

해양환경하에 방치한 콘크리트중의 철근의 부식 추정에 대한 연구

A Study on the Estimation of Steel Corrosion in Concrete
Exposed under the Environment of Seawater

문한영*

김성수**

류재석***

Moon, Han Young Kim, Seong Soo Ryou, Jae Suk

요 약

해양환경하에 있는 콘크리트 구조물의 열화를 알아보고 철근의 부식 정도를 추정하기 위한 연구내용으로서 콘크리트 중에 철근을 묻은 공시체를 제작하여 간만의 차가 있는 해변에 1년 동안 노출시킨 상태로 시험을 실시하여 콘크리트 중의 가용성 염분량, 철근의 자연전위값 및 철근의 부식정도에 대하여 고찰하였다.

본 연구 결과 콘크리트 중의 가용성 염분량은 물-시멘트비가 낮을수록, 혼화재를 혼합할 경우 적게 나타났으며 가용성 염분량이 클수록 철근의 부식이 크게 나타났다. 철근 부식의 정도가 심할수록 자연전위값이 감소하였으며 자연전위와 철근의 부식면적율은 상관계수가 있음을 알 수 있었다.

Abstract

This study was performed for the purpose of obtaining the fundamental data to establish the criterion of concrete deterioration and presuming steel corrosion of concrete structures under the environment of seawater. Steel embedded concrete specimens were exposed in seawater for 1 year. The soluble chloride content in concrete, corrosion potential and steel corrosion were considered. The results show that soluble chloride content in concrete was decreased with lower water-cement ratio and with mineral admixtures. Half-cell potential is reduced with steel corrosion. Corrosion area ratio is correlative with half-cell potential.

Keywords : concrete deterioration, steel corrosion, seawater, concrete specimen, half-cell potential, soluble chloride content, corrosion area ratio.

1. 서 론

최근 해양개발이 활발해지면서 해상, 해안 및 바다근처에 설치되는 교량, 방파제, 안벽 등과 같

은 콘크리트 구조물에서부터 해상도시, 해상비행장, 해저터널 및 深海의 유전 탐사기지 등과 같은 많은 콘크리트 구조물이 축조되고 있다. 주지하는 바와 같이 해양환경하에 건설된 철근콘크리트 구

* 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수
** 한양대학교 공과대학 토목공학과 박사과정
*** 한양대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

• 본 논문에 대한 토의를 1994년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 1994년 8월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

조물의 경우 구조물 외부로부터 침투되는 염분의 영향으로 인하여 콘크리트 내부에 묻힌 철근은 녹슬게 되고 이 녹이 진행되어 콘크리트 구조물에 균열, 박리 등과 같은 열화현상이 나타남으로써 구조물이 치명적인 손상을 받게 된다고 한다.^(1~3) 그러므로 해양콘크리트 구조물은 염해에 대한 내구성과 신뢰성을 확보해야 하는 문제가 매우 중요시 되고 있다.⁽⁴⁾

본 연구에서는 고로슬래그 시멘트, 보통포틀랜드 시멘트와 국내 화력발전소에서 발생하는 플라이애쉬 및 실리카흄을 혼화제로 혼합한 콘크리트 중에 철근을 묻은 공시체를 제작하여 간만의 차가 심한 해변에 1년동안 방치 실험을 실시하였다. 콘크리트 공시체 내부의 염분 침투의 정도를 알아보기 위하여 콘크리트 표면으로부터의 깊이에 따른 가용성 염분량을 측정하였으며, 철근의 자연전위 값을 측정하여 철근의 부식정도를 추정하므로써 해수의 영향을 받는 콘크리트 구조물의 침식 열화 및 철근부식을 추정 평가하여 철근의 부식을 최소화 하기 위한 대책수립에 필요한 자료를 얻고자 실시한 실험결과를 고찰한 내용이다.

2. 실험 개요

2.1 사용 재료

(1) 시멘트 및 혼화재 : 실험에 사용한 시멘트는 보통포틀랜드 시멘트(OC)와 고로슬래그 시멘트(SC)이며 혼화제로써 플라이애쉬(FA)와 실리카

흄(SF)을 사용하였으며, 이들의 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

(2) 골재 : 굵은 골재는 최대치수 15mm의 강자갈이며, 잔골재는 한강산을 사용하였으며 물리적 성질은 Table 2와 같다.

(3) 강재 : 10mm 원형 강봉(SR24)의 표면을 아세톤으로 깨끗이 닦아 사용하였다.

2.2 실험 방법

(1) 시험체의 제작 및 자연전위 측정 : 직경 10mm의 원형 강봉을 10×10×30cm의 콘크리트 공시체 속에 매입 깊이가 1cm, 4cm 및 2cm, 3cm로 묻고 에폭시로 양 단면을 코팅하여 Fig. 1과 같이 제작하였다. 이 공시체를 수중에 7일간 표준 양생한 후, 인천 송도 해변에 1992년 5월부터 1993년 5월까지 1년간 방치하였다. 철근의 부식정도를 추정하기 위한 방법으로 철근의 자연전위는 Fig.1과 같은 포화 황산동전극을 사용하여 측정하였다.

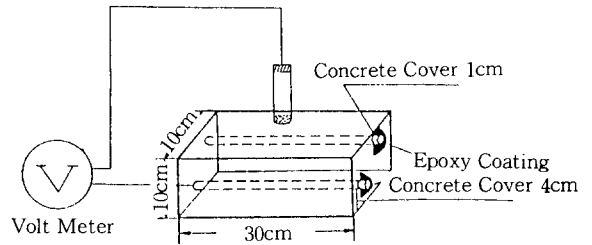


Fig.1 Specimen configuration and testing equipment of Half-Cell Potential

Table 1 Chemical composition and physical properties of binders

Items Type	Chemical composition(%)							Specific gravity	Specific surface (cm ² /g)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.loss		
OC	21.80	5.84	3.56	60.62	3.54	2.58	0.95	3.12	3,422
SC	25.0	11.0	2.0	53.1	4.6	2.2	1.2	3.02	3,825
FA	56.40	26.60	5.50	0.02	0.30	-	4.25	2.14	4,092
SF	91.2	1.3	0.8	0.7	0.3	-	2.3	2.51	204,700

Table 2 Physical properties of aggregates

Items Type	G _{max} (mm)	Specific gravity	Absorption(%)	F.M	Organic impurities	Unit weight (kg/m ³)	Percentage of solids (%)
Fine agg.	-	2.60	1.83	2.66	Good	1,584	61.0
Coarse agg.	15	2.62	1.21	6.83	-	1,586	62.5

Table 3 Mix proportion of concrete

Items Specimens	G _{max} (mm)	Slump (Cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (Kg/m ³)					SP(CX%)
						W	C	S	G	Ad.	
OC-40*	15	10±2	2.2	40	41	160	400	754	1105	-	0.68
OC-45	"	"	2.0	45	"	167	370	757	1110	--	0.56
OC-50	"	"	2.3	50	"	175	350	755	1107	-	0.41
OC-55	"	"	2.1	55	"	176	320	753	1121	--	0.20
SC-50	"	"	1.8	50	"	175	350	748	1103	-	0.41
FC20-50	"	"	2.1	50	"	175	280	743	1108	70	0.43
SF10-50	"	"	1.9	50	"	175	315	753	1104	35	0.48

* 숫자는 물-시멘트비 및 물-결합재비(%)를 나타냄

(2) 가용성 염분량 측정 : 콘크리트에 침투한 가용성 염분량을 측정하기 위하여 공시체 표면으로부터 깊이 0~1, 1~2, 2~3, 3~4, 및 4~5cm 위치에서 채취한 콘크리트 시험편을 미분말 시료로 만들어 일본 콘크리트 공학협회 표준(안)⁽⁵⁾의 경화한 콘크리트 중의 염분량 측정 방법에 의해 염분 용액을 추출한 후 Salt Meter (CL-203F)로 염소 이온 농도(% Cl⁻)를 측정하여 콘크리트의 중량에 대한 백분율로 가용성 염분량(% NaCl)을 구하였다.

(3) 철근의 부식면적율 : 콘크리트 속의 철근을 꺼내어 붉은 녹과 검은 녹이 발생한 부분을 부식된 부분으로 정의하고 트레이싱지로 스케치한 후, 방안지를 이용하여 Fig.2와 같이 부식된 부분에 포함된 교점수 *n*을 구하고 철근의 전개도에 포함된 전체 교점수를 *N*로 하여 다음식에 의해 부식 면적율을 계산하였다.

$$\text{부식 면적율}(\%) = \frac{n}{N} \times 100$$

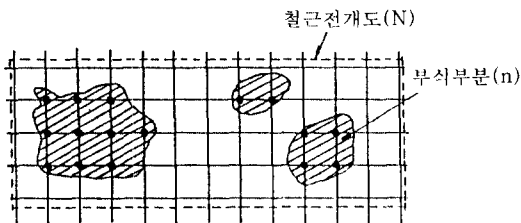


Fig.2 The development figure of reinforcing steel

2.3 콘크리트의 배합

포틀랜드 시멘트, 고로슬래그 시멘트와 플라이

애쉬 20% 혼합한 시멘트(FC20) 및 실리카흙 10% 혼합한 시멘트(SF10)의 콘크리트 배합은 Table 3과 같다.

3. 실험결과

3.1 콘크리트중의 가용성 염분량 측정결과

해수중에 1년간 방치한 콘크리트 공시체에 침투한 가용성 염분량을 콘크리트 공시체의 표면으로부터 깊이 별로 측정한 결과가 Table 4이다. 이 표에서 가용성 염분량은 공시체 표면에서 깊어질수록 크게 감소되고 있음을 알 수 있다.

Table 4 Soluble chloride content in concrete (%)

Specimens	Depth from concrete surface(cm)					
	0	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5
OC-40	0.912	0.504	0.321	0.110	0.056	0.026
OC-45	1.157	0.555	0.319	0.145	0.071	0.038
OC-50	1.177	0.641	0.379	0.210	0.083	0.033
OC-55	1.322	0.831	0.396	0.298	0.102	0.036
SC-50	0.910	0.521	0.290	0.137	0.035	0.007
FC20-50	0.880	0.482	0.300	0.123	0.033	0.010
SF10-50	0.763	0.321	0.114	0.064	0.018	0.003

3.2 자연전위 측정결과

콘크리트중에 철근을 묻은 공시체를 재령 1년 동안 해수중에 방치한 후 각 재령별로 5점의 자연전위를 측정하여 평균값을 Table 5에 나타내었으며, 이 표에서 알 수 있듯이 재령이 증가할수록 자연전위 값이 증가함을 알 수 있다.

Table 5 Half-Cell Potential(-mV)

Specimens		OC-40	OC-45	OC-50	OC-55	SC-50	FC20-50	SF10-50
Age (mon.)	Cover (cm)							
0	1	235	264	208	222	234	266	258
	2	222	210	256	226	220	255	286
	3	201	240	273	253	218	250	226
	4	220	220	215	266	215	231	231
1	1	281	342	357	349	293	286	222
	2	262	304	321	317	276	263	236
	3	273	247	283	272	222	283	217
	4	241	272	263	247	273	286	265
3	1	272	486	493	521	245	271	295
	2	321	348	367	332	274	281	256
	3	292	283	301	316	275	283	282
	4	282	381	267	289	243	271	242
6	1	432	531	586	666	462	366	342
	2	383	375	495	543	332	321	286
	3	316	318	362	384	295	287	288
	4	280	292	284	291	321	302	283
12	1	486	608	650	654	540	492	381
	2	426	447	542	586	415	451	350
	3	421	441	532	576	341	387	320
	4	386	362	371	332	336	361	292

3.3 철근의 부식면적을 측정결과

콘크리트 덮개가 10mm인 공시체를 재령 3개월, 6개월 및 1년간 해수중에 방치한 후 콘크리트 중의 철근의 부식정도를 측정해 본 결과가 Table 6이며, 재령 3개월에서는 붉은 녹이 발생되었으나 재령 6개월에서 물-시멘트비 50%, 55% 인 경우 검은 녹이 발생되어 부식이 많이 진행되었음을 알 수 있다. 한편 고로슬래그 시멘트나 플라이애쉬 및 실리카흄을 혼합한 콘크리트의 경우 재령 1년

Table 6 Corrosion area ratio of reinforcing steel (Concrete cover 10mm)

Age Corrosion ratio(%) Specimens	3 months			6 months			12 months		
	Red rust	Black rust	Total	Red rust	Black rust	Total	Red rust	Black rust	Total
OC-40	-	-	-	8	-	8	20	4	24
OC-45	7	-	7	14	-	14	30	15	45
OC-50	12	-	12	23	7	30	37	43	80
OC-55	18	-	18	14	19	33	18	64	82
SC-50	-	-	-	7	-	7	19	-	19
FC20-50	-	-	-	2	-	2	16	-	16
SF10-50	-	-	-	-	-	-	3	-	3

에서도 검은 녹은 발생되지 않았다. 콘크리트 덮개가 20mm 이상인 경우에는 재령 12개월에 일부 콘크리트에서만 경미한 붉은 녹이 발생하였다.

4. 실험결과에 대한 고찰

4.1 콘크리트에 침투한 염분량과 철근의 부식

해안, 항만구조물 등과 같이 염분의 영향을 받는 콘크리트 구조물의 내구성을 저하시키는 주된 원인인으로는 염분의 침투, 축적에 의한 콘크리트

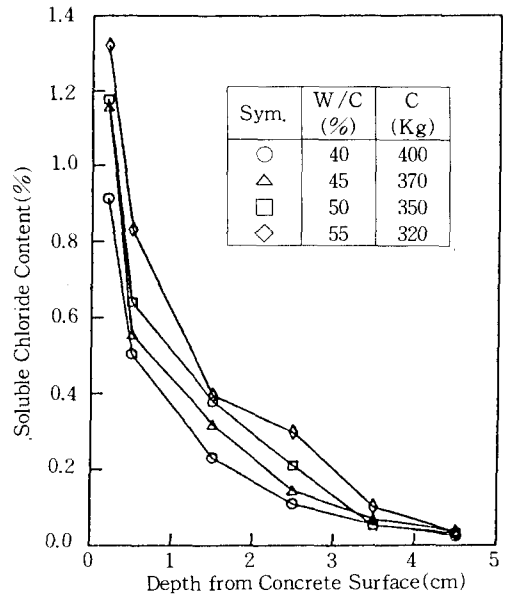


Fig.3 Soluble chloride content according to depth from concrete surface (OC concrete, Age 1 year)

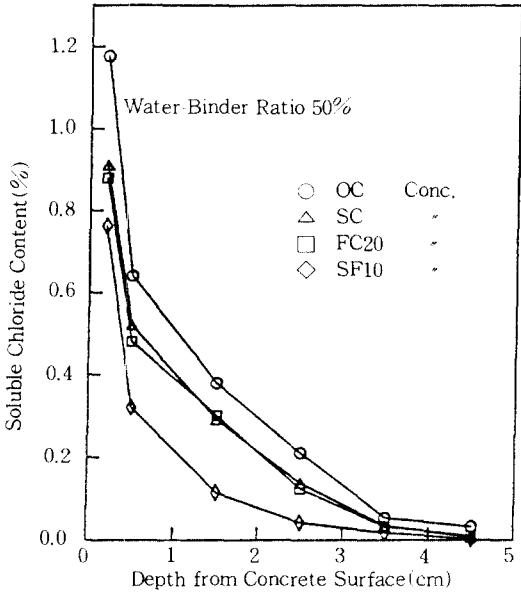


Fig.4 Soluble chloride content according to depth from concrete surface (Age 1 year)

중의 철근의 부식을 들 수 있다. 특히 해수에 직접 노출된 콘크리트 구조물은 외부에서 침투되는 염분이 많기 때문에 콘크리트 내부에 염분이 축적된다. 콘크리트중에 침투된 염분은 그 존재 상태 따라 철근의 부식에 직접 관계되는 가용성 염분과 철근의 부식에 직접 관계되지 않고 시멘트 수화물과 반응하여 고정화된 염분으로 구분된다.⁽⁶⁾ 그러므로 콘크리트중의 가용성 염분량을 측정하여 가용성 염분량과 콘크리트중의 철근의 부식 정도의 상관관계를 추정할 수 있을 것으로 생각된다.

해수에 폭로한 콘크리트 공시체의 표면에서의 깊이에 따른 가용성 염분량을 측정한 것이 Fig.3 및 Fig.4이다.

Fig.3은 물-시멘트비와 단위시멘트량이 다른 4종류의 콘크리트의 표면에서의 깊이에 따른 가용성 염분량을 나타낸 것으로서 물-시멘트비가 클수록, 표면에서 깊이가 작을수록 가용성 염분량이 크게 나타났으며 표면에서의 깊이가 깊을수록 염분량이 급격히 감소되었다.

Fig.4는 결합재가 각각 다른 4종류 콘크리트중의 가용성 염분량을 나타낸 것으로서 보통 콘크리트에 비해 혼화재를 사용한 콘크리트의 가용성 염

분량이 적게 나타났으며, 특히 실리카흙을 10% 혼합한 콘크리트는 염분의 침투량이 훨씬 적었다. 이것은 슬래그 및 플라이애쉬를 혼합함으로써 포졸란 반응으로 생성된 치밀한 C-S-H 수화물이 모세관 공극을 채움으로써 켈 기공량은 증가하고 염분의 침투경로인 모세관 기공은 줄어들기 때문으로 생각된다. 특히 실리카흙을 혼합한 콘크리트의 경우 실리카흙이 초미립 분말이기 때문에 mic-

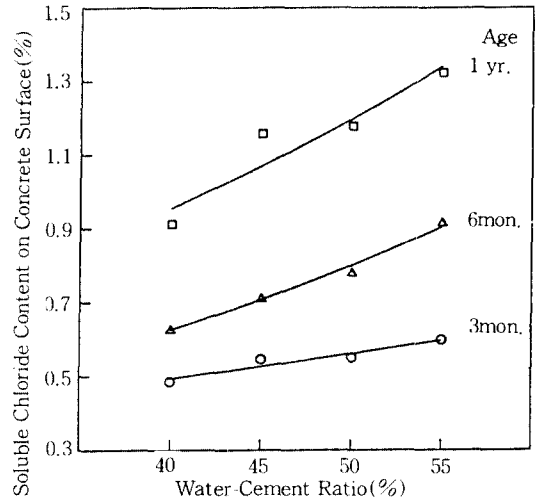


Fig.5 Soluble chloride content on concrete surface according to water-cement ratio (OC concrete)

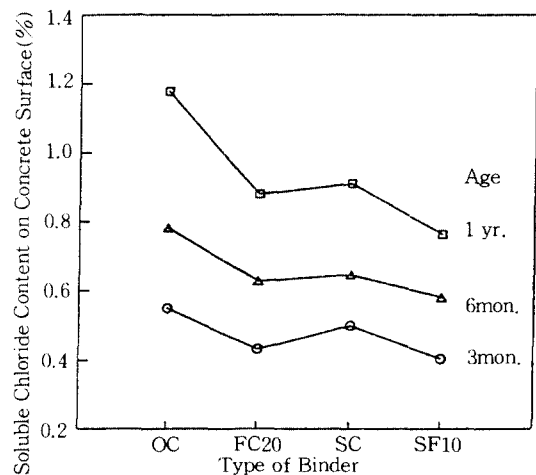


Fig.6 Soluble chloride content on concrete surface according to water-binder ratio (W/C=50%)

ro filler 효과에 의해 조직이 치밀해져 염분의 침투가 어렵게 되어 콘크리트중의 가용성 염분량이 가장 적게 나타난 것으로 사료된다.

보통콘크리트의 물-시멘트비에 따른 가용성 염분량과 결합재의 종류에 따른 가용성 염분량과의 관계를 나타낸 것이 각각 Fig.5 및 Fig.6이다.

Fig.5에서 콘크리트의 물-시멘트비와 재령이 증가하는데 따라 가용성 염분량이 크게 늘어났으며 Fig.6은 결합재 종류가 다른 콘크리트 공시체 중의 가용성 염분량을 비교한 것으로서 콘크리트 중의 염분량은 SF10 콘크리트, FC20 콘크리트, SC 콘크리트 및 OC 콘크리트 순으로 또한 재령 3개월, 6개월, 1년 순으로 크게 나타났다. 또한 재령 1년에서 SF10 콘크리트의 가용성 염분량은 보통콘크리트의 약 50% 정도에 지나지 않음을 알 수 있다.

이번에는 콘크리트 공시체 속에 묻어둔 철근의

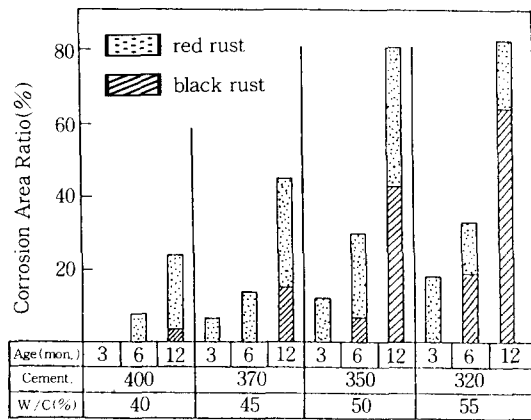


Fig.7 Corrosion area ratio of reinforcing steel in concrete (OC concrete)

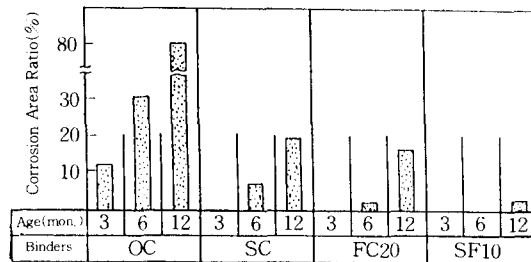


Fig.8 Corrosion area ratio of reinforcing steel in concrete (W/C=50%)

부식 정도를 각 재령별로 조사하여 부식면적율로 정리한 것이 Fig.7 및 Fig.8이다.

Fig.7은 보통콘크리트의 물-시멘트비를 4종류로 달리한 경우 철근의 부식면적을 측정된 것으로서 철근의 부식면적율은 물-시멘트비가 클수록 재령이 증가할수록 크게 증가함을 알 수 있으며, 물-시멘트비가 40%인 경우 재령 1년에서 붉은 녹이 25% 정도이던 것이 물-시멘트비 55%에서는 80% 이상으로 크게 나타났다. 한편 Fig.8은 물-결합재비 50%인 콘크리트의 종류별 철근 부식면적율을 비교한 것으로서 OC 콘크리트의 경우 철근의 부식면적율이 재령 1년에 80% 정도임에 비하여 SF10 콘크리트는 3% 정도에 지나지 않는 적은 값을 나타내었으며, SC 콘크리트 및 FC20 콘크리트도 보통콘크리트에 비해 매우 적게 나타났다. 이번에는 1년간 해수에서 방치한 콘크리트 공시체의 뒷개 10mm 중에 침투한 가용성 염분량과 철근의 부식면적율과의 관계를 정리한 것이 Fig.9이다.

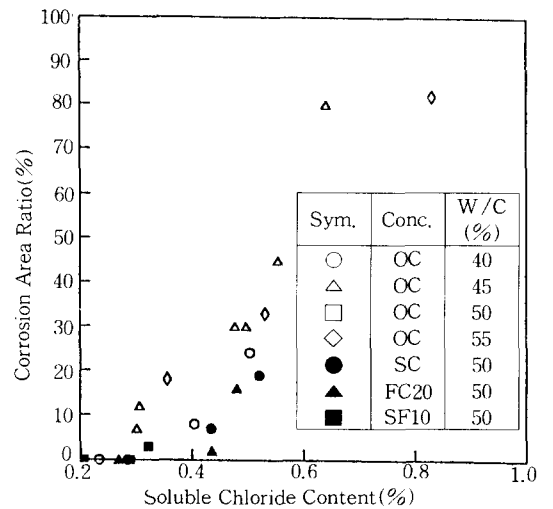


Fig.9 Relationship between corrosion area ratio and soluble chloride content in concrete

이 그림에서 알 수 있듯이 보통콘크리트의 경우 가용성 염분량이 0.3% 정도에서 철근의 부식이 발생하기 시작하였으나, 혼화재를 혼합한 콘크리트의 경우 가용성 염분량이 0.5% 정도에서 강재의 부식면적율이 15% 정도 발생하여 보통콘크리트

트에 비해 철근의 부식정도가 적게 나타났음을 알 수 있었다.

4.2 자연전위에 의한 철근의 부식 추정

염분의 영향을 받는 콘크리트 속에 묻어둔 철근은 염분의 침투에 의해 부동태 피막이 파괴됨으로써 철근에 녹이 생겨 부식하게 된다. 해수중에 있는 콘크리트의 철근 부식은 각종 염류가 이온상태로 존재하는 전해질 용액이기 때문에 전기화학적 부식이 일어난다. 그러므로 철근과 콘크리트의

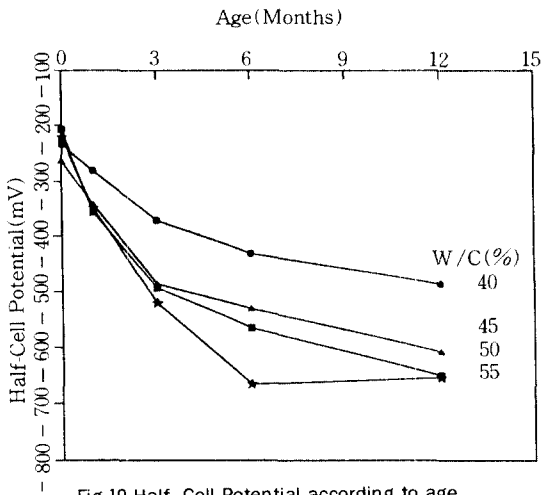


Fig.10 Half-Cell Potential according to age (OC concrete, Concrete cover 10mm)

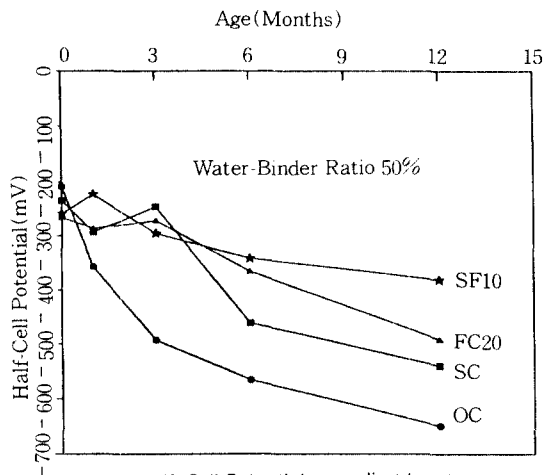


Fig.11 Half-Cell Potential according to age (Concrete cover 10mm)

접촉부분에서 발생하는 자연전위를 측정하므로써 철근의 부식을 추정할 수 있다.^(7,8)

물-시멘트비와 결합재가 각각 다른 7종류의 콘크리트 시험체를 제조하여 해변에 방치하여 재령별로 자연전위를 측정, 정리한 것이 Fig.10 및 Fig.11이다.

물-시멘트비가 각각 다른 보통콘크리트의 경우 재령 3개월까지 자연전위가 급격히 감소하고 있으며 물-시멘트비가 40% 인 경우에는 자연전위의 감소가 가장 적게 나타났다. Fig.11은 결합재의 종류별 재령에 따른 자연전위의 변화를 나타낸 것으로서 보통콘크리트의 경우 재령 초기부터 자연전위가 급격히 떨어지고 있는 반면 혼화재를 혼합한 콘크리트의 경우 재령 3개월까지는 자연전위의 변화가 상이하게 나타났으나, 이 이후부터는 자연전위값이 떨어짐을 알 수 있으며, 재령 3개월까지의 변동 이유는 명확히 규명되지 않았으나 철

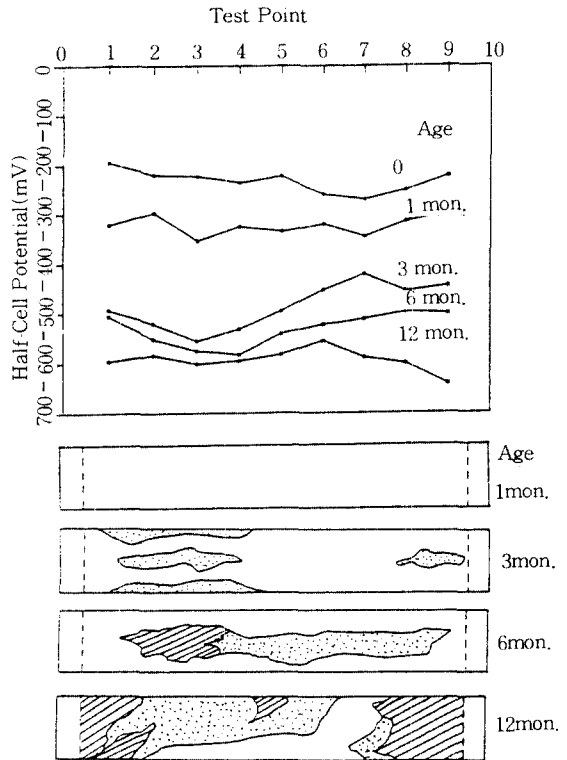


Fig.12 Half-Cell Potential and development figure of reinforcing steel (OC concrete, W/ C=50%)

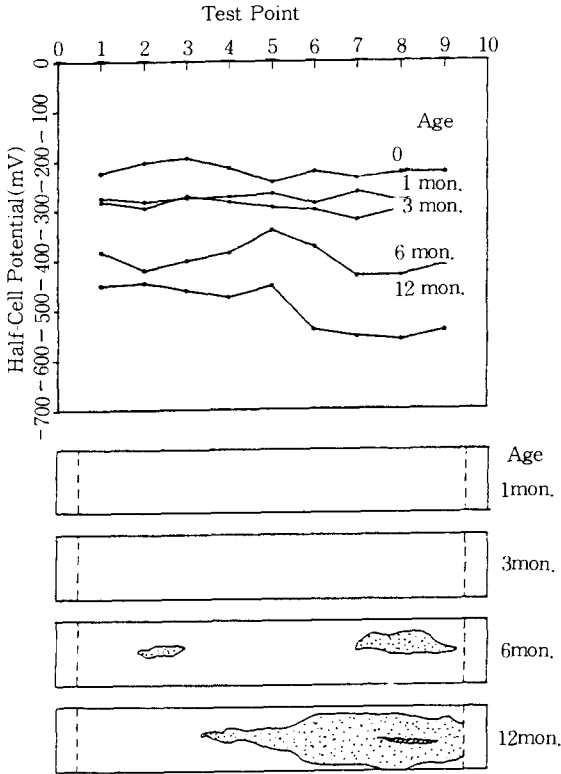


Fig.13 Half-Cell Potential and development figure of reinforcing steel (FC20 concrete, W/ C=50%)

근 주위의 부동태 피막이 불안정함과 실험상의 정밀도 등에 따른 변동으로 생각되었다.

Fig.12 및 Fig.13은 물-시멘트비 50% 인 보통 콘크리트와 FC20 콘크리트의 자연전위와 철근의 부식 전개도를 나타낸 것이다.

Fig.12에서는 철근에 녹이 발생된 재령 3개월에서 녹이 발생된 부분의 자연전위값이 $-350\text{mV} \sim -400\text{mV}$ 정도임을 알 수 있으며, Fig.13의 FC20 콘크리트는 재령 6개월에서 경미한 녹이 발생된 부분의 자연전위값이 보통콘크리트와 비슷한 정도로 나타났다.

이번에는 1년간 해수에 방치한 콘크리트 공시체의 자연전위값과 철근 부식면적율과의 관계를 정리한 것이 Fig.14이다.

Fig.14에서 자연전위값이 -350mV 이하에서 철근에 부식이 발생됨을 알 수 있으며 자연전위값이 작아짐에 따라 부식면적율이 증가됨을 알 수

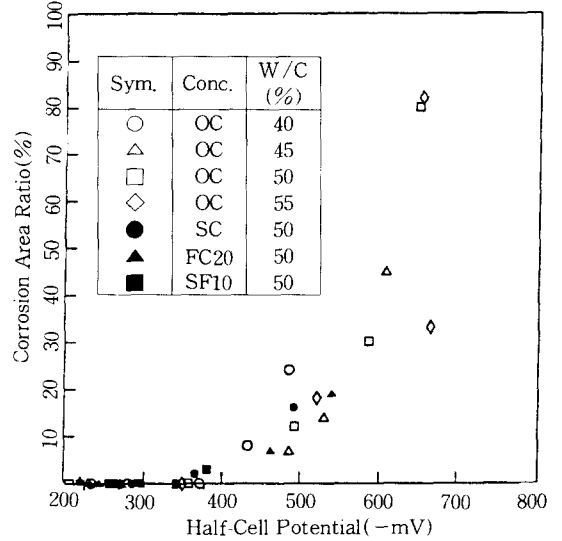


Fig.14 Relationship between corrosion area ratio and Half-Cell Potential

있다. 이상의 실험결과를 종합해 보면 가용성 염분량으로서 철근의 부식발생 정도를 추정할 수 있겠으며 아울러 철근에 녹이 발생함에 따라 자연전위값이 크게 떨어짐을 알 수 있으며 자연전위값의 크기에 따라 철근의 부식 정도를 추정할 수 있겠다.

5. 결 론

본 연구실험 범위내에서 얻어진 결과를 정리해 보면 다음과 같다.

1. 해수에 폭로한 콘크리트 중의 염분 침투의 정도는 물-시멘트비가 큰 콘크리트일수록 크게 나타났으나 콘크리트 표면에서의 깊이가 깊을 수록 급격히 감소되었으며, 혼화재를 혼합한 콘크리트 중의 염분 침투의 정도는 보통 콘크리트보다 적게 나타났다. 특히 실리카흙 10% 혼합 콘크리트의 염분 침투량이 훨씬 적게 나타났다.
2. 철근의 부식은 콘크리트의 물-시멘트비가 클수록 크게 나타났으나 혼화재를 혼합한 콘크리트에서 부식면적율이 감소되는 결과를 나타내었다. 또한 콘크리트중의 가용성 염분량과 철근의 부식면적율과의 사이에는 약간

의 상관관계가 있었으며, 콘크리트 덮개 10mm 인 시험체의 가용성 염분량이 0.3% 정도에서 철근의 부식이 발생하였다.

3. 해수에 방치한 콘크리트 중의 철근의 자연전위는 재령이 증가하는데 따라 크게 감소되며 철근이 부식된 부분에서의 자연전위값이 적게 나타났으며, 콘크리트 덮개 10mm 인 시험체의 자연전위값 -350mV 이하에서 철근의 부식이 발생됨을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초 연구비에 의하여 수행된 연구의 일부로서 본 연구를 수행할 수 있도록 지원해 준 재단당국에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 文翰英, 金成秀, 柳在碩, “人工海水에 浸漬한 모르타 중의 鐵筋 腐蝕에 대한 研究,” 한국콘크리트 학회 학술발표회 논문집, 제5권 1호, 1993
2. Berke, N.S., “Long-Term Corrosion Resistance of Steel in Silica Fume and Fly Ash Containing Concrete,” Durability of Concrete 2nd International Conference, ACI SP-126, 1991
3. 堅野紀元, “鐵筋콘크리트 造構造物の 耐久性,” 鹿島出版會, 1985
4. 笠井芳夫, “鹽化物による 鐵筋콘크리트의 劣化,” 特集, 鐵筋콘크리트 構造物の 鹽害劣化 콘크리트 工學, Vol.25, NO.11, 1987, pp. 28-31
5. 日本콘크리트工學協會, “콘크리트 構造

物の腐食, 防食に關する試驗方法ならびに規準(案)”, 1987

6. ACI Committee 222, “Corrosion of Metals in Concrete”, ACI Journal, Vol.82, NO.1, 1985 pp.3-32
7. 田村 博, 吉田正友, “콘크리트中鋼材의 非破壞 腐食評價方法について”, 第7回콘크리트工學年次講演會論文集, 1985, pp.45-51
8. Nmai, C.K., Farrington, S.A., and Bobrowsk, G.S., “Organic-Based Corrosion-Inhibiting Admixture for Reinforced Concrete”, Concrete International, April, 1993, pp.45-51
9. Andrade, C., “Effect of Fly Ash in Concrete on the Corrosion of Steel Reinforcement,” Durability of Concrete 2nd International Conference, ACI SP-126, 1991
10. 迫田 惠三 外2名, “海洋環境下における各種暴露 콘크리트의 鹽分浸透と鐵筋의 腐食의 進行狀況”, 콘크리트工學年次論文報告集, 日本콘크리트工學協會, 1988
11. 川上英男, “鐵筋콘크리트建物の鹽分蓄積に關する考察,” 콘크리트工學年次論文報告集, 日本콘크리트工學協會, 1985
12. 小間井孝吉 外2名 “海洋環境に暴露した콘크리트梁中の鹽分濃度の測定と鐵筋의 腐食”, 콘크리트工學年次論文報告集, 日本콘크리트工學協會, 1991
13. Somuah, S.K., Boah, J.K., Patrick Leblanc, Al-tayyib, J., and Al-Mana, I., “Effect of Sulfate and Carbonate Ions on Reinforcing Steel Corrosion as Evaluated Using AC Impedance Spectroscopy.” ACI Journal, January-February, 1991

(접수일자 : 1994. 1. 12)