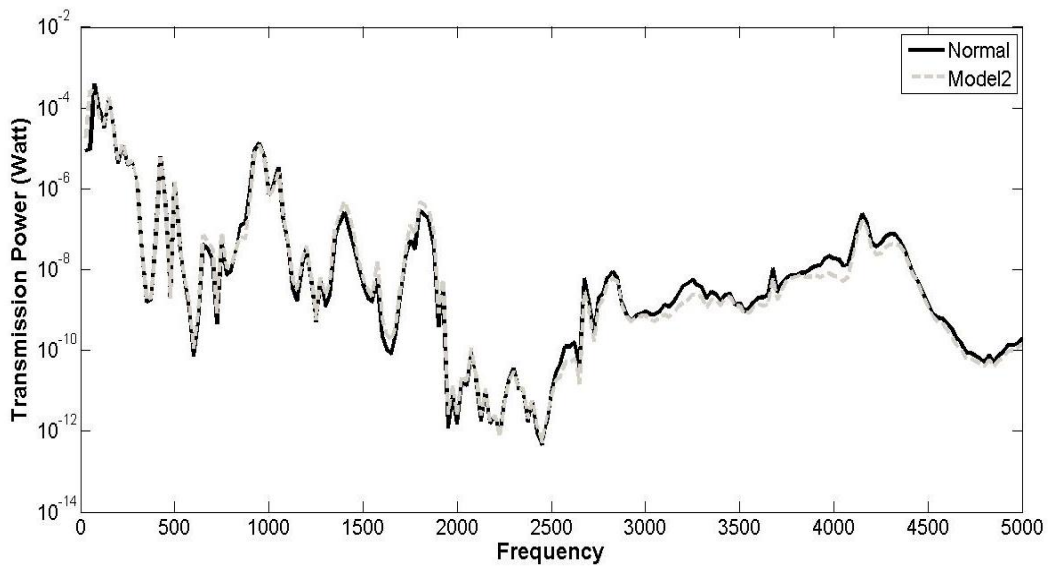
รูปที่ 79 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยที่ 2 และ 3
ของระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แนวทางที่ 3 (กาวสองหน้า)

ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานการสั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อยที่คำนวณได้นั้น จะถูกนำไปคำนวณเพื่อประมาณค่า กำลังส่งผ่านการสั่นสะเทือนสู่ทริระหว่างระบบย่อยที่ 3 และ 2 ซึ่งผลการประมาณค่าดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 80 81 และ 82 ส่วนผลการเปรียบเทียบกำลังการส่งผ่าน

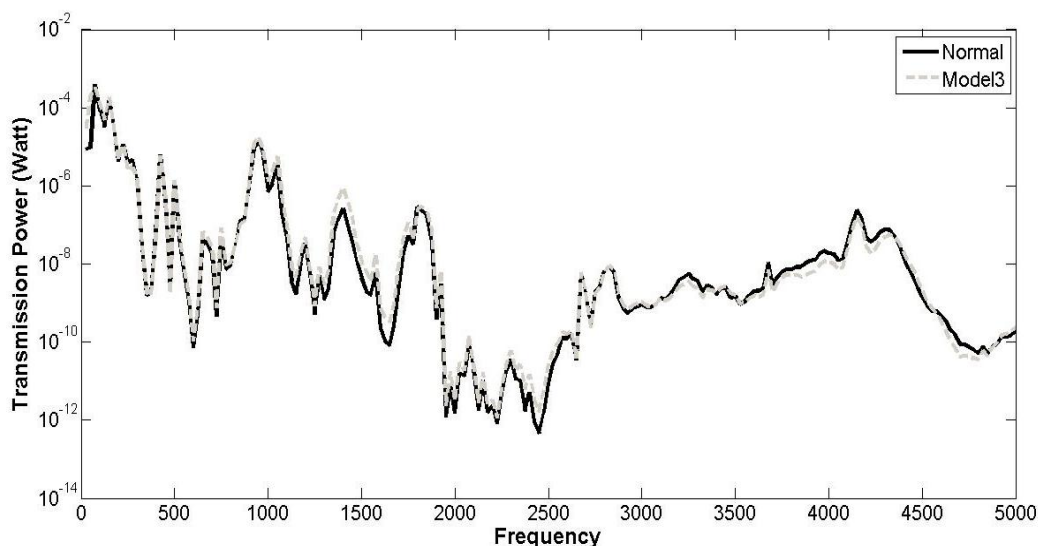
การสันสะท้อนสุทธิระหว่างแต่ละแนวทางที่ได้ออกแบบ เมื่อเทียบกับระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ปกติ
นั้นแสดงในตารางที่ 7



รูปที่ 80 เปรียบเทียบการส่งผ่านพลังงานการสันสะท้อน
ระหว่างฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ปกติ และ แนวทางที่ 1 (กาวยูสุ)



รูปที่ 81 เปรียบเทียบการส่งผ่านพลังงานการสันสะท้อน
ระหว่างฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ปกติ และ แนวทางที่ 2 (กระดาษ)



รูปที่ 82 เปรียบเทียบการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือน
ระหว่างฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟปกติ และ แนวทางที่ 3 (กาวสองหน้า)

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบกำลังส่งผ่านการสั่นสะเทือนสุทธิระหว่างระบบย่อยที่ 3 และ 2

ระบบ	กำลังส่งผ่านสุทธิ ระหว่างระบบย่อยที่ 3 และ 2	% ความแตกต่าง
ฮาร์ดดิสก์ปกติ	8.117×10^{-4}	-
แนวทางที่ 1	7.350×10^{-4}	ลด 9.45
แนวทางที่ 2	9.110×10^{-4}	เพิ่ม 12.2
แนวทางที่ 3	1.006×10^{-3}	เพิ่ม 24.0

จากผลการเปรียบเทียบในตารางที่ 7 แสดงให้เห็นว่า การใส่วัสดุบางชนิดเสมือนให้เป็นตัวหน่วงที่บริเวณขอบของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ระหว่างระบบย่อยที่ 2 และ 3 นั้น สามารถช่วยในการลดการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนสุทธิได้เล็กน้อย โดยจากวัสดุสามชนิดที่เลือกใช้นั้น พบว่า กาวยูซูช่วยลดการส่งผ่านการสั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อยทั้งสองได้เล็กน้อย ประมาณ 9.45% ในขณะที่กระดาษ และกาวสองหน้านั้น ทำให้การส่งผ่านการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้น 12.23% และ 23.95% ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองที่ได้นี้สอดคล้องกับคุณสมบัติความหน่วงของวัสดุทั้งสามที่ส่งผลกระทบต่อระบบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ดังแสดงในภาคผนวก ง คือ กาวอเนกประสงค์ช่วยให้ความหน่วง

ของระบบเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่กระดาษและกาวสองหน้าชนิดบางทำให้ความหน่วงของระบบเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามลำดับ

ผลการทดลองนี้ทำให้ทราบว่า การใส่ตัวหน่วงซึ่งมีคุณสมบัติที่จะช่วยเพิ่มความหน่วงให้กับระบบที่บริเวณขอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ระหว่างระบบย่อยที่ 2 ซึ่งคือฝาปิดบน และ ระบบย่อยที่ 3 ซึ่งคือชุดแขนควบคุมกับฐานซึ่งมีสเตเตอร์นั้น สามารถลดการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนได้ ซึ่งการลดการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อยนี้ช่วยส่งผลให้การสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยรวมลดลงได้ เพียงแต่ต้องเลือกใช้วัสดุสำหรับเป็นตัวหน่วงให้เหมาะสม ซึ่งผลการทดลองโดยใช้วัสดุบางชนิดในบทรูปนี้เป็นเพียงแนวทางเบื้องต้นเท่านั้น เพื่อให้ได้วัสดุที่เหมาะสมที่สุดในการลดการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนนั้นยังคงต้องศึกษาต่อเพิ่มเติมในอนาคต

บทที่ 7

บทสรุป

7.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาการสั่นสะเทือน และการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนของส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นี้ เป็นการศึกษาด้วยระเบียบวิธีการทดลอง เพื่อหาส่วนประกอบที่เป็นต้นเหตุหลักของการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และเพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนจากส่วนประกอบที่เป็นต้นเหตุหลัก ไปยังส่วนประกอบอื่น ๆ ด้วยหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ พร้อมทั้งแนะนำวิธีการลดการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนดังกล่าวด้วย โดยฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ใช้ในการทดลองคือฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สำหรับคอมพิวเตอร์พกพา ขนาด 2.5 นิ้ว ของบริษัทซีเกท รุ่นโมเมนตัส (Momentus) 5400.6 ซึ่งมีความเร็วรอบทำงานอยู่ที่ 5400 รอบต่อนาที

การศึกษาในส่วนแรกนั้น เป็นการหาส่วนประกอบที่เป็นต้นเหตุหลักของการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ด้วยการทดลองโมดัล และการทดลองหาลักษณะการสั่นสะเทือน ในการทดลองโมดัลนั้น ส่วนประกอบหลัก อันได้แก่ ฝาปิดบน แผ่นดิสก์ ชุดแผ่นดิสก์กับสปินเดิลมอเตอร์ซึ่งหมุนอยู่ประกอบกับชุดแขนควบคุมกับฐาน และ ชุดแขนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปินเดิลมอเตอร์ติดอยู่ เป็นระบบที่ทำการทดลองโมดัลเพื่อหาฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของระบบองค์ประกอบนั้น ๆ ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่นี้จะถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติ ซึ่งคือค่าความถี่ที่ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่มีขนาดสูงขึ้นไปเป็นยอด และมีเฟสเปลี่ยนแปลงไป 180 องศา ในการทดลองโมดัลนี้ได้ทดลองโดยใช้อุปกรณ์กระตุ้นระบบแตกต่างกันสองชนิด คือ ค้อนเคาะ และเครื่องสั่นสะเทือน เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่พบโหมดของการสั่นสะเทือนครบถ้วนที่สุด และในการทดลองหาลักษณะการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้น

ได้วัดการสิ้นสะท้อนของระบบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ซึ่งทำงานในสภาวะหยุดนิ่ง กรณีต่าง ๆ 8 กรณี อันได้แก่ ระบบของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่สมบูรณ์ ระบบที่ไม่มีฝาปิดบน ระบบที่ไม่มีฝาปิดบน และแผ่นดิสก์ ระบบที่ไม่มีฝาปิดบน และชุดแขนควบคุม ระบบที่ไม่มีฝาปิดบน ชุดแขนควบคุม และแผ่นดิสก์ ระบบที่ไม่มีแผ่นดิสก์ ระบบที่ไม่มีแผ่นดิสก์ และชุดแขนควบคุม และระบบที่ไม่มีชุดแขนควบคุม โดยการวัดการสิ้นสะท้อนของทั้ง 8 กรณี ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบในรูปของพลังการสิ้นสะท้อนเฉลี่ยต่อพื้นที่ เพื่อพิจารณาผลของส่วนประกอบหลักที่ส่งผลต่อการสิ้นสะท้อนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า แผ่นดิสก์ส่งผลสูงสุดต่อการสิ้นสะท้อนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ส่วนฝาปิดบนนั้นส่งผลอยู่บ้างที่บางช่วงความถี่ แต่ก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในขณะที่ชุดแขนควบคุมไม่ได้ส่งผลต่อการสิ้นสะท้อนที่สูงขึ้นแต่อย่างใด นอกจากนี้ยังพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างผลการวัดการสิ้นสะท้อนที่ได้ กับฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ที่ได้จากการทดลองโมดัล เพื่อพิจารณาผลของค่าความถี่ธรรมชาติที่ส่งผลต่อการสิ้นสะท้อนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลพบว่า ค่าความถี่ธรรมชาติของชุดแผ่นดิสก์ และชุดแขนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดลมอเตอร์ติดอยู่ขณะหมุน และค่าความถี่ธรรมชาติของฝาปิดบนบางค่าความถี่ ส่งผลต่อการสิ้นสะท้อนเล็กน้อย ในขณะที่ค่าความถี่ธรรมชาติของชุดแขนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดลมอเตอร์ติดอยู่แทบจะไม่ส่งผลต่อการสิ้นสะท้อนโดยรวมของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แต่อย่างใด

การศึกษาในส่วนที่สองนั้น เป็นการศึกษาเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการส่งผ่านพลังงานการสิ้นสะท้อนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ด้วยวิธีการทดลองโดยอาศัยหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ การทดลองบนพื้นฐานของหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการส่งผ่านพลังงานการสิ้นสะท้อนนี้เป็นการนำเอาค่าเฉลี่ยต่อพื้นที่ของปริมาณทางพลังงานซึ่งได้จากการแปลงผลการสิ้นสะท้อนที่ได้จากการทดลองมาเป็นพารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งปริมาณทางพลังงานดังกล่าวจะนำไปสู่การคำนวณหาพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ อันได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบย่อย และ ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อย ค่าพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิตินี้จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณทางพลังงานต่าง ๆ ของระบบ ซึ่งเมื่อประยุกต์ใช้พารามิเตอร์ของการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติร่วมกับกฎการอนุรักษ์พลังงานก็จะทำให้ประมาณค่าพลังงานการสิ้นสะท้อนที่ถูกส่งผ่านระหว่างองค์ประกอบได้ การศึกษาในส่วนนี้ เริ่มจากการแบ่งระบบ

ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟออกเป็นระบบย่อย 3 ระบบ อันได้แก่ ระบบย่อยที่ 1 คือชุดแผ่นดิสก์และโรเตอร์ ระบบย่อยที่ 2 คือฝาปิดบน และระบบย่อยที่ 3 คือชุดแขนควบคุมกับฐานซึ่งมีสเตเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์อยู่ ซึ่งจากการพิจารณาลักษณะการประกอบเข้าด้วยกันของแต่ละระบบย่อย จะพบว่าระบบย่อยที่ 1 ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักที่เป็นต้นเหตุของการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟนั้น เชื่อมต่อกับระบบย่อยที่ 3 เท่านั้น และระบบย่อยที่ 3 นั้นก็เชื่อมต่อกับระบบย่อยที่ 2 เท่านั้นเช่นกัน เมื่อได้แบบจำลองขอบระบบแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือขั้นตอนการทดลองวัดการสั่นสะเทือนเพื่อหาพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ โดยค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของระบบย่อยจะได้จากการทดลองด้วยการกระตุ้น และวัดการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของแต่ละระบบย่อย ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบย่อยนั้น จะได้จากการทดลองด้วยการกระตุ้น และวัดการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่สมบูรณ์ และขั้นตอนสุดท้ายคือการคำนวณหาค่าประมาณของพลังงานการสั่นสะเทือนของระบบย่อย และ กำลังการสั่นสะเทือนส่งผ่านระหว่างระบบย่อย จากการประยุกต์ค่าพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติกับกฎการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งผลจากการคำนวณดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าพลังงานการสั่นสะเทือนที่ประมาณค่าได้จากหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิตินั้นมีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง แม้ว่าจะคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง แต่ก็ยังเป็นผลมาจากการคำนวณเชิงสถิตินั้นเอง ส่วนผลกำลังการส่งผ่านการสั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อยที่คำนวณได้นั้น พบว่า เกิดการส่งผ่านกำลังการสั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อยที่ 1 คือชุดแผ่นดิสก์และโรเตอร์ ไปยังระบบย่อยที่ 3 คือฐานมากกว่าการส่งผ่านระหว่างระบบย่อยที่ 3 ไปยัง ระบบย่อยที่ 2 คือ ฝาปิดบน และเมื่อพิจารณาปริมาณการส่งผ่านในแต่ละช่วงความถี่จะพบว่าในช่วงความถี่ 25-300 เฮิรตซ์ ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่อยู่ในสภาวะทำงานเกิดการสั่นสะเทือนสูงนั้น การส่งผ่านกำลังการสั่นสะเทือนในช่วงความถี่ดังกล่าว ทั้งจากระบบย่อยที่ 1 ไปยังระบบย่อยที่ 3 และจากระบบย่อยที่ 3 ไปยังระบบย่อยที่ 2 นั้นมีค่าสูงเมื่อเทียบกับช่วงความถี่อื่น ๆ แสดงให้เห็นว่ากำลังการสั่นสะเทือนที่ถูกส่งผ่านระหว่างระบบย่อยนั้นเป็นสาเหตุหนึ่งซึ่งส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยรวม

การศึกษาในส่วนสุดท้ายนั้น เป็นการทดลองเพื่อหาแนวทางการลดการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนระหว่างส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยแนวทางการลดการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อยที่ 1 และ ระบบย่อยที่ 3 นั้น จะเพียงแต่แนะนำเบื้องต้นเท่านั้น

โดยไม่ได้ทำการทดลองเนื่องจากการปรับการเชื่อมต่อระหว่างระบบย่อยทั้งสองนั้น จำเป็นจะต้องแยกส่วนประกอบทั้งสองออกจากกันก่อน ซึ่งกระบวนการประกอบเข้าด้วยกันของระบบย่อยทั้งสองอีกครั้งทำได้ยาก จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ และเครื่องมือเฉพาะเท่านั้น ส่วนแนวทางการลดการส่งผ่านการสั่นสะเทือนระหว่างระบบย่อยที่ 2 และระบบย่อยที่ 3 นั้น เชื่อมต่อด้วยสกรู ซึ่งสามารถแยก และประกอบได้ง่าย จึงทำการออกแบบ และทำการทดลองเพื่อใช้หลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติในการประมาณค่ากำลังส่งผ่านการสั่นสะเทือน และเปรียบเทียบผลที่ได้ ซึ่งผลที่ได้แสดงว่าการใส่ตัวหน่วงบางชนิด เช่น กาวยูสุ ไว้บริเวณขอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ระหว่างระบบย่อยทั้งสองสามารถช่วยลดการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนได้เล็กน้อย ในขณะที่ตัวหน่วงบางชนิด เช่น กระดาษ และกาวสองหน้าชนิดบางนั้น กลับส่งผลให้การส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

7.2 ประโยชน์ที่ได้รับ และข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

การศึกษาการสั่นสะเทือน และการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนของส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นี้ เป็นการศึกษาด้วยระเบียบวิธีการทดลองเป็นหลัก ดังนั้นประโยชน์สำคัญที่ได้รับจากการศึกษานี้คือ รูปแบบ วิธีการ และเทคนิคต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดลองทางด้านการสั่นสะเทือน ทั้งการทดลองโมดัล เพื่อหาฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ และค่าความถี่ธรรมชาติ และการทดลองวัดการสั่นสะเทือน เพื่อหาลักษณะการสั่นสะเทือน นอกจากประโยชน์ทางด้านทักษะการทดลองแล้ว จากผลการศึกษาทำให้ทราบถึงส่วนประกอบที่เป็นต้นเหตุหลักของการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ทำให้ทราบว่า หลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติสามารถใช้ในการประมาณค่าพลังงานการสั่นสะเทือนของส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนระหว่างส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับการศึกษาต่อไปในอนาคตนั้น เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้ศึกษาการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนระหว่างส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในสภาวะหยุด

นี้ทั้งนั้น อีกทั้งวิธีการลดการส่งผ่านการสั่นสะเทือนนั้นก็เป็ยเพียงแนวทางเบื้องต้น ดังนั้นสำหรับการศึกษาต่อไปนั้น คือการนำเอาหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติ ประกอบกับแนวทางการลดการสั่นสะเทือนที่แนะนำไว้เบื้องต้นในวิทยานิพนธ์นี้ไปประยุกต์ เพื่อหาวิธีการลดการสั่นสะเทือนที่ชัดเจนจากการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือนระหว่างส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในขณะที่ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำงาน หรืออาจจะนำหลักการวิเคราะห์พลังงานเชิงสถิติไปประยุกต์ใช้เพื่อคำนวณหาโหลดที่เป็นสาเหตุที่แท้จริงของการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการคิดหาวิธีแก้ไขปัญหาการสั่นสะเทือนจากต้นเหตุของการสั่นสะเทือนก็ได้

รายการอ้างอิง

- [1] ก่อเกียรติ บุญชูกุศล, สมศักดิ์ ไชยะภินันท์, ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ. การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน การเฝ้าตรวจและการจัดการบำรุงรักษา. 2000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2540.
- [2] Hewlett Packard. The Fundamentals of Modal testing. Application Note 243-3. U.S.A.: Hewlett Packard, 1997.
- [3] Lyon, R.H. Statistical Energy Analysis of Dynamical Systems: Theory and Applications. United States of America: The MIT Press, 1975.
- [4] Silva, C.W. Vibration and Shock Handbook. Taylor and Francis Group, LLC, 2005.
- [5] Sarradj, E. Energy-Based Vibroacoustics: SEA and Beyond. Journal of Sound and Vibration (2003).
- [6] Cimerman, B., Bharj, T., and Borello, G. Overview of the Experimental Approach to Statistical Energy Analysis, SAE Technical Paper 971968 (1997).
- [7] Tandon, N., Agrawal, V.P., Rao V.V.P. Vibration and Noise Analysis of Computer Hard Disk Drives. Measurement 39 (2006): 16-25.
- [8] Tandon N., Agrawal, V.P., Rao, V.V.P. Vibration Monitoring of Computer Hard Disk Drives. Mechanical Systems and Signal Processing 20 (2006): 1008-1013.
- [9] Shen, I.Y. Recent Vibration Issues in Computer Hard Disk Drives. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 209 (2000): 6-9.
- [10] Yan Y., Gao, F., Ya, F.F. Pacs Reference. Vibro-Acoustic Experimental Analysis in HDD.
- [11] Xu, X.D., Lee, H.P. and Lu, C. Numerical Study on Energy Transmission for Rotating Hard Disk Systems by Structural Intensity Technique. International Journal of Mechanical Sciences 46 (2004): 639-652.

- [12] Koen, D., Iadevaia, M., Heylen, W., Sas, P., Hameyer, K., and Belmans, R. Statistical Energy Analysis of acoustic noise and vibration for electric motors: Transmission from Air Gap Field to Motor Frame. Proceedings of the IEEE Industry Applications Society 34 (1999): 1879-1902.
- [13] Kim, M.J., Kim, H.S., and Sohn, J.Y. Prediction and Evaluation of Impact Sound Transmission in Apartment Building Structures by Statistical Energy Analysis (SEA). Applied Acoustics 62 (2001): 601-616.
- [14] Steel, J.A. The Prediction of Structural Vibration Transmission through a Motor Vehicle using Statistical Energy Analysis. Journal of Sound and Vibration 193 (3) (1996): 691-703.
- [15] Hewlett Packard. Bearing Runout Measurements. Application Note 243-7. U.S.A.: Hewlett Packard, 1996.
- [16] Avitabile, P. Modal Space in Our Own Little World. Sound & Vibration Magazine (Jan 2001), SEM & Blackwell Publishing (Feb 1998-June 2007).
- [17] Cloutier, D., and Avitabile, P. Shaker/Stinger Effects on Measured Frequency Response Functions. Proceedings of the IMAC-XXVII (Feb 2009).
- [18] Indian Institute of Technology. Noise and Vibration Control. Indian Institute of Technology Roorkee.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

อุปกรณ์การทดลอง

ก.1 ค้อนเคาะ (Impact Hammer) และอุปกรณ์ปรับสัญญาณ (Signal Conditioner)

ในการกระตุ้นระบบด้วยแรงภายนอกนั้น วิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยม คือการเคาะด้วยค้อนเคาะ โดยแรงที่ได้จากการเคาะด้วยค้อนนั้นจะเป็นแรงกระแทก (Impact) ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะครอบคลุมตลอดทุกช่วงความถี่ แต่บางครั้งสัญญาณที่ได้จากการเคาะนั้นมันจะมีสัญญาณรบกวน จึงนิยมใช้คู่กับอุปกรณ์ปรับสัญญาณ เพื่อปรับสัญญาณให้เรียบขึ้น ในโครงการนี้ค้อนทดลองที่ใช้ นั้นเป็นค้อนทดลองขนาดเล็ก ซึ่งที่หัวค้อนนั้นมีอุปกรณ์วัดแรง (Force Sensor) ติดอยู่เพื่อทำหน้าที่ วัดสัญญาณแรงจากการเคาะ โดยอุปกรณ์วัดแรง และอุปกรณ์ปรับสัญญาณที่ใช้นั้นแสดงในตารางที่ 8 และ 9 รูปที่ 83 และ 84 แสดงภาพค้อนเคาะ และอุปกรณ์ปรับสัญญาณตามลำดับ

ตารางที่ 8 คุณสมบัติของอุปกรณ์วัดแรงที่หัวค้อนเคาะ (Impact Hammer)

หัวข้อ	รายละเอียด
ยี่ห้อ	พีซีบี
โมเดล	Piezotronics 086D80
ความละเอียดของการวัด	21.9 มิลลิโวลต์ ต่อ นิวตัน
ช่วงของการวัด	-220 ถึง 220 นิวตัน
ความถี่สูงสุดที่วัดได้	20 กิโลเฮิรตซ์

ตารางที่ 9 คุณสมบัติของอุปกรณ์ปรับสัญญาณ (Signal Conditioner)

หัวข้อ	รายละเอียด
ยี่ห้อ	พีซีบี
โมเดล	482A21
ช่วงของกระแสไฟฟ้า	2-20 มิลลิแอมแปร์



รูปที่ 83 ค้อนเคาะที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 84 อุปกรณ์ปรับสัญญาณ

ก.2 เครื่องสั่นสะเทือน (Shaker)

เครื่องสั่นสะเทือน เป็นอุปกรณ์ที่มีไว้สำหรับกระตุ้นระบบด้วยแรงภายนอกอีกวิธีหนึ่ง นอกเหนือจากการใช้ค้อนเคาะ ดังกล่าวไปแล้วในหัวข้อ ก.2 โดยแรงกระตุ้นที่ได้จากเครื่อง

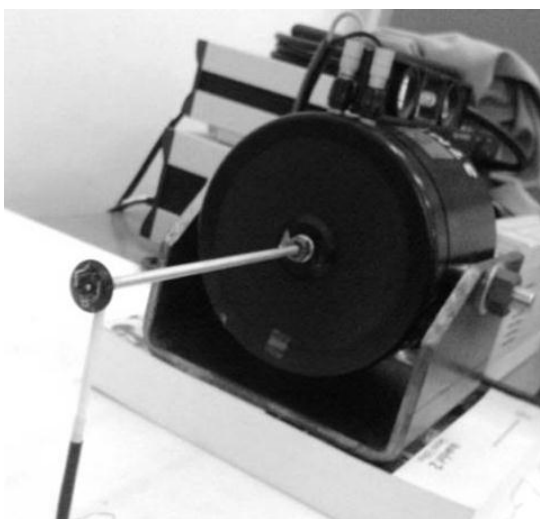
สั่นสะเทือนนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบกับเครื่องสั่นสะเทือนในการตั้งค่าลักษณะ และขนาดของแรงกระตุ้น ซึ่งมีได้หลายรูปแบบ เช่น ฟังก์ชันรูปคลื่นไซน์-โคไซน์ (Sine-Cosine) ฟังก์ชันสเวปไซน์ (Swept Sine) ฟังก์ชันรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square) เป็นต้น สำหรับการทดลองในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นั้นไม่ได้ใช้กำเนิดไฟฟ้าเป็นตัวกำเนิดสัญญาณแรงกระตุ้นให้กับเครื่องสั่นสะเทือน แต่ใช้เครื่องวิเคราะห์สัญญาณซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าช่วยในการตั้งค่าสัญญาณ ซึ่งการใช้เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ ก.6 และ ก.7 นอกจากนี้จะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ประกอบการใช้งานของเครื่องสั่นสะเทือนแล้ว โดยทั่วไปแล้วสัญญาณจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะไม่ได้ส่งเข้าเครื่องสั่นสะเทือนโดยตรง แต่จะส่งผ่านเครื่องขยายสัญญาณ (Power Amplifier) ก่อน นอกจากนี้ในการใช้งานเครื่องสั่นสะเทือนนั้นบางครั้งยังต้องมีอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่งเรียกว่า แท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือน (Stinger) ใช้ประกอบเพื่อลดผลของเครื่องสั่นสะเทือนต่อระบบในการทดลอง โดยตารางที่ 10 และ 11 แสดงคุณสมบัติของเครื่องสั่นสะเทือน และเครื่องขยายสัญญาณที่ใช้ ส่วนรูปที่ 85 แสดงเครื่องสั่นสะเทือน ซึ่งมีแท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือน และอุปกรณ์วัดแรงติดอยู่ที่ปลายแท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือน และรูปที่ 86 แสดงเครื่องขยายสัญญาณซึ่งใช้คู่กับเครื่องสั่นสะเทือน

ตารางที่ 10 คุณสมบัติของเครื่องสั่นสะเทือน

หัวข้อ	รายละเอียด
ยี่ห้อ	B&K
โมเดล	4809
ช่วงแรง	45 นิวตัน
ช่วงความถี่	10 – 20000 เฮิรตซ์
ความถี่เรโซแนนซ์ในทิศตามแนวแกน (Axial Resonance Frequency)	20 กิโลเฮิรตซ์

ตารางที่ 11 คุณสมบัติเครื่องขยายสัญญาณ

หัวข้อ	รายละเอียด
ยี่ห้อ	B&K
โมเดล	2706
กำลังของสัญญาณออก (Power Output Capability)	75 VA
ขีดจำกัดกระแสไฟฟ้า (Current Limit)	5 แอมแปร์
ช่วงความถี่	10 – 20000 เฮิรตซ์



รูปที่ 85 เครื่องสั่นสะเทือนและแหล่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนซึ่งมีอุปกรณ์วัดสัญญาณแรงติดอยู่



รูปที่ 86 เครื่องขยายสัญญาณ

ก.3 อุปกรณ์วัดความเร่ง (Accelerometer)

อุปกรณ์วัดความเร่ง เป็นอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ หรือเซ็นเซอร์ประเภทหนึ่งทำหน้าที่วัดปริมาณการสั่นสะเทือนในรูปแบบของความเร่ง อุปกรณ์วัดความเร่งที่มีในปัจจุบันมีหลายประเภท มีทั้งแบบที่วัดเพียงแกนเดียว หรือแบบที่วัดได้สามแกน มีทั้งขนาดเล็ก ขนาดกลาง หรือขนาดใหญ่ เป็นต้น อุปกรณ์วัดความเร่งที่ใช้ในโครงการนี้เป็นของบริษัท B&K โดยแสดงคุณสมบัติในตารางที่ 12

อุปกรณ์วัดความเร่งที่ใช้มีขนาดเล็กเหมาะแก่การวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนของโครงสร้างฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ซึ่งมีขนาดเล็ก รูปที่ 87 แสดงภาพอุปกรณ์วัดความเร่ง ในการใช้งานนั้นทำได้ด้วยการติดหัววัดความเร่งบนชิ้นงานทดลอง ซึ่งวิธีติดนั้นมิได้หลายวิธีไม่ว่าจะเป็นการยึดด้วยสกรู กาว หรือขี้ผึ้ง ซึ่งในโครงการนี้ยึดหัววัดความเร่งเข้ากับชิ้นงานด้วยขี้ผึ้ง ขี้ผึ้งที่ติดนั้นไม่ควรมีปริมาณน้อยเกินไป และมากเกินไป และควรติดหัววัดความเร่งให้แน่น เพราะปริมาณขี้ผึ้ง และความแน่นในการติดมีผลต่อลักษณะสัญญาณที่ได้

ตารางที่ 12 คุณสมบัติของอุปกรณ์วัดความเร่งที่ใช้ในการทดลอง

หัวข้อ	รายละเอียด
ยี่ห้อ	B&K
โมเดล	4397A
ความละเอียดของการวัด	0.982 มิลลิโวลต์/มิลลิเมตร/วินาที
ช่วงความถี่	1 – 25 กิโลเฮิร์ตซ์
ความถี่เรโซแนนซ์ (Resonance Frequency)	46 กิโลเฮิร์ตซ์
ความถี่เรโซแนนซ์ในทิศตามขวาง (Transverse Resonance Frequency)	17 กิโลเฮิร์ตซ์



รูปที่ 87 อุปกรณ์วัดความเร่ง (Accelerometer)

ก.4 อุปกรณ์วัดความเร็วเลเซอร์คอปเปิลอร์ไวโบรมิเตอร์ (Laser Doppler Vibrometer)

เลเซอร์คอปเปิลอร์ไวโบรมิเตอร์ เป็นอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ หรือเซ็นเซอร์ประเภทหนึ่ง ทำหน้าที่วัดปริมาณการสั่นสะเทือนในรูปแบบของความเร็ว โดยเป็นอุปกรณ์วัดชนิดไม่สัมผัสกับชิ้นงานโดยตรง แต่อาศัยการยิงเลเซอร์กระทบกับผิวในการวัดค่าความเร็ว อุปกรณ์วัดความเร็วเลเซอร์คอปเปิลอร์ไวโบรมิเตอร์ที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ประกอบไปด้วยอุปกรณ์สองส่วน คือ เครื่องยิงเลเซอร์ของ Polytec รุ่น OFV-551 และเครื่องควบคุมสัญญาณของ Polytec รุ่น OFV-5000 โดยแสดงคุณสมบัติในตารางที่ 13 ส่วนภาพเลเซอร์คอปเปิลอร์ไวโบรมิเตอร์ แสดงในรูปที่ 88

ตารางที่ 13 คุณสมบัติของอุปกรณ์วัดความเร็วเลเซอร์คอปเปิลอร์ไวโบรมิเตอร์

หัวข้อ	รายละเอียด
เครื่องยิงเลเซอร์	Polytec รุ่น OFV-551
เครื่องควบคุมสัญญาณของ	Polytec รุ่น OFV-5000
ความละเอียดของการวัด	1 – 50 มิลลิโวลต์/มิลลิเมตร/วินาที
ช่วงความถี่	0 – 350 กิโลเฮิร์ตซ์



รูปที่ 88 อุปกรณ์วัดความเร็ว เลเซอร์คอปเปลอร์ไวโบมิเตอร์

ก.5 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ (Signal Analyzer)

เครื่องวิเคราะห์สัญญาณเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง เพื่อนำสัญญาณนั้นมาวิเคราะห์ต่อไป เครื่องวิเคราะห์สัญญาณนั้นสามารถทำการวิเคราะห์และแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปแบบที่ต้องการได้ เช่น แปลงสัญญาณที่ได้จากการวัดบนโดเมนเวลาด้วยการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (FFT) มาเป็นสัญญาณบนโดเมนความถี่เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาและวิเคราะห์สัญญาณต่อไป แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนั้นได้มีการผลิตซอฟต์แวร์สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้ร่วมกับเครื่องวิเคราะห์สัญญาณเพื่อความสะดวกและสะดวกต่อการตั้งค่าการใช้งาน การวิเคราะห์ และการแสดงผลดังจะอธิบายต่อไปในหัวข้อ ก.7 คอมพิวเตอร์

เครื่องวิเคราะห์สัญญาณที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นของบริษัท OROS มีลักษณะดังรูปที่ 89 และมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 14 โดยในการทำงานนั้นจะทำงานแบบทันที (Real-Time) ก็คือเมื่อผลการทดลองแสดงทันทีหลังจากทดลอง

ตารางที่ 14 คุณสมบัติของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ

หัวข้อ	รายละเอียด
ยี่ห้อ	OROS
โมเดล	OR36
จำนวนช่องสัญญาณขาเข้า	16 ช่อง
จำนวนช่องสัญญาณออกสำหรับเป็นเจนเนอเรเตอร์	2 ช่อง
จำนวนช่องสัญญาณสำหรับอุปกรณ์วัดความเร็วรอบ	2 ช่อง
ช่วงเวลาที่ทำงาน	0-40 กิโลเฮิร์ตซ์
การเชื่อมต่อ	สายอีเทอร์เน็ต (Ethernet PC Connection)

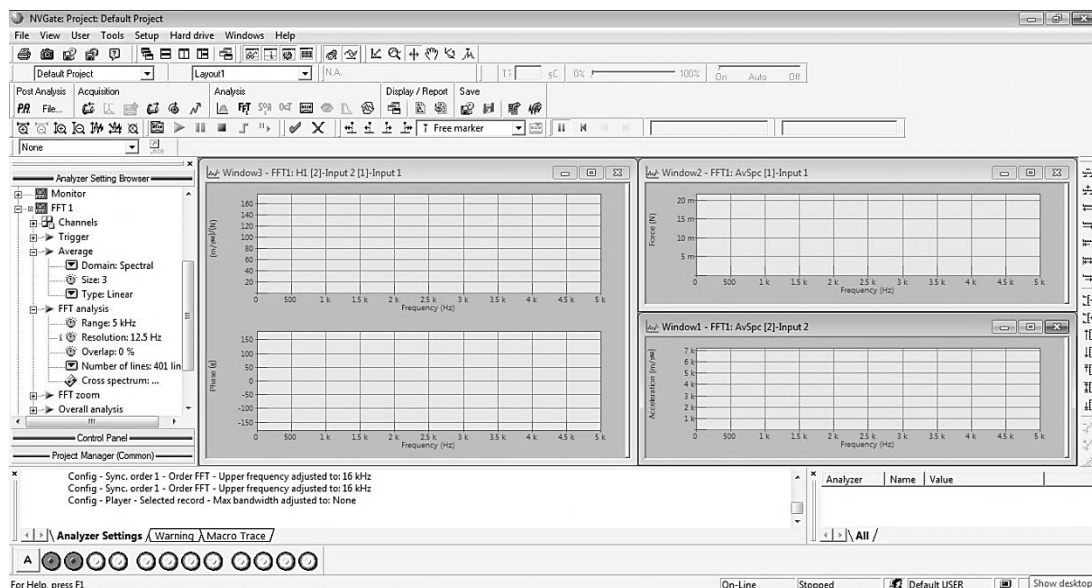


รูปที่ 89 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ (Signal Analyzer)

ก.6 ซอฟต์แวร์

ในปัจจุบันคอมพิวเตอร์ได้มีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ มีการผลิตซอฟต์แวร์เพื่อใช้ร่วมกับการทำงานของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ โดยคอมพิวเตอร์จะเป็นตัวควบคุมการทำงานของเครื่องวิเคราะห์อีกต่อหนึ่ง ผ่านการตั้งค่าต่าง ๆ ผ่านซอฟต์แวร์ซึ่งทำได้สะดวกขึ้นมาก รวมถึงมีความสามารถในการวิเคราะห์สัญญาณและแสดงสัญญาณที่ได้เช่นเดียวกับเป็นเครื่องวิเคราะห์สัญญาณเอง อีกทั้งยังสะดวกต่อการบันทึก จัดเก็บข้อมูล หรือการนำข้อมูลไปใช้ต่ออีกด้วย

ซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคู่กับเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ OROS OR36 ในการทดลองนั้น คือ NV GATE 6.7 ซึ่งรูปแบบโปรแกรมแสดงในรูปที่ 90



รูปที่ 90 ซอฟต์แวร์ NVGate6.7

สำหรับการตั้งค่าการทำงานของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ทำได้ดังนี้

ก.6.1 การตั้งค่าสำหรับการทำการทดลองโมดูล ด้วยค้อนเคาะ

1) ตั้งค่า Input Connection โดยเปิดการใช้งานสัญญาณขาเข้าช่องที่ 1 และ 2 โดยตั้งค่าคุณสมบัติของอุปกรณ์วัดแรงบนหัวค้อนที่สัญญาณขาเข้าช่องที่ 1 และตั้งค่าคุณสมบัติของอุปกรณ์วัดความเร่งที่สัญญาณขาเข้าช่องที่ 2 และตั้งค่าการวิเคราะห์ฟูเรียร์แบบเร็ว (FFT) ของสัญญาณขาเข้าทั้งสอง

2) ตั้งค่า Event Connection ให้เริ่มบันทึก และวิเคราะห์สัญญาณเมื่อเกิดสัญญาณของสัญญาณขาเข้าช่องที่ 1

3) ตั้งค่า FFT Connection ดังนี้

- Weighting Window : Uniform
- Number of Line : 401 lines
- Frequency Range : 0-5,000 Hz

- FFT Analysis : Cross-Spectrum Matrix

4) ตั้งค่า Window เพื่อแสดงผล ดังนี้

- Window 1 : FFT1 : AVSpec [1] - Input 1
- Window 2 : FFT1 : AVSpec [2] – Input2
- Window 3 : FFT1 : FRF – Output 2 / Output 1

ก.6.2 การตั้งค่าสำหรับการทำการทดลองโมดัล ด้วยเครื่องสั่นสะเทือน

1) ตั้งค่า Input Connection โดยเปิดการใช้งานสัญญาณขาเข้าช่องที่ 1 และ 2 โดยตั้งค่าคุณสมบัติของอุปกรณ์วัดแรงบนหัวค้อนที่สัญญาณขาเข้าช่องที่ 1 และตั้งค่าคุณสมบัติของอุปกรณ์วัดความเร่งที่สัญญาณขาเข้าช่องที่ 2 และตั้งค่าการวิเคราะห์ฟูเรียร์แบบเร็ว (FFT) ของสัญญาณขาเข้าทั้งสอง

2) ตั้งค่า FFT Connection ดังนี้

- Weighting Window : Uniform
- Start Trigger : Sweep sine stabilization
- Average Size : 100000
- Average type : Reference peak hold Channel 1
- Number of Line : 401 lines
- Frequency Range : 0-5,000 Hz หรือ 0-20,000 Hz แล้วแต่กรณี
- FFT Analysis : Cross-Spectrum Matrix

4) ตั้งค่า Window เพื่อแสดงผล ดังนี้

- Window 1 : FFT1 : AVSpec [1] - Input 1
- Window 2 : FFT1 : AVSpec [2] – Input2
- Window 3 : FFT1 : FRF – Output 2 / Output 1

ก.6.3 การตั้งค่าสำหรับการทำการทดลองหาลักษณะการสั่นสะเทือน

1) ตั้งค่า Input Connection โดยเปิดการใช้งานสัญญาณขาเข้าช่องที่ 1 และสัญญาณซิงโคร (Ext. Syn) โดยตั้งค่าคุณสมบัติของอุปกรณ์วัดความเร่งที่สัญญาณขาเข้าช่องที่ 1 และตั้งค่าการวิเคราะห์ฟูเรียร์แบบเร็ว (FFT) ของสัญญาณขาเข้านั้น และตั้งค่าคุณสมบัติของอุปกรณ์วัดความเร็วรอบที่สัญญาณซิงโครช่องที่ 1

2) ตั้งค่า FFT Connection [15] ดังนี้

- Weighting Window : Flat Top
- Average Domain : Spectral
- Average Size : 64
- Average Type : Linear
- Number of Line : 401 lines
- Trigger : Free Run
- Frequency Range : 0-20,000 Hz

4) ตั้งค่า Window เพื่อแสดงผล ดังนี้

- Window 1 : FFT1 : AVSpec [1] - Input 1
- Window 2 : Tach : Ext.Tach,Profie – Ext.Syn.1

ก.7 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ (Tachometer)

อุปกรณ์วัดความเร็วรอบที่ใช้ในโครงการนี้นั้นแสดงในรูปที่ 91 เป็นอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณชนิดแอลอีดี (LED) ของบริษัทโมนาค อินสตรูเมนต์ (Monarch Instrument) มีคุณสมบัติดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 คุณสมบัติของอุปกรณ์วัดความเร็วรอบ

หัวข้อ	รายละเอียด
ยี่ห้อ	โมนาค อินสตรูमेंท์
ระยะห่างในการทำงาน	1 เมตร จากเทปสะท้อนสัญญาณ
ช่วงความเร็วรอบ	1-250,000 รอบต่อนาที
อุณหภูมิทำงาน	-10 ถึง 70 องศาเซลเซียส



รูปที่ 91 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ (Tachometer)

ก.8 ฟองน้ำ และ เส้นด้าย

ฟองน้ำ และเส้นด้าย เป็นอุปกรณ์เสริมสำหรับการจัดวางระบบให้มีเงื่อนไขขอบเขตแบบอิสระ (Free-Boundary Condition) คือในการติดตั้งนั้นวิธีที่นิยม คือการวางโครงสร้างทดลองบนฟองน้ำ หรือวัสดุยืดหยุ่นอื่น ๆ หรือการแขวน โครงสร้างด้วยเส้นด้าย ซึ่งทั้งสองวิธีมีความเหมาะสมต่อการทดลองแตกต่างกัน ซึ่งการทดลองในโครงงานนี้ ได้ใช้วิธีวางชิ้นส่วนบนฟองน้ำในกรณีที่ชิ้นส่วนมีน้ำหนักในตัวเอง และใช้วิธีแขวนด้วยด้ายสำหรับชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักเบา

ก.9 โต๊ะรักษาระดับ (Vibration Isolation Table)

โต๊ะรักษาระดับเป็นอุปกรณ์เสริมอย่างหนึ่งที่ช่วยลดสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ที่เกิดจากการสั่นสะเทือนที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมขณะที่ทำการทดลอง โดยโต๊ะรักษาระดับที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นของบริษัทไคเนติก ซิสเทมส์ (Kinetic System) รุ่นไวเบรเพลน 120943-03-0821 (Vibraplane 120943-03-0821) รูปโต๊ะรักษาระดับแสดงในรูปที่ 92



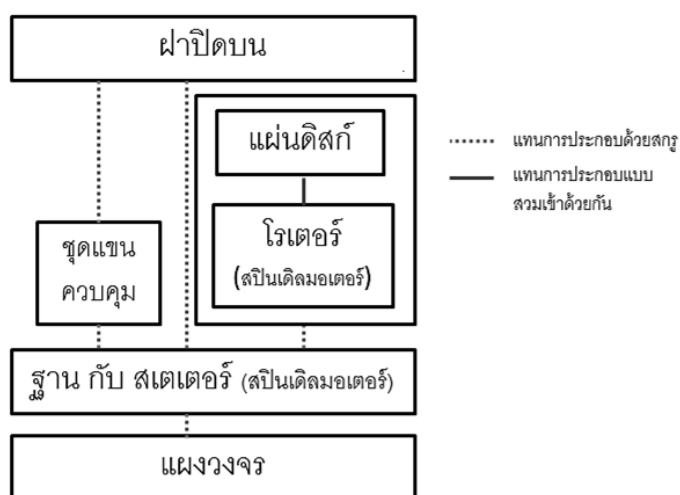
รูปที่ 92 โต๊ะรักษาระดับ

ภาคผนวก ข

การออกแบบการทดลองโมดัลขององค์ประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ข.1 องค์ประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่จะพิจารณาในการทดลองโมดัล

จากการศึกษาส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ พบว่าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก 6 ส่วน ซึ่งจากการศึกษาการประกอบเข้าด้วยกันของแต่ละชิ้นส่วนหลักดังกล่าวไปแล้วในบทที่ 2 นั้น พบว่าฝาปิดบน และ แผงวงจร จะยึดกับฐานด้วยสกรู (Screw) ชุดแชนคววมจะยึดกันเองด้วยแรงแม่เหล็ก และยึดกับฐานด้วยสกรู ในขณะที่แผ่นดิสก์นั้นจะสวมเข้ากับโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์ซึ่งยึดกับสเตเตอร์ด้วยแรงแม่เหล็ก โดยมีสกรูยึดทั้งสองส่วนนี้เข้ากับฐานอีกที ส่วนสเตเตอร์นั้นเป็นส่วนประกอบที่เป็นส่วนหนึ่งของฐานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ลักษณะการประกอบเข้าด้วยกันของส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แสดงด้วยแผนภาพได้ดังรูปที่ 93

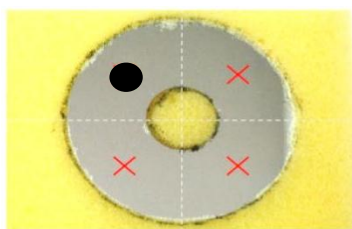


รูปที่ 93 แผนภาพการประกอบเข้าด้วยกันของส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

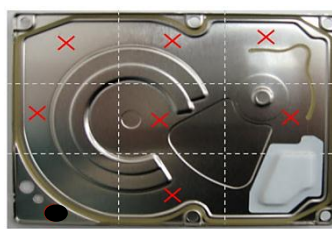
ดังนั้นจึงแยกพิจารณาองค์ประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็น 4 ระบบ คือ 1. ฝาปิดบน 2. แผ่นดิสก์ 3. ชุดแขนควบคุม กับฐานที่มีสปินเดิลมอเตอร์ และแผงวงจรติดอยู่ 4.ชุดแผ่นดิสก์ และสปินเดิลมอเตอร์ซึ่งหมุน กับฐานซึ่งมีชุดแขนควบคุมติดอยู่

ข.2 ตำแหน่งในการกระตุ้นชิ้นงาน

สำหรับตำแหน่งที่เลือกในการกระตุ้นระบบ และวัดการสั่นสะเทือนนั้น ได้ทำการแบ่งระบบ ออกเป็นสัดส่วน เพื่อเลือกตำแหน่งวัดกระจายครอบคลุมระบบที่ทำการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 94 ในการทดลองนั้นจะกระตุ้นระบบที่ตำแหน่งเดิม และกระจายตำแหน่งวัดการสั่นสะเทือน โดย สำหรับ แผ่นดิสก์นั้น วัดการสั่นสะเทือนทั้งหมด 3 ตำแหน่ง ส่วนฝาปิดบนนั้น วัดการสั่นสะเทือน ทั้งหมด 7 ตำแหน่ง และ สำหรับชุดแขนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปินเดิลมอเตอร์ติดอยู่นั้น วัดการ สั่นสะเทือนทั้งหมด 6 ตำแหน่ง ส่วนชุดแผ่นดิสก์และสปินเดิลมอเตอร์ซึ่งหมุนกับฐานซึ่งมีชุดแขน ควบคุมติดอยู่



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 94 แสดงตำแหน่งวัดและตำแหน่งกระตุ้นระบบ โดย (ก) ฝาปิดบน

(ข) ชุดแผ่นดิสก์และสปินเดิลมอเตอร์ซึ่งหมุนกับฐานซึ่งมีชุดแขนควบคุมติดอยู่

(ค) ชุดแขนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปินเดิลมอเตอร์ติดอยู่

(ง) ชุดแผ่นดิสก์และสปินเดิลมอเตอร์ซึ่งหมุนกับฐานซึ่งมีชุดแขนควบคุมติดอยู่

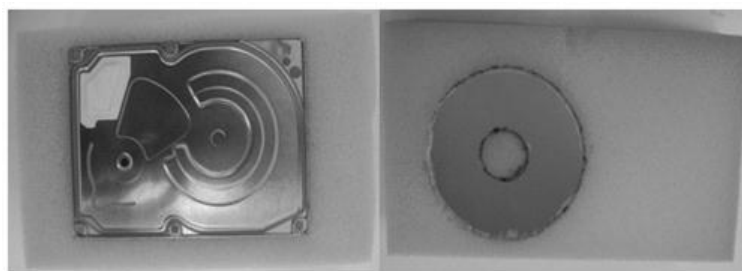
ข.3 รูปแบบการติดตั้งการทดลองโมดัลด้วยการเกาะ

ลักษณะของระบบที่จำเป็นต่อการพิจารณานี้ คือระบบการสัมผัสเทือนที่มีขอบเขตแบบอิสระ (Free Boundary Condition) คือเสมือนว่าชิ้นส่วนทดลองนั้นลอยอยู่ในอากาศ ซึ่งวิธีที่นิยมใช้โดยทั่วไป คือ การวางชิ้นส่วนบนฟองน้ำ หรือ การแขวนชิ้นส่วนด้วยวัสดุที่เบา ทั้งสองวิธีนี้มีความเหมาะสมกับชิ้นงาน และ อุปกรณ์วัดที่แตกต่างกัน [16]

สำหรับวัสดุที่มีน้ำหนักเบา การวัดด้วยอุปกรณ์ที่สัมผัสกับชิ้นส่วน (Contact Sensor) เช่น อุปกรณ์วัดความเร่ง อาจเป็นการไปเพิ่มน้ำหนักของระบบที่พิจารณาส่งผลให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนได้ การวัดด้วยอุปกรณ์ที่ไม่สัมผัสกับชิ้นส่วน (Non-Contact Sensor) เช่น เลเซอร์ทรอปเปอร์ไวโบริมิเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดความเร็ว จึงให้ผลที่แม่นยำมากกว่า แต่การใช้อุปกรณ์วัดแบบไม่สัมผัสชิ้นส่วนนั้น ชิ้นส่วนที่ทดลองควรจะอยู่นิ่งกับที่ จึงไม่สามารถใช้กับวิธีแขวนชิ้นส่วนบางชนิดที่อาจเกิดการแกว่งนอกจากการสัมผัสเทือนได้

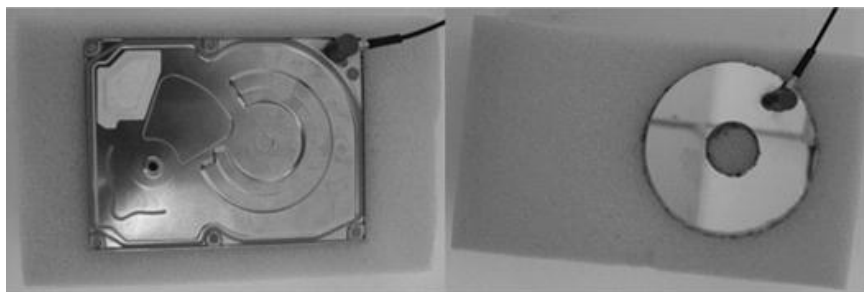
จากการพิจารณาองค์ประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ใช้ในการทดลอง พบว่าฝาปิดบนและแผ่นดิสก์มีน้ำหนักที่เบามาก ทำให้ยากต่อการติดตั้งการทดลองให้เป็นระบบการสัมผัสเทือนแบบขอบเขตอิสระในการทดลองโมดัลด้วยการเกาะ จึงทำการพิจารณาทางเลือกต่าง ๆ ของการติดตั้งการทดลองที่เป็นไปได้ ซึ่งจากการพิจารณาทางเลือกต่าง ๆ ของการติดตั้งการทดลองสำหรับองค์ประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีน้ำหนักเบามาก อันได้แก่ฝาปิดบน และแผ่นดิสก์นั้น สามารถแยกพิจารณาได้เป็น 3 กรณี ดังนี้

1. วางชิ้นส่วนบนฟองน้ำที่เจาะเป็นร่องรูปร่างชิ้นส่วน และใช้เลเซอร์ทรอปเปอร์ไวโบริมิเตอร์เป็นอุปกรณ์วัดการสัมผัสเทือนในรูปแบบของค่าความเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 95



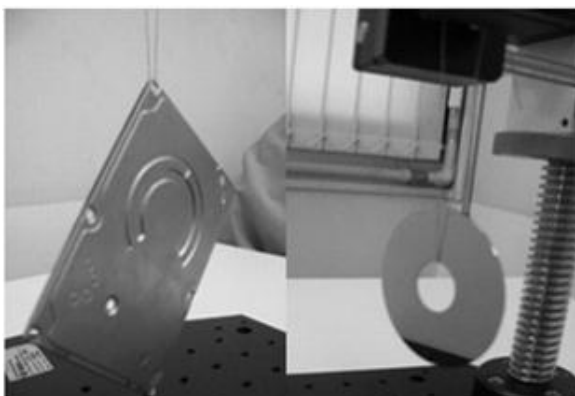
รูปที่ 95 ทางเลือกกรณีที่ 1

2. วางชิ้นส่วนบนฟองน้ำที่เจาะเป็นร่องรูปร่างชิ้นส่วน และใช้อุปกรณ์วัดความเร่ง (Accelerometer) เป็นอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือน ดังแสดงในรูปที่ 96



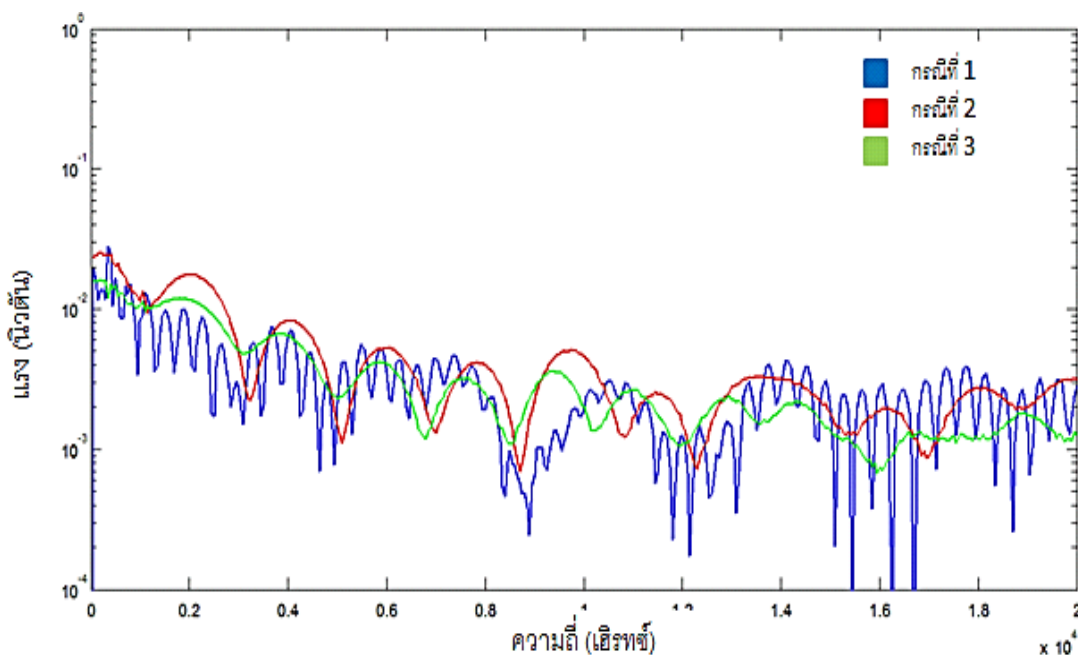
รูปที่ 96 ทางเลือกกรณีที่ 2

3. แขนงชิ้นส่วนด้วยค้ำย และใช้อุปกรณ์วัดความเร่งเป็นอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือน ดังแสดงในรูปที่ 97



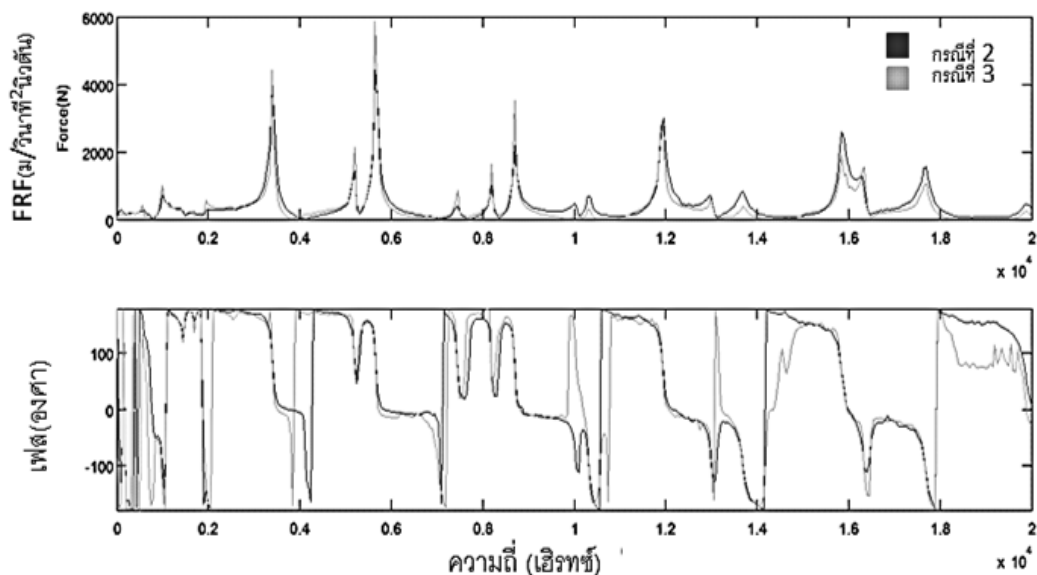
รูปที่ 97 ทางเลือกกรณีที่ 3

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของทางเลือกทั้งสามกรณีนั้น จึงได้ทำการทดลองเบื้องต้น เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากทั้งสามกรณี ซึ่งจากการทดลอง พบว่าลักษณะสัญญาณแรงที่ได้ เมื่อกระตุ้นระบบทั้ง 3 กรณีด้วยค้อนเคาะนั้นแสดงในรูปที่ 98



รูปที่ 98 ผลของสัญญาณแรงที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 กรณี

จากผลการทดลองพบว่า สัญญาณที่ได้จากกรณีที่ 1 เป็นลักษณะที่เกิดสัญญาณรบกวนมากที่สุด ซึ่งลักษณะสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นนี้อาจส่งผลให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนสูงได้ จึงไม่เหมาะต่อการติดตั้งการทดลองของชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักเบา ส่วนผลจากกรณีที่ 2 และ 3 พบว่ามีความใกล้เคียงกัน คือมีสัญญาณรบกวนอยู่บ้าง แต่น้อยกว่ามากเมื่อเทียบกับกรณีที่ 1 และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการทดลองฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ที่ได้จากกรณีที่ 2 และ 3 พบว่า ผลที่ได้มีความใกล้เคียงกันมาก ดังแสดงในรูปที่ 99

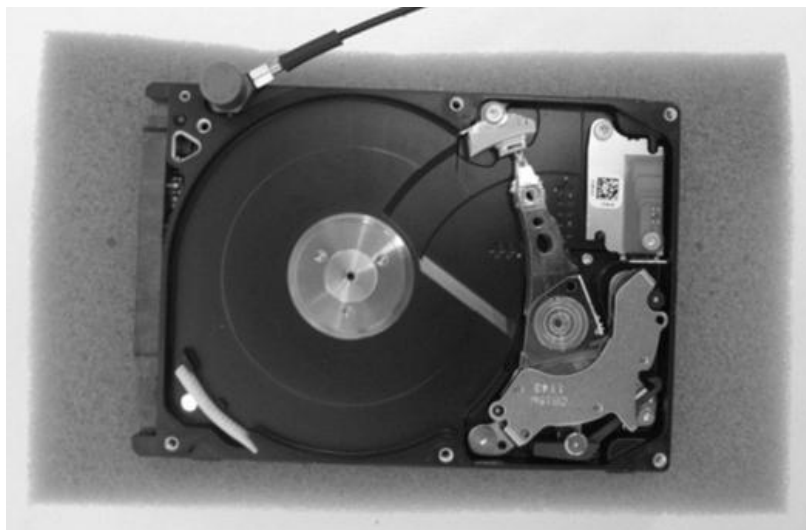


รูปที่ 99 ผลฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของกรณีที่ 2 และ 3 ของแผ่นดิสก์

ดังนั้นสำหรับชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักเบา ซึ่งในที่นี้คือฝาปิดบน และแผ่นดิสก์นั้น เหมาะกับการติดตั้งการทดลองทั้ง 2 วิธี คือวิธีติดตั้งตามกรณีที่ 2 ซึ่งคือวางชิ้นส่วนบนฟองน้ำที่เจาะเป็นรูปร่างชิ้นส่วน และใช้อุปกรณ์วัดความแรงในการวัดการสั่นสะเทือน และกรณีที่ 3 คือ วางชิ้นส่วนด้วยด้าย และใช้อุปกรณ์วัดความแรงในการวัดการสั่นสะเทือน

จากผลการทดลองเบื้องต้นของทั้งสามกรณีจึงเลือกติดตั้งการทดลองโมดัลซึ่งใช้ค้อนเคาะ ในการกระตุ้นระบบด้วยวิธีตามกรณีที่ 3 ซึ่งเป็นวิธีที่แรงกระตุ้นด้วยค้อนเคาะ หรือสัญญาณเข้านั้น เกิดสัญญาณรบกวนต่อระบบน้อยที่สุด ผลการทดลองฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ที่ดี และเป็นวิธีที่ง่ายต่อการติดตั้งการทดลอง ในการพิจารณาชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักเบา ซึ่งในที่นี้คือฝาปิดบน และ แผ่นดิสก์

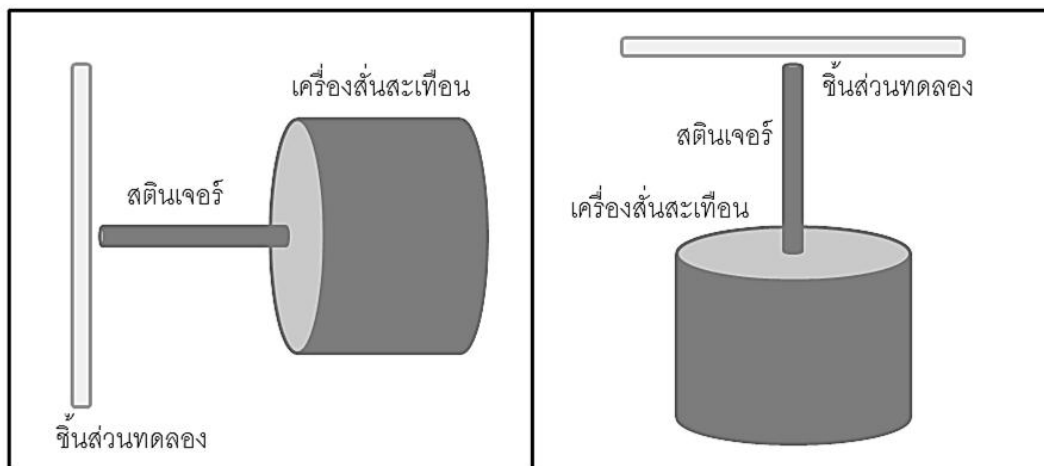
ส่วนระบบของชุดแกนควบคุมกับฐานที่มีสปริงเดลมอเตอร์และแผงวงจรติดอยู่ พบว่า น้ำหนักของระบบเมื่อเทียบกับน้ำหนักของอุปกรณ์วัดชนิดสัมผัสกับชิ้นส่วน น้อยกว่ามาก ส่งผลน้อยต่อผลการทดลอง จึงเลือกใช้วิธีการทดลองด้วยการวางชิ้นส่วนบนฟองน้ำ และวัดผลการทดลองด้วยอุปกรณ์วัดความแรง ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 100



รูปที่ 100 แสดงการติดตั้งระบบชุดแขนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปินเดิลมอเตอร์ติดอยู่

ข.4 รูปแบบการติดตั้งการทดลองโมดัลด้วยการใช้เครื่องสั่นสะเทือน

ในการติดตั้งชิ้นส่วนทดลองให้อยู่ในลักษณะระบบการสั่นสะเทือนที่มีขอบเขตแบบอิสระ (Free Boundary Condition) นั้นสามารถทำได้โดยการวางชิ้นส่วนบนฟองน้ำ หรือ แขนงขึ้นส่วนด้วยวัสดุที่เบา และยืดหยุ่น ซึ่งรูปแบบการติดตั้งที่เหมาะสมสำหรับการทดลองโมดัลด้วยการใช้เครื่องสั่นสะเทือนในการกระตุ้นระบบนั้น คือการแขวนระบบด้วยชิ้นส่วนที่เบาและยืดหยุ่น เนื่องจากเครื่องสั่นสะเทือนสามารถวางตัวกระตุ้นระบบได้สองทิศทาง คือ ทิศทางตามแนวขวางในลักษณะกระตุ้นชิ้นงานซึ่งวางตัวตามแนวตั้งด้านข้างด้านข้าง และ ทิศทางตามแนวตั้งในลักษณะกระตุ้นชิ้นงานซึ่งอยู่ด้านบน ดังแสดงในรูปที่ 101 ทำให้การวางชิ้นส่วนทดลองบนฟองน้ำนั้นไม่สามารถทำได้



รูปที่ 101 รูปแบบการวางตัวของเครื่องสั่นสะเทือนในการกระตุ้นชั้นงาน

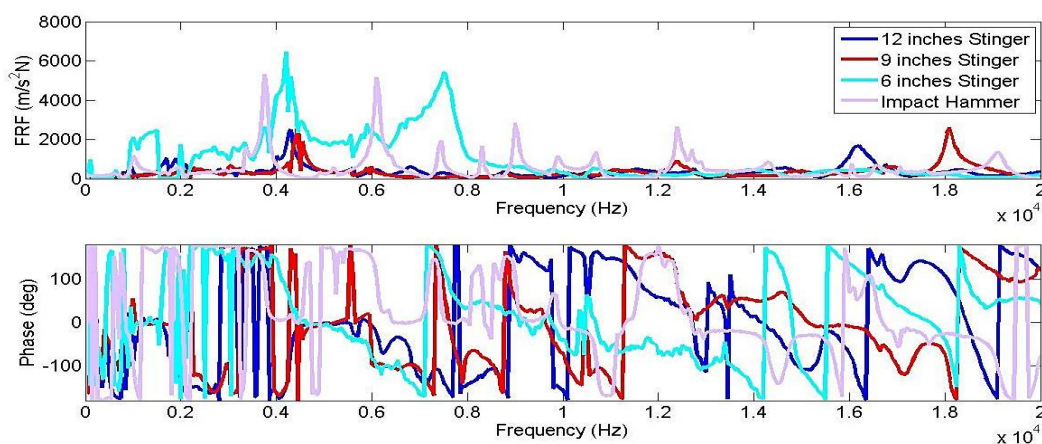
สำหรับการทดลองโมดัลด้วยการใช้เครื่องสั่นสะเทือนในการกระตุ้นระบบนั้น นอกจากการพิจารณาลักษณะการติดตั้งชั้นส่วนทดลองให้อยู่ในลักษณะขอบเขตแบบอิสระแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงความยาวแห่งส่งผ่านการสั่นสะเทือน ซึ่งติดตั้งอยู่ระหว่างเครื่องสั่นสะเทือนและชั้นส่วนทดลอง โดยมีหน้าที่ในการลดผลของมวลของเครื่องสั่นสะเทือนต่อชั้นส่วนทดลอง ความยาวแห่งส่งผ่านการสั่นสะเทือน เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อผลการทดลองโมดัล เนื่องจากถ้าความยาวแห่งส่งผ่านการสั่นสะเทือน สั้นเกินไป อาจส่งผลให้ผลฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ที่ทดลองได้เกิดการคลาดเคลื่อนไปจากผลการทดลองจริงได้ แต่ถ้าความยาวแห่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนยาวเกินไป ผลการทดลองที่ได้ก็อาจถูกผลกระทบจากค่าความถี่ธรรมชาติของแห่งส่งผ่านการสั่นสะเทือน ได้ [17]

ในการเลือกแห่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนนั้น ได้ทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อดูแนวโน้มของผลของแห่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนซึ่งมีความยาวต่างกันต่อผลของฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของชั้นส่วนทดลอง แห่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนที่นำมาทดลองเปรียบเทียบกับกันนั้นมี 3 ขนาด คือ ความยาว 12 นิ้ว 9 นิ้ว และ 6 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 102



รูปที่ 102 แท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนขนาด 12 นิ้ว 9 นิ้ว และ 6 นิ้ว

