

การวิเคราะห์ผลกระทบของอุปกรณ์จับยึด สไลเดอร์บาร์ในกระบวนการขัดเปิดผิวหน้า

Interaction of Bridge Carrier in Lapping Process

เกรียงศักดิ์ แสนสำโรง (Kriengsak Saensumrong)¹
และ สิริวิทย์ เตชะเจษฎารังษี (Sirivit Taechedcasri)^{2*}

บทคัดย่อ

สไลเดอร์หรือหัวอ่านเขียนเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในการอ่านและเขียนข้อมูลของอุปกรณ์บันทึกข้อมูลฮาร์ดดิสก์ โดยในการผลิตสไลเดอร์นั้นจะต้องผ่านกระบวนการต่าง ๆ มากมาย และหนึ่งในกระบวนการที่สำคัญของการผลิตคือ กระบวนการขัดเปิดผิวหน้า เนื่องจากจำเป็นจะต้องทำการเปิดหัวอ่านเขียนที่บริเวณปลายของสไลเดอร์เพื่อให้อุปกรณ์สามารถรับสัญญาณได้ แต่เนื่องจากขนาดที่เล็กและระยะที่ต้องการขัดออกก็มีระยะน้อยมาก รวมถึงในการขัดนั้นจะทำการขัดครั้งละหลาย ๆ ตัว โดยที่สไลเดอร์แต่ละหัวยังคงติดกันอยู่ในลักษณะที่เป็นบาร์ ฉะนั้นแล้วจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์มาควบคุมสั่งการการขัดให้สไลเดอร์แต่ละหัวสามารถขัดเสร็จที่ระยะเป้าหมายเหมือนกัน ทุกตัว บริดจ์แครีเออร์หรืออุปกรณ์จับยึดสไลเดอร์บาร์ คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการส่งผ่านแรงจากเครื่องขัดไปยังบาร์ ฉะนั้นแล้วในบทความนี้จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับค่าของแรงและระยะที่เปลี่ยนแปลงบริเวณหน้าผิวสัมผัสบาร์เมื่อมีการกดหรือดึง โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้นำหลักของไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามาช่วยในการทำแบบจำลองเพื่อทดสอบ และเพื่อยืนยันผลจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์จึงได้ทำการทดลองควบคู่ไปด้วย แต่เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ที่ไม่สามารถทดสอบที่ค่าแรงต่ำ ๆ ได้ จึงได้ทำการทดสอบที่ค่าแรง 1, 2 และ 3 lbf และกำหนดเป็นค่าแรงเดียวกับที่ใช้ในแบบจำลอง พบว่าแนวโน้มของระยะโก่งตัวสูงสุดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แต่มีขนาดที่ไม่เท่ากัน จากนั้นจึงนำเอาข้อมูลจากการทดสอบจริงกับข้อมูลจากแบบจำลองมาสร้างสมการความสัมพันธ์พบว่ามีความสัมพันธ์กับในลักษณะเชิงเส้นที่เชื่อถือได้ด้วยค่า R^2 ที่มีค่าเกือบเท่ากับ 1 ทำให้สามารถสร้างสมการทำนายระยะโก่งตัวที่เกิดขึ้นจากสมการความสัมพันธ์และสมการจากแบบจำลอง ผลลัพธ์ที่ได้คือสมการทำนายซึ่งเป็นสมการเส้นตรงที่สามารถทำนายระยะโก่งตัวได้จากการกำหนดค่าแรงที่ต้องการดึงหรือกด โดยในที่นี้สามารถทำได้ 3 บริเวณคือชิ้นที่ 1, 12 และ 24 รวมถึงสามารถนำสมการทำนายช่วยในการทดสอบเพื่อหาบริดจ์แครีเออร์ที่ไม่ได้มาตรฐานเนื่องจากการเสียรูปภายในที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ และแบบจำลองนี้ยังเป็นตัวแทนในการทดสอบอื่นๆในอนาคตต่อไปได้

Abstract

Slider or Read/Write heads is the most important component for read and write data process of Hard Disk Drive (HDD). From all over production, the critical process in slider production is lapping process. Lapping process is performed in the purpose of good data transition by lap the tip of slider to open the head pole. As the result of small size, very few grinding distance, and simultaneous multi-head grinding, so the

¹ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*corresponding author, e-mail: sirtae@kku.ac.th

bridge carrier has become necessary as an instrument, which is used to control lapping process to meet quality and other requirements. Bridge carrier is also an instrument, which carries slider bar and transmits lapping force from lapping machine to slider bar as well. This article is a studying regarding to forces and changing distance on slider bar surface when the bar is pressed or pulled by using Finite Element Method (FEM) for simulation and then proving the results by experimentation. According to limitation of existing instrument, which is unable to experiment with the little amount of force, the experimental forces are set as 1, 2 and 3 lbf respectively and assigned the forces to simulate also. The results show trends of maximum bending distance in the same direction; however, the sizes are different. The relationship between simulation and experimental results are linear regressions since the value of R^2 is almost equal to 1. Finally the predictable equation is formulated to predict slider bar bending distance by assign tension force or compression force to the first, twelfth and twenty forth teeth or finger; furthermore, defective bridge carrier can be found by using this equation without visual inspection. And this simulation and equation can be represented for future works.

