

고로슬래그 시멘트의 초기강도 발현에 있어서 수산화칼슘의 영향

An Effect of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ on Development of an Early Age Strength of GGBFS Cement

이 제 방* 김 재 신** 소 승 영*** 소 양 섭****
Yi, Je Bang Kim, Jae Shin So, Seung Young Soh, Yang Seob

ABSTRACT

Slags are by-products of the metallurgical industry. The most important slag from the standpoint of the quantity used as building material is iron blastfurnace slag. Slags are either crystalline stable solid used as aggregates or glassy material used as hydraulic binder. Slag cements are low heat of hydration cements. Slags react more slowly with water than portland cement but they can be activated chemically. Activators can be either alkaline activators such as soda, lime, sodium carbonate, sodium silicate or sulphate activators such as calcium sulphate or phosphogypsum.

So, in this study slaked lime was used as an activator that the compressive strength of this modified cement(M1 type) is high range in early age. And initial setting time of M1 type cement was shorter than conventional cements.

1. 서론

고로슬래그는 그 자체는 수경성이 없고 시멘트의 수화생성물인 수산화 칼슘과 같은 알칼리 물질의 자극에 의해서 서서히 반응하는 잠재수경성이 있는 것으로 알려져 있다. 이와 같은 성질 때문에 초기

* 정회원, 정인대학 건축과 전임강사

** 정회원, 전북대학교 대학원

*** 정회원, 담양대학 건축과 전임강사

**** 정회원, 전북대학교 건축·도시공학부 교수·공업기술연구소

강도가 낮고 거푸집 존치기간이 길어지게 되어서 그 사용성에 제한을 받고 있다. 현재 고로슬래그 시멘트의 가장 보편적인 용도로서는 항만이나, 댐, 교량 등과 같이 매스콘크리트나 내화학성이 요구되는 토목시설물이 대부분이다. 고로슬래그 시멘트가 이렇게 제한적으로 사용되는 원인으로는 고로슬래그 시멘트에 대한 인식부족과 제도적 장치의 결여 그리고 무엇보다도 초기강도가 낮은데서 기인한 공기 지연에 따른 공사비 상승으로 현장에서 사용을 꺼리고 있는 것이다. 이런 이유로 건축공사에서는 더욱 사용율이 낮은 편이라고 할 수 있다. 결국 고로슬래그 시멘트를 범용화 하기 위해서는 초기강도 발현 특성을 개선하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 고로슬래그 시멘트의 초기 강도특성을 개선하기 위한 한 방법으로 소석회를 혼입하여 그 물성을 검증해보고자 하였다.

2. 사용재료

2.1 시멘트

본 연구에서 사용한 시멘트계 재료는 국내에서 생산되는 기성제품인 D사 및 S사 고로슬래그 시멘트와 그 구성성분을 일부 개량한 시멘트(M type)를 사용하였다. 각각의 재료적인 특성과 분류기호는 아래 표 1과 같다.

표 1 슬래그 시멘트의 화학성분

| 시료종류 | 분류기호 | 화 학 성 분(%) | | | | | | | |
|------|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-----------------|----------|------|
| | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | Ig. Loss | I.R. |
| D사 | BSC-D | 26.46 | 10.21 | 1.98 | 53.34 | 3.52 | 2.50 | 0.87 | 1.26 |
| S사 | BSC-S | 26.24 | 11.05 | 1.83 | 53.29 | 3.75 | 2.92 | 0.25 | - |

2.2 잔골재

본 연구에서 사용한 잔골재로는 시멘트의 역학적 특성을 시험하기 위해서 KS에서 규정한 주문진산 표준사를 이용하였다.

2.3 배합수

시멘트 경화반응에 영향을 미치지 않도록 하기 위한 배합수로서 음용이 가능한 수도수를 사용하였다.

3. 실험내용 및 결과

3.1 배합시험

시멘트의 물성시험을 수행하기 위해서는 크게 시멘트 페이스트와 시멘트 모르타르 두가지 상태의 공시체가 필요하게 된다. 이를 위해서 KS 규격에 따라서 두 종류의 배합비를 결정하기로 하였다. 사용 배합비는 시멘트 페이스트 및 시멘트 모르타르 배합으로 분류하였다.

배합비를 결정하는 표준 배합조건으로서 시멘트 페이스트는 KS L 5102에 의한 주도로써 결정하였고, 시멘트 모르타르는 플로우값 110±5mm의 범위가 되는 주도를 동일 배합조건으로 설정하였다. 또한 모르타르에서는 공기량의 범위를 3%로 가정 하였다.

본 연구에서 사용한 최종배합비는 표 2와 같다.

표 2 사용 배합비

a) 시멘트 페이스트

| 배합유형 | 단위중량(kg) | | | | Vicat 침입 깊이 (mm) | W/B Ratio (%) | 비고 |
|------|----------|------------|---------|--------|------------------------|------------------|-----|
| | 물(W) | 결합재(B) | | | | | |
| | | 시멘트 (C) | 슬래그(BS) | 소석회(L) | | | |
| DP | 0.185 | 0.650 | | | 11 | 28.5 | D사 |
| SP | 0.185 | 0.650 | | | 10 | 28.5 | S사 |
| M1P | 0.221 | 0.650 | | | 11 | 34.0 | 개선1 |
| | | 0.325 | 0.260 | 0.065 | | | |

b) 시멘트 모르타르

| 배합유형 | 단위중량(kg/m ³) | | | | | Flow (mm) | W/B Ratio (%) | 비고 |
|------|--------------------------|------------|---------|--------|------------|--------------|------------------|-----|
| | 물 (W) | 결합재(B) | | | 잔골재 (S) | | | |
| | | 시멘트 (C) | 슬래그(BS) | 소석회(L) | | | | |
| D | 258 | 574 | | | 1,407 | 115 | 45 | D사 |
| S | 244 | 584 | | | 1,431 | 115 | 42 | S사 |
| M1 | 258 | 574 | | | 1,407 | 115 | 45 | 개선1 |
| | | 287 | 230 | 57 | | | | |

3.2 응결시간

시멘트의 응결시간은 초기에 콘크리트의 제조 및 시공을 원활히 할 수 있도록 하기 위해서 중요하다. 이를 확인하기 위해서 KS L 5108에 따라서 Vicat 침에 의한 응결시간을 측정하였으며 그 결과는 표 3과 같다.

실험결과에서 보면 D사와 S사는 거의 비슷하게 초결은 4시간, 종결은 약 9시간 정도에서 결정되는 것을 알 수 있다. 그러나 소석회를 첨가한 개선1 시멘트는 전체적으로 초결시간과 종결시간이 단축된 결과를 보였다. 이는 소석회의 주성분인 수산화칼슘에 의한 자극작용으로 슬래그의 수화반응이 촉진되었기 때문인 것으로 추정된다.

표 3 각종 시멘트 페이스트의 응결시간

| 시료유형 | 초결시간 | | 종결시간 | | 비고 |
|------|------|----------|------|----------|-----|
| | min. | hr.:min. | min. | hr.:min. | |
| DP | 248 | 04:08 | 560 | 09:20 | D사 |
| SP | 250 | 04:10 | 580 | 09:40 | S사 |
| M1P | 190 | 03:10 | 515 | 08:35 | 개선1 |

3.3 길이변화

시멘트는 물을 사용하는 까닭에 필연적으로 경화 중에 부피가 수축하게 된다. 이러한 수축은 경화초기에 두드러지며 심하면 경화되기 전에 건조수축에 의한 균열이 발생되어 사용성에 심각한 지장을 초래할 수 있다. 따라서 시멘트는 재료적인 면에서 가능한 한 건조수축이 발생되지 않도록 해야한다. 이를 확인하고 그 원인을 규명하기 위해서 KS L 5107 및 KS F 2424를 응용하여 응결초기의 길이변화율을 측정하였다. 그 결과는 표 4와 같다.

표 4 각종 시멘트의 길이변화율

| 시료 유형 | 재령별 길이변화율(%) | | | | | 비고 |
|-------|--------------|--------|--------|--------|--------|-----|
| | 기준 시점 | 3시간 | 1일 | 2일 | 3일 | |
| DP | 0.000 | -0.014 | -0.040 | -0.063 | -0.065 | D사 |
| SP | 0.000 | -0.005 | -0.044 | -0.048 | -0.060 | S사 |
| M1P | 0.000 | -0.008 | -0.035 | -0.043 | -0.071 | 개선1 |

본 연구에서 길이변화율은 초기응결특성을 확인하려고 했기 때문에 초기재령인 7일 이내에서 관찰하였다. 그 결과 시멘트의 종류에 관계없이 일정한 비율로 3일까지의 길이변화율은 0.07%까지 축소되었다. 이는 잉여수의 증발과정에서 빚어진 건조수축으로 보이며 슬래그의 조성비에 의한 길이변화의 차이점은 확인할 수 없었다.

결과에서 알 수 있듯이 초기재령의 길이변화율은 각종 고로슬래그의 배합비에 관계없이 거의 일정한 것을 알 수 있다. 이것은 초기재령에서는(3일 이내) 고로슬래그의 화학반응에 의한 수축현상은 보이지 않는 것으로 판단된다.

3.4 강도시험

3.4.1 휨강도

표 5와 그림 1에 시멘트의 종류에 따른 휨강도를 나타내었다. 재령 3일까지는 모든 시멘트에서 약 30~50kg/cm²의 휨강도를 보였으나 재령 7일에는 S시멘트가 약63kg/cm²를 발현함으로써 가장 월등하였고, 그 다음으로 M1이 약 50kg/cm², D시멘트는 약 40kg/cm²를 나타내었다. 그러나 재령 28일 되면서 S 및 D 시멘트는 46~64kg/cm²를 발현한 반면에 M1 시멘트는 95kg/cm²를 발현하였다.

3.4.2 압축강도

압축강도의 실험결과는 표 6과 그림 4에 나타내었다. 표 6과 그림 4에서 알 수 있듯이 재령 3일의 강도를 보면 소석회를 10% 혼입한 M1이 가장 높게(246kg/cm²) 나타났고 그 뒤로 S, D의 순이었다. 그러나 재령 7일이 되면 M1은 월등히 높아지고(347kg/cm²) 나머지 시멘트들은 약 250kg/cm² 정도로 수렴되는 양상을 보이고 있다. 그리고 이것은 재령 28일 되어도 계속 이어져서 M1은 약 430kg/cm², D나 S는 약 350kg/cm²대에 다다랐다. 이것은 소석회가 초기부터 슬래그의 수화도를 활성화 시킨 것

으로 추정되며 그것이 계속 재령에 따라서도 증가되는 것으로 생각된다.

표 5 각종 시멘트의 휨강도

| 배합 유형 | 휨 강 도 (kg/cm ²) | | | | 비고 |
|-------|-----------------------------|----|----|-----|-----|
| | 1일 | 3일 | 7일 | 28일 | |
| D | 33 | 43 | 44 | 54 | D사 |
| S | 16 | 43 | 63 | 64 | S사 |
| M1 | 28 | 45 | 51 | 95 | 개선1 |

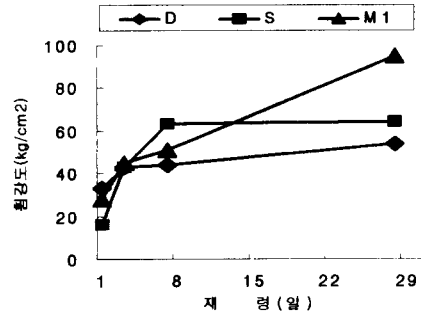


그림 1 각종 시멘트의 휨강도

표 6 각종 시멘트의 압축강도

| 배합 유형 | 압 축 강 도 (kg/cm ²) | | | | 비고 |
|-------|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | 1일 | 3일 | 7일 | 28일 | |
| D | 107 | 160 | 250 | 353 | D사 |
| S | 86 | 186 | 259 | 358 | S사 |
| M1 | 110 | 246 | 347 | 433 | 개선1 |

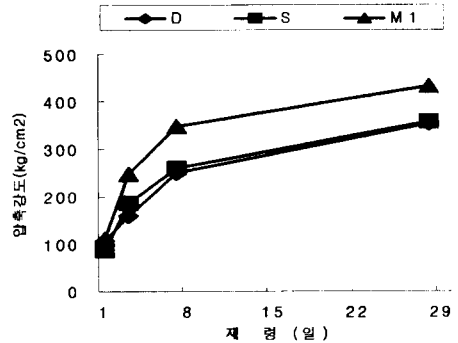


그림 2 각종 시멘트의 압축강도

표 7 각종 시멘트의 인장강도

| 배합 유형 | 인 장 강 도 (kg/cm ²) | | | | 비고 |
|-------|-------------------------------|----|----|-----|-----|
| | 1일 | 3일 | 7일 | 28일 | |
| D | 14 | 20 | 25 | 31 | D사 |
| S | 9 | 19 | 23 | 33 | S사 |
| M1 | 16 | 24 | 32 | 37 | 개선1 |

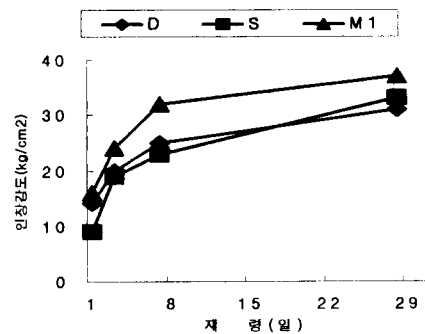


그림 3 각종 시멘트의 인장강도

3.4.3 인장강도

인장강도 역시 휨강도나 압축강도와 비슷한 양태를 나타내고 있다. 중요한 점은 M1은 1일의 초기재령부터 강도발현이 다른 시멘트보다 높고 그것이 장기재령까지 계속 이어진다는 점이다. 28일 재령에

서 M1은 약 37kg/cm²를 발현하였고 D, S,는 약 33kg/cm²정도였다. 이로 볼 때 전체 결합재 중에 소석회가 약 10%정도 혼입되었을 때, 초기재령에서부터 높은 강도발현율을 얻을 수 있었으며, 이는 고로슬래그 시멘트의 초기강도를 개선하고자 할 때 중요한 변수가 될 수도 있다는 것을 예시하고 있다. (표 7 및 그림 3 참조)

4. 결론

본 연구는 고로슬래그 시멘트의 사용성의 확대를 위하여 초기 경화과정을 중심으로 그 강도특성을 개선하는 것을 목표로 한 것이다. 이를 위하여 기존의 국내 2개사의 제품과 그 중의 한제품에 소석회를 혼입하여 개선한 시멘트를 사용하여 각종 물성실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 응결시간 : 국내 2개사의 시멘트(D사, S사)와 D사의 제품에 소석회를 첨가하여 개선한 M1시멘트를 비교했을 때 D사, S사에 비해서 M1시멘트가 초결 및 종결시간이 약 1시간씩 빨라지는 결과를 보였다. 이것은 소석회의 자극에 의한 고로슬래그의 수화도가 활성화되었기 때문인 것으로 판단된다.
- 2) 길이변화 : 세 종류의 시멘트에서 재령 3일까지의 길이변화율을 모두 약 0.07%의 수축을 보였다. 이는 재령초기의 길이변화는 잉여수의 증발이 가장 큰 영향요소로 여겨진다.
- 3) 강도특성 : 재령 28일 까지 측정한 휨 강도, 압축강도 및 인장강도 시험에서 시멘트 종류별로는 D사 및 S사의 기존제품은 거의 비슷한 강도 이력곡선을 보이고 있다. 두 제품의 큰 차이점은 압축강도에서 D사 제품의 강도발현속도는 초기재령 약 1일에서 높게 나타나고 그 뒤에 서서히 증가하는 반면, S사 제품은 재령 1일에서부터 7일까지 초기재령에서의 강도발현율이 거의 일정한 것을 볼 수 있다. 이는 D사 제품의 석고량과 그 성분에 기인한 것으로 판단된다. 한편 개선 제품인 M1은 모든 강도에서 특히 압축강도에서 초기재령인 1일에서부터 28일 전 재령에 걸쳐 두 시멘트보다 월등한 강도를 발현하였다. 이것은 앞서 서술했던 것처럼 소석회가 고로슬래그의 잠재수경성을 자극하여 수화를 초기에 빠르게 진행시킨 것으로 생각된다. 따라서 일정량의 자극제로 고로슬래그의 활성도를 높여주게 되면 고로슬래그 시멘트의 가장 큰 단점인 초기강도를 어느 정도 개선할 수 있는 것으로 보이며, 이것은 고로슬래그의 사용성을 더 한층 높여줄 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 변근주, 콘크리트용 혼화재료, 한국콘크리트학회, 1997.
2. 수원대학교·동양중앙연구소, 슬래그사용콘크리트 배합설계에 관한 연구, 1996.
3. Concrete Society, The use of GGBS and PFA in concrete, 1992.
4. 日本建築學會, 高爐セメントお使用するコンクリートの調合設計·施工指針·同解説, 1989.

본 논문은 대한시멘트(주)의 연구비 지원으로 이루어 졌습니다.