

시멘트 모르타르의 황산염 침식 저항성에 대한 혼화제의 영향

Effects of Admixture to Sulfate Attack Resistance of Cement Mortar

형 원 길*
HYUNG, Won Gil

소 승 영**
SO, Seung Young

소 양 섭***
SOH, Yang Seob

ABSTRACT

This study is to test effects of sulfate attack on deterioration of cement mortar. Four tests have been carried out with four types of mortars mixed by ordinary portland cement and sulfate-resistant portland cement containing blast-furnace slag and fly-ash. It was immersed in sulfate solution for 7, 28, 91, and 180days. From the test results, sulfate attack resistance of cement mortar was improved by admixtures(blast-furnace slag and fly-ash), sulfate-resistance portland cement mortar showed high resistance than ordinarily portland cement at compressive strength, and similar the resistance of sulfate attack with ordinarily portland cement mortar with admixtures.

1. 서론

콘크리트의 성능저하는 내구성 저하로 인해 나타나는 경우가 대부분이며 내구성에 영향을 미치는 인자는 매우 다양하고 복합적으로 작용하고 있다. 이에 내구성 개선을 위해 콘크리트에 혼화제를 첨가하여 고밀도의 제품을 만들거나 시멘트 자체 성질의 개선을 통한 방제 재료의 개발 등, 다각적인 연구가 진행되고 있지만 현재까지도 내구성을 저하시키는 인자들에 대해 명확히 규명되지 않은 부분들이 많다.¹⁾²⁾ 특히 콘크리트의 침식에 많은 영향을 미치고 있는 황산염에 대한 연구는 매우 미비하다.³⁾

황산염은 주로 토양이나 지하수, 해수 중에 넓은 범위에서 많은 양이 존재하며, 산업의 발전으로 환경오염의 영향을 받는 하수종말처리장, 쓰레기 소각장 등의 지역에서 콘크리트에 대한 침식의 형태로 그 피해가 나타나고 있다. 황산염 침식은 콘크리트의 완전한 성능저하를 유발할 정도로 그 피해가 심각하지만 많은 인식부족으로 적절한 기준조차도 확립하지 못하고 있을 뿐만 아니라 지금까지 이루어지고 있는 연구들에서도 황산염 침식의 정확한 원인과 메카니즘의 규명에 있어 많은 논란을 거듭

* 정희원, 전북대학교 건축공학과 박사과정

** 정희원, 담양대학 건축과 교수, 공학박사

*** 정희원, 전북대학교 건축·도시공학부 교수, 전북대학교 공업기술 연구소

하고 있는 실정이며 국내에서의 황산염 침식에 대한 개선안 또한 매우 열악한 형편이다⁴⁾⁵⁾⁶⁾.

이에 본 연구에서는 황산염 침식에 대한 저항이 강하다고 알려져 있는 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬^{7)~10)}를 첨가한 시멘트 모르타르를 보통포틀랜드 시멘트와 내황산염 시멘트로 제작하고 황산염 용액에 침적시켜 압축강도와 길이변화를 통해 황산염 침식에 대한 저항성을 평가하고자 하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트 및 골재

본 실험에서 사용한 시멘트는 KS L 5201에 규정된 S사의 보통포틀랜드시멘트(OPC)와 내황산염시멘트(SPC)를 사용하였으며 화학적, 물리적 특성은 Table 1, 2와 같다. 골재는 KS L 5100의 규격품으로 주문진산 표준사를 사용하였다.

Table 1. Chemical Properties of Cement

Type of Cement	Chemical Properties(%)									Clinker Properties		
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	ig.loss	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A
Ordinary Portland Cement	20.1	6.2	3.2	62.3	3.2	0.1	0.8	2.1	2.1	48.6	21.0	11.0
Sulfate-Resistance Portland Cement	22.3	4.3	4.0	62.3	2.8	0.1	0.7	1.9	1.7	44.1	30.7	4.6

Table 2. Physical Properties of Cement

Type of Cement	Specific gravity	Blaine's Specific Surface (cm ² /g)	Setting Time		Compressive Strength(MPa)		
			Initial (min.)	Final (hr.)	3day	7day	28day
Ordinary Portland Cement	3.15	3300	240	7:00	19.2	28.2	37.1
Sulfate-Resistance Portland Cement	3.15	3200	305	8:40	18.3	27.0	37.6

2.1.2 황산마그네슘(Magnesium Sulfate : MgSO₄·7H₂O)

황산염 침적실험을 위해 5%의 황산마그네슘 용액을 제조하였으며, 황산마그네슘은 국내 D사의 1급 시약을 사용하였다.

2.1.3 혼화제

본 실험에서는 K사의 고로슬래그 미분말과 충남 보령산 플라이애쉬를 사용하였으며 그 화학적·물리적 성질은 Table 3, 4와 같다.

