

# ALC 원료로서의 ALC 폐기물의 활용에 관한 연구

윤철현\* · 송태웅

〈경남대학교 무기재료공학과〉

## 1. 서론

종래의 건축재는 Portland Cement를 위주하는 콘크리트계가 주류를 이루어 왔으나 건축자재의 수요 급증과 건물의 고층화, 에너지 절약의 필요성이 강조됨에 따라 경량성(비중 0.5~0.8), 단열성(열전도율 0.08~0.12cal/mh<sup>2</sup>°C), 차음성 및 시공의 용이성 등이 뛰어난 다공질 규산칼슘 수화물 즉 ALC(Autoclave Light-weight Concrete)의 사용이 급증하게 되었다.<sup>1-3)</sup>

ALC는 1920년 J.A.Erikson에 의해 개발된 후 합성조건, 결정학적 구멍 또는 제반조건이 수화물의 물성에 미치는 영향등에 관한 것이<sup>4-10)</sup> 연구의 주류이었고, 그밖에 열적거동에 관한 연구도 있으나 대개는 가열에 의한 미구조와 물성의 변화등에 관한 것들이다.<sup>11)</sup>

그러나 다양한 산업 폐기물이 사회 문제화되고 이들의 재활용이 절실히 요구되는 지금은 ALC 생산과정에서 부산물 나오거나 건축자재로 사용되어 수명이 지난 시설물에서 나오는 다량의 ALC 폐기물의 처리 또는 재활용에 실질적인 도움을 주는 연구도 필요하다고 본다. 지금까지 ALC 폐기물의 활용에 관한 연구로서는 이를 미분쇄하여 토질개량제로서 활용코자한 연구와<sup>12)</sup> 그밖에 소량을 소모하는 몇가지 보고가 있으나, 이를 ALC 제조 원료로 재활용하고자 한 연구는 보고된 것이 없다. 이것은 ALC 폐기물들이 이미 수열처리된 것으로서 대부분이 저비중의 수화상으로 이루어져 안정한 상태로 되어 있기 때문에 이러한 비수화성 물질을 원료로 투입하는 데에는 양적인 제한이 있기 때문일 것이다.

따라서 본 연구에서는 ALC 폐기물을 분쇄하여 재차 수열처리 할때 다시 수화반응할 수 있게 하는 방법을 모색하였다. 재수화성을 부여하기 위한 처리는 주

로 적절한 온도로 열처리하여 결합수를 분해시킴으로써 수열분위기에서 다시 수화할 수 있는 상태로 만들어주는 방법을 시도하였으며, 이때 열처리 및 재수화 후의 광물조성 변화와 미구조 관찰을 통하여 재수화 여부와 그 거동을 관찰하였다.

ALC 폐기물의 재수화 실험을 하기에 앞서서 tobermorite의 이론적 조성인 C/S(C : CaO, S : SiO<sub>2</sub>) 몰비 0.8 조성과 ALC 생산시의 조합비와 같은 C/S 몰비 0.5 조성이 되도록 조합한 시약급 원료를 ALC 생산시와 같은 조건으로 수열처리한 후 열처리-재수열 처리를 하는 일련의 기초실험을 실시한 바 있으며, 그 결과 과잉 silica의 잔존 여부를 제외하고는 모두 동일하게 재수화 현상을 나타냄을 알 수 있었다. 따라서 본 보고에서는 그 기초실험 결과를 토대로 하여 상당량의 불순성분을 함유하고 있는 천연원료를 써서 생산된 시판 ALC에서도 열처리에 의한 현상이 일어나는지 확인하는 한편 이를 천연원료에 여러가지 비율로 혼합하여 제조한 ALC의 물성을 측정하여 ALC 폐기물을 ALC 원료로서 재활용하기 위한 기초 자료를 얻고자 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 출발원료 및 열처리

본 실험에서 사용한 천연 석회석과 규석 및 시판 ALC의 화학분석 결과는 Table 1과 같다.

ALC 폐기물을 직경 5cm 정도로 파쇄하여 300, 500, 700, 800°C 및 900°C의 전기로에서 각각 30분간 열처리한 후 광물상과 미구조 및 비표면적의 변화를 관찰하고, 이를 분쇄하여 재수화 시험용 시료로 사용하였다. 이때 열처리를 하지 않은 ALC의 분말도 비교용의 시료로 택하였다.

