

부식촉진에 의한 해양·항만 철근 콘크리트 구조물의 철근 방식에 관한 실험적 연구

Rapid Corrosion Test on Marine Reinforcing Steel

정근성* 문홍식** 송호진* 이상국* 정영수***
Jung, Keun Sung Mun, Hong Sik Song, Ho Jin Lee, Sang Kuk Chung, Young Soo

ABSTRACT

Recently 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. It needs to maintain the durability of marine concrete structures which are exposed to severe chloride environments. It is well known that corrosion of reinforcement steels in concrete structure is the most important cause for the durability of concrete structure which can be controlled by systematic preparatory corrosion protection works for economic and safe infrastructures. Various corrosion protection systems have been used for the corrosion protection of reinforcement steels from detrimental chemical components such as chloride, sulphate and etc. Since chloride can be penetrated into concrete in a variety way, an effective method has to be adopted by taking into full economical aspects and technical data of each protection system.

The objective of this experimental study is to investigate the corrosion behavior of reinforcing steel in laboratory concrete specimens which are exposed to cyclic wet and dry saltwater, and then to develop pertinent corrosion protection system, such as corrosion inhibitors and cathodic protection for reinforced concrete bridges exposed to chloride environment.

Resistance of various corrosion inhibitors and impressed current system have been experimentally evaluated under severe environmental conditions, and thus effective corrosion protection systems could have been practically developed for future concrete construction.

1 서론

최근 서해안 개발 및 해안 개발에 따른 각종 사회기반시설이 확충 시공되고 있다. 즉 서해안 고속도로, 영종도 신공항, 평택항등 각종 사회기반시설이 해안에 인접하여 시공되고 있는 실정이다. 본 연구는 이에 대한 방지대책 수립 및 각종의 철근 방식기법의 시공성 및 활용성 제시를 목적으로 하고 있다. 아직까지 국내에선 염해 환경에 따른 적절한 철근 콘크리트 방식 기법을 제시하지 못하고 있는 실정이다. 이 실험은 방식기법들의 실제구조물에 대한 장기 철근부식 억제효과를 검증하기 위하여 실내 촉진 및 비촉진실험과 현장 실험을 바탕으로 실제 해안환경과 동일한 부식 환경을 조성하여 침투성도포제, 방청제, 전기방식기법 등을 적용한 장기부식 시험체의 철근 부식억제 효과를 실내에서 평가하였다.

* 정회원 중앙대학교 대학원 토목환경공학과 석사과정
** 정회원 중앙대학교 대학원 토목환경공학과 석사
*** 정회원 중앙대학교 건설대학 토목공학과 교수

2. 실험 내용

시험체는 표1과 같이 철근 D19, 압축강도 240kg/cm², 철근 덮개 1cm의 고정변수로 제작되었으며 다양한 방식성능을 알아보기 위하여 기준시험체, 방청제(3종류), 전기방식 기법을 적용하였다. 방청제는 3가지의 방청제를 사용하여 방청제의 효과를 알아보고 있다. 전기방식기법은 티타늄 메쉬를 직류전원의 (+)극 철근을 직류전원의 (-)극에 연결하여 강제적으로 철근의 전위를 부식이 일어나지 않는 범위로 떨어뜨리는 외부전원법을 사용하였다. 제작된 시험체의 변수 및 시험체명은 표 1과 같다.

부식 촉진 시험체는 철근부식의 빠른 결과도출을 위하여 전기방식기법을 역이용하여 부식성이 적은 스테인리스강을 직류전원의 (-)극에 부식성이 큰 철근을 직류전원의 (+)극에 연결하여 2.5V 전압을 강제 인가하여 철근의 부식을 촉진하고 있다. 2.5V의 전압에서 초기 부식이 발생하여 60일까지는 2.5V 그 이후는 전압을 0.8V로 하향 조정하여 실험을 진행시켰다.

표 1 실험변수 및 시험체명

시험체명	방식공법		수량	비고	
RE - AC - 1,2,3	기준 시험체	촉진	3	④방청제	
RE - NAC - 1,2,3		비촉진	3		
FER903 - AC - 1,2,3	방청제	도포제	촉진		3
FER903 - NAC - 1,2,3			비촉진		3
FER - AC - 1,2,3		혼화제	촉진		3
FER - NAC - 1,2,3			비촉진		3
PHO - AC - 1,2,3			촉진		3
PHO - NAC - 1,2,3			비촉진		3
DCI - AC - 1,2,3	전기방식	촉진	3		③방청제
DCI - NAC - 1,2,3		비촉진	3		
ICS - 1,2,3			3		
계	※ 동일조건 압축강도: 240(kgf/cm ²) 철근직경: D19 철근덮개: 1cm		33		

시험체는 그림 1과 같이 150×300×150mm 크기로 제작하였고 계측의 정확성을 위해 매입된 철근에서 가장 가까운 중앙 부분에 계측공을 설치하여 부식전위(-mV) 측정을 하였다. 설계기준강도는 240kg f/cm² 으로 타설된 시험체에 대한 배합비는 표 2와 같다.

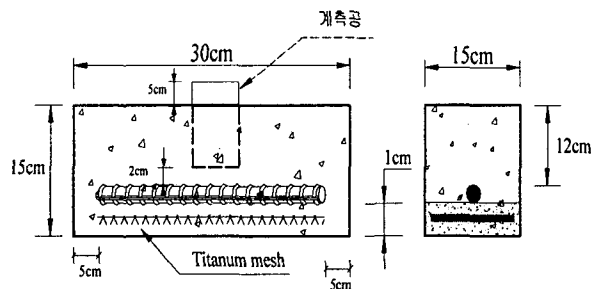


그림 1 장기 부식시험체 형상도

표 2 장기 부식시험체의 콘크리트 배합표

설계강도 (240kgf/cm ²)	Water (kg)	Cement (kg)	W/C (%)	Aggregate(kgf)		A.E. (%)	S/a (%)	Air (%)
				Coarse	Fine			
240	172	350	0.49	1007	803	1.0	45	3.0±0.5

시험체들은 그림 2와 같이 장기 부식 실험틀을 제작하여 해수중, 비말대, 대기중의 노출조건으로 구분하여 거치하였다. 이 실험틀은 실제 항만 노출조건과 같은 부식환경을 실내에 묘사한 것으로 장기 부식실험과 부식촉진 실험을 위한 2기로 구성되어 있고 실험에 사용된 해수는 표 3의 조성표와 같은 인공해수를 적용하였다.

표 3 인공해수의 화학적 조성(ASTM D1141에 대한) (g/l)

NaCl	MgCl ₂ ·6H ₂ O	Na ₂ SO ₄	CaCl ₂	KCl
24.53	ASTM11.1	4.09	1.16	0.695

해수중 시험체는 항상 인공해수에 잠겨 있으며 비말대 시험체는 12시간 건조·습윤을 반복하기 위하여 자동수위 조절장치를 설치하여 해양의 비말대 노출환경을 적용하였다. 그림 2는 자동수위 조절장치에 의한 장기 부식실험틀의 원리를 보여주며 사진 1은 실제 장기 부식실험틀에 거치된 시험체의 모습을 보여주고 있다.

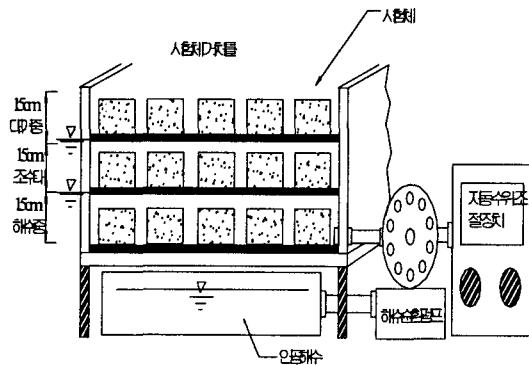


그림 2 장기 부식실험틀 형상도

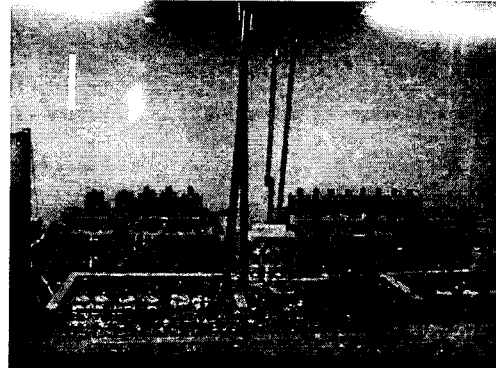


사진 1 시험체 거치 모습

3 실험결과

본 실험은 황산구리동 기준전극을 이용한 Half-Cell 자연전위 측정방법을 이용하여 철근 부식도를 평가하였다. 시험체 제작 및 장기부식 시험틀 제작에 많은 시간이 소요되어 현재 4개월간의 측정이 이루어지고 있다. 촉진시험체는 전류의 영향으로 해수중의 시험체는 부식의 확실한 결과가 보이고 비말대, 대기중의 시험체도 부식의 조짐이 보이고 있다. 비촉진 시험체는 시험체의 노출환경에 따른 부식전위의 차이가 보이고 있어 향후 좋은 결과 도출을 기대하고 있다.

3.1 무방식 시험체

그림 3은 무방식 촉진 및 비촉진 시험체의 부식전위(-mV)값을 보여주고 있다. 촉진시험체는 초기 부식촉진을 위하여 2.5V의 촉진전압을 인가하였다. 해수중 시험체가 40일 시점에서 부식이 발생하였다. 이는 항상 부식회로도가 형성되어 12시간 주기로 건습반복되는 비말대 시험체보다 빠른 촉진이 이루어진 결과로 판단된다. 계속 60일 이후부터는 촉진 전압을 0.8V로 낮추었다. 비촉진 해수중 시험체는 계속 70일 시점에서 부식이 관찰되고 있다. 비말대 노출조건 보다 해수중이 더 빠른 부식발생을 보이는 것은 낮은 수위로 인해 산소공급과 염분침투가 활발히 이루어지는 노출환경으로 인한 요인으로 판단된다.

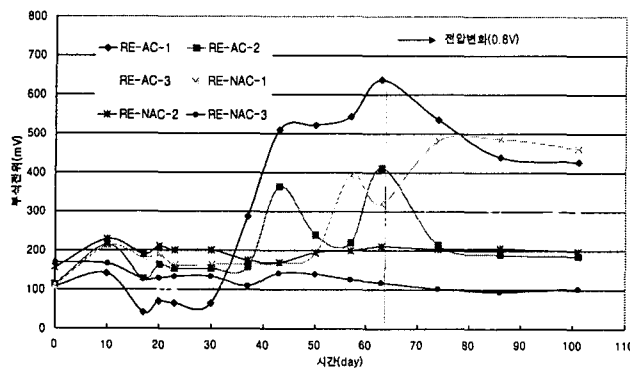


그림 3 무방식 시험체

3.2 도포제 시험체

그림 4는 침투성 도포제를 적용한 촉진 및 비촉진 시험체의 부식전위를 계측한 값이다. 촉진 시험체의 경우 50일, 비촉진 해수중 시험체는 70일에 부식발생이 관찰되었다. 이는 무방식 시험체와 비교해서 거의 같은 결과를 나타내고 있다. 철근부식인자의 침투를 막기위해 콘크리트 표면에 도포용 방청제를 사용하였으나 효과를 발휘하지 못하고 있다. 촉진시험체의 촉진 전압강하 후 다소 낮아지는 경향을 보이나 비촉진 시험체와 더불어 확실한 부식영역을 나타내고 있다. 대기중 시험체는 아직까진 -200mV 이상의 안정된 영역을 나타내고 있다.

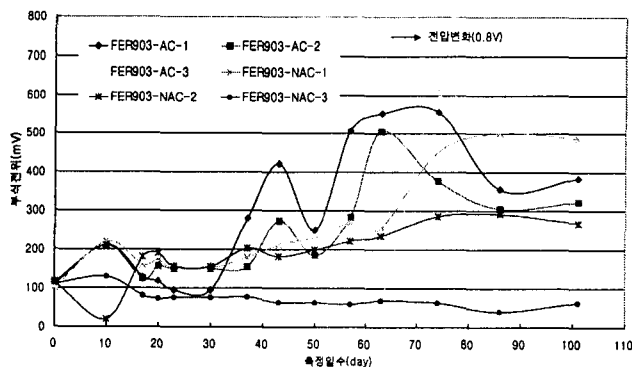


그림 4 도포제 시험체

3.3 방청제 시험체

그림 5 및 6은 방청제 종류(A,B,C)별 촉진 시험체와 비촉진 시험체의 철근 부식전위를 보여주고 있다. 촉진시험체는 2.5V 인가시 50일을 기점으로 부식발생 가능성을 나타내고 있다. A방청제가 시험체가 가장 높은 부식전위를 보이고 있으며 0.8V 전압강하시 부식 전위는 현저하게 낮아졌으나 A,C방청제 시험체는 여전히 높은 계측값을 보이고 있다. 비촉진 시험체는 노출조건에 침지 시킨후 부식전위를 관찰하고 있다. 부식방지를 위해 방청제를 사용하였음에도 불구하고 A방청제 시험체는 50일, C방청제 시험체는 80일에서 부식발생을 보이고 있다. 이는 전압인가에 의한 촉진실험과 유사한 결론을 보이고 있어 촉진실험에 의한 조기 결론 도출이 성과를 보이고 있음을 말해주고 있다.

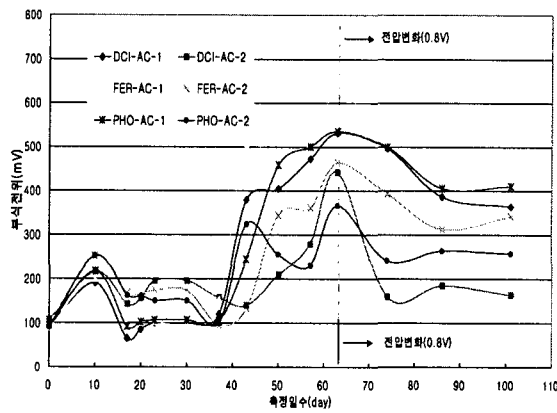


그림 5 방청제 시험체(촉진)

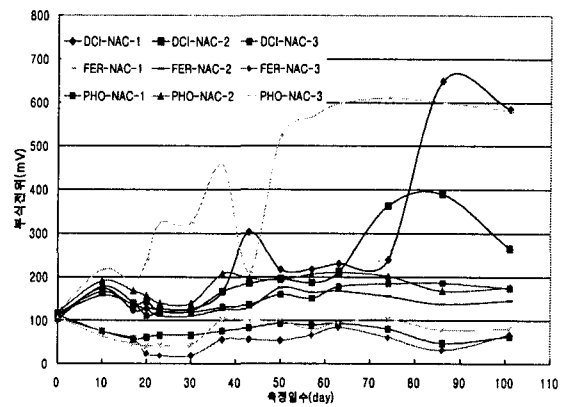


그림 6 방청제 시험체(비촉진)

3.4 전기방식 시험체

그림 7은 전기방식 시험체의 부식전위값을 보여주고 있다. 시험체와 비교하여 노출조건에 따른 차이가 없음을 알 수 있다. 이는 외부전원법에 의한 방식전류의 공급으로 매일철근의 부식전위를 일정하게 유지시켜 주고 있음을 나타내고 있다. 이 실험의 여러 가지 방식기법 중 가장 확실한 방식효과를 보여주고 있다.

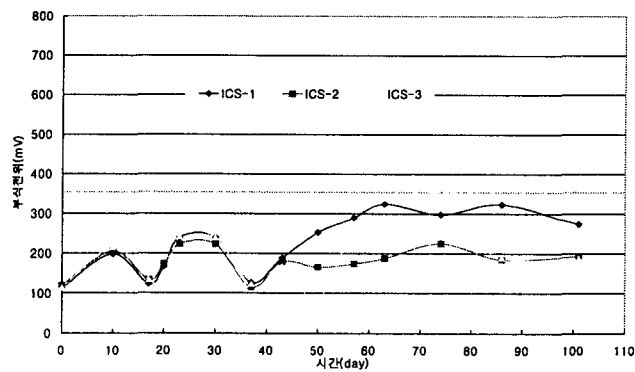


그림 7 전기방식 시험체

4. 결론

본 연구는 실제 염해환경하와 같은 조건의 실내 실험 연구결과로서 현재 120일 정도의 계측이 이루어졌다. 각 시험체별 데이터를 비교해 볼 때 대기조건에서의 방청제가 크게 효과가 있음을 알 수 있었지만 해수중이나 비말대 조건에서는 크게 효과를 발휘하지 못함을 알 수 있었다. 이와같은 결과는 방청제등이 해수를 초기에 접했을 때 부식전위에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 지금까지의 실내 실험에 따른 철근부식도와 방식기법별 부식억제효과를 평가하여 검토한 주요 내용은 다음과 같다.

- 1) 건습반복이 활발한 비말대와 조수간만대의 조건의 실험체의 경우 매입철근의 부식 속도 및 피해가 가장 빠르고 위험한 것으로 나타났다.
- 2) 그림6에 보여지듯이 ㉠방청제는 계측시점 50일 이후, ㉡방청제는 80일 이후에 부식 발생이 판단되어 지나 반면 ㉢방청제는 아직까지 철근부식억제 효과를 발휘하고 있는 것으로 사료된다. 따라서 방청제 사용시 그 효과에 대한 적절한 검증이 필요하다고 생각된다.
- 3) 그림 7에 나타나듯이 전기방식 시험체는 초기부터 지금까지 $-100 \sim -300\text{mV}$ 를 유지하고 있다. 이는 외부전원법에 의한 전기방식기법이 철근 부식억제에 효과적임을 보여주고 있다.

감사의 글

본 연구는 2000년 중앙대학교의 교내연구기자재 지원사업 및 과학기술부 과제인 "인위재해방재기술 개발사업"(과제번호 98-ND-03-04-A-01)의 지원을 받아 수행되고 있습니다. 이 지원에 감사드립니다.

참고문헌

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 제 2호, 1997.11, pp. 281-286.
3. 이종득, "철근부식진단", 일광, 1996.
4. 이의호 외 3인, "부식과 방식의 원리", 동화기술, 1999.
5. Donald W, Pfeifer J. Robert Landgren and Alexander Zoob, "Protective Systems for New Prestressed and Substructure Concrete", 1987.4.
6. Peter H.Emmons, "Corrosion Reinforcement Corrosion", (Training Course Notes of Colebrand/UK).