

최 종
보 고 서

습도조절 기능을 가지는 원적외선 방사체의
제조 및 활용에 관한 연구

A Research on the Manufacture and Application
of the Humidity Controllable Far Infrared
Emission body

주관연구기관 : 삼성산업
협동연구기관 : 경상대학교

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “습도조절 기능을 가지는 원적외선 방사체의 제조 및 활용에 관한 연구”[※] 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2003 년 8 월 9 일

주관연구기관 : 삼 성 산 업
총괄연구책임자 : 하 진 영
세부연구책임자 : 하 진 영
연 구 원 : 이 우 철
연 구 원 : 최 영 훈

협동연구기관 : 경 상 대 학 교
협동연구책임자 : 배 원 태

요 약 문

I. 제 목

습도조절 기능을 가지는 원적외선 방사체의 제조 및 활용

II. 연구개발의 목적 및 필요성

흙(soil)은 미세한 기공을 가지고 있어 자체적인 습도조절 기능이 있을 뿐 만 아니라 원적외선 방사효율이 높은 세라믹재료로서 오랜 옛날부터 건축재료 등으로 널리 이용되어 왔다. 본 연구에서는 흙의 자연적인 습도조절 기능과 높은 원적외선 방사율을 이용하여 과채류의 저장 및 유통과정에서의 품질저하를 막을 수 있는 새로운 제품을 개발하고자 한다. 흙을 이용한 채소의 보관방법으로 겨울에 무우를 땅속에 묻어 보관하는 예를 볼 수 있는데 이는 흙의 단열효과에 의하여 얼지 않고 냉장될 뿐만 아니라 흙의 습도조절효과에 의하여 건조되지 않는 것을 이용한 것으로 생각된다. 한편, 원적외선의 이용에 관한 연구는 1973년 1차 오일쇼크이후 에너지절약을 위한 방안의 하나로 시작되었으며, 초기에는 주로 기물의 가열 및 건조에 이용되었다. 그 후 원적외선의 다양한 효과가 알려지면서 식품의 보존용기, 건축물의 내장재, 질병의 치료 등에 널리 활용되고 있으며, 생활이 향상됨에 따라 그 용도는 더욱 넓어지고 있다.

본 연구에서는 흙을 원료로 하여

- 1) 과채류의 장기보존을 위한 습도 등의 저장조건을 조사하고
- 2) 앞서 조사한 결과를 바탕으로 흙 속의 미세한 기공을 제어함으로 과채류의 장기보존에 적합한 습도조절 능력을 가지는 원적외선 방사체를 제조하고
- 3) 제조한 원적외선 방사체의 습도조절 기능과 원적외선 방사 효과가 과채류의 장기저장에 미치는 영향을 검증하여 저온창고의 내장재, 과채류의 운반 및 보존용기, 전통한과의 포장재 등으로 활용하고자 한다.

시중에 유통되는 원적외선 방사체중에서 이러한 용도로 사용될 수 있는 제품으로 가공된 황토가 있으나 습도조절 기능을 고려한 제품은 없고, 주택의 내장재나 적조방제용으로 활용되고 있으며 가격도 비싸다. 이러한 제품의 값이 비싸다면 활용하기 어려우므로 가

격도 현재 농산물 저온창고 등에서 바닥재나 벽재로 사용되고 있는 콘크리트 제품과 가격 경쟁력이 있는 재료와 공정의 개발이 필요하다.

흡을 경화시키는 방법은 소성 하거나 적당한 첨가제를 가하여 고압수열처리 하는 것이다. 고압수열처리 하는 방법이 소성 하는 방법에 비하여 에너지 소모가 적으므로 이 방법으로 경화체를 제조하는 것이 효과적일 것으로 판단된다. 고압수열반응에서는 생석회를 첨가하여야 한다. Ca^{+2} 이온은 박테리아 살균의 효과도 있으므로 제품의 항 미생물 기능도 기대할 수 있다. 석회는 굴 껍질 등의 폐각을 소성 및 분쇄한 것을 사용할 수도 있으므로 이러한 폐기물의 처리에도 부차적인 효과가 있을 것으로 보인다. 그러나 이 경우에는 제품의 물성을 저하시키지 미치지 않아야 한다.

습도조절 기능을 가진 원적외선 방사체를 농산물 저온창고나 농가의 작물저장고에 내장하거나, 유통을 위한 포장재로 활용한다면 농작물을 장기간 안전하게 보존할 수 있을 것으로 기대되며, 이 재료는 환경 친화적인 제품이기 때문에 다른 건축폐기물과는 달리 폐기하는 경우에도 환경을 오염시키지 않는 장점도 있다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구에서는 고령토, 황토, 규조토, 점토, 질석, 진주암, 토분, 석분 등과 같이 미세한 기공을 가지고 있거나 기공을 형성시킬 수 있는 재료를 대상으로 원료의 구성광물, 구성성분, 입자크기, 비 표면적, 기공의 크기 등을 XRD, SEM-EDS, 입도분석기, XRF, BET, Hg-porosimeter 등을 이용하여 조사하고 습도조절기능을 가진 원적외선 방사체의 제조에 적합한 원료를 선정하였다.

비 표면적이 크고 기공의 크기가 적합한 단미 원료를 분쇄하고 건조시킨 다음 가압성형 하거나 plastic forming하여 타일 형태의 성형체를 만들고 이 성형체를 소성하거나 고압수열 처리하여 시편을 만든다. 시편의 기공율, 흡수율, 압축강도, 흡습능 등의 특성을 평가하여 습도조절 능력이 우수한 제품의 제조에 적합한 원료의 조합비를 구하였다.

분쇄 및 혼합은 볼밀을 이용하여 입자크기가 수 μm 정도가 되도록 한다. 분쇄시간을 변화시키면서 원료의 입도 분포 변화를 조사하고, 입도분포의 변화에 따른 기공율과 압축강도의 변화를 조사하여 기공율과 압축강도가 높은 입도 분포를 구하였다.

주입성형으로 76x55x8 cm³의 크기로 시편을 성형하였다. 이때 성형체의 강도가 작업에 지장을 주지 않을 정도의 강도를 가지는지를 조사하고 성형강도가 높은 원료의 첨가량을

조절하여 적절한 성형강도를 유지하였다. 주입성형의 경우에는 형틀의 재질, slip의 비중과 점도 및 유동성을 검토하고 건조수축에 의한 균열의 제어방법을 강구하여야 한다.

경화는 autoclave에서 고압수열 처리하거나 습기함에서 80℃ 습윤 증기양생하여 시편을 제조하였다. 경화조건의 변화에 따른 시편의 기공율, 기공크기 및 물성의 변화를 조사하여 최적 경화조건을 구하였다. 고압수열반응에 의하여 경화체를 제조하는 경우에는 CaO 및 gypsum 등의 경화제의 최적 첨가량을 조사한다.

위의 방법으로 원료의 조합비와 성형방법 및 경화방법 따른 물성의 변화를 조사하여 최적 조합비와 제조공정을 확보하였다. 최적의 조합비로 혼합한 슬립을 몰드에 주입하여 발포 및 성형하는 방법을 적용하여 제조한 성형체의 경화방법에 따른 압축강도, 부피비중을 측정하여 작업성이 우수하고 제조비용이 적게 드는 경화공정을 선정하고 공정변수를 검토하여 최적의 성형 및 경화조건을 조사하였다.

시편의 기공율, 흡수율, 부피비중은 KSL 3114에 따라 측정하고, 미세구조는 SEM-EDS를 이용하여 관찰하고, 압축강도는 UTM에 의하여 측정하며, 광물상의 변화는 XRD를 이용하여 분석하고, 원적외선 방사율은 FT-IR을 이용하여 측정하였다.

제품의 과채류 및 곡물류의 보존능력을 검증하기 위해서 1차년도에서 개발된 조건으로 시제품을 제작한다. 시제품의 물성을 평가하여 재현성을 검정하고 습도조절 능력을 시험한다. 시제품을 내장한 항온항습조와 내장하지 않은 항온항습조에서 습도의 변화에 민감한 야채류나 과일류의 보존상태를 비교하여 시제품의 습도조절 효과를 검증하였다. 저장할 과채류에 따라 조사된 최적의 습도로 항온항습조의 습도를 미리 설정하여 실험함으로써 제품의 보존효과를 조사하였다.

고온고압의 autoclave를 이용하여 제품을 양생하는 경우 제품의 원가가 높아지므로 원가상승 효과에 비하여 과채류의 신선한 저장에 기여하는 효과가 낮을 경우 실용화가 어려울 것이므로 습윤 증기양생 한 제품의 물성도 함께 조사하여 강도 등의 변화를 조사하였고, autoclave를 이용한 고온고압 양생제품과 습윤 증기양생한 제품이 과채류 보존효과에 미치는 영향을 조사하여 개발한 제품의 효율성과 경제성을 검토하였다.

3차년도의 조건은 습윤 증기양생하여 필요 압축강도 및 물리적인 특성을 고온고압의 autoclave양생인 것과는 물리적인 특성과 결정상의 차이를 나타나는 것을 대체하기 위한 silica-fume을 첨가하여 물리적인 특성을 보완하고자 하였다. 따라서 원재료의 조건과 결합재 반응을 촉진하고 강도를 보완하기 위하여 실리카흙 및 골재종류, 발포제 등을 첨가하여 특성을 조사하였다

【습도조절 기능을 가지는 원적외선 방사체 제조의 실험조건 요약】

항목		구분	원재료	배합선정	기능 및 역할
배합설계 조건	점토광물		황토 규조토 제올라이트	황토:규조토 1:1	흡습율 및 습도조절, 원적외선 방사
	결합재		OPC(보통시멘트) 슬래그(Slag) 플라이애쉬(Fly-Ash) 실리카흄(Silica-Fume)	슬래그(28.2%) 3년차 (5%)	가격이 저렴하고 잠재수경성 반응으로 안정성 3년차 강도증진용 첨가
	자극제		생석회(Quick Lime) 소석회 반수석고 무수석고	생석회(11.4%) 무수석고(4.8%)	C-S-Hgel 형성 및 Tobermorite결정상 강도증진
	골재		모래 규석분 규사 퍼라이트	규석분(25.6%)	안정된 입도 반응성증대
	발포제		알루미늄(Al)발포제 동물성기포제 식물성기포제	알루미늄(Al)(0.05%)	기공율 및 비중조절
양생방법		오토클레이브(Autoclave) 습윤 증기양생(Fume)	200℃-15hr, 1,2차년도 80℃-48hr, 3차년도	고온의 안정상의 결합 저온으로 에너지절감	

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

제품의 부피비중 1.0 이하, 흡습율 19%이상, 원적외선 방사율 91%이상, 열전도도 0.19W/m℃, 흡수율 약 50%, 압축강도 40kgf/cm²이상의 제품을 고압증기양생으로 제조할 수 있다. 습기함에서 양생한 제품의 경우에는 압축강도가 30kgf/cm²정도로 낮아지는 것으로 나타났다. 이 정도의 물성이라면 내장재로 충분히 사용 가능한 것으로 판단된다.

이 제품의 제조기술에 대하여 기 출원된 특허(기술명 : 황토 경량 기포콘크리트 조성물 및 제조 방법)의 사용에 대한 문의를 산업자원부 산하의 한국기술거래소에서 의뢰(2003년 4월 28일) 받은 바 있으며, 특허가 등록되면 기술을 이전하여 산업화를 기대하고 있습니다. 이 제품은 모든 건축물의 내장재로 활용될 수 있을 것으로 기대합니다.

SUMMARY

It was well known that Hwangto(a kind of soil) and diatomite have the humidity controlling power. The purpose of this study is to determine the optimum batch composition for fabricating the Hwangto(a kind of soil) and diatomite based aerated lightweight humidity controllable far infrared radiating concrete(ALC). When Hwangto and diatomite equally mixed, the physical properties such as compressive strength and bulk density were appeared best. To select bonding agent, portland cement, fly ash, and slag were tested. When portland cement and fly ash were used, crack were appeared on the surface of ALC due to the over-construction during hardening. XRD and SEM analysis showed that ettringite crystals were developed when portland cement was used. C-S-H gel was formed when fly ash was used. and tobermorite and C-S-H gel were formed when slag was used. The optimum batch composition for fabricating the ALC was 15 wt.% of Hwangto, 15 wt.% diatomite, 28.2 wt.% of slag, 25.6 wt.% of sand, 11.4 wt.% of quick lime and 4.8 wt.% of hemi hydrate.

Autoclaved ALC showed above 40 kg_f/cm² of compressive strength, below 1.0 of bulk density, above 50% of water absorption, above 19% of humidity absorption, 98% deodorant ratio, 0.19 w/m°C of thermal conductivity and above 91% of far infrared radiation.

Fume cured ALC showed about 30 kg_f/cm² of compressive strength. It was difficult to improve the compressive strength without reinforcing agent or prolong curing time. Preservation ability of vegetables and fruits were not degraded by fume curing of ALC.

Such postharvested fruits and vegetables as apple, sweet persimmon, cherry tomato, mandarin orange, cucumber, zucchini and garlic were purchased from the farmhouse near Chinju, Gyeongnam and stored under various type of humidity and cold temperature for investigating their optimal storage condition. Their qualities in weight loss, ascorbic acid content, total microbial counts, surface color difference and decay ratio were monitored during the storage period. As the results of this preceded experiment, fruits and vegetables stored under 90% of relative humidity and 5~10°C of cold temperature showed the optimal storage condition for maintaining their freshness. In the advanced study fruits and vegetables were stored in the cold chamber equipped with far-infrared radiated and constructional material and examined by the same method as the preceded experiment. Generally speaking, all of fruits and vegetables stored in the far-infrared radiated chamber showed the reduced

weight loss and growth of total aerobic microorganisms on the commodities, some retardation of the produce decay and the improved retention of any quality attribute. Consequently, we could observe that fruits and vegetables stored in the far-infrared radiated facilities under cold temperature show the minimal loss of their qualities, the prolonged retention of their freshness and the improved sensory evaluation.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	1
Chapter 2. Status of technical development	3
Chapter 3. Result and story of research	4
Section 1. Objection background	4
1. Hwangto	4
2. Blast-Furnace-Slag	5
3. Gypsum	6
4. Ettringite	7
5. Lime and pozzolan reaction	8
6. Chemical composition and character of CaO-SiO ₂ -H ₂ O system.	10
Section 2. Testing method	12
1. Starting materials	13
4. Blending test	15
a. Blending plan and condition	15
b. Measurement and observation method	21
Section 3. Result of investigation	24
1. Basic physical properties result of stiffening body	24
2. The quality result which it follows in mixture ratio of the Hwangto and the diatomite	31
3. The quality result which it follows in mixture ratio and silica-fume addition of the Hwangto and the diatomite	32
4. Mixture ratio and silica-fume addition physical quality result of the Hwangto which it follows in recuperation condition and the diatomite	36

5. Mixture ratio and silica-fume addition minute structure SEM analysis quality result of the Hwangto which it follows in recuperation condition and the diatomite	38
6. X-rays diffraction analysis of mixture ratio and the silica-fume stiffening body of the Hwangto which it follows in recuperation condition and the diatomite ..	47
7. Quality change of vegetables and fruits were held in storage	51
Section 4. Conclusion	69
Chapter 4. Proportion of object and contribution for related field	71
Chapter 5. Application plan of research	73
Chapter 6. The collection of foreign information	74
Chapter 7. Reference	75
Appendix	79

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	1
제 2 장 국내외 기술개발 현황	3
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	4
제 1 절 이론적배경	4
1. 황토	4
2. 슬래그	5
3. 석고의 역할	6
4. Ettringite	7
5. 석회와 pozzolan 반응	8
6. CaO-SiO ₂ -H ₂ O계 수화물의 생성기구	10
제 2 절 실험방법	12
1. 출발물질	13
2. 배합실험	15
가. 배합설계 및 조건	15
나. 측정 및 관찰방법	21
제 3 절 결과 및 고찰	24
1. 경화체의 기본 물성측정결과	24
2. 황토와 규조토의 혼합비율에 따른 물성변화	31
3. 황토와 규조토의 혼합비율과 silica-fume 첨가에 따른 물성변화	32
4. 양생조건과 따른 황토와 규조토의 혼합비율 및 silica-fume 첨가에 따른 물성변화	36
5. 양생조건과 황토와 규조토의 혼합비율 및 silica-fume 첨가에 따른 미세구조변화	38
6. 양생조건과 황토와 규조토의 혼합비율 및 silica-fume 첨가에 따른 결정상 변화	47
7. 저장중 과채류의 품질변화	51

제 4 절 연구의 결론	69
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	71
제 5 장 연구개발 결과의 활용계획	73
제 6 장 연구개발 과정에서 수집한 해외과학기술정보	74
제 7 장 참고문헌	75
부 록	79

제 1 장. 연구개발과제의 개요

시멘트는 급속한 산업의 발전으로 지난 40여년간 현대 건축재료의 중요한 부분을 차지하여 왔다. 그러나 인체에 유해한 알칼리 성분을 많이 함유하고 있는 시멘트를 주거생활에 너무 밀접 시켜 건강상의 여러 가지 부작용과 피해가 발생하고 있다. 그리하여 현대에 와서 국민소득의 향상과 인구의 고령화 등으로 삶의 질을 높이는 생활환경을 요구하는 시대의 흐름에 따라 수만 년의 역사를 가진 우리민족의 전통적 건축 재료인 황토 및 점토질 광물의 붐을 일으키고 있다.

황토의 일반적 특징으로는 우리나라의 전 국토에서 흔하게 볼 수 있는 재료로서 표면이 넓고 공극이 많은 복층구조를 이루며 지금까지 알려진 효과는 균일가열, 가열시간 단축, 선택적인 가열, 유효에너지 효과, 생육 촉진, 세포의 활성화, 온열효과 및 신진대사기능 촉진 등이 우수한 것으로 알려져 있다.⁵⁾

황토는 건축재료의 중요한 부분을 차지하는 시멘트의 알칼리 성분을 중화시키고 축열 효과가 뛰어나며 흡착력이 탁월하여 쾌적한 주거환경이나 생활공간을 제공할 수 있다. 그러나 황토에 대한 체계적인 자료나 연구결과가 거의 없으며 황토를 주로 하는 혼합물의 경화반응이나 경화체의 제조에 관한 연구도 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 황토 및 점토광물에 철강 산업 부산물인 슬래그를 혼합, 자극제역할을 하는 소량의 석고와 석회를 혼합하여 압축강도 40kg/cm² 이상의 황토 및 점토광물계의 경량기포콘크리트(autoclaved Lightweight Concrete) 경화체를 제조하고자 하였으며, 제조한 경화체를 흡·습도 조절용으로 과채류 저온저장고의 내장재와 같은 건자재로 이용할 경우에 과채류의 보존효과를 높일 수 있는지를 조사하였다.

2차년도에서는 경량기포콘크리트로서의 특성을 고온고압 증기양생(autoclave)을 행하여 압축강도와, 흡수율, 열전도도, 원적외선(far-infrared ray) 방사율측정, 탈취율 등을 비교, 분석하였고 황토의 첨가 최적배합을 도출하여 구조토 및 결합재를 사용하여 건축자재로서 가져야할 물리적인 특성과 미세구조의 변화를 X-선 회절분석, SEM 분석의 결과로 관찰하였다.

3차년도에서는 고온고압 증기양생의 제조공정이 재료의 생산단가를 높여 실용화에 걸림돌이 될 것이라는 지적에 따라 fume 양생으로 경화공정을 바꾸어 재료의 물성변화를 관찰하였다.

위의 방법으로 제조한 습도조절 기능이 있는 황토경량기포 콘크리트가 과채류의 저장에 효과가 있는지를 알기 위하여 과채류에 대한 보존효과를 검증하였다.

대부분의 과채류는 년중 계속해서 수확되는 것이 아니라, 기후와 토양의 제약을 받아 그 생산량도 매년 변동하고 있으며, 수요와 공급이 불균형할 때는 가격진폭이 커서 생산된 과채류를 소비자에게 신선한 상태로 적기에 공급하기 위해서는 적합한 저장시설이 필수적이다. 최근, 과채류의 소비가 계속적으로 증대하고 있고, 시설원예의 발달로 생산량이 크게 늘어가는 상황에서 저온저장시설이 제대로 갖추어져 있지 않은 농촌시설과 중간 유통과정으로 인하여, 매년 수확기에 일시적으로 홍수출하하는 많은 양의 과채류를 병충해로 폐기 처분하거나 수확후 과채류의 호흡작용 및 증산작용 등의 생리작용으로 과채류의 경도, 맛 및 외관이 크게 떨어져 상품가치를 잃게 되어, 변패되기 전에 낮은 가격으로 수확 즉시 신속하게 판매처리해야 할 어려움에 직면하고 있다. 따라서, 과채류의 수확시기나 수확량에 관계없이 년중내내 신선도를 보유한 과채류를 공급할 수 있는 상황이 시급히 도래할 필요성이 요구되고 있다.

이러한 과채류의 선도유지를 목적으로 하는 많은 연구가 진행되고 있으며, 저온저장을 공통적 접근방법으로 두고, 피막제, 가스조절제(탈산소제, 탄산가스 조절제 및 질소치환), 에틸렌가스제거제, 훈증제, 습도조절제 등의 개발을 선도하고 있다. 특히, 저장습도는 과채류의 증산방지효과를 극대화하여 선도유지에 최선책이 될 수 있으나, 저장유통 말기에 과채류 자체의 생체활성이 떨어져 외적요인에 대한 저항성이 낮아지는 시기가 되면 과습환경은 마이너스 요인으로 작용할 수 있다.

이러한 의미에서 본 연구에서는 습도조절기능을 가지는 원적외선 방사체를 제조하여 과채류의 저장효과를 유도하기 위한 저장시설의 재료로 활용하기 위한 기초연구를 실시하였다.

1차년도 연구에서 과채류의 선도를 연장하기 위한 저장조건을 실시하여 최적 습도 및 온도범위를 결정하였고, 2차년도에는 pilot plant에서 제조된 습도조절 기능의 원적외선 방사체를 시설한 저장고에 저장하면서 과채류의 보존효과를 검증하였으며, 3차년도에서 제조 과정과 특성이 구명된 원적외선 방사체의 최종 시제품을 시설한 저온저장실에 과채류를 저장하면서 상용 저온실에서 저장한 대조구와 비교하여 품질특성의 변화를 조사하였다.

제 2 장. 국내외 기술개발 현황

채소류 등의 농산물은 저장 및 유통과정에서 생리작용과 미생물에 의한 부패 및 수분 등의 손실로 인하여 맛과 신선도가 떨어져 싸게 팔거나 폐기하게 된다. 특히 출하가 집중되는 시기에는 공급과잉이 되어 이러한 폐해는 더욱 커지게 된다. 이러한 폐해를 줄이기 위해서는 장기간 보관하여도 적절한 선도를 유지하는 방법의 개발이 절실히 요구된다.

본 연구에서는 흙이 가지고 있는 습도조절기능과 원적외선 방사효과 및 다공질의 재료에 의한 통기성을 이용하여 채소나 과일류의 보관 및 유통과정에서의 손실을 줄이기 위한 제품을 개발하고자 한다.

국내에서는 제습을 위하여 일회용의 조해성 화합물을 이용한 제습제 등의 제품이 있기는 하지만 습도조절을 위한 제품은 없으나 황토방 등의 원적외선 방사효과를 이용한 제품은 널리 쓰이고 있으며, 특히 소성하지 않은 황토벽돌은 주택 등의 내장재로 최근 인기를 모으고 있다. 그러나 이러한 제품은 건조수축으로 인한 균열과 시공의 편의를 위한 유동성 및 사용중의 강도를 유지하기 위하여 많은 첨가제를 사용하기 때문에 매우 고가이며, 단순히 성형한 황토벽돌 마저도 고가에 유통되고 있어 농가에서 농산물 저장고 등의 내장재로 활용하기는 어렵다. 그러므로 본 연구에서는 재료를 발포시켜 다공질의 경량재료로 만들고, 습도조절 기능을 높이기 위하여 황토와 규조토를 첨가하여 습도조절용 제품을 만들고자 한다.

습도가 높은 몬순기후에 해당하는 일본에서는 최근 습도조절기능을 가진 earth ceramics에 대한 연구가 진행되고 있다. 그러나 이러한 제품은 모두 주택의 내장재로 개발되고 있으며, 농산물의 보관과 유통에 활용되지는 않고 있다. 우리나라도 여름 장마철에는 일본과 유사한 고온 다습한 기후가 되며, 겨울철에는 건조한 상태가 된다. 따라서 농산물의 저장과 유통에 중요한 요인으로 작용하는 습도의 조절기능을 가진 이러한 제품의 개발은 필요하다.

제 3 장. 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절. 이론적 배경

1. 황토 (Hwangto)

본 연구에 사용된 황토의 결정구조 및 형상의 분류는 카올린 광물에 근접한다. 카올린 광물은 점토광물을 대표하는 광물로서 황토의 주요성분 광물로 황토속에 많이 함유되어 있고, 주된 카올린 광물은 고령토라 불리는 카올린(kaolin)이다. 우리나라 카올린은 거의 모두 halloysite로 되어있으며, 대부분 관상(管狀) 결정체로 되어있다. kaolin은 주로 도자기, 타일, 충전제의 제조원료로 사용되는 white kaolin과 내화물용으로 많이 사용되는 pink kaolin이 있으나, 황토는 고령토층의 표토로서 Fe_2O_3 를 7~15% 정도로 많이 함유하고 있는 특징을 가지고 있으며, 색상은 적갈색으로 내화도가 낮아 내화물, 도자기공업에 이용되지 못하는 저급의 고령토이다.

