ภาคผนวก ก

การตรวจสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวม

(Test for Specific Gravity and Absorption Aggregates)

วัตถุประสงค์

เพื่อหาความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity)และความถ่วงเพาะปรากฏ (Apparcnt Specific Gravity)รวมทั้งค่าการดูดซึม(หลังจากแช่น้ำไว้ 24 ชั่วโมง) ของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ

เอกสารอ้างอิง

1) มาตรฐาน ASTM C127
2) มาตรฐาน ASTM C 128

ทฤษฎี

ก. ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม หมายถึง อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของปริมาณเนื้อแท้ของมวลรวมต่อน้ำหนักที่มีปริมาณเท่ากัน โดยที่มวลรวมมีรูพรุน ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม จึงอาจแยกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

1) ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity)
   เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของปริมาณของมวลรวม (ที่รวมทั้งรูพรุนทั้งหมดและช่องว่างภายในของมวลรวม) ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาณเท่ากัน
2) ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparcnt Specific Gravity)
   เป็นอัตราถ่วงส่วนระหว่างน้ำหนักของปริมาณเนื้อแท้ของมวลรวม (ที่รวมเอารูพรุนที่น้ำเข้าไปไม่ได้ (Impermeable pores) และช่องว่างภายในของมวลรวมด้วย) ต่อน้ำหนักที่มีปริมาตรเท่ากัน
3) ความถ่วงจำเพาะสัมบูรณ์ (Absolute of True Specific Gravity)
   เป็นอัตราถ่วงระหว่างน้ำหนักของปริมาตรเนื้อแท้มวลรวม (ที่ไม่รวมรูพรุนและช่องว่าง) ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน ความถ่วงจำเพาะสัมบูรณ์อาจหาได้โดย ทำให้เป็นผงละเอียดที่ไม่มีช่องว่างอยู่เลย อย่างไรก็ตามความถ่วงจำเพาะสัมบูรณ์มิได้มีประโยชน์ในงานคอนกรีต

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมขึ้นอยู่กับสมบัติของแร่ธาตุที่เป็นส่วนผสมและความพรุนของก้อนมวลรวม ความชื้นอาจทำให้ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมเปลี่ยนแปลงได้ ความถ่วงจำเพาะนี้ใช้ประโยชน์ในการคำนวณหาปฏิภาคส่วนผสมของหินและทรายในคอนกรีต โดยใช้เป็นตัวเปลี่ยนน้ำหนักที่กำหนดให้ของมวลรวมเป็นปริมาตรเนื้อแท้ หรือเปลี่ยนปริมาตรเนื้อแท้เป็นน้ำหนัก เพื่อหาปริมาณมวลรวมสำหรับการผสมนั้นๆ

ตามปกติในการคำนวรปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตจะใช้ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity)ของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง(Saturated Surface-Dry) ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมโดยทั่วไปไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 2.40-2.90

ข. การดูดซึมของมวลรวม (Absorption of Aggregates)

โครงสร้างภายในก้อนวัสดุผสมประกอบด้วยเนื้อของแข็งและช่องว่าง ช่องว่างเหล่านั้นจะดูดความชื้นเข้าไปเก็บไว้ได้ การผสมคอนกรีตจึงต้องคำนึงถึงคุณสมบัติข้อนี้ด้วย เพื่อควบคุมปริมาณน้ำในส่วนผสมให้ได้ความข้นเหลวคงที่อันจะทำให้คอนกรีตมีเนื้อสม่ำเสมอ

ปริมาณน้ำในมวลรวมอาจอยู่ในสภาวะหนึ่งใน 4 อย่าง ดังแสดงในรูป 1

1. แห้งด้วยเตาอบ ในภาวะนี้มวลรวมสามารถดูดซึมได้เต็มที่
2. แห้งในอากาศ หรือแห้งที่ผิวแต่มีความชื้นอยู่ภายในช่องว่างข้างใน ในปริมาณที่น้อยกว่าสภาวะแห้งและอิ่มตัว ดังนั้นมวลรวมจึงอาจดูดซึมได้บ้าง
3. อิ่มตัวและผิวแห้ง เป็นสภาวะที่ดีที่สุด โดยที่มวลรวมไม่คายน้ำออกหรือดูดน้ำจากคอนกรีต
4. ชื้นหรือเปียก เป็นสภาวะที่ปริมาณความชื้นสูงมากเกินไป โดยมีน้ำหุ้มก้อนมวลรวมอยู่ด้วย

ดังนั้นการทดสอบหาการดูดซึมของมวลรวม จึงมีประโยชน์ในการหาปริมาณของน้ำที่มวลรวมคายออกมาหรือดูดซึมเข้าไป จากส่วนผสมของคอนกรีต ซึ่งทำให้เราสามารถปรับปริมาณน้ำในส่วนผสมของคอนกรีตให้เหมาะสมตามสภาวะของมวลรวมที่แท้จริง

การคำนวณ

1) คำนวณหาความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity)ที่สภาวะแห้งด้วยเตาอบ ได้จาก

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด = $\frac{A}{B+500-C}$

โดยที่ A = น้ำหนักของมวลรวมละเอียดที่แห้งด้วยเตาอบ,กรัม

B = น้ำหนักของกระบอกตวงและน้ำที่ระดับ 500มล.,กรัม

และ C = น้ำหนักของกระบอกตวงที่มีมวลรวมละเอียดและน้ำที่ระดับ 500 มล.,กรัม

2) คำนวณหาความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ที่สภาวะอิ่มตัวที่ผิวแห้ง (Saturated Surface-Dry Basis)ได้จาก

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด = $\frac{500}{B+500-C}$

(อิ่มตัวที่ผิวแห้ง)

โดยที่ B และ C มีความหมายเช่นเดียวกับ (1)

3) คำนวณหาความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity) ได้จาก

การดูดซึม % = $\frac{500-A}{A} \times 100$

โดยที่ A มีความหมายเช่นเดียวกับ (1)

การคำนวณ

1.) คำนวณหาความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ในสภาวะแห้งด้วยเตาอบได้จาก

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด = $\frac{A}{B-C}$

โดยที่ A = น้ำหนักของมวลรวมที่แห้งด้วยเตาอบ, กรัม

B = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในอากาศ,กรัม

C = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในน้ำ,กรัม

2.) คำนวณหาความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface-Dry) ได้จาก

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด $= \frac{B}{B-C}$

(อิ่มตัวผิวแห้ง)

โดยที่ B และ C มีความหมายเช่นเดียวกับ (1)

3.) คำนวณหาความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity)

ได้จาก

ความถ่วงจำเพาะปรากฏ $= \frac{A}{A-C}$

โดยที่ A และ C มีความหมายเช่นเดียวกับ (1)

4.) คำนวณหาร้อยละของการดูดซึม (Percentange of Absorption)

ได้จาก

การดูดซึม,% $= \frac{B-A}{A} \times 100$

โดยที่ A และ B มีความหมายเช่นเดียวกับ (1)

ตัวอย่างการคำนวณ

การคำนวณหาความถ่วงเฉพาะ การดูดซึมน้ำที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของทราย

ข้อมูลการทดลอง

โดยที่

A = น้ำหนักของมวลรวมที่แห้งด้วยเตาอบเท่ากับ 496.4 กรัม

B = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในอากาศ เท่ากับ 807.7 กรัม

C = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในน้ำ เท่ากับ 1106.9 กรัม

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด $= \frac{500}{B+500-C}$

$= \frac{500}{807.7+500-1106.9}$

$= 2.490$

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่แท้จริง $= \dfrac{A}{B + A - C}$

$= \dfrac{496.4}{807+496.4-1106.9}$

$= 2.517$

การดูดซึม % $= \dfrac{500-A}{A} \times 100$

$= \dfrac{(500 - 496.4)\times 100}{496.4}$

$= 0.725\ \%$

การคำนวณหาความถ่วงเฉพาะ การดูดซึมน้ำที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของหิน

ข้อมูลการทดลอง

น้ำหนักของตะกร้าเปล่าชั่งน้ำ = 2500 กรัม

น้ำหนักตะกร้าและน้ำหนักหินที่ชั่งในน้ำ = 4000 กรัม

ดังนั้น น้ำหนักหิน (SSD) ชั่งในน้ำ (C) = 4000-2500 = 1500 กรัม

น้ำหนักหินชั่งในอากาศ (B) = 2404 กรัม

น้ำหนักหินอบแห้ง (A) = 2391 กรัม

ขนาดหินโตสุด = 3/8 นิ้ว

ค่าความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry Basis)

$= \dfrac{\text{น้ำหนักหิน(SSD) ชั่งในอากาศ (B)}}{\text{น้ำหนักหิน(SSD) ชั่งในอากาศ (B) - น้ำหนักหิน(SSD) ชั่งในน้ำ (C)}}$

$= \dfrac{2404}{2404-1500}$

$= 2.660$

เปอร์เซ็นต์การดูดซึม

$$= \frac{(\text{น้ำหนักหิน(SSD) ชั่งในอากาศ (B) - น้ำหนักหินอบแห้ง (A))} \times 100}{\text{น้ำหนักหินอบแห้ง (A)}}$$

$$= \frac{(2404-2391)\times 100}{2391}$$

$$= 0.544\ \%$$

เปอร์เซ็นต์ความชื้น

ข้อมูลประกอบการทดลอง

น้ำหนักของถาด (A) = 175.6 กรัม

น้ำหนักของถาดและหินตากแห้ง (B) = 886.3 กรัม

น้ำหนักของถาดและหินอบแห้ง (C) = 884.7 กรัม

ดังนั้น เปอร์เซ็นต์ความชื้น = $\frac{(B-C) \times 100}{(C)-(A)}$

$$= \frac{(886.3 - 884.7)\times 100}{(884.7 - 175.6)}$$

$$= 0.226\ \%$$

ภาคผนวก ข

การคำนวณหาส่วนผสมของคอนกรีต

1. การคำนวณหาส่วนผสมของคอนกรีต W / C 50 %

1.1 ข้อมูลประกอบการคำนวณ

ถ.พ.ของทราย	= 2.49
ถ.พ.ของหิน(ขนาด3/8นิ้ว)	= 2.66
กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์	= 400 กก./ลบ.ม.
กำหนดปริมาณทรายต่อมวลรวมทั้งหมด	= 0.40
กำหนดปริมาณช่องว่างอากาศ	= 3 %
กำหนดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	= 0.50

$Vt = Vc + Vs + Vg + Vw + Vv$

โดยที่ Vt = ปริมาตรคอนกรีต

Vc =ปริมาตรปูนซีเมนต์

Vs = ปริมาตรทราย

Vg = ปริมาตรหิน

Vw = ปริมาตรน้ำ

Vv = ปริมาตรช่องว่าง

Va = ปริมาตรทรายรวมกับหิน

$Vs + Vg = Va$

$0.4Va + Vg = Va$

$Vg = 0.6Va$

$Va = 1/(0.4Vs)$, $Vg = 1.5Vs$

$Vt = Vc + Vs + Vg + Vw + Vv$

$1 = 400/(3.15x1000) + Vs + 1.5Vs + 0.5x400/(1x1000) +0.03$

$= 0.357 + 2.5Vs$

$Vs = (1 - 0.357)/2.5 = 0.257$ ลบ.ม.

Vg = 1.5(0.257) = 0.385 ลบ.ม.

เมื่อออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 1 ลบ.ม. ใช้ส่วนผสมต่างๆ ดังนี้

ปูนซีเมนต์ = 400 กก.

ทราย = 2.49x0.257x1000 = 639.93 กก.

หิน(3/8") = 2.66x0.385x1000 = 1024.10 กก.

น้ำ = 0.5x400 = 200 กก.

การปรับแก้ส่วนผสมของคอนกรีตเนื่องจากความชื้นทรายที่เปลี่ยนไป(ไม่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง) สำหรับทรายที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 0.73 และความชื้นเท่ากับ 0.40 และหินที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 0.51 และความชื้นเท่ากับ 0.05

น้ำหนักทรายเปียก = 639.93x1.004 = 642.46 กก.

น้ำหนักหินเปียก = 1024.10x1.0005 = 1024.61 กก.

น้ำที่ผิวทราย = 0.40-0.73 = -0.33 เปอร์เซ็นต์

น้ำที่ผิวหิน = 0.05-0.51 = -0.46 เปอร์เซ็นต์

สรุป ใช้น้ำ = 200 + 639.93(0.33/100) + 1024.10(0.46/100) = 206.82 กก./ลบ.ม.

ใช้ทราย = 642.46 กก./ลบ.ม.

ใช้หิน = 1024.61 กก./ลบ.ม.

ใช้ปูนซีเมนต์ = 400 กก./ลบ.ม.

2. การคำนวณหาส่วนผสมของคอนกรีต W / C 55 %

2.1 ข้อมูลประกอบการคำนวณ

ถ.พ.ของทราย = 2.49

ถ.พ.ของหิน(ขนาด3/8นิ้ว) = 2.66

กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์ = 400 กก./ลบ.ม.

กำหนดปริมาณทรายต่อมวลรวมทั้งหมด = 0.40

กำหนดปริมาณช่องว่างอากาศ = 3 %

กำหนดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ = 0.55

Vt = Vc + Vs + Vg + Vw + Vv

โดยที่ Vt = ปริมาตรคอนกรีต

Vc =ปริมาตรปูนซีเมนต์

Vs = ปริมาตรทราย

Vg = ปริมาตรหิน

Vw = ปริมาตรน้ำ

Vv = ปริมาตรช่องว่าง

Va = ปริมาตรทรายรวมกับหิน

$Vs + Vg = Va$

$0.4Va + Vg = Va$

$Vg = 0.6Va$

$Va = 1/(0.4Vs)$, $Vg = 1.5Vs$

$Vt = Vc + Vs + Vg + Vw + Vv$

$1 = 400/(3.15x1000) + Vs + 1.5Vs + 0.55x400/(1x1000) +0.03$

$= 0.377 + 2.5Vs$

$Vs = (1 - 0.357)/2.5 = 0.249$ ลบ.ม.

$Vg = 1.5(0.257) = 0.374$ ลบ.ม.

เมื่อออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 1 ลบ.ม. ใช้ส่วนผสมต่างๆ ดังนี้

ปูนซีเมนต์ = 400 กก.

ทราย = 2.49x0.249x1000 = 620.01 กก.

หิน(3/8") = 2.66x0.374x1000 = 994.84 กก.

น้ำ = 0.55x400 = 220 กก.

การปรับแก้ส่วนผสมของคอนกรีตเนื่องจากความชื้นทรายที่เปลี่ยนไป(ไม่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง) สำหรับทรายที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 0.73 และความชื้นเท่ากับ 0.40 และหินที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 0.51 และความชื้นเท่ากับ 0.05

น้ำหนักทรายเปียก = 620.01x1.004 = 622.49 กก.

น้ำหนักหินเปียก = 994.84x1.0005 = 995.34 กก.

น้ำที่ผิวทราย = 0.40-0.73 = -0.33 เปอร์เซ็นต์

น้ำที่ผิวหิน = 0.05-0.51 = -0.46 เปอร์เซ็นต์

สรุป ใช้น้ำ = 220 + 620.01(0.33/100) + 994.84(0.46/100) = 226.62 กก./ลบ.ม.

ใช้ทราย = 622.49 กก./ลบ.ม.

ใช้หิน = 995.34 กก./ลบ.ม.

ใช้ปูนซีเมนต์ = 400 กก./ลบ.ม.

3. การคำนวณหาส่วนผสมของคอนกรีต W / C 60 %

3.1 ข้อมูลประกอบการคำนวณ

ถ.พ.ของทราย = 2.49

ถ.พ.ของหิน(ขนาด3/8นิ้ว) = 2.66

กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์ = 400 กก./ลบ.ม.

กำหนดปริมาณทรายต่อมวลรวมทั้งหมด = 0.40

กำหนดปริมาณช่องว่างอากาศ = 3 %

กำหนดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ = 0.60

$Vt = Vc + Vs + Vg + Vw + Vv$

โดยที่ Vt = ปริมาตรคอนกรีต

Vc =ปริมาตรปูนซีเมนต์

Vs = ปริมาตรทราย

Vg = ปริมาตรหิน

Vw = ปริมาตรน้ำ

Vv = ปริมาตรช่องว่าง

Va = ปริมาตรทรายรวมกับหิน

$Vs + Vg = Va$

$0.4Va + Vg = Va$

$Vg = 0.6Va$

$Va = 1/(0.4Vs)$, $Vg = 1.5Vs$

$Vt = Vc + Vs + Vg + Vw + Vv$

$1 = 400/(3.15x1000) + Vs + 1.5Vs + 0.6x400/(1x1000) +0.03$

$= 0.397 + 2.5Vs$

$Vs = (1 - 0.397)/2.5 = 0.241$ ลบ.ม.

$Vg = 1.5(0.241)$

$= 0.362$ ลบ.ม.

เมื่อออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 1 ลบ.ม. ใช้ส่วนผสมต่างๆดังนี้

ปูนซีเมนต์ = 400 กก.

ทราย = 2.49x0.241x1000 = 600.09 กก.

หิน(3/8") = 2.66x0.362x1000 = 962.92 กก.

น้ำ = 0.6x400 = 240 กก.

การปรับแก้ส่วนผสมของคอนกรีตเนื่องจากความชื้นทรายที่เปลี่ยนไป(ไม่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง) สำหรับทรายที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 0.73 และความชื้นเท่ากับ 0.40 และหินที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 0.51 และความชื้นเท่ากับ 0.05

น้ำหนักทรายเปียก = 600.09x1.004 = 602.49 กก.

น้ำหนักหินเปียก = 962.92x1.0005 = 963.40 กก.

น้ำที่ผิวทราย = 0.40-0.73 = -0.33 เปอร์เซ็นต์

น้ำที่ผิวหิน = 0.05-0.51 = -0.46 เปอร์เซ็นต์

สรุป ใช้น้ำ = 240 + 600.09(0.33/100) + 962.92(0.46/100) = 246.41 กก./ลบ.ม.

ใช้ทราย = 602.49 กก./ลบ.ม.

ใช้หิน = 963.40 กก./ลบ.ม.

