# 기능성 경량기포콘크리트의 물리적 특성에 관한 실험적 연구

## A Study of Mechanical characteristics of functional Autoclaved Lightweight Concrete

김 순 호* 김 홍 룡**
Kim, Soon-Ho Kim, Hong-Yong

Abstract

This is the experimental study on the functional property of the light-weight concrete according to the mineral composite. According to the increase of the functional mineral, Autoclaved light-weight concrete (ALC) have a effect of high far infrared ray, deodorization, anion and change of chromaticity on D65 of light source. Compressive strength and change of specific gravity by foaming of Mixed Slurry in accordance with additive rates and Water. It chracterizes surface by SEM, chemical component and crystallization by XRD, XRF. the results of this experiment studied influences of ALC by functional minerals.

키워드: 경량기포콘크리트, 기능성, 황토
Key words: Autoclaved Light-weight Concrete, Functional, Physical properties, Hwang-to

### 1. 서 론

종래의 건축재는 포틀랜드 시멘트를 위주로 하는 콘크리트계가 주류를 이루어 왔으나 건축자재의 수요 급성장과 건물의 고층화, 에너지 절약의 필요성이 강조됨에 따라 경량성(비중 0.5~0.8), 단열성(열전도율 0.08~0.12cal/mh℃), 차음성 및 시공의 용이성 등이 뛰어난 다공질 규산칼슘 수화물 즉 ALC의 사용이 급증하게 되었다.[1)]

ALC( Autoclaved Lightweight Concrete)는 발포제에 의하여 콘크리트 내부에 무수한 기포를 독립적으로 분산시켜 중량을 가볍게 한 기포콘크리트의 일종으로 블록과 사전에 철근이 보강된 패널형태로서 생산되고 있으며 경량 콘크리트의 일반적 장점인 경량성, 단열성, 내화 및 시공성 등에서 우수한 성능을 보이고 있다. ALC는 석회질, 규산질 원료와 기포제 및 혼화제를 주원료로 물과 혼합하여 슬러리를 만든 후 고온고압(180℃, 10Kg/㎠)의 오토클레이브(Autoclave)에서 증기양생 과정을 거쳐 구조적으로 안정된 판상구조(板狀構造)의 Tobermorite결정을 이루는 과정으로 제조된다.[2)]

ALC는 양생과정중 발생된 기포는 전체 ALC의 체적에 70~80%를 차지하여 물질은 단지 20~30%밖에 되지않아 0.5~0.7의 낮은 비중으로 물에 뜰 정도의 특성을 지닌다.

일반적으로 ALC는 규산칼슘 단열재로서 CaO - $SiO_2$ - $H_2O$ (C-S-H)계수화물이다. CaO-$SiO_2$-$H_2O$(C-S-H)계의 수화물은 대부분 물에 대해 불용성으로 100℃ 이하에서 생성하는 수화물은 불안정한 저 결정상으로 시멘트 수화로 인해 생성되는 CSH(Ⅰ), CSH(Ⅱ) 등은 이 부류에 속한다. 이에 비해 ALC와 같이 100℃ 이상에서 autoclave에 의해 증기양생시킨 수화물은 안정한 결정으로 경량 규산칼슘 경화체로서의 용도가 있다.[3)]

주택건설에서의 ALC적용은 주택공사에서의 내벽공사로 시작되었으며, 외벽공사에도 적용범위가 확대되고 있다. 현재 아파트 건설에 활용되는 ALC는 ALC패널의 경우 적용 예가 거의 없으며, 외벽마감으로 일반적으로 적용되는 골조공사 후 도장마감 추세에 기인한다고 볼 수 있다. 따라서 실제 아파트와 같은 공동주택에의 ALC적용은 블록을 적용한 시공 예가 대부분이라고 할 수 있다. ALC는 경량으로 자중이 적어 건물중량의 경감시킬 수 있으며, 단열성이 우수하고, 흡음성 및 내화성능이 뛰어나 국내에서도 단독주택, 아파트의 칸막이벽, 방음벽 등에 널리 사용되고 있다.[4-6)]

현재 국내의 건축 산업에 적극 활용되고 있는 ALC 건축자재에 천연광물을 적용하여 친환경적인 건축자재의 성능을 시험, 조사 및 평가하여 친환경자재의 활용증대를 제시하고자 한다. ALC는 미세한 기포와 모세관 구조에 의해 실내의 습기를 흡수, 방출하여 흙벽과 같이 실내습도를 균형하게 조절하여 주는 기능성 자재로 유럽에서는

* 교신저자, 대동이엔씨 기술연구소 (shkims@paran.com)
** 삼우종합건축사무소 기술연구소

표 1. 제조공정별 화학반응

| | |
|---|---|
| Mixing | · 원료들이 용해되며 용액이 알칼리성으로 되면 이온상태로 존재 |
| Casting | · Al paste와 원료간 반응으로 발포<br>$2Al+3Ca(OH)_2+6H_2O \rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O+3H_2\uparrow$<br>$2Al+2NaOH+2H_2O \rightarrow 2NaAlO_3+3H_2 \uparrow$<br>$Al^{3+}+3H_2O \rightarrow AlO_3^{3-}+3H_2 \uparrow$<br>· 자연 양생되며 C-S-H(Ⅱ)의 불안정상 생성 |
| Cutting | |
| Autoclaving | · 온도상승에 따라 C-S-H(Ⅱ)이 $SiO_2$와 C-S-H(Ⅰ)이 생성되고 이것은 다시 반응이 진행됨에 따라 결정질 tobermorite로 변화 |

에너지 절약과 환경보호재로 한국과 일본은 분쇄된 ALC의 잔재를 토양의 비료로 사용할 만큼 식물과 인체에 독성이 없는 자연친화적인 건축 자재이다. 이에 천연광물 고유의 기능성을 접목하여 기능성 경량기포콘크리트(ALC)의 특성을 살피며, 실내주거환경 개선성능을 관찰하였다.[7)]

따라서 본 연구에서는 ALC에 친환경적인 천연광물과 혼화재을 혼입하여 혼입율에 따른 물성변화를 관찰하고 물리적 성능 개선을 위한 혼화재의 고찰을 하고자 한다.

## 2. 재료 및 시험방법

### 2.1 사용재료

ALC의 물리적 성능 및 기능성을 도모하기 위한 주요 원료는 1종 보통 포틀랜드시멘트, 생석회, 규석(결정성이 양호한 석영), 알루미늄 분말(발포제)을 사용하였고, 혼화재는 천연광물을 사용하였으며, 물리적 성질은 다음 표 2과 같다.

표 2. 사용재료의 물리적 성질

| 사용재료 | 기호 | 물리적 성질 |
|---|---|---|
| 시멘트 | C | 국내산<br>분말도 3,587(㎠/g) |
| 생석회 | CaO | 40-50㎛ |
| Aluminum paste | A | - |
| 규석 | S | 90㎛ 잔사 |
| 황토 | H | 75㎛ |
| 맥반석 | M | 국내산, 2.20(g/㎤)<br>분말도 20,000(㎠/g) |
| 혼화재료 | R | 3~5㎛ |
| 음이온석 | m | 10~15㎛ |

### 2.2 ALC 시험체 제작

천연광물의 재료에 따른 물성변화를 검토하기 위해 배합 순서는 그림 1과 같으며, 시험체 제작을 위한 배합표는 표 3과 같다. 첨가재는 ALC슬러리의 최대10%미만으로하여 강도개선 기능성, 색상을 개선하기 위하여 배합비를 작성하였다.

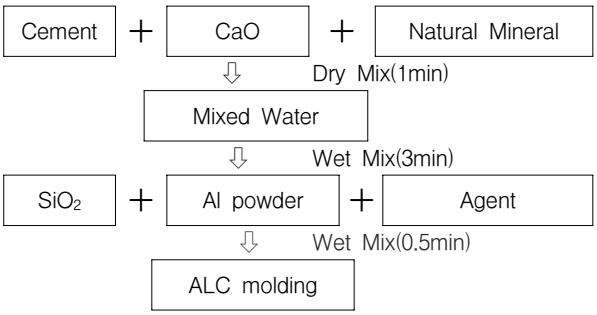
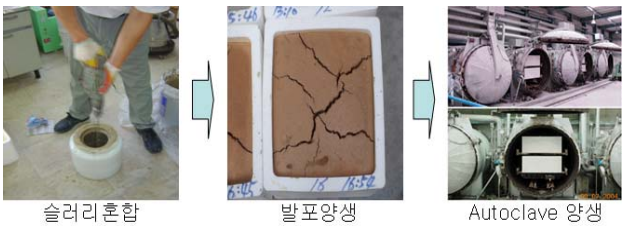



그림 1. 시험체 제작 및 배합순서

ALC의 슬러리는 보통포틀랜드시멘트, 생석회, 알루미늄 분말을 사용하였고, 시험체의 몰드는 30×30×30㎤의 크기의 스티로폼몰드를 사용하였으며, 전제배합은 7Kg이며, 모르타르 믹서를 이용하였으며, 천연광물질, 생석회, 시멘트를 1분간 건식혼합을 실시한 후 혼합재와 혼합수를 투입하여 3분간 습식혼합을 실시하고, 그 후 알루미늄 분말을 투입한 후 30초간 혼합을 실시하였다.

혼합수는 천연광물의 첨가량에 따라 슬러리플로우, 발포율 및 절건비중(0.5)을 고려하여 수량을 증가하였다. 시험체는 60~80℃의 온도에서 5시간동안 경화시키며, 몰드에서 탈형 후 Autoclave에서 180℃, 10kg/㎠에서 12~14시간동안 고온고압 증기양생을 실시하였다. ALC의 생산공정사진을 그림 2에 나타내었다.



슬러리혼합 발포양생 Autoclave 양생

그림 2. ALC 생산공정

### 2.3 시험방법

물성변화를 측정하기 위해 압축강도, 비중을 측정하였으며 시험방법은 다음과 같다. 강도특성을 파악하기 위한 시험체는 50×50×50mm의 크기로 제작하였고 압축강도는 KS F 2701에 준하여 각 배합비별 공시체 3개의 평균값으로 측정하였다. 혼화재에 따른 기능성을 평가하기 위하여 음이온측정, 원적외선 방사율, 흡탈취 성능평가 및 색도를 측정하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 비중 및 압축강도

천연광물의 혼입율에 따른 ALC의 압축강도와 밀도측정결과를 그림 3과 그림 4에 나타내었다. 시험체 모두 첨가재의 증가에 따라 비중는 증가했으며, 황토를 혼입한 경우 압축강도는 Plain 대비 약 10%정도가 감소하였으며, No. 4과 No. 5의 경우는 40Kgf/㎠이하의 미흡한 압축강

도를 보이고 있다. 이는 천연황토의 낮은 결정화도와 포졸란 반응성에 의한 강도저하로 사료된다. 맥반석을 혼입한 경우 압축강도는 Plain에 비해 10%증가하였으나, 3% 이상의 첨가시에는 변화를 보이지 않았다. 음이온석을 혼합한 경우 압축강도의 변화는 보이지 않았으며, 포졸란 반응성이 나타나지 않는 것으로 판단된다.

표 3. ALC 시험체 제작 배합비

| Lot. No | 배 합 비 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ALC배합비(%) | | 천연광물(%) | | | |
| | ALC Slurry paste | 물 | H | R | M | m |
| 1 | 100 | 10.61 | | | | |
| 2 | | 10.61 | 3 | | | |
| 3 | | 12.3 | 5 | | | |
| 4 | | 13.83 | 7 | | | |
| 5 | | 15.37 | 10 | | | |
| 6 | | 18.44 | 3 | 5 | | |
| 7 | | 21.52 | 5 | 5 | | |
| 8 | | 16.91 | 0.5 | 5 | | 2.5 |
| 9 | | 21.52 | 2.5 | 5 | | 2.5 |
| 10 | | 10.61 | | | 3 | |
| 11 | | | | | 5 | |
| 12 | | | | | 7 | |
| 13 | | | | | 10 | |
| 14 | | | | | | 1.5 |
| 15 | | | | | | 2.5 |
| 16 | | | | | | 3.5 |

혼입수의 양은 슬러리점도 1,800~2,000cp 범위내에 조건을 맞추어 혼합하였다. 황토첨가량이 증가할수록 황토 자체흡수능에 의해 투입수량이 10~20%까지 증가됨을 알 수 있다. 이는 슬러리의 점도가 발포높이, 기공의 크기, 압축강도, 기건비중 등의 ALC 기초물성에 영향을 미치기 때문이다.

Autoclave반응을 마치고 24시간 지난 후 절건비중을 측정한 결과는 그림4과 같다. 모든 시험체는 KS F 2701에 의한 비중측정 결과인 0.48~0.52범위이며, 기존 ALC에 비해 상대적으로 증가된 것으로 관측된다.

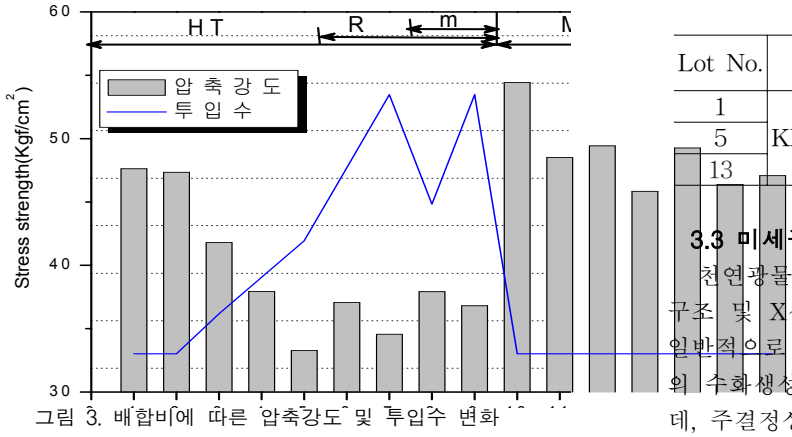



그림 3. 배합비에 따른 압축강도 및 투입수 변화

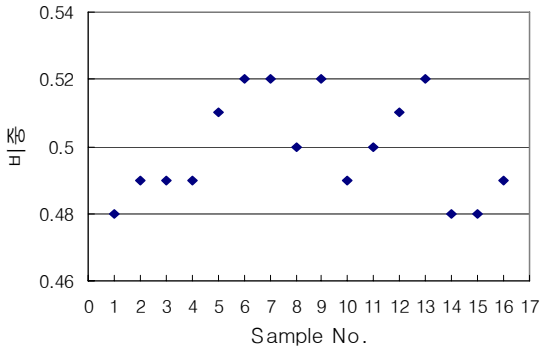



그림 4. 배합비에 따른 비중변화

### 3.2 탈취율 및 기능성

ALC의 친환경적인 기능성을 알아보기 위하여 원적외선 방사율, 흡탈취성능, 음이온발생량 측정을 시험하였다.

원적외선시험, 탈취시험은 기존 ALC (NO.1), 황토 ALC (NO.5), 맥반석 ALC (No.13) 시편으로 선정하였으며, 측정결과는 표 4과 그림 5에 나타내었으며, 이는 기능성재료가 ALC의 미치는 영향을 관찰하고자 한다. 원적외선의 경우는 모든 시편이 90%이상의 원적외선 방출량을 나타내고 있지만, 시편에 따른 변화는 찾을 수 없다. 탈취시험[1)]은 No.1, No.5, No.13 순서에 따라 측정시간이 증가될 때마다 탈취율이 향상됨을 확인할 수 있으며, No.13의 경우는 최대96%의 탈취율을 보이고 있다. 이는 맥반석이 비표면적(3.0048m$^2$/g), 기공(1.179×10$^{-3}$ cm$^3$/g)의 크기에 의하여 ALC에 대한 탈취 향상기능을 가지고 있다고 판단된다. 음이온측정은 EB-13(Japan)모델명 장비를 사용하여 측정하였으며, 그 결과는 그림 6에 나타내었다. 음이온석의 첨가량이 증가할수록 방출량도 증가되는 추이를 보이고 있으며, 1.5%함량에도 1300개/cc이상의 음이온수를 나타내고 있다. 이는 깊은 숲속에서 발생되는 음이온 개수와 동일한 수치이다. 반면 No.5과 No.13의 경우 음이온방사효과는 있으나, 황토와 맥반석만으로는 음이온이 첨가된 ALC와의 방출량과 큰 차이를 나타내고 있다.

표 4. 혼화재의 혼입율에 따른 원적외선

| Lot No. | 시험항목[2)] | 방사율 (5~20㎛) | 방사에너지 (W/㎡) |
|---|---|---|---|
| 1 | KICM-FIR-1005 | 0.917 | 3.70×10$^2$ |
| 5 | | 0.915 | 3.69×10$^2$ |
| 13 | | 0.916 | 3.69×10$^2$ |

### 3.3 미세구조 관찰 및 X-Ray회절 시험분석

천연광물의 혼입에 따른 경화체의 수화생성물의 미세구조 및 X선회설분석를 그림 7과 그림 8에 나타내었다. 일반적으로 오토클레이브양생과정을 거치면 판상형 구조의 수화생성물의 서로 겹쳐 발생하는 것으로 알 수 있는데, 주결정상은 tobermorite가 생성되었으며, No.5의 경우

1) 시험방법은 KICM-FIR-1085이며, $NH_3$가스를 사용함.
2) FT-IR Spectrometer를 이용한 Black Body대비 측정.

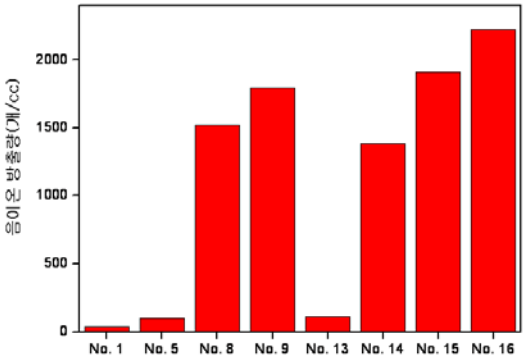



그림 5. ALC음이온방출량 결과

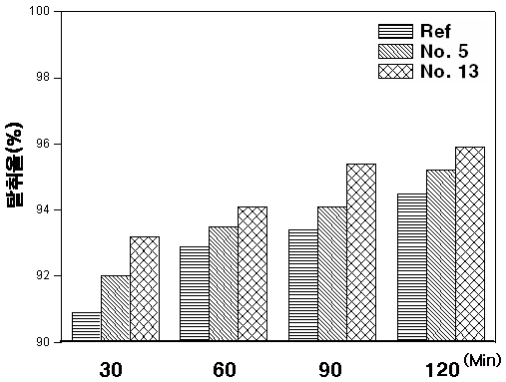
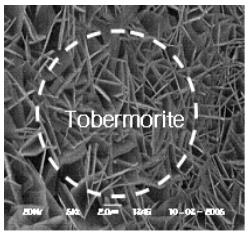
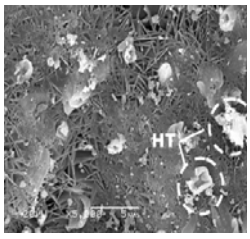



그림 6. 탈취시험결과

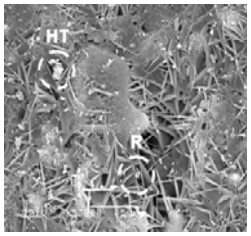
황토의 혼입량이 증가함에 따라 주결정 피크가 감소하는 경향을 보이며, 이는 미세사진에서도 황토분말주변에 tobermorite상이 발달되고 있지 않다. 또한 XRF결과는 그림 9에 나타내었다. $SiO_2$, CaO는 감소되며, $Al_2O_3$함량이 증가변화는 주결정상 생성, 성장을 저해하는 요인으로 볼 수 있다. 또한 No.6, No.7, No.8, No.9의 화학성분에서도 $Al_2O_3$함량이 7~9%증가되며, SEM에서도 tobermorite상 발달이 미비하였으며, 압축강도는 plain 대비 10%감소됨을 확인할 수 있다. 반면에 No.13은 맥반석의 주요성분인 $SiO_2$, $Al_2O_3$와 CSH, tobermorite결정상 결합을 이루고 있으며, XRD결과를 통하여 알 수 있다. 화학성분 분석결과 $SiO_2$, CaO함량이 90%이상을 차지하고 있으므로, 수화생성물이 발달되어 있음을 나타내며, 이는 압축강도 발현에도 기여한다. 음이온분말은 수화반응에 참여되지 않으며, 물성의 변화가 보이지 않는다. 미세사진결과에서도 결정상이 크게 보이지 않는다.



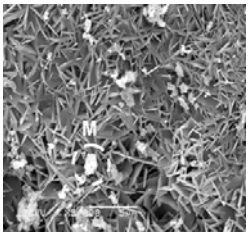

a) No. 1



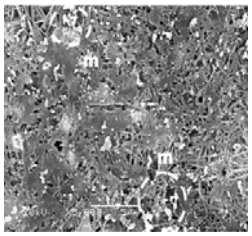

b) No. 5




c) No. 7

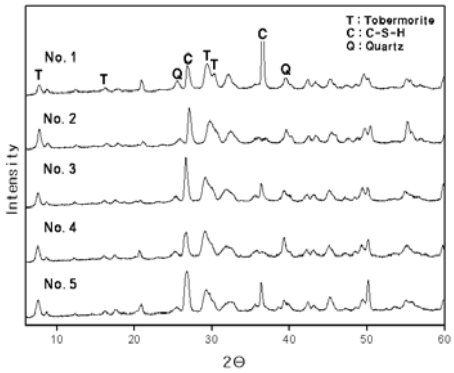



d) No. 13

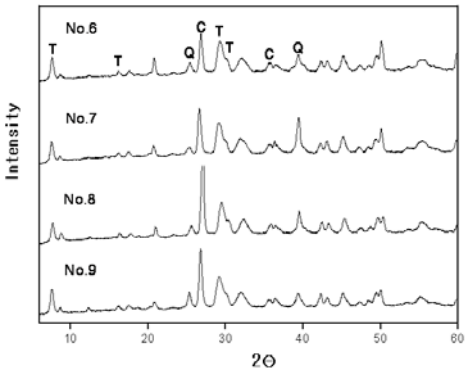



e) No. 16

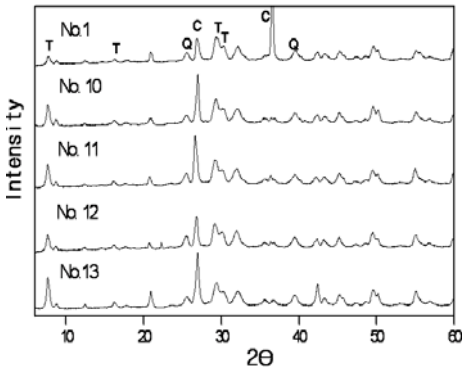
그림 7. 첨가재별 시험체의 미세구조 사진



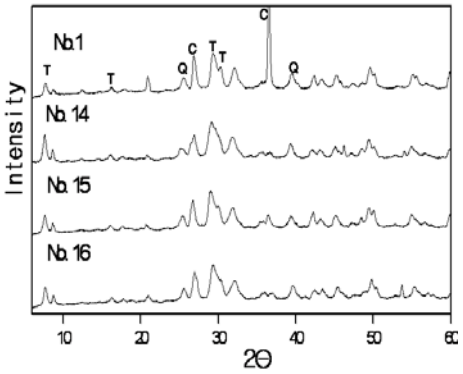

a) 황토ALC의 XRD




b) 황토ALC의 XRD

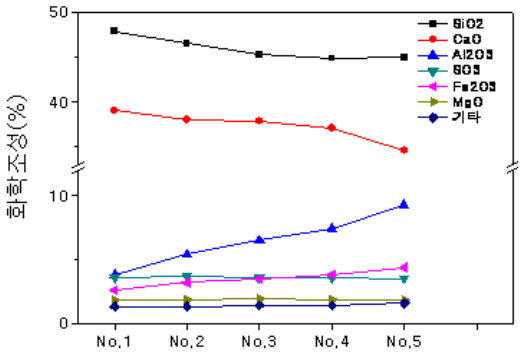



c) 맥반석ALC의 XRD

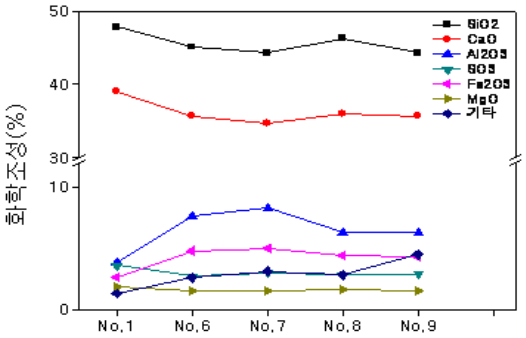



d) 음이온석ALC의 XRD

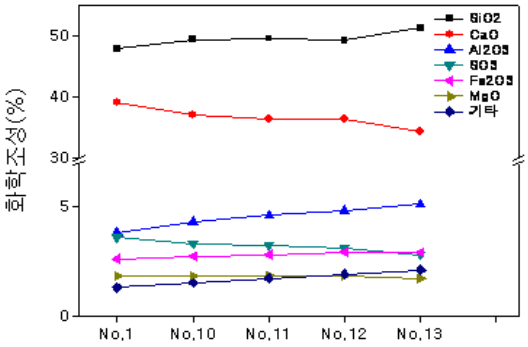
그림 8. X-ray Powder diffraction data



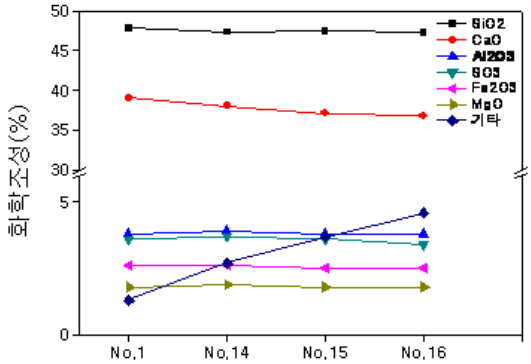

a) 황토ALC의 화학성분




b) 황토ALC의 화학성분




c) 맥반석ALC의 화학성분



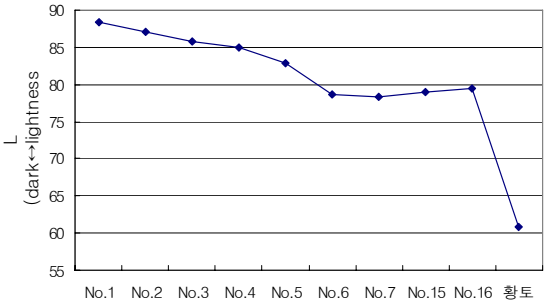

d) 음이온석의 화학성분

그림 9. 시험체별 XRF 측정 결과

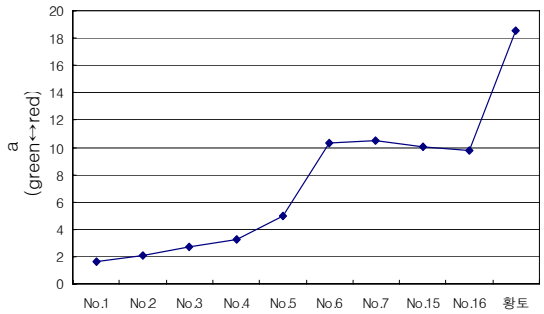
### 3.4 색도

천연황토와 황토의 첨가량에 따른 색도변화를 좀 더 객관적이고 데이터화하기 위하여 Gretag Macbeth Color-Eye 3100 spectro photometer를 이용하여 경화체에 대하여 색도를 측정하였으며, 표준광 D65으로 측정결과를 그림 10에 나타내었으며 L, a, b 각각 수치에 대한 그래프를 도시하였다.

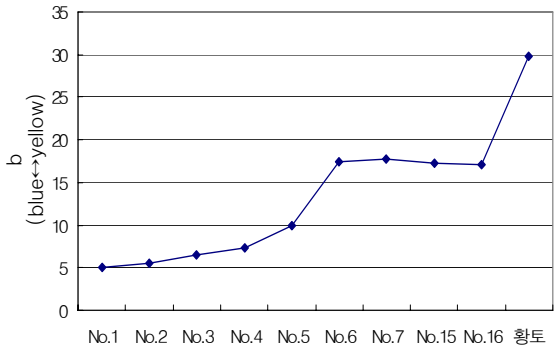
색도측정 결과로부터 황토 및 혼화재를 첨가함에 따라서 L값(dark↔lightness)이 감소하여 darkness가 증가하였고 천연황토값에 근접하고 있으며, a값(Green↔red)과 b값(blue↔yellow)이 증가하여 경화체의 색상이 red과 yellow화됨을 알 수 있었다. 황토 및 혼화재료가 첨가된 시험체 중에서 No.6과 No.7의 경우 천연황토색과 가장 근접함을 알 수 있다.




a) 기능성ALC의 L값




b) 기능성ALC의 a값




(c) 기능성ALC의 b값
그림 10. 첨가량에 따른 색도변화 측정

## 4. 결 론

경량기포콘크리트(Autoclaved Lightweight Concrete)에 친환경적인 천연광물과 혼화재을 혼입하여 혼입율에 따른 물성변화를 관찰하고, 물리적 향상을 위한 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 천연광물의 혼입에 따라 압축강도는 황토의 경우 약 8~30%가 감소되었으며 이는 황토의 수분흡수력과 분산성이 저하로 사료된다. 황토의 기능성과 강도의 특성을 고려한 최적함량은 5%이고, 맥반석의 경우 3%첨가시 10%의 강도향상을 보였지만, 음이온석 첨가로 방사량 변화는 관측되었으나, 압축강도변화에는 영향이 없는 것으로 확인되었다.

(2) 기능성재료의 혼입에 의한 기능성 평가 결과 원적외선은 90%이상의 방출량을 관측되었다. 탈취시험은 황토, 맥반석혼입 시험편 측정에서 90~96%의 흡탈취율 결과를 나타내었다. 음이온 방출량 측정 시험은 1.5%의 함량에서도 1,000개이상의 음이온 방출하여 친환경적인 기능성을 보유하고 있음을 확인하였다.

(3) 기능성 재료가 ALC에 미치는 영향은 SEM, XRD, XRF의 측정을 토대로 분석하여, 황토의 경우 첨가량이 증가함에 따라 $Al_2O_3$함량이 증가되었다. 본 연구에서 $Al_2O_3$함량 증가는 황토에 함유된 미반응 성분으로 압축강도 향상에 CSH tobermorite,의 결정화가 직접적인 영향을 미치지 못하는 것으로 사료된다.

(4) 맥반석첨가 시험에서 SEM 사진 분석으로 CSH결정상들과 결합상을 이루고 있고, 주요 화학성분 구성은 $SiO_2$, CaO의 함량이 90%이상 차지하고 있으며, 수화결정상들이 잘 발달되어 강도증진에 기대하는 것으로 판단된다.

(5) 각 시험체의 색도측정결과 혼화재료의 첨가량에 따라 L값은 감소, a값과 b값은 증가하는 경향을 보이며, No.5과 No.6의 기울기가 증가된 것으로 보아 황토보조재로서의 역할을 보여주고 있다.

## 후 기

본 연구는 2006건설교통부 건설기술연구개발 중 “장수명 공동주택 기술개발”사업의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 윤철헌, 송태웅, ALC원료로서의 ALC폐기물의 활용에 관한 연구, 시멘트 심포지움, pp. 35~41, 1994
2. 정창현, 경량기포콘크리트(ALC)의 현황 및 전망, 한국양회공업 시멘트,pp.11~16 2003, 9.
3. 윤철헌, 송태웅, 열처리한 $CaO-SiO_2-H_2O$계의 수열반응과 이의 응용에 관한 연구, 한국세라믹학회 Vol.31,No11, pp.1387~1395, 1994
4. 최광호, ALC 성능 및 구조적 사용, 한국콘크리트학회지, pp.48-57, 1995
5. 서정호, ALC 블록벽체의 효율적 적용방안에 관한 연구, 건국대학교 산업대학원, 2002. 6
6. 강철외 5인, 오토클레이브 양생시간에 따른 경량기포콘크리트의 강도 변화에 관한 실험적 연구, 한국건축시공학회, 2005. 5
7. 박근민외 3인, ALC(Autoclaved Light-weight Concrete)를 이용한 생물학적 반응벽체에 관한 연구, 한국지하수토양환경학회, 2006. 4