บทที่ 5

การวิเคราะห์และตัวอย่าง

5.1 คุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้วิเคราะห์

จากสมการที่ 2.9 ในหัวข้อของการนำความร้อนเมื่อเป็น Isotropic material คือ

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho c}\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) \qquad (5.1)$$

เมื่อเป็นการไหลของความร้อน 2 ทาง จะได้

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho c}\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right) \qquad (5.2)$$

จากค่าต่าง ๆ ที่เป็นคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุนั้นมีค่าจำกัดความคือ

การนำความร้อน (Conductivity, k) คือ อัตราการไหล (หรือส่งผ่าน) ของความร้อนต่อหน่วยความหนาหรือหน่วยพื้นที่ของวัสดุที่ได้รับต่อค่าความแตกต่างของ 1 หน่วยอุณหภูมิระหว่าง 2 ช่วง ในที่นี้ใช้ค่าการนำความร้อนของคอนกรีต 0.81 btu/hr/ft/$^{\circ}$F

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความร้อนจำเพาะ (Specific heat, c) คือ จำนวนปริมาณความร้อนที่ต้องการเพื่อให้หน่วยมวลวัสดุมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศา ค่าความร้อนจำเพาะของคอนกรีตที่ใช้มีค่า 0.23 btu/lb/$^{\circ}$F

ความหนาแน่น (Density, ρ) คือ มวลน้ำหนักต่อ 1 หน่วยปริมาตร ซึ่งในคอนกรีตจะได้ 150 lb/ft^3

ส่วน Diffusivity ($K = \frac{k}{\rho c}$) คือดรรชนีที่แสดงให้เห็นว่าวัสดุนั้นสามารถให้ความร้อนส่งผ่านไปได้มากน้อยเพียงไร ซึ่งสามารถกล่าวได้ง่าย ๆ คือ เป็นอัตราส่วนของตัวนำความร้อนต่อผลคูณของความร้อนจำเพาะกับความหนาแน่น ในที่นี้จะได้ $K = 0.023$ ft^2/hr^2

ค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวของคอนกรีต $= 6\times10^{-6}$ in/in/$^{\circ}$F

$= 1.08\times10^{-5}$ m/m/$^{\circ}$C

5.2 การวิเคราะห์และผล

จากการวัดค่าต่าง ๆ สามารถทำการวิเคราะห์ได้ ดังจะแสดงต่อไปนี้

5.2.1 การวิเคราะห์ของวันที่ 3 พฤศจิกายน 2525

ในวันนี้สภาพอากาศของกรุงเทพฯ ค่อนข้างจะร้อนแม้จะเป็นช่วงฤดูหนาวก็ตาม อุณหภูมิอากาศสูงสุดมีค่าถึง 33.7°ซ. และอุณหภูมิต่ำสุดก็ยังสูงถึง 25.3°ซ. (ตามประกาศของกรมอุตุนิยมวิทยา) ค่าที่ใช้วัดจากเครื่องมือนั้น ช่วงอุณหภูมิสูงสุดวัดได้ 33°ซ. และต่ำสุดวัดได้ 25°ซ. ซึ่งจะเห็นว่าใกล้เคียงมากเพราะไม่มีทศนิยม สภาพอากาศแจ่มใส

ในการวัดเพื่อเป็นข้อมูลที่จะใช้ในการวิเคราะห์นั้น สิ่งสำคัญครั้งแรกก็คือ หาค่าที่อุณหภูมิภายในหน้าตัดเท่ากันทั้งหมดพร้อมทั้งเวลา ซึ่งจากการวัดในเวลา 2.00 น. 4.00 น. และ 6.00-10.00 น. นั้น ปรากฏว่าอุณหภูมิที่เกือบจะเท่ากันหมดทั้งหน้าตัด (Uniform) จะเป็นเวลาประมาณ 9.00 น. และค่าอุณหภูมิที่เฉลี่ยแล้วน่าจะเป็นไปได้คือ 29°ซ. (84.2°ฟ) (ดูตารางที่ 3 ประกอบ) จากการจับเวลาทุก ๆ ชั่วโมงจาก 9.00 น. มาจนถึง 22.00 น. ตามจุดต่าง ๆ ที่ได้ติด Thermocouple ไว้และนำมาวิเคราะห์ได้ผลดังนี้

1. อุณหภูมิที่น้อยที่สุดในการวัดของผิวล่างแผ่นพื้นช่วงบนในส่วนกล่อง 29°ซ. (84.2°ฟ) ประมาณ 9.00 น.

2. อุณหภูมิของจุดต่าง ๆ ภายในกล่องช่วงล่างนั้น (จุด 21-25 ตามรูป การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีค่าน้อยมาก โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 30°ซ. - 32°ซ. (80°ฟ - 89.6°ฟ) เท่านั้น

3. อุณหภูมิของผิวบนที่แผ่นพื้นจะมากที่สุดประมาณ 39°ซ. (102.2°ฟ) ในเวลาประมาณ 14.00 น.

4. อุณหภูมิอากาศภายในกล่องมีค่าประมาณ 30°ซ. - 33°ซ. ซึ่งจะมีค่าเท่ากับจุด 21-25 ตามรูป 26 เกือบทุกเวลา

5. อุณหภูมิของส่วนล่างของแผ่นพื้นภายในกล่องมีค่ามากที่สุดประมาณ 36°ซ. (96.8°ฟ) ซึ่งจะเกิดขึ้นในเวลาประมาณ 17.00 น. - 19.00 น. ซึ่งห่างจากช่วงเวลาที่ผิวบนได้มีค่าอุณหภูมิสูงสุดถึง 4 - 6 ชม. ด้วยกัน

อุณหภูมิที่ต่างกันของแผ่นพื้นส่วนบนและล่างบริเวณกล่องที่มากที่สุด คือ 31-38 ^{o}ซ. = 7 ^{o}ซ. ในเวลา 12.00 น.

6. อุณหภูมิของจุดที่จุดล่างของคาน (จุด 8) ตามรูปที่ 4, 26 มีค่าเกือบจะเท่ากับอุณหภูมิอากาศจะผิดกันประมาณ ±1 ^{o}ซ.

7. ค่าแตกต่างของผิวบนของแผ่นพื้นกับผิวล่างของคานนั้น 6 ^{o}ซ.(33-39 ^{o}ซ.) (10.8 ^{o}ฟ)ซึ่งจะอยู่ในช่วง 13.00 - 14.00 น.

8. จากภาพแสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลาประมาณ 16.00 น. - 17.00 น. เกิดการเริ่มเปลี่ยนในการกลับกันของการขยายตัว คือในช่วงเวลากลางวัน ผิวบนของแผ่นพื้นในบริเวณกล่องนั้น ผิวบนจะมีอุณหภูมิสูงกว่าผิวล่าง แต่ในช่วงเวลาเย็นนั้นอุณหภูมิในส่วนล่างจะสูงกว่าผิวบนซึ่งทำให้การขยายตัวของจุดทั้ง 2 นั้นกลับกัน

9. ค่าความแตกต่างที่ผิวล่างมีค่ามากกว่านั้น ในช่วงกล่องอับผิวบนของแผ่นพื้นในกรณีที่ที่ผิวล่างมีค่ามากกว่านั้น มีค่าประมาณ 5 ^{o}ซ. ในเวลา 24.00 น.

10. ความแตกต่างของจุดบนแผ่นพื้นกับภายในหน้าตัดมีค่าต่างกันสูงสุด 39.33 - 32.58 ^{o}ซ. = 6.75 ^{o}ซ. (102.80 - 90.14 = 12.6 ^{o}ฟ)

ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิของแผ่นพื้นที่อยู่ช่วงกล่องนั้นในช่วงที่เริ่มจากอุณหภูมิที่เท่ากันนั้น การกระจายเกือบเป็นเส้นตรงแต่ความลาดชันจะเพิ่มมากขึ้นหรือลดลงนั้นขึ้นกับความแตกต่างที่อุณหภูมิที่จุดทั้ง 2 นี้

12. ลักษณะการกระจายของส่วนตัวคาน (WEB) นั้น การกระจายมีลักษณะไม่แน่นอน แต่ในช่วงประมาณ 0.50 - 0.60 ม. จากผิวบน ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่บริเวณจุดนี้มีค่าน้อยที่สุดคือประมาณ 29 ^{o}ซ. - 32.9 ^{o}ซ. (84.2 - 91.25 ^{o}ฟ) เท่านั้นจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงนี้น้อยมาก

13. ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของหน้าตัดมีค่าระหว่าง 29-34.4 ^{o}ซ. = 5.4 ^{o}ซ. (84.2 - 93.9 ^{o}ฟ) ดังนั้นค่าความยืดหดตัวที่จะเป็นเท่ากับ $1.08 \times 10^{-5} \times 5.4 = 5.83 \times 10^{-5}$ ม/ม.

5.2.2 การวิเคราะห์ของวันที่ 4 พ.ย. 2525 (ดูรูปที่ 27 และตาราง 4 ประกอบ)

การวิเคราะห์ในวันนี้เป็นช่องต่อเนื่องมาจากวันที่ 3 พ.ย. 2525 โดยในการวัดนี้จะกระทำทุก 0.5 ชม. โดยเริ่มตั้งแต่ 07.00 - 16.30 น. ทั้งนี้เพื่อดูถึงการเปลี่ยนแปลงจะมากหรือน้อยเท่าใดและความละเอียดของผลที่ได้จะเป็นอย่างไรโดยเทียบกับของวันที่ 3 พ.ย. 2525 ทั้งนี้เพราะลักษณะอากาศเกือบใกล้เคียงกันคือ อุณหภูมิอากาศสูงสุดที่วัดได้ประมาณ 33°ซ. และอุณหภูมิน้อยที่สุดของอากาศ 25.9°ซ. ในเวลา 05.30 น. (ตามประกาศของกรมอุตุฯ)

จากการวัดเพื่อหาค่าอุณหภูมิที่เท่ากันทั้งหน้าตัดเพื่อเป็นค่าเริ่มต้นในการวิเคราะห์นั้นได้ว่า เวลาที่อุณหภูมิที่เกือบจะเท่ากันประมาณ 08.00 น. โดยมีค่าอุณหภูมิประมาณ 29°ซ. (84.2°ฟ) ผลการวิเคราะห์ได้ว่า

1. อุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ภายในกล่องช่วงล่างที่ไม่ใช้ช่วงแผ่นพื้นมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 30°-32°ซ. (86 - 89.6°ฟ) ซึ่งเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

2. อุณหภูมิภายในกล่องมีค่าระหว่าง 30°-32°ซ (86-89.6°ฟ) และเกือบจะเป็นเวลาเดียวกันกับจุดต่าง ๆ ตามข้อ 1

3. อุณหภูมิของผิวบนของแผ่นพื้นที่มากที่สุด ประมาณ 40°ซ.(104°ฟ) ในเวลา 12.00 น.

ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวบนแผ่นพื้นมีค่าอยู่ในช่วง 26-40°ซ.

4. ผิวล่างของแผ่นพื้นภายในกล่องมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 36°ซ. และต่ำสุดประมาณ 29°ซ.

5. ค่าอุณหภูมิที่ต่างกันในแผ่นพื้นระหว่างจุดบนและจุดล่างภายในบริเวณกล่องจะมีค่าต่างกันมากที่สุดคือ 31°ซ. - 40°ซ. (9°ซ., 16.2°ฟ) ในเวลา 12.00 น.

6. ที่ผิวล่างของคานนั้นจะเปลี่ยนแปลงเกือบจะเท่ากับอุณหภูมิอากาศจะผิดกันประมาณ ±1°ซ.

7. จุดบนของแผ่นพื้นและจุดล่างของคานจะมีความแตกต่างของอุณหภูมิมากที่สุด 33°-40°ซ. = 7°ซ. ในเวลา 12.00 น. โดยผิวบนมีค่ามากกว่า

8. ลักษณะของการกระจายของอุณหภูมิของแผ่นพื้นบริเวณกล่องนั้นที่วัดทุก ๆ 0.5 มม. จะเห็นลักษณะของการค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงได้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามไม่มีผลมากนักเพราะในช่วงหลัง ๆ ก็ เกือบเป็นเส้นตรง

9. การกระจายของอุณหภูมิที่ผิวบนของแผ่นพื้นกับจุดล่างของคานจะมีการกระจายไม่แน่นอนเปลี่ยนแปลงไปมากโดยมีจุดที่ประมาณ 0.5-0.6 ซม. นั้น ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนัก (34.3-40.3°ซ. = 6°ซ. หรือ 10.8°ฟ)

10. ค่าแตกต่างของอุณหภูมิที่มีค่าต่ำสุดในหน้าตัดกับค่าอุณหภูมิที่สูงที่สุดที่ผิว (Max. Differential Temperature) มีค่าประมาณ 8.47°ซ. (15.20°ฟ)

11. ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่อยู่ในช่วงทำการวัดนั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 29°ซ.-34°ซ. ดังนั้นค่าการยืดหดตัวที่ต่างกันจะเป็น = $1.08\text{x}10^{-5}\text{x}5$ = $5.4\text{x}10^{-5}$ ม/ม.

5.2.3 การวิเคราะห์ของวันที่ 17-18 ธันวาคม 2525 (ดูรูปที่ 28 และตาราง 5 ประกอบ)

ในช่วงที่วัดครั้งนี้ อากาศในกรุงเทพฯ มีอุณหภูมิต่ำลงมามากกว่าปกติ คือ อุณหภูมิอากาศที่ต่ำสุดนั้นลดมาถึง 19°ซ. (เวลาประมาณ 4.30 น.) โดยในการวัดค่าต่าง ๆ นั้น เริ่มวัดจากเวลาประมาณ 7.00 น. ของวันที่ 17 ธันวาคม 2525 มาเรื่อย ๆ จะได้ว่าอุณหภูมิที่ตลอดหน้าตัดจะเท่ากันเกือบหมดจะเป็นเวลาประมาณ 18.30 น. โดยมีอุณหภูมิ 26°ซ. (80.6°ฟ) และจะทำการวิเคราะห์จากเวลานี้ไป 24 ชม. คือถึงเวลา 18.30 น. ของวันที่ 18 ธันวาคม 2525 อุณหภูมิสูงสุดที่วัดในช่วงวิเคราะห์นี้คือ 26°ซ. ในเวลาประมาณ 14.30 น. และในช่วงนี้จะมีลมพัดเกือบตลอดเวลาที่ทำการทดลอง

จากการวิเคราะห์นั้นได้ผลดังนี้

1. อุณหภูมิของอากาศและส่วนต่าง ๆ ของช่วงล่างภายในกล่องมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 25-27°ซ. เท่านั้น ซึ่งเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

2. อุณหภูมิของส่วนบนของแผ่นพื้นจะสูงสุดประมาณ 31°ซ. ในเวลาประมาณ 12.30 น. และช่วงของอุณหภูมิของผิวบนของแผ่นพื้นจะอยู่ระหว่าง 18.07-31°ซ. (65.6°ฟ-87.8°ฟ)

3. อุณหภูมิของส่วนล่างของคานสูงสุดเพียง 25°ซ. ซึ่งผิดพลาดไปจากอุณหภูมิอากาศ $\pm 1^{\circ}$ซ.

4. อุณหภูมิที่แตกต่างของผิวบนกับผิวล่างของแผ่นพื้นในบริเวณกล่องนั้น เมื่ออุณหภูมิภายในกล่องสูงกว่าที่ผิวบนและล่างกับ 25-19.33°ซ. = 5.67°ซ. (10.2°ฟ) และอุณหภูมิที่ต่างกันโดยที่อุณหภูมิผิวบนมีค่าสูงกว่ามีค่าต่างกัน 30.17-25°ซ. = 5.17°ซ. (10.2°ฟ)

5. การกระจายของอุณหภูมิในแผ่นพื้นบริเวณกล่องนั้น ลักษณะใกล้เคียงกับที่ได้กล่าวแล้วในข้อ 5.2.1 และ 5.2.2

6. อุณหภูมิที่ต่างกันของผิวบนพื้นกับผิวล่างคาน โดยที่ผิวบนมีค่าต่ำกว่านั้น มีค่าต่างกันสูงสุด = 22-18.67°ซ. ส่วนเมื่อผิวบนมีค่าสูงกว่านั้นจะมีค่าต่างกันสูงสุด 30.67-25.5°ซ. = 5.17°ซ. (9.3°ฟ)

7. การกระจายของอุณหภูมิตามความลึกของคานนั้น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงยังคงไม่แน่นอน บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดยังคงอยู่ในช่วง 0.5-0.6 ม. จากผิวบน อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของช่วงนี้ 22.85°ซ. - 26.73°ซ. (73.13-80.11°ฟ)

8. ค่าอุณหภูมิที่ต่างกันของจุดภายในคานกับจุดภายนอกของคานทั้งผิวบนและผิวล่าง โดยจุดภายในมีค่าสูงกว่า มีความแตกต่างสูงสุด 23.37-18.67 = 4.7°ซ. (8.47°ฟ) และค่าต่างกันสูงสุดเมื่อจุดภายในมีค่าต่ำกว่า 21.7-27.2°ซ. = 5.5°ซ. (10°ฟ)

9. ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของหน้าตัดทั้งหมดนั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 21.7°ซ. -27.2°ซ. (71.1°ฟ - 81.1°ฟ) ดังนั้น การยืดหดตัวจะมีค่าต่างกัน = 1.08 10^{-5} x5.5 = 5.94x10^{-5} ม/ม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.4 การวัดค่าของวันอื่น ๆ ในช่วงเดือน มกราคม - กุมภาพันธ์ 2526

การวัดในช่วงนี้ เป็นการวัดในช่วงกลางวัน เพื่อดูถึงสภาพอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ที่ได้จาก Thermocouple ไว้ว่ามีความแตกต่างจากที่วัดมามากน้อยเพียงไร เพื่อจะได้รู้ถึงค่าที่เป็นไปได้ของอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ที่จะให้ค่าสูงสุด

ในการอ่านค่าจากตารางที่ 6-14 จะเห็นว่าในแต่ละวันนั้นส่วนใหญ่จะใกล้เคียงกับของวันที่ 3, 4 พฤศจิกายน 2525 อุณหภูมิก็ไม่ผิดกันมากนักในช่วงของเวลาของแต่ละวัน อุณหภูมิที่ผิวบนของพื้นมีค่าสูงสุดไม่เกิน 40 ^{o}ซ. และผิวล่างของคานก็มีอุณหภูมิไม่ผิดไปจากอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิอากาศมีค่าอยู่ระหว่าง 21.29 ^{o}ซ. เท่านั้น

5.3 <u>ผลของไมโครไฟเบอร์</u>

จากข้อสมมติฐานที่ได้ให้ไว้ว่า อุณหภูมิที่หน้าตัดใด ๆ เท่ากันหมดนั้น เพื่อให้เป็นไปตามข้อสมมติฐาน จึงได้ใช้แผ่นไมโครไฟเบอร์หนา $1\frac{1}{2}''$ ปิดหัวท้ายของหน้าตัดแบบทดลองเสีย เพื่อมิให้ความร้อนทั้งจากภายนอกและภายใน มิให้มีการถ่ายเทเข้าออกทางด้านหัวท้ายนี้ได้

จากการอ่านค่าในการทดลองในวันที่ 3, 4 พฤศจิกายน 2525 นั้น จากจุดที่ 27 จะเป็นจุดหลังไฟเบอร์ และจุดที่ 28 เป็นจุดอยู่นอกไฟเบอร์ โดยอ่านค่าในช่วงเช้า - เที่ยง จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิจากผิวนอกของไฟเบอร์สูงกว่าผิวคอนกรีตที่ปิดช่องของคานรูปกล่องนั้นมากนัก จนอุณหภูมิที่ติดกับคอนกรีตนั้น ผิดไปจากอุณหภูมิภายในเพียง ±1 ^{o}ซ. (ดูตารางที่ 3-10) จึงเห็นได้ว่า การติดไมโครไฟเบอร์นี้ช่วยให้การกระจายความร้อนจากภายนอกบริเวณหัวท้ายนั้นไม่อาจเข้าไปถึงหลังไฟเบอร์ได้

5.4 <u>ข้อผิดพลาด</u>

ในการวิจัยครั้งนี้ แม้จะได้ผลดีพอสมควร แต่ก็มีข้อผิดพลาดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นคือ

1. เครื่องมือที่วัดนี้ไม่ละเอียดพอ (ไม่มีค่าทศนิยม) ซึ่งทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนของค่าที่อ่านได้ แต่ก็ไม่มากนักเพราะจะผิดพลาดเพียง ±1 ^{o}ซ. เท่านั้น

2. ในการใช้หัววัดแบบจิ้มลงไปยังจุดนั้น หากจิ้มบนจุดที่ร้อยก่อนแล้วมายังจุดที่เย็นกว่า จะทำให้ค่าที่อ่านได้ผิดไปได้ เนื่องจาก Thermocouple หดตัวลงมาช้า ต้องใช้เวลาพอสมควร ดังนั้นในการวัดนั้นจะต้องใช้เวลาพอสมควรในแต่ละจุด ทำให้จุดอื่น ๆ ที่ยังไม่วัดมีการเปลี่ยนแปลงไปได้บ้างแล้ว แต่ในสาเหตุนี้ กระทำการแก้ไขได้ 2 วิธี ดังนี้

2.1 ใช้เวลาประมาณ 30 วินาที เพื่อให้การหดตัว-ขยายตัวอยู่กับที่

2.2 วัดจุดที่ไม่ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ก่อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย