

## บทที่ 18

### การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

#### 18.1 หลักการในการออกแบบส่วนผสม

เป้าหมายหลักของการหาส่วนผสมของคอนกรีตหรือการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต มีด้วยกัน 2 ประการคือ

1) เพื่อเลือกวัสดุผสมคอนกรีตที่เหมาะสมอันได้แก่ ปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ น้ำยาผสมคอนกรีต ให้เป็นไปตามข้อกำหนดและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

2) คำนวณหาส่วนผสมของวัสดุผสมนี้ เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติเหมาะสมตามข้อกำหนดและการใช้งานทั้งในสภาพคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ในราคาที่เหมาะสมที่สุด

เพื่อให้บรรลุเป้าหมายข้างต้นผู้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตต้องพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ต่อไปนี้

- การหาได้ของวัสดุผสมคอนกรีต
- การผันแปรในคุณสมบัติของวัสดุผสม
- ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนผสมกับธรรมชาติของวัสดุผสม
- การผันแปรของคุณสมบัติที่ต้องการในสภาพการใช้งาน

#### 18.2 ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการออกแบบ

การออกแบบและเลือกใช้คอนกรีตให้เหมาะกับงานก่อสร้างนั้นจะต้องพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งอาจกระทบต่อการเลือกใช้คอนกรีตประเภทนั้น ๆ โดยสามารถแยกพิจารณาได้เป็น 2 ประการคือ

1. ปัจจัยด้านเทคนิค
2. ปัจจัยด้านราคา

##### ปัจจัยด้านเทคนิค

วิศวกรผู้ออกแบบต้องพิจารณาปัจจัยด้านเทคนิคซึ่งแบ่งตามสภาพของคอนกรีตได้เป็น 2 ประการคือ

##### 1. สภาพที่คอนกรีตยังเหลวอยู่

ปัจจัยที่ต้องพิจารณา 2 ประการ คือ

- ความสามารถเทได้
- การอยู่ตัว

โดยผู้ออกแบบควรเลือกคอนกรีตสดที่มีคุณสมบัติ ดังนี้

1. มีความเหลวเพียงพอต่อการใช้งาน คือ คอนกรีตสามารถไหลลื่นเข้าไปเต็มทุก ๆ ส่วนของแบบหล่อ
  2. ต้องไม่แยกตัวระหว่างการขนย้ายหรือการเท
  3. ต้องสามารถอัดตัวแน่นในแบบหล่อได้อย่างดี
- วิธีการใช้วัดความสามารถเทได้ของคอนกรีตที่ใช้กันแพร่หลาย คือ การวัดค่ายุบตัว ตัวอย่างค่ายุบตัวที่เหมาะสมกับงานก่อสร้างทั่ว ๆ ไปในประเทศไทย แสดงในตารางที่ 18.1

งานก่อสร้าง	ค่ายุบตัว (ซม.)
โครงสร้างทั่วไป	7.5 ± 2.5
เสาหรือผนังบาง	10.0 ± 2.5
งานที่เทด้วยคอนกรีตปั๊ม	10.0 ± 2.5
เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่	มากกว่า 15.0
โครงสร้างที่มีเหล็กเสริมหนาแน่น	มากกว่า 15.0

ตารางที่ 18.1 ค่าการยุบตัวที่เหมาะสมกับงานประเภทต่าง ๆ

สำหรับปัจจัยด้านการอยู่ตัว หมายถึง คอนกรีตจะคงความสม่ำเสมอของเนื้อคอนกรีตตลอดการใช้งาน โดยไม่เกิดการแยกตัวและไม่เกิดการย่ิม ในปัจจุบันยังไม่มีเครื่องมือหรืออุปกรณ์ในการวัดการอยู่ตัว โดยทั่วไปจะใช้การสังเกตเป็นหลัก

##### 2. สภาพที่คอนกรีตแข็งตัวแล้ว

ปัจจัยที่ผู้ออกแบบต้องพิจารณาที่สำคัญ 2 ประการคือ

- กำลัง
- ความทนทาน

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่สำคัญรองลงมาอีก 2 ประการ คือ

- การเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นอยู่กับน้ำหนักบรรทุก
- การเปลี่ยนแปลงที่ไม่ขึ้นอยู่กับน้ำหนักบรรทุก

โดยทั่วไป กำลังเป็นคุณสมบัติที่สำคัญและคุณภาพของคอนกรีตก็จะพิจารณาจากกำลังอัด ในหลาย ๆ กรณี คุณสมบัติอื่น ๆ อาจมีความสำคัญมากกว่า เช่น คอนกรีตสำหรับโครงสร้างที่ต้องป้องกันน้ำ หรือถังเก็บน้ำ จำเป็นต้องมีคุณสมบัติสำคัญ คือ มีการซึมผ่านของน้ำและอากาศต่ำ และมีการหดตัวต่ำ การเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์เพื่อเพิ่มกำลังอัดจะส่งผลให้เกิดการหดตัวมาก ซึ่งมีผลเสียอย่างมากต่อคุณสมบัติด้านความทนทาน และการซึมผ่านของน้ำ

ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับคุณสมบัติของคอนกรีตจะแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 2 ประการคือ ชนิดของโครงสร้าง และสภาพแวดล้อมขณะใช้งาน ในหลาย ๆ กรณีข้อกำหนดจะเกี่ยวข้องกับ

1. กำลังอัดต่ำสุดที่ยอมรับได้ โดยทั่วไปใช้เป็นข้อกำหนดหลักในงานคอนกรีต
  2. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุด เพื่อความทนทานของโครงสร้าง
  3. ปริมาณปูนซีเมนต์ต่ำสุด เพื่อความทนทานของโครงสร้าง
  4. ปริมาณปูนซีเมนต์สูงสุดเพื่อลดการแตกร้าวในโครงสร้างขนาดใหญ่
  5. ความหนาแน่นต่ำสุด เพื่องานก่อสร้างบางประเภท เช่น เขื่อนหรือโครงสร้างป้องกันรังสีต่าง ๆ
- แต่ยังมีข้อกำหนดซึ่งระบุคุณสมบัติเฉพาะของคอนกรีตที่ต้องการ เช่น
- 1) กำหนดให้ได้กำลังอัดในเวลารวดเร็ว ใช้สำหรับงานซ่อมแซม, งานถอดไม้แบบเร็ว หรืองานคอนกรีตอัดแรง เป็นต้น
  - 2) กำหนดให้สามารถทนทานซัลเฟตได้ดี
  - 3) กำหนดให้มีความเหลวมาก หรือป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้ดี เป็นต้น คอนกรีตที่มีข้อกำหนดต่าง ๆ เหล่านี้จะได้กล่าวถึงอย่างละเอียดในเรื่องคอนกรีตพิเศษ

## ปัจจัยด้านราคา

นอกจากปัจจัยด้านเทคนิคแล้วผู้ออกแบบจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยด้านราคาด้วยซึ่งไม่ใช่ค่าเฉพาะวัสดุแต่รวมไปถึงค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับกองเก็บวัสดุ การขนส่ง การผสม

การลำเลียง ค่าใช้จ่ายในการเท และทำให้คอนกรีตแน่น รวมไปถึงค่าควบคุมงานคอนกรีต โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 1. วัสดุ

#### • วัสดุองค์ประกอบ

คอนกรีตประกอบด้วย หิน ทราย ซีเมนต์ น้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต หรืออาจมีวัสดุเพิ่มมีช่วยปรับปรุงให้คอนกรีตมีคุณสมบัติดีขึ้น ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับราคาของผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงได้แก่

#### - การหาได้ของวัสดุพื้นฐาน

ผู้ออกแบบจำเป็นต้องศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุพื้นฐานในภูมิภาคนั้น ๆ ว่าหาได้หรือไม่ เพราะถ้าจำเป็นต้องหาแหล่งอื่น ค่าใช้จ่ายโดยรวมอาจจะสูงมาก ตัวอย่างเช่น ถ้าผู้ออกแบบต้องการออกแบบฐานรากแผ่นขนาดใหญ่ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้อคอนกรีตที่มีความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันต่ำ แต่ในประเทศไทยไม่มีการผลิตปูนซีเมนต์ประเภทความร้อนต่ำ (ประเภท 4) ผู้ออกแบบจะต้องดัดแปลงส่วนผสมคอนกรีต เช่น ใช้น้ำยาผสมคอนกรีต หรือในบางภูมิภาคของประเทศไทยสามารถหากรวดได้จ่ายและราคาถูกกว่าหินย่อย ดังนั้น อาจกำหนดให้ใช้กรวดแทนหินย่อยได้ โดยคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น กำลังอัด ความสามารถเทได้ ต้องได้ตามข้อกำหนดของงาน เป็นต้น

#### - การผันแปรของคุณภาพวัสดุ

วัสดุดิบที่มีความผันแปรของคุณภาพมาก เมื่อนำมาใช้ผสมเป็นคอนกรีต จะก่อให้เกิดต้นทุนการควบคุมที่สูง เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพตามข้อกำหนด

#### • สัดส่วนผสม

วัสดุพื้นฐานต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น จะส่งต่อราคาของคอนกรีต ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ

#### - ลักษณะทั่วไปของวัสดุผสม

วัสดุผสมที่ลักษณะแตกต่างกัน จะส่งผลต่อสัดส่วนเพื่อให้ได้คุณสมบัติของคอนกรีตตามต้องการ เช่น หินที่มีรูปร่างกลมมนจะใช้ปริมาณน้ำน้อยกว่าหินที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุมหรือที่มีลักษณะแบน หรือทรายที่มีความละเอียดจะใช้ปริมาณน้ำที่มากกว่าทรายหยาบ เมื่อต้องการคอนกรีตที่มีความสามารถเทได้เท่า ๆ กัน นั่นคือ ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ในส่วนผสมจะแตกต่างกัน ราคาคอนกรีตก็จะแตกต่างกันด้วย

### - ชนิดของโครงสร้าง

โครงสร้างคอนกรีตที่มีความสำคัญมาก ๆ เช่น เชื้อนหรือผนังห้องปฏิกรณ์ปรมาณู การออกแบบจำเป็นต้องใช้คอนกรีตที่มีส่วนผสมมากกว่าคอนกรีตโครงสร้างทั่ว ๆ ไปหรือโครงสร้างคอนกรีตสำหรับบ่อน้ำบาดาลเสีย ผู้ออกแบบจำเป็นต้องเลือกใช้ส่วนผสมคอนกรีตที่มีปริมาณและชนิดของซีเมนต์ที่แตกต่างจากโครงสร้างทั่ว ๆ ไป เพื่อให้ได้ความทนทานที่สูง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อราคาคอนกรีต เป็นต้น

### 2. วิธีการทำงาน

ขบวนการลำเลียงวัสดุดิบ วิธีการผสม การลำเลียงคอนกรีตสู่สถานที่ที่รวมถึงการทำให้คอนกรีตอัดแน่น ล้วนแต่กระทบต้นทุนของคอนกรีต ที่ผู้ออกแบบต้องนำมาพิจารณา

### 3. การควบคุมงานคอนกรีต

ต้นทุนการควบคุมงานคอนกรีตนี้ รวมถึงแต่ต้นทุนการควบคุมคุณภาพคอนกรีต ณ หน่วยงานก่อสร้าง จนเริ่มใช้งานโครงสร้างนั้น

## 18.3 ความสัมพันธ์ที่มีประโยชน์ในการออกแบบ

### 1. กำลังอัดและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

สำหรับวัสดุผสมคอนกรีตที่กำหนดให้ ค่ากำลังอัดจะมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ตาม Ablam's Law ดังนี้

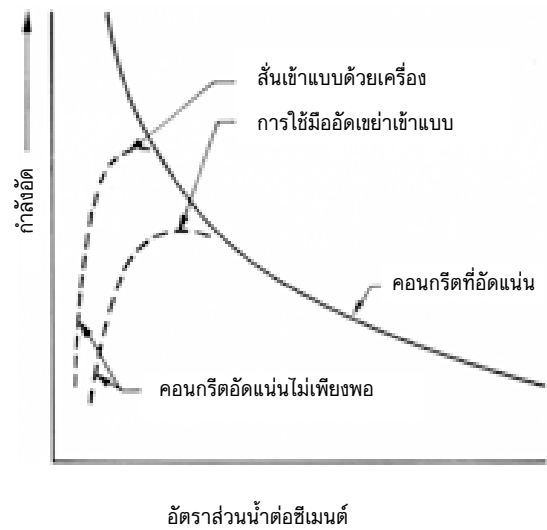
$$f_{cm} = \frac{A}{B \cdot 1.5w/c}$$

$f_{cm}$  คือ ค่ากำลังอัดของคอนกรีต ณ อายุที่กำหนด

A คือ ค่าคงที่

B คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของซีเมนต์ และค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก

ตามสมการนี้ จะพบว่า กำลังอัดจะเป็นสัดส่วนผกผันกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ค่าความสัมพันธ์นี้ สามารถแสดงได้ดังกราฟในรูปที่ 18.1



รูปที่ 18.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

### 2) คุณสมบัติของมวลรวมกับปริมาณน้ำ

คุณสมบัติของมวลรวมที่มีผลต่อปริมาณน้ำ และความสามารถเทได้ของคอนกรีตมีดังนี้

- รูปร่างและลักษณะผิว
- ขนาดและส่วนคละ
  - ขนาดคละของมวลรวม
  - ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม
  - อัตราส่วนของมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมหยาบ
- ปริมาณความชื้น
  - การดูดซึมของน้ำและความชื้นที่ผิว
  - การเพิ่มขึ้นของปริมาตรของทราย
- ความถ่วงจำเพาะ
- หน่วยน้ำหนักและช่องว่าง ซึ่งสัมพันธ์กับขนาดและ

ส่วนคละของมวลรวม

### 3) ความสามารถเทได้และปริมาณน้ำ

ความสามารถเทได้ของคอนกรีตจะมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณน้ำในส่วนผสม กล่าวคือ ความสามารถเทได้ของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น แต่ความสัมพันธ์นี้จะเปลี่ยนแปลงไปบ้าง เมื่อคุณสมบัติของวัสดุผสมเปลี่ยนแปลงไปรวมทั้งจะเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการใช้วัสดุผสมพิเศษอื่น ๆ ด้วย

การวัดความสามารถเทได้ของคอนกรีตมีหลายวิธี  
ผู้ออกแบบควรกำหนดวิธีที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 18.2

ประเภทของคอนกรีต	วิธีการวัดค่าความสามารถ เทได้
1) คอนกรีตแข็งหรือกระด้าง มาก	• วัดโดยหาค่าเวลา Vebe (Vebe Test)
2) คอนกรีตทั่ว ๆ ไป	• วัดค่ายุบตัว (Slump Test)
3) คอนกรีตเหลวมาก	• วัดเส้นผ่าศูนย์กลางของ คอนกรีตที่แผ่กระจาย ออก (Flow Test)

**ตารางที่ 18.2** วิธีการวัดค่าความสามารถเทได้ของคอนกรีต

#### 4) ต้นทุนและประสิทธิภาพการใช้งาน

เป้าหมายที่สำคัญที่สุดของการหาสัดส่วนผสมคอนกรีต  
ก็เพื่อที่จะให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติเหมาะสมตามข้อกำหนดและ  
การใช้งาน ในราคาที่ถูกที่สุด

โดยทั่วไปข้อกำหนดของงานคอนกรีต สามารถแบ่งออก  
ได้เป็น 2 กลุ่มคือ

##### • การกำหนดคุณสมบัติทั่ว ๆ ไป

- ค่ายุบตัวมาตรฐาน
- ค่ากำลังอัดทั่ว ๆ ไป
- ความทนทานทั่ว ๆ ไป

การที่จะให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติดังกล่าวทำได้โดย  
กำหนดสัดส่วนผสมที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ต่ำที่สุด และใช้อัตรา-  
ส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่สูงสุด เป็นต้น

##### • การกำหนดคุณสมบัติพิเศษ

- มีความสามารถเทได้สูงมาก ๆ
- เกิดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันไม่สูงมาก
- กำลังอัดสูง หรือกำลังอัดสูงในเวลารวดเร็ว
- ความทนทานพิเศษต่าง ๆ เช่น ทนต่อซัลเฟต  
 เป็นต้น

คอนกรีตพวกนี้อาจจำเป็นต้องใช้วัสดุพิเศษประเภทอื่น ๆ  
เป็นส่วนผสมด้วยเช่น

ปูนซีเมนต์และวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ เช่น ปูนปอร์ตแลนด์  
ประเภท 3, ปูนปอร์ตแลนด์ต้านทานซัลเฟต (ประเภท 5), PFA,  
GGBS, และ MS

สารผสมเพิ่ม เช่น สารเร่งหรือหน่วงการก่อตัว, สารลดน้ำ  
หรือสารลดน้ำจำนวนมาก, สารกักกระจายฟองอากาศ

มวลรวมพิเศษ เช่น มวลรวมหนัก, มวลรวมเบา, มวลรวม  
ที่มีการหดตัวน้อยมาก

## 18.4 ประเภทของสัดส่วนผสมคอนกรีต

### 1) สัดส่วนผสมโดยปริมาตร

ผู้ออกแบบจะกำหนดอัตราส่วนโดยปริมาตรของ  
ปูนซีเมนต์, ทราย, หิน เช่น 1:2:4 คือใช้ปูน 1 ส่วน ทราย 2  
ส่วน และหิน 4 ส่วนโดยปริมาตร วิธีการนี้เหมาะสำหรับ  
งานก่อสร้าง ขนาดเล็ก ๆ เท่านั้น

### 2) Prescribed Mix

วิศวกรผู้ออกแบบโครงสร้างหรือผู้รับเหมาจะกำหนด  
สัดส่วนผสมสำหรับโครงการก่อสร้างหนึ่ง ๆ รวมทั้งรับผิดชอบว่า  
สัดส่วนผสมนี้ จะสามารถผลิตเป็นคอนกรีตที่มีคุณสมบัติตาม  
ต้องการ

### 3) Designed Mix

ผู้ผลิตคอนกรีต เช่น ผู้ผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ จะเป็น  
ผู้กำหนดสัดส่วนผสมเพื่อให้ตรงกับความต้องการตามข้อกำหนด  
รวมทั้งต้องรับผิดชอบต่อสัดส่วนผสมนี้ว่าเป็นไปตามความต้องการ

### 4) สัดส่วนผสมมาตรฐาน (Standard Mix)

ผู้ผลิตคอนกรีตผสมเสร็จที่ผลิตและเก็บรวบรวมคุณสมบัติ  
ของคอนกรีตมาเป็นเวลานาน จนได้ข้อมูลมากำหนดเป็นสัดส่วน  
ผสมมาตรฐาน

### 18.5 มาตรฐานการออกแบบคอนกรีต

ดังที่ได้ทราบแล้วว่ากำลังอัดของคอนกรีตมีความผันแปรเนื่องจากองค์ประกอบอื่น ๆ มากมาย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีผู้ออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีต จะต้องทำการทดสอบหาคุณสมบัติ ในห้องปฏิบัติการ เก็บรวบรวมข้อมูล นำข้อมูลมาวิเคราะห์และใช้หลักวิชาสถิติมาช่วยในการออกแบบ โดยจะต้องออกแบบคอนกรีตให้มีกำลังอัดสูงกว่าที่ข้อกำหนดของงานกำหนดไว้ ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$f_{CR} = f_{c'} + ks$$

$f_{CR}$  คือ Target Mean Strength หรือกำลังอัดเฉลี่ยที่ผู้ผลิตคอนกรีตต้องผลิต

$f_{c'}$  คือ กำลังอัดที่กำหนดไว้ในแบบ

$ks$  คือ ส่วนเผื่อ ซึ่งประกอบด้วยค่า

$k$  คือ ค่าคงที่

$s$  คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัด จากก้อนตัวอย่าง 30 ค่าหรือ มากกว่า

ค่า  $k$  ในสมการนี้ได้มาจากหลักวิชาสถิติในเรื่องเกี่ยวกับการแจกแจงความถี่มาตรฐาน โดยค่า  $k$  จะเพิ่มขึ้นถ้าต้องการให้กำลังอัดต่ำกว่าที่ต้องการลดลง ดังแสดงค่าในตารางที่ 18.3

ค่าร้อยละของกำลังที่ต่ำกว่า $f_{c'}$	ค่า $k$
20	0.842
10	1.282
5	1.645
2.5	1.960
2	2.054
1	2.326
0	3.000

**ตารางที่ 18.3** ค่าคงที่  $k$  และร้อยละของกำลังอัดที่ต่ำกว่า  $f_{c'}$

ตัวอย่างการออกแบบ ถ้าในข้อกำหนดให้ใช้คอนกรีตกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ ( $f_{c'}$ ) 240 กก./ตร.ซม. โดยคอนกรีตที่ผลิตทั่วไปมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $s$ ) 40 กก./ตร.ซม ผู้ผลิตต้องผลิตคอนกรีตที่มีกำลังอัดดังนี้

ค่าร้อยละของกำลังอัดของก้อนตัวอย่างที่ต่ำกว่า $f_{c'}$	ส่วนเผื่อ $ks$ (กก./ตร.ซม)	กำลังอัดเฉลี่ยที่ต้องผลิต (กก./ตร.ซม)
20	$0.842 \times 40 = 34$	$240 + 34 = 274$
10	$1.282 \times 40 = 51$	$240 + 51 = 291$
5	$1.645 \times 40 = 66$	$240 + 66 = 306$
2.5	$1.960 \times 40 = 78$	$240 + 78 = 318$
2	$2.054 \times 40 = 82$	$240 + 82 = 322$
1	$2.326 \times 40 = 93$	$240 + 93 = 333$
0	$3.000 \times 40 = 120$	$240 + 120 = 360$

จากตาราง จะพบว่า ถ้ากำหนดให้ค่าร้อยละของกำลังอัดของก้อนตัวอย่างที่ผลิตต่ำกว่า  $f_{c'}$  น้อยลงเรื่อยๆ ผู้ผลิตต้องออกแบบให้มี “ส่วนเผื่อ” เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

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

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจำเป็นต้องหาจากก้อนตัวอย่างอย่างน้อย 30 ตัวอย่าง จึงจะให้ความเชื่อถือทางสถิติได้พอเพียง แต่หากการทดสอบน้อยกว่าจำนวนนี้ ก็อนุโลมได้โดยต้องใช้ตัวคูณตามที่กำหนดในตารางที่ 18.4

จำนวนตัวอย่าง	ตัวคูณสำหรับค่าเบี่ยงเบนตามมาตรฐาน
น้อยกว่า 15	ใช้ตารางที่ 18.5
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 หรือมากกว่า	1.00

**ตารางที่ 18.4** ตัวคูณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อจำนวนตัวอย่างน้อยกว่า 30 ค่า

ในกรณีที่ไม่มีผลการทดลองด้านกำลังอัด หรือมีผลน้อยกว่า 15 ค่า กำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตที่ต้องผลิตจะต้องสูงกว่าค่ากำลังอัดที่กำหนด ( $f_c'$ ) เป็นจำนวนที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับค่ากำลังอัดที่กำหนด ดังแสดงในตารางที่ 18.5

ค่ากำลังอัดที่กำหนด $f_c$	กำลังอัดที่ต้องเพิ่ม
น้อยกว่า 210	70
210-350	85
350 หรือมากกว่า	100

**ตารางที่ 18.5** ส่วนเผื่อเมื่อไม่มีผลทดสอบกำลังอัด

## 18.6 การผันแปรของกำลังอัด

ตามมาตรฐานการออกแบบคอนกรีต ค่าส่วนเผื่อจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญคือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัด หรือค่าผันแปรของกำลังอัด นั่นเอง

การผันแปรของกำลังอัดคอนกรีต แบ่งได้เป็น 2 ประเด็นคือ

- 1) การผันแปรเนื่องจากคุณสมบัติของคอนกรีต
- 2) การผันแปรเนื่องจากการทดสอบ

ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 18.6

การผันแปรในสมบัติของคอนกรีต (ผันแปรในขบวนการผลิต)	การผันแปรเนื่องจากการทดสอบ (ผันแปรในขบวนการควบคุมคุณภาพ)
การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ - ควบคุมปริมาณน้ำในส่วนผสมไม่ดีพอ - ความชื้นในหินและทรายมีการเปลี่ยนแปลงมาก การผันแปรในปริมาณความต้องการน้ำในส่วนผสม - ส่วนขนาดคละของหินและทราย - วัสดุผสมมีสมบัติไม่สม่ำเสมอ การผันแปรในคุณภาพและอัตราส่วนผสมของวัสดุ - หิน, ทราย - ซีเมนต์	วิธีการสุ่มตัวอย่างไม่เหมาะสม วิธีการเตรียมตัวอย่างไม่แน่นอน - ปริมาณการกระทุ้ง - การเคลื่อนย้ายตัวอย่าง - การดูแลตัวอย่างคอนกรีตสด การเปลี่ยนแปลงจากการบ่ม - อุณหภูมิ - ความชื้น วิธีดำเนินการทดสอบไม่ดี - การหล่อฝ่า - การทดสอบกำลังอัด

**ตารางที่ 18.6** สรุปสาเหตุของการผันแปรของกำลังอัด

## 18.7 การออกแบบส่วนผสมโดยปริมาตร

สำหรับงานก่อสร้างขนาดเล็ก ส่วนใหญ่จะกำหนดสัดส่วนผสมโดยปริมาตร เช่น 1:2:4 อัตราส่วนที่กล่าวถึงนี้ คือ ใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน หิน 4 ส่วน โดยปริมาตร การที่จะแปลงส่วนผสมโดยปริมาตรดังกล่าวให้เป็นส่วนผสมโดยน้ำหนักสามารถทำได้ดังนี้

### ● ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

- 1) หน่วยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ = 1,400 กก./ลบ.ม.
- 2) หน่วยน้ำหนักของหินทราย = 1,450 กก./ลบ.ม.

### • การคำนวณ

$$\text{ปูน 1 ถุง 50 กก. มีปริมาตร} = \frac{50}{1400} = 0.036 \text{ ลบ.ม.}$$

$$\text{ทราย 2 ส่วน มีปริมาตร} = 0.036 \times 2 = 0.072 \text{ ลบ.ม.}$$

$$\text{น้ำหนักทราย} = 0.072 \times 1450 = 104 \text{ กก.}$$

$$\text{หิน 4 ส่วน มีปริมาตร} = 0.036 \times 4 = 0.144 \text{ ลบ.ม.}$$

$$\text{น้ำหนักหิน} = 0.144 \times 1450 = 209 \text{ กก.}$$

ปริมาณน้ำที่ใช้โดยทั่วไปสำหรับปูน 1 ถุง เพื่อให้ได้ค่า

ยู่ตัวประมาณ 10 ซม. เท่ากับ 30 ลิตร

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมดเมื่อใช้ปูน 1 ถุง} &= 50 + 104 + 209 + \\ &30 = 393 \text{ กก.} \end{aligned}$$

$$\text{หน่วยน้ำหนักคอนกรีต} \quad 1 \text{ ลบ.ม.} = 2,400 \text{ กก.}$$

$$\text{ต้องใช้ปริมาณปูน} = \frac{2,400}{393} = 6.1 \text{ ถุง} = 305 \text{ กก./ลบ.ม.}$$

### • สรุป

ส่วนผสมใน 1 ลบ.ม.

$$\text{ปูนซีเมนต์} = 305 \text{ กก./ลบ.ม.}$$

$$\text{ทราย} = 635 \text{ กก./ลบ.ม.}$$

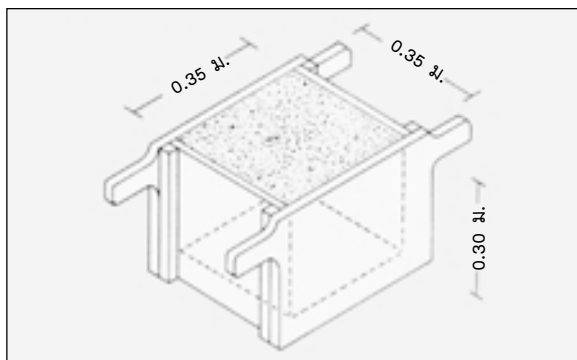
$$\text{หิน} = 1,275 \text{ กก./ลบ.ม.}$$

$$\text{น้ำ} = 185 \text{ กก./ลบ.ม.}$$

ค่ายู่ตัว ประมาณ 10 ซม.

### • ข้อเสนอแนะ

1) ถ้าผสมคอนกรีตโดยปริมาตร เพื่อให้ได้ปริมาตรที่แน่นอนและสม่ำเสมอ ควรจัดทำกะบะไม้มาตรฐาน สำหรับตวงส่วนผสม โดยกำหนดให้กะบะไม้มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรซีเมนต์ 1 ถุง หรือ 50 กก. ซึ่งกะบะไม้จะมีขนาดกว้าง 0.35 ม. ยาว 0.35 ม. สูง 0.30 ม. ดังแสดงในรูปที่ 18.2



รูปที่ 18.2 กะบะไม้มาตรฐานใช้ในการตวงปริมาตร หิน ทราย

2) ในการกำหนดสัดส่วนผสมโดยปริมาตรนี้ไม่ได้กำหนดปริมาณน้ำ ซึ่งอาจมีการใช้น้ำในปริมาณที่มากเกินไป ทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำกว่าที่ควรจะเป็น

3) ในประเทศไทยมีปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไปอยู่ 2 ประเภทคือ ปูนซีเมนต์ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 การกำหนดสัดส่วนผสมโดยวิธีนี้ควรจะต้องบ่งชี้ไปแบบด้วยว่าจะใช้ปูนซีเมนต์ชนิดใด เพราะปูนซีเมนต์ทั้ง 2 นี้ ให้ค่ากำลังอัดที่แตกต่างกันมาก

## 18.8 การออกแบบตามมาตรฐานอเมริกา

ในการหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตธรรมดา (Normal Weight Concrete) ตามมาตรฐานของอเมริกานี้ จำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบต้องทราบคุณสมบัติต่างๆ กล่าวคือ

### • ปูนซีเมนต์

- ความถ่วงจำเพาะ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C188 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

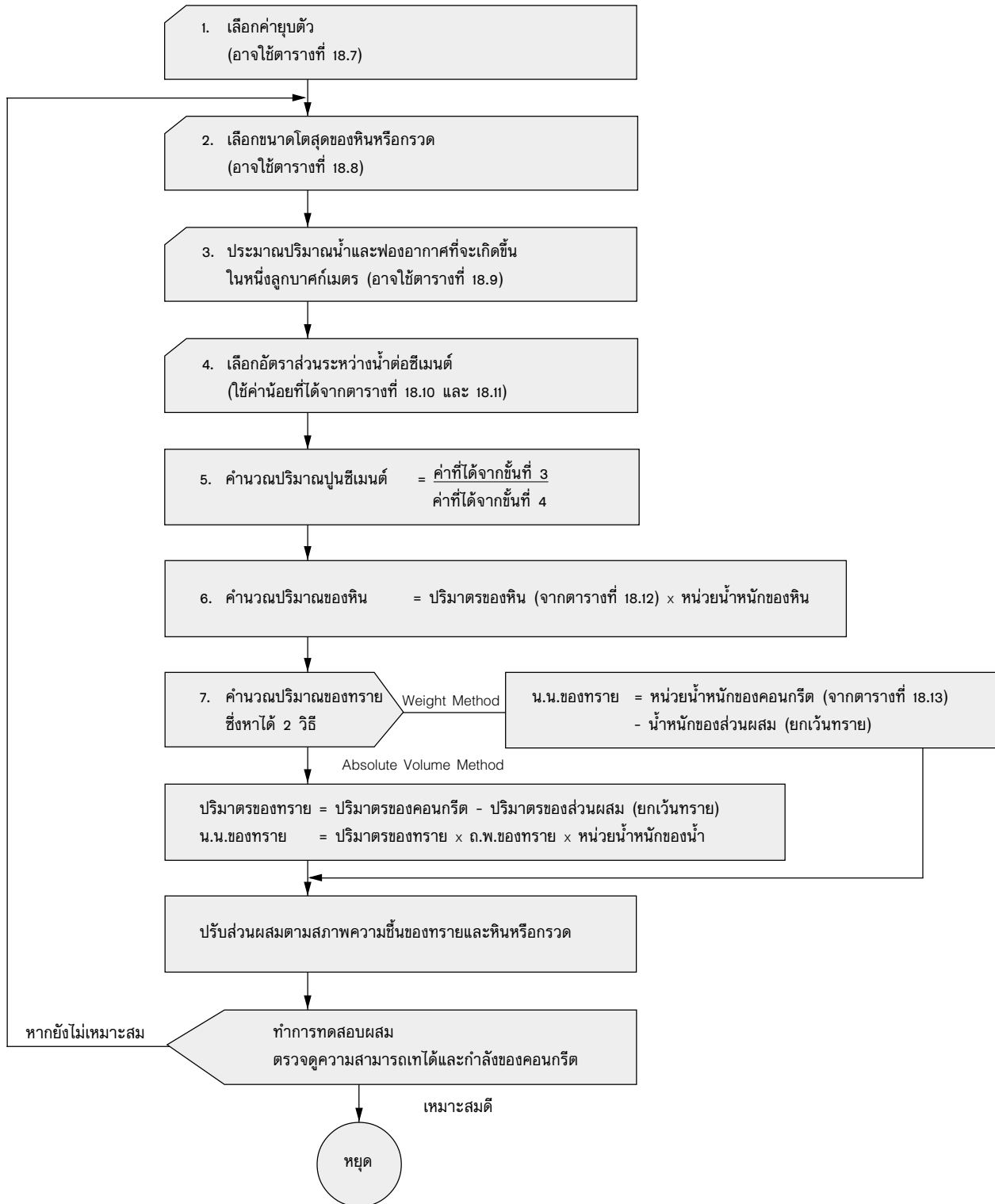
และ ASTM C 566

- ความละเอียดของทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 125

- หน่วยน้ำหนักของมวลรวม ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 29

เมื่อทราบคุณสมบัติต่างๆ ดังกล่าวแล้ว จึงหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตตามขั้นตอนที่แสดงในแผนภาพรูปที่ 18.3

**รูปที่ 18.3** แผนภาพออกแบบสัดส่วนผสมของคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกา





**ตารางที่ 18.7** ค่าความยุบตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างประเภทต่างๆ

ประเภทของงาน	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 18.8** ขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ

ขนาดความหนาของ โครงสร้าง (ซม.)	ขนาดโตสุดของวัสดุผสม							
	คาน ผนัง และเสา คสล.		ผนังคอนกรีต ไม่เสริมเหล็ก		พื้นถนน คสล. รับน้ำหนักมาก		พื้นคอนกรีต รับน้ำหนักน้อย	
	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.
5.0-15.0	1/2-3/4	12.5-20	3/4	20	3/4-1	20-25	3/4-1 1/2	20-40
15.0-30.0	3/4-1 1/2	20-40	1 1/2	40	1 1/2	40	1 1/2-3	40-75
30.0-75.0	1 1/2-3	40-75	3	75	1 1/2-3	40-70	3	75
มากกว่า 75.0	1 1/2-3	40-75	6	150	1 1/2-3	40-75	3-6	75-150

**ตารางที่ 18.9** ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความยุบตัวและวัสดุผสมขนาดต่างๆ

ค่าความยุบตัว (ซม.)	ปริมาณน้ำเป็นลิตรต่อคอนกรีต 1 ม. <sup>3</sup> สำหรับวัสดุผสมขนาดต่างๆ							
	3/8" (10 มม.)	1/2" (12.5 มม.)	3/4" (20 มม.)	1" (25 มม.)	1 1/2" (40 มม.)	2" (50 มม.)	3" (75 มม.)	6" (150 มม.)

คอนกรีตที่ไม่มีสารกระจายแก๊กฟองอากาศ (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

คอนกรีตที่มีสารกระจายแก๊กฟองอากาศ (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 18.10** อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดเผยรุนแรง

ชนิดของ โครงสร้าง	โครงสร้างที่เป็ยก ตลอดเวลา หรือ มีการเข็อกแซ็ง และการละลาย ของน้ำสลับกััน บ่อย ๆ (เฉพาะ คอนกรีตกระจาย กัฟองอากาศ เท่านั้น)	โครงสร้างในน้ำ ทะเล หรือลั้มฝัล กับัซัลเฟต
โครงสร้างบาง ๆ ที่มีเหล็กหุ้ม บาง กว่า 3 ซม. โครงสร้างอื่น ๆ ทั้งหมด	0.45  0.50	0.40 *  0.45 *

\* ถ้าใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต อาจเพิ่มค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์นี้ได้อีก 0.05

**ตารางที่ 18.11** ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัด  
ประลัยของคอนกรีต

กำลังอัดประลัย ของคอนกรีต ที่ 28 วัน (กก./ตร.ซม.)	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตไม่ กระจายกักฟอง อากาศ	คอนกรีตกระจาย กักฟองอากาศ
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 ทำการทดลองจากแท่งตัวอย่างรูปทรง  
กระบอกขนาดมาตรฐาน  $\phi$  15x30 ซม. ถ้าแท่งตัวอย่างเป็น  
แบบลูกบาศก์ ค่ากำลังอัดประลัยจะสูงกว่าค่าในตารางประมาณ  
20%

**ตารางที่ 18.12** ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของ  
คอนกรีต

ขนาดโตสุด ของหิน	ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพ แห้งและอัดแน่นต่อหน่วยปริมาตรของ คอนกรีต สำหรับค่าโมดูลัสความละเอียด ของทรายต่าง ๆ กัน			
	2.40	2.60	2.80	3.00
$\frac{3}{8}$ " (10 มม.)	0.50	0.48	0.46	0.44
$\frac{1}{2}$ " (12.5 มม.)	0.59	0.57	0.55	0.53
$\frac{3}{4}$ " (20 มม.)	0.66	0.64	0.62	0.60
1" (25 มม.)	0.71	0.69	0.67	0.65
1 $\frac{1}{2}$ " (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 เป็นค่าสำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป  
สำหรับงานคอนกรีตที่ทำได้ง่ายกว่า เช่น ถนน พื้น เป็นต้น อาจ  
เพิ่มค่าเหล่านี้ขึ้นได้อีก 10 เปอร์เซ็นต์

**ตารางที่ 18.13** หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดโดยประมาณ

ขนาดโตสุด ของหิน	หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต (กก./ลบ.เมตร)	
	คอนกรีตที่ไม่ใช่ สารกระจาย กักฟองอากาศ	คอนกรีตที่ใช้ สารกระจาย กักฟองอากาศ
$\frac{3}{8}$ " (10 มม.)	2285	2190
$\frac{1}{2}$ " (12.5 มม.)	2315	2235
$\frac{3}{4}$ " (20 มม.)	2355	2280
1" (25 มม.)	2375	2315
1 $\frac{1}{2}$ " (40 มม.)	2420	2355
2" (50 มม.)	2445	2375
3" (75 มม.)	2465	2400
6" (150 มม.)	2505	2435

### ตัวอย่างการหาสัดส่วนผสมความมาตรฐานอเมริกา

จงหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตสำหรับงานเสาคอนกรีต  
เสริมเหล็ก โดยต้องการกำลังอัดประลัยเฉลี่ย ( $f_c'$ ) ของคอนกรีต  
รูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 250 โดยให้โอกาสที่ก่อน  
ตัวอย่างก่อนตักว่าที่ออกแบบไว้ได้ไม่เกิน 5% ( $k = 1.645$ ) และ  
ค่า  $s = 30$  กก./ตร.ซม. กำหนดให้ใช้ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์  
ประเภทที่หนึ่งมีความถ่วงจำเพาะ 3.15 มวลรวมหยาบขนาดโตสุด  
20 มม. ( $\frac{3}{4}$ " ) มีความถ่วงจำเพาะ 2.70 ค่าการดูดซึมน้ำ 0.5%  
และมีหน่วยน้ำหนัก (แห้งและอัดแน่น) เป็น 1,600 กก./ลูกบาศก์-  
เมตร มวลรวมละเอียดมีความถ่วงจำเพาะ 2.60 ค่าการดูดซึมน้ำ  
0.7% และมีโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.80

วิธีทำ ทำตามลำดับขั้นดังนี้

$$1. \text{ กำลังที่ต้องผลิต} = (f_c') + ks$$

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

2. จากข้อมูลในตารางที่ 18.7 และแนวทางปฏิบัติทั่วไป

ไปเห็นว่าควรใช้ค่าความยุบตัว 8-10 ซม.

3. ข้อกำหนดให้ใช้ขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบเป็น 20 มม.

4. จากตารางที่ 18.9 เมื่อขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบเป็น 20 มม. ค่าความยุบตัว 8-10 ซม. ไม่ต้องใช้สารกักกระจายฟองอากาศจะได้ปริมาณน้ำที่ต้องใช้ = 200 ลิตร/ลบ.เมตรของคอนกรีต

5. จากตารางที่ 18.11 สำหรับคอนกรีตที่ต้องการกำลัง 300 กก./ตร.ซม. จะได้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักที่ต้องใช้ = 0.55

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

7. หาปริมาณของวัสดุผสมหยาบ จากตารางที่ 18.12 เมื่อค่าโมดูลัสความละเอียดของวัสดุผสมละเอียดเท่ากับ 2.80 และขนาดโตสุดของวัสดุหยาบเป็น 20 มม. จะได้ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่น = 0.62 ลบ.เมตร/ลบ.เมตรของคอนกรีต

$$\text{หน่วยน้ำหนักของหิน} = 1,600 \text{ กก./ลบ.เมตร}$$

$$\text{ดังนั้น น้ำหนักของวัสดุผสมหยาบที่ใช้} = 0.62 \times 1,600 = 992 \text{ กก./ลบ.เมตร ของคอนกรีต}$$

8. หาปริมาณของวัสดุผสมละเอียด

ปริมาตรเนื้อแท้ของส่วนผสม :

$$\text{ปริมาตรของน้ำ} = \frac{200}{1,000} = 0.200 \text{ ม.}^3$$

$$\text{ปริมาตรของซีเมนต์} = \frac{364}{3.15 \times 1,000} = 0.116 \text{ ม.}^3$$

$$\text{ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบ} = \frac{992}{2.70 \times 1,000} = 0.367 \text{ ม.}^3$$

$$\text{ปริมาตรของฟองอากาศ} = 0.02 \times 1.0 = 0.020 \text{ ม.}^3$$

$$\text{ดังนั้น ปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นทราย} = 0.703 \text{ ม.}^3$$

$$\text{ปริมาตรของทรายที่ต้องใช้} = 1 - 0.703 = 0.297 \text{ ม.}^3$$

$$\text{น้ำหนักของทรายแห้ง} = 0.297 \times 2.60 \times 1,000 = 772 \text{ กก.}$$

ฉะนั้น คอนกรีต 1 ลบ.เมตร ต้องใช้

ซีเมนต์	364	กก.
---------	-----	-----

น้ำ	200	กก.
-----	-----	-----

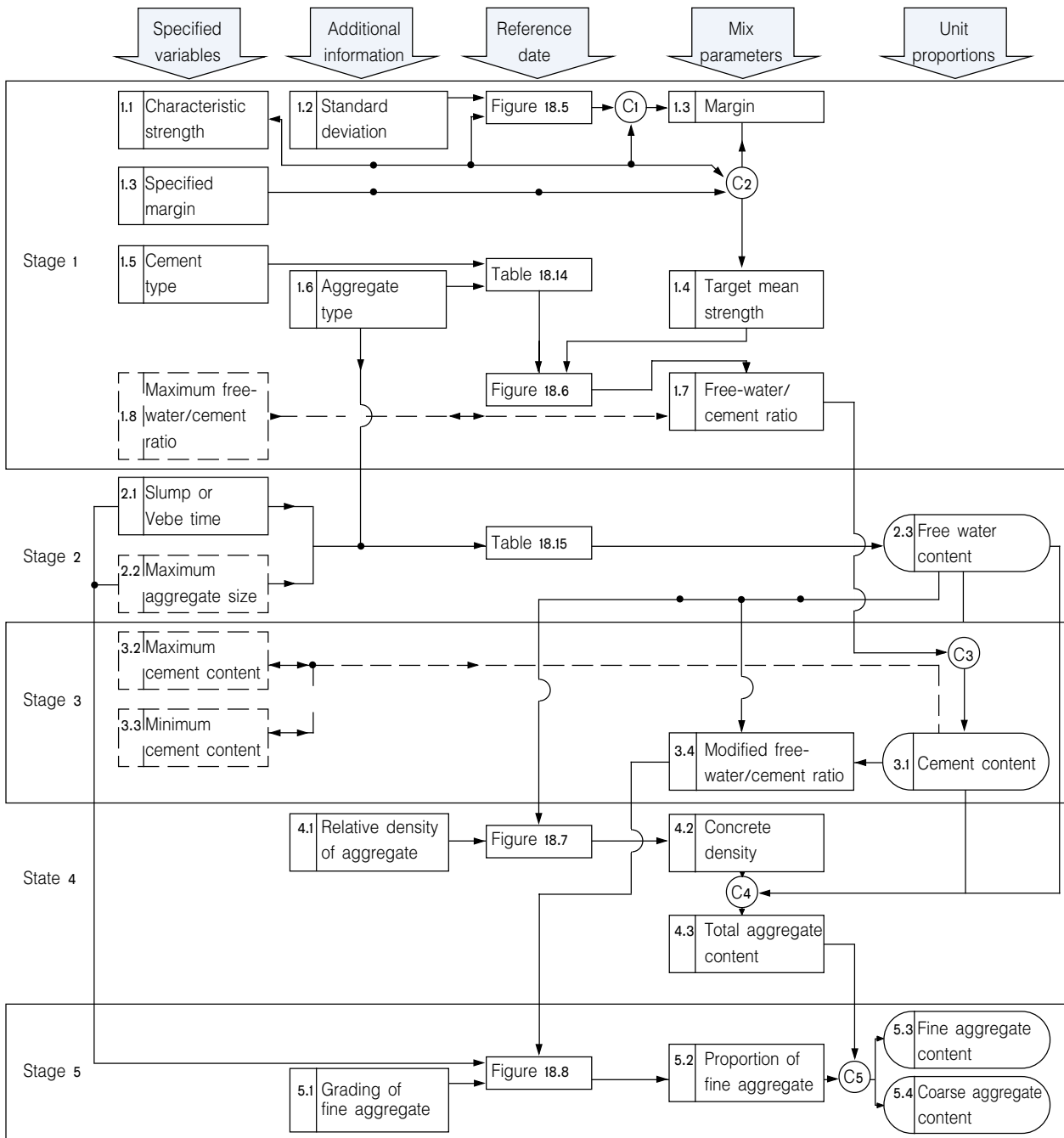
วัสดุผสมหยาบ	992	กก.
--------------	-----	-----

วัสดุผสมละเอียด	772	กก.
-----------------	-----	-----

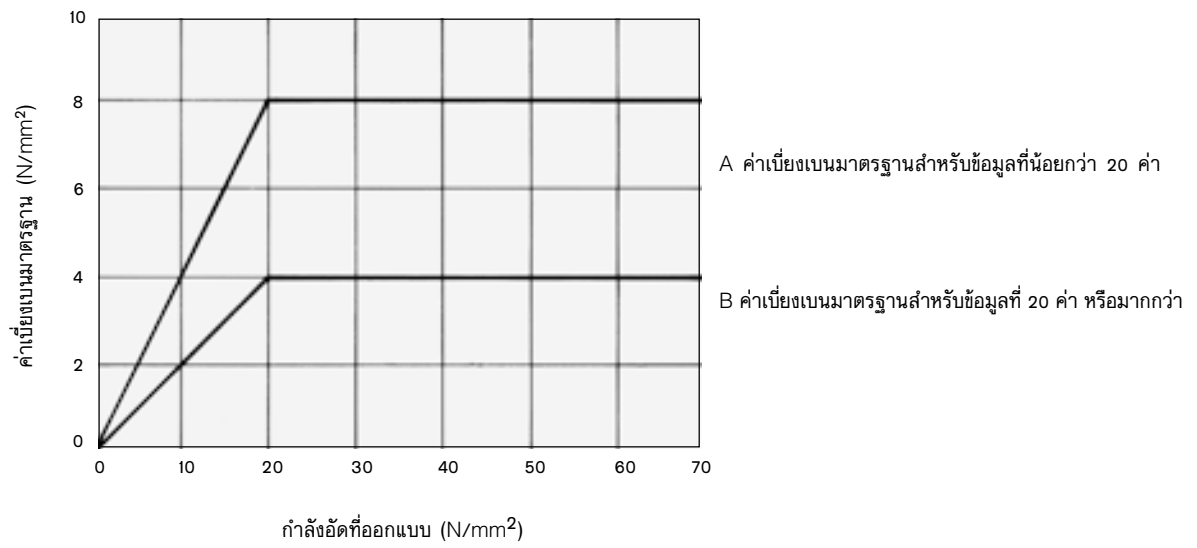
รวมน้ำหนักทั้งหมด	2,328	กก.
-------------------	-------	-----

## 18.9 การออกแบบตามมาตรฐานอังกฤษ

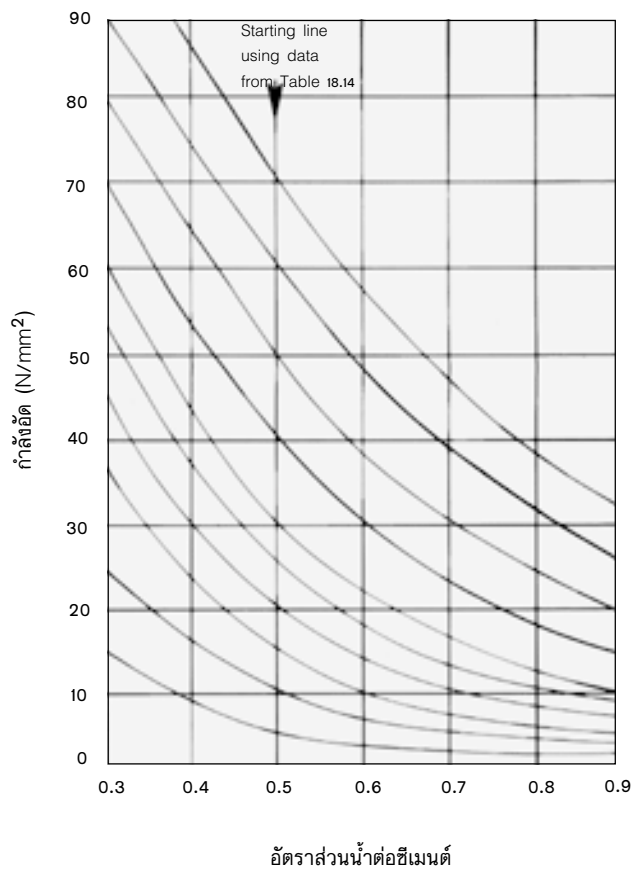
การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานอังกฤษ  
จะแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนดังแสดงในแผนภาพ โดยต้องอาศัย  
ข้อมูลจากกราฟและตาราง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



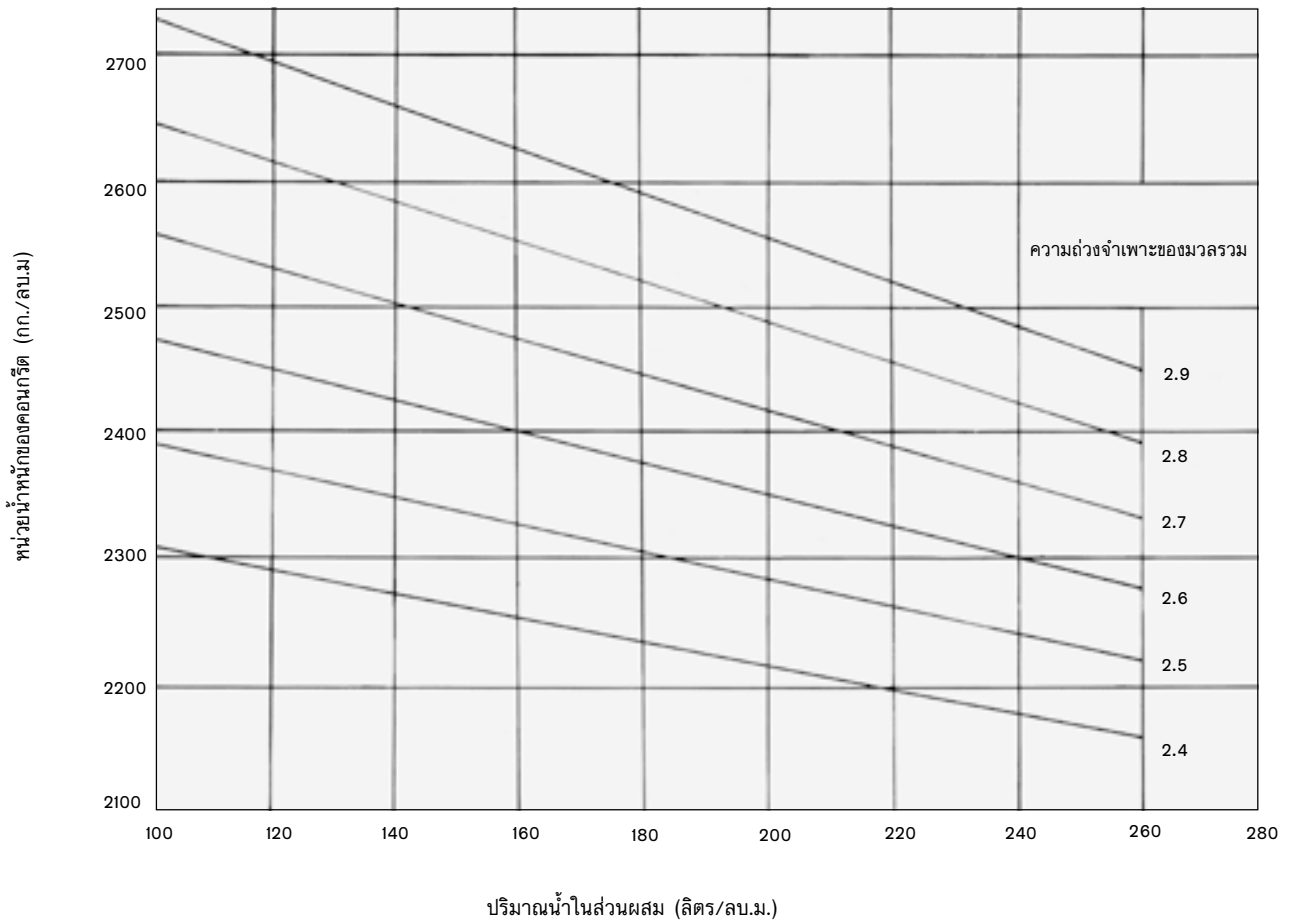
**ตารางที่ 18.4** แผนภาพการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตตามมาตรฐานอังกฤษ



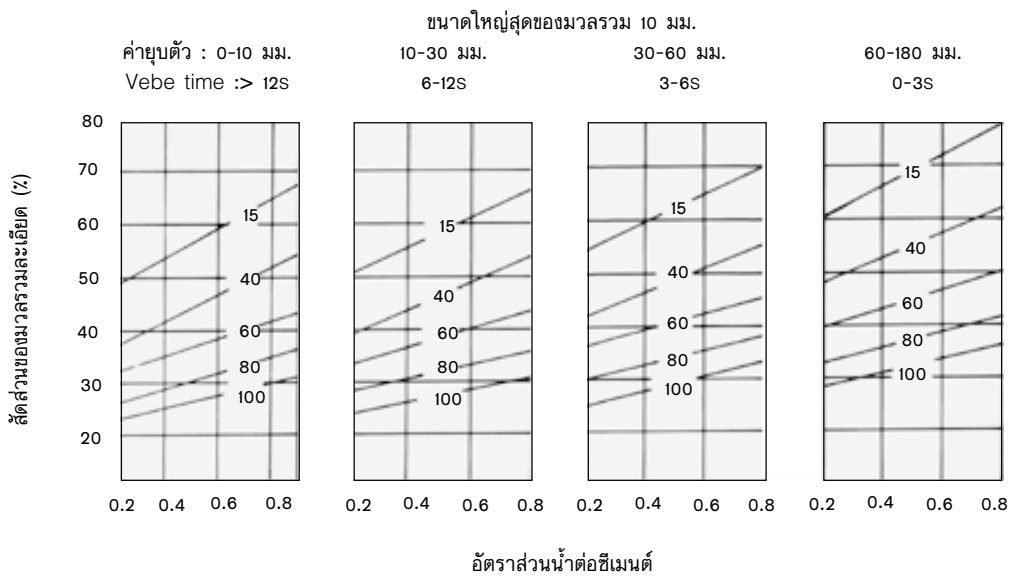
**รูปที่ 18.5** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและกำลังอัดที่ออกแบบ ( $f_c'$ )



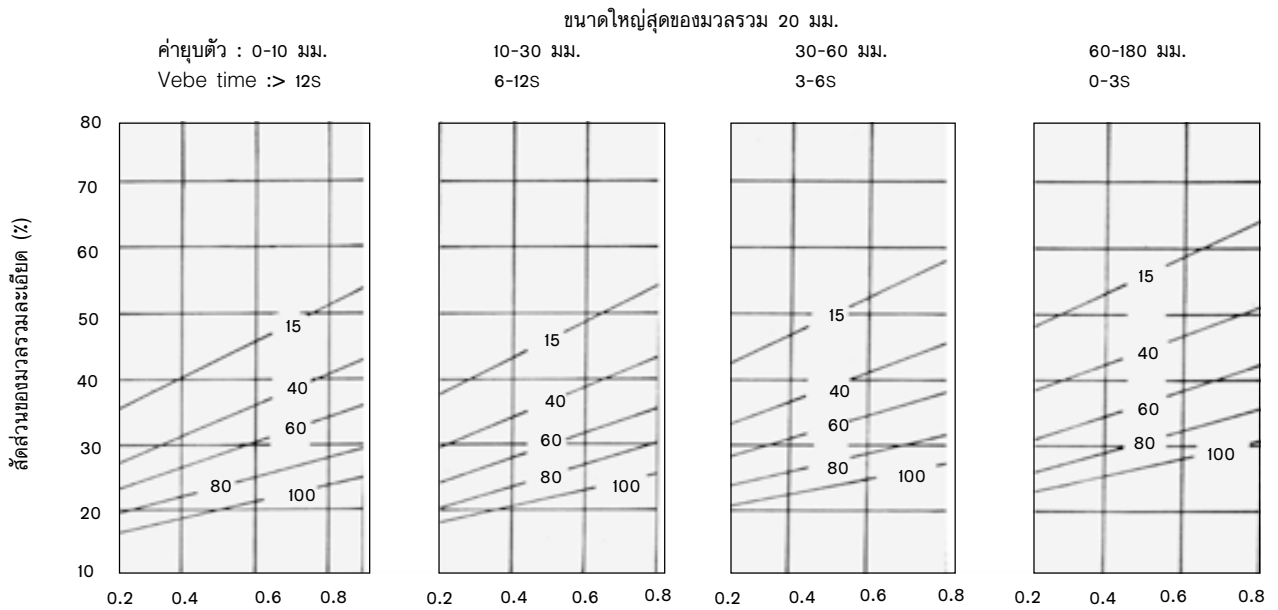
**รูปที่ 18.6** ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์



**รูปที่ 18.7** ค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่อัดแน่น

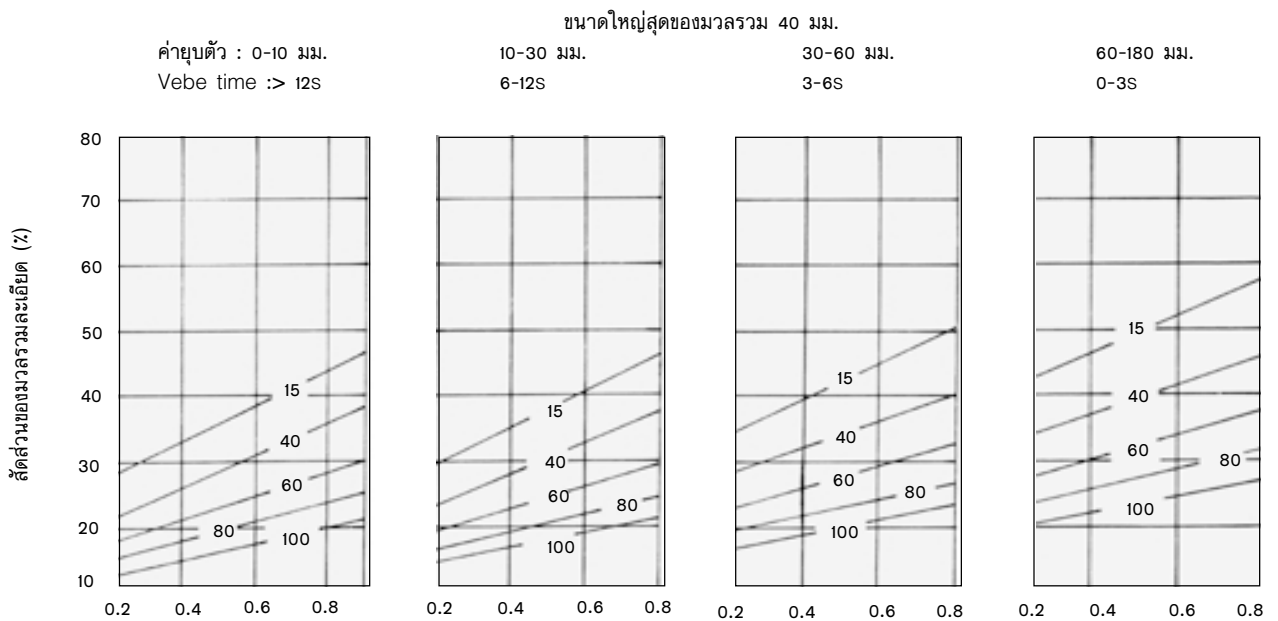


**รูปที่ 18.8** สัดส่วนมวลรวมละเอียด (ทราย) ที่ควรใช้



อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

**รูปที่ 18.8 (ต่อ)**



อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

**รูปที่ 18.8 (ต่อ)**

ชนิดของซีเมนต์	ชนิดของหิน	กำลังอัด (N/mm <sup>2</sup> )			
		อายุวัน			
		3	7	28	91
ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 หรือประเภท 5	กรวด	22	30	42	49
	หินย่อย	27	36	49	56
ปอร์ตแลนด์ประเภท 3	กรวด	29	37	48	54
	หินย่อย	34	43	55	61

1 N/mm<sup>2</sup> = 10.19 ksc

**ตารางที่ 18.14** ค่ากำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ของคอนกรีตที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ชนิดต่างๆ ที่มีค่า w/c = 0.50

ค่ายุบตัว (มม.)	0-10	10-30	30-60	60-180	
เวลาริบ (วินาที)	> 12	6-12	3-6	0-3	
ขนาดใหญ่สุด (มม.)	ชนิดของหิน		ปริมาณน้ำ (ลิตร)		
10	กรวด	150	180	205	225
	หินย่อย	180	205	230	250
20	กรวด	135	160	180	195
	หินย่อย	170	190	210	225
40	กรวด	115	140	160	175
	หินย่อย	155	175	190	205

**ตารางที่ 18.15** ปริมาณน้ำเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีความสามารถเทได้ตามต้องการ

#### หมายเหตุ

เมื่อใช้มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดที่แตกต่างกัน

$$\text{ปริมาณน้ำ} = \frac{2}{3} wf + \frac{1}{3} wc$$

wf คือ ปริมาณน้ำสำหรับมวลรวมละเอียดชนิดต่างๆ

wc คือ ปริมาณน้ำสำหรับมวลรวมหยาบชนิดต่างๆ

#### ตัวอย่างการหาสัดส่วนผสมตามมาตรฐานอังกฤษ

จงหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตสำหรับงานเทเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยต้องการกำลังอัดประลัยเฉลี่ยของคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 40 N/mm<sup>2</sup> กำหนดให้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ค่ายุบตัว 100 มม. ใช้หินย่อยขนาดใหญ่สุด 20 มม. ทราชม์น้ำ ค่าความถ่วงจำเพาะของหินและทราย = 2.65 ทราชม์น้ำผ่านตะแกรง No 30 หรือ 600 μm 50% ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่า 4 N/mm<sup>2</sup>

การหาสัดส่วนผสมโดยวิธีนี้ทำได้โดยสามารถกรอกข้อมูลในแบบฟอร์มมาตรฐาน 5 ขั้นตอน ดังนี้



Stage	Item	Reference or calculation	Values																											
1	1.1 Characteristic strength	Specified	40 N/mm <sup>2</sup> at 28 days Proportion defective 5 %																											
	1.2 Standard deviation	Fig 18.5	— N/mm <sup>2</sup> or no data — N/mm <sup>2</sup>																											
	1.3 Margin	C1 or Specified	(k = 1.645) 1.645 x 4.0 = 6.6 N/mm <sup>2</sup> — N/mm <sup>2</sup>																											
	1.4 Target mean strength	C2	40 + 6.6 = 46.6 N/mm <sup>2</sup>																											
	1.5 Cement type	Specified	OPC/SRPC/RHPC																											
	1.6 Aggregate type: coarse		Crushed/uncrushed																											
	Aggregate type: fine		Crushed/uncrushed																											
	1.7 Free-water/cement ratio	Table 18.14 Fig 18.6	0.52																											
1.8 Maximum free-water/cement ratio	Specified	— Use the lower value 0.52																												
2	2.1 Slump or Vebe time	Specified	Slump 100 mm or Vebe Time — s																											
	2.2 Maximum aggregate size	Specified																												
	2.3 Free-water content	Table 18.15	(2/3 x 195) + (1/3 x 225) = 205 kg/m <sup>3</sup>																											
3	3.1 Cement content	C3	205 ÷ 0.52 = 395 kgm <sup>3</sup>																											
	3.2 Maximum cement content	Specified	— kg/m <sup>3</sup>																											
	3.3 Minimum cement content	Specified	— kg/m <sup>3</sup> use 3.1 if < 3.2 use 3.3 if > 3.1																											
	3.4 Modified free-water/cement ratio		395 kgm <sup>3</sup> —																											
4	4.1 Relative density of aggregate (SSD)		2.65 know/assumed																											
	4.2 Concrete density	Fig 18.7	2,375 kgm <sup>3</sup>																											
	4.3 Total aggregate content	C4	2,375 - 395 - 205 = 1,775 kgm <sup>3</sup>																											
5	5.1 Grading of fine aggregate	Percentage passing 600 μm sieve	50 %																											
	5.2 Proportion of fine aggregate	Fig 18.8	40 %																											
	5.3 Fine aggregate content	C5	1,775 x 0.40 = 710 kg/m <sup>3</sup>																											
	5.4 Coarse aggregate content		1,775 - 710 = 1,065 kg/m <sup>3</sup>																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Quantities</th> <th>Cement (kg)</th> <th>Water (kg or L)</th> <th>Fine aggregate (kg)</th> <th colspan="3">Coarse aggregate (kg)</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th></th> <th>10 mm</th> <th>20 mm</th> <th>40 mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Per m<sup>3</sup> (ใช้ค่าละเอียดถึง 5 นน.)</td> <td>395</td> <td>205</td> <td>710</td> <td></td> <td>1,065</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Per trail max of _____ m<sup>3</sup></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Quantities	Cement (kg)	Water (kg or L)	Fine aggregate (kg)	Coarse aggregate (kg)						10 mm	20 mm	40 mm	Per m <sup>3</sup> (ใช้ค่าละเอียดถึง 5 นน.)	395	205	710		1,065		Per trail max of _____ m <sup>3</sup>						
Quantities	Cement (kg)	Water (kg or L)	Fine aggregate (kg)		Coarse aggregate (kg)																									
				10 mm	20 mm	40 mm																								
Per m <sup>3</sup> (ใช้ค่าละเอียดถึง 5 นน.)	395	205	710		1,065																									
Per trail max of _____ m <sup>3</sup>																														

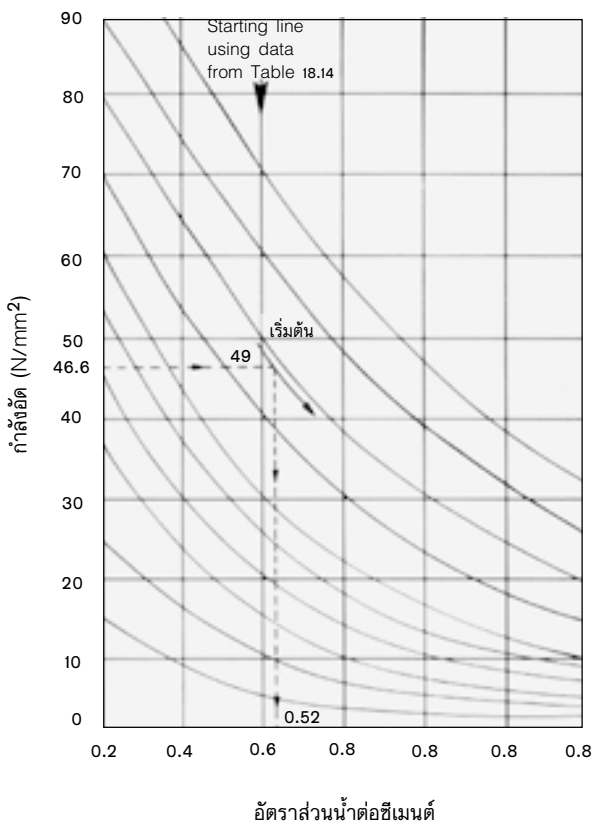
วิธีหาค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ จะใช้ค่าจากตารางที่ 18.14 และรูปที่ 18.6 โดยมีวิธีการหาดังนี้

- 1) ดูข้อกำหนดว่าให้ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทใด
- 2) ดูข้อกำหนดว่าให้ใช้มวลรวมหยาบประเภทใด
- 3) ดูข้อกำหนดว่าต้องการกำลังที่อายุกี่วัน

ในที่นี้กำหนดให้ใช้ปูนปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และใช้หินย่อย ต้องการกำลังที่ 28 วัน ได้ค่ากำลังอัดจากตารางที่ 18.14 เท่ากับ 49 N/mm<sup>2</sup> จากนั้นใช้กราฟรูปที่ 18.6 หาค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต้องการโดยมีวิธีการทำดังนี้

- 1) เริ่มที่เส้น W/C = 0.50 กำหนดตำแหน่งของกำลังอัดที่ได้ จากตารางที่ 18.14 ในที่นี้คือ 49
- 2) ลากเส้นขนานกับเส้นกราฟที่อยู่ใกล้ที่สุด ในรูปที่ 18.6 ไปตัดกับเส้นกำลังอัดที่ต้องการซึ่งลากขนานกับแกนนอน
- 3) ณ จุดตัดลากเส้นขนาดแกนตั้งมาตัดแกนนอน จะได้ค่า W/C

ในที่นี้ได้ค่า W/C เท่ากับ 0.52 โดยได้แสดงการหาไว้ในรูปด้านล่าง



**รูปที่ 18.9** กราฟแสดงการหาค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

## 18.10 การออกแบบส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยนี้ เป็นวิธีการออกแบบที่นำมามาตรฐานการออกแบบของประเทศอเมริกา และของประเทศอังกฤษ มาประยุกต์ให้เข้ากับสภาพของวัสดุที่มีใช้ในประเทศไทย คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในประเทศไทยได้ถูกทดสอบและเก็บรวบรวมหาค่าเฉลี่ยดังค่าในตารางที่ 18.16

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

**ตารางที่ 18.16** ค่ามาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ

### • ปริมาณน้ำและค่ายุบตัว

ปริมาณน้ำที่ทำให้ได้ค่ายุบตัวมาตรฐานเมื่อใช้หินย่อย และทรายแม่น้ำที่อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) แสดงไว้ในตารางที่ 18.17

ค่ายุบตัว (ซม.)	ปริมาณน้ำต่อ 1 ลบ.ม. คอนกรีต	
	หินย่อยขนาด 1 - # 4	หินย่อยขนาด 3/4 - # 4
7.5 ± 2.5	180	190
10.0 ± 2.5	190	200
12.5 ± 2.5	200	210

**ตารางที่ 18.17** ปริมาณน้ำเพื่อให้ได้ค่ายุบตัวตามต้องการ

### • ปริมาณส่วนละเอียด

จากการประยุกต์การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานต่าง ๆ ทำให้สามารถสรุปได้ว่าเมื่อใช้หินย่อย และทรายแม่น้ำ เป็นวัสดุหลักที่ใช้ในประเทศไทย ปริมาณส่วนละเอียดอันได้แก่ปริมาณปูนซีเมนต์ และปริมาณทรายที่เหมาะสมที่จะทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ ไม่แยกตัว และได้กำลังอัดตามต้องการ มีค่าดังแสดงในตารางที่ 18.18

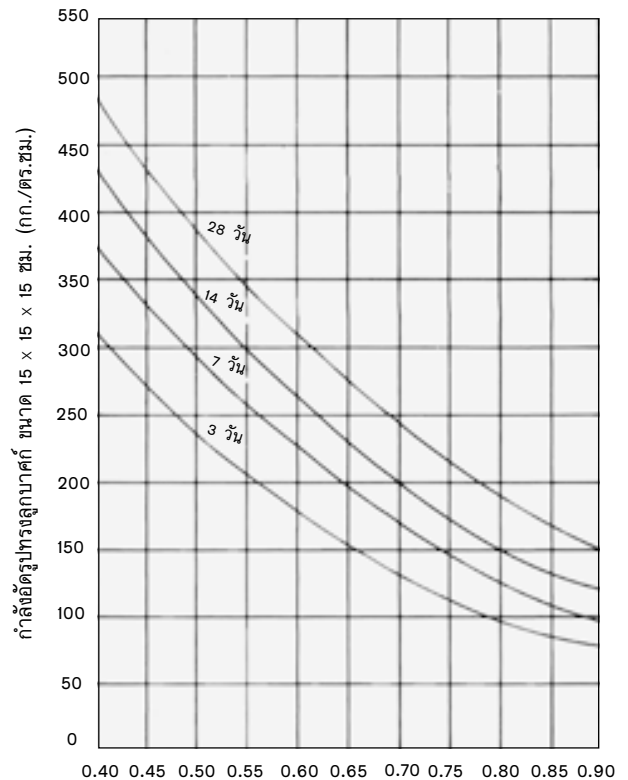
ขนาดหิน	ปริมาณปูนซีเมนต์ + ปริมาณทราย
1"-#4	38% โดยปริมาตร หรือ 380 ลิตร
3/4"-#4	40% โดยปริมาตร หรือ 400 ลิตร

**ตารางที่ 18.18** ปริมาณส่วนละเอียดเมื่อใช้หินขนาดใหญ่สุดแตกต่างกัน

สำหรับงานพิเศษบางประเภทเช่น งานคอนกรีตเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ที่มีค่ายุบตัวมากกว่า 15 ซม. นั้น ในการออกแบบอาจจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณส่วนละเอียดขึ้นไปเป็น 42-45% โดยปริมาตรเพื่อป้องกันปัญหาการแยกตัวของคอนกรีต

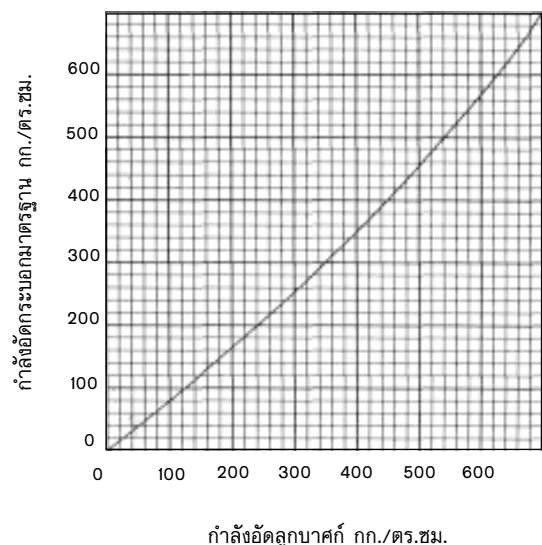
### • อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และค่ากำลังอัด

กำลังอัดของคอนกรีต เป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ความสัมพันธ์ดังกล่าว สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่ผลิตใช้ในประเทศไทย แสดงในกราฟรูปที่ 18.9



**รูปที่ 18.9** อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และค่ากำลังอัดคอนกรีต

ถ้าต้องการใช้กำลังอัดรูปทรงกระบอกในการออกแบบมาตรฐาน วสท.ได้กำหนดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดทั้ง 2 รูปทรงไว้ ดังแสดงในกราฟรูปที่ 18.10



**รูปที่ 18.10** การแปลงกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก

**ผลของน้ำยาต่อการออกแบบส่วนผสม**

น้ำยาผสมคอนกรีตที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย มีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ

1. ลดน้ำในส่วนผสม
2. ยืดเวลาการก่อตัวของคอนกรีต

น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทลดน้ำนี้ เมื่อผสมเข้าไปในส่วนผสมจะส่งผลให้ลดปริมาณน้ำได้ 5-10% ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 18.19

ค่ายุบตัว (ซม.)	ปริมาณน้ำต่อ 1 ลบ.ม. คอนกรีต เมื่อใส่น้ำยาประเภทนี้	
	หินย่อยขนาด 1 -# 4	หินย่อยขนาด 3/4 -#4
7.5 ± 2.5	170	180
10.0 ± 2.5	180	190
12.5 ± 2.5	190	200

**ตารางที่ 18.19** ปริมาณน้ำเพื่อให้ได้ค่ายุบตัวตามต้องการเมื่อใส่น้ำยาประเภทลดน้ำ

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 18.9
- 3) หาค่าน้ำหนักซีเมนต์ = ปริมาณน้ำ/ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

ขั้นตอนที่ (3)

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

ขั้นตอนที่ (4)

$$\text{ปริมาตรทราย} = (380 \text{ หรือ } 400) - \text{ปริมาตรปูนซีเมนต์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3}$$

ขั้นตอนที่ (5)

$$\text{น้ำหนักทราย} = \text{ปริมาตรทราย} \times \text{ความถ่วงจำเพาะของทราย}$$

ขั้นตอนที่ (6)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรหิน} &= 1000^* - \text{ปริมาตรซีเมนต์} - \text{ปริมาตรน้ำ}^{**} \\ &\quad - \text{ปริมาตรทราย} \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ (7)

$$\text{น้ำหนักหิน} = \text{ปริมาตรหิน} \times \text{ความถ่วงจำเพาะของหิน}$$

ขั้นตอนที่ (8)

หาปริมาณน้ำยาที่ใช้

\* คอนกรีต 1 ลบ.ม. มีปริมาตร 1,000 ลิตร

\*\* ปริมาตรน้ำ = น้ำหนักน้ำ



### 18.11 การปรับส่วนผสมคอนกรีตเนื่องจากหินทรายไม่อยู่ในสภาพที่ออกแบบ

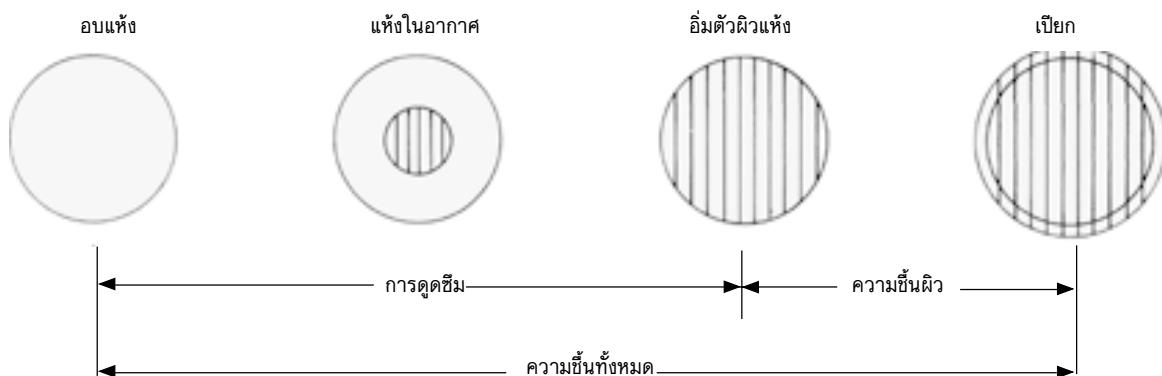
ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต น้ำหนักของหินทรายที่ได้ นั่นคือ น้ำหนักของหินทรายที่อยู่ในสภาพที่อิมตัวผิวแห้ง แต่สภาพหินทรายที่ใช้โดยทั่วไปไม่ได้อยู่ในสภาพที่ออกแบบ ทำให้ต้องมีการปรับส่วนผสมให้ถูกต้อง

#### • สภาพหินทราย

หินทรายโดยทั่วไปจะมีอยู่ 4 สภาพดังนี้

- 1) ออบแห้ง (Oven Dry)
- 2) แห้งในอากาศ (Air Dry)
- 3) อิมตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry)
- 4) เปียก (Wet)

ซึ่งสามารถแสดงดังรูปที่ 18.11



**รูปที่ 18.11** สภาพความชื้นของมวลรวม

ค่าการดูดซึมของหินย่อยและทรายแม่น้ำที่ใช้อยู่ทั่วไปในประเทศไทย

หิน	การดูดซึม	0.5%
ทราย	การดูดซึม	0.7%

และสภาพหินทรายทั่ว ๆ ไปจะเป็นดังนี้

- ทราย อยู่ในสภาพเปียกทั่ว ๆ ไปไม่มีความชื้นทั้งหมด อยู่ระหว่าง 2-8%

- หิน อยู่ในสภาพแห้งในอากาศ

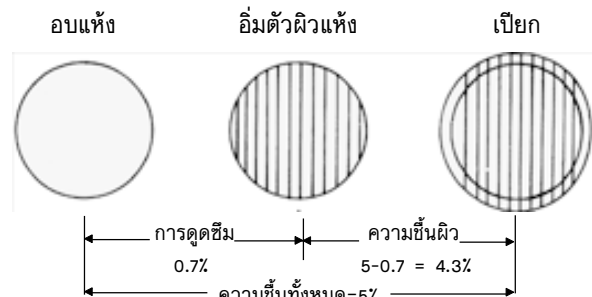
#### • ตัวอย่างการปรับส่วนผสมคอนกรีต

ถ้าสัดส่วนผสมของคอนกรีตเป็นดังนี้

ปูนซีเมนต์	295	ก.ก.
น้ำ	180	ลิตร
ทราย	810	ก.ก.
หิน	1,135	ก.ก.
น้ำยา	750	ซีซี
ค่ายุบตัว	7.5 ± 2.5	ซม.

#### กำหนดให้

ทรายมีความชื้น 5%      การดูดซึม 0.7%  
หินอยู่ในสภาพ อิมตัวผิวแห้ง การดูดซึม 0.5%



นั่นคือน้ำหนักทราย 100 กก. มีน้ำมากไป

$$= 4.3 \text{ กก.}$$

นั่นคือน้ำหนักทราย 810 กก. มีน้ำมากไป

$$= \frac{4.3 \times 810}{100}$$

$$= 34.8 \text{ กก.}$$

∴ จะต้องชั่งทรายเพิ่มขึ้นเป็น

$$= 810 + 34.8 = 844.8 \text{ กก.}$$

เนื่องจากหินอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งจึงไม่ต้องปรับ

ความชื้น ดังนั้นจะต้องใส่น้ำในส่วนผสมทั้งสิ้น

$$= 180 - 34.8 \quad \text{ลิตร}$$

$$= 145.2 \text{ ลิตร}$$

**อัตราส่วนผสมที่ต้องชั่ง**

ซีเมนต์	395	กก.
น้ำ	145	ลิตร
ทราย	845	กก.
หิน	1,135	กก.
น้ำยา	750	ซีซี