ĂN MÒN CỐT THÉP VÀ ẢNH HƯỞNG CỦA NÓ TỚI ỨNG XỬ CỦA KẾT CẤU BÊ TÔNG CỐT THÉP

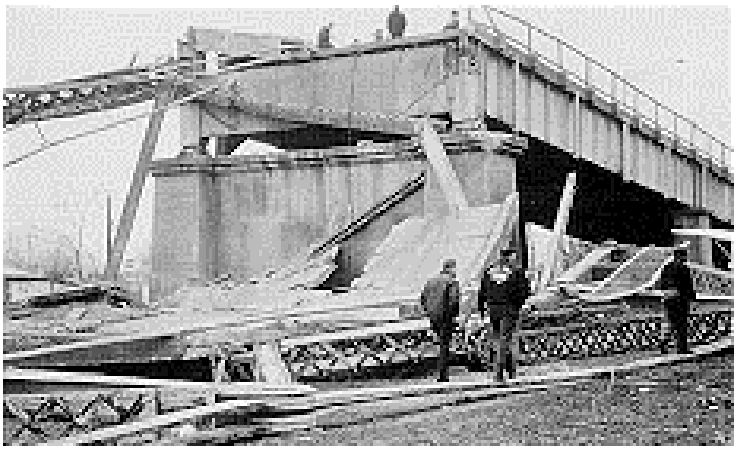
*TS. **Vũ Ngọc Anh,** Đại học Kiến trúc Hà Nội*

***Tóm tắt**: Ăn mòn cốt thép trong bê tông và khắc phục các sự cố do ăn mòn cốt thép gây ra là một trong các hướng nghiên cứu ưu tiên trong xu thế phát triển bền vững. Ăn mòn cốt thép thực sự là mối nguy hiểm luôn đe dọa tuổi thọ của các công trình như : Cầu cảng, cầu đường bộ, giàn khoan, tháp nguội của nhà máy điện nguyên tử, kết cấu của nhà máy hóa chất, các công trình ven biển Trong bài báo này tác giả giới thiệu về cơ chế ăn mòn của cốt thép trong bê tông và giới thiệu những thay đổi ứng xử cơ học của kết cấu BTCT chịu uốn khi cốt thép bị ăn mòn thông qua nghiên cứu thực nghiệm.*

***Abstract:** The corrosion of steel in concrete and restoring of the degradation of reinforced concrete structures due to the corrosion is one of the research priorities for the sustainable development. The corrosion of steel is always menace the life of reinforced concrete structures such as: harbor, bridges, off- shore, cooling towers of nuclear power plants, coastal structures ... This paper present the corroding mechanism of steel bar in concrete and introduce the modifications of the bending behavior of corrodes reinforced concrete structures based on the experimental research.*

I. Sự cố các công trình có liên quan đến ăn mòn của cốt thép

Trên thế giới có nhiều sự cố công trình mà nguyên nhân chủ yếu là do ăn mòn cốt thép trong bê tông hoặc ăn mòn thép ứng lực trước (ƯLT). Ngày 15 tháng 12 năm 1965 cây cầu Silver trên quốc lộ 35 kết nối Point Pleasant, Tây Virginia và Kanauga, bang Ohio – Hoa kỳ đột nhiên đổ sụp xuống sông Ohio làm 37 xe ô rơi xuống sông và 47 người chết. Các nhà điều tra đã chỉ ra một trong các nguyên nhân gây sập cầu là do ăn mòn cốt thép, ăn mòn dưới tác dụng của ứng suất và ăn mòn dưới tác dụng của mỏi [1].



***Hình 1.** Cầu Silver sập năm 1965*

Ngày 28 tháng 6 năm 1983 cầu Mianus River Bridge tại Greenwich bang Connecticut (Hoa kỳ) bị sập do ăm mòn cốt thép và do mỏi làm 3 người chết và 7 người bị thương (h.1). Ngày 01 tháng 8 năm 2007 cầu thép bắc qua sông Mississippi bị sập làm chết 13 người và 147 người bị thương, theo các nhà điều tra thì một trong các nguyên nhân cũng là do ăn mòn [1a] (h.2).

Hình 2: *Cầu qua sông Mississippi sập năm 2007*

Đối với kết cấu bê tông cốt thép thì sau một thời gian cốt thép bị ăn mòn, chúng làm nứt lớp bê tông bảo vệ (h.3). Sự ăn mòn này sẽ gây ra những hậu quả nghiêm trọng nếu ta không tiến hành những biện pháp gia cố, sửa chữa. Thông thường kết cấu bê tông bị ăn mòn dễ bị phát hiện vì chúng luôn tạo ra các vết nứt hoặc dễ nhận biết bởi màu đỏ do rỉ sắt tạo ra.

a) Vết nứt do ăn mòn cốt thép dọc tạo ra

b) Cốt thép dọc bị hở ra do lớp bê tông bảo vệ bị bong do ăn mòn

Hình 3. *Kết cấu bê tông cốt thép bị ăn mòn*

c) Hiện tượng ăn mòn cốt thép tại trụ cầu

II. Quá trình ăn mòn cốt thép thường trong kết cấu bê tông cốt thép

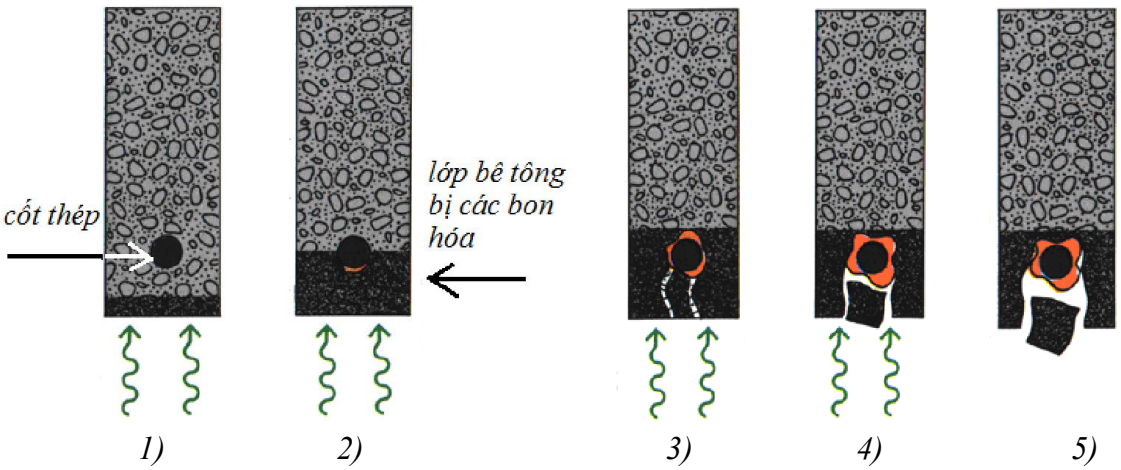
Trong thực tế, hai quá trình sau có thể huỷ hoại sự bảo vệ của bê tông đối với cốt thép:

+ Quá trình các bon nát hóa (Cacbonatation): có thể chia quá trình này thành (h.4) :

Giai đoạn 1, khi bê tông quanh cốt thép còn chưa bị các bon nát hóa, bê tông có tính chất kiềm, nồng độ pH luôn giữ từ 12 đến 13, trong môi trường có tính kiềm cao như vậy cốt thép không thể bị ăn mòn [7]. Giai đoạn 2, sự vận động của pha lỏng trong các kẽ hở của bê tông do sự chuyển đổi của các hợp chất bị thuỷ hóa. Phản ứng các bon nát hóa của bê tông do oxit các bon (CO_2) có

trong không khí thấm vào sâu vào lớp bê tông bảo vệ dẫn đến độ pH của bị giảm (pH<9), bắt đầu từ thời điểm này cốt thép trong bê tông không còn được bảo vệ để chống lại ăn mòn nữa.

Giai đoạn 3, do sự thẩm thấu của nước, các tạp chất có tính oxy hóa cao (đặc biệt là môi trường chứa ion Cl^-) tác động trực tiếp vào cốt thép làm oxy hóa thép. Sản phẩm của quá trình oxy hóa cốt thép là hỗn hợp $Fe_2O_3.H_2O$, $Fe(OH)_2$ – gọi là rỉ sắt.



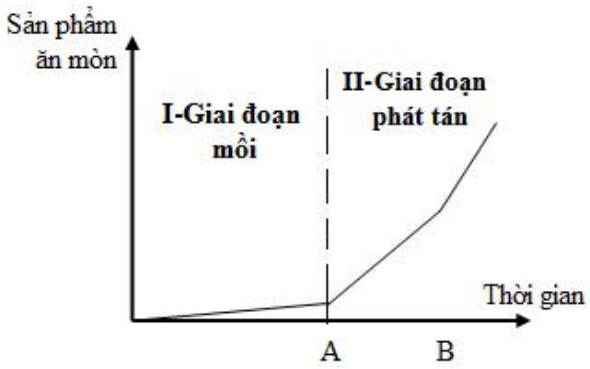
Hình 4. *Quá trình ăn mòn cốt thép trong bê tông do các bon nát hóa*

Giai đoạn 4, oxy hóa thép đến một mức độ nào đó nó sẽ tạo thành một lớp rỉ sắt, lớp rỉ sắt này xốp có thể tích lớp gấp 2 đến 7 lần thể tích sắt tạo ra nó [8], do vậy lớp rỉ sắt này tạo áp lực lên lớp bê tông bảo vệ, khi áp lực này tạo ra ứng suất lớn hơn cường độ chịu kéo của bê tông thì sẽ gây nứt lớp bê tông bảo vệ.

Giai đoạn 5, lớp rỉ sắt tiếp tục hình thành với thể tích lớn làm vết nứt ở lớp bê tông bảo vệ hình thành to hơn, đến một thời điểm nào đó lớp bê tông bảo vệ bị bong, tróc như trên hình vẽ.

+ Quá trình xâm thực (penetration) của các nhân tố có hại vào đến cốt thép, đặc biệt là ion Cl^-.

Những công trình trong môi trường nước biển, trong môi trường công nghiệp ô nhiễm, những cầu đường bộ, những công trình ở vùng ôn đới thường xuyên phải rải muối để làm tan băng tuyết thì đặc biệt liên quan đến sự xâm thực này.



Hình 5. *Sơ đồ phát triển ăn mòn của cốt thép theo thời gian*

Trong hai quá trình trên, thì quá trình các bon nat hóa là quá trình chung, nó diễn ra trên mọi công trình bê tông cốt thép. Trong khi đó quá trình thấm

của Ion Cl^- chỉ diễn ra trong công trình mà môi trường ở đó có Ion Cl^- tồn tại.

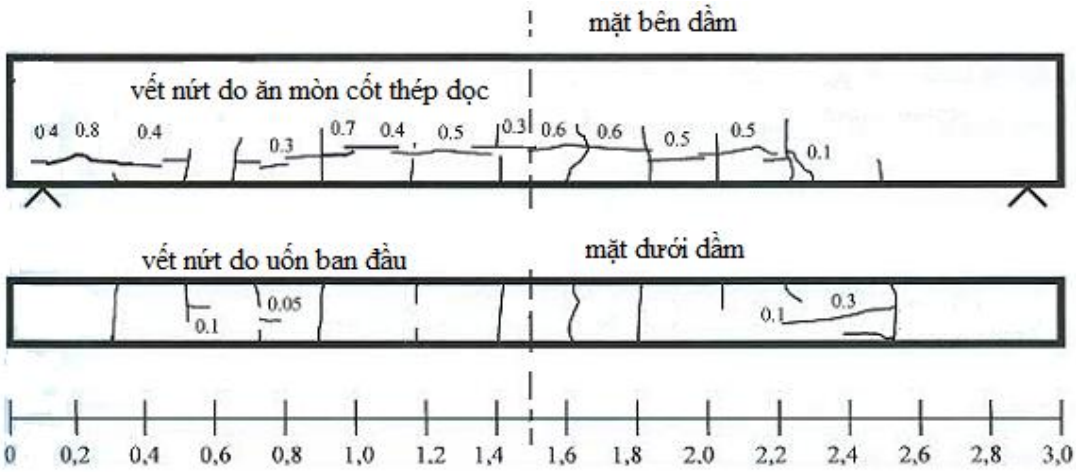
Xét về mặt động, người ta có thể sơ đồ hóa sự phát triển của ăn mòn cốt thép ở lớp bê tông bảo vệ theo hai giai đoạn như mô hình đã được phát triển bởi Tuutti **[2]** **(**h.5).

Ăn mòn cốt thép trải qua theo hai giai đoạn riêng biệt, giai đoạn mồi (I) và giai đoạn phát tán (II). Điểm A tương ứng với thời điểm cốt thép bị mất tính thụ động hoá chống rỉ (depassivation), sau đó là sự lan truyền của ăn mòn, sản phẩm ăn mòn sinh ra, khi tỷ lệ ăn mòn đạt ngưỡng dẫn đến sự hình thành các vết nứt, sau đó bắt đầu phá huỷ lớp bê tông bảo vệ - thời điểm này tương ứng với điểm B. Ở cuối giai đoạn B, nếu ăn mòn không bị phát hiện và kết cấu không được tiến hành sửa chữa thì nó sẽ có thể sụp đổ do giảm khả năng chịu tải.

III. Một số kết quả thực nghiệm trên kết cấu công trình

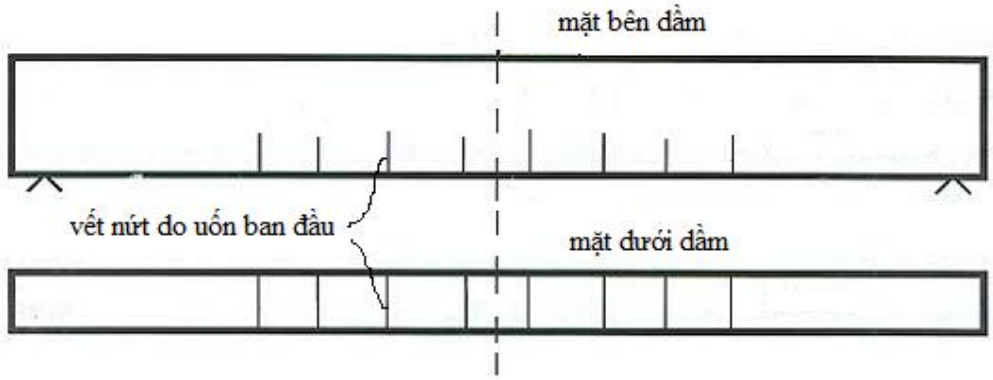
Tại phòng thí nghiệm LMDC – thuộc viện khoa học ứng dụng quốc gia Toulouse CH Pháp, nhóm nghiên cứu đã chế tạo những dầm bê tông cốt thép từ năm 1984, kích thước mặt cắt dầm bxh=150mmx280mm, mỗi dầm dài 3000mm. Những dầm này được thiết kế theo tiêu chuẩn BAEL của Pháp, vùng kéo bố trí 2ϕ12 (R_s=500MPa), vùng bê tông chịu nén đặt 2ϕ6 (R_s=500MPa), khoảng cách giữa các cốt đai là ϕ6a220. Những dầm này trước khi đem bảo quản chúng được uốn 3 điểm với cùng một cấp tải và bị nứt – các vết nét thẳng góc với trục dầm. Sau đó chia làm hai nhóm khác nhau.

Nhóm 1 - gọi là dầm B1CL, được bảo quản trong môi trường phun sương mù bằng nước muối có tỷ lên 35g NaCl/lít. Tỷ lệ này tương đương với tỷ lệ mà lượng NaCl có trong nước biển. 6 năm đầu tiên dầm được phun sương mù nước muối liên tục, nhiệt độ được giữ không đổi là 20°C. 3 năm tiếp theo dầm được phun cách quãng, nghĩa là 1 tuần phun sương mù nước muối và một tuần được để khô trong điều kiện phòng thí nghiệm. 5 năm tiếp theo dầm cũng được phun muối cách quãng 1 tuần phun và một tuần sấy khô nhưng để ở ngoài trời. Sau 19 năm các vết nứt do thép bị ăn mòn được đo và vẽ lại (h.6).



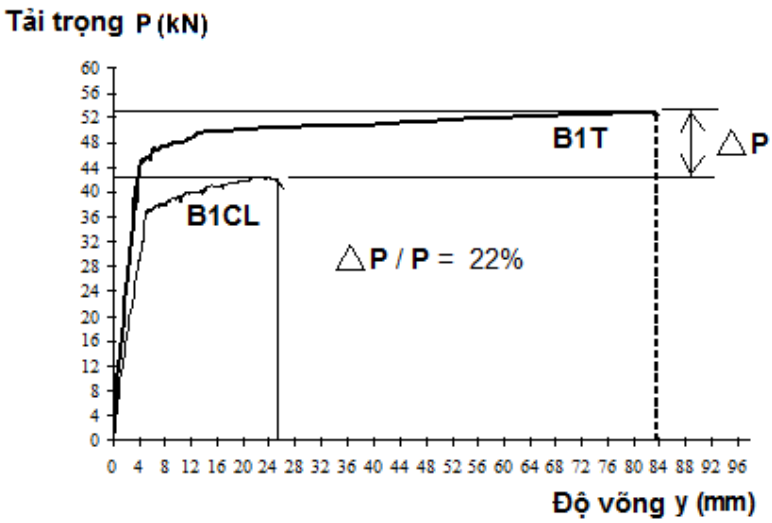
Hình 6. *Vết nứt dọc theo thép chịu lực do bị ăn mòn (dầm B1CL)*

Nhóm 2 – gọi là dầm B1T không bị ăn mòn được bảo quản trong phòng thí nghiệm để làm kết quả đối chứng (h.7).



Hình 7. Dầm đối chứng không bị ăn mòn cốt thép – các vết nứt do uốn ban đầu gây ra (dầm B1T)

Tại năm thứ 19 nhóm tác giả đã mang 2 dầm ra làm thí nghiệm uốn 3 điểm (tải trọng tập trung tác động tại giữa dầm). Kết quả là dầm không bị ăm mòn bị phá hoạt khi tải trọng thí nghiệm đạt 53 kN, tương ứng với độ võng đo được giữa dầm là 83,5mm. Dầm bị ăn mòn cốt thép bị phá hoại khi tải trọng thí nghiệm đạt 42,5 kN tương ứng độ võng đo được tại giữa dầm chỉ là 25,5 mm (h.8).



Hình 8: So sánh kết quả uốn ba điểm giữa dầm bị ăn mòn và dầm không bị ăn mòn

So sánh kết quả uốn 3 điểm của dầm ăn mòn (B1CL) và dầm không bị ăn mòn (B1T), ta thấy rằng dầm bị ăn mòn bị giảm khả năng chịu tải đến 22% so với dầm không bị ăn mòn. Theo A., Castel [5] tỉ lệ phần trăm giảm này bằng đúng tỉ lệ giảm diện tích cốt thép trong vùng kéo tại khu vực có mô men lớn nhất.

Ngoài ra độ võng trước khi dầm bị phá hủy cũng giảm đáng kể so với dầm BTCT không bị ăn mòn do cốt thép bị ăn mòn kém dẻo hơn cốt thép không bị ăn mòn. Cũng theo A., Castel [5] khi cốt thép bị ăn mòn thì biến dạng dài cực hạn của cốt thép khi đứt bị gảm theo biểu thức sau :

$\varepsilon_{am} = \varepsilon\, e^{-0.1c\%}$ khi tỉ lệ ăn mòn cốt thép $C \leq 15\%$

$\varepsilon_{am} = 0.2.\varepsilon$ khi tỉ lệ ăn mòn cốt thép $C \geq 15\%$

Ở đây :

ε_{am} : là độ dãn dài của cốt thép bị ăn mòn.

ε : độ dãn dài của cốt thép không bị ăn mòn.

a) b)

Hình 9: *a) Dầm ăn mòn phá hoại khi thí nghiệm;*
b) Dầm đối chứng bị phá hoại khi thí nghiệm

Chính độ dãn dài của cốt thép ăn mòn bị giảm nên dầm bị phá hủy ngay khi độ võng của dầm có giá trị rất nhỏ so với dầm đối chứng.

Bên cạnh đó, nếu so sánh độ cứng của dầm ở cấp tải trọng nhỏ hơn 36 kN, thì ta thấy rằng độ cứng của dầm ăn mòn nhỏ hơn độ cứng của dầm không bị ăn mòn. Đây là do ảnh hưởng của sự mất mát lực dính giữa bê tông và cốt thép do ăn mòn gây ra – phần này sẽ được bàn ở bài báo tiếp sau. Như vậy, hiện tượng ăn mòn cốt thép trong bê tông gây ra 3 ảnh hưởng chính cho kết bê tông cốt thép : 1) giảm khả năng chịu lực, 2) giảm độ dẻo của thép 3) giảm độ cứng do mất mát lực dính.

IV. Kết luận

Ăn mòn cốt thép là một hiện tượng phổ biến trong kết cấu bê tông cố thép, quá trình thủy hóa bê tông làm cho bê tông tăng cường độ nhưng đồng thời cũng làm giảm độ pH có trong bê tông, điều này làm cho cốt thép bị mất tính chống rỉ thụ động. Với sự xâm nhập của các tác nhân có hại như ion Cl^-, sau một thời gian chúng sẽ tác động trực tiếp vào đến cốt thép và gây ăn mòn. Muốn tăng tuổi thọ công trình thì ngoài việc tăng bề dày lớp bê tông bảo vệ thì việc tăng độ đặc chắc của bê tông là một nhân tố có vai trò quan trọng trong việc giảm tốc độ thấm CO_2, Cl^- …vào trong bê tông. Nhưng một điều bất lợi đối với bê tông là cường độ chịu kéo khá nhỏ so với cường độ chịu nén, nên chúng rất dễ nứt tại vùng kéo khi chịu lực. Tại Việt Nam các kỹ sư thiết kế đều tính toán cấu kiện bê tông cốt thép theo trạng thài giới hạn thứ nhất tức là đảm bảo khả năng chịu lực nhưng kiểm tra sự hình thành và mở rộng vết nứt thì ít được quan tâm, do đó các vết nứt trong bê tông vùng kéo xuất hiện ngay từ cấp tải trọng nhỏ so với khả năng chịu lực của nó, các

vết nứt này vô cùng nhạy cảm với các kết cấu thiết kế chống ăn mòn, các vết nứt tại vùng kéo tạo điều kiện dễ dàng cho việc tiếp cận giữa ion Cl^- và cốt thép. Về góc độ ăn mòn thì vết nứt trong bê tông vùng kéo có thể làm giảm tuổi thọ của kết cấu từ 5 năm đến 15 năm so với kết cấu không có vết nứt.

Khi cốt thép bị ăn mòn, nó có ảnh hưởng kép đến ứng xử cơ học của kết cấu: làm giảm khả năng chịu lực do diện tích cốt thép bị giảm so với bố trí ban đầu; làm giảm độ cứng của cấu kiện do giảm diện tích cốt thép và giảm lực dính giữa bê tông và cốt thép; làm giảm độ võng khi kết cấu bị phá hoại./.

Tài liệu tham khảo

[1] Chris LeRose., "The Collapse of the Silver Bridge**",** *West Virginia Historical Society Quarterly,* volume XV, No. 4 October, 2001.

[1a] Stachura S., "NTSB notes break along corrosion in I-35W gussets" Minnesota Public Radio, July 30, 2008

[2] Tuutti K., corrosion of steel in concrete, Swedish Cement and Concrete Researche Institute, Ed., Stockholm, 1982.

[3] N.A. VU, « Effect of stress corrosion cracking on stress-strain local behaviour of steel wires used in prestressed concrete beams", Elsevier, April 2009.

[4] Rolland N., «Corrosion sous contrainte des armatures du béton précontraint – recherche bibliographique sur les résultats de laboratoire. Définition d'un essai rapide, sélectif et représentatif de corrosion sous contrainte observée sur site» *Rapport de stage au LCPC* 2001-2002.

[5] Castel A., «Couplage mécanique et corrosion dans les éléments de béton armé », *Thèse de Doctorat de l'Université Paul Sabatier de Toulouse*, 2000.

[6] Vidal T., Castel A., François R., "Analyzing crack width to predict corrosion in reinforced concrete"**.** *Cement and concrete Research***,** 34: 165-174, 2004

[7] Pourbaix H., "Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solutions" Oxford, 1966.

[8] Vidal T., "Requalification des structure dé grad é es par corosion des armatures" *Thèse de Doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2003*