



การศึกษาปัจจัยการผลิตในขั้นตอนการประกอบชุดจับยึดด้านบนที่ทำให้เกิดการ  
สั่นสะเทือนจากการหมุนของจานบันทึกข้อมูลด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

The Study of Production Factors of Top Clamp Assembly Affecting Vibration of  
Hard Disc Drives Using Finite Element Analysis

สรวุฒิ รุ่งพิพัฒน์พงศ์<sup>1</sup> รศ.ดร.สุรเชษฐ์ ชุตินา<sup>2</sup> และ ดร.อนันท์วิทย์ ตูจินดา<sup>3</sup>  
Sorawut Rungpiputtanapong,<sup>1</sup> Assoc. Prof. Dr. Surachate Chutima<sup>2</sup> and  
Dr. Anantawit Tuchinda<sup>3</sup>

<sup>1</sup> นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
<sup>2</sup> Ph.D. (Mechanical Engineering) รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
<sup>3</sup> Ph.D. (Mechanical Engineering) อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทคัดย่อ

ปัญหาการสั่นสะเทือนของจานบันทึกข้อมูลอันเนื่องมาจากการประกอบชุดจับยึดด้านบน (Top Clamp) ไม่รวมศูนย์ เป็นปัญหาหนึ่งซึ่งพบมากในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และเป็นสาเหตุที่ทำให้การอ่าน/เขียนข้อมูลผิดพลาด นอกจากนี้ ยังอาจทำให้เกิดเสียงรบกวนขณะทำงาน ด้วยสาเหตุดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis) เพื่อศึกษาถึงผลกระทบจากปัจจัยทางการผลิต คือ ระยะเวลาเยื้องศูนย์ตามระยะเว้นบวกรู ระยะเวลาชั้นสกรู และการที่แกนหมุนเอียงที่มี ต่อพฤติกรรมการสั่นสะเทือนเนื่องจากการหมุนของจานบันทึกข้อมูล โดยพิจารณาฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาด 2.5 in. ที่มีระยะเยื้องศูนย์ 0.035 0.0525 และ 0.070 mm (ระยะเว้นบวกรูสูงสุด) และระยะเวลาชั้นสกรู 0.24 และ 0.35 mm จากการศึกษาพบว่า ระยะเวลา ชั้นสกรูส่งผลต่อค่าการสั่นสะเทือนไม่มากนัก ในขณะที่การประกอบเยื้องศูนย์ที่มากขึ้นจะทำให้ค่าแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือน เพิ่มขึ้นด้วย โดยที่ระยะเยื้องศูนย์ 0.0525 mm จะมีค่ามวลไม่สมดุล 9.214 mg.cm ซึ่งถือว่าเกินกว่าเกณฑ์ 8 mg.cm ที่กำหนดไว้แต่ เมื่อพิจารณาค่าดังกล่าวบนแกนหมุนที่มีความเอียง 0.01 องศาพบว่า ค่ามวลไม่สมดุล เพิ่มขึ้นเป็น 22.29 mg.cm ดังนั้น การประกอบ เยื้องศูนย์จึงเป็นปัจจัยทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขณะหมุนของฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 in. และแกนหมุนที่เอียงจะขยายค่าการสั่นสะเทือน ซึ่งส่งผลเสียต่อผลิตภาพ

คำสำคัญ : ความไม่สมดุลของจานบันทึกข้อมูล การสั่นสะเทือน ชุดจับยึดด้านบน ไฟไนต์เอลิเมนต์ เยื้องศูนย์



## ABSTRACT

A high level of vibration due to eccentricity between a top clamp and a media arisen during a top clamp assembly process, is one of the concerns in the hard disc drive industry as it could lead to read/write errors. Furthermore, it generates unpleasant noise while hard disc drive is in operation. As a consequence, this research applied the Finite Element Analysis to investigate effects of production assembly namely; eccentricity between a top clamp and a media, a collapse phase of a top clamp and a tilted rotating axis on vibration characteristics of hard disc drives. The simulations of 2.5 inches hard disc drives with three eccentric values: 0.035, 0.0525 and 0.070 mm. (maximum allowable clearance) and the collapse phase of 0.24 and 0.35 mm., were used. It has been found that the collapse phase has insignificant effect on disc vibration, whereas, the more eccentricity the higher the vibration amplitude would be. With the allowable clearance of 0.0525 mm., the unbalance of the assembly was at 9.241 mg.cm which exceeded the specified value at 8.0 mg.cm. In addition, the unbalance of the assembly reached 22.29 mg.cm when the disc with tilted rotating axis was rotated at 0.01 degree. Thus, eccentric assembly is the essential cause of vibration of 2.5 inches discs and a tilted rotating axis would enhance the vibration which has a negative influence on productivity.

**Keywords:** Disc Unbalance, Vibration, Top Clamp, Finite Element Analysis and Eccentric

## บทนำ

การแก้ไขการสั่นสะเทือนในกระบวนการประกอบชุดจับยึดด้านบน (Top Clamp Assembly Process) เป็นขั้นตอนที่สำคัญกระบวนการหนึ่ง เนื่องจากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในฮาร์ดดิสก์อาจทำให้การอ่าน/เขียนข้อมูลผิดพลาด และมีเสียงรบกวนขณะทำงาน ค่าการสั่นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว ที่นำมาศึกษานี้ถูกวัดออกมาในรูปแบบไม่สมดุลหน่วยเป็นมิลลิกรัมเซนติเมตรโดยวัดการสั่นสะเทือนหลังจากการประกอบชุดจับยึดด้านบนซึ่งเริ่มจากการวางจานบันทึกข้อมูลลงบนสปินเดิลมอเตอร์ แล้ววางชุดจับยึดด้านบนพร้อมทั้งชั้นสกรูเพื่อจับยึด และวัดการสั่นสะเทือน หากค่ามวลไม่สมดุลที่วัดได้เกินกว่า 8 มิลลิกรัมเซนติเมตร จะมีการแก้ไขการสั่นสะเทือนด้วยการถ่วงมวลและทำการวัดการสั่นสะเทือนอีกครั้งโดยมวลไม่สมดุลที่ได้จะต้องไม่เกิน 10 มิลลิกรัมเซนติเมตร หากค่าที่ได้เกินกำหนด จะต้องทำการถอดแยกชิ้นส่วนเพื่อนำไปประกอบใหม่

จากขั้นตอนต่าง ๆ ตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้นการถ่วงมวลเพื่อลดค่าความสั่นสะเทือนจะเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตและใช้เวลาในการผลิตเพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ในขั้นตอนการประกอบชุดจับยึดด้านบนที่มีผลต่อการสั่น

สะเทือนขณะหมุน เพื่อหาแนวทางในการป้องกันการสั่นสะเทือนขณะหมุนของฮาร์ดดิสก์

จินตวัน ได้ทำการศึกษาการสั่นสะเทือนทางกลในฮาร์ดดิสก์ซึ่งส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของหัวอ่านในการอ่าน-เขียนข้อมูล ซึ่งพบว่าการแกว่งของแกนหมุนทำให้มีการสั่นสะเทือนที่ตามแนวรัศมีของแผ่นจานแม่เหล็กส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของหัวอ่าน แนวทางในการลดการสั่นสะเทือนในรูปแบบนี้คือใช้ Fluid Dynamic Bearing (FDB) เนื่องจากฟิล์มของเหลวใน FDB จะช่วยให้เกิดการหน่วง และยังช่วยลดเสียงที่เกิดขึ้นในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อีกด้วย แต่ก็มีข้อเสียคือมีปัญหาในเรื่องการรั่วไหลของของเหลวในแบร์ริง Jin WookHeo, Jintai Chung ศึกษาเรื่องคุณลักษณะและการตอบสนองทางพลวัตของจานหมุนยึดหมุนสำหรับงานบันทึกข้อมูลมีการเยื้องศูนย์เชิงมุมเพื่อหาการกระจัดในแนวรัศมี, แนวสัมผัส และในแนวขวาง และผลกระทบของการเยื้องศูนย์เชิงมุมพบว่าส่งผลให้เกิดการแยกตัวของความถี่ธรรมชาติ Michael Oliver และ Paul Copeland ได้ศึกษาการยึดรอยต่อด้วยสลักเกลียวโดยใช้โปรแกรมไฟไนต์อีเลเมนต์ วิเคราะห์ การกระจายความดันของเกลียว ความดันบนพื้นที่สัมผัสพบว่า ความดันที่เกิดในแต่ละเกลียวไม่เท่ากัน ส่งผลให้ความดันที่หัวสกรูดบนแหวนรองไม่สม่ำเสมอ ปรีกษวิจิตร ศึกษาพฤติกรรมกรรมการเสีรูปของ HGA (Head Gamble

Assembly) หลังจากการให้แรงจับยึดในลักษณะที่แตกต่างกัน พบว่าส่งผลให้เกิดการเสียรูปในลักษณะที่แตกต่างกันซึ่งส่งผลกระทบต่อตัวแปรควบคุมในกระบวนการผลิตจากงานวิจัย 1-3 จะเห็นว่าการวิเคราะห์ทางพลวัตช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมของฮาร์ดดิสก์ขณะใช้งานซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพ ส่วนงานวิจัยที่ 4 แสดงผลกระทบของแรงจับยึดต่อการเสียรูปทางสถิติที่กระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

การศึกษานี้เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบทางพลวัตที่สืบเนื่องจากการเสียรูปทางสถิติ โดยวิเคราะห์การสั่นสะเทือนขณะหมุนของจานบันทึกข้อมูลที่มีการประกอบเยื้องศูนย์กลางระหว่างสปินเดิลมอเตอร์และชุดจับยึดด้านบน รวมทั้งการใช้แรงในการประกอบชุดจับยึดด้านบนไม่เท่ากัน และแกนหมุนเอียงโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบพลวัตสำหรับการประมาณค่าในช่วงที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear Implicit Dynamics) ด้วยความเร็วรอบของสปินเดิลมอเตอร์คงที่ 7,200 รอบต่อนาที

### วิธีดำเนินการวิจัย

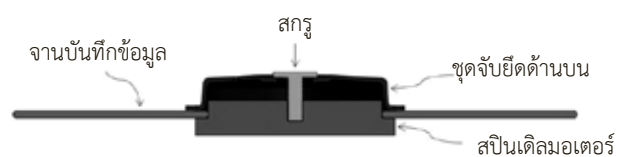
ปัจจุบันการคำนวณด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์หรือวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกนำมาใช้ในการค้นคว้าวิจัยและแก้ปัญหาทางกลอย่างแพร่หลายเนื่องจากสามารถศึกษาพฤติกรรมหลาย ๆ อย่าง ที่อาจไม่สามารถสังเกตได้จากการทดลอง รวมทั้งสามารถลดต้นทุนการผลิตได้อีกด้วย งานวิจัยนี้ใช้การคำนวณด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Model) มาแก้ปัญหาทางกลที่เกิดในอุตสาหกรรม โดยทำการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขณะหมุนของจานบันทึกข้อมูลดังนี้