Table 3. Chemical and Physical Properties of Blast-furnace slag

Chemical Properties(%)							Physical Properties	
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	ig.loss	Blaine's Specific Surface (cm ² /g)	Specific gravity
33.1	13.76	0.85	40.59	7.22	1.65	0.91	4550	2.90

Table 4. Chemical and Physical Properties of Fly-ash

Chemical Properties(%)							Physical Properties		
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	lg.loss	Blaine's Specific Surface (cm ² /g)	Specific gravity	
53.08	25.25	12.84	2.61	1.37	0.06	2.1	3280	2.17	

3. 실험방법

3.1 시험용 시편제작 및 양생

본 실험에 사용된 각각의 공시체의 배합은 시멘트와 모래의 중량비를 1:2로 하였으며, 보통포틀랜드 시멘트와 내황산염시멘트의 두 종류로 나누어 제작하였다. 또 각 혼화제별 혼입율에 따른 황산염 침식의 정도를 파악하기 위하여 시멘트를 30, 50, 70%의 고로슬래그 미분말로 치환하였으며, 플라이애쉬를 10, 20, 30% 치환하였다. 공시체 제작 후 수화반응 시 생성되는 황산염의 조건을 같게 하기 위하여 물-시멘트비를 50%로 고정하였으며 혼화제의 성분이 황산염의 생성과 시멘트에 미치는 화학적 영향을 고려하여 혼화제는 혼입하지 않았다.

압축강도 시험용 공시체는 50×50×50mm의 큐빅몰드를, 길이변화 측정용 공시체는 40×40×160mm의 빔몰드를 사용하여 제작하였고, 길이변화 측정용 공시체는 탈형 후 Fig.1과 같이 양쪽에 스테인레스 스틸을 부착하여 침적양생을 실시하였다. 각각의 공시체는 28일 수중양생(20℃)을 실시한 후, 다시 수중과 5%의 황산마그네슘 용액에서 7, 28, 91, 180일의 침적양생(20℃)을 실시하였다.

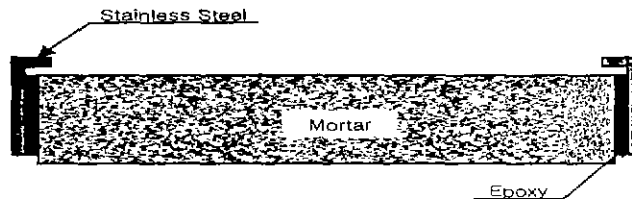


Fig.1 Mortar for Measuring of Length Change

4. 실험결과

4.1 압축강도

황산염 침식에 대해 혼화제를 혼입한 시멘트 모르타르가 어느 정도의 저항성 개선을 보이는지 평가하기 위하여 각 공시체를 수중과 황산염 용액에 7, 28, 91, 그리고 180일까지 침적시켜 압축강도를 측정하였다. 또한 보통포틀랜드 시멘트와 내황산염 시멘트를 사용하여 혼화제와의 관계를 알아보려고 하였다.

Fig.2와 Fig.3은 보통포틀랜드 시멘트를 사용하여 만든 공시체로서 고로슬래그 미분말을 30~70%, 플라이애쉬를 10~30%로 치환하여 수중 및 황산염 용액에 침적했을 때의 압축강도를 나타내고 있다. Fig.2에서 보는 바와 같이 수중 침적 시 고로슬래그 미분말의 혼입율이 높을수록 강도의 증가율이 높게 나타나고 있으며, 황산염 용액에 침적했을 경우에도 혼입율이 높을수록 강도 감소가 작게 나타나는

것을 알 수 있다. Fig.3에서는 수중과 황산염 용액의 침적에 따른 변화가 전체적으로 작게 나타나고 있으며 플라이애쉬 혼입율이 10, 20%일 때 가장 낮은 변화를 나타내고 있다.

Fig.4와 Fig.5는 내황산염 시멘트를 사용하여 만든 공시체를 수중과 황산염 용액에 침적하여 재령별로 압축강도를 측정 한 값을 나타낸 것이다.

내황산염 시멘트에 고로슬래그 미분말을 혼입한 경우는 Fig.4에서 보는 바와 같이 Fig.2와 비교하여 별다른 차이를 보이고 있지 않아 장기적인 침적에 있어서 황산염 침식에 대한 내황산염 시멘트의 저항성은 고로슬래그 미분말을 혼입한 모르타르와 비슷한 경향을 보이고 있으며, 이에 비하여 플라이애쉬를 혼입했을 때에는 Fig.5에서처럼 수중과 황산염 용액 침적 시에도 압축강도의 차이를 보이고 있지 않아 황산염에 대한 높은 저항성을 보여주고 있음을 알 수 있었다.

* P(S)-BS(FA)30-N(S) : OPC(SPC)-고로슬래그미분말(플라이애쉬) 혼입율-수중침적(황산염 용액에 침적)

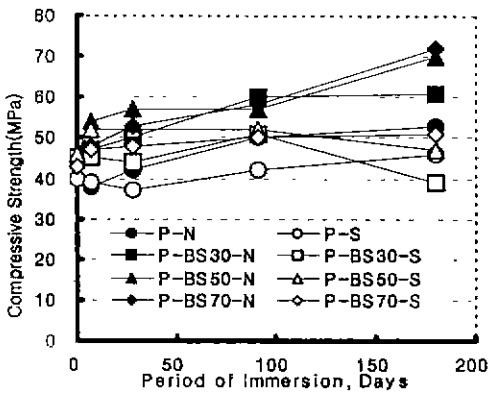


Fig.2 Compressive Strength of OPC Mortars with Blast-Furnace Slag

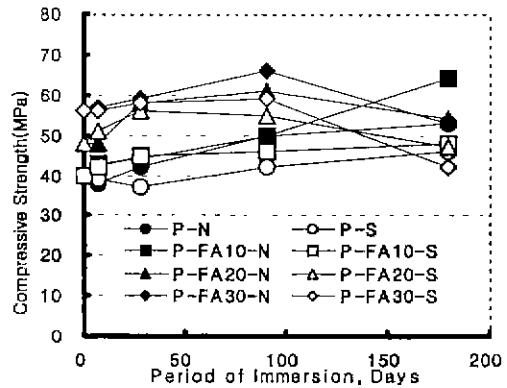


Fig.3 Compressive Strength of OPC Mortars with Fly-ash

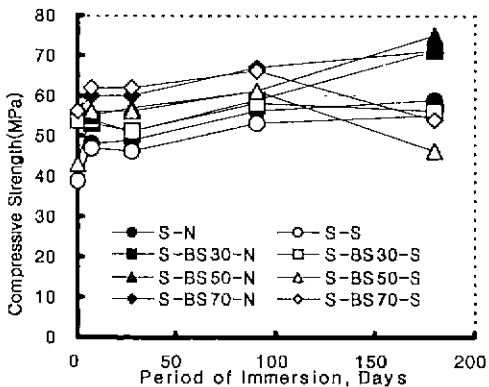


Fig.4 Compressive Strength of SPC Mortars with Blast-Furnace Slag

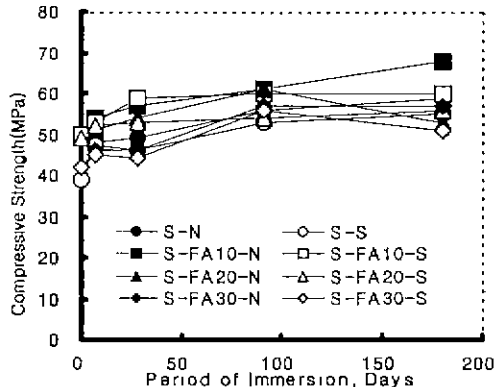


Fig.5 Compressive Strength of SPC Mortars with Fly-ash

4.2 길이변화

황산염 침식으로 인한 팽창의 정도를 파악하기 위하여 길이변화 시험을 실시하였으며 그 결과를 Fig.6에서 9까지 나타내었다.

Fig.6과 7은 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하여 제작한 공시체를 수중과 황산염 용액에 침적시켜 측정 한 것으로 혼화재를 혼입하지않은 Plain 모르타르에서 가장 큰 변화를 나타내고 있다. 고로슬래그 미분말로 치환한 시멘트 모르타르에서는 Fig.6에서 보는 바와 같이 혼입율이 높을수록 길이변화율이 작아져 황산염 침식에 대한 저항성이 높아지는 것을 알 수 있으며, 플라이애쉬의 경우에도 Fig.7에서 처럼 혼입율이 높을수록 저항성이 높아지는 것을 알 수 있다.

Fig. 7과 8은 내황산염 시멘트를 각 혼화재로 치환하여 제작한 공시체의 길이변화를 나타내고 있다. 보통포틀랜드 시멘트를 사용하여 제작한 공시체에 비하여 침적재령 91일까지는 혼화재를 혼입한 공시체의 길이변화가 낮게 나타나고 있지만 계속적인 침적시에는 보통포틀랜드 시멘트와 많은 차이점을 보이고 있지 않다.

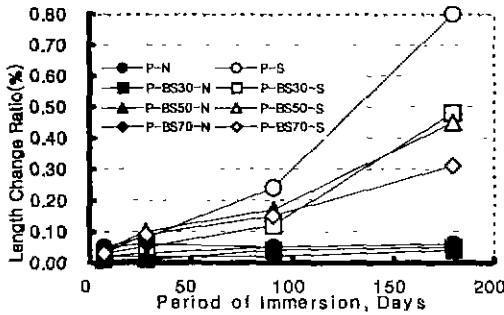


Fig.6 Length Change of OPC Mortars with Blast-Furnace Slag

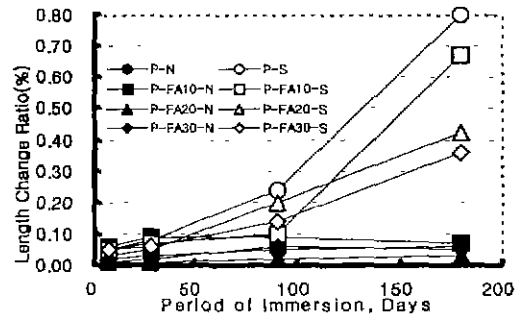


Fig.7 Length Change of OPC Mortars with Fly-ash

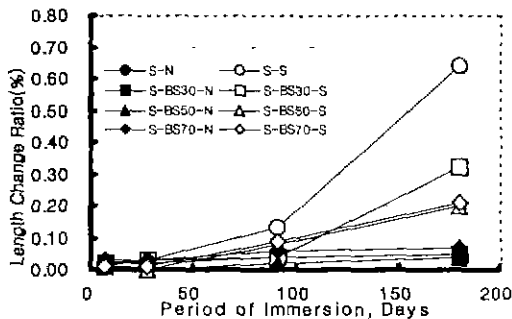


Fig.8 Length Change of SPC Mortars with Blast-Furnace Slag

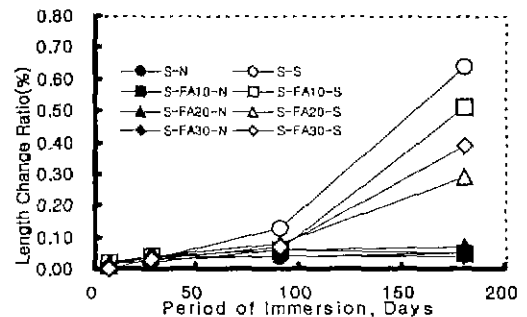


Fig.9 Length Change of SPC Mortars with Fly-ash

5. 결론

- 1) OPC와 SPC를 혼화제로 치환한 경우 고로슬래그 미분말은 Plain 모르타르에 비해 1.7~3.7, 플라이애쉬는 1.2~2.2배의 높은 저항성을 나타내고 있으며 혼입율이 높을수록 저항성이 높아짐을 알 수 있었다.
- 2) 압축강도에서는 침적재령이 길어질수록 플라이애쉬가 높은 저항성을 보이고 있으나 길이변화에서는 고로슬래그의 저항성이 더 높게 측정되었다.
- 3) 황산염 침식에 대한 저항성을 높이기 위해 내황산염 시멘트를 사용한 경우에는 혼화제를 사용하지 않은 공시체보다 높은 저항성을 나타내고 있지만 침적재령 91일 이후에는 혼화제를 사용하여 제작한 공시체와 비슷한 저항성을 나타내고 있어, 황산염 침식에 대한 장기적인 내구성 확보에 혼화제 혼입이 유효함을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. 문소현, "모르타르내의 염화물이 중성화에 미치는 영향", 전북대학교 대학원, 1996.
2. 윤재환, "포틀랜드 시멘트 및 콘크리트", 세진사, 1997.
3. McNashi D.Cohen, Bryant Mather, "Sulfate Attack on Concrete-Research Needs", ACI Materials Journal, Vol.88, No.1, pp.62~69, 1991.
4. Miller, D.G. and Manson, P.W., "Long Time Tests of Concretes and Mortars Exposed to Sulphate Waters", Bull.Min.Agric. Exp. Stn., No. 124. 1951.
5. P.K.Mehta, "Mechanism of Sulfate Attack on Portland Cement - Another Look", Cement and Concrete Research, Vol.13, pp.401~406, 1983.
6. 형원길, "황산염 침식이 시멘트 모르타르의 성능저하에 미치는 영향", 전북대학교 대학원, 2000.
7. 土木学会コンクリート委員会 高炉スラグ 研究所委員会, "高炉スラグ 微粉末を用いたコンクリートの施工指針", 土木学会, 1993.
8. 笠井芳夫, "セメント・コンクリート用 混和材料", 技術書院, 1986.
9. 依田彰彦, "産業副産物高炉スラグのコンクリート用セメント、混和材、骨材 有効移用に関する実験研究", 1983.
10. 黄光律, "フライアッシュを大量混和したコンクリートの基礎性状に関する研究", 東京大学大学院, 1999.