บทที่ 3
วิธีการศึกษาและการทดสอบ

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

3.1.1 เครื่องทดสอบการกด (Quasi -Static Compressive and Tensile Testing Machine)

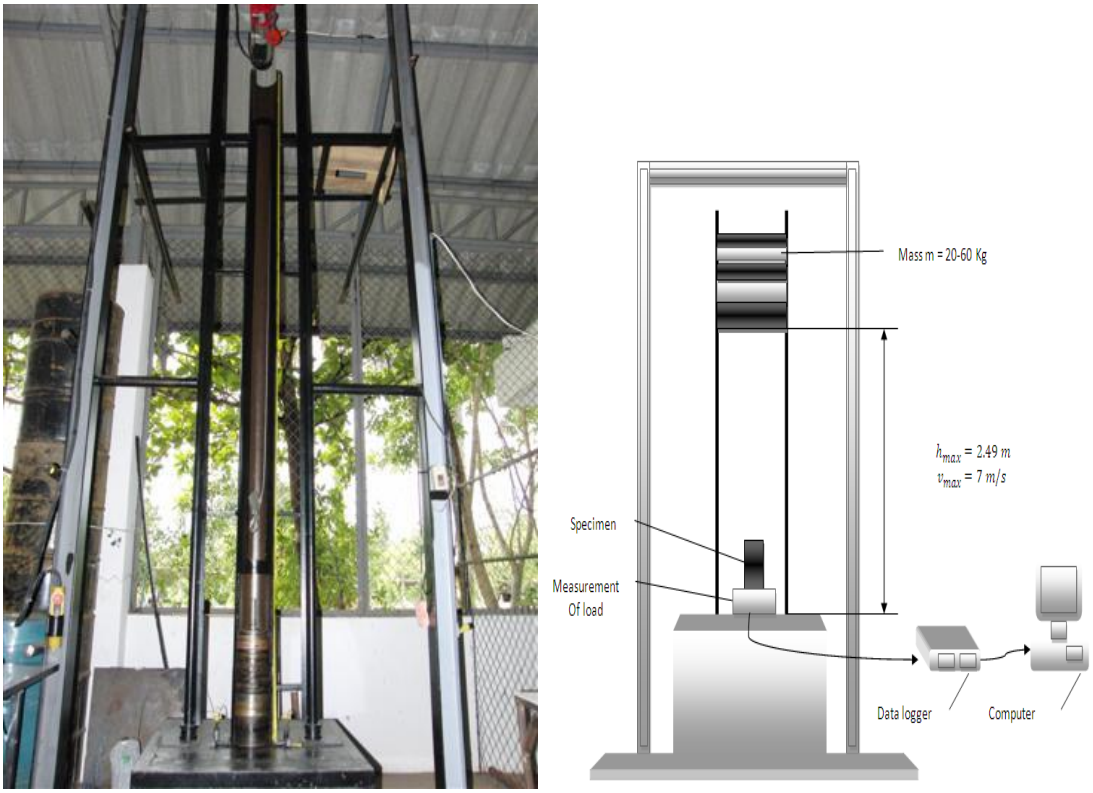
เครื่องทดสอบการกดแบบกระทำแบบต่อเนื่อง ซึ่งใช้ในการวิจัยมีชื่อว่า เครื่อง ESH Testing Limited เป็นเครื่องที่สามารถทดสอบการกด (Compressive Test) และ การดึง (Tensile Test) ดังภาพที่ 3.1 ซึ่งเป็นเครื่องทดสอบที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์กับระบบไฮดรอลิกส์ (Hydraulic) ในการทดสอบมีความสามารถถึง 2,000 KN และระยะการกดมากที่สุดคือ 200 mm เครื่องทดสอบสามารถบันทึกข้อมูลการทำงานได้ทุกๆ 0.04 mm ผลที่ได้จากการทดสอบเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำ (Load) และระยะทางในการยุบตัว (Displacement) โดยสามารถบันทึกผลการทดลอง และแสดงเป็นกราฟได้ทันที

(ก) เครื่องทดสอบ (ข) จอแสดงผล

ภาพที่ 3.1 เครื่องทดสอบการกด (Quasi -Static Compressive and Tensile Testing Machine)

3.1.2 เครื่องทดสอบการกระแทก (Impact Testing Machine)

เครื่องทดสอบการกระแทกที่ใช้ในการศึกษานี้มีลักษณะเป็นหอสูง ดังแสดงในภาพที่ 3.2 (ก) โดยหอสูงนี้มีความสูง 2.49 m มีอุปกรณ์ติดตั้งหัวค้อนซึ่งสามารถยกขึ้นไปในระดับความสูงต่างๆ ก่อนปล่อยให้ตกอย่างอิสระ (Free falling) เพื่อตกกระทบชิ้นงานด้านล่างที่ฐานด้านล่างของเครื่องดังภาพที่ 3.2 (ข) ได้ติดตั้ง Load Cell เพื่อบันทึกค่าแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการกระแทกของชิ้นงานและหัวค้อน โดย Load Cell ดังกล่าวสามารถบันทึกข้อมูลได้ที่ความถี่สูงสุดถึง 10,000 ค่าต่อวินาที หัวค้อนที่ใช้ในการทดสอบสามารถเปลี่ยนน้ำหนักได้ระหว่าง 20-60 Kg

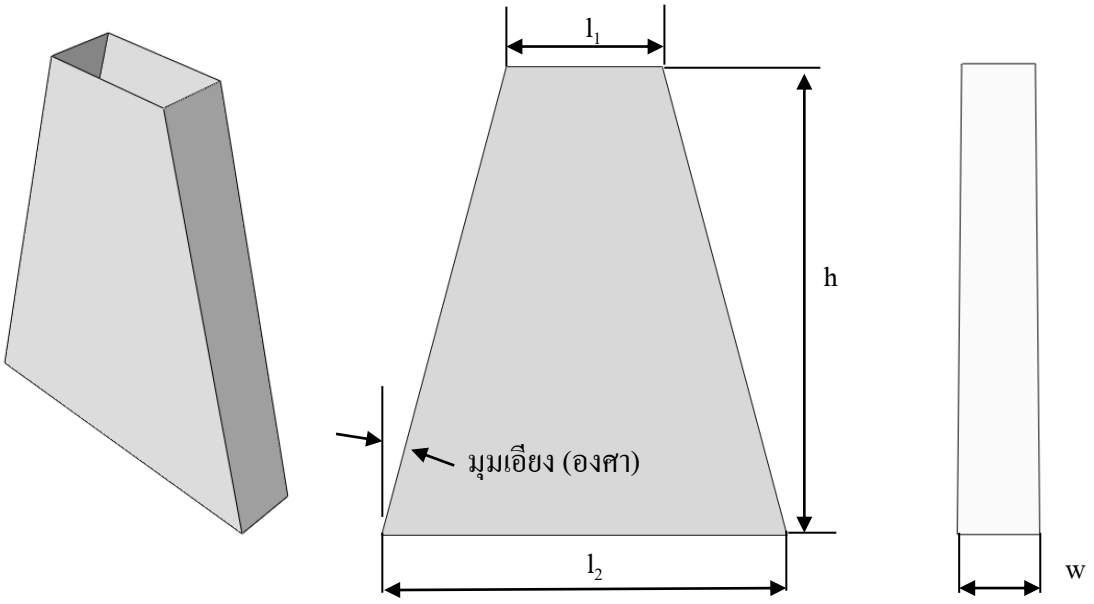


(ก) เครื่องทดสอบ (ข) ไดอะแกรมของเครื่องทดสอบ

ภาพที่ 3.2 เครื่องทดสอบการกระแทก (Impact Testing Machine)

3.2 ชิ้นงานทดลองแบบทรงกรวย

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะท่อทรงกรวย ขึ้นรูปจากพอลิเอสเทอร์เรซิ่นชนิดไอโซพทาลิค และเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วชนิด E-glass มีลักษณะเป็นเส้นใยสับเป็นเส้นและทอเป็นผืน ความยาวของเส้นใยประมาณ 5-10 cm โดยยึดติดกันเป็นผืนด้วยกาว และมีทิศทางสุ่มแบบหลายทิศทาง ในส่วนการขึ้นรูป ขึ้นรูปด้วยวิธี แบบ Hand lay-up ซึ่งเป็นการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยมือ ขนาดของชิ้นงานทรงกรวยมีมุมเอียงแตกต่างกัน 3 มุม คือ 5, 10 และ 15 องศา ดังภาพที่ 3.3 แสดงขนาดของชิ้นงานทรงกรวย และความหนาแตกต่างกัน 3 ความหนาคือ 1.5, 2.0 และ 2.5 mm ความสูง คือ 300 mm และความกว้างปลายด้านบนของชิ้นงาน คือ 50.00 mm ความยาวปลายด้านบนของชิ้นงาน คือ 100 mm ในส่วนของความยาวของฐานชิ้นงานแปรผันตามมุมเอียงของชิ้นงาน จากตารางที่ 3.1 แสดงขนาดของชิ้นงานไฟเบอร์กลาสแบบทรงกรวยที่ใช้ทดลอง



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 3.3 ขนาดของชิ้นงานทรงกรวย (ก) ภาพรวมของชิ้นงาน (ข) ด้านหน้าของชิ้นงาน และ (ค) ด้านข้างของชิ้นงาน

ตารางที่ 3.1 ขนาดของชิ้นงานไฟเบอร์กลาสแบบทรงกรวยที่ใช้ในการทดลอง

ชิ้นงาน	มุมเอียง (องศา)	ความสูง (mm) (h)	ความกว้าง (mm) (w)	ความยาวด้านบน (mm) (l_1)	ความยาวของฐาน (mm) (l_2)	ความหนา (mm)
A5-1.5	5	300	50.00	100.00	150	1.50
A5-2.0						2.00
A5-2.5						2.50
B10-1.5	10	300	50.00	100.00	210	1.50
B10-2.0						2.00
B10-2.5						2.50
C15-1.5	15	300	50.00	100.00	260	1.50
C15-2.0						2.00
C15-2.5						2.50

3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน

ชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษานี้คือไฟเบอร์กลาส ซึ่งมีส่วนประกอบหลักคือ เมทริกซ์หรือเรซิ่น ซึ่งในการศึกษานี้ได้ใช้เรซิ่นโพลีเอสเทอร์ ทนแรงกระแทกชนิดไอโซพทาลิคเรซิ่น (ISO 2600) ดังภาพที่ 3.4 และเส้นใยสับเป็นเส้น ความยาวประมาณ 5-10 cm โดยยึดติดกันเป็นผืนด้วยกาว และมีทิศทางสุ่มแบบหลายทิศทาง เบอร์ 300 ดังภาพที่ 3.5 สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานได้แก่ แปรง ขนาด 2 นิ้ว เพื่อใช้ทาเรซิ่น ลูกกลิ้งโลหะเกลียวขนาด 4 นิ้ว ใช้รีดฟองอากาศในขณะขึ้นรูปชิ้นงาน

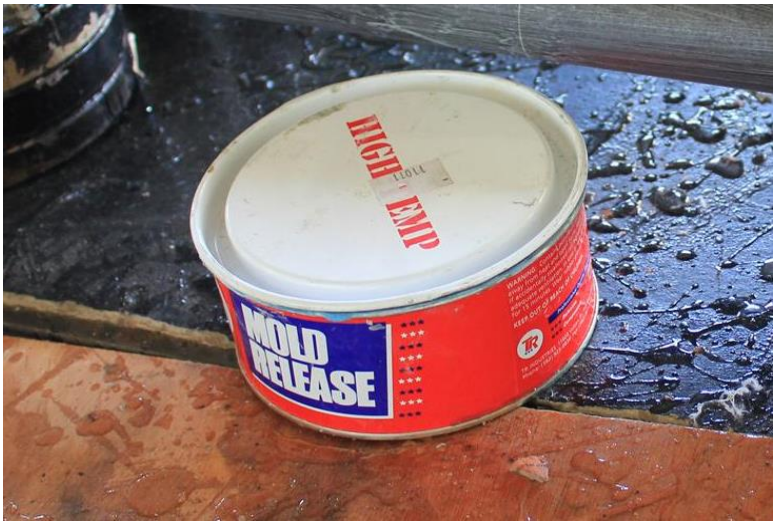
(ก) (ข)

ภาพที่ 3.4 (ก) เรซิ่นและ (ข) Hardener (ตัวทำให้แข็ง) ที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน

ภาพที่ 3.5 เส้นใยแก้วแบบสุ่มหลายทิศทาง

(ก)

(ข)



(ค)

ภาพที่ 3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ขึ้นรูปชิ้นงาน (ก) แปรงขนาด 2 นิ้ว (ข) ลูกกลิ้งโลหะเกลียวขนาด 4 นิ้ว และ (ค) ขี้ผึ้งใช้สำหรับถอดแบบ

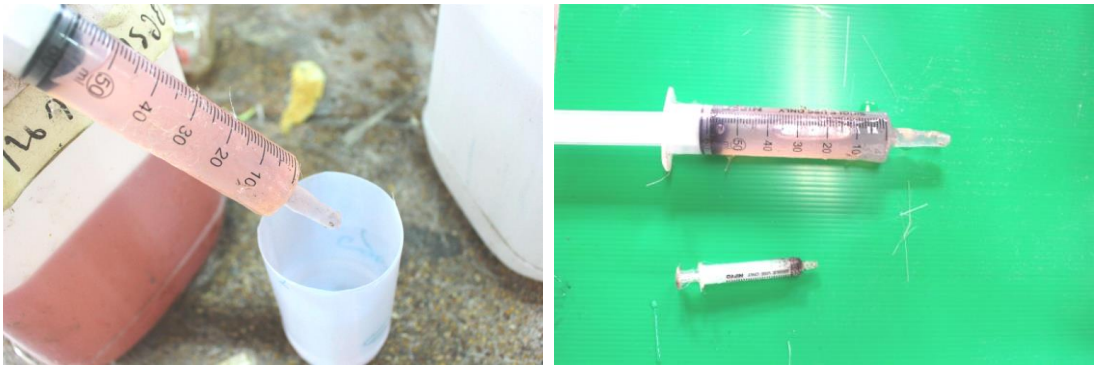
3.2.2 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานแบบทรงกรวย

3.2.2.1 เตรียมแม่แบบที่ใช้ในการขึ้นรูป ซึ่งมีลักษณะทรงกรวยที่มีมุมเอียงเดียวกันกับชิ้นงานในทุกกรณี โดยแม่แบบทำจากไฟเบอร์กลาสมีลักษณะเป็นแผ่นผิวเรียบ ทั้งหมด 4 ชิ้น จากนั้นนำมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยใช้กระดาษกาวเป็นตัวประสาน ดังภาพที่ 3.7 แสดงถึงแม่แบบที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน จากนั้นนำแม่แบบทำความสะอาดด้วยน้ำแล้วตากให้แห้ง แล้วทาขี้ผึ้งหรือแวกซ์ปล่อยไว้จนเกิดเป็นฝ้าขาว แล้วจึงขัดผิวแม่แบบด้วยขี้ผึ้งขัดผิวหรือแวกซ์ ขัดให้เกิดความร้อน ทำซ้ำประมาณ 3 ถึง 4 ครั้ง เพื่อให้ผิวของแม่แบบเกิดความมัน

