

## บทที่ 9

### กำลังอัดของคอนกรีต

คุณสมบัติของคอนกรีตในขณะที่ยังอยู่ในสภาพเหลวจะมีความสำคัญเพียงช่วงก่อสร้างเท่านั้น ในขณะที่คุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว จะมีความสำคัญไปตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตนั้น อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติ คุณสมบัติของคอนกรีตทั้ง 2 ลักษณะ จะมีผลต่อกันและกัน การที่จะให้ได้คุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วดี จะต้องมาจากการเลือกสัดส่วนผสมเพื่อให้คอนกรีตที่อยู่ในสภาพเหลวมีความเหมาะสมอย่างมากในการใช้งาน

คุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วได้แก่ กำลัง ความทนทาน และการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ซึ่งในบทนี้จะกล่าวเพียงกำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งเป็นเพียงส่วนหนึ่งของคุณสมบัติด้านกำลัง ส่วนคุณสมบัติอื่น ๆ จะกล่าวในบทต่อไป

#### 9.1 ธรรมชาติของกำลังอัดของคอนกรีต

กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการคือ

1. กำลังของมอร์ตาร์
2. กำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม
3. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์กับผิวของมวลรวม

##### • กำลังของมอร์ตาร์

กำลังของมอร์ตาร์มีบทบาทอย่างมากต่อกำลังอัดของคอนกรีตโดยกำลังของมอร์ตาร์นี้ขึ้นอยู่กับความพรุนภายในเนื้อมอร์ตาร์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และ Degree of Hydration แต่ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังและความพรุน จะถูกควบคุมด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า กำลังของมอร์ตาร์ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

การเปลี่ยนแปลงในคุณสมบัติของมวลรวม เช่น การเปลี่ยนแปลงขนาดคละ, ปริมาณ, กำลัง, ลักษณะผิว, ขนาดใหญ่สุด, การดูดซึม, และแร่ธาตุต่าง ๆ จะส่งผลต่อกำลังของคอนกรีต

ไม่มากนัก

การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังดิ่งน้อยกว่ากำลังอัด โดยอัตราส่วนของกำลังดิ่งต่อกำลังอัดของคอนกรีต จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น

##### • กำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม

สำหรับกำลังของมอร์ตาร์ที่กำหนดให้ ความสามารถต้านแรงของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับกำลังของหินและแรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ตาร์ แต่โดยทั่วไปกำลังของมวลรวม จะสูงเป็นหลายเท่าของกำลังของมอร์ตาร์ ดังนั้นแรงยึดเหนี่ยวจะเป็นตัวควบคุมการแตกของคอนกรีต

สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่กำหนดให้ กำลังอัดของคอนกรีตจะลดลงเมื่อใช้หินขนาดใหญ่ขึ้น เพราะหินขนาดใหญ่จะก่อให้เกิดน้ำได้หินมากขึ้นทำให้แรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ตาร์ลดลง

ขนาดของมวลรวม จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีต ที่มีสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำหรือปานกลางมากกว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่สูง

การเพิ่มปริมาณของมวลรวมในส่วนผสมจะเป็นการเพิ่มกำลังอัด รวมทั้งถ้าใช้หินที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นสูงจะทำให้กำลังของคอนกรีตดีขึ้น

##### • แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมกับมอร์ตาร์

แรงยึดเหนี่ยวนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ เช่น รูปร่าง ลักษณะผิวของมวลรวม และลักษณะทางเคมี คือปฏิกิริยาเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับแร่ธาตุต่าง ๆ ในเนื้อมวลรวม

นอกจากนี้ทิศทางการหล่อและทิศทางการให้น้ำหนักจะมีผลต่อกำลังเช่นกัน โดยจะมีผลต่อกำลังดิ่งมากกว่ากำลังอัดด้วยเหตุผลที่ว่า จะเกิดช่องว่างทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมหยาบกับมอร์ตาร์ต่ำลง

## 9.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลัง

### 1. คุณสมบัติของวัสดุผสม

- **ปูนซีเมนต์** เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลที่สำคัญมาก ทั้งนี้ เพราะปูนซีเมนต์แต่ละประเภท จะก่อให้เกิดกำลังของคอนกรีตที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ นอกจากนี้แม้ว่าจะเป็นปูนซีเมนต์ประเภทเดียวกัน แต่มีความละเอียดแตกต่างกันแล้ว อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตก็จะแตกต่างกันไปด้วยคือ ถ้าปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากก็จะให้กำลังสูง โดยเฉพาะหลังจากที่แข็งตัวไปแล้วไม่นาน

- **มวลรวม** มวลรวมมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเพียงเล็กน้อย เพราะมวลรวมที่ใช้กันอยู่ทั่วไป มักมีความแข็งแรงมากกว่าซีเมนต์เพสต์ อย่างไรก็ตามมวลรวมหยาบที่เป็นหินย่อยซึ่งมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมหรือผิวหยาบจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตดีกว่าพวกกรวดที่มีผิวเกลี้ยง ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมก็มีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน เพราะคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดใหญ่จะต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่ามวลรวมขนาดเล็กสำหรับคอนกรีตที่มีความสามารถเท่ากัน ดังนั้นคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดใหญ่ จึงมักให้กำลังดีกว่า ส่วนขนาดละเอียดของมวลรวมจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตในแง่ที่ว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีส่วนขนาดละเอียดไม่เหมาะสม คือมีส่วนละเอียดมากเกินไปนั้น จะต้องการปริมาณน้ำมากกว่ามวลรวมที่มีส่วนละเอียดดี เพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถเท่ากัน อีกทั้งยังก่อให้เกิดฟองอากาศแทรกตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีตเป็นจำนวนมากกว่า ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำลงได้ นอกจากนี้ความสะอาดของมวลรวมก็จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีต เช่นกัน

- **น้ำ** น้ำมีผลต่อกำลังของคอนกรีตตามความใส และปริมาณของสารเคมีหรือเกลือแร่ที่ผสมอยู่ น้ำที่มีเกลือคลอไรด์ผสมอยู่ จะทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตในระยะต้นสูง น้ำขุ่นหรือน้ำที่มีสารแขวนลอยปนอยู่ จะทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลงซึ่งอาจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของสารแขวนลอยนั้น

