

การวิเคราะห์การเปลี่ยนรูปเนื่องจากแรงในอุปกรณ์จับยึดสไลด์เตอร์บาร์ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

The Force Deformation Analysis in Bridge Carrier by Finite Element Method

เกรียงศักดิ์ แสนสำโรง^{1*} และสิริวิษณุ เตชะเจษฎารังษี^{2**}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

โทร 0-4320-2945 โทรสาร 0-4320-2697 *อีเมลล์ tu_potter@hotmail.com

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

โทร 0-4320-2945 โทรสาร 0-4320-2697 **อีเมลล์ sirtae@kku.ac.th

บทคัดย่อ

กระบวนการขัดเปิดผิวหน้าของสไลด์เตอร์บาร์ (Lapping process) คือคุณสมบัติของการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยมีเป้าหมายหลักคือควบคุมระยะเซ็นเซอร์ความสูง SH (Sensor Height) ซึ่งเป็นระยะที่กำหนดความสามารถในการอ่านและเขียนข้อมูลของหัวอ่าน/เขียน (Slider) ในการขัดเปิดผิวหน้าจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์จับยึดสไลด์เตอร์บาร์หรือบริดจ์แคริเออร์ (Bridge Carrier) ในการควบคุมแรงดึงหรือกดที่กระทำต่อสไลด์เตอร์บาร์ (Slider Bar) เนื่องจากสไลด์เตอร์ที่เรียงตัวกันอยู่บนบาร์มีจำนวนมาก ตั้งแต่ 30-60 หัวหรือมากกว่า ดังนั้นเพื่อให้สไลด์เตอร์แต่ละหัว ถูกขัดจนได้ระยะ SH ตามที่กำหนดพร้อมกัน จึงเป็นเรื่องยากในการควบคุม เนื่องจากในการใช้งานจริงมีหลายปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง ในบทความนี้จึงได้ทำการศึกษาผลจากแรงดึงและแรงกดของเครื่องขัดที่กระทำต่อบริดจ์แคริเออร์ โดยใช้หลักการไฟไนต์เอลิเมนต์ในซอฟต์แวร์ ANSYS และจากไฟไนต์เอลิเมนต์ทำให้ได้สมการระยะเปลี่ยนแปลงของผิวสัมผัสสูงสุดในบริดจ์แคริเออร์บริเวณกึ่งกลาง คือสมการการดึงและสมการการกด $y = -0.3509x - 3E-05$ และ $y = 0.3517x - 2E-05$ ตามลำดับ นั่นคือที่แรงกระทำ 0.44 lbf ซึ่งเป็นค่าแรงที่ใช้ในการทดสอบ ทำให้เกิดระยะโก่งตัวที่ประมาณ 0.154 mils ทั้งกรณีดึงและกด สมการเหล่านี้จึงถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าระยะยุบตัวหรือระยะยืดตัวที่ตำแหน่งต่างๆได้ จากการเปรียบเทียบผลระหว่างไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลการทดลองพบว่าได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ทำให้แบบจำลองดังกล่าวนี้สามารถนำมาใช้ควบคู่กับการทดสอบหาบริดจ์แคริเออร์ที่มีปัญหาหรือมีความบกพร่องภายในและยังเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

คำสำคัญ กระบวนการขัดเปิดผิวหน้า, เซ็นเซอร์ความสูง, บริดจ์แคริเออร์, แท่งหัวอ่านเขียน, หัวอ่านเขียน

