

철근부식억제형 구체방수제의 방청효과에 관한 연구

A Study on Anti-Corrosion Effect of Powder Self Water Proof Admixture Mixed Corrosion Inhibitor for Reinforcing Steel

신 도 철*
Do-Chul Shin

손 형 호**
Hyung-Hoo Son

김 원 화***
Won-Hwa Kim

ABSTRACT

This study is intended to develop the self water proof admixture for durability concrete by anti-corrosion inhibitor. Chloride induced corrosion of reinforcement is one of the main factor which cause the deterioration of concrete structure. When the substitute anti-corrosion agents for a part of self waterproofing agent, the corrosion-proof increases for the increased water proofing capacity. And proper self waterproofing agent by cement weight in concrete was generally positive effect to concrete compressive strength, slump, freezing and thawing resistance. Also, permeability and absorption show a straight decrease when self waterproofing agent is added.

1. 서론

앞으로의 많은 콘크리트 구조물들이 주로 지하공간의 활용, 해양 및 연안지역개발, 터널의 장대화, 각종 오폐수 정화와 환경관련 처리시설 등에 집중됨에 따라서 콘크리트 구조물에 요구되는 성능은 지금까지와는 달리 보다 내구적이고 고품질을 확보할 수 있는 다기능성을 요구하고 있다. 특히 각종 토목 및 건축구조물의 지하공간 활용측면에서 콘크리트에 요구되는 주요한 성능 중의 하나로서는 수밀성을 통한 구체의 발수성능과 각 종 열화성분에 대한 강건한 내구성능을 들 수 있다.

콘크리트의 방수성능은 현재까지 콘크리트 구조물이 기본적인 방수성능을 지니고 있음에도 불구하고 멤브레인(Membrane)계 방수를 하여야 하는 근본적인 이유로는 콘크리트가 지니고 있는 방수성능만으로는 지하구조물이나 물과 접하는 콘크리트가 흡수, 투수에 대한 저항성(방수성)이 부족하기 때문이다. 따라서 콘크리트 구조물의 방수성능과 환경조건으로 인한 성능저하를 방지하기 위하여 내·외부 방수로 구조물의 방수성을 높여야 하는 것이다. 또한 해양이나 연안지역, 환경오염 처리시설의 구조물 거치조건은 각종 염류와 염소이온과 같이 콘크리트와 철근을 부식시키는 성분들이 다량으로 존재하고 있어 방수와 더불어 콘크리트 내염성 측면에 대한 대책도 필요하다. 지금까지 콘크리트 방수성과 내염성 향상을 위한 대책방안은 콘크리트 시공 후의 콘크리트 표면에 도막이나 시트방수재를 사용하였으나, 시공상 적용이 어려운 부위발생, 많은 공사 하자요인 상존, 경제성의 저하(시공비 상승 및 공기지연)등의 문제점이 내포되어 있다.

특히 염해지역에서의 철근 콘크리트 부식방지와 내구성 향상을 위해서는 별도의 콘크리트 내염대책

* 정회원, 한국건설품질시험원 특수건설팀장

** 정회원, 한국건설품질시험원 부장, 여주대학 토목과 겸임교수

*** 장산방수산업주식회사 부사장

이 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 구체 방수재에 대한 성능을 방수성과 더불어 주로 내염성 측면에서 철근부식방지와 내구특성에 대하여 평가하고 고내구성 구체방수재 개발을 위한 기초자료로 활용코자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같이 물성평가 항목을 크게 콘크리트와 모르타르 특성으로 구분하였으며 무기염계 방청성분이 첨가된 구체방수재의 혼입률별로 물성을 평가하였다. 이 때 기존의 철근방청용 혼화제와 구체방수재와의 성능을 같이 비교 평가하였다.

2.2 사용재료

본 연구에 사용한 시멘트는 국내산 S사의 1종 보통 시멘트를 사용하였으며, 세골재는 세척해사(인천)를 조골재는 25mm 쇄석골재(남양)를 사용하였으며 그 물리적 성질을 표 2,3,4에 각각 나타내었다.

표 1. 실험계획

실험인자	물성평가	시험인자	시험수준
콘크리트	공기량, 슬럼프 압축강도 동탄성계수, 철근방청성	① 구체방수재 혼입율(시멘트 중량 x %) ② 혼화제 종류	0,1,2,3,4,5% (5 수준)
모르타르	모르타르 프로우 압축강도 흡수계수비 투수비		

표 2. 사용 시멘트의 물리적 성질

응결시간		압축강도(kgf/cm ²)			분말도 (cm ² /g)	비중	강열감량 (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)
초결	종결	3 일	7 일	28 일					
245 min	6hr 40min	197	276	351	3280	3.15	1.0	2.9	2.0

표 3. 사용 잔골재의 물리적 성질

골재 종류	비중	조립율 (FM)	흡수율 (%)	No.200체 통과량(%)	염화물함량 (%)	유기불순물 (%)	점토함량 (%)	안정성 (%)
해사	2.597	2.77	1.22	1.57	0.0034	연합	-	3.2

표 4. 사용 조골재의 물리적 성질

골재 종류	비중	조립율 (FM)	흡수율 (%)	No.200체 통과량(%)	마모감량 (%)	단위용적중량 (kgf/m ³)	점토함량 (%)	안정성 (%)
쇄석	2.630	6.89	0.85	0.54	26.5	1540	0.2	2.7

본 연구의 콘크리트 방청 및 방수성능 평가를 위해 사용된 철근부식억제형 구체방수재와 비교용 혼화제의 주요 조성과 사용내역을 표 5에 나타내었다. 철근부식억제형 구체방수재는 비정질의 SiO₂가 주성분인 Pozzolan과 재유화형 분말수지, 지방산 금속염 외에 철근 부식방지를 위해 양극형의 아질산계 무

기염과 분산제가 주요한 성분으로 되어 있다.

표 5. 사용 혼화제의 조성성분

구 분(시료기호)	주요성분	물리·화학적 성질 (%)	Type
부식억제형 구체방수제 (AC-F)	Pozzolan활성제, 분말수지, 지방산, 부식방지제, 분산제	비중 : 1.46 SiO ₂ 46, CaO 6.5, Al ₂ O ₃ 9.2, ZnO 6.7, Fe ₂ O 2.4, MgO 0.8, Ig.Loss 12.8 기타 : 15.6	분말
일반 구체방수제 (WA-F)	Pozzolan활성제, 재유화형분말수지, 지방산급속염	비중 : 1.51 SiO ₂ 54, Al ₂ O ₃ 10.2, ZnO 7.6, Fe ₂ O 4.0 MgO 1.5, Ig.Loss 15.4, 기타 : 7.3	분말
철근 방청혼화제 (INH)	아질산칼슘염[Ca(NO ₂) ₂]	비중 : 1.305 NO ²⁻ 함량 : 28 %	액상

2.3 평가항목

2.3.1 콘크리트 기본특성

사용한 콘크리트 배합조건은 구체방수제가 적용되는 부위가 대부분 지하구조물에 사용되므로 설계기준 강도 280 kgf/cm²의 비교적 높은 강도조건으로 시험하였다. 굳지않은 콘크리트의 위커빌리티와 공기량은 KS F 2402, KS F 2421의 시험방법에 따라 수행하였으며, 압축강도는 시험전까지 20±2℃의 양생수조에 수중양생시킨 후 최대용량 200톤의 압축 시험기로 3일, 7일, 28일 강도를 측정하였다. 또한 방수제 사용에 따른 콘크리트 응결시간 변화를 평가하기 위하여 KS F 2436 프록터 판입저항침에 의한 콘크리트 응결시간을 측정하였다.

표 6. 콘크리트 배합표

Gmax. (mm)	W/C (%)	S/A (%)	단위 재료사용량 (kgf/m ³)				
			시멘트	물	잔골재	굵은 골재	AE 감수제 (CM x%)
25	45.2	44.0	372	168	782	1007	0.15 %

2.3.2 철근 방청성능

철근방청성능은 KS F 2561 부속서 2의 철근 콘크리트용 방청제의 오토클레이브(온도 180 ℃, 포화증기압 10kgf/cm²)에 의한 철근의 부식속진 시험방법에 따라 시행하였다.

2.3.3 동결융해저항성

구체방수 콘크리트는 물의 흡수 및 투수에 대한 저항성이 높아 흡수된 수분의 동결에 따른 콘크리트의 반복적인 부피팽창현상이 적을 것으로 예상되어 동결융해 저항성은 우수할 것으로 예상된다. 콘크리트 동결융해저항성은 KS F 2456(급속동결융해에 대한 콘크리트 저항시험방법)에 따라 급속동결융해시험기(Model:HS-1280, 1 사이클: -16~4℃ 4시간)에서 200 사이클까지 적용하였으며 50 사이클 주기로 동탄성계수시험기로 공명진동에 의한 콘크리트 동탄성계수(Model HS-1300)를 측정하였다

2.3.4 방수성능

방수성능 평가는 분말형 구체 방수제(KS F 4926) 성능평가 기준에 따라 흡수계수비와 투수비로 평가하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 콘크리트 기본 물성

그림 1과 표 7에 부식억제형 구체 방수제 첨가량별 조건과 비교용(WA,INH)간의 콘크리트 기본물성 시험결과를 나타내었다. 구체방수제 사용량 증가에 따라서 Fresh 콘크리트의 물성은 큰 차이가 없으며, 동일 사용수량에서 슬럼프는 증가되는 경향이며, 콘크리트 28일 압축강도도 같이 증가되는 경향이지만 공기량은 다소 떨어진다. 강도증진 효과를 보기 위해서는 4% 이상 첨가되어야 하는 것으로 나타나고 있으며 일반 구체방수제도 같은 경향을 나타내고 있다.

표 7. 첨가량에 따른 굳지않은 콘크리트 물성

구분	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	응결시간 (hr:min)	
			초 결	종 결
기준 (무첨가)	13.5	4.7	8 : 00	10 : 25
AC-F 1%	13.0	4.3	8 : 10	10 : 30
AC-F 2%	13.5	4.1	7 : 40	9 : 50
AC-F 3%	14.0	4.6	8 : 30	10 : 35
AC-F 4%	15.0	5.0	8 : 40	11 : 00
AC-F 5%	15.5	3.9	9 : 20	11 : 25
WA-F 4%	14.0	3.8	8 : 40	11 : 10
INH 4ℓ	11.5	5.1	7 : 45	10 : 00

3.2 철근방청성능

사진 1은 오토클레이브에 의한 철근 부식촉진시험 후 물드를 갈라서 본 내부의 철근 부식상태를 나타낸 것이며, 그림 2는 방수제 무첨가 조건에서 발생된 철근의 부식면적을 100으로 하였을 때 부식억제형 구체방수제 사용량에 따른 철근방청율비를 나타낸 것이다. 사용 모래중의 염분농도 2,000 ppm수준에서 철근 방청성능을 평가한 결과 부식억제형 구체방수제의 철근 부식 억제효과는 혼입량에 따라서 뚜렷하게 나타나고 있으며, 일반 콘크리트용 방청혼화제 보다 양호한 결과를 나타내었다. 이러한 원인은 콘크리트 구체의 방수화로 인해

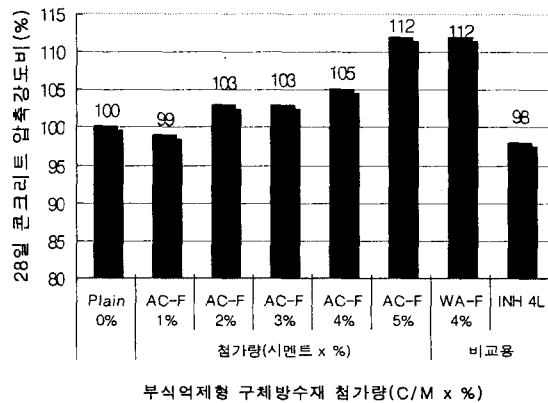


그림 4. 구체방수제 첨가량에 따른 28일 압축강도

내·외부 수분의 거동이 차단됨에 따라서 방청혼화제를 단독으로 사용하는 조건보다 콘크리트 내부염분의 이동이 억제되기 때문에 방청제 성분에 의한 부식억제 효과가 상승되기 때문이라고 판단된다. 특히 부식억제 성분이 없는 일반 구체방수제도 무첨가 조건에 비해서 방청율이 44%수준으로 나타나

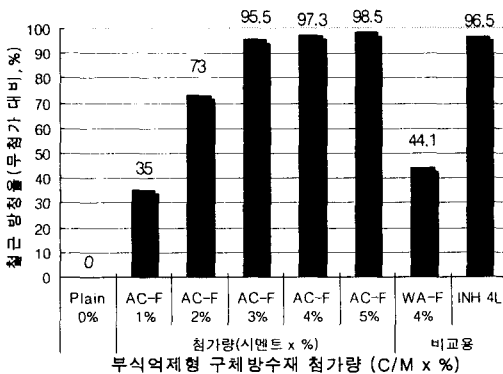


그림 5. 구체방수제 첨가량에 따른 철근 방청율

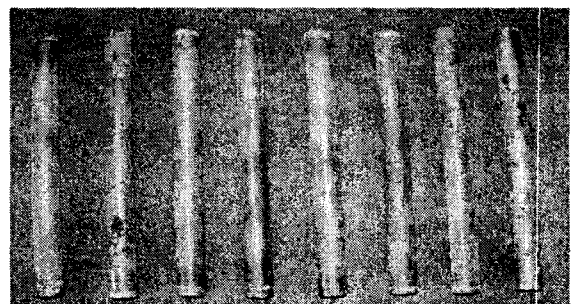


사진 1. 철근부식촉진 시험 후의 철근방청 상태

고 있어 수분의 이동이 부식에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

3.3 동결융해 저항성

그림 3은 콘크리트 동결융해시험 결과를 나타낸 것으로서 동결융해 사이클 200회 종료 후 상대동탄성계수 변화를 측정한 결과 Plain(무첨가)조건이 90% 수준인데 반해 부식억제형 및 일반 구체방수재 사용조건은 93~96% 수준으로 Ppain 조건에 비해 양호한 것으로 나타났다. 특히 첨가량 증가에 따라서 상대동탄성계수값이 증가되는 것으로 나타나고 있다. 이러한 결과는 구체방수재 혼입에 따라 물의 흡수 및 투수량이 감소되므로서 수분침투에 따른 동결현상과 동결에 따른 팽창압 발생이 무첨가 조건에 비해 상대적으로 감소함으로써 동결융해 열화에 대한 저항성이 증가되기 때문이다.

3.4 방수성능

24시간 물에 수침시키면서 침지기간 동안의 단위 면적당 물 흡수량 변화를 그림 4에 나타내었다. 물 흡수량의 기울기로부터 흡수계수비 결과는 표 8과 같다.

물 흡수계수비는 구체방수재의 첨가량과 직선적인 상관관계를 갖고있으며, 첨가량 증가에 따라 흡수계수비가 감소하고 있다. 이러한 원인은 구체방수재의 발수성에 영향을 주는 고급지방산 금속염 함량이 상대적으로 증가되는 것에 기인된다고 판단된다. 구체 방수재 첨가량과 흡수계수비간의 1차 상관회귀 관계를 분석한 결과 (그림 5), 흡수계수비 $y = e^{-0.1751x}$, $R^2 = 0.961$ 인 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 상기의 상관회귀식으로 부터 흡수계수비 0.70 이하 수준을 확보하기 위해서는 구체방수재의 첨가량을 2.1% 이상 첨가가 필요한 것으로 나타났다.

표 8. 물 흡수량의 기울기로부터 구한 물 흡수계수비

구 분	Plain	AC-F 1%	AC-F 2%	AC-F 3%	AC-F 4%	AC-F 5%	WA-F 4%
물 흡수계수(kg/(m ² h ^{0.5}))	0.44	0.37	0.35	0.28	0.21	0.17	0.20
물 흡수계수비	1.00	0.84	0.79	0.64	0.48	0.39	0.45

1.0 kg/cm²의 수압을 1시간 동안 가한 후에 물 투수량과 투수비를 측정한 결과를 표 6.8에 나타내었다. 물 투수비도 흡수계수비와 같이 구체방수재 첨가량 증가에 따라서 투수량도 직선적으로 감소하고 있어 구체방수재의 첨가가 콘크리트 수밀성 증진에 효과가 있는 것을 알 수 있다.

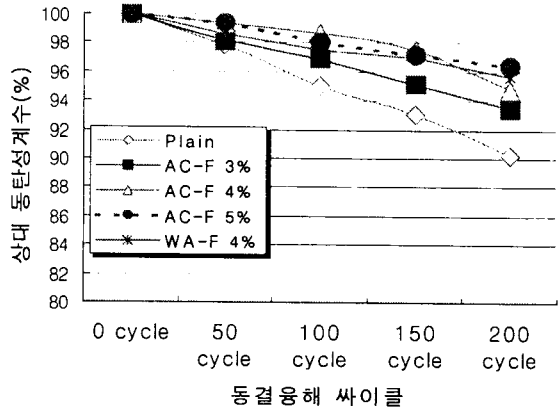


그림 3. 동결융해 시험에 따른 동탄성계수 변화

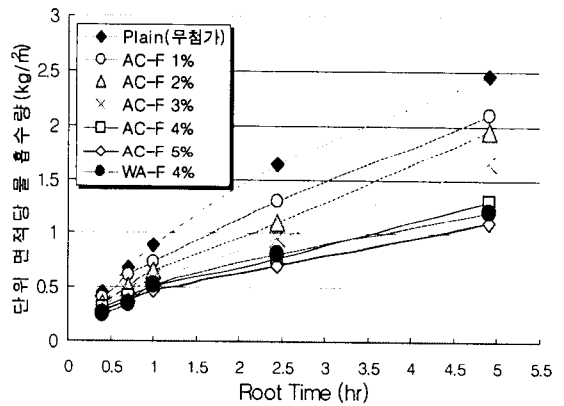


그림 4. 물 흡수계수비 변화

투수비와 구체방수재 첨가량간의 상관관계는 $y = e^{-0.261x}$, $R^2 = 0.988$ 인 상관관계를 가지는 것으로

표 9. 구체방수재 첨가량에 따른 투수비

구 분	Plain	AC-F 1%	AC-F 2%	AC-F 3%	AC-F 4%	AC-F 5%	WA-F 4%
1hr 투수후의 물 흡수량 (g)	19.96	15.90	13.20	8.60	6.70	5.3	6.1
물 투수비	1.00	0.80	0.66	0.44	0.34	0.27	0.31

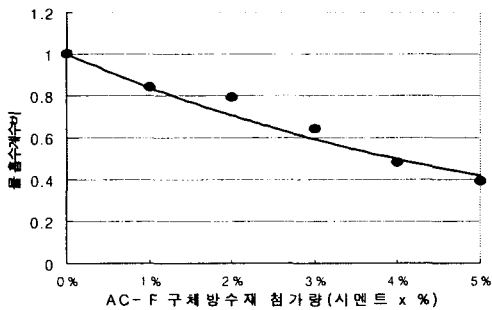


그림 5. 구체방수재 첨가량과 물 흡수계수비

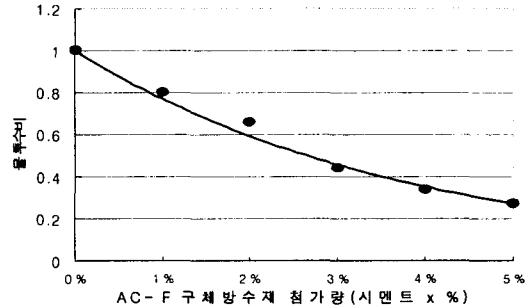


그림 10. 구체방수재 첨가량과 투수비

나타났으며, 투수비 0.70 이하 수준을 확보하기 위한 구체방수재의 첨가량은 1.5 % 이상으로 나타났다.

4. 결 론

염해지역이나 염분환경하에서 철근 콘크리트 부식방지와 내구성 향상을 위해 기존의 구체방수재에 부식억제제인 양극형 무기염이 첨가된 분말형 구체방수재의 철근부식억제 효과와 방수성능에 대하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 굳지않은 콘크리트의 특성은 방수재 첨가에 따라 공기량은 0.4%~0.6% 감소되고, 워커빌리티는 양호한 것으로 나타났으며, 재령 28일 압축강도는 4% 이상 첨가 조건에서 5~10% 정도 증진되는 것으로 나타났다.
- 2) 고 염분함량 조건에서 구체방수재도 일부 부식억제효과가 있는 것으로 나타났으며, 특히 양극형 부식억제제가 첨가된 조건은 3% 이상 혼입조건에서 방청율 95% 이상으로 매우 양호하였다.
- 3) 콘크리트 동결융해 저항성은 콘크리트 내부로의 수분침투가 감소됨에 따라서 수분의 동결에 따른 열화현상이 저하되어 동결융해에 대한 저항성이 우수해지는 것으로 나타났다.
- 4) 흡수계수비와 투수비는 구체방수재의 첨가량 증가에 따라 직선적으로 감소하며, 구체방수재에 포함된 방수와 철근방청 효과는 상호 상승작용을 일으켜 단독으로 사용하는 조건에 비해 더 양호한 효과를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 김무한,오상근,배기선 외“재유화형 분말수지계와 규산질 혼합형 구체방수재의 방수효과에 대한 연구,”콘크리트학회 논문집 제 12권 3호 2000.6.
2. 小林正凡,“セメント・コンクリート用 混和材料,” 技術書院, 1986.