

การวิเคราะห์ความเสียหายชิ้นงานโพลีคาร์บอเนตโดยใช้แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

ฐวิศณี ปัทมประดิษฐ์¹⁾ เฉลิมชัย ไชยธรรณ²⁾ และ สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์³⁾

บทคัดย่อ

ขั้นตอนการออกแบบ ผลิต และทดสอบ เป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการออกแบบชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ โดยเริ่มจากการออกแบบให้ชิ้นงานมีขนาดและรูปร่างที่สอดคล้องกับลักษณะการใช้งาน จากนั้นจึงผลิตตัวอย่างชิ้นงานและนำไปทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพ และแก้ไขจุดบกพร่องจนได้ผลการทดสอบตามเกณฑ์ที่ต้องการ แต่ขั้นตอนนี้มักใช้เวลานานและค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ดังนั้นหากสามารถออกแบบและประเมินผลได้จากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์จะสามารถช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการออกแบบชิ้นงานได้อย่างมีนัยสำคัญ งานวิจัยนี้จึงได้ใช้แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานโพลีคาร์บอเนตผลิตภัณฑ์หนึ่ง โดยได้สร้างสร้างอุปกรณ์จับยึดเพื่อทดสอบชิ้นงานเพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ พบว่าวิธีการและซอฟต์แวร์ที่ใช้ประมวลผลมีความถูกต้องประมาณ 90% วิธีการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบปรับปรุงผลิตภัณฑ์ดังกล่าว เพื่อลดเวลาและค่าใช้จ่ายในกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ความเสียหาย แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ โพลีคาร์บอเนต การพัฒนาผลิตภัณฑ์

¹⁾ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000
อีเมล : cassiopia_wawa@hotmail.com

²⁾ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000
อีเมล : ton-phai@hotmail.com

³⁾ อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000
อีเมล : somsaksi@sut.ac.th

* Corresponding Author.

Failure Analysis of Polycarbonate part by Using Finite Element Simulation

Thawisanee Pattamapradit¹⁾ Chalearmchai Chaithongrat²⁾ and Somsak Siwadamrongpong^{*3)}

Abstract

The designing, manufacturing and testing steps are the important steps in product design and development processes. It begins with designing step follow to required dimensions and shape that conform to its applications. Then, parts are manufactured and tested for performance evaluation and making of corrective design. These steps generally consume long time and high expense. It should be more advantage, if these steps could be carried out by computer simulation. Therefore, this research aims to use finite element method to simulate and analyze failure of the polycarbonate product. Fixtures are designed and made for tensile testing of the current product. The result comparison between simulation and testing shows approximately 90% of accuracy. It implies that simulation model and software are verified. The results from this research were used to improve the current design. It is expected that using of simulation techniques could significantly reduce development time and expense.

Keywords: Failure analysis, computer simulation, polycarbonate, product development

1) Post graduated Students, School of Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, E-mail: cassiopia_wawa@hotmail.com

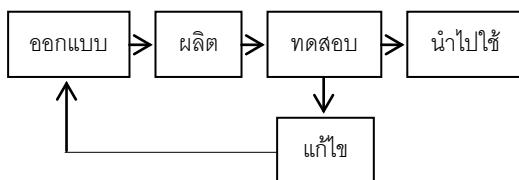
2) Post graduated Students, School of Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, E-mail: ton-phai@hotmail.com

*3) Lecturer, School of Manufacturing Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Email: somsaksi@sut.ac.th

* Corresponding Author.

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านต่าง ๆ ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็วและมีการแข่งขันกันในแต่ละบริษัทสูงมาก แม้กระทั่งกระบวนการผลิตชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพจึงต้องมีการปรับปรุงและพัฒนาผลิตภัณฑ์เหล่านั้น โดยเริ่มตั้งแต่การออกแบบชิ้นงานให้สามารถนำไปใช้งานได้สอดคล้องกับความต้องการของทั้งเครื่องจักรในการผลิตและผู้บริโภค จากนั้นจึงผลิตและนำชิ้นงานไปทดสอบ การทดสอบชิ้นงานเป็นขั้นตอนในกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่สามารถนำมาใช้งานได้มีประสิทธิภาพและลดการเกิดความเสียหาย วิธีการทดสอบชิ้นงาน เช่น ทดสอบการตกกระแทก ทดสอบการสั่นสะเทือน ทดสอบความสามารถในการรับแรงที่มากระทำกับชิ้นงาน เป็นต้น โดยปกติทั่วไปแล้วกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์มักจะต้องมีวงจรการออกแบบ ผลิต และทดสอบตามเกณฑ์ที่ต้องการแสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งขั้นตอนการทดสอบชิ้นงานนี้อาจต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง อีกทั้งโรงงานบางแห่งอาจต้องส่งผลิตภัณฑ์ไปทดสอบยังต่างประเทศ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการลดเวลาในการออกแบบ ผลิต และทดสอบชิ้นงานดังกล่าวโดยการนำแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการกระบวนการปรับปรุงและพัฒนาผลิตภัณฑ์

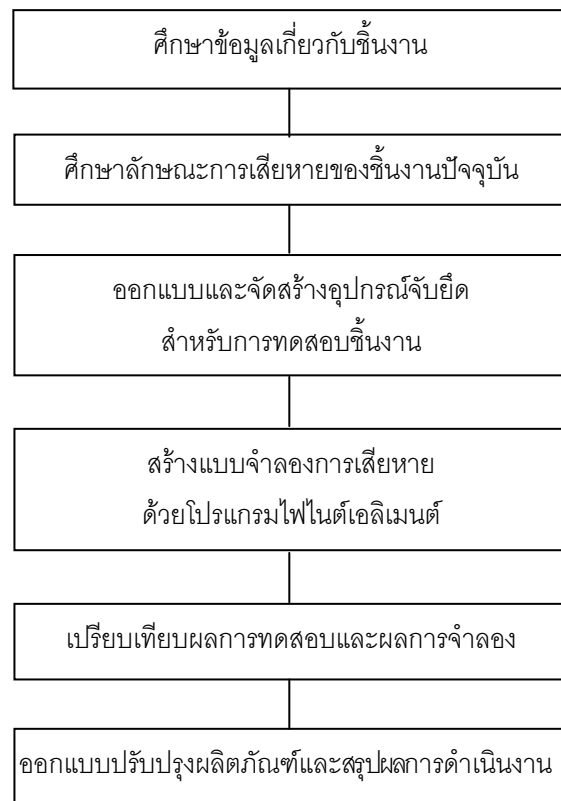


รูปที่ 1 แสดงกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์

2. การดำเนินงาน

การวิเคราะห์ความเสียหายของผลิตภัณฑ์ด้วยการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ถือว่าเป็นวิธีการหนึ่งที่บริษัทหลาย ๆ แห่งได้นำมาใช้ในการกระบวนการปรับปรุงและพัฒนาผลิตภัณฑ์ เพราะมีความสะดวก รวดเร็วและ

ค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการนำชิ้นงานไปทดสอบ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเสียหายของชิ้นงานผลิตภัณฑ์หนึ่ง โดยนำชิ้นงานมาสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ความเสียหายควบคู่ไปกับการสร้างอุปกรณ์จับยึดเพื่อใช้ในการทดสอบ ซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินงานดังต่อไปนี้



รูปที่ 2 แสดงแผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงานเริ่มจากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับชิ้นงาน จากนั้นเก็บข้อมูลและศึกษาลักษณะการเสียหายที่เกิดขึ้นจำนวน 200 ชิ้น แล้วตั้งสมมติฐานทิศทางการเสียหายเพื่อออกแบบอุปกรณ์จับยึดสำหรับนำไปทดสอบในทิศทางดังกล่าว หลังจากนั้นสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อศึกษาการกระจายตัวของค่าความเค้นสูงสุดบนชิ้นงานและหาขนาดของแรงที่ทำให้ชิ้นงานเสียหายภายใต้คุณสมบัติทางกลของวัสดุที่กำหนด และนำผลการจำลองการกระจายตัวของค่าความเค้นสูงสุดมาเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบเพื่อหาความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของวิธีการจำลองและซอฟต์แวร์ที่ใช้ประมวลผล

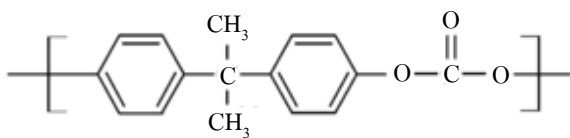
เมื่อได้รูปแบบการจำลองที่เชื่อถือได้แล้วจึงนำไปใช้ในการออกแบบปรับปรุงผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย

3. ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับขั้นตอนทดสอบ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาชิ้นงานของผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ทำมาจากโพลีคาร์บอเนต โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วัสดุที่นำมาใช้ในงานวิจัย

โพลีคาร์บอเนตเป็นวัสดุวิศวกรรมที่ถูกนำมาใช้เป็นชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมหลาย ๆ ประเภท เช่น อุตสาหกรรมรถยนต์ อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น โพลีคาร์บอเนตเป็นกลุ่มของเทอร์โมพลาสติก หรือ เรซิน ได้รับการเรียกตามโครงสร้างที่มีกลุ่มคาร์บอนเต (-O-(C=O)-O-) แสดงดังรูปที่ 3 ด้วยเหตุที่โพลีคาร์บอเนตมีคุณสมบัติเด่นกว่าวัสดุโพลิเมอร์ชนิดอื่น ๆ แสดงดังตารางที่ 1 คือ มีความแข็งแรงยืดและแรงกระแทกได้ดี ทนความร้อนสูง และทนสารเคมีบางชนิด จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นสารประกอบสำหรับงานขึ้นรูปและใช้ผลิตเป็นชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับใช้ในชีวิตประจำวัน



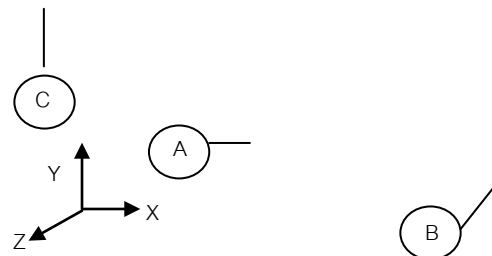
รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างทางเคมีของโพลีคาร์บอเนต

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของวัสดุโพลีคาร์บอเนต

คุณสมบัติ	โพลีคาร์บอเนต
Specific gravity	1.4
Tensile Strength (MPa)	64
Tensile modulus (MPa)	2400
Impact Strength (J/m)	70
Thermal Conductivity (W/m.k)	0.25
Melt temperature (°C)	280-310
Electrical Resistivity (ohm.cm)	<1E4

3.2 ชิ้นงานโพลีคาร์บอเนตและข้อมูลความเสียหายที่พบ

จากการศึกษาชิ้นงานโพลีคาร์บอเนตของผลิตภัณฑ์หนึ่งแสดงดังรูปที่ 4 พบว่า ชิ้นงานถูกออกแบบมาให้มีส่วนที่ยื่นออกมาจากตัวชิ้นงานจำนวนทั้งสิ้น 4 ส่วน (A, B, C และ D) จากการเก็บข้อมูลชิ้นงานจำนวนหนึ่งพบว่า ชิ้นส่วนดังกล่าวเกิดความเสียหายคิดเป็นร้อยละแสดงดังตารางที่ 2 โดยชิ้นส่วน A และ B พบความเสียหายเป็นจำนวนมากครอบคลุมประมาณ 66 เปอร์เซ็นต์ของความเสียหายทั้งหมด สาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายดังกล่าวเกิดจากการออกแบบรูปร่างที่ทำให้ชิ้นงานมีโอกาสเสียหายได้ง่ายเมื่อได้รับแรงกระทำจากภายนอกทำให้อายุการใช้งานของชิ้นงานดังกล่าวสั้นและยังเป็นการเพิ่มปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตอีกด้วย งานวิจัยนี้จึงสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์เปรียบเทียบกับผลการทดสอบโดยพิจารณาความเสียหายของชิ้นส่วน A และ B เป็นหลัก



รูปที่ 4 แสดงชิ้นงานโพลีคาร์บอเนต

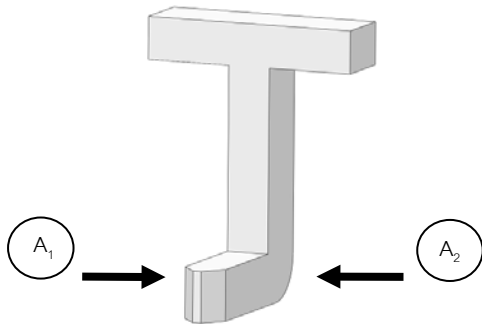
ตารางที่ 2 แสดงจำนวนชิ้นส่วนโพลีคาร์บอเนตของผลิตภัณฑ์หนึ่งที่เกิดความเสียหายโดยคิดเป็นร้อยละ

ชิ้นส่วน	ร้อยละ
A	42
B	26
C	10
D	8
อื่น ๆ	14
รวม	100

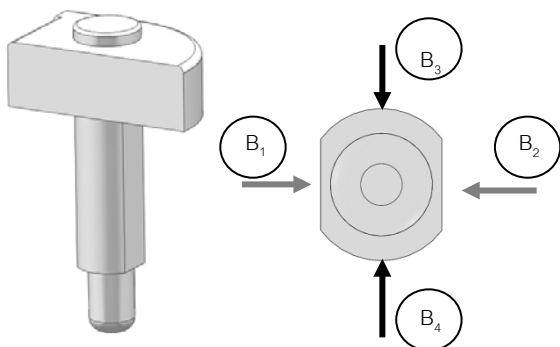
3.3 การตั้งสมมติฐานในการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วน A และ B

จากการศึกษาลักษณะการเสียหายของชิ้นส่วน A พบว่า ชิ้นส่วน A ถูกออกแบบให้ยื่นออกมาจากตัวชิ้นงาน ลักษณะการเสียหายที่พบมี 2 รูปแบบ คือ แบบแรกชิ้นส่วนงอไปด้านซ้ายหรือด้านขวาและแบบที่สองชิ้นส่วนหัก โดยบางชิ้นพบรอยฉีกขาดบริเวณมุมของชิ้นงาน จากลักษณะการเสียหายดังกล่าวสามารถตั้งสมมติฐานได้ว่า ชิ้นส่วน A จะเสียหายเนื่องจากได้รับแรงจากภายนอกกระทำทำให้ชิ้นงานเสียรูปใน 2 ทิศทาง คือ ทิศทาง A_1 และ A_2 แสดงดังรูปที่ 5

สำหรับชิ้นส่วน B ถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกปาดข้าง จากการศึกษาลักษณะการเสียหายของชิ้นส่วน B จะพบการเสียหายรูปแบบเดียว คือ ชิ้นส่วนเกิดการแตกหัก ดังนั้นในการพิจารณาความเสียหายของชิ้นส่วน B จึงตั้งสมมติฐานว่า ชิ้นส่วนนี้จะเสียหายเนื่องจากได้รับแรงจากภายนอกกระทำทำให้ชิ้นงานเสียรูป ใน 4 ทิศทาง คือ ทิศทาง B_1 , B_2 , B_3 และ B_4 แสดงดังรูปที่ 6



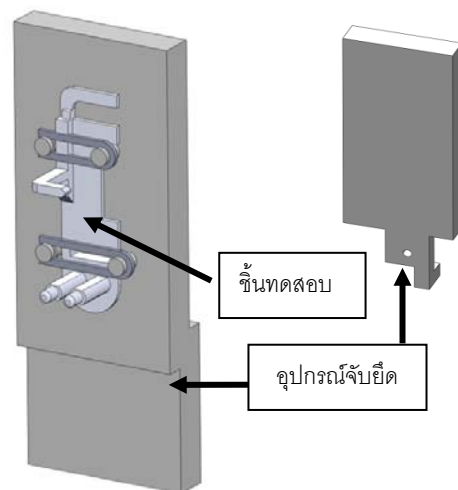
รูปที่ 5 แสดงสมมติฐานทิศทางการเสียหายของชิ้นส่วน A



รูปที่ 6 แสดงสมมติฐานทิศทางการเสียหายของชิ้นส่วน B

3.4 การออกแบบและจัดสร้างอุปกรณ์จับยึดสำหรับการทดสอบชิ้นงาน

การวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วน A และ B ในส่วนนี้ได้ออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Fixture) ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ยึดชิ้นทดสอบไว้อยู่กับที่และส่วนที่ทำหน้าที่กดชิ้นทดสอบแสดงดังรูปที่ 7 ขั้นตอนในการทดสอบจะนำชิ้นงานที่ประกอบเข้ากับอุปกรณ์จับยึดมาทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) โดยสั่งให้เครื่องเลื่อนชุดจับยึดลงมากดชิ้นงานตรงตำแหน่งที่วิเคราะห์ด้วยอัตราเร็ว 1 mm./min เครื่องจะทำการบันทึกระยะทางที่ชุดจับยึดเคลื่อนที่ลงมากดชิ้นงานพร้อมกับวัดขนาดของแรงที่กระทำบนชิ้นงาน



รูปที่ 7 แสดงอุปกรณ์จับยึดที่ใช้ในการทดสอบชิ้นงาน

3.5 การวิเคราะห์ความเสียหายด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Ansys Workbench 12.0 สร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานภายหลังได้รับโหลดกระทำให้เสียรูปด้วยระยะ (displacement) ที่กำหนด โดยจะกำหนดเงื่อนไขและขอบเขตการจำลองให้มีความใกล้เคียงกับการทดสอบจริงมากที่สุด

3.5.1 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

เพื่อให้การศึกษาเป็นไปตามวัตถุประสงค์ จึงได้ตั้งข้อกำหนดในการพิจารณาไว้ดังนี้

- งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์แบบ Static Analysis
- กำหนดให้พฤติกรรมของวัสดุเป็น Linear Isotropic Elasticity
- เกณฑ์การพิจารณาความเสียหายเป็นไปตามเงื่อนไขของวอนมิสเสส (von Mises Yield Criterion)
- กำหนดคุณสมบัติของทางกลของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3

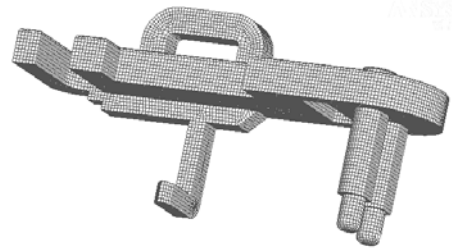
ตารางที่ 3 แสดงค่าสมบัติทางกลของโพลีคาร์บอเนต

คุณสมบัติทางกล	
Poisson ratio	0.38
Young Modulus (MPa)	2,400
Yield Strength (MPa)	58
Tensile Strength (MPa)	64
Tensile Elongation (%)	5.0-10.0

3.5.2 การเลือกชนิดเอลิเมนต์และขนาดเอลิเมนต์

การเลือกชนิดของเอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นจะส่งผลกระทบต่อความถูกต้องในการคำนวณและส่งผลกระทบต่อความแม่นยำในการจำลองการเสียหายจากสถานการณ์ต่าง ๆ งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เอลิเมนต์สามมิติแบบสี่เหลี่ยม (3D-Quadrilateral Element) แสดงดังรูปที่ 8 ซึ่งเหมาะสำหรับใช้วิเคราะห์ปัญหาสามมิติ โดยแต่ละเอลิเมนต์จะมี 20 โหนด ระดับขั้นความเสรี (DOF) เท่ากับ 96 งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับขนาดเอลิเมนต์ที่ลดลงเพื่อให้ได้ค่าผลเฉลยมีความแม่นยำถูกต้องยิ่งขึ้น โดยกำหนดขนาดของเอลิเมนต์ระหว่าง 0.5-0.2 มิลลิเมตร แสดงดังตารางที่ 4 ซึ่งการแบ่งเอลิเมนต์ให้มีขนาดเล็กจะได้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำมากกว่า ขณะเดียวกันระยะเวลาในการคำนวณตลอดจนหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ต้องใช่มากขึ้นตามไปด้วย

งานวิจัยนี้ได้นำหลักการพิจารณาจำนวนของเซลล์ภายในเอลิเมนต์ซึ่งเป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงของความเค้นที่เกิดขึ้นภายในหนึ่งเอลิเมนต์มาใช้ในการกำหนดขนาดเอลิเมนต์ โดยหากมีเซลล์จำนวนมากภายในเอลิเมนต์แสดงว่าเอลิเมนต์นั้นมีขนาดใหญ่ควรใช้เอลิเมนต์ละเอียดลง



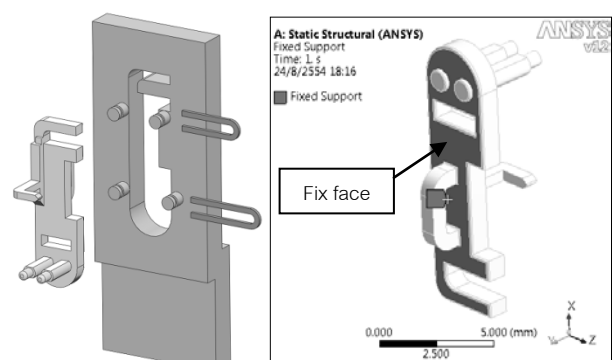
รูปที่ 8 แสดงลักษณะเอลิเมนต์ที่ใช้ในการจำลอง

ตารางที่ 4 แสดงจำนวนเอลิเมนต์และจำนวนโหนดทั้งหมดของเอลิเมนต์ขนาดต่าง ๆ

ขนาดเอลิเมนต์ (มิลลิเมตร)	จำนวนเอลิเมนต์ ทั้งหมด	จำนวนโหนด ทั้งหมด
0.5	7,597	20,992
0.4	7,681	21,359
0.3	7,761	22,176
0.2	8,998	26,975

3.5.3 การกำหนดเงื่อนไขขอบ (Boundary Condition)

1) การกำหนดบริเวณจับยึด (Fix Support) จะอ้างอิงจากลักษณะการจับยึดของชุดอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน โดยเลือกระนาบ (Fix face) ด้านบนของชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 9 เนื่องจากผู้วิจัยได้ออกแบบชุดอุปกรณ์จับยึดให้สามารถประกอบเข้ากับชิ้นงานอย่างแน่นพอดี ดังนั้นจึงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นส่วนอื่นที่ไม่ได้พิจารณา

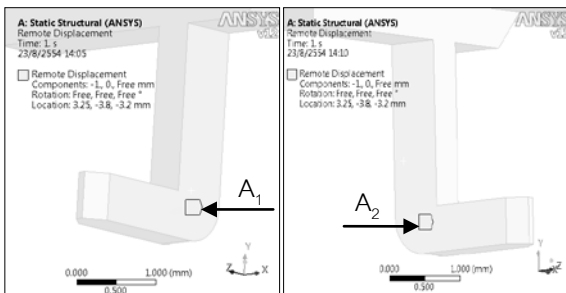




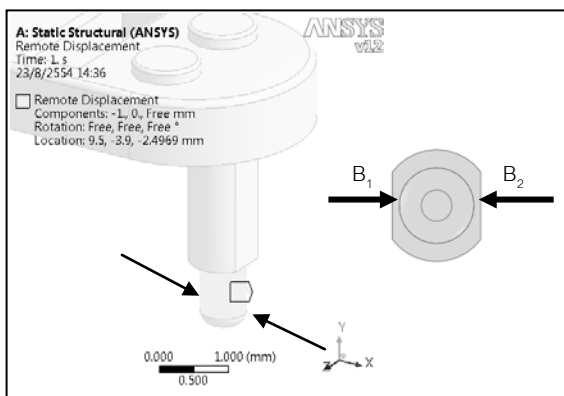
รูปที่ 9 แสดงการกำหนดบริเวณจับยึดชิ้นงาน โดยอ้างอิงจากตำแหน่งของชุดอุปกรณ์จับยึดที่ได้จับยึดชิ้นงานจริง

2) การใส่โหลดกระทำต่อชิ้นงาน

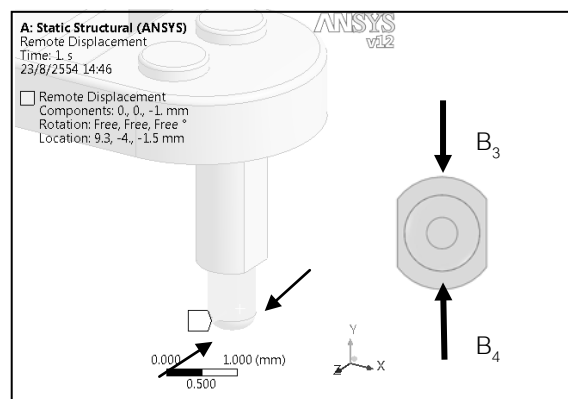
จากการตั้งสมมติฐานความเสียหายในหัวข้อ 3.3 การวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วน A และ B จะพิจารณาการเสียหายของชิ้นงาน โดยการกำหนดระยะ (Displacement) ที่ทำให้ชิ้นงานเสียรูป สำหรับชิ้นส่วน A จะใส่โหลดกระทำใน 2 ทิศทาง คือ ทิศทาง A_1 และ A_2 (ในแนวแกน $\pm X$) สำหรับชิ้นส่วน B จะใส่โหลดกระทำใน 4 ทิศทาง คือ ทิศทาง B_1, B_2 (ในแนวแกน $\pm X$) และ B_3, B_4 (ในแนวแกน $\pm Z$) แสดงดังรูปที่ 10, 11 และ 12 ผลการจำลองหาแรงกระทำ (Force Reaction) และลักษณะการกระจายตัวของความเค้น (Stress Distribution) ที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานภายหลังใส่โหลดกระทำในตำแหน่ง ระยะ และทิศทางดังกล่าวจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบต่อไป



รูปที่ 10 แสดงการใส่โหลด (Displacement) กระทำบนชิ้นส่วน A ในทิศทาง A_1 และ A_2



รูปที่ 11 แสดงการใส่โหลด (Displacement) กระทำบนชิ้นส่วน B ในทิศทาง B_1 และ B_2



รูปที่ 12 แสดงการใส่โหลด (Displacement) กระทำบนชิ้นส่วน B ในทิศทาง B_3 และ B_4

4. ผลการวิเคราะห์ชิ้นส่วน A และ B

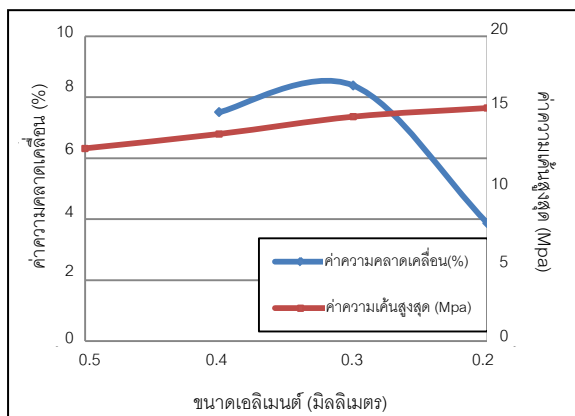
4.1 ผลของขนาดเอลิเมนต์

การวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วน A และ B ได้พิจารณาถึงผลการเปลี่ยนแปลงขนาดเอลิเมนต์ (Element Size) โดยพบว่า เมื่อแบ่งขนาดเอลิเมนต์ให้เล็กลง ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานจะมีค่าแสดงดังตารางที่ 5 เมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของความเค้นที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงขนาดเอลิเมนต์แสดงดังรูปที่ 13 และ 14 พบว่า เมื่อลดขนาดของเอลิเมนต์ลงค่าความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานทั้ง 2 ส่วนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนเกือบคงที่และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ของค่าความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ขนาดเอลิเมนต์เท่ากับ 0.2 มิลลิเมตรเทียบกับขนาดเอลิเมนต์เดิมจะอยู่ในช่วง $\pm 5\%$ ซึ่งถือว่ายอมรับได้ ดังนั้นการแบ่งเอลิเมนต์ในการวิเคราะห์

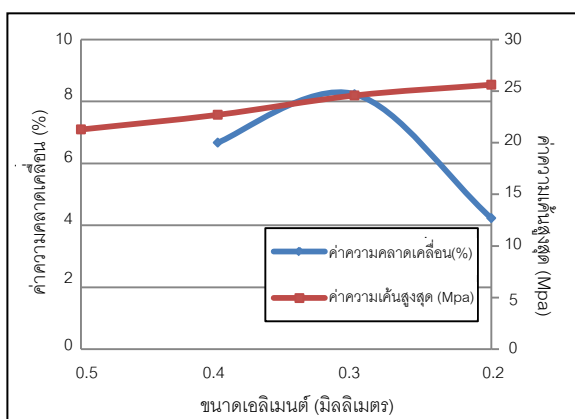
ความเสียหายในงานวิจัยนี้จึงเลือกขนาดเอลิเมนต์เท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร มาใช้ในการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วน A และ B

ตารางที่ 5 แสดงค่าความเค้น (MPa) ที่เกิดขึ้นจากการแบ่งเอลิเมนต์ขนาดต่าง ๆ

ชิ้นส่วน	ทิศทาง	ขนาดเอลิเมนต์ (มิลลิเมตร)			
		0.5	0.4	0.3	0.2
A	A ₁	12.64	13.19	14.43	15.3
B	B ₁	21.29	22.71	24.58	25.62



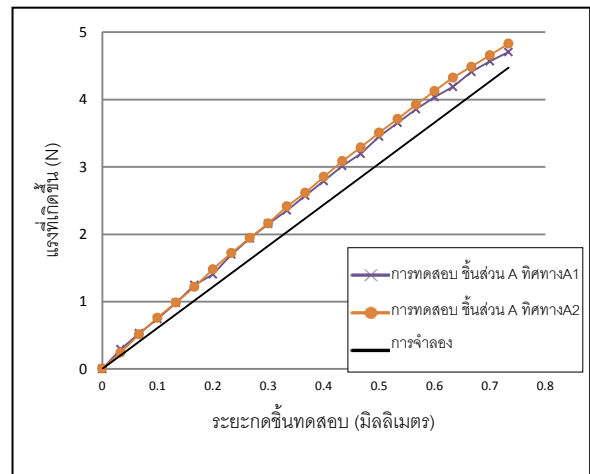
รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเอลิเมนต์และค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วน A



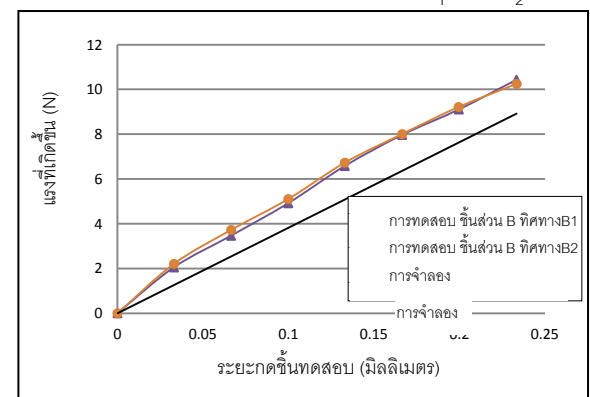
รูปที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเอลิเมนต์และค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วน B

4.2 ผลการทดสอบและการจำลองความเสียหายของชิ้นส่วน A และ B

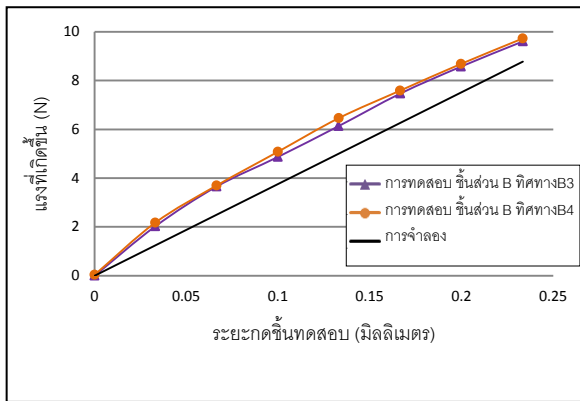
จากการทดสอบชิ้นส่วน A และ B โดยสั่งให้เครื่อง UTM เคลื่อนที่ลงมากดชิ้นงานในตำแหน่งที่พิจารณา ขณะนั้น Load Cell จะวัดแรงที่ใช้ในการกดชิ้นงานตามระยะที่เครื่องทดสอบนั้นเคลื่อนที่ ซึ่งระยะทางและแรงที่เกิดขึ้นจากการทดสอบนี้จะนำมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในช่วงการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้น (Linear Deformation) ได้ผลแสดงดังรูปที่ 15, 16 และ 17 โดยจะเห็นได้ว่าผลที่ได้จากการทดสอบและการจำลองเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงไม่เกิน $\pm 12\%$ ดังนั้นจึงสามารถนำวิธีการจำลองและซอฟต์แวร์ประมวลผลนี้ไปใช้วิเคราะห์ความเสียหายของชิ้นงานได้



รูปที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะขึ้นทดสอบและแรงที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วน A ในทิศทาง A₁ และ A₂



รูปที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะขึ้นทดสอบและแรงที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วน B ในทิศทาง B₁ และ B₂



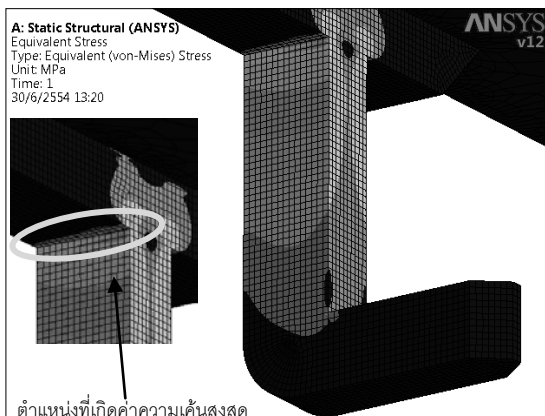
รูปที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะกีดขึ้นทดสอบและแรงที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วน B ในทิศทาง B_3 และ B_4

4.3 ผลการวิเคราะห์ความเสียหายของชิ้นส่วน A และ B ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์ความเสียหายของชิ้นส่วน A และ B ได้ทำการจำลองใส่โหลดกระทำกับชิ้นงานบริเวณตรงปลายชิ้นงานในทิศทางที่ได้ตั้งสมมติฐานได้ผลดังนี้

4.3.1 ผลการจำลองการเสียหายของชิ้นส่วน A

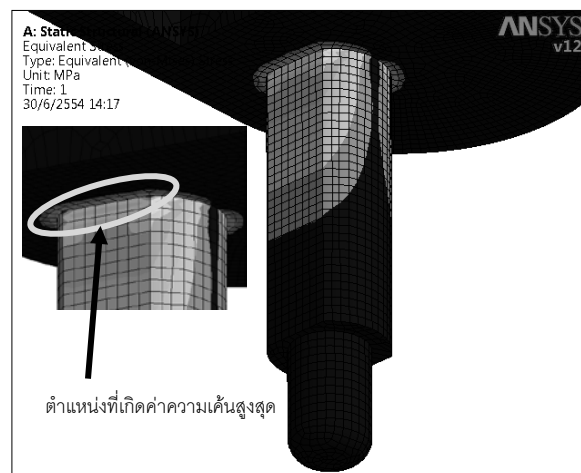
การพิจารณาความเสียหายของชิ้นส่วน A ได้แบ่งทิศทางในการพิจารณาออกเป็น 2 ทิศทาง เมื่อจำลองการเสียหายโดยใส่โหลดกระทำในทิศทาง A_1 แสดงดังรูปที่ 18 พบว่า ชิ้นงานจะเกิดความเค้นสูงสุดบริเวณมุมขอบของหน้าตัดทั้งด้านซ้ายและด้านขวา เพราะเป็นตำแหน่งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด จึงทำให้เกิดความเค้นหนาแน่นสะสมสูง (Stress Concentration) ส่วนการจำลองการเสียหายในทิศทาง A_2 พบว่า ชิ้นงานจะเกิดความเค้นสูงสุดบริเวณขอบของหน้าตัดทั้ง 2 ด้านเช่นเดียวกัน



รูปที่ 18 แสดงลักษณะการกระจายตัวของความเค้นของชิ้นส่วน A เมื่อใส่โหลดกระทำในทิศทาง A_1

4.3.2 ผลการจำลองการเสียหายของชิ้นส่วน B

สำหรับการพิจารณาความเสียหายของชิ้นส่วน B เมื่อแบ่งการพิจารณาออกเป็น 4 ทิศทาง พบว่าค่าความเค้นสูงสุดจะเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของชิ้นงานในด้านที่ใส่แรงกระทำนั้น แสดงดังรูปที่ 19 โดยค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นจากแรงกระทำบนด้านที่มีผิวโค้งในทิศทาง B_3 และ B_4 จะมีค่าเท่ากันและมีย่านน้อยกว่าด้านที่ได้รับแรงกระทำในทิศทาง B_1 และ B_2



รูปที่ 19 แสดงลักษณะการกระจายตัวของความเค้นของชิ้นส่วน B เมื่อใส่โหลดกระทำในทิศทาง B_1

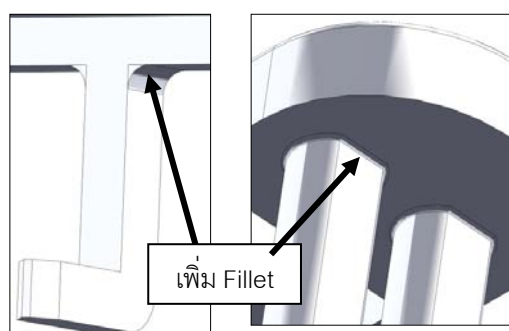
4.4 การออกแบบปรับปรุงแก้ไขชิ้นงาน

จากการวิเคราะห์การเสียหายของชิ้นงานด้วยการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยการศึกษาการกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานทั้ง 2 ตำแหน่งจะพบว่า ลักษณะรูปร่างมีผลต่ออายุการใช้งาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เสนอแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานทั้ง 3 ตำแหน่ง โดยโมเดลที่ได้แก้ไขปรับปรุงต้องสามารถทนต่อแรงที่มากระทำได้มากขึ้นและสามารถลดการกระจายตัวของความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณตำแหน่งที่พบความเสียหายได้ดังนี้

ชิ้นส่วน A ได้เพิ่มส่วนโค้งรองรับ (fillet) บริเวณมุมขอบทั้งสองด้านของชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 20(ก)

ชิ้นส่วน B ได้เพิ่มส่วนโค้งรองรับ (fillet) บริเวณหน้าตัดของชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 20(ข)

ชิ้นงานตัวอย่างที่ได้ออกแบบปรับปรุงดังกล่าว กำลังอยู่ในกระบวนการผลิตและจะได้ทดสอบการใช้งานจริงต่อไป



ก. ชิ้นส่วน A

ข. ชิ้นส่วน B

รูปที่ 20 แสดงการออกแบบปรับปรุงชิ้นส่วน A และ B ในบริเวณที่พบความเสียหาย

5. สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการลดเวลาในการออกแบบ ผลิต และทดสอบชิ้นงาน โดยการนำแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการกระบวนการปรับปรุงและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาความเสียหายชิ้นงานผลิตภัณฑ์หนึ่ง ซึ่งพบตำแหน่งที่เกิดความเสียหายหลักๆ 2 ส่วน คือ ส่วน A และ ส่วน B จากความเสียหายดังกล่าวจึงได้สร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ควบคู่ไปกับการสร้างอุปกรณ์จับยึดเพื่อใช้ในการทดสอบ โดยตั้งสมมติฐานทิศทางที่มากกระทำกับ

ชิ้นงานตามลักษณะการเสียหายของชิ้นงานจริงที่พบ จากการสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์โดยการเลือกใช้เอลิเมนต์ชนิดเอลิเมนต์สามมิติรูปทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 0.2 มิลลิเมตร และกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ให้มีความใกล้เคียงกับการทดสอบ พบว่า ผลที่ได้จากการจำลองมีค่าน้อยกว่าผลที่ได้จากการทดสอบ จากผลการศึกษานี้ผู้วิจัยหวังว่าจะสามารถนำวิธีการในการจำลองไปใช้ในการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดกับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่มีลักษณะรูปทรงใกล้เคียงกันได้อย่างมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการนำชิ้นงานไปทดสอบ อีกทั้งยังสามารถแก้ไขจุดบกพร่องของชิ้นงานที่พบให้สามารถทนต่อการเสียหายได้อย่างรวดเร็วอีกด้วย งานวิจัยนี้คาดว่าจะสามารถนำไปใช้เป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการปรับปรุงและพัฒนาผลิตภัณฑ์แทนการทดสอบชิ้นงานจริงได้ในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด ที่ได้มอบทุนสนับสนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ

7. เอกสารอ้างอิง

- Kobsak Potjananapasiri, Sutthisak Phongthanapanich, Paritud Bhandhubanyong and Pramote Dechaumphai (2007). Combined adaptive finite element method and J-Domain integral technique for crack problem. Engineering Materials Vols. 340-341, pp. 459-464. (In Thai)
- Sutthisak Phongthanapanich and Pramote Dechaumphai (2007). Easy finite element method, Chulalongkorn University press, 361 pages. (In Thai)
- Phakorn Sabcharoen and Kontorn Chumniprasat (2008). Suspension angle analysis on head

- gimbal assembly using finite element method. Master thesis of engineering in mechanical engineering, Suranaree University of Technology, 71 pages. (In Thai)
- Ruangrit Sarangkum and Kontorn Chumniprasat (2008). Simulation and experiment on impact drop test for hard disk packaging. Master thesis of engineering in mechanical engineering, Suranaree University of Technology, 361 pages. (In Thai)
- Yutachai Wongwaiphinij (2008), Shipping comb lifetime study and improvement. Master thesis of engineering in mechatronic engineering, Suranaree University of Technology. (In Thai)
- Kajonsak Jaidee, Surachate Chutima and Thoatsanope Kamnerdtong (2010). A study of HGA behaviors mounted with shipping comb. 21st Conference of mechanical engineering network of Thailand, Chonburi, pp. 902-907.
- Monika, G., Albert, J., Shih, E., and Ronald, O. (1999). Finite-Element Analysis of Stress Concentration in ASTM D 638 Tension Specimens. Journal of Testing and Evaluation, Vol. 31, No. 1.
- Nasser, F. and Chenhua, L. (2008). Optimal simple step stress accelerated life test design for reliability prediction. Journal of Statistical Planning and Inference, pp. 1-10.
- Thutchai Phongphay and Thaweeapat Buranathiti (2006). A Comparative Finite Element Study for Strength Analysis of A Motorcycle Brake Pedal. The 1st Production Research and Innovation National Conference PRI NC'06, pp.15-19.