Abstract

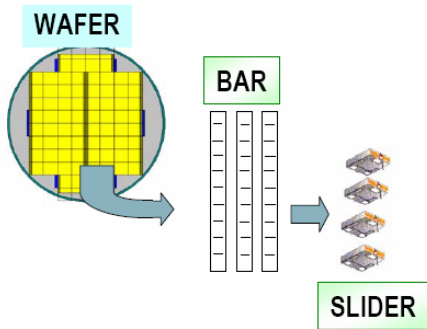
Bar lapping process is a key process in Slider Micro-Fabrication of Hard Disk Drive (HDD) industry. The purpose of this process is to remove a small amount of material so that the transducer Sensor Height (SH) variations across the bar are minimized. The Bridge Carrier, the fixture in Lapping process, is used to hold the slider bar and control push and pull forces acting on the slider bar during lapping process. Each slider bar is contained small pieces of sliders about 30 to 60 pieces or more. Lapping each individual slider to a certain SH at the same time involves several factors and difficult to control the overall lapping processes. This paper studied the interaction of push and pull forces of lapping machine acting on bridge carrier by finite element method (FEM) in the commercial ANSYS software. From the finite element results, the displacement equations of pull and push forces on middle beam surface are $y = -0.3509x - 3E-05$ and $y = 0.3517x - 2E-05$ respectively. From both equations, the 0.154 mils of bulk displacement are obtained after applying 0.44 lbf of the actual force value. Therefore these equations could be applied to predict the push or pull displacement at various locations that are verified by the well agreed comparison results between the FEM results and experimental results. From both finite element model and experimental set-up tool can be used to find the failure or the defect of bridge carrier and can be applied as a guideline for the new bar lapping process development.

Key words Lapping Process, Sensor Height, Bridge Carrier, Slider Bar, Slider

1. บทนำ

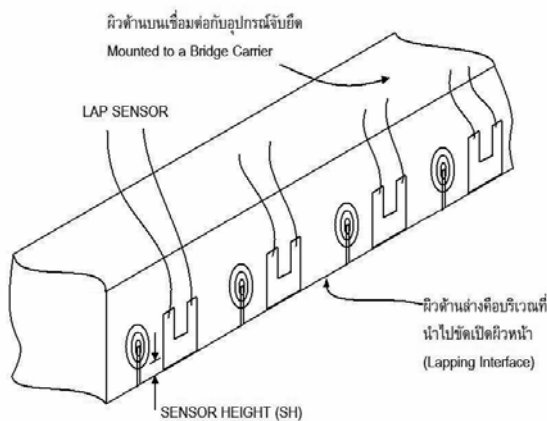
เนื่องจากการเติบโตของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในปัจจุบันได้ รุดหน้าอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในเรื่องของความสามารถในการจัดข้อมูล หรือความหนาแน่นของข้อมูล (Aerial Density) ที่เพิ่มขึ้นทุกวัน จึงเป็น เหตุผลให้หัวอ่าน/เขียนหรือสไลเดอร์ มีความจำเป็นต้องผลิตให้ได้ มาตรฐาน มีประสิทธิภาพ และสามารถอ่านหรือเขียนได้เป็นอย่างดี ฉะนั้นแล้วจึงมีการให้ความสำคัญกับการเปิดหัวหรือเซ็นเซอร์ของ หัวอ่านเขียน หรือที่เรียกกันว่ากระบวนการขัดเปิดผิวหน้า [1,3,5]

กระบวนการขัดเปิดผิวหน้า (Lapping Process) จะเริ่มต้นจาก นำ บาร์ที่ถูกตัดมาจากเวเฟอร์ แสดงในรูปที่ 1 ซึ่งจะประกอบไปด้วย หัวอ่านเขียนอยู่ประมาณ 20-50 หัวหรือมากกว่า



รูปที่ 1. บาร์ที่ตัดจากแผ่นเวเฟอร์

หลังจากที่ได้บาร์มาแล้วก็จะทำการขัดผิวด้านล่างดังรูปที่ 2 ซึ่งเป็นภาพของแบบจำลองสไลเดอร์บาร์ โดยที่ระยะในการขัดจะขึ้นอยู่กับ ระยะความสูงของเซ็นเซอร์ SH (Sensor Height) ซึ่งเกิดจากการการ แปลงค่าของเซ็นเซอร์วัดความต้านทาน Lap sensor หรือ ELGs (Electrical Lapping Guide) ที่เป็นตัวกำหนดและประมาณระยะที่ขัดไป ได้ ในการขัดเปิดผิวนั้นค่าความสูงของเซ็นเซอร์จะอยู่ในช่วง 10 ไมโครเมตร ไปจนถึง 0.1 ไมโครเมตร [1,2,4]



