

## Al(OH)<sub>3</sub> 含有 人造大理石廢棄物로부터 製造된 알루미나 粉末의 特性 및 燒結舉動 研究<sup>†</sup>

<sup>†</sup>柳聖洙 · 徐城揆 · 金亨泰 · 金亨駿 · 朴俊奎\* · 梁在奎\*\*

窯業技術院 엔지니어링세라믹센터, \*(주)다산컨설턴트, \*\*光運大學校

## The Characterization and Sintering Behavior of Alumina Powder Prepared by Heat-treatment of Artificial Marble Waste Containing Al(OH)<sub>3</sub> Powder<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Sung-Soo Ryu, Sung-Gyu Seo, Hyung-Tae Kim, Hyeong Jun Kim,  
Jun-Gyu Park\* and Jae-Gyu Yang\*\*

*Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology*

*\*Dasan Consultants Co., Ltd*

*\*\*KWANGWOON UNIVERSITY*

### 요 약

본 연구에서는 수산화 알루미늄이 다량 포함되어 있는 인조대리석 폐기물을 폐광산지역의 지하수 및 지표수 등에서 검출되는 유해중금속 제거용으로 재활용 가능성을 조사하고자 하였다. 이를 위해 폐기물을 550°C에서 1000°C 온도범위에서 열처리하여 알루미나 분말을 추출하였으며, 이렇게 얻어진 열처리분말에 대해 온도에 따른 상변화를 XRD를 통해 분석하고, 비표면적 측정, SEM 분석 등을 통해 분말의 특성을 조사하고, 중금속인 비소의 흡착특성을 조사하였다. 그 결과, 열처리된 알루미나 산화물 분말이 중금속 처리에 효과가 있음을 확인할 수 있었으며, 열처리분말의 구성성분에 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 또한, 열처리 분말 성형체를 소결한 결과, 1200°C 이하에서 60%이상의 높은 기공률을 가진 펠렛을 제조할 수 있었으며, 소결조제인 glass 분말의 첨가에 의해 900°C의 낮은 소결온도에서도 기공률을 유지하면서 비교적 높은 비소흡착률을 가지는 시편을 제조할 수 있었다.

**주제어** : 인조대리석, 산업폐기물, 알루미나, 재활용, 비소흡착

### Abstract

Alumina powder was prepared from heat-treatment of artificial marble waste fine aggregate containing Al(OH)<sub>3</sub> for the purpose of the feasibility of its recycling. Artificial marble waste was heat-treated between 500°C and 1000°C and XRD, BET surface area, BJH pore size distribution and adsorption of As were analyzed for heat-treated powder. It was found that the adsorption efficiency of As was significantly affected by phase composition of alumina powder rather than its physical characteristic. Heat-treated powder compact was sintered to produce the pellet. Alumina pellet with porosity more than 60% could be obtained after sintering below 1200°C and also the addition of glass powder as a sintering aid had a positive effect on lowering sintering temperature, led to the high porosity near 60% and adsorption of As over 60% even at 900°C.

**Key words** : Artificial marble, Industrial waste, Alumina, Recycling, Adsorption of As

### 1. 서 론

최근 내부인테리어를 위한 장식자재나 주택건축자재는 과거에 비해 훨씬 더 고품질과 장식적인 것을 선호

<sup>†</sup> 2008년 12월 10일 접수, 2009년 3월 30일 수리

\* E-mail: sryu@kicet.re.kr

하는 추세로 이를 위해 건축자재로써 아크릴계 인조대리석을 대량으로 사용하게 되었다. 이로 인해 결과적으로 많은 양의 인조대리석 폐기물이 발생되면서, 우리사회의 새로운 환경적인 문제를 야기하게 되었다. 현재 건축자재와 장식자재 등을 생산하는 화학회사의 제조공정에서 다량 발생되고 있는 인조대리석 산업폐기물의 경우 현재 일 평균 29톤이 배출되고 있으며, 적절한 재활용 방안이 없어 현재 사업장폐기물로서 소각처리 되어지고 있기 때문에 대기오염과 환경오염의 원인이 된다.<sup>1,2)</sup>