Table 1. Chemical Composition of Raw Materials(wt%)

Raw materials Composition	Silica	Lime Stone	ALC Power
SiO <sub>2</sub>	91.7	1.89	47.7
CaO	0.28	53.25	25.17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.685	0.29	6.59
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.80	0.12	2.16
R <sub>2</sub> O	0.04	0.31	9.16
Ig. loss	1.42	42.88	8.87

## 2.2. 재수열 처리

열처리를 하지 않은 ALC 분말 및 이를 여러가지 온도에서 열처리한 후 분쇄하여 얻은 분말(단미)에 70℃의 증류수를 90wt% 가해 교반한 후 직경 20mm×높이 30mm의 크기의 플라스틱 용기에 담아 건조기 내에서 12시간 방치시켜 수열 처리용 성형체를 만들었다. 이렇게 만든 성형체를 내용적 1.8l의 autoclave(Parr 4842, USA) 내에서 185℃, 11kg/cm<sup>2</sup>의 온도와 압력으로 12시간 수열처리하여 경화체 형성여부와 광물상 및 미세구조를 관찰하였다.

## 2.3. ALC 분말을 이용한 ALC의 제조

적절 온도로 열처리한 ALC 분쇄물을 ALC 제조용 천연원료 조합물에 각각 10, 20 및 30%씩 첨가하여 ALC를 제조한 후 압축강도의 변화를 시험하였다. 이때 기포발생용 Al(0.008 wt%)분말 및 초기 성형에 필요한 cement(10.5 wt%)는 전체 분말에 대한 비율이 낮아지지 않도록 계산된 양을 추가하였다. 이들 조합물을 높이 250mm×직경 100mm의 크기의 몰드에 담아 발포시킨 후 24시간 방치하여 수열처리용 성형체를 만들었으며 이를 실제 ALC 생산현장에서 사용되는 autoclave(180℃, 13kg/cm<sup>2</sup>)에서 12시간 수열처리하여 ALC를 만들고 이들의 압축강도를 측정하였다.

## 2.4. 측정 및 관찰

ALC 폐기물과 이들을 각 온도별로 열처리한 시료 및 재수열처리 의 시료들의 광물조성은 X선 회절 분석기(Shimadzu XD-60, Cu Ka, 30Kv, 20mA, full scan range 1Kcps, scan speed 2°/min)를 가지고 분석하였으며, 이들 시료의 미세구조는 파단면을 취하여 SEM(Topcon ABT32, Japan)으로 관찰하였다. 또한 비표면적을 BET(Quantasorb QS 9105091, USA)로 측정하였다.

한편 각 시료의 열적변화는 DTA/TG (Shimadzu, DH-30, Japan, 15℃/min)를 이용하여 관찰하였고, 천연원료에 ALC 폐기물을 혼합하여 합성한 ALC의 압축강도는 7×7×7cm로 절단한 입방체를 가지고 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

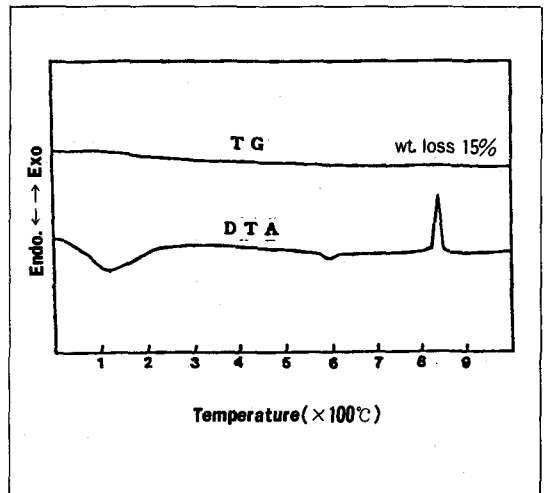
### 3.1. ALC 폐기물의 가열에 따른 변화

#### 3.1.1. 열분석

Fig. 1은 ALC 폐기물의 열분해 특성을 알아보기 위하여 행한 열분석 결과를 나타낸 것이다. 40℃부터 중량 감소가 일어나기 시작하여 명확한 절점없이 700℃까지 계속되는데, 이것은 Kalousek<sup>13)</sup>가 보고한 tobermorite의 분해특성과 같으며 본 실험의 주 수화상이 tobermorite임을 알 수 있다.

단 여기서 150℃ 부근의 넓은 흡열 피크는 C-S-H(I), tobermorite gel 등의 탈수로 인한 것

Fig. 1. Thermal analysis of ALC waste.