รูปที่ 2. โครงสร้างของสไลเดอร์บาร์และ Sensor Height (SH)

จากที่กล่าวมาทำให้รู้ว่าขบวนการขัดเปิดผิวหน้ามีความสำคัญ และต้องใช้ความพิถีพิถันอย่างมากเนื่องจากระยะขัดเป็นระยะที่เล็กมาก

รวมบทความวิชาการ เล่มที่ 2 การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22

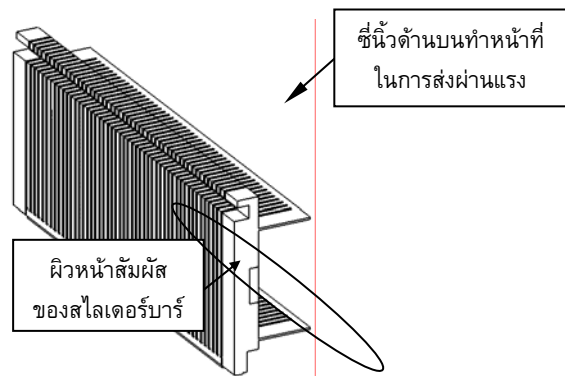
ฉะนั้นแล้วอุปกรณ์ควบคุมการขัดหรืออุปกรณ์จับยึดสไลเดอร์บาร์ ที่ เรียกว่า บริดจ์แคริเออร์ (Bridge Carrier) จึงมีความสำคัญกับการขัด เพื่อให้ได้ค่าเป้าหมายตามที่กำหนด

2. บริดจ์แคริเออร์ (Bridge Carrier)

บริดจ์แคริเออร์หรืออุปกรณ์จับยึดสไลเดอร์บาร์ เป็นอุปกรณ์ที่มี หน้าทีในการนำเอาสไลเดอร์บาร์ ผ่านเข้ามายังกระบวนการขัดเปิด ผิวหน้า หน้าทีหลักของบริดจ์แคริเออร์คือส่งผ่านแรงกดหรือแรงดึง จาก เครื่องขัด โดยเครื่องขัดจะรับคำสั่งจากเซ็นเซอร์วัดระยะการขัดที่ติดอยู่ ที่สไลเดอร์บาร์ เพื่อทำการตรวจสอบว่าสไลเดอร์ตัวใดมีการขัดไปมาก น้อยเพียงใด เพื่อทำการประมวลผลสั่งการให้บริดจ์แคริเออร์ ทำการดึง หรือกดบริเวณนั้น จนกว่าการขัดจะเสร็จสมบูรณ์

2.1 แบบจำลองบริดจ์แคริเออร์

ชิ้นส่วนหลักในการศึกษาครั้งนี้คือ ส่วนซี่นิ้ว (Fingers) ซึ่งเป็นส่วน ที่นำมาสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ แสดงในรูปที่ 3 โดยซี่นิ้วนี้ เองที่ทำหน้าที่ในการส่งผ่านแรงไปยังสไลเดอร์บาร์ในกระบวนการขัด



รูปที่ 3. ซี่นิ้ว (Fingers)

3. ทฤษฎี

จากความสัมพันธ์ของความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ของวัสดุที่มีความต่อเนื่องแบบเส้นตรง (Linear materials) อธิบายความสัมพันธ์ด้วยสมการที่ 1. [6]

$$\{\sigma\} = [D]\{\epsilon^{el}\} \quad (1)$$

โดยที่ $\{\sigma\}$ = เวกเตอร์ความเค้น = $[\sigma_x \sigma_y \sigma_z \sigma_{xy} \sigma_{xz} \sigma_{yz}]^T$,

$[D]$ = ค่าเมตริกซ์ความเค้น-ความเครียด (Elastic Stiffness Matrix)

และ $\{\epsilon^{el}\} = \{\epsilon\} - \{\epsilon^{th}\}$ = เวกเตอร์ความเครียดยืดหยุ่น (elastic strain vector) เมื่อ $\{\epsilon\}$ = เวกเตอร์ความเครียด =

$[\epsilon_x \epsilon_y \epsilon_z \epsilon_{xy} \epsilon_{xz} \epsilon_{yz}]$ และ $\{\epsilon^{th}\}$ = เวกเตอร์ความเครียดที่ขึ้นกับ

อุณหภูมิ (thermal strain vector) แต่เนื่องจากการศึกษานี้มีการ สมมุติให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ฉะนั้นจากสมการที่ 1 สามารถ เขียนความสัมพันธ์ในรูปของความเครียดตามสมการที่ 2

$$\{\epsilon\} = [D]^{-1}\{\sigma\} \quad (2)$$

โดยที่ $[D]^{-1}$ คือเมตริกซ์ความยืดหยุ่น (Flexible or compliance matrix)

$$[D]^{-1} = \begin{bmatrix} 1/E_x & -\nu_{xy}/E_x & -\nu_{xz}/E_x & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{yx}/E_y & 1/E_y & -\nu_{yz}/E_y & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{zx}/E_z & -\nu_{zy}/E_y & 1/E_y & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{yz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{xz} \end{bmatrix}$$

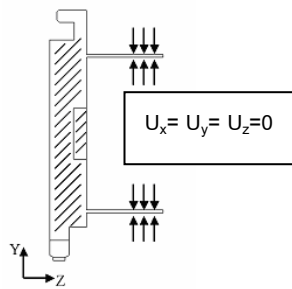
4. ผลการทดลอง

งานวิจัยในครั้งนี้เป็นการสร้างแบบจำลองทางไฟไนเอลิเมนต์จากงานจริง ฉะนั้นเพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองจึงได้มีการออกแบบการทดลองเพื่อวัดค่าเปรียบเทียบกับระเบียบวิธีทางไฟไนเอลิเมนต์

4.1 ระเบียบวิธีไฟไนเอลิเมนต์

เนื่องจากปัญหานี้เป็นปัญหาแบบ 3 มิติ งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ mesh แบบ solid45 ในโปรแกรม Ansys และกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) และคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

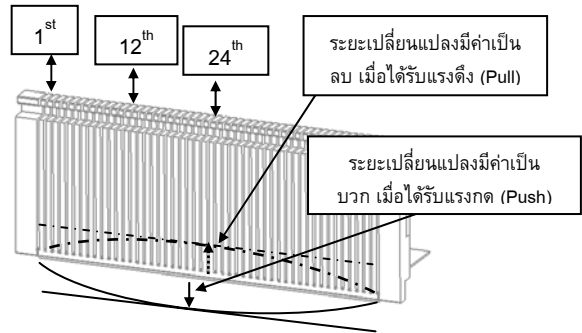
1. โครงสร้างที่นี้ทำจากสแตนเลสประเภท 300 (300 Stainless Steel)
2. ทำการทดสอบที่อุณหภูมิอ้างอิง 25 °C หรือ 293 K
3. ผิวสัมผัสของโครงสร้างนี้และแกนกลางเป็นแบบเชื่อมติดกัน
4. กำหนดค่าเงื่อนไข (constrains) ที่ผิวสัมผัสของซี่นี้กับส่วนฐานหรือครีบริดด้านล่าง ให้มีองศาอิสระเป็นศูนย์ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงผิวของซี่นี้ที่มีค่าองศาอิสระเท่ากับศูนย์

4.2 ผลจากการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนเอลิเมนต์

จากแบบจำลองทำการดึงและดันทดสอบ โดยทำการดึงและดันทดสอบ 3 บริเวณคือ ซี่ที่ 1, 12 และ 24 เนื่องจากโมเดลมีความสมมาตรตามรูปที่ 5. และในแต่ละตำแหน่งใช้แรงทดสอบ 3 ระดับ คือ 1, 2 และ 3 ปอนด์ ได้ค่าระยะเปลี่ยนแปลงสูงสุดที่ตำแหน่งต่างของการดึงและกดตามตารางที่ 1.

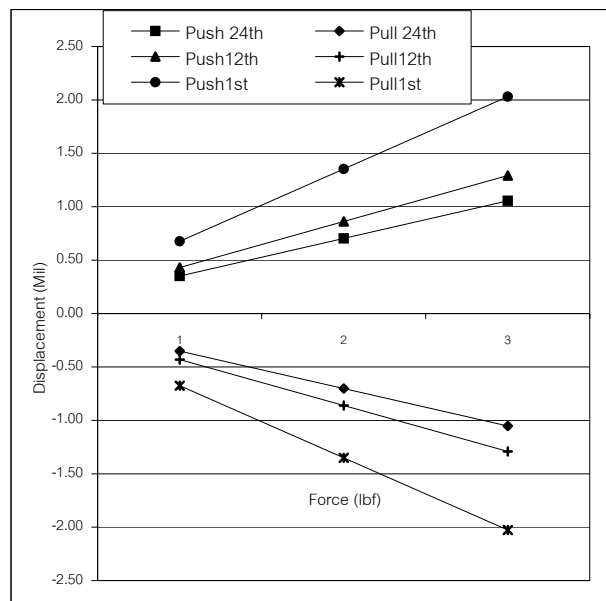


รูปที่ 5 แบบจำลองตำแหน่งของแรงดึงและแรงกดและบริเวณที่ทำการวัดระยะเปลี่ยนแปลงของการทดลอง

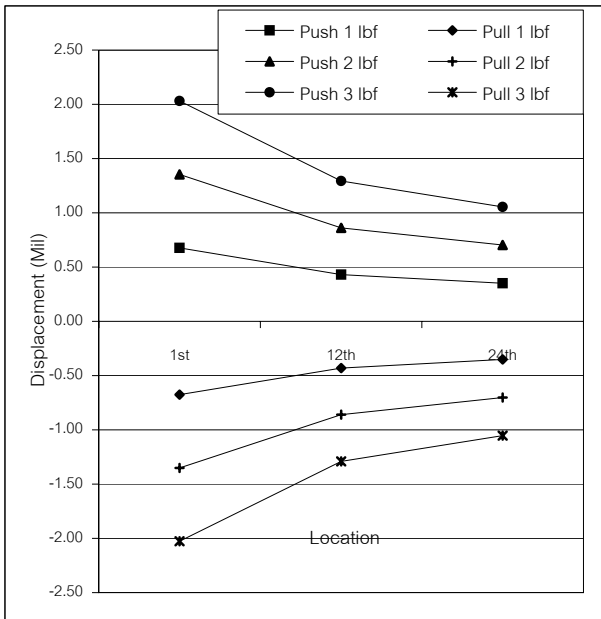
ตารางที่ 1 แสดงค่าระยะเปลี่ยนแปลงสูงสุดของการกดและดึงโดยระเบียบวิธีไฟไนเอลิเมนต์ (หน่วย: Mil)

แรงตำแหน่ง	1 st	12 th	24 th
กด 1 ปอนด์	0.677	0.431	0.352
ดึง 1 ปอนด์	-0.675	-0.430	-0.351
กด 2 ปอนด์	1.354	0.862	0.703
ดึง 2 ปอนด์	-1.351	-0.860	-0.702
กด 3 ปอนด์	2.031	1.293	1.055
ดึง 3 ปอนด์	-2.026	-1.290	-1.053

นำค่าที่ได้มาแสดงในรูปของกราฟระหว่าง ค่าระยะเปลี่ยนแปลงเทียบกับค่าแรงที่ใส่เข้าไปจะได้กราฟเป็นเส้นตรง แต่หากเทียบระยะเปลี่ยนแปลงกับตำแหน่งที่แรงกระทำ พบว่ากราฟที่ได้จะมีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง โดยสามารถใช้เส้นแนวโน้มเป็นชนิดพาราโบลาได้ ในตารางที่ 2 ได้มีการแสดงสมการเส้นตรงและสมการพาราโบลาเพื่อใช้เป็นสมการในการหาค่าที่ตำแหน่งและค่าแรงต่างๆ



ก.



ข.

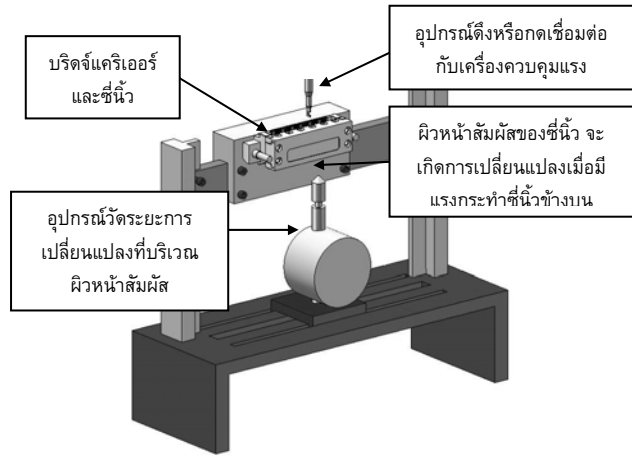
รูปที่ 6 ผลจากไฟไนเอลิเมนต์ของระยะยวบตัวสูงสูงบริเวณผิวหน้า สัมผัสสไลเดอร์บาร์ ก. ระยะยวบตัวเทียบกับแรงกระทำ และ ข. ระยะยวบตัวเทียบกับตำแหน่งของซีโนว์

ตารางที่ 2 แสดงสมการแทนผลลัพธ์จากไฟไนเอลิเมนต์

ตัวแปรตาม(y)	ตัวแปรต้น(x)	ข้อกำหนด	สมการ
ระยะเปลี่ยนแปลง (หน่วย: lbf)	แรง	กต(24th)	$y = 0.3517x - 2E-05$
		ดึง(24th)	$y = -0.3509x - 3E-05$
		กต(12th)	$y = 0.431x - 4E-05$
		ดึง(12th)	$y = -0.4301x + 1E-05$
		กต(1st)	$y = 0.6769x + 7E-06$
		ดึง(1st)	$y = -0.6754x + 1E-05$
ระยะเปลี่ยนแปลง (หน่วย: Mil)	ตำแหน่ง (ซีที่ 1 ถึง 24)	กต(1lbf)	$y=0.0833x^2-0.4959x+1.0895$
		ดึง(1lbf)	$y=-0.0831x^2+0.4947x-1.0869$
		กต(2lbf)	$y=0.1667x^2-0.9919x+2.1792$
		ดึง(2lbf)	$y=-0.1662x^2+0.9894x-2.1739$
		กต(3lbf)	$y= 0.25x^2-1.4877x+3.2685$
		ดึง(3lbf)	$y=-0.2493x^2+1.4839x-3.2608$

4.3 เปรียบเทียบผลจากไฟไนเอลิเมนต์กับผลการทดลองจริง

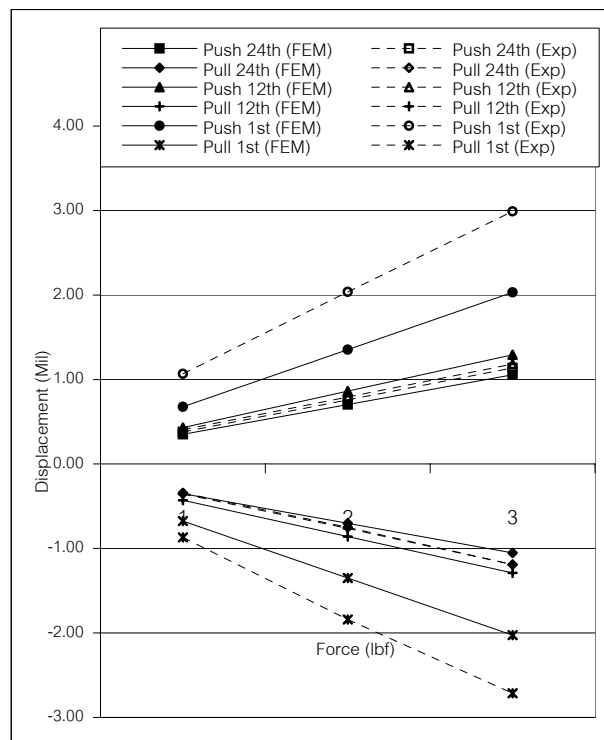
เพื่อยืนยันความถูกต้องของผลจากแบบจำลองทางไฟไนเอลิเมนต์ จึงได้มีการทดลองการดึงและกดของซีโนว์ในบริดจ์แคเรียอร์ตามรูปที่ 7 ได้ค่าเฉลี่ยของการทดลองดังตารางที่ 2 และได้มีการแสดงกราฟเปรียบเทียบผลจากไฟไนเอลิเมนต์กับผลจากการทดลองจริงตามรูปที่ 8



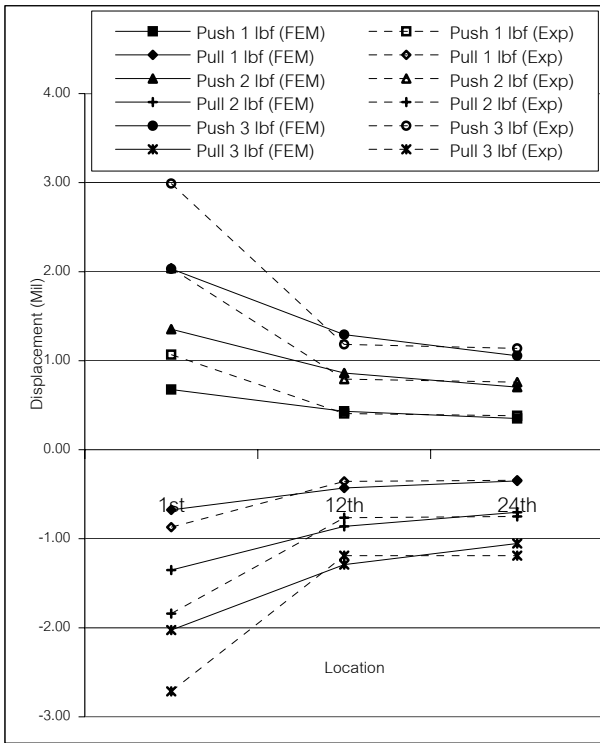
รูปที่ 7 แบบจำลองอุปกรณ์ทดสอบการดึงหรือกด

ตารางที่ 2 แสดงค่าระยะเปลี่ยนแปลงสูงสุดของการกดและดึงโดยการทดสอบจริง (หน่วย: Mil)

แรง/ตำแหน่ง	1 st	12 th	24 th
กด 1 ปอนด์	1.068	0.406	0.381
ดึง 1 ปอนด์	-0.869	-0.356	-0.343
กด 2 ปอนด์	2.038	0.794	0.759
ดึง 2 ปอนด์	-1.841	-0.763	-0.749
กด 3 ปอนด์	2.990	1.183	1.138
ดึง 3 ปอนด์	-2.714	-1.190	-1.190



ก.



ข.

รูปที่ 8 ผลการทดลองจริงของระยะยวบตัวสูงสูงบริเวณผิวหน้า
สัมผัสสไลเดอร์บาร์ ก. ระยะยวบตัวเทียบกับแรงกระทำ และ
ข. ระยะยวบตัวเทียบกับตำแหน่งของซีนิว

จากการทำการทดลองเปรียบเทียบพบว่าระยะเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อได้รับแรงดึงหรือแรงกด พบว่าบริเวณซีที่ 24th และซีที่ 12th ได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน ส่วนซีที่ 1st นั้นพบว่าค่าที่ได้ไม่ค่อยจะตรงกับแบบจำลองทั้งนี้ทั้งนั้น มีสาเหตุจากจำนวนชิ้นงานที่สุ่มมาทดสอบยังน้อยเกินไปและบริเวณด้านข้างของซีนิวมีปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ อาทิ มาตรฐานการประกอบชิ้นงาน

6. สรุป

จากแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของซีนิวและเงื่อนไขในการทดสอบต่างๆ ทำให้ได้ผลการเปลี่ยนแปลงระยะโก่งตัวบริเวณหน้าผิวสัมผัสของซีนิว โดยที่ซีที่ 24 หรือบริเวณกึ่งกลางของซีนิวพบว่าระยะเปลี่ยนแปลงได้สมการการดึงและการกดดังนี้ $y = -0.3509x - 3E-05$ และ $y = 0.3517x - 2E-05$ ตามลำดับ นั่นคือที่แรงกระทำ 0.44 lbf ซึ่งเป็นค่าแรงที่ใช้ในการทดสอบ จะได้ระยะโก่งตัวที่ประมาณ 0.154 mils ทั้งกรณีดึงและกดแต่เกิดคนละทิศทาง และนอกจากนั้นยังสามารถสร้างสมการซีที่ 1 และ 12 เพื่อหาระยะเปลี่ยนแปลง รวมถึงสมการหาระยะเปลี่ยนแปลง ที่กำหนดค่าแรงเป็น 1, 2, และ 3 lbf เพื่อหาค่าระยะเปลี่ยนแปลงในทุกๆ ซีนิว หากมองในแนวการประยุกต์พบว่าสามารถนำเอาโมเดลหรือแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์นี้มาใช้ในการกำหนดมาตรฐานการทดสอบแรงดึงและแรงกดเทียบกับการทดสอบจริงเพื่อหาปริตจ์แคเรียอร์ที่มีความบกพร่องหรือไม่สามารถสังเกตเห็นได้

จากภายนอก เพื่อเป็นการป้องกันการนำเอาปริตจ์แคเรียอร์ที่ไม่สมบูรณ์ไปใช้ในกระบวนการผลิต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากบริษัท Seagate Technology (Thailand) และทุนช้างเผือกมอดินแดง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

1. Y. Mei, K. A. Stelson, "Lapping Control of hard disk drive heads," *Trans.ASME*, vol.123, pp. 439-448, Sep 2001.
2. M. Jiang, S. Hao, R. Komanduri, "On the advanced lapping process in the precision finishing of thin-film magnetic recording heads for rigid disc drives," *Springer-Verlag*, vol.77, pp. 923-932, Dec 2003.
3. M. Zhang, Y. S. Hor, G. Han, B. Liu, "Slider Curvature Adjustment Through Stress Control," *IEEE Trans. Magn.*, 38 (5), pp. 2162-2164, Sep 2002.
4. H.H. Gatzert, J.C. Maetzig, M.K. Schwabe, "Precision Machining of Rigid Disk Head Sliders," *IEEE Trans. Magn.*, 23 (3), pp. 1843-1849, 1996
5. J. P. Peng, R. F. Harwood, "Modeling of a General Crown Shape and the Effects on Air Bearing Steady-State Performance," *IEEE Trans. Magn.*, 32 (5), pp. 3711-3713, Sep 1996.
6. T. R. Chandrupatla, A. D. Belegundu, 1997, *to Finite Elements in Engineering*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey