

기포제 종류에 따른 경량기포콘크리트의 단열특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Insulation Property of Light-Weight Foamed Concrete according to Foaming Agent Type

최 훈 국*	선 정 수*	이 정 구*	최 덕 진*	정 지 용**	김 진 만***
Choi, Hun Gug	Sun, Joung Soo	Lee, Jung Goo	Choi, Duck Jin	Jeong, Ji Yong	Kim, Jin Man

ABSTRACT

Recently, use of light-weight panel is increasing in building. Styrofoam sandwich panel is inexpensive and it is excellent in insulation ability and constructability. But styrofoam of panel inside is low ignition point. Consequently, when panel is fired, it is occur in poisonous gas.

On the other hand, light-weight foamed concrete is excellent in insulation ability, fire resistance due to inner pore. Properties of light-weight concrete is influenced by foaming agent type.

Accordingly, this study investigate in insulation property of according to foaming agent type in order to using light-weight foamed concrete instead of styrofoam.

As a results, Non-heating zone temperature of light-weight foamed concrete of using AP, FP are lower than light-weight foamed concrete of using AES. Light-weight foamed concrete of using AES, FP are satisfied with fire performance of two hours at foam ratio 50, 100. Light-weight foamed concrete of using AP is satisfied with fire performance of two hours at AP ratio 0.1, 0.15. Insulation property is better closed pore by made AP, FP than open pore by made AES.

키 워 드 : 경량기포콘크리트, 기포제 종류, 계면활성제, 동물성기포제, 알루미늄 파우더, 단열특성
Keywords : Light-weight Foamed concrete, Foaming agent type, AES, FP, AP, Insulation property

1. 서 론

현대의 건축물에서 경량패널의 사용은 점차 증가되고 있다. 경량패널의 종류로는 샌드위치패널, 복합패널 등이 있고, 그 중 스티로폼 샌드위치 패널이 건물의 외장재, 내부칸막이벽 등으로 광범위하게 사용되고 있다. 스티로폼 샌드위치 패널은 가격이 싸고, 단열성능 및 시공성이 뛰어나지만 패널 내부의 스티로폼의 인화점이 낮아 화재에 약하고, 유독가스가 발생하는 문제점이 있다.

한편, 경량기포콘크리트는 기포제를 활용하여 시멘트 경화체 내에 다량의 공극을 발생시켜 제조한 경량콘크리트의 일종으로서, 내부에 수많은 공극을 포함하고 있어서 단열성능과 내화성, 경량성 등이 뛰어나다. 경량기포콘크리트의 역학적 특성은 사용되는 기포제와 발포제의 종류에 따라 많은 영향을 받게 된다. 기포제는 계면활성작용에 의해 물리적으로 기포를 도입하는 것으로서 공기량은 최고 85%까지 생성될 수 있으며, 크게 계면활성제계, 가수분해단백질계로 분류될 수 있다. 계면활성제계 기포제는 수용액 상에서 기포시키면 안정되고, 점성이 높은 기포가 생기지만 시멘트 슬러리와 혼합 시 안정성이 저하되

어 서로 연속된 형태의 기포를 형성한다. 가수분해 단백질계 기포제는 계면활성제계 기포제와는 달리 시멘트 슬러리와 혼합 시 안정되고 서로 독립적인 형태의 기포를 형성하게 된다. 발포제는 금속분말이 알칼리 용액과 접촉하여 수소가스를 발생시키는 원리를 이용하는 것으로서 현재 ALC의 제조에 사용되고 있다.

이에 본 연구는 경량기포콘크리트를 샌드위치 패널의 충전재로 사용하기 위한 일련의 연구로써, 기포제 종류에 따른 경량기포콘크리트의 단열특성을 검토하여 샌드위치 패널의 충전재로 사용하기 위한 기초적 자료를 제시하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

실험계획은 표 1과 같다. 기포제의 종류는 계면활성제(AES), 동물성기포제(FP), 알루미늄 파우더(AP)를 사용하였다. AES와 FP의 기포수의 농도는 각각 0.6, 5.0%를 사용하였으며, 기포수를 사용하여 제조한 기포는 분체에 대하여 용적비로 50%씩 증가시켜 0~300%를 혼입하였다. AP의 첨가량은 ALC의 제조에 사용되는 양과 동일하게 분체에 대하여 중량비로 0.1, 0.15% 2수준으로 실험을 하였으며, 비교를 위하여 현재 생산되

* 공주대학교 건축공학과 대학원, 석사과정, 정희원
** (주)에이스 패널 주임연구원, 정희원
*** 공주대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 정희원

고 있는 ALC를 동일한 방법으로 실험을 하였다.
 측정항목은 밀도와 압축강도, 비가열면 온도를 측정하였다.

표 1. 실험계획

Factors	Levels	Testing items
AES FP	0, 50, 100, 150, 200, 250, 300%	Oven dried density(g/cm ³) Compressive strength(MPa)
AP	0.1, 0.15%	Non-heating zone temperature(°C)

* AES(Alkyether lactic acid ester), FP(Animality protein foaming agent), AP(Aluminum powder)

2.2 실험방법

2.2.1 사용재료

경량기포콘크리트를 제조하기 위하여 시멘트는 KS L 5201에 규정된 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다. 규사 미분은 밀도 2.65, 분말도 3600cm³/g의 금평산을 사용하였으며, 소석회, 무수석고, 알루미늄시멘트를 사용하였다. AES는 국내 A사의 계면활성제, FP는 H사의 동물성기포제, 알루미늄 파우더는 일본에서 수입한 Y제품을 사용하였으며, 기포제의 물리적 특성은 표 2와 같다.