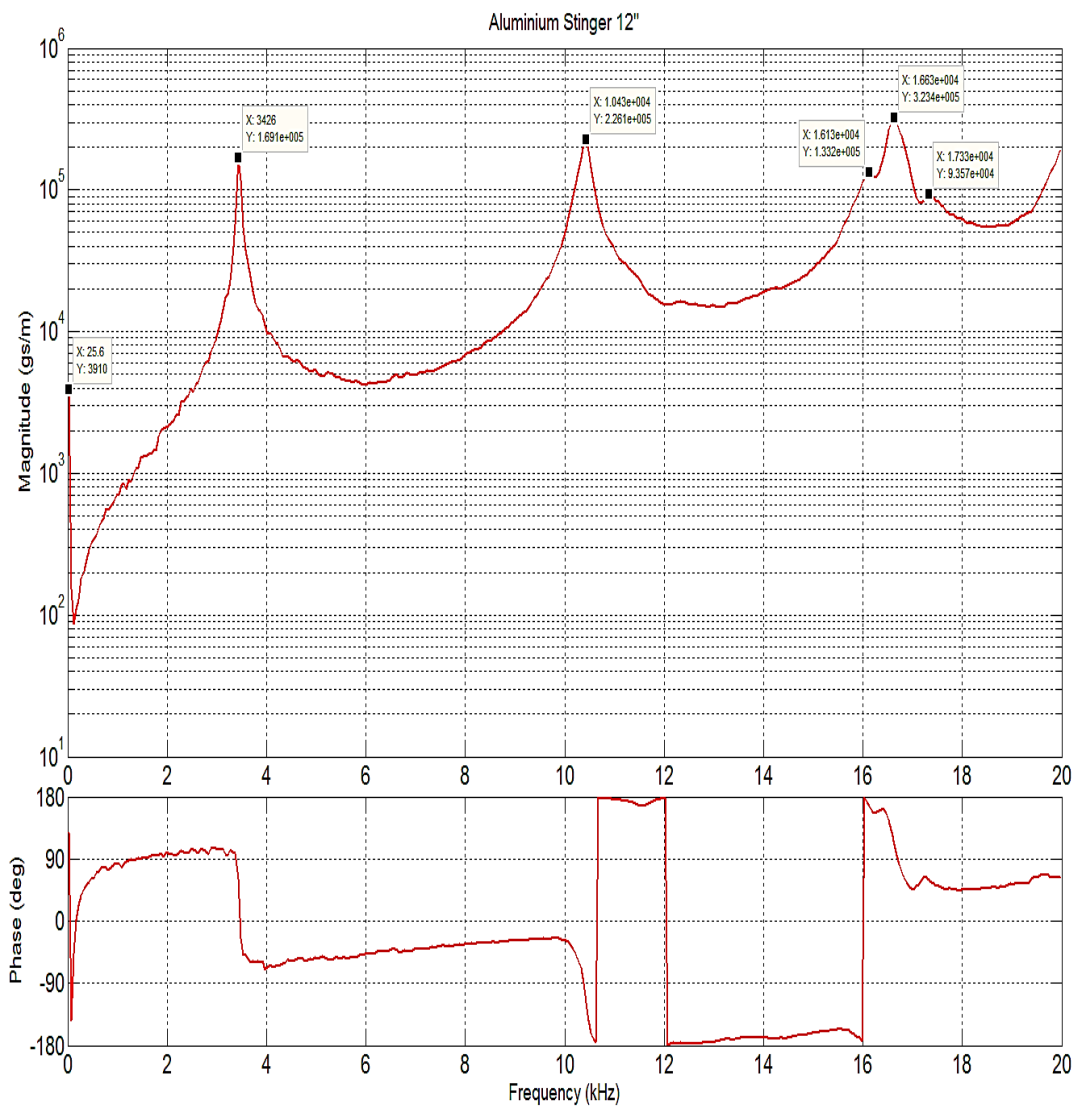
ระบบที่ทำการทดลองเบื้องต้นนั้น แยกพิจารณาเป็นสองกรณี คือกรณีชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักเบา และกรณีชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักในตัวเอง สำหรับกรณีชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักเบาซึ่งในการศึกษานี้ ได้แก่ ฝาปิดบน และ แผ่นดิสก์นั้น เลือกใช้แผ่นดิสก์เป็นชิ้นส่วนทดลอง เนื่องจากแผ่นดิสก์นั้นมีลักษณะรูปร่างที่ไม่ซับซ้อน ทำให้ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ที่ได้นั้นชัดเจน และง่ายต่อการพิจารณา ซึ่งฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของแผ่นดิสก์ที่ได้จากการทดลองโมดัลด้วยเครื่องสั่นสะเทือนโดยใช้แท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนที่มีความยาวแตกต่างกัน 3 ขนาดแสดงในรูปที่ 103 และค่าความถี่ธรรมชาติของแผ่นดิสก์ที่ได้แสดงในตารางที่ 16 ส่วนฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของแท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนทั้ง 3 ขนาดนั้น ต้องขอขอบคุณ นายกิตติพงษ์ กาญจนธนาเลิศมา ณ ที่นี้ด้วย เนื่องจากฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่นี้เป็นผลงานการทดลองโมดัลกับแท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ของนายกิตติพงษ์ กาญจนธนาเลิศ ซึ่งฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของแท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนแสดงดังรูปที่ 104 105 และ 106



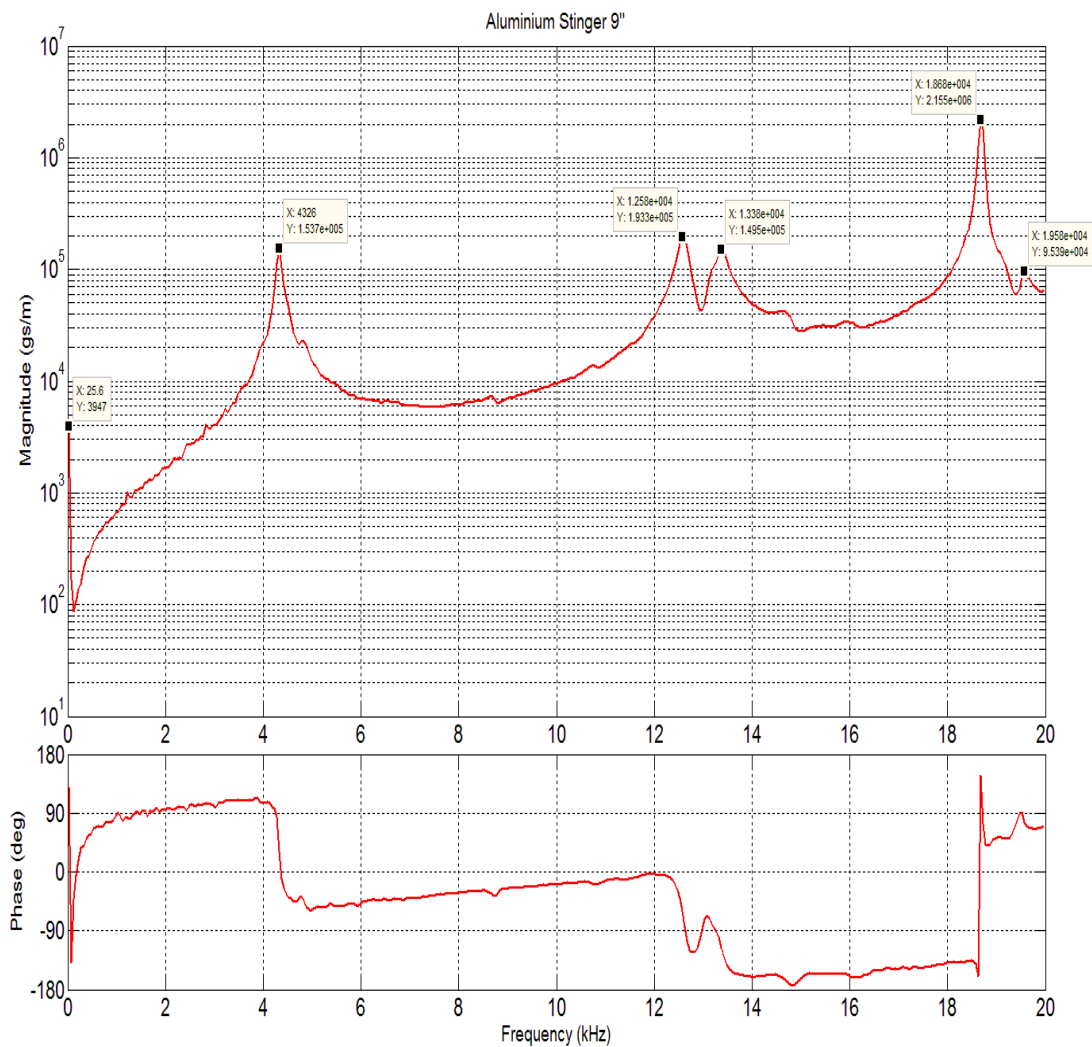
รูปที่ 103 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของแผ่นดิสก์ที่ได้จากการทดลองโมดัลด้วยเครื่องสั่นสะเทือนโดยใช้แท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือน ที่มีความยาวแตกต่างกัน 3 ขนาด คือ 12 9 และ 6 นิ้ว

ตารางที่ 16 การเปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติของแผ่นดิสก์ที่ได้จากการทดลองโมดัลด้วยการ
เกาะ และการทดลองโมดัลด้วยเครื่องสั่นสะเทือน โดยใช้แท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนที่มีความยาว
แตกต่างกัน 3 ขนาด คือ 12 นิ้ว และ 6 นิ้ว

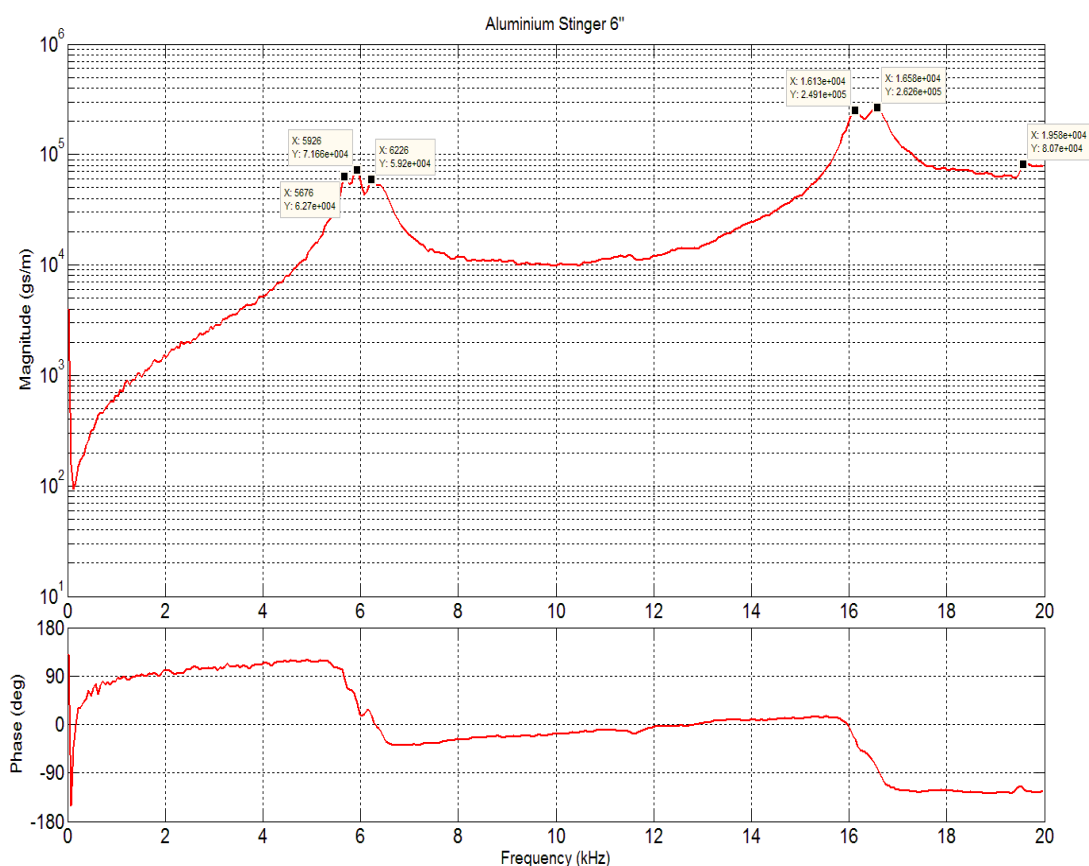
ค่าความถี่ธรรมชาติของแผ่นดิสก์ (เฮิรตซ์)				ค่าความถี่ธรรมชาติ ของแท่งส่งผ่านการ สั่นสะเทือน (เฮิรตซ์)		
ผลการ ทดลองโดย การเกาะ	ผลการทดลองโดยเครื่องสั่นสะเทือน ด้วยแท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือน			12 นิ้ว	9 นิ้ว	6 นิ้ว
	12 นิ้ว	9 นิ้ว	6 นิ้ว			
625	650	650	650	-	-	-
725	800	800	850	-	-	-
1000	950	1000	1000	-	-	-
1600	1700	1600	1500	-	-	-
1800	1900	1950	2000	-	-	-
2000	-	2100	-	-	-	-
2900	2800	3000	3100	-	-	-
3300	3250	-	3350	3426	-	-
3700	3650	-	3750	-	-	-
4100	4000	4000	4000	-	-	-
4300	4300	4250	4200	-	-	-
-	-	4450	-	-	4326	-



รูปที่ 104 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของแท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนขนาด 12 นิ้ว



รูปที่ 105 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของแท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนขนาด 9 นิ้ว

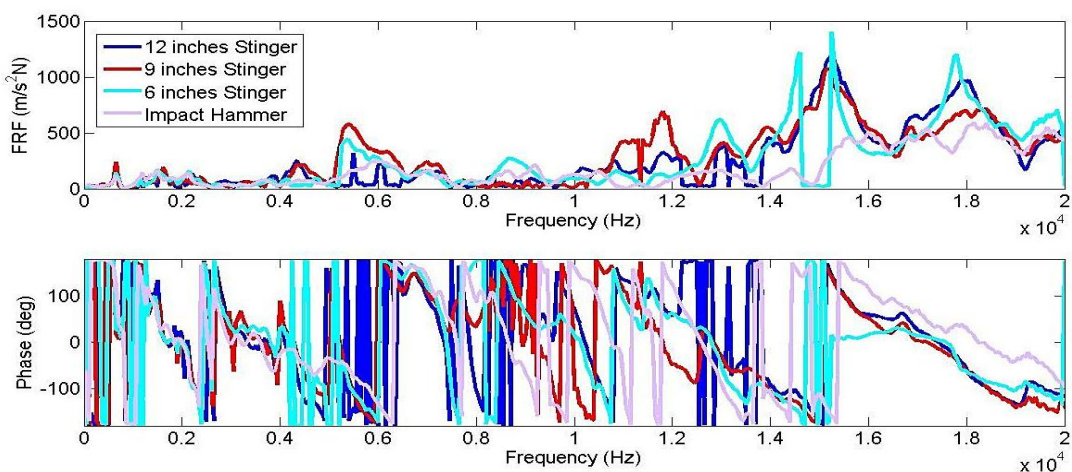


รูปที่ 106 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของแท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนขนาด 6 นิ้ว

จากผลการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติของแผ่นดิสก์ที่ได้จากการทดลองด้วยเครื่องสั่นสะเทือนเมื่อใช้แท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนทั้ง 3 ขนาด กับค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากการทดลองด้วยค้อนเคาะ พบว่า ค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากการทดลองด้วยเครื่องสั่นสะเทือนเมื่อใช้แท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนขนาด 6 นิ้วมีค่าเคลื่อนไปจากค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากการทดลองด้วยการเคาะมากกว่าขนาด 9 นิ้ว และ 12 นิ้ว ตามลำดับและเมื่อพิจารณาผลการทดลองโมดัลด้วยเครื่องสั่นสะเทือนโดยใช้แท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนขนาด 9 นิ้ว พบว่าผลการทดลองแสดงว่ามีค่าความถี่ธรรมชาติที่ 4450 เฮิรตซ์ ในขณะที่ผลการทดลองโมดัลกรณีอื่น ๆ แสดงว่าแผ่นดิสก์ไม่มีค่าความถี่ธรรมชาติดังกล่าว และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์กับค่าความถี่ธรรมชาติของแท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนขนาด 9 นิ้ว พบว่า แท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนมีค่าความถี่

