

## มาตรฐานการทดสอบ การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

### 1. ขอบข่าย

เป็นวิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต หรือการหาสัดส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมของวัสดุผสม เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ทั้งในสภาพคอนกรีตสด คอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว และประหยัด

### 2. ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ

#### 2.1 หลักการในการออกแบบส่วนผสม

2.1.1 เพื่อเลือกวัสดุผสมคอนกรีตที่เหมาะสม ได้แก่ ปูนซีเมนต์ มวลรวมหยาบ (หินย่อย) มวลรวมละเอียด (ทราย) น้ำ และสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีตให้เป็นไปตามข้อกำหนดและวัตถุประสงค์ในการใช้งาน

2.1.2 คำนวณหาสัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดและการใช้งานที่ต้องการทั้งในสภาพคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

#### 2.2 กำลังรับแรงอัด

ค่ากำลังอัดของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (Water-Content Ratio; w/c) โดยค่ากำลังอัดจะเป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ โดยถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์มาก กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะต่ำ แต่ถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะสูง ซึ่งในการผสมคอนกรีตถ้าสามารถรักษาอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ให้คงที่แล้ว แม้ส่วนผสมอื่นจะเปลี่ยนแปลงๆ ไปบ้าง แต่กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก

#### 2.3 ความสามารถเทได้

ความสามารถเทได้ของคอนกรีตมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณน้ำในส่วนผสม โดยปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นความสามารถเทได้ของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้น (หรือคอนกรีตเหลวขึ้น) คอนกรีตสดควรมีความชื้นเหลือพอเหมาะที่จะเทเข้าแบบได้สะดวก เพราะถ้าคอนกรีตชื้นหรือแห้งเกินไปการทำให้แน่นยาก ทำให้เกิดรูโพรง แต่ถ้าคอนกรีตเหลวเกินไปจะทำให้เกิดการแยกตัวขณะลำเลียงและเท และทำให้กำลังอัดของคอนกรีตต่ำลง ไม่ทนทาน และมีโอกาสแตกร้าวง่าย ซึ่งการวัดความสามารถเทได้ควรกำหนดวิธีที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 วิธีการวัดความสามารถเทได้ของคอนกรีต

ประเภทของคอนกรีต	วิธีวัดความสามารถเทได้
(1) คอนกรีตแข็งหรือกระด้างมาก	- วัดโดยหาค่าเวลาวิบี (Vebe Test)
(2) คอนกรีตทั่วๆ ไป	- วัดค่ายุบตัว (Slump Test)
(3) คอนกรีตเหลวมาก	- วัดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอนกรีตที่แผ่กระจายออก (Flow Test)

## 2.4 ความทนทาน

คอนกรีตที่ใช้งานในสภาพปกติโดยทั่วไปจะมีความทนทานอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ แต่ถ้าคอนกรีตอยู่ในสภาวะที่เกิดการกัดกร่อนรุนแรง เช่น โครงสร้างในน้ำทะเลความทนทานจะลดลง อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์มีผลต่อความทนทานของคอนกรีต ดังนั้นจึงมีการกำหนดอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมกับคอนกรีตที่สภาวะต่างๆ

## 3. วิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

### 3.1 มาตรฐานการออกแบบคอนกรีต

ในการออกแบบจะต้องออกแบบคอนกรีตให้มีกำลังอัดมากกว่ากำลังอัดของงานที่กำหนดไว้ ดังสมการ

$$f_{cr} = f'_c + ks$$

เมื่อ	$f_{cr}$	คือ	กำลังอัดที่ต้องการผลิต
	$f'_c$	คือ	กำลังอัดที่กำหนดไว้ในแบบ
	$ks$	คือ	ส่วนเผื่อกำลังอัด ซึ่งประกอบด้วย
	$k$	คือ	ค่าคงที่ ดังตารางที่ 2
	$s$	คือ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัดจากก้อนตัวอย่าง 30 ค่า หรือมากกว่า

ตารางที่ 2 ค่าคงที่ k

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

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจำเป็นต้องหาจากแท่งตัวอย่าง อย่างน้อย 30 ค่า จึงจะให้ความเชื่อถือทางสถิติได้เพียงพอ แต่ถ้การทดสอบน้อยกว่า 30 ค่า ค่าคงที่ k ในตารางที่ 2 อนุโลมได้โดยใช้ตัวคูณ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อตัวอย่างน้อยกว่า 30 ค่า

จำนวนตัวอย่าง	ตัวคูณสำหรับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
น้อยกว่า 15	ใช้ตารางที่ 4
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 หรือมากกว่า	1.00

ในกรณีที่ไม่มีผลการทดสอบแท่งตัวอย่าง หรือผลการทดสอบน้อยกว่า 15 ค่า กำลังอัดของคอนกรีตที่จะต้องผลิตต้องสูงกว่ากำลังอัดที่กำหนด ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ส่วนเผื่อเมื่อไม่มีผลทดสอบกำลังอัดแท่งตัวอย่าง

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

### 3.2 การออกแบบตามมาตรฐานอเมริกา

ในการหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตธรรมดา (Normal Weight Concrete) ตามมาตรฐานของอเมริกัน จำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบต้องทราบคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีต ดังนี้

#### ปูนซีเมนต์

- ความถ่วงจำเพาะ (สามารถใช้ค่า 3.15 สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1)

#### มวลรวม

- ขนาดคละ
- ความถ่วงจำเพาะ
- ความชื้น
- พิกัดความละเอียดของมวลรวมละเอียด (Fineness Modulua, F.M.)
- หน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ

โดยมีขั้นตอนการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ดังนี้

1. เลือกค่ายุบตัวที่เหมาะสม คำนำนตามตารางที่ 5
2. เลือกขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ ให้พิจารณาเลือกใช้ขนาดใหญ่ที่สุดแต่ต้อง

ไม่เกินกว่า

$$2.1 \text{ ขนาด} \frac{1}{5} \text{ ของส่วนที่แคบที่สุดของดครงสร้างที่ไม่เสริมเหล็ก}$$

$$2.2 \text{ ขนาด} \frac{3}{4} \text{ ของระยะเรียงเหล็กเสริมที่แคบที่สุดหรือระหว่างเหล็กเสริมกับ}$$

แบบหล่อ

$$2.3 \text{ ขนาด} \frac{1}{3} \text{ ของความหนาแผ่นพื้นที่ยาวอยู่บนดิน}$$

3. ประมาณปริมาณน้ำและฟองอากาศที่จะเกิดขึ้นในคอนกรีต (ปริมาตร 1 ลบ.ม.)

คำนำนตามตารางที่ 6

4. เลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ คำนำนตามตารางที่ 7

5. คำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ = ขั้นตอนที่ 3 / ขั้นตอนที่ 4

6. คำนวณปริมาณมวลรวมหยาบ = ปริมาตรของมวลรวมหยาบ (ตารางที่ 9) x หน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ

7. คำนวณปริมาณของมวลรวมละเอียด มี 2 วิธี คือ

#### 7.1 วิธี Absolute Volume

ปริมาตรของมวลรวมละเอียด = ปริมาตรของคอนกรีต - ปริมาตรของวัสดุผสมยกเว้นมวลรวมละเอียด

น้ำหนักมวลรวมละเอียด = ปริมาตรของมวลรวมละเอียด x ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียด x หน่วยน้ำหนักของน้ำ

## 7.2 วิธี Weight Method

น้ำหนักมวลรวมละเอียด = หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต (ตารางที่ 10) - น้ำหนักของวัสดุผสมยกเว้นมวลรวมละเอียด

8. ปรับส่วนผสมตามสภาพความชื้นของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ

9. ทำการทดลองผสมเพื่อตรวจสอบดูความสามารถเทได้และกำลังอัดของคอนกรีต

10. หากเหมาะสมหยุดการทดลอง แต่ถ้าหากไม่เหมาะสมให้กลับไปดำเนินการตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 ใหม่

ตารางที่ 5 ค่ายุบตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างประเภทต่างๆ

ประเภทของงาน	ค่ายุบตัว (เซนติเมตร)	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
งานคอนกรีตขนาดใหญ่	7.5	2.5
พื้นถนน	8.0	3.0
โครงสร้างทั่วไป	10.0	5.0
เสาหรือผนังบาง	12.5	7.5
โครงสร้างที่มีเหล็กเสริมหนาแน่น	15.0	10.0

ตารางที่ 6 ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่ายุบตัวและวัสดุผสมขนาดต่างๆ

ค่ายุบตัว (เซนติเมตร)	ปริมาณน้ำ เป็นกิโลกรัม ต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร สำหรับวัสดุผสมขนาดต่างๆ							
	$3\frac{3}{8}$ นิ้ว	$1\frac{1}{2}$ นิ้ว	$3\frac{3}{4}$ นิ้ว	1 นิ้ว	$1\frac{1}{2}$ นิ้ว	2 นิ้ว	3 นิ้ว	6 นิ้ว
คอนกรีตที่ไม่มีสารกระจายก๊าซฟองอากาศ (Non-Air Entraining Concrete)								
2.5 – 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 – 10	228	216	205	193	181	169	145	124
12.5 – 15.0	243	228	216	202	190	178	160	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
คอนกรีตที่มีสารกระจายก๊าซฟองอากาศ (Air Entraining Concrete)								
2.5 – 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 – 10	202	193	184	175	165	157	133	119
12.5 – 15.0	216	205	197	184	174	166	154	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3

ตารางที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

กำลังอัดประลัยของคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตที่ไม่กระจาย ก๊าซฟองอากาศ	คอนกรีตที่กระจาย ก๊าซฟองอากาศ
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

ตารางที่ 8 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับคอนกรีตในสภาวะ  
เปิดเผยรุนแรง

ชนิดของโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปียกตลอดเวลา หรือมีการเยือกแข็งและการ ละลายของน้ำสลับกันบ่อยๆ (เฉพาะคอนกรีตกระจายกัก ฟองอากาศเท่านั้น)	โครงสร้างในน้ำทะเล หรือสัมผัสกับซัลเฟต
(1) โครงสร้างบางที่มีเหล็ก หุ้มน้อยกว่า 3 ซม.	0.45	0.40*
(2) โครงสร้างอื่นๆ ทั้งหมด	0.50	0.45*

\* หากใช้ปูนซีเมนต์ต้านทานซัลเฟต (ประเภท 5) อาจเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ได้อีก 0.05

ตารางที่ 9 ปริมาตรของมวลรวมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต

ขนาดโตสุดของ มวลรวมหยาบ นิ้ว (มม.)	ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นต่อหน่วยปริมาตร ของคอนกรีตสำหรับค่าโมดูลัสความละเอียดของมวลรวมละเอียดต่างๆ กัน			
	2.40	2.60	2.80	3.00
$\frac{3}{8}$ (9.5)	0.50	0.48	0.46	0.44
$\frac{1}{2}$ (12.5)	0.59	0.57	0.55	0.53
$\frac{3}{4}$ (19)	0.66	0.64	0.62	0.60
1 (25)	0.71	0.69	0.67	0.65
$1\frac{1}{2}$ (37.5)	0.76	0.74	0.72	0.70
2 (50)	0.78	0.76	0.74	0.72
3 (75)	0.81	0.79	0.77	0.75
6 (100)	0.87	0.85	0.83	0.81

ตารางที่ 10 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดโดยประมาณ

ขนาดโตสุด ของมวลรวมหยาบ นี้ (มม.)	หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต	
	คอนกรีตที่ไม่ใช้สารกระจาย กักฟองอากาศ	คอนกรีตที่ใช้สารกระจายกัก ฟองอากาศ
3/8 (10 มม.)	2,280	2,200
1/2 (12.5 มม.)	2,310	2,230
3/4 (20 มม.)	2,345	2,275
1 (25 มม.)	2,380	2,290
1 1/2 (40 มม.)	2,410	2,350
2 (50 มม.)	2,445	2,345
3 (75 มม.)	2,490	2,405
6 (150 มม.)	2,530	2,435

#### 4. ตัวอย่างการคำนวณออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีต

##### ข้อกำหนด

- ชนิดโครงสร้าง = โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป
- กำลังอัด ( $f_c'$ ) = 175 กก./ตร.ซม. ทดสอบตัวอย่างทรงกระบอก  $\phi 15 \times 30$  ซม. ที่อายุ 28 วัน
- โอกาสที่ตัวอย่างแท่งคอนกรีตมีกำลังอัดต่ำกว่าที่กำหนดร้อยละ 20 และค่า  $S = 30$  กก./ตร.ซม.
- ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

##### ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ

- ปูนซีเมนต์ ค่าความถ่วงจำเพาะ = 3.15
- มวลรวมละเอียดใช้ทราย มีค่าความถ่วงจำเพาะ = 2.6, ค่าการดูดซึมน้ำ = 0.7%, ค่าพิกัดความละเอียด (F.M.) = 2.40
- มวลรวมหยาบใช้หินย่อยขนาดโตสุด 3/4 นิ้ว มีค่าความถ่วงจำเพาะ = 2.7, ค่าการดูดซึมน้ำ = 0.5%, หน่วยน้ำหนักแห้งอัดแน่น = 1,440 กก./ลบ.ม.
- น้ำใช้น้ำประปา (น้ำสะอาด) มีค่าความถ่วงจำเพาะ = 1, หน่วยน้ำหนัก = 1,000 กก./ลบ.ม.



### ขั้นตอนการคำนวณ

การดำเนินการคำนวณออกแบบส่วนผสมต้องหา  $f_{cr}$  หรือกำลังอัดของคอนกรีตที่ต้องการผลิตก่อน จากข้อกำหนดโอกาสที่ตัวอย่างแท่งคอนกรีตมีกำลังอัดต่ำกว่าที่กำหนดร้อยละ 20 จากตารางที่ 2 ได้ค่า  $k = 0.842$  ดังนั้น  $f_{cr} = 175 + 0.842 \times 30 = 200.3$  กก./ตร.ซม. ดังนั้นเราต้องออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่มีกำลังอัดไม่น้อยกว่า 200 กก./ตร.ซม.

ขั้นตอนการคำนวณตาม ACI วิธี Absolute Volume (คิดต่อคอนกรีตปริมาตร 1 ลบ.ม.)

1. เลือกค่ายูนิตที่เหมาะสม (ดูตารางที่ 5)

เนื่องจากเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป ดังนั้นเลือกใช้ค่ายูนิตระหว่าง 5 – 10 ซม.

2. ขนาดโตสุดของมวลรวม (Max Size)

เนื่องจากเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป ดังนั้นโครงสร้างหลักจึงเป็นระบบพื้น คาน เสา เลือกใช้หินย่อยขนาดโตสุด 3/4 นิ้ว หรือ 19 มม. ตามตัวอย่างกำหนด

3. เลือกใช้ปริมาณน้ำและปริมาณฟองอากาศ (ดูตารางที่ 6)

จากหินย่อยขนาดโตสุด 3/4 นิ้ว และค่ายูนิตที่ต้องการ 5 - 10 ซม. จะได้

- ปริมาณน้ำ ควรใช้ระหว่าง 190 – 205 กก. เลือกใช้ 200 กก.
- ปริมาณฟองอากาศ ใช้ร้อยละ 2 ของปริมาตรคอนกรีต

4. เลือกใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ หรือ  $w/c$  (ดูตารางที่ 7)

จากตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่า  $w/c$  แปรผกผันกับกำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งจากกำลังอัดคอนกรีตที่ต้องการผลิต ( $f_{cr}$ ) = 200 กก./ตร.ซม. ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า  $w/c = 0.70$

5. คำนวณปริมาณปูนซีเมนต์

จากขั้นตอน 3 และขั้นตอน 4 จะได้ปริมาณปูนซีเมนต์ ( $c$ ) =  $w/0.70 = 200/0.70 = 286$  กก.

6. คำนวณปริมาณหินย่อย (ดูตารางที่ 9)

หินย่อยขนาดโตสุด 3/4 นิ้ว (จากขั้นตอนที่ 2) มีค่าหน่วยน้ำหนักแห้งแบบอัดแน่น = 1,440 กก./ลบ.ม. และค่าพิกัดความละเอียดของทราย (F.M.) = 2.40

จากตารางที่ 9 จะได้ปริมาตรของหินย่อยแบบแห้ง = 0.64 ลบ.ม. หรือมีน้ำหนักแห้ง ( $D_D$ ) =  $0.64 \times 1,440 = 922$  กก. แต่เนื่องจากน้ำหนักของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบถูกกำหนดให้อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) ดังนั้นจึงต้องแปลงน้ำหนักของหินย่อยที่คำนวณได้ให้อยู่ในรูปอิ่มตัวผิวแห้ง ( $D_{SSD}$ ) ด้วย โดย  $D_{SSD} = D_D \times (1 + (W/100))$  และ  $W$  คือ ค่าการดูดซึมของหินย่อยจากการทดลองหรือใช้ค่าประมาณ ดังนั้นน้ำหนักของหินย่อยสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง ( $D_{SSD}$ ) =  $922 \times (1 + 0.5/100) = 927$  กก.

## 7. คำนวณปริมาณทราย โดยหา Absolute Volume ของวัสดุแต่ละชนิดจาก

$$\text{ปริมาตรของวัสดุ} = \frac{\text{น้ำหนักของวัสดุ}}{\text{ค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุ} \times \text{หน่วยน้ำหนักของน้ำ}}$$

- ปริมาตรของน้ำ	200/(1.00x1000)	=	0.2000	ลบ.ม.
- ปริมาตรของปูนซีเมนต์	= 286/(3.15x1000)	=	0.0908	ลบ.ม.
- ปริมาตรของหินย่อย	= 927/(2.70x1000)	=	0.3433	ลบ.ม.
ปริมาตรของฟองอากาศ	= 2/100x1	=	0.0200	ลบ.ม.
ปริมาตรของวัสดุผสมยกเว้นมวลรวมละเอียด		=	0.6541	ลบ.ม.
ปริมาตรของทรายที่ต้องใช้	= 1 – 0.6541	=	0.3459	ลบ.ม.
ดังนั้น ปริมาณทราย (SSD)	= 0.3459x2.60x1000	=	899	กก.

ปริมาณวัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีต 1 ลบ.ม.

ปูนซีเมนต์	=	286	กก.
น้ำ	=	200	กก.
ทราย (SSD)	=	899	กก.
หินย่อย (SSD)	=	927	กก.
น้ำหนักคอนกรีตรวม	=	2,312	กก.

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนผสมคอนกรีตโดยน้ำหนัก} &= \frac{286}{286} : \frac{899}{286} : \frac{927}{286} \\ &= 1 : 3.14 : 3.24 \\ \text{w/c} &= \frac{200}{286} = 0.70 \end{aligned}$$

8. ทดลองผสมคอนกรีตตามอัตราส่วนผสมที่คำนวณได้ เพื่อตรวจสอบค่ายุบตัว และความสามารถเทได้ของคอนกรีตสด และทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว หากพบว่ามีความเหมาะสมให้นำไปใช้งานได้ แต่ถ้าไม่เหมาะสม เช่น ค่ายุบตัวไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด มีการแยกตัวของวัสดุผสม หรือกำลังอัดต่ำกว่าที่กำหนดไว้ ให้ออกแบบส่วนผสมใหม่ โดยเริ่มพิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 ด้วยการปรับค่าที่แนะนำตามตารางต่าง ๆ ให้เหมาะสมยิ่งขึ้น เช่น หากต้องการเพิ่มค่ายุบตัวของคอนกรีตให้เพิ่มปริมาณน้ำที่จะใช้ แต่ถ้าต้องการลดค่ายุบตัวของคอนกรีตให้ลดปริมาณน้ำที่จะใช้ หรือถ้าต้องการให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดที่สูงขึ้นให้ลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลง เป็นต้น

## 5. เอกสารอ้างอิง

5.1 สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย : ปูนซีเมนต์ ปอชโซลาน และคอนกรีต

5.2 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and  
Mass Concrete : ACI 211.1-91