คำสำคัญ: สไลเดอร์, ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์, การบวนการขัดเปิดผิวหน้า, บาร์, บริดจ์แคริเออร์

Keywords: Slider, Hard disk drive, Lapping process, Bar, Bridge Carrier

บทนำ

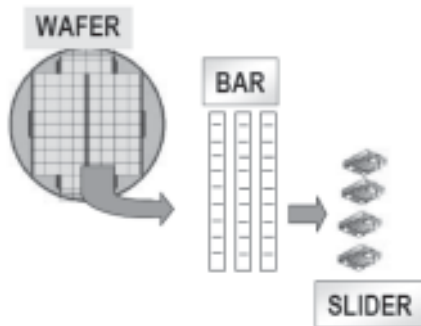
ในการผลิตหัวอ่าน/เขียนหรือสไลเดอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ แสดงในรูปที่ 1 สไลเดอร์ซึ่งมีหน้าที่ในการเขียนข้อมูลลงไปในแผ่นบันทึกข้อมูลรวมถึงอ่านข้อมูลกลับคืนจากแผ่นข้อมูล และเนื่องจากปัจจุบันมีการเพิ่มความหนาแน่นในการบันทึกข้อมูลอย่างมาก (Aerial Density) ทำให้สไลเดอร์ที่ผลิตนั้นต้องได้มาตรฐานและมีขนาดที่เล็กลงตามขนาดข้อมูลที่เล็กลง ทำให้กระบวนการผลิตแต่ละขั้นตอนมีความสำคัญอย่างมาก หนึ่งในกระบวนการที่ทำหน้าที่ในการเปิดผิวที่ปลาย เพื่อให้สไลเดอร์สามารถรับสัญญาณได้ คือ กระบวนการเปิดผิวหน้า (Lapping Process) (Mei Y. et al., 2001; Zhang M. et al., 2002; Peng J.P. et al., 1996)

ในรูปที่ 2 ได้แสดงที่มาของสไลเดอร์โดยเริ่มต้นจากการนำเอาแผ่นเวเฟอร์มาตัดเป็นบาร์ จากนั้นนำเอาบาร์ที่ได้เข้าสู่กระบวนการขัดเปิดผิวหน้า เมื่อขัดเปิดผิวหน้าจนได้ระยะที่ต้องการ จึงจะนำมาตัดเป็นสไลเดอร์ ในรูปที่ 3 ได้แสดงถึงโครงสร้างของบาร์ ซึ่งประกอบไปด้วยสไลเดอร์เรียงตัวกัน ซึ่งมีตั้งแต่ 20 ถึง 60 สไลเดอร์หรือมากกว่านั้น ในแต่ละตัวของสไลเดอร์จะมีเซ็นเซอร์

วัดระยะการขัด Lap sensor หรือ ELGs (Electrical Lapping Guide) โดยใช้หลักการของการแปลงค่าความต้านทานเป็นความสูงที่ขัดได้โดยความสูงของเซ็นเซอร์ หรือ SH (Sensor Height) จะมีค่าเริ่มต้นที่ประมาณ 10 ไมโครเมตร จากนั้นจะขัดจนเหลือประมาณ 0.1 ไมโครเมตรจึงจะเสร็จสิ้น ซึ่งจะเห็นว่าการขัดให้สไลเดอร์ทุกตัวถึงค่าเป้าหมายพร้อมกันจึงเป็นเรื่องยาก จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ควบคุมโดยตรงที่เรียกว่าบริดจ์แคริเออร์ (Mei Y. et al., 2001; Jiang M. et al., 2003, Gatzert H.H. et al., 1996)

