

고로슬래그 미분말을 65% 치환한 고성능 콘크리트의 자기 및 건조수축 특성

장승엽¹, 류화성², 윤용식³, 권성준^{4*}

Characteristics of Drying and Autogeneous Shrinkage in HPC with 65% Replacement of GGBFS

Seung-Yup Jang¹, Hwa-Sung Ryu², Yong-Sik Yoon³, Seung-Jun Kwon^{4*}

Abstract: GGBFS (Ground Granulated Blast Furnace Slag) is a byproduct with engineering advantages and HVSC (High Volume Slag Concrete) is widely attempted due to active utilization and reduction of eco-load. In the present work, characteristics of drying shrinkage and early-aged behavior are evaluated for the concrete with 65% replacement ratio of GGBFS and 50MPa of design strength. For the work, 3 different mix conditions are considered and several tests including slump flow, compressive strength, drying and autogeneous shrinkage are performed. From the test, OPC 100 mixture without replacement shows higher strength development before 7 days, however the strength reduction in concrete replaced with GGBFS is not significant due to sufficient free water for cement hydration. OPC 100 mixture also shows significant drying shrinkage due to a great autogeneous shrinkage before 3 days. In the concrete with GGBFS replacement, the drying shrinkage behavior is improved due to relatively small deformation by autogeneous shrinkage. The mixture (OPT BS 65) with lower w/b ratio (0.27) and unit content of water (160kg/m³) shows more improved shrinkage behavior than BS 65 mixture which has simple replacement of GGBFS with 0.30 of w/b and 165kg/m³ of water unit content.

Keywords: GGBFS, Byproduct, HVSC, Strength, Drying shrinkage, Autogeneous shrinkage

1. 서 론

콘크리트는 경제적이고 내구적인 건설재료이지만 매스콘 크리트 시공이나 단위 결합재량이 많은 배합의 경우 재료적인 특성으로 인해 균열이 발생하기 쉽다. 하중에 의하여 발생하는 균열과 다르게, 재료적인 균열은 구속조건이 있는 경우 체적의 팽창 및 수축에 의하여 발생하게 된다. 건조수축 및 수화열에 의한 균열은 가장 대표적인 재료적 균열발생 원인이다(Song et al., 2006; Miyazawa and Tazawa, 2001).

콘크리트의 주원료인 시멘트는 클링커 1톤 생산시 0.9톤 정도의 이산화탄소를 발생시키므로 최근 들어 환경에 대한 부하문제가 보고되고 있다(ISO 14040, 2006; Lee et al., 2013). 고온의 소성과정을 거치는 시멘트클링커 사용량을 줄임으로써 환경부하를 감소시키고, 산업부산물을 사용하여 콘크리트

의 공학적인 성능을 개선하려는 시도는 꾸준히 이루어졌다. 대표적인 콘크리트 혼화재료는 플라이애시(FA: Fly Ash)와 고로슬래그미분말(GGBFS: Ground Granulated Blast Furnace Slag)등을 들 수 있다.

FA를 사용한 콘크리트는 볼베어링 작용에 의한 유동성 개선, 포졸란 반응에 의한 화학적 저항성 및 장기강도의 개선과 같은 공학적인 장점을 가진 것으로 알려져 있다(Song and Kwon, 2009; Samsung construction, 2003; Ary et al., 1990). 최근들어 위의 두가지 혼화재료 이외에 SF(Silica Fume), RHA(Rice Husk Ash)와 같은 혼화재료가 사용되기도 하지만 경제성 문제와 소성시 온도조절과 적용성 문제로 인해 대단위 활용은 매우 제한적이다(Chindaprasirt and Rukzon, 2008; Erdem and Kirca, 2008; Mullick, 2007).

GGBFS를 사용한 콘크리트는 잠재수경성 반응으로 높은 내산성, 부식저항성, 수화열 감소, 장기강도 개선 등 많은 공학적인 장점을 가지고 있다(Song and Kwon, 2009; Jeong et al., 2015(a); Escalante et al., 2001; Oh et al., 2016). 그러나 비교적 긴 양생기간이 필요하며, 온도에 따라 작업성이 크게 변하는 등 시공 중에 고려할 사항이 발생하지만 공학적인 장점을 많이 가지고 있으므로 꾸준히 사용되고 있다. 최근들어 FA 및 GGBFS를 결합재의 50% 이상 사용한 HVC(High Volume

¹정회원, 한국철도기술연구원 책임연구원

²정회원, (주)한양E&C 대표이사

³학생회원, 한남대학교 건설시스템공학과 석사과정

⁴정회원, 한남대학교 건설시스템공학과 부교수, 교신저자

*Corresponding author: jjuni98@hannam.ac.kr

Civil and Environmental Engineering, Hannam University, 70 Hannam-ro, Daedeok-gu, Daejeon 34430, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2017년 6월 1일까지 학회로 보내주시면 2017년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Concrete)에 대한 연구가 많이 수행되고 있다. 이러한 연구는 단순히 보통포틀랜드 시멘트(OPC: Ordinary Portland Cement)에 대한 치환량을 늘리는 수준에서 진보하여, 단위 분체량을 증가시키면서 부산물의 사용량을 늘리는 방향으로 변화하고 있다(Jeong et al., 2015(a); Escalante et al., 2001; Jeong et al., 2015(b); Copeland and Kantro, 1968; Escalante-Garcia and Sharp, 1998). 특히 HVSC(High Volume Slag Concrete)의 경우 결합재를 최대 80% 수준까지 증가시키는 연구들이 있으나, 초기강도의 감소로 인해 보통 60% 치환의 HVSC의 연구가 주를 이룬다. 또한 초기 강도 개선을 위하여 알칼리 자극제나 필러(Filler)를 추가적으로 도입한 연구들이 진행되기도 한다(Jeong et al., 2015(b)).

GGBFS를 혼입한 콘크리트의 경우 건조수축에 대한 고려가 필요하다. 공극구조가 잠재수경성으로 치밀해짐에 따라 공극경의 감소가 발생하게 되고 증가된 모세관 작용으로 인해 단위수량이 큰 배합에서는 수축 작용이 크게 발생하게 된다(Tazawa and Miyazawa, 1995; Lee et al., 2006). 외부로 수분이 발산되지 않더라도 내부의 자기흡수(Self-desiccation)현상으로 인해 자기수축이 크게 발생하게 된다(Yoo et al., 2012; Yoo et al., 2013; Japan Concrete Institute, 1998).

본 연구에서는 GGBFS 치환률을 65%로 설정하고 설계강도 50MPa을 목표로 하여, OPC 100%를 가진 배합, OPC를 GGBFS 65%로 치환한 배합, 그리고 물-결합재비를 감소시켜 최적화한 배합의 3수준의 배합을 고려하였으며 각 배합에 대한 건조수축 및 자기수축 특성을 평가하였다. 또한 초기의 유동성 및 강도특성을 고려하여 HVSC의 강도 변화 및 수축특성을 분석하였다.

2. 수축특성 평가를 위한 실험계획

2.1 사용재료 및 배합

건조 및 자기수축 실험을 위하여 OPC 100% 배합, 65% 단 순질량 치환 배합, 그리고 최적배합 등 3수준의 배합을 고려하였다. 기존의 연구에서 도출된 배합을 이용하여 물-시멘트 비 30%의 OPC 100% 배합을 기준으로 하였다(Jaung et al., 2012). Table 1과 Table 2에서는 OPC 및 GGBFS의 물리적 성질을 나타내고 있으며, Table 3에서는 사용된 골재의 물리적 성질을, Table 4에서는 사용된 혼화제의 성질을 나타내고 있다.

3수준의 배합조건에서 잔골재율은 45.0 %로 고정하였으며, OPC 100에서는 물-시멘트 비 0.3, 단위수량을 165 kg/m³으로 설정하였다. 단순치환 배합인 BS 65에서는 OPC 질량을 단순히 65% GGBFS로 치환하여 사용하였으며, OPTBS 65에서는 물-결합재비를 0.27로 감소시키면서 단위결합재량을

Table 1 Properties of OPC

Density (g/cm ³)	Braine (cm ² /g)	Soundness (%)	Setting time (min.)	
			Initial	Final
3.15	3390	0.05	230	345

Table 2 Properties of GGBFS

Density (g/cm ³)	Braine (cm ² /g)	MgO (%)	SO ₃ (%)	LOI (%)	Activity index (%)		
					7day	28day	91day
2.80	4890	8.5	3.0	3.9	55	75	95

Table 3 Physical properties of aggregates

Type	Density (g/cm ³)	F.M. (%)	Absorption ratio (%)	Passing 0.08 mm Sieve (%)
Sand	2.63	2.62	1.42	3.00
Gravel	2.62	6.48	0.58	-

Table 4 Properties of chemical admixture (Water Reducing Agent)

Type	Component	Color	pH	Density (g/cm ³)
WRA- liquid (Water Reducing Agent)	AE-surface lubricant	Brown	6.5	1.04

Table 5 Mix proportions for tests (Design strength 50.0MPa)

Type	w/b (%)	S/a (%)	Unit content (kg/m ³)					Ad. (B%)
			W	C	GGBFS	Sand	Gravel	
OPC 100	30	45	165	550	-	717	924	0.65
BS 65	30	45	165	193	358	705	909	0.30
OPTBS 65	27	45	163	210	390	689	887	0.30

600kg/m³으로 증가시켰다. Table 5에서는 실험대상 배합표를 나타낸다. 콘크리트의 혼합은 트윈 타워 믹서를 사용하였으며, 건비빔을 30초간 저속으로 실시하고 물을 넣은 뒤 60초간 중속으로, 그리고 혼화제를 넣은뒤 고속으로 90초간 비빔을 수행하였다.

2.2 강도 및 초기재령 특성 실험

건조 및 자기수축 실험과 함께, 재령별 강도 및 슬럼프 플로우를 측정하였다. 압축강도는 KS F 2405에 의하여 실험을 수행하였으며, 재령 1일, 3일, 7일, 28일, 91일에 측정하였다. 또한 슬럼프 플로우 시험에서는 KS F 2594에 따라 지름 500 mm 도달시간과 플로우 값을 측정하였다. Fig. 1에서는 슬럼프 플로우 실험사진과 압축강도 시험사진을 나타낸다.



(a) Slump flow (b) compressive strength

Fig. 1 Photos for slump flow and compressive strength



(a) Gauge installation (b) Test in humidity chamber

Fig. 2 Installation of gauge and exposure to shrinkage

2.3 건조수축 및 자기수축 실험

건조수축 및 자기수축 시편은 KS F 2403에 준하여 제작하였으며, 공시체의 제작 및 양생 중의 온도는 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 하였다. KS F 2424 표준에 준하여 길이변화를 측정하였으며, 실험시의 온도 및 습도는 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 및 $60 \pm 5\%$ 로 유지할 수 있는 항온항습 설비 내에 존치하였다. $100 \times 100 \times 400 \text{ mm}$ 각주형 공시체에 매립게이지를 공시체 중심부에 위치시킨 후 각 배합당 3개씩 제작하여 건조수축을 시험하였으며, 시험체 3개는 테이프 필름으로 시편 전체를 밀봉하여 타설 이후의 자기수축 변형률을 측정하였다. Fig. 2에서는 매립게이지 거치 과정과 수축시험 사진을 나타낸다.

3. 초기재령 특성 및 수축특성 평가

3.1 유동성 및 강도 평가

슬럼프 플로우 시험결과는 OPC 100에서는 630 mm로 평가되었으며, GGBFS를 65% 치환한 배합에서는 680 mm로 결과가 약간 증가하였다. 500 mm 도달시간은 각 배합에 따라 14~16초로 큰 차이는 없었다. GGBFS를 다량 혼입한 경우 표면에 불투수성 산성피막의 영향으로 잉여수가 발생하고 자유잉여수의 상대적 증가로 인해 슬럼프 플로우가 증가하게 된다. Fig. 3에서는 슬럼프 플로우의 실험결과를 나타내었다.

OPC 100 배합의 압축강도 경우 재령 28일에서 50 MPa 이상 발현되었고, BS 65배합과 OPTBS 65 배합에서는 GGBFS

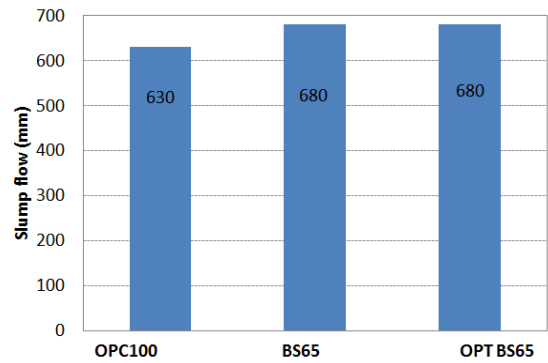


Fig. 3 Slump flow results

Table 6 Results of compressive strength

Period (days)	Compressive strength(MPa)		
	OPC100	BS 65	OPTBS 65
1	28.7	11.2	11.3
3	47.5	39.0	45.5
7	48.9	43.6	48.2
28	56.3	54.5	61.1
91	63.4	60.0	67.5

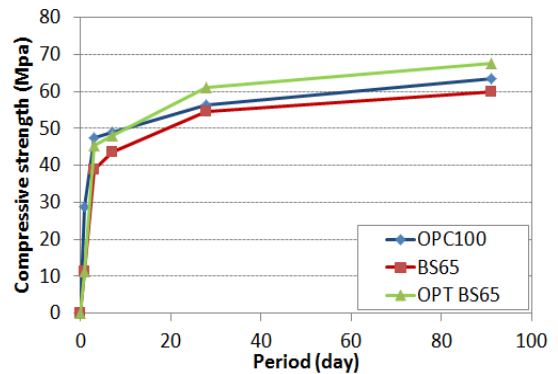


Fig. 4 Comparison of compressive strength with 3 different mix conditions

의 대단위 치환으로 초기 강도발현은 비교적 낮게 평가되었다. 그러나 재령 28일 이후 장기 강도에서는 압축강도 OPC 100배합 보다 증가하는 것으로 나타났는데, GGBFS의 치환률이 높다 하더라도 충분한 양생과 수화에 충분한 단위수량이 확보되면 높은 압축강도를 기대할 수 있다. OPTBS 65의 경우 결합재량이 증가하고, 물-결합재비를 27%로 낮추었으므로 재령 28일부터 강도가 크게 개선되었다. 높은 GGBFS 치환률에도 불구하고 초기재령에서 강도가 크게 감소하지 않은 이유는 Dilution effect로 보고되고 있다. 다량 치환된 GGBFS는 수화속도가 OPC보다 느리므로 초기의 자유수는 거의 OPC

의 수화에 사용되며, 상대적으로 수화반응에 사용되는 결합 수량이 증가한다. 이로 인해 alite 및 ferrite의 수화가 촉진되어 초기재령 강도가 상대적으로 증가하게 된다(Jeong et al., 2015(a); Jeong et al., 2015(b); Copeland and Kantro, 1968; Escalante-Garcia and Sharp, 1998; Narayanan, 2008).

Table 6에서는 압축강도 시험결과를 나타내었으며, Fig. 4에 도시하였다. 1일 재령에서의 낮은 압축강도가 3일 이후부터 회복되고 있는 것을 대단위 GGBFS 치환 콘크리트에서 확인할 수 있다.

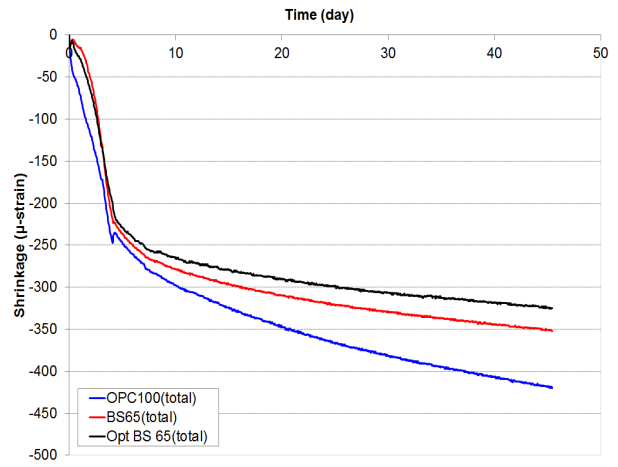
3.2 치환조건에 따른 건조 및 자기수축 특성 변화

Fig. 5에서는 3가지 배합에 대한 건조수축 및 자기수축을 나타내고 있는데, GGBFS를 혼입함에 따라서 수축량이 감소하고 있음을 알 수 있다. 특히 OPTBS 65 배합에서 수축량이 BS 65 보다 약간 감소하는 경향을 나타내었다. 주요 재령에 대한 평균값의 변화를 Table 6에 나타내었다.

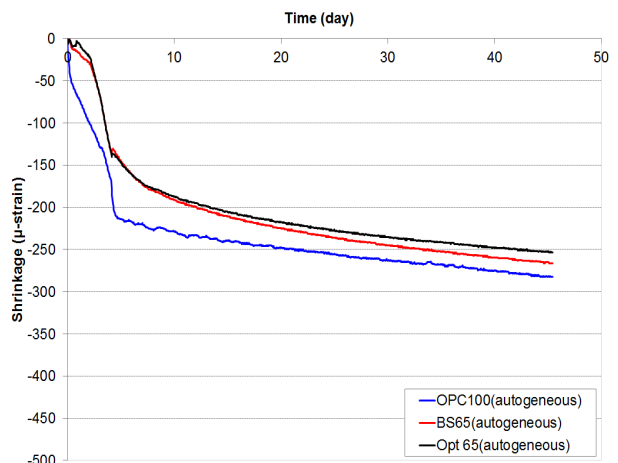
OPC 100 배합에서는 총 건조수축량이 가장 크게 평가되었는데, 물-결합재비가 낮고 결합재량이 많은 배합에서는 자기수축이 크게 발생한다. 설계강도 50 MPa 배합의 높은 단위결합재량에 따라 OPC100 배합의 자기수축량이 크게 발생하였으며 이로 인해 건조수축량도 크게 평가되었다.

한편, BS 65 및 OPTBS 65 배합의 경우, 초기재령의 자기수축량은 거의 변화가 발생하지 않았는데, 이는 OPC 100 배합과는 다르게 많은 량의 GGBFS 혼입에 따라 내부의 자유수가 소량의 OPC의 수화반응에 집중되기 때문이다. 20~30% 수준의 GGBFS 수준의 치환이 이루어진 경우에는 다량의 OPC 량에 의하여 충분한 알칼리가 제공되고 수화가 발생하므로 건조수축 및 자기수축이 증가하게 된다(Yoo et al., 2012; Yoo et al., 2013). 그러나 충분한 단위수량을 가진 대단위 GGBFS 치환 콘크리트에서의 건조수축과 자기수축은 OPC 100보다 낮은 수준으로 평가되었다. 특히 Fig. 5(b)에서 알 수 있듯이 재령 3일 전까지는 매우 빠른 속도로 자기수축량이 OPC 100에서 발생하고 있는데, 이는 3일까지의 빠른 강도발현과 같은 경향을 보인다. 그러나 GGBFS 65%를 혼입 배합에서는 상대적으로 낮은 자기수축량을 나타내고 있다.

GGBFS를 65%치환한 배합에 대해서는 큰 차이는 없으나 OPT BS 65가 BS 65보다 개선된 건조수축성능을 나타내고 있다. 이는 OPT BS 65 배합이 낮은 단위수량과 낮은 물-결합재비를 사용하였기 때문이다. 건조수축 및 자기수축에서도 모두 개선된 수축성능을 나타내었다. 재령 45일 이후의 건조수축률은 OPC100에 대하여 BS65의 경우 83.4% 수준으로, OPT BS65의 경우 77.4% 수준으로 감소하였다. 또한 자기수축의 경우, BS65의 경우 94.3%수준으로, OPT BS의 경우 89.9% 수준으로 감소하였다.



(a) Total shrinkage in the test



(b) Autogeneous shrinkage in the test

Fig. 5 Drying and autogeneous shrinkage

Table 6 Results of drying and autogeneous shrinkage

Time (day)	OPC100 (total)	OPC100 (auto.)	BS65 (total)	BS65 (auto.)	OptBS 65(total)	Opt 65(auto.)
1	-70.078	-70.078	-15.152	-16.099	-27.463	-4.735
3	-170.46	-127.845	-124.057	-66.29	-129.739	-65.343
5	-247.167	-214.022	-235.803	-144.891	-229.174	-146.785
8	-284.1	-226.333	-268.001	-179.93	-258.531	-178.036
10	-297.358	-228.227	-278.418	-191.294	-264.213	-187.506
20	-346.602	-247.167	-309.669	-224.439	-289.782	-217.81
30	-381.641	-263.266	-328.609	-245.273	-306.828	-234.856
45	-418.574	-282.206	-350.39	-265.16	-323.874	-252.849

4. 결론

본 연구에서는 고로슬래그 미분말을 65% 치환한 고성능 콘크리트의 초기재령 거동 특성 및 수축 특성을 OPC 100%의

배합과 비교하여 평가하였다. 본 연구를 통해서 도출된 결론은 다음과 같다.

- 1) 슬럼프 플로우 시험결과는 OPC 100에서는 630 mm로 평가되었으며, GGBFS를 65% 치환한 배합에서는 680 mm로 유동성이 약간 증가하는데, 이는 초기에 GGBFS 표면에 불투수성 산성피막의 영향으로 자유수가 약간 증가하여 슬럼프 플로우가 증가하였다.
- 2) OPC 100 배합의 압축강도는 재령 28일에서 56.3 MPa로 평가되었으나, BS 65배합과 OPTBS 65 배합에서는 GGBFS의 대단위 치환으로 초기 강도발현은 비교적 낮게 평가되었다. 그러나 크게 감소되지 않은 이유는 GGBFS의 다량 치환으로 초기의 자유수가 OPC의 수화를 촉진하기 때문이며, 재령 28일에서 BS 65에서는 54.5MPa, OPTBS 65에서는 61.1MPa로 평가되었다. OPTBS 65의 경우 결합재량이 약간 증가하고, 물-결합재비를 27%로 낮추었으므로 재령 28일부터 강도가 크게 개선되었다.
- 3) 재령 45일 이후의 건조수축률은 OPC100에 대하여 BS65의 경우 83.4% 수준으로, OPT BS65의 경우 77.4% 수준으로 감소하였다. 또한 자기수축의 경우, BS65의 경우 94.3%수준으로, OPT BS의 경우 89.9% 수준으로 감소하였다. OPC 100에서 건조수축이 크게 평가된 이유는 재령 3일전에 다량의 OPC의 수화에 따라 자기수축이 크게 증가하기 때문이다.
- 4) 최적배합에서는 BS 65보다 낮은 물-결합재비와 높은 단위 결합재량을 가지고 있었으므로, 28일 재령이후부터 높은 강도 개선을 나타내었다. 또한 재령 초기에 발생하는 높은 자기수축을 감소시킴으로서 건조수축량을 감소시키는데, 효과적임을 알 수 있다.

감사의 글

저자는 본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업(과제번호: PPK1601E)의 재정 지원에 의해 감사드립니다.

References

Oh, K.-S., Mun, J.-M., and Kwon, S.-J. (2016), Chloride Diffusion Coefficients in Cold Joint Concrete with GGBFS, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 20(5), 44-49.

Chindaprasirt, P., and Rukzon, S. (2008), Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blend Portland cement, rice husk ash and fly ash mortar, *Construction and Building Materials*, 22(8),

1601-1606.

Copeland, L. E., and Kantro, D. L. (1968), Hydration of Portland cement, *Proceedings of 5th International Symposium on the Chemistry of Cement*, 378-420.

Ary, C., Buenfeld, N. R., and Newmann, J. B. (1990), Factors Influencing Chloride Binding in Concrete, *Cement and Concrete Research*, 20(2), 291-300.

Erdem, T. K., and Kirca, O. (2008), Use of binary and ternary blends in high strength concrete, *Construction and Building Materials*, 22(7), 1477-1483.

Escalante, J. I., Gómez, L. Y., Johal, K. K., Mendoza, G., Mancha, H., and Méndez, J. (2001), Reactivity of blast-furnace slag in Portland cement blends hydrated under different conditions, *Cement and Concrete Research*, 31(10), 1403-1409.

Escalante-Garcia, J. I., and Sharp, J. H. (1998), Effect of temperature on the hydration of the main clinker phases in Portland cements: Part II. Blended cements, *Cement and Concrete Research*, 28(9), 1259-1274.

ISO 14040. (2006), Environmental Management-Life cycle Assessment-Principles and Framework, International Organization for Standardization.

Japan Concrete Institute. (1998), Technical committee report on autogenous shrinkage, E&FN, London, 1-3.

Jaung, J. D., Cho, H. D., and Park, S. W. (2012), Properties of Hydration Heat of High-Strength Concrete and Reduction Strategy for Heat Production, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 12(2), 203-210.

Jeong, J. Y., Jang, S. Y., Choi, Y. C., Jung, S. H., and Kim, J. I. (2015(a)), Effects of replacement ratio and fineness of GGBFS on the hydration and pozzolanic reaction of high-strength high-volume GGBFS blended cement pastes, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 27(2), 115-125.

Jeong, J. Y., Jang, S. Y., Choi, Y. C., Jung, S. H., and Kim, S. I. (2015(b)), Effect of Limestone Powder and Silica Fume on the Hydration and Pozzolanic Reaction of High-Strength High-Volume GGBFS Blended Cement Mortars, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 27(2), 127-136.

Lee, K. M., Lee, H. K., Lee, S. H., and Kim, G. Y. (2006), Autogenous shrinkage of concrete containing granulated blast-furnace slag, *Cement and Concrete Research*, 36(7), 1279-1285.

Lee, S. H., Park, W. J., and Lee, H. S. (2013), Life cycle CO₂ assessment method for concrete using CO₂ balance and suggestion to decrease LCCO₂ of concrete in South-Korean apartment, *Energy and Buildings*, 58, 93-102.

Miyazawa, S., and Tazawa, E. (2001), Prediction model for shrinkage of concrete including autogenous shrinkage, creep, shrinkage and durability mechanics of concrete and other quasi-brittle materials. *Proceedings of 6th International Conference Elsevier Science Ltd*, 735-46.

Mullick, A. K. (2007), Performance of concrete with binary and ternary cement blends, *The Indian Concrete Journal*, 81(1), 15-22.

Narayanan, N. (2008), Quantifying the effects of hydration enhancement and dilution in cement pastes containing coarse glass powder, *Journal of Advanced Concrete Technology*, 6(3), 397-408.

Samsung Construction. (2003), Evaluation for Diffusivity Characteristics in High Durable Concrete, Technical Report, Seoul, 27-33.

Song, H. W., and Kwon, S. J. (2009), Evaluation of Chloride Penetration in High Performance Concrete Using Neural Network Algorithm and Micro Pore Structure, *Cement and Concrete Research*, 39(9), 814-824.

Song, H. W., Kwon, S. J., Byun, K. J., and Park, C. K. (2006), Predicting carbonation in early-aged cracked concrete, *Cement and Concrete Research*, 36(5), 979-989.

Tazawa, E., and Miyazawa S. (1995), Influence of cement and admixture on autogenous shrinkage of cement paste, *Cement and Concrete Research*, 25(2), 281-287.

Yoo, S. W., Koh, K. T., Kwon, S. J., and Park, S. G. (2013), Analysis technique for flexural behavior in RC beam considering autogenous

shrinkage effect, *Construction and Building Materials*, 47, 560-568.

Yoo, S. W., Kwon, S. J., and Jung, S. H. (2012), Analysis technique for autogenous shrinkage in high performance concrete with mineral and chemical admixtures, *Construction and Building Materials*, 34, 1-10.

Received : 01/20/2017

Revised : 02/06/2017

Accepted : 03/20/2017

요 지 : 고로슬래그 미분말은 공학적으로 우수한 건설산업 부산물이며, 최근들어 환경부하 저감 및 사용 활성화를 위해 대단위 슬래그 치환 콘크리트가 많이 연구되고 있다. 본 연구에서는 목표 강도를 50 MPa로 설정하고 고로슬래그미분말 치환률을 65%로 고려한 대단위 치환 슬래그 콘크리트를 제조하여 건조수축특성과 초기재령 특성을 평가하였다. 이를 위해 3 수준의 콘크리트를 제조하였으며, 슬럼프 플로우, 강도, 건조 및 자기수축에 대한 실험을 수행하였다. 실험결과, 보통 포틀랜드 시멘트를 100% 함유한 콘크리트(OPC 100)에 비하여 재령 7일전의 강도는 약간 감소하였으나, 슬래그 치환 배합은 수화에 필요한 충분한 자유수를 가졌으므로 28일 재령에서는 우수한 강도 발현을 나타내었다. 또한 재령 3일까지 큰 자기수축으로 인하여, OPC 100 배합에서는 건조수축이 크게 평가되었지만, 65% 고로슬래그 미분말을 치환한 배합에서는 초기재령의 자기수축 성능이 개선되어 우수한 건조수축거동을 나타내었다. 특히 단순 질량 치환배합(BS 65)보다 물-결합제비(0.27)와 단위수량(163kg/m³)을 낮춘 OPTBS 65에서 더욱 우수한 건조수축 및 자기수축 거동을 나타내었다.

핵심용어 : 고로슬래그 미분말, 부산물, 대단위 치환 콘크리트, 강도, 건조수축, 자기수축
