

# 전착 공법의 적용

## Application of Electrodeposition Method



경제운\*  
Jae-Woon Kyung



태성호\*\*  
Sung-Ho Tae



장승엽\*\*\*  
Sung-Yup Jang

### 1. 서론

철근콘크리트 구조물은 경제성이 우수할 뿐만 아니라 사용조건에 적합한 설계 및 시공이 이루어진 경우 내용년 수 또한 반영구적인 것으로 인식되어졌다. 그러나 염해, 탄산화, 동해, 알칼리 골재반응 등에 기인한 철근콘크리트 구조물의 조기 및 경시열화는 보수·보강에 의한 유지관리 비용의 증가 및 구조물의 안전성 확보결여의 측면에서 사회적 이슈로 대두되기에 충분하다.

한편, 우리나라는 반도국가라고 하는 지리적 환경 때문에 해양환경 하에서 각종 철근콘크리트 구조물이 건설되어지고 있으며, 그 건설수요 또한 점차 증가할 것으로 예상된다. 이러한 해양 철근콘크리트 구조물은 해수중의 염화물 이온에 기인한 철근의 부식이 철근콘크리트 구조물의 내력저하로 귀결되는 이른바 염해에 의한 열화현상이 매우 심각한 실정이다(그림 1).

이러한 이유에서 현재에 이르기까지 해양 철근콘크리트 구조물에 적용 가능한 다양한 보수 공법이 연구되어져 왔으며, 그 중 전기화학적 방식 공법은 실제 해양 철근콘크리트 구조물의 보수공법으로서 적용 사례가 증가하고 있다.

이러한 전기화학적 방식 공법은 전착 공법, 전기 방식 공법, 탈염 공법, 재알칼리화 공법 등으로 분류 가능하며 열화원인 및 종류에 따라 적합한 보수 공법이(그림 2)와 같이 선정된다. 이러한 전기화학적 방식 공법 중 전착 공법은 피복콘크리트의 균열발생 및 수밀성 부족, 초기결함에 의한 철근콘크리트 구조물의 열화에 적용 가능한 보수공법으로서, 현재에 이르기까지 풍부한 연구결과의 축적 및 적용사례가 보고되지는 않지만<sup>1)</sup>, 보다 다양한 연구가 진행되어 그 유효성이 입증된다면 해양 철근콘크

리트 구조물뿐만 아니라 육상의 철근콘크리트 구조물에도 적용 가능한 유효한 보수 공법으로 발전 가능할 것으로 기대된다.

### 2. 전착 공법의 개요

해양 철근콘크리트 구조물에 적용되는 전착 공법은 콘크리트 내부의 철근(음극)과 해수 중에 설치한 양극재(양극)로 구성된 전기 회로에 미약한 직류전류(0.5 ~ 2 A/m<sup>2</sup>)를 통전함으로써 해수에 존재하는 칼슘(Ca<sup>+</sup>)이온과 마그네슘(Mg<sup>+</sup>)이온을 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>)과 수산화마그네슘(Mg(OH)<sub>2</sub>)을 주성분으로 하는 무기질(전착물)로



그림 1. 강케이스 표면의 부식 상황

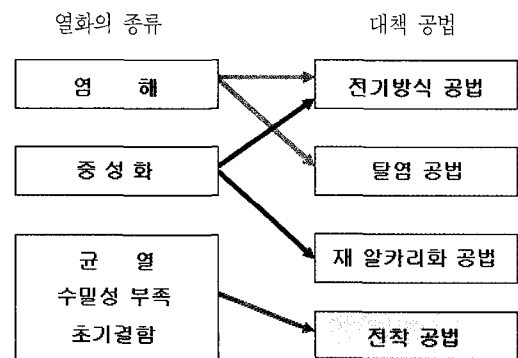


그림 2. 열화의 종류에 따른 대책보수공법

\* 정회원, (주)이제이텍 구조공학부 팀장  
jwkyung@dawn.net

\*\* 정회원, 한양대학교 친환경건축연구센터 연구조교수

\*\*\* 정회원, 한국철도기술연구원 선임연구원

석출시킨다. 이에 의하여 피복콘크리트에 발생한 균열부를 충전함과 동시에 콘크리트 표면을 피복함으로써 열화된 콘크리트의 기능을 회복시키는 전기화학적 보수공법이다. <그림 3, 4>는 해양 철근콘크리트 구조물의 전착 공법의 원리를 나타낸 것이다.

### 3. 전착 공법의 종류

#### 3.1 수중식 전착 공법<sup>2)</sup>

수중식 전착 공법은 콘크리트 구조물의 균열부로부터 해수가 침투해, 콘크리트 내부의 강재를 부식시키거나 부식시킬 가능성이 있는 경우에 사용되는 비파괴 보수공법이다. <그림 3, 4>와 같이, 해수중에 가설한 외부 양극과 콘크리트 중의 내부 강재와의 사이에 직류전류(약  $0.5 A/m^2$ )를 대략 5개월간 흘려보냄으로써, 해양 구조물의 수중 표면을 전착물로 코팅시킨다. 콘크리트 표면의 균열 개소의 폐쇄와 표층부의 치밀화에 의해서 강재의 방수효과를 회복해, 장기간에 걸쳐 건전성을 유지할 수 있다. <그림 5>는 수중식 전착공법의 시공전후의 전경을 나타낸 것이다.

#### 3.2 급수방식 전착 공법

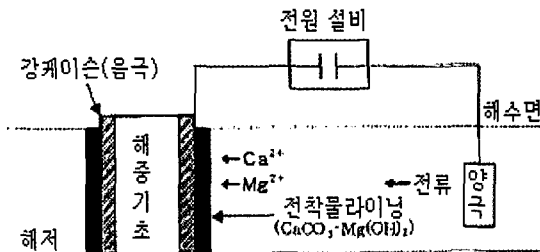


그림 3. 해양 강구조물의 전착 공법 원리

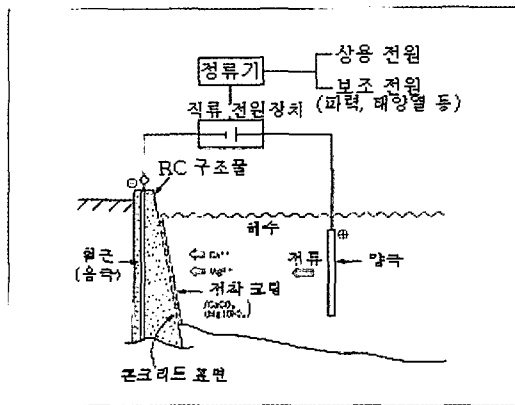


그림 4. 해양 철근콘크리트 구조물의 전착공법 원리

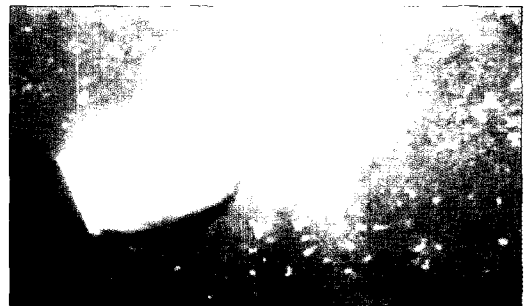
급수방식 전착공법은 양극 패널이 티탄 메쉬 양극과 방수범위(투명 염화비닐판)로 구성된다. 양극 패널은 콘크리트 표면으로부터 약 20 mm의 높이로, 전기분해액(해수)을 저수 탱크를 개입시켜 양극 패널 내에 급수 펌프로 순환한다. 직류 전원 장치의 (+)극을 티탄 메쉬 양극으로, (-)극을 철근의 배류단자에 접속해, 평균 약  $1 A/m^2$ 의 전류 밀도로 수개월간 흐르게 한다. 통전 중은 양극 패널의 전기분해액(해수)의 pH가 변화하지 않게 pH치가 자동 조정된다. <그림 6, 7>은 각각 급수방식 전착 공법의 원리와 시공전후의 전경을 나타낸다.

