การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

MIX DESIGN

1.ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ

1.1 หลักการในการออกแบบส่วนผสม

1)เพื่อเลือกวัสดุผสมคอนกรีตที่เหมาะสม ได้แก่ ปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ให้เป็นไปตามข้อกำหนดและวัตถุประสงค์การใช้งาน

2)คำนวณหาสัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดและการใช้งานที่ต้องการทั้งในสภาพคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

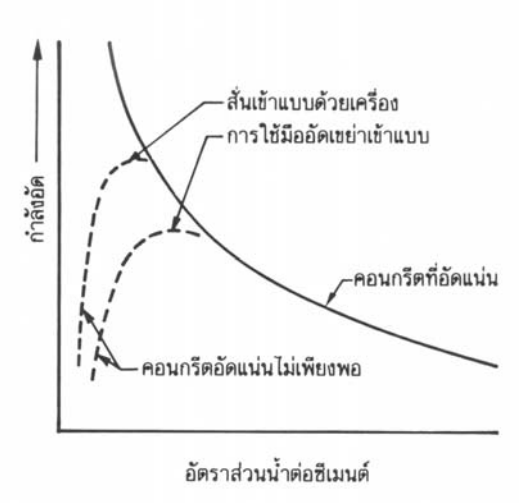
1.2 กำลังรับแรงอัด

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

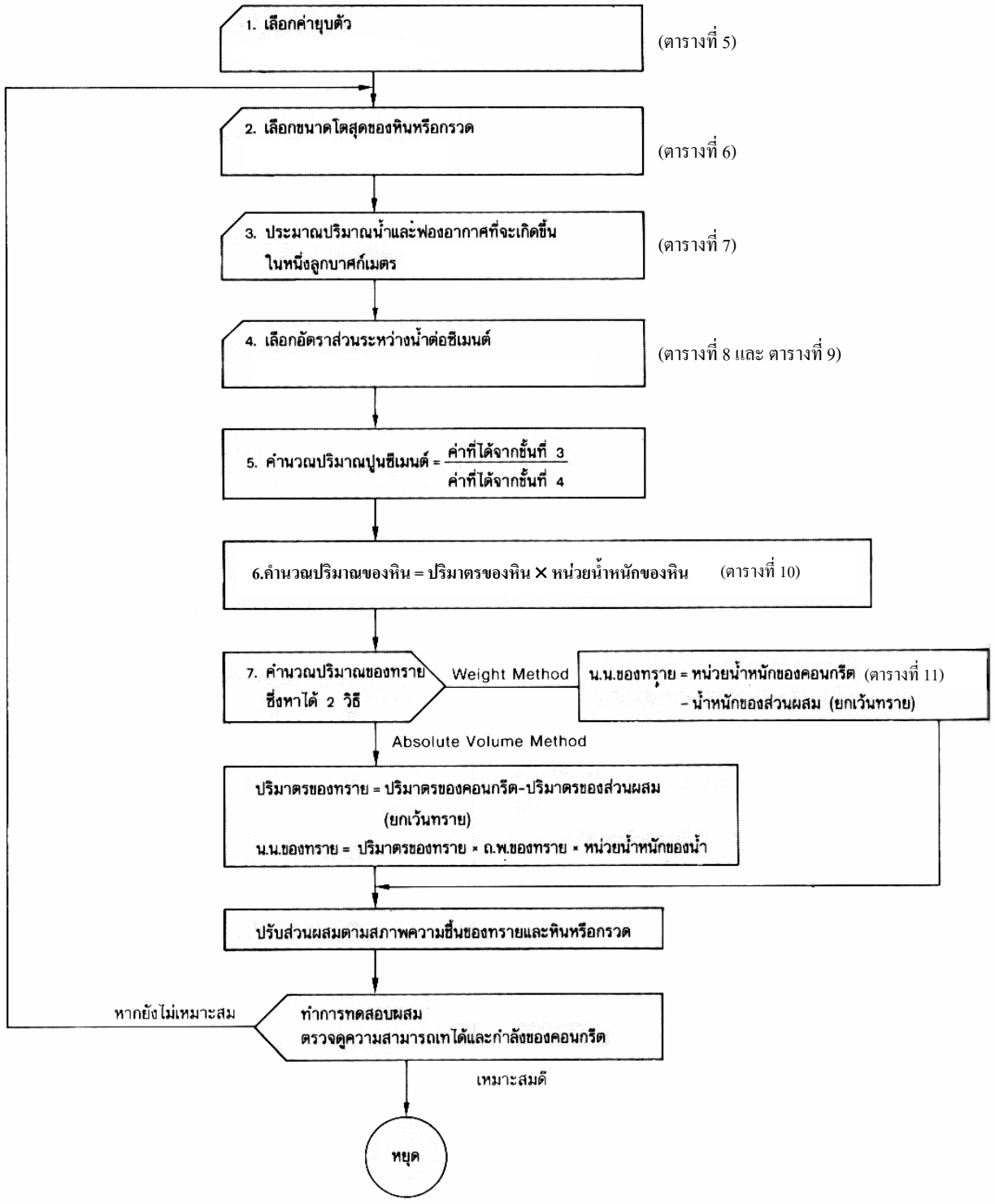
- มวลรวม

- 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

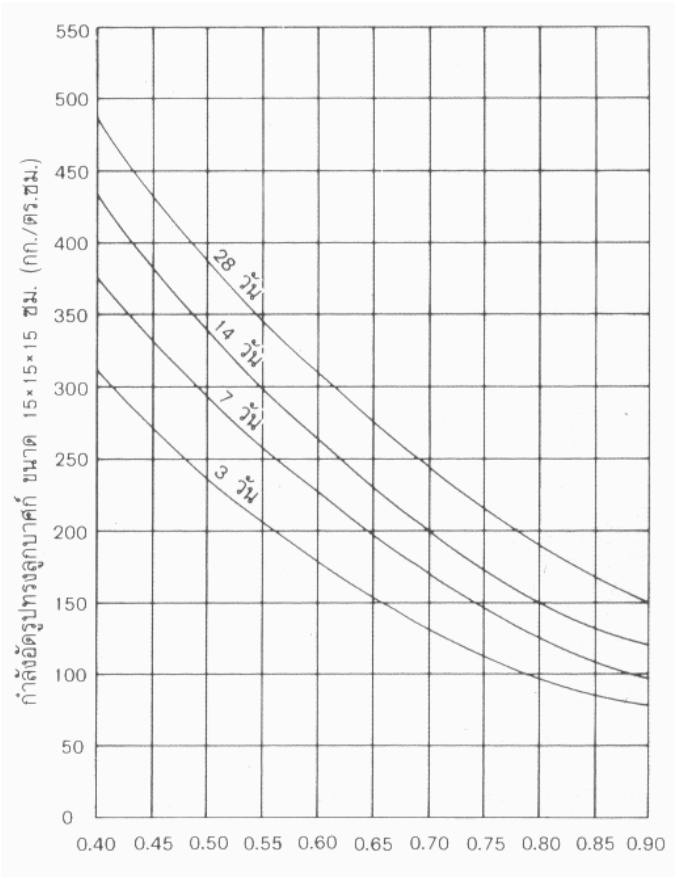
ตารางที่ 14 ปริมาณส่วนละเอียดเมื่อใช้หินขนาดใหญ่สุดแตกต่างกัน

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

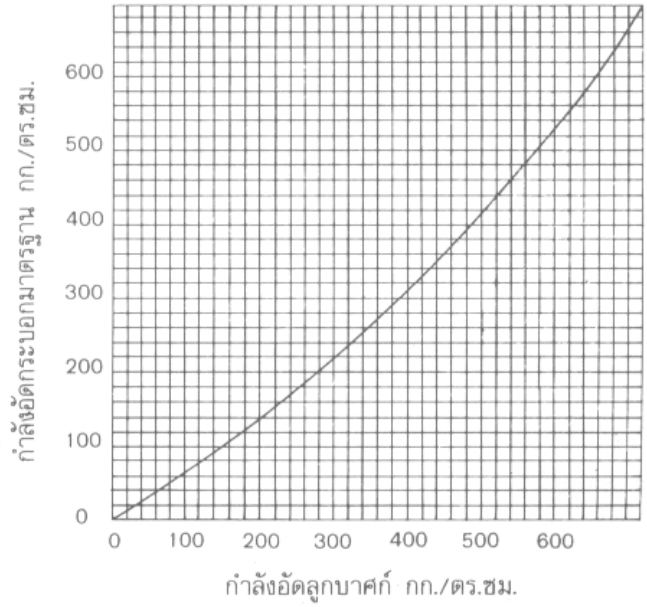
- อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และค่ากำลังอัด

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.

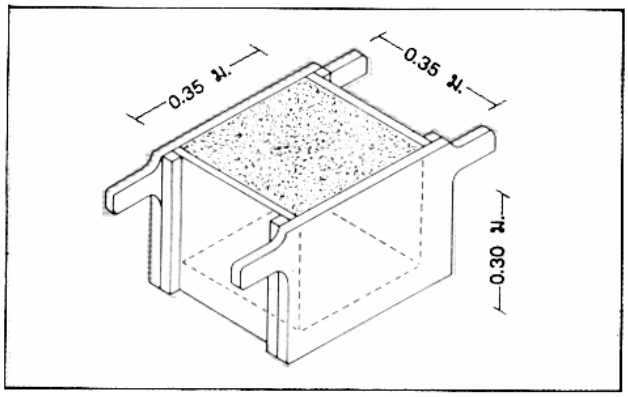
สรุปส่วนผสมใน 1 ลบ.ม.

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

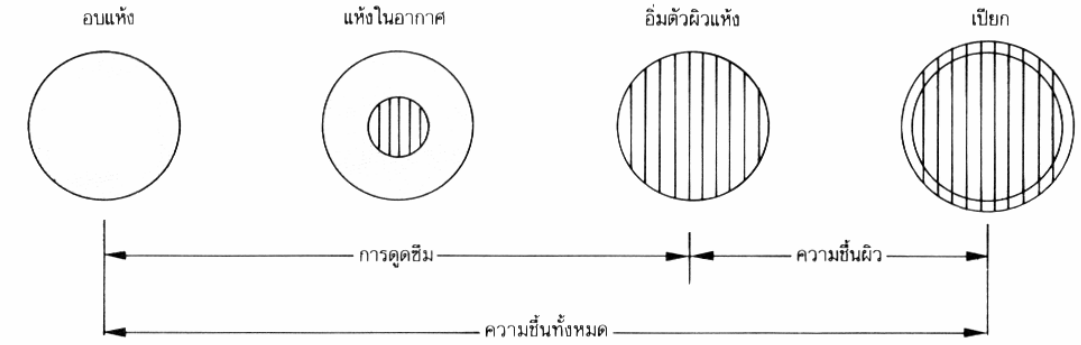
ปูนซีเมนต์	295	กก.
น้ำ	180	ลิตร
ทราย	810	กก.
หิน	1135	กก.
น้ำยา	750	ซีซี
ค่ายุบตัว	7.5 ± 2.5	ซม.

- สภาพหินทราย

หินทรายโดยทั่วไปจะมีอยู่ 4 สภาพดังนี้

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

ซึ่งแสดงดังรูปที่ 6.7

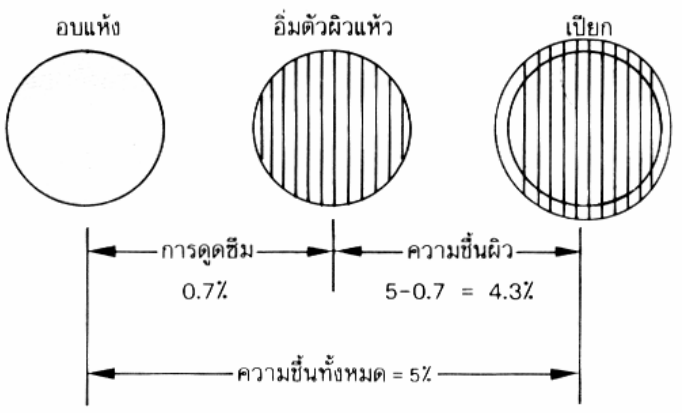


รูปที่ 7 สภาพความชื้นของมวลรวม

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