

## บทที่ 12

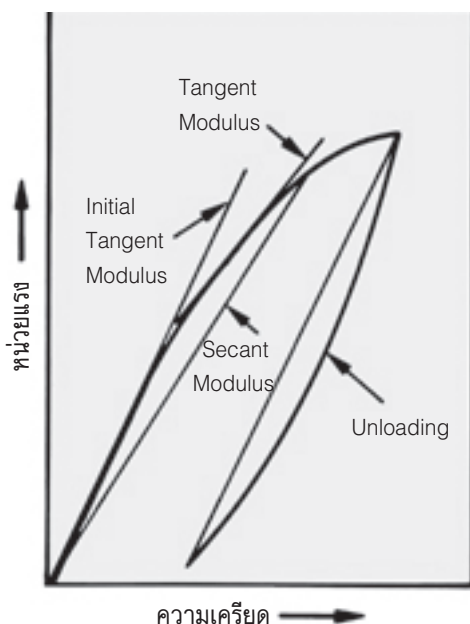
### การเปลี่ยนรูป

คอนกรีตในสภาพใช้งานอาจมีการเปลี่ยนรูป (Deformation) โดยสาเหตุที่สำคัญ 2 ประการ คือ

1. การเปลี่ยนรูปที่ขึ้นอยู่กับน้ำหนักบรรทุก (Load-Dependent Deformation) อันได้แก่ Elastic Strain และ Creep
2. การเปลี่ยนรูปที่ไม่ขึ้นกับน้ำหนักบรรทุก (Load-Independent Deformation) ได้แก่ Shrinkage และ Thermal Expansion

#### 12.1 ความเครียดยืดหยุ่น (Elastic Strains)

เมื่อใส่แรงลงในคอนกรีตจะเกิดหน่วยการหดตัวหรือความเครียด (Strain) ดังแสดงในรูปที่ 12.1 ซึ่งจะพบว่าคอนกรีตไม่ใช่วัสดุที่มีความยืดหยุ่นที่แท้จริง หน่วยแรง (Stress) ไม่ได้แปรผันโดยตรงกับความเครียด ในคอนกรีต



รูปที่ 12.1 กราฟ stress-strain ของคอนกรีต

#### • การวัดค่าโมดูลัสยืดหยุ่น

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ชนิดต่าง ๆ ของคอนกรีตมีดังนี้

1. โมดูลัสสัมผัสเบื้องต้น (Initial Tangent Modulus) คือ ค่าความลาดเอียงของเส้นสัมผัสกับโค้งตรงจุดเริ่มต้นแสดงในรูปที่ 12.1 ซึ่งเป็นค่าโมดูลัสที่ใกล้เคียงโมดูลัสความยืดหยุ่นที่สุด
2. โมดูลัสเส้นเชื่อมจุดเริ่มกับจุดบนส่วนโค้ง (Secant Modulus) นับเป็นค่าโมดูลัส ที่ใช้งานได้ดี ในทางปฏิบัติ
3. โมดูลัสสัมผัส (Tangent Modulus) คือ ความลาดเอียงของเส้นสัมผัสกับจุดใด ๆ บนเส้นสัมผัสระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการหดตัว

#### • ปัจจัยที่มีผลต่อโมดูลัสยืดหยุ่น (E)

1. อัตราการให้น้ำหนัก
  - การให้น้ำหนักที่เร็ว จะส่งผลให้ ค่าโมดูลัสสูงขึ้น
2. ระดับของหน่วยแรง
  - Secant Modulus ลดลง เมื่อหน่วยแรงเพิ่มขึ้น
3. กำลังของคอนกรีต
  - Secant Modulus มีค่ามากขึ้นเมื่อกำลังอัดสูงขึ้น
4. สภาพของก้อนตัวอย่าง
  - ก้อนตัวอย่าง ที่อยู่ในสภาพเปียก จะให้ค่าโมดูลัสที่สูงกว่าตัวอย่างที่อยู่ในสภาพแห้ง
5. คุณสมบัติของมวลรวม
  - มวลรวมที่มีค่าโมดูลัสสูง จะส่งผลให้ค่าโมดูลัสของคอนกรีตสูงขึ้น
  - รูปร่างและลักษณะผิว จะมีผลต่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต
  - ณ ระดับกำลังอัดที่เท่ากันโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเบา จะมีค่าเพียง 40-50% ของคอนกรีตปกติ

