

# 해양 콘크리트 구조물의 철근방식 기법에 관한 실험연구

## Corrosion Protection Systems on Reinforcement Steel in Marine Concrete Structures

한기훈\*  
Han, Gi Hoon

장지원\*\*  
Jang, Ji Won

이강균\*\*\*  
Lee, Gang Gyun

정영수\*\*\*\*  
Chung, Young Soo

---

### Abstract

Marine concrete structures have been exposed to salt from ocean environments. Chloride-penetration into marine concrete structures should accelerate the corrosion of reinforcement steel, which may severely affect the durability of them. Major concerns are to develop durable concrete for high corrosion resistance of reinforcing steel embedded in concrete. The objective of this experimental study is to investigate adequate usage of corrosion inhibitors by evaluating corrosion level in 80 specimen located in the labatory and in the site. 80 specimen of cube  $20 \times 20 \times 11.5$  and 63 specimen of slab  $30 \times 30 \times 10$  are made for this study.

---

### 1. 서 론

본 연구는 해안·해양 콘크리트 구조물에 매입되는 철근의 내부식성능을 향상시키기 위하여 개발된 각종 철근방식 재료의 성능을 평가하면서 적절한 철근방식 기법을 개발하는 것이다. 따라서, 본 연구의 제1과제서는 보 시험체에 대한 해수간헐침투되는 자연환경을 Simulation하기 위하여 Timer가 설치된 실험틀 2기를 특수설계·제작하여 각종 철근방식제를 혼합하여 제작한 시험체 72개를 실험틀에 거치하여 6% 염농액과 담수를 각각 시험체에 순환·분무시키면서 매 12시간마다 건조·습윤상태를 반복시킴과 동시에 대기중에 방치된 시험체에 대한 방식실험, 현장실험을 위하여 8개의 시험체를 항만에 거치시켜서 실내실험과 비교한다. 한편, 제2과제에서는 Slab 시험체에 대한 63개의 시험체를

---

\* 중앙대학교 토목공학과 대학원

\*\* 계면공학 연구소 연구실장

\*\*\* 중앙대학교 토목공학과 대학원

\*\*\*\* 중앙대학교 토목공학과 교수

방식제의 적정농도의 변화값에 대해 6% 염농액과 담수에 침수시킴과 동시에 기건양생 시험체의 철근 부식 측정값의 변화를 조사·분석한다.

본 연구를 통하여 예측된 측정값의 변화를 통해 해안·해양 콘크리트 구조물의 노후화의 원인 및 균열에 대한 분석을 하였고, 철근의 부식 Mechanism 및 부식측정 방법에 대하여 상세기술 및 연구를 위한 시험편의 배합, 부식측정결과들에 대한 분석에 있어서 관련한 문제점 및 추후 연구과제 등을 기술하고자 한다.

## 2. 연구수행내용

본 연구는 시험체의 대기상황, 해수상황, 담수상황 및 농도변화의 조건에 대한 각각의 시험체의 부식에 대한 거동을 파악하기 위하여 제1과제와 제2과제로 실험을 2회로 구분하여 수행하였다.

### 2.1 제1과제 실험

#### 2.1.1 배합실험

실험에 필요한 시험체는 총 8배치(1배치당 시험체 10개)로서 총 시험체는 80개를 제작하였으며, 제1과제에서 사용된 방식제는 6종류로서 실리카 흙, G社의 DCI, M社의 2000, S社의 901이었다. 사용된 굵은 골재는 경기도 안성지역의 쇄석골재(13mm)를, 잔골재는 일반 건조잔골재에 해사의 효과를 얻기위해 시방서 규정에 근거하여 절대건조 잔골재량에 0.1%의 NaCl을 혼합시켜 사용하였으며, 사용된 Cement는 동양시멘트 제품을 사용하였고 실리카흙은 A社의 CSF-90을 사용하였다. 사용된 시험체의 명칭 및 시험체의 조건별, 종류별 개수는 표 1과 같으며 배합비는 표 6과 같다.

