

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การซ่อมแซมโครงสร้างที่เสื่อมสภาพอาจทำได้โดยการเคลือบผิว (Surface coating) ของโครงสร้าง เพื่อป้องกันการแทรกซึมของเกลือคลอไรด์เข้ามาในคอนกรีต ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับโครงสร้างใหม่และโครงสร้างเดิมที่เคยเกิดปัญหาการเสื่อมสภาพเสียหายและผ่านซ่อมแซมแล้ว โดยวัสดุเคลือบผิวต้องมีคุณสมบัติยึดจับกับผิวหน้าของคอนกรีตได้ดี และต้องมีความคงทนและความต้านทานต่อสภาพอากาศที่รุนแรง รวมทั้งรังสีอัลตราไวโอเลตด้วย (Adler, 1994) การเคลือบผิวโครงสร้างสามารถใช้ควบคู่กับการผสมสารป้องกันการเกิดสนิม (Corrosion inhibitor) ลงในส่วนผสมคอนกรีต โดยพบว่าให้ผลดีกว่าการใช้การเคลือบผิวโครงสร้างแต่เพียงอย่างเดียว (Batis et al., 2003) นอกจากนี้การซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตที่เสื่อมสภาพอาจทำได้โดยการสกัดโครงสร้างส่วนที่เสียหายออกแล้วปะ (Patching) โครงสร้างด้วยวัสดุซ่อมแซม ทั้งนี้ความคงทนของวัสดุซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายปัจจัย แต่ที่สำคัญคือ กำลังรับแรงอัดของวัสดุซ่อมต้องเหมาะสมและความซึมผ่านน้ำของวัสดุซ่อมต้องต่ำ อีกทั้งต้องไม่เกิดความไม่สามารถเข้ากันได้ (Incompatibility) ของเนื้อวัสดุซ่อมแซมกับเนื้อของโครงสร้างเดิม รวมทั้งการหดตัว (Shrinkage) ของวัสดุซ่อมแซมด้วย (Decter and Keeley, 1997) นอกจากนี้ผลการบ่มช่วงแรก (Initial curing) ของวัสดุซ่อมแซมมีผลต่อความสามารถด้านการแพร่ของคลอไรด์ด้วย (Mangat and Limbachiya, 1999) ในประเทศญี่ปุ่นมีการพัฒนาวัสดุซ่อมแซมที่ผสมสารยัดจับเกลือ (Salt adsorbent) ที่ซึ่งสามารถยัดจับคลอไรด์ที่แทรกซึมเข้ามาและปลดปล่อยไนไตรต์ไอออน (Nitrite ion) ออกมา ทำให้หยุดการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเอาไว้ได้ โดยเรียกวิธีการนี้ว่า Suppressing salt injury method (SSI method) (Tatematsu and Sasaki, 2003)

2.1 ปัญหาการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีตเนื่องจากเกลือคลอไรด์

น้ำทะเลมีสารละลายคลอไรด์อยู่เป็นส่วนใหญ่ (มากกว่า 90 %) เมื่อเปรียบเทียบกับซัลเฟต คลอไรด์ส่วนใหญ่ได้มาจากเกลือแร่ที่สะสมอยู่ในดินหิน แล้วเกิดการสีกกร่อนและละลายโดยน้ำฝนลงสู่ทะเล ซึ่งในน้ำทะเลนั้นประกอบไปด้วยสารประกอบประเภทซัลเฟต และคลอไรด์ของโซเดียม และแมกนีเซียม เป็นส่วนใหญ่ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของน้ำทะเล (Mindess and Young, 1981)

Composition of Seawater	Quantity (ppm)
Sodium chloride (NaCl)	27,000
Magnesium chloride (MgCl ₂)	3,200
Magnesium sulfate (MgSO ₄)	2,200
Calcium sulfate (CaSO ₄)	1,100
Calcium chloride (CaCl ₂)	500
Total dissolved salts	34,000

จากตารางที่ 2.1 พบว่า องค์ประกอบหลักของน้ำทะเลคือ โซเดียมคลอไรด์ ซึ่งมีปริมาณมากถึง 27,000 ส่วนในล้านส่วน เมื่อคลอไรด์แทรกซึมเข้าไปสะสมในคอนกรีตบริเวณที่ติดกับเหล็กเสริมจนมีค่าเกินกว่าปริมาณคลอไรด์วิกฤต (Chloride threshold) เหล็กเสริมก็จะสูญเสียความต้านทานการเกิดสนิม (Depassivation)

ทวิชัย ตำราญวานิช (2551) ปัญหาความคงทนของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในสิ่งแวดล้อมทะเล (Marine Environment) เป็นปัญหาที่พบบ่อยในประเทศไทย โดยโครงสร้างคอนกรีตที่ตั้งอยู่ในบริเวณสิ่งแวดล้อมทะเลนั้น อาจเกิดการเสื่อมสภาพได้จากหลายสาเหตุด้วยกัน อาทิเช่น การกัดเซาะ การชะล้าง การตกผลึกของเกลือ การทำลายโดยเกลือซัลเฟต แต่สาเหตุหลักคือการทำลายโดยเกลือคลอไรด์ในน้ำทะเล จะส่งผลโดยตรงต่อเหล็กเสริมภายใน โครงสร้างคอนกรีต ทำให้เหล็กเกิดการผุกร่อนเป็นสนิม และเนื้อสนิมที่เกิดขึ้นจะดันคอนกรีตให้เกิดการแตกร้าว ทำให้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเสื่อมสภาพลงอย่างรวดเร็ว และมีอายุการใช้งานสั้นกว่าที่ควรจะเป็น

คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ (2543) ผลกระทบโดยรวมจากการกัดกร่อนด้วยคลอไรด์ที่ได้กล่าวมาแล้วคือ กำลังรับแรงต่างๆของคอนกรีตโดยรวมลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติทางด้านความต้านทานความล้า (Fatigue) และความสามารถในการเอนตัวหรือการเปลี่ยนรูปร่าง (Elongation ability) ของโครงสร้างก็ลดลงด้วย รวมถึงความยืดหยุ่น (Stiffness) ก็ลดลงด้วยเช่นกัน ในขณะที่ผลข้างเคียงจากการทำลายโดยกระบวนการดังกล่าวคือการแตกร้าวของคอนกรีต เป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยเร่งให้น้ำและออกซิเจนสามารถเข้าถึงบริเวณผิวของเหล็กเสริมได้เร็วและมากขึ้น ซึ่งยังผลให้มีการเร่งการเกิดสนิมของเหล็กเสริมให้เร็วและรุนแรงยิ่งขึ้น

2.2 แหล่งที่มาและประเภทของเกลือคลอไรด์ในคอนกรีต

เกลือคลอไรด์ (Chloride) อาจมีอยู่ในเนื้อคอนกรีตตั้งแต่แรกเริ่ม โดยมีอยู่ในน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต ในหินและทราย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทรายที่มาจากแหล่งใกล้ทะเล หรือในน้ำยาผสมคอนกรีตบางชนิด เช่น สารเร่งการก่อตัวจำพวกแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม มีการกำหนดปริมาณเกลือคลอไรด์เริ่มต้นที่ยอมรับในงานคอนกรีตประเภทต่างๆ ดังตารางที่ 2.2 และ 2.3 แต่ปัญหาของเกลือคลอไรด์ที่ส่งผลกระทบต่อความคงทนของโครงสร้างส่วนมากจะเข้ามาจากภายนอกคอนกรีตในช่วงที่ใช้งานโครงสร้างไปแล้ว เช่น มาจากน้ำทะเล มาจากดิน หรือมาจากเกลือที่ใช้ละลายน้ำแข็ง (De-Icing salt) ในประเทศที่มีอากาศหนาว ทั้งนี้ในน้ำทะเลประกอบไปด้วยสารประกอบซัลเฟตและคลอไรด์ของโซเดียมและแมกนีเซียมเป็นส่วนใหญ่ โดยเกลือคลอไรด์ถือเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำทะเล โดยทั่วไปมีปริมาณประมาณ 1.8% โดยน้ำหนักของน้ำทะเล

เกลือคลอไรด์ที่แทรกซึมเข้าไปอยู่ในเนื้อคอนกรีตทั้งหมดถูกเรียกว่า เกลือคลอไรด์ทั้งหมด (Total chloride) ซึ่งเป็นผลรวมของเกลือคลอไรด์ที่ถูกยึดจับ (Fixed chloride) และเกลือคลอไรด์อิสระ (Free chloride) เกลือคลอไรด์ที่ถูกยึดจับ หมายถึงเกลือคลอไรด์ที่ถูกยึดจับด้วยปฏิกิริยาและเปลี่ยนไปในรูปของสารประกอบ Calcium chloroaluminate hydrate (Friedel's salt) และ Calcium chloroferrite หรือถูกยึดจับด้วยผลิตภัณฑ์ไฮเดรชัน (Hydration products) เช่น C-S-H และ C-A-H ไรท์ผิว และบางส่วนอาจถูกยึดจับไว้ที่ผิวของผลผลิตจากปฏิกิริยาปอซโซลานิก (Pozzolanic products) ด้วย ซึ่งเกลือคลอไรด์ประเภทนี้ไม่มีผลต่อการเกิดสนิมในเหล็กเสริมคอนกรีต ส่วนเกลือคลอไรด์อิสระ หมายถึงเกลือคลอไรด์ที่ละลายอยู่ในสารละลายในโพรงช่องว่างของคอนกรีต (Pore solution) ซึ่งเกลือคลอไรด์ประเภทนี้ถ้ามีปริมาณที่มากพอจะสามารถทำให้เหล็กเสริมเกิดสนิมขึ้นได้

ตารางที่ 2.2 ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดสูงสุดในคอนกรีตจากมาตรฐานและข้อกำหนดต่างๆ

ประเภทของโครงสร้าง	ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดสูงสุด (% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์)			
	BS 8110	ACI 201	ACI 357	ACI 222
คอนกรีตอัดแรง	0.10	-	0.06	0.08
คอนกรีตเสริมเหล็กในสภาวะเผชิญกับเกลือคลอไรด์	0.20	0.10	0.10	0.20
คอนกรีตเสริมเหล็กในสภาวะแห้ง หรือ ไม่มีความชื้น	0.40	-	-	-
คอนกรีตเสริมเหล็กอื่นๆ	-	0.15	-	-

BS 8110: British Standard for the design and construction of reinforced and prestressed concrete structures

ACI 201: American Concrete Institute for guide for durable concrete

ACI 357: American Concrete Institute for guide for the design and construction of fixed concrete offshore structures

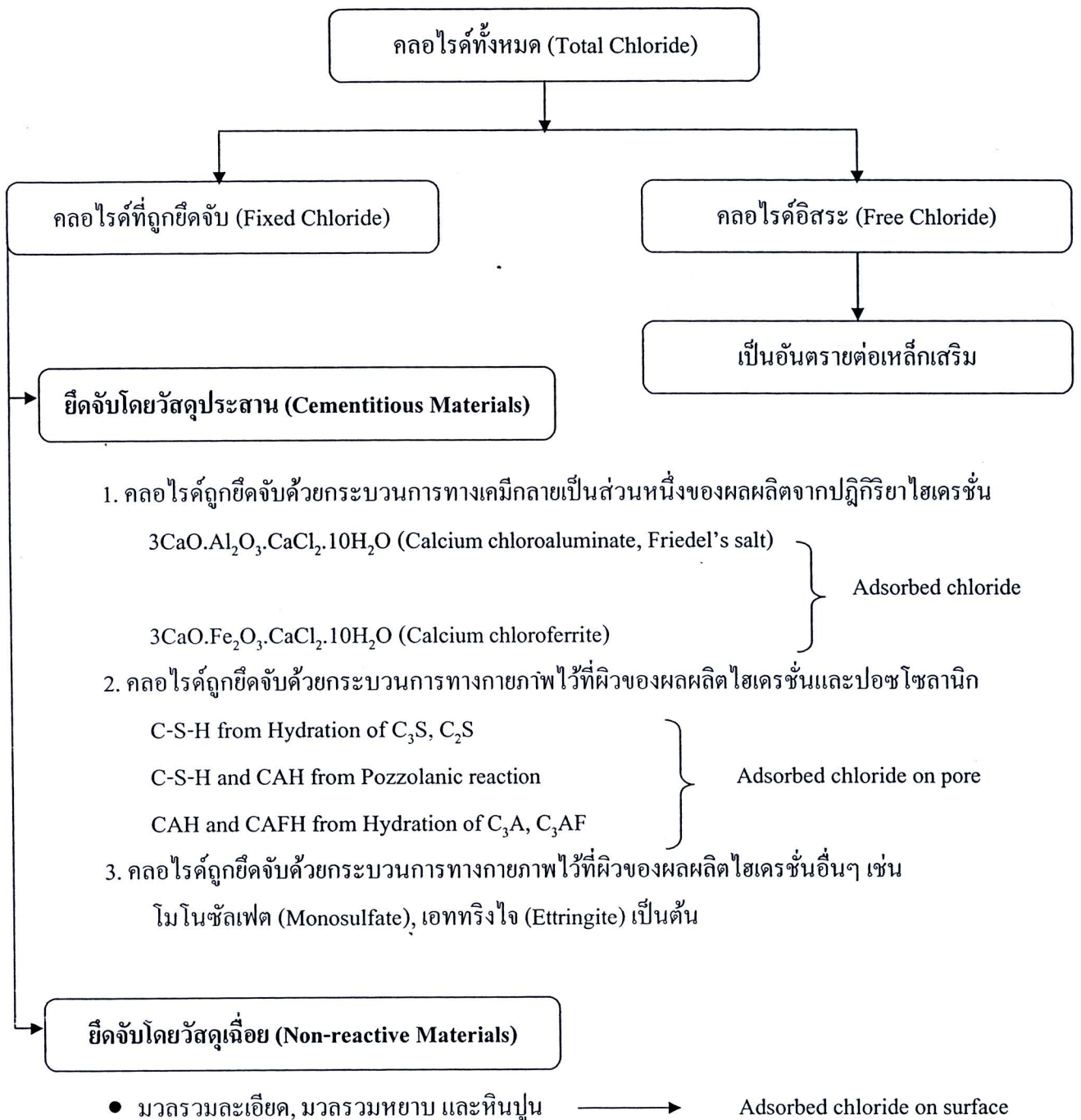
ACI 222: American Concrete Institute for corrosion of metals in concrete

ตารางที่ 2.3 ปริมาณคลอไรด์อิสระสูงสุดในคอนกรีตจากข้อกำหนดต่างๆ

ประเภทของโครงสร้าง	ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดสูงสุด (% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์)	
	ACI 318	ACI 222
คอนกรีตอัดแรง	0.06	0.06
คอนกรีตเสริมเหล็กในสภาวะเผชิญกับเกลือคลอไรด์	0.15	0.15
คอนกรีตเสริมเหล็กในสภาวะแห้ง หรือ ไม่มีความชื้น	1.00	-
คอนกรีตเสริมเหล็กอื่นๆ	0.30	-

ACI 318: American Concrete Institute for building code requirements for structural concrete and commentary

ACI 222: American Concrete Institute for corrosion of metals in concrete



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงประเภทของคลอไรด์ในคอนกรีต
(ที่มา: ทวีชัย สำราญวานิช 2553)

2.3 การแทรกซึมของเกลือคลอไรด์จากภายนอกเข้าสู่เนื้อคอนกรีต

การเคลื่อนที่ของเกลือคลอไรด์จากภายนอกเข้าสู่ภายในเนื้อคอนกรีตถือเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้โครงสร้างเสื่อมสภาพ เนื่องจากคลอไรด์สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับคอนกรีต ซึ่งมีผลต่อความคงทนของคอนกรีตทั้งทางตรงและทางอ้อม และนำไปสู่การเสื่อมสภาพของโครงสร้างคอนกรีต โดยทั่วไปแล้วการเคลื่อนที่ของคลอไรด์เรียกว่า การแทรกซึมของเกลือคลอไรด์ (Chloride penetration) ซึ่งเกิดขึ้นจากกลไกต่างๆ เช่น ความแตกต่างของความเข้มข้นเกลือคลอไรด์ ประจุไฟฟ้า และแรงดันน้ำ นอกจากนี้ยังอาจเกิดขึ้นจากแรงขับเคลื่อนของกลไกและธรรมชาติของสสารที่เคลื่อนผ่านด้วย ดังนั้นกลไกสำคัญของการแทรกซึมของเกลือคลอไรด์เข้าไปในเนื้อคอนกรีตสามารถแบ่งได้เป็น 4 กลไกหลักๆ ดังนี้

1. การแพร่ (Diffusion) กลไกนี้มีผลต่อการเคลื่อนที่ของเกลือคลอไรด์เข้าไปยังโพรงของคอนกรีตที่อึดตัว แรงขับเคลื่อนของเกลือคลอไรด์ในกลไกนี้เกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของเกลือคลอไรด์ กล่าวคือ เกลือคลอไรด์จะแพร่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ ซึ่งสามารถอธิบายได้จากกฎการแพร่ข้อสองของฟิคส์ (Fick's second law of diffusion) ที่แสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือคลอไรด์ทั้งหมดและปริมาณเกลือคลอไรด์อิสระในคอนกรีตเทียบกับระยะทางและเวลา ดังสมการที่ 1

$$\frac{\partial C_t(x,t)}{\partial t} = -D_a \frac{\partial^2 C_f(x,t)}{\partial^2 x} \quad (2.1)$$

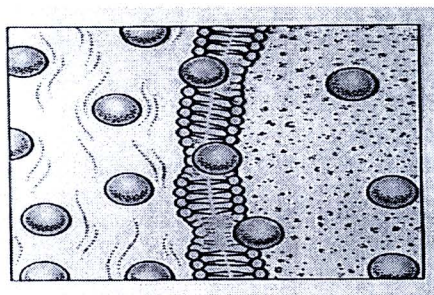
โดยที่ $C_t(x,t)$ คือ ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดที่ระยะทาง x จากผิวด้านนอก ที่ระยะเวลา t (โมล/ลิตร)

$C_f(x,t)$ คือ ปริมาณคลอไรด์อิสระที่ระยะทาง x จากผิวด้านนอกที่ระยะเวลา t (โมล/ลิตร)

D_a คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของคลอไรด์ในคอนกรีต (ซม.²/ปี)