### 6. สัดส่วนผสม

- ยิ่งใช้มวลรวมมาก คอนกรีตจะมีค่าโมดูลัสยิ่งสูงขึ้น

### 7. อายุของก้อนตัวอย่าง

- ยิ่งอายุมากค่ากำลังจะสูงขึ้นค่าโมดูลัสจะสูงขึ้นด้วย

### 8. อุณหภูมิขณะเริ่มบ่ม

- คอนกรีตที่ทำการบ่ม ณ อุณหภูมิต่ำในช่วงแรกจะส่งผลให้ค่าโมดูลัสสูงขึ้น
- การบ่มที่อุณหภูมิสูงจะลดค่าโมดูลัสยืดหยุ่น

### • การคำนวณหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น จะขึ้นอยู่กับค่ากำลังอัดของคอนกรีต และหน่วยน้ำหนัก ซึ่งสามารถเขียนในรูปของสมการได้ดังนี้

$$E_C = W^{1.5} \times 4270 \sqrt{f'_C} \text{ กก./ตร.ซม.}$$

โดย

$E_C$  = โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต กก./ตร.ซม

$W$  = หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ตัน/ตร.ซม

$f'_C$  = กำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน กก./ตร.ซม

### • Poisson's Ratio ( $\mu$ )

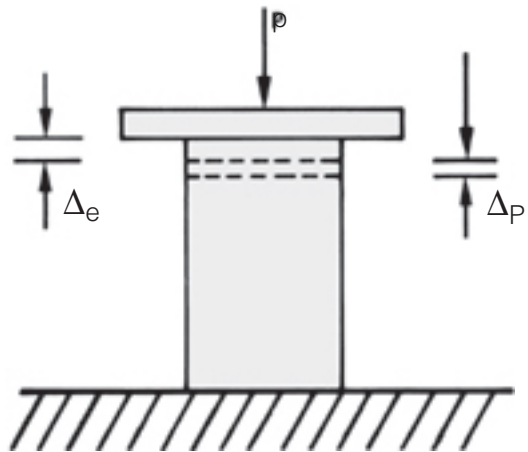
Poisson's คือ อัตราส่วนของ หน่วยการหดตัวด้านข้าง (Lateral Strain) ต่อหน่วยการหดตัวในแนวแกนที่รับน้ำหนัก (Axial Strain) เมื่อมีการให้น้ำหนัก คอนกรีตปกติจะมีค่า 0.15-0.20 คอนกรีตที่มีความแข็งแรงสูงจะมีค่า Poisson's Ratio ต่ำ

