

**การศึกษาผลกระทบของมุมเอียงของร่องล้อยางตีนตะขานที่มีต่อการกระจายตัว
ของความหนาแน่นของพลังงานความเครียดภายใต้การรับภาระแบบสถิต**
**A Study of an Effect of the Inclination Angle of the Rubber Track on the Strain
Energy Density Distribution under Static Loading**

ชติมา ศักดิ์ชินบุตร^{1,2}, ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ^{1,2*}, ชนะ รัชศิริ³ และณัฐพงศ์ จรุงรักษ์^{1,2}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

² ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางแม่พิมพ์ยาง สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

*โทรศัพท์: 662 942 7188 โทรสาร: 662 942 7189 E-mail: fengssr@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ล้อตีนตะขานที่ใช้ในงานด้านการเกษตรกรรมในประเทศไทยมีอยู่ 2 แบบ ได้แก่ ล้อเหล็กตีนตะขานและล้อยางตีนตะขาน โดยล้อเหล็กตีนตะขานซึ่งนิยมใช้งานมากกว่าแบบล้อยางตีนตะขาน แต่หลังจากที่ล้อยางตีนตะขานมีการใช้งานอย่างกว้างขวางในต่างประเทศ จึงทำให้ปัจจุบันภาคการเกษตรในประเทศไทยเริ่มหันมาใช้ล้อยางประเภทนี้เริ่มมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามก็ยังมีเกษตรกรไทยที่ยังประสบปัญหาสำคัญ คือ ล้อยางตีนตะขานรูปแบบที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน ที่มีมุมเอียงของร่อง 45 องศา มักจะเกิดความเสียหายขณะใช้งาน ประกอบกับผู้ผลิตล้อยางตีนตะขานในประเทศไทยยังขาดองค์ความรู้ในการออกแบบและผลิตรอง ทำให้ต้องนำเข้าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำคอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรมที่ใช้การจำลองพฤติกรรมของวัสดุที่เป็นไฮเปอร์อีลาสติกของยางธรรมชาติ ตามฟังก์ชันพลังงานความเครียดของฮอว์คินส์ โดยอาศัยค่าความหนาแน่นของพลังงานความเครียดในการวิเคราะห์และทำนายความเสียหายของล้อยางตีนตะขาน ภายใต้การรับภาระแบบสถิต เมื่อล้อยางตีนตะขานมีมุมเอียงของร่องเป็น 35 45 55 และ 65 องศา ตามลำดับ โดยทุกมุมจะมีความกว้างร่องเท่าๆ กัน ผลการจำลองทำให้ทราบว่า ค่าของพลังงานความเครียดความหนาแน่นจะลดลงเมื่อล้อยางตีนตะขานมุมเอียงของร่องลดลง ดังนั้นมุมเอียงของที่เหมาะสมในการพัฒนาการออกแบบจึงเป็น 35 องศา ซึ่งจะทำให้เกิดค่าความหนาแน่นของพลังงานความเครียด 20 MJ/m^3 ดังนั้นจะเห็นว่างานวิจัยนี้จะช่วยในการพัฒนาการออกแบบยางตีนตะขาน อีกทั้งหลักการดังกล่าวข้างต้นนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อื่นๆ เป็นการแปรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าให้ได้อีกด้วย

คำหลัก: ล้อตีนตะขาน ล้อเหล็กตีนตะขาน ล้อยางตีนตะขาน ความหนาแน่นของพลังงานความเครียด มุมเอียงของร่อง

Abstract

In general, agricultural tracks can be classified into metal track and rubber track. Even though metal track are globally used nowadays; rubber track becomes more acceptable, especially, in Thailand, due to its lower cost. However, there is a lack of fundamental understanding in the design of the agricultural rubber track which leads to poor quality of the track itself. In this research, the effect of the inclination angle, which varies from 35 to 65 degrees, of the rubber track on the strain energy density distribution under static loading was investigated. The numerical work was performed based on Ogden hyperelastic model of the natural rubber used in this work. The results show that the strain energy density decreases when an inclination angle is reduced. Therefore, within the scope of parameters studied, the inclination angle of 35 degrees was selected and the resulting strain energy density was found as 20 mJ/m^3 . It can be seen from this research that the application of Computer Aided Engineering (CAE) leads to rubber product improvement in the future.

Keywords: Agricultural track, Metal track, Rubber track, Strain energy density, Inclination angle.

1. บทนำ

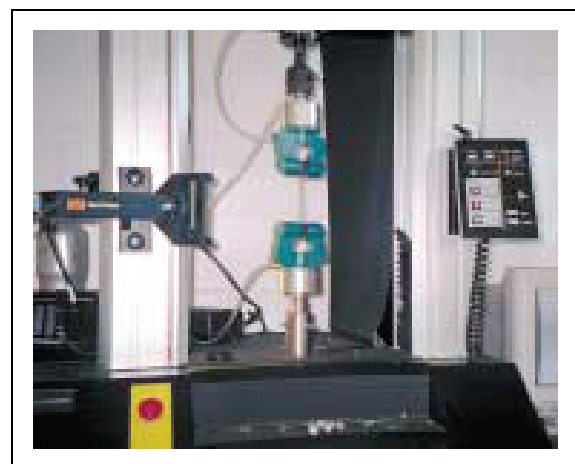
ผลิตภัณฑ์ยางในปัจจุบันมีบทบาทกับการดำรงชีวิตของมนุษย์มากขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งนับว่ายังเป็นพืชที่สร้างรายได้และเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยมีความพร้อมที่สุดในด้านวัตถุดิบ แต่ทั้งนี้สัดส่วนการใช้ยางดิบแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในประเทศยังต่ำ หากยางได้รับการค้นคว้าวิจัยและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นจะส่งผลดีต่อประเทศ ซึ่งสำหรับล้อตีนตะขาคือใช้งานในด้านการเกษตรกรรมในประเทศไทยมีอยู่ 2 แบบ กล่าวคือ แบบล้อเหล็กตีนตะขาซึ่งนิยมใช้งานมากกว่าแบบล้อยางตีนตะขา แต่หลังจากที่ล้อยางตีนตะขามีการใช้งานอย่างกว้างขวางในต่างประเทศจึงทำให้ปัจจุบันภาคการเกษตรในประเทศไทยเริ่มหันมาใช้ล้อยางประเภทนี้เริ่มมากยิ่งขึ้น แต่การแปรรูปยางเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ล้อยางตีนตะขายังไม่สามารถทำได้โดยง่าย มีข้อจำกัดทั้งในด้านเวลาและเทคโนโลยี ทำให้ต้องนำเข้าล้อยางตีนตะขาจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก จากเหตุผลข้างต้นคณะวิจัยจึงนำคอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม (Computer Aided Engineering, CAE) เข้ามาใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ล้อยางตีนตะขา แทนการออกแบบเดิมซึ่ง

เป็นการลองผิดลองถูก (Trial and Error) ทำให้ช่วยลดเวลาและลดต้นทุนในการออกแบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานได้อีกหลากหลาย

2. อุปกรณ์และวิธีการ

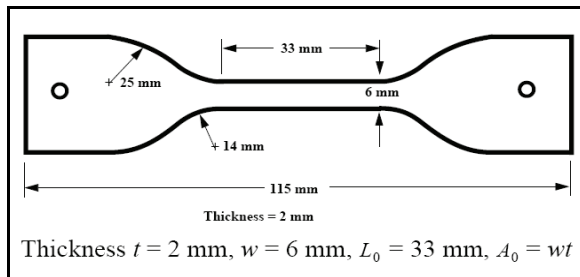
2.1 การทดสอบสมบัติยาง

2.1.1 การทดสอบสมบัติการรับแรงดึงในแนวแกนเดียว (ดังแสดงในรูปที่ 1) โดยทั่วไปชิ้นทดสอบต้องมีขนาดตามแนวยาวมากกว่าตามแนวกว้างและความหนาน้อยกว่า 10 เท่า [1] เพื่อให้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างในแนวแรงดึงไม่มีผลของการเปลี่ยนรูปร่างในแนวแกนอื่นๆ มาเกี่ยวข้อง



รูปที่ 1 การทดสอบหนึ่งแนวแกน [1]

สำหรับรูปร่างของชิ้นทดสอบนั้นไม่จำเป็นที่จะต้องเป็นรูปตัดบีบเกล็ด (ดังแสดงในรูปที่ 2) และไม่ได้มีการกำหนดขนาดที่แน่นอนไว้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของเครื่องมือทดสอบ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการรับแรงดึงในแนวแกนเดียวคือความเค้นกับความเครียด [2]



รูปที่ 2 ชิ้นทดสอบการดึงในแนวแกนเดียว [2]

ลักษณะการเกิดความเค้นและการเปลี่ยนรูปในการทดสอบการรับแรงดึงในแนวแกนเดียว [2] สามารถคำนวณจากสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

- ลักษณะในการเกิดความเค้น :

$$\sigma_1 = \sigma = \frac{P}{A_0}, \sigma_2 = \sigma_3 = 0 \quad (1)$$

- ลักษณะในการเปลี่ยนรูป :

$$\lambda_1 = \lambda = \frac{l}{l_0}, \lambda_2 \approx \lambda_3 \approx 1/\sqrt{\lambda} \quad (2)$$

σ คือ ความเค้นในการรับแรงดึงในแนวแกนเดียว

λ คือ อัตราส่วนการยืดในแนวการดึง

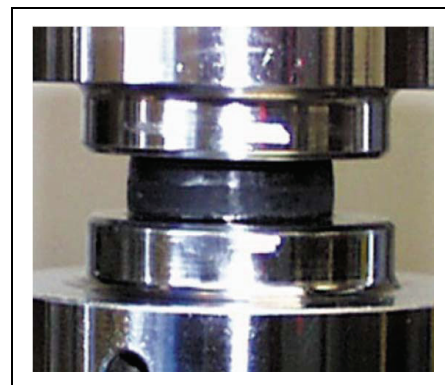
l คือ ความยาวขณะยืด ณ แรงใดๆ

l_0 คือ ความยาวเริ่มต้นของชิ้นตัวอย่าง

สำหรับในการทดสอบนั้นจะต้องทำการดึงจนกระทั่งผลของของเหลวหนืด (Viscous Effect) หดไป ทำให้ยางอยู่ในภาวะสมดุล ซึ่งสามารถทำได้โดยการดึงชิ้นทดสอบไปกลับหลายๆ รอบหรืออาจดึงชิ้นทดสอบค้างไว้ที่ระยะที่ต้องการแล้วปล่อยให้ยาง

คลายตัวเข้าสู่ภาวะสมดุลเอง หลังจากนั้นจึงนำเฉพาะผลการทดสอบรอบสุดท้ายซึ่งยางเข้าสู่ภาวะสมดุลแล้วมาใช้

2.1.2 การทดสอบสมบัติการรับแรงกดอัดในแนวแกนเดียว (ดังแสดงในรูปที่ 3) จะมีความยุ่งยากเนื่องจากสาเหตุหลัก 2 ประการคือ ประการแรกเนื่องจากชิ้นงานมีลักษณะเป็นทรงกระบอกที่มีความหนาแน่น จึงต้องใช้แม่พิมพ์ในการขึ้นรูปแยกต่างหาก ซึ่งจะทำให้ชิ้นทดสอบที่ได้มีสมบัติแตกต่างไปจากชิ้นทดสอบที่ใช้ในการทดสอบสมบัติอื่นๆ เมื่อเทียบกับการตัดชิ้นทดสอบในยางแผ่นทดสอบอันเดียวกัน ประการที่สอง แรงเสียดทานระหว่างชิ้นทดสอบกับแผ่นรองเครื่องมือทำให้ชิ้นทดสอบไม่สามารถเคลื่อนตัวได้อย่างอิสระเมื่อมีการขยายตัวหลังจากกดชิ้นทดสอบ ดังนั้นในการทดสอบจึงนิยมใช้สารหล่อลื่นเพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างชิ้นทดสอบกับแผ่นรองเครื่องมือ [1]



รูปที่ 3 การทดสอบการกดอัดในแนวแกนเดียว [3]

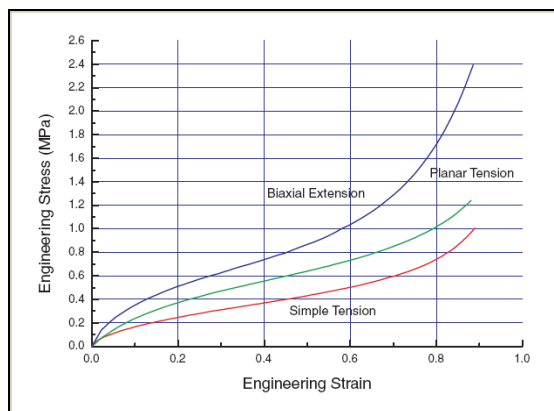
ลักษณะการเกิดความเค้นและการเปลี่ยนรูปในการทดสอบการกดในแนวแกนเดียว [2] สามารถคำนวณจากสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

2.1.3 การทดสอบการรับแรงเฉือนในแนวระนาบ ขนาดของชิ้นทดสอบควรมีขนาดความกว้างมากกว่าขนาดในแนวการดึงอย่างน้อย 10 เท่า โดยใช้เครื่องทดสอบแบบรับแรงเฉือนในแนวระนาบ (Planar Shear Test) (ดังแสดงในรูปที่ 4) แล้วนำค่าที่ได้จากการทดสอบทั้งสามค่ามาพล็อตกราฟ (ดังรูปที่ 5)



รูปที่ 4 การทดสอบการรับแรงเฉือน
ในแนวระนาบ [2]

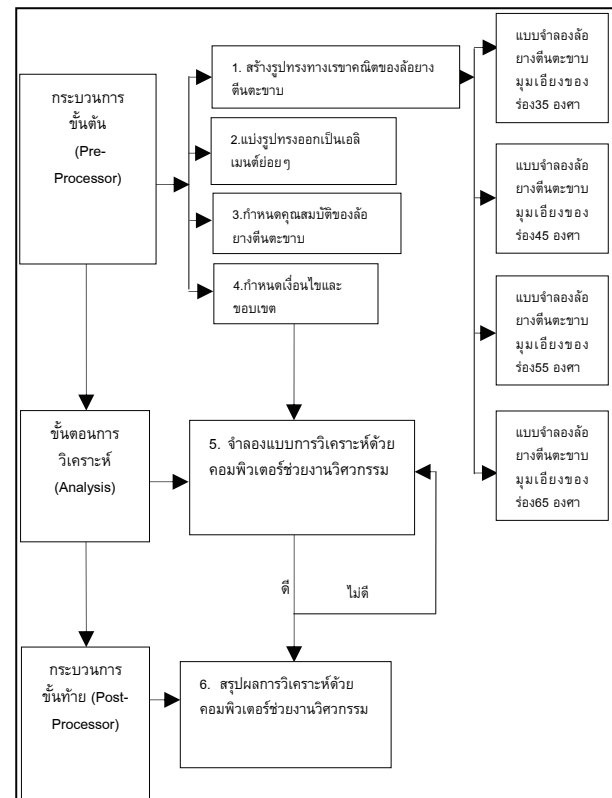
ลักษณะการเกิดความเค้นและการเปลี่ยนรูปใน
การทดสอบการรับแรงเฉือนในแนวระนาบ [2]
สามารถคำนวณจากสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ



รูปที่ 5 ไดอะแกรมความเค้น-ความเครียดสำหรับการ
การทดสอบทั้ง 3 กรณี [4]

2.2 การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรมในการ ออกแบบผลิตภัณฑ์ล้อยางตีนตะขา

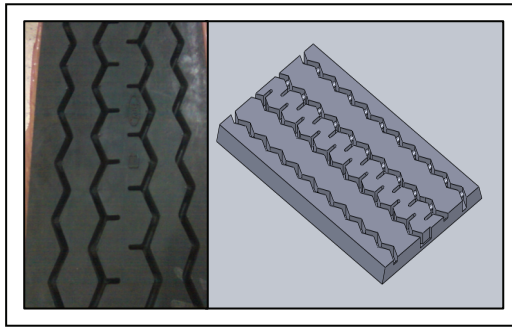
การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรมในการ
ออกแบบผลิตภัณฑ์ล้อยางตีนตะขา ด้วยการนำ
ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังสรุปขั้นตอนดังแสดงใน
รูปที่ 6



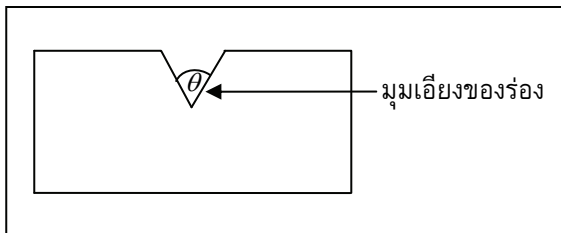
รูปที่ 6 ขั้นตอนการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม

2.2.1 กระบวนการขั้นต้น (Pre-Processing)

การสร้างรูปทรงต้น 3 มิติ ของล้อยาง
ตีนตะขา (ดังแสดงในรูปที่ 7) จะมีมุมเอียงของร่อง
ยาง θ คล้ายรูปตัววี ดังแสดงในรูปที่ 8 ล้อยาง
ตีนตะขาที่ใช้ในการเกษตรสำหรับเครื่องยนต์ที่มี
ขนาดไม่เกิน 80 กำลังม้า ส่วนใหญ่มีค่าประมาณ 45
องศา จากข้อมูลการออกแบบเบื้องต้น พบว่ามุมเอียง
ร่องแคบๆ ทำให้เกิดปัญหาการคายเศษกวาดและดิน
ได้ยากขึ้น [6] ในบทความนี้จึงได้ยกตัวอย่าง
กรณีศึกษามุมเอียงของร่องที่มีค่าใกล้เคียงกับมุมที่
นิยมใช้งานดังกล่าวข้างต้น โดยเริ่มตั้งแต่ 35 45 55
และ 65 องศา ตามลำดับ

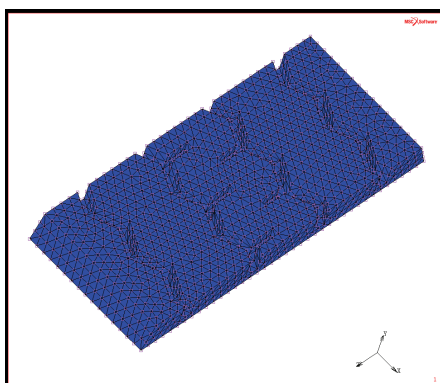


รูปที่ 7 ล้อยางตีนตะขาทันแบบ



รูปที่ 8 ภาคตัดขวาง (Cross Section) มุมร่องดอกยาง

แบ่งรูปทรงนั้นออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ เอลิเมนต์เหล่านี้จะต่อเชื่อมกันที่จุดต่อจุดต่อใดๆที่อยู่บนขอบผิวล้อยางตีนตะขาทัน (ดังแสดงในรูปที่ 9) จึงจะก่อให้เกิดรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Model) ที่ใกล้เคียงของจริงมากที่สุด โดยทำการหาเอลิเมนต์ที่เหมาะสมกับล้อยางตีนตะขาทัน



รูปที่ 9 การแบ่งเอลิเมนต์ย่อยๆ ล้อยางตีนตะขาทัน

กำหนดสมบัติวัสดุของยางในการทำนายพฤติกรรมการเสียหายของล้อยางตีนตะขาทันจากโปรแกรม MSC.Marc Mentat โดยเลือกแบบจำลอง

อ็อกเดน (Ogden model) แสดงดังสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ [5]

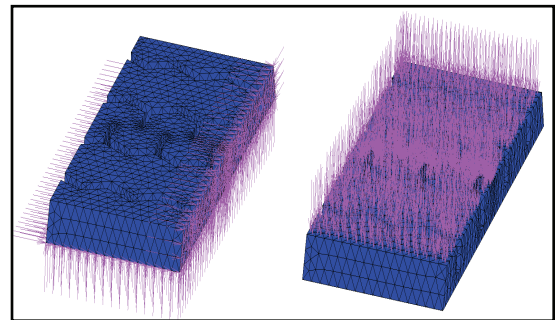
$$W = \sum_{n=1}^N \frac{\mu_n}{\alpha_n} \left[(\lambda_1^{\alpha_n} + \lambda_2^{\alpha_n} + \lambda_3^{\alpha_n}) - 3 \right] \quad (3)$$

$$\text{โดยที่ } \lambda_1 = \lambda \text{ และ } \lambda_2 = \lambda_3 = \frac{1}{\sqrt{\lambda}}$$

$$W = \sum_{n=1}^N \frac{\mu_n}{\alpha_n} \left(\lambda_1^{\alpha_n} + 2\lambda_2^{\frac{-\alpha_n}{2}} - 3 \right) \quad (4)$$

