บทที่ 4

การทดลอง

4.1 สารเคมี

4.1.1 ผงพอลิเมทิลเมทาคริเลต (PMMA Powder, Meliodent Heat Cure Powder, Heraeus Kulzer Gmbh & Co. KG.)

4.1.2 เมทิลเมทาคริเลต มอโนเมอร์ (Meliodent Heat Cure Liquid, Heraeus Kulzer Gmbh & Co. KG.)

4.1.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 99% (A.R. grade, Merck Co., Ltd.)

4.1.4 เส้นใยพอลิเอสเทอร์ (TEIJIN TETORON BHT1260-108P100Y grade 1A , Teijin Polyester (Thailand) Ltd.

4.1.5 เมทานอล 99.8% (A.R. grade, Merck Co., Ltd.)

4.1.6 น้ำลายเทียม (Artificial Saliua, ภาควิชาเภสัชวิทยา, คณะทันตแพทยศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.7 น้ำกลั่น

4.2 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

4.2.1 เครื่องมือทดสอบแรงกระแทก (Instrumented Impact Tester ITR-2000)

4.2.2 เครื่องวัดค่าความต้านทานการดัดโค้ง (Universal Testing Machine LLOYD 2000R)

4.2.3 เครื่องบากรอย (Notching Cutter RAY-RAN POLYTEST model 1)

4.2.4 เครื่องอัดไฮดรอลิก (Hydraulic Hot Press)

4.2.5 อ่างน้ำร้อน (Water Bath MENMERT model WB22)

4.2.6 ชุดเครื่องแก้ว

4.2.7 แบบพิมพ์สเตนเลส

การทดสอบการทนแรงกระแทกขนาดขอบใน 65×70×2 มิลลิเมตร

การทดสอบการทนการดัดโค้งขนาดขอบใน 60×104×2 มิลลิเมตร

การทดสอบการทนแรงภายใต้สภาวะที่กำหนดขนาดขอบใน 60×80×1.2 มิลลิเมตร

4.2.8 เครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่ง (METLER-TOLEDO model PG5002-S)

4.2.9 เครื่องตัดชิ้นงาน

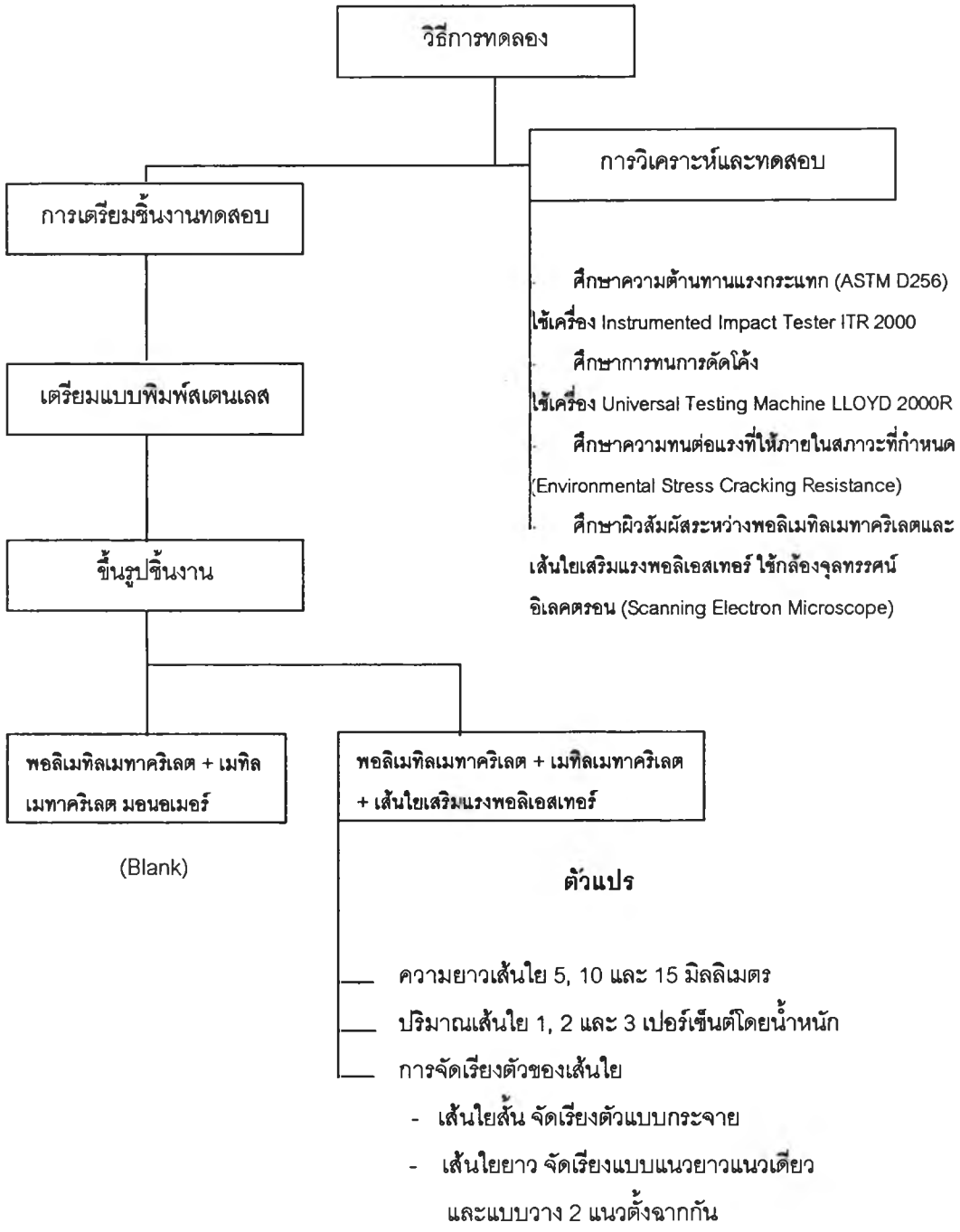
4.2.10 เครื่องขัดชิ้นงาน (BUEHLER METASERV)

