

고로슬래그를 다량 치환한 고강도 콘크리트의 수산화칼슘 함유율 및 가열온도에 따른 균열성상에 관한 기초적 연구

A Basic Study on crack characteristics depending on the mixture rate and heating temperature of calcium hydroxide in high-strength concrete, containing a high percentage of blast-furnace slag

변 용 현* 박 동 천** 류 동 우***
Byun, Yong-Hyun Park, Dong-Cheon Ryu, Dong-Woo

Abstract

This study is conducted to investigate the characteristics of cracks depending on the different mixture rates of calcium hydroxide and distilled water in high-strength concrete, which is substituted with a high percentage of blast-furnace slag, by using specimens produced under different heating temperatures: 600°C, 800°C, and 1000°C, respectively. According to the results of the study, the specimen heated under the temperature of 600°C did not produce cracks; the specimen heated under 800°C produced little cracks and showed no difference between calcium hydroxide and distilled water; whereas the specimen heated under 1000°C produced cracks larger than 5mm on average in the case of calcium hydroxide, compared to distilled water.

키 워 드 : 고강도 콘크리트, 고로슬래그, 수산화칼슘, 함유율, 가열온도, 균열
keywords : high strength concrete, blast furnace slag, calcium hydroxide, percentage of moisture content, heating temperature, crack

1. 서 론

최근 초고층 건축물이 늘어나면서 고강도 콘크리트의 사용이 날로 증가하고 있으나 고강도 콘크리트는 화재로 인한 폭발현상이 여전히 큰 문제점으로 남아있는 실정이다. 한편, Hertz의 연구¹⁾에서는 콘크리트의 중량함수율이 3~4% 이내인 경우, 폭발현상이 현저히 저감되는 폭발한계 함유율을 제안하였으며, Poon의 연구²⁾에 의하면 고로슬래그를 다량 치환한 고강도 콘크리트의 경우 뛰어난 열적특성으로 인하여 폭발현상이 상당히 저감된다는 실험결과가 보고되고 있다. 이러한 결과는 선행연구³⁾를 통해서도 확인하였으며, 고로슬래그를 다량 치환한 시험체의 경우는 슬래그 자체의 뛰어난 열적특성 이외에도 실리카흙 또는 플라이애시를 치환한 시험체에 비해서 상대적으로 Ca(OH)₂의 함유량이 적은 것을 확인하였다. Ca(OH)₂은 450~550°C에서 탈수하여 CaO 및 H₂O로 열분해하는 것으로 알려져 있으며, 이러한 Ca(OH)₂의 열분해가 고강도 콘크리트의 폭발현상에 미치는 영향을 평가하기 위하여 가열온도별 전기로 가열실험을 진행하였다.

2. 실험계획 및 방법

본 연구에서는 고로슬래그를 다량 치환한 재령 180일(수중양생)의 고강도 콘크리트 시험체(BS 치환율 70%)를 대상으로 하였으며, 함유율 조정시 일반 증류수와 Ca(OH)₂ 포화용액으로 구분하여 실시하였다. 실험인자 및 수준은 표 1과 같다.

표 1. 실험인자 및 수준

| 구 분 | W/C | 단위수량 | 압축강도(MPa) | 포수용액 | 상대 함유율(%) | 가열온도(°C) | 가열시간(hour) | 준치기간(day) |
|-----|------|----------------------|-----------|---------------------------|--------------|----------|------------|-------------------|
| S70 | 0.34 | 155kg/m ³ | 48 (180일) | 증류수 | 0 | 600 | 1 | 가열 직후 28 56 |
| | | | | Ca(OH) ₂ 포화수용액 | 50 | 800 | | |
| | | | | | (중량함수율 3.8%) | 1000 | | |

* 대전대학교 건축공학과 석사과정
** 한국해양대학교 해양공간건축학과 부교수, 공학박사
*** 대전대학교 건축공학과 조교수, 공학박사 (교신저자: dwryu@daejin.ac.kr)

함수율 산정은 같은 포수상태에서도 시험체에 따라 함수율의 차가 생기기 때문에 포수상태의 함수량에 대한 실제 포함되어 있는 함수량의 비를 상대함수율로 정의하였으며, 본 실험에서는 상대함수율 50%(중량함수율 평균 3.8%)로 설정하였다. 상대함수율에 관한 식은 수식 1과 같다.

$$\text{상대함수율(\%)} = \frac{A - C}{B - C} \times 100 \quad \text{-----} \quad \text{(수식 1)}$$

(여기서, A : 건조 전 시료중량, B : 포수상태 시료중량, C : 절건상태 시료중량)

상대함수율의 조정은 진공흡입에 의한 방법으로 포수시켰으며, 목표 상대함수율에 도달하기까지 기중에서 자연건조 시켰다.

전기로 가열실험은 시험체가 목표함수율에 도달한 직후, 해당 가열온도에 직접 1시간 동안 노출시켰으며, 가열실험 후 최대 56일까지 항온항습실(20℃, 60%RH)에 시험체를 정치시켰다.

3. 실험결과 및 고찰

전기로 가열 실험결과, 모든 시험체에 있어서 폭발 현상은 발생하지 않았으며, 포수용액에 따른 시험체의 균열성상을 육안관찰할 수 있었다.

3.1 가열 직후 균열성상

가열 직후 균열성상을 육안관찰한 결과, 600℃에서의 시험체는 모두 균열이 발생하지 않았다. 800~1000℃로 가열온도가 높아질수록, Ca(OH)₂, 증류수, 절건 시험체 순으로 0.32 ~ 1.64mm 크기의 미세균열 폭이 증가하는 경향을 나타내었다.

3.2 28일 경과 후 균열성상

존치기간이 경과함에 따라, 600℃에서의 시험체는 가열 직후와 같이 모두 균열이 발생하지 않았으며, 800~1000℃에서의 시험체는 가열온도가 높아질수록, 가열 직후와 동일한 순으로 0.35~2.41mm 크기의 미세균열 폭이 전체적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 특히 1000℃ 시험체의 경우 존치기간에 따른 미세균열 증가량은 절건, 증류수, Ca(OH)₂ 순으로 각각 0.36, 0.33, 0.77mm로 Ca(OH)₂ 시험체가 가장 높게 나타났다.

3.3 56일 경과 후 균열성상

28일 경과 후의 모든 시험체와 균열성상의 차이가 없는 것으로 나타났다.

4. 결 론

고로슬래그를 다량 치환한 고강도 콘크리트의 Ca(OH)₂ 함유율 및 가열온도에 따른 균열성상을 살펴본 결과, 600℃에서의 모든 시험체는 균열이 발생하지 않았으며, 800~1000℃는 가열온도가 높아질수록, 가열 후 존치기간이 늘어날수록, Ca(OH)₂, 증류수, 절건 시험체 순으로 미세균열의 최대 폭이 증가하는 경향을 나타내었다. 특히 Ca(OH)₂ 시험체의 경우는 Ca(OH)₂이 CaO 및 H₂O로 열분해되면서 분자의 체적이 감소하고, 감소한 미세공극으로 고압 응축된 수분이 순간적으로 기화함에 따라 절건 및 증류수로 포화된 시험체보다 미세균열 발생량이 증가한 것으로 판단된다.

표2. 함수율 및 온도에 따른 균열성상

| 구 분 | 가열 직후 | | | 28일 경과 후 | | |
|-----------|----------|------------|----------------------------|----------|------------|----------------------------|
| | 절건 0% | 증류수 50% | Ca(OH) ₂ 50% | 절건 0% | 증류수 50% | Ca(OH) ₂ 50% |
| 600℃ | | | | | | |
| 최대균열폭(mm) | - | - | - | - | - | - |
| 800℃ | | | | | | |
| 최대균열폭(mm) | 0.322 | 0.642 | 1.284 | 0.352 | 0.865 | 1.330 |
| 1000℃ | | | | | | |
| 최대균열폭(mm) | 0.411 | 0.733 | 1.638 | 0.806 | 1.067 | 2.406 |

참 고 문 헌

1. K.D. Hertz, Limits of spalling of fire-exposed concrete, Fire Safety Journal 38, 2003
2. Chi-sun Poon, Comparison of the strength and durability performance of normal- and high-strength pozzolanic concretes at elevated temperatures, Cement and Concrete Research 31, 2001
3. 권기석, 류동우, 혼화재의 종류가 고강도콘크리트의 내화특성에 미치는 영향에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 2014.5