ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การทดสอบหาค่าความข้นเหลวของปกติของซีเมนต์โดยใช้เข็มไวแคต

(Test for normal consistency)

วัตถุประสงค์

เพื่อทำการทดสอบหาค่าความข้นเหลว(Normal consistency) ของซีเมนต์โดยใช้เข็มแบบไวแคต

เอกสารอ้างอิง

1.มาตรฐาน ASTM C 187

2.มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.15 เล่ม8

วัสดุ

ซีเมนต์ที่ต้องการทดสอบประมาณ 3000 ก.

เครื่องมือ

1.เครื่องมือทดสอบแบบไวแคต

2.เครื่องชั่งที่อ่านได้ละเอียดไม่น้อยกว่า 0.1 ก.

3.หลอดแก้วสำหรับตวงขนาด 200 มล. และมีขีดอ่านปริมาตรได้ละเอียดถึง 1 มล. จำนวน 1 ใบ

4.เกรียงเหล็ก 1 อัน

5.ถาดเหล็กสำหรับผสมซีเมนต์ 1 ใบ

6.ภาชนะสำหรับใส่ซีเมนต์ 1 ใบ

7.ถุงมือยาง 1 คู่

ทฤษฎี

ในการทดสอบหาคุณสมบัติต่างๆ ของซีเมนต์ที่ได้มาตรฐานนั้นปริมาณน้ำที่นำไปผสมกับซีเมนต์จะต้องเป็นปริมาณที่เหมาะสมและตรงตามมาตรฐาน มิเช่นนั้นแล้วผลของการทดสอบคุณสมบัติต่างๆที่ได้ย่อมไม่สามารถนำไปเปรียบเทียบกันได้

ปริมาณน้ำที่พอเหมาะสมหรือเหมาะสมนั้นหมายถึงปริมาณน้ำ(คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักของซีเมนต์)ที่เมื่อเหมาะสมกับซีเมนต์แล้วทำให้ซีเมนต์เพสท์มีความข้นเหลวปกติ(Normal Consistency) สภาพความข้นเหลวปกติของซีเมนต์หมายถึงสภาพที่เมื่อปล่อยเข็มมาตรฐานไวแคต (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม.) แล้วเข็มนั้นจะจมลงไปในซีเมนต์เพสท์ 10 มม.ในระยะเวลา 30 วินาที

กล่าวโดยสรุป การทดสอบเรื่องนี้เป็นการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการทดสอบหาคุณสมบัติอื่นๆของซีเมนต์ต่อไป เช่น ระยะเวลาการก่อตัว(Setting time) แรงดึงของซีเมนต์เพสท์หรือซีเมนต์มอร์ตา(Tensile strength) เป็นต้น ค่าความข้นเหลวปกติของปูนซีเมนต์โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 24-28

อุณหภูมิและความชื้น

1.อุณหภูมิของอากาศในบริเวณที่ทำการทดสอบ ควรอยู่ระหว่าง 20 ถึง 27.5 ^{o}ซ และอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมควรอยู่ระหว่าง 23 ± 1.7 ^{o}ซ

2.ความชื้นสัมพัทธ์ในบริเวณที่ทำการทดสอบไม่ควรน้อยกว่าร้อยละ 50

วิธีทดสอบ

1) ชั่งซีเมนต์จำนวน 650 ก. และใส่ลงในถาดสำหรับผสม
2) เกลี่ยซีเมนต์ให้มีลักษณะเป็นรูปกรวยภูเขาไฟ แล้วเทน้ำที่ทราบปริมาณที่แน่นอนลงไป(ในการทดสอบครั้งแรกอาจใช้น้ำประมาณ26% หรือ130 มล.) และในขณะที่เทน้ำนั้นให้ใช้เกรียงเกลี่ยซีเมนต์ด้านนอก เข้าไปด้านในด้วยเพื่อกันการระเหยของน้ำ ให้เทน้ำหมดภายในระยะเวลา 30 วินาที
3) ปล่อยทิ้งไว้ให้ซีเมนต์ดูดซึมน้ำอีก เป็นเวลา30 นาที ในระหว่างนี้อาจใช้เกรียงช่วยป้องกันไม่ให้น้ำระเหยออกไป
4) หลังจากนั้นให้ใช้มือนวด ขยำ อย่างแรงเพื่อให้น้ำกับซีเมนต์ผสมเข้ากันอย่างทั่วถึงเป็นระยะเวลา90 วินาที
5) จากนั้นใช้มือทั้งสองข้างปั้นซีเมนต์เพสท์ที่ได้ให้เป็นก้อนกลมๆอย่างรวดเร็ว แล้วโยนจากมือหนึ่งไปอีกมือหนึ่งสลับกันไปจำนวน6 ครั้ง โดยให้มือทั้งสองห่างกันประมาณ15 เซนติเมตร
6) จากนั้นในขณะที่มือข้างหนึ่งถือซีเมนต์เพสท์ลูกกลมอยู่นั้น ให้อัดซีเมนต์เพสท์เข้าไปทางด้านใหญ่ของแบบแหวนรูปกรวยของเครื่องมือไวแคต ซึ่งถือไว้ด้วยมือข้างหนึ่ง
7) **ปาดซีเมนต์เพสท์ที่เกินอยู่ทางด้านใหญ่ของแบบออก โดยใช้มือเลื่อนเพียงครั้งเดียวเท่านั้น**
8) **วางแบบด้านใหญ่ลงบนแผ่นแก้ว แล้วปาดซีเมนต์เพสท์ที่เกินอยู่ทางด้านเล็กออก โดยใช้เกรียงตัดเฉียงกับด้านของแบบ จากนั้นให้ตกแต่งผิวหน้าให้เรียบร้อย โดยใช้ปลายเกรียงแตะๆ เท่านั้นห้ามมิให้มีการอัดซีเมนต์เพสท์ด้วยแรงใด ๆทั้งสิ้น**
9) **วางซีเมนต์เพสท์ให้อยู่ใต้เข็ม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. ของเครื่องมือไวแคต(ควรตรวจสอบเครื่องมือก่อนว่า เข็มของเครื่องมือไวแคตสามารถเลื่อนขึ้นลงได้อย่างสม่ำเสมอ)**

10) เลื่อนปลายเข็มให้แตะกับผิวของเพสท์ตรงกลางแบบจากนั้นอ่านสเกลหน้าปัทม์(หรืออาจตั้งให้อ่านสเกลที่ศูนย์ก็ได้)

11) ให้ปล่อยเข็มทันทีที่เมื่อผสมซีเมนต์เพสท์เสร็จแล้ว30 วินาที

12) อ่านสเกลหน้าปัทม์อีกครั้งหนึ่งหลังจากที่ปล่อยเข็มไปได้ 30 วินาที ซึ่งจะทำให้ทราบได้ว่าเข็มจมลดลงไปเท่าใด

13) ให้เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ กับส่วนที่เข็มจม

14) ให้ทำการทดสอบซ้ำหลายๆ ครั้ง โดยใช้ซีเมนต์ใหม่ทุกครั้ง จนกระทั่งสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้กับส่วนที่เข็มจมลงไป 10 มม. ได้จากกราฟ ปริมาณน้ำที่หาได้ก็คือความข้นเหลวปกติของซีเมนต์นั้นๆ

การคำนวณ

ปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อให้ได้ความข้นเหลวปกติ ให้คำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักปูนซีเมนต์แห้ง โดยคำนวณให้ละเอียดถึงร้อยละ 0.1 และต้องรายงานให้ละเอียดถึงร้อยละ 0.5

$$\text{ปริมาณน้ำ, \%} = \frac{\text{น้ำหนักปูนซีเมนต์}}{\text{น้ำหนักปูนซีเมนต์แห้ง}} \times 100$$

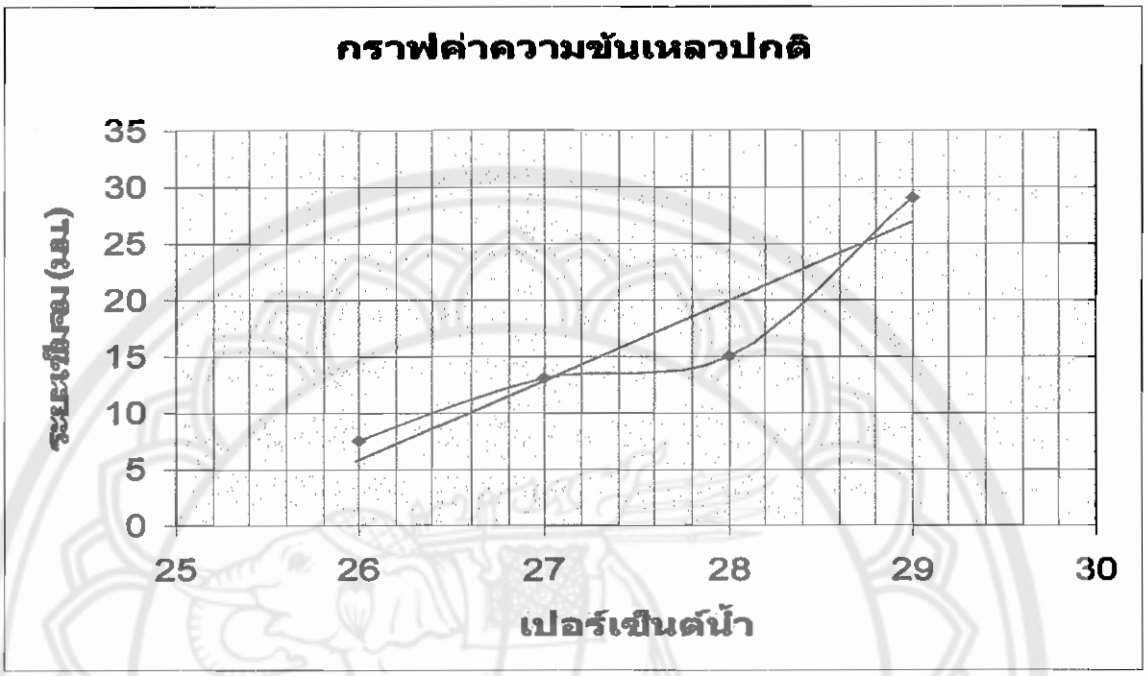
ข้อมูลและผลการทดสอบ

ชนิดของปูนซีเมนต์ ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ซีเมนต์เพสท์)

ทดสอบครั้งที่	น้ำหนักซีเมนต์ (ก.)	น้ำหนักน้ำ (ก.)	ปริมาณน้ำ(%)	ระยะเข็มจม (มม.)	หมายเหตุ
1	500	130	26	7.5	
2	500	135	27	13	
3	500	140	28	15	
4	500	145	29	29	

ตารางที่ ก.1 แสดงผลการทดสอบหาความข้นเหลวปกติของซีเมนต์

นำค่าที่ได้มา plot กราฟได้



รูปที่ ก.1 กราฟแสดงค่าความข้นเหลวปกติ

สรุปผลการทดสอบ

จากกราฟ:ค่าความข้นเหลวปกติ , P = ...26.6%.....

(Normal Consistency)

ภาคผนวก ข

การทดสอบหาค่ากำลังดึงของมอร์ตาซีเมนต์

(Test for tensile strength of cement Mortars)

วัตถุประสงค์

เพื่อทำการทดสอบกำลังดึง (tensile strength) ของมอร์ตาซีเมนต์ (cement mortars) หรือที่เรียกว่าปูนสอ โดยใช้ตัวอย่างแบบบริเคท (briquet – specimen)

เอกสารอ้างอิง

มาตรบาน ASTM C 190

วัสดุ

1. ซีเมนต์ที่ต้องการทดสอบประมาณ 300 ก.
2. ทรายมาตรฐานประมาณ 900 ก.

เครื่องมือ

1) แบบหล่อบริเคท (Briquet Mold) ดังแสดงในรูปที่ 1 จำนวน 3 ชุด ซึ่งแต่ละชุดสามารถหล่อตัวอย่างได้ 3 ตัวอย่าง รูปร่างและขนาดของตัวอย่างของบริเคทจะต้องเป็นไปตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2 ความยาวสุดของตัวอย่างเท่ากับ 7.63 ซม. (3 นิ้ว) ส่วนที่แคบที่สุดเท่ากับ 2.54 ซม. (1 นิ้ว) และมีความหนาเท่ากับ 2.54 ซม. (1 นิ้ว)
2) เครื่องชั่งซึ่งอ่านได้ละเอียดไม่น้อยกว่า 1 ก.
3) ตะแกรงมาตรฐานสหรัฐอเมริกาซึ่งมีช่องว่าง 0.85 มม. (เบอร์ 20) และ 0.600 มม. (เบอร์ 30)
4) หลอดแก้งสำหรับตวง (Glass Graduate) ซึ่งอ่านได้ละเอียดถึง 1 มล.
5) เกรียงเหล็ก (Trowel)
6) ถุงมือยาง (Rubber Gloves)
7) เครื่องมือทดสอบกำลังดึงแบบบริเคท (Briquet Testing Machine) ดังแสดงในรูปที่ 3
8) ถาดผสมมอร์ตา

ทฤษฎี

การทดสอบหากำลังดึงมอร์ตาซีเมนต์โดยใช้ตัวอย่างแบบบริเคทนี้มิได้มีวัตถุประสงค์ที่จะหากำลังดึงหรือความแข็งแรงโดยตรง แต่การทดสอบครั้งนี้จะเป็นตัวแสดงให้ทราบถึงคุณภาพของ

ซีเมนต์ที่ใช้ทดสอบว่า ซีเมนต์ชนิดนั้นมีคุณภาพได้มาตรฐานหรือไม่ และเหมาะสมที่จะเอาไปใช้งานคอนกรีตหรือไม่

หากการทดสอบหากำลังดึงของมอร์ตาซีเมนต์ ได้ค่าต่ำกว่ามาตรฐานแล้ว ก็ไม่สมควรที่จะนำซีเมนต์นั้นไปใช้ในงานคอนกรีตอีกต่อไป การที่ค่าที่ได้ต่ำกว่ามาตรฐานอาจเนื่องมาจาก ซีเมนต์นั้นเป็นซีเมนต์ที่เก่าผลิตมานานแล้วหรืออาจเนื่องมาจากการเก็บรักษาซีเมนต์ได้ดีเพียงพอ ซีเมนต์ได้รับความชื้นทำให้เสื่อมคุณภาพได้ ถึงแม้ว่าผู้ผลิตจะรับรองว่าซีเมนต์ที่ผลิตมีคุณภาพได้มาตรฐานก็ตาม การทดสอบวิธีนี้ก็จะช่วยให้ผู้ควบคุมมีความมั่นใจในคุณภาพของซีเมนต์ยิ่งขึ้น

มาตรฐานASTM C 190 ได้กำหนดถึงคุณภาพของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่างๆ โดยเมื่อทำการทดสอบหากำลังดึงของมอร์ตาซีเมนต์ซึ่งมีอัตราส่วนผสม 1 ส่วนของซีเมนต์ต่อ 3 ส่วน ของทรายมาตรฐานโดยน้ำหนักแล้ว จะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1

ทรายมาตรฐาน

ทรายมาตรฐานจะต้องเป็นทรายธรรมชาติซึ่งได้จากออตตาวา มลรัฐอิลินอยส์ ซึ่งผ่านตะแกรงเบอร์ 20 และค้างตะแกรงเบอร์ 30

อายุและสภาพการบ่ม	ชนิดของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์				
	1	2	3	4	5
1 วันในอากาศชื้น	-	-	275 (19.3)	-	-
1 วันในอากาศชื้น 2 วันในน้ำ	150 (10.5)	125 (8.8)	375 (26.3)	-	-
1 วันในอากาศชื้น 2วันในน้ำ	275 (19.3)	250 (17.5)	-	175 (12.3)	250 (17.5)
1 วันในอากาศชื้น 27วันในน้ำ	350 (24.5)	325 (22.8)	-	300 (21.0)	325 (22.8)

ตารางที่ ข.1 กำลังดึงของมอร์ตาซีเมนต์ , ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (กก./ซม^2.)

อุณหภูมิและความชื้น

1) **อุณหภูมิของอากาศในบริเวณที่ทำการทดลอง รวมทั้งอุณหภูมิของเครื่องมือควรอยู่ระหว่าง 20 ถึง 27.5 °ซ. อุณหภูมิของห้องเก็บตัวอย่างบริเดทควรจะอยู่ระหว่าง 21.3 ถึง 24.7°ซ.**
2) ความชื้นสัมพัทธ์ ของห้องทดลองหรือห้องปฏิบัติการไม่ควรน้อยกว่า ร้อยละ 50 และความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเก็บตัวอย่างไม่ควรน้อยกว่าร้อยละ 95

จำนวนตัวอย่างบริเดท

ในการทดสอบหาผลของกำลังดึงของตัวอย่างแต่ละชุดควรทดสอบไม่น้อยกว่า 3 ตัวอย่าง

วิธีทดลอง

1) ปฏิภาคส่วนผสมของมอร์ตามาตรฐานประกอบด้วยซีเมนต์ 1 ส่วนและทรายมาตรฐาน 3 ส่วน โดยน้ำหนัก ในการเตรียมตัวอย่าง 6 ตัวอย่าง จะต้องใช้ซีเมนต์ 300 ก. ทรายมาตรฐาน 900 ก. และสำหรับ 9 ตัวอย่างจะต้องใช้ซีเมนต์ 450 ก. และทรายมาตรฐาน 1350 ก.
2) คำนวณปริมาณน้ำที่จะใช้ผสมมอร์ตาจาก $Y = \frac{p}{6} + 6.5$

เมื่อ Y เป็นปริมาณน้ำที่ต้องการโดยน้ำหนักเป็นร้อยละของน้ำหนักรวมของซีเมนต์และทราย

p เป็นร้อยละของน้ำหนักที่ทำให้ซีเมนต์ที่ใช้มีความข้นเหลวปกติ (Normal – Consistency) ได้มาจากการทดสอบหาความข้นเหลวปกติของซีเมนต์

3) เทซีเมนต์และทรายมาตรฐานตามจำนวนที่ต้องการลงในอ่างผสมมอร์ตา ผสมแห้งให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียว แล้วจึงเริ่มเดินเครื่องผสมมอร์ตาด้วยความเร็วปานกลาง
4) **ค่อยๆ เทน้ำปริมาณเท่ากับที่คำนวณได้จากข้อ 2 ลงในอ่าผสมมอร์ตาให้เสร็จสิ้นภายในเวลา 30 วินาที**
5) **เดินเครื่องไปเรื่อยๆ จนส่วนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน**
6) **เทมอร์ตาซีเมนต์ที่ผสมแล้วลงในแบบบริเดทจนพูนออกมา แบบบริเดทนี้จะต้องสะอาดและชโลมน้ำมันให้ทั่วไว้ก่อนแล้ว จากนั้นใช้หัวแม่มือทั้งสองข้างกดมอร์ตา**

ให้ทั่วตัวอย่างๆ ละ 12 ครั้งแรงที่หัวแม่มือทั้งสองข้างใช้กดประมาณ 6.8 ถึง 9.1 กก.

7) **ตักมอร์ตาใส่ให้พูนอีกเล็กน้อย จากนั้นใช้เกรียงปาดและกดหน้าให้เรียบ แรงกดจะต้องไม่เกิน 1.8 กก.**

8) กลับแบบโดยใช้แผ่นแก้วช่วย จากนั้นให้ทำซ้ำตามข้อ 7 และข้อ 8 อีกครั้งหนึ่ง (ห้ามกระทุ้ง กระแทก หรือใช้เกรียงกดนอกเหนือไปจากใช้เกรียงทำให้ผิวหน้าเรียบเท่านั้น)

9) เก็บตัวอย่างทั้งหมดในห้องเก็บตัวอย่างเป็นระยะเวลาประมาณ 20 ถึง 24 ชั่วโมง โดยให้ผิวบนของตัวอย่างสัมผัสกับอากาศขึ้นแต่ไม่ให้ถูกหยดน้ำ หากแกะแบบออกก่อนที่ตัวอย่างจะมีอายุครบ 24 ชั่วโมงให้เก็บตัวอย่างไว้ในอากาศชื้นจนครบ 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำเอาตัวอย่างไปแช่ไว้ในน้ำ (ยกเว้นตัวอย่าที่ต้องทดสอบที่ 24 ชั่วโมง) น้ำที่แช่ควรจะสะอาดโดยมีการเปลี่ยนน้ำอยู่เสมอ

10) ทดสอบกำลังดึงของตัวอย่างมอร์ตาซีเมนต์ ตามอายุที่กำหนดไว้ในมาตาฐานที่อ้างอิง โดยอนุญาตให้มีความคลาดเคลื่อนของอายุได้ดังนี้

อายุทดสอบ	ความคลาดเคลื่อนได้
24 ชม.	± ½ ชม.
3 วัน	± 1 ชม.
7 วัน	± 3 ชม.
28 วัน	± 12 ชม.

ก่อนการทดสอบให้เช็ดผิวตัวอย่างให้แห้งพร้อมทั้งทำความสะอาดตัวอย่างด้วยจากนั้นจึงใส่ตัวอย่างบริเคท ในเครื่องทดสอบกำลังดึง โดยใช้แรงดึงสม่ำเสมอด้วยในอัตราดึงประมาณ 5.0 มม.ต่อวินาที จนกระทั่งตัวอย่างขาด (Fail)

<u>หมายเหตุ</u> ค่ากำลังดึงของแต่ละตัวอย่าง ถ้าหากว่าแตกต่างไปจากค่าเฉลี่ยเกิน 15% แล้ว **จะถือว่าค่านั้นใช้ไม่ได้ แต่อย่างน้อยจะต้องเหลือไว้สองค่า สำหรับหาค่าเฉลี่ยของกำลังดึง หากเหลือน้อยกว่า 2 ค่าจะต้องทำการทดสอบใหม่ทั้งหมด**

ภาคผนวก ค

การทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวม

(Test for Specific Gravity ant Absorption of Aggregates)

วัตถุประสงค์

เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะทั้งหมดและความถ่วงเพาะปรากฏ รวมทั้งค่าการดูดซึมของมวลรวมรายละเอียดและมวลรวมหยาบ

เอกสารอ้างอิง

1) มาตรฐาน ASTM C 127

2) มาตรฐาน ASTM C 128

ทฤษฎี

ก. ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม (Specific Gravity) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของปริมาณเนื้อแท้ของมวลรวมต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาณเท่ากัน โดยที่มวลรวมมีรูพรุน ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมจึงแยกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

1. ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity)
   เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของปริมาณของมวลรวม (ที่รวมทั้งรูพรุนทั้งหมดและช่องว่างภายในของมวลรวม) ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาณเท่ากัน
2. ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity)
   เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักและปริมาณเนื้อแท้ของมวลรวม [ที่รวมเอารูพรุนที่น้ำเข้าไปไม่ได้ (Impermeable pores) และช่องว่างภายในมวลรวมด้วย] ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาณเท่ากัน
3. ความถ่วงจำเพาะสัมบูรณ์ (Absolute or True Gravity)
   เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของปริมาตรเนื้อแท้มวลรวม (ที่ไม่รวมรูพรุนและช่องว่าง) ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน ความถ่วงจำเพาะสัมบูรณ์อาจหาได้โดยทำให้เป็นผงละเอียดที่ไม่มีช่องว่างอยู่เลย อย่างไรก็ตามความถ่วงจำเพาะสมบูรณ์ไม่ได้ใช้ประโยชน์ในงานคอนกรีต

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมขึ้นอยู่กับสมบัติของแร่ธาตุที่เป็นส่วนผสมและความพรุนของก้อนมวลรวม ความชื้นอาจทำให้ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมเปลี่ยนแปลงไปได้ ความถ่วงจำเพาะนี้ใช้ประโยชน์ในการคำนวณหาปฏิภาคส่วนผสมของหินและทรายในคอนกรีต โดยใช้เป็นตัวเปลี่ยนน้ำหนักที่กำหนดให้ของมวลรวมเป็นปริมาตรเนื้อแท้หรือเปลี่ยนปริมาตรเนื้อแท้เป็นน้ำหนัก เพื่อหาปริมาณมวลรวมสำหรับการผสมนั้นๆ

ตามปกติในการคำนวณปฏิภาค ส่วนผสมของคอนกรีตจะให้ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry) ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 2.40 – 2.90

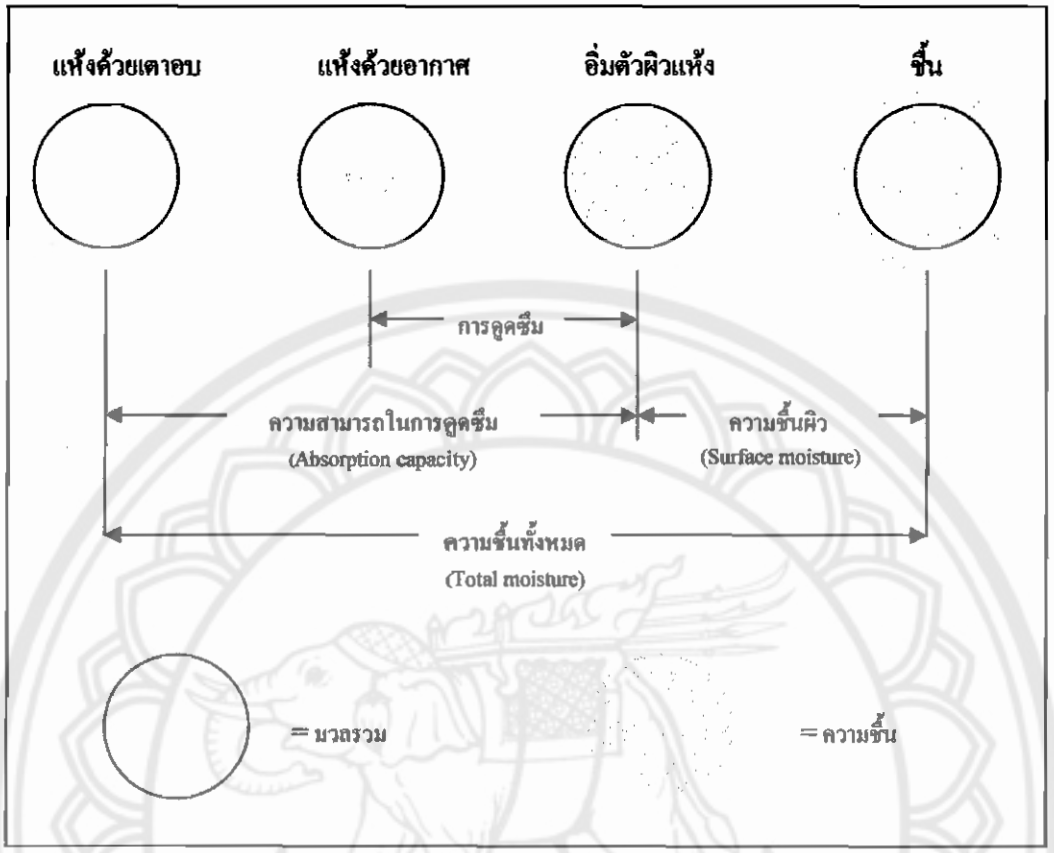
ข. <u>การดูดซึมของมวลหยาบ</u> (Absorption of Aggregates)

โครงสร้างภายในก้อนวัสดุผสม ประกอบด้วยเนื้อของแข็งและช่องว่าง ช่องว่างเหล่านี้จะดูดความชื้นเข้าไปเก็บไว้ได้ ในการผสมคอนกรีตจึงต้องคำนึงถึงคุณสมบัติข้อนี้ เพื่อควบคุมปริมาณน้ำส่วนผสม ให้ได้ความข้นเหลวคงที่ ทำให้คอนกรีตมีเนื้อสม่ำเสมอ

ปริมาณน้ำในมวลรวมอาจอยู่ในสภาวะใดสภาวะหนึ่งใน 4 อย่าง ดังรูป

1. แห้งด้วยเตาอบ (Oven dry) ในภาวะนี้มวลรวมสามารถดูดความชื้นได้เต็มที่
2. แห้งในอากาศ (Air dry) หรือแห้งที่ผิว แต่มีความชื้นอยู่ภายในช่องว่างข้างในบ้างมวลรวมจึงดูดความชื้นได้พอควร
3. อิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated surface dry) เป็นสภาวะที่ดีที่สุด โดยมวลรวมจะไม่คายหรือดูดน้ำจากคอนกรีต
4. ชื้นหรือเปียก (Damp หรือ Wet) มีความชื้นมากเกินไป โดยจะมีน้ำหุ้มก้อนมวลรวมอยู่

การทดสอบการดูดซึมของมวลรวมจึงมีประโยชน์ในการหาปริมาณน้ำของมวลรวมที่คายออกมาหรือดูดซึมเข้าไปจากส่วนผสมของคอนกรีต ซึ่งทำให้เราสามารถปรับปริมาณน้ำในส่วนผสมให้เหมาะสมตามสภาวะของมวลรวมที่แท้จริง



รูปที่ ค.1 สภาวะความชื้นของมวลรวม

การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมละเอียด

(Test for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregates)

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 ให้ใช้เครื่องเป่าผมไล่ความชื้นที่ผิวต่อปีอกแล้วนำมวลรวมไปทดสอบในกรวยโลหะอีก ทำซ้ำเช่นนี้จนยกกรวยขึ้นแล้วมวลรวมยุบตัวลงเล็กน้อย แสดงว่ามวลรวมอยู่ในสภาวะไหลอิสระ 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

$$\text{ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด} = A / (B + 500 - C)$$

โดย A = น้ำหนักของมวลรวมที่แห้งด้วยเตาอบ, กรัม

B = น้ำหนักของกระบอกตวงที่มีน้ำที่ระดับ 500 มล. , กรัม

C = น้ำหนักของกระบอกตวงที่มีมวลรวมและน้ำที่ระดับ 500 มล. , กรัม

2) คำนวณความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง จาก

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

3) คำนวณความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity) จาก

$$\text{ความถ่วงจำเพาะปรากฏ} = A / (B + A - C)$$

4) คำนวณร้อยละของการดูดซึม (% Absorption) จาก

$$\text{ร้อยละของการดูดซึม} = 100 * (500 - A) / A$$

การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ

(Test for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregates)

วัสดุ

มวลรวมหยาบที่ต้องการทดสอบ ที่มีน้ำหนักขั้นต่ำตามเกณฑ์ดังนี้

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

ตารางที่ ค.1 ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ

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 โดยที่ผิวของมวลรวมยังชื้นอยู่ ระวังไม่ให้มีการระเหยของความชื้นในขณะเช็ดถู โดยหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับแดดและลมแรงโดยตรง มวลรวมจะอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง ชั่งน้ำหนักมวลรวม

4. เทมวลรวมลงในตะกร้าลวดเหล็กแล้วชั่งหาน้ำหนักในน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 23 °ซ

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

<u>การคำนวณ</u>

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

ภาคผนวก ง
การทดสอบอินทรีย์สารที่ปนอยู่ในทราย
(Test for Organic Impurities in Sands)

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาปริมาณสารอินทรีย์โดยประมาณในทรายจากการวัดความเข้มของสี

เอกสารอ้างอิง

1) มาตรฐาน ASTM C40

2) มาตรฐาน ASTM D1544

วัสดุ

1) ทรายที่ต้องการทดสอบน้ำหนักประมาณ 450 กรัม หรือ 130 มล.

2) โซเดียมไฮดรอกไซด์ ชนิดเข้มข้นร้อยละ 3 (โดยน้ำหนัก)

เครื่องมือ

1) ขวดแก้วใส ที่มีจุกปิดแน่นและสามารถวัดความจุได้ ขนาดประมาณ 350 มล.

2) แผ่นกระจกสารอินทรีย์มาตรฐาน

ทฤษฎี

มวลรวมละเอียดหรือทราย แบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด คือ

1.ทรายบกพบบนบกที่ห่างจากทะเลและไม่มีความเค็มติดอยู่

2.ทรายแม่น้ำลำธารพบตามลำห้วย แม่น้ำเก่าและใหม่

3.ทรายทะเลพบตามชายทะเลหรือบนบก แต่ยังมีเกลือติดอยู่

4.ทรายที่ทำขึ้นจากการร่อนหินมีมนุษย์ทุบหรือโม่เป็นก้อนเล็กๆ

คอนกรีตธรรมดาจะต้องการแต่เฉพาะทรายหยาบที่มีเม็ดคมแข็งและสะอาดโดยที่มีฝุ่นน้อยที่สุด และไม่มีด่างกรดหรือเกลือเจือปน ส่วนสารเจือปนอื่นๆเช่น ดิน ถ่าน ฝุ่น

เกณฑ์กำหนดให้มีได้ไม่เกินดังนี้

1.มีดินผสมอยู่ได้ไม่มากกว่า 1% โดยน้ำหนัก

2.มีถ่านปนอยู่ได้ไม่มากกว่า 1% โดยน้ำหนัก

3.มีฝุ่นหรือสิ่งที่ลอดตะแกรงเบอร์ 200 ปนอยู่ได้ไม่มากกว่า 5 % โดยน้ำหนัก

4.ปราศจากสารอินทรีย์ เช่นตะไคร่น้ำ ใบไม้เน่า หรือมีปนอยู่ไม่มาก

สารอินทรีย์ในทรายสามารถทดสอบได้โดยวิธีการวัดความเข้มของสี (Colorimeter test) โดยใส่สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ลงไป แล้วเทียบสีของส่วนผสมนั้นกับสีของมาตรฐานการ์ดเนอร์ (Gardner color scale) ถ้าปรากฏว่าสารละลายใสหรือมีสีเหลืองอ่อนๆ แสดงว่าทราย นั้นปราศจากสารอินทรีย์ หากสารละลายมีสีระหว่างสีอ่อนกับสี น้ำตาล แสดงว่ามีปริมาณสารอินทรีย์มากพอที่จะทำให้คอนกรีตมีคุณภาพเลวลง โดยปริมาณสารอินทรีย์ไม่ถึงร้อยละ 1 อาจทำให้ซีเมนต์แข็งตัวช้าลงหรือไม่แข็งตัว และทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงมาก

การทดสอบนี้ไม่ควรนำไปใช้กับทรายที่มีอนุภาคหินหรือลิกไนต์ปนอยู่ เนื่องจากสารเหล่านี้ อาจทำให้เกิดสีเข้มในสารละลาย ซึ่งไม่ถือว่าเกิดผลเสียหายทางเคมีต่อคอนกรีต

ความถี่ในการทดสอบหาสารอินทรีย์ขึ้นอยู่กับสภาพและความแน่นอนสม่ำเสมอของทราย โดยปกติทำทุกวัน แต่สำหรับทรายที่ถูกน้ำชะและมีระเบียบ อาจลดลงเป็นสัปดาห์ละครั้งก็ได้

ตัวอย่างทรายที่จะนำมาทดสอบควรชื้นเล็กน้อย ถ้ามีความชื้นที่ผิวมากเกินไป จะทำให้สารละลายที่ได้เจือจางกว่าที่ควรจะเป็น หากเป็นมวลแห้งสารอินทรีย์อาจสูญหายระหว่างสัมผัส

<u>แถบสีมาตรฐาน</u>

เป็นแถบสีที่ทำจากสีต่างๆมี 5 สีด้วยกัน มีสีอ่อนจนถึงสีเข้ม ใช้เปรียบเทียบกับสีที่ได้จากสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อยู่ในทราย ถ้าใกล้เคียงกับสีใดในแถบมาตรฐานก็จะได้ความหมายของแต่ละสีนั้น ซึ่งจะแสดงถึงว่ามีสารอินทรีย์ ปนอยู่ในทรายมากน้อยเพียงใด ความหมายของสีจะบอกเป็นหมายเลขดังแสดงในตารางที่ 11.1 โดยจะพิจารณาแถบสีมาตรฐานแบบ Gardner หรือแบบแผ่นกระจกสารอินทรีย์ อย่างใดอย่างหนึ่งก็ได้

หมายเลขสีมาตรฐานการ์ดเนอร์	หมายเลขแผ่นกระจกสารอินทรีย์
5	1
8	2
11(มาตรฐาน)	3(มาตรฐาน)
14	4
16	5

ตารางที่ ง.1 การเปรียบเทียบค่าหมายเลขของสีมาตรฐานการ์ดเนอร์กับแผ่นกระจกสารอินทรีย์

วิธีทดลอง

1.ตวงทรายลงกระบอกตวงประมาณ 130 มล. แล้วเทใส่ขวดแก้ว

2.เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก พร้อมกับเขย่าขวดเล็กน้อยขณะเติม เพื่อไล่ฟองอากาศ จนได้ระดับความจุ 200 มล.

3.ปิดขวดแล้วเขย่าแรงหลายๆครั้ง แล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

4.เปรียบเทียบสีของของเหลวในขวดกับสีมาตรฐานว่ามีสีอ่อนหรือแก่อย่างไร

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ภาคผนวก จ
การทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต
(Slump Test of Concrete)

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาค่าความข้นเหลว (Consistency) ของคอนกรีตสดที่ปฏิภาคส่วนผสมต่างๆ โดยใช้วิธีการทดสอบค่าการยุบตัว

เอกสารอ้างอิง

1) มาตรฐาน ASTM C 143

วัสดุ

คอนกรีตสดที่ต้องการมีขนาดใหญ่สุดของมวลรวมไม่เกิน 20 มม.

เครื่องมือ

1 กรวยเหล็กสำหรับวัดการยุบตัว (Slump Mold) ซึ่งเป็นรูปกรวยหัวตัดทำด้วยแผ่นโลหะ ตอนล่างมีเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายใน 200 มม. (8 นิ้ว) ตอนบนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายใน 100 มม. (4 นิ้ว) และสูง 300 มม. (12 นิ้ว) มีหูสำหรับยกทั้งสองข้าง

2 เหล็กกระทุ้ง (Tamping Rod) เป็นแท่งเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 ซม.(5/8 นิ้ว) ยาว 60 ซม. (24 นิ้ว) ปลายกลมมน

3 แผ่นฟิวเจอร์บอร์ด

4 ตลับเมตรวัดระยะ

ทฤษฎี

วิธีทดสอบความสามารถเทได้ (Workability) ของคอนกรีตไม่อาจทำได้โดยตรง แต่คุณสมบัติที่สามารถวัดได้คือ ความข้นเหลว (Consistency) ซึ่งเป็นเครื่องแสดงว่า คอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ๆ นั้น กระด้างพอดี เปียกหรือเละ ความสามารถเทได้จะเป็นที่น่าพอใจหากความข้นเหลวของคอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ๆ นั้นเหมาะสมที่จะทำให้คอนกรีตมีความแน่นตัวดีตามสภาพของแต่ละงาน

การทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต (Slump Test) เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ทดสอบหาความข้นเหลวของคอนกรีต ใช้กันทั่วไปทั้งในสนามและในห้องปฏิบัติการ ทำได้ง่ายและไม่ยากนัก ค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่วัดได้สำหรับคอนกรีตที่มีส่วนผสมเดียวกันจะมีค่ามากน้อยขึ้นกับ ปริมาณ

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต ค่าการยุบตัวยิ่งน้อยกำลังอัดที่ได้ยิ่งสูงขึ้น สำหรับคอนกรีตที่มีมวลรวมหยาบขนาดโตกว่า 2 นิ้วอยู่มาก การวัดหาค่ายุบตัววิธีนี้จะไม่ได้ผลถูกต้องเพราะจะเทียบกันไม่ได้

ตารางที่ จ.1 ค่าการยุบตัวของคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ

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 จ.2 เปรียบเทียบค่าการยุบตัวและค่าการไหลแผ่

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	90-20
เละ (Sloppy)	17.5-25	110-150

การยุบตัวของคอนกรีต โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

1 True Slump คอนกรีตมีเนื้อแน่นสม่ำเสมอ ยุบตัวได้เสมอทั้งกอง สามารถบอกค่ายุบตัวได้เลย

2 Shear Slump คอนกรีตเกาะตัวกันไม่ดี จะยุบตัวพังลง และไหลหลุดไปข้างหนึ่ง ซึ่งส่วนผสมของคอนกรีตไม่ดีพอ ไม่ควรนำมาใช้หล่อเป็นคอนกรีตที่ดีได้ ค่าที่อ่านได้นี้จะช่วยวัดความสามารถเทได้ของคอนกรีตไม่ได้

3 Collapse Slump คอนกรีตที่เกาะกันไม่ดีเลย จะยุบตัวลงแบนกับพื้น ส่วนผสมอาจมีน้ำมากเกินไป ไม่ควรนำมาใช้เป็นคอนกรีตที่ดีได้

วิธีการทดสอบ

1 ก่อนจะทำการทดสอบ ทำให้กรวยเหล็กสำหรับวัดการยุบตัว (Slump Mold) เปียกชื้นเสียก่อน แล้วนำไปวางบนแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดโดยให้ปลายตัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าอยู่ด้านบน

2 ผู้ทดสอบต้องเหยียบฐานของกรวยให้ติดแน่นกับแผ่นฟิวเจอร์บอร์ด จากนั้นนำคอนกรีตที่ต้องการทดสอบหาค่ายุบตัว (เพิ่งจะผสมเสร็จใหม่ๆ) เทลงไปในกรวยประมาณ 1/3 ของปริมาตรกรวย แล้วกระทุ้งให้ลึกถึงแผ่นเหล็ก 25 ครั้ง

3 เติมคอนกรีตอีกให้ได้ประมาน 2/3 ของปริมาตรกรวย แล้วกระทุ้งแบบเดียวกันอีก 25 ครั้ง โดยให้ปลายเหล็กกระทุ้งถึงผิวบนของคอนกรีตขั้นแรกเท่านั้น

4 จากนั้นก็เติมคอนกรีตจนล้นกรวย แล้วกระทุ้งแบบเดียวกันอีก 25 ครั้ง โดยให้ปลายเหล็กกระทุ้งถึงผิวบนของคอนกรีตขั้นที่สองเท่านั้น

5 ปาดหน้าคอนกรีตให้เรียบโดยใช้ส่วนยาวของเหล็กกระทุ้งค่อยๆ หมุนเลื่อนไปจนผิวเรียบ หากมีคอนกรีตที่ออกมาจากแบบรูปกรวยตัดให้นำออกจากจานให้หมด แล้วทำความสะอาดบริเวณจานให้สะอาด

6 ค่อยๆ ยกกรวยออก ใช้เวลาในการยกประมาณ 5-10 วินาที

7 ใช้ตลับเมตรวัดค่าการยุบตัวของคอนกรีตโดยวัดจากจุดสูงสุดของคอนกรีตที่ยุบลงไปกับความสูงของกรวยเหล็ก

ภาคผนวก ฉ

การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ไฮดรอลิค

(Test for Specific Gravity of Hydraulic Cement)

วัตถุประสงค์

เพื่อทำการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของซีเมนต์ไฮดรอลิค (Hydraulic Cement)

เอกสารอ้างอิง

มาตรฐาน ASTM C 188

วัสดุ

ซีเมนต์ผลที่ต้องการทดสอบหนักประมาณ 200 กรัม

เครื่องมือ

1) ขวดทดลองมาตรฐานเลอแชททีเลียร์(Standard Le Chatelier Flask) จำนวน 1 ใบ ขวดมาตรฐานเลอแชททีเลียร์ จะมีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 1 หน้าตัดของขวดเป็นรูปทรงกลม ขนาดของขวดตลอดจนระยะของขีดบอกค่าปริมาตรจะต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้
2) หลอดกรวงสำหรับกรอกซีเมนต์ผงลงในขวดมาตรฐาน จำนวน 1 ใบ
3) เทอร์โมมิเตอร์(0 – 100 $^{\circ}$c) จำนวน 1 อัน
4) น้ำมันก๊าด (kerosene) ปริมาตรประมาณ 1000 มล.
5) อ้างน้ำประมาณ 2000 มล. จำนวน 1 ใบ
6) เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียดไม่น้อยกว่า 0.1 ก.
7) ถาดสำหรับใส่ซีเมนต์จำนวน 1 ใบ

ทฤษฎี

ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ คือ ค่าอัตราส่วนของน้ำหนักของซีเมนต์ในอากาศต่อน้ำหนักของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 4 $^{\circ}$c ที่มีปริมาตรเท่ากับซีเมนต์ (ความถ่วงจำเพาะของน้ำให้มีค่าเป็น 1 ที่อุณหภูมิ 4 $^{\circ}$c) ค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ โดยปกติมักใช้ในการหาค่า พื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface) ของซีเมนต์ ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในการบอกถึงความละเอียด (Fineness) ของซีเมนต์

นอกจากนั้นความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ ยังใช้เป็นข้อมูลที่สำคัญในการคำนวณหาปฏิภาคส่วนผสม(Mix Proportion or Mix Design) ของคอนกรีตด้วย

ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์อยู่ระหว่าง 3.05 – 3.20 ซึ่งค่าจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของเนื้อซีเมนต์และความละเอียดของซีเมนต์ ซีเมนต์ผสม หรือ ซีเมนต์ซิลิก้า จะมีค่า ความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าค่าดังที่กล่าวข้างต้น ซีเมนต์ที่ละเอียดมากก็จะมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงในกรณีที่ไม่ได้มีการทดสอบหาค่ามาก่อน มักจะสมมติค่าความจำเพาะของซีเมนต์ปอดแลนด์ชนิดที่ 1 ประมาณ 3.15

ในการทดลองหาค่าต่าง ๆ ถ้าหากว่าต้องการทำการทดลองมากกว่าหนึ่งครั้งขึ้นไปนั้น โดยทั่วไปจะมีการควบคุมขนาดของความผิดพลาด(Random Error) ที่เกิดขึ้นในการควบคุมปกติจะถือว่าผลต่างของการทดลอง สองครั้งจะต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ จึงจะถือว่า ค่าทั้งสองนั้นใช้ได้ ค่าที่กำหนดไว้เป็นตัวควบคุมมีอยู่ 2 ประเภทซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการทดลองคือ

1. <u>ความผิดพลาดเกิดจากการทำซ้ำ</u> (Repeatability) เป็นขนาดของความผิดพลาดซึ่งเกิดจาก การทำการทดลองของคน คนเดียวกันในห้องปฏิบัติการอันเดียวกัน โดยใช้วัสดุ เครื่องมือ และวิธีการทดลองแบบเดียวกัน
2. <u>ความผิดพลาดเกิดจากการทำใหม่</u> (Reproducibility) เป็นขนาดของความผิดพลาดซึ่งเกิดจากการทดลองของคนหลายคน ในห้องปฏิบัติการคนละแห่ง โดยใช้วัสดุ เครื่องมือ และวิธีการทดลองแบบเดียวกัน

สำหรับการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ไฮดรอลิคนี้ ค่า Repeatability และ Reproducibility ที่ยอมรับกันเป็น 0.03 และ 0.10 ตามลำดับ ดังนั้นผลของการทดลองสองครั้งไม่ควรจะแตกต่างกันมากกว่าค่าที่กำหนดไว้ข้างบน

<u>วิธีทดลอง</u>

1.จัดเตรียมน้ำในอ่างให้มีอุณหภูมิคงที่ที่ 20 ^{o}c ตามที่กำหนดไว้ พยายามควบคุมอุณหภูมิในอ่างน้ำให้มีอุณหภูมิคงที่ตลอดเวลาการทดลอง

2.เทน้ำมันก๊าดลงในขวดทดลองมาตรฐานเลอแชททีเลียร์ จนกระทั่งระดับของน้ำมันก๊าดอยู่ระหว่างขีดบอกปริมาตร 0 และ 1 มล. คอขวดซึ่งอยู่เหนือระดับน้ำมันก๊าดความเช็ดให้แห้ง

3.จุ่มขวดทดลองในอ่างน้ำในข้อที่ 1 แล้วให้ทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำมันก๊าดและน้ำในอ่างเท่ากันอ่านค่าอุณหภูมิของน้ำและขีดค่าปริมาตรของน้ำมันก๊าดในขวดทดลอง

4.ชั่งน้ำหนักของซีเมนต์และถาดใส่ จากนั้นค่อย ๆ ใส่ซีเมนต์ลงในขวดทดลองในการใส่

ซีเมนต์ควรพยายามไม่ให้ซีเมนต์ตกกระจาย และจะต้องระวังไม่ให้ซีเมนต์เกาะติดตามคอขวดทดลองด้วย

5.ให้หยุดใส่ซีเมนต์เมื่อระดับของน้ำมันก๊าดขึ้นมาอยู่ระหว่างช่วงของขีดบอกปริมาตรส่วนบนของขวดทดลอง จากนั้นทำการไล่ฟองอากาศซึ่งอาจเกาะอยู่กับผงซีเมนต์การไล่ฟองอากาศให้ปิดปากขวดทดลองด้วยจุกแก้วแล้วเอียงขวดและหมุนช้า ๆ จนกระทั่งไม่มีฟองอากาศลอยขึ้นมาอีก

6.จุ่มขวดทดลองลงในอ่างน้ำอีกครั้งหนึ่ง เช่นเดียวกับข้อที่ 3 ก่อนจะอ่านปริมาตรทุกครั้ง ผู้ทำการทดลองจะต้องแน่ใจว่าอุณหภูมิของน้ำมันก๊าดในขวดทดลองเท่ากับอุณหภูมิของน้ำในอ่าง เพื่อที่จะไม่ให้อุณหภูมิของน้ำมันก๊าดในการอ่านครั้งแรกและครั้งที่สองต่างกันไม่เกินกว่า 0.2 $^{\circ}$c

7.อ่านอุณหภูมิของน้ำและปริมาตรของน้ำมันก๊าดในขวดทดลอง

8.ช่างน้ำหนักของซีเมนต์ที่เหลือพร้อมถาดใส่ ผลต่างของน้ำหนักของการชั่งสองครั้งจะเท่ากับน้ำหนักของซีเมนต์ที่ใส่ลงไปในขวดทดลอง

9.ทำการทดลองซ้ำอีกอย่างน้อย 1 ครั้ง จากข้อ 2 ถึง ข้อ 7 จนกว่าจะได้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ

<u>หมายเหตุ</u> ในการทำความสะอาดขวดทดลอง ให้ใช้น้ำมันก๊าดล้างเท่านั้น <u>ห้ามใช้น้ำล้างเป็นอันขาด</u>

<u>การคำนวณ</u>

1.ผลต่างระหว่างปริมาตรที่อ่านได้ของครั้งแรกและครั้งที่สองจะเท่ากับปริมาตรของน้ำมันก๊าดที่ถูกแทนที่โดยซีเมนต์ที่ใช้

2.ผลต่างของน้ำหนักของซีเมนต์และถาดใส่ทั้งสองครั้ง จะเท่ากับน้ำหนักของซีเมนต์ที่ใส่ลงไปในขวดทดลอง

3.คำนวณหาความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ให้ได้ละเอียดถึงจุดทศนิยม 3 ตำแหน่งดังนี้

$$G_c = W_c / (V_c \cdot \gamma_w)$$

เมื่อ G_c = ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์

W_c = น้ำหนักของปูนซีเมนต์ที่ใช้ทดสอบ , กรัม

V_c = ปริมาตรของปูนซีเมนต์จากการแทนที่ , ลบ.ซม.

γ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำที่อุณหภูมิ 4 $^{\circ}$c เท่ากับ 1 กรัม/ลบ.ซม.

4.ในการหาค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยให้ปัดเศษตัวเลขเหลือเพียงทศนิยม 2 ตำแหน่ง

ภาคผนวก ช

การวิเคราะห์หาส่วนขนาดของมวลรวมด้วยตะแกรง

(Gradation of Aggregates by Sieve Analysis)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาค่าการกระจายขนาดของอนุภาคของมวลรวมหยาบและมวลรวมระเอียด โดยการร่อนด้วยตะแกรงมาตรฐาน
2. เพื่อหาส่วนขนาดคละของมวลรวมผสมให้ได้ค่าใกล้เคียงกับขนาดคละที่ต้องการมากที่สุด
   (Optimum Gradation) โดยวิธีการลองผสม (Trial Computation)

เอกสารอ้างอิง

1) มาตรฐาน ASTM C 136
2) มาตรฐาน ASTM C 33

วัสดุ

ทรายและหินโม่ (หรือกรวด) ที่ต้องการทดสอบ

เครื่องมือ

1. ตะแกรงมาตรฐานอเมริกัน (U.S Sieves) สำหรับร่อนทรายเบอร์ 4 8 16 30 50 100
2. ตะแกรงมาตรฐานอเมริกัน (U.S Sieves) สำหรับร่อนหินขนาด 2" 1 ½" 1" ¾" ½" 3/8" และเบอร์ 4
3. เครื่องชั่งซึ่งมีความละเอียดไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักของมวลรวมที่ต้องการทดสอบ
4. เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้สม่ำเสมอระหว่าง $110 \pm 5^{\circ}$ ซ.
5. แปรงทำความสะอาดตะแกรง
6. เกรียง
7. **เครื่องร่อนมวลรวมละเอียด และเครื่องร่อนมวลรวมหยาบ**

ทฤษฎี

ส่วนขนาดคละที่เหมาะสมของมวลรวมในภาคส่วนผสมของคอนกรีตจะช่วยให้ได้คอนกรีตมีราคาถูก มีเนื้อสม่ำเสมอ คุณภาพดี และทำงานง่าย นอกจากนี้ยังมีผลต่อการแยกตัวของคอนกรีต ปริมาณน้ำที่ผสม ความสะอาดในการทำงาน ความยากง่ายในการตบแต่งผิวหน้าคอนกรีต

การวิเคราะห์หาส่วนขนาดคละของมวลรวมโดยการร่อนผ่านตะแกรงโดยทั่วๆ ไปให้ตะแกรงอยู่ 2 ชนิด คือ

1. ตะแกรงมาตรฐานอเมริกัน (U.S. Sieve)

เป็นตะแกรงซึ่งมีตาเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ตะแกรงที่ใช้วัดขนาดของหินเริ่มจากเบอร์ 3" , 3/8" , ½" , ¾" , 1 ½" , และ 2" สำหรับตะแกรงคัดขนาดทรายมีขนาดเรียงกันคือเบอร์ 4, 8, 16, 30, 50 และ 100 ตัวเลขเบอร์บอกถึงจำนวนตาของตะแกรงต่อความยาว 1 นิ้ว เช่น ตะแกรงเบอร์ 30 หมายความว่า 1 นิ้วแบ่งออกเป็น 30 ช่อง ดังนั้นใน 1 ตารางนิ้วจะมีจำนวนช่องทั้งสิ้น 900 ช่อง

2. ตะแกรงมาตรฐานของเทเลอร์ (Tyler Sieve)

เป็นตะแกรงซึ่งมีตาเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส เช่นเดียวกับตะแกรงมาตรฐานอเมริกัน แต่มีขนาดแตกต่างไปเล็กน้อย อย่างไรก็ตามตะแกรงมาตรฐานของเทเลอร์ไม่เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบันนี้รายละเอียดขอบงตะแกรงมาตรฐานทั้ง 2 ชนิด ที่ใช้สำหรับงานคอนกรีตทั่ว ๆ ไปได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ ช.1 รายละเอียดตะแกรงมาตรฐาน

ตะแกรงอเมริกัน (U.S. Sieve)	ขนาดช่องว่าง (ม.ม.)	ตะแกรงเทเลอร์ (Tyler Sieve)	ขนาดช่องว่าง (ม.ม.)
1 ½"	38.10	1 ½"	38.10
(1")	25.40	(1")	16.67
¾"	19.05	¾"	18.85
(1/2")	12.70	(1/2")	13.34
3/8"	9.53	3/8"	9.42
No. 4	4.75	No. 4	4.70
No. 8	2.38	No. 8	2.36
No. 16	1.19	No. 16	1.17
No. 30	0.589	No. 30	0.589
No. 50	0.297	No. 50	0.295
No. 100	0.15	No. 100	0.147

( ) แสดงขนาด "Half size" ซึ่งบางครั้งนิยมใช้ในงานก่อสร้าง

ข้อกำหนดส่วนขนาดคละของมวลรวม

มาตรฐาน ASTM C 30 ได้กำหนดส่วนขนาดคละของมวลรวมแต่ละชนิดที่ใช้ในงานคอนกรีตไว้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ ช.2 ข้อกำหนดส่วนคละของมวลรวม

ขนาดตะแกรงมาตรฐาน	น้ำหนักร้อยละที่ค้างบนแต่ละตะแกรง					
	มวลรวมละเอียด	มวลรวมหยาบ				มวลรวมผสม*
		¾"- No. 4	1"- No. 4	½"- No. 4	2"- No. 4	1 ½"-0
2"				0	0 - 5	
1 ½"			0	0 - 5		0 - 2
1"		0	0 - 5		30 - 65	
¾"		0 - 10		30 - 65		20 - 32
½"			40 - 75		70 - 90	
3/8"	0	45 - 80		70 - 90		43 - 53
No. 4	0 - 5	90 - 100	90 - 100	95 - 100	95 - 100	55 - 65
No. 8	0 - 20	95 - 100	95 - 100			64 - 74
No. 16	15 - 50					73 - 82
No. 30	40 - 75					81 - 89
No. 50	70 - 90					92 - 98
No. 100	90 - 98					98 - 99

* แนะนำสำหรับการทดลองตอนที่ 3 และตอนที่ 4 เท่านั้น

โมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus)

โมดูลัสความละเอียด เป็นค่าที่แสดงถึงความละเอียดของมวลรวมว่ามีมากน้อยเพียงใด (ค่าที่น้อยกว่าแสดงว่าละเอียดมากกว่า) สามารถหาได้จากการวิเคราะห์มวลรวมด้วยตะแกรงมาตรฐาน โดยนำค่าร้อยละสะสมของน้ำหนักที่ค้างอยู่บนตะแกรงมาตรฐาน แต่ละตะแกรงรวมกันแล้วหารด้วย 100

ตะแกรงมาตรฐานที่ใช้ในการคำนวณหาโมดูลัสความละเอียดนี้คือ เบอร์ 100, 50, 30, 16, 8, 4, 3/8", 1 ½" และขนาดใหญ่กว่าในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 ทั้งนี้ไม่รวมตะแกรงที่มีขนาดครึ่งหนึ่ง (Half Size) ของขนาดมาตรฐาน

ความหมายของโมดูลัสความละเอียดอีกอย่างหนึ่ง หมายถึง "ขนาดตะแกรงเฉลี่ย" ทั้งหมดของมวลรวมนั้นๆ โดยที่ตะแกรงเบอร์ 100 เป็นตะแกรงที่ 1 ตะแกรงเบอร์ 50 เป็นตะแกรงที่ 2 ตามลำดับ ดังนั้นถ้าหากว่าทรายชนิดหนึ่งมีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 3.00 หมายความว่าทรายนั้นมีขนาดตะแกรงเฉลี่ยเป็นตะแกรงที่ 3 ซึ่งหมายถึงตะแกรงเบอร์ 30 นั่นเอง

ค่าโมดูลัสความละเอียดของทราย ที่ใช้ในงานคอนกรีตที่มีระหว่าง 2.20 สำหรับรายละเอียดถึง 3.20 สำหรับทรายหยาบ

ขนาดใหญ่สุดของมวลสาร (Maximum Size)

ขนาดใหญ่สุดของมวลสารนั้น มักนิยมใช้เรียกขนาดของมวลรวมหยาบเท่านั้น เช่น หิน ¾" หรือหิน 2" เป็นต้น ความหมายที่แท้จริงของขนาดใหญ่สุดของมวลรวม จะต้องหามาจากการวิเคราะห์มวลรวมด้วยตะแกรง ซึ่งขนาดใหญ่สุดหมายถึง ขนาดของตะแกรงที่ใหญ่กว่าถัดขึ้นไปจากตะแกรงที่ใหญ่ที่สุดที่มีมวลรวมค้างอยู่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 15

ตะแกรงที่มีขนาดใหญ่สุดของมวลรวมนั้นอาจจะเป็นตะแกรงมาตรฐานหรือ ตะแกรงที่ใช้ในอุตสาหกรรมซึ่งรวมตะแกรงขนาด Half Size ด้วยก็ได้

แผนภูมิขนาดคละ (Grading Chart)

ผลของการวิเคราะห์ส่วนขนาดของมวลรวมด้วยตะแกรง มักแสดงด้วยแผนภูมิขนาดคละ ซึ่งทำให้เห็นถึงการกระจายของขนาดอนุภาคของมวลรวมอย่างละเอียด แกนตั้งของแผนภูมิจะเป็นน้ำหนักร้อยละที่ค้าง (หรือที่ผ่าน) ตะแกรง ส่วนแกนนอน (Log Scale) จะแสดงขนาดช่องว่างของตะแกรงหรือแสดงขนาดหมายเลขของตะแกรง

ตอนที่ 1 : การวิเคราะห์หาส่วนขนาดคละของมวลรวมละเอียดด้วยตะแกรง

วัตถุประสงค์

เพื่อหาค่าการกระจายขนาดอนุภาคของมวลรวมละเอียด

วัสดุ

มวลรวมละเอียด (ทราย) ประมาณ 500 กรัม

เครื่องมือ

ตะแกรงมาตรฐานอเมริกัน เบอร์ 4, 8, 16, 30, 50 และ 100

วิธีทดลอง

1. แบ่งทรายที่ต้องกรทดสอบออกจากที่เก็บมาประมาณ 500 กรัม โดยวิธีการแบ่งสี่ (Quartering Method) ให้ระมัดระวังอย่าให้ฝุ่นที่มีอยู่สูญเสียไปด้วย โดยอาจทำทรายให้เปียกขึ้น เสียก่อนก็ได้
2. นำทรายตามข้อ 1 ไปอบในเตาอบให้ได้น้ำหนักคงที่ที่อุณหภูมิประมาณ 110 ± 5^{o} ซ.
3. นำตะแกรงเบอร์ 4, 8, 16, 30, 50 และ 100 และถาดมาวางซ้อนกันเป็นชุด โดยตะแกรงขนาดใหญ่อยู่ข้างบนสุด วางเรียงกันลงตามลำดับ เททรายลงบนตะแกรงเบอร์ 4 ซึ่งอยู่ข้างบนสุดปิดฝาให้แน่น นำเข้าเครื่องร่อน (Mechanical Shaker)
4. เปิดสวิทซ์ เครื่องร่อนจะทำการร่อนทราย ใช้เวลาประมาณ 10 นาที แล้วปิดสวิทซ์
5. ชั่งน้ำหนักของทรายที่ค้างบนตะแกรงแต่ละเบอร์ รวมทั้งน้ำหนักทรายบน pan ด้วยไม่ควรเททรายจากตะแกรงลงบนจากตาชั่งโดยตรง การจะเททรายลงกระดาษก่อนที่จะนำไปชั่งเพื่อป้องกันการตกหล่นของเม็ดทราย
6. ทำความสะอาดตะแรงแต่ละอันด้วยแปรงโดยความระมัดระวัง
7. คำนวณหาร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด
8. คำนวณหาค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus) โดยการรวมการร้อยละน้ำหนักสะสมที่ค้างบนแต่ละตะแกรง ตั้งแต่เบอร์ 4 ถึง 100 แล้วหารด้วย 100
9. นำเอาค่าร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาดและขนาดตะแกรงมาตรฐานมาเขียนกราฟ จะได้ "แผนภูมิขนาดคละของทราย" (Grading Chart)

<u>หมายเหตุ</u> ในกรณีที่การร่อนด้วยเครื่องร่อนไม่สามารถจะทำได้ การร่อนด้วยมือก็สามารถจะใช้แทนได้ โดยวิธีการเดียวกันกับการใช้เครื่องร่อน

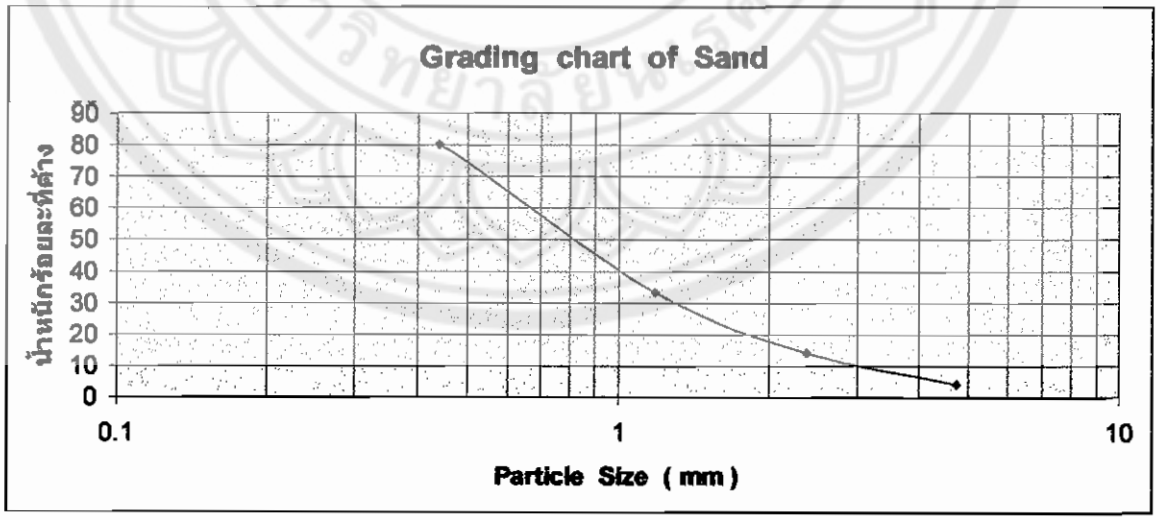
ข้อมูลและผลการทดลอง

ตาราง ช.3 การวิเคราะห์หาส่วนขนาดคละของทรายด้วยตะแกรง

น้ำหนักทั้งหมดของทรายที่ใช้ 500 กรัม

ขนาดตะแกรงมาตรฐาน	น้ำหนักตะแกรง (g)	น้ำหนักตะแกรง+ทราย (g)	น้ำหนักที่ค้างอยู่บนตะแกรง(กรัม)	น้ำหนักค้างสะสมบนตะแกรง (g)	ร้อยละที่ค้างบนตะแกรง	ร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรง
เบอร์ 4	510	530	20	20	4	4
เบอร์ 8	490	540	50	70	10	14
เบอร์ 16	445	540	95	165	19	33
เบอร์ 40	385	620	235	400	47	80
ถาด	320	420	100	500	20	100
รวม			500			

ค่าโมดูลัสความละเอียด = (4+14+33+80)/100= 1.31



รูปที่ ช.1 กราฟแสดงขนาดคละของทราย (Grading Chart of Sand)

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์หาส่วนขนาดคละของมวลรวมหยาบด้วยตะแกรง

วัตถุประสงค์

เพื่อหาค่ากระจายขนาดอนุภาคของมวลรวมหยาบ

วัสดุ

มวลรวมหยาบที่ต้องการทดสอบ 2 ชนิด น้ำหนักของมวลรวมหยาบแต่ละชนิดจะต้องเป็นไปดังนี้

ตารางที่ ช.4 แสดงน้ำหนักของมวลรวมหยาบ

ขนาดใหญ่ที่สุด นิ้ว(มม.)	น้ำหนักต่ำสุดของตัวอย่าง กก.
3/8 (9.5)	2
½ (12.5)	4
¾ (19.0)	8
1 (25.0)	12
1 ½ (37.5)	16
2 (50.0)	20
2 ½ (63)	25
3 (75)	45
3 ½ (90)	70

เครื่องมือ

ตะแกรงมาตรฐานอเมริกันขนาด 2" ,1 ½.",1",3/4 ", ½"และเบอร์ 4

วิธีการทดลอง

1. นำเอามวลหยาบแห้งที่ต้องการทดสอบจากที่เก็บมาประมาณเท่าที่กำหนด โดยวิธีการแบ่งสี่
2. **ใช้เครื่องร่อนทำการร่อนมวลหยาบแต่ละชนิด โดยใช้วิธีขั้นตอนเดียวกับวิธีที่ 1**
3. **นำเอาค่าร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาดและขนาดของตะแกรงมาตรฐานมาเขียนกราฟ จะได้ " แผนภูมิขนาดคละของหิน "**

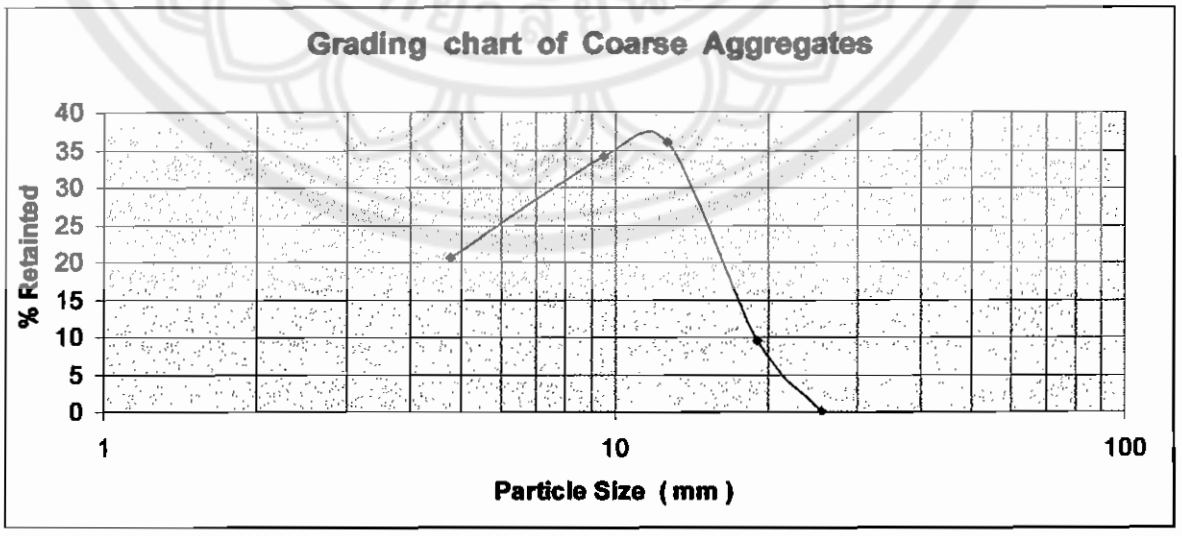
ข้อมูลและผลการทดลองรวม

ตารางที่ ช.5 การวิเคราะห์หาส่วนคละขนาดมวลรวมหยาบ

น้ำหนักมวลรวมหยาบชนิดที่ 1 **กรัม**

	มวลรวมหยาบชนิดที่ 1					
ขนาดตะแกรงมาตรฐาน	น.น. ตะแกรง (กรัม)	น.น. ตะแกรง+ทราย(กรัม)	น.น.ที่ค้างอยู่บนตะแกรง (กรัม)	น.น.ค้างสะสมบนตะแกรง (กรัม)	ร้อยละที่ค้างบนตะแกรง	ร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรง
1"	1240	1240	0	0	0	0
¾"	1280	1375	95	95	9.5	9.5
½"	1300	1660	360	455	36	45.5
3/8"	1290	1630	340	795	34	79.5
เบอร์ 4	1160	1365	205	1000	20.5	100
ถาด	850	850	0	1000	0	100
รวม			1000			

ค่าโมดูลัสความละเอียด = (9.5+45.5+79.5+100)/100=2.345



รูปที่ ช.2 กราฟแสดงขนาดคละของหิน (Grading chart of Coarse Aggregates)

ภาคผนวก ซ

การทดสอบหาค่ากำลังดึงแยกของคอนกรีตโดย Splitting test

วัตถุประสงค์

เพื่อทำการทดสอบหาค่ากำลังดึงแยก (Splitting Tensile Strength) ของคอนกรีต

เอกสารอ้างอิง

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

วัสดุ

วัสดุต่างๆ สำหรับใช้ในการผลิตคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน

เครื่องมือ

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

ทฤษฎี

กำลังดึงแยกของคอนกรีต (Splitting Tensile Strength) โดยทั่วๆ ไปจะมีค่าต่ำมาก ประมาณ 7 – 11 % ของกำลังแรงอัดเท่านั้น ดังนั้นในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปแล้วมักจะไม่คิดแรงดึงในการคำนวณ อย่างไรก็ตาม ในโครงสร้างบางชนิดที่ไม่ต้องการให้คอนกรีตแตกร้าวเนื่องจากต้องการป้องกันน้ำซึม เช่น ถังน้ำ เขื่อน หรือในกรณีที่ไม่สามารถเสริมเหล็ก เช่น ถนน สนามบิน เป็นต้น จำเป็นต้องใช้กำลังดึงของคอนกรีตช่วยในการออกแบบ

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

ในการทดสอบแรงดึงแยกนั้น ทำการทดสอบโดยนำแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกมาตรฐาน เส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. วางในแนวนอนในเครื่องทดสอบ แล้วกดด้วยแรงที่เป็นเส้น (Line Load) จนกระทั่งแท่งตัวอย่างแยกออกจากกันเป็นสองส่วนเท่าๆ กัน ซึ่งลักษณะแรงที่กดบน

ผิวทรงกระบอกด้านข้างนี้จะทำให้เกิดแรงดึงออกทางด้านข้างในระนาบที่ตั้งฉากกับแรงกด กำลังดึงแยกจากการทดสอบโดยวิธีนี้มีค่าประมาณ 8 – 14 % ของกำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งคำนวณได้จาก

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

เมื่อ T = กำลังดึงแยก กก./ตร.ซม.

P = แรงกดสูงสุด กก.

L = ความยาวของแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก ซม.

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก ซม.

การเตรียมตัวอย่างแท่งทดสอบ

ในการเตรียมตัวอย่างแท่งทดสอบ ให้ดำเนินการเช่นเดียวกับการทดสอบหาค่ากำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน

วิธีทดสอบ

1) ให้ลากเส้นผ่าศูนย์กลางที่ปลายของแท่งทดสอบคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานทั้งสองด้านโดยให้เส้นทั้งสองนี้อยู่ในระนาบเดียวกัน
2) วัดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของแท่งทดสอบ ให้ละเอียดถึง 0.25 ซม. โดยวัดที่ปลายทั้งสองข้างและที่กึ่งกลาง
3) วัดความยาวเฉลี่ยของแท่งทดสอบ ให้ละเอียดถึง 0.25 โดยวัดแนวระนาบทั้งสองด้านที่จะทดสอบ
4) ชั่งน้ำหนักของแท่งทดสอบให้ละเอียดถึง 1 กรัม
5) วางแท่งทดสอบให้ได้ศูนย์กลางบนแท่นทดสอบในลักษณะแนวนอน
6) กดแท่งทดสอบอย่างช้าๆ จนกระทั่งแตก (Failure) แล้วบันทึกแรงกดสูงสุด
7) ให้รูปร่างแบบลักษณะการแตกหักของแท่งทดสอบ