표 2. 기포제의 물리적 특성

Types	Density (g/cm ³)	Active mater(%)	pH	Boiling point (°C)	Melting point (°C)
AES	.	28.2	8.39	.	.
FP	1.14	35.8	7.36	.	.
AP	2.7	.	.	2,450	660

2.2.2 혼합방법

그림 1은 경량기포콘크리트를 제조하기 위한 혼합방법을 나타낸 것이다. 시멘트와 물은 먼저 아스팔트 믹서에서 2분 동안 혼합하여 슬러리 상태로 만든 후 AP를 첨가하고 균일하게 분포되도록 1분간 믹싱을 하였다. 또한 AES와 FP를 사용한 경량기포콘크리트의 제조는 슬러리 상태로 만든 후 기포발생기와 일체형인 리본믹서에 투입하여 각각의 기포를 첨가하고 균일하게 분포되도록 1분간 믹싱을 실시하였다.

시험체는 밀도, 압축강도 측정을 위하여 $\phi 100 \times 200$ mm, 단열 특성을 측정하기 위하여 300×300×50mm의 크기로 제작하였다.

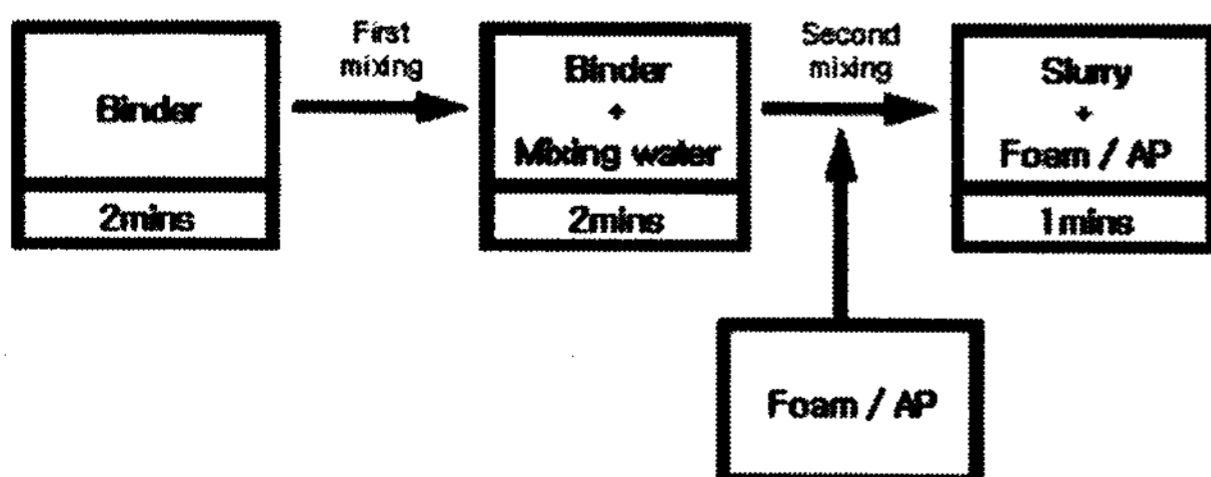


그림 1. 혼합방법

2.2.3 양생방법

타설 후 4시간의 기건양생 후 그림 2과 같이 증기양생 및 오토클레이브 양생을 실시하였다.

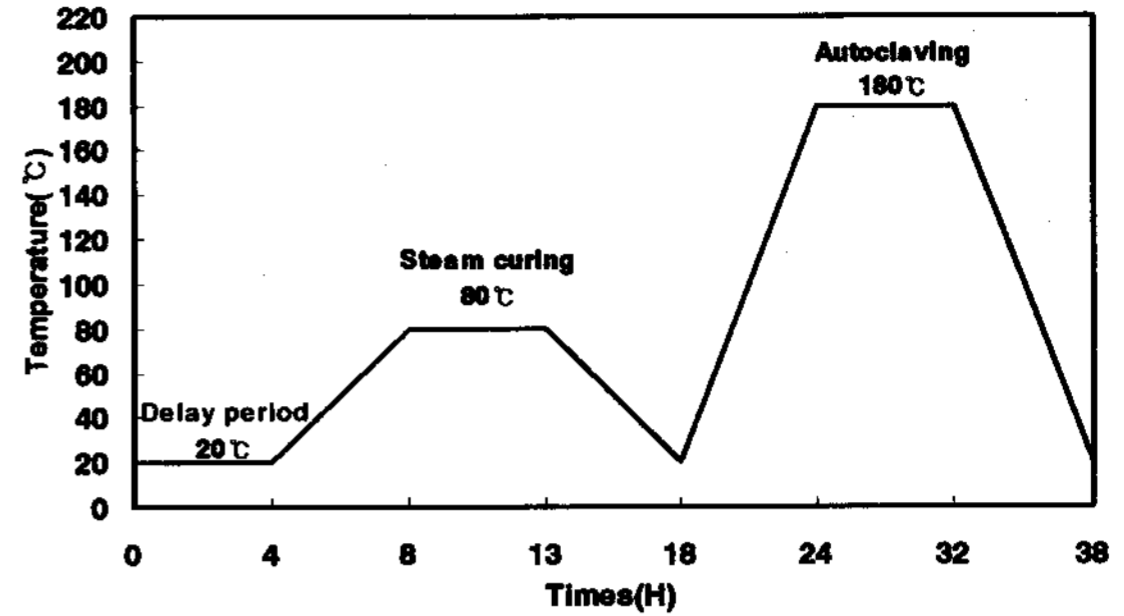


그림 2. 양생방법

2.2.4 측정방법

KS F 4914 「경량기포콘크리트 패널(ALC패널)」에 의거하여 밀도와 압축강도를 측정하였다. 그림 3은 실험에 사용한 내화시험 장치이다. 실험조건은 KS F 2257-8 「건축부재의 내화시험 방법-수직 비내력 구획부재의 성능 조건」에 준하여 실시하였으며, 비가열면의 온도측정에 사용된 열전대는 시험체 중앙 1개소에 설치하였다.

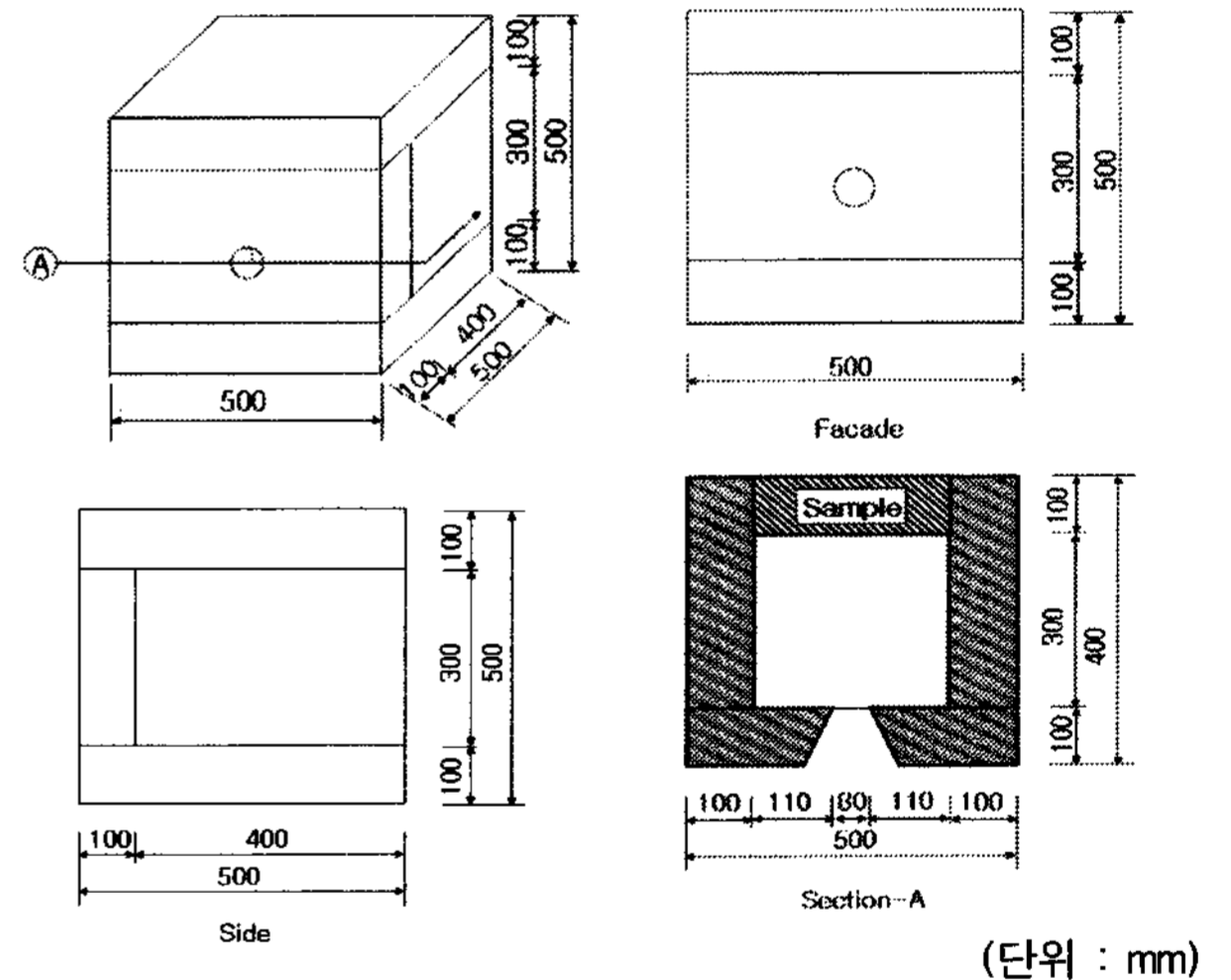


그림 3. 내화시험장치

3. 실험결과 및 고찰

3.1 밀도

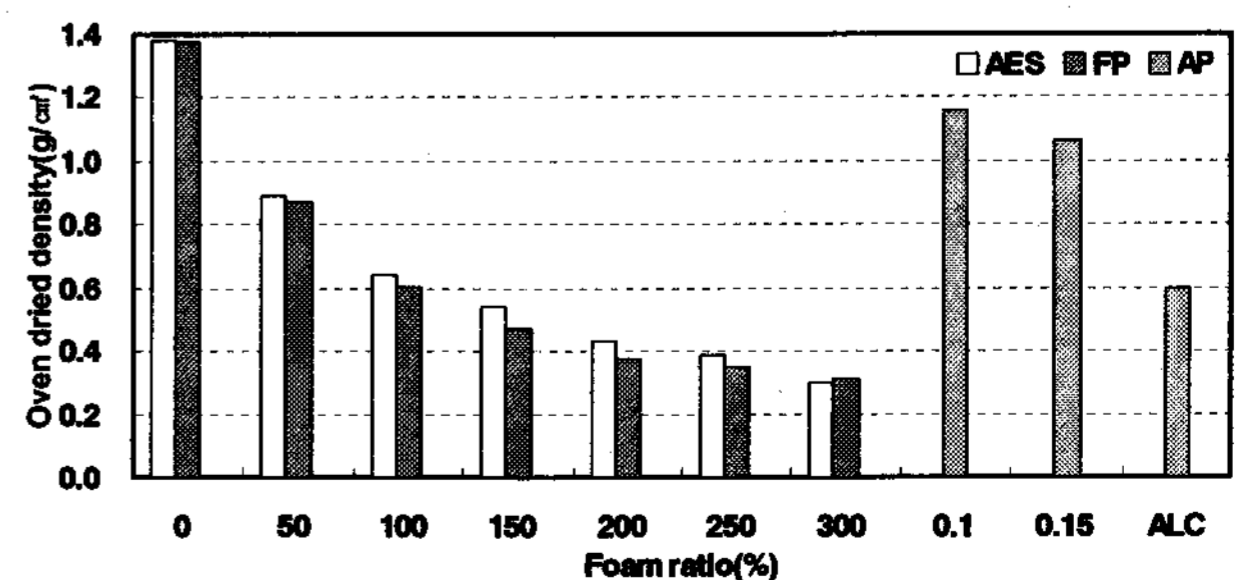


그림 4. 기포제 종류에 따른 경량기포콘크리트의 밀도

그림 4는 기포제 종류에 따른 경량기포콘크리트의 밀도를

나타낸 것이다. 기포혼입율 0~300%에 따라 밀도는 AES는 1.38~0.30, FP는 1.38~0.31로 측정되었다. AP를 0.1, 0.15% 첨가한 시험체의 밀도는 1.16, 1.06, ALC는 0.60으로 측정되었다. AES와 FP를 사용한 시험체의 밀도차이는 기포혼입율 150%에서 최대인 0.07, 300%에서 최소인 0.01로 거의 유사한 것으로 나타났다. ALC와 AP를 사용한 시험체의 밀도차이는 0.46~0.56으로 AP의 밀도가 더 높은 것으로 나타났다.

3.2 압축강도

그림 5는 기포제 종류에 따른 경량기포콘크리트의 압축강도를 나타낸 것이다. 기포혼입율 0~300%에 따라 압축강도는 AES의 경우 31.6~1.2MPa, FP는 31.0~0.9MPa로 측정되었다. AP를 0.1, 0.15% 첨가한 시험체는 4.0, 3.2MPa이며, ALC는 3.2MPa로 측정되었다. AES와 FP를 사용한 시험체의 압축강도의 차이는 기포혼입율 150%에서 1.4MPa로 가장 큰 차이를 보였지만 대체적으로 유사하게 나타났다. ALC와 AP를 사용한 시험체의 압축강도의 차이는 최대 0.8MPa로 유사하게 나타났다.

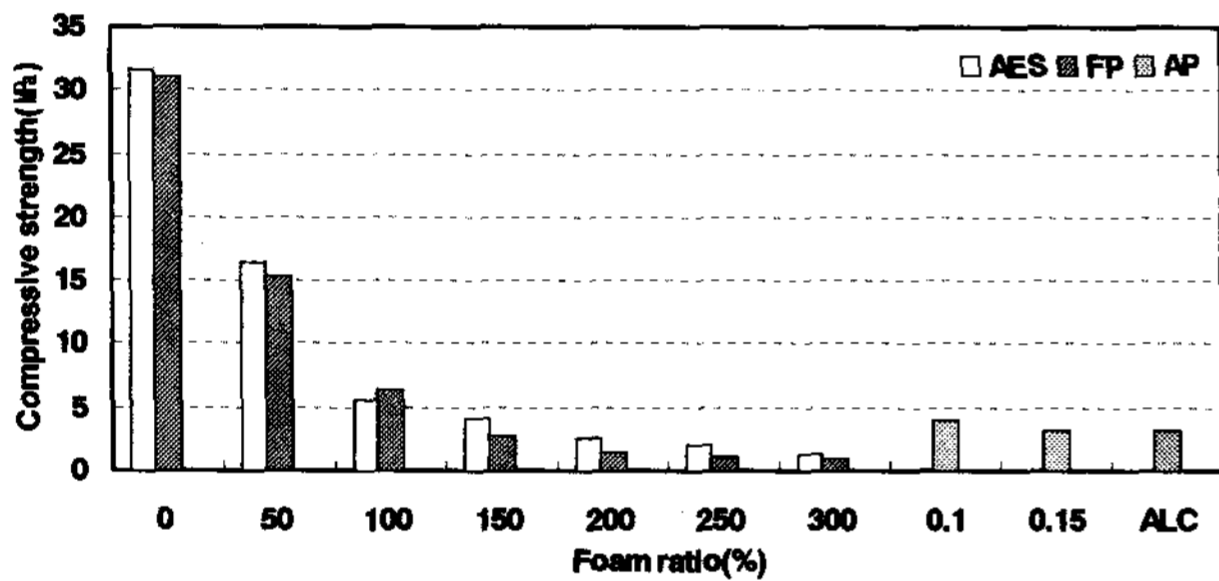


그림 5. 기포제 종류에 따른 경량기포콘크리트의 압축강도

3.3 비가열면의 온도

그림 6, 7은 AES로 제조한 시험체의 가열 및 비가열면 온도곡선을 나타낸 것이다. 기포 혼입율이 0~300%로 증가함에 따라 120분 가열 후에 시험체의 비가열면 온도는 각각 102.7, 69.7, 70.0, 138.0, 171.9, 182.8, 193.4°C로 측정되었다.

모든 시험체에서 가열 시작 후 약 8분을 기준으로 비가열면 온도가 상승하였으며, 기포혼입율 50, 100%는 약 22분, 그 이외의 시험체에서는 약 18분을 기준으로 온도가 일정하게 유지되었고, 기포혼입율 50, 100%는 약 110분, 150, 200, 250%는 약 80분, 300%는 약 60분을 기준으로 다시 온도가 상승되었다. 가열 중 온도가 일정하게 유지되는 현상을 보이는 이유는 시험체 내부의 공극을 경유하여 수분이 증발함으로써 열에너지가 소모되어 일어나는 것으로 판단된다.

그림 8, 9는 FP로 제조한 시험체의 가열 및 비가열면 온도곡선을 나타낸 것이다. 기포혼입율이 0~300%로 증가함에 따라 120분 가열 후에 시험체의 비가열면 온도는 각각 125.7, 85.0, 87.8, 171.2, 188.1, 192.0, 199.7°C로 측정되었다.

기포혼입율 50, 100, 200%의 경우 가열 시작 후 약 14분, 150, 250, 300%는 약 8분을 기준으로 온도가 상승하였고, 기포혼입율 50, 100, 200%는 약 22분, 그 외 시험체는 약 14분을 기준으로 온도가 일정하게 유지되었으며, 기포혼입율 50, 100%는 약 110분, 그 외는 약 90분을 기준으로 온도가 상승하였다.

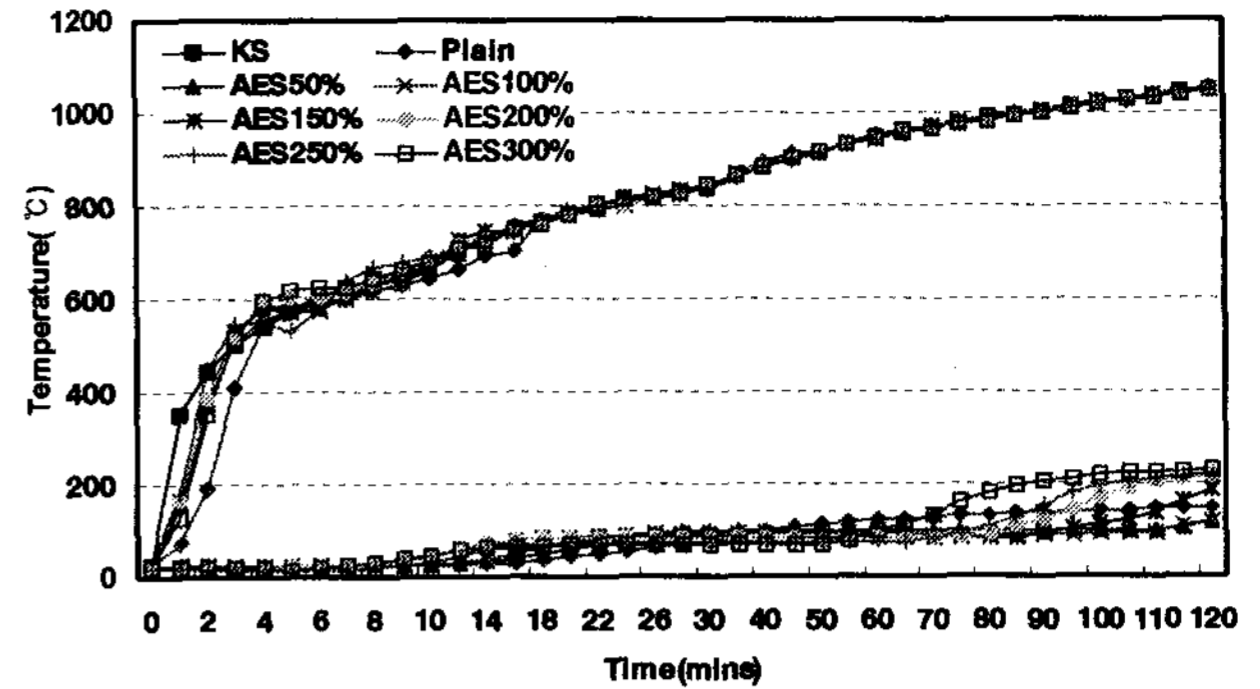


그림 6. AES로 제조한 경량기포콘크리트의 가열곡선

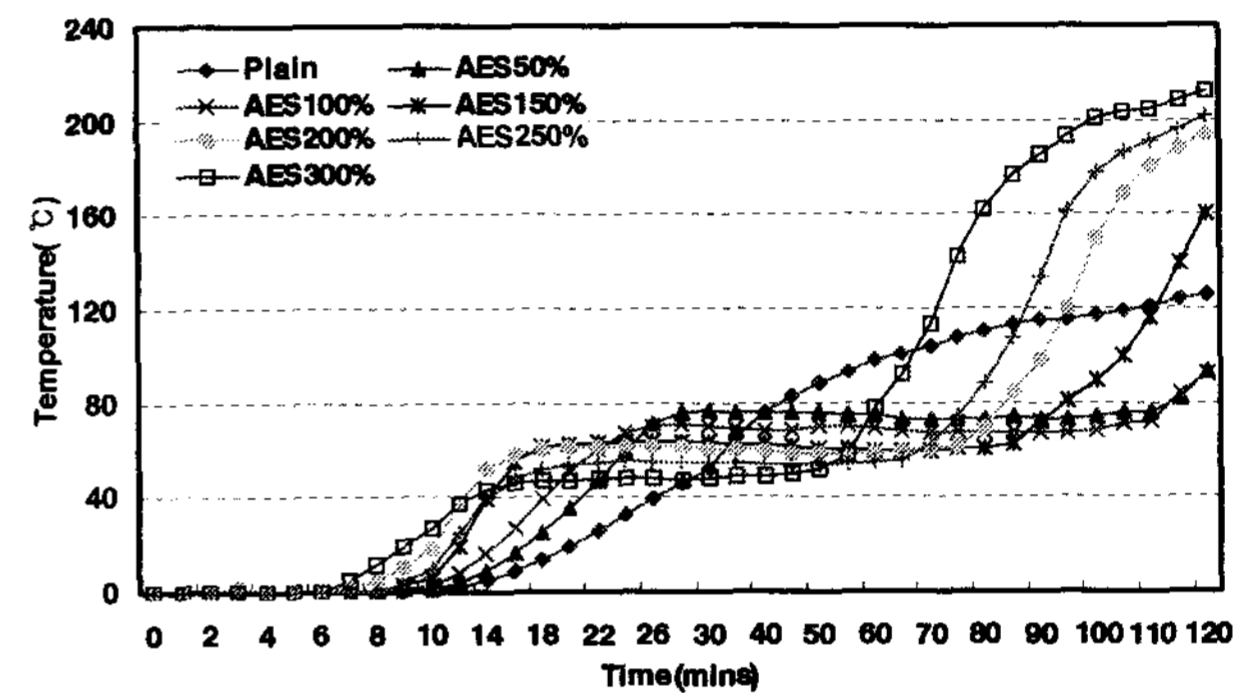


그림 7. AES로 제조한 경량기포콘크리트의 비가열면 온도곡선

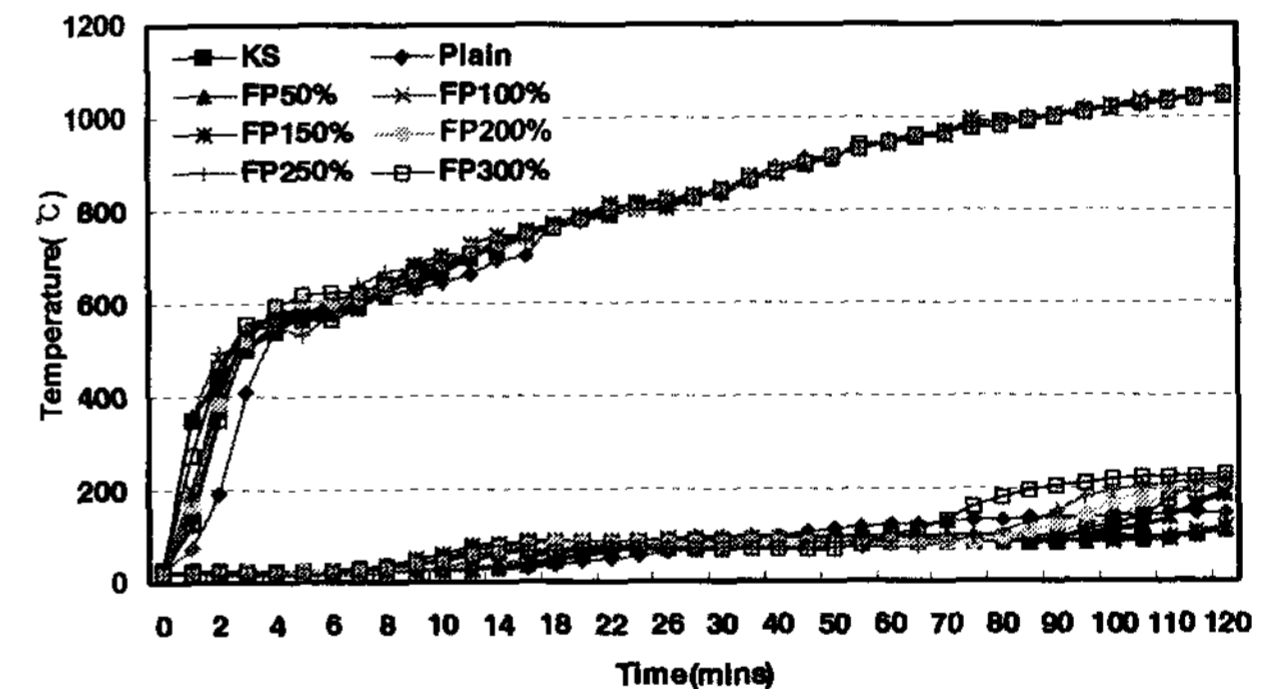


그림 8. FP로 제조한 경량기포콘크리트의 가열곡선

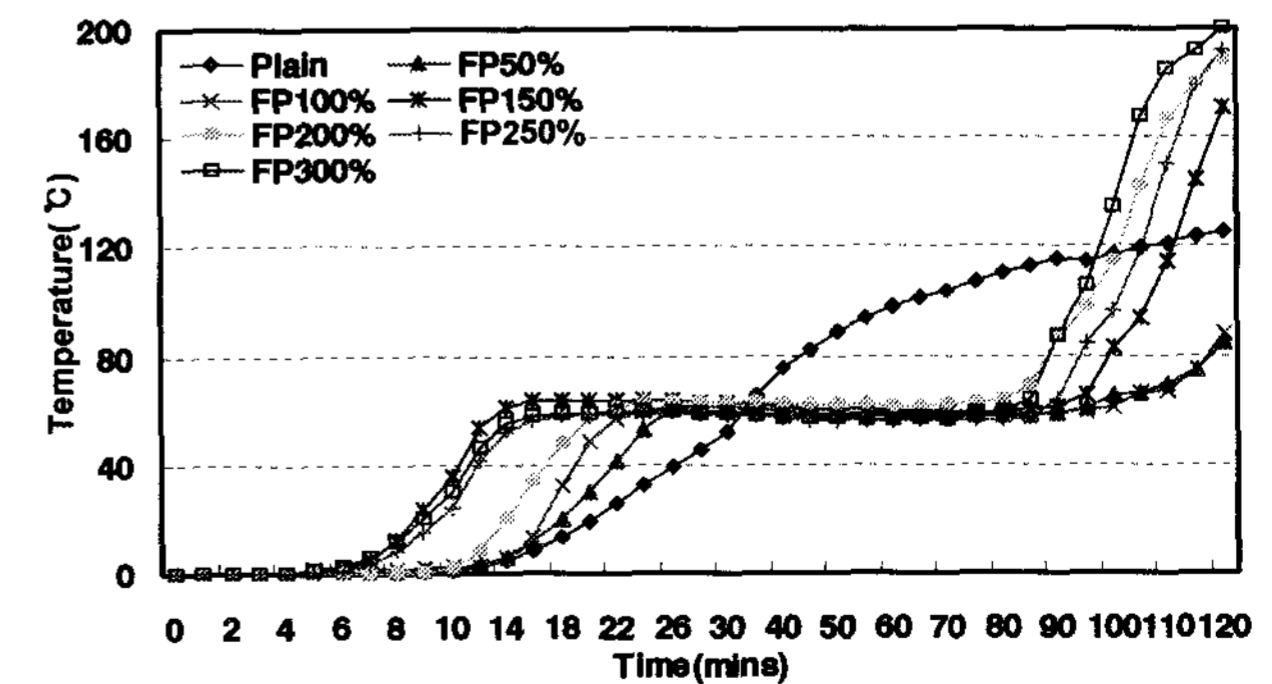


그림 9. FP로 제조한 경량기포콘크리트의 비가열면 온도상곡선

그림 10, 11은 ALC와 AP를 사용한 시험체의 가열 및 비가열면 온도곡선을 나타낸 것이다. 120분 가열 후에 시험체의 비가열면 온도는 AP 첨가량 0.1, 0.15%에 따라 각각 82.7, 120.4°C, ALC는 212.4°C로 측정되었다.

AP로 제조한 시험체와 ALC의 경우 가열 시작 후 약 10분을 기준으로 온도가 상승하였으며, AP 0.1%는 약 26분, 0.15%와 ALC는 22분을 기준으로 온도가 일정하게 유지되었으며, 0.1%는 약 110분, 0.15%는 약 100분, ALC는 약 90분을 기준으로 온도가 다시 상승하였다.

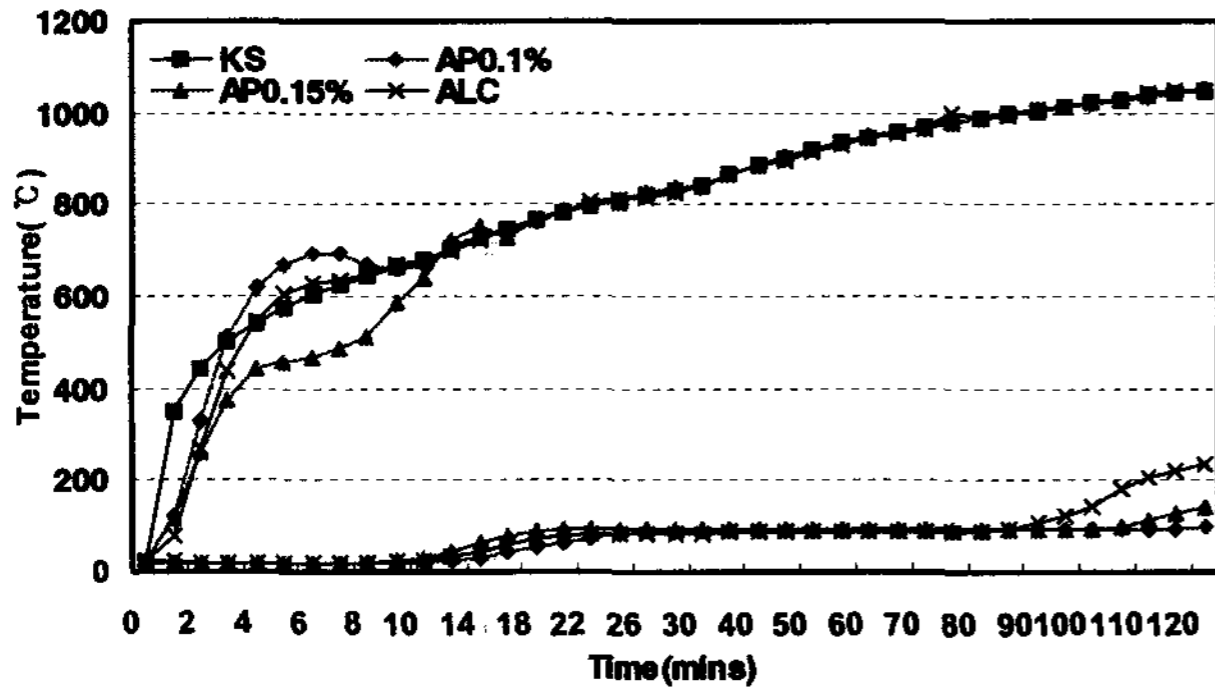


그림 10. AP로 제조한 경량기포콘크리트의 가열곡선

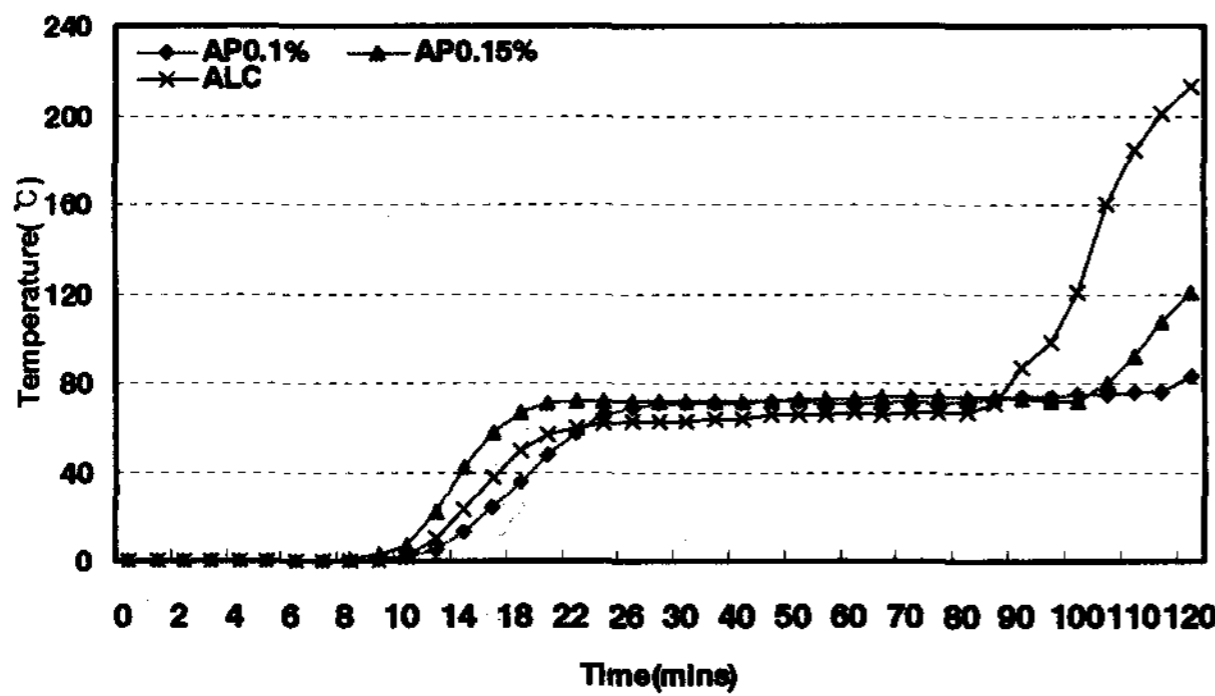


그림 11. AP로 제조한 경량기포콘크리트의 비가열면 온도곡선

기포제 종류에 따른 비가열면 온도를 살펴보면 AP, FP, AES 순으로 온도가 낮게 측정되었다. 이러한 이유는 사용한 기포제의 종류에 따라 경화체 내부에 생성된 공극의 차이 때문인 것으로 판단된다. 일반적으로 AP와 FP는 독립된 형태의 공극을 형성하고, AES는 서로 연속된 형태의 공극을 형성한다고 알려져 있다. 연속된 공극의 경우 공극 내부로 열전달이 용이한 반면, 독립된 공극의 경우 공극 내부의 정지된 공기에 의하여 비가열면으로의 열전달이 효과적으로 차단되기 때문에 AP와 FP를 사용한 시험체의 비가열면 온도가 AES를 사용한 시험체 보다 낮게 측정된 것으로 판단된다.

KS 2257-8 「건축 부재의 내화시험 방법-수직 비내력 구획 부재의 성능조건」에 준하여 120분 가열조건에 대한 각 시험체의 차열성을 살펴보면, AES를 사용한 시험체의 경우 기포혼입율 50, 100%에서 93.0, 92.5°C로 만족하는 것으로 나타났다. FP를 사용한 시험체의 경우도 기포혼입율 50, 100%에서 85.0, 87.8°C로 만족하는 것으로 나타났다. AP를 사용한 시험체는 AP첨가량 0.1, 0.15% 모두 82.7, 120.4°C로 만족하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

기포제의 종류에 따른 경량기포콘크리트의 단열특성에 관한 실험결과 본 연구의 범위 내에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 기포제 종류에 따른 밀도는 AP가 가장 높게 나타났으며, AES와 FP는 기포혼입율에 따라 유사한 것으로 나타났다.
