

3성분계 고성능 콘크리트 개발을 위한 기초 특성 분석

The Analysis of Fundamental Property for Developing High Performance Concrete of Ternary System

박 병 관* 최 성 용* 김 수 영** 김 복 규*** 한 민 철**** 한 천 구*****
Park, Byung Kwan Choi, Sung Yong Kim, Soo Yung Kim, Bok kyu Han, Min Cheol Han, Cheon Goo

ABSTRACT

This study analyzed the basic characteristics of concretes to develop 3 ingredients high performance concrete that displaced BS and FA, and the results are as follows. As part of fresh concrete characteristics, the flow was shown more increase than OPC with increase in admixture material displacement rate, and air amount tended to decrease with increase in admixture displacement rate. As hardened concrete characteristics, compressive strength decreased below OPC at early age with increase in BS and FA displacement rate, however at age 28 days, it was similar to OPC or increased above that. Particularly, at B30F15 with age 28 days, its compressive strength was about 15% higher than OPC

요약

본 연구에서는 BS와 FA를 치환한 3성분계 고성능 콘크리트의 개발을 위해 기초적 특성을 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 굳지않은 콘크리트 특성으로, 유동성은 혼화재 치환율이 증가할수록 OPC보다 증가하는 것으로 나타났고, 공기량은 전반적으로 혼화재 치환율이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다. 경화 콘크리트 특성으로, 압축강도는 BS와 FA의 치환율이 증가할수록 초기재령에서는 OPC보다 저하하는 것으로 나타났으나, 재령 28일에서는 OPC과 유사하거나 그 이상으로 증가하는 것으로 나타났다. 특히 B30F15일때 재령 28일에서 OPC보다 약 15% 정도 높은 최대 압축강도 값을 발휘하였다.

* 정회원, 청주대학교 대학원 석사과정
** 정회원, 풍림산업(주) 기술연구소 과장
*** 정회원, 풍림산업(주) 기술연구소 소장
**** 정회원, 청주대학교 건축공학부 전임강사, 공학박사
***** 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수, 공학박사

1. 서론

최근 건축물들이 고층화, 대형화 되어짐에 따라 고성능 콘크리트의 사용량이 증가하고 있는 추세이다. 이로 인해 콘크리트의 품질 및 성능을 향상시키면서 원가를 절감할 수 있는 고로슬래그 미분말(이하 BS)과 플라이애시(이하 FA)와 같은 혼화제의 사용량이 증가하고 있고, 이에 따라 국내·외에서는 3성분계 콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

그러나, 종전의 연구에서는 대부분 3성분계의 효과를 분석한 연구임에도 불구하고 2차원적으로 분석하여 상호작용 등에 대하여는 이해하기가 어려운 점이 존재하였다.

그러므로, 본 연구에서는 BS 및 FA의 치환율 변화에 따른 3성분계 콘크리트의 기초적 특성을 3차원적인 그래프로 분석함으로써, 3성분계 고성능 콘크리트 개발을 위한 기초적 자료로 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

표 1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합 사항은 표 2와 같으며 그림 1은 혼화제의 치환방법에 대해 나타낸 것이다.

즉, 실험요인으로 W/B 30% 1수준에 대하여고, BS 20%와 FA 10%를 치환한 것을 플레인 배합으로 배합설계한 다음 실험변수로서 BS와 FA를 동시에 치환한 {단, 폭발방지용으로 모든 배합은 유기섬유로서 폴리프로필렌 섬유(이하 PP) 0.025%와 나일론 섬유(이하NY) 0.025%를 동시에 혼입함} 총 25배치를 실험계획 하였다. 이때, 플레인 콘크리트의 목표 슬럼프플로우는 600±100mm, 목표 공기량은 3.0±1.0%로 하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적질량을 측정하고, 경화 콘크리트에서는 계획된 재령에서 압축강도를 측정하는 것으로 하였다.

실험 요 인		시 험 수 준		
배합 사항	W/B(%)	1	30	
	목표 슬럼프 플로우(mm)	1	600±100	
	목표 공기량 (%)	1	3.0±1.0	
	혼화제 치환율 (%)	BS	25	• 0, 10 20 30 40
		FA		• 0, 5, 10, 15, 20
유기섬유 혼입율 (%)	1	• PP(0.025%) + NY(0.025%)		
실험 사항	굳지않은 콘크리트	2	• 슬럼프플로우 • 공기량 • 단위용적질량	
	경화 콘크리트	1	• 압축강도 (1, 3, 7, 28일)	

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 1종 보통 포틀랜드 시멘트(밀도: 3.15g/cm³, 분말도: 3,360cm²/g)이고, 골재로서 잔골재는 국내산 P사의 해사와 부순모래를 70:30으로 혼합한 혼합사(밀도: 2.60g/cm³, 조립율:

표 2 혼화제 관련 실험 배합표

종 류	W/B (%)	W (kg/m ³)	S/a (%)	AE제 (%)	SP제 (%)	단위질량(kg/m ³)				
						C	BS	FA	S	G
플레인	30	170	47	0.025	0.8	367	113	57	745	860

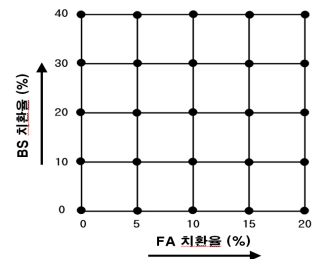


그림 1 혼화제 혼입방법

2.70)를 사용하였고, 굵은골재는 국내P사산 부순굵은골재(밀도: 2.66 g/cm³, 조립율: 6.56)를 사용하였다. 혼화제로 BS(밀도: 2.90g/cm³, 분말도: 4,324cm²/g)와 FA(밀도: 2.24g/cm³, 분말도: 3,404cm²/g)는 국내산을 사용하였다. 유기섬유는 국내산 S사의 PP섬유(길이: 19mm, 직경: 0.04mm, 밀도: 0.91g/cm³)와 NY섬유(길이: 12mm, 직경: 0.012mm, 밀도: 1.15g/cm³)를 사용하였고, 화학혼화제로 고성능 감수제는 폴리칼본산계(밀도: 1.05g/cm³)를 AE제는 고급 지방산계(밀도: 1.01g/cm³)를 사용하였다.

2.3 실험방법

실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로, 슬럼프플로우는 KS F 2594, 공기량은 KS F 2421, 단위용적질량은 KS F 2409에 의거 실시하였다. 경화 콘크리트의 압축강도시험은 계획된 재령에서 KS F 2405에 의거 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트 특성

그림 2는 혼화제 종류 및 치환율 변화에 따른 슬럼프플로우를 나타낸 것이다. 먼저, 플레인 배합의 경우는 목표 슬럼프플로우를 만족하는 것으로 나타났고, 혼화제의 치환율이 증가할수록 유동성은 증가하는 경향이 나타났으며, BS 40%+FA 20%(이하 B40F20)의 경우에는 재료분리 성향을 나타내었다.

즉, 혼화제로서 BS를 단독 치환한 경우 치환율 변화에 따라 OPC를 100%사용한 배합(이하 OPC)에 비해 치환율 10%, 20%, 30%, 40%는 각각 14%, 21%, 50%, 54% 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 혼화제로서 FA를 단독 치환한 경우는 OPC에 비해 치환율 10%, 20%, 30%, 40%는 각각 6%, 16%, 32%, 45% 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 FA의 경우 둥근 모양의 입자로 인한 볼베어링 작용 효과에 의한 유동성 증가로 분석된다. 혼화제의 혼합사용에 따라서는 유동성이 증가하는 것으로 나타났는데, B10F15, B10F20, B20F10, B20F15, B30F5, B30F10, B30F15의 경우에만 목표 슬럼프플로우 600±100mm를 만족하였고, B10F5, B10F10, B20F5 배합은 목표 슬럼프플로우 하한치인 500 mm 이하로 나타났으며, B20F20, B30F20, B40F5, B40F10, B40F15, B40F20 배합은 목표 슬럼프플로우 상한치인 700mm 이상으로 나타났다.

그림 3은 혼화제 종류 및 치환율 변화에 따른 공기량을 나타낸 것이다. 먼저, 플레인 배합의 경우, 목표 공기량을 만족하는 것으로 나타났고, 혼화제의 치환율이 증가할수록 낮아지는 것으로 나타났다.

즉, 혼화제로서 BS를 단독으로 치환한 경우는 OPC에 비해 2~16% 감소하는 것으로 나타났고, FA의 경우는 OPC에 비해 6~25% 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 FA의 경우, 플라이애시에 포함되어 있는 미연소 탄분의 AE제 흡착작용으로 공기포가 소멸하여 공기량이 감소되는 것으로 분석된다. 혼화제의 혼합사용에 따라서는 공기량이 감소하는 것으로 나타났는데, B30 F20, B40F20을 제외한 모두는 목표 공기량 3.0±1.0%를 만족하는 것으로 나타났다.

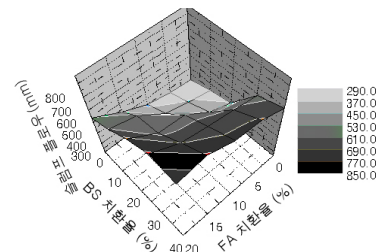


그림 2 혼화제 치환율 변화에 따른 슬럼프 플로우

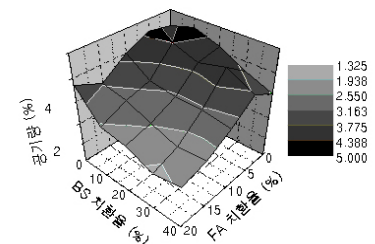


그림 3 혼화제 치환율 변화에 따른 공기량

3.2 경화 콘크리트 특성

그림 4~7은 혼화제 종류 및 치환율 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것이다,

전반적으로 혼화제 종류 및 치환율 변화에 따른 재령 28일 압축강도는 59~68MPa로 고강도 범위를 나타내었고, 혼화제 치환율별 재령경과에 따른 압축강도는 초기재령의 경우, OPC에 비해 저하하는 것으로 나타났으나, 재령 28일에서는 OPC와 동등 이상의 수준을 나타내었다.

즉, 혼화제로서 BS를 단독으로 40% 까지 치환한 경우, 재령 3일의 압축강도는 OPC에 비해 약 20% 이하 범위에서 저하하는 것으로 나타났고, 재령 28일에는 유사하거나 약간 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 BS의 잠재수경성 반응에 기인한 것으로 분석된다. 혼화제로서 FA를 단독으로 20% 까지 치환한 경우 재령 3일의 압축강도는 OPC에 비해 약 5% 이하의 범위에서 저하는 것으로 나타났고, 재령 28일에서는 약 25% 범위 까지 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 FA와 시멘트 경화체의 경계면에 포졸란반응 생성물로 충전되어 상호간의 결합이 강화된 것으로 분석된다.

BS와 FA의 혼합사용에 따른 압축강도는 재령 3일의 경우, B10F5, B10F10, B10F15가 OPC와 거의 근접한 것으로 나타났고, 재령 28일에서는 모두 OPC와 동등이상의 수준을 나타냈었는데, 특히, B30F15의 경우 OPC에 비해 약 15% 정도로 가장 크게 증가하는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 BS와 FA를 치환한 3성분계 고성능 콘크리트의 개발을 위해 기초적 특성을 분석하였는데, 그 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 굳지않은 콘크리트 특성으로, 먼저 유동성은 혼화제 치환율이 증가할수록 OPC보다 증가하는 것으로 나타났는데, FA를 치환한 경우가 BS를 치환한 경우보다 더 크게 증가하는 것으로 나타났다.

2) 공기량은 전반적으로 혼화제 치환율이 증가할수록 OPC보다 감소하는 경향을 나타내었는데, B30F20, B40F20을 제외한 기타배합은 모두 목표 공기량을 만족하는 것으로 나타났다.

3) 경화 콘크리트 특성으로, 압축강도는 전반적으로 BS와 FA의 치환율이 증가할수록 초기재령에 OPC보다 저하하는 것으로 나타났고, 재령 28일에서는 OPC와 유사하거나 그 이상으로 증가하는 것으로 나타났는데, B30F15일때 OPC보다 15% 정도 증가하여

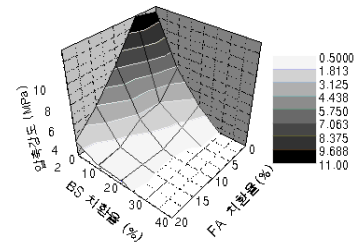


그림 4 혼화제 치환율 변화에 따른 1일 압축강도

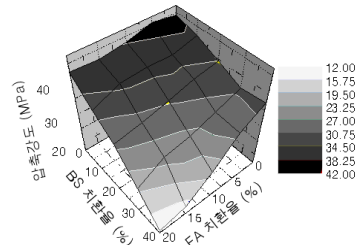


그림 5 혼화제 치환율 변화에 따른 3일 압축강도

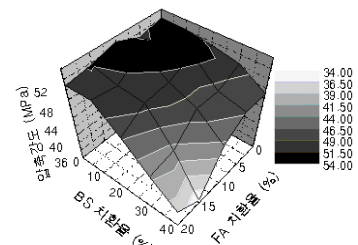


그림 6 혼화제 치환율 변화에 따른 7일 압축강도

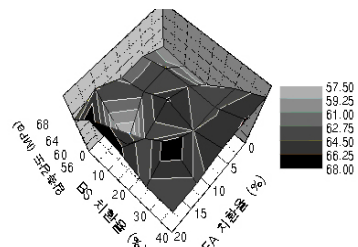


그림 7 혼화제 치환율 변화에 따른 28일 압축강도

최대값을 발휘하였다.