

혼화제 및 입도에 따른 경량기포콘크리트의 강도특성 개선

Improvement of Strength in ALC using Admixtures and Grain Size

김 영 업*
Kim, Young-Yup

송 훈**
Song, Hun

이 종 규***
Lee, Jong-Kyu

추 용 식**
Chu, Yong-Sik

Abstract

Recently, the use of ALC has become increasingly popular. ALC is a unique building material. Because of its cellular nature, it is lightweight, self-insulating, sound and fireproof, as well as insect and mold resistant. Furthermore, ALC is free of VOCs and various fibers associated with wood and glass wool construction. 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, and grain size. Admixtures make use of metakaolin, silica fume, sodium silicate and sodium hydroxide. From the test result, the ALC using admixture have a good fundamental properties compared with plain specimen. Compressive strength, specific strength and abrasion's ratio were improved depending on increasing admixtures ratio's, and grain size.

키워드 : 경량기포콘크리트, 혼화제, 입도, 강도
Keywords : ALC, Admixtures, Grain size, Strength

1. 서 론

최근 건축물의 고층화에 따른 건물자중에 대한 문제점이 발생하면서 구조물의 중량 부담을 경감하기 위해 비구조용 재료인 경량콘크리트 제품의 사용이 급격하게 늘어나고 있는 추세이다. 경량콘크리트는 크게 경량골재콘크리트, 경량기포콘크리트, 무세골재콘크리트로 구분할 수 있다. 특히, 경량기포콘크리트(Autoclaved light weight conc rete, 이하 ALC)는 외국에서는 이미 범용화 되었으며, 국내에서는 주로 경량블록 등의 건축자재로 사용되고 있다. ALC는 오토크레이브로 고온·고압하의 양생 과정을 거쳐 구조적으로 안정한 판상 구조의 토버모라이트(Tobermorite) 결정층을 이루는 과정에서 만들어지는 경량의 제품을 의미한다. ALC의 국제적인 학술용어는 AAC(Autoclaved aerated concrete)이며 이는 혼화제와 같은 화학물질로 콘크리트 내의 기포를 생성하여 자연 양생한 기포콘크리트와는 구별된다(1)~(3). ALC의 밀도는 0.5~0.7g/cm³의 경량으로 체적의 대부분을 기포로 구성하며 기포는 그 크기에 따라 거대 기공과 미세기공로 구분된다. 이들 기포는 전체 체적의 70~80%를 차지하며 구성물은 단지 20~30% 밖에 되지 않아 단열성, 내화성, 차음성 등이 우수하다.

일반적으로 ALC는 규산칼슘 단열재로서 C-S-H (CaO-SiO₂-H₂O)계 수화물이며, 이 계의 수화물 대부분은 물에 대해 불용성이며, 이러한 부류로는 100℃ 이하에서 생성하는 불안정

한 저 결정상으로 시멘트 수화로 인해 생성되는 CSH(I), CSH(II) 등을 들 수 있다. 하지만 ALC는 안정한 결정으로 경량 규산칼슘 경화체이며 180℃ 전후에서 오토크레이브를 이용하여 수열(Hydrothermal)합성하는 점이 다르다. C-S-H계 화합물의 조성을 그림1에 나타내었다. 이들 중에서도 ALC 수화와 관련한 것은 다이어그램의 중심부에 산재하는 토버모라이트(C₅S₆H_x)이고 이 범위에는 특히 ALC 와 같은 결정성의 11Å 토버모라이트(C₅S₆C₅), 14Å 토버모라이트(C₅S₆H₉)를 비롯해서 저 결정성의 CSH(I), CSH(II) 등이 포함되어 있다(4)-(10). ALC는 경량, 단열, 흡음 및 차음효과가 우수하지만 기포를 형성하고 있는 공극으로 인해 강도가 떨어지는 문제점이 있고 인장강도가 낮아 응력을 받을 때 취성적인 파괴성향을 갖고 균열 발생이 용이한 본질적인 단점이 지닌다. 이에 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위해 기존의 ALC 배합에 혼화제 및 규석분말의 입도 및 SO₃함량 조절을 통해 압축강도 및 물리적 특성을 개선하는 것을 목적으로 하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