- 2) 압축강도는 기포혼입율에 따라 AES와 FP가 유사하게 나타났다.
- 3) 비가열면의 온도는 단열 공극을 형성하는 AP와 FP가 연속공극을 형성하는 AES보다 낮게 나타났으며, KS 2257-8에 따른 2시간 내화성능은 AES 50, 100%, FP 50, 100%, AP 0.1, 0.15%에서 만족하는 것으로 나타났다.
- 4) 단열특성은 단열 공극을 형성하는 AP와 FP가 연속공극을 형성하는 AES보다 뛰어난 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 05건설핵심기술연구개발사업(과제번호 : 05건설핵심D02)의 지원 하에 대한주택공사와 공주대학교 자원재활용소재 연구센터(RIC/NMR)가 공동으로 수행한 연구의 일부이며, 이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 「2단계 BK21 사업」의 지원비를 받는 것으로 관계 기관에 감사의 말씀을 올립니다.

참 고 문 헌

1. 강병희, 화재와 콘크리트의 재료성능, 한국 콘크리트 학회지 제 14권 2호, 2002, pp. 17~23
2. 김성원, 폐콘크리트 미분말을 이용한 재생시멘트의 개발, 동아대학교 대학원 석사학위논문, 2003
3. 소승영, 경량골재를 사용한 콘크리트 복합체의 단열성능에 관한 연구, 한국건축시공학회지 제4권 제3호, 2004, pp. 93~100
4. 소양섭, 고성능 콘크리트의 내화성능, 한국 콘크리트 학회지, 제 14권 2호, 2002, pp. 37~44
5. 이명호, 허재원, 김효열, 임남기, 샌드위치 패널 대체형 현장 타설 기포콘크리트 패널 개발 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 제 26권 1호(통권 제 50집), 2006, pp. 389~392
6. 한국표준협회, KS F 2257-8 건축부재의 내화시험 방법-수직 비내력 구획부재의 성능조건, KS 핸드북, 한국표준협회