บทที่ 3 วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงการทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอิทธิพลของการบ่มในน้ำที่อุณหภูมิต่างกันของวัสดุแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วชนิด A และชนิด B โดยการทดสอบหากำลังรับแรงดัดของวัสดุแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้ว และวัสดุแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วชนิด A และชนิด B และค่าการดูดซึมน้ำของวัสดุแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วชนิด A และชนิด B

3.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 ปูนซีเม่นต์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราช้างของบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ผลิตขึ้นโดยมีคุณสมบัติตามกำหนดมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก. 15-2514/2517 ประเภทที่ 1 [5] และมาตรฐาน ASTM (150-71 type 1) [16]

3.1.2 ทราย

ใช้ทรายแก้ว จากจังหวัดระยอง ซึ่งมีการคัดแยกขนาดค้างตะแกรงเบอร์ 50

3.1.3 สาร Super plasticizer

ใช้สารลดปริมาณน้ำอย่างมาก Super plasticizer ของบริษัท ซิกา ประเทศไทย จำกัด รุ่นViscoCrete – 20HE สำหรับงานคอนกรีตและมอตาร์เหมาะพิเศษเป็นอย่างยิ่งกับคอนกรีตที่ต้องการการพัฒนากำลังในช่วงต้นอย่างรวดเร็วมีคุณสมบัติการลดน้ำอย่างมีประสิทธิ์ภาพดีเยี่ยมและมีคุณสมบัติในการไหลตัวเป็นอย่างดี[25]

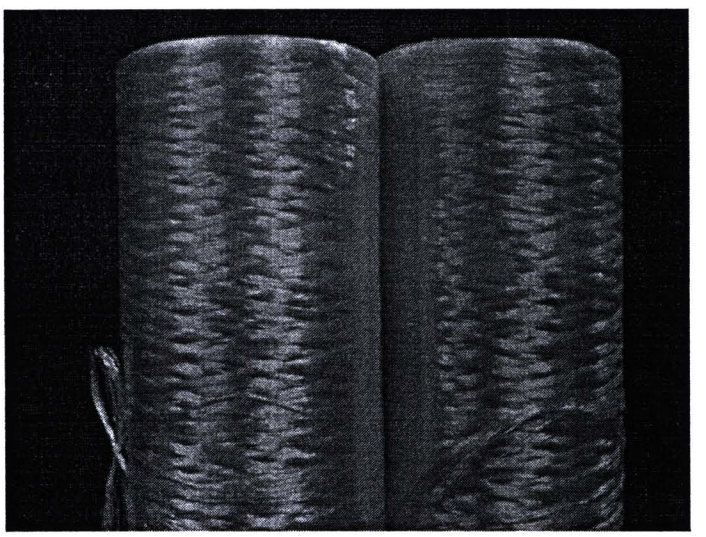
3.1.4 น้ำ

น้ำที่ใช้ ใช้น้ำสะอาดไม่มีน้ำมัน กรด ด่าง สารอินทรีย์ และมีความขุ่นไม่เกิน 2,000 ส่วนในล้านส่วน

3.1.5 เส้นใยแก้ว

เป็นใยแก้วนำเข้าจากประเทศ จีนเป็นชนิดทนความเป็นด่าง (Alkaline Resistance Glass Fiber : AR Fiber) มีคุณสมบัติที่สำคัญของเส้นใยแก้วคือการดึงเส้นใยจากแก้วหลอม เส้นใยที่ผลิตจะผ่านกระบวนการปรับผิวเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านการยึดติดกับพลาสติก ทนต่อการขนย้ายและสภาพ

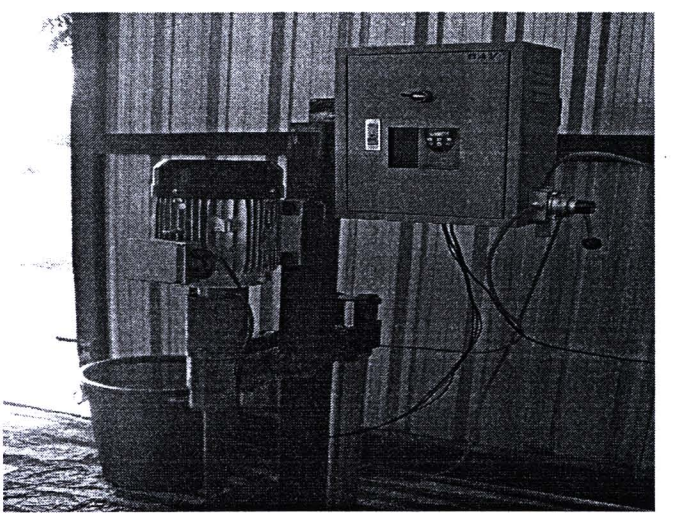
การใช้งาน เส้นใยแก้วมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักร่วมกับสารประกอบออกไซด์อื่นๆ ซึ่งเส้นใยแก้วที่ใช้เป็นวัสดุคอมโพสิทมีหลายประเภทอาทิ E-glass (สมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าดี) S-glass (สมบัติความแข็งแรงสูง)หรือ C-glass (สมบัติต้านทานสารเคมี) สมบัติความแข็งแรง ทนแรงดึงได้สูงมากและมีคุณสมบัติด้านฉนวนความร้อนและทนความเป็นด่าง



รูปที่ 3.1 เส้นใยแก้วชนิดขดม้วน (Glass Fiber Spray Roving)

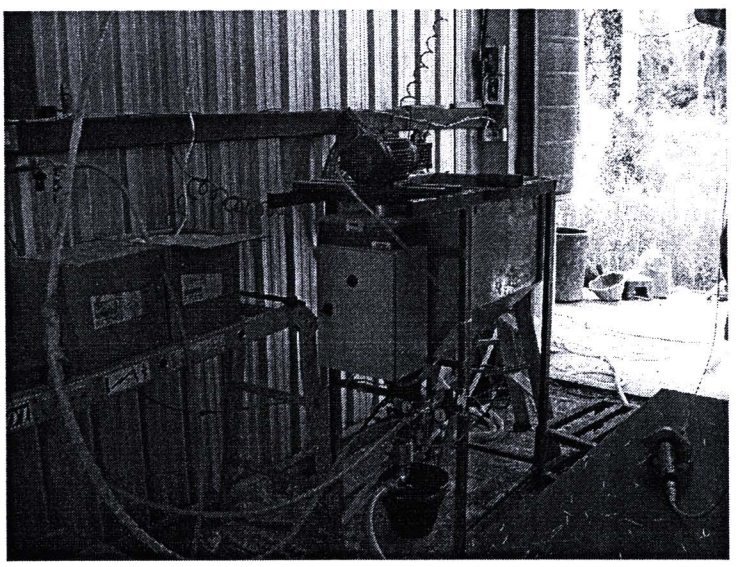
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.1 เครื่องผสมมอร์ตาร์ เป็นเครื่องผสมมอร์ตาร์ชนิดแนวดิ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า สามารถปรับความเร็วรอบการหมุนของใบกวนในการผสมได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



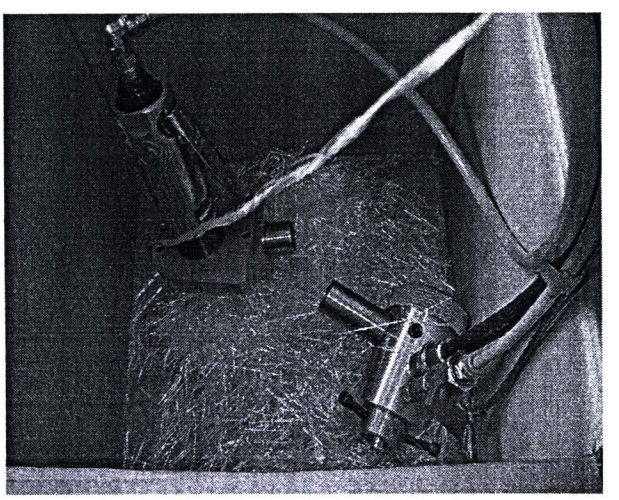
รูปที่ 3.2 เครื่องผสมมอตาร์

3.2.2 เครื่องพ่นมอร์ตาร์ เป็นเครื่องที่การลำเลียงมอร์ตาร์ที่ผสมเสร็จแล้วโดยทำการส่งมอร์ตาร์เหลวไปตามสายส่งสู่หัวฉีดโดยใช้แรงดันลมเป็นแรงส่งและกระบวนการฉีดพ่น โดยอีกส่วนของตัวเครื่องยังเชื่อมต่อสายส่งเส้นใยแก้วในลักษณะเป็นเส้นไปสู่หัวพ่นตัดเส้นใยแก้ว ดังแสดงแสดงในรูปที่ 3.3



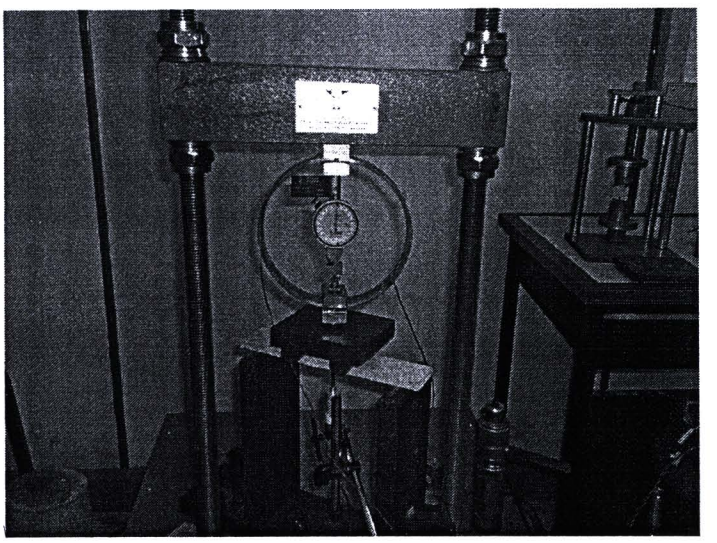
รูปที่ 3.3 เครื่องพ่นมอร์ตาร์

3.2.3 ปืนพ่น (Spray Gun) เป็นอุปกรณ์ลักษณะชุดประกอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยเป็นหัวพ่นมอร์ต้าที่ต่อสายลำเลียงจากเครื่องพ่นมอร์ตาร์ อีกส่วนเป็นลักษณะหัวตัดที่สามารถตัดเส้นใยแก้วเป็นชิ้นเล็กๆเท่าๆกัน โดยสามารถปรับแต่งให้เครื่องตัดเส้นใยแก้วได้ตามขนาดที่ต้องการซึ่งทั้งสองส่วนจะประกอบในลักษณะต่อขนาดโดยหัวตัดจะต่อเข้าด้านหลังหัวพ่นมอร์ต้าโดยใช้แรงดันลมเป็นกำลังในการพ่นมอร์ตาร์และเส้นใยแก้วออกมาพร้อมๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.4



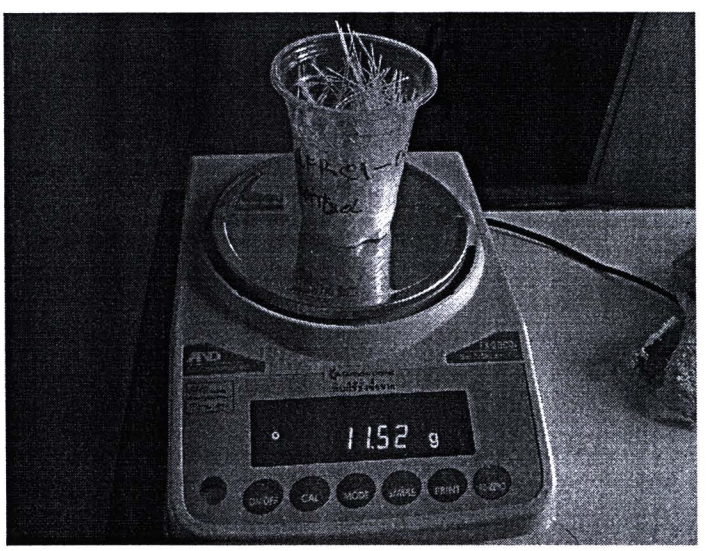
รูปที่3.4 ปืนพ่น (Spray Gun)

3.2.4 เครื่องทดสอบกำลังดัดแบบ 4 จุด (Four- Points Bending Test)



รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบกำลังดัดแบบ 4 จุด

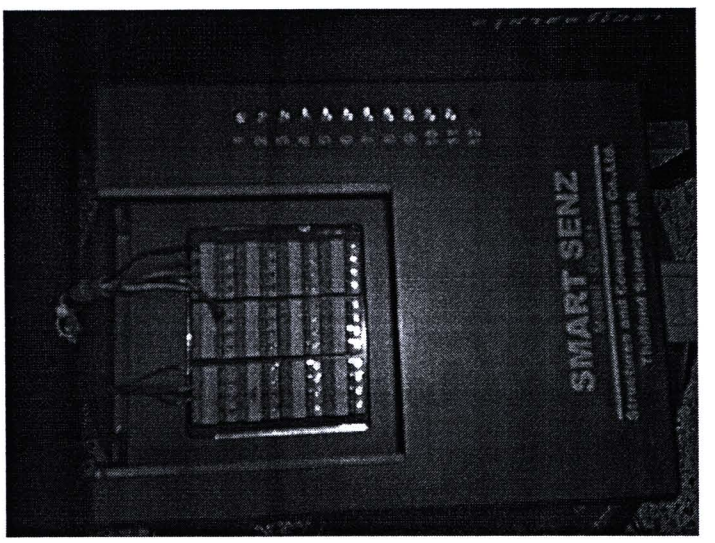
3.2.5 เครื่องชั่งน้ำหนัก เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล มีความละเอียด 0.01 กรัม



รูปที่ 3.6 เครื่องชั่งละเอียด

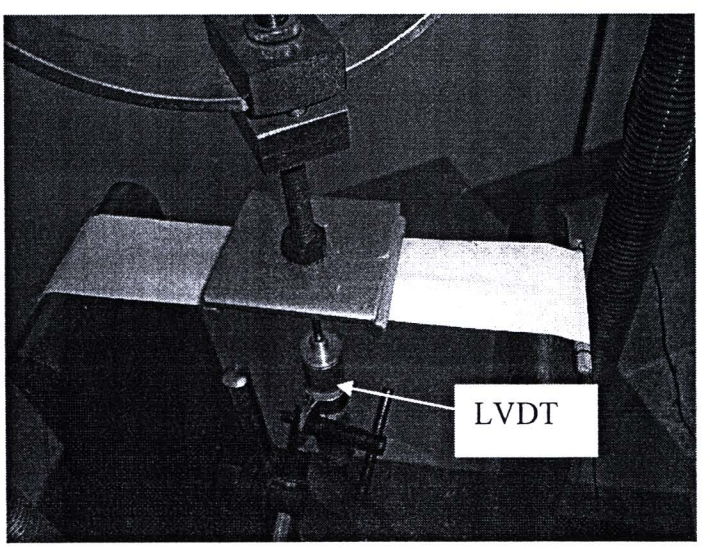
3.2.6 เวอร์เนียร์

3.2.7 เครื่อง Data Locker เป็นอุปกรณ์บันทึกค่าอัตโนมัติที่สามารถตั้งค่าการบันทึกที่มีความละเอียดสูง โดยต่อพ่วงกับ Strain Gauge และ LVDT ดังแสดงในรูปที่ 3.7



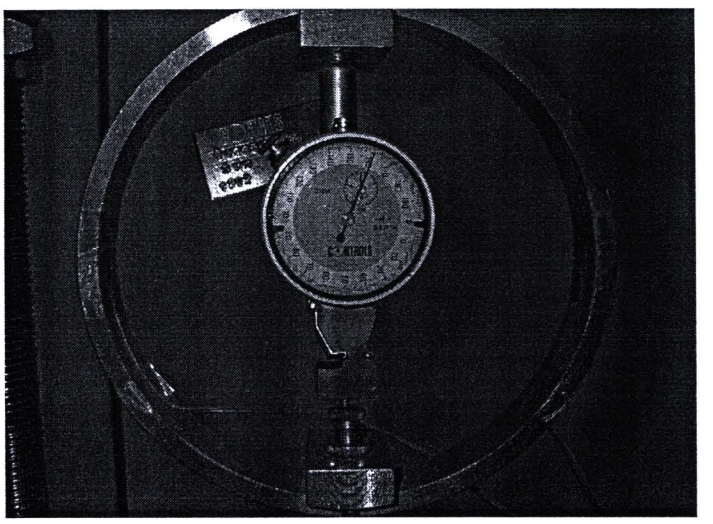
รูปที่ 3.7 เครื่อง Data Locker

3.2.8 ชุดวัดการเคลื่อนที่ Linear Variable Differential Transformer (LVDT) ลักษณะเป็นอุปกรณ์ที่สามารถวัดค่าการเคลื่อนที่ได้โดยวางติดกับเครื่องทดสอบกำลังดัดแบบ 4 จุดและส่งข้อมูลไปที่เครื่อง Data Locker ดังแสดงในรูปที่ 3.6



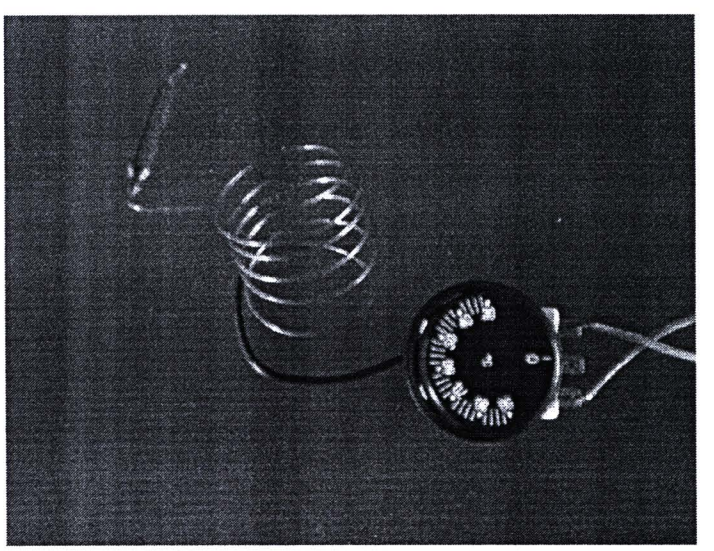
รูปที่ 3.8 ชุดวัดการเคลื่อนที่ LVDT

3.2.9 Dial Gauge and Proving Ring เป็นอุปกรณ์ที่สามารถวัดค่าแรงกดในแนวดิ่งได้ ซึ่งติดแผ่น Strain Gaugeไว้บนวงแหวน เพื่อส่งค่ากำลังไปยังเครื่อง Data Locker ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 Dial Gauge and Proving Ring

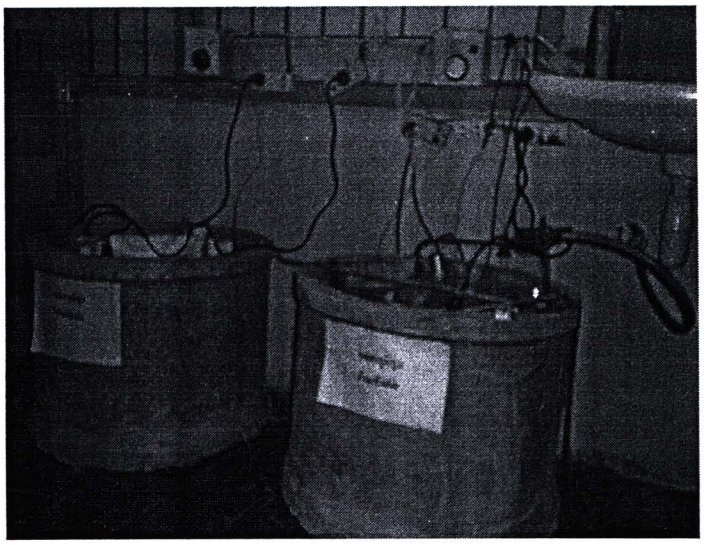
3.2.10 เครื่องปรับตั้งอุณหภูมิ (Thermostat)



รูปที่ 3.10 เครื่องปรับตั้งอุณหภูมิ(Thermostat)

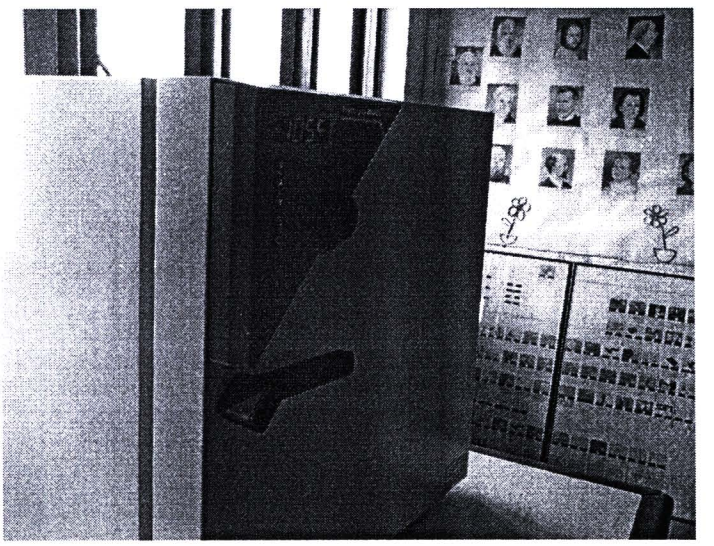
3.2.11 ขดลวดทำความร้อน (Heater) เป็นขดลวดที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในการให้ความร้อน

3.2.12 บ่อบ่มคอนกรีต



รูปที่ 3.11 บ่อบ่มคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้ว

3.2.13 ตู้อบไฟฟ้า ตู้อบไฟฟ้าแบบดิจิตรอนสามารถตั้งอุณหภูมิตั้งแต่ 0^0C-500^0C



รูปที่ 3.12 ตู้อบไฟฟ้า

3.3 อัตราส่วนผสมและขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบกำลังดัด

3.3.1 ขนาดตัวอย่าง ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบกำลังดัดใช้ตัวอย่างขนาด 10 x 50 x 250 มิลลิเมตร มีช่วงความยาวคานในการทดสอบทดสอบ 200 มิลลิเมตร

3.3.2 อัตราส่วนผสม ที่ใช้ในการทำวัสดุแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วที่เคลือบและไม่เคลือบผิวชิ้นงาน โดยใช้ตัวอย่างละ8 ชิ้นต่อหนึ่งช่วงอุณหภูมิและระยะเวลาในการบ่ม ซึ่งจะใช้ตัวอย่างทั้งสิ้น 288 ตัวอย่าง โดยมีอัตราส่วนผสม ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนผสมของตัวอย่างทดสอบกำลังรับกำลังดัด

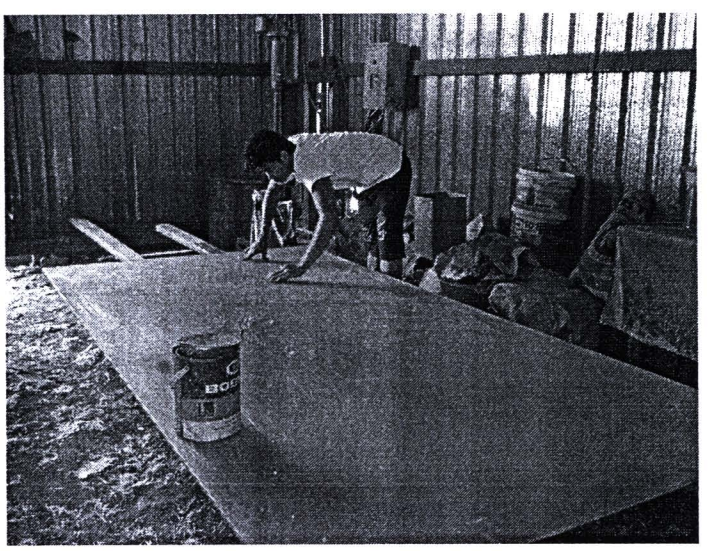
Sample ID	Cement	Super plasticizer	Sand	W/C	Glass Fiber
ชนิด A	1	0.15%	1	0.35	5%
ชนิด B	1	0.15%	1	0.35	5%

จากตารางที่ 3.1 การวิจัยนี้มีการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ W/C ที่อัตราส่วน 0.35 ทั้งนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารลดปริมาณน้ำอย่างมาก โดยปริมาณของสารลดปริมาณน้ำอย่างมากขึ้นอยู่กับความสามารถในการพ่นมอร์ตาร์

3.4 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบกำลังดัด

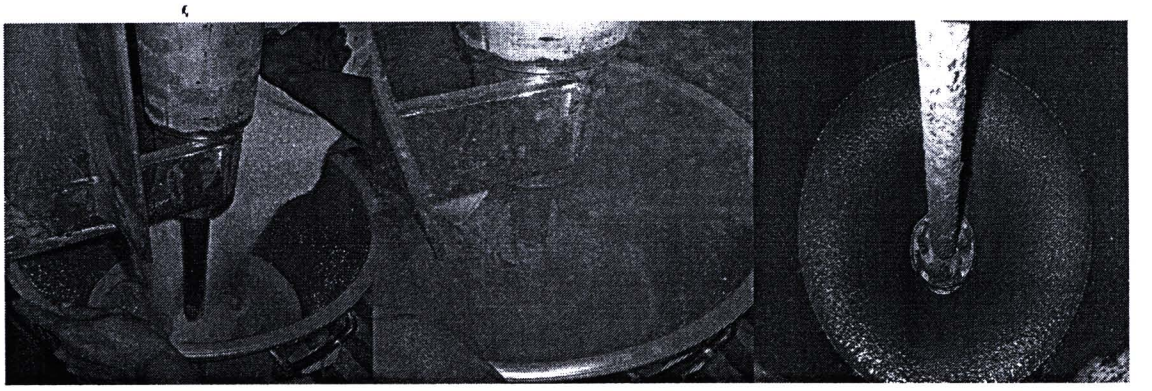
ในการเตรียมตัวอย่างการทดสอบกำลังดัดของวัสดุแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้ว ชนิด A และ ชนิด B แบ่งการเตรียมตัวอย่างออกเป็นขั้นตอนต่างๆตามลำดับต่อไปนี้

3.4.1 การเตรียมแบบหล่อ แบบหล่อชิ้นตัวอย่างทดสอบกำลังดัด โดยใช้แผ่นกระจกทำแบบหนา 12 มิลลิเมตร ทาเคลือบด้วยขี้ผึ้ง(Wax)ให้ทั่วเพื่อให้ง่ายต่อการถอดแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.13



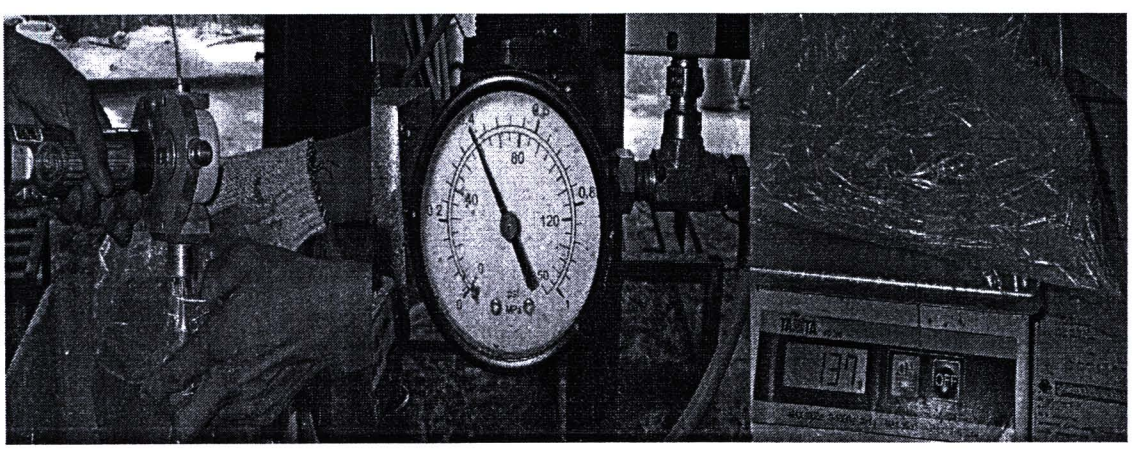
รูปที่ 3.13 การทาขี้ผึ้ง(Wax)เพื่อป้องกันการติดแบบ

3.4.2 การเตรียมมอร์ตาร์ เริ่มจากการชั่งน้ำหนักวัสดุที่ใช้ทำมอร์ตาร์ซึ่งประกอบด้วยวัสดุประสาน (ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และ ทรายแก้ว น้ำสะอาด สารลดปริมาณน้ำอย่างมากตามอัตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้ เมื่อเตรียมวัสดุผสมเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำน้ำสะอาดที่เตรียมไว้ใส่ลงในหม้อผสมจากนั้นเดินเครื่องผสมโดยให้ใบพายหมุนด้วยความเร็วรอบต่ำที่ 300 รอบต่อนาที ใส่วัสดุประสานลงในหม้อผสมจนหมด ในช่วงนี้ใช้เวลาอีก 1 นาที จากนั้นเพิ่มความเร็วรอบที่ระดับความเร็วของใบพายที่ 500 รอบต่อนาที ผสมจนกระทั่งได้ซีเมนต์เพสที่มีเนื้อสม่ำเสมอซึ่งใช้เวลาอีก 1 นาที ขั้นตอนต่อไป นำทรายแก้วที่เตรียมไว้ใส่ลงในหม้อผสมโดยขณะที่ใส่ทรายแก้วเรียบร้อยแล้วจะเพิ่มความเร็วรอบของใบพายที่ระดับความเร็วของใบพายที่ 500 รอบต่อนาที ในช่วงนี้ขณะทำการผสมให้เติมสารลดปริมาณน้ำอย่างมาก และใช้เวลาผสมอีก 3 นาทีจนกระทั่งส่วนผสมของมอร์ตาร์มีเนื้อสม่ำเสมอดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การเตรียมและขั้นตอนการผสมมอตาร์

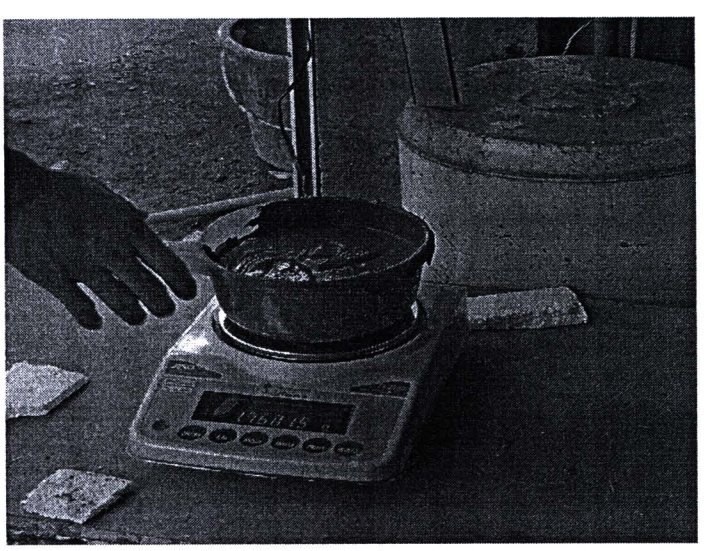
3.4.3 การทดสอบหาปริมาณของใยแก้ว ตั้งแรงดันลมของ Spray gun ที่หัวพ่นเส้นใยแก้ว ทำการพ่นเส้นใยแก้วใส่ถุงพลาสติกเป็นเวลา 15 วินาทีแล้วชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 3.15 การทดสอบหาปริมาณเส้นใยแก้ว

3.4.4 การทดสอบหาปริมาณมอตาร์ ปรับความเร็วเครื่องปั๊มมอตาร์และทำการพ่นมอตาร์ใสภาชนะ โดยจับเวลาเป็นเวลา 15 วินาที่ จึงนำมอตาร์ไปชั่งนำหนักแล้วเปรียบเทียบหาปริมาณเส้นใยแก้วให้ได้ น้ำหนักของเส้นใยแก้วเท่ากับร้อยละ 5 ของน้ำหนักมอตาร์

รูปที่ 3.16 ปรับความเร็วเครื่องปั๊มมอตาร์เพื่อหาปริมาณมอตาร์

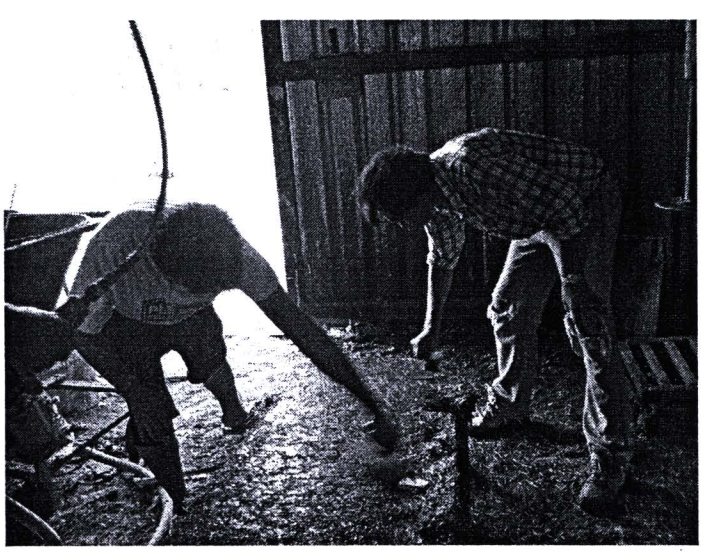


รูปที่ 3.17 ชั่งน้ำหนักมอตาร์

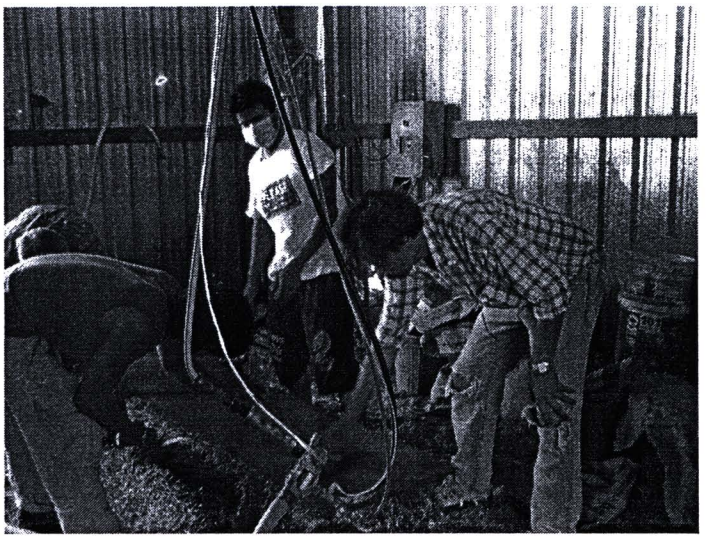
3.4.5 การพ่นแผ่นตัวอย่างคอนกรีตเสริมใยแก้ว เมื่อปรับตั้งแรงดันลมที่หัวจ่ายใยแก้ว และแรงดันที่ปั๊มหัวจ่ายมอร์ตาร์เรียบร้อยแล้ว จากนั้นพ่นใยแก้วและมอร์ตาร์ ลงบนแบบหล่อที่เตรียมไว้ โดยระยะห่างของ Spray gun สูงจากผิวของแบบหล่อประมาณ 500 มิลลิเมตรพ่นตามแนวยาวและขวาง

สลับกันเป็นชั้นๆ จนกระทั่งได้ความหนาของแผ่นตัวอย่างคอนกรีตเสริมใยแก้ว จากนั้นตกแต่งผิวหน้าให้เรียบ และตรวจวัดความหนา ดังแสดงในรูปที่ 3.18

รูปที่ 3.18 การพ่นมอตาร์และเส้นใยแก้วลงแบบหล่อ

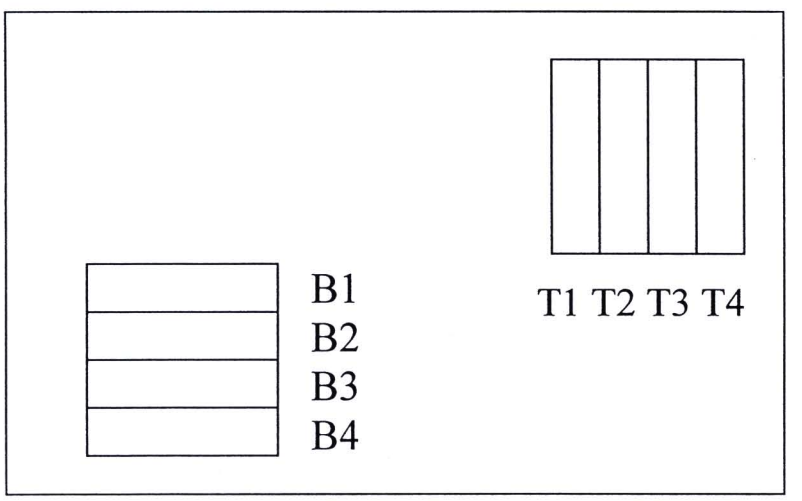


รูปที่ 3.19 ตกแต่งผิวหน้าหลังจากการพ่นมอตาร์ผสมเส้นใยแก้ว



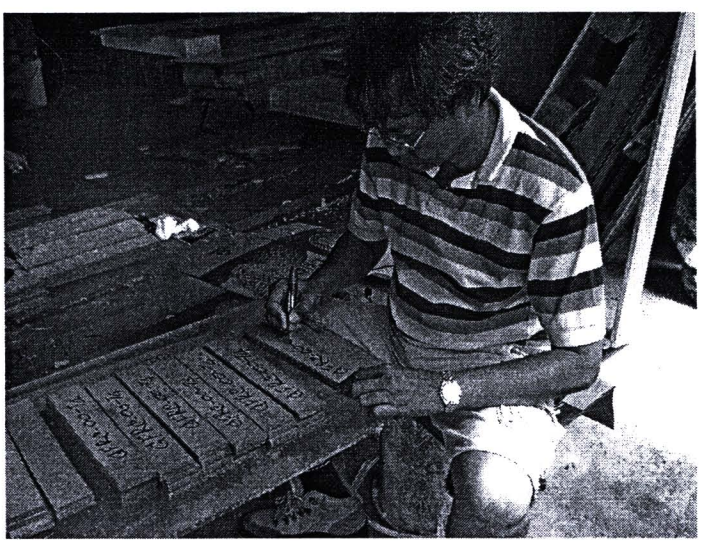
รูปที่ 3.20 การวัดหาความหนาของวัสดุแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้ว

3.4.6 การตัดแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้ว เพื่อทำชิ้นทดสอบกำลังดัดแบบ 4 จุด (Four-Point Bending Test)ตามมาตรฐานBS EN 1170-5:1998 การตัดแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วเพื่อทำชิ้นทดสอบกำลังดัด โดยจะตัดตามแนวยาว (B) และแนวขวาง (T)ขนาน 10x50x250 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.21 และรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.21 การตัดชิ้นตัวอย่างทดสอบ ตามแนวยาว (B) ตามแนวขวาง(T)

รูปที่ 3.22 การตัดชิ้นตัวอย่างทดสอบกำลังดัด



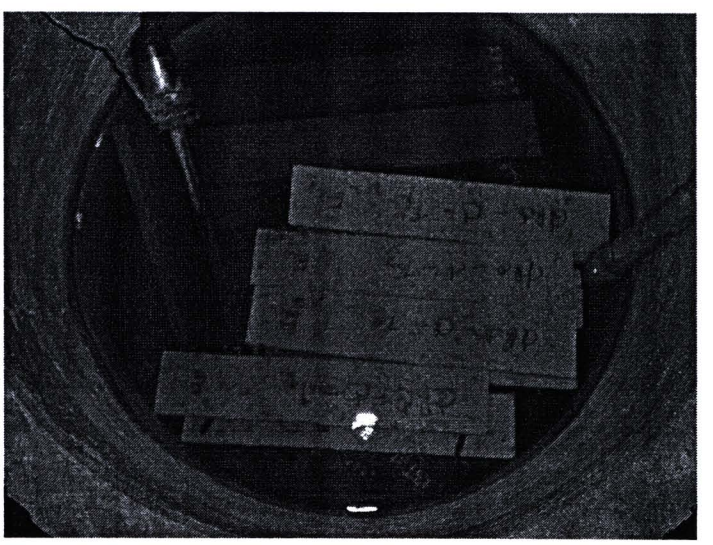
รูปที่ 3.23 ทำเครื่องหมายรหัสที่ชิ้นงานทดสอบ

รูปที่ 3.24 การตัดชิ้นตัวอย่างทดสอบหาปริมาณเส้นใยแก้วหลังการพ่นตัวอย่าง

รูปที่ 3.25 ชั่งน้ำหนักเส้นใยแก้วหลังอบแห้ง

3.4.7 การบ่ม ทำการบ่มชิ้นงานในอุณหภูมิห้อง(สภาพแห้ง)และในน้ำที่อุณหภูมิ 25^0C 50^0C 85^0C

รูปที่ 3.26 ทำการแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 25^0C



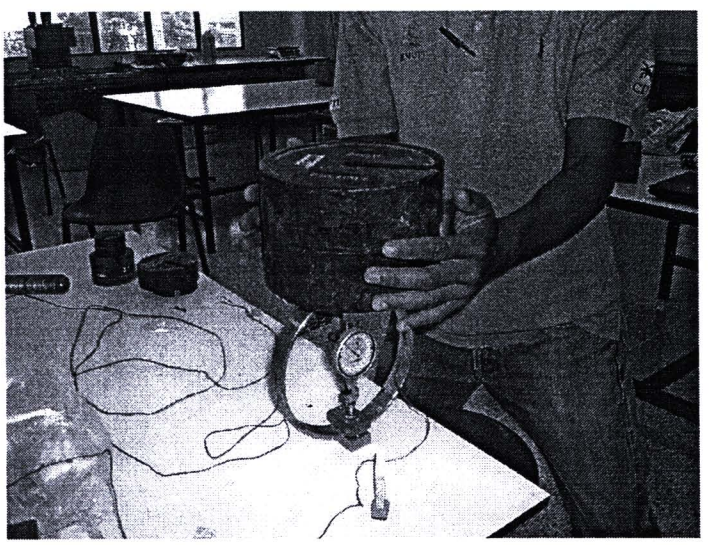
รูปที่ 3.27 ทำการแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 50^0C 85^0C

3.5 ขั้นตอนการทดสอบกำลังดัดแบบ 4 จุด (Four Point Bending Test)

3.5.1 ติดตั้ง Proving Ring , Data Locker และ LVDT ติดตั้ง Proving Ring และ LVDT เข้ากับเครื่องทดสอบแรงกด และคอมพิวเตอร์ให้เรียบร้อย

รูปที่ 3.28 การติดตั้งเครื่องทดสอบกำลังดัด Proving Ring ,Data Locker และ LVDT

3.5.2 ทำการสอบเทียบ (Calibrate) ทำการสอบเทียบ Proving Ring และ LVDT เพื่อหาค่า K ทุกครั้งที่ทดสอบชิ้นงานตัวอย่าง



รูปที่ 3.29 การสอบเทียบเครื่องทดสอบกำลังดัด (Proving Ring)

3.5.3 ปรับตำแหน่งของฐานรองรับแผ่นตัวอย่างทดสอบ โดยให้ระยะห่างของฐานรองรับห่างกัน 200 มิลลิเมตรและปรับหัวกดให้มีขนาดกว้าง 1 ใน 3 ของระยะห่างของฐานรองรับ เท่ากับ 6.666 ซ.ม.

3.5.4 วัดขนาด วัดขนาดความกว้าง ความยาว และความหนาของแผ่นตัวอย่างทดสอบ

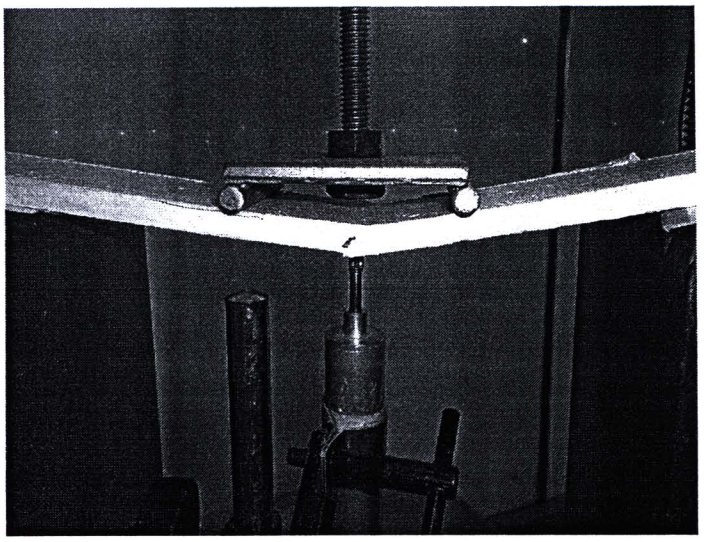
3.5.5 ชั่งน้ำหนัก ชั่งน้ำหนักของแผ่นตัวอย่างทดสอบด้วยเครื่องชั่งละเอียดถึง 0.01 กรัม

3.5.6 ทำการทดสอบ นำแผ่นตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบ แล้วจัดให้ฐานรองรับแผ่นตัวอย่างทดสอบอยู่ในแนวศูนย์กลาง และสมดุลบนแท่นกดตัวอย่างของเครื่องทดสอบ โดยแบ่งตัวอย่าง B_1, B_3 และ T_1, T_3 วางหงายด้านผิวหน้าขึ้นสัมผัสหัวกด ส่วนตัวอย่าง B_2, B_4 และ T_2, T_4 วางผิวหน้าคว่ำลงให้ด้านหลังสัมผัสหัวกด

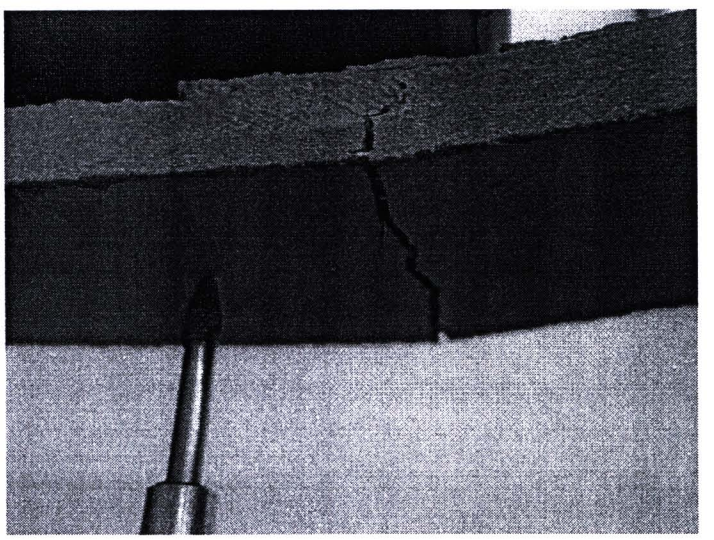
รูปที่ 3.30 แผ่นตัวอย่างทดสอบบนแท่นทดสอบกำลังดัด

3.5.7 ทำการทดสอบ เดินเครื่องทดสอบให้แรงกดสม่ำเสมอ กดแผ่นตัวอย่างในอัตราการเดินเครื่องที่ความเร็ว 0.2 มิลลิเมตรต่อนาที

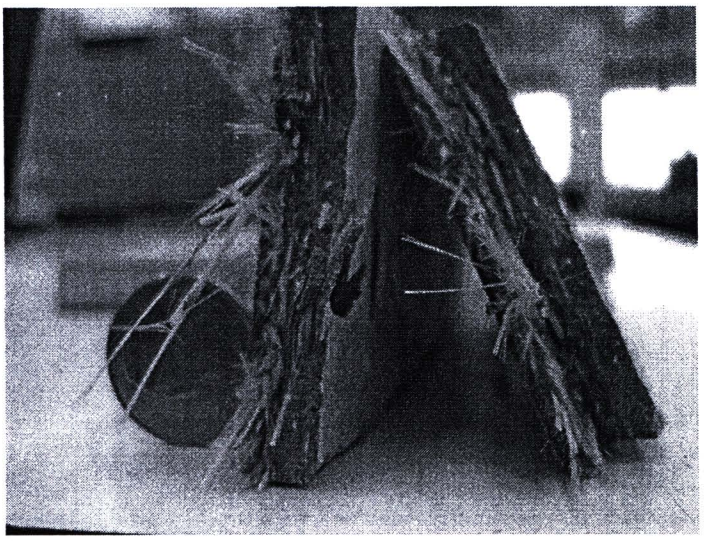
3.5.8 บันทึกข้อมูล ขณะเดินเครื่องบันทึกข้อมูลแรงกดและการโก่งตัวในแนวดิ่งด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต่อเข้ากับเครื่อง Data Locker หยุดเครื่องเมื่อแผ่นตัวอย่างวิบัติ และค่าการโก่งตัวที่ 25 มิลลิเมตร แสดงในรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 ทำการทดสอบจนกระทั่งแผ่นทดสอบวิบัติ



รูปที่ 3.32 การวิบัติของแผ่นตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ 3.33 การวิบัติหลังการทดสอบ

3.6 การทดสอบการดูดซึมน้ำของแผ่นตัวอย่างทดสอบกำลังดัด

ทำการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นตัวอย่างหลังจากการทดสอบกำลังดัด เพื่อหาอัตราการดูดซึมน้ำของแผ่นตัวอย่าง ซึ่งมีลำดับขั้นตอนการทดสอบดังนี้

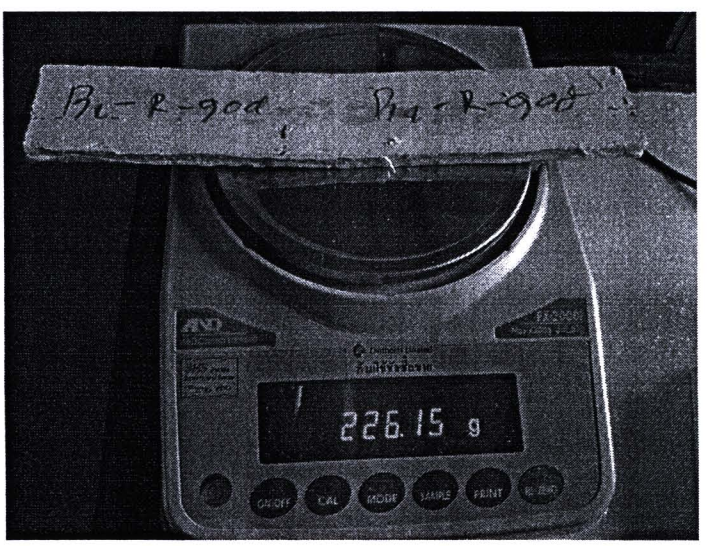
3.6.1 แช่แผ่นตัวอย่าง แช่แผ่นตัวอย่างทดสอบในน้ำสะอาดให้น้ำท่วมแผ่นทดสอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.6.2 ชั่งตัวอย่างชิ้นงาน หลังจากแช่น้ำแผ่นตัวอย่างทดสอบครบ 24 ชั่วโมง น้ำแผ่นตัวอย่างทดสอบขึ้นจากน้ำ ซับน้ำที่เกาะที่ผิวของแผ่นตัวอย่างให้แห้ง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จะได้ค่าน้ำหนักเปียก (*Mw*)

3.6.3 การอบ นำแผ่นตัวอย่างทดสอบที่ชั่งน้ำหนักเปียกเรียบร้อยแล้ว ไปอบในตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้โดยอบแผ่นตัวอย่างที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

รูปที่ 3.35 การวางแผ่นตัวอย่างในตู้อบ

3.6.4 ชั่งแผ่นตัวอย่าง หลังจากอบแผ่นตัวอย่างทดสอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำแผ่นตัวอย่างออกจากตู้อบทำการชั่งน้ำหนักจะได้ค่าน้ำหนักแห้ง (*Md*)



รูปที่ 3.36 การชั่งน้ำหนักแผ่นตัวอย่างหลังอบแห้ง

3.6.5 การวิเคราะห์ผล ทำการคำนวณหาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำจากสมการ (2.6)