

การใช้งานกล้องอินฟราเรดในการตรวจสอบ โครงสร้างคอนกรีต

ดร.รктиพงษ์ สหมิตรมงคล

ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา (CONTEC)

ในปัจจุบันองค์กรต่างๆได้ตระหนักถึงความสำคัญของการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตมากขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะอายุของโครงสร้างต่างๆในประเทศไทยเริ่มมีอายุมากขึ้น และยังพบความเสียหายที่ค่อนข้างรุนแรงในบางกรณี ด้วยเหตุนี้วิธีการตรวจสอบแบบต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคนิคการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย (Non-Destructive Tests) ซึ่ง ช่วยให้ผู้ตรวจสอบสามารถเก็บข้อมูลสภาพของโครงสร้างได้โดยไม่ต้องทำความเสียหายแก่โครงสร้างนั้นๆจึงได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นมากในปัจจุบัน การใช้งานกล้องอินฟราเรด (Infrared Camera) ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจเป็นอย่างมาก ทั้งนี้ในปัจจุบัน ก็มีการใช้งานกล้องอินฟราเรดในโรงงานเพื่อจุดประสงค์ต่างๆ เช่น ตรวจสอบอุณหภูมิของจุดเชื่อมสายไฟ หรือ สำหรับวัดอุณหภูมิของเครื่องจักรอยู่แล้ว แต่ในบทความนี้ ผู้เขียนจะขอก้าวถึงการประยุกต์ใช้งานกล้องอินฟราเรดสำหรับงานตรวจสอบ โครงสร้างคอนกรีตเป็นหลัก

1. หลักการทำงานของกล้องอินฟราเรด

รูปที่ 1 เป็นตัวอย่างกล้องอินฟราเรดเป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจจับความร้อนและการกระจายอุณหภูมิของพื้นผิว โดยผลจากการวัดจะเป็นลักษณะเป็น “รูปถ่ายความร้อน (Thermal Image)” อย่างไรก็ตามกล้องอินฟราเรดไม่ได้ทำการวัดอุณหภูมิโดยตรงแต่ทำการวัดการแผ่รังสีอินฟราเรด (คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 2-14 μm) และทำการแปลรังสีอินฟราเรดที่วัดได้เป็นอุณหภูมิตามกฎของ Stefan-Boltzmann ดังแสดงในสมการที่ 1

$$R = e \sigma T^4 \quad (1)$$

R = อัตราการแผ่รังสีอินฟราเรดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (W/m^2)

e = อัตราการปล่อยพลังงานรังสี (emissivity) ของผิววัตถุโดยมีค่าไม่เกิน 1 (Siegel)

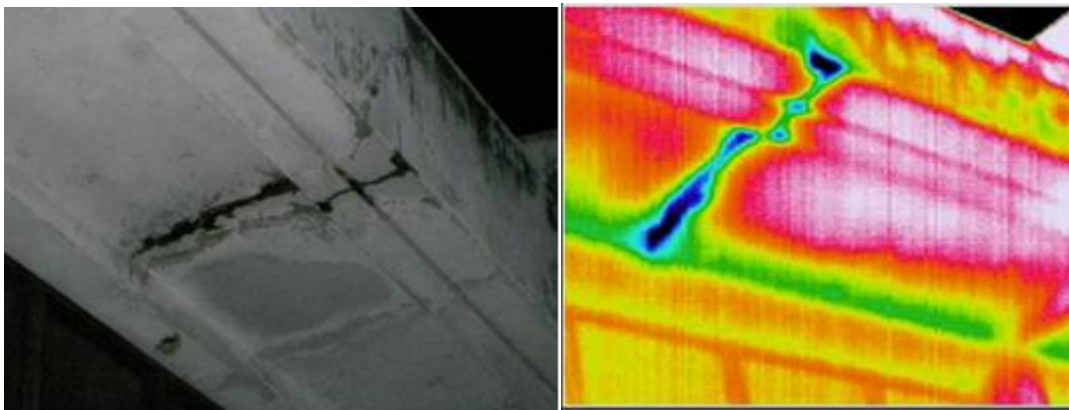
σ = ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann ซึ่งมีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของผิววัตถุ (K)

จากสมการที่ 1 จะเห็นได้ว่าการแปลงอัตราการแผ่รังสี (R) เป็น อุณหภูมิที่ถูกต้องจำเป็นต้องทำการกำหนดค่าอัตราการปล่อยพลังงานรังสีของผิว วัตถุที่เหมาะสมสำหรับวัตถุนั้นๆ ค่าอัตราการปล่อยพลังงานรังสีของผิววัตถุที่บ่งบอกถึงความสามารถของผิวต่างๆ กับการปล่อยพลังงานรังสีของ Black Body (ค่าอัตราการปล่อยพลังงานรังสีของผิววัตถุของ Black Body มีค่าเท่ากับหนึ่ง) ทั้งนี้ค่าอัตราการปล่อยพลังงานรังสีของวัสดุก่อสร้างส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.85 ถึง 0.96 และค่าอัตราการปล่อยพลังงานรังสีจะไม่ขึ้นอยู่กับสีของผิววัตถุหากใช้การตรวจวัดรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นในช่วงที่ยาวกว่า (Longer IR Wave, ความยาวคลื่นระหว่าง 8-14 μm) ในการวัด ภายหลังจากการวัดกล้องจะแสดงผลการวัดออกมาในรูปแบบของรูปถ่ายซึ่งมีสีแตกต่างกันไปตามระดับการแผ่รังสีที่วัดได้ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 กล้องอินฟราเรดสำหรับการตรวจวัดการแผ่รังสีอินฟราเรด



รูปที่ 2 ตัวอย่างรูปถ่ายความร้อน (Thermal Image) ของผิวคอนกรีตที่มีโพรง

กล้องอินฟราเรดที่มีอยู่ในปัจจุบันจะมีอยู่ 2 ระบบหลัก ๆ คือ FPA-Camera (Focal Plane Array) ซึ่งอาศัยหน่วยตรวจวัดแบบสองมิติ (2-Dimensional Detector) และ Scanner-Camera ซึ่งใช้หน่วยตรวจวัดเดี่ยว (Single Detector) ประกอบกับอุปกรณ์การสแกน (Scanning Equipment) ทั้งนี้ปัจจัยหลัก ๆ ในการเลือกใช้กล้องอินฟราเรดที่เหมาะสมคือ Thermal Sensitivity, Field of View (FOV) และ Instantaneous Field of View (IFOV) ของกล้องอินฟราเรด ดังรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 1

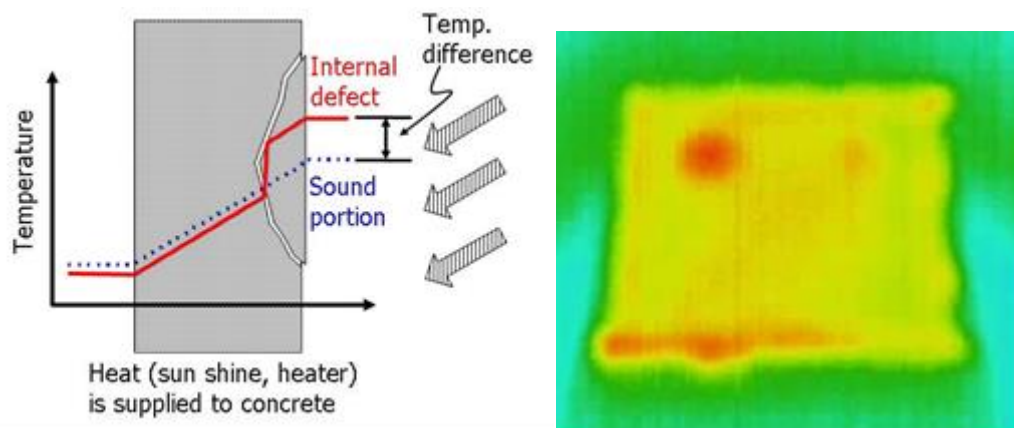
ตารางที่ 1: ปัจจัยหลักในการเลือกใช้อุปกรณ์อินฟราเรด

ปัจจัย	รายละเอียด
Thermal Sensitivity	ความสามารถของกล้องอินฟราเรดที่จะแยกแยะอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยค่า Thermal Sensitivity สำหรับงานตรวจสอบโครงสร้างไม่ควรเกิน 0.1°C
Field of View (FOV)	มุมกว้างของรูปที่สามารถถ่ายได้ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของรูป Thermal Image และเลนส์ที่ใช้ ค่า FOV ที่มากขึ้นแสดงถึงความสามารถในการถ่ายภาพวัตถุที่ใหญ่กว่าได้ที่ระยะห่างเท่าเดิม
Instantaneous Field of View (IFOV)	หมายถึงความละเอียดของรูปถ่ายความร้อน ซึ่งหมายถึงขนาดของมุมที่จะถูกแสดงผลในแต่ละ pixel ของรูปถ่ายความร้อน หากค่า IFOV มีค่าสูงเกินไป ภาพถ่ายความร้อนจะมีลักษณะไม่ละเอียด เนื่องจากอุณหภูมิของแต่ละ pixel เป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวที่อยู่ใน IFOV เดียวกัน (ค่า IFOV ที่สูงขึ้นหมายความว่าอุณหภูมิที่แสดงในรูปถ่ายอุณหภูมิเป็นค่าเฉลี่ยของพื้นที่ที่ใหญ่ขึ้น) ด้วยเหตุนี้ค่า IFOV จึงมีความสัมพันธ์กับ Geometrical Resolution ของกล้องอินฟราเรด

เนื่องจากกล้องอินฟราเรดจะทำการวัดอุณหภูมิของผิว ดังนั้นเราจึงสามารถใช้ในการค้นหารอยมือที่อยู่บนโตะหรือตำแหน่งที่เคยมี แก้วน้ำร้อนวางบนโตะ ได้ถึงแม้แก้วนั้นถูกเอาออกไปแล้ว และหากเราพยายามทำการวัดอุณหภูมิของวัตถุใด ๆ โดยมีกระจกคั่นกล้องอินฟราเรดจะทำการวัดอุณหภูมิของกระจกแทนและจะมองไม่เห็น วัตถุที่ต้องการวัด

2. หลักการใช้งานกล้องอินฟราเรดในการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีต

เราสามารถนำกล้องอินฟราเรดมาใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตได้โดยอาศัยการนำ ความร้อนที่แตกต่างกันของคอนกรีตและอากาศ โดยอากาศมีลักษณะเป็นฉนวนโดยธรรมชาติ (มีค่าการนำความร้อนต่ำมาก) ดังนั้นหากโครงสร้างส่วนใด ๆ มีช่องว่าง รอยร้าว หรือการหลุดร่อนอยู่ภายใน โครงสร้างส่วนดังกล่าวจะไม่สามารถถ่ายความร้อนไปยังส่วนอื่นของโครงสร้างได้ ดังนั้น หากมีความร้อนมากกระทบที่ผิวโครงสร้าง โครงสร้างส่วนที่มีช่องว่างอยู่ภายในจะมีอุณหภูมิสูงกว่าส่วนของโครงสร้าง ที่มีลักษณะสมบูรณ์ (ดังแสดงในรูปที่ 3) รูปที่ 3ข แสดงตัวอย่างรูปถ่ายความร้อนที่ได้จากตัวอย่างคอนกรีตที่มีโพรงอยู่ภายใน (บริเวณสีแดง)



(ก) หลักการตรวจสอบ (ข) ตัวอย่างการตรวจหาโพรงภายในคอนกรีต
รูปที่ 3 หลักการตรวจสอบ และตัวอย่างผลการตรวจหาโพรงภายในคอนกรีต

ตารางที่ 2 ข้อได้เปรียบของการตรวจสอบโดยกล้องอินฟราเรด

กล้องอินฟราเรด	การทดสอบแบบไม่ทำลายอื่นๆ
สามารถตรวจสอบโครงสร้างเป็นบริเวณกว้างได้ในการวัดครั้งเดียว (2-D Measurement)	สามารถตรวจสอบได้ที่จุดหรือเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างจุดสองจุด (Point or 1-D measurement)
สามารถตรวจสอบจากระยะไกลได้	ต้องเข้าถึงผิวโครงสร้างที่ต้องการตรวจสอบ
มีความรวดเร็วในการตรวจสอบสูง	ใช้เวลาในการเตรียมและดำเนินการตรวจสอบค่อนข้างมาก
สามารถตีความเชิงคุณภาพได้ทันทีที่ทำการวัดเสร็จ	จำเป็นต้องวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความซับซ้อนและต้องอาศัยประสบการณ์สูง

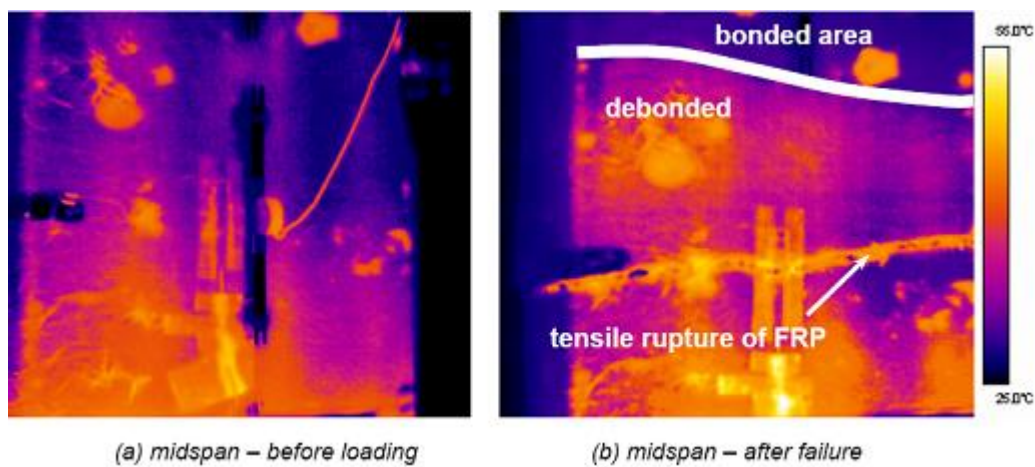
การตรวจสอบด้วยกล้องอินฟราเรดมีลักษณะที่พิเศษและมีข้อได้เปรียบหลายอย่างเมื่อเทียบกับการทดสอบแบบไม่ทำลายต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 อย่างไรก็ตาม การตรวจสอบด้วยกล้องอินฟราเรดก็มีข้อจำกัด เช่น

- v สามารถตรวจสอบได้เฉพาะความเสียหายที่เกิดใกล้ผิวโครงสร้าง (Shallow defects) เท่านั้น
- v จำเป็นต้องมีการให้ความร้อนที่ค่อนข้างสม่ำเสมอกับผิวที่ต้องการตรวจสอบซึ่งอาจจะทำได้ยากสำหรับโครงสร้างที่มีลักษณะไม่เป็นระนาบ

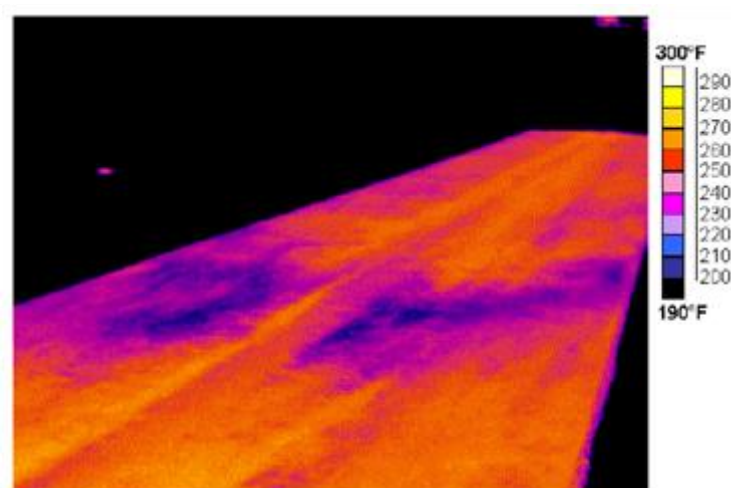
3. การประยุกต์ใช้งานกล้องอินฟราเรดในการตรวจสอบโครงสร้างแบบต่างๆ

นอกเหนือไปจากการตรวจสอบช่องว่างในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กคั้งที่ได้อธิบาย ในหัวข้อที่แล้ว เรายังสามารถนำกล้องอินฟราเรดไปใช้เพื่อจุดประสงค์อื่น ๆ ในงานก่อสร้าง เช่น การตรวจเช็คคุณภาพของการติดกระเบื้องบนผิวโครงสร้างเพื่อป้องกันการหลุด

ร้อน ของกระเบื้อง หรือ ตรวจเช็คคุณภาพของงานซ่อมหรือเสริมกำลัง เช่นการเสริมกำลังด้วยแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใย (FRP) โดยรูปที่ 4 เป็นตัวอย่างการตรวจสอบโครงสร้างที่ได้รับการเสริมกำลังด้วย FRP ซึ่ง รูป 4(a) แสดงถึงจุดที่มีข้อบกพร่องในการติดตั้งอยู่เป็นจุด ๆ และรูป 4(b) แสดงรูปถ่ายความร้อนที่ถ่ายได้ภายหลังจากการวิบัติของโครงสร้าง ซึ่งจะพบได้ว่าตำแหน่งที่เกิดการ debonding นั้นตรงกับตำแหน่งที่มีข้อบกพร่องในการติด FRP



รูปที่ 4 รูปถ่ายความร้อนของโครงสร้างที่เสริมกำลังด้วย FRP [2]



รูปที่ 5 การใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนในการควบคุมการก่อสร้างถนนลาดยางมะตอย [3]

นอกจากนี้กล้องถ่ายภาพความร้อนยังสามารถใช้ประกอบการควบคุมการก่อสร้างเช่น การตรวจสอบอุณหภูมิของผิวโครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่หลังการเท หรือ การก่อสร้างถนนลาดยางมะตอยเพื่อประเมินโอกาสที่จะเกิดความเสียหายขึ้นในโครงสร้างอันเนื่องมาจากความผิดพลาดระหว่างการก่อสร้างได้ด้วย โดยรูปที่ 3 เป็นตัวอย่างของการตรวจสอบผิวคอนกรีตราดยางมะตอยที่เกิดการเย็นตัวการจะได้รับการบดอัด (จุดที่มีสีดำ) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ทำให้ผู้ก่อสร้างสามารถป้องกันจุดที่อาจเกิดความเสียหายได้อย่างทันทั่วทั้ง

4. References

- [1] R. Sahamitmongkol, J. E. Mula, Y. Kato, “*Study on Factors Affecting the Detection of Anomalies by Infrared Thermography*”, The Proceedings of the Third Annual Concrete Conference (ACC3), Thai Concrete Association
- [2] J. R. Brown and H.R. Hamilton III, “*NDE of Reinforced Concrete Strengthened with Fiber-Reinforced Polymer Composites using Infrared Thermography*”, Inframation – The Thermographer’s Conference
- [3] L.A. Myers, J. Mahoney, and J. Stephens, “*Application of Infrared Thermographic Imaging to Bituminous Concrete Pavements*”, Research Report No. 2229-1-01-9, Connecticut Advanced Pavement Laboratory, University of Connecticut