

การวิเคราะห์ดินตะขบยางภายใต้ภาระการดัดงอด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และ การสแกนรูป 3 มิติ

Finite element analysis and verification with 3D Scanning of rubber track during bending load

ศิริระ มีศฤงคาร¹ และ อริสรา ชัยกิตติรัตนนา²

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน – อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชาชื่น 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

E-mail: sira.meesa@hotmail.com¹, acn@kmutnb.ac.th²

เบอร์โทรศัพท์: (66) 02 913 2500 Ext. 8315 เบอร์โทรสาร: (66) 02 586 9541

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยมีแนวโน้มการใช้ดินตะขบยางมากขึ้น และมีภาคเอกชนภายในประเทศสามารถผลิตดินตะขบยางออกสู่ท้องตลาดได้แล้วก็ตาม แต่เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันเชิงพาณิชย์ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างองค์ความรู้ในการวิเคราะห์และออกแบบดินตะขบยาง ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิคการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element analysis) ในการทำนายพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation) ของดินตะขบยางภายใต้ภาระการดัดงอขณะใช้งาน ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่า เทคนิคการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์มีความถูกต้องและเชื่อถือได้นั้น จะทำการทดสอบดินตะขบยางภายใต้ภาระการดัดงอ และใช้เทคนิคสแกน 3 มิติ (3D-Scan) เข้ามาช่วยในการหารูปร่างของดินตะขบยาง จากนั้นนำผลที่ได้จากเทคนิคสแกน 3 มิติ มาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์จะสามารถทำนายพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง การกระจายตัวของความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain distribution) และหาอายุของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการล้าตัว (Fatigue life) ได้ต่อไป

คำหลัก: ดินตะขบยาง, การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์, สแกน 3 มิติ, การกระจายตัวของความเค้น-ความเครียด

Abstract

In present days, rubber tracks are widely employed in Thailand especially for agricultural machines. Although several local rubber tracks manufacturer are able to produce the products, the use of Finite-Element-Analysis (FEA) technique to improve the quality of rubber tracks is still needed in order to increase the competitiveness in the market. This research uses FEA to predict deformation of rubber tracks under bending mode. In order to verify the accuracy of the technique, the deformation pattern of rubber tracks under bending condition was measured by the use of 3-dimension (3D) scan. The results from FEA and 3D scan were then compared. It was found that the FEA technique could be used to predict deformation, stress-strain distribution, and fatigue life of the rubber tracks.

Keywords: rubber track, finite element analysis, 3D-scan, stress-strain distribution

1. บทนำ (Introduction)

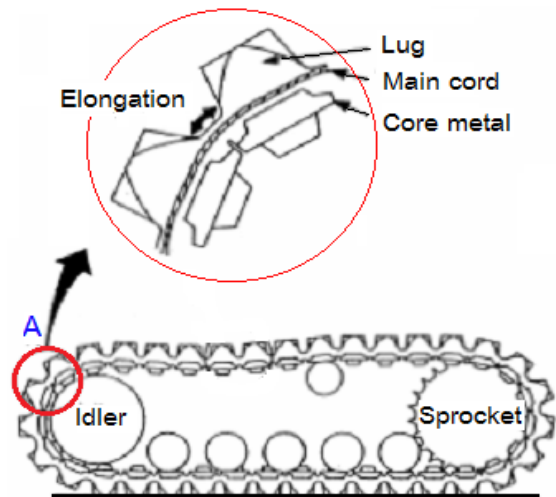
การออกแบบโครงสร้างและดอกของตีนตะขาบยาง มีผลโดยตรงต่อคุณภาพและอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ โดยปัญหาที่พบในผลิตภัณฑ์ตีนตะขาบยาง คือ ปัญหาการรอยแตกกร้าว (Crack) ที่เกิดขึ้นบริเวณดอกของตีนตะขาบยาง แสดงในรูปที่ 1



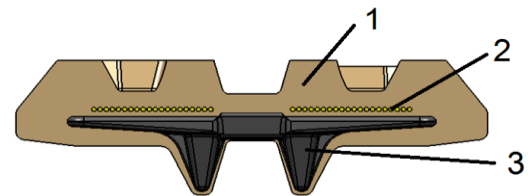
รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างปัญหาการรอยแตกกร้าวที่เกิดขึ้นในบริเวณดอกของตีนตะขาบยาง หลังจากการใช้งาน

ทั้งนี้เมื่อรถจักรกลเกษตรเคลื่อนที่ในทิศทางตรงตีนตะขาบยางจะเคลื่อนที่ผ่านส่วนโค้งของล้อเฟืองตาม (Idler) หรือล้อเฟืองขับ (Sprocket) ณ จุด A แสดงในรูปที่ 2 จะได้รับภาระการดัดงอ (Bending load) และกระทำซ้ำ (Cyclic load) ตลอดเวลา โดยทางด้านนอกสุดที่อยู่ระหว่างดอกยาง (Lug) ที่มีเส้นลวด (Main cord) อยู่กึ่งกลาง จะเกิดการยืดตัว (Elongation) ออกไป ซึ่งอาจจะเสียหายจากการล้าตัว [1] โดยงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิคการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element analysis) ในการทำนายพฤติกรรม การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation) และการกระจายตัวของความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain distribution) ของตีนตะขาบยางภายใต้ภาระการดัดงอขณะใช้งาน

ทั้งนี้ภายในตีนตะขาบยางที่ใช้ในการวิเคราะห์จะประกอบด้วย 1. ดอกยาง (Lug) 2. เส้นลวด (Cord) และ 3. แกนเหล็ก (Core metal) แสดงในรูปที่ 3 โดยตีนตะขาบยางมีขนาด (ความกว้าง 230 mm x ระยะ pitch 72 mm x จำนวนดอกยาง 46 ดอก) และล้อเฟืองขับของรถจักรกลเกษตรมีขนาดรัศมี 79 mm



รูปที่ 2 แสดงการล้าตัวที่เกิดจากการดัดงอของยาง [1]



รูปที่ 3 แสดงหน้าตัดของโมเดลตีนตะขาบยาง

2. แบบจำลองวัสดุ (Material model)

ในงานวิจัยนี้ จะเลือกแบบจำลองวัสดุของมูนีลิลิน (Mooney-Rivlin) ซึ่งทฤษฎีนี้ได้ถูกพัฒนามาจากทฤษฎีของ Rivlin โดยแสดงสมบัติความยืดหยุ่นของยางในรูปของฟังก์ชันความหนาแน่นของพลังงานความเครียด (Strain energy density function, W) ที่มีความสัมพันธ์กับค่าความเครียดอินวาเรียนท์ (Strain invariants, I) [2-6] ดังแสดงในสมการที่ (1) โดยอยู่ภายใต้สมมุติฐานยางเป็นวัสดุไอโซทรอปิก (Isotropic material) และเป็นวัสดุที่อัดตัวไม่ได้ (Incompressible material) [5]

$$W = \sum_{i+j+k=1}^{\infty} C_{ijk}(I_1 - 3)^i (I_2 - 3)^j (I_3 - 1)^k \quad (1)$$

I_1, I_2 และ I_3 คือค่าความเครียดอินวาเรียนท์อันดับที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับค่าอัตราส่วนการยืดตัว (Stretch ratio or Extension ratio, λ) ในทิศทางหลัก ดังนี้

$$I_1 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 \quad (2)$$

$$I_2 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2 + \lambda_3^2 \lambda_1^2 \quad (3)$$

$$I_3 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2 \quad (4)$$

เมื่อค่าอัตราส่วนการยืดตัว คืออัตราส่วนของความยาวในสภาวะที่ถูกยืดต่อความยาวเริ่มต้นในทิศทางหลัก (Principle direction, i) ตามแนวแกน x, y และ z ตามลำดับ โดยแสดงในสมการที่ (5)

$$\lambda_i = \frac{l}{l_0} = \varepsilon + 1 \quad (5)$$

สำหรับวัสดุที่อัดตัวไม่ได้ และมีสมบัติเหมือนกันทุกทิศทาง I_3 จะมีค่าเท่ากับ 1 จะส่งผลทำให้สมการของ Rivlin สมการที่ (1) ลดรูปเป็น

$$W = \sum_{i+j+k=1}^{\infty} C_{ijk} (I_1 - 3)^i (I_2 - 3)^j \quad (6)$$

จากสมการที่ (6) จะได้สมการของ Mooney-Rivlin

$$W = C_{10} (I_1 - 3) + C_{01} (I_2 - 3) \quad (7)$$

โดยค่า C_{10}, C_{01} คือค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลอง

เมื่อความสัมพันธ์ของสมการ แสดงในเทอมของฟังก์ชันความหนาแน่นของพลังงานความเครียด ซึ่งสำหรับในกรณีวัสดุที่อัดตัวไม่ได้ ความเค้นหลักคอร์ซี (Cauchy stress, t_i) หรือความเค้นจริง (True stress) หาได้โดยอนุพันธ์เทียบกับอัตราส่วนการยืดตัวในทิศทางหลัก [6] แสดงในสมการที่ (8)

$$t_i = \lambda_i \frac{\partial W}{\partial \lambda_i} = \lambda_i \left[\frac{\partial W}{\partial I_1} \frac{\partial I_1}{\partial \lambda_i} + \frac{\partial W}{\partial I_2} \frac{\partial I_2}{\partial \lambda_i} \right] \quad (8)$$

3. การทดสอบสมบัติวัสดุ (Material properties)

