บทที่ 4
สรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 อุณหภูมิเพิ่มแบบกักกันความร้อนในคอนกรีต

4.1.1 สมการอุณหภูมิเพิ่มแบบกักกันความร้อน จากการทดสอบภายใต้ขอบข่ายของการวิจัยนี้ พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิแบบกักกันความร้อน อาจเขียนเป็นสมการได้คือ

$$T = K(1 - e^{-at})$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิเพิ่มแบบกักกันความร้อนที่เวลาใด ๆ (°ซ), t เป็นระยะเวลาหลังการผสม (วัน), K เป็น อุณหภูมิเพิ่มสูงสุด (°ซ.) และ a เป็นค่าคงที่ที่กำหนดอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (วัน$^{-1}$) โดยค่า K และ a สำหรับปูนซีเมนต์แบบที่ I มีค่าอยู่ระหว่าง 20 ถึง 52 °ซ. และ 1.7 ถึง 4.2 วัน$^{-1}$ ตามลำดับ ทั้งนี้ภายใต้ปริมาณปูนซีเมนต์อยู่ระหว่าง 200 ถึง 500 ก.ก./ลบ.ม.

4.1.2 อิทธิพลของส่วนผสมของคอนกรีต

1) การทดสอบอุณหภูมิเพิ่มแบบกักกันความร้อนพบว่า สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ระหว่าง 0.45-0.60 และอุณหภูมิเริ่มแรกของคอนกรีตมีผลกระทบต่ออุณหภูมิที่เพิ่มน้อยมาก โดยความแตกต่างจากการทดสอบในสองกรณีไม่เกิน 5 °ซ. ในแง่ของอัตราการเพิ่มอุณหภูมินั้น อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มีผลน้อยมากเช่นกัน ในขณะที่อุณหภูมิเริ่มแรกที่ต่ำจะให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิเป็นไปช้ากว่าเมื่ออุณหภูมิเริ่มแรกสูงกว่า

อนึ่ง แม้ว่าอุณหภูมิเริ่มแรกของคอนกรีตจะไม่มีผลต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นแต่ยังคงมีผลต่ออุณหภูมิรวม ซึ่งประกอบด้วยอุณหภูมิเริ่มแรกและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากการกักกันความร้อน กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิเริ่มแรกสูงจะทำให้อุณหภูมิรวมสูงตาม

2) การเพิ่มอุณหภูมิในคอนกรีตแบบกักกันความร้อนได้รับอิทธิพลสูงสุดจากปริมาณซีเมนต์ในส่วนผสม สำหรับปูนซีเมนต์ประเภทที่ I ภายใต้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.55 และเมื่อปริมาณซีเมนต์ 200 ก.ก./ลบ.ม. จะให้อุณหภูมิเพิ่ม 20 °ซ. แต่เมื่อปริมาณซีเมนต์เพิ่มเป็น

400 ก.ก./ลบ.ม. จะทำให้อุณหภูมิเพิ่มถึง 41 °ซ. ในพิกัดของปริมาณซีเมนต์ระหว่าง 200-400 ก.ก./ลบ.ม. จะทำให้อุณหภูมิเพิ่มประมาณ 1 °ซ. ต่อทุก ๆ 10 ก.ก./ลบ.ม. ของซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ในการทดสอบชุดนี้พบว่า ค่ากำหนดอัตราการเพิ่มอุณหภูมิจะไม่มีผลจากปริมาณซีเมนต์

3) คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ต่างชนิดกัน ปูนซีเมนต์ประเภทที่ III จะให้อุณหภูมิแบบกักกันความร้อนสูงกว่าประเภทที่ I และประเภทที่ V ตามลำดับ ความแตกต่างจะขึ้นอยู่กับปริมาณสารเคมีประกอบหลักโดยเฉพาะปริมาณ C_3S อุณหภูมิที่เพิ่มสูงสุดจากการทดสอบกักกันความร้อนของซีเมนต์ประเภทที่ I, III และ V เทียบเป็นสัดส่วน 1.0, 1.1 และ 0.9 ตามลำดับ โดยที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิเทียบเป็นสัดส่วน 1.0, 1.2 และ 0.8 ตามลำดับ โดยถือค่าของซีเมนต์ประเภทที่ I เป็นตัวเปรียบเทียบ

4) การเพิ่มอุณหภูมิในคอนกรีตแบบกักกันความร้อนจากการวิจัยนี้ มีค่าต่ำกว่าผลจากการทดสอบจากจาก ACI Committee(5), ACI Publication(6), Earl George(20) และ Water Gate and Penstock Association in Japan(22) คิดเป็นร้อยละ 0.0-70 โดยถือผลจากการวิจัยนี้เป็นตัวเทียบ สำหรับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ I ค่าที่ได้จากการทดสอบนี้จะแตกต่างจากผลทดสอบของ ACI Committee 207 ถึง 50 %

5) การเพิ่มอุณหภูมิในคอนกรีตแบบกักกันความร้อน เมื่อคำนวณจากการเกิดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของ J. Francis(8) โดยยึดถือปริมาณสารเคมีหลักในซีเมนต์เป็นเกณฑ์ และกำหนดค่าความร้อนจำเพาะที่ 0.96 จูน/กรัม/°ซ. จะให้อุณหภูมิเพิ่มสูงสุด ในสัดส่วน 1.2, 1.1 และ 0.93 สำหรับซีเมนต์ประเภทที่ I, III และ V ตามลำดับ ทั้งนี้โดยเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบ

4.2 อุณหภูมิเพิ่มในโครงสร้างคอนกรีตหลา

การวิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตหลาหาอุณหภูมิเพิ่มที่จุดต่าง ๆ ของตอม่อสะพานพระรามที่ 9 ที่ฝั่งกรุงเทพมหานครและฝั่งธนบุรี โดยวิธีการทางไฟไนท์เอเลเมนต์แบบ 2 มิติ และใช้สมการการเกิดความร้อนภายในตามสมการอุณหภูมิเพิ่มแบบกักกันความร้อนที่ได้จากการทดสอบซึ่งสรุปได้ผลดังนี้คือ

1) อัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ตำแหน่งเดียวกันในโครงสร้างคอนกรีตหลา ที่ได้จากการ

วิเคราะห์สอดคล้องกันดีมากกับผลการวัด หากแต่ค่าสูงสุดที่จุดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจริงจะสูงกว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์

2) ค่าตัวแปรหลักที่ใช้ประกอบการวิเคราะห์ คือ สภาพทางอุตุนิยมวิทยา มีผลต่อค่าอุณหภูมิสูงสุดน้อยมาก ในขณะที่ คุณสมบัติทางความร้อนของคอนกรีต ท่อน้ำผ่านระบายความร้อนขั้นตอนการก่อสร้าง มีผลต่ออุณหภูมิสูงสุดในโครงสร้าง ค่าที่เหมาะสมสำหรับค่าความนำความร้อนและค่าความร้อนจำเพาะของคอนกรีตควรกำหนดให้เป็น 0.014 จูน/วินาที/ซ.ม./°ซ. และ 0.96 จูน/กรัม/°ซ. ตามลำดับ

3) เพื่อให้ผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับผลการวัดอุณหภูมิจากโครงสร้างจริง หากใช้การปรับค่าอุณหภูมิเพิ่มแบบกักกันความร้อนที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ด้วยตัวคูณประกอบ 1.7 จะให้ค่าการพยากรณ์อุณหภูมิในคอนกรีตหลาที่สอดคล้องกันมากที่สุดในทุกจุดที่อยู่บนโครงสร้าง

4.3 <u>ข้อเสนอแนะ</u>

จะสังเกตุได้ว่าค่าอุณหภูมิที่ได้จากทดลองมีค่าน้อยกว่าที่วัดได้จากโครงสร้างจริง ซึ่งอาจเนื่องมาจากเครื่องมือทดลองไม่อาจกักน้ำที่เย็นออกจากคอนกรีตแล้วระเหยในขณะอุณหภูมิสูงขึ้น จึงพาเอาความร้อนออกจากมวลคอนกรีตที่ใช้ทดลอง น้ำที่เย็นส่วนนี้มีความหนาอยู่ระหว่าง 0 ถึง 2 ซ.ม. และเมื่อลองคำนวณหาที่อุณหภูมิลดไป เนื่องจากน้ำส่วนนี้ปรากฏว่ามีค่าใกล้เคียงกับผลจากการคูณด้วยค่าตัวปรับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย