# บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของงานก่อสร้างโครงสร้าง คสล.จำเป็นต้องเข้าใจการบริหารโครงการก่อสร้าง โดยแยกพิจารณาออกเป็น การบริหารงานโครงการ ลักษณะทั่วไปของงานก่อสร้าง และคุณภาพ

## 2.1 การบริหารงานโครงการ

การจัดการทรัพยากรต่างๆ ที่มีอยู่อย่างเหมาะและสมบูรณ์ที่สุด เพื่อให้ดำเนินโครงการบรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ตั้งไว้

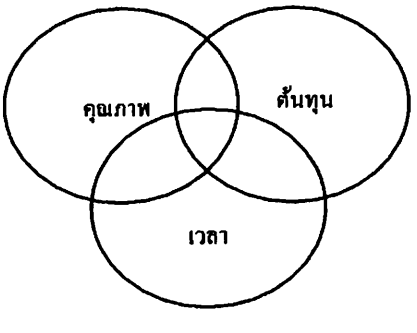
### 2.1.1 การบริหารโครงการ

จากการที่โครงการก่อสร้างจะประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ย่อมต้องการการบริหารและการจัดการโครงการที่ดี ดังนั้นคำจำกัดความของการบริหารโครงการได้ดังนี้

การบริหารโครงการคือ การจัดการ การใช้ทรัพยากรต่างๆ ที่มีอยู่อย่างเหมาะสม และสมบูรณ์ เพื่อให้การดำเนินโครงการบรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ตั้งไว้

โดยทรัพยากรที่กล่าวถึง หมายถึงตัวบุคลากร รวมถึงความเชี่ยวชาญ ความสามารถ ความช่วยเหลือของทีมงาน เครื่องมือ เครื่องใช้ และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ตลอดจนข้อมูล ระบบงาน เทคนิค เงินทุน และเวลา

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการปฏิบัติโครงการ จำเป็นต้องกำหนดเป้าหมายในการปฏิบัติ เพื่อใช้เป็นแนวทาง รวมถึงการใช้เป็นเกณฑ์การปฏิบัติในการประเมินผลการดำเนินงานด้วย โดยปกติแล้วเป้าหมายในการดำเนินงานโครงการจะกำหนด 3 องค์ประกอบหลักได้แก่ ต้นทุน เวลา คุณภาพ




ภาพที่ 2.1 เป้าหมายของการบริหารโครงการ กำหนดต้นทุน เวลาและคุณภาพ

การบริหารโครงการ เป็นความรู้และขั้นตอนดำเนินงานในส่วนของการวางแผน การจัดการ การบริหารทรัพยากร เพื่อทำให้โครงการแล้วเสร็จตามเป้าหมายได้ถูกต้องตามที่วางแผนไว้ การวางแผนและการบริหารทรัพยากรใดๆทั้งตัวมนุษย์และในเรื่องของงาน โดยคาดคะเนทิศทางของโครงการตั้งแต่วันเริ่มต้นจนถึงวันเสร็จงาน รวมถึงการกำหนดช่วงเวลาในการปฏิบัติงานที่จะทำให้งานออกมามีประสิทธิภาพ และสามารถที่จะประมาณราคาของโครงการได้ การบริหารโครงการมีหัวใจสำคัญคือการบริหารความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา ราคา และคุณภาพ ในทรัพยากรที่กำหนดเพื่อให้ได้เป้าหมายตามต้องการ

ในแต่ละโครงการจะมีเป้าหมายที่ชัดเจน และมีการระบุวันเริ่มและวันสิ้นสุดงาน ซึ่งจุดนี้จะมีลักษณะที่แตกต่างจากการทำงานธุรกิจทั่วไป ที่มีลักษณะงานที่มีรูปแบบการทำงานแน่นอนและมีการทำงานซ้ำเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์หรือสินค้าตามต้องการ ในทางวิชาชีพการบริหารงานในส่วนของโครงการ และการบริหารงานในส่วนของธุรกิจทั่วไปจะมีลักษณะเฉพาะตัวแตกต่างกันรวมไปถึงความรู้ทางด้านเทคนิคที่แยกแตกต่างกันออกไป

ความท้าทายของการบริหารโครงการคือการเข้าถึงเป้าหมายได้ทั้งหมดตามที่กำหนดไว้ ขณะที่ยังคงบริหารข้อจำกัดและทรัพยากรที่มี ข้อจำกัดทั่วไปในการบริหารโครงการได้แก่ ขอบเขตงาน เวลา เงินทุน และข้อจำกัดต่อมาคือ การจัดสรรทรัพยากร การประยุกต์และนำทรัพยากรที่มีทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้ตามเป้าหมาย

### 2.1.2 วงจรของโครงการก่อสร้าง

การแบ่งวงจรของโครงการก่อสร้างสามารถแบ่งได้เป็น 4 ช่วงได้แก่

**ช่วงที่ 1 การกำหนดโครงการ**

ในช่วงนี้กิจกรรมที่เกิดขึ้นจะเป็นการเริ่มการศึกษาและวิเคราะห์โครงการเพื่อดูความเป็นไปได้รวมถึงการประเมินแนวทางต่างๆ ในการดำเนินโครงการรวมถึงการจัดทำข้อเสนอโครงการ เพื่อรับรองหรืออนุมัติ

**ช่วงที่ 2 การวางแผน**

หลังมีการตัดสินใจดำเนินโครงการไปแล้ว ทีมบริหารโครงการจะต้องตระหนักในขั้นตอนดังนี้ คือ การวางแผนปฏิบัติโครงการ โดยครอบคลุมด้าน

เวลาของกิจกรรมและโครงการ

ต้นทุนหรืองบประมาณ

คุณภาพของงาน

**ช่วงที่ 3 การปฏิบัติโครงการ**

แผนที่จัดทำแล้วควรนำไปปฏิบัติเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ โดยช่วงนี้จะประกอบไปด้วย 3 กิจกรรมอันได้แก่

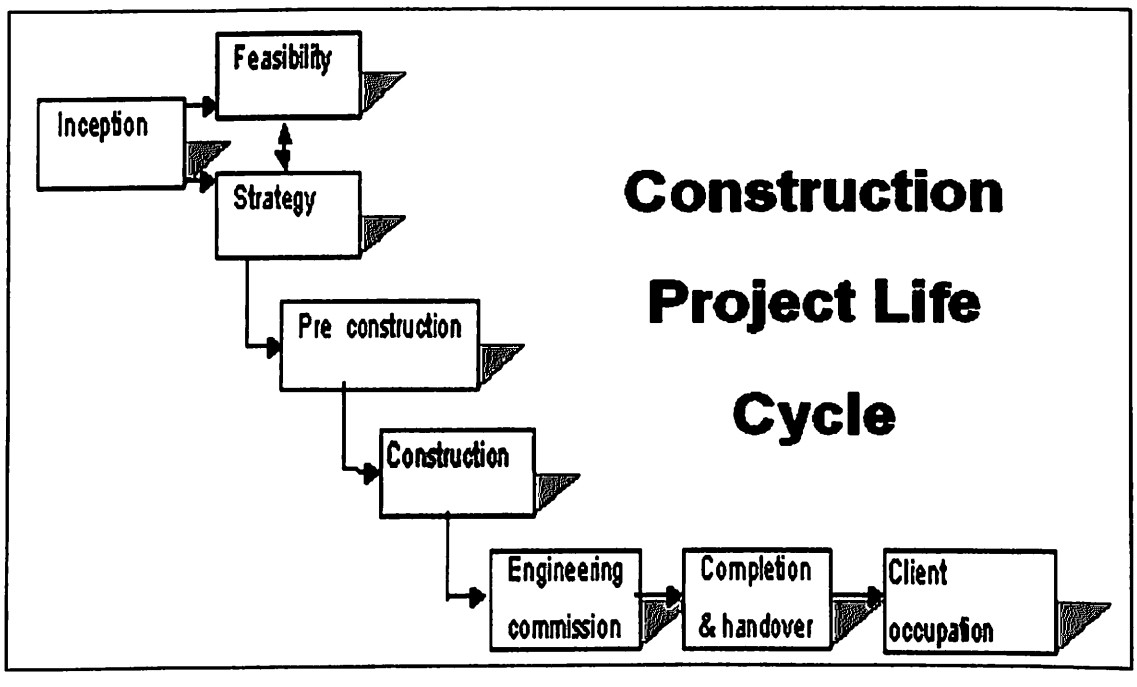
การเริ่มปฏิบัติโครงการ

การติดตามตรวจสอบและควบคุมงาน

การแก้ไขปัญหาต่างๆในการดำเนินงานรวมถึงความขัดแย้งระหว่างกลุ่มบุคคลผู้ที่เกี่ยวข้องกับงาน

**ช่วงที่ 4 การปิดโครงการ**

งานที่ทำในช่วงปิดโครงการจะครอบคลุมตั้งแต่ การส่งมอบ และการตรวจสอบรับงาน ในบางกรณีอาจจะมีกาฝึกอบรมการใช้งาน โดยมีคู่มือการใช้งานประกอบไปด้วย




ภาพที่ 2.2 แสดงวงจรโครงการก่อสร้าง

นอกจากนี้ผู้บริหารโครงการจัดทำรายงานปิดโครงการ เพื่อเป็นการบันทึกปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น และการแก้ไขระหว่างการปฏิบัติงานโครงการรวมถึงเทคโนโลยีที่ได้พัฒนาขึ้นมาใหม่ และอื่นๆ ที่คิดว่ามีประโยชน์กับโครงการก่อสร้างต่อไป

### 2.1.3 งานของทีมบริหารโครงการก่อสร้าง

ทีมบริหารโครงการก่อสร้างมีผู้จัดการโครงการเป็นหัวหน้าทีม ทำหน้าที่ผลักดันโครงการให้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ภายใต้เป้าหมายการปฏิบัติงานด้าน ต้นทุน เวลาและคุณภาพ ดังนั้นทีมบริหารโครงการย่อมต้องทำหน้าที่ของตัวเองให้ดีที่สุดในการบริหารและการจัดการโครงการก่อสร้างในช่วงต่างๆในวงจรชีวิต

1. ช่วงกำหนดโครงการ และการวางแผนโครงการ ทำแผนงบประมาณต้นทุนและกำหนดเวลาขั้นตอน จัดเตรียมทีมงานในการดำเนินโครงการ จัดเตรียมเครื่องมือเครื่องใช้ที่จำเป็นในการปฏิบัติโครงการ ศึกษาและจัดทำรายละเอียดที่จำเป็นเพิ่มเติม เพื่อช่วยให้โครงการสามารถดำเนินไปตามแผนที่วางไว้
2. ช่วงปฏิบัติโครงการและปิดโครงการ เริ่มโครงการอย่างมีระบบและแบบแผน ติดตามดูแลและตรวจดำเนินการ แก้ไขปัญหาข้อขัดแย้งต่างๆ เพื่อให้โครงการสามารถดำเนินการไปได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ดูแลรายละเอียดในการปฏิบัติโครงการทั้งหมด ทบทวน และประเมินผลการปฏิบัติโครงการเมื่อเสร็จ

### 2.1.4 การจัดการงานก่อสร้าง

การจัดการงานก่อสร้างหมายถึง กระบวนการการจัดการในการใช้ทรัพยากรทางด้านการก่อสร้าง ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ได้แก่ คนวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องทุ่นแรง และเทคโนโลยีต่างๆ มาใช้ร่วมกันอย่างเหมาะสม โดยจัดการให้อยู่ในระบบ ระเบียบ สามารถดำเนินการโดยสะดวกราบรื่นและปราศจากอุปสรรคในระหว่างดำเนินการหรือมีก็ในเกิดน้อยที่สุด เพื่อให้ผลงานบรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการที่กำหนดโดยเจ้าของโครงการควรประกอบไปด้วยเป้าหมายดังต่อไปนี้

1. เกิดผลกำไรตามที่คาดไว้
2. งานเสร็จทันตามกำหนด
3. ผลงานถูกต้องตรงตามแบบและคุณภาพ
4. การดำเนินงานปลอดภัยต่อทรัพย์สินและชีวิตมนุษย์
5. ไม่มีผลการทบต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณงานก่อสร้าง
6. ดำเนินการภายใต้ขนบธรรมเนียมประเพณีและปฏิบัติตามกฎหมาย

อย่างไรก็ตามการจัดการงานก่อสร้างมิได้เป็นหน้าที่ หรืองานของผู้รับเหมาอย่างเดียวแต่เป็นหน้าที่ของผู้บริหารโครงการก่อสร้าง หรือวิศวกร สถาปนิก ที่ได้รับมอบหมายจากเจ้าของโครงการ เพื่อมาควบคุมดูแล การก่อสร้างให้เป็นไปตามหลักวิชาการ ถูกต้อง ประหยัด ปลอดภัย

ซึ่งจะส่งผลให้งานก่อสร้างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังนั้นควรจะคำนึงถึงองค์ประกอบหลักในการบริหารการจัดการงานก่อสร้างที่เกี่ยวข้องกันอย่างเห็นได้ชัดเจน คือ เวลา งบประมาณ และคุณภาพของงาน

ทั้ง 3 องค์ประกอบ จะมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด และผู้ที่ดำเนินการการจัดการงานก่อสร้างจึงควรตระหนัก และวางแผนอย่างรอบครอบ ในช่วงเวลาที่เหมาะสมด้วย เช่น งานก่อสร้างต้องมีคุณภาพงานสูง จำเป็นต้องใช้งบประมาณสูงและระยะเวลาก่อสร้างที่มากตาม และในบางครั้งเราจะเห็นโครงการก่อสร้างที่ต้องเร่งรัดเวลามากเกินไปจึงส่งผลให้คุณภาพของงานต่ำเกินไป

### 2.1.5 หลักสำคัญในการจัดทรัพยากร

เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าผู้บริหารต้องมีหลักในการบริหารโดยกำหนดแผนงานขึ้นไว้อย่างรัดกุมรอบคอบก่อนที่จะมอบให้ผู้อื่นไปปฏิบัติ แต่โดยหลักทั่วไปแล้วหน้าที่สำคัญของการจัดการจะต้องมีขั้นตอนประกอบไปด้วยสิ่งต่างๆดังต่อไปนี้

1. การวางแผน หมายถึง การกำหนดแผนงานที่จะทำ เป็นการคัดเลือกวิธีการอย่างรอบคอบก่อนที่จะปฏิบัติงาน การวางแผนจึงต้องคำนึงสิ่งต่างๆดังนี้
   - การคาดคะเนเหตุการณ์ในอนาคต
   - การกำหนดวัตถุประสงค์
   - กำหนดนโยบาย
   - กำหนดโครงการและงานที่จะทำ
   - กำหนดเวลาและรายละเอียดแต่ละโครงการ
   - กำหนดวิธีการปฏิบัติ
   - กำหนดงบประมาณ
2. การจัดองค์กร คือการจัดวางระบบงานการจัดระเบียบหน่วยงานซึ่งต้องคำนึงเรื่องต่างๆดังนี้
   - การจัดการกลุ่มที่เหมือนกันเข้าด้วยกัน
   - การแบ่งแยกและรับมอบอำนาจหน้าที่ความรับผิดชอบ
   - การสร้างคำวามสัมพันธ์ในแต่ละหน่วยงานภายในองค์กร
3. การควบคุมงาน หมายถึง หน้าที่ในการควบคุมงานการดำเนินไปตามแผนและเป้าหมายที่วางไว้ ซึ่งประกอบไปด้วยหลักใหญ่ๆดังนี้คือ
   - การกำหนดมาตรฐานในการปฏิบัติงาน
   - การตรวจและวัดผลงาน

- การแก้ไขหรือการขจัดอุปสรรค
- การประเมินผล

4. การประสานงาน หมายถึง การจัดงานให้ประสานกันและสร้างความร่วมมือร่วมใจในองค์การให้ปฏิบัติงานด้วยความสามัคคีสมานฉันท์ในลักษณะที่เป็นทีมเวิร์ค จะต้องคำนึงสิ่งเหล่านี้ประกอบไปด้วย
   - การกำหนดดุลยภาพ
   - การกำหนดจังหวะเวลา
   - การทำให้เป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน
5. การจูงใจ เป็นหน้าที่สำคัญของผู้บริหารหรือผู้บังคับบัญชาที่จะต้องทำเพราะจะช่วยเพิ่มผลผลิตและประสิทธิภาพของงานให้สูงขึ้นด้วย ซึ่งจะต้องคำนึงถึงสิ่งสำคัญดังนี้ โดยปะกอบไปด้วย
   - การคัดเลือกคน
   - ลักษณะงานติดต่อสื่อสารสัมพันธ์
   - การมีส่วนร่วม
   - การปรึกษาหารือ
   - การฝึกอบรม
   - การกำหนดค่าแรงงาน
   - การสอนงาน
   - การลงโทษ

### 2.1.6 ปัจจัยสนับสนุนการบริหารงานก่อสร้าง

ประกอบ บำรุงผล ได้กล่าวไว้ว่า การประกอบธุรกิจรับเหมาก็เหมือนกับธุระกิจประเภทอื่นๆ จำเป็นต้องมีปัจจัยต่างๆ มาสนับสนุนให้สามารถดำเนินธุรกิจได้อย่างราบรื่น โดยเฉพาะเมื่อถึงขั้นตอนดำเนินงาน จึงจำเป็นต้องมีปัจจัยอื่นที่เป็นรูปธรรมมาเข้ามาสนับสนุนกระบวนการดำเนินการคือ

1. เงินทุน
2. กำลังคน
3. เครื่องทุ่นแรง
4. วัสดุอุปกรณ์

## 2.2 ความหมายคุณภาพ

เอ็ดเวิร์ด เดมมิง (Edward Demming) นิยาม คุณภาพ คือคุณค่าและเกณฑ์ที่ผู้บริโภคเป็นผู้กำหนดขึ้นไม่ใช่ผู้ประกอบการ คุณค่าของสินค้าเปลี่ยนไป เนื่องจากความต้องการของลูกค้าเปลี่ยนตลอดเวลา การปรับปรุงคุณภาพ หมายถึง การปรับปรุงกระบวนการเพื่อผลผลิตสม่ำเสมอ ลดข้อผิดพลาด ลดการแก้ไข ลดการซ่อม ลดการสูญเสียวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ

จูแรน (Joseph Juran) ได้ให้ความหมาย คุณภาพ หมายถึง สิ่งที่ตรงและเหมาะสมกับการใช้งาน (fitness to use) และเป็น ที่พึงพอใจต่อลูกค้า 2 ประการ ดังนี้

1. คุณภาพ หมายถึง คุณสมบัติของผลผลิตที่ได้ตามความต้องการและเป็นที่พึงพอใจของลูกค้า เพิ่มยอดขาย

2. ปราศจากความไม่มีประสิทธิภาพ ไร้ข้อบกพร่อง ไม่กลับมาทำใหม่ ลดการสูญเสีย ลดของเสีย ลดการตรวจสอบ ลดการร้องเรียนของลูกค้า เพิ่มประสิทธิภาพการส่งมอบครอสบี (Philip Crosby)

คุณภาพ หมายถึง คุณลักษณะและประโยชน์ของการใช้งานโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ที่จะทำให้สามารถตอบสนองการใช้งานได้ เหมาะสมสำหรับการใช้งาน สอดคล้องเหมาะสมกับความต้องการ ส่วนประกอบทั้งหมดของผลิตภัณฑ์หรือบริการ ทั้งด้านการตลาด วิศวกรรม การผลิต และการซ่อมบำรุง ที่ตรงกับความคาดหวัง และความต้องการของลูกค้า สอดคล้องกับมาตรฐานซึ่งเป็นที่ต้องการและคาดหวัง (ของลูกค้า)

คุณภาพ หมายถึง คุณลักษณะที่สำคัญโดยรวมและคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์หรือบริการซึ่งแสดงถึงความสามารถในการสนองความต้องการที่กำหนดและความต้องการโดยนัย (ISO 8402:1994)

โดยสรุป คุณภาพหมายถึงเป็นมาตรฐานที่เกี่ยวกับการจัดการและการประกันคุณภาพ โดยเน้นความพึงพอใจของลูกค้าเป็นสำคัญ และตั้งอยู่บนแนวคิดพื้นฐานที่ว่า เมื่อกระบวนการดี ผลลัพธ์ที่ออกมาก็จะดีตามไปด้วยได้ว่าเป็นการตอบสนองผู้ใช้และผู้รับบริการให้เกิดความพึงพอใจในผลผลิตนั่นเอง

การควบคุมคุณภาพ (Quality Control) หมายถึง ขบวนการที่จัดทำขึ้นอย่างเป็นระบบ เพื่อให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามที่กำหนดมาตรฐานไว้ ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า

ความหมาย QC Story คือขั้นตอนในการแก้ไขปัญหาภายใต้เงื่อนไขการพัฒนาบุคลากรให้เข้าใจถึงหลักการในการบริหารโครงการด้วยวงจร P-D-C-A โดยมีขั้นตอน 7 ประการ

1. การกำหนดหัวข้อปัญหา
2. สำรวจสภาพปัจจุบันและตั้งเป้าหมาย

3. การวางแผนการแก้ไข
4. การวิเคราะห์สาเหตุ
5. การกำหนดมาตรการตอบโต้และการปฏิบัติตามมาตรการ
6. การติดตามผล

## 2.3 งานคอนกรีต

สมชาย เจียมธีรสกุล กล่าวไว้ว่า อาคารบ้านเรือนที่สร้างกันทั่วไปมักมีโครงสร้างเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นส่วนมาก ซึ่งเมื่อเทียบกับในอดีตบ้านของคนไทยส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นไม้ ดังนั้นวิธีการก่อสร้างทางโครงสร้างย่อมต่างกัน การสร้างบ้านด้วยโครงสร้างไม้ส่วนมาก เป็นการอาศัยประสบการณ์และความรู้ที่สืบทอดกันต่อ ๆ มา ถึงแม้จะสามารถอธิบายในทางทฤษฎีโครงสร้างได้ แต่ส่วนใหญ่ชาวบ้านก็สร้างด้วยประสบการณ์ แตกต่างกับอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก จำเป็นต้องมีความรู้ด้านวิศวกรรมการวิเคราะห์แรง ที่เกิดในโครงสร้าง หรือที่เรียกว่าองค์อาคาร คุณสมบัติของแรง และการรับน้ำหนักของโครงสร้าง รวมถึงต้องมีความรู้ต่อวัสดุที่ใช้สำหรับสร้างโครงสร้างนั้น ๆ ซึ่งก็คือ คอนกรีต และเหล็กเสริมในคอนกรีตนั่นเอง

ทำไมถึงเป็นคอนกรีต และทำไมต้องเสริมเหล็ก เราจะใช้คอนกรีตหรือเหล็กอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียวได้หรือไม่ ผมจะบอกเล่าให้ทราบอย่างที่จะให้เข้าใจได้ง่าย ๆ ครับ

ในยุคเริ่มแรกนั้น มนุษย์ อาจจะได้ค้นพบวิธีนำวัสดุธรรมชาติคือ นำดินมาประสานกับพวกวัสดุอื่น ๆ เช่นพวกกิ่งไม้ ใบไม้ ผสมและปั้นขณะเปียก และเมื่อแห้งก็มีคุณสมบัติแข็งจนสามารถใช้เป็นที่อยู่อาศัยได้ ตัวอย่างเช่น บ้านของชนเผ่าต่าง ๆ ในประเทศแถบทวีปอัฟริกา ที่ยังมีที่อยู่อาศัยแบบดั้งเดิมให้เห็นอยู่ในที่ห่างไกล ต่อมามนุษย์ได้ค้นพบวิธีการทำปูน ซึ่งสามารถประสานวัสดุได้ดีกว่าดินอย่างมาก เช่น โบราณสถานต่าง ๆ ได้แก่ พวกเจดีย์ ล้วนสร้างมาจากการนำดินมาเผาจนเป็นอิฐ และนำปูน มาก่อประสานอิฐให้เป็นรูปร่าง และฉาบผิว เป็นโครงสร้างตามต้องการได้

ในประเทศทางยุโรป เช่น กรีก และอิตาลี จะเห็นว่ามีการนำปูนมาใช้ก่อสร้าง สิ่งปลูกสร้างอย่างใหญ่โต และหลงเหลือซากมาจนถึงปัจจุบัน เช่น วิหารโบราณในกรีก สนามกีฬาโคลีเซี่ยม ในกรุงโรม ซึ่งปูนดังกล่าวมีคุณสมบัติคล้ายคอนกรีตในปัจจุบัน แต่ยังไม่ได้มีการนำเหล็กเป็นวัสดุเสริมในเนื้อปูนดังกล่าว

สำหรับคอนกรีตในปัจจุบัน ก็คือการนำซีเมนต์ มาผสมกับหิน และทราย และเติมน้ำเป็นตัวประสานให้สามารถเทลงในแบบที่ทำขึ้น และเมื่อแห้งก็จะเป็นคอนกรีต ถ้าจะกล่าวไปแล้วซีเมนต์ก็คือหินที่ถูกนำมาบดจนละเอียดเป็นผง และผสมสารประกอบอื่น ๆ เข้าไป เก็บในรูปผง ซึ่งก็คือซีเมนต์ผง และเมื่อผสมน้ำเป็นตัวประสานจากที่เป็นผงก็จะมีคุณสมบัติ เสมือนกาว ซึ่งเมื่อใส่

หินและทรายเข้าไป เมื่อแห้งก็จะทำหน้าที่ยึดเกาะ หินและทรายให้แข็งเป็นรูปตามแบบหล่อ ก็หมายความว่าทำให้ซีเมนต์กลับไปเป็นหินเหมือนเดิมนั่นเอง

มนุษย์ค้นพบว่า หินในธรรมชาติมีคุณสมบัติต้านทานต่อแรงกดได้อย่างสูง ดังนั้นจึงผลิตคอนกรีตขึ้นมา เปรียบเหมือนหินที่มนุษย์ทำขึ้น แต่ตามที่กล่าวแล้วอันที่จริงก็คือการทำหินในธรรมชาติให้เป็นผง และทำกลับให้เป็นเสมือนหินตามเดิม เพียงแต่ว่ามนุษย์สามารถกำหนดให้มีรูปร่างตามความต้องการได้ และรับแรงกดได้แบบหิน

แล้วทำไมต้องมีเหล็กเสริมในคอนกรีต เหตุผลก็คือ เหล็กเป็นวัสดุอีกอย่างที่มนุษย์ค้นพบ และพบว่ามีคุณสมบัติในการรับแรงดึงอย่างมหาศาล เมื่อความรู้ในทางวิศวกรรมของมนุษย์พัฒนาขึ้น และได้สร้างทฤษฎีโครงสร้าง และการวิเคราะห์โครงสร้าง ตลอดจนการออกแบบโครงสร้าง เพื่อสร้างอาคาร และโครงสร้างต่าง ๆ มนุษย์จึงนำคุณสมบัติในการรับแรงกดของคอนกรีต และคุณสมบัติในการรับแรงดึงของเหล็กมาเป็นส่วนประกอบของโครงสร้าง ที่ต้องทั้งรับแรงกด และแรงดึงไปพร้อมกัน มาใช้งาน

