

초기강도 증진을 위한 황산알루미늄 혼입 시멘트 모르타르의 물리적 특성

Physical Properties of Cement Mortar using Aluminum Sulfate as Admixture for Early Strength

강 내 민* 문 경 주** 소 승 영*** 소 양 섭***
Kang, Nae-Min Mun, Kyoung-Ju Soh, Seung-Young Soh, Yang-Seob

ABSTRACT

The purpose of this study is to examine the effect of aluminium sulfate on setting time and compressive strength of cement mortar as focused on formation of ettringite by the reaction between aluminium sulfate and calcium hydrate. The specific parameter was the addition ratio of aluminium sulfate to cement mortar. After specimens made by admixing aluminium of 0~7% by weight of cement, respectively, to cement mixtures, the experimental items such as setting time, compressive strength and heat of hydration in this study were carried out. As a result of this study, it is possible that aluminium sulfate could be added into cement mixture from a standpoint of increasing early compressive strength as considering the setting time and heat of hydration.

1. 서론

조강 포틀랜드 시멘트는 C_3S 의 함유량을 높이고 C_2S 를 적게 하고, 더욱 미분쇄하여 분말도를 보통 포틀랜드시멘트의 $3,300\text{cm}^2/\text{g}$ 보다 약 $1,300\text{cm}^2/\text{g}$ 이상 높이어 제조된다. 이러한 조강 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트의 7일 강도를 3일 만에 발현시켜 긴급공사 및 공기단축을 요하는 공사에 효율적이며 초기 수화가 빨라 동절기 공사에 합리적이다. 또한 콘크리트 2차 제품 제조공장에서 몰드 회전율을 증가시킴으로써 생산성을 향상시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 하지만 조강 시멘트 제조시 분쇄시간의 증가에 따른 생산량의 감소와 에너지 사용량 및 원가 증가 등의 원인으로 범용화 되지는 않고 있는 실정이다. 따라서 보통 포틀랜드시멘트에 적절한 혼화재료를 첨가하여 조강 시멘트의 성능을 만족시킬 수 있다면 경제성 및 효율성에서 합리적인 것이다. 그러한 혼화재료 중 황산알루미늄($Al_2(SO_4)_3$)은 시멘트의 수화 생성물인 수산화칼슘과 반응하여 에트링가이트를 생성한다. 그러나 황산알루미늄이 포틀랜드 시멘트의 수화반응 및 물리적 특성에 미치는 영향에 대한 연구는 아직 미흡한 상태이다. 본 연구는 황산알루미늄과 수산화칼슘의 반응에 따른 에트링가이트 생성에 착안하여 보통 포틀랜드 시멘트에 황산알루미늄을 혼입 하였을 때의 조강성 확보에 따른 응결시간, 강도특성 및 수화열을 검토하여 시멘트 혼화재료로서 활용 가능성을 검토하고자 하였다.

*정회원, 전북대학교 건축공학과 석사과정

**정회원, 전북대학교 건축공학과 강사,

***정회원, 전북대학교 건축공학과 교수, 공업기술연구소

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트 및 잔골재

본 실험에 사용된 시멘트는 국내 D사의 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)를 사용하였으며 잔골재로는 No.5와 No.6 규사(Silica Sand)를 각각 50%, 50% 혼합하여 사용하였으며 그 성질은 Table 1과 같다.

Table 1 Properties of OPC and Silica Sand

Type	Density(25℃, g/cm ³)	Size(μm)	Water content(%)
OPC	3.15	-	≤0.1
Silica Sand	2.6	250~850	≤0.1

2.1.2 시멘트 혼화용 황산알루미늄

황산알루미늄은 저렴하고 무독성인 순도 17%의 공업용으로 백색의 분말 상태인 고체형을 사용하였으며 그 성질은 Table 2와 같다.

Table 2 Properties of Aluminum Sulfate

Al ₂ O ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	H ₂ O	Specific gravity	pH	Solubility(water)	Melting Point
17%	57%	43	1.62	3.0over	31%	770℃

2.2 실험방법

2.2.1 배합

황산알루미늄의 혼입율에 따른 시멘트 모르타르의 물리적 특성을 평가하기 위하여 시멘트 대비 중량비로 황산알루미늄을 0~7%의 범위로 혼입하였으며 모르타르 배합은 물시멘트비 48.5%, 시멘트-잔골재비 1:2.45로 선정하였다.

2.2.2 시험체의 제작

소정의 비례로 원재료들이 충분히 혼합되도록 건비빔한 후, 물을 가하여 모르타르 믹서로 1분 30초 동안 습식 혼합하여 압축강도 측정용 5cm×5cm×5cm 몰드에 타설하였으며 모든 공시체는 표준 양생실에서 1일간 양생한 다음 20±2℃인 수중에서 28일간 양생하였다.

2.2.3 시험방법

시멘트의 응결속도 측정은 KS L 5108(비카트 침에 의한 수경성 시멘트의 응결시간 시험방법) 규정에 의하여 실시하였으며 각 혼입율별 표준주도에 맞는 수량을 확인한 후 실시하였다. 모르타르의 압축강도 및 플로우 시험은 KS L 5105에 따라 측정하였으며, 압축강도는 재령 1일, 3일, 7일, 28일로 구분하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 응결 특성

Fig. 1은 황산알루미늄의 혼입율별로 비카침 응결시험 방법으로 표준주도를 결정한 후 응결(초결)시간 측정결과를 나타낸 것이다. 표준주도에서 혼입율 1%까지는 큰 변화가 나타나지 않았지만 2%이상에서는 표준주도 값이 크게 증가하였으며 응결 시간도 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 특성은 시멘트 내 황산알루미늄이 물과 접촉 시 자체발열에 의한 온도상승과 시멘트 수화반응 초기에 발생하는 수산화칼슘과 황산알루미늄이 급격히 반응($Al_2(SO_4)_3 + 6Ca(OH)_2 + 26H_2O \rightarrow C_3A \cdot 3CaSO$

4·32H₂O)하면서 물을 소비한 것에 기인한 것으로 사료된다. 따라서 황산알루미늄을 시멘트의 혼화재료로 이용하기 위해서는 초기 작업성 확보를 위한 대책이 필요할 것으로 판단된다.

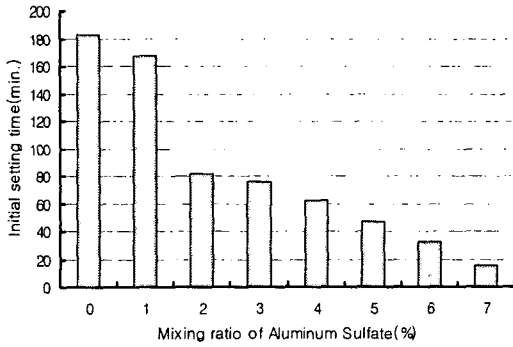


Fig. 1 Setting time

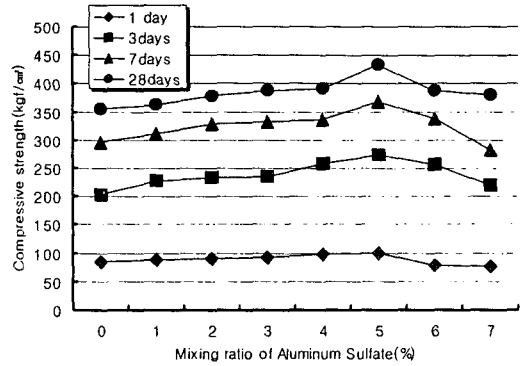


Fig. 2 Compressive strength

3.2. 압축강도 특성

Fig. 2는 황산알루미늄의 혼입율에 따른 재령별 압축강도를 나타낸다. 황산알루미늄을 혼입한 시멘트 모르타르의 압축강도는 황산알루미늄을 첨가하지 않은 모르타르에 비해 혼입율이 5%까지는 증가하는 경향을 보이다 그 이상의 혼입율에서는 점차 감소하였다. 특히 혼입율 5%에서는 초기 강도가 약 35%이상 증가하는 경향을 보였으며 3일 강도가 혼입하지 않은 모르타르의 7일강도에 근접하여 도달하여 조강성이 매우 우수한 것으로 나타났다. 또한 7일, 28일의 강도도 꾸준히 증가하여 28일 강도의 경우 혼입하지 않은 모르타르에 비하여 약 22%이상 높은 강도를 발현하였다. 따라서 황산알루미늄의 혼입은 초기 강도는 물론 중·장기 강도 증진에도 매우 효과적인 것으로 나타났다.

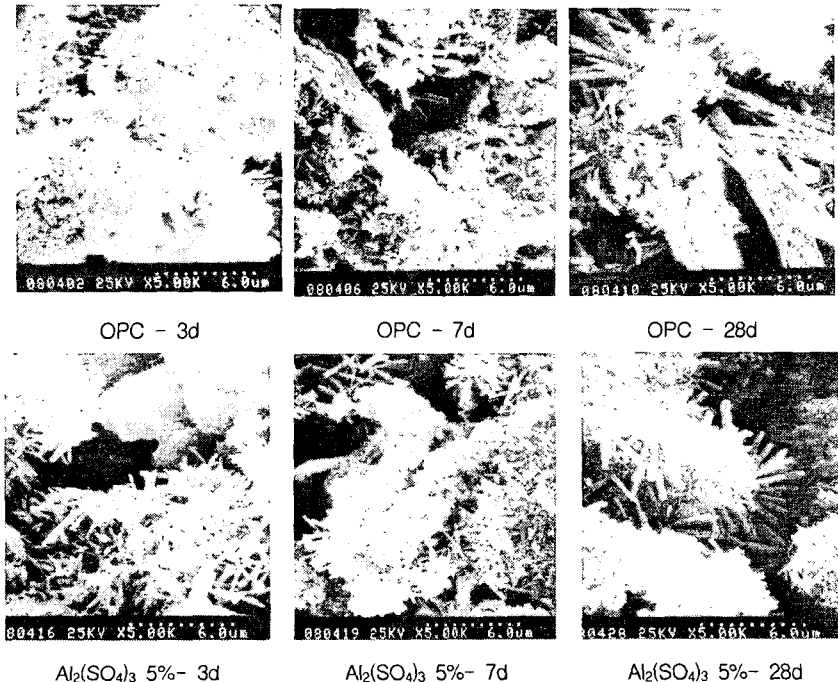


Fig. 3 Inner micro-structure of cement paste(×5,000)

3.3 내부 미세구조 분석

Fig. 3은 황산알루미늄의 혼입에 따른 시멘트 경화체의 내부미세구조를 전자현미경으로 관찰한 것이다. OPC의 경우 재령이 경과함에 따라 에트리נג가이트가 모노설페이트로 전이되어 있으며 수산화칼슘이 다량 생성되어 있는데 반해 황산알루미늄을 혼입한 경화체의 경우 28일까지 에트리נג가이트가 존재하고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 황산알루미늄의 혼입은 초기에 급속하게 생성된 에트리נג가이트가 쉽게 모노설페이트로 전이되지 않을뿐만 아니라 지속적인 수산화칼슘과의 수화반응을 통해 침상구조 형태의 네트워크식 망상구조를 형성하면서 강도발현에 기여하는 것으로 판단된다

3.4 간이단열온도 상승시험 분석

Fig. 4는 황산알루미늄의 혼입에 따른 간이단열온도 시험체의 온도이력을 나타낸 것으로 OPC에 황산알루미늄을 혼입한 모르타르를 제조하여 지름 10cm, 높이 20cm의 형틀에 타설하고 열전대를 삽입하여 항온실 내에 방치하여 온도를 측정했다. 혼입율에 증진됨에 따라 최고온도 도달시간은 빨라지는 것으로 나타났다. OPC의 경우 최고온도 도달시간은 14시간이었으며 7% 혼입시 1시간 만에 최고온도에 도달하는 것으로 나타났다. 이와 같은 수화 발열특성을 적절하게 이용하여 동절기 공사용 콘크리에 이용한다면 황산알루미늄의 한중 콘크리트 혼화재료로서 활용이 가능하리라 판단된다.

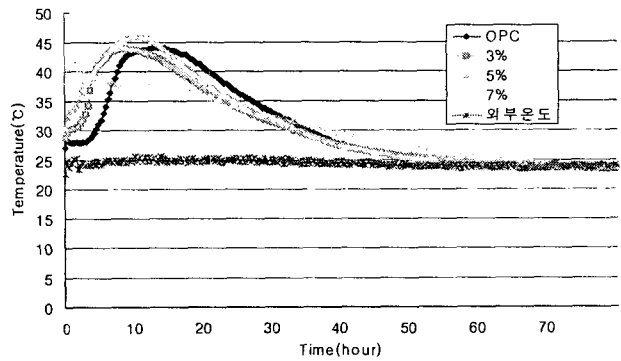


Fig. 4 Hydration Heat Characteristics

4. 결론

- 1) 황산알루미늄을 혼입시 응결시간은 보통 포틀랜드 시멘트에 비하여 혼입율이 증가함에 따라 매우 빨라지는 경향을 보이고 있어 이에 대한 작업성 확보 대책이 필요하다고 판단된다.
- 2) 황산알루미늄을 혼입할 시 응결시간을 고려하지 않을 경우 4~5%의 첨가로 조강시멘트와 거의 유사한 강도특성을 나타낸다.
- 3) 내부 미세구조 분석결과 황산알루미늄은 수산화칼슘과 급격한 반응으로 에트리נג가이트가 다량 생성되며 이를 골격으로 네트워크식 망상구조를 형성하면서 강도를 발현한다.
- 4) 간이단열온도 상승시험결과 초기에 수화열이 급격하게 발생함으로 동절기 공사에 유효할 것으로 사료된다.
- 5) 황산알루미늄은 저가이며 무독성으로 응결특성을 극복할 수만 있다면 조기강도 발현 및 초기 수화열 발열특성을 이용해 한중 콘크리트 혼화재료로 활용 가능성을 가지고 있으나 향후 유동성 확보, 중성화 및 동결융해 저항성 등의 내구성을 중심으로 좀더 심도 깊은 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. Arai, Yasuo, "시멘트 材料化學" pp.194~195.
2. 문경주의 2명, "무기계 자극제 첨가에 의한 삼성분계 혼합시멘트의 압축강도 증진 효과", 전북대학교 공학연구원, 공학연구, Vol. 32, pp.41~49.
3. 김훈외 4명, "시멘트 및 콘크리트의 수화발열특성에 관한 연구", 한국콘크리트학회논문집, 제7권 3호, 1995.6.