로 여겨지며, 840°C 부근에서 나타난 발열 피크는  $\beta$ -wollastonite의 합성에 의한 것으로 생각된다. 또한 580°C 부근에서 미약한 흡열 피크를 나타내었는데, 이것은 Coldrey<sup>14)</sup>에 의하면 hillebrandite 등이 존재하면 이 온도에서  $\beta$ -wollastonite로 전이하면서 흡열 피크를 나타낸다고 하였으나, Fig. 2의 X-선 회절 분석 결과 그 온도 부근에서 hillebrandite나  $\beta$ -wollastonite의 생성이 확인되지 않았으므로 이 피크는 미반응  $\alpha$ -quartz의  $\beta$ -quartz로의 전이(흡열반응)에 따라 생기는 피크일 것으로 생각된다.

### 3.1.2. 가열에 따른 광물상의 변화

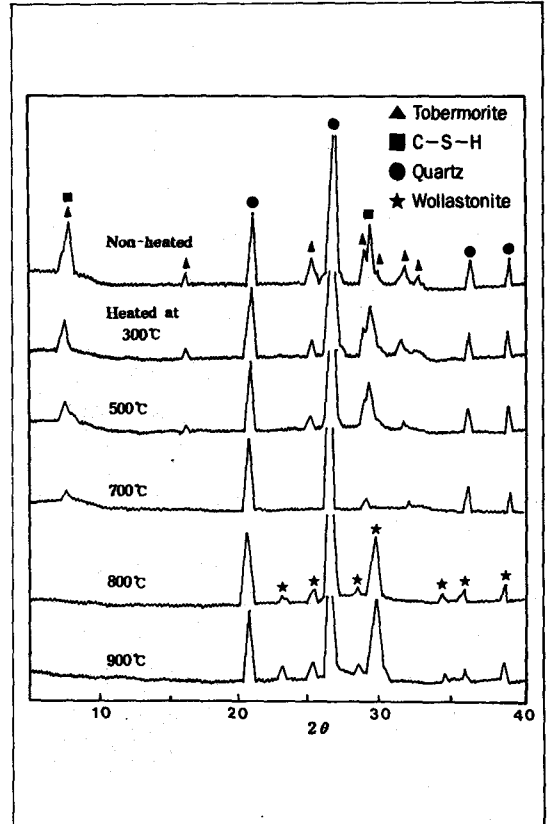
Fig. 2는 ALC를 열처리하지 않은 것과 300, 500, 700, 800°C 및 900°C로 각각 열처리 한 X-선 회절 분석 결과를 나타낸 것이다. 그림중 열처리하지 않은 ALC에서는 결정성 tobermorite에 의한 3.08 Å, 2.98 Å, 2.82 Å 등의 회절선과 준결정성 tobermorite인 calcium silicate hydrate(C-S-H)에 의한 3.07Å의 회절선이 비슷한 각도에서 겹쳐져 나타나 이들 수화물이 생성되어 있음을 볼 수 있고, 반응하고 남은 다량의 미반응 실리카가  $\alpha$ -quartz로 잔존해 있음을 확인할 수 있다. 그러나 이들을 열처리하면 열처리 온도가 증가함에 따라 미반응  $\alpha$ -quartz의 회절 피크는 변화가 없었으나, 결정성 tobermorite에 의한 3.08 Å, 2.98 Å 회절선과 준결정성 tobermorite에 의한 3.07Å의 회절선이 열처리 온도가 증가함에 따라 점점 소멸되어 700°C의 경우엔 다른 광물의 생성 없이 비정질로 존재함을 알 수 있다.

이로부터 열처리에 의한 물분자와 OH기의 탈수는 Fig. 1의 TG 곡선에서와 같이 특정한 온도 구간없이 점진적으로 진행되어 간다는 것과, 열분해 직후는 다른 광물의 생성이 없이 비정질 상태로 존재한다는 것을 알 수 있다. 그러나 800°C 이상으로 열처리한 경우에는 이 온도에서 갑자기 tobermorite의 분해산물로부터  $\beta$ -wollastonite가 생성되었으며, 이로부터 앞의 DTA 곡선중 840°C 부근의 피크가 wollastonite 생성 때문이었음을 알 수 있다.

