ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ภาคผนวก ก

การทดลอง

ก1.1 การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมละเอียด

วัสดุ

มวลรวมละเอียดที่ต้องการทดสอบประมาณ 1 กิโลกรัม

เครื่องมือ

1) เครื่องชั่งที่สามารถชั่งได้ละเอียด 0.1 กรัม
2) กระบอกตวง ขนาด 500 มล.
3) กรวยโลหะ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางส่วนบน 3.75 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางส่วนล่าง 8.9 ซม. ความสูง 7.4 ซม. ทำด้วยแผ่นโลหะประมาณ 0.9 มม.
4) เหล็กกระทุ้ง ปลายเรียบเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 ซม. น้ำหนัก 340 กรัม
5) เครื่องเป่าผม
6) ถาดอบโลหะ
7) เตาอบ

วิธีทดลอง

1) นำมวลรวมละเอียดที่ต้องการทดสอบประมาณ 1 กิโลกรัม แช่น้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง
2) ทำมวลรวมให้แห้งโดยใช้เครื่องเป่าผมเป่ามวลรวมให้ทั่วจนแห้งสม่ำเสมอและอยู่ในสภาวะของการไหลอิสระ (Free flow)
3) การทดสอบว่ามวลรวมอยู่ในสภาวะไหลอิสระหรือไม่ทำได้โดยเทมวลรวมลงในกรวยโลหะจนเต็ม แล้วใช้เหล็กกระทุ้ง กระทุ้งเบาๆ เป็นจำนวน 25 ครั้ง แล้วยกกรวยขึ้นในแนวดิ่ง หากมวลรวมยังมีความชื้นที่ผิว (surface moisture) มวลรวมจะยังคงรูปกรวยอยู่ ให้ใช้เครื่องเป่าผมไล่ความชื้นที่ผิวด่อปีอกแล้วนำมวลรวมไปทดสอบในกรวยโลหะอีก ทำซ้ำเช่นนี้จนยกกรวยขึ้นแล้วมวลรวมยุบตัวลงเล็กน้อย แสดงว่ามวล

รวมอยู่ในสภาวะไหลอิสระ ไม่มีความชื้นที่ผิว เรียกว่าอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (saturated surface dry)

4) จากนั้นให้เทมวลรวมที่ได้ 500 กรัม ลงในกระบอกตวงแล้วเติมน้ำจนถึงขีดระดับประมาณ 450 มล.

5) นำกระบอกตวงที่ได้ไปแช่ในอ่างน้ำที่คุมอุณหภูมิที่ 22 ± 1.7 ° ซ. เขย่ากระบอกตวงเพื่อไล่ฟองอากาศ เติมน้ำจนถึงระดับ 500 มล. ทิ้งไว้จนอุณหภูมิคงที่ ชั่งน้ำหนักกระบองตวง

6) เทมวลรวมในกระบอกตวงใส่ถาดโลหะ อบให้แห้งในเตาอบให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 – 110 ° ซ. จนน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 1 วัน) ทิ้งให้เย็น (ประมาณ 1 ชั่วโมง) ชั่งน้ำหนักมวลรวม

7) ชั่งหาน้ำหนักของกระบอกตวงที่มีน้ำที่ระดับ 500 มล. ที่อุณหภูมิประมาณ 8 ° ซ.

การคำนวณ

1.คำนวณความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ที่สภาวะแห้งด้วยเตาอบ จาก

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด = A / (B + 500 – C)

โดยA = น้ำหนักของมวลรวมที่แห้งด้วยเตาอบ, กรัม

B = น้ำหนักของกระบอกตวงที่มีน้ำที่ระดับ 500 มล. , กรัม

C = น้ำหนักของกระบอกตวงที่มีมวลรวมและน้ำที่ระดับ 500 มล. , กรัม

2. คำนวณความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง จาก

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด = 500 / (B + 500 – C)

3. คำนวณความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity) จาก

ความถ่วงจำเพาะปรากฏ = A / (B + A – C)

4. คำนวณร้อยละของการดูดซึม (% Absorption) จาก

ร้อยละของการดูดซึม = 100 * (500 – A) / A

ก1.2 ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ

วัสดุ

มวลรวมหยาบที่ต้องการทดสอบ ที่มีน้ำหนักขั้นต่ำตามเกณฑ์ดังนี้

ตารางที่18 แสดงน้ำหนักขั้นต่ำของมวลรวมหยาบ

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ,นิ้ว	น้ำหนักขั้นต่ำ, กก
½	2
¾	3
1	4
1 ½	5
2	8
2 ½	12
3	18
3 ½	25

เครื่องมือ

1.เครื่องชั่งที่มีความละเอียดประมาณ 0.1 % ของน้ำหนัก

2.ตะกร้าลวดเหล็ก

3.ผ้าแห้ง

4.เตาอบ

วิธีการทดลอง

1.นำมวลหยาบที่ต้องการทดสอบตามเกณฑ์ ร่อนเอาส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ทิ้งไป

2.ใช้น้ำล้างฝุ่นและสิ่งสกปรกที่ติดมวลรวมออก แล้วนำมวลรวมไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.นำมวลแต่ละก้อนมาเช็ดถูด้วยผ้าแห้ง ให้น้ำที่เกาะอยู่ที่ผิวมวลรวมถูกดูดซับออกไป โดยที่ผิว

ของมวลรวมยังชื้นอยู่ ระวังไม่ให้มีการระเหยของความชื้นในขณะเช็ดถู โดยหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับแดดและลมแรงโดยตรง มวลรวมจะอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง ชั่งน้ำหนักมวลรวม

4.เทมวลรวมลงในตะกร้าลวดเหล็กแล้วชั่งหาน้ำหนักในน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 23 °ซ

5.อบมวลรวมให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 100-110 °ซ จนน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 1 วัน) ทิ้งให้เย็น(ประมาณ 1 ชั่วโมง) ชั่งน้ำหนักมวลรวม

การคำนวณ

1.คำนวณความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ที่สภาวะแห้งด้วยเตาอบ

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด = A/(B-C)

โดย A = น้ำหนักของมวลรวมที่แห้งด้วยเตาอบ, กรัม

B = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในอากาศ, กรัม

C = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในน้ำ, กรัม

2.คำนวณความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง จาก

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด = B/(B-C)

3.คำนวณความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity) จาก

ความถ่วงจำเพาะปรากฏ = A/(A-C)

4.คำนวณร้อยละของการดูดซึม (% Absorption) จาก

ร้อยละของการดูดซึม = 100*(B-A)/A

ก2. การทดสอบค่ายุบตัว

อุปกรณ์

1. โคนรูปทรงกรวยตัด เส้นผ่าศูนย์กลางด้านบน 10 ซม. และด้านล่าง 20 ซม. สูง 30 ซม. มีหูจับและแผ่นเหล็กยื่นออกมาให้เท้าเหยียบทั้ง 2 ข้าง
2. เหล็กตำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรยาว 60 ซม. ปลายกลมมน
3. แผ่นเหล็กสำหรับรอง
4. ช้อนตัก เกรียงเหล็ก ตลับเมตรหรือไม้วัด

วิธีทดสอบ

1.นำอุปกรณ์จุ่มน้ำให้เปียก
2. วางแผ่นเหล็กลงกับพื้นราบ นำโคนขึ้นวางให้เท้าเหยียบปลาย ทั้ง 2 ข้าง
3. ใช้ช้อนตักตักคอนกรีตใส่ลงในโคนโดยแบ่งเป็น 3 ชั้นแต่ละชั้นให้มีปริมาณเท่าๆกัน ชั้นที่ 1 ใส่คอนกรีตในโคนสูงประมาณ 6-7 ซม. ตำด้วยเหล็กตำ 25 ที ในการตำต้องตำให้ทั่วพื้นที่ ใส่คอนกรีตชั้นที่ 2 จนได้ส่วนสูงประมาณ 15 ซม. ตำให้ทะลุถึงคอนกรีตชั้นที่ 1 เล็กน้อย ใส่คอนกรีตชั้นที่ 2 จนเต็มตำให้ทะลุคอนกรีตชั้นที่ 2 เพียงเล็กน้อยปาดผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบรวมทั้งทำความสะอาดบริเวณ โคนและแผ่นเหล็กรอง
4. ดึงโคนขึ้นตรง ๆ ไม่หมุน
5. วาง โคนลงข้างๆ คอนกรีดแล้ววัดค่าการยุบตัวของคอนกรีต

ก3. การทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

วิธีการทดลอง

1. **นำก้อนตัวอย่างวางกึ่งกลางของแท่นทดสอบ โดยให้แกนอยู่ในแนวศูนย์กลางของแท่งกด**
2. เปิดเครื่องทดสอบ โดยในการทดสอบนี้จะต้องควบคุมน้ำหนักที่กดให้มีอัตราสม่ำเสมอ อัตราที่ใช้คือ1.4 – 3.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที
3. กดก้อนตัวอย่างจนแตก บันทึกค่าน้ำหนักที่ได้
4. นำค่าน้ำหนัก และพื้นที่หน้าตัดที่ได้มาหาค่ากำลังอัดประลัย

$$\text{กำลังอัดประลัยของคอนกรีต} = \frac{\text{น้ำหนักกดประลัย}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง}}$$

หน่วยที่ใช้ทั่วไปคือ

1. กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc)
2. นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (N / mm^2)

ภาคผนวก ข

การทำการผสม และการทำก้อนตัวอย่าง

การทำการผสมคอนกรีต

วิธีการทดสอบ

หลังจากออกแบบส่วนผสมคอนกรีตเรียบร้อยแล้ว นำส่วนผสมที่ได้มาทำการชั่งน้ำหนัก ซีเมนต์ หิน ทราย รวมทั้งวัดปริมาตรน้ำและน้ำยา ตามส่วนผสมโดยต้องคำนวณปรับน้ำหนักของ หิน ทราย ตามค่าความชื้นในสภาพที่เป็นจริง เสร็จแล้วนำวัตถุดิบดังกล่าวเทใส่โม่ โม่ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ คือ โม่แบบ Tilt

ก่อนที่จะผสมคอนกรีตใช้จริงควรผสมมอร์ตาเคลือบโม่ก่อน เพื่อส่วนผสมคอนกรีตที่ผสมถูกต้อง และเพื่อให้วัตถุดิบทั้งหมดผสมเข้ากันได้ดี ลำดับการใส่วัตถุดิบจึงมีความสำคัญ โดยจะใส่ หิน ปูนซีเมนต์ ทราย น้ำ ตามลำดับ ถ้ามีการใช้น้ำยาผสมคอนกรีตจะผสมน้ำยากับน้ำแล้วเท ส่วนผสมใส่ในโม่

การทำก้อนตัวอย่าง

คอนกรีตที่เหมาะสำหรับงานก่อสร้าง นอกจากมีความเหลวที่จะเทได้แล้ว เมื่อเป็นคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ยังต้องสามารถรับกำลังอัดได้ตามต้องการ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการเก็บก้อนตัวอย่าง และนำมาทดสอบตามเวลาต่างๆที่ได้กำหนด

ก้อนตัวอย่างในงานคอนกรีตที่ใช้ในประเทศไทย มีดังนี้

1.ตัวอย่างรูปลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 x 15 ซม.

2. ตัวอย่างรูปทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.

3. ตัวอย่างรูปคานขนาด 15 x 15 x 60 ซม.

อุปกรณ์

1) แบบหล่อก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ 15 x 15 x 15 ซม.
2) เหล็กตำ หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางนิ้ว
3) ช้อนตัก, เกรียงเหล็ก

วิธีทำ

1) ทำความสะอาดแบบหล่อตัวอย่าง แล้วทาน้ำมันที่ผิวภายในทุกด้าน
2) ตักคอนกรีตใส่แบบ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้นเท่าๆกัน แต่ละชั้นตำด้วยเหล็กตำ 35 ที
3) เมื่อตำชั้นสุดท้ายเสร็จ ปาดผิวหน้าให้เรียบ
4) การทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ภาคผนวก ค

การออกแบบส่วนผสม (Mix design)

ขั้นตอนในการออกแบบ Mix design

ขั้นตอนที่ 1

กำหนดค่ากำลังอัดที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 2

1) หาปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อให้ได้ค่ายุบตัวตามต้องการ
2) หาค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดตามต้องการจากกราฟอัตราส่วนน้ำซีเมนต์ และค่ากำลังอัด
3) หาค่าน้ำหนักซีเมนต์ = ปริมาณน้ำ/ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

ขั้นตอนที่ 3

น้ำหนักทราย = น้ำหนักปูนซีเมนต์ x ค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์

ขั้นตอนที่ 4

ปริมาตรทราย = (380 หรือ 400) – ปริมาตรปูนซีเมนต์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 5

น้ำหนักทราย = ปริมาตรทราย x ความถ่วงจำเพาะของทราย

ขั้นตอนที่6

ปริมาตรหิน = 1000* - ปริมาตรซีเมนต์ – ปริมาตรน้ำ** -ปริมาตรทราย

ขั้นตอนที่ 7

น้ำหนักหิน = ปริมาตรหิน x ความถ่วงจำเพาะ

* คอนกรีต 1 ลบ.ม. มีปริมาตร 1000ลิตร

**** ปริมาตรน้ำ = น้ำหนักน้ำ**

ตารางที่ 19 แสดงค่ากำลังอัดคอนกรีต

ชนิดวัสดุ	%การผสม	ว/ด/ป หล่อ	ว/ด/ป กด	อายุ (วัน)	น้ำหนัก (Kg)	แรง (KN)	Strength (KN/mm²)
กระเบื้องหลังคา	3	24/11/48	1/12/48	7	8.035	440	19.56
			1/12/48	7	7.785	449	19.96
			9/12/48	15	7.825	550	24.44
			9/12/48	15	7.805	567	25.20
			22/12/48	28	8.070	617	27.42
			22/12/48	28	8.040	610	27.11
กระเบื้องหลังคา	5	24/11/48	1/12/48	7	7.795	436	19.38
			1/12/48	7	7.800	428	19.02
			9/12/48	15	7.920	525	23.33
			9/12/48	15	7.910	519	23.07
			22/12/48	28	7.825	576	25.60
			22/12/48	28	7.880	568	25.24
กระเบื้องหลังคา	10	25/11/48	2/12/48	7	7.840	386	17.16
			2/12/48	7	7.765	394	17.51
			10/12/48	15	7.835	478	21.24
			10/12/48	15	7.825	486	21.60
			23/12/48	28	7.865	517	22.98
			23/12/48	28	7.870	526	23.38
กระเบื้องหลังคา	100	29/11/48	6/12/48	7	7.700	321	14.27
			6/12/48	7	7.610	330	14.67
			14/12/48	15	7.840	404	17.96
			14/12/48	15	7.765	389	17.29
			27/12/48	28	7.610	429	19.07
			27/12/48	28	7.635	440	19.56

ตารางที่ 19 (ต่อ) แสดงค่ากำลังอัดคอนกรีต

ชนิดวัสดุ	%การผสม	ว/ด/ป หล่อ	ว/ด/ป กด	อายุ (วัน)	น้ำหนัก (Kg)	แรง (KN)	Strength (KN/mm²)
ผงกระเบื้องหลังคา	3	1/12/48	8/12/48	7	8.060	446	19.82
			8/12/48	7	8.050	452	20.09
			16/12/48	15	8.055	537	23.87
			16/12/48	15	8.095	542	24.09
			29/12/48	28	8.100	607	26.98
			29/12/48	28	8.095	615	27.33
ผงกระเบื้องหลังคา	5	1/12/48	8/12/48	7	8.220	439	19.51
			8/12/48	7	8.135	428	19.02
			16/12/48	15	8.230	521	23.16
			16/12/48	15	8.115	530	23.56
			29/12/48	28	8.250	595	26.44
			29/12/48	28	8.200	607	26.98
ผงกระเบื้องหลังคา	10	1/12/48	8/12/48	7	8.090	416	18.49
			8/12/48	7	8.075	425	18.89
			16/12/48	15	8.040	494	21.96
			16/12/48	15	7.990	501	22.27
			29/12/48	28	8.000	541	24.04
			29/12/48	28	8.020	550	24.44
ผงคอนกรีต โครงสร้าง	3	8/12/48	15/12/48	7	8.145	443	19.69
			15/12/48	7	8.025	433	19.24
			23/12/48	15	7.985	551	24.49
			23/12/48	15	8.210	562	24.98
			5/1/49	28	8.150	623	27.69
			5/1/49	28	8.200	610	27.11

ตารางที่ 19 (ต่อ) แสดงค่ากำลังอัดคอนกรีต

ชนิดวัสดุ	%การผสม	ว/ด/ป หล่อ	ว/ด/ป กด	อายุ (วัน)	น้ำหนัก (Kg)	แรง (KN)	Strength (KN/mm²)
ผงคอนกรีตโครงสร้าง	5	8 ธค 48	15/12/48	7	7.805	429	19.07
			15/12/48	7	7.850	424	18.84
			23/12/48	15	7.800	519	23.07
			23/12/48	15	7.800	522	23.20
			5/1/49	28	7.850	588	26.13
			5/1/49	28	7.900	598	26.58
ผงคอนกรีตโครงสร้าง	10	8/12/48	15/12/48	7	7.840	389	17.29
			15/12/48	7	7.620	400	17.78
			23/12/48	15	7.760	453	20.13
			23/12/48	15	7.860	477	21.20
			5/1/49	28	7.880	516	22.93
			5/1/49	28	7.820	531	23.60
คอนกรีตโครงสร้าง	3	13/12/48	20/12/48	7	7.655	424	18.84
			20/12/48	7	7.640	438	19.47
			28/12/48	15	7.750	546	24.27
			28/12/48	15	7.700	550	24.44
			10/1/49	28	7.820	616	27.38
			10/1/49	28	7.860	628	27.91
คอนกรีตโครงสร้าง	5	13/12/48	20/12/48	7	7.975	428	19.02
			20/12/48	7	7.900	445	19.78
			28/12/48	15	8.050	514	22.84
			28/12/48	15	7.950	535	23.78
			10/1/49	28	8.100	584	25.96
			10/1/49	28	8.150	567	25.20

ตารางที่ 19 (ต่อ) แสดงค่ากำลังอัดคอนกรีต

ชนิดวัสดุ	%การผสม	ว/ด/ป หล่อ	ว/ด/ป กด	อายุ (วัน)	น้ำหนัก (Kg)	แรง (KN)	Strength (KN/mm²)
คอนกรีตโครงสร้าง	10	13/12/48	20/12/48	7	8.085	420	18.67
			20/12/48	7	7.970	406	18.04
			28/12/48	15	8.100	513	22.80
			28/12/48	15	8.180	490	21.78
			10/1/49	28	8.200	543	24.13
			10/1/49	28	8.260	557	24.76
คอนกรีตโครงสร้าง	100	14/12/48	21/12/48	7	7.915	345	15.33
			21/12/48	7	8.020	358	15.91
			29/12/48	15	8.025	430	19.11
			29/12/48	15	8.050	424	18.84
			11/1/49	28	8.150	478	21.24
			11/1/49	28	8.125	452	20.09
คอนกรีตธรรมดา		14/12/48	21/12/48	7	7.985	454	20.18
			21/12/48	7	7.850	468	20.80
			29/12/48	15	8.000	580	25.78
			29/12/48	15	8.025	573	25.47
			11/1/49	28	8.075	645	28.67
			11/1/49	28	8.090	630	28.00