

การศึกษาความสัมพันธ์ของความถี่ธรรมชาติกับของสารยึดติดใน Pivot Bearing

A Study of the Relation Between the Natural Frequencies and Adhesive's Properties in Pivot Bearing

อารี โคตรภูธร (Aree Khotputorn)¹* ดร.เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต (Dr.Kiatfa Tangchaichit)**

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาความสัมพันธ์ของความถี่ธรรมชาติของชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ กับสมบัติทางกายภาพของสารยึดติดที่ใช้ในการประกอบไพลอดแบริง (Pivot Bearing) ซึ่งในที่นี้หมายถึงการวิเคราะห์การศึกษแบ่งออกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกจะใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณศึกษาพฤติกรรมของการไหลของกาวขณะฉีด เมื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของกาว ได้แก่ ความหนืด และความถ่วงจำเพาะ ส่วนที่สองจะใช้รูปร่างของกาวที่ได้ จากส่วนแรกมาวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติของชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ หลังจากใช้กาวยึดไพลอดแบริง จากผลการศึกษาพบว่า 5 โหมดแรกเป็น bending mode และค่าความถี่ธรรมชาติ มีความแตกต่างกันน้อยมาก ส่วนโหมดที่ 6 ที่เป็น sway mode จากนั้นนำผลที่ได้จากทั้งสองการศึกษามาหาความสัมพันธ์ ได้สมการในรูปแบบการพหุนาม

ABSTRACT

This research presents the results of a study into the influence of the adhesive used in the pivot bearing assembly on the natural frequency of vibration of the Head Stack Assembly (HSA) of a Hard Disk Drive (HDD). The study was divided into two parts. Firstly the flow behavior of adhesive with different physical properties, such as viscosity and specific gravity, was investigated using Computation Fluid Dynamics (CFD) simulation. Secondly, the study then used Finite Element Analysis (FEA) techniques to analyze the natural frequency of oscillation of the HSA when using the selected adhesive. The first 6 natural frequencies were found. The first 5 modes are bending mode but the 6th mode is a sway mode. There is no significant different of natural frequency in each the first 5 modes but there is slightly different in the 6th mode. The result of the analysis for the 6th mode is a polynomial equation.

คำสำคัญ: ความถี่ธรรมชาติ ไพลอดแบริง ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พลศาสตร์ของไหล

Keywords: The natural frequency, Pivot bearing, Finite element analysis, Fluid Dynamics

¹ Correspondent author : kiatfa@kku.ac.th

* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

คอมพิวเตอร์ เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบันนี้ และหลักการการทำงานของคอมพิวเตอร์จะมีขั้นตอนทำงานพื้นฐานอยู่ 4 ขั้นตอน ได้แก่ รับข้อมูล (Input) ประมวลผลข้อมูล (Processing) จัดเก็บข้อมูล (Storage) และแสดงผลลัพธ์ของข้อมูล (Output) ได้อย่างมีประสิทธิภาพให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง และมีความแม่นยำสูง

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูล ที่เรียกว่า ฮาร์ดดิสก์ ฮาร์ดดิสก์เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่ง ในคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านฮาร์ดดิสก์ได้พัฒนาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งความจุที่เพิ่มมากขึ้น และความเร็วรอบที่สูงขึ้น ทั้งนี้ฮาร์ดดิสก์ยังถือได้ว่าเป็นสินค้าส่งออก และสามารถสร้างรายได้เป็นอันดับต้นรองจากสินค้าประเภท รถยนต์ อุปกรณ์ และส่วนประกอบของรถยนต์ ให้แก่ประเทศไทยเป็นอย่างมาก [1] จึงทำให้บริษัทที่ผลิตชิ้นส่วนทางด้านฮาร์ดดิสก์เห็นความสำคัญ และมีความต้องการจะผลิตฮาร์ดดิสก์ที่มีขนาดกะทัดรัด แต่มีประสิทธิภาพในเชิงความจุและความเร็วรอบที่สูงขึ้น ทำให้มีการทำการวิจัยและพัฒนาในเรื่องนี้เป็นที่แพร่หลาย