3.1 การทดสอบสมบัติวัสดุของยาง

ในการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของยางเพื่อใช้ในการทำนายพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของยาง โดยทั่วไปจะใช้ข้อมูลการทดสอบการรับแรงดึงในแนวแกนเดียว (Uniaxial tension) การรับแรงดึงในสองแนวแกนที่เท่ากัน (Equi-biaxial tension) การรับแรงกดอัดในแนวแกนเดียว (Uniaxial compression) และการรับแรงเฉือนในแนวระนาบ (Planar shear)

ทั้งนี้ในการทดสอบควรจะต้องเลือกใช้ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ที่อยู่ในสภาวะสมดุล เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของยางจะมีค่าความเค้นและความเครียดที่ลดลงจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างครั้งแรก ซึ่งพฤติกรรมนี้

เรียกว่า Stress softening และเมื่อมีการสังเกตพฤติกรรม Stress softening ระหว่างยางที่ไม่มีสารเสริมแรง และยางที่มีสารเสริมแรง พบว่าพฤติกรรมนี้มักจะปรากฏชัดเจนในยางที่มีอัตราส่วนของสารเสริมแรงมาก จึงเป็นที่เรียกกันว่า ผลกระทบของมุลลิน (Mullins' effect) [7] ดังนั้นเพื่อจะขจัดพฤติกรรม Stress softening และผลกระทบของมุลลิน ในการทดสอบจะเลือกใช้อัตราดึงที่ต่ำ [2] และทำการดึงขึ้นทดสอบเป็นวงรอบ (Cycle) ไป-กลับหลายๆ รอบ

3.1.1 การทดสอบการรับแรงดึงในแนวแกนเดียว
ขึ้นทดสอบยางรูปดัมเบลล์ขนาดตามมาตรฐาน ASTM D412 (Die type C) และทดสอบด้วยเครื่อง Universal tensile testing machine (Instron 5566)

- เมื่อพิจารณาลักษณะการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

$$\lambda_1 = \lambda, \lambda_2 = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \text{ และ } \lambda_3 = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \quad (9)$$

3.1.2 การรับแรงกดอัดในแนวแกนเดียว

ขึ้นทดสอบยางเป็นรูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 28.6 mm และสูง 12.5 mm ขนาดตามมาตรฐาน ASTM D575 ในการทดสอบนี้ จะใช้แทนการทดสอบการรับแรงดึงในสองแนวแกนที่เท่ากัน โดยก่อนการทดสอบ จะใช้สารหล่อลื่นเพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างขึ้นทดสอบยางกับแผ่นรองกดของเครื่องมือทดสอบ [8]

- เมื่อพิจารณาลักษณะการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

$$\lambda_3 = \lambda, \lambda_1 = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \text{ และ } \lambda_2 = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \quad (10)$$

จากความสัมพันธ์ของลักษณะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจะสามารถแปลงความเค้นและความเครียดที่ได้จากการทดสอบการกดอัดในแนวแกนเดียวให้เป็นการทดสอบการดึงในสองแนวแกนที่เท่ากันได้โดย สมการที่ (11) และ (12)

$$\varepsilon_B = \frac{1}{\sqrt{(\varepsilon_C + 1)}} - 1 \quad (11)$$

$$\sigma_B = \frac{\sigma_C}{(\varepsilon_B + 1)^3} \quad (12)$$

เมื่อ σ_C คือความเค้นกดอัดทางวิศวกรรม

σ_B คือความเค้นดึงในสองแนวแกนทางวิศวกรรม

ε_C คือความเครียดกดอัดทางวิศวกรรม

ε_B คือความเค้นดึงในสองแนวแกนทางวิศวกรรม

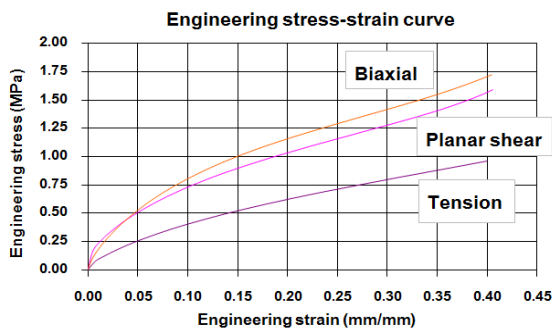
3.1.3 การทดสอบการรับแรงเฉือนในแนวระนาบ

ในการทดสอบการรับแรงเฉือนในแนวระนาบ ขนาดของชิ้นทดสอบควรมีขนาดความกว้างมากกว่า ขนาดในแนวการดึงอย่างน้อย 10 เท่า

- เมื่อพิจารณาลักษณะการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

$$\lambda_1 = \lambda, \lambda_2 = 1, \lambda_3 = \frac{1}{\lambda^2} \quad (13)$$

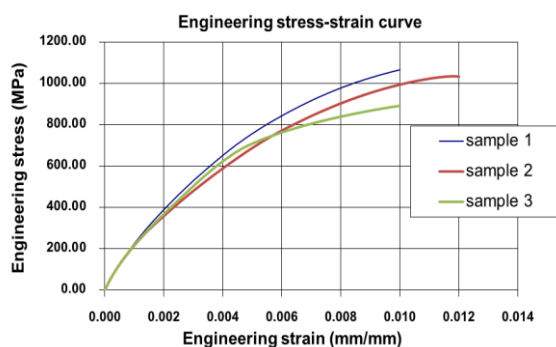
จากการทดสอบจะได้ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นและความเครียดทางวิศวกรรม ดังแสดงใน รูปที่ 4



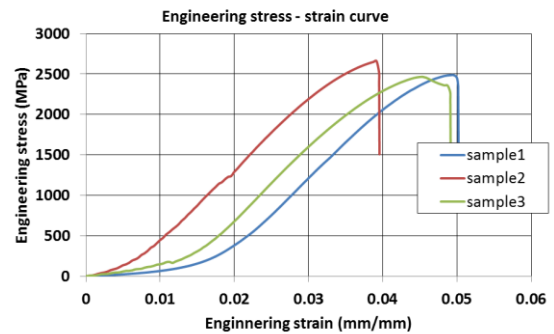
รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดทางวิศวกรรมที่ได้จากการทดสอบ

3.2 การทดสอบสมบัติเชิงกลของโลหะ

ทำการทดสอบการรับแรงดึง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดทางวิศวกรรม และหาค่าอีลาสติกโมดูลัส (Elastic Modulus, E) ของแกนหลักและเส้นลวด โดยผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 5 และ 6



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดทางวิศวกรรมของแกนหลัก

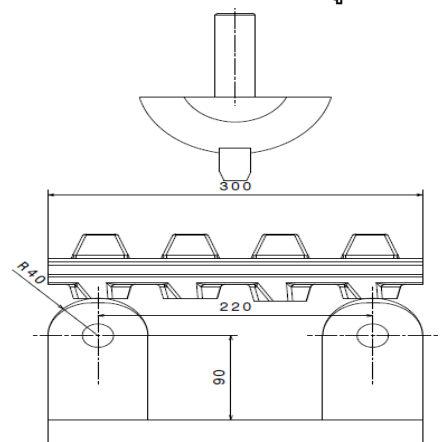


รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดทางวิศวกรรมของเส้นลวด

4. การทดสอบดินตะขบยาง และการสแกนรูป 3 มิติ (Rubber track testing and 3D-Scanning)

4.1 การทดสอบดินตะขบยาง

โดยอุปกรณ์จับยึด (Fixture) นั้น จะออกแบบให้ ดินตะขบยางวางอยู่บนลูกกลิ้งสองตัว ที่สามารถ หมุนรอบตัวได้อย่างอิสระ หัวกดออกแบบให้มีขนาด และลักษณะเหมือนล้อเฟืองขับ แสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงขนาดและของลักษณะอุปกรณ์จับยึด โดยวิธีการทดสอบ ดังนี้

ทั้งนี้เพื่อกำจัดผลกระทบของมูลลินที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ จะใช้วิธีการทดสอบ 2 แบบ คือ

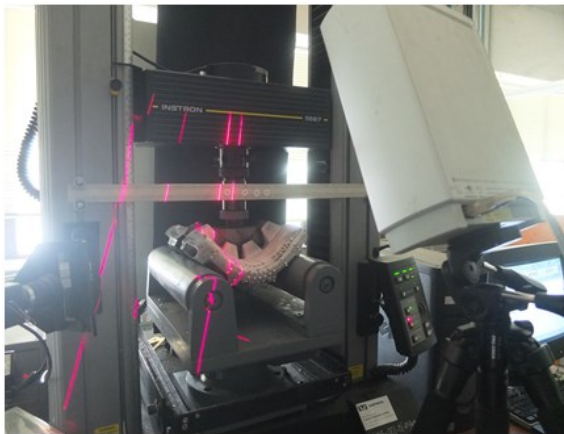
1.แบบกดซ้ำ 6 รอบ คือทดสอบกดดินตะขบยางซ้ำ 5 ครั้ง แล้วจึงเก็บข้อมูลจากการทดสอบในครั้งที่ 6

2.แบบกดซ้ำและผ่อนคลายความเค้น คือทดสอบกดดินตะขบยางซ้ำ 6 ครั้ง และเมื่อทดสอบจริงจะกดค้างไว้เป็นเวลาประมาณ 30 นาที เพื่อให้เกิดการผ่อนคลายความเค้น (Stress relaxation) แล้วจึงเก็บข้อมูล

โดยจากการทดสอบทั้ง 2 วิธี จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะกด แสดงในรูปที่ 17

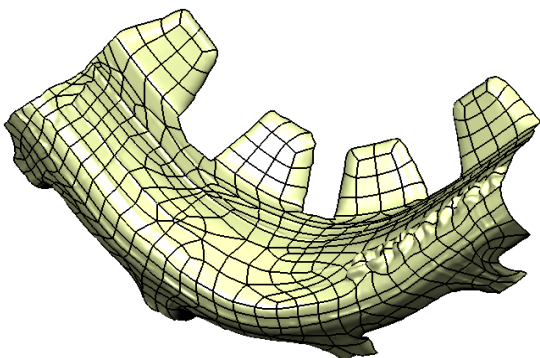
4.2 การสแกนรูป 3 มิติ

การสแกนด้วยเครื่องสแกน 3 มิติ จะใช้ระบบเลเซอร์ (Laser) กราดลำแสงลงไปบนวัตถุที่ต้องการ โดยมีกล้องเป็นตัวจับภาพจากตัวเครื่องสแกน และโปรแกรมเป็นตัวควบคุมการทำงาน ซึ่งผลที่ได้จะถ่ายทอดเป็นโมเดล 3 มิติ บนคอมพิวเตอร์ โดยในการสแกนจะต้องสแกนวัตถุให้ได้อบด้าน เพื่อจะได้พื้นผิวที่เชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์ โดยจะใช้เครื่องสแกน Next Engine รุ่น 3D SCANNER HD [9] แสดงในรูปที่ 8



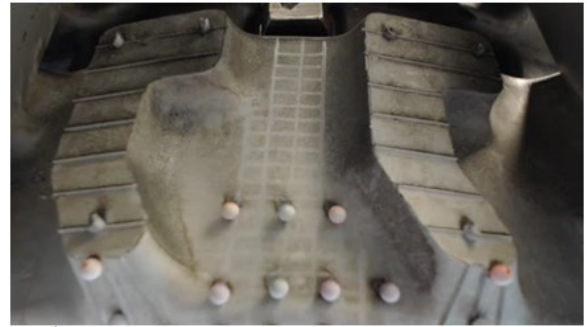
รูปที่ 8 แสดงการสแกนดินตะขอยางระหว่างการทดสอบการดัดงอ ด้วยเครื่องสแกน 3 มิติ

โดยผลที่ได้จากการสแกน และผ่านการตกแต่งพื้นผิวในโปรแกรม จะได้พื้นผิว 3 มิติ แสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงพื้นผิว 3 มิติ ที่ได้จากการสแกน

จากการติดตั้งกล้องเพื่อถ่ายภาพบริเวณร่องระหว่างดอกยาง เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างขณะถูกดัดงอ โดยแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 แสดงพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของยางบริเวณร่องระหว่างดอกยาง ขณะถูกดัดงอ

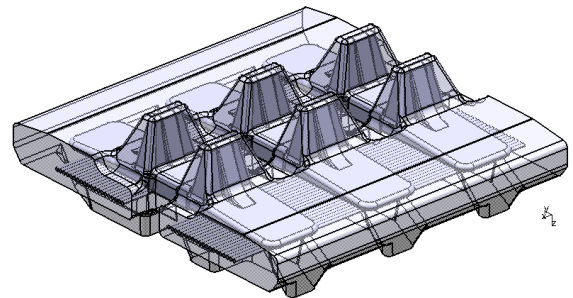
5. การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

(Finite element analysis)

5.1 การเตรียมการวิเคราะห์ (Pre-Processing)

5.1.1 การเตรียมโมเดล

โดยสร้างโมเดลในโปรแกรมการออกแบบ CATIA แสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 แสดงภาพโมเดลดินตะขอยางที่ใช้ในการวิเคราะห์

5.1.2 การเมช (Mesh) โมเดล

โดยเลือกชนิดโครงสร้างของเอลิเมนต์ (Element) เป็นแบบ วัสดุของแข็งอัดตัวไม่ได้ 3 มิติ (Incompressible three dimensional solid) มีจำนวนทั้งหมด 56,177 เอลิเมนต์ โดยเป็นแกนหลัก 5,769 เอลิเมนต์ เส้นลวด 7,555 เอลิเมนต์ และเป็นของยาง 42,853 เอลิเมนต์

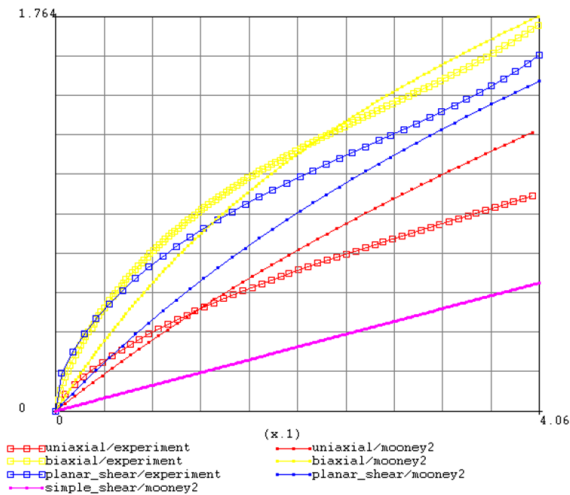
5.1.3 การกำหนดสมบัติของวัสดุ

- สำหรับเอลิเมนต์ในส่วนที่เป็นแกนหลัก ค่าโมดูลัสเท่ากับ 200,000 MPa และ Poisson's ratio เท่ากับ 0.3

- สำหรับเอลิเมนต์ในส่วนที่เป็นเส้นลวด ค่าโมดูลัสเท่ากับ 88,267 MPa และ Poisson's ratio เท่ากับ 0.3

- สำหรับเอลิเมนต์ในส่วนที่เป็นยาง จะเลือกแบบจำลองวัสดุ Mooney-Rivlin แบบ 2 เทอม จากนั้นนำข้อมูลจากการทดสอบสมบัติเชิงกลของยาง ทำ curve fitting ด้วยโปรแกรม MSC.MARC แสดงในรูปที่ 12 จะได้อาสมประสิทธิ์ดังนี้

$$C_{10} = 0.687239 \text{ MPa}, C_{01} = 0.0173711 \text{ MPa}$$

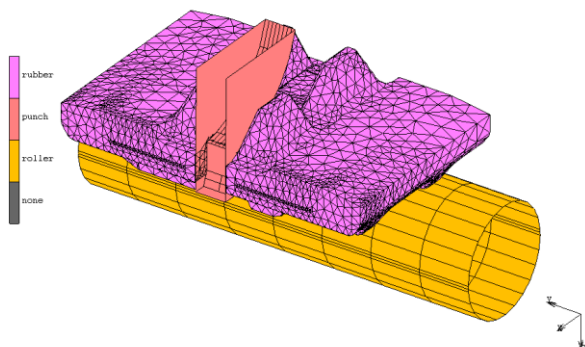


รูปที่ 12 แสดงการทำ curve fitting ของแบบจำลอง Mooney-Rivlin กับข้อมูลการทดสอบ

5.1.4 การกำหนดเงื่อนไขและขอบเขต

- สร้างพื้นผิวแข็งเกร็ง (Rigid Surface) 2 ส่วน คือ 1.หัวกด และ 2.ลูกกลิ้ง กำหนดเงื่อนไขการสัมผัสแบบสัมผัส (Touching) โดยถือว่าคู่ผิวสัมผัสไม่มีแรงเสียดทาน แสดงในรูปที่ 13

- กำหนดให้พื้นผิวหัวกดเคลื่อนที่กด เป็นระยะ 45 mm



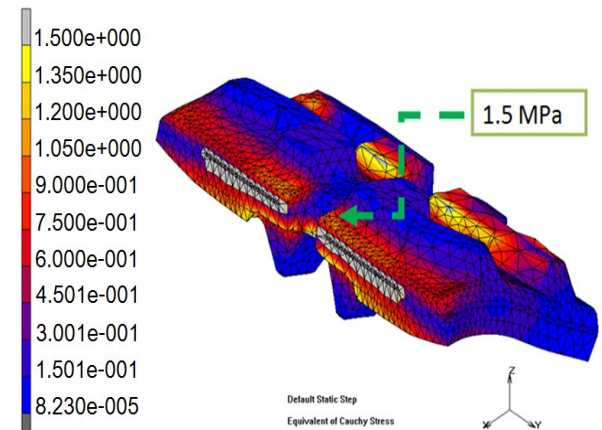
รูปที่ 13 แสดงการใส่เงื่อนไขการสัมผัสสำหรับวิเคราะห์ดินตะขบยาง

5.2 การวิเคราะห์ (Analysis)

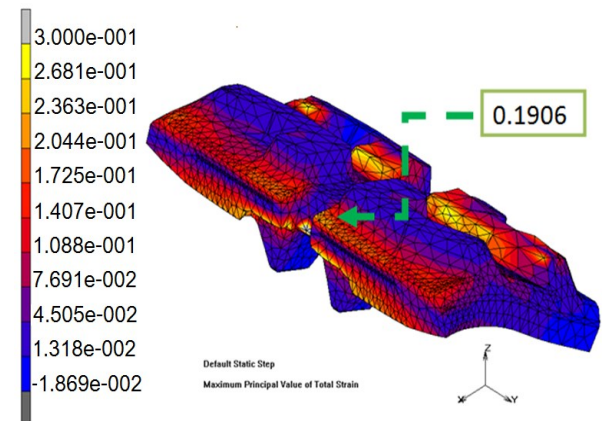
จะทำการแก้ปัญหาแบบ Nonlinear Static/Large Displacement ด้วยโปรแกรม MSC.MARC

5.3 การประมวลผลการวิเคราะห์ (Post-Processing)

รูปที่ 14 และรูปที่ 15 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง การกระจายตัวของความเค้น Cauchy และความเครียด Green-Lagrange ของดินตะขบยางเมื่อกดลงระยะ 45 mm



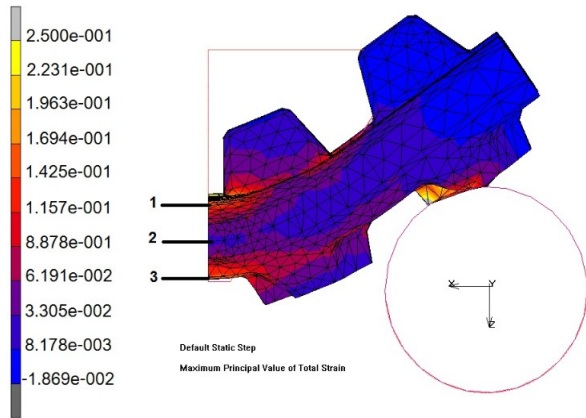
รูปที่ 14 แสดงการกระจายตัวของความเค้น Cauchy stress



รูปที่ 15 แสดงผลของความเครียด Green-Lagrange (Total strain)

โดยจะเห็นได้ว่า ช่วงกึ่งกลางดินตะขบยางที่ถูกดัดงอ บริเวณร่องระหว่างดอกยาง จะมีค่าความเค้นสูงสุดคือ 1.5 MPa และความเครียดสูงสุดคือ 0.1906

เมื่อพิจารณาความหนาของดินตะขบยางบริเวณที่ถูกดัดงอ ดังแสดงในรูปที่ 16 พบว่าบริเวณส่วนโค้งด้านใน (จุดที่ 1) และส่วนโค้งด้านนอก (จุดที่ 3) มีค่าความเครียด Green-Lagrange สูงกว่าช่วงกึ่งกลางความหนา (จุดที่ 2)

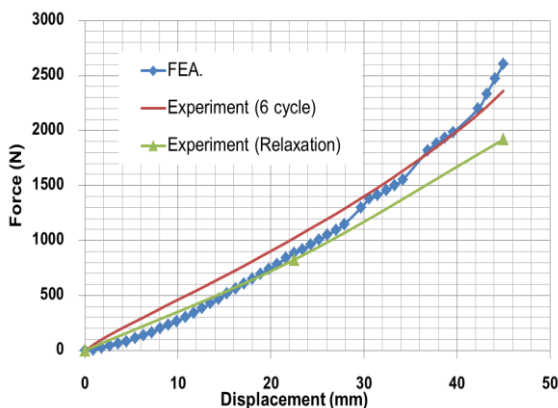


รูปที่ 16 แสดงผลของความเครียด Green-Lagrange ในตำแหน่ง 3 จุด

6. ผลการวิเคราะห์ และตรวจสอบความถูกต้อง (Analysis result and model validation)

6.1 ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดสอบ ดินตะขบยาง

จากรูปที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบผลของการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดสอบดินตะขบยาง (แบบกดซ้ำ 6 รอบ) พบว่ามีร้อยละความคลาดเคลื่อนประมาณ 10.18 ที่ระยะกด 45 mm และมีร้อยละความคลาดเคลื่อนที่สูง ในช่วงระยะกดต่ำประมาณ 0-30 mm



รูปที่ 17 แสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ กับผลการทดสอบดินตะขบยาง

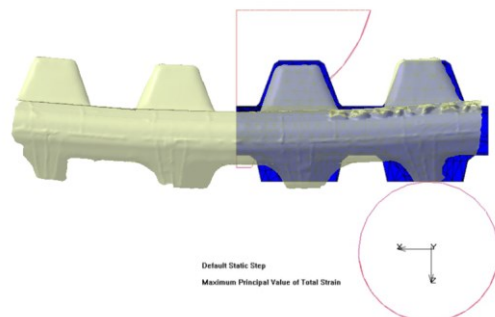
แต่เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลการทดสอบดินตะขบยาง (แบบกดซ้ำ และผ่อนคลายความเค้น) พบว่าในช่วงระยะกด 0-30 mm ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำ โดยที่ระยะกด 22.5 mm มีร้อยละความคลาดเคลื่อน

อยู่ที่ 7.27 และที่ระยะกด 45 mm มีร้อยละความคลาดเคลื่อนประมาณ 35.61

6.2 ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์กับการ สแกนรูป 3 มิติ

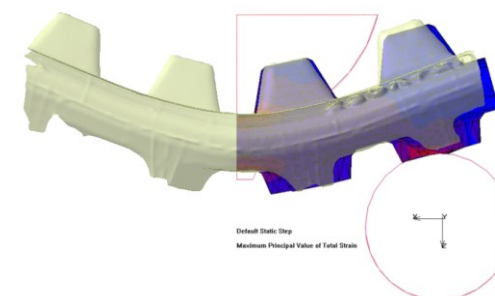
เมื่อนำพื้นผิวที่ได้จากการสแกน 3 มิติ และผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ นำมาเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของดินตะขบยาง ด้วยกระบวนการซ้อนทับภาพ ในโปรแกรม CATIA จะได้ผลใน 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ก่อนการกดดินตะขบยาง แสดงในรูปที่ 18 พบว่าพื้นผิวจากการสแกน และผลจากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ยังไม่ซ้อนทับกันทั้งหมด เป็นผลมาจาก ก่อนการทดสอบมีการกดซ้ำหลายครั้งเพื่อกำจัดผลกระทบของมูลลิน ส่งผลให้เกิดความเครียดตกค้าง และทำให้ดินตะขบยางงอเปลี่ยนแปลงรูปร่างถาวร ก่อนการทดสอบ



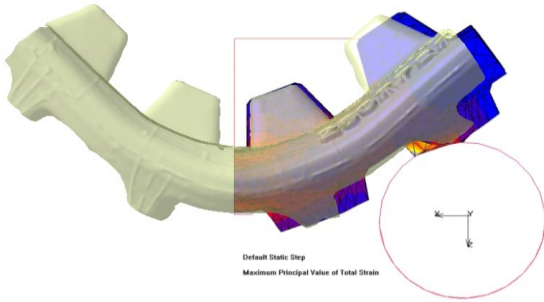
รูปที่ 18 แสดงผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของดินตะขบยางก่อนการกด

2. กดดินตะขบยางที่ระยะตามแนวแกน z เท่ากับ 22.5 mm แสดงในรูปที่ 19



รูปที่ 19 แสดงผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของดินตะขบยาง เมื่อกดที่ระยะ 22.5 mm

3. กดดินตะขบยางที่ระยะตามแนวแกน z เท่ากับ 45 mm แสดงในรูปที่ 20



รูปที่ 20 แสดงผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของดินตะขบยาง เมื่อกดที่ระยะ 45 mm

7. สรุปผล (Conclusion)

ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ดินตะขบยางมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกับผลการทดสอบ แสดงในรูปที่ 17 แต่ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น อาจเกิดจากประเด็นแรกคือ ความแตกต่างในการกำจัดผลกระทบของมุลลินในขั้นตอนทดสอบ ซึ่งการกำจัดผลกระทบของมุลลินในดินตะขบยางมีความซับซ้อนในรูปร่าง และส่วนประกอบภายใน ประเด็นที่สองคือ แบบจำลองวัสดุที่ใช้ในการทำนายพฤติกรรมยาง ประเด็นที่สามคือ ความเครียดตกค้างบนขั้นตอนทดสอบดินตะขบยาง ก่อนการทดสอบจริง ซึ่งแสดงให้เห็นในรูปที่ 18

อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์กับการสแกน 3 มิติ แสดงให้เห็นว่า ผลทั้งสองมีแนวโน้มซ้อนทับกัน และใกล้เคียงกับพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจริง แสดงในรูปที่ 19-20 ดังนั้นจึงแน่ใจได้ว่า เทคนิคการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ในการทำนายพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของดินตะขบยางภายใต้ภาระการดัดงอ มีความถูกต้องและเชื่อถือได้ในระดับหนึ่ง

โดยผลของเค้นและความเครียดที่ได้จากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์จะสามารถใช้ในการวิเคราะห์หาอายุดินตะขบยางที่เกิดจากการล้าตัว (Fatigue life) ได้ต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย

(มหาวิทยาลัยมหิดล) และบริษัท หาดดาวแทรก จำกัด ที่อำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ และสนับสนุนทุนวิจัย

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Bando, K. Yoshida, and K. Hori, The development of the rubber track for small size Bulldozers, SAE Technical paper series, International Off-Highway and Power plant Congress and Exposition, Milwaukee, Wisconsin, September 9-12, (1991), 911854.
- [2] O.H. Yeoh, Characterization of elastic properties of carbon-black-filled rubber vulcanizates, Rubber Chem. Technol., Vol. 63, (1990), pp.792-805.
- [3] Yeoh, O.H, Some form of the strain energy function for rubber, Rubber Chem. Technol., Vol. 66, (1990), pp.754-711.
- [4] R.W. Ogden, Recent advances in the phenomenological theory of rubber elasticity, Rubber Chem. Technol., Vol. 59, (1986), pp.361-383.
- [5] Treloar LRG., The physics of rubber elasticity, Oxford: Clarendon Press, (1975), Third edition, ISBN: 0-19-857027-9.
- [6] Mary C.Boyc. And Ellen M.Arruda, Constitutive model of rubber elasticity a review, Rubber Chem. Technol., Vol.73, (2000), pp.504-523.
- [7] Mullins L., Softening of rubber by deformation, Rubber Chem. Technol., Vol. 42, (1969), pp.339-362.
- [8] Day J. and Miller K., Compression or Biaxial: Testing Brief, Technical paper, June 2000, pp.1-13.
- [9] User's Guide "Next Engine", Aug 05, (2010), pp.1-120.