บทที่ 2

วิธีการวิจัย

วัสดุ

1. เรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน ยี่ห้อ Meliodent ผลิตโดย บริษัท Heraeus Kulzer GmbH & Co. ประเทศเยอรมัน, Lot No. A1457B-3
2. เส้นใยอะรามิด (Kevlar 49) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ไมโครเมตร ผลิตโดย บริษัท Dupont ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. ปลาสเตอร์หิน (dental stone) ยี่ห้อ Planet® ผลิตโดย บริษัท Lafarge Prestia ประเทศฝรั่งเศส
4. สารคั่นกลาง (separating media)
5. แผ่นเซลโลเฟน (cellophane)
6. กาวไซยาโนอะคริเลท (cyanoacrylate)
7. เทปกาว
8. กระดาษทรายความละเอียดเบอร์ 240 และ 600
9. แผ่นพลาสติก (plastic die) ขนาดใหญ่กว่า 0.5 นิ้ว x 5 นิ้ว x 0.05 นิ้ว เล็กน้อย
10. แผ่นพลาสติก (plastic die) ขนาด 25 มม. x 75 มม. x 1.5 มม.
11. น้ำยาทาเล็บ

อุปกรณ์

1. ฟลาสค์โลหะสำหรับทำเบ้าหล่อแบบชิ้นทดสอบความแข็งแรงกระแทก
2. ฟลาสค์โลหะสำหรับทำเบ้าหล่อแบบชิ้นทดสอบการเปลี่ยนแปลงมิติ
3. เครื่องอัดฟลาสค์แบบไฮโดรลิก (Hydraulic flask pressure) ยี่ห้อ KAVO รุ่น EWL TYP 5415 ผลิตโดย บริษัท KaVo Elektrotechnishes Werk GmbH ประเทศเยอรมัน
4. เครื่องบ่มเรซินอะคริลิกด้วยความร้อน ยี่ห้อ KAVO รุ่น EWL TYP 5518 ผลิตโดย บริษัท KaVo Elektrotechnishes Werk GmbH ประเทศเยอรมัน

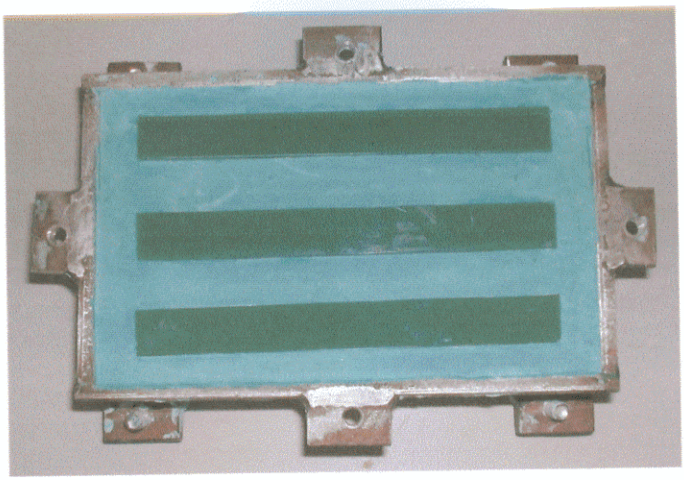
5. เครื่องขัดชิ้นทดสอบแบบจานหมุน (Rotating and polishing machine) ยี่ห้อ Jean Wirtz รุ่น Pheonix 4000 ผลิตโดย บริษัท Jean Wirtz ประเทศเยอรมัน
6. เครื่องทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี้ (Charpy–type pendulum impact tester) ยี่ห้อ TMI รุ่น 43–02 ผลิตโดย บริษัท Testing Machine Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา
7. เครื่องตัดร่องบากชิ้นทดสอบ (Notch cutter) ยี่ห้อ TMI รุ่น 22–05 ผลิตโดย บริษัท Testing Machine Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา
8. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ (Incubator) ยี่ห้อ Memmert รุ่น Be-400 ผลิตโดย บริษัท Memmert GmbH Co. ประเทศเยอรมัน
9. ดิจิตอล คาลิเปอร์ (Digital caliper) ยี่ห้อ Mitutoyo™ ความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร
10. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5800 LV ผลิตโดย บริษัท JEOL ประเทศญี่ปุ่น
11. เครื่องชั่งไฟฟ้า (Analytical balance) ยี่ห้อ Ohaus ผลิตโดย บริษัท Ohaus Corp. ประเทศสหรัฐอเมริกา ความละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการวิจัย

ตอนที่ 1 การศึกษาค่าความแข็งแรงกระแทก

1. การเตรียมเบ้าหล่อแบบ

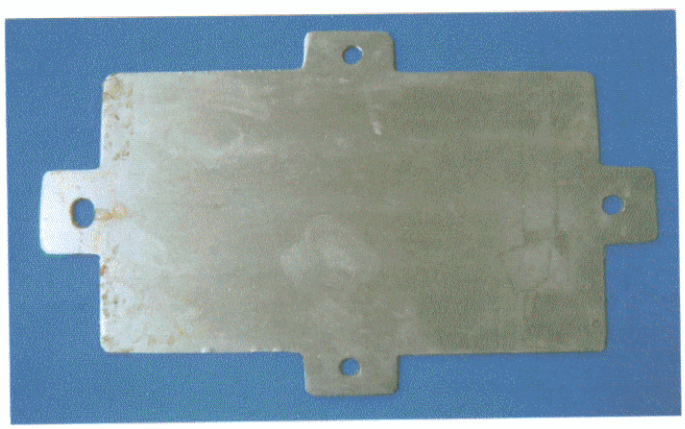
เตรียมชิ้นทดสอบขนาด 0.5 นิ้ว x 5 นิ้ว x 0.1 นิ้ว โดยใช้แผ่นพลาสติกที่มีขนาดกว้างและยาวกว่าที่ต้องการเล็กน้อยและมีความหนาประมาณครึ่งหนึ่งของขนาดชิ้นทดสอบเป็นแบบในการทำเบ้าหล่อแบบ ผสมปลาสเตอร์หิน กับ น้ำ ในอัตราส่วน 100 กรัม ต่อ น้ำ 31 มิลลิลิตร ใส่ลงในเบ้าหล่อแบบล่าง ฝังแผ่นพลาสติกจำนวน 3 ชิ้น ให้ผิวด้านบนเสมอกับผิวปลาสเตอร์หินและขอบของเบ้าหล่อแบบล่าง ดังแสดงในรูปที่ 2 รอจนปลาสเตอร์หินแข็งตัวขัดแต่งส่วนเกินออก นำแผ่นพลาสติกขนาดเดียวกันอีก 3 ชิ้นมายึดบนแผ่นพลาสติกทั้ง 3 ชิ้นที่อยู่ในเบ้าหล่อแบบล่าง จากนั้นทาสารคั่นกลาง ผสมปลาสเตอร์หิน กับ น้ำในอัตราส่วนเดียวกัน เททับลงไปเพื่อทำเบ้าหล่อแบบบน หลังจากปลาสเตอร์หินแข็งตัว แยกเบ้าหล่อแบบบนและล่างออกจากกัน นำแผ่นพลาสติกออกจากเบ้าหล่อแบบและทำความสะอาดเบ้าหล่อแบบด้วยน้ำร้อน



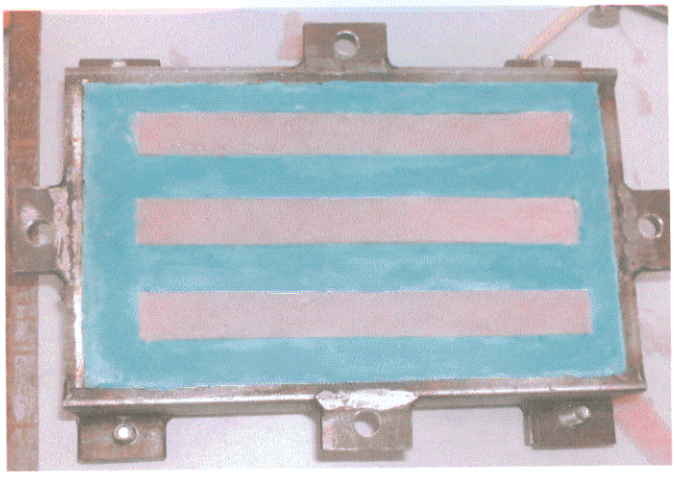
รูปที่ 2 แสดงเบ้าหล่อแบบล่างและแบบพลาสติกที่ใช้เป็นต้นแบบ

2. การเตรียมชิ้นทดสอบ

ผสมเรซินอะคริลิก ตามอัตราส่วนที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ คือใช้ ส่วนผง ต่อ ส่วน เหลวเท่ากับ 23.4 กรัม ต่อ 10 มิลลิลิตร รอจนถึงระยะอ่อนนุ่ม (dough stage) แบ่งส่วนผสมเป็น 2 ส่วน เพื่อใส่ลงในเบ้าหล่อแบบบนและล่าง ปิดทับด้วยแผ่นเซลโลเฟนและใช้แผ่นโลหะ ดังแสดงในรูปที่ 3 วางคั่นระหว่างเบ้าหล่อแบบบนและล่าง จากนั้น นำไปอัดความดันด้วยเครื่องอัดฟลาสค์แบบไฮโดรลิกที่ความดัน 1500 ปอนด์ ต่อ ตารางนิ้ว เป็นเวลา 1 นาที ตัดเรซินอะคริลิกส่วนเกินออกทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 4



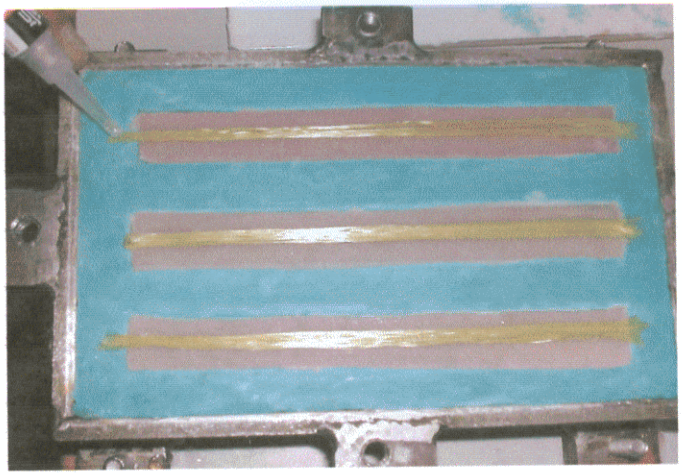
รูปที่ 3 แสดงแผ่นโลหะที่ใช้วางคั่นระหว่างเบ้าหล่อแบบบนและล่าง ก่อนนำไปอัดความดัน



รูปที่ 4 แสดงเรซินอะคริลิกที่อยู่ในเบ้าหล่อแบบ หลังจากตัดส่วนเกินออก

จากนั้น นำเส้นใยอะรามิดที่ได้เตรียมไว้ในแต่ละกลุ่ม (น้ำหนักร้อยละ 2 ของน้ำหนักเรซินอะคริลิกที่ใช้ทำชิ้นทดสอบ[39]) มาวางบนเบ้าหล่อแบบล่างตามแนวยาวและอยู่กึ่งกลางของชิ้นทดสอบ ทำการยึดเส้นใยให้อยู่ในตำแหน่งด้วยกาวไซยาโนอะคริเลทบริเวณหัวและท้ายของเส้นใย ดังแสดงในรูปที่ 5 การศึกษานี้มีการเตรียมชิ้นทดสอบ 6 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น โดยรายละเอียดของการเตรียมเส้นใยในแต่ละกลุ่ม มีดังนี้

กลุ่ม C	กลุ่มควบคุม (control) ที่ไม่ได้ใส่เส้นใย
กลุ่ม DF	กลุ่มที่ใส่เส้นใยแห้ง (dry fiber)
กลุ่ม MF	กลุ่มที่แช่เส้นใยในมอนอเมอร์เป็นเวลา 30 วินาที
กลุ่ม PMF-1	กลุ่มที่แช่เส้นใยในสารละลายพอลิเมอร์-มอนอเมอร์ ที่อัตราส่วน 0.375 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 30 วินาที
กลุ่ม PMF-2	กลุ่มที่แช่เส้นใยในสารละลายพอลิเมอร์-มอนอเมอร์ ที่อัตราส่วน 0.75 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 30 วินาที
กลุ่ม PMF-3	กลุ่มที่แช่เส้นใยในสารละลายพอลิเมอร์-มอนอเมอร์ ที่อัตราส่วน 1.25 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 30 วินาที



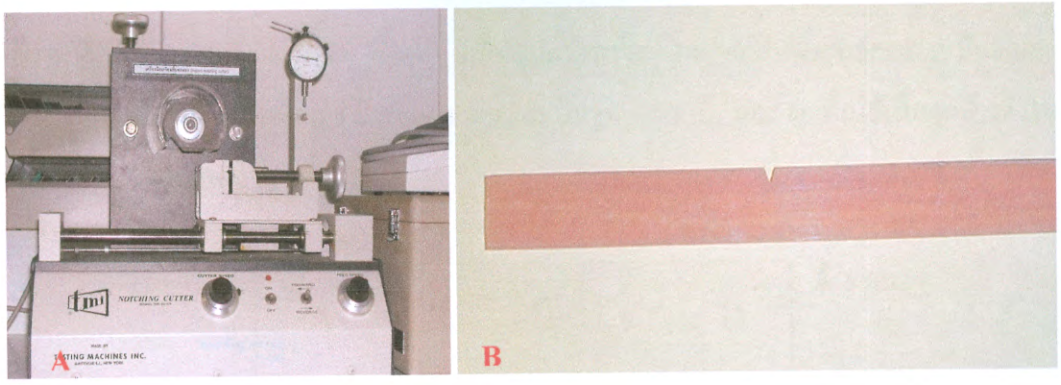
รูปที่ 5 แสดงการนำเส้นใยอะรามิดมาใส่ในเบ้าหล่อแบบและทำการยึดหัวท้ายของเส้นใยเพื่อแผ่และยึดเส้นใยออกเพื่อช่วยในการวางเส้นใยให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการด้วยกาวไซยาโนอะคริเลท

หลังจากยึดเส้นใยเสร็จแล้ว นำเบ้าหล่อแบบบนและล่างมาประกบกัน จากนั้นนำไปอัดด้วยเครื่องอัดฟลาสค์แบบไฮโดรลิก ที่ความดัน 3000 ปอนด์ ต่อ ตารางนิ้ว ทิ้งไว้ 30 นาที แล้วนำไปบ่มด้วยความร้อนในน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง นำชิ้นทดสอบที่บ่มเสร็จแล้วออกมาจากเบ้าหล่อแบบไปขัดด้วยเครื่องขัดชิ้นทดสอบแบบจานหมุน โดยใช้กระดาษทราย เบอร์ 240 และ 600 ตามลำดับ เพื่อให้ได้ขนาดที่กำหนดไว้ (0.5 นิ้ว x 5 นิ้ว x 0.1 นิ้ว) นำชิ้นทดสอบไปทำรอยบากรูปตัว V ความลึก 0.1 นิ้ว ที่ตำแหน่งกึ่งกลางชิ้นทดสอบ ตามมาตรฐาน ASTM D-256[45] ที่ใช้ทดสอบแรงกระแทก โดยใช้เครื่องตัดร่องบาก ดังแสดงในรูปที่ 6 จากนั้น ทาน้ำยาทาเล็บปิดบริเวณหัวและท้ายของชิ้นทดสอบเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำซึมเข้าไปในเส้นใยจากตำแหน่งที่มีเส้นใยโผล่ออกมา และนำชิ้นทดสอบทุกชิ้นไปแช่ในน้ำกลั่นในตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน ก่อนนำไปทดสอบความแข็งแรงกระแทก

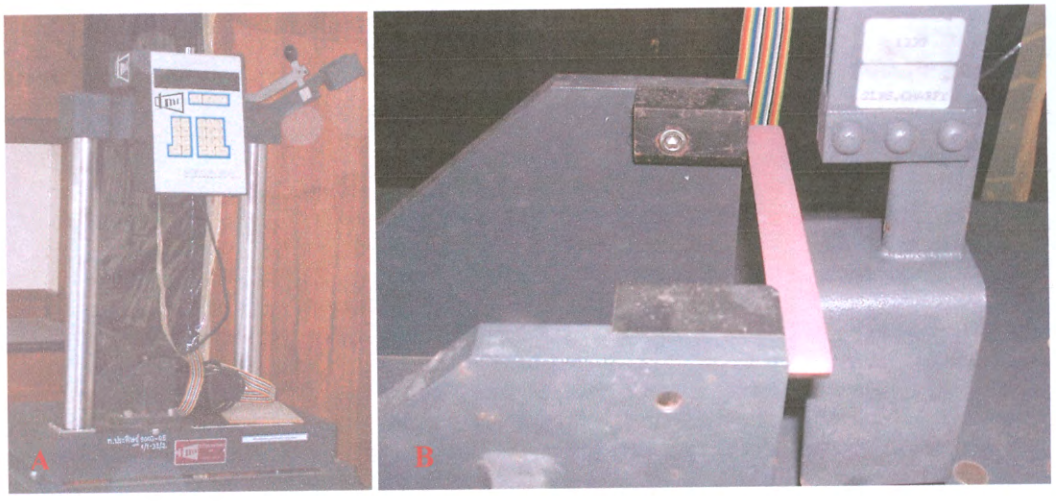
3. การทดสอบและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำชิ้นทดสอบมาหาค่าความแข็งแรงกระแทกโดยใช้เครื่องทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี้ ยี่ห้อ TMI รุ่น 43 – 02 ดังแสดงในรูปที่ 7 บันทึกผลการทดสอบและนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความแข็งแรงกระแทกของเรซินอะคริลิกระหว่างกลุ่มทดลองทุกกลุ่ม

โดยใช้สถิติครัสคาล-วาลลิส (Kruskal-Wallis Test) และการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบ LSD (LSD-Multiple Comparison)[46] ทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95



รูปที่ 6 แสดงเครื่องตัดร่องบากชิ้นทดสอบ (A) และชิ้นทดสอบที่ผ่านการบาก (B)



รูปที่ 7 แสดงเครื่องทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี้ (A) และลักษณะการวางชิ้นทดสอบ (B)

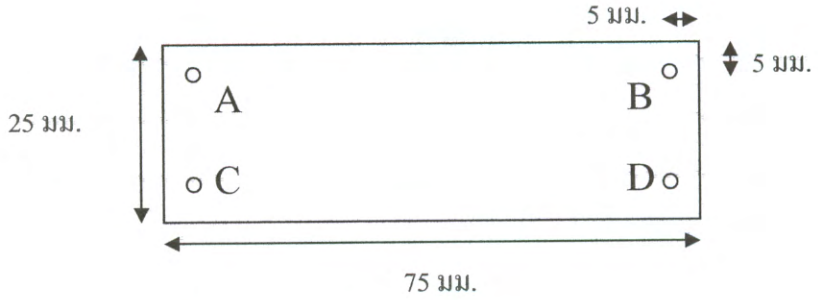
4. การตรวจสอบลักษณะการแตกหัก

นำชิ้นทดสอบทั้งหมดที่ผ่านการทดสอบแรงกระแทกมาตรวจสอบด้วยตาเปล่าและบันทึกลักษณะการแตกหัก จากนั้นสุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 3 ชิ้น นำไปเคลือบด้วยทองแล้วใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดส่องดูบริเวณที่มีการแตกหัก เพื่อตรวจดูการยึดเกาะระหว่างเรซินอะคริลิกและเส้นใยอะรามิด แล้วถ่ายภาพที่กำลังขยาย 200 เท่า

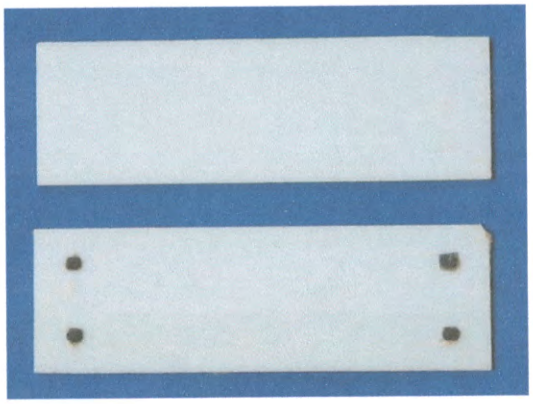
ตอนที่ 2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางมิติ

1. การเตรียมแบบพลาสติก

เตรียมแผ่นพลาสติกสำหรับเป็นต้นแบบในการทำเบ้าหล่อแบบ ขนาด 25 มิลลิเมตร x 75 มิลลิเมตร x 1.5 มิลลิเมตร ที่มีตุ่มนูนเป็นรูปครึ่งทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร โดยอยู่ที่มุมทั้งสี่ ห่างจากขอบ 5 มิลลิเมตร กำหนดเป็นจุด A, B, C, และ D เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงในการวัดขนาด ดังแสดงในรูปที่ 8, 9



รูปที่ 8 แสดงขนาดของแบบพลาสติกที่มีตุ่มนูนรูปทรงกลม

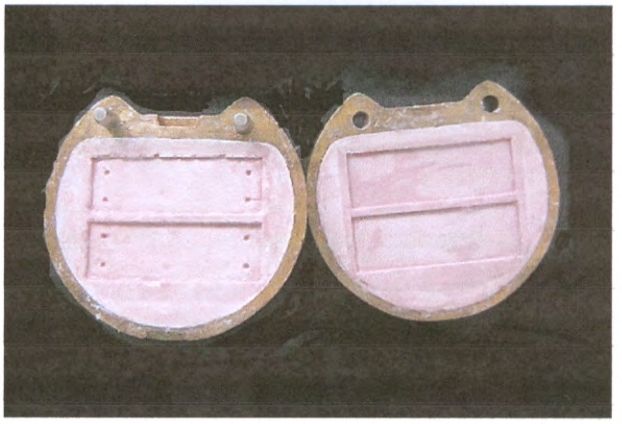


รูปที่ 9 แสดงแผ่นพลาสติกที่ใช้เป็นต้นแบบในการทำเบ้าหล่อแบบสำหรับการทดสอบการเปลี่ยนแปลงทางมิติ

2. การเตรียมเบ้าหล่อแบบ

นำแผ่นพลาสติกขนาดเดียวกันจำนวน 2 ชิ้นที่ไม่มีตุ่มนูนไปทำเบ้าหล่อแบบล่าง โดยผสมปลาสเตอร์หิน กับ น้ำ ในอัตราส่วน 100 กรัม ต่อ น้ำ 24 มิลลิลิตร ใส่ลงในฟลาสก์ ฝังแผ่นพลาสติกให้ผิวด้านบนอยู่เสมอกับผิวปลาสเตอร์หินและขอบของเบ้าหล่อแบบล่าง รอจนปลาสเตอร์

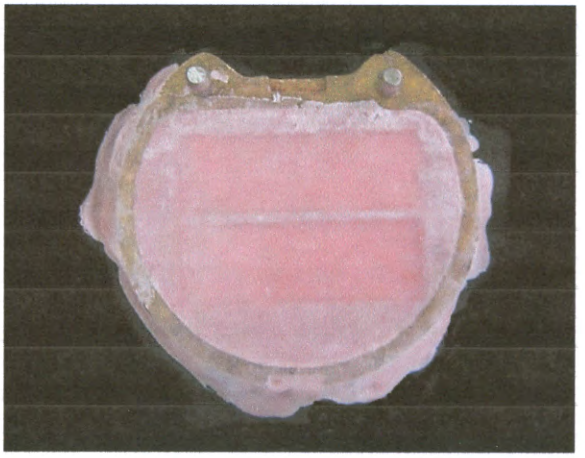
หินแข็งตัว ขัดแต่งส่วนเกินออก นำแผ่นพลาสติกอีก 2 ชิ้นที่มีตุ่มนูนวางยึดกับแผ่นพลาสติกที่อยู่ในเบ้าหล่อแบบล่าง จากนั้นทาสารคั่นกลาง ผสมปลาสเตอร์หิน กับ น้ำ ในอัตราส่วนเดียวกัน เททับลงไปเพื่อทำเบ้าหล่อแบบบน หลังจากปลาสเตอร์หินแข็งตัว แยกเบ้าหล่อแบบบนและล่างออกจากกันเพื่อนำไปล้างและทำความสะอาดเบ้าหล่อแบบด้วยน้ำร้อน ดังแสดงในรูปที่ 10



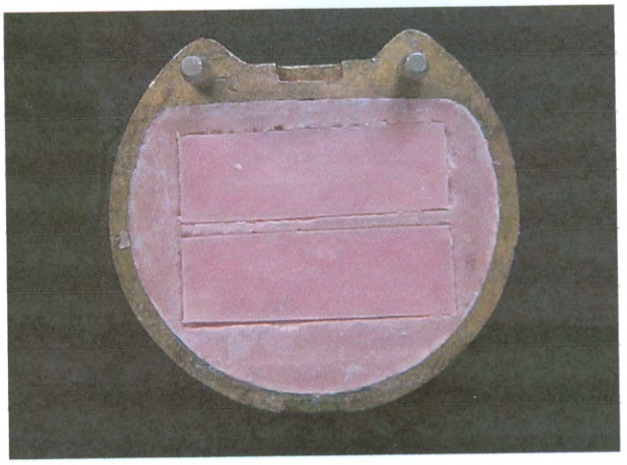
รูปที่ 10 แสดงเบ้าหล่อแบบสำหรับการทดสอบการเปลี่ยนแปลงทางมิติ

3. การเตรียมชิ้นทดสอบ

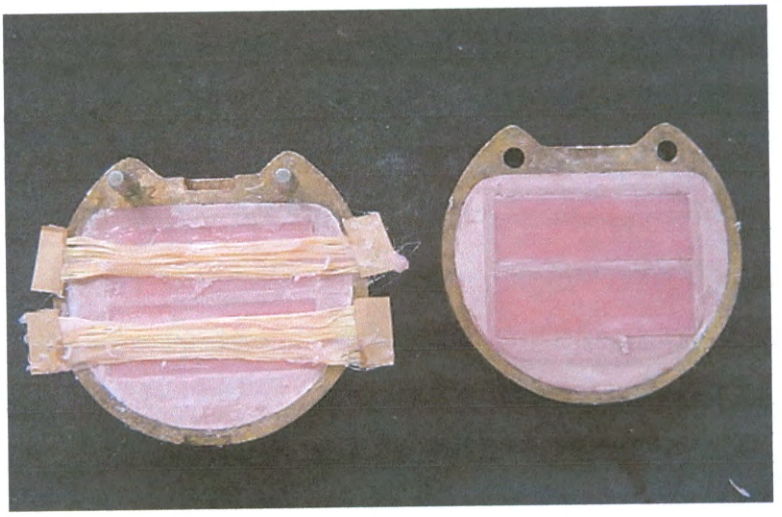
การเตรียมชิ้นทดสอบ ปริมาณเส้นใยที่ใช้ การกำหนดกลุ่มที่ใช้ในการศึกษา และจำนวนชิ้นทดสอบ ทำเช่นเดียวกับ การศึกษาความแข็งแรงกระแทก ดังแสดงในรูปที่ 11-13



รูปที่ 11 แสดงเรซินอะคริลิกที่อยู่ในเบ้าหล่อแบบ หลังจากอัดความดัน



รูปที่ 12 แสดงการตัดเรซินอะคริลิกส่วนเกินออกจากเบ้าหล่อแบบ



รูปที่ 13 แสดงการนำเส้นใยอะรามิดมาใส่ในเบ้าหล่อแบบ

4. การวัดระยะความยาวและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำชิ้นทดสอบที่ผ่านการขัดแต่งมาแล้ว มาวัดระยะระหว่างจุด AB, BC, CD, AD, AC, และ BD ดังแสดงในรูปที่ 8 โดยใช้ดิจิตอล คาลิเปอร์ ที่มีความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร ทำการวัดตำแหน่งละ 3 ครั้ง[47] บันทึกข้อมูลที่วัดได้ หลังจากนั้นทาน้ำยาทาเล็บปิดบริเวณหัวและท้ายของชิ้นทดสอบเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำซึมเข้าไปในเส้นใยจากตำแหน่งที่มีเส้นใยโผล่ออกมา และนำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำกลั่นในตู้อบควบคุมอุณหภูมิ ที่ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ทำการวัดระยะเช่นเดิม

ฝ่ายหอสมุด
ดุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร

และบันทึกข้อมูลที่เวลา 1 วัน 2 วัน 7 วัน และ 14 วัน นำระยะที่วัดได้ในแต่ละด้านของชิ้นทดสอบมาคำนวณเป็นค่าเวคเตอร์ของชิ้นทดสอบ[3,4] โดยมีสูตรการหาค่าเวคเตอร์ ดังนี้

$$X = \sqrt{AB^2 + BC^2 + CD^2 + AD^2 + AC^2 + BD^2}$$

โดยที่ X คือ ค่าเวคเตอร์ลัพธ์ของชิ้นทดสอบ

AB คือ ระยะระหว่างจุด A และ B ที่วัดได้

BC คือ ระยะระหว่างจุด B และ C ที่วัดได้

CD คือ ระยะระหว่างจุด C และ D ที่วัดได้

AD คือ ระยะระหว่างจุด A และ D ที่วัดได้

AC คือ ระยะระหว่างจุด A และ C ที่วัดได้

BD คือ ระยะระหว่างจุด B และ D ที่วัดได้

นำค่าเวคเตอร์มาคำนวณว่าชิ้นทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงขนาดอย่างไร โดยคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าเวคเตอร์ (เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงมิติ) ระหว่างก่อนและหลังการแช่น้ำที่เวลาต่างๆ จากนั้น นำมาวิเคราะห์หาความแตกต่างภายในแต่ละกลุ่มทดลองโดยเปรียบเทียบ ณ ช่วงเวลาต่างๆ และเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลอง ในช่วงเวลาเดียวกัน โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) และการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบ Tukey HSD (Tukey HSD-Multiple Comparison) ทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95