

슬래그 미분말 혼입률에 따른 도로구조물용 고성능 콘크리트의 압축강도 및 촉진 염소이온 확산 특성

Characteristics of Diffusion Coefficient of High Performance Concrete using GGBFS for Road Structures by Accelerating Test Method

한승우* 김홍삼* 이찬영** 정해문*** 안태송***
Han, Seong-Woo Kim, Hong-sam Lee, Chan-young Cheong, Hai-moon Ahn, Tae-song

ABSTRACT

In recent years, the terminology "High-Performance Concrete(HPC)" has been introduced into the construction industry. Most high-performance concretes have a high cementitious content and a low water-cementitious material ratio. The proportions of the individual constituents vary depending on local preferences and local materials. Therefore, many trial batches are usually necessary before a successful mix is developed. The objective of this experiments is to investigate the fundamental properties of high performance concrete based binary cementitious materials such as ordinary portland cement and ground granulated blast furnace slag. The results from the study will be utilized as the basic data and guideline in making standard mixproportions and the manufacture, construction work and quality control of HPC

요 약

본 연구에서는 도로공사의 교량 구조물 적용에 적합한 고성능 콘크리트의 배합도출을 목적으로 고로슬래그미분말을 사용한 고성능 콘크리트의 기초 물성을 평가하였다.

굳지않은 콘크리트의 유동성은 W/B에 상관없이 고로슬래그 미분말의 혼입율이 증가할수록 목표 슬럼프플로우를 만족시키기 위한 고성능감수제의 첨가율은 저하되는 것으로 나타났으며, 목표 공기량을 만족시키기 위한 AE제의 첨가량의 변화는 Plain 콘크리트와 동등한 것으로 나타났다. 고로슬래그 미분말의 경우 높은 혼입율로 인하여 수화반응이 지연되기 때문에 최고온도가 약 10시간 후에 도달되는 것으로 나타났으며, 혼입율 증가에 따른 단열 상승온도는 혼입율 45%까지 수화열 저감효과가 작게 나타났으나 혼입율 60%에서는 수화열이 약 8℃가량 저감되었다. 이는 수화열이 작은 고로슬래그 미분말의 분량이 많아진 것에 기인된 것으로 사료된다. 압축강도 특성은 W/B=26, 30%에서는 고로슬래그 미분말 혼입율이 증가할수록 압축강도가 Plain 콘크리트에 비하여 약 10MPa가량 크게 증가되는 것으로 나타났지만, W/B=34%에서는 압축강도가 Plain 콘크리트와 거의 같은 수준으로 나타남으로써, 낮은 물결합재비에서 고로슬래그 미분말을 사용할 경우 압축강도 증진에 효과가 있는 것으로 사료된다.

* 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원
** 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 전임연구원
*** 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 수석연구원

1. 서론

구조물의 초고층화 및 대형화, 장기간화는 산업의 고도 발달과 함께 일반적 현상이 되었으며, 이와 함께 콘크리트의 특성 또한 고강도, 고유동, 고내구성을 지닌 고성능 콘크리트가 절실히 필요하게 되었다. 고성능 콘크리트에 대한 연구 및 시공은 구미 선진국의 경우, 고강도·고내구성의 개념에서 활발하게 이루어져왔으며, 일본은 그다지 높지 않은 강도(40MPa)에서 다짐작업을 하지 않아도 시공할 수 있는 고유동 콘크리트에 대한 연구 및 시공이 활발하게 진행되어왔으나, 최근에는 전 세계적으로 초고강도, 초유동성과 고내구성을 겸비한 고성능 콘크리트가 그 주류를 이루고 있다.

본 연구에서는 도로공사의 교량 구조물 적용에 적합한 고성능 콘크리트의 배합도출을 목적으로 고로슬래그미분말을 사용한 고성능 콘크리트의 압축강도 및 전위차 촉진염소이온 확산특성을 평가하여 향후 도로공사의 교량구조물 적용에 필요한 고성능 콘크리트의 표준배합 도출 등을 위한 기초적 자료로 활용코자 하였다.

2. 실험 개요

2.1 사용재료

본 연구에서 사용한 시멘트는 국내 A사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 혼화제는 국내산 K사의 폴리칼보산계 고성능감수제를 사용하였고, AE제는 빈줄계를 사용하였다. 광물질 혼화제는 K사의 고로슬래그 미분말을 사용하였다. 잔골재는 세척사로서 복인천산을 사용하였고, 부순모래와 굵은 골재는 경기도 화성산을 혼합 사용하였다.

2.2 고성능 콘크리트의 배합 조건 및 압축강도

60~80MPa급의 고성능 콘크리트의 기초 배합 도출을 위하여 기존의 문헌 및 연구결과를 참조로 물-결합재비는 26, 30 및 34%로 하고 고로슬래그미분말의 혼합율은 30, 45 및 60%로 하였다. 이때 유동성은 슬럼프플로우 450±50mm를 만족하도록 단위수량과 고성능 감수제를 사용하여 배합설계 하였고, 공기량은 4.0±1.0%를 만족하도록 하였다. 콘크리트의 재령별 압축강도는 재령 3, 7 및 28일에 측정하였다.

