Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection
Vol. 16, No. 6, November 2012, pp.056-062
http://dx.doi.org/10.11112/jksmi.2012.16.6.056

pISSN 2234-6937
eISSN 2287-6979

3성분계 혼합시멘트를 사용한 초고강도 콘크리트의 역학적 특성

Mechanical Properties of Ultra High Strength Concrete Using Ternary Blended Cement

김 진 봉[1)] 신 기 수[2)] 박 기 봉[3)*]
Kim, Jin Bong Shin, Ki Su Park, Ki Bong

Abstract

The results presented in this paper form part of an investigation into the optimization of a ternary blended cementitious system based on ordinary Portland cement (OPC)/blast furnace slag(BFS)/fly ash(FA) for the development of ultra high strength concrete. Concrete covering a wide range of BFS/FA blending proportions were investigated. Compressive strength at the ages of 3, 7 and 28 days for concrete specimens containing 0%, 10%, 20% and 30%FA along with 0%, 30%, 40% and 50%BFS as partial cement replacement at a water-binder ratio of 0.18 were investigated. Tests on porosity and pore size distribution were conducted using mercury intrusion porosimetry. The results show that the combination of FA10 and BFS30 can improve both short- and long-term properties of concrete as results of reducing of pores larger than 50nm.

Keywords : Ternary Blended cement, High strength concrete, Compressive strength, Porosity

1. 서 론

최근, 구조물의 대형화 및 초고층화의 시대적 요구에 따라 콘크리트의 요구성능은 고강도, 고유동, 고내구성을 필요로 하는 고성능 콘크리트의 수요가 증대 되어 가고 있다. 고성능콘크리트는 화학혼화제의 사용이 필수적이며, 시멘트의 일부를 실리카퓸(SF), 플라이애시(FA), 고로슬래그 미분말(BFS)과 같은 광물성 혼화재로 대체함으로서 콘크리트의 유동성 및 강도 개선의 효과를 얻을 수 있으며 또한 이러한 광물성 혼합재의 사용을 통해 콘크리트 내부구조의 밀실화를 꾀함으로서 콘크리트의 내구 성능이 향상된다(Hassan et al, 2001). 산업부산물의 일종인 광물성혼화재는 콘크리트의 성능향상뿐 만아니라 이를 콘크리트 생산에 재활용함으로써 산업폐기물의 매립억제 효과 및 시멘트 대체 재료로 사용되어 시멘트 생산 시 발생되는 이산화탄소(CO_2)의 발생을 저감시키는 효과를 가져 온다. 시멘트의 제조는 지구 온난화의 주요 원인으로 지적되고 있는 이산화탄소(CO_2)를 대량으로 발생시켜, 시멘트 1kg을 제조하는데 약 950g의 이산화탄소(CO_2)를 배출하는 것으로 알려져 있으며 이는 전 세계 온실가스 배출량의 7%를 차지하는 것으로 보고되고 있다(Mehta. P. K., 1998). 또한 시멘트의 주원료인 석회석을 채광 하는 과정에서 발생되는 산림의 훼손이나 에너지 사용은 환경에 보다 많은 부담을 주고 있는 실정이다. 따라서 이에 대한 대응 방안으로 산업부산물을 포틀랜드시멘트 제조 시 사용되는 클링커의 대체재로 사용하거나 또는 콘크리트 제조 시 시멘트 사용량의 일부를 혼화재로 대체 사용함으로서 시멘트 산업 및 콘크리트 산업에서 발생하는 천연자원보존, 에너지 고갈 문제 및 이산화탄소 배출에 의한 환경부하 문제를 동시에 해결하는 방안이 될 수 있다.

콘크리트 혼합에 이러한 광물성 혼화재의 대량사용은

1) 정회원, 강원대 대학원 박사과정
2) 정회원, 강원대 대학원 석사과정
3) 정회원, 강원대 건축공학과 교수 공학박사, 교신저자

* Corresponding author : kbpark@kangwon.ac.kr 033-250-6225

• 본 논문에 대한 토의를 2012년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2013년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Copyright © 2012 by The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0)which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1990년대 유럽 및 일본에서 시작되었다. 일반적으로 플라이애시를 시멘트 대체재로 사용할 경우, 보통 포틀랜드 시멘트에 비해 수화반응속도는 상대적으로 저감하며(Uchikawa, 1987), 유동성 증가(Ghosh and Sarkar, 1993, Dhir et al., 1988), 장기재령 강도 확보(Bopzoubea et al, 1999), 외부 및 화학적인 환경에서의 열화현상의 저항성이 개선되는 효과(Nagataki et al., 1986, Papadakis, 2000, Dhir and Jones, 1999)를 나타낸다. 또한 시멘트의 일부를 고로슬래그 미분말로 대체한 경우 유동성 및 내마모성 증가 및 염화물이온침투 저감 등에 따른 물리・화학적 저항 성능이 향상된다.(chidiac and panesar, 2008)

그러나 이러한 광물성 포졸란 재료를 단독으로 혼합 사용하는 경우 콘크리트의 성능을 향상시키는데 한계가 있다. 즉 플라이애시를 사용하는 경우 주어진 물결합재비에서 유동성은 증가하나 초기재령 강도발현이 저하되며 한편 고로슬래그 미분말을 사용하는 경우 잠재수경성 특성상 초기 혼화재 반응율 향상에 따른 초기강도발현은 상승하나 대량 사용 시 고로슬래그 미분말의 비표면적이 크므로 유동성이 감소하는 경향을 나타낸다.

따라서 이러한 광물성혼화재료의 사용에서 있어서의 장・단기 장점을 극대화 하고 서로 보완하여 시너지효과를 얻고자 하는 3성분계 혼합시멘트에 대한 연구가 진행되고 있다.(Mehta and Gjorv, 1982, Ozyildirim and halstead, 1994, Khan et al., 2000, Bouzoubaa et al., 2004) 그러나 이러한 연구의 대부분은 실리카퓸을 사용하여 플라이애시 사용 시 발생하는 초기강도저하를 보완하기 위한 3성분계 혼합시멘트 연구가 대부분으로 고로슬래그 미분말과 플라이애시를 혼합 사용한 3성분계 혼합시멘트에 대한 연구는 국내・외적으로 매우 미비한 실정이다.

대표적 국외연구로는 물결합재비 28%의 콘크리트 배합에서 플라이애시 25%와 고로슬래그 미분말 15%을 치환한 연구(Li and Zhao, 2003)와 물결합재비 38%의 콘크리트 배합에서 플라이애시 25%와 고로슬래그 미분말 25%를 치환한 연구가 보고되어 있다.(Nehdi et al., 2004) 본 연구결과 3성분계 혼합시멘트를 사용한 콘크리트의 압축강도는 재령 7일까지 일반콘크리트에 비해 감소하나 재령 28일에서 거의 동등수준의 압축강도 발현을 볼 수 있다. 그러나 치환율에 따른 압축강도발현 특성을 파악하는 데는 그 한계가 있으며 강도발현의 메커니즘에 대한 연구는 미비하다.

따라서 본 연구는 플라이애시와 고로슬래그 미분말의 치환율을 변화시킨 3성분계 혼합시멘트를 사용하여 초고강도콘크리트의 적정 배합수준을 선정하고, 강도발현의 메커니즘을 파악하기 위한 공극구조변화에 대한 분석을 실시하였다.

2. 실험방법 및 개요

본 실험에 사용된 보통포틀랜드시멘트, 플라이애시, 고로슬래그 미분말의 화학적・물리적 성질은 Table 1과 같다. 시멘트는 국내의 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 플라이애시와 고로슬래그 미분말은 각각 경남 하동군의 화력 발전소에서 생산된 제품과 국내의 G사의 제품을 사용하였다. 실험에 사용된 골재의 물리적 성질은 Table 2와 같다. 또한 화학혼화제로는 폴리카르본산계 고성능감수제와 빈졸계 AE제를 사용하였다.

