

혼화재료에 의한 경량기포 콘크리트의 품질향상에 관한 기초적 연구

A Fundamental Study on the Quality Improvement of Lightweight Foamed Concrete with Admixture Types

신재경* 정광복** 이을구*** 이건철**** 윤기원***** 한천구*****
Shin, Jae-Kyung Jeong, Kwang-Bok Lee, Youl-Koo Lee, Gun-Cheol Yoon, Gi-Won Han, Cheon-Goo

Abstract

This study investigated fundamental properties of lightweight foamed concrete using cement kiln dust (CKD) and both fly ash(FA) and stability agent. Test results showed that concrete incorporating more amounts of admixture decreased slump flow and it caused increase of superplasticizer in order to secure the fluidity performance. In addition concrete adding stability agent showed stable flow state, resisting segregation of materials and decreasing bleeding capacity. Sinking depth of concrete incorporating 20% of CKD and adding 0.002% of stability agent was indicated at 0mm. For the properties of hardened concrete, compressive strength of concrete incorporating CKD declined due to a lower appearance density, compared with other specimens. The difference of that was not very significant and the value of all specimen was higher than KS range. Moreover strength of concrete incorporating CKD was even higher at curing temperature 5°C. Tensile strength ratio of concrete incorporating CKD was indicated between 0.50 to 0.59, which is higher value than control concrete. Heat conductivity of concrete incorporating FA was under the KS range while concrete incorporating 20% of CKD was satisfied in KS. Concrete adding stability agent improved insulation performance due to the lower heat conductivity. In conclusion, it is possible that concrete incorporating 20% of CKD and adding 0.002% of stability agent can secure high quality of lightweight foamed concrete.

키워드 : 경량기포 콘크리트, 시멘트 킬른 더스트, 플라이애쉬, 품질향상

Keywords : Lightweight Foamed Concrete, Cement Kiln Dust, Fly-ash, Quality Improvement

1. 서론

경량기포 콘크리트란 시멘트의 슬러리속에 미리 생성된 기포를 혼합시켜 양생한 콘크리트로서, 동일한 체적의 보통 콘크리트보다 대폭적으로 가볍게 만든 것으로서 비구조용인 주거용 건축물의 방바닥의 단열, 차음 및 높이차 조정 등의 목적으로 아파트 건설공사 등에 주로 이용되고 있다.

그러나 경량기포 콘크리트는 단열성능 및 시공성이 우수하고 경제성이 높기 때문에 대다수의 공동주택 공사의 온돌바닥 구조에 적용되고 있으나, 시멘트 슬러리에 기포를 혼합하여 믹싱한 후 펌프에 의해 압송 및 타설작업이 이루어지는 과정에서 기포의 소포로 인하여 체적감소가 발생함으로써 경제성 및 단열성능 저하, 건조수축 균열발생과 난방파이프의 고정곤란 등으로 문제시 되고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 노력으로 분체로 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)만을 원료로 하여 제조하던 기존의 경량기포 콘크리트와는 달리 최근에는 플라이애쉬(FA) 및 광물질 미분말 등을 10%전후 첨가하는 경량기포 콘크리트가 활용되고 있다. 그러나 혼화제 사용으로 얻게 되는 장점은 있지만, 기포울저감 등과 같은 문제점은 개선되지 않고 있고, 현장 작업시에는 기계화 시공이 가능하도록 높은 유동성을 요구하는데, 이와 같은 공법에는 기포 소실에 따른 침하 및 재료분리가 발생하는 문제가 뒤따르고 있다. 따라서 경량기포 콘크리트의 품질을 개선할 수 있는 저가의 혼화제 및 혼화제 등의 사용을 검토할 필요가 있다.

그러므로 본 연구에서는 경량기포 콘크리트의 품질향상으로 시멘트 제조시 부산물로 발생하는 시멘트 킬른더스트(CKD) 및 FA와 같은 분체의 혼화제 및 증점 안정화제(GUM Type)의 사용에 따른 경량기포 콘크리트의 기초적 특성에 대하여 검토하여 품질향상 방안을 제안하고자 한다.

* 정회원, 청주대학교 석사과정

** 정회원, (주)건설과환경 상무이사, 청주대학교 석사과정

*** 정회원, (주)원건축사 사무소 부사장

**** 정회원, 청주대 산업과학연구소 전임연구원, 공학박사

***** 정회원, 주성대 건축공학과 부교수, 공학박사

***** 정회원, 청주대 건축공학부 교수, 공학박사

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획 및 실험사항은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다.

