

## การพัฒนาการออกแบบคอนกรีตสำหรับงาน SLIPFORM

ณัฐพร วงศ์วัฒนะเดช

ผู้จัดการส่งเสริมคุณภาพ CPAC กรุงเทพฯ 2

กิจการ CPAC กรุงเทพฯ

**บทคัดย่อ :** ปัจจุบันในเขตกรุงเทพมหานคร มีการก่อสร้างอาคารสูงเพิ่มขึ้นมาก ซึ่งในการก่อสร้างอาคารสูงนั้นมักใช้ระบบ SLIPFORM ในการก่อสร้างโครงสร้างปล่องลิฟท์ เนื่องจากทำให้ลดเวลาการก่อสร้าง ประหยัดค่าใช้จ่ายให้กับผู้รับเหมา และทำให้เนื้อคอนกรีตมีความต่อเนื่องกัน แต่จากการสำรวจพบว่า มีบ่อยครั้งที่มีการก่อสร้างโดยใช้คอนกรีตสำหรับงานทั่วไป ซึ่งมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมกับงาน SLIPFORM ในการเทปล่องลิฟท์และโครงสร้างอื่น ๆ ที่ใช้ SLIPFORM ซึ่งจะส่งผลให้เกิดปัญหาผิวคอนกรีตเป็นโพรง ไม่เรียบ และผิวหลุดร่อน ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายของบริษัทในการเสริมสร้างตราสินค้าในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และความเป็นผู้นำในด้านคอนกรีตเทคโนโลยี จึงพัฒนาการออกแบบคอนกรีตสำหรับงาน SLIPFORM ขึ้น เพื่อให้สามารถทำการออกแบบส่วนผสมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจัดทำข้อมูลในรูปแบบกราฟและตารางสำเร็จรูปเพื่อใช้งาน ซึ่งในกราฟและตารางสำเร็จรูปดังกล่าว จะใช้ในการออกแบบคอนกรีตสำหรับ SLIPFORM ที่มีกำลังอัด 400 ksc. ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในการใช้งานต่าง ๆ กัน

### 1. เข้าใจในนโยบายของผู้บริหาร

การก่อสร้างงานอาคารสูง ในพื้นที่โซนกลางเมืองของกิจการ CPAC กรุงเทพฯ โดยมากมีการใช้ SLIPFORM เพื่อก่อสร้างโครงสร้างปล่องลิฟท์ของอาคารสูงเนื่องจากทำให้ลดเวลาในการทำงานก่อสร้างของผู้รับเหมาได้มากเมื่อเทียบกับการใช้แบบหล่อคอนกรีตทั่วไป แต่คอนกรีตที่ใช้กับ SLIPFORM นี้ มักเป็นคอนกรีตที่เหมาะสมกับงานทั่วไป ซึ่งไม่ได้ออกแบบสำหรับงาน SLIPFORM โดยเฉพาะ จึงทำให้เกิดปัญหาขึ้น

เนื่องจากในทางปฏิบัติแล้ว เมื่อมีการสั่งซื้อคอนกรีตสำหรับงาน SLIPFORM เข้ามา ด้วยเหตุผลที่ว่าลูกค้ามักต้องการความรวดเร็ว แต่การออกแบบคอนกรีตที่ใช้สำหรับงาน SLIPFORM ต้องใช้เวลานานทำให้เจ้าหน้าที่เสนอส่วนผสมสำหรับคอนกรีตทั่วไปที่ไม่ได้ออกแบบสำหรับงาน SLIPFORM โดยตรง ส่งให้ลูกค้า ซึ่งผลต่อเนื่องที่ตามมาเกิดปัญหาต่าง ๆ อันได้แก่ ผิวคอนกรีตเป็นโพรง ขรุขระไม่เรียบ และผิวหลุด

ร่อน ส่งผลให้ผู้รับเหมาก่อสร้างจะต้องเสียค่าใช้จ่ายและเวลาในการซ่อมแซมผิวคอนกรีตดังกล่าวใหม่

เพื่อดำเนินการตามนโยบายในการเสริมสร้างตราสินค้า และดำรงความเป็นผู้นำทางคอนกรีตเทคโนโลยี ที่สามารถผลิตสินค้าที่ทำให้ลูกค้าพึงพอใจและมั่นใจในคุณภาพและบริการ ซึ่งเป็นนโยบายที่บริษัทฯ ยึดถือ จึงได้พัฒนาการออกแบบคอนกรีตสำหรับงาน SLIPFORM ให้ผู้ปฏิบัติงานออกแบบคอนกรีตดังกล่าวได้โดยสะดวกและรวดเร็ว เหมาะกับความต้องการของลูกค้า ทั้งในแง่คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์และระยะเวลาที่ใช้ในการส่งมอบ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นที่จะผลักดันให้ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้เป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตพิเศษซีแพคได้ต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์

เพื่อให้การออกแบบผลิตภัณฑ์คอนกรีต SLIPFORM ซึ่งเป็นขั้นตอนหลักที่จำเป็นของการส่งมอบสินค้าให้ลูกค้า มีความรวดเร็ว มีประสิทธิภาพ และได้คุณภาพตรงตามความต้องการใช้งาน

## 3. ขอบข่าย

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นไปที่การออกแบบคอนกรีต SLIPFORM สำหรับงานอาคารสูงในเขตกรุงเทพฯ เท่านั้น

## 4. แนวทางและแผนการดำเนินการ

การดำเนินการ		มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน
หัวข้อหลัก	หัวข้อย่อย				
1. ศึกษาหลักการทำงานของ SLIPFORM	1.1 ข้อมูลทางเทคนิค - หลักการทำงานที่สำคัญ				
2. ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตที่เหมาะสมกับการทำงานของ SLIPFORM	2.1 สำรวจพฤติกรรมการใช้งาน และความต้องการคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ - ปัญหาในการทำงาน - คุณสมบัติพิเศษที่ต้องการ				
3. พัฒนาการออกแบบคอนกรีต SLIPFORM	3.1 ออกแบบ ทดลองส่วนผสม 3.2 ทดสอบคุณสมบัติที่สำคัญของ - คอนกรีตสดที่อายุต่าง ๆ - คอนกรีตแข็งตัวแล้ว				
4. วิเคราะห์และสรุปผล					
5. กำหนดเป็นมาตรฐานการออกแบบ					
6. จัดทำรายงาน & Presentation					

## 5. การศึกษาหลักการทำงานของ SLIPFORM

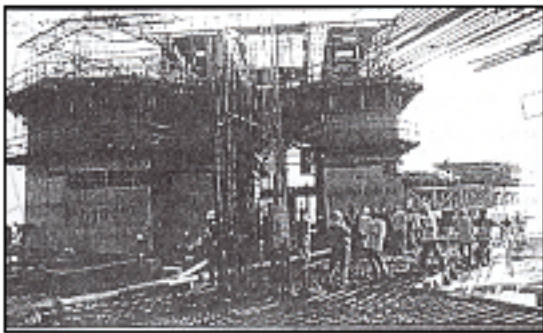
### 5.1) ลักษณะของ SLIPFORM

ระบบ SLIPFORM (แบบเลื่อน) คือ ระบบการหล่อคอนกรีตชนิดหนึ่ง ที่ใช้แบบเหล็กหรือแบบไม้เป็นแบบหล่อ และสามารถเลื่อนตัวขึ้นไปในแนวตั้งได้ หลังจากคอนกรีตเริ่มมีการก่อตัว (SET) แล้ว โดยใช้ Hydraulic Jack เป็นตัวขับเคลื่อนขึ้นไปเป็นจังหวะอย่างต่อเนื่อง

พร้อมกับการเทคอนกรีตและผูกเหล็กเสริมไปพร้อมกัน ในอัตราความเร็ว 30 cm. ต่อ 1 ชั่วโมง โดยประมาณ

นอกจากนี้ลักษณะของระบบ SLIPFORM ยังมีสิ่งที่น่าสนใจ ดังต่อไปนี้คือ

- เป็นแบบหล่อที่เหมาะสมกับการก่อสร้างโครงสร้างเฉพาะแต่ละประเภท ที่มีขนาดและรูปร่างค่อนข้างแน่นอน
- ใช้งานซ้ำแล้วซ้ำอีกได้ ก่อสร้างได้รวดเร็ว ค่าลงทุนเริ่มแรกสูง แต่เมื่อคิดรวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดจะทำให้ประหยัดได้มาก
- เป็นเทคนิคการก่อสร้างวิธีการหนึ่งที่ใช้เวลาน้อยกว่าวิธีการอื่นมาก
- เป็นวิธีการเทและการเขย่าคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง โดยใช้คอนกรีตที่มีความสามารถเทได้ค่อนข้างต่ำ ซึ่งต้องมีการควบคุมคุณสมบัติคอนกรีตอย่างดี
- นิยมใช้กับโครงสร้างที่มีหน้าตัดแบบเดียวกันตลอดความสูงหรือความยาวมาก ๆ
- โดยทั่วไปจะมีการเคลื่อนตัวของแบบหล่อสองผิว แต่แบบเฉพาะบางโครงสร้าง มีการเลื่อนเพียงผิวเดียว เช่น เสาตอม่อสะพาน เป็นต้น
- มีทั้งชนิดเลื่อนแนวตั้ง และชนิดเลื่อนแนวราบ
- SLIPFORM ในแนวตั้ง จะเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ รอให้คอนกรีตมีกำลังเพียงพอ เพื่อรองรับคอนกรีตใหม่ที่เทลงอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 1 สภาพการทำงานของหน่วยงานที่ใช้แบบหล่อ SLIPFORM

- SLIPFORM แนวตั้ง นิยมใช้ในการก่อสร้าง เช่น ปล่องลิฟท์ ไซโล ตอม่อ สะพานสูง ๆ ปล่องไฟ หอคอย ถังน้ำ เปลือกนอกของอาคาร เป็นต้น

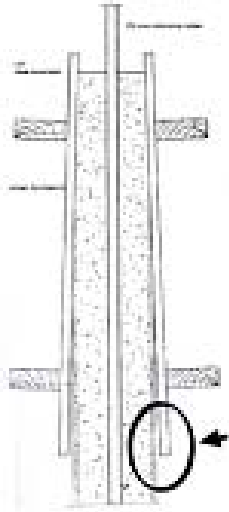


รูปที่ 2 ตัวอย่างการใช้ SLIPFORM สำหรับงานก่อสร้างเปลือกด้านนอกของอาคาร

- ขนาดและความหนาของโครงสร้างมักจะคงที่หรือเปลี่ยนแปลงเฉพาะความหนา แต่ก็จะมีบางแบบเลื่อนที่มีหน้าตัดเปลี่ยน เช่น หอคอยสูง ๆ ปล่องไฟ เป็นต้น

#### แผ่นผิวแบบหล่อ (Formwork panels)

- แผ่นผิวไม้ มีน้ำหนักเบากว่า แต่มีอายุการใช้งานน้อยกว่า ปัจจุบันมีการเคลือบผิว ทำให้มีความทนทานมากขึ้น
- แผ่นผิวเหล็ก ให้ความเรียบและอัตราการใช้ซ้ำสูง ป้องกันความเสียหายจากเครื่องจักรใหม่ได้
- ความสูงแบบโดยทั่วไป อยู่ระหว่าง 1.00 – 1.50 ม. ความสูงประมาณ 1.20 ม. เป็นที่นิยมมากที่สุด
- แผ่นผิวแบบหล่อไม่ได้ตั้งตามผิวคอนกรีตของโครงสร้าง แต่จะมีความลาดเอียงเล็กน้อย โดยที่ขอบล่างของแผ่นผิวจะกว้างกว่าขอบบนประมาณ 6 มม. หรือใช้ความลาดเอียงประมาณ 1 : 400 ทั้งนี้เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างเนื้อคอนกรีตกับแบบหล่อในขณะเคลื่อนขึ้น



รูปที่ 3 รูปหน้าตัดของแผ่นผิวแบบหล่อ

### 5.2) ขั้นตอนการทำงานของ SLIPFORM

การทำงานและการควบคุมการก่อสร้างด้วยแบบเลื่อนในแนวตั้ง มีขั้นตอนดังนี้

- การประกอบและติดตั้งแบบพร้อมอุปกรณ์
- การควบคุมการขับเคลื่อน
- การควบคุมคุณภาพคอนกรีต
- การลำเลียง การเท และการเขย่าคอนกรีต
- การเจาะช่องเปิดและการฝังเดือย
- การปรับความหนาของหน้าตัด
- การถอดแบบ

ในที่นี้จะเน้นที่ขั้นตอนการควบคุมคุณภาพคอนกรีต และขั้นตอนการลำเลียง การเท และการเขย่าคอนกรีต ซึ่งจะกล่าวต่อไป

#### ข้อดีของ SLIPFORM

เป็นการหล่อคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง ไม่มีรอยต่อ ผิวคอนกรีตมีคุณภาพสูง ก่อสร้างได้รวดเร็ว ประหยัดค่าแรงในระยะยาว ประหยัดวัสดุแบบหล่อ โครงสร้างมีความสวยงาม

- ประหยัดเวลาในการก่อสร้าง : สามารถลดเวลาในการก่อสร้างลงมาได้ประมาณ 3 วัน ต่อ 1 ชั้นของอาคาร

- ประหยัดค่าใช้จ่าย : สามารถลดแรงงานและค่าดอกเบี้ย อันเป็นผลมาจากการสร้างอาคารเสร็จเร็วขึ้น
- ลดรอยต่อของกำแพง : สามารถเทคอนกรีตได้อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะงานประเภทไซโล แทงค์น้ำ หรืองานอาคารที่มีความสูงต่อชั้นมากกว่าปกติ
- ใช้ได้ทุกรูปแบบ : SLIPFORM สามารถใช้ได้กับทุกรูปแบบ เช่น งานอาคาร ไซโล แทงค์น้ำ ช่องลิฟท์ เป็นต้น แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นกับข้อกำหนดในการใช้ SLIPFORM อันได้แก่
  1. ควรเป็นกำแพงรับแรงที่ต่อเนื่อง และมีช่องเปิดต่าง ๆ ไม่ควรเกิน 50 % ของเนื้อที่ของกำแพง
  2. ต้องเป็นกำแพงที่มีขนาดความหนาไม่น้อยกว่า 15 cm. และมีเหล็กเสริมรับแรง
  3. ควรมีความสูงไม่น้อยกว่า 10 ชั้นขึ้นไป

#### ข้อเสียของ SLIPFORM

จำเป็นต้องมีการจัดการหน่วยงานก่อสร้าง และมีความร่วมมือกันที่ดี ใช้เครื่องมือจำนวนมาก คนงานควรคุ้นเคยกับวิธีการและเครื่องมือ ต้องทำงานอย่างต่อเนื่อง แม้ในสภาพอากาศไม่เหมาะสม ค่าใช้จ่ายช่วงต้นสูง จำเป็นต้องมีสิ่งอำนวยความสะดวกตลอด 24 ชม. (เช่น ทีมซ่อมบำรุง วัสดุต่าง ๆ) จำเป็นต้องมีการติดต่อสื่อสารที่ดี

### 6. คุณสมบัติที่เหมาะสมกับการทำงานของ SLIPFORM

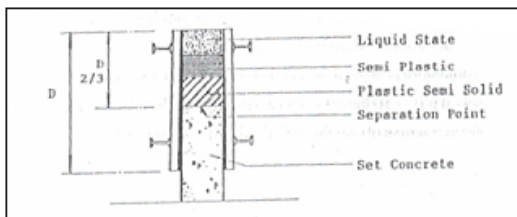
คุณสมบัติของคอนกรีตเพื่อใช้งาน SLIPFORM ควรอยู่ภายใต้ข้อกำหนดดังนี้

- ขนาดของหินไม่เล็กกว่า 1/2" และไม่โตกว่า 1"
- Slump ไม่มากกว่า 10 ซม. วัดที่จุดเทลงแบบ
- Unit Weight ของคอนกรีต ไม่ควรน้อยกว่า 2,320 kg / m<sup>3</sup>

- $f_c'$  ต้องไม่น้อยกว่า 3,000 psi (211 ksc.)
- W/B ไม่มากกว่า 0.53
- Cementitious ไม่น้อยกว่า 332 kg/m<sup>3</sup> (สำหรับหิน 1") และ 374 kg/m<sup>3</sup> (สำหรับหิน 1/2")  
(มาจากข้อมูลของผู้ผลิต SLIPFORM)

ระยะเวลาที่เหมาะสมจากช่วงการผสมจนถึงการเทลงในแบบไม่ควรเกิน 1/2 ชั่วโมง ถ้าหากการจัดส่งคอนกรีตไปยังแบบทำได้ล่าช้า จะเป็นเหตุให้การเคลื่อนตัวของแบบล่าช้าตามไปด้วย การใช้ RETARDER เพื่อการชะลอการเซตตัวเป็นวิธีการหนึ่งที่เหมาะสมและสมควรที่จะนำมาใช้ รวมทั้งการเซตตัวตามปกติไม่ควรเร็วกว่า 2 1/2 ชั่วโมง

การเทคอนกรีตลงในแบบอาจกระทำได้ด้วยการเทคอนกรีตลงบนพื้นของอุปกรณ์ SLIPFORM ช่าง ๆ แบบก่อน แล้วค่อยเกลี่ยด้วยพลั่วลงไปแบบ ไม้ แนะนำให้ดำเนินการเทคอนกรีตลงในแบบโดยตรง แต่ถ้าจำเป็นก็อาจทำได้ อย่างไรก็ตามจะต้องรักษาระดับความสูงของการเทคอนกรีตโดยเฉลี่ยแต่ละชั้นให้ได้ชั้นละ 15 cm. เนื้อคอนกรีตจะต้องได้รับการเขย่าที่ถูกต้อง แต่ควรระวังเวลาที่จี้หัวเขย่าคอนกรีตลงไปต้องไม่ลึกกว่า 17 cm. เพราะอาจไปกระทบกระเทือนคอนกรีตส่วนที่เริ่มเซตตัวไปแล้วนั่นเอง



รูปที่ 4 ลักษณะของคอนกรีตในแบบหล่อ

#### การควบคุมคุณภาพคอนกรีตสำหรับงาน SLIPFORM

- คอนกรีตมีระยะเวลาการก่อตัวและกำลังอัดที่สอดคล้องกับอัตราการขับเคลื่อนแบบหล่อ
- ให้ผิวปรากฏที่สวยงาม ทั้งสีและความเรียบของผิว

- การออกแบบส่วนผสม ควรมีการตรวจสอบคุณสมบัติความชื้นเหลว เวลาการก่อตัว และกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุต่าง ๆ รวมถึงความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศ
- การแต่งผิวและการซ่อมแซมส่วนที่มีตำหนิ ควรทำทันทีที่แบบเคลื่อนผ่านไปใหม่ ๆ

#### การลำเลียง การเท และการเขย่าคอนกรีต

- เทคอนกรีตให้สม่ำเสมอตลอดทั้งหน้าตัด โดยเทเป็น Layer
- อัตราการเท ควรสอดคล้องกับอัตราการลำเลียง และอัตราการขับเคลื่อนแบบ
- การจี้เขย่า มีผลต่อแรงเสียดสีระหว่างแบบหล่อและเนื้อคอนกรีต จึงต้องควบคุมระยะห่าง ความลึก และเวลาการจี้เขย่าให้เท่า ๆ กัน
- ถ้ามีอุปสรรคทำให้ต้องยืดหรือร่นเวลาการทำงาน อาจต้องปรับส่วนผสมให้มีการก่อตัวสอดคล้องกัน โดยเฉพาะการปรับอัตราการใช้หรือชนิดของน้ำยาผสมคอนกรีต

#### ตัวอย่างของปัญหาการใช้งานคอนกรีต

จากปัญหาคอนกรีตที่ใช้งาน SLIPFORM ของโครงการก่อสร้างอาคารประสานมิตรธานี ศูนย์สุขุมวิท มีความเสียหายดังนี้คือ

- ผิวคอนกรีตมีโพรง , ขรุขระไม่เรียบ และหลุดร่อนออกมาก อันมีสาเหตุเนื่องจากการใช้คอนกรีตทั่วไปที่มีรหัสสินค้า ZBDM40A000 มาใช้ในงาน SLIPFORM ซึ่งคอนกรีตดังกล่าวมีส่วนผสมของน้ำยาผสมคอนกรีต Type D (น้ำยาลดน้ำและหน่วงการก่อตัว) ปริมาณ 4 เท่าของปริมาณ ซีเมนต์ จึงส่งผลให้การ Set ตัวของคอนกรีตช้า เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับใช้งาน SLIPFORM ซึ่งควรมีการใช้ปริมาณน้ำยา Type D ประมาณ 2 เท่าของปริมาณซีเมนต์ อีกทั้งการทำงานของหน้างานมีการเลื่อนแบบ (SLIP) เร็วเกินไป



รูปที่ 5 , 6 โครงการก่อสร้างอาคารประสานมิตรธานี  
ซึ่งมีการใช้งาน SLIPFORM สำหรับโครงสร้างปล่อง  
ลิฟท์



รูปที่ 7 สภาพความเสียหายของผิวคอนกรีตของโครง  
สร้างปล่องลิฟท์ที่ใช้ SLIPFORM ของอาคารประสาน  
มิตรธานี

จากการสำรวจข้อมูลจากบริษัท SLIPFORM ผู้ศึกษา  
สามารถสรุปคุณสมบัติหลักที่สำคัญสำหรับงาน  
SLIPFORM ได้ 3 ประการ ดังนี้

1. ความสามารถเทได้ (Workability) จากการทดสอบค่าการยุบตัว (Slump Test) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 143
2. เวลาการก่อตัว (Setting Time) โดยพิจารณาทั้ง Stiffening และ Initial Setting Time เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 403 โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่แตกต่างกัน
3. กำลังอัด (Compressive Strength) เป็นไปตามมาตรฐาน BS 1881 : Part 116

ดังนั้นผู้ศึกษาจะพัฒนาการออกแบบคอนกรีตสำหรับงาน SLIPFORM ให้ได้คุณสมบัติหลัก 3 ประการนี้ตรงตามที่คุณสมบัติหลัก SLIPFORM ต้องการ โดยคุณสมบัติอื่น ๆ จะควบคุมให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยจะใช้หลักการออกแบบส่วนผสม SLIPFORM CONCRETE ดังนี้

#### หลักการออกแบบส่วนผสม SLIPFORM CONCRETE

- ปัจจัยที่มีผลสำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง , ลักษณะผิวที่ต้องการ , สมรรถนะของปูนซีเมนต์ที่ใช้
- จำเป็นต้องทดสอบก่อนการเริ่มต้นเลื่อนแบบหล่อ เพื่อกำหนดค่ากำลังอัด , ความสามารถเทได้ หรือค่าการยุบตัว และเวลาการก่อตัวเริ่มต้น (Initial setting time) อีกทั้งควรทำการทดสอบเพิ่มเติมตลอดการทำงาน
- ควรมีปริมาณวัสดุละเอียดในส่วนผสมที่สูงเพียงพอ ซึ่งวัสดุละเอียดดังกล่าวได้แก่ ปริมาณปูนซีเมนต์ , วัสดุปอซโซลาน , ทรายส่วนที่ละเอียดกว่า 300 ไมครอน
- การใช้สารผสมเพิ่มในคอนกรีตอาจจำเป็นเพื่อให้คอนกรีตมีสมรรถนะตามต้องการ
- ควรทราบความสัมพันธ์ระหว่างส่วนผสมคอนกรีตกับอุณหภูมิอากาศ เพื่อหาความเร็วของ SLIPFORM ที่เหมาะสม

## 7. การพัฒนาการออกแบบคอนกรีต

### SLIPFORM

### 7.1) การออกแบบ / ทดลองส่วนผสม

ในการทดลองเพื่อพัฒนาการออกแบบ จะเริ่มต้นที่ 4 Mix ดังนี้

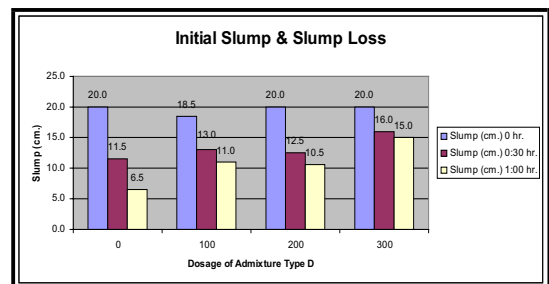
ตารางที่ 1 ส่วนผสมคอนกรีต SLIPFORM ที่ใช้ในการทดลอง

Mix No.	Cement (kg.)	PFA (kg.)	น้ำ (kg.)	ทราย (kg.)	หิน (kg.)	น้ำยา Type D (cc.)	น้ำยา Type F (cc.)	W/B	S/A
1	280	120	160	740	1,100	-	2,520	0.40	0.40
2	280	120	160	740	1,100	280	2,520	0.40	0.40
3	280	120	160	740	1,100	560	2,520	0.40	0.40
4	280	120	160	740	1,100	840	2,520	0.40	0.40

โดยมีแนวคิดในการออกแบบ ดังนี้

- กำหนดปริมาณวัสดุประสานต่ำสุด 400 kg./m<sup>3</sup> เพื่อให้ผิวคอนกรีตเรียบ และมีกำลังอัด ไม่น้อยกว่า 400 ksc.
- ใช้วัสดุปอซโซลาน คือ PFA ในปริมาณ 30% โดยน้ำหนักรวมของวัสดุประสาน
- ใช้น้ำยาผสมคอนกรีต Type D (CPAC 40401 : Daratard P48R) ซึ่งเป็นสารเคมีผสมเพิ่มประเภทลดน้ำและหน่วงการก่อตัว ในปริมาณ 0 , 100 , 200 และ 300 cc./100 kg.cement และ Type F (CPAC 10601 : Mighty MX(CPAC) ) ซึ่งเป็นสารเคมีผสมเพิ่มประเภทลดน้ำอย่างมาก ในปริมาณ 900 cc./100 kg.cement เพื่อช่วยให้คอนกรีตมีคุณสมบัติดีขึ้นทั้งคอนกรีตสด และคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ตามมาตรฐาน ASTM C 494
- กำหนดค่าอัตราส่วนทรายต่อมวลรวม (S/A) โดยน้ำหนักที่เหมาะสมกับการใช้งาน
- กำลังอัดทรงลูกบาศก์ 400 ksc.
- ค่ายุบตัว 15 – 20 cm.

- การทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต ทั้ง Stiffening Time และ Initial Setting Time ที่อุณหภูมิของอากาศ 25 , 35 , 45 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ 60 , 70 , 80 % เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการก่อตัว , อุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ
- Compressive Strength ที่อายุ 1 , 7 และ 28 วัน



รูปที่ 8 ค่า Initial Slump และ Slump Loss ที่อายุ 30 , 60 นาที

จากรูปกราฟข้างต้น จะเห็นได้ว่า Mix 1 ที่ไม่มีการใส่น้ำยา Type D จะมีค่า Slump Loss เร็วมาก โดยหลังจากผสมประมาณ 40 นาที ค่า Slump เหลือ 10 cm. ซึ่งถ้าใช้การลำเลียงคอนกรีตด้วยปั๊มคอนกรีต จะมีเวลาในการทำงานประมาณ 40 นาที

### 7.2) การทดสอบคุณสมบัติ

#### Testing Requirements

- Initial Slump
- Slump Loss ที่ 30 , 60 นาที

นับจากผสมเสร็จ และสำหรับ Mix 2, 3 ที่มีการใส่น้ำยา Type D 100 และ 200 cc./100 kg.cement ตามลำดับ จะมีค่า Slump Loss ซ้ำลง โดยค่า Slump เหลือ 10 cm. ที่อายุคอนกรีตประมาณ 1:15 ชั่วโมง และสำหรับ Mix 4 ที่มีการใส่น้ำยา Type D 400 cc./100 kg.cement มีค่า Slump เหลือ 10 cm. ที่

อายุคอนกรีตประมาณ 2 ชั่วโมง หรือสามารถสรุปได้ดังนี้

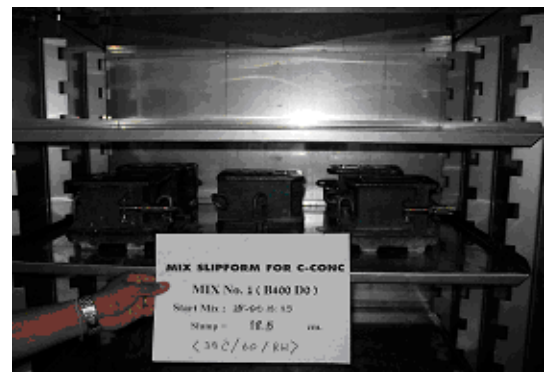
ตารางที่ 2 เวลา นับจากผสมเสร็จที่ Slump ของคอนกรีตเหมาะกับการใช้คอนกรีตปั๊ม

Mix No.	Dosage Type D (cc./100 kg.cement)	เวลา นับจากผสมเสร็จ ที่ Slump = 10 cm.(hr.)
1	0	0:40
2	100	1:15
3	200	1:15
4	300	2:00

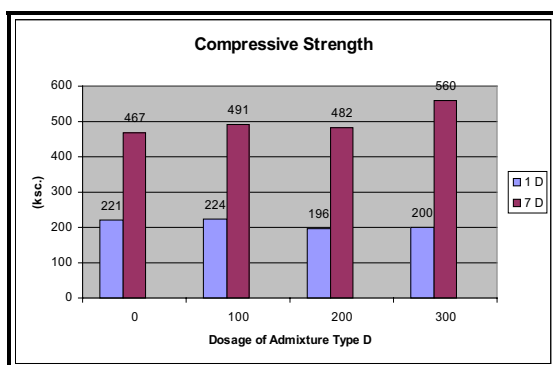


รูปที่ 9 การเก็บก่อนปูนตัวอย่าง เพื่อทดสอบหาค่ากำลังอัดของคอนกรีต

จากกราฟกำลังอัดคอนกรีตที่ได้จากการทดลอง จะเห็นว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ 7 วัน มีค่าได้มากกว่าค่า  $f_c'$  ที่ต้องการคือ 400 ksc.



รูปที่ 11 การทดลองหาค่าการก่อตัวของคอนกรีต ซึ่งทำการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ค่าต่าง ๆ โดยใช้ตู้ Control Temperature & Relative Humidity



รูปที่ 10 ผลกำลังอัดของคอนกรีต SLIPFORM ที่อายุ 1, 7 วัน



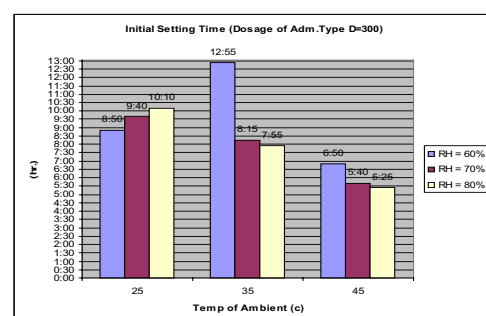
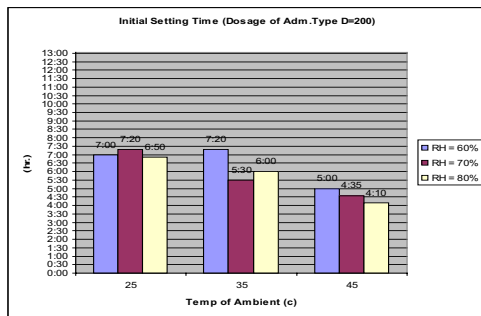
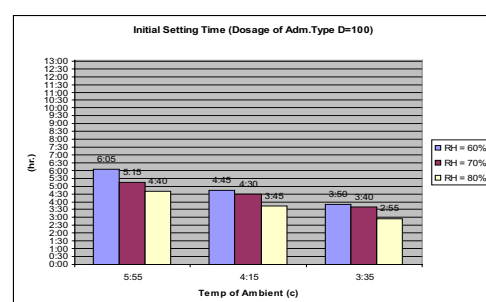
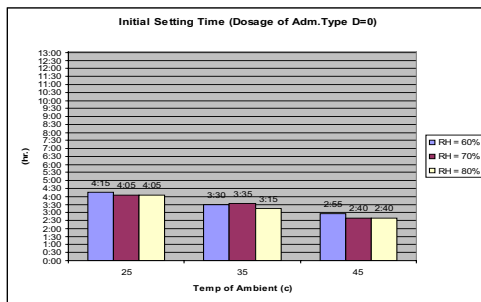
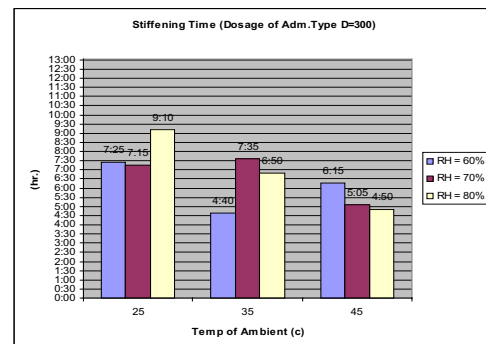
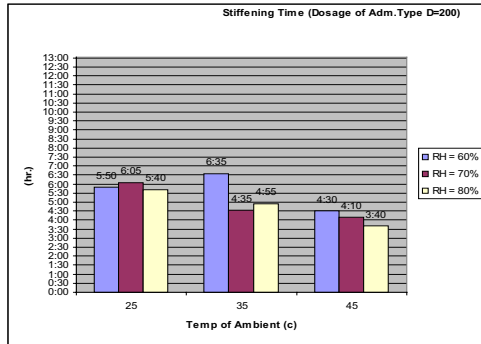
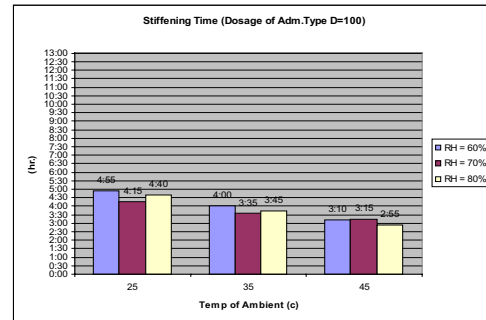
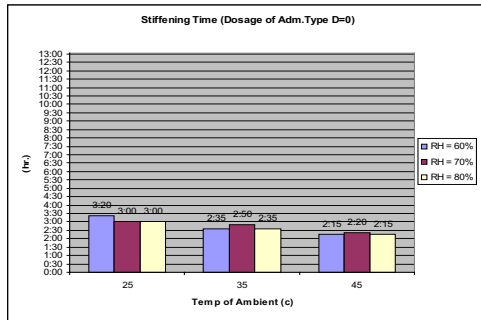


รูปที่ 12 ตัวอย่างสภาพเนื้อคอนกรีตของแต่ละส่วนผสม และการวัดค่า Slump

## 8. การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง พร้อมกำหนดมาตรฐานการออกแบบ

ตารางที่ 3 สรุปผลการทดลอง เพื่อหาค่า Stiffening Time และ Initial Setting Time ณ อุณหภูมิอากาศ 25 , 35 ,45 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 60 , 70 , 80 % ของส่วนผสมที่มีปริมาณน้ำยา Type D 0 , 100 ,200 ,300 cc./100 kg.cement

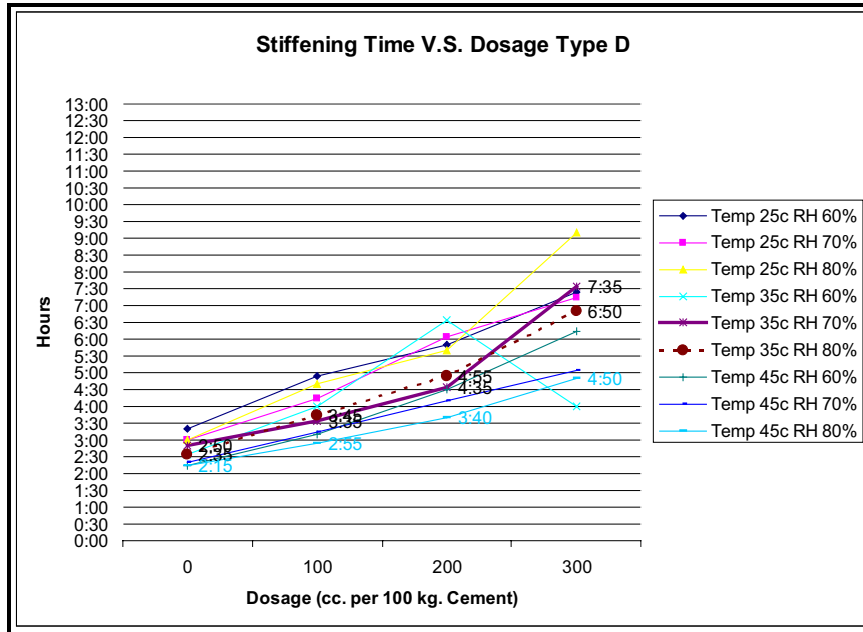
Temp (° C)	%RH	Mix No.	Dosage (cc./100kg.Cement)		Slump (cm.)	Stiffening Time (Hr.)	Initial Setting Time (Hr.)
			Type D	Type F			
25	60	1	0	900	17.0	3:20	4:15
		2	100	900	19.0	4:55	6:05
		3	200	900	17.5	5:50	7:00
		4	300	900	19.0	7:25	8:50
25	70	1	0	900	18.5	3:00	4:05
		2	100	900	18.0	4:15	5:15
		3	200	900	20.0	6:05	7:20
		4	300	900	20.0	7:15	9:40
25	80	1	0	900	16.0	3:00	4:05
		2	100	900	17.0	4:40	5:55
		3	200	900	18.0	5:40	6:50
		4	300	900	18.0	9:10	10:10
35	60	1	0	900	18.5	2:35	3:30
		2	100	900	20.0	4:00	4:45
		3	200	900	18.5	6:35	7:20
		4	300	900	20.5	4:40	12:55
35	70	1	0	900	19.5	2:50	3:35
		2	100	900	20.0	3:35	4:30
		3	200	900	19.0	4:35	5:30
		4	300	900	20.0	7:35	8:15
35	80	1	0	900	16.5	2:35	3:15
		2	100	900	15.5	3:45	4:15
		3	200	900	16.0	4:55	6:00
		4	300	900	15.0	6:50	7:55
45	60	1	0	900	20.0	2:15	2:55
		2	100	900	18.5	3:10	3:50
		3	200	900	20.0	4:30	5:00
		4	300	900	20.0	6:15	6:50
45	70	1	0	900	17.0	2:20	2:40
		2	100	900	19.0	3:15	3:40
		3	200	900	19.0	4:10	4:35
		4	300	900	19.5	5:05	5:40
45	80	1	0	900	15.0	2:15	2:40
		2	100	900	17.0	2:55	3:35
		3	200	900	18.0	3:40	4:10
		4	300	900	17.0	4:50	5:25



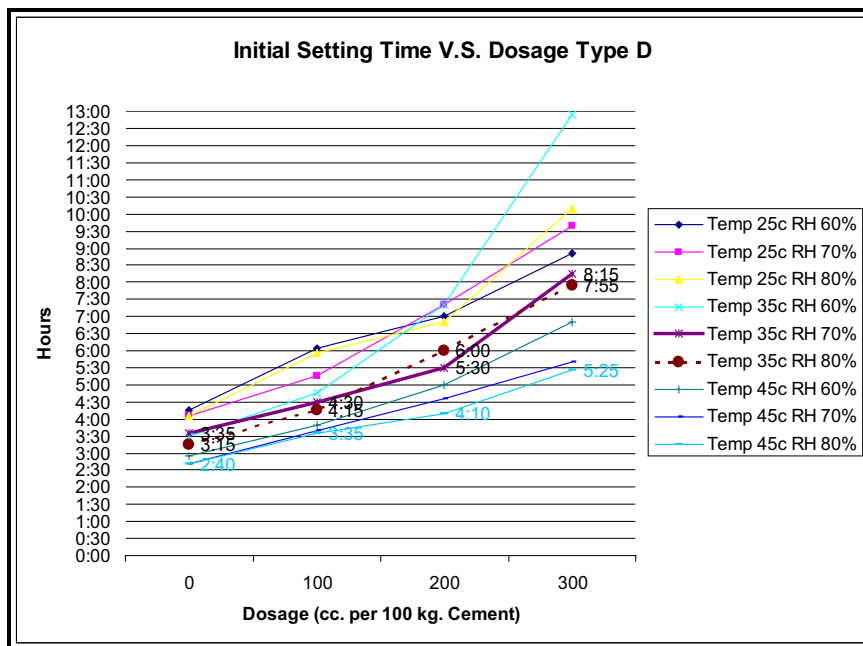
รูปที่ 13 ค่า S.T และ I.T ของคอนกรีตที่ใช้ปริมาณน้ำยาต่าง ๆ กัน ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ

จากรูปกราฟข้างต้น จะเห็นได้ว่า ค่าความชื้นของอากาศที่สูงขึ้น มีผลให้การก่อตัวของคอนกรีตเร็วขึ้น สำหรับคอนกรีตที่มีปริมาณน้ำยา Type D สูง แต่ในปริมาณน้ำยา Type D น้อย

จะทำให้การก่อตัวของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงไปไม่มากนัก



รูปที่ 14 ค่า Stiffening Time ที่อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่าง ๆ



รูปที่ 15 ค่า Initial Setting Time ที่อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่าง ๆ

จากรูปกราฟข้างต้น

- สามารถนำมา Predict เวลาการก่อตัวของคอนกรีต ที่มีการใช้ปริมาณน้ำยาแตกต่างกัน เพื่อใช้ในการ Slip แบบหล่อ
- สามารถใช้ในการปรับปริมาณน้ำยาผสมคอนกรีต Type D เพื่อให้เหมาะสม

กับสภาพการทำงานที่หน้างาน ทั้งในประเด็นของอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และเวลาที่จะใช้ในการ Slip แบบหล่อ

โดยสามารถสรุปผลการใช้ปริมาณน้ำยา Type D ที่เหมาะสมสำหรับการ SLIP ที่เวลาต่างๆ ได้ดังนี้

ตารางที่ 4 ปริมาณน้ำยา Type D (CC/100 kg.cement) ที่เหมาะสมสำหรับการ SLIP แบบหล่อ

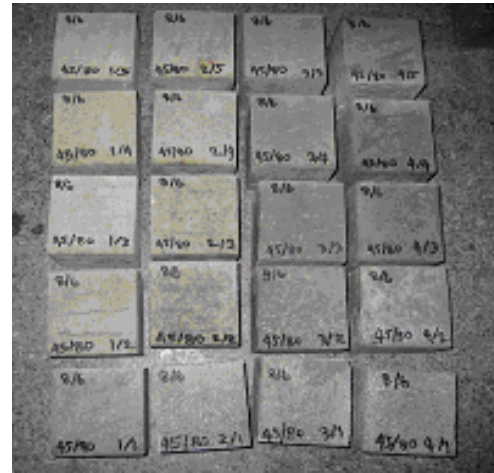
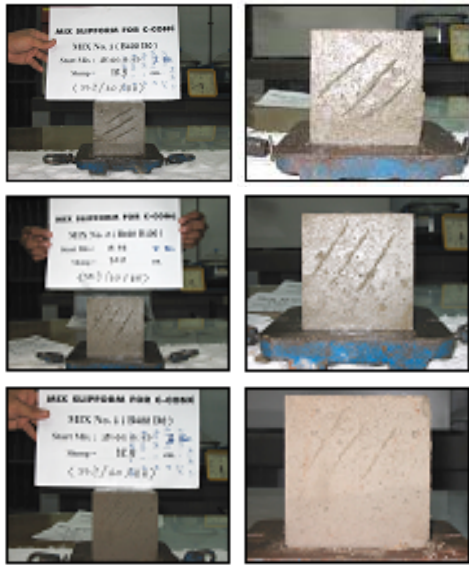
I.T. (Hr.)	Temp. 25 °C								
	RH 60%			RH 70%			RH 80%		
	Dosage Type D	S.T. (Hr.)		Dosage Type D	S.T. (Hr.)		Dosage Type D	S.T. (Hr.)	
3									
4	(Initial ST.=4:15) 0	3:20	OK.	0	3:00	OK.	0	3:00	OK.
5	45	4:00	OK.	80	4:00	OK.	55	3:50	OK.

I.T. (Hr.)	Temp. 35 °C								
	RH 60%			RH 70%			RH 80%		
	Dosage Type D	S.T. (Hr.)		Dosage Type D	S.T. (Hr.)		Dosage Type D	S.T. (Hr.)	
3									
4	40	3:05	OK.	45	3:10	OK.	80	3:30	OK.
5	110	4:15	OK.	150	4:05	OK.	145	4:20	OK.

I.T. (Hr.)	Temp. 45 °C								
	RH 60%			RH 70%			RH 80%		
	Dosage Type D	S.T. (Hr.)		Dosage Type D	S.T. (Hr.)		Dosage Type D	S.T. (Hr.)	
3	10	2:20	OK.	35	2:35	OK.	40	2:30	OK.
4	115	3:20	OK.	140	3:35	OK.	170	3:25	OK.
5	200	4:30	OK.	240	4:30	OK.	265	4:25	OK.

โดยค่า Initial Setting Time เป็นเวลาที่เหมาะ  
สำหรับการเลื่อนแบบหล่อ และค่า Stiffening  
Time เป็นเวลาที่ค่า Slump= 0 cm.

อีกทั้งพิจารณาลักษณะผิวคอนกรีตที่เวลาที่เลื่อน  
แบบ พบว่าไม่มีการหลุดร่อนและเรียบ



รูปที่ 16 , 17 , 18 ลักษณะของผิวคอนกรีตที่เวลา 2 , 3 , 4 , 5 , 6 ชั่วโมง สำหรับคอนกรีตที่มีปริมาณน้ำยา Type D ต่าง ๆ กัน ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่างกัน



รูปที่ 19 ลักษณะของผิวคอนกรีตที่หลุดร่อนจากการใช้ปริมาณน้ำยามากเกินไป

## 9. แผนงานในอนาคต

- ติดตามผลการออกแบบคอนกรีต SLIPFORM และการใช้งานจริง
- ร่วมมือกับส่วนการตลาดและขายผลิตภัณฑ์คอนกรีต SLIPFORM และกำหนดให้เป็นคอนกรีตพิเศษซีแพคต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ตามวัตถุประสงค์ได้ด้วยความช่วยเหลือจากกลุ่มบุคคลดังนี้ คือ คุณณฤชา เกษมสำราญ หน่วยงาน คอนกรีตเทคโนโลยี ที่เป็นที่ปรึกษา และให้คำแนะนำการดำเนินการโครงการนี้ และพนักงานในหน่วยงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ ในความช่วยเหลือในการทำการทดสอบ และข้อมูลทางเทคนิค และ คุณธราดล สุธีร์ภัทร์ บริษัท THAI SHIMIZU ที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินการ

## เอกสารอ้างอิง

- ส่วนคอนกรีตเทคโนโลยี, “เอกสารประกอบหลักสูตรการฝึกอบรมคอนกรีตเทคโนโลยีแบบบูรณาการสำหรับวิศวกร เรื่อง การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต , คอนกรีตสดและอายุเริ่มต้น ,การเทคอนกรีตที่ใช้เทคนิคพิเศษ ” , 2545
- บริษัท SLIPFORMER จำกัด, “เอกสารระบบการทำงานของ SLIPFORM ” , 2547
- กรมอุตุนิยมวิทยา, “ข้อมูลอุณหภูมิตั้งแต่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล” , 2547