

킬른더스트를 사용한 콘크리트의 공학적 특성에 관한 연구

A Study on the Engineering Properties of Concrete Using Cement Kiln Dust

김 기 정* 황 인 성** 차 천 수*** 김 성 수*** 한 천 구****
Kim, Ki-Jeong Hwang, Yin-Seong Cha, Cheon-Soo Kim, Sung-Soo Han, Cheon-Goo

ABSTRACT

This study is intended to investigate the engineering properties of concrete, in which cement and fine aggregate are replaced with cement kiln dust(CKD), such as the properties of fresh concrete and hardened concrete and hydration heat history, for effective using method of CKD, a by-product produced in the process of making cement. According to the results, as the replacing ratio of CKD increases, slump and air content of concrete decreases remarkably due to an increase of viscosity and filling of the pores. As the properties of setting, initial and final setting time are shortened with an increase of the replacing ratio of CKD, and as the replacement of CKD for fine aggregate increases, setting time is shortened more greatly. Compressive strength increases due to filling of the pores and reduction of air content in comparison with plain concrete. When the replacement ratio of CKD for cement is 10% and 15%, peak temperature of hydration heat lowers slightly, but it goes up in the case of replacement of CKD for fine aggregate. Also, when cement and fine aggregate is replaced with CKD by 2.5% and 7.5% respectively(1C3S) in the case of replacement of CKD for cement and fine aggregate, it is highest.

1. 서 론

킬른더스트(CKD)란 시멘트 제조공정에서 미분쇄한 석회석 등의 원료를 킬른내의 소성과정에서 발생하는 비산분진을 전기 집진기로 집진한 미세한 입자로 그 발생량은 시멘트 생산량의 약 7~15% 정도이다. 전기 집진기가 설치되기 이전에는 대기 중으로 방출되어 환경오염의 주범이 되기도 하였으나, 현재는 대부분 시멘트 공장의 경우 이러한 석회석 미분말을 집진한 후 킬른에 재투입하여 사용하고 있는 실정이다. 그러나 이렇게 하면 미분말이 시멘트 생산공정을 반복하여 순환함으로써 시멘트 생산 효율 감소 및 킬른관의 내부에 스케일을 발생시켜 제조 설비의 효율성을 저하시키는 원인이 되고 있다. 이러한 CKD는 주성분이 탄산칼슘으로서 시멘트 수화물에 피해가 없고 분말이 매우 미세하므로 굳지않은 상태에서는 응결촉진 및 수화열저감, 경화상태에서는 공극충전에 의한 압축강도 증진 등 제반 공학적 특성의 향상이 기대되고 있다.¹⁾

그러므로, 본 연구에서는 CKD를 시멘트 및 잔골재에 대하여 일정비율 치환한 콘크리트의 굳지않은 상태와 경화상태의 특성 및 수화열 온도이력 등 공학적 특성을 검토함으로써 CKD의 효율적인 활용방안을 제시하고자 한다.

- * 정회원, 청주대학교 대학원, 석사과정
- ** 정회원, 청주대학교 대학원, 박사과정
- *** 정회원, (주)아세아시멘트 연구소, 책임연구원
- **** 정회원, 청주대 학교 건축공학부 교수

2. 실험계획 및 방법

2.1. 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

먼저, 배합사항으로는 W/B는 45%의 1수준에 대하여 플레인 배합의 목표 슬럼프를 $15 \pm 1.5\text{cm}$, 목표 공기량을 $4.5 \pm 1.5\%$ 를 만족하도록 배합설계하고, CKD의 치환은 시멘트에 대해 치환하는 내할로 5, 10, 15%(이하 5C, 10C, 15C)의 3수준, 잔골재에 대해 치환하는 외할로 5, 10, 15%(이하 5S, 10S, 15S)의 3수준으로 하였으며, 내·외할 동시치환으로 시멘트 및 잔골재에 대해 각각 2.5:7.5, 5:5, 7.5:2.5%(이하 1C3S, 1C1S, 3C1S)의 3수준으로 실험계획하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량, 단위용적중량 및 응결시간을 측정하였고, 경화콘크리트에서는 압축강도 및 수화열 온도이력을 측정하였다.

