

슬래브 매입철근의 부식실험

Corrosion Test for Reinforcement Steels Embedded in Slab Specimen

류 금 성¹⁾
Ryu, Gun Sung

유 환 구²⁾
Ryu, Hwan Ku

정 영 수³⁾
Chung, Young soo

ABSTRACT

Recent construction activities and maintenance of marine facilities have been accelerating to keep up with rapid economic growth in Korea. Marine concrete structures are exposed to salts and chloride from ocean environments. The corrosion of reinforcement steel caused by chloride-penetration into concrete may severely affect the durability of concrete structures. The objective of this research is to develop a durable concrete by investigating the resistance of various corrosion protection systems utilizing different water/cement ratio, silica fumes, corrosion inhibitors, etc. A two-year verification test on various corrosion protection systems has been doing in the laboratory. Corrosion investigations on reinforcement steel are now under progress for more than 63 concrete specimen. Corrosion-related measurements include microcell corrosion current.

1. 서론

최근 국내에는 물동량 적체현상의 해소방안 및 일환으로 사회간접시설의 확충을 위한 건설공사 즉 영종도신공항, 서해대교, 고속철도, 부산신항등의 건설공사가 수행되고 있다. 그러나 '97년말 몰아닥친 IMF한파로 시공중의 사회간접시설의 많은 건설공사가 재검토되고 축소될 위기에 처해있는 것이 사실이다. 비록, 도처의 대형 건설공사가 축소되었지만 중소규모의 건설공사는 지속적으로 수행될 수 있으리라 생각된다. 중요한 사회간접시설들인 해양·항만구조물, 도로 및 교량등의 공사 및 유지관리등은 국민들의 중요한 관심사로 대두되어 왔으며 해양·항만구조물에 간헐적으로 침투되어 해수, 동기철에 도로 및 교량등에 지속적으로 살포되는 제설재등은 콘크리트에 발생된 균열을 통하여 콘크리트 내부에 염분을 침투시키어 철근의 부식을 촉진시킨다. 이러한 철근의 부식팽창은 피복콘크리트의 균열을 초래하여 피복콘크리트의 손상 즉 박리탈락등의 파손을 야기시키어 급기야는 구조물의 붕괴를 초래할 수 있다. 본 연구는 항만·해양 콘크리트 구조물에 매입되는 철근의 내부식 성능을 향상시키기 위하여 개발된 각종 철근방식 재료의 성능을 평가하면서 적절한 철근방식기법을 개발하는 것이다. 따라서 본

- 1) 중앙대학교 지구환경시스템학과 대학원 석사과정
- 2) 도로공사 재료연구실 연구원
- 3) 정회원, 중앙대학교 토목공학과 교수

연구는 Slab 시험체에 대한 63개의 시험체를 방식재의 적정농도의 변화값에 대해 6% 염농액과 담수에 침수시킴과 동시에 기건양생 시험체의 철근부식 측정값의 변화를 조사·분석하였다.

본 연구를 통하여 예측된 측정값의 변화를 통해 항만·해양 콘크리트 구조물의 철근의 부식 Mechanism, 부식측정 방법에 대한 기술 및 연구를 위한 시험편의 배합, 부식측정결과들에 대한 분석에 있어서 관련한 문제점 등을 기술하고자 한다.

2. 연구수행내용

본 연구는 Slab형태의 시험체들을 대기조건, 해수침투조건, 담수침수조건하에 실내에 장시간 거치시키면서 주기적으로 매입철근의 부식정도를 polarization resistance method를 이용하여 평가하였다. 이외에도 시험체의 매입철근의 부식측정시 온도 및 습도를 측정하였다.

2.1. 배합실험

실험에 필요 슬래브시험체는 총 7배치(1배치당 시험체9)로서 총 시험체는 63개를 제작하였으며, 사용된 방식재는 2종류로서 DCI와 Ferroguard 901이다. 사용된 굵은 골재는 경기도 안성지역의 쇄석골재(13mm)를, 잔골재는 일반 건조잔골재에 시방서규정에 근거하여 철대건조잔골재량에 0.1%의 NaCl을 혼합시켜 사용하였다. 특히, Slab상부의 부식철근에는 수량의 3% NaCl을 첨가 배합하였다. 각각의 방식재에 대하여 적정사용량에 대하여 사용량의 변화에 따른 부식거동을 파악하기 위하여 적정사용량과 1/2배, 2배를 사용하여 부식전류를 측정하였다. 각각의 시험체에 대한 공시체는 12개씩 제작하여 초기 강도 및 28일강도를 측정하여 방식재에 의한 강도의 저하효과가 유발되는지에 대해 조사하였다.

표1. Slab시험체의 배합비

방식재의 종류	W/C (%)	공기량 (%)	슬럼프 (cm)	단위량(kg/m ³)							28일 강도 (kg/cm ²)
				물	시멘트	잔골재	굵은 골재	NaCl (%)	혼화재료		
									방식재	AE 감수제	
무처리	60	6	16	185	308	792.2	975.7	상부 3% 하부 0.1%	-	1.23	171
DCI	60	4.7	17	185	308	792.2	975.7	"	1.5 ℓ/m ³	1.23	178
	60	5.4	19	185	308	792.2	975.7	"	3 ℓ/m ³	1.23	183
	60	6.5	20	185	308	792.2	975.7	"	6 ℓ/m ³	1.23	183
	60	5.5	17	185	308	792.2	975.7	"	C × 1%	1.23	172
Ferroguard 901 (mixing)	60	4.4	20	185	308	792.2	975.7	"	C × 2%	1.23	170
	60	2.2	22	185	308	792.2	975.7	"	C × 4%	1.23	147

*註 : 상부의 NaCl의 첨가량은 수량에 3%이고 하부의 NaCl첨가량은 잔골재량의 0.1%를 나타낸다.

2.2. 슬래브시험체

양생된 시험체는 시험틀 위에 올려놓고, 시험체의 사면에 접촉시킨 아크릴판안으로 6%의 NaCl용액을 담수시키었으며, 각 시험체에서 나오는 2종의 전선을 3LP 장치에 연결하여 측정하였다.

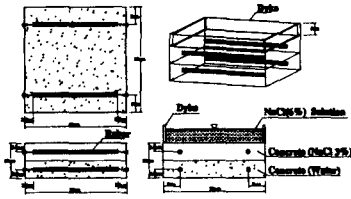


그림 1 슬래브시험체

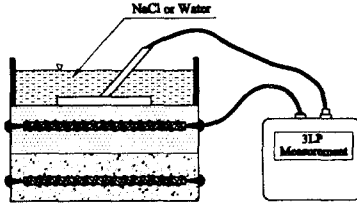


그림 2 3LP 계측모습



사진 1 3LP계측

시험체명은 표2와 같다

표 2 Slab시험체의 명칭 및 종류

방식재	Test Conditions			28일 강도 (kg/cm ²)
	Atmosphere	Water	NaCl	
무처리	NS-A(3개)	NS-W(3개)	NS-N(3개)	171
G社 DCI (적정사용량의 0.5배)	GR-A(3개)	GR-W(3개)	GR-N(3개)	178
G社 DCI (적정사용량)	GR'-A(3개)	GR'-W(3개)	GR'-N(3개)	183
G社 DCI (적정사용량의 2배)	GR''-A(3개)	GR''-W(3개)	GR''-N(3개)	183
S社 Ferroguard 901 (적정사용량의 0.5배)	SK/M-A(3개)	SK/M-W(3개)	SK/M-N(3개)	172
S社 Ferroguard 901 (적정사용량)	SK/M'-A(3개)	SK/M'-W(3개)	SK/M'-N(3개)	170
S社 Ferroguard 901 (적정사용량의 2배)	SK/M''-A(3개)	SK/M''-W(3개)	SK/M''-N(3개)	147

※ 註 : 시험체명의 기호설명

NS - A

A, W, N : Atmosphere, Water, NaCl Condition

NS, GR, SK/M : Normal, Mixing Corrosion Inhibitors Specimen

3. 부식계측 및 결과분석

본 실험에서는 슬래브 형태의 시험체(63개)에 대해 Polarization Resistance Method의 방법으로 측정하여 부식정도를 평가하였다. Polarization Resistance Method는 장비를 통하여 각각의 공시체 철근에 대한 Instant-Off Potential을 측정한 후 Stern-Geary 방정식을 이용한 Corrosion Rate를 측정하여 부식정도를 평가한다.

4. 결과분석 및 연구평가

3LP 장비를 통한 Polarization Resistance Method에서 측정된 각각의 시험체에 대한 Static Potential Value를 통하여 Stern-Geary Equation을 이용하면 다음과 같은 식으로 부식전류 I_{corr} 을 구할 수 있

다.

$$\text{Stern-Geary Equation : } I_{corr} = \left(\frac{\Delta I_{app} (\beta_a \times \beta_c)}{2.3 \Delta \Phi (\beta_a + \beta_c)} \right) \quad (1)$$

여기서, I_{corr} 는 부식전류(mA)이며 I_{app} 는 각각의 철근에 대한 자연 half Cell Potential에 대하여 0.4, 8, 12 mV 로 극성화시키는데 요구되는 전류값(mA), $\Delta \Phi$ 는 Absolute Value of Cathodic Polarization, β_a 는 Anodic Tafel Slope, β_c 는 Cathodic Tafel Slope이다.

표 3 Slab시험체의 명칭 및 종류

방식재	Test Conditions			28일 강도 (kg/cm^2)
	Atmosphere	Water	NaCl	
무처리	NS-A(3개)	NS-W(3개)	NS-N(3개)	171
G社 DCI (적정사용량의 0.5배)	GR-A(3개)	GR-W(3개)	GR-N(3개)	178
G社 DCI (적정사용량)	GR'-A(3개)	GR'-W(3개)	GR'-N(3개)	183
G社 DCI (적정사용량의 2배)	GR''-A(3개)	GR''-W(3개)	GR''-N(3개)	183
S社 Ferroguard 901 (적정사용량의 0.5배)	SK/M-A(3개)	SK/M-W(3개)	SK/M-N(3개)	172
S社 Ferroguard 901 (적정사용량)	SK/M'-A(3개)	SK/M'-W(3개)	SK/M'-N(3개)	170
S社 Ferroguard 901 (적정사용량의 2배)	SK/M''-A(3개)	SK/M''-W(3개)	SK/M''-N(3개)	147

※ 註 : 시험체명의 기호설명
NS - A

A, W, N : Atmosphere, Water, NaCl Condition

NS, GR, SK/M : Normal, Mixing Corrosion Inhibitors Specimen

다음 표3의 평가기준에 근거하여 3LP TEST 결과치로 얻어진 I_{corr} 로 부식정도를 판단할 수 있다.

표 3 I_{corr} 부식평가도

I_{corr} 의 범위	평가
$I_{corr} \leq 0.2 mA/ft^2$	철근부식으로 인한 피해가 예상되지 않는다.
$0.2 mA/ft^2 \leq I_{corr} \leq 1.0 mA/ft^2$	철근부식으로 인한 피해가 10~15년에 발생할 것으로 예상된다.
$1.0 mA/ft^2 \leq I_{corr} \leq 10 mA/ft^2$	철근부식으로 인한 피해가 2~10년에 발생할 것으로 예상된다.
$I_{corr} \geq 10 mA/ft^2$	철근부식으로 인한 피해가 2년내에 발생할 것으로 예상된다.

앞의 표 3의 평가표를 통한 각 시험체의 부식정도는 대체로 방식제를 사용한 시험체가 방식제를 사용하지 않은 제품보다 우수한 것으로 평가된다. 그러나, 계측과정에서 Prewet의 정도차와 계측시간의 일관성등의 계측조건 및 초기시험체의 불안정상태 등 여러 가지 요인으로 인하여 일부 실험체에서 방식제를 사용한 제품의 부식정도가 오히려 심하게 나타나고 있다. 이러한 요인들은 시험이 더욱 진행될수

록 감소될 것이다. 아래의 표4에서 normal시험체와 방식제시험체와의 부식차이는 크게 나타나지 않았으나, Atmosphere Condition은 Water Condition과 NaCl(6%) Condition에 비해서 현저히 부식되었다. 슬래브시험체의 3LP값은 아래의 표4와 그림3~그림5와 같다.

표 4 Slab시험체의 3LP Test 결과로 얻어진 i_{corr} 값 (단위 : mA/ft²)

Time(day)	condition	NS	GR	GR'	GR''	SK/M	SK/M'	SK/M''
7	Atmosphere	1.469	1.298	1.671	1.689	1.861	1.392	1.772
	Water	1.680	1.598	1.346	1.268	1.713	1.478	2.124
	NaCl(6%)	1.914	1.971	1.535	1.709	1.637	1.757	1.918
140	Atmosphere	1.613	1.622	1.822	1.854	2.042	1.829	1.907
	Water	2.583	2.159	2.256	1.999	2.408	2.428	2.333
	NaCl(6%)	2.384	2.315	1.790	2.494	2.097	2.265	2.537
300	Atmosphere	2.4433	1.9454	2.3698	2.457	2.7742	2.5509	2.7516
	Water	3.5338	3.4747	2.9078	2.8518	3.6361	3.4559	3.5928
	NaCl(6%)	3.8318	3.9644	5.2168	2.6422	3.1461	2.8218	3.0954

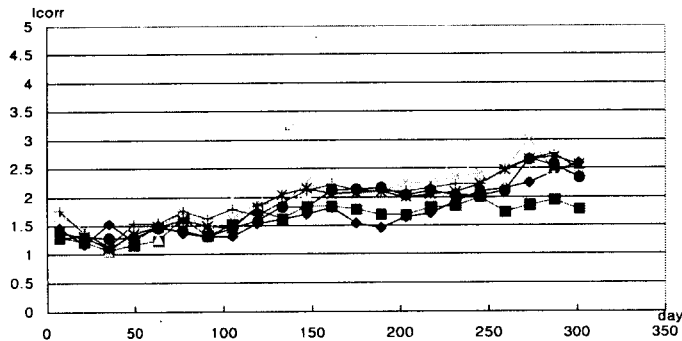


그림 3 Atmosphere Exposure하의 i_{corr} 값

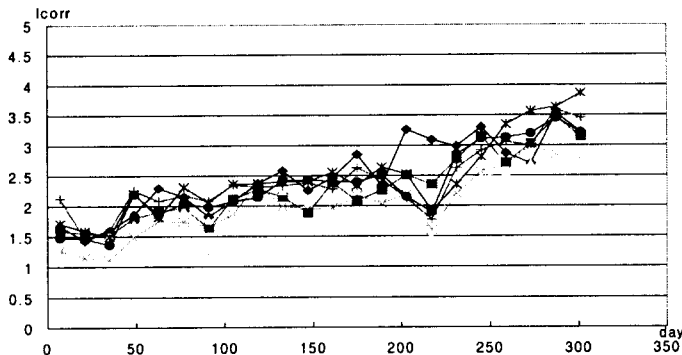


그림 4 Water Exposure하의 i_{corr} 값

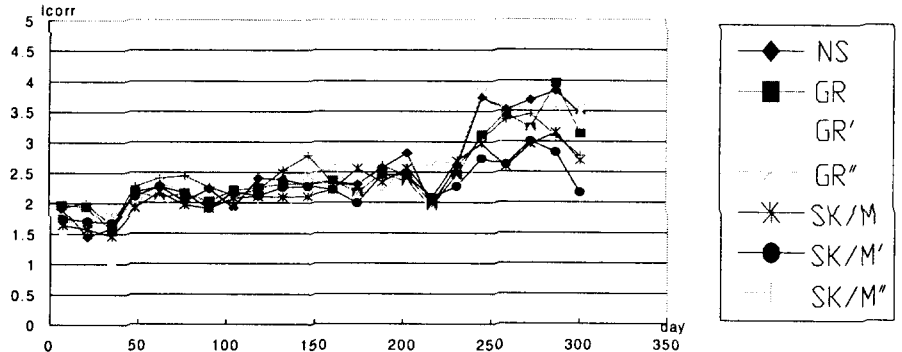


그림 5 NaCl Exposure하의 I_{corr} 값

5. 결론

본 연구에서는 6% 염농액을 생성시키어 최악의 환경조건을 Simulation함으로 부식의 진행을 촉진시켰으나 전위 및 전류측정법에 의한 콘크리트 구조물의 철근의 부식실험은 장시간의 실험기간을 요구하는 것이 통상적이다. 또한 장기적인 실험에 의한 결과값들이 신뢰성 있는 Data로 생각되며 이를 근거로 합리적인 철근방식기법을 도출할 수 있으리라 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) Peter Pullar-Strecker, "concrete Reinforcement Corrosion." Training Course Notes of Colebrand, UK
- 2) Chong D. Lee, "Detection of Reinforcement Corrosion," Ilkwang Publishing Co., Korea, 1996.
- 3) M. Moriya, "Evaluation Repair Methods for Reinforced Concrete Exposed to A Marine Environment," Report on the Technical Research Committee on Concrete Repair, Proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol. 16, No. 1, 1994.
- 4) J.W. Jang and I. Iwasaki, "Rebar corrosion Under Simulated concrete Conditions Using Galvanic Current Measurements," Corrosion Engineering, Vol. 47, No. 11, 1991
- 5) 정영수, "방식제를 사용한 철근 콘크리트의 철근부식에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회지, 1997년 12월호
- 6) 정영수, "철근 콘크리트 시험편의 철근방식에 관한 측정법", 한국콘크리트학회논문집, 제9권 제2호, 1997.11, PP281-286
- 7) 정영수, "콘크리트 구조물의 내구성향상을 위한 철근방식 방안 연구", R&D / 95-0013, '95연구개발사업 최종보고서, 건설교통부, 1997.