

건물 외벽 패널용 경량기포콘크리트(AAC)의 CaO/SiO₂ 혼합비에 따른 강도 특성 평가

Strength Characteristics according to the mixed CaO/SiO₂ Ratio to Autoclaved Aerated Concrete(AAC) used on the Exterior Panel in Buildings

김 영 호 | Kim, Young-Ho

정회원, 세진특허법률사무소 부소장, 공학박사

Abstracts

The exterior system of buildings, which is the typical curtain wall, has been made with glass and metal. These materials, however, have weaknesses such as inadequate insulating quality, short durability, combustibility and toxic substance. On the other hand, Autoclaved Aerated Concrete(AAC) or Autoclaved Lightweight Concrete(ALC) possess the great energy efficiency and the superb insulating quality as substitute of existing exterior system materials.

In this research, strength characteristics and bubble dispersion of hydrothermal synthesis process of AAC based on CaO/SiO₂(C/S) ratio are analyzed. C/S ratio is determined and bubble distribution and compressive strength are studied through the test of varied water-to-solid mineral ratio(W/S).

In hydrothermal synthesis program, final C/S ratio is determined as 0.7 consider of the manufacturing process and hydrothermal synthesis is done at 180°C for 7 hours. The analysis shows slurry has about 2,300cP viscosity and 0.56 specific gravity therefore it is expected AAC has the appropriate facility in the manufacturing process and Hydrates of AAC's Expansion.

Keywords

Autoclaved Aerated Concrete, C/S Ratio, Compressive Strength, Mixed W/S ratio, Exterior Panel

키워드

경량기포콘크리트, C/S비, 압축강도, 혼합 W/S비, 외장패널

* 본 연구는 지식경제부의 재원으로 부품소재기술개발사업(과제번호:10033198, 과제명 : 복합기능형 ALC 패널 시스템용 부품소재 개발)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

전세계 에너지 소비에서 주거용 및 상업용 건축물 관련한 소비량은 전체 총에너지 소비량의 약 36% 정도를 차지하고 있으며, 특히 주거를 목적으로 사용하는 건물의 경우 전체에너지 사용의 약 27%를 차지할 정도로 비중이 매우 크다.¹⁾ 또한 2005년도 기준 한국은 1990년부터 2004년도 까지 CO₂ 배출량의 증가율 90.1%로 OECD 국가 중 1위를 차지한 바 있으며, 누적배출량은 세계 23위로 448백만톤을 차지하고 있다.²⁾ 따라서 상업용이나 주거용 건물의 에너지 절약을 통한 CO₂ 배출 절감이 절실히 요구되는 바이다. 특히 건물을 구성하는 여러 요소 중 외기 차단과 공간을 형성을 목적으로 한 ‘건물의 외피(skin facade in building)’는 가장 에너지 손실매체로 재료의 친환경화와 고성능화가 필요한 실정이다.

건물 외피시스템의 대표적인 커튼월(curtain wall)은 현재까지 유리와 금속을 기본 소재로 하여 간편한 시공과 경제성을 중심으로 많이 활용하고 있는 실정이다. 그러나 건물에서 비전부에 사용하는 유리패널의 경우 낮은 단열성 문제와, 그 외의 난비전부에 단열용 패널을 사용하여 단열성을 확보하려하나, 내구성 저하, 화재취약성, 유해물질 등으로 인하여 여러 가지 문제점을 안고 있다. 반면에 에너지 효율성능이 뛰어난 경량기포콘크리트(AAC Autoclaved Aerated Concrete 또는 ALC Autoclaved Lightweight Concrete, 이하 ‘AAC’라 칭함)는 차세대 외피용 소재로 단열성 및 내화성을 확보할 수 있는데, 이는 AAC 소재가 대표적 다공성 소재로서 우수한 열차단 효과를 동반하기 때문이다. 이에 AAC 소재를 건물의 외피에 사용 시 건물의 소비 에너지량을 대폭 절감할 수 있으며, 또한 CO₂탄소 배출량도 저감시킬 수 있는 그린오션(Green Ocean) 영역의 소재라는 것이다.