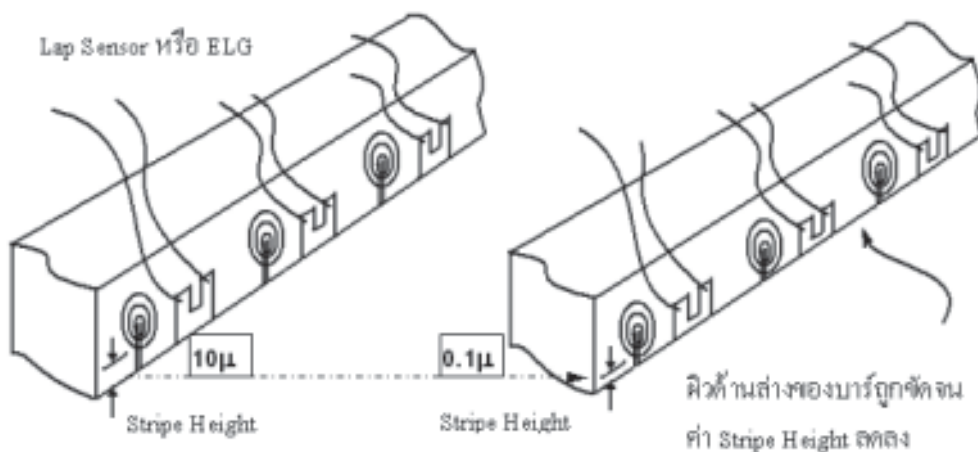


รูปที่ 1 แสดงตำแหน่งการทำงานของหัวอ่านเขียนสไลเดอร์

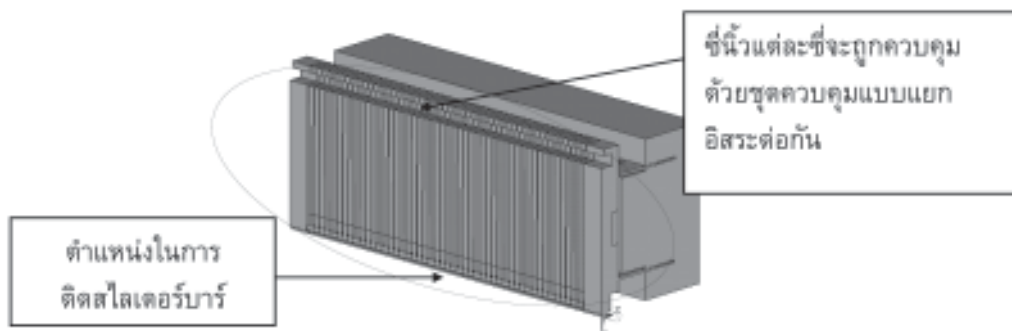


รูปที่ 2 แสดงสไลเดอร์และบาร์ที่ได้จากแผ่นเวเฟอร์

ฉะนั้นแล้วบริดจ์แคปเจอร์หรืออุปกรณ์จับยึดสไลเดอร์บาร์ จึงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญ มีหน้าที่ในการนำเอาสไลเดอร์บาร์ ผ่านเข้าไปยังกระบวนการกัดเปิดผิวหน้า หน้าที่หลักของบริดจ์แคปเจอร์คือส่งผ่านแรงกดหรือแรงดึงจากเครื่องกัดผ่านชิ้นส่วนที่ชื่อว่าซีนิ้ว (Finger) แสดงในรูปที่ 4 โดยเครื่องกัดจะรับคำสั่งจากเซ็นเซอร์วัดระยะการกัดที่ติดอยู่ที่สไลเดอร์บาร์ เพื่อทำการตรวจสอบว่าสไลเดอร์ตัวใดมีการกัดไปมากน้อยเพียงใด เพื่อทำการประมวลผลสั่งการให้บริดจ์แคปเจอร์ทำการดึงหรือกดบริเวณนั้น จนกว่าการกัดจะเสร็จสมบูรณ์



รูปที่ 3 โครงสร้างของสไลเดอร์บาร์และ Sensor Height (SH) ที่ลดลงเมื่อถูกกัด



รูปที่ 4 แสดงบริดจ์แคปเจอร์และซีนิ้ว

ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาผลของแรงดึงแรงกดที่มีต่อการยุบตัวหรือโก่งตัวบริเวณตำแหน่งที่มีการติดสไลเดอร์บาร์ ทำการทดสอบโดยการสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของบริดจ์แคริเออร์ เพื่อใช้เป็นแบบจำลองในการทำนายผลการโก่งตัวหรือยุบตัวในตำแหน่งและค่าแรงที่แตกต่างกันบนชิ้นนี้ รวมถึงสร้างสมการการทำนายค่ายุบตัวที่ค่าแรงและตำแหน่งต่างๆ และเพื่อยืนยันผลจากไฟไนต์เอลิเมนต์ จึงได้มีการทำการทดสอบการดึงและกดโดยตรงเพื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้

รายละเอียดแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

แบบจำลองบริดจ์แคริเออร์ (Bridge Carrier Model)

ในบริดจ์แคริเออร์ประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆ หลายชิ้น แต่มีเพียงชิ้นเดียวที่ทำหน้าที่ในการส่งผ่านแรงโดยตรง ฉะนั้นจึงทำการศึกษารูปแบบหลักนี้ โดยเรียกชิ้นส่วนนี้ว่า ชี้นิ้ว (Finger) ซึ่งเป็นส่วนที่นำมาสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ แสดงในรูปที่ 5 เนื่องจากเป็นรูปร่างที่ไม่ซับซ้อนและพิจารณาเพียงแค่รูปร่างที่เปลี่ยนไปในทิศทาง x , y , z เท่านั้น ในที่นี้จึงเลือกใช้เอลิเมนต์แบบสี่เหลี่ยมสำหรับโครงสร้าง 3 มิติ (3D Structural-Solid Element) หรือ SOLID45 ในโปรแกรม ANSYS (Saeed Moaveni, 2003) สำหรับการคำนวณด้วยหลักทางไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อให้ได้คำตอบที่ถูกต้องที่สุด ได้ใช้การคำนวณแบบสถิตย์ (Static Finite Element Analysis) เพื่อให้เหมาะสมกับการทดลองที่จะนำไปเปรียบเทียบต่อไป

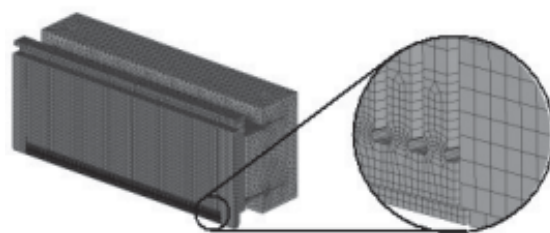
เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions)

กำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) และคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

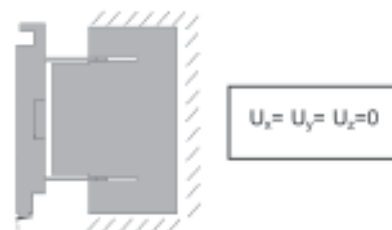
1. โครงสร้างชี้นิ้วทำจากสแตนเลสประเภท 300 (300 Stainless Steel)
2. ทำการทดสอบที่อุณหภูมิอ้างอิง 25°C หรือ 293 K
3. ผิวสัมผัสของโครงสร้างชี้นิ้วและแกนกลางเป็นแบบเชื่อมติดกัน (Glue Surface)

4. กำหนดค่า ที่ผิวสัมผัสของชี้นิ้วหรือครีบริดด้านล่างกับส่วนฐาน เป็นแบบยึดติดกัน

5. กำหนดเงื่อนไข (Constraints) ที่ผิวด้านล่างและด้านข้างของส่วนฐานให้มีค่าองศาอิสระเท่ากับศูนย์ทุกแกนดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 แสดงเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมของแบบจำลอง



รูปที่ 6 แสดงผิวของบริดจ์แคริเออร์ที่มีค่าองศาอิสระเท่ากับศูนย์

ทฤษฎีโครงสร้างพื้นฐาน (Structural Fundamental Theory)

จากความสัมพันธ์ของความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ของวัสดุที่มีความต่อเนื่องแบบเส้นตรง (Linear materials) อธิบายความสัมพันธ์ด้วยสมการที่ 1. (Chandrupatla T.R. et al., 1997)

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

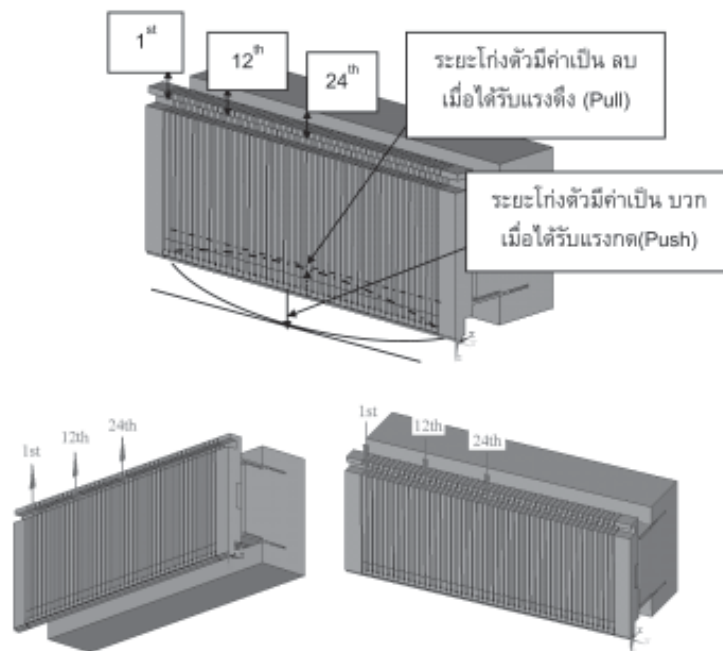
โดยที่ $\{\sigma\}$ = เวกเตอร์ความเค้น = $[\sigma_x \sigma_y \sigma_z \sigma_{xy} \sigma_{xz} \sigma_{yz}]^T$, $[D]$ = ค่าเมตริกซ์ความเค้น-ความเครียด (Elastic Stiffness Matrix) และ

$\{\epsilon^{el}\} = \{\epsilon\} - \{\epsilon^{th}\}$ = เวกเตอร์ความเครียดยืดหยุ่น (elastic strain vector) เมื่อ $\{\epsilon\}$ = เวกเตอร์ความเครียด = $[\epsilon_x \epsilon_y \epsilon_z \epsilon_{xy} \epsilon_{xz} \epsilon_{yz}]$ และ $\{\epsilon^{th}\}$ = เวกเตอร์ความเครียดที่ขึ้นกับอุณหภูมิ (thermal strain vector) แต่เนื่องจากการศึกษานี้มีการสมมุติให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ฉะนั้นจากสมการที่ 1 สามารถเขียนความสัมพันธ์ในรูปของความเครียดตามสมการที่ 2

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

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

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



รูปที่ 7 แบบจำลองตำแหน่งของแรงดึงและแรงกดและบริเวณที่ทำการวัดระยะโก่งตัวของ การทดลอง

เนื่องจากงานวิจัยในครั้งนี้เป็นการสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์จากงานจริง ฉะนั้นเพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองจึงได้มีการออกแบบการทดลองเพื่อวัดค่าโดยตรงเปรียบเทียบกับระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

ผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

แนวทางการวิเคราะห์แบบจำลอง

กำหนดให้มีการกดและดึงทดสอบ 3 บริเวณคือ ซีที่ 1, 12 และ 24 เนื่องจากโมเดลมีความสมมาตรตามรูปที่ 7. และในแต่ละตำแหน่งใช้แรงทดสอบ 3 ระดับคือ 1, 2 และ 3 ปอนด์ ทั้งนี้เนื่องจากอุปกรณ์ที่เลือกมาใช้ในการกำหนดค่าแรงในการทดลองจริงมีความละเอียดในการวัด (Resolution) ที่ 0.1 ปอนด์ และในการใช้งานจริงใช้อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0-0.22 ปอนด์ จึงควรที่จะทำการทดสอบด้วยค่าแรงอย่างน้อย 3 ค่าเพื่อใช้ในการสร้างสมการเชิงเส้น แต่ทว่า หากทำการทดลองที่ค่าต่ำๆ คือ 0.1, 0.2 และ 0.3 ปอนด์ จะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการวัดมีความผิดพลาดมาก ด้วยเหตุนี้จึงทำการทดลองในสเกลที่ใหญ่ขึ้น และใช้ช่วงห่างของค่าแรงที่เท่าๆ กัน คือ 1, 2 และ 3 ปอนด์ ในการทำเช่นนี้จะช่วยให้ลดค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดได้ และเช่นเดียวกันจึงต้องใช้ค่าแรงทดสอบนี้กับแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อสามารถใช้ในการเปรียบเทียบผลที่ได้

ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง

ค่าเฉลี่ยระยะสูงสุดที่ได้จากการทดสอบแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์คือการนำเอาค่าระยะโก่งตัวที่เปลี่ยนแปลงจากเดิมตามแนวแกน Z ที่ค่าแรง 1, 2 และ 3 ปอนด์ของตำแหน่งที่ทำการทดสอบนั้นๆ มาแสดงการเปรียบเทียบในรูปของกราฟโดยที่แกน y เป็นค่าระยะโก่งตัวและแกน x เป็นค่าแรงที่กำหนด กราฟแต่ละเส้น

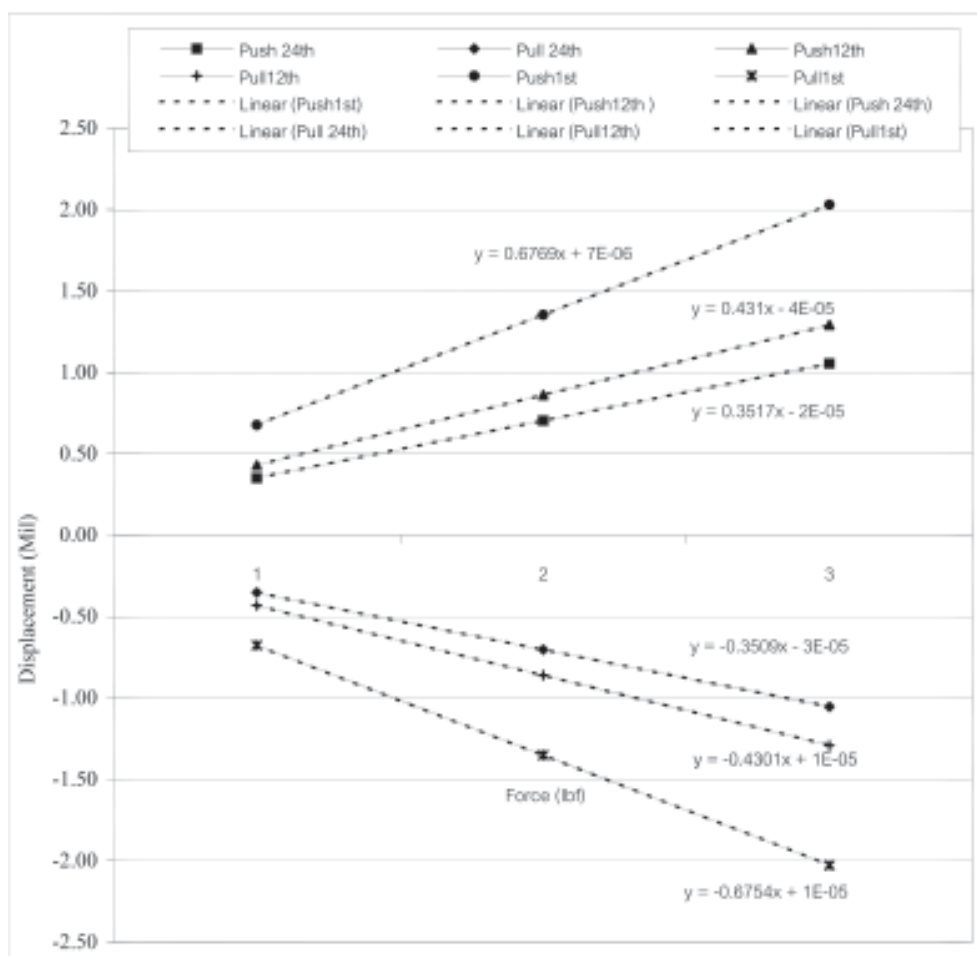
คือตำแหน่งและทิศทาง (ทิศทางการดึงและทิศทางการกด) ที่ทำการทดสอบ แสดงในรูปที่ 8 จากนั้นใช้การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น Linear Regression ในการสร้างสมการและใช้ค่า R^2 (R-Square) ในการวัดระดับความน่าเชื่อถือของสมการ พบว่าค่า R^2 ของกราฟทุกเส้นมีค่าเท่ากับ 1 นั่นคือความน่าเชื่อถือของสมการทั้งหมดเชื่อถือได้และจากกราฟพบว่าระยะโก่งตัวของแต่ละซีนี้มีความเป็นเชิงเส้น ในตารางที่ 1 ได้มีการแสดงสมการเส้นตรง ซึ่งสามารถใช้สมการในการหาระยะโก่งตัวที่ค่าแรงต่างๆ ได้ รวมทั้งค่าแรงที่นอกเหนือจากที่ทำการทดสอบ เพื่อความสะดวกในการไม่ต้องกลับมาคำนวณแบบจำลองอีกครั้ง

ผลการทดลอง

ผลการทดลองวัดค่าโดยตรง

เพื่อยืนยันความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ จึงได้มีการทดลองการดึงและการกดของซีนี้ในบริดจ์เครื่อ 3 ตำแหน่งตามรูปที่ 7 เช่นเดียวกับที่ทำในไฟไนต์เอลิเมนต์โดยเครื่องมือในการทดสอบแสดงในรูปที่ 9 และได้ค่าเฉลี่ยของการทดลองดังแสดงในกราฟรูปที่ 10 เปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลองจริง

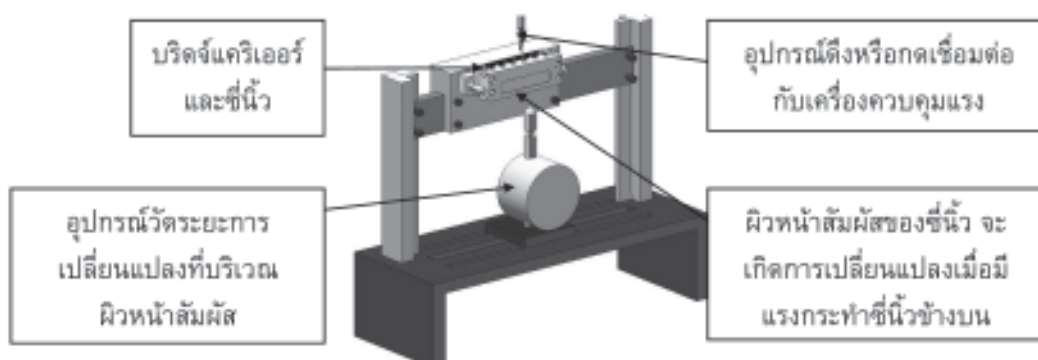
จากตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระยะโก่งตัวระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อซีนี้ได้รับแรงดึงและแรงกดบริเวณซีที่ 24th และซีที่ 12th มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ไม่สูงมาก ซึ่งต่างจากซีที่ 1st ที่มีความคลาดเคลื่อนที่สูง แต่ในความคลาดเคลื่อนที่สูงนั้นจะเห็นว่าค่าความชันของเส้นกราฟในรูปที่ 11 เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ทำให้สามารถนำข้อมูลจากทั้งสองชุดมาหาความสัมพันธ์กันได้ แสดงในกราฟรูปที่ 12



