

## 早强시멘트를 사용한 3성분계 콘크리트의 强度 및 耐久特性†

\*洪昌佑 · 鄭元京\*

忠州大學校 工科大学 土木工學科, \*三友IMC 技術研究所

### Durability and Strength of Ternary Blended Concrete Using High Early Strength Cement†

\*Chang-Woo Hong and Won-Kyong Jeong\*

Department of Civil Engineering, Chungju National University

\*Samwoo IMC Co., Ltd. R&D Center

#### 요 약

플라이애쉬와 고로슬래그를 첨가하여 만드는 3성분계 콘크리트는 산업부산물 이용에 따른 초기공사비 절감과, 환경친화적인 측면에서 매우 효과적이다. 3성분계 콘크리트는 장기강도의 안정적인 발현, 높은 작업성과 수화열 감소에도 매우 효과적인 것으로 알려져 있다. 그러나, 3성분계 콘크리트는 포졸란계 혼화재의 사용에 따른 초기강도 발현이 문제점이다. 이러한 문제는 시공성 및 경제성에 있어 3성분계 콘크리트 사용을 제약하는 요소로 작용하고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트에 있어 조강시멘트를 사용하여 단기 및 장기강도 발현, 투수저항성 및 내화학약품성을 평가하였다. 플라이애쉬 혼입율은 10%로 고정하고 고로슬래그 미분말을 0, 10, 20, 및 30%로 혼입한 3성분계 조강콘크리트를 제작하였다. 실험결과, HE-TBC의 압축 및 휨강도의 우수한 초기강도발현 특성을 얻을 수 있었으며 특히, 플라이애쉬 10% 및 고로슬래그 30%가 혼입된 HE-TBC의 투수특성은 매우 낮은 투수성을 나타내어 새로운 3성분계 조강콘크리트의 활용이 가능할 것으로 판단되었다.

**주제어** : 3성분계 조강콘크리트, 고로슬래그 미분말, 플라이애쉬

#### Abstract

Ternary blended concrete(TBC), which contains both fly ash and granulated blast furnace slag, has an initial cost effective and is environment friendly. Furthermore, it has a lot of technical advantages such as the improvement of long term compressive strength, high workability, and the reduction of hydration heat. However, as the use and study on the performance of ternary blended concrete is limited, it is low short term compressive strength. This study was performed to evaluate the characteristics which are a long and short term compressive strengths, permeability and chemical attacks resistance of hardened high early concrete containing slag powder and fly-ash using high early strength cement(HE-TBC). Replacement rate of FA is fixed on 10% and replacement rate of slag powder are 0%, 10%, 20% and 30%. The test results showed that compressive and flexural strength of HE-TBC increased as the slag contents increased from 0% to 30% at the short term of curing. The permeability resistance of HE-TBC(fly ash 10%, blast 30%) was extremely good at the short and long terms. However, high early strength ternary blended concrete had weak on carbonation of chemical attack.

**Key words** : high early strength ternary blended concrete(HE-TBC), blast furnace slag, fly-ash

† 2010년 8월 11일 접수, 2010년 9월 20일 1차수정

2010년 10월 11일 수리

\* E-mail: cwhong@chungju.ac.kr

## 1. 서 론

2005년 발효된 교토의정서에 따라 세계 각국은 온실가스 감축의무를 준수해야 하며, 2008년 일본 홋카이도에서 개최된 G8 정상회담에서 2050년까지 배출가스를 현재의 50%까지 감축하는데 공동으로 노력하자고 합의한 바 있다. 도로, 교량, 주택 등 각종 사회기반시설의 건설에 있어 기본이 되는 시멘트는 1톤 생산하는데 온실가스의 주범인 이산화탄소를 0.7~1.0톤 정도 배출하고 있으며, 시멘트 산업에서 배출하는 이산화탄소는 전 세계의 온실가스 배출량의 5~8% 정도 차지하고 있다. 이에 시멘트 산업 분야의 이산화탄소 저감에 대한 노력은 한층 증가될 것으로 판단된다.