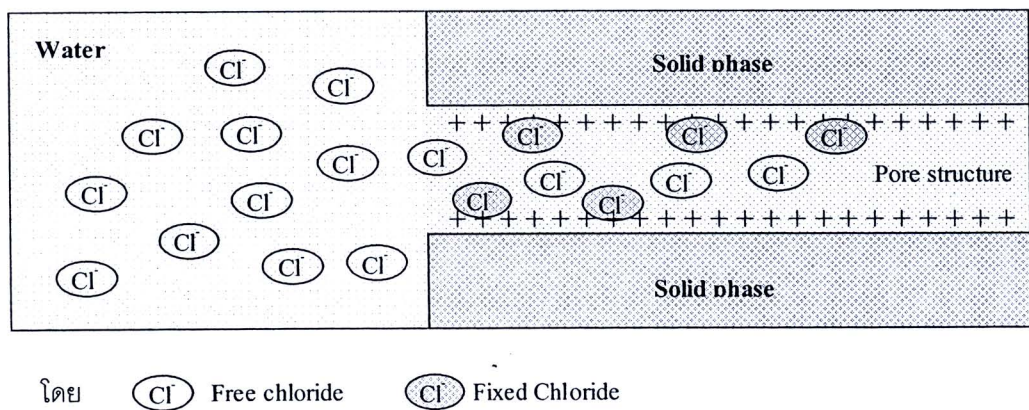
X คือ ระยะทางจากผิวด้านนอกของคอนกรีต (ซม.)

t คือ ระยะเวลาที่เผชิญคลอไรด์ (ปี)



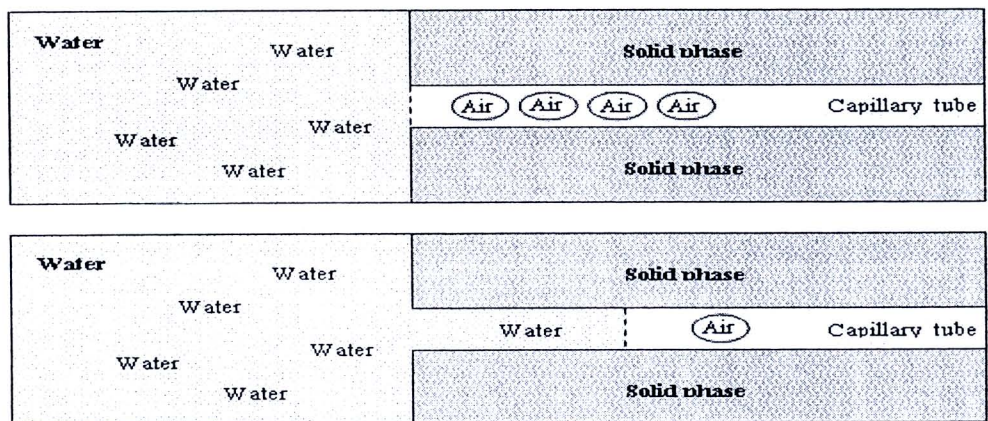
รูปที่ 2.2 แสดงการแพร่

2. การดึงดูดไอออน (Ion adsorption) ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่น้ำทะเลตลอดเวลา พบว่าความเข้มข้นของคลอไรด์ที่อยู่บริเวณใกล้กับผิวของคอนกรีตจะมีความเข้มข้นของคลอไรด์สูงกว่าความเข้มข้นของคลอไรด์ที่สารถลายโดยรอบของน้ำทะเล ปรากฏการณ์นี้ไม่สามารถอธิบายได้โดยกลไกการแพร่ เพราะการแพร่จะยุติเมื่อความเข้มข้นของคลอไรด์ในคอนกรีต เท่ากับความเข้มข้นของคลอไรด์ของสิ่งแวดล้อมภายนอก แต่กลไกการดึงดูดไอออนจะเกิดขึ้นเนื่องจาก บริเวณผิวของโพรงในคอนกรีตที่มีประจุไฟฟ้าบวกบริเวณที่ผิวของโพรงช่องว่างในคอนกรีต จะดึงดูดคลอไรด์ไอออนซึ่งมีประจุเป็นลบจากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้ามาในคอนกรีตและสะสมอยู่ในบริเวณนั้นให้สูงขึ้นได้



รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงการดึงดูดไอออนเข้าไปในคอนกรีต

3. การดึงดูดคาพิลลารี (Capillary suction) สามารถดึงน้ำเกลือคลอไรด์ผ่านเข้าไปยังโพรงที่แห้งเล็กๆ บริเวณผิวหน้าของคอนกรีตได้ โดยทั่วไปโครงสร้างส่วนมากจะอยู่ในสภาพเปื่อยสลับแห้ง เมื่อคอนกรีตที่อยู่ในสภาพแห้งถูกทำให้เปียกด้วยน้ำทะเล น้ำทะเลจะถูกดึงดูดเข้าไปยังโพรงที่แห้งเล็กๆ ด้วยกลไกการดึงดูดคาพิลลารี ซึ่งกลไกนี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและใช้เวลานั้น

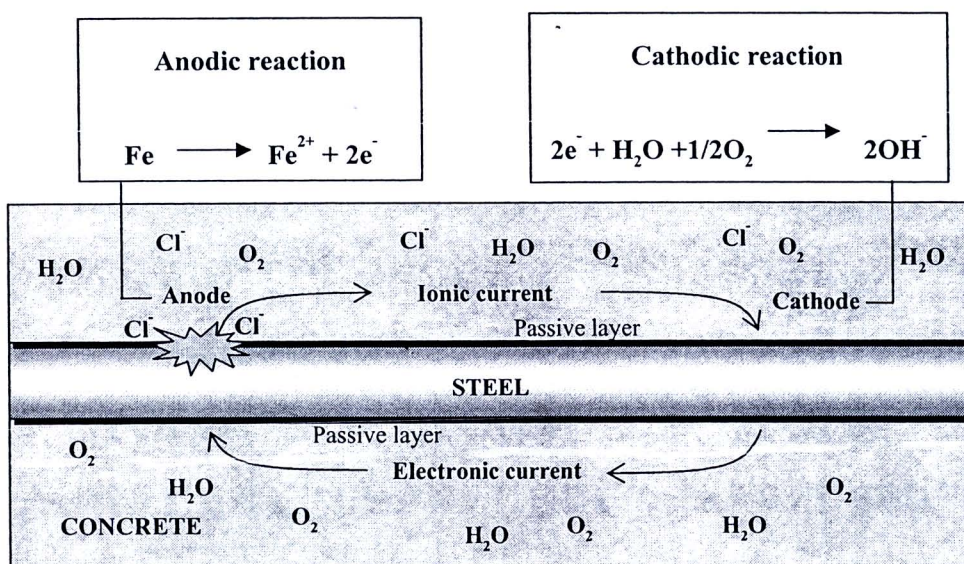


รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงการดึงดูดแบบคาพิลลารี

4. แรงดันน้ำ (Hydraulic pressure) สำหรับโครงสร้างที่อยู่ภายใต้แรงดันน้ำ เช่น กำแพงกันดิน เขื่อน อุโมงค์ ความแตกต่างของ Hydraulic head สามารถทำให้น้ำเกลือซึ่งมีเกลือคลอไรด์เคลื่อนที่ผ่านเข้าไปยังคอนกรีตจากบริเวณที่มี Hydraulic head สูงไปยังบริเวณที่มี Hydraulic head ต่ำกว่าได้

2.4 กลไกการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากเกลือคลอไรด์

โดยปกติเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีชั้นฟิล์มออกไซด์ (Protective passivity layer) บางๆ เคลือบอยู่ที่ผิวของเหล็กเสริม เรียกว่า ฟิล์มออกไซด์ของเหล็ก ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) แต่เมื่อใดก็ตาม หากเกลือคลอไรด์สามารถแทรกซึมเข้าไปในคอนกรีตจนถึงผิวของเหล็กเสริมและสะสมจนมีปริมาณถึงค่าคลอไรด์วิกฤต (Chloride threshold) ชั้นฟิล์มออกไซด์นี้จะถูกทำลายลง ซึ่งเรียกว่าเกิดการสูญเสียความต้านทานการเกิดสนิม (Depassivation) และหากบริเวณดังกล่าวมีออกซิเจน (O_2) และความชื้น (H_2O) ในปริมาณที่เหมาะสมแล้ว กระบวนการทางไฟฟ้าเคมีของการเกิดสนิมก็จะเกิดขึ้นดังรูปที่ 1 ทำให้เกิดสนิมขึ้น โดยปริมาณของเนื้อสนิมที่เกิดขึ้นนี้มีมากกว่าปริมาณเนื้อเหล็กที่สูญเสีย 2-10 เท่า



รูปที่ 2.5 การเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีของการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากเกลือคลอไรด์
(ที่มา: ทวีชัย สารานวนิช 2553)

2.5 ความสามารถเก็บกักคลอไรด์ของคอนกรีต

ความสามารถเก็บกักคลอไรด์ (Chloride binding capacity) ของคอนกรีต หมายถึง ความสามารถของคอนกรีตในการยึดจับคลอไรด์ภายในเนื้อคอนกรีตให้เป็นคลอไรด์ที่ถูกยึดจับ (Fixed chloride) เทียบกับปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในคอนกรีตนั้น ซึ่งการยึดจับคลอไรด์อาจเกิดจากการยึดจับทางเคมี (Chemical binding) โดยคลอไรด์จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบ C_3A และ C_4AF ของปูนซีเมนต์เกิดเป็นสารประกอบ $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$ (Friedel's salt) และ $3CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$ (Calcium chloroferrite) ตามลำดับ หรือคลอไรด์อาจถูกยึดจับทางกายภาพ (Physical binding) ก็ได้ โดยคลอไรด์ถูกยึดจับด้วยแรงยึดเหนี่ยวไว้ที่ผิว (Surface force) ของผลผลิตไฮเดรชัน เช่น C-S-H และ C-A-H เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถถูกยึดจับไว้ที่ผิวของวัสดุเหลือที่ไม่มีปฏิกิริยาในคอนกรีต เช่น ทราย หิน หรือผงหินปูน ได้ด้วย ถึงแม้จะเป็นปริมาณน้อยมากก็ตาม ทั้งนี้คอนกรีตแต่ละส่วนผสมจะมีความสามารถเก็บกักคลอไรด์ที่ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุประสานที่ใช้ ปริมาณวัสดุประสาน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน อายุการบ่ม และระยะเวลาการเผชิญเกลือคลอไรด์ด้วย เป็นต้น หากคอนกรีตชนิดใดมีความสามารถเก็บกักคลอไรด์ได้สูงจะส่งผลดีต่อคอนกรีตในการป้องกันปัญหาการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากเกลือคลอไรด์ เนื่องจากจะลดปริมาณคลอไรด์อิสระที่เป็นอันตรายต่อเหล็กเสริมในคอนกรีตให้น้อยลง

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการแทรกซึมของคลอไรด์

ความสามารถในการเก็บกักคลอไรด์ของคอนกรีตจะมีผลต่อปริมาณคลอไรด์ที่สามารถแทรกซึมเข้าสู่คอนกรีต โดยปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการแทรกซึมของคลอไรด์ ได้แก่

1. ระยะเวลาคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กเสริม

อัตราการแทรกซึมของคลอไรด์จะขึ้นอยู่กับความพรุน และระยะของคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กเสริม ความพรุนของคอนกรีตคือ ปริมาณรูพรุนที่อยู่ในเนื้อของคอนกรีต ถ้ารูพรุนน้อย ไม่ต่อเนื่องกัน ก็จะทำให้คอนกรีตทึบน้ำ ส่งผลให้อัตราการแทรกซึมของคลอไรด์ลดลง

Neville (1995) กล่าวว่ายังมีระยะคอนกรีตหุ้มมากเท่าใด เวลาที่ใช้จนกระทั่งความเข้มข้นของคลอไรด์ที่ระดับของผิวเหล็กเสริมถึงค่าวิกฤตจะมากขึ้น ซึ่งระยะคอนกรีตหุ้มผิวนี้นี้จะมีความสัมพันธ์กับคุณภาพของคอนกรีต หากคุณภาพของคอนกรีตดี จะสามารถลดระยะคอนกรีตหุ้มผิวลงได้

Soroka (1993) กล่าวว่า ระยะที่ใช้จนกระทั่งคลอไรด์ มีความเข้มข้นเป็นร้อยละ 0.4 ที่ระยะหนึ่งวัดจากผิวของคอนกรีต จะเพิ่มขึ้นเมื่อความพรุนของคอนกรีตลดลง หรือ ระยะที่มีปริมาณคลอไรด์วิกฤตที่เวลาหนึ่งจะเพิ่มขึ้นเมื่อความพรุนของคอนกรีตเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่า อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ และระยะเวลาในการบ่มต่างส่งผลต่ออัตราการแทรกซึมของคลอไรด์ คือเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เพิ่มขึ้น

จะส่งผลให้อัตราการแทรกซึมของคลอไรด์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นในการควบคุมอัตราการแทรกซึมของคลอไรด์ จะต้องบ่มคอนกรีตหุ้มให้ดี และใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำตลอดแนวของเหล็กเสริม

2. ชนิดและปริมาณของปูนซีเมนต์

Soroka (1993) กล่าวว่า สภาพการสูญเสียความต้านทานการเกิดสนิมเกิดจากคลอไรด์อิสระหรือคลอไรด์ที่ไม่ถูกกักกัน ซึ่งเป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน แต่คลอไรด์จะเข้ารวมสารผลิตภัณฑ์ของ C_3A เกือบทั้งหมด กลายเป็น Friedels salt ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$) หรือเมื่อสารละลายมีความเข้มข้นสูง จะเกิดแคลเซียมออกซิดคลอไรด์ ($CaO \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$) ด้วยความสามารถในการเก็บกักคลอไรด์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จะขึ้นอยู่กับปริมาณ C_3A ถ้า ปริมาณ C_3A มาก ความสามารถในการเก็บกักคลอไรด์ก็จะมากตามไปด้วย ดังนั้น ถ้าปูนซีเมนต์ยังมีความสามารถในการเก็บกักคลอไรด์มากเท่าใด ก็ย่อมจะหน่วงการแทรกซึมของคลอไรด์ที่เข้าไปในคอนกรีตให้ช้าลงเท่านั้น และจะทำให้ระยะเวลาช่วงแรกของการกัดกร่อนช้าลงไปอีก

ทั้งส่วนประกอบ และปริมาณของปูนซีเมนต์ ต่างมีผลต่อปริมาณของคลอไรด์ที่เข้าไปทำปฏิกิริยาเมื่อปูนซีเมนต์ที่ใช้มีปริมาณมาก ก็ย่อมมีความสามารถเก็บกักคลอไรด์ได้ในปริมาณมาก จึงทำให้อัตราการแทรกซึมลดลง ดังนั้นอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ และประเภทของปูนซีเมนต์จะเป็นตัวบอกคุณภาพความซึมผ่านได้ของคอนกรีต ซึ่งคุณภาพดังกล่าวขึ้นอยู่กับทำให้คอนกรีตแน่น และเงื่อนไขการบ่ม

3. ตัวขัดขวางการกัดกร่อน

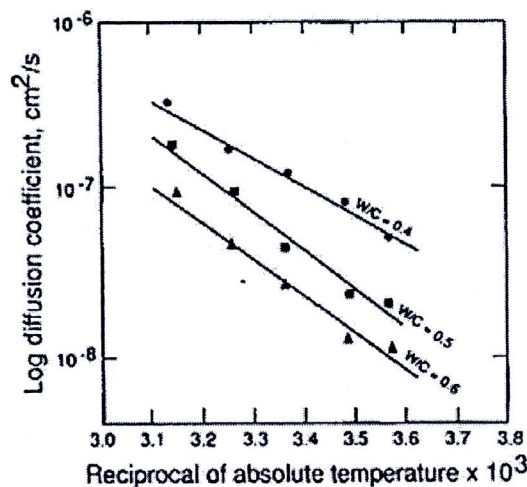
ตัวขัดขวางการกัดกร่อน คือสารที่มีคุณสมบัติต่อต้านการสูญเสียความต้านทานการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ ไม่ว่าจะเป็นลักษณะการป้องกันหรือหน่วงให้เหล็กเสริมผุกร่อนช้าลง มีทั้งแบบที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ แต่ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือประเภทไนไตรต์ ได้แก่ แคลเซียมไนไตรต์ และโซเดียมไนไตรต์ ซึ่งเป็นประเภทสารอนินทรีย์

4. อุณหภูมิ

Soroka (1993) อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ และความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่ในรูปลอกการิทึม กับส่วนกลับของอุณหภูมิที่มีหน่วยเป็นเคลวิน จะเป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 2.3 โดยในสภาพอากาศร้อน เวลาที่คลอไรด์ใช้ในการเคลื่อนที่ถึงเหล็กจะสั้นกว่าในสภาพอากาศเป็นกลาง และจะสังเกตเห็นว่า อัตราการแทรกซึมของคลอไรด์จะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	
ห้องสมุดงานวิจัย	
วันที่...0..1..๓.๕..2555	2555
เลขทะเบียน.....	247385
เลขเรียกหนังสือ.....	



รูปที่ 2.6 ผลของอุณหภูมิและอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่อสัมประสิทธิ์การแพร่ของเกลือคลอไรด์

Jooss and Reinhardt (2002) ทำการทดสอบเพื่อศึกษาถึงผลกระทบของอุณหภูมิต่อความสามารถซึมผ่านได้ และการแพร่กระจายของเกลือคลอไรด์ในคอนกรีต โดยใช้ตัวอย่างคอนกรีต 11 ชนิด และควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 20 และ 80 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่า ความสามารถซึมผ่านได้ และการแพร่กระจายมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และความสามารถซึมผ่านได้เพิ่มขึ้น 13-62% เมื่ออุณหภูมิถูกทำให้สูงขึ้นจาก 20 ถึง 50 องศาเซลเซียส และ เพิ่มขึ้น 3-55% เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 80 องศาเซลเซียส และ การแพร่กระจายจะเพิ่มขึ้น 10-21% จาก 20 ถึง 50 องศาเซลเซียส และ เพิ่มขึ้น 8-21% จาก 50 ถึง 80 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของคอนกรีตด้วย

5. คุณภาพของคอนกรีต

ส่วนประกอบของคอนกรีตและอุณหภูมิที่ใช้บ่มมีความสำคัญกับโครงสร้างของโพรง เมื่อเพิ่มระดับของปฏิกิริยาไฮเดรชัน ความสามารถในการแทรกซึมของคลอไรด์จะลดลง ซึ่งจะเป็นจริงเมื่อคอนกรีตไม่มีการสูญเสียไอน้ำเท่านั้น หากสูญเสียไอน้ำ ระดับของปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเปลี่ยนไปตามระยะจากผิว เนื่องจากการลดลงของความชื้น จะทำให้ความสามารถในการซึมผ่านเพิ่มขึ้น หากบ่มคอนกรีตไว้นาน การแทรกซึมของคลอไรด์ก็จะลดลง นอกจากนี้หากการทำให้คอนกรีตแน่นไม่เพียงพอ การแทรกซึมของคลอไรด์จะเพิ่มขึ้น

Kayyali et al. (1988) กล่าวว่า คอนกรีตที่ต้องเผชิญสิ่งแวดล้อมที่มีเกลือคลอไรด์ต้องการระยะเวลาในการบ่มคอนกรีตที่มากเพียงพอ เนื่องจากการบ่มคอนกรีตที่นานเพียงพอจะทำให้โครงสร้างของโพรงช่องว่างภายในเนื้อของคอนกรีตมีขนาดเล็ก และส่งผลทำให้การแพร่ของคลอไรด์ในเนื้อของคอนกรีตเกิดขึ้นได้ยาก

2.7 วิธีการวัดคลอไรด์และการคำนวณคลอไรด์

การไทเทรต (Titration test) เป็นการทดสอบปริมาณคลอไรด์ที่เข้าไปในคอนกรีตในระยะความลึกต่างๆ โดยต้องเจาะหรือเอาคอนกรีตบริเวณที่ต้องการหาปริมาณคลอไรด์ให้ละเอียดและวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ที่มีอยู่ ในการแทรกซึกของคลอไรด์มี 2 ลักษณะ คือวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์โดยใช้กรดเป็นตัวทำละลาย (Acid-soluble Chloride) ตาม ASTM C 1152 เพื่อให้ได้ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมด (Total Chloride content) โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย (Water-soluble chloride) ตามมาตรฐาน ASTM C 1218 หลังจากเตรียมสารละลายเสร็จ สามารถไทเทรตปริมาณคลอไรด์ที่อยู่ในคอนกรีตด้วยมือหรือด้วยเครื่อง Potentiometric titration ซึ่งเป็นเครื่องไทเทรตอัตโนมัติ ซึ่งสามารถคำนวณร้อยละของคลอไรด์ได้ดังสมการ

$$Cl(\%) = \frac{3.545(V_2 - V_1)}{w} C1\% \quad (2.2)$$

- โดยที่
- V_1 คือ Milliitres ของสารละลาย 0.05 N $AgNO_3$ ที่ใช้สำหรับการไทเทรตตัวอย่าง
 - V_2 คือ Milliitres ของสารละลาย 0.05 N $AgNO_3$ ที่ใช้สำหรับการไทเทรต Blank
 - N คือ Exact normality ของสารละลาย 0.05 N $AgNO_3$
 - 0.01 คือ Milliequivalents ของ NaCl ที่เติม ($2.0 \text{ ml} \times 0.05 \text{ N}$)
 - 0.02 คือ น้ำหนักของผงตัวอย่างคอนกรีต (กรัม)

2.8 วัสดุซ่อมแซม

1. CRYSTAL SEAL

Crystal Seal เป็นสูตรป้องกันการรั่วซึมของช่องว่างคาปิลารีของการผสมกันของความชื้นที่เป็นสารเคมี คิวทซ์ ทรายและปูนซีเมนต์ สารเคมีที่มีอยู่ใน Crystal Seal ถูกทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำโดยจะใช้พื้นที่และร่วมกับปูนขาวฟรี สารเคมีใน Crystal Seal มีรูปแบบเป็นห่วงโซ่ยาวที่จับซ้อนซึ่งตกผลึกในช่องว่างคาปิลารี Crystal Seal ถูกใช้เพื่อป้องกันความชื้นของมอร์ตาร์และคอนกรีต และการรั่วซึม และเพิ่มการยึดเกาะระหว่างสารเคลือบผิวกับคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ การใช้งานเหมาะกับโครงสร้าง อ่างเก็บน้ำ น้ำ หอน้ำ เขื่อน ทางน้ำ ท่อคอนกรีต โรงงานบำบัดน้ำเสีย สะพาน และอาคารเรือ เป็นต้น

2. XYPEX

XYPEX ได้ถูกออกแบบมาเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานที่หลากหลายในอุตสาหกรรมต่างๆ โดย XYPEX สามารถใช้ได้หลายรูปแบบเช่น ใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีตโดยตรง ใช้ผสมเป็นสารเหลวเคลือบผิว หรือแม้กระทั่งใช้เป็นผงแบบแห้งโปรยลงบนพื้นผิวที่ต้องการ ซึ่งมีหลายอย่างด้วยกันเช่น

2.1 ผลิตภัณฑ์สำหรับงานกันซึมและเพิ่มความคงทนของคอนกรีต

XYPEX ADMIX C-1000NF ใช้ผสมโดยตรงกับคอนกรีตในขณะที่ผสมในโรงงานผลิต กลุ่มผลิตภัณฑ์ ADMIX C จะสร้างผลึกที่บดน้ำขึ้นในเนื้อคอนกรีต ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการกันซึม ช่วยป้องกันเนื้อคอนกรีตจากสภาพแวดล้อม ADMIX C-1000NF ได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับสภาพในการใช้งานและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

XYPEX CONCENTRATE DS-1 and DS-2 เป็นสูตรพิเศษของ XYPEX Concentrate แบบผงแห้งที่ได้รับการออกแบบให้ใช้กับผิวคอนกรีตที่เป็นพื้นราบเช่นลานจอดรถหรือพื้นอาคาร DS-1 และ DS-2 ใช้โปรยลงบนพื้นผิวคอนกรีตที่เทใหม่ด้วยมือหรือเครื่องพ่น(ในกรณีที่ทำงานเป็นปริมาณมาก) และสำหรับ DS-2 ใช้สำหรับโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องรองรับการขัดสีมากเป็นพิเศษ

XYPEX CONCENTRATE เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานได้หลากหลายมากที่สุดของ XYPEX เมื่อนำผง XYPEX Concentrate ที่มีลักษณะเป็นผงแห้งสีเทาคล้ายผงปูนซีเมนต์ มาผสมเข้ากับน้ำสะอาด จะสามารถนำไปใช้ฉาบหรือทาพื้นผิวคอนกรีตได้อย่างหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นพื้นผิวคอนกรีตที่อยู่เหนือระดับดินหรือผิวคอนกรีตที่อยู่ต่ำกว่าระดับดินเช่น ถังน้ำใต้ดิน โดยอาจใช้ในการทาเคลือบผิวเพียงชั้นเดียวหรือทาเคลือบเป็นผิวชั้นแรกในสองชั้น ในกรณีที่ต้องการประสิทธิภาพในการกันซึมมากเป็นพิเศษ XYPEX Concentrate ยังสามารถใช้ในรูปของผงอัดแห้ง (Dry-Pac) ที่ใช้ในการอุดรอยต่อต่างๆที่เกิดจากการก่อสร้าง รอยร้าว รอยแตก หรืออุดโพรงคอนกรีตได้อีกด้วย

XYPEX MODIFIED XYPEX Modified เหมาะที่จะนำไปใช้ทาเคลือบเป็นชั้นที่สองเพื่อเสริมประสิทธิภาพในการกันซึม ให้กับ XYPEX Concentrate ซึ่งจะให้ผิวที่มีลักษณะแข็งแรง คงทนมากกว่าผิวของ XYPEX Concentrate เพียงอย่างเดียว อีกทั้งยังช่วยในการบ่ม ให้น้ำยามีประสิทธิภาพได้อย่างรวดเร็วขึ้นอีกด้วย ทั้งนี้ XYPEX Modified ยังสามารถใช้ทาพื้นผิวที่ต้องการกันความชื้น เช่น ผนังห้องใต้ดิน โดยทาเพียงหนึ่งชั้น ซึ่งถือเป็นทางเลือกในการกันชื้นแทนที่วัสดุจำพวกน้ำมันดิน

2.2 ผลิตภัณฑ์สำหรับงานซ่อมแซม

XYPEX Megamix I เหมาะสำหรับทาบนพื้นผิวก่ออิฐหรือผิวคอนกรีตที่เสื่อมสภาพ โดยทาเป็นชั้นที่มีความหนาไม่เกิน 10 มม. เพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติกันซึมและปกป้องพื้นผิว XYPEX Megamix I มีคุณสมบัติพิเศษคือมีแรงยึดเหนี่ยวกับพื้นผิวสูงและทนทานต่อสภาพลมฟ้าอากาศ ได้เป็นอย่างดี ทำให้เหมาะสำหรับงานซ่อมแซมพื้นผิวของสระว่ายน้ำ อ่างเก็บน้ำคอนกรีต อุโมงค์และพื้นผิวคอนกรีตอื่นใดที่เริ่มมีการเสื่อมสภาพของคอนกรีต

XYPEX Megamix II เป็นสารผสมพิเศษสำหรับงานซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต โดยเฉพาะ สามารถทาได้หนาถึง 50 มม. ในการทาเพียงครั้งเดียว ทั้งนี้ยังคงไว้ซึ่งคุณสมบัติเฉพาะตัวของ XYPEX คือการกันซึมด้วยการกลายสภาพเป็นผลึกและยังสามารถปกป้องคอนกรีตจากสารเคมี ต่างๆ ได้เป็นอย่างดี XYPEX Megamix II เหมาะสำหรับงานซ่อมแซมคอนกรีตที่เสื่อมสภาพในสถานที่ที่ต้องสัมผัสกับน้ำ ทะเล หรือแม้กระทั่งในสภาวะที่ต้องสัมผัสกับของเสีย มีพิษต่างๆ เช่น ในบ่อบำบัดน้ำเสีย บ่อขยะ เป็นต้น

XYPEX PATCH 'N PLUG มีคุณสมบัติพิเศษคือแห้งตัวเร็ว ไม่หดตัว มีแรงยึดเหนี่ยวสูง เหมาะสำหรับงานซ่อมแซมคอนกรีตที่เกี่ยวข้องกับน้ำ เช่น ถังเก็บน้ำ บ่อบำบัด ฯลฯ เมื่อใช้อุดรอยร้าวหรือรอยร้าวจะทำให้หน้าหลุดไหลในทันที ทั้งนี้ยังเหมาะสำหรับใช้อุดรอยแตกร้าวในคอนกรีต หรือรูสำหรับร้อยนอตต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการทำงานหล่อคอนกรีต

XYPEX Restora-Top ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษสำหรับงานซ่อมและฟื้นฟูสภาพของผิวคอนกรีตที่อยู่ในแนวราบเท่านั้น เช่น พื้นโรงงาน พื้นสะพาน ถนน กันหินทางเท้า ทางเดินเท้า ที่ซึ่งการซ่อมแซมต้องการให้เปิดใช้งานได้ภายในเวลา 2 ชั่วโมง Restora-Top ประกอบไปด้วยซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ วัสดุผสมต่างๆ สารผสมเพิ่มพิเศษ และสารเพิ่มกำลังยึดเหนี่ยว ในอัตราส่วนที่ได้รับการควบคุมเป็นพิเศษ ทำให้ได้กำลังการยึดเหนี่ยวสูงเป็นพิเศษ ก่อตัวเร็ว ได้กำลังสูงในเวลาอันสั้น ในขณะที่ยังคงไว้ซึ่งความคงทนและลดการหดตัวของคอนกรีต

XYPEX FCM เหมาะสำหรับงานซ่อมแซมรอยแตกของคอนกรีตที่ต้องรับการเคลื่อนที่ รอยต่อคอนกรีตในการก่อสร้าง งานซ่อมแซมงานกันซึมของคอนกรีตที่เสื่อมสภาพ XYPEX FCM มีคุณสมบัติพิเศษในการยืดหยุ่นตัวและแรงยึดเกาะที่ดีเยี่ยม สามารถใช้งานได้ดีเมื่อใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์ XYPEX ชนิดอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติในการกันซึมที่ดีเยี่ยม FCM ประกอบไปด้วยสองส่วนประกอบ ซึ่งมีหน้าที่

หนึ่งเป็นสาร โพลีเมอร์เหลวชนิดพิเศษและส่วนที่สองเป็นผงสำหรับ สร้างแรงยึดเกาะ ทั้งสองส่วนนี้ใช้ผสมกันเมื่อต้องการใช้เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

2.9 เถ้าลอย

เถ้าลอยหรือเถ้าถ่านหิน เป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่านหินเพื่อเป็นพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้า ถ่านหินที่บดละเอียดจะนำไปเผาเพื่อเอาพลังงานความร้อน เถ้าถ่านหินที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่จะตกลงมายังก้นเตา จึงเรียกว่าเถ้าก้นเตา (Bottom ash) ส่วนเถ้าถ่านหินที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน จนถึงประมาณ 200 ไมครอน จะลอยไปกับอากาศร้อนจึงเรียกว่า เถ้าถ่านหิน เถ้าถ่านหินจะถูกดักจับโดยที่ดักจับไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitator) เพื่อไม่ให้ออกไปกับอากาศร้อนและเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปเถ้าถ่านหินมีความละเอียดใกล้เคียงหรือสูงกว่าปูนซีเมนต์เล็กน้อย ลักษณะส่วนใหญ่เป็นรูปทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่เล็กกว่า 1 ไมครอน (0.001 มม.) จนถึง 0.15 มม. ความละเอียดของเถ้าถ่านหินขึ้นอยู่กับกระบวนการบดถ่านหิน ชนิดของเครื่องบด และชนิดของเตาเผา ถ่านหินที่เผาไหม้อย่างสมบูรณ์ในเตาเผาจะมีความละเอียดสูงและมีทรงกลม แต่กรณีที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ รูปร่างของเถ้าถ่านหินจะไม่แน่นอน เถ้าถ่านหินที่ละเอียดจะมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น ทำให้กำลังอัดของคอนกรีตสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินที่หยาบกว่า

องค์ประกอบหลักของเถ้าถ่านหินคือ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 อัตราส่วนของออกไซด์ทั้ง 3 ชนิดขึ้นอยู่กับ ชนิดของเถ้าถ่านหิน, อุณหภูมิ และ สภาพแวดล้อมขณะเผา ASTM C 618 จึงแยกเถ้าถ่านหินออกเป็น 2 ประเภทคือ Class F และ Class C โดยเถ้าถ่านหิน Class F มีปริมาณ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ มากกว่าร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ขณะที่ Class C มีปริมาณผลรวมของออกไซด์ดังกล่าวระหว่างร้อยละ 50 ถึง 70 โดยน้ำหนัก ส่วนใหญ่ถ่านหินชนิดแอนทราไซต์ (Anthracite) และบิทูมินัส (Bituminous) เมื่อเผาแล้วจะได้เถ้าถ่านหิน Class F ส่วนถ่านหินสับบิทูมินัส (Sub-bituminous) และถ่านหินลิกไนต์ (Lignite) เมื่อเผาแล้วจะได้เถ้าถ่านหิน Class C

โดยทั่วไปเถ้าลอยเป็นวัสดุที่นิยมใช้มากเพราะมีลักษณะเป็นผงละเอียด และมีคุณสมบัติที่ดีสามารถใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตได้ เช่น เพิ่มความสามารถได้ ลดปริมาณน้ำ ลดปริมาณความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน เพิ่มกำลังในระยะยาว ลดการหดตัว เพิ่มความทึบน้ำ และเพิ่มความคงทนต่อสารเคมี เป็นต้น แต่เนื่องจากคุณสมบัติของเถ้าลอยจะเปลี่ยนแปลงตามชนิด แหล่งของถ่านหิน และกระบวนการเผาไหม้ ดังนั้นเถ้าลอยที่จะนำมาใช้ในงานคอนกรีต จึงควรมีคุณสมบัติสอดคล้องกับข้อกำหนด ส่วนข้อเสียของเถ้าลอยคือ ให้กำลังต่ำในอายุแรกๆ

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

M. Ibrahim, A. S. Al-Gahtani, M. Maslehuddin and A. A. Almusallam (1997) ประสิทธิภาพของวัสดุที่ใช้ในการบำรุงรักษาพื้นผิวคอนกรีตที่เป็นรูปธรรม เช่น การเคลือบโดยไซเลน, siloxane, อะคริลิ เป็นต้น ซึ่งถูกนำมาใช้เพื่อลดปริมาณคลอไรด์ที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนเหล็กเสริมถูกตรวจสอบโดยการหล่อตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กสองชุด ซึ่งในชุดแรกการกัดกร่อนเหล็กเสริมเพิ่มขึ้นมากโดยวัดจากศักย์ไฟฟ้าขั้วบวก 2 โวลต์ และทำการตรวจสอบเวลาในการแตกร้าวของตัวอย่าง ส่วนตัวอย่างคอนกรีตชุดที่สองที่ถูกแช่ในสารละลายคลอไรด์ถูกตรวจสอบโดยการวัดศักย์ไฟฟ้าและความหนาแน่นของกระแสการกัดกร่อน จากการทดสอบวัสดุที่ใช้ในการรักษาพื้นผิวเช่น การเคลือบไซเลน, silane/siloxane กับการเคลือบผิวหน้าและอะคริลิ มีประสิทธิภาพในการลดอัตราของการกัดกร่อนของเหล็กเสริม

A.A. Almusallam , F.M. Khan, S.U. Dulaijan, O.S.B. Al-Amoudi (2003) ศึกษาผลของการประเมินความคงทนของคอนกรีตที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวคอนกรีตแบ่งเป็น 5 ประเภททั่วไป ซึ่งความคงทนของตัวอย่างคอนกรีตทั้งที่ถูกเคลือบผิวและไม่เคลือบผิวจะถูกประเมินจากน้ำ การดูดซึม การซึมผ่าน และการแพร่กระจายของคลอไรด์ ความต้านทานต่อการเคมีถูกประเมินโดยการแช่ในกรดที่คลือบและไม่เคลือบผิวในน้ำกรดกำมะถันประมาณ 2.5% พบว่าการเคลือบอีพ็อกซีและยูรีเทนทำได้ดีกว่าอะคริลิเมอร์และคลอรีนเคลือบยาง อย่างไรก็ตามรูปแบบที่เห็นได้ชัดในประสิทธิภาพการทำงานของประเภททั่วไปเดียวกันจัดหาได้จากกระบวนการของวัสดุที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกเคลือบผิวควรจะทำหลังจากการดำเนินการทดสอบมากกว่าที่จะยึดมั่นเพียงผู้เดียวในประเภททั่วไป

E'. Nolan, P. A. M. Basheer and A. E. Long (1995) ศึกษาอิทธิพลของผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด ได้แก่ microsilica, แบบหล่อและไซเลนที่ควบคุมการซึมผ่าน ซึ่งสามารถเพิ่มความคงทนที่แตกต่างกันในบางส่วนของคุณสมบัติ ทางกายภาพของคอนกรีตที่อยู่ใกล้ผิว Microsilica (ซิลิกาควัน) เป็น วัสดุปอซโซลาน, การควบคุมการซึมผ่านของแบบหล่อ (CPF) จะใช้เพื่อให้การระบายน้ำที่มีพื้นผิวอิสระที่จะเป็นรูปแบบของคอนกรีต ในขณะที่ไซเลนเป็นการบำรุงรักษาผิวคอนกรีตให้แข็งแรงเพื่อลดการซึมของน้ำ การเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์เมื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์เดี่ยวและใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์อื่นๆ มีมุมมองการประเมินว่าการใช้ร่วมกันของผลิตภัณฑ์ซึ่งอาจจะเป็นที่พึงประสงค์ในการปรับปรุงคุณสมบัติความคงทนของคอนกรีตในบางสถานการณ์ แต่ผลกระทบของวัสดุเหล่านี้เกี่ยวกับพารามิเตอร์ความทนทานต่างๆ เช่น การเสื่อมสภาพเนื่องจากการแข็งตัวและการละลายของน้ำสลับกัน, ความต้านทานคาร์บอนชั้น และการแทรกซึมของคลอไรด์ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการซึมผ่านและความแข็งแรงของผิวคอนกรีต ซึ่งผลการทดลองพบว่าการใช้ร่วมกันของไซเลนและซีพีเอฟสามารถผลิตคอนกรีตที่มีการซึมผ่านของอากาศและค่า Sorptivity ที่ต่ำมาก ส่วน microsilica มีอิทธิพลที่ชัดเจนในการเพิ่มความแข็งแรงให้กับผิวคอนกรีต

Han Young Moon, Dong Gu Shin, Doo Sun Choi (2005) การเคลือบผิวจะถูกเพื่อป้องกันการเสื่อมโทรมของความคงทนของโครงสร้างคอนกรีต ส่วนใหญ่จะเป็นการเคลือบอินทรีย์โดยใช้สารอินทรีย์ที่

ระเหยง่าย อย่างไรก็ตามการเคลือบสารอินทรีย์ดังกล่าวมีข้อบกพร่องในการก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศในระหว่างทั้งกระบวนการผลิตและงานเคลือบผิว ส่วนสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตที่ใช้เคลือบอินทรีย์ซึ่งมีองค์ประกอบคล้ายกับปูนซีเมนต์ถูกนำมาใช้เพื่อชดเชยข้อเสียนี้ แต่ผลลัพธ์ที่ชัดเจนจะยังขาดสำหรับการประเมินความทนทานของคอนกรีตโดยใช้สารเคลือบอินทรีย์ ดังนั้น

Han Young Moon, Dong Gu Shin, Doo Sun Choi (2005) ได้ศึกษาผลของการประเมินความทนทานของคอนกรีตที่ใช้วัสดุเคลือบผิวด้วยอินทรีย์และการบำรุงรักษาของผิวคอนกรีตโดยการแพร่ของคลอไรด์ได้รับการประเมินจากการใช้ตัวอย่างมอร์ตาร์และคอนกรีตเพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานที่มีความทนทานเกี่ยวข้องกับวัสดุเคลือบอินทรีย์ที่ใช้ในการทดสอบคาร์บอนเนชั่น และการทดสอบความต้านทานน้ำค้างแข็งจากผลการทดลองพบว่า ความต้านทานต่อการแทรกซึมของคลอไรด์, การแข็งตัวและละลายน้ำสลับกันและการเกิดคาร์บอนเนชั่นของตัว อย่างมอร์ตาร์และคอนกรีตที่มีความแข็งแรงเนื่องจากการเคลือบผิวด้วยปูนซีเมนต์พิเศษ มีประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่เคลือบผิว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีการบำรุงรักษาพื้นผิวคอนกรีตจะต้องใช้เป็นการเคลือบผิวระดับ III ซึ่งสามารถแสดงผลงานที่โดดเด่นที่สุด

X. Li and D.D.L. Chung (1998)การบำรุงรักษาพื้นผิวโดยใช้ซิลิกาควันทึ่มีกรดกำมะถันอยู่ก่อนผสมในเมทริกซ์ซีเมนต์ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของความต้านทานแรงดึง 12%, โมดูลัสแรงดึง 72%, ความเหนียวทนแรงดึง 57%, ความต้านทานการสึกกร่อน 20%, การสูญเสียการสัมผัส 30-80%, โมดูลัสแรงดัด 80-120%, และ โมดูลัสสูญเสียการดัด 160-300% ซึ่งค่าเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับค่าที่ได้เนื่องจากการใช้ซิลิกาควันเป็นตัวรับ

A.M.G. Seneviratne, G. Sergi, C.L. Page (2000) การเคลือบผิวด้วยยาง3ชนิดถูกนำไปใช้เป็นส่วนประกอบคอนกรีตที่มีคาร์บอนเนตผสมอยู่ตามธรรมชาติซึ่งได้จากอาคารที่ถูกเผชิญกับการกัดกร่อนเหล็กเสริม การตรวจสอบความชื้นสัมพัทธ์ภายในของคอนกรีตพบว่า ระบบเคลือบผิวทั้ง 3 ระบบมีความสามารถในการแยกน้ำออกจากส่วนประกอบคาร์บอนเนตภายในระยะเวลา 12 ปี แต่มีเพียงหนึ่งระบบเท่านั้นที่สามารถรักษาประสิทธิภาพการทำงานจนถึงระยะเวลา 5 ปีได้ในสภาพแวดล้อมของเมืองในสหราชอาณาจักร การวิเคราะห์ความร้อนเชิงกลแบบไดนามิกชี้ให้เห็นว่าการเคลือบผิวที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือสามารถรักษาคุณสมบัติของยางในช่วงระยะเวลาที่จำเป็นของการสัมผัสและความกว้างของอุณหภูมิในการดำเนินงาน นอกจากนี้ยังมีแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตที่สม่ำเสมอค่อนข้างต่ำและการเกิดขึ้นนี้มีความสามารถในการรองรับการเคลื่อนไหวของผิวคอนกรีต สารเคลือบดังกล่าวถูกพิจารณาความสามารถในการขยายอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ป้องกันการเกิดคาร์บอนเนชั่นในกรณีที่มีการปนเปื้อนจากคลอไรด์เป็นหลักไม่ได้มีอยู่และเป็นเพียงเส้นทางที่สำคัญสำหรับการแทรกซึมของความชื้นผ่านการเคลือบ

M R Jones, R K Dhir and J P Gill(1994) งานวิจัยมีการรายงานเกี่ยวกับอุณหภูมิการสัมผัสที่อิทธิพลต่อคุณสมบัติการแพร่กระจายของคลอไรด์ของ 7 ประการ ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับระบบการ

รักษาซ่อมแซมผิวคอนกรีต การเปลี่ยนแปลงในรูปแบบของฟิล์มแห้ง ความหนาขึ้นอยู่กับอัตราการประยุกต์ใช้ของผู้ผลิตที่แนะนำ การแพร่กระจายของคลอไรด์จะถูกคำนวณสำหรับทั้งคอนกรีตได้รับการรักษาและมาตรฐานพื้นผิวแก้วซินเตอร์ มันแสดงให้เห็นว่าในขณะที่ทุกระบบการรักษาพื้นผิวทำงานได้ดีที่สุดอุณหภูมิการสัมผัสที่ต่ำและขนาดกลาง ฟลักซ์คลอไรด์ผ่านการบำบัดที่นำไปใช้กับคอนกรีตและพื้นผิวกระจกเผาแตกต่างกันอย่างมาก อยู่บนพื้นฐานของการศึกษาครั้งนี้จำแนกไม่แน่นอนของระบบการรักษาพื้นผิวสำหรับการความแตกต่างของอุณหภูมิสัมผัส ที่เปลี่ยนแปลง

Pedro M.D. Santos a, Eduardo N.B.S. Ju' lio b, Vi'tor D. Silva (2005) การศึกษาก่อนหน้านี้พิสูจน์ให้เห็นว่า ความแข็งแรงของพันธะระหว่างคอนกรีตสองชั้นมีอิทธิพลอย่างสูงจากความขรุขระของพื้นผิวเนื้อของคอนกรีตในบทความนี้ผู้เขียนอธิบายถึงการศึกษาต่อมาโดยได้ดำเนินการตรวจสอบความเป็นไปได้ของความขรุขระเชิงปริมาณที่พื้นผิวเนื้อของคอนกรีตและความสัมพันธ์กับความแรงของพันธะระหว่างอินเตอร์เฟซที่สอดคล้องกัน ตัวอย่างของพื้นผิว substrate ที่เตรียมไว้โดยการทำกลายเป็นหยาบด้วยเทคนิคที่แตกต่างกันถูกนำมาพิจารณา ซึ่งรายละเอียดความหยาบของพื้นผิว substrate ที่ได้รับการประมวลผลทางดิจิทัล พารามิเตอร์ความหยาบต่างๆถูกประเมินตามรายละเอียดนี้และมีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงพันธะที่สอดคล้องกันทั้งในแรงเฉือนและแรงดึง

V.T. Ngala C.L. Page M.M. Page(2001) การตรวจสอบทางห้องปฏิบัติการได้ดำเนินการเพื่อประเมินประสิทธิภาพของแคลเซียมไนไตรต์(calcium nitrite)เป็นตัวยับยั้งเมื่อใช้ในการรักษาพื้นผิว เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับตัวอย่างชิ้นงานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกคลอไรด์ปนเปื้อนไปยัง ขอบเขต แตกต่างกัน ในการมีหรือไม่มีการเกิดคาร์บอนเนชัน (carbonation) การตอบ สนองต่อการกัดกร่อนของเหล็กฝังตัวอยู่ที่ระดับความลึกต่างๆจะถูกตรวจสอบโดยวิธี อิเล็กโทรเคมี (electrochemically) ภายในช่วงเวลาของการควบคุมโดยโปรแกรมของวงจรแบบเปิดและแห้ง สำหรับการดำเนินการหลายเดือนก่อนที่จะยับยั้งการรักษา และการประมาณ 18 เดือนหลังจากนั้น และเมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบ การวัดของการสูญเสียน้ำหนัก การกัดกร่อนและการกระจายการกัดกร่อนบนพื้นผิวเหล็กก็จะถูกดำเนินต่อ ในตัวอย่างที่ไม่มีคาร์บอนเนต และตัวอย่างที่มีคลอไรด์และคาร์บอนเนตภายในระดับสูงและแม้แต่วิธีที่มีคลอไรด์ภายในต่ำ พื้นผิวที่ใช้สารยับยั้งการรักษาจะไม่ปรากฏผลภายใต้เงื่อนไขของการทดลองและการเพิ่มประสิทธิภาพของอัตราการกัดกร่อนในท้องถิ่นถูกพบในตัวอย่างบางส่วน

V.T. Ngala , C.L. Page , M.M. Page(2002) โซเดียม โมโนฟลูออโรโรฟอสเฟต (monofluoro - phosphate, MFP) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในรูปแบบของ โซลูชันน้ำเข้มข้นเพื่อพื้นผิวของ โครงสร้างคอนกรีต โดยมีจุดมุ่งหมายคือยับยั้งการกัดกร่อนของตัวเหล็กเสริมที่ฝังภายในโครงสร้างซึ่งได้กลายเป็น depassivated เป็นผลมาจาก carbonation และ / หรือการปนเปื้อนคลอไรด์หรือ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการบำบัดรักษาเช่นชุดของปฏิบัติการการวิจัย ได้ดำเนินการกับตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูก ปนเปื้อนด้วยคลอไรด์ในระยะ ที่มี หรือไม่มีการเกิดคาร์บอนเนชันที่แตกต่างกัน การตอบ สนองต่อการกัดกร่อนของเหล็ก

ฝังตัวอยู่ที่ระดับความลึกต่างๆจะถูกตรวจสอบโดยวิธี อิเล็กโทรเคมี (electrochemically)) ภายในช่วงเวลาของการควบคุมโดยโปรแกรมของวงจรแบบเปียกและแห้ง สำหรับการดำเนินการเป็นเวลาหลายเดือนก่อนที่จะยับยั้งการรักษาและการประมาณ 18 เดือนหลังจากนั้น Gravimetric การตรวจวัดปริมาณและการกระจายของการเกิดสนิมบนเหล็กก็จะถูกดำเนินการต่อ จนเสร็จสิ้นการทดสอบ และพบว่าไม่มีการลดลงของอัตราการกัดกร่อนของเหล็กที่เค้นขาด ภายใต้เงื่อนไขของการวิจัย การวิเคราะห์ของสารสกัดจากน้ำจากตัวอย่างคอนกรีตที่มีการรักษาผิว โดยไอออนโคเปิดเผยเล็กน้อยว่าการแทรกซึมของไอออนที่ละลายน้ำได้ MFP ได้เกิดขึ้นในบางตัวอย่าง ผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลายจาก MFP (ฟอสเฟตและฟลูออไรด์) ถูกนำเสนออย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความลึกในสารสกัดจากน้ำของตัวอย่างคอนกรีตอัดลม แต่ฟลูออไรด์เท่านั้นที่ถูก ตรวจพบในน้ำในทำนองเดียวกันสารสกัดจากตัวอย่างที่ไม่อัดลม

P. A. M. Basheer, L. Basheer, D. J. Cleland and A. E. Long(1997) วรรณกรรมได้เผยแพร่เรื่องประสิทธิภาพของการรักษาพื้นผิวของคอนกรีตที่สร้างความสับสนให้กับผู้ใช้ ซึ่งบทความจำนวนมากถูกเผยแพร่ทั้งโดยผู้จัดการด้านเทคนิคการส่งเสริมระบบการทำงานของผลิตภัณฑ์หรือโดยสถาบันการวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนเงินทุนเพื่อดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะและในบทความ จะถูกนำเสนอผลที่ได้เพียงข้อดีและข้อเสียของผลิตภัณฑ์อย่างเคียงงานวิจัยเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ทั่วไปที่ต่างกัน ได้ส่งผลให้ในการตรวจสอบซึ่งไม่สามารถทดสอบคุณสมบัติทั้งหมดได้ ดังนั้นการตรวจสอบเหล่านี้ถือเป็นหนึ่งหรือสองประสิทธิภาพการป้องกันเฉพาะของการรักษาผิวคอนกรีตอย่างไรก็ตามความคืบหน้าได้รับการทำความเข้าใจในกลไกการป้องกันในเชิงพาณิชย์ต่างๆของผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้ได้ตั้งแต่สิ่งพิมพ์ของหมายเหตุทางเทคนิค CIRIA 130และนอกจากนี้ยังมีสิ่งพิมพ์ความคิดเห็นวรรณกรรมอื่นๆอีกนักวิจัยอิสระหลายคนได้นำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับประสิทธิภาพการให้บริการของการรักษาพื้นผิวในโครงสร้างจริง ดังนั้นบนพื้นฐานจากวรรณกรรมที่ศึกษาและงานวิจัยที่ได้รับที่ Queen's University, Belfast ตั้งแต่ปี 1987 ประสิทธิภาพของการรักษาพื้นผิวของคอนกรีตถูกนำเสนอในบทความนี้ เช่นเดียวกัน วิธีการที่ได้รับการเสนอสำหรับการเลือกของการรักษาพื้นผิวเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะถูกนำเสนอ

John Cairns, Colin Melville(2003) หนึ่งในทางเลือกเพื่อยืดอายุของโครงสร้างคอนกรีตที่ถูกคุกคามโดยการกัดกร่อนเหล็กเสริมที่เป็นการประยุกต์ ใช้ประโยชน์ของการรักษาพื้นผิวให้ถูกกาลเทศะ การบำบัด เป็นที่พึงประสงค์ที่เห็นได้ชัดว่าวิธีการทดสอบจะมีการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของงานแก้ไขดังกล่าว การวัดโดยไฟฟ้าเคมี(electrochemical measurements) ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการก่อสร้างคอนกรีตเพื่อประเมินโอกาสของการกัดกร่อน อย่างไรก็ตามมีข้อมูลเพียงเล็กน้อยเกี่ยวกับความสามารถของวิธีการเหล่านี้ที่จะดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อการรักษาป้องกัน ถูกประยุกต์ใช้กับพื้นผิวหน้าของคอนกรีต โครงการที่อธิบายที่นี้จึงตั้งขึ้นเพื่อตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยการวัดไฟฟ้าเคมีของกิจกรรมการกัดกร่อนในคอนกรีต ซึ่งสามารถให้ข้อมูลที่เชื่อถือได้เมื่อใช้กับคอนกรีตที่มีกาเคลื่อน

ป้องกันผิวหน้า ผลระบุครึ่งเซลล์ที่มีศักยภาพการตรวจวัดไม่ได้รับผลกระทบในระดับที่มีนัยสำคัญโดยการแสดงตนของการเคลือบได้ แต่เห็นว่าข้อผิดพลาดอาจจะนำมาใช้ในการวัดโพลาไรซ์ (polarisation)

M.H.F. Medeiros , P. Helene(2009) ปัจจุบันมีวัสดุสำหรับป้องกันโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กหลายประเภทและอิทธิพลของวัสดุเหล่านี้ที่อยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์การแพร่ของคลอไรด์ยังคงต้องการงานวิจัยเพิ่มเติม จุดมุ่งหมายของบทความนี้คือการศึกษาประสิทธิภาพของการรักษาพื้นผิวบางอย่าง(เช่นตัวสารเคลือบที่ไม่เข้ากับน้ำเช่น สารเคลือบสังเคราะห์ สารเคลือบโพลียูรีเทน และทั้งสองระบบ) ในการยับยั้งการแพร่ของคลอไรด์ในคอนกรีต ผลการทดลองพบว่า การป้องกันพื้นผิวทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทำให้ sorptivity ของคอนกรีตลดลง (ลดลงในอัตรา > 70%) แต่อย่างไรก็ตาม เพียงการเคลือบยูรีเทนอย่างเดียวก็มีประสิทธิภาพสูงในการลดค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของคลอไรด์ (อัตราการลดลง 86%)