

혼화재 치환 콘크리트의 압축강도 및 건조수축에 관한 연구

A Study on the Compressive Strength and Drying Shrinkage of Concrete Depending on Mineral Admixture Kinds

주 은 희* 손 명 수** 전 현 규*** 차 천 수**** 김 성 수***** 한 천 구*****
Joo, Eun-Hi Shon, Myoung-Soo Jeon, Hyun-Kyu Cha, Cheon-Soo Kim, Seong-Soo Han, Cheon-Goo

ABSTRACT

This paper is to investigate the mixture proportion, compressive strength and drying shrinkage of concrete depending on mineral admixtures such as fly ash(FA), blast furnace slag(BS) and cement kiln dust(CKD) under various contents of admixtures. The use of CKD had little effect on strength development at 3 days, while the use of FA and BS lead to similar compressive strength compared with that of control concrete. Concrete with CKD exhibited a reduction of compressive strength at 91 days, meanwhile concrete with FA and BS had a increase compared with that of control concrete. Drying shrinkage of concrete depending on CKD and BS increase compared with that of control concrete about 10~20%, while the use of FA exhibited reduce compared with that of control concrete about 10~15%.

1. 서 론

현재 건설공사 실무현장에서 혼화재로 주로 사용되는 것으로는 플라이애쉬(FA), 고로슬래그 미분말(BS) 등을 예로 들 수 있다.

그런데 최근에는 시멘트 제조과정 중 클링커 소성 과정에서 발생하는 비산분진을 백필터로 포집한 킬른더스트(CKD)를 혼화재로서 사용하는 경우도 검토되고 있는데, 이러한 CKD는 현재 시멘트 소성 과정에 재투입하여 활용하고 있지만, 입자가 미세하여 예열기를 통해 반복하여 순환하기 때문에 시멘트 생산 효율의 저하를 일으키고, 강제로 킬른내에 투입된 경우는 킬른관 내부의 스케일을 발생시켜 제조설비의 효율성을 저하하는 등의 문제점을 유발시키고 있다. 이러한 CKD는 주성분이 탄산칼슘이기 때문에 시멘트의 수화반응에 전혀 지장이 없고 저온에서의 응결 촉진 및 초기강도 발현에 효과적인 것이 기왕의 연구를 통해 입증된바 있어 실무에서 문제시 되고 있는 FA 및 BS의 초기강도 저하 문제에 대한 해결책으로써 CKD의 가능성 및 활용성을 검토하고자 한다.

이에 관해 전보에서는 굳지않은 콘크리트의 특성은 보고하였고, 본 연구에서는 경화콘크리트의 특

* 정회원, 청주대학교 대학원 석사과정

** 정회원, LG건설 기술연구소 대리

*** 정회원, LG건설 기술연구소 과장

**** 정회원, 청주대학교 대학원 박사과정

***** 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수

성 중 압축강도 및 길이변화에 대하여 검토하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획 및 콘크리트의 배합은 표 1 및 표 2와 같다. 우선 배합사항으로는 W/B 40, 45, 50%의 3수준에 대하여 CKD, FA 및 BS 치환율은 0, 10, 20%의 3수준으로 설정하였다. 이때 혼화제를 치환하지 않은 플레인의 목표슬럼프 및 목표공기량을 각각 150 ± 15 mm, 4.5 ± 1.5 %가 되도록 SP제 및 AE제를 조절하는 것으로 하였다.

2.2 사용재료

표 3, 4 및 5는 CKD, FA 및 BS의 물리적 성질을 나타낸 것이다. 시멘트는 국내산 A사의

표 1. 실험계획

배합 사항	W/B(%)	3	40, 45, 50
	목표슬럼프(mm)	1	150 ± 15
	목표 공기량(%)	1	4.5 ± 1.5
	혼화제 종류	4	Plain, CKD, FA, BS
	치환율(%)	3	0, 10, 20
실험 사항	경화 콘크리트	2	· 압축강도 · 길이변화

표 3. CKD의 물리적 성질 및 화학성분

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	화학성분(%)								
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	
2.67	8,200	9.65	3.70	1.54	43.6	1.40	0.77	0.35	0.06	

표 4. FA의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	강열감량 (%)	압축강도비 (%)	SiO ₂ (%)	습분 (%)	단위수량비 (%)
2.22	3,850	4.2	92	67.5	0.2	100

표 5. BS의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	화학성분(%)			
		MgO	SO ₃	강열감량	염화물 이온
2.91	4,463	5.90	2.78	0.5	0.001