3성분계 혼합시멘트를 혼합한 초고강도 콘크리트의 적정배합을 도출하기 위한 예비실험으로 3성분계 혼합시멘트를 사용한 모르타르 실험을 수행하였다. 모르타르 배합은 Table 3과 같다. 초고강도의 콘크리트배합을 고려하여 물결합재비는 18%로 고정하고 플라이애시 치환율 10%를 대상으로 고로슬래그 미분말을 각각 30%, 40%, 50% 치환 혼합하였다. 또한 플라이애시 20%, 고로슬래

Table 1 Chemical composition of cementitious

	Cement	FA	BFS
Chemical composotion(%)			
SiO_2	21.1	53.1	43.5
Al_2O_s	3.2	18.3	8.19
Fe_2O_s	5.4	6.2	3.14
CaO	63.0	8.1	39.84
MgO	2.2	2.2	2.54
SO_s	1.8	0.8	1.72
Loss by ignition	3.8	3.8	0.17
Physical characteristic			
Density (g/cm_3)	3.15	2.20	2.91
Blaine fineness (cm_2/g)	3,267	3,959	4,383

Table 2 Physical properties of aggregates

	Size (mm)	Specific gravity (g/cm^3)	absorption (%)	F.M.
Fine aggregate	< 5	2.58	0.52	2.85
Coarse aggregate	< 20	2.61	0.58	6.55

Table 3 Mix proportions of Ternaly blended mortar

Mix description	W/B	W	PC	FA	BFS	Fine aggregate	AE (b)	SP (%)
Plain	0.18	160	888.9	–	–	604.5	24	0.012
FA10 BFS30			533.3	88.9	266.7	576.6	28.8	0.011
FA10 BFS40			444.4	88.9	355.6	571.9	28.8	0.011
FA10 BFS50			355.6	88.9	444.4	567.2	28.8	0.011
FA20 BFS40			355.6	177.8	355.6	558.3	35.56	0.010

Table 4 Mix proportions of Ternaly blended concrete

Mix description	W/B	Water	PC	FA	BFS	Fine aggregate	Coarse aggregate	AE (g)	SP (%)
PLAIN	0.18	160	888.9	–	–	604.5	906.8	240.0	0.0117
FA10 BFS30			533.3	88.9	266.7	576.6	865	288.0	0.0126
FA10 BFS40			444.4	88.9	355.6	571.9	857.9	288.0	0.0126
FA10 BFS50			355.6	88.9	444.4	567.2	850.8	288.0	0.0126
FA20 BFS30			444.4	177.8	266.7	563	844.5	355.6	0.0134
FA20 BFS40			355.6	177.8	355.6	558.3	837.4	355.6	0.0121
FA20 BFS50			266.7	177.8	444.4	553.6	830.3	355.6	0.0117
FA30 BFS30			355.6	266.7	266.7	549.4	824	416.0	0.0126
FA30 BFS40			266.7	266.7	355.6	544.6	817	416.0	0.0126
FA30 BFS50			177.8	266.7	444.4	540	809.9	416.0	0.0126

그 미분말 40% 치환하여 플라이애시 치환율 증가에 따른 압축강도발현 특성을 파악하였다. 모르타르 시험체는 40×40×160mm의 철제형 몰드를 사용하여 제작하였으며, 양생은 20±1℃의 수중양생을 실시하였다.

압축강도 측정은 KS L 5105 규정에 따라 재령 3일, 7일, 28일에 실시하였다. 플라이애시와 고로슬래그 미분말을 혼합한 3성분계 초고강도콘크리트의 역학적 성질을 파악하기 위한 콘크리트 배합은 Table 4와 같다. 단위시멘트량에 대한 플라이애시 치환율은 10%, 20%, 30%로 플라이애시 치환율 각각에 대해 고로슬래그 미분말을 30%, 40%, 50% 치환 혼합하였다. 콘크리트 배합은 목표공기량 4.5± 0.5%와 목표 슬럼프 플로우 700±100mm를 확보하기 위해 예비실험을 통해 AE제와 고성능감수제 사용량을 결정하였다. 압축강도 및 공극구조의 변화를 측정하기 위한 콘크리트 시험체은 φ100×200mm의 원통형 실린더 몰드를 사용하여 제작하였고, 시험체의 양생은 20±1℃ 수중양생을 실시하였다. 콘크리트의 압축강도는 재령3일, 7일, 28일에 측정하였으며 각 재령에서의 공극구조변화는 수은압입법에 의해 측정하였다.공극량 측정 시편은 각각의 재령에서 채취한 공시체를 Fig. 1 다이아몬드 커터를 사용하여 굵은골재 부분이 포함되지 않도록 최대한 모르타르 부분을 대상으로 5×5×5mm의 입방체

