ปฏิบัติการเทคโนโลยีคอนกรีต

Concrete Technology Laboratory

ดร. ทวีชัย สำราญวานิช

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยบูรพา

2548

คำนำ

คู่มือปฏิบัติการเทคโนโลยีคอนกรีตนี้ได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนรายวิชา 520332 เทคโนโลยีคอนกรีต ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา ของภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา สำหรับนิสิตทั้งภาคปกติและภาคพิเศษได้ใช้เรียนในการทดลองปฏิบัติการเทคโนโลยีคอนกรีตต่อไป

ทวีชัย สำราญวานิช

สารบัญ

หน้า

คำนำ

สารบัญ

หลักเกณฑ์การปฏิบัติการทดลองของนิสิต การเขียนรายงานและการประเมินผล

การทดลองที่

C1 คุณสมบัติของผงปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Properties of Portland Cement Powder)

1) Specific Gravity of Portland Cement

2) Fineness of Portland Cement by Air Permeability Apparatus

C2 คุณสมบัติของมวลรวม I (Properties of Aggregate I)

1) Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate

2) Unit Weight and Voids of Fine Aggregate

3) Surface Moisture in Fine Aggregate

4) Organic Impurities in Fine Aggregate

C3 คุณสมบัติของมวลรวม II (Properties of Aggregate II)

1) Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate

2) Unit Weight and Voids of Coarse Aggregate

3) Test of Clay Content of Coarse Aggregate

C4 คุณสมบัติของมวลรวม III (Properties of Aggregate III)

1) Sieve Analysis of Coarse Aggregate

2) Sieve Analysis of Fine Aggregate

3) Trial Computation of a Combined Grading of Concrete Aggregate

C5 คุณสมบัติของมวลรวม IV (Properties of Aggregate IV)

1) Abrasion of Aggregate by Use of Los Angles Machine

2) Flakiness Index

C6 คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ (Properties of Portland Cement Paste)

1) Normal Consistency of Portland Cement

2) Early Stiffening of Portland Cement

3) Setting Time of Portland Cement by Vicat Needle

สารบัญ

หน้า

C7 คุณสมบัติของมอร์ต้าร์ซีเมนต์สด (Properties of Fresh Cement Mortar)

1) Flow Ability of Cement Mortar

C8 คุณสมบัติของมอร์ต้าร์ซีเมนต์ที่แข็งตัว (Properties of Hardened Cement Mortar)

1) Compressive Strength of Cement Mortar

2) Tensile Strength of Cement Mortar

3) Flexural Strength of Cement Mortar

C9 การผสม การเทและคุณสมบัติของคอนกรีตสด I

(Mixing, Filling and Properties of Fresh Concrete I)

1) Mixing of Concrete by Mechanical Mixer

2) Workability of Fresh Concrete (Slump Test)

3) Workability of Fresh Concrete (Vebe Test)

4) Filling of Concrete

C10 คุณสมบัติของคอนกรีตสด II (Properties of Fresh Concrete II)

1) Unit Weight and Air Content (Gravimetric) of Fresh Concrete

2) Bleeding of Concrete

C11 คุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัว I (Properties of Hardened Concrete I)

1) Compressive Strength, Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio

2) Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens

3) Flexural Strength of Concrete

C12 คุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัว II

(Properties of Hardened Concrete II (Non-destructive test))

1) Rebound Number of Hardened Concrete

2) Pulse Velocity Through Concrete

หลักเกณฑ์การปฏิบัติการทดลองของนิสิต การเขียนรายงานและการประเมินผล

1. หลักเกณฑ์ในการปฏิบัติการทดลองของนิสิต

1.1 นิสิตทุกคนต้องมีคู่มือปฏิบัติการเทคโนโลยีคอนกรีต

1.2 นิสิตต้องทำปฏิบัติการทดลองเป็นกลุ่มตามที่อาจารย์กำหนดให้ โดยนิสิตต้องศึกษารายละเอียดการทดลองล่วงหน้าก่อนวันที่ทำการทดลอง

1.3 นิสิตต้อง**เข้าทำปฏิบัติการทดลองด้วยตนเองครบทุกปฏิบัติการ**

1.4 นิสิตทุกคนต้องบันทึกผลการทดลองที่ได้ให้ครบถ้วน ตามที่หนังสือคู่มือปฏิบัติการการทดลองระบุ

1.5 นิสิตต้องทำปฏิบัติการทดลองด้วยความระมัดระวัง และปฏิบัติตามคำแนะนำที่อาจารย์และเจ้าหน้าที่ช่างเทคนิคอย่างเคร่งครัด

1.6 นิสิตต้อง**ส่งรายงานผลปฏิบัติการภายใน 1 อาทิตย์หลังจากวันที่ทำการทดลองเสร็จ** ยกเว้นกรณีที่อาจารย์ผู้ควบคุมปฏิบัติการได้กำหนดเป็นอย่างอื่น หากส่งช้ากว่ากำหนด จนิสิตจะถูกตัดคะแนนวันละ 1 คะแนน

2. การเขียนรายงานผลการปฏิบัติการทดลอง

นิสิตทุกคนต้องส่งรายงานผลการปฏิบัติการทดลอง โดย**รายงานทุกเล่มให้นิสิตเขียนด้วยลายมือตนเองเท่านั้น (ห้ามพิมพ์ส่ง)** และต้องเขียนด้วยลายมือที่อ่านง่ายและชัดเจน กระดาษที่ใช้เขียนให้ใช้กระดาษขนาด A4 รายงานแต่ละเล่มต้องเย็บเล่มด้านข้างให้เรียบร้อย และประกอบด้วยหัวข้อเรียงตามลำดับดังนี้

1. ปกหน้า

ให้ใช้หน้าแรกของแต่ละการทดลองในปฏิบัติการเทคโนโลยีคอนกรีต ซึ่งนิสิตต้องกรอกชื่อ-สกุล รหัสประจำตัวนิสิต กลุ่ม วันที่ทำการทดลอง วันที่ส่งรายงาน และอาจารย์ผู้ควบคุมและตรวจรายงานให้ครบถ้วน

2. วัตถุประสงค์ของการทดลอง (Objectives) วัสดุ (Materials) และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (Equipment)

ในส่วนนี้อยู่ในหน้าแรกของแต่ละการทดลองในปฏิบัติการเทคโนโลยีคอนกรีตให้ถ่ายเอกสารมาประกอบรายงาน หากนิสิตมีข้อมูลเพิ่มเติม เช่น อุปกรณ์ที่ใช้เพิ่มเติม ให้ระบุเพิ่มเติมด้วย

3. วิธีการทดสอบ (Testing Procedure)

วิธีการทดสอบแสดงอยู่ในแต่ละการทดลองในปฏิบัติการเทคโนโลยีคอนกรีต ให้ถ่ายเอกสารประกอบรายงาน

4. ผลการทดลอง (Results)

ให้แสดงผลการทดลองตามตารางหรือบันทึกที่ให้ไว้ในคู่มือปฏิบัติการ โดยนิสิตต้องถ่ายเอกสารตารางบันทึกผลการทดลองจากคู่มือปฏิบัติการและใส่ผลการทดลองให้ครบถ้วน และในกรณีที่ต้องมีการแสดงผลการทดลองด้วยกราฟ **นิสิตต้องสร้างกราฟด้วยมือเท่านั้น** โดยให้ใช้กระดาษกราฟเท่านั้น ห้ามใช้คอมพิวเตอร์ในการสร้างกราฟและพิมพ์ออกมา

<u>การแสดงผลด้วยกราฟ</u>

การแสดงผลด้วยกราฟช่วยให้ผู้อ่านสามารถมองเห็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ได้ง่ายขึ้น กระดาษกราฟที่ใช้กันในด้านวิศวกรรมศาสตร์สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทคือ กระดาษกราฟแบบธรรมดา (Linear graph paper) และกระดาษกราฟแบบกึ่งลอค (Simi-log paper) การแสดงผลด้วยกราฟมีข้อพึงปฏิบัติดังนี้

4.1 เลือกมาตราส่วนบนแกนทั้งสองของกราฟให้เหมาะสม ค่าที่จุดตัดระหว่างแกนตั้งและแกนนอนไม่จำเป็นต้องเป็นศูนย์เสมอไป อาจจะเริ่มจากค่าใดๆ ได้ตามแต่จะเห็นควร เพื่อที่จะได้เส้นกราฟที่อ่านง่ายและชัดเจน นอกจากนี้ค่าเริ่มแรกบนแกนทั้งสองไม่จำเป็นต้องเท่ากัน แต่ต้องเขียนตัวเลขกำกับให้ชัดเจน

4.2 กราฟทุกกราฟต้องมี ชื่อของกราฟเพื่อแสดงรายละเอียดของกราฟนั้นเสมอ

4.3 นิสิตต้องแสดงค่าที่ได้จากการทดสอบลงบนกราฟเป็นจุดต่างๆ จากนั้นจึงลากเส้นที่เข้าได้ดีที่สุด (Best fit) ผ่านจุดเหล่านั้น โดยอาจจะเป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้งแล้วความสัมพันธ์ แต่ทุกเส้นต้องเป็นเส้นเรียบ (Smooth curve)

5. ตัวอย่างการคำนวณ (Sample of Calculation)

ตัวอย่างการคำนวณมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้นิสิตแสดงถึงที่มาของผลลัพธ์ที่แสดงในตารางต่างๆ การแสดงตัวอย่างการคำนวณจะต้องเรียงตามลำดับก่อนหลังตามที่ใช้ในการคำนวณจริง พร้อมทั้งแสดงสมการที่ใช้ในการคำนวณตลอดต้องแสดงหน่วยให้ถูกต้องและชัดเจน และต้องเป็นระบบหน่วยเดียวกันตลอดในรายงาน

6. อภิปรายผลการทดลอง (Discussion)

นิสิตต้องอภิปรายผลการทดลองได้ว่าผลที่ได้มีความถูกต้องเพียงใด และความผิดพลาดที่เกิดขึ้นที่ส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของผลการทดลองมีอะไรบ้าง ในการอภิปรายผลนั้นนิสิตต้องค้นคว้าความรู้จากหนังสืออื่นๆ เพิ่มเติม ตลอดจนใช้ความรู้และหลักทฤษฎีต่างๆ ที่ได้เรียนมาใช้อธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้น และนิสิตต้องสามารถบอกได้ว่าผลที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานวิศวกรรมโยธาได้อย่างไรบ้าง

7. สรุปผลการทดลอง (Conclusion)

นิสิตต้องสรุปถึงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดว่า ได้อะไรบ้าง มีข้อสังเกตอะไรบ้าง เขียนให้สั้นและได้ใจความ การสรุปผลเป็นส่วนหนึ่งของรายงานที่สำคัญมาก เพราะบุคคลทั่วไปจะสนใจส่วนนี้ของรายงานก่อน และในรายงานที่มีบทคัดย่อ ผู้อ่านก็จะอ่านทั้งบทคัดย่อและบทสรุปก่อน เพื่อต้องการทราบว่าการทดสอบได้ผลอย่างไร และเมื่อพบจุดที่สนใจ จึงจะกลับไปดูรายละเอียด เช่น วิธีการทดสอบ การเตรียมตัวอย่าง และวิธีการทดสอบในส่วนอื่นๆ เป็นต้น

8. เอกสารอ้างอิง (Reference)

รายชื่อของเอกสารอ้างอิงต่างๆ ที่ใช้ประกอบการค้นคว้าเพื่อหาข้อมูลเพิ่มเติม จะต้องนำมารวบรวมไว้ในส่วนที่เป็นเอกสารอ้างอิง ซึ่งเป็นส่วนสุดท้าย รายละเอียดของเอกสารที่แต่ง การเขียนเอกสารอ้างอิง มีรูปแบบการเขียนสามารถศึกษาได้จาก หนังสือรายงานทั่วไป

3. การประเมินผล

ผลงานปฏิบัติการ จำนวนทั้งหมด 12 ครั้ง ครั้งละ 10 คะแนน รวมเป็น 120 คะแนน โดยพิจารณาจาก

- การทำปฏิบัติการ ความตั้งใจในการทำงาน และความตรงต่อเวลา
- รายงานผล โดยพิจารณาความถูกต้องของการทดลอง การคำนวณ การวิเคราะห์และอภิปรายผลการทดลอง และการสรุปผลการทดลอง ตลอดจนการค้นคว้าหาข้อมูลเพิ่มเติมจากเอกสารอ้างอิงเพื่อประกอบในรายงาน และความตรงต่อเวลาในการส่งรายงาน

520332 ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology Laboratory)

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ชื่อ-สกุลของนิสิต…… …รหัส ……กลุ่มที่…….

วันที่ทำการทดลอง……วันที่ส่งรายงาน……ตรวจโดย…… ……...

การทดลองที่ C1

คุณสมบัติของผงปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Properties of Portland Cement Powder)

<u>การทดลองย่อยที่ C1-1</u> ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Specific Gravity of Portland Cement)

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อศึกษาการหาค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

<u>วัสดุที่ใช้</u> ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement)

<u>เอกสารอ้างอิง</u> มอก (TIS, Thailand Industrial Standard) 15 Part 2

ASTM Designation: C 188

JIS (Japan Industrial Standard) R 5201

<u>อุปกรณ์ในการทดลอง</u>

(1) ขวดแก้วเลอชาเตอริเยร์มาตรฐาน (Standard Le Chaterier flask)

(2) เคโรซีน (Kerosene)

(3) แท่งแก้วยาว (Long thistle funnel)

(4) เทอร์โมมิเตอร์

(5) ตาชั่ง

(6) อ่างน้ำ (Water bath)

ขั้นตอนการทดลอง

1. เติมสารเคโรซีน (Kerosene) หรือน้ำมันแน๊ปทา (Naphtha oil)[1] ลงในขวดแก้วเลอร์ชาเตอลิเยร์จนระดับของเหลวอยู่ระหว่างขีดศูนย์และหนึ่งมิลลิลิตร พยายามให้ผิวด้านในของขวดแก้วเหนือระดับของเหลวแห้ง
2. วางขวดแก้วไว้ในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิคงที่ โดยมีอุณหภูมิประมาณอุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลาหนึ่งก่อนที่จะอ่านค่าอุณหภูมิ อุณหภูมิของของเหลวในขวดแก้วต้องไม่เปลี่ยนแปลงเกินกว่า 0.2 องศาเซลเซียส
3. การอ่านระดับของเหลวควรกระทำเมื่อระดับของเหลวในขวดแก้วคงที่ เพื่อที่จะมั่นใจได้ว่าเนื้อขวดแก้วมีอุณหภูมิเดียวกับน้ำในอ่างน้ำ
4. อ่านค่าเริ่มต้น (Initial reading) ของระดับของเหลวในขวดแก้ว และบันทึกอุณหภูมิของเหลวในขวดแก้วด้วย
5. ชั่งน้ำหนักเริ่มต้นของปูนซีเมนต์และภาชนะที่ใส่ปูนซีเมนต์ ค่อยๆ ใส่ปูนซีเมนต์น้ำหนักประมาณ 65 กรัม ที่มีอุณหภูมิเดียวกับของเหลวลงในขวดแก้ว ระมัดระวังอย่าให้ปูนซีเมนต์ร่วงหล่นนอกขวด และอย่าให้ติดที่ด้านในข้างของขวดแก้วเหนือระดับของเคโรซีน อาจใช้เครื่องช่วยเขย่าช่วยเร่งการใส่ปูนซีเมนต์ลงในขวดแก้ว และป้องกันไม่ให้ปูนซีเมนต์ติดที่คอขวดแก้ว
6. หลังจากที่ระดับของเคโรซีนอยู่สูงขึ้นมาด้านบนของขวดแก้วให้หยุดการใส่ปูนซีเมนต์ ปิดหัวขวดแก้วด้วยฝาปิด เอียงขวดแก้วและค่อยๆ เขย่าในแนวเอียงและหมุนควงเป็นวงกลมเพื่อไล่อากาศออกจากปูนซีเมนต์จนกระทั่งไม่มีฟองอากาศพุดขึ้นมาที่ผิวหน้าของของเหลว
7. ทิ้งขวดแก้วไว้ในอ่างน้ำ จดบันทึกค่าสุดท้าย (final reading) โดยมีขั้นตอนตามข้อความในข้อที่ 2 และ 3 ความแตกต่างระหว่างค่าเริ่มต้นและค่าสุดท้ายคือ ปริมาตรของของเหลวที่ถูกแทนที่ด้วยปูนซีเมนต์, V_c
8. บันทึกค่าสุดท้ายของน้ำหนักปูนซีเมนต์และภาชนะที่ใส่ปูนซีเมนต์ ความแตกต่างระหว่างค่าเริ่มต้นและค่าสุดท้ายคือ น้ำหนักของปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลอง, W_c
9. ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของปูนซีเมนต์สามารถคำนวณได้ดังนี้:

$$\text{Specific gravity} = \frac{W_c}{V_c}$$

10. ทำการล้างเอาปูนซีเมนต์ออกมาและล้างขวดแก้วให้สะอาด ให้ใช้เคโรซีนหรือน้ำมันแนบทาในการล้างเท่านั้น **ห้ามใช้น้ำในการล้างขวดแก้วเป็นอันขาด**

---

[1] ความถ่วงจำเพาะของเคโรซีนและน้ำมันแน๊ปทาต้องไม่น้อยกว่า 0.731 ตามมาตรฐาน มอก.

11. ค่าความถ่วงจำเพาะควรมีการทำอย่างน้อยสองครั้งต่อหนึ่งตัวอย่าง และจะต้องมีค่าแตกต่างได้ไม่เกิน 0.03[2]

[2] ควรจะไม่แตกต่างเกิน 0.01 ตามมาตรฐาน ASTM และมาตรฐาน JIS

ข้อมูลและผลการทดลอง

ประเภทและยี่ห้อของปูนซีเมนต์: ตัวอย่างที่ 1 ……

ตัวอย่างที่ 2 ……

	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
ขีดระดับของเหลวเริ่มต้น (มิลลิลิตร)				
อุณหภูมิเริ่มต้นของเคโรซีน ($^{\circ}$C)				
น้ำหนักปูนซีเมนต์และภาชนะตอนเริ่มต้น (กรัม)				
ขีดระดับของเหลวสุดท้าย (มิลลิลิตร)				
อุณหภูมิสุดท้ายของเคโรซีน ($^{\circ}$C)				
น้ำหนักปูนซีเมนต์และภาชนะตอนสุดท้าย (กรัม)				
น้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ใส่, W_c (กรัม)				
ปริมาตรปูนซีเมนต์โดยการแทนที่, V_c (cm^3)				
ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์				
ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์				

ตัวอย่างการคำนวณ วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

<u>การทดลองย่อยที่ C1-2</u> ความละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยวิธีการซึมผ่านของอากาศ

(Fineness of Portland Cement by Air Permeability Apparatus)

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อศึกษาการหาค่าละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

<u>วัสดุที่ใช้</u> ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement)

<u>เอกสารอ้างอิง</u> มอก (TIS, Thailand Industrial Standard) 15 Part 6

ASTM Designation: C 204

JIS (Japan Industrial Standard) R 5201

<u>อุปกรณ์ในการทดลอง</u>

(1) เครื่องทดสอบการซึมผ่านของอากาศแบบเบลน (Blaine air permeability apparatus) ประกอบด้วย เซลการซึมผ่าน (Permeability cell) แผ่นดิสก์ (Disk) พลั๊กเกอร์ (Plunger) กระดาษกรอง (Filter paper) มาโนมิเตอร์ (Manometer) ของเหลวสำหรับมาโนมิเตอร์ (Manometer liquid)

(2) นาฬิกาจับเวลา

(3) ตาชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.1 กรัม

ขั้นตอนการทดลอง

1. การสอบเทียบเครื่องมือ

การสอบเทียบเครื่องมือวัดการซึมผ่านของอากาศ (Air permeability apparatus) ควรจะต้องกระทำเป็นประจำก่อนการใช้งาน ทั้งนี้เพื่อปรับแก้ผลของการสึกหรอของตัวพลั๊งเกอร์ (Plunger) หรือเซลการซึมผ่าน (Permeability cell) นอกจากนี้การสอบเทียบควรจะกระทำถ้าของเหลวในมาโนมิเตอร์เกิดสูญหาย หรือมีการเปลี่ยนประเภทหรือคุณภาพกระดาษกรองที่ใช้การทดลอง

1.1 การหาปริมาตรทั้งหมดของผงที่ถูกอัดแน่น (Bulk volume of compacted bed of powder)

(ก) วางแผ่นกระดาษกรอง (Filter paper disk) สองแผ่นในเซลการซึมผ่าน โดยใช้แท่งกลม (Rod) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าขนาดเซลเล็กน้อย กดกระดาษกรองลงไปจนกระทั่งแผ่นกระดาษกรองวางเรียบอยู่บนแผ่นโลหะพรุน (Perforated metal disk)

(ข) เติมปรอทลงในเซลการซึมผ่าน ไล่ฟองอากาศที่ติดกับผนังของเซล ปรับระดับปรอทที่ส่วนบนสุดของเซล ด้วยการใช้แผ่นกระจกเล็กๆ กดบนผิวปรอท จนกระทั่งกระจกแนบกับปรอท และขอบของเซล ตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีฟองอากาศเหลืออยู่ระหว่างผิวของกระจกและปรอท

(ค) นำเอาปรอทออกจากเซล และชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าน้ำหนักของปรอท (W_a)

(ง) เอาแผ่นกรองออกจากเซลหนึ่งแผ่น ลองใช้ปริมาณปูนซีเมนต์จำนวน 2.8 กรัม ใส่ปูนซีเมนต์ด้วยพลั๊งเกอร์ลงในเซล จนกระทั่งขอบของพลั๊งเกอร์แตะกับส่วนบนของเซล ตรวจสอบให้แน่ใจว่าแผ่นกระดาษกรองอยู่เหนือตัวอย่างทดสอบ 1 แผ่น และอยู่ใต้ตัวอย่างทดสอบ 1 แผ่น ชั้นปูนซีเมนต์ต้องมั่นคง ถ้าปูนซีเมนต์ไม่สามารถถูกอัดให้มีปริมาตรเท่าที่ต้องการ ให้ปรับปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ใหม่ (มากกว่าหรือน้อยกว่า 2.8 กรัม)

(จ) เพิ่มปรอทลงไปในส่วนที่เป็นช่องว่างด้านบนของเซล ไล่ฟองอากาศและทำให้ปรอทได้ระดับเรียบที่ผิวบนเหมือนที่ทำผ่านมาแล้ว

(ฉ) นำเอาปรอทออกจากเซล และชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าน้ำหนักของปรอท (W_b)