### 3.1.3. 가열에 의한 미세구조의 변화

Fig. 3은 ALC를 열처리하지 않은 것과 300, 500, 700, 800°C 및 900°C로 각각 열처리한 시편 파단면의 SEM 사진이다. 여기에서 볼 수 있듯이 합성된 tobermorite의 형태가 lath 상임을 볼 수 있으며, 열처리 온도가 증가함에 따라 결정의 끝부분이 분열되

Fig. 2. XRD patterns of ALC waste after heating to various temperature

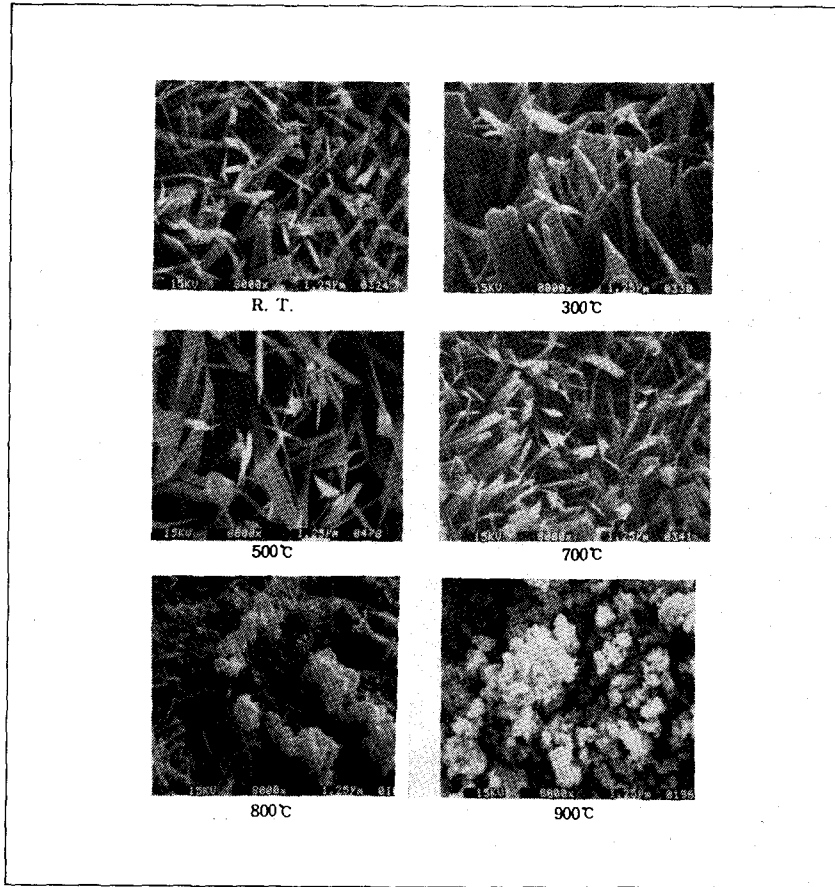


어 가늘고 불규칙한 형태로 바뀌는 변화를 볼 수 있다. 이러한 양상은 700°C로 열처리한 시료에서 짧고 불규칙하게 부스러진 형태를 나타내는 것으로 가장 뚜렷하게 나타남을 볼 수 있었다.

그러나 800°C 이상으로 열처리한 것에서는 tobermorite의 lath 상은 전혀 찾아 볼 수 없게 되었음을 알 수 있다. 그대신 사진에서 볼 수 있는 바와 같이 등골게 응집된 상들이 나타나 증가하기 시작하였는데, 이것은 앞의 Fig. 2의 XRD 결과로 볼때 800°C 부터 생성한 wollastonite 때문임을 알 수 있다.

한편 열처리에 따른 비표면적의 변화를 측정된 결과 열처리하지 않은 ALC는 27.66m<sup>2</sup>/g, 500°C로 열처리한 ALC는 27.49m<sup>2</sup>/g, 900°C로 열처리한 ALC는 8.7m<sup>2</sup>/g의 값을 나타내었다. 일반 함수광물의 BET 값이 가열 탈수에 의하여 급증하는 것과 달리 ALC에서는 위와 같이 500°C로 가열한 후에도 비슷한 비표면적을 보였다. 그러나 900°C로 열처리했을 때에는 급격히 낮은 값을 나타내었는데 이것은 Fig. 2의 XRD 결과로 볼때  $\beta$ -wollastonite의 생성에 동반되는 결과라고 생각된다.

Fig. 3. SEM photographs of ALC waste after heating to various temperatures.(C/S=0.5)



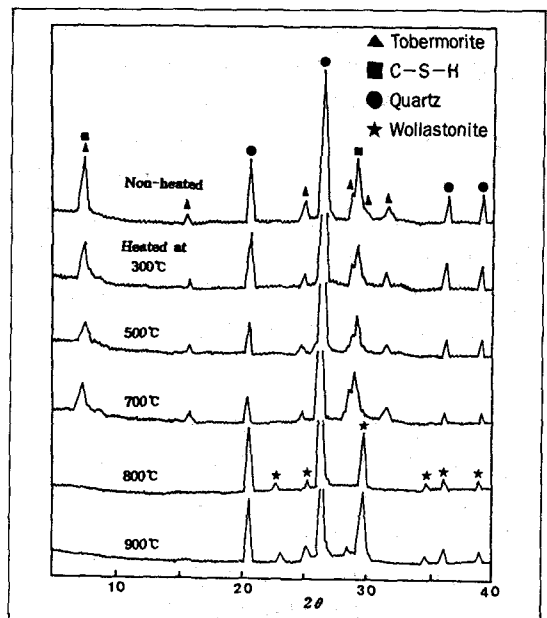
### 3.2. ALC 열분해물의 재수화 거동

#### 3.2.1. 광물상의 변화

Fig. 4는 열처리하지 않은 것과 300, 500, 700, 800°C 및 900°C로 각각 열처리한 것을 분쇄하여 단미로만 성형체를 만들고 그것을 재수열 처리한 시편의 XRD 분석 결과이다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 열처리하지 않고 재수열 처리한 시료의 XRD 회절곡선은 Fig. 2의 열처리하지 않은 ALC 회절곡선과 거의 변화를 보이지 않고 있다. 다만 3.08 Å, 11.3 Å 2.98 Å의 tobermorite의 회절 피크의 intensity가 조금 증가함을 볼 수 있는데, 이것은 일차 수열처리시에 반응이 완전히 종료되지 않았던 tobermorite gel, C-S-H(I) 등의 준결정성 수화물의 결정화가 재수열 처리중에 좀더 진행되었기 때문인 것으로 생각된다.

그러나 열처리 후 재수열 처리한 시료들의 XRD 회절곡선은 열처리 후에 실시한 XRD pattern에서

Fig. 4. XRD patterns of re-autoclaved samples prepared from heated ALC waste at various temperatures. (C/S=0.5)



미약하게 나타나거나. 거의 소멸되었던 결정성 tobermorite의 회절선들이 재수열 처리에 의해 다시 나타남으로써 재수화 현상을 보여주고 있으며, 이러한 현상은 열처리 온도가 높을수록 증가하여 700℃까지 계속되었다.

재수화의 증거는 최초 수열처리 후나 이를 열처리한 후에 잔존하는 미반응  $\alpha$ -quartz peak의 크기가 재수열처리 후에 감소하는가의 여부로도 추정할 수 있다. 이를 살펴보면 열처리하지 않은 분말과 800℃ 이상 처리하여 wollastonite가 생성된 분말은 재수열 처리후에  $\alpha$ -quartz peak의 크기에 변화가 없으나 300~700℃로 열처리한 분말의 재수열 처리물에서는 가열온도에 비례하여 점차로  $\alpha$ -quartz의 peak가 감소함으로써 재수화는 상당량의 잔존 silica의 소모를 동반하면서 일어남을 알 수 있다.

800℃ 이상으로 열처리하여 wollastonite가 생성된 시료는 재수열 처리하여도 X-선 회절 분석 결과 수화물이 전혀 생성되지 않고 여전히 wollastonite로

존재함을 알 수 있는데, 이것은 열처리시에 이미 생성된 wollastonite가 이 계에서 가장 안정된 광물로서 수화성이 전혀없는 광물이기 때문일 것이며, 한편 wollastonite와의 물질들은 미구조적인 견지에서 볼 때 분해물 입자의 표면활성이 이미 많이 둔화되었기 때문이기도 할 것이다. 따라서 재수화성을 얻기 위한 가열온도는 이 온도 이하이어야 함을 알 수 있다.

### 3.2.2. 미세구조의 변화

Fig. 5는 Fig. 4에 XRD 분석 결과를 나타낸 시료와 동일한 시료, 즉 열처리-재수열 처리한 시료의 파단면의 전자현미경 사진이다. 앞에서의 ALC의 수화상은 lath상을 나타내고 있는 반면 이들을 열처리를 하지 않고 재수열 처리한 시편(그림중 RT)은 분쇄된 입자형태를 띄고 있을 뿐 장범위에 걸쳐 interlocking된 형태는 거의 찾아 볼 수 없어 재수화가 거의 일어나지 않았음을 보여주고 있다. 이는 앞의 XRD 분석 결과 tobermorite peak에 변화가 없었던

Fig. 5. SEM photographs of re-autoclaved samples prepared from heated ALC waste at various temperatures. (C/S=0.5)

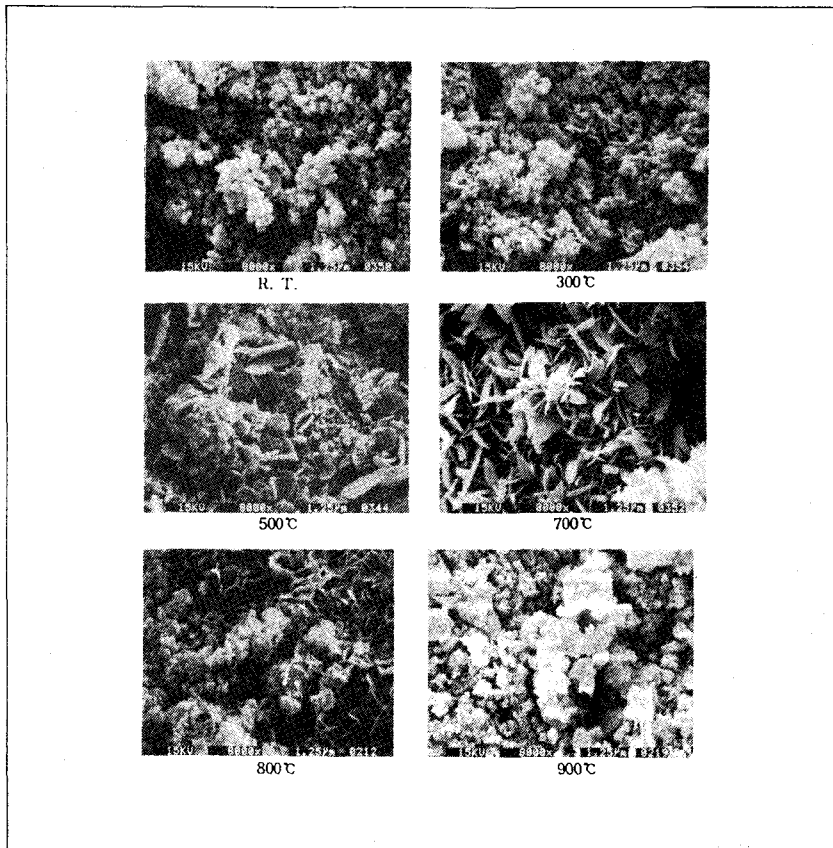
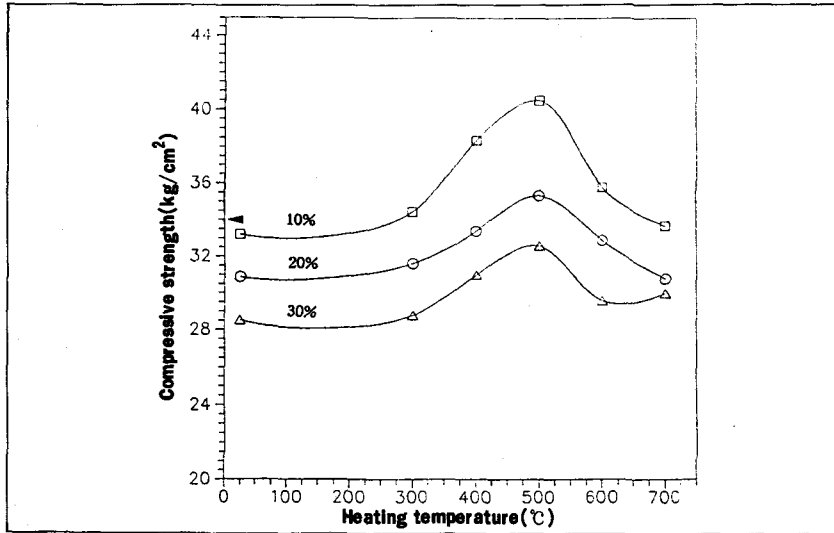


Fig. 6. Compressive strength of ALC prepared from natural raw materials and different amount (%) of non-heated or heated ALC powder of different heating temperature (← indicates the compressive strength of ALC prepared from natural raw materials mix only).



점과 일치하며, 실제로 재수열 처리후의 시료는 그 강도가 매우 미약하였다.

그러나 열처리를 거친 시료의 수화물에서는 열처리 온도가 증가할 수록 새로운 수화상이 생성되고 있음을 보여주고 있으며, 700°C 열처리 후 재수열 처리한 경우엔 대부분의 조직이 새로 석출된 plate상 tobermorite 결정들로 이루어져 재수화가 잘 진행되었음을 보여주고 있다.

한편 800°C 이상으로 열처리하여 wollastonite가 생성된 시료를 재수열 처리한 경우에는 Fig. 4의 XRD 결과와 같이 SEM 관찰 결과에서도 수화상이 전혀 나타나지 않고 열처리 직후에 보인 미구조가 그대로 잔존함으로써 재수화가 전혀 일어나지 않았음을 알 수 있다. 이러한 현상은 XRD 결과의 고찰에서 설명한 바와 같이 열처리로 인하여 생성된 비수화성의 wollastonite 때문인 것으로 해석된다.

500°C로 열처리한 ALC 폐기물을 분쇄한 후 재수열 처리한 시편의 비표면적은 34.39m<sup>2</sup>/g로 측정되어 출발물질로 사용한 ALC(27.66m<sup>2</sup>/g)보다 매우 큰 값을 나타내었다. 이것은 Fig. 3과 Fig. 5에서 보는 바와 같이 출발물질의 ALC는 주로 lath상으로 형성되어 있는데 비하여, 2차 수열처리로 합성된 상은 주로 plate상으로 결정화하고 그 크기도 작기 때문에 BET 값이 증가한 것으로 해석된다.

### 3.3. ALC 분말을 혼합하여 제조한 ALC의 물성

열처리하지 않은 ALC 분말과 열처리한 ALC 분말을 단미로만 재수열 처리하였을 경우 전자의 수열 경화체는 강도를 거의 나타내지 않았고, 후자의 수열 경화체에서는 약간의 강도가 나타났으나 측정할 정도의 강도는 발현되지 않았다. 따라서 ALC 폐기물만으로는 ALC의 제조가 불가능하였다.

Fig. 6에는 ALC 폐기물을 열처리하지 않고 분쇄한 것과 300°C에서 700°C까지 100°C 간격으로 열처리하여 분쇄한 것을 ALC 제조용 천연원료에 10, 20wt% 및 30wt%씩 각각 첨가하여 제조한 ALC의 압축강도를 열처리 온도와 함께 나타내었다.

ALC 원료 조합물에 열처리 하지 않은 ALC 분말을 첨가할 경우에는 천연원료로만 합성한 ALC의 강도(그림의 화살표)보다 낮은 강도를 나타내었으며 강도 하락은 첨가량에 비례하였다. 그러나 ALC 폐기물을 열처리한 후에 ALC 제조용 원료에 첨가할 경우에는 이의 재수화로 인하여 이와는 다른 현상을 나타내었다. 즉 10%까지는 혼합하여도 강도가 하락되지 않았으며 열처리 온도가 400~600°C인 경우에는 오히려 강도가 크게 증가하였다. 열처리한 ALC의 첨가량을 20%, 30%로 증가시킬 경우, 첨가량에 비례하여 강도는 감소하였지만 열처리온도 500°C를 중심으로 강도의 극대점을 나타내는 것은 동일함으로써 열처리의 효과는 500°C가 가장 좋다는 것을 알 수 있었다. 따라서 500°C로 열처리한 ALC 분말을 첨가한 경우에는 20wt%까지는 천연원료로만 합성한 ALC

보다 오히려 높은 강도를 나타내었으며, ALC의 강도를 떨어뜨리지 않고 첨가할 수 있는 양은 30wt%까지도 가능할 것으로 여겨진다.

ALC 분말의 첨가량이 증가할 수록 전체적으로 강도가 감소하는 현상에 대해서는 ALC 분말의 첨가량이 증가함에 따라 천연원료중 CaO의 양이 상대적으로 감소하여 물과의 혼합 후 발열량이 적어지므로 성형체의 초기 양생에 영향을 줄 수 있다는 점과, ALC 분말의 첨가량이 많을수록 소정의 workability를 얻기 위해서 더 많은 양의 물을 혼합해야 했던 점 등이 원인이 되었을 것으로 사료된다.

