

ความสามารถในการดูดกลืนพลังงานของกรวยกระดาษผนังบางตัดปลาย ภายใต้ภาระการกดในแนวแกน

The energy absorption capacity of truncated conical thin-wall paper under axial compression load

พรณัฏฐ์ รังรองธำนิษฐ์ * และ ธงชัย ฟองสมุทร

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

239 ถ.ห้วยแก้ว อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

โทร 053-944146 ต่อ 964, โทรสาร 053-944145, *E-mail : gift_me255@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอความสามารถในการดูดกลืนพลังงานของกรวยกระดาษผนังบางตัดปลายภายใต้ภาระการกดในแนวแกนแบบสถิตย์ ชิ้นงานทดสอบถูกสร้างด้วยกระดาษปอนด์สำหรับงานพิมพ์ โดยการปรับเปลี่ยนค่าของมุมครึ่งกรวย และความหนาของกรวยกระดาษผนังบางตัดปลาย ซึ่งมีมุมครึ่งกรวยจำนวน 7 มุม โดยเริ่มตั้งแต่ 2 องศา เพิ่มขึ้นทีละ 4 องศา จนถึง 26 องศา และความหนาของกระดาษ 3 ชนิด คือ 90, 130 และ 190 แกรม มีค่า 0.109, 0.133 และ 0.192 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทำการทดลองด้วยเครื่องทดสอบวัสดุชนิดไฮดรอลิก ยี่ห้ออินสตรอน รุ่น 5566 ที่อัตราความเร็ว 12.7 มิลลิเมตรต่อวินาที ผลที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่ามุมครึ่งกรวยและความหนาของกรวยกระดาษผนังบางตัดปลายมีอิทธิพลต่อความสามารถในการดูดกลืนพลังงาน โดยความหนาของกระดาษชนิด 190 แกรม มีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานมากที่สุด รองลงมาได้แก่ 130 และ 90 แกรม ตามลำดับ มุมครึ่งกรวยของกระดาษชนิด 90, 130 และ 190 แกรม ที่มีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานได้มากที่สุด คือ 22, 18 และ 14 องศา ดูดกลืนพลังงานได้ 0.59, 0.97 และ 2.52 จูล ตามลำดับ

Abstract

This article presented the energy absorption capacity of truncated conical thin-wall paper under static axial compressed load. Test specimens were created from uncoated paper by varying 2 parameters: semi-cone angle and thickness of truncated conical thin-wall paper. There were 7 values of semi-cone angles. Each

value varied angle from 2 degree to 26 degree by gradually by 4 degree. Test specimens were divided to 3 types: 90, 130 and 190 gram-mage. The thicknesses of each type were 0.109, 0.133 and 0.192 mm, respectively. The universal materials testing machine : Instron series 5566 was used in this study with compressed speed of 12.7 mm/min. The results showed that the semi-cone angle and thickness of conical thin-wall paper had an influenced with energy absorption capacity. The 190 gram-mage paper was the most capable paper to absorb energy. The second and the third was 130 gram-mage paper and 90 gram-mage paper, respectively. The semi-cone angle of 90, 130 and 190 gram-mage papers were able to ultimately absorb energy 22, 18 and 14 degree and could ultimately absorb energy 0.59, 0.97 and 2.52 J, respectively.

1.บทนำ

กระดาษเป็นแผ่นวัสดุซึ่งได้จากการนำวัสดุหลาย ๆ ชนิดมาผสมให้เข้ากันดีแล้วนำไปทำเป็นแผ่น วัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมเหล่านี้ ได้แก่ เส้นใยสั้น เส้นใยยาว และสารเคมี วัสดุที่ใช้ผสมเหล่านี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นองค์ประกอบหลักของกระดาษ ได้แก่ ส่วนที่เป็นเส้นใย (Fibrous material) ซึ่งเป็นโครงสร้างของแผ่นกระดาษ และส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย ซึ่งเป็นสารเติมแต่งใช้เติมผสมลงไปในส่วนเส้นใย เพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษให้ได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน, [4]

