플라이 애시 및 석고를 활용한 고강도용 콘크리트의 성능개선

Improvement of Properties in High Strength Concrete Using Fly ash and Gypsum

김 기 형* 최 재 진** 최 연 왕***
Kim, Ki Hyung Choi, Jae Jin Choi, Yon Wang

ABSTRACT

The workability of high strength concrete using high range water reducing admixture is varied rapidly according to elapsed time. For using the high strength concrete in situ, careful caution on workability is necessary. By using fly ash as a admixture, the slump loss of concrete can be reduced considerably, but the early strength of concrete used fly ash is smaller than that not used fly ash. For the purpose of elevating the utilization of fly ash on high strength concrete, the high fluidity retention and the strength development in early age are necessary in concrete used fly ash.

In this study, to improve the fluidity retention and to acquire strength development on concrete used fly ash, the gypsum is applied.

1. 서론

플라이 애시를 콘크리트용 혼화재료로 활용하는 것은 콘크리트의 물성 향상 뿐만 아니라 환경보호 및 폐자원의 재활용 차원에서도 매우 유익하다. 특히 플라이 애시는 고강도용 콘크리트의 품질개선에 매우 유효한 재료로 사용할 수 있는 가능성이 높다.

일반적으로 고성능감수제를 사용한 고강도용 콘크리트는 경과시간에 따른 유동성 손실이 크게 발생하여 특별한 주의가 필요하다.[1,2] 플라이 애시를 혼화재로 사용하면 유동성 유지성능이 다소 증가되지만 플라이 애시 혼합률의 증가에 따라서 경화한 콘크리트의 초기강도가 저하되는 것이 문제점으로 지적된다.

그러므로 고강도 콘크리트용 혼화재로서 플라이 애시의 활용성을 높이기 위해서는 굳지 않은 콘크리트의 유동성 유지성능을 제고하면서 경화한 콘크리트의 초기강도 저하를 방지하는 실용적인 방안이 필요하다.

본 연구에서는 고강도용 콘크리트의 유동성 유지성능과 강도를 향상시키기 위하여 플라이 애시의 효율적인 활용방안을 실험적으로 검토하고자 한다. 플라이 애시가 고성능감수제를 사용한 콘크리트의

* 정회원, 여주대학 토목과 조교수
** 정회원, 천안공업대학 토목과 부교수
*** 정회원, 세명대학교 토목공학과 조교수

유동성 유지성능에 미치는 영향을 분석하고 플라이 애시 혼합 고강도용 콘크리트의 유동성 유지성능과 강도를 향상시키기 위하여 석고를 사용하는 방안에 대하여 실험적으로 고찰하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

(1) 시멘트와 플라이 애시 : 시멘트는 국내 S사의 보통포틀랜드시멘트(OPC)이며 플라이 애시(FA로 약함)는 국내화력발전소에서 발생된 것으로서 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1. 시멘트 및 플라이 애시의 화학성분 및 물리적 성질

Items	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO_3 (%)	Ig.loss (%)	Specific gravity	Specific surface area (cm^2/g)
OPC	21.95	6.59	2.81	60.12	3.32	2.11	2.58	3.15	3,112
FA	68.00	25.00	2.85	2.00	0.90	-	3.47	2.15	4,546

(2) 석고 : 석고는 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$가 99.5 % 이상인 공업용 석고를 사용하였다.

(3) 화학 혼화제 : 나프탈린계 고성능감수제를 사용하였으며 주성분 및 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2. 고성능감수제의 주성분 및 물리적 성질

Chemical component	Appearance	Specific gravity	pH	Recommended dosage(C×%)
Naphthalene sulfonate composites	Dark brown	1.19~1.21	9±1	0.25~2.4

(4) 골재 : 한강산 강모래와 강자갈을 사용하였으며 물리적 성질은 표 3과 같다.

표 3. 골재의 물리적 성질

Items	G_{max} (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	F.M.	Organic impurities	Unit weight (kg/m^3)	Percentage of solids (%)
Fine agg.	-	2.60	2.0	2.67	O.K	1,620	62.3
Coarse agg.	19	2.67	1.13	7.00	-	1,725	66.1

2.2 실험기기 및 실험방법

(1) 현탁액의 침강시험 : 고성능감수제를 1% 첨가한 물-결합재비 100%의 현탁액을 모르터 믹서로 3분간 믹싱하여 제조한 후 500㎖ 메스실린더에 넣고 침강량을 측정하여 시멘트 입자의 응집의 정도를 나타내는 지수로 나타내었다.
(2) 모르터의 플로우 시험 : 시멘트(C)와 잔골재(S)의 중량비 1 : 1, 물-결합재비 32 %, 플로우 값 210±10mm의 모르터를 제조 후 KS L 5105에 의하여 경과시간 30분 간격으로 플로우 값의 변화를 측정하였다.
(3) 콘크리트의 슬럼프 시험 : 용량 50 ℓ 의 강제식 믹서를 사용하여 시멘트, 잔골재를 먼저 투입하여 1분간 dry mixing한 후 나머지 재료를 첨가하여 총 3분30초간 믹싱 후 가경식 믹서로 옮겨 2rpm속도로 회전하면서 경과시간 120분까지 30분 간격으로 KS F 2402에 의하여 슬럼프 값을 측정하였다.

(4) 모르터 및 콘크리트의 강도시험 : 모르터는 5×5×5 cm의 입방체, 콘크리트는 Ø10×20cm 원주형 공시체로 제작하여 표준 양생한 후 KS L 5105, KS F 2403의 규정에 의해서 압축강도, KS F 2423에 의해서 인장강도를 각각 측정하였다.

2.3 콘크리트의 배합

고강도용 콘크리트를 제조하기 위하여 단위결합재량 600kg/m^3, 물-결합재비 32%, 28%, 잔골재율 42%로 정하였으며 목표 슬럼프 값은 19±1cm로 하였다.

3. 실험결과에 대한 고찰

3.1 굳지 않은 콘크리트의 유동성 유지성능 개선

굳지 않은 콘크리트의 유동성 손실은 사용재료, 배합, 제조방법 및 온도 등의 여러 요인에 의하여 크게 영향을 받는다.[2] 특히 물-시멘트비가 작고 단위 시멘트량이 현저하게 큰 고강도용 콘크리트의 경우는 유동성 손실이 크게 나타난다.[1] 플라이 애시가 고강도용 모르터 및 콘크리트의 유동성 손실에 미치는 영향을 알아보기 위하여 혼합률을 3 단계로 하여 경과시간에 따른 유동성 손실률을 비교한 것이 그림 1이다.

플라이 애시 혼합률이 증가하면서 모르터 및 콘크리트의 유동성 손실률이 얼마간 감소하며, 플라이 애시 30% 혼합시멘트(FA30)가 보통포트랜드시멘트(OPC)보다 경과시간 120분에서 약 16% 정도 슬럼프 손실률이 감소되었다.

플라이 애시가 모르터 및 콘크리트의 유동성 손실을 저감하는 이유는 혼합률 만큼 시멘트량이 감소되어 수화지연현상이 발생하며 입자모양이 구형이고 매끄러운 표면조직을 가진 플라이 애시가 입자간의 물리적인 마찰감소 작용 및 응집을 회석시키는 역할[3]을 하기 때문으로 판단된다.

한편 고성능감수제를 사용한 시멘트 복합체의 유동성 손실은 시멘트 조성광물 중 초기 수화반응성이 활발한 C_3A와 석고와의 반응정도에 따라서 큰 영향을 받으며, 석고는 C_3A의 초기 수화를 억제시키는 작용을 한다.[4] 석고가 플라이 애시 혼합 모르터의 유동성 손실에 미치는 영향을 알아보기 위하여 석고를 단위 결합재량의 3 단계로 첨가하여 경과시간 120분에서 플로우 손실률을 비교한 것이 그림 2이다.

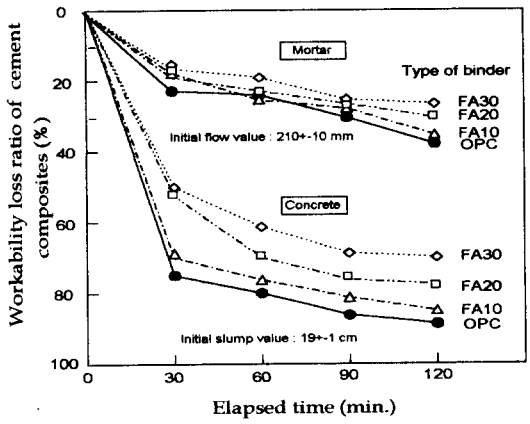

그림 1. 플라이 애시 혼합 모르터 및 콘크리트의 유동성 손실률

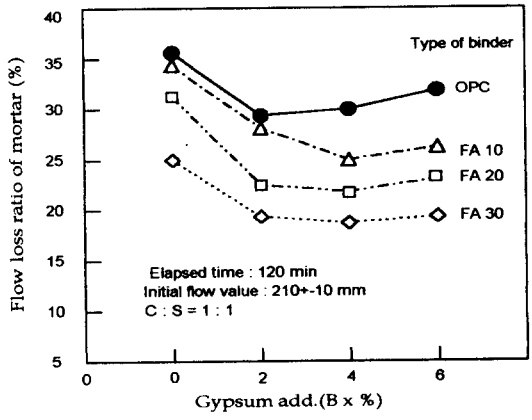

그림 2. 석고가 플라이 애시 혼합 모르터의 플로우 손실에 미치는 영향

석고의 첨가량 및 플라이 애시 혼합률에 따라서 플로우 손실에 차이가 있으며, 플라이 애시 30% 혼합시멘트에 석고를 단위 결합재량에 약 2~4% 첨가한 경우 플로우 손실률이 가장 작게 나타났다.

한편 시멘트복합체의 유동성 손실은 개개의 시멘트 입자가 경과시간에 따라서 응집하여 망상구조의 응집체를 형성하므로써 점성이 커지는 과정과 밀접한 관련성이 있다.[5] 석고에 의한 모르터 및 콘크리트의 유동성 손실 저감현상을 시멘트 입자의 응집저감효과로 알아보기 위하여 석고를 2% 첨가한 현탁액 중의 시멘트 입자 침강량과 콘크리트의 슬럼프 손실률을 경과시간에 따라 비교한 것이 그림 3이다.

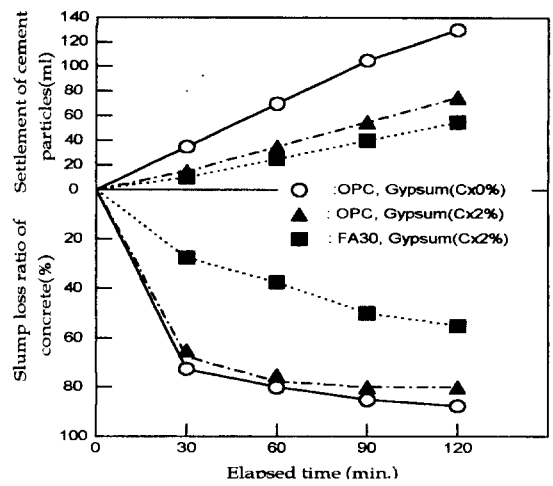

그림 3. 시멘트 현탁액의 침강량과 콘크리트의 슬럼프 손실률 비교

보통 포틀랜드시멘트에 석고를 첨가하지 않은 경우가 침강량과 슬럼프 손실률이 가장 크게 나타났으며, 플라이 애시 30% 혼합시멘트에 석고를 2% 첨가한 경우가 침강량과 슬럼프 손실률이 가장 작아서 입자의 응집에 따른 침강량과 슬럼프 손실률과는 일정한 상관성이 있음을 알 수 있다. 즉, 석고와 플라이 애시를 혼합 사용하면 유동성 손실이 크게 저감되는 이유는 플라이 애시 자체의 유동성 손실 저감효과와 더불어 석고로부터 용해된 SO_4^{2-}이온이 고성능감수제 분자와 경쟁적으로 시멘트 입자에 흡착되므로써 고성능감수제의 시멘트 분산작용이 유리하게 되어[4] 응집이 감소함으로서 유동성 손실 저감에 효과가 있었다고 판단된다.

3.2 경화한 콘크리트의 강도향상

플라이 애시가 고강도용 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 혼합률을 10, 20, 30 %의 3 단계로 하여 제조한 콘크리트의 재령별 압축강도를 정리한 것이 그림 4이다.

재령 3일, 7일 에서는 플라이 애시 혼합률이 클수록 압축강도의 발현성이 작게 나타나며, 플라이 애시 30% 혼합시멘트의 경우는 보통 포틀랜드시멘트 콘크리트에 비하여 각각 10%, 5% 씩 강도가 작게 나타났다. 그러나 재령 28일 이후에는 플라이 애시의 잠재수경성의 영향으로 압축강도가 보통 포틀랜드시멘트 콘크리트와 같거나 크게 발현된다. 그러므로 플라이 애시를 고강도용 콘크리트에 효율적으로 활용하기 위해서는 플라이 애시 혼합에 따른 초기재령에서의 압축강도 저하 방지방안이 필요함을 알 수 있다.

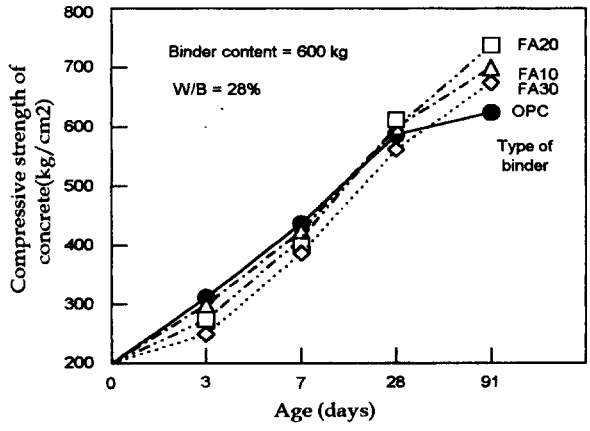

그림 4. 플라이 애시 혼합 콘크리트의 압축강도

플라이 애시 혼합 시멘트 경화체의 압축강도를 향상시킬 목적으로 석고를 단위결합재량에 0, 2, 4%의 3단계로 첨가하여 제조한 모

르터의 압축강도를 플라이 애시 혼합률 및 재령에 따라서 정리한 것이 그림 5이다.

모르터의 종류에 따라서 차이는 있으나 석고를 첨가하면 각 재령에서 모르터의 강도가 얼마간 향상되고 있음을 알 수 있으며, 재령 28일 강도를 기준으로 했을 때 단위 결합재량의 2%를 첨가한 경우가 강도 향상에 가장 유리하게 나타났다.

그래서 플라이 애시 혼합 콘크리트의 압축강도에 미치는 석고의 효과를 알아보기 위하여 석고를 2% 첨가하여 제조한 콘크리트의 재령별 압축강도를 정리한 것이 그림 6이며, 석고를 첨가하지 않은 보통 포틀랜드시멘트 콘크리트의 재령별 압축강도를 100으로 했을 때 플라이 애쉬 혼합 콘크리트 및 석고첨가 플라이 애쉬 혼합 콘크리트의 각각의 압축강도비를 정리한 것이 그림 7이다.

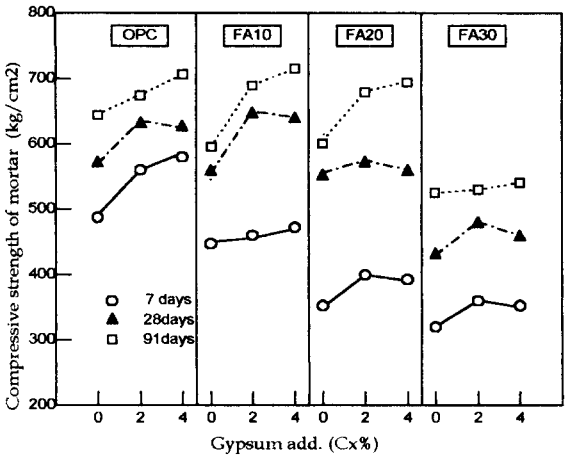

그림 5. 석고를 첨가한 플라이 애시 혼합 모르터의 압축강도

그림 6에서 플라이 애시 혼합률에 따라서 약간 차이는 있으나 석고를 2% 첨가하면 그림 4와 비교해서 초기재령 3 일에서부터 재령 91 일까지 압축강도가 향상되었음을 알 수 있다. 그림 7에서 플라이 애시 혼합 콘크리트의 경우 초기재령인 3 일, 7 일에서는 보통포트랜드시멘트 콘크리트보다 압축강도비가 현저하게 작게 나타나고 있으나 석고를 첨가한 경우에는 플라이 애시 30% 혼합콘크리트를 제외하고 보통 포틀랜드시멘트 콘크리트보다 압축강도비가 크게 나타났으며 특히 초기재령에서의 강도증가현상이 뚜렷하게 나타났다.

플라이 애시 혼합콘크리트에 석고를 첨가한 경우 콘크리트의 강도가 향상되는 원인은 석고에 의해서 시멘트 수화물 중 에트린가이트 생성량이 증가하고, 석고가 C_3S 및 C_2S의 수화를 촉진하는 효과[6]가 있기 때문으로 판단된다. 아울러 플라이 애시의 포졸란 활성반응에 의하여 C-S-H의 생성물이 많아져서 조직이 치밀화 되어 콘크리트의 강도가 향상되었다고 생각된다.

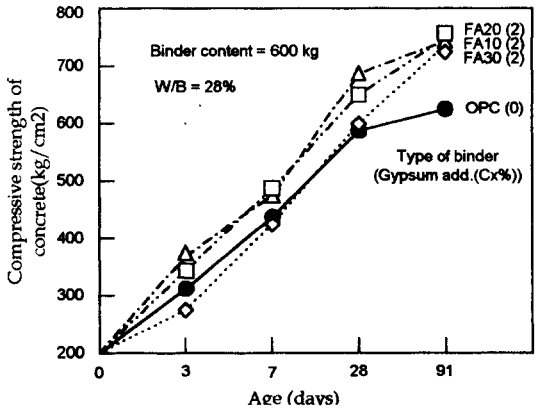

그림 6. 석고첨가 플라이 애쉬 혼합 콘크리트의 압축강도

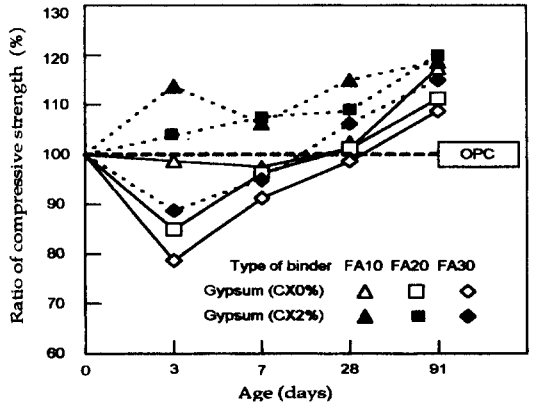

그림 7. 콘크리트의 재령별 압축강도비

4. 결론

(1) 고강도용 굳지 않은 콘크리트의 유동성 손실은 플라이 애시의 혼합률이 증가하면서 저감되는 효과를 얻을 수 있으며 석고를 약 2~4% 첨가한 경우 플라이 애시 혼합 시멘트 복합체의 유동성 유지 성능 개선 효과가 크게 나타났다.

(2) 고성능감수제를 사용한 고강도용 콘크리트의 유동성 손실은 시멘트 입자의 응집에 따른 침강량과 밀접한 상관성이 있으며, 플라이 애시 30%혼합시멘트에 석고를 2%첨가한 경우 보통포틀랜드시멘트 콘크리트 보다 약 33% 유동성 손실이 저감되는 효과가 있었다.

(3) 플라이 애시 혼합 콘크리트는 플라이 애시 혼합률이 증가할수록 초기재령에서 보통 포틀랜드시멘트 콘크리트보다 압축강도 발현성이 작게 나타났으나 적정량의 석고를 첨가하면 초기재령 뿐만 아니라 장기재령에서도 압축강도가 향상되는 유효한 결과를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

1. V. Penttala, Possibilities of Increasing the Workability Time of High Strength Concrete, "Properties of Fresh Concrete" Edited by H-J. Wierig. Chapman and Hall, Oct., 1990.
2. F. Young, Factors Affecting Slump Loss in Superplasticizer in Concrete, Proceedings of International Symposium on Superplasticizer in Concrete, Canada, July, 1981.
3. 内川 浩, 混合セメントの水和および"構造形成におよぼす混合材の效果, セメント·コンクリート, No.484, June, 1987, pp.81-pp.93
4. 名和豊春, 江口仁, 高性能減水劑の吸着擧動に及ぼす硫酸鹽の影響, セメント·コンクリート論文集 No.43, 1989, pp.90-pp.95
5. 服部健一, スランフ°ロスのメカニス"ムおよび"その對策, 材料, 第29卷, 318號, pp.34-pp.40
6. 金基亨, 高强度콘크리트의 流動性 損失 最少化와 强度 向上을 위한 硏究, 漢陽大學校 大學院 工學博士 學位 論文, 1993.12.