4.2.11 เครื่องกวนสาร (Stirrer, COLE PARMER)

4.2.12 ตู้อบสาร (WTC binder)

4.2.13 กล้องจุลทรรศน์แบบแสง

4.2.14 กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน (JOEL model JSM-541OLV)



รูปที่ 4-1 แผนผังการทำการทดลอง

4.3 การเตรียมชิ้นงานประกอบแต่งของพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับเส้นใยเสริมแรง

4.3.1 การเตรียมพอลิเมอร์โด

นำผงพอลิเมทิลเมทาคริเลตผสมกับเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ในอัตราส่วน 35 กรัม ต่อ 14 มิลลิลิตร (PMMA : MMA = 35 g : 14 ml) ในถ้วยเมลามีนโดยค่อยๆเติมผงพอลิเมทิลเมทาคริเลตลงในเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ขณะเติมคนให้เข้ากันจนมีลักษณะคล้ายดินน้ำมัน ซึ่งเรียกว่า โด (dough)

4.3.2 การเตรียมชิ้นงานประกอบแต่ง

นำผงพอลิเมทิลเมทาคริเลตผสมกับเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ในอัตราส่วน 35 กรัม ต่อ 14 มิลลิลิตร(PMMA : MMA = 35 g : 14 ml)และเส้นใยเสริมแรงพอลิเอสเทอร์ในปริมาณที่กำหนด (1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ในภาชนะเมลามีน โดยนำเส้นใยเสริมแรงพอลิเอสเทอร์ในปริมาณที่กำหนดใส่ลงในเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ปิดฝาทิ้งไว้ประมาณ 1-2 นาทีค่อยๆเติมผงพอลิเมทิลเมทาคริเลตลงไปจนครบตามอัตราส่วนขณะเติมให้เริ่มคนให้เข้ากันจนมีลักษณะคล้ายดินน้ำมัน (dough)

4.4 การปรับแต่งผิวเส้นใยเสริมแรงพอลิเอสเทอร์โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์

4.4.1 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 100 กรัมลงในบีกเกอร์ 1 ลิตร เติมเมทานอลประมาณ 900 มิลลิลิตรปิดฝาบีกเกอร์เพื่อป้องกันการระเหยคนด้วยเครื่องกวนจนกระทั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายจนหมดเทสารละลายที่ได้ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตรปรับปริมาตรโดยใช้เมทานอลจนได้ 1 ลิตร

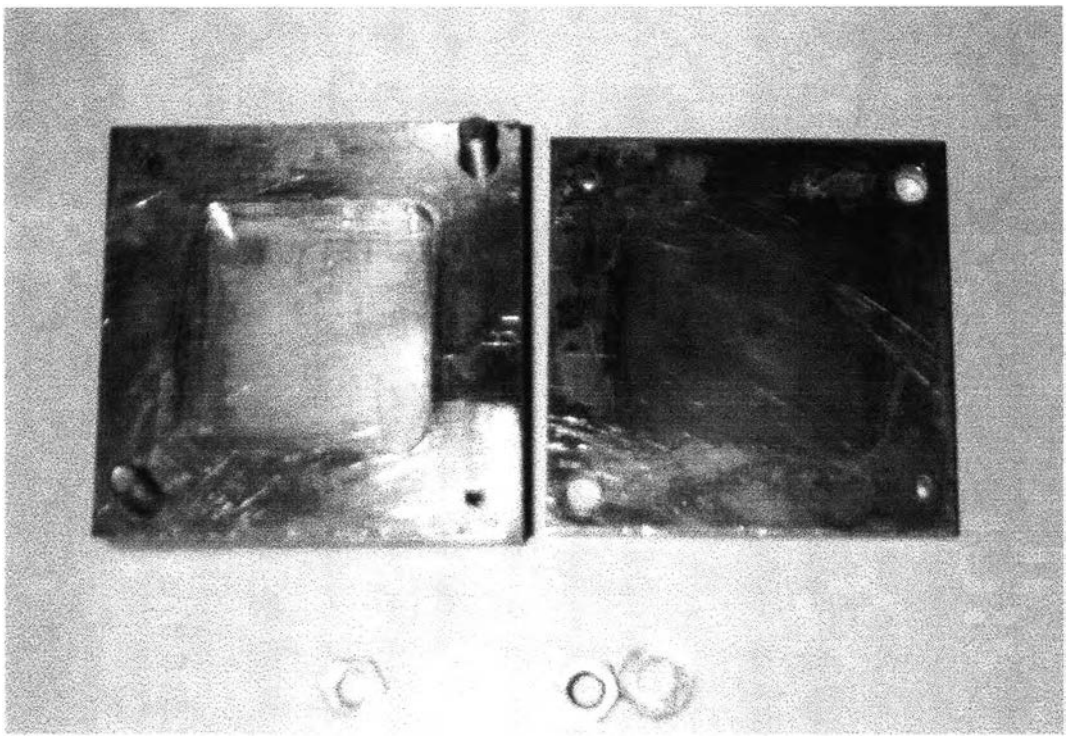
4.4.2 การปรับแต่งผิวเส้นใยเสริมแรงพอลิเอสเทอร์

ชั่งเส้นใยเสริมแรงพอลิเอสเทอร์ตามขนาดความยาวต่างๆ คือ 5, 10 และ 15 มิลลิเมตร แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมในข้อ 4.4.1 ปิดฝาด้วยฟิล์มใสและทิ้งไว้ตามเวลาที่กำหนด คือ 5,10 และ 20 นาที หลังจากนั้นนำเส้นใยขึ้นมาล้างด้วยน้ำสะอาดจนกระทั่งค่า pH ของน้ำล้างมีค่าเป็นกลางนำเส้นใยไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

4.5 การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

4.5.1 การทนแรงกระแทก

ก. เตรียมพิมพ์สเตนเลสสำหรับขึ้นรูปชิ้นงาน ดังรูป



รูป 4-2 แบบพิมพ์สเตนเลสที่ใช้ขึ้นรูปชิ้นงานสำหรับทดสอบการทนแรงกระแทก

ข. การขึ้นรูป

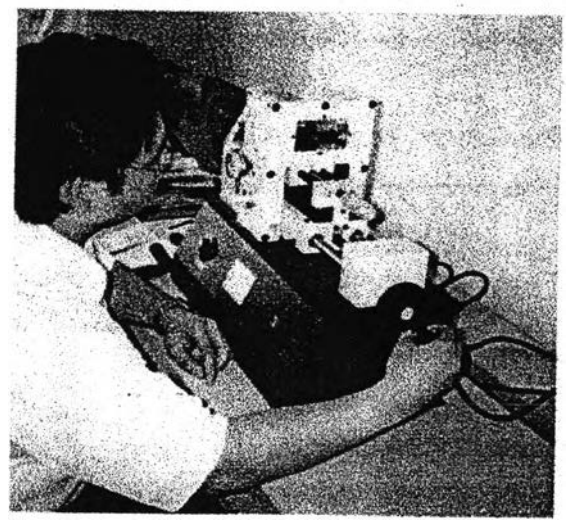
นำพอลิเมอร์โดที่เตรียมในข้อ 4.1 ใส่ในแบบพิมพ์สเตนเลส นำไปอัดที่ความดัน 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg_f/cm^2) โดยเครื่องอัดไฮโดรลิค (hydraulic hot press) ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมงนำไปทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization) โดยให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้วปรับเป็น 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น นำชิ้นงานทดสอบออกจากแบบพิมพ์

ค.การตัดและขัดชิ้นงาน

นำชิ้นงานที่ได้จากข้อ ข. มาตัดเป็น 5 ชิ้นโดยเครื่องเลเซอร์และขัดโดยเครื่องขัดเพื่อให้ได้ขนาด 12.7 x 12.7 x 62.0 มิลลิเมตร (ตามมาตรฐาน ASTM D256)

ง. การบากชิ้นงาน

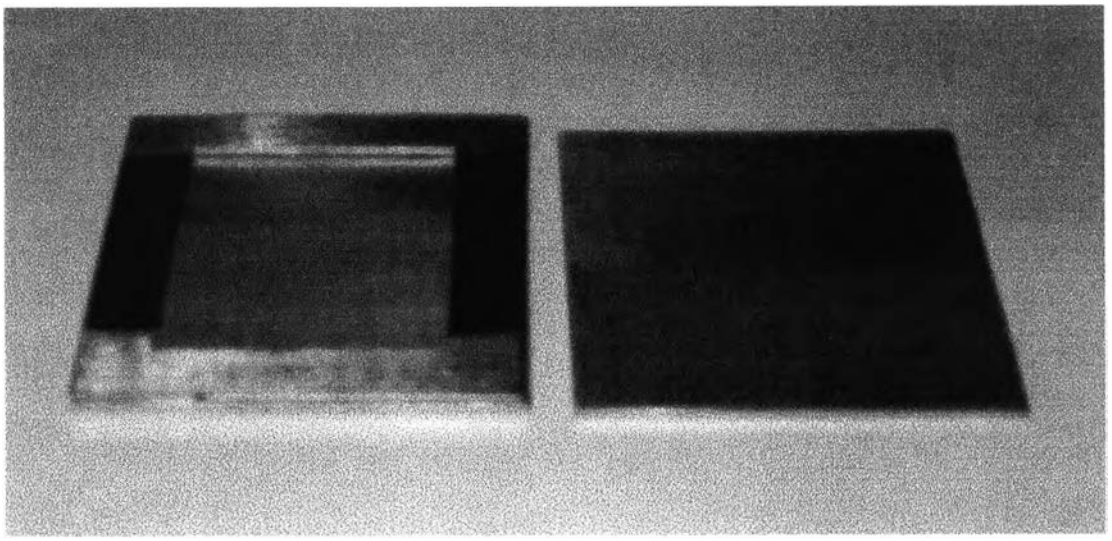
นำชิ้นงานทดสอบในข้อ ค. มาบากบริเวณกึ่งกลางดังรูป 4-3 ให้มีความลึก 2.54 มิลลิเมตร กว้าง 2.0 มิลลิเมตรและทำมุม 22.5 องศากับแนวแกนที่ตั้งฉากกับผิวชิ้นงานโดยใช้เครื่องบากดังรูป



รูปที่ 4-3 แสดงลักษณะการบากชิ้นงานเพื่อนำไปวัดค่าความต้านทานแรงกระแทก

4.5.2 การทนการดัดโค้ง

ก.พิมพ์สเตนเลสสำหรับการทดสอบการทนการดัดโค้ง



รูปที่ 4-4 แสดงแบบพิมพ์ชิ้นงานทดสอบสำหรับการทดสอบการทนการดัดโค้ง

ข. การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

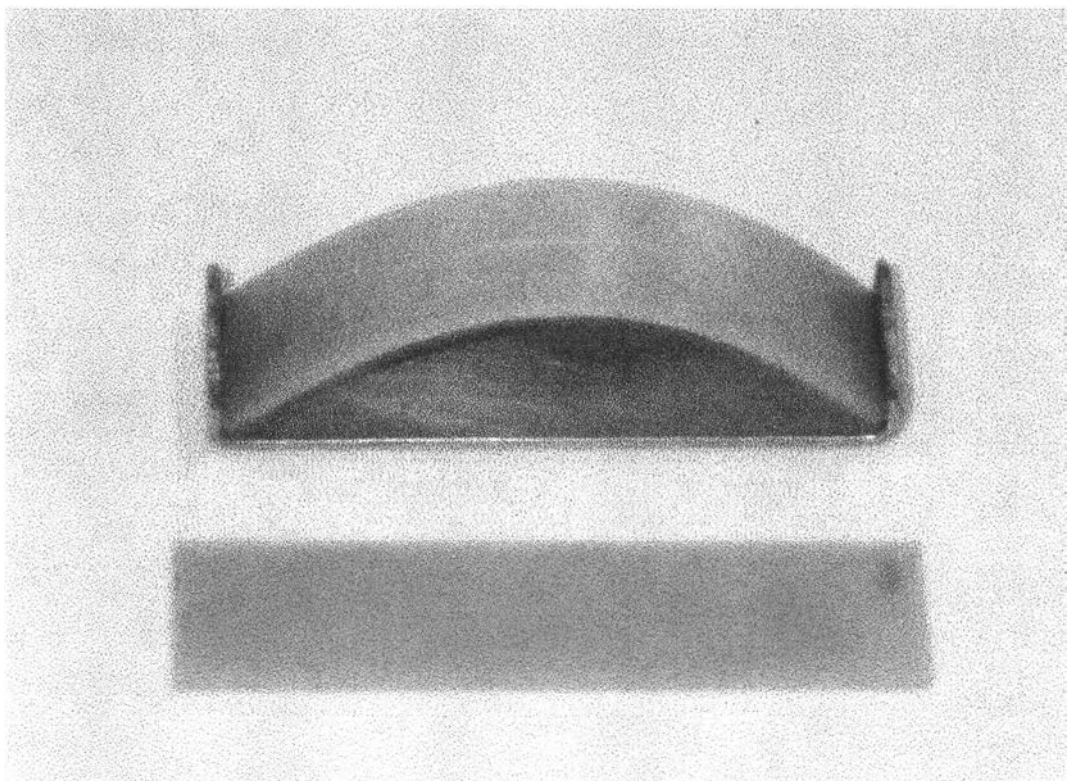
นำพอลิเมอร์โดที่เตรียมในข้อ 4.3 ใส่ในแบบพิมพ์สเตนเลส นำไปอัดที่ความดัน 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg_f/cm^2) โดยเครื่องอัดไฮโดรลิค (hydraulic hot press) ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง นำไปทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization) โดยให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้วปรับเป็น 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น นำชิ้นงานทดสอบออกจากแบบพิมพ์

ค. การตัดและขัดชิ้นงาน

นำชิ้นงานทดสอบที่เตรียมได้จากข้อ 4.5.2 ข) มาตัดโดยเครื่องเลเซอร์และนำไปขัดขอบโดยเครื่องขัดเพื่อให้ได้ชิ้นงานทดสอบที่มีขนาด 25 x 60 x 2.4 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM D 790

4.5.3 การทดสอบการทนแรงภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนด (ESCR)

ก. ฐานสเตนเลสเพื่อบังคับชิ้นงาน



รูปที่ 4-5 ฐานสเตนเลสเพื่อบังคับชิ้นงานทดสอบ ESCR

ข. การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

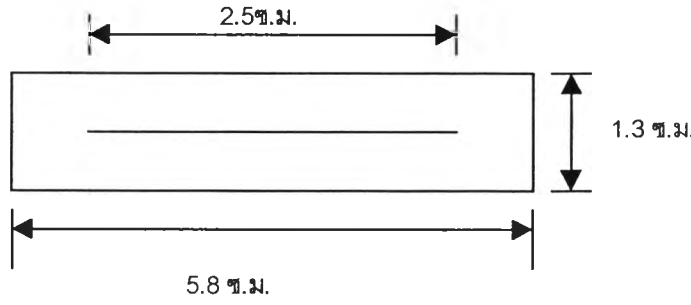
นำพอลิเมอร์โดที่เตรียมในข้อ 4.3 ใส่ในแบบพิมพ์สเตนเลส นำไปอัดที่ความดัน 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg_f/cm^2) โดยเครื่องอัดไฮโดรลิค (hydraulic hot press) ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง นำไปทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization) โดยให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้วปรับเป็น 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น นำชิ้นงานทดสอบออกจากแบบพิมพ์

ค. การตัดและขัดชิ้นงาน

นำชิ้นงานทดสอบที่เตรียมได้ในข้อ 4.5.3 ข) มาตัดโดยเครื่องเลเซอร์และขัดขอบโดยเครื่องขัดเพื่อให้ได้ชิ้นงานทดสอบที่มีขนาด 13 x 58 x 1.5 มิลลิเมตร

ง. การบากผิวชิ้นงาน

นำชิ้นงานทดสอบที่เตรียมได้ในข้อ 4.5.3 ค) มาบากผิวชิ้นงานโดยใช้เครื่องเลเซอร์ ให้มีความลึกประมาณ 0.3 มิลลิเมตร



รูปที่ 4-6 ลักษณะการบากชิ้นงานทดสอบ ESCR

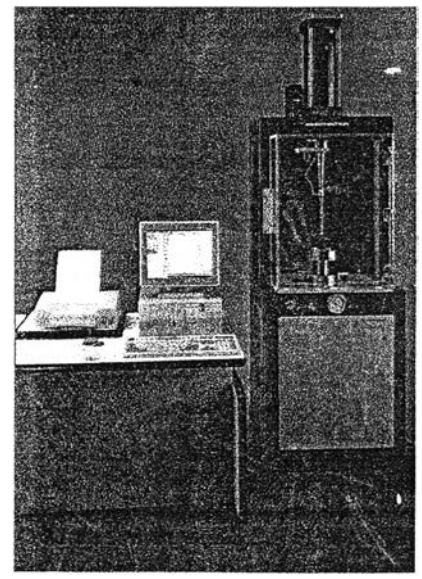
4.6 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

4.6.1 การทดสอบการทนแรงกระแทก (Impact Strength)

ก. กรณีการใช้เส้นใยเสริมแรงแบบไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous Fibers)

- ทำการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบดังข้อ 4.5.1 โดยใช้พอลิเมอร์โดที่เตรียมได้ในข้อ 4.3 โดยเติมเส้นใยเสริมแรงพอลิเอสเทอร์ความยาว 5, 10 ,15 มิลลิเมตรในปริมาณ 1,2 และ 3 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

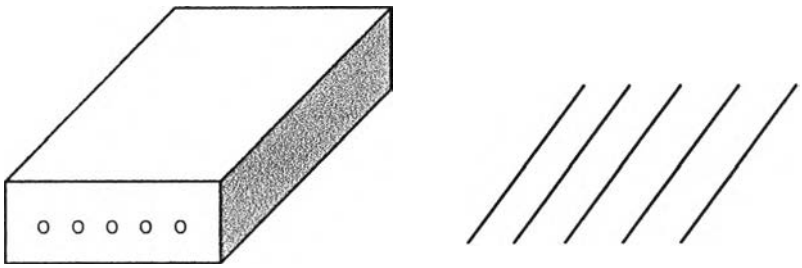
- นำชิ้นงานทดสอบที่ได้ไปทดสอบความต้านทานแรงกระแทกโดยใช้เครื่องวัดแรงกระแทก (Instrumented Impact Tester ITR 2000) ดังรูป 4-7



รูปที่ 4.7 เครื่องมือ Impact Tester ITR-2000

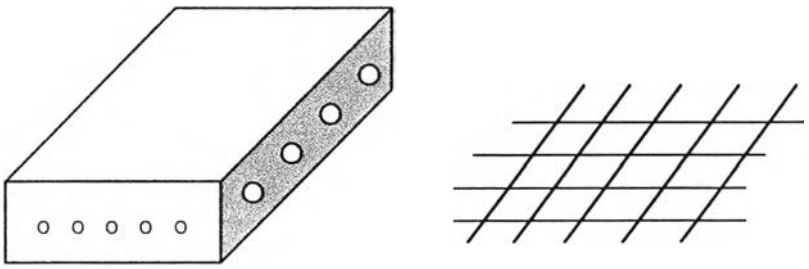
ข. กรณีการใช้เส้นใยเสริมแรงแบบต่อเนื่อง (Continuous Fibers)

- จัดเรียงเส้นใยตามแนวยาว (ตามแนวยาวของชิ้นงานทดสอบ) ระยะห่างระหว่างมัดของเส้นใย = 4 มิลลิเมตร จัดเรียงเส้นใยตามแนวยาว 1 ชิ้น ดังรูป 4-8



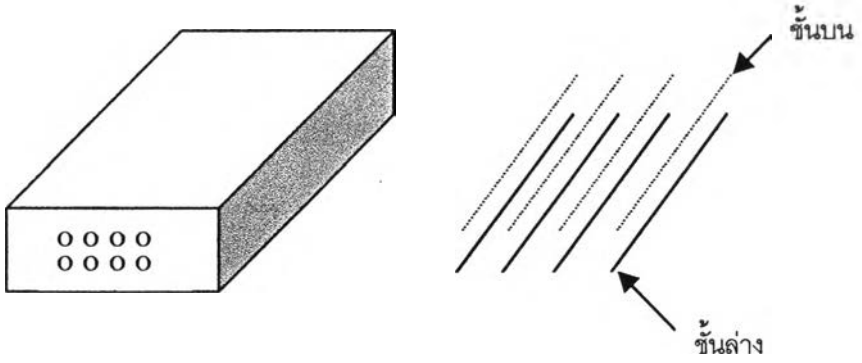
รูปที่ 4-8 การจัดเรียงเส้นใยยาวแบบแนวเดียว 1 ชั้น

จัดเรียงเส้นใย 2 แนวโดยจัดวางเส้นใยซ้อนกันตามแนวยาวและแนวขวาง ซึ่งตั้งฉากกัน 1 ชั้นระยะห่างระหว่างมัดของเส้นใยทั้งตามแนวยาวและแนวขวางเท่ากับ 4 มิลลิเมตรดังรูปที่ 4.9



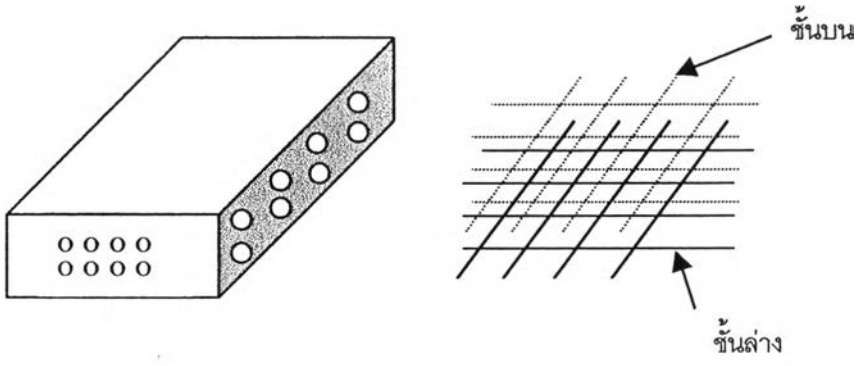
รูปที่ 4.9 การจัดเรียงเส้นใยตามแนวยาวและแนวขวางตั้งฉากกัน 1 ชั้น

การจัดเรียง 2 ชั้นตามแนวยาวระยะห่างระหว่างชั้นและมัดของเส้นใยในแนวเดียวกัน = 4 มิลลิเมตร เช่นกัน ดังรูปที่ 4-10



รูปที่ 4-10 การจัดเรียงเส้นใย 2 ชั้นตามแนวยาว

การจัดเรียงเส้นใย 2 ชั้นโดยจัดวางเส้นใยซ้อนกันตามแนวยาวและแนวขวาง ซึ่งตั้งฉากกัน 2 ชั้นระยะห่างระหว่างชั้นและระหว่างมัดของเส้นใยทั้งตามแนวยาวและแนวขวางเท่ากับ 4 มิลลิเมตรดังรูปที่



รูปที่ 4-11 การจัดเรียงเส้นใย 2 ชั้นตามแนวยาวและแนวขวางตั้งฉากกัน 2 แนว

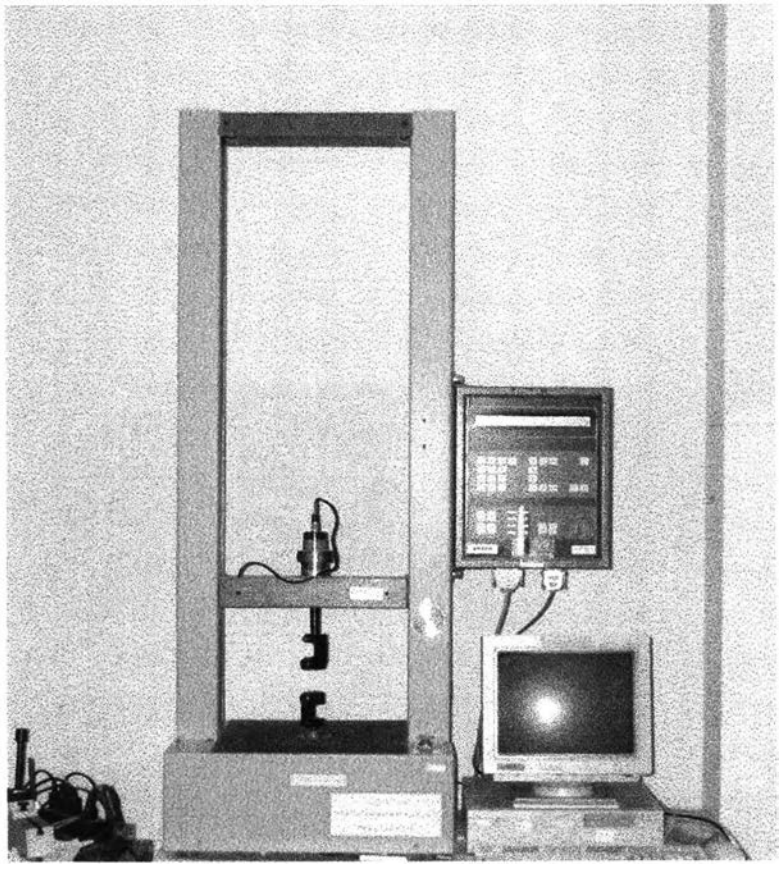
- นำชิ้นงานทดสอบที่เตรียมได้ไปทดสอบความต้านทานแรงกระแทกโดยใช้เครื่องทดสอบวัดแรงกระแทก

4.6.2 การทดสอบการทนการดัดโค้ง (Flexural Strength)

<u>กรณีการใช้เส้นใยเสริมแรงปกติ</u>

ทำการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบดังข้อ 4.5.2 ใช้พอลิเมอร์โดที่เตรียมได้ในข้อ 4.3 โดยเติมเส้นใยเสริมแรงพอลิเอสเทอร์ความยาว 5, 10 และ 15 มิลลิเมตรในปริมาณ 1, 2 และ 3 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักตามลำดับ

นำชิ้นงานทดสอบที่เตรียมได้ทดสอบหาค่าความต้านทานการดัดโค้ง (Flexural Resistance) โดยเครื่อง Universal Testing Machine 2000R ดังรูป 4-12



รูปที่ 4-12 Universal Testing Machine LLOYD 2000R

<u>กรณีใช้เส้นใยเสริมแรงที่ปรับแต่งผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 เปอร์เซนต์ในเมทานอล</u>

- ทำการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบดังขั้นตอนที่ 4.5.2 ใช้พอลิเมอร์โดที่เตรียมได้ในข้อ 4.3 โดยเติมเส้นใยเสริมแรงพอลิเอสเทอร์ที่ผ่านการปรับแต่งผิวแล้วความยาว 5, 10 และ 15 มิลลิเมตรในปริมาณ 1, 2 และ 3 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักตามลำดับ

- นำชิ้นงานทดสอบที่เตรียมได้ทดสอบหาค่าการทนการดัดโค้งโดยเครื่อง Universal Testing Machine Lloyd 2000 R ดังรูป

4.7 การวิเคราะห์การทนแรงภายใต้สภาวะที่กำหนด (ESCR)

4.7.1 ขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบดังข้อ 4.5.3 ใช้พอลิเมอร์โดที่เตรียมได้ในข้อ 4.3 โดยเติมเส้นใยเสริมแรงพอลิเอสเทอร์ความยาว 5,10 และ 15 มิลลิเมตรในปริมาณ 1, 2 และ 3 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักตามลำดับ

4.7.2 นำชิ้นงานทดสอบที่เตรียมได้ใส่ในฐานสเตนเลสเพื่อบังคับชิ้นงาน ดังรูป 4-5

4.7.3 นำชิ้นงานทดสอบในข้อ 4.7.2 ใส่ในหลอดทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.2 ซม. โดยใส่ชิ้นงานทดสอบจำนวน 3 ชิ้น ต่อ 1 หลอดทดลองเติมน้ำลายเทียมซึ่งมีส่วนประกอบต่างๆ แสดงดังภาคผนวก ค. จนท่วมชิ้นงานทดสอบปิดด้วยจุกยางนำหลอดทดลองไปจุ่มในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์

4.7.4 นำชิ้นงานทดสอบในข้อ 4.7.3 มาตรวจสอบดูการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของชิ้นงานทดสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง