

방청제에 의한 콘크리트 내의 철근 방식법에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Corrosion Protection Method of Reinforcing Steel in Concrete by Using Corrosion Inhibitor

배 수 호* 정 영 수** 권 영 우*** 김 년 산*** 권 혁 진***
Bae, Su Ho Chung, Young Soo Kwon, Young Woo Kim, Nyun San Kwon, Hyuk Jin

ABSTRACT

The corrosion protection methods of reinforcing steel in concrete are the various methods such as increasing thickness of cover concrete, using of reinforcing bars coated with epoxy, dosage of corrosion inhibitor as concrete admixture, cathodic protection method and etc. The most economical method of them will be the corrosion protection method using corrosion inhibitor as concrete admixture. Therefore, the purpose of this research is to investigate the performance of corrosion protection of ordinary strength and high strength concrete using corrosion inhibitor, respectively. For this purpose, after manufacturing ordinary strength and high strength concrete with and without corrosion inhibitor, the accelerated corrosion tests for reinforcing steel were conducted according to the periodic cycles(140 days) of wetting (65°C, 90% R.H.) and drying period(15°C, 65% R.H.). As a result, the high strength concrete using corrosion inhibitor showed an excellent performance of corrosion protection.

1. 서 론

최근에 정부가 추진하고 있는 영종도 신공항 건설, 서해안 고속도로 및 경부 고속철도 건설 등 대규모 건설공사로 골재의 수요가 급증하고 있으며, 특히 천연산 잔골재인 강모래의 부족현상은 심각한 실정이다. 이로 인해 강모래의 대체 잔골재로서 바다모래의 사용이 매년 증가하고 있으며, 이에 따라 대부분의 모래 야적장에서는 제염되지 않은 바다모래를 출하하고 있는 실정이다. 그러나 바다모래는 함유된 염화물로 인하여 제염되지 않은 채로 철근 콘크리트 구조물에 사용될 경우 콘크리트 내의 철근부식 유발 및 촉진으로 철근에 의한 축방향 균열이 발생하여 구조물의 내구성이 크게 저하되며, 심한 경우에는 공식에 의한 철근의 신장능력 저하 및 철근단면의 감소로 구조물의 내하력 저하 등이 발생하는 염해를 일으킨다.

한편, 제설이나 동해방지를 목적으로 교량 슬래브에 살포되는 제설제는 주성분이 염화칼슘으로, 그것이 콘크리트 속에 허용치 이상으로 침투될 경우 철근 부식 등으로 내구성에 악영향을 미친다. 또한 해양환경 즉, 해중 또는 물보라 지역이나 해상 대기중에 위치한 철근 콘크리트 구조물은 시공시 양질의 강모래나 제염된 바다모래를 사용해도 구조물 주변의 염분이 직·간접으로 콘크리트 속에 침투되어 그것이 허용치를 초과하면 철근 부식 및 콘크리트 균열을 유발하는 등 구조물의 내구성을 크게 저하시킨다.

* 정회원, 안동대학교 토목환경공학과 조교수

** 정회원, 중앙대학교 토목공학과 교수

*** 정회원, 안동대학교 토목환경공학과 석사과정

이같은 염해환경하에 있는 콘크리트 내의 철근의 부식억제 방법에는 피복두께를 증가시키는 방법, 에폭시수지 도장철근의 사용법, 방청제 사용법 및 전기방식법 등이 있는데, 본 연구에서는 방청제 사용법에 의한 콘크리트 내의 철근의 부식억제 효과를 검토하였다. 이를 위하여 방청제 사용유무에 따라서 염분함량별로 철근콘크리트 공시체를 제작하여 일본콘크리트공학협회의 건습반복법에 의한 콘크리트 내의 철근의 부식촉진시험법¹⁾에 따라 20사이클(140일간) 촉진시험을 실시한 후 콘크리트 속의 철근의 부식상태를 측정하였다.

2. 실험 개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

시멘트는 시중에서 구입한 보통 포틀랜드 시멘트(H사 제품)를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 1.과 같다.

2.1.2 골재

본 연구에 사용된 간골재는 낙동강산(경북 안동시) 하천사, 굵은골재는 안동산(경북 안동시) 부순돌을 이용하였으며, 이들의 물리적 성질은 표 2. 및 표 3.과 같다.

2.1.3 철근

콘크리트 공시체 내의 철근부식 촉진시험을 위한 철근은 D13인 이형철근을 사용하였다.

2.1.4 혼화재료

1) 방청제

콘크리트 내의 철근의 부식억제 효과를 규명키 위하여 본 연구에 사용된 방청제는 G사 제품이며, 그 품질 특성은 표 4.와 같다.

2) 고성능 감수제

본 연구에 사용된 화학혼화제는 고강도 및 유동화 콘크리트용으로 사용되고 있는 나프탈렌계의 고성능 감수제(표준형, K사)를 사용하였다.

3) 혼화제

방청제 사용유무에 따른 실리카흙(SF) 혼입 콘크리트의 부식억제 효과를 파악키 위하여 북아메리카산 실리카흙(분말도 200,000 $\mu\text{m}^2/\text{g}$, 비중 2.2)을 사용하여 실리카흙 혼입 콘크리트를 제작하였다.

2.1.5 염화나트륨(NaCl)

콘크리트의 염분농도를 조절하기 위하여 고체상태의 공업용 염화나트륨(순도 96% 이상)을 미분쇄하여 콘크리트 혼합수 중에 첨가하였다.

표 1. 시멘트의 물리적 성질

시멘트 종 류	비중	용결시간		분말도 ($\mu\text{m}^2/\text{g}$)	압축강도 (kgf/cm^2)		
		초결(min)	종결(hr)		σ_3	σ_7	σ_{28}
보 통 포틀랜드	3.12	150	5.5	3,465	194	245	308

표 3. 굵은골재의 물리적 성질

항 목	굵은골재 최대치수 (mm)	비중	흡수율 (%)	단위용적중량 (tf/m^3)	조립률	마모율 (%)
부순돌 (안동산)	20	2.65	0.6	1.648	6.57	28.5

표 2. 잔골재의 물리적 성질

항 목	비중	흡수율 (%)	단위용적중량 (tf/m^3)	200번체 통과량 (%)	조립률
하천사 (낙동강산)	2.60	1.08	1.597	2.2	2.92

표 4. 방청제의 품질 특성

ASTM 분류명	비중	pH	침가량 (g/m^3)	교형분 (%)	빙점 ($^{\circ}\text{C}$)
C 494 Type C	1.3	8~10	10~30	32~36	-15

2.2 실험방법

2.2.1 공시체 제작

본 연구에서는 방청제 사용에 의한 콘크리트 내의 철근의 부식억제 효과를 규명키 위하여 보통강도 및 고강도 콘크리트 각각에 대해서 염분농도를 간골재 증량비로 0.1%, 0.2% 및 0.5%로 변화시키면서 방청제 사용유무별 철

근콘크리트 공시체를 제작하였고, 또한 방청제가 콘크리트 강도특성에 미치는 영향을 파악기 위하여 방청제 사용 유무에 따른 콘크리트 공시체를 추가 제작하였다. 표 5. 및 표 6.은 각각 방청제 사용유무에 따른 보통강도 및 고강도 콘크리트의 배합표를 나타낸 것이다.

2.2.2 실험방법

1) 철근부식 촉진시험

콘크리트 내의 철근의 부식특성을 규명키 위해서는 실제 부식환경하에서의 실험이 효과적이거나 이는 장기간 소요되기 때문에 여러 가지 변수에 의한 부식특성을 파악하는 데는 비효율적이다. 따라서 본 연구에서는 「일본콘크리트공학협회」의 건습 반복법에 의한 콘크리트 내의 철근의 부식 촉진시험법에 따라 부식촉진실험을 수행하였다.

표 7.은 철근콘크리트 공시체의 부식촉진 실험 조건을 나타낸 것이다.

2) 압축강도 시험

방청제가 콘크리트의 강도특성에 미치는 영향을 파악기 위한 강도시험은 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험 방법)에 따라 제령별(3일, 7일, 28일, 91일)로 하였다.

표 5. 보통강도 콘크리트의 배합표

NaCl(%) (잔골재 중량비)	방청제 (ℓ/m ³)	G _{max} (mm)	Slump (cm)	V _a (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m ³)				Super Plasterizer (C×%)	Remarks
							W	C	S	G		
0.1	0	20	17.0	3.0±0.5	50.5	41	182	360	728	1,040	0.7	강도시험수행
	10	20	15.8	3.0±0.5	50.5	41	182	360	728	1,040	1.0	
0.2	0	20	16.5	3.0±0.5	50.5	41	182	360	728	1,040	0.8	
	10	20	15.7	3.0±0.5	50.5	41	182	360	728	1,040	1.0	
0.5	0	20	16.0	3.0±0.5	50.5	41	182	360	728	1,040	0.7	
	10	20	15.8	3.0±0.5	50.5	41	182	360	728	1,040	1.0	

표 6. 고강도 콘크리트의 배합표

NaCl(%) (잔골재 중량비)	SF 대체비 (%)	방청제 (ℓ/m ³)	G _{max} (mm)	Slump (cm)	V _a (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m ³)					SP계 (B×%)	Re.
								W	C	SF	S	G		
0.1	0	0	20	20.0	3.0±0.5	32	37	176	550	0	621	1,004	1.4	강도시험수행
		10	20	18.5	3.0±0.5	32	37	176	550	0	621	1,004	1.9	
	10	0	20	18.5	3.0±0.5	32	37	176	495	55	614	992	1.8	
		10	20	19.0	3.0±0.5	32	37	176	495	55	614	992	2.2	
0.2	0	0	20	19.1	3.0±0.5	32	37	176	550	0	621	1,004	1.4	
		10	20	19.0	3.0±0.5	32	37	176	550	0	621	1,004	1.9	
	10	0	20	19.0	3.0±0.5	32	37	176	495	55	614	992	1.8	
		10	20	19.0	3.0±0.5	32	37	176	495	55	614	992	2.2	
0.5	0	0	20	19.5	3.0±0.5	32	37	176	550	0	621	1,004	1.4	
		10	20	19.0	3.0±0.5	32	37	176	550	0	621	1,004	1.9	
	10	0	20	20.8	3.0±0.5	32	37	176	495	55	614	992	1.8	
		10	20	19.0	3.0±0.5	32	37	176	495	55	614	992	2.2	

표 7. 철근콘크리트 공시체의 부식촉진실험 조건

3.1.2 고강도 콘크리트

그림 2.는 염분함량에 따른 OPC 및 실리카흄 콘크리트에 대해서 방청제 사용유무별로 부식촉진시험을 수행한 결과를 나타낸 것이다.

방청제를 사용한 고강도 콘크리트는 실리카흄의 사용유무에 관계없이 염분함량이 잔골재 중량비로 0.2%까지 철근의 부식이 전혀

실험방법	실험조건			
	습윤기간(3일)	건조기간(4일)	1사이클	비 고
건습반복	65℃, 90% RH	15℃, 60% RH	7일	20 사이클 실시

발생하지 않았으며, 또한 이 경우는 염분함량 0.5%일 때의 철근의 부식면적률도 방청제를 사용하지 않은 경우보다 크게 감소되는 것으로 나타났다. 한편, 방청제를 사용하지 않은 고강도 콘크리트는 실리카흄의 사용유무에 관계없이 염분함량이 0.1%인 경우도 부식 발생이 나타나, 방청제의 사용없이 콘크리트의 고강도화만으로는 완전방식 효과를 기대할 수 없는 것으로 나타났으나, 이 경우 철근의 부식면적률은 보통강도 콘크리트의 경우에 비해 크게 작아지는 것으로 나타나 고강도 콘크리트의 부식억제 효과는 매우 큰 것으로 나타났다. 또한, 고강도 콘크리트의 경우 실리카흄의 사용유무에 따른 철근의 방식효과는 그다지 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 콘크리트의 고강도화만으로는 완전방식 효과를 거두기 어려운 것으로 나타났으며, 방청제를 사용한 고강도 콘크리트의 경우가 본 촉진시험에서 가장 우수한 방식효과가 있는 것으로 나타났다. 본 연구시험에서는 물-시멘트비가 각각 50.5%, 32%인 경우 염분함량이 0.1%, 0.2% 및 0.5%에 대해서만 촉진시험을 수행하였으므로, 급후 물-시멘트비 및 염분함량을 더 세분화하여 촉진시험을 수행하면, 각 염분함량에 대한 완전방식이 이루어지는 최대 물-시멘트비가 존재할 것으로 추정된다.

3.2 방청제가 콘크리트의 강도특성에 미치는 영향

본 연구에서는 방청제가 콘크리트의 강도특성에 미치는 영향을 규명하기 위하여 방청제를 사용한 보통강도 및 고강도 콘크리트에 대해서 재령별(3일, 7일, 28일, 91일)로 강도시험을 수행하였는데, 그 결과는 그림 3. 및 그림 4.와 같다. 보통강도 콘크리트의 경우 방청제를 사용한 콘크리트의 압축강도는 재령에 관계없이 그렇지 않은 OPC 콘크리트의 경우보다 오히려 약간 크게 나타났으며, 고강도 콘크리트의 경우는 OPC 및 실리카흄 콘크리트 모두 재령에 관계없이 방청제 사용유무에 따른 강도특성이 뚜렷하지 않은 것으로 나타나, 본 연구에 사용된 방청제가 콘크리트의 강도특성에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

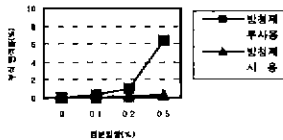


그림 1. 방청제 사용유무에 따른 철근의 부식특성 (보통강도 콘크리트)

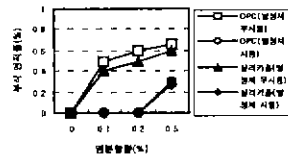


그림 2. 방청제 사용유무에 따른 철근의 부식특성 (고강도 콘크리트)

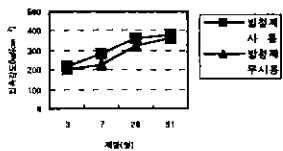


그림 3. 방청제 사용유무에 따른 보통강도 콘크리트의 강도

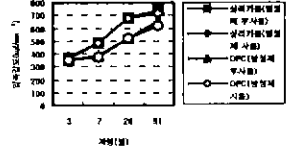


그림 4. 방청제 사용유무에 따른 고강도 콘크리트의 강도

4. 결론

- 1) 일본콘크리트공학회회의 건설반복법에 의한 콘크리트 내의 철근의 부식촉진시험법에 따라 촉진시험을 수행한 결과 방청제를 사용한 보통강도 콘크리트의 경우, 염분함량이 간결재 중량비로 0.1%까지 철근의 부식이 전혀 발생하지 않았으며, 이 경우 염분함량이 각각 0.2%, 0.5%일 때의 철근의 부식면적률도 방청제를 사용하지 않은 경우보다 크게 감소되는 것으로 나타났다.
- 2) 방청제를 사용한 고강도 콘크리트는 실리카흄의 사용유무에 관계없이 염분함량이 0.2%까지 철근의 부식이 전혀 발생하지 않았고, 염분함량 0.5%일 때의 철근의 부식면적률도 방청제를 사용하지 않은 경우보다 크게 감소되는 것으로 나타났다. 방청제를 사용하지 않은 고강도 콘크리트는 염분함량 0.1%부터 철근의 부식발생이 나타났으나, 철근의 부식면적률은 보통강도 콘크리트의 경우보다 크게 감소되는 것으로 나타났다. 한편, 고강도 콘크리트의 경우 방청제 사용유무에 관계없이 실리카흄의 사용에 따른 방식효과는 미미한 것으로 나타나, 방청제의 사용없이 콘크리트의 고강도화만으로는 완전방식 효과를 기대할 수 없는 것으로 나타났다.
- 3) 방청제 사용유무에 따른 콘크리트의 강도특성은 재령에 관계없이 뚜렷한 변화가 없는 것으로 나타나, 본 연구에 사용된 방청제가 콘크리트의 강도특성에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.
- 4) 본 연구에서는 물-시멘트비가 각각 50.5%, 32%인 경우 염분함량이 0.1%, 0.2% 및 0.5%에 대해서만 촉진시험을 수행하였으므로, 급후 물-시멘트비 및 염분함량을 더 세분화하여 촉진시험을 수행하면 각 염분함량에 대한 완전방식이 이루어지는 최대 물-시멘트비가 존재할 것으로 추정된다.

참고문헌

1. 日本コンクリート工學協會, “コンクリート構造物の腐蝕・防蝕に關する試験方法ならびに規準”, 1991. 4
2. 건설교통부, “콘크리트 구조물의 내구성 향상을 위한 철근방식 방안 연구”, 1997. 12
3. 官川豊章, “鹽害(その1, 原因と 腐蝕機構)”, 콘크리트工學, Vol. 32, No. 6, 1994. 6, pp. 66~71
4. 官川豊章, “鹽害(その2, 對策)”, 콘크리트工學, Vol. 32, No. 8, 1994. 8, pp. 73~80