

# W/B 및 유동성 변화에 따른 시멘트 킬른더스트 혼입 콘크리트의 공학적 특성

## Engineering Properties of Concrete Incorporating Cement Kiln Dust with W/B and Fluidity

주 은 희\*      손 명 수\*\*      차 천 수\*\*\*      한 민 철\*\*\*\*      한 천 구\*\*\*\*\*  
Joo, Eun Hi    Shon, Myeong Soo    Cha, Cheon Soo    Han, Min Cheol    Han, Cheon Goo

### ABSTRACT

In this paper, mechanical properties of concrete incorporating CKD are discussed with W/B and fluidity. For setting properties, an increase in W/B retarded setting time greatly in 5°C, while accelerated in 20°C. For fluidity, an increase in slump delayed the setting time with dosage of SP agent. The presence of CKD has little influence on setting time compared with plain concrete. For compressive strength, an increase in maturity enhanced compressive strength. Fluidity had no relation to compressive strength. At low curing temperature, concrete with CKD has slight strength loss compared with plain concrete. However, remarkable strength loss at low curing temperature in early stage was not found, which can be applicable to low temperature environment concrete placing.

### 1. 서 론

시멘트 킬른더스트(이하 CKD)란 시멘트 제조과정에서 클링커 소성 중 발생하는 비산분진을 백필터로 집진한 미세립 분말로 그 발생량은 시멘트 생산량의 5~10% 정도로 알려져 있다. 그런데 이러한 CKD는 집진기가 설치되기 이전에는 대기 중으로 방출되어 환경오염의 주범이 되었으나, 현재 대부분의 시멘트 공장에서는 이를 집진기로 포집하여 킬른에 재투입하여 시멘트 원료로 사용하고 있다. 그러나 CKD는 킬른내에 재투입하는 경우 초미립자로서 투입되기 어려워 예열기를 순환하거나 혹은 투입되더라도 킬른벽을 코팅하는 등 시멘트 생산효율을 저하시켜 부가가치가 있을 수만 있다면 배출시키는 것이 바람직한 것으로 알려지고 있다. 한편, CKD는 주성분이 탄산칼슘으로 시멘트 수화물에 피해가 없고, 분말이 매우 미세하여 콘크리트용 혼화재료로 활용하게 되면 콘크리트의 응결축진 및 공극충전에 의한 압축강도 증진 등 제반 공학적 특성의 향상이 기대되고 있지만 CKD 사용 콘크리트의 제반특성에 대하여는 아직 충분한 연구가 진행되고 있지 않다.

그러므로 본 연구에서는 CKD 혼입 콘크리트의 효율적 활용을 검토하기 위하여 W/B, 유동성 및 온도변화에 따른 CKD 혼입 콘크리트의 제반 공학적 특성을 검토하고자 한다.

\* 정희원, 청주대학교 대학원 석사과정

\*\* 정희원, LG 건설

\*\*\* 정희원, LG 건설, 청주대학교 대학원 박사과정

\*\*\*\* 정희원, 청주대학교 산업과학연구소 전임연구원

\*\*\*\*\* 정희원, 청주대학교 건축공학부 교수

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1. 실험계획

CKD 혼입 콘크리트의 공학적 특성을 검토하기 위한 본 연구의 배합사항은 표 1과 같다. 즉, W/B는 40, 45, 50%의 3수준, 목표슬럼프는 W/B 45%인 경우에서 12, 15, 18cm의 3수준, CKD 치환은 0, 10%의 2수준, 양생온도는 5, 20℃로 총 20배치를 실험계획하였다. 이때 CKD 혼입 유무에 관계없이 슬럼프는 목표슬럼프치의  $\pm 1.5\text{cm}$ , 목표 공기량은  $4.5 \pm 1.5\%$ 를 만족하도록 배합설계를 통하여 SP제 및 AE제량을 결정하였다.

실험 사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량, 단위용적중량 및 응결시간을 측정하였고, 경화 콘크리트에서는 압축강도를 측정하도록 하였다.

표 1. 콘크리트의 배합사항

W/B (%)	목표 슬럼프 (cm)	단위수량 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	S/a (%)	혼화제 치환	SP/C (%)	AE/C (%)	절대용적배합 ( $\ell/\text{m}^3$ )				중량배합 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )			
							시멘트	CKD	잔골재	굵은골재	시멘트	CKD	잔골재	굵은골재
40	15	175	43	플레인	0.6	0.006	139	0	276	365	438	0	711	957
				CKD10	0.7	0.008	125	16	275	364	394	44	709	954
45	12	175	44	플레인	0.2	0.004	124	0	289	368	389	0	745	982
				CKD10	0.3	0.005	111	15	288	366	350	39	743	978
	15	175	45	플레인	0.4	0.005	124	0	295	361	389	0	762	946
				CKD10	0.5	0.007	111	15	294	360	350	39	760	943
18	175	46	플레인	0.6	0.006	124	0	302	355	389	0	779	947	
			CKD10	0.7	0.007	111	15	301	353	350	39	777	943	
50	15	175	47	플레인	0.1	0.005	111	0	314	355	350	0	811	929
				CKD10	0.1	0.005	100	13	313	354	315	35	809	926

### 2.2. 사용재료

본 연구의 사용재료로서 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트(밀도:  $3.15\text{g}/\text{cm}^3$ , 분말도:  $3,265\text{cm}^2/\text{g}$ ) CKD(밀도:  $2.67\text{g}/\text{cm}^3$ , 분말도:  $8,200\text{cm}^2/\text{g}$ )는 A사의 시멘트 제조과정 중 발생하는 것을 백필터로 포집한 것을 사용하였다. 골재로써 잔골재는 인천 중구 항동에서 채취한 세척사(표견밀도:  $2.58\text{g}/\text{cm}^3$ , 흡수율: 1.12%), 굵은골재는 경기도 광주산 25mm 부순골재(표견밀도:  $2.58\text{g}/\text{cm}^3$ , 흡수율: 1.2%)를 사용하였다. 혼화제로 고성능 감수제는 국내산 D사의 나프탈렌계와 AE제는 국내산 빈졸계를 사용하였다.

### 2.3. 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였고, 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프, 공기량 및 응결시간은 KS F 2402, KS F 2421, KS F 2409 및 2436에 의거 측정하였다. 경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는  $\phi 10 \times 20\text{cm}$  공시체를 KS F 2403의 규정에 의거 제작 양생한 다음 KS F 2405 규정에 따라 측정하였는데, 공시체의 양생방법은 콘크리트 타설 후 5℃ 및 20℃의 온도가 유지되도록 1일간 기중봉함양생을 실시한 후 탈형하여 소요의 재령까지 소정의 온도가 유지되도록 수중양생하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1. 굳지 않은 콘크리트의 특성

먼저 슬럼프는 배합설계를 통하여 SP제 사용량을 변화시켜 가면서 목표슬럼프 범위를 만족시켰는

데, 이때 CKD를 혼입한 경우는 플레인보다 유동성이 저하하여 SP제 사용량을 증가시켜 주어야 하였고, 공기량 역시 배합설계를 통하여 목표공기량인  $4.5 \pm 1.5\%$ 를 만족시켰는데, CKD를 혼입한 경우 공기량 확보를 위하여 AE제량의 증가가 필요하였다.

### 3.2. 응결특성

그림 1은 양생온도 및 CKD 혼입별 W/B 및 슬럼프 변화에 따른 콘크리트의 초결 및 종결시간을 나타낸 것이고, 그림 2는 플레인 및 CKD 혼입 콘크리트의 초결 및 종결시간을 상호비교한 것이다. 먼저 W/B별로는 W/B가 증가할수록 온도 5°C의 경우는 응결시간이 크게 지연되는 것으로 나타났는데, 이는 저온에 의한 수화반응의 지연에 기인된 것으로 사료되며, 온도 20°C의 경우는 W/B가 증가할수록 응결시간이 약간 촉진되는 것으로 나타났다. 이는 W/B가 감소할수록 목표 슬럼프를 만족시키기 위한 SP제 사용량 증가에 따라 나타나 결과로 분석된다.

한편, 슬럼프 변화에 따른 응결시간은 슬럼프가 증가할수록 응결이 지연되는 것으로 나타났는데, 이는 SP제 사용량 증가에 기인한 것으로 판단된다.

CKD 혼입유무에 따라서는 CKD를 혼입한 경우 플레인과 비교하여 온도별로 차이는 있지만 플레인과 거의 차이가 없거나 오히려 약간 단축된 경우도 나타나 CKD가 응결시간 촉진에 효과가 있음을 알 수 있었다.

### 3.3 압축강도 특성

그림 3, 4는 양생온도와 W/B 및 슬럼프 변화별 적산온도에 따른 콘크리트의 압축강도를 나타낸 것이다. 전반적으로 적산온도가 증가할수록 W/B가 감소할수록 압축강도는 증진되는 것으로 나타났다. 먼저 W/B별로는 초기적산온도 및 적산온도가 경과할수록 CKD 혼입의 경우가 플레인보다 약간 저하하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 유동성 변화별로는 큰 차이는 없는 것으로 나타났으나 온도에 따라서는 온도가 낮을수록 동일적산온도에서 낮은 강도를 나타내었다.

그림 5는 양생온도별 플레인 및 CKD 혼입 콘크리트의 압축강도를 산점도로 나타낸 것이다. 온도 5°C, 20°C 공히 플레인의 경우가 CKD를 혼입한 경우보다 압축강도는 증가하는 것을 확인할 수 있었

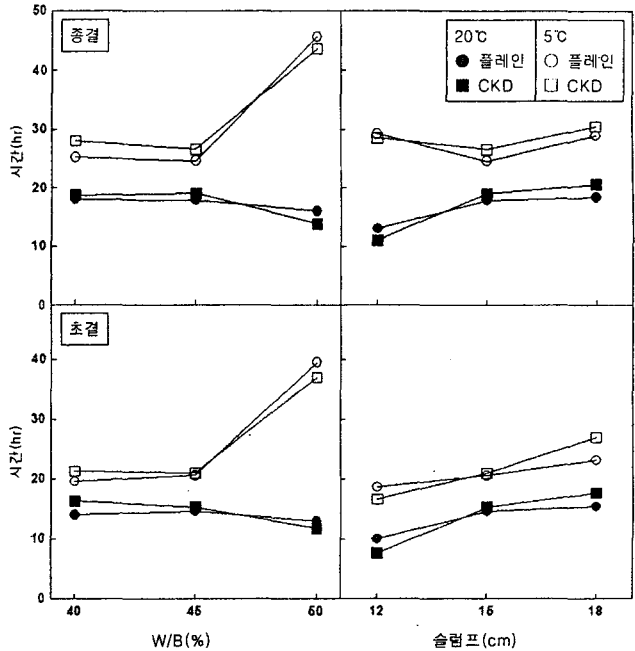


그림 1. W/B 및 슬럼프 변화별 CKD 혼입 콘크리트의 초결 및 종결시간

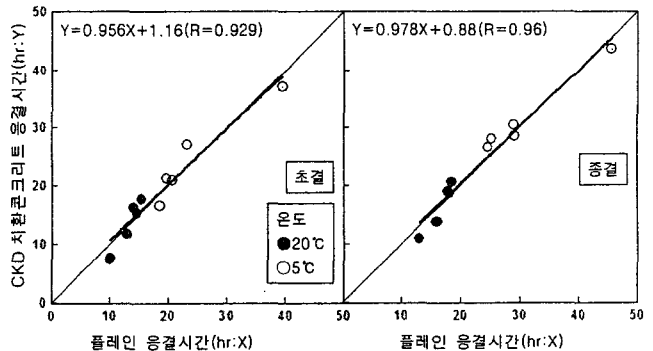


그림 2. 플레인 및 CKD 혼입 콘크리트의 초결 및 종결시간의 비교

다. 단, 5℃ 양생인 경우 이와 같은 저하 폭은 기존의 플라이애쉬 및 고로슬래그 미분말을 사용할 경우보다 그다지 크지 않아 CKD 혼입 콘크리트를 저온에서 사용할 경우 양호한 효과가 기대된다 할 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구는 W/B 및 유동성 변화에 따른 CKD 혼입 콘크리트의 공학적 특성을 검토하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 먼저, 응결특성으로 W/B별로는 W/B가 증가할수록 5℃의 경우는 응결시간이 지연되는 것으로 나타났으나, 20℃의 경우는 촉진되는 것으로 나타났다. 슬럼프 변화에 따라서는 슬럼프가 증가할수록 응결이 지연되는 것으로 나타났고, CKD 혼입 유무에 따라서는 CKD를 혼입한 경우 온도에 관계없이 플레인과 비교하여 거의 차이가 없게 나타나 한중 시공시 CKD의 응결 촉진에 효과가 기대되었다.

2) 강도특성으로 온도가 낮을수록 동일한 적산온도에서 낮은 강도로 나타났는데, 온도 5℃ 및 20℃ 모두 CKD 혼입 콘크리트의 압축강도 증진은 플레인과 유사하거나 약간 저하하는 경향으로 CKD를 저온환경에서 사용한다면 플라이애쉬 및 고로슬래그 미분말을 사용할 경우보다 양호한 수준의 초기강도 발현을 기대할 수 있음을 알 수 있었다.

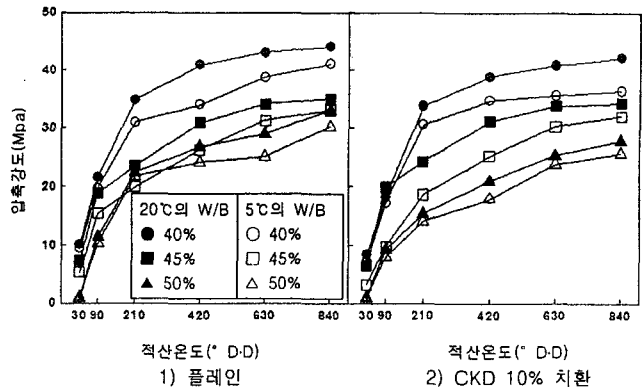


그림 3. W/B별 콘크리트의 압축강도

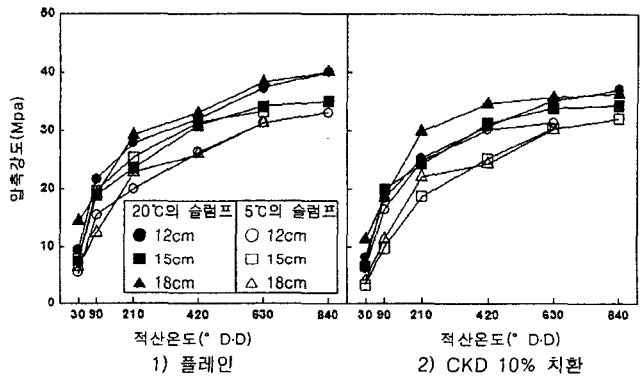


그림 4. 슬럼프별 콘크리트의 압축강도

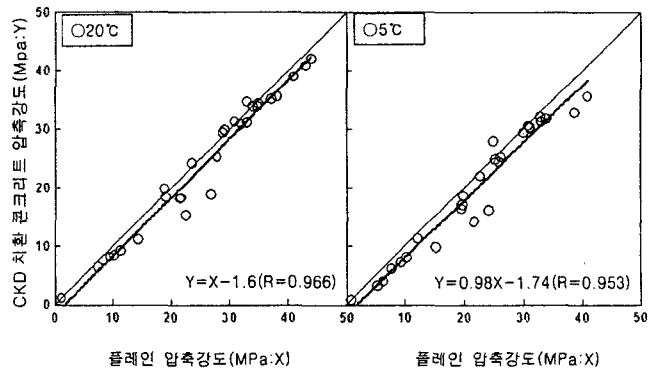


그림 5. 플레인 및 CKD 치환 콘크리트의 압축강도 비교

#### 참고문헌

1. 한민철, 최훈, 이광설, 윤기원, 한천구 ; 플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 강도증진해석 및 기온보정 강도의 설정에 관한 검토, 대한건축학회 학술발표논문집, 제19권 2호, 1999. 10, pp.577~582
2. 日本コンクリート工學協會 ; 石灰石微粉末の特性とコンクリートへの利用に関するシンポジウム, 石灰石微粉末研究委員會, 1998. 5, PP.59~64