

슬래그 시멘트의 물성제어를 위한 활성화제 개발

Development activator for physical properties of slag Cement

박 남 규**
Park, Nam Kyu

이 종 규*
Lee, Jong Kyu

추 용 식*
Chu, Yong Sik

송 훈*
Song, Hun

ABSTRACT

In this study aluminium sulfate, Ca(OH)_2 , K-R Slag and Na_2SO_4 were used as active admixtures and their concentration 1, 3, 5, 7 weight percent in cement. The physical properties of active admixtures cement mortar were investigated by flow test and compressive strength. It was found that the resulting active admixtures exhibited the higher compressive strength than OPC mortar up. From the test results, cement mortars added active admixture have a good fundamental property.

요 약

본 연구는 시멘트산업에서 발생하는 CO_2 가스 발생량을 저감시키기 위한 최적 방법 중의 하나로 슬래그 시멘트의 사용량 증대를 들 수 있으나, 국내에서는 슬래그 함량이 30~40% 수준으로, 초기 슬래그 시멘트 공장 설립 후와 큰 차이가 없는 실정이다. 이는 슬래그 함량 증대에 따라 초기 강도가 감소하고, 응결 및 경화시간이 길어진다는 단점 때문이다. 이에 따라 본 연구에서는 슬래그 시멘트의 초기 강도를 증진하고, 응결 및 경화를 제어할 수 있는 활성화제를 개발하고자 하였다.

슬래그 시멘트의 수화는 혼합수의 주수 후부터 곧바로 시작되며, C-S-H를 주로 하여, 알루미늄하이드록시수화물(C_4AHn , 에트링자이트), 규산알루미늄하이드록시수화물(C_2ASH_8) 등이 생성된다. 활성화제로는 NaOH , Ca(OH)_2 , 석고, 포틀랜드시멘트 등이 있지만, 석고의 경우에는 알칼리성 분위기를 필수적으로 만족시켜야 한다. 슬래그 시멘트의 반응생성물은 포틀랜드 시멘트의 경우와 동일하게 C-S-H가 주체이지만, 수화물의 C/S비뿐만 아니라 자극제의 종류에 의해 알루미늄하이드록시수화물 및 규산알루미늄하이드록시수화물의 형태는 달라지게 된다. 포틀랜드시멘트로부터 생성되는 Ca(OH)_2 는 슬래그의 수화 자극작용도 병행하여, 슬래그 시멘트의 Ca(OH)_2 함량은 수화 시간의 경과에 따라 감소하기도 한다. 본 연구에서는 시멘트 활성화제 개발을 위하여 분말도 $4,550\text{cm}^2/\text{g}$ 의 슬래그 미분말과 분말도 $3,450\text{cm}^2/\text{g}$ 의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 또한 슬래그 시멘트의 활성화를 위해 황산알루미늄염(Sodium sulfate), 소석회(Ca(OH)_2), 페콘크리트 미분말, K-R슬래그 및 망초(Na_2SO_4)등의 슬래그 활성화제를 검토하였다.

* 요업(세라믹)기술원, 세라믹 건재본부

** 연세대학교 토목공학과

1. 서 론

우리나라에서는 자극제로서 석고류(황산염 등)가 일반적으로 사용되고 있으며, 이는 슬래그의 약 5% 수준이다. 또한 슬래그 시멘트 중의 슬래그 함량은 전체 분말의 약 40% 수준으로, 국내 슬래그 시멘트가 도입된 이후 현재까지 큰 변화가 없는 실정이다. 즉 시멘트에 혼합·사용되는 슬래그의 함량이 변화하지 않는 이유는 슬래그 자체의 활성화가 초기에 손쉽게 이루어지지 않아, 초기 강도 저하 및 응결 지연 등을 일으키기 때문이다. 이에 따라 국내에서도 슬래그의 활성을 위한 연구가 진행되고 있으나, 아직까지 획기적인 활성화 조건이 개발되지는 않고 있는 형편이다.

2. 실험 방법 및 사용재료

2.1 사용재료

시멘트는 시중에서 유통되는 H사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트와 K사의 고로 슬래그 미분말을 사용하였다. 또한 시멘트·콘크리트의 작업성, 응결 시간 및 압축강도 등에 영향을 줄 수 있는 활성화제는 소석회와 망초, 폐콘크리트 미분말, 황산알루미늄과 KR 슬래그 등을 검토하였다. 알카리류인 소석회는 아세틸렌 가스 제조 공정에서 발생하는 부산물이며, 망초는 제강 공정에서 발생하는 산업폐기물이다. 망초는 제강공정 중 소결 펠렛을 만드는 공정에서 중탄산나트륨과 탈황가스가 반응하여 Na_2CO_3 및 Na_2SO_4 등의 알카리계 탈황부산물 및 더스트가 혼재되어 발생한다. 설페이트계인 황산알루미늄은 공업용으로 제조·판매되는 제품을 사용하였으며, KR 슬래그는 제강 공정 중 대차로로 운반 폐기되는 산업 폐기물을 사용하였다. 본 연구에서 사용한 KR 슬래그는 1차 분쇄한 후, magnetic separator로 철질을 제거하고 얻어진 2차 슬래그이다.

2.2 실험 방법

본 연구에서는 슬래그 미분말 40%와 시멘트 60%를 기본 배합비로 선정하였으며, 각각의 활성화제(4종)는 슬래그 미분말을 1%, 3%, 5% 및 7% 치환하여 첨가하였다. (Ref. 시멘트는 슬래그 미분말 40% + 시멘트 60%를 혼합하였음.) 혼합하여 제조된 슬래그 시멘트는 실험실 온도를 20~23℃로 유지하고 혼합수와 혼합한 후 강제식 믹서를 이용하여 1속으로 30초간 교반하고, 이후 2속으로 30초간 교반하였다. 계속해서 1분 30초간 정지·방치하고 마지막으로 1분간 2속으로 교반하여 시멘트 모르타르를 제조하였다. 혼합이 완료된 시멘트 모르타르는 flow 시험을 진행한 후 압축강도 시험체를 제작하였다. 압축강도용 시험체는 $50 \times 50 \times 50 \text{mm}^3$ 의 크기로 제작하였으며, 제작된 시험체는 항온 항습기(온도: 23℃, 습도: 95%)에 24시간 방치한 후 탈형 하였다. 이후 압축강도 측정 재령일 까지 수중양생하였으며, 강도발현 특성을 확인하기 위해 재령 1, 3, 7, 28일에서 압축강도를 측정하였다. 또한 활성화제가 첨가된 슬래그 시멘트의 응결 특성, 즉 초결과 종결 시험을 진행하였다. 종결 시험은 길모어 침을 이용하였으며, 종결 시험을 위한 주도 시험은 비카트 침을 사용하여 기준점을 비카트 침 10mm 하강으로 고정하여 응결시험시의 주수량으로 결정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 압축 강도

고로 슬래그 미분말 40%와 1종 보통 포틀랜드 시멘트 60%를 혼합하여 제조한 Ref.의 압축강도 특성을 아래 나타내었다.

양생일별 압축강도는 1일 75kgf/cm², 3일 195kgf/cm², 7일 284kgf/cm² 및 28일 432kgf/cm² 이었다. 이는 1종 보통 포틀랜드 시멘트의 양생일별 압축강도 보다 1일 압축강도는 약 75%, 3일 압축강도는 약 87%, 7일 압축강도는 약 92% 및 28일 압축강도는 109% 수준이었다. (1종 보통포틀랜드시멘트(OPC)의 양생일별 압축강도 : 1일 100kgf/cm², 3일 225kgf/cm², 7일 310kgf/cm² 및 28일 395kgf/cm²) 이는 1일 내지 3일의 초기 양생 조건에서는 OPC 대비 약 75%에서 87% 수준이었으나, 28일 양생 조건에서는 109% 수준으로 양생일의 증가에 따라 OPC 압축강도를 상회하는 특성을 나타내었다. 즉 초기 양생일에서의 강도 저하 문제를 해결하기 위한(기존 슬래그 시멘트 대비 초기 강도 증진을 위해) 슬래그 활성화 조건이 개발되어야 하는 것이다. 그러므로 본 연구에서는 슬래그의 초기 강도 증진을 위한 활성화제로 황산알루미늄(Sodium sulfate), 소석회(Ca(OH)₂), 페콘크리트 미분말, K-R슬래그 및 망초(Na₂SO₄) 등을 검토하였다. 이들 활성화제는 슬래그 중에 1%, 3%, 5% 및 7%를 치환 혼합하였으며, 이들 활성화제를 혼합한 슬래그 시멘트의 압축강도 물성을 실험하였다. 압축강도 측정일은 초기 강도를 검토하기 위해 1일부터 측정하였으며, 이후 3일, 7일 및 28일 강도를 측정하였다.

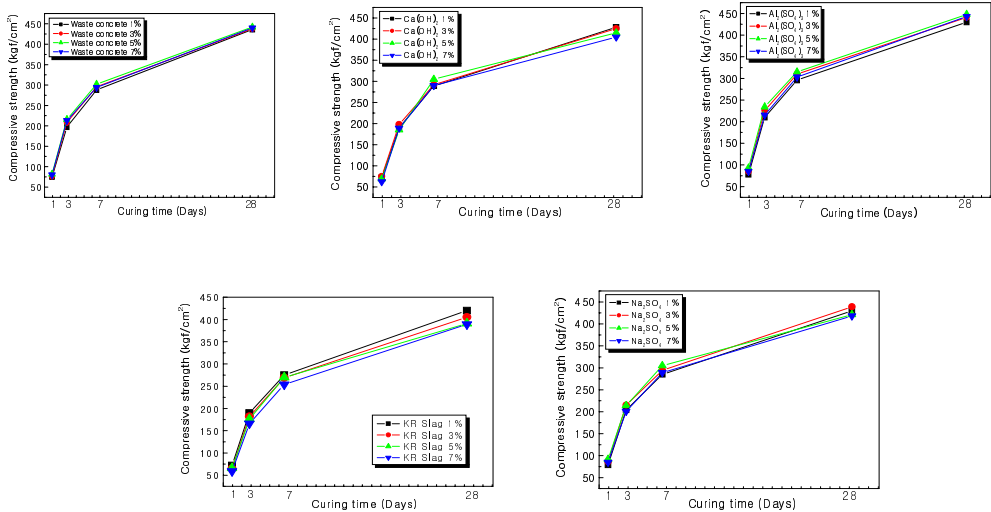


그림 1. 활성화제에 따른 슬래그 시멘트의 압축강도 특성

3.2 응결 특성

1종 포틀랜드시멘트는 응결 측정값 초결 195분 종결 5시간 35분으로 나타난다. 본 연구에서 Referance로 사용된 OPC(60%)+슬래그미분말(40%)의 응결 측정 결과는 초결 228분에서 종결 6시간 15분 정도로 1종 포틀랜드시멘트 값보다 응결측정이 느려진 것으로 나타났다.

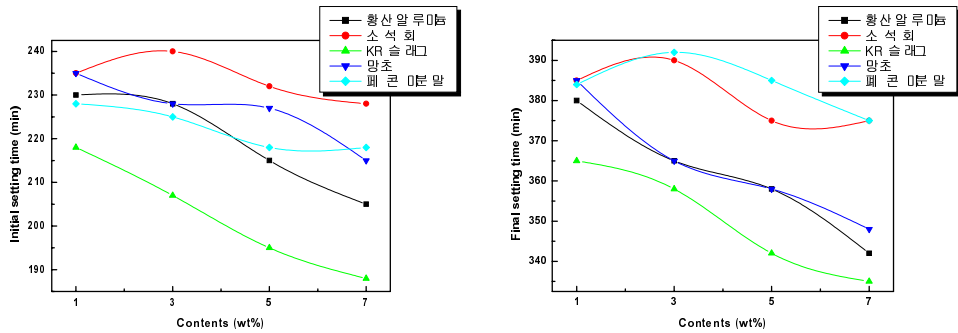


그림2. 활성 화제의 종류 및 함량에 따른 초결(a), 종결(b) 측정값

4. 결론

본 연구에서는 슬래그시멘트의 초기 압축강도 향상 등의 물성 증진을 위해 황산알루미늄, 소석회, 폐 콘크리트 미분말, 망초 등을 활성화제로 사용하였으며 그에 따른 결과는 다음과 같다.

1. 슬래그시멘트의 압축강도는 황산알루미늄, 망초등의 적정 활성화제의 사용에 따라 증가하는 경향을 나타내었다.

황산알루미늄 사용시 1일 압축강도가 90kgf/cm² 전후였으며, 28일 강도는 430kgf/cm² 전후였다.

2. 응결시간은 활성화제의 종류에 따라 큰 차이가 나타나지는 않았으나 황산알루 미늄 및 KR슬래그의 사용에 따라 감소하는 경향을 나타내었다.

참고문헌

1. 콘크리트 표준시방서 해설, 한국콘크리트학회, 2003