

플라이 애시와 고로슬래그 미분말의 복합사용한 콘크리트의 내구성능 향상 효과

Combined Effect of Fly Ash and Granulated Blast Furnace Slag on Durability Performance

이 창 수* 설 진 성** 윤 인 석*** 박 종 혁***
Chang-Soo Lee Jin-Sung Seol In-Seok Yoon Jong-Hyuck Park

ABSTRACT

Ternary blended concrete containing both fly ash and granulated blast furnace slag is initial cost effective, and environment friendly. Furthermore, it has many technical advantages such as improvement of long term compressive strength, rheology property, reduction of hydration heat, etc. However, use and data on the performance of ternary blended concrete are limited, and it is necessary to study on the adoption of this technology.

This study examined the durability performance of ternary blended concrete comparing with binary blended concrete and ordinary portland concrete. From the results of this study, it was concluded that ternary blended concrete is very suitable to submerged zone under maine environment.

1. 서론

플라이 애시와 고로슬래그 미분말을 함유한 삼성분계 콘크리트는 수화열 저감은 물론 혼화재의 충전효과 및 상호 보완효과로 많은 기술적 장점을 갖는데¹⁾ 국외에서는 덴마크의 Stoerbelt 교량/ 터널, 홍콩공항을 연결하는 Chek Lap Kok 교량 등의 대규모 사회기반 시설물에 활용된 바 있으며 국내에서는 부산 광안대교의 주탑 등에 일부 시공된 바 있다.²⁾⁻³⁾ 그러나 아직까지 적극적으로 사용되지 못하고 있는 것이 현 상황으로서 이에 대한 기술적 한계를 이해하여 시공에 따른 장, 단점을 면밀히 분석하여야만 한다. 그래서 본 연구는 보통시멘트 및 플라이애시, 고로슬래그 미분말을 활용한 단일효과와 대비하여 혼합 사용시 복합효과로 인한 내구성 향상효과를 규명하고 내구성 측면에서 삼성분계 콘크리트의 향후 활용 가능성을 고찰하고자 하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

사용된 보통포틀랜드시멘트는 비중 3.14, 분말도 3,422 cm/g 이며, 비중 2.59, F.M 2.78인 천연강

* 정희원, 서울시립대학교 토목공학과 교수

** 정희원, 이지엔지니어링 회장

*** 서울시립대학교 토목공학과 박사과정

사와 굵은골재 최대치수 25mm, 비중 2.64, F.M 7.58인 쇄석을 이용하였다. 혼화제는 목표슬럼프와 공기량을 확보하기 위하여 리그닌술폰산 표준형 AE제와 감수제를 적정 사용하였다.

2.2 콘크리트의 배합

사용된 배합은 Table 1의 배합에 따라 KS F 2403에 의해 시험체를 제작하고 각 실험항목별 실험 전까지 28일 동안 표준 양생하였다.

Table 1 Mix Proportions of Concrete

Mix Symbol	G _{max} (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)				
						C	FA	S	A	
OPC	25	12±2.0	4.5±1.0	42	42	160	380	-	711	1032
FC10	25	12±2.0	4.5±1.0	42	42	160	342	38	706	1025
GBC	25	12±2.0	4.5±1.0	42	42	160	380	-	695	1009
TBC10	25	12±2.0	4.5±1.0	42	42	160	342	38	692	1005
TBC20	25	12±2.0	4.5±1.0	42	42	160	304	72	690	1003

2.3 실험방법

(1) 콘크리트의 초기표면 흡수율

28일 표준양생한 콘크리트를 3일동안 전기로에 105℃조건에서 완전건조시키고 BS 1881에 따라 ISAT를 수행하였다.

(2) 내화확약품성

5% H₂SO₄ 수용액과 10% Na₂SO₄ 수용액에 28일, 56일 동안 침지하여 RIREM⁴⁾과 일본토목학회⁵⁾에서 제안된 식 (1)와 식 (2)에 의하여 열화인자 침투속도계수를 평가하였다.

$$s_t = \frac{d}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{F_t}{F_s}} \right) \quad (1)$$

$$y = s_t \sqrt{t} \quad (2)$$

여기서, s_t : 열화인자 침투깊이(mm), d : 시험체의 직경(mm), F_t : 표준양생 시험체 강도(kgf/cm²), F_s : 열화된 시험체의 강도(kgf/cm²), t : 열화기간(years), b : 열화인자 침투속도계수(mm/year^{1/2})이다.

(3) 중성화 촉진 실험

콘크리트의 촉진실험 조건은 28일 수중양생 이후 이산화탄소 농도 7%, 온도 50℃, 습도 50%의 조건 하에서 중성화 촉진실험을 행하였다.

(4) 염화물 침투 실험

28일 표준양생 이후 3M의 NaCl 수용액 침지실험을 하고 표면으로부터 2cm까지 시료를 추출하여 Fick의 확산 제2법칙에 의하여 염화물 확산계수를 구하여 확산성을 판단하였다.

3. 실험결과 및 분석

28일 및 56일 압축강도를 측정하여 보인 것이 Fig. 1로서 56일 강도까지 가장 높은 강도 향상을 보인 것이 고로 슬래그 콘크리트인 것으로 나타났다. 삼성분계 콘크리트는 28일 강도에서 보통 콘크리트보다 낮은 강도를 보이고 있으나 56일 재령에서 보통 콘크리트와 유사한 수준의 강도발현을 이룰 수 있음을 알 수 있으며 재령경과에 따라 강도발현성은 지속적인 것으로 기대된다.

Fig. 2는 콘크리트의 투기성 판단을 위한 지표로서 초기 흡수율을 평가한 결과를 보인 것으로 고로슬래그 콘크리트와 플라이애시 10%를 함유한 삼성분계 콘크리트가 가장 우수한 내흡수율을 보였다. 56일 재령에서 고로슬래그 콘크리트는 치밀성이 가장 증가하여 내흡수율이 가장 우수하였다.

Fig. 3은 5% 황산용액에 침지한 콘크리트의 열화깊이를 보인 것으로 보통콘크리트에 대비하여 성분 및 삼성분계 콘크리트가 열화깊이가 매우 감소하였다.

Fig. 4는 10% 황산용액에 침지한 콘크리트의 열화깊이를 보인 것으로 플라이 애시 콘크리트와 삼성분계 콘크리트가 열화저항성에 대한 유효율이 높은 것을 알 수 있다. 따라서 삼성분계 콘크리트는 내화학성이 요구되는 하수암거 및 복개구조물 등의 사용에 적합할 것으로 판단된다.

Fig. 5는 각종 콘크리트의 중성화에 대한 저항성을 판단하기 위한 것으로 높은 혼화재의 사용으로 보통콘크리트보다 삼성분계 콘크리트가 중성화 깊이가 다소 빠르게 진행되었다. 따라서 삼성분계 콘크리트로 시공시 보통콘크리트 배합보다 물-시멘트비를 다소 감소시켜 공극감소를 유도할 필요성이 있을 것으로 사료된다.

정량적인 염화물 확산성 평가를 수행하기 위하여 콘크리트 종류 및 재령경과에 따른 염화물 확산계수를 산정한 것이 Fig. 6이다. 혼합 콘크리트가 보통콘크리트보다 염화물 확산계수가 감소하였으며 특히, 삼성분계 콘크리트는 다른 콘크리트보다도 더욱 차염효과가 우수하였는데 6개월 침지에서 보통콘크리트의 0.56~0.58배에 준하는 낮은 확산성을 보였다. 한편, 재령경과에 따른 염화물 확산계수도 다소 감소하였는데 보통콘크리트에 대비하여 0.51~0.56배로서 시간경과에 따른 염화물 확산계수가 뚜렷히 감소하는 현상을 보였다.

이상의 본 연구결과와 관련문헌을 종합하여 향후 삼성분계 콘크리트의 활용 가능성에 대해서 살펴보면 삼성분계 콘크리트는 장기 강도, 내화학성, 차염성 등에서 우수한 저항효과를 얻을 수 있으므로 내구적인 콘크리트를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 고로슬래그 및 플라이 애시의 사용으로 인한 낮은 강도발현성, 민감한 양생조건, 빠른 중성화 속도가 약점이 된다. 따라서 삼성분계 콘크리트는 시공시 보통콘크리트보다 물-시멘트비를 다소 감소시키거나 양생일을 증가시켜 중성화에 대한 저항성을 추가적으로 확보할 필요가 있다.

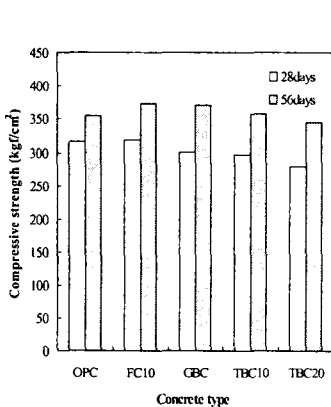


Fig. 1 Compressive strength with concrete type

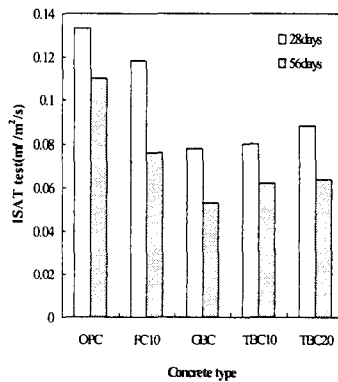


Fig. 2 ISAT value with concrete type

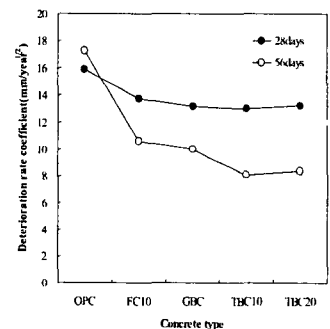


Fig. 3 Penetration depth by 5% H₂SO₄ solution

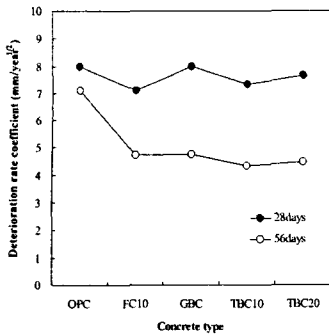


Fig. 4 Penetration depth by 10% Na₂SO₄ solution

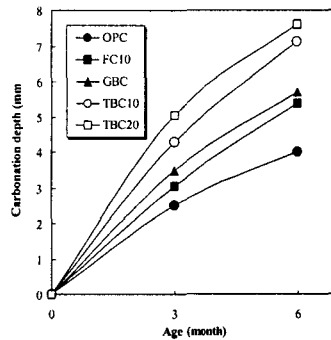


Fig. 5 Carbonation with concrete type

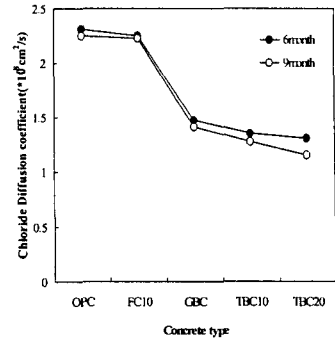


Fig. 6 Chloride diffusivity with concrete type

5. 결 론

본 연구결과를 종합분석하면 삼성분계 콘크리트는 보통콘크리트 보다 초기강도는 낮은 단점이 있으나 내구성 확보에 유리한 것으로 요약된다. 특히, 내화학약품성의 향상 및 재령경과가 지속됨에 따른 염화물 확산성의 장기적인 감소효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 삼성분계 콘크리트는 보통콘크리트보다 중성화에 대한 저항성이 취약하므로 이산화탄소가 과다한 지하철 콘크리트 구조물과 해양성 환경에서 중성화와 염화물의 복합열화를 받을 수 있는 대기 및 비말대 부위에는 오히려 열화속도가 빠르게 진전될 우려가 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

1. D.S. Shen and Z.E. Mao, "High Quality Fly Ash Concrete," Shanghai Science and Technology Press, China, pp.54-57, 1992.
2. M.R. Jones, R.K. Dhir, and B.J. Magee, "Concrete Containing Ternary Blended Binders: Resistance to Chloride Ingress and Carbonation," *Cement and Concrete Research*, Vol.27, No.6, pp.825-831,1997.
3. http://www.ssangyongcement.co.kr/unit_index.htm.
4. RIREM Report 16, Penetration and Permeability of Concrete : Barriers to Organic and Contaminating Liquids, E & FN SPON, pp.209, 1997.
5. 日本土木學會 콘크리트標準示方書(維持管理編), pp.128-130, 2001.