

염해환경하 철근콘크리트의 철근 부식 및 방지기법 연구

Research of Steel Corrosion and Corrosion Protection System for Reinforcing Steels in Concrete Exposed to Chloride Environments.

문 홍 식* 이 상 국* 송 호 진* 정 영 수**
Mun, Hong Sik Lee, Sang Kuk Song, Ho Jin Chung, Young Soo

ABSTRACT

Recent long-span bridges, such as Kwang-Ahn Grand bridge, Seo-Hae Grand Bridge, Young-Jong Grand Bridge, etc, have been designed and constructed near the shore. Thus, it needs to analyze the durability of marine concrete structures which are exposed to severe chloride environments. It is well known that corrosion of reinforcement steel in concrete is one of the major factors for the durability of concrete structures.

The objective of this experimental study is to investigate the performance of impressed current system and corrosion inhibitors for the corrosion protection of reinforced concrete structures. Concrete test specimens were made with various test parameters, such as cover depth, steel diameter, compressive strength, direction and frequency of notch. For the efficient evaluation of these corrosion protection systems, these tests have been carried out in the shore.

1. 서론

철근콘크리트 구조물은 인류의 편안한 삶을 위한 가장 중요한 사회기반시설중의 하나이며 오늘날 토목, 건축분야에서 가장 중요한 요소로서 인간의 안전한 생활과 밀접한 관계를 가지고 있다. 철근 콘크리트 구조물이나 프리스트레스트 콘크리트 구조물이 해양환경하에 장기간 노출되면 해수와의 화학적 작용에 의하여 콘크리트가 침식되어 콘크리트 중의 철근 및 PSC강재는 녹이 발생하기 쉬우며 한번 녹이 발생하게 되면 그 진행이 매우 빨라진다. 특히 한냉지에 있어서 동결융해와의 상승작용, 파도나 수압과 같은 물리적 작용과 감조구역에서 건조, 습윤반복의 영향을 받을 경우 콘크리트 구조물 내구성이 크게 저하되며 심한 경우에는 구조물이 파괴에 이르게 된다.

철근의 부식을 방지하기 위한 수단으로 국내의 경우에는 이에 대한 인식이 불투명하여 이에 관한 국

* 정회원, 중앙대학교 대학원 토목환경공학과

** 정회원, 중앙대학교 토목공학과 교수

내의 실험 연구도 거의 전무한 실정이며 특히, 실제 해양 환경하에 있는 콘크리트 구조물의 염해에 대한 연구자료가 미미할 뿐만 아니라 염해방지 대책에 대한 체계적이고 실험적인 연구성과를 찾아보기 어려운 실정이다. 해양환경하뿐 아니라 가혹조건에 노출된 콘크리트 구조물의 신뢰성 및 내구성에 대한 사회적인 관심이 높아지면서 이들 문제점을 해결하기 위한 연구가 절실히 요구된다.

본 연구는 최근들어 급증하고 있는 해양 환경하의 콘크리트 구조물에 대한 매입철근의 방식을 위한 기존 방청제품의 효능과 전기방식에 따른 매입철근의 부식을 억제 효과를 규명하는데 그 목적이 있다. 본 실험 연구는 해양의 극심한 부식환경하에 있는 철근콘크리트 시험체에 대한 철근부식정도를 평가하고 방청제 및 전기방식기법(Impressed Current Method)의 방식억제 효과를 분석하였다. 실제 부식 환경인 노출조건에 따른 실험들을 아산항 현장에 설치하여 방식기법별 방식억제 효율 및 노출조건에 따른 철근 부식도를 평가하였다.

2. 연구내용

2.1. 실험개요

항만 현장에서의 철근 부식실험의 목적은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫째는 실제 염해환경하에서 방식기법에 따른 철근부식 실험이 목적이며, 둘째는 구조물의 노출 부위별, 즉, 조수간만대(Tidal Zone), 비말대(Splash Zone) 및 대기중(Atmospheric Zone)에서의 철근부식에 대한 영향을 평가하기 위한 것이다. 이러한 실제 항만 노출시험의 가장 큰 장점은 실험실에서 재현할 수 없는 노출조건과 건습 반복 사이클을 극복할 수 있다는 점이며 실제 구조물에 가장 근접한 실험이라는 것이다. 또한 서해대교와 같은 중요한 해양구조물의 철근 부식에 대한 안전성을 직접적으로 파악하고 향후, 전기방식기법 및 철근의 부식방지 기술 검증에 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

본 현장실험의 주요 적용 방식기법인 방청제 및 전기방식실험은 국내 A사 제조 혼화제용 방청제와 Titanium Anode를 이용한 Impressed Current Method를 사용하였다. 현장 계측방법은 그림 1과 같은 Half-Cell Method와 더불어 전기방식시험체를 제외한 모든 시험체에 Current Method를 적용하여 Anode철근의 부식정도를 정성적으로 계측하였다. 기준전극으로 황산동전극(Copper/Copper Sulphate Electrode(CSE))을 사용하였다. 또한, 철근부식의 정량적 계측방법인 그림 2와 같은 Linear Polarization Method 등을 사용하여 철근의 부식속도 및 부식전류밀도를 측정하였다. 이들 측정결과는 적정 기간에 측정된 시험체의 Chloride성분과 비교하고, 부식실험 종료후 철근표면에 발생한 부식면적 및 무게변화등을 측정하고자 한다.

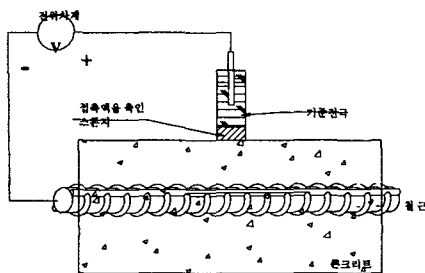


그림 2 Half-Cell Method 계측원리

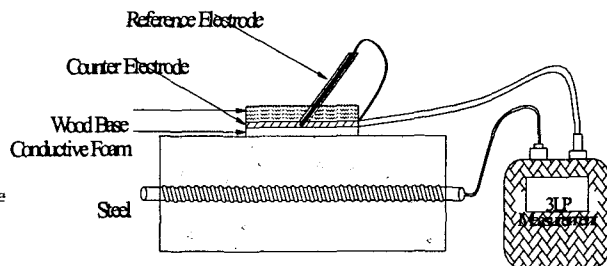


그림 3 3LP 계측모습

2.2 시험체 제작 및 부식환경

일반적으로 해양환경에서 철근의 부식에 가장 큰 영향을 미치는 곳은 조수간만대(Tidal Zone)와 비말대(Splash Zone)이다. 본 실험의 경우에는 해양환경 전체를 모델하기 위하여 각각의 조건 즉, 조수간만대, 비말대 및 대기중(Atmospheric Zone)에 각각 시편을 거치하여 철근의 부식정도를 파악하고 있다. 그림 3과 같은 현장시험체(700×150×200mm) 30개를 제작하여 항만현장에 그림 5와 같이 거치하였다. 특히, 극심한 현장노출 환경에 따른 큰 어려움으로 인식되었던 노출 철근의 부식방지를 위하여 제작시험체의 철근끝단을 1cm 이상의 특수 방수코팅으로 처리하여 이 문제점을 해결하였다. 모든 시험체의 철근부식 및 노출구간은 시험체 중앙 15cm이며 노출부위 이외의 부식인자에 대한 영향을 막기 위하여 그림 4와 같이 부식 노출구간을 제외한 모든면적에 방수코팅처리를 하였다.

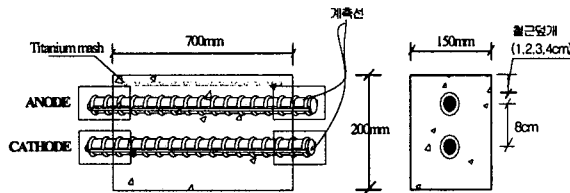


그림 4 현장시험체 형상도

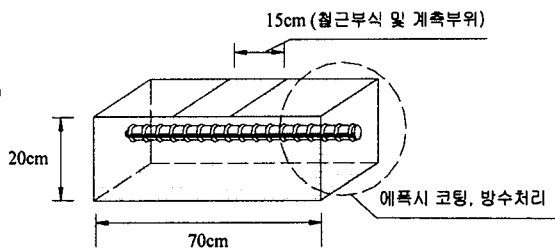


그림 5 철근 부식 및 노출구간 형상도

항만노출 시험체의 균열깊이 혹은 철근의 피복두께에 대한 영향을 심도 있게 검토하기 위하여 노치(Notch)에 의하여 균열의 깊이를 확보하였다. 방청제의 경우 그 사용이 증가하고 있는 국내 1개 제품에 대해서 실시하였다. 단 노치의 방향은 철근에 평행한 경우(종방향)와 횡단(횡방향)하는 경우로 구분하였다. 노치는 철근부식구간인 시험체 중심부에 15cm이다. 실험변수 및 시험체명은 표 1에 정리하였다

표 1 실험변수 및 시험체명

시험체명	수량	Notch 수	방식기법	Notch 깊이	철근덮개	철근직경	압축강도
NN-CD02-1,2,3 (기준시험체)	3	-	-	-	2cm	D19	280kg/cm ²
NO-NL01-1,2,3	3	종방향1	전기방식	0.5cm	2cm	D19	280kg/cm ²
NO-NT01-1,2,3	3	횡방향1		0.5cm	2cm	D19	280kg/cm ²
NO-NT03-1,2,3	3	횡방향3		0.5cm	2cm	D19	280kg/cm ²
NO-ZP01-1,2,3	3	종방향1	Zinc Spray	0.5cm	1cm	D19	280kg/cm ²
NO-ZP02-1,2,3	3	종방향1		0.5cm	2cm	D19	280kg/cm ²
NO-ZP03-1,2,3	3	종방향1		0.5cm	3cm	D19	280kg/cm ²
NO-ZP04-1,2,3	3	종방향1		0.5cm	4cm	D19	280kg/cm ²
NO-PHO01-1,2,3	3	종방향1	방청제	0.5cm	1cm	D19	280kg/cm ²
NO-PHO02-1,2,3	3	종방향1		0.5cm	2cm	D19	280kg/cm ²
계	30개						

* 기준시험체를 제외한 모든시험체는 폭 3mm, 깊이 0.5cm의 노치를 준다.

시험체명의 제 3분류는 노출 Zone을 나타낸다. -1 : Tidal Zone, -2 : Splash Zone, -3 : 대기중

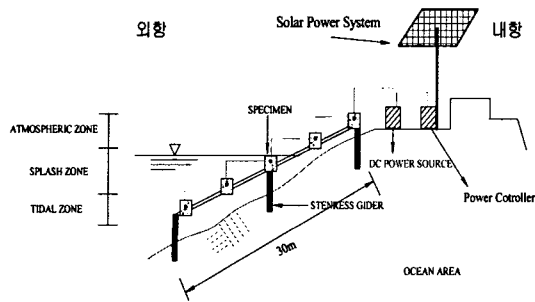


그림 6 현장시험체 거치조감도



그림 7 현장 태양발전 전원공급장치

그림 5 및 그림 6은 전기방식시험체의 방식전류 공급을 위하여 방파제현장에 태양발전장치 및 전기방식조절장치를 설치한 모습이다. 콘크리트의 철근을 전기방식할 때 유의하여야 할 점은 방식 전위를 적절히 유지하는 것이다. 통상 콘크리트 전기방식에서는 5~20 mA/m² 정도의 전류밀도를 필요로 하며 초기에는 보통 10mA/m²를 통전시키고 있다. 철근의 방식전위는 NACE STANDARD RP0290-90에서 제시한 100mV의 복극이 될 때를 기준으로 하였다. 전압강하량(IR drop)를 고려하여 전원 차단 후 4시간까지의 복극량이 100~150mV 정도이면 방식효과를 얻을 수 있다고 하겠다. 본 연구에서는 초기 3차례의 조정으로 10mA/m²의 전류밀도를 공급하여 복극량을 산정하였다. 그림 7 및 8은 방식전류 10mA/m²에 대한 복극량 156mV 측정결과를 보여주고 있다.

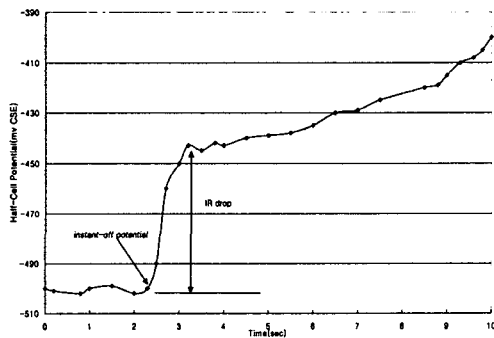


그림 8 전압강하량 측정

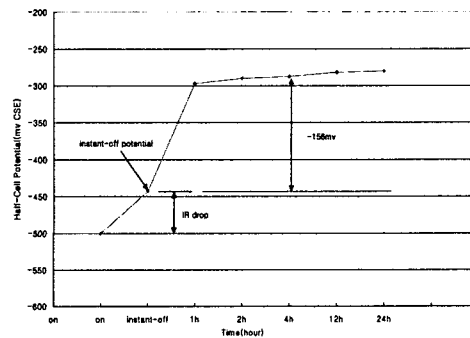


그림 8 복극량 측정

3. 연구수행결과

현장시험체 3LP Method, Half-Cell Method 및 Current Method 측정방법을 사용하였다. 현장시험체는 실제 구조물과 같은 극심한 부식환경에 노출되어 있으므로 실질적인 결과도출을 기대하고 있다. 부식측정 주기는 거치후 1달간은 1주단위로 이후에는 2주단위로 수행하였다.

그림 9~12는 Half-Cell Method에 의한 계측결과를 보여주고 있다. 그림 9 기준시험체의 노출조건별 측정결과를 보면 200일 이후 Tidal Zone 시험체의 전위가 -400mV를 보이고 있어 부식영역에 놓여 있음을 보여주고 있다. 실제 Splash Zone이 Tidal Zone 보다 높은 부식환경에 있으나 본 실험환경에서

는 Zone별 부식환경이 큰 차이를 보이지 않아 이와 같은 결과를 보이는 것으로 판단된다. 그림 10에 나타나듯이 전기방식시험체는 아직까지 부식에 의한 영향이 나타나지 않고 있어 전기방식에 의한 부식억제 효과를 꾸준히 발휘하고 있는 것으로 사료된다. 반면, 그림 11에 보여주듯이 Tidal Zone에 위치한 철근 덮개 1cm 방청제시험체의 부식 Potential이 계속 190일 이후부터 -500mV 이하로 낮아져 매우 활발한 부식영역에 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 Tidal Zone에 위치한 각 실험변수별 측정 결과를 정리한 그림 12에서도 분명하게 나타내고 있다.

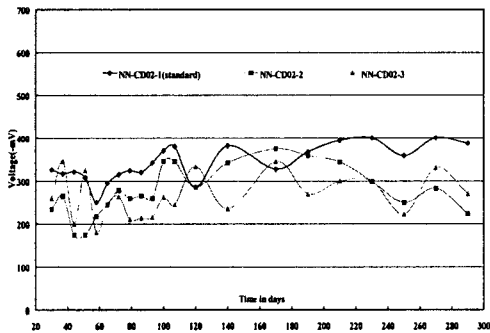


그림 10 기준시험체 Corrosion Potential

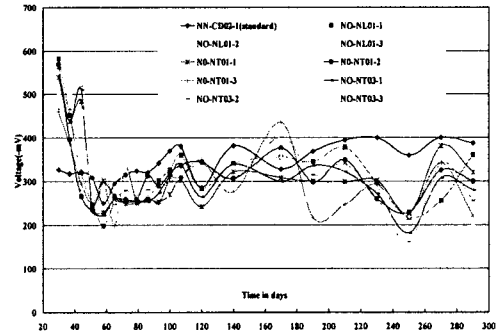


그림 11 전기방식시험체 Corrosion Potential

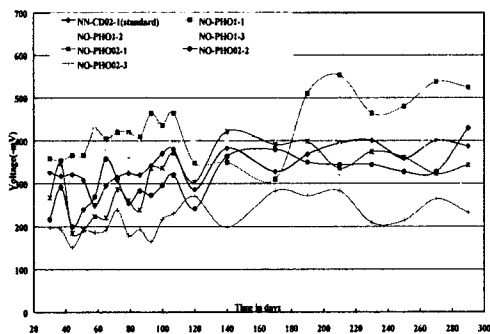


그림 12 방청제시험체 Corrosion Potential

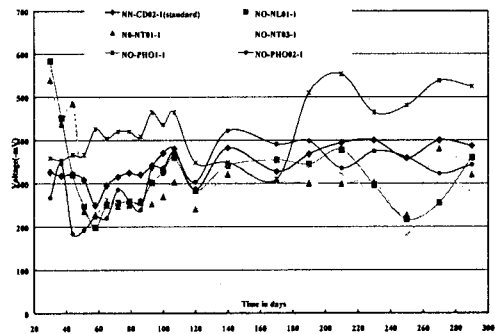


그림 13 Corrosion Potential of Tidal Zone

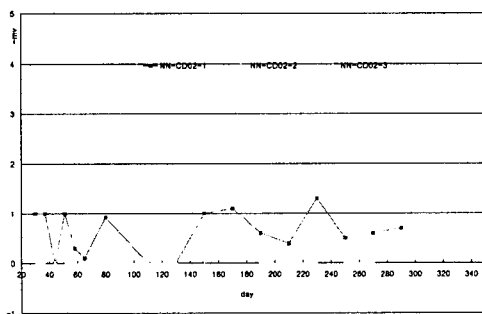


그림 14 기준시험체 자연전위차(mV)

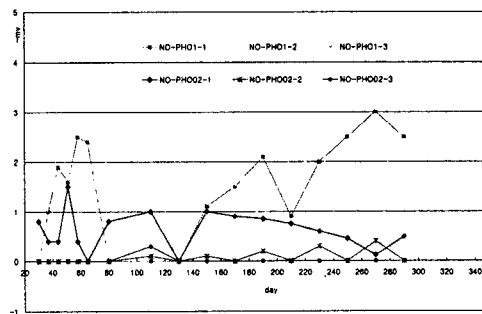


그림 15 방청제시험체 자연전위차(mV)

그림 13, 14는 기준시험체 및 방청제시험체에 대한 Anode와 Cathod 철근간의 자연 전위차를 보여주고 있다. Anode 철근의 부식상태를 나타내는 자연전위차는 조수간만대, 비말대, 대기중 순으로 높게 나타났으며 방청제를 상용한 경우에도 철근뒀개가 작고 높은 부식환경에 놓일수록 Cathod 철근에 대한 Anode 철근의 부식전위차는 크게 나타났다. 이러한 측정결과는 기준전극측정법인 Half-Cell 측정결과와 일치하며 다른 측정방법인 3LP 부식전류 그래프와도 일치하고 있다.

4. 결론

본 연구는 실제 염해환경하 구조물에 대한 실험적인 연구결과로서 현재 300일 정도의 측정이 이루어졌다. 지금까지의 해양 노출조건에 따른 철근부식도와 방식기법별 부식억제효과를 평가하여 검토한 주요내용은 다음과 같다.

- 1) 건습반복이 활발한 비말대와 조수간만대에 노출된 경우 매입철근의 부식 속도 및 피해가 가장 빠르고 위험한 것으로 나타났다.
- 2) 그림 10에 나타나듯이 전기방식시험체는 초기부터 지금까지 $-200 \sim -380\text{mV}$ 를 유지하고 있다. 이는 실제 해양환경하에서도 외부전원법에 의한 전기방식기법이 철근 부식억제에 효과적임을 보여주고 있다.
- 3) 그림 11, 12에 보여지듯이 극심한 부식환경에 노출된 철근뒀개 1cm 방청제시험체의 경우 일부 철근부식 억제 효과를 발휘하지 못하고 있다. 따라서 방청제 사용시 안정된 철근뒀개의 확보와 그 효과에 대한 적절한 검증이 필요하다고 사료된다.

이상의 연구결과는 실제 해양환경의 여러 조건을 고려할 때 최종적인 결과라 할 수 없다. 따라서 실제 부식환경에 대한 분석 및 지속적인 평가를 장기적으로 수행할 예정이며 향후 염해환경하의 철근콘크리트 구조물의 적절한 방식기법 및 활용성을 제시할 수 있으리라 생각된다.

감사의 글

본 연구는 한국표준과학연구원 공동연구로 진행되고 있으며, 과학기술부 과제인 “인위재해방재기술개발사업”(과제번호 98-ND-03-04-A-01)의 일환으로 수행되고 있습니다. 이 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] 정영수, “방식제를 사용한 철근 콘크리트의 철근 부식에 관한 실험적 연구”, 콘크리트학회지, 1997년 12월호
- [2] 정영수, “철근 콘크리트 시험편의 철근방식에 관한 측정법”, 한국콘크리트학회 논문집. 제 9권 제2호, 1997.11, pp281-286
- [3] Peter H. Emmons, “Concrete Reinforcement Corrosion”, (Training Course Notes of Colebrand/UK)
- [4] 이종득, “철근부식진단”, 일광, 1996.
- [5] 이의호 외 3인, “부식과 방식의 원리”, 동화기술, 1999.