

염화물이 철근콘크리트의 부식에 미치는 영향

The Effect of Chloride on the Corrosion of Reinforced Concrete

김 정 섭* 신 용 석** 이 설*** 김 광 석***
Kim, Jeong-Sup Shin, Yong-Seok Lee, Sul Kim, Kwang-Seok

Abstract

It is found that as contents of chloride ion and age increase, area of corrosion also increases. Inare increased to 1035 days from 730 days, slope of increase of corrosion area is greatest. Non-rust inhibitor specimens show corrosion area of 8~35 times more than rust inhibitor specimens and anticorrosive effects by application of rust inhibitor can be confirmed. When chloride ion is not contained, corrosion control effects of steel reinforcing according to increase of thickness are found, but specimens having chloride ion show no regular tend of thickness and corrosion due to complex problems such as reverse diffusion of chloride and test errors.

요 지

부식면적에 기준으로 살펴보면, 염화물이온 함유량이 증가할수록, 재령이 증가할수록 부식면적이 증가하는 것으로 나타났다. 특히 염화물이온 함유량이 3kg/m^3 에서 7kg/m^3 로 증가할때, 재령일이 730일에서 1035일로 증가할때 부식면적 증가 기울기가 큰 것으로 나타났다. 방청 시험체에 비해 무방청 시험체에서 약 8~35배 정도 많은 부식면적을 나타내어 방청제 도포에 의한 부식방지에 효과를 확인할 수 있었다. 염화물이온을 함유하지 않은 경우 피복두께 증가에 따른 철근의 부식제어효과를 나타내었으나 염화물 이온을 함유한 시험체에서는 염화물 역확산, 시험오차 등의 복합적인 문제로 피복두께와 부식의 일정한 경향을 볼 수 없었다.

Keywords : Chloride, Corrosion of Steel Bar

핵심 용어 : 염화물, 철근부식

* 정회원, 조선대학교 건축학부 교수, 공학박사

** 정회원, 조선대학교 박사과정

*** 정회원, 조선대학교 박사과정 수료

E-mail : yonggari2002@hanmail.net

•본 논문에 대한 토의를 2005년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 2005년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서론

신도시 건설과 경제발전에 따른 건설수요의 증가로 기존의 주요 골재자원으로 사용되고 있는 하천 골재 및 육상 골재 등은 점차 고갈되고 있는 실정이다.

이에 따라 바다모래 사용의 필요성이 높아지고 있지만 해사에 함유된 염화물에 대한 대책 없는 해사의 무분별한 사용은 콘크리트 중의 염화물량을 증가시킴으로써, 해사 내에 함유된 염화물로 인해 철근콘크리트 구조물 내부의 철근을 부식시키며, 균열증가 및 조기 노후화 등으로 철근콘크리트 구조물의 내구성에 심각한 영향을 주게된다. 또한, 한정된 육상골재뿐만 아니라 3면이 바다로 접해있는 우리나라의 경우 외부에서 유입되는 염화물의 영향에도 노출되어 있다. 근래 해사 활용을 위한 연구들이 이루어지고 있으나, 기존의 대부분 연구는 단기재령에 국한되어 있으며, 실제적인 해사 사용에 따른 콘크리트의 사용성, 내구성에 대한 다각적인 연구가 필요하다.

본 연구에서는 염화물 함유량, 피복두께, 방청제의 혼입 여부에 따라 재령에 따른 압축강도, 철근부식 등을 측정하고 이를 비교·검토하여 해사 사용에 대한 기초적 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 일반 사항

염화물이온 함유량에 따른 철근부식 실험을 진행하기 위하여 부재 시험체를 제작한 후 재령별 자연폭로와 바다물침지를 실시한다. 실험에 사용되는 잔골재는 강모래를, 굵은골재는 갠자갈을 사용하여 수송상태의

Table 1 실험변수

구분	수준
염화물이온 함유량(kg/m ³)	0, 0.3, 0.7
시험체 재령	60일, 90일, 180일, 365일, 730일, 1095일
방청제 도포	a(방청제 도포), b(방청제 미도포)
폭로조건	W(바다물침지), A(자연폭로)

염화물 이온 함유량을 0kg/m³, 0.3kg/m³, 0.7kg/m³로 하여 실험을 실시하였다. 재령은 60일, 90일, 180일, 365일, 730일, 1095일로 하였다.