먼저, 실험요인으로 W/B는 60%의 1수준으로 하고, OPC만을 사용하는 경우의 목표 플로우 240±10mm, 목표 단위질량 0.6±0.02t/m³를 만족하는 유동화제 및 기포울을 결정하였다. 혼화재료의 변수로는 OPC배합(실무조건)과 여기에 CKD 10, 20%, FA 20%를 치환한 4수준으로 하고, 증점 안정화제의 혼입율은 단위수량의 0, 0.002%의 2수준으로 하여 총 8배치를 실험계획 하였다.

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합사항	W/B(%)	1	• 60
	목표 플로우(mm)	1	• 240±10
	목표 단위질량(t/m ³)	1	• 0.6±0.02
	혼화제 종류 및 치환율	4	• Plain(OPC) • CKD 10 • CKD 20 • FA 20
	증점 안정화제 (W%)	2	• 0 • 0.002
실험사항	굳지않은 콘크리트	3	• 플로우 • 밀도 • 침하깊이
	경화 콘크리트	4	• 겐보기밀도(28일) • 압축강도(7, 28일) (양생온도 5, 20, 35℃) • 인장강도(28일) • 열전도율

표 2. 콘크리트의 배합사항

W/B (%)	SP/C (%)	GUM/W (%)	혼화제 종류 및 치환율(%)	절대용적배합(ℓ/m ³)				
				기포	C	FA	CKD	W
60	0.05	0, 0.002	OPC(Plain)	630	128	-	-	242
			CKD 10		114	-	16	240
			CKD 20		101	-	31	238
			FA 20		99	36	-	235

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 A사의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고, 혼화제로서 CKD는 국내산 A사의 시멘트 제조과정 중 발생하는 것을 백필터로 포집한 것을, FA는 충남 당진산을 사용하였는데, 그 물리적 성질 및 화학성분은 표 3~5와 같다. 또한 혼화제로서 유동화제는 국내산 나프탈렌계, 기포제는 국내산 식물성 계면활성제, 증점 안정화제는 국내산 증점다당류계를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 6과 같다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,265	0.15	210	300	22.0	28.9	38.9

표 4. 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 5. 플라이애쉬의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	강열감량 (%)	압축강도비 (%)	SiO ₂ (%)	습분 (%)	단위수량비 (%)
2.19	3,735	3.5	92	53.2	0.1	100

표 6. 혼화제의 물리적 성질

구분	주성분	형태	색상	밀도 (g/cm ³)	점도 (mPa·s)
고성능 감수제	나프탈렌계	분말상	황색	0.72	-
기포제	식물성 계면활성제	액상	미백색	1.04	-
증점 안정화제	증점 다당류계	분말상	회색	-	2800

2.3 실험방법

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

플로우 및 밀도, 침하깊이는 KS F 4039의 시험방법에 준하였으며, Ø100×200mm 공시체를 제작한 후 계획된 양생온도에서 양생을 하여 KS F 2459에 의거 압축강도 및 겐보기밀도를 측정하였고, 인장강도는 KS F 2423의 시험방법에 따라 실시하였다. 열전도율 시험은 KS F 4039에 의거하여 300×300×50mm의 물드를 제작하고 KS L 9016의 규정에 의거하여 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

그림 1은 혼화제 치환에 따른 플로우치를 나타낸 것이다.

먼저 Plain의 경우 목표 플로우를 만족하였으나, 혼화제를 치환할수록 플로우치가 작아지는 것으로 나타났다. 특히, CKD의 경우 치환율이 증가할수록 유동성은 큰 폭으로 감소하게 나타났다. 동일 치환율인 FA 20에 비해서도 유동성이 더 크게 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 CKD 치환시 동일 유동성을 확보하기 위해서는 고성능 감수제의 사용량을 증가시킬 필요가 있는 것으로 사료된다. 또한, 증점 안정화제를 0.002% 혼입

한 경우 다소 플로우치가 저하하는 경향을 나타냈으나, Plain의 경우 높은 플로우치로 인해 재료분리 경향이 나타나는 반면 증점 안정화제를 혼입한 경우 재료분리 및 블리딩이 거의 없이 안정한 플로우 모양을 나타내었다.

그림 2는 혼화재 치환에 따른 침하깊이를 나타낸 것이고, 사진 1은 혼화재 치환에 따른 공시체 타설 후 침하모습을 나타낸 것이다. 혼화재 치환에 따라서는 FA를 치환한 경우 Plain과 동일한 값을 나타내는 것으로 나타나 침하량 개선에는 큰 효과가 없는 것으로 나타났다. 이에 반해 CKD의 치환율이 증가할수록 침하가 크게 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한 증점 안정화제를 혼입한 경우에도 침하가 저하하는 것으로 나타났는데, 특히 CKD를 20% 치환하고 증점 안정화제를 0.002% 혼입한 경우에는 침하가 0mm로 나타났다. 이는 KS 침하깊이 기준인 '0.5푼-10mm 이하' 를 크게 상회하는 것으로 CKD 및 증점 안정화제를 병용 사용할 경우 경량기포 콘크리트의 소포로 인한 체적감소문제를 개선하는데 효과적인 것으로 분석된다.

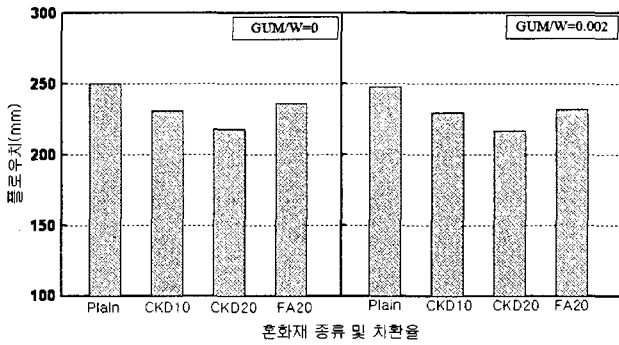


그림 1. 혼화재 치환에 따른 플로우치 비교

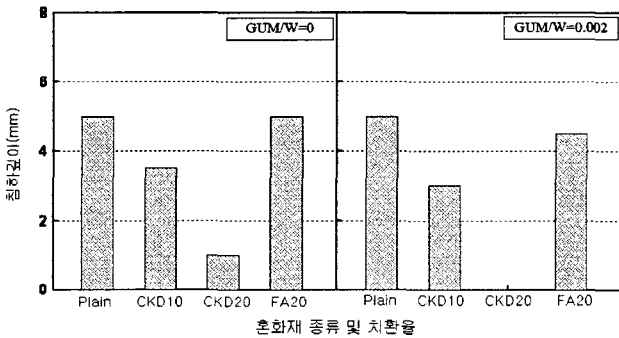


그림 2. 혼화재 치환에 따른 침하깊이 비교

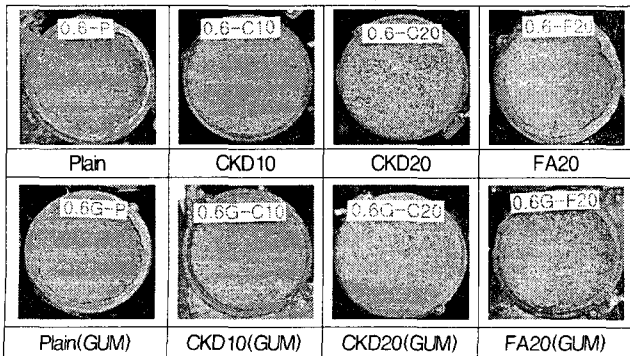


사진 1. 혼화재 치환에 따른 공시체 타설 후 침하모습

3.2 경화 콘크리트의 특성

그림 3은 혼화재 치환에 따른 겉보기밀도를 나타낸 것이다. CKD를 치환한 경우 치환율이 증가할수록 겉보기밀도는 다소 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 CKD를 치환할 경우 침하가 감소하여 단위체적이 기타의 경우보다 크기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 혼화재 치환 및 증점 안정화제의 혼입에 상관 없이 모든 경우에서 KS 기준인 '0.5푼(0.4이상, 0.5미만)' 을 만족하는 것으로 나타났다.

