

ประสิทธิภาพพลังงานดูดซับของท่อผนังบางที่มีหน้าตัดรูปหลากหลายภายใต้แรงบิด

สุรสิงห์ อารยางกูร¹, สมญา ภูณะยา² และชูชาติ พยอม³

^{1,3}คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ อ. เมือง จ.สุรินทร์ 3200 E-mail: p.sing1968@gmail.com, Choo1234@hotmail.com

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190 E-mail: somyanew@hotmail.com

บทคัดย่อ - งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาประสิทธิภาพพลังงานดูดซับของท่ออลูมิเนียมผนังบางที่มีหน้าตัดรูปหลากหลายภายใต้แรงบิด โดยใช้วิธีการทดลองและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งรูปทรงหน้าตัดของท่อที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ท่อสี่เหลี่ยม ท่อหกเหลี่ยม ท่อแปดเหลี่ยม ท่อกลม ที่ความหนา 1, 2, และ 3 มิลลิเมตร ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เมื่อทำการหาความอิสระของเอลิเมนต์ พบว่าขนาดเอลิเมนต์ที่เหมาะสมเท่ากับ 6 มิลลิเมตร และทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการทดลองและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่ความหนา 1 มิลลิเมตร พบว่าค่าพลังงานดูดซับมีค่าใกล้เคียงกันทุกๆ หน้าตัดของท่อ จากผลการวิเคราะห์ความหนา พบว่า เมื่อความหนาของท่อเพิ่มขึ้น จะให้ประสิทธิภาพพลังงานดูดซับเพิ่มขึ้น และท่อแปดเหลี่ยมมีค่าประสิทธิภาพพลังงานดูดซับสูงที่สุด รองลงมาเป็นท่อวงกลม ท่อหกเหลี่ยม และท่อสี่เหลี่ยมมีค่าประสิทธิภาพพลังงานดูดซับน้อยที่สุด ส่วนท่อขนาด 2 มิลลิเมตร และ 3 มิลลิเมตร พบว่าท่อวงกลมมีค่าประสิทธิภาพการดูดซับพลังงานสูงที่สุด รองลงมาเป็นท่อแปดเหลี่ยม ท่อหกเหลี่ยม และท่อสี่เหลี่ยมมีค่าประสิทธิภาพพลังงานดูดซับน้อยที่สุด ในที่สุดของการวิเคราะห์พบว่าลักษณะรูปร่างความเสียหายบริเวณหน้าตัดของท่อมีผลต่อประสิทธิภาพพลังงานดูดซับท่อที่มีการยุบตัวบริเวณหน้าตัดเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพพลังงานดูดซับลดลง

คำสำคัญ – แรงบิด, ท่อ, พลังงานดูดซับ, วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, ท่อผนังบาง

Abstract - This research was aimed to study the absorption energy efficiency of thin-walled various cross-sectional aluminum tube subjected to torsion loads. The analytical approach included experiment

and finite element method. The various cross-sectional shapes were square section, hexagonal section, octagonal section and circular section and the wall thicknesses were 1, 2 and 3 mm. In analysis by using finite element method was found that the mesh independent was 6 millimeter. Then, the comparison of absorption energy between experimental results and finite element results at thickness 1 mm was agreed accordingly. In analytical results were concluded that the wall thickness of tube increase, absorption energy efficiency increased. The 1 millimeter wall thickness of tube could found that the absorption energy efficiency of the octagonal section was the highest, hexagonal section, circular section and the square section was the lowest, respectively. The 2 millimeter and 3 millimeter wall thickness of tube was analyzed that the absorption energy efficiency of the circular section was the highest, octagonal section, hexagonal section and the square section was the lowest, respectively. Finally, it was found that the failure mode of cross-sectional region was affected to the absorption energy efficiency. The deformation of cross-sectional tube increased, the absorption energy efficiency decreased.

Keywords – Torsion, Tube, Absorption energy, Finite element method, Thin-walled tube

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้ การพัฒนาโครงสร้างของยานพาหนะให้ปลอดภัยถือเป็นสิ่งสำคัญ การชนหรือแรงกระแทกที่โครงสร้างของยานพาหนะที่ไม่มีการดูดซับพลังงานไว้ นั่นอาจทำให้เกิดการบาดเจ็บและการเสียชีวิตของผู้ขับขี่ยานพาหนะนั้นๆ เพื่อลดความเสี่ยงของอุบัติเหตุ และการสูญเสียให้น้อยลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีโครงสร้างของยานพาหนะที่มีความปลอดภัยสูงและมีความสามารถในการดูดซับพลังงานที่มีค่าสูงสุด ผู้ออกแบบจึงต้องพยายามเลือกใช้ขนาด รูปร่าง ชนิดวัสดุ และพฤติกรรมความเสียหายของโครงสร้างให้เป็นตามความต้องการ ตามเงื่อนไขของตัว

แปรดังกล่าวข้างต้น มีวิธีการในการวิเคราะห์ ประกอบด้วย วิธีการทดลอง วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และวิธีทางทฤษฎี ซึ่งวิธีการทดลองและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นวิธีที่ให้คำตอบที่มีความแม่นยำสูง แต่มีข้อเสียคือการใช้ต้นทุนสูงและใช้เวลาในการวิเคราะห์ที่ยาวนาน ส่วนวิธีทางทฤษฎีเป็นวิธีที่ประหยัดและให้คำตอบที่ถูกต้องและรวดเร็วในการออกแบบ แต่การสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์เพื่อสร้างสมการทางคณิตศาสตร์นั้น มีความยุ่งยากและซับซ้อน ดังนั้นการออกแบบเพื่อวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพพลังงานดูดซับของตัวดูดซับพลังงาน จึงต้องเลือกใช้วิธีที่เหมาะสม

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าประสิทธิภาพพลังงานดูดซับของท่อหน้าตัดหลากหลายภายใต้แรงบิด โดยใช้วิธีการทดลองและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ วัสดุที่ใช้เป็นอลูมิเนียม ผลการทดลองและผลทางวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะถูกเปรียบเทียบกัน ที่ขนาดความหนา 1 มิลลิเมตร ส่วนท่อความหนาขนาด 2 มิลลิเมตร และ 3 มิลลิเมตร จะเป็นการใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ในการจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จะทำการหาขนาดเอลิเมนต์ที่เหมาะสม เพื่อให้จำนวนเอลิเมนต์ไม่มีผลต่อค่าของตัวแปรต่างๆที่ศึกษา

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

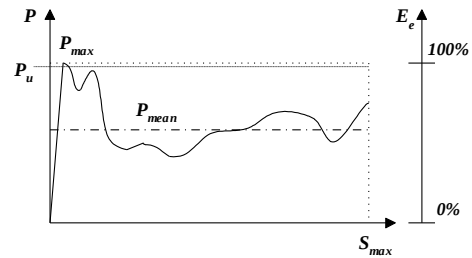
ในการวิเคราะห์ปัญหาด้านพฤติกรรมกรณของโครงสร้าง ตัวแปรที่สำคัญในการศึกษามีดังนี้

2.1. *แรงบิดวิกฤติหรือแรงบิดเริ่มต้น* หมายถึง แรงบิดครั้งแรกที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการเสียหาย แต่ในบางครั้งแรงบิดวิกฤติอาจจะมีค่าเท่ากับแรงบิดสูงสุด

2.2. *พลังงานดูดซับ* หมายถึง ค่าพลังงานที่ชิ้นงานสามารถดูดซับได้ตลอดการชนกระแทก หรือยุบตัว ซึ่งหาได้จากการรวมพื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงบิดที่ใช้กับมุมบิดของชิ้นงาน หรือโครงสร้าง ดังรูปที่ 1 แต่ในทางปฏิบัติแนะนำให้ใช้การประมาณจากค่าแรงบิดเฉลี่ย ในการหาค่าพลังงานดูดซับของวัสดุ จากการชนกระแทกซึ่งค่าได้โดยใช้สมการที่ 1

$$E_a = P_{mean} \times S_{max} \quad (1)$$

เมื่อ E_a คือ พลังงานดูดซับของโครงสร้าง, P_{mean} คือแรงเฉลี่ย, S_{max} คือมุมบิดตัวของโครงสร้าง



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดและมุมบิด

2.3 *ประสิทธิภาพพลังงานดูดซับ* หมายถึง ประสิทธิภาพของพลังงานที่โครงสร้างดูดซับได้จริงเทียบกับพลังงานที่โครงสร้างควรดูดซับได้จากการเกิดแรงสูงสุด ดังสมการที่ 2

$$E_e = \frac{E_a}{P_{max} h} \quad (2)$$

เมื่อ E_e คือประสิทธิภาพพลังงานดูดซับ, E_a คือ พลังงานดูดซับของโครงสร้าง, P_{max} คือแรงบิดสูงสุด, h คือระยะบิดตัวของโครงสร้าง

มีนักวิจัยได้ทำการศึกษามากมายทั้งทางทฤษฎี การทดลองและการจำลองทางคอมพิวเตอร์ โดยในการวิเคราะห์ทางทฤษฎีการจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ได้แก่ Mamalis และคณะ [1,2] ใช้วิธีเชิงตัวเลขโดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อทำนายพฤติกรรมกรณของท่อภายใต้แรงกดตามแนวแกน Langseth และคณะ [3,4] ศึกษาการชนของท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมภายใต้แรงกดแบบสถิตยศาสตร์และแรงกดแบบจลศาสตร์ โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (โปรแกรม LS-Dyna) และเปรียบเทียบผลที่ได้กับการทดลอง เพื่อศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงของมวลและความเร็วของการกระแทก Ghamarian และคณะ [5] ได้ศึกษาท่ออลูมิเนียมผนังบางบรรจุโฟมชนิด โพลียูรีเทน ภายใต้แรงกระแทกในแนวแกน วิธีที่ใช้เป็นการจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ชื่อ อบาควัส (ABAQUS) และทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับผลการทดลอง Mirfendereski และคณะ [6] ได้ศึกษาความสามารถในการดูดซับพลังงานของท่อกลมบรรจุโฟมภายใต้แรงกด ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ กับการทดลองและการทำนายทางทฤษฎี Somya และ คณะ [7] ได้ศึกษาการวิเคราะห์พฤติกรรมความเสียหายของท่อ

กลมภายใต้แรงกระทำตามแนวแกน ผลการศึกษาเป็นการเปรียบเทียบพฤติกรรมความเสียหายของท่อระหว่างการทดลองและการจำลองคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ Somya และคณะ[8] ได้ทำการเปรียบเทียบท่อที่มีหน้าตัดรูปหลากหลายภายใต้แรงกดตามแนวแกนและแรงดัด โดยการจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลการวิเคราะห์พบว่าภายใต้แรงกดตามแนวแกนท่อหน้าตัดรูปวงกลมจะให้พลังงานดูดซับสูงสุด รองลงมาท่อหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม ท่อหน้าตัดรูปหกเหลี่ยมและท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม พลังงานดูดซับน้อยที่สุด ส่วนภายใต้แรงดัดท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม พลังงานดูดซับสูงสุด รองลงมาเป็นท่อหน้าตัดรูปหกเหลี่ยม ท่อหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม และท่อหน้าตัดรูปวงกลม พลังงานดูดซับน้อยที่สุด Somya และคณะ[9] ได้ศึกษาการเปรียบเทียบพลังงานดูดซับของท่อหน้าตัดรูปหลากหลายภายใต้แรงบิด โดยการจำลองคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์อย่างเดียว วัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นเหล็กเหนียว ผลการวิเคราะห์พบว่าท่อหน้าตัดรูปวงกลมจะให้ค่าพลังงานดูดซับมากกว่าท่อแปดเหลี่ยม ท่อหกเหลี่ยม และท่อสี่เหลี่ยมมีพลังงานดูดซับต่ำสุด Somya [10] ได้ศึกษาการเปรียบเทียบการดูดซับพลังงานของโครงสร้างรูปตัวเอสภายใต้แรงกดตามแนวแกน โดยการจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ วัสดุที่ใช้เป็นเหล็กเหนียว ผลการศึกษาพบว่าท่อหน้าตัดรูปหกเหลี่ยมให้พลังงานดูดซับมากกว่า ท่อหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม ท่อหน้าตัดรูปวงกลม และท่อสี่เหลี่ยมให้พลังงานดูดซับต่ำสุดตามลำดับ

ดังนั้น จากงานที่ผ่านมา งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพพลังงานดูดซับของท่อที่มีหน้าตัดรูปหลากหลายภายใต้แรงบิด โดยหน้าตัดที่ศึกษาประกอบด้วย หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม หน้าตัดรูปหกเหลี่ยม หน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม และหน้าตัดรูปวงกลม ซึ่งงานวิจัยนี้จะมีลักษณะเด่นคือ เป็นการพัฒนาต่อออกจากงานวิจัยที่ผ่านมา ที่จะศึกษาเฉพาะตัวดูดซับพลังงาน ที่รับแรงกระทำตามแนวแกน และแรงดัด ซึ่งเป็นแรงกระทำเป็นส่วนใหญ่ มาเป็นการวิเคราะห์ปัญหาภายใต้แรงบิด ซึ่งเป็นแรงกระทำกับโครงสร้างหรือชิ้นส่วนประกอบกับชิ้นส่วนอื่นที่รับแรงตามแนวแกน แรงดัด และแรงเฉียง เป็นต้น และงานวิจัยนี้ได้พัฒนาโดยเปลี่ยนจากวัสดุที่ใช้กันเป็นส่วนใหญ่คือเหล็กเหนียว มาเป็นวัสดุอลูมิเนียม ที่จะเป็น

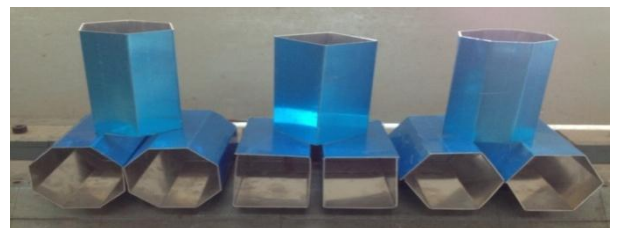
ประโยชน์ในการลดปัญหาของน้ำหนักของยานพาหนะ และประโยชน์อีกอย่างหนึ่งคือ การพัฒนา “ตัวดูดซับพลังงาน (Absorber)” ที่จากเดิมมักจะถูกติดตั้งไว้ทางด้านหน้าบริเวณกันชนของยานพาหนะเพื่อรับแรงกดตามแนวแกน และติดตั้งทางด้านข้างของยานพาหนะเพื่อรับแรงดัด มาพัฒนาให้ตัวดูดซับพลังงานมีขึ้นต่อโยงกัน ติดตั้งบริเวณช่วงล่างของยานพาหนะเพื่อรับแรงบิดได้ เป็นการพัฒนาตัวดูดซับพลังงานให้มีประสิทธิภาพพลังงานดูดซับสูงสุดและเพิ่มความปลอดภัยของผู้โดยสาร สุดท้ายงานวิจัยนี้ยังพัฒนาการวิเคราะห์รูปร่างหน้าตัดของตัวดูดซับพลังงาน ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้ท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมและท่อหน้าตัดรูปวงกลม มาเป็นท่อหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยมและท่อหน้าตัดรูปหกเหลี่ยม ซึ่งจะ เป็นทางเลือกที่เพิ่มขึ้นได้

3. วิธีการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพพลังงานดูดซับของท่อหน้าตัดรูปหลากหลายภายใต้แรงบิด ประกอบด้วยวิธีการทดลองและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังนี้

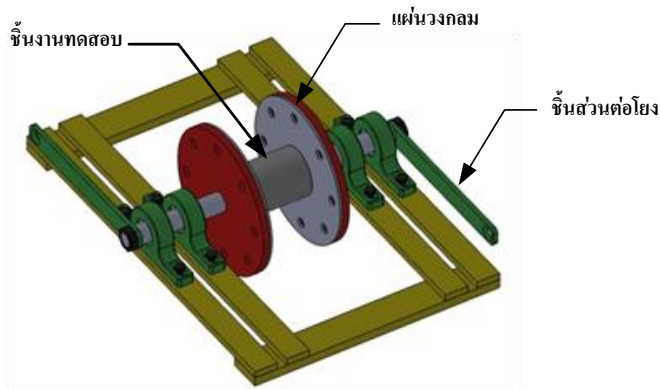
3.1 วิธีการทดลอง

3.1.1 การขึ้นรูปชิ้นงาน จะทำการสร้างชิ้นงานทดสอบโดยใช้วัสดุอลูมิเนียมขนาด 1 มิลลิเมตรมาพับเป็นท่อที่มีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม หน้าตัดรูปหกเหลี่ยม หน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม และม้วนเป็นหน้าตัดรูปวงกลม มีขนาดเส้นรอบรูปของหน้าตัด 320 มิลลิเมตร ความยาว 150 มิลลิเมตร และการเชื่อมเป็นการเชื่อมด้วยอาร์กอน ดังรูปที่ 2

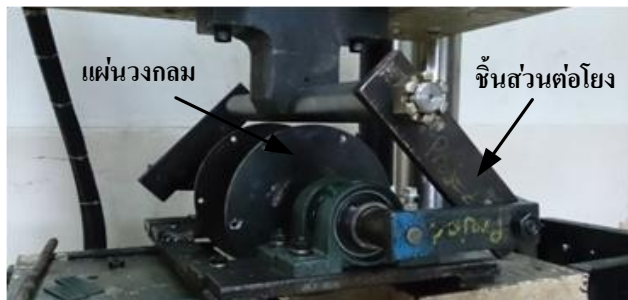


รูปที่ 2 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

3.1.2 การสร้างชุดทดสอบ ประกอบด้วย ท่อรับแรงบิดที่ปลายทั้งสองข้าง, ชุดชิ้นส่วนเชื่อมโยงจำนวน 2 ชิ้น เพื่อเชื่อมต่อกับชุดตัวขับที่เป็นเครื่องทดสอบแรงดึง ดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4



รูปที่ 3 ลักษณะชุดทดสอบแรงบิด



รูปที่ 4 ชุดทดสอบแรงบิดต่อกับเครื่องทดสอบแรงดึง

และรูปที่ 5 แสดงลักษณะชิ้นงานที่จะนำไปต่อกับชุดทดสอบแรงบิด โดยจะทำแผ่นวงกลมเชื่อมติดทั้งสองด้าน



รูปที่ 5 ชิ้นงานต่อกับแผ่นวงกลมเชื่อมติดทั้งสองด้าน

ส่วนรูปที่ 6 จะเป็นการแสดงลักษณะการเสียรูปของท่อภายใต้แรงบิด



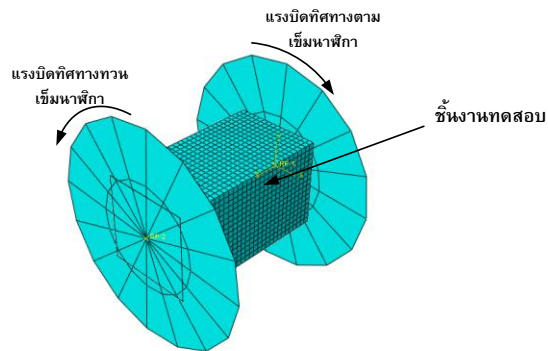
รูปที่ 6 ชิ้นงานกำลังเสียรูปเนื่องจากการบิด

3.1.3 ขั้นตอนการทดลอง นำชิ้นงานมาประกอบกับชุดทดลอง โดยต่อแผ่นวงกลมที่ปลายทั้งสองข้าง และนำชิ้นต่อโยงต่อเข้ากับหัวของเครื่องทดสอบแรงดึงทั้งสองด้าน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4 เมื่อเครื่องทดสอบแรงดึงเคลื่อนขึ้นไปตามแนวตั้ง ชิ้นต่อโยงจะเคลื่อนที่ จนทำให้แผ่นวงกลมที่ต่ออยู่หมุนในทิศทางตรงกันข้ามกันทั้งสองด้าน ทำให้ชิ้นงานเกิดการบิดตัว และบันทึกผลการทดลอง

3.2 วิธีการจำลองโดยคอมพิวเตอร์

ในวิธีการจำลองโดยคอมพิวเตอร์ เพื่อหาประสิทธิภาพดูดซับพลังงานของท่อที่มีหน้าตัดรูปหลากหลาย จะใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ด้วยโปรแกรม ออบาคัส (ABAQUS) ลักษณะปัญหาเป็นแบบพลศาสตร์ชัดเจน (Explicit dynamic) โดยการจำลองจะสร้างแบบจำลองให้เหมือนกับการทดลอง ดังรูปที่ 7 ประกอบด้วยชิ้นงานทดสอบที่มีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม หน้าตัดรูปหกเหลี่ยม หน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม และหน้าตัดรูปวงกลม โดยทุกๆ หน้าตัดจะมีแผ่นวงกลมที่มีความแข็งแรงเกร็ง (Rigid body) ส่วนชิ้นงานกำหนดเป็นแบบเสียรูปได้ (Deformable body) คุณสมบัติเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) และคุณสมบัติวัสดุเท่ากันทุกทิศทาง (Isotropic) ลักษณะเอลิเมนต์เป็นเอลิเมนต์เปลือกบาง (Shell element) รูปสี่เหลี่ยมสี่จุดต่อ (S4R) ซึ่งขนาดเอลิเมนต์ที่เล็กรจะแสดงผลในหัวข้อต่อไป และเงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition) คือ แผ่นวงกลมจะรับแรงบิดที่ความเร็วอย่างช้าๆ (Quasi-Static) ด้วยความเร็วเชิงมุม 0.3 เรเดียนต่อวินาที ใช้เวลา 2 วินาที ทั้งสองข้างในทิศทางตรงกันข้ามกัน โดยให้ปลายด้านหนึ่งยึดไว้ตามแนวแกน อีกปลายด้านหนึ่งเลื่อนได้ตามแนวแกน ลักษณะการสัมผัสเป็นการสัมผัสแบบพื้นผิวกับพื้นผิว (Surface to surface) ระหว่างแผ่น

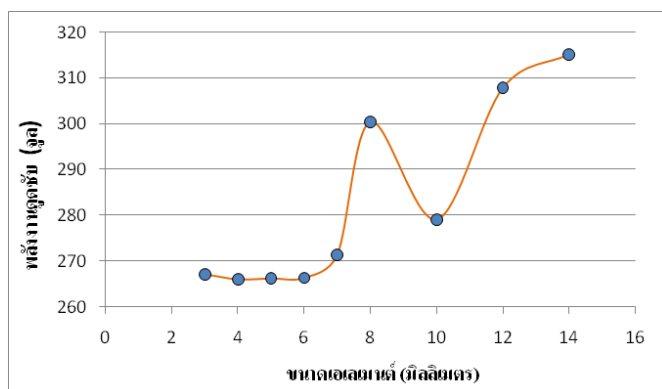
วงกลมกับชิ้นงาน และสัมผัสตัวเอง (Self contact) ของผิวชิ้นงาน ไม่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และไม่ได้พิจารณารอยเชื่อม



รูปที่ 7 แบบจำลองโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.2.1 การหาความอิสระของเอลิเมนต์ (Mesh Independent)

ก่อนที่จะทำการคำนวณโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จะต้องทำการศึกษาหาค่าความอิสระของเอลิเมนต์ โดยการหาขนาดของเอลิเมนต์ที่เหมาะสมและมีเสถียรภาพ เพื่อให้ผลของค่าพลังงานการดูดซับไม่มีผลกระทบต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของขนาดเอลิเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 8 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเอลิเมนต์กับพลังงานการดูดซับ จะพบว่าขนาดเอลิเมนต์เริ่มคงที่และมีเสถียรภาพที่ขนาด 6 มิลลิเมตร, 5 มิลลิเมตร และ 4 มิลลิเมตร โดยมีค่าพลังงานการดูดซับ 266.18 จูล, 266.29 จูล และ 265.97 จูล ตามลำดับ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ขนาดเอลิเมนต์ 6 มิลลิเมตร เนื่องจากจะประหยัดระยะเวลาในการวิเคราะห์



รูปที่ 8 การวิเคราะห์ขนาดเอลิเมนต์ที่เหมาะสม

3.2.2 คุณสมบัติของวัสดุ การหาค่าคุณสมบัติวัสดุของท่อ วัสดุที่ใช้เป็นอลูมิเนียม ที่มีความหนาแน่นเท่ากับ 2,700 กิโลกรัมต่อ

ลูกบาศก์เมตร จะทำการทดสอบโดยใช้มาตรฐานของ BS EN 10002-1: 2001 (E)

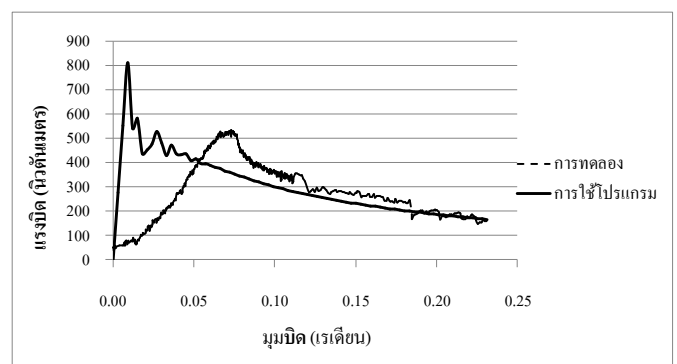
เครื่องมือทดสอบที่ใช้ในการหาคุณสมบัติคือ Universal Testing Machine Model: AG – 100KNI M2 ของสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย จะได้คุณสมบัติวัสดุของอลูมิเนียม ที่มีค่า Young's Modulus เท่ากับ 38.34 จิกะปาสกาล ความเค้นที่จุดคดงเท่ากับ 139.75 เมกะปาสกาล และความเค้นประลัย เท่ากับ 142.57 เมกะปาสกาล

4. ผลการวิเคราะห์

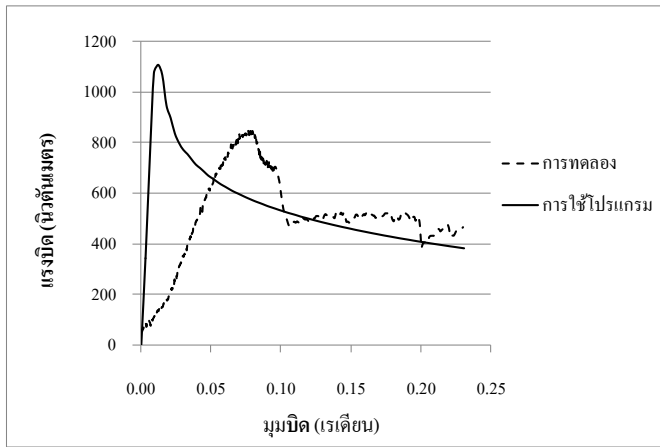
การหาประสิทธิภาพพลังงานดูดซับของท่อหน้าตัดรูปหลากหลายภายใต้แรงบิด ตัวแปรที่สำคัญในการศึกษา ได้แก่ ผลของความหนาของท่อ ผลของรูปร่างหน้าตัด ที่มีต่อพลังงานดูดซับแรงเฉื่อย และประสิทธิภาพพลังงานดูดซับ ซึ่งผลเหล่านี้จะใช้วิธีการวิเคราะห์จากการทดลองและวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังนี้

4.1 การเปรียบเทียบผลการทดลองและผลทางไฟไนต์เอลิเมนต์

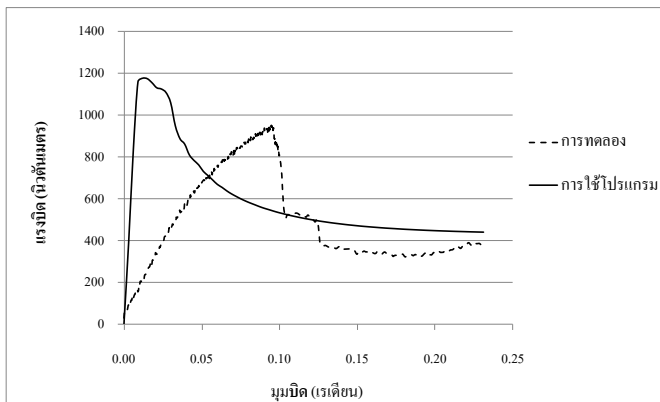
การเปรียบเทียบผลการทดลองและผลทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่ความหนา 1 มิลลิเมตร จะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างแรงบิดกับมุมบิดของท่อ กับท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม ท่อหน้าตัดรูปหกเหลี่ยม ท่อหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม และท่อหน้าตัดรูปวงกลม ดังแสดงในรูปที่ 9-13 จะพบว่าค่าอัตราส่วนแรงบิดเฉื่อยระหว่างการทดลองและไฟไนต์เอลิเมนต์ของท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมเท่ากับ 1.06 ท่อหน้าตัดรูปหกเหลี่ยม เท่ากับ 0.99 ท่อหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม เท่ากับ 1.03 และท่อหน้าตัดรูปวงกลม เท่ากับ 0.98 หรือผลอัตราส่วนแรงบิดของทั้งสองวิธีโดยเฉลี่ยรวมทุกหน้าตัด เท่ากับ 1.01



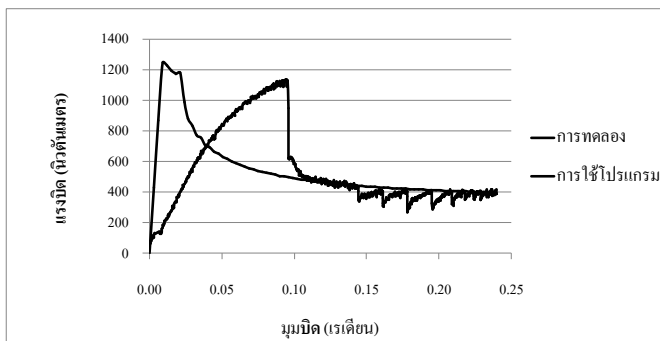
รูปที่ 9 ผลการเปรียบเทียบค่าแรงบิดระหว่างการทดลองและไฟไนต์เอลิเมนต์ของหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม



รูปที่ 10 ผลการเปรียบเทียบค่าแรงบิดระหว่างการทดลองและไฟไนต์เอลิเมนต์ของหน้าตัดรูปหกเหลี่ยม



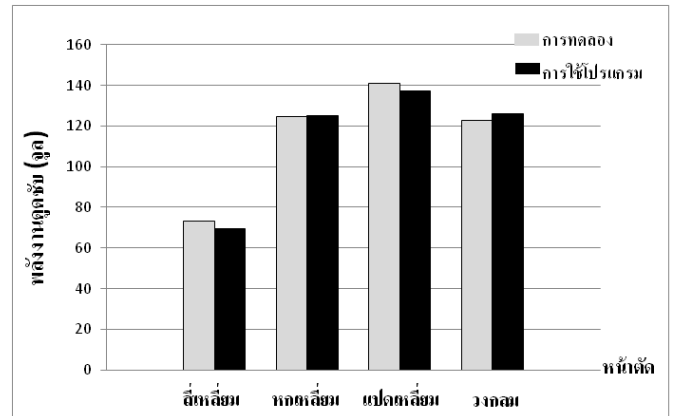
รูปที่ 11 ผลการเปรียบเทียบค่าแรงบิดระหว่างการทดลองและไฟไนต์เอลิเมนต์ของหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม



รูปที่ 12 ผลการเปรียบเทียบค่าแรงบิดระหว่างการทดลองและไฟไนต์เอลิเมนต์ของหน้าตัดรูปวงกลม

รูปที่ 13 จะเป็นการแสดงการเปรียบเทียบพลังงานดูดซับระหว่างผลการทดลองและผลไฟไนต์เอลิเมนต์ของทุกหน้าตัด จะ

พบว่าพลังงานดูดซับจากทดลองและจากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าร้อยละความแตกต่างรวมทุกหน้าตัดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.90



รูปที่ 13 การเปรียบเทียบค่าพลังงานดูดซับระหว่างการทดลองและไฟไนต์เอลิเมนต์ของหน้าตัด

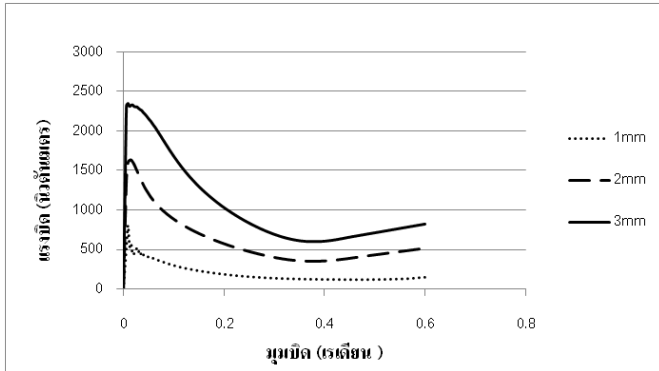
ตารางที่ 1 แสดงร้อยละความแตกต่างแรงบิดเฉลี่ยของการทดลองและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยมีร้อยละของความคลาดเคลื่อนของท่อน้ำตัดรูปสี่เหลี่ยมเท่ากับร้อยละ 5.57 ท่อน้ำตัดรูปหกเหลี่ยมร้อยละ 0.77 ท่อน้ำตัดรูปแปดเหลี่ยมร้อยละ 2.98 และ ท่อน้ำตัดรูปวงกลมร้อยละ 2.40 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ร้อยละความแตกต่างแรงบิดเฉลี่ยของวิธีการทดลองและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่ความหนา 1 มิลลิเมตร

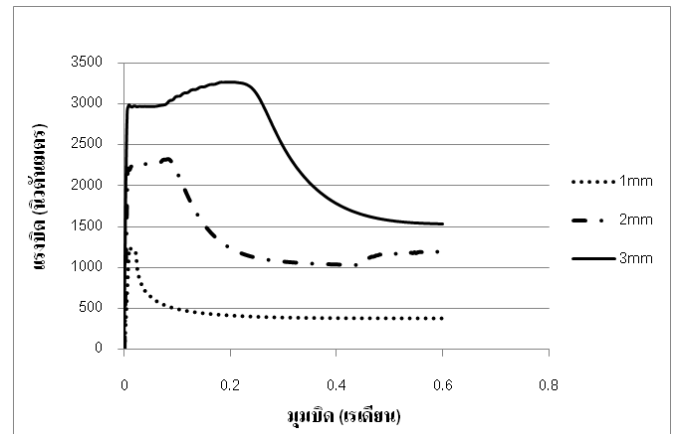
หน้าตัดรูปทรง	แรงบิดเฉลี่ย (นิวตันเมตร)		
	การทดลอง	ไฟไนต์เอลิเมนต์	ร้อยละความแตกต่าง
สี่เหลี่ยม	317.68	300.33	5.46
หกเหลี่ยม	538.42	542.59	0.77
แปดเหลี่ยม	611.66	593.41	2.98
วงกลม	532.11	544.88	2.40

4.2 ผลของความหนา

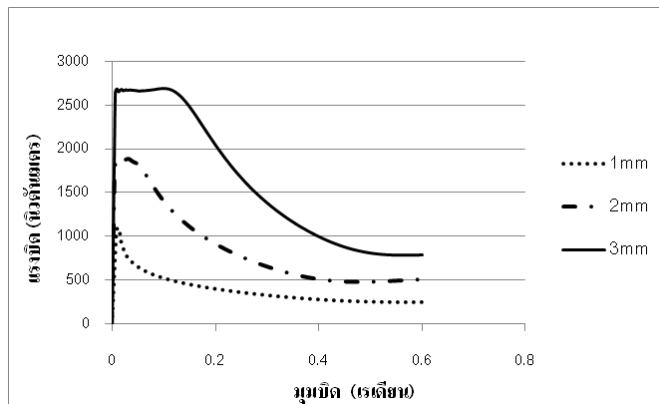
ผลของความหนาของท่อจะเป็นการเปรียบเทียบผลแรงบิดของความหนาขนาด 1 มิลลิเมตร, 2 มิลลิเมตร และ 3 มิลลิเมตร ของหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม หน้าตัดรูปหกเหลี่ยม หน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม และหน้าตัดรูปวงกลม ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 14-17 จะพบว่าเมื่อความหนาของท่อเพิ่มขึ้น แรงบิดจะเพิ่มขึ้น



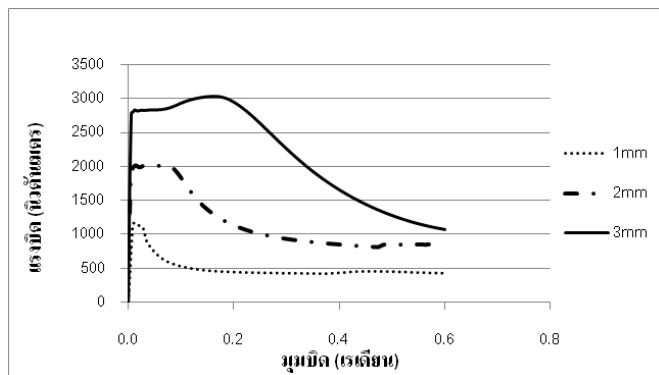
รูปที่ 14 ผลระหว่างแรงบิดกับมุมบิดจากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ
ท่อน้ำตัดรูปสี่เหลี่ยม ที่ค่าความหนาต่างๆ



รูปที่ 17 ผลระหว่างแรงบิดกับมุมบิดจากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ
ท่อน้ำตัดรูปวงกลม ที่ค่าความหนาต่างๆ



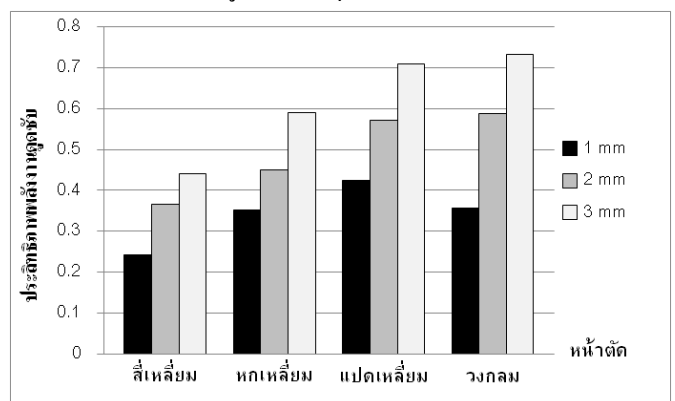
รูปที่ 15 ผลระหว่างแรงบิดกับมุมบิดจากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ
หน้าตัดรูปหกเหลี่ยม ที่ค่าความหนาต่างๆ



รูปที่ 16 ผลระหว่างแรงบิดกับมุมบิดจากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ
หน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม ที่ค่าความหนาต่างๆ

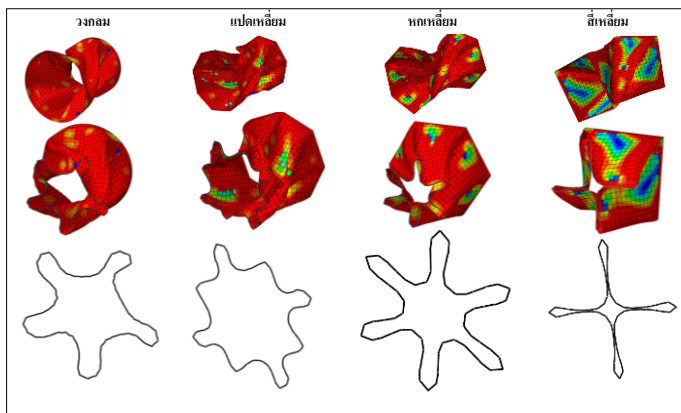
4.3 ประสิทธิภาพพลังงานดูดซับ

ประสิทธิภาพพลังงานดูดซับหมายถึง ค่าประสิทธิภาพของพลังงานที่โครงสร้างดูดซับได้จริงเทียบกับพลังงานที่โครงสร้างหาได้จากสมการที่ 1 และผลการวิเคราะห์จะแสดงดังรูปที่ 18 พบว่า ที่ความหนาของท่อขนาด 2 มิลลิเมตรและ 3 มิลลิเมตร ท่อน้ำตัดรูปวงกลม จะให้ประสิทธิภาพพลังงานดูดซับสูงสุด 0.73 หรือร้อยละ 73 รองลงมาเป็น หน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม หน้าตัดรูปหกเหลี่ยม และหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมมีประสิทธิภาพพลังงานดูดซับต่ำสุด 0.44 หรือร้อยละ 44 ส่วนท่อที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร ท่อน้ำตัดรูปแปดเหลี่ยมจะให้ประสิทธิภาพพลังงานดูดซับสูงสุด 0.42 หรือร้อยละ 42 รองลงมาเป็นท่อน้ำตัดรูปวงกลม 0.35 หรือร้อยละ 35 หน้าตัดรูปหกเหลี่ยม 0.35 หรือร้อยละ 33 และหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมมีประสิทธิภาพพลังงานดูดซับต่ำที่สุด 0.24 หรือร้อยละ 24

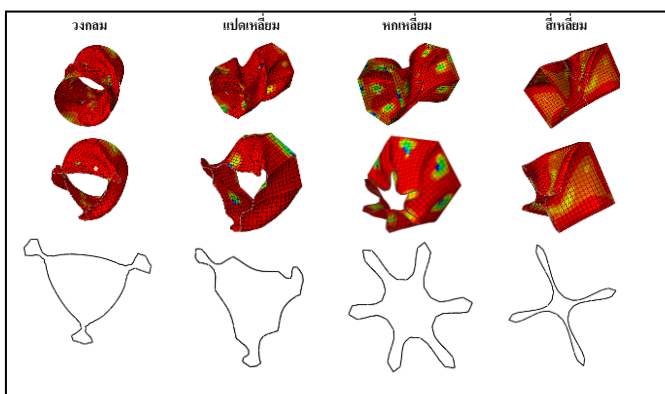


รูปที่ 18 ประสิทธิภาพพลังงานดูดซับที่ความหนาเปลี่ยนไป
และหน้าตัดแตกต่างกัน

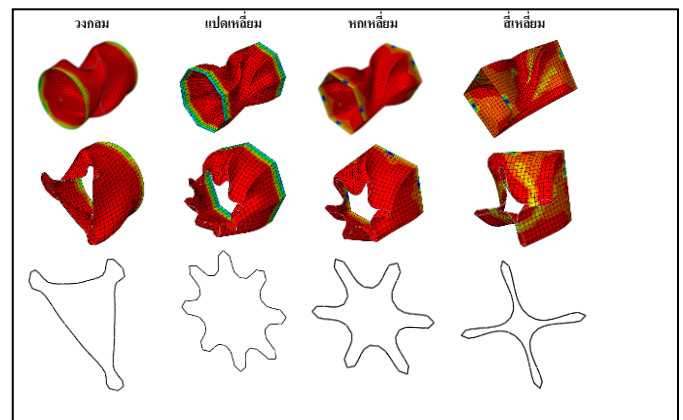
สาเหตุที่ผลการวิเคราะห์ของท่อแปดเหลี่ยมความหนา 1 มิลลิเมตรมีประสิทธิภาพพลังงานดูดซับสูงสุด ซึ่งจะแตกต่างจากผลของท่อน้ำตัดรูปวงกลมที่ความหนา 2 มิลลิเมตรและ 3 มิลลิเมตรที่มีประสิทธิภาพพลังงานดูดซับสูงสุดนั้น สามารถวิเคราะห์ได้ว่ารูปร่างความเสียหายของท่อน้ำตัดรูปแปดเหลี่ยมเปรียบเทียบกับท่อน้ำตัดรูปวงกลม ที่ความหนา 1 มิลลิเมตร จากรูปที่ 19 จะเห็นว่าท่อน้ำตัดรูปวงกลมจะมีการยุบตัวในบริเวณหน้าตัดมากกว่าท่อน้ำตัดรูปแปดเหลี่ยม และการยุบตัวบริเวณหน้าตัดน้อยกว่าท่อน้ำตัดรูปหกเหลี่ยม และท่อน้ำตัดรูปสี่เหลี่ยมจะมีการยุบตัวของหน้าตัดมากที่สุด ตามลำดับ



รูปที่ 19 รูปร่างความเสียหายของท่อความหนา 1 มิลลิเมตร ที่มีหน้าตัดต่างๆ



รูปที่ 20 รูปร่างความเสียหายของท่อความหนา 2 มิลลิเมตร ที่มีหน้าตัดต่างๆ



รูปที่ 21 รูปร่างความเสียหายของท่อความหนา 3 มิลลิเมตร ที่มีหน้าตัดต่างๆ

ส่วนท่อที่มีขนาดความหนา 2 มิลลิเมตรและ 3 มิลลิเมตร จะเห็นว่าท่อน้ำตัดรูปวงกลมมีประสิทธิภาพพลังงานดูดซับมากที่สุด รองลงมาเป็นท่อน้ำตัดรูปแปดเหลี่ยม ท่อน้ำตัดรูปหกเหลี่ยม และท่อน้ำตัดรูปสี่เหลี่ยมมีประสิทธิภาพพลังงานดูดซับน้อยที่สุด เหตุผลนี้สามารถอธิบายได้ในรูปที่ 20 และรูปที่ 21 จะเห็นว่าท่อน้ำตัดรูปวงกลมมีการยุบตัวบริเวณหน้าตัดน้อยกว่าท่อน้ำตัดรูปแปดเหลี่ยม ท่อน้ำตัดรูปหกเหลี่ยม และท่อน้ำตัดรูปสี่เหลี่ยมมีการยุบตัวบริเวณหน้าตัดมากที่สุด ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา [9] พบว่า งานวิจัยที่ผ่านมาจะใช้เหล็กเหนียว และผลงานวิจัยจะพบว่า ที่ความหนา 1, 2 และ 3 มิลลิเมตร ท่อน้ำตัดรูปวงกลมมีประสิทธิภาพพลังงานดูดซับสูงสุด รองลงมาเป็นท่อน้ำตัดรูปแปดเหลี่ยม ท่อน้ำตัดรูปหกเหลี่ยมและท่อน้ำตัดรูปสี่เหลี่ยมมีประสิทธิภาพพลังงานดูดซับน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในปัจจุบันที่ใช้วัสดุอลูมิเนียม ที่ความหนา 2 และ 3 มิลลิเมตร ส่วนที่ความหนา 1 มิลลิเมตรจะมีข้อแตกต่างกันที่ท่อน้ำตัดรูปแปดเหลี่ยมจะให้ประสิทธิภาพพลังงานดูดซับสูงสุด

5. สรุป

การหาประสิทธิภาพพลังงานดูดซับของท่อที่มีหน้าตัดรูปหลากหลายประกอบด้วยท่อน้ำตัดรูปสี่เหลี่ยม ท่อน้ำตัดรูปหกเหลี่ยม ท่อน้ำตัดรูปแปดเหลี่ยมและท่อน้ำตัดรูปวงกลม ภายใต้แรงบิด สามารถสรุปผลดังนี้

5.1 ผลการเปรียบเทียบ โปรแกรม พบว่า การเปรียบเทียบผลโดยใช้วิธีการทดลองและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีค่าใกล้เคียงมาก และพบว่าขนาดเอลิเมนต์น้อยกว่าหรือเท่ากับ 6 มิลลิเมตร จะทำให้ค่าประสิทธิภาพพลังงานดูดซับเสถียร

5.2 ผลของความหนา พบว่าเมื่อความหนาของท่อเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพพลังงานดูดซับเพิ่มขึ้น

5.3 ผลของประสิทธิภาพพลังงานดูดซับ พบว่า ที่ความหนา 2 มิลลิเมตร และ 3 มิลลิเมตร ท่อหน้าตัดรูปวงกลมจะให้ค่าประสิทธิภาพพลังงานดูดซับสูงสุด รองลงมาท่อหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม ท่อหน้าตัดรูปหกเหลี่ยมและท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมมีประสิทธิภาพพลังงานดูดซับน้อยที่สุด ส่วนท่อที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร ท่อหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยมจะมีประสิทธิภาพพลังงานดูดซับมากที่สุด รองลงมาท่อหน้าตัดรูปหกเหลี่ยม ท่อหน้าตัดรูปวงกลมและท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมมีประสิทธิภาพพลังงานดูดซับน้อยที่สุด

5.4 ผลของรูปร่างความเสียหาย พบว่าการยุบตัวบริเวณหน้าตัดของท่อมีผลต่อประสิทธิภาพพลังงานดูดซับ ท่อที่มีการยุบตัวของหน้าตัดน้อยกว่าจะให้ ประสิทธิภาพพลังงานดูดซับมากกว่าท่อที่มีการยุบตัวบริเวณหน้าตัดมากกว่า

6. ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพพลังงานดูดซับของท่อผนังบางที่มีหน้าตัดรูปหลากหลายภายใต้แรงบิดนั้น ผลของงานวิจัย คือ จะได้ “ตัวดูดซับพลังงาน” ที่มีรูปร่างหน้าตัดที่ให้ประสิทธิภาพพลังงานดูดซับสูงสุด เพื่อประโยชน์ในการเป็นชิ้นส่วนหนึ่งของโครงสร้าง ที่จะนำไปติดตั้งบริเวณด้านหน้าของยานพาหนะในการรับแรงกดตามแนวแกน [7, 8] การติดตั้งบริเวณด้านข้างของยานพาหนะในการรับแรงคด [8] และการพัฒนาตัวดูดซับพลังงานให้เพิ่มขึ้นส่วนที่ต่อโยงกันกับโครงสร้างที่รับแรงบิด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานดูดซับ และเพิ่มความปลอดภัยและลดการบาดเจ็บของผู้โดยสารได้

ในการออกแบบตัวดูดซับพลังงาน จากผลสรุปของงานวิจัยนี้พบว่า ผลของความหนาของท่อที่เพิ่มขึ้น จะให้ประสิทธิภาพพลังงานดูดซับเพิ่มขึ้น ซึ่งตัวดูดซับพลังงานต้องมีความหนาที่

เพิ่มขึ้นไปไม่เกินความแข็งแรง (Strength) ของโครงสร้างหลักของยานพาหนะ เนื่องจากตัวดูดซับพลังงาน มีหน้าที่ในการลดความเสียหายของโครงสร้างหลักให้เบาบางลง หรือทำหน้าที่ด้านทานพลังงานจลน์ที่มากระทำกับโครงสร้างได้ ส่วนในการพัฒนางานวิจัยต่อไป เป็นการพัฒนาตัวดูดซับพลังงานให้มีประสิทธิภาพพลังงานดูดซับเพิ่มขึ้นและมีน้ำหนักเบา โดยการเติมโฟม และหุ้มด้วยวัสดุประกอบ (Composite material) ซึ่งจากสมมติฐานเบื้องต้น คาดว่าจะสามารถทำให้ประสิทธิภาพพลังงานดูดซับเพิ่มขึ้นได้มาก โดยไม่ต้องเพิ่มมวลมาก

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนให้ใช้เครื่องทดสอบแรงดึง(Universal Tension Testing) ต่อพ่วงเข้ากับชุดทดลองแรงบิด

8. บรรณานุกรม

- [1] A.G.Mamalis, “Finite element simulation of the axial collapse of metallic thin-walled tubes with octagonal cross-section,” Thin-Walled Structures, Vol. 41(10), pp. 891-900, 2003.
- [2] A.G.Mamalis, “Numerical simulation of thin-walled metallic circular frusta subjected to axial loading,” International Journal of Crashworthiness, Vol.10(5), pp. 505-513, 2005.
- [3] M. Langseth, O.S. Hopperstad, and A.G. Hanssen, “Crash behaviour of thin-walled aluminium members,” Thin-Walled Structures, Vol. 32(1-3), pp. 127-150, 1998.
- [4] M. Langseth, O.S. Hopperstad, and T Berstad, “Crashworthiness of aluminium extrusions: validation of numerical simulation, effect of mass ratio and impact velocity,” International Journal of Impact Engineering, Vol. 22(9-10), pp. 829-854, 1999.
- [5] A. Ghamarian, and M. Tahaye Abadi, “Axial crushing analysis of end-capped circular tubes,” Thin-Walled Structures, Vol. 49(6), pp. 743-752, 2011.
- [6] L. Mirfendereski, M. Salimi, and S. Ziaei-Rad, “Parametric study and numerical analysis of empty and foam-filled thin-walled tubes under static and dynamic loadings,” International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 50(6), pp. 1042-1057, 2008.

- [7] Somya Poonaya, Chawalit Thinvongpituk, and Umpisak Teeboonma, "Some analytical methods of plastic collapse of circular steel tube under quasi-static axial compression," 19th Conference of mechanical engineering network of Thailand, Songkhla, Thailand, 19-21 October, pp. 119-124, 2005.
- [8] Somya Poonaya, Chawalit Thinvongpituk, and Umpisak Teeboonma, "Comparison of absorption energy of various section steel tubes under axial compression and bending loading," 21st Conference of mechanical engineering network of Thailand, Chonburi, Thailand, 17-19 October, pp. 32, 2007.
- [9] Somya Poonaya, and Chawalit Thinvongpituk, "Comparison of energy absorption of various section steel tubes under torsion loading," The 23th Conference of mechanical engineering network of Thailand, Chiang Mai, Thailand, 4-7 November, pp. 75, 2009.
- [10] Somya Poonaya, "Comparison of energy absorption of S-Frame Subjected to axial compression loading," 24th Conference of mechanical engineering network of Thailand, Ubonratchathani, Thailand, 20-22 October, pp. 71, 2010.