표 1 제1과제 시험체의 명칭 및 조건, 종류

번호	방식제	Test Solutions			
		Air Conditions	Water Conditions	NaCl Conditions	항만거치용
1	무처리	B-NS] (3개)	B-NS-W (3개)	B-NS-N (3개)	B-NS-S (1개)
2	실리카흙	B-SF (3개)	B-SF-W (3개)	B-SF-N (3개)	B-SF-S (1개)
3	G社 DCI	B-GR (3개)	B-GR-W (3개)	B-GR-N (3개)	B-GR-S (1개)
4	S社 901 (mixing)	B-SK/M (3개)	B-SK/M-W (3개)	B-SK/M-N (3개)	B-SK/MS-S (1개)
5	M社 2000 (mixing)	B-MC/M (3개)	B-MC/M-W (3개)	B-MC/M-N (3개)	B-MC/M-S (1개)
6	M社 2020 (도포형) (28일 양생후)	B-MC/P (3개)	B-MC/P-W (3개)	B-MC/P-N (3개)	B-MC/P-S (1개)
7	S社 903 (도포형) (28일 양생후)	B-SK/P (3개)	B-SK/P-W (3개)	B-SK/P-N (3개)	B-SK/P-S (1개)
8	고강도	B-HS (3개)	B-HS-W (3개)	B-HS-N (3개)	B-HS-S (1개)

※ 주: 시멘트 비중-3.15    잔골재 비중-2.6    굵은골재 비중-2.64    실리카흙 비중-2.20

표 2 각 방청제의 적정사용량

	G社 DCI	M社 2000	S社 901
첨가량	3 ℓ/m <sup>3</sup>	0.7 ℓ/m <sup>3</sup>	시멘트량의 1.5%~3%
비중	1.3	1.14~1.24	1.05

표 3 매입철근의 규격

철근의 재원 규정	단위중량 (kg/m)	공칭지름 (mm)	공칭단면적 (cm <sup>2</sup> )	공칭둘레 (cm)
D13 (KS D 3504)	0.995	12.7	1.267	4.0
No.4 ASTM	0.994	12.7	1.29	

표 4 제1과제 실험용 배합비

방식제 종류	W/C (%)	공기량 (%)	슬럼프 (cm)	단위량 (kg/m <sup>3</sup> )						
				물	시멘트	잔골재	굵은골재	NaCl 잔골재 (1%)	혼화재료	
									방식제	AE 감수제 (C×0.3%)
무처리	60	6	16	185	308	792.2	975.7	0.79	—	0.93 (C×0.3%)
실리카흙	60	9	17	185	262	784.8	966.6	0.78	실리카흙 46.25 (C×15%)	0.93 (C×0.3%)
G社 DCI	60	5.4	19	185	308	792.2	975.7	0.79	3 ℓ/m <sup>3</sup>	0.93 (C×0.3%)
M社 2000 (mixing)	60	9	20	185	310	792.2	975.7	0.79	1 ℓ/m <sup>3</sup>	0.93 (C×0.3%)
M社 2020 (도포형)	60	6.6	16	185	310	792.2	975.7	0.79	—	0.93 (C×0.3%)
S社 901 (mixing)	60	4.4	20	185	310	792.2	975.7	0.79	6.16 (C×2%)	0.93 (C×0.3%)
S社 903 (도포형)	60	6.6	16	185	310	792.2	975.7	0.79	—	0.93 (C×0.3%)
고강도	38	2.1	19	180	426	680.5	946.9	0.68	실리카흙 47.37	고성능감수제 7.11 (B×1.5%)

2.1.2 부식도 측정 실험개요

콘크리트에 묻힌 철근의 부식은 콘크리트 구조물의 내구성을 저하시키는 주요 열화현상의 하나이다. 또한, 콘크리트에 매입된 철근은 수산화 산화철의 형성에 따른 미세한 부동태 피막은 추가적인 부식을 억제하는 기능이 있어 일반적으로 콘크리트내의 철근은 부식이 발생하지 않는다. 그러나 콘크리트내 염소이온이 존재하거나, 농도가 증가하게 되면 이 부동태 피막은 파괴되어 철재의 부식이 촉진된다. 이때 한계 염소이온 농도, 즉 부식 임계값에 대해서는 논란이 많으나, 콘크리트 중량비로 염소이온 농도가 0.45 kg/m<sup>3</sup> 이상이 되면 부식이 발생할 확률이 급격히 증가한다는 연구결과가 있다. 본 연구에서는 염해로부터 철근방식대책에 대한 외국에서의 개발실적과 실용화 단계에 있는 연구결과를 참조하여 전위차를 이용한 매입철근의 내부식성능을 평가하였다.

