칼슘설포알루미네이트를 사용한 모르타르의 초기강도 특성에 관한 연구

A Study on the Early-Age Strength of Mortar Using Calcium Sulfo Aluminate

송 태 협* 이 세 현** 서 치 호***
Song, Tae Hyeob Lee, Sea Hyun Seo, Chee Ho

Abstract

This study is a result that, in order to improve the early stage strength of fly ash, the calciumsulfoaluminate in which the generation of ettringite was very active in the early stage was substituted by some amount, and then the effect on the early stage was analyzed.

when fly ash was substituted by 30%, the strength dropped by maximum 54 % in the 3rd day of aging, compared to the cement mixture, but when CSA was substituted by 8 % in the fly ash amount, the strength improved at the 86 percent level of cement, it is suggested as an economical and effective method to improve the early-stage strength that CSA should be mixed by 8% compared to the fly ash amount used

1. 서 론

콘크리트의 강도는 설계나 품질관리에 매우 중요한 요인이며, 콘크리트 전체 품질을 대표하는 항목이기도 하다. 이러한 콘크리트의 강도는 W/C 및 잔골재율, 사용혼화재료에 따라 다양하게 변화할 수 있다. 고전적인 콘크리트의 경우 시멘트와 혼합수 그리고 골재를 중심으로 생산을 실시하였으나 지금은 플라이애쉬 및 고로슬래그 미분말 등 산업 부산물등을 이용하여 2성분계 또는 3성분계 콘크리트를 기본으로 하고 있는 실정이다. 이러한 이유는 경제적 고려도 있지만 사용되는 용도에 맞는 특성을 얻기 위함도 하나의 목적이다. 그러나 이러한 혼화재료의 사용은 콘크리트의 품질 중 가장 중요한 요소인 초기강도 저하 등의 문제점이 제기되고 있다.

이러한 콘크리트의 초기강도를 보완하기 위하여 국내외적으로 많은 연구가 진행되었으며 그 중 대표적인것으로는 감수제를 첨가하여 단위수량을 저감하는 방법과 플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 경우 알칼리 자극제를 이용하는 방법 등이 제시되고 있다. 그러나 감수제 및 알칼리 자극제는 비교적 고가로서 콘크리트의 생산원가를 높이는 단점을 가지고 있다. 이외에 실리카흄 및 메타카올린과 같은 고분말의 재료를 사용하여 충진효과와 비표면적의 증대에 의한 강도 증진 방안이 제시되었으나 고 비용으로인하여 특정한 용도 이외에는 적용하기가 곤란하다.

따라서 본 연구는 아윈계 광물을 주성분으로하고 성분의 함량에 따라 조강성, 고강도, 팽창성을 가지는 칼슘설포알루미네이트를 시멘트에 일정량 치환하여 3일이내의 수화특성과 강도 변화를 분석하고

* 정회원, 한국건설기술연구원, 연구원
** 정회원, 한국건설기술연구원, 수석연구원
*** 정회원, 건국대학교 건축공학과, 교수

자 하였다. 수화특성과 조기강도의 상관성을 관찰하기 위하여 상대적으로 품질특성이 안정한 페이스트 및 모르타르 시편을 제작하여 실험을 진행하였다.

$$CSA + X\,CaSO_4 + Y\,CaO + Z\,H_2O \longrightarrow 3CaO\cdot Al_2O_3\cdot 3CaSO_4\cdot 32H_2O$$

에트링가이트

석회(시멘트에서 공급)

석고(석고 원료에서 공급)

그림 1 CSA의 에트링가이트 생성과정

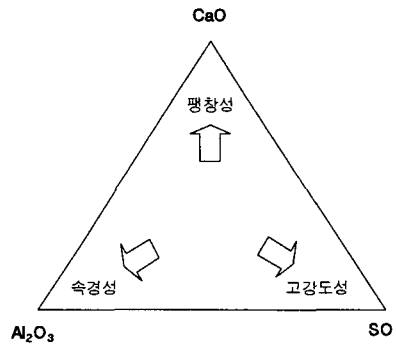

그림 2. 성분에 따른 CSA의 경화구조

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 사용재료

본 연구의 실험계획은 보통 포틀랜드 시멘트에 플라이애쉬를 10, 20, 30%까지 치환하고, 이때에 CSA를 바인더량 대비 8%를 혼입하여 모르타르의 물리적 특성과 수화특성을 분석하였다. 본 연구에 사용된 재료의 특성은 표 1과 같다. CSA는 보오크사이트를 출발 원료로하였고, 에트링가이트의 활성을 위하여 석고를 일부 첨가하여 제조한 것이다. X-선 회절분석결과 칼슘설포알루미네이트가 주를 이루고 있다. 플라이애쉬는 국내 P사에서 정제한 분말도 3,500㎠/g, 습분 0.3%, 포졸란 활성도 95% 이상으로 KS L 5405(플라이애쉬)에서 규정하는 품질을 만족하는 제품이다. 시멘트는 비중 3.14, 분말도 3,235㎠/g 정도의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다.

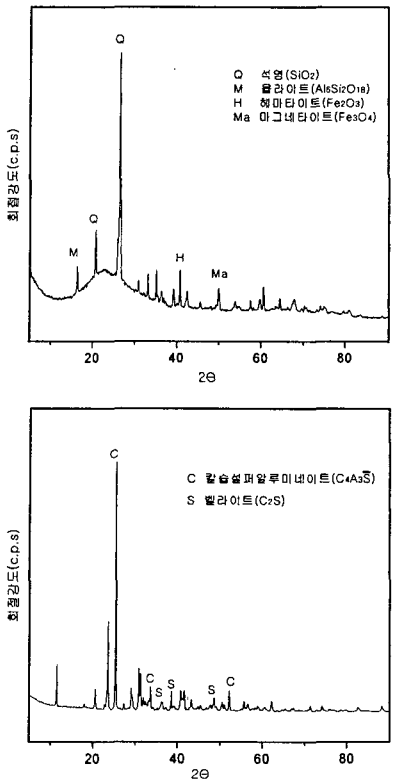

그림 3. 플라이애쉬 및 CSA의 X선 회절패턴

2.2 실험방법

KS L 5105에 의하여 제작된 공시체는 23±3℃에서 1일간 양생을 실시하고 탈형 후 수중에서 양생을 실시한 후 재령 3일, 7일, 28일에서 압축강도를 측정 하였으며, 수화특성 분석은 재령 1, 3, 7일에서 잔골재를 제외한 페이스트를 제작하고, 각각의 재령에서 아세톤에 침지한 후 온도 45℃ 저온건조하여 수화물의 변동이 발생하지 않도록 시료를 제작하였다. 수화물은 XRD를 이용하여 각각의 재령에서 수화 및 미수화물을 개략적으로 관찰하고, TG-DTA에 의하여 초기의 주로 형성되는 수화물인 수산화칼슘 및 에트링가이트를 발생량을 정량분석하여 비교하였으며, SEM을 이용하여 발생형태를 관찰하였다.

표 1. CSA 및 플라이애쉬의 물리화학적 특성

구분	비중	분말도 (cm^2/g)	강열감량 (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO (%)	K_2O (%)	TiO_2 (%)	MgO (%)	SO_3 (%)
CSA	2.9	3,800	0.1	3.8	9.1	1.4	54.8	-	-	1.5	27.5
플라이애쉬	2.2	3,500	0.3	61.0	19.4	6.3	5.2	2.4	2.3	-	-

3. 실험결과

3.1 물리적 특성

3.1.1 유동성

플로우 측정결과, 보통포틀랜트 시멘트만을 사용한 배합은 110.9㎜로 나타났으며, 플라이애쉬 첨가량이 증가할수록 구형의 입자의 증가로 인하여 증가하는 경향을 보였다. CSA의 첨가량에 따른 유동성의 변화는 없는 것으로 나타나 물흡수성이 높은 석고의 함량이 많은 CSA를 8% 혼합하여도 유동의 변화는 없는 것으로 나타났다.

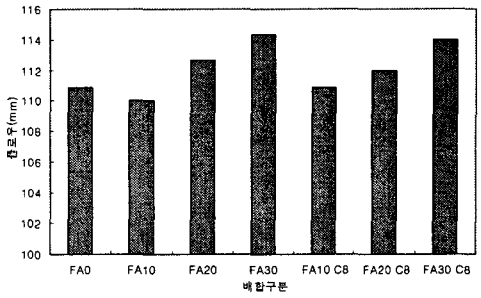

그림 4. 모르타르의 플로우 측정결과

3.1.2 압축강도

재령 3일의 압축강도 측정 결과 플라이애쉬만을 치환할 경우 시멘트 배합대비 66%까지 강도가 하락하나, CSA를 혼합할 경우 시멘트 배합대비 83%로 증가하여 CSA의 첨가가 초기강도 개선에 효과적인 역할을 하는 것으로 나타났다. 또한 재령이 증가할수록 플라이애쉬 및 CSA를 혼합한 배합은 시멘트 배합에 비하여 강도 증진이 빠르게 진행되었으며, 재령 28일에서는 시멘트 배합보다 높은 강도를 발현하는 것으로 나타났다.

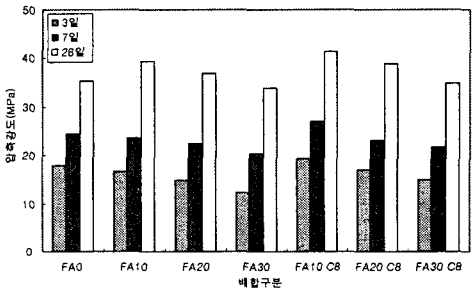

그림 5 모르타르의 압축강도 측정 결과

3.1 수화특성 분석

3.1.1 X-선 회절

X선 회절에 의한 수화생성물의 분석을 실시한 결과 모든 배합에서 재령 6시간에서는 수화생성물인 수산화칼슘 및 에트링가이트의 생성량은 적게 나타났으며, 재령이 경과함에 따라 미수화물의 피크는 감소하고 대신 수화생성물이 증가하였다. 플라이애쉬를 10, 20, 30% 치환할 경우 미수화물인 엘라이트 및 벨라이트의 피크가 강하게 나타났으나, CSA를 8% 혼입할 경우 수산화칼슘 및 에트링가이트의 생성이 증가하는 것으로 나타났다. 특히, CSA의 혼합량이 높은 플라이애쉬 30% 배합은 재령 6시간 및 1일에서도 초기강도 개선에 효과적으로 작용할 수 있는 에트링가이트 피크가 명확하게 나타난 것을 알 수 있었다. 재령이 증가할수록 미수화물의 양은 감소하였으며, 9°, 30.8°의 회절각에서 에트링가이트의 피크가 강한 것으로 나타나 CSA의 혼입으로 인한 에트링가이트 생성으로 조기강도 발현이 가능한 것으로 판단된다.

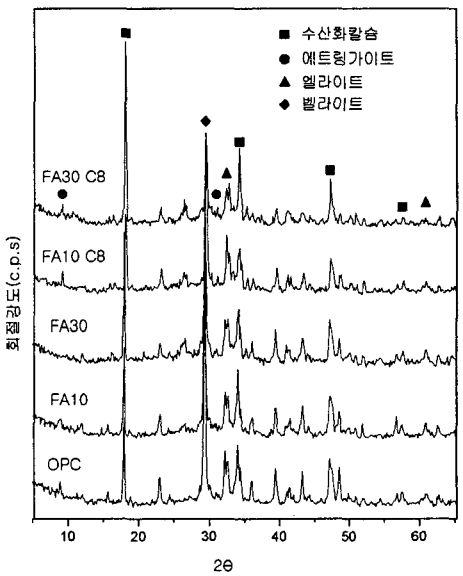

그림 6 X선 회절 측정결과(재령 1일)

3.1.2 열분석

CSA를 첨가할 경우 플라이애쉬 대체량 10%에서는 재령 6시간과 1일의 생성량은 3.8~4.2%, 재령 3일에서는 7.1%가 생성되었고, 30% 대체 배합에서도 재령 1일까지는 동일한 현상을 보이며 재령 3일

에서는 10.4%의 에트링가이트가 생성되었다. 수산화칼슘은 CSA의 혼합에 따른 생성량의 변동은 발생하지 않았으며 전반적으로 시멘트 배합에 비하여 생성량아 낮게 나타났다. X선 분석과 동일하게 CSA를 첨가할 경우 재령 3일 이내에서 에트링가이트의 생성이 활발하게 일어남을 알 수 있다.

3.1.2 SEM 분석

SEM분석 결과 CSA 혼입량이 높은 FA30 C8 배합에서는 재령 1일에서부터 에트링가이트의 생성이 활발하고 재령 7일에서는 많은 양의 모노설페이트를 관찰함으로써 CSA가 강도 증진을 효과적으로 발휘할 수 있는 수화물의 생성에 많은 역할을 한 것으로 판단된다.

4. 결론

플라이애쉬를 사용함에 따라 발생하는 3일 이내의 강도를 개선하기 위하여 CSA를 혼입하여 모르타르의 특성을 분석한 결과 다음 결론을 얻을 수 있었다.

(1) CSA를 혼입함에 따른 유동성의변하는 없었으며, 기존의 플라이애쉬 사용에 따른 플로우 값을 발현하였다.

(2) 재령 3일 압축강도는 플라이애쉬 사용량 증가에 따라 낮아지지만, CSA를 첨가할 경우 OPC만을 사용한 모르타르의 85% 수준까지 증가하는 것으로 나타났다. 특히 플라이애쉬 사용량이 낮은 10% 배합의 경우 OPC와 동일한 경향으로 나타났다.

(3) 수화특성 분석결과 CSA혼입에 따라 초기 재령 6시간, 1일에서 에트링가이트의 생성이 증가하는 것으로 나타났으며, 재령 7일까지 활발하게 증가하는 것으로 분석되었다.

(4) 이상과 같이 플라이애쉬 사용에 따른 초기강도 저하에 CSA를 플라이애쉬량의 8%를 혼입할 경우 활발한 수화생성물의 증가로 인하여 조기강도 개선에 효과적임을 알 수 있었다.

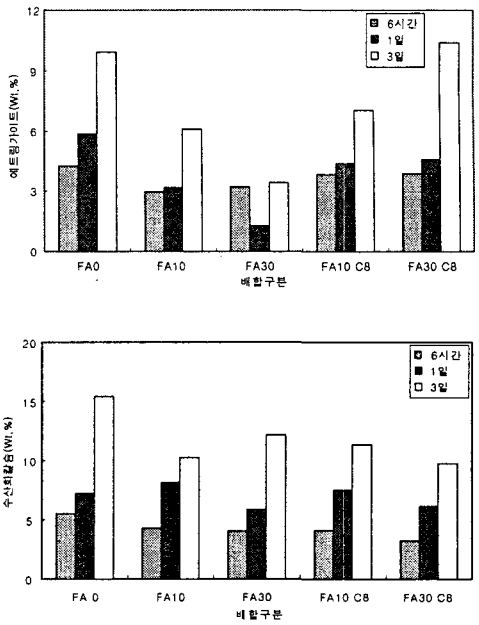

그림 7. 재령에 따른 에트링가이트 및 수산화칼슘 생성량

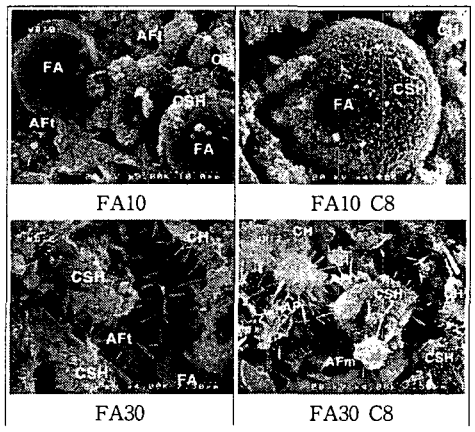

그림 8. 재령 3일 SEM 측정결과

참고문헌

1. 송태협, CSA를 사용한 플라이애쉬 콘크리트의 조기강도 개선에 관한 연구, 박사학위논문, 건국대학교, 2005
2. 박춘근, 칼슘설포알루미네이트 시멘트 경화체내에서 물의 존재상태 및 미세구조, Korea-Japan Colloquium, 한국요업학회 시멘트 위원회, 1995
3. 이진용, Na_2SO_4가 시멘트-플라이애쉬 페이스트 및 콘크리트 강도에 미치는 영향, 콘크리트학회지 제11권2호, pp.85~94, 1999. 4
4. 無機マテリアル學會編, セメント·セッコウ·石灰ハンドブック, 技報堂出版, 1995. 11
5. 日本コンクリート工學協會, ヒメントコンクリートの反　モデル解析に關するシンポジウム, JCI-C639, 1996.5