

## A Study on the Characteristics of ALC Material with Melamine Resin

Sung Kwan Seo<sup>†</sup>, Yong Sik Chu, Hun Song, Jong Kyu Lee, and Du Hyuk Im

Green Ceramic Div., Korea Institute of Ceramic Eng. & Tech. Seoul 153-801, Korea

(Received October 10, 2011; Accepted November 4, 2011)

### 멜라민 수지를 혼합한 ALC 소재의 특성에 관한 연구

서성관<sup>†</sup> · 추용식 · 송 훈 · 이종규 · 임두혁

한국세라믹기술원 그린세라믹본부

(2011년 10월 10일 접수 ; 2011년 11월 4일 채택)

#### ABSTRACT

ALC(Autoclaved Lightweight Concrete) is produced using quartz sand, lime and cement and water. And aluminum powder is used for blowing agent. ALC is manufactured by autoclave chamber under high-temperature and high-pressure. Generally, ALC is 1/4 levels lighter than concrete and mortar, because it has a lot of pores. So density of ALC is about 0.45~0.65 g/cm<sup>3</sup>. But, ALC has a weakness, typically low strength, with its porous structure. So, it is necessary to excellent strength properties for extensive apply of ALC materials in high porosity. In this study, melamine resin was used to improve the strength characteristics of ALC materials. We performed compressive and bending strength measurements. Compressive strength of ALC with 2% melamine resin increased 26.88% than 'melamine-free' ALC. Also we performed functionality evaluation such as thermal conductivity, sound absorption, and flame-resistance.

**Key words :** ALC, Melamine resin, Strength, Sound absorption coefficient, Thermal conductivity

### 1. 서 론

ALC(Autoclaved Lightweight Concrete)는 규석, 시멘트, 생석회에 기포제인 알루미늄 분말과 안정제 및 물을 첨가·혼합하여 몰드에 주입한 후 반경화 상태에서 절단하여 오토클레이브 중에서 고온·고압 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.<sup>1-3)</sup> 이러한 경량성으로 제품의 운반 및 시공이 용이하여 시공능률을 한층 높여 줄 수 있다. 또한 제조과정 중 발포된 미세한 기포로 인해 일반 콘크리트보다 약 10배 정도 우수한 단열특성을 발현한다. 특히 건축 외벽체로 사용할 경우 ALC 소재의 주원료는 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 사용 시 외부의 소음공해로부터 차단시

켜 쾌적한 주거공간을 제공할 수 있다. 그러나 ALC 소재는 다수의 기공으로 인하여 강도 특성이 불량하다는 대표적 단점을 갖는다. 특히 비중이 점차 낮아질 경우, 강도가 거의 발현되지 못한다는 특징을 갖는다. 이는 발포제에 의한 다수의 거대 기공 발생 및 기공들의 병합현상에 따른 결함 형성, 성형·숙성과정 중 핸들링 및 자중에 의한 크랙 발생이 주요 원인이다.<sup>4-6)</sup> 따라서 ALC 소재의 폭넓은 적용을 위해서는 높은 기공율에서도 우수한 강도 특성이 구현되어야 한다.

열경화성 수지는 저분자의 중합체를 가열하면 중합도가 증가하여 큰 힘을 가해도 변형하지 않는 성질을 이용한 것으로, 분자 내에 3개 이상의 반응기를 가진 비교적 저분자량의 물질로 이루어졌다. 즉, 저분자 혼합물에서 적당한 점성을 가진 액체를 원료로 하여 열을 가하면 가교 형성이 진행되면서 입체적인 그물모양 구조를 형성하므로, 큰 응력을 가해도 변형되지 않고 용제에도 녹지 않으며 온도를 올려도 녹지 않게 된다. 열경화성 수지는 축중합형과 첨가중합형으로 나뉘는데 축중합형에는 페놀수지·요소수지·멜라민수지, 첨가중합형에는 에폭시수지·폴리에스터수지 등이 있다.<sup>7,8)</sup>

본 연구에서는 ALC 소재의 우수한 강도 특성 발현을 위하여 규석, 시멘트, 생석회 및 발포제로 이루어진 기준

<sup>†</sup>Corresponding author : Sung Kwan Seo

E-mail : cementlab@kicet.re.kr

Tel : +82-2-3282-7791 Fax : +82-2-3282-2430

ALC 배합 이외에 멜라민 수지를 혼합하여, 압축강도 및 휨강도 등의 기초물성을 측정하였으며, 열전도율, 난연성능, 흡음성능 등의 기능성 평가를 실시하였다.

