



การพัฒนาคอนกรีตความร้อนต่ำเพื่องานคอนกรีตหนา (Development of Low Heat Concrete for Mass Concrete Project)

รศ.ดร.สมนึก ตั้งเต็มสิริกุล

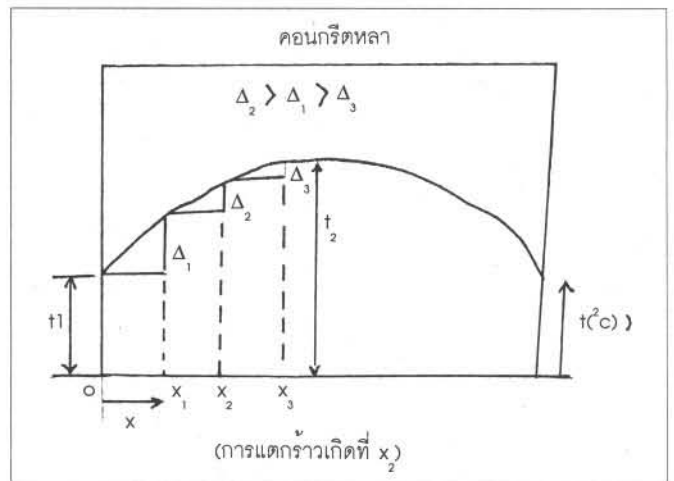
สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร ม.ธรรมศาสตร์

ดร.บุรฉัตร จักรวิระ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.ธรรมศาสตร์

การก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตในปัจจุบัน มีแนวโน้มที่จะมีขนาดใหญ่ขึ้นตามลำดับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขณะที่ประเทศไทยกำลังมีการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว อาคารสูงขนาดใหญ่มีให้เห็นอยู่ทั่วไป ทั้งที่สร้างเสร็จแล้ว กำลังก่อสร้าง หรือกำลังวางแผนที่จะก่อสร้าง ไม่เพียงแต่โครงสร้างอาคารเท่านั้น โครงสร้างพื้นฐานสำหรับรองรับการเติบโตทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม เช่น สะพาน ทางด่วน ระบบขนส่งมวลชน ก็กำลังทยอยดำเนินการก่อสร้างอยู่ ในการก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่เหล่านี้ มักจะมีการเทคอนกรีตเป็นปริมาณมากๆ ในบางส่วนของโครงสร้าง ปัญหาที่มักพบเห็นก็คือ รอยแตกในคอนกรีตที่เกิดจากความแตกต่างกันของอุณหภูมิภายในเนื้อคอนกรีต ผู้เขียนเห็นความจำเป็นที่จะเสนอวิธีการที่เป็นประโยชน์และมีประสิทธิภาพในการก่อสร้างที่ต้องใช้ปริมาณคอนกรีตมากๆ ในบางส่วนของโครงสร้าง ซึ่งบางครั้งเรียกว่า คอนกรีตหนา

อุณหภูมิสูงกว่าบริเวณใกล้ผิวที่สัมผัสกับบรรยากาศ เนื่องจากความร้อนสามารถถ่ายเทจากบริเวณใกล้ผิวหน้าไปสู่บริเวณบรรยากาศซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าได้ การแตกร้าวของคอนกรีตจะเกิดขึ้นตรงบริเวณที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิมากที่สุดก่อน ซึ่งหมายความว่า รอยแตกอาจจะอยู่ในเนื้อคอนกรีต โดยไม่สามารถมองเห็นที่ผิวก็ได้ (ดูรูปที่ 1)



รูปที่ 1 การเกิดการแตกร้าวของคอนกรีตหนา
(เมื่อ Δ = ความชัน, t = อุณหภูมิ และ x = ตำแหน่ง)

กลไกของการแตกร้าวในคอนกรีตหนา

การแตกร้าวในคอนกรีตหนาเกิดขึ้น เนื่องจากการหดและขยายตัวที่แตกต่างกันภายในเนื้อคอนกรีตเอง การหด-ขยายตัวที่ไม่เท่ากันเหล่านี้เกิดจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันในเนื้อคอนกรีต อุณหภูมิในคอนกรีตสูงขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน เมื่อเทคอนกรีตด้วยปริมาณมากๆ เป็นขนาดใหญ่ๆ ความร้อนจึงสะสมอยู่ภายในคอนกรีต โดยเฉพาะส่วนตรงกลางๆ ซึ่งไกลจากผิวหน้าคอนกรีต จะมี