인조대리석 이외에도 플라스틱, 타이어 등 유기물을 포함하는 재료의 폐기물에 대한 처리 및 재활용에 관한 기술을 개발하는 것이 크게 중요하게 대두되고 있다.<sup>3,5)</sup> 그 중 인조대리석계 산업폐기물은 연마공정에서 주로 발생하는 분말형태의 폐기물로서 시멘트의 모르타르의 제조를 위해 일부를 첨가하여 재활용하는 연구<sup>5)</sup>가 있기는 하나 입자크기가 작아 직접 그 상태로 재활용하기에는 활용한계가 있으며, 주성분이 고분자 유기물과 수산화알루미늄의 복합물로 구성되어 있는데 고분자 유기물이 알루미늄과 가교작용을 하고 있어 재가공의 기술적인 어려움을 갖고 있기 때문에 이를 재활용하는 기술을 개발하는 것이 매우 중요하다.

인조대리석에 포함된 수산화알루미늄은 알루미늄이나 세라믹스를 합성하기 위한 출발물질로써, 알루미늄이나 기계구조용 재료나 전자재료, 생체재료 등 그 응용분야가 광범위하다.<sup>6)</sup> 특히, 최근에는 배기가스 정화, 수질정화, 석유화학, 화학공업 등에서 각종 반응을 매개로 하는 촉매는 높은 비표면적을 가진 담체를 이용하고 있는데, 이를 위해 비정질 알루미늄이나 또는 감마 알루미늄 등이 많이 사용되고 있다.<sup>7,8)</sup> 이 때, 알루미늄 분말을 담체로 응용하기 위해서는 분말상태로 사용될 경우 고온분위기에서 촉매성분이 소결되어 활성이 격감되며, 공정 중에 손실이 비교적 크기 때문에 pellet 형태로 제조되어야 하며, 개기공형태로 높은 비표면적을 가져야 한다.

한편, 최근 심각한 환경문제으로써 논의되고 있는 것은 휴폐광지역 주변의 토양, 지하수 및 하천이 다양한 독성 중금속들로 오염되어 이 주변 환경과 생태계를 파괴하고 있다는 것이다.<sup>9)</sup> 이러한 환경문제는 방치된 폐석, 폐광미 등에 함유된 황화철의 산화로 인한 산성수의 발생에 의해 중금속들이 용출되는 것에 기인하고 있다. 현재까지의 환경부 조사결과, 폐광속 광산 주변의 중금속으로 인한 토양오염은 일반농경지 등에 비하여 2-5배 높은 것으로 나타나서 지하수 및 지표수로의 중금속 오염물질등의 이동 및 확산이 심각하게 우려되고 있다.<sup>10-12)</sup>

폐광산 지역의 유해물질의 주종을 이루는 중금속 성분은 주로 As, Cd, Cu, Hg, Pb, Cr 등으로 국내 평가 기준을 상회하고 있으며, 이중 비소에 의한 지하수의 오염이 크게 우려되고 있다. 이러한 휴폐광지역 이외에도 자연적인 수리지구화학적 활동과 비소함유 농약, 화학작용제, 비료, 정유제품 등과 같은 다양한 산업활동에 의해 고농도의 비소가 지하수에 오염될 수 있음이 보고된 바가 있다.<sup>13)</sup>

본 연구에서는 수산화 알루미늄이 포함된 인조대리석의 폐기물을 폐광산지역의 지하수 및 지표수 등에서 검출되는 유해중금속 제거용 담체로써의 재활용 가능성을 조사하고자 하였다. 이를 위해 인조대리석 폐기물의 열처리 공정으로부터 산화알루미늄 분말을 제조하고 그 특성을 분석하였으며, 이를 pellet화하기 위해 소결거동을 조사하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 산업폐기물의 특성분석

본 연구에서는 인조대리석의 연마가공시 발생하는 분말형태의 폐기물을 출발물질로 사용하였으며, 이때, 폐기물은 아크릴성분의 유기물인 PMMA(polymethyl methacrylate)와 수산화알루미늄( $Al(OH)_3$ )로 크게 구성되어 있으며, 먼저 폐기물에 대한 특성분석을 위해 시차주사열분석법(TG-DTA)를 이용하여 성분조사를 실시하였다.

### 2.2. 산업폐기물의 열처리 및 특성분석

폐기물의 특성 조사결과를 바탕으로 폐기물로부터 각종 유기물을 제거하고 산화알루미늄을 얻기 위해 550°C~1000°C 온도범위에서 온도 및 시간별로 열처리를 수행하였으며, 열처리된 분말의 열처리 전후의 특성 평가를 위해 열처리조건에 따른 질소흡착을 이용한 BET 비표면적과 BJH 기공분포, XRD에 의한 상변화 등을 조사하였다. 또한, 열처리 분말 및 소결시편에 대해 6대 중요 중금속 중 가장 처리가 어려운 것으로 알려진 비소 원소에 대한 흡착능 분석을 실시하였다. 흡착능 분석<sup>9)</sup> 방법은 다음과 같다. 먼저  $Na_2HAsO_4 \cdot 7H_2O$ 를 0.042 g을 취하여 1l에 채우고, 0.01M  $NaNO_3$ 을 이용하여 이온세기를 맞춰서 As(V) 10 ppm 수용액을 만든다. 각각의 As(V)를 pH 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9로 맞춘 후, 50 ml씩 팔콘 튜브에 취한 후, 시료 0.1 g(2 g/l)을 넣고 약 30 rpm으로 24시간 회전 교반한 후, 5B여

과지로 거른 후 여과액에 대하여 ICP를 이용하여 비소 이온의 농도를 측정 후 흡착후의 농도를 흡착전의 농도와 비교하여 비소 흡착능을 평가하였다.

### 2.3. 열처리분말의 소결거동 및 소결체 특성 평가

유해중금속 제거용 흡착제로 사용되기 위해서는 파손이 없는 강도를 지닌 pellet 상태로 제조되어야 하며, 이를 위해 열처리 분말의 성형체에 대한 소결거동을 조사하였다. 성형체를 제조하기 위해 열처리 분말 1g을 10f몰드에 주입 후 500 kg의 하중으로 약 1분간 유지하여 성형체를 제작한 후, 이를 다시 200MPa의 압력으로 냉간등압성형(CIP, cold isostatic press)을 하였다. 제조된 성형체는 승온속도 5°C/min의 조건으로 각각 900°C-1400°C의 온도범위의 대기분위기에서 2시간동안 유지하여 소결을 진행하였다. 최종 소결시편은 아르키메데스법을 이용하여 소결밀도, 기공률, 흡수률 등을 조사하였다. 이렇게 제조된 소결체에 대해서도 분말에 대한 중금속 흡착 실험과 동일한 방법으로 비소 흡착능 평가를 진행하였다.

한편, 추후 실험결과에서도 설명하겠지만, 펠렛화를 위한 소결온도가 낮을수록 열처리 후 알루미늄 분말의 상변화를 최소화할 수 있기 때문에 이를 위해 판유리인 소다라임(soda-lime) glass 분말을 550°C에서 열처리한 분말에 25 wt% 함량으로 첨가한 후, 성형체를 제조하여 소결거동을 조사하고, 비소 흡착능 평가를 진행하였다. 이 때, 소다라임 glass의 조성은 무게비로 SiO<sub>2</sub>-1.5Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-9CaO-4MgO-13Na<sub>2</sub>O이고, 연화점은 약 700°C이다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1. 산업폐기물의 특성

Fig. 1은 인조대리석 산업폐기물에 대해 열중량분석을 한 결과이다. 그림에서 보여주는 바와 같이 1200°C까지 10°C/min의 승온속도로 승온한 결과, 약 60%의 무게감소가 일어나며, 285°C 부근에서 흡열반응은 수산화알루미늄의 탈수반응에 기인하는 것이고, 그 이후 유기물인 PMMA가 분해되면서 발생하는 발열피크가 나타남을 알 수 있다. 이것으로 보아 무기물인 수산화알루미늄이 전체 약 60% 이상의 많은 부분을 차지하고 있으며, 500°C 이상의 온도에서 중량변화가 없는 것으로 보아 유기물은 500°C 이상의 온도에서 거의 제거됨을 알 수 있다.