### 2. 실험 방법

멜라민 수지를 ALC 소재에 적용하기 위해 규사 (Sand slurry, Return slurry), 생석회 및 시멘트를 분말 원료로서 총 100%로 가정하고 Table 1과 같이 기준 배합비를 설정하였다. Sand slurry 및 Return slurry는 고품분량으로 계산하였으며, 혼합수량 및 발포제(알루미늄 분말)는 혼합분말 대비 각각 70%, 0.08%로 고정하였다. 또한 ALC 소재에 적용될 멜라민 수지의 영향을 평가하기 위하여 수지의 양을 혼합분말 대비 외할로 제어(0%, 2%, 4%)하였다.

ALC의 제조방법은 상기의 배합비에 따라 각각의 원료들을 90초간 혼합한다. 혼합이 완료되면 50°C, 상대습도 50%의 항온항습기에 넣고 5시간동안 숙성시킨 후, 오토클레이브를 이용하여 180°C·7시간 동안 수열합성하였다. 수열합성이 끝난 성형체는 각각의 물성 측정 방향에 맞추어 적절한 크기로 습식 절단하고 항량 건조하여 물성 측정 및 평가를 시행하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 기초물성 평가

수열합성이 끝난 성형체는 휨강도 측정을 위하여 160 × 40 × 40(mm)의 크기로 절단하여 건조기 100°C 조건에서 항량이 될 때까지 충분히 건조한다. 또한 성형체를 50 × 50 × 50(mm)의 크기로 절단하여 동일 조건으로 건조시킨 후 부피비중 및 압축강도를 측정하였다. 성형체의 비중은 open pore를 포함하는 부피비중을 측정하였으며 그 결과를 Table 2에 나타내었다.

멜라민 수지의 함량에 따른 ALC 소재의 절건비중은 0.46~0.48 g/cm<sup>3</sup>로 나타났으며, 멜라민 수지의 함량에 따른 ALC 소재의 절건비중은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

절건비중 측정이 완료된 성형체는 만능재료 시험기를 사용하여 멜라민 수지의 혼합에 따른 ALC 소재의 압축강도 및 휨강도를 측정하였으며, 측정결과를 Table 3에 나타내었다.

멜라민 수지의 함량에 따른 ALC 소재의 압축강도는 5.06 MPa 및 4.71 MPa로 나타났으며, 멜라민 수지를 혼합하지 않은 시편과 비교했을 때, 약 26.88%의 강도증진 효과를 나타내었음을 알 수 있다. 이는 ALC 소재의 수열합성 시에

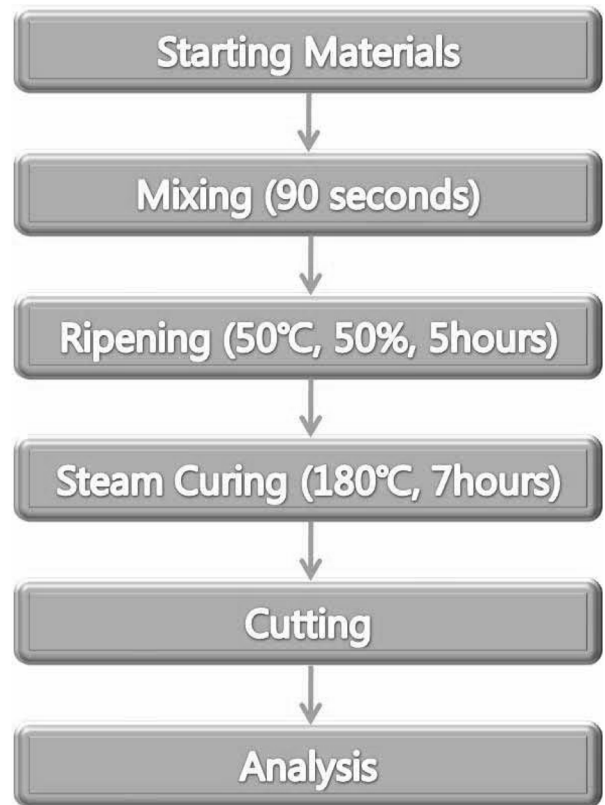


Fig. 1. Experimental process.

Table 2. Absolute Dry Specific Gravity of ALC with Melamine Resin (Unit : g/cm<sup>3</sup>)

Ratio of Melamine Resin	0%	2%	4%
Absolute Dry Specific Gravity	0.48	0.47	0.46

Table 3. Compressive & Bending Strength of ALC with Melamine Resin (Unit : MPa)

Ratio of Melamine Resin	0%	2%	4%
Compressive Strength	3.70	5.06	4.71
Bending Strennth	1.48	2.89	2.48

Tobermorite 사이에 열경화성 수지가 결합하여 하중을 흡수·분산 시키는 가교역할을 한 것으로 판단된다.<sup>7)</sup> 이것은 다음의 Fig. 2의 주사전자 현미경 사진에 잘 나타나 있다.

