การทดลองที่ 1

การทดสอบหาความข้นเหลวของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิค

(Normal Consistancy of Hydraulic Cement)

1.คำนำ

เมื่อผสมปูนซีเมนต์กับน้ำ จะเกิดปฏิกริยาเคมี มีความร้อนเกิดขึ้น และได้วัสดุผสมที่มีสภาพข้นเหนียว ซึ่งเรียกว่าซีเมนต์เพสท์ หลังจากนั้นช่วงระยะเวลาหนึ่งซีเมนต์จะเริ่มก่อตัว และแข็งตัวในที่สุด ระยะเวลาในการก่อตัวของปูนซีเมนต์นี้เป็นคุณสมบัติสำคัญประการหนึ่ง ที่กำหนดขึ้นไว้เพื่อที่จะให้ทราบระยะเวลาที่จะต้องทำงานให้แล้วเสร็จ ก่อนซีเมนต์หรือคอนกรีตจะเริ่มก่อตัวและแข็งตัว ซึ่งจะมีผลเกี่ยวข้องกับการเพิ่มกำลังของคอนกรีต

ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์มีอิทธิพลมากต่อระยะเวลาการก่อตัวและแข็งตัวซีเมนต์ผสมเปียกจะก่อตัวช้ากว่าซีเมนต์ผสมแห้ง ดังนั้นในการทดสอบหาระยะเวลาในการก่อตัวจึงกำหนดให้ทำการทดสอบซีเมนต์เพสต์ที่มีสภาพความข้นเหลว (Normal Consistancy) เป็นมาตรฐานสากล โดยกำหนดว่าสภาพความข้นเหลวปกติคือสภาวะที่ซีเมนต์เพสต์ยอมให้เข็มไวแคตขนาดมาตรฐานจมลง 10 มิลลิเมตร ภายในเวลา 30 วินาที

ปริมาณน้ำพอเหมาะที่ใช้ในการผสมปูนซีเมนต์ ให้ได้สภาวะความข้นเหลวปกติ โดยปกติปริมาณน้ำจะมีค่าประมาณ 25% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์

2..จุดประสงค์

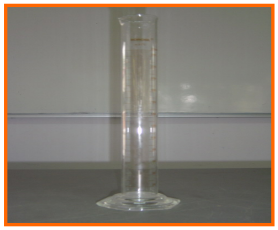
เพื่อทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับผสมกับปูนซีเมนต์ เพื่อให้ได้ซีเมนต์ที่มีสภาพความข้นเหลวปกติ

อุณหภูมิและความชื้น

อุณหภูมิของอากาศในห้องทดลองอยู่ระหว่าง 20 – 27 องศา น้ำควรอยู่ระหว่าง 23 – 1.7 องศาความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศไม่น้อยกว่า 50%

3.วัสดุทดสอบ

1.ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

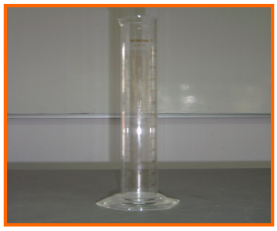


2.น้ำสะอาด

4.เครื่องมือทดลอง

1 เครื่องทดสอบแบบไวแคต

2 เครื่องชั่ง สามารถอ่านค่าได้ละเอียด 0.1 กรัม



3 กระบอกตวง ขนาด 200 CC.

4 เกรียงเหล็ก

5 ถุงมือยาง

5.วิธีการทดลอง

การเตรียมซีเมนต์เพสท์

การเตรียมซีเมนต์เพสท์สำหรับการทดลองทำได้ 2 วิธี

- ผสมด้วยมือ

1. ชั่งปูนซีเมนต์ตัวอย่าง 500 กรัม นำไปเทลงในแผ่นกระจก หรือกระดานกันน้ำซึมให้เป็นรูปกรวย
   แล้วทำหลุมตรงกลางเป็นรูปปากปล่องภูเขาไฟ
2. ตวงน้ำด้วยกระบอกตวงประมาณ 25% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์
3. ใช้เกรียงเหล็กตักปูนซีเมนต์ที่อยู่บริเวณขอบรอบนอกกองใส่ลงตรงกลางซึ่งใช้เวลา 30 วินาที
4. ปล่อยให้ปูนซีเมนต์ดูดซึมน้ำเป็นเวลา 30 วินาที
5. เริ่มใช้มือสวมถุงมือยาง นวดซีเมนต์ให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้เวลา 1 นาทีครึ่ง แล้วนำไปใช้งาน

- การผสมด้วยเครื่อง

1. เตรียมอ่างผสมและใบพายที่แห้งสนิทพร้อมที่จะใช้งาน
2. เทน้ำที่เตรียมไว้ลงในอ่างผสม
3. ค่อยๆเทปูนซีเมนต์ที่ชั่งไว้ลงในน้ำ แล้วปล่อยทิ้งไว้ 30 วินาที เพื่อให้ปูนซีเมนต์ดูดน้ำ
4. เดินเครื่องผสมอัตราต่ำ เป็นเวลา 30 วินาที
5. หยุดเดินเครื่อง 15 วินาที ในระหว่างนี้ให้ขูดปูนซีเมนต์ที่ติดอยู่ข้างๆอ่างผสมให้ลงไปรวมกันไว้
6. เดินเครื่องผสมความเร็วปานกลาง เป็นเวลา 1 นาที แล้วหยุดเครื่อง นำส่วนผสมไปใช้งาน

การหล่อตัวอย่าง

1. สวมถุงมือยาง นำซีเมนต์เพสที่เตรียมไว้มาปั้นให้เป็นก้อนกลม แล้วโยนไปมา 6 ครั้ง จากมือ

ข้างหนึ่งไปยังอีกข้างหนึ่ง โดยมือทั้งสองข้างอยู่ห่างกันประมาณ 15 ซม.

2. วางกรวย Mold ด้านปลายเล็กลงบนฝ่ามือข้างหนึ่ง แล้วใช้มืออีกขางหนึ่งอัดก้อนซีเมนต์จาก

ข้อ 1 ลงใน Mold ด้านปลายใหญ่จนเต็มส่วนที่ล้นออกทางปลายใหญ่ให้ฝ่ามือปาดให้หมดเพียงครั้งเดียว

3. วาง Mold ด้านปลายใหญ่ลงบนกระจก แล้วใช้เกรียงปาดหน้า Mold ด้านปลายเล็กให้เรียบ

โดยให้ขอบเกรียงทำมุมเอียงประมาณ 45 องศา กับขอบ Mold แล้วปาดซีเมนต์เพสท์ส่วนเกินออกให้เรียบ ในระหว่างตัดทำให้เรียบห้ามกดบนตัวอย่างซีเมนต์เพสท์

การหาความข้นเหลว

1. นำแผ่นกระจกพร้อม Mold ที่บรรจุซีเมนต์เพสท์ไปวางให้เต็ม ขนาด 10 มม. ของเครื่องมือไว

แคต เลื่อนให้เข็มอยู่ตรงกลาง

2. เลื่อนปลายเข็มให้แตะผิวของซีเมนต์เพส และปรับเข็มขึ้นบนสเกลให้อยู่ที่ขีดศูนย์หรืออ่านค่าที่

เข็มชี้ครั้งแรก

3. ปล่อยเข็มทันทีหลังจากผสมซีเมนต์เสร็จ 30 วินาที
4. ทำการอ่านค่าสเกลอีกครั้งเมื่อปล่อยเข็มไว้ 30 วินาที และคำนวณหาระยะจมของเข็ม ถ้าเข็ม

จมลงเป็นระยะ 10 มม. ให้ถือว่าซีเมนต์นั้น อยู่ในภาวะความข้นเหลวปกติ

ในการทดลองควรทำอย่างน้อย 3 ครั้ง โดยใช้ปริมาณน้ำส่วนผสมต่างๆกันบันทึกค่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำ และระยะการจมของเข็มในแต่ละครั้งไว้ แล้วนำมา Plot Curve หาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำส่วนผสมที่ระยะการจมของเข็ม 10 มม. และควรใช้ค่าที่อ่านได้ไปทำการทดลองเพื่อตรวจสอบอีกครั้ง

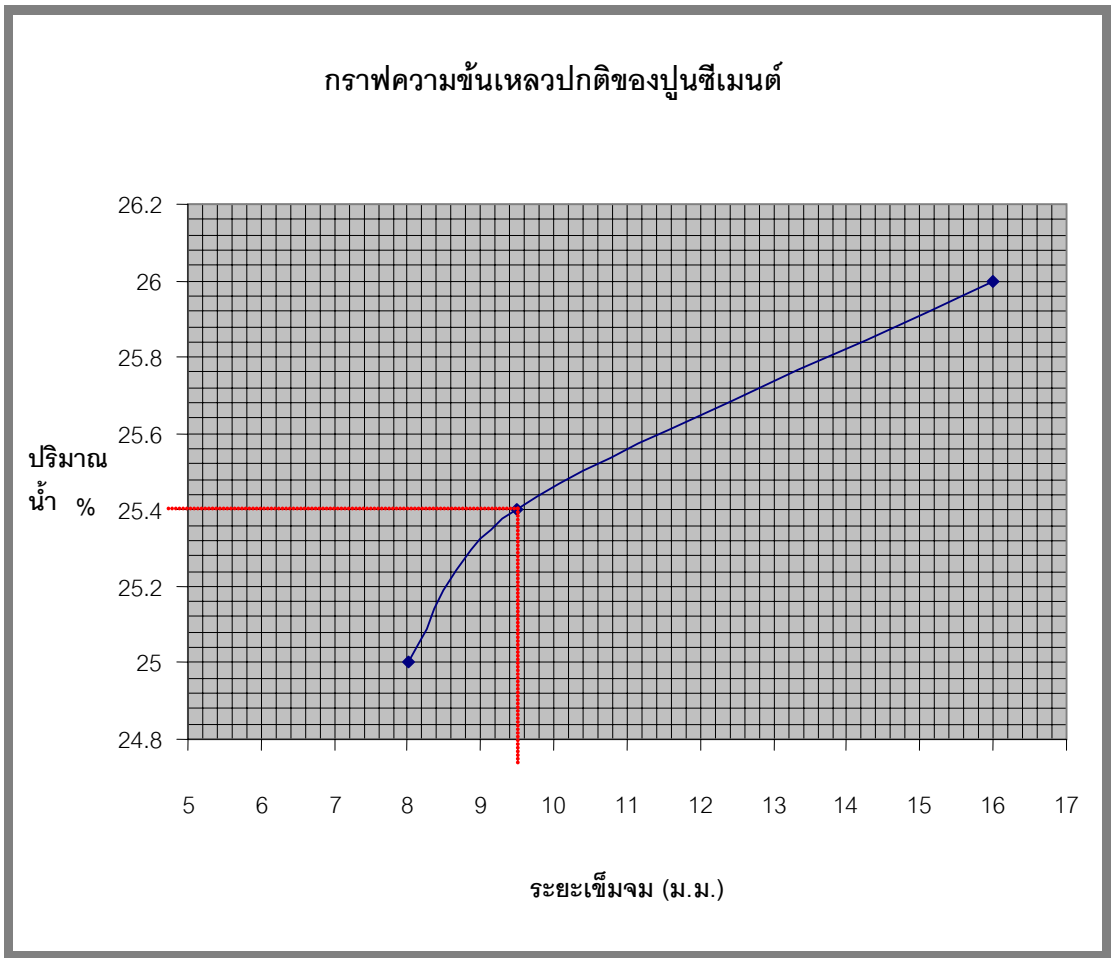
6.ข้อมูลและผลการทดลอง

ชนิดของปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลน ประเภท 1

วันที่ทดสอบ

อุณหภูมิห้องทดลอง

ครั้งที่	น้ำหนักปูนซีเมนต์ (กรัม)	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	ปริมาณน้ำ %	ระยะเข็มจม ม.ม.	หมายเหตุ
1	500	125	25	8	
2	500	130	26	16	
3	500	127	25.4	9.5	



ตัวอย่างการคำนวณ

น้ำ 1 กรัม = 1 CC.

ใช้น้ำ 25 เปอร์เซ็นต์ = 500*25/100

= 12.5 CC.

- ใช้ปูนซีเมนต์ 500 กรัม
- ใช้น้ำ 25 เปอร์เซ็นต์ = 12.5 CC.

การทดลองที่ 1

การหาค่าความข้นเหลวปกติของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิค

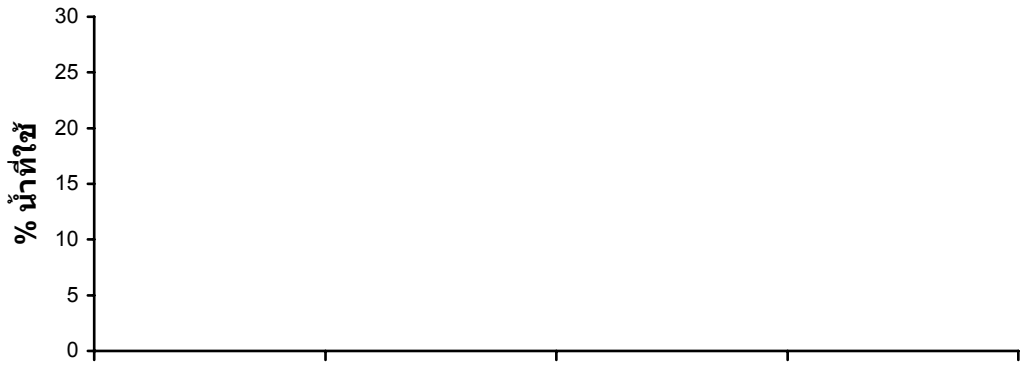
ข้อมูลและผลการทดลอง

ปูนซีเมนต์.....

วันที่ทำการทดลอง.....

อุณหภูมิห้องทดลอง.....^{o}C

ครั้งที่	นน.ซีเมนต์ (กรัม)	นน.น้ำ (กรัม)	ปริมาณน้ำ (%)	ระยะเข็มจม	หมายเหตุ
1					
2					
3					
4					



ระยะเข็มจม

ผลจากการทดลอง ค่าความข้นเหลวปกติของปูนซีเมนต์ตัวอย่าง = ...%

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

การทดลองที่ 2

การหาระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิคโดยเข็มไวแคต

(Setting time of Hydraulic Cement by Vicat Needle)

1.คำนำ

เมื่อปูนซีเมนต์ผสมรวมกันน้ำจะได้ซีเมนต์เพสต์(Cement Paste) มีลักษณะนุ่มเหลวปั้นง่าย ถ้าปล่อยทิ้งได้โดยไม่รบกวนในไม่ช้าซีเมนต์เพสต์จะสูญเสียความไม่คืนตัวและถึงสถานะที่ไม่สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้โดยปราศจากการแตกหัง การเปลี่ยนภาวะนี้เรียกว่าการก่อตัวและการแข็งตัวของปูนซีเมนต์

ระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ คือระยะเวลาตั้งแต่เริ่มผสมปูนซีเมนต์กับน้ำจนกระทั่งซีเมนต์เริ่มก่อตัว หรือแข็งตัวไม่สามารถคืนสภาพเดิมได้ ปกติยะยะเวลาก่อตัวของปูนซีเมนต์ จะแบ่งออกเป็น 2 ระยะคือ การก่อตัวระยะต้น (Initial Sitting Time) และการก่อตัวระยะปลาย (Final Sitting Time)

การก่อตัวระยะต้น คือ ระยะเวลาจากเริ่มผสมปูนซีเมนต์กับน้ำจนกระทั่งซีเมนต์เพสต์เริ่มก่อตัวสามารถรับน้ำหนักของเข็มมาตรฐานไวแคตได้ โดยเข็มไม่จมลงในซีเมนต์เพสต์เลย 25 ม.ม ในเวลา 30 วินาที

การก่อตัวระยะปลาย คือ ระยะเวลาจากเริ่มผสมปูนซีเมนต์กับน้ำจนกระทั่งซีเมนต์เพสต์เริ่มก่อตัวสามารถรับน้ำหนักได้บ้าง

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนประเภท 1 – 5 จะต้องมีเวลาก่อตัวระยะต้นไม่น้อยกว่า 45 นาที และไม่เกิน 8 ชั่วโมงสำหรับการก่อตัวระยะปลายเมื่อวัดโดยใช้เครื่องมือไวแคต ระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์จะผันแปรไปตามปัจจัยต่างๆ เช่น ส่วนผสมของเนื้อปูนซีเมนต์ ความละเอียด อุณหภูมิ และความชื้นขณะทดลองและปริมาณน้ำที่ใช้ผสม เป็นต้น

โดยทั่วไปการก่อตัวจะเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เพราะอุณหภูมิเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างซีเมนต์กับน้ำ ปริมาณของน้ำที่ใช้ในการผสมมีอิทธิพลมากต่อระยะเวลาการก่อตัวและแข็งตัว ด้วยเหตุนี้ในการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวจึงได้กำหนดให้ใช้ปริมาณน้ำเพื่อผสมปูนซีเมนต์ ให้ได้ซีเมนต์เพสต์ที่ภาวะมาตรฐานคงที่เสมอ เรียกภาวะนี้ว่า ความข้นเหลวปกติ (Normal Consistency) ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่ต้องการที่จะทำให้เข็มไวแคตขนาดมาตรฐานจมลง 10 ม.ม.ภายในเวลา 30 วินาที ของการทดสอบตามมาตรฐานอเมริกัน

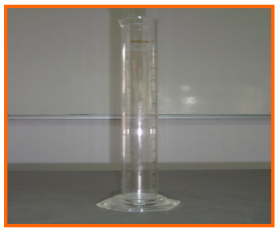
นอกจากนี้ ส่วนผสมและขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์ยังมีผลต่อระยะเวลาการก่อตัวอีกด้วย ถ้าลดปริมาณของยิปซั่มลง ระยะเวลาการก่อตัวจะน้อยลง นั่นคือซีเมนต์เพสต์จะแข็งตัวเร็วขึ้น ปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดกว่าจะทำปฏิกิริยาทางเคมีเร็วขึ้นทำให้ก่อตัวเร็วขึ้นด้วย

2.จุดประสงค์

เพื่อทราบระยะเวลาการก่อตัวระยะต้นของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิคโดยใช้เครื่องมือไวแคต

3.วัสดุทดสอบ

1.ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

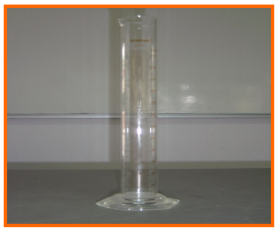


2.น้ำสะอาด

4.เครื่องมือทดลอง

1 เครื่องทดสอบแบบไวแคต

2 เครื่องชั่ง สามารถอ่านค่าได้ละเอียด 0.1 กรัม



3 กระบอกตวง ขนาด 200 CC.

4 เกรียงเหล็ก

5 ถุงมือยาง

5.วิธีการทดลอง

การเตรียมซีเมนต์เพสต์

1. ชั่งปูนซีเมนต์ตัวอย่าง 500 กรัม
2. ตวงน้ำด้วยกระบอกตวงประมาณ 25 % ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นกรัม
3. เตรียมอ่างผสมและใบพายในสภาพแห้งสนิทพร้อมใช้งาน
4. เทปูนซีเมนต์ที่ชั่งไว้ลงในอ่างผสม
5. ค่อยๆเทน้ำที่เตรียมไว้ลงในอ่างผสมและปล่อยทิ้งไว้ 30 วินาที เพื่อให้ปูนซีเมนต์ดูดน้ำ
6. เดินเครื่องผสมในอัตราเร็วต่ำ(เบอร์ 1) เป็นเวลา 30 วินาที
7. หยุดเดินเครื่อง 15 วินาที
8. เดินเครื่องผสมในอัตราเร็วปานกลาง (เบอร์ 2) เป็นเวลา 1 นาที แล้วหยุดเครื่องนำส่วนผสมไปใช้งาน

การหล่อตัวอย่าง

1. สวมถุงมือยางนำซีเมนต์เพสต์ที่เตรียมไว้ปั้นเป็นก้อมกลมแล้วโยนไปมา 6 ครั้ง
2. วางกรวย (Mold) อัดก้อนปูนซีเมนต์ลงใน Mold
3. วาง Mold ให้ปลายด้านใหญ่ลงบนกระจกแล้วใช้เกรียงเหล็กปาดปูนซีเมนต์ที่ล้นออกมาจากด้านเล็กให้เรียบ

การหาระยะเวลาในการก่อตัว

1. วาง Mold ที่บรรจุซีเมนต์เพสต์ไว้ใต้เข็มขนาด 1 ม.ม. เลื่อนให้เข็มเลื่อนปลายเข็มให้แตะผิวของซีเมนต์เพสต์และปรับเข็มชี้ให้อยู่ที่ขีดศูนย์
2. ปล่อยเข็มให้จมลงในซีเมนต์เพสต์แล้วอ่านค่าระยะการจมของเข็มหลังจากปล่อยแล้ว 30 วินาที
3. ทำซ้ำเช่นเดียวกันทุกๆ 15 , 10 และ 5 นาที จนกว่าจะได้ระยะการจมของเข็มเท่ากับ 25 ม.ม.
4. การปล่อยเข็มแต่ละครั้ง ปลายเข็มจะต้องอยู่ห่างจากรอยเข็มเก่าไม่น้อยกว่า 6 ม.ม. และห่างจากขอบ Mold ไม่น้อยกว่า 10 ม.ม.
5. ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มผสมจนกระทั่งถึงเวลาที่ทดลองที่เข็มไวแคตจมลงในซีเมนต์เพสต์ 25 ม.ม. คือค่าการก่อตัวระยะต้น (Initial Setting Time)

6.ข้อมูลและผลการทดลอง

ชนิดของปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลน ประเภท 1

ค่าความข้นเหลวปกติ 25.40%

วันที่ทดสอบ

อุณหภูมิห้องทดลอง

เวลาเริ่มผสม นาฬิกา	เวลาปล่อยเข็ม นาฬิกา	เวลาหลังจากผสม นาที	ระยะเข็มจม ม.ม.	หมายเหตุ
15.15	15.45	30	43.5	
	16.00	45	43.2	
	16.15	60	42.8	
	16.25	70	42.0	
	16.35	80	41.0	
	16.40	85	39.0	

การทดลองที่ 2

การหาระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิค โดยเข็มไวแคท

ข้อมูลและผลการทดลอง

ปูนซีเมนต์.....

ค่าความข้นเหลวปกติ.....%

อุณหภูมิห้องทดลอง.....°C

วันที่ทำการทดลอง.....

เวลาเริ่มผสม (นาฬิกา)	เวลาปล่อยเข็ม (นาฬิกา)	เวลาหลังจากเริ่มผสม (นาฬิกา)	ระยะเข็มจม (ม.ม.)	หมายเหตุ

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

การทดลองที่ 3

การหาความละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไทย

Blain Air-Permeability Apoaratus

1.คำนำ

จุดประสงค์ อัตราการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำยังขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์นอกเหนือไปจากส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ ถ้ามีปูนซีเมนต์สองอย่างที่มีน้ำหนักเท่ากัน ปูนซีเมนต์ชนิดที่มีอนุภาคละเอียดกว่า จะมีพื้นที่ผิว(Surface area) มากกว่าปูนซีเมนต์ที่มีขนาดอนุภาพหยาบกว่า ซึ่งปูนซีเมนต์ที่ละเอียดกว่านี้จะทำปฏิกิริยากันน้ำได้เร็วกว่าและมีอัตราการก่อตัวเร็วกว่าด้วย อย่างไรก็ดี ถ้าปูนซีเมนต์มีความละเอียดมากไป ผงปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศก่อนและจับตัวกันเป็นก้อน ซึ่งทำให้คุณภาพของปูนซีเมนต์เสียไปได้

การทดสอบหาความละเอียดของปูนซีเมนต์ อาจทำได้โดยวิธี

1. หาส่วนค้างบนตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 200 (ตะแกรงที่มี 200 ตาต่อ 1 นิ้ว) วิธีนี้เป็นวิธีทดสอบหาความละเอียดของปูนซีเมนจ์ที่ใช้กันมาเป็นเวลานานแล้วโดยมาตรฐานอังกฤษ (ปี ค.ศ. 1947) ได้กำหนดว่า ส่วนที่ค้างบนตะแกรงร่อนเบอร์ 200 นี้จะต้องมีไม่มากกว่า 10% ในปัจจุบันได้เปลี่ยนไปใช้วิธีการอื่นเพื่อทดสอบความละเอียด ทั้งนี้เพราะว่าผงซีเมนต์มีความละเอียดมากขึ้นและสามารถลอดผ่านตะแกรงดังกล่าวได้มากขึ้นถึง 90-95% และเป็นเพราะการทดสอบนี้ไม่ได้ให้ความสัมพันธ์เกี่ยวกับขนาดของอนุภาคของผงปูนซีเมนต์ได้อย่างดี

2. โดยใช้เครื่องวัดความขุ่นแวกเนอร์ (Wagner Turbidimeter) ซึ่งประกอบด้วยต้นกำเนิดของแสงที่มีความเข้มคงที่ที่สามารถจัดให้รังสีของแสงที่ขนานกันส่องผ่านสารแขวนลอย (Suspended Cement) ของปูนซีเมนต์ที่ต้องการทดสอบ ซึ่งกระจายอยู่ในน้ำมันก๊าซ (Kerosene) ความขุ่นของสารแขวนลอยจะวัดได้โดยใช้โฟโตอิเล็กตริกเซลล์ที่ไวต่อแสงต่อโดยตรงกับไมโครอัมมิเตอร์ ซึ่งความละเอียดของปูนซีเมนต์จะบอกเป็นพื้นที่ผิวจำเพาะ มีหน่วยเป็นพื้นที่ผิวทั้งหมด (ตารางเซนติเมตร) ต่อน้ำหนักของปูนซีเมนต์ตัวอย่าง (กรัม)

3. โดยใช้เครื่องหาความซึมอากาศเบลน(Blaine air-permeability apparatus) ประกอบด้วยการให้อากาศจำนวนจำกัดจำนวนหนึ่งไหลผ่านชั้นของปูนซีเมนต์ตัวอย่างที่มีความพรุนแน่นอนจำนวนและขนาดของรูพรุนของชั้นปูนซีเมนต์ที่ใความพรุนแน่นอนขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคความละเอียดในรูปของพื้นที่ผิวจำเพาะซึ่งคำนวณได้จากอัตราของอากาศที่ผ่านหรือเวลาที่ต้องการสำหรับปริมาตรที่กำหนดของอากาศผ่านชั้นปูนซีเมนต์ วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายกว่าการทดสอบโดยใช้เครื่องวัดความขุ่นแวกเนอร์ จึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

2.จุดประสงค์

เพื่อทดสอบหาความละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยใช้เครื่องแอร์เพอร์มิอะบิลิตี้แบบเบลน (Blain Air-Permeability Apoaratus)

3.เครื่องมือทดสอบ

1. เครื่องแอร์เพอร์มิอะบิลิตี้แบบเบลน (Blain Air-Permeability Apoaratus) ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1

1.1 เพอร์มิอะบิลิตี้เซล (Permeability Cell) ทำด้วยโลหะที่ไม่เป็นสนิทมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 12.7+1ม.ม.

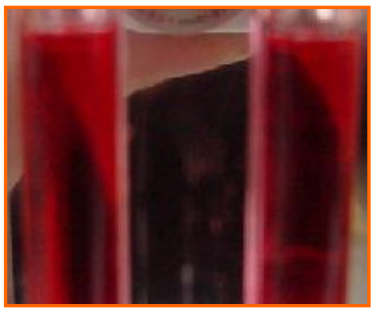
1.2 แผ่นโลหะ(Bisk) ทำด้วยโลหะที่ไม่เป็นสนิทมีรูเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง1ม.ม. จำนวน30-40 รูกระจายทั่วแผ่น

1.3 แท่งอัด (Plunger)

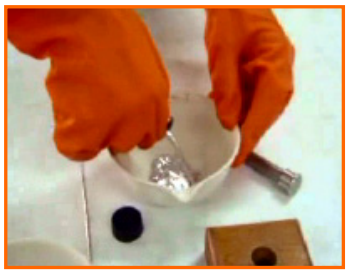
1.4 กระดาษกรองรูปวงกลม (Filtar Paper) เป็นกระดาษกรองประเภทของเหลวไหลผ่านได้ช้า ตัดเป็นวงกลมขอบเรียบ

1.5 มานอมิเตอร์รูปตัว U (U-Tube Manometer) เป็นหลอดแก้วรูปตัว U เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 9ม.ม.ที่ส่วนบนข้างหนึ่งจะต้องสวมพอดีกับเพอร์มิอะบิลิตี้เซล มีขีดบอกตำแหน่ง 3ขีด

1.6 ของเหลวสำหรับมานอมิเตอร์ มานอมิเตอร์จะต้องเดิมของเหลวจนถึงถังกลางของความสูง ด้วยของเหลวที่มีความหนาแน่น และความหนืดต่ำ ตลอดจนไม่ระเหยและดูดความชื้นในอากาศ



2. นาฬิกาจับเวลา
3. เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียด 0.001 กรัม
4. ปรอท



4.วัตถุที่ใช้ในการทดสอบ

1. ปูนซีเมนต์ประมาณ500 กรัม
2. ปูนซีเมนต์มาตรฐาน เบอร์ 114 ของสำนักงานมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา (ใช้ในกรณีทดสอบปรับเทียบเครื่องมือ)

5.การปรับเทียบเครื่องมือ (Calibration Of Apparatus)

1. การหาปริมาตร (Bulk Volumn) ของปูนซีเมนต์ที่อัดตัวในเซลพอดี
   1.1 ในกระดาษกรองรูปกลม 2 แผ่น ในเพอร์มิอะบิลิตี้เซล โดยใช้แท่งกลมขนาดเล็กกว่าเซลค่อยๆ กดลงไปจนอยู่เหนือแผ่นโลหะที่เจาะรูพรุน เทปรอทชั้นรีเจนต์ลงไปจนเต็ม
   1.2 ปรับระดับของปรอทบันทึกอุณหภูมิห้องทดลองครั้งแรก

1.3 ปรับระดับของปรอทให้เสมอขอบของเซล โดยใช้แผ่นกระจกวางเหนือเซลแล้วกดเบา ๆ จนแผ่นกระจกแตะขอบบนแล้วเทปรอทออก (W_a เป็นกรัม)

1.4 เอากระดาษกรองรูปกลม 1 แผ่น ออกมาจากเซล ลองใช้ซีเมนต์ 2.80 กรัมอัดตามวิธี โดยมีกระดาษกรอง 1 แผ่น อยู่ด้านล่าง และอีก1 แผ่น อยู่ด้านบน

1.5 เติมปรอทให้เต็มที่ว่างตอนบนของเซลให้เต็ม ไล่ฟองอากาศแบะปรับผิวปรอทเสมอ

1.6 เทปรอทออกจากเซล นำปรอทไปชั่ง (W_b เป็นกรัม) บันทึกอุณหภูมิห้องทดลองครั้งที่2

1.7 หาปริมาตรของปูนซีเมนต์ให้ละเอียดถึง 0.005 ซม^3 จากสูตร

$$V = \frac{W_a - W_b}{d}$$

เมื่อ V = ปริมาตรของปูนซีเมนต์เป็น ลบ.ซม.

