

광물성 기포제를 이용한 경량기포콘크리트의 물리적성질에 관한 실험적 연구

A Experimental Study on the Physical properties of Lightweight Foamed Concrete Using Mineral Foam Agent

○ 유 제 준* 이 한 승** 배 규 웅*** 이 상 섭**** 연 규 봉*****
You, Jei-Jun Lee, Han-Seung Bae, Kyu-Woong Lee, Sang-Sup Yeon, Gyu-Bong

Abstract

The objective of this study the mechanical characteristics of prefoamed lightweight foamed concrete using the mineral foam agent which has high lightness, and strength. The compressive strength of lightweight foamed concrete using mineral foam agent are about 2 times degree high those the of lightweight foamed concrete using vegetable foam agent. Lightweight foamed concrete was able to obtain the result of 50kg/cm² or more compressive strength, when was unit weight 0.8t/m³. In the case of the same unit weight of concrete, it is influenced by w/c of foam agent ratio. The paper present extensive data on characteristics of compressive strength of the concrete manufactured with the different factors in mix design and also present optimum mix proportion.

키 워 드 : 경량기포콘크리트, 기포제, 압축강도, 배합설계

Keywords : Lightweight Foamed Concrete, Foaming agent, Compressive Strength, Design of Mix Proportion

1. 서 론

경량기포콘크리트는 현재 아파트 바닥 단열층이나 그라우트제로 주로 사용되고 있으며, 거의 대부분이 식물성기포제 및 동물성 기포제를 사용함으로써 기포 안전성 확보 및 악취 등의 문제점을 가지고 있다. 최근에는 안전성이 확보되는 광물성기포제에 대한 개발이 진행되고 있으며 광물성기포제의 강도발현의 우수성에 대한 연구도 진행되고 있다.

본 연구는 현재까지 사용되어 왔던 식물성기포제, 동물성 기포제 보다 우수한 기포성능을 지닌 광물성기포제를 이용한 벽체 충전용 경량기포 콘크리트를 개발하여 기존의 Steel House 벽체의 충전용 석면 및 유리섬유를 대체하기 위한 기초 연구이다.

특히, 조립식 공법을 위해 지금까지 개발된 패널의 경우, 대부분 비내력벽을 대상으로 한 간막이벽 정도의 사용이 대부분이고, 그 활용 범위도 그다지 크지 않다.

국내·외를 망라하여 경량 기포 모르터를 기존의 Steel House 벽체의 충전용 석면 및 유리섬유를 대신하여 충전재로 사용한 사례는 전무한 상태이다.

따라서 본 연구에서 경량기포콘크리트를 개발하여 스틸스터드 복합패널에 충전하여 박판 스틸스터드의 구조내력을 증진시키는 등의 다기능을 수행하는 고성능 조립식 복합패널 공법을 개발하기 위해 필요한 압축강도 50kg/cm² 이상을 목표 강도로 하여 광물성기포제 따른 희석율 및 배합비의 제안하는 것이 목적이다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

1) 시멘트

본 시험에 사용한 시멘트는 KS L 5201 규정에 적합한 C사 제품의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였다.

2) 기포제

본 실험에서 사용한 기포제는 식물성기포제와 광물성기포제의 두가지이며, 각 기포제의 물리적 성질은 다음 표 1과 같다.

표 1. 기포제의 물리적성질

기포제 구분	비중	점도				pH	색상
		스핀들	토크값	rpm	CPS		
식물성	1.03~1.04	1	92.7	100	92.8	6~7	투명색
광물성	1.03~1.04	1	95.2	140	68.4	6~7	연한갈색

* 한양대학교 건축학과 연구조교수, 정희원
** 한양대학교 건축학과 조교수, 정희원
*** 한국건설기술연구원 수석연구원, 정희원
**** 한국건설기술연구원 선임연구원, 정희원
***** (주)진웅CRS 기술이사, 정희원

2.2 실험계획

본 실험의 실험계획은 콘크리트의 용적에 대해서 기포슬러지 비중 0.5, 0.8, 1.0, 1.2의 3수준으로, 기포제 희석율은 2.5, 3.0의 2수준으로 하였으며, 물시멘트비는 40%, 50%의 2수준으로 하였다.

