

## บทที่ 19

### การควบคุมคุณภาพคอนกรีต

การควบคุมคุณภาพคอนกรีตมีบทบาทสำคัญมากต่อวงการก่อสร้าง กระบวนการควบคุมคุณภาพคอนกรีตไม่ใช่เพียงการทดสอบค่ายุบตัว และการทดสอบกำลังอัดของก้อนตัวอย่างคอนกรีตเท่านั้นแต่รวมไปถึงการคัดเลือกวัสดุดิบและสัดส่วนผสม การควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ การควบคุมเครื่องจักรและอุปกรณ์ การควบคุมขบวนการผลิต การควบคุมคุณภาพคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว โดยวัตถุประสงค์ที่สำคัญของการควบคุมคุณภาพ คือ ต้องการให้เกิดความมั่นใจว่าคอนกรีตที่ผลิต มีคุณภาพสูงตามที่มาตรฐานงานกำหนด

#### 19.1 ความแตกต่างของคอนกรีตและวัสดุก่อสร้างอื่น ๆ

การควบคุมคุณภาพ จำเป็นอย่างยิ่ง สำหรับขบวนการผลิตสินค้าวัสดุก่อสร้างทุกชนิดแต่เนื่องจากคอนกรีตมีคุณลักษณะพิเศษต่าง ๆ ที่แตกต่างออกไปจึงจำเป็นอย่างยิ่ง ที่ต้องให้ความใส่ใจอย่างมาก กล่าวคือ

- 1) คอนกรีตยังไม่ใช้วัสดุสำเร็จ ณ เวลาที่เทลงแบบเพราะขณะนั้นคอนกรีตยังอยู่ในสภาพที่เหลวแต่การใช้งานจริงใช้คอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว
- 2) คุณภาพและความสม่ำเสมอของคอนกรีต ผันแปรค่อนข้างมาก เนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ ทั้งที่สามารถควบคุมได้และที่ยากต่อการควบคุม
- 3) คุณภาพของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว จะถูกกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ ในหลายขั้นตอนตั้งแต่
  - การเลือกและการผันแปรของส่วนผสม
  - คุณสมบัติของวัสดุผสม
  - สัดส่วนผสม
  - การสม่ำเสมอในการผสม
  - การขนส่งและการเทลงแบบ
- 4) การรับรองกำลังอัด จะรับรองหลังจากที่เทคอนกรีต

นั้นไปแล้ว 3, 7, 14 หรือ 28 วัน ซึ่งแตกต่างจากเหล็ก ไม้ หรือวัสดุก่อสร้างอื่น ๆ ซึ่งสามารถทดสอบหาคุณสมบัติต่าง ๆ ได้ก่อนนำไปใช้งาน

5) ในขณะที่สินค้าอื่น ๆ พยายามที่จะทำสินค้าให้เป็นมาตรฐาน แต่อุตสาหกรรมคอนกรีต จำเป็นต้องดัดแปลง ปรับปรุง สัดส่วนผสมเพื่อให้เหมาะกับงานก่อสร้างแต่ละโครงการและจำเป็นต้องใช้วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์สูงสุด

#### 19.2 การควบคุมคุณภาพ

##### • คำนิยาม

การควบคุมคุณภาพ (Quality Control) หมายถึง กิจกรรมและกลวิธีการปฏิบัติเพื่อสนองความต้องการด้านคุณภาพ

การประกันคุณภาพ (Quality Assurance) หมายถึง การปฏิบัติการทั้งหมดตามระบบและแผนที่วางไว้ ที่ให้ได้มาซึ่งความเชื่อมั่นว่าผลิตภัณฑ์หรือ บริการนั้นเป็นไปตามคุณภาพที่ต้องการ

จากคำนิยามจะพบว่าการควบคุมคุณภาพเป็นเพียงส่วนหนึ่ง ของการประกันคุณภาพซึ่งทุก ๆ ฝ่ายในวงการก่อสร้างมีความเห็นพร้อมกันว่า คอนกรีตที่มีคุณภาพ จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่มีความเห็นแตกต่างกันในเรื่องของ “ระดับของคุณภาพ”

##### • ระดับของคุณภาพ

เป้าหมายที่ทุกฝ่ายในวงการก่อสร้างต้องการคือ

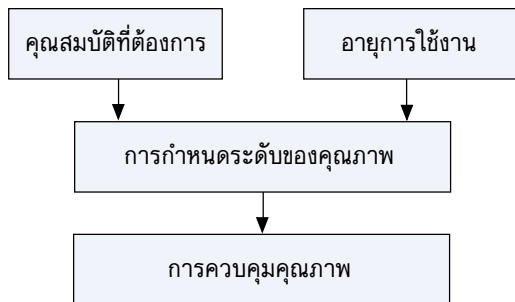
- 1) ให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติเหมาะสมมากที่สุด
- 2) หลีกเลี่ยงให้เกิดคุณสมบัติที่ไม่เหมาะสมน้อยที่สุด
- 3) ให้ราคาโดยรวมต่ำที่สุด

เราใช้ระบบการควบคุมคุณภาพและการประกันคุณภาพ เพื่อให้เกิดความน่าจะเป็นสูงสุดที่ได้คุณสมบัติ หรือคุณภาพตาม

ต้องการ จะเป็นการสูญเสียอย่างมากถ้าผู้ออกแบบกำหนดให้ใช้คอนกรีตที่มีระดับของคุณภาพสูงมากเกินไปจนความจำเป็น เพราะจะทำให้ต้นทุนสูงขึ้นโดยไม่มีความเป็น

### • อายุการใช้งานของโครงสร้าง

คุณสมบัติที่สำคัญที่จะต้องพิจารณาในเรื่องคุณภาพของคอนกรีต คือ ความทนทานตลอดจนอายุการใช้งาน โครงสร้างต่างกันจะมีอายุการใช้งานที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 1 วัน 1 สัปดาห์ เช่น ในงานทางด้านอาหาร จนถึงอายุการใช้งานที่นาน เช่น เขื่อน, สะพาน ดังนั้นนอกจากคุณสมบัติที่ต้องการแล้ว ผู้ออกแบบต้องกำหนดอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตนั้นด้วยสรุปองค์ประกอบของการควบคุมคุณภาพแสดงด้วยรูปที่ 19.1



รูปที่ 19.1 องค์ประกอบของการควบคุมคุณภาพคอนกรีต

วิศวกรผู้ออกแบบไม่ควรกำหนดคอนกรีตที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด แต่ควรมองหาคอนกรีตที่มีคุณสมบัติที่เพียงพอ สำหรับการใช้งาน ในราคาที่ต่ำที่สุด

## 19.3 กระบวนการควบคุมคุณภาพ

กระบวนการควบคุมคุณภาพ ที่สมบูรณ์นั้น จะต้องประกอบด้วยกิจกรรมต่าง ๆ 4 ขั้นตอน คือ

- 1) การตรวจสอบ
- 2) การบันทึก
- 3) การวิเคราะห์ผล
- 4) การติดตามแก้ไข

สำหรับการควบคุมคุณภาพคอนกรีตสามารถแบ่งได้เป็น 5 ส่วนดังนี้

### 1) การควบคุมวัตถุดิบ

- ปูนซีเมนต์
- หิน-ทราย
- น้ำ
- น้ำยาผสมคอนกรีต
- วัสดุทดแทนซีเมนต์

### 2) การออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีต

- พิจารณาศึกษา ทบทวน ข้อกำหนด
- การทบทวน ปรับปรุง เปลี่ยนแปลง ข้อกำหนดให้เหมาะสม
- พัฒนาและเลือกสัดส่วนผสม
- การเสนอส่วนผสมเพื่ออนุมัติใช้งาน
- การประชุมหารือก่อนการเทคอนกรีต
- การรวบรวมข้อมูลลักษณะเฉพาะของคอนกรีต

### 3) การควบคุม ณ โรงงานคอนกรีต หรือ ณ หน่วยงานผลิต

- การสุ่มตรวจสอบวัตถุดิบที่เข้าโรงงาน
- การกองเก็บวัตถุดิบ เช่น การป้องกันสิ่งสกปรกเจือปน, การระบายน้ำของมวลรวม
- การชั่ง ตวงส่วนผสม เช่น ระบบชั่งและระบบเคลื่อนย้ายวัตถุดิบที่เชื่อถือได้, การตรวจสอบ (Calibrated) เครื่องชั่งและอุปกรณ์ตวงน้ำยา (Dispenser)
- ความถูกต้องในการชั่งตวง
- เครื่องผสมคอนกรีต เช่น สภาพใบผสม, กำลังของเครื่องผสม

### 4) การควบคุมการจัดส่ง

- การบำรุงรักษาเครื่องจักรและกระบวนการผลิต

### 4) การควบคุมคอนกรีต

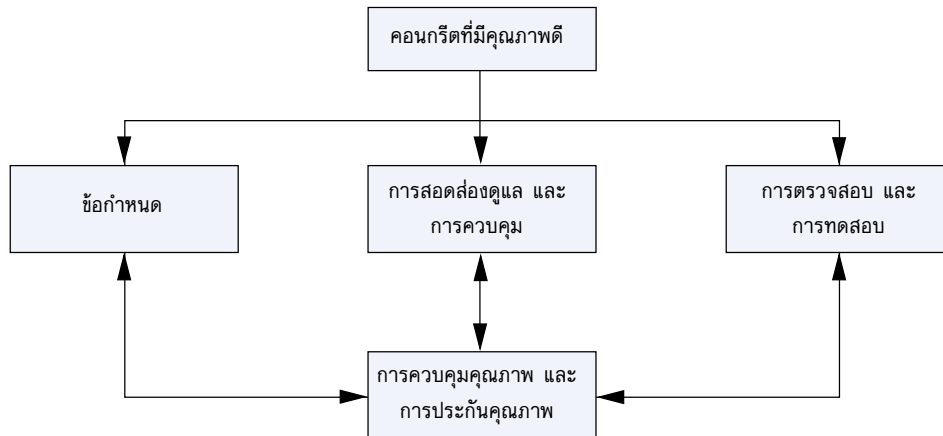
- การสุ่มตัวอย่างคอนกรีตเพื่อทดสอบ
- การทดสอบคอนกรีตสด
- การสังเกต ณ หน่วยงานก่อสร้าง
- รายงานข้อมูลเทคนิคต่าง ๆ ในสนาม
- รายงานของพนักงานจัดส่ง
- การเปรียบเทียบผลทดสอบระหว่างห้องปฏิบัติการ
- การจัดทำผลการทดสอบ

### 5) การบริการลูกค้า

- การตรวจสอบข้อร้องเรียนของลูกค้า

- การวิเคราะห์ข้อผิดพลาด
- เสนอแนะทางแก้ไขปัญหาและหาทางป้องกัน
- ป้อนข้อมูลส่งกลับไปหน่วยงานผลิต

การควบคุมคุณภาพ ที่กล่าวมานี้ เป็นเพียงส่วนหนึ่งที่จะทำให้เกิดคอนกรีตที่มีคุณภาพดี ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่จะก่อให้เกิดคอนกรีตที่มีคุณภาพดี ดังแสดงในรูป



รูปที่ 19.2 ปัจจัยที่มีผลทำให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดี

## 19.4 การทดสอบเพื่อการควบคุมคุณภาพ

การทดสอบเพื่อการควบคุมคุณภาพคอนกรีต แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

- การทดสอบเบื้องต้น
- การทดสอบอื่นๆ

### • การทดสอบเบื้องต้น

#### 1. การทดสอบมวลรวม

- ความชื้นมวลรวม
- ส่วนคละ
- ความสกปรก
- ปริมาณ Silt, Clay, และฝุ่น
- ความถ่วงจำเพาะ
- การดูดซึม
- ความแบน
- ความยาว

#### 2. การทดสอบคอนกรีต

- ค่ายุบตัว

- ปริมาณฟองอากาศ
- หน่วยน้ำหนัก
- อุณหภูมิ
- กำลั้งอัด

### • การทดสอบอื่นๆ

#### 1. การทดสอบปูนซีเมนต์

- กำลั้งอัดของมอร์ต้า
- เวลาก่อตัว
- Loss on Ignition

#### 2. การทดสอบนํ้ายาสมคอนกรีต

- ความถ่วงจำเพาะ
- ปริมาณของแข็งในนํ้ายา
- ประสิทธิภาพการลดนํ้า

#### 3. การทดสอบคอนกรีต

- การทดสอบคอนกรีตในห้องปฏิบัติการ
- เวลาการก่อตัว
- กำลั้ง
- การเจาะคอนกรีตในโครงสร้างเพื่อทดสอบ



**รูปที่ 19.3** งานเจาะคอนกรีตในโครงสร้างเพื่อทดสอบ

## 19.5 การควบคุมคุณภาพ ณ หน่วยงานก่อสร้าง

วัตถุประสงค์สำคัญของการควบคุมคุณภาพคอนกรีต ณ หน่วยงานก่อสร้าง ก็เพื่อตรวจสอบคอนกรีตว่าเป็นตามข้อกำหนดของงานก่อสร้างนั้น ๆ หรือไม่ สำหรับงานก่อสร้างทั่วไปในประเทศไทย จะมีข้อกำหนดของงานคอนกรีต ซึ่งส่วนใหญ่จะกำหนดให้ทำการทดสอบคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ

1. การทดสอบค่ายุบตัว
2. การทดสอบกำลังอัด

ในปัจจุบันเวลาก่อสร้างมีจำกัด ผู้รับเหมาส่วนใหญ่จะเปลี่ยนจากการผสมคอนกรีตที่หน่วยงานก่อสร้าง มาเป็นการใช้คอนกรีตผสมเสร็จที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนด กล่าวคือในขณะที่เป็นคอนกรีตสด ต้องได้ค่ายุบตัวตามต้องการ และเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วต้องได้กำลังอัด ตามข้อกำหนด ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้ คือ เมื่อรณผสมคอนกรีตมาถึงหน่วยงานก่อสร้างจะสุ่มคอนกรีตเพื่อทำการทดสอบค่ายุบตัว เมื่อค่ายุบตัวที่ได้อยู่ในช่วงที่กำหนด ก็จะนำคอนกรีตไปเทในส่วนของโครงสร้างโดยที่ยังไม่ทราบว่คอนกรีตนี้มีค่ากำลังอัดเท่าใด นำคอนกรีตที่เหลืออยู่ในรถเข็นมาทำตัวอย่าง ทั้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง จึงแกะแบบออก นำก้อนตัวอย่างไปบ่มโดยการแช่น้ำและทดสอบที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน ผลกำลังจะรับรองที่อายุคอนกรีต 28 วัน

การสุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบค่ายุบตัวจะทำเมื่อผู้ควบคุมงานสงสัยว่า คอนกรีตนั้นจะมีค่ายุบตัวไม่ได้ตามข้อกำหนด ส่วนการสุ่มตัวอย่างเพื่อทำก้อนตัวอย่างทดสอบกำลังอัด ตามมาตรฐานทั่วไปกำหนดให้สุ่มเก็บตัวอย่าง 1 ชุด ต่อคอนกรีตที่เททุก ๆ 50 ลูกบาศก์เมตร ตัวอย่าง 1 ชุด ประกอบด้วยก้อนตัวอย่าง 3 ก้อน จะนำไปทดสอบที่อายุ 7 วัน 1 ก้อน และ 28 วัน 2 ก้อน



**รูปที่ 19.4** การทำก้อนตัวอย่างเพื่อควบคุมคุณภาพ

## 19.6 ค่ายอมรับสำหรับคุณภาพคอนกรีต

เมื่อมีการทดสอบแล้ว จำเป็นต้องมีข้อกำหนดการยอมรับโดยของคุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีต ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

### 1. ปริมาณปูนซีเมนต์สูงสุดและต่ำสุด

- ไม่ควรมีน้อยกว่า 95% ของค่าต่ำสุดที่กำหนด
- ไม่ควรมากกว่า 105% ของค่าสูงสุดที่กำหนด

### 2. ความสามารถเทได้

- ค่ายุบตัว  $\pm 25$  มิลลิเมตร หรือ  $\pm 1/3$  ของค่าที่กำหนด

### 3. ปริมาณฟองอากาศ

- $\pm 1.5\%$  ของค่าที่กำหนด
- ค่าเฉลี่ยของ 4 ค่าที่วัดติดกัน จะต้องอยู่ใน  $\pm 1\%$  ของค่าที่กำหนด

#### 4. อุณหภูมิ ณ หน่วยงานก่อสร้าง

- ต้องไม่น้อยกว่าค่าต่ำสุดที่กำหนดเกิน 2°C
- ต้องไม่มากกว่าค่าสูงสุดที่กำหนดเกิน 2°C

#### 5. ความหนาแน่น ณ หน่วยงานก่อสร้าง

- วัดความละเอียดถึง 10 กก./ลบ.เมตร
- ไม่น้อยกว่า 95% ของค่าต่ำสุดที่กำหนด
- ไม่เกินกว่า 105% ของค่าสูงสุดที่กำหนด

#### 6. กำลังอัด

เมื่อทดสอบกำลังอัดแล้วต้องดำเนินการประเมินผลโดยทำตามมาตรฐาน ACI 318 หรือตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ซึ่งมีวิธีการประเมินดังนี้

ค่ากำลังอัดที่ถือว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

1) ค่าเฉลี่ยของกำลังอัด จากการทดสอบ 3 ครั้ง ติดต่อกันมากกว่าค่ากำลังอัดที่กำหนด ( $f_c'$ )

2) ค่ากำลังอัดแต่ละครั้งต่ำกว่ากำลังอัดที่ต้องการ( $f_c'$ ) ได้ไม่เกิน 30 กก./ตร.ซม.

หรืออาจจะประเมินตามข้อกำหนดของงาน ซึ่งโดยทั่วไปกำลังอัดที่ถือว่าผ่านเกณฑ์กำหนดต้องเข้ากฎเกณฑ์ดังนี้

1) ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดในแต่ละชุดต้องมีค่า ไม่น้อยกว่าค่ากำลังอัดที่กำหนด ( $f_c'$ )

2) ค่ากำลังอัดแต่ละก้อนต้องไม่น้อยกว่า 80 หรือ 85% ของค่ากำลังอัดที่กำหนด

#### 7. กำลังอัดของก้อนตัวอย่างที่ได้จากการเจาะ

ในกรณีที่จะต้องเจาะคอนกรีตในโครงมาทดสอบ การประเมินผลตาม ACI มีดังนี้

1) ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดจะต้องได้ค่าไม่น้อยกว่า 85% ของกำลังอัดที่กำหนด ( $f_c'$ )

2) ค่ากำลังอัดของตัวอย่างแต่ละก้อนต้องไม่น้อยกว่า 75% ของกำลังอัดที่กำหนด ( $f_c'$ )

### 19.7 การปฏิบัติเมื่อคุณภาพไม่ได้ตามมาตรฐาน

- ถ้าส่วนคละของมวลรวมไม่เป็นไปตามมาตรฐาน อาจต้องปรับสัดส่วนผสมของมวลรวมให้เหมาะสม

- ถ้าทรายมีสารอินทรีย์ปนอยู่มากจนทำให้สีของสารละลาย NaOH เกินมาตรฐานควรยกเลิกการใช้ทรายนั้น เพราะอาจทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลง

- ถ้าหินมีสิ่งเจือปน เช่น ดิน ฝุ่นหิน มากเกินข้อกำหนด ควรทำการล้างหินก่อนนำมาใช้งาน

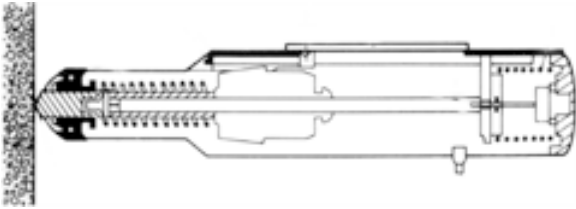
- ถ้าค่ายุบตัวของคอนกรีตที่จัดส่งไป ณ หน่วยงานก่อสร้างไม่เป็นไปตามข้อกำหนดคือมีค่ามากเกินไปหรือน้อยเกินไป ควรทำการทดสอบซ้ำอีกครั้ง ถ้ายังไม่เป็นไปตามข้อกำหนดอีก ขอให้ผู้ควบคุมงานใช้ดุลยพินิจในการตัดสินใจว่าควรใช้คอนกรีตนั้น ๆ หรือไม่ ถ้าใช้ควรทำการสุ่มเก็บตัวอย่างไว้ทดสอบกำลังอัดด้วย

- ถ้ากำลังอัดของก้อนตัวอย่างคอนกรีตต่ำกว่าค่ากำลังอัดที่ออกแบบ ( $f_c'$ )

กรณีที่ 1) ถ้าข้อมูลที่ต่ำนั้น เป็นข้อมูลที่อยู่นอกกลุ่ม (Off-data) ควรตัดข้อมูลนั้นทิ้ง เช่น กำลังอัดของก้อนตัวอย่างที่อายุ 28 วัน ของ 3 ตัวอย่างชุดเดียวกันได้ค่า 305, 312, และ 238 กก./ตร.ซม. ควรใช้ค่ากำลังอัด 305 และ 312 มาหาค่าเฉลี่ยก้อนตัวอย่างที่ได้กำลังอัด 238 กก./ตร.ซม. อาจมีข้อบกพร่องระหว่างการทำให้หรือการขนส่ง หรือระหว่างกระบวนการทดสอบ ซึ่งควรสืบหาสาเหตุด้วย

กรณีที่ 2) ถ้ากำลังอัดเฉลี่ยได้ค่าต่ำกว่าค่ากำลังอัดที่ออกแบบไว้ อาจจำเป็นต้องทดสอบคอนกรีตในโครงสร้างนั้น โดยวิธีการต่าง ๆ ตามลำดับดังนี้

- การยิงด้วย Schmidt Hammer
- การเจาะคอนกรีตเพื่อทดสอบ
- การทดสอบให้โครงสร้างรับน้ำหนักจริง



รูปที่ 19.5 การทดสอบโดยยิงด้วย Schmidt Hammer

## 19.8 การใช้สถิติในการควบคุมคุณภาพ

ผู้ผลิตคอนกรีต จะใช้วิชาสถิติมาช่วยในการวิเคราะห์ผลการทดสอบกำลังอัดของก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่สุ่มเก็บและป่มตามวิธีมาตรฐานและนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ได้มาทำการปรับปรุงคุณภาพคอนกรีตให้ดีขึ้น

### • ความรู้พื้นฐานทางด้านสถิติ

ค่าฟังก์ชันต่าง ๆ ที่ควรทราบเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1) ค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ ) เป็นค่าเฉลี่ยกำลังอัดของตัวอย่างก้อนปูน

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

โดย  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  เป็นค่ากำลังอัดของแต่ละตัวอย่างก้อนปูน และ  $n$  เป็นจำนวนตัวอย่างทั้งหมด

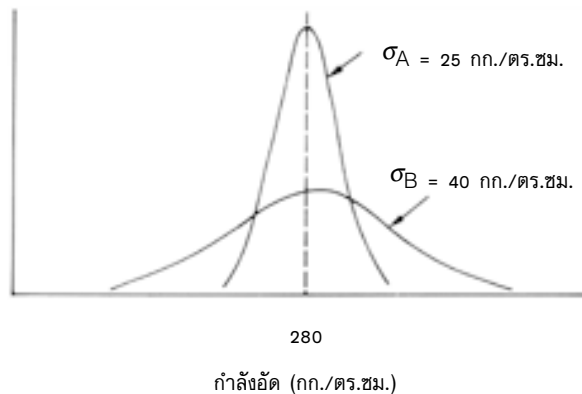
2) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\sigma$ ) เป็นค่าที่ใช้วัดการกระจายของตัวอย่างก้อนปูนจากค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ )

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n-1}}$$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานนี้ จะเป็นตัวกำหนดรูปแบบรวมของเส้นโค้งการแจกแจงความถี่แบบปกติ ซึ่งทำให้ทราบถึงระดับการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตได้

- ในกรณีที่มีการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตดี ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะน้อย นั่นคือกำลังอัดของตัวอย่างก้อนปูน ส่วนใหญ่ มีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย ทำให้เส้นโค้งการแจกแจงความถี่แบบปกติโด่งขึ้นและแคบลง ดังแสดงในรูปที่ ( $\sigma_A$ )

- ในกรณีที่การควบคุมคุณภาพของคอนกรีตไม่ดี ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่ามาก ค่ากำลังอัดของตัวอย่างก้อนปูนก็จะกระจายออกจากค่าเฉลี่ยมาก ทำให้เส้นโค้งเตี้ยลงและแบนออก ดังแสดงในรูปที่ ( $\sigma_B$ )

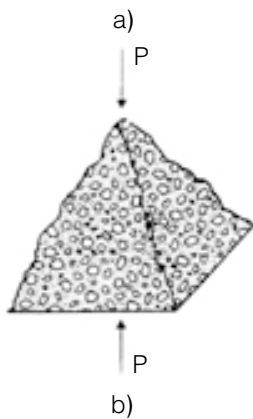
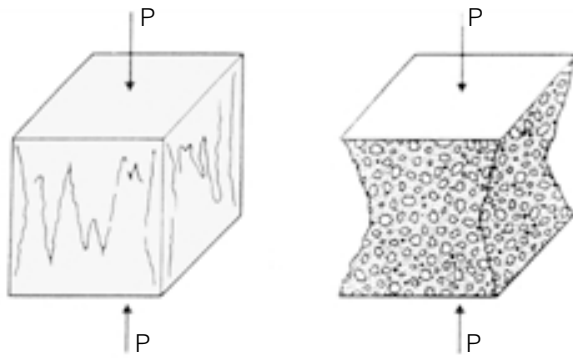


รูปที่ 19.6 เส้นโค้งการแจกแจงความถี่

### • การเก็บข้อมูล

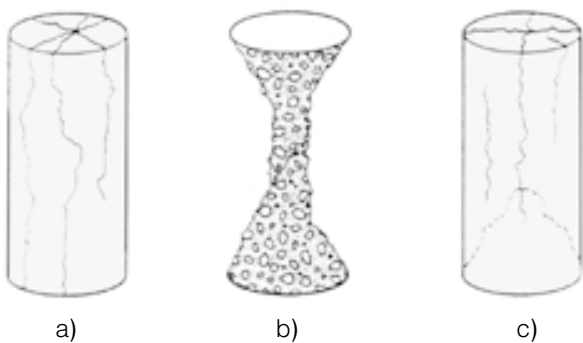
ค่าเฉลี่ยหรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่หาได้นั้นจะถูกต้องมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับวิธีการเก็บข้อมูล เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ ข้อมูลที่เก็บโดยวิธีการสุ่มจะเป็นตัวแทนที่แท้จริง นอกจากนี้จำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ก็เป็นปัจจัยสำคัญอีกด้วย โดยมาตรฐานทั่ว ๆ ไป กำหนดว่า จำนวนข้อมูลที่จะถือว่าน่าเชื่อถือได้ต้องมาจากกำลังของก้อนตัวอย่างคอนกรีตไม่น้อยกว่า 30 ค่า

เมื่อทำการทดสอบกำลังของก้อนตัวอย่าง นอกจากค่ากำลังอัดที่ได้แล้ว ผู้ทดสอบควรทำการบันทึกรูปลักษณะ การแตกของก้อนตัวอย่างไว้สำหรับวิเคราะห์ด้วย



การแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์

a) ไม่ระเบิด      b) ระเบิด



การแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก

a) Splitting      c) Combine      b) Shear (Cone)

**รูปที่ 19.7** ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์และทรงกระบอก

## 19.9 แผนภาพการควบคุมคุณภาพ

แผนภาพการควบคุมคุณภาพนี้มีการใช้อย่างแพร่หลาย ในการควบคุมคุณภาพคอนกรีตโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในเรื่องกำลังอัดของก้อนตัวอย่าง ทั้งนี้เพราะแผนภาพนี้จะแสดงให้เห็นทุกขณะ ว่า กำลังคอนกรีตมีการผันแปรมากน้อยเท่าใด

โดยทั่วไป แผนภาพที่ใช้ในงานควบคุมคุณภาพ กำลังอัดคอนกรีต มีอยู่ 2 แผนภาพดังนี้

- 1) แผนภาพแสดงกำลังอัดเฉลี่ยของก้อนตัวอย่าง
- 2) แผนภาพแสดงกำลังอัดเฉลี่ย 5 ค่าติดต่อกัน

แผนภาพต่าง ๆ ได้จากตารางข้อมูลที่เก็บข้อมูลดังแสดง ในตารางที่ 19.1 และตัวอย่างแสดงในตารางที่ 19.2

การวิเคราะห์กำลังอัดคอนกรีต

ส่วนผสม .....

โรงงาน .....

เลขที่	วันที่หล่อ	กำลังอัดที่อายุ 7 วัน (กก./ตร.ซม.)					กำลังอัดที่อายุ 28 วัน (กก./ตร.ซม.)					
		X1	X2	X3	$\bar{X}$	XMOV	X1	X2	X3	$\bar{X}$	XMOV	
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												
32												
33												
34												
35												
36												
37												
38												
39												
40												
จำนวนก้อนตัวอย่าง กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กก./ตร.ซม.) ค่าสูงสุด (กก./ตร.ซม.) ค่าต่ำสุด (กก./ตร.ซม.)							จำนวนก้อนตัวอย่าง กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กก./ตร.ซม.) ค่าสูงสุด (กก./ตร.ซม.) ค่าต่ำสุด (กก./ตร.ซม.)					

ตารางที่ 10.1 ตารางการเก็บข้อมูลด้านกำลังอัด



การวิเคราะห์กำลังอัดคอนกรีต

ส่วนผสม กำลังอัด 450 กก./ตร.ซม.

โรงงาน พหลโยธิน

เลขที่	วันที่หล่อ	กำลังอัดที่อายุ 7 วัน (กก./ตร.ซม.)					กำลังอัดที่อายุ 28 วัน (กก./ตร.ซม.)					
		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	$\bar{X}$	XMOV	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	$\bar{X}$	XMOV	
1	1/6	411	361	390	387		467	548	523	513		
2		409	378	446	411		478	484	516	493		
3		389	448	382	406		532	546	501	526		
4		407	452	450	436		552	519	480	517		
5	3/6	381	418	425	408	410	546	527	516	530	516	
6		406	397	376	393	411	505	471	529	502	513	
7		415	394	421	410	411	514	501	554	523	520	
8		420	428	430	426	415	482	527	475	495	513	
9	4/6	424	431	425	427	413	477	519	528	508	511	
10		426	424	408	419	415	546	526	531	534	512	
11		406	419	423	416	420	514	498	485	499	512	
12		361	404	430	398	417	493	521	513	509	509	
13	7/6	413	387	406	402	412	465	514	473	484	507	
14		409	418	396	408	409	517	462	509	496	504	
15		399	415	405	406	406	494	481	511	495	497	
16		402	425	414	414	406	526	496	531	518	500	
17		408	397	428	411	408	496	526	505	509	500	
18		399	392	385	392	406	523	497	514	511	506	
19	9/6	427	415	412	418	408	482	492	501	492	505	
20		405	436	425	422	411	504	490	503	499	506	
21		415	404	423	414	411	514	492	487	498	502	
22		419	395	427	414	412	498	483	526	502	500	
23		410	434	424	423	418	532	516	505	518	502	
24		418	395	419	411	417	517	532	529	526	509	
25		414	426	398	413	415	527	529	471	509	511	
26	10/6	425	415	432	424	417	514	491	523	509	513	
27		429	436	428	431	420	509	495	516	507	514	
28		416	419	430	422	420	483	467	541	497	510	
29		415	428	422	422	422	527	504	478	503	505	
30	11/6	417	427	424	423	424	471	521	508	500	503	
31		429	403	424	419	423	526	505	513	515	504	
32		408	421	425	418	421	479	501	517	499	503	
33	12/6	433	417	396	415	419	485	514	509	503	504	
34		399	429	426	418	419	505	519	527	517	507	
35		403	418	423	415	417	498	525	513	512	509	
36		422	419	437	426	418	496	511	514	507	508	
37		409	424	421	418	418	509	516	524	516	511	
38	15/6	417	414	398	410	417	516	529	493	513	513	
39		422	414	429	422	418	524	512	495	510	512	
40		426	419	437	427	421	510	521	523	518	513	
จำนวนก้อนตัวอย่าง กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)						120	จำนวนก้อนตัวอย่าง					
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กก./ตร.ซม.)						415	กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)					
ค่าสูงสุด (กก./ตร.ซม.)						16	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กก./ตร.ซม.)					
ค่าต่ำสุด (กก./ตร.ซม.)						452	ค่าสูงสุด (กก./ตร.ซม.)					
						361	ค่าต่ำสุด (กก./ตร.ซม.)					

ตารางที่ 19.1 ตารางการเก็บข้อมูลด้านกำลังอัด

- ช่องที่ 1 คือ วันที่หล่อก้อนตัวอย่าง  
ช่องที่ 2-4 คือ ค่ากำลังอัดก้อนตัวอย่างที่อายุ 7 วัน  
ช่องที่ 5 คือ ค่าเฉลี่ยกำลังอัดก้อนตัวอย่างที่อายุ 7 วัน (เฉลี่ยจากช่องที่ 2-4)  
ช่องที่ 6 คือ ค่ากำลังอัดก้อนตัวอย่างเฉลี่ย 5 ค่าติดต่อกันที่อายุ 7 วัน  
ช่องที่ 7-9 คือ ค่ากำลังอัดก้อนตัวอย่างที่อายุ 28 วัน  
ช่องที่ 10 คือ ค่าเฉลี่ยกำลังอัดก้อนตัวอย่างที่อายุ 28 วัน (เฉลี่ยจากช่องที่ 7-9)  
ช่องที่ 11 คือ ค่ากำลังอัดก้อนตัวอย่างเฉลี่ย 5 ค่าติดต่อกันที่อายุ 28 วัน

#### ● แผนภาพกำลังอัดเฉลี่ยของก้อนตัวอย่าง

แผนภาพนี้ได้จากการนำข้อมูลในช่องที่ 5 และช่องที่ 10 มาเขียนกราฟ โดยให้

- แกนนอนแสดงจำนวนก้อนตัวอย่าง
- แกนตั้งแสดงกำลังอัด หน่วยเป็น กก./ตร.ซม.  
ตัวอย่างการเขียนแผนภาพแสดงในรูปที่ 19.8

#### ● แผนภาพกำลังอัดเฉลี่ย 5 ค่าติดต่อกัน

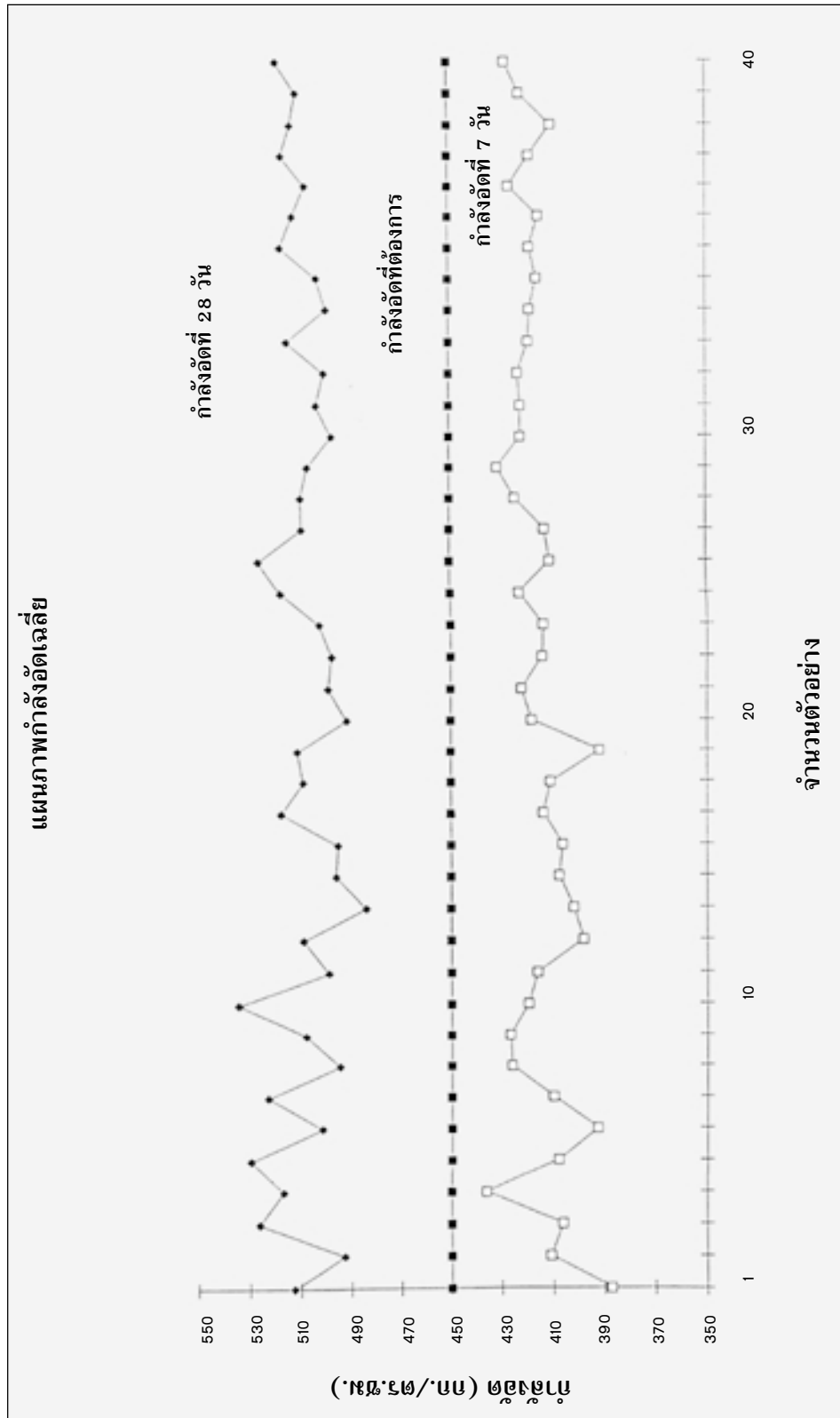
แผนภาพนี้ได้จากการนำข้อมูลในช่องที่ 6 และช่องที่ 11 มาเขียนกราฟ โดยให้

- แกนนอนแสดงจำนวนก้อนตัวอย่าง
- แกนตั้งแสดงกำลังอัด หน่วยเป็น กก./ตร.ซม.  
ตัวอย่างในการเขียนแผนภาพ แสดงในรูปที่ 19.9

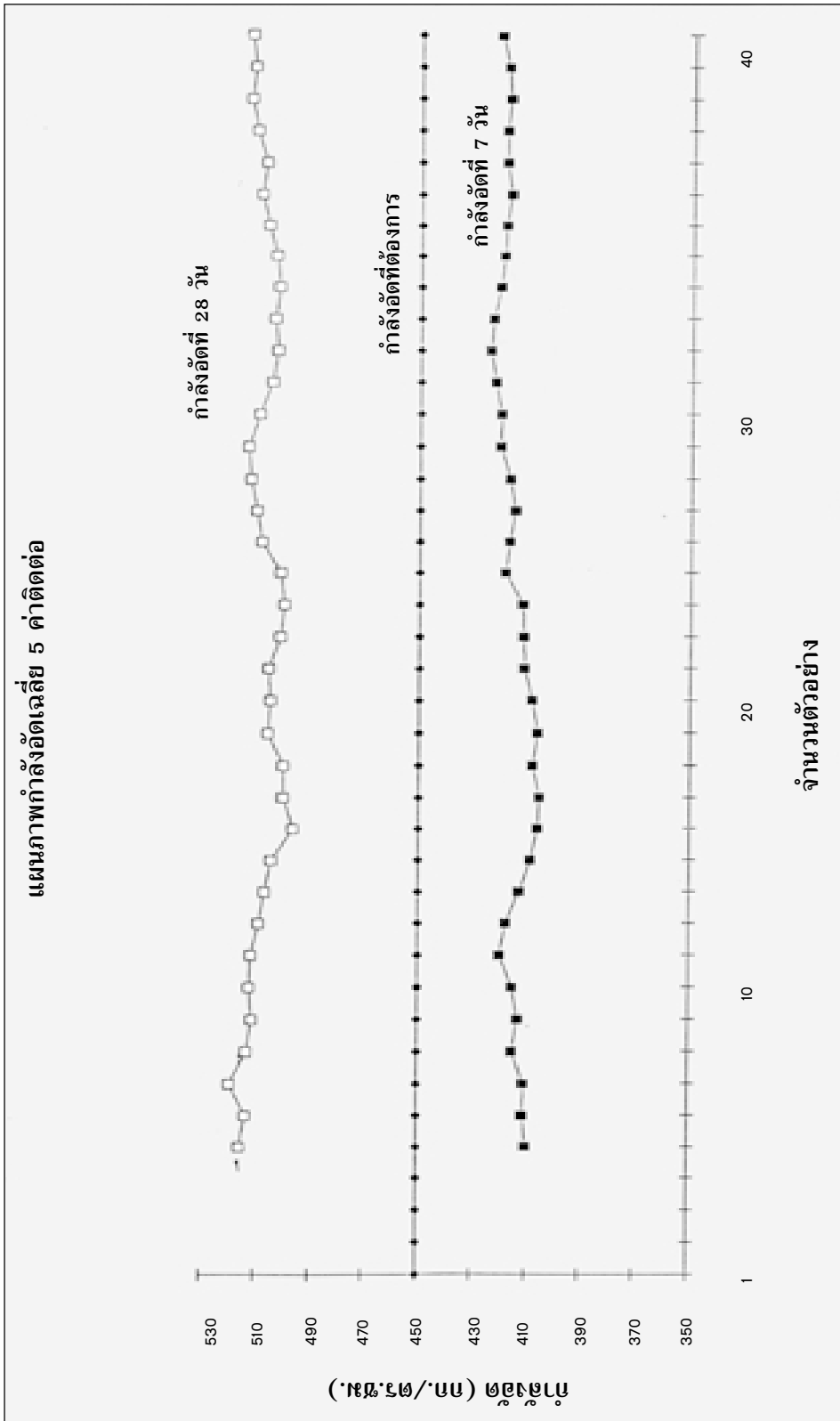
#### ● การประเมินผลจากแผนภาพ

เมื่อได้แผนภาพแล้ว ก็จะนำมาทำการวิเคราะห์ และประเมินผล ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้แผนภาพกำลังอัดเฉลี่ย 5 ค่าติดต่อกัน มาทำการวิเคราะห์และประเมินผล โดยดูแนวโน้มของเส้นในแผนภาพ

- ถ้าเส้นที่ได้มีค่าความลาดเอียงขึ้น ( $\nearrow$ ) แสดงว่าแนวโน้มกำลังอัดสูงขึ้นจากเดิม
- ถ้าเส้นที่ได้มีค่าความลาดเอียงลง ( $\searrow$ ) แสดงว่าแนวโน้มกำลังอัดลดลงจากเดิม
- ถ้าเส้นที่ได้มีค่าความลาดเอียงเป็นศูนย์ ( $\rightarrow$ ) แสดงว่าแนวโน้มกำลังอัดคงที่



**รูปที่ ๑๘** แผนภาพกำลังอัดเฉลี่ย



รูปที่ 10.9 แผนภาพกำลังอัดเฉลี่ย 5 ค่าติดต่อกัน