

고로슬래그미분말 콘크리트의 초기재령특성과 중성화에 관한 연구

A Study on Characteristics of Early Age Pore-structure and Carbonation of Ground Granulated Blast Furnace Slag Concrete

변근주* 박성준** 하주형*** 송하원****
Byun, Keun-Joo Park, Sung-Joon Ha, Ju-hyung Song, Ha-Won

ABSTRACT

The objective of this study is to obtain characteristics of early age pore-structure and carbonation of concrete using ground granulated blast furnace slag (GGBFS). The durability of GGBFS concrete should be evaluated for wide use of the GGBFS. As for that evaluation, an analysis on early age pore-structure characteristics of GGBFS concrete are very important. Carbonation depths of GGBFS concrete, which are known to be larger than that of OPC, are different according to replacement ratios and fineness of slag. Because sea sand as fine aggregate is much used recently, it is also necessary to analyze characteristics of carbonation of GGBFS concrete. In this study, The micro-pore structure formation characteristics of GGBFS concrete are obtained through the test of GGBFS mortars with different fineness and replacement ratio of GGBFS. The carbonation of GGBFS concrete is also investigated by accelerated carbonation test for early age GGBFS concrete.

1. 서론

본 연구는 최근 대형 콘크리트 구조물에서 수화열에 의한 온도균열을 제어할 목적으로 적극적으로 사용되고 있는 고로슬래그미분말 콘크리트의 초기재령특성과 중성화에 관한 연구이다. 고로슬래그미분말 콘크리트는 OPC에 비해 내구성이 큰 것으로 알려져 있는데, 그것은 고로슬래그미분말 콘크리트의 초기재령에서의 세공구조형성특성 때문으로서 그 특성의 파악은 매우 중요하다.^{1), 2)} 한편 고로슬래그미분말을 사용한 경우, 중성화깊이가 OPC에 비해 크고 그 경향은 고로슬래그미분말의 치환율과 분말도에 따라 다르며, 또한 현재 강모래의 고갈로 인해 콘크리트의 제조에 바다모래를 많이 사용하고 있어, 고로슬래그미분말 콘크리트에서 잔골재로서 바다모래를 사용한 경우와 고로슬래그미분말의 치환율과 분말도에 따른 중성화에 대한 검토가 필요하다.³⁾ 본 연구에서는 고로슬래그미분말 모르타의 실험을 통해 고로슬래그모르타의 초기재령에서의 세공구조형성특성을 밝혔으며, 고로슬래그미분말의 치환율과 분말도 그리고 잔골재의 종류를 변수로 하여 고로슬래그미분말을 사용한 콘크리트의 중성화 특성을 분석하였다.

2. 실험 개요

- * 정회원, 연세대학교 토목공학과 교수
- ** 정회원, 연세대학교 토목공학과 공학석사
- *** 정회원, 연세대학교 토목공학과 박사과정
- **** 정회원, 연세대학교 토목공학과 부교수

2.1 사용재료

(1) 시멘트 및 고로슬래그 미분말

시멘트는 국내의 3대 시멘트 제조업체의 시멘트를 동일한 양으로 혼합하여 사용하였고, 고로슬래그는 전남 광양제철소에서 발생하는 슬래그를 미분말화하여 얻은 비표면적 4000, 6000, 8000(cm^2/g)으로 한 고로슬래그미분말을 사용하였다.

(2) 골재

굵은골재는 경기 용인산의 부순골재(비중 : 2.68, 조립률 : 6.78, 최대치수 : 25mm)를 사용했고, 강모래는 경기 여주산(비중 : 2.54, 조립률 : 2.49)을 사용했고, 바다모래는 인천산(비중 : 2.58, 조립률 : 2.99, 염화물 : 0.01%)을 사용했다.

2.2 실험방법

세공분포측정실험은 널리 이용되는 수은압입법(Mercury Intrusion Porosimeter : MIP)을 사용했다. 이 시험에서 분말도 4000 cm^2/g 인 경우에는 치환율을 30%, 50%, 70%으로 변화시켰고, 치환율이 30%인 경우 분말도를 4000, 6000, 8000(cm^2/g)로 변화시켜 세공구조형성특성을 측정하였다. 콘크리트의 축진중성화시험은 고로슬래그의 분말도(4000, 6000, 8000 (cm^2/g))와 치환율(40, 50, 60, 70(%))을 변화시키고, 잔골재로 강모래와 바다모래 2가지를 사용하였고, 10×20cm 원주형공시체를 이용하여 1주간 수중양생시킨 다음, 28일까지 기건양생한 후, 온도 40℃, 상대습도 65%, CO₂ 농도 10%의 환경하에서 행했다. 중성화깊이는 1, 2, 3주에서 할랄한 후 페놀프탈레인 용액을 분무하여 측정했다.

3. 결과 및 고찰

3.1 세공분포측정실험

표 1은 각 시편의 재령에 따른 공극체적의 변화를 나타내는 것이고, 표 2는 최대용적을 차지하는 입경의 재령에 따른 변화를 나타낸 표이고, 그림 1, 그림 2, 그림 3, 그림 4는 분말도와 치환율에 따른 재령 3일과 재령 28일에서의 세공형성특성을 나타내는 것이다.

표 1 Porosities

Specimens		OPC	S34	S36	S38	S54	S74
Porosity(%)	3 days	19.98	21.70	23.62	21.33	22.90	20.80
	28 days	18.12	19.97	21.43	20.02	20.71	19.94

표 2 Diameter of maximum volume

Specimens		OPC	S34	S36	S38	S54	S74
Pore diameter(μm)	3 days	0.0534	0.0498	0.0494	0.0494	0.0493	0.049
	28 days	0.0611	0.0306	0.0307	0.031	0.0313	0.0309

그림 1, 그림 2, 그림 3, 그림 4는 각각 분말도 변화와 치환율의 변화에 따른 공극크기분포를 비교하기 위한 재령 3일과 재령28일에서의 그림이다. 표 1, 표 2와 그림 1, 그림 2, 그림 3, 그림 4로 부터 시간의 경과에 따라 OPC 모르터의 경우 총세공용적은 감소하고 최대용적의 공극직경은 증가하며, 고로슬래그 미분말 모르터는 총세공용적과 공극직경 모두 감소함을 알 수 있다. 따라서 고로슬래그로 치환할 경우 슬래그의 반응으로 생성된 수화물이 공극을 채우게 되므로 비교적 큰 공극은 감소하고 미세한 공극이 증가하며 이로 인해 공극분포가 더 작은 쪽으로 이동하게 된다. 이것은 고로슬래그미분말 콘크리트의 세공구조가 OPC에 비해 수밀함을 보여주는 것이다.

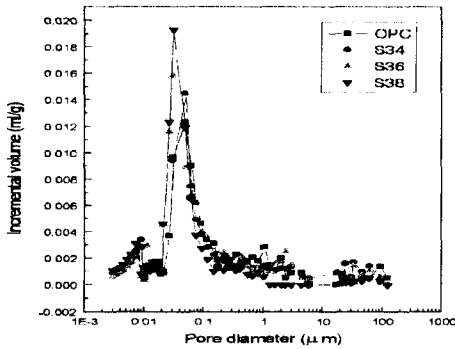


그림 1 Comparison of pore size distributions at 30% replacement ratio of slag after 3 days

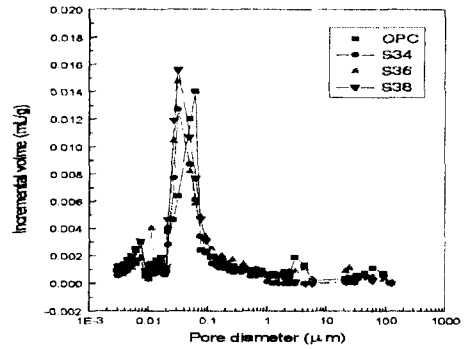


그림 2 Comparison of pore size distributions at 30% replacement ratio of slag after 28 days

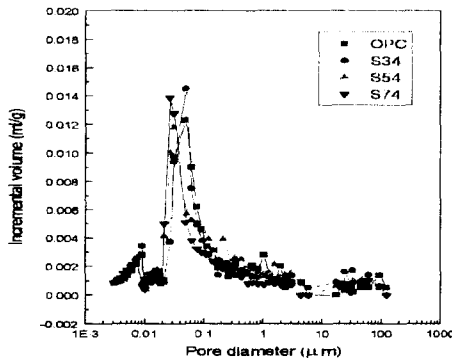


그림 3 Comparison of pore size distributions at fineness 4000cm²/g of slag at 3 days

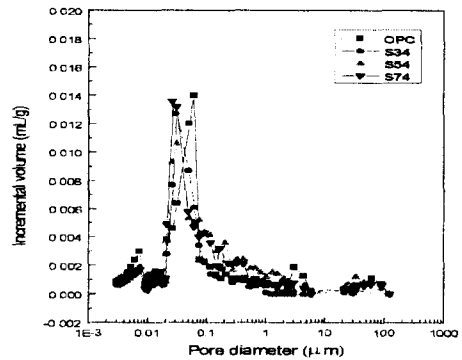


그림 4 Comparison of pore size distributions at fineness 4000cm²/g of slag after 28 days

3.1 고로슬래그미분말 콘크리트의 중성화

실험에서 시편의 종류는 다음과 같은 기호를 사용하여 구분한다. 즉, S74의 경우 앞의 S는 고로슬래그 미분말을 사용하였음을 의미하고 첫 번째 숫자인 7은 치환율을 의미하여, 70% 치환율을 나타내고, 두 번째 숫자인 4는 분말도를 의미하여, 분말도 4000cm²/g 인 고로슬래그미분말을 사용했음을 나타낸다. 그리고 SS74의 경우는 분말도와 치환율을 동일하나 바다모래를 사용하였음을 나타내는 것이다. 다음 그림 5는 OPC와 고로슬래그미분말을 사용한 콘크리트의 중성화깊이를 1, 2, 3 주간 측정 한 결과를 나타낸 것으로서, 잔골재로서 강모래와 바다모래 두 가지를 사용하여 각각을 비교하였다.

(1) 치환율별 콘크리트의 중성화깊이

그림 5로부터 고로슬래그미분말 콘크리트의 중성화 깊이는 기존의 연구⁴⁾와 동일하게 OPC보다 크며, 분말도에 무관하게 치환율의 증가에 따라서 뚜렷한 증가를 나타낸다. 강모래를 사용한 경우, 분말도 4000cm²/g 인 경우, 고로슬래그 미분말을 70% 치환했을 때가 40% 치환했을 때보다 1.7배 가량 큰 중성화깊이를 나타내었다.

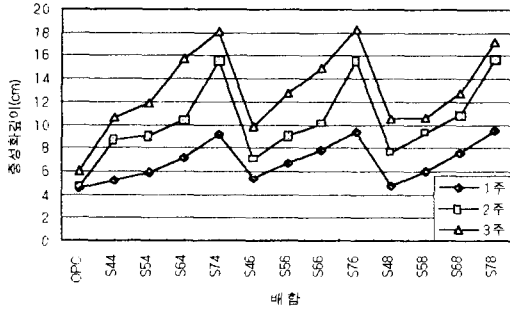
(2) 분말도별 콘크리트의 중성화깊이

고로슬래그미분말의 분말도에 따른 콘크리트의 중성화깊이는 강모래를 사용한 경우, 분말도의 영향을 적게 받으나, 바다모래를 사용한 경우는 특히 실험 3주에서 분말도가 클수록 중성화깊이가 감소하는 경향을 보인다. 그러한 경향은 고분말도슬래그를 사용하여 고로슬래그미분말 콘크리트의 중성화를 저감시킬 수 있다는 기존의 연구결과와 일치한다.³⁾ 그림 6은 실험 3주에서 바다모래를 사용한 경우의 분말도에 따른 중성화깊이를 비교한 것이다.

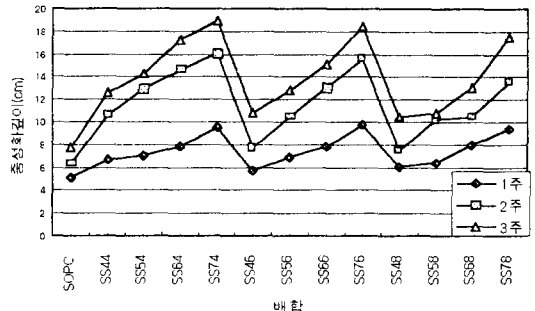
(3) 잔골재 종류별 콘크리트의 중성화깊이

잔골재로서 바다모래를 사용한 경우가 강모래를 사용한 경우보다 중성화깊이가 큰 경향을 보였다. 바다모래를 사용한 경우의 중성화깊이는 분말도 4000cm²/g 인 경우가 강모래를 사용한 경우보다 평균 1.14배로서 가장 크며, 그

림 7은 분말도 4000cm²/g 인 경우의 강모래와 바다모래를 사용한 콘크리트의 중성화 깊이를 비교한 것이다.



(a) 강모래를 사용한 콘크리트의 중성화



(b) 바다모래를 사용한 콘크리트의 중성화

그림 5 Carbonation depth of concrete

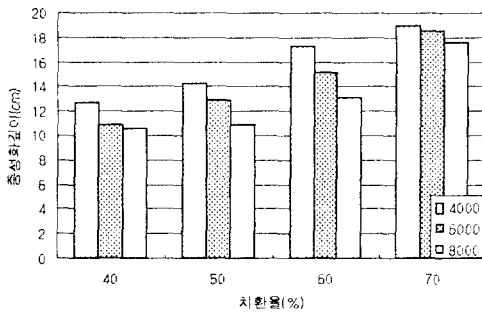


그림 6 Carbonation depth by fineness of slag

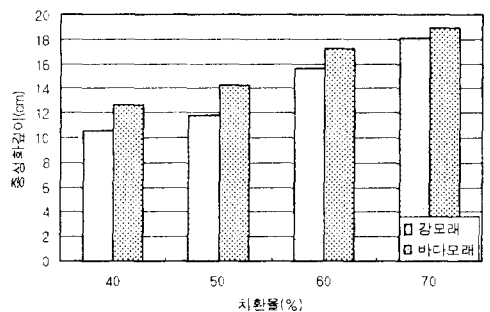


그림 7 Carbonation depth by kind of fine aggregates

4. 결론

본 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 수은압입법에 의한 세공구조관찰로부터 고로슬래그미분말을 사용한 모르타르의 경우, 채령이 증가함에 따라 전체 공극체적이 감소하였으며, 최대세공용적을 가진 공극의 입경이 감소하였다. 즉, 큰 공극은 감소하고 미세한 공극이 증가하여 세공구조가 치밀해졌다.
- (2) 축진중성화실험 결과, 고로슬래그미분말의 치환율이 커질수록 중성화깊이가 증가하였고, 바다모래를 사용한 경우, 고로슬래그미분말의 분말도가 높을수록 중성화깊이가 작아지는 경향을 보였고, 강모래를 사용한 경우보다 중성화깊이가 컸다.

감사의 글

본 연구의 일부는 포항제철의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) Häkkinen, Tarja (1984), "The Influence of Slag Content on the Microstructure, Permeability and Mechanical Properties of Concrete", *Cement and Concrete Research*, Vol. 14, No. 4, pp. 407-421.
- 2) Winslow, D, Liu, D. (1990), "The Pore Structure of Paste in Concrete", *Cement and Concrete Research*, Vol. 20, No. 2, pp. 227-235.
- 3) 中村信行 (1989), "高炉水砕スラグ微粉末を用いたコンクリートの耐久性", *コンクリート工学年次論文報告集*, 11-1, pp. 533-538.
- 4) 權寧瑛, 鎌田英治, 田畑雅幸, 金武漢 (1998), "高炉スラグ微粉末を用いた高流動コンクリートの乾燥収縮と中性化", *コンクリート工学年次論文報告集*, Vol. 20, No. 2, pp. 967-972.