ใช้ปูนซีเมนต์ = 400 กก./ลบ.ม.

ภาคผนวก ค
การทำการผสม และ การทำก้อนตัวอย่าง

การทำการผสมคอนกรีต

วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจสอบว่า ส่วนผสมของคอนกรีตที่ถูกออกแบบไว้นั้น มีคุณสมบัติต่างๆ เช่น

ค่ายุบตัว เวลาแข็งตัว ปริมาณอากาศ ตามที่ต้องการหรือไม่ การทดสอบแต่ละอย่างที่กล่าวต่อไปนี้ ผู้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตจะเลือกเฉพาะ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานเท่านั้น

เอกสารอ้างอิง

1. มาตรฐาน ASTM C 192

Standard Method of Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory

1. การตวงวัดส่วนผสมของคอนกรีต (Batching)

หลังจากออกแบบส่วนผสมคอนกรีตเรียบร้อยแล้ว นำส่วนผสมที่ได้จากการออกแบบ มาทำการชั่งน้ำหนักวัสดุผสมคือ ซีเมนต์ หิน ทราย รวมทั้งวัดปริมาณน้ำและน้ำยา ตามส่วนผสมที่ออกแบบไว้ และทำการปรับน้ำหนักของ หิน ทราย ตามค่าความชื้นในสภาพที่เป็นจริง

2. การผสมคอนกรีต (Mixing)

การผสมคอนกรีตเป็นการนำวัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีต คือ ปูนซีเมนต์ วัสดุผสม และ น้ำ มาผสมคลุกเคล้าเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้ได้เนื้อคอนกรีตที่สม่ำเสมอและมีความข้นเหลวที่เหมาะสม อันจะทำให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดี โดยน้ำจะทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์เพสท์ และกระจายไปเคลือบหรือหุ้มอนุภาคของวัสดุผสมโดยทั่วถึง ซึ่งเมื่อแห้งจะแข็งและยึดติดกันแน่น การผสมไม่ทั่วถึงกันดีจะทำให้คุณภาพของคอนกรีตไม่สม่ำเสมอ ไม่ได้กำลังและคุณสมบัติตามต้องการ อันเป็นผลเลวร้ายต่องาน

ข้อสำคัญในขั้นต้นของการผสม คือ ต้องตรวจดูให้วัสดุผสม ให้สะอาด ถ้าไม่สะอาดก็ต้องร่อนหรือล้างออกและควรปล่อยให้สะเด็ดน้ำก่อนนำไปใช้ ข้อสอง คือ ต้องระวังในการตวงวัดปริมาณวัสดุให้ถูกต้องตามส่วน รวมน้ำด้วย

การผสมคอนกรีตอาจทำได้ด้วยมือ หรือด้วยเครื่องผสมก็ได้ และอาจทำได้ดีทั้งสองวิธี แต่โดยมากการผสมด้วยมือมักจะไม่ค่อยสม่ำเสมอและสู้เครื่องผสมไม่ได้

การผสมด้วยเครื่องผสม หรือเรียกว่า โม่ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการคือ โม่แบบ Tiltใช้วิธี คือ ผสมปูนซีเมนต์กับวัสดุแห้งๆเสียก่อนแล้วจึงเติมน้ำและผสมคลุกเคล้าให้ทั่วก่อนที่จะเทลงแบบในทางปฏิบัติทั่วไปนิยมเติมน้ำเข้าไปก่อนเป็นปริมาณ 10% ของน้ำที่ต้องการ ส่วนน้ำที่เหลือต้องเติมเข้าไปด้วยความสม่ำเสมอพร้อมกับส่วนผสมที่แห้งแล้ว และอีก 10 % สุดท้ายไว้เติมหลังจากส่วนผสมทั้งหมดได้ใส่เข้าเครื่องผสมเรียบร้อยแล้ว ภายในโม่จะมีแผ่นเหล็กกั้น ใช้ช่วยในการผสมและเคล้าส่วนผสมให้เข้ากัน เครื่องผสมนี้หลายแบบและหลายขนาดขึ้นอยู่กับขนาดโตสุดของหินและความจุที่ต้องการ ในการผสมคอนกรีตแต่ละครั้งไม่ควรผสมเกินกว่าความจุของเครื่องผสม และควรผสมด้วยอัตราเร็วที่ ควรตรวจสอบแผ่นเหล็กกั้นที่ใช้ช่วยในการผสมด้วย ถ้าหากชำรุดหรือสึกหรอมากเกินควรร้อยละ 10 % หรือมีคอนกรีตแข็งติดกับแผ่นเหล็กกั้น จะทำให้การผสมไม่ดีและไม่มีประสิทธิภาพ ห้องเครื่องผสมจะต้องไม่มีรูรั่วน้ำไหลออกไปได้

เวลาที่ใช้ในการผสม ขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของเครื่องผสม สำหรับเครื่องผสมที่มีสภาพดีและมีขนาดไม่โตกว่า 0.76 ลบ.ม. เวลาในการผสมควรเป็น 1 นาที สำหรับคอนกรีตที่ค่อนข้างข้น การยืดเวลาผสมออกไปจะให้คอนกรีตที่แข็งแรงกว่า จะทำให้ความทึบน้ำของคอนกรีตดีขึ้น เวลาของการผสมจะเพิ่มขึ้นอีก 15 วินาที สำหรับความจุที่เพิ่มขึ้น 0.38 ลบ.ม. หรือเศษของจำนวนนั้น เวลาที่ใช้ในการผสมนับตั้งแต่เมื่อใส่ส่วนผสมทุกอย่างลงในเครื่องผสมแล้ว โดยเติมน้ำเข้าไปหมดภายในเวลา 1 ใน 4 ของเวลาการผสมที่ต้องการ เวลาที่เทคอนกรีตออกจากเครื่องผสม ไม่ถือเป็นเวลาในการผสม

เวลาที่ใช้ผสมที่กระทำในรถผสม เช่น คอนกรีตผสมเสร็จ นับจากจำนวนรอบที่โม่หมุนไป เพื่อให้ส่วนผสมสม่ำเสมอจะต้องผสมไม่น้อยกว่า 70 รอบ แต่ไม่เกิน 100 รอบ

ตารางที่ 1 - ค เวลาที่ใช้ผสมคอนกรีตสำหรับความจุของเครื่องผสมต่างๆ

ความจุของเครื่องผสม (ลูกบาศก์เมตร)	เวลาผสม (นาที)
1 หรือน้อยกว่า	1 ¾
2 หรือน้อยกว่า	2 ½
3 หรือน้อยกว่า	2 ¾
4 หรือน้อยกว่า	3

การผสมนานไม่มีผลที่จะไปลดกำลังของคอนกรีต ตราบเท่าที่คอนกรีตยังสามารถเทได้ดีอยู่และทำให้แน่นได้เต็มที่ โดยไม่ต้องเติมน้ำ การผสมนานมีผลกระทบต่อปริมาณการผลิตคอนกรีตและค่าโสหุ้ย อีกประการหนึ่งต้องไม่ลืมว่า การผสมมีสภาพเหมือนกับการโม่ ซึ่งบดส่วนผสมทำให้มีส่วนละเอียดเพิ่มมากขึ้น เกิดความร้อนมากขึ้น และลดปริมาณช่องฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต ซึ่งเป็นสาเหตุให้ค่าความยุบตัวของคอนกรีตลดลง จึงอาจจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสม เพื่อรักษาค่าความยุบตัวของคอนกรีตให้คงเดิม จึงจะทำให้เทได้สะดวก ฉะนั้นกำลังของคอนกรีตจะตกไปผสมครั้งนั้นมีความจำเป็นต้องยืดเวลานานออกไป ควรเดินเครื่องผสมเป็นระยะๆ จะดีกว่า ตารางที่ 8.2 แสดงผลกระทบของเวลาที่ใช้ในการผสมคอนกรีตที่มีต่อค่าความยุบตัวซึ่งจะเห็นว่า เมื่อใช้เวลาผสมอยู่ในช่วง 10 นาที แรก ค่าความยุบตัวจะไม่เปลี่ยนแปลงมาก

ตารางที่ 2 - ค ผลกระทบของเวลาที่ใช้ผสมคอนกรีตต่อค่าความยุบตัว

เวลาผสม (นาที)	ค่าความยุบตัว (นิ้ว)
2	5.0
5	4.9
10	4.7
15	4.1
30	3.4
60	2.5

การที่ปูนซีเมนต์จับตัวเป็นก้อนในเครื่องผสมคอนกรีต มีสาเหตุเกี่ยวเนื่องกับการใช้เครื่องมือ และลำดับการบรรจุวัสดุต่างๆลงในเครื่องผสม กล่าวคือ เกิดจากการใส่ทรายเปียกๆ และปูนซีเมนต์ลงในเครื่องก่อนที่ใส่น้ำและหิน แผ่นเหล็กกั้นในเครื่องผสมสึกหรอ วัสดุผสมหรือปูนซีเมนต์ที่นำมาใช้มีอุณหภูมิสูงเกินไป หรือใช้น้ำร้อนผสมคอนกรีต ใส่วัสดุต่างๆ ลงในเครื่องผสมเร็วเกินไปหรือความจุของเครื่องผสมและการผสมในเรื่องผสมแบบที่ติดรถกระทำนานจนเกินไป

เมื่อหยุดพักการผสม เช่นในตอนกลางวัน ควรล้างเครื่องผสมให้สะอาดทุกครั้ง มิฉะนั้นที่เหลือค้างอยู่จะจับติดกับเครื่องสม ทำให้ล้างออกยากขึ้นก่อนผสมใหม่ทุกครั้งไม่ควรให้มีคอนกรีตเก่าติดค้างอยู่ภายใน

คอนกรีตเมื่อการผสมจะต้องใช้ภายใน 30 นาที หรือภายในกำหนดระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้น (initial setting time) ยกเว้นกรณีที่ใช้สารหน่วงการก่อตัว (Retarding agent) ไม่ควรใช้คอนกรีตที่ผสมไว้นานเกินกำหนดนี้ แต่สำหรับคอนกรีตผสมเสร็จ ซึ่งได้จากคอนกรีตที่ผสมจากโรงงาน โดยวิธีผสมกับที่หรือผสมโดยรถผสม แล้วจึงส่งคอนกรีตไปเทโดยรถผสมหรือรถกวน จะต้องถ่ายคอนกรีตออกจากโม่ให้หมดภายในเวลา 90 นาที หลังจากเริ่มผสม ทั้งนี้เพราะคอนกรีตที่ได้รับการผสมแล้วจะเริ่มก่อตัว และกระด้างขึ้น จากการทดลองของผู้เขียนพบว่า หากยังสามารถนำคอนกรีตที่ผสมไว้นานเกินกว่ากำหนดข้างต้น ไปเทลงในแบบหล่อได้ โดยมิต้องเติมน้ำเพิ่มอีก กำลังของคอนกรีตจะไม่ลดลงแต่อย่างใด

ภาคผนวก ง
การทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต
(Slump Test of Concrete)

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาความข้นเหลว (Consistency) ของคอนกรีตสดที่ปฏิภาคส่วนผสมต่าง ๆ โดยใช้วิธีการทดสอบค่าการยุบตัว

เอกสารอ้างอิง

มาตรฐาน ASTM C 143

ทฤษฎี

วิธีทดสอบความสามารถเทได้ (Workability) ของคอนกรีตไม่อาจทำได้โดยตรง แต่อย่างไรก็ตามคุณสมบัติที่สามารถวัดได้คือความข้นเหลว (Consistency) ของคอนกรีต ซึ่งเป็นเครื่องแสดงว่า คอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ ๆ นั้น กระด้างพอดี เปียกหรือเละ ความสามารถเทได้ของคอนกรีตจะเป็นที่พอใจหากความข้นเหลวของคอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ ๆ นั้น เหมาะสมที่จะทำให้คอนกรีตมีความแน่นตัวตามสภาพของแต่ละงาน

การทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต(Slump Test) เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ทดสอบหาความข้นเหลวของคอนกรีต ใช้กันทั่วไปทั้งในสนามและในห้องปฏิบัติการ วิธีนี้ทำได้ง่ายและเครื่องมือที่ใช้ก็ทำได้ไม่ยากนัก ค่าการยุบตัวคอนกรีตที่วัดได้สำหรับคอนกรีตที่มีอัตราส่วนผสมเดียวกันจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต ค่าการยุบตัวของคอนกรีตยิ่งน้อย กำลังของคอนกรีตที่ได้ยิ่งสูงขึ้น สำหรับคอนกรีตที่มีก้อนหินหรือกรวดขนาดโตกว่า 2 นิ้วอยู่มาก การวัดหาค่าการยุบตัวโดยวิธีนี้จะไม่ได้ผลถูกต้องเพราะจะเทียบกันไม่ได้

ตารางที่ 1 - ง ค่าการยุบตัวของคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่าง ๆ

ประเภทของงาน	ค่าการยุบตัว ,ซม.	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
งานฐานราก กำแพง คอนกรีตเสริมเหล็ก	12.5	5.0
งานฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก งานก่อสร้างใต้น้ำ	10.0	2.5
งานพื้น คาน และผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก	15.0	7.5
งานเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	15.0	7.5
งานพื้นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก	7.5	5.0
งานคอนกรีตขนาดใหญ่	7.5	2.5

ตารางที่ 2 - ง เปรียบเทียบค่าการยุบตัวและค่าการไหลแผ่ (Flow)

ความข้นเหลว	การยุบตัว ,ซม.	การไหลแผ่ , %
แห้ง (Dry)	0 – 2.5	0 –20
หมาด (Stiff)	2.5 – 6	15 – 60
ปานกลาง (Medium)	5.0 – 14	50 –100
เปียก (Wet)	12.5 – 20	90 – 120
เละ (Stoppy)	17.5 – 25	110 – 150

การยุบตัวของคอนกรีต โดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

1) **True Slump** คอนกรีตมีเนื้อแน่นสม่ำเสมอ ยุบตัวได้เสมอทั้งกองสามารถบอกค่ายุบตัวได้เลย
2) **Shear Slump** คอนกรีตเกาะตัวกันไม่ดี จะยุบตัวพังลง และไหลหลุดไปข้างหนึ่ง ซึ่งส่วนผสมของคอนกรีตไม่ดีพอไม่ควรนำมาใช้หล่อเป็นคอนกรีตที่ดีได้ ค่าที่อ่านได้นี้จะใช้วัดความสามารถเทได้ของคอนกรีตไม่ได้
3) **Collapse Slump** คอนกรีตเกาะกันไม่ดีเลย คอนกรีตจะยุบตัวลงแบนกับพื้นส่วนผสมอาจมีน้ำมากเกินไป ไม่ควรนำมาใช้เป็นคอนกรีตที่ดีได้

ภาคผนวก จ
การทดสอบหาค่ากำลังดึงแยกของคอนกรีตโดยสปลิตเทส
(Test of Splitting Tensile Strength of Concrete)

วัตถุประสงค์

เพื่อทำการทดสอบหาค่ากำลังดึงแยก (Splitting Tensile Strength) ของคอนกรีต

เอกสารอ้างอิง

1) มาตรฐาน ASTM C 496
2) มาตรฐาน ASTM C 192
3) มาตรฐาน ASTM C 31

ทฤษฎี

กำลังดึงแยกของคอนกรีต (Tensile Strength) โดยทั่ว ๆ ไปจะมีค่าต่ำมาก ประมาณ 7-11% ของกำลังแรงอัดเท่านั้น ดังนั้น ในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปแล้ว มักจะไม่คิดแรงดึงในการคำนวณ อย่างไรก็ตาม ในโครงสร้างบางชนิดที่ไม่ต้องการให้คอนกรีตแตกร้าว เนื่องจากต้องการป้องกันน้ำซึม เช่น ถังน้ำ เขื่อน หรือในกรณีที่ไม่สามารถเสริมเหล็ก เช่น ถนน สนามบิน เป็นต้น จำเป็นต้องใช้กำลังดึงของคอนกรีตช่วยในการออกแบบ

ในการทดสอบหากำลังดึงของคอนกรีตนั้น มักไม่นิยมทดสอบหาโดยตรง เนื่องจากความยุ่งยากในการทดสอบและทำให้ได้ค่าไม่แน่นอนนัก ดังนั้น จึงได้มีการทดสอบหากำลังดึงของคอนกรีตโดยตรง เนื่องจากความยุ่งยากในการทดสอบและทำให้ได้ค่าไม่แน่นอนนัก ดังนั้น จึงได้มีการทดสอบหากำลังดึงของคอนกรีตโดยทางอ้อม โดยการทำการทดสอบกำลังดัด (Flexural Strength) หรือการทดสอบหากำลังดึงแยก (Splitting Tensile Strength)

ในการทดสอบแรงดึงแยกนั้น ทำการทดสอบได้โดยนำแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกมาตรฐาน เส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. วางในแนวนอนในเครื่องทดสอบ แล้วกดด้วยแรงที่เป็นเส้น (Line Load) จนกระทั่งแท่งตัวอย่างแยกออกจากกันเป็นสองส่วนเท่า ๆ กัน ซึ่งลักษณะแรงที่กดบนผิวทรงกระบอกด้านข้างนี้จะทำให้เกิดแรงดึงออกทางด้านข้างในระนาบที่ตั้งฉากกับแรงกด กำลังดึงแยกการทดสอบโดยวิธีนี้มีค่าประมาณ 8-14 % ของกำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งคำนวณได้จาก

<u>คำนวณ</u>

$$T = \frac{2P}{\pi LD}$$

เมื่อ T = กำลังดึงแยก, กก. / ตร.ซม.

P = แรงกดสูงสุด, กก.

L = ความยาวแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก, ซม.

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก, ซม.

ภาคผนวก ฉ

การทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีต

(Test for Compressive Strength of Concrete)

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการเตรียมตัวอย่างและวิธีทดสอบความต้านทานแรงอัดของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก และหรือแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์ (แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก จะเป็นแท่งคอนกรีตซึ่งได้จากการหล่อในแบบหล่อหรือแท่งคอนกรีตซึ่งได้จากการเจาะก็ได้

เอกสารอ้างอิง

1) มาตรฐาน ASTM C31
2) มาตรฐาน ASTM C39
3) มาตรฐาน ASTM C42
4) มาตรฐาน ASTM C 192
5) ร่างมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีต

1. กำลังอัดหรือความต้านทางแรงอัด (Compressive Strength)

กำลังอัดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากที่สุดของคอนกรีต เนื่องจากการออกแบบคอนกรีสตส่วนมากมักออกแบบให้คอนกรีตรับเฉพาะแรงอัดอย่างเดียว ถึงแม้คอนกรีตจะรับแรงดึงได้บ้างแต่มักไม่นำมาคิด ในองค์อาคารส่วนที่ต้องรับแรงดึงมักจะให้เหล็กเสริมรับแรงส่วนนี้ไป

กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นกับปฏิภาคส่วนผสม (โดยเฉพาะอย่างยิ่งอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์) อายุการบ่ม และอื่น ๆ เนื่องจากวิวัฒนาการทางวิชาการคอนกรีตพัฒนาไปมาก ทำให้ปัจจุบันสามารถผลิตคอนกรีตที่มีกำลังอัดถึง 700 กก./ซม.^{2} หรือสูงกว่าได้ อย่างไรก็ตามคอนกรีตในงานก่อสร้างของประเทศไทยยังมีกำลังอัดไม่สูงนัก (ประมาณ 100 – 300 กก./ซม.^{2})

กำลังอัดคอนกรีตนั้น หมายถึง กำลังอัดที่ได้จากการทดสอบแท่งตัวอย่างมาตรฐานรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ที่อายุ 28 วัน ในบางครั้งแท่งตัวอย่างรูปลูกบาศก์ขนาด 15 X 15 X 15 ซม. ก็มักนิยมใช้ในการก่อสร้างแต่กำลังอัดของรูปลูกบาศก์ต่ำกว่ากำลังอัดของรูปทรงกระบอกมาตรฐาน

ในการออกแบบองค์อาคาร ค.ส.ล. การกำหนดใช้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตเป็นสำคัญ ผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงความสามารถของผู้รับเหมาก่อสร้างด้วยว่าจะมีความสามารถผลิตคอนกรีตคุณภาพนั้นได้หรือไม่ โดยปกติ ผู้ออกแบบจะกำหนดกำลังอัดของคอนกรีตสำหรับก่อสร้างจริงให้สูงกว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้คำนวณประมาณ 15 – 25 % เนื่องจากกำลังของคอนกรีตในที่ก่อสร้างย่อมต่ำกว่ากำลังของตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบ

2. แท่งทดสอบ

1. แท่งทดสอบซึ่งได้จากการหล่อจะต้องเป็นรูปทรงกระบอกหรือรูปลูกบาศก์
2. แท่งทดสอบซึ่งได้จากการเจาะต้องเป็นรูปทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งทดสอบต้องไม่เล็กกว่า 2 เท่าของขนาดใหญ่สุดของมวลผสมและต้องไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร ความยาวของแท่งทดสอบเมื่อยังไม่เคลือบปลายทั้งสองต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของเส้นผ่าศูนย์กลาง

3. การเตรียมแท่งทดสอบซึ่งได้จากการหล่อ

1) ก่อนใส่คอนกรีตลงในแบบหล่อจะต้องเคลือบภายในแบบหล่อด้วยน้ำมันที่ไม่ทำปฏิกิริยากับคอนกรีตเพื่อป้องกันไม่ให้คอนกรีตเกาะติดแบบหล่อ แล้ววางแบบลงบนพื้นที่ราบและมั่นคง
2) เทคอนกรีตลงในแบบหล่อเป็นชั้น ๆ โดยพยายามไม่ให้คอนกรีตเกิดการแยกตัว
3) เขย่าคอนกรีตโดยใช้วิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้
   3.1) ใช้เครื่องเขย่าแบบโต๊ะ แบบหล่อจะต้องยึดแน่นกับโต๊ะเขย่าอย่างมั่นคง การเขย่าต้องดำเนินติดต่อกันและหยุดเมื่อถึงจุดที่ไม่ปรากฏฟองอากาศขนาดใหญ่ขึ้นมา และมีมอร์ตาเป็นชั้นบาง ๆ ปรากฏขึ้นที่ผิวหน้าคอนกรีต
   3.2) ใช้เครื่องเขย่าแบบแท่ง แท่งเขย่าจะต้องอยู่ในแนวดิ่งและห่างจากกันแบบหล่อประมาณ 20 ม. เขย่าคอนกรีตในลักษณะนี้จนกว่าจะไม่ปรากฏฟองอากาศขนาดใหญ่ขึ้นมา และมีมอร์ตาเป็นชั้นบาง ๆ ปรากฏขึ้นที่ผิวหน้าคอนกรีต การนำแท่งเขย่าออกจากแบบให้นำออกอย่างช้า ๆ
   3.3) ใช้แท่งกระทุ้งด้วยมือ คอนกรีตที่ใส่ในแบบหล่อให้ใส่เป็นขั้น ๆ ละประมาณ 100-150 ม.ม. แต่ละขั้นกระทุ้งให้ทั่วด้วยแท่งเหล็ก โดยกระทุ้งให้ทั่วด้วยแท่งเหล็ก โดยกระทุ้ง 1 ครั้งต่อพื้นที่ประมาณ 1000 ม.ม.^{2} ของพื้นที่

หน้าตัดแบบหล่อการกระทุ้งแต่ละครั้งต้องกระทุ้งให้จมลงไปเท่ากับความหนาของชั้นที่ใส่ลงไปใหม่

4) หลังจากเขย่าคอนกรีตเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ตกแต่งผิวคอนกรีตให้เรียบด้วยเกรียง

4. การบ่มแท่งคอนกรีตซึ่งได้จากการหล่อ

1) หลังจากหล่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้คลุมผิวบนด้วยแผ่นเหล็กหรือแผ่นพลาสติก เพื่อป้องกันการ สูญเสียน้ำ แล้วเก็บไว้ในที่มีอุณหภูมิประมาณ 16-27 °ซ และป้องกันไม่ให้มีการสั่นสะเทือนด้วย

2) ให้ถอดแบบออกหลังจากหล่อแท่งทดสอบระหว่าง 20 ± 1.7 °ซ จนกว่าจะถึงเวลาทดสอบ ถ้าแท่งตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ต้องเช็ดผิวหน้าแท่งทดสอบให้แห้ง เคลือบผิวหน้าแท่งทดสอบ ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง แล้วทดสอบภายใน 1 ชั่วโมง หลังจากนั้น

5. การบ่มแท่งคอนกรีตซึ่งได้จากการเจาะ

ให้แช่ก้อนตัวอย่างในน้ำปูนขาวอิ่มตัวที่อุณหภูมิห้อง ไม่น้อยกว่า 40 ชั่วโมงก่อนทดสอบ นำขึ้นมาจากน้ำมาเคลือบแล้วจึงทดสอบต่อไป

6. การส่งแท่งตัวอย่างจากสนามไปยังห้องทดลอง

ในกรณีที่มีการขนส่งแท่งตัวอย่างจากสถานที่ก่อสร้างมาทำการทดสอบในห้องทดลองให้บรรจุแท่งตัวอย่างในภาชนะที่แข็งแรงและให้พยายามรักษาความชื้นของแท่งตัวอย่าง โดยอาจใส่ทรายเปียกหรือขี้เลื่อยเปียกก็ได้ หลังจากนั้นเมื่อถึงห้องทดลองแล้วให้บ่มแท่งตัวอย่างในที่ชื้นที่อุณหภูมิ 23 ± 1.7 °ซ เพื่อรอการทดสอบต่อไป ปรกติผู้ออกแบบจะกำหนดกำลังอัดของคอนกรีตสำหรับก่อสร้างจริงให้สูงกว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้คำนวณออกแบบประมาณ 15-25 % เนื่องจากกำลังของคอนกรีตในที่ก่อสร้างย่อมต่ำกว่ากำลังของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

7. การเคลือบผิวหน้าแท่งทดสอบ

ในกรณีที่ผิวหน้าของแท่งทดสอบไม่เรียบ ให้เคลือบผิวหน้าแท่งทดสอบด้วยส่วนผสมของกำมะถันกับผงแร่หรือซีเมนต์เพสต์ (อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนัก 27-30 %) ซึ่งผสมไว้ 2-4 ชั่วโมงแล้ว

ในการเคลือบนั้น อุปกรณ์จะต้องตั้งอยู่ในแนวแกนของแท่งทดสอบและผิวหน้าด้านที่จะใช้ต้องมีมุมที่ถูกต้อง และขณะที่วัตถุที่ใช้เคลือบแข็งตัว ต้องเป็นกันการระเหยของน้ำเช่นใช้ผ้าเปียกคลุมไว้

8. คำนวณหาความต้านแรงอัดของแท่งทดสอบจากสูตร

$$f_c = \frac{P_u}{A}$$

โดยที่ f_c = ความต้านทานแรงอัดของแท่งทดสอบ กก./ซม.^{2}

P_u = น้ำหนักกดสูงสุดที่แท่งทดสอบรับได้, กก.

A = พื้นที่หน้าตัดที่รับน้ำหนักกดของแท่งทดสอบ , ซม.^{2}

1) คำนวณหาความหนาแน่นของแท่งทดสอบ (หรือหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต) จากสูตร

$$Wc = \frac{W}{V}$$

โดยที่ W_c = ความแน่นของแท่งทดสอบ , กก./ม^3

W = น้ำหนักของแท่งทดสอบ , กก.

V = ปริมาตรของแท่งทดสอบ, ม^3

หมายเหตุ ถ้าแท่งทดสอบซึ่งได้จากการเจาะมีส่วนสูงน้อยกว่า 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางให้แก้ไขค่าการต้านแรงอัดดังนี้

ตารางที่ 1 - ฉ แสดงตัวคูณสำหรับแก้ไขค่าการต้านทานแรงอัด

อัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งทดสอบ	ตัวคูณสำหรับแก้ไขค่าการต้านทานแรงอัด
2.00	1.00
1.75	0.99
1.50	0.97
1.25	0.94
1.00	0.91

ภาคผนวก ช
การทดสอบหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น
(Modulus of Elasticity)

การทดสอบนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น(Modulus of Elasticity) ซึ่งค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเป็นค่าที่มีความสำคัญในการหาค่าความเค้นค่าโมเมนต์เป็นค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์อุโมงค์ เขื่อน และโครงสร้างประเภท Statically Indeterminate

1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.1 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น(Modulus of Elasticity)

เมื่อใส่แรงลงในคอนกรีต จะเกิดหน่วยการหดตัวหรือความเครียด ดังรูปที่ 1 ซึ่งพบว่าคอนกรีตไม่ได้แสดงพฤติกรรมเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นอย่างแท้จริงเหมือนกับมวลรวมหรือซีเมนต์เพสต์ คือ เมื่อถูกแรงกระทำจะเกิดความเค้น(Stress)ซึ่งจะแปรผันโดยตรงกับความเครียด(Strain)และกลับคืนสภาพเดิมเมื่อนำแรงออก

การที่คอนกรีตไม่ได้แสดงพฤติกรรมเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นอย่างแท้จริง เป็นผลมาจากกระบวนการแพร่กระจายของรอยร้าวในคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นภายใต้น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น โดยปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถอธิบาย ได้ดังนี้

ปกติในเนื้อคอนกรีตมีรอยร้าวเล็กๆ(Microcracks)อยู่แล้ว โดยจำนวนและขนาดของรอยร้าวขึ้นอยู่กับลักษณะการเยิ้ม การบ่ม และความแข็งแรงของบริเวณรอยต่อ(Transition Zone) ระหว่างซีเมนต์เพสท์กับมวลรวมหยาบ

ในช่วงที่คอนกรีตได้รับความเค้นไม่เกิน 30% ของความเค้นสูงสุด รอยร้าวดังกล่าวจะยังไม่เพิ่มและไม่ขยายตัวจึงทำให้กราฟในช่วงดังกล่าวยังคงเป็นเส้นตรงดังรูปที่ 2

เมื่อคอนกรีตได้รับความเค้นเกิน 30% ของความเค้นสูงสุด จำนวนความกว้าง และความยาวของรอยแตกร้าวบริเวณรอยต่อ(Transition Zone)จะเริ่มเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อความเค้นเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราส่วนความเครียดต่อความเค้นก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้กราฟเริ่มเบี่ยงเบนไม่เป็นเส้นตรง

ที่ระดับความเค้น 50% ของความเค้นสูงสุด รอยร้าวบริเวณรอยต่อ(Transition Zone)จะเริ่มคงที่และเมื่อความเค้นอยู่ในช่วง 50-60% ของความเค้นสูงสุดรอยร้าวจะเริ่มเกิดขึ้นบริเวณซีเมนต์เพสท์(Matrix Zone)

ที่ระดับความเค้นประมาณ 75% ของความเค้นสูงสุด รอยร้าวบริเวณซีเมนต์เพสท์(Matrix Zone)จะแพร่กระจายมากขึ้น อีกทั้งรอยร้าวบริเวณรอยต่อ(Transition Zone)เริ่มเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงนี้ทำให้กราฟเริ่มโค้งเข้าสู่แนวนอนมากขึ้น

ที่ระดับความเค้นมากกว่า 75% ของความเค้นสูงสุด รอยร้าวทั้งในบริเวณซีเมนต์เพสท์(Matrix Zone)และบริเวณรอยต่อ(Transition Zone)เกิดมากขึ้นและเริ่มมีความต่อเนื่องกัน ทำให้การเพิ่มความเค้นเพียงเล็กน้อยจะทำให้ความเครียดเปลี่ยนแปลงไปมาก

2. ชนิดของค่าโมดูลัสยืดหยุ่น

2.1 โมดูลัสยืดหยุ่นคงที่(Static Modulus of Elasticity)

เนื่องจากกราฟ Stress-Strain ของคอนกรีตไม่เป็นเส้นตรง ดังนั้นในการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นคงที่จากการทดสอบจึงมี 3 วิธีคือ

2.1.1โมดูลัสสัมผัสเบื้องต้น(Initial Tangent Modulus)คือ ค่าความลาดเอียงของเส้นสัมผัสกับ โค้งตรงจุดเริ่มต้น ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งเป็นค่าโมดูลัส ที่ใกล้เคียงโมดูลัสยืดหยุ่นที่สุด

2.1.2 โมดูลัสเส้นเชื่อมจุดเริ่มต้นกับจุดบนส่วนโค้ง(Secant Modulus) เป็นค่าโมดูลัสที่ใช้งานได้ดีในทางปฏิบัติ ทั้งนี้เพราะมีการรวมค่าการเปลี่ยนรูป(Deformation)ทั้งจากน้ำหนักที่ใส่เข้าไป(Strain)และผลของการคืบ(Creep)เข้าไปด้วย ค่าโมดูลัสชนิดนี้ยังไม่มีการกำหนดเป็นมาตรฐานว่าจะวัดที่ความเค้นเท่าใด ในบางห้องทดสอบกำหนดให้ทำที่ระดับ 15% 25% 40% หรือ 50% ของค่าความเค้นสูงสุด และค่าโมดูลัสชนิดนี้จะลดลงเมื่อค่าความเค้นเพิ่มขึ้น ดังนั้นการแสดงผลต้องแสดงระดับความเค้นด้วย

2.1.3 โมดูลัสสัมผัส(Tangent Modulus) คือค่าความลาดเอียงของเส้นสัมผัสกับจุดใดๆ บนเส้นสัมผัสระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการหดตัว

สำหรับการออกแบบทั่วไป ACI Building Code 318 ได้กำหนดให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นคงที่ของคอนกรีตที่มีค่าหน่วยน้ำหนักระหว่าง 1.45-2.48 ตัน/ลบ.ม. มีความสัมพันธ์กับกำลังอัดและความหนาแน่นของคอนกรีต คือ

$$Ec = 4270\ W^{1.5}\sqrt{f'_c}\ \text{(กก./ตร.ซม.)}$$

โดย Ec = โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต(กก./ตร.ซม.)

W = หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต(ตัน/ลบ.ม.)

(คอนกรีตน้ำหนักธรรมดาให้ใช้ W เท่ากับ2.323 ตัน/ลบ.ม.)

3. ปัจจัยที่มีผลต่อโมดูลัสยืดหยุ่นคงที่ของคอนกรีต

1. ความพรุนและลักษณะของบริเวณรอยต่อ ช่องว่าง รอยร้าว และแคลเซียมไฮดรอกไซด์บริเวณรอยต่อรูปร่างกราฟ Stress – Strain ของคอนกรีต
2. ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของซีเมนต์เพสท์ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของซีเมนต์เพสท์ที่สูง จะทำให้คอนกรีตมีค่าโมดูลัสสูงขึ้น
3. อัตราการให้น้ำหนัก การให้น้ำหนักเร็วจะส่งผลให้ค่าโมดูลัสสูงขึ้น
4. สภาพของก้อนตัวอย่าง ก้อนตัวอย่างที่อยู่ในสภาพเปียก จะให้ค่าโมดูลัสสูงกว่าตัวอย่างในสภาพแห้งประมาณ 15 %
5. คุณสมบัติมวลรวมหยาบ
   - 5.1 มวลรวมหยาบที่มีค่าโมดูลัสสูง จะส่งผลให้ค่าโมดูลัสของคอนกรีตสูงขึ้น
   - 5.2 ขนาดใหญ่สุด รูปร่าง ลักษณะผิว และขนาดคละจะมีผลต่อรอยร้าว(Microcracks) บริเวณรอยต่อระหว่างซีเมนต์เพลสกับมวลรวม ซึ่งมีผลต่อลักษณะรูปร่างของกราฟ Stress – Strain ของคอนกรีต
   - 5.3 ณ ระดับกำลังอัดที่เท่ากัน โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเบา จะมีค่าเพียง 40 – 50 % ของคอนกรีตปกติ
6. สัดส่วนผสม ยิ่งใช้ปริมาณมวลรวมหยาบมาก คอนกรีตจะยิ่งมีค่าโมดูลัสสูงขึ้น
7. อายุของคอนกรีต ยิ่งคอนกรีตมีอายุมากขึ้นค่าโมดูลัสและกำลังอัดจะเพิ่มขึ้นด้วย
8. อุณหภูมิขณะเริ่มบ่ม การบ่มคอนกรีตที่อุณหภูมิสูง จะไปเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชั่นให้เกิดเร็วขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้กำลังอัดในระยะแรกสูงกว่าคอนกรีตที่บ่มที่อุณหภูมิปกติ แต่การเกิดปฏิกิริยาเร็วเกินไปก็มีข้อเสียคือจะทำให้การกระจายตัวของ CSH ในเนื้อซีเมนต์เพสท์ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งจะส่งผลให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและกำลังอัดในช่วงท้ายลดลง

3.1 โมดูลัสยืดหยุ่นที่ไม่คงที่ (Dynamic Modulus of Elasticity)

สามารถหาได้จากการทดสอบด้วยเสียง (Sonic Test) โดยปกติมีค่ามากกว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นแบบคงที่ 20-40% เป็นค่าที่เป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ความเค้นสำหรับโครงสร้างที่อยู่บริเวณที่มีการเกิดแผ่นดินไหว และโครงสร้างที่ต้องการรับแรงกระแทก

3.2 โมดูลัสการดัดงอ (Flexural Modulus of Elasticity)

มีประโยชน์ในการออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างถนน หาได้จากการวัดการแอ่นตัวของการทดสอบแรงดัดในคานคอนกรีต ค่าโดยประมาณสามารถหาได้จากสมการ

$$E = PL^3 / 48\,Iy \quad \text{(กก./ตร.ซม.)}$$

P = น้ำหนักที่กด (กก.)

L = ความยาวคาน (ซม.)

I = ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย (ซม.^{4})

Y = ค่าการการแอ่นตัวบริเวณกลางคาน (ซม.)

ภาคผนวก ซ

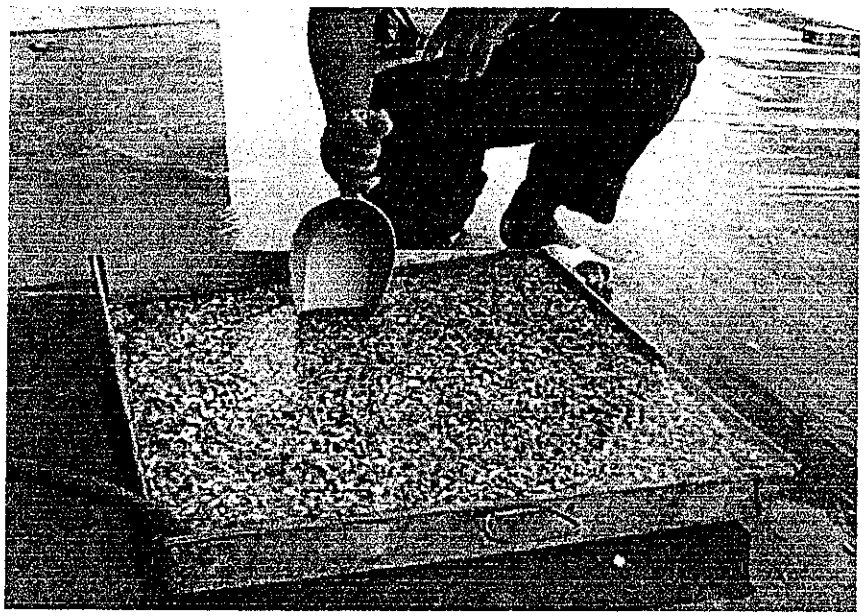
สรุปมาตรฐานการทดสอบ

ตารางที่ 1 – ซ มาตรฐานการทดสอบต่างๆ

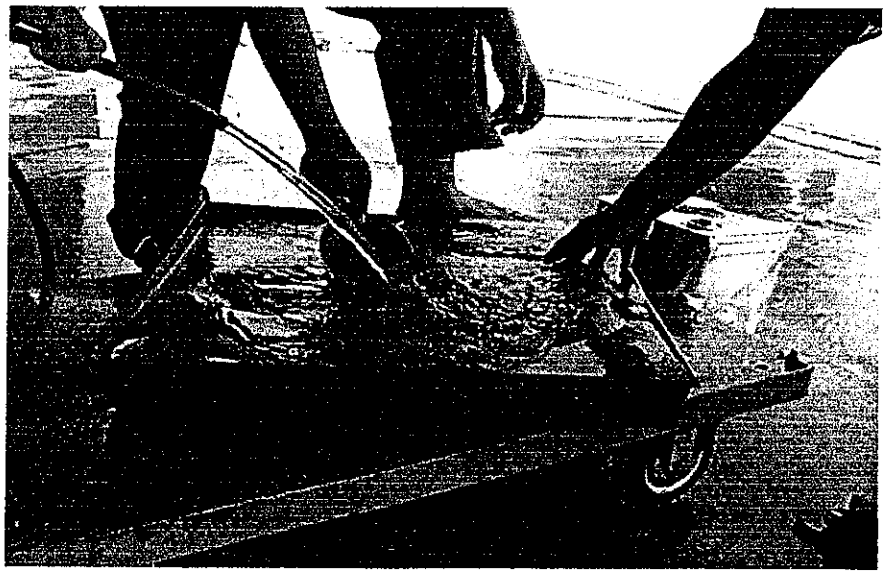
การทดสอบ	มาตรฐาน
การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวม	ASTM C 127 และ C128
การทดสอบสารอินทรีย์ที่ปนอยู่ในทราย	ASTM C 40-79
การทดสอบหาค่าส่วนขนาดคละของมวลรวม	ASTM C 136-84
การทำการผสม และทำก้อนตัวอย่าง	ASTM C 192
การทดสอบการยุบตัวของคอนกรีต	ASTM C 143
การทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต	ASTM C 31,192 และ C 496
การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต	ASTM C31,39,42, และ C 192
การทดสอบหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น	ASTM C 469

ภาคผนวก ฌ

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา

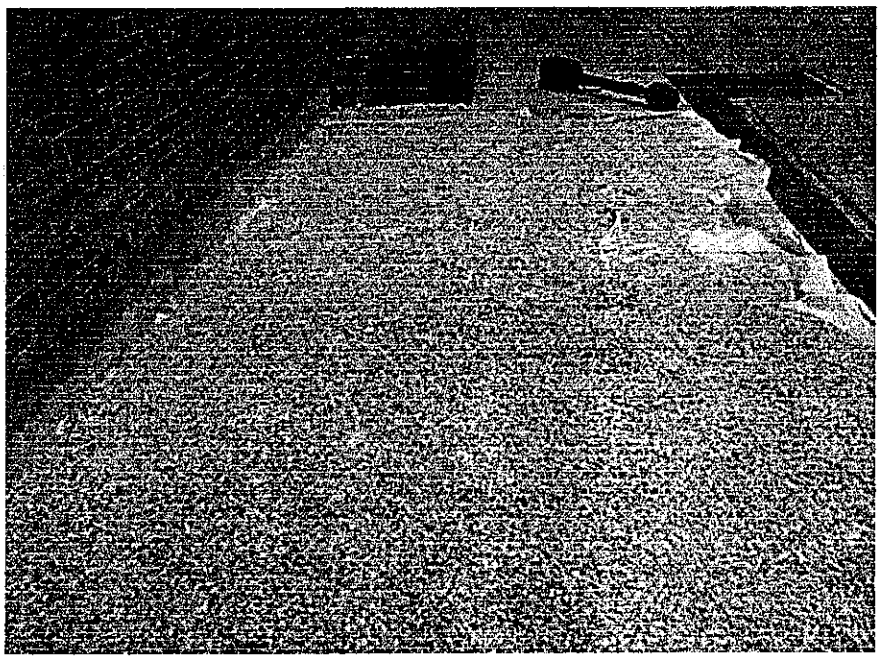


รูปที่ ฌ –1 แสดงการล้างหินเพื่อการผลิตคอนกรีต



รูปที่ ฌ – 2 แสดงการล้างทรายเพื่อการผลิตคอนกรีต

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)

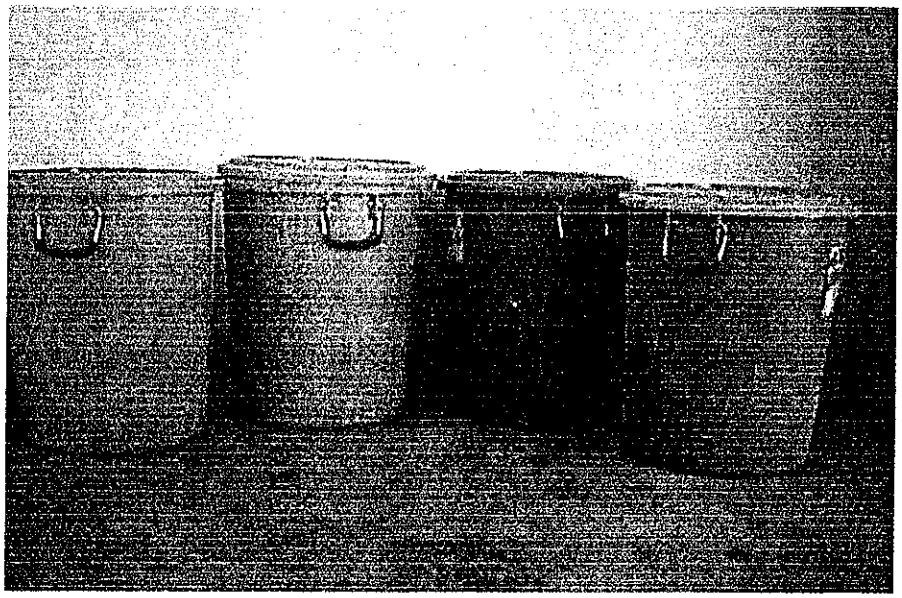


รูปที่ ฌ – 3 แสดงการตากหินให้แห้ง

รูปที่ ฌ –4 แสดงการตากทรายให้แห้ง

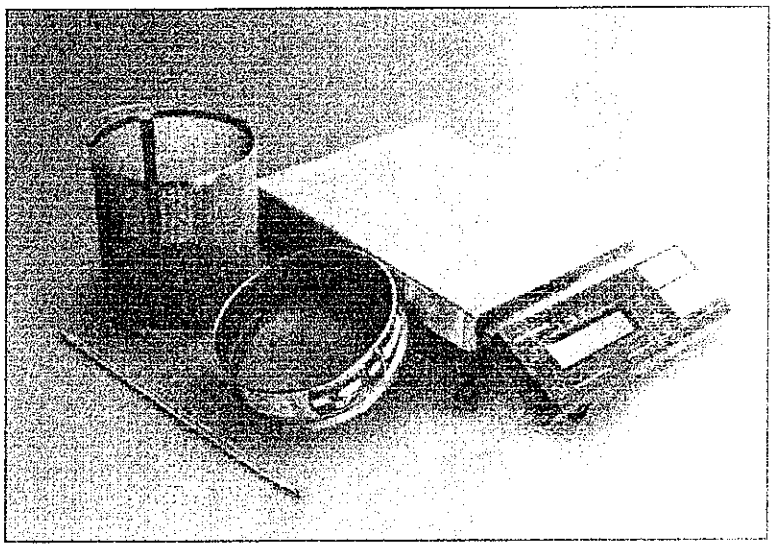
ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)

รูปที่ ฌ – 5 แสดงการเก็บหินที่ตากแห้งในถุง

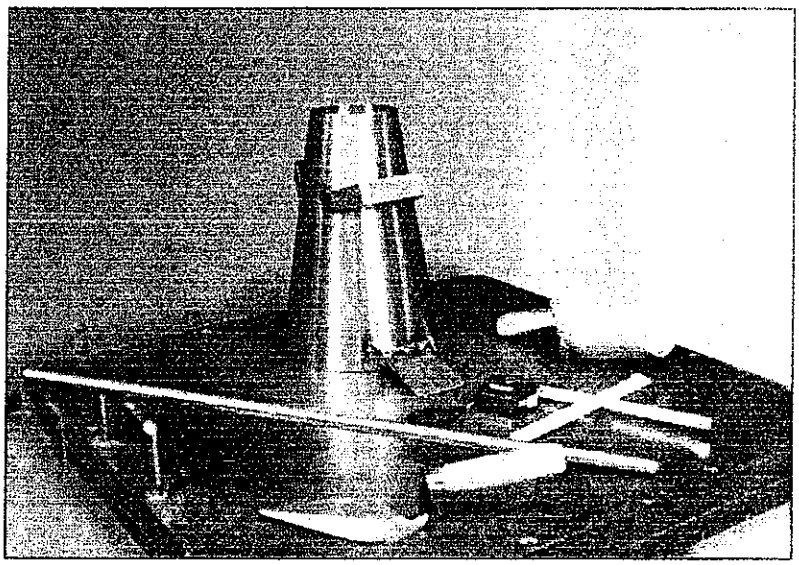


รูปที่ ฌ – 6 แสดงการเก็บทรายที่ตากแห้งในถัง

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)

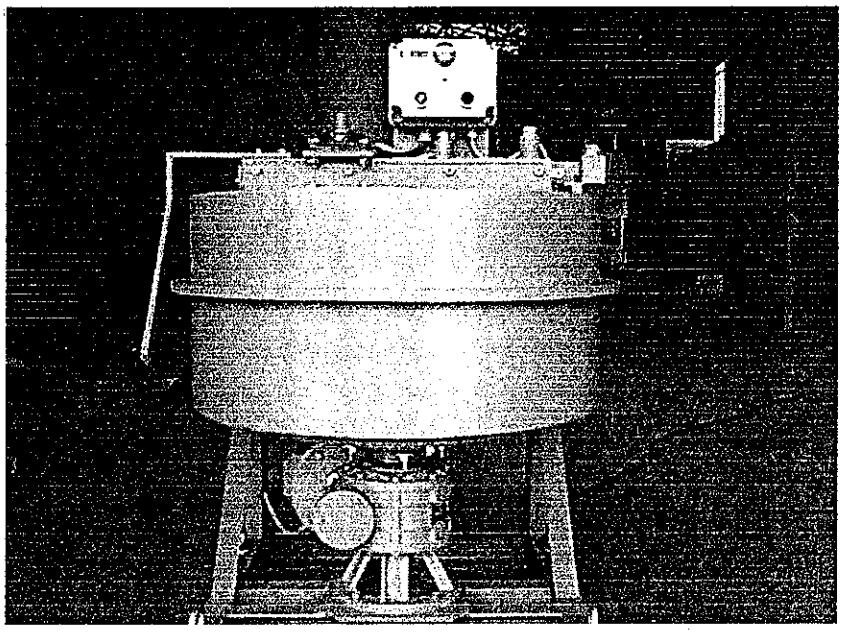


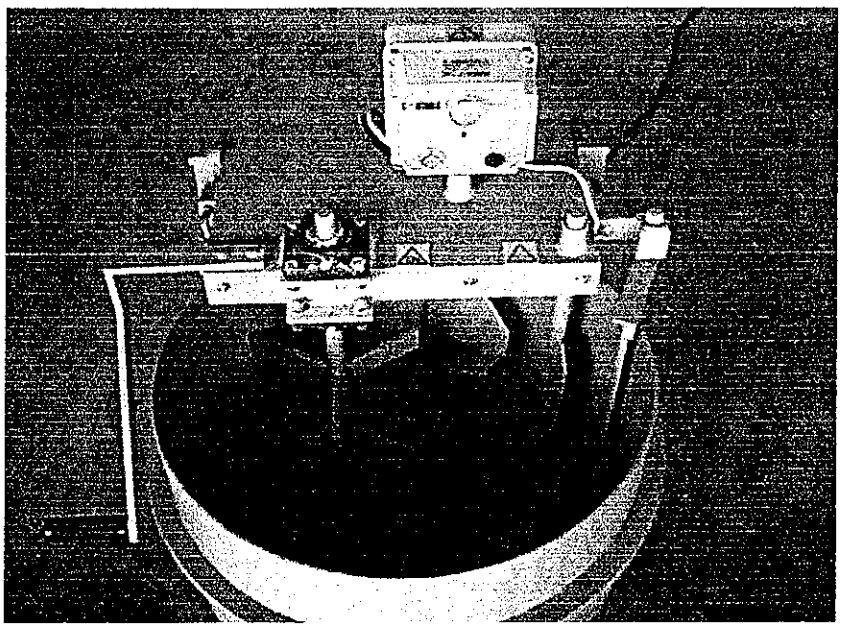
รูปที่ ฌ – 7 แสดงอุปกรณ์หาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวม



รูปที่ ฌ – 8 แสดงอุปกรณ์หาค่าการยุบตัวของคอนกรีต

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)

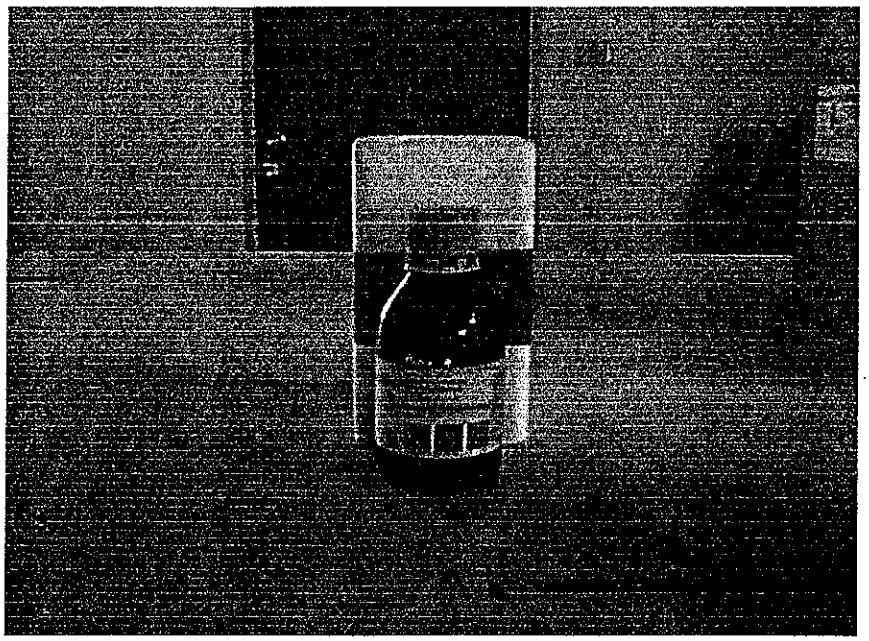




รูปที่ ฌ – 9 แสดงโม่แบบ Pan ใช้ในการผสมคอนกรีต

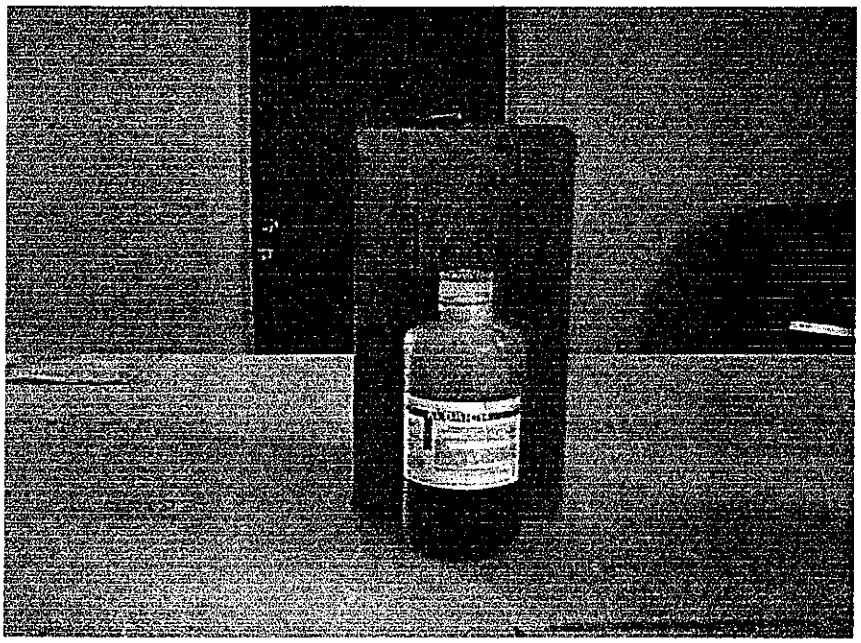
ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)

รูปที่ ฌ – 10 แสดง เรซินที่ใช้เป็นผสมในคอนกรีต



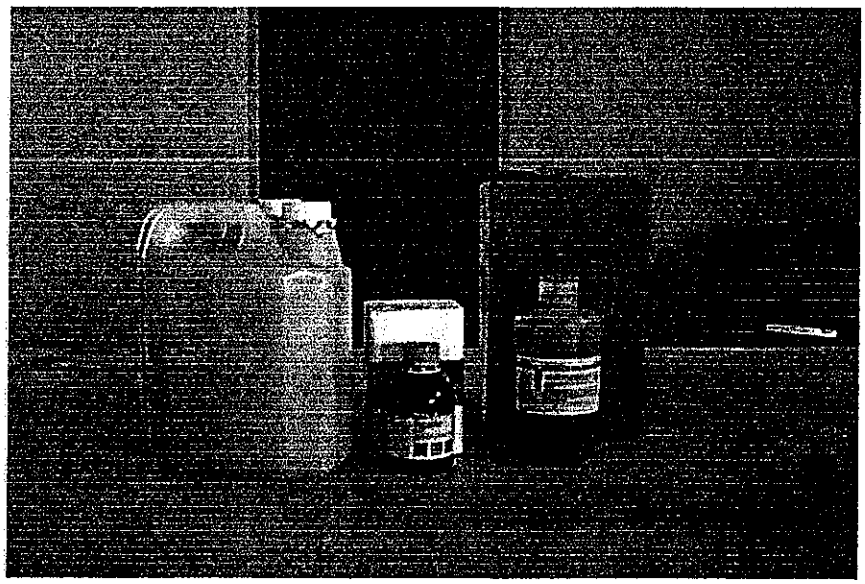
รูปที่ ฌ – 11 แสดง สารเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์ เนพธาเนท (Cobalt Naphthanate)

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)



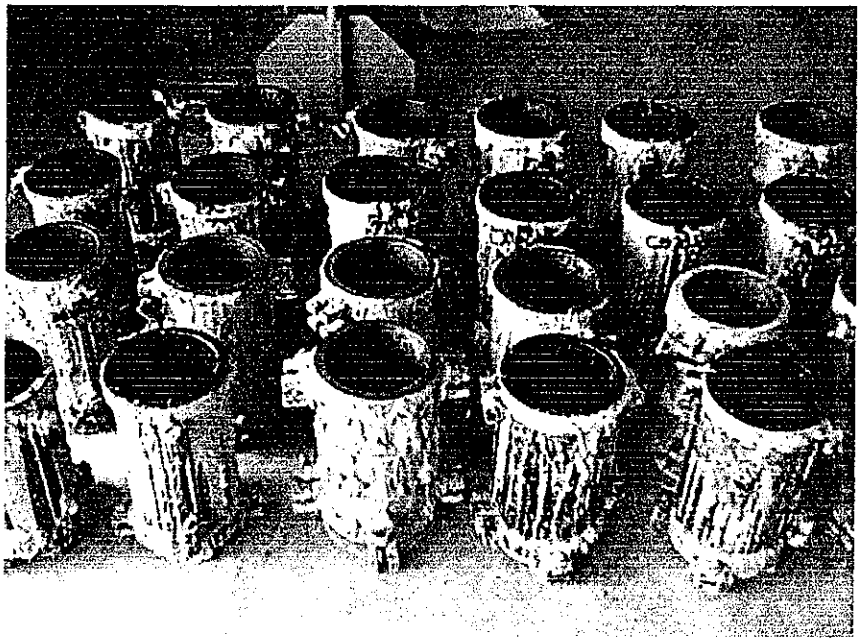
รูปที่ ฌ – 12 แสดง สารเร่งปฏิกิริยาเมทิล เอทิลคีโตนเปอร์ออกไซด์

(Methyl Ethyl Ketone Peroxide , MEKP)

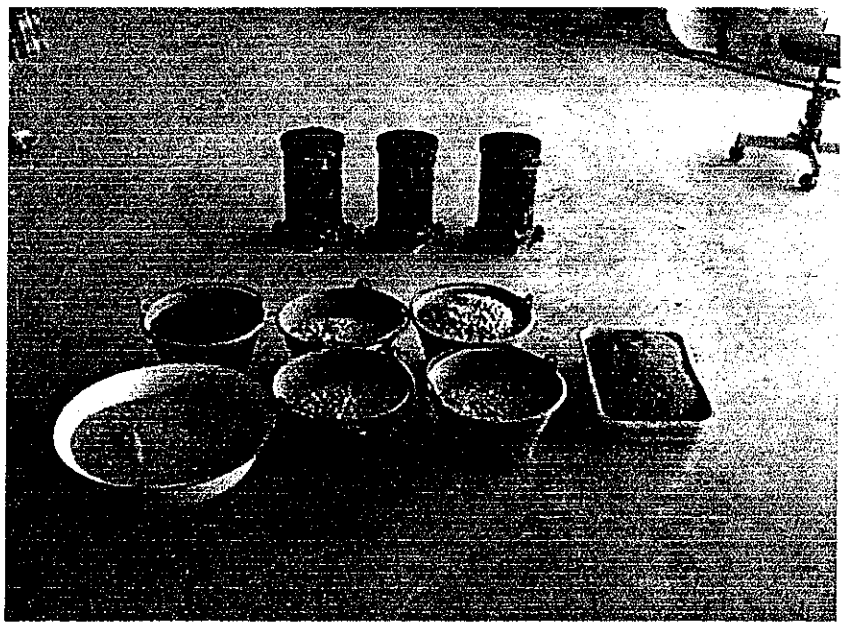


รูปที่ ฌ – 13 แสดง เรซิน และ สารเร่งปฏิกิริยา

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)



รูปที่ ฌ – 14 แสดงแบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก



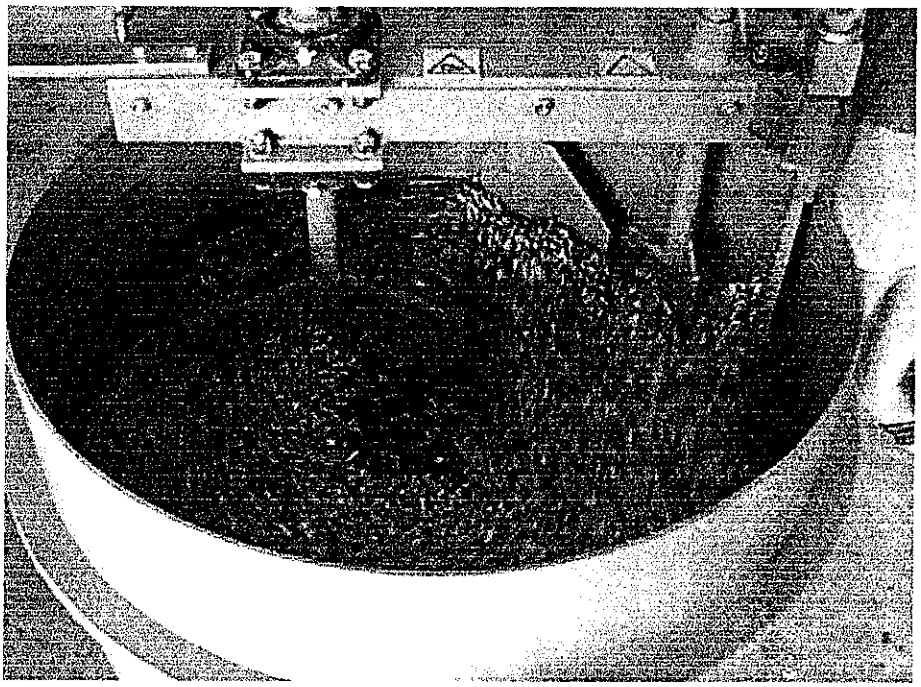
รูปที่ ฌ – 15 แสดงวัสดุประสานและวัสดุผสมในการผลิตคอนกรีต

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)

รูปที่ ฌ –16 แสดงสารพอลิเมอร์กับมวลรวมหยาบที่ยังไม่ประสานกัน

รูปที่ ฌ – 17 แสดงการผสมสารพอลิเมอร์กับมวลรวมหยาบด้วยมือ

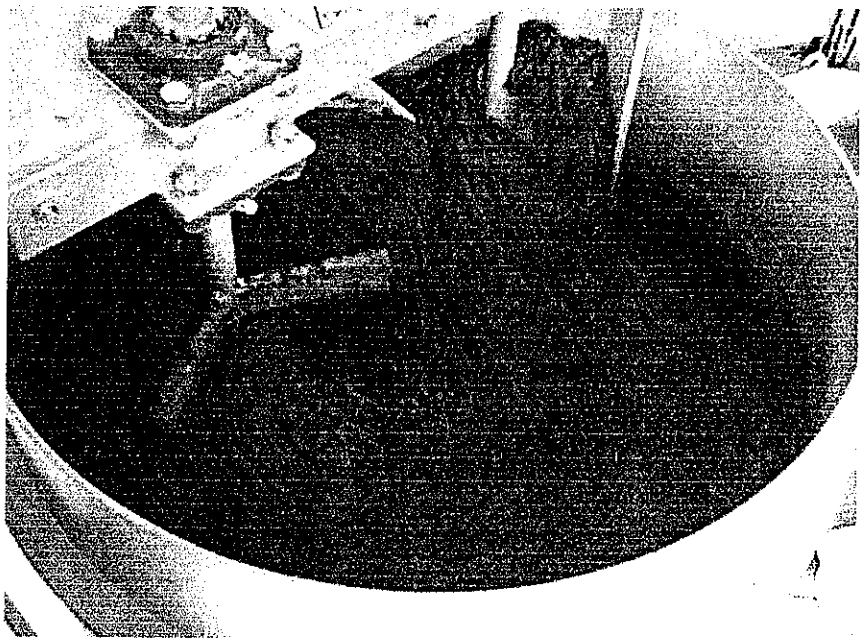
ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)



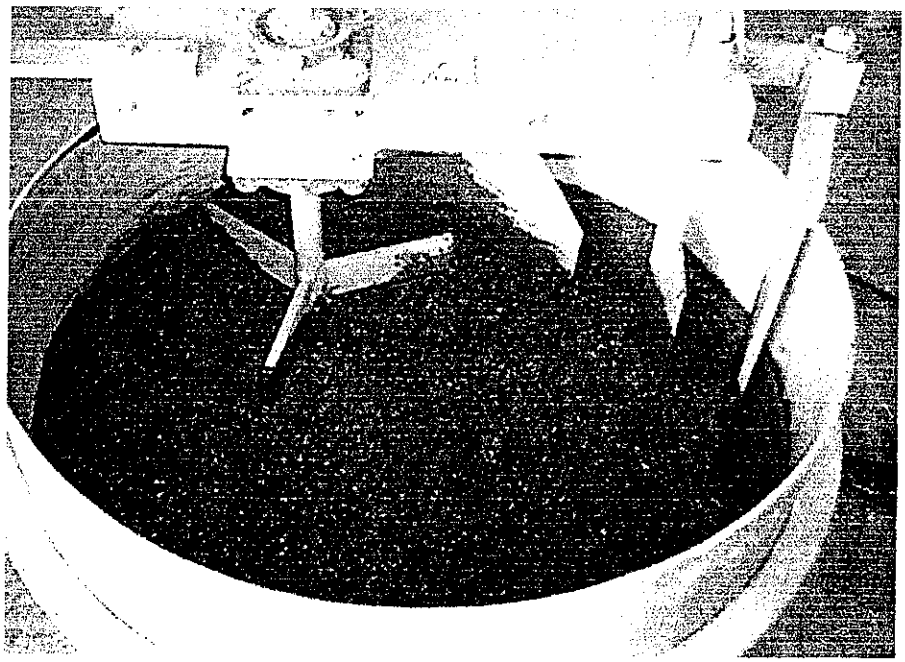
รูปที่ ฌ – 18 แสดงการผสมสารพอลิเมอร์กับมวลรวมหยาบด้วยโม่

รูปที่ ฌ – 19 แสดงการผสมปูนซีเมนต์กับมวลรวมละเอียด

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)



รูปที่ ฌ – 20 แสดงการผสมสารพอลิเมอร์ , มวลรวมหยาบ , ปูนซีเมนต์และมวลรวมละเอียด



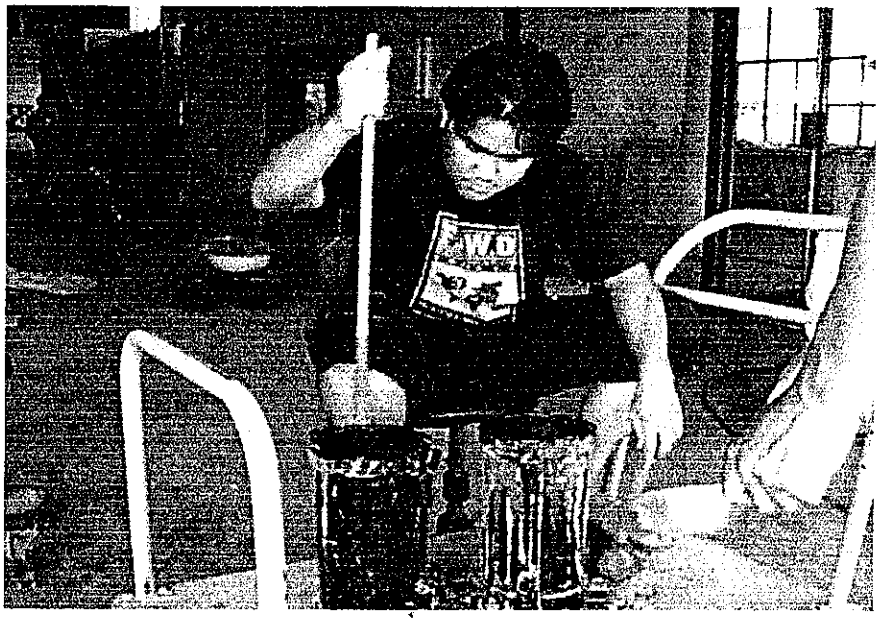
รูปที่ ฌ – 21 แสดงคอนกรีตผสมสารพอลิเมอร์

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)

รูปที่ ฌ – 22 แสดงการหาค่าการยุบตัวของคอนกรีตผสมสารพอลิเมอร์

รูปที่ ฌ – 23 แสดงการวัดค่าการยุบตัวของคอนกรีตผสมสารพอลิเมอร์

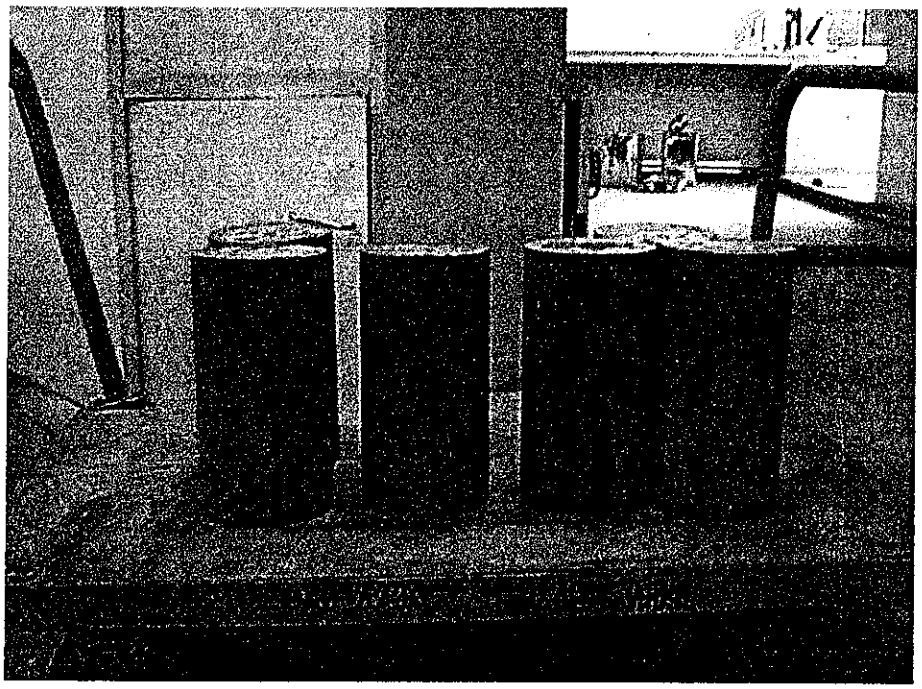
ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)



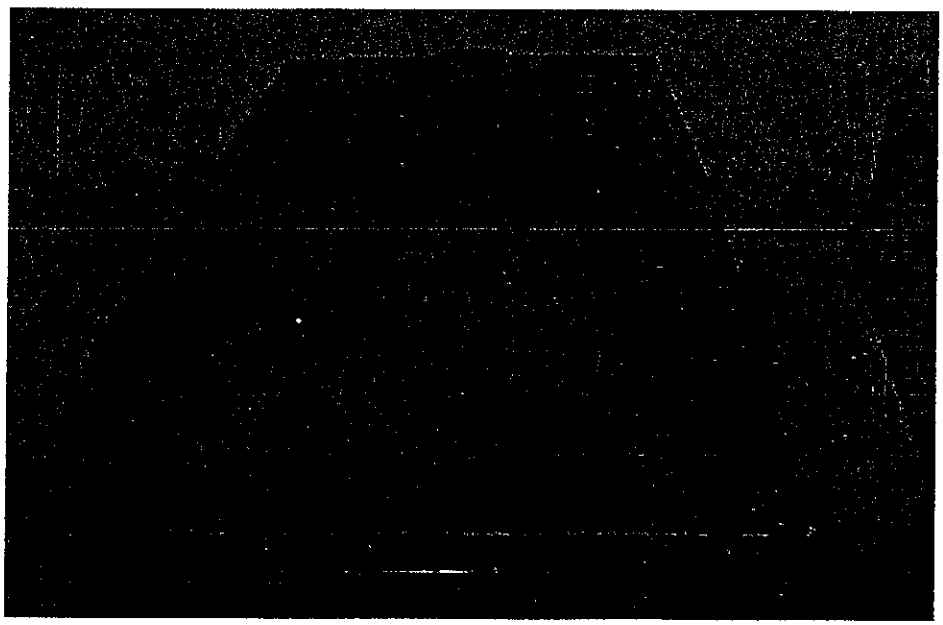
รูปที่ ฌ – 24 แสดงการหล่อคอนกรีตผสมสารพอลิเมอร์ในแบบหล่อรูปทรงกระบอก

รูปที่ ฌ – 25 แสดงคอนกรีตผสมสารพอลิเมอร์ในแบบหล่อรูปทรงกระบอก

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)

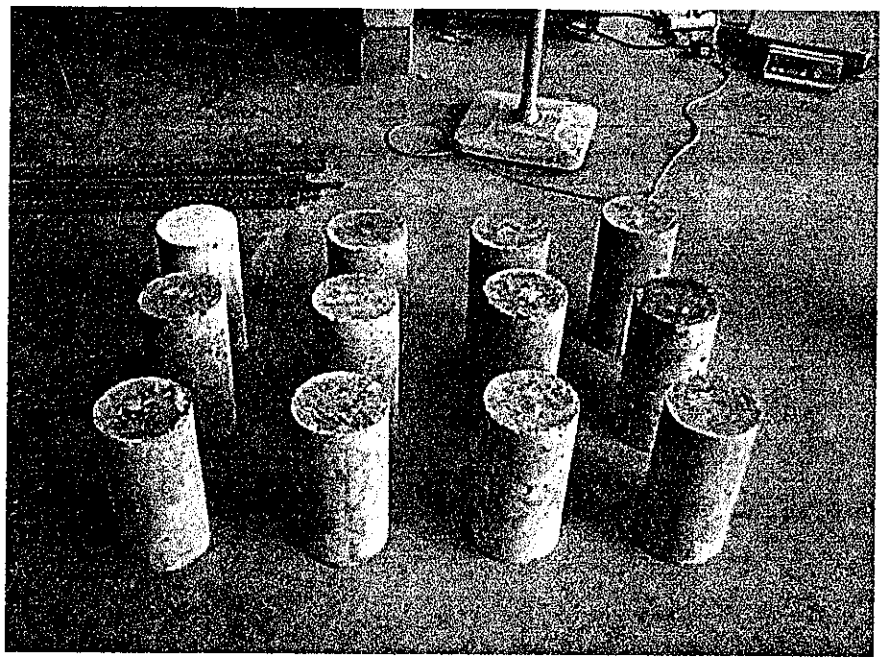


รูปที่ ฌ – 26 แสดงคอนกรีตผสมสารพอลิเมอร์อายุการบ่ม 1 วัน

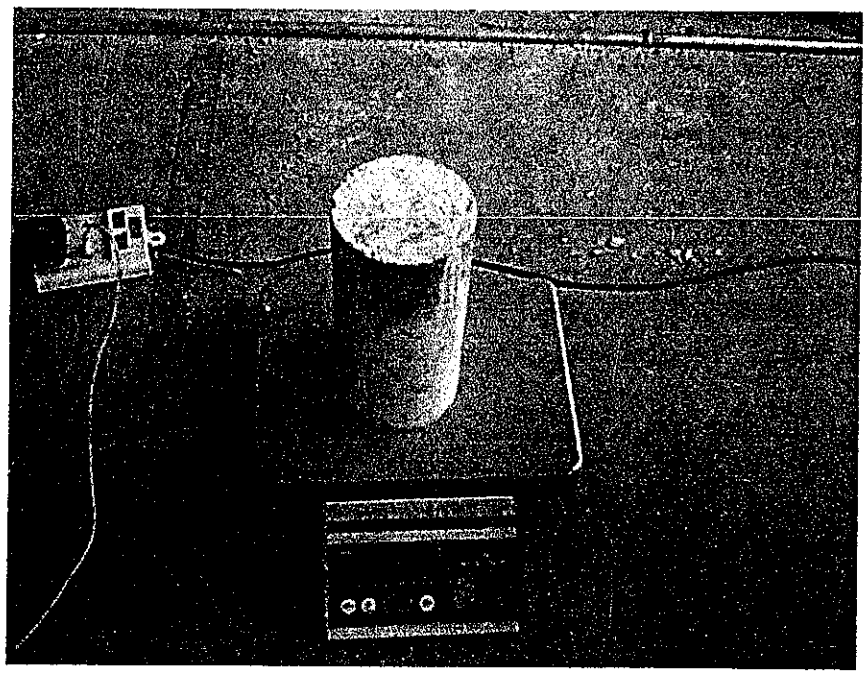


รูปที่ ฌ – 27 แสดงการบ่มคอนกรีตผสมสารพอลิเมอร์ในน้ำ

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)

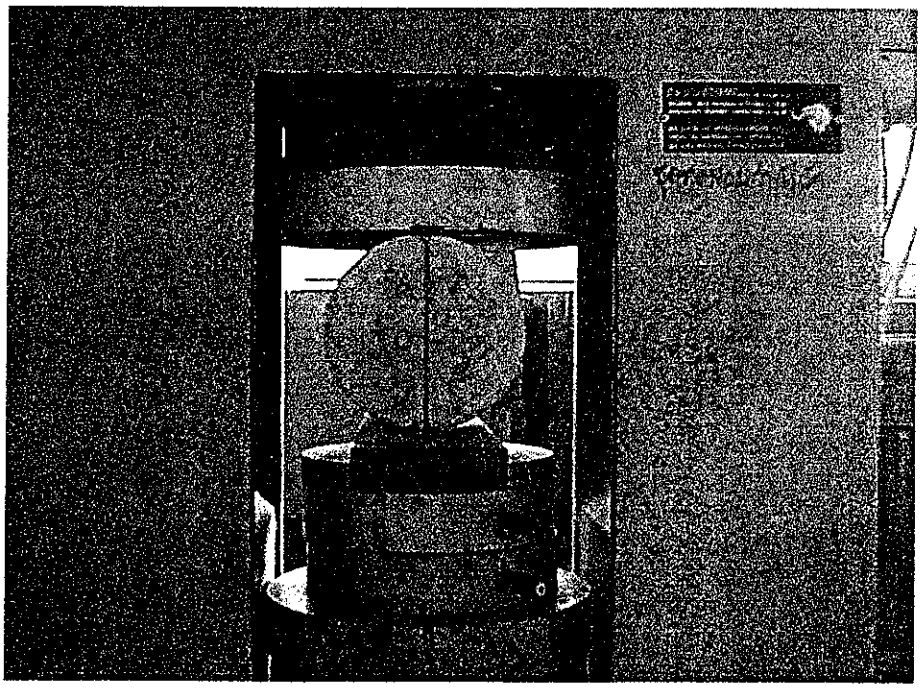


รูปที่ ฌ – 28 แสดงคอนกรีตผสมสารพอลิเมอร์อายุการบ่มที่ 28 วัน

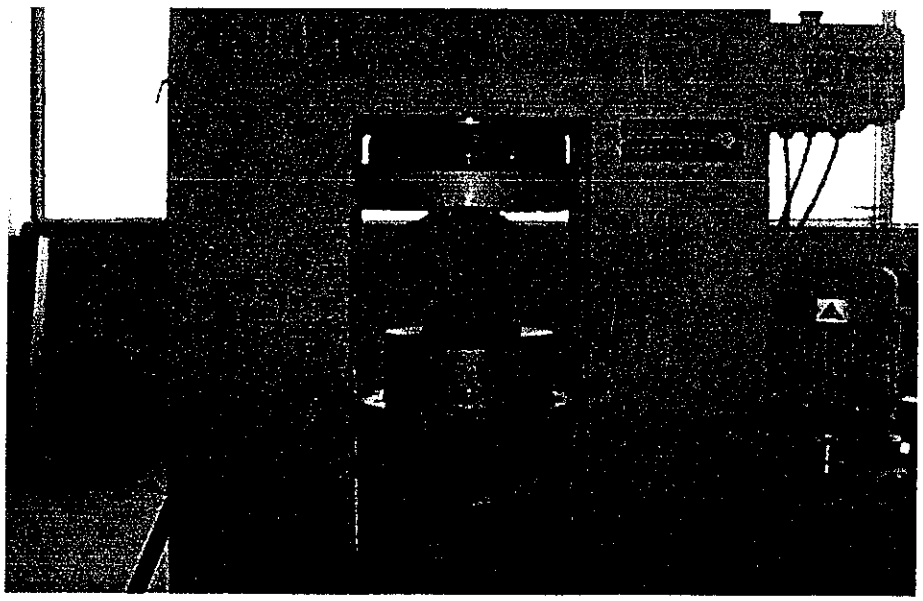


รูปที่ ฌ – 29 แสดงการชั่งน้ำหนักคอนกรีตผสมสารพอลิเมอร์

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)



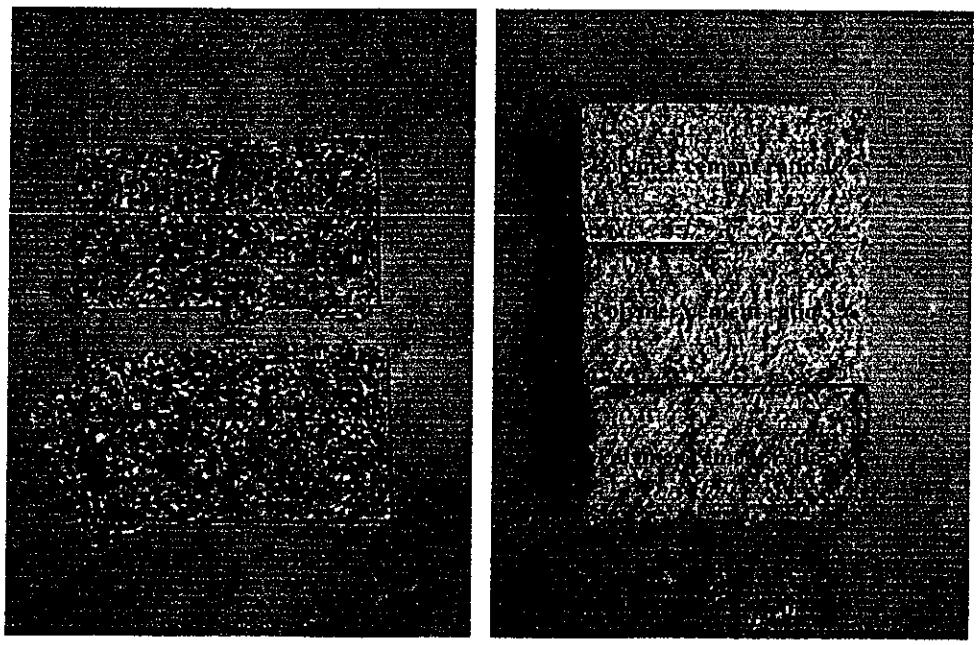
รูปที่ ฌ – 30 แสดงการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีตผสมสารพอลิเมอร์



รูปที่ ฌ – 31 แสดงการแตกของคอนกรีตผสมสารพอลิเมอร์
จากการทดสอบหาค่ากำลังดึง

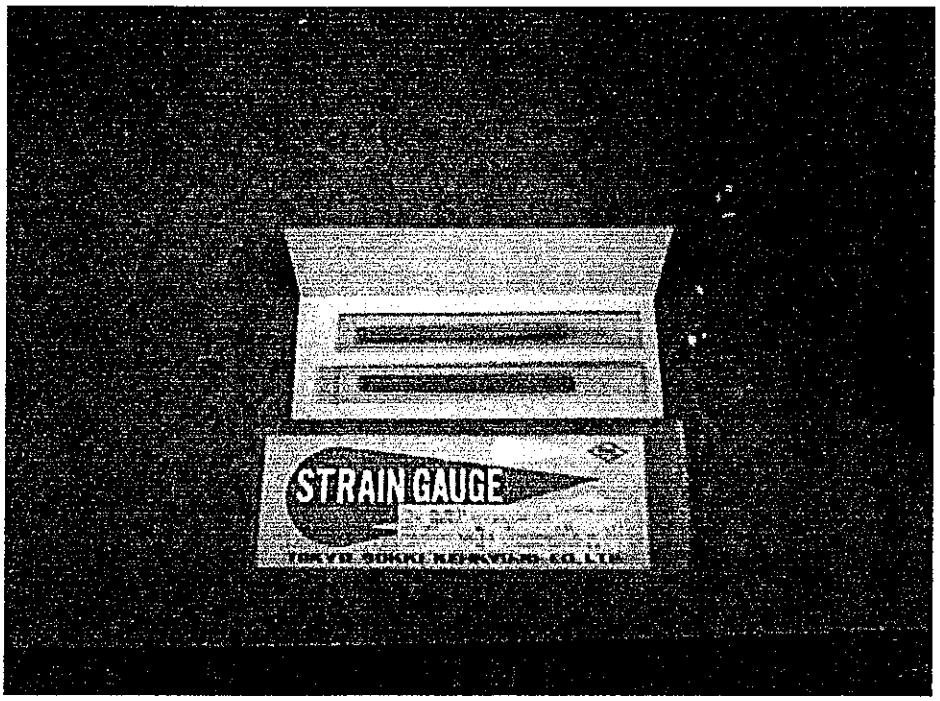
ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)

รูปที่ ฌ – 32 แสดงการแตกของคอนกรีตผสมสารพอลิเมอร์จากการทดสอบหาค่ากำลังดึง

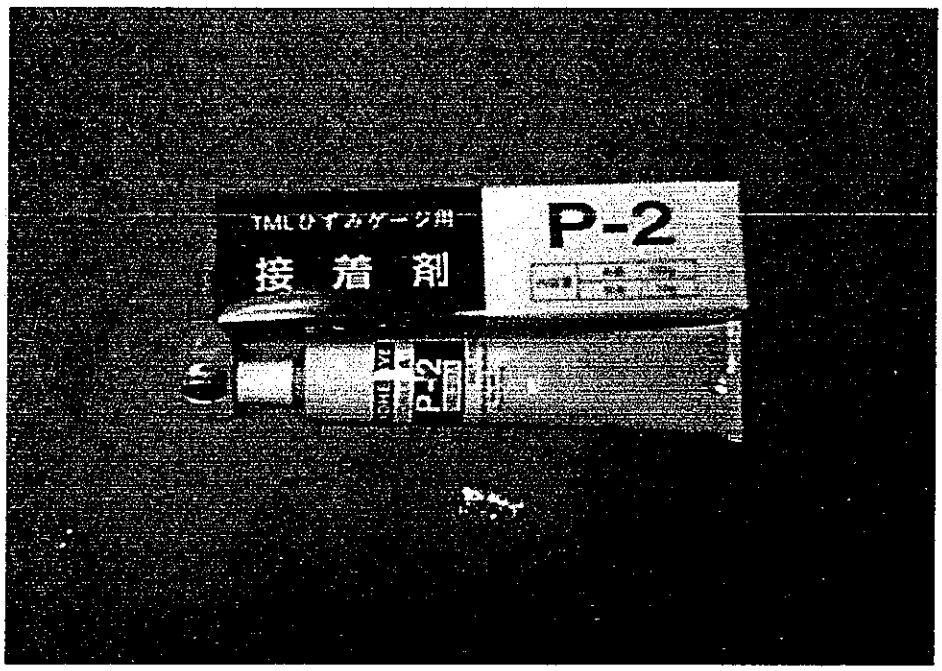


รูปที่ ฌ – 33 แสดงความแตกต่างของเนื้อคอนกรีตธรรมดา และ
คอนกรีตผสมสารพอลิเมอร์จากการทดสอบหาค่ากำลังดึง

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)

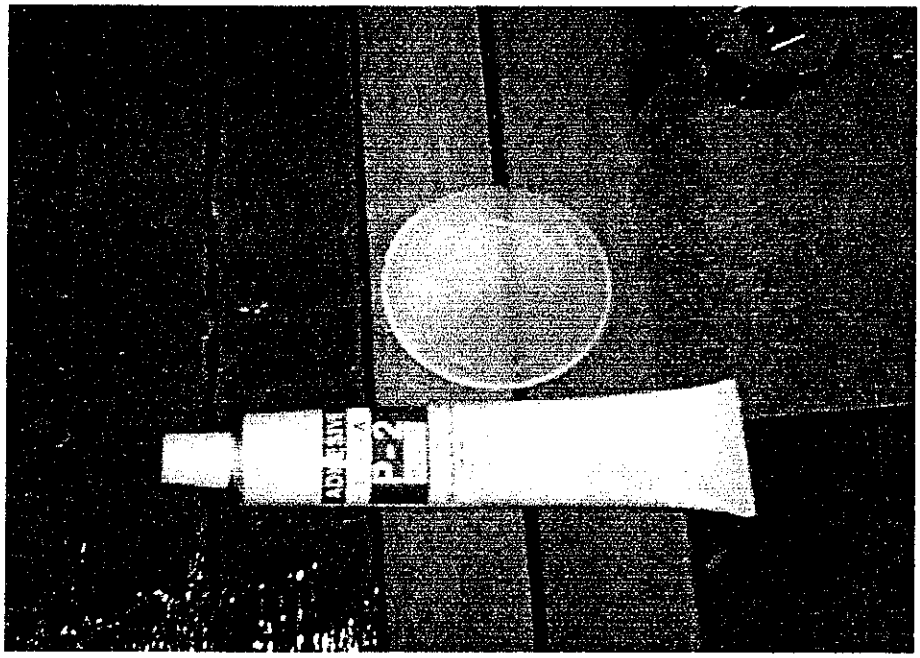


รูปที่ ฌ – 34 แสดงลักษณะของสเตรน เกจ (STRAIN GAUGE)

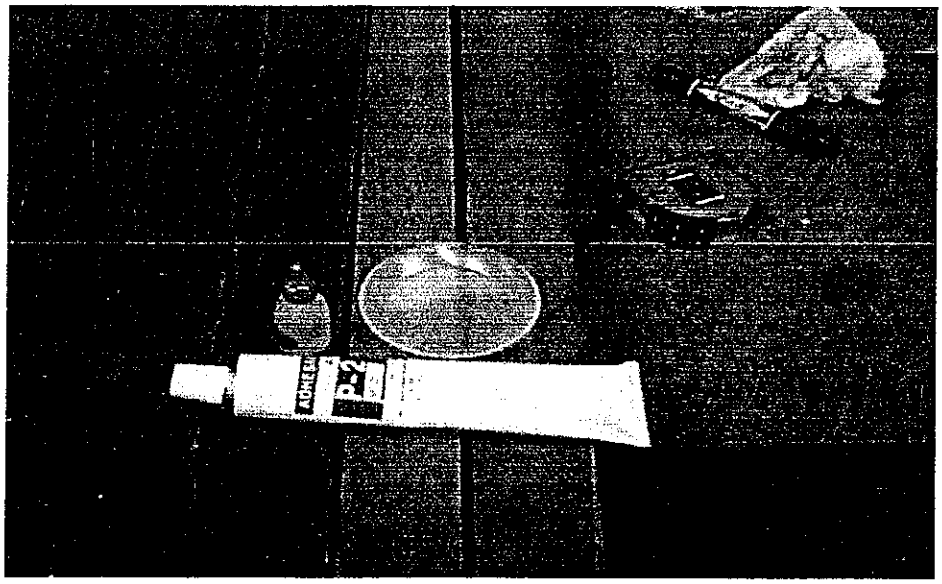


รูปที่ ฌ – 35 แสดงลักษณะของกาว (Adhesive) ติดสเตรนเกจ (Strain gauge)

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)



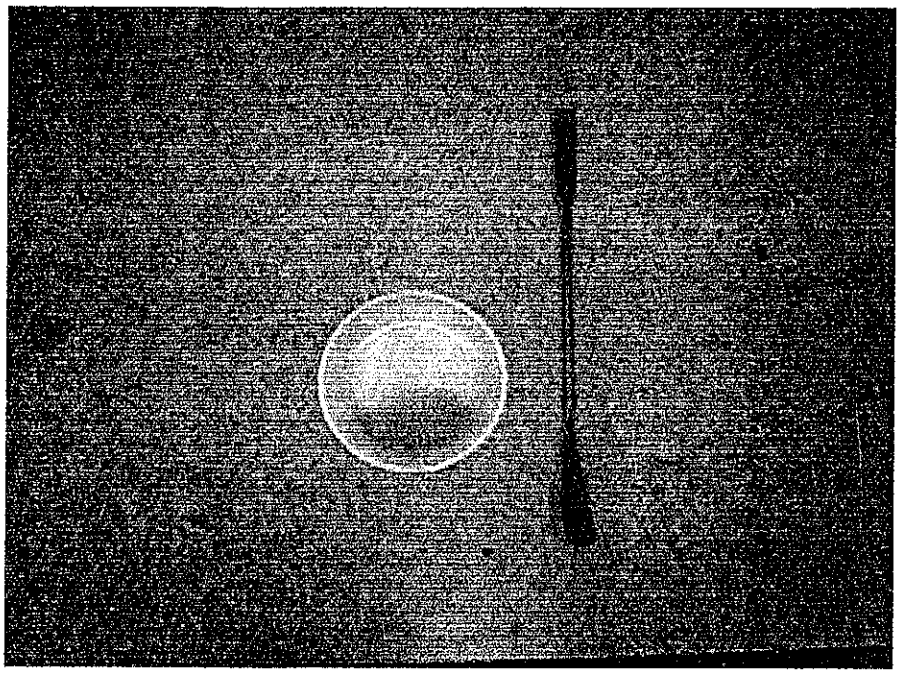
รูปที่ ฌ – 36 แสดงลักษณะกาว (Adhesive) ติดสเตรนเกจ (Strain gauge) Drug A



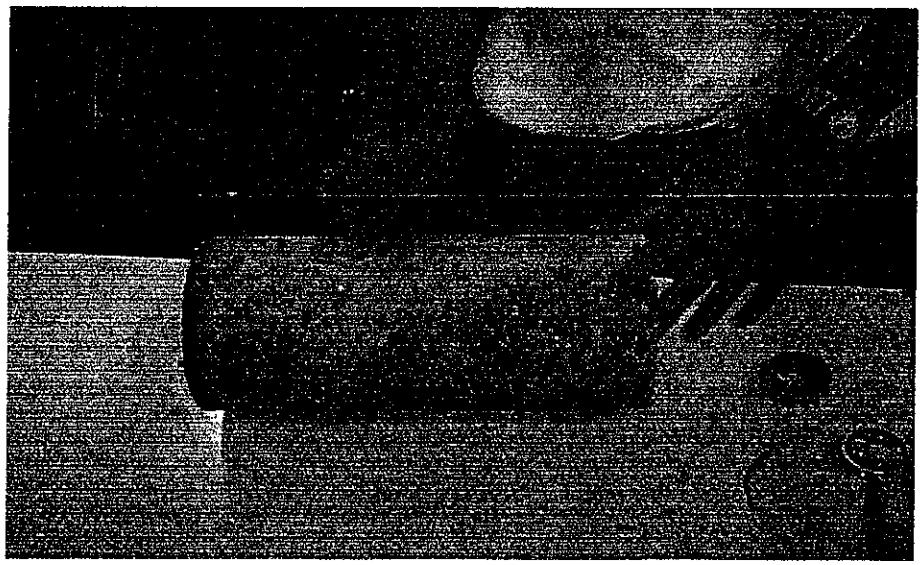
รูปที่ ฌ – 37 แสดงลักษณะกาว (Adhesive) ติดสเตรนเกจ (Strain gauge)

Drug A และ Drug B

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)

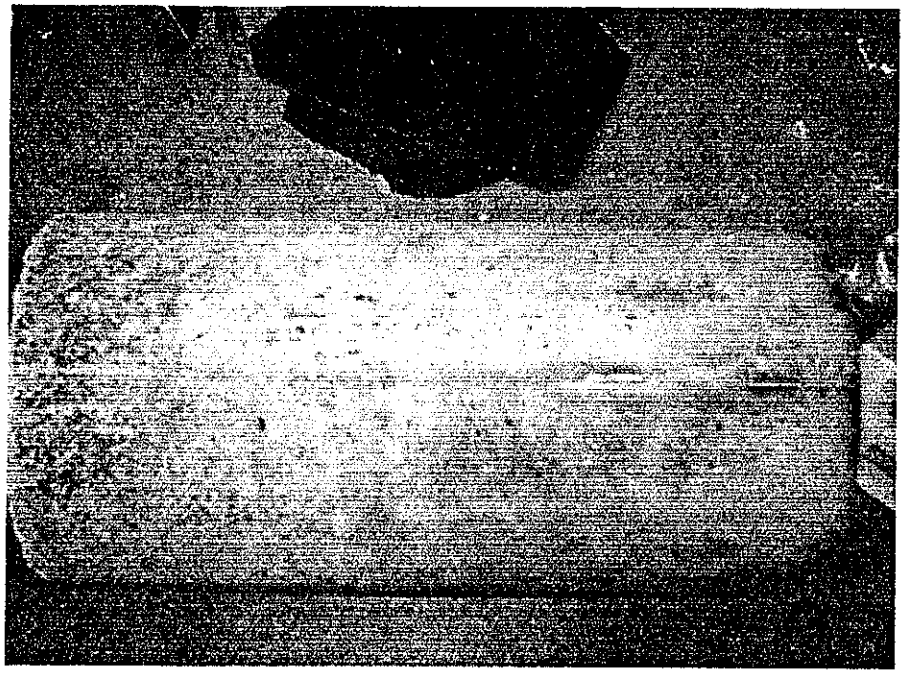


รูปที่ ฌ – 38 แสดงลักษณะกาว (Adhesive) ติดสเตรนเกจ (Strain gauge)
ที่เกิดจากการผสมระหว่างDrug A และ Drug B

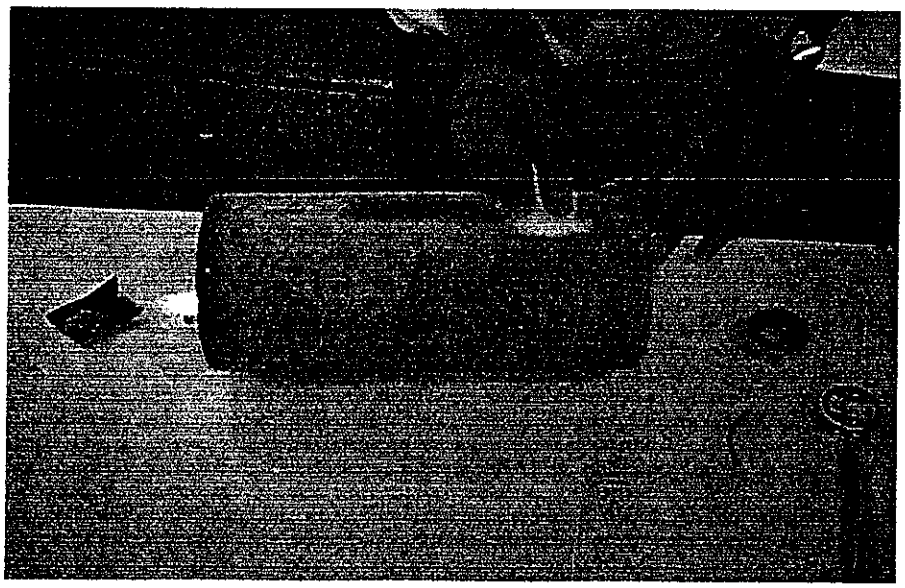


รูปที่ ฌ – 39 แสดงการเตรียมก้อนตัวอย่างด้วยการใช้กระดาษทรายขัดบริเวณ
ที่จะติดตั้งสเตรน เกจ (STRAIN GAUGE)

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)

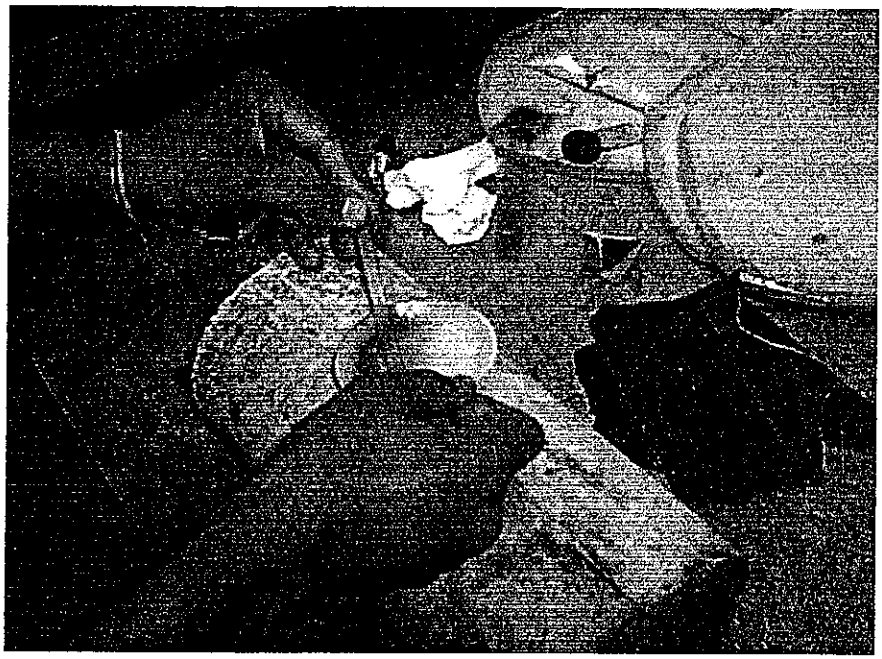


รูปที่ ฌ – 40 แสดงก้อนตัวอย่างก่อนติดตั้งสเตรน เกจ (STRAIN GAUGE)

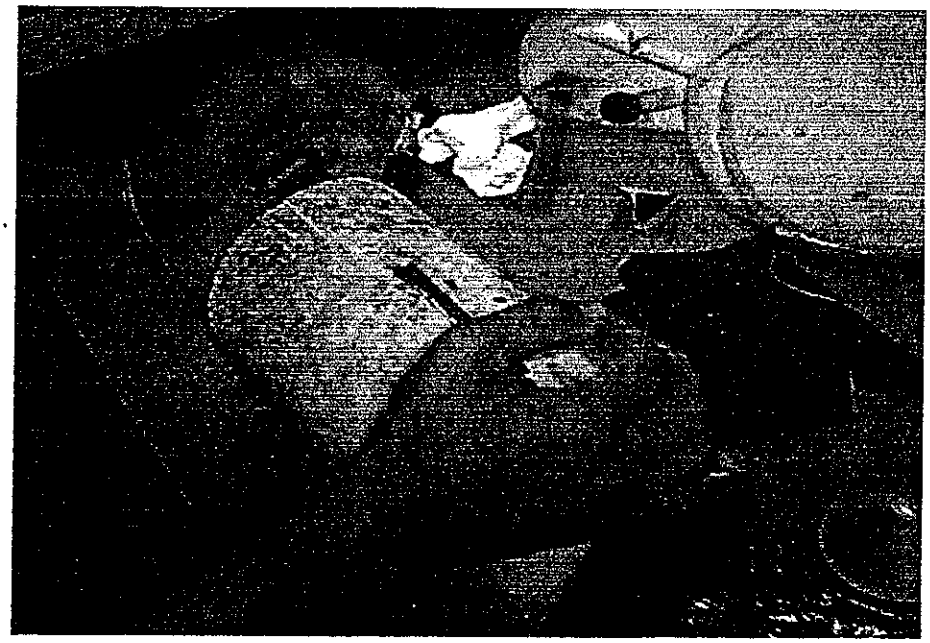


รูปที่ ฌ – 41 แสดงการเช็คก้อนตัวอย่างด้วยอาร์ซีโตน
ก่อนติดตั้งสเตรน เกจ (STRAIN GAUGE)

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)

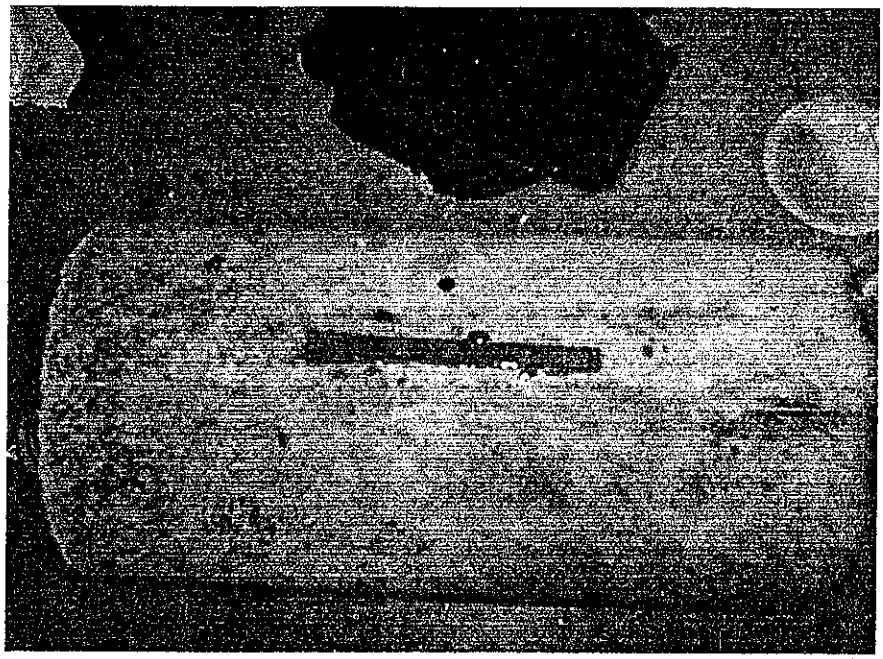


รูปที่ ฌ – 42 แสดงการติดกาวที่ตัวสเตรน เกจ (STRAIN GAUGE)

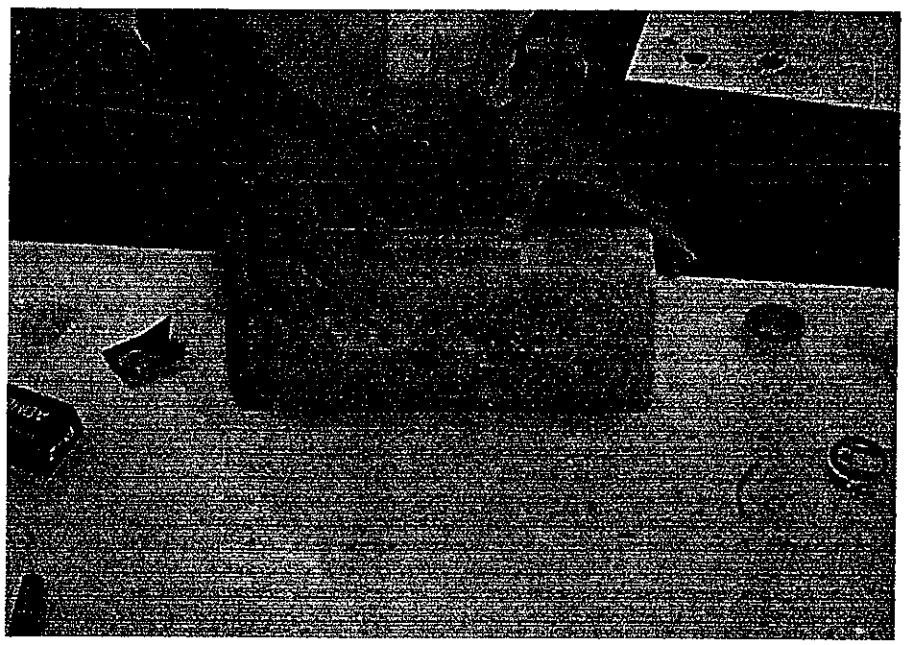


รูปที่ ฌ – 43 แสดงการติดตั้งสเตรน เกจ (STRAIN GAUGE)

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)

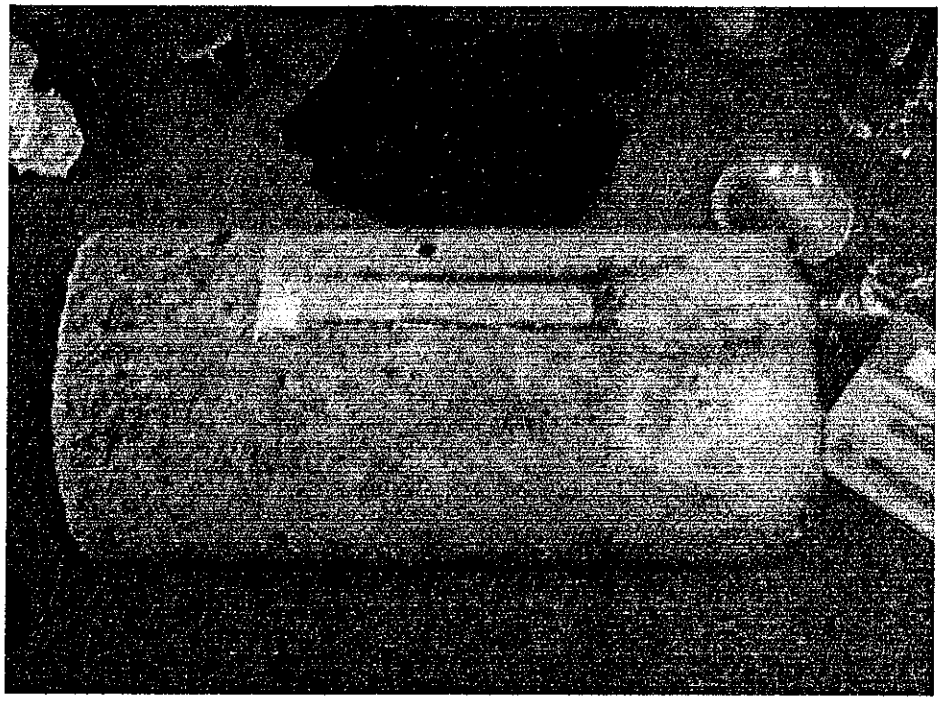


รูปที่ ฌ – 44 แสดงก้อนตัวอย่างที่ติดตั้งสเตรน เกจ (STRAIN GAUGE)

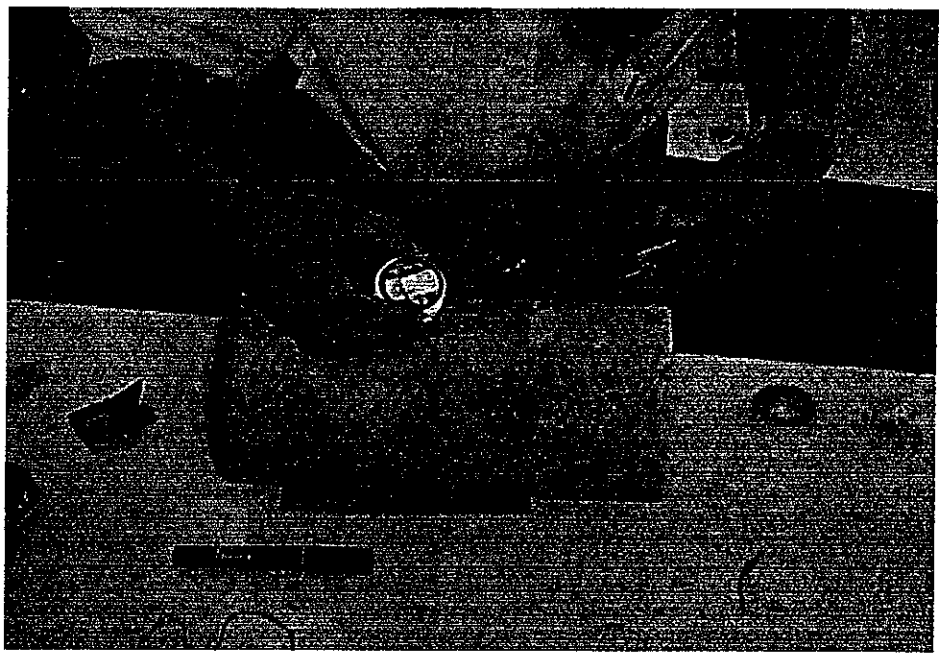


รูปที่ ฌ – 45 แสดงการติดเทปกาวปิดทับสเตรน เกจ (STRAIN GAUGE)

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)

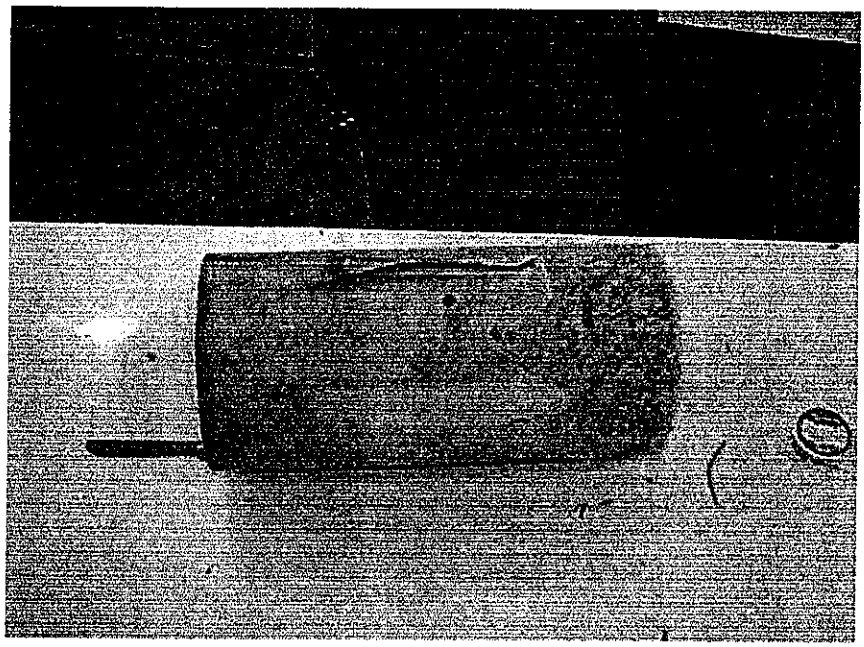


รูปที่ ฌ – 46 แสดงก้อนตัวอย่างที่ติดเทปกาวปิดทับ
สเตรน เกจ (STRAIN GAUGE)

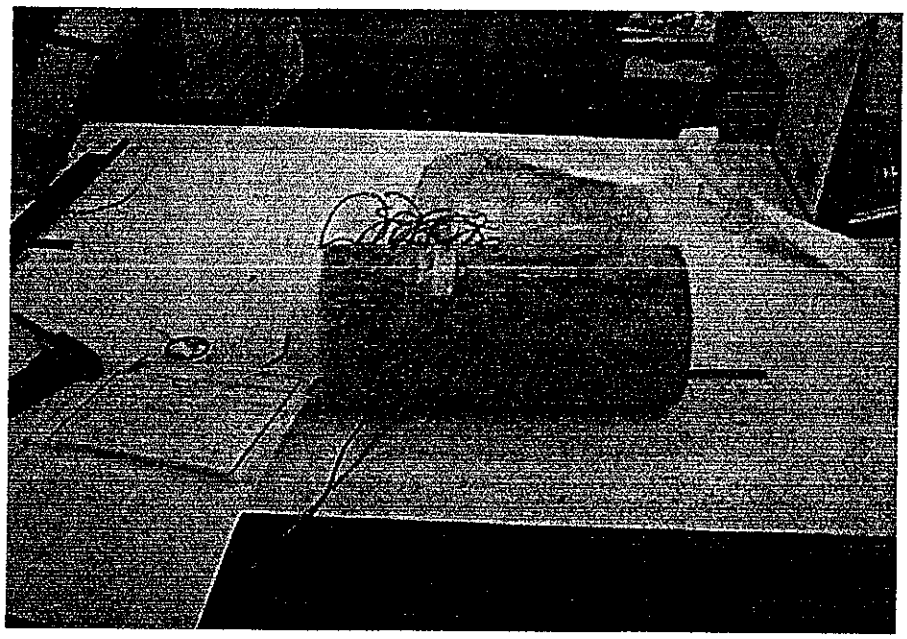


รูปที่ ฌ – 47 แสดงการต่อเชื่อมสายไฟกับสเตรน เกจ (STRAIN GAUGE)

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)

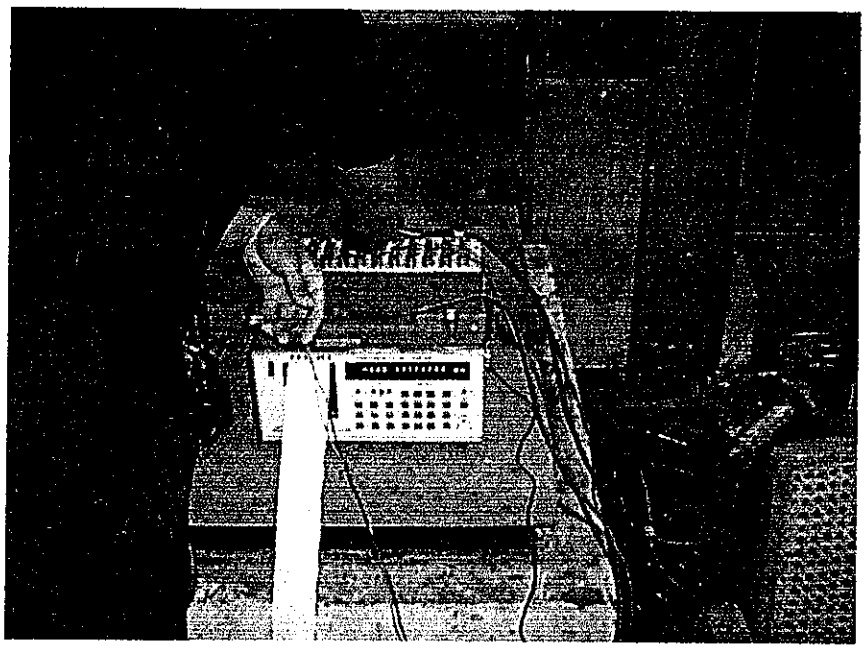


รูปที่ ฌ – 48 แสดงก้อนตัวอย่างที่ทำการต่อเชื่อมสายไฟกับ
สเตรน เกจ (STRAIN GAUGE)

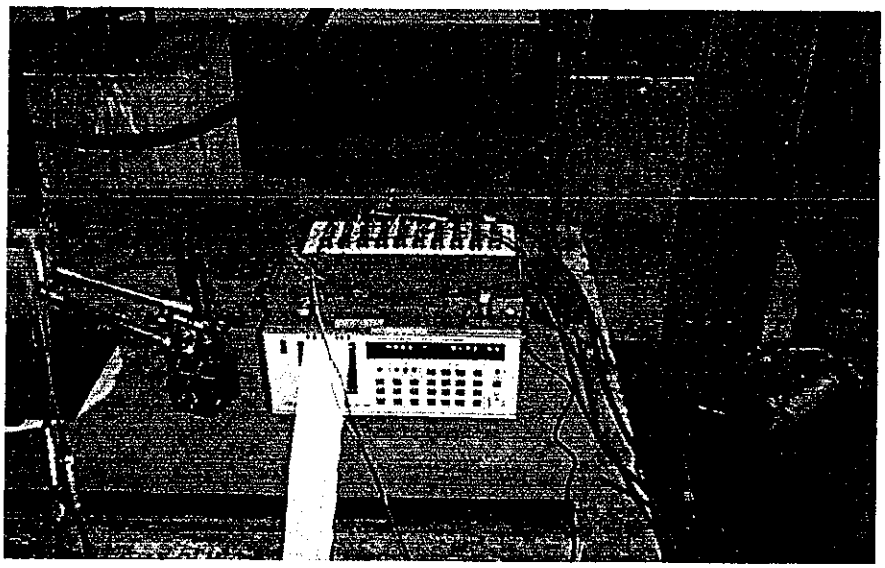


รูปที่ ฌ – 49 แสดงการต่อเชื่อมสายโยงไฟจากสเตรน เกจ (STRAIN GAUGE)
เข้าเครื่องประมวลผล (Data Logger)

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)

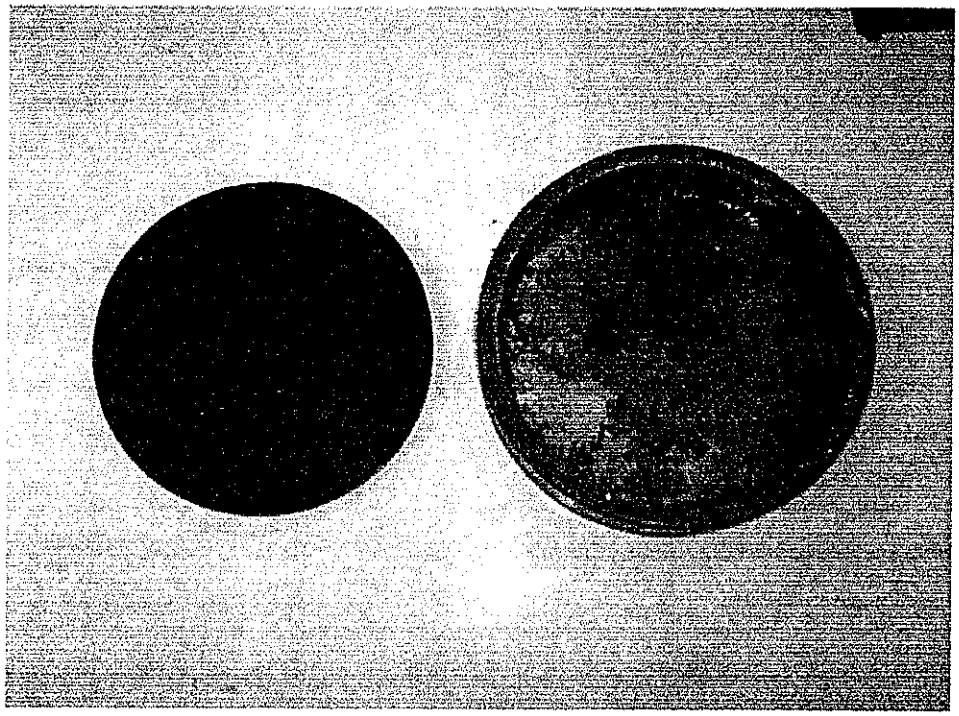


รูปที่ ฌ – 50 แสดงการต่อเชื่อมสายไฟระหว่างสเตรน เกจ (STRAIN GAUGE) กับเครื่องประมวลผล (Data Logger)

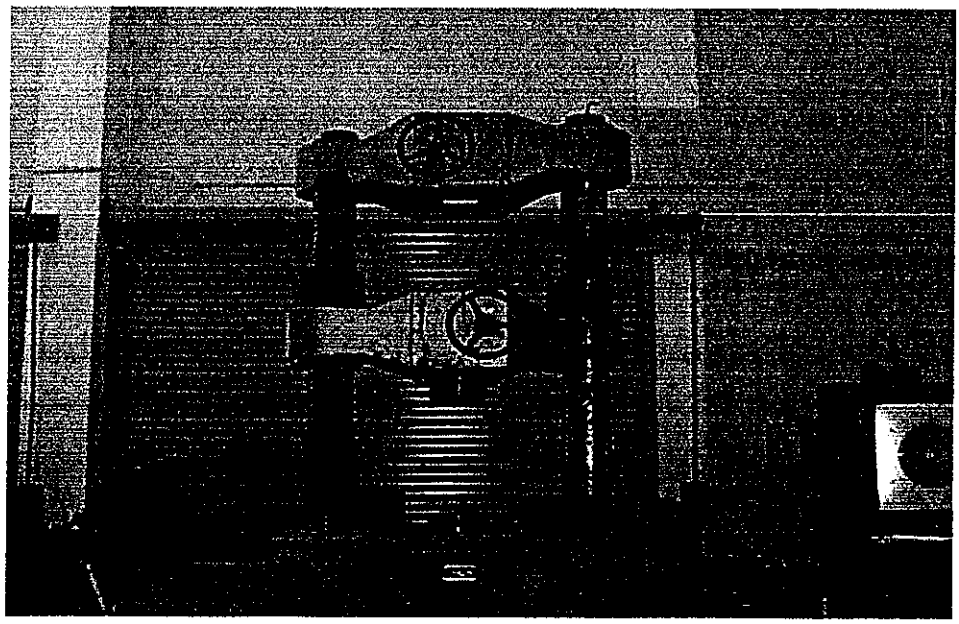


รูปที่ ฌ – 51 แสดงลักษณะเครื่องประมวลผล (Data Logger)

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงงานวิศวกรรมโยธา (ต่อ)



รูปที่ ฌ – 52 แสดงลักษณะของอุปกรณ์ครอบหัวคอนกรีต



รูปที่ ฌ – 53 แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต