

혼화재 종류에 따른 콘크리트의 배합 및 압축강도 특성에 관한 연구

A Study on the Properties of Mixture Proportion and Compressive Strength of Concrete with the Kind of Mineral Admixtures

○ 주은희* 손명수** 한민철*** 차천수**** 김성수***** 한천구*****
 Joo, Eun-Hi Shon, Myeong-Soo Han, Min-Cheol Cha, Cheon-Soo Kim, Seong-Soo Han, Cheon-Goo

Abstract

This paper investigated the results of mixture proportion and compressive strength of concrete incorporating mineral admixtures. W/B and contents of mineral admixtures were selected as test parameters. According to test results, use of mineral admixtures resulted in a reduction of fluidity and air contents caused by increased fine particles and absorption effect of FA on reduction of AE agent. Thus, increase of SP and AE agent was needed to maintain the same fluidity and air content as plain concrete. At early stage, use of CKD was beneficial to the compressive strength while at 28days, incorporation of FA and BS had favorable effect on the compressive strength.

키워드 : 시멘트 킬른더스트, 고로슬래그미분말, 플라이애쉬, 배합, 압축강도

Keywords : Cement Kiln Dust, Blast-Furnace Slag, Fly Ash, Mixture Proportion, Compressive Strength

1. 서론

최근 모든 산업에서는 환경오염 방지를 위한 다각적인 검토 및 연구가 이루어지고 있다. 건축공사 현장도 예외일 수 없는 실정으로 각종 산업부산물을 콘크리트용 혼화재료로 사용하고 있다.

현재 가장 많이 사용되고 있는 혼화재로는 포졸란 반응을 일으키는 플라이애쉬(이하 FA), 잠수경성 반응을 일으키는 고로슬래그미분말(이하 BS) 등이 있는데, 근래에 들어서는 시멘트 생산 과정 중 발생하는 시멘트 킬른더스트(이하 CKD)의 사용도 검토되고 있다. 이러한 혼화재료는 콘크리트에 혼입하게 되면 시멘트의 수화작용에서 화학반응을 수반하기 때문에 혼화재 종류에 따른 반응기구를 검토해야 할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 기존의 연구에서 혼화재 종류 및 치환율 변화에 따른 콘크리트의 굳지 않은 상태의 제반 특성, 압축강도 특성, 양생온도 변화에 따른 특성 등을 검토한 바 있다. 이와 같은 일련의 연구의 연속으로 이러한 혼화재료를 사용한 경우 콘크리트의 배합과 관련한 압축강도와의 연관성을 검토할 필요성이 제기되었다.

그러므로 본 연구에서는 W/B 변화, 혼화재 종류 및 치환율 변화에 따른 콘크리트의 배합 및 압축강도 특성에 대하여

비교분석함으로써 향후 각종 혼화재의 효율적인 활용 실무에 참고자료를 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 우선 배합사항으로는 W/B 40, 45, 50%의 3수준에 대하여 CKD, FA 및 BS의 치환율 0, 10, 20%의 3수준으로 총 21배치를 실험계획하였다. 이때 혼화재를 치환하지 않은 것을 플레인으로 목표 슬럼프 150±15mm, 목표공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 배합설계한 후 각각 혼화재를 치환한 경우에도 동일한 슬럼프 및 공기량이 되도록 배합설계를 실시하였다.

표 1. 실험계획

배합사항	W/B(%)	3	40, 45, 50
	목표 슬럼프(mm)	1	150±15
혼화재	치환율(%)	4	플레인, CKD, FA, BS
		3	0, 10, 20
실험사항	굳지않은 콘크리트	4	· 슬럼프 · 슬럼프 플로우 · 공기량 · 단위용적질량
		1	· 압축강도(1, 3, 7, 14, 28일)

* 청주대학교건축공학과 석사과정, 정회원

** LG건설 기술개발팀 대리, 정회원

*** 청주대학교 산업과학연구소 전임연구원, 정회원

**** LG건설 건설본부장, 청주대학교 박사과정, 정회원

***** 청주대학교 건축공학부 교수, 정회원

굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적질량을 측정하였고, 경화 콘크리트에서는 계획된 재령에 따라 압축강도를 측정하였다.

본 연구에 사용된 콘크리트의 배합사항은 표 2와 같다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 A사의 보통포틀랜드 시멘트(밀도:3.15g/cm³, 분말도:3.265cm²/g), CKD(밀도:2.67g/cm³, 분말도:8.200cm²/g)는 A사의 시멘트 제조과정 중 발생하는 것을 백필터로 포집한 것을 사용하였고, FA(밀도:2.22g/cm³, 분말도:3.850cm²/g)는 보령 화력산, BS(밀도:2.91g/cm³, 분말도:4.463cm²/g)는 포항제철에서 생산되는 것을 사용하였다. 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 연구의 실험방법으로 먼저, 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입믹서를 사용하여 혼합하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였고, 공기량 및 단위용적질량은 KS F 2421 및 2409의 규정에 따라 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 $\phi 10 \times 20$ cm 공시체를 KS F 2403의 규정에 의거 제작하여, KS F 2405 규정에 따라 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 배합특성

1) 유동성과 관련한 SP제량

그림 1은 W/B별 혼화제 치환율 변화에 따른 SP제량을 나타낸 것이다. 콘크리트의 유동성은 배합설계를 실시한 것으로 목표슬럼프 150±15mm의 범위를 모두 만족하였다.

먼저 유동성과 관련한 SP제량은 CKD, FA 및 BS를 치환한 경우 W/B가 커질수록 내부수분의 증가로 인하여 SP제량은 감소하였고, 혼화제 종류에 따라서는 약 0.05%의 차이로 보아 별다른 차이가 없는 것으로 사료된다. 또한 혼화제 치환율이 증가할수록 미립분의 증가로 인한 유동성의 저하로 SP제량이 증가되도록 배합설계 하였다.

2) 공기량과 관련한 AE제량

그림 2는 혼화제 치환별 AE제량을 나타낸 것이다.

먼저 콘크리트의 공기량은 유동성과 마찬가지로 배합설계를 실시하여 목표 공기량 4.5±1.5%의 범위를 모두 만족하였다.

공기량과 관련한 AE제량은 혼화제를 치환한 경우 W/B가 커질수록 AE제량은 감소하는 것으로 나타났고, 혼화제 종류에 따라서는 FA를 치환한 경우에서 AE제량이 가장 많이 증가하였는데, 이는 FA 중의 미연탄소분에 의한 AE제의 흡착에 기인한 결과로 분석된다. 또한 혼화제의 치환율이 증가할수록 AE제의 사용량도 증가하는 것으로 나타났다.

따라서 CKD, FA 및 BS를 치환한 경우의 유동성 및 공기량을 목표에 만족시키기 위해서는 SP제량 및 AE제량의 증가가 필요할 것으로 사료된다.

표 2. 콘크리트의 배합사항

W/B (%)	단위수량 (kg)	S/a (%)	혼화제 치환 (%)	SP/C (%)	AE/C (%)	절대용적배합 (ℓ / m ³)				질량배합(kg/m ³)				슬럼프 (mm)	공기량 (%)	단위용적 질량 (kg/m ³)
						시멘트	혼합재	잔골재	굵은골재	시멘트	혼합재	잔골재	굵은골재			
40		42	플레인	0.88	0.029	139	0	269	372	438	0	684	993	162	4.8	2,323
			CKD10	0.95	0.030	125	16.0	268	370	394	44.0	681	989	164	4.2	2,331
			CKD20	1.00	0.033	111	33.0	267	369	350	87.5	679	985	170	4.8	2,310
			FA10	1.00	0.032	125	20.0	267	369	394	44.0	678	984	150	3.1	2,342
			FA20	1.00	0.038	111	39.0	264	365	350	87.5	672	975	170	3.7	2,328
			BS10	0.95	0.033	125	15.0	269	371	394	44.0	683	991	168	3.9	2,336
			BS20	0.95	0.035	111	30.0	268	371	350	87.5	681	989	135	5.3	2,287
45	175	43	플레인	0.75	0.026	124	0	282	374	389	0	717	999	145	5.7	2,281
			CKD10	0.85	0.028	111	14.6	281	373	350	38.9	715	996	165	5.4	2,281
			CKD20	0.85	0.030	98.8	29.1	280	372	311	77.8	712	992	130	5.8	2,283
			FA10	0.90	0.030	111	18.0	280	371	350	38.9	711	991	150	3.2	2,361
			FA20	0.95	0.033	98.8	35.0	278	368	311	77.8	706	984	130	3.3	2,348
			BS10	0.95	0.030	111	13.0	282	374	350	38.9	716	998	163	5.3	2,320
			BS20	0.95	0.030	98.8	26.7	281	373	311	77.8	715	996	165	5.3	2,305
50		43.5	플레인	0.70	0.020	111	0	301	368	350	0	765	982	147	4.4	2,334
			CKD10	0.85	0.022	100	13.1	290	377	315	35.0	737	1,006	150	4.3	2,339
			CKD20	0.85	0.024	88.9	26.2	289	376	280	70.0	735	1,003	150	4.8	2,322
			FA10	0.85	0.028	100	15.8	289	375	315	35.0	734	1,002	140	3.6	2,336
			FA20	0.90	0.032	88.9	31.5	287	373	280	70.0	729	995	152	3.9	2,335
			BS10	0.85	0.030	100	12.0	291	377	315	35.0	738	1,008	158	4.8	2,326
			BS20	0.85	0.029	88.9	24.1	290	377	280	70.0	737	1,006	163	5.6	2,276

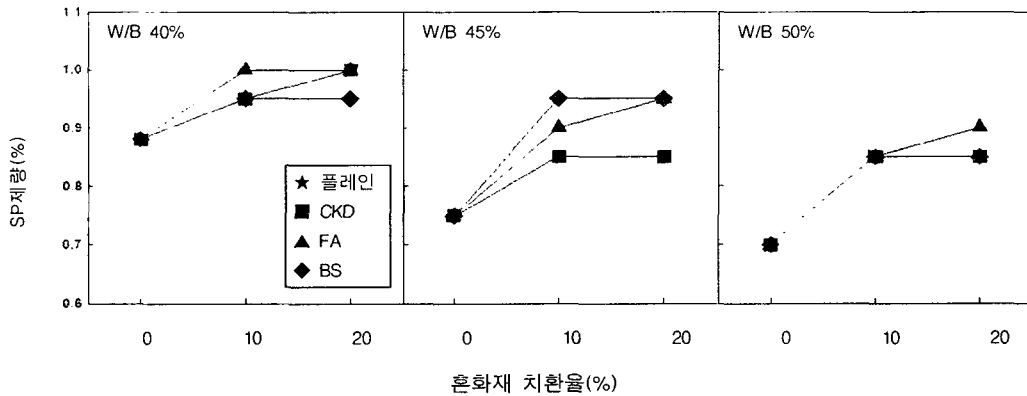


그림 1. W/B 및 혼화재 치환율변화에 따른 SP제량

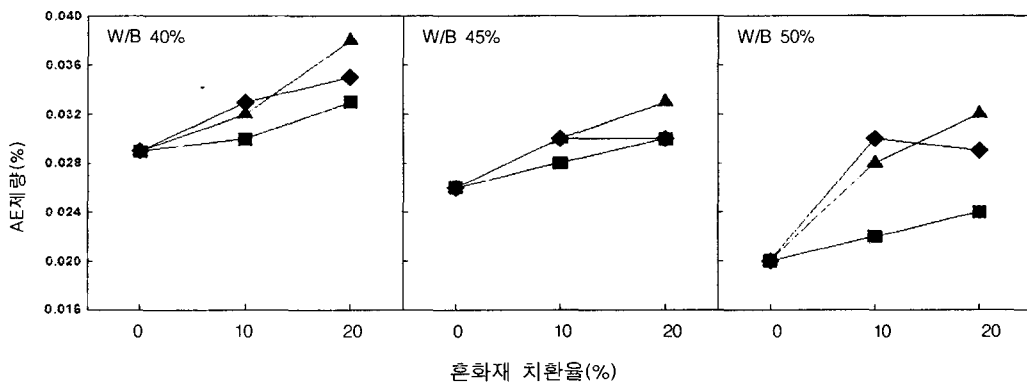


그림 2. W/B 및 혼화재 치환율변화에 따른 AE제량

3.2 경화 콘크리트의 특성

1) 압축강도

그림 3은 혼화재 치환 콘크리트의 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 것이고, 그림 4는 혼화재 종류와 플레인의 압축강도를 비교하여 나타낸 것이다.

혼화재 종류별로는 초기재령에서의 압축강도는 CKD를 치환한 경우 플레인과 유사한 것으로 나타났으나, FA 및 BS는 다소 저하하는 것으로 나타났다. 이는 CKD의 탄산칼슘 및 알칼리 성분이 시멘트의 초기 수화반응을 촉진시킴에 기인된 결과로 분석된다. 혼화재 치환율에 따라서는 치환율이 증가할수록 CKD를 치환한 경우는 별다른 차이가 없는 것으로 나타난 반면, FA 및 BS의 경우는 다소 저하하는 것으로 나타났다.

한편 재령 28일에서의 압축강도는 CKD를 치환한 경우 플레인 배합에 비하여 강도가 약간 저하하는 것으로 나타난 반면, FA 및 BS의 경우는 플레인과 유사하거나 약간 큰 것으로 나타났는데, FA 및 BS의 포졸란 반응이나 잠재수경성 반응에 기인한 것으로 판단된다. 특히 CKD의 경우 치환율에 따라서는 치환율이 증가할수록 압축강도는 약간 감소하는 것으로 나타났는데 치환율 10%에 비하여 20%는 크기는 약 10% 정도의 감소를 나타내었다. 이는 CKD가 시멘트 중량에 대한 치환이기 때문에 시멘트의 감소로 인한 것으로 사료되고, 시멘트 수화반응에 있어 강도 발현에는 영향을 주지 않는 것으로 보아 반응성 물질이 아니라는 것을 알 수 있다.

혼화재를 치환한 경우 플레인의 압축강도와 비교하여 불

때 강도는 다소 저하하지만 BS를 치환한 경우는 재령이 경과할수록 플레인보다 약간 높은 강도발현을 보였다.

따라서 혼화재 치환 콘크리트의 강도발현은 초기재령에서 CKD의 경우 플레인과 유사한 강도 발현 성상을 나타내어 효과적인 것으로 분석되며, 28일 재령에서는 FA 및 BS를 치환한 경우 포졸란 반응 및 잠재수경성 반응에 기인하여 효과적인 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

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

- 1) 혼화재 치환 콘크리트의 유동성 및 공기량은 플레인보다 저하하는 경향으로 나타났는데 이는 미립분의 증가 및 AE제 흡착작용에 기인한 것으로 배합설계시 SP제 및 AE제량이 증가되어야 함을 알 수 있었다.
- 2) 혼화재 치환 콘크리트의 강도특성으로, 혼화재 종류에 따라서는 초기재령에서는 CKD가 플레인과 유사한 강도발현 성상을 나타내어 효과적이었고, 28일 재령일에서는 포졸란 반응 및 잠재수경성 반응으로 FA 및 BS가 효과적이었다.

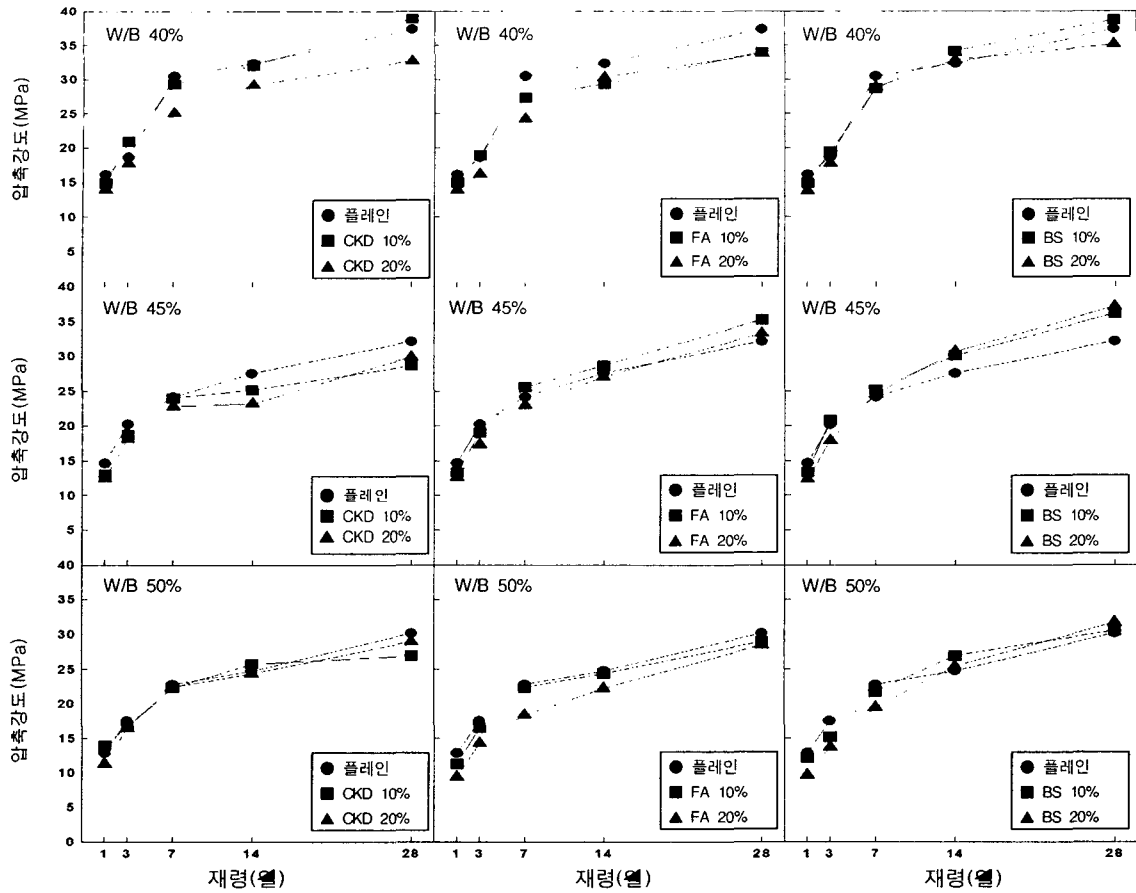


그림 3. 혼화재 치환 콘크리트의 재령경과에 따른 압축강도

참 고 문 헌

1. 한천구, 주은희, 손명수, 차천수, 한민철, 김성수 ; 혼화재 종류별 은도변화에 따른 콘크리트의 응결 및 강도발현 특성, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 제24권 제1호, pp. 231~234, 2004. 4