### 2. การทำคอนกรีต

- **การชั่งตวงส่วนผสม**
  - การชั่งตวงส่วนผสม หากใช้การตวงโดยปริมาตร จะมีโอกาสผิดพลาดมากกว่าการชั่งส่วนผสมโดยน้ำหนัก ซึ่งหาก

อัตราส่วนผสมคอนกรีตผิดไปจะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงได้

- อัตราส่วนผสม จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีตโดยตรง โดยเฉพาะอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์

#### ● การผสมคอนกรีต

การผสมคอนกรีตจะต้องผสมวัสดุทำคอนกรีตให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุด เพื่อให้มีโอกาสดำเนินการกับปูนซีเมนต์ได้อย่างทั่วถึง และเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์กระจายแทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างมวลรวมได้เต็มที่ ดังนั้น การผสมคอนกรีตหากกระทำอย่างไม่ทั่วถึง จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่คงที่ได้

#### ● การเทคอนกรีตเข้าแบบหล่อและการอัดแน่น

จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีตเพราะ หากคอนกรีตเกิดการแยกตัวในขณะที่ลำเลียง หรือเท จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้การทำให้คอนกรีตแน่นตัวหากทำได้ไม่เต็มที่ก็จะทำให้เกิดรูโพรงขึ้นในเนื้อคอนกรีต มีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าลดลงได้ หรือหากใช้วิธีทำให้คอนกรีตแน่นตัวที่ไม่เหมาะสม ก็สามารถทำให้เกิดการแยกตัวขึ้นในเนื้อคอนกรีตได้ส่งผลให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ

### 3. การบ่มคอนกรีต

- **ความชื้น** จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต เพราะปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันระหว่างปูนซีเมนต์และน้ำนั้นจะค่อยเป็นค่อยไป นับตั้งแต่ปูนซีเมนต์เริ่มผสมกับน้ำเป็นซีเมนต์เพสต์ และซีเมนต์เพสต์จะมีกำลังเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ถ้ามีความชื้นอยู่ตลอดเวลา ถ้าซีเมนต์เพสต์ในคอนกรีตไม่มีความชื้นอยู่ คอนกรีตก็จะไม่มีการเพิ่มกำลังอีกต่อไป ในทางปฏิบัติเรามักจะบ่มคอนกรีตจนถึงอายุ 28 วัน ดังนั้นเมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวจึงควรทำการบ่มด้วยความชื้นทันที

- **อุณหภูมิ** ถ้าหากอุณหภูมิสูงในขณะที่บ่มก็จะทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตถูกเร่งให้เร็วขึ้น ทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงกว่าคอนกรีตที่ได้รับการบ่มในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

- **เวลาที่ใช้ในการบ่ม** ถ้าหากสามารถบ่มคอนกรีตให้ชื้นอยู่ตลอดเวลาได้ยิ่งนานเท่าใดก็จะยิ่งได้กำลังของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

#### 4. การทดสอบ

การควบคุมคุณภาพคอนกรีตสำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะทำในรูปของการชักตัวอย่างคอนกรีตสดมาทำก้อนตัวอย่างโดยถือว่ากำลังของก้อนตัวอย่างเป็นตัวแทนของคอนกรีตที่หล่อเป็นโครงสร้าง ดังนั้นจึงควรพิจารณาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพล

ต่อการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตดังต่อไปนี้

- **ขนาดและลักษณะของแท่งทดสอบ** การใช้แท่งทดสอบที่ต่างขนาดและต่างลักษณะกันจะมีผลทำให้ค่ากำลังของคอนกรีตเกิดความแตกต่าง ดังแสดงในตารางที่ 9.1

ขนาดตัวอย่าง รูปทรงลูกบาศก์ (ซม.)	กำลังอัด สัมพัทธ์	ขนาดตัวอย่าง รูปทรงกระบอก (ซม.)		กำลังอัด สัมพัทธ์
		เส้นผ่าศูนย์กลาง	ส่วนสูง	
7.5	106	5	10	109
10	104	7.5	15	106
15	100	15	30	100
20	95	20	40	97
25	92	30	60	91
		45	90	87
		60	120	84
		90	180	82

**ตารางที่ 9.1** ผลของขนาดและลักษณะของก้อนตัวอย่างต่อค่ากำลังอัด

นอกจากนี้ ความสูงของก้อนตัวอย่างจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 9.2

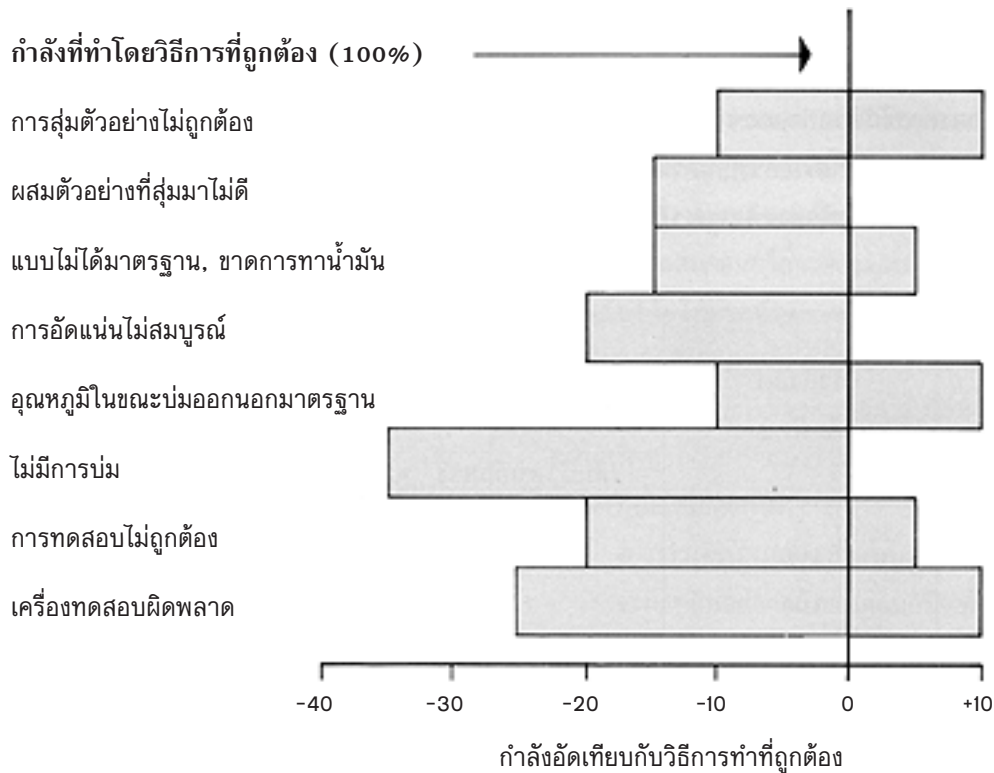
อัตราส่วนของความสูงต่อ เส้นผ่าศูนย์กลาง (L/D)	ค่าปรับแก้ของกำลัง
2.00	1.00
1.75	0.98
1.50	0.97
1.25	0.94
1.00	0.91

**ตารางที่ 9.2** ผลของอัตราส่วนความสูงต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ต่อกำลังอัด

- **วิธีการทำตัวอย่าง** การทำให้คอนกรีตแน่น โดยการกระทุ้งด้วยเหล็ก จะให้ค่ากำลังต่ำกว่าคอนกรีตที่ได้รับการทำให้แน่นด้วยเครื่องเขย่า

- **ความชื้นในแท่งทดสอบ** ในขณะที่จะทำการทดสอบถ้าหากแท่งทดสอบมีความชื้นก็จะให้ค่ากำลังที่ต่ำกว่าแท่งทดสอบที่แห้งกว่า

- **อัตราการกด** ในการทดสอบกำลังอัด ถ้าใช้อัตราการกดสูงจะทำให้กำลังของคอนกรีตสูงตามไปด้วย จึงควรใช้อัตราการกดตามที่มาตรฐานกำหนดไว้



**รูปที่ 9.1** สิ่งที่ทำให้กำลังอัดผันแปรเนื่องจากการทำและทดสอบก้อนตัวอย่าง

ค่าผลของอัตราการกดแสดงในตารางที่ 9.3

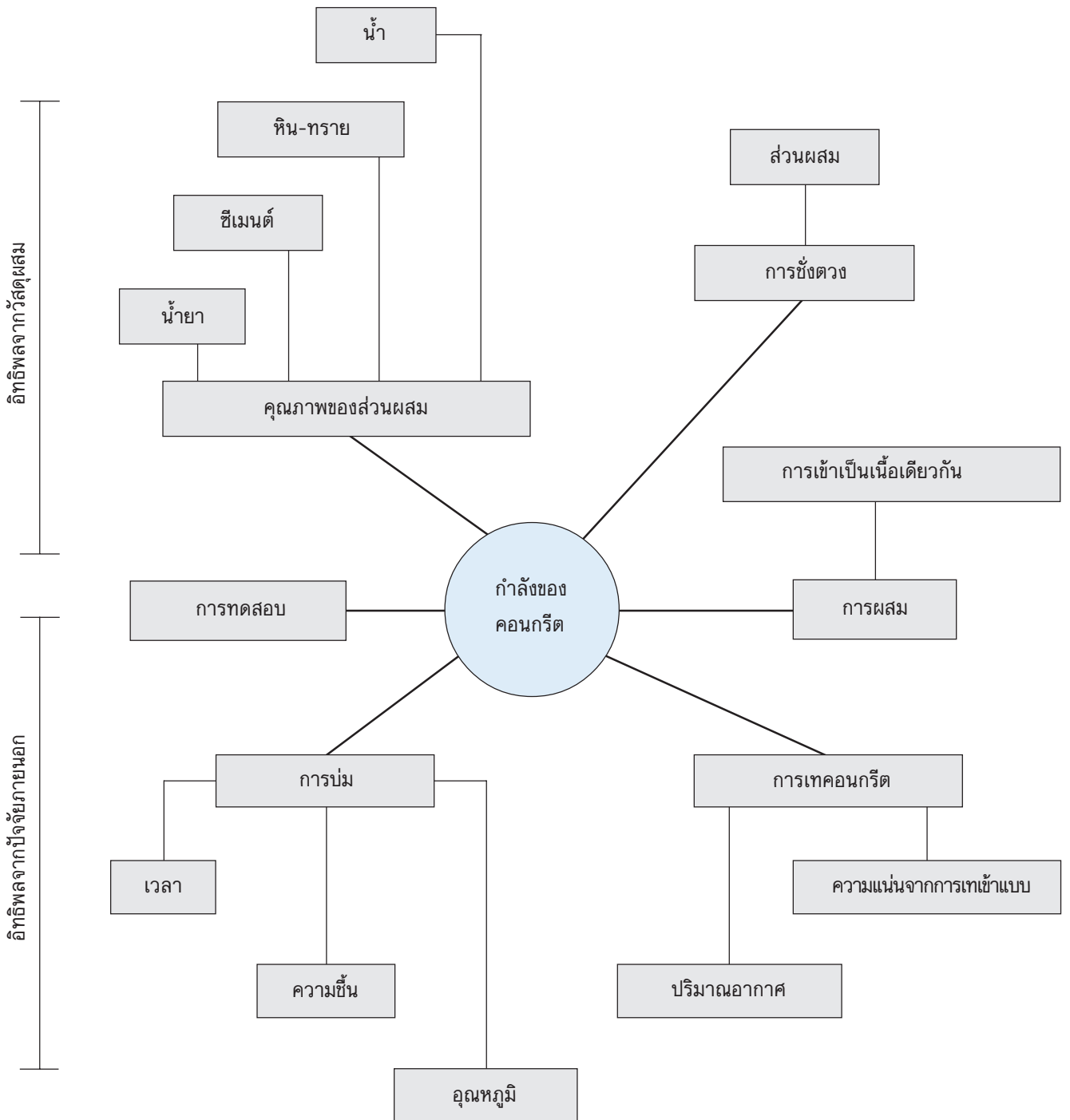
อัตราการกด				เปอร์เซ็นต์ของกำลังเทียบกับ อัตราทดสอบมาตรฐาน
นาที่	ชั่วโมง	วัน	ปี	
2				100
10				95
30				92
60	1	4	0.17	90
			100	88
			365	78
			1	77
			3	73
			30	69

