

# 미세립자 혼입을 변화에 따른 경량기포 콘크리트 특성분석

## Investigation on the Properties of the Lightweight Foamed Concrete in Response to Fine Grains Contents

최성용\* 박용규\* 정광복\*\* 김성수\*\*\* 한민철\*\*\*\* 한천구\*\*\*\*\*  
 Choi, Sung-yong Park, Yong-Kyu Jeong, Kwang-Bok Kim, Sung-Soo Han, Min-Cheol Han, Cheon-Goo

### Abstract

This study investigates the properties of light weight foamed concrete (LWC) designed with various content of fine grains (FG). Test showed that LWC containing diverse powder materials with addition, more than 15% of FG, tended to decrease the fluidity of fresh concrete. 10% of FG content in LWC exhibited 4mm in sinking depth, which is the lowest value. This value dramatically increased at more than 15% of addition. However the concrete incorporating LSP proportionally increased the sinking depth in overall. As for the strength, the values of all specimens were under standardization of KS, except for the concrete adding 5 and 10% of FG. Apparent density of LWC showed the lowest value when used 10% of FG which was satisfied the 0.5 grade in KS. For the thermal conductivity, it was also indicated at 0.5 grade in KS, which is under 0.160W/(m·k). In conclusion, it is demonstrated that adding 10% of FG in LWC was effective in the aspects of recycling of materials, cost effectiveness and quality.

키워드 : 경량기포 콘크리트, 미세립자, 석회석미분말  
 Keywords : Lightweight Foamed Concrete, Fine Grains, Limestone Powder

## 1. 서론

경량기포 콘크리트란 시멘트의 슬러리속에 미리 생성된 기포를 혼합시켜 양생한 콘크리트로서, 단열성, 흡음성 및 경제성이 우수하여 활용도가 높은 건축자재이다. 그 사용용도로는 온돌바닥재, 연약지반의 채움재 및 충전재등이며, 현재 국내에서는 주로 ALC블록, 외장판넬 및 온돌바닥재 등으로 사용되고 있다.

그러나 경량기포 콘크리트는 1970년대 후반에 제조방법이 도입되고부터 현재에 이르기까지 많은 문제점이 제기되어 왔는데, 그 중 펌프 압송 및 타설과정 중 소포에 의한 체적 감소, 강도발현 저하 및 건조수축 균열 발생등에 관한 문제점들이 끊임없이 대두되고 있는데, 본 연구팀에서는 이를 해결하고자 하는 일련의 연구를 진행하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 선행 연구결과1)에 의해 도출된 시멘트 킬른 더스트 (이하 CKD)와 Polysaccharide계 증점안정정화제 (이하 PS)를 사용한 배합에 증량재 역할을 하는 미세립자 (이하 FG) 혹은 석회석 미분말 (이하 LSP)을 혼입하였을 경우 경량기포 콘크리트의 특성을 분석함으로써, 궁극적으로는 자원의 재활용으로 인한 원가절감의 실현으로 경쟁력 향상에 기여하고자 한다.

\* 청주대학교 건축공학과 석사과정, 정회원  
 \*\* (주)건설과환경 상무이사, 청주대 대학원 석사과정, 정회원  
 \*\*\* 아세아시멘트(주) 연구개발팀 팀장, 정회원  
 \*\*\*\* 청주대 건축공학부 전임강사, 공학박사, 정회원  
 \*\*\*\*\* 청주대 건축공학부 교수, 공학박사, 정회원

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

먼저, 배합사항으로 W/B는 60%의 1수준에 대하여, 보통 포틀랜드 시멘트 (이하 OPC)만을 사용하는 경우의 목표 단위용적질량을  $0.6 \pm 0.03t/m^3$ , 선행 연구에서 도출된 배합(OPC+CKD+PS)을 Plain으로 하고, FG와 LSP를 5~20%까지 5%씩 증가시킨 4수준에 대해 총 9배치를 실험계획 하였다.

표 1. 실험계획

구분	실험요인	실험수준			
배합사항	W/B(%)	1	· 60		
	단위용적질량( $t/m^3$ )	1	· 0.6		
	결합재 구성	2	· OPC · Plain (OPC80%+CKD20%+PS0.03%)		
	미세립자 혼입률 (%)	8	· FG · LSP	· 5% · 10% · 15% · 20%	*FG와 LSP는 Plain에 대해 각 혼입을 별로 치환하여 혼입한다.
실험사항	굳지않은 콘크리트	2	· 플로우 · 침하깊이 측정 · 단위용적질량		
	경화 콘크리트	4	· 압축강도(7, 28일) · 인장강도(28일) · 결보기밀도(28일) · 열전도율		

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 플로우, 침하깊이, 단위용적질량을 측정하고, 경화 콘크리트에서는 압축강도, 인장강도, 겉보기밀도 및 열전도율을 측정하는 것으로 하였다.

## 2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료의 물리적 성질은 표 2~5와 같다. 즉, 시멘트는 국내산 A사산 OPC를 사용하였고, CKD는 시멘트 제조과정 중 발생하는 것을 백필터로 포집한 국내 A시멘트사산을 사용하였다, 미세립자는 국내산 SandDust에서 발생하는 FG 및 국내산 T사의 LSP제품을 사용하였다. 혼화제로는 기포제2(식물성 계면활성제)를 사용하였으며 증점제는 미국산을 사용하였다.

표 2. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	중결	3일	7일	28일
3.15	3,302	0.08	208	351	20.4	29.4	38.7

표 3. 시멘트 킬른 더스트의 물리적 성질 및 화학성분

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	화학 성분(%)								
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	
2.67	8,200	9.65	3.70	1.54	43.6	1.40	0.77	0.35	0.06	

표 4. 석회석 미분말의 물리적 성질 및 화학성분

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	화학 성분 (%)			
		CaCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
2.76	2,013	96.60	0.63	0.88	0.15

표 5. 혼화제의 물리적 성질

주성분	형태	색상	점도(mpa · s)	밀도(g/cm <sup>3</sup> )
기포제	액상	미백색	-	1.04
PS 증점제	분말상	미색	2800	-

## 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 경량기포 콘크리트를 제조하였다. 이때 혼합시간은 기포가 소멸되지 않도록 유의하면서 약 2분간 실시 하였다.

플로우 및 침하깊이는 KS F 40393의 시험방법에 준하였으며, 압축강도 및 겉보기밀도 측정은 KS F 2459, 인장강도는 KS F 2423, 열전도율은 KS L 9016의 시험방법에 따라 실시하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

그림 1은 FG와 LSP의 혼입율 변화에 따른 플로우치를 나타낸 그래프이다. OPC 배합시 260mm 정도의 플로우치를 나타낸 것에 비해 Plain은 약 200mm 정도의 플로우치를 나타냈다. FG

는 혼입율이 증가할수록 플로우치가 소폭 감소하는 경향을 보였으며 LSP혼입시, 플로우는 거의 차이가 없게 나타났다.

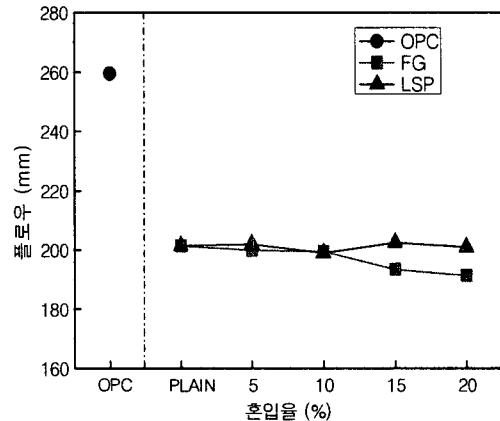


그림 1. FG와 LSP 혼입율 변화에 따른 플로우치

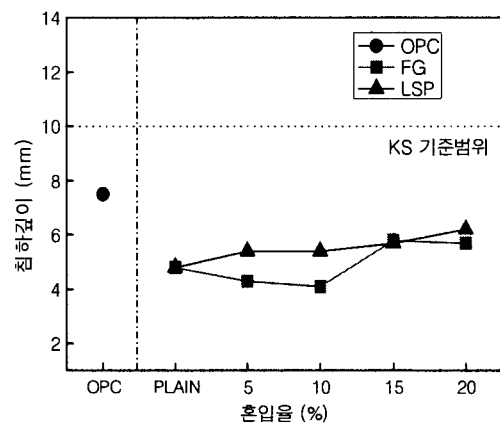


그림 2. FG와 LSP 혼입율 변화에 따른 침하깊이

그림 2는 FG와 LSP 혼입율에 따른 침하깊이를 나타낸 그래프이다. Plain은 OPC와 비교하여 약 3mm정도 침하가 감소하였으며, FG의 경우 혼입율 10%까지는 침하깊이가 감소하는 경향을 보였지만 혼입율 15%를 넘어서면서 사진 1의 d와 같이 기포의 소포현상이 일어나면서 소폭 증가하는 경향을 보였다. LSP는 혼입율이 증가할수록 형성된 기포의 공극분포가 불규칙한 경향을 보였으며, 침하깊이 또한 증가하였다.

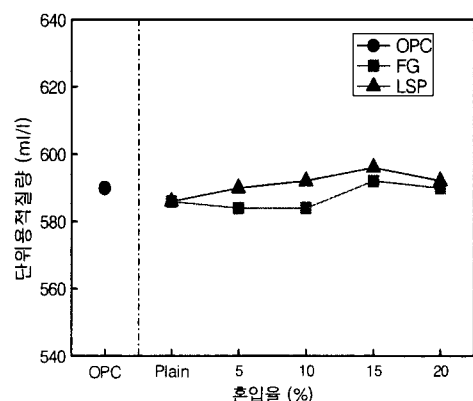


그림 3. FG와 LSP 혼입율 변화에 따른 단위용적질량

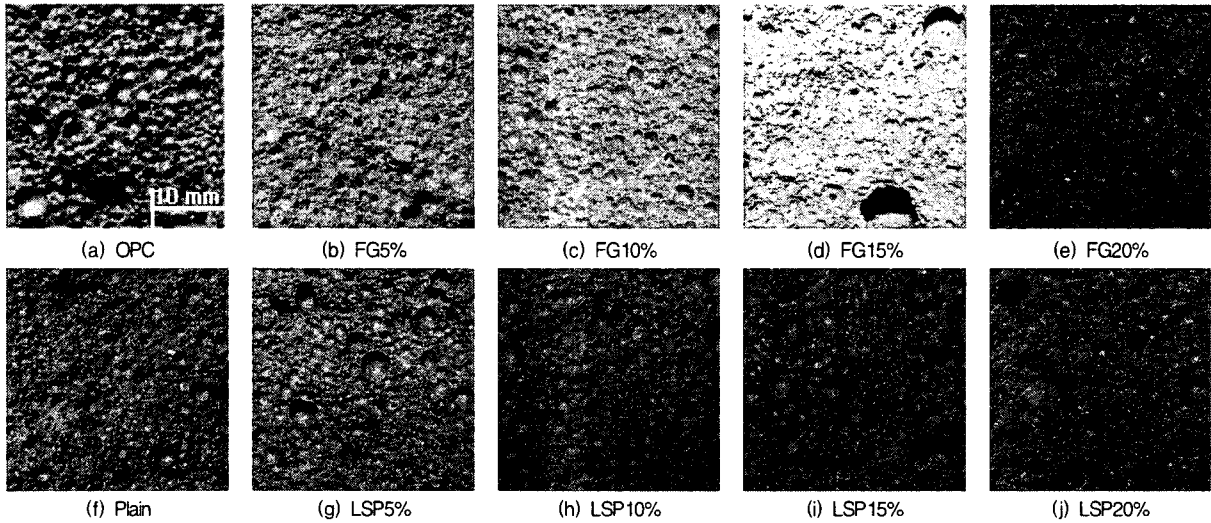


사진 1. FG와 LSP 혼입을 변화에 따른 기포형상

FG의 경우, 침하깊이의 감소현상은 미립분들5)이 고체입자와 기포 사이의 작은 공간들을 충전하여, 충전율 증가로 인한 기포 상호간의 응집력이 연속공극형성6)을 억제함으로써 나타난 결과로 분석되었다. 그러나 혼입율 15%이상에서는 미립분의 높은 분산성으로 인해 연속공극이 형성된 후 소포현상이 일어난 것으로 사료된다.

그림 3은 FG와 LSP 혼입율에 따른 단위용적질량을 나타낸 그래프이다. 전반적으로 FG와 LSP의 혼입율이 증가할수록 단위용적질량은 증가하는 것으로 나타났으며, 혼입율 15%를 넘어서면서 다시 감소하는 경향을 보였다.

### 3.2 경화 콘크리트의 특성

그림 4는 FG와 LSP 혼입율 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. OPC는 KS압축강도 규정치를 상회하는 강도를 나타냈으며, FG 혼입율 10%에서 강도 최고치를 보였고, FG는 15% 이상 혼입할 경우 KS규격에 소폭 미달하는 경향을 보였다. 또한 LSP는 혼입율이 증가할수록 압축강도가 소폭 감소하며 모두 KS규격인 '0.5품'에 해당하는 강도 규정치에 미달되었다.

이는 위에서 언급했듯이 사진 1의 FG와 LSP 혼입율 변화에 따른 기포형상을 참고하면, FG의 혼입이 증가할수록 혼입율 10%이하에서는 Plain과 유사한 고른 기포형상을 보였으나, 15%를 넘어서면서부터는 FG의 과다 혼입으로 인해 기포의7) 소포작용을 촉진시켜 공극의 크기와 분포가 불규칙한 경향을 나타내기 시작했고, 강도에 영향을 미친 것으로 사료된다. LSP는 시멘트보다 낮은 분말도로 인해 압축강도면에서 FG보다 낮은 성능을 발휘했다.

그림 5는 FG와 LSP 혼입율 변화에 따른 인장강도를 나타낸 그래프이다. 인장강도는 OPC가 최고 강도치를 나타냈으며, 미세립자와 LSP를 혼입 할 경 감소하는 경향을 나타냈다.

그림 6은 FG와 LSP 혼입율 변화에 따른 겉보기 밀도를 나타낸 그래프이다. 겉보기 밀도는 모든 수준에서 KS규격인 '0.5품'에 해당범위를 만족하는 것으로 나타났다.

그림 7은 FG와 LSP 혼입율 변화에 따른 열전도율을 나타낸

그래프이다. FG와 LSP의 혼입율이 증가함에 따라 열전도율의 변화는 미세한 것으로 나타났고, 모든 수준에서 KS기준인 '0.5품-0.160W/(m·k)'를 만족하는 것으로 나타났다.

