

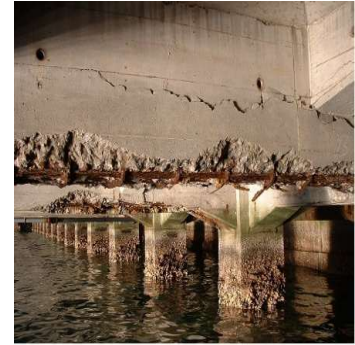
## Phụ lục 4 : Bảo vệ chống ăn mòn cho kết cấu bê tông công trình cảng bằng phương pháp bảo vệ catốt

### 1. Tổng quan về phương pháp bảo vệ catốt

#### 1.1 Giới thiệu

Trong môi trường biển, các vật liệu thép rất dễ bị ăn mòn do tác động của clorua từ nước biển. Ngay cả trong kết cấu bê tông cốt thép, cốt thép nằm bên trong bê tông cũng trở nên dễ bị ăn mòn hơn nhiều so với môi trường thông thường do sự xâm nhập của clorua từ bên ngoài.

Ảnh 1 và 2 cho thấy sự suy thoái của dầm và bản bê tông trong phần kết cấu phía trên của cầu cảng. Khi hiện tượng ăn mòn cốt thép bên trong tiến triển do sự xâm nhập của clorua, lớp bê tông bảo vệ cuối cùng sẽ bị bong tróc và rơi ra. Hơn nữa, khi diện tích tiết diện của cốt thép bị giảm do ăn mòn, khả năng chịu lực của cấu kiện cũng suy giảm, dẫn đến mất an toàn kết cấu. Một trong những biện pháp đối phó với sự xuống cấp của kết cấu bê tông do clorua gây ra là áp dụng phương pháp bảo vệ catốt. Trong những năm gần đây, số lượng công trình áp dụng phương pháp này đã tăng lên nhờ hiệu quả cao trong việc chống ăn mòn. Phần này trình bày tổng quan các phương pháp bảo vệ catốt cho kết cấu bê tông.<sup>1)</sup>



Ảnh 1 Tình trạng hư hỏng của kết cấu thượng tầng cầu cảng (dầm)

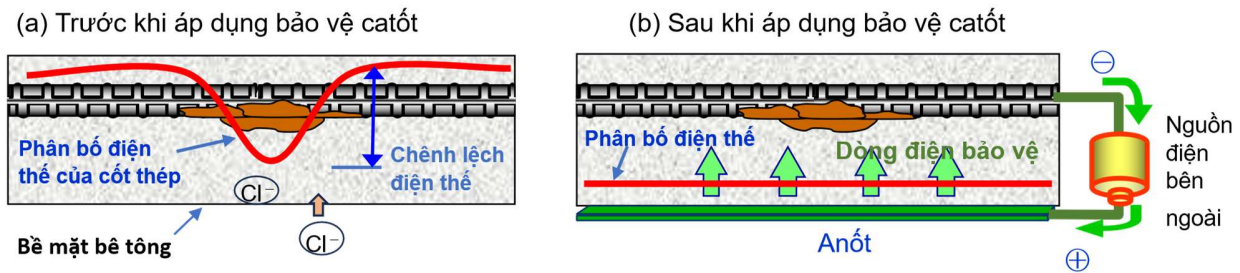


Ảnh 2 Tình trạng hư hỏng của kết cấu thượng tầng cầu cảng (mặt dưới của bản sàn)

#### 1.2 Nguyên lý và đặc điểm của bảo vệ catốt <sup>2)</sup>

Hình 1 (a) minh họa trạng thái cốt thép bên trong bê tông đang bị ăn mòn do sự xâm nhập của ion clorua ( $Cl^-$ ). Trong trạng thái này, dòng điện ăn mòn hình thành do sự chênh lệch điện thế giữa vùng đang bị ăn mòn (vùng anot) và vùng không bị ăn mòn (vùng catốt).

Hình 1 (b) cho thấy trạng thái khi một dòng điện một chiều được cấp từ anot lắp đặt trên bề mặt bê tông đến cốt thép bên trong có liên kết điện với nó. Do dòng điện ưu tiên chạy đến vùng catốt — nơi có điện thế dương (+) hơn — nên điện thế của vùng catốt dịch chuyển theo hướng hoạt động hơn (-). Khi cường độ dòng điện cấp tăng lên, sự chênh lệch điện thế giữa vùng anot và catốt bị triệt tiêu, và dòng điện ăn mòn không còn tồn tại. Đây chính là nguyên lý cơ bản của phương pháp bảo vệ catốt.



Hình 1 Nguyên lý của bảo vệ catốt

Như đã trình bày ở trên, phương pháp bảo vệ catốt là một kỹ thuật chống ăn mòn có độ tin cậy cao và hợp lý vì nó kiểm soát trực tiếp phản ứng ăn mòn thông qua tác động điện hóa. Ngoài ra, phương pháp bảo vệ catốt còn có các ưu điểm sau:

Ngay cả khi một lượng lớn ion clorua đã xâm nhập vào bê tông, không cần phải loại bỏ phần bê tông bị nhiễm clorua. Mặc dù trong một số trường hợp có thể cần xử lý bề mặt đơn giản hoặc sửa chữa cục bộ, bảo vệ catốt vẫn có thể được áp dụng trong khi giữ nguyên hiện trạng kết cấu.

Khi áp dụng bảo vệ catốt cho các cấu kiện mà lớp bê tông bảo vệ đã bong tróc cục bộ, cần sửa chữa phần tiết diện sau khi làm sạch cốt thép. Nếu chỉ áp dụng biện pháp sửa chữa tiết diện theo phương pháp truyền thống, cốt thép phải được bóc lộ đầy đủ và xử lý chống ăn mòn cẩn thận để ngăn tái ăn mòn. Ngược lại, với phương pháp bảo vệ catốt, chỉ cần loại bỏ gỉ trên phần cốt thép lộ ra, không cần xử lý chống ăn mòn bổ sung, nhờ đó việc thi công trở nên đơn giản hơn.

Sau khi hoàn tất lắp đặt hệ thống bảo vệ catốt, tình trạng của cốt thép bên trong (ví dụ: điện thế) thường được theo dõi liên tục. Điều này cho phép xác nhận định lượng hiệu quả chống ăn mòn và có thể xử lý kịp thời nếu xảy ra bất thường.

## 2. Các loại phương pháp bảo vệ catốt

### 2.1 Phương pháp cấp dòng điện bảo vệ

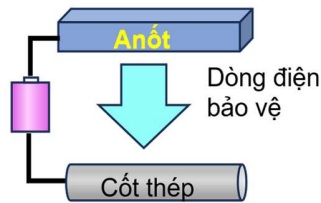
Các phương pháp bảo vệ catốt được phân loại thành hệ dòng điện cưỡng bức và hệ anot hy sinh (anot điện hóa), tùy theo cách cấp dòng điện bảo vệ.

Trong hệ dòng điện cưỡng bức, như minh họa ở Hình 2(a), một hệ anot lắp đặt trên hoặc gần bề mặt bê tông được nối với cực dương (+) của nguồn điện một chiều, trong khi phần thép cần bảo vệ được nối với cực âm (-). Bảo vệ catốt được thực hiện bằng cách cấp dòng điện bảo vệ giữa hai cực thông qua nguồn điện một chiều.

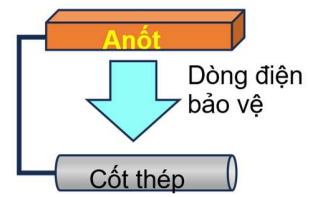
Ngược lại, trong hệ anot hy sinh, như minh họa ở Hình 2(b), một hệ anot được chế tạo từ kim loại có thế điện hóa kém bền hơn thép trong bê tông được lắp đặt trên hoặc gần bề mặt bê tông và nối điện với cốt thép. Nhờ khai thác sự chênh lệch điện thế giữa hai vật liệu, dòng điện bảo vệ tự phát sinh và tạo ra hiệu quả bảo vệ catốt. Ưu điểm của hệ này là không cần nguồn điện bên ngoài; tuy nhiên, tuổi thọ khai thác ngắn hơn so với hệ dòng điện cưỡng bức.

(a) Hệ thống dòng điện cưỡng bức

DC



(b) Hệ thống anot hy sinh (galvanic)



Hình 2 Sự khác biệt trong các phương pháp cấp dòng điện bảo vệ

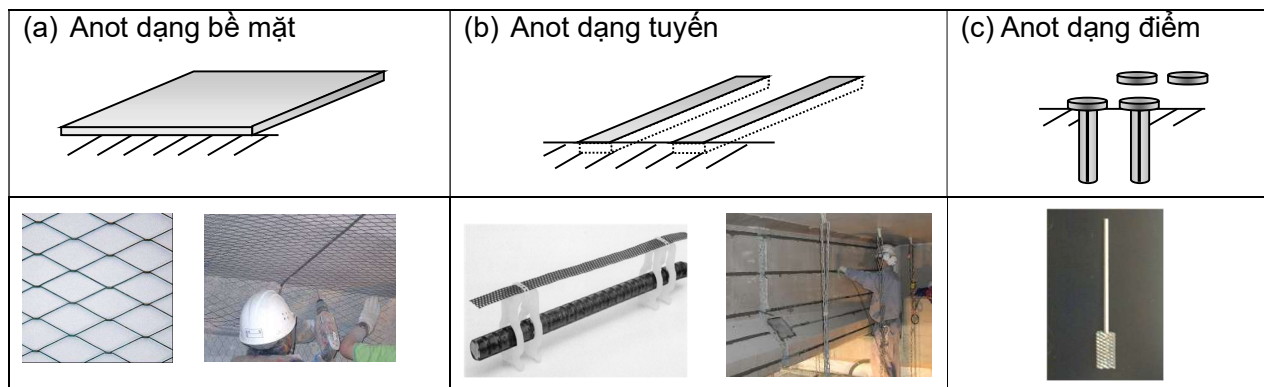
Bảo vệ catốt ức chế phản ứng ăn mòn trong đó sắt bị ion hóa bằng cách cấp dòng điện bảo vệ; do đó, hiện tượng ăn mòn thép sẽ được ngăn chặn chừng nào dòng điện vẫn còn được duy trì. Khi áp dụng bảo vệ catốt, cần xác nhận các điểm sau:

- i) Cần xem xét điều kiện môi trường, chi phí lắp đặt và tuổi thọ của thiết bị bảo vệ catốt.
- ii) Cần lựa chọn vật liệu anot có khả năng chịu được việc cấp dòng điện liên tục, và sau khi lắp đặt phải xác nhận rằng dòng điện bảo vệ đang được cấp đúng cách.

Ngoài các chi phí ban đầu như chi phí thiết bị, hệ dòng điện cưỡng bức còn phát sinh chi phí vận hành, bao gồm quản lý dòng điện, thay thế điện cực ngoài và chi phí điện năng. Khi áp dụng phương pháp này, cần cân nhắc mục đích và tầm quan trọng của việc sửa chữa công trình, đồng thời đánh giá tuổi thọ công trình và chi phí vòng đời (life-cycle cost).

## 2.2 Các loại và hình dạng anot

Tùy theo hình dạng, anot được phân thành loại dạng bề mặt, dạng tuyến (dạng thanh/dải) và dạng điểm, như minh họa ở Hình 3.



Hình 3 Các loại và hình dạng anot

Anot dạng bề mặt phù hợp cho các trường hợp cần bảo vệ trên diện rộng và có khả năng phân bố dòng điện bảo vệ rất đồng đều. Tuy nhiên, lớp phủ bao che anot có diện tích lớn, dẫn đến khối lượng thi công nhiều hơn và chi phí cao hơn.

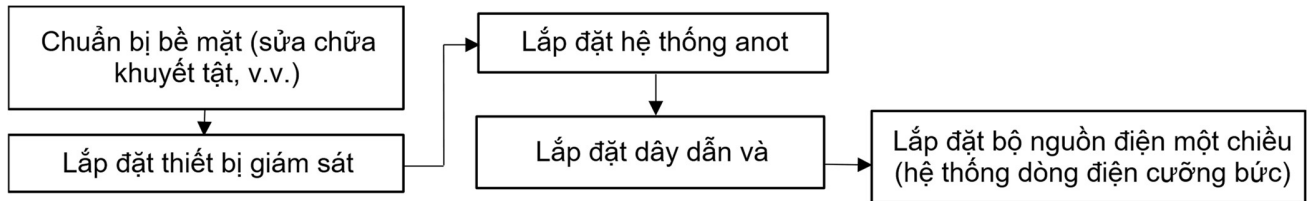
Đối với anot dạng tuyến, các phương pháp thi công gồm chôn anot vào các rãnh tạo sẵn trên bề mặt bê tông hoặc dán trực tiếp lên bề mặt bê tông. So với anot dạng bề mặt, các phương pháp này dễ thi công hơn và có hiệu quả kinh tế cao hơn.

Anot dạng điểm được lắp đặt bằng cách khoan lỗ trên bề mặt bê tông và đặt các anot dạng thanh vào bên trong. Loại này phù hợp cho bảo vệ catốt cục bộ.

### 3. Thi công và quản lý công trình bảo vệ catốt

#### 3.1 Trình tự thi công

Trình tự thi công điển hình được thể hiện trong Hình 4.



Hình 4 Trình tự thi công điển hình

#### 3.2 Chuẩn bị bề mặt

Trong công tác chuẩn bị bề mặt, khu vực cần bảo vệ catốt được làm sạch bằng phương pháp phun cát/phun hạt mài (blasting). Ngoài ra, các vị trí bê tông bị tách lớp hoặc bong tróc được sửa chữa, và các mảnh kim loại lộ ra trên bề mặt phải được loại bỏ.

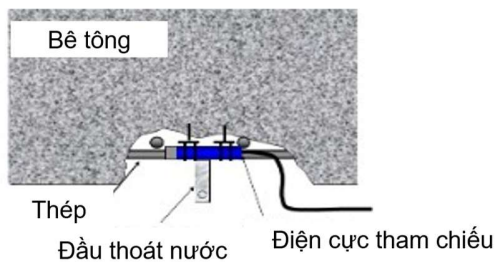
Khi lớp bê tông bảo vệ bị tách lớp trên diện rộng, cần đục bỏ phần bê tông đó để làm lộ cốt thép. Phần cốt thép lộ ra được làm sạch để loại bỏ gỉ; tuy nhiên, nếu cốt thép đã bị mất tiết diện do ăn mòn, cần phải bổ sung thêm cốt thép mới.



Ảnh 3 Chuẩn bị bề mặt

#### 3.3 Lắp đặt thiết bị quan trắc

Để lắp đặt các thiết bị quan trắc như điện cực tham chiếu và các đầu nối thoát dòng dùng để liên kết điện giữa anot và cốt thép bên trong, một phần bê tông được đục bỏ để làm lộ cốt thép, sau đó các thiết bị này được lắp đặt vào vị trí thích hợp.



Hình 5 Lắp đặt thiết bị quan trắc

### 3.4 Lắp đặt hệ thống anot

#### 3.4.1 Lắp đặt anot dạng bề mặt

Sau khi hoàn tất công tác chuẩn bị bề mặt bê tông, các anot được cố định lên bề mặt bê tông bằng đinh nhựa. Các đoạn anot rời được nối điện với nhau thông qua bộ phân phối dòng.

Để bảo vệ anot và đảm bảo phân bố đồng đều dòng điện bảo vệ, một lớp vữa phủ vô cơ được thi công phủ lên anot bằng phương pháp trát hoặc phun. Khi diện tích thi công lớn, phương pháp phun là lựa chọn phù hợp.

Trước khi thi công lớp vữa phủ anot, cần loại bỏ bụi, mảnh vụn và các tạp chất khác trên bề mặt bê tông. Để đảm bảo độ bám dính tốt giữa lớp vữa và bê tông, bề mặt bê tông phải được rửa sạch bằng nước và duy trì trong trạng thái ẩm.



(a) Lắp đặt anot (bản sàn)



(b) Lắp đặt anot (dầm)



(c) Phủ lớp bê tông bảo vệ

Ảnh 4 Lắp đặt anot dạng bề mặt

#### 3.4.2 Lắp đặt anot dạng tuyến

Các rãnh được tạo trên bề mặt bê tông để đặt anot dạng tuyến vào bên trong. Các anot dạng tuyến được đưa vào các rãnh này, sau đó rãnh được trám lại bằng vữa. Tương tự như anot dạng bề mặt, các anot dạng tuyến được nối điện với nhau thông qua bộ phân phối dòng.



(a) Tạo rãnh  
lắp đặt



(b) Lắp đặt anot trong các rãnh



(c) Lắp đầy rãnh sau khi

Ảnh 5 Lắp đặt anot dạng tuyến

### 3.5 Đi dây và lắp đặt ống dẫn

Khi lắp đặt hệ thống dây và ống dẫn để kết nối anot và cốt thép với nguồn điện bên ngoài và các thiết bị quan trắc, cần lưu ý các điểm sau:

- (1) Khi lắp đặt ống luồn dây hoặc các bộ phận tương tự, phải cẩn thận để không làm hư hỏng anot hoặc điện cực tham chiếu đã được chôn trong bê tông do khoan bê tông, neo cố định hoặc các

dụng cụ khác.

- (2) Các mối nối điện phải được thực hiện bên trong hộp nối, và các điểm nối phải được chống thấm hoàn toàn bằng vật liệu cách điện.
- (3) Việc đấu nối cáp phải được thực hiện chính xác theo bảng sơ đồ đấu dây (Wiring Termination Table) hoặc các tài liệu tương đương để tránh sai sót trong đấu nối.



Hình 6 Đi dây và lắp đặt ống dẫn

Ảnh 6 Trạng thái hoàn thành

### 3.6 Lắp đặt bộ nguồn điện một chiều

Đối với bộ nguồn điện một chiều (DC), ngoài các hệ sử dụng nguồn điện thương mại, còn có các hệ dùng pin hoặc nguồn DC chạy bằng năng lượng mặt trời. Khi lựa chọn và lắp đặt bộ nguồn DC cần xem xét các điểm sau:

- (1) Bộ nguồn phải có khả năng cấp dòng điện ổn định trong suốt thời gian bảo vệ.
- (2) Tất cả các thiết bị sử dụng phải đáp ứng các tiêu chuẩn áp dụng và dễ dàng thay thế hoặc nâng cấp.
- (3) Ở những khu vực thường xuyên có sét, bộ nguồn phải được trang bị chức năng bảo vệ chống sét cho thiết bị.

Tùy theo phương pháp điều khiển dòng điện bảo vệ, hệ nguồn được chia thành hệ điều khiển dòng không đổi và hệ điều khiển điện áp không đổi. Hệ điều khiển dòng không đổi được sử dụng phổ biến nhất vì cho phép kiểm soát trực tiếp cường độ dòng điện bảo vệ. Trong khi đó, hệ điều khiển điện áp không đổi phù hợp với những môi trường có điều kiện biến động lớn như nhiệt độ và độ ẩm.

Khi bộ nguồn có công suất nhỏ hoặc số mạch hạn chế, thiết bị thường được gắn lên tường của công trình hoặc lắp trên cột tiện ích gần đó. Ngược lại, khi bộ nguồn có công suất lớn, nhiều mạch và cần tủ bảo vệ kích thước lớn, thiết bị sẽ được cố định trực tiếp trên công trình hoặc đặt trên bệ móng bê tông xây mới.



Ảnh 7 Lắp đặt bộ nguồn điện một chiều

### 3.7 Quản lý thi công

Để ngăn chặn sự xuống cấp của kết cấu bê tông, cần duy trì việc cấp dòng điện bảo vệ liên tục trong thời gian dài khi áp dụng bảo vệ catốt. Vì mục đích đó, việc thi công cần thận ở từng công đoạn và kiểm soát chất lượng phù hợp là yêu cầu bắt buộc.

#### 3.7.1 Tiêu chuẩn điều khiển bảo vệ

Để bảo vệ cốt thép nằm trong bê tông, cần làm dịch chuyển điện thế của thép theo hướng âm bằng cách cấp dòng điện. Mức dịch chuyển điện thế mục tiêu này được gọi là tiêu chuẩn bảo vệ.

Tại Nhật Bản, dựa trên kinh nghiệm thực tế và các cân nhắc về an toàn, bảo vệ catốt được xem là đạt yêu cầu khi độ dịch chuyển điện thế của thép — đo trước và sau khi cấp dòng — đạt từ 100 mV trở lên, và giá trị này được áp dụng làm tiêu chuẩn bảo vệ.

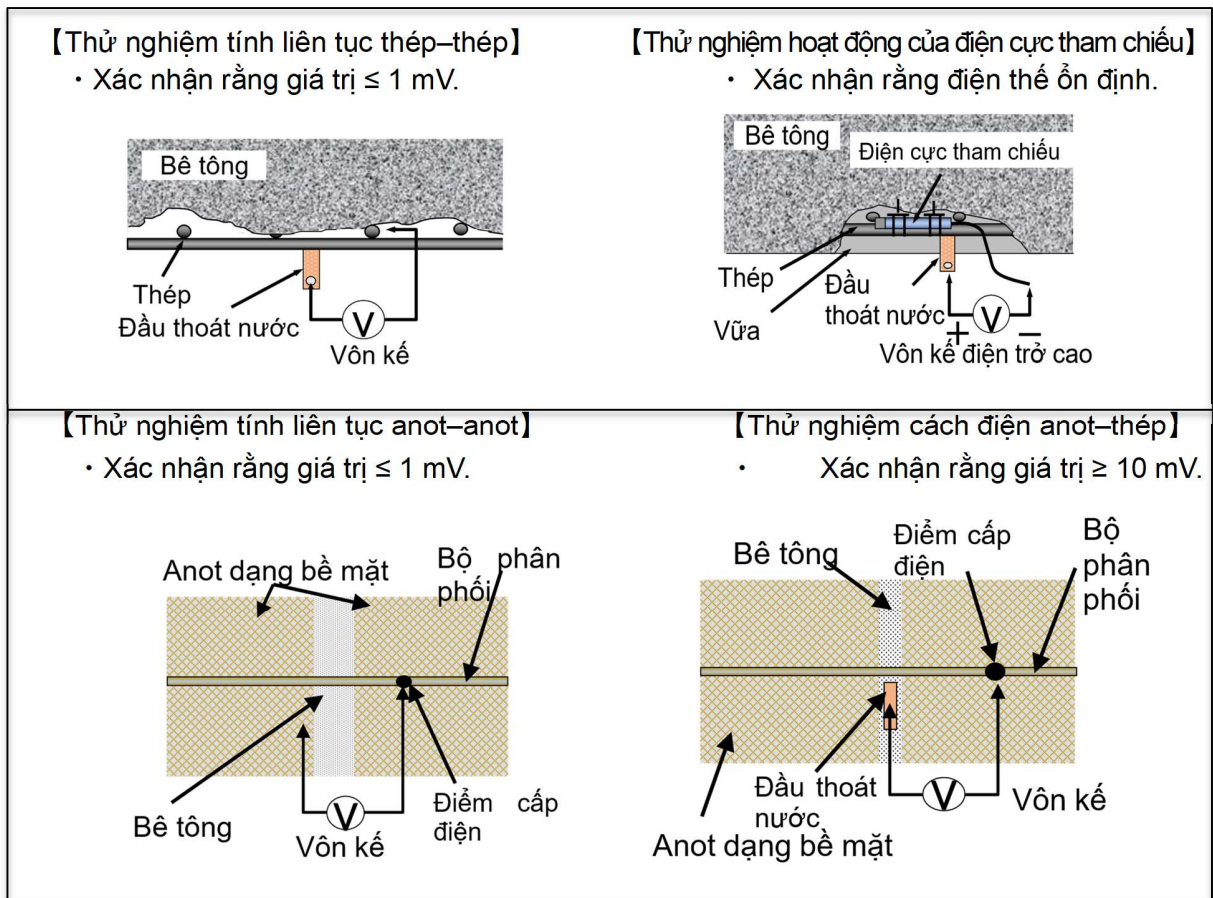
Nếu dòng điện bảo vệ quá lớn chạy vào thép khiến điện thế dịch chuyển quá nhiều theo hướng âm, hiện tượng này được gọi là bảo vệ quá mức (overprotection). Đối với cốt thép dự ứng lực trong bê tông dự ứng lực (PC steel), bảo vệ quá mức có thể gây giòn hóa do hydro sinh ra trên bề mặt thép. Vì vậy, đối với thép PC, điện thế thép không được phép dịch chuyển âm hơn -1000 mV (so với điện cực đồng sunfat bão hòa).

#### 3.7.2 Kiểm soát chất lượng

Để ngăn chặn ăn mòn cốt thép trong bê tông, cần đảm bảo dòng điện bảo vệ liên tục chạy từ anot đến cốt thép trong bê tông. Do đó, kiểm soát chất lượng trong quá trình thi công là yếu tố thiết yếu. Trong các biện pháp kiểm soát chất lượng, các thử nghiệm quản lý sau đây đặc biệt quan trọng nhằm đảm bảo việc cấp dòng điện ổn định và liên tục.

Bảng 1. Thử nghiệm kiểm soát chất lượng dành riêng cho phương pháp bảo vệ catốt <sup>2)</sup>

Giai đoạn thực hiện	Thử nghiệm kiểm soát	Mô tả
Sau khi lắp đặt thiết bị giám sát	Thử nghiệm tính liên tục thép–thép	Xác nhận rằng các cốt thép trong khu vực bảo vệ được nối điện với nhau. Chênh lệch điện thế $\leq 1$ mV là chấp nhận được.
	Thử nghiệm hoạt động của điện cực tham chiếu	Xác nhận rằng điện thế đo được của thép ổn định.
Sau khi lắp đặt anot	Thử nghiệm tính liên tục anot–anot	Xác nhận rằng các anot được nối điện với nhau. Chênh lệch điện thế $\leq 1$ mV là chấp nhận được.
	Thử nghiệm cách điện anot–thép	Xác nhận rằng anot và thép được cách điện. Chênh lệch điện thế $\geq 10$ mV là chấp nhận được.
Sau khi hoàn thành lắp đặt dây dẫn và đường ống	Thử nghiệm cấp điện thử	Xác nhận tình trạng vận hành của toàn bộ mạch. Kiểm tra rằng điện thế thép dịch chuyển theo hướng âm khi có dòng điện.
Sau khi lắp đặt bộ nguồn điện	Thử nghiệm cấp điện chính thức	Cài đặt mức dòng điện đáp ứng tiêu chí bảo vệ.



Hình 7 Phương pháp tiến hành các thử nghiệm kiểm soát chất lượng

Tham khảo

1) JSCE: Guidelines for Electrochemical Corrosion Control Methods, Concrete Library 157, October 2020 (*Hướng dẫn về các phương pháp kiểm soát ăn mòn điện hóa, Thư viện Bê tông số 157, tháng 10 năm 2020* ([https://www.jsce.or.jp/committee/concrete/e/web/pdf/LC157-common\\_part-.pdf](https://www.jsce.or.jp/committee/concrete/e/web/pdf/LC157-common_part-.pdf)) )

2) Japan Elgard Association *Hiệp hội Elgard Nhật Bản*: <http://www.elgard.com>