### 4. 전착 설비 및 비용

전착 공법은 <그림 8>에 나타내는 설비로 구성되어지며, 지지로프에 설치한 양극을 면적으로 전개함으로써, 대규모강케이스 표면을 향해 안정된 통전을 실시할 수 있다. 2002년 시공 중이던 일본의 교각 일부 강케이스에, 수심 약 22 m의 환경하에서, 해중침수



(a) 시공전



(b) 시공중(전착물 석출)



(c) 시공후(전착물에 의한 균열 폐쇄)

그림 5. 수중식 전착 공법

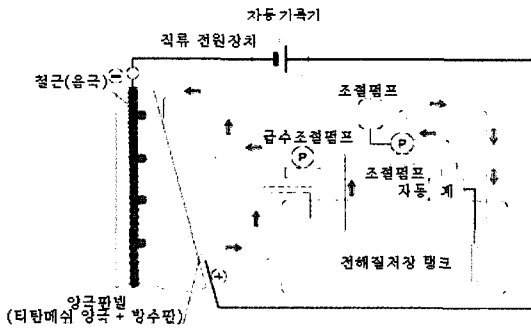
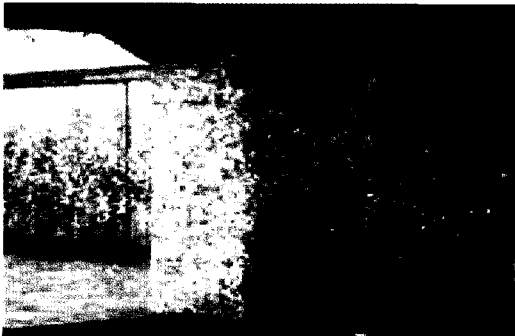
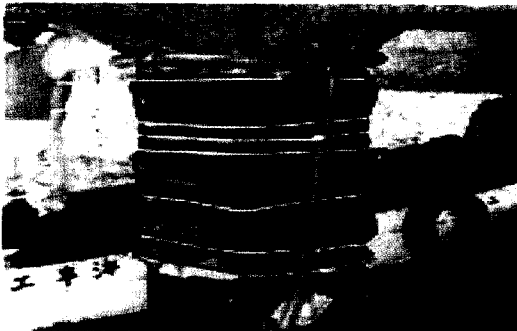


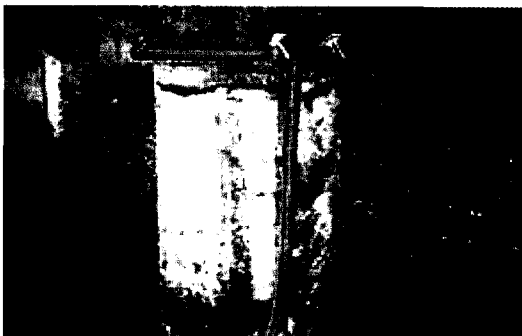
그림 6. 급수방식 전착 공법의 원리



(a) 시공 전



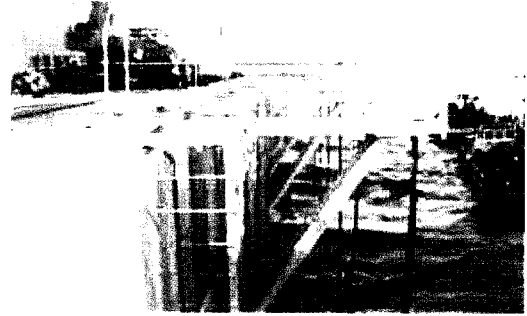
(b) 시공 중(가설양극재설치)



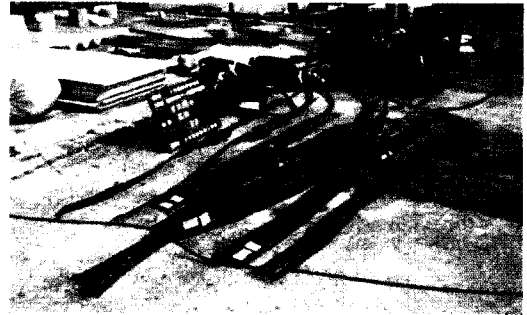
(c) 시공 후(전착물에 의한 표면 코팅)

그림 7. 급수방식 전착공법

면적의 약 반에 해당하는 1,600m<sup>2</sup>를 전착 공법범 위로, 16개의 지지 로프 및 56개의 양극을 설치한 예가 있다<sup>3)</sup>. 해수 중 시공이 되기 때문에, 시공조건 등에 따라서 크게 다르지만, 일본에서는 공



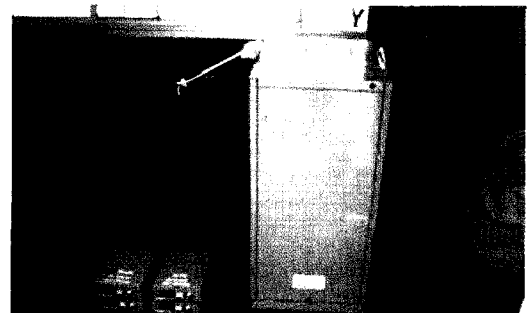
(a) 전체 전착설비 개요



(b) 양극장치



(c) 음극단자의 설치현황



(d) 직류전원장치

그림 8. 전착설비개요<sup>5)</sup>

사비는 대략 1m<sup>2</sup> 당 5~10만원 정도로 보고되고 있다<sup>4)</sup>.

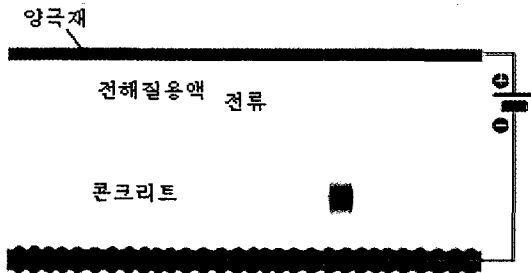
### 5. 전착 공법의 전착 과정<sup>6)</sup>

전착 공법의 전착 과정을 아래와 같이 간략히 기술하였는데,

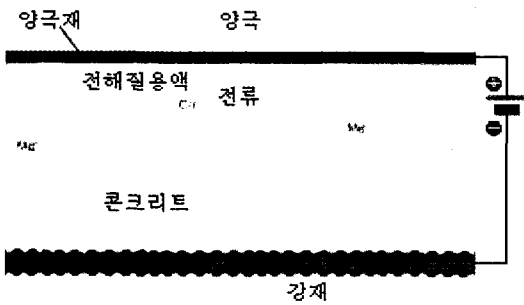
그 과정은 <그림 9>와 같다.

### 5.1 양극의 설치와 전류의 흐름

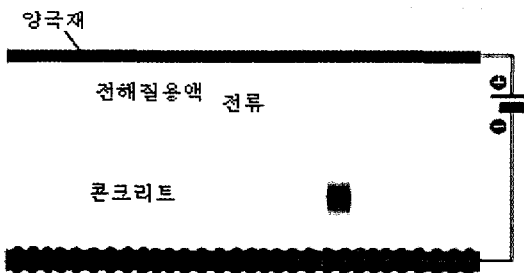
콘크리트 내부의 강재를 음극으로, 외부의 가설 양극에서 전해 용액을 개입시켜 직류 전류( $0.5 \text{ A/m}^2$  정도)를 5개월 정도의 기간 흘려보낸다. 전해질 용액은 수중 구조물에는 주위의 해수



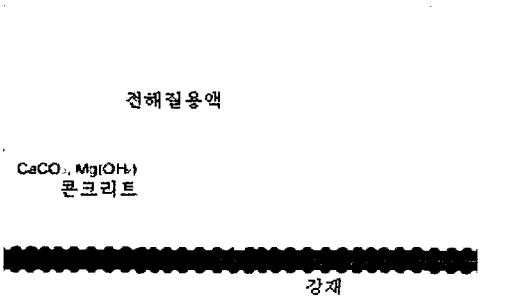
(a) 양극의 설치와 전류의 흐름



(b) 전류의 흐름과 이온 이동



(c) 전착물의 석출



(d) 설비의 철거와 부차적 효과

그림 9. 전착공법에 의한 균열부의 전착 과정

를 이용하고(그림 3, 4), 대기중 구조물에서는 보수재에 침투시킨 인공 해수가 이용된다(그림 5).

### 5.2 전류의 흐름과 이온 이동

전해질 용액중(해수중)의 칼슘 및 마그네슘 이온이 전기흐름에 의해 콘크리트 표면·표층부의 공극·균열 내부로 이동해, 탄산칼슘( $\text{CaCO}_3$ )이나 수산화마그네슘( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ )등의 전착물이 되어 석출된다. 통전 기간 중에는 음극(강재)부근의 수산화이온( $\text{OH}^-$ )의 증가에 의한 pH의 향상이나, 염화물이온의 배출이라고 하는 부차적인 효과도 기대할 수 있다.

### 5.3 전착물의 석출

전류는 균열부나 타설이음부 등의 결손 개소에 집중해서 흐르기 때문에, 처음은 전착물에 의한 균열 내부의 폐쇄가 우선적으로 진행되고, 그 이후 콘크리트 표층부의 공극이 충전되어 최후에 콘크리트 표면부가 코팅된다.

### 5.4 설비의 철거와 부차적 효과

통전 기간 종료 후, 외부 전극이나 전원 장치 등을 철거한다. 전착물의 석출 후에는 콘크리트 표면 부근의 조직이 치밀하게 되어, 염화물 이온 등 부식 인자의 침투가 억제된다.

## 6. 전착물의 석출

전착물의 조성 형성은, <그림 10>과 같이 단위면적당의 전류량(전류밀도)에 의해, 전착물의 주성분인  $\text{CaCO}_3$  및  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 의 함유비율(조성비율)이 변화해, 전착물의 방식 요인이 되는 경도 및 수밀성에 크게 영향을 미친다.

예를 들면, 전류밀도가 낮으면 칼슘 성분이 많아져, 결정질의

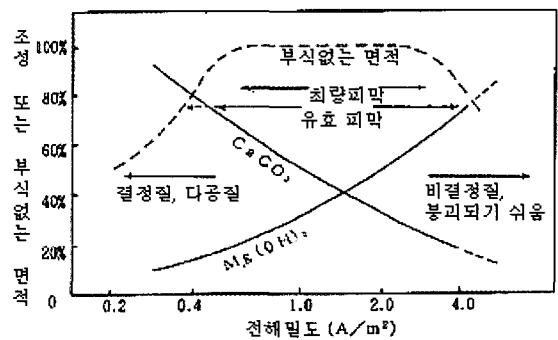


그림 10. 전류 밀도와 전착물의 조성 비율



그림 11. 전착물 샘플(표면)

딱딱한 전착물을 얻을 수 있지만, 공극률이 크고 수밀성에 뒤떨어진다. 한편, 전류밀도가 높으면 비결정질인 마그네슘 성분이 많아져, 수밀성은 높아지지만 붕괴하기 쉬운 전착물이 된다. 적절한 전류밀도에 대해서는, 여러 가지의 시험을 통해서 데이터를 수집하고 있는 중에 있지만, 약  $1.0 A/m^2$ 의 전류밀도로 호르게 하면, 조성비율 1.5 전후의 전착물을 얻을 수 있는데(그림 11), 마이크로 빅커스 경도 260전후, 50%세공 반경 약  $170 \sim 260 \text{ \AA}$ 으로 양호한 값을 나타내며, 유조류(해조류가 부착장소에

서 떨어져 바다에 떠다니는 것)해역에서도 높은 내구성 및 지수성의 효과가 있다. 전착물은 탄산칼슘과 수산화마그네슘이 중량비 95%가량을 차지한다.

예를 들어, 탄산칼슘과 수산화마그네슘의 조성비율이 2.1, 압축강도는 약  $20 N/mm^2$ , 휨강도는 약  $6 N/mm^2$ 으로 콘크리트와 거의 유사한 역학적 성질이 있다<sup>4)</sup>. 이 전착물은 일반적인 콘크리트와 비교할때 상당히 치밀하므로, 콘크리트 표면이 전착물로 코팅되면 수밀성이 대폭 향상 된다. 실험에서는, 통전시작 후 약 5개월 후에, 투수계수가 통전 전의약 40분의 1에 해당하는  $3 \times 10^{-11} cm/초$ 로 감소했다. 또한 전착물 피막에 의해서 염화물이온의 침투도 억제된다<sup>7)</sup>. (그림 12 ~ 15)는 전착 공법의 효과를 나타낸 것이다.

### 7. 결 론

전착 공법에 의한 보수효과 및 특징을 정리하면 이하와 같다. 먼저 보수효과는 크게 다음의 3가지로 설명 할 수 있다.

#### 7.1 균열의 충전 및 표면코팅



그림 12. 전착 공법에 의한 표면코팅(위), 단면도(아래)<sup>2)</sup>

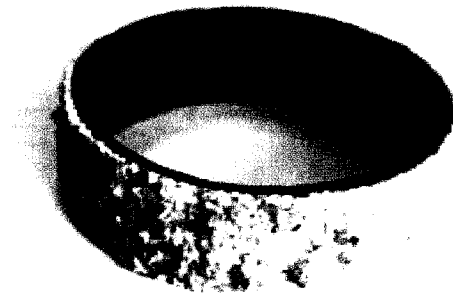


그림 14. 전착 공법에 의한 강관파일의 전착효과<sup>8,9)</sup>

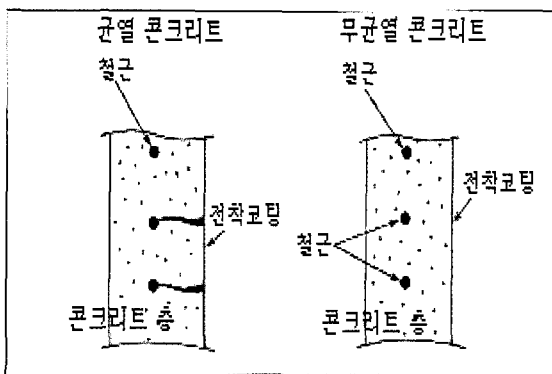


그림 13. 전착에 의한 균열 충전 효과의 모식도

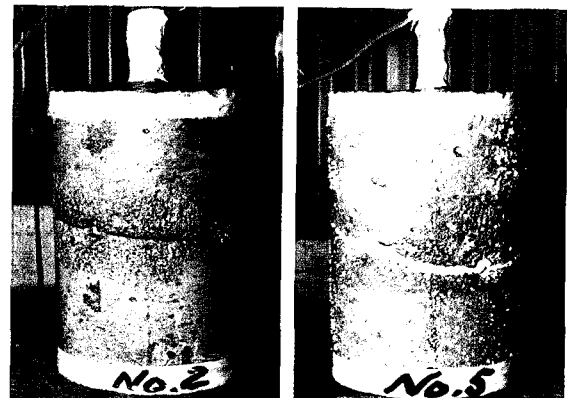


그림 15. 전착에 의한 균열 폐쇄효과(실내실험)<sup>2)</sup>

균열이 있는 콘크리트에 적용하면 전착물은 균열부를 마치상처를 치료하듯이 균열내부에 석출된다. 균열이 없는 콘크리트에 적용하면 그 표면 및 공극에 전착물이 코팅되어, 콘크리트 전체로써 차수성 및 내식성이 현저히 향상된다.

### 7.2 콘크리트 투수성의 저하

콘크리트의 세공부 및 표면에 코팅된 전착물에 의해서, 콘크리트 전체의 투수 저항성이 향상된다.

### 7.3 이온(Cl-)의 침투억제

전착시공 중에는 전위억제에 의해서, 또한 시공 후에는 콘크리트 표면에 코팅된 전착물 피막 등에 의하여 철근부식의 원인이 되는 염화물이온의 침투를 억제한다. 또한, 전착공법의 특징은 아래와 같다.

- 1) 구조물을 사용하면서 보수가 가능하다.
- 2) 균열에 의한 손상 및 열화부분을 선택적으로 보수하기 때문에, 보수위치가 확실하지 않은 구조물에서도 적용 가능하다.
- 3) 전착물이 해수중의 콘크리트 표층부에 형성되어짐으로써, 투수저항성이 우수한 치밀한 콘크리트로 개질 가능하다.
- 4) 전착은 전원장치, 양극, 음극단자, 케이블 등의 간단한 설비로 시공가능하다.
- 5) 전착에 필요한 전원은 미약하기 때문에, 해상생물들에게 영향을 주지 않는다.
- 6) 다양한 구조물 형상에 적용가능하다.
- 7) 코팅된 전착물은 CaCO<sub>3</sub> 및 Mg(OH)<sub>2</sub>의 무기물질로 내구성이 매우 우수하다.

### 감사의 글

본 기사를 작성하는데 많은 자료와 도움을 주신 시코쿠종합연구소 토목기술부 수석연구원 M. Yokota 박사님께 감사드립니다. □

### 참고문헌

1. 류재석, "RC기둥 보수법의 전착공법으로써의 전착공법특성에 관한 연구", 일본콘크리트공학 연차 논문보고집, Vol.21, No. 2, 1999, pp.235~240.
2. 四國綜合研究所, 海中鐵筋コンクリート構造物のひび割れ補修技術(電着工法)の開発. 2000.

3. 山岸一彦, 岡本浩幸, 鋼製ケーソンの電着工法による防食, 土木學會第57回年次學術講演, 2000, pp.1165~1166.
4. Nikkei Construction, 2001, 02, pp.82~83.
5. 三井造船技報, 電着によるRC淺橋の漏水防止施設試験, 2003, pp.17~23.
6. コンクリートライブラリ107号, "電氣化學的飽食工法 設計施工指針(案)", 2001.
7. R. D. Browne, *Mechanisms of Corrosion of Steel in Concrete in Relation to Design*, American Concrete Institute, SP-65, 1980, 169pp.
8. 福手, 安部, 熊田, 久保, 宮崎, 佐々木, 波浪海域における鋼管杭の電着防食, 1990, 08.
9. (財沿岸開發技術センター運輸省港湾技術研究所, 鋼管杭の防食に関する研究, 鋼管杭協會, 1995, 04.

### 연구 모집 안내 ▶▶▶

「콘크리트학회지」는 콘크리트 관련 학문과 기술에 대한 정보를 제공하기 위해 발행되고 있습니다. 우리 학회지를 통해서 연구 결과, 경험한 사례 등을 콘크리트 관련 기술자들과 함께 나누시길 원하시는 분께서는 다음과 같은 형태로 참여하실 수 있습니다. 여러분의 옥고를 기다리겠습니다.

- 원고 주제 포토에세이(사진, 서예, 시 등), 논문, 특집, 기술기사, 공사기사, 문헌조사, 해외번역기사, 해외연구소 소개, 국제학술회의참가기, 현장탐방, 우리회사소개 등
- 원고 분량 4매 ~ 6매 내외(A4 용지 기준)
- 제출처 E-Mail : kke@kci.or.kr  
TEL : (02)568-5985