W_a = น้ำหนักของปรอทที่เทใส่เซล เมื่อไม่มีปูนซีเมนต์ในเซล เป็นกรัม

W_b=น้ำหนักของปรอทที่เทใส่ตอนบนของเซล เหนือส่วนที่เป็นชั้นปูนซีเมนต์เป็นกรัม

D = ความหนาแน่นของปรอทเป็น กรัม/ลบ.ซม. ณ อุณหภูมิที่ทดสอบ

หมายเหตุ

1. ปูนซีเมนต์ชั้นที่อัดจะต้องแน่นพอดี หากหลวมหรือแน่นจนกดให้มีปริมาตรเท่าที่ต้องการไม่ได้ให้ลองเพิ่มหรือลดปริมาณปูนซีเมนต์
2. ให้ทดสอบ อย่างน้อย 2 ครั้ง โดยเปลี่ยนปูนซีเมนต์ใหม่ทุกครั้ง ปริมาตรเฉลี่ยที่ได้จากทดสอบอย่างน้อย 2 ครั้ง โดยที่ค่าเหล่านั้นจะต่างกันไม่เกิน±0.005 ลบ.ซม.
3. ในการหาปริมาตรไม่จำเป็นต้องใช้ปูนซีเมนต์มาตรฐาน

2. หาน้ำหนักของปูนซีเมนต์มาตรฐาน ที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือ จะใช้น้ำหนักที่ทำให้ชั้นปูนซีเมนต์ มีความพรุน 0.500±0.005 สามารถคำนวณได้จากสูตร

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

เมื่อ W = น้ำหนักปูนซีเมนต์มาตรฐานที่ต้องการทราบเป็นกรัม

ρ = ความถ่วงจำเพาะของตัวอย่าง (สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ใช้เท่ากับ 3.15)

V = Bulk Volumn ของชั้นซีเมนต์เป็น ลบ.ซม. ได้จากการหาในข้อ 1.

ε = ความพรุนที่กำหนดของชั้นปูนซีเมนต์ (0.500 ±0.005)

3. การอัดเตรียมชั้นซีเมนต์วางแผ่นโลหะบนบ่าเพอร์มิอะบิลิตี้ เอากระดาษกรอง 1 แผ่น วางบนแผ่นโลหะ ชั่งน้ำหนักปูนซีเมนต์ให้ละเอียดถึง 0.001 โดยประมาณเท่ากับที่คำนวณได้ใส่ลงไปในเซลเคาะเบา ๆ ที่ข้างเซล เพื่อให้ปูนซีเมนต์เรียบ และอยู่ในระดับราบ เอากระดาษกรองอีก 1 แผ่นวางบนปูนซีเมนต์แล้วใช้แท่งอัดกดลงไปจนกระทั่งขอบของแท่งอัดแตะขอบบนของเซลค่อย ๆ ชักเอาแท่งอัดขึ้น แล้วกดลงไปใหม่อีกครั้ง จากนั้นจึงชักแท่งอัดออกมาช้า ๆ

4. การหาอัตราการไหลของอากาศผ่านชั้นซีเมนต์

   4.1 สวมเพอร์มิอะบิลิตี้ลงบนก้านมานอมิเตอร์ ระวังอย่าให้อากาศรั่วเข้าออกได้ตรงที่สวมต่อกันได้ และระวังอย่าให้ปูนซีเมนต์กระเทือน

   4.2 สูบอากาศออกจากก้านมานอมิเตอร์ช้า ๆจนกระทั่งของเหลวมีระดับสูงถึงขีดหมายเส้นบนสุด แล้วปิดลิ้น ปิด-เปิดให้แน่นจะเริ่มจับเวลาทันทีที่ระดับก้นของเมนิสกัส (Meniscus)ของของเหลวลดลงมาถึงขีดหมายเส้นที่ 2 (นับจากบน)และหยุดจับเวลาทันทีที่ระดับก้นของเมนิสกัสของของเหลวลดลงมาถึงขีดหมายเส้นที่3 บันทึกช่วงเวลาดังกล่าวเป็นวินาที และอุณหภูมิขณะทดสอบ

   4.3 การปรับเทียบเครื่องมือ จะต้องทดสอบ 3 ครั้ง

6.วิธีทดสอบตัวอย่าง

1. อุณหภูมิของตัวอย่างปูนซีเมนต์ที่ทดสอบจะต้องมีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิของห้องขณะทดสอบ
2. ปริมาณของตัวอย่างปูนซีเมนต์ตัวอย่างที่ทดสอบ จะต้องมีน้ำหนักเท่ากับปูนซีเมนต์มาตรฐานที่ใช้สอบเทียบ

7.การคำนวณ

การคำนวณหาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface) ให้คำนวณจากสูตรต่อไปนี้

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

เมื่อ S = พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวอย่างทดสอบเป็น ตร/ซม./กรัม

S_s= พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวอย่างมาตรฐานที่ใช้สอบเทียบเครื่องมือเป็น ตร.ซม./กรัม (3380 ตร/ซม./กรัม)

T = ช่วงเวลาที่ของเหลวในมานอมิเตอร์ลดต่ำลงมา ของตัวอย่างทดสอบ (วินาที)

T_s= ช่วงเวลาที่ของเหลวในมานอมิเตอร์ลดต่ำลงมา ของตัวอย่างมาตรฐานสำหรับสอบเทียบเครื่องมือ (วินาที)

η = ความหนืดของอากาศ ณ อุณหภูมิทดสอบตัวอย่าง (Poise)

η_s= ความหนืดของอากาศ ณ อุณหภูมิทดสอบ ตัวอย่างมาตรฐาน ขณะสอบเทียบเครื่องมือ(Poise ถ้าอุณหภูมิแตกต่างกันไม่เกิน 3 องศาเซลเซียสให้ถือว่าเท่ากัน)

ตารางที่ 1

อุณหภูมิห้อง C	ความหนาแน่นของปรอท g/cm.^{3}	ความหนืดของอากาศ η	$\sqrt{\eta}$
16	13.56	0.0001788	0.01337
18	13.55	0.0001798	0.01341
20	13.55	0.0001808	0.01345
22	13.54	0.0001818	0.01348
24	13.54	0.0001828	0.01352
26	13.53	0.0001837	0.01355
28	13.53	0.0001847	0.01359
30	13.52	0.0001857	0.01363
32	13.52	0.0001867	0.01366
34	13.51	0.0001876	0.01370

8.การหาน้ำหนักปูนซีเมนต์มาตรฐาน

ความละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยเครื่องมือแอร์เพอร์มิอะบิลิตี้แบบเบลน

ชนิดของปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

วันที่ทำการทดลอง

รายการ		1	2
น้ำหนักถาด (1)	(กรัม)	121.78	121.78
น้ำหนักถาดและปรอทที่เทออกจากเซลเปล่า (2)	(กรัม)	225.86	225.86
น้ำหนักปรอท (Wa) = (2) - (1)	(กรัม)	104.08	104.08
อุณหภูมิห้องทดลองครั้งแรก	(C)	31.3	32.3
น้ำหนักถาดและปรอทเหนือซีเมนต์ (3)	(กรัม)	200.67	200.72
น้ำหนักปรอท (Wb) = (3) - (1)	(กรัม)	78.89	78.94
อุณหภูมิห้องทดลองครั้งหลัง	(C)	31.3	31.3
ปริมาตรของปูนซีเมนต์ในเซล V = (Wa - Wb)/D	(ลบ.ซม.)	1.863	1.859
ปริมาตรของปูนซีเมนต์ในเซลเฉลี่ย V เฉลี่ย	(ลบ.ซม.)	1.861	

น้ำหนักปูนซีเมนต์มาตรฐานที่พอดีจะทำให้ชั้นปูนซีเมนต์มีความพรุน 0.500 + 0.005

$$W = (3.15)(V)(1-0.500) = \mathbf{2.931} \text{ กรัม}$$

หมายเหตุ ให้ทดสอบหาปริมาตรของปูนซีเมนต์อย่างน้อย 2 ครั้ง โดยเปลี่ยนปูนซีเมนต์ใหม่ทุกครั้งค่าที่หาได้ต้องไม่ต่างกันเกิน 0.005 ลบ.ซม.

อัตราการไหลของอากาศผ่านชั้นซีเมนต์

รายการ	ปูนซีเมนต์มาตรฐาน		ปูนซีเมนต์ตัวอย่าง	
	1	2	1	2
น้ำหนักปูนซีเมนต์ (กรัม)	2.876	2.876	2.931	2.931
เวลาที่ระดับของเหลวลดถุงขีดที่สองจากบน (1)(วินาที)	41	50	0	0
เวลาที่ระดับของเหลวลดถุงขีดที่สองจากบน (2)(วินาที)	285	305	142	143
ช่วงเวลา = (2) -(1) (วินาที)	244	255	142	143
อุณหภูมิ (C)	31	31	30.5	30.9
ความหนืดของอากาศ (พอยส์)	0.0001862	0.0001862	0.00018595	0.00018615
พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตร.ซม./กรัม)	3343	3417	2551	2560
พื้นที่ผิวจำเพาะเฉลี่ย (ตร.ซม./กรัม)	3380		2555.5	

หมายเหตุ

1. การสอบเทียบเครื่องมือจะต้องทดสอบ 3 ครั้ง โดยเปลี่ยนตัวอย่างมาตรฐานใหม่ทุกครั้ง แต่ละตัวอย่างต้องจับเวลาที่อากาศไหลผ่าน 3 ครั้ง

2. สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และวัสดุที่มีเนื้อส่วนใหญ่เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ให้รายงาน จากการหาครั้งเดียวและจากปูนซีเมนต์ชั้นเดียว

3. สำหรับวัสดุที่มีความละเอียดสูงมากหรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 ซึ่งมีความละเอียดมากต้องใช้เวลาทดสอบนาน ทั้งนี้ ค่านั้นต้องไม่ต่างเกินร้อยละ 2 ของค่าต่ำ แต่ถ้าต่างกันเกินร้อยละ 2 ก็ให้ยกเลิกแล้วทดสอบซ้ำจนกว่าจะได้ค่าตามต้องการและให้รายงานค่าเฉลี่ย

9.รายการคำนวณ

1. ปริมาตรของปูนซีเมนต์ในเซล ; V

$$V = \frac{W_a - W_b}{d}$$

เมื่อ V = ปริมาตรของปูนซีเมนต์เป็น ลบ.ซม.

W_a = น้ำหนักของปรอทที่เทใส่เซล เมื่อไม่มีปูนซีเมนต์ในเซล (104.08 กรัม)

W_b =น้ำหนักของปรอทที่เทใส่ตอนบนของเซลเหนือส่วนที่เป็นชั้นปูนซีเมนต์ (78.89 กรัม)

D = ความหนาแน่นของปรอทเป็น กรัม/ลบ.ซม. ณ อุณหภูมิที่ทดสอบ (ได้จากการเปิดตารางที่ 1 จะได้ค่าความหนาแน่นของปรอทที่อุณหภูมิ 31.3 C เท่ากับ 13.52 g/cm^3)

$$V = \frac{104.08 - 78.89}{13.52} = 1.863 \text{ลบ.ซม.}$$

2. น้ำหนักของปูนซีเมนต์มาตรฐาน ; W

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

เมื่อ W = น้ำหนักปูนซีเมนต์มาตรฐานที่ต้องการทราบเป็นกรัม

ρ = ความถ่วงจำเพาะของตัวอย่าง (สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ใช้เท่ากับ 3.15)

V = Bulk Volumn ของชั้นซีเมนต์เป็น ลบ.ซม. ได้จากการหาในข้อ 1. (1.863 Cm^3)

ε = ความพรุนที่กำหนดของชั้นปูนซีเมนต์ (0.500)

$$W = 3.15(1.863)(1 - 0.500) = 2.931 \text{ กรัม}$$

3. การปรับเทียบความหนืดที่อุณหภูมิ 30.9 C

$$\frac{0.0001867 - 0.0001857}{32 - 30} = \frac{0.0001867 - \eta}{32 - 30.9}$$

$$\eta = 0.00018615$$

4. การคำนวณหาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface) ให้คำนวณจากสูตรต่อไปนี้

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

เมื่อ S = พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวอย่างทดสอบเป็น ตร/ซม./กรัม

S_s = พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวอย่างมาตรฐานที่ใช้สอบเทียบเครื่องมือเป็น ตร.ซม./กรัม (3380 ตร/ซม./กรัม)

T = ช่วงเวลาที่ของเหลวในมานอมิเตอร์ลดต่ำลงมาของตัวอย่างทดสอบ (143 วินาที)

T_s = ช่วงเวลาที่ของเหลวในมานอมิเตอร์ลดต่ำลงมา ของตัวอย่างมาตรฐานสำหรับสอบเทียบเครื่องมือ (249.5 วินาที)

η = ความหนืดของอากาศ ณ อุณหภูมิทดสอบตัวอย่าง (0.0001862 Poise)

η_s = ความหนืดของอากาศ ณ อุณหภูมิทดสอบ ตัวอย่างมาตรฐาน ขณะสอบเทียบเครื่องมือ(0.00018615 Poise)

$$S = \frac{3380\sqrt{0.00018615}\sqrt{143}}{\sqrt{249.5}\sqrt{0.0001862}} = 2560 \text{ ตร.ซม.}$$

การทดลองที่ 3

การหาความละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยใช้เครื่องหาความซึมอากาศแบบเบลน

ข้อมูลการทดลอง

ปูนซีเมนต์.....

วันที่ทำการทดลอง.....

ปริมาตรของปูนซีเมนต์ในเซล.....

รายการ	1	2	3
น้ำหนักถาด(1) ..... (กรัม)	.....	.....	.....
น้ำหนักถาดและปรอทที่เทออกจากเซลเปล่า(2).....(กรัม)	.....	.....	.....
น้ำหนักปรอท(W) = (1) - (2).....(กรัม)	.....	.....	.....
อุณหภูมิห้องทดลอง ครั้งแรก.....(C)	.....	.....	.....
น้ำหนักถาดและปรอทเหนือปูนซีเมนต์(3).....(กรัม)	.....	.....	.....
น้ำหนักปรอท(W) = (3) - (2).....(กรัม)	.....	.....	.....
อุณหภูมิห้องทดลอง ครั้งแรก.....(C)	.....	.....	.....
ปริมาณของปูนซีเมนต์ในเซล = W – W / D .....(ลบ.ซม.)	.....	.....	.....
ปริมาตรของปูนซีเมนต์ในเซลเฉลี่ย.....(ลบ.ซม.)	.....	.....	.....

น้ำหนักปูนซีเมนต์มาตรฐานที่พอดี จะทำให้ชั้นปูนซีเมนต์มีความพรุน 0.500 ± 0.005

$W = 3.15\ V\ (1 - 0.500) =$ ..... กรัม

หมายเหตุ ให้ทดสอบหาปริมาตรของปูนซีเมนต์อย่างน้อย 2 ครั้ง โดยเปลี่ยนปูนซีเมนต์ใหม่ทุกครั้ง ค่าที่หาได้จะต้องไม่ต่างกันเกิน 0.005 ลูกบาศก์เซนติเมตร

อัตราการไหลของอากาศผ่านชั้นปูนซีเมนต์

รายการ	ปูนซีเมนต์มาตรฐานที่นำมาทดสอบ		ปูนซีเมนต์ตัวอย่างที่นำมาทดสอบ	
	1	2	1	2
น้ำหนักปูนซีเมนต์.....(กรัม) อุณหภูมิของห้องทดลอง.....(C) เวลาที่ระดับของเหลวลดลงถึงขีดที่ 2 จากบน (1).....(วินาที) เวลาที่ระดับของเหลวลดลงถึงขีดที่ 3 จากบน (2).....(วินาที) ช่วงเวลา = (2) - (1) .....(วินาที) ความหนืดของอากาศ (พอยส์).....(วินาที) พื้นที่ผิวจำเพาะ.....(ตร.ซม./กรัม)				
พื้นที่ผิวจำเพาะเฉลี่ย.....(ตร.ซม./กรัม)				

หมายเหตุ

1. ในการสอบเทียบเครื่องมือนั้นจะต้องทดสอบ 3 ครั้ง โดยเปลี่ยนตัวอย่างมาตรฐานใหม่ทุกครั้งแต่ละตัวอย่างต้องจับเวลาที่อากาศไหลผ่าน 3 ครั้ง
2. สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และวัสดุที่มีเนื้อส่วนใหญ่เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ให้รายงานจากการหาค่าครั้งเดียวและจากชั้นปูนซีเมนต์ชั้นเดียว
3. สำหรับวัสดุที่มีความละเอียดสูงหรือเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 ซึ่งมีความละเอียดมาก ต้องใช้เวลาทดสอบนาน ทั้งนี้ค่านั้นจะต้องไม่ต่างกันเกินร้อยละ 2 ของค่าต่ำ แต่ถ้าต่างกันเกินร้อยละ 2 ก็ให้ยกเลิกแล้วทำการทดสอบซ้ำจนกว่าจะได้ค่าตามต้องการ และให้รายงานค่าเฉลี่ย

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

การทดลองที่ 4

การหาค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิค

(Specific Gravity of Hydraulic Cement)

1.คำนำ

ค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ คือ อัตราส่วนของน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับปูนซีเมนต์ ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จะมีค่าประมาณ 3.00 ถึง 3.20 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของเนื้อปูนซีเมนต์และความละเอียดของปูนซีเมนต์ด้วย โดยทั่ว ๆ ไป ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 จะมีค่าประมาณ 3.15

ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ บ่งถึงส่วนประกอบของเนื้อปูนซีเมนต์และความละเอียดของปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมาก จะมีความถ่วงจำเพาะสูง ค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ส่วนใหญ่ จะนำไปใช้ในการคำนวณออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Mixed Design) นอกจากนี้แล้วยังใช้เป็นข้อมูลในการหาความละเอียดของปูนซีเมนต์และยังเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของปูนซีเมนต์อีกด้วย ปูนซีเมนต์ชนิดเยวกันที่เสื่อมคุณภาพจะมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพดี

2. วัตถุประสงค์

เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และประโยชน์ในการใช้กำหนดสัดส่วนในการผสมคอนกรีต

3. วัสดุทดลอง

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1

4. เครื่องมือทดสอบ

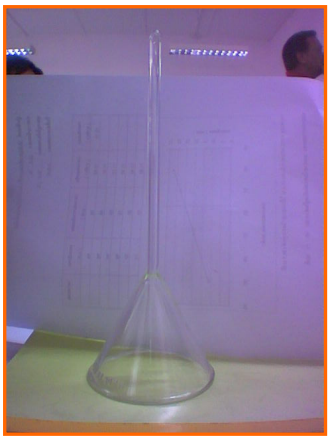
ก. ขวดแก้วทดลองมาตรฐานเลอชาเตอร์ลิเอร์

ข. เครื่องชั่งน้ำหนัก ที่อ่านค่าความละเอียด (Standard le chatelier Flask) อ่านทศนิยมได้ 2 ตำแหน่ง

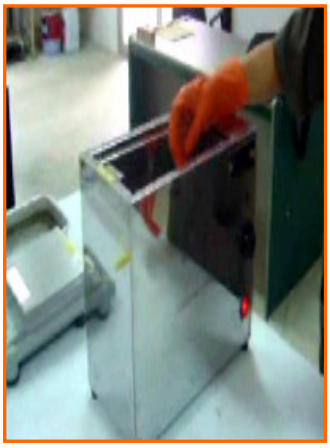
ค. น้ำมันก๊าด (Kerosene) ที่ไม่มีน้ำเจือปน

ง. เทอร์โมมิเตอร์

จ. กรวยก้านยาว



ฉ. ถังน้ำควบคุมอุณหภูมิได้

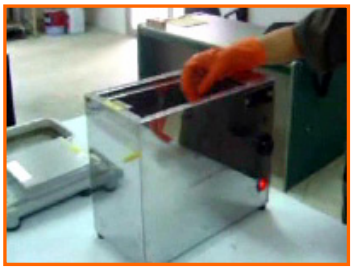


5. วิธีทดสอบ

ก. เติมน้ำมันก๊าดลงในขวดแก้วมาตรฐานเลอชาเตอร์ริเอร์จนถึงระดับระหว่าง 0.0 - 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ภายในขวดแก้วทดลองตอนบนเหนือระดับน้ำมันก๊าดจะต้องแห้ง

ข. ปิดปากขวดทดลองด้วยจุกแก้วแล้วนำไปจุ่มในถังที่มีอุณหภูมิคงที่และใกล้เคียงกันกับอุณหภูมิโดยให้นานพอที่จะอ่านค่าระดับได้ ทั้งนี้เพื่อไม่ให้อุณหภูมิต่างกันเกิน 0.2 ° c จะต้องตรวจสอบ ค่าระดับที่อ่านได้จนกว่าจะคงที่ เพื่อให้แน่ใจว่าอุณหภูมิของน้ำมันก๊าดที่บรรจุในขวดแก้วทดลองเท่ากับอุณหภูมิของน้ำในถัง แล้วจึงอ่านค่าระดับเป็นค่าแรก

ค. ชั่งปูนซีเมนต์ตัวอย่างทดสอบประมาณ 64 กรัม แล้วกรอกลงไปในขวดแก้วทดลองลงทีละน้อยโดยใช้กรวยก้านยาวช่วยในการกรอก เพื่อป้องกันไม่ให้ปูนซีเมนต์เกาะบริเวณคอขวดแก้วทดลองเมื่อกรอกปูนซีเมนต์ตัวอย่างจนหมด หรือจนกระทั่งระดับน้ำมันก๊าดในขวดแก้วทดลองสูงพอ ที่จะอ่านสเกลตอนบนได้ ให้หยุดกรอก ปิดปากขวดแก้วทดลองด้วยจุกแก้ว แล้วกลิ้งขวดแก้วทดลองช้า ๆ ในลักษณะเอียงบนพื้นโต๊ะหรือแกว่งเบา ๆ ในแนวราบเป็นวงกลม เพื่อไล่ฟองอากาศออกจากปูนซีเมนต์ จนกระทั่งไม่มีฟองอากาศลอยขึ้นมา จึงนำขวดแก้วทดลองนั้นจุ่มลงในถังน้ำตามวิธีในข้อ ข. จนระดับน้ำมันก๊าดในขวดแก้วทดลองคงที่ จึงจะอ่นค่าเป็นค่าระดับน้ำมันก๊าดครั้งหลัง



6. วิธีการคำนวณ

ก. ปริมาตรของปูนซีเมนต์ คือปริมาตรที่ของเหลวถูกแทนที่ หาได้จากผลต่างระหว่างค่าปริมาตร ที่อ่านได้ครั้งหลังลบกับค่าปริมาตรที่อ่านได้ครั้งแรก

ข. การคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะ ให้คำนวณเป็นทศนิยม 3 ตำแหน่งแล้วปัดเศษเหลือ 2 ตำแหน่งแล้วปัดเศษเหลือ 2 ตำแหน่ง

$$\text{ค่าความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ใช้}}{\text{ปริมาตรที่ถูกแทนที่} \times \text{ความหนาแน่นของน้ำ}}$$

(ความหนาแน่นของน้ำ 4° c มีค่าเท่ากับ 1 กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร)

7.ข้อมูลและผลการทดลอง

ชนิดปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภท 1 ตราพีทีไอ(สีแดง)

อุณหภูมิของน้ำในถัง 29.3 C

อุณหภูมิของทดลอง 32.0 C

วันที่ทำการทดลอง 29 มิถุนายน พ.ศ. 2546

รายการ	การทดลองครั้งที่	
	1	2
1. ระดับน้ำมันก๊าดครั้งแรก (มล.)	-0.1	0
2. อุณหภูมิของน้ำมันก๊าดครั้งแรก (C)	32.8	32.8
3. น้ำหนักปูนซีเมนต์และถาดครั้งแรก (กรัม)	347.6	342.7
4. น้ำหนักปูนซีเมนต์และถาดที่เหลือ (กรัม)	287.9	281.8
5. น้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ใช้ (กรัม) (3)-(4)	59.7	60.9
6. ระดับน้ำมันก๊าดครั้งหลัง (มล.)	18.95	19.45
7. อุณหภูมิของน้ำมันก๊าดครั้งหลัง (C)	29.5	29.5
8. ปริมาตรที่ถูกแทนที่ (มล.) (6)-(1)	19.05	19.45
9. ความถ่วงจำเพาะ	3.13	3.13
ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย	3.13	

หมายเหตุ ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ คือค่าเฉลี่ยจากผลการทดลองอย่างน้อย 2 ครั้ง และค่าความถ่วงจำเพาะที่หาได้จะต้องไม่แตกต่างกันเกิน 0.03

8.รายการคำนวณ

1. น้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ใช้

น้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ใช้ = น้ำหนักปูนซีเมนต์และถาดครั้ง - น้ำหนักปูนซีเมนต์และถาดที่เหลือ

น้ำหนักปูนซีเมนต์และถาดครั้งแรก 347.6 กรัม

น้ำหนักปูนซีเมนต์และถาดที่เหลือ 287.9 กรัม

น้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ใช้ = 347.6 – 287.9 = 59.7 กรัม

2. ปริมาตรที่ถูกแทนที่

ปริมาตรที่ถูกแทนที่ = ระดับน้ำมันก๊าดครั้งหลัง – ระดับน้ำมันก๊าดครั้งแรก

ระดับน้ำมันก๊าดครั้งหลัง 18.95 มิลลิลิตร

ระดับน้ำมันก๊าดครั้งแรก -0.10 มิลลิลิตร

ปริมาตรที่ถูกแทนที่ = 18.95 – (-0.10) = 19.05 มิลลิลิตร

3. ความถ่วงจำเพาะ

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ใช้}}{\text{ปริมาตรที่ถูกแทนที่} \times \text{ความหนาแน่นของน้ำ}}$$

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{59.7}{19.05 \times 1} = 3.13$$

การทดลองที่ 4

การหาค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิค

ข้อมูลและผลการทดลอง

ปูนซีเมนต์.....

อุณหภูมิของน้ำในถัง.....°C

อุณหภูมิห้องทดลอง.....°C

วันที่ทำการทดลอง.....

รายการทดลอง		การทดลองครั้งที่		
		1	2	3
ระดับน้ำมันก๊าดครั้งแรก	(มล.)			
อุณหภูมิของน้ำมันก๊าดแรก	(°C)			
น้ำหนักปูนซีเมนต์และถาดครั้งแรก	(กรัม)			
น้ำหนักปูนซีเมนต์และถาดที่เหลือ	(กรัม)			
น้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ใช้จริง	(กรัม)			
ระดับน้ำมันก๊าดครั้งหลัง	(มล.)			
อุณหภูมิของน้ำมันก๊าดครั้งหลัง	(°C)			
ปริมาตรที่ถูกแทนที่	(มล.)			
ค่าความถ่วงจำเพาะ				
ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย				

หมายเหตุ ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ คือ ค่าเฉลี่ยจากผลการทดลองอย่างน้อย 2 ครั้ง และค่าความถ่วงจำเพาะที่หาได้จะต้องไม่แตกต่างกันเกิน 0.03

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

การทดลองที่ 5

การทดสอบหาแรงดึงของซีเมนต์และมอร์ตาร์

(Tensile Strength of Net Cement and Cement Mortar)

1.คำนำ

ทรายมาตรฐาน เป็นทรายธรรมชาติจากเมืองอ๊อตตาวา รัฐอิลลินอยส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นแร่ควอร์ทเกือบทั้งหมด มีสีขาวคล้ายสีน้ำตาลทราย ขนาดของเม็ดทรายสม่ำเสมอประมาณ 1 มม. ที่สามารถลอดผ่านตะแกรงเบอร์ 20 และค้างอยู่บนตะแกรงเบอร์ 30

การทดสอบหาความต้านทานต่อแรงดึง ตารมมาตรฐานอเมริกันหาได้จาการทดสอบแท่งบริเคท ของมอร์ตา ซึ่งประกอบด้วยซีเมนต์ 1 ส่วน ทรายมาตรฐาน 3 ส่วนโดยน้ำหนัก แท่งทดสอบนี้เป็นบริเคท มีปลายหน้าตัดใหญ่และหน้าตัดตรงกลางมีพื้นที่หน้าตัดประมาณ 1 ตารางนิ้ว จำนวนน้ำที่ใช้ผสมคำนวณจากความข้นเหลวปกติของปูนซีเมนต์ชนิดนั้น โดยมีสูตรคำนวณคือ

ปริมาณน้ำที่ใช้เป็นเปอร์เซ็นต์ของซีเมนต์กับทราย = 6.5 + เปอร์เซนต์ของน้ำที่ความข้นเหลวปกติ/6

หลังจากการหล่อแบบ และบ่มชื้นตามกำหนด ก็ทำการทดสอบหาความต้านทานแรงดึงเมื่อแท่งทดสอบมีอายุต่างๆ กัน คือ 3 , 7 และ 28 วัน แรงดึงที่ใช้ทดสอบต้องกระทำสม่ำเสมอด้วยอัตราประมาณ 265- 285 กิโลกรัมต่อนาที ค่าเฉลี่ยของความต้านทานต่อแรงดึงต้องไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน (ซึ่งเท่ากับ 10 , 20 และ 25 กก. ต่อ ตร.ซม. เมื่อแท่งทดสอบมีอายุ 3 , 7 และ 28 วันตามลำดับ)

2.จุดประสงค์

1.เพื่อทดสอบหากำลังรับแรงดึงของซีเมนต์ล้วนและมอร์ตาร์

3.เครื่องมือทดสอบ

1.แบบหล่อบริโคท

2.เครื่องชั่งอ่านค่าละเอียดได้ถึง 0.1 กรัม

3.กระบอกตวง ขนาด 200 มิลลิลิตร / 20 °C

4.เครื่องผสม

5.เกรียงเหล็ก

6.ถุงมือยาง

7.เครื่องทดสอบ Versa Testing

4.วัสดุทดสอบ

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 หนักประมาณ 1300 กรัม
2. ทรายมาตรฐาน ซึ่งใช้ทรายซิลิก้าธรรมชาติจากเมืองออตตาวา มลรัฐอิลินอยส์ (Stand Otawa Sand) หรือเทียบเท่าทรายดังกล่าว โดยจะต้องมีขนาดซึ่งผ่านตะแกรงเบอร์ 20 (อาจมีส่วนค้างได้ไม่เกิน 15 %) และค้างบนตะแกรงเบอร์ 30 (อาจมีส่วนค้างได้ไม่เกิน 5 %) หลังจากร่อนต่อเนื่องเป็นเวลา 5 นาที

5.อุณหภูมิและความชื้น

1. อุณหภูมิในห้องทดลอง จะต้องอยู่ระหว่าง 20°C - 27.5°C
2. อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสม ห้องบ่มความชื้นและน้ำที่ใช้บ่มตัวอย่างควรอยู่ระหว่าง 20°C ± 27.5°C
3. ความชื้นสัมพัทธ์ของห้องทดลองไม่ควรน้อยกว่า 50% และไม่น้อยกว่า 90% สำหรับห้องบ่มความชื้น

6.วิธีการทดลอง

- **การเตรียมตัวอย่าง**

ก. การเตรียมตัวอย่างซีเมนต์เพสต์

1. ใช้ปูนซีเมนต์หนัก 1000 กรัม สำหรับหล่อตัวอย่าง 6 ก้อน
2. ใช้น้ำผสมปริมาณเท่ากับปริมาณน้ำที่ทำให้เกิดความข้นเหลวปกติ (ตามการทดลอง C – 1)
3. ผสมปูนซีเมนต์กับน้ำตามวิธีการผสมซีเมนต์เพสต์ (ตามวิธีการผสมในการทดลอง C – 1)

ข. การเตรียมตัวอย่างมอร์ตาร์

1. ใช้ปูนซีเมนต์หนัก 300 กรัม สำหรับหล่อก้อนตัวอย่าง 6 ก้อน
2. ใช้ทรายมาตรฐาน ที่มีขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 20 และค้างบนตะแกรงเบอร์ 30 จำนวน 900 กรัม(อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ 1:3)
3. ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมตัวอย่างมอร์ตาร์ คำนวณได้จากสูตร

$$Y = \frac{2}{3}\left(\frac{P}{n+1}\right) + K$$

เมื่อ

Y = เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ใช้ผสม (คิดจากน้ำหนักของปูนและทรายรวมกัน)

P = เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ทำให้ซีเมนต์เพสต์มี ความข้นเหลวปกติ(Normal Consistancy)

n = อัตราส่วนน้ำหนักของทรายต่อน้ำหนัก ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน(เท่ากับ 3)

K = ค่าคงที่ของทรายมาตรฐานเท่ากับ 6.5

- **การผสมตัวอย่างมอร์ตาร์**

ก. ผสมด้วยมือ

1. นำปูนซีเมนต์และทรายที่ชั่งเตรียมไว้มากองรวมกันในถาดเรียบไม่ซึมน้ำทำการผสมแห้งด้วยเรียงให้เข้ากันดี ทำเป็นกองสูง แล้วทำหลุมกลางกองเป็นรูปปล่องภูเขาไฟ
2. นำน้ำตามเปอร์เซ็นต์ที่เหมาะสมที่เตรียมไว้ เทลงในหลุม ใช้เกรียงตักส่วนผสมด้านนอกใส่ลงในหลุมใช้เวลา 30 วินาที
3. ใช้เกรียงปาดข้างกองเบาๆ ให้เรียบ ทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที ให้ส่วนผสมดูดซึมและลดการระเหย
4. ใช้มือที่สวมถุงมือยาง นวดส่วนผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้เวลา 1½ นาที แล้วนำไปเข้าแบบหล่อ

ข. ผสมด้วยเครื่อง (มอก. 15 เล่ม 17-2516)

1. ทำความสะอาดอ่างผสมใบพายและเช็ดให้แห้งสนิท
2. เติมน้ำที่เตรียมไว้ลงในอ่างผสม
3. เติมปูนซีเมนต์ที่ชั่งไว้ลงในน้ำ เดินเครื่องผสมช้าๆ (140 ± 10 รอบ/นาที) ขณะเดินเครื่องนี้ให้เติมทรายลงช้าๆ ให้หมดภายใน 30 วินาที
4. หยุดเครื่องหมุนสวิทซ์ไปที่ความเร็วปานกลาง (285 ± 10 รอบ/นาที) แล้วเดินเครื่องต่อไปอีก 30 วินาที
5. หยุดเครื่อง 1½ นาที ขูดปูนที่มีติดอยู่ข้างอ่างลงไปรวมกันที่ก้นให้เสร็จภายใน 15 วินาที แล้วใช้ฝาครอบอ่างผสมไว้
6. เดินเครื่องต่อไปอีก 1 นาที ด้วยความเร็วปานกลางแล้วหยุดเครื่อง นำส่วนผสมไปเข้าแบบหล่อ

<u>การหล่อตัวอย่างใส่แบบหล่อบริเคท</u>

1. ทาน้ำมันบาง ๆ ที่แบบหล่อตัวอย่าง (Briquet Mole) และแผ่นโลหะ (Plate) ให้ทั่ว
2. วางแบบหล่อตัวอย่างลงบนแผ่นโลหะ ใช้เกรียงตักซีเมนต์มอร์ต้าที่ผสมเสร็จแล้วใส่ลงในแบบหล่อตัวอย่าง ประมาณครึ่งหนึ่งของแบบหล่อตัวอย่าง
3. ใช้หัวแม่มือกดซีเมนต์มอร์ต้าในแบบหล่อตัวอย่าง โดยใช้แรงกดประมาณ 15 – 20 ปอนด์ เป็นจำนวน 12 ครั้ง
4. เติมซีเมนต์มอร์ต้าให้เต็มแบบหล่อตัวอย่างอีกครั้ง ใช้เกรียงปาดหน้าให้เรียบ ด้วยแรงไม่เกิน 4 ปอนด์ (ระวังอย่ากระทุ้งตัวอย่างหรือเขย่าแบบ)
5. วางแผ่นโลหะประกบด้านบน แล้วพลิกเอาด้านล่างกลับขึ้นมาข้างบน
6. ปฏิบัติตามวิธีการตาม ข้อ 3 , 4 , 5
7. นำแบบหล่อตัวอย่างที่หล่อเสร็จแล้ว ไปเก็บไว้ในห้องบ่ม
8. ทำการถอดแบบหล่อตัวอย่างออก เมื่อครบ 24 ชั่วโมง นำไปบ่มโดยแช่ในถาดใส่น้ำสะอาดให้ท่วมชิ้นตัวอย่าง จนครบตามเวลาที่ต้องการ จึงนำไปทำการทดสอบต่อไป
9.

<u>การทดสอบการรับแรงดึง</u>

1. นำตัวอย่างซีเมนต์เพสท์และซีเมนต์มอร์ต้า อย่างละ 3 ชิ้น มาทำการทดสอบกำลังดึงเมื่ออายุครบ 7 วัน และ 28 วัน โดยที่อายุของตัวอย่างทดสอบจะผิดพลาดได้ไม่เกินค่าในท้ายตารางนี้

อายุการทดสอบ	ความคลาดเคลื่อน
24 ชั่วโมง	± 1/2 ชั่วโมง
3 วัน	± 1 ชั่วโมง
7 วัน	± 3 ชั่วโมง
28 วัน	± 12 ชั่วโมง

2. เช็ดตัวอย่างที่จะทดสอบให้ผิวแห้งปัดฝุ่นและเม็ดทรายที่เกาะตามผิว ออกให้หมด
3. ทำการวัดขนาด เพื่อหาพื้นที่หน้าตัดที่เล็กที่สุดของตัวอย่างทดสอบ
4. นำตัวอย่างทดสอบเข้าไปในขาจับ ปรับเข็มเครื่องทดสอบให้เป็น 0 เดินเครื่องทดสอบ ในอัตราความเร็ว 600 ± 25 ปอนด์ต่อนาที และบันทึกค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ขาด

<u>การคำนวณผลการทดสอบและเกณฑ์มาตรฐาน</u>

1. นำค่าแรงดึงสูงสุดที่บันทึกไว้ มาคำนวณหาค่าแรงดึงต่อหน่วยพื้นที่ เป็น Ksc. หรือ Psi.
2. ให้หาค่าเฉลี่ยจากแรงดึงที่คำนวณได้ หากค่าใดต่างจากค่าเฉลี่ย เกินกว่า 15 % แล้วใช้เพียง 2 ตัวอย่าง
3. แรงดึงตัวอย่างซีเมนต์เพสท์ อายุ 7 วัน ต้องไม่น้อยกว่า 500 Psi.
   แรงดึงตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้า อายุ 7 วัน ต้องไม่น้อยกว่า 275 Psi.
4. แรงดึงตัวอย่างซีเมนต์เพสท์ อายุ 28 วัน ต้องไม่น้อยกว่า 600 Psi.
   แรงดึงตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้า อายุ 28 วัน ต้องไม่น้อยกว่า 350 Psi.

7.รายการคำนวณ

1. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ของซีเมนต์เพสต์

ปูนซีเมนต์หนัก 1000 กรัม

ความข้นเหลวปกติ 25.5%

$\therefore$ ใช้ น้ำ $\frac{25.5}{100} \times 1000 = 255$ กรัม

2. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ของมอร์ตาร์

$$Y = \frac{2}{3}\left(\frac{P}{n+1}\right) + K$$

ปูนซีเมนต์รวมทรายหนัก 1200 กรัม

$\therefore$ ใช้ น้ำ $\frac{10.75}{100} \times 1200 = 129$ กรัม

3. หน่วยแรงดึง

หน่วยแรงดึง = แรงดึงประลัย / พื้นที่หน้าตัด

การทดลองที่ 5

การทดสอบกำลังรับแรงดึงของซีเมนต์เพสท์และซีเมนต์มอร์ต้า

ข้อมูลการทดลอง

ปูนซีเมนต์..... ตรา.....

อุณหภูมิห้องทดลอง.....^{o}C

วันที่หล่อตัวอย่าง..... เวลา.....น.

วันที่ทดสอบอายุ 7 วัน ..... เวลา.....น.

วันที่ทดสอบอายุ 28 วัน ..... เวลา.....น.

ซีเมนต์เพสท์ (Cement Paste)

ตัวอย่างที่	พื้นที่หน้าตัด	อายุ (วัน)	แรงดึงประลัย Max. Load (kg.)	หน่วยแรงดึง Ksc.	เฉลี่ย Ksc.
1					
2					
3					
4					
5					
6					

ซีเมนต์มอร์ต้า (Cement Mortar)

ตัวอย่างที่	พื้นที่หน้าตัด	อายุ (วัน)	แรงดึงประลัย Max. Load (kg.)	หน่วยแรงดึง Ksc.	เฉลี่ย Ksc.
1					
2					
3					
4					
5					
6					

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

การทดลองที่ 6

การทดสอบหากำลังอัดของมอร์ตาร์ซีเมนต์

(Compressive Strength of Cement Mortar)

1. บทนำ

การทดสอบหากำลังอัดของมอร์ตาร์ เป็นอีกวิธีการหนึ่ง ในการตรวจสอบคุณภาพของซีเมนต์ ที่จะนำมาใช้งานว่ามีคุณภาพมาตรฐานหรือไม่

เกณฑ์กำหนดค่ากำลังอัดของก้อนลูกบาศก์ซีเมนต์ตามมาตรฐาน ซึ่งประกอบด้วยปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ต่อทรายมาตรฐาน 2.75 ส่วน และทดสอบตามวิธีมาตรฐานจะต้องไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในตารางท้ายนี้

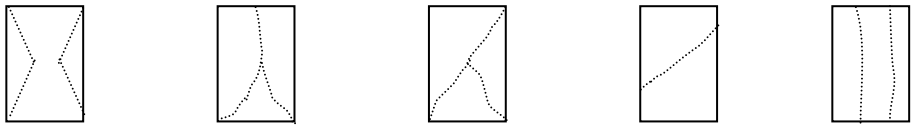
เกณฑ์กำหนดกำลังอัดของก้อนลูกบาศก์มอร์ตาร์มาตรฐาน

(มอก. 15 เล่ม 12 2528)

อายุการบ่ม	กำลังอัด(กก./ตร.ซม.)				
	ประเภทที่ 1	ประเภทที่ 2	ประเภทที่ 3	ประเภทที่ 4	ประเภทที่ 5
1 วันในอากาศชื้น	-		120	-	-
1 วันในอากาศชื้น 2 วันในน้ำ	85	70	210	-	-
1 วันในอากาศชื้น 6 วันในน้ำ	150	130	-	55	65
1 วันในอากาศชื้น 27 วันในน้ำ	245	245	-	140	210

ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมนี้จะได้จากการทดสอบโดยใช้โต๊ะการไหล(Flow Table) ถ้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของส่วนผสมที่ทดสอบบนโต๊ะการไหลนี้เพิ่มขึ้นประมาณ 100-115% ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเดิม ปริมาณน้ำที่ใช้ก็จะถือว่าอยู่ในช่วงที่ใช้ได้โดยทำให้ส่วนผสมอยู่ ณ สภาวเหลว(Plastic Consistency) พบว่าปริมาณน้ำที่ใช้ทดลองนี้ ปกติเริ่มใช้ตั้งแต่ 47-49% โดยน้ำหนักของซีเมนต์ หลังจากหล่อแบบและบ่มตามเกณฑ์กำหนดก็นำมาทดสอบเมื่อลูกปูนมีอายุ 3 , 7 และ 28 วัน

ลักษณะการแตกในรูปแบบต่างๆ



Cone Cone & Split Cone & Shear Shear Column

2.จุดประสงค์

เพื่อหากำลังอัดของมอร์ตาร์ซีเมนต์ รูปลูกบาศก์ ขนาด 5 เซนติเมตร

3.เครื่องมือทดสอบและวัสดุทดสอบ

เครื่องมือทดสอบ

1. แบบหล่อตัวอย่างลูกบาศก์ ขนาด 5 x 5 x 5 ซม.

2. เครื่องชั่ง อ่านค่าละเอียดได้ถึง 1 กรัม และมีความผิดพลาดได้ไม่ เกิน 0.001 กรัม

3.ตะแกรง เบอร์ 100 , 50 , 30 และ 16

4. กระบองตวง ขนาด 500 ลบ.ซม. ที่ 20 ^{o}C

5. โต๊ะและแบบหล่อทดสอบการไหล

6. แท่งกระทุ้ง

7.เครื่องผสม

8. เกรียงเหล็ก

9. ถุงมือยาง

<u>วัสดุทดลอง</u>

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
2. ทรายมาตรฐาน ใช้ทรายซิลิก้าธรรมชาติจากเมืองออตตาวา มลรัฐอิลลินอยล์ (Standard Ottawa Sand) หรือเทียบได้กับทรายดังกล่าว และมีขนาดคละดังตาราง

ตะแกรงเบอร์	% ทรายที่ค้างบนตะแกรง
100	98 ± 2
50	72 ± 5
30	2 ± 5
16	0

อุณหภูมิและความชื้น

1. อุณหภูมิในห้องทดลองจะต้องอยู่ระหว่าง 20 °C – 27.5 °C
2. อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสม ห้องบ่มความชื้น และน้ำที่ใช้บ่มตัวอย่างควรอยู่ระหว่าง 23 ± 1.7 °C
3. ความชื้นสัมพัทธ์ของห้องทดลองไม่ควรน้อยกว่า 50 % และไม่น้อยกว่า 90 % สำหรับห้องบ่มความชื้น

4.วิธีการทดลอง

<u>ทดลองการไหลแผ่เพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม</u>

1. เตรียมส่วนผสมมอร์ตาร์ โดยใช้ปูนซีเมนต์กับทรายมาตรฐานในตราส่วน 1 : 2.75 โดยน้ำหนัก สำหรับการทดสอบการไหลแผ่นี้ใช้ปูนซีเมนต์หนัก 260 กรัม ทรายมาตรฐาน 715 กรัม และน้ำ 130 กรัม (W/C = 0.5) ทำด้วยการผสมด้วยเครื่องตามวิธีมาตรฐาน (ใน C-5)
2. เช็ดผิวหน้าแท่นทดลองให้สะอาดและแห้ง แล้วเอาแบบหล่อวางให้อยู่ตรงจุดกึ่งกลางของแท่น เอามอร์ตาร์ใส่แบบหล่อให้ได้ความหนาประมาณ 25 มม. แล้วกระทุ้งด้วยแท่งกระทุ้ง 20 ครั้ง ให้สม่ำเสมอทั่วพื้นที่แบบหล่อ จากนั้นให้ใส่มอร์ตาร์จนล้นแบบและกระทุ้งอีก 20 ครั้ง

เช่นเดียวกับครั้งแรก ใช้เกรียงเหล็กปาดผิวหน้าให้เรียบ ทำความสะอาดแท่นและขอบด้านนอกแบบหล่ออีกครั้งหนึ่ง หลังจากผสมเสร็จแล้ว 1 นาที ให้ยกแบบหล่อขึ้นจากมอร์ตาร์ และทำการหมุนให้แท่นตกกระแทกในแนวดิ่ง สูง 12.7 มม. เป็นจำนวน 25 ครั้งใน 15 วินาที เสร็จแล้ววัดเส้นผ่าศูนย์กลางของมอร์ตาร์ที่กระจายบนแท่น โดยค่าเฉลี่ยจากการวัด 4 ครั้ง ในช่วงห่างเท่า ๆ กัน

<u>การเตรียมมอร์ตาร์สำหรับหล่อตัวอย่าง</u>

1. สำหรับก้อนทดสอบก้อนทดสอบ 6 ก้อน ใช้ปูนซีเมนต์ 500 กรัม ทรายมาตรฐาน 1375 กรัม ใช้น้ำผสมตามเปอร์เซ็นต์ (W/C) ที่ได้จากการทดสอบการไหลแผ่ ทำการผสมมอร์ตาร์ด้วยมือหรือเครื่องผสม ตามวิธีมาตรฐานใน (C-5)
2. เมื่อผสมเสร็จแล้วให้ทิ้งส่วนผสมไว้ในอ่างผสม 90 นาที แล้วผสมต่อด้วยความเร็วปานกลาง 15 วินาที จากนั้นให้รีบนำส่วนผสมไปใส่แบบหล่อที่เตรียมไว้

<u>การหล่อแบบตัวอย่าง</u>

1. ทำความสะอาดแบบหล่อ และทาน้ำมันบาง ๆ ไว้ให้เรียบร้อยก่อนทำการผสมมอร์ตาร์
2. การหล่อแบบตัวอย่างทดสอบ จะต้องทำให้เสร็จภายในเวลา 2 ½ นาที หลังจากผสมมอร์ตาร์เสร็จเรียบร้อยแล้ว
3. เอามอร์ตาร์ใส่ในช่องแบบหล่อทุกช่องหนาประมาณ 25 มม. กระทุ้งด้วยแท่งกระทุ้งช่องละ 32 ครั้ง ภายใน 10 วินาที โดยกระทุ้งเป็น 4 รอบ แต่ละรอบกระทุ้งให้ตั้งฉากไปทั่วแบบหล่อ เมื่อกระทุ้งครบ 4 รอบ แล้วให้กระทุ้งช่องต่อไปจนครบ

4	5
3	6
2	7
1	8

รอบที่ 1 และ 3

5	6	7	8
4	3	2	1

รอบที่ 2 และ 4

4. ใส่มอร์ตาร์ที่เหลือในช่องแบบหล่อทุกช่องให้นูนสูงกว่าขอบ แล้วกระทุ้งเช่นเดียวกับชั้นแรก เมื่อกระทุ้งเสร็จแล้วมอร์ตาร์ควรสูงกว่าขอบเล็กน้อย

5. ใช้เกรียงปาดมอร์ตาร์ที่สันติดขอบแบบลงมาในแบบ แล้วปาดผิวให้เผยอเกรียงด้านหน้าเล็กย้อย ไปทางขวาของแบบหล่อแต่ละช่วงเพียงครั้งเดียว

6. เพื่อให้ผิวหน้าแบบหล่อเรียบดียิ่งขึ้นให้ใช้เกรียงปาดเบาๆอีก 1ครั้งตลอดความยาวของแบบหล่อ โดยใช้ขอบเกรียงวางทำมุมเล็กน้อย แล้วขยับเกรียงไปมาตลอดความยาวของแบบหล่อ

7. หลังจากหล่อแบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้นำไปเก็บไว้ในห้องบ่มชื้น หรือใช้ผ้าชุบน้ำคลุมไว้จนครบ 24 ชั่วโมง ทำการถอดแบบ แล้วนำไปแช่ในน้ำสะอาดจนครบระยะเวลาที่ต้องการ

<u>การทดสอบกำลังอัด</u>

1. การทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ลูกบาศก์ ตามอายุที่กำหนดโดยอนุญาติให้มีความคลาดเคลื่อนได้ดังนี้

อายุทดสอบ	ความคลาดเคลื่อนได้
1 วัน	± /2 ชม.
3 วัน	± 1 ชม.
7 วัน	± 3 ชม.
28 วัน	± 12 ชม.

2. นำตัวอย่างออกจากห้องบ่ม ให้ความสะอาดปัดเม็ดทราย และสะเก็ดที่ติดผิวออกให้หมด เช็ดผิวให้แห้งแล้วทดสอบกำลังอัดทันที

3. วัดขนาดและชั่งน้ำหนักของตัวอย่างแต่ละก้อน ห้ามใช้ด้านข้างของตัวอย่างรับแรงกด ถ้าด้านบนและด้านล่างก้อนตัวอย่างไม่เรียบให้ฝนให้เรียบและขนานกัน

4. นำก้อนทดสอบไปวางให้อยู่ตรงจุดกึ่งกลางของแป้นทดสอบ และเคลื่อนแป้นกดให้สัมผัสกับผิวก้อนตัวอย่าง จากนั้นให้เพิ่มแรงอัดด้วยที่เหมาะสมและสม่ำเสมอ โดยใช้เวลาทดสอบระหว่าง 20 – 80 วินาที

5. การคำนวณ

<u>คำนวณการไหลแผ่ดังนี้</u>

$$\text{การไหลแผ่}(\%) = \frac{D_1 - D_0}{D_0} \times 100$$

D_0 = เส้นผ่าศูนย์กลางที่ฐานของแบบ

D_1 = เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของมอร์ตาร์ที่กระจายบนแท่น

ให้ทำการทดลองซ้ำอีก โดยเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ใช้จนกระทั่งได้การไหลแผ่ 100–115 % เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ใช้นี้คือปริมาณน้ำที่เหมาะสม ที่จะนำไปใช้ในการผสมมอร์ตาร์ซีเมนต์เพื่อทดสอบหาแรงกดต่อไป

<u>คำนวณแรงอัดสูงสุด</u>

1. บันทึกค่าแรงอัดสูงสุดที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบ คำนวณหากำลังอัดเป็นกิโลกรัม/ตร.ซม. ถ้าพื้นที่หน้าตัดจริงของก้อนทดสอบแตกต่างจากพื้นที่หน้าปกติเกินกว่า ± 1.5 % ให้ใช้พื้นที่หน้าตัดที่วัดได้จริงในการคำนวณ

2. ถ้าค่ากำลังอักของแต่ละตัวอย่างแตกต่างไปจากค่าเฉลี่ยของผลทดลองทั้งหมดเกินกว่า 10 % แล้ว ถือว่าค่านั้นใช้ไม่ได้

6. ตัวอย่างข้อมูลและผลการทดลอง

ปูนซีเมนต์ : ทีพีไอ(แดง) Type I

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) : 0.69 (ใช้น้ำ 180 กรัม , ปูนซีเมนต์ 260 กรัม)

เปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ **: 112.38**

วันที่หล่อตัวอย่าง : 20 ก.ค. 46 เวลา 16.00 น.

อุณหภูมิห้องทดลอง : 32.5 ^{o}C

วันที่ทดสอบ (7 วัน) : 27 ก.ค. 46 เวลา 16.00 น.

วันที่ทดสอบ (28 วัน) : 17 ส.ค. 46 เวลา 16.00 น.

ตัวอย่างที่	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	ความสูง (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	อายุวัน	แรงกดประลัย (กก.)	หน่วยแรงกด (กก./ซม^2.)	ค่าเฉลี่ย (กก./ซม.)
1.	5.11x5.07	5.08	276.40	7	5600	216.15	209.32
2.	5.10x5.07	5.05	273.32	7	5600	216.15	
3.	5.08x5.08	5.07	273.87	7	5050	195.68	
1.	5.075x5.07	5.075	269.9	28	8450	328.407	327.653
2.	5.100x5.11	5.05	269.8	28	8800	337.669	
3.	5.075x5.13	5.05	269.7	28	8250	316.884	

7.ตัวอย่างการคำนวณ

1. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C)

W = น้ำที่ใช้ทดสอบ 180 กรัม

C = ปูนซีเมนต์ที่ใช้ 260 กรัม

$$W/C = 180/260 = 0.69$$

2. เปอร์เซ็นต์การไหลแผ่

$$\text{การไหลแผ่}(\%) = \frac{D_1 - D_0}{D_0} \times 100$$

D_0 = เส้นผ่าศูนย์กลางที่ฐานของแบบ (10.10 ซม.)

D_1 = เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของมอร์ตาร์ที่กระจายบนแท่น (21.45 ซม.)

$$\text{การไหลแผ่}(\%) = \frac{21.45 - 10.10}{21.45} \times 100 = 112.38\%$$

3. หน่วยแรงกด

$$\text{หน่วยแรงกด} = \frac{\text{แรงกดประลัย(กิโลกรัม)}}{\text{พื้นที่หน้าตัด}(\text{ตร.ซม})} = \ldots\ldots \text{ กก/ซม.}^2$$

$$\text{หน่วยแรงกด} = \frac{8450}{5.075 \text{x} 5.07} = 328.407 \text{ กก/ซม.}^2$$

การทดลองที่ 6

การทดสอบกำลังรังแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า

ข้อมูลและผลการทดลอง

ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์..... ตรา.....

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C).....

เปอร์เซนต์การไหลแผ่.....

อุณหภูมิห้องทดลอง.....^{o}C

วันที่หล่อตัวอย่าง..... เวลา.....น.

วันที่ทดสอบอายุ (7 วัน)..... เวลา.....น.

วันที่ทดสอบอายุ (28 วัน) ..... เวลา.....น.

ตัวอย่างที่	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	ความสูง (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	อายุ (วัน)	แรงกดประลัย (กก.)	หน่วยแรงกด (กก./ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)
1				7			
2				7			
3				7			
4				14			
5				14			
6				14			
7				28			
8				28			
9				28			

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

การทดลองที่ 7

การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวม
(Specific Gravity and Absorption of Concrete Aggregate)

1.บทนำ

การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต จำเป็นต้องรู้คุณสมบัติของมวลรวมที่จะนำมาใช้ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำ เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณของมวลรวมที่จะใช้ในส่วนผสม และเพื่อปรับปริมาณน้ำในสภาพที่เป็นจริง ให้เป็นไปตามที่คำนวณไว้

ความถ่วงจำเพาะของงานคอนกรีตอาจแยกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ

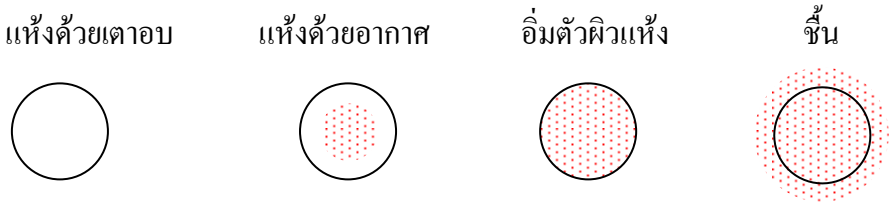
1. Bulk Specific Gravity คือ อัตราส่วนของน้ำทีของมวลที่มีปริมาตรที่กำหนด (รวมช่องว่างที่ดูดซับน้ำได้) ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากันที่อุณหภูมิมาตรฐาน (20 C หรือ 68 F) การหาค่า Bulk Specific Gravity สามารถหาได้ที่สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง(Saturated Surface Dry) และสภาพแห้งด้วยเตาอบ (Oven Dry) คำนวณกาสัดส่วนการผสมคอนกรีตโดยทั่วไปจะใช้ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมที่สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 2.4-2.9

2. Apparent Specific Gravity คือ อัตราส่วนของน้ำหนักของมวบที่มีปริมาตรที่กำหนด (ไม่รวมช่องว่างที่ดูดซับน้ำ) ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน

สภาพความชื้นและการดูดซับของมวลรวมอาจแบ่งได้ 4 สภาวะดังนี้

1. แห้งด้วยเตาอบ (Oven dry) ในสภาพนี้จะไม่มีความชื้นอยู่เลย ทั้งภายในและภายในช่องว่างของมวลรวม ทำได้ด้วยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 C –110 C
2. แห้งด้วยอากาศ (Air dry) ในสภาพนี้ไม่มีความชื้นที่ผิว แต่มีความชื้นอยู่ภายในช่องว่างข้างในบ้าง แต่ไม่ถึงสภาพอิ่มตัว ยังคงดูดความชื้นได้เล็กน้อย
3. อิ่มตัวและผิวแห้ง(Saturated Surface Dry) ในสภาพนี้จะมีความชื้นอยู่ภายในช่องว่างของมวลเต็มที่เป็นภาวะที่เหมาะที่สุดสำหรับการใช้งาน เพราะจะไม่มีการคายน้ำหรือดูดน้ำจากคอนกรีต
4. ชื้นหรือเปียก (Damp or Wet) ในสภาพนี้ภายในช่องว่างของมวลจะอิ่มตัวไปด้วยความชื้น และที่ผิวนอกจะมีน้ำหุ้มอยู่ด้วย

ปริมาณความชื้นทั้งหมดในสภาวะอิ่มตัวอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface-dry)เรียกว่าความจะในการดูดซึม (Absorption Capacity) ปริมาณความชื้นที่ต้องการใช้เพื่อปรับสภาพของมวลรวมจากสภาวะแห้งด้วยอากาศ เป็นสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง เรียกว่า Effective Aborption



สภาวะของวัสดุผสม

หน่วยน้ำหนักของวัสดุผสม หมายถึง น้ำหนักของวัสดุผสม (เป็นกิโลกรัม) ที่เติมลงไปจนเต็มภาชนะจุ 1 ลูกบาศก์เมตร น้ำหนักที่กล่าวนี้เป็นน้ำหนักของวัสดุรวมกับช่องว่างระหว่างเม็ดทรายในการหาสัดส่วนการผสม หน่วยน้ำหนักเป็นตัวใช้สำหรับหาปริมาณช่องว่างในวัสดุผสมและสำหรับการเปลี่ยนปริมาตรเป็นน้ำหนักหรือเปลี่ยนน้ำหนักเป็นปริมาตรหน่วยน้ำหนักของวัสดุชนิดหนึ่งๆ จะแปรเปลี่ยนไปตามอัตราการแน่นตัว(ร่วนหรือแน่น) และปริมาณความชื้น
โดยปกติหน่วยน้ำหนักของวัสดุผสมที่ใช้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1440 -1940 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.จุดประสงค์

เพื่อศึกษาและทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะ และคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำของมวลรวมทั้งชนิดหยาบและละเอียด

3.เครื่องมือทดสอบและวัสดุทดสอบ

<u>เครื่องมือทดสอบสำหรับมวลละเอียด</u>

1. เครื่องชั่งสามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า 1 กก. และอ่านค่าละเอียดได้ถึง 0.1 กรัม

2. กระบอกตวงขนาดความจุ 500 cm^3

3. Mold โลหะรูปกรวยตัดปลาย ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตอนบน ½ นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลางตอนล่าง 3½ นิ้ว และ 2 ⅞ นิ้ว

4. เหล็กกระทุ้งโลหะ (Tamper) น้ำหนัก 340 กรัม มีหน้าตัดวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว

5. เครื่องเป่า (ใช้เฉพาะลมเย็น)

<u>เครื่องมือทดสอบสำหรับมวลหยาบ</u>

1. เครื่องชั่งชนิดแขวน และอ่านค่าละเอียดได้ถึง 0.1

2. ตะกร้าตาข่ายแบบมาตราฐาน

3. ตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 4

4. เตาอบ

<u>วัสดุทดลอง</u>

1. ทรายหนักประมาณ 1000 กรัม

2. หินหนักประมาณ 5000 กรัม

4.วิธีการทดลอง

สำหรับมวลละเอียด

1. นำทรายหนักประมาณ 1000 กรัม ที่ได้จากการทำ Quertering ตามวิธี D 75 และ C 702 มาแช่น้ำไว้ 24 ชั่วโมง
2. นำทรายตัวอย่างที่แช่น้ำไว้แล้วมาเกลี่ยกระจายบนพื้นเรียบที่ไม่ดูดซึมน้ำ ใช้เครื่องเป่าผมเป่าให้ทั่วอย่างสม่ำเสมอ จนกระทั่งทรายอยู่ในสภาพ Free Flow ซึ่งตรวจสอบได้โดยนำทรายไปใส่กรวยโลหะ ซึ่งวางอยู่บนพื้นเรียบไม่ดูดน้ำ แล้วใช้ Tamper กระทุ้ง 25 ครั้ง โดยถือ Tamper ให้ปลายอยู่เหนือผิวทรายประมาณ 5 ม.ม. แล้วปล่อยลงด้วยน้ำหนักตัวเอง แล้วยกกรวยขึ้นตรง ๆ ถ้าทรายยังคงเป็นรูปกรวยแสดงว่ายังมีความชื้นมากให้เป่าต่อไป กรทั่งเมื่อทดสอบแล้วปรากฏว่าทรายทะลายลงมาโดยอิสระ ทรายในสภาพนี้ถือว่าอยู่ในสภาพ Saturated Surface-dry
3. นำทรายนี้มาชั่ง 500 กรัม ใส่ลงในกระบอกตวง เติมน้ำลงในจนเท่าทรายแล้วทำการไล่ฟองอากาศในทรายออกจนหมด เติมน้ำลงไปอีกจนถึง 500 ลบ.ซม. แล้วชั่งน้ำหนัก
4. เททรายในกระบอกตวงทั้งหมดใส่ถาด แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105-110 C จนน้ำหนักคงที่ นำออกจากเตาอบทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปชั่งน้ำหนักให้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
5. ชั่งน้ำหนักกระบอกตวงที่เติมน้ำจนถึงขีด 500 ลบ.ซม.

สำหรับมวลหยาบ

1. นำหินที่ได้จากการทำ Quartering ตามวิธี D 75 และ C 702 มาร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 4 แล้วนำส่วนที่ค้างมาประมาณ 5 กก. นำมาแช่น้ำไว้ 24 ชั่วโมง
2. นำหินที่แช่น้ำไว้ขึ้นมาเช็คด้วยผ้าแห้งทีละก้อนจนผิวแห้งอยู่ในสภาพ Satruated Surface-dry นำไปชั่งน้ำหนักให้ละเอียดถึง 0.5 กรัม
3. นำหินใส่ตะกร้าแล้วชั่งน้ำหนักในน้ำ ก่อนชั่งควรสั่นตะกร้าเบา ๆ เพื่อใส่อากาศ และต้องให้ตะกร้าและหินตัวอย่างจมอยู่ในน้ำขณะชั่ง
4. นำหินตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 105-110 C จนน้ำหนักคงที่ นำออกจากเตาอบปล่อยให้เย็นแล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักอีกครั้ง

5. การคำนวณ

สำหรับมวลละเอียด

1. Bulk Specific Gravity $\dfrac{A}{B + 500 - C}$

2. Bulk Specific Gravity (Saturated Surface dry) $\dfrac{500}{B + 500 - C}$

3. Apparent Specific Gravity $\dfrac{A}{B + A - C}$

4. Absorption % $\dfrac{500 - A}{A} \times 100$

เมื่อ A = น้ำหนักทรายตัวอย่างอบแห้ง (กรัม)

B = น้ำหนักกระบอกตวงเติมน้ำถึง 500 ลบ.ซม.

C = น้ำหนักกระบอกตวงเติมทราย 500 กรัม และเติมน้ำถึงขีด 500 ลบ.ซม.

สำหรับมวลหยาบ

1. Bulk Specific Gravity $\dfrac{A}{B - C}$

2. Bulk Specific Gravity (Saturated Surface dry) $\dfrac{B}{B - C}$

3. Apparent Specific Gravity $\dfrac{A}{A - C}$

4. Absorption % $\dfrac{B - A}{A} \times 100$

เมื่อ A = น้ำหนักหินตัวอย่างอบแห้ง (กรัม)

B = น้ำหนักหินตัวอย่างในสภาพ Saturated Surface dry เมื่อชั่งในอากาศ (กรัม)

C = น้ำหนักหินตัวอย่างในสภาพ Saturated Surface dry เมื่อชั่งในน้ำ (กรัม)

6. ตัวอย่างข้อมูลและผลการทดลอง

มวลละเอียด	ผลการทดลอง
1. น้ำหนักทรายตัวอย่างอบแห้ง กรัม (A)	495.7
2. น้ำหนักกระบอกตวงเติมน้ำถึงขีด 500 cc กรัม (B)	865.6
3. น้ำหนักกระบอกตวงเติมทราย 500 กรัม เติมน้ำถึงขีด 500 $cm.^3$ กรัม (C)	1171.9
4. Bulk Specific Gravity (dry basis)	2.559
5. Bulk Specific Gravity (Surface dry basis)	2.581
6. Apparent Specific Gravity	2.617
7. Absorption %	0.867

มวลหยาบ	ผลการทดลอง
1. น้ำหนักหินตัวอย่างอบแห้ง กรัม (A)	7287.7
2. น้ำหนักหินตัวอย่างในสภาพ Saturated Surface dry เมื่อชั่งในอากาศ (กรัม (B)	7312.4
3. น้ำหนักหินตัวอย่างในสภาพ Saturated Surface dry เมื่อชั่งในน้ำ (กรัม) (C)	4615.6
4. Bulk Specific Gravity (dry basis)	2.702
5. Bulk Specific Gravity (Surface dry basis)	2.712
6. Apparent Specific Gravity	2.727
7. Absorption %	0.339

น้ำหนักถาด+ทราย = 744.7 กรัม
น้ำหนักถาด+หิน = 7559.1 กรัม

น้ำหนักถาด = 249.0 กรัม ; A = 495.7 กรัม
น้ำหนักถาด = 271.4 กรัม ; A = 7287.7 กรัม

Unit Weight

มวลละเอียด 1573.65 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
มวลหยาบ 1650 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

7.ตัวอย่างการคำนวณ

สำหรับมวลละเอียด

A = น้ำหนักทรายตัวอย่างอบแห้ง (495.7 กรัม)

B = น้ำหนักกระบอกตวงเติมน้ำถึง 500 ลบ.ซม. (865.6 กรัม)

C = น้ำหนักกระบอกตวงเติมทราย 500 กรัม และเติมน้ำถึงขีด 500 ลบ.ซม. (1171.9 กรัม)

1. Bulk Specific Gravity

$$\text{Bulk Specific Gravity} = \frac{A}{B + 500 - C} = \frac{495.7}{865.6 + 500 - 1171.9} = 2.559$$

2. Bulk Specific Gravity (Saturated Surface dry)

$$\text{Bulk Specific Gravity(SSD)} = \frac{500}{B + 500 - C} = \frac{500}{865.6 + 500 - 1171.9} = 2.557$$

3. Apparent Specific Gravity

$$\text{Apparent Specific Gravity} = \frac{A}{B + A - C} = \frac{495.7}{865.6 + 495.7 - 1171.9} = 2.617$$

4. Absorption %

$$\text{Absorption \%} = \frac{500 - A}{A} \times 100 = \frac{500 - 495.7}{495.7} \times 100 = 0.867$$

5. Unit Weigth

$$\text{Unit Weigth (มวลละเอียด)} = \frac{\text{น้ำหนักทรายอบแห้ง}}{\text{ปริมาตร}}$$

$$\text{Unit Weigth (มวลละเอียด)} = \frac{495.7 \times 100}{315} = 1573.65 \ kg/m^3$$

<u>สำหรับมวลหยาบ</u>

A = น้ำหนักหินตัวอย่างอบแห้ง (7287.7กรัม)

B = น้ำหนักหินตัวอย่างในสภาพ Saturated Surface dry เมื่อชั่งในอากาศ (7312.4 กรัม)

C = น้ำหนักหินตัวอย่างในสภาพ Saturated Surface dry เมื่อชั่งในน้ำ (4615.6กรัม)

1. Bulk Specific Gravity

$$\text{Bulk Specific Gravity} = \frac{A}{B - C} = \frac{7287.7}{7312.4 - 4615.6} = 2.702$$

2. Bulk Specific Gravity (Saturated Surface dry)

$$\text{Bulk Specific Gravity(SSD)} = \frac{B}{B - C} = \frac{7312.4}{7312.4 - 4615.6} = 2.712$$

3. Apparent Specific Gravity

$$\text{Apparent Specific Gravity} = \frac{A}{A - C} = \frac{7287.7}{7287.7 - 4615.6} = 2.727$$

4. Absorption %

$$\textbf{Absorption \%} = \frac{B - A}{A} \times 100 = \frac{7312.4 - 7287.7}{7287.7} \times 100 = 0.339$$

5. Unit Weigth

$$\text{Unit Weigth (มวลหยาบ)} = \frac{\text{น้ำหนักหินอบแห้ง}}{\text{ปริมาตร}}$$

$$\text{Unit Weigth (มวลหยาบ)} = \frac{7287.7 / 1000}{\pi \times 0.100875^{2} \times 0.1382} = 1650 \ \text{kg/m}^{3}$$

การทดลองที่ 7

การหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวม

ข้อมูลและผลการทดลอง

มวลละเอียด(ทราย)	ผลกการทดลอง		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1. น้ำหนักทรายตัวอย่างทดสอบอบแห้ง(กรัม).....A			
2. น้ำหนักกระบอกตวง เติมน้ำถึงขีด 500 c.c (กรัม).....B			
3. น้ำหนักกระบอกตวง เติมทราย 500 กรัม เติมน้ำถึงขีด 500 c.c (กรัม).....C			
4. Bulk Specific Gravity (Dry Basis)			
5. Bulk Specific Gravity (Saturate Surface Dry)			
6. Apparent Specific Gravity			
7. Absorption (%)			

มวลหยาบ(หิน)	ผลกการทดลอง		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1. น้ำหนักหินตัวอย่างทดสอบอบแห้ง(กรัม).....A			
2. น้ำหนักหิน S.S.D. ชั่งในอากาศ(กรัม).....B			
3. น้ำหนักหิน S.S.D. ชั่งในน้ำ(กรัม).....C			
4. Bulk Specific Gravity (Dry Basis)			
5. Bulk Specific Gravity (S.S.D.)			
6. Apparent Specific Gravity			
7. Absorption (%)			

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

การทดลองที่ 8

การวิเคราะห์ส่วนคละของมวลรวม

(Sieve Analysis and Fineness Modulus of Aggregate)

1.บทนำ

ชนิดของมวลที่ใช้ในการผสมคอนกรีต เป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพของคอนกรีตทั้งในด้านความเหมาะสมต่อการใช้งาน ความทนทาน และกำลังของคอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้วการเลือกใช้มวลรวมที่ขนาดแตกต่างกันอย่างพอเหมาะพอดี จะทำให้สามารถทราบคุณภาพคอนกรีตได้ตามที่ต้องการ โดยปกติมวลรวมที่หาได้ตามธรรมชาติอาจจะมีขนาดคละที่ไม่ดีนัก ฉะนั้นจึงต้องนำมวลรวมที่มีอยู่มาทำการวิเคราะห์ และหาเปอร์เซ็นต์ส่วนคละใหม่ขึ้นเพื่อให้ได้มวลรวมที่มีขนาดคละที่เหมาะสม

ช่วงขนาดคละของมวลที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการผสมคอนกรีตมีดังนี้

ขนาดตะแกรงมาตรฐาน	เปอร์เซ็นต์ผ่าน	เปอร์เซ็นต์ค้าง
1½”	98-100	0-2
¾”	68-80	20-32
⅜”	47-57	43-53
No. 4	35-45	55-56
No. 8	26-36	64-74
No. 16	18-27	73-82
No. 30	11-19	87-89
No. 50	2-8	92-98
No. 100	1-2	98-99

ขนาดคละ(Gradation)

ขนาดคละ(Gradation) คือการกระจายของขนาดต่างๆ ของอนุภาค ขนาดคละของมวลรวมนับเป็นคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับการกำหนดปริมาณเนื้อซีเมนต์เพสท์ที่ต้องการนำไปห่อหุ้มมวลรวม

ผลของขนาดคละต่อคุณสมบัติของคอนกรีตคือ

- ปริมาณของซีเมนต์เพสต์ คอนกรีตที่มีขนาดคละของมวลรวมดี มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดจะต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสม เมื่อนำมาผสมรวมกันแล้วมวลรวมที่ขนาดเล็กกว่าจะต้องบรรจุอยู่ในช่องว่างระหว่างมวลรวมที่ใหญ่กว่าให้มากที่สุด การที่มวลรวมมีขนาดคละที่ดีจะส่งผลให้ช่องว่างระหว่างมวลรวมมีปริมาณน้อยลง ปริมาณซีเมนต์เพสท์ที่ใช้เพื่อยึดมวลรวมและอุดช่องว่างจึงลดลง ทำให้ลดปริมาณส่วนผสมของปูนซีเมนต์ลงได้

- ความสามารถเทได้ (Workabillty) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมซึ่งมีขนาดคละดีจะมีปริมาณซีเมนต์เพสท์ที่เหลือจากการเติมช่องว่างในมวลรวมมากกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดคละเดียว(Single Size) หรือขนาดคละขาดช่วง(Gap Grade) ดังนั้นปริมาณซีเมนต์เพสท์ดังกล่าวจะทำหน้าที่หล่อลื่นและลดแรงเสียดทานระหว่างมวลรวมทำให้ความสามารถเทได้เพิ่มขึ้น
- การแยกตัว (Segregation) โดยปกติการแยกตัวของคอนกรีตมี 2 ชนิด คือ การแยกตัวของมอร์ต้าออกจากเนื้อคอนกรีต ในคอนกรีตปกติทั่วไปที่ได้รับการจี้เขย่ามากเกินไป (Overvibration) ส่วนอีกประเภทหนึ่งคือ การเยิ้ม(Bleeding) โดยมีลักษณะคือ จะมีการจมลงของมวลรวม(องค์ประกอบที่หนักกว่า) ซึ่งจะดันให้น้ำบางส่วน(ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่เบาที่สุดของส่วนผสม) ลอยตัวขึ้นมาบนผิวหน้าของคอนกรีต ซึ่งมีสาเหตุมาจากความไม่สามารถของส่วนผสมที่จะกักน้ำที่แผ่กระจายอยู่เอาไว้ขณะที่มวลรวมที่หนักกว่าน้ำจมลง

การวิเคราะห์ขนาดคละของวัสดุผสมด้วยการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน

เพื่อควบคุมตรวจสอบให้ขนาดคละของมวลรวมเป็นไปตามที่กำหนดไว้รวมทั้งใช้เพื่อหาอัตราส่วนผสมของมวลรวมขนาดต่างๆ เพื่อให้ได้ขนาดคละที่เหมาะสม

การวิเคราะห์ทำโดยการเก็บตัวอย่างมาปริมาณหนึ่งมาร่อนบนตะแกรงขนาดต่างๆ ซึ่งวางเรียงกันตามขนาดช่องว่างของตะแกรงจากขนาดใหญ่สุดอยู่ข้างบนจนถึงขนาดเล็กสุด โดยใช้การเขย่าชุดตะแกรงดังกล่าว

ข้อแนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับขนาดคละ

สำหรับทราย ปริมาณอนุภาคละเอียดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 50 และ 100 มีผลต่อความสามารถเทได้ การแต่งผิวหน้าและการเยิ้มของคอนกรีตสด(Bleeding) นอกจากนี้อนุภาคขนาดเล็กยังช่วยให้คอนกรีตเกาะรวมตัวกันได้ดี ดังนั้นปริมาณที่เหมาะสมของอนุภาคละเอียดคือ ผ่านตะแกรงเบอร์ 50 อย่างน้อย 5% แต่ต้องไม่ให้มีอนุภาคที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 5% เพราะอนุภาคขนาดเล็กนี้มักประกอบด้วยดินเหนียว ซึ่งมีผลคือจะต้องใช้ปริมาณน้ำมากขึ้นในการผสมทำให้ปริมาตรของคอนกรีตมีอัตรา การเปลี่ยนแปลงสูง(เกิดการหดตัว)

<u>สำหรับหิน</u> งานก่อสร้างทั่วไปในประเทศไทยพบว่าหินที่ใช้ผสมคอนกรีตมักเป็นหินเพียงขนาดเดียว(Single size) เช่น หิน 1 หรือ หิน 2 ซึ่งไม่ได้มีขนาดคละที่ถูกต้องตามทฤษฎีสำหรับงานคอนกรีต ดังนั้นจึงมีข้อแนะนำในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย คือ เมื่อใช้หินย่อยและทรายแม่น้ำที่เป็นวัตถุดิบหลักในประเทศไทยนั้น ปริมาณส่วนละเอียดได้แก่ ปริมาณปูนซีเมนต์และปริมาณทรายที่เหมาะสมที่จะทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ไม่แยกตัวหรือเกิดการเยิ้มมากและได้กำลังอัดตามต้องการมีค่าแสดงในตาราง

ขนาดหิน	ปริมาณปูนซีเมนต์+ปริมาณทราย
1" – # No.4	38% โดยปริมาตร หรือ 380 ลิตร
¾ " - # No.4	40% โดยปริมาตร หรือ 400 ลิตร

สำหรับงานพิเศษบางประเภทเช่น งานคอนกรีตเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ที่มีค่ายุบตัวมากกว่า 15 ซม. นั้นในการออกแบบอาจจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณส่วนละเอียดขึ้นไปเป็น 42% - 45% โดยปริมาตรเพื่อป้องกันปัญหาการแยกตัว

<u>ค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus)</u>

ค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus F.M.) คือ ตัวเลขดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของก้อนวัสดุในมวลรวม โดยที่

F.M. = (1/100)(ผลบวกของเปอร์เซ็นต์สะสมของมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐาน)

ค่าโมดูลัสความละเอียด เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย เป็นตัวบ่งบอกว่าลักษณะทรายนั้นหยาบหรือละเอียดค่าโมดูลัสความละเอียดไม่สามารถใช้บอกขนาดคละของมวลรวมได้ แต่สามารถใช้ควบคุมความสม่ำเสมอของมวลรวมที่ผลิตจากแหล่งเดียวกัน ทรายที่มี F.M.=3.2 จะมีความหยาบมากกว่าทรายที่มี F.M.=2.3

เนื่องจากทรายที่มีความละเอียดมากจำเป็นต้องใช้น้ำมากเพื่อให้ได้ความสามารถเทได้เท่าๆกัน ดังนั้นทรายที่เหมาะสำหรับผลิตคอนกรีต ควรมีค่าโมดูลัสความละเอียดในช่วง 2.25-3.25 และ 5.5-7.5 สำหรับหิน นอกจากนี้ค่าโมดูลัสความละเอียดยังบอกถึงขนาดโดยส่วนใหญ่ของมวลรวมว่าค้างอยู่บนตะแกรงลำดับที่เท่าใดโดยเริ่มนับจากตะแกรงเบอร์ 100 ตัวอย่างเช่น ค่า F.M.=3 หมายถึง มวลรวมที่ค้างบนตะแกรงลำดับที่ 3 (เบอร์ 30) นับจากตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 100 เป็นขนาดเฉลี่ยโดยส่วนใหญ่ของมวลรวมซึ่งหาได้จากการคิดที่ว่า ถาดรองเป็นตะแกรงลำดับที่ 0 ตะแกรงเบอร์ 100 เป็นตะแกรงลำดับที่ 1 จนถึงตะแกรงเบอร์ 4 เป็นตะแกรงลำดับที่ 6 ตามลำดับต่อจากนั้นทำการหาค่า F.M. จากค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของขนาดตะแกรงและเปอร์เซ็นต์ที่ค้าง

โมดูลัสความละเอียดนอกจากใช้บอกถึงความละเอียดของมวลรวมแล้วยังมีประโยชน์ในการนำไปใช้หาอัตราส่วนผสมของมวลรวม(Combined Aggregate) แต่ละชนิดอีกด้วย ซึ่งทำได้

โดยการทดลองหาอัตราผสมของมวลรวมหยาบต่อมวลรวมละเอียด เพื่อให้ให้ได้ขนาดคละของมวลรวมผสมอยู่ในขอบเขตที่กำหนด

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมที่มีผลโดยตรงกับปริมาณซีเมนต์เพสท์ที่ต้องการ และขนาดคละของวัสดุผสม กล่าวคือมวลรวมที่มีขนาดใหญ่จะมีพื้นที่ผิว(Surface Area) โดยรวมน้อยกว่ามวลรวมที่มีขนาดเล็กเมื่อมีน้ำหนักมวลรวมเท่ากัน

ดังนั้นมวลรวมขนาดใหญ่จึงต้องการปริมาณน้ำและปริมาณซีเมนต์ เพื่อเคลือบผิวมวลรวมน้อยกว่าเพื่อให้มีความสามารถเทได้เท่ากัน หรือถ้าใช้ปริมาณซีเมนต์และค่ายุบตัวเท่ากันกำลังคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเพราะสามารถลดน้ำหรือลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์นั่นเอง

ในทางปฏิบัติผู้ออกแบบควรตัดสินใจเลือกขนาดใหญ่สุดของมวลรวมโดยคำนึงถึง

1. ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม ต้องมีขนาดไม่เกิน 1/5 ของส่วนที่แคบที่สุดของแบบหล่อ ไม่เกิน ¾ ของระยะแคบสุดระหว่างเหล็กเสริมกับแบบหล่อ และไม่เกิน 1/3 ของความหนาของพื้น

2. สำหรับกรณีใช้ปั๊ม ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมต้องไม่เกิน 1/5 ของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อคอนกรีตปั๊ม

3. สำหรับกรณีคอนกรีตกำลังอัดสูง การวิบัติของคอนกรีต(Failure) จะเกิดที่มวลรวม แทนที่จะเกิดที่ซีเมนต์เพสท์เหมือนคอนกรีตกำลังอัดทั่วไป เพราะว่าในมวลรวมขนาดใหญ่นั้นมีโอกาสที่จะมีรอยร้าวขนาดเล็กอยู่(Microcracks) ดังนั้นมวลรวมควรมีขนาดเล็กลงเมื่อใช้ในงานคอนกรีตกำลังอัดสูง

ดังนั้นขนาดใหญ่สุดของมวลรวมที่ใช้ในงานคอนกรีตทั่วไปควรมีขนาดไม่เกิน 40 ม.ม. และควรมีขนาดเล็กลงเมื่อใช้ในงานคอนกรีตกำลังอัดสูง

2. จุดประสงค์

เพื่อศึกษาการกระจายขนาดของมวลรวมละเอียด และมวลรวมหยาบมาคำนวณหาปริมาณของมวลรวมแต่ละชนิดที่จะนำมาผสมกัน แล้วให้ขนาดคละของมวลรวมที่เหมาะสม

3. เครื่องมือทดสอบและวัสดุทดสอบ

เครื่องมือทดสอบ

1. เครื่องชั่งสามารถอ่านค่าละเอียดได้ถึง 0.5 กรัม และมีความถูกต้องไม่น้อยกว่า 0.1 %ของน้ำหนักที่ชั่งทั้งหมด

2. ตะแกรงมาตรฐาน ขนาด 3" 1 ½" ¾" ⅜" และเบอร์ 4 สำหรับมวลรวมหยาบตะแกรงมาตรฐานขนาด No.4 No.8 No.16 No.30 No. 50 และ No. 100 สำหรับมวลรวมละเอียด

3. เครื่องเขย่าตะแกรง (Mechanical Sieve Shaker) มวลรวมหยาบพร้อมตะแกรงมาตรฐาน

4. เครื่องเขย่าตะแกรง (Mechanical Sieve Shaker) มวลรวมละเอียด

5.

5. ตู้อบไฟฟ้า ควบคุมอุณหภูมิได้ระหว่าง 105 °c – 110 °c

วัสดุทดลอง

1. ทรายจำนวน 500 กรัม

2. หิน ตามจำนวนที่ระบุไว้ในตาราง

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม (นิ้ว)	น้ำหนักน้อยสุดของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ (กิโลกรัม)
3/8	1
1/2	2
3/4	5
1	10
1 ½	15
2	20
2 ½	35
3	60
3 ½	100

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม (Max Norminal size) หาได้จากขนาดของตะแกรงเบอร์ถัดจากที่มวลรวมค้างอยู่เท่ากับหรือมากกว่า 15 %

4.วิธีการทดลอง

มวลรวมละเอียด

1. นำทรายที่ต้องการทดสอบมาหา Quatering หรือ Sand spliter และชั่งน้ำหนักมา 500 กรัม ตัวอย่างทดลองต้องแห้งจนมีน้ำหนักคงที่
2. เททรายตัวอย่างลงในตะแกรงที่เรียงกันไว้ตามลำดับจากหยาบไปหาละเอียดปิดฝาและยึดให้แน่น
3. เดินเครื่องเขย่าประมาณ 10 นาที แล้วหยุดเครื่อง ชั่งน้ำหนักของทรายที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละชั้นอย่างละเอียด ถ้าผลรวมของน้ำหนักทั้งหมดของมวลรวมที่ค้างตะแกรงขนาดต่างๆ แตกต่างไปจากน้ำหนักตัวอย่างก่อนทดสอบเกิน 0.30% ให้ทำการทดลองซ้ำ
4. จากน้ำหนักของมวลที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละชั้นนำไปหาค่าFineness Modulus(F.M.) และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของตะแกรง และเปอร์เซ็นต์ของ Cumulative ratained หรือ Percentage of Coarser

มวลรวมหยาบ

1. นำตัวอย่างหินที่ได้จากการหา Quatering มาตามจำนวนที่ระบุไว้ในตาราง
2. นำหินไปใส่ในตะแกรงตามขนาดต่างๆ ที่ระบุไว้และเดินเครื่องเขย่า จนกว่าหินจะไม่ลอดผ่านตะแกรงอีก
3. นำหินที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละชั้นไปชั่งอย่างละเอียด

4. จากน้ำหนักของหินที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละชั้นนำไปหาค่า F.M. และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของตะแกรงและเปอร์เซ็นต์ของCumulative ratained หรือ Percentage of Coarser

ส่วนผสมขนาดคละของมวลรวม

1. นำค่าขนาดคละของมวลรวมที่เหมาะสม ที่กำหนดให้ในข้อ 1 มาเขียนกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผ่านสูงสุดและต่ำสุด
2. ทดลองคำนวณหาส่วนผสมที่มีขนาดคละให้อยู่ในขอบเขต Grading limit นั้นสัดส่วนที่ได้นี้จะเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับใช้ผสมคอนกรีต

5.การคำนวณ

1. คำนวณหาน้ำหนักของมวลที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาดเป็นเปอร์เซ็นต์ (Individual percentage retained)
2. หาน้ำหนักของมวลเป็นเปอร์เซ็นต์สะสมบนตะแกรงแต่ละขนาด (Cumulative percentage retained)
3. คำนวณหาค่า Fineness Modulus (F.M.) โดยใช้ค่าผลรวมของเปอร์เซ็นต์สะสมที่ค้างบนตะแกรงขนาดต่างๆ แล้วหารด้วย 100

6. ตัวอย่างข้อมูลและผลการทดลอง

มวลละเอียด

ขนาดตะแกรงมาตรฐาน	น้ำหนักตะแกรง (กรัม)	น้ำหนักทราย+ตะแกรง (กรัม)	น้ำหนักที่ค้างบนตะแกรง (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ที่ค้างบนตะแกรง	เปอร์เซ็นต์สะสมที่ค้างบนตะแกรง	เปอร์เซ็นต์ผ่าน
3”	-	-	-	-	-	-
1½”	-	-	-	-	-	-
¾”	-	-	-	-	-	-
⅜”	-	-	-	-	-	-
No. 4	490.94	495.04	4.10	0.82	0.82	99.18
No. 8	440.19	470.64	30.45	6.09	6.91	93.09
No. 16	445.10	542.12	97.02	19.404	26.314	73.686
No. 30	415.60	582.06	166.46	33.292	59.606	40.394
No. 50	363.37	505.60	142.23	28.446	88.052	11.948
No. 100	339.56	382.90	43.34	8.668	96.72	3.28
Pan	289.60	306.00	16.40	3.28	-	-
รวม			500	100	278.422	

Fineness Modulus (F.M.) = ผลรวมของเปอร์เซ็นต์ที่ค้างบนตะแกรง / 100

= 278.422 / 100

= 2.78

มวลหยาบ

ขนาดตะแกรงมาตรฐาน	น้ำหนักที่ค้างบนตะแกรง(กรัม)	เปอร์เซ็นต์ที่ค้างบนตะแกรง	เปอร์เซ็นต์สะสมที่ค้างบนตะแกรง	เปอร์เซ็นต์ผ่าน
3"	0	0	0	100
1½"	0	0	0	100
¾"	200.3	4.006	4.006	95.994
⅜"	4298.2	85.964	89.970	10.03
No. 4	488.4	9.768	99.738	0.262
No. 8	0	0	99.738	0.262
No. 16	0	0	99.738	0.262
No. 30	0	0	99.738	0.262
No. 50	0	0	99.738	0.262
No. 100	0	0	99.738	0.262
Pan	13.1	0.262	-	-
รวม	5000	100	692.4	

Fineness Modulus (F.M.) = ผลรวมของเปอร์เซ็นต์ที่ค้างบนตะแกรง / 100

= 692.4 / 100

= 6.92

<u>ตารางหาสัดส่วนของมวลผสม</u>

ขนาดตะแกรงมาตรฐาน	เปอร์เซ็นต์สะสมที่ค้างบนตะแกรงขนาดต่างๆ								
	ทราย (X)			หิน (Y)			มวลรวมผสม		ขนาดคละมวลรวมที่ต้องการ
	X	0.35 X	0.40 X	Y	0.60 Y	0.65 Y	0.35X+0.65Y	0.4X+0.6Y	
1½"	0	0	0	0	0	0	0	0	0-4
¾"	0	0	0	4.006	2.404	2.604	2.604	2.404	20-32
⅜"	0	0	0	89.970	53.982	58.481	58.481	53.982	43-54
No. 4	0.82	0.287	0.328	99.738	59.843	64.830	65.117	60.171	55-65
No. 8	6.91	2.4185	2.764	99.738	59.843	64.830	67.248	62.607	64-74
No. 16	26.314	9.2099	10.526	99.738	59.843	64.830	74.040	70.368	73-82
No. 30	59.606	20.862	23.842	99.738	59.843	64.830	85.692	83.685	81-89
No. 50	88.052	30.818	35.221	99.738	59.843	64.830	95.648	95.064	92-98
No. 100	96.72	33.852	38.688	99.738	59.843	64.830	98.682	98.531	98-100
รวม	278.42			692.40			547.510	526.811	

Fineness Modulus (F.M.) = ผลรวมของเปอร์เซ็นต์ที่ค้างบนตะแกรง / 100

มวลรวมผสม 0.35(X)+0.65(Y) = 547.510 / 100

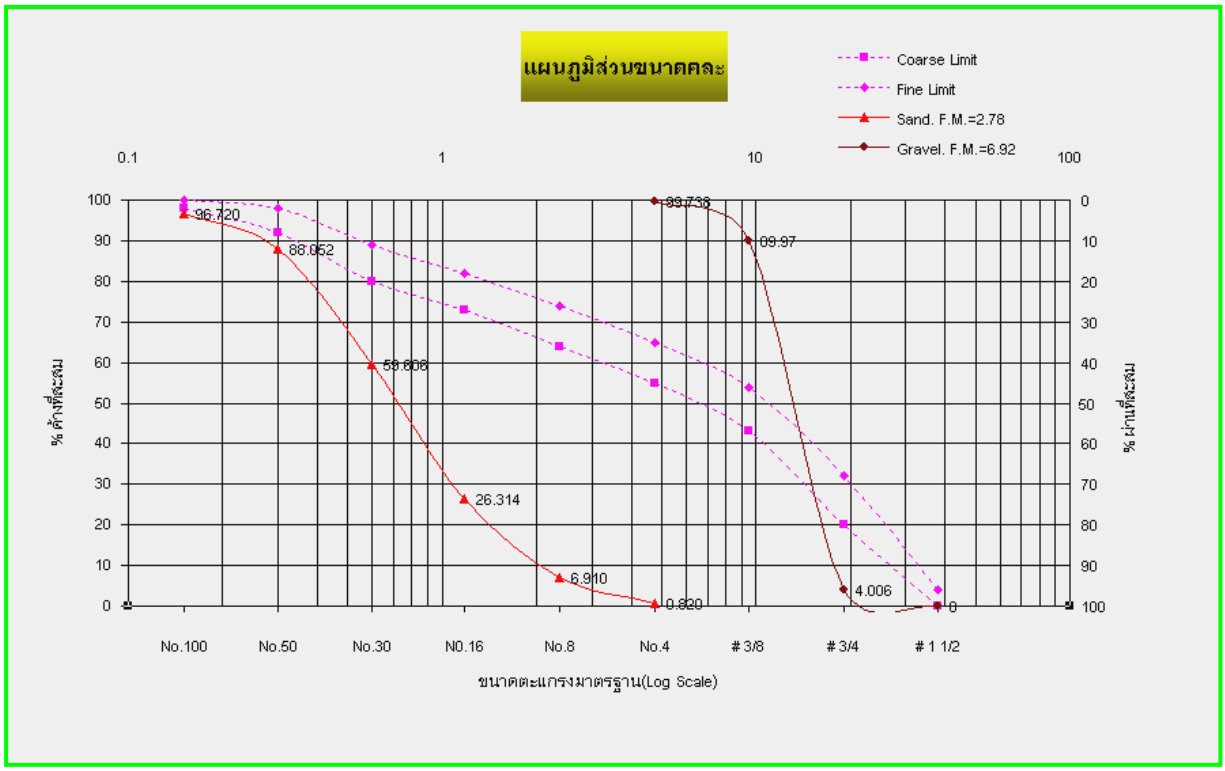
= 5.47

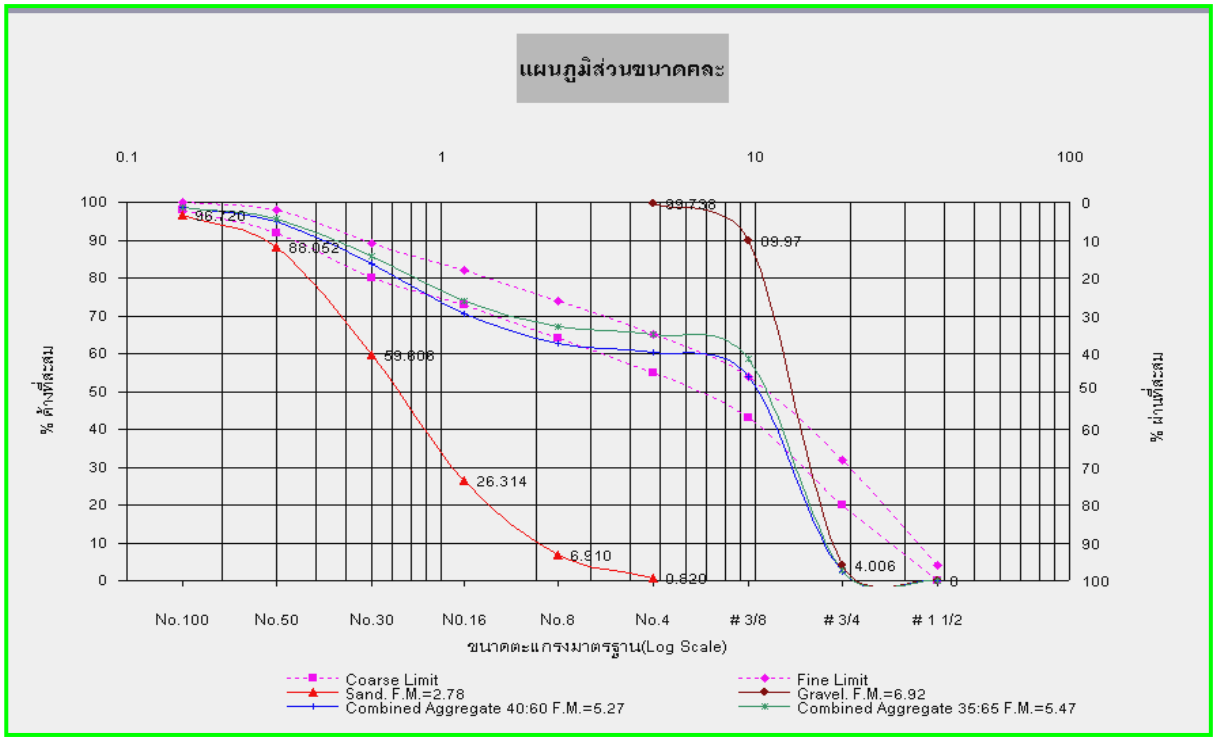
Fineness Modulus (F.M.) = ผลรวมของเปอร์เซ็นต์ที่ค้างบนตะแกรง / 100

มวลรวมผสม 0.40(X)+0.60(Y) = 526.811 / 100

= 5.27

ตัวอย่างกราฟ แผนภูมิส่วนขนาดคละ





การทดสอบที่ 8

การวิเคราะห์หาขนาดคละและค่าโมดูลัสความละเอียดของมวลรวม

ข้อมูลและผลการทดลอง

มวลละเอียด(ทราย)

SEIVE ANALYSIS OF FINE AGGREGATE

ขนาดตะแกรง มาตรฐาน	นน.ที่ค้างอยู่บนตะแกรง (กรัม)	ร้อยละที่ค้างบนตะแกรง แต่ละขนาด	ร้อยละสะสมที่ค้างบน ตะแกรงแต่ละขนาด
NO. 4 NO. 8 NO. 16 NO. 30 NO. 50 NO. 100 NO. 200 PAN			
TOTAL			

มวลหยาบ(หิน)

SEIVE ANALYSIS OF COARSE AGGREGATE

ขนาดตะแกรง มาตรฐาน	นน.ที่ค้างอยู่บนตะแกรง (กรัม)	ร้อยละที่ค้างบนตะแกรง แต่ละขนาด	ร้อยละสะสมที่ค้างบน ตะแกรงแต่ละขนาด
3” 1 ½” ¾” 3/8” NO. 4 NO. 8 NO. 16 NO. 30 NO. 50 NO. 100 PAN			
TOTAL			

FINENESS MOVULUS (F.M.) = ...

ตารางคำนวณหาสัดส่วนของมวลรวมผสม (Combined Aggregates)

ขนาดตะแกรงมาตรฐาน	เปอร์เซ็นต์สะสมที่ค้างบนตะแกรงขนาดต่าง ๆ					
	มวลรวม A		มวลรวม B		มวลรวมผสม	ขนาดคละมวลรวมที่ต้องการ
	a	a.x	b	b.y		
1 ½’						0-2
¾’						20-32
3/8’						43-53
NO. 4						55-65
NO. 8						64-74
NO. 16						73-82
NO. 30						81-89
NO. 50						92-98
NO. 100						98-99
TOTAL						

a , b คือ ค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของมวลรวม A และ B ที่ได้จากการวิเคราะห์

x , y คือ ส่วนผสมเป็นเปอร์เซ็นต์ของมวงรวม A และ B ที่ใช้ผสมเพื่อให้ได้มวลรวมผสมที่เหมาะสม

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

การทดลองที่ 9

การทดสอบความต้านทานต่อการขัดสีของมวลรวมโดยใช้เครื่องลอสแองเจลลิส

(Abrasion Test of Coarse Aggregate by Use of the Los Angles Machine)

1.บทนำ

ความคงทน**(Durable)** เป็นคุณสมบัติประการที่หนึ่งของคอนกรีตโดยเฉพาะในงานคอนกรีตที่ต้องการรับแรงกระแทกและเสียดสีมาก ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวเกี่ยวข้องโดยการขัดสี หรือทนต่อการสึกกร่อนได้ดี

คอนกรีตนอกจากเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโครงสร้างอาคาร เช่น เสา คาน กำแพงรับแรงเฉือน**(Shear wall)** และเสาเข็มแล้ว ยังนำไปใช้ในงานถนน ลานจอดรถ พื้นโรงงาน พื้นสนามบินอีกด้วย

ผิวหน้าของคอนกรีต นอกจากทำหน้าที่รับน้ำหนักจากล้อยานพาหนะเพื่อถ่ายลงสู่พื้นทางแล้วยังต้องมีความสามารถรับแรงเสียดสีและแรงกระแทกจากล้อยานพาหนะที่กระทำอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นความสามารถของหินในการต้านทานการสึกกร่อนจึงเป็นค่าที่สำคัญอีกค่าหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงเพื่อให้คอนกรีตมีความทนทานสูงและมีอายุการใช้งานที่ยางนาน

การทดสอบความต้านทานการสึกกร่อนของหินโดยเครื่องทดสอบลอสแองเจสีสทำได้จากการวัดค่าความสึกกร่อนที่เกิดขึ้นกับมวลรวม จากการกระแทกและการเสียดสีกับลูกเหล็กกลม ซึ่งมีขนาดตามที่กำหนดและมีจำนวนขึ้นอยู่กับขนาดคละของตัวอย่างทดสอบในขณะที่ถังหมุนรอบตัวเองจะมีแผ่นเหล็กที่ตั้งฉากกับผนังของถัง จะพาตัวอย่างทดสอบและลูกเหล็กกลมอยู่สูงขึ้นจะตกลงมากระแทกกับผนังด้านตรงข้ามในถังเหล็ก กระบวนการนี้จะทำซ้ำกันไปเรื่อยๆ จนครบจำนวนรอบที่กำหนดจากนั้นจคงนำตัวอย่างทดสอบออกจากถังแล้วนำมาแยกขนาดด้วยตะแกรงเพื่อหสเปอร์เซ็นต์การสึกกร่อน

จากมาตรฐาน **ASTM C 33** หินที่ใช้ในงานคอนกรีตที่ต้องรับแรงเสียดทานมาก เช่น งานถนนคอนกรีต เมื่อผ่านการทดสอบโดยเครื่องลอสแองเจลีสแล้วจะต้องมีส่วนที่สึกกร่อนไปไม่เกิน 35 % ของน้ำหนักเดิมจึงเหมาะสมกับการนำมาผสมเพื่อทำคอนกรีต

ถ้ามวลรวมหยาบมีความต้านทานต่อการสึกกร่อนที่ต่ำแล้ว ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตเพื่อให้มีคุณสมบัติในการรับแรงเสียดสีและแรงกระแทกตามความต้องการนั้น จำเป็นต้องเพิ่มปริมาณน้ำและปูนซีเมนต์โดยจะทำให้เกิดความสิ้นเปลืองมากขึ้น

นอกจากความต้านทานการสึกกร่อนของหินที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อความต้านทานการสึกกร่อนของคอนกรีตแล้วยังมีปัจจัยสำคัญอื่นๆ ที่ควรพิจารณาดังนี้คือ

1. **กำลังอัดของคอนกรีต**

การเพิ่มความสามารถในการต้านทานการเสียดสีสามารถทำได้โดยการเพิ่มกำลังอัดคอนกรีต จากการศึกษาพบว่าคอนกรีตที่มีกำลังอัด 140 KSC(ทรงลูกบาศก์) จะมีอัตราเสียดสีประมาณ 5 เท่าของคอนกรีตที่มีกำลังอัด 280 KSC(ทรงลูกบาศก์) ส่วนคอนกรีตที่กำลังอัดระหว่าง 280-420 KSC(ทรงลูกบาศก์) จะมีความต้านทานการเสียดสีที่ดีมาก

2. **อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์**

บริเวณผิวคอนกรีตด้านบนที่มีการเยิ้มจะมีความอ่อนแอที่สุด ดังนั้นการลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ไม่ให้เกิน 0.45-0.50 จะช่วยลดการเยิ้มและเพิ่มความทนทานต่อการสึกกร่อนบริเวณผิวหน้าของคอนกรีต

3. **หินและทราย**

นอกจากการเลือกใช้หินและทรายที่มีความแข็งแกร่งแล้ว ยังสามารถเพิ่มความต้านทานการสึกกร่อนได้โดยการเลือกหินที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

4. **การเทและการแต่งผิวหน้า**

ควรจี้เขย่าคอนกรีตให้แน่นอย่างสม่ำเสมอในแบบหล่อรวมทั้งต้องแต่งผิวหน้าให้เหมาะสมซึ่งจะทำให้คอนกรีตที่ได้มีคุณภาพที่ผิวดี และช่วยลดปริมาณฟองอากาศในคอนกรีต

5. **การบ่ม**

ควรบ่มคอนกรีตด้วยวิธีการเหมาะสมและมีระยะเวลาการบ่มที่ทำให้เกิดปฏิกริยาไฮเดรชั่นที่สมบูรณ์ที่สุด

6. **ลักษณะผิวคอนกรีต**

ในกรณีที่มีการเสียดสีอย่างมาก จำเป็นทีจะต้องเลือกใช้คอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงมาก หรือใช้วัสดุอื่นเคลือบผิวหรือในบางโครงสร้างอาจจะต้องทำให้ผิวคอนกรีตเรียบมากๆ

7. **รอยต่อ**

ควรออกแบบและก่อสร้างรอยต่อให้เหมาะสมเพื่อลดการกระแทก

2.จุดประสงค์

เพื่อหาความต้านทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบ โดยใช้เครื่องลอสแองเจลิส

3.เครื่องมือทดสอบและวัสดุทดสอบ

เครื่องมือทดสอบ

1. เครื่องลอสแองเจลิส (Los Angeles Machine) เป็นเครื่องมือทดสอบความทนทานต่อการขัดสีของมวลรวม ทำด้วยเหล็กรูปทรงกระบอก ปลายปิดทั้งสองข้าง มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 28” ± 0.2” และความยาวภายใน 20” ± 0.2” สามารถหมุนรอบแกนในแนวนอนด้วยความเร็ว 30 – 33 รอบต่อนาที มีช่องเปิดสำหรับใส่ตัวอย่างทดลอง ภายในมีแผ่นเหล็กขนาด 3.5” ± 0.1” ยื่นออกมาในแนวรัศมีตลอดความยาวของกระบอก

2. ลูกเหล็ก (Abrasive Charge) ประกอบด้วยลูกเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ $1\ ^{27}/_{34}$” และแต่ละลูกมีน้ำหนักระหว่าง 390 – 445 กรัม การเลือกจำนวนและขนาดของลูกเหล็กให้เลือกใช้ตามเกรดของมวลรวมดังนี้

เกรด	จำนวนลูกเหล็ก	นน.ลูกเหล็ก (กรัม)
A	12	5000 ± 26
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 25
D	6	2500 ± 25
E	12	2500 ± 25
F	12	2500 ± 25
G	18	2500 ± 25

หมายเหตุ เกรด A,B,C,D เป็น ขนาดเล็ก
เกรด E.F.G เป็นขนาดใหญ่

3. ตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 12

4. เครื่องชั่งสามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า 1 กก. และอ่านค่าละเอียดได้ถึง 0.1 กรัม

วัสดุทดลอง

มวลรวมที่สะอาดแห้งและมีขนาดคละตามเกรดที่กำหนดไว้ในตาราง GRADINGS ON TEST SAMBLES โดยเลือกขนาดคละดังกล่าวให้ใกล้เคียงกับขนาดคละของหินที่ใช้งานจริงที่สุด

ตาราง GRADINGS ON TEST SAMBLES

Sieve Size (Square Opening)		Weight of Indicated sizes (C.M.)						
Passing	Retained On	A	B	C	D	E	F	G
3”	2½”	-	-	-	-	2500±50	-	-
2½”	2”	-	-	-	-	2500±50	-	-
2”	½”	-	-	-	-	5000±50	-	-
½”	1”	-	-	-	-	-	5000±50	-
1”	¾”	1250±25	-	-	-	-	5000±25	5000±25
¾”	½”	1250±25	-	-	-	-	-	5000±25
½”	⅜”	1250±10	1250±10	-	-	-	-	-
⅜”	¼”	1250±10	1250±10	2500±10	-	-	-	-
¼”	No.4	-	-	2500±10	-	-	-	-
No.4	No.8	-	-	-	2500±10	-	-	-
Total		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±100	10000±75	10000±50

4.วิธีการทดลอง

1. ทำการเก็บตัวอย่างมวลรวมโดยวิธี Quatering หรือ Sand spitter แล้วนำมาล้างให้สะอาด อบให้แห้งที่อุณหภูมิ $105^{\circ}C - 110^{\circ}C$. จนมีน้ำหนักคงที่

2. นำมาอบผ่านตะแกรงมาตรฐานเพื่อเลือกเกรดที่ใกล้เคียงกับขนาดคละของมวลรวมมากที่สุด ชั่งน้ำหนักตามที่ค้างบนตะแกรงขนาดต่าง ๆ ตามจำนวนในตารางเกรดที่เลือก

3. นำมวลรวมที่ชั่งไว้ตามจำนวนมาผสมกันอีกครั้งหนึ่ง เพื่อใช้เป็นตัวอย่างทดสอบต่อไป

4. ใส่มวลรวมที่จะทดสอบและลูกเหล็กตามจำนวนที่รับไว้ในตารางแล้วเทลงในเครื่อง Los Angles ซึ่งหมุนด้วยความเร็ว 30 33 รอบต่อวินาที สำหรับมวลรวมเกรด A,B,C และ D ตั้งเครื่องให้หมุน 500 รอบ และมวลรวมเกรด E,F,G ตั้งเครื่องให้หมุน 1000 รอบ

5. เมื่อเครื่องหมุนได้รอบตามจำนวนแล้ว ให้เอามวลรวมทั้งหมดออกจากเครื่องแยกคร่าวๆ ด้วยตะแกรงที่ใหญ่กว่าเบอร์ 12 แล้วนำส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ดังกล่าว มาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 12 อีกครั้ง

6. นำส่วนที่ใหญ่บนตะแกรงเบอร์ 12 ทั้งหมดมาล้างให้สะอาด นำไปเข้าอบที่อุณหภูมิ $105^{\circ}C - 110^{\circ}C$ จนน้ำหนักคงที่ แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก เป็นน้ำหนักหลังการทดลอง

5. การคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของการสึกกร่อน} = \frac{\text{น้ำหนักเดิม} - \text{น้ำหนักหลังการทดลอง}}{\text{น้ำหนักเดิม}} \times 100$$

6. ตัวอย่างข้อมูลและผลการทดลอง

ชนิดของมวลรวม	มวลรวมหยาบ
แหล่งวัสดุ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.เกษตร กำแพงแสน
ขนาดใหญ่ที่สุด	¾” (ประมาณ 20 mm.)

น้ำหนัก	เกรดของตัวอย่าง	
	B	-
น้ำหนักเดิมก่อนทดสอบ (กรัม)	5007.5	-
น้ำหนักหลังการทดสอบ (กรัม)	3983.5	-
เปอร์เซ็นต์การสึกกร่อน (%)	20.45	-

7.ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของการสึกกร่อน} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนทดสอบ(กรัม)} - \text{น้ำหนักหลังการทดลอง(กรัม)}}{\text{น้ำหนักเดิมก่อนทดสอบ(กรัม)}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของการสึกกร่อน} = \frac{(5007.5 - 3983.5)}{5007.5} \times 100 = 20.45\ \%$$

การทดลองที่ 9

การทดสอบความต้านทานการสึกกร่อนของหิน โดยเครื่องทดสอบ ลอสแองเจลิส

ข้อมูลการทดลอง

ชนิดของมวลรวม.....

แหล่งวัสดุ.....

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม.....นิ้ว

FOR:	TESTED BY:
PROJECT:	REF. NO.:
SAMPLE:	DATE:

ABRASION TEST

มวลรวมหยาบ(หิน)

ตัวอย่างทดสอบ เกรด.....	กรัม
น้ำหนักลูกเหล็กที่ใช้ทดสอบ (Abrasive Charge)	กรัม (Net.....)
จำนวนรอบที่ใช้ทดสอบ	รอบ
น้ำหนักหลังการทดสอบ	กรัม
เปอร์เซ็นต์การสึกกร่อน	%

ขนาดของมวลรวมหยาบ (หิน) ที่ใช้ในการทดสอบ

ค้างตะแกรงขนาด.....นิ้ว	กรัม
ค้างตะแกรงขนาด.....นิ้ว	กรัม
ค้างตะแกรงขนาด.....นิ้ว	กรัม
ค้างตะแกรงขนาด.....นิ้ว	กรัม
รวมน้ำหนัก (หิน) ที่ใช้ในการทดสอบ	กรัม

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

การทดลองที่ 10

การทดสอบการหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต

(Slump Test)

1. บทนำ

การทดสอบค่ายุบตัว(Slump Test) ค่ายุบตัวไม่ได้เป็นค่าที่วัดความสามารถเทได้ของคอนกรีตโดยตรง แต่เป็นการวัดความข้นเหลวของคอนกรีต(Consistency) หรือลักษณะการไหลตัวของคอนกรีต(Flow Characteristic) แม้วิธีนี้จะไม่เหมาะสมสำหรับทดสอบคอนกรีตที่เหลว หรือแห้งมากแต่ก็มีประโยชน์อย่างมากและสะดวกสำหรับการควบคุมความสม่ำเสมอของการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ เช่น ในกรณีที่ค่ายุบตัวของคอนกรีตมีค่ามากกว่าปกติที่ออกแบบไว้ แสดงให้เห็นว่าจะต้องมีความผิดปกติเกิดขึ้นในสัดส่วนผสม ขนาดคละ หรือความชื้นในมวลรวมซึ่งจะช่วยให้ผู้ผลิตคอนกรีตสามารถตรวจสอบและแก้ไขได้

การทดสอบทำโดยตักคอนกรีตใส่ลงในโคนที่มีลักษณะเป็นกรวยยอดตัด ตำด้วยเหล็กตำแล้วจึงค่อยๆ ยกโคนขึ้นอย่างช้าๆ คอนกรีตจะยุบตัวลงด้วยน้ำหนักของตัวเอง ความสูงที่ยุบตัวลงของคอนกรีตที่วัดได้ถือว่าเป็น **ค่ายุบตัวขอบคอนกรีต**

ค่ายุบตัวที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างในประเทศไทย

ประเภทของงาน	ค่ายุบตัวที่เหมาะสม (ซม.)
พื้นถนนสนามบิน	5.0 ± 2.5
คอนกรีตสำหรับงานทั่วไป	7.5 ± 2.5
คอนกรีตสำหรับงานฐานราก	10.0 ± 2.5
คอนกรีตสำหรับงานคอนกรีตปั๊ม	10.0 ± 2.5
คอนกรีตสำหรับงานเสาเข็มเจาะเล็ก	10.0 ± 2.5
คอนกรีตสำหรับงานเสาเข็มเจาะใหญ่	มากกว่า 15
คอนกรีตสำหรับงานฐานรากแผ่ขนาดใหญ่ หรืองานที่มีเหล็กเสริมหนาแน่น	มากกว่า 15

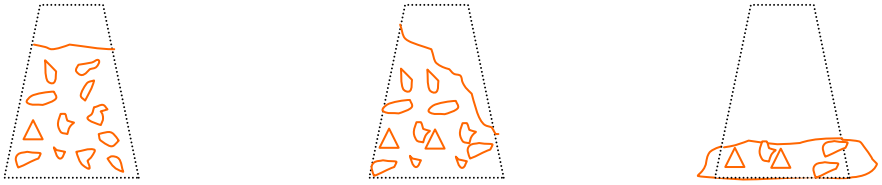
ในงานธรรมดาที่ต้องเทคอนกรีตติดต่อกันตลอดวัน ควรกำหนดให้คอยวัดหาค่าความยุบตัว ตามเวลาและเหตุการณ์ดังต่อไปนี้

1. ก่อนเริ่มทำงานคอนกรีตตอนเช้า
2. ก่อนเริ่มทำงานคอนกรีตตอนบ่าย
3. ก่อนเริ่มทำงานคอนกรีตตอนกลางคืน
4. ควรหาใหม่ตอนเปลี่ยนไปใช้ทรายหรือหินกองใหม่

รูปแบบการยุบตัวของคอนกรีตโดยทั่วไปมี 3 แบบคือ

1. การยุบตัวแบบถูกต้อง (True Slump) เป็นการยุบตัวของคอนกรีตภายใต้น้ำหนักของคอนกรีตเอง
2. การยุบตัวแบบเฉือน (Shear Slump) เป็นการยุบตัวแบบเฉือนซึ่งเป็นการยุบตัวที่เกิดจากการเลื่อนไถลของคอนกรีตส่วนบน ในลักษณะเฉือนลงไปด้านข้าง
3. การยุบตัวแบบล้ม (Collapse Slump) เป็นการยุบตัวที่เกิดจากคอนกรีตที่มีความเหลวมาก

ถ้าหากคอนกรีตมีการยุบตัวแบบเฉือน หรือแยกตัวเพราะเหลวมากเกินไป ให้ทำการทดสอบใหม่โดยใช้คอนกรีตที่ยังไม่ได้ใช้ในการทดสอบ ถ้าหากพังลง 2 ครั้งติดต่อกันแสดงว่า Slump Test อาจไม่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตนี้ มาตรฐานทั่วไปกำหนดให้ค่าคลาดเคลื่อนในการยุบตัวมีค่า ± 2.5 ซม. เช่นถ้าต้องการค่ายุบตัว 7.5 ซม. ค่าที่ยอมรับได้คือ 7.5 ± 2.5 ซม. หรือ 5-10 ซม.



ยุบตัวแบบถูกต้อง
True Slum

ยุบตัวแบบเฉือน
Shear Slump

ยุบตัวแบบล้ม
Collapse Slump

รูปแบบการยุบตัวของคอนกรีตโดยทั่วไปมี 3 แบบ

2.จุดประสงค์

เพื่อหาความสามารถเทได้ของคอนกรีต โดยวิธีทดสอบหาค่าการยุบตัว(Slump Test)

3.เครื่องมือทดสอบและวัสดุทดสอบ

เครื่องมือทดสอบ

1. แบบวัดการยุบตัว (Slump mold) เป็นแบบรูปกรวยตัด เปิดหัวท้าย ทำด้วยโลหะตอนล่างมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 8 นิ้ว ตอนบนมีเส้นศูนย์กลางภายใน 4 นิ้ว และสูง 12 นิ้วด้านข้างภายนอกมีที่สำหรับเท้าเหยียบและหูยกทั้งสองข้าง

2. เหล็กกระทุ้ง (Temping rod) เป็นแท่งเหล็กกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ยาว 60 ซม. ปลา

3. ถาดเหล็ก

วัสดุทดลอง

ปูนซีเมนต์	63.0	กิโลกรัม
ทราย	112.5	กิโลกรัม
หิน	167.5	กิโลกรัม
น้ำ	32.5	กิโลกรัม

4.วิธีการทดลอง

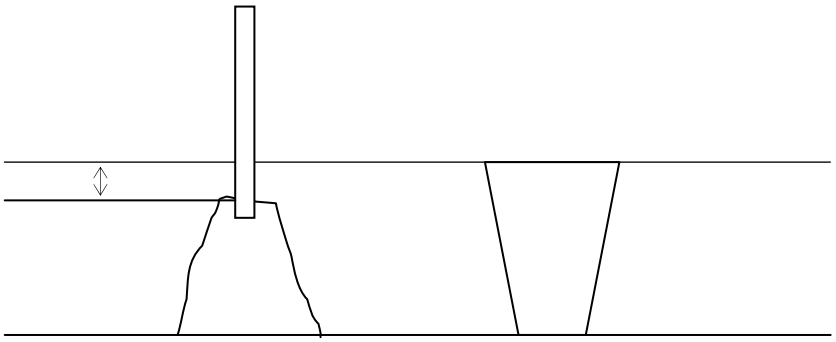
1. ผสมคอนกรีตด้วยเครื่องผสม ตามสัดส่วนที่กำหนดไว้
2. นำแบบไปชุบน้ำเพื่อให้ผิวเปียก แล้วนำไปวางบนพื้นเรียบที่ไม่ดูดซับน้ำ ใช้เท้าทั้งสองข้างเหยียบไว้ให้แน่น
3. ตักคอนกรีตใส่ลงในแบบให้ได้ 3 ชั้น โดยให้แต่ละชั้นมีปริมาตรเท่ากัน ๆ ใช้เหล็กกระทุ้ง (Tamping rod) กระทุ้ง 25 ครั้ง ทุกชั้น ชั้นล่างให้กระทุ้งจนสุดส่วนชั้นที่สองและชั้นที่สามให้กระทุ้งจนเหล็กผ่านไปในชั้นเดิมเล็กน้อย
4. แต่งผิวหน้าให้เรียบ โดยใช้เหล็กกระทุ้งกลิ้งดันคอนกรีตส่วนเกินปากขอบแบบออกไป

5. ค่อย ๆ ยกแบบขึ้นตามแนวดิ่งอย่างระมัดระวังไม่ให้มีการปิดหรือดันด้านข้างใช้เวลาประมาณ 5 วินาที (รวมเวลาตั้งแต่เริ่มบรรจุคอนกรีตลงแบบจนถึงยกแบบขึ้นไม่ควร เกิน 2 ½ นาที)

6. ทำการวัดระยะการยุบตัวของคอนครีตรูปกรวย โดยเปรียบเทียบกับความสูงของกรวย ถ้ามีการยุบตัวแบบเฉือน(Shear) ให้ทำซ้ำอีกครั้ง หากมีการยุบตัวเหมือนเดิมถือว่าคอนกรีตนั้นมีการยึดเหนี่ยวในเนื้อคอนกรีตต่ำ (ASTM C 192-81) ระบุว่า ถ้าเป็นการยุบตัวแบบเฉือนจะนำค่าอ่านมาใช้วัดความสามารถเทได้ของคอนกรีตไม่ได้)

5. ตัวอย่างข้อมูลและผลการทดลอง

ชนิดของปูนซีเมนต์	TYPE 1 ตราทีพีไอ (สีแดง)
ถ.พ. ของปูนซีเมนต์	3.15
ขนาดใหญ่สุดของหิน	¾ นิ้ว (20 มิลลิเมตร)
ค่า F.M. ของทราย	2.70
Water cement ratio	0.51
ถ.พ. ของหิน	2.702
ถ.พ. ของทราย	2.559
ค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่ต้องการ	7.5-12.5 cm



ค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่ได้ในการทดลอง 8.0 cm OK

รายการคำนวณ

MIX DESIGN

1. **Water / Cement Ratio W/C** (Table A 2.3.4.3)

   ดูจากตาราง A 2.3.4.3 ที่ Strength 330 ksc จะได้ W/C = 0.51

2. **Quantity of Water (W)** {(Table A 2.2.3.1(C)}

   ดูจากตาราง A 2.2.3.1(C)

   ที่ Slump 7.5 – 12.5 และที่ขนาดหิน 20 mm. จะได้ = 199 kg/m^3

3. **Quantity of Cement**

$$\frac{\text{Quantity of Water (W)}}{\text{Water / Cement Ratio (W/C)}} = \frac{199}{0.51} = 390.20 \ \text{kg/m}^3$$

4. **Quantity of Coarse Aggregate (CA)** {Table A 2.3.5.1 (a) , A 2.3.5.1 (b)

Table A 2.3.5.1 (a) ที่ Norimal maximum size of aggregate 20 mm.

ที่ Volume of dry – rodded Coarse Aggregate จาก Specific Gravity = 2.702

จะได้ Volume of coarse aggregate per unit of volume of concrete = **0.63**

Table A 2.3.5.1 (b) ที่ Slump 7.5 – 12.5 และที่ขนาดหิน 20 mm. จะได้ = **100**

Unit Weight *1650* ***kg/m^3***

$$\left(\frac{\text{Table A 2.3.5.1(a) x Table A 2.3.5.1(a)}}{100}\right)\text{xUnit Weight} = \frac{0.63\text{x}100}{100}\text{x}1650 = 1039.5 \ \text{kg/m}^3$$

5. Solid volume of Cement

$$\text{Solid volume of Cement} = \frac{\text{Quantity of Cement}}{1000 \text{x} \text{Specific Gravity of Cememt}} = \frac{390.2}{1000 \text{x} 3.15} = 0.1239 \text{m}^3$$

6. volume of Water

$$\text{Volume of Water} = \frac{\text{Quantity of Water x Reduced water(R} = 1.0)}{1000} = \frac{199 \text{x} 1.0}{1000} = 0.199 \text{m}^3$$

7. Solid volume of Coarse Aggregate

$$\text{Solid volume of Coarse Aggregate} = \frac{\text{Quantity of Coarse Aggregate}}{1000 \text{x} \text{Specific Gravity of Coarse Aggregate}} = \frac{1039.5}{1000 \text{x} 2.702} = 0.3847 \text{m}^3$$

8. volume of Entrapped Air {(Table A 2.2.3.1(C)}ที่ขนาดหิน 20 mm. จะได้ = 2 % = 0.02 m^3

9. Solid volume of Fine Aggregate

$$\text{Solid volume of Fine Aggregate} = 1 - \text{Solid volume of Cement} - \text{volume of Water} - \text{Solid volume of Coarse Aggregate} - \text{volume of Entrapped Air}$$

$$\text{Solid volume of Fine Aggregate} = 1 - 0.1239 - 0.199 - 0.3847 - 0.02 = 0.2724 \text{m}^3$$

10. Quantity of Fine Aggregate

Quantity of Fine Aggregate = Solid volume of Fine Aggregate x Specific Gravity of fine x 1000

Quantity of Fine Aggregate = 0.2724 x 2.559 x 1000 = 697.11 kg/m^3

11. Ratio of fine aggregate/Total aggregate

$$\text{Ratio of fine aggregate/Total aggregate} = \frac{\text{Solid volume of Fine Aggregate}}{\text{Solid volume of Fine Aggregate} + \text{Solid volume of Coarse Aggregate}}$$

$$\text{Ratio of fine aggregate/Total aggregate} = \frac{0.2724}{0.2724 + 0.3847} = 0.4146$$

การทดลองที่ 10

การทดสอบการยุบตัวของคอนกรีต

ข้อมูลและผลการทดสอบ

คอนกรีตใช้สำหรับงาน.....

ขนาดใหญ่สุดของหินที่ใช้ผสมคอนกรีต.....นิ้ว

ค่า Fineness Modulus (F.M.) ของทราย.....

Water Cement Ratio (w/c).....

ค่าความถ่วงจำเพาะของหิน.....

ค่าความถ่วงจำเพาะของทราย.....

ค่าการยุบตัวของคอนกรีต.....

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

การทดลองที่ 11

การทดสอบกำลังด้านแรงอัดของคอนกรีต

(Compressive Strength Test)

1. บทนำ

กำลังต้านทานแรงหรือการรับแรง เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของคอนกรีต ซึ่งมีอยู่หลายอย่างด้วยกัน เช่น กำลังต้านทานแรงอัดเป็นต้น งานคอนกรีตทั่วไปนิยมทำการทดสอบหากำลังยึดเหนี่ยว และกำลังต้านทานแรงอัดเป็นต้น งานคอนกรีตทั่วไปนิยมทำการทดสอบหากำลังต้านทานแรงอัดเป็นหลัก เพื่อนำผลไปใช้ในการควบคุมคุณภาพของงานและยังใช้เป็นตัวบ่งบอกให้ทราบถึงคุณสมบัติด้านอื่นได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้เพราะกำลังต้านทานแรงอื่น ๆ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังต้านทานแรงอัด

การทดสอบหากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตทำได้โดยการกดหรืออัดแท่งทดสอบรูปลูกบาศก์ตามมาตรฐานอังกฤษ หรือรูปทรงกระบอกตามมาตรฐานอเมริกัน ซึ่งบ่มชื้นตามระยะเวลาที่กำหนด จนกระทั่งแตก แล้วทำการคำนวณหาค่าความต้านทานแรงอัดประลัย มีหน่วยเป็น กก./ตร.ซม หรือ ปอนด์/ตร.นิ้ว

ก้อนตัวอย่างมาตรฐานที่ทำเพื่อทดสอบกำลังอัดที่ใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายมี 2 รูปทรงคือ

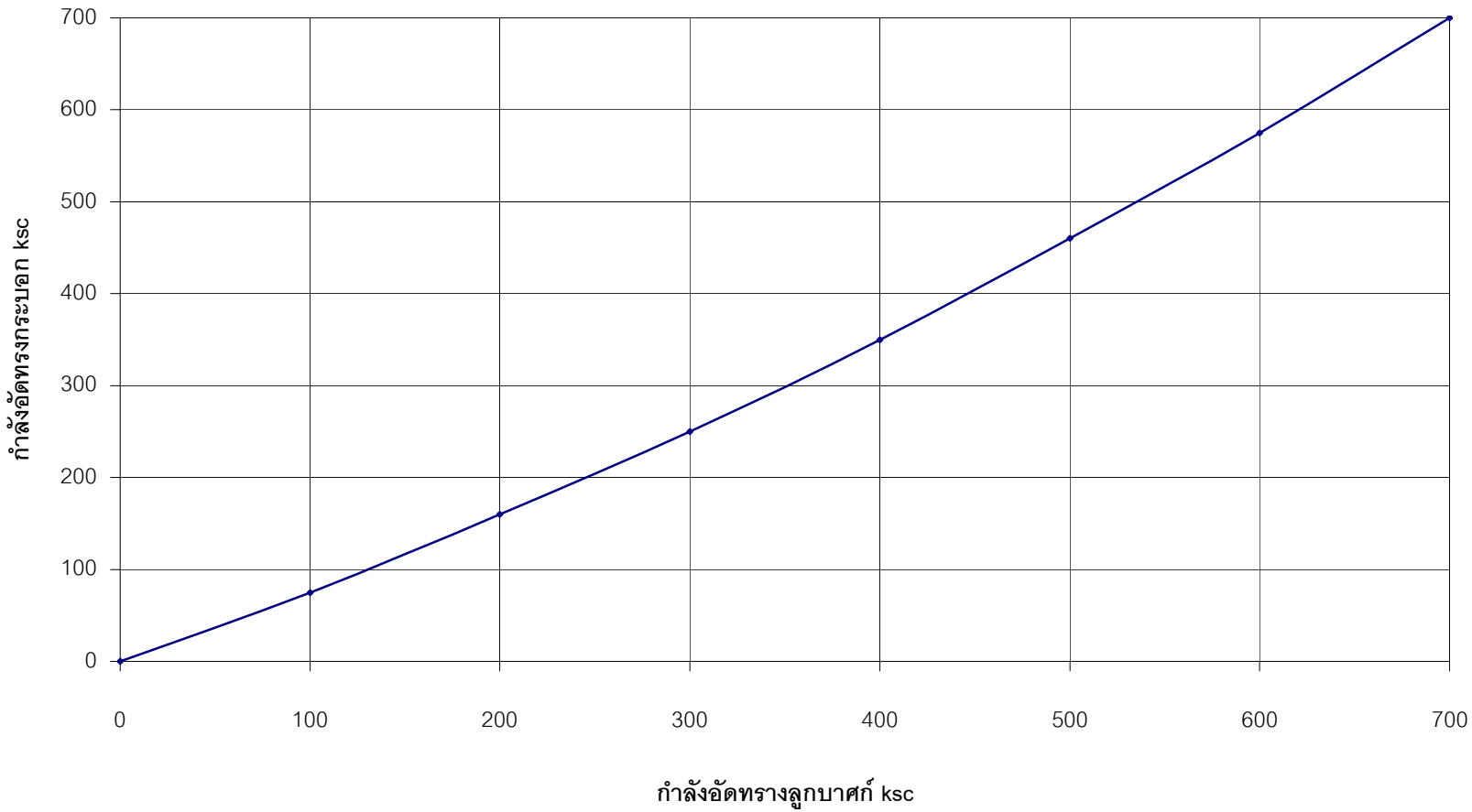
1. *รูปทรงกระบอก* เป็นการทดสอบตามมาตรฐานอเมริกา ขนาดที่ใช้คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.
2. *รูปทรงลูกบาศก์* เป็นการทดสอบตามมาตรฐานอังกฤษขนาดที่ใช้คือขนาด 15x15x15 ซม.

กำลังอัดของ 2 รูปทรงนี้จะแตกต่างกัน ถึงแม้จะใช้ส่วนผสมของคอนกรีตเดียวกัน โดยกำลังอัดด้วยตัวอย่างรูปทรงกระบอกจะมีค่าน้อยกว่ากำลังอัดของตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบ

1. แรงเสียดทานระหว่างผิวของก้อนตัวอย่างกับแผ่นรองกดก่อให้เกิด Confining Stress ซึ่งจะมีผลทำให้ค่ากำลังอัดของรูปทรงลูกบาศก์ที่ได้สูงกว่าความเป็นจริง
2. องค์ประกอบเรื่องความชะรูด กล่าวคือเนื่องจากรูปทรงกระบอกมีความมาสูงมากกว่าด้านกว้างทำให้ผลด้าน Confining Stress ลดลงอย่างมาก

ตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (มาตรฐาน วสท.) ได้ให้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์กับกำลังอัดรูปทรงกระบอก

การแปลงกำลังอัดทรงลูกบาศก์เป็นกำลังอัดทรงกระบอก



ในทางปฏิบัตินั้นผิวด้านบนของก้อนตัวออย่างรูปทรงกระบอกมักจะไม่เรียบ ทำให้ผลการทดสอบผิดพลาดได้ ดังนั้นก่อนการทดสอบจะต้องทำการ Cap ก้อนตัวอย่างทั้ง 2 ด้านด้วยกำมะถันเสียก่อน ส่วนก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์นั้นไม่ต้อง Cap ก้อนตัวอย่างเพราะมีผดิวด้านข้างอีก 4 ด้านเรียบที่สามารุนำมาทดสอบได้

ก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอกที่ CAP หัวและไม่ CAP หัว

<u>ปัจจัยที่มีผลต่อกำลัง</u>

1. **คุณสมบัติของวัสดุผสม**

- **ปูนซีเมนต์** เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลที่สำคัญมาก ทั้งนี้เพราะว่าปูนซีเมนต์แต่ละประเภท จะห่อให้เกิดกำลังของคอนกรีตที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ นอกจากนี้แม้ว่าจะเป็นปูนซีเมนต์ประเภทเดียวกัน แต่มีความละเอียดแตกต่างกันแล้ว อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตก็จะแตกต่างไปด้วยคือ ถ้าปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากก็จะให้กำลังสูง โดยเฉพาะหลังจากที่แข็งตัวไปแล้วไม่นาน

- **มวลรวม** มวลรวมมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเพียงเล็กน้อย เพราะมวลรวมที่ใช้กันอยู่ทั่วไป มักมีความแข็งแรงมากกว่าซีเมนต์ อย่างไรก็ดีมวลรวมหยาบที่เป็นหินย่อย ซึ่งมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมหรือผิวหยาบจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตดีกว่าพวกกรวกที่มีผิวเกลี้ยง ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมก็มีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน เพราะคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดใหญ่จะต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่ามวลรวมขนาดเล็ก สำหรับคอนกรีตที่มีความสามารถเทได้เท่ากัน ดังนั้นคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดใหญ่ จึงมักให้กำลังดีกว่า ส่วนขนาดคละของมวลรวมจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตในแง่ที่ว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีส่วนขนาดคละไม่เหมาะสม คือมีส่วนละเอียดมากเกินไปนั้น จะต้องการปริมาณน้ำมากกว่ามวลรวมที่มีส่วนคละที่ดี เพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้เท่ากัน อีกทั้งยังก่อให้เกิดฟองอากาศแทรกตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีตเป็นจำนวน

มากกว่าส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำลงได้ นอกจากนี้ความสะอาดของมวลรวมก็จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีต เช่นกัน

- **น้ำ** น้ำมีผลต่อกำลังของคอนกรีตตามความใส และปริมาณของสารเคมีหรือเกลือแร่ที่ผสมอยู่ น้ำที่เกลือคลอไรด์ผสมอยู่ จะทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตในระยะต้นสูง น้ำขุ่นหรือน้ำที่มีสารแขวนลอยปนอยู่ จะทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลงซึ่งอาจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของสารแขวนลอยนั้น

2. การทำคอนกรีต

- **การชั่งตวงส่วนผสม** หากใช้การตวงโดยปริมาตรจะมีโอกาสผิดพลาดมากกว่าการชั่งส่วนผสมโดยน้ำหนัก ซึ่งหากอัตราผสมคอนการีตผิดไปจะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงได้ อัตราส่วนผสมจะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีตโดยตรง โดยเฉพาะอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์
- **การเทคอนกรีตเข้าแบบหล่อและการอัดแน่น** จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต เพราะ หากคอนกรีตเกิดการแยกตัวในขณะลำเลียง หรือเท จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้การทำให้คอนกรีตแน่นตัวหากทำได้ไม่เต็มที่ก็จะทำให้เกิดรูโพรงขึ้นในเนื้อนคอนกรีต มีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าลดลงได้ หรือหากใช้วิธีทำให้คอนกรีตแน่นตัวที่ไม่เหมาะสม ก็สามารถทำให้เกิดการแยกตัวขึ้นในเนื้อคอนกรีตได้ ส่งผลให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ

3. การบ่มคอนกรีต

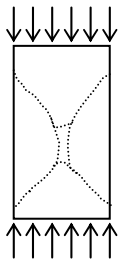
- **ความชื้น** จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต เพราะปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันระหว่างปูนซีเมนต์และนั้นจะค่อยเป็นค่อยไป นับตั้งแต่ปูนซีเมนต์เริ่มผสมกับน้ำเป็ฯซีเมนต์เพสต์ และซีเมนต์เพสต์จะมีกำลังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ถ้ามีความชื้นอยู่ตลอดเวลาถ้าซีเมนต์เพสต์ในคอนกรีตำม่มีความชื้นอยู่คอนกรีตก็จะไม่มีการเพิ่มกำลังอีกต่อไป ดังนั้นเมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวจึงควรทำการบ่มด้วยความชื้นทันที
- **อุณหภูมิ** ถ้าหากอุณหภูมิสูงในขณะบ่มก็จะทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตถูกเร่งให้เร็วขึ้น ทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงกว่าคอนกรีตที่ได้รับการบ่มในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า
- **เวลาที่ใช้ในการบ่ม** ถ้าหากสามารถบ่มคอนกรีตมีให้ชื้อนอยู่ตลอดเวลาได้ยิ่งนานเท่าใดก็จะยิ่งได้กำลังของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

การที่กำลังอัดไม่เป็นไปตามข้อกำหนด คือได้ค่าต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนดนี้ อาจมีสาเหตุมาจากหลายๆ ประการอันได้แก่

1. ใช้สัดส่วนผสมที่ไม่เหมาะสม
2. ควบคุมปริมาณน้ำไม่ดีพอ
3. ควบคุมปริมาณฟองอากาศไม่ดี
4. การผสมไม่ดีพอ
5. มีสารอินทรีย์ต่างๆ มาเกินข้อกำหนด
6. ใช้หินทรายที่สกปรก
7. ใช้น้ำยาผสมคอนกรีตที่ไม่มีประสิทธิภาพ
8. ไม่ได้ปรับความชื้นในมวลรวม
9. การอัดแน่นไม่ถูกต้อง
10. การบ่มไม่เพียงพอ
11. การลำเลียงและการทดสอบไม่ถูกต้อง
12. อุณหภูมิผันแปรไป

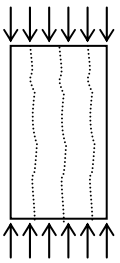
ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างคอนกรีต

ลักษณะการชำรุดแตกหักของก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่รับแรงอัด มักแตกออกเป็นรูปกรวยคู่ (Shear Failure) โดยมีปลายกรวยอยู่ที่กึ่งกลางของทรงกระบอก ดังแสดงในรูป(ก.) โดยเกิดจากการถูกเฉือนในระนาบที่เอียงกับแรงกด อันเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง วัสดุผสมและความเสียดทานภายใน ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่าง อาจเป็นการแตกแบบแยกออก(Spliting Failure)ดังรูป(ข.) หรืออาจเป็นการรวมของลักษณะการแตกของทั้ง 2 แบบ(Combination Shear and Spliting Failure)ดังรูป(ค.)



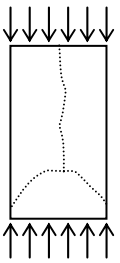
(ก.)

Shear or cone failure



(ข.)

Spliting or columnar failure



(ค.)

Combination Shear and Spliting Failure

2.จุดประสงค์

เพื่อหากำลังต้านทานแรงอัดของคอนครีต โดยใช้แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกตามมาตรฐานอเมริกัน หรือแท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์มาตรฐานอังกฤษ

3.เครื่องมือทดสอบและวัสดุทดสอบ

เครื่องมือทดสอบ

1. แบบหล่อแท่งทดสอบ ตามมาตรฐานของอเมริกัน เป็นแบบหล่อรูปทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 ± 0.75 มิลลิเมตร สูง 300 ± 3 มิลลิเมตร

2. แบบหล่อแท่งทดสอบ ตามมาตรฐานอังกฤษเป็นแบบหล่อรูปลูกบาศก์ มีขนาด 15 x15 x 15 ซม.

3. แท่งกระทุ้ง (Tamping rod) มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร ยาว 500 มิลลิเมตร ปลายกลมมน

4. เครื่องเคลือบผิวหน้าแท่งทดสอบ(Capping device) (ใช้เฉพาะแบบหล่อรูปทรงกระบอก)

ตัวอย่างทดลอง

1. แท่งตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก จำนวน 6 แท่ง หรือแท่งตัวอย่างคอนกรีตรูปบาศก์ จำนวน 6 แท่ง

4.วิธีการทดลอง

การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

1. ประกอบแบบหล่อเข้าด้วยกัน ขันน๊อตให้ยึดแน่น ใช้ผ้าชุบน้ำมันทาภายในบาง ๆ เพื่อป้องกัน ไม่ให้คอนกรีตติดกับแบบ แล้วนำแบบหล่อนี้ไปวางบนพื้นราบ

2. เทคอนกรีตที่ผสมแล้ว (ตามส่วนผสมที่คำนวณได้) ใส่ลงในแบบหล่อโดยแบ่งใส่เป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรประมาณ 1/3 ของปริมาตรของแบบหล่อรูปทรงกระบอกกระทุ้งคอนกรีตชั้นละ 25 ครั้ง โดยใช้ด้านปลายมนของเหล็กกระทุ้งให้ทั่วพื้นที่หน้าตัดของคอนกรีตและให้ลึกเลยเข้าไปในคอนกรีตชั้นล่างเล็กน้อย ชั้นบนต้องใส่คอนกรีตให้สูงกว่าขอบแบบตลอดเวลาที่กระทุ้ง หลังจากนั้นปาดผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบ แล้วปิดด้วยกระจกหรือกระดาษอาบน้ำมันเพื่อป้องกันน้ำระเหยทิ้งไว้ 24 ชั่งโมง จึงถอดแบบหล่อออกแล้วนำแท่งคอนกรีตไปบ่มทันทีจนถึงเวลาที่ต้องการทดสอบ ปกติใช้เวลา 7 วัน และ 28 วัน

3. นำแท่งทดสอบมาทำความสะอาดเช็ดให้แห้ง แล้วทำการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางโดยใช้ค่าเฉลี่ยจากการวัด 2 ครั้ง ในแนวตั้งฉากกัน พร้อมทั้งชั่งน้ำหนักของแท่งทดสอบ

4. ทำการเคลือบผิวหน้าแท่งทดสอบ โดยใช้กำมะถันผสมผงแร่ (อัตราส่วน 3:1) ซึ่งนำมาหลอมที่อุณหภูมิ 180 – 210^{o} C จนกลายเป็นของเหลวเหนียว เทกำมะถันเหลวลงในแบบหล่อในปริมาณพอเหมาะ แล้วยกแท่งทดสอบ ลงในแบบหล่ออย่างระมัดระวังโดยใช้แท่งทดสอบอยู่ในแนวดิ่ง ตั้งฉากกับผิวหน้าเคลือบ การเคลือบควรทำให้บางที่สุดเท่าที่ทำได้ และไม่มีรอยร้าวเกิดขึ้น (ใช้เฉพาะแบบหล่อรูปทรงกระบอก)

การทดสอบ

นำแท่งทดสอบที่เคลือบผิวหน้าแล้วมาติดตั้งเครื่อง Compressometer แล้วจึงยกไปวางบนแท่นกดสัมผัสหน้าแท่นทดสอบตั้งเกย์ Compressometer ไว้ที่ขีด 0 แล้วจึงเดินเครื่องอย่างสม่ำเสมอในอัตราประมาณ 1.43 – 3.47 กก./ซม.^{2} วินาที บันทึกค่าต่าง ๆ ไว้เพื่อนำไปพล๊อต Stress-Steain Curve ต่อไปเมื่อกดแท่งทดสอบจนถึง Yeild Point แล้ว ให้ถอดเครื่อง Compressmeter ออก แล้วค่อย ๆ เพิ่มน้ำหนักจนแตก บันทึกน้ำหนักสูงสุดที่แท่งทดสอบสามารถรับได้ และ Sketch ลักษณะการแตกแท่งทดสอบด้วย (ใช้เฉพาะแบบหล่อรูปทรงกระบอก)

5. การคำนวณ

1. กำลังอัดวัสดุ $\frac{P}{A}$

6. ตัวอย่างข้อมูลและผลการทดลอง

ขนาดใหญ่สุดของหิน	¾ นิ้ว (ประมาณ 20 มม.)
ชนิดของปูนซีเมนต์	Portland cement type 1
Water cement ratio	0.51
ค่าการยุบตัวของคอนกรีต	7.5 - 12.5
วันที่หล่อตัวอย่าง	31 กันยายน พ.ศ. 2546

หาหน่วยแรงอัดประลัย

ทรงกระบอก

ตัวอย่าง	อายุ (วัน)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	น้ำหนักกดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย(กก./ซม)
1.	7	15.0	30.4	13.382	176.715	49500	280.11
2.	7	15.3	30.4	13.483	183.854	51250	278.75
3.	7	15.4	29.8	14.011	186.265	48000	257.70
4.	14	15.4	30.4	14.115	191.134	57300	307.63
5.	14	15.0	30.6	13.425	176.715	54250	307.00
6.	14	15.6	30.2	14.005	191.134	42100	220.30

ทรงลูกบาศก์

ตัวอย่าง	อายุ (วัน)	ขนาดหน้าตัด (ซม.)	ความสูง (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	น้ำหนักกดสูงสุด(กก.)	หน่วยแรงอัดประลัย(กก./ซม)
1.	7	15.2 x 15.3	15.4	8.602	232.56	67500	290.25
2.	7	14.2 x 15.6	15.5	8.507	221.52	55500	250.54
3.	7	15.0 x 15.5	15.5	8.649	232.50	65450	281.5
4.	14	15.4 x 15.4	30.4	8.80	237.16	64250	270.91
5.	14	15.8 x 15.5	30.6	8.72	244.90	81750	333.81
6.	14	16.8 x 15.5	30.2	9.22	260.40	81000	311.06

7.ตัวอย่างการคำนวณ

ทรงกระบอก

$$\frac{P}{A} = (49500/176.715) = 280.11$$

ทรงลูกบาศก์

$$\frac{P}{A} = (67500/232.56) = 290.25$$

การทดลองที่ 11

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

ข้อมูลและผลการทดลอง

ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่..... ตรา.....

ขนาดใหญ่สุดของมวลหยาบ(หิน).....นิ้ว

Water Cement Ratio (w/c).....

ค่าการยุบตัว (Slump Test) ของคอนกรีต.....เซนติเมตร

วันที่ทำการหล่อตัวอย่างทดสอบ.....

ก. การหาค่าหน่วยแรงอัดประลัย

COMPRESSION TEST OF CONCRETE

FOR: TESTED BY:
PROJECT: REF NO.:
SAMPLE: DATE:

No.	Diameter			Height	Weight	Age	Ultimate	Ultimate	Remarks
	1	2	Averrage	(cm.)	(kg.)	(day)	(kg.)	(kg.)	
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									

ข. การหาค่า Stress – Strain Curve

Load		Dial Gauge	Specimen No.		Specimen No.	
Kg.	Lb.	x 10^{-4} in	Stress x 10^{-4} in	Strain x 10^{-4} in	Stress x 10^{-4} in	Strain x 10^{-4} in

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

การทดลองที่ 12

การทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวของคอนกรีต

(Bond Test)

1.บทนำ

ความสำคัญอย่างหนึ่งในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก คือ ความต้านทานต่อการเลื่อนไถลของเหล็กเสริมที่ฝังอยู่ในเนื้อคอนกรีต ขนาดและระยะของเหล็กเสริมต้องเพียงพอที่จะทำให้เกิดกำลังยึดหน่วงกับเนื้อคอนกรีต มาตรฐานการออกแบบมักกำหนดค่าแรงยึดหน่วงเป็นร้อยละของกำลังต้านทานแรงอัดประลัยของคอนกรีต และขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กที่ใช้

กำลังยึดหน่วงของคอนกรีตยังขึ้นอยู่กับซีเมนต์ สารผสมเพิ่ม และอัตราส่วนระหว่างน้ำและซีเมนต์แรงยึดหน่วงในสภาวะแห้งจะมากกว่าในสภาวะที่ชื้น และแรงยึดเหนี่ยวในแนวนอนจะน้อยกว่าแนวตั้งเพราะอาจมีน้ำไปเกาะอยู่ใต้เหล็กเสริมตามแนวนอนได้ เมื่อคอนกรีตแข็งตัวจึงเกิดเป็นรูโพรงใต้เหล็กเสริมทำให้แรงยึดหน่วงลดลง

ในปัจจุบันนิยมใช้เหล็กข้ออ้อยกันมากเพราะให้กำลังยึดเหนี่ยวกับคอนกรีตมากกว่าเหล็กผิวเรียบที่มีขนาดเท่ากัน นอกจากนี้กำลังยึดเหนี่ยวยังขึ้นอยู่กับชนิดของปูนซีเมนต์และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ด้วย

2.จุดประสงค์

เพื่อหากำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม

3.เครื่องมือทดสอบและวัสดุทดสอบ

เครื่องมือทดสอบ

1.แบบหล่อแท่งคอนกรีต

2.เวอร์เนียร์

3.เครื่องชั่ง

4. Tamping rod

5. Testing machine

4.วิธีการทดลอง

การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

นำคอนกรีตที่ผสมเสร็จแล้วเทลงในแบบรูปทรงกระบอก โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นประมาณ ½ ของปริมาณทรงกระบอก แล้วใช้ Tamping rod กระทุ้งชั้นละ 25 ครั้ง จนครบ 3 ชั้น แล้วจึงเอาเหล็กเส้นฝังลงในคอนกรีต ตรงจุดกึ่งกลางของแท่งคอนกรีต โดยให้ปลายเหล็กโผล่ออกมาพอสมควร ทำการแต่งหน้าผิวคอนกรีตให้เรียบ (หาสิ่งปกปิดเพื่อไม่ให้น้ำระเหยออก) หลังจากนั้น 24 ชั่วโมง จึงทำการถอดแบบแล้วนำไปบ่มหรือแช่น้ำเป็นเวลา 28 วัน

การทดลอง

นำตัวอย่างคอนกรีตที่บ่มไว้ครบตามกำหนดเวลา มาเข้าเครื่อง Testing machine โดยให้ส่วนที่เป็นคอนกรีตอยู่ด้านบน และให้ส่วนที่เป็นเหล็กยื่นอยู่ด้านล่างสำหรับจับยึดติดแน่นกับฐานเครื่อง เดินเครื่องด้วยความเร็วสม่ำเสมอจนเกิดการ Slip หยุดเครื่อง แล้วบันทึกค่า Maximmun load ไว้

5. การคำนวณ

1. พื้นที่ผิวที่ฝังในคอนกรีต $A = \pi DL$
2. กำลังยึดเหนี่ยว $\mu = P/A$
3. หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ $U = 1.615\frac{\sqrt{fc'}}{D} \leq 11.0 \text{ksc} \left(\text{สำหรับเหล็กเส้นกลม}\right)$

6. ตัวอย่างข้อมูลและผลการทดลอง

ขนาดใหญ่สุดของหิน ¾ (20 mm.)

ชนิดของปูนซีเมนต์ Portland Type I

Water cement ratio 0.51

ค่าการยุบตัวของคอนกรีต 7.5 – 125 เซนติเมตร

วันที่หล่อตัวอย่าง 31 สิงหาคม 2546

	ตัวอย่างทดสอบ					
	7 วัน			28 วัน		
ขนาดของเหล็ก Ø มม.	8	8.2	8.1	8.1	8.2	8.1
ความยาวเหล็กเสริมในคอนกรีต (ซม.)	30.0	30.0	30.0	29.0	31.0	32.0
พื้นที่ผิวที่ฝังในคอนกรีต (ซม.)^2	75.4	77.28	76.34	73.79	79.86	81.43
แรงดึงสูงสุด (กก.)	1640	1620	1645	1770	1760	1765
กำลังยึดเหนี่ยว (μ)(กก./ซม.)^2	21.75	20.96	21.55	24.00	22.03	21.67
เฉลี่ย (กก./ซม.)^2	21.42			22.56		
หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ kcs.	34.96	34.11	34.53	34.53	34.11	34.53
เฉลี่ย (กก./ซม.)^2	34.53			34.39		

7.ตัวอย่างการคำนวณ

พื้นที่ผิวที่ฝังในคอนกรีต $A = \pi DL$

$= \pi x\ 0.80\ x\ 30.0 = 75.4\ cm^2$

กำลังยึดเหนี่ยว $\mu = P/A$

$\mu = 1640 / 75.4 = 21.75$ ksc.

หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ $U = 1.615\frac{\sqrt{fc'}}{D} \le 11.0 ksc \left(\text{สำหรับเหล็กเส้นกลม}\right)$

$$U = 1.615\frac{\sqrt{300}}{0.8} = 34.96 \le 11.0 ksc \left(\text{ใช้ที่} u = 11 ksc\right)$$

การทดลองที่ 12

การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตต่อเหล็กเสริม

ข้อมูลและผลการทดลอง

ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่..... ตรา.....

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ(หิน).....นิ้ว

Water Cement Ratio(w/c).....

ค่าการยุบตัวของคอนกรีต (Slump).....เซนติเมตร

วันที่ทำการหล่อตัวอย่างทดสอบ.....

วันที่ทำการทดสอบ (7 วัน).....

วันที่ทำการทดสอบ (28 วัน).....

รายการทดสอบ	ตัวอย่างทดสอบ		
	1	2	3
ขนาด Ø ของเหล็กเสริม (มม.) ความยาวของเหล็กเสริมในคอนกรีต (ซม.) พื้นที่ผิวที่ฝังในคอนกรีต (ซม.) แรงดึงสูงสุด (กก.) กำลังยึดเหนี่ยว (กก./ซม.)			

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

การทดลองที่ 13

การทดลองหากำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีต

(Flexural Strength Concrete)

1.บทนำ

การทดสอบหากำลังแรงดัดของคานคอนกรีต ทำได้ 2 แบบ คือ แบบให้แรงกดคานที่จุดกึ่งกลางคานจุดเดียว (Center-point loading) และแบบให้แรงกดคานที่จุด 2 จุดซึ่ง ตำแหน่งของจุดทั้งสองเป็นตำแหน่งที่แบ่งคานออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน (Third point loadind) การทดสอบทั้งสองแบบให้ค่ากำลังรับแรงดัดผิดกันเล็กน้อย ตามทฤษฎีการทดสอบแบบกดจุดเดียว ที่กึ่งกลางคานจะได้ค่าสูงกว่า ฉะนั้นการนำผลไปใช้ควรพิจารณาด้วยว่าลักษณะการทดสอบเป็นแบบใด

ในงานก่อสร้างพื้นถนนหรือสนามบิน กำลังต้านทานของคอนกรีตมักถูกกำหนดโดยการทดสอบความต้านทานต่อแรงดัดงอจากคานตัวอย่างมาตรฐานที่ทำจากคอนกรีตล้วน โดยกำหนดอยู่ในรูปของโมดูลัสของการแตกหัก

การทดสอบเพื่อหากำลังต้านทานแรงดัดงอของคอนกรีต ทำได้โดยการทดสอบคานตัวอย่างมาตรฐานซึ่งอาจเป็นไปตามมาตรฐานอเมริกันหรืออังกฤษ สำหรับมาตรฐานอเมริกันใช้คานคอนกรีตมาตรฐานมีขนาด 15 x 15 x 15 cm. ใส่คอนกรีตลงในแบบสองชั้นๆ ละเท่ากันและกระทุ้งชั้นละ 60 ที มาตรฐานอังกฤษใช้คานคอนกรีตขนาด 15 x 15 x 70 cm. โดยเทคอนกรีตหนาชั้นละ 5 ซม. และกระทุ้งแน่นด้วยเหล็กกระทุ้งซึ่งหนัก 4 ปอนด์ เนื้อที่หน้าตัด 1 ตารางนิ้ว ยาว 37.5 ซม. ปลายมน

วิธีการทดสอบคานตัวอย่างกระทำโดยการใช้น้ำหนักกดลงบนจุดแบ่งสามของช่วงคานจากค่าน้ำหนักสูงสุดที่คานสามารถรับไว้ได้นั้น นำมาคำนวณหากำลังต้านทานแรงดัดงอของคอนกรีต

บางหน่วยงานทดสอบคานแบบช่วงเดียวธรรมดานี้ โดยมีน้ำหนักกดตรงกึ่งกลางแห่งก็ทำเป็นคานยื่น ทั้งสอบกรณีนี้กำลังที่ได้มักจะสูงกว่าที่หาได้จากการทดสอบแบบกดตรงจุดแบ่งสาม

จากการทดลองพบว่าค่ากำลังต้านทานแรงดัดงอของคอรกรีตสูงกว่ากำลังต้านทานแรงดึงประมาณ 60 – 100% ค่าโมดูลัสของการแตกหักอยู่ในช่วง 11 – 23% ของกำลังต้านทานแรงอัด การใช้วัสดุผสมที่มีผิวหยาบขรุขระและมีเหลี่ยมมุม จะทำให้ค่ากำลังต้านทานแรงดัดสูงขึ้น

2.จุดประสงค์

เพื่อทดสอบหากำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีต

3.เครื่องมือทดสอบและวัสดุทดสอบ

เครื่องมือทดสอบ

1.เครื่องกดทดสอบ

2. อุปกรณ์การกดประกอบด้วย หัวกด 1 หัว และฐานรองรับคาน 2 ตัว ทั้ง 3 ชิ้นต้องความยาวอย่างน้อยเท่ากับความยาวอย่างน้อยเท่ากับความกว้างของคาน

3. แบบหล่อตัวอย่างขนาด 15 x 15 x 100 ซม.

4. วิธีการทดลอง

การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

1. ทำความสะอาดแบบหล่อ เสร็จแล้วประกอบเข้าด้วยกัน ใช้ผ้าชุบน้ำมันทาผิวแบบด้านในบาง ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้คอนกรีตติดแบบ

2. เทคอนกรีตที่ผสมเสร็จแล้วลงในแบบ โดยแบ่งเป็น 2 ชั้น แต่ละชั้นกระทุ้งด้วย Tamping rod จำนวน 1 ครั้ง ต่อพื้นที่ 10 ตร.ซม. ให้ทั่วพื้นที่ ชั้นบนให้ใส่คอนครีตจนล้น แล้วทำการกระทุ้งจนครบจำนวน

3. ใช้เกรียงเหล็กแต่งผิวหน้าให้เรียบร้อย แล้วใช้เหล็กเคาะด้านข้างของแบบเพื่อไล่ฟองอากาศออกจากคอนกรีต จากนั้นให้ใช้ผ้าชุบน้ำปิดไว้จนครบ 24 ชั่วโมง ทำการถอดแบบ แล้วนำไปบ่มจนครบกำหนดเวลาที่ต้องการ

วิธีการทดสอบ

1. นำแท่งตัวอย่างคอนกรีตมาวัดระยะทำเครื่องหมายที่จุดกึ่งกลางของคานหรือจุดที่จะให้ load กระทำบนคาน จากจุดกึ่งกลางนี้วัดออกไปด้านละ 45 ซม. ทำเครื่องหมายไว้เป็นจุดสำหรับวางบนฐานที่รองรับ (สำหรับการทดลองแบบ Centerpoint loadding)

2. วางคอนกรีตลงบนฐานรองรับ บนเครื่องกด (Testing machine) เลื่อนหัวกดและฐานรองรับให้ครบกับจุดที่ได้ทำเครื่องหมายไว้

3. เดินเครื่องเพิ่มแรงกดช้า ๆ อย่างต่อเนื่อง ในอัตราประมาณ 8 –12 กก. ต่อ ซม.จนกระทั่งคานแตก

4. ทำการวัดหาขนาดของคานบริเวณรอยแตก โดยทำการวัดหาความกว้าง(b) ความลึก(d) อย่างละ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยของรอยแตกนั้น

5. การคำนวณ

หากำลังรับแรง (Modulus of Rupture) จากสูตรต่อไปนี้

1. สำหรับการกดจุดเดียวที่จุดกึ่งกลาง (Center point loading)

$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$

R = กำลังรับแรงดัด (กก./ซม.^{2})

P = แรงที่จุดวิบัติของคาน (กก.)

L = ความยาวช่วงคาน (span) (ซม.)

B = ความกว้างคานเฉลี่ยบริเวณรอยแตก (ซม.)

D = ความลึกคานเฉลี่ยบริเวณรอยแตก (ซม.)

2. สำหรับการกดคานแบบ 2 จุด (Third point loading)

ก. เมื่อรอยขาดอยู่ในช่วงกลางคาน

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

ข. เมื่อรอยขาดอยู่นอกกลางคาน แต่อยู่ห่างจากช่วงกลางไม่เกิน 5 % ของช่วงคาน

$$R = \frac{3Pa}{Bd2}$$

เมื่อ a = ระยะเฉลี่ยจากรอยขาดด้านคานถึงฐานรองคานด้านใกล้รอยขาด

6. ตัวอย่างข้อมูลและผลการทดลอง

ขนาดใหญ่สุดของหิน	¾ (20 mm.)
ชนิดของปูนซีเมนต์	Portland Type I
Water cement ratio	0.51
ค่าการยุบตัวของคอนกรีต	7.5 – 12.5 เซนติเมตร
วันที่หล่อตัวอย่าง	31 สิงหาคม 2546

หมายเลขคาน		1	2
ขนาดคาน กว้าง	(ซม.)	15.66	15.35
ลึก	(ซม.)	15.76	15.20
ยาว	(ซม.)	101.8	101.4
ช่วงคาน (Span)	(ซม.)	90.0	90.0
แรงกดที่จุดวิบัติ	(กก.)	950	1140
กำลังรับแรงดัด	(กก./ซม.^{2})	32.97	43.40
อายุการบ่ม	(วัน)	7	14

หมายเหตุ ลองเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงดัดว่ามีค่าเป็นกี่เปอร์เซนต์ของกำลังแรงอัด(เมื่อคอนกรีต มีส่วนผสมเดียวกัน

7.ตัวอย่างการคำนวณ

1. กำลังรับแรงดัดในคาน

$$\text{กำลังรับแรงดัดในคาน} = \frac{3PL}{2bd^2}$$

$$\text{กำลังรับแรงดัดในคาน} = \frac{3(950)(90)}{2(15.66)(15.76)^2} = 32.97 \ \text{kg/cm}^2$$

การทดลองที่ 13

การทดสอบกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีต

ข้อมูลและผลการทดลอง

ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่..... ตรา.....

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ(หิน).....นิ้ว

Water Cement Ratio(w/c).....

ค่าการยุบตัวของคอนกรีต (Slump).....เซนติเมตร

วันที่ทำการหล่อตัวอย่างทดสอบ.....

รายละเอียด	1	2
ขนาดของคาน ความกว้าง.....(ซม.) ความลึก.....(ซม.) ความยาว.....(ซม.) ช่วงคาน (Span) .....(ซม.) แรงกดที่จุดวิบัติ .....(กก.) กำลังรับแรงดัด.....(กก./ตร.ม.) อายุการบ่ม.....(วัน)		

หมายเหตุ ลองเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงว่ามีค่าเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของกำลังรับแรงอัด(เมื่อคอนกรีตมีส่วนผสมเดียวกัน)

ตารางการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีต (Flexural Strength of Concrete)

No. 1	Load Kg.	DEF.(DIV) 0.005 mm./ div.	DEFLECTION (mm) x 10

No. 2	Load Kg.	DEF.(DIV) 0.005 mm./ div.	DEFLECTION (mm) x 10

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

MIX DESIGN

1.ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ

1.1 หลักการในการออกแบบส่วนผสม

1)เพื่อเลือกวัสดุผสมคอนกรีตที่เหมาะสม ได้แก่ ปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ให้เป็นไปตามข้อกำหนดและวัตถุประสงค์การใช้งาน

2)คำนวณหาสัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดและการใช้งานที่ต้องการทั้งในสภาพคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

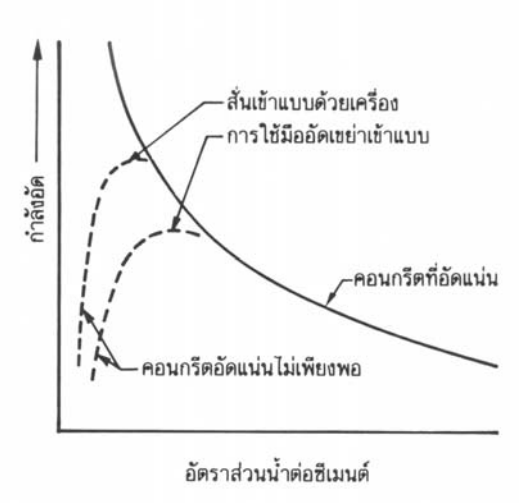
1.2 กำลังรับแรงอัด

ค่ากำลังอัดของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (water-cement ratio)โดยกำลังอัดจะเป็นสัดส่วนผกผันกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ดังรูปที่ 6.1 โดย

ถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์มาก $\Rightarrow$ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะต่ำ

ถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำ $\Rightarrow$ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะสูง

ในการผสมคอนกรีตถ้าสามารถรักษาอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ให้คงที่แล้ว แม้ส่วนผสมอื่นจะเปลี่ยนแปลงไปบ้าง กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์

1.3 ความสามารถในการเทได้

ความสามารถเทได้ของคอนกรีตมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณน้ำในส่วนผสม

ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น $\Rightarrow$ ความสามารถเทได้ของคอนกรีตเพิ่มขึ้น

การวัดความสามารถเทได้ควรกำหนดวิธีที่เหมาะสม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 วิธีการวัดความสามารถเทได้ของคอนกรีต

ประเภทของคอนกรีต	วิธีการวัดความสามารถเทได้
1)คอนกรีตแข็งหรือกระด้างมาก 2)คอนกรีตทั่วๆไป 3)คอนกรีตเหลวมาก	-วัดโดยหาค่าเวลา Vebe (Vebe Test) -วัดค่ายุบตัว (Slump Test) -วัดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอนกรีตที่แผ่กระจายออก (Flow Test)

คอนกรีตสดควรมีความข้นเหลวพอเหมาะที่จะเทเข้าแบบได้สะดวก ถ้าคอนกรีตเหลวเกินไป จะทำให้เกิดการแยกตัวขณะลำเลียงและเท และทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลง ไม่ทนทาน และมีโอกาสแตกร้าวง่าย

1.4 ความทนทาน

คอนกรีตที่ใช้งานในสภาพปกติโดยทั่วไป จะมีความทนทานอยู่ในเกณฑ์ที่หน้าพอใจ แต่ถ้าคอนกรีตอยู่ในในสภาวะที่เกิดการกัดกร่อนรุนแรง เช่นโครงสร้างในน้ำทะเลความทนทานจะลดลง อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์มีผลต่อความทนทานของคอนกรีต ดังนั้นจึงมีการกำหนดอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมกับคอนกรีตที่สภาวะต่างๆ

2. วิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

2.1 มาตรฐานการออกแบบคอนกรีต

ในการออกแบบจะต้องออกแบบคอนกรีตให้มีกำลังอัดมากกว่ากำลังอัดของงานที่กำหนดไว้ ดังสมการ

$$f_{cr} = fc' + ks$$

f_{cr} = กำลังอัดเฉลี่ยที่ผู้ผลิตคอนกรีตต้องการผลิต

fc' = กำลังอัดที่กำหนดไว้ในแบบ

ks = ส่วนเผื่อซึ่งประกอบด้วย

k = ค่าคงที่ดังตารางที่ 2

s = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัด จากก้อนตัวอย่าง 30 ค่า หรือมากกว่า

ตารางที่ 2 ค่าคงที่ k

ค่าร้อยละของกำลังที่ต่ำกว่า fc'	ค่า k
20	0.842
10	1.282
5	1.645
2.5	1.960
2	2.054
1	2.326
0	3.000

ตัวอย่างการออกแบบ ถ้าในข้อกำหนดให้ใช้คอนกรีตกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ (fc') 240 กก./ตร.ซม. โดยคอนกรีตที่ผลิตทั่วไปมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s) 40 กก./ตร.ซม. ผู้ผลิตต้องผลิตคอนกรีตที่มีค่ากำลังอัดดังนี้

ค่าร้อยละของกำลังอัดของก้อนตัวอย่างที่ต่ำกว่า fc'	ส่วนเผื่อ ks (กก./ตร.ซม.)	กำลังอัดเฉลี่ยที่ต้องการผลิต (กก./ตร.ซม.)
20	0.842 x 40 = 34	240 + 34 = 274
10	1.282 x 40 = 51	240 + 51 = 291
5	1.645 x 40 = 66	240 + 66 = 306
2.5	1.960 x 40 = 78	240 + 78 = 318
2	2.054 x 40 = 82	240 + 82 = 322
1	2.326 x 40 = 93	240 + 93 = 333
0	3.000 x 40 = 120	240 + 120 = 360

จากตาราง จะพบว่า ถ้ากำหนดให้ค่าร้อยละของกำลังอัดของก้อนตัวอย่างที่ผลิตต่ำกว่า fc' น้อยลงเรื่อย ๆ ผู้ผลิตต้องออกแบบให้มี “ส่วนเผื่อ” เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

ตามมาตรฐานทั่วไปที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมคอนกรีต ผู้ผลิตจะต้องออกแบบให้โอกาสที่กำลังอัดเฉลี่ยต่ำกว่ากำลังอัดที่ออกแบบไม่เกิน 5% ในตัวอย่างนี้ผู้ผลิตต้องผลิตคอนกรีตที่มีค่ากำลังอัดเฉลี่ย 306 กก./ตร.ซม.

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจำเป็นต้องหาจากแท่งตัวอย่าง อย่างน้อย 30 ก้อน จึงจะให้ความเชื่อถือทางสถิติได้เพียงพอ แต่ถ้าการทดสอบน้อยกว่า 30 ก้อน ก็อนุโลมได้โดยใช้ตัวคูณดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อตัวอย่างน้อยกว่า 30 ค่า

จำนวนตัวอย่าง	ตัวคูณสำหรับค่าเบี่ยงเบนตามมาตรฐาน
น้อยกว่า 15	ใช้ตารางที่ 4
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 หรือ มากกว่า	1.00

ในกรณีที่ไม่มีผลการทดลองหรือผลการทดลองน้อยกว่า 15 ค่า กำลังอัดของคอนกรีตที่จะต้องผลิต ต้องสูงกว่ากำลังอัดที่กำหนด ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ส่วนเผื่อเมื่อไม่มีผลทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

ค่ากำลังอัดที่กำหนด (f_c')	กำลังอัดที่ต้องเพิ่ม
น้อยกว่า 210	70
210-350	85
350 หรือมากกว่า	100

2.2 การออกแบบตามมาตรฐานอเมริกา (ACI 211.3R-97)

ในการหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตธรรมดา (Normal Weight Concrete) ตามมาตรฐานของอเมริกานี้ จำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบต้องทราบคุณสมบัติต่าง ๆ กล่าวคือ

- ปูนซีเมนต์

- ความถ่วงจำเพาะ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 188 แต่สามารถใช้ค่า 3.15 สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั่วไป

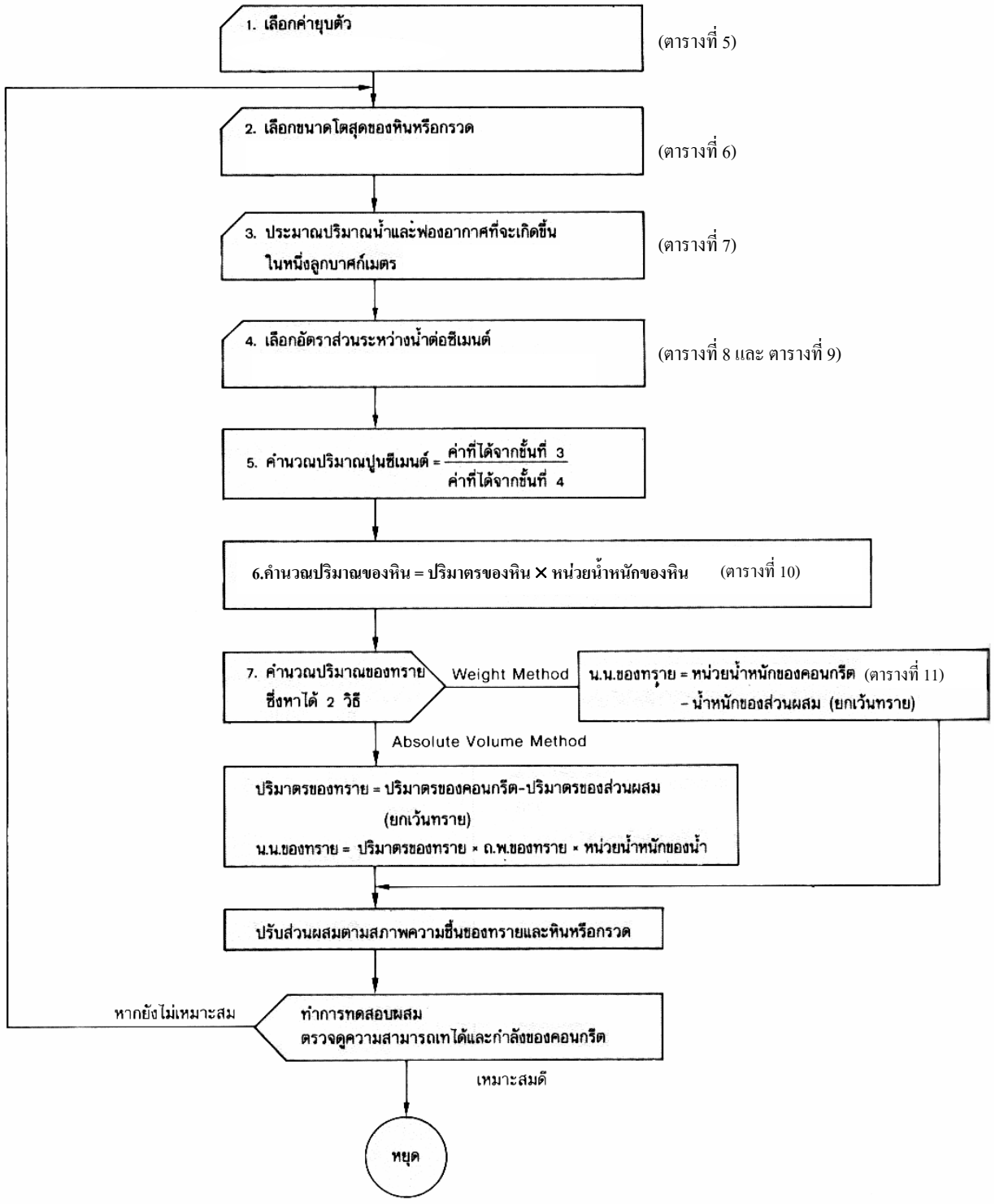
- มวลรวม

- ขนาดคละ ควรมีส่วนคละตามมาตรฐาน ASTM C 33
- ความถ่วงจำเพาะ

  ทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 128

  หิน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 127
- ความชื้น ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 70 และ ASTM C 566
- ความละเอียดของทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 125
- หน่วยน้ำหนักของมวลรวม ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 29

เมื่อทราบคุณสมบัติต่าง ๆ ดังกล่าวแล้ว จึงหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตตามขั้นตอนที่แสดงในแผนภาพรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพการหาสัดส่วนคอนกรีต

ตารางที่ 5 ค่าความยุบตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างประเภทต่าง ๆ

ประเภทงาน	ค่าความยุบตัว (ซม.)	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
งานฐานราก กำแพง คอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก งานก่อสร้างใต้น้ำ	8.0	2.0
งานพื้น คาน และผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานพื้นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานคอนกรีตขนาดใหญ่	5.0	2.0

ตารางที่ 6 ขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่าง ๆ

ขนาดความหนาของโครงสร้าง (ซม.)	ขนาดโตสุดของวัสดุผสม							
	คาน ผนัง และเสา คสล.		ผนังคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก		พื้นถนน คสล. รับน้ำหนักมาก		พื้นคอนกรีตรับน้ำหนักน้อย	
	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.
5.0-15.0	½- ¾	12.5-20	¾	20	¾-1	20.25	¾-1 ½	20-40
15.0-30.0	¾-1 ½	20.40	1 ½	40	1 ½	40	1 ½-3	40-75
30.0-75.0	1 ½-3	40-75	3	75	1 ½-3	40-70	3	75
มากกว่า 75.0	1 ½-3	40-75	6	150	1 ½-3	40-75	3-6	75-150

ตารางที่ 7 ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความยุบตัวและวัสดุผสมขนาดต่าง ๆ

ค่าความยุบตัว (ซม.)	ปริมาณน้ำเป็นลิตรต่อคอนกรีต 1 ม.^{3} สำหรับวัสดุผสมขนาดต่าง ๆ							
	3/8" (10 มม.)	½" (12.5 มม.)	¾" (20 มม.)	1" (25 มม.)	1 ½" (40 มม.)	2" (50 มม.)	3" (75 มม.)	6" (150 มม.)
	คอนกรีตที่ไม่มีสารกระจายกักฟองอากาศ (Non Air Entraining Concrete)							
3-5	205	200	185	180	160	155	145	125
8-10	225	215	200	195	175	170	160	140
15-18	240	230	210	205	185	180	170	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
	คอนกรีตที่มีสารกระจายกักฟองอากาศ (Air Entraining Concrete)							
3-5	180	175	165	160	145	140	135	120
8-10	200	190	180	175	160	155	150	135
15-18	215	205	190	185	170	165	160	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

ตารางที่ 8 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดเผยรุนแรง

ชนิดของโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปียกตลอดเวลา หรือมีการเยือกแข็งและการละลายของน้ำสลับกันบ่อย ๆ (เฉพาะคอนกรีตกระจายกักฟองอากาศเท่านั้น)	โครงสร้างในน้ำทะเลหรือสัมผัสกับซัลเฟต
โครงสร้างบาง ๆ ที่มีเหล็กหุ้มบางกว่า 3 ซม.	0.45	0.40*
โครงสร้างอื่น ๆ ทั้งหมด	0.50	0.45*

* ถ้าใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต อาจเพิ่มค่าอัตราส่วนนำต่อซีเมนต์นี้ได้อีก 0.05

ตารางที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

กำลังอัดประลัยของคอนกรีต ที่ 28 วัน (กก./ตร.ซม.)	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตไม่กระจายกักฟองอากาศ	คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

หมายเหตุ ค่าที่ใช้จากตารางนี้ ทำการทดลองจากแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดมาตรฐาน ø 15 x 30 ซม. ถ้าแท่งตัวอย่างเป็นแบบลูกบาศก์ ค่ากำลังอัดประลัยจะสูงกว่าค่าในตารางประมาณ 20%

ตารางที่ 10 ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต

ขนาดโตสุดของหิน	ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีต สำหรับค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายต่าง ๆ กัน			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8” (10 มม.)	0.50	0.48	0.46	0.44
½” (12.5 มม.)	0.59	0.57	0.55	0.53
¾” (20 มม.)	0.66	0.64	0.62	0.60
1” (25 มม.)	0.71	0.69	0.67	0.65
1 ½”(40 มม.)	0.76	0.74	0.72	0.70
2” (50 มม.)	0.78	0.76	0.74	0.72
3” (75 มม.)	0.81	0.79	0.77	0.75
6” (150 มม.)	0.87	0.85	0.83	0.81

หมายเหตุ ค่าที่กำหนดให้ เป็นค่าสำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่ว ๆ ไป สำหรับงานคอนกรีตที่ทำได้ง่ายกว่า เช่น ถนนพื้น เป็นต้น อาจเพิ่มค่าเหล่านี้ขึ้นได้อีก 10 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 11 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดโดยประมาณ

ขนาดโตสุดของหิน	หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต (กก./ตร.ซม.)	
	คอนกรีตที่ไม่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศ	คอนกรีตที่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศ
3/8" (10 มม.)	2285	2190
½" (12.5 มม.)	2315	2235
¾" (20 มม.)	2355	2280
1" (25 มม.)	2375	2315
1 ½" (40 มม.)	2420	2355
2" (50 มม.)	2445	2375
3" (75 มม.)	2465	2400
6" (150 มม.)	2505	2435

ตัวอย่างการหาสัดส่วนผสมตามมาตรฐานอเมริกา

จงหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตสำหรับงานเทเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยต้องการกำลังอัดประลัยเฉลี่ย (fc') ของคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 250 โดยให้โอกาสที่ก้อนตัวอย่างก้อนต่ำกว่าที่ออกแบบไว้ได้ไม่เกิน 5% (k = 1.645) และค่า s = 30 กก./ตร.ซม. กำหนดให้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งมีความถ่วงจำเพาะ 3.15 มวลรวมหยาบขนาดโตสุด 20 มม. (3/4") มีความถ่วงจำเพาะ 2.70 ค่าการดูดซึม 0.5% และมีหน่วยน้ำหนัก (แห้งและอัดแน่น) เป็น 1600 กก./ลูกบาศก์เมตร มวลรวมละเอียดมีความถ่วงจำเพาะ 2.60 ค่าการดูดซึม 0.7% และมีโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.80

วิธีทำ ทำตามลำดับขั้นดังนี้

1. กำลังที่ต้องผลิต = $fc' + ks$

   = $250 + (1.645 \times 30)$ = 300

2. จากข้อมูลในตารางที่ 6.5 และแนวทางปฏิบัติทั่ว ๆ ไป เห็นว่าควรใช้ค่าความยุบตัว 8-10 ซม.

3. ข้อกำหนดให้ใช้ขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบเป็น 20 มม.

4. จากตารางที่ 6.7 เมื่อขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบเป็น 20 มม. ค่าความยุบตัว 8-10 ซม. ไม่ต้องใช้สารกักกระจายฟองอากาศจะได้ปริมาณน้ำที่ต้องใช้ = 200 ลิตร/ลบ.เมตร ของคอนกรีต

5. จากตารางที่ 6.9 สำหรับคอนกรีตที่ต้องการกำลัง 300 กก./ตร.ซม. จะได้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักที่ต้องใช้ = 0.55

6. ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการ = $\frac{200}{0.55}$ = 364 กก.

7. หาปริมาณของวัสดุผสมหยาบ จากตารางที่ 6.8 เมื่อค่าโมดูลัสความละเอียดของวัสดุผสมละเอียดเท่ากับ 2.80 และขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบเป็น 20 มม. จะได้ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่น = 0.62 ลบ.เมตร/ลบ.เมตรของคอนกรีต

   หน่วยน้ำหนักของหิน = 1600 กก./ลบ.เมตร

   ดังนั้นน้ำหนักของวัสดุผสมหยาบที่ใช้ = 0.62×1600 = 992 กก./ลบ.เมตร ของคอนกรีต

8. หาปริมาณของวัสดุผสมละเอียด

ปริมาตรเนื้อแท้ของส่วนผสม :

ปริมาตรของน้ำ	=	$\frac{200}{1000}$	=	0.200	ม.^{3}
ปริมาตรของซีเมนต์	=	$\frac{364}{3.15 \times 1000}$	=	0.116	ม.^{3}
ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบ	=	$\frac{992}{2.70 \times 1000}$	=	0.367	ม.^{3}
ปริมาตรของฟองอากาศ	=	0.02 x 1.0	=	0.020	ม.^{3}
ดังนั้น ปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นทราย			=	0.703	ม.^{3}
ปริมาตรของทรายที่ต้องใช้	=	1-0.703	=	0.297	ม.^{3}
น้ำหนักของทรายแห้ง	=	0.297 x 2.60 x 1000	=	772	กก.

ฉะนั้น คอนกรีต 1 ลบ.เมตร ต้องใช้

ซีเมนต์	364	กก.
น้ำ	200	กก.
วัสดุผสมหยาบ	992	กก.
วัสดุผสมละเอียด	772	กก.
รวมน้ำหนักทั้งหมด	2328	กก.

2.3 การออกแบบส่วนผสมที่เหมาะกับประเทศไทย

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทยนี้ เป็นวิธีการออกแบบที่นำมาตรฐานการออกแบบของประเทศอเมริกา และของประเทศอังกฤษมาประยุกต์ให้เข้ากับสภาพของวัตถุดิบที่มีใช้ในประเทศไทย คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในประเทศไทยได้ถูกทดสอบและเก็บรวบรวมหาค่าเฉลี่ยดังค่าในตารางที่ 6.12

ตารางที่ 12 ค่ามาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ

วัตถุดิบ	ค่าความถ่วงจำเพาะ (Sp. gr.)	ค่าการดูดซึม (%)
ปูนซีเมนต์	3.15	-
หินย่อย	2.70	0.50
ทรายแม่น้ำ	2.65	0.70

- ปริมาณน้ำและค่ายุบตัว

ปริมาณน้ำที่ทำให้ได้ค่ายุบตัวมาตรฐานเมื่อใช้หินย่อยและทรายแม่น้ำที่อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) แสดงไว้ในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ปริมาณน้ำเพื่อให้ได้ค่ายุบตัวตามต้องการ

ค่ายุบตัว (ซม.)	ปริมาณน้ำต่อ 1 ลบ.ม. คอนกรีต	
	หินย่อยขนาด 1”- # 4	หินย่อยขนาด ¾”- # 4
7.5 ± 2.5	180	190
10.0 ± 2.5	190	200
12.5 ± 2.5	200	210

- ปริมาณส่วนละเอียด

จากการประยุกต์การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานต่าง ๆ ทำให้สามารถสรุปได้ว่าเมื่อใช้หินย่อย และทรายแม่น้ำเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในประเทศไทย ปริมาณส่วนละเอียดอันได้แก่ปริมาณปูนซีเมนต์ และปริมาณทรายที่เหมาะสมที่จะทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ ไม่แยกตัว และได้กำลังอัดตามต้องการ มีค่าดังแสดงในตารางที่ 6.14

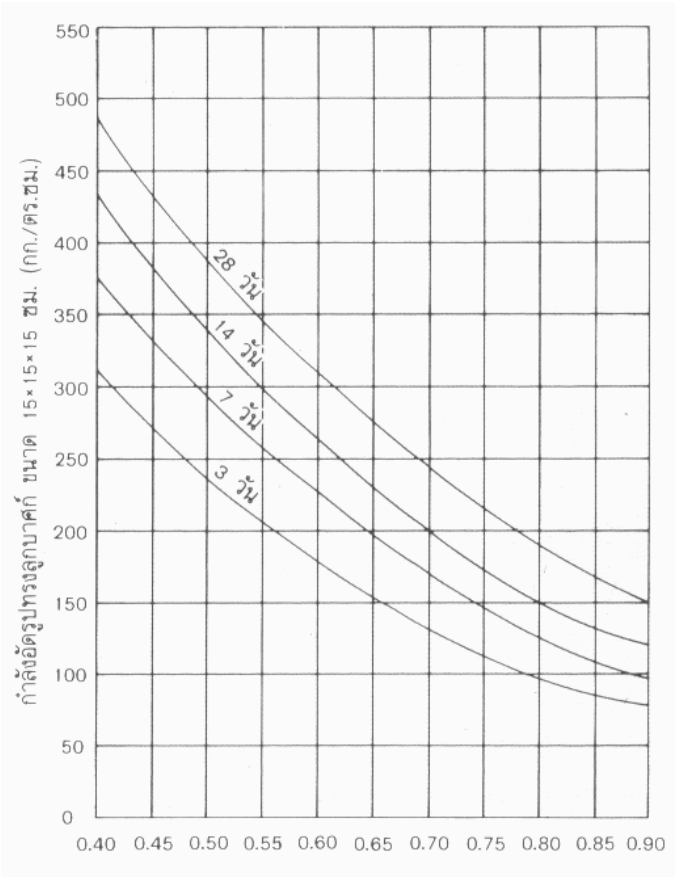
ตารางที่ 14 ปริมาณส่วนละเอียดเมื่อใช้หินขนาดใหญ่สุดแตกต่างกัน

ขนาดหิน	ปริมาตรปูนซีเมนต์ + ปริมาตรทราย
1” - # 4	38% โดยปริมาตร หรือ 380 ลิตร
¾” # 4	40% โดยปริมาตร หรือ 400 ลิตร

สำหรับงานพิเศษบางประเภท เช่น งานคอนกรีตเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ที่มีค่ายุบตัวมากกว่า 15 ซม. นั้น ในการออกแบบอาจจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณส่วนละเอียดขึ้นไปเป็น 42-45% โดยปริมาตรเพื่อป้องกันปัญหาการแยกตัวของคอนกรีต

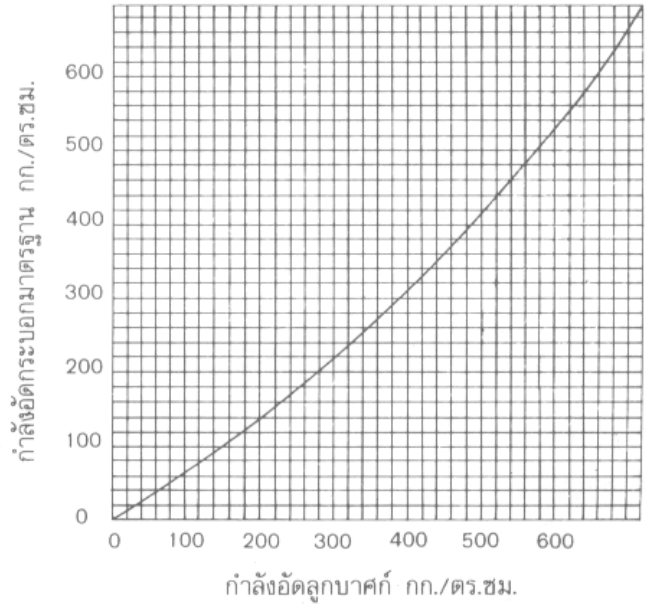
- อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และค่ากำลังอัด

กำลังอัดของคอนกรีตเป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ความสัมพันธ์ดังกล่าว สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่ผลิตใช้ในประเทศไทย แสดงในกราฟรูปที่ 6.3



รูปที่ 3 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และค่ากำลังอัดคอนกรีต

ถ้าต้องการใช้กำลังอัดรูปทรงกระบอกในการออกแบบมาตรฐาน วสท. ได้กำหนดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดทั้ง 2 รูปทรงไว้ ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4



รูปที่ 4 การแปลงกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก

- ผลของน้ำยาต่อการออกแบบส่วนผสม

น้ำยาผสมคอนกรีตที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทยมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ

1. ลดน้ำในส่วนผสม
2. ยืดเวลาการก่อตัวของคอนกรีต

น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทลดน้ำนี้ เมื่อผสมเข้าไปในส่วนผสมจะส่งผลให้ลดปริมาณน้ำได้ 5-10% ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ปริมาณน้ำเพื่อให้ได้ค่ายุบตัวตามต้องการเมื่อใส่น้ำยาประเภทลดน้ำ

ค่ายุบตัว (ซม.)	ปริมาณน้ำต่อ 1 ลบ.ม. คอนกรีต เมื่อใส่น้ำยาประเภทน้ำ	
	หินย่อยขนาด 1" – # 4	หินย่อยขนาด ¾" - # 4
7.5 ± 2.5	170	180
10.0 ± 2.5	180	190
12.5 ± 2.5	190	200

นอกจากนี้ในปัจจุบันยังนิยมใช้น้ำยาประเภทลดน้ำจำนวนมาก หรือน้ำยา Superplasticizer ซึ่งสามารถลดน้ำได้ 15-30% ดังนั้นปริมาณน้ำที่จะใช้เพื่อให้ได้ค่ายุบตัวมาตรฐานจะลดลงไปด้วย

- ขั้นตอนในการออกแบบ

ขั้นตอนในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต สามารถสรุปได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ (1)

รวบรวมความต้องการของผู้ออกแบบหรือผู้รับเหมา เช่น

- กำลังอัด
- ค่ายุบตัว
- ขนาดใหญ่สุดของหินที่จะใช้
- ใส่น้ำยาผสมคอนกรีตหรือไม่

ขั้นตอนที่ (2)

1) หาปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อให้ได้ค่ายุบตัวตามต้องการ

2) หาค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดตามต้องการ จากกราฟอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และค่ากำลังอัด รูปที่ 11.9

3) หาค่าน้ำหนักซีเมนต์ = ปริมาณน้ำ/ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

ขั้นตอนที่ (3)

$$\text{ปริมาตรซีเมนต์} = \frac{\text{น้ำหนักปูนซีเมนต์}}{\text{ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์}}$$

ขั้นตอนที่ (4)

ปริมาตรทราย = (380 หรือ 400) – ปริมาตรปูนซีเมนต์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ (5)

น้ำหนักทราย = ปริมาตรทราย x ความถ่วงจำเพาะของทราย

ขั้นตอนที่ (6)

ปริมาตรหิน = 1000 – ปริมาตรซีเมนต์ – ปริมาตรน้ำ** - ปริมาตรทราย

ขั้นตอนที่ (7)

น้ำหนักหิน = ปริมาตรหิน x ความถ่วงจำเพาะของหิน

ขั้นตอนที่ (8)

หาปริมาตรน้ำยาที่ใช้

* คอนกรีต 1 ลบ.ม. มีปริมาตร 1000 ลิตร

** ปริมาตรน้ำ = น้ำหนักน้ำ

ตัวอย่างการออกแบบคอนกรีต

ถ้าผู้ออกแบบต้องการใช้คอนกรีตที่กำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ 240 กก./ตร.ซม. โดยต้องมีส่วนเผื่อ (margin) 60 กก./ตร.ซม. โครงสร้างพื้นอาคาร โดยมีข้อกำหนดอื่น ๆ ดังนี้

ค่ายุบตัว 7.5 ± 2.5 ซม. ใช้หินขนาด ¾" - # 4 และใส่น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทลดน้ำและยืดเวลาการแข็งตัว

การออกแบบจะทำดังนี้

ขั้นตอนที่ (1) รวบรวมความต้องการของลูกค้า

1. กำลังอัดที่ออกแบบ 240 กก./ตร.ซม. และกำลังอัดที่ต้องผลิตคือ 240 + 60 = 300 กก./ตร.ซม.
2. ค่ายุบตัว 7.5 ± 2.5 ซม.
3. ขนาดหิน ¾" - # 4
4. ใส่น้ำยาลดน้ำและยืดเวลาการแข็งตัว

ขั้นตอนที่ (2) ปริมาณน้ำที่ใช้และน้ำหนักซีเมนต์

- หาปริมาณน้ำจากตารางที่ 11.19 ค่ายุบตัว 7.5 ± 2.5 ซม. ใช้หิน ¾" - # 4 ใส่น้ำยาผสมคอนกรีต
  ปริมาณน้ำที่จะใช้ 180 ลิตร/ลบ.ม. คอนกรีต
- หาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ จากกราฟรูปที่ 11.9 ซึ่งได้ค่า W/C = 0.61
- น้ำหนักซีเมนต์ 180/0.61 = 295 กก.

ขั้นตอนที่ (3) หาปริมาตรซีเมนต์

ปริมาตรซีเมนต์ = น้ำหนักซีเมนต์/ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์

= 295/3.15

= 94 ลิตร

ขั้นตอนที่ (4) หาปริมาตรทราย

เนื่องจากที่ใช้ขนาด ¾" - # 4

ปริมาตรซีเมนต์ + ปริมาตรทราย = 40% หรือ 400 ลิตร

ปริมาตรทราย = 400-94 (ค่านี้ได้จากขั้นตอนที่ (3))

= 306 ลิตร

ขั้นตอนที่ (5) หาน้ำหนักทราย

น้ำหนักทราย = ปริมาตรทราย x ความถ่วงจำเพาะของทราย

= 305 x 2.65

= 811 กิโลกรัม

ขั้นตอนที่ (6) หาปริมาตรหิน

ปริมาตรหิน = 1000 – ปริมาตรซีเมนต์ – ปริมาตรน้ำ – ปริมาตรทราย

= 1000 – 94 – 180 – 306

= 420 ลิตร

ขั้นตอนที่ (7) หาน้ำหนักของหิน

น้ำหนักหิน = ปริมาตรหิน x ความถ่วงจำเพาะของหิน

= 420 x 2.70

= 1134 กิโลกรัม

ขั้นตอนที่ (8) หาปริมาตรน้ำยาที่ใช้ (สมมติว่าปริมาณน้ำยาที่ผู้ผลิตแนะนำคือ 250 ซีซี./100 กก.ซีเมนต์)

ปริมาณน้ำยาที่ใช้ = น้ำหนักซีเมนต์ x ปริมาณที่ใช้

$$= 295 \times \frac{250}{100}$$

= 737 ซีซี

ในการหาสัดส่วนผสมความละเอียดของส่วนผสมควรเป็นดังนี้

ซีเมนต์	ละเอียดถึง	5	กก.
น้ำ	ละเอียดถึง	5	ลิตร
หินและกรวด	ละเอียดถึง	5	กก.
น้ำยาผสมคอนกรีต	ละเอียดถึง	50	ซีซี

(ยกเว้นน้ำยาเพิ่มฟองอากาศ)

สรุป ส่วนผสมใน 1 ลบ.ม. คอนกรีตเป็นดังนี้

ซีเมนต์	295	กก.
น้ำ	180	ลิตร
ทราย	810	กก.
หิน	1135	กก.
น้ำยาผสมคอนกรีต 750	ซีซี	

<u>การออกแบบส่วนผสมโดยปริมาตร</u> เช่น 1:2:4

คือ ใช้ ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน หิน 4 ส่วน โดยปริมาตร ซึ่งสามารถแปลงเป็นส่วนผสมโดนน้ำหนักได้ดังนี้ กำหนดให้ หน่วยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ = 1400 กก./ลบ.ม.

หน่วยน้ำหนักของทราย = 1450 กก./ลบ.ม.

หน่วยน้ำหนักของหิน = 1500 กก./ลบ.ม.

การคำนวณ

ปูน 1 ถุง 50 กก. มีปริมาตร	=	50/1400 =	0.036	ลบ.ม.
ทราย 2 ส่วน มีปริมาตร	=	0.036x 2 =	0.072	ลบ.ม.
น.น. ทราย	=	0.072x 1450 =	104	กก.
หิน 4 ส่วน มีปริมาตร	=	0.036x 4 =	0.144	ลบ.ม.
น.น. หิน	=	0.144x 1500 =	223	กก.

ปริมาณน้ำสำหรับปูน 1 ถุง เพื่อให้ยุบตัว 10 ซม. = 30 ลิตร (fc' =260 ksc.)

น้ำหนักส่วนผสมเมื่อใช้ปูน 1 ถุง = 50+104+216+30 กก.

= 400 kg.

หน่วยน้ำหนักคอนกรีต = 2400 กก./ลบ.ม.

ต้องใช้ปริมาณปูน = 2400/400 = 6.0 ถุง = 300 กก./ลบ.ม.

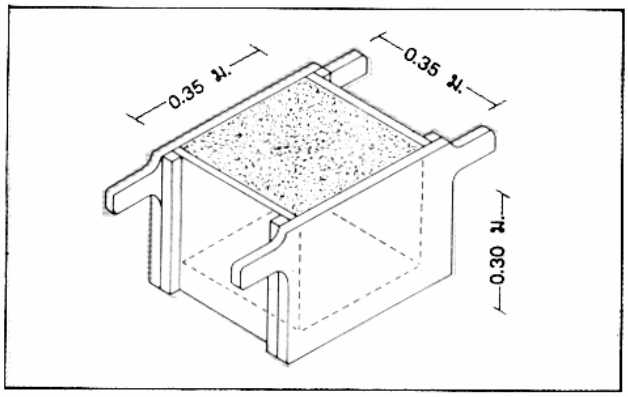
สรุปส่วนผสมใน 1 ลบ.ม.

ปูนซีเมนต์	=	300	กก./ลบ.ม.
ทราย	=	624	กก./ลบ.ม.
หิน	=	1296	กก./ลบ.ม.
น้ำ	=	180	กก./ลบ.ม.

ค่ายุบตัวประมาณ 10 ซม.

<u>- ข้อเสนอแนะ</u>

1) ถ้าผสมคอนกรีตโดยปริมาตร เพื่อให้ได้ปริมาตรที่แน่นอนและสม่ำเสมอ ควรจัดทำกระบะไม้มาตรฐานสำหรับตวงส่วนผสม โดยกำหนดให้กระบะไม้นี้มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรซีเมนต์ 1 ถุง หรือ 50 กก. ซึ่งกระบะไม้นี้จะมีขนาดกว้าง 0.35 ม. ยาว 0.35 ม. สูง 0.30 ม. ดังแสดงในรูปที่ 6.6



รูปที่ 6 กะบะไม้มาตรฐานใช้ในการตวงปริมาตร หิน ทราย

2) ในการกำหนดสัดส่วนผสมโดยปริมาตรนี้ไม่ได้กำหนดปริมาณน้ำ ซึ่งอาจมีการใช้น้ำในปริมาณที่มากเกินไป ทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำกว่าที่ควรจะเป็น

3) ในประเทศไทยมีปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการก่อสร้างทั่ว ๆ ไป อยู่ 2 ประเภทคือ ปูนซีเมนต์ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 การกำหนดสัดส่วนผสมโดยวิธีนี้ควรจะบ่งชี้ไปในแบบด้วยว่าจะใช้ปูนซีเมนต์ชนิดใด เพราะปูนซีเมนต์ทั้ง 2 นี้ ให้ค่ากำลังอัดที่แตกต่างกันมาก

2.4 การปรับส่วนผสมเมื่อหินทรายไม่อยู่ในสภาพที่ออกแบบ

ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต น้ำหนักของหินทรายที่ได้นั้นคือ น้ำหนักของหินทรายที่อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง แต่สภาพหินทรายที่ใช้โดยทั่วไปไม่ได้อยู่ในสภาพที่ออกแบบ ทำให้ต้องมีการปรับส่วนผสมให้ถูกต้อง

ค่าการดูดซึมของหินย่อยและทรายแม่น้ำที่ใช้อยู่ทั่วไปในประเทศไทย

หิน การดูดซึม 0.5%

ทราย การดูดซึม 0.7%

และสภาพหินทรายทั่ว ๆ ไปจะเป็นดังนี้

- ทราย อยู่ในสภาพเปียกทั่ว ๆ ไป มีความชื้นทั้งหมดอยู่ระหว่าง 2-8%
- หิน อยู่ในสภาพแห้งในอากาศ

- ตัวอย่างการปรับส่วนผสมคอนกรีต

ถ้าสัดส่วนผสมคอนกรีตเป็นดังนี้

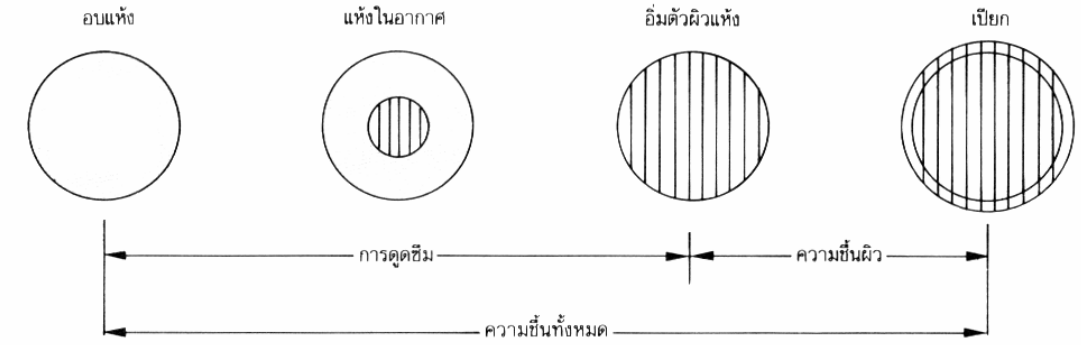
ปูนซีเมนต์	295	กก.
น้ำ	180	ลิตร
ทราย	810	กก.
หิน	1135	กก.
น้ำยา	750	ซีซี
ค่ายุบตัว	7.5 ± 2.5	ซม.

- สภาพหินทราย

หินทรายโดยทั่วไปจะมีอยู่ 4 สภาพดังนี้

1) อบแห้ง (Oven Dry)
2) แห้งในอากาศ (Air Dry)
3) อิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry)
4) เปียก (Wet)

ซึ่งแสดงดังรูปที่ 6.7

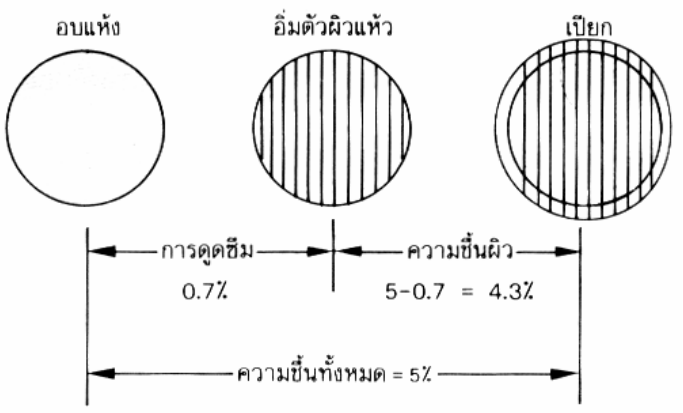


รูปที่ 7 สภาพความชื้นของมวลรวม

กำหนดให้

ทรายมีความชื้น 5% การดูดซึม 0.7%

หินอยู่ในสภาพ อิ่มตัวผิวแห้งการดูดซึม 0.5%



นั่นคือน้ำหนักทราย 100 กก. มีน้ำมากไป = 4.3 กก.

นั่นคือน้ำหนักทราย 810 กก. มีน้ำมากไป = $\frac{4.3 \times 810}{100}$ = 34.08 กก.

∴ จะต้องชั่งทรายเพิ่มขึ้นเป็น = 810 + 34.8 = 844.8 กก.

เนื่องจากหินอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งจึงไม่ต้องปรับความชื้น

ดังนั้นจะต้องใส่น้ำในส่วนผสมทั้งสิ้น = 180 – 34.8 ลิตร

= 145.2 ลิตร

<u>อัตราส่วนผสมที่ต้องชั่ง</u>

ซีเมนต์	295	กก.
น้ำ	145	ลิตร
ทราย	845	กก.
หิน	1135	กก.
น้ำยา	750	ซีซี