(ช) ปริมาตรทั้งหมดของปูนซีเมนต์, V สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$V = \frac{(W_a - W_b)}{D}$$

เมื่อ D = ความหนาแน่นของปรอท[3] ณ อุณหภูมิที่ทำการทดสอบ (g/cm^3)

---

[3] ความหนาแน่นของปรอทมีค่าเท่ากับ 13.54 ที่อุณหภูมิ 22 - 24 °C, 13.53 ที่ 26 - 28 °C, 13.52 ที่ 30 - 32 °C และ 13.51 ที่ 34 °C หรือสูงกว่า

(ซ) ทำการหาปริมาตรทั้งหมดของชั้นปูนซีเมนต์อย่างน้อย 2 ครั้ง[4] โดยใช้การบดอัดที่แตกต่างกันในแต่ละครั้ง ปริมาตรทั้งหมดปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการคำนวณต่อไปใช้เป็นค่าเฉลี่ยที่มีความละเอียดถึง 0.005 cm^3

1.2 การเตรียมตัวอย่างมาตรฐาน (Standard sample)

ควรเขย่าขวดซึ่งบรรจุตัวอย่างมาตรฐานอย่างทั่วถึงประมาณ 2 นาที เพื่อทำให้ปูนซีเมนต์เกิดการกระจายและส่วนที่เกาะกันเป็นก้อนแตกออกจากกัน ตั้งขวดไว้โดยไม่เปิดฝาเป็นเวลา 2 นาที หลังจากนั้นเปิดฝาออก และกวนเบา ๆ เพื่อให้ส่วนผสมที่เป็นผงละเอียดซึ่งตกตะกอนอยู่ผิวหน้าให้กระจายทั่วเนื้อของตัวอย่าง

น้ำหนักของตัวอย่างมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบการสอบเทียบควรจะมีน้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ทำให้เกิดความพรุน 0.500 ± 0.005 โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ:

$$W = \Omega V (1-\varepsilon)$$

โดยที่

W = น้ำหนักของตัวอย่างที่ต้องการ

Ω = ความถ่วงจำเพาะตัวอย่างทดสอบ

V = ปริมาตรทั้งหมดของปูนซีเมนต์

ε = ความพรุนที่ต้องการของตัวของชั้นปูนซีเมนต์

1.3 การเตรียมชั้นปูนซีเมนต์มาตรฐาน (Standard cement bed)

(ก) วางแผ่นพรุน (Perforated disk) บนขอบของเซลการซึมผ่าน โดยให้ผิวหน้าคว่ำลงข้างล่าง จากนั้นวางแผ่นกระดาษกรองบนแผ่นพรุนแล้วกดตรงขอบลงโดยใช้แท่งกด

(ข) ชั่งน้ำหนักของปูนซีเมนต์ให้มีความละเอียดถึง 0.001 กรัม ตามจำนวนที่คำนวณไว้ในข้อ 1.2 และใส่ลงในเซล ปิดด้านข้างเซลเบา ๆ เพื่อให้ปูนซีเมนต์อยู่ในแนวระดับ

(ค) นำกระดาษกรองปิดด้านบนของชั้นปูนซีเมนต์ และกดชั้นปูนซีเมนต์ด้วยพลั๊กเกอร์จนกระทั่งขอบของพลั๊งเกอร์สัมผัสกับด้านบนของเซล ค่อยๆ ถอนพลั๊งเกอร์เข็มแทงเป็นระยะทางสั้นๆ หมุน 90° แล้วกดใหม่และค่อยๆถอดออก ให้ใช้กระดาษกรองใหม่ในการทดลองหาแต่ละครั้ง

---

[4] สามครั้งสำหรับมาตรฐาน JIS

1.4 การทดลองการซึมผ่านของตัวอย่างมาตรฐาน (Permeability test of standard sample)

(ก) ใส่เซลการซึมผ่านเข้ากับท่อของมาโนมิเตอร์ (Manometer) ตรวจสอบให้แน่ใจว่าว่าเซลสวมแน่นกับท่อไม่ให้มีอากาศซึมผ่านรอยต่อได้ และระวังอย่ารบกวนชั้นปูนซีเมนต์

(ข) ค่อยๆ ดูดเอาอากาศในท่อด้านหนึ่งของมาโนมิเตอร์รูปตัวยูออกช้า ๆ จนกระทั่งระดับของเหลวมาแตะจุดบนของท่อ จากนั้นปิดวาล์วให้สนิท

(ค) เริ่มจับเวลาเมื่อส่วนโค้งด้านล่างของของเหลว (Bottom of the meniscus) มาถึงขีดระดับที่สอง (นับจากด้านบน) และหยุดจับเวลาเมื่อส่วนโค้งด้านล่างของของเหลวมาถึงขีดระดับที่สาม

(ง) บันทึกระยะเวลาที่ของเหลวเคลื่อนที่ผ่านเป็นวินาทีและอุณหภูมิขณะทดสอบเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}$C) ทำการทดสอบหาเวลาอย่างน้อย 3 ครั้ง ในแต่ละชั้นตัวอย่างที่เตรียมแยกกัน

2. คำนวณหาความละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Fineness of Portland cement)

ตัวอย่างทดสอบควรอยู่ในอุณหภูมิห้องขณะทำการทดสอบ น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ทดสอบควรมีค่าเท่ากับที่ใช้ในการทดลองการสอบเทียบกับตัวอย่างมาตรฐาน ทั้งนี้เมื่อต้องคำนวณหาค่าความละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 หรือปูนซีเมนต์ที่บดละเอียดประเภทอื่นๆ น้ำหนักของตัวอย่างที่ต้องการในการทดสอบควรทำให้เกิดค่าความพรุนของชั้นปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.530 ± 0.005[5] การเตรียมและวิธีการทดสอบนั้นเป็นไปตามกระบวนการของตัวอย่างมาตรฐาน

พื้นผิวจำเพาะ (Specific surface) สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้:

$$S = \frac{S_s \sqrt{T}}{\sqrt{T_s}}$$

โดยที่

S = พื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) ของตัวอย่างทดสอบ

S_S = พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวอย่างทดสอบมาตรฐาน

T = ระยะเวลาที่ของเหลวเคลื่อนที่ตกลงมาของตัวอย่างทดสอบ

T_S = ระยะเวลาที่ของเหลวเคลื่อนที่ตกลงมาของตัวอย่างมาตรฐาน

ให้รายงานค่าความละเอียดเฉลี่ยของของปูนซีเมนต์ที่ทดสอบจากการทดสอบอย่างน้อยสองครั้ง โดยที่แต่ละค่ามีค่าความแตกต่างไม่เกิน 2% ของค่าเฉลี่ย ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขนี้ ให้ละทิ้งค่าที่ได้จากการทดลองนี้ แล้วทำการทดลองใหม่ซ้ำจนกระทั่งเป็นไปตามเงื่อนไข

---

[5] ตามมาตรฐาน JIS เสนอแนะความพรุนเท่ากับ 0.520 ± 0.005

ข้อมูลและผลการทดลอง

ตารางที่ 1 การหาปริมาตรทั้งหมดของชั้นปูนซีเมนต์ที่บดอัด (Bulk volume of compacted bed)

ครั้งที่	น้ำหนักของปูนซีเมนต์ (กรัม)	W_a (กรัม)	W_b (กรัม)	ปริมาตรทั้งหมด (cm^3)
1				
2				
3				
ปริมาตรทั้งหมดเฉลี่ยของชั้นอัดแน่น				

ตารางที่ 2 ระยะเวลาของตัวอย่างมาตรฐาน

ครั้งที่	น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (วินาที)
ช่วงเวลาเฉลี่ยของตัวอย่างมาตรฐาน, T_s			

ตารางที่ 3 การหาค่าความละเอียดของปูนซีเมนต์ที่ทดสอบ

	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
ยี่ห้อของตัวอย่าง	.....	.....
ความถ่วงจำเพาะ	.....	.....
S_s (cm^2/g)	.....	.....
T_s (sec)	.....	.....
อุณหภูมิ (°C)	.....	.....
น้ำหนักของตัวอย่าง (g)	.....	.....

ตัวอย่าง	ระยะเวลา, T (วินาที)	ค่าเฉลี่ยระยะเวลา, T (วินาที)	ความละเอียด, S (cm^2/g)

ตัวอย่างการคำนวณ วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง

520332 ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology Laboratory)

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ชื่อ-สกุลของนิสิต…… …รหัส ……กลุ่มที่…….

วันที่ทำการทดลอง……วันที่ส่งรายงาน……ตรวจโดย…… ……...

การทดลองที่ C2

คุณสมบัติของมวลรวม I (Properties of Aggregate I)

<u>การทดลองย่อยที่ C2-1</u> ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมละเอียด (Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate)

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อศึกษาการหาค่าความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk specific gravity) และความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent specific gravity) ของมวลรวมละเอียด และการดูดซึม (Absorption) ของมวลรวมละเอียด

<u>วัสดุที่ใช้</u> มวลรวมละเอียด (Fine aggregate) ประมาณ 1,000 กรัม

<u>เอกสารอ้างอิง</u> ASTM Designation: C 128

JIS (Japan Industrial Standard) A 1129

<u>อุปกรณ์ในการทดลอง</u>

(1) ตาชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.1 กรัม

(2) กระบอกตวงหรือภาชนะอื่นที่มีความจุประมาณ 500 มิลลิลิตร

(3) แบบกรวยโลหะ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 ± 3 มิลลิเมตรที่ด้านบน และ 90 ± 3 มิลลิเมตรที่ด้านล่าง และมีความสูง 75 ± 3 มิลลิเมตร

(4) แท่งกระทุ้งที่มีน้ำหนัก 345 ± 15 กรัม และมีหัวกระทุ้งกลมแบนและมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 ± 3 มิลลิเมตร

ขั้นตอนการทดลอง

1. การเตรียมตัวอย่าง
    1. ใส่ทรายลงในถาดหรือถังที่มีขนาดเหมาะสมประมาณ 1,000 กรัม เติมน้ำลงไปให้ท่วมและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ± 4 ชั่วโมง
    2. แผ่ทรายออกเป็นแผ่นให้กระจาย ค่อยๆ ให้ลมร้อนพัดผ่านและกวนทรายให้ทั่ว ทำต่อไปจนกระทั่งทรายอยู่ในสภาพร่วนซุย (Free-flowing condition)
    3. ใส่ทรายลงในแบบกรวย (Conical mold) และกระทุ้งที่ผิวด้วยแท่งเหล็ก (Rod) เป็นจำนวน 25 ครั้ง ค่อยๆ ยกแบบกรวยออกในแนวดิ่ง ถ้าทรายยังคงสภาพรูปกรวย แสดงว่ายังมีน้ำอิสระ (Free moisture) อยู่ในทราย
    4. ทำให้ทรายแห้งต่อไปโดยค่อยๆกวนและทดสอบการชักกรวยเป็นระยะๆ จนกระทั่งกรวยทรายล้มทันทีที่ชักแบบกรวยออก สภาพเช่นนี้เรียกว่าทรายอยู่ใน **สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated surface-dry condition)**

2. การทดสอบ
    1. ใส่ทรายจำนวน 500 กรัม[1] ลงในขวดแก้ว (Glass graduate) ที่มีน้ำอยู่ จากนั้นเติมน้ำลงไปจนถึงความจุประมาณร้อยละ 90
    2. เขย่าขวดแก้วเพื่อไล่ฟองอากาศออก แล้วเติมน้ำลงไปจนเต็มความจุของขวดแก้ว คำนวณหาน้ำหนักทั้งหมดของน้ำที่ใส่เข้าไปในขวดแก้ว
    3. นำทรายออกมาจากขวดแก้ว และทิ้งให้แห้งในเตาอบที่ควบคุมอุณหภูมิคงที่ที่ 110 ± 5 °C จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นในอุณหภูมิห้องประมาณ 1 ถึง 2 ชั่วโมง ก่อนชั่งน้ำหนักให้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
    4. ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมสามารถคำนวณได้ดังนี้:
        (ก) ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk specific gravity) = A/(V-W)
        (ข) ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง = 500/(V-W)
        (Bulk specific gravity on the saturated surface-dry basis)
        (ค) ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent specific gravity) = A/[(V-W)-(500-A)]
        (ง) ร้อยละการดูดซึม (Percentage of absorption) = [(500-A)/A]*100

[1] ทำการวัดและบันทึกน้ำหนักละเอียดถึง 0.1 กรัม

โดยที่

A = น้ำหนักของตัวอย่างที่อบแห้ง (g)

V = ปริมาตรของขวดแก้ว (ml)

W = น้ำหนักของน้ำที่เติมลงในขวดแก้ว (g)

5. ควรทำซ้ำเพื่อตรวจสอบการคำนวณ โดยควรมีความแตกต่างไม่เกิน 0.02 สำหรับความถ่วงจำเพาะ และ 0.05 % สำหรับค่าการดูดซึม

<u>ข้อมูลและผลการทดลอง</u>

ประเภทของมวลรวมละเอียด ……..

	การคำนวณ	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
ปริมาตรของขวดแก้ว, V (มิลลิลิตร)		
น้ำหนักของขวดแก้ว (กรัม)		
น้ำหนักของทรายที่สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD)(กรัม)		
น้ำหนักน้ำ + ทราย + ขวดแก้ว (กรัม)		
น้ำหนักของน้ำที่เติมลงในขวดแก้ว, W (กรัม)		
น้ำหนักของทรายที่อบแห้ง, A (กรัม)		
ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk specific gravity)		
ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่สภาพ SSD (Bulk specific gravity at SSD)		
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent specific gravity)		
การดูดซึม (Absorption)(%)		

1. ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด ……..
2. ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่สภาพ SSD ……..
3. ความถ่วงจำเพาะปรากฏ ……..
4. การดูดซึม, % ……..

ตัวอย่างการคำนวณ วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง

<u>การทดลองย่อยที่ C2-2</u> หนึ่งหน่วยน้ำหนักและช่องว่างของมวลรวมละเอียด (Unit Weight and Voids of Fine Aggregate)

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อศึกษาการหาน้ำหนักหนึ่งหน่วยและช่องว่างของมวลรวมละเอียด

<u>วัสดุที่ใช้</u> มวลรวมละเอียดประมาณ 15 กิโลกรัม

<u>เอกสารอ้างอิง</u> ASTM Designation: C 29

JIS (Japan Industrial Standard) A 1104

<u>อุปกรณ์ในการทดลอง</u>

(1) ตาชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.05 กิโลกรัม

(2) แท่งเหล็กกระทุ้ง (Tamping rod) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร และยาวประมาณ 600 มิลลิเมตร

(3) แบบเหล็กทรงกระบอก ที่มีความสูงประมาณเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลาง

ขั้นตอนการทดลอง

1. คำนวณหาน้ำหนักน้ำที่อุณหภูมิห้องที่เติมเต็มแบบเหล็กทรงกระบอก
2. ตัวอย่างต้องอยู่ในสภาพที่มีน้ำหนักแห้งคงที่ที่อุณหภูมิ 110 $\pm$ 5 °C และต้องผสมเข้าทั่วกัน จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
3. นำทรายใส่ในแบบทรงกระบอกจนมีระดับหนึ่งในสามของความสูงของแบบ และกระทุ้งด้วยแท่งเหล็กกระทุ้ง (Tamping rod) ให้ทั่วผิวหน้าจำนวน 25 ครั้ง การกระทุ้งควรกระทำให้ทั่วทั้งผิว
4. นำทรายใส่ในแบบทรงกระบอกจนมีระดับสองในสามของความสูงของแบบ และทำการกระทุ้งแบบเดียวกัน
5. นำทรายใส่ในแบบทรงกระบอกจนเต็ม และกระทุ้งอีก 25 ครั้ง ส่วนของทรายที่ล้นเกินแบบให้ปาดออกด้วยแท่งเหล็ก โดยวางพาดที่ขอบแบบแล้วปาดทรายทิ้งออกไป
6. คำนวณหาน้ำหนักสุทธิของตัวอย่างจากน้ำหนักของตัวอย่างรวมกับเครื่องตวง, G และน้ำหนักของเครื่องตวงอย่างเดียว, T การทดสอบควรกระทำอย่างน้อยสองครั้งต่อตัวอย่างที่นำมาทดสอบและใช้ค่าเฉลี่ยจากการวัด ผลการทดลองที่ได้ควรจะแตกต่างไม่เกิน 1%
7. หนึ่งหน่วยน้ำหนัก, M สามารถคำนวณได้จากน้ำหนักของตัวอย่างและปริมาตรของแบบเหล็ก, V ดังนี้:

$$M = \frac{(G - T)}{V}$$

8. ปริมาณช่องว่าง (Void content) สามารถคำนวณได้จากหนึ่งหน่วยน้ำหนัก, M และความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) และความหนาแน่นของน้ำ, W ดังนี้:

$$\text{Voids}(\%) = \frac{(S * W) - M}{(S * W)} * 100$$

ข้อมูลและผลการทดลอง

	การคำนวณ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำหนักของแบบทรงกระบอกที่ใช้วัด, T (กิโลกรัม)			
น้ำหนักของแบบทรงกระบอก (กิโลกรัม)			
น้ำหนักของน้ำ (กิโลกรัม)			
ปริมาตรของแบบทรงกระบอก, V (เมตร^3)			
น้ำหนักของทรงกระบอกและตัวอย่าง, G (กิโลกรัม)			
น้ำหนักของตัวอย่างเพียงอย่างเดียว (กิโลกรัม)			
หนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวอย่าง (กิโลกรัม/เมตร^3)			
ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD)			
เปอร์เซ็นต์ช่องว่าง (%)			

1. ค่าเฉลี่ยหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวอย่าง = ... กิโลกรัม/เมตร^3
2. ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ช่องว่าง = ... %

ตัวอย่างการคำนวณ วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

<u>การทดลองย่อยที่ C2-3</u> ความชื้นที่ผิวของมวลรวมละเอียด (Surface Moisture in Fine Aggregate)

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อศึกษาการหาความชื้นที่ผิวของมวลรวมละเอียดด้วยวิธีการแทนที่ในน้ำ

<u>วัสดุที่ใช้</u> มวลรวมละเอียดที่ทราบค่าความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) ในการทดลองย่อยที่ C2-1

<u>เอกสารอ้างอิง</u> ASTM Designation: C 70

JIS (Japan Industrial Standard) A 1111

<u>อุปกรณ์ในการทดลอง</u>

(1) ตาชั่งที่มีความละเอียด 0.5 กรัม

(2) ภาชนะแก้วที่มีขีดบอกปริมาตรอย่างน้อย 500 มิลลิลิตร

ขั้นตอนการทดลอง

1. เลือกตัวแทนของตัวอย่างมาอย่างน้อย 200 กรัม ในแต่ละตัวอย่าง, W_1
2. เติมน้ำลงในภาชนะถึงขีดหรือระดับที่เหมาะสม บันทึกน้ำหนักของภาชนะที่เติมน้ำนี้ไว้, W_2
3. ภาชนะต้องแห้งสนิท จากนั้นใส่ตัวอย่างลงไปในภาชนะ เติมน้ำให้ท่วมตัวอย่าง แล้วเขย่าภาชนะเพื่อไล่ฟองอากาศออก
4. เติมน้ำเพิ่มลงไปอีกจนถึงขีดตามขั้นที่ 2 น้ำหนักทั้งหมดของภาชนะและตัวอย่างและน้ำถูกบันทึกไว้ W_3
5. ปริมาณน้ำที่แทนที่ตัวอย่าง, W สามารถคำนวณได้จาก:

$$W = W_1 + W_2 - W_3$$

6. คำนวณหาร้อยละของความชื้นที่ผิวหน้าเทียบกับมวลรวมละเอียดที่อิ่มตัวผิวแห้ง, P_s ดังนี้:

$$P_s = \left(\frac{W - V_d}{W_1 - W} \right) * 100$$

โดยที่ V_d คือ น้ำหนักของตัวอย่างหารด้วยความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD)

7. คำนวณหาร้อยละความชื้นที่ผิวเทียบกับมวลรวมแห้ง, P_d ถ้าทราบความดูดซึม (%), P_a

$$P_d = P_s(1+P_a)$$

8. ทำการทดลองอย่างน้อยสองครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย ความแตกต่างของแต่ละค่ากับค่าเฉลี่ยไม่ควรเกิน 0.3

ข้อมูลและผลการทดลอง

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดของมวลรวมละเอียดที่สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) .....

ความดูดซึมของมวลรวมละเอียด .....

	การคำนวณ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำหนักของตัวอย่าง , W_1 (กรัม)			
น้ำหนักของตัวอย่างภาชนะ + น้ำ, W_2 (กรัม)			
น้ำหนักของตัวอย่างภาชนะ + น้ำ + ตัวอย่าง, W_3 (กรัม)			
น้ำหนักของน้ำที่แทนที่ตัวอย่าง + น้ำ, W (กรัม)			
เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ผิว (SSD) (%)			
เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ผิว (dry) (%)			

1. ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ผิว, SSD = ... (%)
2. ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ผิว, dry = ... (%)

ตัวอย่างการคำนวณ วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

<u>การทดลองย่อยที่ C2-4</u> สารอินทรีย์ในมวลรวมละเอียด (Organic Impurities in Fine Aggregate)

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อศึกษาวิธีการตรวจสอบหาสารอินทรีย์ในมวลรวมละเอียด ในเชิงคุณภาพ

<u>วัสดุที่ใช้</u> มวลรวมละเอียด

<u>เอกสารอ้างอิง</u> มอก (Thai Industrial Standard) 566

ASTM Designation: C 40

JIS (Japan Industrial Standard) A 1105

<u>อุปกรณ์ในการทดลอง</u>

(1) กระบอกแก้วสองใบ: กระบอกแก้วควรใสแบะมีความจุ 400 $\pm$ 50 มิลลิลิตร และมีที่ปิด และกระบอกแก้วอย่างน้อยหนึ่งใบจะต้องมีขีดบอกปริมาตรที่ 125 และ 200 มิลลิลิตร

(2) สารละลายโซเดียมไฮดรอไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นโดยน้ำหนัก 3%

(3) สารละลายสีมาตรฐาน

ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมสารละลายสีมาตราฐานโดยการละลายสารโปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4) ในอัตราส่วน 0.250 กรัม ต่อกรด 100 มิลลิลิตร สารละลายที่เตรียมจะต้องใหม่ (ไม่เกินสองชั่วโมงก่อนทำการทดสอบ) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบสี
2. นำตัวอย่างทรายมาจำนวน 450 ถึง 500 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วจนถึงระดับ 125 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรกไซด์ (NaOH) 3% ลงน้ำจนกระทั่งปริมาตรทั้งหมดของทรายและของเหลวเป็น 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปิดขวดแก้ว เขย่าอย่างแรงและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ± 4 ชั่วโมง
4. เมื่อครบ 24 ชั่วโมง ให้เติมสารละลายมาตราฐานลงในขวดอย่างน้อย 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อใช้เปรียบเทียบสี
5. ทำการเปรียบเทียบสีโดยการถือขวดแก้วทั้งสองใกล้กันและมองดูว่าสีของสารละลายมีความเข้ม หรือจาง หรือเท่ากันกับสีของสารละลายมาตราฐาน
6. ถ้าสีของสารลายลายมีความเข้มกว่าสีของสารละลายมาตราฐานแสดงว่า ทรายที่ทำการทดสอบมีความเป็นไปได้ที่จะมีสารอินทรีย์เจือปน

ข้อมูลและผลการทดลอง

ประเภทและแหล่งของทราย .....

การทดสอบครั้งที่	จางกว่า	เท่ากัน	เข้มกว่า
1			
2			
3			

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

520332 ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology Laboratory)

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ชื่อ-สกุลของนิสิต…… …รหัส ……กลุ่มที่…….

วันที่ทำการทดลอง……วันที่ส่งรายงาน……ตรวจโดย…… ……...

การทดลองที่ C3

คุณสมบัติของมวลรวม II (Properties of Aggregate II)

<u>การทดลองย่อยที่ C3-1</u> ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบ (Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate)

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อศึกษาการหาค่าความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk specific gravity) และความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent specific gravity) ของมวลรวมหยาบ และการดูดซึม (Absorption) ของมวลรวมละเอียด

<u>วัสดุที่ใช้</u> มวลรวมหยาบ (Coarse aggregate) ประมาณ 1,000 กรัม

<u>เอกสารอ้างอิง</u> ASTM Designation: C 127

JIS (Japan Industrial Standard) A 1110

<u>อุปกรณ์ในการทดลอง</u>

(1) ตาชั่งที่มีความละเอียด 0.5 กรัม

(2) ภาชนะใส่ตัวอย่าง (ตะกร้าลวด)

(3) ถังน้ำ

(4) ตะแกรง ASTM เบอร์ 4 (5mm)

ขั้นตอนการทดลอง

1. ทิ้งวัสดุที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ไป นำตัวอย่างไปล้างให้ทั่วเพื่อขจัดฝุ่นหรือสารที่เคลือบผิวของอนุภาค อบให้แห้งจนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่ที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °C ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ถึง 3 ชั่วโมง จากนั้นแช่ตัวอย่างในน้ำเป็นเวลา 24 ± 4 ชั่วโมง
2. นำตัวอย่างออกจากน้ำและเกลี่ยบนผ้าที่ดูดซึมน้ำจนกระทั่งไม่เห็นน้ำเคลือบที่ผิวของตัวอย่าง แต่ผิวของตัวอย่างยังคงชื้นอยู่ ระวังอย่าให้เกิดการระเหยระหว่างที่ทำให้ผิวแห้ง
3. ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated surface-dry condition, SSD) ให้ละเอียดถึง 0.5 กรัม จากนั้นใส่ตัวอย่างที่อิ่มตัวผิวแห้งลงในตะกร้าลวด เพื่อที่จะหาน้ำหนักในน้ำ ไล่ฟองอากาศออกก่อนที่จะทำการชั่งน้ำหนักโดยการเขย่าภาชนะขณะที่จุ่มน้ำ
4. อบให้แห้งจนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่ที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °C ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องและชั่งน้ำหนักให้ละเอียดถึง 0.5 กรัม
5. ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมสามารถคำนวณได้ดังนี้:

   (ก) ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด = A/(B-C)

   (ข) ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่สภาพ SSD = B/(B-C)

   (ค) ความถ่วงจำเพาะปรากฏ = A/(A-C)

   (ง) ร้อยละการดูดซึม = [(B-A)/A]*100

   โดยที่

   A = น้ำหนักของตัวอย่างที่อบแห้งในอากาศ (กรัม)

   B = น้ำหนักของตัวอย่างที่สภาพ SSD ในอากาศ (กรัม)

   C = น้ำหนักของตัวอย่างที่สภาพ SSD ในน้ำ (กรัม)

ข้อมูลและผลการทดลอง

ประเภทและแหล่งที่มาของตัวอย่าง : ตัวอย่าง 1 .....

ตัวอย่าง 2 .....

	ตัวอย่าง 1		ตัวอย่าง 2	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
น้ำหนักของตัวอย่างที่สภาพ SSD, B (กรัม)				
น้ำหนักของภาชนะ (ตะกร้า) ในน้ำ (กรัม)				
น้ำหนักของภาชนะและตัวอย่างในน้ำ (กรัม)				
น้ำหนักของตัวอย่างในน้ำ, C (กรัม)				
น้ำหนักของตัวอย่างที่อบแห้งในอากาศ, A (กรัม)				
ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด				
ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่สภาพ SSD				
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ				
การดูดซึม (%)				

	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
1. ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด	.....	.....
2. ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่สภาพ SSD	.....	.....
3. ความถ่วงจำเพาะปรากฏ	.....	.....
4. การดูดซึม, %	.....	.....

ตัวอย่างการคำนวณ วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

<u>การทดลองย่อยที่ C3-2</u> น้ำหนักหนึ่งหน่วยและช่องว่างของมวลรวมหยาบ (Unit Weight and Voids of Coarse Aggregate)

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อศึกษาการหาค่าความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk specific gravity) และความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent specific gravity) ของมวลรวมหยาบ และการดูดซึม (Absorption) ของมวลรวมหยาบ

<u>วัสดุที่ใช้</u> มวลรวมหยาบ (Coarse aggregate) ประมาณ 15 กิโลกรัม

<u>เอกสารอ้างอิง</u> ASTM Designation: C 29

JIS (Japan Industrial Standard) A 1104

<u>อุปกรณ์ในการทดลอง</u>

(1) ตาชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.05 กิโลกรัม

(2) แท่งกระทุ้งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร และความสูงประมาณ 600 มิลลิเมตร

(3) ทรงกระบอกโลหะที่มีความสูงประมาณเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลาง

ขั้นตอนการทดลอง

1. หาน้ำหนักของน้ำที่อุณหภูมิห้องที่เติมใส่ทรงกระบอกเหล็กจนเต็ม
2. ตัวอย่างต้องมีน้ำหนักคงที่ที่อุณหภูมิ $110 \pm 5\ ^{\circ}C$ ทั่วทั้งหมด จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
3. ใส่ตัวอย่างในทรงกระบอกประมาณหนึ่งส่วนสามของความสูง แล้วกระทุ้งด้วยแท่งเหล็กให้ทั่วจำนวน 25 ครั้ง
4. ใส่ตัวอย่างให้สูงถึงสองในสามของความสูงและทำการกระทุ้งจำนวนอีก 25 ครั้ง
5. เติมตัวอย่างในทรงกระบอกให้เต็มและกระทุ้งอีก 25 ครั้ง ส่วนที่เกินล้นทรงกระบอกให้ทำการปาดออกด้วยการใช้แท่งเหล็กวางพาดที่ด้านบนของขอบปากทรงกระบอกแล้วปาดทิ้งออกไป
6. หาน้ำหนักตัวอย่างสุทธิของตัวอย่างจากผลต่างของน้ำหนักของตัวอย่างรวมกับภาชนะ, G กับน้ำหนักของภาชนะเพียงอย่างเดียว, T ควรทำการทดสอบหาอย่างน้อยสองครั้งจากตัวอย่างที่ได้นำมาทดสอบในครั้งเดียวกัน แล้วหาค่าเฉลี่ย ผลที่ได้ควรมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1%
7. หน่วยน้ำหนัก, M สามารถคำนวณได้จากน้ำหนักของตัวอย่างและปริมาตรของภาชนะ, V ดังต่อไปนี้:

$$M = \frac{(G - T)}{V}$$

8. ปริมาณช่องว่าง (Void content) สามารถคำนวณหาได้จากค่าหน่วยน้ำหนัก, M และความหนาแน่นทั้งหมดที่สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง, S และค่าความหนาแน่นของน้ำ, W ดังนี้:

$$\text{Voids}(\%) = \frac{(S * W) - M}{(S * W)} * 100$$

ข้อมูลและผลการทดลอง

ประเภทและแหล่งของตัวอย่าง : ตัวอย่างที่ 1 ……..

ตัวอย่างที่ 2 ……..

	ตัวอย่าง 1		ตัวอย่าง 2	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
น้ำหนักของทรงกระบอกที่ใช้ทดลอง, T (กิโลกรัม)				
น้ำหนักของทรงกระบอกและน้ำ (กิโลกรัม)				
น้ำหนักของน้ำ (กิโลกรัม)				
ปริมาตรของทรงกระบอกที่ใช้ทดลอง, V (เมตร^3)				
น้ำหนักของทรงกระบอก + ตัวอย่าง, G (กิโลกรัม)				
น้ำหนักของตัวอย่างเพียงอย่างเดียว (กิโลกรัม)				
หน่วยน้ำหนักของตัวอย่าง (กิโลกรัม/เมตร^3)				
ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD)				
เปอร์เซ็นต์ของช่องว่าง (%)				

	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
1. หน่วยน้ำหนักของตัวอย่าง (กิโลกรัม/เมตร^3)	……	……
2. เปอร์เซ็นต์ของช่องว่าง (%)	……	……

ตัวอย่างการคำนวณ วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

<u>การทดลองย่อยที่ C3-3</u> ปริมาณดินเหนียวของมวลรวมหยาบ (Clay Content of Coarse Aggregate)

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อศึกษาการหาปริมาณดินเหนียว (Clay content) ของมวลรวมหยาบ

<u>วัสดุที่ใช้</u> มวลรวมหยาบ (Coarse aggregate)

<u>เอกสารอ้างอิง</u> ASTM Designation: C 117

JIS (Japan Industrial Standard) A 1137

BS (British Standard) 812 Part 103 (Draft)

<u>อุปกรณ์ในการทดลอง</u>

(1) ตาชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.1 % ของน้ำหนักทั้งหมดของตัวอย่าง

(2) ตะแกรงร่อนเบอร์ 4 (5mm) และเบอร์ 8 (2.5 mm)

ขั้นตอนการทดลอง

1. ใช้อนุภาคที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 5 มิลลิเมตรเป็นตัวอย่างในการทดสอบ ตัวอย่างที่ใช้ควรจะทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้องอย่างช้าๆ จนมีสภาพแห้งในอากาศ (Air-dried condition) ปริมาณของตัวอย่างควรใช้ไม่น้อยกว่าปริมาณที่แสดงไว้ในตารางข้างล่างนี้:

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม (Maximum size of aggregate), mm	น้ำหนักของตัวอย่างที่แห้งในอากาศ (Air-dried weight of sample), kg
10 mm – 15 mm	2
20 mm – 25 mm	6
30 mm – 40 mm	10
over 40 mm	20

2. ตัวอย่างจะต้องถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนเท่าๆ กัน และแต่ละส่วนจะถูกใช้สำหรับการทดสอบแต่ละครั้ง
3. ตัวอย่างจะต้องถูกวางในภาชนะและทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 100-110 °C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ น้ำหนักควรจะวัดให้มีความละเอียดถึง 0.1 กรัม
4. ตัวอย่างจะต้องถูกกระจายเป็นชั้นบางๆ ที่ด้านล่างของภาชนะและเติมน้ำลงไปจนกระทั่งท่วมตัวอย่าง ระบายน้ำทิ้งออกไปหลังจากครบ 24 ชั่วโมง
5. ก้อนดินเหนียว (Clay lumps) สามารถตรวจสอบได้จากการกดลงบนมวลรวมด้วยปลายนิ้ว ส่วนที่สามารถกดให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ ได้เรียกว่า ก้อนดินเหนียว
6. หลังจากกดก้อยดินเหนียวครบทั้งหมดแล้ว ทำการล้างตัวอย่างด้วยน้ำบนตะแกรงร่อนขนาดช่อง 2.5 มิลลิเมตร อนุภาคส่วนที่ต้างอยู่บนตะแกรงร่อนจะต้องนำไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 100-110 °C จนกระทั่งน้ำหนักมีค่าคงที่, W_2 น้ำหนักควรจะทำการวัดให้ละเอียดถึง 0.1 %
7. ปริมาณดินเหนียว (Clay content, C) สามารถคำนวณได้ดังสูตรต่อไป:

$$C = \left(\frac{W_1 - W_2}{W_1} \right) * 100$$

โดยที่ความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยต้องไม่เกิน 0.2 %.

ข้อมูลและผลการทดลอง

ครั้งที่	น้ำหนักของตัวอย่างในสภาพแห้งในอากาศ (กรัม)	น้ำหนักของตัวอย่างก่อนการทดสอบ, W_1 (กรัม)	น้ำหนักของตัวอย่างหลังการทดสอบ, W_2 (กรัม)	ปริมาณดินเหนียว, C (%)	ค่าเฉลี่ยปริมาณดินเหนียว (%)

ตัวอย่างการคำนวณ วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

520332 ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology Laboratory)

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ชื่อ-สกุลของนิสิต…… …รหัส ……กลุ่มที่…….

วันที่ทำการทดลอง……วันที่ส่งรายงาน……ตรวจโดย…… ……...

การทดลองที่ C4

คุณสมบัติของมวลรวม III (Properties of Aggregate III)

<u>การทดลองย่อยที่ C4-1</u> การวิเคราะห์ขนาดคละของมวลรวมหยาบ (Sieve Analysis of Coarse Aggregate)

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อศึกษาการหาการกระจายตัวของขนาดของมวลรวมหยาบ

<u>วัสดุที่ใช้</u> มวลรวมหยาบ (Coarse aggregate)

<u>เอกสารอ้างอิง</u> ASTM Designation: C 33, C 136

JIS (Japan Industrial Standard) A 1102

BS (British Standard) 812, 882

<u>อุปกรณ์ในการทดลอง</u>

(1) ตาชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.1 % ของน้ำหนักที่ทดสอบ

(2) ตะแกรงมาตรฐาน เช่น 6″, 3″, 1.5″, 3/4″, 3/8″ และเบอร์ 4.

(3) เตาอบที่มีความจุที่พอเหมาะในการรักษาอุณหภูมิให้สม่ำเสมอที่ 110 $\pm$ 5 °C

ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการแบ่งส่วนมวลรวมหยาบโดยวิธีการแบ่งสี่ส่วน (Method of quartering) ตัวอย่างควรจะมีสภาพผิวแห้ง น้ำหนักของตัวอย่างที่น้อยที่สุดขึ้นอยู่กับขนาดที่ใหญ่ที่สุดของมวลรวมหยาบดังนี้

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ	ปริมาณที่ใช้ (กิโลกรัม)
9.5 mm (3/8″)	1
12.5 mm (1/2″)	2
19.0 mm (3/4″)	5
25.0 mm (1″)	10
37.5 mm (1.5″)	15
50.0 mm (2″)	20
63.0 mm (2.5″)	35
75.0 mm (3″)	60
90.0 mm (3.5″)	100
100.0 mm (4″)	150

2. ใส่ตัวอย่างมวลรวมลงในกลุ่มตะแกรงร่อนมาตรฐานแล้ววางลงบนเครื่องเขย่า เขย่าจนกระทั่งตัวอย่างไม่มีการลอดผ่านตะแกรงเกิน 1% ในระหว่างที่มีการเขย่าเป็นระยะเวลาหนึ่งนาที ถ้าไม่มีข้อจำกัดเรื่องเวลา ควรเขย่าอย่างน้อย 10 นาที
3. ชั่งน้ำหนักของวัสดุที่ค้างอยู่บนแต่ละตะแกรงแยกจากกัน แล้วรวมน้ำหนักทั้งหมดแล้วคำนวณน้ำหนักที่ค้างบนแต่ละตะแกรงเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักทั้งหมด ทำการพล๊อตกราฟของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักค้างบนตะแกรงสะสม

ข้อมูลและผลการทดลอง

ประเภทและแหล่งของตัวอย่างที่ 1 : ……..

น้ำหนักของตัวอย่าง 2 : ……..

ขนาดของตะแกรง			น้ำหนักที่ค้าง	เปอร์เซ็นต์ที่ค้าง	
ASTM	BS (mm)	JIS (mm)	(kg)	แต่ละตะแกรง	สะสม
6″	100.0	100			
3″	75.0	80			
1.5″	37.5	40			
¾″	20.0	20			
3/8″	10.0	10			
No. 4	5.0	0			
รวม					

ประเภทและแหล่งของตัวอย่างที่ 2 : ……..

น้ำหนักของตัวอย่าง 2 : ……..

ขนาดของตะแกรง			น้ำหนักที่ค้าง	เปอร์เซ็นต์ที่ค้าง	
ASTM	BS (mm)	JIS (mm)	(กิโลกรัม)	แต่ละตะแกรง	สะสม
6″	100.0	100			
3″	75.0	80			
1.5″	37.5	40			
¾″	20.0	20			
3/8″	10.0	10			
No. 4	5.0	0			
รวม					

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

<u>การทดลองย่อยที่ C4-2</u> การวิเคราะห์ขนาดคละของมวลรวมละเอียด (Sieve Analysis of Fine Aggregate)

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อศึกษาการหาการกระจายตัวของขนาดของมวลรวมละเอียด

<u>วัสดุที่ใช้</u> มวลรวมที่อย่างน้อยร้อยละ 95 ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 (2.36 mm) จำนวน 100 กรัม
มวลรวมที่อย่างน้อยร้อยละ 85 ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 mm) และมากกว่าร้อยละ 5 ค้างบนตะแกรงเบอร์ 8 (2.36 mm) จำนวน 500 กรัม

<u>เอกสารอ้างอิง</u> ASTM Designation: C 33, C 136
JIS (Japan Industrial Standard) A 1102
BS (British Standard) 812, 882

<u>อุปกรณ์ในการทดลอง</u>

(1) ตาชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.1 % ของการทดสอบ
(2) ตะแกรงมาตรฐาน เช่น ตะแกรง ASTM เบอร์ 4, 8, 16, 30, 50 และเบอร์ 100.
(3) เตาอบที่มีความจุที่พอเหมาะในการรักษาอุณหภูมิให้สม่ำเสมอที่ $110 \pm 5\ ^{\circ}C$

.

ขั้นตอนการทดลอง

1. การหาขนาดคละของทรายควรกระทำผ่านการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 8 นิ้ว โดยเครื่องเขย่า ให้ทิ้งวัสดุที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 ออกไป ทำการอบให้ตัวอย่างแห้งจนมีน้ำหนักคงที่ที่ อุณหภูมิ $110 \pm 5\ ^{\circ}C$.
2. จำกัดปริมาณของวัสดุที่ใส่ลงบนตะแกรง เพื่อให้วัสดุมีโอกาสลอดผ่านช่องตะแกรง น้ำหนักที่ค้างบนตะแกรงหลังจากที่เสร็จการร่อนควรมีค่าไม่เกิน $6\ kg/m^2$
3. วางตัวอย่างทรายลงในกลุ่มตะแกรงร่อนมาตรฐานขนาด 8 นิ้ว ปิดฝาของตะแกรงร่อนแล้ววางลงบนเครื่องเขย่า
4. ทำการร่อนตัวอย่างจนกระทั่งไม่มีการผ่านเกิน 1 % ภายในระยะเวลาหนึ่งนาที ถ้าไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา ให้มีการเขย่าอย่างน้อย 10 นาที
5. ชั่งน้ำหนักของวัสดุที่ค้างอยู่บนแต่ละตะแกรงแยกจากกัน โดยเริ่มต้นที่วัสดุที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 8 (2.36 mm) ต่อไปตามลำดับ จนกระทั่งถึงถาดรอง (Pan) ระมัดระวังในการทำความสะอาดตะแกรงด้วยแปรง อย่าทำให้ลวดตะแกรงชำรุด
6. แปลงน้ำหนักที่ค้างบนตะแกรงแต่ละเบอร์เป็นร้อยละของน้ำหนักทั้งหมด คำนวณหา **ค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness modulus, FM)** โดยทำการรวมร้อยละน้ำหนักสะสมของทรายที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 8 ถึงเบอร์ 100 แล้วหารด้วยหนึ่งร้อย โดยที่ค่าโมดูลัสความละเอียดเป็นเครื่องมือที่แสดงถึงความหยาบหรือความละเอียดของทราย <u>แต่ไม่ได้แสดงถึงขนาดคละของทราย</u>
7. พร็อตกราฟเปอร์เซ็นต์สะสมที่ค้างบนตะแกรงของทรายกับเบอร์หรือขนาดของตะแกรง

ข้อมูลและผลการทดลอง

น้ำหนักทั้งหมดของทรายตัวอย่าง (กรัม) ……..

ขนาดของตะแกรง			น้ำหนักที่ค้าง (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ที่ค้าง	
ASTM	BS (mm)	JIS (mm)		แต่ละตะแกรง	สะสม
เบอร์ 4	5.0	5.0			
เบอร์ 8	2.36	2.5			
เบอร์ 16	1.18	1.2			
เบอร์ 30	0.60	0.6			
เบอร์ 50	0.30	0.3			
เบอร์ 100	0.15	0.15			
ถาด	ถาด	ถาด			
รวม					

โมดูลัสความละเอียดของทราย = ……

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

<u>การทดลองย่อยที่ C4-3</u> การลองคำนวณหาขนาดคละของมวลรวมของคอนกรีต (Trial Computation of a Combined Grading of Concrete Aggregate)

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อศึกษาการลองหาขนาดคละรวมของมวลรวมคอนกรีตสำหรับความต้องการหนึ่งๆ

<u>วัสดุที่ใช้</u> มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ

<u>เอกสารอ้างอิง</u> มอก (Thai Industrial Standard) 566

ASTM Designation : C 33

BS (British Standard) 882

<u>อุปกรณ์ในการทดลอง</u> ตะแกรงมาตรฐานของมวลรวม

ขั้นตอนการทดลอง

ลองคำนวณหาเปอร์เซ็นต์สะสมคงค้างของมวลรวมทั้งหมดให้อยู่ภายในขีดจำกัดของมวลรวมคอนกรีตที่ดี ซึ่งมวลรวมคอนกรีตที่ดีต้องมีขนาดคละตามขีดจำกัดดังนี้

(ก) ตามมาตรฐาน TIS 566

ขนาดตะแกรง	เปอร์เซ็นต์ที่ผ่าน	
	Zone I	Zone II
75.0 mm	100	-
38.1 mm	95 – 100	100
19.0 mm	45 – 75	95 – 100
4.75 mm	25 – 45	30 – 50
600 μm	8 – 30	10 – 35
150 μm	0 - 6	0 – 6

(ข) ตามมาตรฐาน ASTM C 33 & BS 882

ขนาดตะแกรง	เปอร์เซ็นต์ที่ค้าง
1 ½ ″	0
¾ ″	0 – 5
3/8 ″	34 – 45
No. 4	58 – 65
No. 8	65 – 72
No. 16	72 – 79
No. 30	79 – 86
No. 50	95 – 97
No. 100	97 – 100

ตัวอย่างการคำนวณ วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

520332 ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology Laboratory)

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ชื่อ-สกุลของนิสิต…… …รหัส ……กลุ่มที่…….

วันที่ทำการทดลอง……วันที่ส่งรายงาน……ตรวจโดย…… ……...

การทดลองที่ C5

คุณสมบัติของมวลรวม IV (Properties of Aggregate IV)

<u>การทดลองย่อยที่ C5-1</u> การขัดสีของมวลรวมโดยการใช้เครื่องลอสแองเจิลลิส (Abrasion of Aggregate by Use of Los Angeles Machine)

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อศึกษาการความต้านทานการขัดสีของมวลรวมหยาบโดยเครื่องลอสแองเจิลลิส

<u>วัสดุที่ใช้</u> มวลรวมหยาบ (Coarse aggregate)

<u>เอกสารอ้างอิง</u> มอก (Thai Industrial Standard) 566

ASTM Designation: : C 131 and C 535

JIS (Japan Industrial Standard) A 1121

BS (British Standard) 812, 882

<u>อุปกรณ์ในการทดลอง</u>

(1) เครื่องลอสแองเจิลลิส (Los Angeles Machine)

(2) ตาชั่งที่มีความละเอียด 0.1% ของน้ำหนักทั้งหมดของตัวอย่าง

(3) ตะแกรงมาตรฐานที่มีขนาดตั้งแต่ช่วง 1.7 - 80.0 มิลลิเมตร (ASTM เบอร์12 ถึง 3″)

(4) ลูกบอลโลหะทรงกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 46.8 มิลลิเมตร และมีน้ำหนักแต่ละก้อนอยู่ระหว่าง 390 และ 445 กรัม)

ขั้นตอนการทดลอง

1. ตัวอย่างทดสอบต้องผ่านตะแกรงขนาด 2.5 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm และ 80 mm จากนั้นทำการล้างตัวอย่างด้วยน้ำสะอาดและทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 100-110 °C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่
2. น้ำหนักของตัวอย่างจะต้องมีค่าตามตารางต่อไปนี้

เกรด	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)	น้ำหนักทั้งหมดของตัวอย่าง (กรัม)
A	10 – 15	1250 ± 10	5000 ± 10
	15 – 20	1250 ± 10	
	20 – 25	1250 ± 25	
	25 – 40	1250 ± 25	
B	15 – 20	2500 ± 10	5000 ± 10
	20 – 25	2500 ± 10	
C	5 – 10	2500 ± 10	5000 ± 10
	10 – 15	2500 ± 10	
D	2.5 – 5	5000 ± 10	5000 ± 10
E	40 – 50	5000 ± 50	10000 ± 100
	50 – 60	2500 ± 50	
	60 – 80	2500 ± 50	
F	25 – 40	5000 ± 25	10000 ± 75
	40 – 50	5000 ± 50	
G	20 – 25	5000 ± 25	10000 ± 50
	25 –40	5000 ± 25	

3. จำนวนของลูกเหล็กจะต้องเป็นไปตามการแบ่งเกรดตามตารางต่อไปนี้

เกรด	จำนวนลูกบอล	น้ำหนักทั้งหมดของลูกบอล (กรัม)
A	12	5000 ± 25
B	11	4580 ± 25
C	8	3300 ± 20
D	6	2500 ± 15
E	12	5000 ± 25
F	12	5000 ± 25
G	12	5000 ± 25

4. หลังจากใส่ลูกเหล็กและตัวอย่างที่มีน้ำหนัก W_1 ในถังทรงกระบอกของเครื่อง ถังทรงกระบอกจะหมุนด้วอัตราการหมุน 30-33 rpm จำนวน 500 รอบ สำหรับตัวอย่างเกรด A, B, C และ D และ 1,000 รอบ สำหรับตัวอย่างเกรด E, F และ G
5. ตัวอย่างจะถูกนำออกมาจากเครื่องและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 12 (1.7 mm wire sieve) ตัวอย่างที่ค้างอยู่บนตะแกรงจะถูกล้างและทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 100-110 °C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่, W_2
6. ค่าการขัดสี (Abrasion loss, R) สามารถคำนวณได้ดังนี้:

$$R = \frac{W_1 - W_2}{W_1} * 100$$

ค่าของ R ไม่ควรมากกว่า 50 % สำหรับงานคอนกรีตทั่วไป ทั้งที่ตามเกณฑ์ของ มอก.

ข้อมูลและผลการทดลอง

ตัวอย่างที่ 1

1. ประเภทและแหล่งของมวลรวมหยาบ ……..
2. การแบ่งเกรด ……..
3. ขนาดคละและน้ำหนักของตัวอย่างก่อนทดสอบ

ช่วงขนาดอนุภาค	น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)
รวม	

4. น้ำหนักของตัวอย่างหลังทดสอบ, W_2 (กรัม) ……..
5. ค่าการขัดสี (%) ……..

ตัวอย่างที่ 2

1. ประเภทและแหล่งของมวลรวมหยาบ ……..
2. การแบ่งเกรด ……..
3. ขนาดคละและน้ำหนักของตัวอย่างก่อนทดสอบ

ช่วงขนาดอนุภาค	น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)
รวม	

4. น้ำหนักของตัวอย่างหลังทดสอบ, W_2 (กรัม) ……..
5. ค่าการขัดสี (%) ……..

ตัวอย่างการคำนวณ วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

<u>การทดลองย่อยที่ C5-2</u> ดัชนีความแบน (Flakiness Index)

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อศึกษาการหาดัชนีความแบน (Flakiness index, FI) ที่เป็นตัวแปรทั่วไปของการประเมินคุณสมบัติของมวลรวมหยาบ

<u>วัสดุที่ใช้</u> มวลรวมหยาบ (Coarse aggregate)

<u>เอกสารอ้างอิง</u> BS (British Standard) 812, 882

<u>อุปกรณ์ในการทดลอง</u>

(1) เกทวัดความแบน

(2) ตะแกรงสำหรับมวลรวมหยาบ

(3) เครื่องเขย่า

(4) ตาชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.1 % ของมวลที่ใช้ทดสอบ

ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการวิเคราะห์ขนาดคละโดยการใช้ตะแกรงร่อนขนาดดังนี้: 63.0 mm, 50.0 mm, 37.5 mm, 28.0 mm, 20.0 mm, 14.0 mm, 10.0 mm และ 6.3 mm. น้ำหนักที่น้อยที่สุดของตัวอย่างขึ้นอยู่กับขนาดของมวลรวม

Aggregate size fraction (mm)		Width of slot in thickness gauge (mm)	Minimum weight of test sample (kg)
100 % Passing	100 % Retained		
63.0	50.0	33.9 ± 0.3	50
50.0	37.5	26.3 ± 0.3	35
37.5	28.0	19.7 ± 0.3	15
28.0	20.0	14.4 ± 0.15	5
20.0	14.0	10.2 ± 0.15	2
14.0	10.0	7.2 ± 0.1	1
10.0	6.3	4.9 ± 0.1	0.5

2. ทิ้งมวลรวมที่ค้างอยู่บนตะแกรง 63.0 มิลลิเมตร และที่ผ่านตะแกรงขนาด 6.3 มิลลิเมตรไป
3. ชั่งน้ำหนักของส่วนที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด ยกเว้นขนาด 63.0 มิลลิเมตร และเก็บไว้ในถาดแยกจากกัน
4. คำนวณหาผลรวมของน้ำหนักของมวลรวมในแต่ละถาด, M_1 แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ที่ค้างบนตะแกรงแต่ละเบอร์ ละทิ้งส่วนของน้ำหนักที่มีค่า 5% หรือน้อยกว่าออก บันทึกน้ำหนักส่วนที่เหลืออยู่, M_2
5. ทำการวัดส่วนของมวลรวม โดยการใช้ขนาดเกท (Gauge) วัดความแบนที่เหมาะสมกับขนาดของมวลรวมแต่ละส่วน โดยพยายามลอดมวลรวมผ่านเกทด้วยมือ
6. ชั่งน้ำหนักของอนุภาคที่ผ่านขนาดเกทแต่ละขนาด รวมน้ำหนักที่ผ่านเกททั้งหมด, M_3

7. คำนวณค่าดัชนีความแบน[1] ดังนี้:

$$\text{Flakiness} - \text{Index(FI)} = \frac{M_3}{M_2} * 100$$

<u>ตัวอย่างการคำนวณ วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง</u>

[1] BS 882 requires the flakiness index to be less than 50 for uncrushed gravel and less than 40 for crushed rock or crushed gravel when these aggregates are used to make concrete of 20 to 35 MPa, and less than 35 for aggregates used to make concrete of higher the 35 MPa.

520332 ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology Laboratory)

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ชื่อ-สกุลของนิสิต…… …รหัส ……กลุ่มที่…….

วันที่ทำการทดลอง……วันที่ส่งรายงาน……ตรวจโดย…… ……...

การทดลองที่ C6

คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ (Properties of Portland Cement Paste)

<u>การทดลองย่อยที่ C6-1</u> ความข้นเหลวปกติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนต์ (Normal Consistency of Portland Cement)

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อศึกษาความข้นเหลวปกติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนต์ที่แข็งตัวได้ในน้ำด้วยเครื่องมือไวแคท (Vicat apparatus)

<u>วัสดุที่ใช้</u> ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement)

<u>เอกสารอ้างอิง</u> มอก (Thai Industrial Standard) 15 Part 8

ASTM Designation : C 187

JIS (Japan Industrial Standard) R 5201

BS (British Standard) 4550 Part 3

<u>อุปกรณ์ในการทดลอง</u>

(1) เครื่องไวแคท (Vicat apparatus)

(2) ขวดแก้วที่มีความจุ 200 หรือ 250 มิลลิลิตร

(3) ตาชั่งที่มีความละเอียด 1 กรัม

(4) เกรียง (Trowel)

ขั้นตอนการทดลอง

1. การเตรียมซีเมนต์เพสต์

   1.1 โดยการผสมด้วยมือ (Hand Mixing)

   (ก) นำตัวอย่างปูนซีเมนต์จำนวน 500 กรัม วางบนเพลท และก่อให้เป็นรูปกรวยโดยมีหลุม (crater) อยู่ตรงกลางกรวย เทน้ำที่ตวงวัดมาลงในหลุม

   (ข) ใช้เกรียงตักปูนซีเมนต์จากของด้านนอกใส่ลงไปในหลุมภายในเวลา 30 วินาที ทิ้งปูนซีเมนต์ให้ดูดซึมน้ำเป็นเวลา 30 วินาที เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำระเหย ค่อยๆ ใช้เกรียงตักปูนซีเมนต์รอบกรวย

   (ค) เมื่อเสร็จหลังจากที่ทำอย่างต่อเนื่อง ทำการผสมอย่างแรง บีบ ขยำด้วยมือเป็นเวลา 90 วินาที ใช้ถุงมือยางในการป้องกันมือในระหว่างการทำ

   1.2 โดยการผสมด้วยเครื่อง (Mechanical Mixer)

   (ก) นำใบตี (Paddle) และอ่าง (Bowl) ที่แห้ง ติดตั้งลงบนตำแหน่งของเครื่องผสม

   (ข) ใส่น้ำผสมลงในอ่าง แล้วเติมปูนซีเมนต์ลงไปในน้ำ ทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วินาที ให้น้ำถูกดูดซึม

   (ค) เริ่มผสมในความเร็วต่ำ (140 $\pm$ 5 rpm) เป็นเวลา 30 วินาที หยุดเครื่องผสมเป็นเวลา 15 วินาที ระหว่างนี้ให้ทำการกวาดเอาเพสต์ที่ติดอยู่ข้างๆ อ่างลงไปในอ่างให้หมด

   (ง) เริ่มผสมด้วยความเร็วปานกลาง (285 $\pm$ 10 rpm) เป็นเวลา 150 วินาที

2. การทำแบบสำหรับตัวอย่างทดสอบ

   (ก) รีบทำการก่อแบบตัวอย่างที่ได้จากข้อ (1) เป็นก้อนบอลด้วยมือที่สวมถุง และทำการโยนไปมาระหว่างมือทั้งสองเป็นจำนวน 6 ครั้ง รักษาระยะระหว่างมือทั้งสองประมาณ 150 มิลลิเมตร จากมือข้างหนึ่งไปอีกข้างหนึ่ง

   (ข) กดก้อนบอลที่ได้ลงในแบบกรวย โดยวางก้อนบอลไว้บนฝ่ามือแล้วสวมกรวยในด้านที่กว้างลงไป ทำการใส่ตัวอย่างลงในแบบให้เต็ม เอาส่วนที่เกินออกโดยการปาดด้วยฝ่ามือ

   (ค) วางกรวยด้านที่กว้างกว่าลงบนแผ่นกระจก ปาดส่วนที่เกินออกจากขอบด้านบนด้วยเกรียงที่มีขอบคมหนึ่งครั้ง โดยทำมุมเล็กน้อยกับขอบด้านบนของแบบ ระมัดระวังอย่ากดลงบนเพสต์

3. การหาค่าความข้นเหลว

   (ก) ตั้งแบบให้อยู่ใต้เครื่องไวแคทและนำเอาพลีกเกอร์ด้านที่ใหญ่มาวางแตะที่ผิวของเพสต์และขัดสกรู

(ข) ตั้งค่าตัวชี้ที่เครื่องที่ได้ (Movable indicator) ไปที่ค่าขีดศูนย์ที่ด้านบนของสเกล ซึ่งเป็นค่าตั้งต้น (Initial reading)

(ค) ปล่อยพลั๊กเกอร์ลงมาภายในเวลา 30 วินาทีหลังจากที่ผสมเสร็จ เครื่องจะต้องไม่มีการสั่นในระหว่างที่ทำการทดสอบ บันทึกค่าพลังเกอร์ที่จมลงไปในซีเมนต์เพสต์หลังจากที่ปล่อยให้จมลงไปเป็นระยะเวลา 30 วินาที **เพสต์จะมีความข้นเหลวปกติเมื่อพลั๊กเกอร์จมลงไปเป็นระยะ 10 ± 1 มิลลิเมตร จากผิวด้านบน ภายในระยะเวลา 30 วินาทีหลังปล่อย**

(ง) ทำการลองทดสอบหลายๆ ครั้ง โดยเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ใช้ผสม จนกระทั่งได้ค่าความข้นเหลวปกติ ในการลองแต่ละครั้ง ต้องใช้ตัวอย่างที่เตรียมใหม่เท่านั้น

(จ) พล๊อตกราฟปริมาณน้ำเป็นเปอร์เซ็นต์เป็นแกนนอน และระยะที่พลั๊กเกอร์จมเป็นแกนตั้ง เพื่อหาค่าความข้นเหลวปกติที่ละเอียดถึง 0.1 %

ข้อมูลและผลการทดลอง

ตัวอย่างที่ 1

ประเภทและยี่ห้อของปูนซีเมนต์: .....

ครั้งที่	น้ำหนักของปูนซีเมนต์ (กรัม)	ปริมาณของน้ำ		ค่าการจมของแท่งไวแคท (มิลลิเมตร)
		(%)	(กรัม)	

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

<u>การทดลองย่อยที่ C6-2</u> การแข็งตัวก่อนกำหนดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนต์ (Early Stiffening of Portland Cement)

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อศึกษาการแข็งตัวก่อนกำหนดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนต์

<u>วัสดุที่ใช้</u> ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement)

<u>เอกสารอ้างอิง</u> มอก (Thai Industrial Standard) 15 Part 15

ASTM Designation : C 451

<u>อุปกรณ์ในการทดลอง</u>

เหมือนกับการทดลองที่ C6-1

.

ขั้นตอนการทดลอง

1. ผสมและทำแบบของตัวอย่างที่ทดสอบเหมือนที่ระบุไว้ในการทดลองที่ C6-1 โดยทำการเติมน้ำเพื่อที่ผลิตเพสต์ที่มีค่าการจมของพลั๊งเกอร์เริ่มต้น, P_i 32 $\pm$ 4 มิลลิเมตร ใช้ผลที่ได้ในการทดลองที่ C6-1 เป็นแนวทาง
2. หลังจากเสร็ยการอ่านค่าเริ่มต้น ถอดพลั๊กเกอร์อกจากเพสต์และทำความสะอาด ตั้งค่าขีดและย้ายเพลทสู่ตำแหน่งใหม่ ปล่อยพลั๊งเกอร์ในครั้งที่สองหลังจากผสมตัวอย่างเสร็จเป็นเวลา 5 นาที หาค่าการจมของพลั๊กเกอร์สุดท้ายหลังจากปล่อยให้จมเป็นเวลา 30 วินาทีหลังจากปล่อยพลั๊งเกอร์, P_f
3. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การจมดังนี้:

$$P = \frac{P_f}{P_i} * 100$$

4. ภายหลังการวัดการจมเมื่อหลังจากผสมเสร็จแล้ว 5 นาที รีบคืนเพสต์ลงไปในอ่างผสมทันที ทำการผสมใหม่ด้วยความเร็วปานกลาง (285 $\pm$ 10 rpm) เป็นเวลา 1 นาที
5. คำนวณหาการจมในลักษณะเดียวกันดังข้อ (1) – (3).
6. ถ้าค่า P < 50 % แล้วแสดงว่ามีผลของการแข็งตัวก่อนกำหนด

ข้อมูลและผลการทดลอง

ตัวอย่างที่ 1

ประเภทและยี่ห้อของปูนซีเมนต์: .....

รายการ	ค่าการจม (มิลลิเมตร)	P (%)
ค่าการจมเริ่มต้น (Initial penetration, P_i)		
ค่าการจมสุดท้าย (Final penetration, P_f)		
ค่าการจมหลังผสมใหม่ (Penetration after re-mixing)		

ตัวอย่างที่ 2

ประเภทและยี่ห้อของปูนซีเมนต์: .....

รายการ	ค่าการจม (มิลลิเมตร)	P (%)
ค่าการจมเริ่มต้น (Initial penetration, P_i)		
ค่าการจมสุดท้าย (Final penetration, P_f)		
ค่าการจมหลังผสมใหม่ (Penetration after re-mixing)		

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

<u>การทดลองย่อยที่ C6-3</u> การแข็งตัวของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนต์ด้วยเข็มไวแคท (Setting Time of Portland Cement by Vicat Needle)

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อศึกษาการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนต์ที่แข็งตัวได้ในน้ำ ด้วยเครื่องไวแคท

<u>วัสดุที่ใช้</u> ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) ประมาณ 1,000 กรัม

<u>เอกสารอ้างอิง</u> มอก (Thai Industrial Standard) 15 Part 9

ASTM Designation : C 191

JIS (Japan Industrial Standard) R 5201

BS (British Standard) 4550 Part 3

<u>อุปกรณ์ในการทดลอง</u>

เหมือนกับการทดลองที่ C6-1

ขั้นตอนการทดลอง

1. การเตรียมซีเมนต์เพสต์

ทำซ้ำเหมือนการทดลองที่ C6-1 และ 2 โดยการใช้เปอร์เซ็นต์น้ำที่ต้องการผสมที่ทำให้เกิดความข้นเหลวปกติ วางแบบลงบนแผ่นกระจกใต้เครื่องไวแคท

2. การหาค่าการแข็งตัวเริ่มต้น

(ก) ให้เวลาตัวอย่างทดสอบการแข็งตัวไว้ในตู้ความชื้นเป็นเวลา 30 นาที หลังจากทำแบบ โดยไม่มีการรบกวน จากนั้นนำเข็มขนาด 1 มิลลิเมตร[1] วางแตะที่ผิวด้านบนของเพสต์และหมุนสกรูให้แน่น

(ข) ตั้งค่าตัวชี้ (Moveable indicator) ไปที่ขีดศูนย์ด้านบน ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้น แล้วปล่อยเข็มทันที

(ค) บันทึกระยะเวลาหลังจากที่เติมน้ำลงไปในปูนซีเมนต์ และระยะที่เข็มจมลงไปภายในเวลา 30 วินาทีหลังจากปล่อยเข็ม หลังจากนั้นทุกๆ 15 นาที (หรือ 10 นาที สำหรับปูนซีเมนต์ ASTM Type III) จนกระทั่งการจมของเข็มเป็น 25 มิลลิเมตร หรือน้อยกว่า [2,3] ห้ามทำการทดสอบการจมใกล้กันเกินกว่า ¼" (6.4 mm) หลังจากการทดสอบการจมครั้งก่อน หรือ 3/8" (9.5 mm) จากขอบด้านในของแบบ

(ง) บันทึกผลการทดสอบของการทดสอบทุกครั้ง และหาเวลาที่เข็มจมเป็นระยะ 25 มิลลิเมตร ด้วยเทคนิคการอินเตอร์พูเลท (Interpolation technique) ค่าที่ได้คือค่าการแข็งตัวเริ่มต้น (Initial setting time) มาตรฐาน ASTM กำหนดไว้ว่าต้องไม่น้อยกว่า 45 นาที สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา

3. การหาค่าการแข็งตัวสุดท้าย

(ก) เปลี่ยนเข็มไวแคทสำหรับการทดสอบการแข็งตัวเริ่มต้นเป็นสำหรับการแข็งตัวสุดท้าย[4]

(ข) การแข้งตัวสุดท้ายเกิดเมื่อเข็มทำให้เกิดรอยบนซีเมนต์เพสต์ แต่ขอบตัดไม่เกิดรอย บันทึกเวลาหลังจากที่ผสมน้ำ เวลานี้คือการแข็งตัวสุดท้าย (Final setting time)

---

[1] มาตรฐาน JIS ใช้เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร

[2] A penetration of a standard rod or plunger of 6 mm from the bottom is used for JIS.

[3] According to the British Standard when the penetration of the plunger is 5 ± 1 mm from the bottom, initial is said to have taken place.

[4] The standard needle of final setting time is a needle with a metal attachment hollowed out so as to leave a circular cutting edge 5 mm (0.2") in diameter and set 0.5 mm (0.02") behind the tip of needle.

ข้อมูลและผลการทดลอง

ตัวอย่างที่ 1

ประเภทของปูนซีเมนต์ .....

ความข้นเหลวปกติ (%) .....

อุณหภูมิความชื้นในอากาศ ($^{\circ}$C) .....

เครื่องมือในการทดสอบ .....

เวลาที่ผ่านไปหลังจากผสมน้ำลงไป (นาที)	ค่าการจมภายในเวลา 30 วินาที (มิลลิเมตร)

ตัวอย่างการคำนวณ วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง