

## การใช้ Crystalline materials ในการปรับปรุง ความคงทนของคอนกรีต

ดุจเทพ ยอดมลัย<sup>1</sup>

ดร.รักติพงษ์ สหมิตรมงคล<sup>1,2</sup>

ศ.ดร.สมนึก ตั้งเต็มสิริกุล<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา (CONTEC) สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

<sup>2</sup>ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

### บทนำ

ความ คงทนของคอนกรีตและอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้รับความ สนใจมากขึ้นเรื่อยๆ เพราะว่าการที่โครงสร้างสามารถอยู่ในสถานะใช้งานได้ ยาวนานขึ้นโดยต้องการค่า บำรุงรักษาลดลง จะเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประเทศอย่าง ยั่งยืนทั้งในเชิง เศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ในประเทศพัฒนาแล้ว (เช่น สหรัฐอเมริกา สหภาพยุโรป และญี่ปุ่น) พบว่าค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและซ่อมแซมโครงสร้างเก่า่นั้นมี แนวโน้ม มากกว่างบประมาณสำหรับการก่อสร้างโครงสร้างใหม่ ดังนั้น การออกแบบ โครงสร้างใหม่ควรมีการคำนึงถึงความคงทนต่อการเสื่อมสภาพเพื่อเพิ่ม อายุการใช้งานให้มากขึ้นหรือลดค่าบำรุงรักษาซ่อมแซมตลอดอายุการใช้งานให้น้อยลง

ความ คงทนของคอนกรีตนั้นมีความสัมพันธ์กับความทึบน้ำของตัวคอนกรีตเอง เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุที่มีความพรุนอยู่ตัว น้ำหรือสารเคมีภายนอกสามารถแทรกซึมเข้า

ไปภายในคอนกรีต และอาจก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของเนื้อคอนกรีตเองหรือเหล็กเสริมที่อยู่ภายในได้ เนื่องจากในสิ่งแวดล้อมทั่วไป คอนกรีตสามารถเสื่อมสภาพได้จากหลายสาเหตุ เช่น การแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากแรงกระทำหรือการยัดรัง, การเสื่อมสภาพจากคาร์บอนेशन, การเสื่อมสภาพจากคลอไรด์, การเสื่อมสภาพจากกรด เป็นต้น การเสื่อมสภาพของคอนกรีตนี้ทำให้อายุการใช้งานของคอนกรีตสั้นลงและมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมบำรุงรักษาสูง ดังนั้นการเพิ่มความทึบน้ำของคอนกรีตจึงเป็นวิธีหนึ่งที่มีผลต่อการเพิ่มความคงทนของคอนกรีต [1]

การทำให้คอนกรีตทึบน้ำนั้นในอดีตเน้นไปที่การใช้วัสดุเคลือบไปบนผิวโครงสร้างคอนกรีตเพื่อที่จะสร้างชั้นเคลือบเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำหรือสารเคมีอื่นๆ แพร่เข้าไปข้างในได้ ยกตัวอย่างเช่น อีพ็อกซี โพลียูรีเทน และอื่นๆ แต่ความสามารถของการใช้วัสดุเคลือบไปบนโครงสร้างนั้นไม่ได้ทำให้ตัวโครงสร้างคอนกรีตเองมีความทึบน้ำขึ้นแต่อย่างใด ถ้าหากวัสดุเคลือบเกิดความเสียหายหรือมีรอยแตก น้ำก็จะยังซึมเข้าไปสู่ภายในโครงสร้างคอนกรีตและอาจจะเร่งการเสื่อมสภาพของตัวโครงสร้างคอนกรีตได้

ดังนั้นวิธีการป้องกันอีกวิธีหนึ่ง คือการทำให้ตัวโครงสร้างคอนกรีตนั้นเองมีความสามารถในการทึบน้ำมากขึ้น ซึ่งวิธีการนี้สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ 1. Hydrophobic คือ การใช้วัสดุประเภทกรดไขมัน เช่น ซิลิโคน โดยเข้าแทรกซึมเข้าไปอุดรูพรุนในคอนกรีต วัสดุประเภทนี้เป็นวัสดุที่ไม่ใช้น้ำในการทำปฏิกิริยา 2. Hydrophillic คือการใช้วัสดุที่เรียกว่า Crystalline materials ซึ่ง จะเข้าไปทำปฏิกิริยาภายในคอนกรีตก่อให้เกิดผลึกภายในโครงสร้างคอนกรีตเพื่อ ป้องกันไม่ให้น้ำหรือสารเคมีที่อันตรายแพร่เข้าไปภายในได้ อย่างไรก็ตาม Crystalline materials นี้เป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัยและการศึกษาวิจัยยังมีน้อยมาก การศึกษานี้พยายามที่จะศึกษาถึงผลของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความคงทนของโครงสร้างคอนกรีต

### Crystalline materials คืออะไร?

Crystalline materials เป็น สารผสมเพิ่มที่เข้าไปทำให้คอนกรีตมีความทึบน้ำและเป็นสารผสมเพิ่มที่ได้รับ การยอมรับเป็นอย่างดีในตลาดของโครงสร้างกันซึมในต่างประเทศ (ดูรูปที่ 1) ซึ่ง Crystalline materials ก็มีแนวโน้มที่จะทำให้ความคงทนของคอนกรีตเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Crystalline materials ยังสามารถใช้ในการบำรุงรักษาโครงสร้างคอนกรีต เช่น ใช้เคลือบผิวโครงสร้างที่มีอายุมากแล้วหรือใช้ซ่อมแซมส่วนของโครงสร้างที่มีการแตกร้าว ซึ่งคุณสมบัติสำคัญที่เป็นจุดเด่นและไม่เหมือนใครของ Crystalline materials คือ การสร้างอนุภาคผลึกที่ทึบน้ำ ในเนื้อคอนกรีต ซึ่งผลึกดังกล่าวจะอุดช่องว่างเล็กๆภายในเนื้อคอนกรีตทำให้น้ำหรือของเหลว อื่นใดไม่สามารถซึมผ่านได้ไม่ว่าจะเป็นทิศทางใด โดยทั่วไป Crystalline materials อยู่ในทั้งรูปผงแห้งและรูปของเหลว มีอยู่หลายชนิดต่างกันไปตามผู้ผลิตที่ต่างกัน คือ แบบผงใช้ผสมน้ำทาบนผิวคอนกรีต (Crystalline coating หรือ CCM), แบบผงชนิดผสมในคอนกรีต (Crystalline admixture หรือ CA), แบบของเหลวชนิดบ่มคอนกรีต, แบบของเหลวชนิดผสมในปูนซีเมนต์ เป็นต้น [2,3] ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และ สารเริ่มต้นของ Crystalline materials ที่จะทำให้เกิดการสร้างผลึกในเนื้อซีเมนต์เพสต์

### การทำปฏิกิริยา ของ Crystalline materials

Crystalline materials สามารถทำปฏิกิริยาและกลายสภาพเป็นผลึกในของคอนกรีตด้วยการรวมตัวเข้าเป็น เนื้อเดียวกันกับคอนกรีต ซึ่งอาศัยธรรมชาติและคุณสมบัติเฉพาะตัวของคอนกรีตที่มีสภาพเป็นรูพรุน มีโพรงอากาศขนาดเล็กกระจายทั่วไป และมีลักษณะเป็นสารเคมีโดยตัวของมันเอง Crystalline materials อาศัย การแพร่ผ่านน้ำในเนื้อคอนกรีตเป็นตัวกลางในการพาสารทำปฏิกิริยาที่สำคัญผ่าน รูพรุน เล็กๆในเนื้อคอนกรีต สารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับความชื้นและสารที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของ ปูนซีเมนต์ – ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ เกลือแร่ ออกไซด์ของธาตุต่างๆ รวมทั้งซีเมนต์ที่คงเหลือจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน) ปฏิกิริยานี้ทำให้เกิดผลึกที่ทึบน้ำที่แทรกซึมเข้าไปทั่วรูพรุน ขนาดเล็กๆของคอนกรีต ทำให้รูพรุน



เด็กเหล่านี้มีสภาพที่ไม่ต่อเนื่อง ทำให้คอนกรีตมีสภาพที่บิ่นน้ำ รูปที่ 2 เป็นภาพขยายลึกลงไป  
เนื้อคอนกรีตที่มี Crystalline materials ผสมอยู่ ทั้งนี้ Crystalline materials ยังสามารถดำเนิน  
ปฏิกิริยาต่อไปได้ตราบเท่าที่คอนกรีตนั้นๆ สัมผัสกับน้ำหรือความชื้น



รูปที่ 1 ตัวอย่างการใช้ crystalline materials ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก



(ก) ก่อนการเกิดปฏิกิริยา (ข) กลายสภาพเป็นผลึก (ขั้นเริ่มต้น) (ค) การกลายสภาพ  
เป็นผลึก (ขั้นสมบูรณ์)

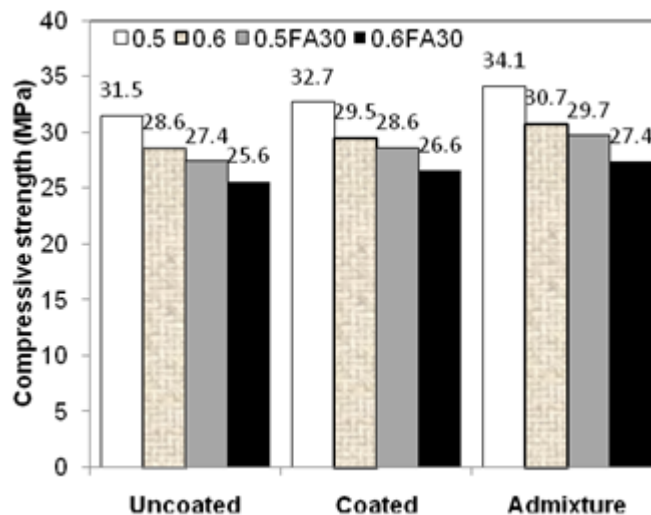
รูปที่ 2: การเกิดปฏิกิริยาของ crystalline material ([www.xypex.co.th](http://www.xypex.co.th))

### คุณสมบัติของ Crystalline materials ในการเพิ่มความคงทนของคอนกรีต

จากคุณสมบัติของ Crystalline materials ที่ทำให้เกิดผลึกที่บดน้ำที่แทรกซึมเข้าไปทั่วรูพรุนขนาดเล็กๆของคอนกรีต ทำให้คอนกรีตที่บดน้ำ นอกจากนั้นยังมีส่วนให้คุณสมบัติของคอนกรีตได้เปลี่ยนไปในหลายด้าน เช่น

### การเพิ่มกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

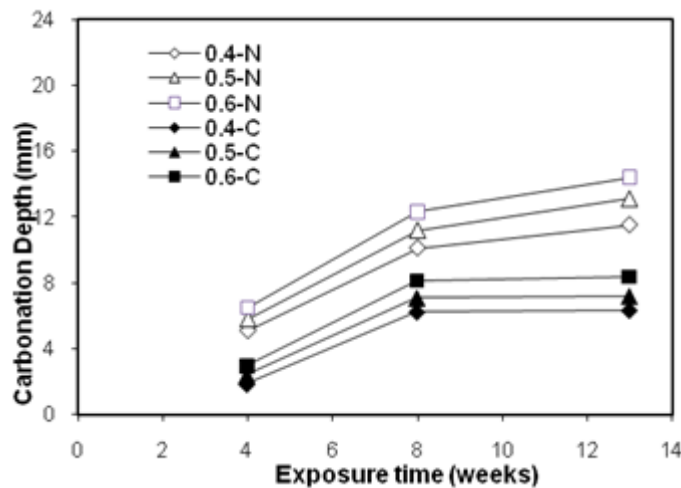
จากผลการทดสอบกำลังอัดที่ 28 วันของตัวอย่างคอนกรีตพบว่าคอนกรีตมีความสามารถในการรับแรงอัดมากขึ้นเมื่อถูกเคลือบด้วย CCM หรือเมื่อผสม 1% CA เข้าไปในส่วนผสมของคอนกรีต โดยคอนกรีตที่ผสมด้วย 1% CA มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตที่เคลือบด้วย CCM แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3: กำลังอัดคอนกรีตที่อายุ 28 วัน

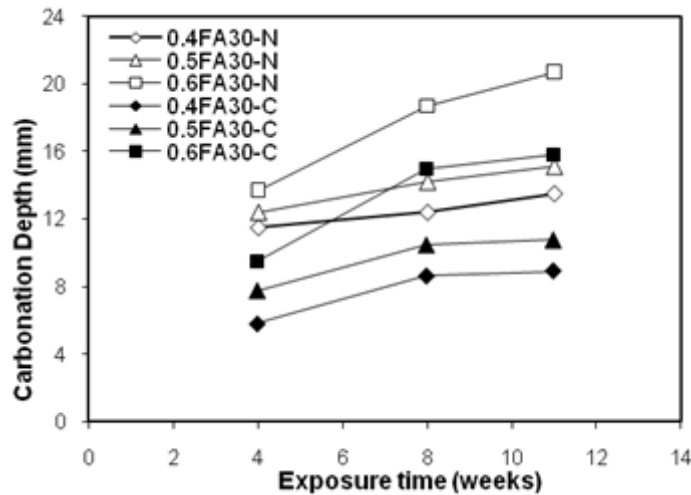
### การเพิ่มความทนทานต่อคาร์บอนชั้น

ก่อนตัวอย่างคอนกรีตถูกทดสอบโดยการนำเข้าไปในตู้ carbonation chamber แล้วปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปริมาณ 4% หรือ 40000ppm และควบคุมอุณหภูมิกับความชื้นไว้ที่ 40 องศาเซลเซียสและ 55 % ตามลำดับ เพื่อทดสอบแบบสภาวะเร่งเพื่อให้เกิดคาร์บอนชั้นในคอนกรีต รูปที่ 4 และรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าค่าความลึกของคาร์บอนชั้นของคอนกรีตที่เคลือบด้วย CCM (จุดทึบ) (ค่าความลึกของคาร์บอนชั้นในที่นี้ไม่รวมความหนาของชั้นเคลือบ) ลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเทียบกับคอนกรีตชนิดที่ไม่ได้เคลือบ (จุดโปร่ง) ที่อัตราส่วนผสมเดียวกัน ซึ่งมีผลมาจากความสามารถในการทนทานต่อคาร์บอนชั้นของชั้นเคลือบ CCM เอง หรือการพัฒนาความสามารถในการทนทานคาร์บอนชั้นเพิ่มสูงขึ้นของคอนกรีตได้ ชั้นเคลือบ ส่วนผลของอัตราส่วนวัสดุต่อน้ำประสานและเถ้าลอยในคอนกรีตจะคล้ายคลึงกับกรณี ของคอนกรีตที่ไม่ได้เคลือบ CCM ก็คือ การเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานและการมีอยู่ของเถ้าลอยจะลดความสามารถในการทนทานคาร์บอนชั้น



รูปที่ 4: ความลึกของคาร์บอนชั้นของคอนกรีต ที่ไม่มีเถ้าลอย





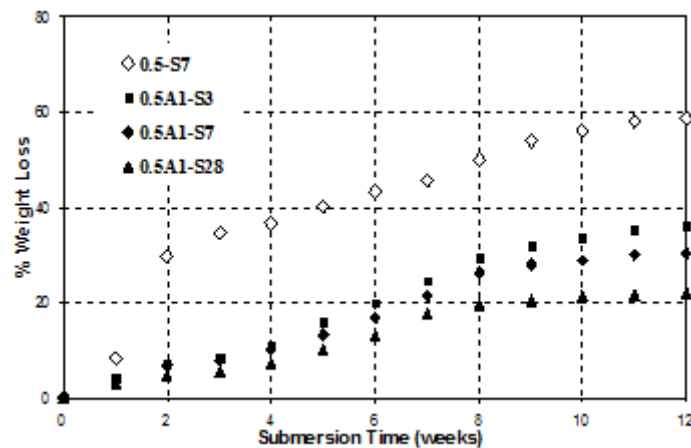
รูปที่ 5: ความลึกของคาร์บอนเนชั่นของคอนกรีตที่เคลือบด้วย CCM ที่มีเถ้าลอย

### การเพิ่มความทนทานต่อกรดซัลฟูริก

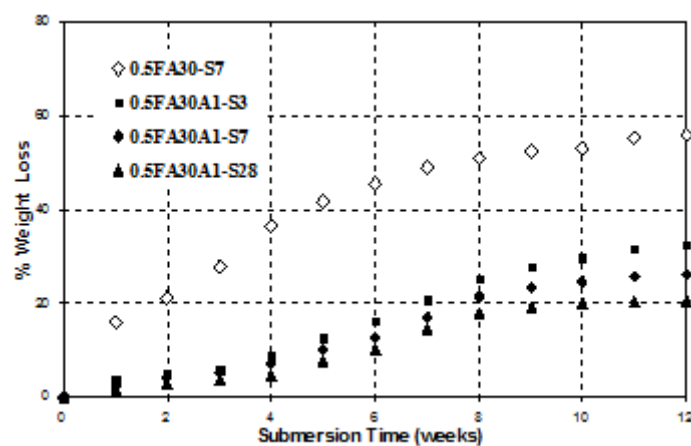
ก่อนตัวอย่างมอร์ตาร์ทดสอบโดยการนำไปแช่ในกรดซัลฟูริกที่มีปริมาณความเข้มข้น 5% แล้ววัดค่าการสูญเสียน้ำหนักของก้อนตัวอย่างในสถานะอิ่มตัวแบบผิวแห้ง แล้วใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่หายไปในแต่ละสัปดาห์ ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ 12 จากผลการทดลองพบว่า มอร์ตาร์ที่ผสมด้วย 1% CA (รูปที่ 6 และรูปที่ 7) มีการสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่ามอร์ตาร์ปกติ (0.5-S7) และมอร์ตาร์ที่ผสมด้วยเถ้าลอย 30% (0.5FA30-S7) ในสัปดาห์ที่ 12 มอร์ตาร์ที่ผสมด้วย 1% CA ที่บ่มเป็นเวลา 7 วัน (0.5A1-S7, 0.5FA30A1-S7) สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักไปได้ถึง 48% และ 53% เมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ปกติ (0.5-S7) และมอร์ตาร์ที่ผสมด้วยเถ้าลอย 30% (0.5FA30-S7) ตามลำดับ ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นอีกว่าเมื่อเปรียบเทียบที่ทำการแช่เมื่ออายุ 7 วัน มอร์ตาร์ที่ผสมด้วย 1% CA จะมีความทนทานต่อกรดได้ดีขึ้นยิ่งขึ้นเมื่อแช่ที่อายุมากขึ้น อย่างไรก็ตามสำหรับการแช่ที่อายุ 3 วัน มอร์ตาร์ที่ผสมด้วย 1% CA ยังมีความสามารถในการทนทานต่อกรดได้ดีกว่ามอร์ตาร์ปกติ

มอร์ตาร์ที่เคลือบด้วย CCM เมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ที่ไม่ได้เคลือบ พบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักที่น้อยลง (รูปที่ 8 และรูปที่ 9) อย่างไรก็ตามความสามารถทนทานต่อกรดยังน้อยกว่ามอร์ตาร์

ด้าร์ที่ผสมด้วย 1% CA มอ์ด้าร์ที่เคลือบที่อายุ 1 วัน (C1S3) มีการสูญเสียน้ำหนักที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับมอ์ด้าร์ที่เคลือบที่อายุอื่นๆ

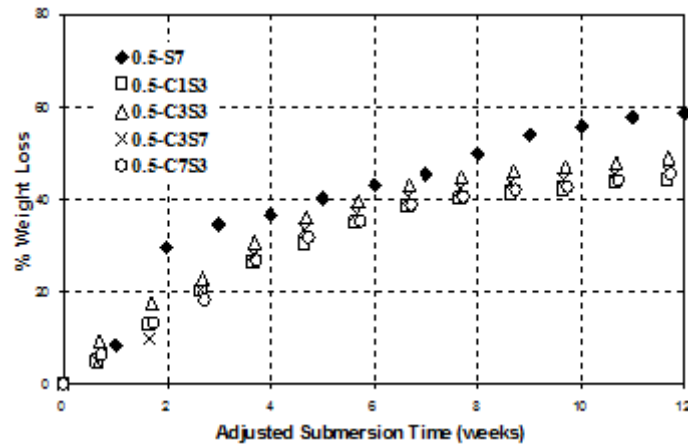


ที่ 6: เปรอ์เซ้นต์การสูญเสียน้ำหนักของมอ์ด้าร์ที่ไม่มีเถ้าลอยและ 1%CA ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.5

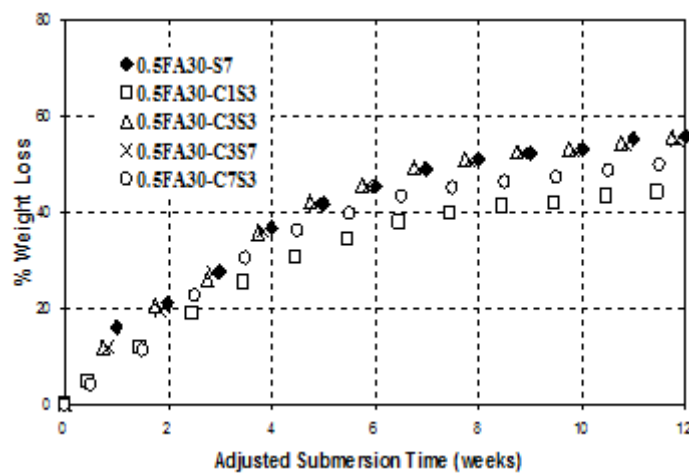


รูปที่ 7: เปรอ์เซ้นต์การสูญเสียน้ำหนักของมอ์ด้าร์ที่มีเถ้าลอยและ 1%CA ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.5





รูปที่ 8: เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของมอร์ตาร์ที่ไม่มีเถ้าลอยที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.5

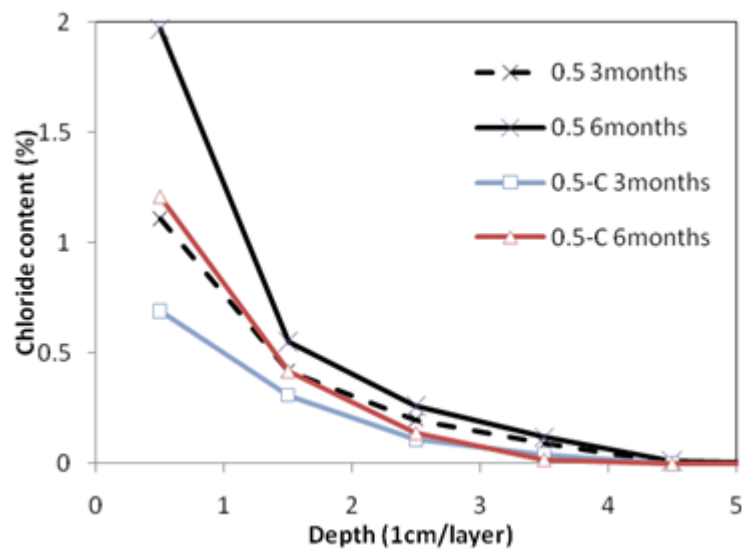


ที่ 9: เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของมอร์ตาร์ที่มีเถ้าลอยที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.5