플라이애쉬와 고로슬래그는 알칼리 활성화시 점착성의 시멘트성 물질로 전환될 수 있는 산업부산물로서, 이 같은 시멘트성 물질의 생산은 포틀랜드 시멘트 제조시보다 에너지 소비가 적고 이산화탄소 방출도 적다. 따라서 산업 부산물을 이용한 새로운 소재개발이 이산화탄소 저감에 새로운 대안이 될 수 있다.<sup>1)</sup>

최근, 콘크리트의 강도 증진은 물론 내구성 및 유동성을 향상시키기 위하여 보통 포틀랜드 시멘트에 고로슬래그 미분말이나 플라이애쉬 또는 실리카흄을 혼입한 3성분계 시멘트를 사용한 콘크리트의 특성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>2-7)</sup> 이와같은 3성분계 콘크리트는 국내의 풍부한 부존자원을 이용하여 콘크리트 공사시 건설초기비용을 절감하고 각종 물성향상 효과를 얻을 수 있는 장점이 있는 것으로 보고되고 있다.<sup>2-6)</sup> 즉, 3성분계 콘크리트는 장기강도, 차염성 등에서 우수한 효과를 보이나 고로슬래그 및 플라이애쉬 사용으로 인한 문제점도 지적되고 있는데 첫째는 낮은 초기강도 발현성을 들 수 있다. 이는 거푸집 존치시간을 장기화시키고 공기 및 공사비의 증가를 초래할 수 있다. 둘째, 콘크리트의 품질이 양생조건에 민감하므로 초기양생에 대한 각별한 노력을 기울이지 않으면 오히려 침투성이 취약한 콘크리트가 되므로 주의하여야 한다.<sup>3)</sup> 이러한 문제들로 인하여 3성분계 콘크리트는 현장 적용에 한계를 지니고 있다. 따라서 본 연구에서는 기존의 3성분계 콘크리트가 지니는 낮은 초기강도를 문제를 해결하고자

조강시멘트에 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말을 사용한 3성분계 조강콘크리트(Ternary Blended High Early Strength Concrete, HE-TBC)에 대한 강도 및 내구특성을 분석하여 현장 적용가능성을 평가하고자 하였다.

## 2. 실 험

본 연구에서는 플라이애쉬 및 고로슬래그 미분말 등 포졸란 반응 물질을 2개 이상 적용하는 3성분계 콘크리트 연구에서 가장 큰 문제점으로 지적되고 있는 초기강도 발현 지연문제를 해결하고자 화학성분이 일반포틀랜드 시멘트와 유사한 조강시멘트를 이용하여 초기강도 발현 문제를 해결하고자 하였다. 이를 위하여 단위 조강시멘트량에 따른 고로슬래그 미분말의 혼입률(0%, 10%, 20%, 30%) 변화와 플라이애쉬 혼입률 변화(0, 10%)를 주요 변수로 하여 경화 콘크리트에 대해서는 압축 및 휨강도, 염소이온 투과에 의한 투수 실험을 수행하였다. 또한, 내화학약품성 시험으로 황산용액 및 염산용액에 침지한 후 침지재령에 따른 중량변화와 압축강도 변화를 측정하였으며, 동결융해 저항성을 분석하였다.

### 2.1. 사용재료

시멘트는 분말도 4,400 cm<sup>2</sup>/g의 국내 S사의 조강시멘트를 사용하였으며, Table 1은 조강시멘트의 화학성분과 광물조성을 나타낸 것이다. 그리고 혼화재료로 사용된 플라이애쉬(FA)는 국내 H사, 고로슬래그 미분말(BS)은 국내 B사의 제품을 사용하였으며 화학적 성질은 다음 Table 2와 같다. 굵은 골재는 비중 2.65(g/cm<sup>3</sup>), 흡수율 0.8% 및 조립률 6.61인 최대치수 19 mm인 쇄석을 사용하였다. 그리고 잔골재는 비중 2.56(g/cm<sup>3</sup>), 흡수율 0.9% 및 조립률 2.79인 강모래를 사용하였다.

### 2.2. 콘크리트 배합

콘크리트 배합은 Table 3에 나타낸 바와 같이 물-결합제비(W/B) 45%에 대해 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말의 혼입률 변화에 따른 특성을 검토하였다. 목표 슬럼프는 15±1.5 cm, 목표공기량은 4.5±1.5%를 얻기 위해

Table 1. Properties of high early strength cement<sup>9)</sup>

Item Type	Chemical Composition (%)									Mineral Composition (%)			
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	Ig.Loss	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
Type	19.7	5.9	3.0	62.1	3.0	0.75	4.2	0.1	1.1	42	21	11	9

**Table 2.** Chemical properties of blast-furnace slag and fly ash

Types	Item	Chemical Composition (%)					Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO		SO <sub>3</sub>
Fly ash		53.33	30.17	5.21	3.21	0.98	0.29	3804
Slag		33.25	15.68	0.32	42.59	6.81	2.02	4387

**Table 3.** Mixture proportions of concrete

Type	Fly ash (%)	Blast slag (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m <sup>3</sup> )					SP (×B.%)	AE (×B.%)	
					W	B			S			G
						C	FA	BS				
HF0B0	0	0	45	45	180	400	0	0	746	944	3.6	0.028
HF10B0	10	0	45	45	180	360	40	0	740	937	3.6	0.029
HF10B10	10	10	45	45	180	320	40	40	739	936	3.6	0.030
HF10B20	10	20	45	45	180	280	40	80	738	934	3.4	0.031
HF10B30	10	30	45	45	180	240	40	120	737	933	3.2	0.031

국내 H사의 고성능 감수제 및 AE제량을 조절하였다.

**2.3. 실험방법**

**2.3.1 압축강도 및 휨강도**

콘크리트 압축강도는 Ø100×200 mm 원주형 공시체를 제작하여 1일후 탈형하고 20±2온도하의 수중에서 표준양생을 실시한후 재령 1, 3, 28, 56, 90일에 KS F 2405에 준하여 실시하였다. 그리고 휨강도는 10×10×46 cm의 빔 공시체를 제작하여 KS F 2408에 준하여 재령 7, 28, 90일에 실시하였다.

**2.3.2 염소이온 침투성 투수시험**

투수시험은 ASTM C 1202와 KS F 2711에 규정하고 있는 염소이온 침투 저항성 시험방법에 따라 실시하였다. 총전하량은 식(1)을 이용하였다.<sup>6)</sup>

$$Q = 900 \times (I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{330} + I_{360}) \quad (1)$$

여기서, Q : 회로를 통과한 전하량(coulombs)

I<sub>n</sub> : n분 경과하였을 때의 전류

**2.3.3 화학저항성**

화학저항성 실험은 ASTM C 267 규정에 준하여 Ø100×200 mm의 원주형 공시체를 제작하여 20±2 온도하의 수중에서 표준양생을 28일 동안 실시한 후 5% 황산과 5% 염산의 수용액을 시험 용액으로 28일 동안 수용액에 침지하였고, 7일마다 시험액에서 공시체를 꺼

내어 침식되고 약화된 부분을 물로 세정하여 제거한 후 천으로 닦은 후에 아래의 식(2)에 의해 중량 변화율을 구하였다.

$$\text{중량변화율}(\%) = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100 \quad (2)$$

여기서, W<sub>0</sub> : 시험액 침지 전의 공시체 중량(g)

W<sub>1</sub> : 시험액 침지 후의 공시체 중량(g)

또한, 수용액에 28일 동안 침지하여 수중양생 콘크리트에 대한 압축강도비를 정리하여 RILEM과 일본토목학회에서 제안한 식(3)의 열화깊이 산정식을 통하여 열화인자 침투속도계수를 평가하였다.<sup>7,8)</sup>

$$s_r = \frac{d}{2} \left( 1 - \sqrt{\frac{F_s}{F_i}} \right) \quad (3)$$

여기서 d : 시험체의 직경(mm)

F<sub>i</sub> : 표준양생 시험체 강도(MPa)

F<sub>s</sub> : 열화된 시험체의 강도(MPa)

s<sub>r</sub> : 열화인자침투속도(mm/√year)

**2.3.4 동결융해 내구성 지수**

동결융해 저항성 시험은 KS F 2456의 A방법인 수중 급속 동결-융해의 방법으로 실시하였다. 이때 공시체 중심에서의 온도를 동결시 -18°C, 융해시 4°C로 상승시키는 것을 1사이클 4시간으로 하여 반복 수행하였

다. 해당 사이클에서 상대동탄성계수를 측정하여 식(4)와 같은 방법으로 내구성지수를 평가하였다.

$$\text{Durability Factor(D.F.)} = \text{PN} / \text{M} \quad (4)$$

여기서 P : N cycle에서 상대동탄성계수  
 N : 상대동탄성계수 측정시 cycle  
 M : 동결융해 노출이 끝날 때의 cycle

2.3.5 화상분석

공극구조 분석을 위해 화상분석기(HF-MA C01)를 사용하였으며, ASTM C 457에 준하여 리니어트레버스법을 자동화 측정하는 방법으로 정밀도를 높였다.

