

플라이애쉬 페이스트 및 콘크리트에 화학혼화제가 미치는 영향

Influence of Chemical Admixtures on Flyash Paste and Concrete

이진용* 최수홍**
Lee, Chin Yong Choi, Soo Hong

ABSTRACT

It was investigated to evaluate the characteristics of cement-flyash paste affected the replacement level, curing method and chemical admixtures. The strength of cement-flyash paste was lower than that of cement paste only and the differences increased with increasing the replacement level. However, in steam curing, the strength of cement-flyash pastes was improved and specially, the early strength was effectively increased. In order to improve the early strength, the use of Na_2SO_4 in cement-flyash paste increased the quality of concrete. In addition, the strength of concrete including 30% of fly ash has improved and obtained the highest strength compared to other concrete mix.

Keywords : strength cement-paste, early strength, water curing steam curing, chemical admixture

1. 서론

플라이애쉬는 주로 시멘트, 잔골재의 대체재 그리고 콘크리트의 특성을 변화시키는 혼화재로 쓰이고 있으며, 이외에도 성토재, 토지개량재 등 다양한 분야에 사용되고 있으나, 현재 국내에서는 플라이애쉬 활용분야 및 범위가 선진국에 비하여 극히 제한되어있다. ⁽¹⁻³⁾

우리 나라에서도 선진국이상의 플라이애쉬 소비를 증가시키기 위해서는 플라이애쉬를 시멘트 대체재로 콘크리트 구조물에 사용하는 것이 필수적이며, 이를 위해 시멘트-플라이애쉬 페이스트의 특성 연구 및 조기강도 증진을 위한 화학혼화제의 개발이 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 시멘트-플라이애쉬 페이스트의 특성을 알아보고 플라이애쉬 포졸란 반응을 조기에 활성화 시킬수 있는 화학혼화제의 특성을 연구하여, 적절한 혼화제를 선택하며, 콘크리트에 적극 활용함으로써 보통 콘크리트 보다 경제적이고 품질이 우수한 콘크리트를 생산하여 건축이나 토목공사에 활용하기 위한 목적이다.

* 정회원, 동아건설 기술연구소 책임연구원

** 정회원, 동아건설 기술연구소 연구원

2. 실험

본 연구는 각종 혼화제와 혼합한 시멘트-플라이애쉬 페이스트의 특성을 알아보기위해 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 정량 시험, X-선 회절분석기 및 주사형 전자현미경(SEM)을 이용하여, 이것이 페이스트의 수화작용에 미치는 영향과 화학적 특성을 알아보았다. 또한 그 결과를 콘크리트에 적용하기 위하여 플라이애쉬 및 화학혼화제를 시멘트와 혼합하여, 플라이애쉬 혼입량에 따른 배합설계를 실시하고 이에 따른 콘크리트의 강도발현을 분석하였다. 굳지않은 콘크리트의 특징중에 슬럼프는 작업성에 따른 최소범위를 고려하여 $8.0 \pm 2.5\text{cm}$ 에 고정시키고, 수중양생 및 증기양생을 실시하여 양생방법 및 화학혼화제가 플라이애쉬 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향을 측정하였다.

2.1 시멘트-플라이애쉬 페이스트 실험재료 및 배합비

2.1.1 실험재료

결합재는 1종 보통 포틀랜드시멘트와 보령산 플라이애쉬를 사용하였으며, 화학적특성은 표 2.1과 같다.

표 2.1 결합재의 화학적 특성

종 류	항 목	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	lg. loss(%)	비 중	비표면적 (cm ² /g)
시멘트		20.57	5.64	3.26	63.1	3.35	2.11	1.21	3.15	3.150
플라이애쉬		52.09	25.36	12.90	2.58	1.37	0.07	3.70	2.15	4.230

(1) 골재

충청남도 공주 금강하류에서 채취한 잔골재를 사용하였으며, 굵은골재는 최대크기가 19mm인 쇄석을 사용하였다. 골재의 물리적인 특성은 표 2.2와 같다.

표 2.2 골재의 물리적 특성

종 류	비 중	흡수율 (%)	조립률 (F.M)	단위용적중량 (kg/m ³)	실적률 (%)	유기불순물
잔골재	2.61	1.2	2.58	1.512	57.9	양 호
굵은골재	2.64	0.3	7.42	1.552	58.8	양 호

(2) 혼화제

물·시멘트비 변화에 따라 동일한 슬럼프를 유지시킬 목적으로 고성능감수제를 사용하였으며, 물리적 특성은 표 2.3과 같다.

표 2.3 고성능 감수제의 물리적 특성

성 질 종 류	성 분	비 중	pH	점도(CPS)	고형함량(%)	색깔
고성능감수제	나프탈렌 설펜산염	1.2	9.1	180	40.0	진한갈색

(3) 배합비

배합설계는 270kg/cm² 압축강도를 기준으로 하여 배합비를 선정된 후, 플라이애쉬를 시멘트 증량비로 0, 10, 30, 50%로 혼입하여 배합하였다.(각각 혼입량에 따른 배합명은 FA 0%, FA 10%, FA 30% 및 FA 50%로 표기함) 그리고 플라이애쉬를 혼입함으로써 28일 강도가 떨어지는 것을 고려하여 결합재의 양을 증가(물·시멘트비 감소)시켜 실험배합을 실시한 후, 보통콘크리트 28일강도와 동일한 강도의 배합비를 선정하였다(표 2.4). 또한 물·시멘트비변화에 따른 기존배합비보다 결합재량이 많아지는 것을 고려하여 잔골재율을 조금씩 낮추면서 배합을 하였다.

표 2.4 배합비

설 계 강 도 (kg/cm ²)	배 합 명	배 합 비 (kg/m ³)						
		W/B	물	결 합 재		잔골재	굵 은 골 재	혼화제
				시멘트	플라이애쉬			
270	FA 0%	0.50	200	400	0	733	983	-
	cfa 10%	0.47	195	373	41	709	991	-
	cfa 30%	0.39	190	341	146	657	956	1.242
	cfa 50%	0.36	185	257	257	620	941	3.598

물시멘트비변화에 따른 배합명은 플라이애쉬혼입량의 10, 30, 50%에 따라 각각 **cfa 10%, cfa 30% 및 cfa 50%**로 표기함.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 시멘트-플라이애쉬 페이스트

45°C에서 24시간 동안 건조한 것을 기준으로 하여 구한 Ca(OH)₂생성량의 시간 변화를 그림 3.1에 나타냈다. 초기에 활성화제 무첨가 보다 Ca(OH)₂의 생성량이 많은 활성화제는 Ca(NO₃)₂와 CaCl₂의 경우이다.⁽⁴⁻⁵⁾ OPC 단독의 경우 28일부터 Ca(OH)₂생성량 변화가 거의 없으나, 그 밖의 플라이애쉬가 함유된 계에서는 7일부터 서서히 Ca(OH)₂가 소비되고 있는 것을 나타내고 있는데, 이것은 생성된 Ca(OH)₂와 플라이애쉬중의 가용성 규산분 등이 점차 포졸란 반응을 일으키고 있는 것으로 판단된다.

화학혼화제가 강도에 미치는 영향을 알아보기위해 시멘트-플라이애쉬 페이스트의 강도 시험을 한 결과 화학혼화제중 Na₂SO₄을 혼입한 시멘트-플라이애쉬가 다른 혼화제에 대하여 강도발현이 높았다. 표 3.1은 페이스트를 1, 3, 7, 28일 압축강도를 시험한 결과로서 Na₂SO₄을 첨가한 페이스트는 무첨가한

것보다 강도발현이 높았으며, 특히 수중양생보다는 증기양생시 Na_2SO_4 이 포졸란 반응을 촉진시켜 강도발현이 높았다. 그리고 2%를 첨가한 것이 4%의 Na_2SO_4 을 첨가한 것보다 높은 강도발현을 갖는 것으로 나타났다.¹⁴⁾

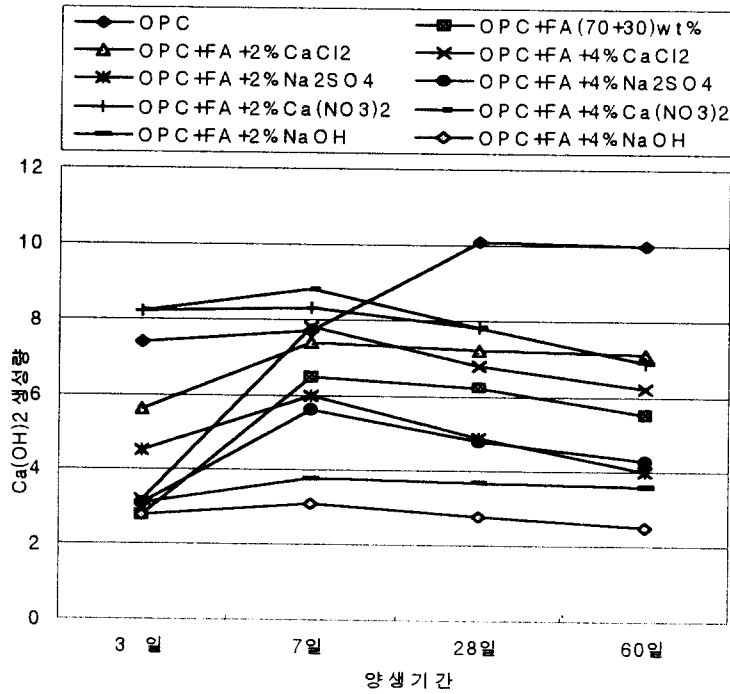


그림. 3.1 화학혼화제 첨가에 따른 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 생성량

표 3.1 Na_2SO_4 을 함유한 페이스트의 강도발현

변수	양생방법	압축강도(Kg/cm ²)			
		1일	3일	7일	28일
P1(FA0)	수중양생	-	234	292	357
P2(FA30)		-	172	221	256
P3(FA30-2% Na_2SO_4)		-	211	312	382
P4(FA30-4% Na_2SO_4)		-	233	305	401
P1(FA0)	증기양생	209	321	321	335
P2(FA30)		166	192	252	261
P3(FA30-2% Na_2SO_4)		294	327	348	395
P4(FA30-4% Na_2SO_4)		242	293	307	388

3.2 플라이애쉬 콘크리트

3.2.1 수중 양생한 콘크리트의 압축강도발현

콘크리트강도는 물·시멘트비에 의해서 주로 결정된다. 일반적으로 플라이애쉬 F급(low lime)은 SiO₂를 많이 함유하고 있는 반면에 CaO함유량이 적어 자경성이 없다. 따라서 기존의 연구결과와 같이 플라이애쉬를 혼입함으로 콘크리트의 조기강도발현이 저하되었으며,⁶⁻⁷⁾ 특히 플라이애쉬 혼입량이 증가할수록 강도저하는 현저하게 증가하였다. 이것을 극복하기위해 물·시멘트비를 변화하여 플라이애쉬 콘크리트의 28일강도 발현을 향상시켰으며, 조기강도(3일)발현은 cfa 10%에서도 12.0kg/cm², cfa 30%에서는 21.0kg/cm², cfa 50%에서는 44.0kg/cm² 강도발현을 향상시켰다(표 3.2). 따라서 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트는 물·시멘트비를 변화하여 재령 28일에서는 비슷한 강도를 나타냈으나, 플라이애쉬 혼입량이 증가할수록 보통 콘크리트에 비하여 조기강도가 많이 감소하였다.⁸⁾

표 3.2 수중양생시 플라이애쉬 콘크리트의 강도증진

배합명 재령	FA 0%	FA 10%	FA 30%	FA 50%	cfa 10%	cfa 30%	cfa 50%
3일	168.0	162.0	129.0	66.0	174.0	150.0	110.0
7일	246.0	242.0	215.0	122.0	257.0	228.0	190.0
28일	342.0	335.0	297.0	190.0	340.0	336.0	335.0

3.2.2 증기양생한 콘크리트의 압축강도발현

낮은 조기강도를 극복하기 위하여 증기양생과 화학혼화제를 첨가하여 강도발현 실험을 하였다. 실험결과 증기양생을 채택할 때 보통콘크리트보다 플라이애쉬 콘크리트는 수중양생보다 증기양생 할때에 포졸란반응을 촉진시켜 강도증진효과가 초기에는 있었으나 28일 강도는 오히려 떨어지는 것을 발견하였다. 이것은 초기의 C₃S의 급격한 수화작용과 시멘트 주위의 기포 팽창현상이 가속화되어 내부균열

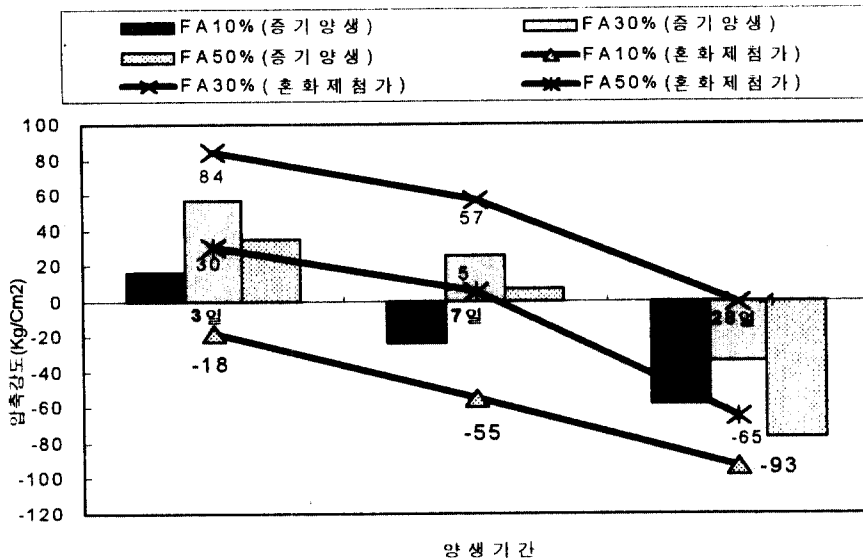


그림 3.2 수중양생시 보통콘크리트와 강도대비 플라이애쉬 콘크리트의 강도변화

을 유도하고 이로 인한 강도저하로 예상된다.⁽⁹⁾

Na₂SO₄을 시멘트양에 2% 콘크리트에 첨가하여 증기양생방법을 선택한 결과 화학혼화제(Na₂SO₄)를 첨가한 플라이애쉬 콘크리트의 초기강도가 0 ~ 84kg/cm²의 증진하는 것을 발견하였다. 그중에서 플라이애쉬 대체량이 30%인 조기강도는 증가하였으며, 28일 강도는 비슷한 강도발현을 보여주었다. 이는 Sulfate계통의 혼화제가 AFt를 생성함으로써 콘크리트 조기강도에 영향을 미친 것으로 사료된다. 그러나 50%인 경우에는 오히려 강도가 저하하는 것을 발견하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 석탄회 처리촉진방안으로 수행하였으며, 특히 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트는 수중양생보다 증기양생할 때 그리고 화학혼화제를 첨가하였을 때 강도면에서 우수한 것으로 판단되었으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 시멘트페이스트는 수화작용이 진행됨에 따라 Ca(OH)₂와 C-S-H수화물의 생성량이 증가하고, 플라이애쉬페이스트는 7일부터 Ca(OH)₂량이 감소되는 것을 관찰되었다.
- (2) SEM 및 XRD분석한 결과를 관찰하면 시멘트페이스트의 증기양생은 조기에 수화반응을 촉진시켜 수중양생보다 Ca(OH)₂량이 더 많이 생성되었으며, 결과적으로 조기에 포졸란반응을 하여 플라이애쉬 콘크리트의 조기강도를 우수하게 발현시켰다.
- (3) 화학혼화제를 플라이애쉬 콘크리트에 사용할 때 조기에 AFt를 생성시켜 조기강도를 증진시켰으나, 28일 강도에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

- 참고문헌 -

1. 남호기, 마삼선, 정경택. "석탄회 이용가치와 재활용기술". (1994. 4)
2. 한국전력공사 환경관리처. "석탄회 및 탈황석고 활용 국제워크숍". (1997. 5)
3. 한국전력공사 (재)한국계면공학연구소. "석탄회 활용 국제워크숍". (1996. 8)
4. Caijun Shi and Robert L. DAY., "Acceleration of the reactivity of fly ash by chemical activation." Cement and concrete research. Vol. 25, 1995, pp 15-21.
5. Weiping Ma, Chunling Liu, Paul W. Brown*, and Sridhar Komarneni**, "Pore structures of fly ashes activated by Ca(OH)₂ and CaSO₄ · 2H₂O". Cement and concrete research. Vol. 25, 1995, pp 417-425.
6. Geber, S. H., and Klieger, P., "Effect of fly ash on physical properties of concrete". Proceedings, 2nd CANMRT/ACI International conference on the use of fly ash, silica fume, slag, and national pozzolan in concrete, madrid, spain, Apr. 21-25, 1986. Edited by V. M. Malhotra. American Concrete Institute, Detroit, MI, SP-91, 1986, pp 1-50
7. Shigun Li, Della M.Roy, and Amitabha kumar., "Quantitative determination of pozzolans in hydrated systems of cement or Ca(OH)₂ with fly ash or silica fume", Cement and concrete research, 1985, Vol. 15, pp 1079-1086
8. ACI Committee 308. "Standard Practice for Curing Concrete", ACI Standard 1992.
9. 최세규, 유승룡, 김생빈. "촉진양생이 콘크리트의 탈형압축에 미치는 영향에 관한 연구". 대한건축학회논문집 12권 3호 통권89호 (1996. 3)