ส่วนประกอบที่สำคัญของฮาร์ดดิสก์ที่ทำหน้าที่ในการเขียน/อ่านข้อมูล ได้แก่ ชุดหัวอ่าน/เขียน ซึ่งจะติดตั้งบนแกนของ Pivot Bearing และ จะเคลื่อนที่เพื่อค้นหาข้อมูลด้วยตัวขับเคลื่อนที่เรียกว่า Voice Coil Motor (VCM) ชุดหัวอ่าน/เขียน จะประกอบไปด้วย หัวอ่าน/เขียน (Read/Write Head), สไลเดอร์ (Slider), ชัสเพนชัน (Suspension), แขนของชุดหัวอ่าน/เขียน (Actuator arm) และ Voice Coil ชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ยึดติดเบร้งกับแกนของชุดหัวอ่าน/เขียน และลดการสั่นสะเทือนในการทำงานของชุดหัวอ่าน/เขียนขณะการอ่านข้อมูลเรียกว่า ทิริง (T-Ring) แต่ปัญหาที่พบในการใช้ทิริงคือ เมื่ออุณหภูมิภายในฮาร์ดดิสก์สูงขึ้นจะส่งผลให้ทิริงเกิดการขยายตัว และทำให้ค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ของชิ้นส่วนเปลี่ยนแปลงไป อาจส่งผลให้เกิดการสั่นพ้อง (Resonance) ของชิ้นส่วนในระหว่างการทำงาน ซึ่งอาจทำให้การอ่านข้อมูลมีความไม่แม่นยำตามไปด้วย

เพื่อแก้ไขปัญหาอันเกิดจากพฤติกรรมดังกล่าวของทิริง (Tolerance ring : T-ring) จึงได้มีการนำกาวยูวีที่มีคุณสมบัติยึดติดระหว่างโลหะได้ดีกว่ากาวชนิดอื่น [2] อีกทั้งยังทนความร้อนได้ดี และมีราคาถูกกว่ามาใช้แทนทิริง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาพฤติกรรมของกาวยูวีที่เหมาะสม โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขั้นสูง เพื่อจำลองพฤติกรรมของกาวยูวีที่นำมาใช้แทนทิริงในการยึดเบร้งกับแกนของชุดหัวอ่าน/เขียน เพื่อนำมาใช้คำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติในการคำนวณจะใช้แบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ANSYS 14.5 ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และไฟไนต์วอลูม ในการวิเคราะห์และประมวลผลทางกราฟฟิค ซึ่งสมบัติทางกายภาพของกาวยูวีที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ค่าความหนืด (Viscosity) และค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ และคุณสมบัติทางกลของวัสดุเดียวกัน เพื่อศึกษาผลกระทบของสมบัติดังกล่าวต่อค่าความถี่ธรรมชาติและรูปร่างโหมด (Mode Shape) ของการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานของฮาร์ดดิสก์

จากปัญหาที่เกิดขึ้นจากการอ่านและเขียนข้อมูลจากการเขียน/อ่านข้อมูล จึงมีการศึกษาปัจจัยที่มีผลการเขียน/อ่านข้อมูล [3] ได้มีการศึกษาวิธีการทำนายการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งและการเสียหายของส่วนประกอบแอกทูเอเตอร์ระหว่างการตก เมื่อฮาร์ดดิสก์ตกลงมาจากที่สูงขณะที่กระแทกพื้น ชัสเพนชันจะกระแทกขึ้นลง หลังจากทดลองพบว่า ความแข็งแรงของไพวอตเบร้ง ซึ่งเป็นชิ้นส่วนของแอกทูเอเตอร์เกิดความเสียหาย ซึ่งในการจำลองจะใช้คานาดัดสปริงบิดและสปริงเลื่อนที่ปลายคานาเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของความแข็งแรงของไพวอตเบร้ง [4-6] พบว่าการสั่นสะเทือนของแกนหัวอ่าน/เขียน ที่เกิดจากความเร็วรอบของจานหมุน และเกิดจากเสีรูปร่างการประกอบชุดหัวอ่าน/เขียน มีผลต่อความ

แม่นยำของการอ่าน/เขียนข้อมูล โดยทำการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ยอมรับนำมาใช้ในมาวิเคราะห์การทำงานจริงของชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ [7-8] ได้มีการศึกษาการนำสารยึดติดมาใช้ในกระบวนการประกอบ HGA พบว่ากาวชนิดอีพอกซี และ กาวยูวีมีคุณสมบัติเหมาะสมกับการประกอบชิ้นงาน เพราะมีความแข็งแรงยึดติดได้แน่นมากและทนความร้อนได้ดี และความเข้มของแสงยูวีที่เหมาะสมอยู่ที่ช่วง 400-480 W/cm² เป็นช่วงความเข้มที่ทำให้คุณสมบัติเชิงกลมีประสิทธิภาพดีที่สุด

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย คือ ศึกษาผลกระทบของสมบัติทางกายภาพของกาวยูวีต่อความถี่ธรรมชาติของชุดหัวอ่าน/เขียนในการประกอบ

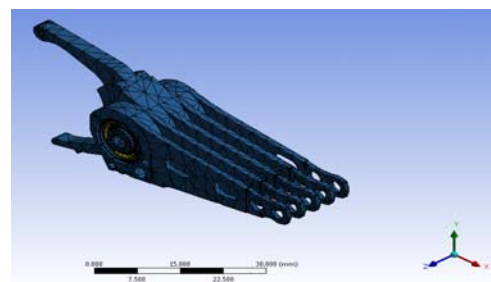
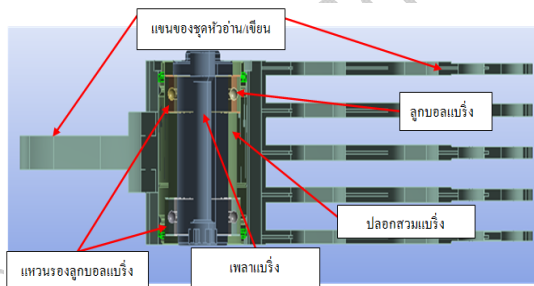
วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ANSYS 14.5 ในการวิเคราะห์หาค่าความถี่ธรรมชาติที่เกิดขึ้น เมื่อใช้กาวยูวีแทนที่ริงในการยึดติดเบริงกับแกนของชุดหัวอ่าน/เขียน (Head Stack Assembly: HSA) ของฮาร์ดดิสก์ที่มีขนาด 3.5 นิ้ว มี 8 หัวอ่าน/เขียน โดยทำการปรับเปลี่ยนสมบัติทางกายภาพของกาวยูวี ได้แก่ ค่าความหนืด และค่าความถ่วงจำเพาะ

กระบวนการดำเนินงานวิจัยนี้ประกอบด้วย การเลือกแบบจำลองแกนของชุดอ่าน/เขียน การสร้างแบบจำลอง 2 มิติเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลเบื้องต้นของกาวยูวี และการสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าความถี่ธรรมชาติ

1. การเลือกแบบจำลองแกนของชุดอ่าน/เขียน

แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้เป็นชิ้นส่วนของแกนของชุดหัวอ่าน/เขียน (Head Stack Assembly : HSA) ที่มีขนาด 3.5 นิ้ว มี 8 หัวอ่าน/เขียน โดยมีส่วนประกอบได้แก่ แกนของชุดหัวอ่าน/เขียน (Actuator arm) ปลายสวมเบริง (Bearing Sleeve) แหวนรองลูกบอลเบริง (Bearing Race) ลูกบอลเบริง (Bearing Ball) และเพลาเบริง (Bearing Shaft) แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 หน้าที่ดของส่วนประกอบต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ ภาพที่ 2 การแบ่งเอลิเมนต์ของแบบจำลองแกนของ HSA

เมื่อทำการเลือกแบบจำลองแกนของหัวอ่าน/เขียนแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การนำกระบวนการไฟไนต์เอลิเมนต์มาช่วยในการคำนวณ โดยการเลือกชนิดของเอลิเมนต์และการแบ่งเอลิเมนต์ ในขั้นตอนนี้หากสามารถเลือกชนิดของเอลิเมนต์และการแบ่งเอลิเมนต์ได้เหมาะสมและสอดคล้องกับความเป็นจริงของชิ้นงานมากที่สุด จะทำให้ค่าที่คำนวณได้มีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างของการเลือกชนิดและการแบ่งเอลิเมนต์ที่เหมาะสม

เมื่อทำการเลือกชนิดและแบ่งเอลิเมนต์แล้ว จำนวนของเอลิเมนต์ที่แบ่งออกมาในแต่ละส่วนจะไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับรูปร่างและลักษณะของส่วนประกอบ เช่น จำนวนเอลิเมนต์ของแบบจำลองแกนของหัวอ่าน/เขียนของ

แบบจำลองเป็นเอลิเมนต์ชนิด Quadratic Tetrahedron จำนวน 52,679 เอลิเมนต์ เป็นต้น ข้อมูลเบื้องต้นของการแบ่งเอลิเมนต์ในงานวิจัยนี้แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลเบื้องต้นของการแบ่งเอลิเมนต์

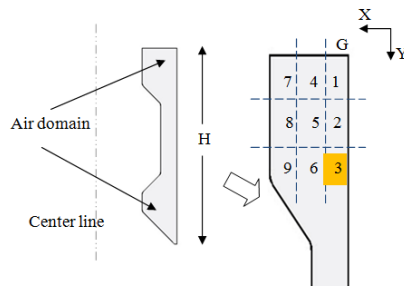
คำอธิบาย	จำนวน	หน่วย
จำนวนจุดต่อทั้งหมด (Nodes)	102,767	จุดต่อ
จำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมด (Elements)	76,724	เอลิเมนต์
จำนวนเอลิเมนต์ของรูปทรง (Body elements)	52,679	เอลิเมนต์
จำนวนเอลิเมนต์ของผิวสัมผัส (Contact elements)	24,045	เอลิเมนต์
จำนวนชนิดของเอลิเมนต์ (Element types number)	7	

2. การกำหนดสมบัติทางกายภาพของกาวยูวี

การกำหนดสมบัติทางกายภาพของกาวยูวี แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

2.1 การกำหนดให้ค่าของสมบัติต่าง ๆ คงที่ ได้แก่

กำหนดตำแหน่งหัวฉีดที่มีการกระจายตัวของกาวยูวี ที่มีปริมาณของกาวยูวีบนพื้นผิวแข็งมากที่สุด [7] คือ ตำแหน่งของหัวฉีดกาวยูวี ที่พิกัด (0.1, 0.3) แสดงดังในภาพที่ 3 จึงเป็นที่มาในการเลือกตำแหน่งดังกล่าวในการวิเคราะห์ และปริมาณกาวยูวีที่ใช้ กำหนดให้เป็น 7 มิลลิกรัม



ภาพที่ 3 ค่าตำแหน่งของหัวฉีดกาวยูวี (0.1, 0.3) [7]

2.2 การกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

- ค่าความหนืด (ν) ที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติทางกายภาพของกาวยูวี ได้แก่ $\nu = 10,000, 20,000, 30,000, 40,000, 50,000$ และ $60,000$ โดยความหนืดมีหน่วยเป็น cps (centipoises)
- ค่าความถ่วงจำเพาะ (SG) ที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนสมบัติทางกายภาพของกาวยูวี ได้แก่ $SG = 1.12, 1.13, 1.14, 1.15, 1.16$ และ 1.17

3. การสร้างแบบจำลอง 2 มิติเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลเบื้องต้นของกาวยูวี

การสร้างแบบจำลองที่นำมาวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลเบื้องต้นของกาวยูวีในขณะที่ถูกฉีดเข้าระหว่างเบร้งและแขนของชุดหัวอ่าน/เขียน เพื่อให้ง่ายต่อการสร้างแบบจำลองเบื้องต้น โดยจะทำการสร้างแบบจำลอง 2 มิติและแบ่งเอลิเมนต์เป็นแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular) มีความสมมาตรรอบแกนหมุนแทนการวิเคราะห์แบบ 3 มิติ เนื่องจากกาวยูวี

เมื่อถูกฉีดออกมาจากหัวฉีดเพื่อยึดติดระหว่างแขนของหัวอ่าน/เขียนกับแบร์ริงมีลักษณะเป็นของไหลแบบอัดตัวไม่ได้ ก่อนการทำให้แข็งตัวโดยการแสงยูวี ดังนั้นจึงเลือกใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ในการสร้างแบบจำลอง โดยใช้โปรแกรม ANSYS CFX ในการวิเคราะห์ ANSYS CFX เป็นโปรแกรมใช้การวิเคราะห์ทางด้านพลศาสตร์ของไหล (fluid dynamics) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหล

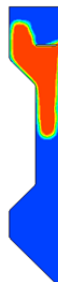
การสร้างแบบจำลอง 2 มิติเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลเบื้องต้นของกาวยูวี

3.1 การกำหนดเงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลเบื้องต้นของกาวยูวี

- 1) สร้างแบบจำลองเพื่อทำการวิเคราะห์การกระจายตัวของสารยึดติด
- 2) ใช้เอลิเมนต์แบบ 2 มิติ สมมาตรรอบแกนหมุนในการวิเคราะห์
- 3) ใช้เอลิเมนต์เป็นแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular)
- 4) ใช้ปริมาณสารยึดติด 7 มิลลิกรัม
- 5) หัวฉีดสารยึดติดมีพิกัดจากจุดอ้างอิง (0.1, 0.3) มิลลิเมตร
- 6) สมบัติทางกายภาพของกาวยูวีที่จะทำการศึกษา ได้แก่ ค่าความหนืด และค่าความถ่วงจำเพาะ
- 7) อุณหภูมิที่ใช้ในการวิเคราะห์ คัดที่อุณหภูมิห้อง
- 8) เงื่อนไขขอบเขต กาวยึดติดกับผิวข้างอย่างสมบูรณ์เต็มพื้นที่เมื่อกาวแข็งตัวแล้ว

3.2 ผลวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลเบื้องต้นของกาวยูวี

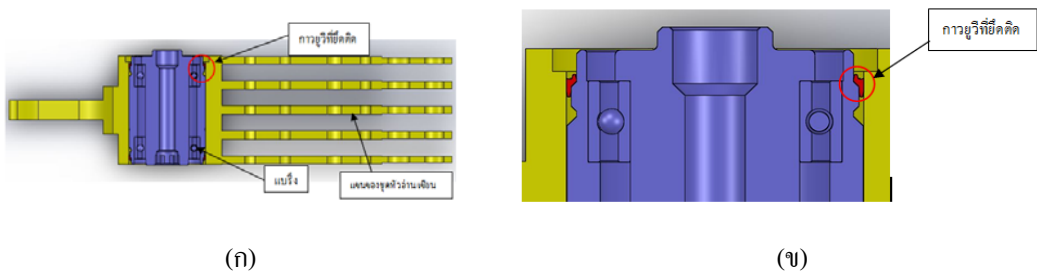
ผลวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลเบื้องต้นของกาวยูวี ทำให้ทราบถึงลักษณะของกาวยูวีที่กระจายตัวและตำแหน่งการยึดติดที่อยู่บนพื้นผิวระหว่างแบร์ริงและแขนของชุดหัวอ่าน/เขียน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของกาวยูวี โดยใช้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ในการคำนวณ ซึ่งผลของการกระจายตัวของกาวยูวีและตำแหน่งการยึดติดในรูปแบบ 2 มิติ จะแสดงในภาพที่ 4 แสดงลักษณะการยึดติดของกาวยูวีที่อยู่บนพื้นผิวระหว่างแบร์ริงและแขนของชุดหัวอ่าน/เขียน ที่ความหนืด 20,000 cps และความถ่วงจำเพาะ 1.17



ภาพที่ 4 ลักษณะการยึดติดของกาวยูวีที่อยู่บนพื้นผิวระหว่างแบร์ริงและแขนของชุดหัวอ่าน/เขียน ที่ความหนืด 20,000 cps และความถ่วงจำเพาะ 1.17

4. การสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าความถี่ธรรมชาติ

เมื่อทำการสร้างแบบจำลอง 2 มิติ แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการสร้างแบบจำลอง 3 มิติของลักษณะและตำแหน่งยึดติดของกาวยูวี โดยใช้โปรแกรม SolidWorks แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 (ก) แบบจำลอง 3 มิติของลักษณะและตำแหน่งยึดติดของกาวยูวี

(ข) ภาพขยายแบบจำลอง 3 มิติของลักษณะตำแหน่งยึดติดของกาวยูวี

ในการสร้างแบบจำลองที่นำมาวิเคราะห์หาค่าความถี่ธรรมชาติของแบบจำลองแกนของชุดหัวอ่าน/เขียนที่ใช้กาวยูวีในการประกอบแทนที่ริง เพื่อศึกษาถึงโอกาสในการเสียหายของงานประกอบด้วยกาวยูวี และความแข็งแรงของกาวยูวี ซึ่งความถี่ธรรมชาตินี้ถือว่าเป็นปริมาณที่มีความสำคัญมาก ในการออกแบบความถี่ธรรมชาติและรูปร่างของโหมด (Mode Shape) ของการสั่นสะเทือนนั้นสามารถหาได้ด้วยวิธีการคำนวณโดยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ ทั้งนี้ได้กำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary conditions) ให้สอดคล้องกับลักษณะชิ้นงานจริงมากที่สุด โดยกระบวนการประกอบที่ริงโดยใช้กาวนั้น ในเริ่มต้นจะฉีดกาวเข้าไปในร่องของ HSA จากนั้นจะผ่านกระบวนการอบแสงยูวี หลังจากนั้นกาวจะแข็งตัว (Rigid)

4.1 การกำหนดเงื่อนไขและขอบเขตการวิเคราะห์หาค่าความถี่ธรรมชาติมีดังนี้

- 1) วิเคราะห์แบบชิ้นส่วนงานประกอบ (Assembly analysis)
- 2) เงื่อนไขเริ่มต้นและจุดรองรับของชิ้นงานที่วิเคราะห์นั้น ไม่มีการเคลื่อนที่ กำหนดให้จุดรองรับถูกยึดติดกับพื้น (Fixed)
- 3) การจำลองใช้การวิเคราะห์แบบการเคลื่อนที่ของวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid body) โดยกำหนดเงื่อนไขผิวสัมผัสระหว่างชิ้นงานเป็นเนื้อเดียวกัน (Rigid join bodies together) ดังนี้
 - ผิวของเพลา (Shaft) และแหวนรองลูกบอลด้านใน (Inner bearing race)
 - ผิวของปลอกครอบแบร์ริง (sleeve) และแหวนรองลูกบอลด้านนอก (Outer bearing race)
- 4) การจำลองชิ้นงานต่าง ๆ จะวิเคราะห์โดยใช้เอลิเมนต์แบบเป็นของแข็ง (Solid element)
- 5) กำหนดให้กาวยูวีที่ถูกใส่เข้าไประหว่างปลอกครอบแบร์ริงและแกนของหัวอ่าน/เขียนมีปริมาตรเต็มพื้นที่ช่องว่าง
- 6) กำหนดให้ไม่คิดแรงเสียดทานจากแบบจำลองของลูกบอลแบร์ริง

4.2 คุณสมบัติของกาวที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ Density = 1,170 kg/m³ และ Viscosity = 25,000 cps และคุณสมบัติของวัสดุอื่นที่นำมาวิเคราะห์ แสดงในตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ในการทำนาค่าถี่ธรรมชาติที่เกิดขึ้นของแบบจำลองแกนของชุดหัวอ่าน/เขียน

ลำดับ	ชื่อ	Density [kg/m ³]	Volume [mm ³]	Mass(piece) [mg]	Piece	Total mass [mg]
1	แอกทรูเอเตอร์อาร์ม	2.70 x10 ³	3500.70	9.46 x10 ³	1	9.46 x10 ³
2	สารยึดติดด้านบน	1.17 x10 ³	5.98	7.00	1	7.00
3	สารยึดติดด้านล่าง	1.17 x10 ³	5.98	7.00	1	7.00
4	ลูกบอล	7.81 x10 ³	0.52	4.09	26	1.06 x10 ²
5	แกนกลางหรือเพลลา	8.00 x10 ³	440.24	3.52 x10 ³	1	3.52 x10 ³
6	ปลอกสวมแบร์ริง	8.00 x10 ³	440.90	3.53 x10 ³	1	3.53 x10 ³
7	แหวนรองลูกปืนด้านใน	7.47 x10 ³	27.72	2.07 x10 ²	2	4.14 x10 ²
8	แหวนรองลูกปืนด้านนอก	7.47 x10 ³	39.17	2.93 x10 ²	2	5.85 x10 ²
		รวมทั้งหมด				1.76 x10 ⁴

ตารางที่ 3 สมบัติเชิงกลของวัสดุที่ใช้ในการทำนาค่าความถี่ธรรมชาติที่เกิดขึ้นของแบบจำลองแกนของชุดหัวอ่าน/เขียน

ลำดับ	ชื่อ	Tensile strength (MPa)	Passion ratio	Modulus of Elasticity (MPa)
1	แอกทรูเอเตอร์อาร์ม	310.00	0.33	68,900.00
2	สารยึดติดด้านบน	48.95	0.30	3,447.38
3	สารยึดติดด้านล่าง	48.95	0.30	3,447.38
4	ลูกบอล	2,240.00	0.30	203,300.00
5	แกนกลางหรือเพลลา	620.00	0.25	193,000.00
6	ปลอกสวมแบร์ริง	620.00	0.25	193,000.00
7	แหวนรองลูกปืนด้านใน	469.00	0.30	200,000.00
8	แหวนรองลูกปืนด้านนอก	469.00	0.30	200,000.00

ผลการวิจัย

ผลของการศึกษาของการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของความถี่ธรรมชาติกับสมบัติของกาวยูวีใน Pivot Bearing โดยมีการปรับเปลี่ยนสมบัติทางกายภาพของกาวยูวี ได้แก่ ค่าความหนืด และค่าความถ่วงจำเพาะ จากการวิเคราะห์แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ รายละเอียดแสดงได้ดังต่อไปนี้

เมื่อทำการวิเคราะห์แบบจำลองด้วย FE โดยการเปลี่ยนแปลงความหนืด ($U=10,000, 20,000, 30,000, 40,000, 50,000$ และ $60,000$) และค่าความถ่วงจำเพาะ ($SG = 1.12, 1.13, 1.14, 1.15, 1.16$ และ 1.17) จะได้ค่าความถี่ธรรมชาติ 6 โหมดแรกของค่าความหนืดทั้ง 6 ค่ามีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเปลี่ยนค่าความถ่วงจำเพาะ ตารางที่ 4 แสดงค่าความถี่ธรรมชาติสำหรับความหนืด (U) = 20,000 cps และค่าความถ่วงจำเพาะ (SG) = 1.12, 1.13, 1.14, 1.15, 1.16 และ 1.17 และ

ตารางที่ 5 แสดงค่าค่าความถี่ธรรมชาติสำหรับความถ่วงจำเพาะ (SG) = 1.12 และความหนืด (U) = 10,000, 20,000, 30,000, 40,000, 50,000 และ 60,000 cps จะพบว่า ทั้งความหนืดและค่าความถ่วงจำเพาะไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความถี่ธรรมชาติในโหมดที่ 1 ถึง 5 ซึ่งในโหมดที่ 1 ถึง 5 เป็น Bending Mode แต่ในโหมดที่ 6 จะพบว่า ค่าความถี่ธรรมชาติมีความแตกต่างกันเล็กน้อย แต่มากกว่าความแตกต่างในโหมดที่ 1 ถึง 5 และรูปร่างโหมดในโหมดที่ 6 คือ Sway Mode ดังนั้นจึงจะหาความสัมพันธ์ของค่าความถี่ธรรมชาติที่มีเปลี่ยนแปลง ค่าความหนืดและค่าความถ่วงจำเพาะในโหมดที่ 6 เท่านั้น เพราะมีค่าความแตกต่างของค่าความถี่ธรรมชาติมากกว่าโหมดอื่นๆ โดยคำนวณหาความสัมพันธ์ของความถี่ธรรมชาติ กับความหนืดและความถ่วงจำเพาะ โดยใช้หลักการวิเคราะห์ regression จะได้สมการความสัมพันธ์ในรูปแบบ Polynomial of degree n ดังแสดงในสมการที่ 1

$$f(x, y) = 4342 + (-1.176 * 10^{-5})x + 36.81y \quad (1)$$

โดยที่ $f(x, y)$ = ค่าความถี่ธรรมชาติ (f) มีหน่วย Hz

x = ค่าความหนืด (U) มีหน่วย cps (centipoises)

y = ค่าความถ่วงจำเพาะ (SG)

ตารางที่ 4 ค่าความถี่ธรรมชาติที่หาได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (U) = 20,000 cps และค่าความถ่วงจำเพาะ (SG) = 1.12, 1.13, 1.14, 1.15, 1.16 และ 1.17

Mode	ค่าความถี่ธรรมชาติ (Hz) เมื่อ $U = 20,000$ cps					
	$SG = 1.12$	$SG = 1.13$	$SG = 1.14$	$SG = 1.15$	$SG = 1.16$	$SG = 1.17$
1st Mode	1312.5	1312.5	1312.5	1312.5	1312.5	1312.5
2nd Mode	1314.7	1314.7	1314.7	1314.7	1314.7	1314.7
3rd Mode	1474.8	1474.8	1474.8	1474.8	1474.8	1474.8
4th Mode	1475.7	1475.7	1475.7	1475.7	1475.8	1475.8
5th Mode	1480.2	1480.2	1480.2	1480.2	1480.2	1480.2
6th Mode	4383	4382.3	4383.4	4381.8	4383.7	4389.7

ตารางที่ 5 ค่าความถี่ธรรมชาติสำหรับความถ่วงจำเพาะ (SG) = 1.12 และความหนืด (U) = 10,000, 20,000, 30,000, 40,000, 50,000 และ 60,000 cps

Mode	ค่าความถี่ธรรมชาติ (Hz) เมื่อ $SG=1.12$					
	$U=10,000$	$U=20,000$	$U=30,000$	$U=40,000$	$U=50,000$	$U=60,000$
1st Mode	1312.5	1312.5	1312.5	1312.5	1312.5	1312.5
2nd Mode	1314.7	1314.7	1314.7	1314.7	1314.7	1314.7
3rd Mode	1474.8	1474.8	1474.8	1474.8	1474.8	1474.8
4th Mode	1475.7	1475.7	1475.8	1475.7	1475.8	1475.7
5th Mode	1480.2	1480.2	1480.2	1480.2	1480.2	1480.2
6th Mode	4383	4383	4383.9	4380.9	4383.2	4382

รูปร่าง Mode Shape ของหัวอ่าน/เขียน 6 โหมดแรกแสดงในตารางที่ 6 เมื่อค่าความหนืด (U) = 20,000 cps และ ค่าความถ่วงจำเพาะ (SG) = 1.17 จะพบว่า 5 โหมดแรกเป็น Bending Mode และ โหมดที่ 6 เป็น Sway Mode

Bending Mode คือ โหมดที่มีการสั่นแบบคดในแนวแกน Z

Sway Mode คือ โหมดที่มีการสั่นในระนาบ X-Y

สรุปผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากค่าความถี่ธรรมชาติจำนวน 6 โหมดของแต่ละแบบจำลอง โดยค่าความถี่โหมดที่ 1 ถึง โหมดที่ 5 ของทุกแบบจำลองมีรูปร่างโหมดเป็น Bending Mode คือ โหมดที่มีการสั่นแบบคดในแนวแกน Z โดยมีความถี่อยู่ในช่วง 1312.5-1480.2 Hz และโหมดที่ 6 รูปร่างโหมดเป็น Sway Mode คือ โหมดที่มีการสั่นในระนาบ X-Y โดยมีความถี่ในช่วง 4380.9-4389.7 Hz จากการเปลี่ยนค่าความหนืดและค่าความถ่วงจำเพาะ พบว่า ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความถี่ธรรมชาติในโหมดที่ 1 ถึง โหมดที่ 5 แต่ในโหมดที่ 6 จะพบว่า ค่าความถี่ธรรมชาติมีความแตกต่างกันเล็กน้อย แต่มากกว่าความแตกต่างในโหมดที่ 1 ถึงโหมดที่ 5 ดังนั้นจึงจะหาความสัมพันธ์ของความถี่ธรรมชาติที่มีเปลี่ยนแปลง ค่าความหนืดและค่าความถ่วงจำเพาะในโหมดที่ 6 เท่านั้น เพราะมีค่าความแตกต่างของความถี่ธรรมชาติมากกว่าโหมดอื่นๆ จากนั้นหาความสัมพันธ์หาของความถี่ธรรมชาติกับสมบัติของกาวยูวี ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็นสมการโพลีโนเมียล ดังสมการที่ 1

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก“โครงการพัฒนาศักยภาพบุคลากรเพื่อการวิจัยและพัฒนาสำหรับภาคอุตสาหกรรม (NUI-RC)” โดย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และบริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนด้านข้อมูลในการวิจัย และศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (I/U CRC) และ หน่วยออกแบบเชิงกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

1. Thailand Trading Report [Internet]. 2014. Retrieved July, 2014, from <http://www2.ops3.moc.go.th>
2. Morena JJ. Advanced Composite Mold Making. New York: Van Nostrand Reinhold. Co.Inc; 1988.
3. Fujii Y, Shu DW. Impact force measurement of an actuator of a hard disk drive. International journal of impact engineering. 2008; 35(2): 98-108.
4. Tatewaki M, Tsuda N, Maruyama T. An analysis of disk flutter in hard disk drives in an aerodynamic simulation. IEEE Transactions on magnetic. 2001; 37: 842-846.
5. Phonpai T, Jearsipongkul T. Vibration analysis of Actuator Arm in HDD using FEM and identification using LDV. Journal of KCU Engineering. 2007; 34(4), 477-488. Thai.
6. Kamnerdtong T, Chutima S, Prarirakwijitr J. The Study of HGA Deformations Post Clamping Using Finite Element Analysis. Proceedings of the 21th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand; 2007 Oct 17-19; Chon Buri, Thailand.
7. Ponthep V. Mathematical Modeling for bearing torque analysis and design [PhD thesis]. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2013. Thai.
8. Payhapoh S, Thongkitsiri S. Effect of epoxy on HGA process. Khon Kaen: Khon Kaen University (TH); 2007 Mar. 65 p. Report No.: ChE 2007-05.

ตารางที่ 6 แสดงรูปร่าง Mode Shape ของหัวอ่าน/เขียน 6 โหมดแรก โดยเฉดสีแสดงถึง Total deformation ของ HSA

<p>A: SG=1.17 v=20000 Total Deformation Type: Total Deformation Frequency: 1312.5 Hz Unit: mm 8/7/2014 12:39 PM</p> <p>ANSYS R14.5</p>	<p>A: SG=1.17 v=20000 Total Deformation 2 Type: Total Deformation Frequency: 1314.7 Hz Unit: mm 8/7/2014 12:40 PM</p> <p>ANSYS R14.5</p>
<p>รูปร่าง โหมดที่ 1 (Bending Mode) ของแขนหัวอ่านที่ 1 และ 6 ที่ความถี่ 1312.5 Hz</p>	<p>รูปร่าง โหมดที่ 2 (Bending Mode) ของแขนหัวอ่านที่ 1 และ 6 ที่ความถี่ 1314.7 Hz</p>
<p>A: SG=1.17 v=20000 Total Deformation 3 Type: Total Deformation Frequency: 1474.8 Hz Unit: mm 8/7/2014 12:40 PM</p> <p>ANSYS R14.5</p>	<p>A: SG=1.17 v=20000 Total Deformation 4 Type: Total Deformation Frequency: 1475.8 Hz Unit: mm 8/7/2014 12:41 PM</p> <p>ANSYS R14.5</p>
<p>รูปร่าง โหมดที่ 3 (Bending Mode) ของแขนหัวอ่านที่ 2 และ 4 ที่ความถี่ 1474.8 Hz</p>	<p>รูปร่าง โหมดที่ 4 (Bending Mode) ของแขนหัวอ่านที่ 2 และ 4 ที่ความถี่ 1475.8 Hz</p>
<p>A: SG=1.17 v=20000 Total Deformation 5 Type: Total Deformation Frequency: 1480.2 Hz Unit: mm 8/7/2014 12:41 PM</p> <p>ANSYS R14.5</p>	<p>A: SG=1.17 v=20000 Total Deformation 6 Type: Total Deformation Frequency: 4389.7 Hz Unit: mm 8/7/2014 12:42 PM</p> <p>ANSYS R14.5</p>
<p>รูปร่าง โหมดที่ 5 (Bending Mode) ของแขนหัวอ่านที่ 2 และ 4 ที่ความถี่ 1480.2 Hz</p>	<p>รูปร่าง โหมดที่ 6 (Sway Mode) ของแขนหัวอ่านทั้ง 5 หัวอ่าน ที่ความถี่ 4389.7 Hz</p>