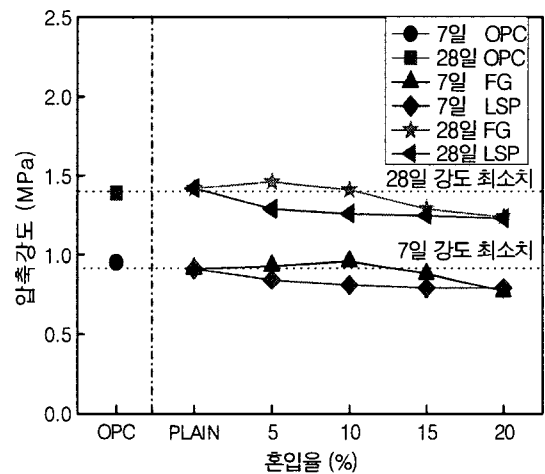


그림 4. FG와 LSP 혼입율 변화에 따른 압축강도

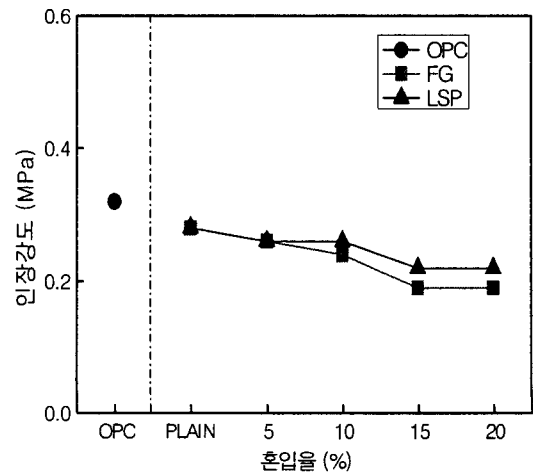


그림 5. FG와 LSP 혼입율 변화에 따른 인장강도

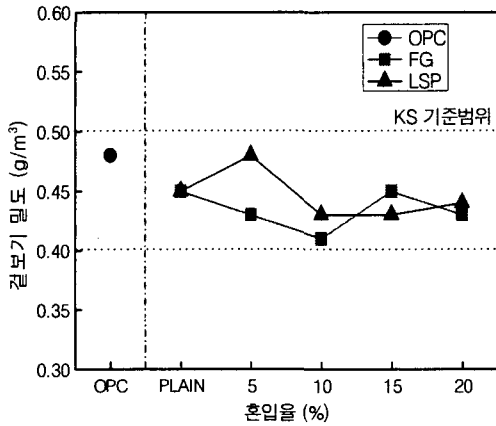


그림 6. FG와 LSP 혼입을 변화에 따른 겉보기 밀도

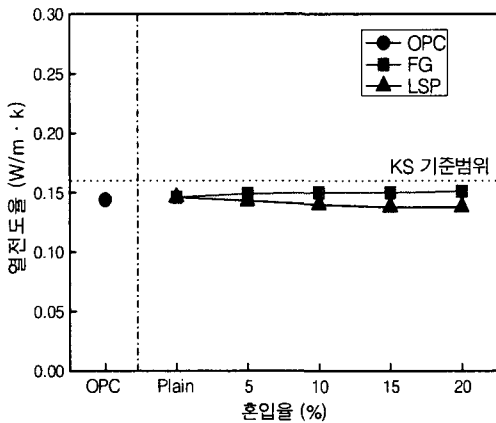


그림 7. FG와 LSP 혼입을 변화에 따른 열 전도율

는 소폭 감소하는 것으로 나타났는데, 강도하락의 범위는 FG보다 LSP가 더 작게 나타났다.

5) 미세립자 혼입에 따른 겉보기 밀도와 열 전도율은 KS규격인 '0.5품'을 모두 만족하는 것으로 나타났다.

이상을 종합하면 FG 10%를 경량기포 콘크리트용 분체에 치환하여 혼입할 경우는 품질 향상, 자원의 재활용 및 원가절감 측면에서 가장 양호한 것으로 분석되었다.

### 참고 문헌

1. 신현섭, 유승엽, 정광복, 배장춘, 김성수, 한천구; CKD 치환율 및 중점안정화제 혼입율 변화에 따른 경량기포 콘크리트의 품질특성 한국건축시공학회 학술.기술논문발표회 논문집, vol.6, no.2, (통권 제11호) 2006. 11
2. 한국콘크리트학회; 콘크리트 혼화재료, 2001
3. KS F 4039 ; 현장 타설용 기포콘크리트, 1999
4. 신재경, 유승엽, 정광복, 홍상희, 김성수, 한천구; 혼화제 치환에 따른 경량기포콘크리트의 기초적 특성, 한국콘크리트 학회논문집, Vol.18, No.2, 2006. 5, PP521-524.
5. 이수형, 지석원, 서치호; 건축용 경량 샌드위치 패널 제조를 위한 경량기포콘크리트의 최적배합 도출에 관한 실험적 연구 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집 (구조계) : Vol.24, No.2, 2004. 10
6. 경량기포 콘크리트의 연속공극 형성에 미치는 기포제의 영향 이승환; 한국콘크리트 학회 논문집, Vol.14, No.5, 2002. 10 ,pp.742~749,
7. 外館良之, 丸山久一, 下村匠; 透水性を有する注入材料の開発, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.18, No.1, 1996, pp.1005-1010.

## 4. 결 론

본 연구는 미세립자 혼입을 변화에 따른 경량기포 콘크리트의 특성분석으로 FG와 LSP의 혼입량 변화에 따른 제반특성을 영향을 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 미세립자 혼입으로 인한 유동성 변화는 FG 혼입율 10%까지는 Plain과 동일하였으나, 15%이상 혼입할 경우 유동성이 감소하는 경향이 나타났으나, LSP의 경우는 혼입율이 증가함에 따른 유동성의 변화는 미세한 것으로 나타났다.
- 2) 침하깊이는 FG 혼입율 10%에서는 Plain에 비해 작아지는 경향을 나타냈으나, 15%이상 혼입시는 혼입율 10%에 비해 2mm정도 증가하였다. LSP 혼입율에 따른 변화에서는 혼입율이 증가할수록 침하깊이가 소폭 증가하였다.
- 3) 압축강도면에서는 FG 혼입율 10%가 7일강도에서 가장 높은 강도치를 나타냈고, 28일 강도에서는 FG 혼입율 5%일 때 가장 높은 강도치를 나타냈다. 그러나 FG 혼입율 5%, 10%를 제외한 수준에서는 KS규격 '0.5품'의 강도 규정치에 소폭 미달하는 것으로 나타났다.
- 4) 인장강도에서는 FG와 LSP모두 혼입율이 증가할수록 강도