카올린족 광물은 기본화학식은 $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ 또는 $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ 이며 이에 속하는 동질이상 kaolinite, dickite, halloysite, nacrite가 있다. 이중에서 halloysite의 기본조성은 kaolinite와 같지만 과잉의 수분을 함유하여 $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$ 로 되어 있으며 결정도가 낮은 광물이다.³⁾

카올린족 광물은 모두 층상의 규산염 구조를 가지고 있다. 즉, $[SiO_4]^{-4}$ 사면체가 정점을 서로 연결하여 이차원적으로 넓혀진 육각 망목상이 Si-O층을 골격으로 하고, 나머지만 개의 정점은 그 층상격자 사이에 들어가는 Al 이온이 O^{2-} 나 OH^- 를 6배위한 팔면체층과 결합되어 있고, 사면체층과 팔면체층이 겹치는 방식에 따라서 여러 가지 구조가 생긴다.⁴⁾

카올린족 광물의 열간변화를 살펴보면, halloysite의 경우 120°C 부근에서 층간수 탈수를 나타내는 흡열 peak가 발생한다. 500°C~600°C 부근에서의 흡열 peak는 OH기의 형태를 이루면서 결정격자에 들어가 있는 결정수의 탈수에 의한 것으로, 이 반응으로 카올린족 광물은 $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ 인 meta-kaolin으로 변한다.

이 때 반응열은 약 136 cal/gr이다. 980°C 부근의 발열 Peak는 메타 카올린으로 부터 mullite($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$)와 γ - Al_2O_3 생기는 반응이다. 이때 생기는 γ - Al_2O_3 는 순수한 알루미나가 아니라 SiO_2 가 들어간 일종의 spinel이라고 알려져 있다.⁴⁾ 그 이상의 온도에서는 mullite와 cristobalite가 생성하게 된다. 또한, dickite는 kaolinite와 비슷하다. 약 900°C에서 결정수를 방출하며, nacrite는 Al-Si spinel이 생겨난다.

2. 슬래그 (Blast-Furnace-Slag)

고로에 의한 제철생산과정은 철광석, 석회석, 코우크스등을 원료로 철광석류와 코우크스를 층상으로 하여 고로 상부까지 로재에 넣고 하부에 1,200℃ 정도로 가열한 공기(열풍)를 불어 넣어 코우크스를 연소시킨다. 이 때 발생된 환원성의 가스(CO)로 철광석을 환원하여, 용해시킨 용융상태의 선철과 슬래그를 생성, 분리시킨다. 고로 속에 들어진 원료는 6~10시간 후에는 1,500℃의 선철과 슬래그 액체로 배출된다. 용융상태의 선철과 슬래그는 비중차이에 의해 분리되는데 철분은 비중이 크기 때문에 로(爐) 하부에 가라앉고 고로의 상층부에는 철광석의 불순물이 섞인 $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 등이 주성분인 산화물이 CaO와 화합하여 고온에서 용융상태로 부유한다. 이것이 고로슬래그(blast-furnace slag)이며, 이를 고로에서 배출할 때 냉수나 찬 공기 등으로 급냉시키면 작은 모래알 모양으로 변하는데 이것은 결정상의 유리질을 나타내며 고로 수쇄슬래그라 한다.

슬래그의 비열은 일반규산염 물질보다 커서, 0~300℃에서 0.21, 0~1,500℃에서는 0.28정도를 갖는다. 열전도율은 결정화시킨 서냉슬래그의 경우 0~100℃에서 1kcal/mh℃이며 유리질에 가까운 것은 0.8kcal/mh℃이다. 제조직후 수쇄슬래그의 비중은 1.89~2.77로 편차가 크나, 74 μm 이하로 분쇄시킨 고로슬래그 분말의 비중은 비교적 안정되어 2.85~2.94의 범위에 있으며 평균 2.9정도이다.¹⁹⁾⁻²⁰⁾

현재 고로슬래그의 상당량이 폐기됨으로써 환경오염의 원인이 되고있으며 이를 개선하여 자원절약은 물론 공해방지를 위한 제 2차 제품으로서의 대량이용이 요구되고 있다.

슬래그의 냉각속도에 따른 생성물을 나타내었다. 용융고로슬래그를 서냉처리한 결정질 피상슬래그와 반급냉처리를 한 반결정질 팽창슬래그, 그리고 본 연구에서 사용한 급냉처리 비결정질 입상화슬래그로 나뉘어 진다. 이중 급냉한 유리구조의 수쇄슬래그는 잠재수경성이 있다. 슬래그 자체로서는 수경성을 갖지 않지만 물과 혼합할 경우 특정이온의 존재로 수경성을 나타내는 것이다. 즉 고로슬래그 분말을 물과 혼합하여 경화작용을 일으키게 하기 위해서는, 알칼리성 또는 황산염 용액을 첨가하여 OH^- 이온과 SO_4^{2-} 이온이 충분한 곳에서 수화시킬 필요가 있다. 플라이애쉬 등의 포졸란 물질들과는 달리 이러한 이온, 즉 자극제의 존재하에서 고로슬래그 분말은 포틀랜드 시멘트와 같이 수경성을 발휘한다. 일단 수화가 시작되면 장기적으로 석회결합기능을 나타내게 되는데 이런 성질 등으로 인해 고로슬래그 분말은 포졸란반응을 갖는 물질로 해석되기도 한다.

3. 석고의 역할

포틀랜드시멘트를 포함한 클링커 광물의 초기응결에 가장 커다란 영향을 미치는 것은 aluminate-C₃A이며, 미 분쇄한 C₃A를 단독으로 W/C 비 1.0으로 물과 접촉시키면, 즉시 급속한 발열과 동시에 수화를 개시하여 수 μm 크기의 육각판상 같은 박편으로 된 calcium aluminate 수화물(C-A-H)을 다량으로 석출하고, 이들은 C₃A 입자 주위에 모여 층을 형성한다. 박편의 대부분은 움푹 들어가거나 구불구불 구부러져 서로 얽혀서 C₃A 주위를 둘러싸게 되면 그 후 수화는 지연된다.

C₃A가 수화할 때 석고(CaSO₄ · 2H₂O)가 존재하면, C₃A의 수화는 현저히 억제된다. 특히 Ca(OH)₂-CaSO₄ 포화용액 중에서 혼합하면, C₃A의 수화속도는 커다란 억제효과가 나타난다. 이것은 pH 11~12에서 C₃A와 CaSO₄ 사이에서 반응이 일어나 C₃A-CaSO₄-H₂O계 복염이 신속하게 생성되고, 그 생성층이 C₃A를 감싸기 때문이라고 알려져 있다.²⁾⁻⁴⁾

C₃A-CaSO₄-H₂O계 복염은 염기성이고 안정한 불용성 화합물이며, trisulfate형인 C₃A · 3CaSO₄ · 32H₂O와 monosulfate형인 C₃A · CaSO₄ · 12H₂O의 2종이 존재한다. 모두 육방정에 속하며, 외형은 전자는 침상, 후자는 육각판상의 결정이다. monosulfate쪽은 C₃A · Ca(OH)₂ · 12H₂O의 복염에서 2OH⁻ ↔ SO₄²⁻의 치환반응에 의해서도 합성할 수 있다.

한편 trisulfate는 ettringite라고도 불리며, 천연에서도 산출된다. 용해도가 큰 C₃A의 과포화상태로부터 급속하게 정출하기 때문에, 비표면적이 큰 형태로 침상결정(六角柱狀)이 성장하는 것이다. 그 생성반응은 식 (1)로 나타낼 수 있다.²⁾⁻⁴⁾

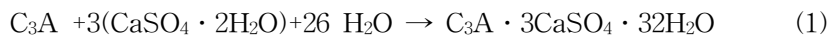


Fig. 1.은 C₃A의 수화가 억제되는 기구를 모식적으로 나타낸 것이다. 먼저 (a)는 수화 직후의 C₃A 입자표면에 생성된 ettringite층, (b)는 ettringite층 안의 ettringite 침상결정에 의한 층의 파괴와 미수화 C₃A의 반응재개, (c)는 액상속의 SO₄²⁻가 소비된 후, 미수화 C₃A는 ettringite와 반응하여 monosulfate로 되고, 나아가 그 일부가 C₃A · Ca(OH)₂ · 12H₂O-C₃A · CaSO₄ · 12H₂O계 고용체로 변화한 상태이다.

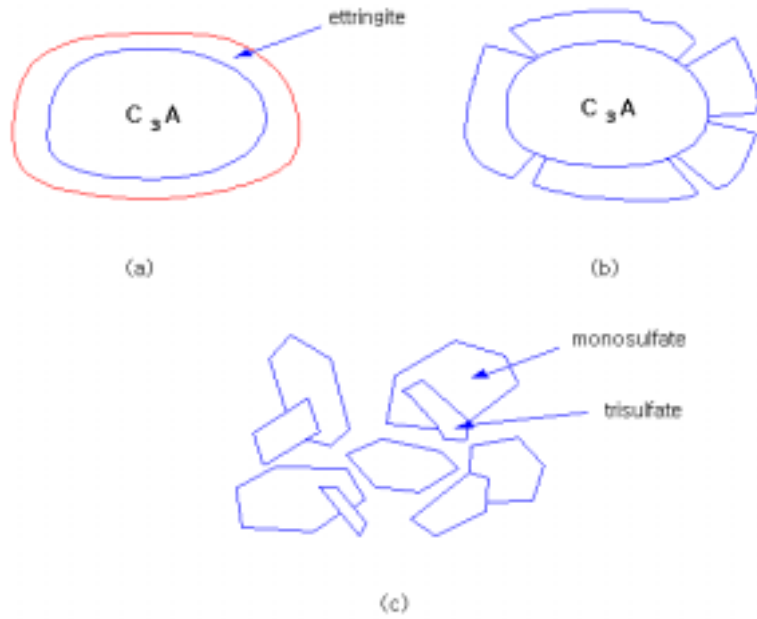


Fig. 1. Formation of ettringite from C₃A with gypsum.

4. Ettringite

C₃A는 물과 신속하게 반응하여 C₃A · 6H₂O를 생성하며 C₃A[Al(OH)₆]₂로 표현되는데 물과 반응할 때에 CaSO₄ · 2H₂O가 공존하면 C₃A의 수화는 억제되게 된다. 즉, 석고로부터 물에 용해된 SO₄²⁻는 Ca₃[Al(OH)₆]₂와 반응하여 ettringite(C₃A · 3CaSO₄ · 32H₂O)로 생성되기 때문이다. Fig. 2는 ettringite의 구조를 나타내었다. 이 화합물은 육방정(a=11.23 Å, c=21.44 Å)에 속하며 그림에 나타난 것과 같이 column구조(柱狀構造)인 것으로 알려져 있다. (a)는 (0001)면으로의 투영도를 나타내었는데, 4개의 column으로 구성된 프리즘형임을 알 수 있으며, (b)에는 1개의 column의 (1120)면으로의 투영도를 나타내었다.²⁾

즉, 1개의 column은 {Ca₆[Al(OH)₆]₂ · 24H₂O}⁶⁻로 표현할 수 있으며 c축으로 늘어난 골격을 만들고, column 사이에는 SO₄²⁻사면체와 물 분자로 된 [(SO₄)₃ · 2H₂O]⁶⁻의 채널이 존재하고 있다. column 중심의 Ca²⁺는 4개의 물 분자와 4개의 OH기에 의해 8배위 되고, C축을 따라 늘어난 [Al(OH)₆]³⁻ 팔면체에 3개의 Ca²⁺가 결합하여 연결되어 있다.

전체적으로 ettringite는 Ca₆Al₂(OH)₁₂(SO₄)₃ · 26H₂O로 나타내어지며 결정수는 OH기와 H₂O 분자의 2종의 형태로 되어 있다는 것을 알 수 있다.

5. 석회와 pozzolan 반응

황토 및 점토광물은 SiO_2 가 성분의 45%이상을 차지하는 고실리카질 혼합재로 석회와 결합하여 포졸란 반응을 일으킬 수 있다. 일찍이 로마시대에는 이태리의 *Pozzuoli* 부근에서 산출되는 화산회(화산회)에 소석회를 섞어서 로마시멘트를 만들어 널리 구조물의 축조에 사용되어졌다. 그 후 연구개발이 부단히 행하여져서 현재에는 화산회나 천연물로서 우수한 규산백토류, 점토계, 혹은 인공부산물로서 플라야쉬, 슬래그와 같은 실리카질 혼합재가 사용되고 있다.

포졸란이란 그 자체로는 경화하는 성질을 지니지 않으나 H_2O 의 존재로 클링커 성분이 수화할 때 다량 생성하는 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 서서히 화합해서 불용성의 수경성을 지닌 화합물 생성하는 물질로 실리카 성분을 주성분으로 하는 것이다. 이때 H_2O 의 존재로 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 화합해서 경화하여 강도를 증진하는 작용을 포졸란반응 (pozzolanic reaction)이라고 한다. 그러나 이런 것 중에서 한정된 성질의 것만이 포졸란 으로서 클링커에 혼합, 사용되는 것이다. 지금까지는 천연의 화산회, 또는 규산백토류를 사용할 경우 원료를 단순히 건조, 미분쇄해서 사용하고 있었으나 이것을 먼저 일정 온도 범위로 하소함으로써 품질을 향상시켜 사용하게 되었다. 점토계 포졸란은 미리 하소함으로써 포함된 카올린광물이 가열, 탈수되어 메타-카올린 상태로 변화하는 동시에 강한 반응성을 나타낸다.^{2),4)} 이때 가열 시 적당한 하소온도가 정해지는데 이것을 초과하면 포졸란성이 상실된다.

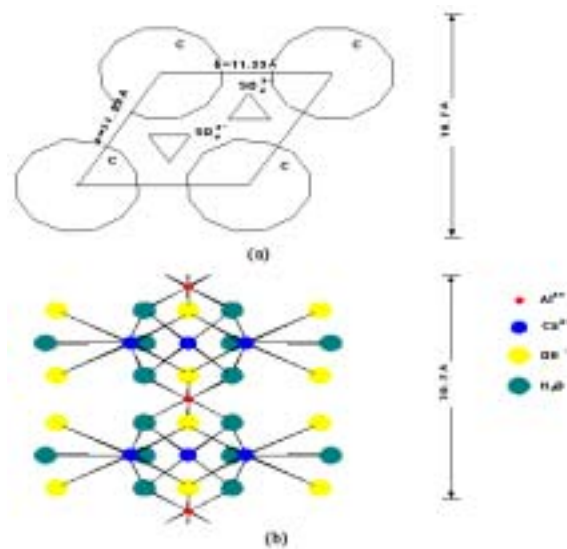


Fig. 2. Structure of ettringite.

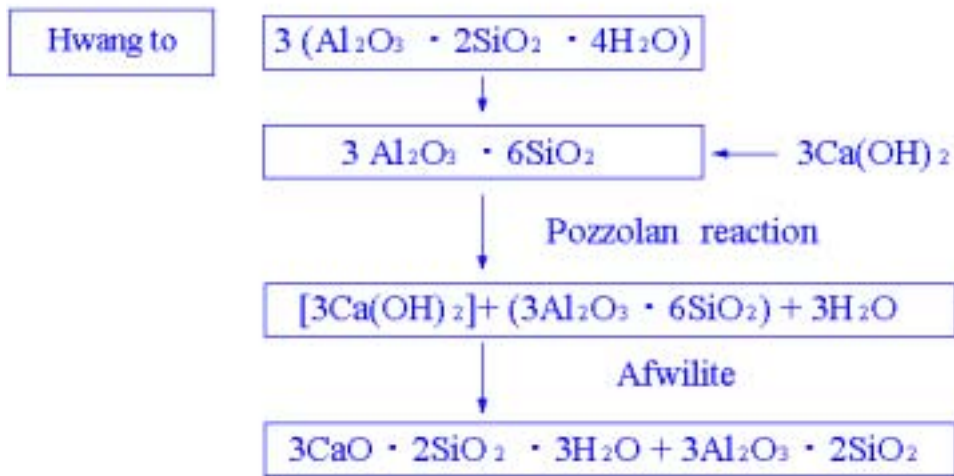


Fig. 3. Pozzolan reaction of kaolin minerals.

Fig. 3.은 황토 및 규조토에 석회를 첨가했을 때 나타나는 포졸란 반응의 진행을 나타내었다. 건조황토에 석회를 첨가하여 포졸란반응을 유도하면 최종수화물상인 afwilite ($3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)를 생성하게 된다.

시멘트계 수화물, 주로 alite(C_3S), belite(C_2S), aluminate(C_3A), ferrite(C_4AF)등의 상들의 수화는, 화합물일 경우, 각각 단독으로 수화시킨 경우와는 크게 다르며, 각각의 반응이 서로 영향을 주어, 반응생성물과 반응기구 모두 더욱 복잡해지는 것으로 생각된다. 또 초기 수화물의 대부분은 X선 회절 강도가 확실하게 나타나지 않는 저결정성 수화물이며, 그 결정성장에는 상당히 긴 시간을 필요로 한다. 그 이유로 본 연구에서는 수화물을 습윤 증기 수증기압하에서 양생하여 결정성장을 촉진, 단시간에 적당한 강도를 갖게 하고자 오토클레이브에서 증기 양생을 행하였다.

오토클레이브 증기양생에 의한 경화반응은 공기 중 습윤 증기양생과 비교하여 매우 빠르며 강도증가의 원인은 수열반응에 의한 시멘트 gel의 결합작용이 한층 촉진되기 때문에 강도증가가 일어난다.

6. CaO-SiO₂-H₂O계 수화물의 생성기구

CaO-SiO₂-H₂O계의 모든 수화물은 물에 대하여 거의 불용성이며 100℃이상의 온도로 오토클레이브에서 수열합성(水熱合成)된 수화물은 안정한 결정상으로, 경량 규산칼슘 경화체로 사용되고 있다. 반면에 본 연구에서 생성을 유도한 100℃이하에서 생성되는 수화물은 불안정한 저결정상(低結晶相)으로, CSH(I), CSH(II)등이 이 부류에 속한다.

Fig. 4.는 이미 알려져 있는 C-S-H상의 조성을 3성분계 삼각좌표 안에 표시한 것이다. 이들 중에서 증기 양생으로 생성을 유도한 저결정성 CSH(I), CSH(II) 등은 삼각조성도의 중심부에 산재해있다. 보통 C₃S나 C₂S의 수화생성물은 CSH(I) → CSH(II) → C₃S₂H₃(afwillite)의 과정을 거치게되며, 100℃이상의 고온양생에서는 C₃S₆Hx(tobermorite)로 변화하게 된다.

Table 1.에 CaO-SiO₂-H₂O계 수화물의 조성과 생성온도, 밀도를 나타내었다

Table 1. Composition of C-S-H system

compound	composition	temp. of formation (°C)	density(gf cm ³)
	C ₃ S ₂ H ₃	150~500	2.61
C ₂ SH(A)	C ₂ SH	100~200	2.8
C ₂ SH(B) Hillebrandite	C ₂ SH	140~350	2.66
Afwillite	C ₃ S ₂ H ₃	100~160	2.63
Foshagite	C ₂ SH	300~500	2.7
Xenotite	C ₃ S ₂ H	150~400	2.7
CSH(II)	C _{1.5} S _{1.5} H _{1.5}	<100	
CSH(I)	C _{1.25} S _{1.25} H _{1.25}	<100	
14 Å Tobermorite	C ₃ S ₂ H ₃	60(?)	2.2
11 Å Tobermorite	C ₃ S ₂ H ₃	110~140	2.44
9 Å Tobermorite	C ₃ S ₂ H	250~450	2.7
Gyrolite	C ₇ S ₇ H ₇	120~220	2.39
Truscottite	C ₃ S ₆ H ₃	200~300	2.36-2.48
Z-phase	CSH _{1.5}	140~240	

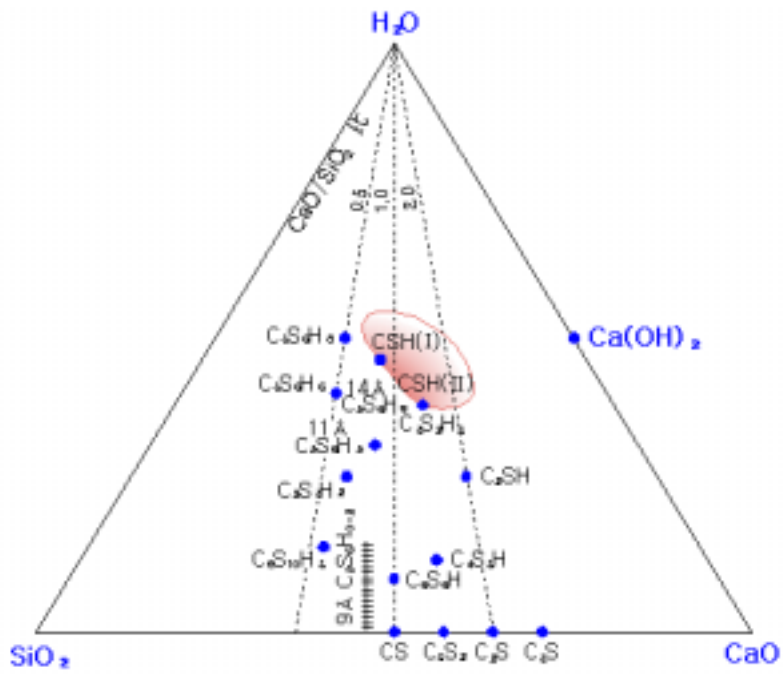


Fig. 4. Chemical composition of CaO-SiO₂-H₂O system.

제 2 절. 실험방법

본 연구의 실험 공정을 Fig. 5에 나타내었으며, 구체적인 내용은 다음과 같다.

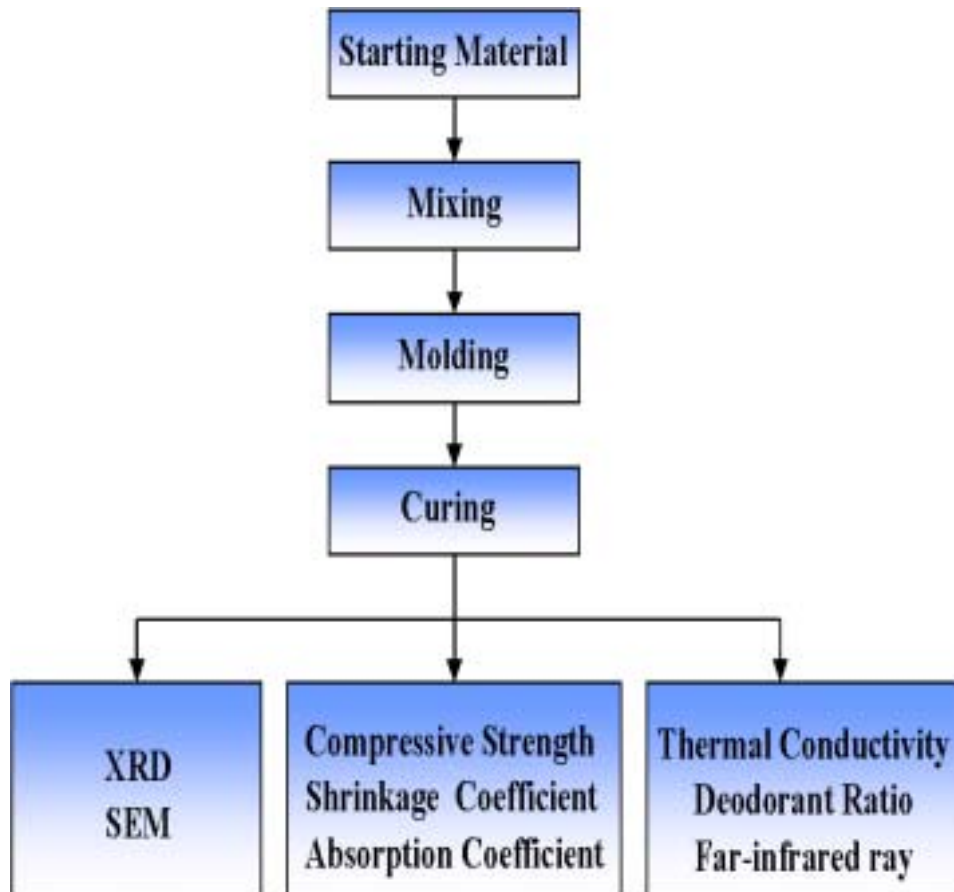


Fig. 5. Schematic diagram of experimental procedure.

1. 출발물질

가. Hwangto

Hwangto는 하동육종 지역의 광산원광을 건조(250℃)하여 분쇄가공한 분말이며, halloysite가 주광물이고, α -quartz가 2차상으로 존재하며, Fe_2O_3 가 7%이상 함유되어 있으며, Table 2는 화학조성을 XRF로 분석결과이다. 평균 입경은 $20.92\mu\text{m}$ 이었다.

나. Fly ash

fly ash는 보령화력 발전소의 소각회로서 한국플라이애쉬 공업협동조합의 시멘트 혼화재용으로 주로 사용되는 제품이다. Table 2는 화학조성을 XRF로 분석결과이다. SiO_2 함량이 60%이상으로 pozzolan 재료이며, 평균입경은 $19.49\mu\text{m}$ 었다.

다. Slag

슬래그는 포항제철의 선철 제조과정에서 부산물로 나오는 용융 고로슬래그를 급냉한 급냉수쇄슬래그를 자재 포트에서 72시간동안 분쇄하여 사용하였다. Fig 9는 XRD 분석결과이며, Table 2는 화학조성을 XRF로 분석결과이다. 분쇄후의 평균입경은 $20.59\mu\text{m}$ 었다. 잠재수경성원료로 시멘트 및 콘크리트 혼화재료로 사용된다.

라. Gypsum

gypsum은 천연산 무수석고를 미분쇄한 상태의 제품으로 주용도는 cement혼화재용과 self-leveling재의 혼화재로 사용된다. Table 2는 화학조성을 XRF로 분석결과이다. 색상은 white이며, 경화시간은 24시간으로 평균입경은 $18.05\mu\text{m}$ 었다,

마. Portland cement

동양시멘트에서 생산되는 제품으로 건축용 OPC제품이며, 입도는 $20.00\mu\text{m}$ 이며, 결정상은 C_3S , C_2S 와 일부 SO_3 성분이 혼입되어 있으며, Table 2의 화학조성은 분석결과이다

바. Quick Lime

quick lime은 백광소재의 공업용 생석회로서 CaO 함량이 95%이상의 ALC제조용 제품으로서 입도는 200mesh 80% 통과분을 사용하였으며, Table 2 의 화학조성은 분석결과이다

사. Aluminum powder

aluminum powder는 일본 Junsai사 시약급을 사용하였으며, 입도는 325#급이다.

Table 2. Chemical compositions of raw materials by XRF analysis

(wt.%)

Component Materials	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	ZrO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	SO ₃	other s	lg loss	total
Diatomaceous Earth	78.16	12.75	0.34	1.96	0.17	0.72	0.01	4.73	0.51	.	.	.	
Hwangto	50.19	28.69	0.08	0.24	.	.	.	7.48	1.31	0.88	.	11.33	
Fly ash	63.50	25.52	0.15	0.85	1.79	0.20	.	2.73	.	0.19		5.07	
Slag	33.98	13.44	0.16	0.51	41.09	6.33	.	0.61	1.91	.	0.43	.	
Gypsum	1.43	.	.	2.12	38.18	.	.	5.30	0.45	57.24	.	3.15	
Portland cement	20.45	5.47	0.80	0.34	62.22	3.91	.	3.03	.	2.38	.	0.40	
Quick Lime	1.32	1.04	0.16	.0.17	96.14	0.27	.0.27	0.87	.		.		
Al powder	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	99.9	.	.

2. 배합실험

가. 배합설계 및 조건

1) 원료배합

원료는 친환경적 소재를 제조하기 위하여 시멘트를 사용하지 않고 황토, 규조토, 규사, 슬래그, 석회, 석고를 사용하며, 알루미늄 분말을 발포제와 동물성, 식물성 기포액의 함량을 변화시키면서 시험을 실시하였으며, 또한 동일한 배합에서 실제 양생조건을 autoclave와 습윤 증기양생(80℃)으로 특성을 비교 관찰하기 위하여 1, 2년차의 연구에서 제조한 황토와 규조토의 함량은 각각 15%였으며, 2년차의 연구에서는 흡착성능의 개선을 위하여 황토와 규조토의 함량을 증가시키는 방안을 모색하였다.

Table 3. Batch composition for comparative test of quartz supplier

Batch No.	Batch Composition(%)															
	HT	HTT	AHT	DE		SI	SF	SGH	LQ	GM	PR	SR			AI	WT
				200F	325F							S.C	D.L	K.P		
BA-398	15	-	-	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	25.6	-	-	0.05	60
BA-399	15	-	-	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	-	25.6	-	0.05	60
BA-400	15	-	-	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	-	-	25.6	0.05	60

(S.C ; Seoul-C, D.L ; Daelim, K.P ; Kumpyung)

Table 4. Batch composition for comparative test of Hwangto and quartz

Batch No.	Batch Composition(%)															
	HT	HTT	AHT	DE		SI	SF	SGH	LQ	GM	PR	SR			AI	WT
				200F	325F							S.C	D.L	K.P		
BA-401	15	-	-	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	25.6	-	-	0.05	60
BA-402	15	-	-	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	-	-	25.6	0.05	60
BA-403	-	15	-	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	25.6	-	-	0.05	60
BA-404	-	15	-	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	-	-	25.6	0.05	60
BA-405	-	-	15	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	25.6	-	-	0.05	60
BA-406	-	-	15	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	-	-	25.6	0.05	60

HT ; ground Hwangto powder, HTT ; Hwangto powder; AHT ; activated Hwangto powder

Table 5. Batch composition for comparative test of diatomite and quartz

Batch No.	Batch Composition(%)															
	HT	HTT	AHT	DE		SI	SF	SGH	LQ	GM	PR	SR			AI	WT
				200F	325F							S.C	D.L	K.P		
BA-407	15	-	-	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	25.6	-	-	0.05	60
BA-408	15	-	-	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	-	-	25.6	0.05	60
BA-409	15	-	-	-	15	-	-	28.2	11.4	4.8	-	25.6	-	-	0.05	60
BA-410	15	-	-	-	15	-	-	28.2	11.4	4.8	-	-	-	25.6	0.05	60

Diatomite ; (200 F, 325 F)

Table 6. Batch composition for comparative test of water-proof agent and quartz

Batch No.	Batch Composition(%)															
	HT	HTT	AHT	DE		SI	SF	SGH	LQ	GM	PR	SR			AI	WT
				200F	325F							S.C	D.L	K.P		
BA-411	15	-	-	15	-	1.0	-	28.2	11.4	4.8	-	25.6	-	-	0.05	60
BA-412	15	-	-	15	-	1.0	-	28.2	11.4	4.8	-	-	-	25.6	0.05	60
BA-413	15	-	-	15	-	1.5	-	28.2	11.4	4.8	-	25.6	-	-	0.05	60
BA-414	15	-	-	15	-	1.5	-	28.2	11.4	4.8	-	-	-	25.6	0.05	60
BA-415	15	-	-	15	-	2.0	-	28.2	11.4	4.8	-	25.6	-	-	0.05	60
BA-416	15	-	-	15	-	2.0	-	28.2	11.4	4.8	-	-	-	25.6	0.05	60

SI : Silicon water-proof agent

Table 7. Batch composition for comparative test of the ratio of Hwangto and diatomite

Batch No.	Batch Composition(%)															
	HT	HTT	AHT	DE		SI	SF	SGH	LQ	GM	PR	SR			AI	WT
				200F	325F							S.C	D.L	K.P		
BA-417	-	-	-	30	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	25.6	-	-	0.05	60
BA-418	-	-	-	30	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	-	-	25.6	0.05	60
BA-419	5	-	-	25	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	25.6	-	-	0.05	60
BA-420	5	-	-	25	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	-	-	25.6	0.05	60
BA-421	10	-	-	20	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	25.6	-	-	0.05	60
BA-422	10	-	-	20	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	-	-	25.6	0.05	60
BA-423	15	-	-	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	25.6	-	-	0.05	60
BA-424	15	-	-	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	-	-	25.6	0.05	60
BA-425	20	-	-	10	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	25.6	-	-	0.05	60
BA-426	20	-	-	10	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	-	-	25.6	0.05	60
BA-427	25	-	-	5	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	25.6	-	-	0.05	60
BA-428	25	-	-	5	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	-	-	25.6	0.05	60
BA-429	30	-	-	-	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	25.6	-	-	0.05	60
BA-430	30	-	-	-	-	-	-	28.2	11.4	4.8	-	-	-	25.6	0.05	60

Hwangto + diatomite = 30 %

Table 8. Batch composition for comparative test of the ratio of Hwangto and diatomite with 5% silica fume

Batch No.	Batch Composition(%)															
	HT	HTT	AHT	DE		SI	SF	SGH	LQ	GM	PR	SR			AI	WT
				200F	325F							S.C	D.L	K.P		
BA-431	-	-	-	25	-	-	5	28.2	11.4	4.8	-	25.6	-	-	0.05	60
BA-432	-	-	-	25	-	-	5	28.2	11.4	4.8	-	-	-	25.6	0.05	60
BA-433	5	-	-	20	-	-	5	28.2	11.4	4.8	-	25.6	-	-	0.05	60
BA-434	5	-	-	20	-	-	5	28.2	11.4	4.8	-	-	-	25.6	0.05	60
BA-435	10	-	-	15	-	-	5	28.2	11.4	4.8	-	25.6	-	-	0.05	60
BA-436	10	-	-	15	-	-	5	28.2	11.4	4.8	-	-	-	25.6	0.05	60
BA-437	15	-	-	10	-	-	5	28.2	11.4	4.8	-	25.6	-	-	0.05	60
BA-438	15	-	-	10	-	-	5	28.2	11.4	4.8	-	-	-	25.6	0.05	60
BA-439	20	-	-	5	-	-	5	28.2	11.4	4.8	-	25.6	-	-	0.05	60
BA-440	20	-	-	5	-	-	5	28.2	11.4	4.8	-	-	-	25.6	0.05	60
BA-441	25	-	-	-	-	-	5	28.2	11.4	4.8	-	25.6	-	-	0.05	60
BA-442	25	-	-	-	-	-	5	28.2	11.4	4.8	-	-	-	25.6	0.05	60

Diatomite (200 F, 325 F)

Table 9. Batch composition for comparative test of pearlite instead of quartz

Batch No.	Batch Composition(%)															
	HT	HTT	AHT	DE		SI	SF	SGH	LQ	GM	PR	SR			AI	WT
				200F	325F							S.C	D.L	K.P		
BA-443	15	-	-	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8	1.3	24.3	-	-	0.05	60
BA-444	15	-	-	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8	1.3	-	-	24.3	0.05	60
BA-445	15	-	-	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8	2.6	23.0	-	-	0.05	60
BA-446	15	-	-	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8	2.6	-	-	23.0	0.05	60
BA-447	15	-	-	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8	3.8	21.8	-	-	0.05	60
BA-448	15	-	-	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8	3.8	-	-	21.8	0.05	60

PR ; pearlite

Table 10. Batch composition for testing the effects of quartz and temperature

Batch No.	Batch Composition(%)														
	HT	HTT	AHT	DE		SI	SF	SGH	LQ	GM	SR			AI	WT (°C)
				200F	325F						S.C	SAND #35	K.P		
BA-451	15	-	-	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8	25.6			0.05	60
BA-452	15	-	-	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8			25.6	0.05	65
BA-453	15	-	-	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8		25.6		0.05	60
BA-454	15	-	-	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8	25.6			0.05	60
BA-455	15	-	-	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8			25.6	0.05	65
BA-456	15	-	-	15	-	-	-	28.2	11.4	4.8		25.6		0.05	60

3차년도에는 위에서 언급한 바와 같이 autoclave의 200°C 정도의 고온양생을 습윤 증기 양생(80°C)으로 제조하는 방법으로 변경하기 위한 실험을 하였으며, 이 실험을 위한 각 원료조합비를 Table 11.에서 Table 14.에 나타내었다.

2) 분쇄 및 성형

원료는 하소하지 않고 볼밀에서 250mesh체를 전량 통과하도록 분쇄하였다. 분쇄한 원료와 물을 조합비에 따라 칭량 한 후 믹서에서 고속으로 교반하여 슬립을 mold (5×5×5cm, 16×16×5cm)에 주입하여 성형하였다. 성형이 끝난 mold를 20±3°C로 유지되는 항온조에 넣

고 24시간 후 탈형 하였으며, 또한 mock-up-test sample을 아크릴 mold(75cm ×51cm × 8.0cm)로 성형하여 위와 동일조건의 양생을 실시하였다.

3) 양생 및 경화

탈형 한 시편을 80±3℃로 유지되는 항온조에 넣고 24시간 습윤 증기양생실(fume)에 넣고 습윤 양생하여 경화체를 만들었다. 또한 autoclave에서 200℃ 15시간동안 유지한 기존의 시험조건과 동시에 제조한 시편은 협동연구의 1 세부과제에 넘겨 흡수율, 부피비중, 압축강도 등을 조사하고 이 자료를 토대로 다음 조합비를 결정하였다. 이러한 과정을 거쳐 조합을 행하고 물성을 조사하였다.

4) Mock up test

mock up test는 기존의 작은 시험체 mold (5×5×5cm, 16×16×5cm)로 시험을 실시하여 대량 및 현장의 실제 제작조건의 변화 요인을 검토하기 위하여 mold(75cm ×51cm ×8.0cm)로 성형하여 문제점 및 발포의 조건과 취급강도 물리적 특성을 고찰하고자 실험을 실시하였다.

Table 11. Batch composition for testing the properties of ALC fabricated with vegetable foaming agent

(wt.%)

Batch No.	Mixing Ratio(g)							
	HT	DE	SGH	LQ	GM	QZ	Vegetable foaming	water
BP-470	15	15	28.2	11.4	4.8	25.6	3.16	60
BP-471	15	15	28.2	11.4	4.8	25.6	6.32	60
BP-472	15	15	28.2	11.4	4.8	25.6	9.64	60
BP-473	15	15	28.2	11.4	4.8	25.6	12.6	60

이 조합비는 각 원료의 함량비에 기포액의 증감에 따른 특성을 고찰하기 위한 것이다. 즉, 발포의 방식을 기준 한다면 선 발포의 조건을 실시하는 것이며, 기포제는 동물성과 식물성 고분자 기포제가 있으나 예비시험결과 식물성 기포제가 가장 양호하여 선정하였다. 특히, 동물성의 경우는 심한 약취발생으로서 취급이 어렵고 시간이 지남에 따라 침전현상이 나타나고, 고분자 기포제는 고가이며, 콘크리트에 적용되지 않고 고분자 고무, 우레탄

계통에 적용되는 것이다. 따라서 본 실험조건에 적용된 식물성 기포제는 공사현장에 직접 사용하는 종류의 식물성 기포제를 구입하여 실험을 실시하였다.

Table 12. Batch composition for testing the properties of ALC fabricated with Aluminum powder foaming agent

(wt.%)

Batch No.	Mixing Ratio(g)							
	HT	DE	SGH	LQ	GM	QZ	Al	Water
BP-474	15	15	28.2	11.4	4.8	25.6	0.051	60
BP-475	15	15	28.2	11.4	4.8	25.6	0.075	60
BP-476	15	15	28.2	11.4	4.8	25.6	0.101	60

이 조합비는 알루미늄 발포제의 함량에 따른 조건을 달리한 경우의 특성을 조사하기 위한 것이다. 본 배합설계 된 조건의 특성을 확인하기 위하여 알루미늄 발포제의 함량에 따른 특성을 검토하여 최적의 조건을 확인하고 특히, mock up test용 시험체 mold (75cm ×51cm ×8.0cm)로 시험을 실시 할 경우 최적조건을 확인 필요하였다.

Table 13. Batch composition for testing the properties of ALC accordig to the mixing ratio of Hwangto and diatomite

(wt.%)

Batch No.	Mixing Ratio(g)								
	HT	DE	SF	SGH	LQ	GM	QZ	Al	Water
BA-482	0	30	-	28.2	11.4	4.8	25.6	0.05	70
BA-483	5	25	-	28.2	11.4	4.8	25.6	0.05	65
BA-484	10	20	-	28.2	11.4	4.8	25.6	0.05	60
BA-485	15	15	-	28.2	11.4	4.8	25.6	0.05	60
BA-486	20	10	-	28.2	11.4	4.8	25.6	0.05	60
BA-487	25	5	-	28.2	11.4	4.8	25.6	0.05	60
BA-488	30	-	-	28.2	11.4	4.8	25.6	0.05	65

이 조합비는 황토와 규조토의 혼합비율에 대한 조건을 기존의 고압고온의 autoclave 양생과 습윤 증기양생의 조건을 비교를 위하여 설계된 배합이다.

Table 14. Batch composition for testing the properties of ALC according to the mixing ratio of Hwangto and diatomite with 5% of silica-fume

(wt.%)

Batch No.	Mixing Ratio(g)								
	HT	DE	SF	SGH	LQ	GM	QZ	AI	Water
BA-489	25	0	5	28.2	11.4	4.8	25.6	0.05	65
BA-490	20	5	5	28.2	11.4	4.8	25.6	0.05	65
BA-491	15	10	5	28.2	11.4	4.8	25.6	0.05	65
BA-492	12.5	12.5	5	28.2	11.4	4.8	25.6	0.05	65
BA-493	10	15	5	28.2	11.4	4.8	25.6	0.05	65
BA-494	5	20	5	28.2	11.4	4.8	25.6	0.05	65
BA-495	0	25	5	28.2	11.4	4.8	25.6	0.05	65

이 조합비는 기본조성에서 황토와 규조토의 일부를 silica-fume 으로 치환하고 첨가한 조성으로 고온증기양생(autoclave)과 습윤 증기양생(fume)으로 silica-fume이 강도증진 및 물성개선의 변화를 확인하고자 설계된 배합이다.

나. 측정 및 관찰방법

1) 압축강도 측정

증기 양생한 시편은 조성 배합비율에 따라 3개씩 제작하였고 압축강도 시험은 압축강도 시험기(Tokyo Koki Sezosho사 : max. 100ton)에서 KS L 51057)에 규정한 방법에 따라 압축강도를 측정 하였다. 이 파괴된 시편은 X-선 회절분석 및 SEM 관찰을 위해 아세톤 속에서 수화를 정지시킨 후 랩으로 밀봉하여 데시케이터 속에 보관하였다.

2) 흡수율 측정

크기가 (5×5×5)cm인 mold에 성형한 시편을 항온조에서 24시간 양생한 후 탈형하여 다음 성형체를 오토클레이브 고온고압 증기양생 후 KS L 3148에 규정한 방법에 따라 모르타르의 건조상태 및 포수상태에서 흡수율을 측정하였다.

흡수율은 식(1)에 의해 계산하였다.

$$Water\ absorption(\%) = \frac{W2 \times W1}{W1} \times 100 \quad (2)$$

here, W1 : 건조무게

W2 : 포수무게

3) 건조 수축율 측정

건조 수축율 측정은 증기 양생을 행한 성형체의 건조수축 변화를 조사하기 위하여 길이 변화시험을 KS F 2424에 규정한 방법에 따라 실시하였으며, 시험주기는 28일 양생 후에 측정하였다. 길이 변화율은 식(2)에 의해 구하였다.

$$Drying\ shrinkage(\%) = \frac{L_m - L_d}{L_d} \times 100 \quad (3)$$

here, L_m : 성형 후 길이

L_d : 양생 후 길이

4) X-선 회절분석

일본 Rigaku 사제 d-max 3 model을 사용하여 분말법에 의해 X-선 회절 분석을 하였으며, 이때의 분석조건은 다음과 같다.

Cu K α , Ni filter, 25kV 20mA,

scanning speed : 10°/min.

5) SEM 관찰

시편의 파단면을 아세톤으로 수화정지 시킨 후 일본 Akasi beam사의 SX-40A model을 사용, 가속전압 15kV로 1000배율, 3000배율로 미세구조를 관찰하였다.

6) 항공광이 시험

ASTM G-21의 방법으로 한국전자재시험연구원에서 균주를 배양하였으며 4주간 관찰하였다.

7) 과채류의 저장시험

가) 저장실험용 과채류의 선택

저장실험용 과채류인 오이, 호박, 방울토마토, 단감은 진주인근에 있는 대곡면, 수곡면, 집현면 및 하동군의 재배농가에서, 밀감은 제주 밀감산지에서 실험당일 직접 구입 또는 공

급받아 1차년도에서 저장최적습윤도조건으로 확인된 저장습도 90%(저장온도 5℃, 단 오이는 10℃ 저장)로 유지되는 저온실에 과채류를 보관하면서 저장기간별로 채취하여 품질변화를 측정하였다. 이때, 대조구는 과채류를 특수처리가 없는 단순한 시설의 저온실내에 저장하고, 원적외선 방사체 시험저장구는 판자형 원적외선 방사체로 내부 벽면을 둘러 쌓은 저온실(상대습도 90%, 저장온도 5℃ 또는 10℃) 공간내에 과채류를 보관하면서 분석시료로 사용하였다.

나) 저장중 과채류의 품질변화 측정방법

(1) 중량손실율의 측정

저장중 시료의 중량손실율은 저장 초기의 중량에 대한 감소량을 백분율로 환산하여 표시하였다.

(2) Ascorbic acid 함량의 측정

ascorbic acid 측정용 시료액 제조를 위하여 시료 각 5g에 메타인산과 초산혼합액을 15mL를 넣고 마쇄한 다음 원심 분리하여 상등액을 분리하였으며, 침전물에 다시 메타인산과 초산 혼합액 10mL를 부어서 원심분리하여 얻은 상등액을 앞의 것과 합한 후에 50mL까지 희석하였다. 이 중에서 20mL를 취하여 2, 6-dichloroindophenol로 적정한 값을 환원형 ascorbic acid 함량으로 환산하였다.

(3) 총균수의 측정

시료 25g을 취한 다음 멸균된 waring blender에 넣고, 멸균 증류수 150mL과 함께 마쇄한 후에 250mL로 하였다. 이 중에서 1mL을 취하여 0.1% peptone수로써 필요한 만큼 희석하였다. 희석액 0.1mL을 plate count agar 배지에 도말하여 35℃에서 48시간 배양한 다음 형성된 colony의 수를 colony forming unit (CFU/mL)로 표시하였다.

(4) 시료의 표면색도 측정

각 구 실험구의 시료의 색도는 색도계(minolta CR-300, Japan)를 사용하여 Hunter의 L, a, b값을 측정하였다.

(5) 부패율

일정기간동안 저장하는 동안 과채류의 부패율은 과채류 표면에 미생물이 오염되거나 표면조직의 연부증상등 품질열화현상으로 상품가치가 떨어진 과채류시료의 저장시료 전체에 대한 발생정도를 비율로 환산한 결과로 표시하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 경화체의 기본 물성 측정결과

Table 15. Results of comparative test of quartz supplier

Batch No.	Size(mm)	Wt. (g)	SG	Physical Property				Compressive Strength (kgf/cm ²)	Remark
				AD	BD	AP(%)	WA(%)		
BA-398	49.6*49.4*49.9	115.03	0.94	1.67	0.93	44.61	48.21	26.4	Fume Cured 80℃, 24hr
BA-399	49.6*49.4*49.9	113.63	0.93	1.73	0.91	47.47	52.20	26.6	
BA-400	49.5*49.3*49.7	114.91	0.95	1.84	0.93	49.46	53.05	26.4	

Table 16. Results of comparative test of Hwangto and quartz

Batch No.	Size(mm)	Wt. (g)	SG	Physical Property				Compressive Strength (kgf/cm ²)	Remark
				AD	BD	AP(%)	WA(%)		
BA-401	49.7*49.9*49.5	117.60	0.96	1.73	0.95	45.46	48.10	27.2	Fume Cured 80℃, 24hr
BA-402	49.2*49.5*50.0	111.68	0.92	1.73	0.90	48.06	53.53	25.0	
BA-403	49.6*49.6*49.7	112.35	0.92	1.71	0.89	48.16	54.22	26.4	
BA-404	49.5*49.3*49.6	109.19	0.90	1.71	0.88	48.49	55.07	22.4	
BA-405	49.7*49.5*49.8	107.05	0.87	1.62	0.86	46.62	54.03	23.8	
BA-406	49.6*49.5*49.9	111.74	0.91	1.71	0.90	47.45	52.67	24.0	

Table 17. Results of comparative test of diatomite and quartz

Batch No.	Size(mm)	Wt. (g)	SG	Physical Property				Compressive Strength (kgf/cm ²)	Remark
				AD	BD	AP(%)	WA(%)		
BA-407	49.7*49.6*49.6	109.89	0.90	1.70	0.87	48.67	55.69	22.0	Fume Cured 80°C, 24hr
BA-408	49.5*49.3*49.9	115.17	0.95	1.69	0.92	45.59	49.55	25.6	
BA-409	49.7*49.6*49.8	113.98	0.93	1.77	0.91	48.55	53.21	26.8	
BA-410	49.6*49.6*49.8	116.12	0.95	1.66	0.93	44.22	47.70	26.6	

Table 18. Results of comparative test of water-proof agent and quartz

Batch No.	Size(mm)	Wt. (g)	SG	Physical Property				Compressive Strength (kgf/cm ²)	Remark
				AD	BD	AP(%)	WA(%)		
BA-411	49.5*49.3*50.0	119.03	0.98	1.78	0.94	47.04	50.03	28.2	Fume Cured 80°C, 24hr
BA-412	49.5*49.5*49.6	110.48	0.91	1.62	0.89	44.74	50.01	24.2	
BA-413	49.7*49.7*49.6	110.40	0.90	1.58	0.89	43.67	49.06	25.2	
BA-414	49.4*49.6*49.4	115.02	0.95	1.61	0.94	41.28	43.80	26.0	
BA-415	49.5*49.5*49.4	111.76	0.92	1.64	0.90	44.86	49.75	25.8	
BA-416	49.5*49.4*49.3	110.93	0.92	1.67	0.91	45.61	50.33	25.2	

Table 19. Results of comparative test of the ratio of Hwangto and diatomite

Batch No.	Size(mm)	Wt. (g)	SG	Physical Property				Compressive Strength (kgf/cm ²)	Remark
				AD	BD	AP(%)	WA(%)		
BA-417	49.3*49.5*49.9	110.45	0.91	1.57	0.90	42.60	47.23	19.8	Fume Cured 80°C, 24hr
BA-418	49.4*49.3*49.8	110.36	0.91	1.63	0.91	44.41	49.02	21.0	
BA-419	49.5*49.6*49.6	107.82	0.89	1.56	0.88	43.62	49.58	20.2	
BA-420	49.5*49.4*49.9	111.11	0.91	1.63	0.90	45.01	50.22	24.6	
BA-421	49.6*49.4*49.7	110.47	0.91	1.63	0.90	44.91	49.96	21.2	
BA-422	49.3*49.5*49.8	114.51	0.94	1.67	0.93	44.52	47.96	25.4	
BA-423	49.3*49.1*49.9	110.84	0.92	1.67	0.91	45.58	50.23	23.4	
BA-424	49.8*49.5*50.0	117.79	0.96	1.72	0.94	45.21	48.11	26.6	
BA-425	49.5*49.4*49.7	110.05	0.91	1.67	0.90	46.48	51.87	24.2	
BA-426	49.7*49.5*49.7	114.94	0.94	1.70	0.92	45.59	49.35	24.8	
BA-427	49.7*49.7*49.6	112.29	0.92	1.64	0.91	44.37	48.74	21.4	
BA-428	49.9*49.7*50.2	119.78	0.96	1.73	0.94	45.60	48.36	24.2	
BA-429	49.7*49.8*49.9	114.63	0.93	1.92	0.92	51.96	56.46	21.2	
BA-430	49.5*49.6*49.9	113.15	0.92	1.78	0.91	48.81	53.66	19.2	

Table 20. Results of comparative test of the ratio of Hwangto and diatomite with 5% silica fume

Batch No.	Size(mm)	Wt. (g)	SG	Physical Property				Compressive Strength (kgf/cm ²)	Remark
				AD	BD	AP(%)	WA(%)		
BA-431	49.1*49.2*49.9	116.77	0.97	1.75	0.96	45.07	47.04	28.0	Fume Cured 80°C, 24hr
BA-432	49.3*49.4*49.7	120.01	0.99	1.68	0.98	41.60	42.36	23.8	
BA-433	49.4*49.5*48.9	113.25	0.95	1.75	0.93	46.91	50.62	21.6	
BA-434	49.5*49.4*49.6	118.31	0.98	1.74	0.96	44.91	46.98	26.4	
BA-435	49.3*49.6*49.6	121.99	1.01	1.72	0.98	42.90	43.79	26.6	
BA-436	49.3*49.3*49.4	118.66	0.99	1.71	0.96	43.70	45.47	23.4	
BA-437	49.3*49.5*49.7	121.23	1.00	1.62	0.99	39.29	39.87	23.8	
BA-438	49.4*49.3*49.7	117.08	0.97	1.69	0.95	44.07	46.63	21.2	
BA-439	49.4*49.2*49.8	124.49	1.03	1.78	1.01	43.00	42.48	31.8	
BA-440	49.0*49.6*49.9	121.26	1.00	1.77	0.98	44.53	45.47	37.6	
BA-441	49.4*49.5*49.7	125.02	1.03	1.86	1.01	45.78	45.35	28.4	
BA-442	49.4*49.2*50.4	124.25	1.01	1.78	0.98	44.71	45.41	30.6	

Table 21. Results of comparative test of pearlite instead of quartz

Batch No.	Size(mm)	Wt. (g)	SG	Physical Property				Compressive Strength (kgf/cm ²)	Remark
				AD	BD	AP(%)	WA(%)		
BA-443	49.4*49.3*50.0	127.29	1.05	1.63	1.03	36.52	35.34	Fume Cured 80°C, 24hr	
BA-444	49.3*49.7*50.1	120.66	0.98	1.59	0.98	38.19	38.96		
BA-445	49.8*49.7*50.0	122.12	0.99	1.59	0.98	38.14	38.79		
BA-446	49.7*49.7*49.9	122.27	0.99	1.60	0.99	37.96	38.22		
BA-447	49.7*49.8*50.0	126.28	1.02	1.62	1.01	37.78	37.58		
BA-448	49.8*49.8*50.3	131.40	1.05	1.66	1.03	37.45	36.26		

Table 22. Results of testing the effects of quartz and temperature

Batch No.	Size(mm)	Wt. (g)	SG	Physical Property				Compressive Strength (kgf/cm ²)	Remark
				AD	BD	AP(%)	WA(%)		
BA-451	49.9*49.8*49.9	110.24	0.89	1.96	0.88	54.72	61.84	Water 50°C & D/O 50°C 18hr & Fume 80°C	
BA-452	49.9*49.9*50.0	105.76	0.85	2.01	0.85	57.99	68.54		
BA-453	49.9*50.0*49.9	107.64	0.86	1.91	0.87	54.42	62.50		
BA-454	49.8*49.6*50.0	110.69	0.90	1.91	0.90	52.97	58.83	Water 18°C & Cures in Air & Fume 80°C	
BA-455	49.6*49.9*49.8	105.51	0.85	1.94	0.86	55.68	64.79		
BA-456	49.5*49.7*50.0	113.01	0.92	2.02	0.91	54.86	60.20		

이상과 같은 원재료별의 시험을 실시한 예비적 시험의 결과는 각 원재료별의 특성은 다음과 같은 소 결론을 얻었다.

황토와 규조토의 경우는 입도 및 종류에 크게 영향을 받지 않았으며, 따라서 250#, 200#용으로 사용한다.

규석의 경우는 공급업체별로 입도의 차이가 약간 발생하였으며, ALC용의 금평규석을 적용하기로 하였다. 방수제의 첨가효과를 유도하였으나 개선효과가 없고, 가격이 비싸 경쟁성이 없으므로 배제시킨다.

silica-fume의 첨가 효과는 강도증진의 효과가 나타남으로 세부적인 시험과 조건을 검

토하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

규조토와 황토의 경우는 silica-fume의 첨가 영향을 검토하기 위하여 autoclave양생과 fume양생의 조건을 비교 검토하고자 한다.

발포방식을 선 발포방식을 검토하기 위하여 기포제를 첨가하여 시험한 결과는 압축강도와 부피비중을 만족하지 못하여 본 실험에서 많은 시험을 배제시켰다.

가. 기포제의 함량에 따른 물성변화

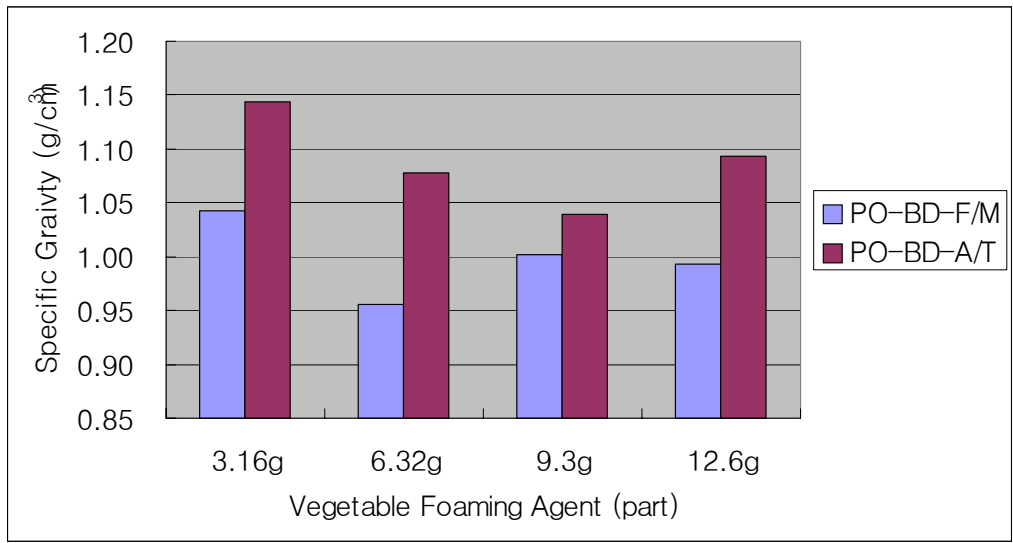


Fig 6. Change of the bulk specific gravity according to the amount of vegetable foaming agent.

Table 23. Physical properties of ALC fabricated with vegetable foaming agent

Batch No.	AutoClave(Curing at 200℃)				FUME(Curing at 80℃)				Compressive Strength (kgf/cm ²)		Remark
	AD	BD	AP(%)	WA(%)	AD	BD	AP(%)	WA(%)	Auto Clave	FUME	
BP-470	1.75	0.96	45.24	47.41	1.61	1.08	33.19	30.88	47.4	41.2	
BP-471	1.59	0.99	37.57	37.86	1.54	1.09	29.18	26.71	49.0	38.8	
BP-472	1.65	1.00	39.16	39.16	1.54	1.04	32.60	31.44	45.2	27.2	
BP-473	1.80	1.04	41.95	40.29	1.61	1.14	28.96	25.31	52.2	33.8	

Table 23은 Table 11 조합비로 제조한 경화체의 물성을 조사한 결과로서 위의 fig. 6에서 나타난 바와 같이 기포제를 첨가하여, 즉 선 발포방식의 기포콘크리트 형태의 autoclave보다 낮은 온도의 양생조건인 습윤양생의 견본을 제작하여 실험을 실시코져 하였으나 경량기포콘크리트의 최초 사양의 조건에 맞지 않는 부피비중이 최하의 경우가 0.95정도로 나타나 기포제의 조건은 타당성이 없는 것으로 판단하고 향후의 실험조건은 AI의 후 발포방식을 적용하게 되었다.

나. 알루미늄 발포제 의 함량에 따른 물성 변화.

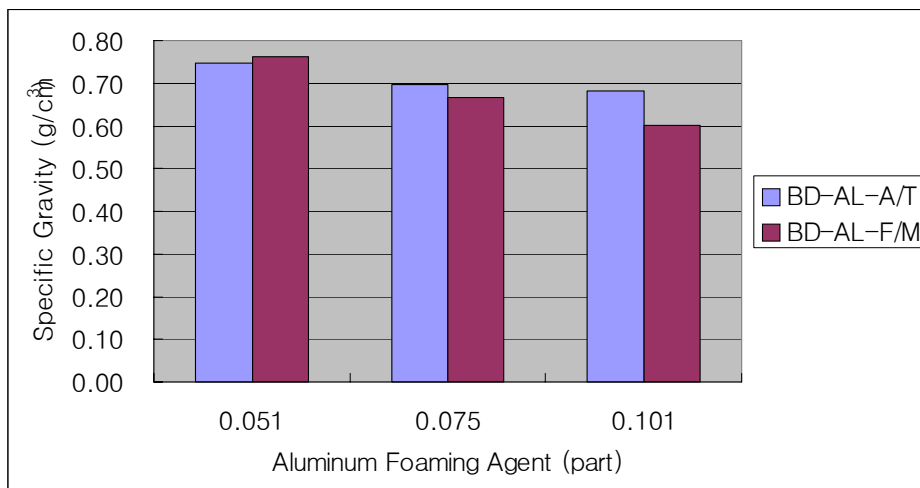


Fig 7. Change of the bulk specific gravity according to the amount of aluminum foaming agent.

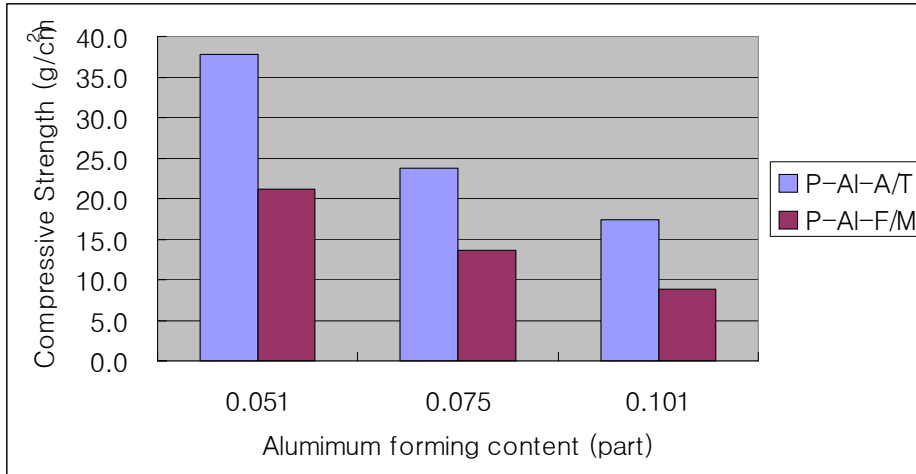


Fig 8. Change of the compressive strength according to the amount of aluminum foaming agent.

Table 24은 Table 12의 알루미늄 발포제의 첨가 함량별 조합비로 제조한 경화체의 물성을 조사한 결과이다. Fig. 7과 8에서는 발포제를 Al을 함량별 첨가하여 발포 경화체의 물리적 특성을 고찰한 결과로서 위 결과는 부피비중의 경우는 Al의 함량이나 양생조건을 fume이나 autoclave양생한 경우의 편차는 크지 않으나 Fig. 8의 경우 압축강도에서는 많은 편차가 나타난다.

fume과 autoclave양생한 경우의 차이는 20kg/cm²에서 10kg/cm² 정도로 나타났으며, 최적의 조건도 0.051부의 함량으로 나타났다.

Table 24. Physical properties of ALC foamed with aluminum powder

Batch No.	Autoclave (Curing at 200°C)				FUME (Curing at 80°C)				Compressive Strength (kgf/cm ²)		Remark
	AD	BD	AP(%)	WA(%)	AD	BD	AP(%)	WA(%)	Auto Clave	FUME	
BP-474	1.32	0.75	42.46	57.37	1.23	0.76	38.10	50.09	37.8	21.2	
BP-475	1.29	0.70	44.81	64.56	1.21	0.67	44.96	67.58	23.8	13.6	
BP-476	1.36	0.68	49.10	72.66	1.08	0.60	44.47	74.07	17.4	8.8	

2. 황토와 규조토의 혼합비율에 따른 물성변화

앞에서 검토한 내용을 기본으로 하여 1차, 2차년도의 황토와 규조토의 함량별 배합을 검토하여 autoclave에서 고온고압으로 양생조건과 습윤 증기양생(80℃)조건을 다시 비교 검증하고자 하였으며, 최적의 조건과 각각의 특성을 고찰함으로써 견본제작 및 적용시험을 가능하게 할 수 있다고 사료되어 본 배합의 결과를 도출하였으며, Table 13은 Table 23의 조합비로 제조한 경화체의 물성을 측정한 결과이다.

Table 13의 조합비에서 규조토의 함량을 30%로 하고 5%간격으로 황토로 치환한 경우에 강도변화를 조사한 것이다. 황토가 규조토 보다 많으면 강도가 저하하는 것으로 나타났으며 황토가 전혀 첨가되지 않은 경우에도 강도는 낮게 나타나고 있다. autoclave 양생의 경우는 황토 10%, 규조토 20%에서 가장 높은 강도 값을 보이고 있어 규조토가 약간 많은 조성이 강도가 높게 나타남을 보여주고 있다.

특히 Fig. 9.에서 나타난 바와 같이 fume양생의 경우는 압축강도의 변화는 거의 없는 상태로 35kg/cm²부근의 값을 나타내고 있다.

황토의 반응은 autoclave에서 고온고압으로 양생조건의 경우는 압축강도의 편차가 확실하게 나타내지만 저온의 습윤 증기양생(80℃)조건에서는 그 편차가 적음을 나타내고 있다.

고 강도를 요구하지 않는 황토 경량기포콘크리트의 경우 autoclave에서 고온고압으로 양생하지 않고도 필요한 압축강도를 얻을 수 있었다.(그림 9,10,11,12.과 Table 25. 참조)

Table 25. Physical properties of ALC according to the mixing ratio of Hwangto and diatomite

Batch No.	AutoClave (Curing at 200℃)				FUME (Curing at 200℃)				Compressive Strength (kgf/cm ²)		Remark
	AD	BD	AP(%)	WA(%)	AD	BD	AP(%)	WA(%)	Auto Clave	FUME	
BA-482	1.21	0.67	44.98	67.15	1.21	0.7	37.65	53.81	46.5	26.3	
BA-483	1.26	0.71	43.91	61.85	1.24	0.75	39.61	52.83	56.4	32.3	
BA-484	1.4	0.78	44.39	56.92	1.29	0.8	38.16	47.71	70.4	34.9	
BA-485	1.33	0.75	43.91	58.55	1.32	0.82	38.06	46.42	43.4	35.1	
BA-486	1.35	0.76	44.02	57.99	1.29	0.8	38.28	47.86	38.7	36.7	
BA-487	1.32	0.76	42.63	56.1	1.35	0.76	44.07	57.99	32.1	38.2	
BA-488	1.34	0.78	42.19	54.1	1.31	0.83	37.07	44.68	26.9	37.7	

3. 황토와 규조토의 혼합비율과 silica-fume 첨가에 따른 물성변화

황토와 규조토를 silica-fume으로 치환하는 경우에 최적 값을 찾기 위한 silica-fume의 첨가량이 많을수록 강도는 저하하고 최적 첨가량은 5%인 것을 앞에서 검토한 내용을 기본으로 하여 1차, 2차년도 황토와 규조토의 함량별 배합을 검토하여 autoclave에서 고온고압으로 양생조건과 습윤 증기양생(80℃)조건을 다시 비교 검증하고자 하였다.

최적의 조건과 각각의 특성을 고찰함으로써 견본제작 및 적용시험을 가능하게 할 수 있다고 사료되어 본 배합의 결과를 도출하였으나 silica-fume의 초 미분화된 비정질의 실리카인 SiO₂가 경량기포콘크리트의 영향을 200℃의 autoclave에서 고온고압으로 양생조건은 2차년 보고서에서 정리되었으나 습윤 증기양생인 80℃에서 반응을 촉진 할 수 있는 범위를 확인 코져 하였다. Table 25은 Table 14의 조합비로 제조한 경화체의 물성을 조사한 결과이다.

Table 13.의 조합비에서 규조토의 함량을 25%로 하고 5%간격으로 황토로 치환한 경우에 강도변화를 조사한 것이다. 황토가 규조토 보다 많으면 강도가 저하하는 것으로 나타났으며 황토가 전혀 첨가되지 않은 경우에도 강도는 낮게 나타나고 있다. autoclave 양생의 경우는 황토 10%, 규조토 20%에서 가장 높은 강도 값을 보이고 있어 규조토가 약간 많은 조성이 강도가 높게 나타남을 보여주고 있다.

특히 Fig. 9.에서 나타난 바와 같이 압축강도의 경우는 silica-fume이 첨가된 배합의 경우는 autoclave 에서 고온고압으로 양생되는 조건에서 규조토가 15%이상 일 때 강도가 증가하는 것을 볼 수 있다.

그러나 silica-fume이 전혀 첨가되지 않고 황토도 없이 규조토만 첨가된 배합에서는 오히려 압축강도가 낮아지는 현상을 보이고 있다.

따라서 규조토에 silica-fume이 첨가됨으로서 반응을 촉진시키는 것으로 볼 수 있으며, 온 조건에서는 많아지는 부분의 배합경우는 fume양생의 경우는 압축강도의 변화는 거의 없는 상태로 35kg/cm²부근의 값을 나타내고 있다.

Fig. 9는 silica-fume의 첨가에 의한 물리적 특성을 검토한 결과로서 Table 25에 나타난 것과 같이 Fig. 9에서는 silica-fume이 황토와 규조토의 관계에서는 황토는 autoclave에서 silica-fume의 영향으로 강도증진이 된다 그러나 fume 양생의 경우는 첨가하지 않은 경우와 같은 형태의 압축강도를 나타내고 있다.

이것은 silica-fume의 반응이 습윤 증기양생의 경우는 반응성이 autoclave 양생의 조건을 따르지 못하는 것을 나타내고 있다.

Table 26. Physica properties of ALC accordig to the mixing ratio of Hwangto and diatomite with 5% of silica-fume

Batch No.	AutoClave(Curing at 200°C)				FUME(Curing at 80°C,48hr)				Compressive Strength (kgf/cm ²)		Remark
	AD	BD	AP(%)	WA(%)	AD	BD	AP(%)	WA(%)	Auto Clave	FUME	
BA-489	1.32	0.74	40.01	61.37	1.39	0.85	38.94	45.82	52.9	50.2	FUME (80°C , 48hr)
BA-490	1.36	0.73	46.39	63.56	1.33	0.84	37.01	44.09	56.1	45.9	
BA-491	1.43	0.77	46.32	60.17	1.35	0.87	36.03	41.39	57.9	55.4	
BA-492	1.35	0.74	45.45	61.43	1.31	0.84	36.20	43.11	56.3	43.1	
BA-493	1.4	0.75	46.52	62.04	1.31	0.85	35.28	41.51	65.3	43.5	
BA-494	1.42	0.74	48.21	65.16	1.28	0.83	34.28	41.32	71.3	39.4	
BA-495	1.37	0.71	48.31	54.21	1.25	0.8	36.43	45.54	29.3	36.2	

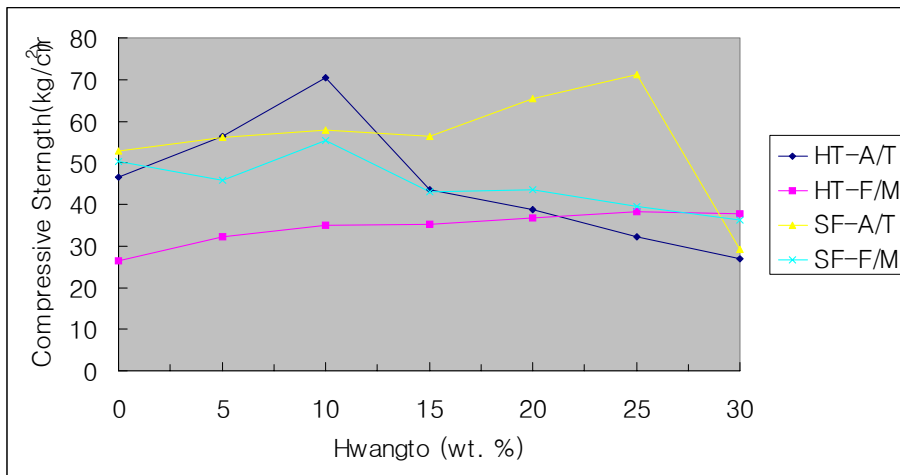


Fig 9. Change of the compressive strength according to the addition of the silica-fume.

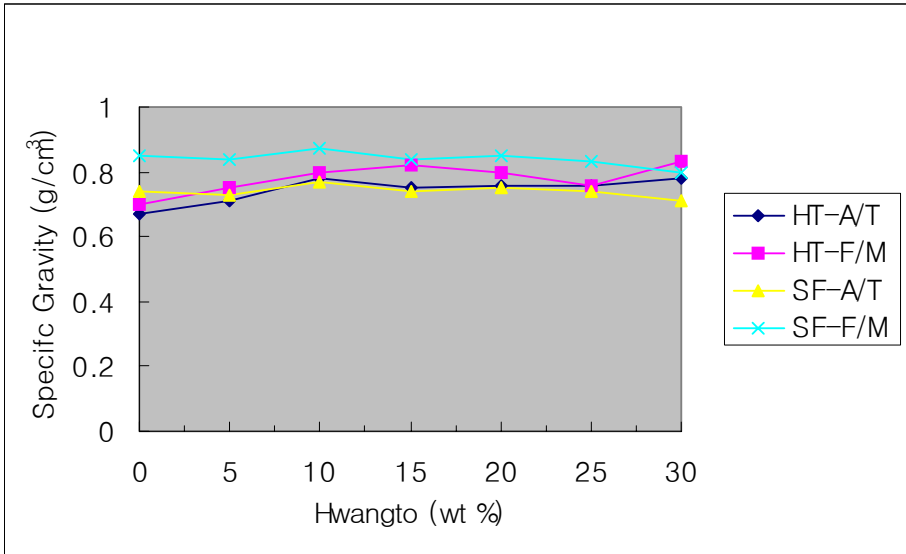


Fig 10. Change of the bulk specific gravity according to the addition of the silica-fume.

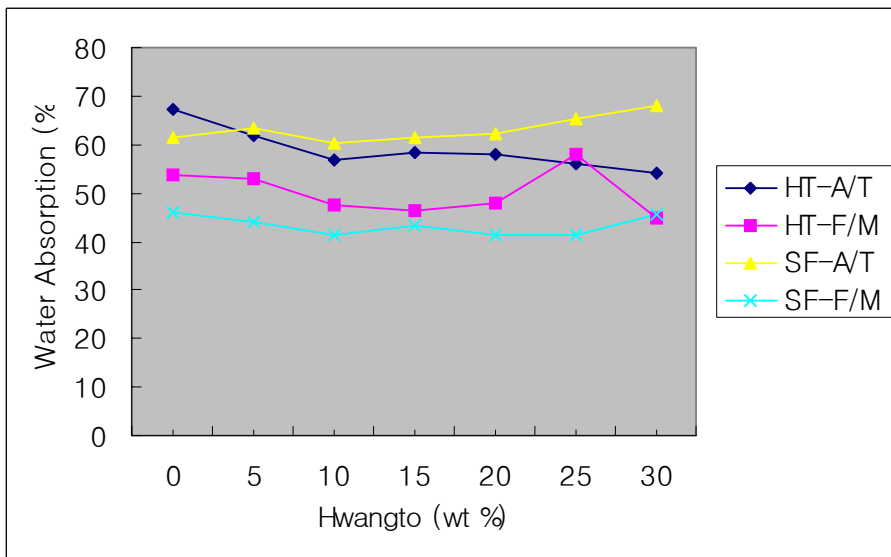


Fig 11. Change of the water absorption according to the addition of the silica-fume.

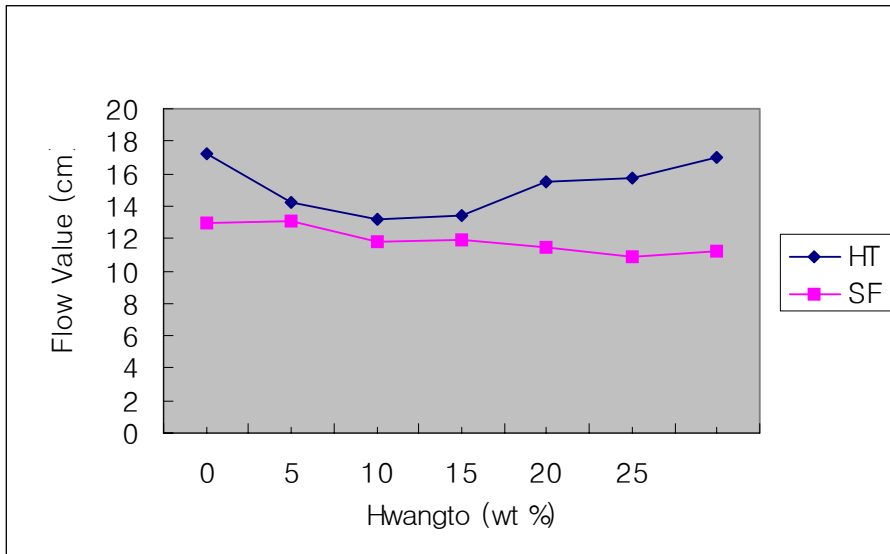


Fig 12. Change of the liquidity (Flow) according to the addition of the silica-fume.

4. 양생조건과 황토와 규조토의 혼합비율 및 silica-fume 첨가에 따른 물성변화

위에서 나타난 결과를 종합하여 물리적인 특성을 고찰하면 $80\pm 3^{\circ}\text{C}$ 로 유지되는 항온조에 넣고 48시간 습윤 증기양생실(fume)에 넣고 습윤양생하여 경화체를 만든 조건과 autoclave에서 200°C 15시간동안 유지한 기존의 시험 조건의 시험체의 특성은 다음과 같다.

가. 압축강도

양생조건의 변화에 따른 압축강도의 결과는 Table 26.와 Fig. 9에서 나타난 바와 같이 autoclave 양생 경우는 silica-fume을 첨가한 경우와 황토와 규조토의 변화 비율이 규조토의 함량 20%, 황토 10%일 때 높은 압축강도를 $50\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상을 나타내고 있다.

그러나 autoclave 양생의 경우에서 silica-fume을 첨가하지 않은 배합에서는 규조토의 함량 20%, 황토 10%일 때 가장 높은 특성을 보이나 황토가 30%일 때는 낮다. silica-fume을 첨가한 배합은 규조토의 함량이 25%일 때 가장 높은 압축강도인 $71\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 나타내고 있다. 또한 황토와 규조토에 silica-fume의 첨가 효과는 autoclave양생의 경우가 확연히 높은 것을 알 수 있다. 이것은 잠재수경성반응의 강도발현을 수열반응으로 이어져 C-S-H gel을 형성하는 것으로 예측되며, silica-fume이 첨가되지 않은 Table. 13의 경우 황토와 규조토의 비율에 따른 강도변화는 규조토의 함량을 30%로 하고 5%간격으로 황토로 치환한 경우에 강도변화를 조사한 것이다.

Table 13에서 BA-486, 487, 488. 황토가 규조토 보다 많으면 강도가 저하하는 것으로 나타났으며 황토가 전혀 첨가되지 않은 경우에도 BA-482의 경우 압축강도는 $46\text{kg}/\text{cm}^2$ 정도로 높게 나타나고 있다.

따라서 황토의 함량이 많을 때에 autoclave양생에서 낮은 압축강도를 저온의 fume양생으로 압축강도를 높이하고자 할 때에는 silica-fume을 5%첨가하는 것이 효과적인 방법이다.

autoclave양생이나 fume양생의 경우 모두 규조토의 함량에 대한 강도변화 보다는 황토의 함량에 따른 강도 변화가 심하며, Table. 6를 보면 황토의 함량이 25%로 높고 silica-fume을 5% 첨가한 조건의 경우인 BA-494는 autoclave양생이나 fume양생의 경우 모두 압축강도는 $50\text{kg}/\text{cm}^2$ 부근으로 양호한 특성을 나타낸다.

fume양생의 경우 모두 압축강도의 변화는 완만하게 변화하고 특히 황토의 함량증가에 따른 적지만 약간씩 증가하는 현상으로 나타나고 있다.

나. 부피비중 및 흡수율

Table. 26, Fig. 10과 11은 부피비중과 흡수율을 측정한 결과로서 부피비중과 흡수율은 상반되는 결과로 나타나는 것은 일반적인 특성이며, 양생방법에 따른 분류하면 fume양생이 모두 높게 나타나고 autoclave양생은 모두 낮게 나타났다.

이것은 autoclave양생인 경우 충분한 잠재수경성 반응이 일어나 강도발현과 미세한 silica-fume 및 규조토의 SiO₂부분이 반응에 참여함으로서 부피비중을 낮추고 흡수율을 증가시킨 것으로 보인다.

반면에 fume양생의 경우는 낮은 온도의 양생조건으로서 미 반응의 실리카(SiO₂) 및 잠재수경성 원료가 잔존하는 것으로 사료된다.

반응 및 측정결과는 부피비중이 가장 높은 silica-fume 첨가배합 fume양생, 황토와 규조토 fume, 황토와 규조토autoclave, silica-fume autoclave양생의 순으로 나타났으며, 흡수율은 역순으로 나타났다.

다. 유동성 및 기타조건 고찰

fume양생의 경우 필요한 압축강도를 유도하기 위하여 silica-fume을 첨가하여 반응을 시키려고 하였으나 예비실험에서 그 결과는 Table 20.과 같이 압축강도는 21.0kg/cm²에서 30.6kg/cm² 정도의 미진하였다.

따라서 양생시간을 기존의 24시간 80℃에서 48시간 80℃로 유지시킨 결과 압축강도가 fume양생의 경우에도 36.2kg/cm²에서 50.2kg/cm²정도 까지로 발현되었다.

silica-fume을 첨가하는 배합Table 14.에서 첨가수량은 기존의 60%로 할 경우는 유동성이 없어 작업이 곤란하여 65%로 하여 실험을 실시한 결과 양호하였으며, 그 때의 유동성은 Fig. 12와 같이 나타났다.

5. 양생조건과 황토와 규조토의 혼합비율 및 silica-fume 첨가에 따른 미세구조변화

가. 고온고압의 autoclave양생 결정 미세구조

autoclave를 이용하여 황토경량기포 콘크리트의 제조조건은 1차년도, 2차년도의 시험 결과에 따라 황토 및 규조토의 첨가 비율별 특성은 정리되었다.

그림 13, 14, 15.는 황토-슬래그계 경량기포콘크리트 경화체의 미세구조 사진을 나타내었다. 그림 15의 경우는 황토를 사용하여 시편을 제작하였고 습윤 증기양생한 미세구조 사진이다. 그림 13은 규조토를 사용하여 시편을 제작하였고 모두 증기 양생한 미세구조 사진이다. 이때 결정상의 형상은 고온고압의 autoclave양생인 경우는 선명하게 배율이 커질수록 결정상의 차이가 확연하며 황토와 규조토를 습윤 증기양생을 하였을 경우 원료광물이 일부만이 반응을 하지 않고 원래의 구상모양의 황토와 판상모양의 규조토가 그대로 유지하고 있음을 볼 수 있다.

이에 반해 황토와 규조토를 1:1로 배합한 경화체의 경우 그림 14.에서 보이는 것과 같이 침상결정이 양호한 tobermorite상과 C-S-H상(ettringite)의 발생이 현저히 증가하는 것을 볼 수 있다.

autoclave양생한 미세구조 사진에서 확인할 수 있는 강도증진의 원인은 침상결정 양호한 tobermorite상과 C-S-H상(ettringite), CSH(I) 이나 CSH(II)상이 증기 양생을 한 시편은 생성된 ettringite 사이를 C-S-H상이 채우면서 치밀화를 수반하여 강도의 증진을 이루는 것이나 구형표면 주변에 일부의 tobermorite상과 C-S-H상(ettringite), CSH(I) 이나 CSH(II)상이 있으며, 섬유상의 조직이 강도증진의 요인으로 볼 수 있다. (그림 13, 14, 15 참조)

나. fume의 습윤 증기양생 결정 미세구조

습윤 증기양생한 필요 압축강도 및 물리적인 특성은 앞에서 검토한 결과는 고온고압의 autoclave양생 결정 미세구조와 전혀 다른 미세결정을 나타내고 있다. 특히 규조토의 함량이 많은 배합(BA-482)의 경우에서 규조토가 첨가되지 않은 배합(BA-488)과는 많은 차이를 볼 수 있다.

규조토의 반응은 황토의 반응보다는 활발한 반응이 표면에서 나타나고 있으나 앞에서 검토한 고온고압의 autoclave양생 결정과는 fume의 습윤 증기양생은 황토의 함량이 늘어남으로서 미 반응의 quartz상이 보이며, 결정의 형태도 경화체의 표면에서는 C-S-H gel을 관찰하기 어렵다. 내부에서 생성되는 C-S-H gel의 형상도 섬유상이 아닌 망목상으로 나타나고 있으며, 상의 생성도 부분적으로 뭉쳐있는 형태를 보이고 있어 강도의 발현에는

좋지 않은 것으로 판단된다.

황토는 규조토의 수화반응을 촉진하는 역할을 하고 있음을 알 수 있으며, 규조토와 황토를 혼합하여 사용하는 것이 강도증진을 위하여 좋은 것은 1차, 2차년도 보고서에서 이미 언급을 하였다.

다. silica-fume을 첨가한 fume의 습윤 증기양생 결정 미세구조

습윤 증기양생하여 필요 압축강도 및 물리적인 특성은 고온고압의 autoclave 양생인 경우는 물리적인 특성과 결정상의 차이를 나타내는 것을 대체하기 위한 silica-fume을 첨가하여 물리적인 특성을 보완하고자 하였다.

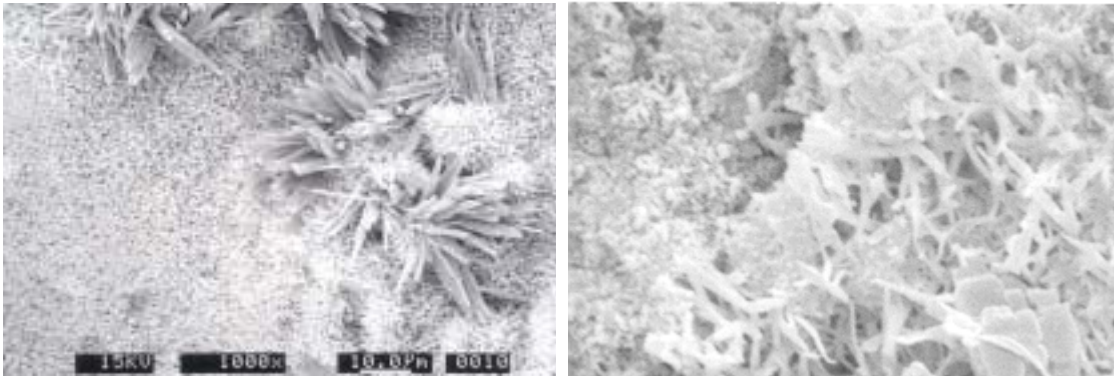
황토와 규조토를 습윤 증기양생을 하였을 경우 silica-fume을 각 배합에 5%를 첨가하여 특성을 고찰하면 규조토가 없고 황토의 배합인 BA-488의 경우 그림 23에 나타나는 것과 같이 황토의 표면에서 생성되는 C-S-H gel의 형상도 섬유상이 아닌 망목상으로 그 결정도가 낮다.

그러나 silica-fume이 5%첨가되고 규조토함량이 늘어나는 BA-489에서 BA-495의 경우 결정상이 변화하는 것을 SEM사진으로 확인 할수 있으며, 규조토의 함량이 15%에서 25%일 때 silica-fume이 5%첨가된 조건에서는 C-S-H상(ettringite), CSH(I) 이나 CSH(II)상이 증기 양생을 한 시편은 생성된 ettringite 사이를 C-S-H상이 채우면서 치밀화를 선명하게 보이며, 강도의 증진으로 연결되는 것은 그림 9와 Table 26.에서 나타나 있다.

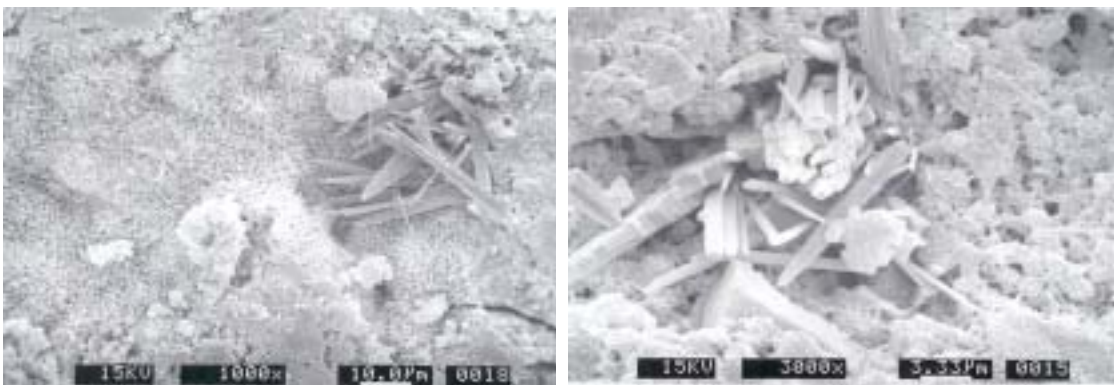
경화체의 표면에서는 C-S-H gel을 관찰하기 어렵다. 내부에서 생성되는 C-S-H gel의 형상도 섬유상이 아닌 망목상으로 나타나고 있으며, 상의 생성도 부분적으로 뭉쳐있는 형태를 보이고 있어 강도의 발현에는 좋지 않은 것으로 판단된다.

그림 23.에서 그림 30.까지의 silica-fume의 첨가에 의한 결정은 미세구조 SEM사진을 나타내었다.

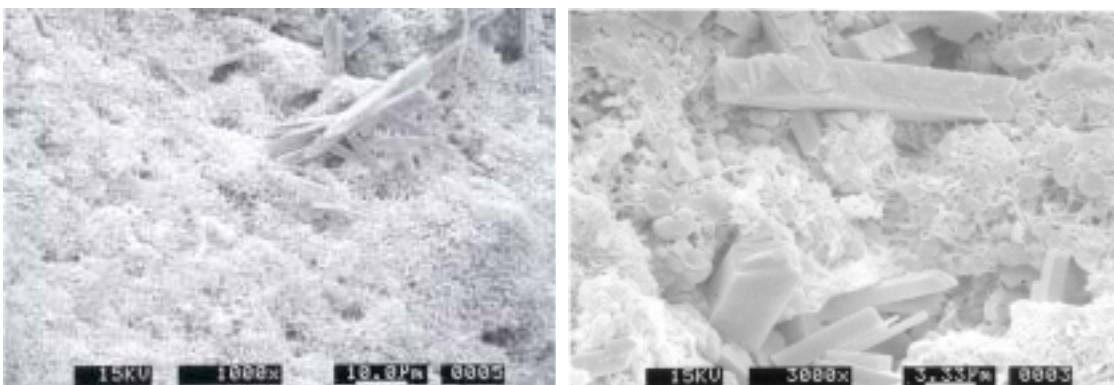
전체적으로 미세한 비정질의 silica-fume은 황토 및 규조토의 표면에서 반응을 촉진시키며, 따라서 C-S-H상(ettringite), CSH(I) 이나 CSH(II)상이 형성되었지만 autoclave 양생한 미세구조와는 결정 자체가 autoclave 양생한 미세구조는 tobermorite상이며, fume 양생은 C-S-H상(ettringite), CSH(I) 이나 CSH(II)상이 대부분이었다.



(a)

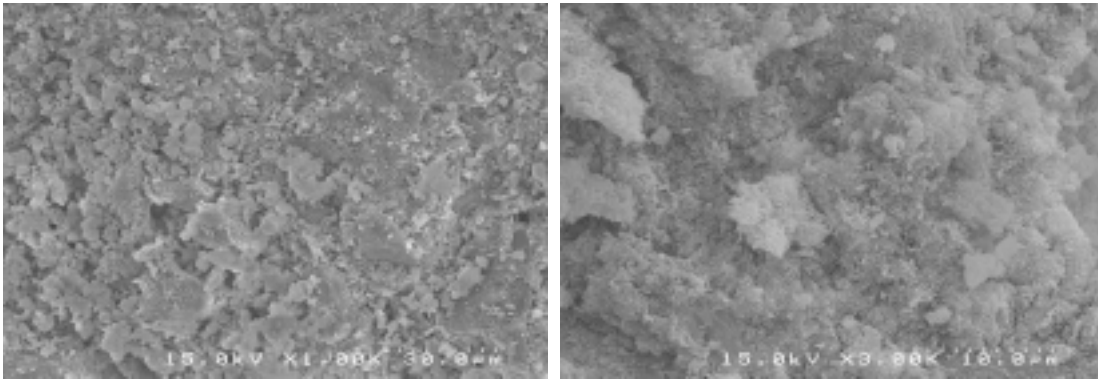


(b)

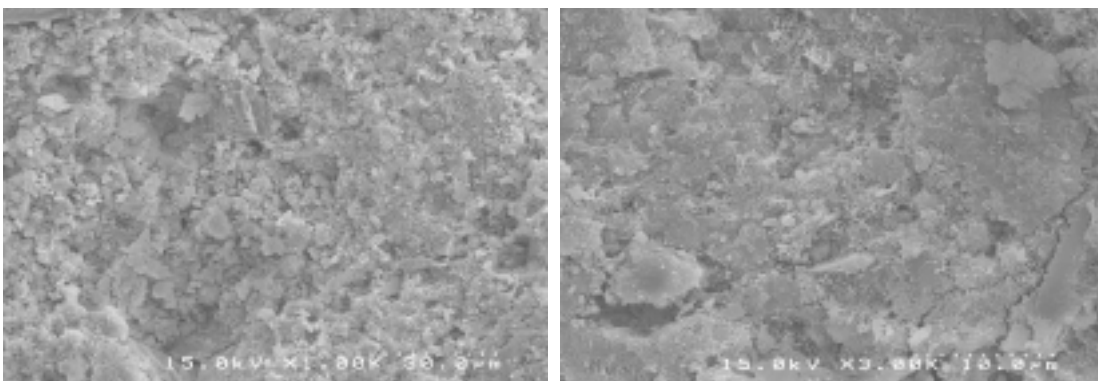


(c)

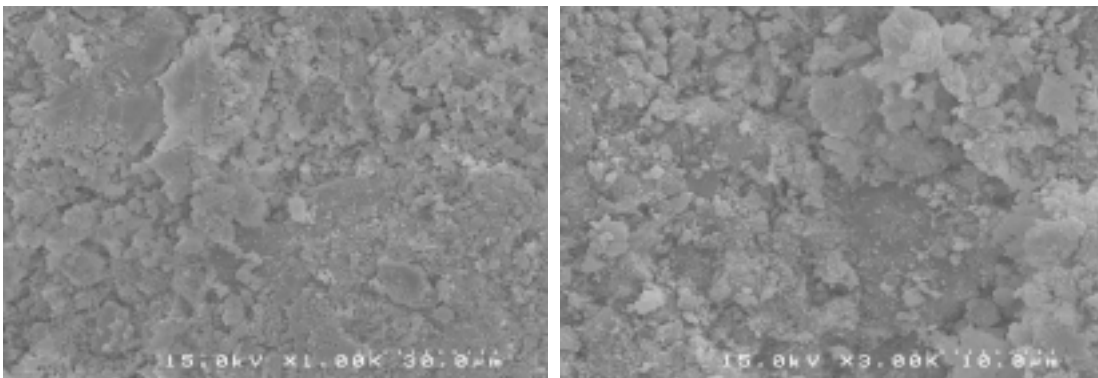
Fig. 13. SEM photomicrograph of autoclaved ALC; (a) 30 wt.% of diatomite (b) 15 wt.% diatomite and 15 wt% Hwangto mixture, (c) 30 wt.% Hwangto.



(a)

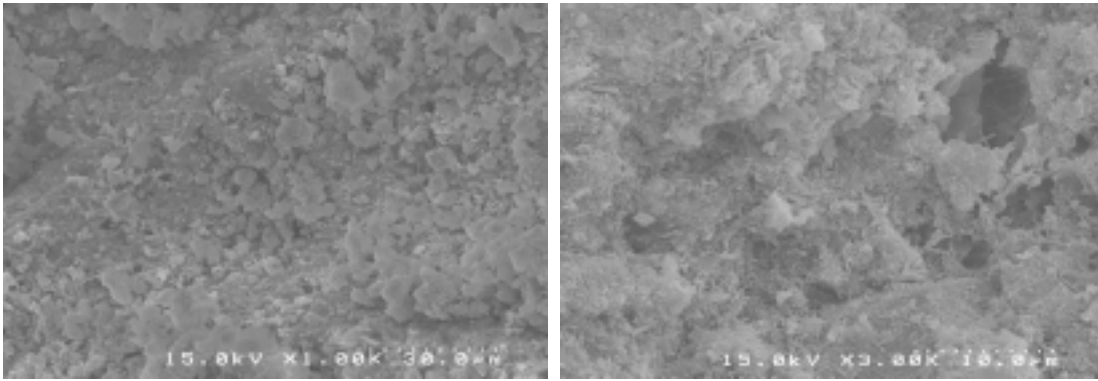


(b)

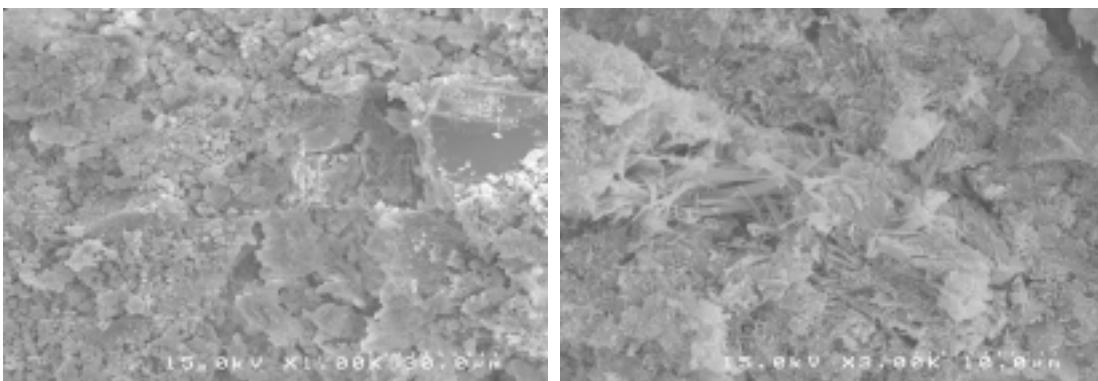


(c)

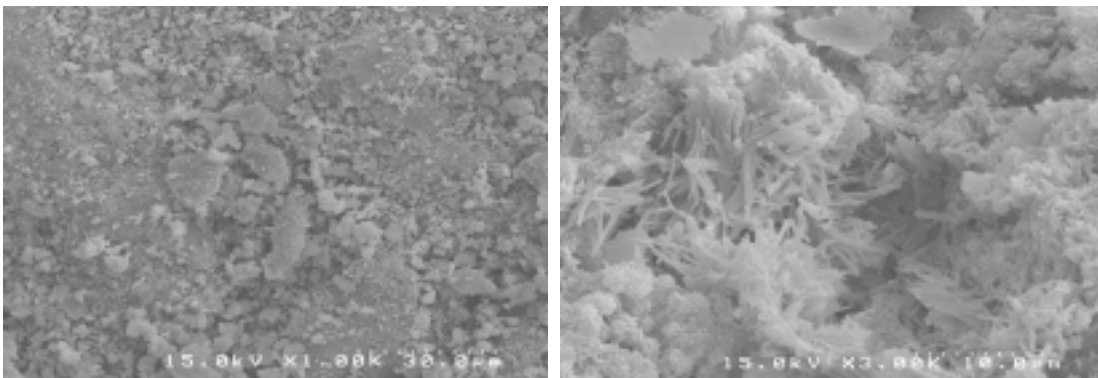
Fig. 14(A). SEM photomicrograph of fume cured ALC; (a) 30 wt.% of diatomite, (b) 25 wt.% diatomite and 5 wt.% Hwangto, (c) 20 wt.% diatomite and 10 wt.% Hwangto.



(d)

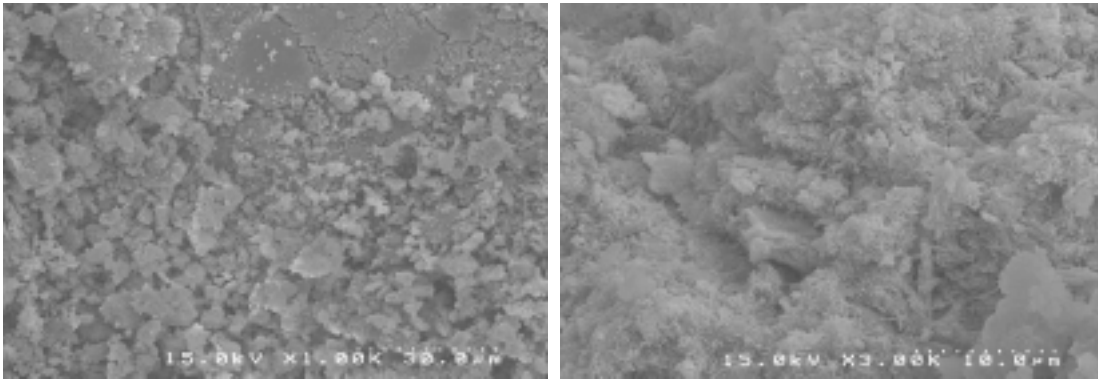


(e)



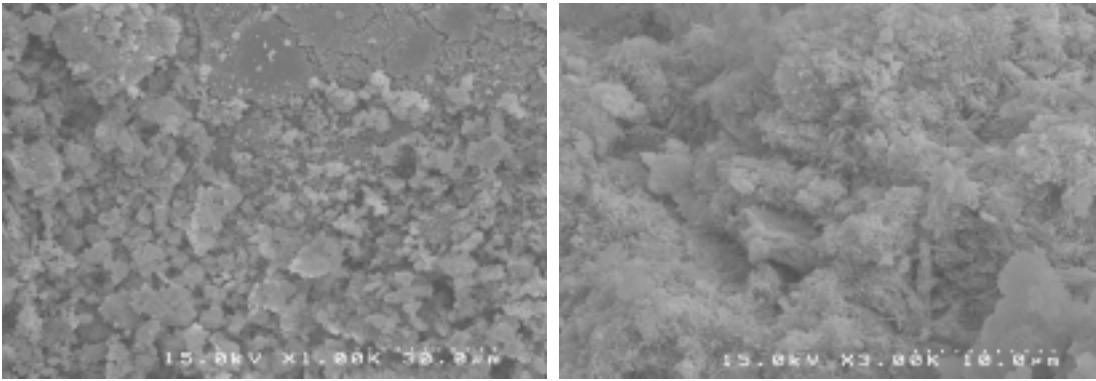
(f)

Fig. 14(B). SEM photomicrograph of fume cured ALC; (d) 15 wt.% diatomite and 15 wt.% Hwangto, (e) 10 wt.% diatomite and 20 wt% Hwangto, (f) 5 wt.% diatomite and 25 wt% Hwangto.

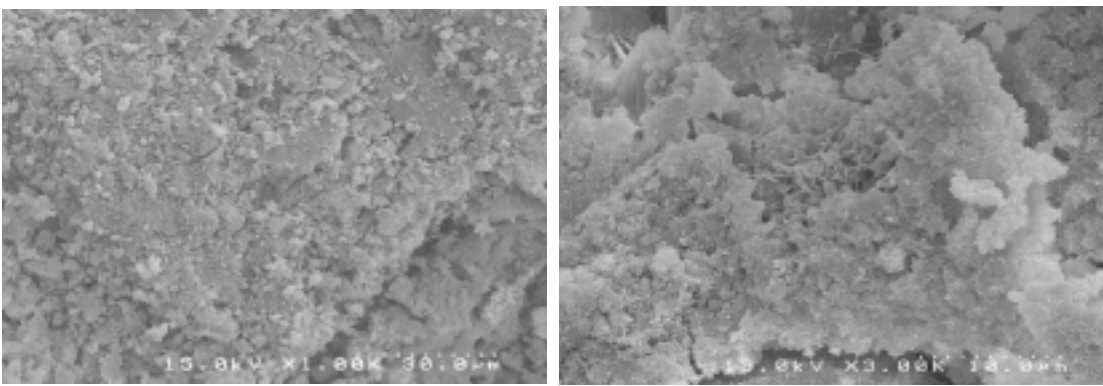


(g)

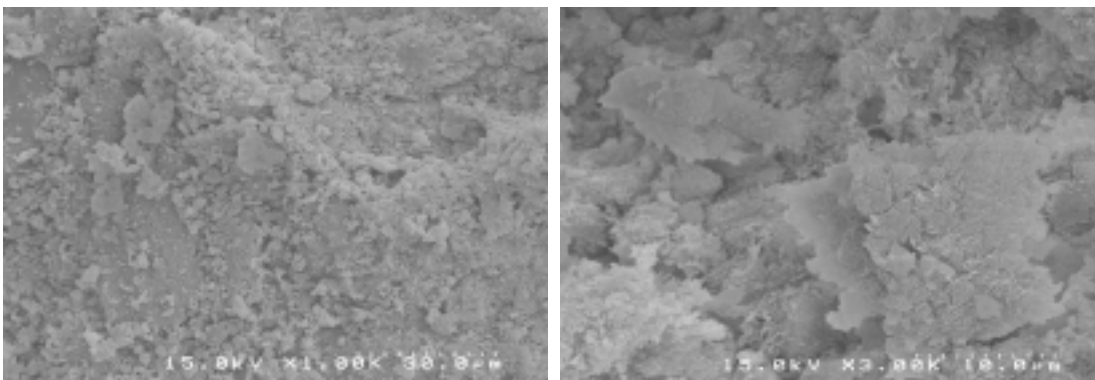
Fig. 14(C). SEM photomicrograph of fume cured ALC; (g) 30 wt% Hwangto.



(a)

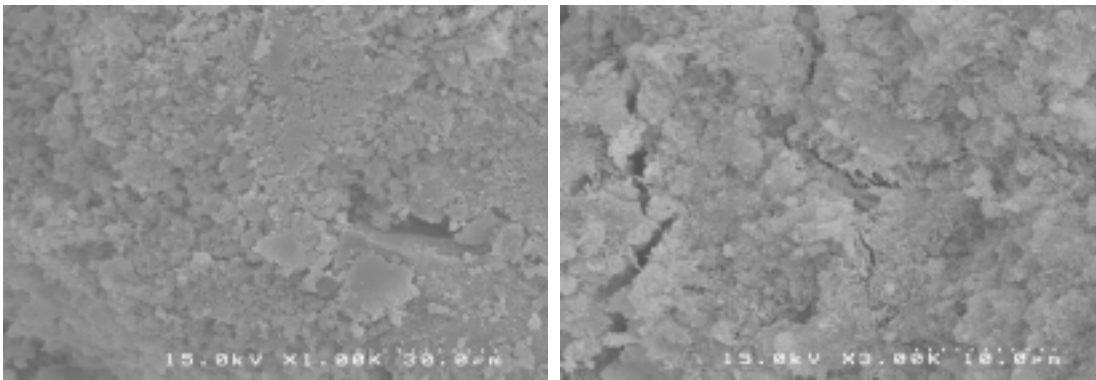


(b)

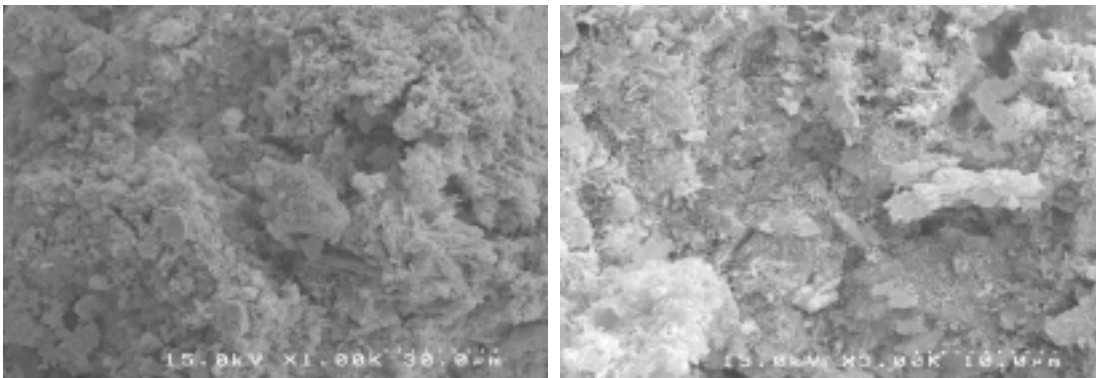


(c)

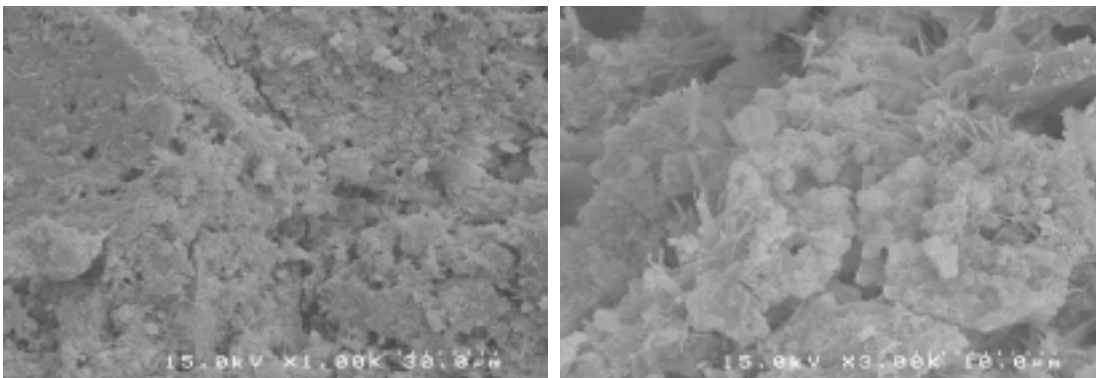
Fig. 15(A). SEM photomicrograph of fume cured ALC with or without silica fume; (a) 30 wt.% of Hwangto, (b) 25 wt.% Hwangto and 5 wt% silica fume, (c) 20 wt.% Hwangto, 5 wt.% diatomite and 5 wt% silica fume.



(d)

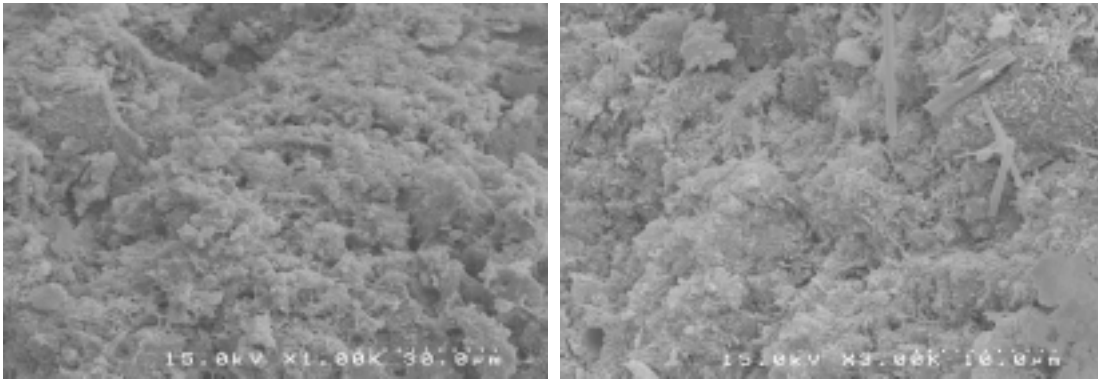


(e)

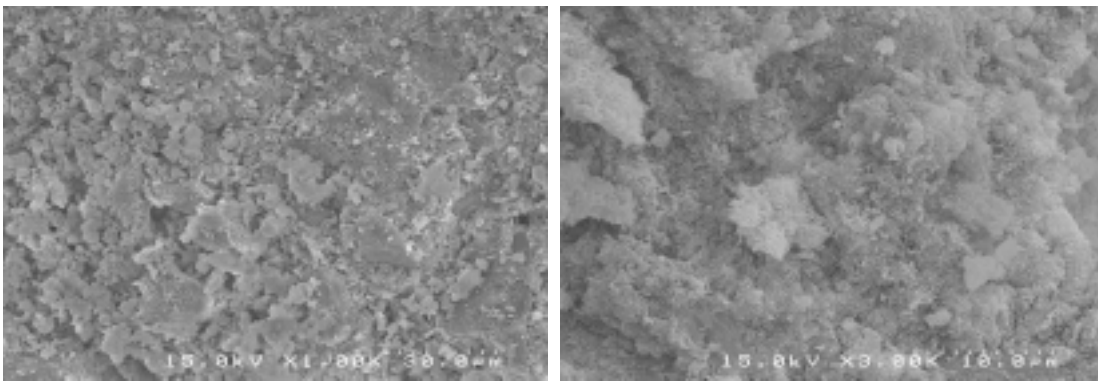


(f)

Fig. 15(B). SEM photomicrograph of fume cured ALC with or without silica fume: (d) 15 wt.% of Hwangto, 10 wt.% diatomite, and 5 wt.% silica fume (e) 12.5 wt.% Hwangto, 12.5 wt.% diatomite, and 5 wt.% silica fume, (f) 10 wt.% Hwangto, 15 wt.% diatomite, and 5 wt.% silica fume.



(g)



(h)

Fig. 15(C). SEM photomicrograph of fume cured ALC with or without silica fume; (g) 5 wt.% of Hwangto, 20 wt.% diatomite, and 5 wt.% silica fume, (h) 25 wt.% diatomite and 5 wt% silica fume.

6. 양생조건과 황토와 규조토의 혼합비율 및 silica-fume 첨가에 따른 결정상변화

1차년도, 2차년도의 autoclave 양생에 의한 황토경량기포 콘크리트 결정상의 XRD 분석은 그림 31에 나타난것과 같이 결정이 양호한 tobermorite상과 C-S-H상(ettringite)의 발생 CSH(I) 이나 CSH(II)상과 C-S-H gel 상이 선명하게 나타난다.

그러나 fume의 습윤 증기양생으로 autoclave 양생의 효과를 즉 목표 압축강도를 얻고자 각각의 황토와 규조토의 배합비율 변경 및 silica-fume을 첨가하여 수화반응을 촉진하고자 하였다.

그림 32, 33.은 fume양생으로 제조한 황토 경량기포콘크리트의 X-선 회절분석으로 결정상을 고찰하였으나, SEM과 같이 선명한 결과는 없었으나 규조토와 황토의 혼합비율에 의한 X-선 회절분석의 결정상은 거의 같은 결과로 나타났다.(그림 32 참조)

silica-fume의 첨가배합 BA-489에서 BA-495의 경우는 X-선의 pattern은 같으나, 2θ 값이 25.34°일 때 intensity가 높은 것이 BA-489, 492, 493배합에서 나타났다.

이 결정상은 C-S-H gel 상으로서 보이며, silica-fume이 첨가된 다른 배합도 나타났지만 보다 특이하게 intensity가 높았으며, 앞에서 살펴본 SEM의 결과에서도 결정상을 확인 할 수 있었다.

이러한 현상은 silica-fume의 결정이 황토와 규조토의 표면에 coating되어 반응한 것으로 볼 수 있으며 왜냐하면 동일한 첨가량과 반응의 조건이 일괄성이 없기 때문이다.

하지만 silica-fume의 첨가에 의한 반응의 촉진 상태는 X-선 회절분석과 SEM사진으로도 판정할 수 있을 정도의 결정상을 확인 할 수 있었으며, autoclave 양생에 의한 황토 경량기포 콘크리트 결정상의 XRD 와 차이점은 미 반응의 실리카 성분이 잔량으로 남은 것을 X-선 회절분석과 SEM사진으로도 확인하였으나 건자재로서의 필요한 압축강도와 물리적 특성은 유지하는 것으로 본다.

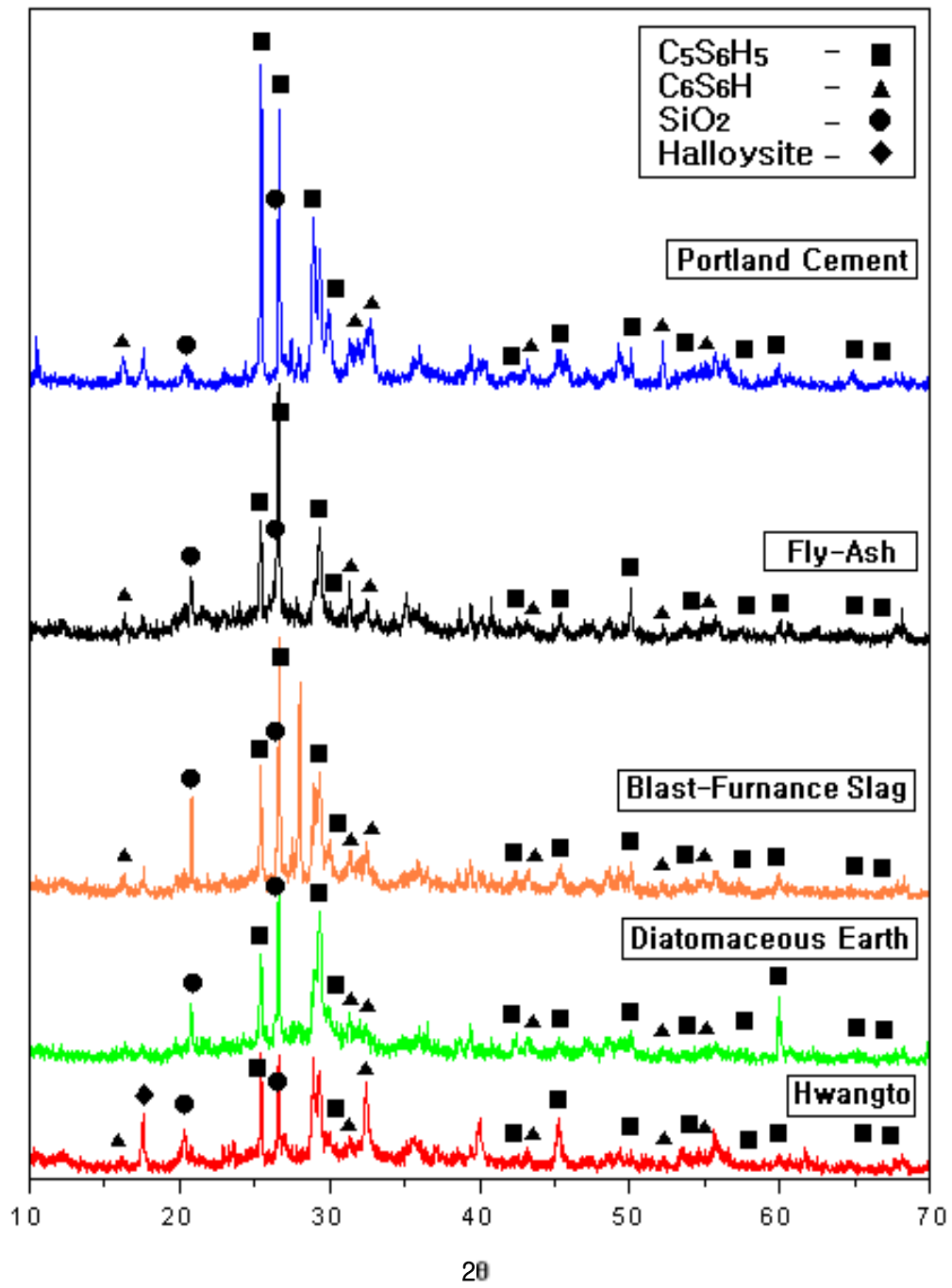


Fig. 16. The change of XRD patterns of the autoclaved ALC according to the mixing ratio of Hwangto and diatomite.

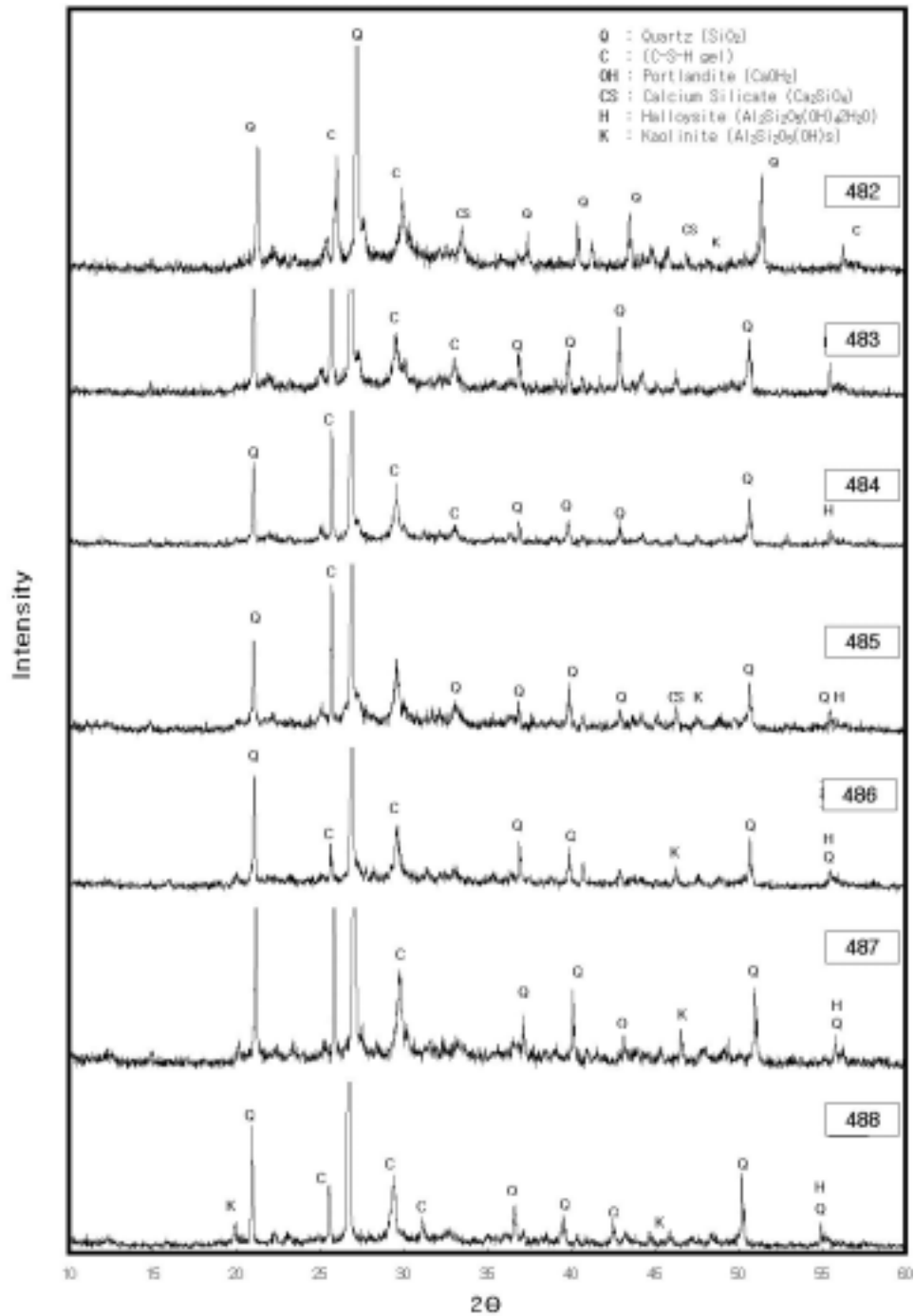


Fig. 17. The change of XRD patterns of autoclaved ALC according to the mixing ratio of Hwangto and diatomite with 5 wt.% of silica fume.

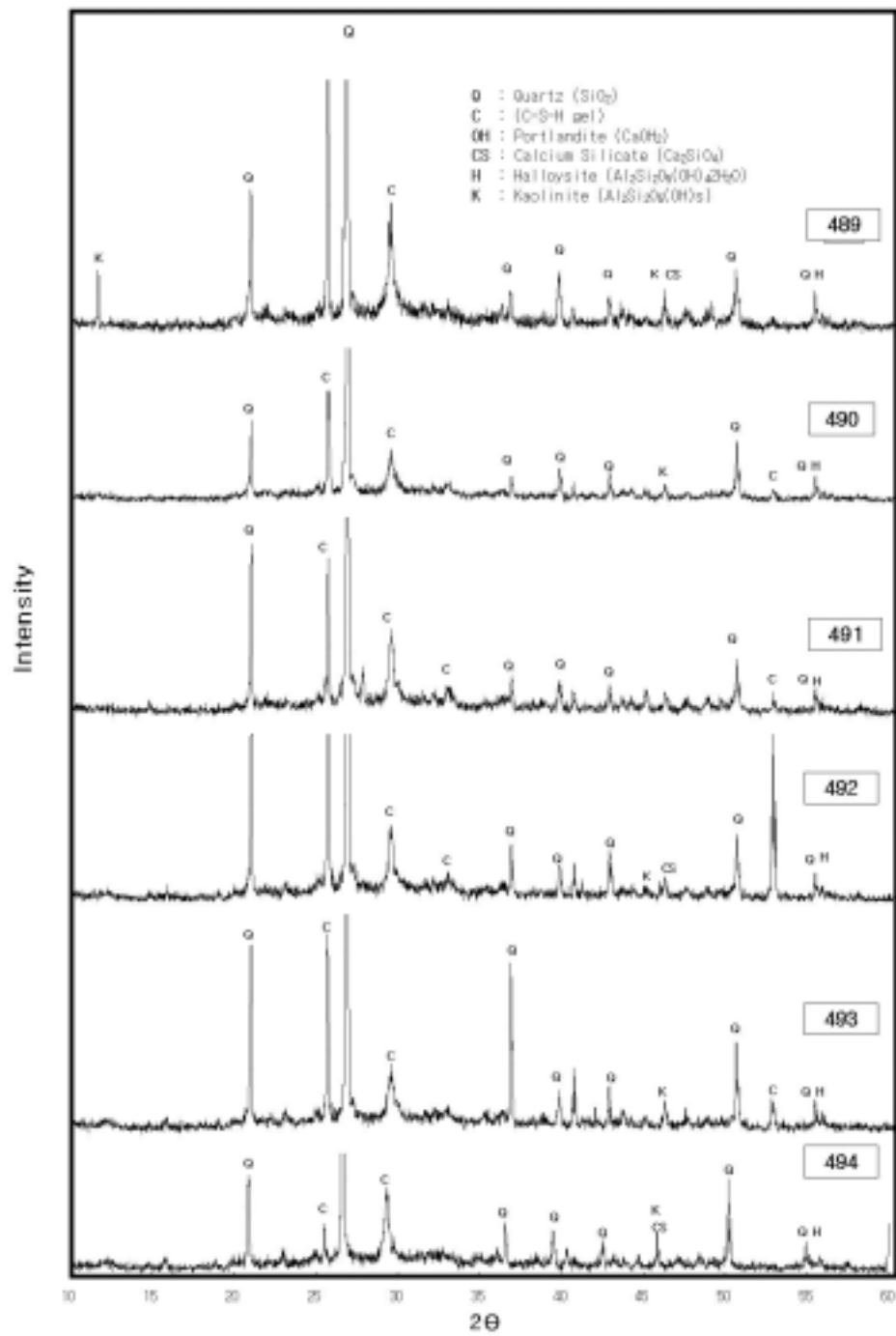


Fig. 18. The change of XRD patterns of the fume cured ALC according to the mixing ratio of Hwangto and diatomite.

7. 저장중 과채류의 품질변화

가. 중량손실율

대조구와 원적외선 방사체 시험저장구에서의 방울토마토, 오이, 단감, 호박, 밀감 및 사과 등의 중량손실율은 각각 Table 27-1~Table 27-6에서 보는 바와 같이, 저장기간이 경과할수록 중량손실율이 증가하였으며, 습도조절이 가능한 원적외선 방사체 저장고 시험구에서의 중량손실율이 낮게 나타났다. 방울토마토의 경우, 저장 15일후, 저장중 중량손실율이 대조구 17.25%, 원적외선 방사체 시설 저장시험구 11.37%로 나타나 원적외선 방사체 시설 저장시험구의 경우, 대조구에 비하여 중량손실율이 크게 감소함을 알 수 있었다. 오이의 경우, 저장 15일후, 대조구 13.87%, 원적외선 방사체 시설 저장시험구 7.01%, 단감은 대조구 6.67%, 원적외선 방사체 시설 저장시험구 3.92%, 호박은 저장 15일후 대조구 10.83%, 원적외선 방사체 시설 저장시험구 6.45%, 밀감은 저장 35일후 대조구 10.78%, 원적외선 방사체 시설 저장시험구 8.90%, 아울러, 사과의 경우, 저장 150일후 대조구 22.5%, 원적외선 방사체 시설 저장시험구 15.21%로 나타나 공통적으로 과채류의 저장중 중량손실율은 대조구에 비하여 원적외선 방사체 시설 저장시험구의 경우, 과채류의 수분손실을 방지하여 중량손실율이 크게 감소함을 확인할 수 있었다.

Table 27-1. Changes in weight loss(%) of cherry tomatoes stored at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	3	6	9	12	15
Control	0	0.47	1.80	8.47	9.95	17.25
Far-infrared radiated	0	0.38	1.42	5.82	6.16	11.37

Table 27-2. Changes in weight loss(%) of cucumbers stored at 10°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	3	6	9	12	15
Control	0	2.26	4.19	5.67	8.43	13.87
Far-infrared radiated	0	1.52	1.50	3.01	5.99	7.01

Table 27-3. Changes in weight loss(%) of sweet persimmons stored at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	7	14	21	28	35
Control	0	1.61	3.20	3.12	4.40	6.67
Far-infrared radiated	0	1.03	2.16	2.55	3.62	3.92

Table 27-4. Changes in weight loss(%) of zucchinis stored at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	3	6	9	12	15
Control	0	2.12	4.88	5.11	8.84	10.83
Far-infrared radiated	0	1.61	2.29	4.04	6.31	6.45

Table 27-5. Changes in weight loss(%) of mandarin oranges stored at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	7	14	21	28	35
Control	0	0.95	4.12	4.87	6.79	10.78
Far-infrared radiated	0	1.52	1.82	2.12	6.31	8.90

Table 27-6. Changes in weight loss(%) of apples stored at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	30	60	90	120	150
Control	0	3.06	5.77	10.23	14.22	22.54
Far-infrared radiated	0	0.64	2.35	5.24	10.22	15.21

나. pH

원적외선 방사체 시설물을 실내에 설치하여 준비된 저온실과 대조구 저온실에 각각의 과채류를 일정기간동안 저장한 후, 과채류를 채취하여 stomacher로 으깨고 여과하여 얻어진 과채즙의 pH를 측정된 결과는 Table 28-1~Table 28-6과 같다. 즉, 방울토마토의 경우, 저장기간이 진행될수록 대조구 및 원적외선 방사체 시설 저장시험구 모두 저장기간이 길어질수록 pH가 낮아지는 것으로 나타났으며, 대조구보다 원적외선 방사체 시설 저장시험구의 경우, pH강하속도가 둔화되어 저장초기 pH 4.43에서 저장 15일후 대조구 pH 3.31, 원적외선 방사체 시설 저장시험구 pH 4.02로 나타났다. 오이의 경우에도 저장기간중 pH는 계속 낮아지는 경향을 보였으며, 저장 15일후 대조구의 오이는 pH 6.4에서 pH 5.02로 낮아진 반면, 원적외선 방사체 시설 저장시험구의 오이는 pH 5.56으로 다소 높은 pH값을 보였다. 단감의 경우, 저장 35일까지 대조구는 pH가 계속 감소하여 pH 6.08에서 pH 4.11로 낮아졌으나 원적외선 방사체 시설 저장시험구의 단감은 저장 14일까지 pH 5.06으로 낮아지

다가 그 이후 증가하여 저장 35일 후 pH 5.62를 나타내었다. 호박의 경우, 대조구와 원적외선 방사체 시설 저장시험구 모두 저장 9일까지 pH 6.98에서 각각 pH 5.81 및 pH 6.01로 낮아지다가 이후 증가하여 저장 15일째 대조구 pH 6.12, 원적외선 방사체 시설 저장시험구 pH 6.34로 나타났다. 밀감은 대조구 및 원적외선 방사체 시설 저장시험구 모두 저장 35일까지 pH는 낮아져서 대조구는 pH 4.21에서 pH 3.11로, 원적외선 방사체 시설 저장시험구 밀감은 pH 3.20으로 나타났다. 한편, 사과와의 경우, 150일 저장하는 동안, 대조구는 pH 3.45에서 pH 3.91로, 원적외선 방사체 시설 저장시험구 사과의 경우, pH 3.63으로 그 증가속도가 둔화된 것으로 나타났다.

Table 28-1. Changes in pH of cherry tomatoes stored at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	3	6	9	12	15
Control	4.43	4.48	4.12	3.31	4.05	3.95
Far-infrared radiated	4.43	4.47	4.52	4.12	4.58	4.02

Table 28-2. Changes in pH of cucumbers stored at 10°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	3	6	9	12	15
Control	6.64	6.44	5.78	5.65	5.18	5.02
Far-infrared radiated	6.64	6.12	5.82	5.73	5.58	5.56

Table 28-3. Changes in pH of sweet persimmons stored at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	7	14	21	28	35
Control	6.08	5.85	5.49	5.34	4.65	4.11
Far-infrared radiated	6.08	5.77	5.06	5.25	5.37	5.62

Table 28-4. Changes in pH of zucchinis stored at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	3	6	9	12	15
Control	6.98	6.53	6.31	5.81	6.02	6.12
Far-infrared radiated	6.98	6.81	6.42	6.01	6.08	6.34

Table 28-5. Changes in pH of mandarin oranges stored at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	7	14	21	28	35
Control	4.21	4.38	3.69	3.25	3.20	3.11
Far-infrared radiated	4.21	4.36	4.26	3.74	3.33	3.20

Table 28-6 . Changes in pH of apples stored at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	30	60	90	120	150
Control	3.45	3.54	3.69	3.75	3.79	3.91
Far-infrared radiated	3.45	3.45	3.45	3.55	3.62	3.63

다. Ascorbic acid 함량

저장기간별 과채류의 ascorbic acid 함량변화는 Table 29-1~Table 29-6에서 보는 바와 같다. 즉, 모든 시험구에서 저장기간이 길어질수록, 과채류의 ascorbic acid함량은 감소하였으며 원적외선 방사체 시설내에 저장한 과채류는 대조구 과채류에 비하여 감소율이 낮게 나타나, 저장중 과채류 ascorbic acid성분의 파괴 및 손실비율이 상대적으로 감소함을 암시해 주었다. 방울토마토의 경우, 저장초기 14.59mg%의 ascorbic acid함량이 저장 15일까지 지속적으로 감소하여 대조구 10.99mg%, 원적외선 방사체 시설 저장시험구 12.45mg%로 나타나 대조구는 저장 15일만에 ascorbic acid 함량이 저장초기의 24.6% 감소한 반면, 원적외선 방사체 시설 저장시험구는 저장초기의 14.7% 감소한 것으로 나타났다. 한편, 오이를 15일간 저장하는 경우, 대조구는 6.40mg%에서 3.41mg%로 46.7%정도의 ascorbic acid함량 감소를 유발하였으나, 원적외선 방사체내에 저장한 경우, 4.55mg%로 28.9%정도의 감소를 보였다. 저장 35일경 대조구 단감의 경우, 4.05mg%로 저장초기보다 34.6%의 함량이 감소한 것으로 나타난 반면, 원적외선 방사체내의 저장시험구의 경우, 5.10mg%로 저장초기의 17.6%에 해당하는 ascorbic acid함량 감소를 보여, 과채류를 원적외선 방사체내에 저장하는 경우, 영양소파괴를 최소화할 수 있는 것으로 예시되었다. 아울러, 호박의 경우도 15일간 저장하는 경우, 대조구는 ascorbic acid함량이 12.55mg%에서 6.05mg%로 51.8%정도 감소하였으나 원적외선 방사체 시험구의 경우 10.99mg%로 12.4%정도의 감소율을 보였다. 마찬가지로, 밀감의 경우, 35일 저장하는 동안 저장초기의 ascorbic acid함량에 대하여 대조구 40.6%, 원적외선 방사체 시설 저장시험구 24.6%정도 감소하고, 150일간 저장한 사과와 감의 경우, 대조구 30.5%, 원적외선 방사체 시설 저장시험구 22.2%로 나타났다. 결과적으로, 원적외선 방사체 시설에 과채류를 일정기간동안 저장함으로써 일반 저온저장고인 대조구에 비하여 ascorbic acid함량의 감소를 낮은 비율로 억제할 수 있었다.

Table 29-1. Changes in ascorbic acid content(mg%) of cherry tomatoes stored at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	3	6	9	12	15
Control	14.59	13.27	10.33	12.58	10.84	10.99
Far-infrared radiated	14.59	14.41	13.20	13.69	12.76	12.45

Table 29-2. Changes in ascorbic acid content(mg%) of cucumbers stored at 10°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	3	6	9	12	15
Control	6.40	5.53	4.92	4.14	3.50	3.41
Far-infrared radiated	6.40	6.06	5.86	5.03	4.76	4.55

Table 29-3. Changes in ascorbic acid content(mg%) of sweet persimmons stored at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	7	14	21	28	35
Control	6.19	5.55	4.89	4.45	4.18	4.05
Far-infrared radiated	6.19	6.10	5.73	5.39	5.16	5.10

Table 29-4. Changes in ascorbic acid content(mg%) of zucchinis stored at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	3	6	9	12	15
Control	12.55	10.35	9.35	7.58	7.08	6.05
Far-infrared radiated	12.55	1.265	11.01	10.76	10.28	10.99

Table 29-5. Changes in ascorbic acid content(mg%) of mandarin orange stored at 5°C under 80% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	7	14	21	28	35
Control	37.01	36.28	29.65	26.89	25.28	21.98
Far-infrared radiated	3.701	30.77	30.20	29.00	27.99	27.91

Table 29-6. Changes in ascorbic acid content(mg%) of apples stored at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	30	60	90	120	150
Control	7.84	7.26	6.95	7.12	6.56	5.45
Far-infrared radiated	7.84	7.23	7.15	7.12	6.69	6.10

라. 총균수

저장기간별 과채류의 오염미생물의 총균수를 측정한 결과는 Table 30-1~Table 30-6과 같다. 즉, 방울토마토, 오이, 단감, 호박, 밀감 및 사과 등 모든 과채류를 원적외선 방사체 저장고에 저장한 경우, 오염미생물의 총균수가 낮게 나타났다. 따라서, 오염미생물에 의한 과채류의 변패현상을 방지하기 위하여서도 습도조절기능을 가진 원적외선 방사체 시설 내의 과채류 저장방법이 선도유지수단으로 적절함을 확인할 수 있었다.

Table 30-1. Changes in microbial colony count [log(cfu/g)] on cherry tomatoes stored at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	3	6	9	12	15
Control	0.10	0.20	2.15	3.65	4.55	5.65
Far-infrared radiated	0.10	0.18	0.2.10	3.21	4.16	4.45

Table 30-2. Changes in microbial colony count [log(cfu/g)] on cucumbers stored at 10°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	3	6	9	12	15
Control	1.00	1.20	2.26	2.95	6.69	7.02
Far-infrared radiated	1.00	1.18	1.28	1.79	4.11	5.85

Table 30-3. Changes in microbial colony count [log(cfu/g)] on sweet persimmons stored at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	7	14	21	28	35
Control	0.30	0.43	0.46	0.50	0.75	0.91
Far-infrared radiated	0.30	0.38	0.40	0.42	0.50	0.53

Table 30-4. Changes in microbial colony count [log(cfu/g)] on zucchinis stored at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	3	6	9	12	15
Control	0.30	0.50	0.64	0.86	1.35	1.84
Far-infrared radiated	0.30	0.50	0.56	0.78	1.21	1.67

Table 30-5. Changes in microbial colony count [log(cfu/g)] on mandarin oranges stored at 5°C under 80% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)				
	0	7	14	21	28
Control	0.4	0.47	0.55	0.75	0.86
Far-infrared radiated	0.4	0.467	0.50	0.61	0.69

Table 30-6. Changes in microbial colony count [log(cfu/g)] on apples stored at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	30	60	90	120	150
Control	0.35	1.22	2.65	3.62	5.32	6.32
Far-infrared radiated	0.35	0.75	1.21	1.99	2.11	2.32

마. 표면색도

저장습도별 과채류의 표면색도 변화를 과채류의 종류별로 측정한 결과는 각각 Table 31-1 ~Table 31-6과 같다. 즉, 90% 상대습도, 5°C 또는 10°C에서 저장한 과채류는 저장기간이 경과할수록 과채류의 표면색도는 정도의 차이가 있을 뿐, 전반적으로 저장초기와 다소 다른 색도를 보여, 변패과정을 추정할 수 있는 좋은 지표가 될 수 있었다. 저장기간별 방울토마토의 경우, 대조구와 원적외선 방사체 시설 저장시험구 모두 저장 6일까지 표면색도 L값이 증가하다가 그 이후 감소하는 경향을 보였으며, 전기간동안 대조구보다 원적외선 방사체 시설 저장시험구의 방울토마토가 더 높은 명도 L값을 나타내었다. 적녹색도로 표현되는 a값은 저장기간이 길어질수록 증가하여 적색도가 증가하는 것으로 나타났으며, 대조구보다 원적외선 방사체 시설 저장시험구의 방울토마토가 저장 전기간동안 더 짙은 적색도의 표면색도를 나타내었다. 황청색도를 표시하는 b값은 저장기간이 길어질수록 두 시험구 모두 증가하여 황색도가 커지는 것으로 나타났으며, 이와같은 황색도의 변화는 대조구보다 원적외선 방사체 시설 저장시험구에서 심화되었다. 저장 오이의 경우, 15일간의 저장기간 동안 오이의 표면색도는 대조구나 원적외선 방사체 시설 저장시험구 모두, 저장기간이 길어질수록 L값이 다소 증가하였으며, 원적외선 방사체 시설 저장시험구 에서 저장한 오이의 경우, 대조구에 비하여 a값은 다소 큰 값으로 증가하였으며, b값은 감소하는 정도가 다소 심화된 것으로 나타나 청색도가 증가하는 것으로 변색되는 것을 감지할 수 있었다. 단감의 경우, 대조구는 저장기간 35일동안 단감의 표면색도는 L값이 증가하여 다소 탈색이 진행되는 것을 인지할 수 있었으며, a값이 감소하여 적색도가 낮아지고 b값은 비교적 큰 값으로 감소하였다. 반면, 원적외선 방사체 시험저장구 모두, 저장기간이 길어질수록 L값이 다소 감소하는 것으로 나타나 표면색도가 짙어지는 경향을 보여 주었으며, a값은 대조구와 유사한 비율로 감소하였으며, b값도 감소하는 경향을 나타내었으나 변색정도는 대

조구에 비하여 둔화된 것으로 나타나, 단감의 저장중 표면색도의 변화를 고려할 때, 대조구에 비하여 상품가치면에서 저장효과가 우수함을 확인할 수 있었다. 호박의 경우, 대조구는 저장기간 15일동안 호박의 표면색도는 두시험구 모두 저장 6일까지 L값이 증가하다가 그 이후 감소하는 경향을 보였으며, 두시험구간의 변색정도의 유의성 있는 차이를 보이지 않았다. a값은 대조구의 경우, 계속 증가하였으나 원적외선 방사체 시설 저장시험구 호박은 a값이 지속적으로 다소 감소하였고, b값은 대조구의 경우, 저장기간이 길어질수록 감소한 반면, 원적외선 방사체 시설 저장시험구는 점진적으로 증가하는 것으로 나타났다. 밀감의 경우, 35일간 저장동안 저장기간이 길어질수록 표면색도의 변화는 대조구 및 원적외선 방사체 시설 저장시험구 모두 L값이 약간 감소하는 경향을 보여 주었고, a값은 감소하여 적색비율이 다소 감소하고 녹색비율이 증가하며, b값 또한 증가하는 추세여서 황색변화가 진행되는 것을 알 수 있었으나 원적외선 방사체 시설 저장시험구 밀감의 표면색도에서 황색도를 발현하는 정도나 속도가 약간 촉진되는 것으로 나타났을 뿐, 전반적으로 저장 전기간중, 표면색도의 변화에는 시험구간 유의성 있는 차이가 보이지 않았다. 사과와 호박의 경우, 대조구나 원적외선 방사체 시험구 모두 저장 150일동안 L값이 증가하고 a값이 감소한 반면, b값은 증가하는 경향을 보였으나 저장시험구간에 유의성있는 변화를 관찰할 수 없었다. 단지, 원적외선 방사체 시험구의 경우 a값 변화정도가 대조구의 경우보다 둔화되어 적색도의 퇴색정도가 약화됨을 알 수 있었다.

Table 31-1. Changes in surface color(Hunter system) of cherry tomato at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition		Storage time (days)					
		0	3	6	9	12	15
Control	L	56.30	89.87	99.81	54.72	51.30	41.01
	a	+11.6	+15.42	+18.35	+27.58	+30.14	+37.43
	b	-6.18	+2.48	+6.65	+10.91	+11.20	+15.63
Far-infrared radiated	L	56.30	93.70	102.74	73.89	69.06	60.32
	a	+11.6	+13.12	+30.24	+38.38	+37.54	+45.46
	b	-6.18	+2.80	+8.58	+12.27	+13.85	+18.88

Table 31-2. Changes in surface color(Hunter system) of cucumbers at 10°C under 90% of relative humidity

Storgae Condition		Storage time (days)					
		0	3	6	9	12	15
Control	L	56.06	55.83	59.68	64.31	60.09	68.36
	a	+1.11	+8.23	+9.40	+10.2	+13.39	+16.94
	b	-5.76	-11.17	-4.14	-12.73	-25.87	-29.28
Far-infrared radiated	L	56.06	57.02	60.37	65.98	67.33	56.21
	a	+1.11	+8.88	+9.45	+11.90	+16.18	+21.62
	b	-5.76	-8.18	-13.54	-15.54	-26.38	-29.72

Table 31-3. Changes in surface color(Hunter system) of sweet persimmons at 5°C under 90% of relative humidity

Storgae Condition		Storage time (days)					
		0	7	14	21	28	35
Control	L	87.25	82.25	83.85	89.78	90.03	91.15
	a	+20.41	+15.45	+10.76	+3.48	+4.23	+2.89
	b	+38.26	+20.81	+15.55	+9.42	+5.81	-10.54
Far-infrared radiated	L	87.25	85.75	84.61	79.02	75.59	70.02
	a	+20.41	+17.08	+12.56	+12.54	+11.23	+5.47
	b	+38.26	+24.47	+15.23	+14.04	+8.12	+8.12

Table 31-4. Changes in surface color(Hunter system) of zucchinis stored at 5°C under 80% of relative humidity

Storage Condition		Storage time (days)					
		0	3	6	9	12	15
Control	L	76.75	77.81	79.73	72.78	70.15	53.54
	a	-1.14	-3.69	+3.39	+9.09	+20.24	+17.58
	b	-1.78	-2.41	-3.35	-4.87	-5.67	-6.13
Far-infrared radiated	L	76.75	71.90	80.39	76.92	70.06	57.87
	a	-1.14	-1.02	-2.48	-3.18	-6.99	-14.87
	b	-1.78	-1.54	+2.32	+4.37	+4.95	+5.16

Table 31-5. Changes in surface color(Hunter system) of mandarin orange stored at 5°C under 80% of relative humidity

Storage Condition		Storage time (days)					
		0	7	14	21	28	35
Control	L	97.81	95.67	94.08	93.46	93.27	93.84
	a	+9.43	+6.75	+5.14	+4.17	-5.80	-1.97
	b	-6.06	-6.34	-3.99	-2.48	+2.34	+3.38
Far-infrared radiated	L	97.81	95.12	94.24	93.76	93.36	92.82
	a	+9.43	+9.45	+4.28	+3.13	-5.03	-1.52
	b	-6.06	-5.24	+2.56	+3.45	+8.29	+9.70

Table 31-6. Changes in surface color(Hunter system) of apples at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition		Storage time (days)					
		0	30	60	90	120	150
Control	L	76.29	79.41	79.25	85.36	89.25	88.60
	a	+35.96	+25.32	+25.14	+21.98	+21.26	+20.60
	b	+0.29	+0.72	+0.65	+1.32	+1.23	+1.25
Far-infrared radiated	L	76.29	77.25	78.65	80.26	85.25	89.25
	a	+35.96	+34.77	+30.65	+29.54	+25.11	+25.26
	b	+0.29	+0.41	+0.32	+0.58	+0.95	+1.26

바. 부패율

과채류를 수확후 원적외선 방사체 시설 저온저장고에 저장하면서 과채류 표면에 곰팡이가 오염되거나 연부현상이 발생한 정도를 부패율로 환산한 결과는 Fig. 32-1 ~ Fig. 32-6과 같다. 즉, 과채류별 실험시료의 생산시기, 생산지, 생산품종 등 생산, 유통, 수집조건에 따라 본 실험의 저장시료간 실험결과에 상당한 차이를 보여 주었다. 따라서, 저장초기 과채류별 시료간 다른 저장요인에 의한 오차를 최소화하는 조건(동일산지에서 동일시기에 수확한 동일품종의 균일한 과채류를 비교실험용 시료로 하였음)하에서 저장실험을 수행하였다. 실험결과, 저장실험과채류인 방울토마토, 오이, 단감, 호박, 밀감 및 사과 등의 과채류 모두 저장기간이 길어질수록 부패율이 증가하는 경향을 보였다. 과채류별 저장중 부패율을 측정된 결과, 저장중 과채류별 부패율을 측정된 결과, 15일간 저장한 방울토마토의 경우, 대조구 18.9%, 원적외선 방사체 시설 저장시험구 6.5%, 오이의 경우, 대조구 7.03%, 원적외선 방사체 시설 저장시험구 4.67%, 호박의 경우, 대조구 6.91%, 원적외선 방사체 시설 저장시험구 5.40%로 나타나 원적외선 방사체 시설에 과채류를 저장함으로써 부패율을 낮출 수 있어 저장 과채류의 선도유지기간을 연장할 수 있었다. 35일간 저장한 단감의 경우, 대조구 7.65%, 원적외선 방사체 시설 저장시험구 3.85%의 부패율을 나타냈으며, 밀감의 경우, 대조구 36.25%, 원적외선 방사체 시설 저장시험구 7.56%의 부패율을 보여주었고, 사과의 경우, 60일 동안 저장하여 대조구 3.28%, 원적외선 방사체 시설 저장시험구 2.33%의 부패율이 제시되었고, 150일 동안 저장하였을 때, 대조구 18.19%, 원적외선 방사체 시설 저장시험구 10.65%의 부패율을 보여 주었다.

Table 32-1. Changes in decay ratio(%) of cherry tomatoes stored at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	3	6	9	12	15
Control	0	3.6	5.9	9.6	14.4	18.9
Far-infrared radiated	0	1.1	2.4	3.5	4.9	6.5

Table 32-2. Changes in decay ratio(%) of cucumbers stored at 10°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	3	6	9	12	15
Control	0	1.40	1.95	3.10	3.83	7.03
Far-infrared radiated	0	0.63	1.33	2.23	2.28	4.67

Table 32-3. Changes in decay ratio(%) of sweet persimmons stored at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	7	14	21	28	35
Control	0	1.31	1.86	3.16	4.56	7.65
Far-infrared radiated	0	0.53	1.23	1.81	2.80	3.85

Table 32-4. Changes in decay ratio(%) of zucchinis stored at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	3	6	9	12	15
Control	0	1.12	2.63	3.84	5.62	6.91
Far-infrared radiated	0	0.00	1.96	2.35	3.62	5.40

Table 32-5. Changes in decay ratio(%) of mandarin oranges stored at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	7	14	21	28	35
Control	0	1.65	6.25	9.12	15.65	36.25
Far-infrared radiated	0	1.36	2.21	3.12	6.54	7.56

Table 32-6. Changes in decay ratio(%) of pears stored at 5°C under 90% of relative humidity

Storage Condition	Storage time (days)					
	0	30	60	90	120	150
Control	0	1.70	3.18	7.49	13.72	18.19
Far-infrared radiated	0	1.25	2.33	4.21	8.90	10.65

이상의 연구결과를 토대로 하여 볼 때, 과채류의 냉해(chilling injury) 혹은 변패미생물의 오염도를 최소화할 수 있는 과채류별 최적 온습도조건에서, 습도조절기능을 가지는 원적외

선 방사체로 시설되어 있는 저온저장고내에서 과채류의 대량저장을 도모하는 것은 시설 및 건축상의 경제성이 해결되는 전제하에서 과채류의 선도유지기간을 연장할 수 있는 방법으로 추천될 수 있을 것이다.

제 4 절. 연구의 결론

황토 및 점토광물에 철강 산업 부산물인 슬래그를 혼합, 자극제역할을 하는 소량의 석고와 석회를 혼합하여 압축강도 40kgf/cm^2 이상의 황토 및 점토광물계의 경량기포콘크리트 경화체를 습윤 증기양생으로 제조하여 경화체를 실내공기정화와 흡,습도 조절용의 건자재로 이용할 수 있는 방안에 관한 본 연구에서 다음 같은 결론을 얻었다.

1. 황토와 점토광물을 첨가하여 경량기포콘크리트 경화체를 습윤 증기양생(fume 80°C)경우의 체적의 조건은 황토: 15.00 , 규조토: 10.00 , 슬래그: 28.20 , 규사: 25.60 , 생석회: 11.40 , 석고: 4.80 wt.% silica-fume 5%의 배합일 경우로 나타났다.

2. 1차년, 2차년도의 과제수행 결과는 autoclave양생 경우 첨가제 (HT,DE) 종류에 따른 특성은 황토와 규조토 자체를 total 30 wt.% 함량 변화시키면서 시험하였으나 만족한 결과는 얻지 못하고 황토와 규조토가 1:1일 때, 수축 및 압축강도의 범위는 안정된 범위 0.5%이내이며 45 kgf/cm^2 이상으로 나타났다.

3. 습윤 증기양생(fume 80°C)경우는 잠재수경성의 반응성이 늦어서 목표 압축강도를 발현하지 못하므로 반응을 촉진하기 위하여, 1차적으로는 양생시간을 24시간에서 48시간으로 하였으며, 반응조건의 변화가 silica-fume의 첨가를 5%로 한 경우 양호하였으며, 압축강도는 autoclave양생 경우와 약간 낮은 평균 45 kgf/cm^2 정도로 습윤 양생만으로도 가능한 것으로 나타났다.

4. XRD와 SEM 특성에서도 autoclave양생 경우 황토와 규조토를 1:1로 혼합하여 첨가한 현상에서 tobermorite와 C-S-H의 수열반응이 활발하게 일어난 것으로 보였으며, 습윤 증기양생(fume 80°C)경우는 석고와 반응한 ettringite의 침상형 결정과 CSH(I) 이나 CSH(II)상과 C-S-H gel 상이 나타났다.

6. 기능적인 측면에서는 황토와 규조토의 첨가량이 total 30 wt.%로 고정하였으므로 큰 편차는 발생하지 않았지만 탈취율에서는 PC를 사용한 배합에서만 20분 기준시험에서 95% 정도이내 나타났으며, 나머지 조건에서는 모두 98%로 나타났다.

7. 열전도는 황토를 사용한 경우에는 $0.142\text{ w/m}^\circ\text{C}$ 이며 규조토는 $0.175\text{ w/m}^\circ\text{C}$ 로 나타

났다. 또한 결합제는 Slag: 0.188 , FA: 0.187, PC: 0.195 w/m°C로 나타났다.

8. 과채류의 냉해(chilling injury) 혹은 변패미생물의 오염도를 최소화할 수 있는 과채류별 최적 온, 습도조건에서, 습도조절기능을 가지는 원적외선 방사체로 시설되어 있는 저온저장고내에서 과채류의 대량저장을 도모하는 것은 과채류의 선도유지기간을 연장할 수 있는 방법으로 추천될 수 있다.

제 4 장. 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

본 연구의 최종 목표는 다음과 같다.

- 1) 흡습량은 자체중량의 15% 이상으로 한다.
- 2) 원적외선 방사율은 90% 이상으로 한다
- 3) 압축강도는 40 kg/cm² 정도를 가진다.
- 4) 기공율은 20% 이상으로 한다.
- 5) 흡수율 15% 이상으로 한다.
- 6) 부피비중 1.8 이하로 한다.

연구결과 얻어진 시제품의 물성은 다음과 같다.

1) 흡습량은 60일에서 자체중량의 약 22%로 나타나 연구목표를 만족하였으며, 대조군으로 사용한 시멘트 제품의 경우에는 동일한 조건에서 10% 이하로 나타나 흡습에 매우 큰 효과가 있음을 알 수 있었다.

2) 원적외선 방사율은 92% 정도로 나타나 연구목표를 달성하였다.

3) 압축강도는 45 kg/cm² 정도로 나타나 연구목표를 달성하였다. 그러나 고압증기양생 (autoclave)한 시제품의 경우가 습윤양생(fume 양생)한 시제품에 비하여 높은 강도를 나타내며 습윤양생의 경우에는 강도를 발현하기 위하여 양생시간을 48시간 이상의 장시간을 요하므로 생산성에 문제가 있는 것으로 판단된다.

4) 기공율은 45 - 55% 로 나타나 연구목표를 달성하였다.

5) 흡수율 40 - 50%로 나타나 연구목표를 달성하였다.

6) 부피비중 0.8 - 1.0 으로 나타나 연구목표를 달성하였다.

그 외에도 탈취율 20분에서 98%, 열전도도 0.19 W/m℃, 항공광이성 4주후 0개체 등의 특성을 가지고 있음을 알았다.

본 연구결과는 전문학술지에 발표 및 투고된 논문이 3건, 특허신청 1건이 있다.

1) 전문학술지에 발표된 것은

① 전문학술대회 : 2002.1.한국건축학회논문집(18권1호, 77-85)

발 표 자 : 김순호, 최희용, 배원태

발표제목 : 황토를 사용한 경량콘크리트의 물성 및 흡습성능에 관한 실험적 연구

- ② 전문학술대회 : 2003.7.31. 한국건축학회논문집에 투고
발 표 자 : 김순호, 배원태
발표제목 : 黄土를 사용한 경량기포콘크리트 개발에 관한 실험적 연구
- ③ 전문학술대회 : 2001.9. 농산물저장유통학회지
발 표 자 : 신영희, 조성환
발표제목 : 경남산 사과 및 배의 저장온습도별 품질변화
- 2) 특허출원
특허출원번호(10-2001-0043041)
출원인 : 배원태
발명자 : 배원태, 김순호

제 5 장. 연구개발결과의 활용계획

연구결과 얻어진 시제품은 과채류의 저장기간동안 보존효과를 높여 보존기간을 연장해 주고 품질의 저하를 상당부분 막아주는 것으로 나타났다. 그 외에도 탈취효과와 단열효과 및 항 곰팡이성이 있어 주거공간의 내장재로도 적합한 것으로 판단된다.

기 출원된 특허(기술명 : 황토 경량 기포콘크리트 조성물 및 제조 방법)의 사용에 대한 문의를 산업자원부 산하의 한국기술거래소에서 의뢰(2003년 4월 28일) 받은 바 있으며, 특허가 등록되면 기술을 이전하여 산업화를 기대하고 있습니다. 이 제품은 모든 건축물의 내장재로 활용될 수 있을 것으로 기대합니다.

그 외에 3년차 연구에서 수행한 연구결과는 상압 습윤양생(fume에서 80℃로 양생)하는 방법으로 1, 2차년도에서 autoclave에서 양생한 연구한 결과와는 다른 방법으로서 양생시간이 많이 걸린다는 단점이 있으나 제조공정상의 설비가 단순하므로 원료만 공급된다면 개인적으로도 제조를 시도해볼 만한 방법이다. 따라서 이 방법은 농가에 전수하여 주거환경의 개선에 도움을 주는 것도 시도해 봄직 하다.

제 6 장. 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

습도가 높은 몬순기후에 해당하는 일본에서는 최근 습도조절기능을 가진 earth ceramics에 대한 연구가 진행되고 있다. 이 연구들은 주로 흙(soil)과 석회를 혼합하여 석회의 수경성을 이용한 경화체를 제조하여 아파트 등의 거실바닥에 바닥재로 활용하고 있다. 그 외에도 규조토가 습기를 흡착, 방출하는 특성을 이용한 습도조절용 내장재의 개발 등이 시도되고 있다.

최근 일본에서는 주택의 장기수명화와 쾌적공간의 창출을 위해 세라믹 조습재료에 대한 기대가 높아지고 있다.

이 요청을 받아들여려면 재료자체가 설정한 습도에서 흡,방출 될 수 있는 판단소재도 검토해야 한다는 사항이 필수가 된다.

이에 대응할 수 있는 천연 아로펜 가소체를 활용한 자율형 조습벽재의 개발이 요구되었다. 즉, 원예용 녹소토를 채집한 미세한 잔여부분에는 다량의 아로펜이 포함되어 있는데 이것은 식물의 뿌리가 썩는 현상이 발생되지 않도록 하기 위해 폐기되어 왔다.

조습성능 이외에 전자과장해대책과 VOC대책 등을 부가한 이상적인 벽을 추구하고 있다. 최근 기존의 ALC나 석고보드 등 다공질재료에 조습성능을 부여하기 위해 옷칠이나 석탄재 계열소재를 병용, 또는 규조토 등을 혼재시킨 상품이 출시되고 있다. 따라서 앞으로 조습을 중시하는 방향으로 갈 것임에는 틀림없다.

또한, 서구에서도 건축자재로서 흙의 활용에 대한 관심이 높아지고 있어 앞으로 흙을 이용한 전자재의 개발이 관심분야가 될 것으로 보인다.

제 7 장. 참고문헌

1. 이종근. 김중욱. 백용혁. 이진성. 이병하. 신동우., 세라믹스원론, 반도출판사, P. 36-74(1996).
2. 장복기. 정창주. 이종호. 임용무., 시멘트 재료화학, 전남대학교 출판부, P. 79-90, 169-185(1998).
3. 최상홀. 오희갑. 지정식. 엄태선., 무수석고-고로슬래그계의 수화반응, Journal of Korean Ceramic Society, Vol. 17, No. 4, P. 217 -222(1997).
4. 김순호., 무기혼화재를 첨가한 황토모르타르의 특성에 관한 연구, P. 2-17(2000).
5. 백우현., 원적외선 복사소재 황토를 중심으로-, 제1회 올바른 원적외선 산업정착을 위한 심포지움, P. 99-114(1997).
6. KS L 5109 수경성 시멘트 페이스트 및 모르타르의 기계적 혼합방법.
7. KS L 5105 수경성 Cement Mortar의 압축강도 시험방법.
8. KS L 3114 내화벽돌의 흡수율 측정방법.
9. KS L 5103 길모아 침에 의한 시멘트의 응결시간 시험방법.
10. KS F 2424 모르타르 및 콘크리트의 길이변화 시험방법.
11. Jong Pil Ha., Additives on the Microstructures and Mechincal properties of Al_2O_3/Al composites Fabricated Kaolin. P5(1999).
12. Won Tae Bae., Synthesis of Mullite from Silicate-Al mixtures by Alumino thermal Reaction. P6~11(1986).
13. C. Tashiro. and Y. Okubo., Steam and Autoclave Curing of Blast Furnace Slag Gypsum-Slakes Lime Cement, Gypsum and Lime, NO. 179, P.12-20(1982).
14. R. Kondo. and S. Ueda., Kinetics and Mechanisms of the Hydration of Cement, Proc. 5th Inter. Cong. Chem. Cement., Vol. 2, P. 203-248(1968).
15. A. A. Govorov. R. D. Hooton Proc., Research Autoclave Curing for Reactive and Hydration Behavior, 7th Inter. Cong. Chem. Cement(Paries). II, P. 111-117 (1980).
16. UOMOTO Taketo. and HOSHINO Tomio., Strength and Surface Deterioration of Slag-Gypsum Cement Cement Concrete, CAJ Review of the 37th General Meeting, P. 137-139(1983).
17. Paul Wencil Brown, Early Hydration of Tetracalcium Aluminoferrite in Gypsum and Lime-Gypsum Solution, Am. Ceram. Soc., Vol. 70, No. 7, P. 493-496(1987).
18. Dan Tapan Kumar., Activation of India Blast Furnace Slag by Lime and LimeGypsum Mixed Activator in Solution Phase, India J. Technical-Slakes Lime

- Cement , Chatterjee, Manas Kumar, P. 337-344(1985).
19. 羽臈美德, 水野, 後臈孝治, 出口敏明, "スラグ-セッコウ-セメント系 混合 セメントを用いたコンクリートの蒸氣養生特性", セメント技術年報, No. 32, P. 127-131(1978).
 20. 依田彰彦. 横室隆, "高爐水碎 スラグ 碎砂を用いた モルタルコンクリートの オトクレーブ 養生に 關する 研究", 第2回 コンクリート工學 年次講演會論文集, Vol. 53, P. 53-56(1980).
 21. セラミックス工學 ハンドブック, 日本セラミックス協會 編, 1989.
 22. 조규성 (1983) 미숙호박과 완숙호박의 화학성분. 한국식품영양과학회지, **29**, 657-662
 23. 박무현 등 (1999) 농산물저장유통기술 핸드북. p.747-p.749 한국저장유통학회, 대구광역시, 송현종합문화사 인쇄
 24. 안덕순, 황용일, 조성환, 이동선 (1998) 향균소재를 함유시킨 저밀도폴리에틸렌 필름에 의한 상추와 오이의 포장. 한국식품영양과학회지, **27**(4), 675-681
 25. 정순경, 조성환 (2000) 식물성 향균소재를 이용한 침지 및 포장처리가 오이의 선도에 미치는 영향. 한국농산물저장유통학회지, **7**(1), 8-11
 26. 박형우, 박종대, 홍석인, 김동만 (2000) 저장온도에 따른 '쓰가루' 사과와 호홉 및 품질특성 변화. 한국농산물저장유통학회지, **7**(2), 133-138
 27. 박형우, 김동만, 김상희, 박종대, 김기정 (1998) 기능성 골판지 산자로 포장한 '신고' 배의 신선도 유지효과. 한국농산물저장유통학회지, **5**(4), 335-338
 28. 정순경, 이숙지, 정윤정, 박우포, 이동선, 조성환 (1998) 시설채소산물의 선도를 위한 한국산 약용식물추출물의 향균특성. 한국농산물저장유통학회지, **5**, 13-21
 29. 정순경, 조성환, 이동선 (1998) 향균성 플라스틱 필름을 이용한 딸기의 환경기체 조절포장. 한국식품과학회지, **30**, 1140-1145
 30. A.O.A.C. (1995) Official Methods of Analysis. 16th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C, p.45
 31. Wisniewski, M. E. and Wilson, C. L. (1992) Biological control postharvest disease of fruits and vegetables. *Hort. Science*, **27**, 94-98
 32. Sharples, R. O. and Johnson, D. S. (1987) Influence of agronomic and climatic factors on the response of apple fruit to controlled atmosphere storage. *Hort. Science*, **22**, 763-766
 33. Smith, S., Geeson, J. and Stow, J. (1987) Production of modified atmospheres in deciduous fruits by the use of film and coatings. *Hort. Science*, **22**, 772-776

34. Sharma, B. R., Singh, D., Saimbhi, N. S., Bawa, A. S., and Shukla, F. C. (1979) Varietal variation in the chemical composition of summer squash. *Indian J. Agri. Sci.*, **49**, 30-35
35. Lee, C. Y., Smith, N. L., and Robinson, R. W. (1984) Carotenoids and vitamin A value of fresh and canned winter squashes. *Nutrition Reports International*, **29**, 129-132
36. Usacheva, G. G. (1981) Improvement of technology and layout of equipment for pumpkin beverage. *Konservnaya Ovoshchesushil'naya Promyshlennost.* **7**, 25
37. Trecanni, C. P., and Boscarello, B. (1977) Results and prospects of conference pears in CA storage. *Acta Hort.*, **69**, 287-293
38. Desai, U. T. and Musmade, A. M. (1998) Pumpkins, squashes and grounds. In Handbook of Vegetable Science & Technology, Salunkhe, D. K. and Kadam, S. S.(Editor), Marcel Dekker, Inc., U.S.A. p.245-256
39. Hardenberg, R. E., Watada, W. E., and Wang, C. Y. (1986) The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks. In Agriculture Handbook #66. US Department of Agriculture, Washington, D.C. p.50-72
40. Park, Y. S. (1999) Changes in the incidence of fruit skin blackening, phenolic acids, and ethanol production of non-astringent 'Fuyu' permission fruits during CA and MAP storage. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* **40**, 83-87
41. Park, Y. M., Lee, S. K., and Lee, Y. J. (2000) CA and MA injuries of fruits under cold storage. *J. of Working Group on Postharvest Horticulture*, **9**, 3-19
42. Shin, Y. H. and Cho, S. H. (2001) Effect of storage temperature and humidity on the quality of apples and pears harvested in Gyeongnam, Korea. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.*, **8**, 269-273
43. Kwon, Y. (1998) Optimal storage temperature and humidity of agricultural products in the refrigeratory export container. *J. of Working Group on Postharvest Horticulture*, **7**, 23-26
44. Wisniewski, M. E. and Wilson, C. L. (1992) Biological control postharvest disease of fruits and vegetables. *Hort. Science*, **27**, 94-98
45. Biles, C.L., Mclaughlin, R., Chalutz, E. and Droby, S. (1991) Biological control of postharvest disease of fruits and vegetables alternatives to synthetic fungicides. *Crop Protection*, **10**, 172-177

46. Droby, S., Chalutz, E. and Wilson, C. L. (1991) Antagonistic microorganisms as biological control agents of postharvest diseases of fruits and vegetables. *Postharvest News and Information* **2**, 169-173
47. Eckert, J. W. and Ogawa, J. M. (1998) The chemical control of postharvest diseases : deciduous fruits, berries, vegetables, and root/tuber crops. *Annu. Rev. Phytopathol.*, **26**, 433-469
48. Lattanzio, V., Cardianli, A. and Palmieri, S. (1994) The role of phenolics in the postharvest physiology of fruits and vegetables: browning reactions and fungal diseases. *Ital. J. Food Sci.*, **6**, 3-22
49. Wilson, C. L., Ghaouth, A. El., Chalutz, E., Droby, S., Stevens, C., Lu, J. Y., Khan, V. and Arul, J. (1994) Potential of induced resistance to control postharvest diseases of fruits and vegetables. *Plant Disease*, **78**, 837-844

부 록

실험장면 사진



사진 1. 규조토(30%) 배합시험 사진



사진 2. 황토와 규조토(1:1) 배합시험 사진



사진 3. 황토(30%) 배합시험 사진



사진 4. 레드머드 (30%) 배합시험 사진

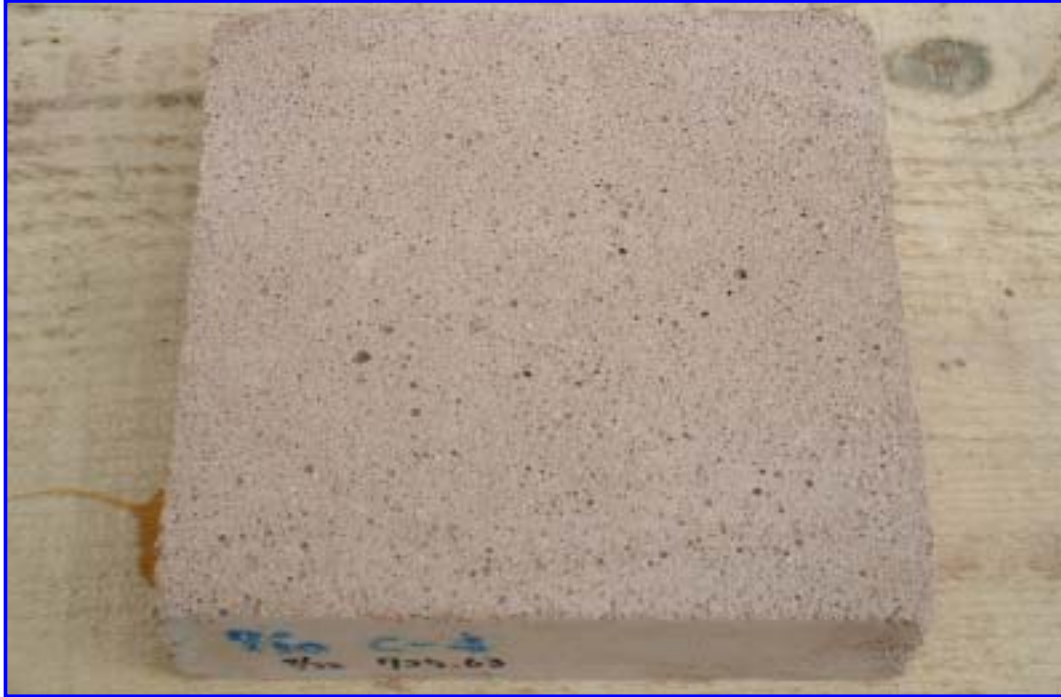


사진 5. 황토(30%)/水85% 시험체 기포형상



사진 6. 황토(30%)/水80% 시험체 기포형상



사진 7. 황토(25%)/水80% 시험체 기포형상



사진 8. 황토(20%)/水80% 시험체 기포형상



사진 9. 750×500×80mm 황토발포 PLATE 시험체 표면가공



사진 10. 750×500×80mm 황토발포 PLATE 시험체 가공후 표면형상



사진 11. 750×500×80mm 황토발포 PLATE 시험체 FUME 양생(80℃, 48hr)



사진 12. 750× 500× 80mm 황토발포 PLATE 시험체



사진 13. 750× 500× 80mm 황토발포 PLATE 시험체 FUME 양생(80℃, 48hr)



사진 14. 750× 500× 80mm 황토발포 PLATE 시험체 경화 및 건조

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.