1. ผลจากการประกอบเยื้องศูนย์กลางของสปินเดิลมอเตอร์กับชุดจับยึดด้านบน
2. ผลจากการเปลี่ยนระยะการขันสกรูในขณะที่ประกอบเยื้องศูนย์กลาง
3. ผลที่เกิดจากแกนหมุนของสปินเดิลมอเตอร์เอียง

ตัวชี้วัดคือแรงตอบสนองและระยะกระจัดจากปัจจัยต่าง ๆ ข้างต้นของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์และนำค่าที่ได้ไปแปลงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาขนาดของการสั่นสะเทือนต่อไป

### การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

1. สมบัติวัสดุและการแบ่งเอลิเมนต์ในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ คือ สกรู จานบันทึกข้อมูล ชุดจับยึดด้านบน และ สปินเดิลมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยกำหนดให้ชิ้นส่วนต่าง ๆ มีสมบัติวัสดุและชนิดการแบ่งเอลิเมนต์ตาม ตารางที่ 1



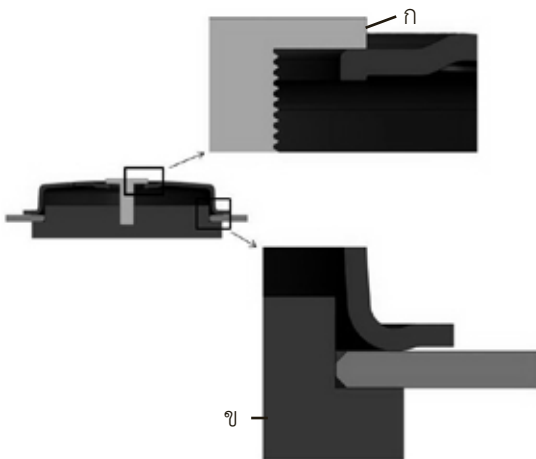
รูปที่ 1 ภาพหน้าตัดขวางของชิ้นส่วนต่าง ๆ ในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

ตารางที่ 1 สมบัติวัสดุในแบบจำลอง

ชื่อชิ้นส่วน	ประเภทวัสดุ	ชนิดเอลิเมนต์	E (GPa)	$\nu$	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
สกรู	วัสดุเกร็ง	เอลิเมนต์แผ่นบาง 4 โหนด 6 ลำดับชั้น ความอิสระ			
จานบันทึกข้อมูล	วัสดุยึดหยุ่น	เอลิเมนต์ 6 ด้าน 8	210	0.27	2500
ชุดจับยึดด้านบน	วัสดุยึดหยุ่น	โหนด 6 ลำดับชั้น ความอิสระ	200	0.27	7850
สปินเดิลมอเตอร์	วัสดุยึดหยุ่น		200	0.27	7850

2. สมบัติของการสัมผัส

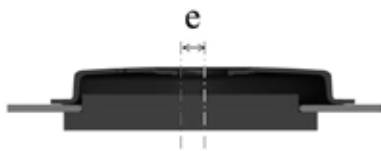
รูปที่ 2 แสดงในการสัมผัสแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เกิดขึ้น ซึ่งมีทั้งหมด 3 ลักษณะคือ (ก) การสัมผัสระหว่างผิวล่างของหน้าแปลนของหัวสกรูกับชุดจับยึดด้านบน (ข) การสัมผัสระหว่างผิวล่างและผิวด้านในของจานบันทึกข้อมูลกับสปินเดิลมอเตอร์ และ (ค) การสัมผัสระหว่างผิวล่างของชุดจับยึดด้านบนกับจานบันทึกข้อมูล โดยกำหนดทั้ง 3 ลักษณะเป็นการสัมผัสแบบผูกติด (Tie) และไม่มีการเลื่อน (Slip)



รูปที่ 2 ภาพหน้าตัดขวางของการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เพื่อแสดงผิวสัมผัส

3. การกำหนดสภาวะเงื่อนไขขอบการกำหนดสภาวะเงื่อนไขขอบเป็นส่วนที่สำคัญในแบบจำลองไฟต์เอลิเมนต์ เนื่องจากหากกำหนดไม่สอดคล้องกับสภาวะความเป็นจริงจะทำให้ผลการคำนวณที่ได้ไม่ถูกต้องด้วย ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขณะหมุนของจานบันทึก ข้อมูลที่แยกเป็น 3 กรณีคือ

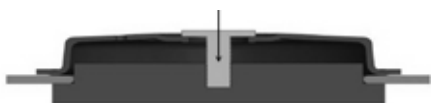
1. ผลจากการประกอบเยื้องศูนย์กลางของสปินเดิลมอเตอร์กับชุดจับยึดด้านบนโดยทำการศึกษาที่ระยะเยื้องศูนย์กลางต่าง ๆ 3 ระยะ คือ 50% 75% และ 100% ของระยะเว้นบวกลบสูงสุดสำหรับชุดจับยึดด้านบนกับสปินเดิลมอเตอร์ หรือที่ระยะ 0.0350 มิลลิเมตร ( $e_1$ ) 0.0525 มิลลิเมตร ( $e_2$ ) และ 0.0700 มิลลิเมตร ( $e_3$ ) ดังแสดงระยะเยื้องศูนย์กลาง ( $e$ ) ในรูปที่ 3



แนวศูนย์กลางสปินเดิลมอเตอร์      แนวศูนย์กลางชุดจับยึดด้านบน

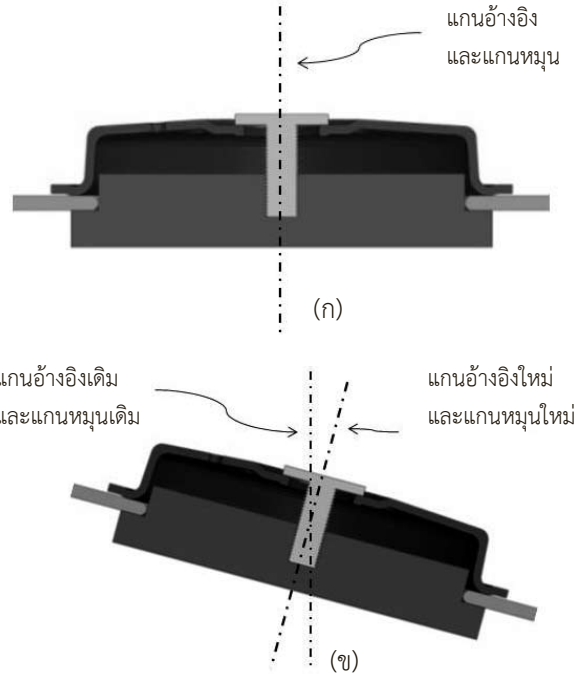
รูปที่ 3 การประกอบเยื้องศูนย์กลางของสปินเดิลมอเตอร์กับชุดจับยึดด้านบน

2. ผลจากการเปลี่ยนระยะการขันสกรูในขณะที่ประกอบเยื้องศูนย์กลาง การศึกษาจะใช้ระยะการขันสกรู 2 ระยะ คือ การขันสกรูให้เคลื่อนที่ลงตามทิศทางในรูปที่ 4 เป็นระยะ 0.24 มิลลิเมตร ( $u_1$ ) และ 0.35 มิลลิเมตร ( $u_2$ )



รูปที่ 4 ทิศทางการขันสกรู

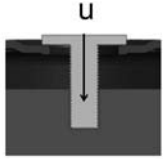

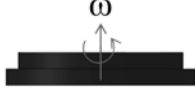
3. ผลที่เกิดจากแกนหมุนของสปินเดิลมอเตอร์เอียงในส่วนของแกนหมุนเอียงเป็นการประกอบชิ้นส่วนทั้งหมดบนแกนอ้างอิงที่เอียงจากปกติ ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยอ้างอิงค่าจากเกณฑ์การคลาดเคลื่อนของการประกอบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.01 องศา



รูปที่ 5 การประกอบชิ้นส่วนบนแกนอ้างอิงโดย (ก) แกนอ้างอิงปกติและ (ข) แกนอ้างอิงเอียง

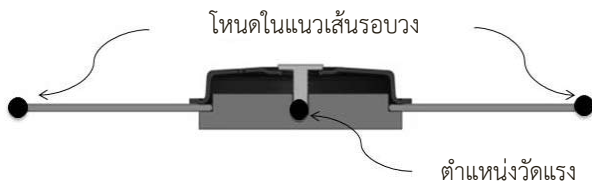
จากปัจจัยต่าง ๆ ข้างต้นสามารถกำหนดสภาวะเงื่อนไขขอบของการประกอบเยื้องศูนย์กลางและการประกอบโดยที่แกนหมุนเอียงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การกำหนดสภาวะเงื่อนไขขอบ

	ชิ้นส่วน	สภาวะเงื่อนไขขอบ
สกรู		สกรูเคลื่อนลงระยะ $u_1$ และ $u_2$
สปินเดิลมอเตอร์		สปินเดิลมอเตอร์จับยึดแบบหมุน
		= 7200 รอบต่อนาที

### การแปลงผลด้วยสมการทางคณิตศาสตร์

ในการหาขนาดของการสั่นสะเทือนขณะหมุนนั้น ไม่สามารถหาได้โดยตรงจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์แต่สามารถนำค่าแรงและระยะขจัดที่ได้ มาคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ โดยตำแหน่งวัดแรงตอบสนองที่เกิดกับสปริงเดลิโมเตอร์เนื่องจากการสั่นสะเทือนและระยะกระจัดในแนวตั้งฉากกับระนาบของโหนดแนวเส้นรอบวงจะแสดงดังรูปที่ 6



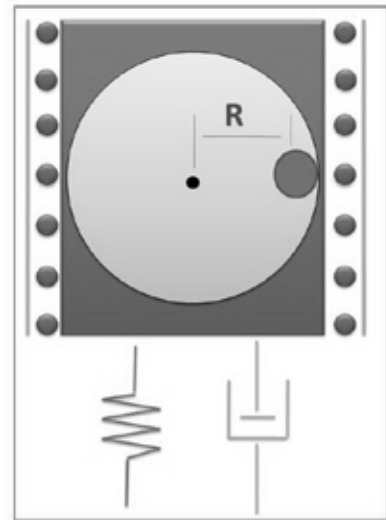
รูปที่ 6 ตำแหน่งที่ทำการวัดแรงและโหนดในแนวเส้นรอบวง

จากแรงตอบสนองที่เกิดกับสปริงเดลิโมเตอร์ จะคำนวณขนาดของการสั่นสะเทือน ที่เกิดขึ้นสำหรับแบบจำลองคณิตศาสตร์ของทั้ง 3 กรณี โดยใช้หลักการวัดการสั่นสะเทือนแบบบังคับอันเกิดจากการไม่สมดุลขณะหมุน หรือการสั่นสะเทือนที่เกิดจาก งานมวล  $M$  หมุนด้วยความเร็วรอบ  $\omega$  เป็นระยะเวลา  $t$  และมีมวลซึ่งทำให้เกิดความไม่สมดุล  $m$  อยู่ห่างจากแกนการหมุน  $R$  จะทำให้เกิดแรงไม่สมดุลดังกล่าวตามสมการที่ (1) และรูปที่ 7 การสั่นสะเทือนนี้จะแสดงในหน่วยของมวลไม่สมดุลเป็นมิลลิกรัมเซนติเมตร ซึ่งหาได้จากสมการที่ (2)

$$f = mR \omega^2 \sin \omega t \quad (1)$$

$$mR = \frac{f}{\omega^2 \sin \omega t} \quad (2)$$

- $f$  หมายถึง แรง (นิวตัน)
- $M$  หมายถึง มวลที่ของงานบันทึกข้อมูล (กิโลกรัม)
- $m$  หมายถึง มวลที่ทำให้เกิดความไม่สมดุล (กิโลกรัม)
- $\omega$  หมายถึง ความเร็วเชิงมุม (เรเดียนต่อวินาที)
- $R$  หมายถึง ระยะห่างของมวลที่ทำให้เกิดความไม่สมดุลกับศูนย์กลางการหมุน (เมตร)
- $t$  หมายถึง เวลาในการหมุน (วินาที)

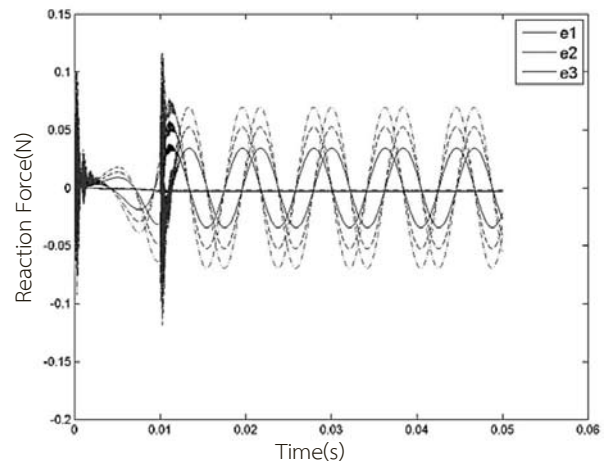


รูปที่ 7 การสั่นสะเทือนแบบบังคับอันเกิดจากการไม่สมดุลขณะหมุน

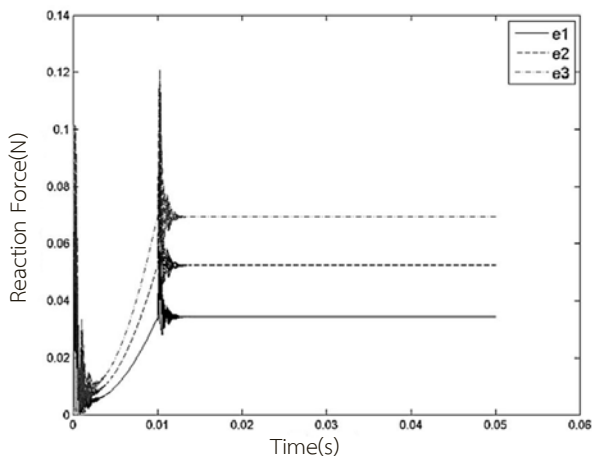
### ผลการวิจัย

แรงตอบสนองที่เกิดกับสปริงเดลิโมเตอร์เนื่องจากการสั่นสะเทือนตลอดจนขนาดของการสั่นสะเทือนสามารถวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขณะหมุนของฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว โดยพิจารณาสำหรับกรณีต่าง ๆ คือ

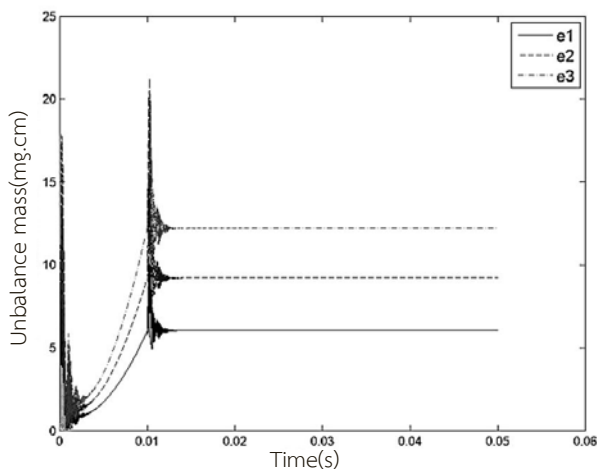
1. ผลจากการประกอบเอียงศูนย์ของสปริงเดลิโมเตอร์กับชุดจับยึดด้านบน แรงตอบสนองจะแสดงอยู่ในลักษณะของฟังก์ชันซายน์ ดังแสดงในรูปที่ 8 สอดคล้องกับสมการที่ (1) และเมื่อแปลงให้อยู่ในรูปขนาดของแรงแสดงอยู่ในรูปที่ 9 ซึ่งเห็นได้ว่าการเพิ่มระยะเอียงศูนย์จะแปรผันโดยตรงกับค่าแรงตอบสนอง หรือความสัมพันธ์ระหว่างแรงตอบสนองและระยะเอียงศูนย์มีลักษณะเป็นเชิงเส้นซึ่งกันและกัน



รูปที่ 8 แรงตอบสนองที่สัมพันธ์กับมุมของการหมุนจากการเอียงศูนย์



รูปที่ 9 ขนาดแรงตอบสนองที่สปินเดิลมอเตอร์จากการเยื้องศูนย์



รูปที่ 10 ขนาดการสั่นสะเทือนจากการเยื้องศูนย์

รูปที่ 10 แสดงขนาดของการสั่นสะเทือนจากการประกอบที่ระยะการขึ้นสกรู 0.24 มิลลิเมตร ซึ่งได้จากสมการที่ (2) สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการประกอบเยื้องศูนย์ตั้งแต่ระยะ  $e_2$  จะทำให้ค่าการสั่นสะเทือนที่ได้สูงเกินเกณฑ์ที่กำหนดคือเกิน 8 มิลลิกรัมเซนติเมตร ค่าที่วัดได้เกินเกณฑ์ดังกล่าว จะต้องทำการถ่วงมวลเพื่อแก้ไขการสั่นสะเทือน ทั้งนี้ค่าที่ได้ต้องไม่เกิน 17.1 มิลลิกรัมเซนติเมตร ซึ่งเป็นค่ากำหนดในการถอดชิ้นส่วนเพื่อนำไปประกอบใหม่

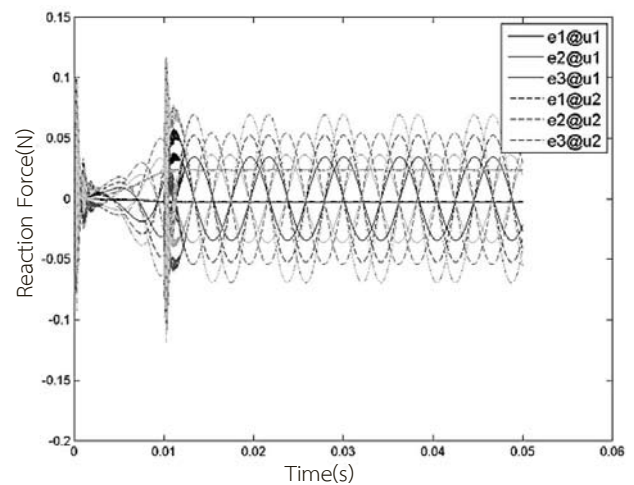
ตารางที่ 3 ผลจากการประกอบเยื้องศูนย์ของสปินเดิลมอเตอร์กับชุดจับยึดด้านบน

ระยะเยื้องศูนย์	$e_1$	$e_2$	$e_3$
แรงตอบสนอง (N)	0.0343	0.0523	0.0694
ค่าสั่นสะเทือน (mg.cm)	6.043	9.214*	12.210*

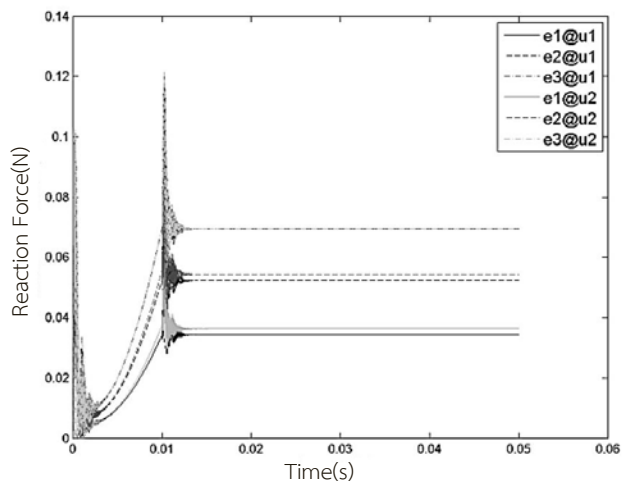
\*ต้องถ่วงมวลเพื่อแก้ไขการสั่นสะเทือน

## 2. ผลจากการเปลี่ยนระยะการขึ้นสกรูในขณะที่ประกอบเยื้องศูนย์

จากการวิเคราะห์ผลของแรงตอบสนอง จะเห็นได้ว่า ผลการตอบสนองของแรงดังแสดงในรูปที่ 11 อยู่ในรูปของฟังก์ชันซายน์สอดคล้องกับสมการที่ (1) เมื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของขนาดจะแสดงได้ดังรูปที่ 12 ซึ่งเห็นได้ว่าการเพิ่มระยะการขึ้นสกรูจะทำให้ค่าแรงตอบสนองเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ต่างจากการเพิ่มระยะเยื้องศูนย์ของสปินเดิลมอเตอร์กับชุดจับยึดด้านบนที่ขนาดของการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นตามระยะเยื้องศูนย์ที่เพิ่มขึ้น โดยตารางที่ 4 แสดงแรงและการสั่นสะเทือนซึ่งเกิดขึ้นสำหรับระยะต่าง ๆ

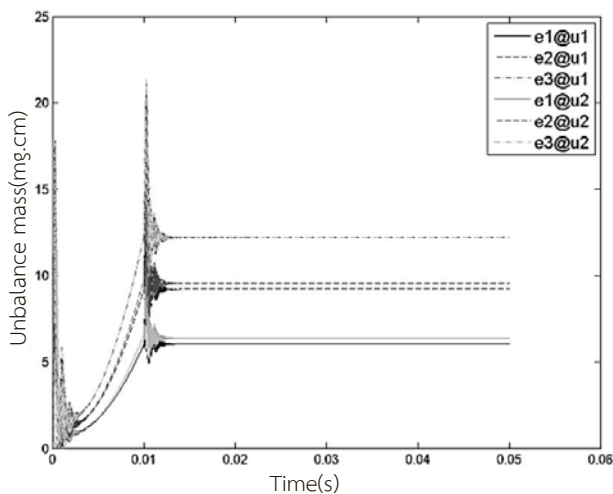


รูปที่ 11 แรงตอบสนองที่สัมพันธ์กับมุมของการหมุนเมื่อเปลี่ยนระยะขึ้นสกรูและระยะเยื้องศูนย์



รูปที่ 12 ขนาดแรงตอบสนองที่สปินเดิลมอเตอร์เมื่อเปลี่ยนระยะขึ้นสกรูและระยะเยื้องศูนย์

จากทั้งสองกรณีสามารถสรุปได้ว่าเมื่อเพิ่มระยะเยื้องศูนย์ค่าการสั่นสะเทือนจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงคงที่และค่าการสั่นสะเทือนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะชั้นสกรูเพิ่มขึ้น แต่ที่ระยะเยื้องมากขึ้น อัตราการเพิ่มของค่าการสั่นสะเทือนจากการขึ้นสกรูจะลดลง และจากรูปที่ 13 และตารางที่ 4 พบว่าเมื่อมีการประกอบเยื้องศูนย์ที่ระยะ  $e_2$  และ  $e_3$  จะทำให้ค่าการสั่นสะเทือนที่ได้เกินเกณฑ์กำหนดจึงต้องถ่วงมวลเพื่อแก้ไขการสั่นสะเทือน



รูปที่ 13 ขนาดการสั่นสะเทือนเมื่อเปลี่ยนระยะชั้นสกรูและการเยื้องศูนย์

ตารางที่ 4 แรงและการสั่นสะเทือนจากการเปลี่ยนระยะการขึ้นสกรูและเยื้องศูนย์

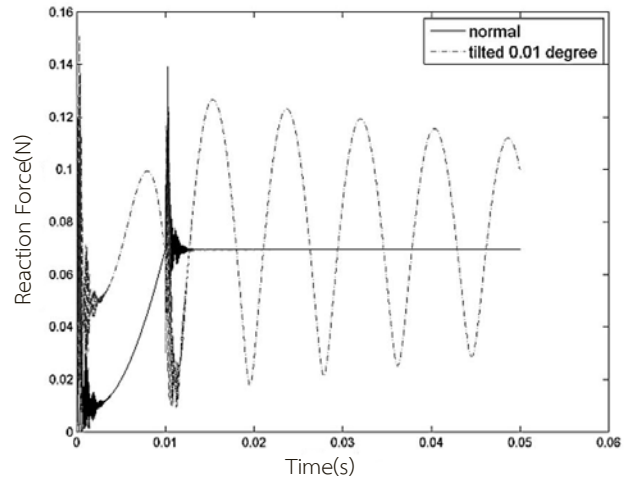
ระยะเยื้องศูนย์	$e_1$	$e_2$	$e_3$
แรงตอบสนอง (N) เมื่อขึ้นสกรู 0.24 mm	0.0343	0.0523	0.0694
ค่าสั่นสะเทือน (mgcm) ชั้นสกรู 0.24 mm	6.043	9.214*	12.210*
แรงตอบสนอง (N) ชั้นสกรู 0.35 mm	0.0363	0.0543	0.0695
ค่าสั่นสะเทือน (mgcm) ชั้นสกรู 0.35 mm	6.386	9.559*	12.230*

\*ต้องถ่วงมวลเพื่อแก้ไขการสั่นสะเทือน

3. ผลที่เกิดจากแกนหมุนของสปินเดิลมอเตอร์เอียง

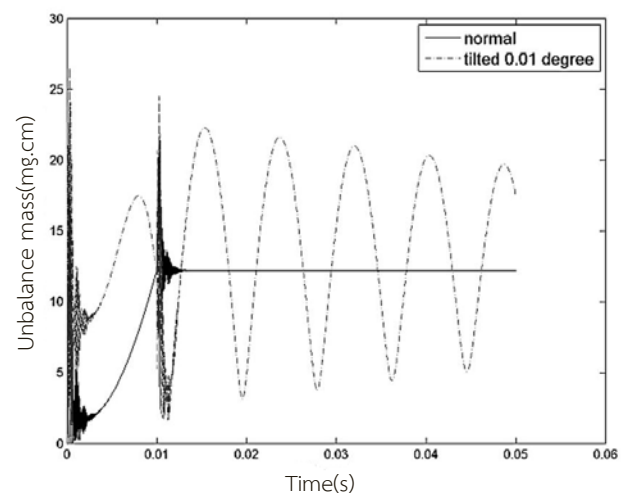
รูปที่ 14 แสดงค่าของแรงตอบสนองที่แกนหมุนเอียง 0.01 สำหรับระยะการขึ้นสกรู 0.24 มิลลิเมตร และประกอบ

เยื้องศูนย์ด้วยพิกัดบวกสูงสุดพบว่าแรงมีค่าไม่คงที่เนื่องจากมวลของงานหมุนที่เอียงมีการเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับระนาบอ้างอิง



รูปที่ 14 ขนาดแรงตอบสนองที่สปินเดิลมอเตอร์ ของแกนหมุนปกติและแกนหมุนเอียง

ผลการสั่นสะเทือนเนื่องจากแกนหมุนเอียงสำหรับกรณีดังกล่าวแสดงอยู่ในรูปที่ 15 ส่วนตารางที่ 5 แสดงค่าเปรียบเทียบของแรงตอบสนองและการสั่นสะเทือน ซึ่งพบว่ามีความสูงกว่าแกนหมุนปกติประมาณ ร้อยละ 80 และค่าการสั่นสะเทือนที่ได้เกินเกณฑ์กำหนดการถอดและประกอบใหม่



รูปที่ 15 ขนาดการสั่นสะเทือนของแกนหมุนปกติและแกนหมุนเอียง



**ตารางที่ 5** ค่าเปรียบเทียบการสั่นสะเทือนที่แกนหมุนปกติ และแกนหมุนเอียง เมื่อระยะเวลาการขึ้นสกรู 0.24 มิลลิเมตร และระยะเยื้องศูนย์สูงสุด

แรงตอบสนอง (N)	แกนปกติ	แกนเอียง	เพิ่มขึ้น ร้อยละ
		0.0694	0.1268
ค่าสั่นสะเทือน (mgcm)	12.210*	22.290**	82.56

\*ต้องถ่วงมวลเพื่อแก้ไขการสั่นสะเทือน

\*\*ต้องถอดและประกอบใหม่

### สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่า ระยะเวลาการประกอบเยื้องศูนย์ ระยะการขึ้นสกรู (แรงบิดที่ใช้ขึ้นสกรู) และแกนหมุนเอียง เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของงานบันทึกข้อมูล โดยเมื่อเกิดการเยื้องศูนย์ตั้งแต่ 0.0525 มิลลิเมตร หรือร้อยละ 75 ของระยะเว้นบวกรสูงสุดจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนเกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ซึ่งต้องทำการถ่วงมวลสมดุลเพื่อปรับลดการสั่นสะเทือน แต่ยังไม่ถึงเกณฑ์กำหนดในการถอดและประกอบใหม่ส่วนระยะเวลาการขึ้นสกรูจะส่งผลกระทบต่อ การสั่นสะเทือนของงานบันทึกข้อมูลไม่มากนัก ในขณะที่แกนหมุนเอียง จะขยายค่าการสั่นสะเทือนให้เพิ่มมากขึ้นซึ่งในบางกรณีจะเกินเกณฑ์กำหนดในการถอดและประกอบใหม่ ดังนั้น การที่แกนหมุนเอียงจึงส่งผลกระทบต่อการผลิตสูงสุด รองมาคือการประกอบชุดจับยึดด้านบนเยื้องศูนย์กับสปินเดิลมอเตอร์ และที่ส่งผลน้อยที่สุดคือการเพิ่มระยะเวลาการขึ้นสกรู

### ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัย

ระยะเวลาการประกอบเยื้องศูนย์ และแกนหมุนเอียงซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนนั้นไม่สามารถแก้ไขได้ในขั้นตอนการประกอบชุดจับยึดด้านบน แต่สามารถกำหนดเป็นเงื่อนไขในการผลิตได้ ดังนี้

1. ลดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน (Tolerance) ของการประกอบสปินเดิลมอเตอร์ เพื่อลดโอกาสของการเกิดแกนหมุนเอียง

2. ลดระยะเว้นบวกระหว่างสปินเดิลมอเตอร์และชุดจับยึดด้านบนลง ซึ่งเป็นการป้องกันปัญหาก่อนการประกอบจะช่วยลดเวลาในการถ่วงสมดุล และลดค่าใช้จ่ายในการแก้ไข อันเป็นการเพิ่มผลิตภาพในการประกอบได้

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ (รหัสโครงการ HAM-R&D 06-01-52 BR) ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบคุณบริษัท อิตาซี โกลบอล สตอเรจ เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ที่เอื้อเฟื้อในการหาข้อมูลเป็นอย่างดี

### เอกสารอ้างอิง

- จักรพันธ์ ปริรักษ์วิจิตร. (ม.ป.ป.). การศึกษา Statistic Attitude และ Gram Load Clamping Unit ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- จักรราช ลีกระจ่าง และวัชระ เครือรัฐติกาล. (2547). “การวิเคราะห์การจับยึดของสลักเกลียวโดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์,” *วิศวกรรมสาร มก.* 18 (53) : 22-35.
- ฐิติมา จินตนาวัน. (2545) “การสั่นสะเทือนทางกลของระบบคอมพิวเตอร์ Hard Disk Drive (HDD),” *วารสารสมาคมวิชาการหุ่นยนต์ไทย.* 1 : 54-60.
- ธนู ฉุฉฉาย. (ม.ป.ป.). การสั่นสะเทือนทางกล. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- Jayson, E.M., Murphy, J., Smith, P.W. and Talke, F.E. (2003). “Effect of Air Bearing Stiffness on a Hard Disk Drive Subject to Shock and Vibration,” *Journal of Tribology.* 125 : 343-349.
- Jin WookHeo, Jintai Chung. (2002).”Vibration analysis of a flexible rotating disk with angular misalignment,” *Journal of Sound and Vibration.* 274 : 821-841.
- Kilian, S., Zander, U. and Talke, F.E., (2003). “Suspension modeling and optimization using finite element analysis,” *Tribology International.* 36 : 317-324.
- Palm, W.J. (2007). *Mechanical Vibration, John Wiley, Hoboken.* New Jersey, U.S.A.
- Paul Copel and Michael Oliver. (2006). “The Dynamic Bolted Joint Modeling,” *2006 International ANSYS Conference.* 724 : 514
- Tuchinda, A. (2003). *Development of Validated models for Brake squeal predications.* Ph.D. dissertation, Imperial College, London, English.