3. 실험결과

3.1. 강도발현 특성

Table 4는 플라이애쉬와 고로슬래그 미분말의 혼입률 변화에 따른 3성분계 조강콘크리트의 강도발현 특성을 나타낸 것이다. 3성분계 조강콘크리트의 초기강도발현 목표는 재령 3일의 압축강도를 21MPa이상으로 설정하였다. 플라이애쉬가 혼입된 조강콘크리트에 고로슬래그 미분말 혼입률 증가에 따른 3성분계 조강콘크리트의 강도발현 특성을 살펴보면, 일반 Type 시멘트를 사용한 3성분계 콘크리트와는 달리 초기강도발현 및 장기강도발현 특성이 매우 우수함을 알 수 있다. 설계목표강도인 재령 3일의 강도 21MPa를 고로슬래그 혼입률 20%와 30%에서는 다소 못 미쳤으나 그 강도차이가 3MPa 이하로 매우 작았으며 재령 28일 압축강도에서는 모든 3성분계 조강콘크리트 시편에서 일반 조강콘크리트와 동일한 강도발현을 나타내었다. 재령 1일 콘크리트 압축강도는 조강콘크리트가 약 19.8MPa로 가장 높게 나타났으며 플라이애쉬 및 고로슬래그 미분말의 혼입률이 증가할수록 다소 낮아지는 경향을 나타내었다. 이는 포

졸란반응에 따른 강도지연현상으로 일반 콘크리트에서는 약 7일에서 14일에 2차 포졸란 반응에 의해 강도가 증진되나 조강시멘트를 사용할 경우 3성분계 콘크리트에서는 재령 1일에서 3일 이내에 포졸란반응에 따른 초기강도발현이 이루어지는 것으로 나타났다. 이러한 압축강도 결과를 활용할 경우 3성분계 콘크리트가 가지는 단점을 극복할 수 있을 것으로 판단된다. 휨강도 발현 특성을 살펴보면, 플라이애쉬 10%, 고로슬래그 미분말 20%까지 혼입시 3성분계 조강콘크리트의 초기 및 장기 재령에 있어 조강 콘크리트와 유사한 강도발현을 나타내고 있으며 고로슬래그 미분말 30% 혼입에 따른 3성분계 조강콘크리트는 초기 재령 7일까지의 휨강도가 다소 작게 측정되었으나 재령 28일에서는 유사한 휨강도를 나타내었다. 이와같은 결과는 이화중<sup>9)</sup>의 실험결과에서 보통포틀랜드 시멘트에 플라이애쉬 10%, 고로슬래그 미분말 30% 혼입시 재령 7일의 압축강도와 휨강도가 각각 20MPa, 6MPa의 결과와 비교하면, 조강시멘트를 사용할 경우 압축강도는 3일강도와 유사하며, 휨강도는 동일한 7일 재령에서 비교하면 26% 증가하는 결과를 보여, 포졸란혼화제 사용시 초기강도 지연문제를 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

3.2. 3성분계 조강콘크리트의 염소이온투과 특성

Table 5는 재령에 따른 3성분계 조강콘크리트의 염소이온투과 결과를 나타낸 것이다. 플라이애쉬 및 고로슬래그 미분말이 첨가되지 않은 조강콘크리트의 투수등급은 재령 28일에 7,950쿨롱에서 재령 90일에 4,099쿨롱으로 감소하였으나, 플라이애쉬 10%의 첨가만으로도 재령 90일에 약 2,000쿨롱으로 2배이상 투수성이 감소되는 결과를 보이고 있다.

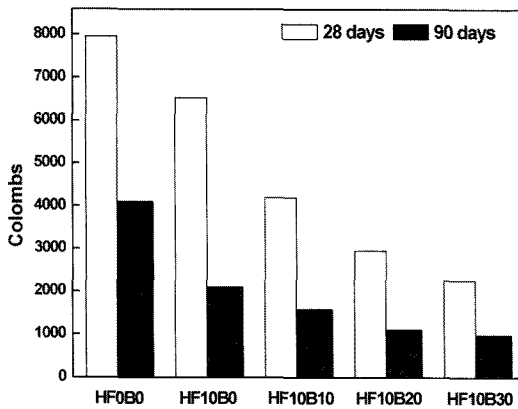
또한 고로슬래그 미분말이 첨가됨에 따라 3성분계 조강콘크리트의 투수등급은 현저히 낮아져 고로슬래그 미분말 30% 첨가시 재령 90일에 1,000쿨롱 이하의 매우

Table 4. Comparison of compressive and flexural strength of HE-TBC

Spec.	Fly-ash (%)	B.S (%)	W/B (%)	Air contents (%)	Compressive strength (MPa)					Flexural strength (MPa)		
					1 day	3 days	28 days	56 days	90days	7 days	28 days	90 days
HF0B0	0	0	45	3.6	19.8	21.8	40.7	43.7	45.2	10.4	11.2	12.5
HF10B0	10	0	45	4.1	18.8	21.0	42.3	44.8	46.9	10.2	10.9	13.0
HF10B10	10	10	45	4.3	17.5	22.2	41.3	42.1	45.3	9.1	10.7	12.3
HF10B20	10	20	45	4.5	16.4	20.3	40.2	43.1	46.3	8.9	10.4	13.3
HF10B30	10	30	45	3.9	15.2	18.3	39.3	41.9	45.0	7.6	9.9	13.2

**Table 5.** Results of permeability

Spec.	Permeability(Coulombs)			Rating
	28days	56days	90days	
HF0B0	7950.0	6629.4	4099.1	High
HF10B0	6530.0	4626.5	2069.1	Moderate
HF10B10	4200.0	2891.7	1581.3	Low
HF10B20	2950.0	2020.5	1101.6	Low
HF10B30	2250.0	1596.6	980.6	Very low



**Fig. 1.** Passed coulombs of HE-TBC.

낮은 투수등급을 보이는 것으로 나타났다. Fig. 1은 재령에 따른 통과전하량을 나타낸 것으로서, 플라이애쉬 10%와 고로슬래그 미분말이 20~30% 혼입된 3성분계 조강콘크리트는 조강콘크리트의 투수저항성보다 약 3~4 배이상의 향상을 보였다. 이러한 결과는 조강시멘트의 높은 분말도에 따른 시멘트 수화물의 치밀성과 더불어 포졸란 혼화재 사용으로 인한 콘크리트 자체의 내부구조가 치밀해져 투수저항성이 향상되는 것으로 판단된다.

**3.3. 내화학적품성에 미치는 영향**

플라이애쉬 및 고로슬래그 미분말 혼입률에 따른 3성분계 조강콘크리트의 황산 및 염산 침식에 따른 침식재령에 따른 중량감소 실험결과는 Fig. 2~3과 같다. 플라이애쉬만을 첨가한 2성분계 및 고로슬래그 미분말을 동시에 혼입한 3성분계 콘크리트 모두 황산에 대한 저항성이 개선되는 것을 알 수 있다. 그러나 Table 6에 나타난 침식재령에 따른 압축강도변화를 살펴보면, 황산 침식에 따라 모든 시편에서 압축강도가 크게 감소하는 것을 알 수 있다. 조강콘크리트의 경우 침식재령 28일에 압축강도가 43.7MPa에서 18.4MPa로 저하되었으며 HF10B30의 경우 41.9MPa에서 27.1MPa로 압축강도가 저하되었다. Fig. 4와 5에 나타난 압축강도비를 이용한 열화인자 침투속도계수를 살펴보면, 3성분계의 조강콘크리트의 황산침식 저항성은 플라이애쉬와 고로슬래그 미분말을 혼입할수록  $17.55 \sim 9.79 \text{mm} \sqrt{\text{year}}$  로 향상되는 것으로 나타났다. 염산에 의한 침식결과에서도 중량감소율은 변화가 없으나 강도가 매우 급격하게 저하되는 것으로 나타나 3성분계 조강콘크리트를 이용한 현장 적용시 내화학적성이 요구되는 곳에서의 활용은 매우 신중하게 고려되어야 할 것으로 판단되며, 그 원인에 대해서는 지속적인 연구가 요구된다.

**3.4. 3성분계 조강콘크리트의 내동결 특성**

3성분계 조강콘크리트의 동결융해실험을 수행한 결과 동결융해 사이클에 대한 상대동탄성계수의 변화와 내구성 지수는 Fig. 6~7과 같다. 플라이애쉬 및 고로슬래그 미분말을 사용하지 않은 조강콘크리트의 경우 동결-융해 반복주기 300사이클에서 내구성지수가 87, 포졸란혼화재를 혼입한 경우에는 89이상을 보여 내동결성을 갖는 것으로 평가되었다. 이러한 내동결성은 내부 공기량

**Table 6.** Compressive strength ration by chemical immersion

Spec.	Compressive strength of 56day (MPa)	Water 28day + Chemical immersion of 28day			
		5% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		5% HCl	
		Compressive strength after immersion	Deterioration coefficient	Compressive strength after immersion	Deterioration coefficient
HF0B0	43.7	18.4	17.55	17.2	18.63
HF10B0	44.8	21.0	15.77	17.0	19.20
HF10B10	42.1	23.2	12.88	18.9	16.50
HF10B20	43.1	25.2	11.77	20.1	15.85
HF10B30	41.9	27.1	9.79	21.3	14.35

Table 7. Result of air voids analysis of HE-TBC

Void size (μm)	HF0B0		HF10B0		HF10B10		HF10B20		HF10B30	
	1,000<	1,000>	1,000<	1,000>	1,000<	1,000>	1,000<	1,000>	1,000<	1,000>
Number of void	173	8	192	12	341	2	217	18	247	6
Air contents (%)	1.04	0.55	1.56	0.77	2.28	0.13	1.57	1.13	1.85	0.29
Total air contents(%)	1.59		2.33		2.41		2.7		2.14	
Spacing factor (μm)	442		487		299		459		379	
Durability Index	87		91		93		93		89	

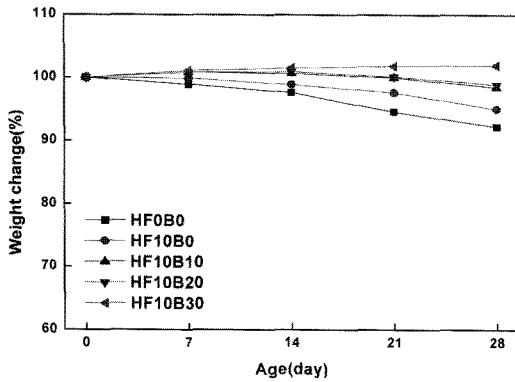


Fig. 2. Weight change ratio by sulfuric acid.

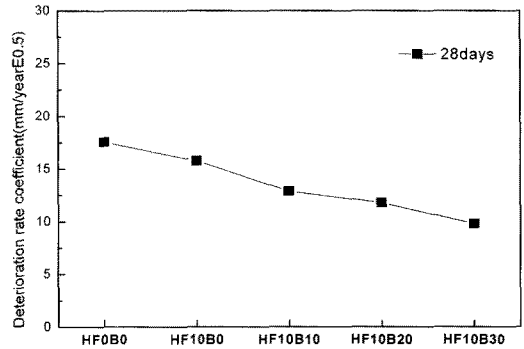


Fig. 4. Deterioration coefficient(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

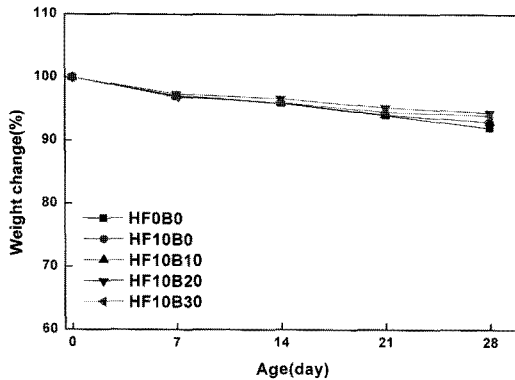


Fig. 3. Weight change ratio by chloric acid.

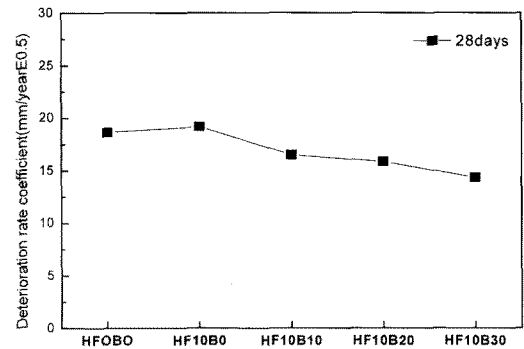


Fig. 5. Deterioration coefficient(HCl).

및 공극구조에 영향을 크게 받게 되는데 본 연구에서는 이를 보다 정량적으로 분석하기 위하여 화상분석을 실시한 후 내부 공기량을 크기별로 구분, 간격계수 등을 통하여 분석하였다. 조강시멘트를 이용한 3성분계 콘크리트의 공극 구조 분석결과는 Table 7과 같다. 플라이 애쉬 및 고로슬래그 미분말 첨가로 인하여 1,000 μm 이하의 연행공기량이 전체적으로 다소 증가하는 경향을

보였다. 그러나 3성분계 콘크리트 내부에서의 연행공극 및 간헐 공기량의 뚜렷한 변화는 없었으며 배합재료의 특성보다는 첨가되는 AE제량에 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 내동결성을 유추할 수 있는 간격계수 측정에서도 내동결성을 확보하기 위해 추천되는 250 μm를 모든 경우에서 벗어났으나 내동결성 측정에서는 내구성 지수 80이상의 우수한 내동결성을 나타내었다. 이러한 결과는, 매우 낮은 물시멘트비로 인하여 내부 수화물이 치밀하게 구성되어 콘크리트 내부로의 수분침투가

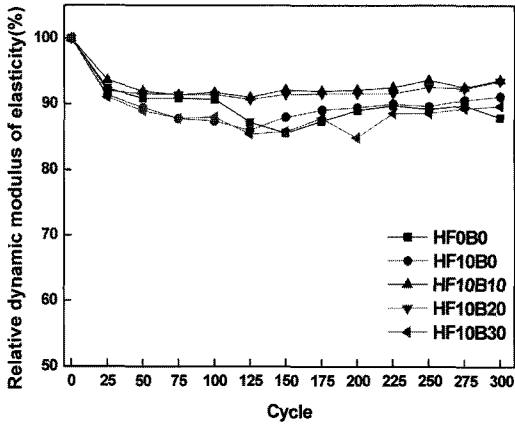


Fig. 6. Relative dynamic modulus of elasticity during freeze-thaw test.

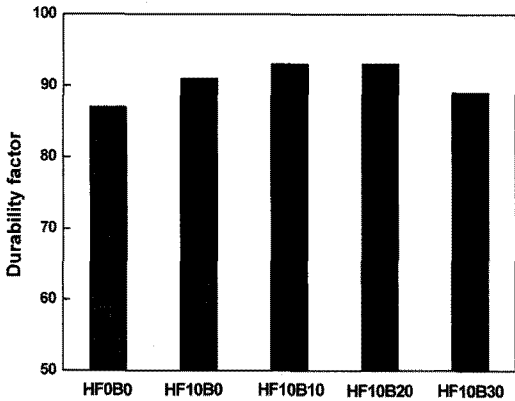


Fig. 7. Freeze-thaw durability index.

상당히 억제된 결과에 기인하는 것으로 판단된다. 따라서, 조강시멘트를 이용한 3성분계 콘크리트를 활용할 경우 적절한 공기량을 확보할 경우, 투수저항성 및 내동결성 향상에 문제가 없는 것으로 평가되었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 3성분계 콘크리트가 지니고 있는 초기 강도 지연에 대한 해결책으로 조강시멘트를 사용한 3성분계 조강콘크리트의 물성변화를 분석하였다. 이를 위하여 초기 및 장기재령에서의 3성분계 조강콘크리트의 강도발현 특성 및 내구특성 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 조강시멘트를 사용한 3성분계 조강콘크리트는 초기재령 3일 압축강도가 약 20MPa 이상의 초기강도 발

현 특성을 보였다. 또한, 플라이애쉬 10%, 고로슬래그 미분말 혼입률 30%까지의 초기 및 장기강도발현은 매우 안정적으로 이루어지는 것으로 나타나 이를 활용할 경우 현재 3성분계 콘크리트가 가지고 있는 강도발현 지연문제를 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 조강시멘트만을 사용한 조강 콘크리트에 비해 플라이애쉬 및 고로슬래그 미분말을 첨가함으로써 투수저항성을 약 3~4배이상 향상시킬 수 있는 것으로 평가되었다. 특히, 플라이애쉬 10%와 고로슬래그 미분말 30%의 3성분계 조강콘크리트는 재령 90일에 있어 1,000콜롱 이하의 매우 낮은 투수등급을 나타내어 조기강도 발현, 방수효과 등을 매우 크게 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 3성분계 조강콘크리트에 대한 황산 및 염산에 대한 침식저항성은 플라이애쉬와 고로슬래그 미분말 첨가로 인하여 염산보다는 황산에서 저항성이 향상되는 결과를 보였으나 전체적으로 개선효과는 미약한 것으로 나타났다. 특히, 중량변화율은 거의 없으나 강도저하현상이 두드러지게 나타나 3성분계 조강콘크리트를 현장에서 활용하기 위해서는 본 문제를 해결하여야 할 것으로 판단된다.

따라서 조강시멘트를 이용한 3성분계 조강콘크리트는 초기강도 지연문제 해결 및 방수효과에 있어 매우 우수한 결과를 입증하였으나 내화학약품성에 있어 추가적인 연구 및 보완이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 박상숙, 강화영, 한관수, 2007: 알칼리 활성반응을 이용한 플라이애쉬/슬래그 시멘트개발(1), 대한환경공학회지, 제 29권 제7호, pp. 801-809.
2. 배수호, 이준구, 2007: 3성분계 시멘트를 사용한 콘크리트의 내구성 평가, 대한토목학회논문집, 제27권 제2A호, pp. 271-276.
3. 이창수, 윤인석, 2003: 플라이애쉬와 고로슬래그 미분말을 복합 활용한 3성분계 혼합 콘크리트의 내구성능에 대한 실험적 연구, 한국구조물진단학회논문집, 제7권 제1호, pp.139-144.
4. 정철희, 김경민, 이진우, 배연기, 이재삼, 2005: 현장적용을 위한 3성분계 콘크리트의 초기강도 특성, 한국콘크리트학회 학술대회논문집, pp. 497-500.
5. 조일호, 양재성, 김진희, 1999: 3성분계 혼화제로서 사용한 콘크리트 특성, 한국콘크리트학회 학술대회논문집, pp. 95-101.
6. 이희중, 홍창우, 김경진, 2009: 고로슬래그 미분말과 플라

이에쉬를 이용한 3성분계 콘크리트의 기초물성에 관한 실험적 연구, 한국자원리사이클링학회지, 제18권 제4호, pp. 31-37.

7. 홍창우, 정원경, 심도식, 2008: *고로슬래그 미분말을 사용한 라텍스개질 콘크리트의 화학적 침식 및 탄산화특성*,

한국자원리사이클링학회지, 제17권 제5호, pp. 11-18.

8. 일본토목학회, 2001: *콘크리트표준시방서(유지관리편)*, pp. 128-130.

9. 쌍용양회 기술연구소, 2009: <http://ssrc.ssy.co.kr/index.html>

**洪 昌 佑**

- 현재 충주대학교 토목공학과 교수
- 당 학회지 제15권 2호 참조

**鄭 元 京**

- 현재 (주)삼우IMC 기술연구소 선임연구원
- 당 학회지 제17권 5호 참조

**학회지 광고게재 안내**

격월로 연간 6회 발간되는 한국자원리사이클링 학회지에 광고를 게재하고 있습니다. 알찬 내용의 학회지가 될 수 있도록 특별회원사 및 관련기관에서는 많은 관심을 가지고 협조하여 주시기 바랍니다. 광고게재 비용은 아래와 같으며, 기타 자세한 내용 및 광고게재에 관해서는 학회로 문의하시기 바랍니다.

	칼라인쇄 (1회)	흑백인쇄 (1회)	1년 6회 게재 기준			
			칼라 인쇄		흑백 인쇄	
			일 반	특별회원사	일 반	특별회원사
앞표지 안 쪽	50 만원	30 만원	180 만원	140 만원	130 만원	100 만원
뒷표지 안 쪽	50 만원	30 만원	180 만원	140 만원	130 만원	100 만원
뒷표지 바깥쪽	60 만원	40 만원	200 만원	150 만원	150 만원	120 만원
학회지 안(내지)	30 만원	20 만원	100 만원	80 만원	80 만원	50 만원

※Film을 주시는것을 기준으로 책정된 금액입니다.