2.3 확산셀의 구성 및 확산계수의 평가

콘크리트 중의 염소이온의 확산계수를 구하기 위하여 확산셀 장치를 구성하였다. 전해질 용액으로는 음극셀(Cell I)에 0.5M 염화나트륨(NaCl) 수용액과 포화 수산화칼슘(sat. Ca(OH)₂) 수용액을, 양극셀(Cell II)에 포화 수산화칼슘 용액을 사용하였다.

확산셀을 구성하고 일정시간 동안 전위차를 가하여 염소이온의 이동을 촉진시킨 후 콘크리트 시험편을 할렬하여 0.1N AgNO₃ 수용액 분무하였다. 할렬면을 대상으로 5mm 간격으로 20개소에서 측정된 염소이온의 평균 침투깊이로부터 다음 식을 이용하여 비정상 상태의 촉진염소이온 확산계수(D_{acc})를 구하였다. 또한, 전위차 촉진 확산시험(NT Build 492)을 7, 28 및 56일에 실시하였다.

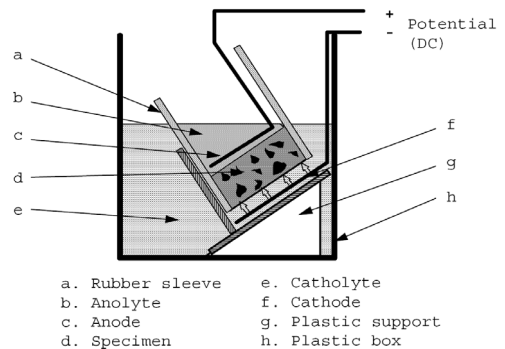


그림 1 전기이동 실험 장치의 배치

$$D_{acc} = \frac{RTL}{zFU} \cdot \frac{x_d - \alpha \sqrt{x_d}}{t}, \quad \alpha = 2\sqrt{\frac{RTL}{zFU}} \cdot \text{erf}^{-1} \left[1 - \frac{2C_d}{C_0} \right]$$

여기서, R : 기체상수(J/mol · K) T : 절대온도(K) L : 시편두께(m)
z : 이온 전자가 F : 패러데이 상수(J/V · mol) U : 전위차(V)
X_d: 비색법에 의한 침투 깊이(m) t : 전위차의 적용시간(sec) C₀ : 셀의 염소이온 농도(mol/l)
α 실험상수 C_d : 비색법에 의한 반응 농도(mol/l) erf⁻¹ : 오차함수의 역함수

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 콘크리트의 압축강도

그림 2는 W/B 및 고로슬래그 미분말의 혼입률 변화와 재령 경과에 따른 압축강도를 나타낸 것으로 전반적으로 물결합재비가 저하할수록, 재령이 경과할수록 압축강도는 크게 발현되었다. 고로슬래그 미분말의 경우는 고로슬래그 미분말 혼입률로 인하여 재령 7일까지 Plain에 비하여 압축강도가 크게 저하하는 것으로 나타났지만, 28일 재령으로 갈수록 고로슬래그 미분말의 잠재수경성반응으로 인하여 압축강도가 크게 개선되었다. 특히 물결합재비에 따른 압축강도 특성이 다르게 나타났는데 28일 재령의 경우 W/B=26, 30%에서는 고로슬래그 미분말 혼입률이 증가할수록 압축강도가 Plain 콘크리트에 비하여 최대 9% 정도 까지 증가되는 것으로 나타났지만, W/B=34%에서는 압축강도가 Plain 콘크리트에 비하여 3~15% 정도 작은 값을 나타내 낮은 물결합재비에서 고로슬래그 미분말을 사용할 경우 압축강도 증진에 효과가 있는 것으로 사료된다.

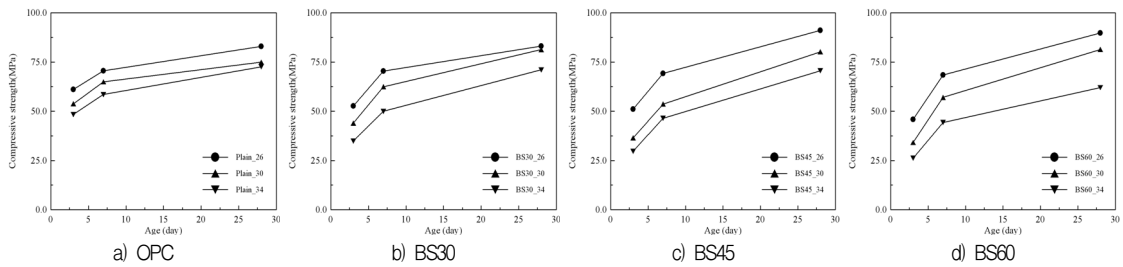


그림 2 고로슬래그 미분말의 혼입률에 따른 재령별 압축강도

3.2 슬래그 혼입율에 따른 콘크리트의 전위차 확산특성

그림 3는 W/B 및 고로슬래그 미분말의 혼입률 변화와 재령 경과에 따른 전위차 촉진 염소이온 확산특성을 평가하기 위하여 재령 7, 28 및 56일에 측정된 확산계수 값을 정리한 것이다.

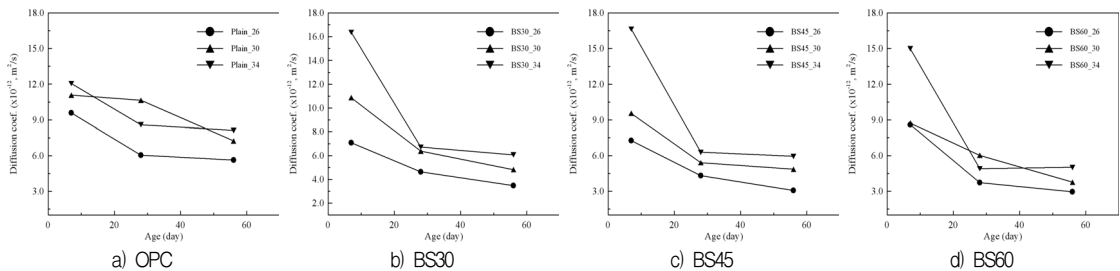


그림 3 고로슬래그 미분말의 혼입률에 따른 재령별 촉진 염소이온 확산계수

콘크리트의 전위차 촉진 염소이온 확산계수는 전반적으로 재령이 경과할수록, 물-결합재비가 작아질수록 감소하는 경향을 나타내었다. 한편, 고로슬래그 미분말의 혼입률에 따른 확산계수는 초기재령인 7일 재령에서는 혼입률에 상관없이 OPC 만을 사용한 Plain배합보다 큰 값을 나타내었으나 재령 28일 및 56일에는 역전되어 Plain 배합보다 작아졌다. 한편, 확산계수의 재령에 따른 감소 속도는 초기재령에서 급격하였으며, 시간의 경과에 따라 감소속도는 둔화되었다.

3.3 콘크리트 압축강도와 염소이온 확산특성의 관계

고로슬래그 미분말의 혼입효과와 압축강도의 상관관계를 분석하기 위하여 재령 28일의 압축강도와 전위차 촉진 염소이온 확산계수를 정리한 것이 그림 4이다.

이 그림에서 알 수 있듯이 콘크리트의 압축강도가 증가할수록 전위차 확산계수는 감소하는 경향을 나타내었다. 한편 고로슬래그의 혼입율은 30%와 45%는 유사한 관계를 나타내었으며, 60% 혼입조건에서는 강도의 증가에 따른 확산계수의 감소효과는 둔화됨을 알 수 있다.

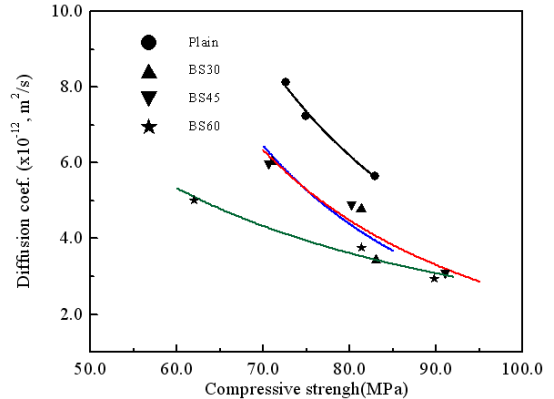


그림 4 콘크리트의 압축강도와 확산계수의 관계

4. 결론

고로슬래그 미분말 혼입률을 달리한 도로구조물용 고성능 콘크리트의 압축강도와 전위차 염소이온 확산특성에 대하여 실험적으로 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 물결합재비 및 고로슬래그 혼입률에 따른 압축강도 특성이 상이하며, 낮은 물결합재비에서 고로슬래그 미분말을 사용할 경우 압축강도 증진에 효과가 있는 것으로 판단된다.
- (2) 고로슬래그 미분말의 혼입률에 따른 확산계수는 초기재령인 7일 재령에서는 혼입률에 상관없이 OPC 만을 사용한 Plain배합보다 큰 값을 나타내었으나 28일 재령 이후에서는 고로슬래그 미분말을 혼입한 모든 배합에서 Plain 배합보다 작은 값을 나타내었다.
- (3) 고로슬래그의 혼입율은 30%와 45%는 유사한 관계를 나타내었으며, 60% 혼입조건에서는 강도의 증가에 따른 확산계수의 감소효과는 둔화되었다.

5. 참고문헌

1. NT Build 492 : Chloride Migration Coefficient from Non-steady-state Migration Experiments
- (2) NT Build 202, "Concrete hardened: Sampling and treatment of cores for strength tests", 2nd ed., Approved 1984-05.
- (3) NT Build 208, "Concrete, hardened: Chloride content", 2nd ed., Approved 1984-05.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 05년도 건설핵심기술연구개발사업(과제번호: 05건설핵심기술D-11)의 연구비지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.