การวิเคราะห์ความเข้มของความเค้นที่เกิดขึ้นในหัวรีฟอร์มด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
Analysis of Stress Concentration That Occurs in the Reform with Finite Element Method

วรวิทย์ วรนาวิน[1] สมชาย เหลืองสด[2] ประกอบ ชาติภุกต์[3]*

[1]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ 10800

[2]อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ 10300

[3]อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ 10800

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ความเข้มของความเค้นที่เกิดขึ้นภายในหัวรีฟอร์มโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งหัวรีฟอร์มมีลักษณะเป็น C-clamp ใช้ในการบีบอัดหน้าแปลนเสื้อเพลาขับหลัง โปรแกรม Solid Works และ Cosmos ใช้ในการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ตามลำดับ ผลการทดสอบจริงและ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีความคลาดเคลื่อน 8.1%. สรุปว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหานี้ ได้ผลวิเคราะห์ที่ความดัน 230, 270, 300, 350 และ 380 bars พบว่า ความเข้มของความเค้นที่คอของหัวรีฟอร์มเท่ากับ 227, 265, 289, 354, 382 MPa และมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 2.3, 2.0, 1.8, 1.5, 1.38 ตามลำดับ ความเข้มของความเค้นจะแปรผันตรงตามค่าความดันที่ลดลง การเพิ่มรัศมีความโค้งเป็นแบบไม่คงที่ที่คอหัวรีฟอร์มจะสามารถลดความเข้มของความเค้นลงได้

Abstract

This research analyzes the concentration of stress that occurs in the reform by a finite element method. The reform looks like C-clamp used in the compression rear axial drive's flange. SolidWorks and Cosmos programs are used for modeling and analysis respectively. The comparative results between actual tests and finite element method had error 8.1%. It is concluded that the model of finite element method can be used in this problem's analysis. Analyses adjust pressure at 230, 270, 300, 350, 380 bars. It is found that stress concentration at the neck is 227, 265, 289, 354, 382 MPa. The safety factors of the neck are 2.3, 2.0, 1.8, 1.5, 1.38 respectively. Stress concentration will be direct variation with reduced pressure. If increasing radius of curvature is not fixed at the neck, it can reduce the stress concentration.

คำสำคัญ : ความเค้นและความเครียด ความเข้มของความเค้น ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

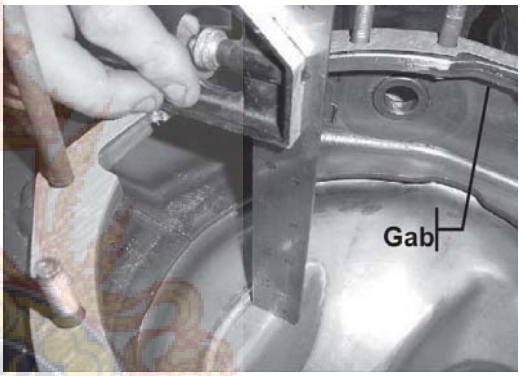
Keywords : Stress and Strain, Stress Concentration, Finite Element Method

** ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ prakorb@hotmail.com โทร. 02-913-2424 ต่อ 138*

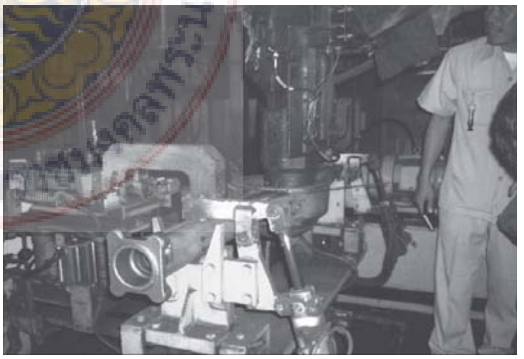
1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตที่สำคัญหนึ่งของโลกในด้านอุตสาหกรรมยานยนต์ ที่ประกอบด้วย การผลิตชิ้นส่วนเพื่อการส่งออกและการประกอบยานยนต์ภายในประเทศ ชิ้นส่วนยานยนต์ที่ผลิตภายในประเทศ ได้แก่ โครงรถยนต์ เพลาขับ จานเบรก เสื้อเพลาขับหลัง ยางรถยนต์ และอื่น ๆ ในการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ย่อมต้องมีกระบวนการและเทคนิคการผลิตที่เป็นลักษณะเฉพาะ เช่น การผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ของบริษัทไทยซัมมิท พีเคเค บางนา จำกัด พบว่า ที่หน้าแปลนของตัวเสื้อเพลาขับหลัง ซึ่งใช้ประกบเข้ากับเสื้อเฟืองท้าย จะประกอบด้วย หน้าแปลน 2 ชิ้น ที่ซึ่งถูกเชื่อมเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 1 แต่หลังจากการเชื่อมติดยังมีช่องว่างระหว่างหน้าแปลนดังกล่าวจึงต้องใช้หัวรีฟอร์ม ที่มีลักษณะคล้าย C-clamp บีบอัดหน้าแปลน เพื่อลดช่องว่าง (Gab) ดังรูปที่ 1 ซึ่งต้องใช้แรงในการบีบอัดที่สูงมาก จึงจะลดช่องว่างลงได้ ในกระบวนการผลิต พบว่า หน้าแปลนของเสื้อ เพลาขับหลังแต่ละตัวจะถูกบีบอัดเป็นจำนวน 14 จุด ด้วยก้านสูบไฮดรอลิกที่ติดตั้งเข้ากับหัวรีฟอร์มภายใต้ความดันใช้งานที่ 230-380 bar ดังรูปที่ 2 รูปแบบของภาระที่กระทำเป็นแบบกระทำซ้ำหรือที่เรียกว่า Cyclic Loading ซึ่งภาระแบบนี้จะไม่ส่งผลให้ชิ้นงานหรือชิ้นส่วนเครื่องจักรเกิดการเสียหายโดยทันทีแต่จะสะสมเป็นความล้า (Fatigue) เราต้องการทราบว่าในการใช้งานจริง ความเค้นที่เกิดขึ้นในหัวรีฟอร์มมีการกระจายอย่างไร ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ จะเป็นไปในลักษณะเดียวกับงานวิจัยต่าง ๆ ที่มีการนำเสนอ (Thongchai Fongsamootr and Prakorb Chartpuk, 2006) บริเวณใดที่เกิดความเค้นสะสมมาก ซึ่งจะเป็นบริเวณเริ่มเกิดการแตกหัก ในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาจะต้องใช้ทฤษฎีและการออกแบบทางวิศวกรรมเข้ามาช่วยโดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านทฤษฎีต้องใช้ความรู้ในการออกแบบและวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ การจำลองสภาพการใช้งานด้วยคอมพิวเตอร์ จะทำให้มองเห็นการกระจายของความเค้น (Thongchai Fongsamootr and Kwanchanok Sukchotiratana, 2007)



รูปที่ 1 ระยะช่องว่างของ 2 หน้าแปลนที่เสื้อเพลาขับหลัง



รูปที่ 2 หัวรีฟอร์มกำลังทำการบีบอัดหน้าแปลนเสื้อเพลาขับหลัง

ซึ่งทำให้เราสามารถทราบตัวแปรที่มีผลต่อการกระจายความเค้นและทำการปรับเปลี่ยน เพื่อศึกษารูปแบบจำลองที่เหมาะสม (Thongchai Fongsamootr and Nopparat Seehawong, 2006) อีกทั้งยังมีความรวดเร็วในการวิเคราะห์ แต่การวิเคราะห์ด้านทฤษฎีเพียงอย่างเดียวยังไม่เพียงพอที่จะใช้ในการตอบปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างมีน้ำหนัก จำเป็นต้องใช้หลักการออกแบบทางวิศวกรรมควบคู่ไปด้วย

งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาการกระจายความเค้นและหาบริเวณที่เกิดความเค้นสะสมในหัวรีฟอร์มโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และการเปรียบเทียบความเครียดที่วิเคราะห์ได้กับการทดลองเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและหาตำแหน่งของการเกิดความเค้นสูงสุด ซึ่งผลลัพธ์จากการวิจัยนี้จะเป็นข้อมูลสำคัญในการวิเคราะห์ความล้าและตำแหน่งที่จะเกิดการแตกหักต่อไปได้

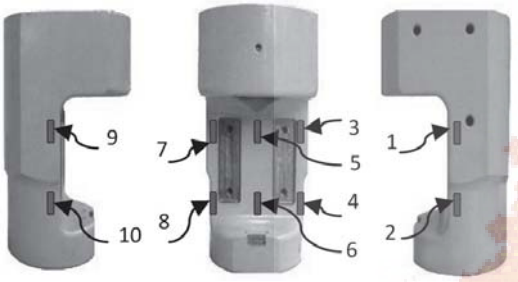
2. วิธีการทดลอง

การศึกษาเริ่มจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและรายละเอียดต่าง ๆ ของหัวรีฟอร์มจากบริษัทไทยซัมมิท พีเคเค บางนา จำกัด สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของหัวรีฟอร์มด้วยโปรแกรม SolidWorks และวิเคราะห์ความแข็งแรงของวัสดุด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรมชื่อ CosmosWorks จากนั้นสร้างแบบทดสอบจริงของหัวรีฟอร์ม ที่มีขนาดตามแบบมาตรฐานของบริษัทไทยซัมมิท พีเคเค บางนา จำกัด ด้วยมาตราส่วน 1:1 และนำมาใช้ทดสอบ โดยการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปซึ่งสามารถวัดค่าได้ด้วย Strain gages ทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบและประมวลผลการวิเคราะห์ที่ได้โดยแยกเป็น 2 วิธี คือ ผลการทดสอบแบบจำลองและผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เมื่อความเค้นและความเครียดที่ได้จาก 2 วิธีมีความสอดคล้องกันก็แสดงว่าแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์มีความถูกต้องแล้วจึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเค้นที่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงภาระกระทำด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ อีกทั้งหาตำแหน่งการเกิดความเค้นสะสมและสูงสุด จากนั้นคำนวณหาค่าความปลอดภัย

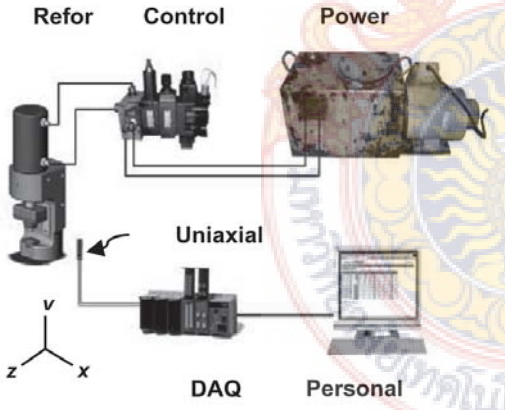
2.1 การทดสอบแบบจำลอง

โดยการกำหนดจุดที่จะติดตั้ง Strain gages รวมทั้งสิ้น 10 จุด ใช้กระดาษทรายสำหรับขัดโลหะเบอร์ 400 ขัดพื้นที่ที่จะติดตั้ง Strain gages ทั้ง 10 จุดและเช็ดทำความสะอาดอีกครั้ง ติดตั้ง Strain gages ลงไปที่หัวรีฟอร์มด้วยกาว โดยต้องติดตั้งในสภาวะที่หัวรีฟอร์ม ไม่เกิดความเค้นและความเครียด ซึ่งจะติดตั้งในตำแหน่งที่หัวรีฟอร์ม รับภาระโมเมนต์ดัด ติดตั้งรวมทั้งหมด 10 จุดด้วยกัน ดังรูปที่ 3 โดย Strain gages ที่เลือกใช้นี้เป็นชนิด KFG-5-120-C1-11 L3M2R มี Gages length เท่ากับ 5 มิลลิเมตร เมื่อติดตั้งแล้ว ให้ทำการวัดค่าความต้านทาน ของ Strain gages ซึ่งมีค่าความต้านทาน ที่อุณหภูมิ 24°*C* โดยที่ 50%*RH* จะต้องอ่านค่าได้ใน ช่วง 120.0–120.8 Ω เมื่อนำ Data Logger รุ่น MX100 ติดตั้งเข้ากับ Strain gages และนำหัวรีฟอร์มติดตั้งกับเครื่องทดสอบแล้ว หัวรีฟอร์มนั้นต้องอยู่ในสภาวะไม่รับภาระใด ๆ ดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5 ทั้งนี้ต้องควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 24°*C*, 50% *RH* โดยสามารถปรับค่าความเครียดให้เป็นศูนย์ การติดตั้งหัวรีฟอร์มต้องให้สอดคล้อง กับสภาวะการใช้งานจริง ซึ่งจะอยู่ภายใต้ภาระการกระทำ/เป็น

แรงดัน เนื่องจากความดันจากกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อหัวรีฟอร์มเกิดการแอ่นตัว Data logger ก็จะบันทึกค่าความเครียดที่เกิดขึ้นโดยอัตโนมัติตลอดเวลาตามที่ได้ตั้งค่าการทำงานไว้ ซึ่งทำการทดสอบและบันทึกผลจำนวน 50 ครั้ง ดังรูปที่ 6 เพื่อหาค่าความเครียดเฉลี่ยต่อไป



รูปที่ 3 ตำแหน่ง Strain gages ทั้ง 10 ตัว ที่ติดตั้งบนหัวรีฟอร์ม



รูปที่ 4 การติดตั้งเครื่องมือวัด อุปกรณ์และเครื่องทดสอบเข้ากับหัวรีฟอร์ม

รูปที่ 5 ประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้ากับหัวรีฟอร์ม

รูปที่ 6 ติดตั้ง DAQ Master, Gage selects เข้ากับ Strain gauges

2.2 การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

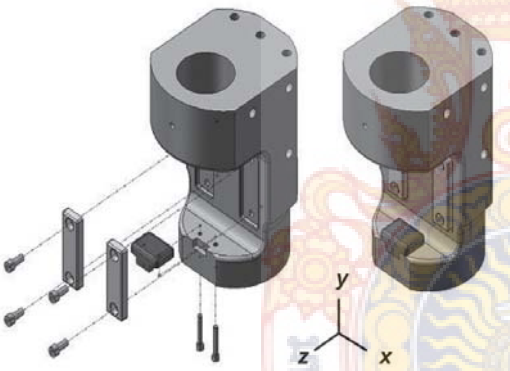
การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะต้องสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยมาตราส่วน 1:1 เช่นเดียวกับการทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SolidWorks ขนาดต่าง ๆ ของหัวรีฟอร์มต้องได้ตามแบบมาตรฐานของบริษัทการวิเคราะห์ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.2.1 การ Pre-Processing

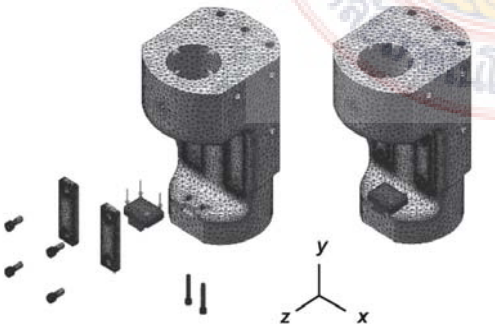
ให้นำแบบจำลองสามมิติที่สร้างขึ้น ดังรูปที่ 7 มากำหนดสมบัติของวัสดุ วัสดุที่ใช้ในการทดสอบเป็นเหล็กกล้า AISI 1045 ดังนั้น การที่จะกำหนดวัสดุเป็นชนิดยืดหยุ่นเชิงเส้นและมีสมบัติทางกลเหมือนกันในทุกทิศทางนั้น โดยที่ค่าโมดูลัส

ความยืดหยุ่นมีค่าเท่ากับ 205 GPa อัตราส่วนปัวซองเท่ากับ 0.29 ความแข็งแรงดึงเท่ากับ 625 GPa ความเค้นที่จุดครากเท่ากับ 530 MPa และมีมวลหนาแน่นเท่ากับ 7,850 kg/m^3

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตให้เป็นไปตามลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองการทดสอบนั้น การกำหนดภาระกระทำ ซึ่งในที่นี้ คือ แรงจากก้านสูบไฮดรอลิก ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านหัวลูกสูบมีค่าเท่ากับ 85 มิลลิเมตร และความดันที่ใช้ในการทำงานเท่ากับ 230, 300, 350 และ 380 bar ดังนั้น แรงที่ใช้ในการทำงานจึงควรมีค่าเท่ากับความดันคูณกับพื้นที่หน้าตัดของหัวลูกสูบ



รูปที่ 7 แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

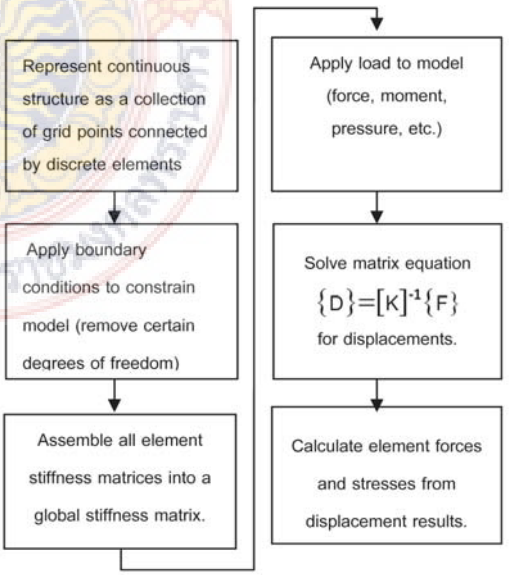


รูปที่ 8 การแบ่งแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยเอลิเมนต์ Ten nodes tetrahedral

การแบ่งเอลิเมนต์ของแบบจำลอง เป็นการแบ่งแบบจำลองออกเป็นเอลิเมนต์เล็ก ๆ ดังรูปที่ 8 ด้วยเอลิเมนต์ชนิด Ten nodes tetrahedral ซึ่งมีความเหมาะสมกับแบบจำลองที่มีขอบโค้งและรูปร่างซับซ้อน เมื่อกำหนดขนาดของเอลิเมนต์เท่ากับ 8 มิลลิเมตร แล้วก็จะส่งผลให้จำนวนเอลิเมนต์ที่วิเคราะห์ในกรณีนี้เท่ากับ 227,821 เอลิเมนต์ และมีจำนวนจุดต่อเท่ากับ 344,711 จุดต่อ ทำซ้ำใหม่ทั้งหมดอีกครั้งโดยปรับเปลี่ยนขนาดของเอลิเมนต์เป็น 5, 6, 7, 9 และ 10 มิลลิเมตร เพื่อหาขนาดและจำนวนความเหมาะสมของเอลิเมนต์ อีกทั้งเพื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเค้นอีกด้วย

2.2.2 การ Solve-Processing

การวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อหาเวกเตอร์นั้นความเค้นและความเครียดเป็นผลลัพธ์ที่สามารถเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากการทดลอง โดยมีขั้นตอนดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 กระบวนการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

2.2.3 การ Post-Processing

สำหรับการเปรียบเทียบค่าความเครียดกับการทดลองต้องเป็นความเครียดที่ผิวนอกสุดในแนวแกน y เท่านั้น ส่วนการอธิบายความแข็งแรงและการกระจายความเค้นนั้นต้องใช้ค่าความเค้น Von-Mises ซึ่งเป็นความเค้นที่มาจากทฤษฎีการเสียรูปสูงสุด

2.3 การเปรียบเทียบความเครียด

เป็นการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นใน หัวรีฟอร์มมาตราส่วน 1:1 ที่ซึ่งรับภาระเป็นแรงดัน เนื่องจากก้านกระบอกสูบ ในการเปรียบเทียบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันความถูกต้องของการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม SolidWorks และการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CosmosWorks เมื่อการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธีให้ผลที่สอดคล้องกัน จึงสามารถปรับเปลี่ยนชนิดของวัสดุและปรับขนาดหัวรีฟอร์มให้สามารถรับภาระได้สูงขึ้น หรือความเค้นที่เกิดขึ้นลดลง อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความล้าต่อไปได้

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 ความเครียดจากการทดลอง

ในการทดลองเพื่อหาค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในหัวรีฟอร์มตามที่ได้เสนอไว้ ในหัวข้อที่ 2.1 โดยในการทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความเครียดด้วยผลจากแรงดั้งฉากกระทำต่อแผ่นรองกดที่รับแรงมาจากก้านสูบไฮดรอลิก ด้วยภาระขนาด 170,235 N (P=300 bar) และหลังจากการทดสอบทั้งหมด 50 ครั้ง สามารถสรุปเป็นค่าความเครียดเฉลี่ยได้ดังตารางที่ 1 จากการทดสอบ พบว่า ความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง 6 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใกล้กับตรงกลางของบริเวณรัศมีความโค้ง อีกทั้งรูปร่างของหัวรีฟอร์มในบริเวณนี้ยังมีส่วนเว้า ส่งผลให้เกิดความเข้มของความเค้น (Stress concentration) ที่สูงด้วย เนื่องจาก Strain gage ที่ใช้ทดสอบมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้น ดังนั้นในการทดสอบเพื่อหาค่าความเค้นและความเครียดจำเป็นต้องรักษาอุณหภูมิและความชื้นในบรรยากาศให้คงที่เพื่อให้ได้ค่าต่าง ๆ ดังกล่าวออกมาอย่างถูกต้อง เมื่อการรักษาอุณหภูมิและความชื้นกระทำได้ยาก ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการทดลองจำนวนถึง 50 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยดังกล่าว

ตารางที่ 1 ค่าความเครียดเฉลี่ยที่วัดได้ของ Strain gage ทั้ง 10 ตำแหน่ง

จุดที่	1	2	3	4	5
ε_{ave} rage	0.000 262	0.000 231	0.000 435	0.000 387	0.000 479
จุดที่	6	7	8	9	10
ε_{ave} rage	0.000 558	0.000 461	0.000 394	0.000 224	0.000 226

ตารางที่ 2 ค่าความเครียดเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

จุดที่	1	2	3	4	5
ε_{ave} rage	0.000 253	0.000 216	0.000 419	0.000 356	0.000 449
จุดที่	6	7	8	9	10
ε_{ave} rage	0.000 518	0.000 436	0.000 362	0.000 209	0.000 213

3.2 ความเครียดจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์-เอลิเมนต์

จากตัวอย่างตำแหน่งของจุดที่ 6 ในรูปที่ 3 จะได้ค่าความเค้นดึงในทิศทางตามแกน y และสามารถแสดงความสัมพันธ์ของความเค้นดึงเทียบกับการปรับเปลี่ยนจำนวนเอลิเมนต์ได้ โดยขนาดของเอลิเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง คือ 8 มิลลิเมตร มีจำนวนเอลิเมนต์เท่ากับ 227,821 เอลิเมนต์ ดังนั้น จึงใช้ขนาดเอลิเมนต์ 8 มิลลิเมตรนี้ แสดงผลของความเค้นที่เกิดขึ้นที่ผิวนอกของหัวรีฟอร์มในทิศทางตามแกน y จึงสามารถสรุปค่าความเครียดได้ดังตารางที่ 2

3.3 เปรียบเทียบความเครียด

จากผลการทดลองและวิเคราะห์ในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ดังตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างกัน พบว่า ค่าความเครียดที่หาได้จาก 2 วิธีดังกล่าว ให้ผลที่สอดคล้องกัน มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 8.1% แสดงว่าโปรแกรมสำเร็จรูป CosmosWorks มีขีดความสามารถในการวิเคราะห์ปัญหาในลักษณะนี้ได้ ดังนั้น การออกแบบด้วยการปรับเปลี่ยนชนิดของวัสดุหรือขนาดรัศมีความโค้งบริเวณคอหัวรีฟอร์มก็ย่อมให้ผลการวิเคราะห์ออกมาน่าเชื่อถือได้เช่นกัน

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าความเครียดจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดลอง

จุดที่	การทดลอง	ไฟไนต์เอลิเมนต์	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
1	0.000262	0.000253	3.44
2	0.000231	0.0002161	6.45
3	0.000435	0.0004199	3.47
4	0.000387	0.000356	8.01
5	0.000479	0.0004494	6.18
6	0.000558	0.0005181	7.15
7	0.000461	0.0004367	5.27
8	0.000394	0.0003621	8.10
9	0.000224	0.0002095	6.47
10	0.000226	0.0002135	5.53

3.4 ผลการวิเคราะห์ความเค้นที่ภาระขนาดต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์หัวรีฟอร์มด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ทำให้เราทราบว่าความเค้นเกิดการกระจายตัวอย่างไรและยังทราบจำนวนรอบการใช้งานหรืออายุงานของหัวรีฟอร์ม ในการบีบอัดหน้าแปลนเสื้อเพลาขับหลัง เราสามารถตัดสินใจเลือกใช้ภาระกระทำให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งาน ที่ความดันใช้งานซึ่งมีค่า 230, 250, 270, 300, 350, 380 bar โดยมีค่าแรงกระทำเท่ากับ 130514, 141863, 153212, 170235, 198608 และ 215631 N ตามลำดับ วัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4 และตารางที่ 5 จากการวิเคราะห์ทำให้ได้ผลดังรูปที่ 10-15

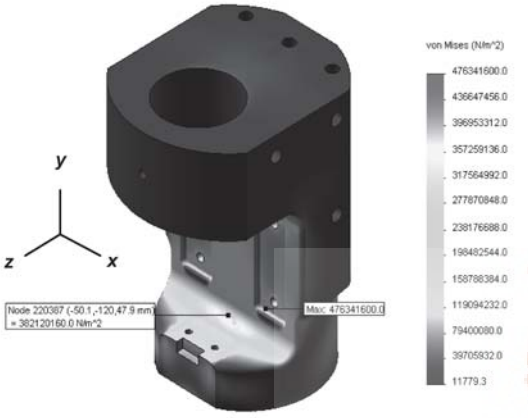
ตารางที่ 4 สมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์

วัสดุ	โมดูลัสความยืดหยุ่น (GPa)	อัตราส่วนปัวซอง	ความหนาแน่นเชิงมวล (kg/m^3)	ความแข็งแรงดึง (MPa)	ความเค้นคราก (MPa)
AISI 1045	205	0.29	7,850	625	530
Brass	100	0.33	8,500	478	239

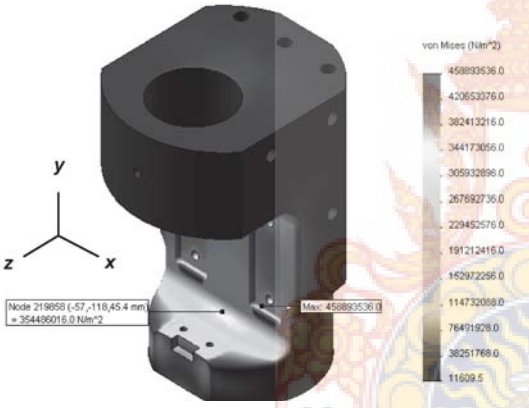
ตารางที่ 5 ความเค้น Von-Mises ที่ภาระกระทำขนาดต่าง ๆ

แรงอัด (N)	ความดัน (bar)	ความเค้นสูงสุดที่ผิวโค้ง (MPa)	ความเค้นสูงสุด (MPa)
215,631	380	382,120,160	476,341,600
198,608	350	354,486,016	458,893,536
170,235	300	289,019,264	380,171,136
153,212	270	265,514,048	347,918,720
130,514	230	227,087,392	272,161,664

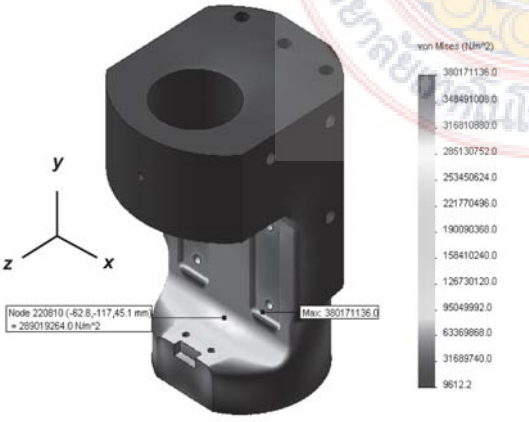
รูปที่ 10 การกระจายความเค้นด้วยทฤษฎีพลังงานการเสียรูปสูงสุดในมุมมองต่าง ๆ



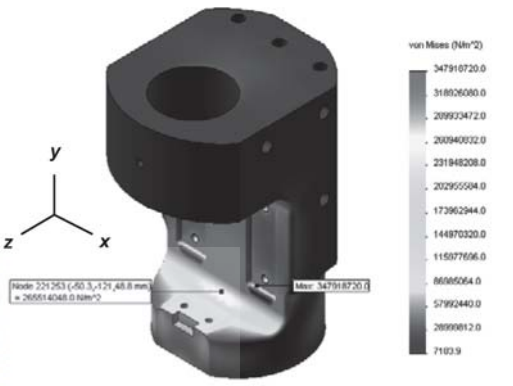
รูปที่ 11 ความเค้นสูงสุดที่ความดัน 380 bar



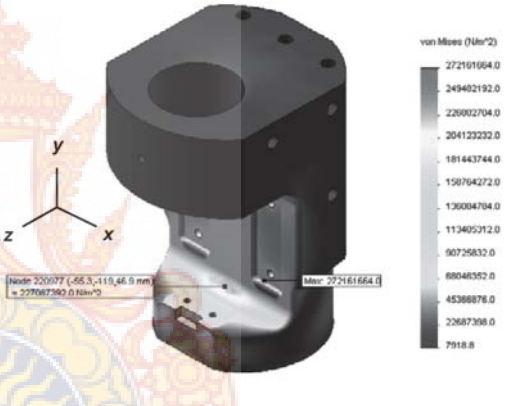
รูปที่ 12 ความเค้นสูงสุดที่ความดัน 350 bar



รูปที่ 13 ความเค้นสูงสุดที่ความดัน 300 bar



รูปที่ 14 ความเค้นสูงสุดที่ความดัน 270 bar



รูปที่ 15 ความเค้นสูงสุดที่ความดัน 230 bar

จากการวิเคราะห์ที่ความดันใช้งานต่าง ๆ พบว่า เมื่อค่าความดันมีค่าลดลง ความเข้มของความเค้นในบริเวณส่วนโค้งจะมีค่าลดลงแปรผันตรงตามค่าความดันใช้งาน ถึงแม้ว่าความเค้นสูงสุดจะเกิดดังรูปที่ 11 ถึงรูปที่ 15 แต่ก็เป็นความเค้นเฉพาะจุดที่ไม่มีการกระจายเป็นวงกว้าง หากแต่ความเข้มของความเค้นเกิดการกระจายเป็นวงกว้างในบริเวณที่เป็นคอโค้งของหัวรีฟอร์ม ซึ่งต้องให้ความสำคัญกับพื้นที่บริเวณนี้เช่นกัน การลดความดันใช้งานลงถึงแม้จะส่งผลให้เราสามารถใช้งานหัวรีฟอร์มได้นานขึ้นแต่ต้อง

พิจารณาถึงผลจากการบีบอัดหน้าแปลนเสื้อเพลาขับหลังว่า ระยะช่องว่างหลังการบีบอัดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ด้วย

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่สามารถแทนแบบจำลองเพื่อหาความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้น และบริเวณที่จะเกิดความเข้มของความเค้น ซึ่งจะเป็นแนวทางเพื่อมุ่งสู่การหาอายุการใช้งานที่ภาระขนาดต่าง ๆ และสามารถอธิบายความเหมาะสมของรูปแบบหัวรีฟอร์ม ซึ่งสอดคล้องต่อวัตถุประสงค์ของการศึกษาที่อธิบายการกระจายของความเค้นซึ่งเกิดขึ้นในหัวรีฟอร์ม โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในซอฟต์แวร์สำเร็จรูป อีกทั้งสามารถเปรียบเทียบความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นในหัวรีฟอร์ม ซึ่งได้จากการทดลองกับแบบจำลองไฟไนต์-เอลิเมนต์ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องพร้อมหาตำแหน่งของการเกิดความเค้นสูงสุด จากการวิเคราะห์ผลการดำเนินงานที่ผ่านมาสามารถสรุปผลการศึกษา ได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

4.1 การเปรียบเทียบผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

เมื่อผลการเปรียบเทียบทั้ง 2 วิธีมีค่าความเค้นและความเครียดที่สอดคล้องกัน นั่นแสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีดังกล่าวมีขีดความสามารถในการวิเคราะห์ปัญหานี้ได้ ซึ่งในการเปรียบเทียบ พบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 8.1% สรุปได้ว่าโปรแกรม CosmosWorks มีขีดความสามารถในการวิเคราะห์ปัญหาความเค้นและความล้าของหัวรีฟอร์มได้อย่างเหมาะสม

4.2 การปรับลดภาระกระทำ

การปรับลดภาระกระทำส่งผลให้หัวรีฟอร์มสามารถใช้งานได้ระยะเวลาที่นานขึ้น เช่น ที่ความดันใช้งาน 380 bar มีความเค้นสูงสุดเท่ากับ 476.3 MPa และที่คอของหัวรีฟอร์มจะมีการกระจายความเค้นเป็นวงกว้างเท่ากับ 382 MPa ค่าความปลอดภัยที่คอของหัวรีฟอร์มเท่ากับ 1.3 ซึ่งการใช้งานจริงต้องปรับลดค่าความดันลงมาอยู่ที่ 300 bar จะเกิดความเค้นสูงสุดเท่ากับ 380 MPa และที่คอของหัวรีฟอร์มจะมีการกระจายความเค้นเป็นวงกว้างเท่ากับ 289 MPa ค่าความปลอดภัยที่คอของหัวรีฟอร์มเท่ากับ 1.8 แต่การปรับลดภาระกระทำก็ต้องพิจารณาควบคู่กับระยะช่องว่างระหว่าง 2 หน้าแปลนเสื้อเพลาขับหลังว่ามีระยะห่างอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่ การปรับเพิ่มรัศมีความโค้งเป็นแบบไม่คงที่ที่คอของหัวรีฟอร์มจะสามารถลดความเข้มของความเค้นลงได้อย่างมาก

5.กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัย เรื่อง การวิเคราะห์ความล้าและออกแบบหัวรีฟอร์มโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลีเมนต์ ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัทไทยซัมมิทพีเคเค บางนา จำกัด ที่สนับสนุนอุปกรณ์ต่าง ๆ และให้ข้อมูลเพื่อใช้ในการวิจัยและขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรม-ศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้การอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือประกอบการทดลองและศึกษา

6. เอกสารอ้างอิง

Thongchai Fongsamootr and Prakorb Chartpuk. 2006. **Analyses of Stress Distribution in Overhanging Traffic Sign Pole Using Finite Element Method.** KKU Engineering Journal. ISSN 0125-8273. Published on behalf of Faculty of Engineering, KHON KAEN University, THAILAND. Volume 33, Number 6. (November-December 2006).

Thongchai Fongsamootr and Prakorb Chartpuk. 2006. **Analysis of Vehicle-Induced Gusts Effect on Stress Distribution and Natural Frequency of Traffic Sign Post Using Finite Element Method.** Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand. 20th 18-20 (October 2006).

Thongchai Fongsamootr and Kwanchanok Sukchotiratana. 2007. **Analysis of Stress and Deformation in a Polar Plate of Fuel Cell Using Finite Element Method.** Engineering Journal Chiang Mai University. Engng. J. CMU. [2007] 14 (2-3).

Thongchai Fongsamootr and Nopparat Seehawong. 2006. **Parametric Analysis of Miniscrew Implant on Stress Distribution in the Bone using Finite Element Method.** Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand. 20th 18-20 (October 2006).