2.2 시험체 설계

시험체는 20(D)×20(H)×50(L)cm으로 계획하였으며, 철근은 환봉(SR30) ø19mm를 사용하였다. 방청제 도포는 침지법으로 3회 반복하여 방청제에 철근을 침지시킨다. 시험체의 피복두께는 2cm, 4cm, 6cm, 8cm로 하며, 시험체의 상세도는 Fig. 1과 같다

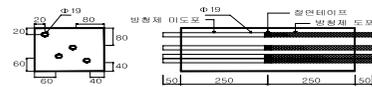


Fig. 1 시험체 상세도

콘크리트의 부어넣기는 거푸집에 조립된 철근을 넣은 후 피복두께 유지를 위해 스페이스(Spacer)를 설치한 후 하였으며, 부어넣기 후 콘크리트 습윤상태를 유지하기 위해 비닐을 덮어 보온양생 한다. 시험체는 28일 이상 양생 후 거푸집 떼어내기 후 이물질을 제거하고, 양생조건에 따라 수중양생 시험체를 하루에 2번씩 조수간만이 있는 완도군 바닷가에 침지하여 양생하였다.

2.3 사용재료

2.3.1 시멘트

본 실험에서는 KS L 5201에 규정된 포틀랜드시멘트를 사용하였고, 시멘트의 화학적 성분 및 물리적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2 시멘트의 화학적 성분 및 비중

화 학 성 분 (%)							비중
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.loss	
21.9	6.59	2.81	60.69	3.32	2.11	2.58	3.15

2.3.2 잔골재

잔골재는 KS F 2502(골재의 체가름 실험 방법)의 규격에 적합한 섬진강에서 채취한 강도래를 사용하였다.

Table 3 잔골재의 물리적 성질

골재종류	최대치수(mm)	비중	흡수율(%)	조립율(F.M)	단위용적중량(kg/m ³)
잔골재	5	2.61	1.05	2.69	1,653

2.3.3 굵은골재

굵은골재는 KS F 2502의 규정에 따라 깎자갈을 사용하였으며, 굵은골재의 물리적 성질은 Table 4와 같다.

Table 4 굵은골재의 물리적 성질

종류	단위용적중량(kg/m ³)	표준비중(%)	흡수율(%)	조립율(F.M)
굵은골재	1,550	2.67	1.24	6.83

2.3.4 철근

실험에 사용된 철근은 환봉(SR30) ø19mm를 길이 60mm로 절단하여 이물질 제거를 위해 공업용 알콜로 철근표면을 깨끗이 닦은 후 사용하였으며, 철근의 재료특성은 Table 5와 같다.

Table 5 철근의 재료특성

종류(mm)	단면적(cm ²)	인장강도(MPa)	항복강도(MPa)	연신율(%)
ø19	4.425	4.88	3.46	26.0

2.3.5 염화나트륨(Sodium chloride)

염화물 이온량을 조절하기 위해 순도 95%인 인공 화학염을 사용하였다.

2.3.6 방청제

철근과 콘크리트의 부착력이 우수해야 하며, 콘크리트 내부에서 성능이 저하되지 않고 접착 성능 및 내후성이 우수한 방청제를 사용하였다. 방청제의 물리적 특성은 Table 6과 같다.

Table 6 방청제의 물리적 특성

방청제	특성	사용량	비고
산화방지제(VCI) 셀룰로이즈	·금속 표면과의 밀착성 우수 ·콘크리트와의 부착성 양호 ·철근 녹 발생 방지 우수 ·내염수성 우수	녹 또는 불순물을 제거 후 0.1l/m ² 도포	유성

2.4 배합계획

시험체에 사용된 콘크리트는 설계기준강도 24MPa 콘크리트의 배합순서는 굵골재, 시멘트, 잔골재, 물과 같은 순서로 배합하였다.

배합이 끝난 후 믹서에서 배출된 콘크리트를 바닥에서 다시 한번 비빔을 한 후 KS F 2402(포틀랜드시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험방법)의 규격에 의하여 슬럼프 확인 후 부어넣기 한다.

Table 7 콘크리트 배합표

염화물 이온 함유량(kg/m ³)	W/C (%)	슬럼프(cm)	잔골재율(%)	단위수량(kg/m ³)	중량(kg/m ³)		
					시멘트	모래	자갈
0	55	15	36.1	183	327	663	1,173
0.3							
0.7							

3. 실험 방법 및 결과

3.1 부식도 실험

염화물 이온함유량별 및 방청제 도포, 미도포시험체를 만능시험기를 이용하여 파괴한 다음

철근의 부식면적을 측정하는 방법으로, 1mm간격의 그리드(grid)가 표시된 투명 셀로판지를 이용하여 철근의 부식면적을 도시하고, 이의 면적을 구하여 전체 면적에 대한 비율로 표시한다.

$$\text{부식면적율}(\%) = (n/N) \times 100$$

$$n = \text{부식면적의 결점수}$$

$$N = \text{전체면적}$$

3.2 철근의 부식 측정

염화물이온 함유량의 증가와 방청제의 도포 유무 및 피복두께에 따라 재령 60일, 90일, 180일, 365일,

730일, 1095일에 철근부식을 조사하였다. 60일, 90일, 180일의 시험체에서는 방청제 도포유무에 상관없이 철근부식이 나타나지 않았으며, 365일, 730일, 1,095일의 철근부식 측정결과는 Table 8, Table 9와 같다.

Table 8 염화물이온 함유량과 피복두께에 따른 철근 부식면적(바다물침지)

시험체명	염화물이온 함유량 (kg/m ³)	피복 두께 (cm)	방청제 도포(a)				방청제 미도포(b)			
			No.1		No.2		No.1		No.2	
			부식 면적 (cm ²)	부식도 백분율 (%)	부식 면적 (cm ²)	부식도 백분율 (%)	부식 면적 (cm ²)	부식도 백분율 (%)	부식 면적 (cm ²)	부식도 백분율 (%)
W365-C0	0	2	0.17	0.13	0.13	0.10	0.49	0.38	0.13	0.10
		4	0.11	0.08	0.11	0.08	0.42	0.32	0.30	0.23
		6	0.06	0.05	0.07	0.05	0.26	0.20	0.07	0.05
		8	0.03	0.02	0.05	0.04	0.14	0.11	0.07	0.05
W365-C3	0.3	2	0.23	0.18	0.16	0.12	0.22	0.17	0.95	0.73
		4	0.22	0.17	0.07	0.05	0.91	0.70	0.68	0.52
		6	0.15	0.12	0.06	0.05	0.34	0.26	0.23	0.18
		8	0.14	0.11	0.05	0.04	0.33	0.25	0.09	0.07
W365-C7	0.7	2	0.72	0.55	0.46	0.35	5.80	4.46	4.77	3.67
		4	0.66	0.51	0.42	0.32	4.47	3.44	3.03	2.33
		6	0.53	0.41	0.30	0.23	4.34	3.34	2.13	1.64
		8	0.50	0.38	0.20	0.15	2.64	2.03	1.43	1.10
W730-C0	0	2	0.14	0.11	1.06	0.82	7.92	6.09	7.92	6.09
		4	0.28	0.22	0.36	0.28	7.03	5.41	7.03	5.41
		6	0.21	0.16	0.10	0.08	1.12	0.86	1.12	0.86
		8	0.69	0.53	0.30	0.23	10.57	8.13	10.57	8.13
W730-C3	0.3	2	0.98	0.75	1.42	1.09	9.07	6.98	23.69	18.22
		4	0.77	0.59	0.37	0.28	2.07	1.59	11.21	8.62
		6	0.35	0.27	1.40	1.08	19.49	14.99	12.42	9.55
		8	1.28	0.98	1.80	1.38	29.72	22.86	24.75	19.04
W730-C7	0.7	2	0.79	0.61	0.79	0.61	34.33	26.41	19.12	14.71
		4	2.54	1.96	2.54	1.96	12.28	9.45	11.48	8.83
		6	3.50	2.69	3.50	2.69	4.17	3.21	15.03	11.56
		8	0.82	0.63	0.82	0.63	3.94	3.03	6.72	5.17
W1095-C0	0	2	26.89	20.69	7.68	5.91	35.21	27.08	14.32	11.02
		4	0.69	0.53	0.27	0.21	4.32	3.32	10.87	8.36
		6	0.70	0.54	0.76	0.59	17.16	13.20	6.79	5.22
		8	1.13	0.87	0.97	0.75	17.79	13.68	6.21	4.78
W1095-C3	0.3	2	34.59	26.61	1.27	0.98	34.31	26.39	116.64	89.72
		4	2.07	1.59	6.07	4.67	43.69	33.61	7.38	5.68
		6	0.68	0.53	1.26	0.97	3.03	2.33	12.50	9.62
		8	0.74	0.58	0.46	0.36	3.53	2.72	38.97	29.98
W1095-C7	0.7	2	11.36	8.75	19.00	14.62	103.03	79.25	34.09	26.22
		4	42.79	32.92	31.60	24.31	36.60	28.15	24.18	18.60
		6	27.3	21.00	35.36	27.20	68.01	52.32	47.51	36.55
		8	12.35	9.50	15.90	12.23	40.18	30.91	39.99	30.76

주) ● W : 바다물 침지 ● 365, 730, 1095 : 시험체 재령 ● C0, C3, C7 : 염화물이온 함유량

Table 9 염화물이온 함유량과 피복두께에 따른 철근 부식면적(자연폭로)

시험체명	염화물이온 함유량 (kg/m ³)	피복 두께 (cm)	방청제 도포(a)				방청제 미도포(b)			
			No.1		No.2		No.1		No.2	
			부식 면적 (cm ²)	부식도 백분율 (%)	부식 면적 (cm ²)	부식도 백분율 (%)	부식 면적 (cm ²)	부식도 백분율 (%)	부식 면적 (cm ²)	부식도 백분율 (%)
A365-C0	0	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.18	0.81	0.62
		4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.12	0.23	0.18
		6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.08	0.21	0.16
		8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.08	0.06
A365-C3	0.3	2	0.00	0.00	0.00	0.00	1.56	1.20	2.06	1.58
		4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94	0.72	1.31	1.01
		6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.25	1.26	0.97
		8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93	0.72	0.00	0.00
A365-C7	0.7	2	0.00	0.00	0.00	0.00	3.08	2.37	6.05	4.65
		4	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70	1.31	4.97	3.82
		6	0.00	0.00	0.00	0.00	1.51	1.16	3.42	2.63
		8	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	1.12	0.75	0.58
A730-C0	0	2	0.07	0.05	0.10	0.08	0.02	0.02	0.15	0.12
		4	1.12	0.86	0.10	0.08	2.31	1.78	0.52	0.40
		6	0.11	0.08	0.53	0.41	0.50	0.38	0.01	0.01
		8	0.23	0.18	0.13	0.10	0.09	0.07	0.01	0.01
A730-C3	0.3	2	0.15	0.12	0.12	0.09	0.39	0.30	0.16	0.12
		4	0.16	0.12	0.20	0.15	0.15	0.12	0.55	0.42
		6	0.02	0.02	0.08	0.06	0.98	0.75	0.23	0.18
		8	0.10	0.08	0.28	0.22	0.34	0.26	1.34	1.03
A730-C7	0.7	2	0.18	0.14	1.11	0.85	0.05	0.04	3.21	2.47
		4	0.33	0.25	0.33	0.25	0.00	0.00	10.97	8.44
		6	0.23	0.18	0.09	0.07	2.27	1.75	0.98	0.75
		8	0.22	0.17	0.65	0.50	2.96	2.28	7.53	5.79
A1095-C0	0	2	1.15	1.15	0.52	0.40	1.56	1.20	2.04	1.57
		4	0.48	0.37	0.30	0.23	1.12	0.86	1.46	1.12
		6	0.02	0.02	0.38	0.29	1.63	1.25	1.49	1.15
		8	1.79	1.38	0.69	0.53	0.56	0.43	0.56	0.43
A1095-C3	0.3	2	2.53	1.95	1.05	0.81	3.77	2.90	3.77	2.90
		4	2.56	1.97	1.76	1.35	9.87	7.59	4.01	3.08
		6	1.11	0.85	1.43	1.10	13.04	10.03	1.22	0.94
		8	0.76	0.58	1.02	0.78	14.36	11.05	0.99	0.76
A1095-C7	0.7	2	5.41	4.16	1.79	1.38	13.53	10.41	13.53	10.41
		4	0.85	0.65	0.15	0.12	14.31	11.00	28.93	22.25
		6	1.49	1.15	0.66	0.51	15.82	12.17	23.63	18.18
		8	1.14	0.88	0.28	0.22	9.24	7.11	15.32	11.78

주) ● A : 자연폭로 ● 365, 730, 1095 : 시험체 제형 ● C0, C3, C7 : 염화물이온 함유량



Photo 1 자연폭로 시험체



Photo 2 바다물침지 시험체

3.2.1 염화물 이온 함유량에 따른 부식면적

염화물이온 함유량이 많고, 재령이 증가할수록 부식면적이 증가하는 경향을 볼 수 있었으며, 자연폭로된 시험체에서는 재령 1,095일 염화물이온 함유량 0.7kg/m²의 피복 4cm에서 28.93cm²이, 바다물침지된 재령 1,095일의 염화물이온 함유량 0.7kg/m²의 피복 6cm에서 57.76cm²의 철근부식면적이 발생하는 것으로 나타났다.

0kg/m²의 염화물이온을 함유한 시험체를 기준으로 하였을 때 무방청시험체의 경우 염화물이온 0.3kg/m² 함유 시험체에서 1.06 ~ 16.8배, 0.7kg/m² 함유 시험체에서 1.79 ~ 104.9배가, 방청시험체의 경우 염화물이온 0.3kg/m² 함유 시험체에서 1.04 ~ 8.47배, 0.7kg/m² 함유 시험체에서 1.78 ~ 77.4배 부식면적이 증가하였다. 염화물 이온 함유량을 0kg/m²에서 0.3kg/m²로 증가시켰을 때 염화물이온 증가에 따른 부식면적의 증가량이 완만하였으나, 0.7kg/m²로 증가시켰을 경우 부식면적이 급격하게 증가하는 것을 확인하였다.

3.2.2 재령에 따른 부식면적

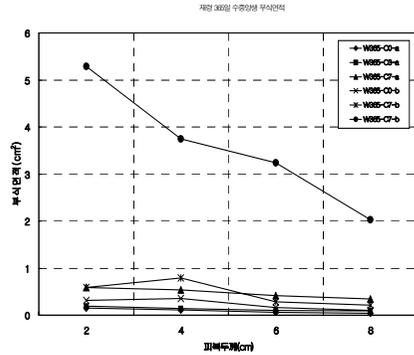
재령 60일, 90일, 180일까지는 부식이 나타나지 않았으며, 재령 365일 이후 재령이 증가됨에 따라 부식면적이 증가하는 것으로 나타났다.

최초 부식이 발생하는 재령의 부식면적 보다 재령 1,095일 일때 자연폭로 시험체에서는 최대 21배, 바다물침지 시험체에서는 최대 115배 높게 나타나 재령 1,095일 이후 철근부식 빠르게 진행되어짐을 확인할 수 있었다.

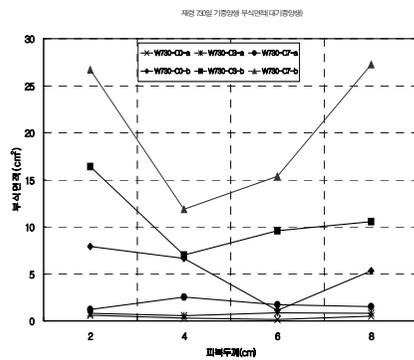
방청제를 도포하지 않은 재령 365일까지의 철근부식면적은 자연폭로 시험체와 바다물침지 시험체에서 거의 비슷한 것으로 나타났으나, 재령 730일 이후에는 자연폭로 시험체에 비해 바다물침지 시험체의 부식면적이 약 6배 이상 크게 증가한 것으로 나타났다. 재령이 경과함에 따라 외부에서 공급되어지는 수분과 염화물의 영향인 것으로 사료된다.

3.2.3 피복두께에 따른 부식면적

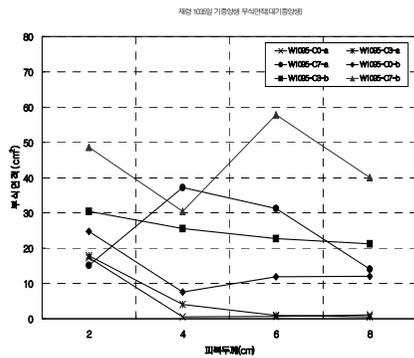
자연폭로 시킨 무방청 시험체에서 염화물이온을 0 kg/m² 함유한 경우, 8cm 피복을 가진 시험체에 비하여



a) 재령 365일



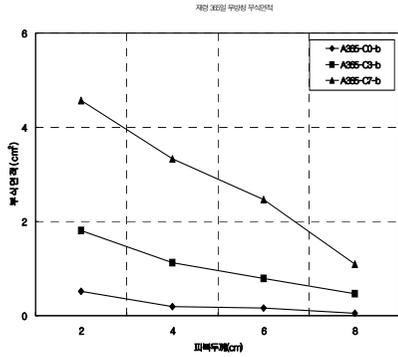
b) 재령 730일



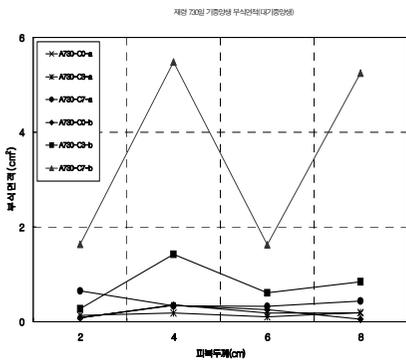
c) 재령 1095일

Fig. 2 바다물침지 시험체 부식면적

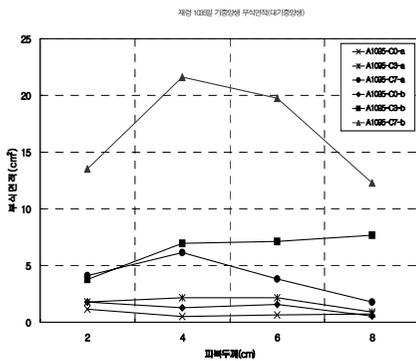
피복두께가 작을수록 철근부식면적이 증가하는 것으로 나타났다.



(a) 재령 365일



(b) 재령 730일



(c) 재령 1095일

Fig. 3 자연폭로 시험체 부식면적

바다물침지 시킨 시험체와 0.3kg/m^3 와 0.7kg/m^3 의 염화물이온을 함유한 자연폭로 시험체에서는 피복두께

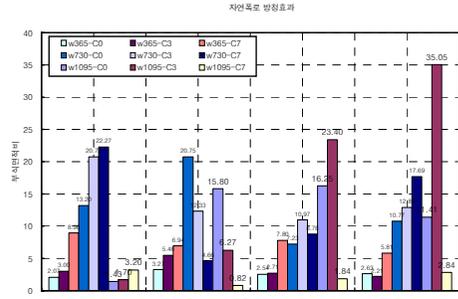


Fig. 4 바다물침지 시험체 방청효과

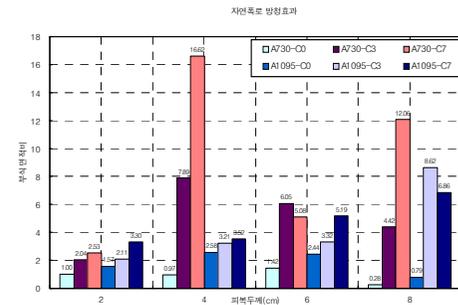


Fig. 5 자연폭로 시험체 방청효과

와 부식면적의 일정한 상관관계를 규정할 수 있는 전반적인 경향을 나타내지 않았으며, 염화물이온 함유량이 증가할수록 이런 결과는 더 심하게 나타났다.

자연폭로 시킨 무방청 시험체에서 염화물이온을 0kg/m^3 함유한 경우, 부식면적은 피복 8cm를 기준으로 하였을 때 2cm 피복 시험체에서 1.57~3.43배 크게 측정되었다.

3.2.4 방청제의 도포 유무에 따른 부식면적

방청제를 도포한 시험체를 기준으로 하였을 때, 부식면적은 바다물침지 시킨 무방청시험체의 W365-C7 피복 2cm에서 8.96배, W730-C7 피복 2cm에서 22.27배, W1095-C3 피복 8cm에서 35.05배가, 자연폭로 시킨 무방청시험체의 A730-C7 피복 4cm에서 16.62배, A1095-C3 피복 8cm에서 8.62배가 크게 나타났다.

방청과 무방청 시험체를 비교한 결과 방청제 도포에

의한 방청제어 효과를 확인할 수 있었으며, 자연폭로 시험체의 경우보다 외부에서 유입된 수분과 염화물로 인해 많은 부식면적이 발생한 바다물침지 시험체의 경우에 그 효과가 더 큰 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 육상골재의 부족으로 인한 해사 사용의 활용도를 높이기 위하여 염화물 함유량 및 방청제 도포 유무, 피복두께에 따른 재령별 철근의 부식 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 염화물이온 함유량을 기준으로 각 시험체를 비교하면, 염화물이온 함유량이 많을수록 부식면적이 증가하는 경향을 볼 수 있었다.
그리고 염화물이온 함유량 증가에 따른 부식증가율은 함유율이 0kg/m^3 에서 3kg/m^3 로 보다 7kg/m^3 로 증가할 때 부식이 빠르게 증가하는 것을 볼 수 있었다. 부식과 염화물 함유량에 대한 관계를 정립하여 경제적인 해사 활용방안의 제안을 위하여 좀더 세분화된 염화물이온 함유량을 변수로 추가 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다.
- 2) 재령 365일의 무방청 시험체와 재령 730일 이후 모든 시험체에서 철근부식이 발생하였고 7재령이 증가할수록 철근부식면적이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 철근부식이 처음 발생하는 재령의 시험체의 기준으로 할때 재령 1095일에서 철근부식면적이 급한 증가폭을 나타내었다.
- 3) 방청제를 도포한 시험체를 기준으로 하였을 때, 방청에 의한 효과를 확인할 수 있었으며, 자연폭로의 경우보다 바다물침지의 경우에 방청제 도포에 따른 효과가 더 큰 것으로 나타났다.
그러므로 해안지역과 같이 염화물과 수분의 침투가 용이한 지역에서는 방청에 대한 대책이 이루어진 시공이 필수적일 것으로 사료된다.

- 4) 염화물이온을 함유하지 않은 자연폭로조건의 무방청 시험체에서는 피복두께가 작을수록 높은 부식면적을 나타내어 피복두께 확보에 따른 효과를 볼 수 있었으나, 염화물이온을 함유한 시험체에서는 피복두께와 부식면적과의 일정한 경향을 찾기 어려웠다.

이는 시험체 제작초기부터 콘크리트에 함유되어 있는 내부 염화물이 시간이 경과함에 따라 시험체 외부방향으로 역확산, 시험오차 등의 복합적인 요인에 의한 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2002학년도 조선대학교 학술연구비를 지원 받아 연구되었음.

참고문헌

1. 김정섭의 5인, “염화물 함유량에 따른 철근 부식에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 제23권 제1호, 2003.04.
2. 강연구, “염화물 함유량에 따른 콘크리트의 내구성에 관한 연구”, 조선대학교 석사학위논문, 2000.02.
3. 한국건설기술연구원, “해사사용시 염화물이 콘크리트 내구성에 미치는 영향에 관한 조사연구”, 한국건설기술연구원 연구보고서, 1999.12.
4. 김영수의 1인, “염화물 함유 콘크리트의 철근 부식방지에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 제17권 제1호, 1997.4.
5. 김무한의 4인, “콘크리트 밀실화에 의한 염해대책 및 방청효과에 관한 기초적연구”, 대한건축학회 논문집 제13권 제1호, 1993.4.
6. 콘크리트構造物の 補修補強工法 研究委員會報告書, 社團法人日本콘크리트 工學協會, 1992.10.
7. 콘크리트構造物の腐蝕・防食に關する試驗方法ならびに規集(案), 社團法人日本 콘크리트 工學協會, 技文堂, 1991.4.

(접수일자 : 2004년 12월 3일)