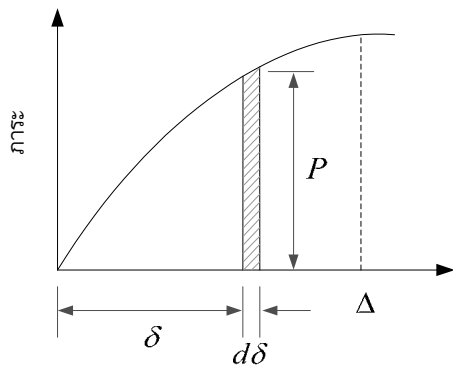
กระดาษเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา มีต้นทุนการผลิตต่ำ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ไม่มีปัญหาในการกำจัดหลังการใช้งาน

และสามารถนำมาหมุนเวียนใช้ใหม่ได้ทั้งในรูปเดิมหรือสกัดเอาเยื่อกระดาษมาขึ้นรูปใหม่ ดังนั้นกระดาษจึงเป็นวัสดุทางเลือกที่ถูกนำมาใช้ในการดูดกลืนพลังงาน (Energy absorber) จากแรงภายนอกที่กระทำกับโครงสร้างที่ต้องการป้องกันความเสียหาย เช่น บรรจุภัณฑ์รูปทรงต่างๆ วัสดุกันกระแทก เป็นต้น ในเบื้องต้นจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาความสามารถในการดูดกลืนพลังงานจากการตกกระวดยกระดาษผนังบางดัดปลายภายใต้ภาระในแนวแกนแบบสถิตย์

2. หลักงานและพลังงานในการวิเคราะห์โครงสร้าง (Work and energy principles in structural analysis)

จากกฎการอนุรักษ์ของงานและพลังงาน (Law of conservation of work and energy) สำหรับระบบโครงสร้างกล่าวได้ว่า "สำหรับโครงสร้างที่ประพฤติตัวแบบยืดหยุ่น งานภายนอกที่กระทำกับโครงสร้างจะมีค่าเท่ากับพลังงานสะสมภายในส่วนประกอบของโครงสร้าง" โดยพลังงานภายในจะอยู่ในรูปของพลังงานความเครียด เพราะพลังงานภายในเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเกิดความเครียดภายในจากการกระทำของภาระงานและพลังงานความเครียดภายในจะแสดงในรูปของงานจริง (Real work) และงานเสมือน (Virtual work), [3]

ถ้ามีการกระทำกับโครงสร้างและทำให้โครงสร้างเกิดการเสียรูป จะได้งานภายนอก (External work, W) จากพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดในทิศทางของภาระ (δ) และภาระ (P) ดังรูปที่ตามมา



การกระจัดในทิศทางของภาระ

รูป 1 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดในทิศทางของภาระกับภาระ

จากรูปสามารถหาพื้นที่ใต้กราฟดังสมการ

$$W = \int_0^{\Delta} P d\delta \quad (1)$$

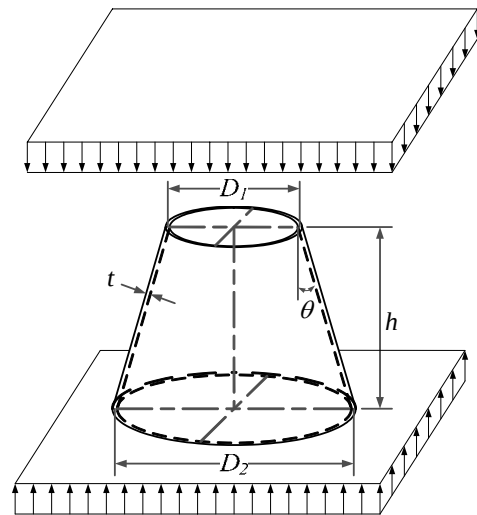
สามารถเขียนได้ว่า

$$W = \sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{2} \times (P_i + P_{i+1}) \times (\delta_{i+1} - \delta_i) \right] \quad (2)$$

โดย n คือ จำนวนของสี่เหลี่ยมคางหมูที่ถูกแบ่งออก
 P_i คือ ภาระที่ i
 P_{i+1} คือ ภาระที่ $i+1$
 δ_i คือ การกระจัดในทิศทางของภาระที่ i
 δ_{i+1} คือ การกระจัดในทิศทางของภาระที่ $i+1$

3. ลักษณะของปัญหา

กำหนดมิติกรวยกระดาษผนังบางดัดปลายมีความหนา t จำนวน 3 ความหนา มุมครึ่งกรวย (Semi-cone angle, θ) จำนวน 7 มุม ความสูง h และเส้นผ่านศูนย์กลาง D_2 คงที่ รับแรงกดแบบสถิตย์ในแนวแกน ดังรูป 2



รูป 2 กรวยผนังบางดัดปลายรับแรงกดในแนวแกน

4. วิธีการวิจัย

4.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

เตรียมชิ้นงานทดสอบภายใต้ภาวะอุณหภูมิ $23 \pm 1^\circ\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ± 2 แล้วทดสอบชิ้นงานทดสอบหลังจากเก็บชิ้นงานทดสอบไว้ที่ภาวะเดียวกันเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM D685-93, [1]

สร้างชิ้นงานทดสอบด้วยกระดาษปอนด์สำหรับงานพิมพ์ 3 ชนิด คือ 90, 130 และ 190 แกรม ซึ่งมีความหนา 0.109, 0.133 และ 0.192 มิลลิเมตร ตามลำดับ แต่ละความหนาจะแปรผันค่ามุมครึ่งกรวยจำนวน 7

มุม คือ 2, 6, 10, 14, 18, 22 และ 26 องศา มี h และ D_2 เท่ากับ 70 และ 80 มิลลิเมตร ตามลำดับ จึงมีแบบจำลองทั้งหมด 21 แบบ และทดสอบซ้ำอีกแบบละ 5 ครั้ง ดังนั้นจะต้องทดสอบชิ้นงานทดสอบจำนวน 105 ครั้ง โดยได้แสดงตัวอย่างของกรวยกระดาษผนังบางตัดปลายที่มีมุมครึ่งกรวยขนาด 2, 6, 10, 14, 18, 22 และ 26 องศา แสดงในรูป 3



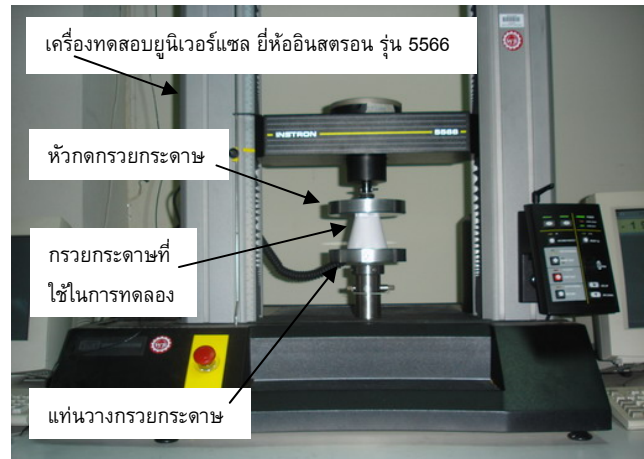
รูป 3 กรวยผนังบางตัดปลายที่มีมุมครึ่งกรวยขนาด 2, 6, 10, 14, 18, 22 และ 26 องศา

4.2 การทดสอบชิ้นงานทดสอบ

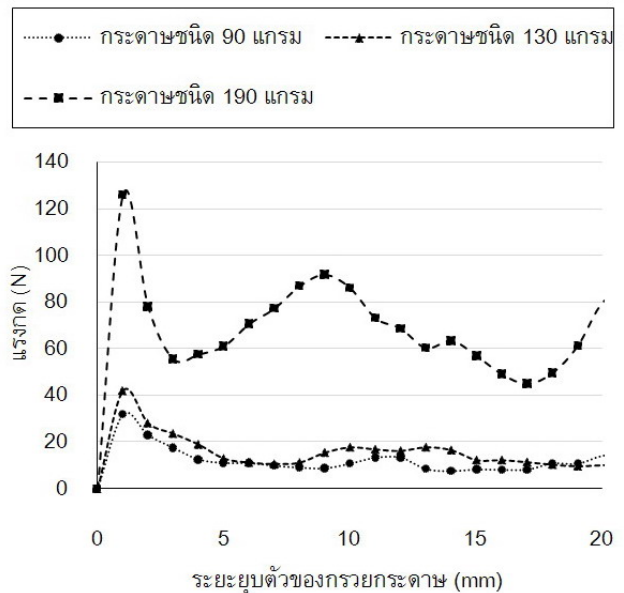
หลังจากเก็บชิ้นงานทดสอบไว้ที่ภาวะเดียวกันกับการเตรียมชิ้นงานเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง จึงทดสอบกดกรวยกระดาษผนังบางตัดปลายด้วยเครื่องทดสอบวัสดุยูนิเวอร์แซล ยี่ห้ออินสตรอน รุ่น 5566 (The universal materials testing machine : Instron series 5566) ดังแสดงในรูป 4 ที่อัตรากดในแนวแกนแบบสถิตย์เท่ากับ 12.7 มิลลิเมตรต่อนาที ในภาวะเดียวกันกับการเตรียมชิ้นงาน ซึ่งได้อ้างอิงการการกดในแนวแกนแบบสถิตย์จากมาตรฐาน ASTM D7030-04, [2]

5.ผลและการวิจารณ์

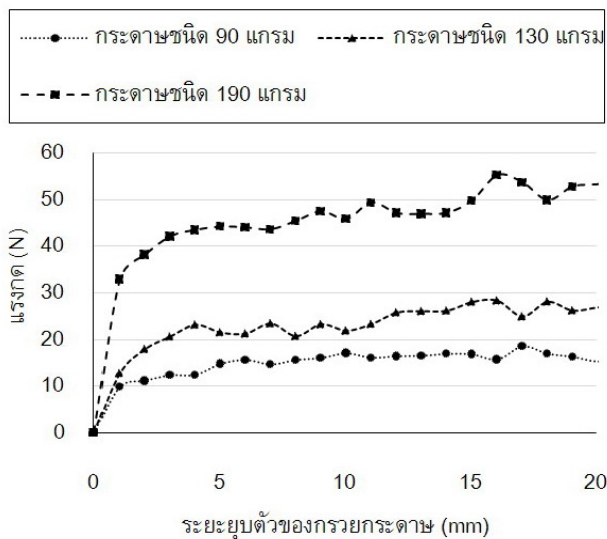
ผลการทดลองในหัวข้อ 4.2 สำหรับกรวยกระดาษผนังบางตัดปลายทุกมิติ สามารถนำมาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบตัวของกรวยกระดาษกับแรงได้ ดังแสดงตัวอย่างในรูป 5 และ 6



รูป 4 เครื่องทดสอบวัสดุยูนิเวอร์แซล ยี่ห้ออินสตรอน รุ่น 5566 ระหว่างทดสอบกดกรวยกระดาษ



รูป 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบตัวของกรวยกระดาษที่มีมุมครึ่งกรวยเท่ากับ 2 องศา กับแรง



รูป 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยวบตัวของกรวยกระดาษ ที่มีมุมครึ่งกรวยเท่ากับ 26 องศา กับแรง

ผลการทดสอบการยุบตัวของกระดาษหนึ่งบางตัดปลายในแนวแกนด้วยภาระกดแบบสถิตย์พบว่า ที่ระยะยวบตัวของกรวยกระดาษในขณะเริ่มต้น กรวยกระดาษที่มีค่ามุมครึ่งกรวยน้อยๆจะปรากฏแอมพลิจูดจุดยอด (Peak amplitude) ของแรง ดังแสดงในรูป 5 แต่เมื่อมุมครึ่งกรวยเพิ่มขึ้นแอมพลิจูดสูงสุดจะลดลงเรื่อยๆ จนไม่ปรากฏ ดังแสดงในรูป 6 จากนั้นเมื่อระยะยวบตัวของกรวยกระดาษมากขึ้นจนเกิดรอยพับเริ่มต้นแล้ว ลักษณะของความสัมพัทธ์ระหว่างระยะยวบตัวของกรวยกระดาษกับแรงมีลักษณะไม่คงที่

ความสามารถในการดูดกลืนพลังงานของกระดาษแต่ละชนิดหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยวบตัวของกรวยกระดาษกับแรง โดยแบ่งพื้นที่ใต้กราฟเป็นสี่เหลี่ยมคางหมูเล็กๆ ดังรูป 1 และหาพื้นที่รวมจากสมการ (2) จะได้ผลดังตารางที่ 1 เมื่อพิจารณากระดาษชนิด 90 กรัม พบว่า เมื่อมุมครึ่งกรวยเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดกลืนพลังงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงมุมครึ่งกรวย 22 องศา แล้วหลังจากนั้นจึงมีแนวโน้มที่ลดลง ส่วนกระดาษชนิด 130 และ 190 กรัม ก็พบว่าความสามารถในการดูดกลืนพลังงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมุมครึ่งกรวยเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่กระดาษชนิด 130 และ 190 กรัม มีแนวโน้มความสามารถในการดูดกลืนพลังงานเพิ่มขึ้นจนถึงมุมครึ่งกรวย 18 และ 14 องศา ตามลำดับ เท่านั้น แล้วจึงมีแนวโน้มของความสามารถในการดูดกลืนพลังงานลดลง

เมื่อหาค่าเฉลี่ยของความสามารถในการดูดกลืนพลังงานของกรวยกระดาษหนึ่งบางตัดปลายแต่ละชนิดความหนาแล้ว พบว่ากระดาษชนิด 130 และ 190 กรัม สามารถดูดกลืนพลังงานได้มากกว่ากระดาษชนิด 90 กรัม เป็น 1.83 และ 5.15 เท่า ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ความสามารถในการดูดกลืนพลังงานเฉลี่ยของกรวยกระดาษหนึ่งบางตัดปลายแต่ละมิติ

มุมครึ่งกรวย (องศา)	ความสามารถในการดูดกลืนพลังงาน (จูล)		
	กระดาษชนิด 90 กรัม	กระดาษชนิด 130 กรัม	กระดาษชนิด 190 กรัม
0	0.34	0.69	2.09
2	0.31	0.63	2.04
6	0.34	0.71	2.27
10	0.42	0.84	2.50
14	0.53	0.93	2.52
18	0.57	0.97	2.36
22	0.59	0.91	2.14
26	0.54	0.81	1.78
ค่าเฉลี่ย	0.45	0.81	2.21
ค่าสูงสุด	0.59	0.97	2.52

6.สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอความสามารถในการดูดกลืนพลังงานของกรวยกระดาษหนึ่งบางตัดปลายภายใต้ภาระกดในแนวแกนแบบสถิตย์ จากการทดลองการกดด้วยเครื่องทดสอบวัสดุยูนิเวอร์แซลที่อัตราการกด 12.7 มิลลิเมตรต่อนาที และหาความสามารถในการดูดกลืนพลังงานจากพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยวบตัวของกรวยกระดาษกับแรง พบว่ามุมครึ่งกรวยและความหนาของกรวยกระดาษหนึ่งบางตัดปลายมีอิทธิพลต่อความสามารถในการดูดกลืนพลังงาน โดยความหนาของกระดาษชนิด 190 กรัม มีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานมากที่สุด รองลงมาได้แก่ 130 และ 90 กรัม ตามลำดับ มุมครึ่งกรวยของกระดาษชนิด 90, 130 และ 190 กรัม ที่มีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานได้มากที่สุดคือ 22, 18 และ 14 องศา ดูดกลืนพลังงานได้ 0.59, 0.97 และ 2.52 จูล ตามลำดับ จากผลที่ได้นี้สามารถที่จะนำความสามารถในการดูดกลืนพลังงานของกรวยกระดาษหนึ่งบางตัดปลายไปพัฒนาเพื่อเป็นวัสดุทางเลือกที่นำมาใช้ในการดูดกลืนพลังงานได้

7.ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้เป็นเพียงการศึกษาในมิติเบื้องต้นของกรวยกระดาษหนึ่งบางตัดปลายเท่านั้น ดังนั้นจึงควรมีการศึกษามิติของกรวยกระดาษหนึ่งบางตัดปลายให้ละเอียดและหลากหลายยิ่งขึ้น โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้ไปเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์เพิ่มเติม เนื่องจากการใช้การวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นมีความสะดวกในการออกแบบหรือเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ ประหยัดเวลา ค่าใช้จ่าย และความถูกต้อง

ต้องแม่นยำสูง เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปออกแบบในการวิเคราะห์
ลักษณะไม่เชิงเส้น หรือมีภาวะแบบพลศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

[1] ASTM.(2004). ASTM D685-93 Standard practice for
conditioning paper and paper products for testing

[2] ASTM.(2004). ASTM D7030-04 Standard test method for short
term creep performance corrugated fiberboard containers under
constant load using a compression test machine

[3] Meriam, J.L. and Kraige, L.G. (2003). *Dynamics*. John Wiley &
Sons, Inc. United States of America.

[4] บริษัท แอ็ดวานซ์ อะโกร จำกัด (มหาชน). 2008 “องค์ประกอบของ
กระดาษ.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [http:// www.advanceagro.com](http://www.advanceagro.com)
(27 เมษายน 2551).