

การใช้ระบบวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีอินฟราเรดแบบใกล้เพื่อตรวจสอบการเสื่อมสภาพคอนกรีต Application of Near-Infrared Spectral Imaging System for Inspection of Concrete Deterioration

รศ.กิตติพงษ์ สหามิตรมงคล¹, อีซาชิ คานาดา², โยชิตะกะ คาโตะ², ทาเคโตะ อุโอะโมโตะ²

Raktipong Sahamitmongkol¹, Hisashi Kanada², Yoshitaka Kato², and Taketo Uomoto²

¹ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา (CONTEC), SIIT, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ถนนพหลโยธิน กม. 42 ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

โทร 02-986-9009 ต่อ 3002, โทรสาร 02-986-9009 ต่อ 3001, E-mail: sahamit@siit.tu.ac.th

²International Center for Urban Safety Engineering (ICUS), the University of Tokyo

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการนำระบบการวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีอินฟราเรดแบบใกล้ไปใช้วัดองค์ประกอบทางเคมีของคอนกรีต เช่น ปริมาณคลอไรด์ในตัวอย่างทดสอบที่ถูกผสมคลอไรด์ตั้งแต่ขั้นตอนการผสมคอนกรีต, ปริมาณคลอไรด์ และการกระจายตัวของคลอไรด์ของตัวอย่างทดสอบคอนกรีตที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมทะเล, และตัวอย่างทดสอบซีเมนต์เพสต์ และมอร์ตาร์ที่ถูกกัดกร่อนด้วยกรดซัลฟิวริก ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงความสามารถของการวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีอินฟราเรดแบบใกล้ในการวัดการเสื่อมสภาพของคอนกรีตในรูปแบบต่าง ๆ กัน

การใช้เทคนิคดังกล่าวยังสามารถประเมินคุณภาพของงานเคลือบผิวโครงสร้างคอนกรีตได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้เทคนิคดังกล่าวกับอุปกรณ์เสริม เพื่อวัดองค์ประกอบทางเคมีของโครงสร้างคอนกรีตที่มีความลึกต่างๆ

Abstract

The near-infrared spectral imaging system is used to investigate chemical compositions of different types of specimens. Chemical compositions of cement paste specimen containing chloride ions, concrete specimen which was kept in marine environment, as well as the cement paste and mortar specimens which are deteriorated by sulfuric acid can be successfully measured by the NIR spectral imaging system.

The method can be also applied to evaluate the quality of concrete surface coating work. In addition, this technique can be employed with special instrument in order to measure a chemical composition of concrete structure at different depths.

1. คำนำ

การตรวจสอบและบำรุงรักษาโครงสร้างเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากขึ้นเรื่อยๆ โดยตลาดสำหรับการตรวจสอบและ

ซ่อมแซมโครงสร้างนั้นมีมูลค่าสูงถึง 30 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของมูลค่าของงานก่อสร้างทั้งหมด สัดส่วนดังกล่าวยังคงคาดการณ์ว่าจะมีค่ามากขึ้นอย่างรวดเร็วในอนาคต ในกรณีของโครงสร้างพื้นฐานของสังคม พื้นที่ที่ต้องการการตรวจสอบนั้นจะมีขนาดใหญ่และมักจะมีลักษณะแวดล้อมที่ไม่สะดวกต่อการตรวจสอบ ดังนั้นการตรวจสอบโครงสร้างพื้นฐานดังกล่าวจึงต้องการงบประมาณและแรงงานที่ค่อนข้างสูง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว วิธีการทดสอบที่มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพมากขึ้นจึงมีความจำเป็น การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testings, NDTs) หลายแบบได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อจุดประสงค์ดังกล่าว อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวนั้นสามารถใช้ได้สำหรับสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล เช่น ความลึกของรอยแตก ร้าว ช่องว่างในโครงสร้างคอนกรีต ตำแหน่งของเหล็กเสริม หรือกำลังอัดประลัย ยกตัวอย่างเช่น ช่องว่างในโครงสร้างคอนกรีตสามารถตรวจสอบได้ด้วยกล้องอินฟราเรด หรือ การใช้คลื่นอัลตราโซนิกเพื่อตรวจสอบความลึกของรอยร้าว

การเจาะเก็บตัวอย่างจากโครงสร้างคอนกรีต และนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เป็นวิธีการทั่วไปที่ใช้ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของคอนกรีตในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวนี้ประกอบไปด้วยขั้นตอนที่ยุ่งยาก ใช้เวลาดำเนินการหลายวัน และต้องใช้สารเคมีบางอย่างเพื่อทำลายสารที่ต้องการตรวจสอบ ในขณะที่การตรวจสอบส่วนประกอบทางเคมีของคอนกรีตด้วยการวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีอินฟราเรดนั้นเป็นวิธีการที่สามารถวัดการกระจายตัวของสารต่างๆบนผิวของโครงสร้างได้อย่างสะดวกและรวดเร็วกว่า

บทความนี้ นำเสนอผลการนำระบบวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีอินฟราเรดแบบใกล้ไปทำการทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างทดสอบหลายๆแบบ และ หลายๆจุดประสงค์ นอกจากนี้ข้อจำกัด และข้อดีในการนำเทคนิคนี้ไปใช้ในงานตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตจริง จะถูกกล่าวถึงในตอนท้ายของบทความนี้ด้วย

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบของคอนกรีต

เมื่อพิจารณาการเสื่อมสภาพของคอนกรีต การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีนั้นมักจะมีส่วนเกี่ยวข้องเป็นส่วนใหญ่ การบอบช้ำและการเสื่อมสภาพเนื่องจากคลอไรด์ไอออน เป็นตัวอย่างที่พบเห็นได้บ่อยในประเทศไทย การวัดปริมาณของสารเหล่านี้ที่ผิวของโครงสร้างคอนกรีตนั้นเป็นขั้นตอนที่สำคัญต่อการประเมินความคงทนของโครงสร้างคอนกรีต ในปัจจุบันการเก็บข้อมูลเหล่านี้มีขั้นตอนที่ซับซ้อนและใช้เวลาและงบประมาณค่อนข้างมาก

2.1 วิธีการทดสอบหาองค์ประกอบของคอนกรีตในปัจจุบัน

การเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากคลอไรด์ คาร์บอนเนชั่น และซัลเฟต เป็นการเสื่อมสภาพทางด้านความคงทนที่พบเห็นได้ทั่วไปในประเทศไทย ในกรณีของคาร์บอนเนชั่น ความลึกของการเกิดคาร์บอนเนชั่นนั้นจะถูกวัดด้วยการเจาะเก็บตัวอย่างจากโครงสร้าง (Coring) และใช้สารฟีนอล์ฟทาลินเพื่อทดสอบความเป็นกรดค้างของตัวอย่างทดสอบ โดยส่วนของคอนกรีตที่ไม่มีการเปลี่ยนสีจะเป็นส่วนที่เกิดคาร์บอนเนชั่น

ในกรณีของปริมาณคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีต ตัวอย่างผกคอนกรีตจากโครงสร้างที่ต้องการตรวจสอบต้องถูกทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยคลอไรด์จะถูกทำลายด้วยสารละลายกรดเช่น กรดไนตริกที่มีอุณหภูมิสูง และทำการไทเทรชัน (Titration) ด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรด (ตามมาตรฐานของญี่ปุ่น JCI SC5)

จากวิธีการทดสอบคาร์บอนเนชั่น และคลอไรด์ของคอนกรีตจะเห็นได้ว่ามีขั้นตอนที่ซับซ้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของคลอไรด์ และยังมีข้อจำกัดที่ว่าสามารถทำการวัดได้แค่ที่ละจุดในหนึ่งครั้ง

2.2 วิธีการทดสอบหาองค์ประกอบด้วยวิธีการวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีอินฟราเรดแบบใกล้

เทคนิคการตรวจสอบสเปกตรัมของรังสีอินฟราเรดมีข้อดีหลายอย่างเมื่อเทียบกับวิธีการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของคอนกรีตแบบทั่วไป ข้อดีที่เห็นได้ชัดที่สุดคือความสามารถในการวัดปริมาณสารเคมีที่ผิวได้เร็วและทำให้ไม่จำเป็นต้องเจาะโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดเวลา และอาจจะทำการวัดได้เป็นพื้นที่กว้างกว่าวิธีมาตรฐาน

หลักการทำงานโดยละเอียดของการวิเคราะห์รังสีอินฟราเรดแบบใกล้ได้ถูกนำเสนอในบทความอ้างอิง [1] ซึ่งรวมถึงโครงสร้างของระบบการวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีอินฟราเรดแบบใกล้ด้วย

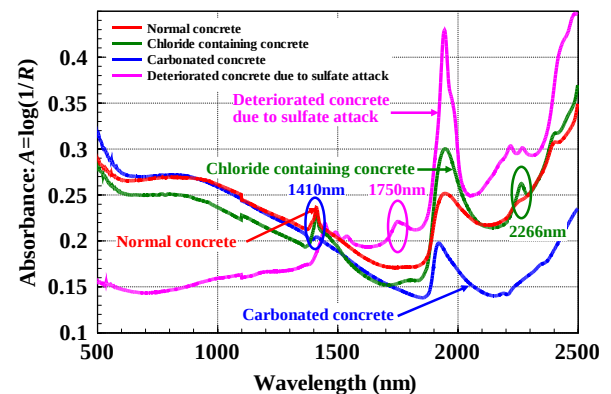
โดยสรุปปริมาณสารเคมีในระดับโมเลกุล เช่น ไฮดรอกซิล (OH^-) แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) แคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) นั้นจะ

มีความสามารถในการสะท้อนหรือดูดซับรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นเฉพาะสำหรับสารชนิดนั้น

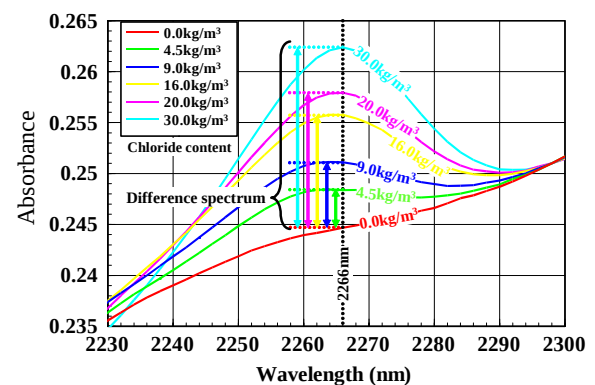
รูปที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงสเปกตรัมของคอนกรีตอันเนื่องมาจากคาร์บอนเนชั่น คลอไรด์ไอออน และการเสื่อมสภาพเนื่องจากคลอไรด์ โดยตารางที่ 1 เป็นการสรุปความยาวคลื่นเฉพาะที่ใช้ในการตรวจสอบหาการเสื่อมสภาพแต่ละแบบ และพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 1 ความยาวคลื่นเฉพาะสำหรับการเสื่อมสภาพแบบต่างๆ

สารที่ต้องการตรวจสอบ	ความยาวคลื่น	การเปลี่ยนแปลงอัตรการดูดซับรังสีอินฟราเรด
คลอไรด์	2266 nm	อัตรการดูดซับเพิ่มถ้ามีปริมาณคลอไรด์มากขึ้น
คาร์บอนเนชั่น	1410 nm	อัตรการดูดซับน้อยลงถ้ามีการเกิดคาร์บอนเนชั่น
ซัลเฟต	1750 nm	อัตรการดูดซับมากขึ้นถ้ามีการเสื่อมสภาพจากซัลเฟต

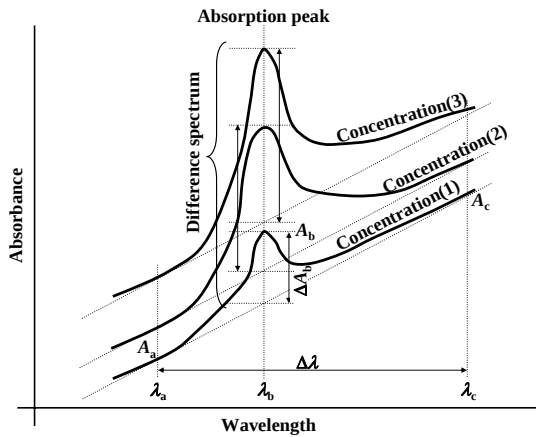


รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงสเปกตรัมของรังสีอินฟราเรดแบบใกล้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของคอนกรีต



รูปที่ 2 อัตรการเปลี่ยนแปลงความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 2266 นาโนเมตร ตามปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีต

รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ต้องการวัดและมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสเปกตรัม โดยการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นเมื่อมีสารที่ต้องการตรวจสอบมากขึ้น และในหลายๆกรณี สเปกตรัมของอนุพันธ์ลำดับที่สองจะถูกใช้แทนเพื่อทำให้การเปลี่ยนแปลงสเปกตรัมง่ายขึ้น [1]



รูปที่ 3 วิธีการคำนวณค่าความแตกต่างของสเปกตรัม

รูปที่ 3 แสดงการคำนวณการเปลี่ยนแปลงสเปกตรัม ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$\Delta A_b = A_b - \left(A_a + \frac{A_c - A_a}{\lambda_c - \lambda_a} \times (\lambda_b - \lambda_a) \right) \quad (1)$$

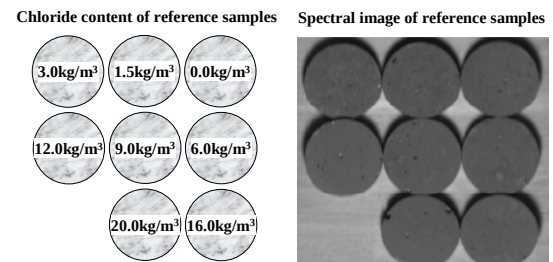
โดยที่ ΔA_b : การเปลี่ยนแปลงสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นเฉพาะ
 A_a : ค่าการดูดซับที่จุดอ้างอิงแรก (ความยาวคลื่นน้อยกว่าความยาวคลื่นเฉพาะ)
 A_b : ค่าการดูดซับที่จุดสูงสุด (ค่าการดูดซับที่ความยาวคลื่นเฉพาะ)
 A_c : ค่าการดูดซับที่จุดอ้างอิงที่สอง (ค่าการดูดซับที่ความยาวคลื่นมากกว่าความยาวคลื่นเฉพาะ)
 λ_a : ความยาวคลื่นอ้างอิงแรก
 λ_b : ความยาวคลื่นเฉพาะ
 λ_c : ความยาวคลื่นอ้างอิงที่สอง

การเลือกจุดอ้างอิงทั้งสองจุดนั้นควรเลือกจุดที่ค่าของสเปกตรัมนั้นไม่เปลี่ยนไปตามความเข้มข้นของสารที่ต้องการวัด นั่นคือความชันของเส้นเชื่อมจุดอ้างอิงสองจุดนั้นไม่เปลี่ยนไปเมื่อความเข้มข้นของสารที่ต้องการวัดเปลี่ยนไป

3. การทดลองตรวจสอบคอนกรีตด้วยระบบ Near-Infrared Spectral Imaging System

ในบทความนี้ ระบบ Near-Infrared Imaging System ได้ถูกทดสอบกับตัวอย่างทดสอบที่แตกต่างกันเพื่อประเมินความสามารถในการใช้งานเพื่อจุดประสงค์ที่ต่างกันออกไปในสถานการณ์ต่างๆกัน

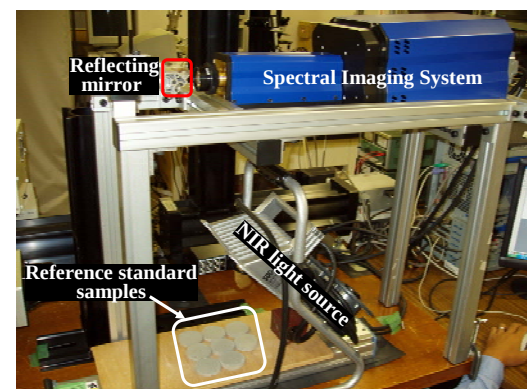
3.1 การตรวจสอบหาปริมาณคลอไรด์จากซีเมนต์เพสต์



รูปที่ 4 การเรียงตัวอย่างทดสอบซีเมนต์เพสต์ที่มีปริมาณคลอไรด์แตกต่างกัน

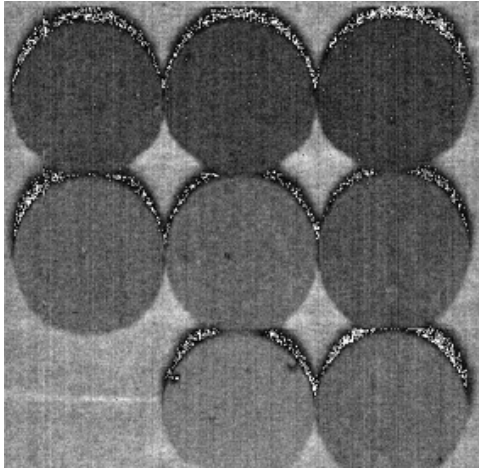
ตัวอย่างทดสอบซีเมนต์เพสต์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มม. จำนวนแปดตัวอย่างซึ่งมีปริมาณคลอไรด์แตกต่างกัน (รูปที่ 4) ถูกทดสอบเพื่อวัดปริมาณคลอไรด์ โดยเกลือโซเดียมคลอไรด์ถูกละลายน้ำก่อนเติมไปในเครื่องผสมในระหว่างขั้นตอนการผสมซีเมนต์เพสต์ โดยซีเมนต์เพสต์นั้นผลิตมาจากปูนปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5 ปริมาณคลอไรด์ในตัวอย่างทดสอบมีค่าเท่ากับ 0, 1.5, 3.0, 6.0, 9.0, 12.0, 16.0, 20.0 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

รูปที่ 5 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการวัดสเปกตรัมของรังสีอินฟราเรดแบบใกล้ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก คือ ตัวกำเนิดรังสีอินฟราเรด และระบบ Spectral Imaging System (Spectroscopy และกล้อง CCD)



รูปที่ 5 การติดตั้ง Near-Infrared Imaging System

Difference spectrum image (Monochrome image)



รูปที่ 6 Difference Spectrum Image ของตัวอย่างทดสอบ

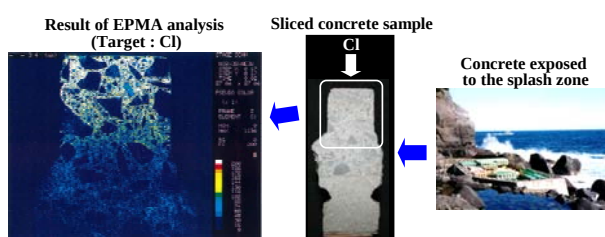
การวัดแบบสองมิติของสเปกตรัมรังสีอินฟราเรดที่สะท้อนจากตัวอย่างทดสอบถูกบันทึกและได้ทำการคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงค่าสเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 2266 นาโนเมตรของแต่ละจุดของรูปถ่าย [1] หลังจากนั้นขนาดการเปลี่ยนแปลงสเปกตรัมจึงถูกแสดงในรูปแบบของ Difference Spectrum Image ดังแสดงในรูปที่ 6

ในรูปที่ 6 พื้นที่ที่มีสีอ่อนคือพื้นที่ที่มีปริมาณคลอไรด์มาก และพื้นที่ที่มีสีเข้มคือพื้นที่ที่มีปริมาณคลอไรด์น้อย โดยจะพบว่า การเรียงลำดับของปริมาณความเข้มในรูปตรงกับ การเรียงลำดับของปริมาณคลอไรด์ในตัวอย่างทดสอบซีเมนต์เพสต์ที่แสดงอยู่ในรูปที่ 4

ผลจากการทดสอบขึ้นนี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการวัดปริมาณสารเคมีด้วยรังสีอินฟราเรดแบบใกล้เคียงนั้นสามารถวัดปริมาณคลอไรด์รวม (Total Chloride) ภายในซีเมนต์เพสต์ได้

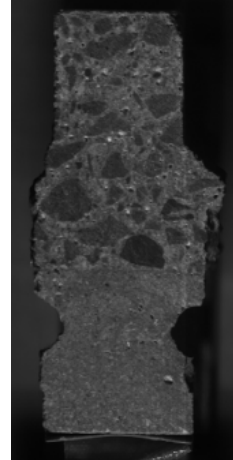
3.2 การตรวจสอบปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตในเขตทะเล

วิธีการวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีอินฟราเรดแบบใกล้เคียงได้นำไปใช้เพื่อทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมทะเล โดยทำการเปรียบเทียบกับ การวัดปริมาณคลอไรด์ด้วยเครื่อง EPMA (Electron Probe Micro Analyzer) และการวัดปริมาณคลอไรด์ด้วยการไทเทรชัน

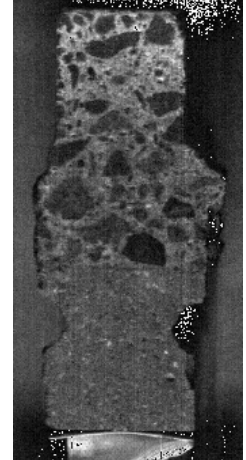


รูปที่ 7 ตัวอย่างทดสอบและการวัดปริมาณคลอไรด์ด้วยเครื่อง EPMA

Spectral image
(2266nm)



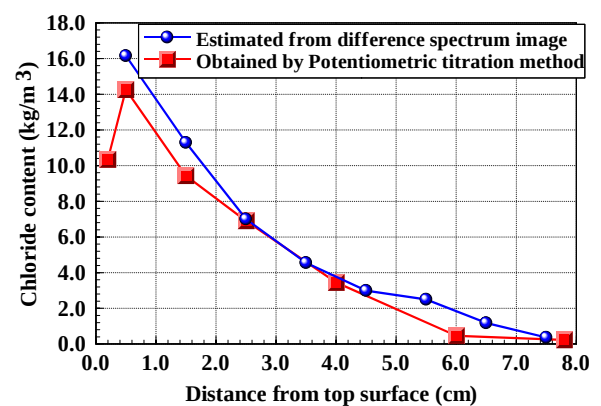
Difference spectrum image
(Monochrome image)



รูปที่ 8 รูปถ่ายสเปกตรัมรังสีอินฟราเรดแบบใกล้เคียง

รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในการทดสอบ และผลการทดสอบจากเครื่อง EPMA ส่วนที่มีอ่อนกว่าคือส่วนที่มีปริมาณคลอไรด์มากกว่า จะสังเกตได้ว่าส่วนที่มีใกล้ผิวจะมีสีอ่อนกว่า และส่วนที่เป็นมวลรวมจะมีสีทึบ (ไม่มีปริมาณคลอไรด์)

รูปที่ 8 แสดงรูปถ่าย Difference Spectrum Images จากตัวอย่างทดสอบดังกล่าว จากรูปจะพบได้ว่าปริมาณคลอไรด์ที่วัดได้จากวิธีการวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีอินฟราเรดแบบใกล้เคียงนั้นมีความใกล้เคียงกับผลการวัดจากเครื่อง EPMA ที่แสดงในรูปที่ 7 นอกจากนี้ปริมาณคลอไรด์ที่วัดได้ที่ระยะห่างจากผิวต่างกัน ยังถูกนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณคลอไรด์ที่วัดได้จากวิธีการไทเทรชันดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบปริมาณคลอไรด์ที่ได้จากการวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีอินฟราเรดแบบใกล้เคียง และ วิธีการไทเทรชัน

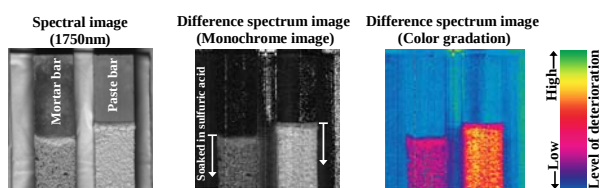
หากเปรียบเทียบวิธีการวัดปริมาณคลอไรด์แบบต่างๆที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้จะพบว่า การไทเทรชันนั้นต้องการขั้นตอนในการ

บดตัวอย่างทดสอบ และ การทำละลายคลอไรด์ที่อยู่ในตัวอย่างทดสอบด้วยสารละลายกรด ในขณะที่การวัดปริมาณคลอไรด์ด้วยเครื่อง EPMA นั้นต้องกระทำในห้องทดลองเท่านั้น และยังคงมีกระบวนการขัดผิวและเคลือบผิวด้วยคาร์บอนก่อนทำการวิเคราะห์ ดังนั้นการทดสอบปริมาณคลอไรด์ด้วยการวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีอินฟราเรดแบบใกล้จึงเป็นวิธีการที่ใช้เวลาน้อยที่สุด

3.3 การค้นหาพื้นที่ของคอนกรีตที่เสื่อมสภาพเนื่องจากกรดซัลฟูริก

วิธีการวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีอินฟราเรดแบบใกล้ยังสามารถนำไปใช้วัดความเสียหายของมอร์ตาร์ และ ซีเมนต์เพสต์ที่ได้รับการความเสียหายจากกรดซัลฟูริกด้วย

ตัวอย่างทดสอบสองแบบที่เป็น ซีเมนต์เพสต์ และมอร์ตาร์ ที่ถูกใช้ในสารละลายกรดซัลฟูริก (ความเข้มข้น 10%) จากปฏิกิริยาของซีเมนต์เพสต์กับกรดซัลฟูริก แคลเซียมซัลเฟตไดไฮเดรตจะถูกผลิตบนผิวของตัวอย่างทดสอบ ซึ่งความยาวคลื่นรังสีเฉพาะของแคลเซียมซัลเฟตไดไฮเดรตมีค่าเท่ากับ 1750 nm ความแตกต่างของสเปกตรัมที่ 1750 nm จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเสียหายที่เกิดจากการกัดกร่อนด้วยกรดซัลฟูริกมีค่ามากขึ้น โดยรูปที่ 10 แสดง Difference Spectrum Image ของตัวอย่างทดสอบหลังจากถูกกัดกร่อนด้วยกรดซัลฟูริก ส่วนที่มีสีอ่อนคือส่วนที่เสียหายจากกรดซัลฟูริกมาก (ส่วนที่มีปริมาณแคลเซียมซัลเฟตไดไฮเดรตมาก) ในรูปที่ 10 จะสังเกตเห็นว่าการวัดความเสียหายจากการกัดกร่อนของกรดซัลฟูริกทั้งในมอร์ตาร์และซีเมนต์เพสต์นั้นสามารถวัดได้ด้วยวิธีการวิเคราะห์สเปกตรัมของคอนกรีต แต่ความเสียหายนั้นจะเห็นได้ชัดกว่าในกรณีของซีเมนต์เพสต์



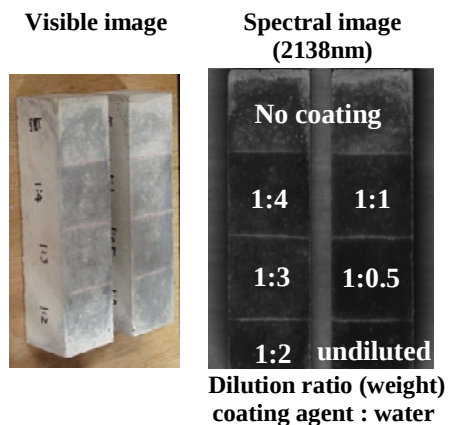
รูปที่ 10 ผลการทดสอบความเสียหายจากกรดซัลฟูริก

3.4 การใช้ระบบ Near-Infrared Spectral Imaging System เพื่อตรวจสอบงานเคลือบผิวคอนกรีต

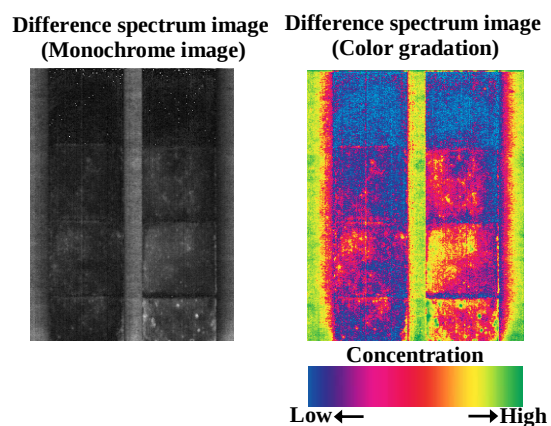
ในปัจจุบัน การใช้สารเคลือบผิว (Surface Coating Agents) เพื่อปรับปรุงการบ่ม ป้องกันหดตัวแบบแห้ง และป้องกันสารที่ทำให้คอนกรีตเสื่อมสภาพนั้น เป็นที่นิยมกันมากขึ้น สารชนิดนี้ส่วนใหญ่จะไม่มีสีด้วยเหตุผลทางสถาปัตยกรรม ซึ่งการที่สารเคลือบส่วนใหญ่มี

ลักษณะใสนั้นทำให้ยากที่จะตรวจสอบคุณภาพของการเคลือบผิวคอนกรีต

ระบบ Near-Infrared Spectral Imaging System ได้ถูกทดลองใช้ในการตรวจสอบความหนาแน่นของสารเคลือบผิวคอนกรีต สารเคลือบผิวคอนกรีตที่ใช้เป็นประเภทอะครีเลต (ethylene-vinyl acetate copolymer) สารเคลือบผิวที่ใช้ทดสอบนี้จะดูดซับรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่น 2138 นาโนเมตร แท่งตัวอย่างทดสอบถูกทาด้วยสารเคลือบผิวที่ละลายน้ำด้วยอัตราส่วนต่างๆกัน โดยสารละลายที่ทาลงบนแต่ละผิวตัวอย่างทดสอบแต่ละส่วนนั้นมีปริมาณเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 11 ดังนั้นคุณภาพ (ความเข้มข้น) ของสารเคลือบผิวจึงสามารถคำนวณได้จากขนาดของสเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 2138 นาโนเมตร โดยจุดที่มีสารเคลือบผิวมากกว่าจะมีสีอ่อนกว่าใน Difference Spectrum Image โดยการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของ Difference Spectrum ในแต่ละส่วนนั้นมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนระหว่างสารเคลือบผิวและน้ำ



รูปที่ 11 ตัวอย่างทดสอบความเข้มข้นของสารเคลือบผิวคอนกรีต และผลการทดสอบ



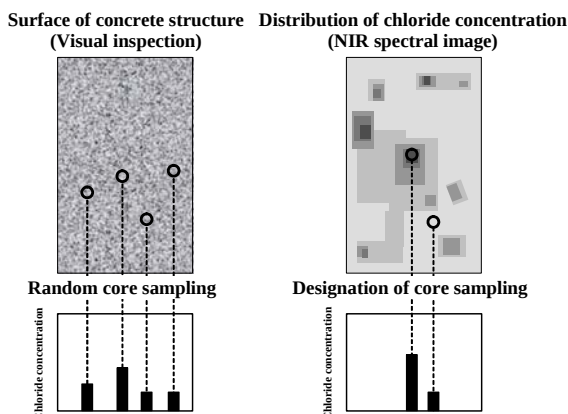
รูปที่ 12 ภาพ Difference Spectrum Image ของตัวอย่างคอนกรีตที่ได้รับการเคลือบผิว

รูปที่ 12 เป็นผลการวัดความเข้มข้นของปริมาณสารเคลือบผิวของคอนกรีต ส่วนที่มีสีอ่อนกว่าคือส่วนที่มีความเข้มข้นของสารเคลือบผิวมากกว่า ผลการวัดแสดงให้เห็นว่าวิธีการวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีอินฟราเรดแบบใกล้สามารถตรวจสอบคุณภาพของงานเคลือบผิวคอนกรีตได้ดีในระดับหนึ่ง

นอกจากนี้ จากผลการทดสอบในรูปที่ 12 จะพบว่าความเข้มข้นของสารเคลือบผิวที่วัดได้จะมีความแตกต่างกันบ้างแม้ในส่วนที่ใช้สารเคลือบผิวที่มีความเข้มข้นเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องมาจากความหนาในการทาสารเคลือบผิวที่ไม่เท่ากัน และการระเหยของน้ำไปบางส่วนซึ่งทำให้ความเข้มข้นในส่วนเดียวกันมีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย

3.5 ข้อเสนอแนะ - การใช้งานวิธีการวิเคราะห์รังสีอินฟราเรดแบบใกล้ในสถานที่จริง

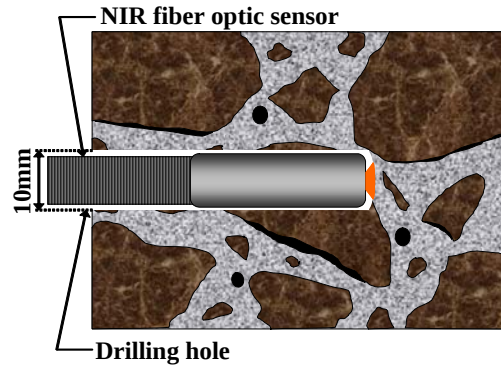
ในบทความนี้ ระบบ Near-Infrared Imaging System ซึ่งเป็นการประยุกต์ การวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีอินฟราเรดแบบใกล้ ให้มีความสามารถวัดการกระจายตัวของสารเคมีต่างๆ ในพื้นผิวสองมิติ อย่างไรก็ตามในการวัดปริมาณสารเคมีด้วยเทคนิคการวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีอินฟราเรดแบบใกล้นี้ ผู้ทำการวัดอาจจะทำการวัดด้วยการเก็บตัวอย่างทดสอบที่ผิวเพื่อทดสอบปริมาณสารเคมีด้วยวิธีการมาตรฐานเพื่อยืนยันความถูกต้องของผลการวัดในแต่ละกรณีไปด้วย โดยเทคนิคที่ถูกนำเสนอในบทความนี้จะช่วยให้สามารถลดจำนวนตัวอย่างทดสอบที่ต้องทำการเจาะ และสามารถวัดการกระจายตัวของสารเคมีบนผิวโครงสร้างได้อย่างรวดเร็ว (ดูรูปที่ 13)



รูปที่ 13 การใช้เทคนิค NIR Imaging System กับวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีแบบมาตรฐานเพื่อวัดการกระจายตัวของสารเคมี

ข้อจำกัดประการหนึ่งของระบบ Near-Infrared Imaging System คือการที่ระบบดังกล่าวสามารถวัดได้เพียงแค่ปริมาณสารเคมีบนผิวของโครงสร้าง อย่างไรก็ตามวิธีการวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสี

อินฟราเรดแบบใกล้สามารถประยุกต์ใช้กับ ตัวปล่อยและวัดรังสีอินฟราเรดแบบสาย (NIR fiber optic sensor) เพื่อทำการวัดปริมาณสารเคมีที่มีความลึกต่างๆ ณ ตำแหน่งที่ต้องการ (ดูรูปที่ 14)



รูปที่ 14 การใช้อุปกรณ์เสริม NIR Fiber Optic Sensor เพื่อวัดปริมาณสารเคมีที่มีความลึกต่างๆ

การวัดปริมาณสารเคมีที่ผิวด้วยเทคนิค Near-Infrared Imaging System และการวัดปริมาณสารเคมีที่มีความลึกต่างๆด้วย NIR fiber optic sensor จะช่วยให้ผู้ตรวจสอบสารเคมีในโครงสร้างสามารถวางแผนที่การกระจายตัวของสารเคมีที่ต้องการ เช่น ปริมาณคลอไรด์ หรือ ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ณ จุดต่างๆ ในโครงสร้างได้ นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีหลายๆตัวได้ด้วยการวัดเพียงครั้งเดียว

4. สรุป

ระบบ Near-Infrared Imaging System มีความสามารถในการวัดองค์ประกอบทางเคมีของโครงสร้างคอนกรีตได้ในหลายๆกรณี ระบบนี้สามารถนำไปใช้ควบคู่กับการวัดปริมาณสารเคมีแบบมาตรฐานเพื่อลดปริมาณตัวอย่างทดสอบที่ต้องใช้ ซึ่งสามารถช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์โครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ นอกจากนั้นวิธีการดังกล่าวยังสามารถใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของสารเคลือบผิวคอนกรีตด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] รักษิพงษ์ สหมิตรมงคล, อิชานี คณะณะ, โยชิทะกะ คาโตะ, และทาเคโตะ อุโอะโมโตะ “การพัฒนาวิธีการทดสอบการเสื่อมสภาพของคอนกรีตด้วยรังสีอินฟราเรดแบบใกล้” วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2550 หน้า 27 - 33
- [2] F. M. Howari , P. C. Goodell , S. Miyamoto, “Spectral Properties of Salt Crusts Formed on Saline Soils”, Journal of Environmental Quality, 31:1453-1461, 2002