**ตารางที่ 9.3** ผลของอัตราการกดต่อกำลังอัด

#### • เครื่องทดสอบ

น้ำหนักที่กดอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง จึงจะให้กำลังอัดที่ถูกต้อง ซึ่งจะเกิดได้ดังนี้

- 1) ก้อนตัวอย่างต้องอยู่ตรงจุดกึ่งกลาง และแกนของก้อนตัวอย่างต้องอยู่ในแนวตั้ง
- 2) แผ่นรองกดต้องอยู่ในแนวตั้งฉากกับแกนของก้อนตัวอย่าง
- 3) แผ่นรองกดต้องเคลื่อนตัวได้เล็กน้อย
- 4) แผ่นรองกดจะต้องเรียบเป็นระนาบ
- 5) ถ้าต้องใช้วัสดุ Cap ก้อนตัวอย่าง ควรจะเลือกวัสดุที่มีกำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นใกล้เคียงกับของคอนกรีต



**รูปที่ ๑.๒** สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต

### 9.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดก้อนตัวอย่างทรงลูกบาศก์และทรงกระบอก

ก้อนตัวอย่างมาตรฐานที่ทำเพื่อทดสอบกำลังอัดที่ใช้กันอยู่อย่างแพร่หลาย มี 2 รูปทรงคือ

1) รูปทรงกระบอก เป็นการทดสอบตามมาตรฐานอเมริกา ขนาดที่ใช้คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.

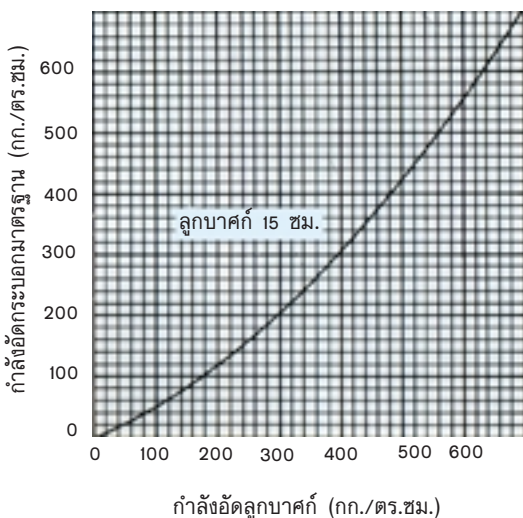
2) รูปทรงลูกบาศก์ เป็นการทดสอบตามมาตรฐานอังกฤษ ขนาดที่ใช้คือขนาด 15 x 15 x 15 ซม.

กำลังอัดของ 2 รูปทรงนี้จะแตกต่างกัน ถึงแม้จะใช้ส่วนผสมของคอนกรีตเดียวกัน โดยกำลังอัดตัวอย่างรูปทรงกระบอกจะมีค่าน้อยกว่ากำลังอัดของตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบ

1. แรงเสียดทานระหว่างผิวของก้อนตัวอย่างกับแผ่นรองกดก่อให้เกิด Confining Stress ซึ่งจะมีผลทำให้ค่ากำลังอัดของรูปทรงลูกบาศก์ที่ได้สูงกว่าความเป็นจริง

2. องค์ประกอบเรื่องความขรุขระ กล่าวคือเนื่องจากรูปทรงกระบอกมีความสูงมากกว่าด้านกว้างทำให้ผลด้าน Confining Stress ลดลงอย่างมาก

ตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (มาตรฐาน วสท.) ได้ให้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์กับกำลังอัดรูปทรงกระบอก ดังรูปที่ 9.3



รูปที่ 9.3 การแปลงกำลังอัดลูกบาศก์ เป็นกำลังอัดกระบอกมาตรฐาน

นอกจากนี้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม คอนกรีตผสมเสร็จ มอก. 213-2520 ได้เสนอชั้นคุณภาพคอนกรีต และกำลังอัดของ 2 รูปทรงไว้ ดังตารางที่ 9.4

ชั้นคุณภาพ	การต้านแรงอัดเมื่ออายุ 28 วัน (กก./ตร.ซม.)	
	รูปทรงลูกบาศก์ 15 x 15 x 15 ซม.	รูปทรงกระบอก 15 x 30 ซม.
C 10/8	100	80
C 12.5/10	125	100
C 15/12	150	120
C 20/15	200	150
C 25/20	250	200
C 30/25	300	250
C 35/30	350	300
C 40/35	400	350
C 45/40	450	400

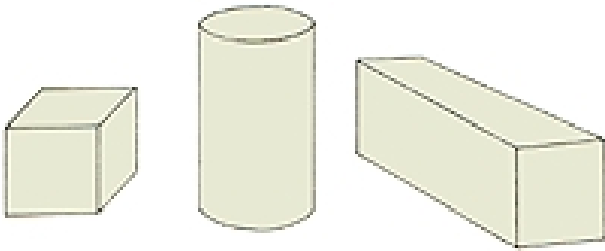
รูปที่ 9.4 การเปรียบเทียบกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงกระบอกตาม มอก. 213-2520

### 9.4 การทำก้อนตัวอย่างและการทดสอบกำลังอัด

คอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้าง นอกจากมีความเหลวพอที่จะเทได้แล้ว เมื่อเป็นคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วยังต้องสามารถรับกำลังอัดได้ตามต้องการ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเก็บก้อนตัวอย่าง และนำมาทดสอบตามเวลาต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้

ก้อนตัวอย่างในงานคอนกรีตที่ใช้ในประเทศไทย มีดังนี้

1. ตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 x 15 ซม.
2. ตัวอย่างรูปทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.
3. ตัวอย่างรูปทรงคานขนาด 15 x 15 x 60 ซม.



ตัวอย่างรูปลูกบาศก์ ตัวอย่างรูปทรงกระบอก ตัวอย่างรูปคาน

**รูปที่ 9.4** ลักษณะก่อนตัวอย่าง

**1. การทำก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์**  
**มาตรฐานที่ใช้**

BS 1881:PART 3

Method of MAKING AND CURING TEST SPECIMENS

**อุปกรณ์**

- 1) แบบหล่อก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ 15 x 15 x 15 ซม.
- 2) เหล็กต๋า หน้าตัดสี่เหลี่ยมจตุรัส ขนาดพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางนิ้ว
- 3) ช้อนตัก, เกรียงเหล็ก



**รูปที่ 9.5** อุปกรณ์ทำก้อนตัวอย่าง รูปทรงลูกบาศก์

**วิธีทำ**

- 1) ทำความสะอาดแบบหล่อตัวอย่าง แล้วทาน้ำมันที่ผิวภายในทุกด้าน
- 2) ตักคอนกรีตใส่แบบ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น เท่า ๆ กัน แต่ละชั้น ต่ำด้วยเหล็กต๋า 35 ที
- 3) เมื่อต่ำชั้นสุดท้ายเสร็จ ปาดผิวหน้าให้เรียบ

**2. การทำก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก**  
**มาตรฐานที่ใช้**

ASTM C 192

Standard Method of

MAKING AND CURING CONCRETE TEST

TEST SPECIMENS IN THE LABORATORY

**อุปกรณ์**

- 1) แบบหล่อก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.
- 2) เหล็กต๋า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ปลายกลมมน
- 3) ช้อนตัก, เกรียงเหล็ก



**รูปที่ 9.6** อุปกรณ์ทำก้อนตัวอย่าง รูปทรงกระบอก

**วิธีทำ**

- 1) ทำความสะอาดแบบหล่อตัวอย่าง แล้วทาน้ำมันที่ผิวภายในทุกด้าน
- 2) ตักคอนกรีตใส่แบบ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น เท่า ๆ กัน แต่ละชั้น ต่ำด้วยเหล็กต๋า 25 ที
- 3) เมื่อต่ำชั้นสุดท้ายเสร็จ ปาดผิวหน้าให้เรียบ

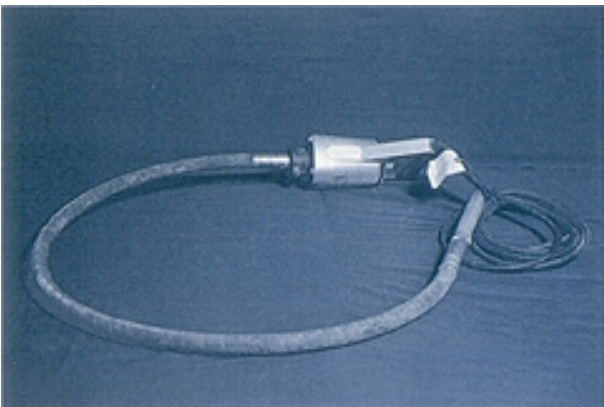
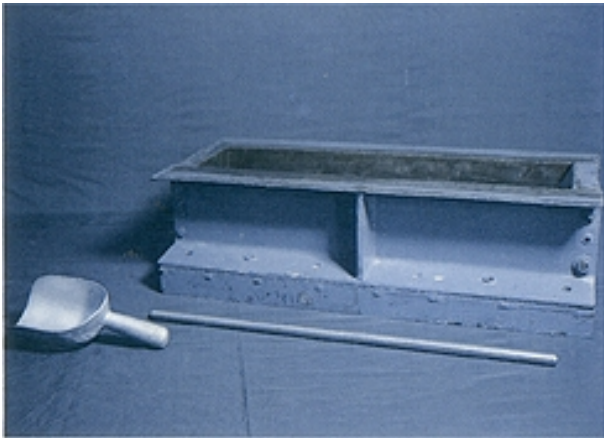
### 3. การทำตัวอย่างรูปคาน

ทำตามมาตรฐาน **ASTM C 192** เช่นกัน

การทำตัวอย่างรูปคานนี้ใช้ทดสอบกำลังดัด เหมาะ  
สำหรับงานคอนกรีตที่ต้องการให้รับแรงดัดเช่น พื้นสนามบิน  
เป็นต้น

#### อุปกรณ์

- 1) แบบหล่อรูปคานขนาด 15 × 15 × 60 ซม.
- 2) เหล็กดำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ปลายกลมมน  
หรือ เครื่องจักรคอนกรีต
- 3) ช้อนตัก, เกรียงเหล็ก



**รูปที่ 9.7** อุปกรณ์ทำตัวอย่าง รูปคาน

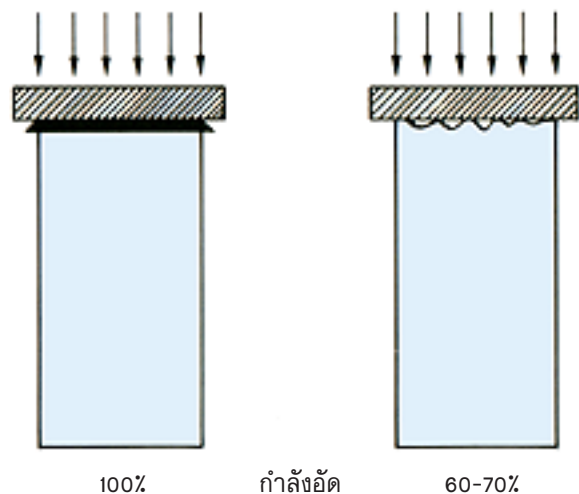
#### วิธีทำ

- 1) ทำความสะอาดแบบหล่อตัวอย่าง แล้วทาน้ำมันที่ผิวภายใน  
ทุกด้าน
- 2) ตักคอนกรีตใส่ลงแบบ โดยแบ่งเป็น 2 ชั้น เท่า ๆ กัน แต่ละ  
ชั้นตักด้วย เหล็กตัก 60 ที หลังจากนั้นปาดผิวหน้าให้เรียบ  
ตัวอย่างคอนกรีตที่ทำเสร็จแล้ว ควรใช้กระสอบที่เปียกชื้น  
คลุมไว้ แล้วป้องกันน้ำระเหยออกทั้งคอนกรีตไว้ในแบบประมาณ  
24 ชั่วโมง หลังจากนั้นถอดแบบออก เขียนรายละเอียดต่าง ๆ  
บนหน้าก่อนปูน เช่น วันที่ทำตัวอย่าง หมายเลขตัวอย่าง เป็นต้น  
จากนั้นนำก้อนตัวอย่างไปบ่มโดยการแช่น้ำ จนถึงเวลาที่จะทำ  
การทดสอบ โดยทั่วไปจะทดสอบที่อายุคอนกรีต 7 วัน และ  
28 วัน

เมื่อถึงกำหนดเวลาทดสอบ นำก้อนตัวอย่างขึ้นจากบ่อ  
บ่มทิ้งไว้ให้ผิวแห้ง ชั่งน้ำหนัก วัดขนาด จดบันทึกไว้ ถ้าเป็น  
ตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ หรือ รูปคาน นำไปทดสอบได้เลย  
แต่ถ้าเป็นตัวอย่างรูปทรงกระบอก หลังชั่งน้ำหนักแล้วต้องทำ  
การ cap ก้อนตัวอย่างทั้ง 2 ด้านด้วยกำมะถันเสียก่อน

#### วัตถุประสงค์ของการ Cap ก้อนตัวอย่างรูปทรง กระบอก

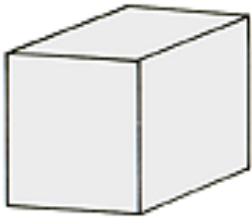
- 1) เพื่อให้ผิวทั้ง 2 ด้าน ของตัวอย่างเรียบ
- 2) เพื่อให้แนวแกนของแท่งตัวอย่างตั้งได้ฉากกับ  
แนวราบหลังจาก cap เสร็จเรียบร้อยและกำมะถันแห้งดีแล้ว  
ก็สามารถนำก้อนตัวอย่างเข้าทดสอบได้



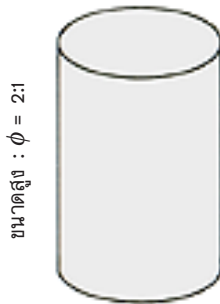
**รูปที่ 9.8** ก่อนตัวอย่างรูปทรงกระบอกที่ CAP หัวและไม่ CAP หัว



#### 4) การทดสอบกำลังอัดคอนกรีต



ตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์



ตัวอย่างรูปทรงกระบอก  
ขนาดสูง :  $\phi = 2:1$

#### มาตรฐานที่ใช้สำหรับตัวอย่างทรงลูกบาศก์

BS 1881 : PART 4

Method of

TESTING CONCRETE FOR STRENGTH

#### มาตรฐานที่ใช้สำหรับตัวอย่างทรงกระบอก

ASTM C 39

Test Method for

COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL  
CONCRETE SPECIMENS

#### วิธีการทดสอบ

- 1) นำก้อนตัวอย่าง วางกึ่งกลางของแท่นทดสอบ โดยให้แกนอยู่ในแนวศูนย์กลางของแท่งกด
- 2) เปิดเครื่องทดสอบโดยในการทดสอบนี้จะต้องควบคุมน้ำหนักที่กดให้มีอัตราสม่ำเสมอ อัตราที่ใช้คือ 1.4-3.4 กก./ตร.ซม./วินาที
- 3) กดก้อนตัวอย่างจนแตก บันทึกค่าน้ำหนักที่ได้
- 4) นำค่าน้ำหนัก และพื้นที่หน้าตัดที่ได้มาหาค่ากำลังอัดประลัย

$$\text{กำลังอัดประลัยของคอนกรีต} = \frac{\text{น้ำหนักกดประลัย}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง}}$$

หน่วยที่ใช้ทั่วไปคือ

1. กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc)
2. นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (N/mm<sup>2</sup>)

#### 5. การทดสอบกำลังดัดคอนกรีต

#### มาตรฐานที่ใช้

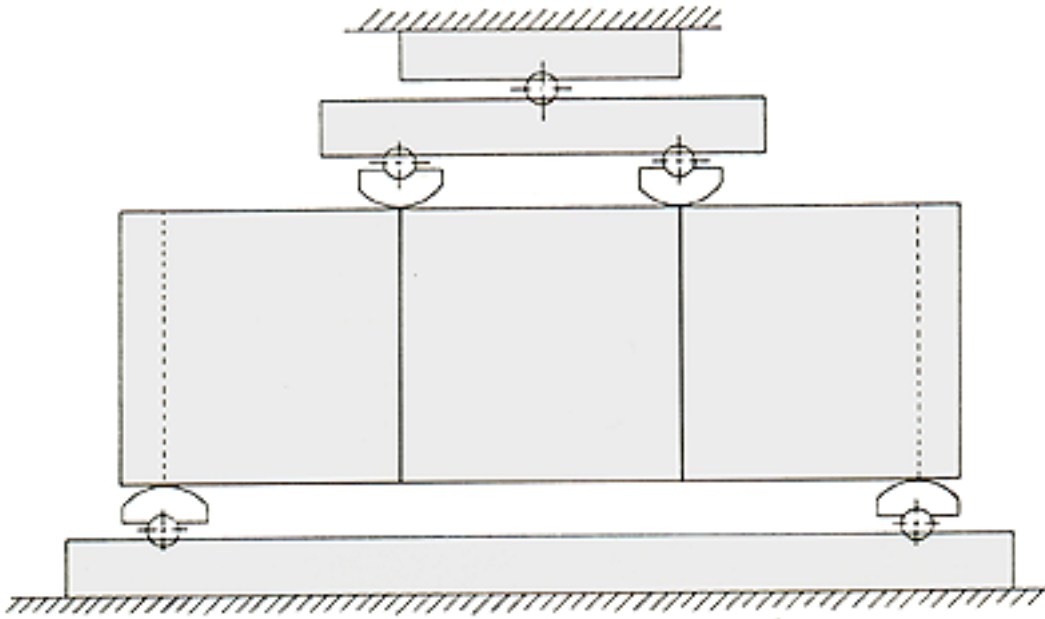
ASTM C 78

Standard Test Method for

FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE

#### วิธีการทดสอบ

- 1) นำแท่นทดสอบตัวอย่างรูปคาน ติดเข้ากับเครื่องทดสอบ
- 2) แบ่งก้อนตัวอย่างตามยาว โดยเหลือบริเวณปลายไว้สองส่วน ส่วนละ 7.5 ซม. ส่วนภายในที่เหลือแบ่งเป็น 3 ส่วน เท่าๆ กัน ส่วนละ 15 ซม.
- 3) วางก้อนตัวอย่าง ลงบนแท่น โดยให้รอยขีดอยู่ตรงกับฐานของแท่น
- 4) นำแท่นกดด้านบน วางบนก้อนตัวอย่างให้ตรงรอยขีดเช่นกัน
- 5) ตั้งน้ำหนักกดให้คงที่ อัตราที่ใช้คือ 0.14-0.20 กก./ตร.ซม./วินาที
- 6) เปิดเครื่องกดน้ำหนัก จนก้อนตัวอย่างหัก
- 7) บันทึกค่าน้ำหนักสูงสุด เพื่อนำไปคำนวณหาค่ากำลังดัด



**รูปที่ 9.9** การทดสอบกำลังดัดคอนกรีต

### การคำนวณ

กรณีที่ 1) เมื่อก่อนตัวอย่างแตกอยู่ในช่วงกลาง  
(Middle Third of Span)

$$R = \frac{Pl}{bd^2}$$

กรณีที่ 2) เมื่อก่อนตัวอย่างไม่แตกอยู่ในช่วงกลาง

$$R = \frac{3 Pa}{bd^2}$$

R = Modulus of Rupture  
 P = Maximum Load  
 l = ความยาว Span  
 a = ระยะทางเฉลี่ยจากจุดที่แตกไปยัง Support ที่ใกล้กว่าวัดด้าน Tension  
 b = ความกว้างเฉลี่ยของคาน  
 d = ความลึกเฉลี่ยของคาน

### 9.5 การประเมินผลการทดสอบ

วัตถุประสงค์หลักของการทดสอบกำลังดัดของตัวอย่างคอนกรีตจากหน่วยงานก่อสร้างก็คือ เพื่อประเมินผลและควบคุมให้แน่ใจว่า คอนกรีตที่ผลิตขึ้นมีคุณภาพและกำลังอัดที่สม่ำเสมออยู่ในระดับที่ต้องการ แต่เนื่องจากคอนกรีตไม่ใช่วัสดุที่เกิดจากการผสมของวัตถุดิบเนื้อเดียวกัน ดังนั้นคอนกรีตจึงมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปในแต่ละรุ่นผสมและแม้แต่รุ่นผสมเดียวกันก็ยังมีคุณสมบัติผันแปรกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ อัตราส่วนผสม การผสม การลำเลียง การเท การบ่ม และตัวอย่างคอนกรีต นอกจากการผันแปรอันเกิดจากลักษณะของคอนกรีตเองแล้ว คุณสมบัติของคอนกรีตยังถูกทำให้เปลี่ยนแปลงออกไปได้เนื่องจากวิธีการทดสอบ เพื่อหาคุณสมบัตินั้น ๆ อีกด้วย เช่น การหล่อแท่งตัวอย่าง การดูแล และการทดสอบตัวอย่างคอนกรีต เป็นต้น สรุปแล้วก็คือ ในการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตจากสนามต้องยอมรับว่า ค่ากำลังอัดที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าที่แตกต่างและค่าผันแปรนี้ต้องอยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ด้วย สำหรับการที่จะกำหนดขอบเขตและควบคุมนั้นสามารถทำได้ด้วยวิธีการทางสถิติพร้อมกันกับความเข้าใจในลักษณะของคอนกรีตและการทดสอบคอนกรีตด้วย

● **ความผันแปรของกำลังอัดตัวอย่างคอนกรีต**

กำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับการควบคุมทั้งวัสดุดิบ ขบวนการผลิต และขบวนการทดสอบ ซึ่งเมื่อสรุปจะได้ว่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต มีค่าผันแปรอันเนื่องจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการ คือ

- 1) การผันแปรเนื่องจากคุณสมบัติของคอนกรีต (ผันแปรในขบวนการผลิต)
- 2) การผันแปรเนื่องจากการทดสอบ (ผันแปรในขบวนการควบคุมคุณภาพ) ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 9.5

การผันแปรในสมบัติของคอนกรีตเอง	การผันแปรเนื่องจากการทดสอบ
<b>การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์</b> - ควบคุมปริมาณน้ำในส่วนผสมไม่ดีพอ - ความชื้นในหินและทรายมีมาก การผันแปรในปริมาณความต้องการน้ำในส่วนผสม - ขนาดละเอียดของหินและทราย - วัสดุผสมมีคุณสมบัติไม่สม่ำเสมอ <b>การผันแปรในคุณภาพและอัตราส่วนผสมของวัสดุ</b> - หิน, ทราย - ซีเมนต์	<b>วิธีการสุ่มตัวอย่างไม่เหมาะสม</b> <b>วิธีการเตรียมตัวอย่างไม่แน่นอน</b> - ปริมาณการกระทุ้ง - การเคลื่อนย้ายตัวอย่าง - การดูแลตัวอย่างคอนกรีตสด <b>การเปลี่ยนแปลงจากการบ่ม</b> - อุณหภูมิ - ความชื้น <b>วิธีดำเนินการทดสอบไม่ดี</b> - การหล่อฝา - การทดสอบกำลังอัด

**ตารางที่ 9.5** สรุปความผันแปรของกำลังอัด

● **การประเมินผล**

1) **การประเมินผลความผันแปรในขบวนการผลิต**

ในการประเมินผลนี้ จะพิจารณาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำลังอัดของคอนกรีต ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าการควบคุมยังไม่ดีพอต้องปรับปรุง ความสัมพันธ์ระหว่างความเบี่ยงเบนมาตรฐานกับระดับการควบคุมสรุปได้ดังนี้

ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กก./ตร.ซม.)	น้อยกว่า 28	28 - < 35	35 - < 42	42 - < 49	มากกว่า 49
ระดับการควบคุมขบวนการผลิต	ดีเลิศ	ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง

**ตารางที่ 9.6** เกณฑ์ในการประเมินการควบคุมการผลิต

## 2) การประเมินผลความผันแปรในขบวนการควบคุมคุณภาพ

ในการประเมินนี้ จะพิจารณาค่า สัมประสิทธิ์ความ

ผันแปร ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าการควบคุมยังไม่ดีพอ ต้องปรับปรุงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร กับระดับการควบคุม สรุปได้ดังนี้

สัมประสิทธิ์ความผันแปร (%)	น้อยกว่า 3.0	3.0 - < 4.0	4.0 - < 5.0	5.0 - < 6.0	มากกว่า 6.0
ระดับการควบคุมขบวนการควบคุมคุณภาพ	ดีเลิศ	ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง

ตารางที่ 9.7 เกณฑ์ในการประเมินการควบคุมคุณภาพ

- ตัวอย่าง การประเมินผลการทดสอบกำลังอัดตัวอย่างคอนกรีต ถ้าโรงงานผลิตคอนกรีต 3 แห่ง ผลิตคอนกรีตมีค่าการควบคุมดังตาราง

โรงงาน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กก./ตร.ซม.)	ค่าสัมประสิทธิ์การผันแปร % (%)
A	42	7.0
B	33	5.0
C	55	3.0

จากค่าในตารางสามารถสรุประดับการควบคุมได้ดังนี้

โรงงาน	ระดับการควบคุมขบวนการผลิต	ระดับการควบคุมขบวนการควบคุมคุณภาพ
A	พอใช้	ต้องปรับปรุง
B	ดีมาก	พอใช้
C	ต้องปรับปรุง	ดีมาก

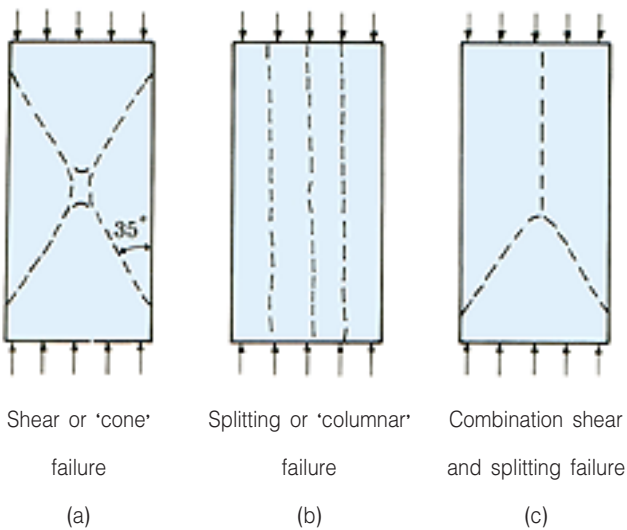
## 9.6 สาเหตุที่กำลังอัดไม่เป็นไปตามข้อกำหนด

การที่กำลังอัดของคอนกรีต ได้ค่าต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนดนี้ อาจมีสาเหตุมาจากหลาย ๆ ประการอันได้แก่

- ใช้สัดส่วนผสมที่ไม่เหมาะสม
- ควบคุมปริมาณน้ำไม่ดีพอ
- ควบคุมปริมาณฟองอากาศไม่ดี
- การผสมไม่ดีพอ
- มีสารอินทรีย์ต่าง ๆ มากเกินข้อกำหนด
- ใช้หินทรายที่สกปรก
- ใช้น้ำยาผสมคอนกรีตที่ไม่มีประสิทธิภาพ
- ไม่ได้ปรับความชื้นในมวลรวม
- การอัดแน่นไม่ถูกต้อง
- การบ่มไม่เพียงพอ
- การลำเลียงและการทดสอบไม่ถูกต้อง
- อุณหภูมิผันแปรไป

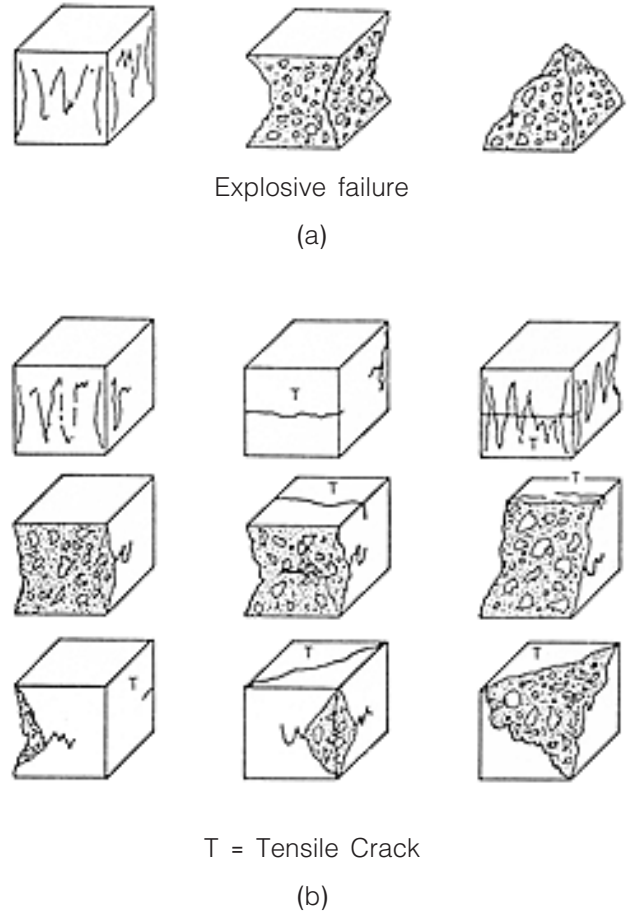
## 9.7 ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างคอนกรีต

ลักษณะการชำรุดแตกหักของก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่รับแรงอัด มักแตกออกเป็นรูปกรวยคู่ (Shear Failure) โดยมีปลายกรวยอยู่ที่กึ่งกลางของทรงกระบอก ดังแสดงในรูปที่ 9.10 (a) โดยเกิดจากการถูกเฉือนในระนาบที่เอียงกับแรงกด อันเนื่องมาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง วัสดุผสมและความเสียดทานภายใน ดังนั้นมุมของการแตกหัก จึงมีค่าเท่ากับ  $45^\circ - \frac{\phi}{2}$  เมื่อ  $\phi$  เป็นมุมของความเสียดทานภายใน ของคอนกรีตซึ่งมีค่าประมาณ 20 องศา ดังนั้นระนาบของความเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตจึงเอียงประมาณ 35 องศา ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างอาจเป็นการแตกแบบแยกออก (Splitting Failure) ดังรูปที่ 9.10 (b) หรืออาจเป็นการรวมของลักษณะการแตกของทั้ง 2 แบบ (Combination Shear and Splitting Failure) ดังรูปที่ 9.10 (c)



รูปที่ 9.10 การแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก

ส่วนลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ที่ถูกต้องจะแตกเป็นรูปปิรามิด ดังแสดงในรูปที่ 9.11



รูปที่ 9.11 (a) ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ที่ถูกต้องและ (b) การแตกที่ไม่ถูกต้อง