



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

การวิเคราะห์เปรียบเทียบการดูดซับพลังงานของท่อผนังบาง ที่มีรูปร่างหน้าตัดหลากหลายภายใต้แรงดัด

Comparative analysis of energy absorption of thin walled tubes with
various section geometries subjected to bending

สมญา ภูณะยา¹, รัฐพงศ์ ปฏิภาณัง¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

somyanew@hotmail.com

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบการดูดซับพลังงานของท่ออลูมิเนียมผนังบางที่มีรูปร่างหน้าตัดหลากหลายภายใต้แรงดัด โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ประกอบด้วยวิธีการทดลองและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งรูปร่างหน้าตัดของท่อที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ท่อสี่เหลี่ยม ท่อหกเหลี่ยม ท่อแปดเหลี่ยม ท่อกลม และความหนา 1, 2, และ 3 มิลลิเมตร ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยจะทำการหาการลู่เข้าของเอเลเมนต์ พบว่าขนาดเอลิเมนต์ที่เหมาะสมเท่ากับ 5 มิลลิเมตร และทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการทดลองและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่ความหนาของท่อ 1 มิลลิเมตร พบว่าค่าพลังงานดูดซับมีค่าใกล้เคียงกันทุกๆ หน้าตัดของท่อ จากผลของความหนา พบว่า เมื่อความหนาของท่อเพิ่มขึ้น จะให้การดูดซับพลังงานเพิ่มขึ้น และพบว่าท่อสี่เหลี่ยมมีค่าการดูดซับพลังงานสูงที่สุด รองลงมาเป็นท่อหกเหลี่ยม ท่อแปดเหลี่ยม และท่อวงกลมมีค่าการดูดซับพลังงานน้อยที่สุด ตามลำดับ ในที่สุด ยังพบว่ารูปร่างการยุบตัวของหน้าตัดมีผลต่อค่าการดูดซับพลังงาน

คำสำคัญ: แรงดัด, ท่อ, พลังงานดูดซับ, ไฟไนต์เอลิเมนต์, ท่อผนังบาง

Abstract: This research was aimed to study the energy absorption of thin-walled various cross-sectional aluminum tube subjected to bending. The analytical approach included experiment and finite element method. The various cross-sectional shapes were square section, hexagonal section, octagonal section and circular section. The walled thicknesses of tubes were 1, 2 and 3 mm. The mesh convergent of finite element method was 6 millimeter. Then, the comparative analysis of energy absorption between experimental results and finite element results at thickness 1 mm was good agreement. In analytical results were concluded that the walled thickness of tubes increased, energy absorption increased. The parametric study of various sectional tubes was found that the energy absorption of the square section was



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

the highest, hexagonal section, octagonal section and the circular section was the lowest, respectively. Finally, it was also found that the sectional shape deformation was effected to the energy absorption.

Keywords: Bending, Tube, Energy absorption, Finite element, Thin-walled tube

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุบัติเหตุจากการชนของรถยนต์ส่วนใหญ่ มักจะเกิดขึ้นที่ด้านหน้าและด้านข้างของรถยนต์ ซึ่งโครงสร้างเหล่านี้ จะต้องได้รับการออกแบบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีโครงสร้างของยานพาหนะที่มีความปลอดภัยสูงและมีความสามารถในการดูดซับพลังงานสูงสุดได้ ผู้ออกแบบจึงต้องพยายามหาชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีความสามารถในการดูดซับพลังงานได้ ที่เรียกว่า “ตัวดูดซับพลังงาน” ซึ่งจะมีหน้าที่ดูดซับพลังงานจนที่มากกระทำและลดความเสียหายของโครงสร้างหลักของยานพาหนะให้เบาบางลง โดยตัวดูดซับพลังงาน มักจะติดตั้งไว้บริเวณด้านหน้าเพื่อรับแรงในแนวแกน และโครงสร้างด้านข้างเพื่อรับแรงดัด ตัวแปรสำคัญที่ศึกษา เช่น เลือกใช้ขนาด รูปร่าง ชนิดวัสดุ และพฤติกรรมความเสียหายของโครงสร้าง เป็นต้น

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าการดูดซับพลังงานของท่อหน้าตัดหลากหลายภายใต้แรงดัด โดยใช้วิธีการทดลองและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ วัสดุที่ใช้เป็นอลูมิเนียม ผลการทดลองและผลทางวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะถูกเปรียบเทียบกัน เพื่อหาความถูกต้อง และความแม่นยำ ของการจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ หลังจากนั้นจะเป็นพัฒนาการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อศึกษาตัวแปรที่สำคัญ คือ ผลของขนาดความหนาเพิ่มขึ้น 2-3 มิลลิเมตร และผลจากรูปร่างความเสียหายหน้าตัดของท่อ

2. ทฤษฎี

“การดูดซับพลังงาน” คือ ความสามารถของชิ้นส่วนโครงสร้าง ที่ทำหน้าที่ในการดูดซับพลังงานจนที่มากกระทำกับ

โครงสร้างให้เบาบางหรือลดลงน้อยที่สุด เพื่อไม่ให้โครงสร้างหลักเกิดความเสียหาย ดังนั้น ในการหาค่าการดูดซับพลังงานภายในโครงสร้าง สามารถหาได้จากกฎสมดุลกำลังงาน (power balance) กล่าวคือ “กำลังงานภายนอกที่มากกระทำเท่ากับกำลังงานภายในตัวดูดซับพลังงาน” ดังนี้

$$\dot{E}_{ext} = \dot{E}_{int} \quad (1)$$

เมื่อ กำลังงานภายนอก \dot{E}_{ext} คือ

$$\dot{E}_{ext} = F\dot{u} + M\dot{\psi} \quad (2)$$

โดยที่ F คือแรงภายนอก M คือโมเมนต์ \dot{u} คือความเร็วเคลื่อนที่ตามแนวแกน และ $\dot{\psi}$ คือความเร็วเชิงมุมของแกนหมุน สำหรับ กำลังงานภายในตัวดูดซับพลังงาน \dot{E}_{int} สามารถหาได้โดยสมมติว่า “กำลังงานภายในตัวดูดซับพลังงาน จะเกิดขึ้นตามเส้นการพับตัว (hinge line) ของตัวดูดซับพลังงานเท่านั้น” ดังสมการที่ (3) คือ

$$\dot{E}_{int} = \int_s (M_{\alpha\beta} \dot{\kappa}_{\alpha\beta} + N_{\alpha\beta} \dot{\epsilon}_{\alpha\beta}) ds + \sum_{i=1}^n \int_L M_n^i [\dot{\psi}_i] dl^i \quad (3)$$

เมื่อ n คือจำนวนทั้งหมดของเส้นการพับตัว S คือพื้นที่ผิวของตัวดูดซับพลังงาน l^i คือความยาวของเส้นการพับตัว $\dot{\psi}$ คือความเร็วเชิงมุมของเส้นการพับตัว $\dot{\kappa}_{\alpha\beta}$ คือ อัตราการหมุน $\dot{\epsilon}_{\alpha\beta}$ คืออัตราการยืด $M_{\alpha\beta}$ คือโมเมนต์ดัด $N_{\alpha\beta}$ คือแรงยืด และ $M_n = \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right) \frac{\sigma_0 t^2}{4}$ คือโมเมนต์ดัดบนระนาบความเครียดช่วงพลาสติก โดยที่ t คือความหนา และ σ_0 คือความเค้นจุดคราก ส่วนตัวแปรที่สำคัญในการศึกษามีดังนี้



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

2.1. แรงบิดวิกฤติหรือแรงบิดเริ่มต้น หมายถึง แรงบิดครั้งแรกที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการเสียหาย แต่ในบางครั้งแรงบิดวิกฤติอาจจะมีค่าเท่ากับแรงบิดสูงสุด

2.2. การดูดซับพลังงาน หมายถึง ค่าพลังงานที่ชิ้นงานสามารถดูดซับได้ตลอดการชนกระแทก หรือยุบตัว ซึ่งหาได้จากการรวมพื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงบิดที่ใช้กับมุมบิดที่ของชิ้นงาน หรือโครงสร้าง แต่ในทางปฏิบัติจึงแนะนำให้ใช้การประมาณจากค่าแรงบิดเฉลี่ย ในการหาค่าการดูดซับพลังงานของวัสดุ จากการชนกระแทกซึ่งทำได้โดยใช้สมการที่ 4

$$E_a = P_{mean} \times S_{max} \quad (4)$$

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

มีนักวิจัยทำการศึกษาโครงสร้างภายใต้แรงดัด โดยเริ่มต้นจาก D. Kecman. [1] ได้ศึกษาผลกระทบของความเสียหายของท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าภายใต้แรงดัด ซึ่งผลกระทบความเสียหายจะประกอบด้วยเส้นการพับอยู่กับที่ (stationary hinge) และเส้นการพับแบบกลิ้ง (rolling hinge) โดยผลการวิเคราะห์จะแสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับมุมดัด SJ. Cimpoeru and NW. Marray. [2] ได้แสดงสมการที่ได้จากการทดลองระหว่างโมเมนต์กับมุมดัดของท่อสี่เหลี่ยมภายใต้แรงดัด โดยการทดลองจะพิจารณาท่อที่มีค่าระหว่างความกว้างกับความหนาไม่น้อยกว่า 26 ผลจากการวิเคราะห์จะทำการเปรียบเทียบกับสมการของ D. Kecman,[1] และ T. Wierzbickic et al.[3] ได้ศึกษาผลกระทบความเสียหายของท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมภายใต้แรงดัด โดยกลไกได้พิจารณาเส้นการพับที่เกิดขึ้น ได้แก่ เส้นการพับแบบอยู่กับที่เส้นการพับแบบพื้นผิว เส้นการพับแบบกลิ้ง และ , ผลการวิเคราะห์จะแสดงเป็นโมเมนต์กับมุมดัด ,T. Wierzbicki and MV. Simao.[4] ได้ศึกษาผลกระทบความเสียหายของท่อกลมภายใต้แรงดัด โดยกลไกจะพิจารณาเฉพาะลักษณะการยุบบริเวณหน้าตัดของท่อเท่านั้น ผลการวิเคราะห์จะแสดงเป็นโมเมนต์กับมุมดัด ,TH. Kim and SR. Reid.[5] ได้พัฒนาผลกระทบความเสียหายของท่อหน้าตัด

สี่เหลี่ยมภายใต้แรงดัดจาก T. Wierzbicki et al.[3] โดยได้แนะนำเส้นการพับที่แตกต่างออกไป คือ เส้นการพับแบบรูปกรวยและเส้นการพับแบบรูปโดนัท ผลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะทำการเปรียบเทียบกับการทดลอง, M. Elchalakani et al. [6] ได้แสดงสมการผลกระทบความเสียหายของท่อกลมภายใต้แรงดัด โดยได้พิจารณาเส้นการพับบริเวณหน้าตัดและการยุบตัวของเส้นการพับตามแนวแกน ลักษณะของเส้นการพับตัว ได้สมมติเป็นเส้นตรงและไม่มีการยืดและหดตัว สำหรับวิธีในการวิเคราะห์จะใช้วิธี

(4)พลังงาน ส่วนผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะทำการเปรียบเทียบกับการทดลอง ส่วนความสามารถในการรับแรงกระแทกของตัวถังรถยนต์นั้นมักแยกการพิจารณาโครงสร้างเป็นชิ้นๆ ไป เช่น ศึกษาการเสียหายเฉพาะโครงสร้างด้านหน้า [7] การศึกษาการเสียหายจากการชนของคานกลวงผืนผ้าบางแบบต่างๆ [8], [9], การศึกษาโครงสร้างกลวงแบบ Double - Hat และ Top - Hat [10] การศึกษาการเสียหายของแกนโครงรถยนต์ [11] เป็นต้น

Somya Poonaya et al. [12] ได้ศึกษาการวิเคราะห์พฤติกรรมความเสียหายของท่อกลมภายใต้แรงกระทำตามแนวแกน ผลการศึกษาจะเป็นการเปรียบเทียบพฤติกรรมความเสียหายของท่อระหว่างการทดลองและการจำลองคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ Somya Poonaya et al. [13] ได้ทำการเปรียบเทียบท่อที่มีหน้าตัดหลากหลายภายใต้แรงกดตามแนวแกนและแรงดัด โดยการจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลการวิเคราะห์พบว่า ภายใต้แรงกดตามแนวแกนท่อหน้าตัดรูปวงกลมจะให้พลังงานดูดซับสูงสุด รองลงมาท่อหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม ท่อหน้าตัดรูปหกเหลี่ยมและท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมพลังงานดูดซับน้อยที่สุด ส่วนภายใต้แรงดัดท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมพลังงานดูดซับสูงสุด รองลงมาเป็นท่อหน้าตัดรูปหกเหลี่ยม ท่อหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม และท่อหน้าตัดรูปวงกลมพลังงานดูดซับน้อยที่สุด Somya Poonaya et al. [14] ได้ศึกษาการเปรียบเทียบพลังงานดูดซับของท่อหน้าตัดหลายเหลี่ยม



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

ภายใต้แรงบิด โดยการจำลองคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์อย่างเดียว วัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นเหล็กเหนียว ผลการวิเคราะห์พบว่าท่อหน้าตัดรูปวงกลมจะให้ค่าพลังงานดูดซับมากกว่าท่อแปดเหลี่ยม ท่อหกเหลี่ยม และท่อสี่เหลี่ยม มีพลังงานดูดซับต่ำสุด Somya Poonaya [15] ได้ศึกษาการเปรียบเทียบการดูดซับพลังงานของโครงสร้างรูปตัวเอสภายใต้แรงกดตามแนวแกน โดยการจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ วัสดุที่ใช้เป็นเหล็กเหนียว ผลการศึกษาพบว่าท่อหน้าตัดรูปหกเหลี่ยมให้พลังงานดูดซับมากกว่าท่อหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม ท่อหน้าตัดรูปวงกลม และท่อสี่เหลี่ยม ให้พลังงานดูดซับต่ำสุด ตามลำดับ S. Poonaya et al. [16] ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์ความเสียหายของท่อกลมผนังบางภายใต้แรงดัด การวิจัยจะแบ่งเป็นสองส่วน คือ การทดลองและทางทฤษฎี โดยวิธีการทดลอง ได้ทำการสร้างชุดทดลองตามหลักการของ SJ. Cimpoeru and NW. Marray. [2] เพื่อให้ท่อกลมสามารถรับแรงดัดได้อย่างเดียว ส่วนวิธีทางทฤษฎี ได้พิจารณาการวิเคราะห์ความเสียหายของเส้นการพับตัวบริเวณหน้าตัดและเส้นการพับตัวตามแนวแกนโดยเส้นการพับตัวจะถูกสมมติให้เป็นเส้นตรง วิธีในการวิเคราะห์จะใช้วิธีกำลังงาน สำหรับผลการวิเคราะห์จะทำการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ประลัยในทางทฤษฎีกับการทดลอง และทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของกราฟโมเมนต์กับมุมดัดระหว่างทฤษฎีกับการทดลอง

ดังนั้น จากการศึกษางานที่เกี่ยวข้อง ทำให้งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการดูดซับพลังงานของท่อที่มีหน้าตัดหลากหลายภายใต้แรงบิด โดยรูปร่างหน้าตัดที่ศึกษาประกอบด้วย หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม หน้าตัดรูปหกเหลี่ยม หน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม และหน้าตัดรูปวงกลม(มีจำนวนเหลี่ยมไม่จำกัด) ซึ่งงานวิจัยนี้จะมีลักษณะเด่นคือ เป็นการพัฒนาต่อยอดจากงานวิจัยที่ผ่านมา[13] ที่จะศึกษาเฉพาะการดูดซับพลังงาน ที่รับแรงกระทำตามแนวแกนและแรงดัด โดยวิธีการจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แต่งานวิจัยนี้ได้เพิ่มวิธีการทดลอง เพื่อทำการเปรียบเทียบโปรแกรมไฟไนต์

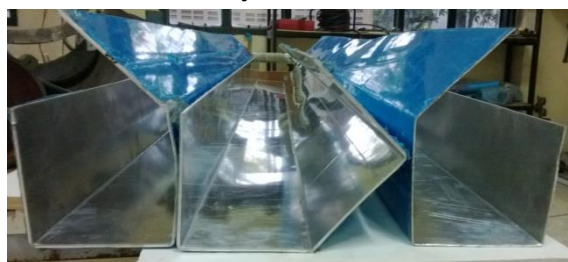
เอลิเมนต์(Validate program) และวิธีการทดลองได้วิเคราะห์ทำการเปรียบเทียบผลการดูดซับพลังงานของท่อหน้าตัดรูปต่างๆ ที่ความหนา 1 มิลลิเมตร พร้อมทั้งได้เปลี่ยนวัสดุที่ใช้กันเป็นส่วนใหญ่คือเหล็กเหนียว มาเป็นวัสดุอลูมิเนียม ที่จะเป็นประโยชน์ในการลดปัญหาของน้ำหนักของโครงสร้าง สุดท้ายงานวิจัยนี้ยังพัฒนาการวิเคราะห์รูปร่างหน้าตัดของตัวดูดซับพลังงาน ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้ท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมและท่อหน้าตัดรูปวงกลม มาเป็นท่อหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยมและท่อหน้าตัดรูปหกเหลี่ยม มาให้เป็นทางเลือกที่เพิ่มขึ้นได้

3. วิธีการวิเคราะห์

วิธีการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับพลังงานของท่อหน้าตัดรูปหลากหลายภายใต้แรงดัด ประกอบด้วยวิธีการทดลองและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังนี้

3.1 วิธีการทดลอง

3.1.1 การขึ้นรูปชิ้นงาน จะทำการสร้างชิ้นงานทดสอบ โดยใช้วัสดุอลูมิเนียมขนาด 1 มิลลิเมตรมาพับเป็นท่อที่มีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม หน้าตัดรูปหกเหลี่ยม หน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม และมีวนเป็นหน้าตัดรูปวงกลม มีขนาดเส้นรอบรูปของหน้าตัด 320 มิลลิเมตร ความยาว 1500 มิลลิเมตร และการเชื่อมเป็นการเชื่อมด้วยอาร์กอน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ชิ้นงานที่ด้วยขึ้นรูปด้วยการพับ

3.1.2 การติดตั้งชุดทดสอบ ประกอบด้วย ท่อที่มีหน้าตัดรูปหลากหลายถูกวางไว้บนจุดรองรับทั้งสองข้าง ส่วนด้านบนจะมีหัวกดที่ติดไว้เครื่องทดสอบแรงดึง ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะชุดทดสอบแรงดัดกับเครื่องทดสอบแรงดึง

3.1.3 ขั้นตอนการทดลอง นำชิ้นงานมาวางบนจตุรรองรับทั้งสองข้าง ใช้หัวกดที่ติดตั้งไว้กับเครื่องทดสอบแรงดึง เปิดโปรแกรมควบคุมเครื่องให้หัวกดเคลื่อนที่ลงตามแนวตั้ง ด้วยความเร็ว 10 มิลลิเมตรต่อวินาที จนกระทั่งชิ้นงานเกิดความเสียรูปร่างถาวร ดังรูปที่ 3 แล้วบันทึกผลการทดลอง

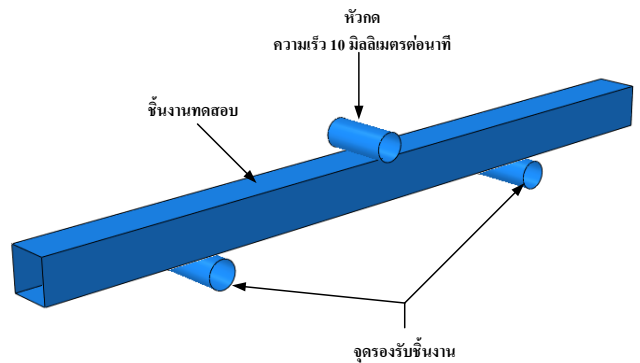


รูปที่ 3 ชิ้นงานเสียรูปร่างถาวรเนื่องจากแรงดัด

3.2 วิธีการจำลองโดยคอมพิวเตอร์

ในวิธีการจำลองโดยคอมพิวเตอร์ เพื่อหาการดูดซับพลังงานของท่อที่มีหน้าตัดรูปหลากหลาย จะใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม ออบาคัส(ABAQUS) ลักษณะปัญหาเป็นแบบพลศาสตร์ชัดเจน(Explicit dynamic) โดยการจำลองจะสร้างแบบจำลองให้เหมือนกับการทดลอง ดังรูปที่ 4 ประกอบด้วยชิ้นงานทดสอบที่มีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม หน้าตัดรูปหกเหลี่ยม หน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม และหน้าตัดรูปวงกลม โดยทุกๆ หน้าตัดจะมีท่อกลมที่มีความแข็งเกร็ง (Rigid body) อยู่ด้านล่างเพื่อเป็นจตุรรองรับทั้งสองข้าง และอยู่ด้านบนเพื่อเป็นหัวกด ส่วนชิ้นงานมีลักษณะเสียรูปได้ (Deformable body) คุณสมบัติเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) และคุณสมบัติวัสดุเท่ากันทุกทิศทาง

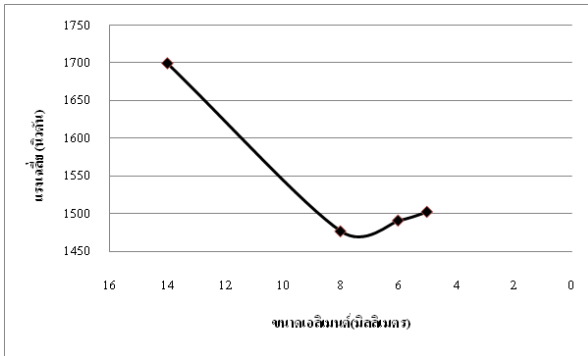
(Isotropic) ลักษณะเอลิเมนต์เป็นเอลิเมนต์เปลือกบาง(shell element) รูปสี่เหลี่ยมสี่โนด(S4R) และเงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition) ท่อกลมด้านบนจะรับแรงกดตามแนวตั้ง ที่ความเร็วอย่างช้าๆ(Quasi-Static) 10 มิลลิเมตรต่อวินาที กระทบกับชิ้นทดสอบ ท่อกลมด้านล่างจะถูกยึดอยู่กับที่ ลักษณะการสัมผัสเป็นการสัมผัสแบบพื้นผิวกับพื้นผิว (Surface to surface)ระหว่างท่อกลมกับชิ้นงาน และการสัมผัสตัวเอง(Self contact) ของผิวชิ้นงาน ไม่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และไม่ได้รับการพิจารณาเชื่อม



รูปที่ 4 แบบจำลองโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.2.1 การหาการลู่เข้าของเอลิเมนต์ (Mesh convergent)

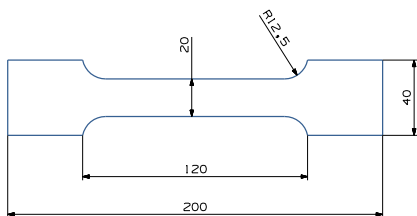
การศึกษาหาค่าลู่เข้าของเอลิเมนต์ โดยการหาขนาดของเอลิเมนต์ที่เหมาะสมและมีเสถียรภาพ เพื่อให้ผลของค่าการดูดซับพลังงานไม่มีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของขนาดเอลิเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 5 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเอลิเมนต์กับการดูดซับพลังงาน จะพบว่าขนาดเอลิเมนต์เริ่มคงที่และมีเสถียรภาพที่ขนาด 6 มิลลิเมตร, 5 มิลลิเมตร ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ขนาดเอลิเมนต์ 5 มิลลิเมตร



รูปที่ 5 การวิเคราะห์ห้รู้เข้าขนาดเอลิเมนต์ที่เหมาะสมของท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมความหนา 1 มิลลิเมตร

3.2.2 คุณสมบัติของวัสดุ วัสดุที่ใช้เป็นอลูมิเนียม ที่มีความหนาแน่นเท่ากับ 2,700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะทำการทดสอบโดยใช้มาตรฐานของ BS EN 10002-1: 2001 (E)

เครื่องมือทดสอบที่ใช้ในการหาคุณสมบัติยี่ห้อ Universal Testing Machine Model: AG – 100KNI M2 ของสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย โดยขนาดขึ้นทดสอบดังรูปที่ 6 และการทดสอบและรูปร่างความเสียหาย ดังรูปที่ 7 ส่วนคุณสมบัติของอลูมิเนียมที่สำคัญ จะแสดงตารางที่ 1



รูปที่ 6 ขนาดวัสดุตามมาตรฐาน BS EN 10002-1: 2001 (E)



รูปที่ 7 แสดงการหาคุณสมบัติวัสดุของเครื่องทดสอบแรงดึง และลักษณะรูปร่างการเสียหายขาดของชิ้นงานทดสอบ

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของอลูมิเนียม

ความหนา (MM)	ค่าYoung's Modulus (GPA)	ความเค้นที่จุดคาน (MPA)	ความเค้นสูงสุด (MPA)	ร้อยละการยืด
1	38.34	139.75	142.57	11.69
2	46.74	118.17	123.31	18.25
3	41.79	111.01	119.04	20.11

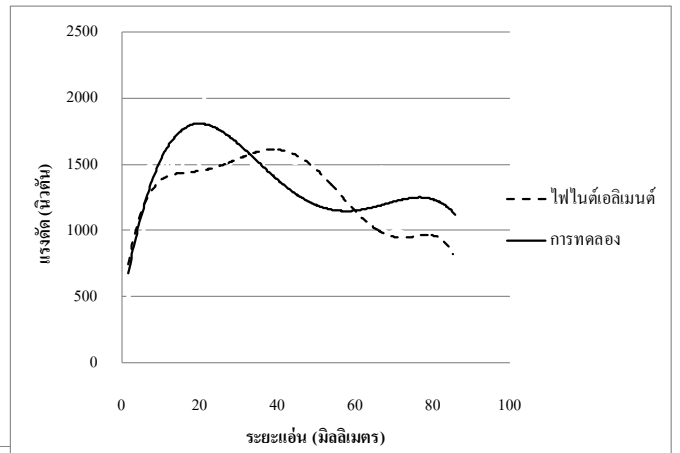
4. ผลการวิเคราะห์

การวิเคราะห์เปรียบเทียบการดูดซับพลังงานของท่อผนังบางที่มีหน้าตัดรูปหลายเหลี่ยมภายใต้แรงดัด โดยวิธีการทดลองและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังนี้

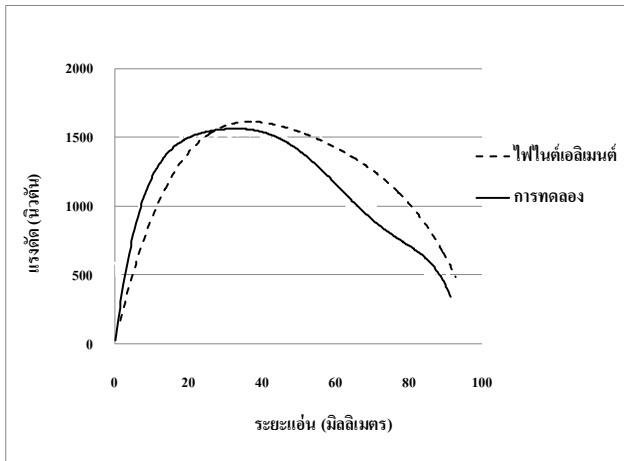


4.1 การเปรียบเทียบการทดลองกับไฟไนต์เอลิเมนต์

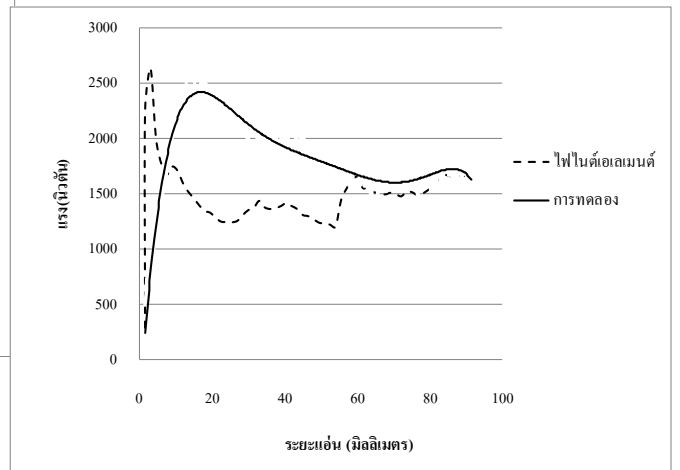
การเปรียบเทียบผลการทดลองและผลทางไฟไนต์เอลิเมนต์ จะทำที่ความหนา 1 มิลลิเมตร จะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างแรงดัดกับระยะแอนของท่อ ในท่อหน้าตัดรูปวงกลม ท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม ท่อหน้าตัดรูปหกเหลี่ยม ท่อหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม และ ท่อหน้าตัดรูปวงกลม ดังแสดงในรูปที่ 8-11 จะพบว่าเส้นแนวโน้มของกราฟระหว่างการทดลองและไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าใกล้เคียงกันมาก



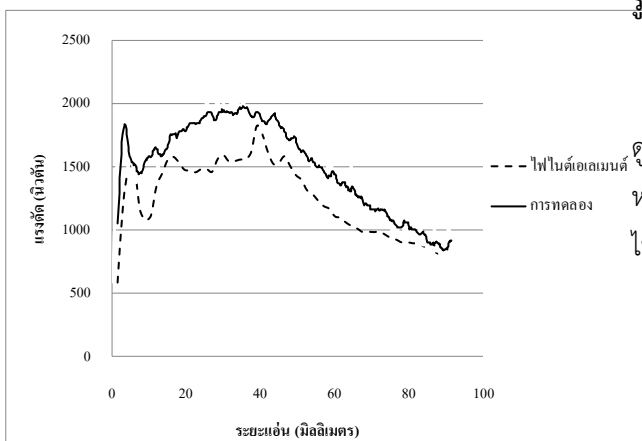
รูปที่ 10 ผลการเปรียบเทียบระหว่างการทดลองและไฟไนต์เอลิเมนต์ของหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม



รูปที่ 8 ผลการเปรียบเทียบระหว่างการทดลองและไฟไนต์เอลิเมนต์ของหน้าตัดรูปวงกลม

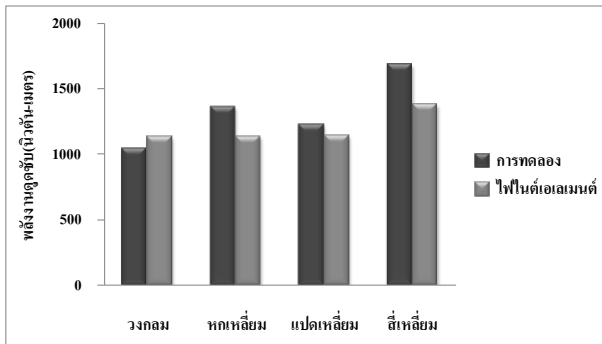


รูปที่ 11 ผลการเปรียบเทียบระหว่างการทดลองและไฟไนต์เอลิเมนต์ของหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม



รูปที่ 9 ผลการเปรียบเทียบระหว่างการทดลองและไฟไนต์เอลิเมนต์ของหน้าตัดรูปหกเหลี่ยม

และรูปที่ 12 จะเป็นการแสดงการเปรียบเทียบพลังงานดูดซับระหว่างผลการทดลองและผลไฟไนต์เอลิเมนต์ของทุกหน้าตัด จะพบว่าพลังงานดูดซับจากทดลองและจากไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 12 การเปรียบเทียบระหว่างการทดลองและผลไฟไนต์เอเล-เมนต์ของหน้าตัด

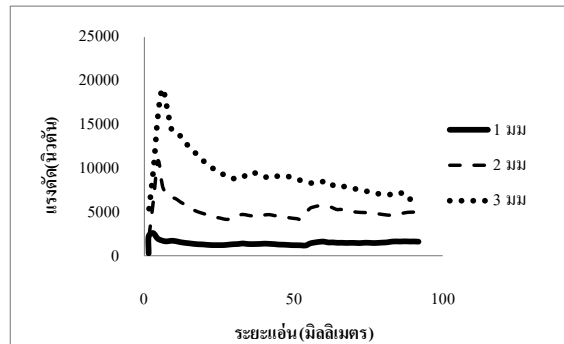
และตารางที่ 2 แสดงร้อยละความแตกต่างการดูดซับพลังงานของการทดลองและไฟไนต์เอเลเมนต์ โดยมีร้อยละของความคลาดเคลื่อนของท่อสี่เหลี่ยมเท่ากับร้อยละ 18 ท่อหกเหลี่ยมร้อยละ 16 ท่อแปดเหลี่ยมร้อยละ 8 และ ท่อวงกลมร้อยละ 7 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ร้อยละความแตกต่างการดูดซับพลังงานของวิธีการทดลองและวิธีไฟไนต์เอเลเมนต์ ที่ความหนา 1 มิลลิเมตร

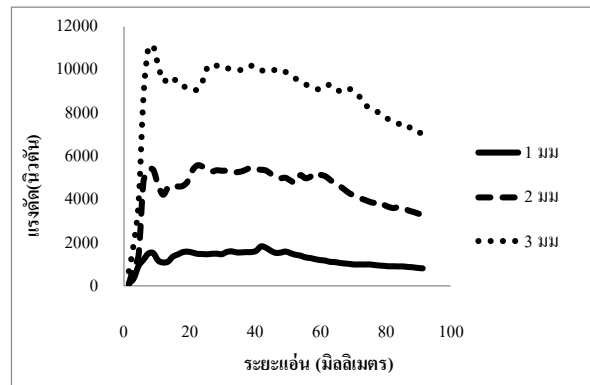
หน้าตัด	การดูดซับพลังงาน(นิวตัน-เมตร)		ร้อยละความแตกต่าง
	การทดลอง	ไฟไนต์เอเลเมนต์	
วงกลม	1045.70	1125.71	7
หกเหลี่ยม	1359.06	1132.52	16
แปดเหลี่ยม	1223.50	1139.29	8
สี่เหลี่ยม	1682.12	1374.36	18

4.2 ผลของความหนา

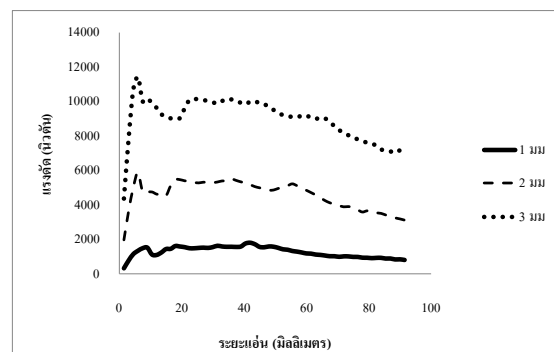
ผลของความหนาจะเป็นการเปรียบเทียบผลของความหนาขนาด 1 มิลลิเมตร, 2 มิลลิเมตร และ 3 มิลลิเมตร ของหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม หน้าตัดรูปหกเหลี่ยม หน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม และหน้าตัดรูปวงกลม ดังแสดงในรูปที่ 13-16 จะพบว่าเมื่อความหนาเพิ่มขึ้น แรงดัดจะเพิ่มขึ้น



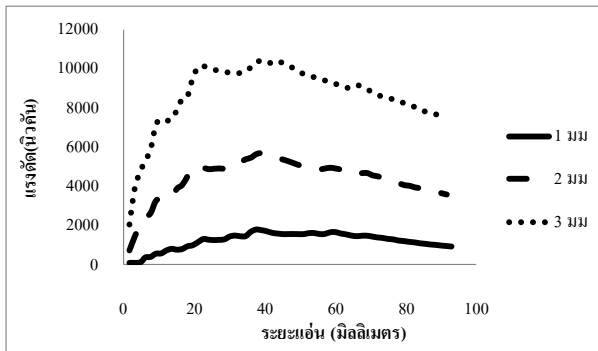
รูปที่ 13 ผลระหว่างแรงดัดกับมุมบิดของท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม



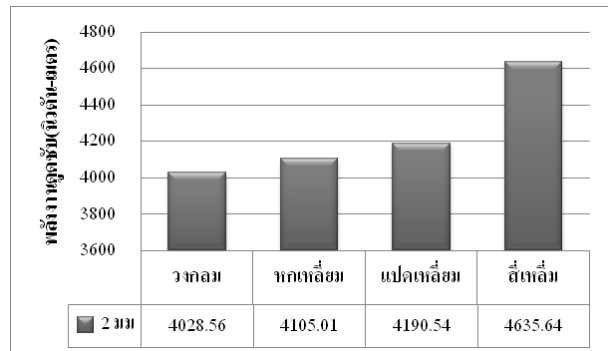
รูปที่ 14 ผลระหว่างแรงดัดกับมุมบิดของท่อหน้าตัดรูปหกเหลี่ยม



รูปที่ 15 ผลระหว่างแรงดัดกับมุมบิดของท่อหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม



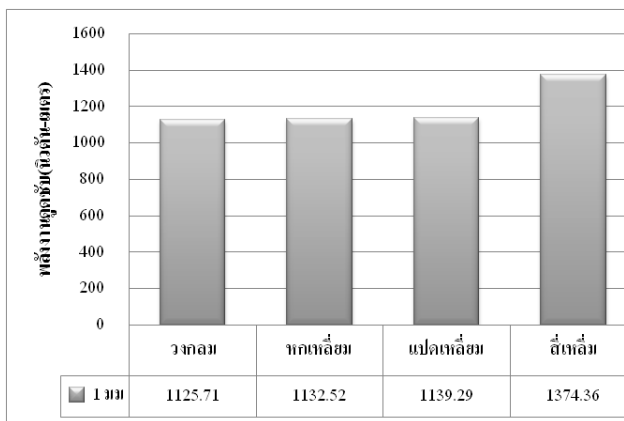
รูปที่ 16 ผลระหว่างแรงบิดกับมุมบิด ของท่อหน้าตัดรูปวงกลม



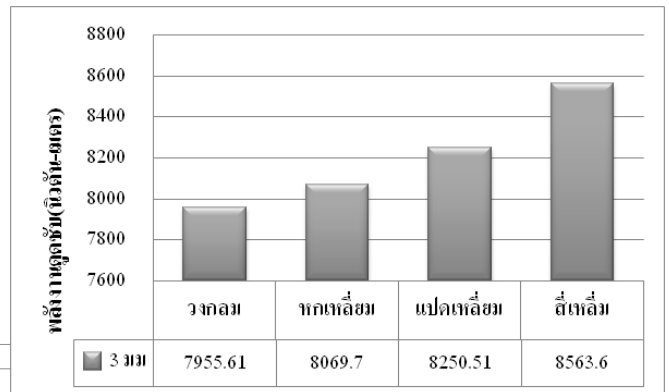
รูปที่ 18 การดูดซับพลังงานกับรูปร่างหน้าตัดของท่อ ที่ความหนา 2 มิลลิเมตร

4.3 การดูดซับพลังงาน

การดูดซับพลังงานของท่อผนังบางที่มีหน้าตัดรูปร่างหลากหลายภายใต้แรงตัด จากผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 17-19 พบว่า ท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมมีการดูดซับพลังงานสูงสุด ท่อหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม ท่อหน้าตัดรูปหกเหลี่ยม และท่อหน้าตัดรูปวงกลมมีการดูดซับพลังงานน้อยที่สุดตามลำดับ



รูปที่ 17 การดูดซับพลังงานกับรูปร่างหน้าตัดของท่อ ที่ความหนา 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 19 การดูดซับพลังงานกับรูปร่างหน้าตัดของท่อ ที่ความหนา 3 มิลลิเมตร

จากผลการวิเคราะห์การดูดซับพลังงานของท่อหน้าตัดต่างๆ ข้างต้น เหตุผลที่สามารถวิเคราะห์ได้อีกกรณี คือ พฤติการณ์การเสีรูปร่างของหน้าตัด ดังตารางที่ 3 พบว่าที่ความหนาและระยะการยุบตัวเท่ากัน จะเห็นว่าท่อรูปหน้าตัดสี่เหลี่ยมเมื่อเกิดการยุบตัวลงบริเวณเส้นด้านบนของหน้าตัด ยังปรากฏจำนวนเหลี่ยมที่เหลืออยู่ เมื่อเทียบกับหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม หน้าตัดหกเหลี่ยม และหน้าตัดรูปวงกลมไม่มีเหลี่ยม ถ้าเปรียบเทียบหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยมและหน้าตัดรูปหกเหลี่ยมที่ความหนาเดียวกัน จะเห็นว่าหน้าตัดรูปหกเหลี่ยมจะเสีรูปร่างมากกว่า สืบเนื่องมาจากด้านล่างของหน้าตัดหน้าตัดรูปหกเหลี่ยมจะมีการโก่งโค้งมากกว่าหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม หรือจากการสังเกตด้านบนของหน้าตัด จะพบว่าหน้า



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

ตัดรูปแปดเหลี่ยมยังมีจำนวนเหลี่ยมเล็กๆ เกิดขึ้นมากกว่า หน้าตัดรูปหกเหลี่ยม ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าท่อน้ำตัดรูปสี่เหลี่ยมมีการดูดซับพลังงานได้ดีกว่าหน้าตัดรูปอื่นๆ เนื่องจากรูปร่างหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมและหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม มีด้านหนึ่งของหน้าตัดอยู่ในแนวตั้ง ซึ่งจะทำให้การยุบตัวเกิดขึ้นได้ยาก หน้าตัดเกิดการต้านทานแรงดัดมากกว่า หน้าตัดรูปหกเหลี่ยมและหน้าตัดรูปวงกลม ซึ่งมีการต้านทานแรงดัดได้น้อย

ตารางที่ 3 ลักษณะการเสี้ยวรูปร่างหน้าตัดของท่อ

หน้าตัด	ความหนา(มิลลิเมตร)		
	1	2	3
วงกลม			
หกเหลี่ยม			
แปดเหลี่ยม			
สี่เหลี่ยม			

จากผลการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับ การวิจัยที่ผ่านมา [13] พบว่า งานวิจัยที่ผ่านมาจะใช้เหล็ก เหนียว ส่วนงานวิจัยนี้จะใช้โซลูมิเนียม และเพิ่มผลการ ทดลองและการเปรียบเทียบโปรแกรมให้มีความถูกต้องและ ความน่าเชื่อถือมากขึ้น จากผลการวิเคราะห์จะพบว่าจะให้ ข้อสรุปที่ใกล้เคียงกัน คือจะได้ท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมมีการ ดูดซับพลังงานสูงสุด และท่อน้ำตัดรูปวงกลมมีการดูดซับ พลังงานต่ำสุด แต่จะแตกต่างกันที่ผลสรุปของค่าการดูดซับ พลังงานของท่อน้ำตัดรูปแปดเหลี่ยมและหน้าตัดรูปหก เหลี่ยม ซึ่งเป็นไปได้เนื่องจากท่อทั้งสองจะให้ค่าการดูดซับ พลังงานใกล้เคียงกันมาก

5. สรุป

การดูดซับพลังงานของท่อที่มีหน้าตัดหลากหลายภายใต้ แรงดัด สามารถสรุปผลดังนี้

5.1. ผลการเปรียบเทียบโปรแกรม พบว่า การเปรียบเทียบผล โดยใช้วิธีการทดลองและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีค่าใกล้เคียง มาก และพบว่าขนาดเอลิเมนต์น้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 มิลลิเมตร จะทำให้ค่าการดูดซับพลังงานที่เสถียร

5.2. ผลของความหนา พบว่าเมื่อความหนาเพิ่มขึ้น การดูด ซับพลังงานเพิ่มขึ้น

5.3 ผลการดูดซับพลังงาน ท่อน้ำตัดรูปสี่เหลี่ยมให้ค่าการ ดูดซับพลังงานสูงสุด รองลงมาท่อน้ำตัดรูปแปดเหลี่ยม ท่อ หน้าตัดรูปหกเหลี่ยมและท่อน้ำตัดรูปวงกลมการดูดซับ พลังงานน้อยที่สุด

5.4 ผลของรูปร่างความเสี้ยว พบว่าลักษณะรูปร่างการ ยุบตัวบริเวณหน้าตัดของท่อมีผลต่อการดูดซับพลังงาน และ ท่อที่มีหน้าตัดด้านหนึ่งอยู่ในแนวตั้ง จะมีความสามารถในการ ต้านทานแรงดัดได้ดีกว่าท่อน้ำตัดที่มีรูปในลักษณะอื่นๆ

6. ข้อเสนอแนะ

ในการออกแบบ “ตัวดูดซับพลังงาน” จากผลสรุปของ งานวิจัยนี้ จากผลของตัวแปรที่ศึกษา พบว่า ผลของความ หนาที่เพิ่มขึ้น จะให้การดูดซับพลังงานเพิ่มขึ้น ซึ่งตัวดูดซับ พลังงานจะมีความหนาที่เพิ่มขึ้น ที่ใช้ในการออกแบบนี้ แต่ ต้องมีความแข็งแรงน้อยกว่าความแข็งแรงของโครงสร้างหลัก ของยานพาหนะ เนื่องจากตัวดูดซับพลังงาน มีหน้าที่ในการ ลดความเสียหายของโครงสร้างหลักให้เบาบางลง หรือทำ หน้าที่ดูดซับพลังงานจลน์ที่มากกระทบกับโครงสร้างได้ ส่วนใน การพัฒนางานวิจัยต่อไป เป็นการพัฒนาตัวดูดซับพลังงานให้ มีการดูดซับพลังงานเพิ่มขึ้นและมีน้ำหนักเบา โดยการเติม โฟม และหุ้มด้วยวัสดุประกอบ(Composite material) เป็น ต้น ซึ่งจะมีสมมติฐานเบื้องต้นว่า “เมื่อเพิ่มมวลไม่มากนัก แต่ จะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับพลังงานเพิ่มขึ้นมาก”



7. กิตติประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนให้ใช้เครื่องทดสอบแรงดึง (Tension Universal Testing) ต่อพ่วงเข้ากับชุดทดลองแรงดัด

เอกสารอ้างอิง

- [1] Dusan Kecman. "Bending collapse of rectangular and square section tubes." *Int. J. Mech. Sci.* 1983; 25: 9-10.
- [2] S. J. Cimpoeru and N. W. Murray. "The large-deflection pure bending properties of a square thin-walled tube." *Int. J. Mech. Sci.* 1993; 35; 3/4: 247-256.
- [3] T. Wierzbicki. "Stress profile in thin-walled prismatic columns subjected to crush loading-II. Bending." *Computer&structure* 1994; 51; 6: 625-641.
- [4] T. Wierzbicki and M. V. Sinmao. "A simplified model of brazier effect in plastic bending of cylindrical tubes." *Int. J. Pres. Ves.& Pipe.* 1997; 71: 19-28.
- [5] T.H. Kim, and S. R. Reid. "Bending collapse of thin-walled rectangular section columns." *Computer & Structures* 2001; 79: 1897-1991.
- [6] M. Elchalakani, X. L. Zhao and R. H. Grzebieta. "Plastic mechanism analysis of circular tubes under pure bending." *Int. Mech. Sci.* 2002; 44: 1117-1143.
- [7] H. Huh. "Crashworthiness of front side members in an auto-body considering the fabrication effect." 12th International Pacific Conference on Automotive Engineering. Bangkok. Thailand, 2003.
- [8] A.G. Mama1is. "The crumpling of steel thin-walled tubes and frusta under axial compression at elevated strain-rates: some experimental results." *International Journal of Mechanical Science.* 1984;26; 11-12: 537-547.
- [9] W.J. Kang and H. Huh. "Crash analysis of auto-body structures considering the strain-rate hardening effect." *International Journal Automotive Technology.* 2002; 1; 1: 35-41.
- [10] M.D. White. "A theoretical analysis for the quasi-static axial crushing of top-hat and double-hat thin-walled sections." *International Journal of Mechanical Science.* 1999; 41; 2: 209-233.
- [11] J.D. Reid. "Crashworthiness of automotive steel midrails thickness and material sensitivity." *Thin-Walled Structures.* 1996; 26; 2: 83-103.
- [12] 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, 2005.
- [13] Somya poonaya, Chawalit Thinvongpituk, and Umpisak Teeboonma. "Comparison of energy absorption of various section steel tubes under axial compression and bending loading," 21st Conference of mechanical engineering network of Thailand, Chonburi, Thailand, 17-19 October, 2007.
- [14] Somya poonaya, and Chawalit thinvongpituk. "Comparison of energy absorption of various



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

section steel tubes under torsion loading,” The 23th Conference of mechanical engineering network of Thailand, Chiang Mai, Thailand, 4-7 November, 2009.

[15] Somya poonaya. “Comparision of energy absorption of S-Frame Subjected to axial compression loading,” 24th Conference of mechanical engineering network of Thailand, Ubonratchathani, Thailand, 20-22 October, 2010.

[16] S. Poonaya , U.Teeboonma, C.Thinvongpituk. “Plastic collapse analysis of thin-walled circular tubes subjected to bending.” Thin-Walled Structure. 2009; 47: 637-645.