ภาคผนวก ก

การหาค่าความถ่วงจำเพาะ เปอร์เซ็นต์การดูดซึม

วัตถุประสงค์

เพื่อหาความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ค่าการดูดซึม รวมทั้งค่าความชื้นของทรายและหิน เพื่อใช้ในการคำนวณออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

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 (Apparent 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

1.การคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะของทราย

1) คำนวณหาความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity)ที่สภาวะแห้งด้วยเตาอบ ได้จาก

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

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

$$\text{ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (อิ่มตัวที่ผิวแห้ง)} = \frac{500}{B+500-C}$$

3) คำนวณหาความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity) ได้จาก

$$\text{ความถ่วงจำเพาะปรากฏ} = \frac{A}{B+A-C}$$

4) คำนวณหาร้อยละของการดูดซึม

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

โดยที่ A = น้ำหนักของมวลรวมละเอียดที่แห้งด้วยเตาอบ,กรัม

B = น้ำหนักของกระบอกตวงและน้ำที่ระดับ 500มล.,กรัม

และ C = น้ำหนักของกระบอกตวงที่มีมวลรวมละเอียดและน้ำที่ระดับ 500 มล.,กรัม

2.การคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะของหิน

1) คำนวณหาความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ในสภาวะแห้ง ด้วยเตาอบได้จาก

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

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

$$\text{ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (อิ่มตัวผิวแห้ง)} = \frac{B}{B-C}$$

3) คำนวณหาความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparcnt Specific Gravity) ได้จาก

$$\text{ความถ่วงจำเพาะปรากฏ} = \frac{A}{A-C}$$

4) คำนวณหาร้อยละของการดูดซึม (Percentange of Absorption) ได้จาก

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

โดยที่A = น้ำหนักของมวลรวมที่แห้งด้วยเตาอบ, กรัม

B = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในอากาศ,กรัม

C = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในน้ำ,กรัม

การคำนวณหาความถ่วงเฉพาะ การดูดซึมน้ำที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) ของทราย

ข้อมูลการทดลอง

โดยที่

A = น้ำหนักของมวลรวมที่แห้งด้วยเตาอบเท่ากับ 496.4 กรัม

B = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในอากาศ เท่ากับ 807.7 กรัม

C = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในน้ำ เท่ากับ 1106.9 กรัม

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

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

$$= 2.490$$

$$\text{ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่แท้จริง} = \frac{A}{B+A-C}$$

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

$$= 2.517$$

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

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

$$= 0.73\ \%$$

การคำนวณหาความถ่วงเฉพาะ การดูดซึมน้ำที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) ของหิน 3/8 นิ้ว

ข้อมูลการทดลอง

น้ำหนักของตะกร้าเปล่าชั่งน้ำ = 2500 กรัม

น้ำหนักตะกร้าและน้ำหนักหินที่ชั่งในน้ำ = 4000 กรัม

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

น้ำหนักหินชั่งในอากาศ (B) = 2404 กรัม

น้ำหนักหินอบแห้ง (A) = 2391.8 กรัม

ขนาดหินโตสุด = 3/8 นิ้ว

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

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

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

$$= 2.660$$

เปอร์เซ็นต์การดูดซึม

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

$$= \frac{(2404-2391.8)\times 100}{2391.8}$$

$$= 0.51\ \%$$

การคำนวณหาความถ่วงเฉพาะ การดูดซึมน้ำที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) ของหิน 1/2 นิ้ว

ข้อมูลการทดลอง

น้ำหนักของตะกร้าเปล่าชั่งน้ำ = 2500 กรัม

น้ำหนักตะกร้าและน้ำหนักหินที่ชั่งในน้ำ = 4500 กรัม

ดังนั้น น้ำหนักหิน (SSD) ชั่งในน้ำ (C) = 4500-2500 = 2000 กรัม

น้ำหนักหินชั่งในอากาศ (B) = 3210 กรัม

น้ำหนักหินอบแห้ง (A) = 3195 กรัม

ขนาดหินโตสุด = 1/2นิ้ว

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

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

$$= \frac{3210}{3210-2000}$$

$$= 2.65$$

เปอร์เซ็นต์การดูดซึม

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

$$= \frac{(3210-3195)\times 100}{3195}$$

$$= 0.47\ \%$$

การคำนวณหาความถ่วงเฉพาะ การดูดซึมน้ำที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) ของหิน 3/4 นิ้ว

ข้อมูลการทดลอง

น้ำหนักของตะกร้าเปล่าชั่งน้ำ = 2500 กรัม

น้ำหนักตะกร้าและน้ำหนักหินที่ชั่งในน้ำ = 4500 กรัม

ดังนั้น น้ำหนักหิน (SSD) ชั่งในน้ำ (C) = 4500-2500 = 2000 กรัม

น้ำหนักหินชั่งในอากาศ (B) = 3240 กรัม

น้ำหนักหินอบแห้ง (A) = 3220 กรัม

ขนาดหินโตสุด = 3/4 นิ้ว

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

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

$$= \frac{3240}{3240-2000}$$

$$= 2.61$$

เปอร์เซ็นต์การดูดซึม

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

$$= \frac{(3240-3220)\times 100}{3220}$$

$$= 0.62\%$$

ภาคผนวก ข

การคำนวณ ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

การดำเนินการทดลองเพื่อผลิตแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ในการทดลองกำลังอัด กำลังดึง เพื่อหาคุณสมบัติทางกลได้กำหนดปริมาตรทรายเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ของมวลรวมทั้งหมด กำหนดปริมาตรปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมเท่ากับ 400 กิโลกรัมต่อคอนกรีตหนึ่งลูกบาศเมตร ในการผสมคอนกรีตครั้งนี้ ได้ผสมคอนกรีตทั้งหมด 144 ก้อน โดยเป็นคอนกรีตที่นำไปทดสอบแรงอัด 96 ก้อน (มีทั้งหมด 4 CASE คือ คอนกรีตธรรมดา คอนกรีตผสมเถ้าลอย 10% คอนกรีตผสมเถ้าลอย 20% คอนกรีตผสมเถ้าลอย 30% มีหิน 3 ขนาด มีค่า w / c = 0.5 และ w / c = 0.6 แต่ละ CASE ทำการบ่มที่ 28 วัน) และคอนกรีตที่นำไปทดสอบแรงดึง 48 ก้อน (มีทั้งหมด 4 CASE คือ คอนกรีตธรรมดา คอนกรีตผสมเถ้าลอย 10% คอนกรีตผสมเถ้าลอย 20% คอนกรีตผสมเถ้าลอย 30% มีหิน 3 ขนาด มีค่า w / c = 0.5 แต่ละ CASE ทำการบ่มที่ 28 วัน)

การคำนวณหาส่วนผสมของคอนกรีต w / c = 0.5 หิน(ขนาด3/8นิ้ว)

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. ใช้ส่วนผสมต่างๆดังนี้

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 0.787

น้ำหนักทรายเปียก = 639.93x1.004 = 642.49 กก.

น้ำหนักหินเปียก = 1024.10x1.00787 = 1032.16 กก.

น้ำที่ผิวทราย = 0.40-0.73 = -0.33 เปอร์เซ็นต์

น้ำที่ผิวหิน = 0.787-0.51 = 0.277 เปอร์เซ็นต์

สรุป ใช้น้ำ = 200 + 639.93(0.33/100) + 1032.16 (-0.277/100) = 199.25 กก./ลบ.ม.

ใช้ทราย = 642.49 กก./ลบ.ม.

ใช้หิน = 1032.16 กก./ลบ.ม.

ใช้ปูนซีเมนต์ = 400 กก./ลบ.ม.

(ใช้ผสม คอนกรีตธรรมดา คอนกรีตผสมเถ้าลอย10% คอนกรีตผสมเถ้าลอย20% และ คอนกรีตผสมเถ้าลอย30%)

การคำนวณหาส่วนผสมของคอนกรีต w / c = 0.5 หิน(ขนาด1/2นิ้ว)

ข้อมูลประกอบการคำนวณ

ถ.พ.ของทราย	= 2.49
ถ.พ.ของหิน(ขนาด1/2นิ้ว)	= 2.65
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. ใช้ส่วนผสมต่างๆดังนี้

ปูนซีเมนต์ = 400 กก.

ทราย = 2.49x0.257x1000 = 639.93 กก.

หิน(1/2") = 2.65x0.385x1000 = 1020.25 กก.

น้ำ = 0.5x400 = 200 กก.

การปรับแก้ส่วนผสมของคอนกรีตเนื่องจากความชื้นทรายที่เปลี่ยนไป(ไม่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง) สำหรับทรายที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 0.73 และความชื้นเท่ากับ 0.40 และหินที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 0.47 และความชื้นเท่ากับ 0.33

น้ำหนักทรายเปียก = 639.93x1.004 = 642.49 กก.

น้ำหนักหินเปียก = 1020.25x1.0033 = 1023.62 กก.

น้ำที่ผิวทราย = 0.40-0.73 = -0.33 เปอร์เซ็นต์

น้ำที่ผิวหิน = 0.33-0.47 = -0.14 เปอร์เซ็นต์

สรุป ใช้น้ำ = 200 + 639.93(0.33/100) + 1020.25(0.14/100) = 203.54 กก./ลบ.ม.

ใช้ทราย = 642.49 กก./ลบ.ม.

ใช้หิน = 1023.62 กก./ลบ.ม.

ใช้ปูนซีเมนต์ = 400 กก./ลบ.ม.

(ใช้ผสม คอนกรีตธรรมดา คอนกรีตผสมเถ้าลอย10% คอนกรีตผสมเถ้าลอย20% และ คอนกรีตผสมเถ้าลอย30%)

การคำนวณหาส่วนผสมของคอนกรีต w / c = 0.5 หิน(ขนาด3/4นิ้ว)

ข้อมูลประกอบการคำนวณ

ถ.พ.ของทราย	= 2.49
ถ.พ.ของหิน(ขนาด3/4นิ้ว)	= 2.61
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. ใช้ส่วนผสมต่างๆดังนี้

ปูนซีเมนต์ = 400 กก.

ทราย = $2.49x0.257x1000 = 639.93$ กก.

หิน(3/4") = $2.61x0.385x1000 = 1004.85$ กก.

น้ำ = $0.5x400 = 200$ กก.

การปรับแก้ส่วนผสมของคอนกรีตเนื่องจากความชื้นทรายที่เปลี่ยนไป(ไม่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง) สำหรับทรายที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 0.73 และความชื้นเท่ากับ 0.40 และหินที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 0.62 และความชื้นเท่ากับ 0.16

น้ำหนักทรายเปียก = 639.93x1.004 = 642.49 กก.

น้ำหนักหินเปียก = 1004.85x1.0016 = 1006.46 กก.

น้ำที่ผิวทราย = 0.40-0.73 = -0.33 เปอร์เซ็นต์

น้ำที่ผิวหิน = 0.16-0.62 = -0.46 เปอร์เซ็นต์

สรุป ใช้น้ำ = 200 + 639.93(0.33/100) + 1004.85(0.46/100) = 206.73 กก./ลบ.ม.

ใช้ทราย = 642.49 กก./ลบ.ม.

ใช้หิน = 1006.46 กก./ลบ.ม.

ใช้ปูนซีเมนต์ = 400 กก./ลบ.ม.

(ใช้ผสม คอนกรีตธรรมดา คอนกรีตผสมเถ้าลอย10% คอนกรีตผสมเถ้าลอย20% และคอนกรีตผสมเถ้าลอย30%)

การคำนวณหาส่วนผสมของคอนกรีต w / c = 0.6 หิน(ขนาด3/8นิ้ว)

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.

(ใช้ผสม คอนกรีตธรรมดา)

การปรับแก้ส่วนผสมของคอนกรีตเนื่องจากความชื้นทรายที่เปลี่ยนไป(ไม่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง) สำหรับทรายที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 0.73 และความชื้นเท่ากับ 0.40 และหินที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 0.51 และความชื้นเท่ากับ 0.787

น้ำหนักทรายเปียก = 600.09x1.004 = 602.49 กก.

น้ำหนักหินเปียก = 962.92x1.00787 = 970.50 กก.

น้ำที่ผิวทราย = 0.40-0.73 = -0.33 เปอร์เซ็นต์

น้ำที่ผิวหิน = 0.787-0.51 = 0.277เปอร์เซ็นต์

สรุป ใช้น้ำ = 240 + 600.09(0.33/100) + 962.92(-0.277/100) = 239.31 กก./ลบ.ม.

ใช้ทราย = 602.49 กก./ลบ.ม.

ใช้หิน = 970.50 กก./ลบ.ม.

ใช้ปูนซีเมนต์ = 400 กก./ลบ.ม.

(ใช้ผสม คอนกรีตผสมเถ้าลอย10% คอนกรีตผสมเถ้าลอย20% และ คอนกรีตผสมเถ้าลอย30%)

การคำนวณหาส่วนผสมของคอนกรีต w / c = 0.6 หิน(ขนาด1/2นิ้ว)

ข้อมูลประกอบการคำนวณ

ถ.พ.ของทราย	= 2.49
ถ.พ.ของหิน(ขนาด1/2นิ้ว)	= 2.65
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.

$Vg = 1.5(0.241) \quad = 0.362$ ลบ.ม.

เมื่อออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 1 ลบ.ม. ใช้ส่วนผสมต่างๆดังนี้

ปูนซีเมนต์ = 400 กก.

ทราย = 2.49x0.241x1000 = 600.09 กก.

หิน(1/2") = 2.65x0.362x1000 = 959.30 กก.

น้ำ = 0.6x400 = 240 กก.

การปรับแก้ส่วนผสมของคอนกรีตเนื่องจากความชื้นทรายที่เปลี่ยนไป(ไม่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง) สำหรับทรายที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 0.73 และความชื้นเท่ากับ 0.40 และหินที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 0.47 และความชื้นเท่ากับ 0.33

น้ำหนักทรายเปียก = 600.09x1.004 = 602.49 กก.

น้ำหนักหินเปียก = 959.30x1.0033 = 962.47 กก.

น้ำที่ผิวทราย = 0.40-0.73 = -0.33 เปอร์เซ็นต์

น้ำที่ผิวหิน = 0.33-0.47 = -0.14 เปอร์เซ็นต์

สรุป ใช้น้ำ = 240 + 600.09(0.33/100) + 959.30(0.14/100) = 243.32 กก./ลบ.ม.

ใช้ทราย = 602.49 กก./ลบ.ม.

ใช้หิน = 962.47 กก./ลบ.ม.

ใช้ปูนซีเมนต์ = 400 กก./ลบ.ม.

(ใช้ผสม คอนกรีตธรรมดา คอนกรีตผสมเถ้าลอย10% คอนกรีตผสมเถ้าลอย20% และ คอนกรีตผสมเถ้าลอย30%)

การคำนวณหาส่วนผสมของคอนกรีต w / c = 0.6 หิน(ขนาด3/4นิ้ว)

ข้อมูลประกอบการคำนวณ

ถ.พ.ของทราย	= 2.49
ถ.พ.ของหิน(ขนาด3/4นิ้ว)	= 2.61
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(3/4") = 2.61x0.362x1000 = 944.82 กก.

น้ำ = 0.6x400 = 240 กก.

การปรับแก้ส่วนผสมของคอนกรีตเนื่องจากความชื้นทรายที่เปลี่ยนไป(ไม่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง) สำหรับทรายที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 0.73 และความชื้นเท่ากับ 0.40 และหินที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 0.62 และความชื้นเท่ากับ 0.16

น้ำหนักทรายเปียก = 600.09x1.004 = 602.49 กก.

น้ำหนักหินเปียก = 944.82x1.0016 = 946.33 กก.

น้ำที่ผิวทราย = 0.40-0.73 = -0.33 เปอร์เซ็นต์

น้ำที่ผิวหิน = 0.16-0.62 = -0.46 เปอร์เซ็นต์

สรุป ใช้น้ำ = 240 + 600.09(0.33/100) + 944.82(0.46/100) = 246.33 กก./ลบ.ม.

ใช้ทราย = 602.49 กก./ลบ.ม.

ใช้หิน = 946.33 กก./ลบ.ม.

ใช้ปูนซีเมนต์ = 400 กก./ลบ.ม.

(ใช้ผสม คอนกรีตธรรมดา คอนกรีตผสมเถ้าลอย10% คอนกรีตผสมเถ้าลอย20% และคอนกรีตผสมเถ้าลอย30%)

ภาคผนวก ค

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

วัสดุ

วัสดุต่าง ๆ สำหรับใช้ในการผลิตคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน

เครื่องมือ

1) แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน
2) เครื่องมือทดสอบแรงอัดของคอนกรีต (Compression Testing Machine) ที่มีกำลังอัดตามความเหมาะสมกับสภาพการใช้งาน สามารถเพิ่มอัตราการกดได้อย่างสม่ำเสมอ
3) อุปกรณ์สำหรับผสมคอนกรีต
4) อุปกรณ์สำหรับการทดสอบแรงดึงแยก

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 จึงได้มี

การทดสอบหากำลังดึงของคอนกรีตโดยทางอ้อม 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

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

เมื่อ T = กำลังดึงแยก, กก. / ตร.ซม.

P = แรงกดสูงสุด, กก.

L = ความยาวแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก, ซม.

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก, ซม.

<u>การเตรียมตัวอย่างแท่งทดสอบ</u>

ในการเตรียมตัวอย่างแท่งทดสอบ ให้ดำเนินการเช่นเดียวกับการทดสอบหาค่ากำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน

<u>วิธีทดสอบ</u>

1) ให้ลากเส้นผ่าศูนย์กลางที่ปลายของแท่งทดสอบคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานทั้งสองด้านโดยให้เส้นทั้งสองนี้อยู่ในระนาบเดียวกัน
2) วัดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของแท่งทดสอบให้ละเอียดถึง 0.25 ซม. โดยวัดที่ปลายทั้งสองข้างและที่กึ่งกลาง
3) วัดความยาวเฉลี่ยของแท่งทดสอบให้ละเอียดถึง 0.25 ซม. โดยวัดแนวระนาบทั้งสองด้านที่จะทดสอบ
4) ชั่งน้ำหนักของแท่งทดสอบให้ละเอียดถึง 1 กรัม
5) วางแท่งทดสอบให้ได้ศูนย์กลางบนแท่นทดสอบในลักษณะแนวนอน
6) กดแท่งทดสอบอย่างช้า ๆ จนกระทั่งแตก (Failure) แล้วบันทึกแรงกดสูงสุด

ภาคผนวก ง

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

วัสดุ

วัสดุซึ่งใช้ในการเตรียมแท่งตัวอย่างคอนกรีตซึ่งประกอบด้วยซีเมนต์มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ

เครื่องมือ

1) แบบหล่อแท่งทดสอบรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. และ / หรือแบบหล่อรูปลูกบาศก์ขนาด 15X 15 X 15 ซม.
2) เครื่องทำให้แน่น ซึ่งอาจเป็นเครื่องเขย่าแบบโต๊ะ (Vibrating Table) หรือเครื่องเขย่าแบบแท่ง (Vibrating Rod) ซึ่งจะต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ม.ม. ยาว 500-600 ม.ม. ปลายมน
3) เครื่องทดสอบแรงกดมาตรฐานแบบไฮดรอลิก
4) เวอร์เนีย คาลิปเปอร์ (Vernier Caliper) อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 ม.ม.
5) เครื่องชั่ง อ่านได้ละเอียดถึง 1 กรัม
6) เครื่องมือที่จำเป็น เช่น พลั่ว เกรียง แปรง เป็นต้น

กำลังอัดหรือความต้านทางแรงอัด (Compressive Strength)

กำลังอัดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากที่สุดของคอนกรีต เนื่องจากการออกแบบคอนกรีสต ส่วนมากมักออกแบบให้คอนกรีตรับเฉพาะแรงอัดอย่างเดียว 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

แท่งทดสอบ

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

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 คอนกรีตที่ใส่ในแบบหล่อให้ใส่เป็นชั้น ๆ ละประมาณ 100-150 ม.ม. แต่ละชั้นกระทุ้งให้ทั่วด้วยแท่งเหล็ก โดยกระทุ้งให้ทั่วด้วยแท่งเหล็ก โดยกระทุ้ง 1 ครั้งต่อพื้นที่ประมาณ 1000 ม.ม.^{2} ของพื้นที่หน้าตัดแบบหล่อการกระทุ้งแต่ละครั้งต้องกระทุ้งให้จมลงไปเท่ากับความหนาของชั้นที่ใส่ลงไปใหม่
4) หลังจากเขย่าคอนกรีตเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ตกแต่งผิวคอนกรีตให้เรียบด้วยเกรียง

การบ่มแท่งคอนกรีตซึ่งได้จากการหล่อ

1) หลังจากหล่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้คลุมผิวบนด้วยแผ่นเหล็กหรือแผ่นพลาสติก เพื่อป้องกันการ สูญเสียน้ำ แล้วเก็บไว้ในที่มีอุณหภูมิประมาณ 16-27 $^{\circ}$ซ และป้องกันไม่ให้มีการสั่นสะเทือนด้วย
2) ให้ถอดแบบออกหลังจากหล่อแท่งทดสอบระหว่าง 20 $\pm$ 1.7 $^{\circ}$ซ จนกว่าจะถึงเวลาทดสอบ ถ้าแท่งตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ต้องเช็ดผิวหน้าแท่งทดสอบให้แห้ง เคลือบผิวหน้าแท่งทดสอบ ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง แล้วทดสอบภายใน 1 ชั่วโมง หลังจากนั้น

การเคลือบผิวหน้าแท่งทดสอบ

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

ในการเคลือบนั้น อุปกรณ์จะต้องตั้งอยู่ในแนวแกนของแท่งทดสอบและผิวหน้าด้านที่จะใช้ต้องมีมุมที่ถูกต้อง และขณะที่วัตถุที่ใช้เคลือบแข็งตัว ต้องเป็นกันการระเหยของน้ำเช่นใช้ผ้าเปียกคลุมไว้

วิธีทดสอบ

1) วัดขนาดและชั่งน้ำหนักของแท่งคอนกรีต (กระทำก่อนการเคลือบผิวหน้า)
2) ทำความสะอาดแท่งคอนกรีตและผิวแท่นธาร (Bearing Faces) ทั้งบนและล่างของเครื่องทดสอบแรงกด
3) วางแท่งทดสอบให้อยู่ในแนวศูนย์กลางของน้ำหนักกด แล้วเลื่อนหรือหมุนผิวแท่นธารได้สัมผัสกับแท่งทดสอบสนิท
4) เปิดเครื่องทดสอบให้น้ำหนักกดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ด้วยอัตราคงที่อยู่ในเกณฑ์ช่วง 14-34 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรต่อวินาที ในระยะช่วงครึ่งแรกของน้ำหนัก กดสูงสุดที่แท่งทดสอบจะรับได้นั้น อาจใช้อัตราการกดสูงกว่าที่กำหนดให้ ส่วนในการควบคุมเครื่องทดสอบขณะที่แท่งทดสอบถึงจุดคลาก (Yielding) อย่างรวดเร็ว ทันที่ก่อนเกิดถึงจุดประลัย (Ultimate) นั้นห้ามปรับอัตราการกดหรือส่วนใด ๆ ของเครื่องทดสอบ
5) ให้กดจนกระทั่งแท่งทดสอบถึงจุดประลัย
6) บันทึกค่าน้ำหนักกดสูงสุดที่แท่งทดสอบสามารถรับได้ พร้อมทั้งบันทึกรูปลักษณะการแตกของแท่ง ทดสอบนั้นด้วย
7) คำนวณหาความต้านแรงอัดของแท่งทดสอบจากสูตร

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

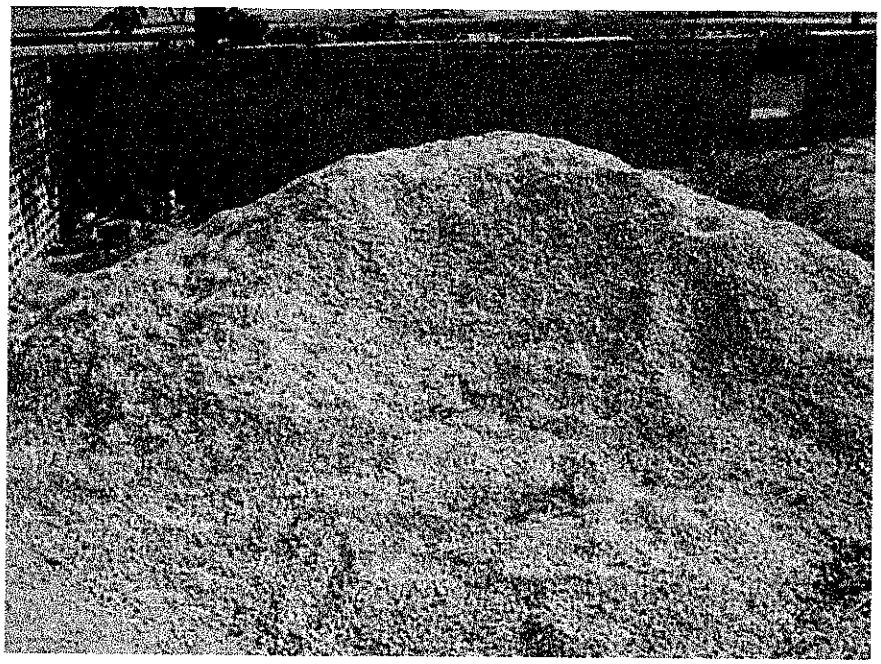
โดยที่ f_c = ความต้านทานแรงอัดของแท่งทดสอบ กก./ซม.^{2}

P_u = น้ำหนักกดสูงสุดที่แท่งทดสอบรับได้, กก.

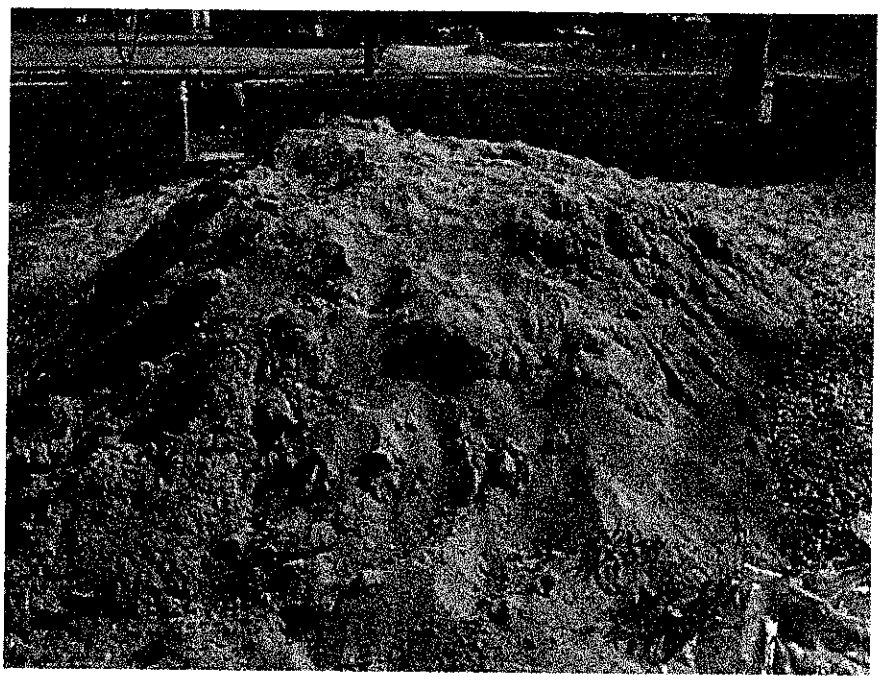
8) A = พื้นที่หน้าตัดที่รับน้ำหนักกดของแท่งทดสอบ , ซม.^{2}

ภาคผนวก จ

ภาพประกอบในการดำเนินงานโครงการวิศวกรรมโยธา



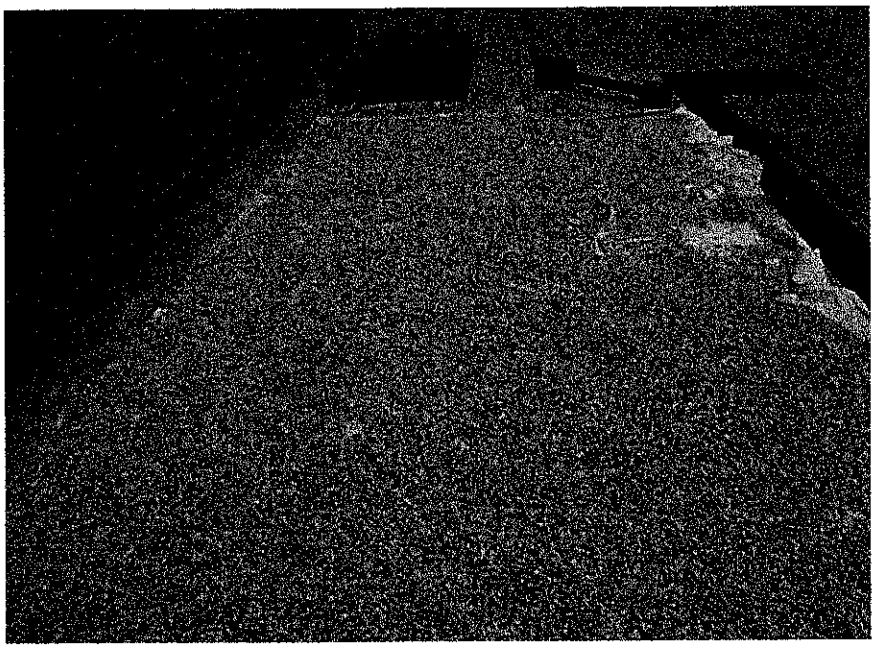
รูปที่ จ-1 แสดงกองหินก่อนทำการล้าง



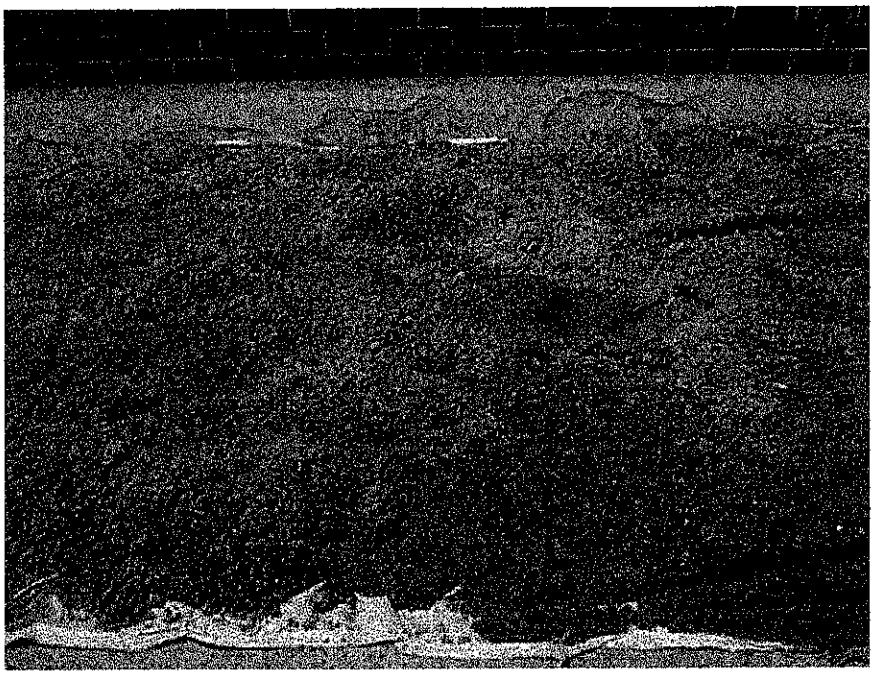
รูปที่ จ-2 แสดงกองทรายก่อนทำการล้าง

รูปที่ จ-3 แสดงการล้างหินเพื่อการผลิตคอนกรีต

รูปที่ จ-4 แสดงการล้างทรายเพื่อการผลิตคอนกรีต

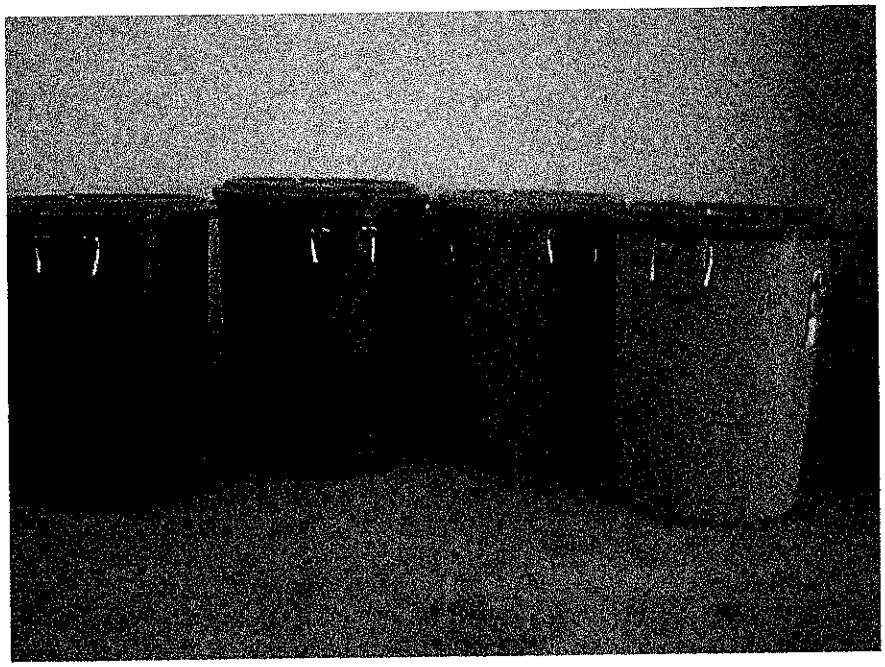


รูปที่ จ-5 แสดงการตากหินให้แห้ง

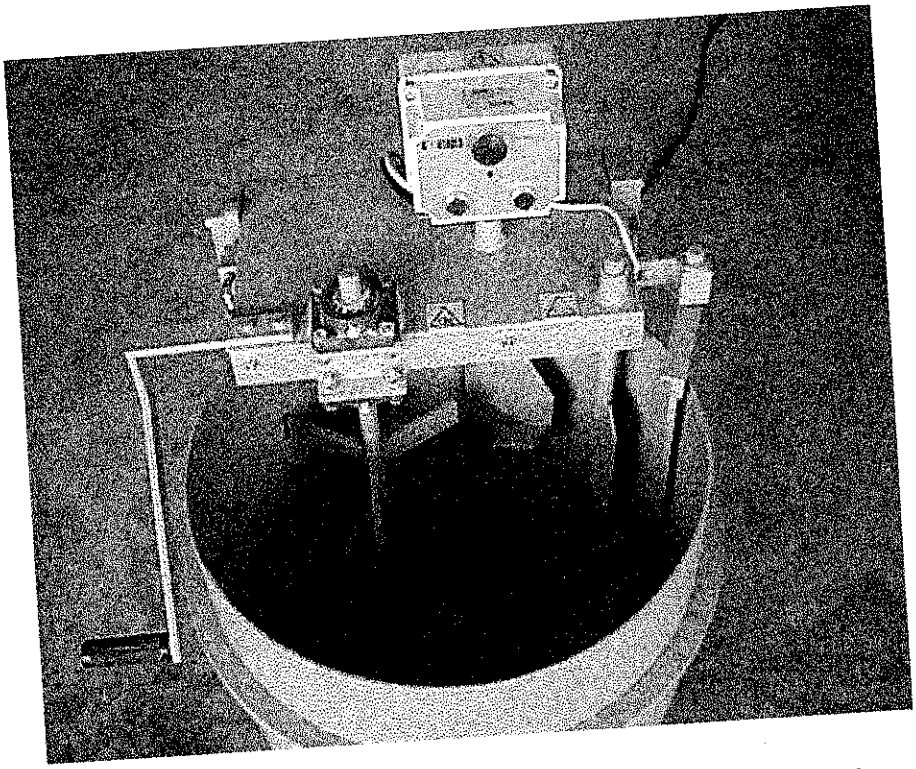


รูปที่ จ-6 แสดงการตากทรายให้แห้ง

รูปที่ จ-7 แสดงการเก็บหินที่ตากแห้งในถุง

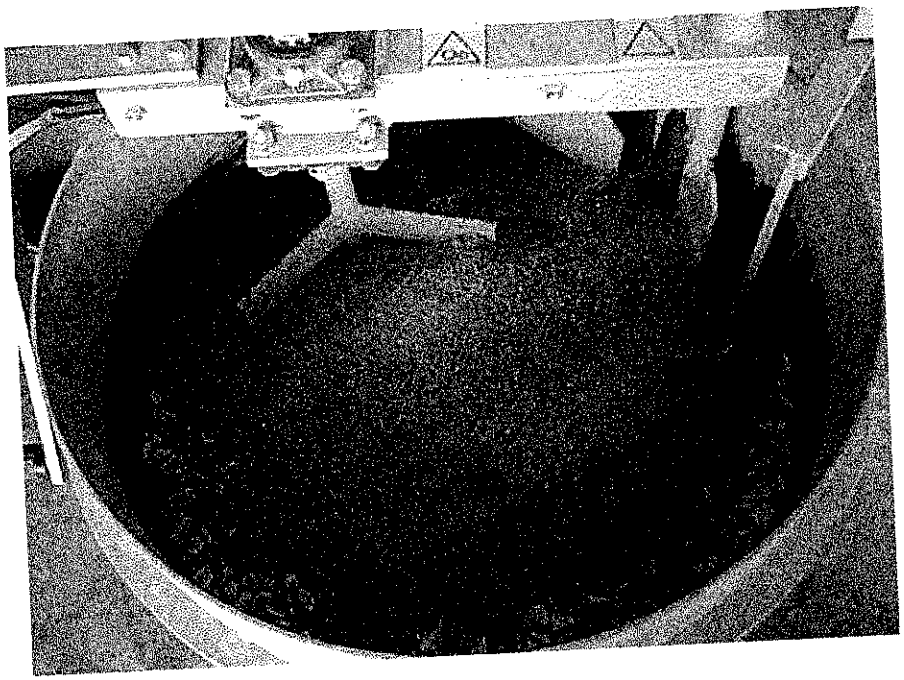


รูปที่ จ-8 แสดงการเก็บทรายที่ตากแห้งในถัง



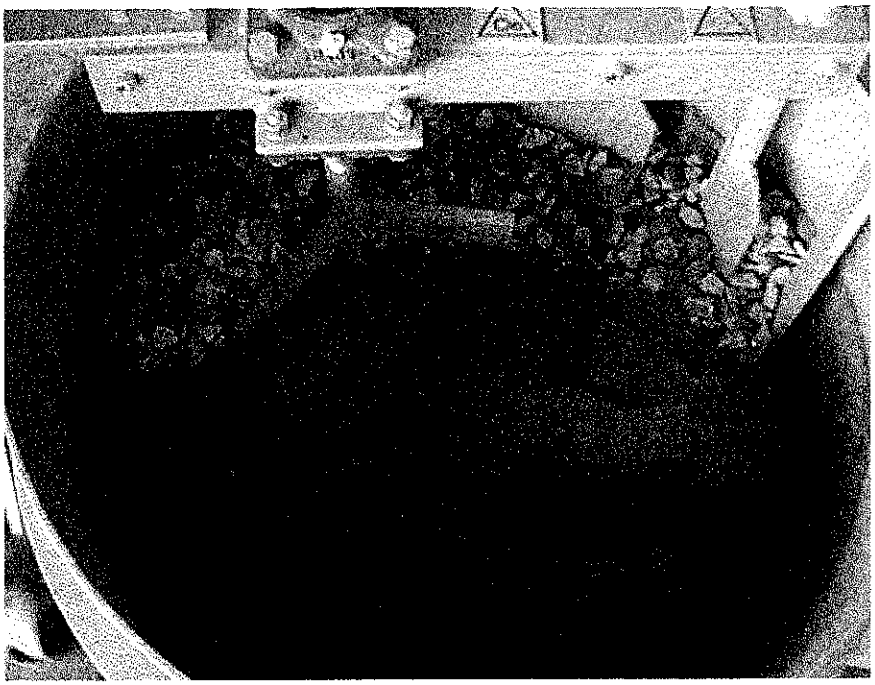
รูปที่ จ-9 แสดงโม่แบบ PAN ที่ใช้ในการผสมคอนกรีต

รูปที่ จ-10 แสดงการเตรียมวัสดุและแบบทดสอบ

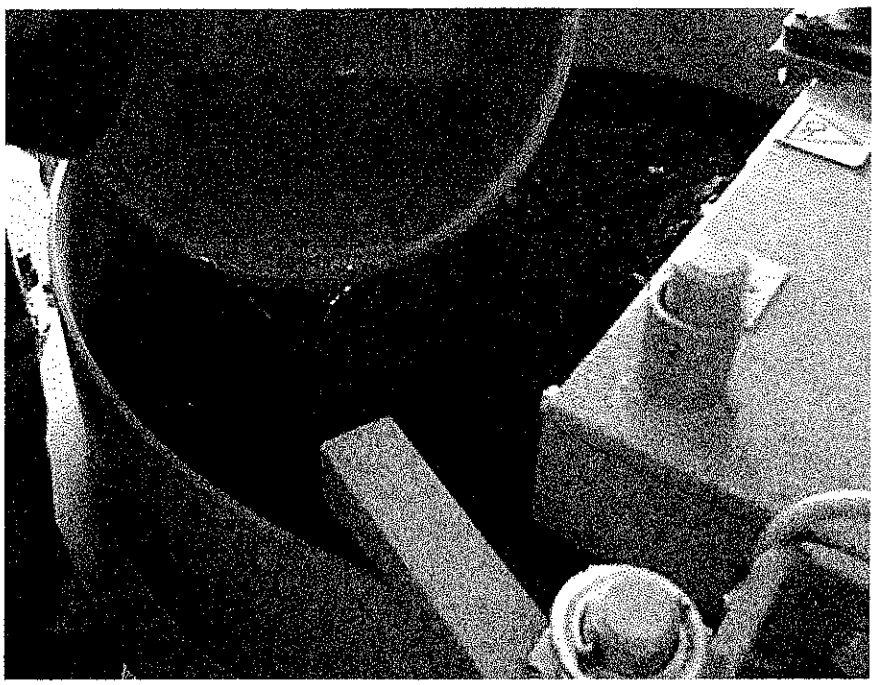


รูปที่ จ-11 แสดงลักษณะก่อนการผสมระหว่างหินกับทราย

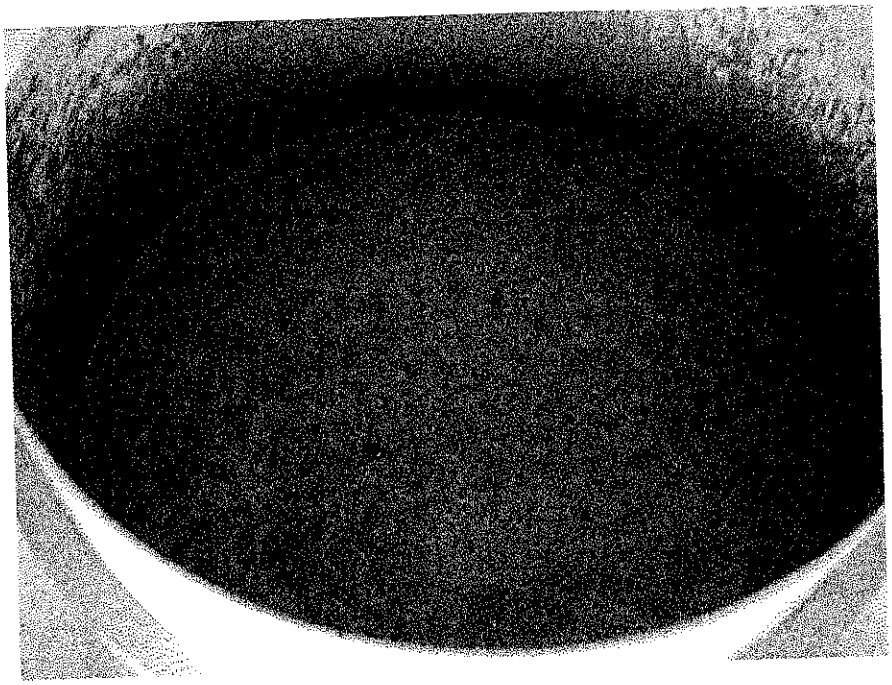
รูปที่ จ-12 แสดงลักษณะหลังการผสมระหว่างหินกับทราย



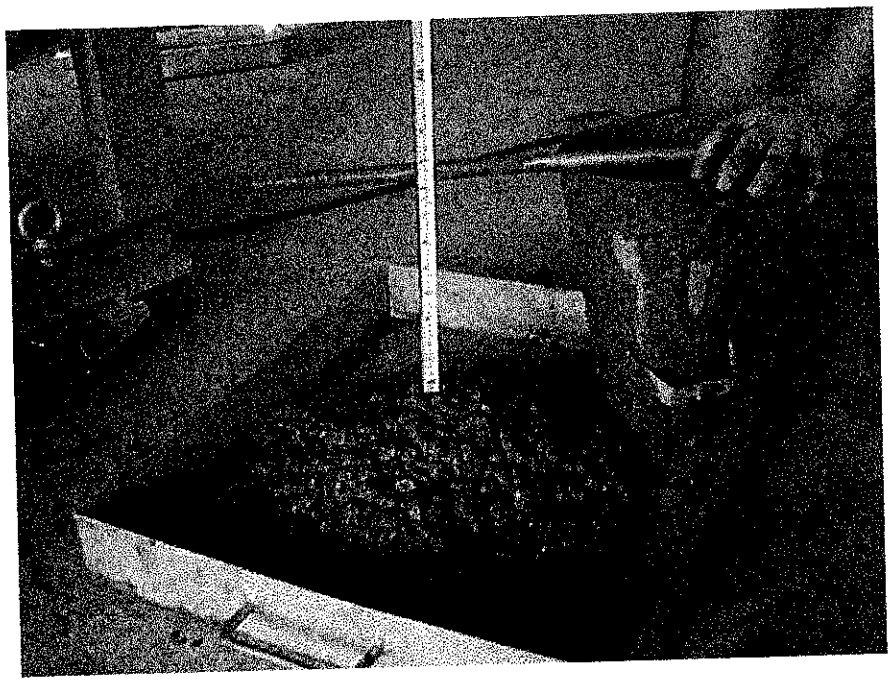
รูปที่ จ-13 แสดงลักษณะก่อนการผสมระหว่างมวลรวม,ปูนซีเมนต์,เถ้าลอย และน้ำ



รูปที่ จ-14 แสดงลักษณะการผสมระหว่างมวลรวม,ปูนซีเมนต์,เถ้าลอย และน้ำ

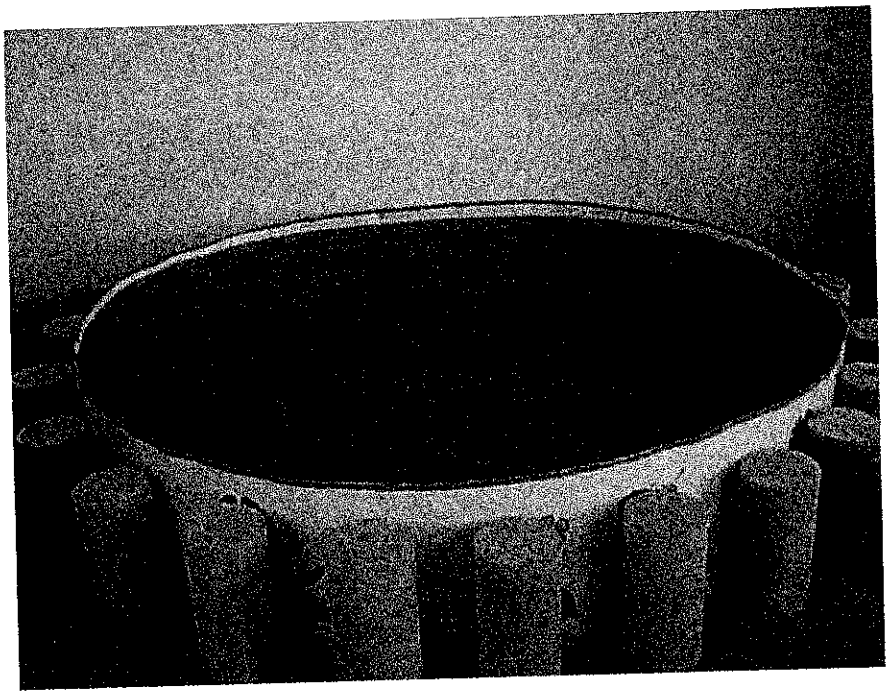


รูปที่ จ-15 แสดงคอนกรีตผสมเถ้าลอย



รูปที่ จ-16 แสดงการวัดค่าการยุบตัวของคอนกรีตผสมเถ้าลอย

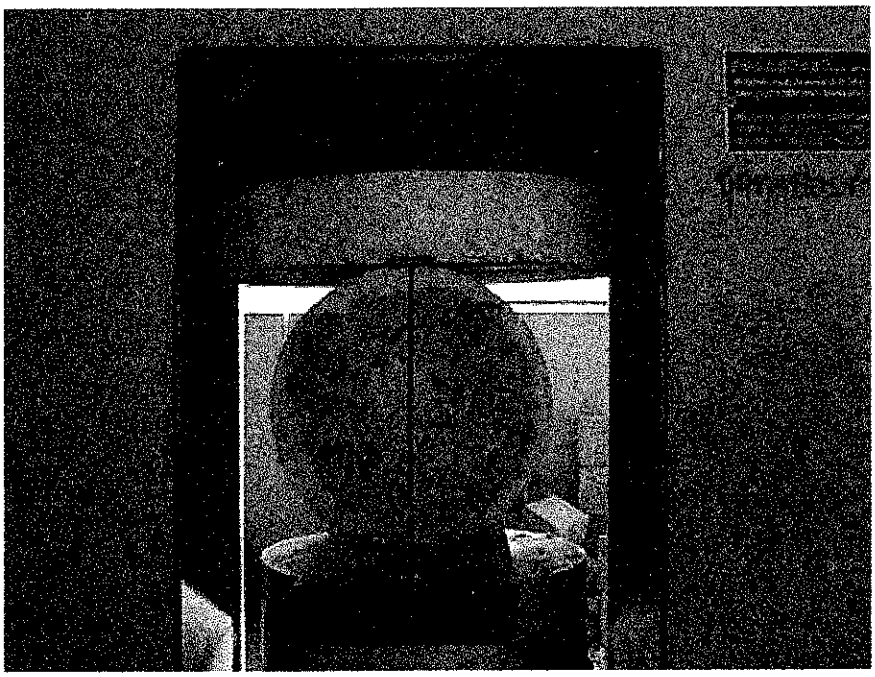
รูปที่ จ-17 แสดงการนำคอนกรีตผสมเถ้าลอยลงแบบทดสอบ



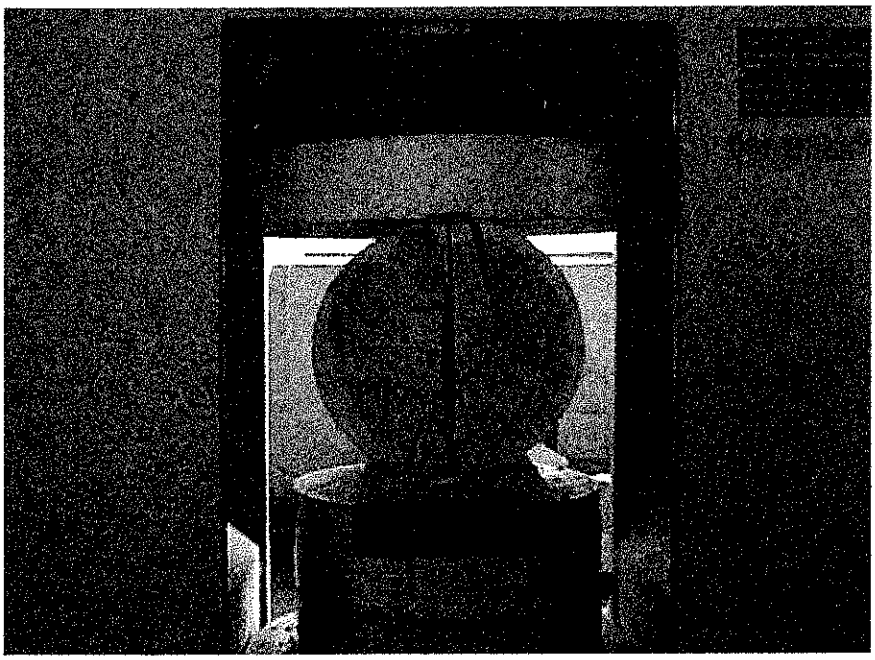
รูปที่ จ-18 แสดงการบ่มคอนกรีตผสมเถ้าลอยในน้ำ

รูปที่ จ-19 แสดงคอนกรีตผสมเถ้าลอยที่มีอายุการบ่ม 28 วัน

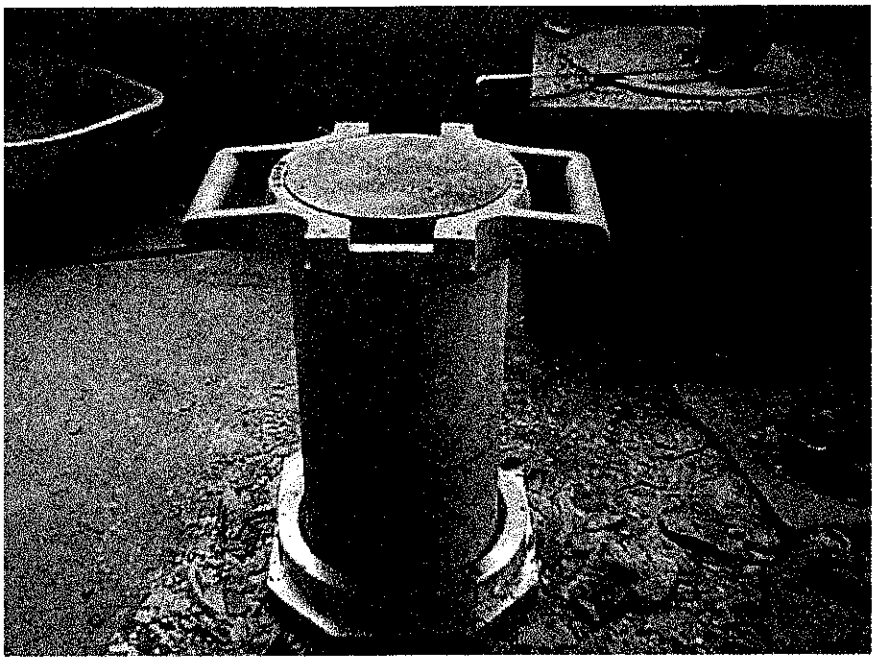
รูปที่ จ-20 แสดงการชั่งน้ำหนักคอนกรีตผสมเถ้าลอย



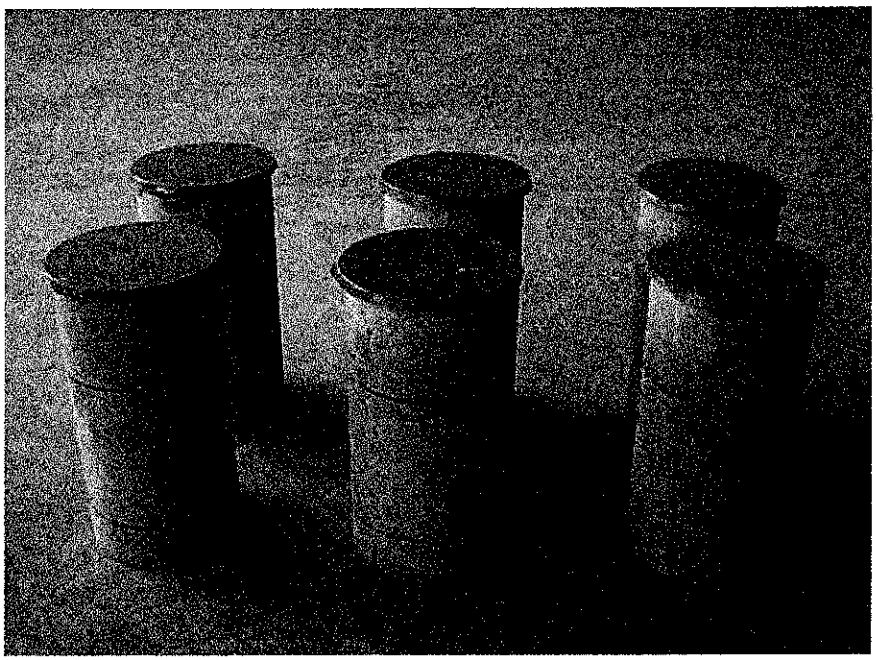
รูปที่ จ-21 แสดงการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีตผสมเถ้าลอย



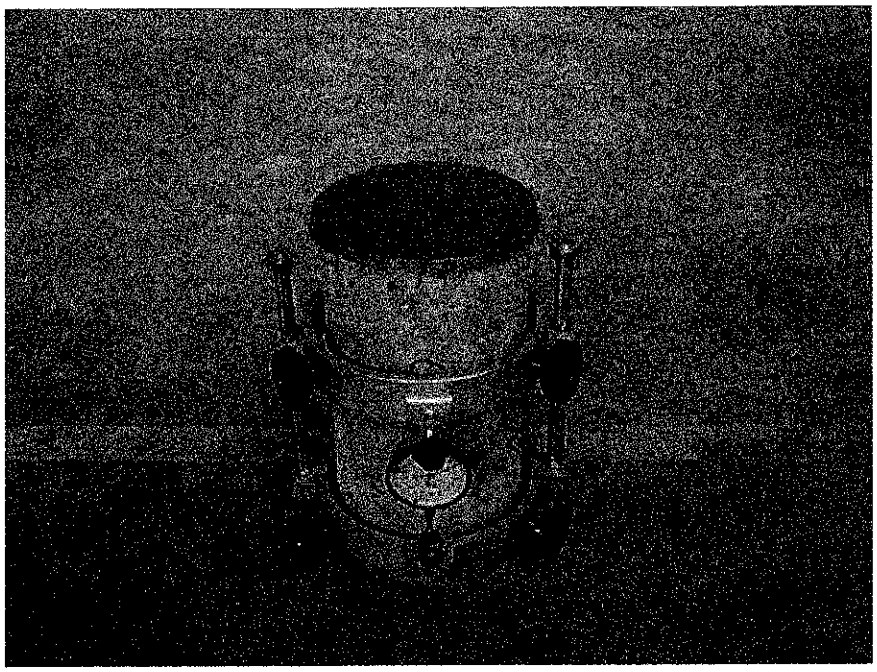
รูปที่ จ-22 แสดงหลังจากการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีตผสมเถ้าลอย



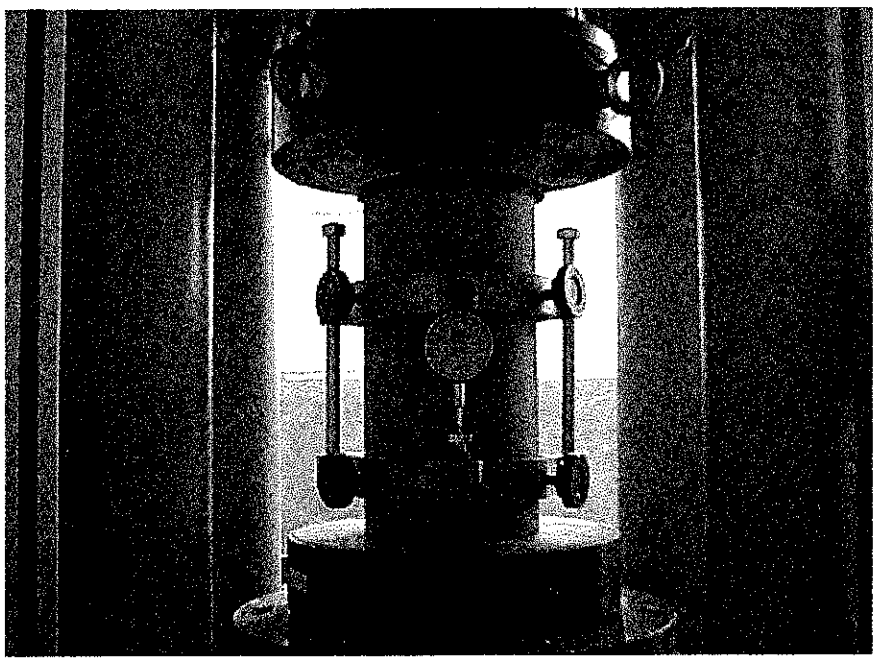
รูปที่ จ-23 แสดงการเคลือบผิวหน้าก่อนทำการทดสอบกำลังอัด



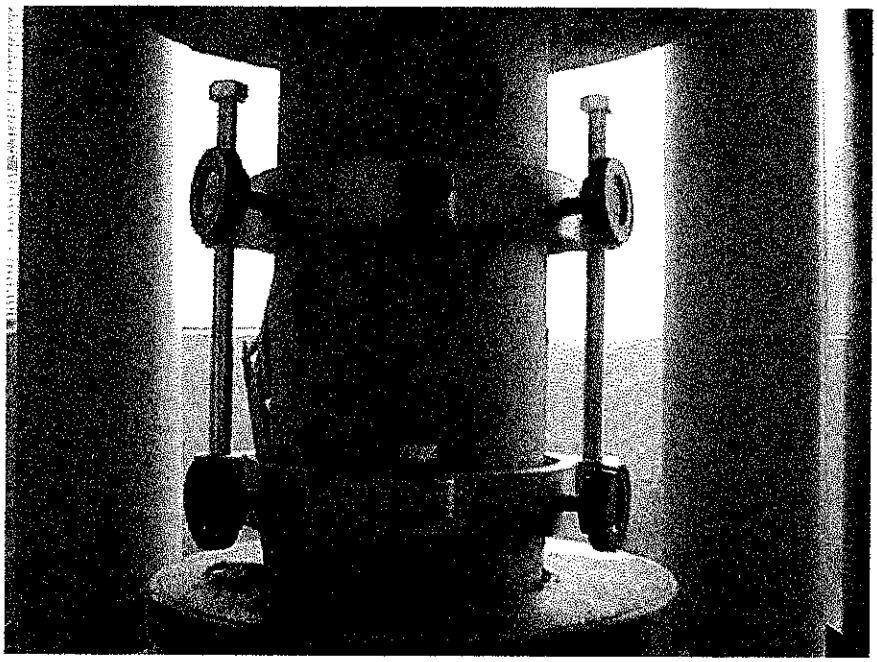
รูปที่ จ-24 แสดงลักษณะของคอนกรีตหลังจากการเคลือบผิวหน้า



รูปที่ จ-25 แสดงลักษณะการติดตั้ง Dial Gauge



รูปที่ จ-26 แสดงการนำคอนกรีตเข้าเครื่องทดสอบกำลังอัด



รูปที่ จ-27 แสดงคอนกรีตหลังจากเข้าเครื่องทดสอบกำลังอัด