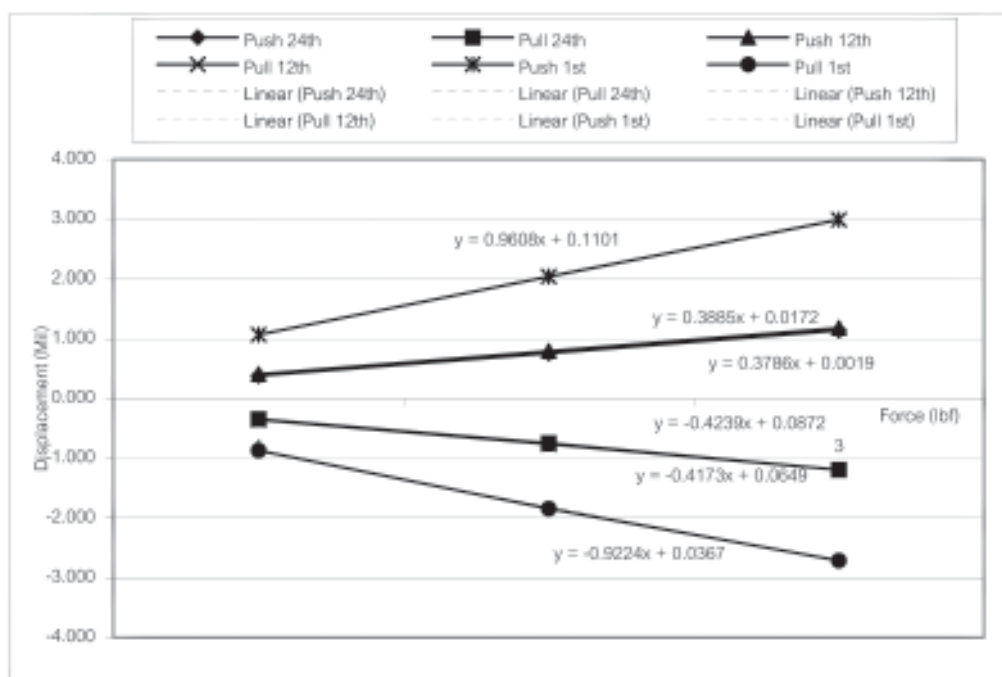
รูปที่ 8 ผลจากไฟไนต์เอลิเมนต์ของระยะโก่งตัวตามแนวแกน Z ของคานในตำแหน่งที่ตรงกับชิ้นนี้ที่ทำการทดสอบเทียบกับแรงที่กระทำ

ตารางที่ 1 แสดงสมการแทนผลลัพธ์จากไฟไนต์เอลิเมนต์

ตัวแปรตาม(y)	ตัวแปรต้น(x)	เงื่อนไข	สมการ	R ² (R-Square)
ระยะโก่งตัว (หน่วย: 10 ⁻³ นิ้ว หรือ Mil)	แรง (หน่วย: ปอนด์)	กด(24 th)	$y = 0.3517x - 2E-05$	1
		ดึง(24 th)	$y = -0.3509x - 3E-05$	1
		กด(12 th)	$y = 0.431x - 4E-05$	1
		ดึง(12 th)	$y = -0.4301x + 1E-05$	1
		กด(1 st)	$y = 0.6769x + 7E-06$	1
		ดึง(1 st)	$y = -0.6754x + 1E-05$	1



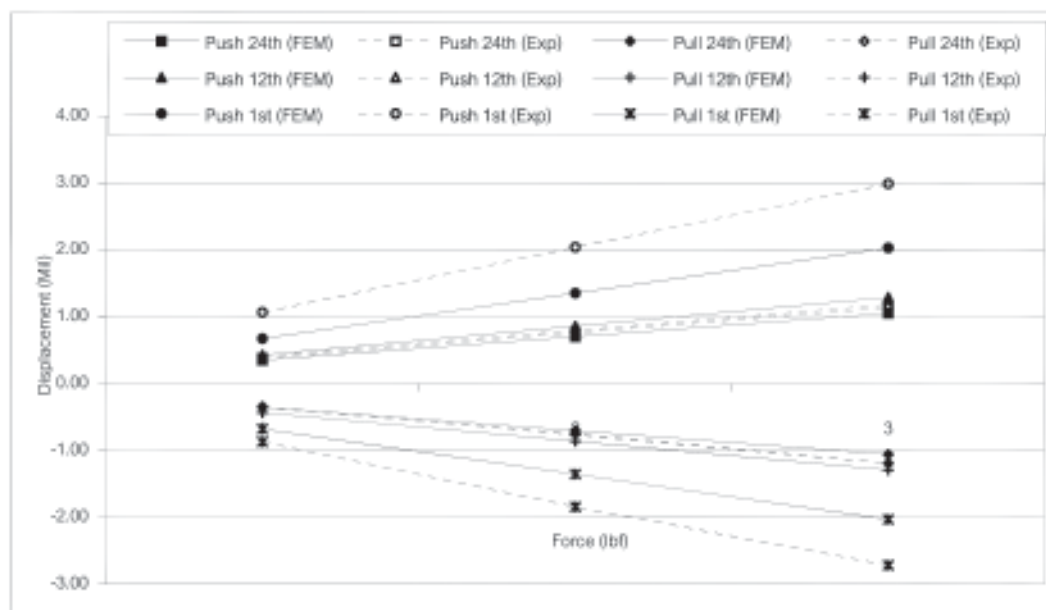
รูปที่ 9 แบบจำลองอุปกรณ์ทดสอบการดึงหรือกด



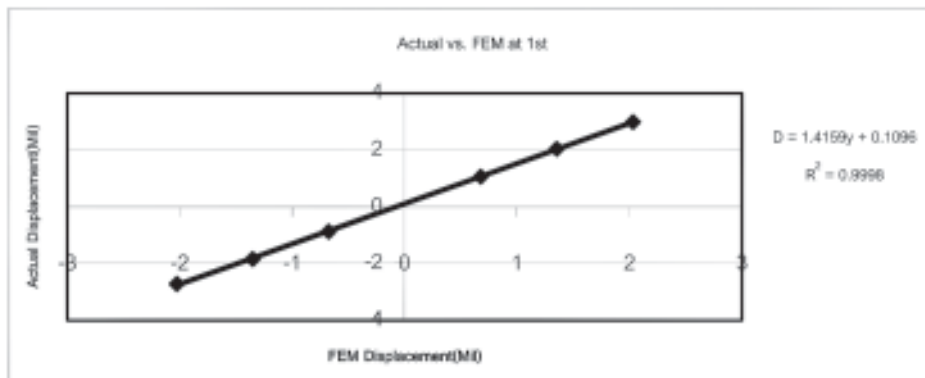
รูปที่ 10 ผลการทดลองจริงของระยะโก่งตัวตามแนวแกน Z ของคานในตำแหน่งที่ตรงกับซีวีวีที่ทำการทดสอบเทียบกับแรงที่กระทำ

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระยะโก่งตัวระหว่างการวัดค่าจริงกับค่าที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์

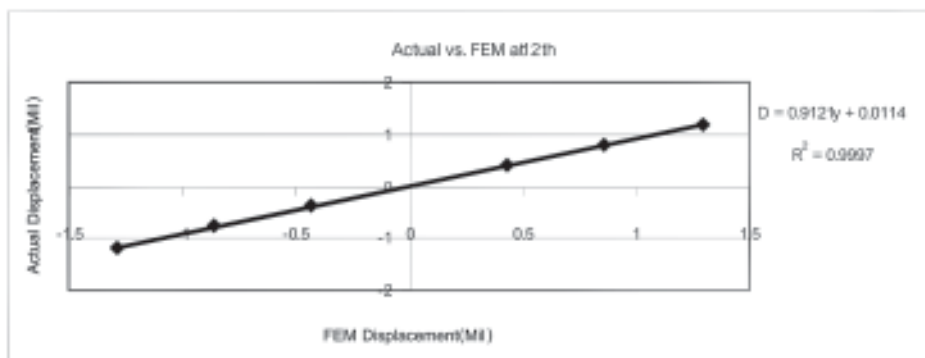
แรง/ตำแหน่ง	ระยะโก่งจากการวัดจริง			ระยะโก่งจากไฟไนต์เอลิเมนต์			เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%)		
	1 st	12 th	24 th	1 st	12 th	24 th	1 st	12 th	24 th
กด 1 ปอนด์	1.068	0.406	0.381	0.677	0.431	0.352	36.61	6.15	7.61
ดึง 1 ปอนด์	-0.869	-0.356	-0.343	-0.675	-0.43	-0.351	22.32	20.78	2.33
กด 2 ปอนด์	2.038	0.794	0.759	1.354	0.862	0.703	33.56	8.56	7.37
ดึง 2 ปอนด์	-1.841	-0.763	-0.749	-1.351	-0.86	-0.702	26.61	12.71	6.27
กด 3 ปอนด์	2.99	1.183	1.138	2.031	1.293	1.055	32.07	9.29	7.29
ดึง 3 ปอนด์	-2.714	-1.19	-1.19	-2.026	-1.29	-1.053	25.35	8.40	11.51
ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%)							29.42	10.98	7.06



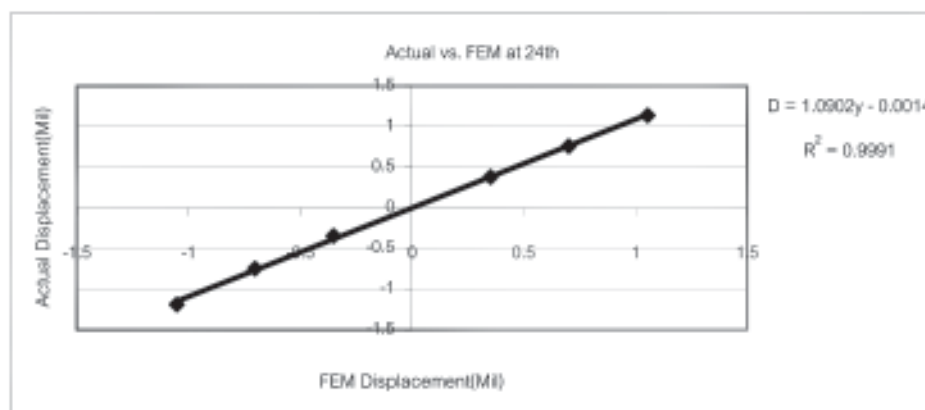
รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบระยะโก่งตัวระหว่างค่าวัดจริงกับค่าจากไฟไนต์เอลิเมนต์



ก.



ข.



ค.

รูปที่ 12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากการทดสอบจริงกับค่าจากไฟไนต์เอลิเมนต์
ก. ซีที่1, ข. ซีที่12 และ ค. ซีที่24

เหตุที่ค่าของแรงดึงและแรงกดที่ได้จากการทดลองมีความแตกต่างกันทั้งนี้เนื่องจากการทดลองนั้นได้ใช้กลุ่มประชากรหรือจำนวนบริดจ์แคเรียอร์ที่มีจำนวนน้อยอยู่ในการทำทดลองครั้งนี้ได้สุ่มเลือกบริดจ์แคเรียอร์จำนวน 20 ตัวจากบริดจ์แคเรียอร์ที่ได้ผ่านมาตรฐานการประกอบแล้ว รวมถึงยังไม่ผ่านกระบวนการเชื่อมเติมผิวหน้า แต่ทว่าอายุการใช้งานของแต่ละตัวมีความแตกต่างกัน ข้อมูลที่ได้เกิดการกระจายตัวขึ้นแบบแตกต่างกันระหว่างแรงดึงและแรงกดส่งผลให้ได้ค่าเฉลี่ยของแรงดึงและแรงกดที่ไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตามกับแบบจำลองจากไฟไนต์เอลิเมนต์

จากการเปรียบเทียบการทดสอบจะเห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นที่ซี่นี้ที่ 1 มีความคลาดเคลื่อนสูงที่สุดทั้งนี้เนื่องจากขอบทั้งสองด้านของซี่นี้ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับซี่นี้ใด ๆ ในซี่นี้ทั้งหมด จากการใช้งานของบริดจ์แคเรียอร์ที่นำมาทดสอบที่ผ่านการใช้งานมาไม่เท่ากัน การสึกหรอของอุปกรณ์ที่เกิดขึ้นไม่เท่ากันส่งผลให้ซี่นี้ที่มีการเปลี่ยนแปลงฉับพลัน (Critical) อย่างซี่นี้ที่ 1 ได้รับผลกระทบสูงที่สุดทำให้ค่าที่ได้จากการทดลองมีความคลาดเคลื่อนที่สูงที่สุด และเหตุผลหนึ่งที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนคือ ขนาดและรูปร่างของซี่นี้ที่มีความคลาดเคลื่อนจากการวัด

จากความสัมพันธ์ในกราฟรูปที่ 12 พบว่าค่า R^2 ของสมการซี่ที่ 1 ซี่ที่ 12 และ ซี่ที่ 24 หรือ $D = 1.4159y + 0.1096$, $D = 0.9121y + 0.0114$ และ $y = 1.0902x - 0.0014$ คือ 0.9998, 0.9997 และ 0.9991 ตามลำดับ มีค่าเข้าใกล้ 1 หมายถึงระดับความน่าเชื่อถือของสมการนั้นเชื่อถือได้

สมการทำนาย (Predict Equations)

จากความสัมพันธ์เชิงข้อมูลของระยะโก่งตัวที่ได้จากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์และที่ได้จากการวัดค่าจริงสามารถนำมาสร้างสมการทำนายได้ โดยสมการทำนายคือการนำเอาผลลัพธ์ที่ได้จากสมการไฟไนต์เอลิเมนต์แทนค่าในสมการความสัมพันธ์ ซึ่งสามารถใช้สมการทำนายในการคาดการณ์ระยะยุบตัวที่ค่าแรงต่างๆ ที่นอกเหนือจากการทดสอบได้และสามารถเชื่อถือได้ ตารางที่ 3 แสดงสมการทำนายที่ได้จากการแทนค่าสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ลงในสมการความสัมพันธ์

ตารางที่ 3 แสดงสมการทำนายและสมการความสัมพันธ์

เงื่อนไข	สมการจากไฟไนต์เอลิเมนต์	สมการความสัมพันธ์	สมการทำนาย
กด(24th)	$y = 0.3517x - 2E-05$	$D = 1.0902y - 0.0014$	$D = 0.38342x - 0.00142$
ดึง(24th)	$y = -0.3509x - 3E-05$	$D = 1.0902y - 0.0014$	$D = -0.38255x - 0.00143$
กด(12th)	$y = 0.431x - 4E-05$	$D = 0.9121y + 0.0114$	$D = 0.39312x + 0.01136$
ดึง(12th)	$y = -0.4301x + 1E-05$	$D = 0.9121y + 0.0114$	$D = -0.39229x + 0.01141$
กด(1st)	$y = 0.6769x + 7E-06$	$D = 1.4159y + 0.1096$	$D = 0.95842x + 0.10961$
ดึง(1st)	$y = -0.6754x + 1E-05$	$D = 1.4159y + 0.1096$	$D = -0.95630x + 0.10961$

สรุป

จากการทำการทดลองเปรียบเทียบผลจากไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่าระยะโก่งตัวสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณซี่ที่ 1, ซี่ที่ 12 และซี่ที่ 24 พบว่า ทั้งสองชุดข้อมูลมีความเป็นเชิงเส้นด้วยกันทั้งคู่และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แต่ยังไม่สามารถใช้สมการเส้นตรงที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์มาเป็นตัวแทนการทำนายระยะยุบตัวที่ค่าแรงต่างๆได้ เนื่องจากระยะโก่งตัวจริงที่เกิดขึ้นมีขนาดที่ไม่เท่ากันกับค่าจริง จึงต้องนำเอาสมการความสัมพันธ์ของทั้งสองชุดข้อมูลมาช่วยในการสร้างสมการทำนาย ทั้งนี้เพื่อใช้ในการทำนายระยะยุบตัวที่ค่าแรงต่ำๆหรือสูงกว่าที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งจะช่วยให้สามารถรู้ถึงระยะโก่งตัวของหน้าผิวสัมผัสบาร์เมื่อได้รับแรงดึงหรือแรงกดที่ค่าแรงที่แตกต่างกัน รวมถึงยังสามารถใช้ในการหาปริมาตรครีเออร์ที่ไม่ได้มาตรฐานเนื่องจากการเสียรูปของซี่นี้ภายใน โดยการดึงหรือกดทดสอบแล้วเปรียบเทียบกับค่าจากสมการทำนายได้ รวมถึงยังเป็นแนวทางในการสร้างสมการของซี่อื่น ๆ นอกเหนือจากซี่นี้ที่ใช้ในการทดสอบอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากบริษัท Seagate Technology (Thailand) และทุนข้างเผือกมอดินแดง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

- Chandrupatla T.R., Belegundu A.D., 1997. To Finite Elements in Engineering, Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey
- Gatzen H.H., Maetzig J.C., Schwabe M.K., 1996. "Precision Machining of Rigid Disk Head Sliders,". *IEEE Trans. Magn.*, 23 (3), pp. 1843-1849.
- Jiang M., Hao S., Komanduri R., 2003. "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.
- Mei Y., Stelson K.A., 2001. "Lapping Control of hard disk drive heads," *Trans.ASME*, vol.123, pp. 439-448.
- Peng J.P., Harwood R.F., 1996. "Modeling of a General Crown Shape and the Effects on Air Bearing Steady-State Performance," *IEEE Trans. Magn.*, 32 (5), pp. 3711-3713.
- Saeed M, 2003. FINITE ELEMENT ANALYSIS Theory and Application with ANSYS, Second Edition. Pearson Education, Inc.: Upper Saddle River, New Jersey
- Zhang M., Hor Y.S., Han G., Liu B., 2002. "Slider Curvature Adjustment Through Stress Control," *IEEE Trans. Magn.*, 38 (5), pp. 2162-2164.