การแก้ปัญหาสำหรับงานคอนกรีตหนา

ผู้เขียนขอสรุปวิธีการแก้ปัญหางานคอนกรีตหนาที่มีอยู่ในปัจจุบัน ดังต่อไปนี้

1. โดยการออกแบบ ซึ่งปกติก็จะมีการใส่เหล็กเสริมเพิ่มเพื่อรับแรงดึงที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิในเนื้อคอนกรีต

2. โดยการก่อสร้าง ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น

2.1 การแบ่งเทเป็นส่วนๆ ซึ่งอาจแบ่งเทเป็นบล็อก หรือแบ่งเทเป็นชั้นๆ ซึ่งหลักการก็คือ ให้ความร้อนในคอนกรีตถ่ายเทออกไปได้ดี โดยสะสมอยู่ในคอนกรีตน้อย

2.2 การควบคุมอัตราการเทคอนกรีต ซึ่งหลักการก็เช่นเดียวกันคือ ให้ความร้อนถ่ายเทออกไปได้ดี

2.3 การเดินท่อน้ำเย็นภายในคอนกรีต เพื่อลดอุณหภูมิภายในคอนกรีต โดยถ่ายเทความร้อนให้น้ำที่หล่อเลี้ยงหมุนเวียนอยู่ แล้วอาจจะนำน้ำที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นจากการดูดความร้อนมาจากภายในคอนกรีตมาบ่มคอนกรีต เพื่อให้ทำให้อุณหภูมิที่ผิวไม่เย็นเกินกว่าอุณหภูมิภายในคอนกรีตมากนัก

2.4 การบ่มด้วยวัสดุที่เป็นฉนวนหรือนำความร้อนต่ำ เช่น ฟูมด้วยแผ่นพลาสติกและนำทรายมากลบทับ ซึ่งหลักการก็คือ พยายามรักษาอุณหภูมิภายในให้เท่ากันให้มากที่สุด โดยป้องกันไม่ให้ความร้อนถ่ายเทออกจากบริเวณคอนกรีตใกล้ผิวเร็วเกินไป วิธีนี้มีข้อเสียอยู่ที่ว่าคอนกรีตจะถูกบ่มด้วยอุณหภูมิสูง ซึ่งอาจได้กำลังในอายุต้นสูงขึ้นไป แต่กำลังระยะยาวจะลดลงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่บ่มด้วยอุณหภูมิต่ำ อีกอย่างหนึ่งวิธีนี้จะไม่สามารถแก้ปัญหาการแตกกร้าวของคอนกรีตที่เทใหม่บริเวณรอยต่อเมื่อคอนกรีตที่เทใหม่เย็นตัวลง (หดตัวลงหลังจากขยายไปด้วยความร้อนแล้ว)

2.5 การลดอุณหภูมิของคอนกรีตก่อนการเท วิธีนี้มีหลักการก็คือ พยายามให้อุณหภูมิที่สูงที่สุดของคอนกรีตหลังจากที่เทไปแล้วไม่แตกต่างจากอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมากนัก ซึ่งวิธีเช่นนี้สามารถทำได้หลายวิธี เช่น ผสมน้ำแข็งกับคอนกรีต ใช้ทรายที่แช่แข็งเป็นส่วนผสมคอนกรีต ลดอุณหภูมิของคอนกรีตก่อนการเทด้วยการพ่นด้วยก๊าซไนโตรเจนเหลว เป็นต้น ซึ่งวิธีนี้ก็ยังมีจุดเสียอยู่ที่ต้องควบคุมระยะเวลาการขนส่ง ระยะเวลาการเท เนื่องจากคอนกรีตจะดูดความร้อนจากบรรยากาศ อีกทั้งยังใช้การลงทุนสูง

3. โดยวิธีทางวัสดุ นั่นคือใช้คอนกรีตที่เกิดความร้อน

จากปฏิกิริยาไฮเดรชันต่ำ

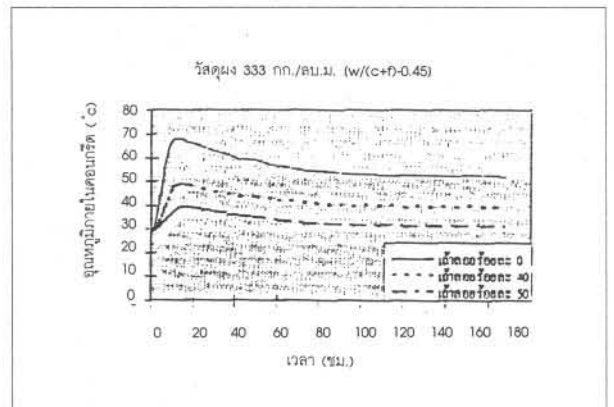
จากที่อธิบายมาทั้งหมดนี้จะเห็นได้ว่า วิธีต่างๆ ในข้อ 1 และข้อ 2 ล้วนแต่ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น และต้องการงานที่เพิ่มเติมจากการเทคอนกรีตปกติทั้งสิ้น สำหรับวิธีที่ 3 นั้นน่าจะเป็นวิธีที่ดีที่สุด ถ้าสามารถพัฒนาคอนกรีตชนิดที่ให้ความร้อนต่ำขึ้นมาได้ โดยที่ราคาไม่แตกต่างจากคอนกรีตธรรมดา และไม่ต้องการวิธีการควบคุมคุณภาพที่เป็นพิเศษ ดังนั้นผู้เขียนจึงขอถือโอกาสนี้เล่าประสบการณ์การพัฒนาคอนกรีตความร้อนต่ำ โดยใช้วัสดุที่มีอยู่ในประเทศไทยให้ผู้อ่านที่เป็นวิศวกรได้มีทางเลือกเพิ่มขึ้น

คอนกรีตความร้อนต่ำที่ใช้แฉะลอยลิกไนต์เป็นจำนวนมาก

เป็นที่ทราบกันดีอยู่ในปัจจุบันแล้วว่า มีแฉะลอยเป็นจำนวนมากในประเทศไทยที่ยังรอการใช้อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิภาพ วิธีหนึ่งที่จะใช้แฉะลอยให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดก็คือ การนำมาแทนปูนซีเมนต์บางส่วนในการผลิตคอนกรีต คอนกรีตความร้อนต่ำเป็นตัวอย่างหนึ่งซึ่งสามารถใช้แฉะลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ได้เป็นปริมาณมาก

ทำไมคอนกรีตที่ใช้แฉะลอยที่แทนที่ปูนซีเมนต์จึงมีความร้อนต่ำ

คำถามนี้มีคำตอบอยู่ 2 ประการคือ ประการแรก เนื่องมาจากปฏิกิริยาปอซโซลานระหว่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันกับซิลิกาออกไซด์ในแฉะลอย เป็นปฏิกิริยา



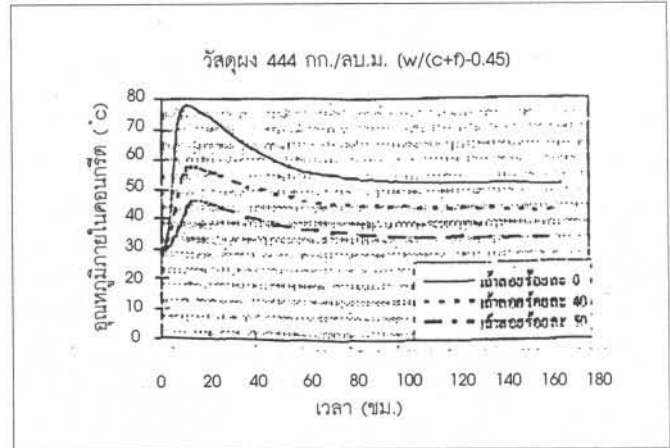
รูปที่ 2 ผลของปริมาณแฉะลอยที่มีต่ออุณหภูมิภายในของคอนกรีต

ที่ทำให้ความร้อนต่ำกว่าปฏิกิริยาไฮเดรชัน อีกประการหนึ่ง เนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานจะเกิดหลังจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้ความร้อนจากปฏิกิริยาปอซโซลานค่อยๆ เกิดขึ้น ไม่เพิ่มขึ้นรวดเร็วเหมือนกับกรณีของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน

หลักการพัฒนาคอนกรีตความร้อนต่ำ

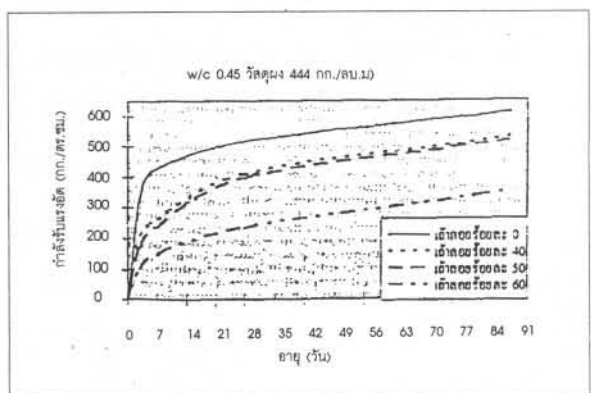
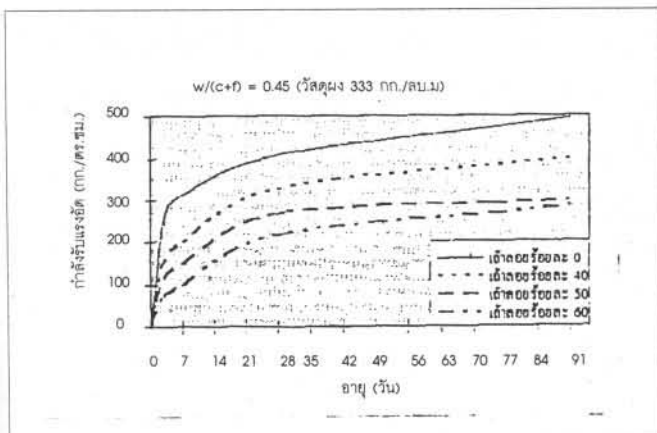
ปัจจุบันในประเทศไทยมีความพยายามที่จะผลิตคอนกรีตความร้อนต่ำ โดยการใส่สารลดน้ำอย่างมาก (Superplasticizer) ควบคู่ไปกับการลดปริมาณปูนซีเมนต์ต่อลูกบาศก์เมตรของคอนกรีต อย่างไรก็ตาม การใช้ปูนซีเมนต์ล้วนเพื่อผลิตคอนกรีตความร้อนต่ำยังมีข้อจำกัด เนื่องจากยังไม่มีประสิทธิภาพในการลดความร้อนในคอนกรีตเพียงพอ ผู้เขียนขอสรุปหลักการพัฒนาคอนกรีตความร้อนต่ำโดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์ ดังนี้

1. ปริมาณปูนซีเมนต์บวกเถ้าลอย (วัสดุประสาน) น้อยที่สุดเท่าที่จำเป็น โดยที่เมื่อรวมกับน้ำแล้ว ปริมาตรของเพสต์เพียงพอสำหรับอุดช่องว่างในมวลผสมหยาบและละเอียด และเพียงพอที่จะยึดมวลผสมเหล่านี้ให้ติดกันได้ดีเท่านั้น
2. อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน และปริมาณร้อยละแทนที่ของเถ้าลอยจะถูกกำหนดโดยกำลังของคอนกรีตและปริมาณความร้อนที่ยอมรับ
3. ความสามารถเทได้จะปรับโดยใช้สารลดน้ำ ซึ่งต่างจากการออกแบบคอนกรีตธรรมดาที่กำหนดปริมาณน้ำจากความสามารถการเทได้



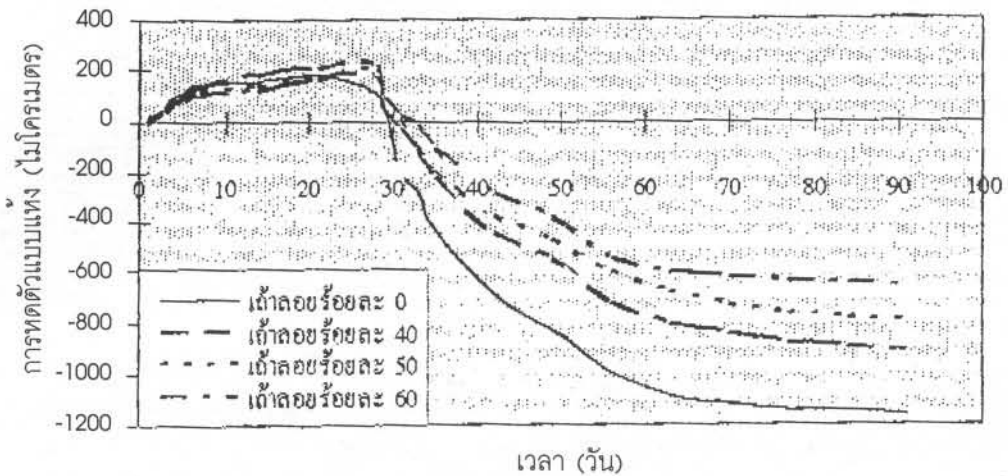
รูปที่ 3 ผลของปริมาณวัสดุประสานที่มีต่ออุณหภูมิภายในของคอนกรีต ตัวอย่างผลการทดสอบคอนกรีตความร้อนต่ำที่ใช้เถ้าลอยลิกไนต์

1. ผลการวัด Quasi-Adiabatic Temperature Rise การทดสอบ Quasi-Adiabatic Temperature Rise เป็นการจำลองคอนกรีตส่วนหนึ่งในบริเวณกลางๆ ของคอนกรีต หลา โดยในการทดสอบจะใช้คอนกรีตขนาด 30 x 42.5 x 30 เซนติเมตร ห่อหุ้มด้วยโฟมที่มีความหนา 2.5 เซนติเมตร เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนระหว่างคอนกรีตกับบรรยากาศ แล้ววัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของคอนกรีตเทียบกับอุณหภูมิเริ่มต้น หลังจากผสมเสร็จใหม่ๆ ในความเป็นจริงอุณหภูมิของคอนกรีตบริเวณกลางๆ ของคอนกรีตหลาจะสูงกว่าอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบแบบนี้ เนื่องจากได้รับการเร่งจากอุณหภูมิคอนกรีตรอบๆ ด้วย จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยจะทำให้อุณหภูมิของคอนกรีตลดลง รูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่ม



รูปที่ 4 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

วัสดุผง 333 กก./ลบ.ม. ($w/(c+f) = 0.60$)



รูปที่ 5 สภาพการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีต

ปริมาณวัสดุประสานจะทำให้อุณหภูมิของคอนกรีตเพิ่มขึ้น

2. กำลังของคอนกรีตความร้อนต่ำที่ใช้แฉะลอยลิกไนต์เป็นจำนวนมาก

รูปที่ 4 สรุปกำลังรับแรงอัดที่ 90 วัน ของคอนกรีต ความร้อนต่ำที่ใช้แฉะลอยลิกไนต์แทนที่ปูนซีเมนต์เป็นจำนวนมาก ตั้งแต่ค่าร้อยละ 40, 50 และ 60 การที่ใช้ปริมาณแฉะลอยเป็นจำนวนมากจะทำให้กำลังอัดต่ำลง ซึ่งต่างจากคอนกรีตที่ใช้แฉะลอยเพียงจำนวนน้อย (เช่น ค่าร้อยละ 10-20) ซึ่งจะ ทำให้กำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้เพียงปูนซีเมนต์อย่างเดียว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสมดุลระหว่าง CaO และ SiO₂ ในปูนซีเมนต์และแฉะลอย อย่างไรก็ตาม สำหรับคอนกรีตที่ใช้แฉะลอยเป็นปริมาณมาก สามารถที่จะปรับกำลังได้ด้วยการเปลี่ยนอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน และใช้ Superplasticizer ผู้เขียนขอให้ออกใจคิดว่า การที่คอนกรีตที่ใช้แฉะลอยเป็นปริมาณมากมีกำลังต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่ใช้แฉะลอยเลย ไม่ได้เป็นการบ่งบอกว่ามีปัญหา ทั้งนี้เนื่องจากปัญหาสำคัญของคอนกรีตหลายอยู่ที่การควบคุมความร้อนมากกว่า อีกทั้งกำลังก็สามารถปรับได้ด้วยการปรับอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานประกอบกับการใช้ Superplasticizer

3. การหดตัวแบบแห้ง

รูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าคอนกรีตที่ใช้แฉะลอยจะมีการหดตัวแบบแห้งน้อยกว่าคอนกรีตที่ไม่ใช้แฉะลอยเลย และเมื่อ ยิ่งใช้แฉะลอยมากยิ่งขึ้นทำให้การหดตัวน้อยลง ซึ่งทำให้สามารถลดการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้งได้

ข้อสรุป

การที่จะให้ได้มาซึ่งโครงสร้างคอนกรีตที่แข็งแรงทนทาน โครงสร้างนั้นจะต้องมีการออกแบบที่ดี การก่อสร้างที่ดี และการเลือกวัสดุที่ดี ที่ผ่านมานั้นเรามักจะให้ความสำคัญกับการออกแบบ และการก่อสร้างรองลงมา ส่วนวัสดุคอนกรีตนั้น มักจะมองแค่กำลังและการยุบตัว (Slump) เท่านั้น ซึ่งผู้เขียนอยากจะขอเน้นในที่นี้ว่า การเลือกใช้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติอื่น ๆ นอกเหนือจากกำลังและการยุบตัว (Slump) ให้ถูกต้องกับสภาวะการใช้งานและสภาวะแวดล้อม จะทำให้โครงสร้างคอนกรีตที่ได้ นอกจากแข็งแรงแล้วจะอยู่รับใช้สังคมไปได้ยาวนาน โดยเสียค่าบำรุงรักษาน้อยด้วย

