



คอนกรีตชายฝั่งทะเลชนิด

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องสัมผัสน้ำทะเล น้ำกร่อย หรืออยู่บริเวณชายฝั่ง รวมทั้งโครงสร้างใต้ดินบริเวณนั้น จะประสบปัญหาความเสียหายอย่างมากจากสภาพแวดล้อม ดังนั้นในการออกแบบให้โครงสร้างมีอายุการใช้งานตามที่ต้องการ จึงต้องคำนึงถึงความต้านทานความเสียหายที่จะเกิดขึ้นด้วย ซึ่งคอนกรีตถือเป็นส่วนสำคัญเนื่องจากเป็น "ด่านแรก" ของโครงสร้างที่ทำหน้าที่ต้านทานความเสียหาย

เดิมมีความเข้าใจกันว่าคอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5 ซึ่งมีปริมาณไตรแคลเซียมอลูมิเนต ($3CaO \cdot Al_2O_3$ หรือ C_3A) ที่ต่ำจะเหมาะสำหรับโครงสร้างที่สัมผัสน้ำทะเล แต่เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบในน้ำทะเลโดยแท้จริงแล้ว พบว่าวิธีการนี้ไม่เพียงพอเสียแล้ว ทั้งนี้เพราะในน้ำทะเลมีปริมาณซัลเฟตอยู่ประมาณ 10% ส่วนคลอไรด์นั้นกลับมีปริมาณถึง 90% ดังนั้นการคำนึงถึงทุกองค์ประกอบของน้ำทะเลดูจะมีเหตุผลมากกว่าการพิจารณาแต่เพียงซัลเฟตเท่านั้น



นอกจากโครงสร้างสัมผัสน้ำทะเลแล้ว โครงสร้างที่สัมผัสไอทะเล ซึ่งมักจะอยู่ห่างชายฝั่งหลายกิโลเมตรก็ยังจัดว่าเป็นโครงสร้างที่ต้องคำนึงถึงความต้านทานต่อน้ำทะเลเช่นกัน เนื่องจากเกลือในอากาศสามารถแพร่ไปถึงโครงสร้างที่ห่างจากทะเลถึง 15 กิโลเมตร

จากการสำรวจของทีมีวิจัยซีแพคพบว่าระยะทางของสิ่งก่อสร้างคอนกรีตที่ห่างจากชายฝั่งทะเลมีผลโดยตรงต่อการเกิดความเสียหายของคอนกรีตที่เกิดจากผลของคลอไรด์ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าโครงสร้างคอนกรีตสามารถเกิดความเสียหายได้อย่างรวดเร็วและรุนแรงที่ระยะทาง 5 กิโลเมตร จากชายฝั่งทะเล และความเสียหายจะเกิดขึ้นช้าลงเมื่อระยะทางห่างออกไปเรื่อยๆ โดยที่โครงสร้างคอนกรีตยังสามารถเกิดความเสียหายได้ ในช่วงระยะทาง 15 กิโลเมตร จากชายฝั่งทะเล ซีแพคจึงได้ออกแบบคอนกรีตเพื่อรองรับการใช้งานที่เสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายในระดับรุนแรงและระดับปานกลางไว้เป็น 2 ประเภทดังนี้

CPAC Marine Concrete

คอนกรีตชายฝั่งทะเลซีแพคเพื่อรองรับความเสียหายระดับรุนแรง รองรับการใช้งานกับโครงสร้างคอนกรีตที่ระยะห่างจากชายฝั่งทะเล **0 - 5 กิโลเมตร** สามารถต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ได้ถึงในระดับความเข้มข้น 10,000 - 27,000 ppm และต้านทานซัลเฟตได้ถึง 2,200 ppm

CPAC Coastal Concrete

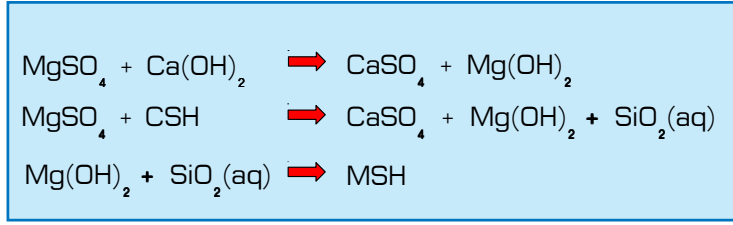
คอนกรีตชายฝั่งทะเลซีแพคเพื่อรองรับความเสียหายระดับปานกลาง สามารถใช้ได้กับโครงสร้างคอนกรีตที่อยู่ห่างจากชายฝั่งทะเล **5-15 กิโลเมตร** มีคุณสมบัติต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ได้อยู่ในช่วง 1,000-10,000 ppm และซัลเฟต 150-1,500 ppm ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้กับโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องเจอกับดินเค็ม ในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้