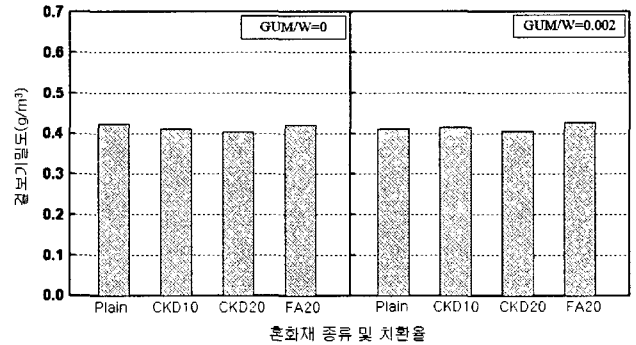


그림 3. 혼화재 치환에 따른 겉보기밀도 비교

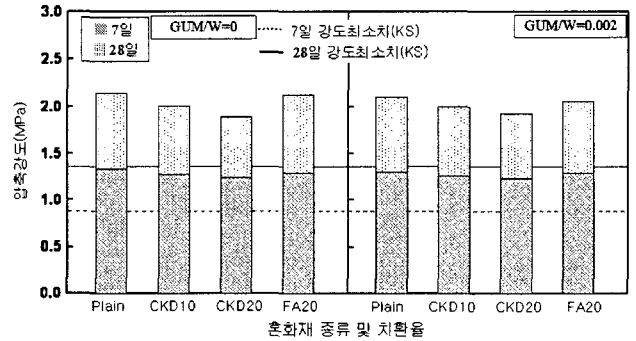


그림 4. 혼화재 치환에 따른 압축강도 비교

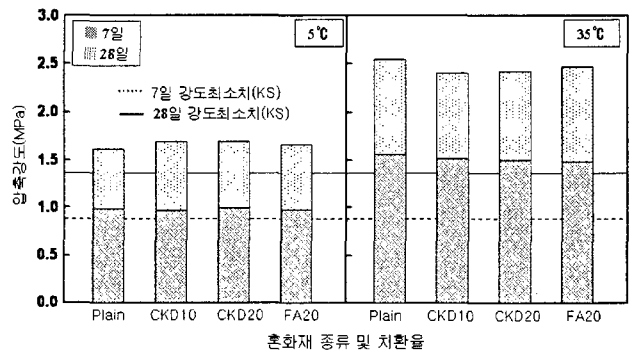


그림 5. 양생온도별 혼화재 치환에 따른 압축강도 비교

그림 4는 혼화재 치환에 따른 압축강도를 나타낸 것이고, 그림 5는 양생온도별 혼화재 치환에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 압축강도는 전반적으로 재령이 경과할수록 증가하는 것으로 나타났다. 혼화재 치환에 따라서는 Plain, FA20, CKD 10, CKD 20순으로 크게 나타났고, 증점 안정화제를 혼입한 경우에는 큰 차이가 없었으며 모든 경우 KS 기준범위를 상회하는 것으로 나타났다. 이때 압축강도 차이는 겉보기밀도 차이에 기

인한 것으로 Plain 및 FA의 경우 침하로 인해 체적이 크게 감소하며 내부공극이 작아짐에 따른 겉보기밀도 증가에 의한 결과로 사료된다.

양생온도에 따른 압축강도는 온도 35℃인 경우 모든 시료가 표준온도와 유사한 경향을 나타냈으나, 5℃의 양생조건에서는 CKD를 치환한 경우의 압축강도가 크게 나타났다. 이것은 CKD를 이용한 기존의 연구¹⁾와 동일한 경향으로써 CKD는 저온 환경에서 응결시간이 빠른 것으로 나타났는데, 이에 기인한 결과로 분석된다.

그림 6은 혼화재 치환에 따른 인장강도를 나타낸 것이다.

인장강도는 압축강도와 유사한 경향으로 나타났는데, 보통 콘크리트의 인장강도는 압축강도의 약 0.1정도인 것에 반해 본 실험에 사용된 경량기포 콘크리트는 약 0.50~0.59정도로 나타나 보통 콘크리트보다 상대적으로 크게 나타났다.

그림 7은 혼화재 치환에 따른 열전도율을 나타낸 것이다.

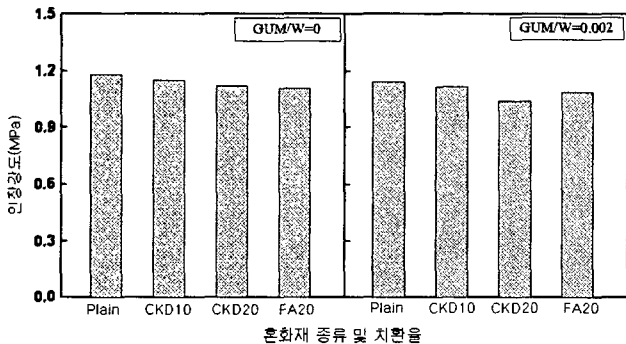


그림 6. 혼화재 치환에 따른 인장강도 비교

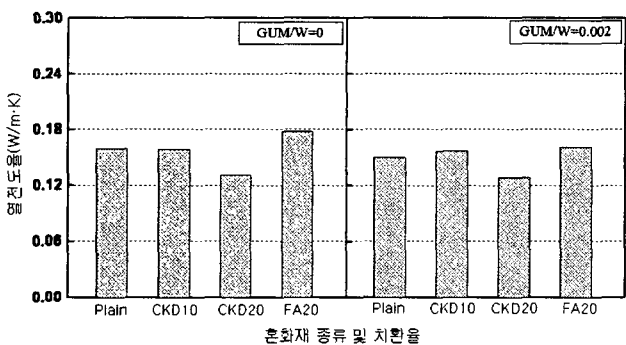


그림 7. 혼화재 치환에 따른 열전도율 비교

열전도율은 FA를 치환한 경우 KS 기준범위인 '0.5품 (0.160W/m·K이하)'에 만족하지 못한 반면 CKD 20을 치환한 경우 KS 기준을 충분히 만족하였다. 또한 증점 안정화제를 혼입한 경우 그 차이가 크지는 않지만 열전도율이 작게 나타났다. 이는 CKD 및 증점 안정화제를 혼입한 경우 기포가 안정됨을 의미한다.

4. 결 론

본 연구는 혼화재료에 의한 경량기포 콘크리트의 품질향상을 위하여 혼화재 종류 및 치환율 변화와 증점 안정화제의 혼입률 변화에 따른 경량기포 콘크리트의 기초적 특성을 비교·분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로, 유동성은 혼화재를 치환할수록 플로우치가 작아지는 것으로 나타났다. 특히, CKD의 경우 치환율이 증가할수록 유동성은 큰 폭으로 감소하는 것으로 나타나 동일 유동성을 확보하기 위해서는 CKD 치환시 고성능 감수제의 사용량 증가가 필요한 것으로 사료된다. 또한, 증점 안정화제를 혼입한 경우 높은 플로우치에서도 재료분리 및 블리딩 없이 안정한 플로우 모양을 나타내었다.

2) 침하깊이는 CKD의 치환율이 증가할수록 침하가 크게 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한 증점 안정화제를 혼입한 경우에도 침하가 저하한 것으로 나타났는데, 특히 CKD를 20%치환하고 증점 안정화제를 0.002% 혼입한 경우에는 침하가 0mm로 나타났다. 이는 KS 침하깊이 기준인 '0.5품 (10mm 이하)'에 크게 상회하는 것으로 CKD 및 증점 안정화제를 병용 사용할 경우 경량기포 콘크리트의 체적감소문제를 개선하는데 효과적인 것으로 분석된다.

3) 경화 콘크리트 특성으로 모든 경우에서 KS 기준인 '0.5품 -0.4이상, 0.5미만'을 만족하는 것으로 나타났다. 압축강도는 혼화재 치환에 따라서는 Plain, FA20, CKD 10, CKD 20순으로 크게 나타났고, 안정화제를 혼입한 경우에는 큰 차이를 보이지 않았으며 모든 경우 KS 기준범위를 상회하는 것으로 나타났다. 온도 35℃인 경우 표준온도와 유사한 경향을 나타냈으나, 5℃인 경우에는 오히려 CKD를 치환한 경우 강도가 크게 나타났다. 인장강도는 보통 콘크리트의 경우 압축강도의 약 0.1정도인 것에 반해 본 실험에 사용된 경량기포 콘크리트는 약 0.50~0.59정도로 나타났다.

4) 열전도율은 FA를 치환한 경우 KS 기준범위인 '0.5품 (0.160W/m·K 이하)'에 만족하지 못한 반면 CKD 20을 치환한 경우 KS 기준을 충분히 만족하였다. 또한 증점 안정화제를 혼입한 경우 그 차이가 크지는 않지만 열전도율이 작게 나타나 단열능능이 다소 향상됨을 알 수 있었다.

이상을 종합하여 볼때 기존의 경량기포 콘크리트 제조에 CKD 20%, 증점 안정화제 0.002%를 혼입하게 되면 단위체적감소로 인한 침하가 적어짐으로써 균열방지 등 제반품질도 향상될 수 있음을 알 수 있다.