따라서 열처리한 ALC 폐기물 분말을 상당량 원료로 재활용하여 물성이 떨어지지 않는 ALC를 제조하기 위해서는 천연원료의 조합비를 기존의 조합비에서 적절히 변화시키는 한편, 적절한 혼화제의 사용이나 또는 다른 방법으로 물/분말 비를 줄여줄 수 있는 보다 현장적이고 구체적인 연구가 계속되어야 할 것이다.

#### 4. 결론

ALC 폐기물을 원료로서 재활용하기 위하여 ALC 폐기물의 열분해-재수화 거동에 관하여 연구한 결과 다음과 같은 결론과 함께 ALC 폐기물이 열처리 과정을 거쳐 ALC의 원료로 재활용될 수 있음을 알았다.

- 1) ALC 폐기물의 분쇄물을 다시 수열처리 할 때에는 수화반응이 거의 없으나 700℃ 이하로 열처리 한 후에는 재수화 거동을 나타내었다.
- 2) 재수화시의 반응성은 열처리 온도에 따라 증가하였으나, 그 온도가 800℃ 이상에서는 wollastonite의 생성과 함께 재수화가 일어나지 않았다.
- 3) ALC의 주구성 광물인 tobermorite는 주로 lath상 형태를 나타내고 있으나, 2차 수화시에는 plate상이 주를 이루었다.
- 4) ALC 원료 조합물에 열처리 하지 않은 ALC 분말을 첨가할 경우에는 천연원료로만 합성한 ALC 보다 낮은 강도를 나타내었으며 강도하락은 첨가량에 비례하였다.
- 5) 그러나 ALC 분말을 열처리한 후에 ALC 제조용 원료 조합물에 첨가할 경우에는 이의 재수화로 인하여 위와 같은 현상을 보이지 않았고, 이 경우 열처리의 효과는 500℃가 가장 좋았다.
- 6) 500℃로 열처리한 ALC 분말을 첨가한 경우에

는 20 wt%까지는 천연원료로만 합성한 ALC 보다 오히려 높은 강도를 나타내었으며, ALC의 강도를 떨어뜨리지 않고 첨가할 수 있는 양은 30wt%까지도 가능할 것으로 여겨진다.

#### <참고문헌>

- 1) 御代健次郎, 長山 一, “輕量氣泡 콘크리트” ; 세라믹스, 13(2), 96-102(1978).
- 2) 光田 武, “オートクレーブ處理ケイ酸カルシウム材料, 세라믹스, (8), 748-752(1988).
- 3) P.S. Lead, “Calcium Silicate as High Temperature Insulation Material”, *Chemical Engineering World*, 7(1), 65-66(1971).
- 4) Heddle, M. F. (1880), *Miner. Mag.* 4, 119 : *Trans. geol. Soc. Glasgow* 9, 254(1893).
- 5) McConnell, J. D. C. (1954), *Miner. Mag.* 30,
- 6) M. d. Megaw and C. H. Kelsey, *Nature*, 177, 390(1956), *Proc. 3rd Int. Symp. Reactivity of Solids, Maride*, 1956, 3, 355(1959).
- 7) G. L. Kalousek ; “Crystal Chemistry of Hydrated Calcium Silicate I”, *J. Am. Cer. Soc.*, 40, 74(1957).
- 8) N. Hara, C. F. Chan and T. Mitsuda, “Formation of 14 Å Tobermorite”, *Cement and Concrete Research*, 8, 113-116(1978).
- 9) 擔前鋒, 光田 武, “Tobermorite의 生成에 關한 水素シリカの 影響”, *セ技年報* XXX, 41-44 (1984)
- 10) N. Hara and N. Inoue, “Thermal Behaviour of 11Å Tobermorite and Its Lattice Parameters”, *Cement and Concrete Research*, 53-60(1980).
- 11) 鈴木一孝, 浦川忠彦, 伊藤祐敏, “水熱處理體의 強度에 關한 水素シリカ 生成相과 加熱의 影響”, *窯業協會誌(日)*, (11), 574-582(1974).
- 12) 한국토양비료학회, “ALC 부산물의 비료시험”, 1992
- 13) George Kalousek and Rustum Roy, *J. Am. Ceram. Soc.*, (6), 236(1957)
- 14) Coldrey J. M and M. J. Purton, “Application of thermal analysis in Investigation on Calcium Silicate Bricks”, *J. Appl. Chem.* (12), 353-360(1968).