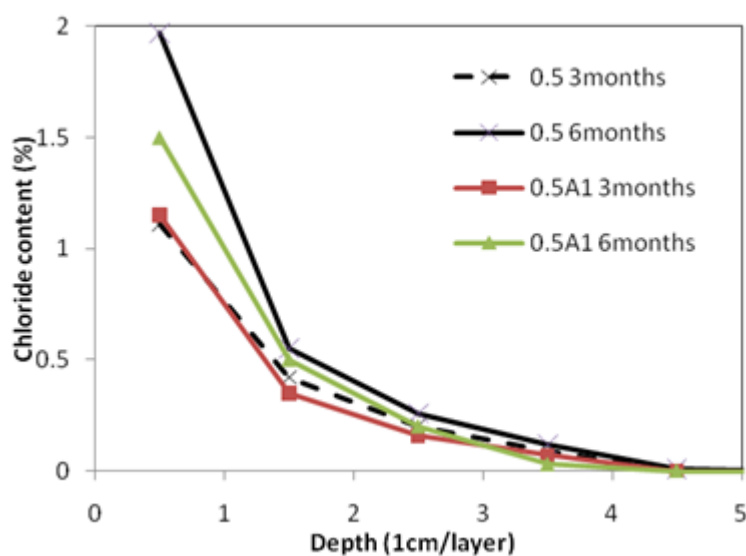
### การเพิ่มความทนทานต่อคลอไรด์

ทดสอบโดยการนำก้อนตัวอย่างซีเมนต์เพสต์แช่ลงในน้ำเกลือที่มีปริมาณ NaCl อยู่ที่ 1.82% ในระยะเวลา 3 และ 6 เดือน พบว่าปริมาณของคลอไรด์ในแต่ละความลึกของก้อน

ตัวอย่างที่เคลือบด้วย CCM และก้อนตัวอย่างที่ผสมด้วย 1% CA มีค่าลดลง เมื่อเทียบกับก้อนตัวอย่างปกติ แสดงในรูปที่ 10 และ 11 ซึ่ง การที่ความสามารถต่อการทนทานของคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นนี้ สามารถลดอัตราการเสื่อมสภาพของเหล็กเสริมภายในใน โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมทะเลได้



รูปที่ 10 ปริมาณคลอไรด์ในแต่ละความลึกของตัวอย่างชนิดที่ไม่ได้เคลือบเทียบกับชนิดที่เคลือบด้วย CCM



รูปที่ 11 ปริมาณคลอไรด์ในแต่ละความลึกของตัวอย่างชนิดที่ไม่ได้เคลือบเทียบกับชนิดที่ผสมด้วย 1% CA

### สรุป

Crystalline materials เป็น วัสดุที่นอกจากจะเพิ่มคุณสมบัติเพิ่มความทึบน้ำของคอนกรีตแล้ว ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มกำลังอัดและความคงทนของคอนกรีตได้ ทั้งในการเพิ่มความทนทานต่อคาร์บอนेशन ความทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดซัลฟูริก และการทนทานต่อการซึมผ่านของคลอไรด์

### เอกสารอ้างอิง

· <http://www.waterproof-concrete.co.uk/>

· Helen B. Jeffery, CDT, and Scott Sider, CCS.” Cementitious Waterproofing March Volume 7 Number 6” 1996

· <http://www.xypex.com>

· D. Yodmalai *et al.*, Acid Resistance of Mortar with Crystalline Materials, Preceeding in 5<sup>th</sup> Annual Concrete Conference , Nakhon Ratchasima Thailand, October 2009.

· D. Yodmalai *et al.*, Carbonation Resistance of Concrete with Crystalline Material Coating, Preceeding in 5<sup>th</sup> Annual Concrete Conference , Nakhon Ratchasima Thailand, October 2009.

D. Yodmalai *et al.*, Water Sorptivity, Water Permeability, Autogenous Shrinkage, and Compressive Strength of Concrete with Crystalline Materials, 15<sup>th</sup> National Convention on Civil Engineering, Ubonratchathani Thailand, May 2010.