표 2. 콘크리트의 배합사항

기호	W/B(%)	단위수량 (kg/m ³)	혼화제			S/a (%)	SP/C (%)	AE/C (%)	질량배합(kg/m ³)			
			CKD	FA	BS				시멘트	혼화제	잔골재	굵은골재
Plain	40	175	0	0	0	42.0	0.88	0.029	438	0.0	684	993
CKD 10			10	0	0		0.95	0.030	394	44.0	681	989
CKD 20			20	0	0		1.00	0.033	350	87.5	679	985
FA 10			0	10	0		1.00	0.032	394	44.0	678	984
FA 20			0	20	0		1.00	0.038	350	87.5	672	975
BS 10			0	0	10		0.95	0.033	394	44.0	683	991
BS 20			0	0	20		0.95	0.035	350	87.5	681	989
Plain			45	175	0		0	0	43.0	0.75	0.026	389
CKD 10	10	0			0	0.85	0.028	350		38.9	715	996
CKD 20	20	0			0	0.85	0.030	311		77.8	712	992
FA 10	0	10			0	0.90	0.030	350		38.9	711	991
FA 20	0	20			0	0.95	0.033	311		77.8	706	984
BS 10	0	0			10	0.95	0.030	350		38.9	716	998
BS 20	0	0			20	0.95	0.030	311		77.8	715	996
Plain	50	175			0	0	0	43.5		0.70	0.020	350
CKD 10			10	0	0	0.85	0.022		315	35.0	737	1,006
CKD 20			20	0	0	0.85	0.024		280	70.0	735	1,003
FA 10			0	10	0	0.85	0.028		315	35.0	734	1,002
FA 20			0	20	0	0.90	0.032		280	70.0	729	995
BS 10			0	0	10	0.85	0.030		315	35.0	738	1,008
BS 20			0	0	20	0.85	0.029		280	70.0	737	1,006

보통포틀랜드시멘트(밀도:3.15g/cm³, 분말도: 3,265cm²/g), 골재로써 잔골재는 인천 중구 항동에서 채취한 세척사(표건밀도:2.58g/cm³, 흡수율:1.12%), 굵은골재는 경기도 광주산 25mm 부순골재(표건밀도: 2.58g/cm³, 흡수율:1.2%)를 사용하였다. 혼화제로 고성능 감수제는 국내산 D사의 나프탈렌계, AE제는 빈줄계를 사용하였다.

2.3 실험방법

본 실험에서의 경화콘크리트 특성으로서 압축강도는 KS F 2405, 길이변화는 KS F 2424의 다이얼 게이지법에 의하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 압축강도 특성

그림 1은 재령별 혼화재 치환율에 따른 압축강도를 나타낸 것이고, 그림 2는 CKD 치환 콘크리트의 압축강도와 FA 및 BS 치환 콘크리트의 압축강도를 비교하여 나타낸 것이다. 먼저 전반적으로 W/B가 작을수록 재령이 증가할수록 압축강도는 증가하는 것으로 나타났다.

혼화재 종류에 따라서는 CKD를 치환한 경우 재령 3일에서는 거의 유사한 강도 발현을 나타내었고, 재령 28일 및 91일에는 플레인보다 저하하는 경향을 나타내었으며, 치환율이 증가할수록 강도는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 초기에서는 CKD의 탄산칼슘 및 알칼리 성분에 의해 초기 수화반응이 촉진된 것으로 사료되고, 재령이 증가함에 따라 CKD는 직접적인 반응을 일으키는 반응성 물질이 아니기 때문에 강도발현이 작은 것으로 분석되며, 치환율이 증가할수록 시멘트의 감소로 인하여

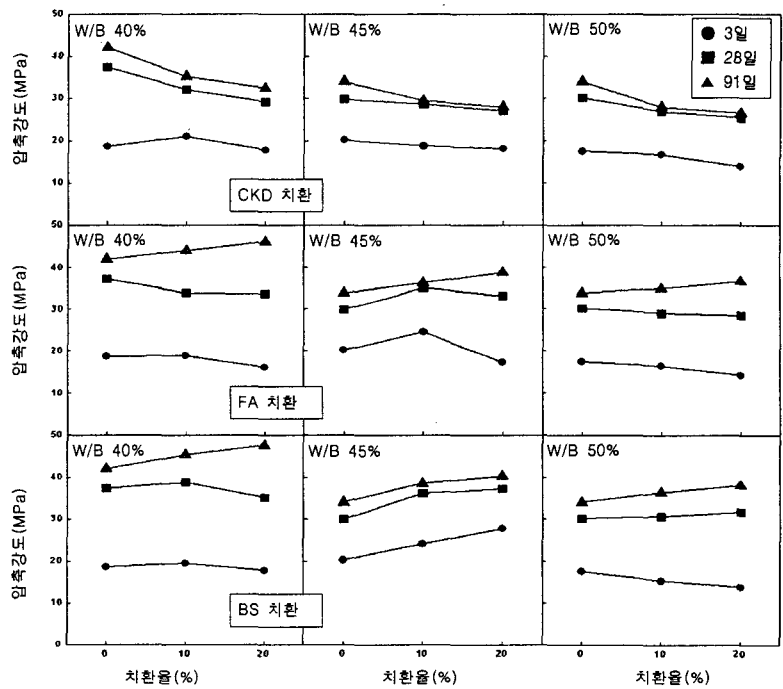


그림 1. 재령별 혼화재 치환율에 따른 압축강도

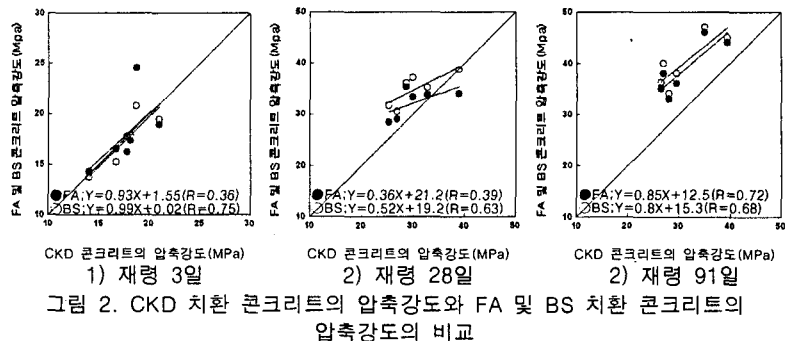


그림 2. CKD 치환 콘크리트의 압축강도와 FA 및 BS 치환 콘크리트의 압축강도의 비교

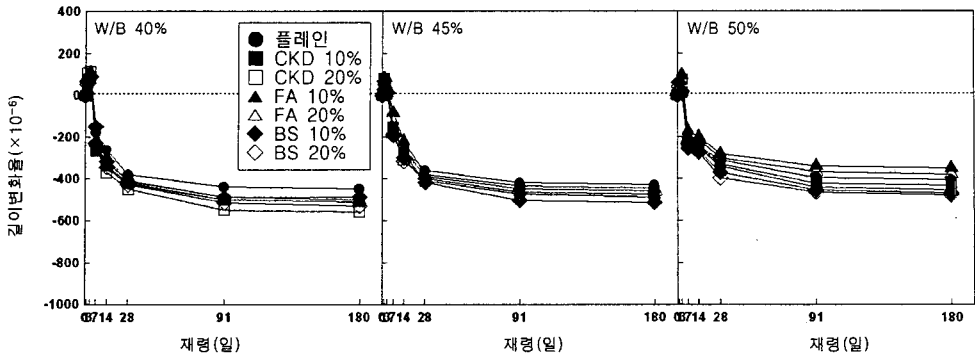


그림 3. W/B 및 혼화재 치환율 변화에 따른 건조수축 길이변화를

압축강도는 저하 한 것으로 사료된다. FA를 치환한 경우 재령 3일에서는 플레인과 유사한 강도발현 성능을 보였지만 재령 28일 및 91일에서는 플레인보다 강도가 증가하는 것으로 나타났고, 치환율이 증가할수록 강도는 증가하는 것으로 나타났다. 이는 재령이 경과함에 따른 포졸란 반응에 의한 규산 칼슘의 생성으로 인해 강도가 증진된 것으로 분석된다. BS를 치환한 경우 재령 3일에서는 플레인과 비교하여 볼 때, 다소 증가하거나 유사한 강도 발현 성능을 보였지만, 재령 28일 및 91일에서는 혼화재 치환율이 증가할수록 강도가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 초기에는 슬래그와 물의 접촉이 차단되어 반응을 하지 않지만 알칼리나 황산염에 의해 막이 파괴되면서 불용성의 물질이 석출되어 경화하기 시작하는 잠재수경성 반응에 의하여 강도가 증가한 것으로 분석된다.

3.2 건조수축 길이변화

그림 3은 W/B 및 혼화재 치환율 변화에 따른 재령별 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이다. 재령이 증가함에 따라 건조수축 길이변화율은 기증양생을 시점으로 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 또한 W/B별 혼화재를 치환한 경우 플레인과 비교하여 건조수축 길이변화율은 10~20% 정도 크게 나타났고, 혼화재 종류에 따라서는 FA를 치환한 경우 플레인보다 건조수축이 10~15% 감소하는 것으로 나타났으며, CKD 및 BS를 치환한 경우가 크게 나타났는데, 이는 밀도차이에 의한 결합재 체적의 증가 및 분말도가 큰 것에 기인하여 건조수축이 증가한 것으로 사료된다. 혼화재 치환율에 따라서는 치환율이 증가할수록 미분의 첨가로 인하여 건조수축이 증가하는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 혼화재 치환 콘크리트의 압축강도 및 건조수축에 대하여 분석하였는데, 그 결과를 요약하여 정리하면 다음과 같다.

1) 압축강도 특성으로 재령 3일에서는 CKD의 초기수화반응 촉진에 기인하여 압축강도 발현 성능이 플레인과 유사한 것으로 나타났고, 재령 91일에서는 포졸란 반응 및 잠재수경성 반응으로 인하여 FA 및 BS의 강도 발현이 효과적이었다.

2) 건조수축 길이변화율은 W/B별 혼화재 사용에 따라 밀도차이에 의한 결합재 체적의 증가로 인하여 건조수축이 약 10~20% 증가하는 경향이었고, FA를 치환한 콘크리트의 경우 10~15% 감소하는 것으로 나타났다.

3) 따라서 CKD는 장기강도 측면에서 볼 때 강도는 저하하지만 FA 및 BS의 문제점으로 인식되어 있는 초기강도 저하에 대한 해결책으로 목적을 둔다면 가능성은 충분히 있는 것으로 판단된다. 또한 혼화재를 치환한 경우 건조수축의 증감에 대한 고려가 필요할 것으로 사료된다.