

오토클레이브 양생시간에 따른 경량기포콘크리트의 강도 변화에 관한 실험적 연구

Strength Variations of Light Weight Foamed Concrete According to the Autoclaving Time

강 철*	강 기 응*	곽 은 구**	노 재 명***	권 기 주****	김 진 만*****
Kang, Cheol	Kang, Gi Woong	Kawg, Eun Gu	Noh, Jea Myoung	Kwon, Gi Ju	Kim, Jin Man

ABSTRACT

This is the experimental study on the strength development of the light weight concrete block according to the autoclaving time. The calcareous source used the cement, siliceous material used the bottom ash ground to fine particle, and the PP fiber used to increase toughness.

The results of this experiment are as follows. According to the increase of autoclaving time and the fiber content, compressive and flexural strengths are increased. Despite of the changes of the autoclaving time, tobermorite was produced on each of the specimens. However, the phase of tobermorite was changed in accordance with the changes of autoclaving time.

키 워 드 : 바텀애시, 오토클레이브양생, 경량콘크리트블럭, 토버모라이트
Keywords : Bottom ash, Autoclaved curing, Lightweight concrete block, Tobermorite

1. 서 론

최근 건축물의 고층화에 따른 건물자중에 대한 문제점이 발생하면서 구조물의 중량부담을 경감하기 위해 비구조용 재료에서는 경량콘크리트 제품의 사용이 급격하게 늘어나고 있는 추세이다. 경량콘크리트는 크게 경량골재 콘크리트, 경량기포 콘크리트, 무세골재 콘크리트로 구분할 수 있는데 특히 경량기포 콘크리트가 전자재료써 사용량이 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. ALC(autoclaved light weight concrete)는 가장 대표적인 경량기포콘크리트로서 외국에서는 범용화 되어 많이 사용되고 있으며, 국내에서도 경량블럭 등의 건식건축자재로 사용되고 있다. 그러나 ALC 및 경량기포 콘크리트는 경량, 단열, 흡음 및 차음효과가 우수하지만 기포콘크리트를 형성하고 있는 공극으로 인해 강도가 떨어지는 문제점이 있으며 인장강도가 낮아 응력을 받을 때 취성적인 파괴성향을 갖고 균열발생이 용이한 본질적인 단점이 있어 운반 및 취급 시 상당한 주의를 요구한다.

한편 석탄회 중 15%를 차지하는 바텀애쉬는 미연소 탄소분의 함유량과 입도의 불균일성 때문에 콘크리트의 원료로 재활용하기 어려워 대부분 지반 매립재의 형태로 처리하고

있는 실정이며 재활용에 대한 연구도 미진한 상태이다.

하지만 바텀애시는 CaO/SiO₂ 수열합성반응에 필요한 SiO₂ 성분 및 일부 CaO 성분도 함유되어 있어 칼슘질 재료와 혼합하여 기포제 및 발포제를 사용하여 콘크리트 내에 기포를 형성시켜 수열합성반응을 유도하면, 단열성, 내열성, 압축강도가 상온양생 경화체 보다 우수한 다공성 경화체의 제조가 가능하다는 장점이 있다.

이에 본 연구는 바텀애시를 사용하여 경량기포콘크리트 제품을 개발하기 위한 일련의 연구로서, 일반콘크리트 및 2차제품에서 인성 강화 및 취성적 파괴를 방지하기 위해 사용되는 섬유인 폴리프로필렌섬유(PP)를 혼입한 경량기포콘크리트의 오토클레이브양생시간의 변화에 따른 물리적 특성에 대해서 연구하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 배합

본 연구의 실험계획은 오토클레이브를 이용한 경량기포콘크리트블럭의 개발에 관한 것으로 경화체의 강도특성을 좌우하는 Tobermorite가 생성될 수 있도록 결합재의 CaO/SiO₂ 몰비는 1.1로 고정하였다. 실험 인자는 Table 1과 같이 오토클레이브 양생시간을 9시간, 14시간 2수준으로 하였고, 사용한 섬유의 종류는 콘크리트에 일반적으로 사용되는 PP Fiber를 시멘트 중량에 대한 비율로 0, 1.0, 1.5, 2.0% 4수준으로

* 정회원, 공주대학교 대학원 건축공학과
 ** 정회원, 공주대학교 RRC/NMR 전임연구원
 *** 정회원, 한전전력연구원 일반연구원
 **** 정회원, 한전전력연구원 수석연구원
 ***** 정회원, 공주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

실험을 실시하였으며, 실험의 기본배합은 Table 2와 같이 물 결합재비는 65 wt%, 결합재 비율은 칼슘질 재료 55wt%, 규산 질재료는 45wt%로 하였고, 기포 용적비는 경화체 비중이 0.8 이내의 범위에 들 수 있도록 예비시험을 통해 얻은 결과를 기초로 하여 슬러리 : 기포 = 1 : 1로 하였다.

Table 1. Experimental plan

Item	Autoclaving time (hour)	Fiber content (%)
Factor	9, 14	0, 1.0, 1.5, 2.0
Level	2	4

Table 2. Mixing design

W/B (%)	Unit weight(wt, %)		The ratio of slurry and foam
	Calcareous material	Siliceous material	
65	55	45	1 : 1

2.2 사용재료

경량기포콘크리트를 제조하기 위하여 시멘트는 비중 3.15의 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하고, 바텀시는 비중 2.36의 S화력산 비정제 바텀시를 분쇄공정을 거쳐 비표면적 3,420cm²/g인 것을 사용하였는데, 그 화학적 특성은 Table 3과 같고, 시험체의 응결 및 기포의 소포를 방지 및 안정성 확보를 위해 소량의 알루미늄시멘트, 석회, 및 석고와, 경화체의 적정한 비중 및 단한 기포 형성을 위해 H사의 동물성 기포제를 사용하였고, 그 물리적 특성은 Table 4와 같다. 고성능 감수제는 국내산 K사의 나프탈렌계를 사용하였다.

또한, 사용한 섬유는 S사 PP(polypropylene)섬유로 물성과 형상은 Table 5 및 Fig. 1에 나타난 바와 같다.

Table 3. The chemical properties of Bottom ash

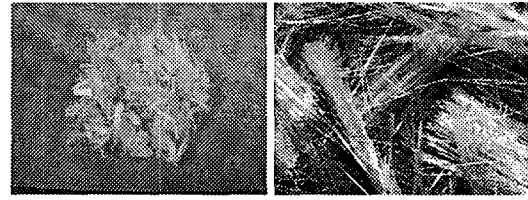
Chemical components(wt, %)									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃	TiO ₂	Na ₂ O	Ig. loss
47.7	25.1	5.7	0.6	0.7	3.3	0.1	1.4	0.0	15.3

Table 4. The Physical properties of foaming agent

Type	pH	Active matter (%)	Specific gravity
FP	7.36	35.8	1.14

Table 5. The Physical properties of PP fiber

Length (mm)	Specific gravity	Melting point (°C)	Aspect ratio
6	0.91	160	120



(a) PP fiber (b) PP Fiber(×100)

Fig.1 The shape of PP fiber

2.3 비빔방법

경량기포콘크리트의 비빔은 용량15l의 아스팔트 믹서를 사용하여 시멘트, 바텀시 및 기타분체와 섬유를 1분간 건비빔 후 배합수를 첨가하여 1분간 혼합 실시 후 기포발생기를 통해 발포된 기포를 투입하여 1분간 비빔을 실시 후 타설하였다, 그 개념도는 Fig 2와 같다.

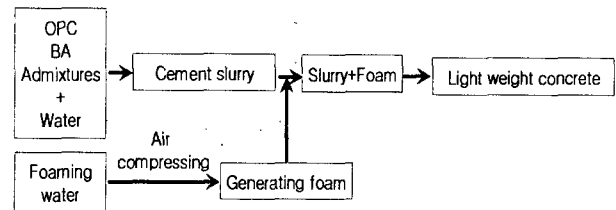


Fig. 2 Pre-foaming

2.4 양생 및 측정

1) 양생

Fig. 3은 본 실험의 오토클레이브양생방법을 나타낸 것으로 시험체는 타설이 끝난 상태에서 3시간 전치양생 후 상압증기양생(80°C)조건에서 5시간 증기양생을 실시한 다음 오토클레이브(180°C,10기압)조건에서 승온 4시간, 유지시간은 5, 10시간으로 구분하여 양생을 하고 오토클레이브 내에서 자연 감압냉각하였다.

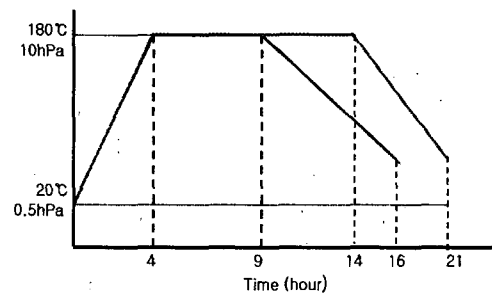


Fig. 3 Condition of autoclave curing

2) 측정항목

혼합이 끝난 또한 기포콘크리트에 대해서 KS F 4039(현장 타설용 기포콘크리트)에 따라 플로우 및 기포슬러리 비중을 측정하였고, 경화된 기포콘크리트에 대하여 KS F 4914(경량 기포 콘크리트 패널(ALC 패널))에 따라 겉보기 비중 및 압축강도, 휨강도를 측정하고, 수열반응시간에 따른 경화체의 수화생성물을 알아보기 위해 SEM 및 X선회절분석을 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 비중의 변화

Fig. 4는 기포슬러리비중과 경화체의 겉보기비중의 변화를 나타낸 것으로 기포슬러리비중에서 경화체비중의 차이는 대략적으로 0.17-0.25 범위의 차이가 나는 것으로 나타나, 타설 전 기포슬러리비중을 측정함으로써 굳은 후의 경화체 비중의 추정이 가능할 것으로 사료된다. 또한 오토클레이브양생시간의 변화에 따른 경화체비중의 차이는 없는 것으로 나타나 양생시간이 경화체의 비중에 큰 변화는 주지 않는 것으로 사료된다.

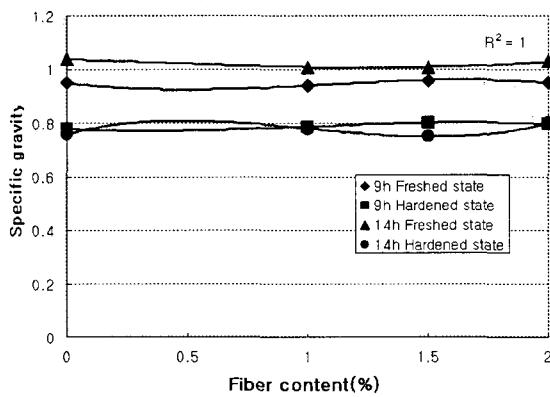


Fig. 4 The change of specific gravity

3.2 압축강도

Fig. 5는 수열합성반응시간의 변화 및 섬유 혼입량에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것으로 오토클레이브 양생시간이 증가할수록 압축강도는 높은 것으로 나타났다. 섬유 혼입량에 따른 변화를 보면 9시간 경화체에서는 혼입량이 증가할수록 강도가 증가하는 반면에, 14시간 경화체의 경우에는 강도 변화의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

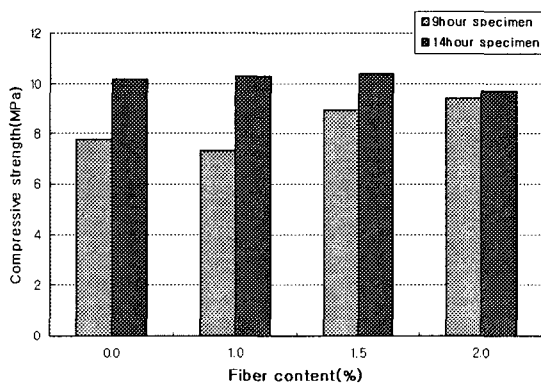


Fig. 5 The change of compressive strength

3.3 휨강도

Fig. 6은 수열합성반응시간의 변화 및 섬유 혼입량에 따른 휨강도의 변화를 측정된 것으로 압축강도와 유사하게 오토클레이브 양생시간이 증가함에 따라 휨강도 또한 증가하는 것

으로 나타났는데, 그러한 경향은 9시간 경화체 보다 14시간 경화체에서 큰 것으로 나타났다. 섬유 혼입량에 따른 휨강도의 변화에서는 섬유 혼입량이 증가할수록 휨강도가 증가하였으나 14시간 경화체의 섬유 혼입량 2% 시험체에서는 강도가 저하되는 것으로 나타났는데, 이는 섬유가 불균질하게 혼입되어 강도가 저하된 것으로 사료된다.

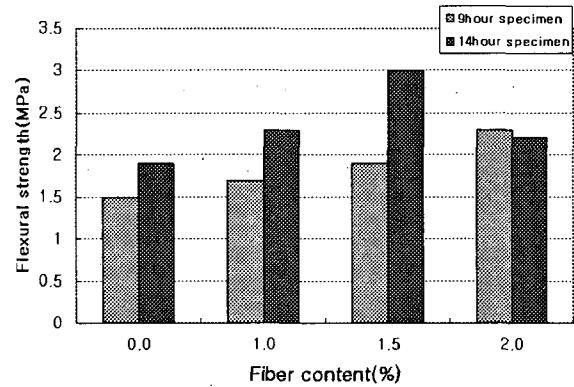
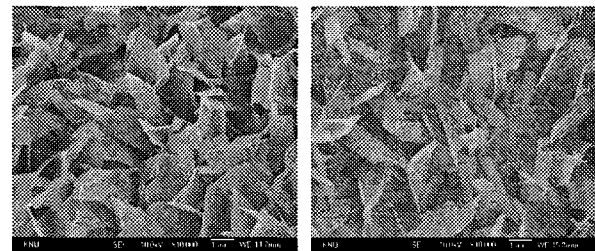


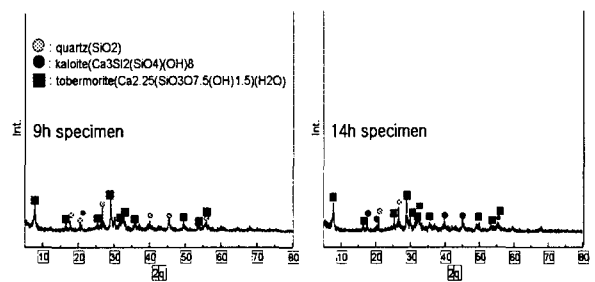
Fig. 6 The change of flexural strength

3.4 고온고압 증기 양생 결정 미세구조 및 X-선 회절분석



a. 9hour specimen b. 14hour specimen

Fig. 7 SEM



a. 14hour specimen b. 14hour specimen

Fig. 8 XRD analysis

Fig. 7은 오토클레이브양생시간의 변화에 따른 경화체 수화생성물의 미세구조 및 X선회절분석 결과를 나타낸 것이다. 일반적으로 오토클레이브양생과정을 거치면 판상형 구조의 수화생성물이 서로 겹쳐 발생하는 것으로 알 수 있는데, 9시간 경화체의 미세구조는 ALC의 수화생성물과 거의 동일한 형상의 판상구조 수화생성물이 서로 치밀하게 일부 주상으로 성장하는 형상이 관찰되었고 14시간 경화체의 미세구조는 판상형 구조의 수화생성물이 겹침형상과정을 거쳐 독립적인 판

상으로 변하는 것으로 나타났다.

Fig. 8은 X선회절분석 결과로 9시간경화체와 14시간경화체에서 동일하게 오토클레이브양생과정 후에 생성되는 Tobermorite인 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

- 1) 오토클레이브양생시간이 증가할수록 압축강도와 휨강도는 증가하는 것으로 나타났으며, 압축강도에서는 9시간 경화체의, 휨강도에서는 14시간 경화체의 강도 변화의 차이가 큰 것으로 나타났다.
- 2) 오토클레이브양생시간이 감소할 경우에도 휨강도 개선을 위해 사용된 섬유유용성의 유용성을 확인할 수 있었다.
- 3) 본 실험에서 실시한 오토클레이브양생시간 변화와는 상관 없이 시험체에서 Tobermorite가 생성되었고, 오토클레이브양생시간이 증가함에 따라 Tobermorite의 상은 보다 더 독립적인 낙엽상으로 변화하는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 전력산업연구개발의 연구비 지원에 의해 공주대학교 자원재활용신소재 연구센터(RRC/NMR)가 수행한 연구 결과의 일부로 관계기관에 감사의 말씀을 올립니다.

참 고 문 헌

1. 조순보, 윤재환, "국내 콘크리트 공장제품의 업계현황", 한국콘크리트학회지, 제8권 1호, 1996, pp43-49
2. 김진만 외 5인, 기포혼입방법에 따른 바텀애쉬를 사용한 기포콘크리트의 특성, 한국콘크리트학회 2004년 가을학술발표회 논문집, Vol.16 No. 2, pp529-532
3. 김진만 외 5인, 바텀애쉬를 사용한 기포콘크리트의 물리적 특성에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 2004년 가을학술발표회 논문집, Vol.16 No. 2, pp525-528
4. Properties of Concrete, A. M. Neville, 1996, fourth final edition, pp.370-373