ALC의 물리적 성능개선을 도모하기 위한 사용재료는 1종 포틀랜드시멘트, 규석분말, 생석회이며 발포제로서 알루미늄 분말을 사용하였다. 규석분말은 결정성이 양호한 국내의 M규석분말과 D규석분말을 사용하였다. 또한, 성능개선을 위한 혼화제로는 메타카올린, 실리카퓌, 소듐실리케이트와 소듐하이드

* 요업기술원 세라믹·건재본부, 연구원
** 요업기술원 세라믹·건재본부, 선임연구원, 공학박사
*** 요업기술원 세라믹·건재본부, 책임연구원, 공학박사

록사이드이며, 메타카올린 및 실리카폼은 국내의 K사의 제품을 사용하였고 소듐실리케이트와 소듐하이드록사이드는 순도 95%이상의 분말형 시약을 사용하였다.

2.2 시험체의 제작

ALC 시험체의 물성변화를 검토하기 위한 배합은 표 1,2와 같다. 혼화재의 종류에 따른 물성 변화를 검토하기 위해 메타카올린, 실리카폼, 소듐실리케이트 및 소듐하이드록사이드를 혼합하였고, 규석분말의 입도 및 SO₃ 함량을 조절하여 적용하였다.

표 1. ALC 시험체의 기본배합비

규석슬러리	생석회	시멘트	Al Paste	혼합수
323.0	47.0	104.0	0.5	100.0

표 2. ALC 시험체의 시험배합비

Type	기호	혼화재		규석 종류	규석분말 잔분 (90 μ m), (%)	SO ₃ 함량 (%)	
		종류	혼입량 (C \times %)				
Plain							
Type I	MK1	MK	3	SSM	13-23	4-6	
	MK2		5				
	MK3		8				
	SF1	SF	3				
	SF2		5				
	SF3		8				
Type II	SS1	SS	1				
	SS2		3				
	SS3		5				
	SH1	SH	1				
	SH2		3				
	SH3		5				
Type III	SSM13-1			SSM	13	4	
	SSM13-2					5	
	SSM13-3					6	
	SSM18-1					18	4
	SSM18-2						5
	SSM18-3						6
	SSM23-1			23	4		
	SSM23-2				5		
	SSM23-3				6		
	SSD18-1			SSD	18	4	
	SSD18-2					5	
	SSD18-3					6	

ALC는 기존의 A사에서 생산에 적용하고 있는 시멘트, 규석분말, 생석회, 알루미늄 분말을 기초재료로 사용하였다. 메타카올린과 실리카폼은 시멘트의 중량대비의 3, 5, 8%를 외할로 첨가하였고, 소듐실리케이트 및 소듐하이드록사이드는 시멘트 중량대비의 1, 3, 5%를 외할로 첨가하였다. 또한, 규석분말의 입

도를 90 μ m체를 이용하여 잔분의 측정 결과가 13, 18, 23%가 되도록 조절한 후, 규석분말 중량대비 35%의 혼합수를 투입하여 규석슬러리를 제조하였다. SO₃ 함량조절은 석고의 투입량을 조절하여 최종 시험체내에 4, 5, 6%가 되도록 배합하였다. 시험체의 혼합은 모르타르 므서를 이용하여 생석회와 시멘트를 투입하여 1분간 건비빔을 실시한 후, 혼합수를 투입하여 30초간 비빔을 실시하고, 다시 규석슬러리와 혼합재 각각을 투입하여 30초간 비빔을 실시하였다. 그 후 알루미늄 분말을 투입한 후 다시 15초간 비빔을 실시하였다. 시험체는 40~50 $^{\circ}$ C의 온도에서 5시간동안 건조양생을 실시하였으며, 몰드에서 탈형 후 180 $^{\circ}$ C에서 6~8시간동안 증기양생을 실시하였다.

2.3 시험방법

혼화재의 사용량 및 규석분말의 입도와 SO₃ 함량조절에 따른 물성변화를 평가하기 위한 측정항목은 압축강도 및 밀도이며 시험방법은 다음과 같다.

시험체는 200 \times 200 \times 200mm 크기로 제작하여 압축강도와 밀도측정을 위해 발포된 부분을 100 \times 100 \times 100mm의 각주로 절단하여 제작하였고 KS F 2701에 준하여 시험을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 강도특성

혼화재의 혼입률에 따른 압축강도의 변화를 그림 1에 나타내었다. 메타카올린 및 실리카폼은 Plain시험체에 비해 약10% 정도 강도가 증가하였으며, 혼입률의 증가에 따른 압축강도의 증진효과는 거의 보이지 않았다. 메타카올린이나 실리카폼에 비해 소듐실리케이트나 하이드록사이드를 사용한 경우가 강도의 증진이 크게 나타났다. 소듐실리케이트와 소듐하이드록사이드를 혼입한 시험체의 경우 Plain대비 약 30%이상 증가하였으나 혼입률이 증가할수록 압축강도는 약간 감소하여 혼입률에 따른 강도증진 효과는 확인할 수 없었다. 또한 소듐실리케이트를 사용한 경우 소듐하이드록사이드에 비해 상대적 강도의 증진효과가 크게 나타났다. 규석분말 입도에 따른 압축강도의 변화를 그림 2에 나타내었다. SSM18 시험체는 SSM13보다 7%이상 증가하였으며, SSM23보다 12%이상 강도의 증가를 보였으며, 또한 SSD18보다는 27%이상 압축강도가 증가하는 결과를 얻었다. SO₃ 함량에 따른 강도변화는 SO₃ 5%일 때가 가장 높았으며 SO₃ 4%인 경우에 비해 강도가 4% 증가하였고 SO₃ 6%인 경우에 비해 강도가 2%이상 증가하는 결과를 보였다. 또한, 실리카 함량이 다른 SSM18과 SSD18를 비교한 결과 순도가 낮은 SSD 18 시험체의 경우 압축강도가 다른 시험체에 비해 현저하게 저하하였다.

3.2 마모성능

혼화재의 혼입률에 따른 마모율을 그림 3에 나타내었다. 일반적으로 ALC는 밀도가 작고 다공체이며 강도가 작기 때문에 모서리부에서 파괴가 발생하기 쉬우며 마모에 의한 성능저하가 크다. 마모성능은 메타카올린 및 실리카폼의 혼입에 따라

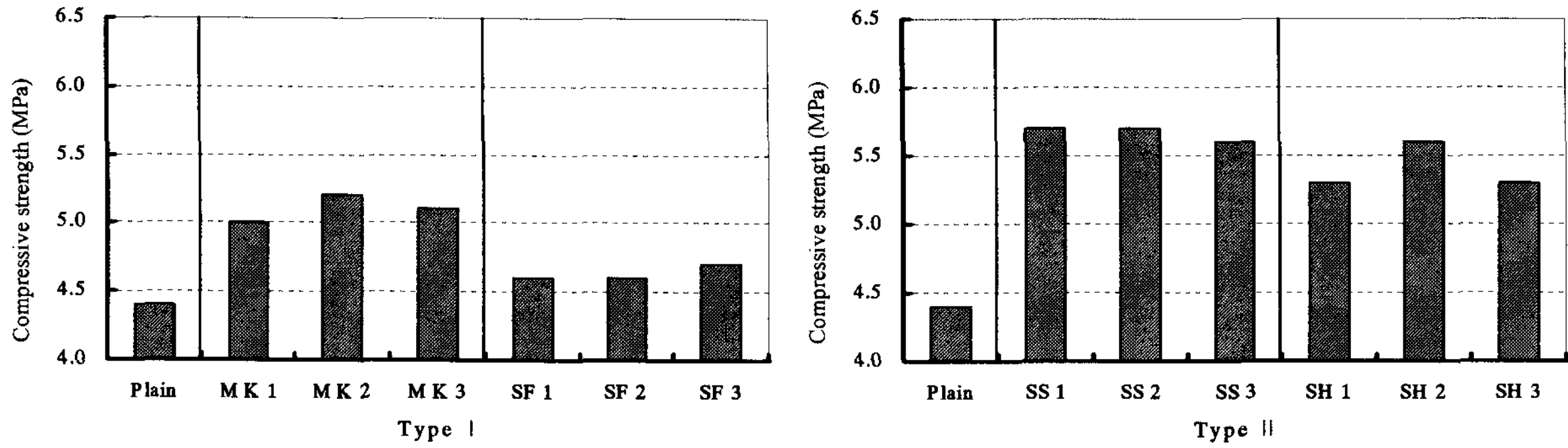


그림 1. 혼화재의 혼입률에 따른 압축강도

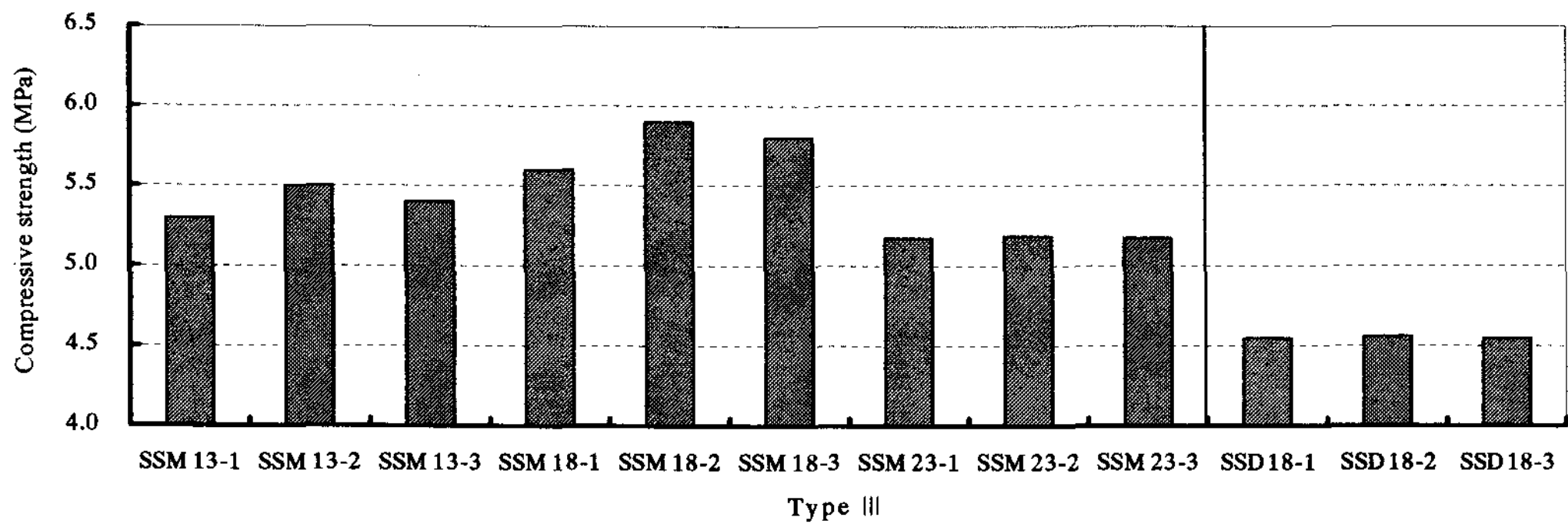


그림 2. 규석분말의 입도 및 SO₃ 함량에 따른 압축강도

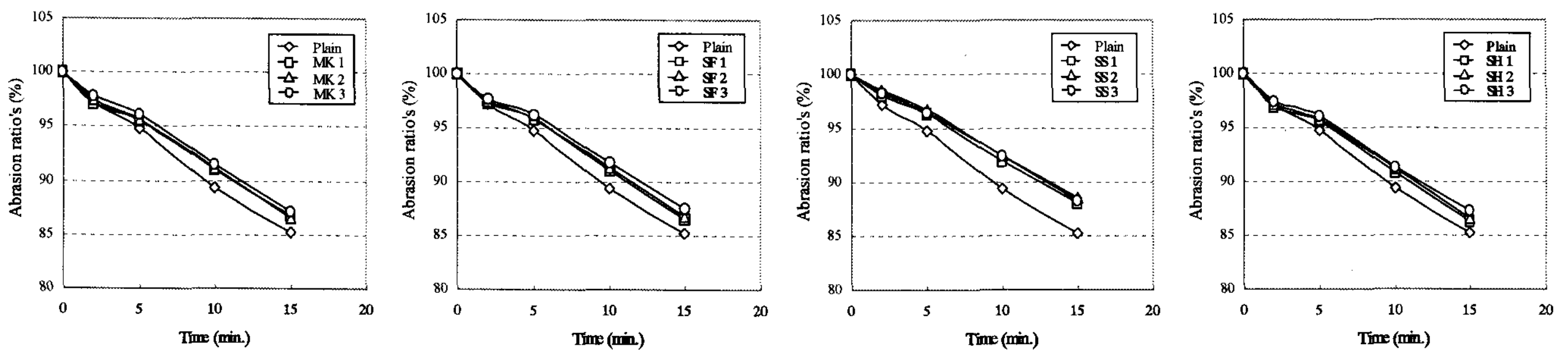


그림 3. 혼화재의 혼입률에 따른 마모율

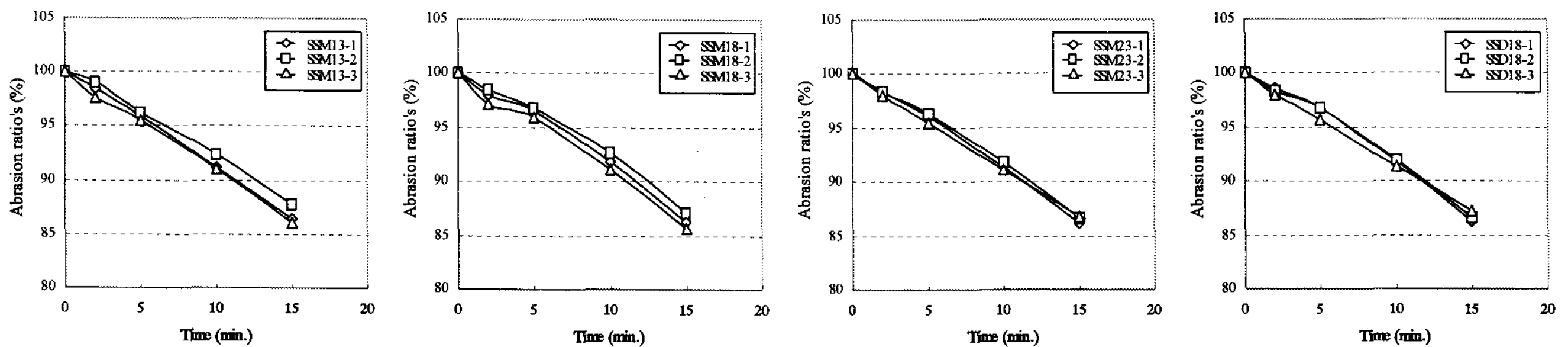


그림 4. 규석분말 입도 및 SO₃ 함량에 따른 마모율

향상되는 것으로 나타났다. 메타카올린과 실리카폼을 혼입한 시험체의 경우 Plain 대비 3%이상 마모에 의한 중량감소가 적었다. 또한 혼화재의 종류에 상관없이 동일한 경향을 보였으며 혼입률에 따른 마모성능의 차는 크지 않았다. 특히, 소독실리케이트의 경우 마모성능이 우수하게 나타났는데 이와 같은 결

과는 압축강도 증진에 따른 마모성능의 향상에 기인한다. 규석분말의 입도와 SO₃ 함량에 따른 마모율을 그림 4에 나타내었다. 규석분말의 입도 및 SO₃ 함량에 상관없이 시험체 모두 시간이 증가할수록 마모율은 감소하는 동일한 경향을 보였으며 그 차 또한 크게 나타나지 않았다. SO₃ 5%일 때 압축강도

가 가장 크게 나타났기 때문에 마모성능 또한 향상되는 결과를 보이고 있다. 하지만 ALC부재의 경우 마모율이 다른 재료에 비하여 상대적으로 크기 때문에 개선을 위한 보다 많은 연구가 필요하다.

3.3 XRD분석 및 미세조직 관찰

혼화재의 혼입에 따른 XRD분석 결과를 그림 5에, 규석분말의 입도 및 SO₃함량에 따른 결정상의 분석결과를 그림 6에 나타내었다. XRD분석은 특성개선을 위해 혼화재를 혼입한 시험편의 XRD패턴 분석을 통해 토버모라이트의 형성 및 다른 결정상의 존재여부를 파악하기 위한 것으로 결정이 양호한 토버모라이트상과 C-S-H상(ettringite)의 발생 (CSH(I)이나 CSH(II)상)과 C-S-H gel상이 나타나고 있음을 확인하였다. XRD분석을 통해 토버모라이트 형성을 측정된 결과, 시험편 모두 Plain 시험체로 측정된 결과값과 혼화재를 혼입한 ALC의 피크값이 일치함으로써 결정이 양호한 토버모라이트상과 퀴츠가 형성되었음을 알 수 있었으며 다른 결정상에 대한 결과값은 보이지 않았다.

주사현미경에 의한 미세구조를 그림 7에 나타내었다. XRD 분석의 결과를 미세구조 관찰을 통해 확인할 수 있었다.

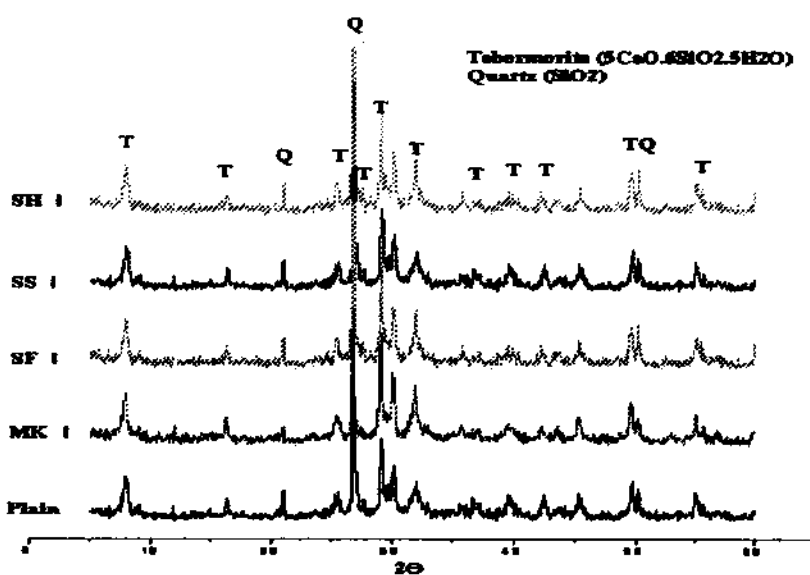


그림 5. Type I, II 시험체의 XRD패턴

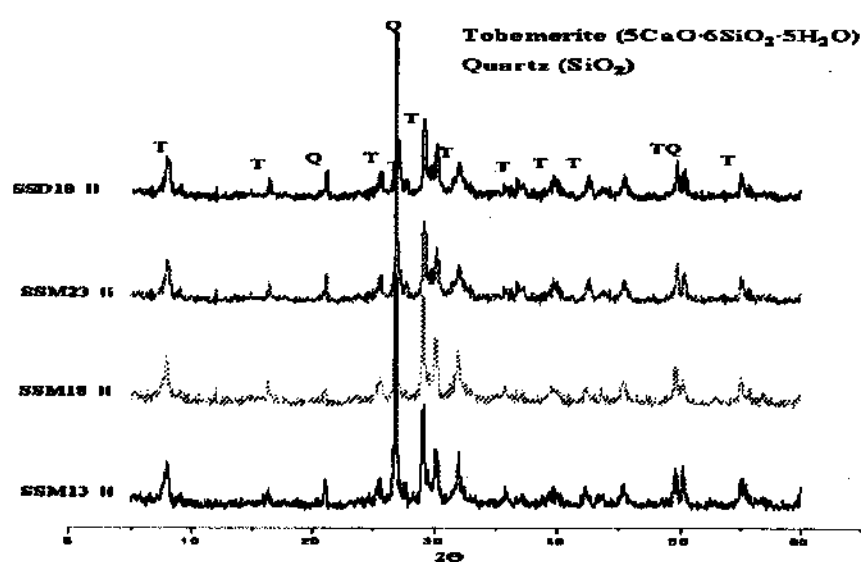


그림 6. Type III 시험체의 XRD패턴

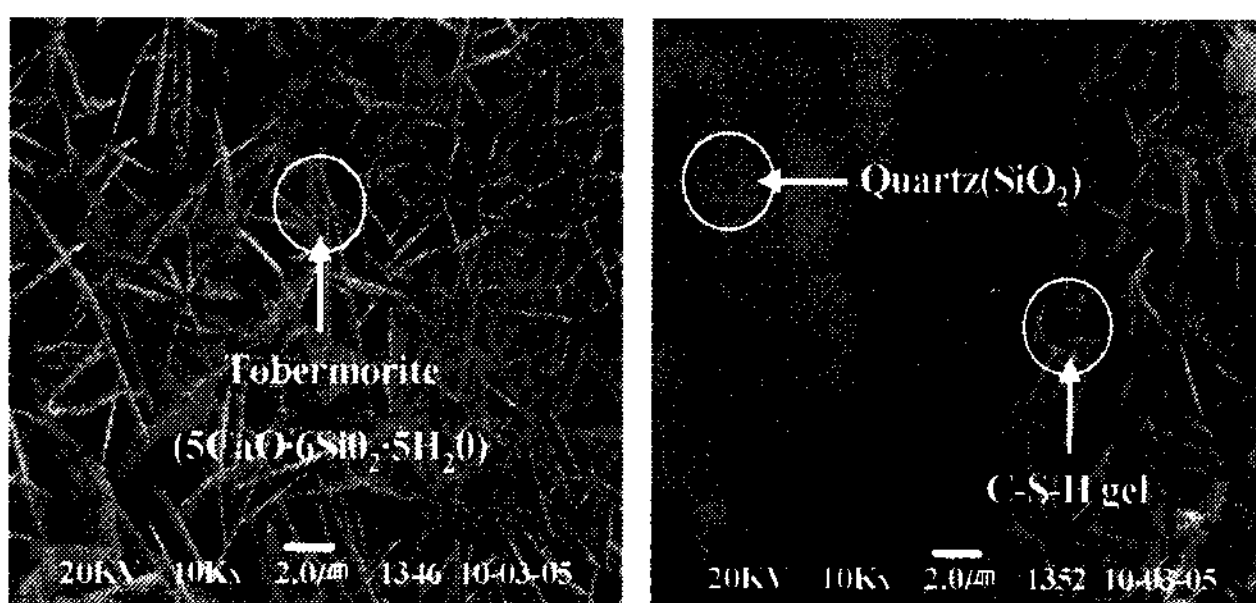


그림 7. SEM Image

4. 결론

본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 혼화재의 혼입에 따라 압축강도는 약 10~30%가 향상되었으며 혼입률 보다는 종류에 따른 영향이 크게 나타났다. 이는 혼화재의 공극 충전 및 불용성 규산칼슘의 고정화 등 서로 다른 메커니즘에 기인한 결과이다.
- 2) 혼화재에 의한 물리적 특성의 개선은 메타카올린이나 실리카폼 보다는 소듐실리케이트를 사용하는 것이 유리하다.
- 3) 혼화재 혼입률의 증가에 따른 강도증진 효과는 미미하며 마모성능만을 고려하는 경우의 혼입률은 1~3%가 적절하다.
- 4) 규석분말의 입도에 따른 강도증진은 90 μ m 규석잔분이 18%이며 실리카의 함량이 높은 것이 유리하며, 강도증진을 위한 SO₃ 함량은 5%가 적절하다.

참고 문헌

1. 경량콘크리트 연구위원회 발표자료집, 한국콘크리트학회, 2005
2. 요업기술원, 다공성 세라믹 소재 취성특성 향상기술 지원, 연구보고서, 2005
3. 이종근외 5명, 세라믹스원론, 반도출판사, pp.36-74, 1996
4. 최광호, ALC 성능 및 구조적사용, 한국콘크리트학회지, pp.48~57, 1995
5. 한국건설기술연구원, ALC 성능평가 및 활용연구, 연구보고서, 1993
6. ALC개론, 쌍용양회공업(주)
7. ALC 구조설계 기준 및 표준공법 제정에 관한 연구, 대한건축학회, 1996
8. ALC기술자료, (주)SYC
9. Dan Tapan Kumar, Activation of India Blast Furnace Slag by Lime and Lime Gypsum Mixed Activator in Solution phase, India J.Technical-Slakes Lime Cement, Chatterjee, Manas Kumar, pp.337-344, 1985
10. Paul Wencil Brown, Early Hydration of Tetracacium Alumin-oferrite in Gypsum and Lime-Gypsum Solution, Am. Ceram. Soc., Vol.70, No7, pp.493-496, 1987