รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การใช้วิธีทางไฟไนท์เอเลเมนต์ศึกษาพฤติกรรมการกดของอิลาสติกแบริ่ง

Finite Element Analysis Studying on Compressive Behaviour of Elastomeric Bearing

คณะผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิไลพร ลักษมีวาณิชย์

รองศาสตราจารย์มนัส แซ่ด่าน

แผนกวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

กองทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปี พ.ศ. 2547

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการกดของแบริ่งยางด้วยเทคนิควิธีทางไฟไนท์เอเลเมนต์ ซึ่งใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ที่ทำงานบนระบบ window ชื่อว่า COSMOS/M โดยถือว่าคอมปาวด์เป็นวัสดุไฮเปอร์อิลาสติก ที่อธิบายสมบัติเชิงกลด้วยสมการพลังงานความเครียด และใช้หลักการวิเคราะห์หาค่าคงที่ของพลังงานความเครียด 2 วิธี ได้แก่ (1) วิธีที่เสนอโดย Yeoh ที่ลดรูปสมการพลังงานที่ยุ่งยากให้เป็นสมการที่ง่าย เป็นความสัมพันธ์ของความเค้นลดรูป (σ_r) กับ Invariant (I_1) ได้ $\sigma_r = 2C_{10} + 4C_{20}(I_1 - 3) + 6C_{30}(I_1 - 3)^2$ และ (2) ผู้วิจัยเสนอให้นำ secondary invariant of strain, I_2 มาพิจารณาในการผิดรูปแบบกดทำให้ได้ สมการ $\sigma_r = 2(C_{10} + \frac{1}{\lambda}C_{01}) + 4C_{20}(I_1 - 3) + 6C_{30}(I_1 - 3)^2$ โดย C_{10}, C_{01},C_{20} และ C_{30} เป็นค่าคงตัวที่ได้จากการทดสอบการผิดรูปตามแนวแรงกดและแรงเฉือน ตามขั้นตอนมาตรฐานของอังกฤษ (BS903 Part A4 และ Part A14 สำหรับการกดและเฉือน ตามลำดับ) ผลการศึกษาพบว่าวิธีของ Yeoh ใช้ได้ดีแล้ว ในขณะที่การนำ I_2 มาพิจารณาร่วมไม่ได้ทำให้การทำนายดีขึ้น

แบริ่งที่ศึกษาทำด้วยยางคอมปาวด์ที่แปรค่าปริมาณเขม่าดำ 4 ระดับคือ 10, 20, 40 และ 70 phr เรียกว่า BR10, BR20, BR40 และ BR70 ตามลำดับ มีจำนวนชั้นของเหล็กเสริมแรง 4 ค่าที่ส่งผลให้แบริ่งมีค่า shape factor เปลี่ยนแปลงในช่วงประมาณ 0.30 ถึง 1.70 แบริ่งเหล่านี้ทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมการกดโดยหาความสัมพันธ์ของความเค้นกับความเครียดที่แปรค่าจาก 0 ถึงประมาณ 0.20 โดยการกดตรงและกดด้วยระบบคานที่ออกแบบขึ้น ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงที่มีความสามารถในการกดสูงสุดเพียง 10 kN

ผลการทำนายพฤติกรรมการกดของแบริ่งด้วย FEA เปรียบเทียบกับผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการทำนายยางนิ่ม (BR10, BR20 และ BR40 ที่มี shape factor ต่างกันทั้งสี่ค่า) ให้ผลสอดคล้องกับผลการทดลองเป็นอย่างดี โดยใช้ค่าคงตัวของพลังงานความเครียดเพียง 3 ตัวของ Yeoh โมเดล ส่วนกรณียางแข็ง (BR70) ที่มีปริมาณเขม่าดำสูง การทำนายด้วยวิธีของ Yeoh มีความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง จำเป็นต้องเพิ่มค่า C_{01} เข้าไปพบว่าผลการทำนายดีขึ้น แต่ยังมีความคลาดเคลื่อน และเมื่อใช้โมเดลของแบริ่งยางที่มีชั้นกาวเสมือนยืดหยุ่นที่มีค่ามอดุลัสเป็น 8 MPa ที่มีความหนาที่เหมาะสมแปรผันโดยตรงกับปริมาตรของเนื้อยางทั้งหมด ข้อมูลพฤติกรรมการกดของแบริ่งยางที่สรุปและทดสอบทั้งในงานวิจัยปัจจุบันและอดีตสามารถทำนายได้ถูกต้องด้วยโมเดลที่เสนอขึ้นนี้

ABSTRACT

This research aims to study the mechanical behavior of elastomeric bearing, using Finite Element Analysis (FEA) technique. The COSMOS/M, a commercial software running on WINDOWS system, has been used in this research. As rubber compound acts as hyperelastic material, where a strain energy function is used to describe its mechanical behavior. Two methods were used to determined the strain energy parameters; (1) Yeoh's relation, described as a relationship of reduced stress (σ_r) and the first invariants of tensor (I_1) : $\sigma_r = 2C_{10} + 4C_{20}(I_1 - 3) + 6C_{30}(I_1 - 3)^2$ and (2) a method proposed here, the secondary invariant of tensor (I_2) was added and given $\sigma_r = 2(C_{10} + \frac{1}{\lambda}C_{01}) + 4C_{20}(I_1 - 3) + 6C_{30}(I_1 - 3)^2$. Where four parameters; C_{10}, C_{01}, C_{20} and C_{30}, were evaluated from uniaxial compression and simple shear tests, following the British standard procedures (BS903 Part A4 and Part A14 for compression and simple shear respectively). The study shows a good result of Yeoh's method while the additional of I_2 does not provide better results.

Four levels of carbon black content in the studied bearings are 10, 20, 40 and 70 phr. These compounds are named as BR10, BR20, BR40 and BR70 respectively. Four type of bearing are classified, depending on number of reinforcing metal plate. This leads to 4 levels of shape factor, varying from about 0.30 to 1.70. The relationship of compressive stress and strain, ranged upto about 20%, is studied using a direct compression and a beam system via a tensile machine, having only 10 kN maximum load capacity.

By using 3 parameters of Yoeh's method, the predicted FEA stress–strain relation agrees well with the experimental results for all soft bearings, made of BR10, BR20 and BR40 compounds, and for all 4 cases of reinforcing metal plate. There is no effect of parameter C_{01} on the prediction of the soft bearing. This parameter is necessary for the stiff bearing, made of BR70. A prefect prediction of the highest black content compound is showed when a model consisting of an imaginary elastic layer of glue is added. The optimum elastic modulus of this layer is 8 MPa, while the optimum thickness is directly proportional to the total volume of rubber. The current and previous experimental values fit well with this model prediction.