따라서 본 연구에서는 외피 마감소재인 경량기포콘크리트를 중심으로 CaO/SiO₂(C/S) 비에 따른 수열합성 생성물의 기포 분산 정도와 강도 특성을 분석함으로써 C/S 몰비를 결정하고, 이를 중심으로 혼합수 함량(W/S 비) 제어 실험을 통한 기포특성과 압축강도를

1) International Energy Agency, World Energy Outlook 2008 reported by IEA(at Paris) (www.worldenergyoutlook.org)
 2) 국무조정실, 기후변화4차 종합대책, pp.2 2007.12

비교 분석함으로써 향후 공장 제조생산과 동일하게 C/S몰비와 W/S비에 따른 오토크레이브드 양생시간을 적용하는데 기초자료로 사용하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구 내용

AAC 소재는 다수의 기공으로 인하여 강도특성이 불량하다는 대표적 단점으로 인해 지금까지 건축물의 단열성을 확보하기 위한 비내력벽 등에 제한적으로 사용되고 있는 상황이다. 미국, 호주, 일본 등 선진국을 중심으로 AAC 소재의 고기능 제품 개발이 이루어지고 있으며, 일본에서는 이미 높이 31m 이하의 폐쇄형 건축물에 대해서는 특별한 제한 없이 외장 커튼월로 다양하게 사용되고 있는 상황이다.

국내에서도 AAC 소재의 폭넓은 적용을 위해 높은 기공율에서도 우수한 강도 특성을 구현할 수 있는 재료의 개발이 진행되고 있다. 그림 1과 같이 내부구조에 거대기공은 독립기공 간의 응집력에 의해 연속기포로 형성된 것으로 강도저하와 균열발생의 원인이 된다. 따라서 AAC의 강도 성능 개선을 위해 균질한 기공구조를 갖는 것이 중요하다.

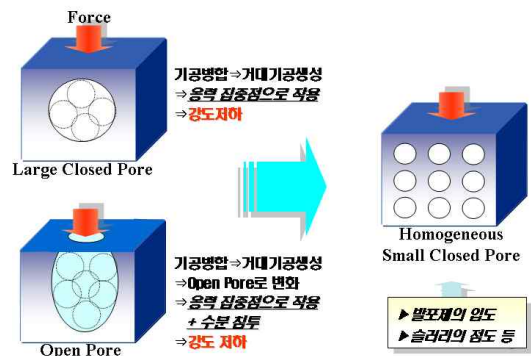


그림 1. 거대기공 생성 및 응력 집중점 작용

따라서 본 연구에서는 표 1에 나타낸 AAC 소재의 수열합성 온도·시간에 따라 생성되는 수열합성 생성물의 종류에 따른 기포의 분산 정도와 강도특성을 분석하고, 이를 토대로 혼합수 함량제어 실험을 실시한다. 이는 향후 공장에서 경량기포콘크리트(AAC) 패널의 제조시 공장 생산조건에 따른 수열합성프로그램을 실험실에서 동일하게 수행하여 평가하고자 한다. 이는 향후 공장제작되는 AAC 패널 내부에 균질한 기공구조가 발포제 입도의 균질성, 입도 범위 및 공정상에서의 혼합상태가 매우 중요기 때문이다.

표 1. 수열합성생성물(CaO-SiO₂-H₂O) 물리적 특성 사례

구분	수열합성조건		강도 (kgf/cm ²)	
	온도 (°C)	시간 (일)	압축강도	휨강도
CSH (I)	175	1	230	32
11Å tobermorite	200	5	75	30
xonotlite	250	7	122	74
α-C2S 수화물	200	4	2.5	1.5
γ-C2S 수화물	300	10	14	4
tri-calcium silicate 수화물	300	20	142	100

주) R. Klingner, Introduction to Autoclaved Lightweight Concrete, USA

2. 기존 연구

2.1 AAC의 특징

경량기포콘크리트는 규석, 시멘트 생석회에 기포제인 알루미늄 분말과 안정제 및 물을 첨가·혼합하여 몰드에 주입 후 반경화 상태에서 절단하여 오토클레이브 중에서 고온고압 증기양생으로 제조되는 균일한 세공구조(Cellular Structure)를 갖는 다공성의 경량 콘크리트이다. 일반적으로 중량이 보통 콘크리트 및 모르타르의 약 1/4 수준이고, 비중이 0.5 전후로 매우 가벼운 특징을 갖는다. 이러한 경량성으로 제품의 운반 및 시공이 용이하여 시공능률이 좋고, 또한 제조과정 중 발포된 미세한 기포로 인해 일반 콘크리트보다 약 10배 정도 우수한 단열특성을 발현한다. 특히, 건축 외벽체로 사용할 경우 AAC 소재의 주원료가 무기질의 규석과 생석회를 사용하기 때문에 화재가 발생해도 불에 타지 않아 연기나 유독가스의 발생이 전무하다는 장점을 갖는다. 또한, 무수한 독립기포로 구성되어 흡음성이 뛰어나며 주택의 벽체 및 바닥재로 사용시 외부의 소음공해로부터 차단시켜 쾌적한 주거공간을 제공할 수 있다.

