

บทที่ 3

การศึกษาและการจำลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนทางโครงสร้างของแขนจับหัวอ่าน/เขียน (Actuator Arm) ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม ANSYS ในการวิเคราะห์ปัญหา แล้วตรวจสอบผลด้วยเครื่องวัด Laser Doppler Vibrometer (LDV) เพื่อความถูกต้องของค่าที่ได้ รวมถึงความเชื่อมั่นของขั้นตอนวิธีการในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อหาความสัมพันธ์และองค์ประกอบที่ส่งผลต่อการสั่นสะเทือนโดยมีรายละเอียดดังนี้

การทดสอบและเปรียบเทียบ

ในเนื้อหานี้เป็นกรบรรยายถึงขั้นตอนการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม ANSYS และการวัดการสั่นสะเทือนด้วยเครื่องแอลดีวี (LDV) ซึ่งเป็นเครื่องวัดการสั่นสะเทือนทางแสง โดยแขนจับหัวอ่าน/เขียนที่นำมาทดสอบเป็นทั้งแบบแขนเดี่ยว (Single-Arm Actuator) และแบบหลายแขน (Multi-Arm Actuator) ซึ่งจะนำค่าความถี่ธรรมชาติของรูปแบบการสั่นสะเทือนที่ได้มาเปรียบเทียบ

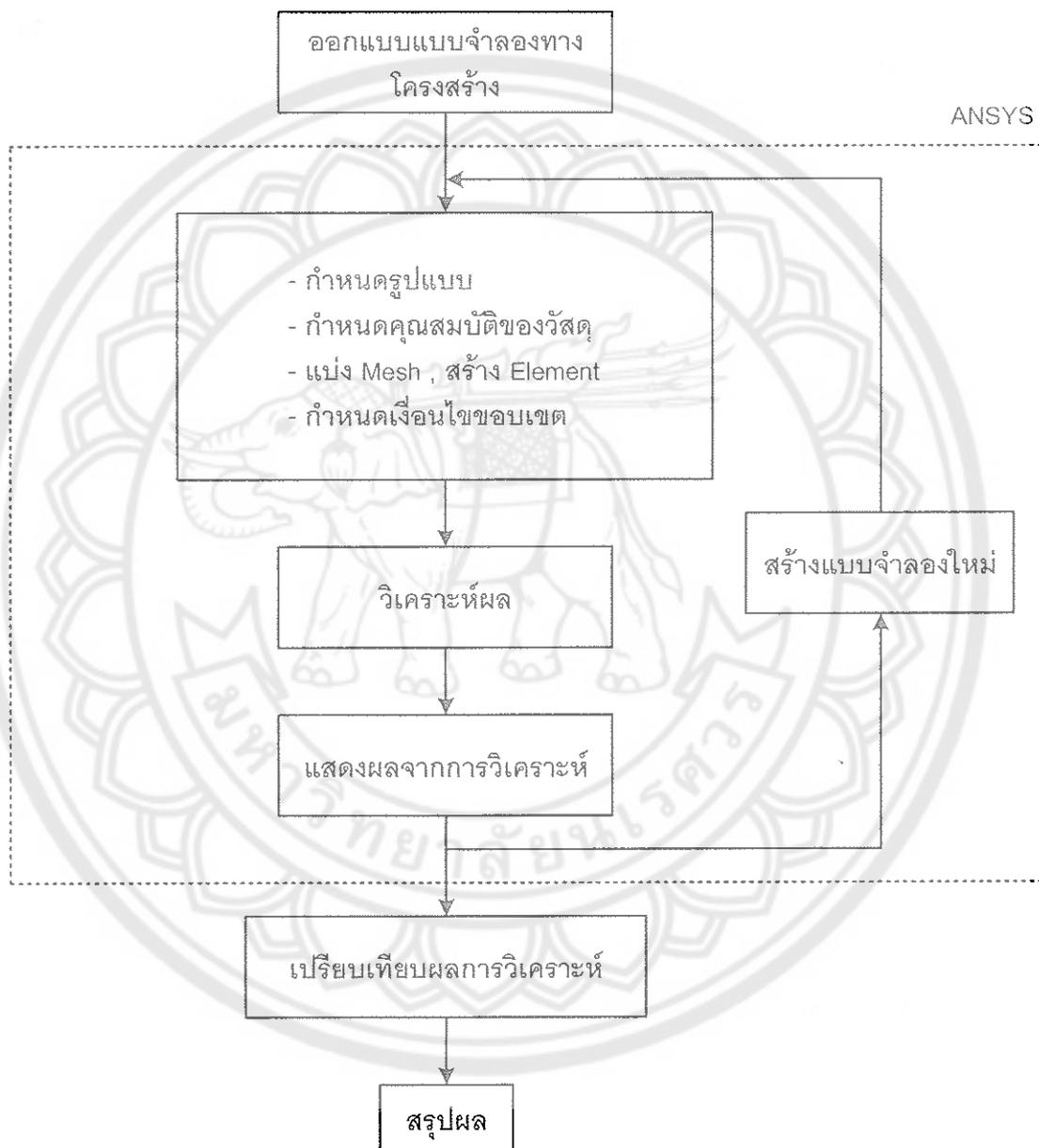
1. การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนทางโครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ สามารถแบ่งเป็นลำดับขั้นตอนได้ดังแสดงในภาพ 12

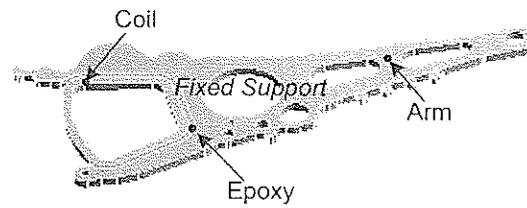
1.1 แขนจับหัวอ่าน/เขียนแบบแขนเดี่ยว

การศึกษาการสั่นสะเทือนของแขนจับหัวอ่าน/เขียนแบบแขนเดี่ยวในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ที่ย่านความถี่ 1-20 KHz โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) ให้สอดคล้องกับความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งให้บริเวณพื้นที่ด้านในของวงกลมเป็นส่วนยึดแน่น (Fixed Support) โดยลักษณะส่วนประกอบของแขนจับหัวอ่าน/เขียนแบบแขนเดี่ยวและบริเวณที่ยึดแน่นได้แสดงไว้ในภาพ 13 เนื่องด้วยแขนจับหัวอ่าน/เขียนแบบแขนเดี่ยวที่นำมาศึกษานี้มีส่วนประกอบด้วยกัน 3 ส่วน การวิเคราะห์ในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์จำเป็นต้องกำหนดคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุแต่ละส่วนเป็นเช่นเดียวกับตัวชิ้นงานจริงคือ ส่วนแขนอ่าน (Arm) ใช้วัสดุ Aluminum Wrought Alloys (5052-H32) ส่วนคอยล์ (Coil) ใช้วัสดุคอปเปอร์ (Copper) และแต่ละส่วนเชื่อมติดกันด้วยกาวอีพ็อกซี่ (Epoxy) โดยคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ (Material

Properties) ดังกล่าว ได้แสดงไว้ในตาราง 2 โดยได้แสดงค่าโมดูลัสของยัง (Young's Modulus) ค่าอัตราส่วนปัวซอง (Poisson Ratio) และค่าความหนาแน่น (Density) ซึ่งค่าเหล่านี้เป็นค่าที่จำเป็นต้องใช้ในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์



ภาพ 12 ขั้นตอนการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนทางโครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม ANSYS



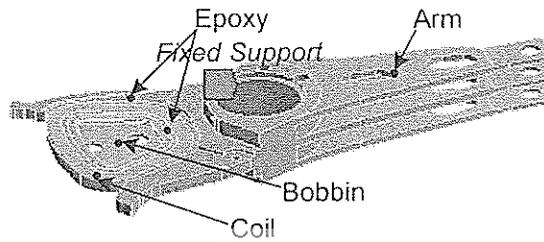
ภาพ 13 ส่วนประกอบของแขนจับหัวอ่าน/เขียนแบบแขนเดี่ยว

ตาราง 2 คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ใช้ในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ [17, 18]

Material	Young's Modulus (GPa)	Poisson Ratio	Density (kg/m ³)
Aluminum Wrought Alloys (5052-H32)	70.3	0.33	2,680
Aluminum Wrought Alloys (6061-T6)	68.9	0.35	2,710
Bobbin Material	3.5	0.29	1,650
Copper	88	0.29	8,100
Epoxy Adhesive	1.45-7	0.29	720-5,500
Stainless Steel	200	0.28	7,600

1.2 แขนจับหัวอ่าน/เขียนแบบหลายแขน

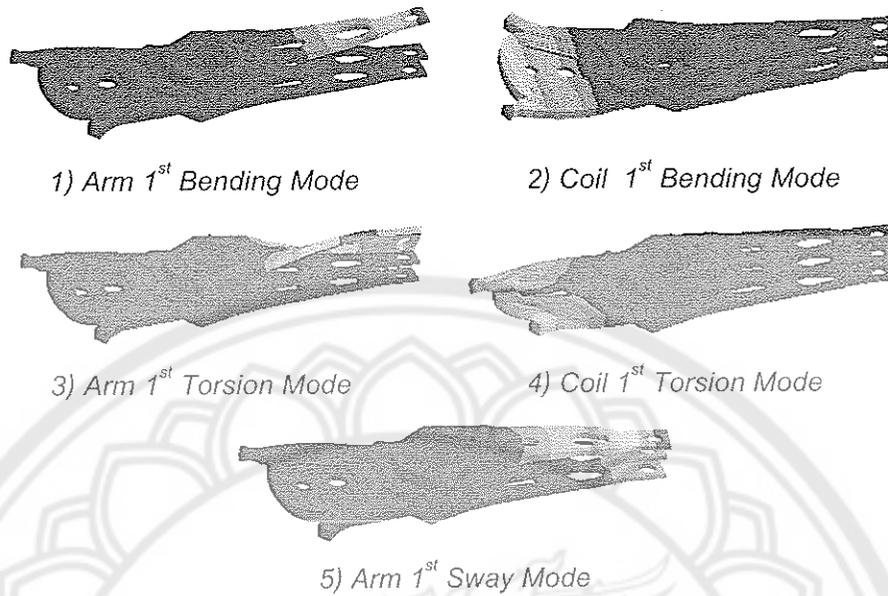
การวิเคราะห์แขนจับหัวอ่าน/เขียนแบบหลายแขนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้กำหนดเงื่อนไขขอบเขตและคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุแต่ละส่วนให้สอดคล้องกับความเป็นจริงเช่นเดียวกับการวิเคราะห์แบบแขนเดี่ยว โดยลักษณะส่วนประกอบของแขนจับหัวอ่าน/เขียนแบบหลายแขนและบริเวณที่ยึดแน่นได้แสดงไว้ในภาพ 14



ภาพ 14 ส่วนประกอบของแขนจับหัวอ่าน/เขียนแบบหลายแขน

จากภาพจะเห็นว่าแขนจับหัวอ่าน/เขียนแบบหลายแขนที่นำมาศึกษานี้มีส่วนประกอบด้วยกัน 4 ส่วน โดยในการวิเคราะห์ที่ส่วนแขนอ่านจะใช้วัสดุ Aluminum Wrought Alloys (6061-T6) ส่วนคอยล์ใช้วัสดุคอปเปอร์ ส่วนของกาวอีพ็อกซีและส่วนของบอบบิน (Bobbin) คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ใช้ก็ได้แสดงไว้ในตาราง 2

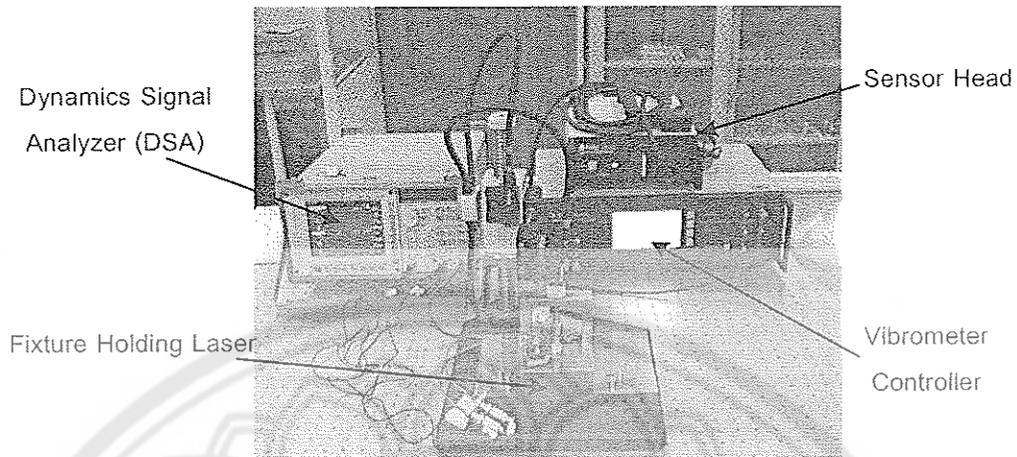
ในงานวิจัยได้วิเคราะห์หาค่าความถี่ธรรมชาติและรูปแบบการสั่นสะเทือนของแขนจับหัวอ่าน/เขียนแบบหลายแขนเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบอยู่ด้วยกัน 5 โหมด โดยในแต่ละโหมดการสั่นสะเทือนจะกำหนดย่านความถี่ในการวิเคราะห์แตกต่างกัน เพื่อแยกผลของความถี่ในแต่ละโหมดการสั่นสะเทือนให้เห็นอย่างชัดเจน โดยโหมดที่ 1 เป็นลักษณะของการงอตัวลำดับแรกในส่วนของแขนอ่าน (Arm 1st Bending Mode) การวิเคราะห์จะกำหนดที่ย่านความถี่ 1,000-4,200 Hz โหมดที่ 2 เป็นลักษณะของการงอตัวลำดับแรกในส่วนของคอยล์ (Coil 1st Bending Mode) ได้กำหนดที่ย่านความถี่ 1,600-3,200 Hz โหมดที่ 3 เป็นลักษณะของการบิดตัวลำดับแรกในส่วนของแขนอ่าน (Arm 1st Torsion Mode) ได้กำหนดที่ย่านความถี่ 6,000-10,800 Hz โหมดที่ 4 เป็นลักษณะของการบิดตัวลำดับแรกในส่วนของคอยล์ (Coil 1st Torsion Mode) ได้กำหนดที่ย่านความถี่ 1,000-7,400 Hz และโหมดที่ 5 เป็นลักษณะของการแกว่งหรือการงอตัวในทิศทางแนวระนาบในส่วนของแขนอ่าน (Arm 1st Sway Mode) จะกำหนดที่ย่านความถี่ 9,000-15,400 Hz โดยลักษณะของรูปแบบการสั่นสะเทือนทั้ง 5 โหมดได้แสดงไว้ในภาพ 15 ตามลำดับ



