

บทที่ 4

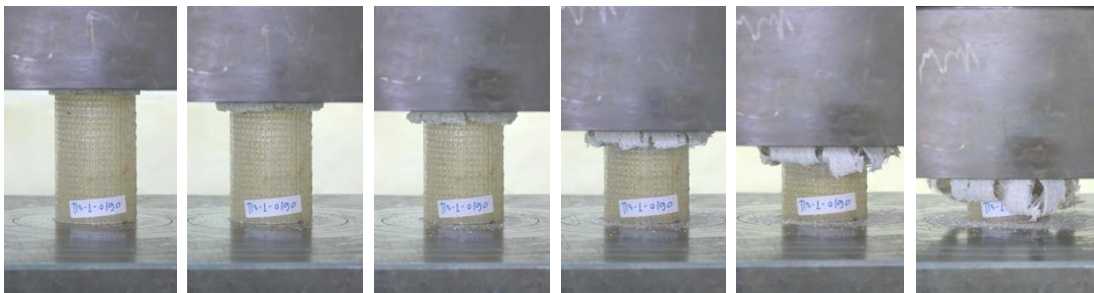
ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

4.1 ชิ้นงานทรงกระบอก

4.1.1 การตอบสนองของท่อต่อแรงกระทำแบบกึ่งคงที่

4.1.1.1 การเสียหายของชิ้นงาน A

จากภาพที่ 4.1 แสดงถึงรูปแบบการเสียหายของชิ้นงาน ที่ได้จากการทดลองภายใต้ภาระกระทำในแนวแกนแบบกึ่งคงที่ ของชิ้นงานที่มีลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยตามแนวตั้ง 0 องศา และแนวขวาง คือ 90 องศา พบว่าในช่วงแรกเกิดการยุบตัวของชิ้นงานช้า หลังจากภาระกระทำต่อชิ้นงานเพิ่มมากขึ้น ชิ้นงานเกิดการยุบตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งการเริ่มต้นการเสียหายเกิดขึ้นที่ปลายด้านบนของชิ้นงาน มีลักษณะแตกละเอียดเป็นชิ้นเล็กและบานออกเป็นพุ่ม หลังจากนั้นชิ้นงานเริ่มแยกและบานออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนแรกเส้นใยแยกและยุบเข้าด้านในของชิ้นงาน และส่วนที่สองเส้นใยแยกและบานออกด้านนอกของชิ้นงาน จนกระทั่งสิ้นสุดการยุบตัว

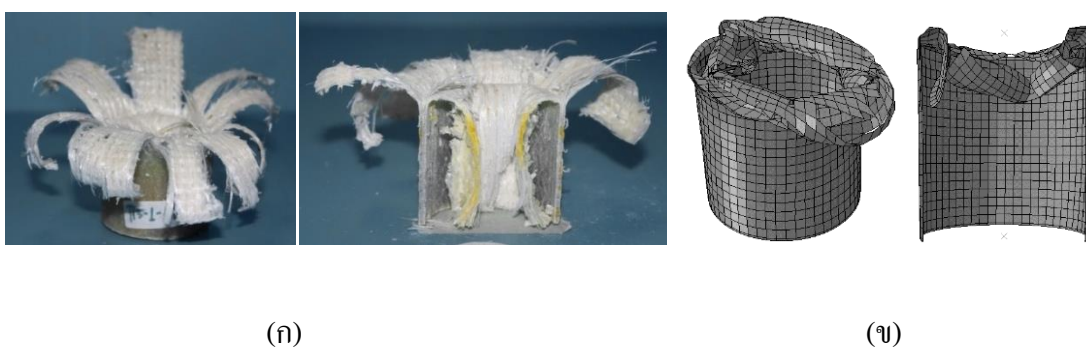


S = 10 mm S = 20 mm S = 30 mm S = 40 mm S = 50 mm S = 60 mm

ภาพที่ 4.1 การเสียหายภายใต้ภาระกระทำในแนวแกนแบบกึ่งคงที่ของชิ้นงาน A ที่ระยะยุบตัวต่างๆ (S)

ภาพที่ 4.2 แสดงการเสียหายสุดท้ายของชิ้นงาน โดยแสดงผลการทดลองเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ โดยภาพที่ 4.2 (ก) เป็นผลการทดลองซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าชิ้นงานมีลักษณะบานออกเป็นแฉกซึ่งเกิดจากอิทธิพลของเส้นใยในแนวตั้ง ที่สามารถรับภาระในแนวแกน

โดยตรง และอิทธิพลเส้นใยในแนวขวางทำหน้าที่ประคองให้เส้นใยในแนวตั้งให้บริการแนวแกนได้ดีขึ้น การเสียหายเกิดขึ้นที่ปลายด้านบน มีลักษณะบานออกและแตกละเอียดเป็นชิ้นเล็ก ส่วนผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ ในภาพที่ 4.2 (ข) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองซึ่งมีลักษณะการเริ่มต้นเสียหายด้านบนคล้ายกัน แต่ในส่วนการบิดขาดของชิ้นงาน การทดลองมีลักษณะบานออกเป็นแฉกและเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองมีลักษณะแตกและยุบตัวในชิ้นงาน ซึ่งมีลักษณะค่อนข้างแตกต่างกัน

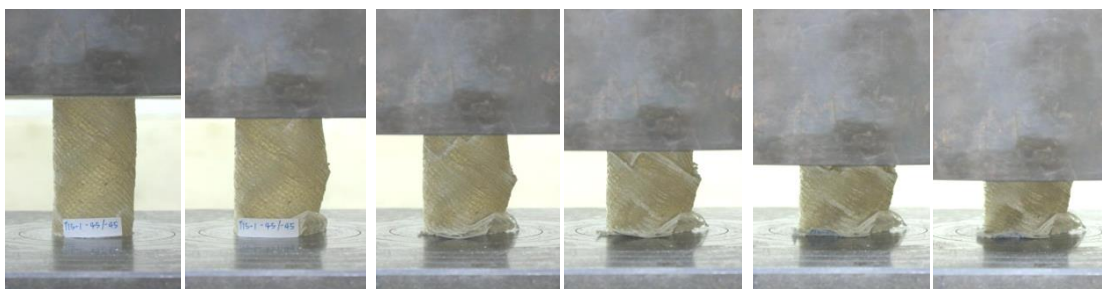


ภาพที่ 4.2 การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงาน A ภายใต้แรงกึ่งคงที่ (ก) การทดลอง
(ข) แบบจำลองทาง FEA

4.1.1.2 การเสียหายของชิ้นงาน B

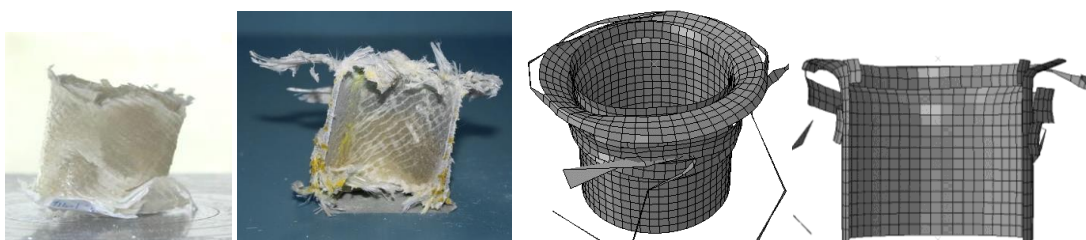
จากภาพที่ 4.3 และ 4.4 (ก) แสดงรูปแบบการเสียหายของชิ้นงานที่มีลักษณะมุมไขว้โดยการจัดเรียงตัวของเส้นใยในแนวเฉียง คือ (45/-45) จากการทดลองพบว่า การเริ่มต้นการเสียหายเกิดขึ้นที่ด้านล่างของชิ้นงาน มีลักษณะการเสียหายตามแนวเฉียงของเส้นใย หลังจากนั้นจึงเกิดการเสียหายด้านบนของชิ้นงาน มีการเสียหายยุบตัวและซ้อนกันภายในชิ้นงาน ซึ่งเกิดจากการเรียงตัวของเส้นใยในแนวเฉียง เมื่อรับภาระในแนวแกนทำให้เส้นใยเกิดการแตกหักตลอด จนสิ้นสุดการยุบตัว

ในส่วนของแบบจำลองพบว่า ลักษณะการเสียหายเกิดขึ้นที่ปลายด้านบนของชิ้นงาน จากนั้นยุบตัวลงและซ้อนกัน ดังภาพที่ 4.4 (ข) ซึ่งคล้ายกับที่ได้จากการทดลอง พิจารณารูปแบบการเสียหายสุดท้ายของชิ้นงานจากการทดลองเปรียบเทียบกับแบบจำลองทาง FEA พบว่าการเริ่มต้นการเสียหายของการทดลองเริ่มเสียหายจากด้านบนและมีลักษณะแตกออกตามแนวเฉียงของเส้นใย ซึ่งมีลักษณะคล้ายกันกับแบบจำลอง



S = 10 mm S = 20 mm S = 30 mm S = 40 mm S = 50 mm S = 60 mm

ภาพที่ 4.3 การเสียหายภายใต้ภาระกระทำในแนวแกนแบบกึ่งคงที่ของชิ้นงาน B ที่ระยะยุบตัวต่างๆ (S)



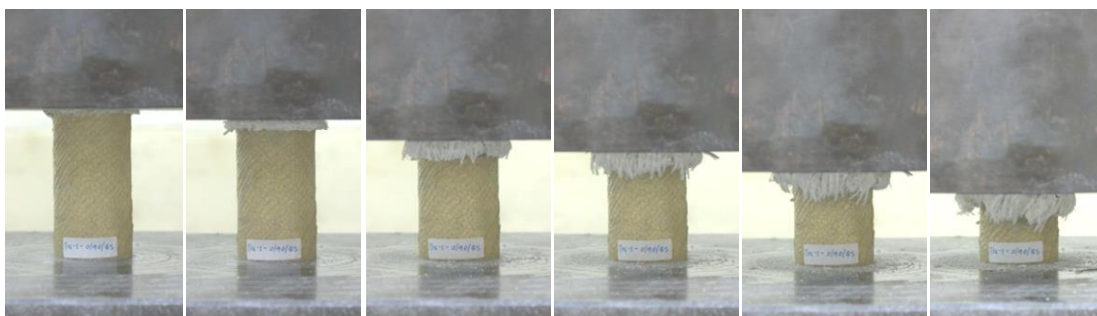
(ก)

(ข)

ภาพที่ 4.4 การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงาน B ภายใต้แรงกึ่งคงที่ (ก) การทดลอง (ข) แบบจำลองทาง FEA

4.1.1.3 การเสียหายของชิ้นงาน C

จากภาพที่ 4.5 การเริ่มต้นของการเสียหายของชิ้นงาน C เกิดขึ้นที่ปลายด้านบนของชิ้นงาน มีลักษณะแตกละเอียดเป็นฟุ้ง หลังจากนั้นเส้นใยแบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนแรกยุบเข้าด้านในของชิ้นงาน ส่วนที่สองแยกออกด้านนอกชิ้นงาน จนกระทั่งสิ้นสุดการยุบตัวจากการสังเกตการเสียหายสุดท้ายของชิ้นงานในภาพที่ 4.6 (ก) พบว่ามีลักษณะบานออกเป็นฟุ้ง ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของเส้นใยในแนวตั้ง 0 องศา ทำให้รับภาระในแนวแกนโดยตรง และอิทธิพลของเส้นใยในแนวเฉียง ทำหน้าที่ประคองเส้นใยในแนวตั้งและรับภาระในแนวแกนด้วย ในส่วนของแบบจำลองพบว่า ลักษณะการเสียหายเกิดขึ้นที่ปลายด้านบนของชิ้นงาน จนสิ้นสุดการยุบตัว



S = 10 mm S = 20 mm S = 30 mm S = 40 mm S = 50 mm S = 60 mm

ภาพที่ 4.5 การเสียหายภายใต้ภาระกระทำในแนวแกนแบบกึ่งคงที่ของชิ้นงาน C ที่ระยะยุบตัวต่างๆ (S)

จากภาพที่ 4.6 (ข) ส่วนของด้านบนมีลักษณะแตกละเอียด เมื่อเปรียบเทียบการทดลองกับแบบจำลองพบว่า การเริ่มต้นความเสียหายมีลักษณะการเสียหายจากด้านบนของชิ้นงานที่คล้ายกัน และในส่วนของ การแตกและบานออกของเส้นใยมีลักษณะที่สอดคล้องกันกับการทดลอง



ภาพที่ 4.6 การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงาน C ภายใต้แรงกึ่งคงที่ (ก) การทดลอง
(ข) แบบจำลองทาง FEA

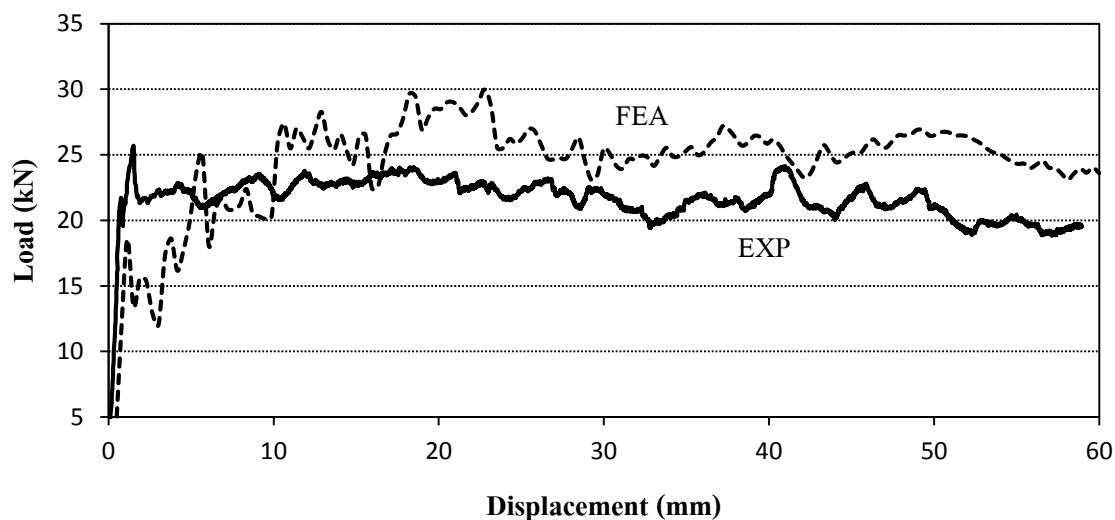
ทั้งนี้เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบ จึงได้นำภาพการเสียหายของชิ้นงานจากการทดลองและจากแบบจำลองเปรียบเทียบกันดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดลองและแบบจำลองการเสียหายของชิ้นงานภายใต้แรงแบบกึ่งคงที่

ชิ้นงาน	รูปแบบการเสียหายจากการทดลอง		รูปแบบการเสียหายจากแบบจำลอง	
				
A				
B				
C				

4.1.1.4 การตอบสนองของชิ้นงาน A

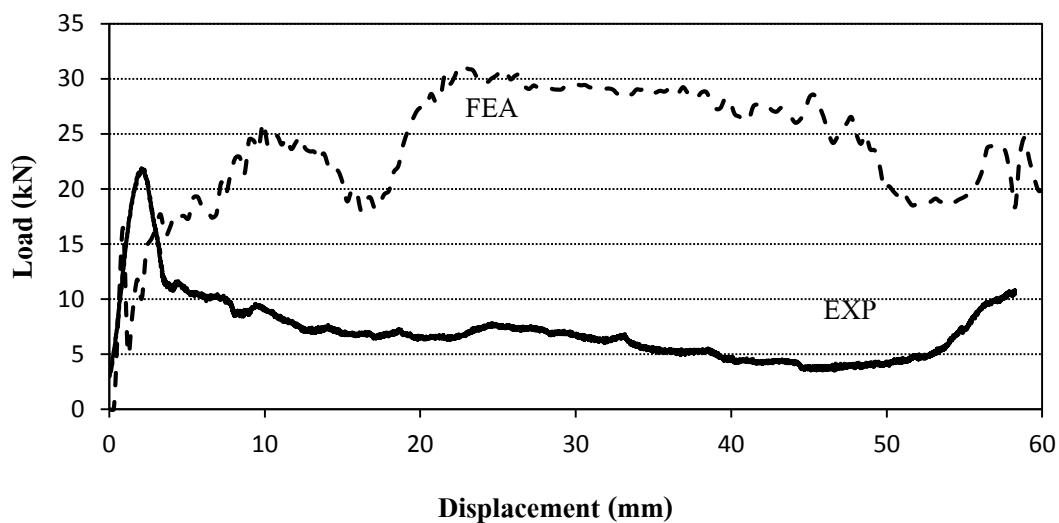
จากภาพที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระกับระยะยวบของชิ้นงานที่ทดสอบภายใต้ภาระกระทำกึ่งคงที่ในแนวแกน โดยเส้นประเป็นผลจากแบบจำลอง ส่วนเส้นทึบเป็นผลจากการทดลอง จากการสังเกตพบว่ากราฟของแบบจำลองสูงกว่าการทดลอง ซึ่งลักษณะของกราฟในช่วงแรกที่มีความชันมาก ซึ่งถือว่าชิ้นงานยังไม่เสียรูป หลังจากนั้นกราฟมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว และมีลักษณะแกว่งตัวเป็นคลื่นสลับไปมาจากแรงดันและแรงกดต่อชิ้นงาน จนกระทั่งชิ้นงานสิ้นสุดการยวบตัว จากการสังเกตพบว่าผลการทดลองจริงสามารถรับภาระสูงสุดเท่ากับ 28.74 kN และค่าภาระเฉลี่ยเท่ากับ 25.32 kN ในส่วนผลของแบบจำลอง สามารถรับภาระสูงสุดเท่ากับ 29.98 kN ค่าภาระเฉลี่ยเท่ากับ 24.29 kN โดยค่าภาระเฉลี่ยจะนำไปคำนวณความสามารถดูดซับพลังงานต่อไป ทั้งนี้สังเกตได้ว่าลักษณะกราฟของการทดลองและแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน และไม่แตกต่างกันมากนัก



ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระและระยะขยุบตัวภายใต้แรงกระทำกึ่งคงที่ของชิ้นงาน A

4.1.1.5 การตอบสนองของชิ้นงาน B

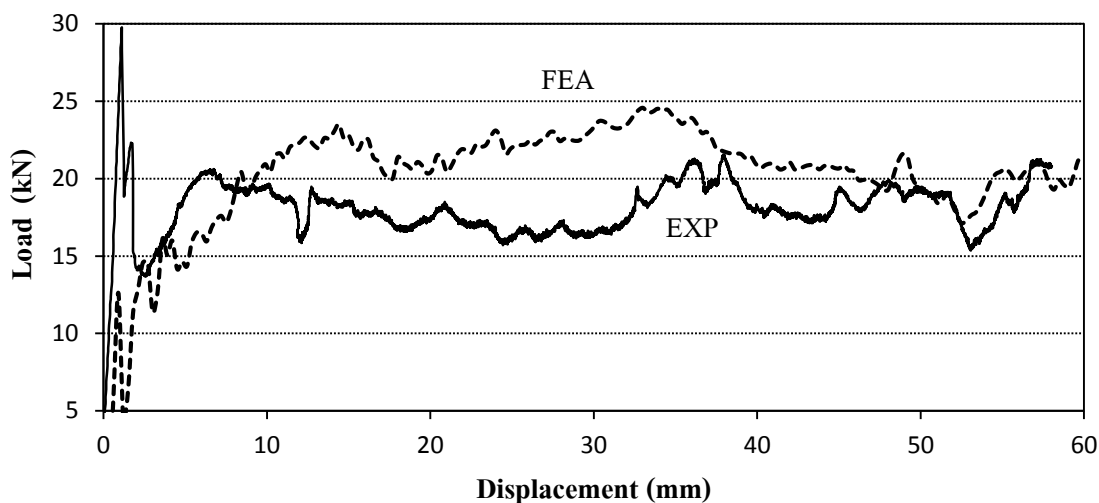
จากภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระและระยะขยุบตัวภายใต้แรงกระทำกึ่งคงที่ พบว่าช่วงแรกของกราฟมีลักษณะความชันสูงสุด หลังจากนั้นกราฟมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว และมีลักษณะสลับกันไปมา เนื่องจากแรงต้านและแรงกดต่อชิ้นงานจนถึงที่สุดการขยุบตัว จากกราฟพบว่าผลการทดลองจริงค่าภาระสูงสุดเท่ากับ 25.94 kN และมีค่าภาระเฉลี่ยเท่ากับ 8.9 kN ในส่วนแบบจำลองพบว่า ค่าภาระสูงสุดเท่ากับ 30.89 kN ค่าภาระเฉลี่ยเท่ากับ 8.70 kN จากการสังเกตผลการทดลองจริงพบว่ากราฟมีแนวโน้มลดลงอย่างมาก เมื่อชิ้นงานมีการขยุบตัวมากๆ ซึ่งเกิดจากลักษณะการเรียงเส้นใยในแนวเฉียง เมื่อรับภาระในแนวแกนทำให้เส้นใยเกิดการแตกหัก ส่งผลให้การรับภาระลดลง เมื่อเปรียบเทียบกราฟที่ได้จากการทดลอง พบว่ามีแนวโน้มสูงกว่าแบบจำลองทาง FEA และพบว่าค่าภาระเฉลี่ยของการทดลองสูงกว่าแบบจำลอง ประมาณ 6.67 %



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระและระยะยุบตัวภายใต้แรงกระทำกึ่งคงที่ของชิ้นงาน B

4.1.1.6 การตอบสนองของชิ้นงาน C

จากภาพ 4.9 พบว่ากราฟแบบจำลองสูงกว่าผลการทดลองจริงโดยพบว่าเมื่อชิ้นงานรับภาระระคนในแนวแกน จนกระทั่งถึงภาระสูงสุด กราฟจะตกลงอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นกราฟมีลักษณะเป็นคลื่นสลับกัน ซึ่งเกิดจากแรงต้านและแรงกดต่อชิ้นงาน จนกระทั่งชิ้นงานยุบตัวสุดท้าย ลักษณะของกราฟเกิดจากการเรียงตัวของเส้นใยในแนวตั้งคือ 0 องศา ทำให้สามารถรับแรงในแนวแกนโดยตรงในส่วนของการเรียงตัวของเส้นใยแนวเฉียง (45/-45) และแนวขวาง 90 องศา ทำหน้าที่รับภาระและระคนองให้เส้นใยแนวตั้งรับภาระแนวแกนได้สูงสุด จากการสังเกตพบว่ากราฟจากผลการทดลองมีค่าภาระสูงสุดเท่ากับ 29.96 kN และมีค่าภาระเฉลี่ยเท่ากับ 18.20 kN ส่วนผลของแบบจำลองค่าภาระสูงสุดเท่ากับ 24.58 kN ค่าภาระเฉลี่ยเท่ากับ 17.98 kN เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองทาง FEA พบว่าค่าภาระเฉลี่ยของการทดลองสูงกว่าแบบจำลองเล็กน้อย โดยพบว่ามีค่ามากกว่าประมาณ 1.23 %

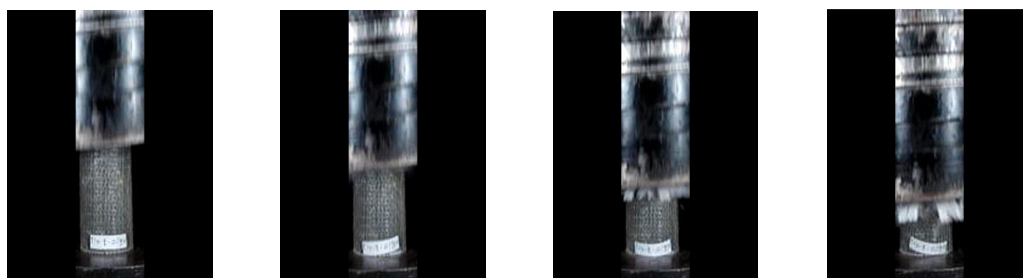


ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระและระยะยุบตัวภายใต้แรงกระทำกึ่งคงที่ของชิ้นงาน C

4.1.2 การตอบสนองของท่อต่อแรงกระแทก

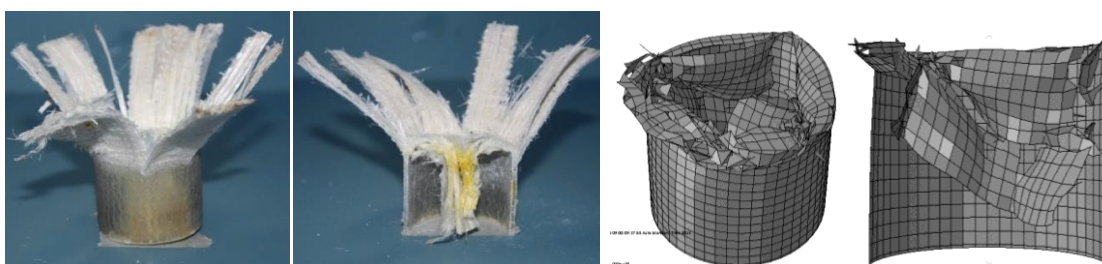
4.1.2.1 การเสียหายของชิ้นงาน A

จากภาพที่ 4.10 และ 4.11 (ก) แสดงรูปแบบการเสียหายของชิ้นงานภายใต้แรงกระแทกในแนวแกนของชิ้นงาน ที่มีลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยในแนวตั้ง คือ 0 องศา แนวขวาง คือ 90 องศา จากการทดลองพบว่าการเริ่มต้นเสียหายของชิ้นงานเริ่มที่ปลายด้านบน มีลักษณะแตกเป็นชิ้นเล็กและแยกออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนแรกเส้นใยยุบเข้าด้านในชิ้นงาน และส่วนที่สองเส้นใยแยกออกด้านนอกและกางออกเป็นแฉก จากการสังเกตพบที่เกิดจากการแยกระหว่างชั้นของเส้นใยที่ปลายด้านบนของชิ้นงานที่มีการเรียงตัวของเส้นใยในแนวตั้ง และแนวขวาง ซึ่งเป็นตัวชั้นระหว่างเส้นใยแนวตั้ง เมื่อรับภาระในแนวแกนจึงมีลักษณะกางออกเป็นแฉก ประมาณ 7 – 8 แฉกของชิ้นงาน



ภาพที่ 4.10 การเสียหายของชิ้นงานภายใต้แรงกระแทกของชิ้นงาน A

ผลจากแบบจำลองลักษณะการเสียหายเกิดขึ้นที่ด้านบนของชิ้นงาน มีลักษณะแตกต่าง เดียด ดังภาพที่ 4.11 (ข) เมื่อพิจารณารูปแบบการเสียหายสุดท้ายของชิ้นงานเปรียบเทียบระหว่างการทดลองและแบบจำลองทาง FEA พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองการเริ่มต้นการเสียหายเกิดขึ้นที่ปลายด้านบนของชิ้นงาน ในส่วนของการฉีกขาดและบานออกเป็นแฉกมีลักษณะค่อนข้างแตกต่างกัน



(ก)

(ข)

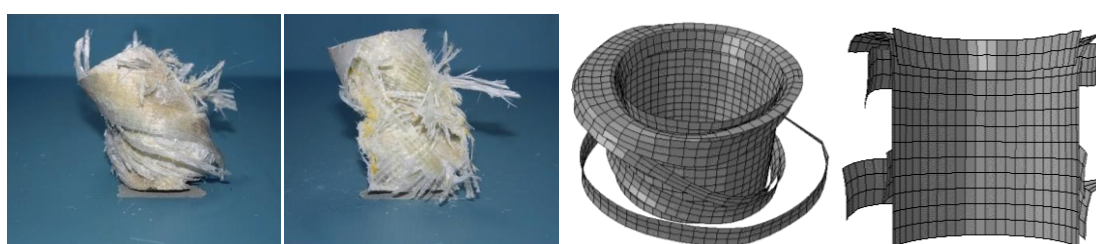
ภาพที่ 4.11 แบบการเสียหายสุดท้ายของชิ้นงาน A ภายใต้แรงกระแทก (ก) การทดลอง
(ข) แบบจำลองทาง FEA

4.1.2.2 การเสียหายของชิ้นงาน B

จากภาพที่ 4.12 และ 4.13 (ก) เป็นการเสียหายของชิ้นงาน B ที่เกิดจากแรงกระแทก ซึ่งจากการทดลองพบว่า การเสียหายของชิ้นงานเกิดขึ้นที่ปลายด้านบนของชิ้นงาน ซึ่งมีลักษณะของเส้นใยแตกหักในแนวเฉียงของชิ้นงานในทิศทาง -45 องศา หลังจากนั้นเมื่อชิ้นงานรับภาระเพิ่มมากขึ้น เกิดการเสียหายในทิศทาง 45 องศา และยุบตัวลงในลักษณะซ้อนกัน ซึ่งสาเหตุเกิดจากการเรียงตัวของเส้นใยภายในชิ้นงานมีลักษณะแนวเฉียง เมื่อรับภาระในแนวแกนทำให้เส้นใยรับภาระได้ต่ำ ในกรณีของผลจากการจำลองซึ่งแสดงใน ภาพที่ 4.13 (ข) พบว่า การเสียหายมีลักษณะยุบตัวลงซ้อนกันและแตกออกเป็นชิ้น เมื่อพิจารณารูปแบบการเสียหายจากการทดลองเทียบกับแบบจำลองทาง FEA พบว่ามีลักษณะการเสียหายที่สอดคล้องกัน



ภาพที่ 4.12 การเสียหายของชิ้นงานภายใต้แรงกระทำของชิ้นงาน B



(ก)

(ข)

ภาพที่ 4.13 แบบการเสียหายสุดท้ายของชิ้นงาน B ภายใต้แรงกระทำ (ก) การทดลอง

(ข) แบบจำลองทาง FEA

4.1.2.3 การเสียหายของชิ้นงาน C

จากภาพที่ 4.14 และ 4.15 (ก) พบว่าการเริ่มต้นการเสียหายเกิดขึ้นที่ด้านบนของชิ้นงาน ซึ่งมีลักษณะบานและแยกออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกเส้นใยยุบเข้าด้านในชิ้นงาน และส่วนที่สองเส้นใยแยกออกและกางออกนอกชิ้นงาน สาเหตุเกิดจากการแยกชั้นเส้นใยที่ปลายด้านบนของชิ้นงานเส้นใยแนวเฉียงเกิดการพับเข้าไปในชิ้นงาน และเส้นใยแนวตั้งและแนวเฉียงมีลักษณะแตกกระจาย ผลของแบบจำลองดังภาพที่ 4.15 (ข) พบว่ามีลักษณะแตกออกจากกันและส่วนหนึ่งยุบเข้าด้านในของชิ้นงาน เมื่อพิจารณารูปแบบการเสียหาย จากการทดลองพบว่าชิ้นงานเริ่มต้นการเสียหายที่ปลายด้านบนของชิ้นงานและมีการแตกตามแนวเส้นใย เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลอง FEA พบว่ามีลักษณะที่สอดคล้องกัน



ภาพที่ 4.14 การเสียหายของชิ้นงานภายใต้แรงกระทำของชิ้นงาน C



ภาพที่ 4.15 แบบการเสียหายสุดท้ายของชิ้นงาน C ภายใต้แรงกระทำ (ก) การทดลอง (ข) แบบจำลองทาง FEA

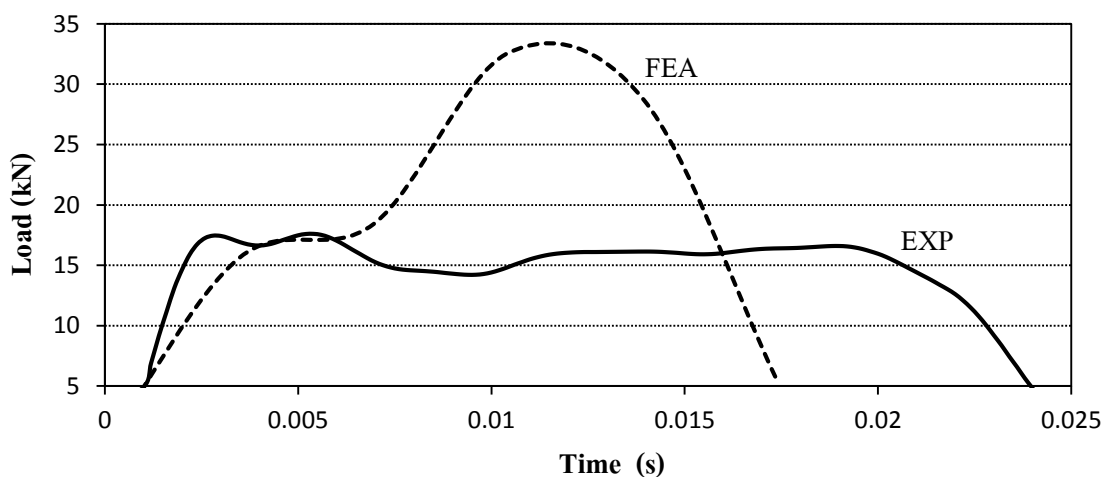
ทั้งนี้เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบจึงได้นำรูปแบบการเสียหายของชิ้นงาน ภายใต้แรงกระทำ ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับผลจากแบบจำลองดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการทดลองและแบบจำลองการเสียหายของชิ้นงานภายใต้แรงกระทำ

ชิ้นงาน	รูปแบบการเสียหายจากการทดลอง		รูปแบบการเสียหายจากแบบจำลอง	
A				
B				
C				

4.1.2.4 การตอบสนองของชิ้นงาน A

จากภาพที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระกับเวลาภายใต้แรงกระทำ โดยในแกนตั้งเป็นค่าของภาระและในแกนนอนเป็นเวลาเริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดของการขยับตัว พบว่าในช่วงเริ่มต้นก่อนกราฟเริ่มเปลี่ยนแปลงความชันถือเป็นช่วงที่ชิ้นงานยังไม่เสถียร ซึ่งผลการทดลองพบว่าชิ้นงานสามารถทนแรงกระทำได้ถึง 17.60 kN และมีค่าภาระเฉลี่ยคือ 14.40 kN ในส่วนของแบบจำลอง พบว่าค่าภาระสูงสุดเท่ากับ 32.60 kN และค่าภาระเฉลี่ยเท่ากับ 16.79 kN แล้วจากนั้นกราฟมีลักษณะแกว่งตัวลดลงจนถึงสิ้นสุดการกระทำ เมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองทาง FEA พบว่าค่าภาระเฉลี่ยของการทดลองต่ำกว่าแบบจำลองประมาณ 16.59 %

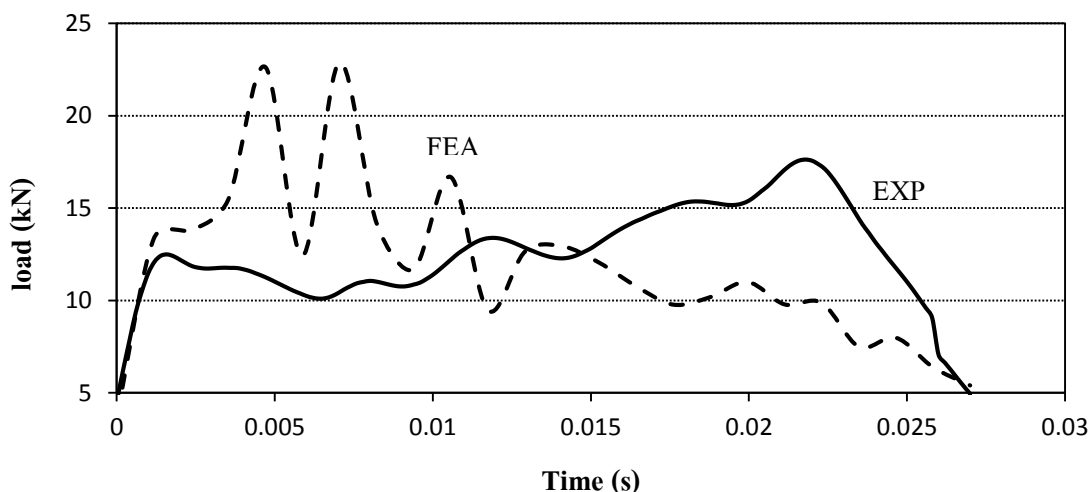


ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระและเวลาภายใต้แรงกระทำของชิ้นงาน A

4.1.2.5 การตอบสนองของชิ้นงาน B

จากภาพที่ 4.17 ผลการทดลองพบว่าช่วงเริ่มต้นของกราฟไปจนถึงจุดเริ่มเปลี่ยนแปลงความชันถือเป็นช่วงที่ชิ้นงานยังไม่เสถียร ซึ่งพบว่าชิ้นงานสามารถทนแรงสูงสุดคือ 12.49 kN จากนั้นกราฟมีแนวโน้มลดลงจนถึงในช่วงเวลาประมาณ 0.007 s หลังจากนั้นลักษณะกราฟมีแนวโน้มสูงขึ้นมีลักษณะเป็นคลื่นสลับกันจนถึง 17.63 kN จนถึงสิ้นสุดการกระทำ ซึ่งสาเหตุเกิดจากช่วงระยะเวลา 0 – 0.007 s เป็นช่วงที่ชิ้นงานสามารถทนแรงได้ และหลังจาก 0.007 – 0.027 s เป็นช่วงที่ชิ้นงานไม่สามารถทนแรงได้ และค้อนยังมีแรงเหลืออยู่ ทำให้แรงกระทำกับโหลดเซลล์ จึงทำให้กราฟมีแนวโน้มสูงขึ้น ผลของแบบจำลองพบว่า กราฟจากแบบจำลองมีค่า

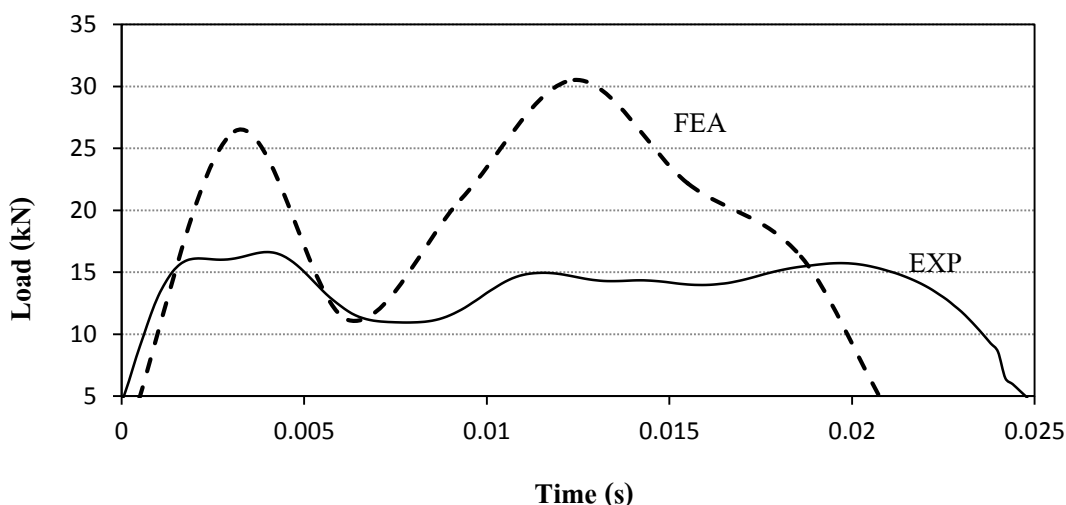
สูงกว่าการทดลอง โดยพบว่ามีค่าภาระสูงสุดช่วงแรกเท่ากับ 13.79 kN และค่าภาระสูงสุดเท่ากับ 22.63 kN ในส่วนลักษณะของกราฟในช่วงแรกขึ้น จากนั้นกราฟเปลี่ยนแปลงความชันและสูงขึ้น สลับฟันปลา ซึ่งเกิดจากแรงต้านและยุบตัวของชิ้นงาน เมื่อพิจารณาค่าภาระเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองพบว่ามีค่าน้อยกว่าแบบจำลองประมาณ 0.42 %



ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระและเวลาภายใต้แรงกระทำของชิ้นงาน B

4.1.2.6 การตอบสนองของชิ้นงาน C

จากภาพที่ 4.18 แสดงกราฟผลการทดลองของชิ้นงาน C ภายใต้ภาระกระทำในแนวแกน พบว่าช่วงแรกของกราฟมีค่าภาระสูงสุดเท่ากับ 15.00 kN หลังจากนั้นกราฟมีลักษณะแกว่งและมีค่าภาระสูงสุดเท่ากับ 16.62 kN จากนั้นกราฟมีลักษณะลดลงอย่างรวดเร็วและแกว่งตัวจนสิ้นสุดการยุบตัว ผลจากแบบจำลองพบว่า กราฟของแบบจำลองสูงกว่าผลการทดลอง ค่าภาระสูงสุดช่วงแรกเท่ากับ 26.37 kN และค่าภาระสูงสุดเท่ากับ 30.51 kN ซึ่งลักษณะของกราฟช่วงแรกมีแนวโน้มสูงขึ้น หลังจากนั้นกราฟตกลงอย่างรวดเร็วและมีลักษณะสลับฟันปลา เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง พบว่ามีค่าภาระเฉลี่ยของแบบจำลองสูงกว่าการทดลองประมาณ 13.20 %



ภาพที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระและเวลาภายใต้แรงกระทำของชิ้นงาน C

4.1.3 ความสามารถในการดูดซับพลังงาน

4.1.3.1 ความสามารถในการดูดซับพลังงานภายใต้แรงกระทำแบบกึ่งคงที่

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการคำนวณที่ได้จากการทดลองของชิ้นงานภายใต้ภาระกระทำกึ่งคงที่ที่มีการเรียงตัวของเส้นใยทั้งหมด 3 แบบ ชิ้นงาน A คือ [(0/90)/(0/90)/(0/90)] ชิ้นงาน B คือ [(45/-45)/(45/-45)/(45/-45)] และชิ้นงาน C [45/-45]/ [0/90] / [45/-45] พบว่า ชิ้นงาน A สามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 1.52 kN.m ชิ้นงาน B สามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 0.48 kN.m และชิ้นงาน C สามารถดูดซับพลังงานเท่ากับ 1.09 kN.m. ดังนั้นจะเห็นว่า ชิ้นงาน A จะสามารถดูดซับพลังงานจากภาระกระทำแบบกึ่งคงที่ ได้ดีกว่าชิ้นงาน B ประมาณ 190.56 % และดีกว่าชิ้นงาน C ประมาณ 46.97 % ในส่วนของความสามารถในการดูดซับพลังงานจำเพาะพบว่า ชิ้นงาน A มีค่าเท่ากับ 29.80 kN.m/kg ชิ้นงาน B เท่ากับ 8.89 kN.m/kg และชิ้นงาน C เท่ากับ 20.56 kN.m/kg ดังนั้นจะเห็นว่า ชิ้นงาน A สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้มากกว่า ชิ้นงาน B เท่ากับ 235.20 % และชิ้นงาน C เท่ากับ 44.94 % จากตารางดังกล่าวเห็นได้ว่า ชิ้นงาน A จะสามารถดูดซับพลังงานได้ดีกว่าชิ้นงานอื่นๆ เนื่องจากชิ้นงาน A มีเส้นใยในแนว 0 องศา ที่สามารถรับแรงกดได้โดยตรง

ผลของแบบจำลองพบว่า ชิ้นงาน A สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้ 29.00 kN.m/kg และชิ้นงาน B เท่ากับ 10.44 kN.m/kg และ ชิ้นงาน C เท่ากับ 21.40 kN.m/kg ดังนั้นจะเห็นว่า ชิ้นงาน A มีความสามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่าชิ้นงาน B เท่ากับ 177.00 % และ ชิ้นงาน C เท่ากับ 35.51 % ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองทาง FEA พบว่าค่าพลังงานดูดซับจำเพาะที่ได้ชิ้นงาน A จากการทดลองสูงกว่าแบบจำลองประมาณ 2.75 % ส่วนชิ้นงาน B และชิ้นงาน C พบว่าผลจากแบบจำลองสูงกว่าการทดลองคือ 17.43 % และ 4.08 % ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองและแบบจำลองทาง FEA พบว่าชิ้นงาน A มีลักษณะการเสียหายจากการทดลองและแบบจำลองที่ค่อนข้างแตกต่างกัน ทำให้ผลการทดลองสูงกว่าแบบจำลอง FEA พบว่าชิ้นงาน A มีค่าพลังงานดูดซับจำเพาะสูงกว่าชิ้นงานอื่นๆ

4.1.3.2 ความสามารถในการดูดซับพลังงานภายใต้แรงกระแทก

จากตารางที่ 4.3 แสดงผลการคำนวณค่าพลังงานดูดซับและพลังงานดูดซับจำเพาะภายใต้ภาระกระแทกในแนวแกน พบว่า ชิ้นงาน A สามารถดูดซับพลังงานเท่ากับ 0.86 kN.m ชิ้นงาน B เท่ากับ 0.47 kN.m และชิ้นงาน C เท่ากับ 0.76 kN.m ดังนั้นจะเห็นว่า ชิ้นงาน A สามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่า ชิ้นงาน B และ ชิ้นงาน C เท่ากับ 82.97 % และ 13.15 % ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าพลังงานดูดซับจำเพาะของโครงสร้างพบว่าชิ้นงาน A สามารถดูดซับพลังงานได้ เท่ากับ 17.55 kN.m/kg ชิ้นงาน B เท่ากับ 9.03 kN.m/kg และชิ้นงาน C เท่ากับ 14.60 kN.m/kg จะเห็นได้ว่าชิ้นงาน A สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้มากกว่าชิ้นงาน B และชิ้นงาน C ประมาณ 94.35% และ 20.12% ตามลำดับ

ผลของแบบจำลองพบว่า ชิ้นงาน A สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้ 20.14 kN.m/kg และชิ้นงาน B เท่ากับ 9.40 kN.m/kg และ ชิ้นงาน C เท่ากับ 17.20 kN.m/kg ดังนั้นจะเห็นได้ว่าชิ้นงาน A มีความสามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้มากกว่าชิ้นงาน B เท่ากับ 114.24 % และ ชิ้นงาน C เท่ากับ 17.29 % ตามลำดับ

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองทาง FEA พบว่าค่าพลังงานดูดซับที่ได้จากแบบจำลองทาง FEA นั้นมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลอง โดยพบว่ามีค่ามากกว่าประมาณ 4.09 % - 17.72 % และจากการเปรียบเทียบผลการทดลองและแบบจำลองทาง FEA จะเห็นว่า ชิ้นงาน A มีลักษณะการเสียหายค่อนข้างแตกต่างกัน ส่วนชิ้นงาน B และชิ้นงาน C มีลักษณะการเสียหายที่สอดคล้องกัน และเมื่อเปรียบเทียบพลังงานดูดซับจำเพาะพบว่าชิ้นงาน A มีค่าสูงสุด ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของเส้นใยที่มีการวางมุม 0 องศา ทำให้สามารถรับแรงในแนวแกนได้ดีกว่ามุมอื่นๆ

ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการดูดซับพลังงานภายใต้ภาระกระทำในแนวแกน

ชั้นงาน	น้ำหนัก (kg)	ระยะยวบ (m)	ผลจากการทดลอง			ผลจากแบบจำลองทาง FEA		
			ภาระเฉลี่ย (kN)	พลังงานดูดซับ (kN.m)	พลังงานดูดซับจำเพาะ (kN.m/kg)	ภาระเฉลี่ย (kN)	พลังงานดูดซับ (kN.m)	พลังงานดูดซับจำเพาะ (kN.m/kg)
ภาระกึ่งคงที่								
A	0.05	0.06	25.32	1.52	29.80	24.29	1.45	29.00
B	0.05	0.06	8.12	0.48	8.89	8.70	0.52	10.44
C	0.05	0.06	18.20	1.09	20.56	17.98	1.07	21.40
แรงกระแทก								
A	0.05	0.06	14.40	0.86	17.55	16.79	1.01	20.14
B	0.05	0.04	11.72	0.47	9.03	11.77	0.47	9.40
C	0.05	0.06	12.65	0.76	14.61	14.32	0.86	17.20

4.2 ชิ้นงานทรงกรวย

4.2.1 การตอบสนองของชิ้นงานต่อแรงกระทำแบบกึ่งคงที่

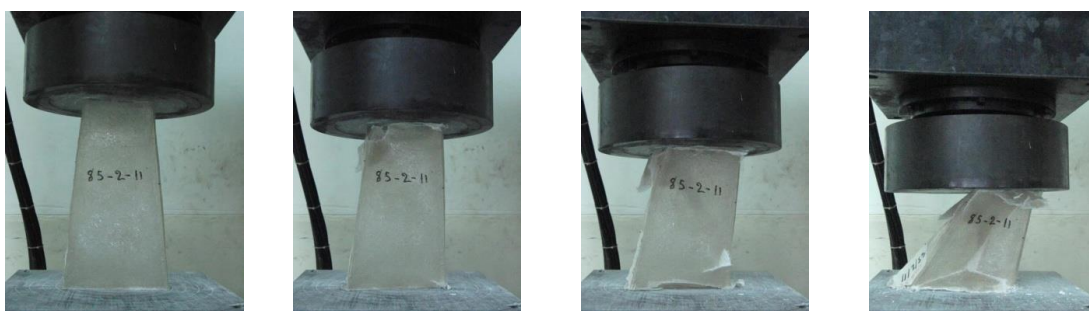
ในส่วนนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบของชิ้นงานทรงกรวยที่มีมุมเอียงและความหนาต่างๆ โดยทำการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับพลังงาน และกลไกการเสียหายของชิ้นงานตลอดจนการตอบสนองระหว่างแรงและระยะยวบตัวของชิ้นงาน

โครงสร้างใดก็ตามเมื่อถูกแรงกระทำเป็นระยะเวลาหนึ่ง โครงสร้างจะตอบสนองด้วยการเสียรูป โดยยวบตัวในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งออกมา โดยรูปแบบการเสียหายนั้นๆ มักมีลักษณะเฉพาะตัว ซึ่งโดยปกติขึ้นกับลักษณะการต่อ รูปทรงของ โครงสร้าง และคุณสมบัติของวัสดุ นอกจากนี้ในระหว่างการเสียรูปของโครงสร้าง โครงสร้างจะดูดซับแรงกระทำและปลดปล่อยแรงปฏิกิริยาออกมาตลอดเวลา โดยแรงปฏิกิริยาที่ปล่อยออกมานั้นสามารถเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์กับระยะยวบตัวได้ เรียกว่ากราฟของภาระและระยะยวบตัว (Load Displacement Curve) หรือกราฟของแรงปฏิกิริยาและระยะยวบตัว ซึ่งนับเป็นการตอบสนองของโครงสร้างอีกรูปแบบหนึ่ง

4.2.1.1 การเสียหายของชิ้นงานความหนา 1.5 mm

จากภาพที่ 4.19 แสดงถึงรูปแบบการเสียหายของชิ้นงานที่ได้จากการทดลองภายใต้ภาระกระทำแบบกึ่งคงที่ ที่มีมุมเอียงแตกต่างกันและความหนาเท่ากับ 1.5 mm ดังภาพ 4.19 (ก) ชิ้นงาน A5-1.5 (ข) ชิ้นงาน B10-1.5 และ (ค) ชิ้นงาน C15-1.5 ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าช่วงแรกเกิดการยวบตัวของชิ้นงานช้าหลังจากภาระกระทำต่อชิ้นงานเพิ่มมากขึ้น ชิ้นงานเริ่มเสียหายที่ปลายด้านบนและมีลักษณะแตกออกเป็นชิ้นเล็ก หลังจากนั้นฐานของชิ้นงานเริ่มเสียหายมีลักษณะแตกและบานออกตลอดจนสิ้นสุดการยวบตัว จากการสังเกตภาพที่ 4.19 (ค) ชิ้นงาน C15-1.5 พบว่าฐานชิ้นงานเสียหายมากกว่าชิ้นงานอื่นๆ ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของมุมเอียงคือ 15 องศา

การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงานภายใต้ภาระกระทำในแนวแกนภายใต้ภาระกระทำแบบกึ่งคงที่ ที่มีมุมเอียงต่างกันคือ 5, 10 และ 15 องศา จากภาพที่ 4.20 (ก) ชิ้นงาน A5-1.5 (ข) ชิ้นงาน B10-1.5 จากการทดลองพบว่าชิ้นงานมีลักษณะการเสียหายแบบยวบและแตกเป็นชิ้นเล็กที่ปลายด้านบนของชิ้นงาน และฐานของชิ้นงานมีลักษณะการเสียหายแตกเปราะออกเป็นชิ้น จากภาพที่ 4.20 (ค) ชิ้นงาน C15-1.5 พบว่า ปลายด้านบนของชิ้นงานมีลักษณะการเสียหายแบบยวบตัวและแตกเป็นชิ้นเล็ก ในส่วนของฐานชิ้นงานพบว่าลักษณะมีการเสียหายแบบแตกและบานออก ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของมุมเอียง 15 องศา ทำให้ฐานของชิ้นงานกว้างกว่าชิ้นงานอื่นๆ



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.19 การเสียหายภายใต้ภาระกระทำในแนวแกนแบบกึ่งคงที่ของชิ้นงานที่มีมุมเอียงแตกต่างกันและความหนาคือ 1.5 mm (ก) ชิ้นงาน A5-1.5 (ข) ชิ้นงาน B10-1.5 และ (ค) ชิ้นงาน C15-1.5 ตามลำดับ



(ก)



(ข)



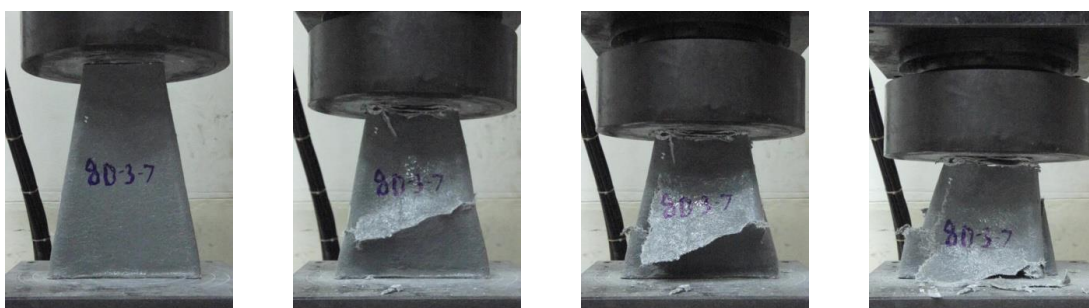
(ค)

ภาพที่ 4.20 การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงานภายใต้ภาระกระทำในแนวแกนแบบกึ่งคงที่ ที่มีมุมเอียงแตกต่างกันและความหนาคือ 1.5 mm (ก) ชิ้นงาน A5-1.5 (ข) ชิ้นงาน B10-1.5 และ (ค) ชิ้นงาน C15-1.5 ตามลำดับ

4.2.1.2 การเสียหายของชิ้นงานความหนา 2.0 mm



(ก)

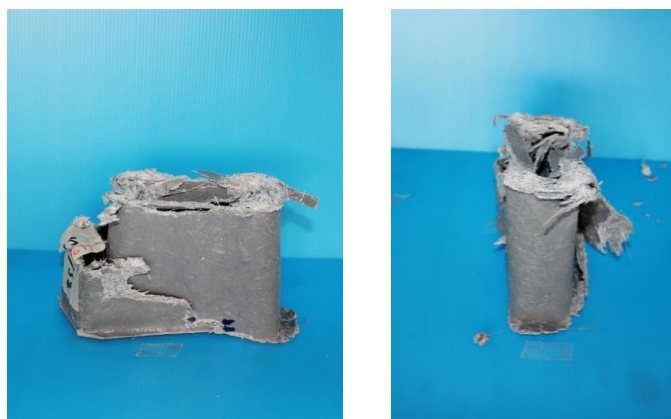


(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.21 การเสียหายภายใต้ภาระกระทำในแนวแกนแบบกึ่งคงที่ของชิ้นงานที่มีมุมเอียงแตกต่างกัน ความหนาคือ 2.0 mm (ก) ชิ้นงาน A5-2.0 (ข) ชิ้นงาน B10-2.0 และ (ค) ชิ้นงาน C15-2.0 ตามลำดับ



(ก)



(ข)



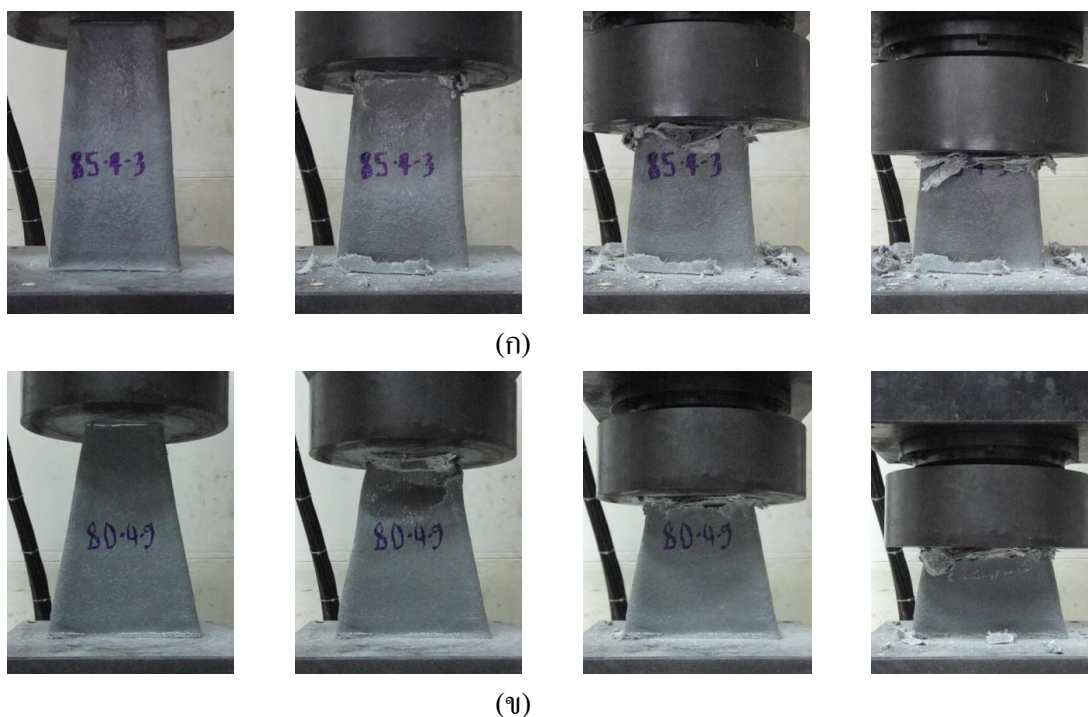
(ค)

ภาพที่ 4.22 การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงานภายใต้การกระทำในแนวแกนแบบกึ่งคงที่ ที่มีมุมเอียงแตกต่างกันและความหนาคือ 2.0 mm (ก) ชิ้นงาน A5-2.0 (ข) ชิ้นงาน B10-2.0 และ (ค) ชิ้นงาน C15-2.0 ตามลำดับ

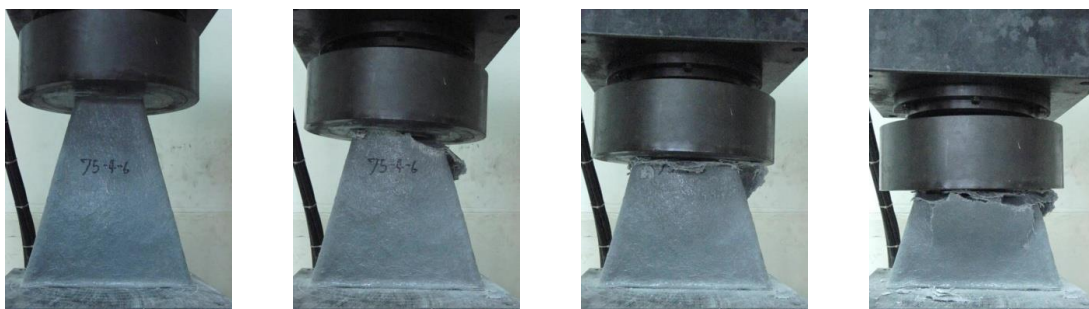
จากภาพที่ 4.21 แสดงถึงขั้นตอนการเสียหายของชิ้นงานที่มีมุมเอียงต่างกันคือ 5, 10 และ 15 องศา ดังภาพ (ก) ชิ้นงาน A5-2.0 และ (ข) ชิ้นงาน B10-2.0 จากการทดลองพบว่าชิ้นงานมีขั้นตอนการเสียหายที่คล้ายกัน กล่าวคือชิ้นงานเริ่มเสียหายที่ปลายด้านบนของชิ้นงานเมื่อรับภาระเพิ่มมากขึ้น ชิ้นงานเกิดการยุบตัวลงอย่างรวดเร็วที่กึ่งกลางตลอดจนสิ้นสุดการยุบตัว จากการสังเกตภาพที่ 4.21 (ค) ชิ้นงาน C15-2.0 พบว่าขั้นตอนการเสียหายของชิ้นงานเกิดขึ้นที่ปลายด้านบนและยุบตัวลงตลอดจนสิ้นสุดการยุบตัว ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของความหนาและมุมเอียงของชิ้นงาน ฐานของชิ้นงานที่กว้างกว่าชิ้นงานอื่นๆ จึงทำให้ภาระกระจายไปยังฐานได้ดีกว่าชิ้นงานอื่นๆ

รูปแบบลักษณะการเสียหายสุดท้ายของชิ้นงานที่มีความหนาเท่ากับ 2.0 mm ดังภาพที่ 4.22 จากการทดลองพบว่า (ก) ชิ้นงาน A5-2.0 และ (ข) ชิ้นงาน B10-2.0 มีลักษณะการเสียหายแบบแตกเปราะและแตกยุบตัวชิ้นเล็ก กล่าวคือเกิดการยุบตัวที่กึ่งกลางและซ้อนกันและที่ปลายของชิ้นงานเสียหายแตกเป็นชิ้นเล็ก จากภาพ ภาพที่ 4.22 (ค) ชิ้นงาน C15-2.0 จากการสังเกตพบว่าชิ้นงานมีลักษณะการเสียหายแตกเป็นชิ้นเล็ก

4.2.1.3 การเสียหายของชิ้นงานความหนา 2.5 mm



ภาพที่ 4.23 การเสียหายภายใต้ภาระกระทำในแนวแกนแบบกึ่งคงที่ของชิ้นงานที่มีมุมเอียงแตกต่างกัน ความหนาคือ 2.5 mm (ก) ชิ้นงาน A5-2.5 และ (ข) ชิ้นงาน B10-2.5

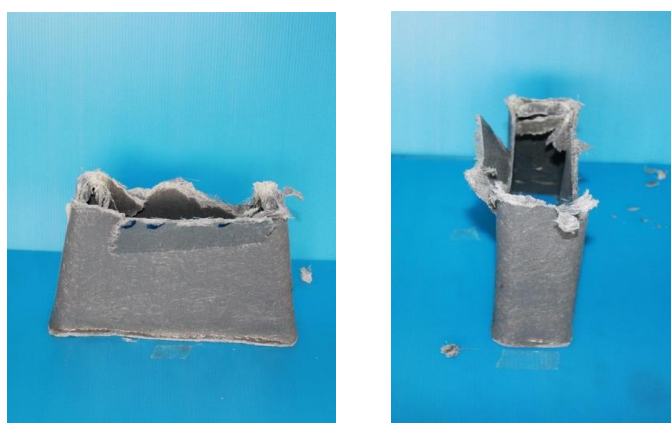


(ค)

ภาพที่ 4.23 การเสียหายภายใต้ภาระกระทำในแนวแกนแบบกึ่งคงที่ของชิ้นงานที่มีมุมเอียงแตกต่างกัน
(ค) ชิ้นงาน C15-2.5

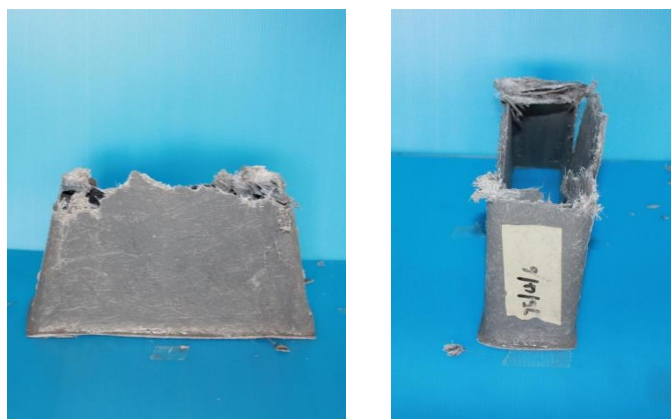


(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.24 การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงานภายใต้ภาระกระทำในแนวแกนแบบกึ่งคงที่ ที่มีมุมเอียง
แตกต่างกันและความหนาคือ 2.5 mm (ก) ชิ้นงาน A5-2.5 และ (ข) ชิ้นงาน B10-2.5



(ค)

ภาพที่ 4.24 การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงานภายใต้ภาระกระทำในแนวแกนแบบกึ่งคงที่ ที่มีมุมเอียงแตกต่างกันและความหนาคือ 2.5 mm (ค) ชิ้นงาน C15-2.5

จากภาพที่ 4.23 แสดงถึงขั้นตอนการเสียหายของชิ้นงานที่มีมุมเอียง 5,10 และ 15 องศา ความหนาเท่ากับ 2.5 mm ดังภาพ (ก) ชิ้นงาน A5-2.5 (ข) ชิ้นงาน B10-2.5 และ (ค) ชิ้นงาน C15-2.5 ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าขั้นตอนการเสียหายทั้งหมดคล้ายกัน กล่าวคือช่วงเริ่มต้นชิ้นงานเกิดการเสียหายช้าหลังจากภาระเพิ่มขึ้นชิ้นงานยุบตัวลงอย่างรวดเร็ว โดยที่เกิดจากปลายค้ำบนมีลักษณะแตกเป็นชิ้นเล็กตลอดจนสิ้นสุดการยุบตัว

การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงาน จากภาพที่ 4.24 พบว่าลักษณะการเสียหายของชิ้นงานทั้งหมดมีการเสียหายที่คล้ายกัน กล่าวคือชิ้นงานมีลักษณะการเสียหายแตกและยุบตัวเป็นชิ้นเล็ก ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของความหนา ทำให้ชิ้นงานสามารถกระจายแรงไปยังฐานและรับภาระในแนวแกนได้ดี

4.2.2 การตอบสนองของชิ้นงานต่อแรงกระแทก

4.2.2.1 การเสียหายของชิ้นงานความหนา 1.5 mm



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.25 การเสียหายภายใต้แรงกระแทกในแนวแกนของชิ้นงานที่มีมุมเอียงแตกต่างกันและความหนาคือ 1.5 mm (ก) ชิ้นงาน A5-1.5 (ข) ชิ้นงาน B10-1.5 และ (ค) ชิ้นงาน C15-1.5 ตามลำดับ

จากภาพที่ 4.25 แสดงรูปแบบการเสียหายของชิ้นงานที่มีมุมเอียง 5, 10 และ 15 องศา และความหนาคือ 1.5 mm จากภาพ (ก) ชิ้นงาน A5-1.5 (ข) ชิ้นงาน B10-1.5 และ (ค)

ชิ้นงาน C15-1.5 ตามลำดับ จากการทดลองพบว่า การเริ่มต้นการเสียหายของชิ้นงานเริ่มต้นที่ปลายด้านบน มีลักษณะยุบตัวและแตกออกเป็นชิ้นเล็กตลอดในแนวแกน จากการสังเกตชิ้นงาน (ข) ชิ้นงาน B10-1.5 และ (ค) ชิ้นงาน C15-1.5 พบว่า มีการยุบตัวมากกว่าชิ้นงาน A5-1.5 ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของมุมเอียง 10 และ 15 องศา ที่มีฐานขนาดกว้างและชิ้นงานมีขนาดใหญ่กว่าหัวค้อน จึงทำให้ชิ้นงานรับภาระกระแทกได้เพียงบางส่วน

รูปแบบการเสียหายสุดท้ายของชิ้นงาน จากภาพที่ 4.26 ผลจากการทดลองพบว่า ชิ้นงาน A5-1.5 มีลักษณะการเสียหายยุบตัวและแตกเป็นชิ้นเล็ก ในส่วนของชิ้นงาน ชิ้นงาน B10-1.5 และ ชิ้นงาน C15-1.5 จากการสังเกตพบว่า ชิ้นงานมีการเสียหายแตกเป็นชิ้นเล็กและบานออกด้านหน้าและหลังของชิ้นงาน ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของมุมเอียง 10 และ 15 องศา กล่าวคือขนาดและฐานของชิ้นงานมีขนาดใหญ่กว่าหัวค้อน ทำให้หน้าตัดหัวค้อนกระแทกชิ้นงานได้เพียงบางส่วน

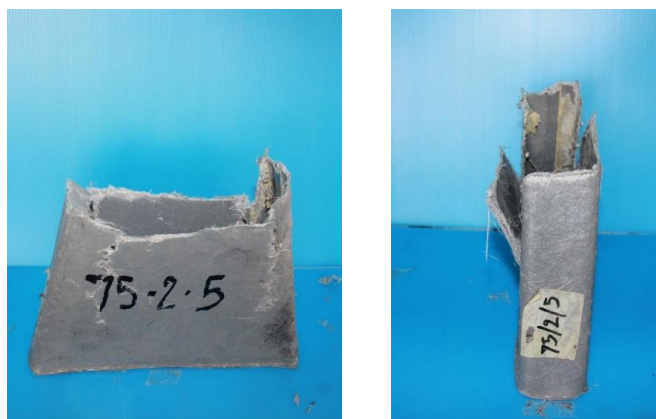


(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.26 การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงานภายใต้แรงกระแทกในแนวแกนของชิ้นงานที่มีมุมเอียงแตกต่างกันและความหนาคือ 1.5 mm (ก) ชิ้นงาน A5-1.5 และ (ข) ชิ้นงาน B10-1.5



(ค)

ภาพที่ 4.26 การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงานภายใต้แรงกระแทกในแนวแกนของชิ้นงานที่มีมุมเอียงแตกต่างกันและความหนาคือ 1.5 mm (ค) ชิ้นงาน C15-1.5

4.2.2.2 การเสียหายของชิ้นงานความหนา 2.0 mm



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.27 การเสียหายภายใต้แรงกระแทกในแนวแกนของชิ้นงานที่มีมุมเอียงแตกต่างกันและความหนาคือ 2.0 mm (ก) ชิ้นงาน A5-2.0 และ (ข) ชิ้นงาน B10-2.0



(ค)

ภาพที่ 4.27 การเสียหายภายใต้แรงกระแทกในแนวแกนของชิ้นงานที่มีมุมเอียงแตกต่างกันและความหนาคือ 2.0 mm (ค) ชิ้นงาน C15-2.0

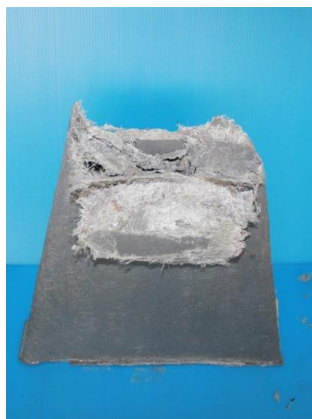
จากภาพที่ 4.27 แสดงถึงขั้นตอนการเสียหายสุดท้ายของชิ้นงานที่มีมุมเอียง 5, 10 และ 15 องศา และความหนาเท่ากับ 2.0 mm จากการทดลองพบว่า ลักษณะการเสียหายของชิ้นงานเริ่มต้นที่ปลายด้านบน โดยมีลักษณะแตกและยุบตัวเป็นชิ้นเล็กตลอดจนสิ้นสุดการยุบตัวจากการสังเกต ชิ้นงาน A5-2.0 มีการยุบตัวน้อยกว่าชิ้นงานอื่นๆ

รูปแบบการเสียหายสุดท้ายของชิ้นงาน จากภาพที่ 4.28 จากการทดลองพบว่า ชิ้นงานมีลักษณะแตกและยุบตัวเป็นชิ้น ซึ่งมีลักษณะคล้ายกันในทุกกรณี



(ก)

ภาพที่ 4.28 การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงานภายใต้แรงกระแทกในแนวแกนของชิ้นงานที่มีมุมเอียงแตกต่างกันและความหนาคือ 2.0 mm (ก) ชิ้นงาน A5-2.0 และ (ข) ชิ้นงาน B10-2.0



(บ)



(ค)

ภาพที่ 4.28 การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงานภายใต้แรงกระแทกในแนวแกนของชิ้นงานที่มีมุมเอียง
แตกต่างกันและความหนาคือ 2.0 mm (ค) ชิ้นงาน C15-2.0

4.2.2.3 การเสียหายของชิ้นงานความหนา 2.5 mm



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.29 การเสียหายภายใต้แรงกระทำในแนวแกนของชิ้นงานที่มีมุมเอียงแตกต่างกันและความหนาคือ 2.5 mm (ก) ชิ้นงาน A5-2.5 (ข) ชิ้นงาน B10-2.5 และ (ค) ชิ้นงาน C15-2.5 ตามลำดับ



(ก)



(ข)



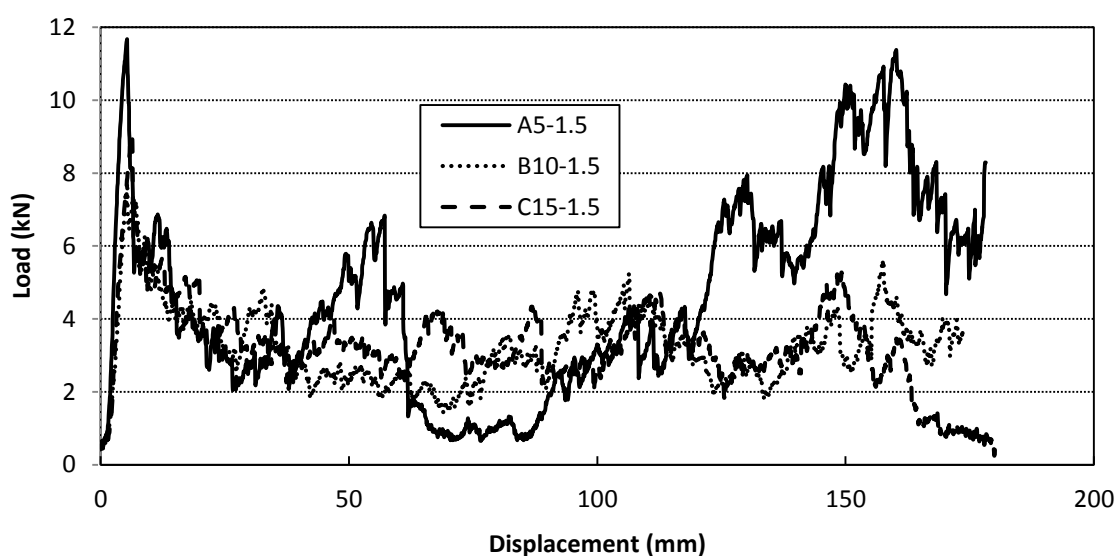
(ค)

ภาพที่ 4.30 การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงานภายใต้แรงกระแทกในแนวแกนของชิ้นงานที่มีมุมเอียงแตกต่างกันและความหนาคือ 2.5 mm (ก) ชิ้นงาน A5-2.5 (ข) ชิ้นงาน B10-2.5 และ (ค) ชิ้นงาน C15-2.5 ตามลำดับ

จากภาพที่ 4.29 แสดงถึงขั้นตอนการเสียหายของชิ้นงานที่มีมุมเอียง 5, 10 และ 15 องศา และความหนาเท่ากับ 2.5 mm จากการทดลองพบว่า ขั้นตอนการเสียหายเริ่มที่ปลายด้านบนของชิ้นงาน มีลักษณะแตกออกเป็นชิ้นเล็กตลอดจนถึงสิ้นสุดการยุบตัว จากการสังเกตพบว่าการยุบตัวของชิ้นงานทั้งหมดน้อยมาก ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของความหนาคือ 2.5 mm ที่สามารถต้านทานแรงกระแทกได้มากกว่าชิ้นงานอื่นๆ

จากภาพที่ 4.30 จะเห็นได้ว่ารูปแบบการเสียหายที่เกิดจากการทดสอบทั้งหมดส่วนใหญ่ มักจะเสียหายที่ปลายด้านบนของชิ้นงานเป็นหลัก โดยพบว่าชิ้นงาน A5-2.5 มีการยุบตัวน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานอื่นๆ

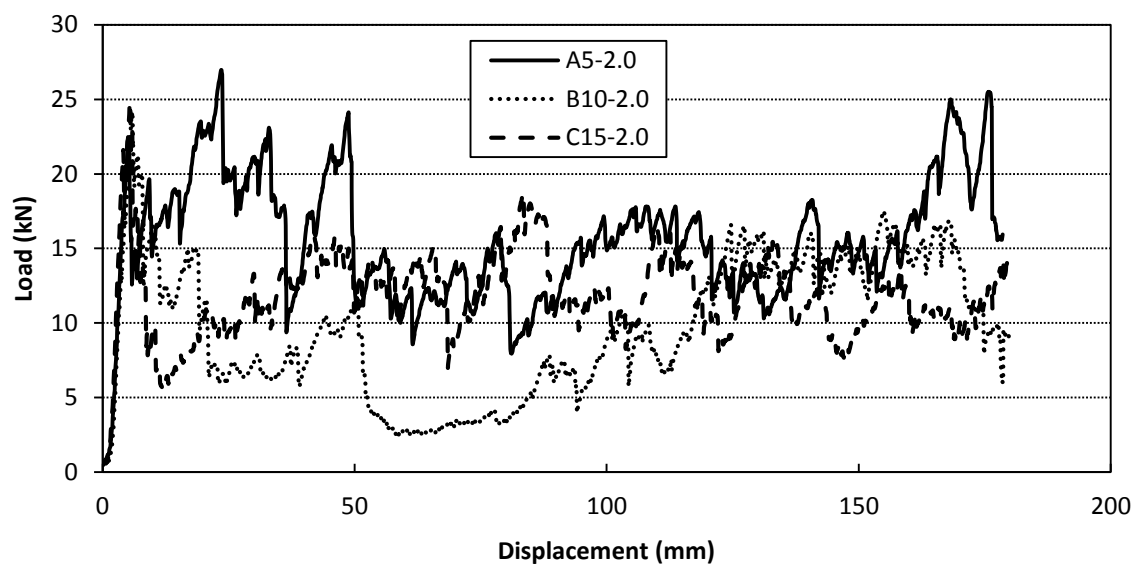
4.2.3 ความสามารถในการดูดซับพลังงาน



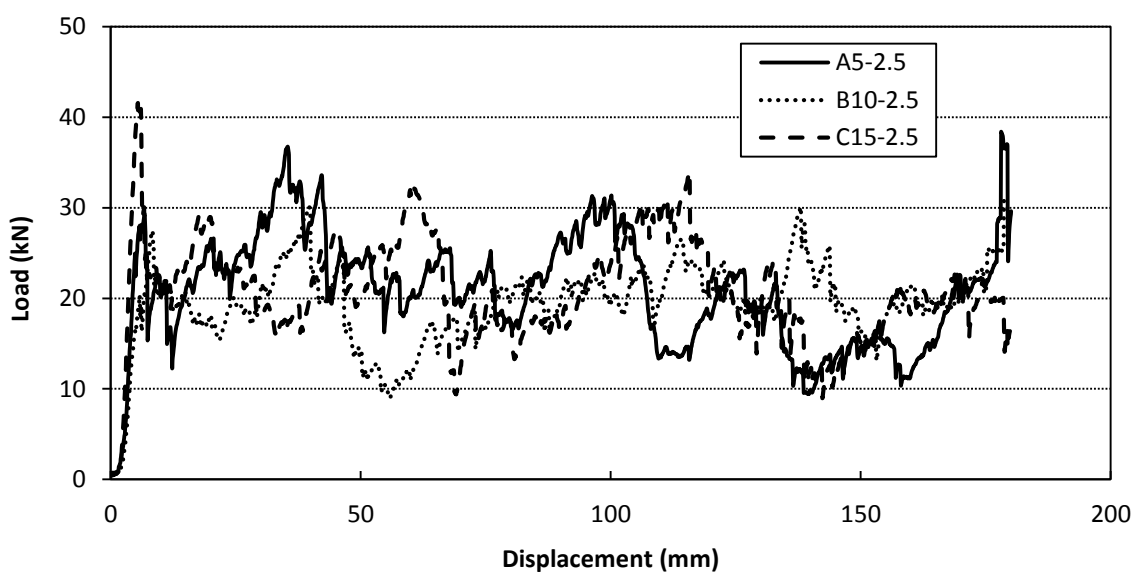
ภาพที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระและระยะยุบตัวภายใต้แรงกระทำกึ่งคงที่ของชิ้นงานที่มีมุมเอียงแตกต่างกันและความหนาคือ 1.5 mm

จากภาพที่ 4.31 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างภาระกับระยะยุบตัวของชิ้นงานทรงกรวยที่มีมุมเอียงเท่ากับ 5, 10 และ 15 องศา และความหนาเท่ากับ 1.5 mm โดยแกนตั้งเป็นค่าภาระ และในแกนนอนเป็นค่าระยะยุบตัวของชิ้นงาน เริ่มจากต้นจนถึงสิ้นสุดการยุบตัว จากกราฟจะเห็นว่าช่วงเริ่มต้นก่อนการเปลี่ยนแปลงเป็นช่วงที่ชิ้นงานยังไม่เสียหายอย่างถาวร หลังจากนั้นกราฟจะตกลงมาอย่างรวดเร็วต่อจากนั้นกราฟจะเกิดการแกว่งตัวสลับกันอย่างต่อเนื่องจนถึงสิ้นสุดการยุบตัว ซึ่ง

พบว่าชิ้นงาน A5-1.5 ที่มีมุมเอียงเท่ากับ 5 องศา กราฟมีการแกว่งตัวสูงกว่าชิ้นงาน B10-1.5 และชิ้นงาน C15-1.5



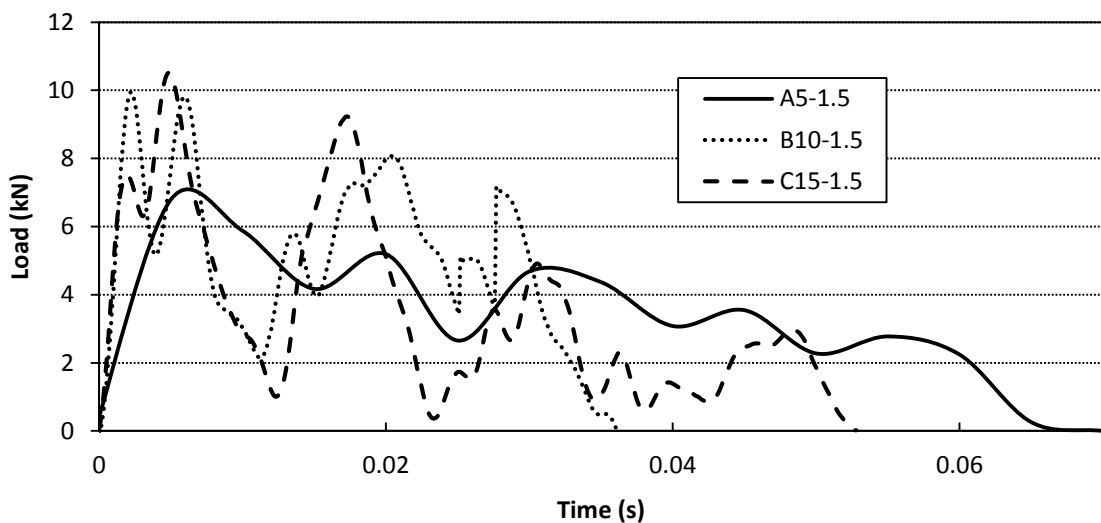
ภาพที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระและระยะยุบตัวภายใต้แรงกระทำกึ่งคงที่ของชิ้นงานที่มีมุมเอียงแตกต่างกันและความหนาคือ 2.0 mm



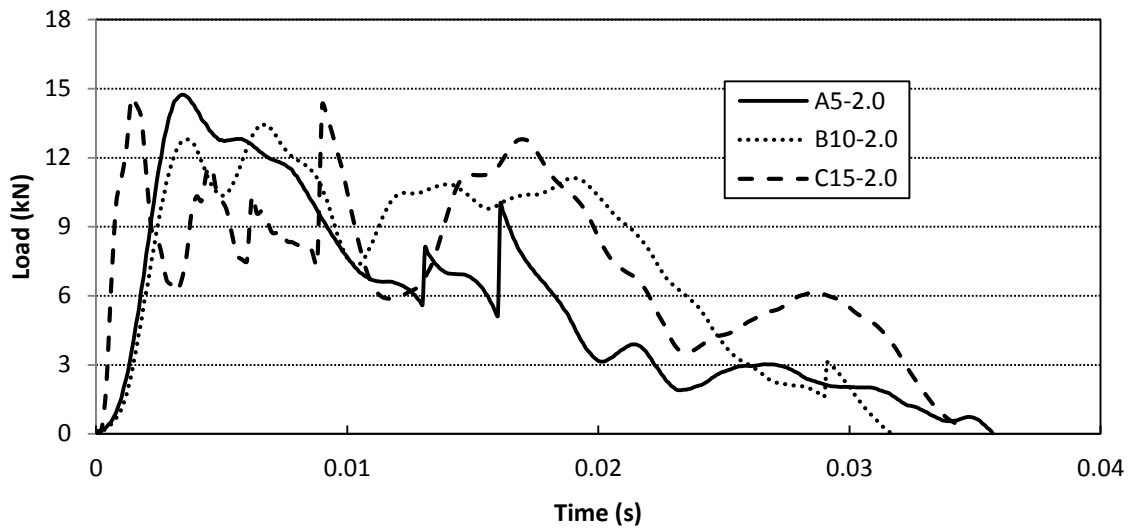
ภาพที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระและระยะยุบตัวภายใต้แรงกระทำกึ่งคงที่ของชิ้นงานที่มีมุมเอียงแตกต่างกันและความหนาคือ 2.5 mm

จากภาพที่ 4.32 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยา หรือภาระกับระยะยุบตัวของชิ้นงานที่มีความหนา 2.0 mm และมุมเอียงเท่ากับ 5, 10 และ 15 องศา จากกราฟจะเห็นว่าช่วงเริ่มต้นก่อนการเปลี่ยนแปลงเป็นช่วงที่ชิ้นงานยังไม่เสียรูปอย่างถาวร หลังจากนั้นกราฟจะตกลงมาอย่างรวดเร็วต่อจากนั้นกราฟจะเกิดการแกว่งตัวสลับกันอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการยุบตัว จากผลการทดลองพบว่า ชิ้นงาน A5-2.0 ลักษณะของกราฟจะมีแนวโน้มสูงกว่าชิ้นงาน B10-1.5 และชิ้นงาน C15-1.5

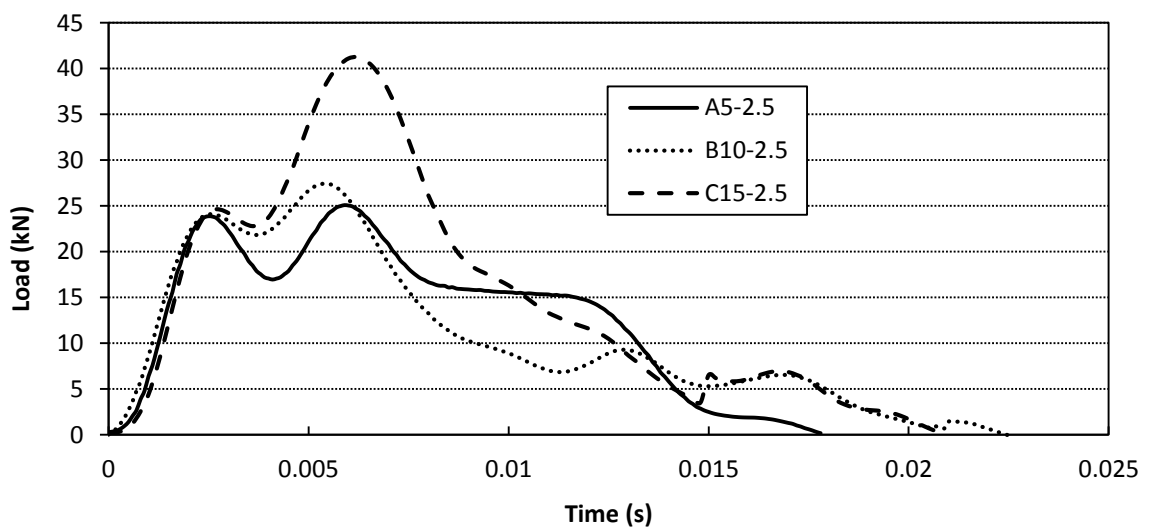
จากภาพที่ 4.33 แสดงกราฟผลการทดลองของชิ้นงานทรงกรวยซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของภาระกับระยะยุบตัวของชิ้นงานที่มีความหนา 2.5 mm และมุมเอียงเท่ากับ 5, 10 และ 15 องศา จากผลการทดลองพบว่าช่วงแรกของกราฟชิ้นงาน C15-2.5 มีค่าภาระวิกฤติสูงกว่าชิ้นงาน A5-2.5 และ B10-2.0 หลังจากจุดนี้เส้นกราฟจะแกว่งตัวขึ้นลงสลับกันจนสิ้นสุดกระบวนการ ซึ่งจากการสังเกตลักษณะเส้นกราฟของชิ้นงาน A5-2.5 จะมีแนวโน้มสูงกว่าชิ้นงานอื่นๆ ส่วนค่าพลังงานดูดซับของชิ้นงานที่สามารถดูดซับได้นั้นจะทำการคำนวณและแสดงไว้ในตารางที่ 4.4 ซึ่งจะอธิบายต่อไป



ภาพที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระและเวลา ภายใต้แรงกระทำของชิ้นงานที่มีมุมเอียงแตกต่างกันและความหนาคือ 1.5 mm



ภาพที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระและเวลา ภายใต้แรงกระทำของชิ้นงานที่มีมุมเอียงแตกต่างกัน และความหนาคือ 2.0 mm



ภาพที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระและเวลา ภายใต้แรงกระทำของชิ้นงานที่มีมุมเอียงแตกต่างกัน และความหนาคือ 2.5 mm

จากภาพที่ 4.34 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยากับเวลา ของชิ้นงานที่มีมุมเอียงเท่ากับ 5, 10 และ 15 องศา และความหนาเท่ากับ 1.5 mm ผลการทดลองพบว่าช่วงเริ่มต้นของกราฟไปถึงจุดเริ่มต้นเปลี่ยนแปลงความชันถือเป็นช่วงที่ชิ้นงานยังไม่เสียรูป จากนั้นกราฟจะตก

ลงมาและแกว่งตัวต่ำลงจนถึงสิ้นสุดแรงกระทำ จากกราฟพบว่าชิ้นงาน B10-1.5 มีค่าภาระเฉลี่ยเท่ากับ 5.03 kN ซึ่งมีค่าสูงกว่าชิ้นงาน A5-1.5 และ B10-1.5 คือ 3.02 kN และ 3.48 kN ตามลำดับ

จากภาพที่ 4.35 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยากับเวลา ของชิ้นงานที่มีมุมเอียงเท่ากับ 5, 10 และ 15 องศา และความหนาเท่ากับ 2.0 mm จากการสังเกตพบว่าเส้นกราฟของชิ้นงาน B10-2.0 มีแนวโน้มค่าภาระสูงกว่าชิ้นงาน A5-2.0 และ C15-2.0 ส่วนลักษณะการแกว่งตัวของกราฟมีลักษณะสลับกันตลอดจนถึงสิ้นสุดการยุบตัว จากกราฟพบว่าค่าภาระเฉลี่ยสูงสุด คือชิ้นงาน B10-2.0 คือ 7.74 kN ในส่วนของค่าภาระสูงสุดคือ ชิ้นงาน A5-2.0 คือ 14.73 kN

จากภาพที่ 4.36 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยากับเวลา ของชิ้นงานที่มีมุมเอียงเท่ากับ 5, 10 และ 15 องศา และความหนาเท่ากับ 2.5 mm จากกราฟจะเห็นว่าช่วงเริ่มต้นก่อนกราฟเปลี่ยนแปลงความชันครั้งแรกนั้นถือเป็นช่วงที่ชิ้นงานยังไม่เสียรูป เมื่อชิ้นงานเริ่มเสียหายอย่างถาวรกราฟจะแกว่งตัวเป็นรูปคลื่นเนื่องจากแรงกดและแรงต้านสลับกันอย่างต่อเนื่องจนถึงสิ้นสุดการยุบตัว จากกราฟพบว่า ชิ้นงาน C15-2.5 มีค่าภาระสูงสุดคือ 41.25 kN ซึ่งมากกว่าชิ้นงานอื่นๆ ในส่วนของค่าภาระเฉลี่ยพบว่า ชิ้นงาน C15-2.5 คือ 14.73 kN ชิ้นงาน A5-2.5 คือ 13.10 kN และชิ้นงาน B10-2.5 คือ 10.58 kN ตามลำดับ ส่วนค่าพลังงานดูดซับของชิ้นงานที่สามารถดูดซับได้นั้น จะทำการคำนวณและแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 ซึ่งจะอธิบายต่อไป

จากตารางที่ 4.4 แสดงผลการคำนวณที่ได้จากการทดลองของชิ้นงานที่มีมุมเอียงแตกต่างกัน ได้แก่ A5 คือ ชิ้นงานที่มีมุมเอียง 5 องศา B10 คือ ชิ้นงานที่มีมุมเอียง 10 องศา และ C15 คือ ชิ้นงานที่มีมุมเอียง 15 องศา และความหนาเท่ากับ 1.5, 2.0 และ 2.5 mm โดยผลการทดลองพบว่าในกรณีความหนา 1.5 mm ชิ้นงาน A5-1.5 สามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 0.84 kN.m ชิ้นงาน B10-1.5 สามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 0.59 kN.m และชิ้นงาน C15-1.5 สามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 0.58 kN.m ดังนั้นจะเห็นได้ว่าชิ้นงาน A5-1.5 สามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่าชิ้นงาน B10-1.5 และ C15-1.5 ประมาณ 29.76 % และ 30.95 % ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาถึงมวลของชิ้นงานพบว่าความสามารถในการดูดซับพลังงานจำเพาะของชิ้นงาน A5-1.5 มากกว่า ชิ้นงาน B10-1.5 และ C15-1.5 ประมาณ 37.93 % และ 46.39 % ตามลำดับ สำหรับผลการทดลองกรณีความหนา 2.0 mm พบว่า ชิ้นงาน A5-2.0 สามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 2.78 kN.m ชิ้นงาน B10-2.0 สามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 1.74 kN.m และชิ้นงาน C15-2.0 สามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 2.13 kN.m ซึ่งหากเปรียบเทียบกันพบว่าชิ้นงาน A5-2.0 สามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่าชิ้นงาน B10-2.0 และ C15-2.0 ประมาณ 37.41 % และ 23.38 % ตามลำดับ และชิ้นงาน A5-2.0 สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้ดีกว่าชิ้นงาน B10-2.0 และ C15-2.0 ประมาณ 42.55 % และ 42.31 % ตามลำดับ ส่วนผลการทดลองของชิ้นงานความหนา 2.5 mm พบว่า ชิ้นงาน A5-2.5 สามารถดูดซับ

ตารางที่ 4.4 ความสามารถในการดูดซับพลังงานภายใต้ภาระกระทำแบบกึ่งคงที่

ชั้นงาน	น้ำหนัก (kg)	ระยะยวบตัว (m)	ภาระเฉลี่ย (kN)	ภาระสูงสุด (kN)	พลังงานดูดซับ (kN.m)	พลังงานดูดซับจำเพาะ (kN.m/kg)
ภาระกึ่งคงที่						
ความหนา 1.5 mm						
A5-1.5	0.26	0.18	4.65	11.67	0.84	3.19
B10-1.5	0.30	0.18	3.28	7.73	0.59	1.98
C15-1.5	0.34	0.18	3.21	9.06	0.58	1.71
ความหนา 2.0 mm						
A5-2.0	0.34	0.18	15.45	26.98	2.78	8.13
B10-2.0	0.37	0.18	9.69	24.17	1.74	4.67
C15-2.0	0.45	0.18	11.83	24.87	2.13	4.69
ความหนา 2.5 mm						
A5-2.5	0.41	0.18	20.71	38.41	3.73	9.05
B10-2.5	0.51	0.18	19.34	31.20	3.48	6.83
C15-2.5	0.59	0.18	20.85	41.58	3.75	6.36

พลังงานได้เท่ากับ 3.73 kN.m ชั้นงาน B10-2.5 สามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 3.48 kN.m และ ชั้นงาน C15-2.5 สามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 3.75 kN.m หากเปรียบเทียบกันพบว่าชั้นงาน C15-2.5 สามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่าชั้นงาน A5-2.5 และ B10-2.5 ประมาณ 0.53 % และ 7.2 % ตามลำดับ หากพิจารณาค่าพลังงานดูดซับจำเพาะ พบว่าชั้นงาน A5-2.5 สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้มากกว่า ชั้นงาน B10-2.5 และ C15-2.5 ประมาณ 24.53 % และ 29.72 % ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ความสามารถในการดูดซับพลังงานภายใต้แรงกระแทก

ชั้นงาน	น้ำหนัก (kg)	ระยะยวบตัว (m)	ภาระเฉลี่ย (kN)	ภาระสูงสุด (kN)	พลังงานดูดซับ (kN.m)	พลังงานดูดซับจำเพาะ (kN.m/kg)
แรงกระแทก						
ความหนา 1.5 mm						
A5-1.5	0.26	0.14	3.02	6.79	0.44	1.66
B10-1.5	0.30	0.22	5.03	9.95	1.08	3.63
C15-1.5	0.34	0.10	3.48	10.51	0.35	1.03
ความหนา 2.0 mm						
A5-2.0	0.34	0.06	5.55	14.73	0.31	0.89
B10-2.0	0.37	0.05	7.74	13.46	0.35	0.93
C15-2.0	0.45	0.04	7.42	14.59	0.26	0.57
ความหนา 2.5 mm						
A5-2.5	0.41	0.03	13.10	25.09	0.33	0.80
B10-2.5	0.51	0.02	10.58	27.44	0.21	0.42
C15-2.5	0.59	0.02	14.73	41.25	0.22	0.37

จากตารางที่ 4.5 เป็นผลการคำนวณค่าพลังงานดูดซับและค่าพลังงานดูดซับจำเพาะของชั้นงานภายใต้แรงกระแทก ผลจากการทดลองกรณีความหนา 1.5 mm พบว่าชั้นงาน A5-1.5 สามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 0.44 kN.m ชั้นงาน B10-1.5 สามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 1.08 kN.m และชั้นงาน C15-1.5 สามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 0.35 kN.m จากการสังเกตพบว่าชั้นงาน B10-1.5 สามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่าและเมื่อเปรียบเทียบ ชั้นงาน A5-1.5 และ B10-1.5 ประมาณ 59.25 % และ 67.59 % ตามลำดับ เมื่อนำค่าพลังงานดูดซับของแต่ละชั้นงานมาเปรียบเทียบกับมวล

ของชิ้นงานเองจะเห็นว่า ชิ้นงาน A5-1.5 สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้มากกว่า ชิ้นงาน B10-1.5 และ B10-1.5 ประมาณ 54.26 % และ 71.62 % ตามลำดับ

สำหรับชิ้นงานที่มีความหนา 2.0 mm จากผลการทดลองพบว่า ชิ้นงาน A5-2.0 สามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 0.31 kN.m ชิ้นงาน B10-2.0 สามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 0.35 kN.m และชิ้นงาน C15-2.0 สามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 0.26 kN.m จากข้อมูลในตารางพบว่า ชิ้นงาน B10-2.0 สามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่าและเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงาน A5-2.0 และ C15-2.0 ประมาณ 11.42 % และ 25.71 % ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับมวลของชิ้นงานแต่ละชิ้นแล้ว พบว่าความสามารถในการดูดซับพลังงานจำเพาะของชิ้นงาน B10-2.0 มากกว่าชิ้นงาน A5-2.0 และ C15-2.0 ประมาณ 4.30 % และ 38.70 % ตามลำดับ

ส่วนผลการทดลองของชิ้นงานที่มีความหนา 2.5 mm พบว่าชิ้นงาน A5-2.5 สามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 0.33 kN.m เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงาน B10-2.5 และ C15-2.5 สามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่าประมาณ 36.36 % และ 33.33 % ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความสามารถในการดูดซับพลังงานจำเพาะพบว่าชิ้นงาน A5-2.5 สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงาน B10-2.5 และ C15-2.5 ประมาณ 47.5 % และ 53.75% ตามลำดับ