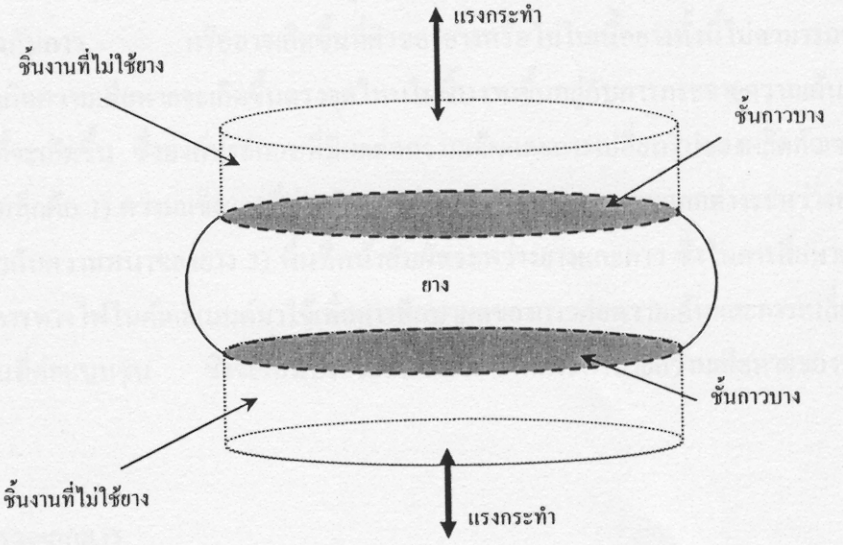
บทที่ 1
บทนำ

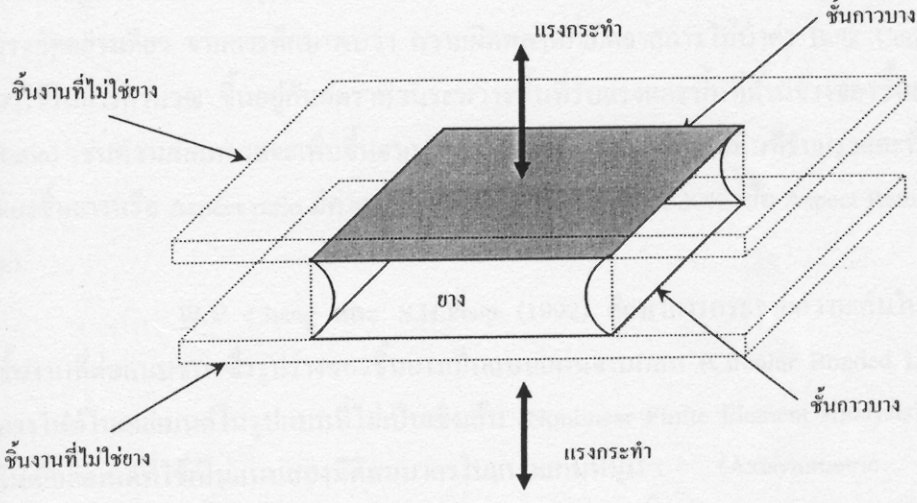
1.1 บทนำต้นเรื่อง

ปัจจุบันมีการนำยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์มาใช้เป็นวัสดุกับงานวิศวกรรมมากขึ้น ผลิตภัณฑ์หลายอย่างที่ทำจากวัสดุเหล่านี้เช่น ชุดยางรองแท่นเครื่องยนต์ (Elastomeric Mounting and Bearing) ชุดข้อต่อยางในอุตสาหกรรมรถยนต์ (Flexible Coupling and Suspension of Vehicle) ยางรองคอสะพาน (Bridge Bearing) และหมอนรองกระดูกในงานด้านชีวการแพทย์ ฯลฯ การออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ยืดตัวและแข็งแรงเหมาะกับการใช้งาน ต้องทำการวิเคราะห์ความเค้น (Stress Analysis) ที่จะเกิดขึ้นในเนื้อยางทั้งนี้เพื่อทำนายการวิบัติ (Failure Analysis) ของผลิตภัณฑ์ การวิเคราะห์หาความเค้นของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยาง ในปัจจุบันไม่สามารถทำได้ง่ายด้วยวิธีเชิงเส้น เนื่องจากสมบัติทางกลของยางเป็นแบบไฮเปอร์อีลาสติก (Hyperelastic) ซึ่งสามารถคืนรูปร่างเดิม (Original Recovering) ได้แม้มีการยืดตัวหรือมีความเครียด (Strain) เกิน 100% อีกทั้งยังมีสมบัติการอัดตัวไม่ได้สูง (High Incompressible Material) ดังนั้นเทคนิคทางคอมพิวเตอร์ (Computer Aided Engineering) จึงเป็นทางเลือกสำหรับการวิเคราะห์ออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยาง

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis, FEA) เป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้ เพราะสามารถแก้ปัญหาผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อน สามารถกำหนดสมบัติของยางเป็นแบบไม่เชิงเส้นได้ (Nonlinear Material) โดยใช้หลักการพลังงานความเครียด (Strain Energy Potential) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของยาง แทนที่การใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Young's Modulus) และอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's Ratio) ตามกฎของ Hook's การกำหนดสมบัติของยางโดยวิธีพลังงานดังกล่าวต้องอาศัยการทดสอบชิ้นยางในห้องปฏิบัติการเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของยางในลักษณะต่างๆ คือ การทดสอบแรงในแนวแกนเดียว (Uniaxial Testing) การทดสอบแรงในแนวสองแกน (Equipbiaxial Testing) การทดสอบแรงดึงในแนวระนาบ (Planar Test) และการทดสอบการอัดตัว (Volumetric Testing) เพื่อกำหนดพฤติกรรมจริงของยางโดยหลักการพลังงานความเครียดในต้นแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ต่อไป



รูปที่ 1.1 ชิ้นงานต่อชนระหว่างยางกับชิ้นงานที่ไม่ใช่ยางแบบแผ่นกลม (Circular Bonded)



รูปที่ 1.2 ชิ้นงานต่อชนระหว่างยางกับชิ้นงานที่ไม่ใช่ยางแบบแผ่นสี่เหลี่ยม (Rectangular Bonded)

การต่อวัสดุต่างชนิดกันแบบชน (Butt-Joint) ดังตัวอย่างในรูปที่ 1.1 และรูปที่ 1.2 ทำได้โดยการใช้กาวชั้นบางเป็นตัวเชื่อมติดระหว่างผิวของชิ้นงานที่ทำจากยาง (Elastomer) กับผิวของชิ้นงานที่มีเนื้อวัสดุต่างจากยาง (เช่นวัสดุจำพวกโลหะหรืออโลหะ) ความเสียหายจะเกิดขึ้นเมื่อ

ชิ้นงานมีความเค้น (Stress) และการเปลี่ยนรูป (Deformation) ความเสียหายอาจเกิดขึ้นที่ชั้นรอยต่อระหว่างยางกับกาว หรืออาจเกิดขึ้นที่ผิวของยางหรือไม่ในเนื้อยางทั้งนี้ไม่สามารถทำนายว่าตำแหน่งที่เกิดความเสียหายจะเกิดขึ้นตรงจุดไหนในชิ้นงานขึ้นอยู่กับการกระจายความเค้นและการเปลี่ยนรูปที่จะเกิดขึ้น ซึ่งองค์ประกอบที่มีผลต่อความเค้นและการเปลี่ยนรูปของผลิตภัณฑ์ยางแบบต่อชนกับเหล็กคือ 1) ความแข็งแรงที่ต่างกันระหว่างยางกับกาว 2) ความแตกต่างระหว่างความหนาของชั้นกาวกับความหนาของยาง 3) พื้นที่หน้าสัมผัสระหว่างยางและกาว ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้เป็นการนำวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้เพื่อการศึกษาผลของกาวต่อความเค้นและการเปลี่ยนรูปของชิ้นงานที่ต่อแบบชน ซึ่งจะเป็นประโยชน์เบื้องต้นในการทำนายความเสียหายของรอยต่อได้ต่อไป

1.2 การตรวจเอกสาร

C.J.S. Petrie and M.H.B.M. Shariff (1992) ใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นศึกษาการกระจายความเค้นในเนื้อยางของชิ้นงานแบบต่อชน รูปร่างของชิ้นยางเป็นแบบแผ่นยางกลม (Circular Bonded Disc) และแบบแท่งสี่เหลี่ยม (Rectangular Bonded Block) โดยสมมุติให้ยางเป็นวัสดุที่อัดตัวได้ การเปลี่ยนแปลงปริมาตรสม่ำเสมอทั้งชิ้นยาง และชิ้นยางรับแรงอัดอย่างเดียว จากการศึกษาพบว่า ความผิดพลาดที่เกิดจากการไม่นำค่า Bulk Compressibility มาใช้ในการคำนวณ ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างพื้นที่รับแรงและพื้นที่ด้านข้างของชิ้นยาง (Aspect Ratio) เช่นความผิดพลาดจะเพิ่มขึ้นจาก 10% เมื่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่รับแรงและพื้นที่ด้านข้างของชิ้นยางหรือ Aspect ratio มีค่าเท่ากับ 20 เป็นความผิดพลาด 30% เมื่อ Aspect Ratio มีค่าเท่ากับ 40

W.V Chang และ S.H.Peng (1992) ศึกษาการกระจายความเค้นในเนื้อยางของชิ้นงานที่ต่อแบบชน ซึ่งรูปร่างของชิ้นยางเป็นแบบแผ่นจานกลม (Circular Bonded Disc) โดยวิธีทางไฟต์ในเอลิเมนต์ในรูปแบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Finite Element Analysis) รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้เป็นแบบสองมิติสมมาตรในแนวแกนหมุน (Axisymmetric Element) ความเครียด (Nominal Strain) อัตราส่วนระหว่างรัศมีของชิ้นยางและความหนาของยาง (Aspect ratio) อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's Ratio) ความแข็งและอ่อนตัวของยาง (Strain-hardening or Softening) เป็นตัวแปรที่ใช้ศึกษาถึงการกระจายความเค้นในเนื้อยาง จากการศึกษาพบว่าความเค้นเนื่องจากความดันอุทกสถิต (Hydrostatic Stress) เกิดขึ้นสูงในเนื้อยางมีผลทำให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงาน ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างพื้นที่รับแรงและพื้นที่ด้านข้างของชิ้นยาง (Aspect ratio)

อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's Ratio) และความเครียดที่เกิดขึ้นในเนื้อยาง ความเค้นสูงสุด (Radial and Axial Stress) เกิดขึ้นบริเวณแนวกลางของชิ้นยาง ขณะที่ความเค้นเฉือน (Shear Stress) สูงสุดเกิดขึ้นบริเวณใกล้ขอบของชิ้นยาง

C.G. Koh และ H.L. Lim (2001) ใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ศึกษาผลกระทบของความกว้างของชิ้นยางแบบแท่งสี่เหลี่ยม (Rectangular Bonded Block) และค่าอัตราส่วนปัวซอง (Poission's Ratio) ต่อความยืดหยุ่นของชิ้นงาน (Effective Modulus) เมื่อชิ้นงานรับแรงอัดเพียงอย่างเดียว จากการศึกษาพบว่าค่าความยืดหยุ่นของชิ้นงานเปลี่ยนไปเมื่อความกว้างของชิ้นยางเปลี่ยนไป และค่าความยืดหยุ่นของชิ้นงานลดลงประมาณ 40% เมื่ออัตราส่วนปัวซอง (Poission's Ratio) เข้าใกล้ 0.5

Abraham Pannikottu, Joseph A. Seiler และ Jerry J. Leyden (1998) ทำการทดสอบสมบัติของยางที่ใช้ทำประเก็นและซีลยางในแบบของ Uniaxial Tension, Uniaxial Compression, Planar Shear และ Equi-biaxial Tension ข้อมูลที่ได้จากการทดลองถูกนำมากำหนดเป็นคุณสมบัติทางกลของยางโดยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไม่เป็นเชิงเส้นโดยใช้หลักของ Mooney-Rivlin และ Ogden มาหาค่าคงที่ที่กำหนดสมการหลัก (Constitutive Equation) เพื่ออธิบายพฤติกรรมจริงของยางที่ใช้ทดสอบ

M. Imbimobo และ A. De Luca (1998) ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนระหว่างพื้นที่รับแรงและพื้นที่ด้านข้างของชิ้นงาน (Shape Factor) ของแบริ่งยางแบบแผ่นกลม ต่อการกระจายความเค้นและการกระจายความเครียดในเนื้อยาง เมื่อชิ้นงานรับแรงกระทำในแนว ตั้งฉากกับชิ้นงาน (Vertical Load) อย่างเดียว รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้เป็นแบบสองมิติสมมาตรในแนวแกนหมุน (Axisymmetric Element) จากการศึกษาพบว่า Edge Effect จะลดลงเมื่อ Shape Factor มีค่ามากขึ้น

K. Lkegami, T. Fujii, H.Kawagoe, H. Kyogoku, K.Motoie, K.Nohno, TSugibayashi และ F. Yoshida (1996) ทำการเปรียบเทียบการทดสอบเพื่อหาสมบัติเชิงกลของกาว (Adhesive) ด้วยวิธีต่าง ๆ คือ Butt joints, Single joints, Double lap joints และ Double Cantilever Beam

D. Charoenyut (2003) คิดวิธี TALA โดยการนำสปริงเอลิเมนต์ (Spring Element) มาแทนชั้นกาวบางในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของการต่อชิ้นงานแบบซ้อนกัน (Lap Joint) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้เอลิเมนต์ที่บางๆของกาวจริงในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ก่อให้เกิดปัญหาใน

เรื่องอัตราส่วนระหว่างพื้นที่รับแรงและพื้นที่ด้านข้างของชิ้นงาน (Aspect Ratio) ของเอลิเมนต์ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการคำนวณค่าความเค้นตลอดความหนาของชั้นกาวบาง

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษาผลกระทบของความหนาของเนื้อยาง พื้นที่หน้าสัมผัสระหว่างยางและกาว สมบัติความยืดหยุ่น (Elastic Modulus) ของกาว ต่อการกระจายความเค้นและการเปลี่ยนรูปในเนื้อยาง รวมไปถึงการทำนายตำแหน่งที่จะเกิดการวิบัติของชิ้นงานแบบต่อชน

1.3.2 เพื่อนำวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) มาใช้วิเคราะห์และออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อวัสดุเป็นยางโดยใช้ชั้นกาวบางเป็นตัวเชื่อมต่อในผลิตภัณฑ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เมื่อสามารถทำนายการกระจายของความเค้นในชิ้นงานที่เกิดขึ้น รวมถึงสามารถทำนายตำแหน่งที่เสียหายในชิ้นงานได้อย่างถูกต้องเมื่อตัวแปรคือ ความหนาของยาง พื้นที่สัมผัสระหว่างยางและกาว รวมถึงคุณสมบัติความยืดหยุ่นของกาวที่เปลี่ยนไป ย่อมเป็นประโยชน์ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ชั้นยางและชั้นกาวมีรูปร่างและขนาดที่ถูกต้องเหมาะสมกับสภาพการใช้งานจริงของผลิตภัณฑ์ซึ่งส่งผลให้เกิดการประหยัดเนื้อวัสดุต่อไป

1.4.2 เพิ่มทักษะความรู้ความชำนาญในการทดสอบสมบัติทางกลของยาง และการจำลองสมบัติทางกลของยางลงในต้นแบบเพื่อใช้กับวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งหลักการเหล่านี้สามารถนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยางชนิดอื่นๆได้ต่อไป

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 การศึกษาในการวิจัยนี้ประกอบด้วยการทดลองชิ้นงานทดสอบและการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ในการศึกษาทั้งสองส่วนมุ่งเน้นการใช้วัสดุที่มีอยู่จริงในอุตสาหกรรม สำหรับกาวจะใช้ค่าความแข็งแรงต่างๆกันไป และยางที่ใช้ในการศึกษาคือใช้ยางธรรมชาติ (Natural Rubber) ซึ่งใช้งานในผลิตภัณฑ์จำพวกดูดกลืนแรง (Shock Absorbing) และส่วนรองรับเครื่องจักร (Flexible Engine Mounting)

1.5.2 การวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาตัวแปร ที่มีผลต่อเนื้อยางตามชนิดที่กล่าวในข้อหนึ่งเป็นพื้นฐานก่อน ดังนั้นในการศึกษาขั้นต้นครั้งนี้ คุณสมบัติของยางถูกควบคุมให้คงที่ตลอดการศึกษาโดยใช้ยางชนิดเดียวกันตลอดการศึกษา และสมมุติให้ยางที่ใช้เป็นวัสดุที่อัดตัวไม่ได้ ทั้งนี้

เป็นการลดงานทดสอบในส่วนของการทดสอบแรงในแนวสองแกน (Equibiaxial Testing) และการทดสอบการอัดตัว (Volumetric Testing)

1.5.3 การยืนยันความถูกต้องผลคำนวณจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ทำโดยการนำผลการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง โดยมุ่งเน้นการเปรียบเทียบข้อมูลที่วัดได้จากภายนอกของชิ้นงานในห้องปฏิบัติการเท่านั้น เช่น การยืดและหดตัวของชิ้นงานเมื่อแรงที่กระทำต่อชิ้นงานเปลี่ยนไป การเปรียบเทียบตั้งอยู่บนสมมุติฐานที่ว่าถ้าสิ่งที่วัดจากภายนอกระหว่างการทดลองกับต้นแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ตรงกัน ส่วนที่วัดไม่ได้จากการทดลองซึ่งเกิดขึ้นภายในชิ้นงาน เช่น ความเค้นในเนื้อยางหรือชั้นกาว ย่อมเท่ากับค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

1.5.4 สำหรับการศึกษาการกระจายความเค้นของชิ้นงานที่เหมือนกับชิ้นงานทดสอบทำโดยการศึกษาจากแบบไฟไนต์เอลิเมนต์แทน โดยจะมุ่งศึกษาที่กระจายความเค้นในเนื้อยางที่จุดต่างๆในระนาบตลอดทั้งความหนาของชิ้นยาง ตำแหน่งที่เกิดความเค้นสูงสุดในเนื้อยางและการกระจายของความดัน (Hydrostatic Pressure) ในเนื้อยาง โดยการศึกษาในครั้งนี้ยังไม่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชิ้นงาน