

# 규석 분말 및 석고 혼입에 따른 경량기포콘크리트의 강도특성 개선

## Improvement of Strength Characteristics in ALC added Silica Powder and Gypsum

(Received December 17, 2012 / Revised December 24, 2012 / Accepted December 26, 2012)

송 훈<sup>1)\*</sup>, 추용식<sup>1)</sup>, 이종규<sup>1)</sup>

한국세라믹기술원, 에너지환경소재본부<sup>1)</sup>

Hun Song, Yong-Sik Chu, Jong-Kyu Lee

Korea Institute of Ceramic Engineering & Technology, 153-801, Korea

### Abstract

Autoclaved lightweight concrete, also known as autoclaved aerated concrete(AAC) or autoclaved cellular concrete (ACC), is made with fine silica powder, quik lime, cement, and an Al powder. ALC contains 70~80% air. The lightweight material offers excellent sound and thermal insulation, and like all cement-based materials, is strong and fire resistant. However, ALC have high water absorption, low compressive strength and popout the origin of the low surface strength in its properties. These properties make troubles under construction such as cracking and popout.

Thus, this study is to improve the fundamental strength by controls of increasing of admixtures, gypsum and silica powder size. Admixtures make use of metakaolin and silica fume. From the test result, the ALC using admixture have a good fundamental properties compared with plain ALC. Compressive strength, specific strength and abrasion's ratio were improved depending on increasing admixtures ratio's, gypsum and silica powder size.

**키워드** : 경량기포콘크리트, 혼화제, 규석 분말, 석고, 알루미늄 분말

**Keywords** : Autoclaved lightweight concrete(ALC), Admixtures, Silica powder, Gypsum, Al powder

## 1. 서론

경량기포콘크리트(이하 ALC)는 오토크레이브로 고온고압하의 양생 과정을 거쳐 구조적으로 안정한 판상 구조의 토버모라이트(Tobermorite) 결정으로 형성된 경량의 제품이다. ALC의 국제적인 학술용어는 AAC(Autoclaved aerated concrete)이며, ACC(Autoclaved cellular concrete)로도 사용된다. 또한 화학혼화제를 사용하여 콘크리트 내의 기포를 생성하여 자연 양생한 기포콘크리트와는 구별된다<sup>1,2)</sup>. ALC의 밀도는 0.5~0.7g/cm<sup>3</sup>의 경량으로 체적의 대부분이 공극으로 구성된다. 이들 공극은 전체 체적의 70

~80%를 차지하며 구성물은 단지 20~30% 밖에 되지 않아 단열성, 내화성, 차음성 등이 우수하다<sup>3,4)</sup>.

ALC는 규산칼슘 단열재로서 C-S-H(CaO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O)계 수화물이며, 이 계의 수화물 대부분은 물에 대해 불용성이다. 이들 중에서도 ALC 수화와 관련한 것은 토버모라이트(C<sub>5</sub>S<sub>6</sub>Hx)이고 이 범위에서 ALC와 같은 결정성을 가지는 11 Å 토버모라이트(C<sub>5</sub>S<sub>6</sub>C<sub>5</sub>), 14 Å 토버모라이트(C<sub>5</sub>S<sub>6</sub>H<sub>9</sub>)를 비롯해서 저 결정성의 CSH(I), CSH(II) 등이 포함되어 있다<sup>3,6)</sup>.

ALC는 경량, 단열, 흡음 및 차음효과가 우수하지만 기포를 형성하고 있는 공극으로 인해 강도가취약하고 취성적인 파괴성향이 있어 균열발생이 용이한 단점이 있다<sup>4,5)</sup>.

이에 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위해 기존의 ALC 배합에 메타카올린, 실리카폼 등의 혼화제와 규석

\* Corresponding author  
E-mail: songhun@kicet.re.kr

Table 1. Starting materials

Material		Symbol	Property
Raw materials	Cement	C	Ordinary portland cement
	Quik lime	CaO	CaO Assay min. 90%, Si+Fe+Mg+Al : 2.7%
	Al powder	Al	Al Purity : 92 ~ 96.2%
	Silica powder (SP)	SM	SiO <sub>2</sub> Assay min. 95.0%
SD		SiO <sub>2</sub> Assay min. 90.0%	
Admixture	Meta-kaolin	MK	Density : 2.59 g/cm <sup>3</sup> , Blain : 10,000 cm <sup>2</sup> /g
	Silica fume	SF	Density : 2.20 g/cm <sup>3</sup> , Blain : 200,000 cm <sup>2</sup> /g

Table 2. Chemical proportion of raw materials

	Chemical proportion (unit:wt.%)							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Ig. loss
Cement	20.5	5.45	3.03	0.87	62.22	0.80	0.34	1.01
Meta kaolin	52.0	40.21	3.00	0.50	1.20	0.40	0.60	1.85
Silica fume	94.8	0.66	1.06	0.61	0.19	0.45	0.73	1.00