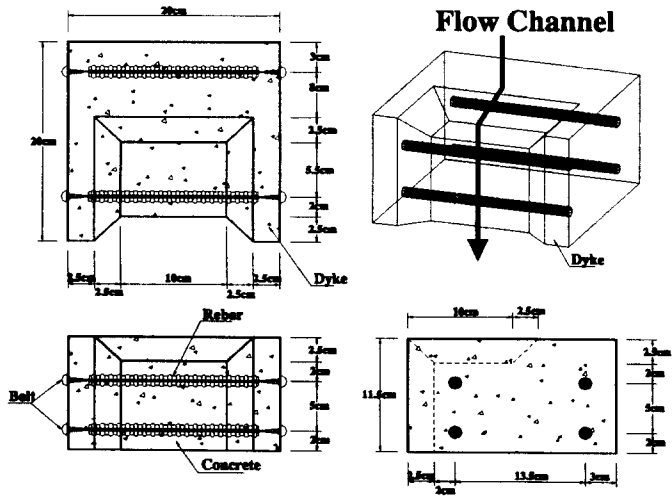


그림 1 제1과제 보 형태의 시험체

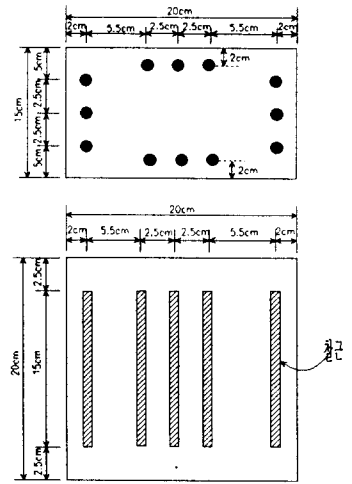


그림 2 제1과제 항만거치용 시험체

본 실험에 사용된 실험틀은 실험틀 위에 시험체를 올려놓고, 시험체에 접촉시킨 물흐름장치에 의해 차례대로 시험체위에 해수가 떨어져 윗류하게끔 만들고, 바닥에 놓인 집수정으로 모인 해수는 pumping되어 다시 위로 올라가서 계속해서 circulation되며, Timer에 의해 해수가 순환되는 시간을 조절할 수 있게끔 특수제작하였다. 또한, 각 시험체에서 나오는 2종의 전선을 TDS-601 장치에 각각 연결하여 일정한 interval을 주어 그 때마다 check 되는 전위차를 측정하여 시험체에 매입된 철근의 내부식성능을 check하였다. 실험틀의 개략도는 그림 3과 같다.

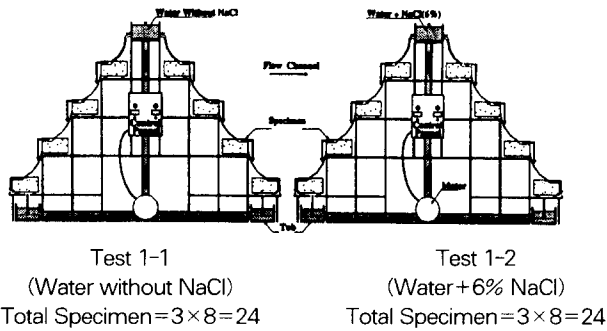


그림 3 제1과제 시험체 및 실험틀의 개략도 (실내실험)