2.2. 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통포틀랜드 시멘트(비중 : 3.15, 분말도 : 3,333)를 사용하였고, CKD는 A시멘트 회사에서 생산된 것을 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 2와 같다. 사용골재로써 잔골재(비중 : 2.58, 조립률 : 2.89)는 인천 중구 항동산 세척사를 사용하였고, 굵은골재(비중 : 2.62, 조립률 : 6.75)는 경기도 광주산 25mm 부순 굵은골재를 사용하였으며, 혼화제는 국내산 D사의 나프탈렌계 표준형과 빈줄계 AE제를 사용하였다.

2.3. 실험방법

본 연구의 실험방법으로 먼저, 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하여 KS F 8009의 규정에 따라 실시하였다.

굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402에 따라 실시하였고, 공기량 시험은 KS F 2421, 단위용적중량은 KS F 2409의 규정에 따라 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405 규정에 의거 실시하였고, 수화열 온도이력은 $900 \times 800 \times 620\text{cm}$ 나무형틀에 20cm의 단열 스티로폼으로 4면을 감싸 단열되도록 하였고, 그 안에 $\phi 100 \times 200$ 공시체 12개를 넣고 공시체 중앙에 열전대를 설치하여 수화열 온도이력을 측정하였다.²⁾

3. 실험결과 및 분석

3.1. 굳지않은 콘크리트의 특성

표 3은 굳지않은 콘크리트의 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량, 단위용적중량 및 응결시간의 실험결과를 나타낸 것이다.

먼저, 슬럼프는 플레인을 기준으로 CKD를 치환한 내할, 외할 모든 배치에서 CKD 치환에 따른 점

표 1 실험계획

실험요인					실험사항	
W/B (%)	목표 슬럼프 (cm)	목표 공기량 (%)	CKD 치환(%/C)		굳지않은 콘크리트	경화콘크리트
			내할	외할		
45	15±1.5	4.5±1.5	플레인		· 슬럼프 · 슬럼프 플로우 · 공기량 · 단위용적중량 · 응결시간	· 수화열 온도이력 (20℃) · 압축강도(12h, 18h, 1, 3, 7, 14, 28일)
			5	0		
			10	0		
			15	5		
			0	10		
			15	15		
2.5	7.5					
5	5					
7.5	2.5					

표 2 CKD의 물리적 성질

구분	비중	화학성분								
		Ig-loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
CKD	2.67	38.58	9.65	3.70	1.54	43.60	1.40	0.77	0.35	0.06

성증진에 기인하여 크게 감소하는 경향이였다. 특히, 잔골재에 대해 치환한 외할의 경우가 내할보다 슬럼프의 저하가 현저하였는데, 이는 미립분량이 내할보다 외할의 경우가 훨씬 크기 때문인 것으로 판단된다. 한편, 공기량은 슬럼프와 비슷한 경향으로 CKD를 치환한 모든 배치에서 감소하였는데, 이는 CKD의 미세한 입자가 공극을 충전하기 때문인 것으로 판단된다.¹⁾

또한, 응결 특성으로 CKD를 치환한 내할, 외할 모든 배치에서 치환율이 증가할수록 초결 및 종결시간이 단축되는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 내할보다는 외할 치환의 경우가 응결시간이 더 크게 단축되었고 내·외할 동시치환의 경우는 외할 치환율이 커질수록 응결시간이 빨라졌다. 이처럼 CKD를 사용한 경우 응결시간이 단축되는 것은 CKD에 포함된 높은 알칼리에 기인하여 초기 시멘트의 수화반응을 촉진하기 때문인 것으로 판단된다.³⁾ 라서 CKD를 사용한 경우 응결시간 단축으로 초기강도의 증진에 의해 거푸집 존치기간의 축소 및 한중시공시 초기동해 방지 등에 기여할 것으로 기대된다.

표 3 굳지않은 콘크리트의 실험결과

W/B (%)	실험 변수	슬럼프 (cm)	슬럼프 플로우 (cm)	공기량 (%)	단위용 적중량 (kg/m ³)	응결시간(h)	
						초결	종결
45	P	16.0	25.6	5.7	2,297	7.50	10.08
	5C	12.6	22.6	3.6	2,316	6.25	9.00
	10C	11.2	21.0	2.6	2,336	6.66	9.42
	15C	6.0	20.3	2.3	2,343	6.16	8.42
	5S	11.3	21.1	3.4	2,323	6.42	9.00
	10S	6.1	20.3	2.2	2,345	5.83	8.33
	15S	4.1	20.0	1.8	2,356	5.58	7.33
	1C3S	9.3	20.8	2.6	2,328	5.25	7.50
	1C1S	10.1	20.6	2.4	2,343	5.58	7.92
	3C1S	10.7	21	2.5	2,343	5.58	8.00

3.2. 경화 콘크리트의 특성

(1) 압축강도 특성

그림 1은 CKD 치환율별 재령경과에 따른 압축강도를 내할, 외할 및 동시치환으로 구분하여 나타낸 것이다.

전반적으로 압축강도는 CKD를 사용한 경우가 모든 경우에서 플레인 콘크리트의 압축강도와 비교하여 더 크게 나타났고, 치환율이 커질수록 증가하는 경향이였다. 또한, CKD 치환에 따른 압축강도는 외할, 동시치환, 내할 순으로 압축강도가 증진되어 외할로 치환할수록 압축강도 증진 경향이 현저하였다. 이와같은 압축강도의 증진경향은 CKD의 미세한 입자에 의한 와 공기량 감소에 기인한 공극충전 효과인 것으로 사료된다.

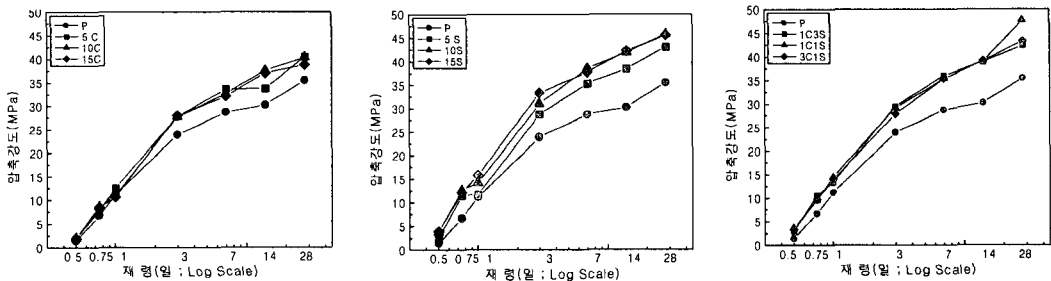


그림 1 각 실험변수별 재령경과에 따른 압축강도

(2) 수화열 온도이력

그림 2는 시간경과에 따른 수화열 온도이력을 나타낸 것이다.

먼저, 시멘트에 대해서 치환한 내할의 경우 5%치환시에는 플레인보다 더 높은 수화열 피크온도를

나타냈으나, 10% 및 15% 치환시에는 플레인보다 수화열 최고온도가 저감됨을 확인할 수 있었다. 잔골재에 치환한 외할의 경우는 플레인과 비교하여 모두 높은 수화열을 나타내었고, 치환율이 증가할수록 수화열 온도도 높아져 외할로 치환할수록 수화열 피크 온도가 높아짐을 알 수 있었다. 또한, 시멘트와 잔골재에 대해서 동시치환했을 경우는 잔골재에 대해 많이 치환된 1C3S에서 플레인보다 높은 수화열 피크온도를 나타냈고, 1C1S 및 3C1S의 경우는 플레인과 비슷한 경향이 있었다.

4. 결 론

본 연구는 CKD를 시멘트 및 잔골재에 대해 치환한 콘크리트의 굳지않은 상태, 경화상태의 특성 및 수화열 온도 이력 등 공학적 특성을 검토하였는데, 그 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로 킬른더스를 사용한 콘크리트의 슬럼프 및 공기량은 점성증진 및 공극 충전효과에 기인하여 플레인과 비교해 현저히 저하하였다. 특히, CKD를 잔골재에 대하여 그 치환율이 커질수록 슬럼프 및 공기량의 저하가 현저하였다.

2) 응결특성으로 CKD를 내할 및 외할 치환한 모든 배치에서 초결 및 종결시간이 단축되었는데 특히, 내할보다는 외할의 경우가 응결시간이 더 크게 단축되었고 내·외할 동시치환의 경우는 외할 치환율이 커질수록 응결시간이 빨라졌다.

3) 압축강도는 CKD를 치환한 경우가 플레인 콘크리트의 압축강도와 비교하여 크게 나타났고, 치환율이 커질수록 증가하였는데, 이는 CKD의 미세한 입자에 의한 공극충전 효과와 공기량 감소에 기인한 것으로 사료된다.

4) 수화열 온도이력특성은 내할의 경우 플레인과 비교하여 5%치환에서 가장 높은 수화열 최고온도를 나타내었고 10, 15%에서는 감소하였다. 외할의 경우는 플레인과 비교하여 모두 높은 수화열을 나타내었고, 치환율이 증가할수록 높아졌다. 또한, 동시치환의 경우는 1C3S에서 수화열이 가장 높게 나타났다.

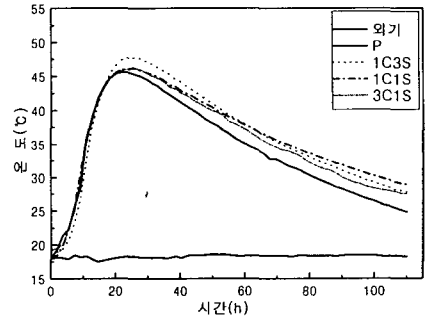
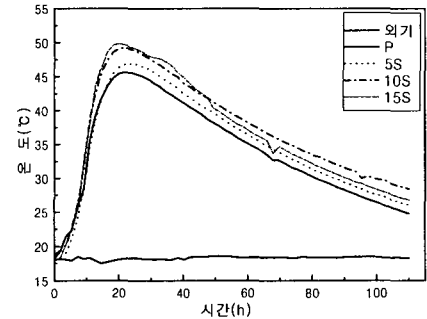
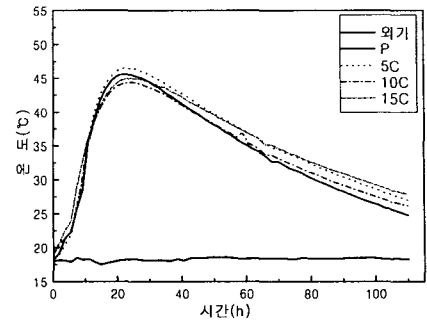


그림 2 시간경과에 따른 수화열 온도이력

참고문헌

1. 한천구, 조병영, “석회석 미분말을 사용한 시멘트모르타의 기초적 특성”, 대한건축학회 논문집, 18권 5호, 2002. 5, pp.59~64.
2. 藤井和俊, 鳴瀬浩康, 渡邊一弘, 毛見虎雄, “簡易斷熱養生による中庸熱ポルトランドセメントを用いた高強度コンクリートの構造体強度の推定”, 日本建築學會 技術報告集, 第16号, 2002. 12.
3. Kejin Wang, Maria S. Konsa-Gdoutos, “Hydration, Rheology, and Strength of Ordinary Portland Cement(OPC)-Cement Kiln Dust(CKD)-Slag Binders”, ACI Materials Journal, Vol. 99 No. 2, 2002. 3