ภาพที่ 3.7 แม่แบบของชิ้นงาน

3.2.2.2 เตรียมเส้นใยแก้วเพื่อใช้ในการขึ้นรูป โดยตัดเส้นใยแก้วตามขนาดของแม่แบบ ดังภาพที่ 3.8 ซึ่งจำนวนชั้นของเส้นใยมีดังนี้ ชิ้นงานความหนา 1.5 mm จำนวน 2 ชั้น ความหนา 2.0 mm จำนวน 3 ชั้น และความหนา 2.5 mm จำนวน 4 ชั้น

ภาพที่ 3.8 เส้นใยแก้วที่ตัดตามลักษณะของชิ้นงาน สำหรับใช้ในการขึ้นรูป



ภาพที่ 3.9 ตวงปริมาณเรซิ่นสำหรับใช้ในการขึ้นรูป

3.2.2.3 เตรียมเรซิ่น โดยเริ่มต้นจากการผสมเรซิ่นและตัวทำให้แข็งลงในแก้วพลาสติก แล้วกวนเรซิ่นในทิศทางเดียวประมาณ 2 ถึง 3 นาที เพื่อให้น้ำยาตัวทำให้แข็งทำปฏิกิริยากับเรซิ่น จากตารางที่ 3.2 แสดงถึงน้ำหนักของเรซิ่นและน้ำหนักของเส้นใยแก้วที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.2 น้ำหนักของเรซิ่นและน้ำหนักของเส้นใยแก้ว

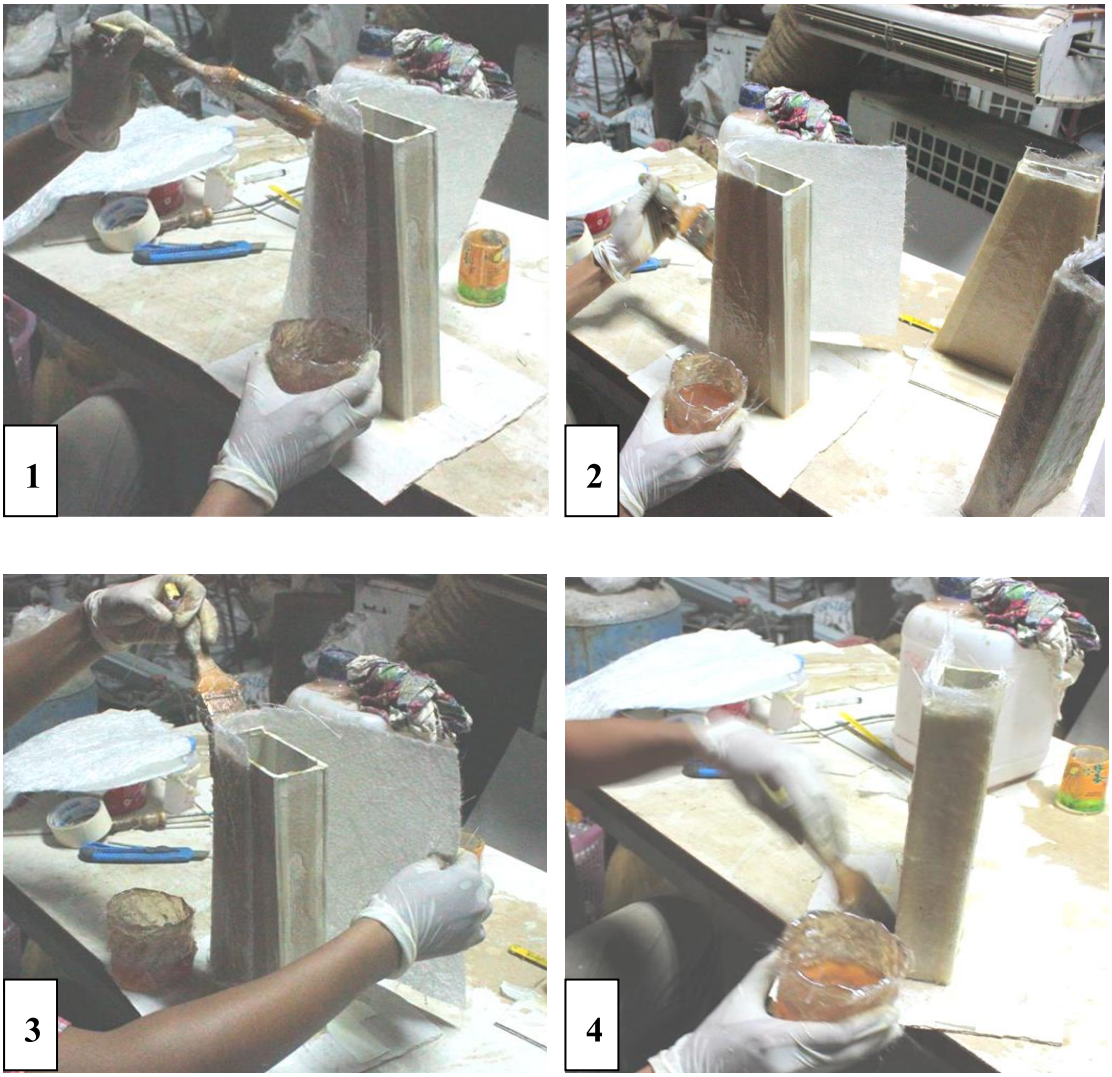
ชิ้นงาน	**น้ำหนักของเรซิ่น (g)**	**น้ำหนักของเส้นใยแก้ว (g)**	**Hardener (ตัวทำให้แข็ง) (%)**
A5-1.5	200	61.96	1-2
A5-2.0	250	92.07	1-2
A5-2.5	300	111.70	1-2

ตารางที่ 3.2 น้ำหนักของเรซิ่นและน้ำหนักของเส้นใยแก้ว (ต่อ)

ชิ้นงาน	น้ำหนักของเรซิ่น (g)	น้ำหนักของเส้นใยแก้ว (g)	Hardener (ตัวทำให้แข็ง) (%)
B10-1.5	220	78.15	1-2
B10-2.0	280	93.65	1-2
B10-2.5	380	129.50	1-2
C15-1.5	250	87.45	1-2
C15-2.0	350	104.28	1-2
C15-2.5	450	139.95	1-2

(ก) (ข)

ภาพที่ 3.10 ขั้นตอนการเตรียมสารและผสมสาร Hardener (ก) เติมสาร Hardener ลงในเรซิ่น (ข) กวนเรซิ่นทิศทางเดียวกัน



ภาพที่ 3.11 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยทาเรซิ่นและวางเส้นใยแก้วบนแม่แบบ

3.2.2.4 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงาน ทำได้โดยใช้แปรงจุ่มลงน้ำยาเรซิ่นให้ชุ่มแล้วทาลงทั่วแม่แบบ ดังภาพที่ 3.11 หมายเลข 1 จากนั้นนำเส้นใยแก้วที่เตรียมไว้ วางบนแม่แบบ แล้วทาเรซิ่นบนเส้นใยแก้วจนชุ่มทั่วชิ้นงานดังภาพที่ 3.11 หมายเลข 2-4 และใช้ลูกกลิ้งโลหะเกลียวกลิ้งบนชิ้นงานในแต่ละชั้น เพื่อรีดฟองอากาศ

ภาพที่ 3.12 ชิ้นงานเริ่มแข็งตัว

3.2.2.4 จากภาพที่ 3.12 แสดงถึงขั้นตอนการเซ็ตตัวของเรซิ่น เป็นการปล่อยให้ชิ้นงานแห้งโดยใช้อุณหภูมิตามสิ่งแวดล้อม ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง จากนั้นจึงถอดแบบ นำชิ้นงานตัดขอบ จะได้ชิ้นงานตามภาพที่ 3.13

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 3.13 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ (ก) ชิ้นงาน ที่มีมุมเอียง 5 องศา (ข) ชิ้นงาน ที่มีมุมเอียง 10 องศา และ(ค) ชิ้นงาน ที่มีมุมเอียง 15 องศา

3.3 ชิ้นงานทดลองแบบทรงกระบอก

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะท่อทรงกระบอก ขึ้นรูปจากพอลิเอสเทอร์เรซิ่นชนิดไอโซพทาลิค และเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วชนิด E-glass มีลักษณะเป็นเส้นยาวเหมือนด้ายทอเป็นผืน ในส่วนการขึ้นรูป ขึ้นรูปด้วยวิธี แบบ Hand lay-up ซึ่งเป็นการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยมือ โดยมุมการไขว้ของเส้นใย 3 แบบคือ [(0/90)/(0/90)/(0/90)] , [(45/-45)/(45/-45)/(45/-45)] และ [45/-45]/[0/90]/[45/-45] ตามลำดับ ขนาดของท่อมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกคือ 50.00 mm. ความหนาคือ 2.00 mm. และความยาวคือ 100.00 mm ดังแสดงในตารางที่ 3.3 แสดงถึงขนาดของท่อไฟเบอร์กลาส

ตารางที่ 3.3 ขนาดของท่อไฟเบอร์กลาสที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับ	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	ความยาว (mm)	ความหนา (mm)	มุมไขว้เส้นใย (องศา)
A	50.00	100.00	2.00	[(0/90)/(0/90)/(0/90)]
B	50.00	100.00	2.00	[(45/-45)/(45/-45)/(45/-45)]
C	50.00	100.00	2.00	[45/-45]/[0/90]/[45/-45]

3.3.1 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงาน

ชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษานี้คือไฟเบอร์กลาส ซึ่งมีส่วนประกอบหลักคือ เมทริกซ์หรือเรซิ่น ดังภาพที่ 3.14 ซึ่งในการศึกษานี้ได้ใช้เรซิ่นชนิดทนแรงกระแทกที่เรียกว่า ไอโซพทาลิคเรซิ่น ในส่วนของเส้นใยแก้วเป็นชนิดผืนเย็บเรียงชิดติดกันสองแนวแกนคือ 0/90 องศา ดังภาพที่ 3.15โดยมีขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานดังนี้

(ก) (ข)

ภาพที่ 3.14 (ก) เรซิ่นและ (ข) ตัวทำให้แข็งที่ใช้ในการขึ้นรูปท่อไฟเบอร์

ภาพที่ 3.15 เส้นใยแก้วทอเป็นผืนที่มีลักษณะมุมไขว้กัน 0/90 องศา

3.3.1.1 เตรียมแม่แบบที่ใช้ในการทดลองลักษณะเป็นทรงกระบอกมีความยาวคือ 500 mm โดยผ่ากลางท่อด้านหนึ่งให้มีความกว้างคือ 5 mm และเจาะปลายทั้งสองข้าง เพื่อใช้ในการถอดแบบ จากนั้นนำแม่แบบทำความสะอาดด้วยน้ำแล้วตากให้แห้ง แล้วทาขี้ผึ้งหรือแวกซ์ปล่อยไว้จนเกิดเป็นฝ้าขาว แล้วจึงขัดผิวแม่แบบด้วยขี้ผึ้งขัดผิวหรือแวกซ์ ขัดให้เกิดความร้อน ทำซ้ำประมาณ 3 ถึง 4 ครั้ง เพื่อให้ผิวของแม่แบบเกิดความมัน

3.3.1.2 เตรียมเส้นใยแก้วเพื่อใช้ในการพันท่อแม่แบบในการพันแบบมุมไขว้ [(0/90)/(0/90)/(0/90)] ตัดเส้นใยแก้วผืนให้ความกว้างคือ 470 mm และความยาว 470 mm ส่วนในการพันแบบมุมไขว้ [(45/-45)/(45/-45)/(45/-45)] ตัดเส้นใยแก้วผืน ความกว้างคือ 120 mm ความยาวคือ 750 mm เพื่อให้เหมาะสมในการวางมุมไขว้กับแม่แบบ

3.3.1.3 วางแบบลงบนเครื่องหมุนซึ่งเป็นที่เครื่องสร้างขึ้นมาเพื่อลดปัญหาของการไหลมารวมตัวกันของเรซิ่น ซึ่งส่งผลทำให้ชิ้นงานมีความหนาไม่เท่ากัน ซึ่งเครื่องหมุนแม่แบบมีลักษณะเป็นเพลายาว และมีความยาวประมาณ 800 mm หมุนด้วยมอเตอร์ และควบคุมความเร็วรอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าหมุนด้วยความเร็ว 34 rpm

3.3.1.4 ขึ้นรูปด้วยการทาเรซิ่นลงบนเส้นใยแก้ว ดังภาพที่ 3.16 เริ่มต้นจากการผสมเรซิ่นและตัวทำให้แข็งลงในแก้วพลาสติก แล้วกวนเรซิ่นในทิศทางเดียวประมาณ 2 ถึง 3 นาที ซึ่งปริมาณของเรซิ่นที่ใช้คือ 140 ml และตัวทำให้แข็งประมาณ 0.14 ml จากนั้นทาลงใยแก้วจนกระทั่งครบจำนวนชั้นของใยแก้ว ในการศึกษานี้ใช้เส้นใยแก้วทั้งหมด 6 ชั้น เมื่อทาเรซิ่นจนชุ่มแล้วจึงนำเอาลูกกลิ้งโลหะเกลียวกลิ้งบนชิ้นงานเพื่อไล่อากาศออก

(ก) (ข)

ภาพที่ 3.16 (ก) การทาเรซิ่นลงบนเส้นใยแก้วที่พันแม่แบบ (ข) ลูกกลิ้งโลหะเกลียวเพื่อไล่อากาศออก

3.3.1.5 หลังจากผ่านการทาเรซิ่นและรีดอากาศออกด้วยลูกกลิ้งแล้ว เครื่องหมุนแม่แบบเริ่มหมุนด้วยความเร็วที่ 34 rpm ใช้เวลาในการหมุนประมาณ 180 min ดังภาพที่ 3.17 เพื่อให้เรซิ่นเซ็ทตัวและมีความแข็งพอที่จะถอดแบบออกได้ง่าย ทั้งนี้หลังจาก 180 min ไปแล้วชิ้นงานจะติดกับแม่แบบซึ่งจะทำให้ถอดแบบออกยาก

ภาพที่ 3.17 เครื่องหมุนแม่แบบ

3.3.1.6 การถอดแม่แบบชิ้นงาน ถอดออกโดยการดึงชิ้นงานออกจากตัวแม่แบบ หลังจากนั้นชิ้นงานวางไว้ เพื่อให้ชิ้นงานแห้ง จะได้ท่อชิ้นงานตามมุมที่เราต้องการ จากนั้นปล่อยให้ชิ้นงานทิ้งไว้ประมาณ 1 ถึง 2 วัน เพื่อให้ชิ้นงานแห้งดีแล้วจึงนำชิ้นงานไปตัด ก็จะได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ดังแสดงในภาพที่ 3.18

(ก) ชิ้นงาน A [(0/90)/(0/90)/(0/90)]

(ข) ชิ้นงาน B [(45/-45)/(45/-45)/(45/-45)]

(ค) ชิ้นงาน C [+45/-45]/ [0/90] /[+45/-45]

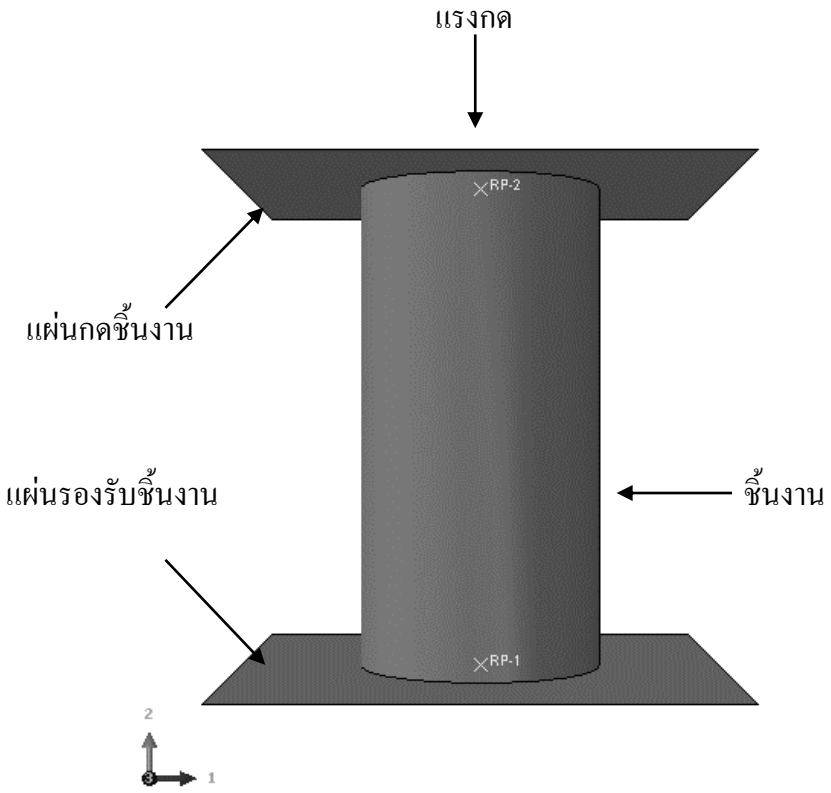
ภาพที่ 3.18 ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปในมุมไขว้ต่างๆ

3.4 รายละเอียดแบบจำลอง FEA

ในวิธีการคำนวณโดยใช้วิธีระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จากโปรแกรมที่มีชื่อว่า ABAQUS/Explicit ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

3.4.1 การสร้างแบบจำลองทดสอบ

แบบจำลองที่สร้างขึ้นประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนของชิ้นงานซึ่งเป็นท่อไฟเบอร์กลาสวางทับซ้อนกันที่มุมต่างๆ แผ่นกดด้านบนซึ่งกำหนดให้เป็นวัตถุแข็งเกร็งทำหน้าที่จำลองการกดชิ้นงานและแผ่นรองรับด้านล่าง ทำหน้าที่รองรับชิ้นงาน ในการสร้างแบบจำลองของชิ้นงานกำหนดให้ชิ้นงานมีลักษณะการเรียงทับซ้อนของมุมไขว้ จำนวน 6 ชั้น ในแต่ละชั้นมีความหนา คือ 0.33 mm ความหนาของท่อคือ 2 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกคือ 50 mm และความยาว คือ 100 mm ในส่วนของแบบจำลองโครงสร้างคือ Shell ชนิด Revolution Type Deformable ในส่วนของแผ่นวัตถุแข็งเกร็งโครงสร้างเป็นแบบ Shell Element ชนิด Planar Discrete Rigid ขนาดของแผ่นวัตถุแข็งเกร็งคือ กว้างคือ 50 mm และยาวคือ 50 mm ดังภาพที่ 3.19 แสดงถึงโครงสร้างของชิ้นงานและแผ่นวัตถุแข็งเกร็ง ซึ่งวัตถุแข็งเกร็งไม่มีความเสียหายเกิดขึ้น



ภาพที่ 3.19 แบบจำลองโครงสร้างของชิ้นงานและแผ่นวัตถุแข็งเกร็ง

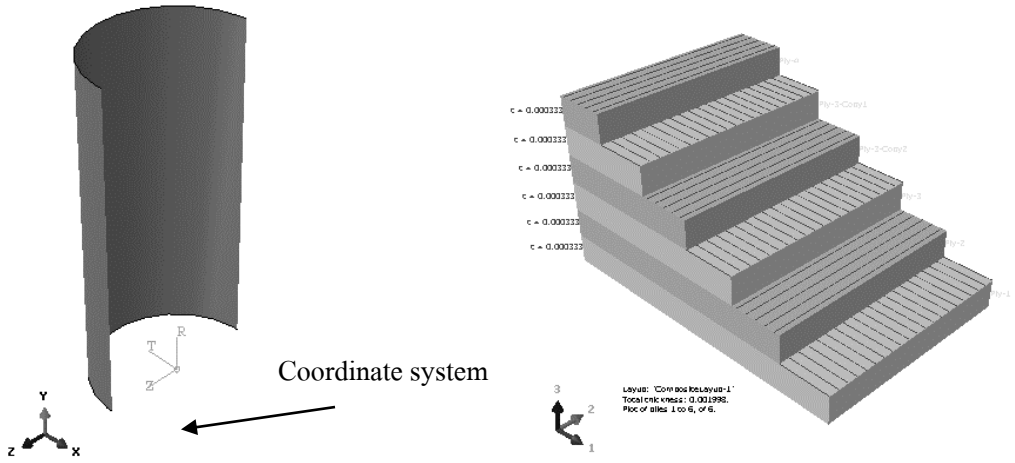
3.4.2 การกำหนดคุณสมบัติของท่อชิ้นงาน

ในการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุชิ้นงาน ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นวัสดุประกอบที่มีคุณสมบัติไม่เท่ากัน โดยคุณสมบัติทางกลของวัสดุประกอบที่ใช้ในโปรแกรมได้มาจากการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุจริง ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไปและมีค่าดังต่อไปนี้

ค่าโมดูลัสตามยาว	E_1	คือ 15.83 GPa
ค่าโมดูลัสตามขวาง	E_2,E_3	คือ 5.37 GPa
ค่าโมดูลัสเฉือนในระนาบ	G_{12}	คือ 7.34 GPa
ค่าโมดูลัสเฉือนนอกระนาบ	G_{23}	คือ 2.41 GPa
ค่าโมดูลัสเฉือนในระนาบ	G_{13}	คือ 7.34 GPa
ค่าอัตราป๋วซอง	ν_{12}	คือ 0.12
ค่าอัตราป๋วซอง	ν_{13}	คือ 0.14
ค่าอัตราป๋วซอง	ν_{23}	คือ 0.14
ค่าความหนาแน่น	ρ	คือ 1600 Kg/m^3
ค่าความต้านทานแรงดึงตามแนวเส้นใย	X_t	คือ 358.8 MPa
ค่าความต้านทานแรงกดตามแนวเส้นใย	X_c	คือ 209.93 MPa
ค่าความต้านทานแรงดึงตามขวางเส้นใย	Y_t	คือ 10.46 MPa
ค่าความต้านทานแรงกดตามขวางเส้นใย	Y_c	คือ 65.71 MPa
ค่าความต้านทานแรงเฉือน	S_{12}	คือ 62.20 MPa
ค่าความต้านทานแรงเฉือนนอกระนาบ	S_{23}	คือ 48.28 MPa

3.4.3 การกำหนดแกนและลักษณะการเรียงตัวของเส้นใย

ในการกำหนดแกนของชิ้นงานวัสดุประกอบนั้นจำเป็นที่จะต้องตั้งแกนขึ้นมาใหม่ เนื่องจากแกน x ของแกน global นั้นมีลักษณะการพันตามขวางของเส้นใย จึงต้องปรับตั้งระบบของการกำหนดแกน เพื่อให้แกน x มีทิศทางไปในทิศทางเดียวกันกับแกนชิ้นงาน ดังภาพที่ 3.20 (ก) แสดงการกำหนดแกน ในส่วนของการเรียงตัวของเส้นใยจะเรียงตัวตามทิศทางดังภาพที่ 3.20 (ข)



(ก) (ข)

ภาพที่ 3.20 (ก) การกำหนดใช้แกน coordinate system (ข) ลักษณะการเรียงตัวของเส้นใย

3.4.4 การกำหนดระยะเวลาในการทดสอบชิ้นงาน

การกำหนดเวลาในการทดสอบชิ้นงาน เป็นการกำหนดระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ชิ้นงาน โดยเวลาจะมีความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบต่อความเร็ว ในกรณีภาระแบบกึ่งคงที่ใช้เวลา 0.06 min และกรณีภาระกระแทก ใช้เวลา 0.0085 วินาที

3.4.5 การกำหนดการสัมผัสกันของชิ้นงาน

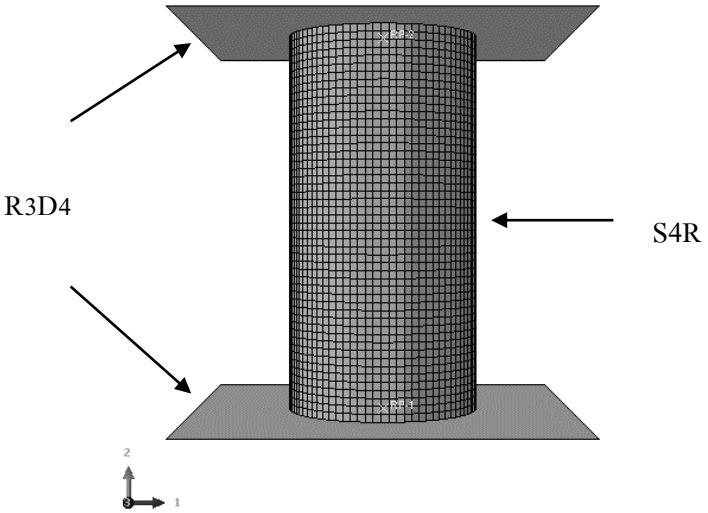
การกำหนดการสัมผัสกันของชิ้นงานที่ทดสอบ ซึ่งเป็นการกำหนดให้ชิ้นงานที่มีโอกาสสัมผัสกัน ได้แก่การกำหนด General contact คือเมื่อเกิดการยุบตัวของท่อชิ้นงานที่สัมผัสกันทั้งหมด และการกำหนด Surface –Self - Surface Contact คือเมื่อเกิดการสัมผัสกันระหว่างแผ่นวัตถุแข็งเกร็งกับชิ้นงาน โดยแผ่นกดด้านบนและแผ่นรองรับด้านล่างมีค่าความเสียดทานเท่ากับ 0.2

3.4.6 การกำหนดสภาวะเงื่อนไขขอบ

สภาวะเงื่อนไขขอบสำหรับการวิเคราะห์ชิ้นงานประกอบด้วย การกำหนดเงื่อนไขขอบของความเร็วที่กระทำต่อแบบจำลองโดยเลือก Velocity ใน Boundary Condition ซึ่งเหมือนกับการทดลองจริง ที่ความเร็ว 7 m/s ในกรณีของภาระกระแทก และ 10 mm/min ในกรณีของภาระแบบกึ่งคงที่ ในส่วนการกำหนดขอบเขตของแบบจำลองโดยเลือก Symmetry/Antisysmmetry/Encastre ใน Boundary Condition ยึดด้านล่างของแบบจำลองไม่ให้เคลื่อนที่ในทิศทางต่างๆ และในการกำหนดระยะของการเคลื่อนที่ของแผ่นวัตถุแข็งเกร็งให้ไปในทิศทางเดียว โดยเลือก Displacement/Rotation ใน Boundary Condition

3.4.7 ชนิดของเอลิเมนต์

เอลิเมนต์ของท่อชิ้นงาน คือ ชนิด S4R มี 4 โหนด มีผิวสองด้านซึ่งสามารถคำนวณได้ทั้ง Thin Shell และ Thick Shell ใช้การคำนวณแบบความเครียดจำกัดและ integrate ที่กึ่งกลาง element. ขนาดของเมชคือ 0.003 และเอลิเมนต์แผ่นวัตถุแข็งเกร็ง คือ ชนิด R3D4 มี 4 Node กำหนดเป็นวัตถุแข็งเกร็ง ลักษณะของแบบจำลองแสดงในภาพที่ 3.21



ภาพที่ 3.21 ลักษณะ Element ของ FEA Model ในการศึกษา

3.4.8 การกำหนดชื่อไฟล์ที่สร้างขึ้นเพื่อการทดสอบ

เป็นการสร้างชื่อไฟล์ที่เก็บข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบไว้ ซึ่งเมื่อมีการสร้างชิ้นงานการทดสอบ ก็จะมีการสร้างไฟล์เก็บไว้ที่ Folder TEMP เพื่อสำรองข้อมูลที่จำเป็นในการวิเคราะห์เก็บการสร้างชื่อไฟล์ที่เก็บข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบและตรวจสอบสถานะ การคำนวณของโปรแกรม

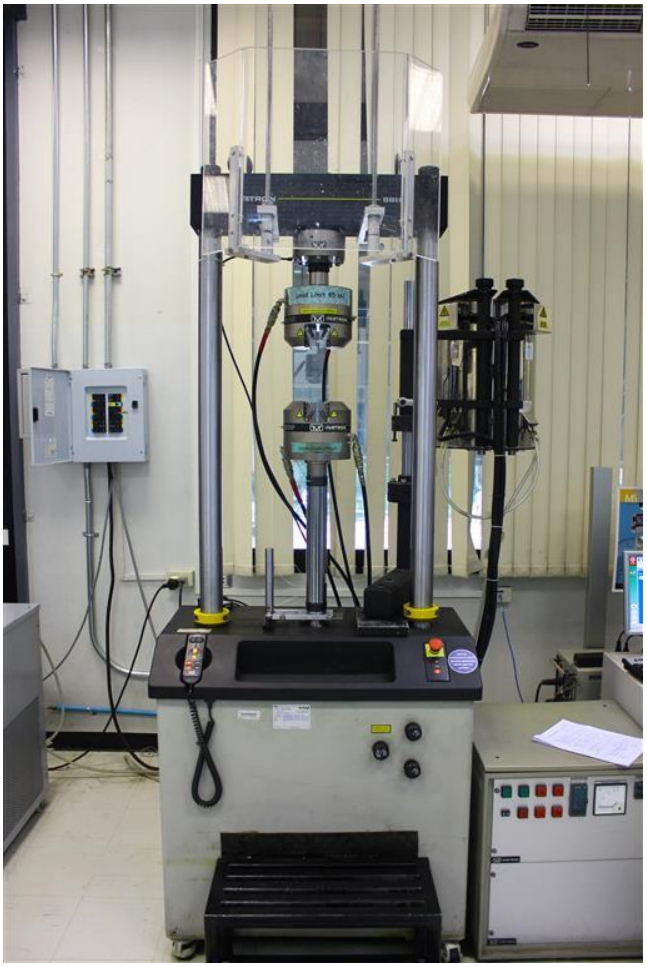
3.4.9 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์โปรแกรม ABQUS/Explicit

การแสดงผลออกทางจอแสดงผลจะแสดงได้หลากหลายรูปแบบกว่าการแสดงผลออกมาในรูปชุดข้อมูลแต่ก็ไม่นำมาวิเคราะห์หาค่าเพิ่มเติม หรือนำมาคำนวณได้เนื่องจากเป็นการแสดงผลเช่น การแสดงผลออกมาในรูปของ ภาพเคลื่อนไหว (Animation) และกราฟแต่ก็สามารถนำมาประกอบการวิเคราะห์ได้ ในการศึกษานี้ได้นำผลที่ได้ในรูปแบบของกราฟเพื่อประกอบการวิเคราะห์รูปแบบการเสียหายและนำข้อมูลในรูปแบบชุดของตัวเลขเพื่อนำมาเขียนเป็นกราฟและคำนวณต่อไป

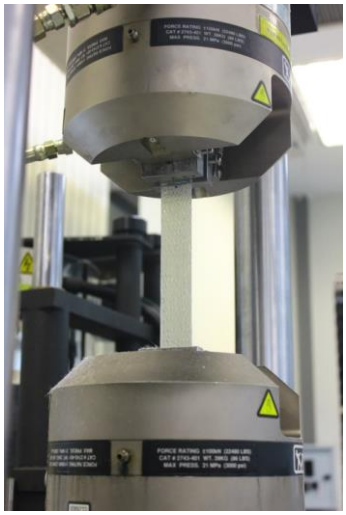
3.5 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ

3.5.1 วิธีการทดสอบชิ้นงานภายใต้แรงดึง

เครื่องทดสอบที่ใช้ในการวิจัย มีชื่อว่า Universal Testing Machine Dynamic Type รุ่น Instron 8801 ความสามารถในการกด 100 kN ดังแสดงในภาพที่ 3.22 จากห้องปฏิบัติการทดสอบทางกล ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ซึ่งหลักการทำงานของเครื่อง โดยใช้แรงดันน้ำมันในการขับเคลื่อนกดหัวทดสอบให้เคลื่อนที่เพื่อให้เกิดแรงกระทำบนชิ้นงานภายใต้ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุม แรงที่เกิดขึ้นจะถูกวัดโดยโหลดเซล ส่วนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานทดสอบจะถูกวัดโดยระยะการเคลื่อนที่ของ actuator หรือ extensometer ผลที่ได้จากการทดลองสรุป ดังตารางที่ 3.4



(ก)



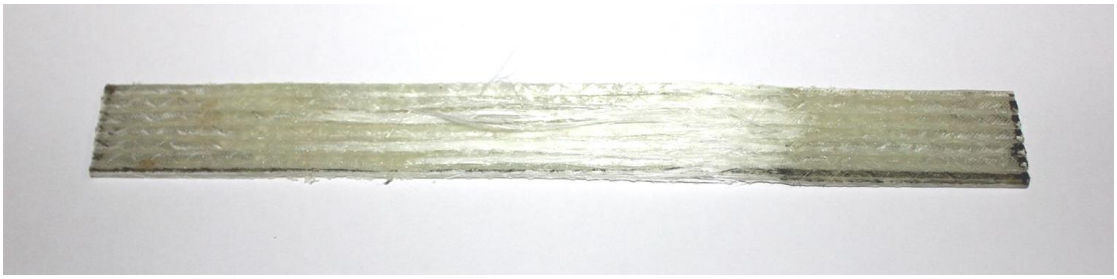
(ข)

ภาพที่ 3.22 (ก) เครื่องทดสอบแรงดึง (ข) การจับยึดชิ้นงาน

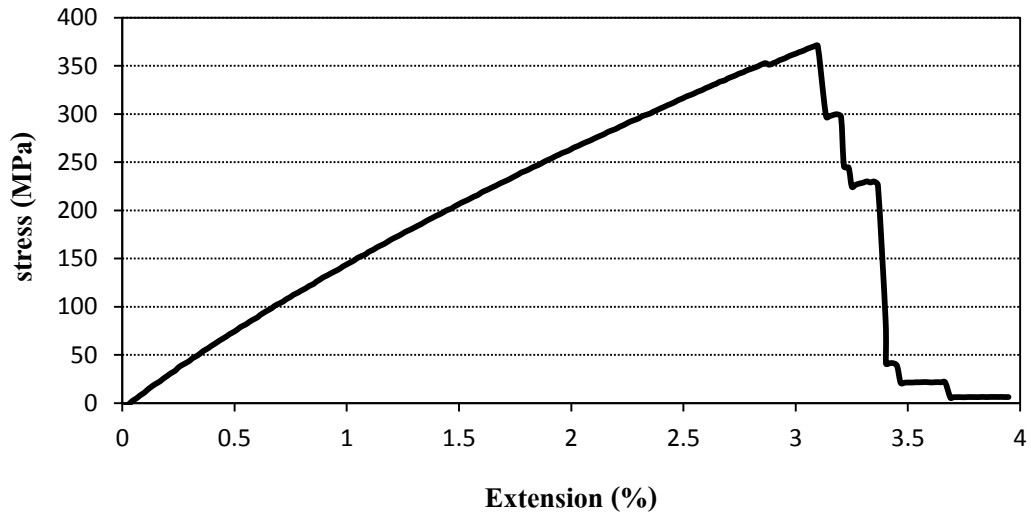
3.5.2 ผลการทดสอบแรงดึง

3.5.2.1 การทดสอบการต้านทานแรงดึงการเรียงตัวของเส้นใยในทิศทางต่างกันของชิ้นงาน A

การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 3039 โดยมีการเรียงตัวของเส้นใยแบบหลายทิศทางคือ [0/90]/ [0/90]/ [0/90] ดังภาพที่ 3.23 ขนาดของชิ้นงาน ความหนาคือ 2.00 mm ความกว้างคือ 25.00 mm ความยาวคือ 250.00 mm ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบคือ 10 mm/min ได้ผลดังภาพที่ 3.24 พบว่ากราฟมีแนวโน้มลักษณะสูงขึ้น ซึ่งเกิดจากการต้านทานแรง หลังจากนั้นกราฟตกลงอย่างรวดเร็วซึ่งเกิดจากชิ้นงานเกิดการเสียหาย จากการทดลองพบว่า ค่าความเค้นสูงสุดคือ 370.68 MPa และค่าความต้านทานแรงสูงสุดคือ 18.00 kN



ภาพที่ 3.23 ชิ้นงาน A ที่มีการเรียงตัวของเส้นใยคือ [0/90]/ [0/90]/ [0/90] สำหรับการทดลองแรงดึง

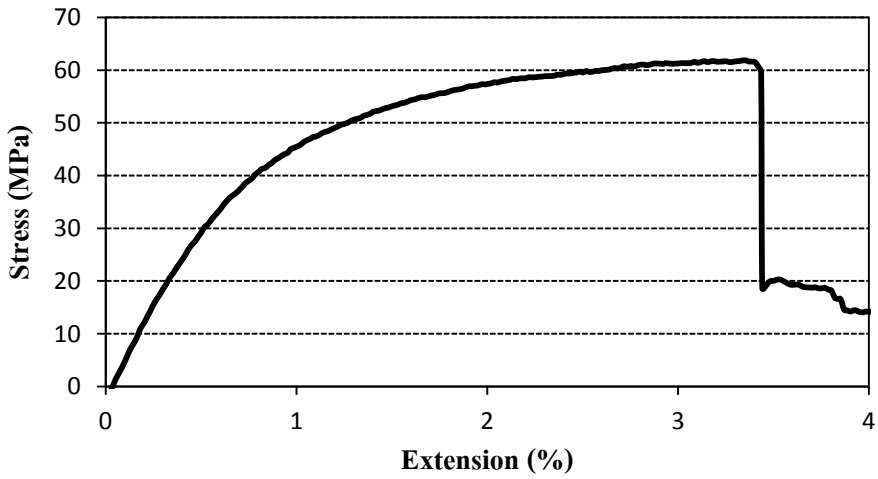


ภาพที่ 3.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับระยะการยืดตัวภายใต้แรงดึงของชิ้นงาน A

3.5.2.2 การทดสอบการต้านทานแรงดึงการเรียงตัวของเส้นใยในทิศทางต่างกันของชิ้นงาน B

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบแรงเฉือนในระนาบตามมาตรฐาน ASTM D 3518 และทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 3039 จากการทดสอบด้วยการดึงชิ้นงาน ที่มีมุมของเส้นใย [(45/-45)/(45/-45)/(45/-45)] องศา ความหนาคือ 2.00 mm ความกว้างคือ 25.00 mm ความยาวคือ 250.00 mm ดังภาพที่ 3.25 ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบคือ 10 mm/min ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 3.26 แสดงความสัมพันธ์กันระหว่าง ความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงาน จากการทดลองพบว่า ค่าความเค้นสูงสุดคือ 62.86 MPa ค่าความต้านทานแรงสูงสุดคือ 2.90 kN

ภาพที่ 3.25 ชิ้นงาน B ที่มีการเรียงตัวของเส้นใยคือ [(45/-45)/(45/-45)/(45/-45)] สำหรับการทดลองแรงดึง

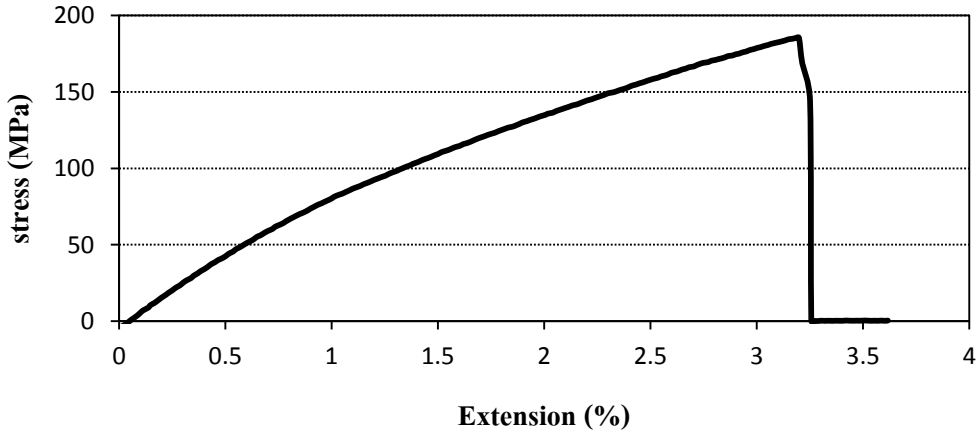


ภาพที่ 3.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับระยะการยืดตัวภายใต้แรงดึงของชิ้นงาน B

3.5.2.3 การทดสอบการต้านทานแรงดึงการเรียงตัวของเส้นใยในทิศทางต่างกันของชิ้นงาน C

สำหรับการเตรียมชิ้นงานการทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 3039 โดยมีการเรียงตัวของเส้นใยแบบหลายทิศทางคือ [45/-45]/ [0/90]/ [45/-45] ดังภาพที่ 3.27 ขนาดของชิ้นงานคือ ความหนาคือ 2.00 mm ความกว้างคือ 25.00 mm ความยาวคือ 250.00 mm ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบคือ 10 mm/min ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงความสัมพันธ์กันระหว่าง ความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงาน ภาพที่ 3.28 จากราฟพบว่ากราฟมีแนวโน้มลักษณะสูงขึ้น ซึ่งเกิดจากการต้านทานแรง หลังจากนั้นกราฟตกลงอย่างรวดเร็วซึ่งเกิดจากชิ้นงานเกิดการเสียหาย จากการทดลองพบว่า ค่าความเค้นสูงสุดคือ 185.43 MPa และค่าความต้านทานแรงสูงสุดคือ 10.10 kN

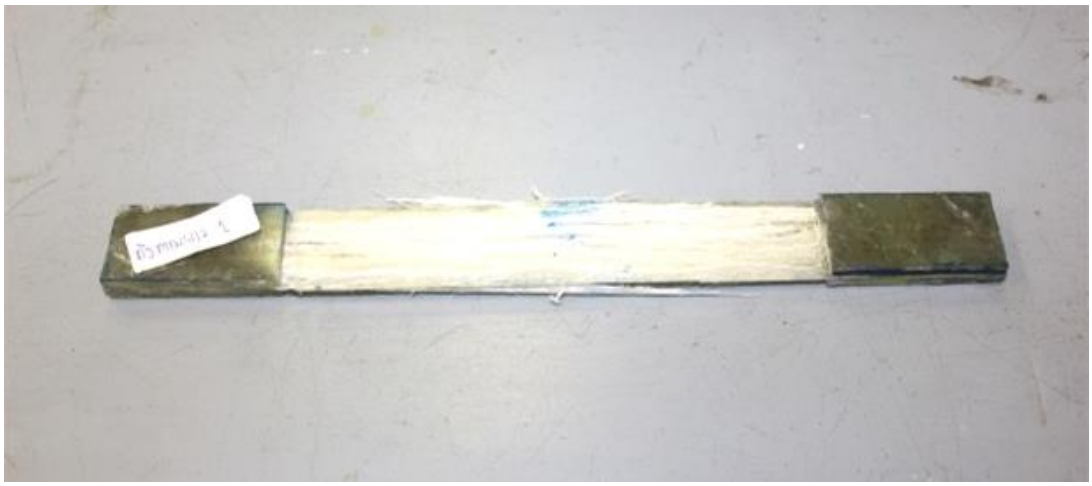
ภาพที่ 3.27 ชิ้นงาน C ที่มีการเรียงตัวของเส้นใยคือ [45/-45]/ [0/90]/ [45/-45] สำหรับการทดลองแรงดึง



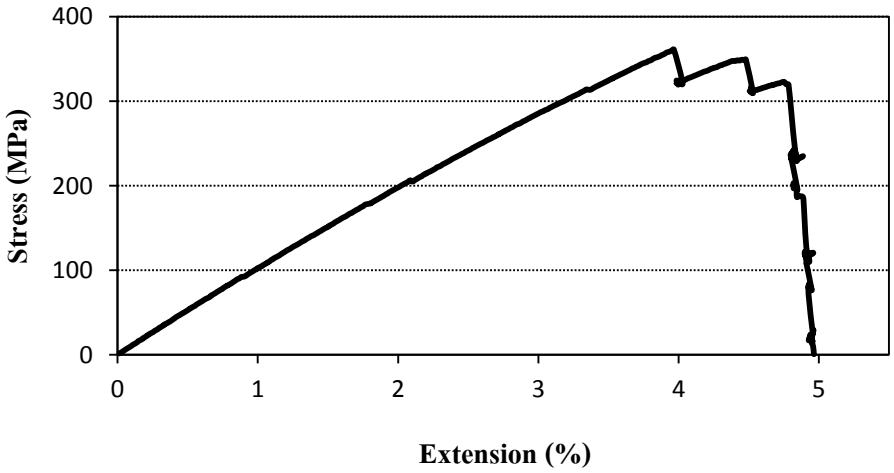
ภาพที่ 3.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับระยะการยืดตัวภายใต้แรงดึงของชิ้นงาน C

3.5.2.4 การทดสอบการต้านทานแรงดึงตามแนวเส้นใยในทิศทางเดียว 0 องศา

การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 3039 โดยมีการเรียงตัวของเส้นใยตามแนวยาวหรือ [0/0]/ [0/0]/ [0/0] องศา ในทิศทางเดียว ดังภาพที่ 3.29 โดยชิ้นงานทดลองมี ความกว้างคือ 25.00 mm และความยาวคือ 250.00 mm ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบคือ 10 mm/min ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงาน ดังภาพที่ 3.30 จากการทดลองพบว่า ค่าความเค้นสูงสุดคือ 361.07 MPa และค่าความต้านทานแรงสูงสุดคือ 23.19 kN



ภาพที่ 3.29 ชิ้นงานที่มีการเรียงตัวของเส้นใยทิศทางเดียว สำหรับการทดลองแรงดึง

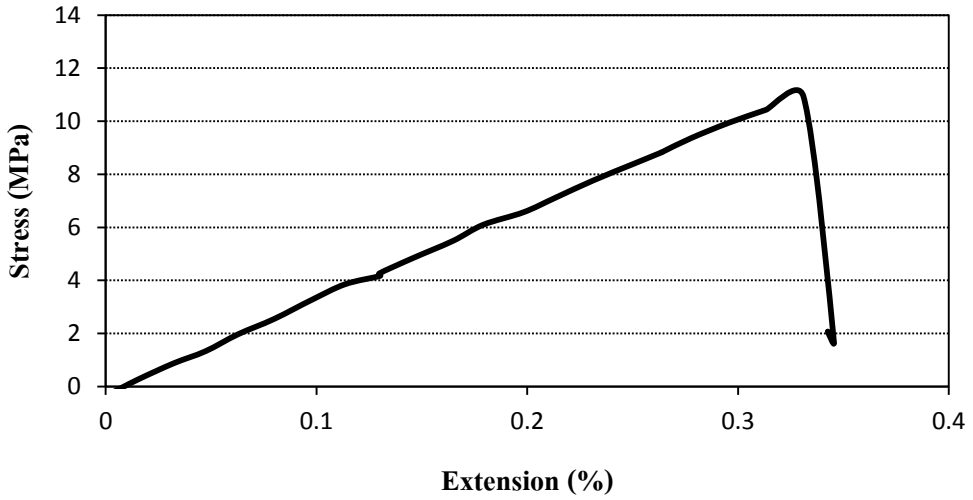


ภาพที่ 3.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงานภายใต้แรงดึง ตามแนวเส้นใยในทิศทางเดียว 0 องศา

3.5.2.5 การทดสอบการต้านทานแรงดึงตามแนวขวางเส้นใยในทิศทางเดียว 90 องศา

การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 3039 ทดสอบภายใต้แรงดึง โดยมีการเรียงตัวของเส้นใยตามแนวขวางหรือ [90/90]/ [90/90]/ [90/90] องศา ในทิศทางเดียว ดังชิ้นงานแสดงในภาพที่ 3.31 โดยมีความกว้างคือ 25.00 mm และความยาวคือ 250.00 mm ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบคือ 10 mm/min ผลการทดสอบแสดงในดังภาพที่ 3.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงาน จากการทดลองพบว่า ค่าความเค้นสูงสุดคือ 10.94 MPa และค่าความต้านทานแรงสูงสุดคือ 0.59 kN

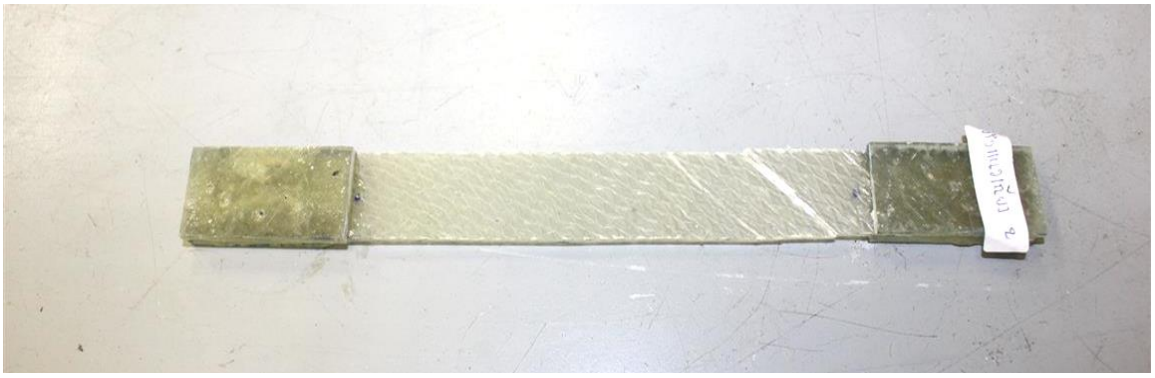
ภาพที่ 3.31 ชิ้นงานที่มีการเรียงตัวของเส้นใยทิศทางเดียว สำหรับการทดลองแรงดึง



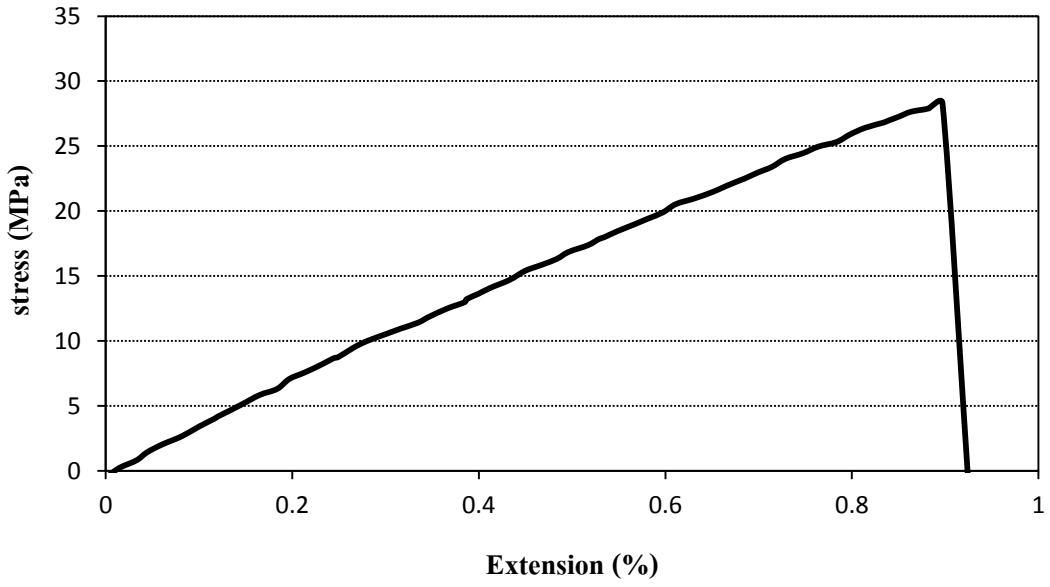
ภาพที่ 3.32 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงานภายใต้แรงดึง ตามแนวเส้นใยในทิศทางเดียว 90 องศา

3.5.2.6 การทดสอบการต้านทานแรงดึงตามแนวเฉียงเส้นใยในทิศทางเดียว 45 องศา

ชิ้นงานทดลองมีการเรียงตัวของเส้นใยตามแนวเฉียงหรือ [45/45]/[45/45]/[45/45] องศา ในทิศทางเดียว ดังแสดงในภาพที่ 3.33 โดยความกว้างคือ 25.00 mm และความยาวคือ 250.00 mm ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบคือ 10 mm/min ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงความสัมพันธ์กันระหว่าง ความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงาน ดังภาพที่ 3.34 ผลจากการทดลองพบว่า ค่าความเค้นสูงสุดคือ 28.33 MPa และค่าความต้านทานแรงสูงสุดคือ 1.54 kN



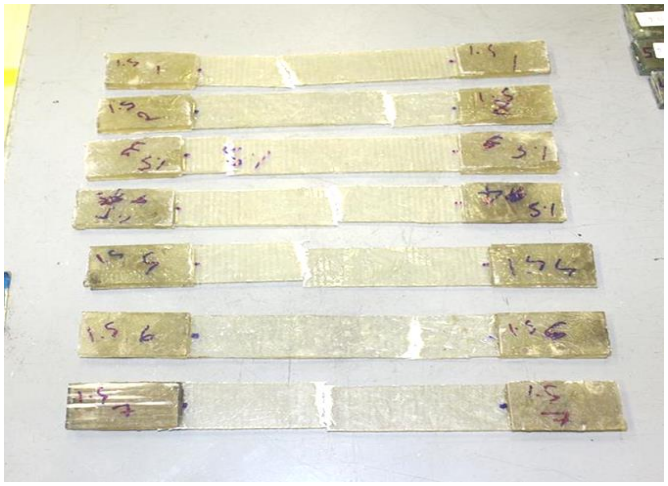
ภาพที่ 3.33 ชิ้นงานที่มีการเรียงตัวของเส้นใยทิศทางเดียว สำหรับการทดลองแรงดึง



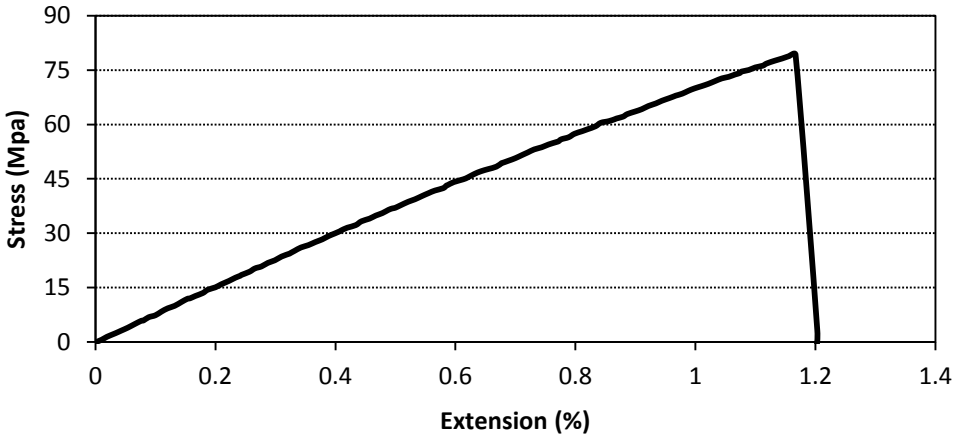
ภาพที่ 3.34 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงานภายใต้แรงดึง ตามแนวเส้นใยในทิศทางเดียว 45 องศา

3.5.2.7 ทดสอบการต้านทานแรงดึงของเส้นใยแบบสุ่มหลายทิศทางความหนา 1.5 mm

การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 3039 ทดสอบภายใต้แรงดึง โดยมีการเรียงตัวของเส้นใยแบบสุ่มหลายทิศทาง ดังชิ้นงานแสดงในภาพที่ 3.35 โดยมีความกว้างคือ 25.00 mm และความยาวคือ 250.00 mm ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบคือ 10 mm/min ผลการทดสอบแสดงในดังภาพที่ 3.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงาน จากการทดลองพบว่า ค่าความเค้นสูงสุดคือ 79.28 MPa และค่าความต้านทานแรงสูงสุดคือ 3.19 kN



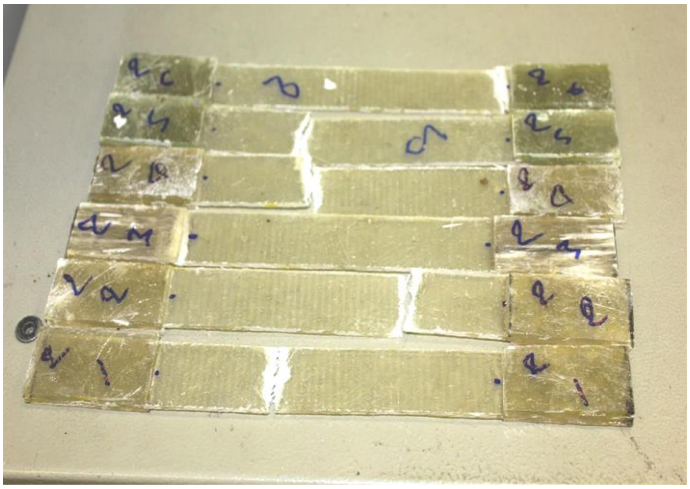
ภาพที่ 3.35 ชิ้นงานที่มีการเรียงตัวของเส้นใยแบบสุ่มหลายทิศทาง สำหรับการทดลองแรงดึง



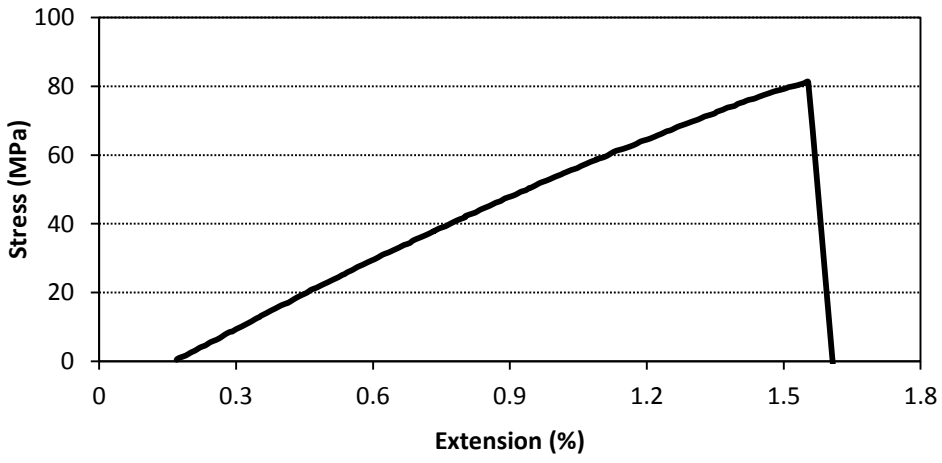
ภาพที่ 3.36 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงานภายใต้แรงดึง เส้นใยแบบสุ่มหลายทิศทางความหนา 1.5 mm

3.5.2.8 ทดสอบการต้านทานแรงดึงของเส้นใยแบบสุ่มหลายทิศทางความหนา 2.0 mm

การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 3039 ทดสอบภายใต้แรงดึง โดยมีการเรียงตัวของเส้นใยแบบสุ่มหลายทิศทาง ดังชิ้นงานแสดงในภาพที่ 3.37 โดยมีความกว้างคือ 25.00 mm และความยาวคือ 250.00 mm ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบคือ 10 mm/min ผลการทดสอบแสดงในดังภาพที่ 3.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงาน จากการทดลองพบว่า ค่าความเค้นสูงสุดคือ 81.23 MPa และค่าความต้านทานแรงสูงสุดคือ 4.86 kN



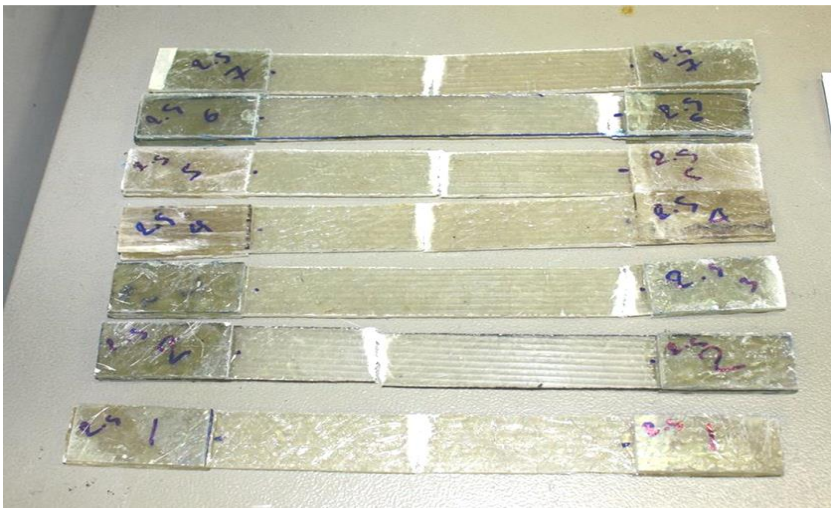
ภาพที่ 3.37 ชิ้นงานที่มีการเรียงตัวของเส้นใยแบบสุ่มหลายทิศทาง สำหรับการทดลองแรงดึง



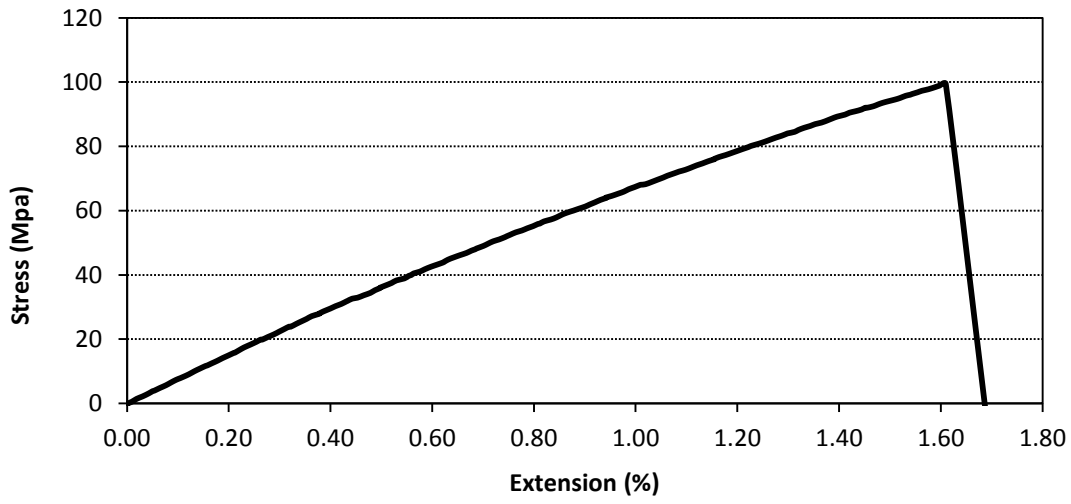
ภาพที่ 3.38 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงานภายใต้แรงดึง เส้นใยแบบสุ่มหลายทิศทางความหนา 2.0 mm

3.5.2.9 ทดสอบการต้านทานแรงดึงของเส้นใยแบบสุ่มหลายทิศทางความหนา 2.5 mm

การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 3039 ทดสอบภายใต้แรงดึง โดยมีการเรียงตัวของเส้นใยแบบสุ่มหลายทิศทาง ดังชิ้นงานแสดงในภาพที่ 3.39 โดยมีความกว้างคือ 25.00 mm และความยาวคือ 250.00 mm ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบคือ 10 mm/min ผลการทดสอบแสดงในดังภาพที่ 3.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงาน จากการทดลองพบว่า ค่าความเค้นสูงสุดคือ 99.43 MPa และค่าความต้านทานแรงสูงสุดคือ 6.19 kN



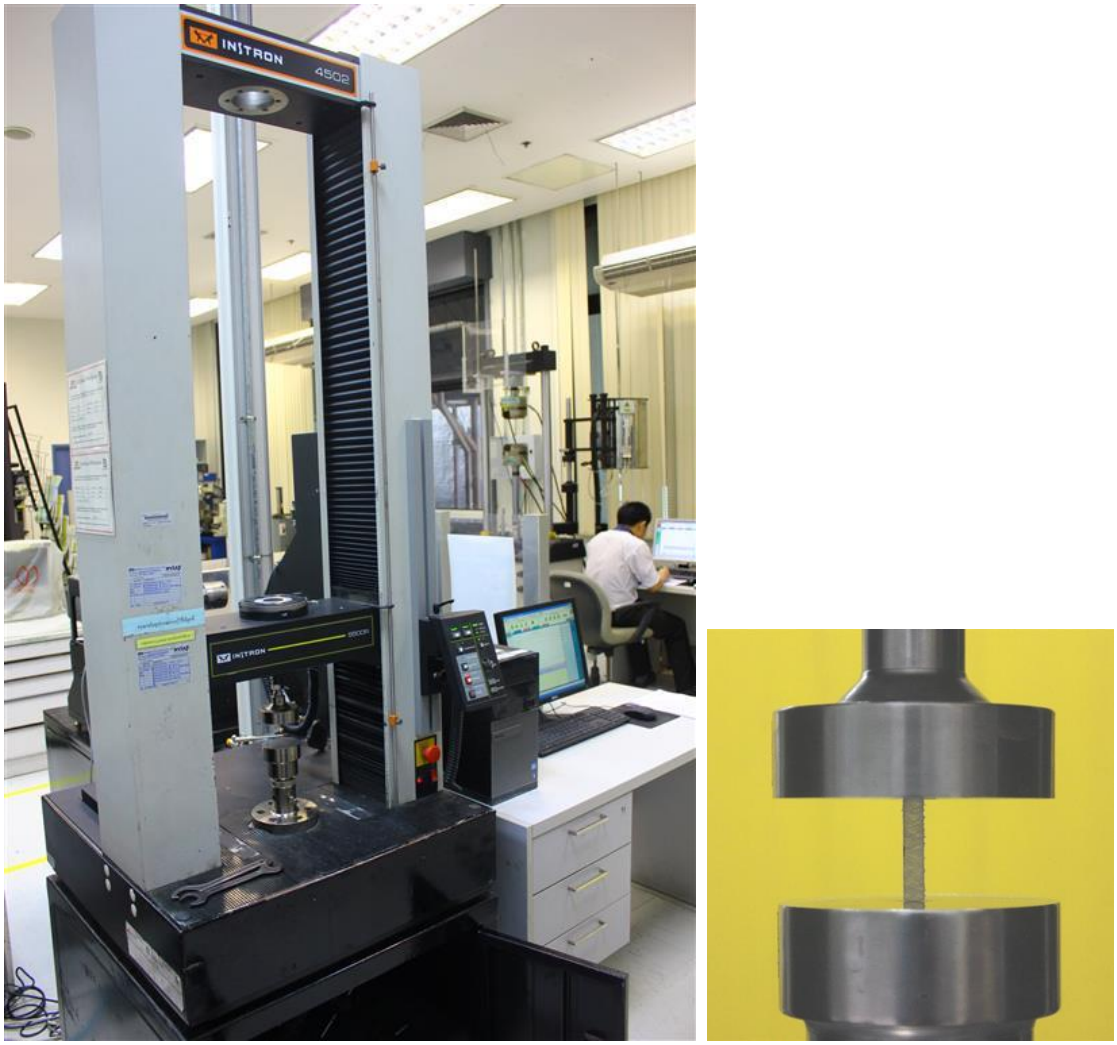
ภาพที่ 3.39 ชิ้นงานที่มีการเรียงตัวของเส้นใยแบบสุ่มหลายทิศทาง สำหรับการทดลองแรงดึง



ภาพที่ 3.40 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงานภายใต้แรงดึง เส้นใยแบบสุ่มหลายทิศทางความหนา 2.5 mm

3.5.3 วิธีการทดสอบชิ้นงานภายใต้แรงกด

เครื่องทดสอบที่ใช้ในการวิจัย มีชื่อว่า Universal Testing Machine Dynamic Type รุ่น Instron 4502 ความสามารถในการกด 10 kgf ดังแสดงในภาพที่ 3.4.1 จากห้องปฏิบัติการทดสอบทางกล ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) หลักการทำงานของเครื่อง โดยใช้แรงดันน้ำมันในการขับเคลื่อนกดหัวทดสอบให้เคลื่อนที่เพื่อให้เกิดแรงกระทำบนชิ้นงานภายใต้ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุม แรงที่เกิดขึ้นจะถูกวัดโดย โหลดเซล ส่วนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานทดสอบจะถูกวัดโดยระยะการเคลื่อนที่ของ actuator หรือ extensometer



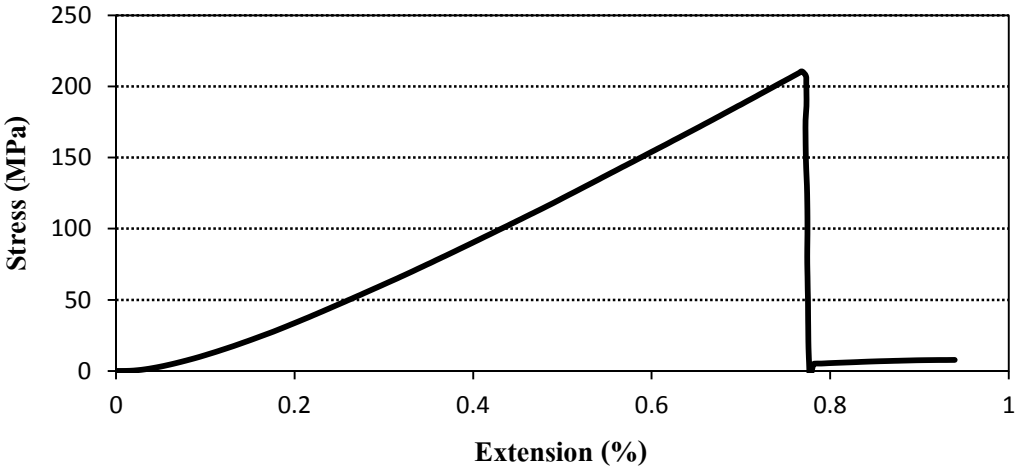
(ก) (ข)

ภาพที่ 3.41 (ก) เครื่องทดสอบกด (ข) ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบแรงกด

3.5.3.1 การทดสอบการต้านทานแรงกดตามแนวเส้นใยในทิศทางเดียว 0 องศา

เตรียมชิ้นงานตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 695 โดยมีการเรียงตัวของเส้นใยตามแนวยาวหรือ [0/0]/[0/0]/[0/0] องศา ในทิศทางเดียวของชิ้นงาน ดังภาพที่ 3.42 โดยให้มีความหนาคือ 5.00 mm ความกว้างคือ 5.00 mm ความยาวคือ 25.00 mm ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบคือ 5 mm/min ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงาน ดังแสดงในภาพที่ 3.43 ซึ่งพบว่ากราฟมีแนวโน้มลักษณะสูงขึ้น ซึ่งเกิดจากการต้านทานแรง หลังจากนั้นกราฟตกลงอย่างรวดเร็วซึ่งเกิดจากชิ้นงานเกิดการเสียหาย จากการทดลองพบว่า ค่าความเค้นสูงสุดคือ 210.55 MPa และค่าความต้านทานแรงสูงสุดคือ 5.54 kN

ภาพที่ 3.42 ชิ้นงานที่มีการเรียงตัวของเส้นใยตามแนวยาวของชิ้นงาน สำหรับการทดลองแรงกด

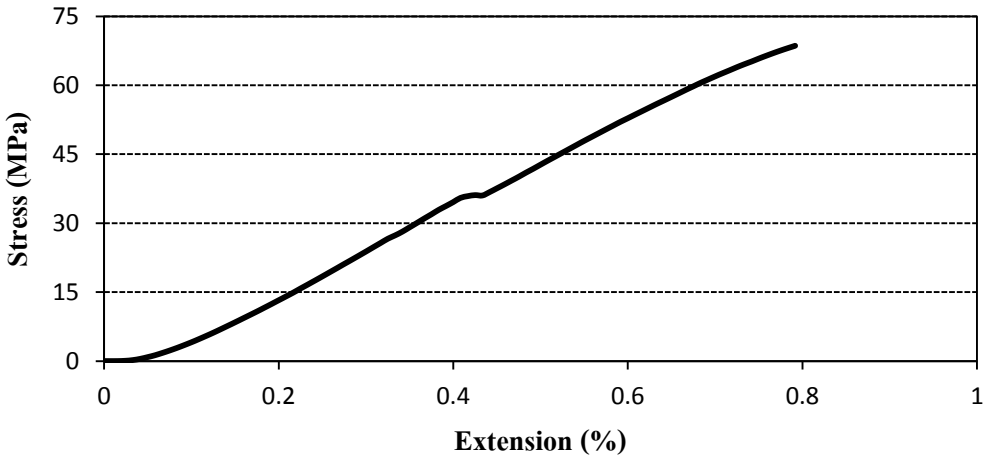


ภาพที่ 3.43 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงานภายใต้แรงกด ตามแนวเส้นใยในทิศทางเดียว 0 องศา

3.5.3.2 การทดสอบการต้านทานแรงกดตามแนวเส้นใยในทิศทางเดียว 90 องศา

เตรียมชิ้นงานตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 695โดยมีการเรียงตัวของเส้นใยตามแนวขวางหรือ [90/90]/ [90/90]/ [90/90] องศา ในทิศทางเดียวของชิ้นงาน ดังภาพที่ 3.44 โดยความหนาคือ 5.00 mm ความกว้างคือ 5.00 mm ความยาวคือ 25.00 mm ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบคือ 5 mm/min ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงความสัมพันธ์กันระหว่าง ความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงาน ดังภาพที่ 3.45 จากการทดลองพบว่า ค่าความเค้นสูงสุดคือ 69.88 MPa และค่าความต้านทานแรงสูงสุดคือ 1.81 kN

ภาพที่ 3.44 ชิ้นงานที่มีการเรียงตัวของเส้นใยตามแนวขวางของชิ้นงานสำหรับการทดลองแรงกด

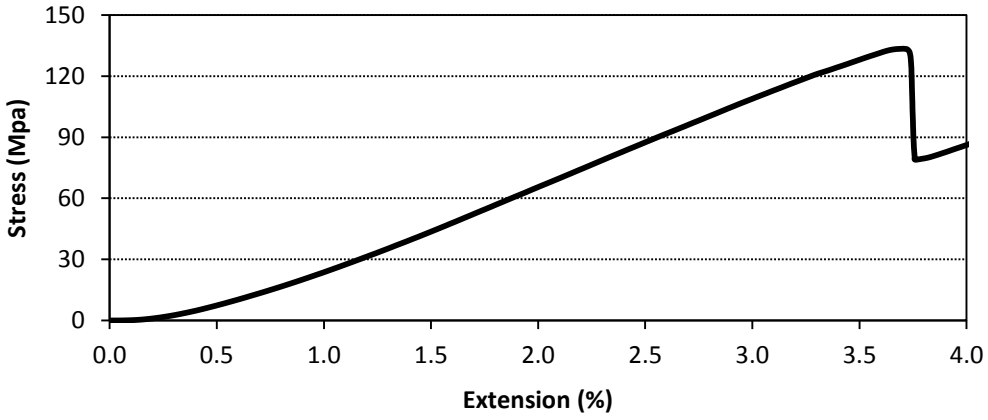


ภาพที่ 3.45 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงานภายใต้แรงกด ตามแนวเส้นใยในทิศทางเดียว 90 องศา

3.5.3.3 การทดสอบการต้านทานแรงกดตามแนวเส้นใยแบบสุ่มหลายทิศทาง

เตรียมชิ้นงานตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 695 โดยมีการเรียงตัวของเส้นใยแบบสุ่มหลายทิศทาง ดังภาพที่ 3.46 โดยให้มีความหนาคือ 5.00 mm ความกว้างคือ 5.00 mm ความยาวคือ 25.00 mm ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบคือ 5 mm/min ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงาน ดังแสดงในภาพที่ 3.47 กราฟมีแนวโน้มลักษณะสูงขึ้น ซึ่งเกิดจากการต้านทานแรง หลังจากนั้นกราฟตกลงอย่างรวดเร็วซึ่งเกิดจากชิ้นงานเกิดการเสียหาย จากการทดลองพบว่า ค่าความเค้นสูงสุดคือ 133.37 MPa และค่าความต้านทานแรงสูงสุดคือ 3.25 kN

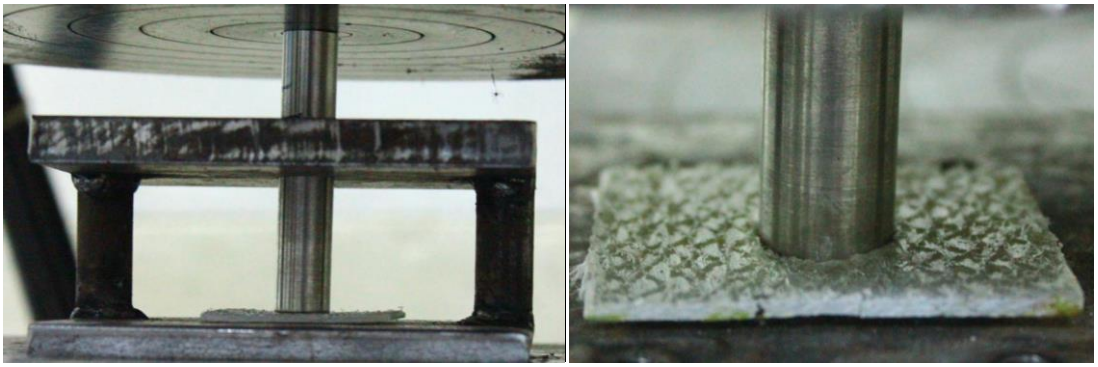
ภาพที่ 3.46 ชิ้นงานที่มีการเรียงตัวของเส้นใยตามแนวขวางของชิ้นงานสำหรับการทดลองแรงกด



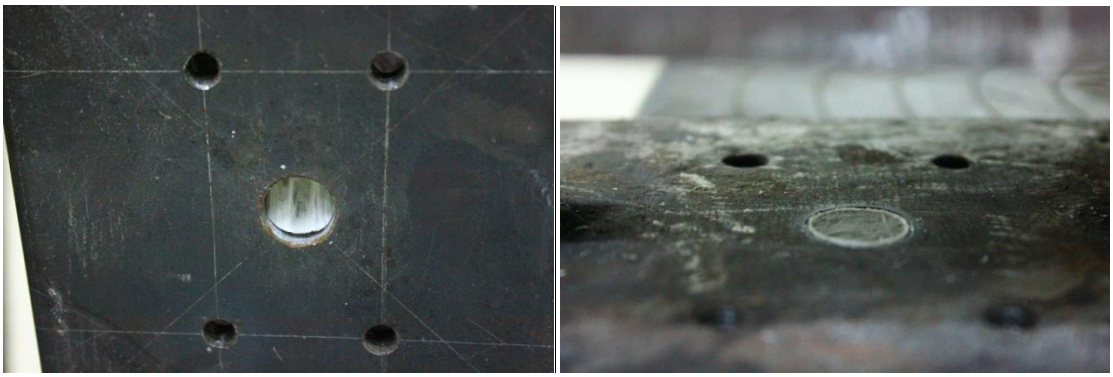
ภาพที่ 3.47 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงานภายใต้แรงกด เส้นใยแบบสุ่มหลายทิศทาง

3.5.4 วิธีการทดสอบชิ้นงานภายใต้แรงเฉือน

เครื่องทดสอบการกดแบบกระทำแบบกึ่งคงที่ ซึ่งใช้ในการวิจัยมีชื่อว่า เครื่อง ESH Testing Limited รายละเอียดของเครื่องซึ่งอธิบายในหัวข้อ 3.1.1 ซึ่งเป็นเครื่องทดสอบที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์กับระบบไฮดรอลิกส์ (Hydraulic) และอุปกรณ์การทดสอบแรงเฉือนที่มีลักษณะโดยหัวกดคือเหล็กทรงกระบอกตัน เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 mm ทดสอบโดยกดชิ้นงานผ่านความหนาให้ขาดออกจากกัน ดังภาพที่ 3.48



(ก) อุปกรณ์ทดสอบ (ข) ลักษณะหัวกดเฉือนผ่านความหนาของชิ้นงาน

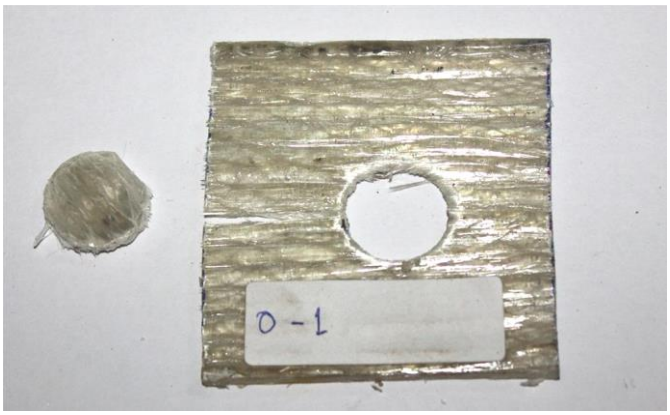


(ค) ด้านล่างของอุปกรณ์ทดสอบ (ง) ชิ้นงานขาดออกจากกัน

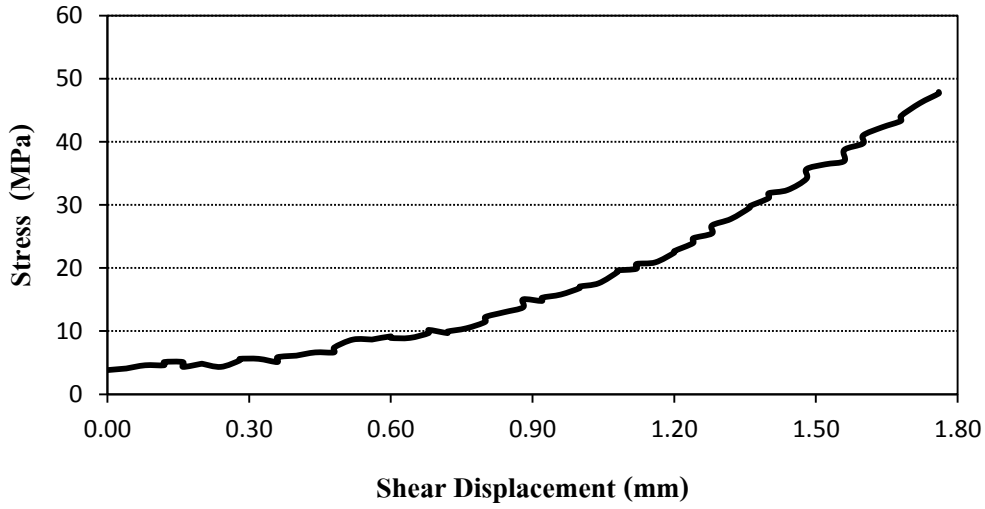
ภาพที่ 3.48 อุปกรณ์การทดสอบแรงเฉือน

3.5.4.1 การทดสอบแรงเฉือนนอกระนาบในทิศทางเดียว 0 องศา

เตรียมชิ้นงาน โดยให้มีการเรียงตัวของเส้นใยตามแนวยาว [0/0]/ [0/0]/ [0/0] องศา ในทิศทางเดียว ดังภาพที่ 3.49 โดยชิ้นงานมีความหนาคือ 2.00 mm ความกว้างคือ 50.00 mm ความยาวคือ 50.00 mm ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบคือ 10 mm/min ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงาน ภาพที่ 3.50



ภาพที่ 3.49 ชิ้นงานที่มีการเรียงตัวของเส้นใยตามแนวขวางของชิ้นงานสำหรับการทดลองแรงเฉือน

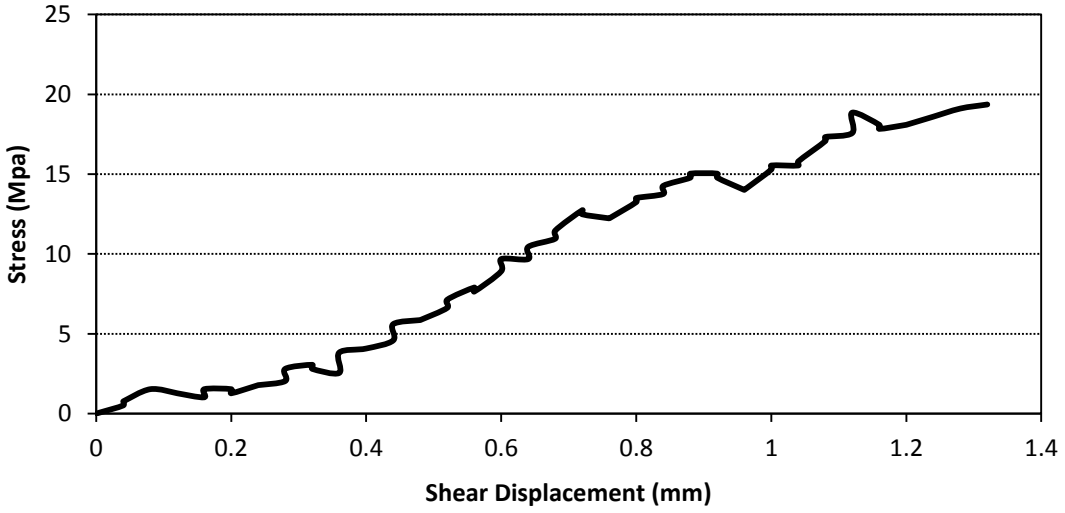


ภาพที่ 3.50 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงานภายใต้แรงเฉือน ตามแนวเส้นใยทิศทางเดียว 0 องศา

3.5.4.2 การทดสอบแรงเฉือนนอกระนาบของเส้นใยแก้วแบบสุ่มหลายทิศทางความหนา 1.5 mm

เตรียมชิ้นงาน โดยให้มีการเรียงตัวของเส้นใยแบบสุ่มหลายทิศทาง ดังภาพที่ 3.51 โดยชิ้นงานมีความหนาคือ 1.50 mm ความกว้างคือ 50.00 mm ความยาวคือ 50.00 mm ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบคือ 10 mm/min ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงาน ภาพที่ 3.52 จากการทดลองพบว่า ค่าความเค้นสูงสุดคือ 19.36 MPa และค่าความต้านทานแรงสูงสุดคือ 3.72 kN

ภาพที่ 3.51 ชิ้นงานที่มีการเรียงตัวของเส้นใยแบบสุ่มหลายทิศทางของชิ้นงานสำหรับการทดลองแรงเฉือน

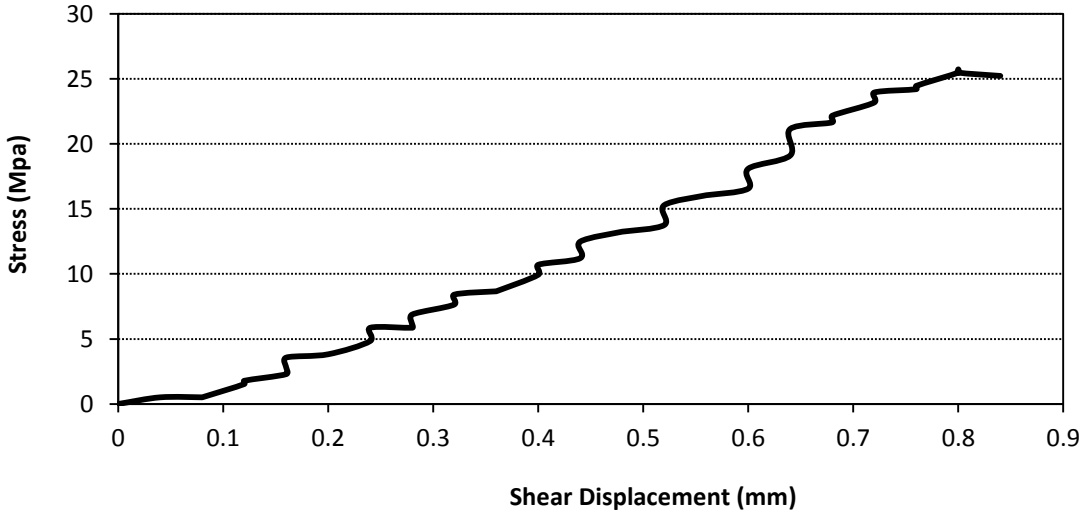


ภาพที่ 3.52 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงานภายใต้แรงเฉือน เส้นใยแก้วแบบสุ่มหลายทิศทางความหนา 1.5 mm

3.5.4.3 การทดสอบแรงเฉือนนอกระนาบของเส้นใยแก้วแบบสุ่มหลายทิศทางความหนา 2.0 mm

เตรียมชิ้นงาน โดยให้มีการเรียงตัวของเส้นใยแบบสุ่มหลายทิศทาง ดังภาพที่ 3.53 โดยชิ้นงานมีความหนาคือ 2.00 mm ความกว้างคือ 50.00 mm ความยาวคือ 50.00 mm ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบคือ 10 mm/min ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงาน ภาพที่ 3.54 จากการทดลองพบว่า ค่าความเค้นสูงสุดคือ 30.57 MPa และค่าความต้านทานแรงสูงสุดคือ 5.88 kN

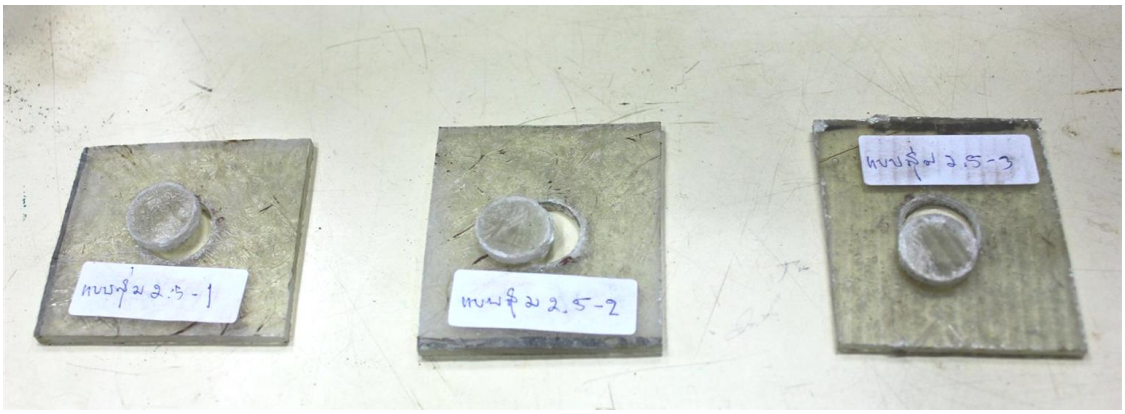
ภาพที่ 3.53 ชิ้นงานที่มีการเรียงตัวของเส้นใยแบบสุ่มหลายทิศทางของชิ้นงานสำหรับการทดลองแรงเฉือน



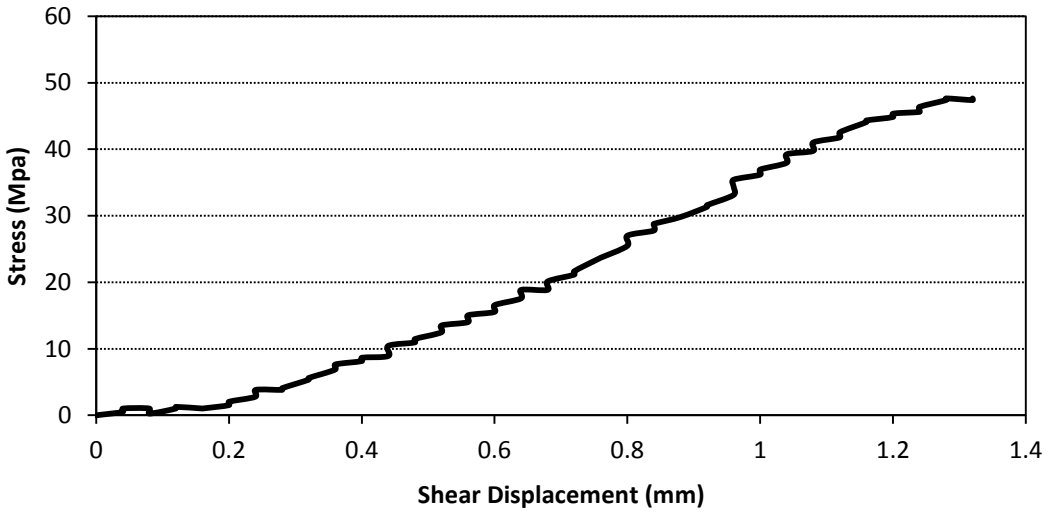
ภาพที่ 3.54 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงานภายใต้แรงเฉือน เส้นใยแก้วแบบสุ่มหลายทิศทางความหนา 2.0 mm

3.5.4.4 การทดสอบแรงเฉือนนอกระนาบของเส้นใยแก้วแบบสุ่มหลายทิศทางความหนา 2.5 mm

เตรียมชิ้นงาน โดยให้มีการเรียงตัวของเส้นใยแบบสุ่มหลายทิศทาง ดังภาพที่ 3.55 โดยชิ้นงานมีความหนาคือ 2.5 mm ความกว้างคือ 50.00 mm ความยาวคือ 50.00 mm ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบคือ 10 mm/min ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงาน ภาพที่ 3.56 จากการทดลองพบว่า ค่าความเค้นสูงสุดคือ 47.64 MPa และค่าความต้านทานแรงสูงสุดคือ 10.05 kN



ภาพที่ 3.55 ชิ้นงานที่มีการเรียงตัวของเส้นใยแบบสุ่มหลายทิศทางของชิ้นงานสำหรับการทดลองแรงเฉือน



ภาพที่ 3.56 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นกับระยะการยืดตัวของชิ้นงานภายใต้แรงเฉือน เส้นใยแก้วแบบสุ่มหลายทิศทางความหนา 2.5 mm

ตารางที่ 3.4 ผลทดสอบคุณสมบัติของชิ้นงาน

การทดสอบ	ทิศทางเรียงตัวของเส้นใย (องศา)	ภาระสูงสุด (kN)	ความเค้นสูงสุด (MPa)	มอดูลัสความยืดหยุ่น (GPa)	ระยะยืดตัว (%)
แรงดึง	แบบสุ่ม หนา 1.50 mm	3.19	79.28	7.71	1.17
	แบบสุ่ม หนา 2.0 mm	4.86	81.23	6.93	1.55
	แบบสุ่ม หนา 2.5 mm	6.19	99.43	7.54	1.61
	[0/90]/[0/90]/[0/90]	18.00	370.68	15.91	3.10
	[45/-45]/[45/45]/[45/45]	2.90	62.86	7.30	3.44
	[45/-45]/[0/90]/[45/-45]	10.10	185.43	9.49	3.20
	[0/0]/[0/0]/[0/0]	23.16	361.07	15.71	2.64
	[90/90]/[90/90]/[90/90]	0.59	10.94	5.61	0.22
	[45/45]/ [45/45]/[45/45]	1.54	28.33	5.58	0.60
แรงกด	แบบสุ่ม	3.25	133.37	4.40	3.73
	[0/0]/[0/0]/[0/0]	5.54	210.55	9.09	2.87
	[90/90]/[90/90]/[90/90]	1.81	69.88	3.61	2.68
					ระยะยืดตัว (mm)
แรงเฉือน	[0/0]/[0/0]/[0/0]	9.29	48.28	2.41	1.76
	แบบสุ่ม หนา 1.50 mm	3.72	19.36	1.46	1.32
	แบบสุ่ม หนา 2.0 mm	5.88	30.57	3.63	0.84
	แบบสุ่ม หนา 2.5 mm	10.05	47.64	3.60	1.32

3.6 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลองของเครื่องทดสอบแรงกระแทก

ในการศึกษานี้ใช้โปรแกรมในการบันทึกข้อมูลที่มีชื่อว่า KYOWA DCS 100A ดังภาพที่ 3.57 (ก) โหลดเซลล์ที่ใช้ในการวัดแรงมีความสามารถรับแรงกระแทกสูงสุดได้ 200 kN ของ KYOWA Model LC-20TV ดังภาพที่ 3.57 (ข) และอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงสัญญาณของไฟฟ้า คือ Data logger ชนิด PCD-300 Series ดังภาพที่ 3.57 (ค) สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทดสอบแรงกระแทกดังแสดงในภาพที่ 3.58 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.6.1 เชื่อมต่อสายโหลดเซลล์เข้ากับ Data logger และต่อสายเคเบิลจาก Data logger เข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์

3.6.2 ชั่งน้ำหนักของหัวค้อน ทำได้โดยนำหัวค้อนวางบนโหลดเซลล์ จากนั้นเพิ่มหรือลดน้ำหนักที่ต้องการทดสอบ ในการศึกษานี้มีหัวค้อนน้ำหนักประมาณ 45 kg

3.6.3 ติดตั้งกล้องความเร็วสูง เพื่อใช้ในการบันทึกพฤติกรรมการตอบสนองชิ้นงานโดยบันทึกเป็นภาพเคลื่อนไหว สำหรับการปรับตั้งค่าในโปรแกรมมีรายละเอียดดังนี้

3.6.3.1 ความละเอียดในการบันทึกภาพเคลื่อนไหว คือ 1000 fps

3.6.3.2 ความเร็วชัตเตอร์ คือ 1250/s

3.6.3.3 สมดุลแสงสีขาว คือ Manual

3.6.3.4 รูรับแสง คือ 5.0

3.6.3.5 ความไวแสง คือ 400

3.6.4 ติดตั้งหลอดไฟ (Spotlight) เพื่อเพิ่มความสว่างให้กับชิ้นงานในการศึกษานี้ใช้หลอดไฟขนาด 1500 W ทั้งหมด 2 หลอด

3.6.5 ขั้นตอนการทดลองมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.6.5.1 ดึงหัวค้อนด้วยรอกมอเตอร์ไฟฟ้า ตามความสูงที่ต้องการทดลอง สำหรับในการศึกษานี้ใช้ความสูงระหว่างปลายชิ้นงานและปลายหัวค้อนเท่ากับ 2.47 m

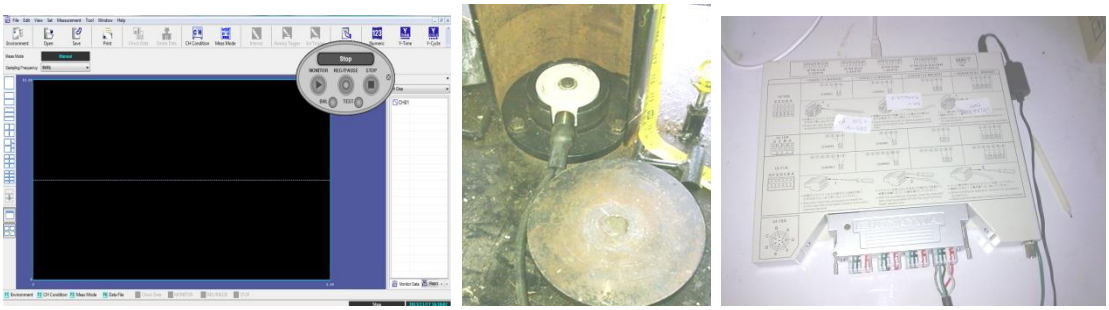
3.6.5.2 วางชิ้นงานในระดับกึ่งกลาง บนฐานรองรับแรงกระแทก

3.6.5.3 ปล่อยหัวค้อนกระแทกต่อชิ้นงาน

3.6.5.4 บันทึกกราฟในช่วงระหว่างกระแทกจากโปรแกรม

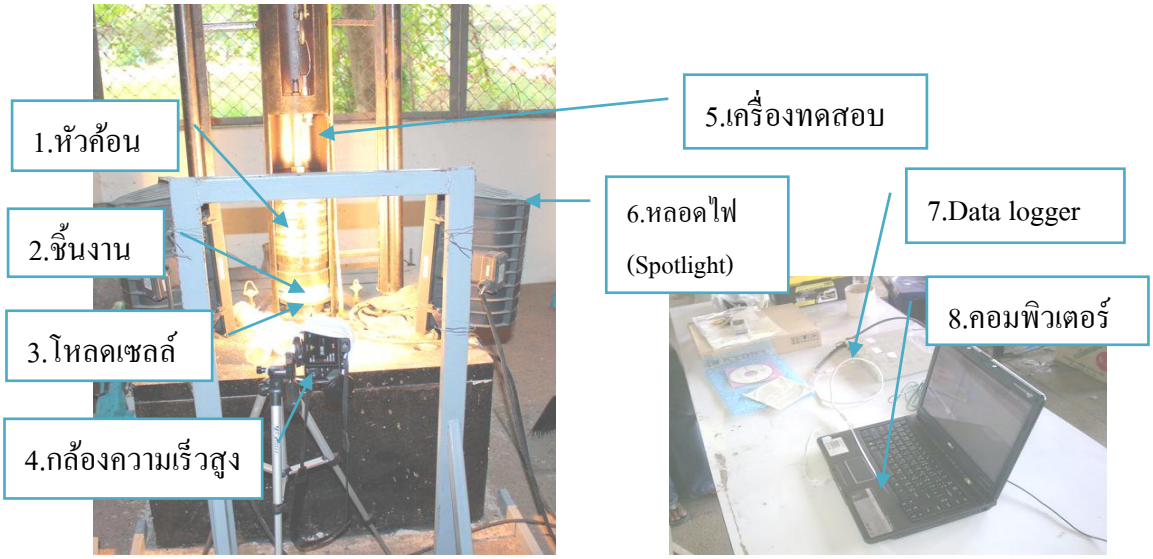
3.6.5.5 บันทึกภาพเคลื่อนไหวด้วยกล้องความเร็วสูง

3.6.5.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง



(ก) โปรแกรม KYOWA DCS100A (ข) โหลดเซลล์ (ค) Data logger PCD-300B Series

ภาพที่ 3.57 อุปกรณ์การทดลองของเครื่องทดสอบ



ภาพที่ 3.58 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลองของเครื่องทดสอบแรงกระแทก

3.7 ขั้นตอนในการศึกษา

การศึกษานี้ประกอบไปด้วยการทดลองและการใช้แบบจำลองทาง FEA โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

3.7.1 การทำการทดลอง

3.7.1.1 เตรียมชิ้นงานทดลองให้มีขนาดตามที่กำหนดในขอบเขต

3.7.1.2 นำชิ้นงานไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทกและเครื่องทดสอบแบบกึ่งคงที่ และแบบกระแทก ตามเงื่อนไขที่กำหนดในขอบเขตการศึกษา

3.7.1.3 บันทึกข้อมูลเป็นแรงปฏิกิริยาและระยะยุบตัวเพื่อทำการวิเคราะห์ หาความสามารถในการรับแรงกระแทก

3.7.1.4 บันทึกภาพเพื่อประกอบการวิเคราะห์ข้อมูล

3.7.2 การทำแบบจำลองด้วย FEA

3.7.2.1 ศึกษาวิธีใช้งานโปรแกรม

3.7.2.2 ทดสอบคุณสมบัติวัสดุเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสร้างแบบจำลอง

3.7.2.3 สร้างแบบจำลองและทำการทดสอบแบบจำลอง โดยใช้เงื่อนไขเดียวกับแบบการทดลอง

3.7.2.4 เปรียบเทียบผลการทดลองและแบบจำลอง

3.7.2.5 ใช้แบบจำลองในการศึกษาพฤติกรรมการเสียหายของชิ้นงาน