Table 3. Mix proportion of ALC

Series	Symbol	Admixture (Cement × %)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )					SO <sub>3</sub> Content (%)	SP Content (90μm), (%)										
			SP Slurry	CaO	Cement	Al	water			Ad.									
Plain		-	323.0	47.0	104.0	0.5	100.0	-	4 ~ 6	13 ~ 23									
Meta kaolin	MK-1	3						3.12											
	MK-2	5						5.20											
	MK-3	8						8.32											
Silica fume	SF-1	3						3.12											
	SF-2	5						5.20											
	SF-3	8						8.32											
Silica powder	SM1-1	-						4			-	-	-	-	5	18			
	SM1-2							6											
	SM1-3							4											
	SM2-1	-						4											
	SM2-2							5											
	SM2-3		6																
	SM3-1	-	4	-	-	-	-	5	23										
	SM3-2		6																
	SM3-3		4																
	SD1-1	-	4					-		-					-		-	5	18
	SD1-2		6																
	SD1-3		4																

분말 및 석고의 혼입을 조절을 통해 물리적 특성을 개선하는 것을 목적으로 하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

규석 분말은 ALC 제조를 위한 수열합성 반응(hydrothermal treatment)을 하는 동안 결합제(binding agent)와 반응하여 새로운 광물을 형성한다. 반응은 일정 시간 내에 이루어지므로 분쇄의 정도에 따라 반응성이 달라진다. 또한 규석 분말은 SiO<sub>2</sub> 성분의 함량에 따라 특성이 좌우되는데 SiO<sub>2</sub> 함량이 85% 이상인 경우 유용하며, 95% 이상인 경우 이상적이다<sup>6),7)</sup>.



(1) Mixing

(2) Molding

(3) Autoclaving

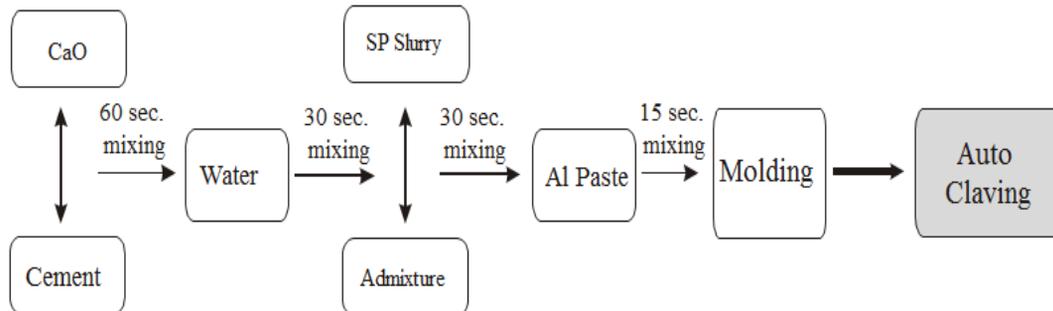


Fig. 1 Flowchart of ALC mixing

본 연구에서는 ALC의 강도개선을 위해 SiO<sub>2</sub> 함량비가 다른 규석 분말과 석고를 활용하여 개선의 여부를 확인하고자 한다. 또한 원료로 사용되는 시멘트를 일정부분 대체하고 혼합재인 메타카올린이나 실리카폼의 적용성에 대해 확인하였다. 물성 및 강도개선은 ALC의 기본 특성인 밀도와 강도로서 평가하였으며 내부구조에 대해 분석하였다.

## 2.2 사용재료 및 시험체의 제작

ALC의 물리적 성능개선을 도모하기 위한 사용재료 및 물리적 성질은 Table 1과 같다. 사용재료는 보통 포틀랜드 시멘트, 규석 분말, 생석회이며 발포제로 알루미늄 분말을 사용하였다. 성능개선을 위한 혼화제로는 메타카올린, 실리카폼을 사용하였고, 국내의 K사의 제품이며 화학적 조성은 Table 2와 같다. 또한, 규석 분말은 결정성이 양호한 국내의 M규석과 D규석을 분쇄하여 사용하였다. 또한, 석고를 ALC의 물성개선에 사용하였고 석고의 혼입을 통해 ALC내의 SO<sub>3</sub> 함량을 조절하였으며 최종 시험체내에 4, 5, 6%가 되도록 배합하였다.

ALC의 혼합은 생석회와 시멘트를 투입하여 1분간 건비빔을 실시한 후, 혼합수를 투입하여 30초간 비빔을 실시하고, 다시 규석 분말을 혼입한 슬러리와 혼화제를 각각 투입하여 30초간 비빔을 실시하였다. 그 후 알루미늄 분말을 투입한 후 다시 15초간 비빔을 실시하였다. 시험체는 40~

50°C의 온도에서 5시간 동안 양생을 실시하였으며, 몰드에서 탈형 후 180°C에서 6~8시간 동안 증기양생을 실시하였고 제작 및 배합순서는 Fig. 1과 같다.

## 2.3 시험방법

메타카올린, 실리카폼, 규석 분말 및 석고 혼입율을 조절하여 제작한 시험체의 물성 변화를 측정하기 위한 항목은 밀도, 압축강도, 비강도 및 마모율이다. 또한 제작한 시험체의 내부구조를 분석하기 위해 X-Ray diffraction(이하 XRD) 및 주사전자현미경(이하 SEM)에 의해 조직구조를 관찰하였다. 밀도, 압축강도, 비강도 측정을 위한 시험체는 100×100×100mm이며 각주의 형태로 절단하여 제작하였고 KS F 2701의 경량기포콘크리트 블록의 시험방법에 의거하여 시험을 실시하였다. 마모성능 평가는 40×40×40mm 각주의 시험체를 제작하고 7일간 기건양생을 실시한 후, KS F 2508의 로스앤젤레스 시험기에 의한 굵은 골재의 마모 시험방법에 의거하여 중량변화를 측정하였다. 마모율은 2, 5, 10, 15분 간격으로 나누어 시험 전 후의 중량변화로서 마모율을 산정하였다. 또한 ALC의 중요 측정항목 중의 하나인 열전도율은 KS L 9016에 규정된 평판열류계 장치로서 측정하였다. 열전도율 시험체는 200×200×30mm의 평판형 시험체를 사용하였다.

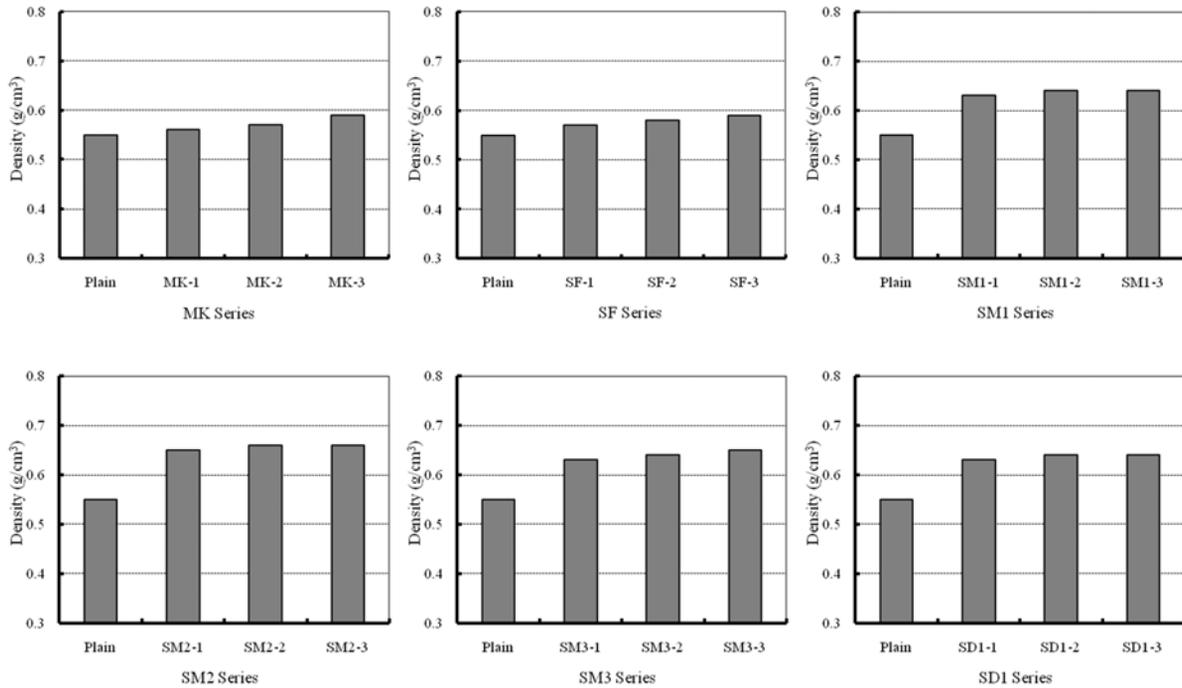


Fig. 2 Density change of ALC specimens

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 밀도변화

메타카올린, 실리카폼, 규석 분말 및 석고의 혼입율에 따른 밀도변화를 Fig. 2에 나타내었다. 메타카올린과 실리카폼 등의 혼화재료를 혼입한 시험체의 경우 혼입율의 증가에 따라 밀도도 단계적으로 증가하는 경향을 보였다. Plain 시험체의 밀도는 약  $0.55\text{g/cm}^3$ 이며 메타카올린을 혼입한 시험체는  $0.56$ ,  $0.57$ ,  $0.59\text{g/cm}^3$ 이며 실리카폼을 혼입한 시험체의 밀도는  $0.57$ ,  $0.58$ ,  $0.59\text{g/cm}^3$  이었다. 밀도의 증가가 가장 큰 경우 Plain 시험체에 비해 약 7% 정도이다. 이와 같은 밀도의 증가는 메타카올린 및 실리카폼의 혼입에 따라 토버모라이트의 입자사이의 간극에 충전되어 반응함으로써 경화체가 치밀해진 결과이다.

석고의 혼입율이 증가할수록 밀도도 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 규석 분말의 종류나 혼입율에 상관없이 동일한 경향을 보였다. 또한, 밀도의 증가도 혼화재 혼입시의 완만한 상승경향 보다는 초기부터 밀도가 급격하게 커졌으며 혼입율에 따른 차는 크지 않았다. 규석 분말 및 석고를 혼입한 시험체의 밀도는  $0.63\sim 0.66\text{g/cm}^3$ 의 범위이며 가장 큰 폭의 증가를 보인 시험체는 규석 분말

이 18% 혼입된 SM2 시험체이다.

#### 3.2 강도특성

##### 3.2.1 압축강도

메타카올린, 실리카폼, 규석 분말 및 석고의 혼입율에 따른 압축강도의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 메타카올린 및 실리카폼을 혼입한 시험체는 Plain 시험체에 비해 약 10% 정도 압축강도가 증가하여 개선효과가 있었다. 특히, 메타카올린을 혼입한 경우가 실리카폼을 혼입한 경우보다 증가 경향이 크게 나타났다. 메타카올린을 혼입한 시험체는 Plain 시험체에 비해 약 10% 정도 강도가 증가하였다. 이와 같은 결과는 메타카올린과 실리카폼의 비표면적의 차이에서 오는 것으로 판단된다. 즉 실리카폼의 경우 비표면적이 약  $200,000\text{cm}^2/\text{g}$  으로 메타카올린에 비해 작기 때문에 효율적으로 토버모라이트 구조체 사이를 충전하지 못하는 것으로 판단된다. 또한 석고의 혼입율이 증가할수록 압축강도도 증가하는 경향을 보였다. 특히 SM2 시험체의 강도증가가 현저하였는데 SM1보다 7%이상 증가하였으며, SM3보다 12%이상 증가하였다. 또한 SD1보다는 27%이상 압축강도가 증가하는 결과를 얻었다. 실리카의 함량이 90%인 SD1 시험체의 경우 Plain 보다는 강도가 증가하였

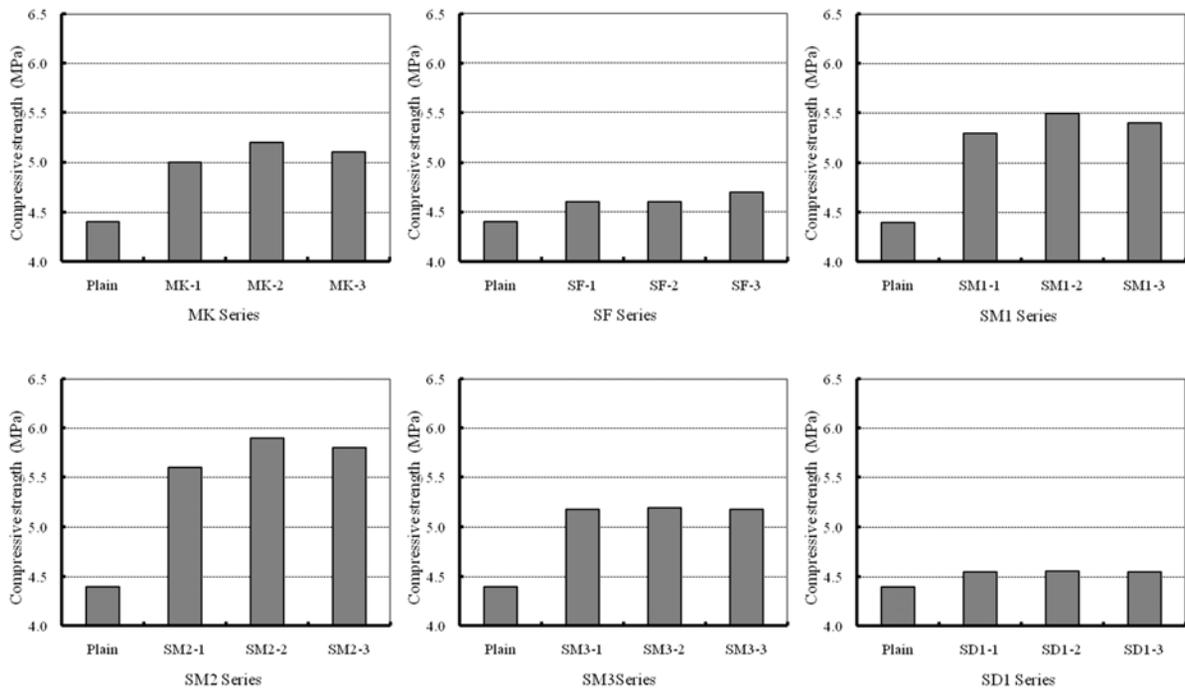


Fig. 3 Compressive strength of ALC specimens

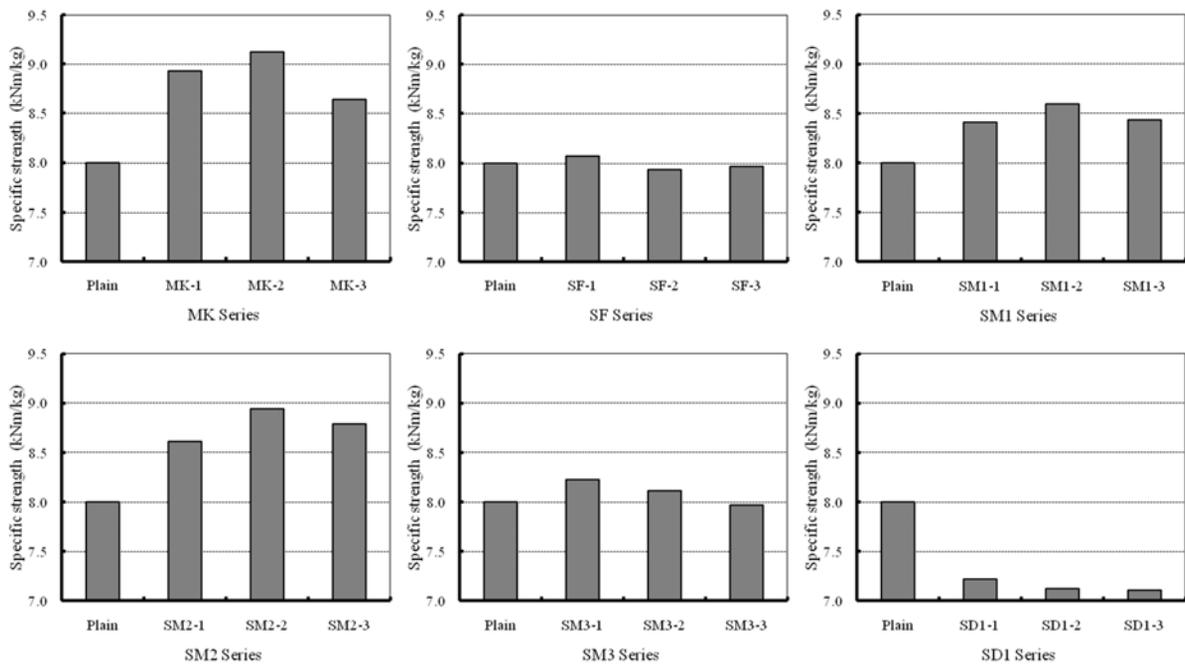


Fig. 4 Specific strength of ALC specimens

으나 SM 시험체보다 강도의 증가가 현저하게 작아 SiO<sub>2</sub>의 함량에 따른 강도의 차를 확인 할 수 있었다. 석고 혼입에 따른 강도변화는 SO<sub>3</sub> 함량이 5%일 때가 가장 높았으며 4%인 경우에 비해 강도가 4% 증가하였고 6%인 경우에 비해 강도가 2%이상 증가하는 결과를 보였다.

### 3.2.2 비강도

메타카올린, 실리카폼, 규석 분말 및 석고의 혼입에 따른 비강도를 Fig. 4에 나타내었다. 비강도는 밀도가 작고 압축강도가 높으면 비강도도 높다. ALC의 경우 경량성 및 단열성 등의 기타 성능과 강도를 고려한 시공성 확보측면에서 비강도가 높은 것이 유리하다. 메타카올린 및 실리카

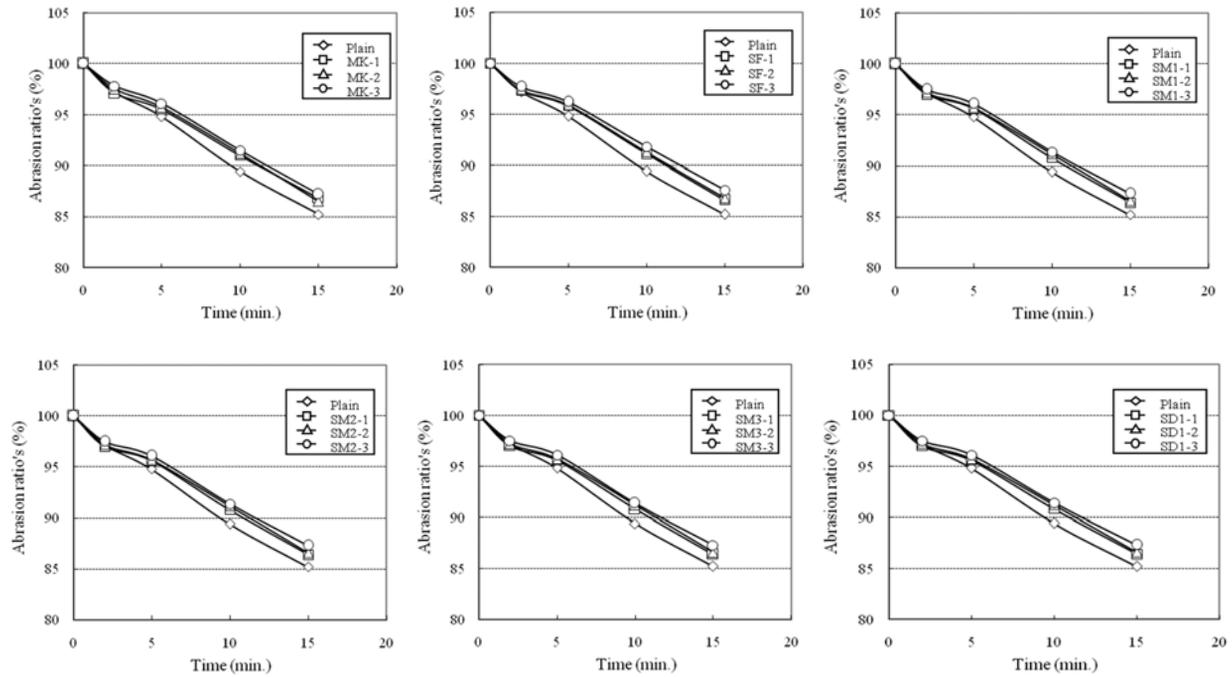


Fig. 5 Abrasion ratio's of ALC specimens

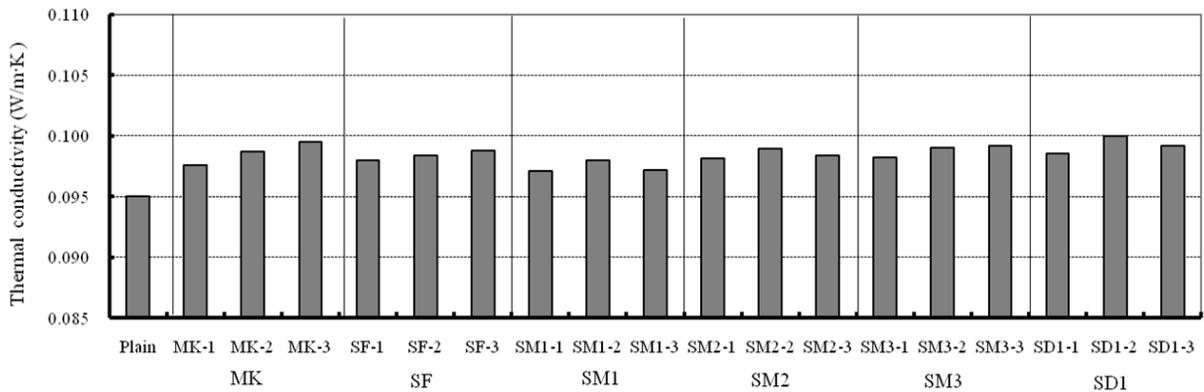


Fig. 6 Thermal conductivity of ALC specimens

품을 혼입한 시험체의 경우 Plain에 비해 메타카올린을 혼입한 시험체는 비강도가 높았으나 실리카폼을 혼입한 경우는 비강도가 낮은 결과를 보였다. 석고 혼입율에 따른 비강도는 규석 분말이 15%, 18%인 경우가 가장 좋은 결과를 보였으며 SiO<sub>2</sub> 함량이 작은 SD1의 경우 Plain 시험체보다 작게 나타났다.

### 3.3 마모성능

메타카올린, 실리카폼, 규석 분말 및 석고의 혼입에 따른 마모율을 Fig. 5에 나타내었다. ALC는 밀도가 작고 다공체이며 강도가 작기 때문에 모서리부에서 파괴가 발생하

기 쉬우며 마모에 의한 성능저하가 크다. 메타카올린과 실리카폼을 혼입한 시험체의 경우 Plain 대비 3%이상 마모에 의한 중량감소가 적었다. 석고 혼입율에 따른 마모성능은 SO<sub>3</sub>가 5%일 때 가장 우수하였다. 전체적으로 시험체 모두 Plain 보다는 약간 좋은 성능을 보였으며 혼화재의 종류 및 혼입율에 따른 마모성능의 차는 크지 않았다. 이와 같은 결과는 압축강도 증진에 따라 마모성능도 향상되지만 ALC 자체가 공극을 구성하는 셀구조 구성되어 있기 때문에 근본적인 개선방법을 제시하기는 어렵지만 배합 및 제조법 등을 통해 이를 개선할 수 있는 연구가 필요하다<sup>7)</sup>.

### 3.4 열전도율

ALC 시험체의 열전도율을 Fig. 6에 나타내었다. ALC는 알루미늄 분말에 의해 발생한 기포가 개개의 공극을 형성하고 공극 내에 공기층을 형성하므로 단열성능이 우수하다. 본 실험에서도 알루미늄 분말에 의해 개개의 셀이 형성된 ALC를 제조할 수 있었다. 열전도율 측정 결과 시험체 모두 0.1w/mk이하의 낮은 열전도율을 나타냈다. ALC의 열전도율은 밀도에 관계하여 밀도가 증가할수록 열전도율도 증가하는 경향을 보인다. 제조된 ALC는 일반 콘크리트의 열전도율인 1.0W/mk에 비하여 약 7~10%에 불과한 것으로서, ALC 특유의 독립적인 기공구조로 인한 단열성능의 우수함을 알 수 있었다.

### 3.5 SEM에 의한 조직관찰

SEM에 의한 미세구조를 Fig. 7에 나타내었다. SEM에서 Plain 시험체는 육각 판상형의 토버모라이트를 확인할 수 있었다. 토버모라이트는 ALC의 수열합성으로 형성되며 밀실의 정도에 따라 강도나 물성이 달라진다. Fig. 7에서도 밀실한 토버모라이트의 결정상을 확인할 수 있었다. 또한 토버모라이트는 메타카올린이나 실리카폼 등의 혼화제나 규석 분말의 입도 차와 상관없이 동일하게 관찰되었다. 또한 메타카올린이나 실리카폼 등을 혼입한 시험체는 퀴츠의 결정상을 확인할 수 있었다.

혼화제, 규석 분말 및 석고 혼입에 따라 결정이 양호한

토버모라이트상과 C-S-H상(ettringite)의 발생(CSH(I)이나 CSH(II)상)과 C-S-H gel상이 나타나고 있음을 확인하였다.

### 3.6 XRD에 의한 분석

XRD 분석 결과를 Fig. 8에 나타내었다. XRD분석은 시험편의 패턴 분석을 통해 토버모라이트의 형성 및 다른 결정상의 존재여부를 파악하기 위한 것으로 토버모라이트와 퀴츠가 생성된 것을 확인할 수 있었다. 또한 시험편 모두

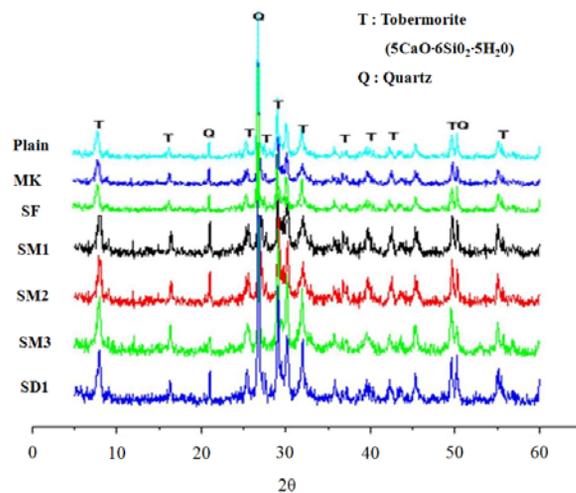


Fig. 8 X-Ray diffraction analysis

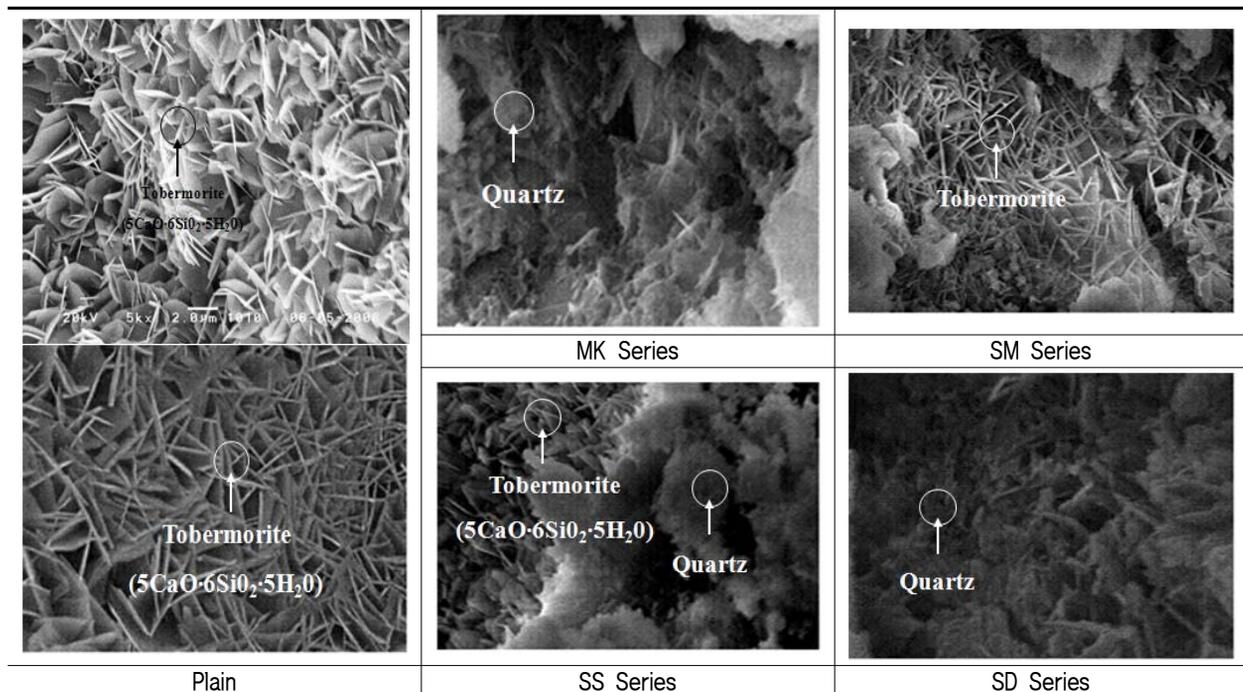


Fig. 7 Microstructure of ALC specimens

Plain 시험체로 측정된 결과와 혼화재를 혼입한 ALC의 피크가 일치함으로써 결정이 양호한 토버모라이트와 퀴츠가 형성되었음을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 메타카올린과 실리카폼을 혼입한 경우 혼입율의 증가에 따라 강도는 증가하며 혼화재의 종류에 따른 영향도 크게 받아 강도개선을 위해서는 메타카올린을 혼입하는 것이 유리하다.

(2) 메타카올린의 혼입에 따른 강도증진은 공극 충전 효과에 의한 것으로 압축강도와 밀도, 마모성능만을 고려하는 경우 3~5%를 혼입하는 것이 가장 적절하다.

(3) 규석 분말의 혼입에 따른 강도증진은 혼입율이 18%인 것이 유리하며 SiO<sub>2</sub>의 함량이 95% 이상의 것을 사용하는 것이 유리하다.

(4) 강도증진을 위한 석고의 함량은 SO<sub>3</sub> 함량 기준으로 5%를 혼입하는 것이 적절하며 강도의 개선에 따라 밀도가 증가하므로 추후 밀도를 낮추면서 강도를 개선할 수 있는 배합이나 제조법에 대한 연구가 필요하다.

#### 참고문헌

1. 한국세라믹기술원, 다공성 세라믹 소재 취성특성 향상 기술 지원, 연구보고서, 2005
2. 한국세라믹기술원, 저고비중 ALC 제품의 고성능화 기술지원, 2008.08
3. 김영엽 외 3인, “경량기포콘크리트의 혼화재 및 규석입도에 따른 성능개선”, 대한건축학회논문집(구조계), pp.107-114, 2007.08
4. ALC 구조설계 기준 및 표준공법 제정에 관한 연구, 대한건축학회, 1996
5. 쌍용양회공업(주), ALC개론
6. (주)SYC, ALC 기술자료
7. (주)SYC, 복합기능형 ALC 패널시스템용 부품소재 개발, 2011

#### 규석 분말 및 석고 혼입에 따른 경량기포콘크리트의 강도특성 개선

ALC는 경량이며 단열 및 차열 등의 성능이 우수한 반면 낮은 강도로 인한 모서리부의 취성파괴가 발생하기 쉬우므로 운반 및 취급 시 상당한 주의를 요구한다. 본 연구에서는 ALC의 물리적 성능개선을 위해 메타카올린 및 실리카폼 등의 혼화재나 규석 분말 및 석고의 혼입율을 조절하여 제조한 ALC의 성능을 평가하였다. 연구결과 메타카올린이나 규석 분말의 혼입율이 18%인 경우 강도의 개선이 현저하였다. 이와 같은 결과는 공극의 충전효과에 의한 것으로 강도는 개선되거나 밀도가 증가하므로 밀도를 낮추면서 강도를 개선할 수 있는 배합이나 제조법에 대한 연구가 필요하다.