2.2 가공의 측정

경량소재의 대부분은 다공질이며, 거대 기공 혹은 세공의 분포상태 및 존재량 등에 따라, 강도, 열전도, 흡습, 투수, 수축 및 내구성 등 다양한 물성이 변화한다. 그러므로 이러한 소재의 성능을 향상시키기 위해 기공의 측정과 제성질의 관계에 따른 이해가 필요하다. 다공질 소재에 함유된 기공 및 세공의 크기는 경화한 시멘트 페이스트의 20~100Å의 작은 것부터 기

포 콘크리트의 수 mm에 이르는 큰 기공까지 넓은 범위를 갖는다. 보통의 AAC는 60%에서 90% 수준의 기공을 함유하고 있으며, 이들 기공은 다시 미세기공, 거대기공 등으로 구분할 수 있다. Dietrich Stoyan[1] 등은 기공은 크게 3가지로 존재하며 ALC의 물성에 영향을 준다고 강조하였으며, 기포체에 의한 기공 (50 μm~1mm), 모세관 기공 (50 μm 이하) 및 균열 (1mm 이상)에 의한 기공이라고 정하였으며 이들 3가지의 합을 총 기공량이라 하였다.

2.3 강도 특성 및 예측

기포 콘크리트의 압축강도를 예측하기 위해 다양한 상관식이 제안되어져 왔으며, 일반 상온에서 제조되는 기포 콘크리트는 Feret[5]의 방정식을 변형시켜, (강도 (S), 물-시멘트비(w/c), 공기-시멘트비(a/c), K와 n은 실험상수) 다음과 같이 식 1로 나타낸다.

$$S = K [1 / (1 + (w/c) + (a/c))]^n \dots\dots\dots (1)$$

또한, AAC는 비중에 따라 강도 특성이 달라지며 표 2에 비중에 따른 강도특성, 탄성계수 등을 나타내었다. 한편 Karakurt[6] 등은 그림 2와 같이 AAC의 열전도율은 대략 0.11~0.20W/mK 수준인 것으로 보고하였다.

표 2. Lab 제조 AAC 물성 일례

건조비중 (kg/m ³)	압축강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	열전도율 (W/mK)
400	1.3~2.8	0.18~1.17	0.07~0.11
500	2.0~4.4	1.24~1.84	0.08~0.13
600	2.8~6.3	1.76~2.64	0.11~0.17
700	3.9~8.5	2.42~3.58	0.13~0.21

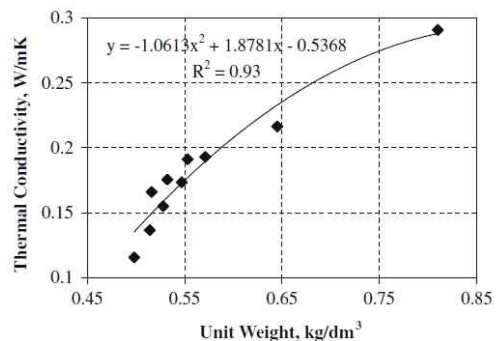


그림 2. 단위중량과 열전도율 관계

N. Y. Mostafa[7] 등은 AAC의 원료 중 일부를 슬래그로 대체하여 물리화학적 특성을 검토하였다. 여기서 AAC의 수화가 빠를수록 유리석회는 감소하고 결합수 함량이 증가하여, 토버모라이트(Tobermorites) 결정 생성에 유리한 것으로 보고하였으며, 결합수 함량도 슬래그의 사용량 증가에 따라 증가하는 것으로 조사하였다. Cenk Karakut[6] 등은 미립의 제올라이트(Zeolite)를 사용하여 AAC의 강도가 증진되는 것으로 조사하였으나 다량의 제올라이트 사용할 경우 미반응 제올라이트가 생성되어 물성에 좋지 않은 영향을 줄 수 있다고 보고하였다.

2.4 수열합성 반응조건, 생성물 및 물성

수열합성을 행하는 조건은 배합물의 CaO/SiO₂ 비가 1을 넘는 경우에는 드물고, 온도는 150~180℃, 압력은 5~10기압, 유지시간 5~15시간의 범위 내에서 처리하는 경우가 많기 때문에, 일반적으로 제품 중에서 생성되는 수화물은 제한된 조합에서 이루어지는 것이 보통이다. 이와 같은 조건에서 생성되는 수화물은 주로 준결정성의 CSH(I) 및 결정성의 11Å의 토버모라이트 등의 토버모라이트족으로 분류되고 있다. 단 칼슘의 배합량이 많을 경우에는 CSH(II), α-dicalcium silicate 수화물, 알루미늄 함유량이 높을 때에는 Gelehntite 수화물이 생성되고, 온도까지 높을 경우에는 Hydrogarnet 등이 생성되기 쉽다. 처리온도가 높고 CaO/SiO₂ 비가 1에 근접하면 Xonotlite를, CaO/SiO₂ 비가 낮을 경우에는 Gyrolite를 생성하는 경우가 많다.(그림 3 참조)

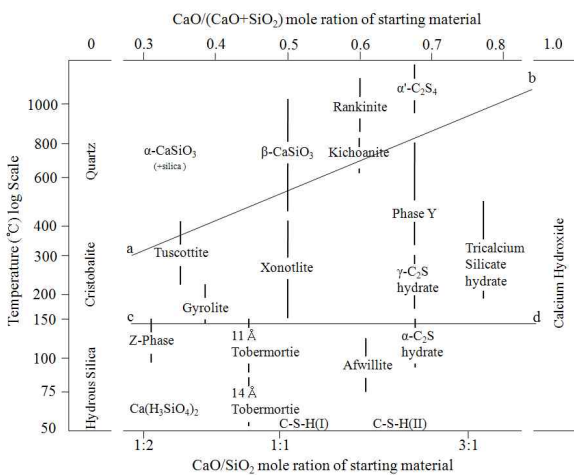


그림 3. 수열합성 조건별 수화물의 종류

3. C/S비와 수열합성프로그램 평가

기존 연구에서 살펴본 바와 같이 AAC 생성조건은 수열합성 프로그램에 따라 좌우된다. 그러나 실험실에서 제조된 AAC는 현장 AAC 제조공정에서 생산된 제품과는 차이가 있을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 현장 조건에 적용 가능한 C/S몰비에 따른 수열합성 프로그램을 개발하고자 한다.

3.1 실험계획

출발원료의 화학분석 결과를 표 3에 나타내었으며, 이를 기준으로 표 4에서와 같이CaO/SiO₂ 몰비는 0.3, 0.5, 0.7, 0.9로 변화시켰다. 혼합분말 제조시 시멘트 함량은 고정하였으며, C/S의 몰비는 생석회와 규석간의 혼합비를 변화시켜 제어하였다. C/S 비가 증가함에 따라 CaO 함량은 증가하였으며, SiO₂ 함량은 감소하는 일반적 경향을 나타내었다. 미량성분으로 존재하는 Al₂O₃와 Fe₂O₃는 감소하였으며, Na₂O와 SO₃는 증가하였다. 발포제는 알루미늄 분말을 혼합분말 대비 0.08% 사용하였으며, 혼합수량은 혼합분말 (Raw Mix) 대비 70%로 고정하였다. 수열합성시 최고온도 및 유지시간은 S사의 제조공정에서 적용되는 180℃에서 7시간으로 고정하였다. 이후 제조된 AAC의 강도 특성 등으로 부터 최적 조건을 도출하고자 하였다.

표 3. 출발원료의 화학성분 분석

		(단위:%)						
원료	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	
규 석	88.5	5.23	2.10	0.21	0.80	0.05	-	
생석회	1.80	0.42	0.21	68.21	0.05	0.12	0.10	
시멘트 (1종)	20.48	5.52	2.08	63.12	0.21	0.75	2.35	

표 4. 몰비에 따른 배합설계비 및 혼합분말의 최종 조성 (단위:%)

C/S 몰비	배합설계비 (%)			혼합분말 화학조성 (%)						
	규석	생석회	시멘트	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃
0.3	70.0	0.0	30.0	67.09	4.86	1.93	18.91	0.61	0.20	0.48
0.5	58.5	11.5	30.0	58.12	4.76	1.88	26.90	0.54	0.27	0.72
0.7	49.5	20.5	30.0	50.32	4.33	1.71	33.02	0.47	0.27	0.73
0.9	43.0	27.0	30.0	44.69	4.02	1.58	37.44	0.42	0.28	0.73

3.2 실험방법

상기 표 4의 배합비에 따라 규석, 시멘트, 생석회를 넣고 알루미늄 분말을 분말대비 각각 0.3%씩 첨가한다. 각각의 원료를 시료 혼합용기에 넣고 Ball Mill Machine (HT-1000, HAN TECH사, Korea)으로 3시간 동안 혼합한다. 혼합이 끝난 시료에 분말대비 45%의 증류수를 넣고 1분 30초간 혼합한다. 이때 혼합 용기 내부의 아랫바닥 부분은 혼합 상태가 불량할 수 있으므로 주의하여 혼합한다. 혼합이 완료되면 50℃ 상대습도 50%의 항온항습기 (CC600, 우진정밀, Korea)에 넣고 5시간 동안 숙성시킨다. 이때 서서히 부피팽창이 일어나고 발포제로 첨가하였던 알루미늄 분말이 수많은 기공들을 형성하게 된다. 5시간의 숙성이 진행되면 성형체는 약하지만 쉽게 깨지지 않을 만큼의 숙성 강도를 가진다. 이렇게 제조된 성형체를 적당한 크기의 블록모양으로 절단하여 AUTOCLAVE (J-AJ2, 제일과학사, Korea)에 넣고 1시간 동안 180℃ (10기압) 승온시키고, 7시간 동안 온도 및 압력을 유지시킨다. 시멘트는 상온에서 물과 반응하여 규산칼슘 수화물을 생성해 경화한다.

생석회와 규석 화합물은 상온에서는 물과 반응하기 어려우나, 고온·압 하에서는 규산칼슘수화물 (Calcium-Silicate Hydrates)을 생성해 경화한다. 총 8시간 동안의 수열합성이 종료되면 오토클레이브 안에서 서냉시킨다. 냉각이 끝난 성형체는 5시간 항온항습기에서 5시간 숙성 후 보다 높은 강도를 갖으며, 비중 및 압축·휨강도 측정을 위해 알맞은 크기 (휨강도는 160mm×40mm×40mm KS F 2407 콘크리트의 휨강도 시험방법, 압축강도는 50mm×50mm×50mm KS L 5105 압축강도 시험방법)로 절단한다. 절단이 끝난 성형체는 건조기(J-400.T, Jisico사, Korea)에서 100℃ 조건으로 항량 건조한다. 상기의 성형체 제조 과정을 그림 4에 나타냈다.

3.3 실험결과 및 고찰

(1) 압축강도

그림 5와 같이 C/S비가 증가함에 따라 압축강도는 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 C/S몰비 0.7 이상에서는 더 이상의 강도증진이 이루어지지 않았으며, 오히려 약간의 강도 감소가 동반되었다.



그리고 C/S몰비가 0.3에서 0.5로 증가함에 따라 10% 이상의 강도증진 (2.4MPa → 3.3MPa)이 이루어졌으며, 0.5에서 0.7로 상승됨에 따라서는 약간의 강도 증진 (3.3MPa → 3.4MPa)이 이루어졌다. 따라서 C/S비는 0.7 수준이 가장 적합함을 확인할 수 있었다. 상기 실험에서 도출된 최적 몰비 0.7을 기준으로, 표 5와 같이 수열합성 조건 중 최고 온도 및 최고 온도에서의 유지시간을 변경시켜 강도특성을 평가하였다.

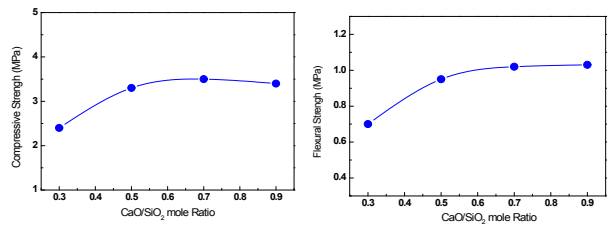


그림 5. C/S비에 따른 압축강도 특성

표 5. 수열합성 프로그램 조건 제어

No	최고 온도 (°C)	최고 온도 유지시간 (hr)
1	140	5, 7, 9
2	160	5, 7, 9
3	180	5, 7, 9
4	200	5, 7, 9

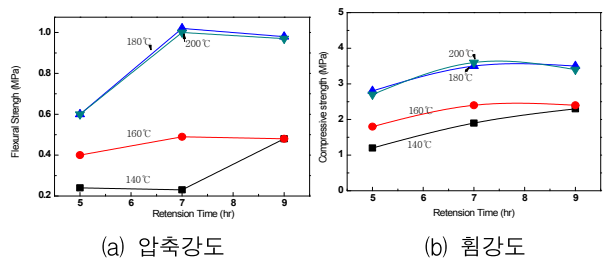


그림 6. 수열합성 온도 및 시간에 따른 강도 특성

그림 6. 최고온도별-유지시간별 압축강도 특성

(2) 최고온도 유지시간

그림 6과 같이 최고 온도가 상승됨에 따라 압축강도 값이 상승하는 특성을 나타내었으나, 180℃ 이상에서는 큰 변화를 관찰할 수 없었다. 180℃ 조건에서는 유지시간이 5시간에서 7시간으로 증가함에 따라 소폭 증가하기는 하였으나, 7시간에서 9시간으로 증가함에 따라 더 이상의 강도 증진이 이루어지지 않았다. 특히 140℃에서는 7시간 조건에서 1.5MPa 수준의 낮은 강도값을 발현하였으며, 이는 토버모라이트 결정의 생성이 불량하기 때문으로 판단되었다.

(3) 고찰

3.3절의 실험결과에 따라 강도특성이 양호한 AAC를 제조하기 위해서는 수열합성 조건이 최고온도 180℃ 조건에서 최고 온도 유지시간 7시간이 최적임을 판단할 수 있었다.

4. 혼합수 함량제어평가

4.1 실험계획

제 3장의 C/S 비와 수열합성 프로그램 평가를 통해 도출된 결과를 기본으로 혼합수 함량 제어실험을 수행하였다. C/S비는 0.7로 고정하였으며, 수열합성 조건은 180℃ 조건에서 7시간으로 고정하였다. 이때 혼합수량은 고체분말 대비 30%, 50%, 70% 및 90%로 조정하였다.

4.2 실험방법

본 연구에서는 혼합수량의 변화에 따른 슬러리의 점도와 부피변화 특성 및 수열합성 후 압축강도 등을 측정하였다. 슬러리의 점도는 발포제를 제외하고, 고체분말과 혼합수만을 사용하여 측정하였다. 혼합수와 의 혼합이 종료된 후, 곧바로 슬러리 200mL를 비이커에 옮겨 담았다. 비이커에 담겨진 슬러리를 30초 동안 정치시켰으며, 이후 점도를 측정하였다. 슬러리의 점도는 혼합수량이 증가함에 따라 감소하였으며, 혼합수가 30%인 경우 2,800cP (centi-Poise), 50%인 경우 2,300cP, 70%인 경우 1,800cP이었으며, 90%인 경우 약 1,100cP 수준을 나타내었다. 그러나 혼합수 함량 90%에서는 점도 측정시에 점도의 변화가 커서 정확한 측정이 불가능하였다.

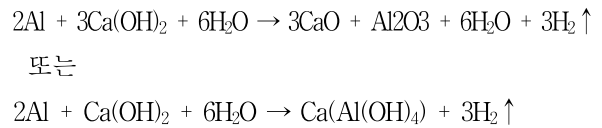
혼합수량의 변화에 따른 슬러리의 부피변화를 관찰하기 위해서 슬러리를 투명 매스플라스크에 일정량

투입하여 부피를 측정하였다. 슬러리는 항온항습기에서 4시간 유지하였으며, 이후 성형체의 최종 부피를 측정하였다.

4.3 실험결과

(1) 혼합수량의 변화에 따른 부피변화

그림 7과 같이 혼합수 함량의 변화에 따라 숙성 후 부피는 팽창하였으며, 이는 혼합수 함량 증가와 더불어 이에 따른 발포의 용이성 등에 기인한 것으로 판단된다. 즉 다량의 혼합수는 생석회 및 시멘트 등과 반응하여 수산화칼슘 (Ca(OH)₂)을 좀 더 용이하게 생성하며, 이후 수산화칼슘과 발포제인 알루미늄 분말이 반응하여 수소가스를 발생하기 때문이다.



일반적으로 표준상태 (0℃, 1기압)에서 1g의 알루미늄을 사용하면 약 1,240cm³의 수소가스가 발생하며, 40℃에서는 이론적 계산으로 1,420cm³의 가스가 발생한다. 이와 같이 발생된 수소가스는 슬러리 내부에서 기포를 형성하며, 결과적으로 슬러리의 팽창을 유도한다. 그러나 발생된 수소가스가 모두 슬러리 내부에 존재하는 것은 아니며, 작업조건 등에 따라 일부 수소가스는 외부로 빠져나가 슬러리의 부피 팽창에 기여하지 못하기도 한다.



(a) 숙성 중 (b) 숙성 후

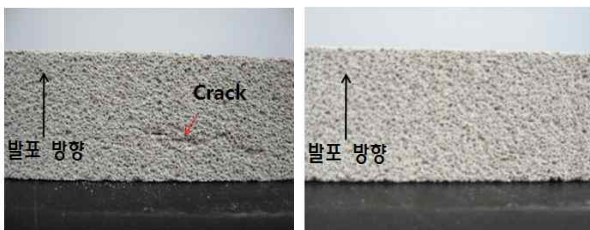
그림 7. 혼합수량에 따른 슬러리 부피 변화 일례

혼합수와 혼합된 최초 슬러리의 부피를 측정하고, 이후 숙성이 종료된 후의 부피를 측정하였으며, 이를 표 6에 나타내었다. 이때 초기 부피를 500mL로 고정·환산하여 부피변화를 계산하였다. 혼합수량의 증가에 따라 부피는 증가하였으며, 이는 혼합수량의 증가와

더불어 발포의 용이성에 기인한다고 사료된다. 그러나 혼합수량이 적은 30% 조건에서는 슬러리의 점도(2,800cP)가 높아, 수소가스가 발생하여도 가스 압력이 슬러리의 점도를 극복하지 못하는 특징이 발현되었다. 이에 따라 발생된 수소가스가 슬러리의 내부에 골고루 분포하지 못하여, 슬러리 내부에 공기층을 형성하였다. 이때 수소가스는 발포 방향에 대해 수직방향으로 생성되는 특징이 있었다. 이에 따라 그림 8(a)에서와 같이 최종 수열합성 이후에도 AAC 내부에 크랙을 야기하는 것으로 추정되었다. 이러한 점도 특성으로 인하여 30%에서는 146%의 부피팽창이, 50%에서는 162%의 부피팽창이 발생하였다. 이는 일반적인 슬러리 팽창정도 160~180% 보다 일부 낮은 수준으로, 슬러리 팽창특성이 제대로 발현되지 못한 상황이다. W/S비 50%, 70% 및 90%에서는 크랙이 관찰되지 않았으며, 부피 팽창 또한 170% (W/S비 70%와 90% 조건)를 상회하는 수준으로 양호한 결과가 도출되었다.

표 6. 슬러리의 숙성 전후 부피변화

구분	30%	50%	70%	90%
초기 (mL)	500	500	500	500
숙성후 (mL)	730	810	850	890
부피변화 (mL)	230	310	350	390
부피증가 비율 (%)	146	162	170	178



(a) W/S 30% (b) W/S 70%

그림 8. 수열합성 후 크랙 발생 일례

(2) 혼합수량의 변화에 따른 압축강도

혼합수량의 변동에 따른 압축강도 특성을 그림 8에 나타내었다. 그림 9와 같이 W/S 비가 30%인 경우 2.4Mpa, 50%인 경우 4.9Mpa, 70%인 경우 3.4Mpa 및 90%인 경우에는 2.2Mpa의 값을 나타내었다. 압축강도는 W/S비가 50%인 경우 가장 높은 값을 나타내었으나, 슬러리의 점도가 2,300cP로 높은 값이며, 숙성 후 부피도 W/S 비 70% 보다 적다. 또한 비중은 0.56 수준으로 본 연구 목표치보다 약간 상회하는 수준이다. 따라서 공정에서의 작업성, 팽창에 의한 AAC 수

율 등을 고려할 경우 W/S 비는 70% 수준이 적합할 것으로 판단되었다.

30%를 제외하면 W/S비가 증가함에 따라 압축강도 값이 감소하였다. 이는 다량의 혼합수가 AAC 내부에 기공을 형성하고, 특히 혼합수 증가에 따른 슬러리의 점도 감소는 슬러리 내부에 생성된 기공들이 병합하게 되는 원인을 제공한다. 이에 따라 최종적으로는 기공의 크기가 증가하고, 이러한 거대기공은 AAC의 결함(defect)로 작용하게 되어 압축강도는 감소하게 된다. 그림 10과 같이 W/S비가 90%인 경우에는 기공의 크기가 증가하여, 평균 기공 지름이 약 2~3mm 수준의 거대기공으로 성장하였다.

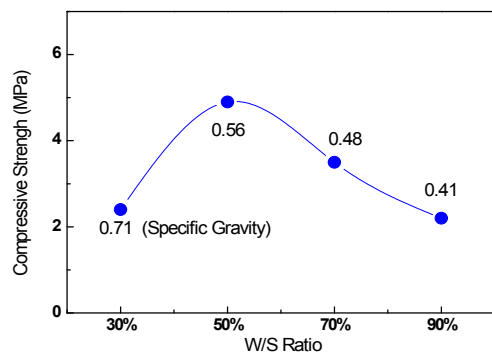


그림 9. W/S비에 따른 압축강도 특성

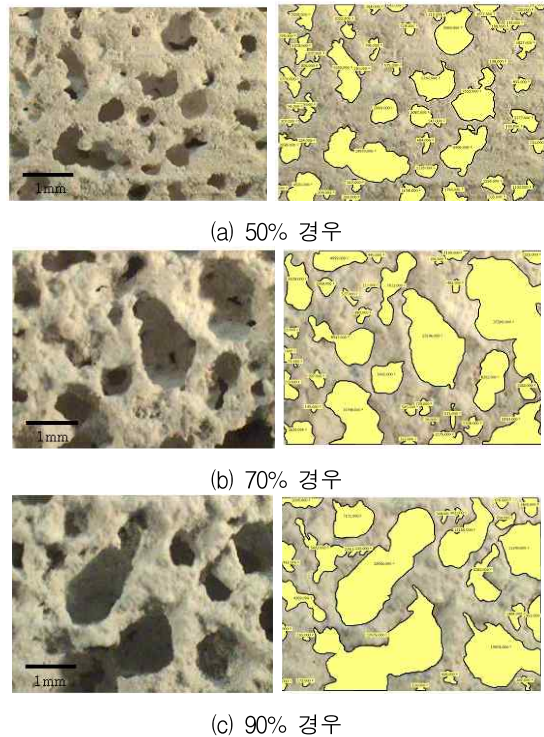


그림 10. W/S비에 따른 기공 구조

4. 결 론

본 연구에서는 AAC 소재의 수열합성 온도·시간에 따라 생성되는 수열합성 생성물의 종류에 따른 기포의 분산 정도와 강도특성을 분석하였으며, 또한 도출된 C/S비는 0.7로 고정하여 수열합성 조건은 180℃ 조건에서 7시간에서 혼합수와 고체분말 간의 질량비(W/S)를 30%, 50%, 70% 및 90%로 변화시켜서 기포특성과 압축강도를 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, C/S비가 증가함에 따라 압축강도는 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 C/S몰비 0.7 이상에서는 더 이상의 강도증진이 이루어지지 않았으며, 오히려 약간의 강도 감소가 동반되었다.

둘째, 혼합수 함량의 변화에 따라 숙성 후 부피는 팽창하였으며, 이는 혼합수량의 증가와 더불어 발포의 용이성에 기인한다고 사료된다. 그러나 혼합수량이 적은 30% 조건에서는 슬러리의 점도(2,800cP)가 높아, 수소가스가 발생하여도 가스 압력이 슬러리의 점도를 극복하지 못하는 특징이 발현되었다.

셋째, 고형성분 대비 함수량의 변동에 따른 압축강도는 W/S비가 50%인 경우 가장 높은 값을 나타내었지만, 슬러리의 점도가 2,300cP로 높으며, 숙성 후 부피도 W/S 비 70% 보다 적은 것으로 나타났다. 따라서 비중 0.56를 고려하고 생산공정에서의 작업성, 팽창에 의한 AAC 수율 등을 고려할 경우 W/S 비는 70% 수준이 적합할 것으로 판단된다.

향후 공장생산을 위한 경량기포콘크리트 소재에 대해 C/S몰비와 W/S비에 따른 오토크레이브드 양생시간을 적용하는데 중요한 기초자료를 이끌어냈으며, 나아가 다량의 혼합수가 AAC 내부에 기공을 형성하고, 특히 혼합수 증가에 따른 슬러리의 점도 감소는 슬러리 내부에 생성된 기공들이 병합하게 되는 원인을 확인하였다.

참고문헌

1. Ilja Kadashevich, Hans-Jurgen Schneider, Dietrich Stoyan, Statistical modeling of the geometrical structure of the system of artificial air pores in autoclaved aerated

concrete, Cement and Concrete Research, 35 (2005) 1495-1502.
2. D. Stoyan, W.S. Kendall, J. Mecke, Stochastic Geometry and Its Application, Wiley, Chichester, 1995.
3. K.A. Snyder, K. Natesaiyer, K. Hover, Stereological and statistical properties of entrained voids in concrete : a mathematical basis for air void system characterization, in : S. Mindess, J. Skalny(Eds.) Proc. Materials Science of Concrete VI, American Ceramic Society, 2001, pp.129-214.
4. J. Ohser, F. Mqcklich, Statistical Analysis of Microstructures in Materials Science, Wiley, Weinheim, 2000.
5. B. Feret, C.F. Feret, CemQUANT® software Mathematical modeling in quantitative phase analysis of Portland cement, Cement and Concrete Research 29 (1999) 1627-1633
6. Cenk Karakurt, Haldun Kurama, Ilker Bekir Topcu, Utilization of natural zeolite in aerated concrete production, Cement & Concrete Composites, 32 (2010) 1-8.
7. N.Y. Mostafa, Influence of air-cooled slag on physicochemical properties of autoclaved aerated concrete, Cement and Concrete Research, 35 (2005) 1349-1357.
8. Fumiaki Matsushita, Yoshimichi Aono, Sumio Shibata, Carbonation degree of autoclaved aerated concrete, Cement and Concrete Research, 30 (2000) 1741-1745.
9. International Energy Agency, World Energy Outlook 2008 reported by IEA(at Paris) (www.worldenergyoutlook.org)
10. 국무조정실, 기후변화4차 종합대책, 2007.12
11. 한국산업규격, KS F 2407 콘크리트의 휨강도 시험방법
12. 한국산업규격, KS L 5105 압축강도 시험방법
13. (주)에스와이씨, 복합기능형 ALC 패널 시스템용 부품 소재 개발(년차연구보고서), 2011.3.31

논문접수일 (2011. 8. 16)
심사완료일 (1차 : 2011. 8. 27, 2차 : 없음)
게재확정일 (2011. 9. 2)