표 2. 배합인자 및 수준

요인	기포제	슬러지비중	희석율 (%)	물시멘트비 (%)
인자	식물성 광물성	0.5, 0.8, 1.0, 1.2	2.5, 3.0	40, 50

2.3 실험방법

기포의 제작방법은 선기포방식을 이용하여 희석수와 기포제를 1:45(희석율이 2.5%일 경우)로 섞어서 발포기에 넣고 5 kg/cm²의 압축공기로 압송하여 제조된다. 혼합은 강제식 믹서기를 이용하여 먼저 믹싱된 슬러그에 기포를 주입하여 2분간 기포와 슬러그를 믹싱하여 기포슬러그를 제작한다. 경량기포콘크리트의 제작순서는 그림 1에 나타난 것과 같다.

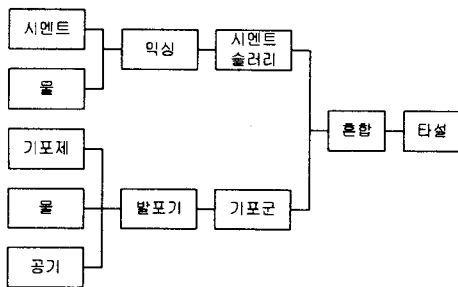


그림 1. 경량기포콘크리트 제작순서

2.4 측정항목

1) 기포슬러그 비중

무게의 측정은 1000ml 메스실린더에 채취한 기포슬러지를 1000ml 눈금까지 붓고 용기의 중량을 뺀 시료의 중량(Ws)을 측정하였다. 이 경우 무게 측정은 1g까지 계량할 수 있는 저울을 이용하였다. 기포슬러리의 비중은 다음과 같은 식으로 구하였다.

$$\text{기포슬러리의 비중} = Ws/1000$$

Ws: 용기 중량을 뺀 시료의 중량

1000(ml): 용기의 체적

2) 슬럼프 플로

슬럼프 플로시험은 안지름 80mm, 높이 80mm인 아크릴 원통을 세운 후 채취된 슬러그를 상부까지 붓고 남은 윗부분은 수평으로 제거한다. 원통을 살머시 들어 올려 1분 후에 시료가 퍼진 4방향에 대해 등간격으로 측정하여 평균값을 구한다. 이 경우 측정은 1mm까지 측정할 수 있는 측정기를 사용하였다.

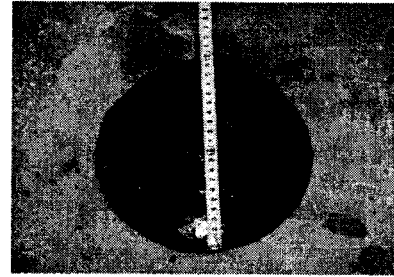


그림 2. 슬럼프 플로시험

3) 기포율

기포율시험은 실제 목표한 기포율과 배합된 이후 시료의 기포율을 확인하기 위해 알콜로 슬러지 내부의 기포를 소포시켜 기포율을 측정하는 알콜소포법을 적용하였다. 알콜소포법은 500cc 메스 실린더에 시료 200g를 넣고 물 200cc를 더하여 플라스틱 봉으로 1분간 잘 저어서 기포를 분리시켰으며, 여기에 알콜 100cc를 더하여 다시 1분간 저어서 완전히 소포시킨 후 메스 실린더 눈금을 읽어 체적을 측정하였다.

4) 침하깊이

안지름이 약 145mm이고 높이가 300mm인 아크릴 용기에 시료를 상부까지 붓고 위에 남은 윗부분은 수평하게 제거한다. 이 때의 시각을 측정하여 2시간 후의 상부 침하 깊이의 최대값을 1mm 단위까지 측정하였다. 이 경우 시료를 채운 후에 용기를 움직이면 기포 콘크리트가 진동에 의해 침하가 촉진되므로 측정시까지 정치시켰다.