ธรรมชาติใกล้เคียงกับค่าความถี่ธรรมชาติดังกล่าว แสดงว่าค่าความถี่ธรรมชาติของแท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนขนาด 9 นิ้ว ส่งผลต่อผลการทดลองโมดัลที่ได้ ดังนั้นในการทดลองโมดัลด้วยเครื่องสั่นสะเทือนของส่วนประกอบที่มีน้ำหนักเบา อันได้แก่แผ่นดิสก์ และฝาปิดบน จึงเลือกใช้แท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนที่มีความยาว 12 นิ้ว ซึ่งเป็นแท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนที่ค่าความถี่ธรรมชาติไม่ส่งผลต่อผลการทดลอง และผลการทดลองที่ได้ไม่เคลื่อนไปจากค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากการทดลองกรณีอื่น ๆ

ส่วนกรณีชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักในตัวเอง ซึ่งคือชุดแกนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดลมอเตอร์ติดอยู่นั้น ก็ทำการทดลองโมดัลกับแท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนทั้ง 3 ขนาดเปรียบเทียบกันเช่นกัน ซึ่งฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่จากการทดลองกรณีต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 107 ส่วนค่าความถี่ธรรมชาตินั้นแสดงการเปรียบเทียบในตารางที่ 17



รูปที่ 107 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของชุดแกนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดลมอเตอร์ติดอยู่ที่
ได้จากการทดลองโมดัลด้วยเครื่องสั่นสะเทือน

โดยใช้แท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนที่มีความยาวแตกต่างกัน 3 ขนาด คือ 12 9 และ 6 นิ้ว

จากผลการทดลอง พบว่าค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากการทดลองโมดัลกรณีต่าง ๆ นั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก เคลื่อนจากกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อีกทั้งเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ธรรมชาติของชุดแกนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดลมอเตอร์ติดอยู่ ที่ได้จากการทดลองโมดัลด้วยเครื่องสั่นสะเทือน กับค่าความถี่ธรรมชาติของแท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือน พบว่า

ค่าความถี่ธรรมชาติของแท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนส่งผลน้อยมากต่อค่าความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนทดลอง ดังนั้นในการทดลองโมดัลด้วยเครื่องสั่นสะเทือนของชุดแขนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดลมอเตอร์ติดอยู่ จึงเลือกใช้แท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนที่มีความยาว 6 นิ้ว เนื่องจากแม้ค่าความยาวจะสั้นกว่ากรณีอื่น ๆ แต่ผลการทดลองที่ได้ไม่คลาดเคลื่อนไปจากผลการทดลองที่ได้จากการทดลองกรณีอื่น ๆ อีกทั้งการเลือกใช้แท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือน ที่สั้น ช่วยหลีกเลี่ยงผลของค่าความถี่ธรรมชาติของแท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือน ที่อาจส่งผลต่อผลการทดลองที่ต้องการ

ตารางที่ 17 การเปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติของชุดแขนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดลมอเตอร์ติดอยู่ที่ได้จากการทดลองโมดัลด้วยการเคาะ และการทดลองโมดัลด้วยเครื่องสั่นสะเทือน โดยใช้แท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือนที่มีความยาวแตกต่างกัน 3 ขนาด คือ 12 9 และ 6 นิ้ว

ค่าความถี่ธรรมชาติของ (เฮิรตซ์) ชุดแขนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดลมอเตอร์ติดอยู่				ค่าความถี่ธรรมชาติของ แท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือน (เฮิรตซ์)		
ผลการ ทดลองโดย การเคาะ	ผลการทดลองโดยเครื่องสั่นสะเทือน			12 นิ้ว	9 นิ้ว	6 นิ้ว
	12 นิ้ว	9 นิ้ว	6 นิ้ว			
62.5	100	100	100	-	-	-
637.5	650	650	650	-	-	-
1100	1150	1150	1150	-	-	-
1212	1250	1250	-	-	-	-
1325	1400	1400	-	-	-	-
1475	1550	-	1500	-	-	-
1675	1700	1600	-	-	-	-
1850	1800	-	1850	-	-	-
2125	2000	2100	2150	-	-	-
-	2200	2250	-	-	-	-
2338	2350	2350	2350	-	-	-
-	-	2750	2700	-	-	-
2850	2900	3000	-	-	-	-

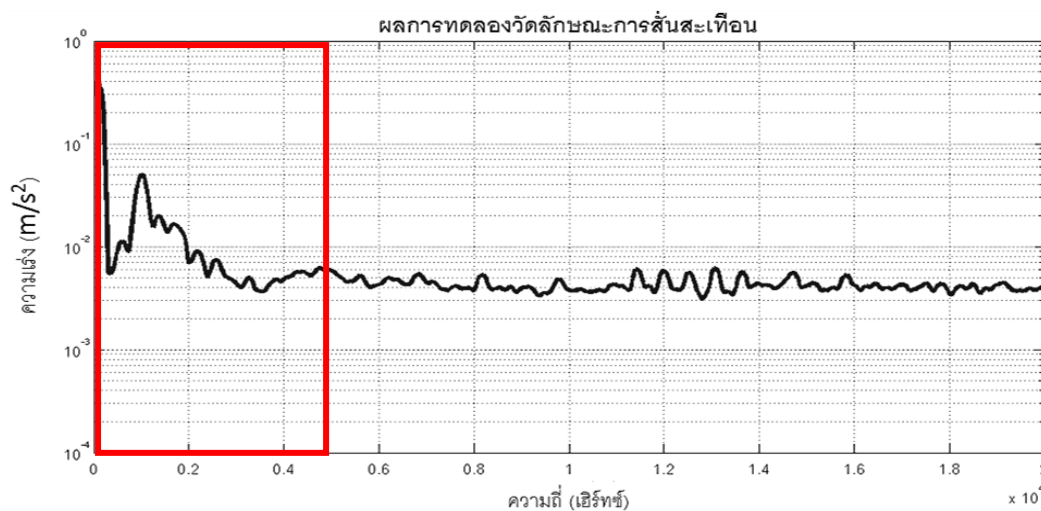
ค่าความถี่ธรรมชาติของ (เฮิร์ตซ์) ชุดแกนควบคุมกับฐานซึ่งมีสปริงเดิสมอเตอร์ติดอยู่				ค่าความถี่ธรรมชาติของ แท่งส่งผ่านการสั่นสะเทือน (เฮิร์ตซ์)		
ผลการ ทดลองโดย การเคาะ	ผลการทดลองโดยเครื่องสั่นสะเทือน					
	12 นิ้ว	9 นิ้ว	6 นิ้ว	12 นิ้ว	9 นิ้ว	6 นิ้ว
3150	3250	3300	-	-	-	-
3675	3500	-	3550	3426	-	-
-	3850	3900	3800	-	-	-
-	4100	-	4150	-	-	-
4300	4350	4350	-	-	4326	-
4675	4650	4500	4700	-	-	-

ภาคผนวก ก

การออกแบบการทดลองหาลักษณะการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ก.1 ช่วงความถี่ที่พิจารณา

ในเบื้องต้นได้ทำการทดลองในช่วงความถี่ 0-20,000 เฮิรตซ์ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่ครอบคลุมช่วงความถี่ที่มนุษย์รับได้ แต่จากผลการทดลองวัดการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ดังแสดงในรูปที่ 108 พบว่าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เกิดการสั่นสะเทือนสูงในช่วงความถี่ต่ำ ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงพิจารณาการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในช่วงความถี่ 0-5,000 เฮิรตซ์



รูปที่ 108 ผลการทดลองเบื้องต้นประกอบการสังเคราะห์ทางเลือกของการออกแบบ

ค.2 การติดตั้งการทดลอง

ลักษณะของระบบที่จำเป็นต่อการพิจารณาคือระบบการสันสะเทือนแบบอิสระ คือเสมือนว่าชิ้นส่วนทดลองนั้นลอยอยู่ในอากาศ ซึ่งจากการพิจารณากรณีทดลองนั้น ระบบมีน้ำหนักที่มากกว่ามากเมื่อเทียบกับน้ำหนักของอุปกรณ์วัดความเร่งจึงเลือกทดลองด้วยการวางชิ้นส่วนบนฟองน้ำ และวัดลักษณะการสันสะเทือนด้วยอุปกรณ์วัดความเร่งโดยวิธีนี้ทำให้ได้สัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนน้อย และง่ายต่อการทดลอง

ส่วนกรณีที่จะทำการทดลองนั้น เลือกทำการทดลองทั้งหมด 8 กรณี ดังระบุไว้ในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 กรณีการทดลองหาลักษณะการสันสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

กรณี	ฝาปิดบน	แผ่นดิสก์	ชุดแขนควบคุม	ฐานและสปริงเดลมอเตอร์
1	มี	มี	มี	มี
2	ไม่มี	มี	มี	มี
3	ไม่มี	ไม่มี	มี	มี
4	ไม่มี	มี	ไม่มี	มี
5	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	มี
6	มี	ไม่มี	มี	มี
7	มี	ไม่มี	ไม่มี	มี
8	มี	มี	ไม่มี	มี

ค.3 ตำแหน่งวัดการสันสะเทือน

พิจารณาเลือกตำแหน่งวัดโดยพิจารณาจากตำแหน่งที่ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์สัมผัสกับคอมพิวเตอร์พกพาในการใช้งานจริง คือบริเวณขอบของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ โดยเลือกพิจารณาทั้งหมด 6 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 109



รูปที่ 109 ตำแหน่งวัดการสั่นสะเทือน

ภาคผนวก ง

ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากความหน่วงของวัสดุ

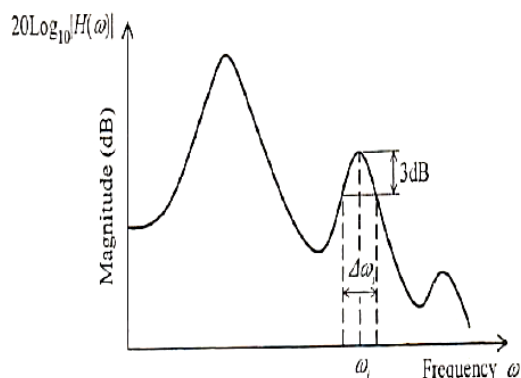
รายละเอียดในบทนี้ จะกล่าวถึงการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากความหน่วงของวัสดุ (Loss Factor) เพื่อแสดงคุณสมบัติความหน่วงของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบแนวทางลดการส่งผ่านพลังงานการสั่นสะเทือน ดังกล่าวไปแล้วในบทที่ 6 ซึ่งวัสดุดังกล่าวมีสามชนิด ได้แก่ กาวเนกประสงค์ กระจาดย 80 แกรม และ กาวสองหน้าชนิดบาง

ง.1 การติดตั้งการทดลอง

คุณสมบัติความหน่วงของระบบที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งเป็นผลจากการติดวัสดุบริเวณขอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ระหว่างฝาปิดบน และฐานเพื่อให้เป็นตัวหน่วง (damper) สำหรับลดการส่งผ่านการสั่นสะเทือนนั้น จะหาค่าในรูปแบบของค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของระบบ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะหาค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียด้วยวิธีความกว้างช่วงความถี่ (Bandwidth Method) ก็จะได้จากการวิเคราะห์ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ โดยค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียเนื่องจากความหน่วงนั้น จะมีค่าเท่ากับผลแตกต่างระหว่างค่าความถี่ที่ขนาดของฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่มีค่าน้อยกว่าขนาดของฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ที่ความถี่สั่นพ้อง (Resonant Frequency) 3 เดซิเบล ($\Delta\omega$)หารด้วยค่าความถี่สั่นพ้อง (ω) ดังแสดงในสมการที่ 37 โดยที่องค์ประกอบของสมการนั้น แสดงดังรูปที่ 110

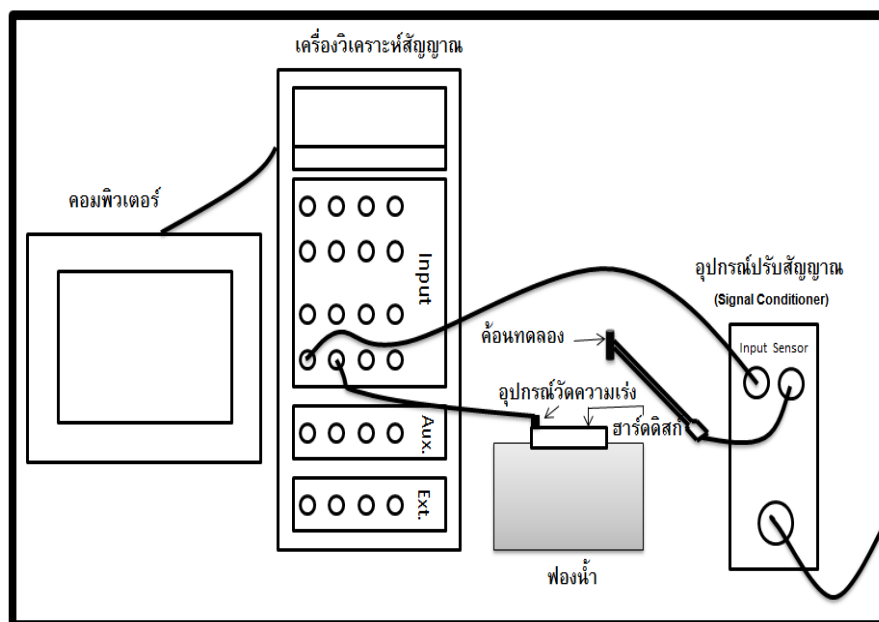
$$\eta = \frac{\Delta\omega}{\omega} \quad (37)$$

ในการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียเนื่องจากความหน่วงจึงทำการทดลองโมดัลกับระบบ 4 ระบบ คือ ระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ปกติ (Normal) ระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีกาวเนกประสงค์ติดอยู่บริเวณขอบระหว่างฝาปิดบนและฐาน (Model 1) ระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีกระจาดยติดอยู่บริเวณขอบระหว่างฝาปิดบนและฐาน (Model 2) และระบบฮาร์ดดิสก์ที่มีกาวสอง



รูปที่ 110 การหาค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียเนื่องจากความหน่วง
ด้วยวิธีความกว้างช่วงความถี่ [18]

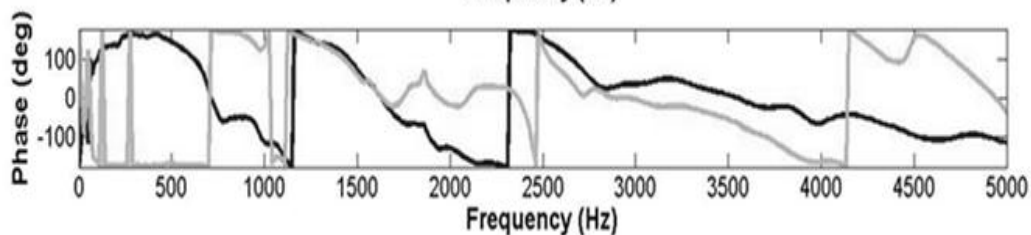
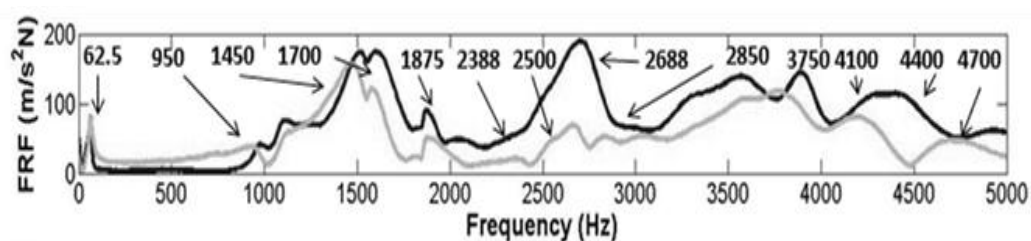
หน้าชนิดบางติดอยู่บริเวณขอบระหว่างฝาปิดบนและฐาน (Model 3) โดยจะติดตั้งการทดลองด้วยการกระตุ้นระบบด้วยค้อนเคาะ และติดอุปกรณ์วัดความเร่งเพื่อวัดการสั่นสะเทือน ซึ่งสัญญาณแรงกระตุ้นจากอุปกรณ์วัดสัญญาณแรงที่ติดอยู่ที่ค้อนเคาะ และสัญญาณการสั่นสะเทือนจากอุปกรณ์วัดความเร่งจะถูกส่งเข้าเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ ซึ่งถูกควบคุมการทำงาน แปลงสัญญาณด้วย FFT และเขียนกราฟด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยการทดลองโมดลนี้จะทำครอบคลุมช่วงความถี่ 0-5,000 เฮิรตซ์ การติดตั้งการทดลองโมดลนี้แสดงดังรูปที่ 111



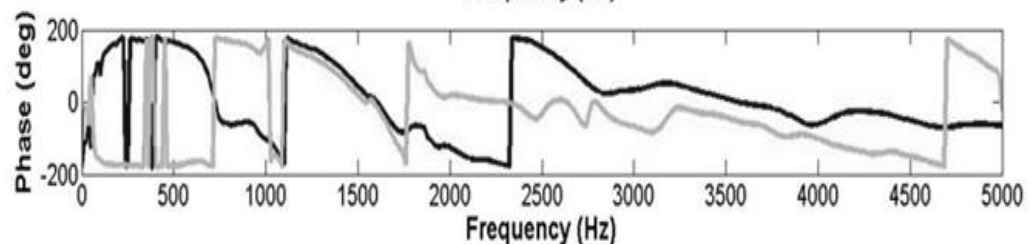
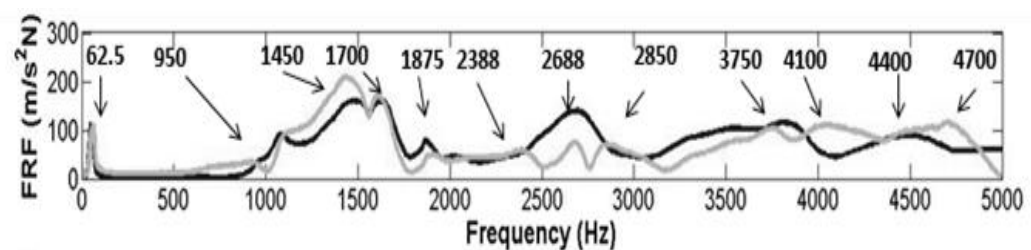
รูปที่ 111 การติดตั้งการทดลองโมดล

ง.2 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

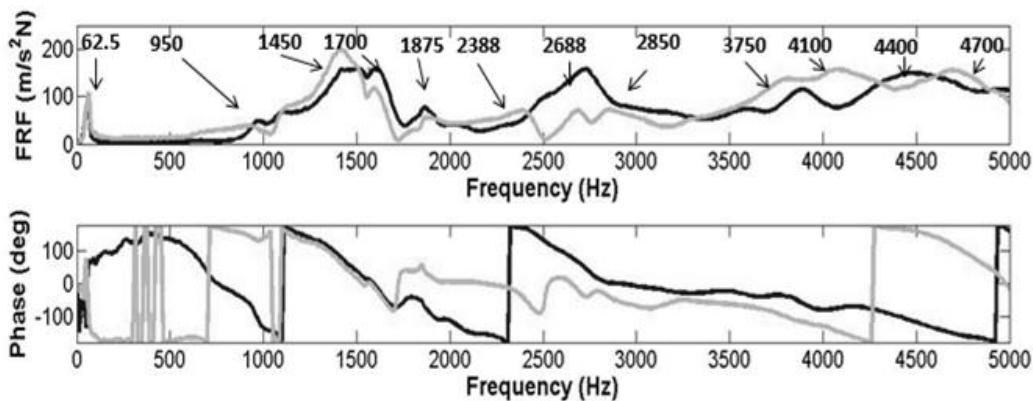
ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของระบบฮาร์ดดิสก์ และค่าความถี่ธรรมชาติของระบบฮาร์ดดิสก์ไทร์ฟทั้ง 4 ระบบ แสดงในรูปที่ 112-115 ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียเนื่องจากความหน่วงของแต่ละระบบฮาร์ดดิสก์ไทร์ฟ ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่นั้น แสดงดังรูปที่ 116 โดยนำมาสรุปเป็นตารางแสดงช่วงความถี่ที่ระบบฮาร์ดดิสก์รูปแบบต่าง ๆ เกิดการสูญเสียเนื่องจากความหน่วงสูงกว่าฮาร์ดดิสก์ปกติด้วยแถบเร่งเวา ดังตารางที่ 19 และได้คำนวณหาค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียเนื่องจากความหน่วงนั้น แสดงดังตารางที่ 20



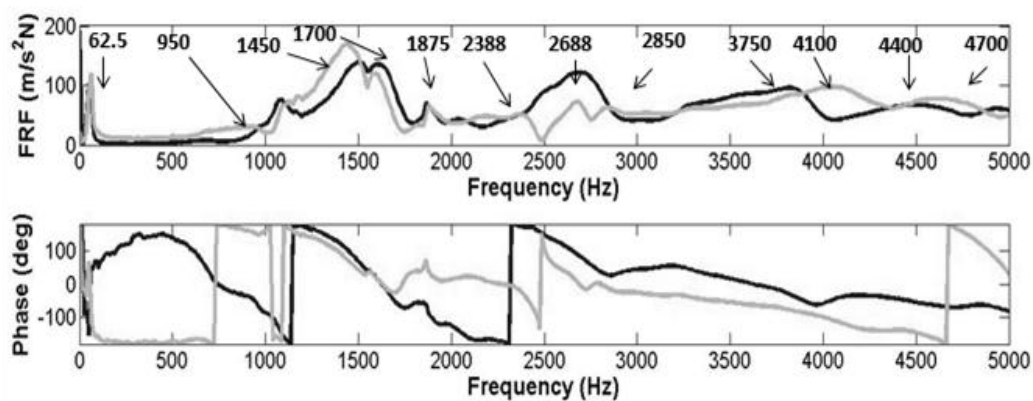
(ก)



(ข)

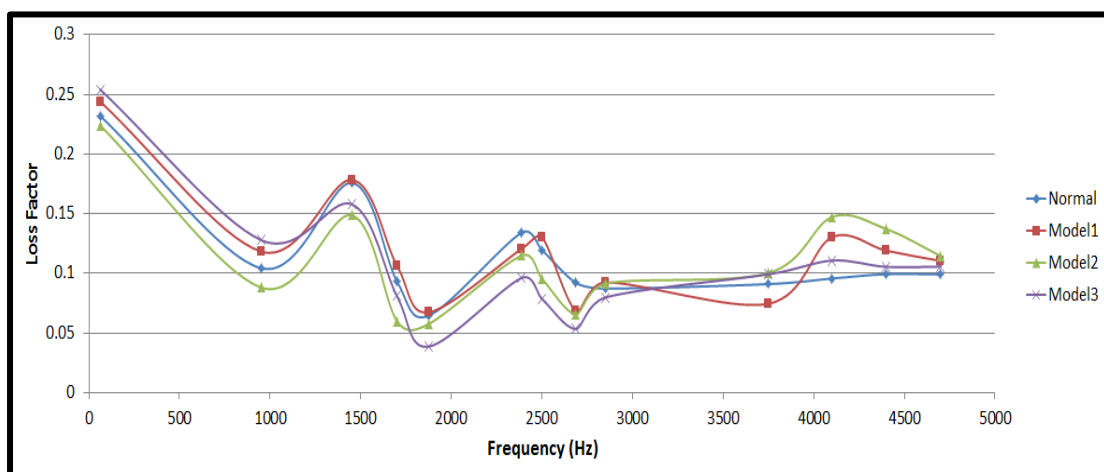


(ก)



(ง)

รูปที่ 112 ฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ของ
 (ก) ระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ปกติ (ข) ระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบที่ 1
 (ค) ระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบที่ 2 (ง) ระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบที่ 3



รูปที่ 113 ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียเนื่องจากความหน่วงของระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ตารางที่ 19 ช่วงความถี่ที่ระบบฮาร์ดดิสก์รูปแบบต่างๆสูญเสียเนื่องจากความหน่วงสูงกว่าฮาร์ดดิสก์ปกติ

ระบบ ฮาร์ดดิสก์	ช่วงความถี่ที่ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียเนื่องจากความหน่วงสูงกว่าฮาร์ดดิสก์ปกติ (เฮิร์ตซ์)							
	0	1200	2000	2500	2800	3250	3800	รวม
	-	-	-	-	-	-	-	ช่วง ความถี่
	1200	2000	2500	2800	3250	3800	5000	
แบบที่ 1			-	-		-		3750
แบบที่ 2	-	-	-	-				2200
แบบที่ 3		-	-	-	-			2950

ตารางที่ 20 ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียเนื่องจากความหน่วง

ระบบ	ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียเนื่องจากความหน่วง	% ความแตกต่างกับค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียเนื่องจากความหน่วงของฮาร์ดดิสก์ปกติ
ฮาร์ดดิสก์ปกติ	0.115	-
ฮาร์ดดิสก์แบบที่ 1	0.120	4.87%
ฮาร์ดดิสก์แบบที่ 2	0.111	-2.86%
ฮาร์ดดิสก์แบบที่ 3	0.107	-6.66%

จากผลการทดลอง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียเนื่องจากความหน่วงของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบที่ 1 ซึ่งเป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีกาวอเนกประสงค์ติดอยู่ระหว่างฝากับฐาน และฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ปกตินั้น จะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบที่ 1 จะมีค่าสูงกว่าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ปกติในช่วงความถี่ 0-2000 เฮิร์ตซ์ 2500-2525 เฮิร์ตซ์ 2800-3250 เฮิร์ตซ์ และ 3800-5000 เฮิร์ตซ์ รวมเป็นช่วงความถี่ทั้งหมด 3750 เฮิร์ตซ์ ซึ่งกล่าวได้ว่ามีค่าสูงกว่าในช่วงความถี่ที่กว้างกว่า อีกทั้งเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียก็พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียเนื่องจากความหน่วงของระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบที่ 1 ก็มีค่าสูงกว่าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ปกติเช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียเนื่องจากความหน่วงของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบที่ 2 ซึ่งคือฮาร์ดดิสก์ที่มีกระดาษ 80 แกรมติดอยู่ระหว่างฝาปิดบนกับฐาน และฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ปกติ จะพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียเนื่องจากความหน่วงของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบที่ 2 จะมีค่าสูงกว่าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ปกติในช่วงความถี่สูง 2750-5000 เฮิรตซ์ รวมเป็นช่วงความถี่ทั้งหมด 2250 เฮิรตซ์ ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียก็พบว่า ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียเนื่องจากความหน่วงของระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบที่ 2 มีค่าต่ำกว่าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ปกติ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียเนื่องจากความหน่วงของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบที่ 3 ซึ่งคือฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีกาวสองหน้าชนิดบางติดอยู่ระหว่างฝาปิดบนกับฐาน และฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ปกติ จะพบว่า แม้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียเนื่องจากความหน่วงของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบที่ 3 จะมีค่าสูงกว่าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ปกติในช่วงความถี่ 0-1200 เฮิรตซ์ และ 3250-5000 เฮิรตซ์ รวมเป็นช่วงความถี่ทั้งหมด 2950 เฮิรตซ์ ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่กว้างกว่า แต่ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียเนื่องจากความหน่วงของระบบแบบที่ 3 มีค่าต่ำกว่าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ปกติ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบที่ 2 พบว่าค่าจะมีค่าสูงกว่าในช่วงความถี่ 0-1750 เฮิรตซ์ ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่น้อยกว่า อีกทั้งค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ก็มีค่าต่ำกว่าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบที่ 2 ด้วยเช่นเดียวกัน

ง.3 สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่า กาวอเนกประสงค์ทำให้คุณสมบัติความหน่วงของระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้น-ลงตลอดช่วงความถี่ โดยจะมีค่าสูงกว่าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ปกติในช่วงความถี่ที่กว้างกว่า และค่าเฉลี่ยสูงกว่าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ปกติเช่นเดียวกัน ส่วนกระดาษนั้นทำให้คุณสมบัติความหน่วงของระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีค่าสูงกว่าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ปกติในช่วงความถี่ที่น้อยกว่าที่ช่วงความถี่สูง และมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ปกติ สำหรับกาวสองหน้าชนิดบางนั้นส่งผลให้ความหน่วงของระบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีค่าสูงกว่าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ปกติในช่วง

ความถี่ที่สูงกว่าเล็กน้อยในสองช่วงความถี่ คือช่วงความถี่ต่ำ และสูง แต่ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความหน่วงมีค่าต่ำกว่าฮาร์ดดิสก์ไทรฟ์ปกติ และมีค่าต่ำกว่าผลของกระดาศ

ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถสรุปโดยภาพรวมได้ว่า กาวอเนกประสงค์ส่งผลให้ความหน่วงของระบบฮาร์ดดิสก์ไทรฟ์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่กระดาศ และกาวสองหน้าชนิดบางส่งผลให้ความหน่วงของระบบฮาร์ดดิสก์ไทรฟ์มีค่าลดลงเล็กน้อยตามลำดับ

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว พิณภรณ์ ตันธนาศิริกุล เกิดวันที่ 27 กันยายน พ.ศ. 2533 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมบัณฑิตศึกษา สาขาวิศวกรรมยานยนต์ ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2554 และ ได้ ศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทันที ในระหว่างการศึกษามีผลงานทางวิชาการที่ได้ เผยแพร่ ดังนี้

Pinporn Tanthanasirikul and Nopdanai Ajavakom, Vibration of Main Components of Hard Disk Drive and the Vibrational Energy Transmission in Hard Disk Drive, The 3rd TSME International Conference on Mechanical Engineering, October 2012, Chiang Rai, Thailand.