ตัวอย่าง อย่างง่ายที่สุด ที่ใช้คุณสมบัติดังกล่าวคือ คานคอนกรีตของอาคาร ต่างๆ ที่เกิดทั้งแรงกด และแรงดึงพร้อมกันในคาน โดยด้านบนจะเกิดแรงกด และด้านล่างจะเกิดแรงดึง ดังนั้นการเสริมเหล็กจะเห็นว่าจะมีการเสริมด้านล่างของคาน มากกว่าด้านบนของคาน ยกเว้นคานยื่น จะเสริมเหล็กด้านบนมากกว่าด้านล่าง เนื่องจากเกิดแรงดึงที่ด้านบนมากกว่า

ที่กล่าวมาอย่างย่อ เป็นพื้นฐานว่าทำไม โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก จึงต้องเสริมเหล็ก และคอนกรีตและเหล็กมีคุณสมบัติอย่างไรจึงนำมาใช้งาน

### 2.3.1 ขั้นตอนในการทำคอนกรีต

การเทคอนกรีต คือ การนำคอนกรีตจากเครื่องมือลำเลียงไปเทให้ใกล้จุดที่ต้องการจะเทมากที่สุดในแบบหล่อ โดยต้องทำอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการแยกตัว และคอนกรีตสามารถถูกอัดแน่นในแบบหล่อได้อย่างเต็มที่ การเทและการอัดแน่นคอนกรีต เป็นขั้นตอนการทำคอนกรีตที่ดำเนินไปพร้อม ๆ กัน แต่เป็นอิสระต่อกัน โดยควรถือว่าการเทและอัดแน่นเป็นขั้นตอนเดียวกันเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม ในบทความนี้ จะแยกพิจารณาเป็นสองขั้นตอนเพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจมากขึ้น

การเทคอนกรีตอย่างถูกวิธี

1. คอนกรีต คอนกรีตมีคุณภาพสม่ำเสมอและมีปริมาณเพียงพอ , และมีอัตราการลำเลียงที่เหมาะกับอัตราการเท

2. เครื่องมือ เครื่องมือที่เทมีเพียงพอ , สะอาด และ พร้อมใช้งาน , มีอัตราการเทที่เหมาะสม , สามารถเข้าใกล้จุดที่ต้องการเทมากที่สุด , และไม่ทำให้คอนกรีตแยกตัว

3. การเตรียมการอื่น ๆ มีคนงานเพียงพอ ถ้าเทกลางคืน ควรมีแสงไฟเพียงพอ , และตรวจสอบรายละเอียดต่าง ๆ เช่น รอยต่อ แบบหล่อ เหล็กเสริม และสิ่งที่จะฝังติดในคอนกรีต ให้พร้อมก่อนการเท

4. ตำแหน่งและการทิศทางการเท การเทคอนกรีตให้เคลื่อนที่ลงในแนวดิ่งให้ใกล้จุดที่ต้องการจะเทมากที่สุดในแบบหล่อ และหลีกเลี่ยงการทำให้คอนกรีตเคลื่อนที่ในแนวราบ เพื่อป้องกันการแยกตัวของคอนกรีต

5. ระยะห่างในการเท ระยะตกอิสระของคอนกรีต ไม่ควรเกิน 1.5 เมตร เพื่อให้มั่นใจว่าเทคอนกรีตได้ถูกตำแหน่งที่ต้องการ และเพื่อลดการแยกตัวของคอนกรีต

6. อัตราการเท ควรเหมาะสมกับอัตราการอัดแน่นคอนกรีต

7. ความหนาของชั้นคอนกรีตที่เท ควรเทคอนกรีตเป็นชั้น ๆ อย่างสม่ำเสมอ ไม่ควรเทเป็นกองสูง ความหนาของการแต่ละชั้น ควรเหมาะสมกับวิธีการอัดแน่น เพื่อให้สามารถไล่ฟองอากาศออกจากคอนกรีตได้มากที่สุด โดยทั่วไป ไม่ควรหนาเกินชั้นละ 45 เซนติเมตร

8. รอยต่อระหว่างชั้นการเทคอนกรีต คอนกรีตในแต่ละชั้น ควรได้รับการอัดแน่นก่อนที่จะเทชั้นต่อไป และควรเทชั้นต่อไปในขณะที่ชั้นล่างยังเหลวอยู่ เพื่อให้คอนกรีตทุกชั้นเชื่อมต่อเป็นเนื้อเดียวกัน และหลีกเลี่ยงการเกิดรอยแยกระหว่างชั้นการเท (Cold Joint)

ถ้าตรวจพบการเยิ้มของน้ำขึ้นมาบนผิวคอนกรีตชั้นที่เทก่อนแล้ว ควรหยุดเทและกำจัดน้ำที่เยิ้มออกให้หมด ก่อนที่จะเทคอนกรีตชั้นถัดไป

เมื่อไม่สามารถเทคอนกรีตส่วนใดให้แล้วเสร็จได้ ให้หยุดเทตามตำแหน่งทำให้โครงสร้างเสียความแข็งแรงน้อยที่สุด

9.ข้อควรระวังไม่ควรเทคอนกรีตตกระทบกับแบบหล่อเหล็กเสริม หรือสิ่งที่จะฝังติดในคอนกรีต เพราะอาจทำให้คอนกรีตแยกตัวได้

การอัดแน่นคอนกรีต คือ กระบวนการไล่อากาศ ( Entrapped Air) ออกจากคอนกรีตสดที่เทแล้วให้มากที่สุด ทำให้อนุภาคของแข็งในคอนกรีตเข้าใกล้กัน เพื่อให้คอนกรีตที่แข็งตัวแล้วมีช่องว่างน้อยที่สุดหรือมีความหนาแน่นสูงสุดเท่าที่เป็นไปได้

โดยปกติ ถ้าไม่มีการอัดแน่นคอนกรีตสดภายหลังการเท จะทำให้เกิดรูโพรงและช่องว่างอากาศ ( Entrapped Air) ขึ้น เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว จะมีเนื้อไม่สม่ำเสมอ , มีกำลังต่ำ และมีผิวไม่สวย

วิธีการอัดแน่นคอนกรีต ควรเหมาะสมกับความสามารถเทได้ของคอนกรีตสด, เครื่องมือที่ใช้ลำเลียงและเท , อัตราการเทและวิธรการเท , ขนาดและรูปร่างของแบบหล่อ , ความหนาแน่นของเหล็กเสริมและสิ่งที่จะฝังติดในแบบหล่อ โดยในบทความนี้ ได้แบ่งวิธีการอัดแน่นเป็น 5 วิธี ได้แก่

1. วิธีการอัดแน่นคอนกรีตโดยใช้อุปกรณ์ที่ใช้มือ เหมาะสำหรับการเทคอนกรีตสดที่ค่อนข้างเหลว ในปริมาณที่น้อย อัดแน่นโดยการใช้อุปกรณ์ตำหรือกระทุ้งบริเวณรอบ ๆ เหล็กเสริมและสิ่งที่จะฝังติดในคอนกรีต

2. วิธีการอัดแน่นคอนกรีตโดยใช้เครื่องเขย่าคอนกรีตแบบภายในหรือเครื่องจี้เขย่าคอนกรีต

3. วิธีการอัดแน่นคอนกรีตโดยให้เครื่องเขย่าคอนกรีตแบบภายนอกหรือเครื่องเขย่าคอนกรีตชนิดติด ข้างแบบ ซึ่งเครื่องเขย่าคอนกรีตชนิดติดข้างแบบ นิยมใช้ในงานคอนกรีตอัดแรงหรือโครงสร้างขนาดบาง

4. วิธีการอัดแน่นคอนกรีตโดยใช้โต๊ะเขย่าคอนกรีต โต๊ะเขย่าคอนกรีต เหมาะสำหรับการทำ คอนกรีตสำเร็จรูปที่ใช้คอนกรีตสดที่แห้งมาก

5. วิธีการอัดแน่นคอนกรีตโดยเครื่องเขย่าคอนกรีตประเภทอื่น ๆ มีอยู่หลายประเภทด้วยกัน อาทิเช่น เครื่องเขย่าคอนกรีตชนิดสั่นบนผิวคอนกรีต ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการก่อสร้างแผ่นพื้น , รถบดอัน เหมาะสำหรับการอัดแน่นแผ่นพื้นบางๆ ในกานทำถนน , เครื่องเขย่าชนิดปั่นนิยมใช้ทำผลิตภัณฑ์ท่อคอนกรีต เสาเข็ม Spun Piles และ ผลิตภัณฑ์ที่มีหน้าตัดกลวงอื่น ๆ

ผลของการอัดแน่นคอนกรีตที่ดี จะทำให้คอนกรีตที่มีเนื้อแน่นสม่ำเสมอ ไม่แยกตัว ไม่เป็นรูโพรงรวมถึงการป้องกันไม่ให้แบบหล่อ เหล็กเสริม และสิ่งที่จะฝังติดเคลื่อนที่ การยึดเหนี่ยวที่ดีระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต และระหว่างคอนกรีตชั้นต่างๆ , มีรอยร้าวน้อยที่สุด , มีผิวเรียบสม่ำเสมอ , ไม่มีรอยตำหนิ , มีกำลัง ความคงทน และมีอายุใช้งานได้นาน

ตำแหน่งและระยะห่างในการจุ่มหัวจี้ : ควรกำหนดระยะห่างการจี้ที่เหมาะสม เพื่อให้คอนกรีตทุกบริเวณในแบบหล่อได้รับการอัดแน่น ระยะห่างในการจุ่มหัวจี้ ขึ้นอยู่กับขนาดของหัวจี้ และรัศมีทำการหรือระยะห่างจากหัวจุ่มที่คอนกรีตสดยังความสามารถได้รับการอัดแน่นได้เป็นอย่างดี

ทิศทางการจุ่มหัวจี้ ควรจุ่มหัวจี้ในแนวดิ่งลงไปตลอดความลึกของชั้นการเทคอนกรีตสดและทะลุฝ่านถึงชั้นล่างซึ่งยังเหลวอยู่ด้วย เพื่อให้เนื้อคอนกรีตทั้งสองชั้นการเทเชื่อมเป็นเนื้อเดียวกัน

ระยะเวลาการจุ่มหัวจี้ เวลาในการจี้เขย่าที่เหมาะสมเพื่อให้คอนกรีตได้รับการอัดแน่นเป็นอย่างดี สังเกตได้จากพฤติกรรมของคอนกรีตสดในขณะจี้เขย่า อาทิ การจมลงของหินหรือกรวดเม็ดใหญ่ , จี้เขย่าจนคอนกรีตได้ระดับ , เกิดฟิล์มของมอร์ต้าบางๆ บนผิวหน้าคอนกรีต , สังเกตเห็นซีเมนต์เพสต์บริเวณรอยต่อระหว่างคอนกรีตกับแบบหล่อ , และไม่สังเกตเห็นฟองอากาศขนาดใหญ่ลอยขึ้นมาที่ผิวหน้าคอนกรีตอีกต่อไป

การถอนหัวจี้กลับขึ้นมา เมื่อจี้เขย่าแล้วเสร็จควรถอนหัวจี้กลับขึ้นมาอย่างช้า ๆ เพื่อให้ช่องเปิดที่เกิดจากการใช้หัวจี้ปิดตัวเองได้สนิท ไม่มีฟองอากาศขังอยู่

การแต่งผิวหน้าคอนกรีต คือ การทำผิวหน้าคอนกรีตให้ประสานเป็นเนื้อเดียวกันกับเนื้อคอนกรีตภายในที่อัดแน่นแล้วในแบบหล่อ มีความแข็งแกร่งของผิวใกล้เคียงหรืออาจมากกว่าเนื้อคอนกรีตภายใน และมีความเรียบหรือลักษณะผิวคอนกรีตเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน

การแต่งผิวหน้าคอนกรีตอย่างถูกต้องนั้น ทำได้โดยการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพผิวคอนกรีต ได้แก่

1. อุปกรณ์และเครื่องมือแต่งผิวหน้า เลือกใช้ชนิดอุปกรณ์และเครื่องมือที่เหมาะสมกับลักษณะงานคอนกรีต และตรวจสอบสภาพการให้พร้อมใช้งาน

2. เวลาในการแต่งผิวหน้า ภายหลังการอัดแน่นคอนกรีตแล้ว จำเป็นต้องยืดเวลาการแต่งผิวหน้าคอนกรีตออกไป จนกระทั่งสังเกตไม่พบน้ำเยิ้มอยู่บนผิวน้ำเยิ้มอยู่บนผิวหน้าคอนกรีตอีกต่อไป หรืออาจมีความจำเป็นต้องเอาน้ำออกจากผิว แล้วจึงค่อยทำการแต่งผิวหน้าก่อนคอนกรีตเริ่มแข็งตัว โดยเวลาที่ยืดออกไปนี้ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ , ความชื้น และความเร็วลม ซึ่งส่งผลกระทบต่อการระเหยของน้ำที่เยิ้มอยู่บนผิวคอนกรีต

3. ข้อควรระวัง ไม่ควรเติมน้ำ เพื่อทำให้คอนกรีตเหลวและทำการแต่งผิวหน้าได้ง่ายขึ้น เพราะเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วจะทำให้ผิวหน้าคอนกรีตมีความแข็งแรงลดลง และเกิดเป็นชั้นหรือแผ่นมอร์ต้าบาง ๆ ที่อ่อนแอ ที่เรียกว่า Laitance ขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ผิวหน้าคอนกรีตหลุดล่อนได้ในระหว่างการใช้งาน

ผลกระทบของการแต่งผิวหน้าคอนกรีตเร็วเกินไป การแต่งผิวหน้าคอนกรีตในขณะที่ยังมีน้ำเยิ้มอยู่บนผิว จะทำให้ผิวหน้าคอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้วมีความแข็งแรงลดลง เกิดการแตกร้าวหรือหลุดล่อนได้ง่าย

ผลกระทบของการแต่งผิวหน้าคอนกรีตช้าเกินไปอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดพองปูดและหลุดล่อนเป็นชั้นต่าง ๆ ของผิวหน้าคอกกรีตหรือมอร์ต้า ภายหลังจาการแต่งผิวหน้าแล้วเสร็จไม่นานนัก

การบ่มคอนกรีต คือ การรักษาระดับปริมาณความชื้นและอุณหภูมิของคอนกรีต โดยเฉพาะในช่วงอายุเริ่มต้นของคอนกรีตให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม เพื่อลดการแตกร้าวของคอนกรีต และทำให้คอนกรีตมีกำลังและความคงทนสูง

ปัญหาที่พบบ่อยในการก่อสร้างหรือหล่อแผ่นพื้นคอนกรีตในสภาพอากาศร้อนหรือมีลมพัดแรง อาทิเช่น พื้นอาคาร , พื้นถนน , พื้นสนามบิน , หรือแม้แต่แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป คือ การแตกร้าวของคอนกรีตในขณะที่กำลังแข็งตัว อันเกิดจากการขาดการบ่มคอนกรีต หรือการบ่มล่าช้าเกินไป หรือการบ่มอย่างผิดวิธี

วิธีการบ่มคอนกรีต แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ตามสภาพอุณหภูมิที่ใช้บ่ม ได้แก่ การบ่มอุณหภูมิปกติ และ การบ่มที่อุณหภูมิสูง

วิธีการบ่มที่อุณหภูมิปกติด สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีหลัก ๆ ได้แก่ การบ่มโดยการเพิ่มน้ำ และการบ่มโดยการป้องกันการสูญเสียความชื้น

การบ่มโดยการเพิ่มน้ำ เป็นการเพิ่มน้ำให้ผิวหน้าคอนกรีตในระยะเริ่มแข็งตัวโดยตรงอย่างต่อเนื่อง โดยควรคำนึงถึงความสามารถในการจัดหาน้ำ , แรงงาน , และวัสดุที่ใช้บ่ม ซึ่งน้ำที่ใช้บ่มจะต้องไม่มีสสารที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีต , ไม่ทำให้ผิวคอนกรีตเปลี่ยนสี , และควรหลีกเลี่ยงการใช้น้ำบ่มที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าคอนกรีตเกิน 10 องศาเซลเซียส เพราะจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างมากโดยฉับพลันและทำให้คอนกรีตแตกร้าวได้

การฉีดหรือพรมน้ำ เหมาะกับโครงสร้างทั้งที่อยู่ในแนวราบและแนวดิ่ง เช่น แผ่นพื้น , ผนัง , กำแพง

การขัง เหมาะกับโครงสร้างที่อยู่ในแนวราบ เช่น พื้นอาคาร , ทางน้ำไหล , พื้นสะพาน , พื้นถนน , พื้นสนามบิน

การใช้วัสดุเปียกชื้นคลุม เหมาะกับโครงสร้างทั้งที่อยู่ในแนวราบและแนวดิ่ง เช่น พื้นอาคาร , พื้นถนน , ผนัง , กำแพง

การบ่มโดยการป้องกันการสูญเสียความชื้น เป็นการใช้วัสดุปิดทับหรือเป็นฟิล์มเคลือบผิวคอนกรีต อาทิ เช่น กระดาษกันน้ำซึม , ผ้าพลาสติก , น้ำยาบ่มคอนกรีต และการบ่มโดยใช้แบบหล่อทำหน้าที่เป็นแผ่นคลุมเพื่อลดการสูญเสียน้ำที่ระเหยออกจากคอนกรีต

การใช้กระดาษกันน้ำซึมคลุม ควรเป็นไปตามข้อกำหนดของ ASTM C 171 นิยมใช้กับพื้นราบ

การใช้ผ้าพลาสติกคลุม ควรเป็นไปตามข้อกำหนดของ ASTM C 171 ใช้ได้กับทุกโครงสร้าง โดยเฉพาะที่ไม่เน้นลักษณะผิวที่ปรากฏ เช่น รางน้ำ , พื้นหลังคา , พื้นถนน , ขอบทาง

การใช้น้ำยาบ่มคอนกรีต ควรเป็นไปตามข้อกำหนดของ ASTM C 309 ใช้ได้กับโครงสร้างพิเศษต่างๆ ที่ต้องการใช้งานเร็ว เช่น พื้นสนามบิน , หลังคากว้าง ๆ , หลังคาเปลือกบาง , พื้นถนน , อาคารสูง

การบ่มโดยใช้แบบหล่อ ใช้ได้กับโครงสร้าง เช่น ฐานราก , เสา , คาน , ผนัง , กำแพง เป็นต้น

การบ่มโดยการควบคุมอุณหภูมิ โครงสร้างคอนกรีตที่มีความหนามาก การบ่มคอนกรีตจำเป็นต้องรักษาระดับอุณหภูมิของคอนกรีต โดยเฉพาะช่วงอายุเริ่มต้นของคอนกรีตให้เหมาะสมด้วย เพื่อป้องกันการแตกร้าวอันเกิดจากการหดตัวที่แตกต่างกันของคอนกรีตที่มีความร้อนซึ่งสะสมอยู่ภายในเนื้อคอนกรีตในแต่ละบริเวณแตกต่างกัน

การบ่มที่อุณหภูมิสูง เป็นการบ่มแบบเร่งกำลังโดยไอน้ำ , หรือขดลวดความร้อน , หรือฐานรองให้ความร้อนด้วยไฟฟ้า นิยมใช้ในงานผลิตคอนกรีตสำเร็จรูป มีข้อดี คือ สามารถผลิตได้รวดเร็ว , ประหยัดแบบหล่อ , และ มีกำลังสูงเร็ว

การบ่มคอนกรีตอย่างถูกวิธี ทำได้ดังนี้

1. การป้องกันการระเหยของน้ำออกจากคอนกรีต ควรควบคุมปัจจัยที่ทำให้มีการระเหยของน้ำออกจากคอนกรีตมากเกินไป ได้แก่ อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิคอนกรีตสูง , ความชื้นสัมพัทธ์ ต่ำ , และความเร็วลมแรง โดยทำการบ่มคอนกรีตอย่างถูกวิธี

2. ระยะเวลาการบ่มคอนกรีต เป็นช่วงเวลาที่ดำเนินการบ่มคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ อาทิเช่น ชนิดของปูนซีเมนต์ , ชนิดและปริมาณของสารผสมเพิ่มในคอนกรีต , สัดส่วนผสมคอนกรีต , กำลังและความคงทนของคอนกรีตที่ต้องการ , ขนาดและรูปร่างโครงสร้าง , อุณหภูมิที่ใช้บ่ม , และความชื้นในขณะบ่ม

คอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 โดยทั่วไป ควรบ่มต่อเนื่องอย่างน้อย 7 วัน

คอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 โดยทั่วไป ควรบ่มต่อเนื่องอย่างน้อย 3 วัน

น้ำบ่มคอนกรีต : อุณหภูมิของน้ำที่ใช้บ่ม ไม่ควรต่ำว่าคอนกรีตเกิน 10 องศาเซลเซียส

3. การบ่มในสภาพอากาศร้อน ควรเพิ่มเติมการบ่มในระยะแรกภายหลังการแต่งผิวหน้าแล้วเสร็จและผิวหน้าคอนกรีตเริ่มแห้ง เพื่อป้องกันการแตกร้าวจากการหดตัวในขณะที่กำลังแข็งตัว การบ่มระยะเริ่มต้นทำได้หลายวิธี เช่น การใช้สารลดการระเหย , การพ่นน้ำ , การทำที่กำบังแสงแดดและลม

4. น้ำยาบ่มคอนกรีต ไม่ควรใช้น้ำยาบ่มกับผิวคอนกรีตที่จะมีการก่อสร้างต่อ , ทาสี หรือปูกระเบื้อง หรือพ่นลงบนเหล็กเสริมหรือรอยต่อ เพราะจะทำให้การยึดเหนี่ยวเสียไป ควรฉีดพ่นน้ำยาบ่มคลุมผิวคอนกรีต ภายหลังจากการแต่งผิวหน้าคอนกรีตเสร็จแล้ว และผิวหน้าคอนกรีตเริ่มแห้ง

5. ข้อควรระวัง ในช่วงอายุเริ่มต้นของคอนกรีตหรือมในขณะที่คอนกรีตกำลังเข็งตัว ควรหลีกเลี่ยงการทำให้คอนกรีตได้รับการสั่นสะเทือน , การกระแทก , การรับน้ำหนักมากเกินไป , และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของคอนกรีตโดยฉับพลัน

แบบหล่อคอนกรีต คือ แบบที่ทำจากวัสดุ อาทิเช่น ไม้ , ไม้อัด , เหล็ก , ไฟเบอร์กลาส , พลาสติก หรือแม้กระทั่งที่เป็นคอนกรีตเอง เพื่อใช้หล่อคอนกรีตให้มีขนาดและรูปร่างตามต้องการ โดยคำนึงถึงความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับแรงดันและน้ำหนักของคอนกรีต , ผิวของคอนกรีตที่ปรากฏ , งานที่จะตามมาภายหลังการถอดแบบ , และความประหยัด

การจำแนกชนิดของแบบหล่อ อาจแบ่งตามลักษณะการรับแรงดันและน้ำหนักของคอนกรีตได้เป็น 2 ลักษณะ คือ ชิ้นส่วนที่รับแรงด้านข้าง และชิ้นส่วนที่รับน้ำหนักในแนวดิ่ง หรือ

อาจแบ่งตามชนิดของโครงสร้าง เช่น แบบหล่อคอนกรีตทั่ว ๆ ไป และแบบหล่อชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป หรืออาจแบ่งตามเทคนิคการก่อสร้าง เช่น แบบหล่อสำหรับงานก่อสร้างทั่ว ๆ ไป แบบหล่อแบบเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง และแบบหล่อแบบเคลื่อนที่ในแนวราบ

แบบหล่อที่ดี จะให้ความประณีต ความสวยงาม และความแข็งแรงแก่โครงสร้างคอนกรีต อีกทั้งยังสามารถกำหนดต้นทุนในการก่อสร้างได้ส่วนหนึ่งด้วย

เนื่องจากเวลาถอดแบบหล่อคอนกรีตขึ้นอยู่กับส่วนผสมคอนกรีตและการบ่มคอนกรีตเป็นสำคัญ ดังนั้นการถอดแบบได้เร็วเพื่อให้สามารถนำแบบไปใช้ซ้ำหลายๆ ครั้งนั้น จำเป็นต้องควบคุมคุณภาพคอนกรีตให้มีกำลังในระยะเริ่มแรกสูงเพียงพอ และในขณะเดียวกันก็ต้องควบคุมให้มีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน ตามต้องการด้วย

ปกติองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทุกชนิดจะมีการยืด หด และโก่งตัว แต่ที่มีผลกระทบต่อส่วนอื่น ๆโดยตรง คือ การโก่งตัวองค์อาคารรับแรงดัน เช่น แผ่นพื้น และคาน ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อสิ่งก่อสร้างทางสถาปัตยกรรม โดยเฉพาะกับผนังก่ออิฐ หรือ บล็อก คือ ทำให้เกิดการแตกร้าวได้ ดังนั้นจึงควรรีบถอดแบบหล่อและค้ำยันออกให้หมด เมื่อคอนกรีตมีอายุครบกำหนด หรือมีกำลังไม่น้อยกว่ากำลังที่ออกแบบไว้ อย่างไรก็ดี ต้องพิจารณาดูด้วยว่าน้ำหนักแบบหล่อ , น้ำหนักค้ำยัน , และน้ำหนักแผ่นพื้นและคานที่จะหล่อของพื้นชั้นถัดไป จะมีน้ำหนักมากกว่าที่ได้รับหรือไม่ ถ้ามากกว่าก็ควรจะคงค้ำยันไว้บ้าง โดยเหลือค้ำยันไว้กระจายให้ทั่ว

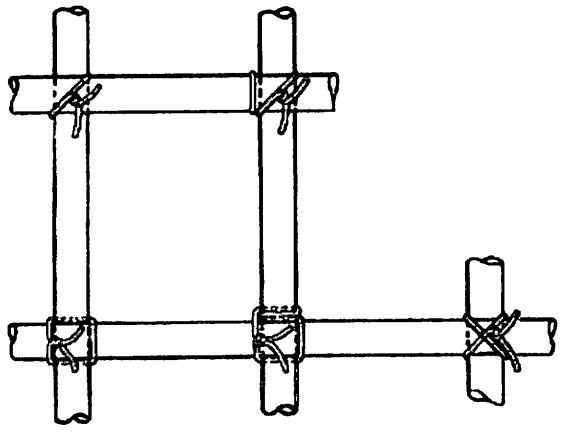
### 2.3.2 เหล็กเสริมคอนกรีต

เนื่องจากความต้านทานของคอนกรีตต่อแรงดึงมีเพียง 10% ของความต้านทานต่อแรงอัดเท่านั้น ลำพังคอนกรีตเองจึงไม่สามารถรับแรงดึงได้สูง แต่โดยเหตุที่เหล็กเป็นวัสดุที่ต้านทานต่อแรงดึงได้ดี อีกทั้งมีสัมประสิทธิ์การยืดหดตัวเท่าๆ กับคอนกรีต ดังนั้นการใช้เหล็กเส้นหรือเหล็กท่อนร่วมกับคอนกรีต โดยหล่ออยู่ในเนื้อคอนกรีตในลักษณะที่ให้คอนกรีตรับแรงอัด และเหล็กรับแรงดึงจึงได้ผลดี การที่ใช้เหล็กเสริมร่วมกับคอนกรีตในลักษณะดังกล่าว เรียกว่า คอนกรีตเสริมเหล็ก การใช้คอนกรีตห่อหุ้มเหล็กนี้ จะทำให้เหล็กทนทานต่อความร้อน และป้องกันการเป็นสนิมผุกร่อนได้ดี ช่วยให้เหล็กมีความต้านทานต่อแรงดึงได้เต็มที่ ดังนั้นคอนกรีตเสริมเหล็กจึงมีความต้านทานต่อแรงต่างๆ ที่กระทำได้ดีกว่าคอนกรีตล้วนเพียงอย่างเดียว

เหล็กเสริมคอนกรีตที่ใช้กันอยู่ตามธรรมดาทั่วไปเป็นเหล็กกล้าละมุน (mild steel) รีดร้อน มีหน้าตัดกลมเรียบ และเป็นเส้นตรง มีความยาวมาตรฐาน 10 และ 12 เมตร สำหรับความยาวอื่นที่ไม่ได้มาตรฐาน อาจสั่งโรงงานทำได้ หากต้องการเป็นจำนวนมาก การซื้อขายคิดเป็นกิโลกรัมหรือตัน ไม่ควรใช้เหล็กเสริมที่มีขนาดต่ำกว่า 9 มม. เว้นแต่เหล็กปลอก หรือเหล็กลูกตั้ง ทั้งนี้เพราะเหล็กขนาดเล็กมีราคาแพงกว่าเมื่อคิดตามน้ำหนัก

เพื่อให้เหล็กเสริมมีกำลังรับแรงดึงได้ดีจำเป็นต้องมีการยึดเหนี่ยวที่ดีระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมในสมัยก่อนเหล็กท่อน หรือเหล็กเส้นมีหน้าตัดกลมเรียบหรือสี่เหลี่ยม ซึ่งมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กไม่ดีเท่าที่ควร ทำให้เหล็กเสริมไม่สามารถรับแรงดึงได้ดีเท่าที่คาดหมายไว้ ในปัจจุบันจึงได้มีการผลิตเหล็กข้ออ้อยซึ่งมีปล้องหรือครีบเกลียวที่ผิวตามความยาว ซึ่งช่วยให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กดีขึ้นมากถึงสองเท่าของเหล็กเส้นกลม เหล็กเสริมที่ใช้จะลำเลียงมายังที่ก่อสร้างเป็นมัดๆ และผูกป้ายแสดงเครื่องหมาย จึงควรเก็บเหล็กเสริมเป็นชั้นๆ ตามขนาดต่างๆ กัน โดยมีที่รองรับ และปกคลุมมิให้เปื้อนดินโคลน และฝน เหล็กเสริมต้องไม่ชำรุด ไม่ด้วง ไม่งอ หรือไม่เป็นสนิมมาก ในระหว่างที่เก็บ หรือในขณะที่ลำเลียงมา เหล็กที่เป็นสนิมบางๆ สีแดงๆ นับว่าไม่เสียหาย ความขรุขระที่ผิวจะทำให้การยึดเหนี่ยวดีขึ้น แต่ถ้าเป็นสนิมมากจนหนาเป็นเกล็ด ซึ่งจะหลุดโดยง่ายเมื่อถูด้วยกระสอบ หรือแปรงด้วยแปรงลวด หรือวิธีอื่นๆ ก็ควรขจัดออกเสียให้หมด สิ่งที่มักจะพบเคลือบอยู่ตามส่วนต่างๆ ของเหล็กเสริมก็คือ สี น้ำมัน ไขมัน โคลนแห้งๆ มอร์ต้าบางๆ ที่กระเด็นมาแห้งติดกรังอยู่บนเหล็กเสริมก่อนที่จะเทคอนกรีต ถ้ามอร์ต้าที่แห้งติดอยู่นั้นมีกำลังน้อยหรือไม่มีเลยก็ควรจะแปรงออกจากเหล็กนั้นและเอาออกจากแบบให้หมด แต่ถ้าแกะออกยากแม้ปล่อยไว้เช่นนั้นก็อาจจะไม่เป็นภัยก็ได้ แต่ก็ควรที่จะทำความสะอาดให้ได้มากที่สุด

การวางเหล็กเสริม ต้องวางในตำแหน่งที่ถูกต้อง และอย่างน้อยจะต้องมีเหล็กเสริมส่วนที่คอนกรีตต้องรับแรงดึง และมีที่หนุนรองรับแข็งแรงพอ เพื่อให้คอนกรีตหุ้มถูกต้องตามแบบ ซึ่งอาจเป็นแท่งคอนกรีต ขาตั้งโลหะ เหล็กปลอก หรือเหล็กยึดระยะเรียงก็ได้ และยึดไว้แน่นหนาพอ ซึ่งอาจผูกยึดด้วยลวดเหล็กเบอร์ 18



ภาพที่ 2.3 แสดงการผูกเหล็กเสริมคอนกรีต

ระยะคลาดเคลื่อนที่ยอมให้สำหรับการวางเหล็กเสริมในโครงสร้างที่รับแรงดัดในผนังและเสา มีดังนี้

- ความลึกประสิทธิผล d ไม่เกิน 50 ซม. ยอมให้คลาดเคลื่อนได้ + 0.50 ซม.

- ความลึกประสิทธิผล d มากกว่า 50 ซม. ยอมให้คลาดเคลื่อนได้ + 1.00 ซม.

สำหรับตำแหน่งดัดเหล็กคอม้า และตำแหน่งปลายสุดของเหล็กเสริม วัดตามยาวของโครงสร้าง ยอมให้คลาดเคลื่อนได้+ 5 ซม. แต่ทั้งนี้ต้องไม่ทำให้ความหนาของคอนกรีตที่หุ้มปลายเหล็กเสริมน้อยกว่าค่าที่กำหนด

1. ระยะเรียงของเหล็กเสริม

1.1 ระยะเรียงของเหล็กเสริมเอกในผนังหรือพื้น ต้องไม่เกิน 3 เท่าของความหนาของผนังหรือพื้น หรือไม่เกิน 30 ซม.

1.2 ระยะช่องว่างระหว่างผิวเหล็กตั้งในเสาทุกชนิด ต้องไม่น้อยกว่า 1 ½ เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็ก หรือ 1 ½ เท่าของขนาดวัสดุผสมหยาบใหญ่สุด

1.3 ช่องว่างระหว่างผิวที่อยู่ในชั้นเดียวกันของเหล็กเสริมตามยาวในคาน จะต้องมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็ก หรือ 1.34 เท่า ของขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบ หรือ 2.5 ซม. และต้องเรียงเหล็กแต่ละชิ้นให้ตรงกันเพื่อเทคอนกรีตได้สะดวก

1.4 เมื่อเหล็กเสริมตามยาวของคานมีมากกว่าหนึ่งชั้น ช่องว่างระหว่างผิวเหล็กแต่ละชั้นต้องไม่น้อยกว่า 2.5 ซม. และต้องเรียงเหล็กแต่ละชั้นให้ตรงกัน เพื่อเทคอนกรีตได้สะดวก

2. ความหนาของคอนกรีตที่หุ้มเหล็ก ที่วัดจากผิวเหล็ก ต้องไม่น้อยกว่าเกณฑ์ต่อไปนี้ (ควรใช้ตามมาตรฐาน วสท. เป็นหลัก)

2.1 พื้นและคานดินที่เทลงบนดินโดยไม่มีไม้แบบท้องคาน 6 ซม.

2.2 พื้นและคานดินที่ใช้ไม้แบบท้องคานสำหรับเหล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มม. ขึ้นไป 4 ซม.

2.3 พื้น และคานดินที่ใช้ไม้แบบท้องคาน สำหรับเหล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 15 มม. ลงมา 3 ซม.

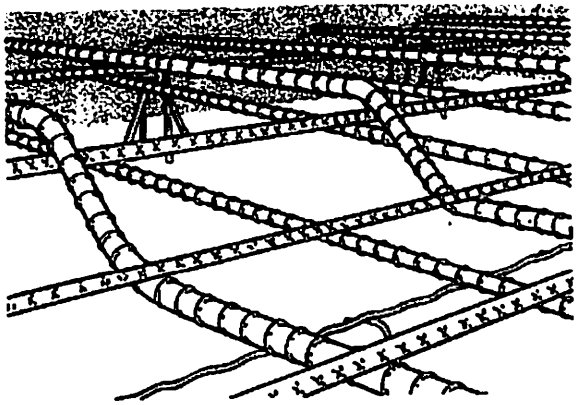
2.4 พื้นและคานในร่มที่ไม่ถูกดิน แดด และน้ำโดยตรง 2 ซม. ความหนาของคอนกรีตที่หุ้มปลอกเหล็กของเสาทุกชนิด ต้องไม่น้อยกว่า 3 ซม.หรือ 1 ½ เท่า ของขนาดวัสดุผสมหยาบที่ใหญ่สุด และต้องเป็นเนื้อเดียวกันกับคอนกรีตภายในแกนเสา

3. การยึดปลายเหล็กเสริมตามยาว

3.1 ปลายเหล็กเสริม ต้องปล่อยเลยจุดที่ไม่ต้องรับแรงไปอีกไม่น้อยกว่าความลึกของคานหรือไม่น้อยกว่า 12 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริมปลายเหล็กเสริม อาจทำเป็นขอตามข้อกำหนด " ของอมาตรฐาน " และมีระยะที่ฝังเพียงพอ

3.2 เหล็กเสริมรับโมเมนต์บวก ต้องยื่นเข้าไปในที่รองรับไม่น้อยกว่า 15 ซม.เป็นจำนวนไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามสำหรับคานช่วงเดียว และไม่น้อยกว่าหนึ่งในสี่สำหรับคานต่อเนื่อง

3.3 เหล็กเสริมรับโมเมนต์ลบ ไม่น้อยกว่าหนึ่งในสาม จะต้องปล่อยเลยจุดดัดกลับโมเมนต์เป็นระยะไม่น้อยกว่าความลึกของคานหรือหนึ่งในสิบหกของช่องว่างของคาน



ภาพที่ 2.4 แสดงการงอเหล็กเสริมคอนกรีต

4. การต่อดามเหล็กเสริม โดยปกติจะไม่ยอมให้มีการต่อเหล็กเสริม นอกจากที่แสดงไว้ในแบบหรือได้ระบุไว้ การต่อเหล็กเสริมนี้อาจต่อโดยวิธีทาบ วิธีเชื่อม หรือการต่อยึดปลายแบบอื่นๆ ก็ได้ ที่ให้มีการถ่ายแรงได้เต็มที่ การต่อเหล็กเสริมโดยปกติ ต้องมีระยะเหลื่อมกันไม่น้อยกว่า 50 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับเหล็กกลม และไม่น้อยกว่า 40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับเหล็กข้ออ้อย ควรหลีกเลี่ยงการต่อเหล็กเสริม ณ จุดที่เกิดหน่วยแรงสูงสุดเท่าที่จะทำได้ และไม่ควรใช้วิธีต่อทาบกับเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 25 มม. (ควรใช้ตามมาตรฐาน วสท. เป็นหลัก)

4.1 การต่อเหล็กเสริมรับแรงดึง ความยาวของเหล็กข้ออ้อยที่นำมาต่อทาบกันจะต้องไม่น้อยกว่า 24, 30 และ 36 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กที่มีกำลังจุดคลาก 2,800, 3,500 และ 4,200 กก./ซม.2ตามลำดับ หรือไม่น้อยกว่า 30 ซม.สำหรับเหล็กเส้นผิวเรียบ ระยะทาบที่ใช้จะเป็น 2 เท่าของค่าที่กำหนดไว้สำหรับเหล็กข้ออ้อย

4.2 การต่อเหล็กเสริมรับแรงอัด สำหรับคอนกรีตที่มีกำลังอัด 200 กก./ซม.2 หรือสูงกว่านี้ ระยะทางของเหล็กข้ออ้อยจะต้องไม่น้อยกว่า 20, 24 และ 30 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กที่มีกำลังจุดคลากเท่ากับ 3,500 หรือน้อยกว่า และค่า 4,200 กับ 5,200 กก./ซม.2 ตามลำดับ และต้องไม่น้อยกว่า 30 ซม. ถ้ากำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำกว่า 200 กก./ซม.2 ระยะทางจะต้องเพิ่มอีกหนึ่งในสามของค่าข้างต้น สำหรับเหล็กเส้นผิวเรียบ ระยะทาบอย่างน้อยจะต้องเป็น 2 เท่า ของค่าที่กำหนดไว้สำหรับเหล็กข้ออ้อย

5. เหล็กเสริมตามขวาง

5.1 ในเสาปลอกเดี่ยว เหล็กยืนทุกเส้นจะต้องมีเหล็กปลอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 6 มม.พันโดยรอบ โดยมีระยะเรียงของเหล็กปลอกไม่ห่างกว่า 16 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กยืน หรือ 48 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กปลอก ด้านแคบที่สุดของเสานั้นจะต้องจัดให้มุมของเหล็กปลอกยึดเหล็กยืนตามมุมทุกมุม และเส้นอื่นๆ สลับเส้นเว้นเส้น โดยมุมของเหล็กปลอกนั้นต้องไม่เกินกว่า 135 องศาเหล็กเส้นที่เว้นต้องห่างจากเส้นที่ถูกยึดไว้ไม่เกิน 15 ซม. ถ้าเหล็กยืนเรียงกันเป็นวงกลม อาจใช้เหล็กปลอกพันให้ครบรอบวงนั้นก็ได้

5.2 ในเสาปลอกเกลียว ต้องพันเหล็กปลอกเกลียวต่อเนื่องกันเป็นเกลียวที่มีระยะห่างสม่ำเสมอกัน และยึดให้อยู่ตามตำแหน่งอย่างมั่นคงด้วยเหล็กยึด จำนวนของเหล็กยึดที่ใช้ ขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงปลอกเกลียว เหล็กปลอกควรมีขนาดใหญ่พอ (ไม่น้อยกว่า 6 มม.) และประกอบแน่นหนาพอที่จะไม่ทำให้ขาด ทำให้ระยะที่ออกแบบไว้คลาดเคลื่อนเนื่องจากการย้ายและติดตั้ง ระยะเรียงศูนย์ถึงศูนย์ของเหล็กปลอกเกลียวต้องไม่เกินหนึ่งในหกของเส้นผ่านศูนย์กลางแกนคอนกรีต ระยะช่องว่างระหว่างเกลียว ไม่ห่างเกินกว่า 7 ซม.หรือแคบกว่า 3 ซม.หรือ 1 ½ เท่า ของขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบ การใส่เหล็กปลอกเกลียวต้องพันตลอดตั้งแต่ระดับพื้น หรือจากส่วนบนสุดของฐานรากขึ้นไป ถึงระดับเหล็กเสริมเส้นล่างสุดของชั้นเหนือกว่า ในเสาที่มีหัวเสาจะต้องพันเหล็กปลอกเกลียวขึ้นไปจนถึงระดับที่หัวเสา ขยายเส้นผ่าศูนย์กลางหรือความกว้างให้เป็นสองเท่าของขนาดเสา

5.3 ในคาน เหล็กปลอกที่ใช้ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 6 มม. และเรียงห่างกันไม่เกิน16 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมหรือ 48 เท่า ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กปลอก ในคานที่มีเหล็กเสริมรับแรงอัดจะต้องใส่เหล็กปลอกตลอดระยะที่ต้องการเสริมเหล็กเสริมรับแรงอัด

5.4 เหล็กเสริมด้านการยึดหด ในพื้น ค.ส.ล. ที่ใช้เป็นส่วนอาคาร หรือหลังคา ซึ่งเสริมเหล็กรับแรงทางเดียว จะต้องเสริมเหล็กในแนวตั้งฉากกับเหล็กเสริมอกเพื่อรับแรงเนื่องจากการยึดหด ขนาดของเหล็กที่ใช้ต้องไม่เล็กกว่า 6 มม.และเรียงเหล็กห่างกันไม่เกิน 3 เท่า ของความหนาของแผ่นพื้น หรือ 30 ซม. ปริมาณของเหล็กเสริมที่ใช้จะต้องมีอัตราส่วนเนื้อที่เหล็กต่อหน้าตัดคอนกรีตทั้งหมด ไม่น้อยกว่าค่าที่ให้ไว้ ดังนี้ (ควรใช้ตามมาตรฐาน วสท. เป็นหลัก)

- พื้นซึ่งเสริมด้วยเหล็กเส้นผิวเรียบ 0.0025
- พื้นซึ่งเสริมด้วยเหล็กข้ออ้อยและมีกำลังจุดคลากน้อยกว่า 4,200 กก./ซม.0020
- พื้นซึ่งเสริมด้วยเหล็กข้ออ้อย และมีกำลังจุดคลากเท่ากับ 4,200 กก./ซม.2 หรือลวดตระแกรงซึ่งระยะเรียงในทิศที่รับแรงห่างไม่เกิน 30 ซม. 0.0018

การออกแบบควรทำรูปเหล็กที่จะต้องดัดให้ง่ายๆ และยิ่งมีน้อยอย่างยิ่งดี เพราะทุ่นค่าแรงดัด การดัดงดขอต่างๆ ต้องทำให้ถูกต้องตามแบบที่กำหนด มิฉะนั้นเมื่อนำไปผูกเป็นโครงจะไม่เข้า

กัน และจะทำให้เนื้อคอนกรีตที่หุ้มเหล็กผิดไปจากที่กำหนด ถ้าทำได้ควรผูกเป็นโครงให้เสร็จเสียก่อน แล้วจึงยกเข้าใส่ในแบบ ซึ่งมีที่หนุนรองรับอยู่ให้สูงพ้นแบบตามที่ต้องการ

ภาพที่ 2.5 แสดงคอนกรีตที่ไม่ได้คุณภาพคอนกรีตเป็นโพรง

ภาพที่ 2.6 แสดงคอนกรีตที่ได้คุณภาพ

**2.4 รายละเอียดโครงการที่ทำการศึกษา**

โครงการตั้งอยู่ที่ ซอยสุขุมวิท19 ถ.สุขุมวิท เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร ลักษณะเป็นอาคารพักอาศัยรวม 12 ชั้น ชั้นใต้ดิน 1 ชั้น โครงสร้าง คสล. ระยะเวลาก่อสร้างโครงการ 18 เดือน

ผู้รับเหมาหลัก รับเหมางานโครงสร้างและงานสถาปัตยกรรม เป็นบริษัทขนาดกลาง ทุนจดทะเบียน 20 ล้าน มีพนักงานประมาณ 60 คน แรงงาน 300-500 คน งานที่ผ่านมาส่วนใหญ่เป็นอาคารระดับกลางมีความสูงไม่เกิน 8 ชั้น