

การเกิดผลึกคริสตัลไลเซชันของวัสดุกันซึมแบบซีเมนต์ ในลักษณะการทาลงบนพื้นผิวคอนกรีต

วรัญ วงศ์ประชุม

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

Email : warun.w@rmutsb.ac.th

Received: Aug 28, 2019

Revised: Oct 25, 2019

Accepted: Nov 7, 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินและตรวจหาคุณสมบัติการทำงานของสารเคมีในรูปแบบวัสดุกันซึมแบบซีเมนต์ ชนิดคริสตัลไลเซชัน โดยขอบเขตในงานวิจัยนี้ได้แก่ การตรวจหาคุณสมบัติชั้นผลึกคริสตัลไลเซชันในเนื้อโครงสร้างคอนกรีตถึงระยะ 1 เมตร จากวัสดุกันซึมแบบซีเมนต์ชนิดคริสตัลไลเซชัน ในลักษณะทาลงที่ผิวด้านบนสุดของคอนกรีต และทำการทดสอบหาค่าการดูดซึมของน้ำในเนื้อคอนกรีตที่ระดับความลึกต่าง ๆ เพื่อประเมินและตรวจวัดคุณสมบัติของวัสดุกันซึม ผลการทดสอบพบว่า การเกิดชั้นผลึกคริสตัลไลเซชันที่สร้างผลึกอุดปิดช่องว่างโพรงและรอยร้าวขนาดเล็กในเนื้อคอนกรีตจึงทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปในเนื้อตัวอย่างคอนกรีตผ่านทางช่องว่างโพรงและรอยร้าวได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มความหนาแน่นโดยการลดช่องว่างในเนื้อตัวอย่างคอนกรีตส่งผลให้มีปริมาณการดูดซึมน้ำต่ำไปด้วย

คำสำคัญ : วัสดุกันซึมแบบซีเมนต์, คริสตัลไลเซชัน, การต้านทานการซึมผ่านของน้ำ, การดูดซึมน้ำ, ความคงทนของคอนกรีต

The Crystallization of Cement Waterproofing Coated on Concrete Surface

Warun Wongprachum

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

Email: warun.w@rmutsb.ac.th

Received: Aug 28, 2019

Revised: Oct 25, 2019

Accepted: Nov 7, 2019

Abstract

This study aims to evaluate and detect the chemical properties in the crystallization of cement waterproofing material. The scope of this study is to examine the properties of the crystalline layers underneath 1 m of structural concrete which uses crystallization cement waterproofing by coating on the concrete surface. The water absorption of concrete at different depths were tested to evaluate and measure the waterproofing properties. From the test, the crystallization occurred to fill voids and small cracks in the concrete. Therefore, water cannot permeate through the concrete specimen via voids and cracks, which increases the density of the concrete specimen. As a result, the water absorption property is decreased.

Keywords : Cement Waterproofing, Crystallization, Waterproofing, Water Absorption, Durability of Concrete.

บทนำ

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตให้มีคุณสมบัติเชิงกลตามต้องการ สามารถทำได้ง่ายและให้ผลที่ค่อนข้างชัดเจนต่อความมั่นใจในการออกแบบใช้งาน แต่คุณสมบัติด้านความคงทนของคอนกรีตค่อนข้างมีความซับซ้อน เนื่องจากสภาพแวดล้อมจริงที่คอนกรีตสัมผัสมีปัจจัยหลายอย่างที่ส่งผลต่อการทำลายและไม่สามารถควบคุมได้ (F.Q. Zhao, H. Li and S.J. Liu, 2011, pp. 2635-2638) เช่น โครงสร้างคอนกรีตที่สัมผัสกับน้ำและความชื้นสูง ส่งผลให้ความคงทนของคอนกรีตลดลง เนื่องจากการซึมผ่านของน้ำที่จะเข้าทำลายเหล็กเสริมส่งผลให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างได้ (S. Mindess, J. F. Young and D. Darwin, 2002) การปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตโดยการใช้วัสดุปอซโซลานที่มีคุณภาพดี เช่น เถ้าถ่านหิน ซิลิกาฟูม หรือเถ้าชีวมวลบดละเอียด ให้ผลไปในทิศทางที่ดีและสามารถเพิ่มการป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้ ดังตัวอย่างงานวิจัย N. Benthia and S. Mindess, (1989, pp. 727-736) ได้ศึกษาหาค่าการซึมผ่านน้ำของซีเมนต์เพสต์โดยการศึกษาใช้ ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ 3 โดยจะมีการเปรียบเทียบการผสมซิลิกาฟูม การให้ความดันน้ำเป็นลักษณะแรงอัดสามแกน การหาค่าการซึมผ่านน้ำจะแสดงในรูปของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตจากสมการของดาร์ซี สามารถสรุปได้ว่า ค่าการซึมผ่านน้ำจะมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปฏิกิริยาไฮเดรชัน หรือระยะเวลาการบ่ม และการผสมซิลิกาฟูมร้อยละ 10-15 สามารถลดค่าการซึมผ่านน้ำได้ และในปีเดียวกัน D. Ludirdja, R.L. Berger and J.F. Young, (1989, pp. 433-439) ได้ศึกษาวิธีการและเครื่องมือในการหาค่าการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต โดยผลการศึกษาการหาค่าการซึมผ่านน้ำจะแสดงในรูปของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีต สามารถสรุปได้ว่า ผลของการซึมผ่านน้ำจะมีค่า

เพิ่มขึ้นหลังจากตัวอย่างรับกำลังอัด ร้อยละ 75 ของกำลังอัดประลัย และผลของการผสมซิลิกาฟูมจะลดค่าการซึมผ่านน้ำได้

ในปัจจุบันการใช้สารเคมีในรูปแบบวัสดุกันซึมก็เป็นอีกทางเลือกที่มีอยู่แพร่หลายในอุตสาหกรรมการก่อสร้างในประเทศไทย แต่หากผลของการศึกษาด้านคุณสมบัติสารเคมีในรูปแบบวัสดุกันซึมยังไม่มีข้อมูลที่แน่ชัดมากนัก

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประเมินและตรวจหาการเกิดผลึกคริสตัลไลเซชันของสารเคมีในรูปแบบวัสดุกันซึมแบบซีเมนต์ชนิดคริสตัลไลเซชัน ในลักษณะการทดลองบนพื้นผิวคอนกรีต
2. เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติของวัสดุกันซึมแบบซีเมนต์ชนิดคริสตัลไลเซชัน ในลักษณะการทดลองบนพื้นผิวคอนกรีต

ระเบียบวิธีวิจัย

1. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย
ส่วนนี้กล่าวถึงวัสดุและเครื่องมือทดสอบที่ใช้ในงานวิจัย รวมถึงขั้นตอนการทดสอบการตรวจหาคุณสมบัติชั้นผลึกคริสตัลไลเซชันในเนื้อโครงสร้างคอนกรีตถึงระยะ 1 เมตร
 - 1.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยและสัดส่วนผสมคอนกรีต
วัสดุกันซึมที่นำมาวิจัย ชนิดตกผลึก (Integral Crystalline Concrete Waterproofing) สำหรับทาผนังคอนกรีต แสดงในรูปที่ 1 โดยอัตราส่วนที่ใช้ 1.6 กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร ทาลงที่ผิวด้านบนสุดของตัวอย่างคอนกรีตที่มีอายุ 3 วัน



รูปที่ 1 วัสดุกันซึม ชนิด ตกผลึก

การออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีต โดยกำหนดค่ากำลังอัดประลัยที่ 28 วัน เท่ากับ 32 MPa ทรงกระบอก อัตราน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.54 ค่าการยุบตัวของที่ 7.5 - 12.5 เซนติเมตร ตลอดการวิจัย และแสดงส่วนผสมคอนกรีต ดังแสดงในตารางที่ 1

โดยกำหนดชื่อเรียกตัวอย่าง ดังนี้ ตัวอย่างที่ไม่ได้ทาวีสดุกกันซึมจะเรียกว่า ตัวอย่างควบคุม (Control) และตัวอย่างที่ทาวีสดุกกันซึมจะเรียกว่า ตัวอย่างคริสตัลไลเซชัน (Crystallization)

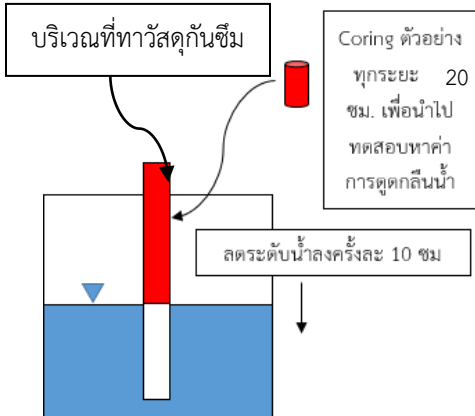
ตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมคอนกรีต

Mix Proportion (kg/m ³)			
Cement	Water	Aggregate	
		Fine	Coarse
362	196	870	1,010

1.2 ขั้นตอนการวิจัย

หลังจากที่ทาวีสดุกกันซึมบริเวณผิวด้านบนสุดของตัวอย่างทดสอบขนาด กว้าง 20 เซนติเมตร หนา 20 เซนติเมตร และ สูง 120 เซนติเมตร เป็นเวลา 4 ชั่วโมงแล้ว ให้นำตัวอย่างไปแช่น้ำ ตามรูปที่ 2 และรูปที่ 3 แล้วทำการลดระดับน้ำลงชั้นละ 10 เซนติเมตร โดยแต่ละชั้นจะใช้เวลา ห่างกันประมาณ 4 วัน เพื่อให้เกิดชั้นผลึกคริสตัลไลเซชัน (ตาม

ทฤษฎีกลไกการสร้างชั้นผลึกคริสตัลไลเซชันจะเคลื่อนตัวตามระดับน้ำ (C. Michael, B.H.G. Zhang and X. Jun. 2016, pp. 1-37) ในแต่ละชั้นที่ลดระดับน้ำลงจะวัดค่าความหนาแน่นด้วยความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก (UPV) ที่ระยะทาง 20 เซนติเมตร เท่ากับความหนาของแท่งตัวอย่างคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTM C597 ตามรูปที่ 3 เพื่อตรวจสอบสภาวะการเกิดชั้นผลึกคริสตัลไลเซชัน เทียบกับตัวอย่างควบคุม (Control) จนไปถึงระยะ 100 เซนติเมตร โดยจะควบคุมสภาวะของตัวอย่างให้อยู่ในลักษณะอิมมัวแห้ง และอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส ในขณะที่ทำการวัดค่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกทุกชั้นตัวอย่างทดสอบ เพื่อลดผลกระทบในการอ่านค่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกให้น้อยที่สุด และหลังจากนั้นจะเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีต ด้วยเครื่องคว้านเจาะ (Coring) ทุก ๆ 20 เซนติเมตร ซึ่งมีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร และมีความยาว 20 เซนติเมตร ตามรูปที่ 4 หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM C642 โดยนำตัวอย่างมาแช่ในภาชนะที่มีน้ำสะอาดทิ้งไว้อย่างน้อย 48 ชั่วโมง เช็ดตัวอย่างให้อยู่ในสภาพอิมมัวแห้งแล้วนำมาชั่งเป็นค่าน้ำหนักเปียก จากนั้นนำตัวอย่างเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างมาชั่งได้ ค่าน้ำหนักอบแห้ง แล้วคำนวณหา ปริมาณและอัตราการดูดซึมน้ำ



รูปที่ 2 การเตรียมตัวอย่างแท่งคอนกรีตที่ท้าวสตุกันซีมแบบซีเมนต์ชนิดคริสตัลไลน์



รูปที่ 3 แท่งคอนกรีตที่ท้าวสตุกันซีมที่ผิวบน ในขณะที่แช่น้ำและวัดค่าความหนาแน่นด้วย UPV ที่ระยะทาง 20 เซนติเมตร



รูปที่ 4 แท่งตัวอย่างคอนกรีตที่คว้านเจาะ (Coring) ทุก ๆ 20 เซนติเมตร

2. มาตรฐานการทดสอบที่ใช้ในงานวิจัย

2.1 การตรวจสอบความหนาแน่นของคอนกรีตด้วยวิธี Ultrasonic Pulse Velocity Test
วิธีการนี้ เป็นการตรวจสอบคุณภาพคอนกรีต โดยค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นอัลตราโซนิกในคอนกรีตมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของคอนกรีต ถ้าคอนกรีตมีความหนาแน่นสูงคลื่นจะสามารถเดินทางผ่านคอนกรีตได้เร็ว และจากการวัดความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก ผลของความเร็วคลื่นอัลตราโซนิกสามารถนำมาเปรียบเทียบถึงคุณภาพคอนกรีตได้ ซึ่งจะอาศัยหลักการของการส่งคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Pulse) ผ่านเข้าไปในตัวกลางเนื้อคอนกรีตที่ต้องการทดสอบ แล้ววัดเวลาที่คลื่นความถี่สูงใช้ในการเคลื่อนที่จากหัวส่งสัญญาณไปยังหัวรับสัญญาณ นำมาคำนวณหาค่าความเร็วคลื่น (Pulse Velocity) ในตัวกลางนั้น ๆ โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C597 หรือ BS1881 Part 203

2.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

การทดสอบการดูดซึมน้ำในคอนกรีตเป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C642 โดยนำตัวอย่างคอนกรีตที่เจาะเก็บด้วยเครื่อง Coring ทุก ๆ 20 เซนติเมตร ไปแช่น้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำขึ้นมาชั่งน้ำหนัก จดบันทึกค่าไว้ จากนั้นนำตัวอย่างเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักบันทึกค่า

2.3 การทดสอบลักษณะพื้นฐานของวัสดุวิจัย

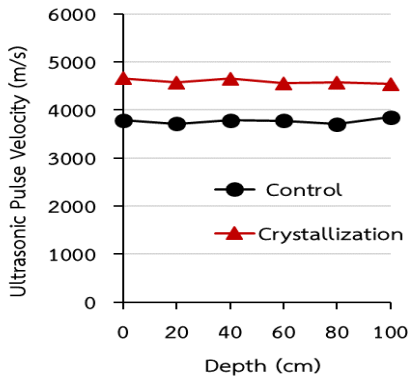
การถ่ายภาพขยายกำลังสูงโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) เป็นการสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของ ตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิค Energy Dispersive Spectrometry (EDS) เป็นเครื่องมือตัวหนึ่งที่อยู่ในระบบของ SEM สำหรับใช้วิเคราะห์ธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง ซึ่งทำหน้าที่รับสัญญาณ X-Ray จากสารตัวอย่าง

ผลการวิจัย

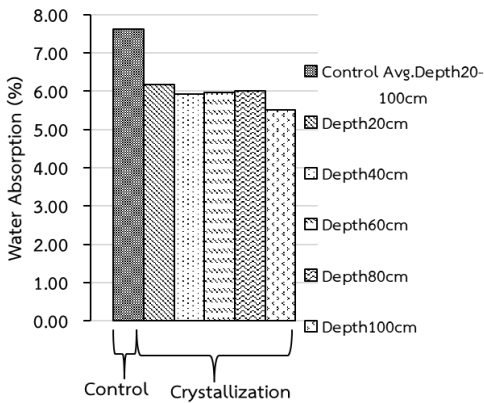
ผลทดสอบหาคุณสมบัติชั้นผลึกคริสตัลไลเซชันในเนื้อโครงสร้างคอนกรีตถึงระยะ 1 เมตร หลังจากนำแท่งคอนกรีตที่ท้าวสตุกันซิมที่ผิวด้านบนสุดของตัวอย่างทดสอบไปแช่น้ำ แล้วทำการลดระดับน้ำลงชั้นละ 10 เซนติเมตร (โดยแต่ละชั้นจะใช้เวลาในการสร้างผลึกประมาณ 4 วัน) เพื่อให้เกิดชั้นผลึกคริสตัลไลเซชันในแต่ละชั้นที่ลดระดับน้ำลง และจะวัดค่าความหนาแน่นด้วยความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิค (UPV) หลังจากการสร้างผลึกแล้วประมาณ 4 วัน พบว่า ตัวอย่างคอนกรีตที่ท้าวสตุกันซิมแบบซีเมนต์ชนิดคริสตัลไลเซชัน (Crystallization) มีค่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิคมากกว่าตัวอย่างคอนกรีตควบคุม (Control) ทุกระดับความลึก โดยมีค่าเฉลี่ยความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิคอยู่ที่ 4,584 m/s และ 3,769 m/s ตามลำดับ ในอัตราที่เร็วกว่า 1.21 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งเป็นผลมาจากกลไกการเกิดชั้นผลึกคริสตัลไลเซชันในเนื้อคอนกรีต เมื่อคอนกรีตสัมผัสกับน้ำสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (CH) จะถูกชะล้างให้ละลายตัวออกมาในช่องว่างโพรงอากาศ (Air Voids) โพรงคาพิลลารี (Capillary Pores) รอยร้าวขนาดเล็กระดับไมโคร (Micro Crack) และเมื่อวัสตุกันซิมที่มีสารประกอบในรูปแบบโพลีเมอร์เข้าไปแทรกตัวอยู่ในช่องว่างโพรงและรอยร้าวขนาดเล็กที่มีสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ละลายตัวอยู่ จะเกิดการจับตัวทำปฏิกิริยาสร้างผลึกคริสตัลไลเซชันอุดปิดช่องว่างโพรงและรอยร้าวขนาดเล็กในเนื้อคอนกรีต ทำให้คอนกรีตบริเวณที่สร้างชั้นผลึกคริสตัลไลเซชันมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น (Z.M. Nasiru, K.M. Ali, Z.A.M. Majid and S. Arezou, 2015, pp. 80-90) ส่งผลให้การเคลื่อนที่ของคลื่นอัลตราโซนิคมีความรวดเร็วในวัสตุที่มีความหนาแน่นสูงกว่า (U.M. Tarek and R. Nafiur, 2016, pp. 832-841) และการสร้างชั้นผลึกคริสตัลไลเซชัน

สามารถสร้างได้ถึงที่ระยะ 1 เมตร ตามการลดระดับของน้ำ

เมื่อทำการวัดค่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิคเสร็จสิ้นแล้วก็ได้ทราบผลการเกิดชั้นผลึกคริสตัลไลเซชันในเนื้อคอนกรีตเบื้องต้น หลังจากนั้นจึงเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตด้วยเครื่อง Coring ทุก ๆ 20 เซนติเมตร นำตัวอย่างคอนกรีตไปทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ ผลการทดสอบพบว่า ตัวอย่างคอนกรีตที่ท้าวสตุกันซิมแบบซีเมนต์ ชนิดคริสตัลไลเซชัน มีค่าการดูดซึมน้ำที่น้อยกว่าตัวอย่างคอนกรีตควบคุม ทุกระดับความลึก โดยมีค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำอยู่ที่ 5.91% (Crystallization) และ 7.61% (Control) ตามลำดับ ซึ่งตัวอย่างคอนกรีตควบคุมจะมีการดูดซึมน้ำที่ระดับความลึก 20 -100 เซนติเมตร มีค่าการดูดซึมน้ำไม่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 6 เป็นผลมาจากการเกิดชั้นผลึกคริสตัลไลเซชันที่สร้างผลึกอุดปิดช่องว่างโพรงและรอยร้าวขนาดเล็กในเนื้อคอนกรีตจึงทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปในเนื้อตัวอย่างคอนกรีตผ่านทางช่องว่างโพรงและรอยร้าวได้ ส่งผลให้มีปริมาณการดูดซึมน้ำต่ำไปด้วย (M. Ernesto, G. Guillermo, R. Pedro and C. Erick, 2019, pp. 210-218) จากผลการทดสอบในส่วนนี้มีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันกับการทดสอบความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิค การเคลื่อนที่ของคลื่นอัลตราโซนิคมีความเร็วในวัสตุที่มีความหนาแน่นสูงจะส่งผลให้อัตราการดูดซึมน้ำต่ำเช่นกัน

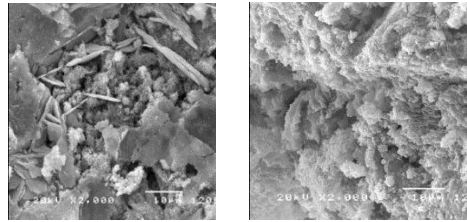


รูปที่ 5 ผลการทดสอบค่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก (UPV) ที่ระดับความลึกต่าง ๆ

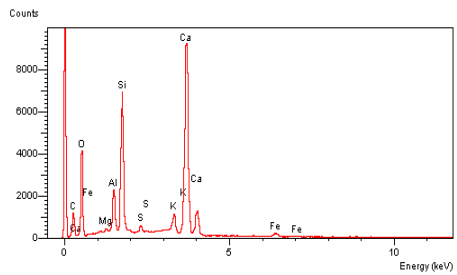


รูปที่ 6 ผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำที่ระดับความลึกต่าง ๆ

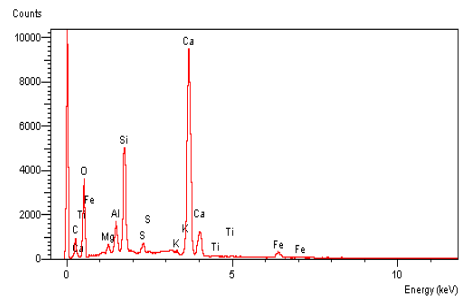
การเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตเพื่อนำมาทดสอบการถ่ายภาพขยายกำลังสูงโดยใช้เครื่อง SEM และการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDS โดยจะเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตที่ท้าวสตุกันซีมแบบซีเมนต์ชนิดคริสตัลโลเซชั่น ที่ระยะ 1 เมตร มีผลึกคริสตัลโลเซชั่น และผลึกแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรท (CSH) เกิดขึ้นหนาแน่นกว่าตัวอย่างคอนกรีตควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ภาพถ่ายขยายกำลังสูง (ก) Control (ข) Crystallization @ 1 m



(ก)



(ข)

รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค (EDS) (ก) Control (ข) Crystallization @ 1 m.

จากผลการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDS พบว่า คอนกรีตที่ท้าวสตุกันซีมแบบซีเมนต์ชนิดคริสตัลโลเซชั่น (Crystallization) ที่ระยะ 1 เมตร พบสารประกอบไทเทเนียม (Ti) ซึ่งเป็นสารประกอบโลหะทรานสิชันในปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์ (วัสดุกันซีมแบบซีเมนต์ชนิดคริสตัลโลเซชั่นจัดอยู่ในรูปแบบพอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดหนึ่ง) (L. Mandelkern, 1964), (C. Michael, B.H.G. Zhang

and X. Jun, 2016, pp. 1-37), (P. Vanessa et al., 2016, pp. 3671-3679) แต่ในตัวอย่างคอนกรีตควบคุม (Control) ไม่พบสารประกอบไทเทเนียม (Ti) ดังแสดงในรูปที่ 8 จึงสามารถพิจารณาผลทดสอบได้ว่าตัวอย่างคอนกรีตที่ทาว์สดูกันซีเมนต์แบบซีเมนต์ชนิดคริสตัลไลเซชัน มีการสร้างผลึกคริสตัลไลเซชันขึ้นจริงในเนื้อคอนกรีต และมีผลที่สอดคล้องกับผลทดสอบความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก (UPV) ผลทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ และจากผลการทดสอบคุณสมบัติการเกิดชั้นผลึกคริสตัลไลเซชันในเนื้อโครงสร้างคอนกรีตของทาว์สดูกันซีเมนต์แบบซีเมนต์ชนิดคริสตัลไลเซชันนั้น

สรุปและอภิปรายผล

การทดสอบหาคุณสมบัติชั้นผลึกคริสตัลไลเซชันในเนื้อโครงสร้างคอนกรีตถึงระยะ 1 เมตร ผลมาจากการเกิดชั้นผลึกคริสตัลไลเซชันที่สร้างผลึกอุดปิดช่องว่างโพรงและรอยร้าวขนาดเล็กในเนื้อคอนกรีต จึงทำให้หน้าไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปในเนื้อตัวอย่างคอนกรีตผ่านทางช่องว่างโพรงและรอยร้าวได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มความหนาแน่นในเนื้อตัวอย่างคอนกรีต ส่งผลให้มีปริมาณการดูดซึมน้ำต่ำไปด้วย และมีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันกับการทดสอบหาค่าความหนาแน่นด้วยความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก (UPV) เมื่อการเคลื่อนที่ของคลื่นอัลตราโซนิกมีความรวดเร็วในวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงจะส่งผลให้อัตราการดูดซึมน้ำต่ำเช่นกัน ซึ่งเป็นผลมาจากความหนาแน่นเพิ่มขึ้นในเนื้อตัวอย่างคอนกรีต และจากภาพถ่าย SEM และ EDS ของคอนกรีตที่ทาว์สดูกันซีเมนต์แบบซีเมนต์ชนิดคริสตัลไลเซชัน ที่ระยะ 1 เมตร มีการสร้างผลึกคริสตัลไลเซชัน และผลึกแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ (CSH) เกิดขึ้นหนาแน่นกว่าตัวอย่างคอนกรีตควบคุม (Control)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท เพเนตรอน (ไทยแลนด์) จำกัด และ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

References

- ASTM C597 – 16. *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.*
- ASTM C642 – 13. *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete.*
- C. Michael, B.H.G. Zhang and X. Jun. (2016). A Review on Polymer Crystallization Theories. *Crystals Journal.* 2016 (7), pp. 1-37.
- D. Ludirdja, R.L. Berger and J.F. Young. (1989). Simple Method for Measuring Water Permeability of Concrete. *ACI Materials Journal*, 1989 (86), pp. 433-439.
- F.Q. Zhao, H. Li and S.J. Liu. (2011). Preparation and Properties of an Environment Friendly Polymer-Modified Waterproof Mortar. *Construction and Building Materials.* 2011 (25), pp. 2635-2638.
- L. Mandelkern. (1964). *Crystallization of Polymers*, New York : Mc Graw – Hill.
- M. Ernesto, G. Guillermo, R. Pedro and C. (2019). Control of Water Absorption in Concrete Materials by Modification With Hybrid Hydrophobic Silica Particles. *Construction and Building Materials.* 2019 (221), pp.210-218.

- N. Benthia and S. Mindess. (1989). Water Permeability of Cement Paste. *Cement and Concrete Research*, 1989 (19), pp. 727-736.
- P. Vanessa, C.B. Mirna, G. Rudy, F.B. Marie, M. Philippe and B. Samuel. (2016). Polymer-Derived Si-C-Ti Systems : From Titanium Nanoparticle-Filled Polycarbosilanes to Dense Monolithic Multi-Phase Components With High Hardness. *Journal of the European Ceramic Society*. 2016 (36), pp. 3671-3679.
- S. Mindess, J. F. Young and D. Darwin. (2002). *Concrete* (2nd ed). New Jersey : Pearson Education.
- U.M. Tarek and R. Nafiur. (2016). Effect of Types of Aggregate and Sand-to-Aggregate Volume Ratio on UPV in Concrete. *Construction and Building Materials*. 2016 (125), pp. 832-841.
- Z.M. Nasiru, K.M. Ali, Z.A.M. Majid and S. Arezou. (2015). Waterproof Performance of Concrete : A Critical Review on Implemented Approaches. *Construction and Building Materials*. 2015 (101), pp. 80-90.