

การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต

1. กำลังอัดเฉลี่ยที่ใช้ผลิตคอนกรีต

สำหรับงานก่อสร้างใดๆ ก็ตาม วิศวกรผู้ออกแบบ จะกำหนดกำลังอัดที่ใช้ในการออกแบบไว้ให้ ซึ่งผู้ทำการก่อสร้าง จะต้องผสมคอนกรีตให้ได้กำลังอัดตามที่กำหนดไว้ แต่ในการผสมคอนกรีตแต่ละครั้งนั้น บางครั้งจะไม่ได้คอนกรีตที่มีกำลังอัดตามที่ระบุไว้ในแบบก่อสร้าง ดังนั้นเพื่อความปลอดภัย จึงต้องมีการคิดกำลังอัดคอนกรีตส่วนเผื่อไว้สำหรับการผสมคอนกรีต นั่นคือกำลังอัดเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิต ซึ่งมีสูตรการคำนวณหา คือ

$$f_{CR} = f'_C + k s$$

โดย f_{CR} = ค่ากำลังอัดเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิต

f'_C = ค่ากำลังอัดที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง

$k s$ = ส่วนเผื่อ ซึ่งจะประกอบด้วยค่า k ซึ่งเป็นค่าคงที่ และค่า s ซึ่งเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัดจากก้อนตัวอย่าง (โดยทั่วไปสำหรับการผลิตคอนกรีตนั้นจะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานประมาณ 40 กก./ ซม.²)

ในการคำนวณหาค่ากำลังอัดเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิต จะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 กรณีดังนี้

- 1.1 มีก้อนคอนกรีตตัวอย่างสำหรับทดสอบ มากกว่า 30 ก้อน ในกรณีนี้ให้ใช้ค่า k ในตารางที่ 1
- 1.2 มีก้อนคอนกรีตตัวอย่างสำหรับทดสอบ 15 - 29 ก้อน ในกรณีนี้ให้ใช้ค่า k ในตารางที่ 2
- 1.3 มีก้อนคอนกรีตตัวอย่างสำหรับทดสอบ น้อยกว่า 30 ก้อน ในกรณีนี้ไม่ต้องหาค่า k แต่ให้ใช้ค่าส่วนเผื่อตามตารางที่ 3

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ k ในกรณีที่มีก้อนคอนกรีตตัวอย่างสำหรับทดสอบมากกว่า 30 ก้อน

% ของจำนวนก้อนคอนกรีตตัวอย่างที่มีกำลังที่ต่ำกว่าค่ากำลังที่กำหนดไว้ในแบบ (f'_C)	ค่า k ที่ใช้คำนวณหาส่วนเผื่อ
20	0.842
10	1.282
5	1.645
2.5	1.960
2	2.054
1	2.326
0	3.000

ตารางที่ 2 ค่า k ในกรณีที่ มีก้อนคอนกรีตตัวอย่างสำหรับทดสอบ 15 – 29 ก้อน

จำนวนก้อนคอนกรีตตัวอย่าง	k
15	1.16
20	1.08
25	1.03
มากกว่าหรือเท่ากับ 30	1.00

ตารางที่ 3 กำลังอัดที่ต้องเพิ่มเมื่อไม่มีการทดสอบ

ค่ากำลังอัดที่กำหนด (f'_c)	กำลังอัดที่ต้องเพิ่ม
น้อยกว่า 210	70
210 – 350	85
มากกว่าหรือเท่ากับ 350	100

จะเห็นว่าหากต้องการให้ % ของจำนวนก้อนคอนกรีตตัวอย่างที่มีกำลังอัดต่ำกว่า f'_c น้อยลงนั้นจะต้องออกแบบให้มีส่วนเผื่อเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามมาตรฐานทั่วไปนั้นจะต้องออกแบบให้กำลังอัดเฉลี่ยต่ำกว่ากำลังอัดที่ต้องการไม่เกิน 5 %

ตัวอย่างที่ 1 การคำนวณหา กำลังคอนกรีตที่ใช้ในการผลิต

ถ้าในรายละเอียดของการก่อสร้างกำหนดให้ใช้คอนกรีตที่มีกำลังอัดประลัย (f'_c) 240 กก./ซม.² โดยคอนกรีตมีค่าความแข็งแรงมาตรฐาน 40 กก./ ซม.² ถ้าต้องการให้มี % ของก้อนคอนกรีตตัวอย่างที่มีกำลังอัดต่ำกว่า 240 กก./ซม.² เท่ากับ 5% จงหาค่ากำลังคอนกรีตที่ใช้ในการผลิต

วิธีทำ

$$\text{จากสูตร} \quad f_{CR} = f'_c + k s$$

$$\text{แทนค่า} \quad f_{CR} = 240 + 1.645 \times 40 = 240 + 66 = 306$$

ตัวอย่างที่ 2 การคำนวณหา กำลังคอนกรีตที่ใช้ในการผลิต

ถ้าในรายละเอียดของการก่อสร้างกำหนดให้ใช้คอนกรีตที่มีกำลังอัดประลัย (f'_c) 240 กก./ซม.² โดยคอนกรีตมีค่าความแข็งแรงมาตรฐาน 40 กก./ ซม.² ถ้ามีก้อนคอนกรีตตัวอย่างทดสอบทั้งหมด 20 ก้อน จงหาค่ากำลังคอนกรีตที่ใช้ในการผลิต

วิธีทำ

$$\text{จากสูตร} \quad f_{CR} = f'_c + k s$$

$$\text{แทนค่า} \quad f_{CR} = 240 + 1.08 \times 40 = 240 + 43.2 = 283.2$$

ตัวอย่างที่ 3 การคำนวณหาค่ากำลังคอนกรีตที่ใช้ในการผลิต

ถ้าในรายละเอียดของการก่อสร้างกำหนดให้ใช้คอนกรีตที่มีกำลังอัดประลัย (f_c') 240 กก./ซม.² โดยคอนกรีตมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 40 กก./ ซม.² ถ้ามีก้อนคอนกรีตตัวอย่างทดสอบทั้งหมด 5 ก้อน จงหาค่ากำลังคอนกรีตที่ใช้ในการผลิต

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad f_{CR} &= f_c' + k s \\ \text{แทนค่า} \quad f_{CR} &= 240 + 85 = 325 \end{aligned}$$

2. การออกแบบส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย

วิธีการออกแบบส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยนี้ เป็นวิธีการออกแบบที่นำเอามาตรฐานการออกแบบของประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศอังกฤษมาประยุกต์ใช้ เพื่อให้เข้ากับสภาพของวัตถุดิบที่มีใช้ในประเทศไทย

2.1 คุณสมบัติของวัตถุดิบ

คุณสมบัติของวัตถุดิบที่มีใช้ในประเทศไทยได้ถูกทดสอบ และเก็บรวบรวม แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยได้ค่าดังที่แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่ามาตรฐานของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสม

วัตถุดิบ	ค่าความถ่วงจำเพาะ	ค่าการดูดซึม
ปูนซีเมนต์	3.15	-
หินย่อย	2.7	0.5
ทรายแม่น้ำ	2.65	0.7

2.2 ปริมาณน้ำ และค่ายุบตัว

ตารางที่ 5 จะแสดงปริมาณน้ำที่ต้องใช้ต่อคอนกรีต 1 ลบ.ม. เมื่อใช้หินย่อย และทรายแม่น้ำที่อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD)

ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำเพื่อให้ได้ค่าการยุบตัวตามต้องการ

ค่ายุบตัว (ซม.)	ปริมาตรน้ำ ต่อคอนกรีต 1 ลบ.ม.	
	หิน 1" - # 4	หิน 3/4" - # 4
7.5 ± 2.5	180 ลิตร	190 ลิตร
10 ± 2.5	190 ลิตร	200 ลิตร
12.5 ± 2.5	200 ลิตร	210 ลิตร

2.3 ปริมาณส่วนผสม

ในประเทศไทย วัสดุหลักที่ใช้ผสมคอนกรีต จะประกอบด้วย หินย่อย และทรายแม่น้ำ ดังนั้น ปริมาณส่วนผสมจะได้แก่ ปริมาณปูนซีเมนต์ และปริมาณทราย ซึ่งปริมาณของวัสดุทั้งสองที่จะทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ (workability) ไม่เกิดการแยกตัว (segregation) และได้กำลังอัด (strength) ตามต้องการ จะมีค่าดังที่แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาณวัสดุละเอียดในการผสม

ขนาดหิน	ปริมาตรวัสดุละเอียด (ทราย + ปูน)
หิน 1" - # 4	38% โดยปริมาตร , (380 ลิตร)
หิน 3/4" - # 4	40% โดยปริมาตร , (400 ลิตร)

2.4 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และค่ากำลังอัด

กำลังอัดคอนกรีต จะเป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (water/cement ratio) สำหรับการออกแบบปฏิกิริยาส่วนผสมที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ซึ่งผลิตใช้ในประเทศไทย ถ้ากำหนดกำลังอัดที่ต้องการผลิตได้ จะสามารถหาค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ได้ตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และค่ากำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ของคอนกรีต

กำลังอัดคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 15x15x15 ซม.	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์			
	กำลังอัดคอนกรีต ที่อายุ 3 วัน	กำลังอัดคอนกรีต ที่อายุ 7 วัน	กำลังอัดคอนกรีต ที่อายุ 14 วัน	กำลังอัดคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน
100	0.79	0.88	-	-
125	0.71	0.80	0.88	-
150	0.66	0.74	0.80	0.90
175	0.60	0.69	0.74	0.83
200	0.56	0.64	0.70	0.78
225	0.52	0.60	0.66	0.73
250	0.48	0.56	0.62	0.69
275	0.44	0.53	0.59	0.65
300	0.41	0.49	0.55	0.61
325	-	0.46	0.51	0.58
350	-	0.43	0.49	0.55
375	-	0.40	0.46	0.51
400	-	-	0.43	0.49
425	-	-	0.41	0.46
450	-	-	-	0.44
475	-	-	-	0.41

2.5 ขั้นตอนการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต

- 2.5.1 กำหนด f_c' , ค่าการยุบตัว, ขนาดใหญ่สุดของส่วนผสม, สารผสมเพิ่ม (ถ้ามี)
- 2.5.2 คำนวณหาค่ากำลังอัดที่ต้องผลิตของคอนกรีต
- 2.5.3 หาปริมาณน้ำ เพื่อให้ได้ค่าการยุบตัวที่ต้องการ (ตารางที่ 5)
- 2.5.4 หาค่าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ (ตารางที่ 7)
โดยปกติแล้ว จะใช้ค่ากำลังอัดคอนกรีตที่อายุ 28 วัน
- 2.5.5 คำนวณหาน้ำหนักของซีเมนต์ จากสูตร

$$\text{น้ำหนักของซีเมนต์} = \text{ปริมาณน้ำ} / \text{ค่าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์}$$
- 2.5.6 คำนวณหาปริมาตรของซีเมนต์ จากสูตร

$$\text{ปริมาตรซีเมนต์} = \text{น้ำหนักซีเมนต์} / \text{ค่าความถ่วงจำเพาะซีเมนต์}$$

 ค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ = 3.15 (จากตารางที่ 4)
- 2.5.7 คำนวณหาปริมาตรของทราย จากสูตร

$$\text{ปริมาตรทราย} = \text{ปริมาตรวัสดุละเอียด} - \text{ปริมาตรซีเมนต์}$$

 ปริมาตรวัสดุละเอียด ดูจากตารางที่ 6
- 2.5.8 คำนวณหาปริมาตรของหิน จากสูตร

$$\text{ปริมาตรหิน} = 1000 - \text{ปริมาตรซีเมนต์} - \text{ปริมาตรน้ำ} - \text{ปริมาตรทราย}$$
- 2.5.9 คำนวณหาน้ำหนักของทราย จากสูตร

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

 ค่าความถ่วงจำเพาะของทราย = 2.65 (จากตารางที่ 4)
- 2.5.10 คำนวณหาน้ำหนักของหิน จากสูตร

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

 ค่าความถ่วงจำเพาะของหิน = 2.70 (จากตารางที่ 4)
- 2.5.11 คำนวณหาปริมาตรของสารผสมเพิ่มในคอนกรีต (ถ้ามี)
- 2.5.12 สรุปส่วนผสมสำหรับคอนกรีต 1 ลบ.ม. โดย
 น้ำหนักซีเมนต์ หิน ทราย จะละเอียดถึง 5 กก.
 ปริมาตรน้ำ จะละเอียดถึง 5 ลิตร
 สารผสมเพิ่ม จะละเอียดถึง 50 ซีซี (ยกเว้นน้ำยาเพิ่มฟองอากาศ)

หมายเหตุ คอนกรีต 1 ลบ.ม. มีปริมาตร 1,000 ลิตร
 น้ำ 1 ลิตรหนัก 1 กก.

ตัวอย่างที่ 4 การคำนวณออกแบบส่วนผสม

หน่วยงานต้องการคอนกรีตซึ่งมีกำลังอัดคอนกรีตทรงลูกบาศก์ 240 กก./ ซม.² มีค่ายุบตัว 7.5 ± 2.5 ซม. และผสมน้ำยาหน่วง ซึ่งปริมาณการใช้คือ 250 ซีซี ต่อปูนซีเมนต์ 100 กก. แต่หน่วยงานไม่มีก้อนตัวอย่างคอนกรีตทดสอบ และวัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีตจะใช้หินขนาด 1" – #4 จึงออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

วิธีทำ

- [illegible]