

คอนกรีตสำหรับงานคอนกรีตปั๊ม

- 4.1 การเคลื่อนที่ของคอนกรีตในท่อ
- 4.2 คุณสมบัติของคอนกรีตที่สามารถปั๊มได้
- 4.3 อิทธิพลของมวลรวมต่อความสามารถในการปั๊ม
- 4.4 หมายเหตุผสมคอนกรีตสำหรับงานคอนกรีตปั๊ม
- 4.5 ส่วนผสมคอนกรีตที่ทำให้ปั๊มได้ง่าย
- 4.6 ตัวอย่างการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต
- 4.7 การอุดตันของคอนกรีตในท่อ

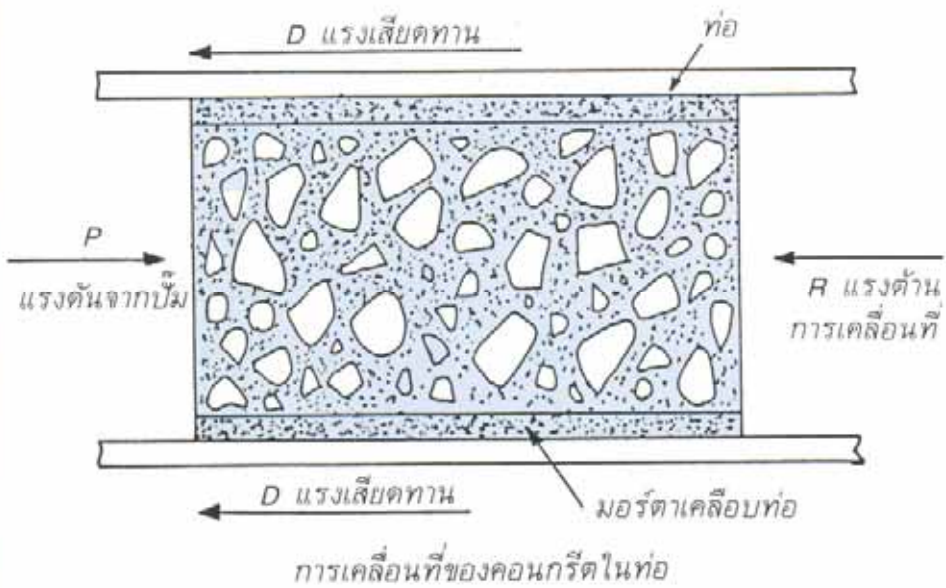
คอนกรีตสำหรับงานคอนกรีตปั๊ม

ส่วนผสมของคอนกรีตเป็นองค์ประกอบสำคัญ ในการลำเลียงคอนกรีต โดยใช้คอนกรีตปั๊ม ในบทนี้เราจะมาพิจารณาส่วนผสมของคอนกรีตที่เหมาะสม สำหรับงานคอนกรีตปั๊ม

ส่วนผสมของคอนกรีตแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นของแข็ง ได้แก่ หิน, ทราย, ซีเมนต์ และส่วนที่เป็นของเหลวคือ น้ำ ซึ่งในส่วนผสมที่กล่าวนี้ น้ำเป็นส่วนผสมเดียวที่สามารถปั๊มได้ แต่เมื่อนำส่วนผสมทั้งหมดมาผสมเป็นคอนกรีต เนื้อคอนกรีตจะสามารถปั๊มได้เมื่อส่วนผสมทั้งหมดถูกนำมาผสมกัน ด้วยอัตราส่วนที่พอเหมาะ โดยที่น้ำเป็นตัวส่งผ่านแรงดันไปยังส่วนผสมอื่น ๆ

4.1 การเคลื่อนที่ของคอนกรีตในท่อ

การเคลื่อนที่ของคอนกรีตในท่อนั้น จะเคลื่อนที่ไปในลักษณะทรงกระบอก หรือที่เรียกว่า PLUG FLOW โดยมีมอร์ต้าเป็นตัวหล่อลื่น



จากรูปคอนกรีตที่เคลื่อนที่ในท่อจะมีแรงอยู่ 3 ส่วนที่มาเกี่ยวข้องคือ แรง P, D, R

- P คือ แรงดันจากปั๊ม
- R คือ แรงต้านทานการเคลื่อนที่ของคอนกรีตในท่อ ทั้งในแนวราบ, แนวตั้ง รวมทั้งตามข้อต่อ ข้องอ และส่วนคอดต่างๆ (HEAD OF MATERIAL)
- D คือ แรงเสียดทาน (FRICTION) ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ
 - ความเร็ว แรงเสียดทานจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วของคอนกรีตที่เคลื่อนที่ในท่อ
 - ขนาดของท่อ แรงเสียดทานในท่อเล็กจะมากกว่าแรงเสียดทานในท่อใหญ่
 - ชนิดของท่อ ท่ออย่างทำให้เกิดแรงเสียดทานมากกว่าท่อเหล็ก

จากแรงทั้ง 3 นี้ คอนกรีตจะเคลื่อนที่ไปได้ต่อเมื่อ แรง P มากกว่าแรง R รวมกับแรง D ($P > R + D$)

4.2 คุณสมบัติของคอนกรีตที่จะสามารถปั๊มได้

1. ต้องมีความเหลวที่เหมาะสม

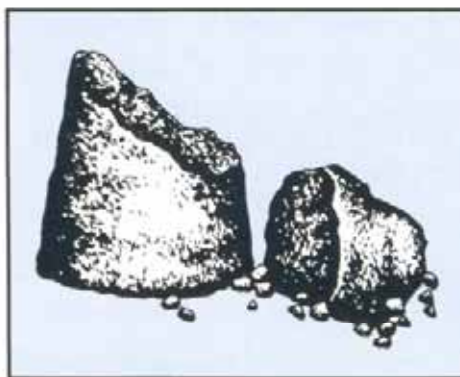
คอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับนำไปปั๊ม ควรจะมีค่ายุบตัวอยู่ระหว่าง 7.5-12.5 ซม. หรือ 3-5 นิ้ว

ถ้าค่ายุบตัวน้อยเกินไปคอนกรีตจะปั๊มยาก และต้องใช้แรงดันสูงมาก ซึ่งจะเกิดผลเสียคือท่อสึกหรือเร็ว และปั๊มเสียได้ง่าย

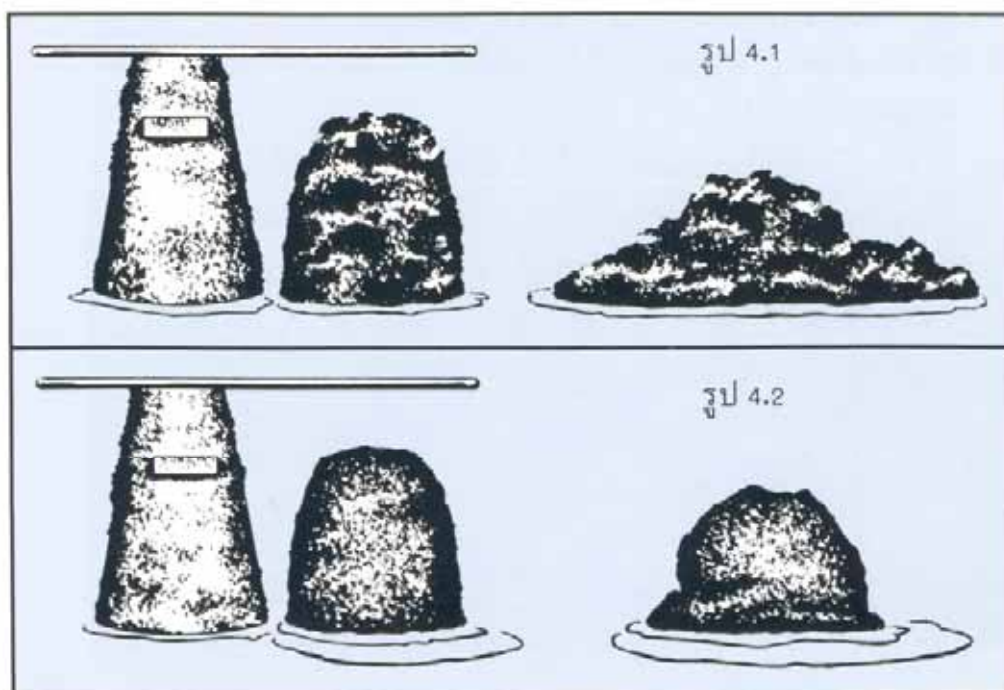
ถ้าค่ายุบตัวมากเกินไป คอนกรีตมีแนวโน้มที่จะเกิดการแยกตัว

ค่ายุบตัวนอกจากจะเป็นตัวชี้ชั้นต้นอย่างง่ายว่า คอนกรีตมีความเหลวพอที่จะปั๊มได้หรือไม่แล้ว ยังเป็นตัวบ่งชี้ได้ด้วยว่า คอนกรีตเหมาะที่จะนำไปปั๊มหรือไม่ด้วย กล่าวคือ

- เมื่อวัดค่ายุบตัวของคอนกรีตแล้ว คอนกรีตล้นแบบเนียน สรุปลงได้ว่า คอนกรีตนี้ส่วนผสมยังไม่เหมาะสม ส่วนละเอียดน้อยเกินไป ควรปรับปรุงส่วนผสมใหม่

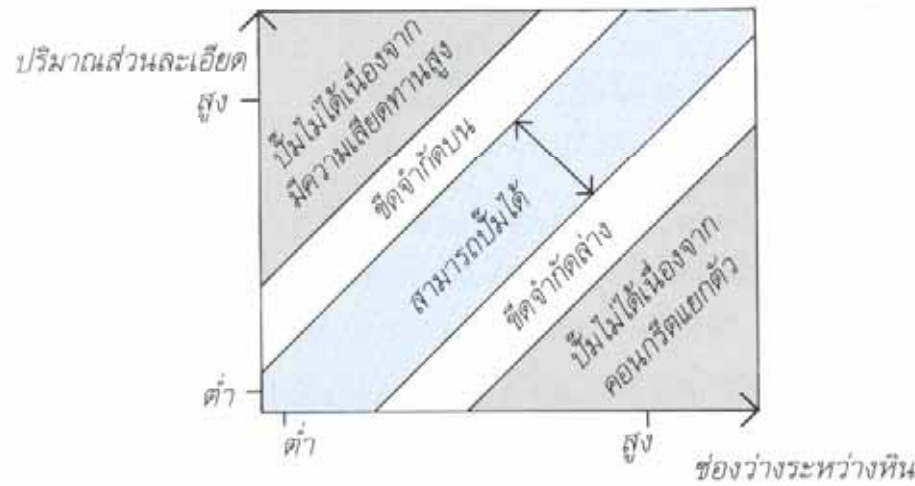


หรือเมื่อหาค่ายุบตัวแล้ว ใช้เหล็กตวัด กระทบบริเวณแผ่นเหล็กรองดู ถ้าคอนกรีตไม่จับตัวกัน รูป 4.1 แสดงว่าส่วนผสมไม่เหมาะสมที่จะนำมาปั๊ม ส่วนผสมที่ดีจะต้องยึดเหนี่ยวกัน รูป 4.2



2. ต้องมีปริมาณส่วนละเอียดเพียงพอ

ส่วนละเอียดในที่นี้หมายถึง ทรายและปูนซีเมนต์ จะต้องมีความพอที่จะไปอุดช่องว่างระหว่างหิน เพื่อให้เนื้อคอนกรีตมีแรงต้านภายในพอที่จะไม่ก่อให้เกิดการแยกตัว



คอนกรีตที่สามารถบ่มได้อยู่ในขอบเขตจำกัดเท่านั้น ถ้ามีส่วนละเอียดมากไป จะทำให้ไม่สามารถบ่มได้ เนื่องจากแรงเสียดทานมาก (ขีดจำกัดบน) และถ้ามีปริมาณช่องว่างมากไป ก็จะทำให้ไม่สามารถบ่มได้เช่นกัน เนื่องจากจะเกิดการแยกตัว (ขีดจำกัดล่าง) โดยสรุปคือ

คอนกรีตที่อยู่ในช่วงขีดจำกัดบน มีลักษณะดังนี้

1. คอนกรีตมีส่วนละเอียดมาก
2. ความสามารถที่จะบ่มได้ขึ้นอยู่กับความยาวของท่อ ถ้าท่อยาวมาก จะก่อให้เกิดการอุดตันได้ง่าย
3. จะสามารถบ่มได้ถ้าเพิ่มค่ายุบตัว

คอนกรีตที่อยู่ในช่วงขีดจำกัดล่าง มีลักษณะดังนี้

1. คอนกรีตมีส่วนละเอียดน้อย
2. เมื่อนำคอนกรีตนี้ไปบ่ม มีแนวโน้มที่เกิดการแยกตัว
3. การอุดตันในท่อตัวบ่มเกิดได้ง่าย
4. ความสามารถบ่มได้ ไม่ขึ้นอยู่กับความยาวท่อ
5. การเพิ่มค่ายุบตัวไม่ช่วยให้สามารถบ่มได้ แต่กลับจะก่อให้เกิดการอุดตันง่ายขึ้นด้วย

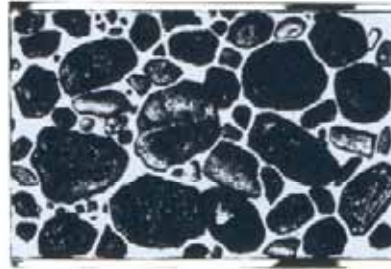
คอนกรีตที่อยู่ในขอบเขตที่บ่มได้นี้ ต้องมีส่วนละเอียดที่เหมาะสม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดใหญสุดของหินที่จะใช้ในส่วนผสม ดังข้อมูลในตาราง

ขนาดใหญสุดของหิน (มิลลิเมตร)	ปริมาตรส่วนละเอียด (ลิตร) (ซีเมนต์ + ทราย)
20	380
25	400

ส่วนละเอียดที่กล่าวมานี้เมื่อผสมกับน้ำ ก็คือ มอร์ตานั่นเอง คอนกรีตที่อยู่ในขอบเขตที่บ่มได้อย่างเหมาะสมนี้จะต้องมีมอร์ตามากพอ หินแต่ละก้อนต้องถูกแยกออกจากกันโดยมีมอร์ตาคือเคลือบอยู่ระหว่างเนื้อหิน รวมทั้งมอร์ตาก็ต้องมากพอที่จะหล่อลื่นท่อด้วย



คอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับบ่ม เนื้อหินกระจายและมีมอร์ตาคือเคลือบระหว่างเนื้อหินแต่ละก้อน



คอนกรีตที่ไม่เหมาะสมสำหรับบ่ม เนื้อหินอยู่ติดกันเพราะมีมอร์ตาน้อยไป

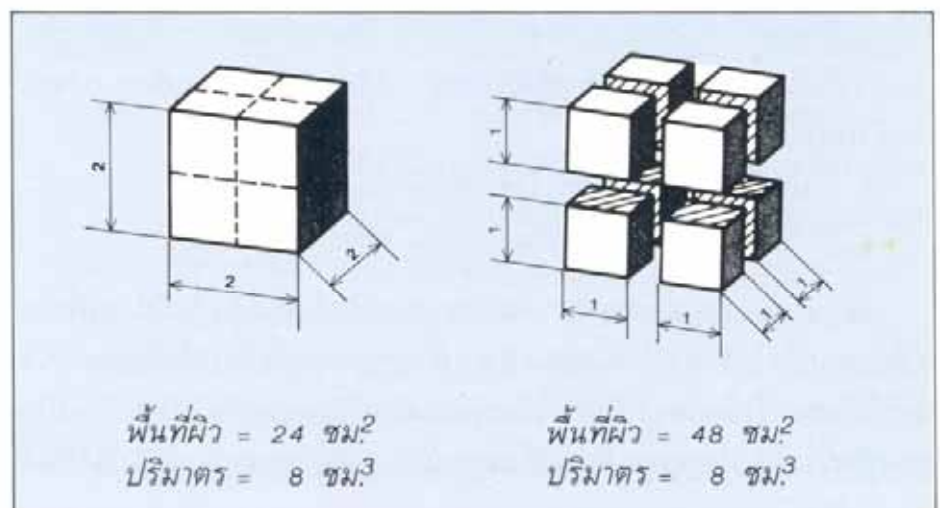
4.3 อิทธิพลของ มวลรวม ต่อความสามารถในการบ่ม

1. ขนาด (SIZE)

ขนาดของมวลรวมมีผลต่อความสามารถในการบ่มได้ สมมุติว่าหินมีรูปร่างเป็นรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด $2 \times 2 \times 2$ เซนติเมตร จะมีปริมาตร 8 ลูกบาศก์-เซนติเมตร และพื้นที่ผิว 6×2 เซนติเมตร $\times 2$ เซนติเมตร = 24 ตารางเซนติเมตร

แต่ถ้าหินก้อนนี้ถูกแบ่งออกเป็น 8 ก้อนเท่า ๆ กัน ปริมาตรยังเท่าเดิมคือ 8 ลูกบาศก์เซนติเมตร แต่พื้นที่ผิวเพิ่มเป็น $8 \times 6 \times 1$ เซนติเมตร $\times 1$ เซนติเมตร = 48 ตารางเซนติเมตร

จากตัวอย่างพบว่า พื้นที่ผิวจะขึ้นอยู่กับขนาดของมวลรวมแต่ละก้อน และเมื่อพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นจำเป็นต้องเพิ่มมอร์ต้า เพื่อให้คอนกรีตสามารถบ่มผ่านท่อไปได้

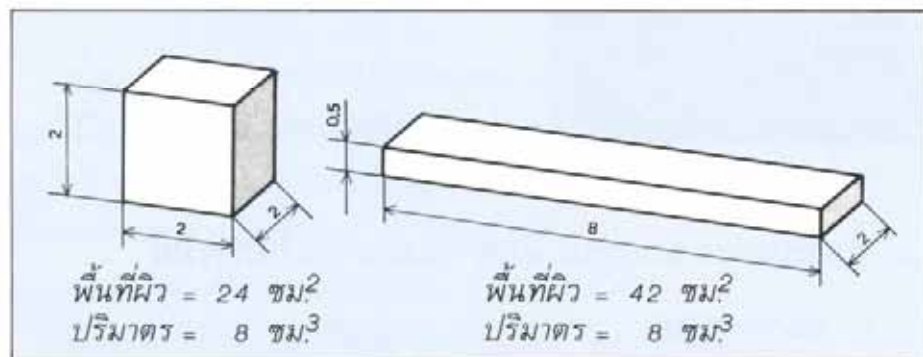


2. รูปร่าง (SHAPE)

การผลิตคอนกรีตในประเทศไทย ส่วนใหญ่ใช้หินย่อย (CRUSHED ROCK) เป็นมวลรวมหยาบ หินย่อยในแต่ละแหล่งจะมีรูปร่างแตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องนำเรื่องนี้มาพิจารณาในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตด้วย

สมมุติว่าหินมีรูปร่างเป็นทรงลูกบาศก์ ขนาด $2 \times 2 \times 2$ เซนติเมตร จะได้ปริมาตร 8 ลูกบาศก์เซนติเมตร และพื้นที่ผิว 24 ตารางเซนติเมตร แต่ถ้าหินนี้มีรูปร่างยาว (FLAKY, LONGITUDINAL GRAIN) ขนาด 0.5 เซนติเมตร \times 2 เซนติเมตร \times 8 เซนติเมตร ปริมาตร 8 ลูกบาศก์เซนติเมตร พื้นที่ผิว = $2 \times (0.5 \text{ เซนติเมตร} \times 2 \text{ เซนติเมตร}) + 2 \times (0.5 \text{ เซนติเมตร} \times 8 \text{ เซนติเมตร}) + 2 \times (2 \text{ เซนติเมตร} \times 8 \text{ เซนติเมตร}) = 42$ ตารางเซนติเมตร

จากตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นว่า พื้นที่ผิว จะขึ้นอยู่กับรูปร่างของหินอย่างมาก



มวลรวมที่มีพื้นผิวหยาบ เป็นเหลี่ยมมุม เช่น หินย่อย จะต้องปรับส่วนผสมให้มีส่วนละเอียดเพิ่มขึ้น เพื่อป้องกันการขัดกันระหว่างมวลรวม

มวลรวมที่มีความพรุน จะดูดซึมน้ำได้เร็ว อาจทำให้บ่มติดขัดได้ แนวทางแก้ไขคือ พยายามทำให้มวลรวมเปียกชื้นอยู่เสมอ

4.4 น้ำยาผสมคอนกรีตสำหรับงานคอนกรีตปัม

น้ำยาผสมคอนกรีตใช้สำหรับงานคอนกรีตปัมนี้จะแตกต่างกันไปตามสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย น้ำยาผสมคอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับงานคอนกรีตปัมคือ น้ำยาประเภทลดน้ำและยืดเวลาการแข็งตัว ซึ่งน้ำยาประเภทนี้มีประโยชน์คือ

1. ยืดเวลาการแข็งตัวของคอนกรีต ทำให้สามารถทำงานได้นานกว่าคอนกรีตไม่ใส่น้ำยา และในกรณีที่มีปัญหา ก็มีเวลาแก้ไขก่อนที่คอนกรีตจะแข็งตัวในบ่มหรือในท่อ
2. ทำให้คอนกรีตลื่น สามารถเคลื่อนที่ไปในท่อได้สะดวก
3. ทำให้คอนกรีตเหลวอยู่เป็นเวลานาน สะดวกในการบ่ม

นอกจากน้ำยาประเภทลดน้ำ และยืดเวลาการแข็งตัวแล้ว ยังมีน้ำยาที่ช่วยให้บ่มคอนกรีตได้ง่าย (PUMPING AIDS) น้ำยาประเภทนี้เมื่อใส่ไปในคอนกรีต จะทำให้คอนกรีตลื่นไหลไปในท่อได้สะดวก ทำให้บ่มคอนกรีตได้ง่าย ถึงแม้ว่าคอนกรีตนี้จะใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ไม่มากนัก แต่น้ำยาประเภทนี้ยังไม่เป็นที่นิยมในปัจจุบันเพราะราคาแพง

4.5 ส่วนผสมคอนกรีตที่ทำให้บ่มได้ง่าย

ในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตทั่ว ๆ ไป เราจะพิจารณาเพียงให้ได้ค่ากำลังอัด ค่ายุบตัวตามต้องการ และสามารถทำงานได้เท่านั้น แต่การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตในงานคอนกรีตบ่มนั้น ต้องออกแบบให้สามารถเคลื่อนที่ผ่านท่อบ่มได้ง่าย โดยมีองค์ประกอบสำคัญที่จะต้องพิจารณาถึงดังนี้คือ

1. หินและทราย จะต้องมีส่วนคละที่ดี ถูกต้องตามมาตรฐาน ASTM C 33

ส่วนคละของหิน

ขนาดตะแกรง	หิน 1½" - # 4	หิน 1" - # 4	หิน ¾" - # 4
	เปอร์เซ็นต์ผ่าน (PERCENT PASSING)		
2 นิ้ว	100	100	100
1½ นิ้ว	95-100	100	100
1 นิ้ว	-	95-100	100
¾ นิ้ว	35-70	-	90-100
½ นิ้ว	-	25-60	-
¾ นิ้ว	10-30	-	20-55
NO. 4	0-5	0-10	0-10
NO. 8	-	0-5	0-5

ส่วนคละของทราย

ขนาดตะแกรง	เปอร์เซ็นต์ผ่าน (PERCENT PASSING)
¾ นิ้ว	100
NO. 4	95 - 100
NO. 8	80 - 100
NO. 16	50 - 85
NO. 30	25 - 60
NO. 50	10 - 30
NO. 100	2 - 10

2. ค่ายุบตัวควรรอยู่ระหว่าง 3"-5" หรือ 7.5 - 12.5 เซนติเมตร
3. ควรมีส่วนละเอียด ซึ่งได้แก่ปูนซีเมนต์ และทรายเพียงพอที่จะอุดช่องว่าง โดยปริมาณปูนซีเมนต์ ต้องไม่น้อยกว่า 300 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
4. ควรมีทรายที่ผ่านตะแกรงมาตรฐาน # 50 (300 μ) 10-30 %
5. ขนาดโตสุดของหินไม่ควรเกิน 1/5 ของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ
6. ต้องใช้มอร์ต้าอัตราส่วน ซีเมนต์ : ทราย = 1 : 2 บ่ม เพื่อไปเคลือบท่อก่อนการบ่มคอนกรีตทุกครั้ง
7. ต้องใส่น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทยึดเวลาการแข็งตัวทุกครั้งที่ใช้คอนกรีตบ่ม

4.6 ตัวอย่างการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

จงออกแบบส่วนผสมคอนกรีต โดยมีข้อกำหนดดังนี้

1. กำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ที่ 28 วัน 240 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร
2. เทโดยใช้คอนกรีตปัมป์

วิธีทำ

1. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ที่จะให้ได้กำลังอัด 240 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร คือ 0.58
2. หาปริมาณน้ำที่ใช้
 - ค่ายุบตัวสำหรับการเทคอนกรีต ด้วยคอนกรีตปัมป์ คือ 10.0 ± 2.5 เซนติเมตร
 - ขนาดใหญ่สุดของหิน $3/4"$ หรือ 20 มิลลิเมตร
 - ใช้น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทลดน้ำและยืดเวลาการแข็งตัวของคอนกรีต ปริมาณน้ำที่ต้องใช้คือ 190 ลิตร
3. หาปริมาณซีเมนต์

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักซีเมนต์} &= 190/0.58 \\ &= 325 \text{ กิโลกรัม} \\ \text{ปริมาตรซีเมนต์} &= \text{น้ำหนักซีเมนต์/ความถ่วงจำเพาะ} \\ &= 325/3.15 \\ &= 103 \text{ ลิตร} \end{aligned}$$
4. หาปริมาณทราย

จากตารางในหน้า 20 ใช้หินขนาดใหญ่สุด $3/4"$ หรือ 20 มิลลิเมตร

ปริมาตรส่วนละเอียด (ปูนซีเมนต์ + ทราย) 400 ลิตร

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรทราย} &= 400 - 103 \text{ ลิตร} \\ &= 297 \text{ ลิตร} \\ \text{น้ำหนักทราย} &= \text{ปริมาตรทราย} \times \text{ความถ่วงจำเพาะของทราย} \\ \text{น้ำหนักทราย} &= 297 \times 2.65 \text{ กิโลกรัม} \\ &= 787 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$
5. หาปริมาณหิน

ส่วนผสมคอนกรีตใน 1 ลูกบาศก์เมตร = 1000 ลิตร

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรหิน} &= 1000 - \text{ปริมาตรน้ำ} - \text{ปริมาตรส่วนละเอียด} \\ &= 1000 - 190 - 400 \\ &= 410 \text{ ลิตร} \\ \text{น้ำหนักหิน} &= \text{ปริมาตรหิน} \times \text{ความถ่วงจำเพาะของหิน} \\ \text{น้ำหนักหิน} &= 410 \times 2.70 \\ &= 1107 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$

สรุปส่วนผสมคอนกรีตใน 1 ลูกบาศก์เมตร

ปูนซีเมนต์	325	กิโลกรัม
น้ำ	190	ลิตร
ทราย	787	กิโลกรัม
หิน(3/4" - #4)	1107	กิโลกรัม

นํ้ายวมผสมคอนกรีตประเภทลดนํ้าและยืดเวลาการแข็งตัวของคอนกรีต
 ค่ายุบตัว 10.0 + 2.5 เซนติเมตร

* นํ้าหนักหิน-ทราย ในสภาพ SATURATED SURFACE DRY (SSD)

4.7 การอุดตันของคอนกรีตในท่อ

การอุดตันอาจเนื่องมาจากสาเหตุหลัก 2 ประการคือ

1. การอุดตันเนื่องจากส่วนผสมคอนกรีต เช่น
 - เกิดการแยกตัวของคอนกรีต
 - เกิดแรงเสียดทานระหว่างคอนกรีตกับผิวท่อมากเกินไป
 - ส่วนผสมมีค่าการยุบตัวน้อยเกินไป
2. การอุดตันเนื่องจากตัวปั๊มและท่อส่งคอนกรีต เช่น
 - การต่อท่อไม่ดีพอ ทำให้มอร์ตาร์รั่วออกตามข้อต่อ
 - คอนกรีตแข็งตัวในท่อ
 - ท่อสกปรก
 - เกิด AIR LOCK ในท่อ
 - ระบบไฮดรอลิค หรือระบบขับเคลื่อนคอนกรีตไม่ทำงาน หรือทำงานไม่สมบูรณ์
 - ระบบไฟฟ้าของเครื่องทำงานไม่สมบูรณ์

