

## บทที่ 2

### วิธีการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง วัสดุที่ใช้ในการทดลอง ขั้นตอนการเตรียม วัสดุที่ใช้ในการทดลอง วิธีการทดลอง และขั้นตอนการทดสอบก่อนตัวอย่างคอนกรีต ซึ่งเป็นบทที่สำคัญที่สุดของโครงการวิจัยนี้ ก่อนทำการทดลองจะต้องมีการเตรียมการเกี่ยวกับ อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง เพื่อจะได้ทำการทดลองได้ทันที และช่วยให้การดำเนินงานในการทำโครงการวิจัยเป็นไปตามแผนการดำเนินงานที่วางไว้ อีกทั้งการเตรียมวัสดุที่ดี และการทำการทดลองเป็นขั้นตอน จะทำให้ผลการทดลองที่ได้มีประสิทธิภาพ เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

#### 2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 2.1.1 เครื่องชั่งทอนนิ่ง 3 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น PB 302 ผลิตจากประเทศไทย สวิตเซอร์แลนด์
- 2.1.2 กระบอกตวงขนาดความสูง 250 มิลลิเมตร และ 500 มิลลิตร
- 2.1.3 กรวยทดสอบในสภาพะอิ่มตัวผิวแห้ง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในค้านบนขนาด 40 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในค้านล่างขนาด 90 มิลลิเมตร สูง 75 มิลลิเมตร และหนา 0.80 มิลลิเมตร
- 2.1.4 เหล็กกระถุง ( Tamper ) มีน้ำหนัก 340 กรัม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร
- 2.1.5 ตู้อบ ยี่ห้อ SHELLAB รุ่น 1390 FX ผลิตจากประเทศอเมริกา
- 2.1.6 เทอร์โนมิเตอร์
- 2.1.7 ถุงอลูมิเนียม
- 2.1.8 เครื่องเขย่าตะแกรงร่อนทราย ( Mechanical Sieve Shaker ) ยี่ห้อ ENDECOTTS รุ่น EFL 2000 / 2 SIN 14540 – 97 ผลิตจากประเทศไทย อิตาลี
- 2.1.9 ตะแกรงร่อนตามมาตรฐาน ASTM C 33 ยี่ห้อ ENDECOTTS รุ่น EFL 2000 / 2 SIN 14540 – 97 ผลิตจากประเทศไทย อิตาลี

ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดตะแกรงที่ใช้ในการหาน้ำดคละของทราย

ขนาดตะแกรงมาตรฐาน	ขนาดช่องว่าง (มม.)
เบอร์ 4	4.75
เบอร์ 8	2.38
เบอร์ 16	1.18
เบอร์ 30	0.60
เบอร์ 50	0.30
เบอร์ 100	0.15

- 2.1.10 กลวยเหล็กสำหรับการยุบตัว (Slump Mold) ขนาดตอนบนมีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านบน 10 เซนติเมตร และด้านล่าง 20 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ใช้สำหรับทดสอบค่าการยุบตัวของตอนกริต
- 2.1.11 เหล็กคำ (Tamping Rod) ทำจากเหล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตร ปลายกลมนน
- 2.1.12 แบบหล่อ ก้อนตัวอย่างคอนกรีต รูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร
- 2.1.13 ชุดทดสอบกำลังอัด (Compressive Machine) ยี่ห้อ TECNOTEST ผลิตจากประเทศอิตาลี
- 2.1.14 Dial Gauge ยี่ห้อ TECNOTEST รุ่น T 630 / 1 ผลิตจากประเทศเยอรมัน
- 2.1.15 ตะกร้าสำหรับช่างพินในน้ำ
- 2.1.16 เครื่องซั่งน้ำหนักแบบสปริง ถังเหล็ก ยี่ห้อ CAPACITY ไม่มีรุ่น ผลิตจากประเทศไทย
- 2.1.17 ไม่แบบ Pan ยี่ห้อ CONTROLS รุ่น CO197/A ผลิตจากประเทศอิตาลี
- 2.1.18 เครื่องเป่าลม
- 2.1.19 ถادโลหะ
- 2.1.20 ขวดแก้วใสที่มีจุดบิดแน่นและสามารถวัดความจุได้ขนาดปริมาณ 350 มล.
- 2.1.21 แผ่นกระჯองหรือฟาร์มาตรฐาน

- 2.1.22 กระบวนการ ขนาดความจุ 200 - 250 มล.
- 2.1.23 เกรียง
- 2.1.24 สเตรนเกจ (Strain gauge) PL- 90 ผลิตจากประเทศ โตเกียว (Tokyo Sokki kenkyujo CO,LTD)
- 2.1.25 กาว (Adhesive) ติดสเตรนเกจ (Strain gauge) PL- 90 (P-2, Drug A 100g and Drug B 10 g) ผลิตจากประเทศ โตเกียว (Tokyo Sokki kenkyujo CO,LTD)

## 2.2 วัสดุที่ใช้

### 2.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (Type 1) ตรา ช้าง ผลิตจากบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ประเทศไทย ซึ่งแต่ละถุงมีน้ำหนัก 50 กิโลกรัม บรรจุในถุงกระดาษอย่างดี ไม่มีรอยร้าว และถูกเก็บในที่แห้ง ปูนซีเมนต์ที่นำมาใช้จะต้องมีเม็ดปูนละเอียด ไม่ขับตัวเป็นก้อน

### 2.2.2 ทราย

### 2.2.3 พิน

### 2.2.4 น้ำ

ใช้น้ำประปาที่สะอาด ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น จากห้องปฏิบัติการคอนกรีต เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

## 2.3 วิธีการทดลอง

### 2.3.1 การเตรียมวัสดุ

#### ทราย

ใช้ทรายบก จาก บ้านวังเบ็ด ต.วังเบ็ด อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก ก่อนที่จะนำทรายมาใช้ล้างทรายให้สะอาดผึ่งแฉดให้ทรายอู้ในสภาวะอื้มตัวผิวแห้ง (Saturate Surfaces Dry) แล้วนำทรายไปเก็บไว้ในถังพลาสติกปิดฝ่าให้สนิทเพื่อให้ความชื้นของทรายคงที่

## หิน

ใช้หินขนาด 3/8 นิ้ว จากโรงโม่ศิลปากำแพงเพชร ของ หจก. ศิลปากำแพงเพชร ต.พرانกระต่าย อ.พرانกระต่าย จ.กำแพงเพชร ก่อนใช้ จะต้องถ้างหินด้วยน้ำให้สะอาด และตากแดดให้แห้งแล้วจึงเก็บไว้ในถังพลาสติก ปิดฝ่าให้สนิท

### 2.3.2 การตรวจสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวม ( Test for Specific Gravity and Absorption Aggregates )

#### 1. การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมละเอียด

- 1) นำมวลรวมละเอียดจากที่เก็บมาประมาณ 1.000 กรัม โดยใช้วิธีการของ การแบ่งสี่ ไปอบให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ  $100-110^{\circ}$  ช. จนน้ำหนักคงที่ แล้วนำไปแข็งตัว 24 ชั่วโมง
- 2) หลังจากนั้นนำมวลละเอียดมาทำให้แห้งโดยใช้เครื่องเป่าลมมวลละเอียดให้ทั่วจนมวลละเอียดนั้นแห้งสม่ำเสมอและอยู่ในสภาพของการไหลอิสระ
- 3) การทดสอบว่ามวลละเอียดอยู่ในสภาพของการไหลอิสระ ทำได้โดยรวมละเอียดนั้นลงในกรวยโลหะจนเต็ม แล้วให้เหล็กกระถุงเบาๆ เป็นจำนวน 25 ครั้ง จากนั้นยกกรวยขึ้นตรงๆ ในแนวตั้ง ถ้าหากว่ามวลนั้นรวมละเอียดยังมีความชื้นที่ผิวอยู่ มวลรวมละเอียดนั้นจะบังคับร่างเป็นรูปกรวยอยู่ ในกรณีที่ยังมีความชื้นอยู่ที่ผิวอยู่ ให้ใช้เครื่องเป่าลมไล่ความชื้นที่ผิวต่อไป อีกเล็กน้อยจนกว่า...ยกกรวยขึ้นแล้วมวลรวมละเอียดยุบตัวลงเล็กน้อย ซึ่งแสดงว่ามวลรวมละเอียดนั้นมีการตัวอิสระ ไม่มีความชื้นที่ผิว เราเรียกว่า อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง
- 4) จากนั้นให้เทมวลรวมละเอียดจำนวน 500 กรัม ลงไปในกรอบอกตัวงแล้วเติมน้ำจนถึงขีดระดับประมาณ 450 มล.
- 5) นำกรอบอกตัวตามข้อ 4 ไปแช่ในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ประมาณ  $22+1.7^{\circ}$  ช. แล้วเช่นเดียวกับอุณหภูมิที่ต้องการ เติมน้ำจนถึงระดับ 500 มล. แล้วทิ้งไว้จนอุณหภูมิกลงที่
- 6) ชั่งน้ำหนักของกรอบอกตัว มวลรวมและน้ำทั้งหมด

- 7) เทนวัลรวมละเอียดจากกระบวนการอุ่นในภาชนะโลหะ แล้วนำไปอบในเตาอบที่ อุณหภูมิ  $100-110^{\circ}$  ซ. จนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ (อบประมาณ 24 ชั่วโมง) จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ  $1-1\frac{1}{2}$  ชั่วโมง แล้วซึ่งหนาน้ำหนักของมวลรวม ละเอียดที่มีน้ำที่ระดับ 500 มล. ที่อุณหภูมิ  $8^{\circ}$  ซ.
- 8) การคำนวณค่าความถ่วงจำเพาะและการคูดซึ่งของมวลละเอียด ดูได้จากภาค พนวก ก

## 2. การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการคูดซึ่งของมวลรวมหมาย

- 1) นำมวลหมายจากที่เก็บมาประมาณเท่าที่ต้องการ โดยวิธีการของการแบ่งสี ร่อนเอาส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ทิ้งไป
- 2) ถ้างมวลรวมหมายด้วยน้ำ เพื่อขัดผุนและสิ่งที่สกปรกที่ติดตามผิวของมวลรวมหมายนั้น
- 3) นำมวลรวมหมายไปอบในเตาให้ได้น้ำหนักคงที่อุณหภูมิ  $100-110^{\circ}$  องศา เชลเซียส แล้วทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 1-3 ชั่วโมง
- 4) จากนั้นนำมวลรวมหมายนั้นไป秤ไว้ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 5) นำเอามวลรวมหมายแต่ละก้อนมาเช็คคุณภาพ ให้น้ำที่เหมาะสมตามผิวของมวลรวมคุณคุณคันไปโดยที่ผิวของมวลรวมหมายยังชื้นอยู่ หลักเดี่ยงอย่างที่ไม่มีการระเหยของความชื้นในขณะเช็คคุณ มวลรวมหมายจะอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง
- 6) ซึ่งน้ำหนักของมวลรวมหมายในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง
- 7) เทนวัลรวมหมายในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งนี้ ลงในตะกร้าลวดเหล็ก แล้วซึ่งหนาน้ำหนักในน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 23 องศาเซลเซียส
- 8) จากนั้นนำเอามวลรวมหมายนั้นไปอบในเตาอบอุณหภูมิประมาณ  $100 - 110$  องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ แล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ  $1-3$  ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปซึ่ง.
- 9) การคำนวณค่าความถ่วงจำเพาะและการคูดซึ่งของมวลรวมหมาย ดูได้จากภาคพนวก ก

2  
TA  
439  
๑๔๖๙  
๒๕๔๔

- ๒ ก.ค. ๒๕๔๕

4540125



สำนักหอสมุด

### 2.3.3 การทดสอบหาความชื้นของทรายและหิน

- 1.) นำทรายที่เก็บไว้ในถังมา 2 จุด ใส่กระป๋องอลูมิเนียมชั้นน้ำหนักกระป๋องบันทึกค่าน้ำหนักทั้ง 2 กระป๋อง (เปลี่ยนสัญลักษณ์ไว้ที่ข้างกระป๋อง)
- 2.) นำทรายที่ได้จากข้อที่แล้วไปอบที่ตู้อบที่อุณหภูมิ 110 ถึง 115 องศา เชลเซียส เป็นเวลา 24 ชม.
- 3.) นำทรายออกมากจากตู้อบแล้วทิ้งไว้ให้เย็นเป็นเวลา 1 ถึง 1.5 ชม. แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก โดยซึ่งรวมกระป๋อง บันทึกค่าน้ำหนักทรายแห้งและกระป๋อง
- 4.) เททรายออกจากการป่อง แล้วชั่งน้ำหนักกระป่องเปล่า บันทึกค่าน้ำหนักกระป่องเปล่า แล้วคำนวณหาค่าความชื้นเฉลี่ย
- 5.) นำหินตัวอย่างมาชั่งรวมน้ำหนักกذاค บันทึกค่า จากนั้นนำหินไปอบที่อุณหภูมิ 110 ถึง 115 องศาเชลเซียส ทิ้งไว้ 24 ชม.
- 6.) นำหินที่อบแห้งแล้ว ทิ้งไว้ให้เย็นเป็นเวลา 1 ถึง 3 ชม. แล้วจึงนำมาชั่งน้ำหนักหินแห้ง แล้วคำนวณหาค่าความชื้นของหิน

### 2.3.4 การเตรียมแท่งตัวอย่าง

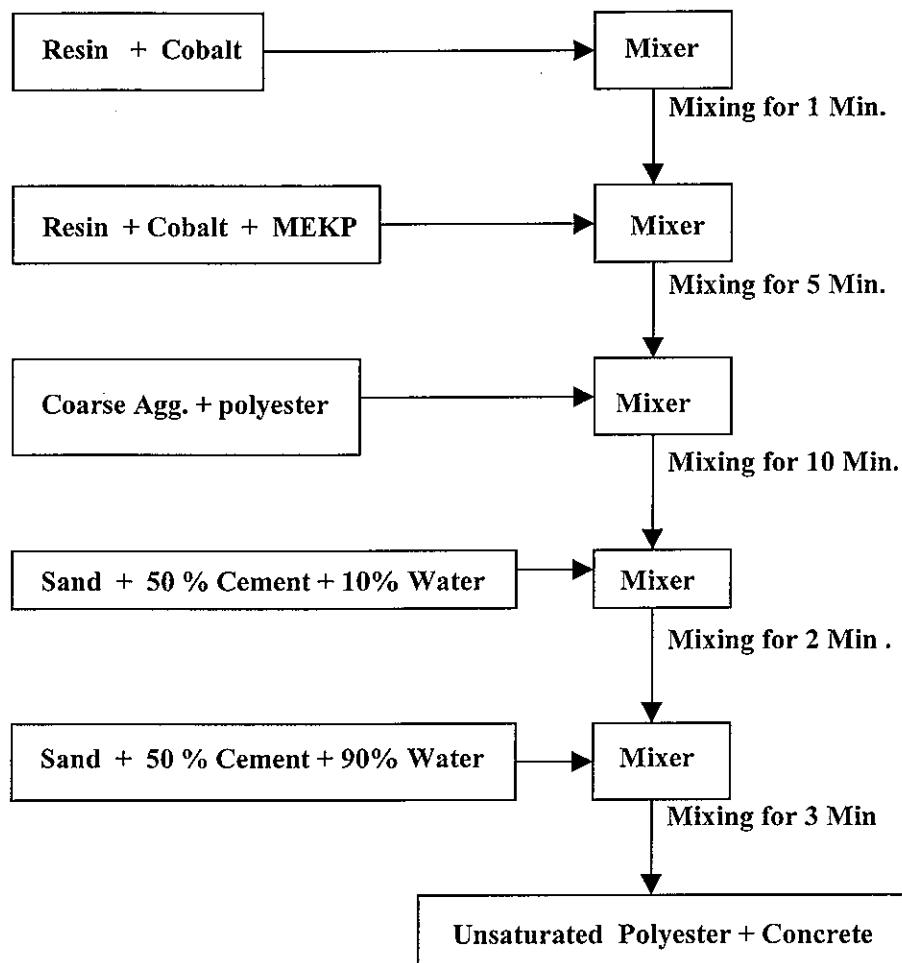
- 1.) เตรียมสัดส่วนผสมในการผสมคอนกรีตตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงอัตราส่วนผสมคอนกรีต

ส่วนผสมที่	อัตราส่วน น้ำต่อชีเมนต์	อัตราส่วนผสม (% by weight)			
		ชีเมนต์	ทราย	หิน	น้ำ
1	0.50	17.67	28.27	45.23	8.83
2	0.55	17.90	27.75	44.51	9.84
3	0.60	18.16	27.24	43.71	10.89

หมายเหตุ : สำหรับอัตราส่วนพอลิเมอร์ต่อชีเมนต์ใช้ 1%, 3% และ 5% โดยน้ำหนักก่อนชีเมนต์

2.) ขั้นตอนในการผสมสามารถสรุปได้ดังนี้



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนในการผสมคอนกรีต

- 3.) นำส่วนผสมที่ได้เทลงในแบบหล่อตัวอย่าง โดยทำความสะอาด แบบหล่อตัวอย่าง โดยทวน้ำมันภายในทุกด้าน ทำการบ่มแห้งตัวอย่างในน้ำ เป็นเวลา 28 วัน จึงนำแห้งตัวอย่างมาทดสอบบดเบิกกล

### 2.3.5 การทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต

#### (Slump Test of Concrete)

- 1.) ทำการยกเหล็กสำหรับวัดการยุบตัว (Slump Mold) มาทำให้เปียกชื้นเสียก่อน แล้วนำไปวางบนแผ่นเหล็ก โดยเอาปลายตักที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าให้อุดด้านล่างบีดกรวยเหล็กให้แน่น โดยเอาเท้าทั้งสองข้างเหยียบที่เหยียบไว้
- 2.) นำคอนกรีตที่ต้องการทดสอบหาค่าการยุบตัวเทลงไปในกรวยเหล็กให้ได้ปริมาตรประมาณ  $1 / 3$  ของปริมาตรของกรวยเหล็ก (ขี้นแรกจะสูงประมาณ 67 ม.ม.) แล้วกระทุบให้ถูกถึงแผ่นเหล็ก จำนวน 25 ครั้ง
- 3.) เติมคอนกรีตลงไปในกรวยเหล็กอีกประมาณ  $1 / 3$  ของปริมาตร (เติมให้สูงถึงระดับประมาณ 155 ม.ม.) แล้วกระทุบให้ทั่ว 25 ครั้ง โดยให้ปลายเหล็กกระทุบถึงผิวนของคอนกรีตขึ้นแรกเท่านั้น
- 4.) เติมคอนกรีตลงไปในกรวยเหล็กอีกจนล้น แล้วกระทุบให้ทั่ว 25 ครั้ง โดยให้ปลายเหล็กกระทุบถึงผิวนของคอนกรีตขึ้นที่สองเท่านั้น หากกระดับของคอนกรีตต่ำกว่ากรวย
- 5.) ปักคอนกรีตที่ผิวนของกรวยเหล็กโดยใช้ส่วนขาวของเหล็กกระทุกค่อยๆ หมุนเลื่อนไปจนผิวนเรียบ
- 6.) ยกกรวยเหล็กขึ้นในแนวเดิมอย่างระมัดระวังและสม่ำเสมอโดยใช้เวลาในการยกประมาณ 5-10 วินาที คอนกรีตจะยุบตัวลง
- 7.) วัดค่าการยุบตัวของคอนกรีต โดยวัดค่าความแตกต่างระหว่างความสูงของกรวยเหล็กและความสูงของคอนกรีตที่ยุบตัวลงไป (วัดที่แนวแกนตั้ง)

หมายเหตุ : ระยะเวลาในการทดสอบทั้งหมดตั้งแต่เริ่มใส่คอนกรีตจนกระหั่งยกกรวยเหล็กออก ควรอยู่ในระยะเวลา  $2 \frac{1}{2}$  นาที)

### 2.3.6 การทดสอบหาค่ากำลังดึงแยกของคอนกรีตโดยสปลิตเทส

#### (Test of Splitting Tensile Strength of Concrete)

- 1.) ให้ลากเส้นผ่าศูนย์กลางที่ปลายของแท่งทดสอบคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานทั้งสองด้านโดยให้เส้นทั้งสองนี้อยู่ในระนาบเดียวกัน

- 2) วัดเด็นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของแท่งทดสอบให้ลักษณะเส้นที่ 0.25 ซม. โดยวัดที่ปลายทั้งสองข้างและที่กึ่งกลาง
- 3) วัดความยาวเฉลี่ยของแท่งทดสอบให้ลักษณะเส้นที่ 0.25 ซม. โดยวัดแนวระนาบทั้งสองด้านที่จะทดสอบ
- 4) ชั่งน้ำหนักของแท่งทดสอบให้ลักษณะเส้นที่ 1 กรัม
- 5) วางแท่งทดสอบให้ได้ศูนย์กลางบนแท่นทดสอบในลักษณะแนวอน
- 6) กดแท่งทดสอบอย่างช้าๆ จนกระแทก (Failure) แล้วบันทึกแรงกดสูงสุด
- 7) ให้ร่างรูปแบบลักษณะการแตกหักของแท่งทดสอบ

### 2.3.7 การติดตั้งสเตรน เกจ (Strain gauge)

- 1.) นำก้อนคอนกรีตที่มีอายุการบ่มที่ 28 วันขึ้นจากถังปูน แล้วทิ้งให้ผิวแห้งสนิท
- 2.) นำคอนกรีตที่ผิวแห้งสนิทแล้วมาขัดด้วยกระดาษทรายตรงบริเวณที่ต้องการติด ตั้งสเตรน เกจ
- 3.) นำสารอาร์ซิโตนามาเช็ดทำความสะอาดบริเวณที่ใช้กระดาษทรายขัด ตามข้อ 2.
- 4.) ผสมการติด สเตรน เกจ ในอัตราส่วนที่ใช้ คือ Drug A 100 กรัม และ Drug B 10 กรัม แล้วกวนให้เข้ากัน สังเกตสีของขาวจะเปลี่ยนจากสีขาว เป็นสีน้ำตาล
- 5.) นำ สเตรน เกจ มาทาการติด สเตรน เกจที่เตรียมไว้โดยให้หากาวติดสเตรน เกจด้านที่ไม่มีลวดของ สเตรน เกจ บริเวณที่ทำการติด สเตรน เกจที่ตามข้อ 3.
- 6.) ทำการติดเทปกาวทับ สเตรน เกจ โดยให้ปลายลวดของ สเตรน เกจ โผล่พื้นจากเทปกาวประมาณ 1 เซนติเมตร
- 7.) ทำการติดตั้ง สเตรน เกจอีกชุดหนึ่งที่ด้านตรงข้ามกัน
- 8.) ทำการเชื่อมสายไฟระหว่างสเตรน เกจกับเครื่องประมวลผล(DataLogger )

### 2.3.8 การทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีต

#### (Test for Compressive Strength of Concrete)

- 1) วัดขนาดและชั้นน้ำหนักของแท่งคอนกรีต (กระทำก่อนการเคลือบผิวน้ำ)
- 2) ทำความสะอาดแท่งคอนกรีตและผิวเท่นชาร์ (Bearing Faces) ทั้งบนและล่างของเครื่องทดสอบแรงดัน
- 3) วางแท่งทดสอบให้อยู่ในแนวศูนย์กลางของน้ำหนักกด แล้วเลื่อนหรือหมุนผิวแท่นชาร์ ให้สัมผัสกับแท่งทดสอบสนิท
- 4) เปิดเครื่องทดสอบให้น้ำหนักกดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ด้วยอัตราคงที่อยู่ในเกณฑ์ช่วง 14-34 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรต่อวินาที ในระหว่างช่วงครึ่งแรกของน้ำหนักกดสูงสุดที่แท่งทดสอบจะรับได้นั้น อาจใช้อัตราการกดสูงกว่าที่กำหนดให้ ส่วนในการควบคุมเครื่องทดสอบขณะที่แท่งทดสอบถึงจุด屈服 (Yielding) อย่างรวดเร็ว หันที่ก่อนเกิดลักษณะประดับ (Ultimate) นั้นห้ามปรับอัตราการกดหรือส่วนใด ๆ ของเครื่องทดสอบ
- 5) ให้กดจนกระแท้แท่งทดสอบถึงจุดประดับ
- 6) บันทึกค่าน้ำหนักกดสูงสุดที่แท่งทดสอบสามารถรับได้ พร้อมทั้งบันทึกรูปถ่ายของการแตกของแท่ง ทดสอบนั้นด้วย
- 7) นำค่าน้ำหนักกดและค่าการยุบตัวทุกๆ 0.05 มม. มาพลอตกราฟความเค้นและความเครียด