

การวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติทางกลของอุปกรณ์บริดจ์แคริเออร์ ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

ณัฐริวัฒน์ พลดี^{*1)} และ สุจินต์ บุรีรัตน์²⁾

บทคัดย่อ

ปัจจุบันระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในงานทางด้านวิศวกรรมวิเคราะห์และออกแบบทางด้านวิศวกรรมรวมถึงสามารถใช้ในการศึกษาพฤติกรรมทางกลของวัสดุเบื้องต้นเพื่อวิเคราะห์และหาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของวัสดุอุปกรณ์ บริดจ์แคริเออร์ (Bridge carrier) ก็เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่มีการศึกษาพฤติกรรมทางกลด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ บริดจ์แคริเออร์เป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้งานอยู่ในกระบวนการขัดเปิดผิวหน้าของสไลเดอร์บาร์ (Bar lapping process) ในอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จากความต้องการในการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้คุณภาพและลดอัตราการสูญเสียทำให้มีการศึกษาถึงพฤติกรรมทางกลบริดจ์แคริเออร์ เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ก็เป็นเครื่องมือสำคัญที่นำมาใช้เพื่อทำการศึกษา แต่ปัญหาหนึ่งในการศึกษาพฤติกรรมทางกลบริดจ์แคริเออร์ นั่นคือไม่ทราบค่าคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาผลิตบริดจ์แคริเออร์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติทางกลของบริดจ์แคริเออร์ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์โดยอ้างอิงจากผลที่ได้จากการทดลอง โดยค่าตัวแปรที่เป็นค่าคุณสมบัติของวัสดุที่ได้จากงานวิจัยนี้ได้แก่ค่า ย้ำมอดูลัส (Young's modulus) และค่าอัตราส่วนพัวซอง (Poisson's ratio)

คำสำคัญ: บริดจ์แคริเออร์, ไฟไนต์เอลิเมนต์, ค่าคุณสมบัติทางกลของวัสดุ

^{* 1)} นักศึกษาปริญญาเอก, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, จังหวัดขอนแก่น 40002,
อีเมลล์: 5270400036@stdmail.kku.com

²⁾ รองศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, จังหวัดขอนแก่น 40002,
อีเมลล์: sujbur@kku.ac.th

Material Identification of a Bridge Carrier Using Finite Element Analysis

Nantiwat Pholdee ^{*1)} and Sujin Bureerat ²⁾

Abstract

Currently, Finite Element Analysis (FEA) is widely to use on engineering analysis and design including to examine the mechanical behavior of material. A bridge carrier is an equipment in which its behavior can be studied via FEA. Industries use a bridge carrier in a bar lapping process in the slider micro-fabrication process of hard disk drives (HDD). From the need to increase production efficiency, it is required to study and know the mechanical behaviors of such a device. However, the problem in this case is that material properties of the carrier is completely unknown. Therefore, this paper has an objective to identify the bridge carrier material properties by using FEA based on experimental data. The properties are predicted in this paper are Young's modulus and Poisson's ratio.

Keywords: Bridge carrier, Finite element analysis, Material properties.

* 1) Post graduated Students, Department of Mechanical Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, E-mail: 5270400036@stdmail.kku.com

2) Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, E-mail: sujbur@kku.ac.th

1. บทนำ

บริดจ์แคกรีเออร์เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่ถูกใช้ในกระบวนการกัดเปิดผิวหน้าของสไลเดอร์บาร์ (Bar Lapping Process) อุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยทำหน้าที่เป็นตัวส่งผ่านแรงเพื่อควบคุมระยะการกัดในกระบวนการกัดเปิดผิวหน้าของสไลเดอร์บาร์ กระบวนการนี้เริ่มต้นโดยแผ่น wafer จะถูกติดเข้ากับบริดจ์แคกรีเออร์ จากนั้นบริดจ์แคกรีเออร์จะถูกนำมาเชื่อมต่อกับเครื่องกัดและทำการควบคุมระยะการกัดจากการส่งผ่านแรงมายังส่วนที่เป็นซี่ของบริดจ์แคกรีเออร์ ทำให้เกิดกัดเปิดผิวหน้าของบาร์เพื่อนำไปตัดเป็นสไลเดอร์บาร์ต่อไป จากปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้คือระยะการกัดไม่เป็นไปตามที่ต้องการดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาถึงพฤติกรรมทางกลของบริดจ์แคกรีเออร์และวิธีการหนึ่งที่ยอมรับใช้ในการศึกษาพฤติกรรมทางกลของชิ้นส่วนนั้นคือการศึกษาดูโดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งต้องกำหนดค่าคุณสมบัติทางกลของชิ้นส่วนนั้นๆ เช่นค่า ยิงมอดูลัส (Young's modulus), ค่าอัตราส่วนพัชของ (Poisson's ratio) และเงื่อนไขขอบเขตต่างให้เหมาะสม แต่เนื่องจากไม่ทราบค่าคุณสมบัติที่แท้จริงของบริดจ์แคกรีเออร์ทำให้ผลการ Simulation ไม่เป็นค่าเดียวกับจากผลการทดลอง (เกรียงศักดิ์และสิริวิชัย, 2551) งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติทางกลของบริดจ์แคกรีเออร์ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์โดยอ้างอิงจากผลที่ได้จากการทดลอง

การหาค่าคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุโดยทั่วไปจะศึกษาจากผลการทดลองซึ่งจำเป็นต้องกำหนดข้อสมมุติฐานเบื้องต้นเช่นมีคุณสมบัติเป็นเนื้อเอกพันธ์ (Homogeneous), มีคุณสมบัติอีลาสติกเท่ากันทุกทิศทาง (Isotropic) แต่สำหรับวัสดุที่เป็น inelastic material (Mahnken and Stein, 1996), โลหะผสม (complex metallic material) (Ghouati and Gelin, 2001) หรือ Viscoplastic material (Gelin and Ghouati, 1996) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีพฤติกรรมทางกลไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear behavior) ไม่สามารถใช้สมมุติฐานดังกล่าวได้ (Gelin and Ghouati, 1996) ดังนั้นการหาค่าคุณสมบัติของวัสดุ

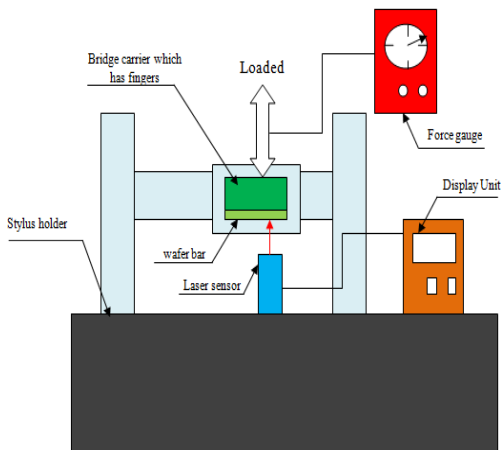
เหล่านี้ โดยทั่วไปอาศัยหลักการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ร่วมกับวิธีการทาง Optimization (Gelin and Ghouati, 1996), (Ghouati and Gelin, 2001), (Mahnken and Stein, 1996), (Wang and Ishikawa and Yuki., 2001) ในการหาค่าคุณสมบัติของวัสดุแบบย้อนกลับโดยพิจารณาอ้างอิงจากผลการทดลอง งานวิจัยนี้จึงประยุกต์เอาหลักการในการหาค่าคุณสมบัติโดยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ดังกล่าวมาเพื่อใช้ในการหาค่าคุณสมบัติเชิงกลของอุปกรณ์บริดจ์แคกรีเออร์ซึ่งไม่ทราบค่าคุณสมบัติทางกลของวัสดุ

สำหรับการหาค่าคุณสมบัติเชิงกลของอุปกรณ์บริดจ์แคกรีเออร์จะประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์หาค่าการยุบตัวของบาร์ทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากผลการทดลองเพื่อหาค่า ยิงมอดูลัสและค่าอัตราส่วนพัชของของอุปกรณ์บริดจ์แคกรีเออร์ที่ถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรและทำการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปร เพื่อค้นหาค่าตัวแปรที่ทำให้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าตรงกับผลที่ได้จากการทดลอง กล่าวคือมีค่า Error น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับผลจากการทดลอง

2. การทดสอบและอุปกรณ์

ในการทดสอบเพื่อหาค่าการยุบตัวของบาร์ในบริดจ์แคกรีเออร์จะทำการทดสอบโดยใช้เครื่องมือที่ถูกติดตั้งไว้แล้วที่ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย (โคราซ) จำกัด โดยผู้วิจัยก่อนหน้าที่ทำการศึกษถึงพฤติกรรมทางกลของบริดจ์แคกรีเออร์ ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์โดยอุปกรณ์ในการทดสอบ (รูปที่ 1) จะประกอบไปด้วย

- 2.1 แท่นสำหรับจับยึดบริดจ์แคกรีเออร์
- 2.2 แท่นสำหรับจับยึดอุปกรณ์วัดแรง
- 2.3 อุปกรณ์วัดแรง (Force gauge)
- 2.4 อุปกรณ์วัดระยะแบบ Laser (Laser displacement sensor)



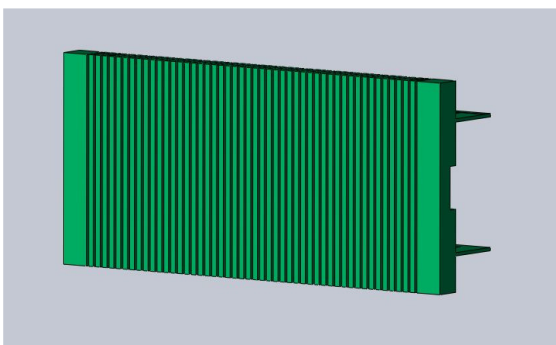
รูปที่ 1 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ

การทดสอบจะทดสอบโดยใช้ตั้งแรงขนาด 4 lb. ณ ตำแหน่งซีที 1 จากนั้นวัดค่าการยุบตัวของบาร์ตลอดความยาวบาร์ตามตำแหน่งของซีโดยใช้ค่าเฉลี่ยจากการวัดซ้ำ 3 ครั้ง

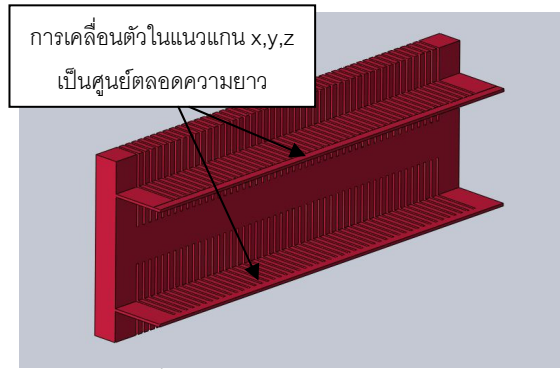
3. แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของบริดจ์แคเรียเจอร์

บริดจ์แคเรียเจอร์ประกอบไปด้วย 3 ส่วนได้แก่ ส่วนที่เป็นซีทำหน้าที่ส่งผ่านแรงมายังบาร์เมื่อทำการขัด, ส่วนฐานทำหน้าที่ยึดส่วนที่เป็นซี, และส่วนสำหรับครอบปิดทำหน้าที่ครอบชิ้นส่วนที่เป็นซีเอาไว้และยังเป็นตัวสำหรับยึดเพื่อใช้เชื่อมต่อกับเครื่องขัด

ในการสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์จะทำการสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์เฉพาะชิ้นส่วนที่เป็นซี (รูปที่ 2) เนื่องจากเป็นชิ้นส่วนหลักที่ทำหน้าที่ส่งผ่านแรงเพื่อควบคุมการยุบตัวโดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตให้บริเวณพื้นที่ด้านหลังมีค่าการเคลื่อนตัวในแนวแกน x,y,z เป็นศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 แสดงแบบจำลองของชิ้นส่วนที่เป็นซี



รูปที่ 3 แสดงเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

4. การประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในการหาค่าคุณสมบัติของวัสดุ

ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีการหนึ่งในการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อหาผลลัพธ์โดยประมาณของปัญหา ด้วยการแบ่งรูปร่างของปัญหาออกเป็นชิ้นส่วนย่อยๆ ที่เรียกว่าเอลิเมนต์ (Element) เอลิเมนต์เหล่านี้เชื่อมต่อกันที่จุดต่อ (Nodes) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่จะคำนวณหาค่าตัวแปรตาม (Dependent variables)

การประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในการหาค่าคุณสมบัติของวัสดุโดยอ้างอิงจากผลการทดลองในงานวิจัยนี้จะดำเนินการโดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในการคำนวณหาการยุบตัวตลอดความยาวของบาร์นำมาเปรียบเทียบกับผลการยุบตัวที่วัดได้จากการทดลอง โดยปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรซึ่งเป็นค่าคุณสมบัติของวัสดุ ได้แก่ ค่ายังมอดูลัสและค่าอัตราส่วนพัชของ เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสม นั่นคือมีค่า Error ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับผลจากการทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนการทำงาน (รูปที่ 4) ดังนี้

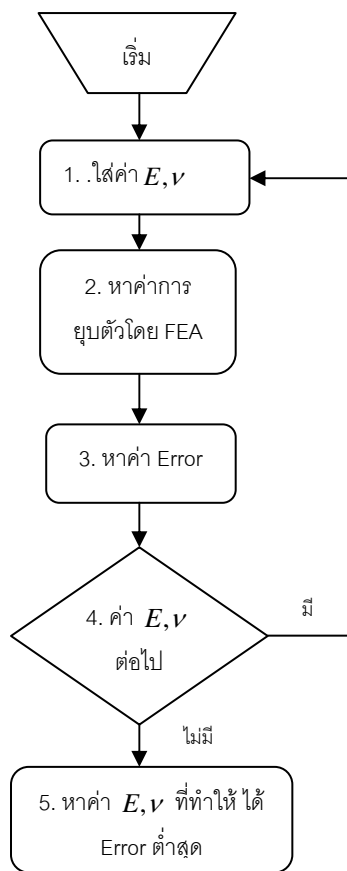
- ขั้นตอนที่ 1 เริ่มต้นกำหนดค่ายังมอดูลัสและค่าอัตราส่วนพัชของ ในการคำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์
- ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์หาค่าการยุบตัวตลอดความยาวบาร์ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์
- ขั้นตอนที่ 3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลที่ได้จากการทดลองหาค่า Error
- ขั้นตอนที่ 4 ปรับเปลี่ยนค่ายังมอดูลัสและค่าอัตราส่วนพัชของ (ตารางที่ 1) แล้วย้อนกลับไปขั้นตอน

ที่ 1 จนกว่าจะครบทุกค่าตามที่กำหนดไว้โดยช่วงในการปรับเปลี่ยนค่าจะแสดงในตารางที่ 1

ขั้นตอนสุดท้าย ตรวจสอบหาค่ายังมอดูลัสและค่าอัตราส่วนพัชของ ที่ทำให้เกิดค่า Error ต่ำสุด

ตารางที่ 1 แสดงช่วงการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปร

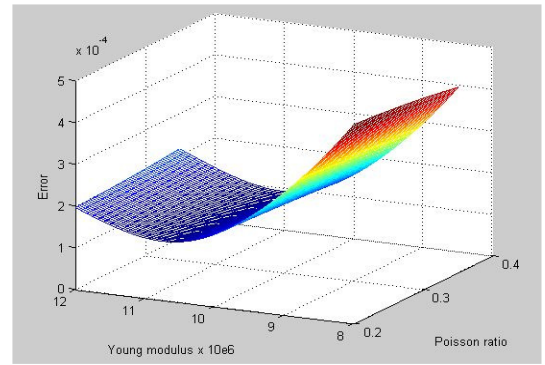
ตัวแปร	ค่า
Young's modulus	8-12 Mpsi / 50ค่า
Poisson's ratio	0.20-0.35 / 50ค่า



รูปที่ 4 แสดงลำดับการทำงาน

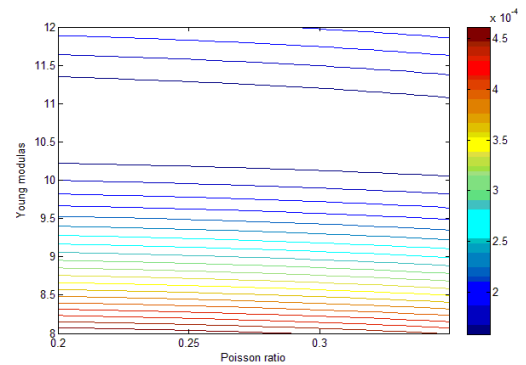
3. ผลและการอภิปรายผล

เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์และทำการปรับเปลี่ยนค่าจนเสร็จสิ้นแล้วนำมาเขียนเป็นกราฟแสดงค่าระหว่างค่ายังมอดูลัส, ค่าอัตราส่วนพัชของ และค่า Error ที่ได้จะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟแสดงค่ายังมอดูลัส, อัตราส่วนพัชของ และค่า Error

จากกราฟในรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าค่าอัตราส่วนพัชของ ไม่มีผลมากนักต่อค่า Error ที่เกิดขึ้นโดย โดย Error ส่วนใหญ่จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อค่ายังมอดูลัส เปลี่ยนไป ซึ่งเห็นได้ชัดจากกราฟ Contour ในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การแสดงค่ายังมอดูลัส, อัตราส่วนพัชของ และค่า Error ในลักษณะ Contour

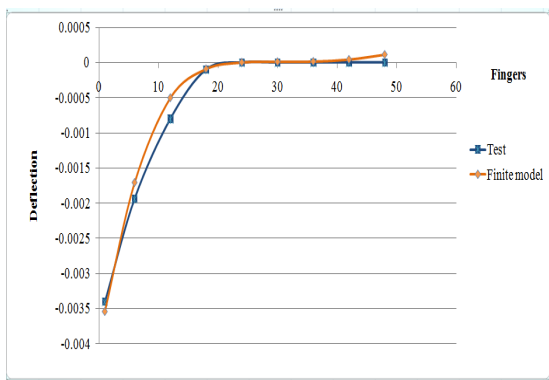
จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ชัดว่าเมื่อค่าอัตราส่วนพัชของ มีการเปลี่ยนแปลงเส้นความสูงซึ่งเป็นตัวบอกค่า Error มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามผลจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อหาค่าคุณสมบัติของวัสดุทำให้ทราบค่ายังมอดูลัสและอัตราส่วนพัชของ ที่ทำให้เกิดค่า Error ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับผลจากการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าตัวแปรที่ได้

ตัวแปร	ค่าที่ได้
Young's modulus	10.77551 × 10 ⁶ psi
Poisson's ratio	0.2
Error (RMS) ต่ำสุด	1.4234 × 10 ⁻⁴

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าค่ายังมอดูลัสอัตราส่วน พัวของที่ได้ของบริดจ์แคกรีเออร์นั้นอยู่ในกลุ่มของเหล็กหล่อ (Cast iron) เนื่องจากโดยทั่วไปค่ายังมอดูลัสของ เหล็กหล่อจะอยู่ในช่วง $10 \times 10^6 - 24.5 \times 10^6$ psi ส่วนค่าอัตราส่วนพัวของ อยู่ในช่วง 0.21-0.26

เมื่อนำค่ายังมอดูลัสและค่าอัตราส่วนพัวของ มาทำการ Simulation หาค่าการยุบตัวด้วยระเบียบวิธีทาง ไฟไนต์เอลิเมนต์อีกครั้งและนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้ จากการทดลองได้ผลดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงผลที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลที่ได้จากการทดลอง

จากรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นมีความใกล้เคียงกับผล ที่ได้จากการทดลองจริงอย่างมาก

4. สรุป

การหาค่าคุณสมบัติของวัสดุด้วยระเบียบวิธีทาง ไฟไนต์เอลิเมนต์หาค่าย้อนกลับโดยอ้างอิงจากผลที่ได้จาก การทดลอง ทำให้สามารถหาค่าคุณสมบัติทางกลของวัสดุ ได้แก่ค่ายังมอดูลัสและค่าอัตราส่วนพัวของของบริดจ์ แคกรีเออร์ได้ ค่าคุณสมบัติของวัสดุที่ได้นั้นอยู่ในกลุ่มของ เหล็กหล่อ ทำให้สรุปได้ว่า บริดจ์แคกรีเออร์นั้นผลิตจากวัสดุ ที่เป็นเหล็กหล่อ (Cast iron) จากค่าคุณสมบัติที่ได้นี้ทำให้ การศึกษาพฤติกรรมทางกลของบริดจ์แคกรีเออร์ด้วย ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถระบุค่าคุณสมบัติ ได้อย่างถูกต้องและส่งผลต่อความแม่นยำที่ได้จาก การศึกษา ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อกระบวนการขุดเปิด

ผิวหน้าของสไลเดอร์บาร์ (Bar lapping process) อุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก NECTEC และ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย (โคราช) จำกัด ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- Gelin, J.C., Ghouati, O. (1996). An inverse solution procedure for material parameters identification in large plastic deformation. *Communication in numerical methods in engineering*. Vol.12, 161-173.
- Ghouati, O., Gelin, J.C. (2001). A finite element-based identification method for complex metallic material behaviours. *Computational Materials Science*. Vol.21, 57-68.
- Mahnken, R., Stein, E. (1996). A unified approach for parameter identification of inelastic material models in the frame of the finite element method. *Computer methods in applied mechanics engineering*. Vol.136, 225-258.
- Rao S.S. (2004). *Finite element method in engineering*. Elsevier Science & Technology Books.
- Saensumrong, K., Teachajedcadarungsri, S. (2008). Interaction of bridge carrier in lapping process, *KKU Res J*, Vol. 13, No.8, 981-992 (In Thai).

Saensumrong,K., Teachajedcadarungsri,S. (2008).

The Heat Deformation Analysis in Bridge Carrier, AMME-13, The 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED MECHANICS AND MECHANICAL ENGINEERING, Military Technical College Kobry Elkobbah, Cairo, Egypt.

Wang,W., Ishikawa,H., Yuki,H. (2001). An inverse method for determining material properties of a multi-layer medium by boundary element method. *International Journal of Solids and Structures*. Vol.38, 8907-8920.