## 12.2 การคืบ (Creep)

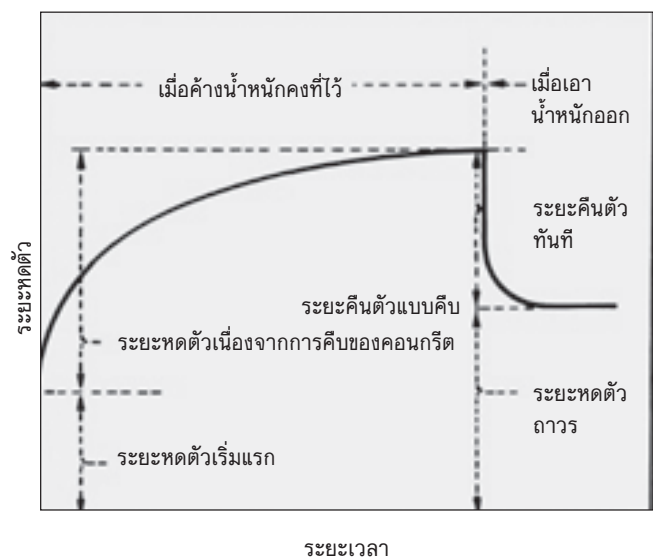
การคืบของคอนกรีต คือ การเปลี่ยนรูปของคอนกรีต ภายใต้น้ำหนักหรือแรงกดที่บรรทุกค้างไว้เป็นเวลานาน โดยมีข้อสันนิษฐานว่า การคืบของคอนกรีตเกิดจาก การหดตัวของช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีต การไหลของซีเมนต์เฟส (Viscous Flow) การไหลของผลึก (Crystalline Flow) ในวัสดุผสม และจากการซึมของน้ำจาก Gel เมื่อมีน้ำหนักภายนอกกระทำต่อคอนกรีต

พิจารณาก่อนตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกรับแรงกด  $P$  ตามรูปที่ 12.2 แท่งคอนกรีตจะหดตัวทันที โดยมีระยะหดตัวเริ่มแรก (Elastic Deformation) เป็น  $\Delta_e$  เมื่อปล่อยให้แรงกด  $P$  ค้างเป็นเวลานานจะพบว่าแท่งคอนกรีตจะหดตัวเพิ่มอีกเป็นระยะ  $\Delta_p$  ซึ่งเป็นผลเนื่องจากการคืบของคอนกรีต (Creep)

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะหดกับเวลาแสดงในรูปที่ 12.3



รูปที่ 12.2 การคืบของคอนกรีตภายใต้แรงกด  $P$



รูปที่ 12.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะหดตัวกับเวลา

## • ปัจจัยที่มีผลต่อการคืบ

### 1) ชนิดของปูนซีเมนต์

- การคืบจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปูนซีเมนต์ที่พัฒนากำลังอัดช้า

### 2) วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์

- PFA และ GGBS จะช่วยลดการคืบ

### 3) นำยาผสมคอนกรีต

- Air Entraining มีแนวโน้มที่จะเพิ่มการคืบสำหรับคอนกรีตที่มีกำลังเท่ากัน

- น้ำยาลดน้ำและลดน้ำจำนวนมาก การคืบจะใกล้เคียงกับคอนกรีตทั่ว ๆ ไป

- น้ำยาเร่งการก่อตัว มีแนวโน้มจะเพิ่มการคืบ

### 4) ชนิดของมวลรวม

- การคืบเกิดเนื่องจาก ซีเมนต์เฟสค์ ดังนั้นชนิดของมวลรวมมีผลต่อการคืบน้อย

- หินที่มีความแข็งมาก จะก่อให้เกิดการคืบน้อย

### 5) ปริมาณของมวลรวม

- ยิ่งใช้ปริมาณมวลรวมมาก การคืบจะยิ่งน้อย

### 6) อัตราส่วนของหน่วยแรงต่อกำลัง

- การคืบจะผันแปรโดยตรงต่ออัตราส่วนนี้ในทุก ๆ อายุ ของคอนกรีต

### 7) อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

- สำหรับซีเมนต์เฟสค์ที่คงที่ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่ำลงจะส่งผลให้การคืบลดลง

### 8) อายุ ณ เวลารับน้ำหนัก

- สำหรับคอนกรีตที่กำหนดให้ การคืบจะลดลง เมื่ออายุของคอนกรีต ณ เวลารับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

### 9) ขนาดตัวอย่าง

- การเพิ่มขนาด จะก่อให้เกิดการลดลงของการคืบ ณ จุดที่ค่าอัตราส่วนของหน่วยแรงต่อกำลังคงที่

### 10) ความชื้น

- ความชื้นสัมพัทธ์ที่สูง จะก่อให้เกิดการคืบที่ลดลง

### 11) อุณหภูมิ

- อุณหภูมิที่สูงขึ้น จะก่อให้เกิดการคืบมากขึ้น

## 12.3 การหดตัว (Shrinkage)

การหดตัว คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของคอนกรีตเมื่อเกิดการสูญเสียน้ำ หรือเกิดปฏิกิริยาเคมีของส่วนผสม การหดตัวของคอนกรีตมี 4 ประเภท โดยมีรายละเอียดดังนี้

### • Plastic Shrinkage

สาเหตุ :

การจมตัวของส่วนที่เป็นของแข็งในส่วนผสมและการสูญเสียน้ำจากคอนกรีตสด

เวลาการเกิด :

ก่อนซีเมนต์เฟสค์แข็งตัว

ลักษณะ :

เกิดการแตกที่ผิวหน้าและจะลึกลงไปในเนื้อคอนกรีต โดยทั่วไปจะเกิดในคอนกรีตที่เทเป็นบริเวณกว้าง เช่น พื้น หรือ ถนนคอนกรีต

การป้องกัน :

- 1) ลดการสูญเสียน้ำ
- 2) เปลี่ยนสัดส่วนผสมเพื่อให้เกิดส่วนผสมที่ยึดเกาะกันดี
- 3) ไม่ควรทำการเขย่าซ้ำ (Revibration)



รูปที่ 12.4 Plastic Shrinkage Crack

### • Autogenous Shrinkage

สาเหตุ :

ปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ ก่อให้เกิดการลดลงของปริมาตร นั่นคือ ปริมาตรของสิ่งที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันน้อยกว่าปริมาตรของน้ำกับซีเมนต์ ที่ผสมกัน

เวลาการเกิด :

ในคอนกรีตที่ก่อตัวแล้ว

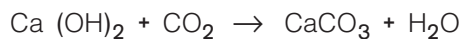
การป้องกัน :

เปลี่ยนสัดส่วนผสม คอนกรีตยิ่งเหลวมากจะเกิดการหดตัวประเภทนี้มาก

### • Carbonation Shrinkage

สาเหตุ :

Free lime หรือคัลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ดังสมการ



จากปฏิกิริยานี้ จะก่อให้เกิดการลดลงของปริมาตรของเพสต์ และเกิดการหดตัว

การเกิด :

เกิดในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

ปัจจัยที่มีผล :

- 1) ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
- 2) ความพรุนของเพสต์
- 3) ปริมาณความชื้น จุดที่เหมาะสมที่สุดคือ เมื่อความ

ชื้นสัมพัทธ์ 50-60%

การป้องกัน :

- 1) ใช้คอนกรีตที่มีเนื้อแน่นมาก
- 2) เลือกสัดส่วนที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ
- 3) ทำการปมคอนกรีตที่ดี

### • Drying Shrinkage

สาเหตุ :

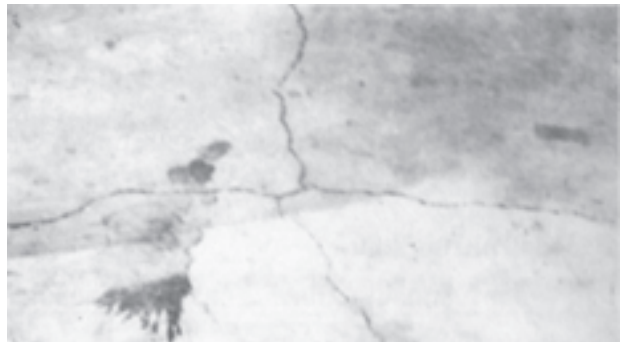
การสูญเสียน้ำทั้งจาก Capillary และจาก Gel Pore

การเกิด :

เกิดในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว อัตราการหดตัวช่วงแรกจะสูงและส่วนใหญ่จะไม่สามารถคืนกลับได้ (Irreversible) แต่อัตราในช่วงหลังจะเกิดน้อยลง และเป็นประเภทที่กลับคืนได้ (Reversible)

การลดความเสี่ยงของการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวทำได้โดย

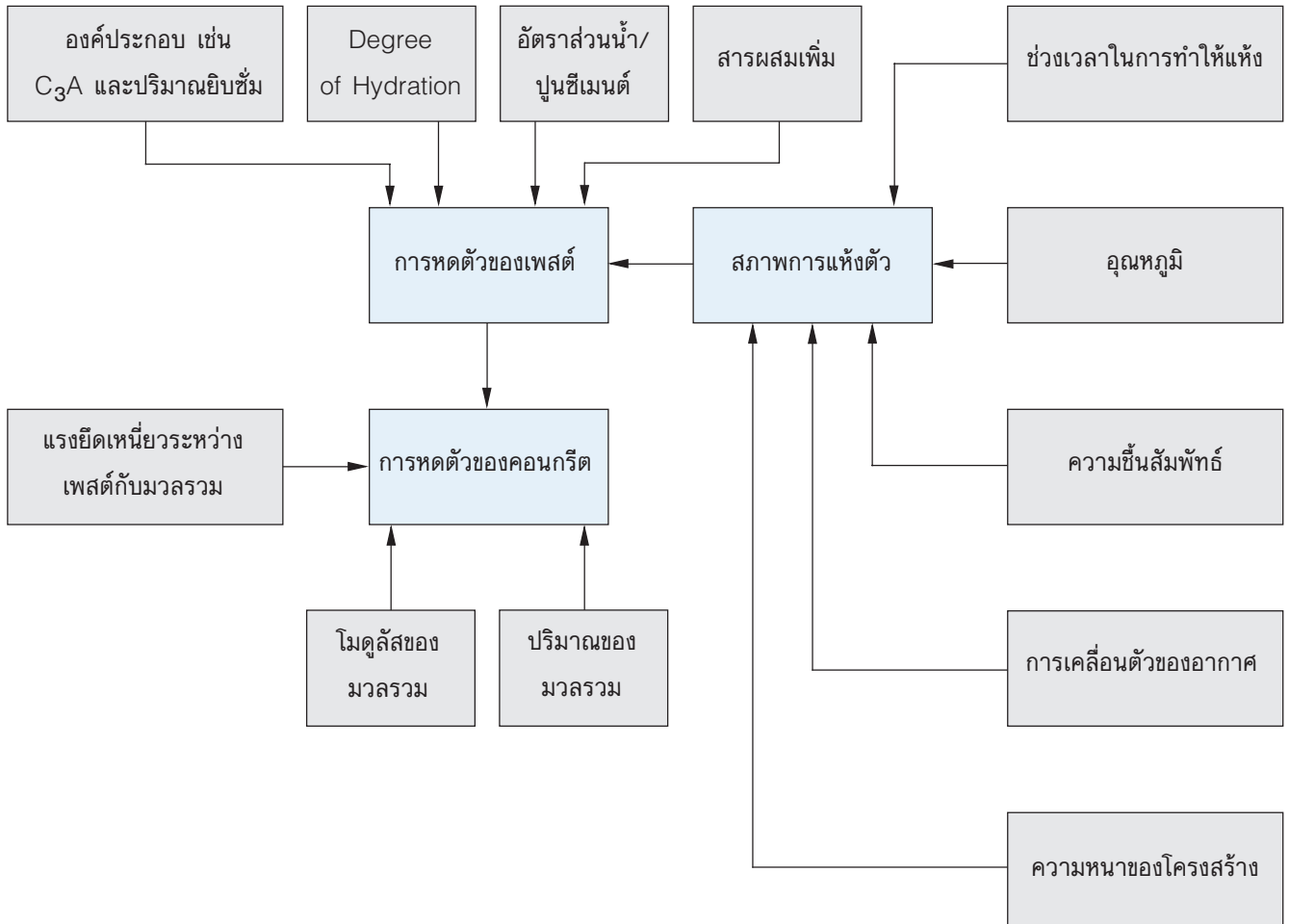
- 1) ลดปริมาณซีเมนต์ในส่วนผสม
- 2) ทำการปมให้เหมาะสมทั้งวิธีการและช่วงเวลา
- 3) ทำแนวต่อให้เหมาะสม
- 4) เลือกใช้ ปูนซีเมนต์ประเภท Shrinkage Compensate



รูปที่ 12.5 Drying Shrinkage Crack

• ปัจจัยที่มีผลต่อการหดตัว

ปัจจัยที่มีผลต่อการหดตัวแสดงไว้ในรูปที่ 12.6



รูปที่ 12.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการหดตัว

## 12.4 การเปลี่ยนรูปเนื่องจากความร้อน (Thermal Movement)

คุณสมบัตินี้ นำไปใช้ประโยชน์สำหรับการออกแบบงานฐานรากแผ่ขนาดใหญ่ เขื่อน หรือคอนกรีตที่ต้องสัมผัสกับอุณหภูมิสูงมากหรือต่ำมาก คุณสมบัติที่สำคัญมีดังนี้

**1) Thermal Conductivity** คือ ความสามารถของคอนกรีต ที่จะนำความร้อน

หน่วย :  $J/s/m^2$

ปัจจัยที่มีผลกระทบ :

- 1) ความหนาแน่นของคอนกรีต
- 2) อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

ยังมีช่องว่าง (Air Void) มาก คอนกรีตจะนำความร้อนต่ำ เช่น คอนกรีตเบาที่มี Air Void สูง จะมีการนำความร้อนต่ำ เหมาะสำหรับงานฉนวนความร้อน

## 2) Coefficient of Thermal Expansion

คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของคอนกรีตที่อุณหภูมิเปลี่ยนไป  
ปัจจัยที่มีผลกระทบ :

- 1) สัดส่วนผสม
- 2) ปริมาณความชื้นในคอนกรีต ณ ที่ความชื้น 60% จะมีการขยายตัวสูงสุด
- 3) คุณภาพและคุณสมบัติของมวลรวม

---

## 12.5 สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

เราได้กล่าวมาทั้งคุณสมบัติของคอนกรีตเหลวและคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ในหัวข้อนี้จะสรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 12.1

คุณสมบัติของคอนกรีต	วัตถุดิบประกอบ			อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์	การผสมคอนกรีต			การออกแบบและการก่อสร้าง
	ซีเมนต์	มวลรวม	น้ำยา		การเท	การบ่ม	การแต่งผิวหน้า	
กำลังอัดช่วงแรก	○	○	○	○	○	○	○	○
กำลังอัดที่ 28 วัน	○	○	○	○	○	○	○	○
โมดูลัสยืดหยุ่น	○	○	○	○	○	○	○	○
การหดตัว	○	○	○	○	○	○	○	○
แนวโน้มการแตกร้าว	○	○	○	○	○	○	○	○
การคืบ	○	○	○	○	○	○	○	○
การก่อตัว	○	○	○	○	○	○	○	○
ความสามารถเทได้	○	○	○	○	○	○	○	○
การเยิ้ม	○	○	○	○	○	○	○	○
การต้านทานแรงเสียดสี	○	○	○	○	○	○	○	○
การซึมผ่านของน้ำ	○	○	○	○	○	○	○	○
การต้านทานการกัดกร่อนเหล็กเสริม	○	○	○	○	○	○	○	○
ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน	○	○	○	○	○	○	○	○
รูปร่างและลักษณะผิว	○	○	○	○	○	○	○	○
การนำความร้อน	○	○	○	○	○	○	○	○

**ตารางที่ 12.1** สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต