

## การใช้โมเดลและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการกำหนด ส่วนผสมและวิธีการก่อสร้างคอนกรีตหลาเพื่อป้องกัน การแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิ

พงษ์ศักดิ์ โชคทวีกาญจน์

สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร (SIIT) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศ.ดร. สมนึก ตั้งเต็มสิริกุล

ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา (CONTEC)

สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร (SIIT) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

### 1. ที่มาของปัญหาการแตกร้าวในคอนกรีตหลา

ใน การก่อสร้างระบบสาธารณูปโภคที่สำคัญต่าง ๆ ของประเทศ เช่น เขื่อน, ทางด่วน และอาคารสูง ที่มีโครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่ หรือคอนกรีตหลา (Mass Concrete) ซึ่งมีการเทคอนกรีตจำนวนมาก ๆ ในระยะเวลาที่จำกัด มักพบปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิของคอนกรีต ซึ่งการแตกร้าวนี้ก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้าง และเป็นเหตุให้อายุการใช้งานของโครงสร้างลง

ความร้อนที่เกิดขึ้นในคอนกรีตเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างวัสดุประสานกับน้ำ เนื่องจากคอนกรีตมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำ ความร้อนที่เกิดขึ้นจึงถูกสะสมไว้ด้านในของคอนกรีต และไม่สามารถถ่ายเทสู่สิ่งแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว โดยบริเวณภายในจะมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณผิวของคอนกรีต เนื่องจากความร้อนบริเวณผิวสามารถถ่ายเทสู่สิ่งแวดล้อมได้ อุณหภูมิที่ไม่เท่ากันนี้ทำให้เกิดการขยายตัวที่ไม่เท่ากันระหว่างบริเวณภายใน และบริเวณผิวของคอนกรีต เมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัว การขยายตัวที่ไม่เท่ากันนี้จะทำให้เกิดการยัดรีง โดยบริเวณภายในคอนกรีตจะถูกยัดรีงโดยแรงอัด และบริเวณผิวของคอนกรีตจะถูกยัดรีงโดยแรงดึง ถ้าความเค้นเนื่องจากการยัดรีงจากแรงดึง มากกว่าความสามารถในการรับความเค้นเนื่องจากแรงดึง (Tensile strain capacity, TSC) คอนกรีตจะแตกร้าวได้

การ ป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีตในโครงสร้างขนาดใหญ่สามารถกระทำได้หลายวิธี โดยอาจจะพิจารณาเลือกใช้แต่ละวิธี หรือหลาย ๆ วิธีประกอบกัน ดังนี้

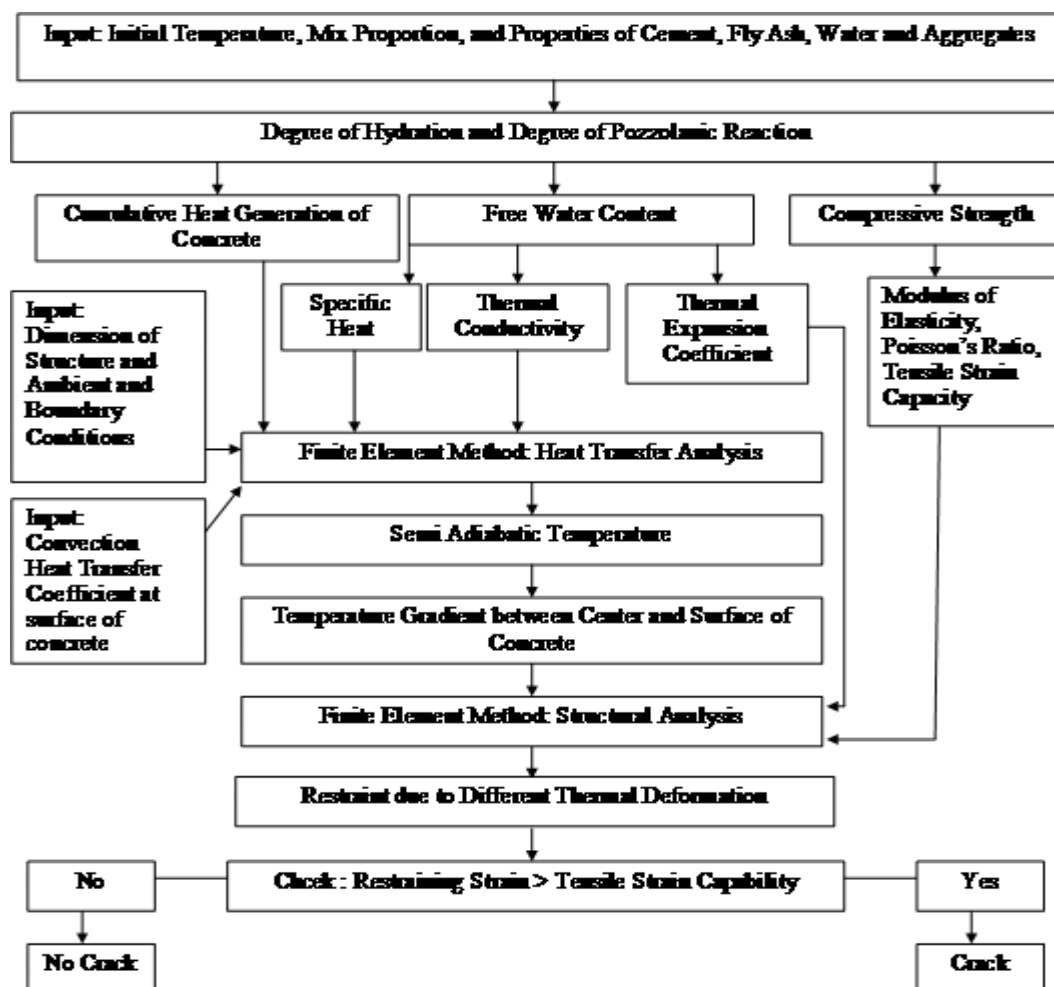
1. ออกแบบโครงสร้างของคอนกรีตที่จะเทให้เหมาะสม และใส่เหล็กเสริม (Temperature steel) ในบริเวณที่มีความเสี่ยงสูง เพื่อช่วยรับแรงดึงที่จะเกิดขึ้น และควบคุมความกว้างของรอยแตกร้าวให้อยู่ในค่าที่ยอมรับได้

2. ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตให้เหมาะสม โดยใช้คอนกรีตความร้อนต่ำที่สุด (Low heat concrete) ลดปริมาณปูนซีเมนต์ให้ต่ำที่สุด และใช้วัสดุทดแทนซีเมนต์ เช่น ถ้ำลอย ผงฝุ่นหิน เป็นต้น

3. ออกแบบวิธีการก่อสร้างให้เหมาะสม โดยต้องพิจารณาตั้งแต่ขั้นเทคอนกรีตจนถึงการบ่มคอนกรีต โดยอาจจะเลือกแบ่งเทเป็นชั้นบาง ๆ หรือแบ่งเทเป็นบล็อก และอาจจะพิจารณาใช้วิธีการบ่มโดยฉนวน (Insulation curing) ร่วมด้วย

ในปัจจุบันได้มีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยออกแบบส่วนผสมคอนกรีต เลือกชนิดของวัสดุผสมคอนกรีต ตลอดจนออกแบบขั้นตอน และวิธีการก่อสร้างให้เหมาะสมกับงานคอนกรีตหนา [1-5] โดยมีขั้นตอน และวิธีการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 1 การวิเคราะห์เริ่มจากนำส่วนผสมที่คาดว่าจะใช้เทมาทำการคำนวณหาปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ และปฏิกิริยาปอซโซลานิกของวัสดุปอซโซลาน (ในที่นี้ได้แก่

แต่โดย) ทำการคำนวณคุณสมบัติทางความร้อน อันได้แก่ ค่าความร้อนจำเพาะ คำนำนนำความร้อน และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน และทำการคำนวณคุณสมบัติทางกล อันได้แก่ ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น และค่าความสามารถในการรับความเค้นจากแรงดึง (Tensile strain capacity, TSC) ของคอนกรีต ซึ่งคุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้จะถูกป้อนเข้าสู่โปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์(FEM) เนื่อง จากพฤติกรรมของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงตามส่วนผสม, ชนิดของวัสดุที่ใช้ผลิตคอนกรีต และเปลี่ยนแปลงตามอายุของคอนกรีต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงอายุต้น ๆ ดังนั้น คุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้จะต้องแปรผันตามเวลา, ส่วนผสมของคอนกรีต และชนิดของวัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีตด้วย



รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ เพื่อป้องกันการแตกร้าวในคอนกรีตหลา

โปรแกรม FEM จะแบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

1. การคำนวณการเคลื่อนที่ของความร้อน (Heat transfer analysis) ใน ขั้นตอนนี้โปรแกรมจะทำการคำนวณอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของคอนกรีตหลา และผลของอุณหภูมิที่ได้ในขั้นตอนนี้จะถูกป้อนเข้าสู่การวิเคราะห์ในขั้นตอน ต่อไป
2. การวิเคราะห์ทางโครงสร้าง (Structural analysis) ใน ขั้นตอนนี้โปรแกรมจะคำนวณการขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิที่แตกต่างกัน รวมถึงความเครียด และความเค้นเนื่องจากการยึดรั้งในแต่ละจุดของโครงสร้าง

ผลของความเค้นจากแรงดึงที่ได้จากโปรแกรมจะถูกนำมาประเมินโอกาสในการแตกร้าว โดยจะนำมาเปรียบเทียบกับค่า TSC ของคอนกรีต ถ้าการยึดรั้งจากแรงดึงมากกว่า TSC ของคอนกรีต แสดงว่าคอนกรีตมีโอกาสที่จะเกิดการแตกร้าวขึ้นได้

## 2. ตัวอย่างการวิเคราะห์การแตกร้าวในคอนกรีตหลา

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นมานี้ได้ถูกนำไปใช้ประเมินการแตกร้าวที่เกิดขึ้นจริงในฐานราก ฐานรากที่มีการแตกร้าวมีขนาด 14 x 63 x 2.8 เมตร มีการแบ่งเทเป็น 2 ชั้น โดยในแต่ละชั้นมีความหนา 1.4 เมตร คอนกรีตจะถูกบ่มโดยใช้วิธีการบ่มแบบจนวนเป็นเวลา 4.6 วัน จากข้อมูลที่ได้จากวิศวกรผู้ควบคุมงานพบว่า มีรอยร้าวในชั้นที่ 1 โดยพบรอยร้าวในขณะที่ทำการถอดจนวนออก ลักษณะของรอยร้าวแสดงในรูปที่ 2 สาเหตุของการแตกร้าวนี้เนื่องจากผู้ออกแบบได้ออกแบบให้ฐานรากต้องการกำลังอัดที่สูงที่อายุ 28 วัน เป็นเหตุให้ต้องใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่สูง ทำให้เกิดความร้อนสูง และนำไปสู่การแตกร้าว อีกสาเหตุหนึ่งเกิดจากการไม่ใส่เหล็กเสริมเพื่อควบคุมรอยร้าวบริเวณผิวบนของ คอนกรีตที่เทในชั้นที่ 1

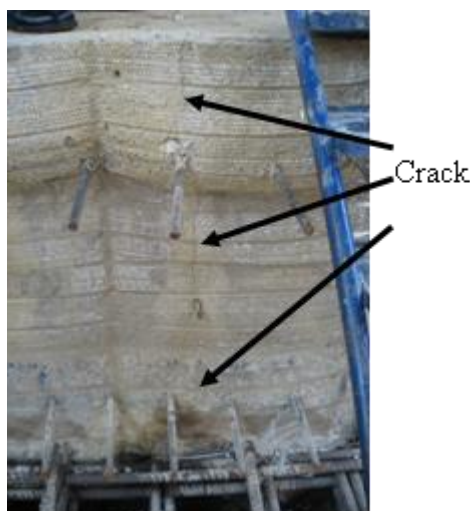
ใน โครงการนี้ได้มีการวัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในฐานราก ณ บริเวณกึ่งกลางฐานราก โดยวัดที่ 3 ความลึกอันได้แก่ 0.2 เมตร จากผิวด้านบน และด้านล่าง และ 0.7 เมตร จากผิวด้านบน รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลของอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณ กับผลที่ได้จากการวัด จากกราฟพบว่า เราสามารถทำนายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง การลดลงของอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณ ณ ตำแหน่ง 0.2 เมตร จากผิวด้านบนภายหลังจาก 4.6 วัน เกิดจาก



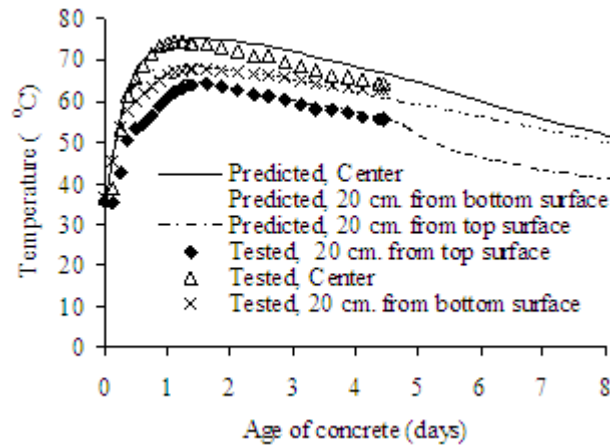
การถอดฉนวนที่ใช้ในการบ่ม ทำให้ความร้อนที่ผิวด้านบนถ่ายเทออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ดีขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิที่ผิวด้านบนจึงลดลงอย่างรวดเร็ว

รูปที่ 4 แสดงผลการยี่ดุ้งที่เกิดขึ้น ณ บริเวณผิวด้านบน, กึ่งกลางความลึก และผิวด้านล่าง ผลที่ได้จากการคำนวณพบว่าบริเวณผิวด้านบนและด้านล่างมีการยี่ดุ้งโดยแรงดึง และบริเวณกึ่งกลางมีการยี่ดุ้งโดยแรงอัด และบริเวณผิวด้านบนมีความเค้นเนื่องจากแรงดึงเกิดขึ้นสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ TSC ของ คอนกรีต พบว่าจากการวิเคราะห์สามารถประเมินการแตกร้าวได้อย่างถูกต้องโดยประเมินว่า ฐานรากชั้นที่ 1 จะเกิดการแตกร้าวตั้งแต่ก่อนถอดฉนวนที่ใช้ในการบ่ม และความรุนแรงของการแตกร้าวเพิ่มขึ้นหลังจากการเลิกบ่ม ดังนั้นจากรูปที่ 3 และ 4 สรุปได้ว่าการวิเคราะห์โดยใช้โมเดล และ โปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถทำนายอุณหภูมิ และ โอกาสของการแตกร้าวที่เกิดขึ้นในคอนกรีตหลาได้อย่างถูกต้อง

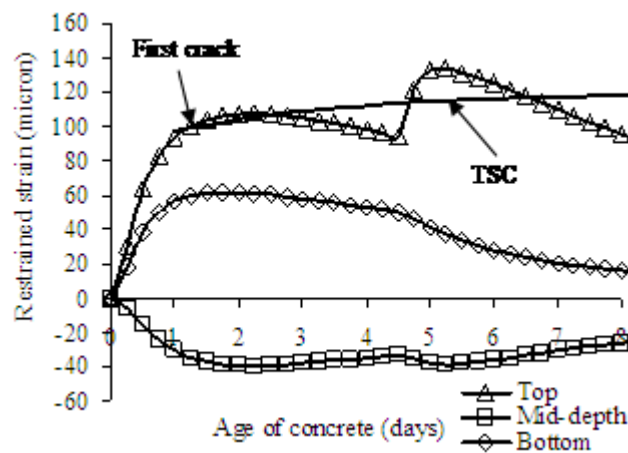
การ แตกร้าวในลักษณะนี้จะไม่เกิดขึ้นถ้าผู้ออกแบบได้ทำการวิเคราะห์ และทำการป้องกันไว้ก่อน โดยการวิเคราะห์ด้วยโมเดลและ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ส่วนผสมคอนกรีต วิธีการก่อสร้าง วิธีการและระยะเวลาในการบ่มที่เหมาะสม ตลอดจนต้องเพิ่มเหล็กเสริมในบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงเพื่อควบคุมความกว้าง ของรอยร้าว



รูปที่ 2 รอยร้าวบริเวณด้านข้างของฐานราก



รูปที่ 3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลของอุณหภูมิที่ได้จากการวัด และผลที่ได้จากการคำนวณ



รูปที่ 4 กราฟแสดงผลการคำนวณความเค้นจากการยึดรั้งในคอนกรีตหลา

### 3. ตัวอย่างฐานรากที่ใช้คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ในการวิเคราะห์ และป้องกันการแตกร้าว

ในปัจจุบันได้มีการใช้โมเดลและคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ช่วยในการออกแบบการก่อสร้าง รวมถึงคำนวณหาส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการเทฐานราก ในบทความนี้ขอ ยกตัวอย่างฐานรากของอาคารสูงแห่งหนึ่ง ปริมาตรคอนกรีตที่ใช้เทฐานราก

# วารสารคอนกรีต TCA e-magazine



ประมาณ 12,000 ลบ. ม. แบ่งการเทคอนกรีตออกเป็น 7 ครั้ง โดยแบ่งการเทเป็น 7 บล็อก โดยเริ่มเทจาก V1 ถึง V7 ดัง แสดงในรูปที่ 5 ปริมาตรการเทสูงสุดต่อ 1 บล็อก ประมาณ 2400 ลบ. ม. และมีความหนามากที่สุดเท่ากับ 3.85 เมตร รายละเอียดของการวิเคราะห์แสดงอยู่ในบทความซึ่งตีพิมพ์ในเอกสารการประชุม คอนกรีตแห่งชาติครั้งที่ 4 [5]

จาก การวิเคราะห์ทำให้ได้ส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสม กล่าวคือได้มีการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมคอนกรีต โดยทำการลดปริมาณวัสดุประสาน และเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ ด้วยเถ้าลอย ซึ่งทำให้ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นลดลง และลดอุณหภูมิได้อย่างมาก ผลการวิเคราะห์ทำให้รู้ตำแหน่งที่จำเป็นต้องมีการเพิ่มเหล็กเสริมเพื่อควบ คุมรอยร้าว โดยในโครงการนี้ได้มีการเสริมเหล็กบริเวณผิวด้านบนของแต่ละบล็อก จากผลการวิเคราะห์ยังพบอีกว่า เมื่อพิจารณาบริเวณรอยต่อของแต่ละบล็อก ในบล็อกที่มีการเทก่อนจะถูกดึงโดยบล็อกที่เททีหลัง ตัวอย่างเช่น ผิวด้านข้างของบล็อก V2 ถูกดึงโดยบล็อก V5 ดังนั้นจึงทำการการเพิ่มเหล็กเสริมเพื่อควบคุมรอยร้าวในบริเวณผิวด้านข้างของบล็อกที่ทำการเทก่อนอีกด้วย

กล่าว โดยสรุปคือ โมเดลและคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบส่วนผสม ขั้นตอนการก่อสร้าง ตลอดจนถึงตำแหน่งของการเสริมเหล็ก เพื่อป้องกัน และควบคุมการแตกร้าวที่จะเกิดขึ้นในคอนกรีตหลา



รูปที่ 5 ลำดับการเทฐานราก (รูปด้านบน)

## สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310  
โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : <http://www.thaitca.or.th>



#### 4. เอกสารอ้างอิง

- [1] Choktaweekarn P. and Tangtermsirikul, S., (2007), A Study of Dispersion Effect of Fly Ash on Heat of Hydration and Model for Predicting Temperature of Mass Concrete, *Proceeding of The Twelve National Convention on Civil Engineering, 2 - 4 May 2007, Phitsanuloke*, pp. 304 – 309.
- [2] Choktaweekarn P. and Tangtermsirikul S., (2007) “Effect of Dimension, Aggregate Type and Curing Condition on Temperature and Restrained Strain of Mass Concrete” *Proceedings of the 3rd Annual Concrete Conference, Thai Concrete Association, 24-26 October 2007, Chonburi*, pp. Mat 77 – 82.
- [3] Saengsoy W. and Tangtermsirikul S., (2003), Model for *Predicting Temperature of Mass Concrete. Proceedings of the 1st National Concrete Conference, Engineering Institute of Thailand, Kanchanaburi*,. pp. 211-218.
- [4] Choktaweekarn P. and Tangtermsirikul, S., (2009), Analysis of Temperature and Restrained Strain in Mass Concrete, accepted for publication in *Proceeding of The Fourteenth National Convention on Civil Engineering, 13 - 15 May 2009, Nakorn Ratchasima*.
- [5] Choktaweekarn P. and Tangtermsirikul S., (2008) “The use of Computer Software in the Analysis for Prevention of Thermal Crack during Construction of Mass Concrete” *Proceedings of the 4th Annual Concrete Conference, Thai Concrete Association, 20-22 October 2008, Ubon Ratchathani*, pp. Mat 236 – 241.