เมื่อ μ, α เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองที่ได้จากการ Curve Fitting จากโปรแกรม MSC.Marc Mentat

กำหนดเงื่อนไขและขอบเขต (Boundary Condition) ซึ่งการกำหนดความดันที่กระทำบนผิวของล้อยางตีนตะขาทันด้วยความดัน 0.320 MPa และมีการกำหนดพื้นผิวอีกด้านให้ยึดติดแน่นทุกทิศทางแสดงดังรูปที่ 10



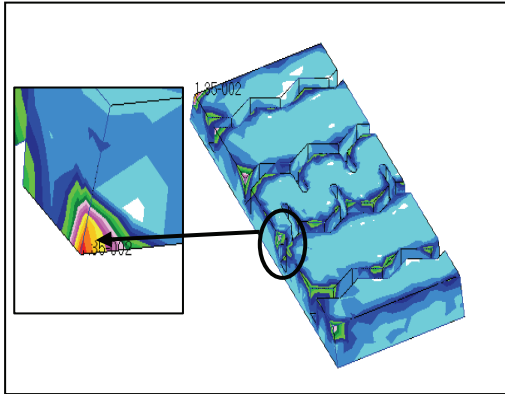
รูปที่ 10 การกำหนดขอบเขตและเงื่อนไขของล้อยางตีนตะขาทัน

2.2.2 กระบวนการวิเคราะห์ (Analysis)

เมื่อสร้างข้อมูลของรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ เงื่อนไขขอบเขต และข้อมูลอื่นๆที่จำเป็นแล้ว ซึ่งมาถึงในกระบวนการวิเคราะห์เพื่อหาผลลัพธ์ ในกระบวนการนี้จะให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำการคำนวณให้

2.2.3 กระบวนการขั้นท้าย (Post-Processing)

หลังจากกระบวนการวิเคราะห์เสร็จแล้ว จากการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่ามีล้อยางตีนตะขามีระยะการยุบตัวจากการพิจารณาพลังงานความเครียดส่วนใหญ่เกิดขึ้นบริเวณขอบรอบร่องของล้อยางตีนตะขาบ ดังแสดงในรูปที่ 11



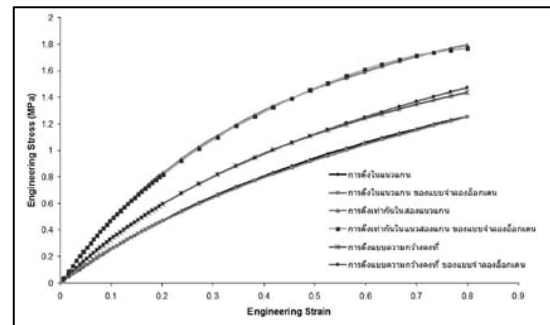
รูปที่ 11 พลังงานความเครียดที่เกิดบริเวณขอบรอบร่องของล้อยางตีนตะขาบ

3. ผลและวิจารณ์

ผลจากการทดสอบคุณสมบัติยางข้างต้นได้ถูกนำไปใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ของในแต่ละแบบจำลองไฮเปอร์อีลาสติกด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ MSC.Marc Mentat แบบจำลองไฮเปอร์อีลาสติกที่ใช้ในการศึกษานี้ที่มีความสามารถให้ผลจำลองใกล้เคียงกับผลการทดสอบ คือ แบบจำลองอ็อกเดน อันดับที่ 2 แสดงดังตารางที่ 1 และแสดงดังรูปที่ 12

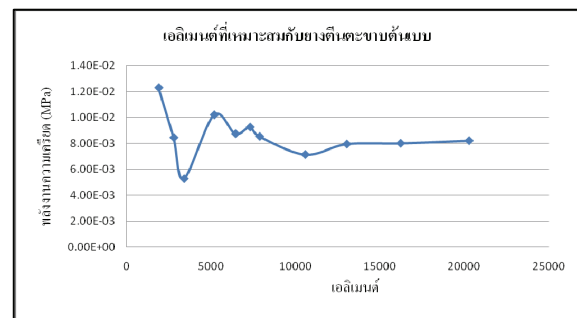
ตารางที่ 1 สมบัติวัสดุของยาง

วัสดุ	ค่าที่ใช้
โมเดล	Ogden
Bulk modulus	5820.180
Modulus 1, μ_1	3.794×10^{-5}
Exponent 1, α_1	701.086
Modulus 2, μ_2	15.892
Exponent 2, α_2	0.003



รูปที่ 12 ผลการทำนายการทดสอบการดึงทั้ง 3 แบบ โดยใช้แบบจำลองอ็อกเดน

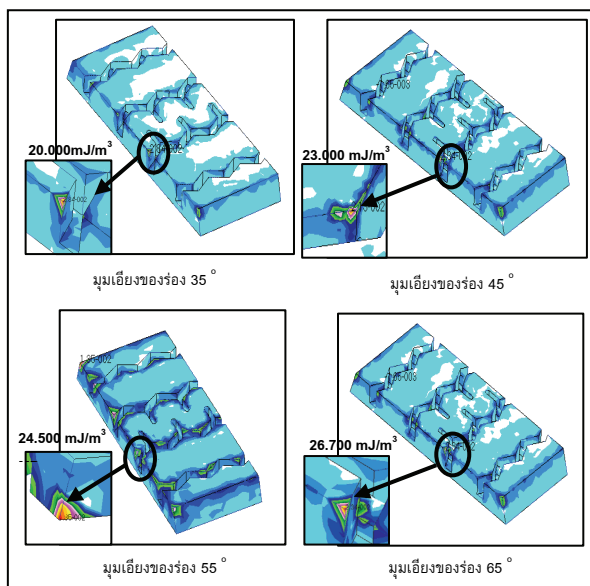
สำหรับชนิดเอลิเมนต์ที่เหมาะสมกับแบบจำลองล้อยางตีนตะขาบ คือ โซลิดเอลิเมนต์ (Solid Element) เหมาะกับการวิเคราะห์ปัญหาทั้งแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น ซึ่งแบบจำลองล้อยางตีนตะขาบสามารถแบ่งเอลิเมนต์ที่เหมาะสมกับล้อยางตีนตะขาบ ดังแสดงรูปที่ 13



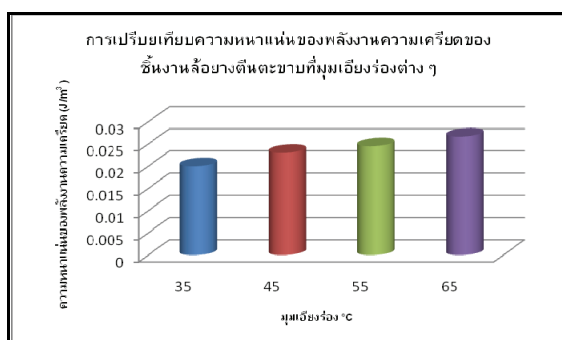
รูปที่ 13 การหาเอลิเมนต์ที่เหมาะสมกับแบบจำลองล้อยางตีนตะขาบ

สำหรับผลการวิเคราะห์การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรมของล้อยางตีนตะขาบ โดยพิจารณาค่าความหนาแน่นของพลังงานความเครียดในการวิเคราะห์และทำนายความเสียหายของล้อยางตีนตะขาบ ภายใต้การรับภาระแบบสถิต เมื่อพฤติกรรมการกระจายตัวของความหนาแน่นของพลังงานความเครียดล้อยางตีนตะขาบมีมุมเอียงของร่องเป็น 35 45 55 และ 65 องศา ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 14 จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของความหนาแน่นของพลังงานความเครียดเกิดบริเวณขอบ

รอบร่องของล้อยางดินตะขาบ 20.000, 23.000, 24.500 และ 26.700 mJ/m^3 ตามลำดับ ผลการจำลองทำให้ทราบว่า ค่าของพลังงานความเครียดหนาแน่นจะมีค่าลดลงเมื่อล้อยางดินตะขาบมุมเอียงของร่องลดลง ดังนั้นมุมเอียงของที่เหมาะสมในการพัฒนาการออกแบบจึงเป็น 35 องศา ซึ่งจะทำให้เกิดค่าความหนาแน่นของพลังงานความเครียด 20.000 mJ/m^3 ดังแสดงในรูปที่ 15 และตารางที่ 2



รูปที่ 14 การกระจายตัวของความหนาแน่นของพลังงานความเครียดล้อยางดินตะขาบมีมุมเอียงของร่องเป็น 35 45 55 และ 65 องศา



รูปที่ 15 การเปรียบเทียบความหนาแน่นของพลังงานความเครียดที่มีมุมเอียงของร่องต่างๆ ของล้อยางดินตะขาบ

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบความหนาแน่นของพลังงานความเครียดสูงสุดที่มุมเอียงของร่องต่างๆ

มุมเอียงของร่อง (degree)	u ($\times 10^{-3} \text{J/m}^3$)	u/u _{max}
35	20.000	0.750
45	23.000	0.860
55	24.500	0.920
65	26.700	1.000

u คือ ความหนาแน่นของพลังงานความเครียด
u_{max} คือ ความหนาแน่นของพลังงานความเครียดสูงสุด มีค่าเท่ากับ 26.700 mJ/m^3

4. สรุป

จากการศึกษาผลกระทบของมุมเอียงของร่องล้อยางดินตะขาบที่มีต่อการกระจายตัวของความหนาแน่นของพลังงานความเครียดภายใต้การรับภาระแบบสถิต เมื่อนำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่ใช้การจำลองพฤติกรรมของวัสดุที่เป็นไฮเปอร์อีลาสติก ตามฟังก์ชันพลังงานความเครียดของอีกรเด้น ผลการจำลองทำให้ทราบว่า ค่าของพลังงานความเครียดหนาแน่นมีผลกระทบจากมุมเอียงของร่องล้อยางดินตะขาบเมื่อมุมเอียงของร่องแคบลงพลังงานความเครียดหนาแน่นจะมีค่าลดลง ซึ่งมุมเอียงของที่เหมาะสมในการพัฒนาการออกแบบจึงเป็น 35 องศา ซึ่งจะทำให้เกิดค่าความหนาแน่นของพลังงานความเครียด คือ 20 mJ/m^3 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นกรณีศึกษาเกี่ยวกับการนำคอมพิวเตอร์ช่วยทางวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้ในการทำนายพฤติกรรม และเพื่อเป็นแนวทางหรือเป็นวิธีการที่ใช้ช่วยในการพัฒนาการออกแบบล้อยางดินตะขาบที่เหมาะสมต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมูลนิธิส่งเสริมการวิจัยในมหาวิทยาลัยเพื่ออุตสาหกรรมไทย (Thailand University Research Promotion for Industries Foundation:

TURPIF) สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัยร่วม
อุตสาหกรรม KU-TURPIF ประจำปี 2554 และ
ขอขอบคุณศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางแม่พิมพ์ยาง
สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทาง
อุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้เอื้อเฟื้อเอกสารข้อมูล
และสถานที่ทำวิจัยที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Miller, K., (2000). Testing Elastomers for Hyperelastic Material models in Finite Element Analysis: Testing for Hyperelastic, *Technical Paper Report 2000*, pp. 1-8.
- [2] Marc Analysis Research Corporation. (1998). *Experimental Elastomer Analysis: Experimental Elastomer Course*, MSC. Software Corporation, The United States of America.
- [3] Day J. and Miller, K., (2000). Compression or Biaxial: Testing for Hyperelastic, *Technical Paper Report 2000*, pp. 1-13.
- [4] Gent, A. N. (2001). *Engineering with Rubber*, Oxford University Press, New York.
- [5] ยุพา ตาวัน, ชนะ รัชศิริ และจักรพันธ์ อร่ามพงษ์พันธ์ (2553). การศึกษาขนาดของยางรองแท่นเครื่องที่มีผลต่อพฤติกรรมเชิงกลภายใต้ภาระแบบพลวัต, *วิศวกรรมสาร มก. ปีที่ 23 (74): พฤศจิกายน - ธันวาคม 2553*, หน้า 61-74.
- [6] นัย บำรุงเวช (2544). *รถฟาร์มแทรกเตอร์: ล้อและยาง*, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).