

THIẾT KẾ VÀ THI CÔNG CÁC CÔNG TRÌNH CẦU TRONG MÔI TRƯỜNG BIỂN Ở VIỆT NAM

KS. ĐẶNG VŨ TUẤN

TS. LÊ HOÀNG HÀ

Công ty CP Tư vấn thiết kế Đường bộ

Tóm tắt: Việt Nam là 1 trong 10 nước có chỉ số cao nhất về chiều dài bờ biển, bên cạnh đó môi trường biển của Việt Nam xâm thực mạnh hơn môi trường biển nhiều nước trên thế giới, do vậy việc chống ăn mòn và bảo vệ công trình cầu cần thực hiện trên cơ sở công nghệ của thế giới gắn với điều kiện thực tế Việt Nam. Hiện nay tại nước ta, các giải pháp chủ yếu chống xâm thực cho kết cấu bê tông và kết cấu BTCT trong môi trường biển đã được quy định trong TCXDVN 327:2004, còn các giải pháp chống ăn mòn với kết cấu thép chưa được quy định cụ thể trong quy trình quy phạm. Dựa trên phân tích nghiên cứu các dạng hư hỏng do xâm thực, có thể nhận thấy các nguyên nhân chủ quan từ quá trình thiết kế, thi công, duy tu và bảo dưỡng công trình hoặc từ nhiều nguyên nhân khách quan như điều kiện khắc nghiệt của môi trường, hạn chế của quy trình quy phạm hiện hành và nền công nghiệp sản xuất, chế tạo, lắp dựng ... Qua đó, cần thiết phải xây dựng một chiến lược có tính lâu dài cho việc chống xâm thực cho kết cấu BTCT và thép trong vùng biển Việt Nam từ công tác thiết kế, thi công, quản lý và duy tu các công trình kết cấu nói chung, kết cấu cầu nói riêng. Trong thời gian chưa có các hệ thống đầy đủ này, trong mỗi dự án cụ thể cần chú ý các vấn đề bảo vệ cho kết cấu BTCT và thép trong điều kiện kinh tế-xã hội ở Việt Nam, kết hợp tham khảo các nước khác trên thế giới.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Thế kỷ XXI được thế giới coi là “thế kỷ của đại dương”. Các quốc gia có biển đều rất quan tâm đến biển và coi trọng việc xây dựng chiến lược biển. Nước ta có bờ biển dài 3444km từ Móng Cái (tỉnh Quảng Ninh) đến Hà Tiên (tỉnh Kiên Giang), với vùng biển rộng trên 1 triệu km², có trên 30 cảng biển, 112 cửa sông, 47 vũng, vịnh và khoảng 3.000 hòn đảo lớn, nhỏ; vùng biển nước ta tiếp giáp với các nước: Trung Quốc, Philippin, Malaixia, Indonexia, Brunây, Thái Lan và Campuchia.

Là một quốc gia nằm trong số 10 nước trên thế giới có chỉ số cao nhất về chiều dài bờ biển, mở ra 3 hướng Đông, Nam và Tây; có vùng biển và thềm lục địa rộng lớn, diện tích vượt quá một triệu km², lớn gấp 3 lần diện tích đất liền; có hơn 3000 hòn đảo lớn, nhỏ, gần bờ và xa bờ, chạy suốt từ vịnh Bắc Bộ tới vịnh Thái Lan. Những vị thế, địa lý tự nhiên và tiềm năng kinh tế của vùng biển

nước ta có tầm quan trọng trong chiến lược xây dựng và bảo vệ Tổ quốc.

Thực hiện chủ trương phát triển kinh tế biển của Chính phủ, trong những năm gần đây, nhiều công trình hạ tầng ven biển đã và đang được triển khai như hệ thống các cảng biển, các khu kinh tế ven biển, tuyến đường bộ ven biển v.v... Một trong những công trình thuộc các công trình hạ tầng trên là công trình cầu trong vùng ven biển hoặc trong các vùng biển. Trên thế giới đã có nhiều công trình cầu dạng này như cầu Giao Châu (Trung Quốc) dài 42,58km, cầu Hàng Châu (Trung Quốc) dài 32,5km, cầu Inchoen (Hàn Quốc) dài 12km, cầu Stretto di Messina (Ý) dài 4km, cầu Harilaos Trikoupi (Hy Lạp) dài 2,5km, cầu Oresund (Thụy Điển và Đan Mạch) dài 16km, cầu Vasco DeGama (Brasil) dài 17,2km... Ở Việt Nam, có khá nhiều công trình cầu bị ảnh hưởng bởi môi

trường biển như cầu Cửa Lấp (Vũng Tàu), cầu Bãi Cháy (Quảng Ninh), cầu Bính (Hải Phòng), cầu Thị Nại (Bình Định)...

Quan điểm chung về bảo vệ cho kết cấu bê tông & thép trong môi trường biển là bảo vệ bê tông và thép. Ở Việt Nam, vấn đề nghiên cứu các biện pháp bảo vệ công trình đã được tiến hành từ năm 1970 với nhiều đơn vị nghiên cứu như Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng, Viện Khoa học Công nghệ Giao thông Vận tải, Viện Khoa học Thủy Lợi, Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện Khoa học vật liệu - TTKHTN&CNQG, Viện Kỹ thuật Quân sự, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, Trường Đại học Giao thông vận tải, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, Tổng công ty TVTK GTVT...

Tuy nhiên cho tới nay các kết quả nghiên cứu được ứng dụng vào thực tế xây dựng còn chưa được phổ biến, chủ yếu riêng lẻ trong một số công

trình do người thiết kế công trình cụ thể nghiên cứu áp dụng kết cấu, vật liệu và các phương pháp chống ăn mòn. Nhiều công trình chịu ảnh hưởng của môi trường biển được xây dựng từ những năm 1960 đến nay đều áp dụng theo quy phạm xây dựng thông thường, ít chú ý đến vấn đề bảo vệ công trình trong môi trường biển nhằm đảm bảo độ bền vững cho công trình, dẫn đến kết quả là tuổi thọ của nhiều công trình còn chưa cao. Đến năm 2005, Bộ Xây dựng mới đưa tiêu chuẩn TCXDVN327:2004 về yêu cầu bảo vệ chống ăn mòn trong môi trường nước biển cho kết cấu bê tông và BTCT.

2. ĐẶC ĐIỂM MÔI TRƯỜNG (KHÍ QUYỂN VÀ NƯỚC) VÙNG BIỂN Ở VIỆT NAM

2.1. Môi trường khí quyển vùng biển

Khí quyển trên biển và ven biển thường chứa nồng độ cao các chất xâm thực cùng các điều kiện khô ướt thay đổi do mưa và gió mùa. Ảnh hưởng của khí quyển trên biển và ven biển lên kết cấu bê tông cốt thép và thép chủ yếu thể hiện qua tính chất xâm thực của ion Cl^- có trong không khí và điều kiện nóng ẩm mang tính đặc thù của khí hậu vùng biển Việt Nam [5,12]. Các đặc điểm chung của khí hậu đó như sau:

- Bức xạ mặt trời: Việt Nam nằm trong vành đai nội chí tuyến nên bức xạ mặt trời nhận được trên vùng ven biển khá lớn từ 100 - 150 kcal/cm². Lượng nhiệt bức xạ tăng dần từ Bắc vào Nam và đạt cao nhất ở cực Nam Trung bộ. Với lượng bức xạ cao như vậy đã thúc đẩy quá trình bốc hơi nước biển đem theo ion Cl^- vào trong khí quyển.

- Nhiệt độ không khí: Vùng biển nước ta có nhiệt độ không khí tương đối cao, trung bình từ 22,5~22,7°C, tăng dần từ Bắc vào Nam. Miền Bắc có 2, 3 tháng mùa đông, nhiệt độ dưới 20°C. Miền Nam nhiệt độ cao đều quanh năm, biên độ dao động 3-7°C.

- Độ ẩm không khí: Độ ẩm tương đối của không khí ở mức cao so với các vùng biển khác trên thế giới, dao động trung bình từ 75~80%. Cụ thể:

- + Vùng ven biển Bắc bộ và Bắc Trung bộ : 83~86%;
- + Vùng ven biển Trung và Nam Trung bộ: 75~82%;
- + Vùng ven biển Nam bộ: 80~84%.

Theo TCVN 3994: 198, với độ ẩm tương đối cao như vậy, môi trường không khí trên biển và ven biển Việt Nam có ảnh hưởng mạnh tới quá trình ăn mòn kết cấu thép và vật liệu thép trong bê tông cốt thép.

- Chế độ mưa có một số đặc điểm sau đây:

- + Lượng mưa trung bình năm từ 600-5000 mm trên toàn quốc.
- + Mùa mưa cũng biến đổi mạnh mẽ từ năm này qua năm khác, về thời gian bắt đầu, tháng cao điểm cũng như về thời gian kết thúc. Nói chung, mùa mưa có thể dao động trong phạm vi 3-4 tháng hoặc hơn nữa tùy thuộc vào khu vực.
- + Lượng mưa năm của các khu vực Trung Bộ không ổn định như Bắc Bộ và Nam Bộ của Việt Nam.

- Thời gian ẩm ướt bề mặt: Đây là đặc điểm riêng của khí hậu ven biển Việt Nam có ảnh hưởng rất lớn tới quá trình ăn mòn thép trong bê tông cốt thép. Thời gian gây

ướt bề mặt kết cấu ở vùng ven biển các tỉnh Miền Bắc tập trung vào mùa xuân, còn các tỉnh Miền Nam tập trung vào các tháng mưa mùa hạ và chỉ bằng khoảng 50% so với Miền Bắc.

- Tốc độ gió: Gió ở Việt Nam thường có tốc độ gió trung bình ở vùng ven biển từ 4,5~6m/s, tại các đảo xa tốc độ gió có thể đạt tới 6~8m/s. Có thể thấy vận tốc gió trung bình ở vùng biển là không lớn nhưng hàng năm thường có các đợt gió lớn như bão, lốc, gió mùa Đông Bắc, gió mùa Tây Nam. Tốc độ cực đại có thể đạt tới 140km/h (tương đương 38,8 m/s). Hướng gió thịnh hành là Đông Bắc, Đông Nam và Tây Nam. Các hướng gió này đều thổi từ biển vào mang theo các chất xâm thực và có thể gây ảnh hưởng sâu vào trong đất liền tới trên 20~30 km.

- Hàm lượng ion Cl^- trong không khí: hàm lượng muối phân tán trong không khí sát mép nước tại các trạm đo ở các tỉnh miền Bắc dao động từ 0,4~1,3 mgCl⁻/m³. ở miền Nam thì giá trị này từ 1,3~2,0 mgCl⁻/m³ [12]. Nồng độ ion Cl^- giảm mạnh ở cự ly 200~250 m tính từ mép nước biển, sau đó tiếp tục giảm dần khi đi sâu vào trong đất liền.

- Theo các số liệu khảo sát về ảnh hưởng của khí quyển ven biển tới quá trình ăn mòn thép và bê tông cốt thép [11], có thể nhận thấy phạm vi ảnh hưởng của khí hậu Việt Nam tới quá trình ăn mòn kết cấu công trình như sau:

+ Vùng ven biển Miền Bắc ảnh hưởng của khí quyển biển vào sâu trong đất liền trung bình 20 km có thể tới trên 30 km .

+ Vùng ven biển Miền Nam và Miền Trung ảnh hưởng của khí quyển biển trung bình 20 km, có thể còn sâu hơn tới 50 km.

- Do ảnh hưởng như vậy, kết cấu BTCT và thép ở vùng khí quyển trên biển và ven biển chịu các mức độ xâm thực nhẹ, trung bình và mạnh. Tại vùng ven biển từ 0~0,25km các kết cấu công trình trực diện với gió biển có thể bị xâm thực từ mạnh đến rất mạnh.

2.2. Môi trường nước biển

Vùng biển Việt Nam nằm trải dài trên 3200km từ 8~24° vĩ bắc. Theo tính chất xâm thực và mức độ tác động lên kết cấu có thể phân môi trường biển Việt Nam thành các vùng có ranh giới khá rõ sau đây.

- Vùng hoàn toàn ngập trong nước biển;
- Vùng nước lên xuống (bao gồm cả phần sóng đánh);
- Vùng khí quyển trên và ven biển, gần bờ.

Nước biển của các đại dương trên thế giới thường chứa khoảng 3,5% các muối hoà tan: 2,73% NaCl ; 0,32% MgCl₂ ; 0,22% MgSO₄ ; 0,13% CaSO₄; 0,02% KHCO₃ và một lượng nhỏ CO₂ và O₂ hoà tan, pH ≈ 8,0. Do vậy, nước biển của các đại dương mang tính xâm thực mạnh tới các dạng kết cấu BTCT và thép.

Theo tài liệu [1,5], nước biển Việt Nam có thành phần hoá học, độ mặn và tính xâm thực tương đương các đại dương khác trên thế giới, riêng vùng gần bờ có suy giảm chút ít do ảnh hưởng của các con sông chảy ra biển (xem bảng 1 và bảng 2).

Trong vùng nước lên xuống và sóng đánh tính chất xâm thực

của môi trường được tăng cường thêm bởi các yếu tố sau:

- Quá trình khô ướt xảy ra thường xuyên và liên tục theo thời gian, tác động từ ngày này qua ngày khác lên bề mặt kết cấu đã làm tăng nhanh mức tích tụ ion Cl⁻, H₂O và O₂ từ nước biển và không khí vào trong bê tông thông qua quá trình khuếch tán nồng độ và lực hút mao quản.
- Ngoài các quá trình ăn mòn hóa học và điện hóa, trên bề mặt các kết cấu còn xảy ra ăn mòn sinh vật gây nên bởi các loại hà và sò biển, bị bào mòn cơ học do sóng biển nhất là vào những ngày đông bão và mùa gió lớn.
- Do đặc điểm như vậy nên vùng nước lên xuống và sóng đánh được xem là vùng xâm thực rất mạnh đối với BTCT, xâm thực mạnh đối với bê tông.

Bảng 1. Thành phần hóa học của nước biển Việt nam và trên thế giới

Chỉ tiêu	Đơn vị	Vùng biển Hòn gai	Vùng biển Hải phòng	Biển Bắc Mỹ	Biển Bantíc
pH	-	7,8 - 8,4	7,5 - 8,3	7,5	8,0
Cl ⁻	g/l	6,5 - 18,0	9,0 - 18,0	18,0	19,0
Na ⁺	g/l	-	-	12,0	10,5
SO ₄ ²⁻	g/l	1,4 - 2,5	0,002 - 2,2	2,6	2,6
Mg ²⁺	g/l	0,2 - 1,2	0,002 - 1,1	1,4	1,3

Bảng 2. Độ mặn nước biển tầng mặt trong vùng biển Việt nam, %

Trạm	Tháng						Trung bình năm
	Mùa đông			Mùa hè			
	XII	I	II	VI	VII	VIII	
Cửa Ông	29,2	30,0	30,4	25,3	23,4	21,3	26,6
Hòn Gai	30,8	31,5	31,6	31,2	30,8	29,3	30,9
Hòn Dấu	26,3	28,1	28,1	17,1	11,9	10,9	21,2
Văn Lý	25,9	18,3	29,5	25,4	20,1	19,0	24,4
Cửa Tùng	22,8	27,2	29,3	31,8	31,3	31,7	17,4
Sơn Trà	8,7	17,6	22,8	-	21,2	26,9	-
Vũng Tàu	30,4	33,1	34,7	29,8	29,8	27,6	30,1
Bạch Long Vĩ	32,7	33,3	33,6	33,5	32,6	32,0	33,0
Trường Sa	32,9	33,1	33,0	33,4	33,0	32,8	33,1

Căn cứ vào cách phân loại môi trường xâm thực đã đề cập trong TCVN 3994: 1985, một số nghiên cứu [1~4] và tiêu chuẩn nước ngoài liên quan hiện hành, có thể phân loại mức độ tác động của môi trường biển đến kết cấu bê tông & BTCT như trong bảng 3.

Bảng 3. Phân loại mức độ xâm thực của môi trường biển đối với các loại kết cấu

STT	Môi trường	Mức độ tác động ăn mòn của môi trường đối với kết cấu		
		Bê tông	BTCT	Thép
1	Vùng ngập nước biển	Mạnh	Mạnh	Rất mạnh
2	Vùng nước lên xuống và sóng đánh	Mạnh	Rất mạnh	Rất mạnh
3	Vùng khí quyển ven biển	Nhẹ	Trung bình	Mạnh



Hình 1. Hư hỏng của kết cấu BTCT

a) tại tỉnh Bà Rịa-Vũng Tàu

b) tại thành phố Hải Phòng

3. CÁC NGUYÊN NHÂN GÂY HƯ HỎNG KẾT CẤU CẦU TRONG MÔI TRƯỜNG BIỂN

3.1. Hư hỏng do tác động xâm thực của môi trường biển

3.1.1. Cầu BTCT

Tình trạng ăn mòn thép trong kết cấu bê tông ở vùng biển Việt Nam đang ở mức báo động, đặc biệt tại các vùng ven biển có thủy triều lên xuống và vùng khí quyển trên biển. Theo ước tính có trên 50% số lượng kết cấu công trình bê tông cốt thép tại các vùng biển của Việt Nam hiện nay đã bị ăn mòn và đang bị phá hủy nghiêm trọng [3,5].

Qua khảo sát, rất nhiều công trình xây dựng tại các vùng ven biển và vùng có khí hậu biển của nước ta như các cảng biển, giàn khoan dầu khí... sau từ 10 đến 20 năm sử dụng đều

xuất hiện hiện tượng ăn mòn thép, làm nảy sinh các vết nứt bề mặt bê tông, nhiều trường hợp bê tông bảo vệ bị vỡ do lớp gỉ cốt thép quá dày. Điều này đã làm thay đổi kết cấu, giảm khả năng chịu lực của thép cũng như giảm tuổi thọ của các công trình xây dựng.

Tư liệu kết quả khảo sát độ bền thực tế trên các công trình bê tông cốt thép đã xây dựng ở vùng biển nước ta [6] cho phép khẳng định rằng môi trường biển Việt Nam có tác động xâm thực mạnh dẫn tới ăn mòn và phá hủy các công trình bê tông & BTCT. Mức độ xâm thực phụ thuộc vào vị trí và điều kiện làm việc cụ thể của từng kết cấu trong công trình. So với các nước khác, môi trường biển Việt Nam có đặc thù khí hậu nóng ẩm, mưa bão nhiều tạo ra sự ăn mòn mạnh hơn đối với kết cấu BTCT.

Bằng chứng rõ nét nhất về tác động ảnh hưởng của môi trường biển tới độ bền công trình bê tông & BTCT tạo bởi các quá trình sau:

- Quá trình thẩm ion Cl^- vào bê tông gây ra ăn mòn và phá hủy cốt thép;
- Quá trình thẩm ion SO_4^{2-} vào bê tông, tương tác với các sản phẩm thủy hoá của đá xi măng tạo ra khoáng ettringit trương nở thể tích gây phá hủy kết cấu (ăn mòn sunfat);
- Quá trình cacbonat hoá làm giảm độ pH bê tông theo thời gian làm phá vỡ màng thụ động bảo vệ cốt thép, góp phần đẩy nhanh quá trình ăn mòn cốt thép làm phá hủy kết cấu;
- Quá trình khuếch tán oxy và hơi ẩm và clo vào trong bê tông trong điều kiện môi trường nhiệt độ không khí cao là các điều kiện làm cho

quá trình ăn mòn cốt thép xảy ra rất mạnh;

- Các hiện tượng xâm thực khác: ăn mòn rửa trôi, ăn mòn vi sinh do các loại hà, sò biển gây ra, ăn mòn cơ học do sóng biển.

3.1.2. Cầu thép

Hiện nay và trong những năm tới đây nhu cầu đầu tư xây mới và sửa chữa công trình ở vùng biển sẽ tăng mạnh, trong đó công trình thép chiếm tỷ trọng lớn. So với BTCT thì kết cấu thép có ưu điểm là gọn nhẹ hơn và tốc độ thi công lắp dựng nhanh hơn, nhưng do phải trực tiếp chịu tác động của môi trường biển nên loại kết cấu này nếu không được bảo vệ tốt sẽ bị ăn mòn rất nhanh. Ăn mòn làm cho tiết diện các thanh của kết cấu thép giảm đi, làm giảm độ tin cậy về khả năng chịu lực của kết cấu, làm tăng khả năng phá hoại giòn kết cấu thép. Ăn mòn làm cho các cấu kiện sớm bị phá hoại hoặc phải sửa chữa nhiều.

Quá trình ăn mòn phá hủy kết cấu thép diễn ra khá nhanh. Tại một số công trình có hiện tượng gỉ thép cục bộ, đốm gỉ, bong tróc. Mức độ xâm thực có sự khác biệt giữa các vùng miền. Ví dụ: ở khu vực Nha Trang tốc độ ăn mòn thép CT3 là 52,3µm/năm, Kiên Giang: 41,4µm/năm, Nghệ An: 39,3µm/năm, Hải Phòng: 31,46µm/năm [7]. Ăn mòn kết

cấu thép vùng biển gây ra thiệt hại kinh tế lớn, chi phí cho sửa chữa, khắc phục có thể chiếm tới 30~70% mức đầu tư xây dựng công trình.

Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến quá trình ăn mòn kết cấu thép như:

- + Sử dụng vật liệu kết cấu thép chưa hợp lý.
- + Hiệu quả các phương pháp chống ăn mòn kết cấu thép chưa cao.

Vật liệu của kết cấu thép rất phong phú và thay đổi qua từng thời kỳ. Nhiều kết quả khảo sát hiện trạng làm việc kết cấu thép cho thấy vật liệu thép kết cấu có ảnh hưởng rất lớn đến tuổi thọ cầu thép. Tuy nhiên, cho đến nay vẫn chưa có nhiều tài liệu về độ bền ăn mòn của thép kết cấu cầu thép trong môi trường biển ở Việt Nam.

Vì vậy việc nghiên cứu sự làm việc của thép kết cấu trong môi trường biển để phục vụ công tác thiết kế, thi công và duy tu bảo dưỡng cầu thép là hết sức cần thiết và có ý nghĩa thực tiễn.

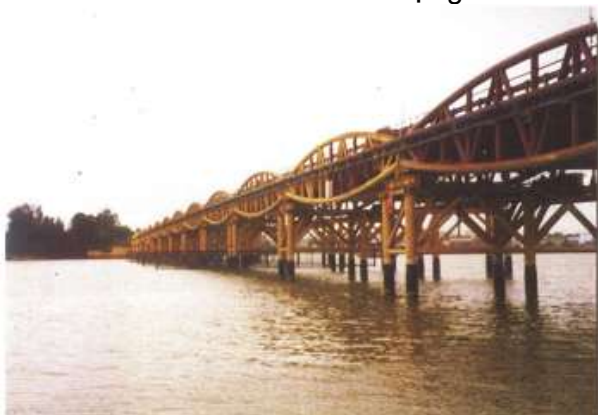
3.2. Hư hỏng do thiết kế, thi công, quản lý và duy tu công trình

Độ bền (tuổi thọ) kết cấu công trình BTCT trong môi trường biển là kết quả tổng hợp của các công đoạn thiết kế, thi công, giám sát chất lượng và quản lý sử dụng công trình. Vấn đề này liên quan đến trình độ khoa học - công nghệ xây dựng của nước ta. Vì vậy để

nâng cao độ bền công trình trong môi trường biển Việt Nam cần đi sâu xem xét và nhìn nhận các nguyên nhân đã dẫn đến ăn mòn và phá hủy kết cấu thể hiện rõ trên các mặt thiết kế, thi công và quản lý sử dụng công trình.

3.2.1. Hư hỏng do thiết kế công trình

Trong quá trình thiết kế, vì nhiều nguyên nhân khác nhau nên trong nhiều trường hợp, các loại kết cấu và vật liệu được chọn lựa và kiến nghị sử dụng chưa đảm bảo yêu cầu về chống ăn mòn, đảm bảo độ bền lâu dài cho công trình trong môi trường biển Việt Nam... Bên cạnh đó, việc lựa chọn hình dạng kiến trúc và kiểu dáng công trình cũng cực kỳ quan trọng, cần thiết phải được phân tích, nghiên cứu và thiết kế hợp lý hơn cho phù hợp với môi trường vùng biển. Với các dạng kết cấu cầu khác nhau (cọc, móng mố trụ, dầm, lan can ...) trong các môi trường biển khác nhau (ven biển, xa bờ ...) cần phải có các chú ý và chỉ dẫn cụ thể trong công tác thiết kế. Trong một số trường hợp, với các bộ phận kết cấu khác nhau nằm ở các vị trí chịu ảnh hưởng xâm thực mạnh của môi trường, công tác thiết kế chưa chú ý tăng cường các biện pháp bảo vệ chống ăn mòn.



a) tổng thể kết cấu cầu thép



b) chi tiết thép

3.2.2. Hư hỏng do thi công công trình

Chất lượng thi công và giám sát xây dựng công trình còn nhiều hạn chế, nhiều công đoạn còn chưa được cơ giới hóa nên khó đảm bảo chất lượng xây lắp. Lớp bê tông bảo vệ của nhiều kết cấu thi công chưa đảm bảo, nhiều chỗ khi thi công thực tế còn nhỏ hơn yêu cầu thiết kế nên không thể đảm bảo khả năng chống ăn mòn cho kết cấu trong thời gian khai thác yêu cầu.

Công tác giám sát thi công, quản lý chất lượng và nghiệm thu công trình chưa được duy trì chặt chẽ, thường xuyên. Việc đảm bảo đúng chiều dày bảo vệ thiết kế trong kết cấu BTCT trong thực tế chưa được sự quan tâm chú ý. Sử dụng vật liệu (nước, cát, đá ...) của khu vực thi công cũng là một tác nhân gây hư hỏng công trình. Một số công trình đã sử dụng cát biển và nước biển để chế tạo bê tông thì chỉ sau một thời gian ngắn (khoảng 5~10 năm) thì công trình đã có nhiều hư hỏng, cần sửa chữa bổ sung lớn.

3.2.3. Hư hỏng do quản lý, duy tu trong quá trình khai thác sử dụng công trình

Trong nhiều công trình cầu, sau khi được xây dựng xong và đưa vào khai thác sử dụng, đơn vị quản lý còn chưa quy định cụ thể, đặc thù cho công trình trong môi trường biển về kiểm tra định kỳ, đánh giá chất lượng công trình ... nhằm phát hiện các nguyên nhân và mầm mống gây hư hỏng kết cấu công trình để sớm có biện pháp duy tu sửa chữa kịp thời. Tại nhiều công trình còn chưa áp dụng các biện pháp công nghệ bảo trì và khắc phục hư hỏng cục bộ do ăn mòn trong môi trường xâm thực mạnh. Mặc dù nhiều công trình đã có quy định riêng về duy tu bảo dưỡng, nhưng vì nhiều nguyên

nhân khác nhau nên việc thực hiện còn nhiều thiếu sót, dẫn đến hư hỏng công trình rồi mới có các báo cáo nhận thiếu sót.

4. CÁC VẤN ĐỀ CẦN CHÚ Ý ĐỂ NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG CÁC CẦU TRONG MÔI TRƯỜNG BIỂN

4.1. Các biện pháp nâng cao khả năng chống ăn mòn do xâm thực

4.1.1. Các biện pháp nâng cao với cầu BTCT

Các biện pháp chủ yếu nhằm nâng cao khả năng chống ăn mòn cầu BTCT trong môi trường biển chủ yếu gồm các biện pháp sau:

- Tăng cường khả năng chống thấm của bê tông là đặc tính quan trọng nhất quyết định trong thời gian khai thác sử dụng công trình. Các biện pháp chính tăng cường tính chống thấm của bê tông gồm [1,3]:

- + Tăng hàm lượng xi măng có xét đến ảnh hưởng của nhiệt thủy hóa có thể gây nứt bê tông nhất là trong bê tông khối lớn, đồng thời qui định dùng xi măng bền sulphat.
- + Giảm tỷ lệ nước/xi măng qua biện pháp dùng phụ gia dẻo hóa và siêu dẻo.

- Tăng chiều dày bê tông bảo vệ: việc này sẽ giúp tăng khoảng thời gian để nồng độ ion clorua (tác nhân chính gây ăn mòn cốt thép) từ môi trường biển xâm thực đến bề mặt cốt thép.
- Dùng các loại vật liệu chống thấm cho bề mặt bê tông như phun dung dịch, sử dụng màng chống thấm...
- Bảo vệ điện hóa (phương pháp catốt) được áp dụng khá rộng rãi để tăng cường khả năng chống ăn mòn cốt thép trong công trình BTCT

vùng biển. Sự có mặt của ion clorua trong bê tông làm tăng tính dẫn điện và do đó giảm điện thế yêu cầu để cung cấp sự bảo vệ catốt cần thiết cho cốt thép, giảm khả năng ăn mòn cốt thép trong bê tông.

- Sử dụng cốt thép phủ (epoxy, sơn...) được sử dụng nhiều ở các nước phát triển do sử dụng hiệu quả, công tác bảo dưỡng sẽ được giảm đi rất nhiều so với khi dùng màng chống thấm hay các phụ gia bề mặt khác.
- Sử dụng cốt thép không gỉ, thép thời tiết... trong những kết cấu BTCT làm việc trong môi trường khắc nghiệt, tuy chưa phổ biến do giá thành ban đầu còn cao (thường gấp 7-12 lần thép cacbon bình thường). Để giảm giá thành, có thể dùng thép không gỉ trong những vùng quan trọng và thép cacbon ở những vùng còn lại, nhưng cần phải chú ý hiện tượng ăn mòn điện hóa gây ăn mòn thép cacbon.
- Sử dụng phụ gia chống ăn mòn nhằm tăng cường khả năng chống xâm thực của bê tông trong môi trường biển. Có thể sử dụng các loại phụ gia như phụ gia ức chế ăn mòn cốt thép (trộn nitrat canxi trong bê tông), phụ gia lấp lỗ rỗng bề mặt, màng chống thấm bề mặt, phụ gia tăng tính chống thấm ...

4.1.2. Các biện pháp nâng cao với cầu thép

Để chống ăn mòn cho kết cấu cầu thép trong vùng biển thường lựa chọn áp dụng các biện pháp cơ bản sau:

- Tăng cường chiều dày kết cấu thép là biện pháp thông dụng nhất để bảo vệ ăn mòn

kết cấu thép. Theo đó, chiều dày của kết cấu thép được tăng lên dự trữ cho phần mất mát do ăn mòn gây ra.

- Sử dụng các kim loại, hợp kim ít bị ăn mòn trong môi trường xâm thực. Phổ biến trong các loại vật liệu thép dạng này thì sử dụng vật liệu titan, hợp kim thấp hoặc các loại thép thời tiết...
- Phương pháp bảo vệ catốt và các biện pháp điện hóa khác. Trong hệ thống bảo vệ ca-tốt, dòng trực tiếp lớn hơn dòng ăn mòn từ sản phẩm thép vào môi trường điện phân (nước biển) là dòng liên tục từ một nguồn bên ngoài vào sản phẩm thép để chống sự ion hóa (ăn mòn) trong sản phẩm thép. Có hai dạng bảo vệ catốt là hệ nguồn dòng ngoài và hệ anốt hy sinh (protector).
 - + Dạng bảo vệ bằng dòng ngoài thì công trình (kim loại cần bảo vệ) vẫn đóng vai trò catốt với dòng điện bên ngoài để phân cực. Dòng điện ngoài lấy từ điện lưới, qua hạ thế và chỉnh lưu để trở thành nguồn một chiều. Hệ thống chống ăn mòn các cọc thép của cầu Bến Thủy là đã áp dụng phương pháp bảo vệ này.
 - + Trong hệ anốt hy sinh, các vật liệu kim loại có xu hướng ion hóa lớn/nhỏ và/hoặc cao/thấp như nhôm, kẽm, magie, v.v... được sử dụng để gắn vào thép và bị ion hóa (ăn mòn dần) thay cho thép để bảo vệ sản phẩm thép không bị ăn mòn trong môi trường xâm thực mạnh.
- Sử dụng các lớp phủ (kim loại, sơn ...) chống ăn mòn cho kết cấu thép, bền với môi trường. Trong các biện pháp nêu trên thì sử dụng các hệ sơn phủ tạo lớp ngăn cách môi trường với bề mặt thép là biện pháp

bảo vệ hiệu quả và thông dụng nhất vì có ưu điểm thi công đơn giản, áp dụng cho các kết cấu có kích thước và hình dạng khác nhau. Mặt khác nếu dùng biện pháp sơn phủ thì công tác bảo trì cũng dễ dàng. Vì thế, hiện nay có tới hơn 80% bề mặt kim loại được bảo vệ bằng sơn với các chủng loại sơn rất phong phú [6,7].

Ngày nay, với sự phát triển nhanh của ngành kỹ thuật các hợp chất cao phân tử nói chung và ngành sơn nói riêng, các loại chất tạo màng có khả năng bám dính tốt trên thép và chống ăn mòn cao như epoxy, polyuretan, furan, silicon, khả năng nâng cao hàm lượng chất rắn và việc sử dụng các dung môi hoạt tính, các chất hoạt động bề mặt và phụ gia nâng cao độ bền nước của màng sơn, tạo khả năng sơn trên nền có độ ẩm cao, đã tạo nên những hệ sơn có khả năng bảo vệ cao và đáng tin cậy, chống ăn mòn cho kết cấu thép. Phương pháp bảo vệ catốt được ban hành là phương pháp bảo vệ ăn mòn tiêu chuẩn cho các kết cấu thép đã có trong vùng ngập nước và ngập bùn còn bảo vệ lớp phủ/sơn phủ là phương pháp bảo vệ ăn mòn tiêu chuẩn cho các kết cấu thép đã có trong vùng thủy triều, vùng bắn nước và vùng khí quyển.

4.2. Các yêu cầu về thiết kế

Trong quá trình thiết kế công trình, cần phải lựa chọn giải pháp thiết kế hợp lý đảm bảo chỉ tiêu về kinh tế kỹ thuật, đồng thời thuận lợi cho việc kiểm soát chất lượng, bảo trì bảo dưỡng công trình nhằm đảm bảo tuổi thọ công trình. Việc lựa chọn hình dạng và cảnh quan công trình là một trong những tiêu chí quan trọng chi phối trong việc lựa chọn phương án kết cấu, đồng thời

phải cân nhắc và có những giải pháp bổ sung bảo vệ kết cấu trong môi trường xâm thực mạnh của vùng biển.

Về mặt thiết kế ngoài việc tuân thủ theo các tiêu chuẩn thiết kế hiện hành về kết cấu BTCT và thép đối với các công trình xây dựng trong vùng biển Việt Nam để đảm bảo độ bền lâu dài cần đáp ứng thêm các kiến nghị nêu trong quy phạm hiện hành, kết hợp với tham khảo và vận dụng phù hợp các quy trình quy phạm của các nước khác như Nhật Bản (JS), Mỹ (AASHTO), Nga (SNIP) ...

Công tác thiết kế cho công trình có nguy cơ ăn mòn phải chú trọng đặc biệt từ chọn loại vật liệu kết cấu, vật liệu sử dụng, phương pháp bảo vệ bổ sung ... Qua việc phân tích và kiến nghị các biện pháp nâng cao khả năng chống ăn mòn do xâm thực của môi trường biển với cầu BTCT và thép, khi thiết kế cần chú ý các vấn đề về bảo vệ chống ăn mòn với kết cấu BTCT và thép như với đã nói tại phần 4.1.

Việc lựa chọn vật liệu xây dựng (VLXD) đã được đề cập đến trong phần 4.1, tuy nhiên các thành phần VLXD chi tiết phải được xem xét kỹ lưỡng để dự báo được những phản ứng phụ gây nguy hại cho công trình sau này. Các loại vật tư, vật liệu đặc chủng do yêu cầu phải nhập ngoại cần phải được chọn lọc và kiểm soát chất lượng nhằm đảm bảo chịu lực và tuổi thọ kết cấu công trình.

Sau khi thiết kế nhiều công trình, cần tổng hợp các nguyên nhân hư hỏng (mặc dù đã tuân thủ quy trình quy phạm hiện hành tại thời điểm thiết kế) để đề xuất các quy định mới trong thiết kế nhằm đảm bảo chất lượng và tuổi thọ kết cấu công trình.

STT	Yêu cầu thiết kế	Kết cấu làm việc trong vùng												
		Ngập nước ⁽⁴⁾		Nước lên xuống		Khí quyển								
						Trên mặt nước			Trên bờ, 0+1 km cách mép nước			Gần bờ, 1+30 km cách mép nước		
1	Mác bê tông , MPa ⁽¹⁾	30	40	40	50	30	40	50	25	30	40	25	30	40
2	Độ chống thấm nước, at ⁽²⁾	8	10	10	12	8	10	12	6	8	10	6	8	10
3	Chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép, mm ⁽³⁾													
	- Kết cấu ngoài trời								50	40	30	40	30	25
	- Kết cấu trong nhà								40	30	25	30	25	20
	- Nước biển	50	40	70	60	60	50	40						
	- Nước lợ cửa sông	40	30	60	50	50	40	30						
4	Bề rộng khe nứt giới hạn, mm ⁽⁵⁾													
	- Kết cấu ngoài trời	≤ 0,1		≤ 0,05		≤ 0,1			≤ 0,1			≤ 0,1		
	- Kết cấu trong nhà	-		-		≤ 0,1			≤ 0,15			≤ 0,15		
5	Cấu tạo kiến trúc	- Bề mặt kết cấu phẳng, không gây đọng nước, không gây tích tụ ẩm và bụi; - Hạn chế sử dụng kết cấu BTCT dạng thanh mảnh (chóp, lan can chắn nắng); - Có khả năng tiếp cận tới mọi vị trí để kiểm tra, sửa chữa.												

Bảng 4. Các yêu cầu tối thiểu về thiết kế bảo vệ kết cấu BTCT chống ăn mòn trong môi trường biển

Tiêu chuẩn TCXDVN 327: 2004 đã đưa ra các yêu cầu kỹ thuật về: thiết kế, lựa chọn vật liệu, thi công nhằm đảm bảo khả năng chống ăn mòn cho kết cấu bê tông và bê tông cốt thép. Yêu cầu thiết kế trong tiêu chuẩn chỉ rõ ở bảng 4, quy định các yêu cầu tối thiểu về thiết kế áp dụng cho các công trình có tuổi thọ tới 50 năm (xem bảng 4). Ví dụ như đối với các công trình yêu cầu có niên hạn sử dụng cao hơn tới 100 năm (như với các quy trình cầu) cần áp dụng các biện pháp bảo vệ hỗ trợ như sau:

- Tăng mác bê tông thêm 10 MPa và độ chống thấm thêm một cấp hoặc tăng chiều dày lớp bê tông (BT) bảo vệ thêm 20 mm;
- Tăng cường bảo vệ mặt ngoài kết cấu bằng một lớp bê tông phun khô có mác bằng bê tông kết cấu dày tối thiểu 15mm;
- Tăng cường thêm lớp sơn chống ăn mòn phủ mặt cốt thép trước khi đổ bê tông;
- Nên quét sơn chống thấm bề mặt kết cấu, dùng chất ức chế ăn mòn cốt thép hoặc bảo vệ trực tiếp cốt thép

bằng phương pháp bảo vệ catốt.

Kết cấu thép phải được thiết kế đạt yêu cầu chung quy định trong Quy chuẩn Xây dựng và các tiêu chuẩn hiện hành là đảm bảo an toàn chịu lực và đảm bảo khả năng sử dụng bình thường trong suốt thời hạn sử dụng công trình. Khi thiết kế kết cấu cầu thép còn cần tuân thủ các tiêu chuẩn liên quan của Việt Nam và các nước về bảo vệ chống ăn mòn.

4.3. Các yêu cầu về thi công

Thi công chính là giai đoạn thể hiện các hồ sơ thiết kế thành công trình thực tế. Đây là một bước rất quan trọng để đảm bảo chất lượng công trình. Do vậy phải tuân thủ nghiêm ngặt các qui phạm thi công, nghiệm thu và giám sát chất lượng công trình đã ban hành. Quy trình thi công bê tông trong môi trường ven biển nói chung tương tự như trong vùng nội địa TCVN 4453:1995, chỉ ở vùng nước thủy triều lên xuống và vùng ngập nước là cần áp dụng công nghệ thi công đặc biệt nhằm đảm bảo bê tông không bị nhiễm mặn. Với kết cấu cầu thép trong môi trường

biển, hiện nay thường được áp dụng theo quy trình Nhật Bản.

Thực tế đã chứng minh rằng, do trình độ công nghệ thi công chưa cao, tổ chức thi công không chặt chẽ, tay nghề và ý thức công nhân kém, giám sát kỹ thuật lỏng lẻo là những nguyên nhân dẫn đến chất lượng bê tông hoặc thép trên các công trình đã xây dựng ở vùng biển Việt Nam không đồng đều, nhiều kết cấu không đạt được chất lượng dẫn đến ăn mòn cục bộ kết cấu công trình.

Trong quá trình vận chuyển và tập kết các VLXD, các tác nhân của môi trường biển đã xâm thực mạnh vào các vật liệu này, góp phần hư hỏng vật liệu từ khi chưa lắp dựng vào kết cấu công trình. Vì vậy, VLXD phải được đảm bảo chịu ảnh hưởng ít nhất trong quá trình vận chuyển, lắp dựng, phải có kho bãi để lưu giữ vật liệu ... Trong trường hợp bất khả kháng đối với việc tập kết vật liệu rời (cát, đá, ...) bị ảnh hưởng thì trước khi thi công đổ bê tông các cấu kiện BTCT cần phải được rửa sạch bằng nước đã được thí nghiệm cho dùng.

Cần lưu ý sử dụng bê tông thương phẩm, trong điều kiện bất khả kháng phải lắp dựng trạm trộn bê tông tại hiện trường thì phải lựa chọn vị trí sao cho việc tập kết vật liệu và quy trình chế tạo bê tông ít bị ảnh hưởng bởi sự xâm thực của môi trường biển.

Công tác thi công cần được chú ý và giám sát nghiêm ngặt, nhất là công tác đầm nén, dưỡng hộ và hoàn tất bề mặt (kết cấu BTCT) hay hàn, ghép nối thép ... (kết cấu thép). Giai đoạn thi công chi tiết và đảm bảo chất lượng thì sẽ giảm thiểu việc ăn mòn của kết cấu, góp phần tăng chất lượng công trình. Phát hiện và xử lý triệt để các sự cố công trình dù là nhỏ nhất, không được bỏ qua các sai sót để đảm bảo chất lượng và tuổi thọ công trình.

4.4. Các yêu cầu về quản lý, sử dụng và duy tu bảo dưỡng công trình

Công tác quản lý sử dụng và duy tu bảo dưỡng công trình có tầm quan trọng đặc biệt trong việc đảm bảo và duy trì độ bền công trình. Đây là một công việc lâu dài, bắt đầu từ khi bàn giao đưa công trình vào sử dụng đến khi hết thời hạn sử dụng công trình.

Thực tế đã cho thấy, rất nhiều công trình đã xây dựng ở nước ta đều không được quản lý sử dụng tốt, công năng và mục đích sử dụng bị thay đổi là một trong những nguyên nhân dẫn đến ăn mòn và phá hủy kết cấu, làm công trình hư hỏng sớm. Bên cạnh đó, chế độ duy tu bảo dưỡng công trình chưa được thể chế hoá bằng các văn bản Nhà nước, thường chỉ khi nào thấy hỏng tới mức nghiêm trọng mới tiến hành khảo sát, đánh giá nguyên

nhân hư hỏng và tìm kiếm phương án khắc phục. Việc làm này gây tốn kém và hiệu quả sử dụng công trình không cao.

* Về quản lý sử dụng:

- Công trình phải được sử dụng đúng mục đích, công năng theo yêu cầu thiết kế.
- Nhà nước cần có qui định cụ thể về trách nhiệm bảo hành độ bền công trình cho các nhà thiết kế và thi công, người sử dụng công trình.
- Mỗi công trình đều phải lập hồ sơ theo dõi về chất lượng công trình, tình trạng sử dụng, các hư hỏng, xuống cấp, quá trình duy tu, sửa chữa v.v...
- Định kỳ kiểm tra, khảo sát kiểm định chất lượng công trình, chi phí cho các lần khảo sát này nên tính ngay vào đầu tư công trình.

* Về duy tu, bảo dưỡng công trình:

- Duy tu bảo dưỡng công trình là vấn đề rất mới đối với chúng ta, nó có ý nghĩa và tác dụng như bảo dưỡng máy móc, thiết bị sau một thời gian làm việc.
- Đối với các công trình xây dựng ở vùng biển nước ta, Duy tu bảo dưỡng công trình đồng nghĩa với việc áp dụng các kỹ thuật công nghệ nhằm khắc phục nguy cơ gây ăn mòn kết cấu do môi trường xâm thực biển gây ra. Như vậy vấn đề duy tu bảo dưỡng công trình rất có ý nghĩa trong việc bảo vệ và duy trì độ bền cho công trình với chi phí thấp hơn nhiều so với để công trình hư hỏng trầm trọng mới đầu tư sửa chữa.

5. KẾT LUẬN

Qua việc phân tích điều kiện môi trường vùng biển, nghiên cứu các dạng hư hỏng với các dạng kết cấu và thực trạng thiết kế, thi công, duy tu và bảo dưỡng các công trình cầu ở Việt Nam, có thể đưa ra một số kết luận sau:

- Môi trường biển Việt Nam có tính xâm thực mạnh đối với các dạng cầu như cầu BTCT và cầu thép. Môi trường biển này xâm thực mạnh hơn môi trường biển nhiều nước trên thế giới do nhiệt độ, độ ẩm không khí cao, thời gian ẩm ướt lớn, nồng độ muối Cl⁻ cao, nước và cốt liệu có nhiễm mặn... Do vậy việc chống ăn mòn và bảo vệ công trình cần thực hiện trên cơ sở công nghệ của thế giới gắn với điều kiện thực tế Việt Nam.
- Dựa trên phân tích nghiên cứu các dạng hư hỏng do xâm thực, có thể nhận thấy các nguyên nhân chủ quan từ quá trình thiết kế, thi công, duy tu và bảo dưỡng công trình hoặc từ nhiều nguyên nhân khách quan như điều kiện khắc nghiệt của môi trường, hạn chế của quy trình quy phạm hiện hành và nền công nghiệp sản xuất, chế tạo, lắp dựng...
- Các giải pháp chủ yếu chống xâm thực cho kết cấu bê tông và kết cấu BTCT trong môi trường biển đã được cụ thể hoá trong TCXDVN 327:2004. Tuy nhiên, các giải pháp chống ăn mòn với kết cấu thép chưa được quy định cụ thể trong quy trình quy phạm. Do vậy trong thời gian tới

yêu cầu cấp thiết là cần có một quy trình cụ thể để đưa ra các giải pháp chống xâm thực cho kết cấu thép.

- Trên cơ sở nghiên cứu, phân tích các phương pháp chống xâm thực cho kết cấu BTCT và thép trên thế giới và ở Việt Nam, kết hợp với việc tham khảo các quy trình quy phạm của Việt Nam và nhiều nước khác, có thể nhận thấy nhiều phương án để đảm

bảo chống xâm thực hữu ích cho kết cấu như việc đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật tối thiểu về cường độ, độ chống thấm và chiều dày lớp bê tông bảo vệ ... (với kết cấu bê tông) hay phương pháp sơn phủ, bảo vệ catốt ... (với kết cấu thép).

- Cần thiết phải xây dựng một chiến lược có tính lâu dài cho việc chống xâm thực cho kết cấu BTCT và thép

trong vùng biển Việt Nam từ công tác thiết kế, thi công, quản lý và duy tu các công trình kết cấu nói chung, kết cấu cầu nói riêng. Trong thời gian chưa có các hệ thống này, trong mỗi dự án cụ thể cần chú ý các vấn đề bảo vệ cho kết cấu BTCT và thép trong điều kiện kinh tế-xã hội ở Việt Nam, kết hợp tham khảo các nước khác trên thế giới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Báo cáo tổng kết đề tài độc lập cấp Nhà nước mã số 40-94ĐTĐL "Nghiên cứu các điều kiện kỹ thuật đảm bảo độ bền lâu cho kết cấu bê tông và bê tông cốt thép xây dựng ở vùng ven biển Việt Nam"- Viện Khoa Công nghệ Xây dựng, 1999.
2. Báo cáo tổng kết đề tài 34C.01.06: "Đặc điểm phá hủy kết cấu công trình giao thông trong vùng biển nước ta" - Viện KHKH GTVT. Hà Nội 1989.
3. Cao Duy Tiến, Phạm Văn Khoan, Lê Quang Hùng. Báo cáo tổng kết dự án Chống ăn mòn và bảo vệ các công trình bê tông và bê tông cốt thép vùng biển. Viện KHCN Xây dựng, 11/2003.
4. Đào Ngọc Thế Vinh, Peter Dux, Alan Carse. Ăn mòn cốt thép trong kết cấu bê tông vùng biển – Nguyễn nhân và biện pháp khắc phục. Hội nghị khoa học toàn quốc lần 3 về sự cố và hư hỏng công trình xây dựng. Viện KHCN XD, 11/2005.
5. Đinh Anh Tuấn, Nguyễn Mạnh Trường. Thực trạng ăn mòn và phá hủy các công trình bê tông cốt thép bảo vệ bờ biển nước ta. Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, 08/2010.
6. Hồ sơ thiết kế cầu Cửa Lấp (Vũng Tàu), cầu Bính (Hải Phòng), cầu Bến Thủy (Nghệ An), cầu Bãi Cháy (Quảng Ninh), cầu Nhật Tân (Hà Nội), cầu Đình Vũ-Cát Hải (Hải Phòng) ...
7. Nguyễn Nam Thắng, Nguyễn Mạnh Hồng, Phan Văn Chương. Đánh giá chất lượng các hệ sơn phủ chống ăn mòn kết cấu thép vùng biển Việt Nam. Viện KHCN.
8. Steel Construction today & tomorrow. Ấn phẩm chung của Liên đoàn thép Nhật Bản và Hiệp hội Kết cấu thép Nhật Bản. Số 33, 7/2011.
9. TCVN 3994-1985. Chống ăn mòn trong xây dựng- kết cấu bê tông và bê tông cốt thép- Phân loại môi trường xâm thực.
10. TCVN 4116-1985. Thiết kế KCBTCT công trình thủy công.
11. TCXDVN 327: 2004 - Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Yêu cầu bảo vệ chống ăn mòn trong môi trường biển.
12. Trần Việt Liễn. Báo cáo tổng kết đề mục "Ăn mòn khí quyển đối với bê tông và bê tông cốt thép vùng ven biển Việt Nam". Viện Khí tượng Thủy văn. Hà Nội, 1996.