

혼화재를 혼입한 모르타르내의 철근부식성상에 관한 연구

Effect of Admixtures on the Steel Corrosion in Mortar

○ 임 순 지*

소 승 영**

소 양 섭***

Lim, Soon Ji

Soh, Seung-Young

Soh, Yang-Seob

ABSTRACT

This study is to recognize the effect of silica-fume, fly-ash, and chemical proportion in mortar that have salt on the inside affect steel bar corrosion. water-binder ratio, 0.5, compounds, each of 10, 15, 20% by weight of cement, NaCl mixing weight, 0.5, 1.0, 2.0% by weight of binder. The specimen is sealed and cured for 28 days, the corrosion area ratio and weight reduction ratio is measured after the accelerated corrosion test of 20 cycles. The conclusion shows that there is no suppression effect of steel bar corrosion of silica-fume, fly-ash, in case of having salt on the inside.

1. 서론

최근 신도시 건설과 건축물의 대형화, 고층화에 따른 골재사정의 악화와 환경오염 및 사용조건에 가혹화에 의해 철근콘크리트 구조물의 조기성능저하가 가속화 될 것으로 예상되며, 특히 염해에 의한 철근 콘크리트 구조물의 조기성능저하가 사회 문제로 대두되고 있다. 염해를 일으키는 콘크리트 중의 염화물이온의 침입경로는 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 즉 콘크리트 제조시 제염되지 않은 해사나 해수 또는 혼합시 기타재료로 부터 직접 콘크리트 중에 유입되는 것과 구조물이 완공된 후 외부로부터 해수나 해염입자 또는 동절기 제설제로 살포되는 염화칼슘 등이 콘크리트 표면에 부착하여 흡수와 확산에 의해 콘크리트 내부로 유입되는 경우이다. 이러한 경로로 콘크리트 내부로 침입한 염화물이온의 존재는 시멘트 수화물과 화학

적으로 결합되어 고정화된 것과 세공용액에 존재하는 자유이온으로 분류할 수 있으며 이중 세공용액에 존재하는 유리염화물 이온이 철근부식에 직접적인 영향을 미치게 된다.

그간 외부에서 침입하는 염화물에 의한 철근콘크리트 구조물의 내구성 저하 및 철근부식을 억제하기 위해 많은 연구가 수행되었으며, 혼화재의 염화물 침투저항 효과가 일부 규명되고 있다. 그러나 배합시 염화물이 혼입되는 경우의 철근부식에 미치는 혼화재의 영향 및 염화물이온의 거동에 대한 연구는 아직 미비한 실정이다.

본 연구는 배합시 혼입되는 염화물 이온이 시멘트의 종류와 혼화재의 치환률에 따라 콘크리트내 보강철근의 부식성상에 미치는 영향을 파악하여 염화물에 의한 철근의 부식예방 및 억제를 위한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

* 전북대 대학원 석사과정

** 전북대 강사, 공박

*** 정희원, 전북대 교수, 공박

2. 실험계획 및 방법

2-1. 사용재료

① 시멘트

시멘트는 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트와 내황산염 시멘트를 사용하였으며, XRF(Pw-1480, Philips, Netherland) 분석으로 측정된 시멘트의 산화물 조성은 다음과 같다.

표.1 사용시멘트의 산화물 조성.

화학 성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	Mn ₂ O ₃	P ₂ O ₅	lg
A	20.57	5.46	3.18	63.03	3.41	2.23	0.80	0.09	0.37	0.22	0.23	1.24
B	21.74	3.18	4.71	62.53	3.11	1.87	0.89	0.11	0.23	0.16	0.15	0.53

A:국내S사의 보통포틀랜드시멘트

B:국내S사의 내황산염시멘트

② 잔골재

잔골재는 KS L 5100의 규격품인 주문진산 표준사를 이용하였다.

③ 혼화재

혼화재는 국내 H사(충남보령)의 플라이애쉬(FA)와 북미(캐나다)산 실리카흙(SF)을 사용하였으며, XRF로 분석한 산화물 조성은 표.2와 같다.

표.2 혼화재의 산화물 조성

화학 성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	Mn ₂ O ₃	P ₂ O ₅	lg
SF	97.33	0.24	0.33	0.3	0.33	0.00	0.43	0.13	0.01	0.06	0.11	4.42
FA	53.06	25.25	12.84	2.61	1.37	0.06	1.27	0.22	1.70	0.14	0.51	2.10

④ 철근

철근은 $\phi 10\text{mm}$ 구조용 원형봉강을 25cm 길이로 절단하여 사용하였고, 철근의 표면은 실험하기 직전 사포로 연마한 후 아세톤으로 세척하였으며, 외부환경에 의하여 철근이 부식되는 것을 방지하기 위해 양단부에 에폭시수지를 도포하였다.

⑤ 혼합수

혼합수는 세공용액의 이온농도에 영향을 미치지 않기 위해 이온교환수를 사용하였다.

⑥ 염화물

염화물은 NaCl 특급시약을 사용하였으며 혼합수에 미리 용해시켜 사용하였다.

2-2. 공시체 제작 및 양생

배합은 표.3과 같이 SF와 FA의 치환률을 각각의 시멘트 중량에 대해 10,15,20%, NaCl을 결합재 중량의 0.5, 1.0, 2.0% (Cl⁻으로 환산하였을 경우 시멘트 중량의 0.3, 0.6, 1.2%)로 혼합하였으며, 결

합재와 잔골재는 중량배합 1:2, 물결합재비는 50%로 하였다.

표.3. 배합표

시멘트 종류	혼화재 종류	혼화재혼입량 (wt%)	Cl ⁻ 첨가량 (wt%)	NaCl첨가량 (wt%)	물결합재비 (%)	시멘트:잔골재
A	0	0	0	0	50	1:2
	SF10	10	0.3	0.5		
	SF15	15				
B	SF20	20			0.6	1.0
	FA10	10				
	FA15	15	1.2	2.0		
FA20	20					

공시체는 60×60×240mm의 콘크리트 휨강도시험용 몰드를 이용하여 각 3개씩 밀봉 제작하였고, 20±2℃에서 28일간 양생하였다.

2-3. 시험방법

① 철근 발청시험

공시체는 염화물이온을 함유한 콘크리트중의 보강용강재의 촉진부식시험방법(JIS 제안)을 이용하여 건조습윤반복방법으로 철근부식촉진시험을 실시하였고, 온도10~15℃, 상대습도70%이하의 범위에서 4일간의 건조양생과, 온도60~65℃, 상대습도 90%이상에서 3일간의 습윤양생을 1사이클로하여 모두 20사이클을 실시한 후 철근의 부식면적률과 중량감소율을 측정하였다.

② 철근의 부식면적률 측정

철근의 부식면적은 20cycle의 철근부식촉진시험을 실시한 공시체를 활렬하여 철근을 꺼낸 즉시 셀로판지에 부식부분을 그린 후 digitiger로 CAD 프로그램에 입력하여 면적을 산출하였으며, 부식면적률은 식 1을 이용하여 계산하였다.

$$\text{부식면적률(\%)} = \frac{\text{부식면적}}{\text{측정면적}} \times 100 - \text{식(1)}$$

여기서, 측정면적은 공시체의 단부에서 각각 10mm를 제외한 220mm에 대한 면적이다.

③ 철근의 중량감소율 측정

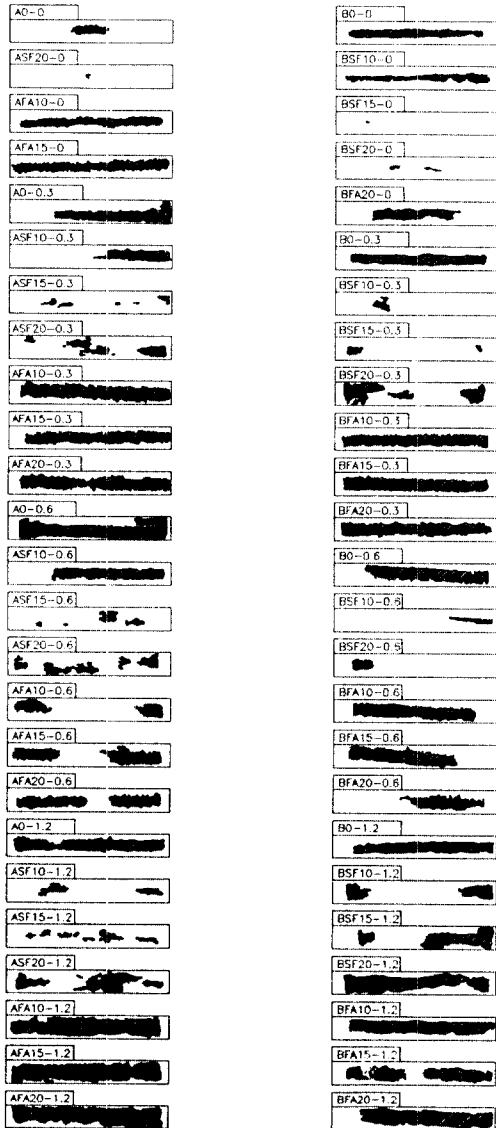
공시체에서 채취한 철근을 「콘크리트 구조물의 부식·방식에 관한 시험방법 JCI규준안(2)」에 제안되어있는 강재의 부식생성물 제거방법에 따라 구연산암모늄10%용액(60℃)에서 4시간 침적한 후 부식생성물을 제거하였으며, 다음 식을 이용하여 측정하였다.

$$\text{중량감소율(\%)} = \frac{\text{감소중량}}{\text{처음철근중량}} \times 100 - \text{식(2)}$$

3. 결과 및 고찰

3-1. 염화물 혼입량에 따른 철근부식면적률

시멘트 종류와 혼화재의 종류 및 혼입량을 다르게 한 공시체에 대하여 염화물 혼입량에 따른 철근의 부식면적은 그림 1과 같고, 부식면적률은 그림 2, 3, 4, 5와 같다.



범		례
A SF 1.0 - 0.3	①	A:보통포틀랜드 B:내황산염시멘트
	②	SF:실리카흄 FA:플라이애쉬
	③	혼화재 혼입량
	④	염화물이온농도

그림 1 철근부식면적 측정결과

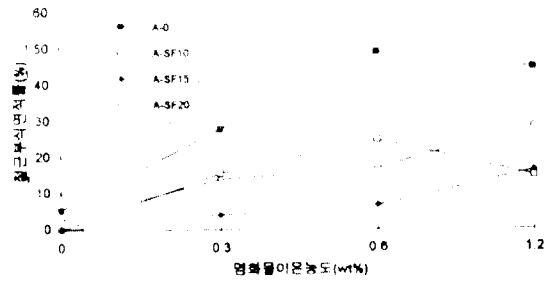


그림 2. 염화물이온농도와 SF혼입량에 따른 철근부식면적률 (보통포틀랜드시멘트사용)

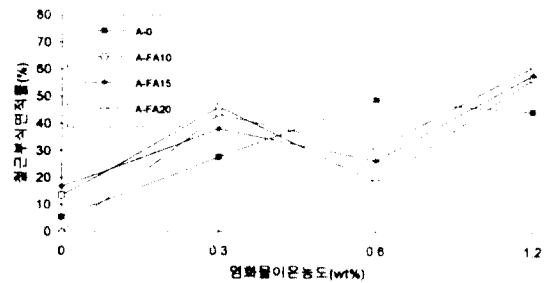


그림 3. 염화물이온농도와 FA혼입량에 따른 철근부식면적률 (보통포틀랜드시멘트사용)

보통 포틀랜드 시멘트에 SF를 혼입한 공시체의 경우 그 치환율과 관계없이 모든 염화물 혼입률에서 plain공시체에 비해 철근부식면적률이 낮아지는 것으로 나타났으며 이는 그림 2에서 보는 바와 같다.

FA를 혼입한 공시체의 경우 FA혼입률과 관계없이 염화물 이온농도가 증가함에 따라 plain 공시체와 비슷한 경향으로 부식면적률이 증가하는 것으로 나타남으로써 FA혼입에 따른 철근부식의 감소 효과는 없는 것으로 나타났다. 다만 그림 3에서와 같이 염화물 이온농도 0.6%의 경우는 0.3, 1.2%에 비하여 철근부식면적률이 낮게 나타났다.

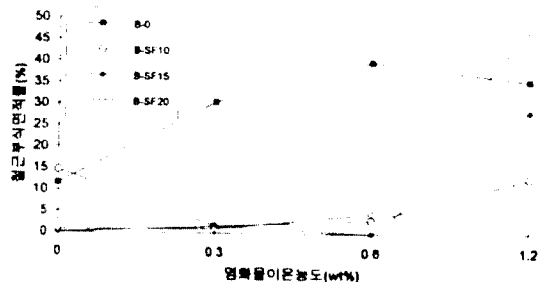


그림 4 염화물이온농도와 SF혼입량에 따른 철근부식면적률(내황산염시멘트사용)

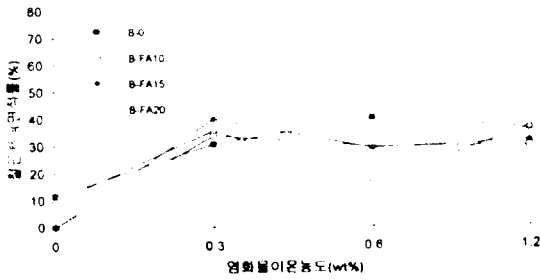


그림 5 염화물이온농도와 FA혼입량에 따른 철근부식면적률(내황산염시멘트사용)

내황산염시멘트에 SF를 혼입할 때 plain공시체에 비하여 철근부식면적률이 감소하는 현상을 보였다.

내황산염시멘트에 FA를 혼입한 경우 그림 5에 나타난 바와 같이 염화물 이온농도가 높아짐에 따라 plain 공시체와 비슷한 경향으로 철근부식면적률이 증가하는 현상을 보였다.

이상에서 알 수 있는 바와 같이 보통포틀랜드시멘트에 SF를 혼입하였을 경우 plain 공시체에 비하여 철근부식 면적률이 낮아지는 것으로 나타났으며, 내황산염시멘트를 사용한 경우 그 현상이 두드러지는 것으로 나타났으나, 염화물 이온 1.2%의 경우에는 철근부식면적률이 점차 높아짐에 따라 염화물 이온농도가 증가할수록 SF에 의한 철근부식억제효과는 염화물이온농도가 낮은 경우에 비하여 적은 것으로 나타났다.

FA의 경우는 보통포틀랜드시멘트와 내황산시멘트 모두 염화물 이온농도의 증가에 따라 plain 공시체와 비슷한 경향을 나타냄으로써 내부에 염화물이온이 존재하는 경우 FA에 의한 철근부식면적률의 감소효과는 기대할 수 없는 것으로 나타났다.

3-2 염화물 혼입량에 따른 철근중량감소율
염화물 혼입량에 따른 철근중량감소율의 결과는 그림 6, 7, 8, 9와 같다.

그림 6에 나타난 바와 같이 보통포틀랜드 시멘트에 SF를 혼입하였을 경우에는 plain공시체에 비하여 철근중량감소율이 낮아지는 것으로 나타났다.

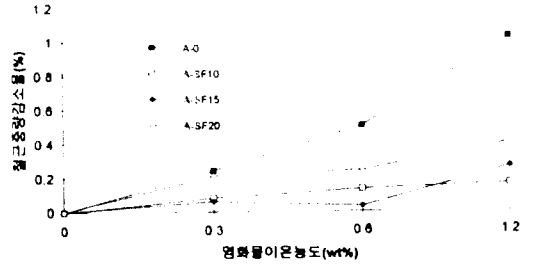


그림 6.염화물이온농도와 SF 혼입량에 따른 철근중량감소율 (보통포틀랜드시멘트사용)

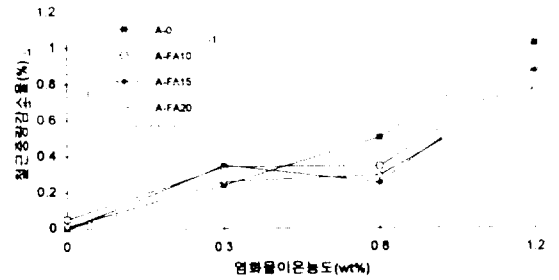


그림 7.염화물이온농도와 FA혼입량에 따른 철근부식면적률 (보통포틀랜드시멘트사용)

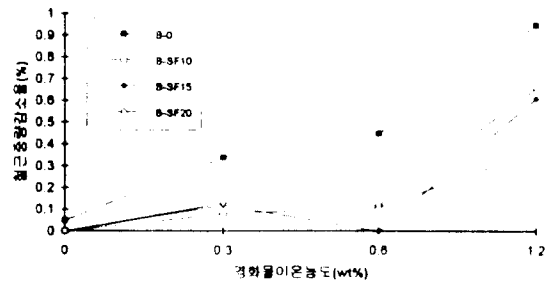


그림 8.염화물이온농도와 SF혼입량에 따른 철근중량감소율 (내황산염시멘트사용)

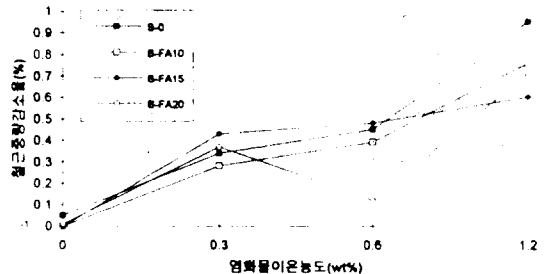


그림 9.염화물이온농도와 FA혼입량에 따른 철근중량감소율 (내황산염시멘트사용)

그러나 그림 7에서 FA를 혼입한 경우에는 염화물 이온 농도가 증가함에 따라 plain 공시체와 비슷한 경향의 철근중량감소율을 나타냈다.

내황산염시멘트를 사용한 경우에는 보통포틀랜드 시멘트의 공시체와 유사한 경향을 나타냈으며 이는 그림 8, 9와 같다.

이상에서 알 수 있는 바와 같이 내부에 염화물 이온이 혼입된 경우, SF를 혼입시 시멘트의 종류 및 염화물 혼입량에 관계없이 plain에 비하여 철근중량감소율의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나 FA를 사용한 경우는 plain 공시체와 비슷한 경향의 철근중량감소율을 보임으로써 FA에 의한 철근중량감소율의 감소효과는 없는 것으로 나타났다.

4. 결 론

내부염화물이온 혼입시 시멘트의 종류와 혼화제 치환률에 따른 모르타르내 보강철근의 부식성상을 파악하기 위하여 실시된 본 연구에 대한 결과는 다음과 같다.

1. 내부 염화물이온 혼입시 내황산염시멘트의 사용에 따른 특별한 철근부식억제 효과는 없는 것으로 나타났다.

2. 내부 염화물이온 혼입시 FA로 치환한 경우 철근부식 면적률 및 중량감소율의 저하는 거의 나타나지 않았다. 따라서 FA혼입이 철근부식억제에 미치는 효과는 미비한 것으로 판단된다.

3. 내부염화물이온 혼입시 SF를 사용한 경우 철근부식면적률과 중량감소율은 감소되었다.

따라서 염화물이온이 내부에 존재하는 경우 SF 혼입에 따른 철근부식억제효과는 기대할 수 있는 것으로 판단되며, 내부에 염화물이 혼입된 경우의 철근부식성상에 대한 종합적인 평가를 위하여는 혼화제에 의한 철근부식성상 뿐만 아니라 자유염화물이온의 거동에 관한 연구도 병행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 소승영, "시멘트 경화체 중에서 염화물 이온의 거동에 관한 연구" 전북대학교 박사학위 논문집, 1995

2. M. N. Haque, O. A. Kayyali, M. K. Gopalan, "Fly ash reduces harmful chloride ions in concrete" ACI Materials Journal, Vol.89, No.3, May-June 1992, pp.238-241.

3. M. N. Haque, O. A. Kayyali, M. K. Gopalan, "Fly ash reduces harmful chloride ions in concrete" ACI Materials Journal, Vol.89, No.3, May-June 1992, pp.238-241.

4. G. J. Verbeck, "Mechanisms of corrosion of steel in concrete." ACI Publication, SP 49, 1975, pp.21-38.

5. Hausmann, D. A., "Steel corrosion in concrete: How does it occur?" Materials Protection, Vol.6, No.11, 1967, pp.19-23.

6. 宇野 祐一, 小林 一輔, "鹽化ナトリウムの混入がモルタルの諸性狀に及ぼす影響" 콘크리트 工學年次論文報告集, 12-1, 1990, pp.465-470.

7. 丸屋 剛, 松岡康訓, "結合材の種類が細孔溶液中の各種イオン濃度に及ぼす影響" 콘크리트 工學年次論文報告集, 13-1, 1991, pp.633-638.