

# CKD 치환을 변화에 따른 경량기포 콘크리트의 특성

## Properties of Lightweight Foamed Concrete with Incorporating Ratio of Cement Kiln Dust

신현섭<sup>\*</sup> 신재경<sup>\*</sup> 정광복<sup>\*\*</sup> 배장춘<sup>\*\*\*</sup> 김성수<sup>\*\*\*\*</sup> 한천구<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Shin, Hyun Sup Shin, Jae Kyung Jeong, Kwang Bok Pei, Chang Chun Kim, Seong Soo Han, Cheon Goo

### ABSTRACT

This study investigates the properties of light weight foamed concrete with variances in incorporating ratio of cement kiln dust(CKD). Test showed that an increase of CKD incorporating ratio decreased the fluidity of fresh concrete and increased the unit weight. A sinking depth of specimens incorporating CKD decreased, compared with that of control. As for the compressive strength, it firstly increased and then slightly decreased when incorporated CKD. Tensile strength values were similar to the values of compressive strength, but the ratio of comp. to tens. strength increased. Appearances density of specimens were all raged in KS and the thermal conductivity was also satisfied in KS; less than 0.05-0.160W/(m · k).

### 1. 서론

시멘트 킬른 더스트(이하 CKD)란 시멘트 제조공정에서 석회석을 분쇄 후 클링커 소성 중 발생되는 비산분진을 백필터로 집진한 미세한 입자를 말한다. 이와 같은 CKD의 발생량은 시멘트 연간 생산량의 7~15% 정도로 많은 양이 발생하는데, 과거 집진기가 설치되기 이전에는 대기 중으로 방출되어 환경오염 및 주변 민원의 주요한 원인이 되기도 하였으나, 현재 대부분의 시멘트 공장에서는 킬른에 재투입하여 사용하고 있는 실정이다. CKD를 시멘트 생산에 재투입하게 되면 CKD는 미립분이기 때문에 시멘트 생산 공정 중에 예열기를 반복하여 순환하게 되어 시멘트의 생산효율을 감소시키고, 킬른에 투입하게 되면 킬른관 내부에 스케일을 발생시켜 킬른관의 축소를 초래하는 등 제조 설비의 효율성을 저하시키는 원인이 되고 있다. 특히 CKD의 주성분은 시멘트의 생산과정 중 발생하는 것이기 때문에 시멘트의 주원료와 동일한 탄산칼슘( $\text{CaCO}_3$ )으로 시멘트 수화물에 전혀 피해가 없고, 분말이 매우 미세하므로 콘크리트에 치환하여 사용하게 되면 굳지 않은 상태에서는 블리딩 저감, 응결촉진 및 수화열 저감 경화상태에서는 특히 저온에서의 초기강도 발현 등 제반 공학적 특성의 향상이 기대되고 있다.

한편, 경량기포 콘크리트는 내부에 다량의 기포공극을 함유하고 있어 단열재, 채움재 및 충전재 등의 용도로 많이 사용되어 지고 있는 가운데, 기포의 소포로 인해 체적이 감소하는 문제점이 발생하고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 자원의 재활용, 원가절감의 효과와 더불어 경량기포 콘크리트의 품질을 향상

\* 정회원, 청주대 대학원 석사과정

\*\* 정회원, (주)건설과환경 상무이사, 청주대 대학원 석사과정

\*\*\* 정회원, 청주대 대학원 박사과정

\*\*\*\* 정회원, 아세아시멘트(주) 연구개발팀 팀장

\*\*\*\*\* 정회원, 청주대 건축공학부 교수, 공학박사

시킬 목적으로 CKD 치환을 변화에 따라 경량기포 콘크리트의 특성에 대하여 분석하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

먼저, 배합사항으로 W/B는 60%의 1수준에 대하여, OPC만을 사용하는 경우의 목표 단위질량을  $0.6 \pm 0.03 t/m^3$ , 목표 플로우는 현장조건을 고려하여 작업성이 뛰어난  $240 \pm 10 mm$ 를 만족하도록 Plain을 배합설계한 후, CKD 치환율 5~40%까지 5%씩 증가하는 총 9배치에 대하여 동일하게 적용시키는 것으로 실험계획 하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 플로우, 단위용적질량 및 침하깊이를, 경화 콘크리트에서는 압축강도, 인장강도, 겔보기밀도 및 열전도율을 측정하는 것으로 하였다. 이때 본 실험에 사용한 콘크리트의 배합사항은 표 2와 같다.

표 1. 실험계획

실험 요 인		실험 수준	
배합 사항	W/B(%)	1	· 60
	목표 플로우(mm)	1	· $240 \pm 10$
	목표단위질량( $t/m^3$ )	1	· $0.6 \pm 0.03$
CKD 치환율 (%)	8	· Plain(OPC)	
		· 5 · 10 · 15 · 20 · 25 · 30 · 35 · 40	
실험 사항	굳지않은 콘크리트	3	· 플로우 · 단위용적질량 · 침하깊이
	경화 콘크리트	4	· 압축강도(7, 28일) · 인장강도(28일) · 겔보기밀도(28일) · 열전도율

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트(밀도: $3.15 g/cm^3$ , 분말도: $3,302 cm^2/g$ )를 사용하였고, CKD는 국내산 A사(밀도: $2.67 g/cm^3$ , 분말도: $8200 cm^2/g$ )를 사용하였다. 혼화제로서 기포제는 식물성 계면활성제를 사용하였다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 슬러리의 혼합은 단위수량에 따른 물을 용기에 먼저 넣고 분체재료를 넣으면서 핸드믹서를 이용하여 충분히 혼합하여 슬러리를 제조하는 것으로 하였다. 혼합한 슬러리에 기포발생기에서 발생시킨 기포를 계량하여 용기에 투입한 후 슬러리와 혼합하여 기포슬러리를 제조하였다. 이때 기포가 소멸되지 않도록 유의하면서 약 2분간 믹싱 하였다.

플로우, 단위용적질량 및 침하깊이는 KS F 4039의 시험방법에 준하였으며, 압축강도 및 겔보기밀도 측정은 KS F 2459, 인장강도는 KS F 2423, 열전도율은 KS L 9016의 시험방법에 따라 실시하였다.

3. 실험 결과 및 분석

표 2. 콘크리트의 배합사항

W/B (%)	단위 질량 ( $t/m^3$ )	CKD 치환율 (%)	기포율 (%)	용적배합 ( $l/m^3$ )			
				C	W	CKD	
60	0.6	Plain	67.67	111.7	211.6	0	
		CKD	5	67.56	106.2	211.6	6.6
			10	67.46	100.6	211.6	13.2
			15	67.36	95.0	211.7	19.8
			20	67.25	89.4	211.7	26.4
			25	67.15	83.8	211.7	33.0
			30	67.04	78.3	211.7	39.6
			35	66.94	72.7	211.7	46.2
			40	66.84	67.1	211.8	52.8

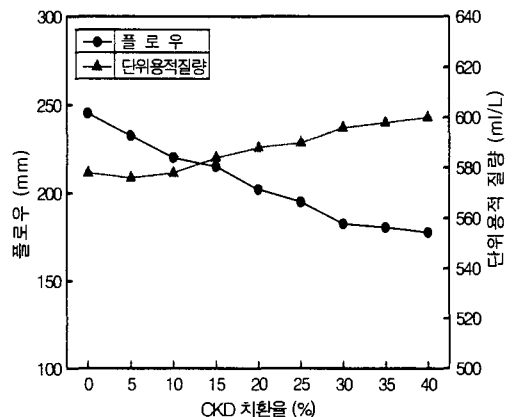


그림 1. CKD 치환율 변화에 따른 플로우치 및

### 3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

그림 1은 CKD 치환율 변화에 따른 플로우치 및 단위용적질량을 나타낸 그래프이다. 먼저, 플로우는 Plain 배합의 경우 목표 플로우 240±10mm를 만족하였으나, CKD를 치환할수록 플로우 값은 점진적으로 작아지는 것으로 나타났다. 이는 시멘트에 비해 분말도가 현저하게 크기 때문에 흡수표면적이 넓어졌기 때문이며, 유동성 확보를 위해서는 고성능 감수제의 사용이 필요한 것으로 판단된다. 단위용적질량은 CKD 치환율 증가에 따라 증가하는 것으로 나타났다.

그림 2는 CKD 치환율 변화에 따른 침하깊이를 나타낸 그래프이다. Plain에 CKD 5%를 치환하면 침하깊이는 현저하게 감소하였고, CKD 치환율이 증가함에 따라 침하깊이는 더욱더 감소하는 것으로 나타났다. 이는 CKD가 치환됨에 따라 높아진 점성으로 공기포 소실이 작고, 또한, 응결시간이 촉진되었기 때문으로 사료되는데, KS 기준인 '0.5품-10mm 이하'보다 3배가 넘는 침하깊이 감소를 보이는 것으로 나타나 CKD를 치환하여 사용할 경우 경량기포콘크리트의 가장 큰 품질문제인 침하문제를 개선하는데 효과적인 것으로 분석된다.

한편, 치환율 30%이후에는 더 이상 침하깊이의 감소가 발생하지 않는 것으로 나타났는데, 이는 단위체적당 차지하는 분말도가 어느 한계에 다다르면 더 이상의 침하깊이 감소에는 기여하지 않는 것으로 분석된다.

### 3.2 경화 콘크리트의 특성

그림 3은 CKD 치환율 변화에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다. Plain 배합은 재령에 따라 KS 기준범위를 상회하는 것으로 나타났으며, CKD 치환율 변화에 따라서는 15~20% 치환시 압축강도가 조금 증가하는 것으로 나타났다. 또한 CKD 25%이상 치환시에는 조금씩 감소하였다.

그림 4는 CKD 치환율 변화에 따른 인장강도를 나타낸 그래프이다. 인장강도는 압축강도와 유사한 경향으로 나타났는데, 보통 콘크리트의 인장강도는 압축강도의 약 10%정도인 것에 비해 본 실험에 사용된 경량기포 콘크리트는 압축강도에 비해 약 32%전후로 나타나 보통 콘크리트보다 상대적으로 크게 나타났다.

그림 5는 CKD 치환율 변화에 따른 겉보기 밀도를 나타낸 그래프이다. CKD 치환율 변화에 따라 정도의 차이를 보이긴 하지만, KS 기준의 '0.5품-0.4 이상 ~ 0.5 미만'을 만족하는 것으로 나타났다.

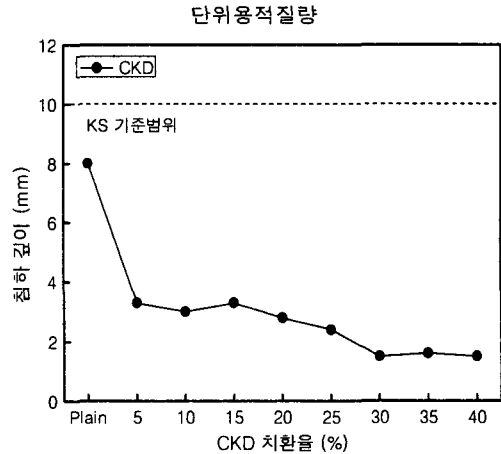


그림 2. CKD 치환율 변화에 따른 침하깊이

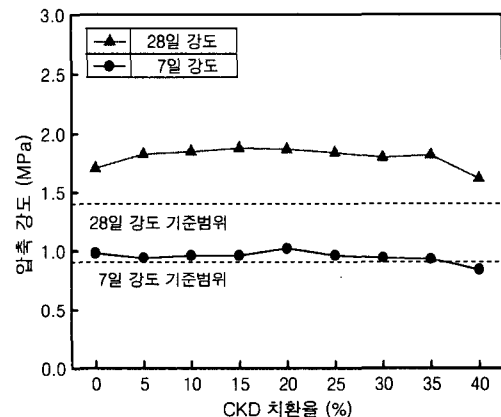


그림 3. CKD 치환율 변화에 따른 압축강도

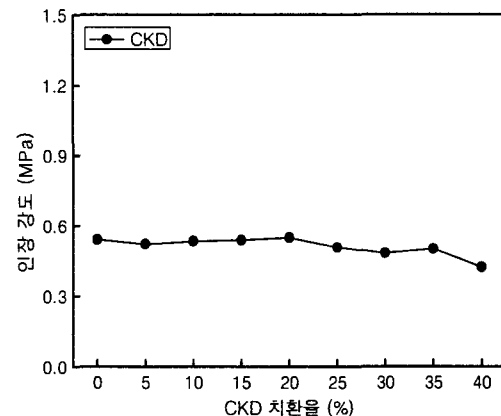


그림 4. CKD 치환율 변화에 따른 인장강도

그림 6은 CKD 치환율 변화에 따른 열전도율을 나타낸 그래프이다. CKD 치환율이 커짐에 따라 열전도율은 감소하는 것으로 나타났는데, 15%를 제외한 모든 수준에서 KS 기준인 '0.5폼-0.160W/(m·k)이하'를 모두 만족하는 것으로 나타났다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 CKD 치환율 변화에 따른 경량기포콘크리트의 특성을 비교·분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 유동성은 CKD를 치환할수록 플로우 값이 작아지는 것으로 나타났는데, CKD 치환시 점성 증가로 인하여 소정의 유동성을 확보하기 위해서는 고성능감수제의 사용이 필요한 것으로 분석되며, 단위용적질량은 증가하는 것으로 나타났다.
- 2) 침하깊이는 CKD 5%치환시 Plain에 비해 현저하게 감소하였고, CKD 치환율이 증가함에 따라 침하깊이는 더욱더 감소하는 것으로 나타났다. KS 기준인 '0.5폼-10mm 이하'보다 3배가 넘는 침하깊이 감소를 보여 경량기포콘크리트의 가장 큰 품질문제인 침하문제를 개선하는데 효과적인 것으로 분석되었다.
- 3) 압축강도는 재령이 경과함에 따라 증가하였고, CKD 치환율이 15~20%로 증가함에 따라 압축강도는 미소한 증가를 보인 후 20%이상에서는 감소하는 것으로 나타났다. 인장강도는 압축강도와 유사한 경향을 보였으며, 보통 콘크리트와는 달리 압축강도에 대한 인장강도의 비가 32%전후로 높게 나타났다.
- 4) 겉보기 밀도는 CKD 치환율 변화에 따라 정도의 차이를 보이긴 하지만, KS 기준의 '0.5폼-0.4 이상~ 0.5 미만'을 만족하는 것으로 나타났다.
- 5) 열전도율은 CKD 치환율이 증가함에 따라 감소하였고, 거의 모든 수준에서 KS 기준의 '0.5폼-0.160W/(m·k)이하'를 만족하는 것으로 나타났다.

### 감사의 글

본 연구는 (주)원건축사사무소와 (주)원건설의 연구비 지원에 의해 이루어 졌음에 위 기관에 감사한다.

### 참고문헌

1. KS F 4039 ; 현장 타설용 기포콘크리트, 1999
2. 건설교통부; 경량기포 콘크리트 재료개발연구, 1996.
3. 신재경, 유승엽, 정광복, 홍상희, 김성수, 한천규; 혼화재 치환에 따른 경량기포콘크리트의 기초적 특성, 한국콘크리트학회 논문집, Vol 18, No. 2, 2006. 5, PP521~524.

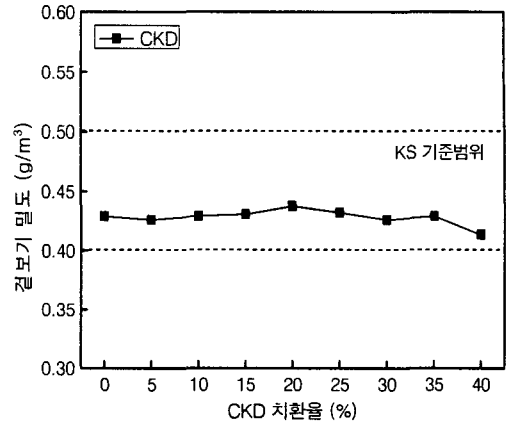


그림 5. CKD 치환율 변화에 따른 겉보기 밀도

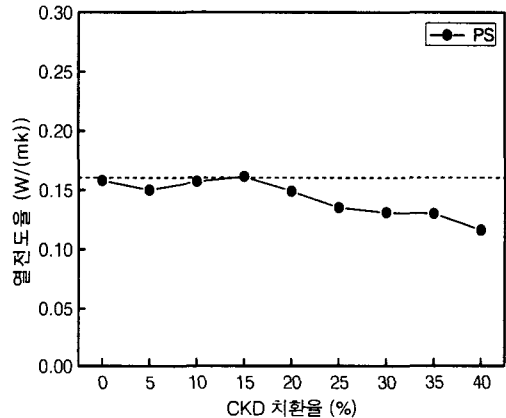


그림 6. CKD 치환율 변화에 따른 열전도율