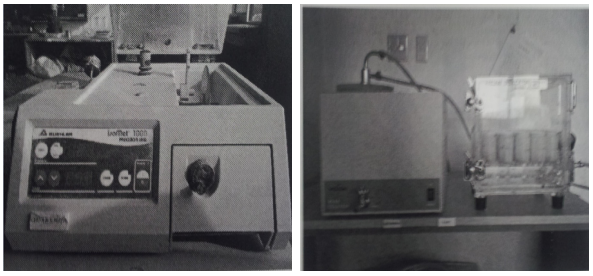

Fig. 1 Diamond cutter and D-dry device

형태로 절단한 후 아세톤에 의해 1일 수화반응을 정지시킨 후 진공장치를 이용하여 D-dry 방법에 의해 2주간 건조시켰다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 3성분계 고강도 모르타르의 압축강도 특성

플라이애시와 고로슬래그 미분말의 치환율 변화에 따른 모르타르의 압축강도 측정결과는 Table 5와 같다.

측정결과, 플라이애시 10% 치환에 고로슬래그 미분말을 50%까지 치환한 3성분계 모르타르의 경우 Plain 모르타르와 비교하여 재령에 따라 압축강도가 현저히 증가함을 알 수 있다. 또한 고로슬래그 미분말 치환율이 증가할

Table 5 Compressive strength data of mortar

Mix description	W/C	Compressive strength (MPA)		
		3-d	7-d	28-d
Plain	0.18	38.35	45.31	50.16
FA10 BFS30		51.50	61.57	82.98
FA10 BFS40		48.32	71.09	79.77
FA10 BFS50		38.91	74.26	83.58
FA20 BFS40		38.18	69.61	79.94

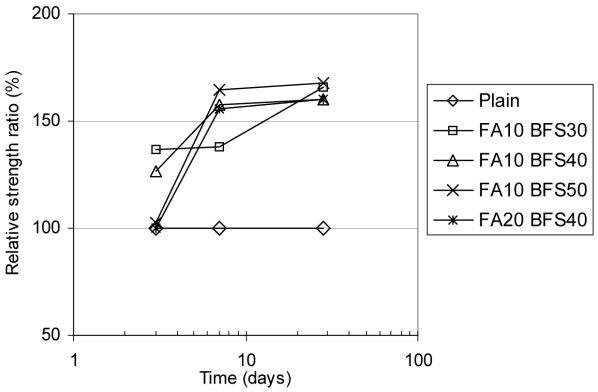

Fig. 2 Effect of mixing proportions on the compressive strength development

수록 초기압축강도는 저하하는 경향을 나타낸다. 이 결과는 광물성 혼화재의 첨가는 모르타르 배합에 있어 비표면적이 시멘트에 비해 상대적으로 큰 미세입자가 다량 포함됨으로서 시멘트 경화체의 매트리스의 밀도가 증가하게 되며 포졸란반응에 따른 강도발현 증가로 해석될 수 있다. 또한 고로슬래그 미분말 치환율 증가에 따른 초기압축강도 저하현상은 배합내의 시멘트량의 감소에 따른 초기 수화반응속도의 저감에 기인한다.

Table 5의 결과 고로슬래그 미분말 40% 치환 시 플라이애시 치환율 10%와 20%를 비교하면 플라이애시 치환율이 증가할수록 초기재령에서 강도발현이 저하됨을 알 수 있다. 이는 상대적으로 시멘트량의 감소와 비교적 늦게 반응하는 플라이애시 증가에 기인한다. 본 실험결과 현저히 낮은 물결합재비의 모르타르혼합에 있어서 비표면적이 큰 광물성혼화재의 혼입은 초기재령 및 장기재령의 압축강도 발현의 증가를 유도한다.

Fig. 2는 Plain 배합의 강도비율 대비 3성분계 혼합시멘트 사용의 모르타르 강도발현의 비율(상대강도비율)을 나타낸다. 플라이애시 10% 치환 및 고로슬래그 미분말 30% 치환의 3성분계 모르타르의 경우 Plain 압축강도 대비 상대강도비율은 재령 3일에서 137%, 재령 28일에서 166%로 나타났다.

Table 6 Slump and Air contents of Ternaly blended concrete

Mix description	AE(g)	SP(%)	slump flow (mm)	air content (%)
Plain	240	0.0117	671.5	5.3
FA10 BFS30	288	0.0126	673.0	4.8
FA10 BFS40	288	0.0126	687.0	4.3
FA10 BFS50	288	0.0126	691.5	4.1
FA20 BFS30	355.6	0.0134	701.0	4.3
FA20 BFS40	355.6	0.0121	698.5	3.3
FA20 BFS50	355.6	0.0117	697.0	4.3
FA30 BFS30	416	0.0126	706.0	4.9
FA30 BFS40	416	0.0126	708.4	4.1
FA30 BFS50	416	0.0126	711.0	4.6

3.2 3성분계 고강도 콘크리트의 역학적 특성

현저히 낮은 물결합재비 콘크리트의 동일한 작업성 확보를 위하여 공기량변화 및 슬럼프 플로우 변화를 측정하였다. 측정결과, Table 6과 같이 plain을 제외한 모든 배합은 목표 공기량 4.5±0.5%를 만족시키는 결과를 도출하였고, FA20 BFS30, FA30 BFS50을 제외한 모든 배합은 플라이애시와 고로슬래그 미분말의 치환량이 증가할수록 공기량이 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 플래이애시 치환율이 증가 할수록 목표공기량을 만족시키기 위한 AE제의 첨가가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 플라이애시에 포함된 미연소 탄소의 AE제 흡착작용으로 공기포가 소멸하는 현상에 기인한 것으로 판단된다. 또한 Table 6에 나타난 슬럼프 플로우 실험결과에 의하면 플라이애시와 고로슬래그 미분말의 혼합량이 증가할수록 콘크리트의 슬럼프 플로우는 증가하는 경향을 나타낸다. 일반적으로 시멘트에 고로슬래그 미분말 및 플라이애시와 같은 비표면적이 큰 미세입자를 혼합하면 매트릭스내의 밀도는 증가하게 되며 콘크리트의 점성은 증가하게 된다. 따라서 슬럼프 플로우는 감소하는 결과를 나타낸다. 하지만 본 실험에서는 현저히 낮은 물결합재비 콘크리트의 유동성을 확보하기 위해 다량의 SP제의 사용 및 플라이애시와 고로슬래그 미분말의 고른 분산효과의 증가에 기인하여 슬럼프 플로우는 증가한 것으로 판단된다.

Table 7은 3성분계 시멘트를 혼합한 초고강도 콘크리트의 각 재령에 따른 압축강도 특성을 나타낸다.

실험결과, 3성분계 시멘트 내에 플라이애시의 혼입량이

Table 7 Compressive strength data of concrete

Mix description	W/C (%)	Compressive strength (MPA)		
		3-d	7-d	28-d
Plain	0.18	63.35	71.19	81.47
FA10 BFS30		78.81	87.47	112.52
FA10 BFS40		56.32	67.49	81.82
FA10 BFS50		47.42	64.73	84.30
FA20 BFS30		56.45	69.72	91.14
FA20 BFS40		52.67	72.60	88.59
FA20 BFS50		41.60	59.27	79.57
FA30 BFS30		38.10	55.85	74.27
FA30 BFS40		30.56	47.47	64.71
FA30 BFS50		22.80	43.26	61.82

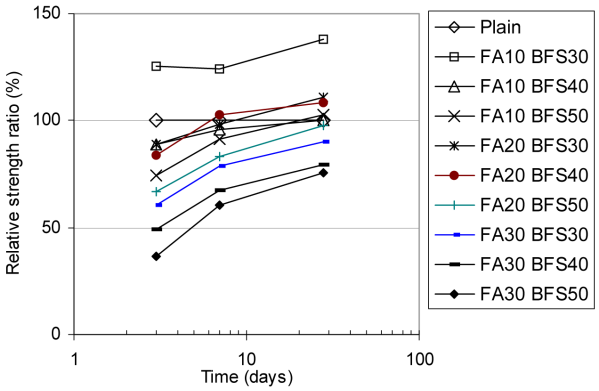

Fig. 3 Effect of mixing proportions on the compressive strength development

증가할수록 압축강도는 감소하며 동일 수준의 플라이애시 치환에 있어 고로슬래그 미분말의 첨가량이 증가할수록 압축강도는 감소하는 것을 볼 수 있다. 이러한 경향은 초기재령에서 현저히 발생한다. 이는 초기 반응속도가 현격히 떨어지는 플라이애시 및 고로슬래그 미분말의 대량 첨가에 기인한 것으로 판단된다. 그러나 플라이애시 10%, 고로슬래그 미분말 30%를 혼합한 3성분계 혼합시멘트를 사용한 콘크리트의 압축강도는 초기재령3일에서 Plain 콘크리트의 압축강도 보다 현저히 증가하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 3은 Plain 콘크리트의 강도비율 대비 3성분계 콘크리트 강도발현의 비율(상대강도비율)을 나타낸다.

실험결과, 플라이애시 10%와 고로슬래그 미분말 30%를 혼합한 3성분계 콘크리트의 경우, 재령 3일, 7일, 28일에서의 압축강도는 각각 79MPa, 85MPa, 113MPa이며 Plain 압축강도 대비 상대강도비율은 각각 125%, 124%, 138%로 나타났다. 또한 플라이애시 10% 기준 고로슬래그 미분말을 30%에서 40%로 증가하였을 경우 압축강도는 현저히 저하함을 알 수 있다. 그러나 고로슬래그 미분말 40% 및 50% 치환한 콘크리트의 압축강도 발현량의 차는 미비한 것으로 나타난다.

또한 고로슬래그 미분말 30%를 기준으로 한 경우, 플라이애시의 치환 첨가량의 증가와 더불어 압축강도는 현저히 감소함을 알 수 있다. 즉 낮은 물결합재비의 3성분계 콘크리트배합에서 플라이애시의 첨가량은 상대적으로 고로슬래그 미분말 첨가량에 비해 압축강도 발현에 커다란 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 또한 3성분계 콘크리트의 강도발현 특성은 3성분을 구성하고 있는 재료의 조합에 따라 각기 다른 강도발현 특성을 나타낸다.(Khan et al. 2000) 본 실험결과에 의하면 재령28일 기준으로 3성분계 혼합시멘트의 배합은 플라이애시의 치환율을 20% 이하로 설정하는 것을 제안할 수 있다.

일반적으로 플라이애시, 고로슬래그 미분말과 같은 포졸란의 경우 초기반응은 감소하나 장기재령에서는 포졸란 반응에 의해 강도증진이 나타난다. 그러나 본 실험결과에 나타난 바와 같이 플라이애시 10%, 고로슬래그 미분말 30%를 혼합한 3성분계 콘크리트에서는 초기재령에도 불구하고 현저한 강도발현이 나타났다. 이는 경화체 매트릭스 내의 Packing Density의 증가 및 비표면적 증가에 따른 초기반응 증가에 기인한 것으로 사료된다.

그러나 이러한 광물성 혼화재를 다량 첨가한 경우 시멘트 사용량이 감소하므로 시멘트 자체의 수화생성물량이 줄게 되며 또한 $Ca(OH)_2$ 감소에 의해 포졸란 반응이 지연되므로 초기재령에서의 강도 발현은 감소한 것으로 판단된다. 그러나 장기재령에서는 포졸란 반응에 의해 결정상호간의 결합력이 작은 $Ca(OH)_2$가 소비 되며, 수화물 생성에 의해 공극이 충진 되므로 강도발현은 증가한다.

플라이애시 10%와 고로슬래그 미분말 30%를 혼합한 3성분계 콘크리트의 공극분포를 Fig. 4에 나타낸다. 3성분계 콘크리트의 전체 공극량은 Plain 콘크리트와 비교하여 감소하는 경향을 나타낸다. 특히 50nm 이상의 공극량은 Plain 콘크리트에 비해 현저히 감소하는 것을 알 수 있다. 공극량을 페이스트 분으로 환산하면 모르타르 및 콘크리트에 관계없이 50nm 이상의 공극량에 의해 압축강도를 추정하는 것이 가능하므로 본 연구결과 FA10 BFS30 배합의 콘크리트 강도는 50nm 이상의 공극량 감소에 의해 Plain 콘크리트에 비해 현저히 증가하는 것으로 판단된다.

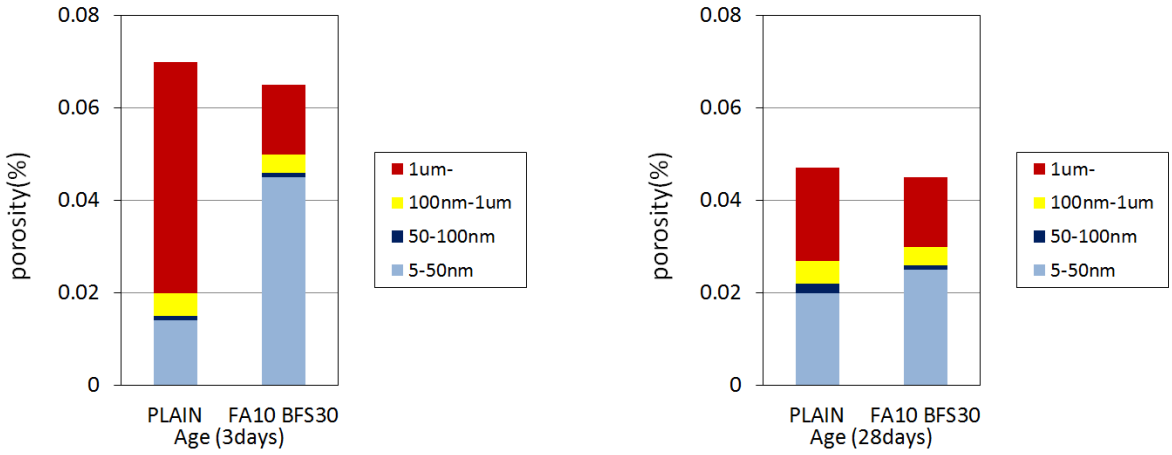

Fig. 4 Porosity and Pore size distribution of concrete

일반적으로 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 콘크리트 배합에 첨가하면 초기재령에서 100nm 이상의 공극량은 증가하나 전체 공극량은 Plain 콘크리트에 비해 약간 감소하는 경향을 나타낸다.(Roy & Parker, 1983) 따라서 입자크기가 다른 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 혼합 사용하면 매트릭스 내의 밀도는 증가하고 혼화재의 비표면적이 크므로 반응속도는 증가한다. 따라서 초기 수화물에 의한 공극 충진율은 증가하게 되므로 경화체내의 전체 공극율은 감소한다.

4. 결 론

플라이애시와 고로슬래그 미분말을 사용한 3성분계 초고강도콘크리트에 관한 실험을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 플라이애시 10%, 고로슬래그 미분말 30%를 혼합한 3성분계 혼합시멘트를 사용한 콘크리트의 압축강도는 Plain 콘크리트의 압축강도 보다 현저히 증가하였다.

(2) 낮은 물결합재비의 3성분계 콘크리트배합에서 플라이애시의 첨가량은 상대적으로 고로슬래그 미분말 첨가량에 비해 압축강도 발현에 커다란 영향을 미친다.

(3) 재령28일 기준으로 3성분계 혼합시멘트의 배합은 플라이애시의 치환율을 20% 이하로 설정하는 것을 제안한다.

(4) 플라이애시 10%, 고로슬래그 미분말 30%를 혼합한 3성분계 혼합시멘트를 사용한 콘크리트의 압축강도는, 50nm 이상의 공극량 감소에 의해, Plain 콘크리트에 비해 현저히 증가하였다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 강원대학교 학술연구조성비의 지원 (3007021-1-1)과 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임.(KFR-2008-331-D00661)

참고문헌

1. Bouzoubaa, N., Bilodeau, A., Sivasundaram, V., Fournier, B., Golden, D., "Development of ternary blends for high-performance concrete", ACI Materials Journal, 101, 2004, pp.19-29.
2. Chidiac, S. E., Panesar, D. K., "Evolution of mechanical properties of concrete containing ground granulated blast furnace slag and effects on the scaling resistance test at 28 days", Cement Concrete Composite, 30, 2008, pp.63-71.
3. Dhir, R. K., Jones, M. R., "Development of chloride-resisting concrete using fly ash", Fuel, 78, 1999, pp.134-142.
4. Ghosh, S. N., Sarkar, L. S., "Miveral admixtures in cement and concrete, in: S. N. Ghosh (Ed.) Progress in cement and Concrete", ABI Books, NeDelhi, 1993.
5. Hassan, K. E., Cabrera J. G., Maliehe, R. S., "The effect of mineral admixture on the rheology of cement paste and concrete", Cement Concrete Research, 31, 2001, pp.245-255.
6. Khan, M. I., Lynsdale, C. J., Waldron, P., "Porosity and strength of PFA/SF/OPC ternary blended paste", Cement Concrete Research, 30, 2000, pp.1225-1229.
7. Li, G., Zhao, X., "Properties of concrete incorporating fly ash and ground granulated blast-furnacet slag", Cement Concrete Composite, 25, 2003, pp.293-299.

8. Mehta, P. K., Gjorv, O. E., "Properties of portland cement concrete containing fly ash and condensed silica fume", Cement Concrete Research, 12, 1982, pp.587-595.
9. Mehta. P. K., "In cement, fly ash emerges as a cure limit greenhouse gases", ENR, 1998, p.13.
10. Nagataki, S., Ujike, I., "Air permeability of concretes mixed with fly ash and condensed silica fume, fly ash, silica fume, slag and natural pozzolans in concrete", ACI SP51-52, 1986, pp.1049-1068.
11. Nehdi M., Pardhan, M., Koshowski S., "Durability of self-consolidating concrete incorporating high-volume replacement composite cement", Cement Concrete Research, 34, 2004, pp.2103-2112.
12. Ozyildirim, C., Halstead, W. J., "Improved concrete quality with combinations of fly ash and silica fume", ACI Materials Journal 91, 1994, pp.587-594.
13. Papadakis, V. G., "Effect of supplementary cementing materials on concrete resistance against carbonation and chloride ingress", Cement Concrete Research, 30, 2000, pp.291-299.
14. Roy, D. M., Parker, K. M., "Microstructures and properties of granulated slag-portland cement blends at normal and elevated temperatures", ACI SP-79, 1983, pp.397-414.
15. Uchikawa, H., "Hydration of blended cement and pore structure for binder", Cement Concrete, 488, 1987, pp.33-48.

Received : 07/24/2012
Revised : 09/21/2012
Accepted : 10/08/2012

요 지

본 연구는 초고강도콘크리트의 배합에 사용되는 3성분계 혼합시멘트의 최적조합을 도출하기 위한 실험연구이다. 3성분계 혼합시멘트는 포틀랜드시멘트, 고로슬래브 미분말 0%, 30%, 40%, 50% 및 플라이애시 0%, 10%, 20%, 30%로 구성하였다. 물결합재비 0.18의 초고강도콘크리트를 대상으로 각 실험체의 압축강도와 공극구조를 조사한 결과, 플라이애시 10%, 고로슬래그 미분말 30%를 혼합한 3성분계 혼합시멘트를 사용한 콘크리트의 압축강도는, 50nm 이상의 공극량 감소에 의해, Plain 콘크리트에 비해 현저히 증가하였다.

핵심 용어 : 3성분계 혼합시멘트, 고강도콘크리트, 압축강도, 공극율