3. 실험결과 및 고찰

실험계획에 따른 경량기포콘크리트를 제조하여 기포슬러지 비중, 플로우값, 기포율, 침하깊이, 압축강도를 실시한 결과 표 3과 같은 결과를 얻었다.

표 3. 실험계획 및 실험결과

No	종류	희석율 (%)	물시멘트비 (%)	기포슬러그비중	슬럼프플로 (cm)	기포율 (%)	침하깊이 (mm)	압축강도 (kgf/cm ²)		
								7일	14일	28일
I-1	식물성기포제	2.5	50	0.76	24	63	3.1	23.1	26.8	32.9
II-1	광물성기포제	2.5	50	0.5	28.5	75	4.5	4.7	7.3	10.4
II-2		2.5	50	0.76	20.5	55	0	51.4	61.2	68.1
II-3		2.5	50	1.03	25.0	50	0	71.9	98.9	120
II-4		2.5	50	1.28	23.5	40	0	113	137	153
II-5		2.5	40	0.99	21.5	57	0	76.7	92.4	94.9
II-6		3.0	50	0.98	29	60	2.7	40.5	51.0	52.6

3.1 기포제 종류에 대한 비교

표 3에 나타난 것과 같이 식물성기포제와 광물성기포제를 동일한 기포슬러지 비중 0.76에 대해서 일반적으로 사용되고 있는 식물성기포제를 이용한 경량기포콘크리트는 3mm정도 침하 하였으나 광물성기포제를 이용한 경우에는 거의 침하하지 않았다.

그림 3에 나타난 것과 같이 기포형성군을 관찰한 결과 식물성기포제의 경우 동물성기포제의 기포보다 상대적으로 큰 기포를 형성하고 있으며, 기포가 소포되어 일부 공극이 발생된 곳도 관찰하였다.

기포제의 종류와 압축강도의 관계는 그림 4와 같다. 식물성 기포제를 이용한 경량기포콘크리트 보다 광물성기포제를 이용한 경량기포콘크리트의 강도가 2배 이상 나타났다. 이것은 앞에서 서술한 침하값이와 기포형성군을 통해서 알 수 있듯이 식물성기포제는 기포의 안정성이 광물성기포제 보다 불안정하여 기포의 소포량이 많고, 기포군의 크기가 크게 형성되어 있으며, 침하량이 광물성기포제 보다 많아 압축강도발현에 크게 영향을 미친 것으로 사료된다.

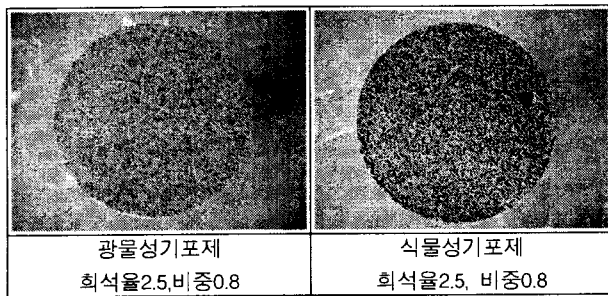


그림 3. 경량기포콘크리트의 단면형상

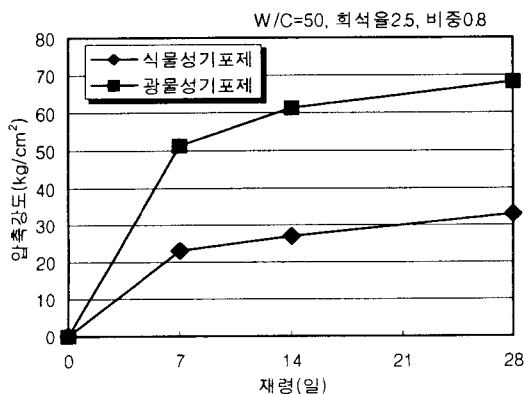


그림 4. 기포제종류와 압축강도의 관계

3.2 기포제의 회석율에 따른 물성성능

폴리아크릴계통의 고분자기포제를 사용한 경량 기포콘크리트에 대해 검토한 연구1, 2)에서도 회석율에 따른 단위체적과 압축강도의 관계에서 단순히 회석율이 높다고 강도발현이 증가하지 않았으며, 이에 따른 고분자기포제의 최적 회석비를 구하였다. 이와 같이 기포제의 회석율에 대해서 회석율이 높

다고 해서 좋은 압축강도가 좋은 경량기포콘크리트가 만들어지는 것이 아니며 오히려 적정 회석율을 넘었을 경우 오히려 압축강도 저하를 가져오는 것을 알 수 있다. 본 실험에서의 각 재령에 따른 광물성기포제의 회석율과 압축강도의 관계는 그림 5와 같다. 경량기포콘크리트에 사용되는 광물성기포제의 회석율은 회석율 3.0% 보다 회석율2.5%가 강도발현이 좋은 것으로 나타났다. 이것은 표 3에 나타난 것과 같이 기포제의 회석율이 증가함에 따라 발생하는 기포율이 증가됨으로 인해 압축강도가 작아졌다고 사료된다.

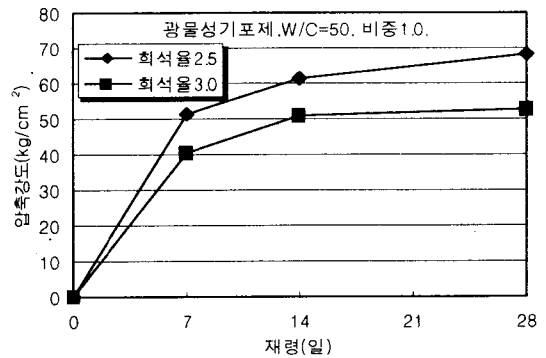


그림 5. 회석율과 압축강도의 관계

3.3 기포슬러지의 비중에 따른 물성성능평가

기포슬러지 비중과 압축강도의 관계는 그림 6와 같다. 광물성기포제를 이용하여 기포를 생성시킨 후, 슬러지와 혼합하여 만들어진 경량기포슬러지는 비중에 따른 압축강도는 비례관계를 나타내고 있다. 이것은 비중이 증가할수록 기포율이 감소하므로 압축강도가 증가하는 것을 생각된다. 단, 일반 온돌용으로 사용되고 있는 경량기포콘크리트 비중 0.5t/m³로는 스틸스터드 패널의 사용성능강도(약 50kg/cm²)에는 못미치며, 경량기포콘크리트로 충전하여 스틸스터드 패널을 제작할 경우에는 기포슬러지의 비중을 0.8t/m³ 이상으로 제작해야 한다고 사료된다.

경량기포콘크리트의 할선탄성계수는 응력-변형률곡선의 원점과 극한강도의 50%응력에서의 점을 연결한 직선기울기를 산정하였다. 표 3은 경량기포콘크리트의 단위체적, 압축강도, 탄성계수의 대표값을 나타낸다. 보통콘크리트의 탄성계수는 $20\sim30 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$ 범위인데 비해 경량기포콘크리트의 탄성계수는 $0.57\sim1.13 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$ 이었다. 이때의 평균 포아송비는 0.2이였다.

3.4 경량기포모르터의 물시멘트비에 따른 물성성능평가

그림 9는 동일 비중에 대해서 물시멘트비와 압축강도의 관계를 나타낸 것이다. 경량기포콘크리트의 슬러지 비중이 같고 물시멘트비가 다른 압축강도 관계를 보면 물시멘트비 40%경우, 물시멘트비 50%의 시험체와 비교하여 압축강도의 차이가 거의 나지 않으며 오히려 28일 강도는 물시멘트비 50%보다 적은 값을 나타낸 것을 알 수 있다. 이것은 동일한 기포슬러지 비중에 도달하기 위해서는 물시멘트비가 작을수록 기포슬러지량이 작아지고, 기포율이 상대적으로 증가하기 때문에 물

시멘트비가 작았으나 압축강도에 큰 영향을 주지 못한 것으로 사료된다. 이것을 통해서 비중에 따른 경량기포 콘크리트의 압축강도는 물시멘트비의 영향 보다 기포율이 더 큰 영향을 주는 것으로 생각된다.

4. 결 론

- 1) 스틸스터드 복합패널에 충전하여 박판 스틸스터드의 구조 내력을 증진시키는 위해 사용되는 기포제는 식물성기포제 보다 광물성기포제를 사용한 경량기포콘크리트가 기포의 안정성이 우수하여 압축강도가 2배이상 증진되는 것을 알 수 있었다.
- 2) 광물성기포제를 사용한 경량기포콘크리트의 경우 회석율은 2.5%가 적절하다고 사료되며, 물시멘트비 50%로 했을 경우 기포슬러그 비중이 0.8이상일 때 스틸스터드 패널의 사용성능강도를 얻을 수 있었다.
- 3) 슬러지비중을 중심으로 경량기포콘크리트를 제작할 경우 물시멘트비가 감소할수록 상대적으로 기포율이 증가하여 압축강도의 증진에 영향을 주지 못하는 경향이 있었다.

표 4. 압축강도와 정탄성계수 (광물성기포제 사용)

기포슬러그비중	압축강도 (kgf/cm ²)	탄성계수 (×10 ⁴ kg/cm ²)
0.76	68.1	0.57
1.03	120.9	0.81
1.28	152.9	1.13

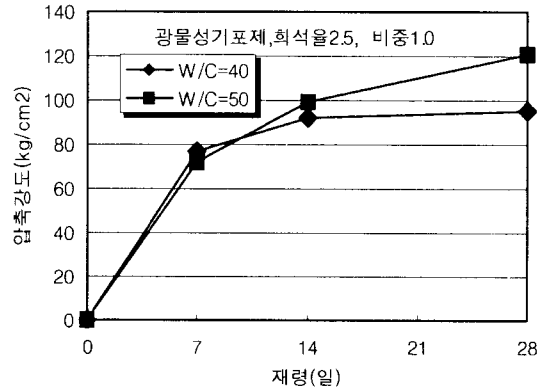


그림 9. 물시멘트비와 압축강도의 관계

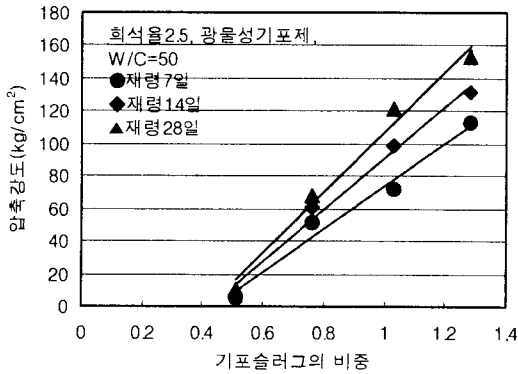


그림 6. 기포슬러지 비중과 압축강도의 관계

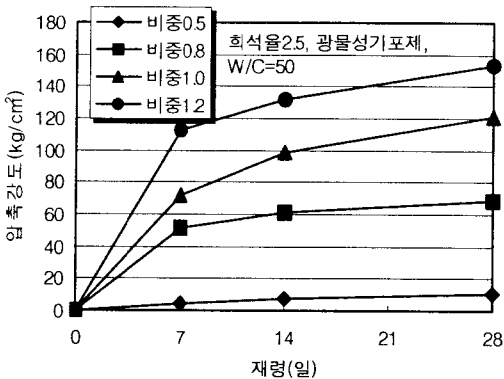


그림 7. 기포슬러지비중과 압축강도의 관계

참 고 문 헌

1. 변근주, 송하원, 박상순, "고분자 기포제를 이용한 경량기포 콘크리트의 개발(Ⅰ)", 콘크리트학회지, 제9권. 1호, 1997.2
2. 변근주, 송하원, 박상순, "고분자 기포제를 이용한 경량기포 콘크리트의 개발(Ⅱ)", 콘크리트학회지, 제9권. 1호, 1997.2