น้ำทะเลมีเกลือคลอไรด์ซึ่งอยู่ในรูปสารประกอบโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ประมาณ 27,000 ppm แมกนีเซียมคลอไรด์ ((MgCl₂) ประมาณ 3,200 ppm และแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) ประมาณ 500 ppm ส่วนซัลเฟตอยู่ในรูปของสารประกอบ แมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO₄) ประมาณ 2,200 ppm และแคลเซียมซัลเฟต (CaSO₄) ประมาณ 1,100 ppm

คอนกรีตบริเวณชายฝั่งทะเลเสียหายได้อย่างไร

ความเสียหายของคอนกรีตบริเวณชายฝั่งทะเลของประเทศไทยเกิดจากหลายสาเหตุพร้อมๆ กันคือ

สาเหตุทางเคมี ได้แก่ การกัดกร่อนของเหล็กเสริมจากคลอไรด์ และความเสียหายของเนื้อคอนกรีตจากซัลเฟต โดยเฉพาะจากแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO₄)



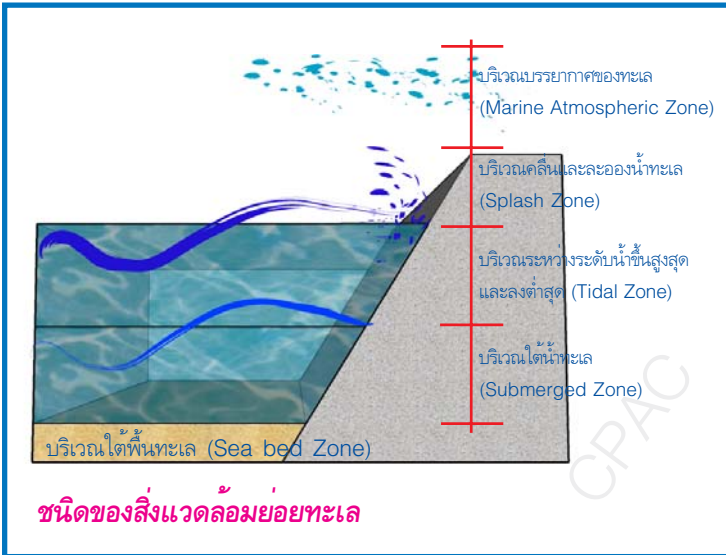
กลไกความเสียหายของเนื้อคอนกรีตจากแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO₄)

สาเหตุทางกายภาพ แบ่งออกเป็นความเสียหายทางตรงและทางอ้อม สาเหตุทางตรง ได้แก่ การกัดกร่อนจากคลีน กรวด และทราย สาเหตุทางอ้อม ได้แก่ แรงดึงผิวตามสภาพเปียก และแห้ง แรงดันน้ำ รอยแตก และรอยต่อที่มีปัญหา ซึ่งจะทำให้ความเสียหายทางเคมีเกิดได้เร็วยิ่งขึ้น



ความเสียหายของคอนกรีตในสิ่งแวดล้อมทะเล

ลักษณะความเสียหายที่อาจเกิดกับโครงสร้างคอนกรีตบริเวณชายฝั่งทะเล มีอยู่หลายประการ เช่น การเกิดสนิมของเหล็กเสริม การกัดกร่อนโดยซัลเฟต การสึกกร่อนจากการขัดสี การแข็งตัวและหลอมเหลวของน้ำ การตกผลึกของเกลือ หรือแม้แต่การเสื่อมสภาพที่เกิดจากสาเหตุทางชีวภาพเป็นต้น ซึ่งความเสียหายจากสาเหตุต่างๆ เหล่านี้ จะมีความรุนแรงที่แตกต่างกันในแต่ละบริเวณ เช่น บริเวณที่อยู่ใต้น้ำหรืออยู่บนผืนน้ำทะเลตลอดเวลา บริเวณที่เปียกบ้างแห้งบ้างสลับกันไป ดังนั้นจึงมีการแบ่งสิ่งแวดล้อมทะเลออกเป็น 5 แบบ ดังต่อไปนี้



- 1) บริเวณใต้พื้นทะเล (Sea bed Zone)
- 2) บริเวณใต้น้ำทะเล (Submerged Zone)
- 3) บริเวณระหว่างระดับน้ำขึ้นสูงสุดและลงต่ำสุด (Tidal Zone)
- 4) บริเวณคลื่นและละอองน้ำทะเล (Splash Zone)
- 5) บริเวณบรรยากาศของทะเล (Marine Atmospheric Zone) ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่ถูกละอองน้ำทะเลจากคลื่น

โดยตรง และอาจครอบคลุมรวมไปถึงโครงสร้างคอนกรีตบนฝั่งทะเลที่อาจจะห่างไกลออกไปหลายกิโลเมตร ที่มีโอกาสได้รับเกลือคลอไรด์จากลมทะเล

ลักษณะความเสียหายที่อาจเกิดได้ในแต่ละสิ่งแวดล้อมย่อย มีดังนี้

- สิ่งแวดล้อมใต้พื้นทะเล ความเสียหายสามารถเกิดจากการกัดกร่อนเนื่องจากซัลเฟตและจากการเสื่อมสภาพทางชีวภาพ
- สิ่งแวดล้อมใต้น้ำทะเล ความเสียหายสามารถเกิดจากการกัดกร่อนโดยซัลเฟต ซึ่งการเป็นสนิมของเหล็กเสริมจะเป็นไปได้ยากเนื่องจากไม่มีออกซิเจนเพียงพอ, การแข็งตัวและหลอมเหลวของน้ำสามารถเกิดได้บริเวณผิวบนของน้ำทะเล
- สิ่งแวดล้อมระหว่างระดับน้ำขึ้นสูงสุดและลงต่ำสุด ความเสียหายสามารถเกิดจากการกัดกร่อนโดยซัลเฟต, การแข็งตัวและหลอมเหลวของน้ำ, การสึกกร่อนจากการกระทำของคลื่น, การเกิดสนิมในเหล็กเสริม
- สิ่งแวดล้อมบริเวณคลื่นและละอองน้ำทะเล ความเสียหายสามารถเกิดจาก การแข็งตัวและหลอมเหลวของน้ำ, การสึกกร่อนจากการกระทำของคลื่น, การเกิดคาร์บอนเนชั่น, การตกผลึกของเกลือ ซึ่งการกัดกร่อนโดยซัลเฟตจะไม่รุนแรงเท่าบริเวณใต้น้ำทะเลแต่การเกิดสนิมในเหล็กเสริมจะรุนแรง
- บริเวณบรรยากาศของทะเล ความเสียหายสามารถเกิดจากคาร์บอนเนชั่น, การหดตัวแบบแห้ง, การเกิดสนิมในเหล็กเสริม, การตกผลึกของเกลือ

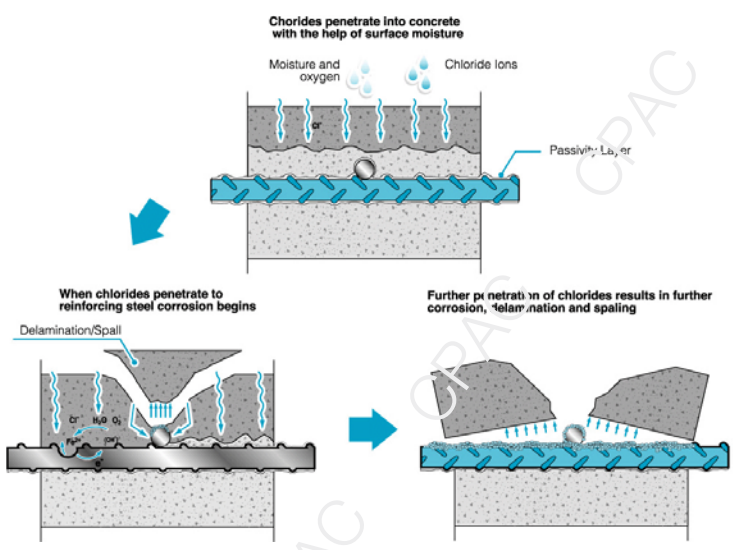
ดังนั้นการออกแบบคอนกรีตให้เหมาะสมตามสภาพแวดล้อมย่อยถือเป็นการออกแบบที่ดีหรืออีกนัยหนึ่งคือ จำเป็นต้องมีแนวคิดในการออกแบบคอนกรีตต่างชนิดกันในสิ่งแวดล้อมย่อยที่มีปัญหาต่างกัน โดยคำนึงถึงการกระทำของสิ่งแวดล้อมประกอบกับคุณสมบัติทางด้านกำลัง เพื่อให้โครงสร้างคอนกรีตมีความคงทนด้วย



คลอไรด์ สาเหตุสำคัญของคาร์บอนครอทในเหล็กเสริม

คลอไรด์ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำทะเลจะซึมเข้าสู่เนื้อคอนกรีตโดยคลอไรด์อิสระ (Free Chloride) จะเป็นส่วนสำคัญทำให้เหล็กเสริมภายในเกิดสนิม โดยสนิมเหล็กจะทำให้คอนกรีตสูญเสียแรงยึดเกาะกับเหล็กเสริมและจะขยายตัวดันให้คอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมหลุดร่อน นอกจากนี้พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมก็จะลดลงจนทำให้โครงสร้างพังทลายได้

การเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีตเป็นกระบวนการไฟฟ้าเคมีจากการเกิดเซลล์การกัดกร่อน โดยมีสาเหตุมาจากความต่างศักย์ของไอออนต่างๆ บนเหล็กเสริม ได้แก่ อัลคาไลน์คลอไรด์ และออกซิเจน โดยบริเวณหนึ่งของเหล็กเสริมจะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นขั้วลบ (Anodic) และอีกบริเวณหนึ่งจะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นขั้วบวก (Cathodic) ทำให้เหล็กเสริมเกิดเป็นสนิมและมีปริมาณเพิ่มขึ้น ปริมาณสนิมเหล็กจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสถานะของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ซึ่งบางครั้งอาจมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นถึง 6 เท่า



กระบวนการไฟฟ้าเคมีของการกัดกร่อนเหล็กเสริมในคอนกรีตซึ่งมีคลอไรด์ ความชื้น และออกซิเจน เป็นองค์ประกอบ

ไม่ใช่คลอไรด์ในสภาพแวดล้อมทั้งหมดที่สามารถเข้าสู่คอนกรีตถึงเหล็กเสริมได้ มีเพียงคลอไรด์อิสระ (Free Chloride) เท่านั้นที่เป็นปัจจัยในการเกิดสนิมเหล็กเนื่องจากคลอไรด์บางส่วนจะถูกจับยึด (Fixed Chloride) ในเนื้อคอนกรีต เมื่อคลอไรด์อิสระแพร่เข้าถึงเหล็กเสริม ฟิล์มป้องกันเหล็กเสริม (Passivity Layer) จะถูกทำลายโดยการทำลายจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนคลอไรด์ต่อไฮดรอกซิลไอออน (Cl^- / OH^-) ถึงแม้ว่าในคอนกรีตจะมีค่า pH สูงกว่า 11.5 ก็ตามเหล็กเสริมก็ยังสามารถเป็นสนิมได้ทั้งในบริเวณฟิล์มยอมให้มีการซึมผ่านได้และบริเวณที่ฟิล์มไม่คงตัว

ซัลเฟต ต้นเหตุของความเสียหายในเนื้อคอนกรีต

ในน้ำทะเลยังมีแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) ที่มีอันตรายอย่างมากต่อคอนกรีต โดยซัลเฟตไอออนจาก ($MgSO_4$) นอกจากจะทำปฏิกิริยากับคัลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ได้เป็นแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) หรือยิปซั่ม ยิปซั่มที่ได้ยังสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต CAH ได้เป็นแคลเซียมซัลโฟลูมิเนต ซึ่งทั้งยิปซั่มและแคลเซียมซัลโฟลูมิเนตนี้ทำให้เกิดการขยายตัวของเนื้อคอนกรีตจนแตกกร้าว

ในขณะที่แมกนีเซียมไอออนสัมผัสกับสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) ซึ่งเป็นตัวให้กำลังกับคอนกรีตแล้ว แคลเซียมไอออนใน CSH จะสลายตัวและเปลี่ยนเป็นแมกนีเซียมไอออน รวมถึงการเกิดสารประกอบอัลคาไลน์แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($Mg(OH)_2$) แคลเซียมซัลเฟต และซิลิกาเจล ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดังแคลเซียม (Decalcification) และแคลเซียมซัลเฟตที่ได้สามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรตแล้ว แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์จะทำปฏิกิริยากับซิลิกาเจลเกิดเป็นแมกนีเซียมซิลิเกตไฮเดรต (MSH) ในที่สุดซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้คอนกรีตสูญเสียกำลังนั่นเอง



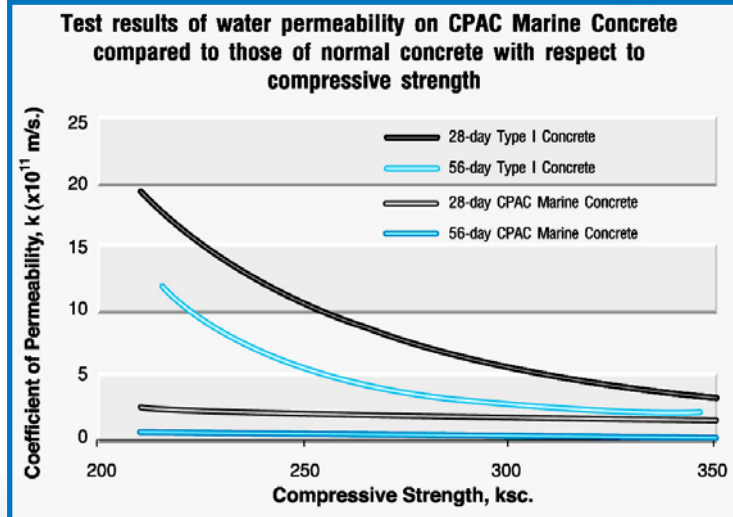
ความรุนแรงของปริมาณซัลเฟต

เกณฑ์การพิจารณาระดับความรุนแรงของปริมาณซัลเฟตจากสภาพแวดล้อม อ้างอิงมาตรฐาน ACI Committee 201: Guide for Durable Concrete

ระดับความรุนแรงของซัลเฟต	ซัลเฟตในสภาพแวดล้อม (ppm)
เบาบาง	0 - 150
ปานกลาง	150 - 1,500
รุนแรง	1500 - 10,000
รุนแรงมาก	> 10,000

ปัจจัยสำคัญสู่ความสำเร็จของชายฝั่งทะเล

จากการวิจัยและศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อความเสียหายของคอนกรีตบริเวณชายฝั่งทะเล ทำให้ซีเมนต์สามารถพัฒนา CPAC Marine Concrete ให้มีคุณสมบัติครบถ้วน เหมาะสมกับงานโครงสร้างบริเวณชายฝั่งทะเลโดยเฉพาะ

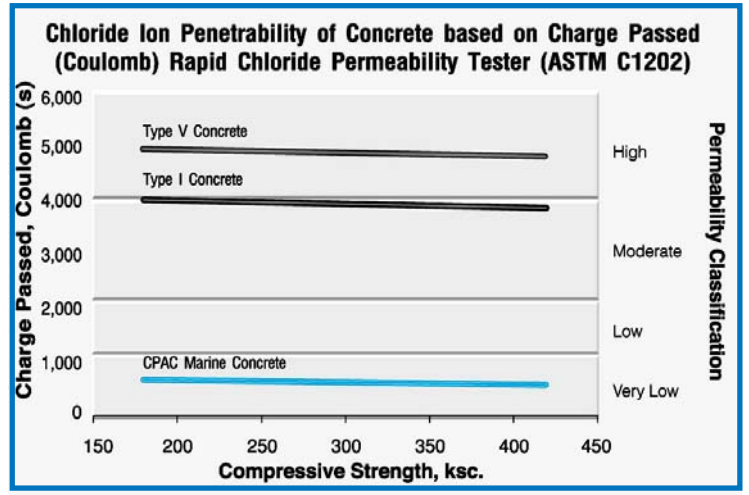


ผลทดสอบเปรียบเทียบการซึมผ่านของน้ำระหว่าง CPAC Marine Concrete กับคอนกรีตปกติ

ความสามารถทนทานต่อการรุกรานของคลอไรด์

■ การกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานอย่างเหมาะสม ทำให้ปริมาณช่องว่างที่ต่อเนื่องกัน (Interconnected Voids) ลดลง การแพร่ของคลอไรด์ ความชื้นและออกซิเจนในคอนกรีตจึงเป็นไปได้ยาก ซึ่งตรงตามหลักการความทึบน้ำของคอนกรีตเป็นพื้นฐานของคอนกรีตเพื่อความทนทาน

■ การเพิ่มความสามารถในการจับยึดคลอไรด์ในคอนกรีต (Chloride Binding Capacity) การใช้วัสดุเชื่อมประสานที่เหมาะสมได้แก่ ปูนซีเมนต์ชนิดที่มี C₃A เหมาะสมและวัสดุปอซโซลาน จะช่วยลดการแพร่ของคลอไรด์บางส่วนจะถูกจับยึดทางกายภาพ (Physical Binding) จากเจล CSH ที่เกิดจากปฏิกิริยาปอซโซลาน และถูกจับยึดทางเคมี (Chemical Binding) จากอลูมินา ในวัสดุเชื่อมประสานกลายเป็น แคลเซียมคลอโรลูมิเนต (3CaO·Al₂O₃·CaCl₂·10H₂O) และแคลเซียมคลอโรเฟอไรต์ (3CaO·Fe₂O₃·CaCl₂·10H₂O) ซึ่งผลทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C1202 แสดงให้เห็นอย่างเด่นชัดในความสามารถทนทานการแพร่ผ่านคลอไรด์ระหว่าง CPAC Marine Concrete กับคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5



ผลทดสอบเปรียบเทียบความต้านทานการแพร่ของคลอไรด์ ระหว่าง CPAC Marine Concrete กับคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5



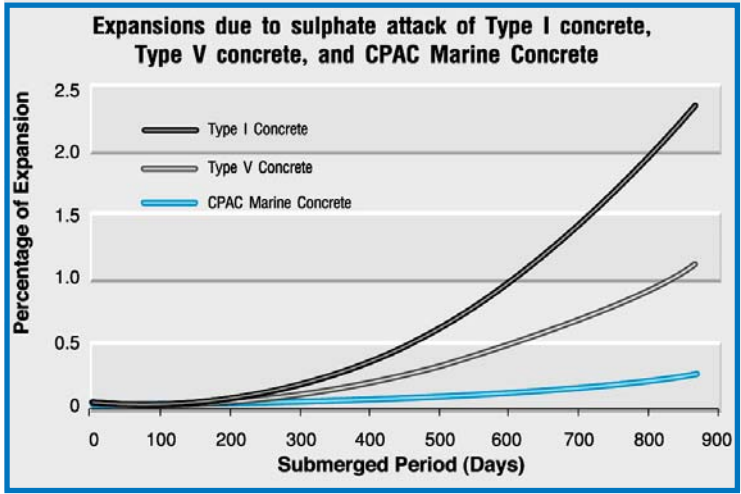


ความสามารถทนทานต่อแรงกระทำทางกายภาพ

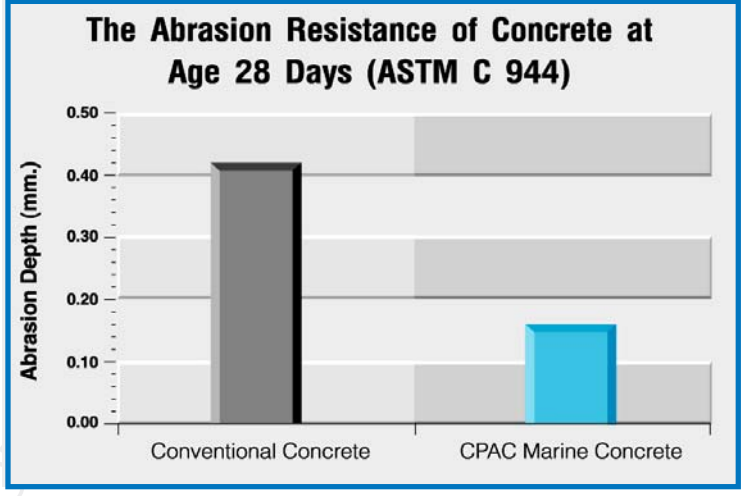
คุณสมบัติที่ออกแบบมาเพื่อให้สามารถต้านทานต่อแรงกระแทกของคลื่น และการขัดสีของกรวดทราย โดย CPAC Marine Concrete สามารถอัดแน่นได้ง่ายซึ่งจะทำให้คอนกรีตมีเนื้อสม่ำเสมอและได้ระยะหุ้มตามต้องการ ดังเห็นได้จากผลทดสอบความสามารถในการต้านทานการขัดสีของ CPAC Marine Concrete ที่มีค่าสูงกว่าคอนกรีตทั่วไปอย่างชัดเจน

ความสามารถทนทานต่อแมกนีเซียมซัลเฟต

ด้วยความที่บ่มน้ำที่ดีเยี่ยมของ CPAC Marine Concrete แมกนีเซียมอออนจะแพร่เข้าไปทำลาย CSH ได้ยาก นอกจากนั้น $Ca(OH)_2$ ซึ่งเป็นสารประกอบที่ก่อให้เกิดการขยายตัว และแตกร้าวจึงเกิดขึ้นได้ยากยิ่งขึ้น ดังจะเห็นได้จากผลทดสอบเปรียบเทียบในการขยายตัวของก้อนตัวอย่างในสารละลายซัลเฟตเข้มข้น



ผลทดสอบเปรียบเทียบความต้านทานการกัดกร่อนจากซัลเฟตระหว่าง CPAC Marine Concrete กับคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 5 ตามมาตรฐาน ASTM C1012



ผลทดสอบเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานการขัดสี (Abrasion Resistance) ตามมาตรฐาน ASTM C944

เพื่อให้ได้โครงสร้างที่ทนทานต่อน้ำทะเลและไอทะเล ในการก่อสร้างต้องนำปัจจัยทุกปัจจัยเข้ามาพิจารณาประกอบกัน ได้แก่ ตำแหน่ง และประเภทโครงสร้าง อายุการใช้งานและระยะหุ้มเหล็กเสริม ดังแสดงในตาราง



ประเภทของโครงสร้าง และการใช้งาน CPAC Marine Concrete

(According to Minimum requirements for durable concrete, Edited by D.W. Hobbs, British Cement Association (1998))

ประเภทโครงสร้าง		สภาพความชื้นที่สัมผัส	อายุคอนกรีตเสริมเหล็กตามการออกแบบ (ปี)	ระยะหุ้มเหล็กเสริมน้อยที่สุด (มม.)			ชั้นคุณภาพ CPAC Marine Concrete
รหัส	ลักษณะโครงสร้าง			งานหล่อในที่	งานหล่อในที่โดยผิวด้านบนอยู่ในแนวราบ	งานในโรงหล่อ	
XS1	<ul style="list-style-type: none"> ผิวคอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตอัดแรงที่สัมผัสอากาศที่มีเกลืออิมมัตว โครงสร้างบริเวณชายฝั่งทะเล โดยมีระยะทางวัดจากทะเล เท่ากับ 100-3,000 เมตร 	ความชื้นปานกลาง	50	40	55	30	ทุกชั้นคุณภาพ
			100	55	70	45	ทุกชั้นคุณภาพ
XS2A	<ul style="list-style-type: none"> คอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตอัดแรงที่แช่อยู่ในน้ำทะเลลึกมากกว่า 1 เมตร วัดจากระดับน้ำล่งต่ำสุด 	เปียกตลอดเวลา	50	40	40	40	ทุกชั้นคุณภาพ
			100	-	-	-	-
XS3	<ul style="list-style-type: none"> ผิวคอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตอัดแรงที่อยู่ในน้ำทะเลระดับน้ำขึ้นลง (Sea water tidal) ระดับคลื่นซัด (Splash and spray zone) จนถึงระดับลึก 1 เมตร วัดจากระดับน้ำล่งต่ำสุด 	เปียกและแห้งสลับกัน	50	50	65	40	ทุกชั้นคุณภาพ
			100	70	85	60	ทุกชั้นคุณภาพ
XD1	<ul style="list-style-type: none"> ผิวคอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตอัดแรงที่สัมผัสกับการฉีดพ่น (Spray) โดยตรงของสารละลายที่มีคลอไรด์ ผิวคอนกรีตที่สัมผัสกับละอองคลอไรด์ (Air-borne chlorides) 	ความชื้นปานกลาง	50	30	30	30	ทุกชั้นคุณภาพ
			100	30	30	30	ทุกชั้นคุณภาพ
XD2A	<ul style="list-style-type: none"> ส่วนของคอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตอัดแรง ที่แช่อยู่ในน้ำที่มีคลอไรด์ผสมอยู่ ได้แก่ สระว่ายน้ำและโครงสร้างที่สัมผัสน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมที่มีคลอไรด์ผสมอยู่ 	เปียกตลอดเวลา	50	30	30	30	ทุกชั้นคุณภาพ
			100	30	30	30	ทุกชั้นคุณภาพ
XD3	<ul style="list-style-type: none"> ผิวคอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตอัดแรงที่มีผลจากการสัมผัสโดยตรงของ de-icing agent ได้แก่ ส่วนโครงสร้างสะพาน ผิวจราจรและพื้นลานจอดรถที่มีการละลายน้ำแข็ง (de-icing) ในงานคอนกรีตสัมผัสน้ำแข็งและหิมะ 	เปียกและแห้งสลับกัน	50	45	60	35	ทุกชั้นคุณภาพ
			100	60	75	50	ทุกชั้นคุณภาพ

ข้อเสนอแนะในการใช้งานคอนกรีตชายฝั่งทะเลอย่างมีประสิทธิภาพ

การควบคุมคุณภาพคอนกรีตหน้างาน

- ไม่ทำการเพิ่มค่ายุบตัวของคอนกรีต โดยการเติมน้ำลงในคอนกรีตที่หน้างานอีก
- การจี้เขย่าคอนกรีตอย่างถูกวิธีไม่ให้เกิดโพรงในคอนกรีต จะทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรงและคงทนเพิ่มขึ้น

การบ่มคอนกรีต

- สำหรับคอนกรีตประเภทนี้ ควรทำการบ่มด้วยการให้ความชื้นกับคอนกรีต โดยใช้กระสอบเปียกชื้นคลุม

บ่มอย่างต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 14 วัน หมั่นทำการฉีดน้ำลงบนกระสอบเพื่อรักษาสภาพความเปียกชื้นอย่างสม่ำเสมอ

- การบ่มด้วยสารเคมี (Curing Compound) โดยการฉีดพ่นที่ผิวคอนกรีต อาจได้ประสิทธิภาพที่แตกต่างจากการบ่มด้วยความชื้น จึงควรให้วิศวกรที่รับผิดชอบเป็นผู้พิจารณาความเหมาะสม

การพิจารณาเลือกใช้คอนกรีตชายฝั่งทะเลชนิด

การเลือกใช้คอนกรีตชายฝั่งทะเล ควรพิจารณาจากกำลังอัดที่ออกแบบ ค่ายุบตัวตามลักษณะการเทคอนกรีต ระยะห่างจากชายฝั่งทะเล สภาวะความรุนแรงของคลอไรด์และซัลเฟต จากตารางดังต่อไปนี้

ประเภทของคอนกรีต	ระยะห่างจากชายฝั่งทะเล	สภาวะความรุนแรง			คุณสมบัติของคอนกรีต		
		รองรับความเสียหาย	ปริมาณคลอไรด์ในสภาพแวดล้อม (ppm)	ปริมาณซัลเฟตในสภาพแวดล้อม (ppm)	ค่ายุบตัว (ชม.)	W/B	กำลังอัดที่ 28 วัน (ksc.)
Marine Concrete	0-5 กม.	ระดับรุนแรง	10,000 ถึง 27,000	< 2,200	5.0 - 10.0	0.36-0.40	180, 210, 240, 280, 300, 320, 350, 380, 400, 420
					7.5 - 12.5	0.36-0.41	
					10.0 - 15.0	0.36-0.41	
Costal Concrete	5-15 กม.	ระดับปานกลาง	1,000 ถึง 10,000	150 ถึง 1,500	5.0 - 10.0	0.37-0.41	180, 210, 240, 280, 300, 320, 350, 380, 400, 420
					7.5 - 12.5	0.38-0.43	180, 210, 240, 280, 300, 320, 350, 380, 400