ภาพ 15 รูปแบบการสั่นสะเทือนของแกนจับหัวอ่าน/เขียนแบบหลายแกน
จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ANSYS

2. การทดสอบด้วยเครื่องแอลดีวี

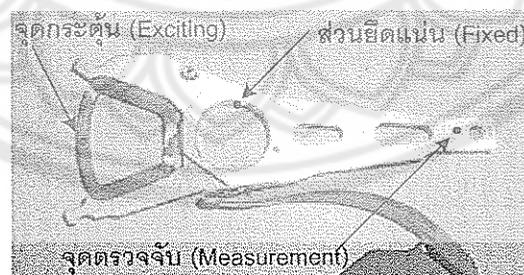
การทดสอบการสั่นสะเทือนของแกนจับหัวอ่าน/เขียนในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยเครื่องแอลดีวี เริ่มจากการเซตค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของเครื่องก่อน อาทิ แรงดันหรือกระแสไฟที่ใช้ในการกระตุ้นการสั่นสะเทือน ยานขอบเขตความถี่ที่ต้องการวิเคราะห์ รวมถึงจุดที่ต้องการจะยิงแสงในการทดสอบ แล้วจึงทำการติดตั้งฐานยึด (Fixture Holding Laser) โดยได้ออกแบบการติดตั้งรวมถึงลักษณะการกระตุ้นการสั่นสะเทือนให้คล้ายกับ สภาวะการทำงานจริงของแกนจับหัวอ่าน/เขียนในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และผลการสั่นสะเทือนที่วัดได้ก็จะส่งไปยังส่วนประมวลผล (Dynamics Signal Analyzer: DSA) เพื่อหาผลตอบสนองความถี่ (Frequency Response Function: FRF) ของการสั่นสะเทือนต่อไป โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการสั่นสะเทือนของแกนจับหัวอ่าน/เขียนได้แสดงไว้ดังภาพ 16



ภาพ 16 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการสั่นสะเทือนของแขนจับหัวอ่าน/เขียน
ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ [9]

2.1 แขนจับหัวอ่าน/เขียนแบบแขนเดียว

การวัดการสั่นสะเทือนของแขนจับหัวอ่าน/เขียนที่เป็นแบบแขนเดียวด้วยเครื่องแอลดีวี ได้กำหนดที่ย่านความถี่ 1-20 KHz เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยกระตุ้นการสั่นสะเทือนด้วยการให้กระแสไฟฟ้าไปยังส่วนคอยล์ แล้วทำการจับสัญญาณการเคลื่อนที่หรือการสั่นสะเทือนของแขนจับหัวอ่าน/เขียนตรงบริเวณปลายแขนอ่านเพื่อหาผลตอบสนองของความถี่ของการสั่นสะเทือน โดยลักษณะการจำลองสภาวะในการทดสอบการสั่นสะเทือนของแขนจับหัวอ่าน/เขียนแบบแขนเดียวนี้ ได้แสดงไว้ในภาพ 17



ภาพ 17 ลักษณะการวัดการสั่นสะเทือนของแขนจับหัวอ่าน/เขียนแบบแขนเดียว
ด้วยเครื่องแอลดีวี [9]

2.2 แขนจับหัวอ่าน/เขียนแบบหลายแขน

การวัดการสั่นสะเทือนของแขนจับหัวอ่าน/เขียนแบบหลายแขนด้วยเครื่องวัดแอลดีวี การวัดในแต่ละโหมดการสั่นสะเทือนจะมีวิธีการและการกำหนดย่านความถี่ในการวัดที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของการสั่นสะเทือน โดยย่านขอบเขตความถี่ในการวัดแต่ละโหมดการสั่นสะเทือนจะเป็นย่านความถี่เดียวกันกับการวิเคราะห์หัดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



ภาพ 18 ลักษณะการวัดการสั่นสะเทือนของแขนจับหัวอ่าน/เขียนแบบหลายแขนด้วยเครื่องแอลดีวี [9]

จากภาพ 18 แสดงลักษณะการวัดการสั่นสะเทือนในแต่ละโหมด โดยการวัดการสั่นสะเทือน Arm 1st Bending Mode และ Arm 1st Torsion Mode การวัดจะยิงแสง (Laser Beam) ไปที่จุด A การวัด Coil 1st Bending Mode และ Coil 1st Torsion การวัดจะยิงแสงไปยังจุด A1 ซึ่งการวัด Bending Mode กับ Torsion Mode จะเป็นลักษณะของการวัดการสั่นสะเทือนในทิศทางแนวตั้ง (Vertical Vibration) ของการสั่นสะเทือนซึ่งจะทำให้เห็นขนาด (Amplitude) ของการสั่นสะเทือนได้อย่างชัดเจน ส่วนการวัดการสั่นสะเทือน Arm 1st Sway Mode การวัดจะยิงแสง

ไปที่จุด S ซึ่งการวัด Sway Mode จะเป็นการวัดการสั่นสะเทือนในทิศทางแนวขวาง (Transverse Vibration) ของการสั่นสะเทือน

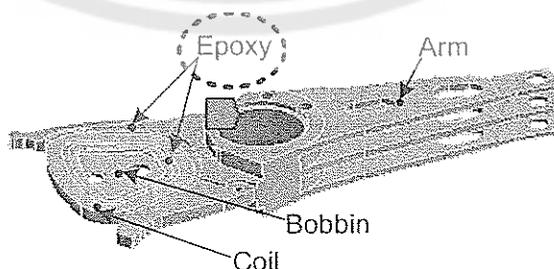
กรณีศึกษา

การศึกษาเกี่ยวกับปัญหาเรโซแนนซ์จำเป็นต้องวิเคราะห์หาความถี่ธรรมชาติของรูปแบบการสั่นสะเทือนในชิ้นงาน โดยการที่จะสามารถประมาณค่าความถี่ธรรมชาติได้อย่างถูกต้องแม่นยำนั้น ต้องเข้าใจถึงความสัมพันธ์และองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับผลของการสั่นสะเทือน โดยเนื้อหานี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของค่าความถี่ธรรมชาติในรูปแบบการสั่นสะเทือนเมื่อมีการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุและลักษณะทางโครงสร้างของชิ้นงานด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม ANSYS และยืนยันผลโดยการวัดด้วยเครื่องแอลดีวี

1. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ

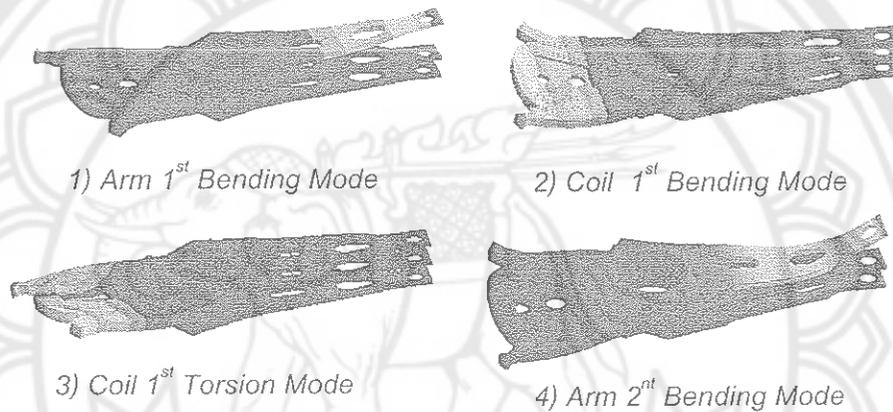
จากการศึกษาทฤษฎีการสั่นสะเทือนทางโครงสร้างพบว่า เมื่อคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้ค่าความถี่ธรรมชาติในระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย จากเหตุผลดังกล่าว วัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ก็อาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาเรโซแนนซ์ขึ้นในระบบได้

ในกรณีนี้ได้ใช้โปรแกรม ANSYS วิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติในรูปแบบการสั่นสะเทือน จากการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุของแขนจับหัวอ่าน/เขียนแบบหลายแขนในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยทำการปรับค่าโมดูลัสของยังและค่าความหนาแน่นในส่วนของกาวอีพ็อกซี ซึ่งเป็นส่วนที่สามารถปรับเปลี่ยนคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุได้ง่ายที่สุดในสภาวะงานจริง ซึ่งกาวอีพ็อกซีนี้จะอยู่บริเวณส่วนท้ายของแขนจับหัวอ่าน/เขียนหรือที่เรียกว่าส่วนคอยล์ โดยตำแหน่งของกาวอีพ็อกซีได้แสดงไว้ในภาพ 19



ภาพ 19 ตำแหน่งของกาวอีพ็อกซีในแขนจับหัวอ่าน/เขียนแบบหลายแขน

การศึกษาได้ทำการวิเคราะห์ที่ย่านความถี่ 1,000 – 6,500 Hz ซึ่งจะได้รูปแบบของการสั่นสะเทือนที่ใช้ในการเปรียบเทียบอยู่ด้วยกัน 4 โหมด คือ โหมดที่ 1 เป็นลักษณะของการงอตัวลำดับแรกในส่วนของปลายแขนอ่าน (Arm 1st Bending Mode) โหมดที่ 2 เป็นลักษณะของการงอตัวลำดับแรกในส่วนของคอยล์ (Coil 1st Bending Mode) โหมดที่ 3 เป็นลักษณะของการบิดตัวลำดับแรกในส่วนของคอยล์ (Coil 1st Torsion Mode) และโหมดที่ 4 เป็นลักษณะของการงอตัวลำดับที่สองในส่วนของแขนอ่าน (Arm 2nd Bending Mode) โดยลักษณะของรูปแบบการสั่นสะเทือนทั้ง 4 โหมดได้แสดงในภาพ 20 ตามลำดับ



ภาพ 20 รูปแบบการสั่นสะเทือนของแขนจับหัวอ่าน/เขียนแบบหลายแกนที่ใช้เปรียบเทียบผลจากการปรับคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ

1.1 การปรับค่าโมดูลัสของยังของกาวอีพ็อกซี

การวิเคราะห์จะกำหนดเงื่อนไขให้มีการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ โดยเพิ่มค่าโมดูลัสของยังในส่วนของกาวอีพ็อกซี จาก 1.45-7 GPa โดยกำหนดให้กรณีที่ 1 (A) ใช้ค่าโมดูลัสของยังค่าเดิมของชิ้นงานที่ 1.45 GPa กรณีที่ 2 (A1) เพิ่มค่าโมดูลัสของยังเป็น 3 GPa กรณีที่ 3 (A2) เพิ่มค่าโมดูลัสของยัง เป็น 5 GPa และกรณีที่ 4 (A3) เพิ่มค่าโมดูลัสของยัง เป็น 7 GPa ตามลำดับ

1.2 การปรับค่าความหนาแน่นของกาวอีพ็อกซี

การวิเคราะห์ก็ได้กำหนดเงื่อนไขให้มีการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ โดยเพิ่มค่าความหนาแน่นในส่วนของกาวอีพ็อกซี จาก 720-5,500 kg/m³ โดยกรณีที่ 1 (B) ใช้ค่าความหนาแน่นค่าเดิมของชิ้นงานที่ 720 kg/m³ กรณีที่ 2 (B1) เพิ่มค่าความหนาแน่นเป็น 2,500 kg/m³

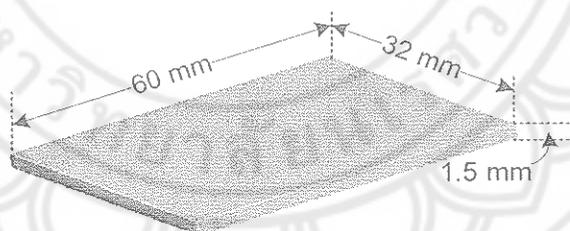
กรณีนี้ที่ 3 (B2) เพิ่มค่าความหนาแน่นเป็น $4,000 \text{ kg/m}^3$ และกรณีนี้ที่ 4 (B3) เพิ่มค่าความหนาแน่นเป็น $5,500 \text{ kg/m}^3$ ตามลำดับ

2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของชิ้นงาน

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุรวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของชิ้นงานย่อมก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติในระบบ แต่ค่าความถี่จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้นย่อมขึ้นอยู่กับอีกหลายปัจจัย ดังนั้นในกรณีนี้จึงทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของชิ้นงานโดยเริ่มจากการวิเคราะห์โครงสร้างของคาน (Beam) ก่อน เนื่องจากคานมีลักษณะทางโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน และสามารถใช้เป็นแนวทางที่จะศึกษาการสั่นสะเทือนในลักษณะโครงสร้างที่มีความซับซ้อนของแขนจับหัวอ่าน/เขียนในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้ต่อไป

2.1 การยึดตัวของคานทดสอบ

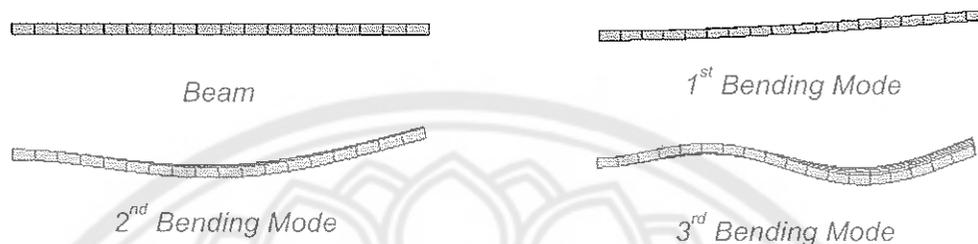
ในเบื้องต้นเป็นการหาค่าความถี่ธรรมชาติจากการสั่นสะเทือนของคาน โดยการคำนวณจากสมการ 2.44 และจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ANSYS โดยได้สร้างแบบจำลองคานที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งมีความกว้าง 32 mm ยาว 60 mm และหนา 1.5 mm ใช้วัสดุ Aluminum Wrought Alloys (6061-T6) และกำหนดเงื่อนไขการเคลื่อนที่ของคานเป็นแบบคานยึด (Cantilever Beam) ดังแสดงในภาพ 21 ซึ่งเป็นลักษณะของคานที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพ 21 ลักษณะของคานทดสอบ

การศึกษาจะทำการขยายความยาวของคาน (Extension of Beam) จากเดิมที่ยาว 60 mm โดยเพิ่มความยาวขึ้นครั้งละ 5 mm จนถึง 100 mm ซึ่งคุณสมบัติอื่นยังคงเดิม แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติเพื่อหาความสัมพันธ์ของผล การสั่นสะเทือน และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณกับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ANSYS ในรูปแบบการสั่นสะเทือน Bending Modes ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 ลำดับ คือ โหมดการงอตัวลำดับแรก (1^{st} Bending Mode), โหมดการงอตัวลำดับที่

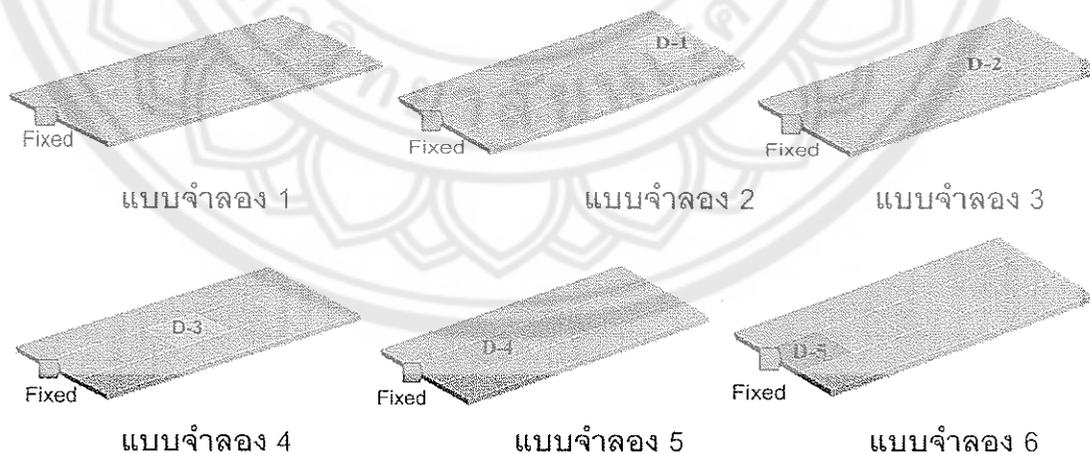
สอง (2nd Bending Mode) และโหมดการงอตัวลำดับที่สาม (3rd Bending Mode) โดยลักษณะของรูปแบบการสั่นสะเทือนดังกล่าวได้แสดงในภาพ 22



ภาพ 22 รูปแบบการสั่นสะเทือนในโหมดการงอตัวของคานยึด

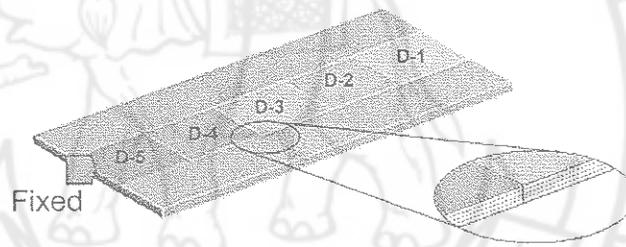
2.2 การติดตั้งแดมเปอร์บนคานทดสอบ

ในกรณีนี้จะวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของคานทดสอบเดิมจากภาพ 21 โดยทำการติดตั้งแดมเปอร์ (Damper) ไว้บนคานทดสอบซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 5 ตำแหน่งดังแสดงในภาพ 23 โดยแบบจำลองที่ 1 จะปราศจากการติดตั้งแดมเปอร์ ส่วนแบบจำลองที่ 2 ถึงแบบจำลองที่ 6 จะเริ่มจากการติดตั้งแดมเปอร์ที่ปลายสุดของคานที่ตำแหน่ง D-1 แล้วเลื่อนเข้ามาที่ตำแหน่ง D-2, D-3, D-4 และ D-5 ตามลำดับ

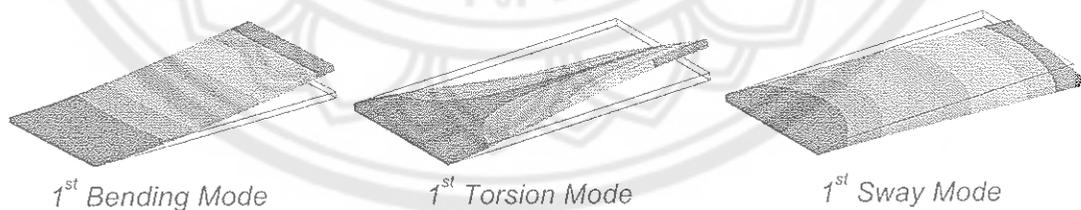


ภาพ 23 ตำแหน่งของตัวแดมเปอร์บนคานทดสอบ

จากลักษณะทางโครงสร้างของคานซึ่งใช้วัสดุ Aluminum Wrought Alloys (6061-T6) ทำให้คานมีน้ำหนักมวล (Mass) 7.77 g แต่ลักษณะทางโครงสร้างของตัวแดมเปอร์มีขนาดกว้าง 6 mm ยาว 6 mm และหนา 3×10^{-3} mm ใช้วัสดุ Stainless Steel ทำให้ตัวแดมเปอร์มีน้ำหนักมวลเพียง 3.28×10^{-3} g จะเห็นว่าน้ำหนักมวลของตัวแดมเปอร์เมื่อเทียบกับคานแล้วมีค่าน้อยมาก ซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติของคานเพียงเล็กน้อย ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้ทำการเพิ่มความหนาของตัวแดมเปอร์ขึ้นครึ่งละหนึ่งเท่าหรือครึ่งละ 3×10^{-3} mm ดังแสดงในภาพ 24 เพื่อให้ปริมาณของมวลในตัวแดมเปอร์เพิ่มขึ้นจากเดิมที่ 3.28×10^{-3} g ไปจนถึง 16.41×10^{-3} g แล้วสังเกตผลการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติในรูปแบบการสั่นสะเทือนของคาน โดยจะเปรียบเทียบอยู่ด้วยกัน 3 โหมดคือ 1st Bending Mode, 1st Torsion Mode และ 1st Sway Mode โดยลักษณะของการสั่นสะเทือนที่ใช้เปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติก็ได้แสดงไว้ในภาพ 25



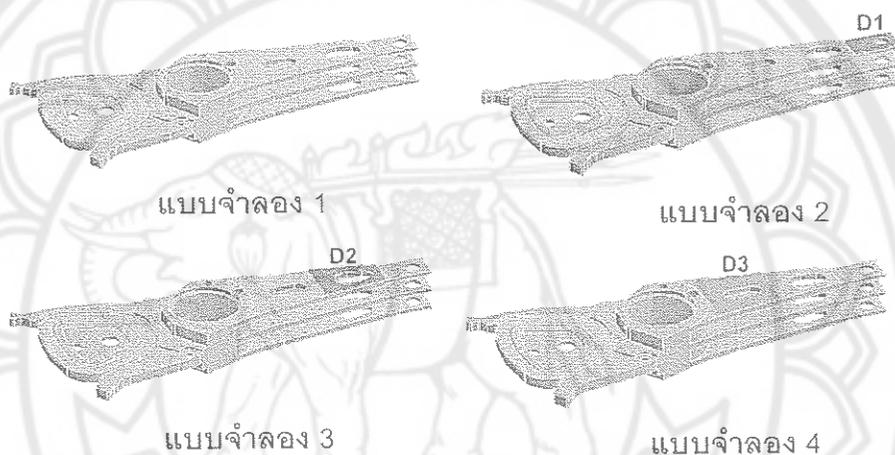
ภาพ 24 ลักษณะการเพิ่มความหนาเพื่อเพิ่มมวลของตัวแดมเปอร์



ภาพ 25 รูปแบบการสั่นสะเทือนของคานที่ใช้เปรียบเทียบผลจากการติดตัวแดมเปอร์

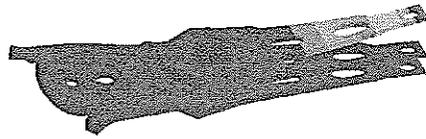
2.3 การติดตัวแถมเปอร์บนแขนจับหัวอ่าน/เขียนแบบหลายแขน

การศึกษารณีนี้จะวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของแขนจับหัวอ่าน/เขียนแบบหลายแขนที่มีการติดตัวแถมเปอร์ไว้บนท่อนแขนชั้นบนซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 ตำแหน่ง โดยแบบจำลองที่ 1 จะปราศจากการติดตัวแถมเปอร์ แบบจำลองที่ 2 จะติดตัวแถมเปอร์ที่ปลายสุดของแขนอ่านที่ตำแหน่ง D1 ส่วนแบบจำลองที่ 3 จะติดตัวแถมเปอร์ไว้ตรงกลางของแขนอ่านที่ตำแหน่ง D2 และแบบจำลองที่ 4 จะติดตัวแถมเปอร์ไว้ส่วนท้ายสุดของแขนอ่านซึ่งใกล้กับบริเวณที่ทำการยึดติดที่ตำแหน่ง D3 โดยตำแหน่งของการติดตัวแถมเปอร์ได้แสดงไว้ในภาพ 26

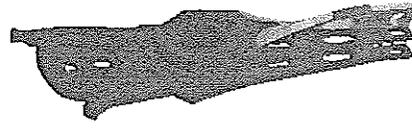


ภาพ 26 ตำแหน่งของตัวแถมเปอร์บนแขนจับหัวอ่าน/เขียนแบบหลายแขน

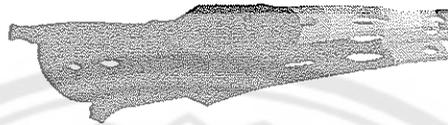
งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม ANSYS ในการวิเคราะห์แล้วทดสอบจริงด้วยเครื่องแอลดีวี โดยนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบซึ่งจะแสดงเฉพาะลำดับแรกๆของรูปแบบการสั่นสะเทือนซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 โหมด คือ Arm 1st Bending Mode, Arm 1st Torsion Mode และ Arm 1st Sway Mode โดยลักษณะของรูปแบบการสั่นสะเทือนได้แสดงไว้ในภาพ 27



Arm 1st Bending Mode



Arm 1st Torsion Mode



Arm 1st Sway Mode

ภาพ 27 รูปแบบการสั่นสะเทือนของแขนจับหัวอ่าน/เขียนแบบหลายแขนที่ใช้เปรียบเทียบ
ผลจากการติดตัวแคมเปอร์