사진 1 시험체가 거치된 실험틀

## 2.2 제2과제 실험

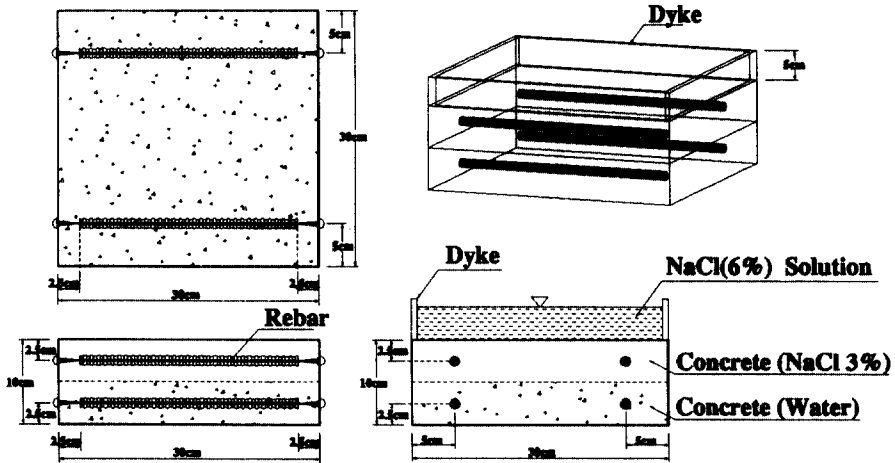
### 2.2.1 배합실험

실험에 필요한 시험체는 총 7배치(1배치당 시험체 9)로서 총 시험체는 63개를 제작하였으며, 제2과제에서 사용된 방식제는 2종류로서 G社의 DCI와 S社의 901이다. 각각의 방식제에 대하여 적정사용량에 대하여 사용량의 변화에 따른 부식거동을 파악하기 위하여 적정사용량과  $\frac{1}{2}$ , 2배를 사용하여 부식전류를 측정하였다. 사용된 골재는 제1과제에서 사용된 골재와 같은 종류를 사용하였다. 시험체의 명칭 및 시험체의 조건별, 종류별 개수는 표 5과 같으며 배합비는 표 6과 같다.

표 5 제2과제 시험체의 명칭 및 조건, 종류

번호	방식재	Test Solutions		
		Air Conditions	Water Conditions	NaCl Conditions
1	무처리	S-NS (3개)	S-NS-W (3개)	S-NS-N (3개)
2	G社 DCI (적정사용량의 1/2 배)	S-GR (3개)	S-GR-W (3개)	S-GR-N (3개)
3	G社 DCI (적정사용량)	S-GR' (3개)	S-GR-W' (3개)	S-GR-N' (3개)
4	G社 DCI (적정사용량의 2배)	S-GR'' (3개)	S-GR-W'' (3개)	S-GR-N'' (3개)
5	S社 901 (적정사용량의 1/2 배)	S-SK/M (3개)	S-SK/M-W (3개)	S-SK/M-N (3개)
6	S社 901 (적정사용량)	S-SK/M' (3개)	S-SK/M-W' (3개)	S-SK/M-N' (3개)
7	S社 901 (적정사용량의 2배)	S-SK/M'' (3개)	S-SK/M-W'' (3개)	S-SK/M-N'' (3개)

그림 4 실험2 슬래브 형태의 시험체 (Ponding Type)



### 2.2.2 부식도 측정 실험개요

본 실험에서는 슬래브 형태의 시험체에 상부가 이미 염분침투가 진행된 상태를 simulation하기 위하여 물량에 대한 3%의 NaCl를 첨가하여 배합하였고 하부는 해사사용효과를 위하여 잔골재 사용량의 0.1%의 NaCl를 첨가하여 배합하였다. 양생된 시험체는 실험틀 위에 올려놓고, 시험체의 사면에 접착시킨 아크릴 판에 6%의 NaCl용액을 담수시켜 각 시험체에서 나오는 2종의 전선을 TDS-601 장치에 각각 연결하여 check 되는 전위차를 측정하여 시험체에 매입된 철근의 내부식성능을 check하였다. 실험틀의 개략도는 그림 5과 같다.

표 6 제2과제 실험용 배합비

방식재 종류	W/C (%)	공기량 (%)	슬럼프 (cm)	단위량 (kg/m <sup>3</sup> )					혼화재료	
				물	시멘트	잔골재	굵은골재	NaCl (%)	방식재	AE 감수제 (C×0.3%)
무처리	60	6	16	185	308	792.2	975.7	상부 3% 하부 0.1%	-	0.93
G社 DCI	60	4.7	17	185	308	792.2	975.7	"	1.5 l/m <sup>3</sup>	0.93
	60	5.4	19	185	308	792.2	975.7	"	3 l/m <sup>3</sup>	0.93
	60	6.5	20	185	308	792.2	975.7	"	6 l/m <sup>3</sup>	0.93
S社 901 (mixing)	60	5.5	17	185	308	792.2	975.7	"	C×1%	0.93
	60	4.4	20	185	308	792.2	975.7	"	C×2%	0.93
	60	22	22	185	308	792.2	975.7	"	C×4%	0.93

※ 주의 : 상부의 NaCl의 첨가량은 물량에 3%이고 하부의 NaCl첨가량은 잔골재량의 0.1%를 나타낸다.

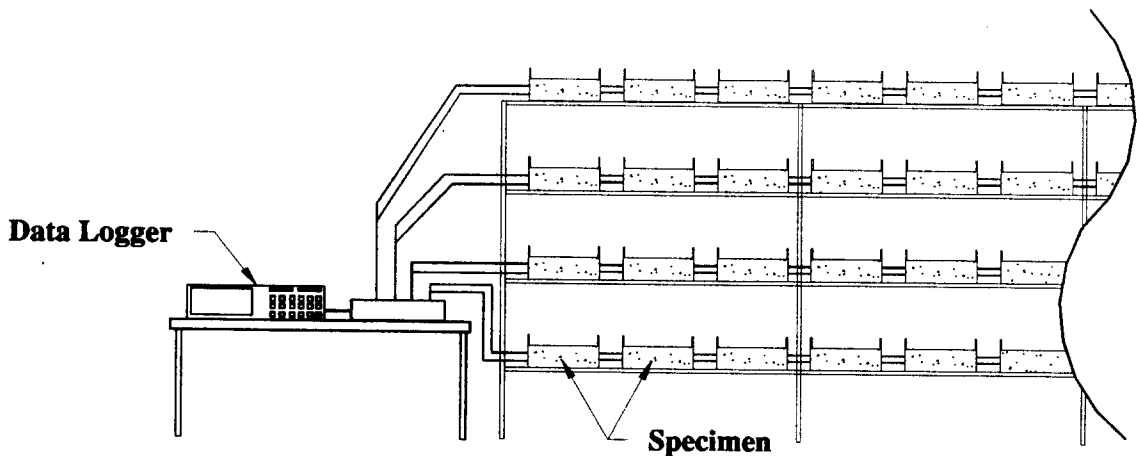


그림 5 제2과제 시험체 및 실험틀의 개략도 (실내실험)

### 3. 실험방법

본 실험에서는 보형태의 시험체와 슬래브 형태의 시험체를 각각의 철근에 대하여 무게를  $\frac{1}{1000}$  g까지 계측하여 부식후의 무게감량을 파악하고자 하였으며 Data Logger를 통하여 각각의 시험체에서 나온 Cathode선과 Anode선의 전류값을 측정하여 부식과정의 전류값의 변화에 대한 Current Method를 실시하고 Half-Cell Survey를 통하여 부식범위의 상태를 평가하고자 하였다.

### 4. 결론 및 추후 연구과제

전위 및 전류측정법에 의한 콘크리트 구조물의 철근의 부식실험은 장시간의 실험기간을 요구하는 것이 통상적이다. 즉 실험틀의 제작, 시험체의 규격, 각각의 시험체와 철근에 대한 초기값, 부식측정법의 확정등 해결해야 할 많은 난제를 안고 있다. 본 연구에서는 6% 염농액을 생성시키어 최악의 환경

조건을 simulation함으로 부식의 진행을 촉진시키었으나 많은 시간을 요구되리라 판단되며, 또한 장기적인 실험에 의한 결과값들이 신뢰성 있는 Data로 생각되며 이를 근거로 합리적인 철근방식기법을 도출할수 있으리라 생각된다. 한편, 시행착오를 거치면서 실험틀 제작에 성공하여 이제부터는 내부식 성능 즉 철근의 부식도 평가 등을 수행하는 과업이 진행될 것이며 더불어 항만실험을 통하여 실내부식 실험에 대한 현장적용의 비교평가를 실행할 수 있다고 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. Donald W. Pfeifer, J. Robert Landgren and Alexander Zoob, "Protective Systems for New Prestressed and Substructure Concrete", 1987. 4
2. Peter Pullar-Strecker, "Concrete Reinforcement Corrosion", (Training Course Notes of Colebrand/UK)
3. Peter H. Emmons, "Concrete Repair and Maintenance Illustrated", pp. 1-19
4. 李鐘得, "철근부식 진단" 도서출판 일광, vol3.
5. Ji-won Jang, Iwao Iwasaki, "Effect of Salt Additives on Rebar Corrosion", 1993. 6
6. Henry J.Gillis, Ji-won Jang, Paul W. Weiblen, and Iwao Iwasaki, "Method for Detection of Chemical Reactions Between Concrete and Deicing Chemicals"
7. Henry J.Gillis, Ji-won Jang, Paul W. Weiblen, and Iwao Iwasaki, "Effect of Corrosion-Inhibitor-Added Deicing Salt and Salt Substitutes on Reinforcing Steels : I. Influence of Concentration"
8. Henry J.Gillis, Ji-won Jang, Paul W. Weiblen, and Iwao Iwasaki, "Effect of Corrosion-Inhibitor-Added Deicing Salt and Salt Substitutes on Reinforcing Steels : II. Influence of Temperature and Oxygen Content"