위의 미세구조 사진을 살펴보면, 열경화성 수지를 첨가하지 않은 성형체의 경우 규칙적인 tobermorite의 생성이 확인되었지만, 육각판상 모양이 길게 형성되어 강도 발현에 나

Table 1. Mixing Table of Starting Materials

Materials	OPC	Lime	Water	Sand slurry (d=1.57)	Return slurry (d=1.36)	Aluminium Powder	Melamine Resin
Weight	1060	470	700	3581	1943	3.6	0, 90, 180

(Unit : g)

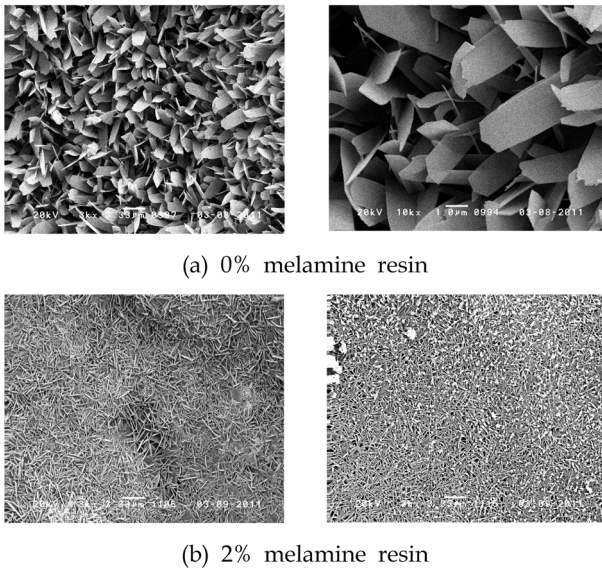


Fig. 2. SEM images of ALC with melamine resin.

뿐 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 하지만 혼합분말 대비 2%의 멜라민 수지를 첨가한 성형체의 경우 기공내의 tobermorite 사이에 열경화성 수지가 결합되어 하중을 받았을 때, 탄성을 발휘하여 하중의 흡수 및 분산 작용을 했을 것이라고 판단된다.<sup>7,8)</sup> 하지만 Table 3에서 볼 수 있듯이 과량의 멜라민 수지(4%)가 첨가되었을 때에는 2%의 멜라민 수지가 첨가되었을 때보다 강도 발현에 있어서 좋지 않은 영향을 미치는 것으로 나타났다.

아래의 Fig. 3은 멜라민 수지의 함량에 따른 XRD Pattern을 분석한 그림이다. 멜라민 수지를 첨가하지 않은 성형체와 멜라민 수지 2%를 첨가한 성형체의 XRD Pattern 분석을 통해 tobermorite의 형성 및 다른 결정상의 존재여부 등을 파악해 보았다.

XRD Pattern 측정을 통해 tobermorite의 형성을 분석한 결과, 성형체 모두 동일한 tobermorite와 quartz가 형성되었음을 알 수 있었다. 즉 동일한 결정상 내에서 열경화성 수지

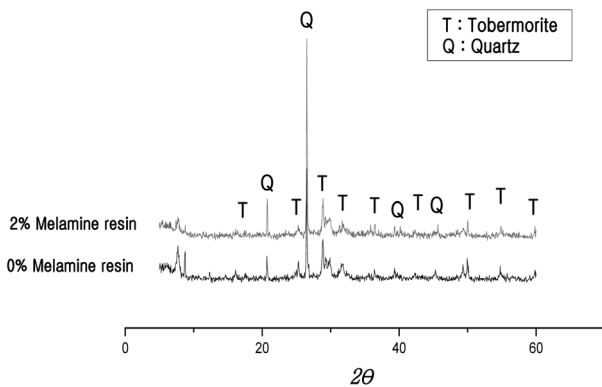


Fig. 3. XRD pattern of ALC with melamine resin

가 tobermorite 사이에 결합되어 가교역할을 함으로서 성형체의 강도 증진 효과를 가져 온 것으로 판단된다.

### 3.2. 기능성 평가

수열합성이 끝난 성형체는 열전도율 측정을 위하여 200 × 200 × 10(mm)의 크기로 제작하였고, 열전도율은 평판열류계법을 적용한 열전도율 시험기를 이용하여 실험을 실시하였다. 열전도율을 측정된 결과를 Table 4에 나타내었다.

결과를 분석해보면 멜라민 수지를 첨가하지 않은 경우 0.118 W/mK, 멜라민 수지를 첨가한 경우 0.098 W/mK를 나타내었다. 이는 소재의 강도와 마찬가지로 멜라민 수지를 첨가하면 ALC 소재에 결합된 멜라민 수지가 열을 흡수하여 열전도율을 낮추는 효과를 나타내는 것이라 판단된다.

또한 ALC 소재의 흡음성능을 평가하기 위하여 3000 × 600 × 200(mm) 크기의 ALC 패널을 제작하였다. 분석 패널은 Ref. ALC (비중 0.48, 0.55 g/cm<sup>3</sup> 2종) 및 멜라민 수지 2%를 혼합하여 제조한 ALC (비중 0.50 g/cm<sup>3</sup> 1종) 등 총 3종의 시료를 적용하였으며, 1종 실험 시 총 6장의 ALC 패널이 소요되었다. 아래 Fig. 4는 ALC 종류별 흡음을 측정 결과를 나타낸 것이다.

수지를 혼합하지 않은 ALC들은 비중이 증가함에 따라 주파수별 흡음계수가 낮아지는 특징을 나타내었다. 500 Hz 주파수 대역 흡음계수는 ALC 비중 0.55에서 0.06이었으며, 비중 0.48에서는 0.11이었다. 또한 NRC 값은 비중 0.55에서 0.06, 비중 0.48에서 0.10이었다. 이러한 현상은 주로 비중의 감소에 따른 기공 함량 증대에 기인하는 것으로 판단된다. 즉 비중이 낮아 좀 더 많은 기공을 보유한 ALC에서 소리 에너지의 흡수 및 감소에 더 큰 영향을 주는 것으로 사료된다.

Table 4. Thermal Conductivity of ALC with Melamine Resin

Ratio of Melamine Resin	0%	2%	4%
Thermal-conductivity	0.118	0.098	0.098

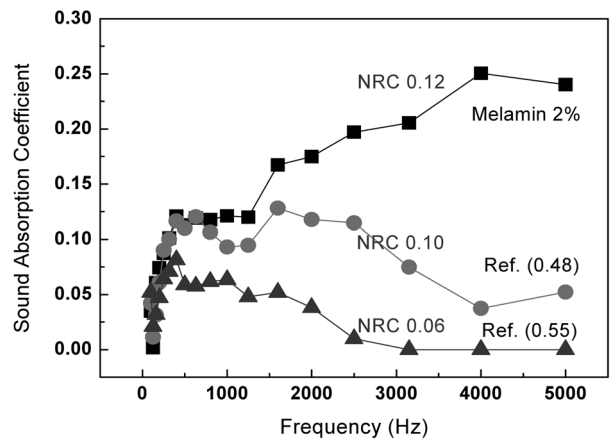


Fig. 4. Sound absorption coefficient of ALC with melamine resin.

**Table 5.** The Result for Flame-Resistance Test of ALC

Items		Result		
		1	2	3
Heat release test	Total heat released ( $\text{MJ/m}^2$ )	0.6	0.4	0.7
	Duration of consecutive HRR over $200 \text{ kW/m}^2$ (s)	0	0	0
	Crack, hole or melting through the specimen (Yes/No)	No	No	No
Gas toxicity test	Time to incapability of moving (min : s)	14:58	14:59	-

**Table 6.** The Result for Flame-Resistance Test of ALC with Melamine Resin

Test item		Result		
		1	2	3
Heat release test	Total heat released ( $\text{MJ/m}^2$ )	1.0	0.5	0.5
	Duration of consecutive HRR over $200 \text{ kW/m}^2$ (s)	0	0	0
	Crack, hole or melting through the specimen (Yes/No)	No	No	No
Gas toxicity test	Time to incapability of moving (min : s)	15:00	14:58	-

다. 멜라민 수지를 2% 혼합한 ALC의 비중은 0.50, NRC 값은 0.12이었으며, 500 Hz에서의 흡음계수는 0.11이었다. 특히 멜라민 수지를 혼합한 ALC에서는 주파수가 높아질수록 흡음계수가 증가하는 특징을 나타내었다. 이러한 현상은 멜라민 수지의 비중과 탄성에서 기인한다고 판단된다. 특히 ALC의 무기 matrix (탄성계수 1.5 GPa) 보다, 매우 우수한 압축강도와 탄성을 갖는 멜라민 수지 (탄성계수 4.5~5.5 GPa) 에 소리 에너지가 유입될 경우, 경화된 멜라민 수지가 진동하여 소리 에너지를 소모시키는 역할을 수행할 수 있다. 특히 에너지가 큰 고주파수 영역에서는 좀 더 우수한 진동효과를 동반하는 것으로 판단된다.

마지막으로 ALC 소재의 난연성능을 평가하기 위하여  $220 \times 220 \times 50(\text{mm})$  및  $100 \times 100 \times 50(\text{mm})$  크기의 패널을 제작하여 가스유해성 시험 및 열방출 시험을 실시하였다. 이는 ALC 소재의 주원료인 규석과 생석회에 유기질의 멜라민 수지가 혼합되었을 때, ALC 소재의 난연성능에 끼치는 영향을 평가하기 위함으로서, 그 결과는 Table 5 및 Table 6에 나타내었다.

멜라민 수지를 혼합하지 않은 ALC 패널 및 멜라민 수지 2%를 혼합한 ALC 패널의 총 방출열량은 각각  $0.56 \text{ MJ/m}^2$  및  $0.66 \text{ MJ/m}^2$ 로 나타났다. 그리고 열방출율이 연속으로  $200 \text{ kW/m}^2$ 를 초과하는 시간 및 시험체를 관통하는 방화상 유해한 균열, 구멍 및 용융 등은 두 시험체 모두 0s, '없음'으로 나타났다. 또한 가스유해성을 측정하기 위한 마우스 행동정지시간은 평균 14분 59초로 두 시험체 모두 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 위의 결과를 종합해보면, 멜라민 수지를 혼합한 시험체의 총 방출열량이 멜라민 수지를 혼합하지 않은 시험체보다 약  $0.1 \text{ MJ/m}^2$  정도 높게 나타났으나, 총 방출열량을 제외한 나머지 시험 항목은 멜라민 수지를

혼합하지 않은 시험체와 동일한 결과를 나타낸 것을 알 수 있다. 즉, 혼합 분말 대비 2%의 멜라민 수지 혼합은 ALC 패널의 난연 성능에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

ALC 소재의 우수한 강도 특성 발현을 위하여 규석, 시멘트, 생석회 및 발포제로 이루어진 기존 ALC 배합 이외에 멜라민 수지를 혼합하여 ALC 시험체를 제작하였다. 제조된 시험체의 압축강도 및 휨강도를 측정한 결과 혼합 분말 대비 2%의 멜라민 수지를 혼합할 경우 ALC 소재의 기초 물성 향상에 용이하다는 것을 확인하였다. 이는 ALC 소재의 수열합성 시 생성되는 tobermorite 사이에 멜라민 수지가 결합하여 가교역할을 하기 때문이라고 판단된다. 또한 열전도율, 흡음성능, 난연성능 등의 기능성 평가에서도 2%의 멜라민 수지를 혼합한 경우 멜라민 수지를 혼합하지 않은 ALC 소재와 동등 또는 그 이상의 성능이 발현되는 것을 확인할 수 있었다.

#### REFERENCE

1. Ilker Bekir Topcu and Tayfun Uygunoglu, "Properties of Autoclaved Lightweight Aggregate Concrete," *Building Environ.*, **42** 4108-116 (2007).
2. A. Laukaitis and B. Fiks, "Acoustical Properties of Aerated Autoclaved Concrete," *Appl. Acoustics*, **67** 284-96 (2006).
3. H. Kurama, I.B. Topcu, and C. Karakurt, "Properties of the Autoclaved Aerated Concrete Produced from Coal Bottom Ash," *J. Mater. Proc. Tech.*, **209** 767-73 (2009).
4. N. Y. Mostafa, "Influence of Air-cooled Slag on Physicochemical Properties of Autoclaved Aerated Concrete," *Cement Concr.*

- Res.*, **35** 1349-57 (2005).
5. A. Laukaitis, J. Keriene, D. Mikulskis, M. Sinica, and G. Sezemanas, "Influence of Fibrous Additives on Properties of Aerated Autoclaved Concrete Formain Mixtures and Strength Characteristics of Products," *Const. Build. Mater.*, **23** 3034-42 (2009).
  6. I. Kadashevich, H.-J. Schneider, and D. Stoyan, "Statistical Modeling of the Geometrical Structure of the System of Artificial Air Pores in Autoclaved Aerated Concrete," *Cement Concr. Res.*, **35** 1495-502 (2005).
  7. Kamal, M. R., "Thermoset Characterization for Moldability Analysis," *Polymer Eng. Sci.*, **14** [3] 231-9 (1974).
  8. R. Dave, J. L. Kardos, and M. P. Dudukovic, "A Model for Resin Flow During Composite Processing : Part 1-General Mathematical Development," *Polymer Composites*, **8** [1] 29-38 (1987).