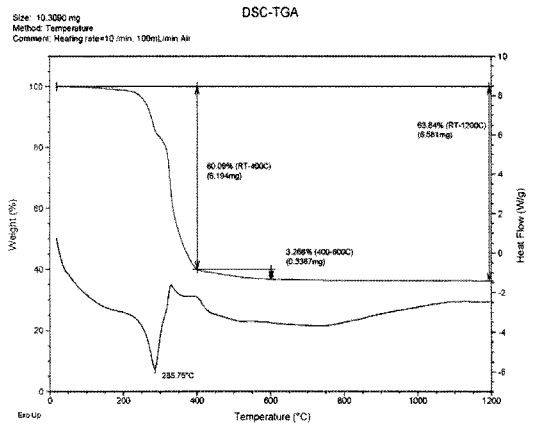


Fig. 1. The result of TG-DTA scan for artificial marble waste containing Al(OH)<sub>3</sub> used in this study.

이러한 열중량분석 결과를 바탕으로 유기물을 완전히 제거시킬 수 있는 약 500°C 이상으로 대상폐기물을 열처리 할 경우 유기물을 배제한 알루미늄 형태의 물질을 얻을 수 있을 것으로 파악되었다.

### 3.2. 열처리 분말의 특성분석 결과

본 연구에서는 인조대리석 산업폐기물의 특성분석결과를 바탕으로 열처리를 행하였으며, 이 때, 열처리는 500°C에서 1000°C 범위에서 3시간동안 진행하였으며, 시간에 따른 열처리 특성을 조사하기 위하여 950°C 온도에서 최대 3시간동안 열처리를 진행하였다. Fig. 2는 온도에 따른 열처리 분말의 XRD 패턴을 나타낸 것이

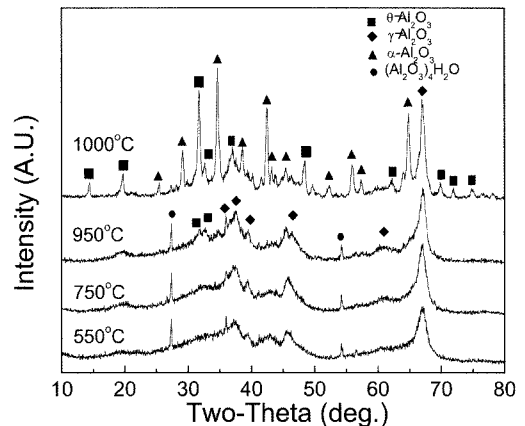


Fig. 2. XRD result for alumina powders heated from artificial marble waste at various temperatures for 3h in air.

다. 그림에서 보여주는 바와 같이 950°C 이하에서 열처리 분말에서는 열처리온도와 관계없이 유사한 XRD 패턴을 보이며, 이 때, 관찰되는 대부분의 상들은  $\text{Al}(\text{OH})_3$ 의 분해로 형성된  $\gamma$  알루미나 등 활성 알루미나 상태임을 알 수 있다. 그러나, 1000°C에서 열처리한 분말의 경우에는 고온안정상인  $\theta$ ,  $\alpha$  알루미나로 상변화가 일어남을 알 수 있다.

Fig. 3은 인조대리석 폐기물의 열처리온도 및 열처리 시간에 따른 알루미나 분말의 비표면적값의 변화를 나타낸 것이다. 열처리 분말은 시료를 550°C에서 1000°C의 온도범위에서 3시간동안 열처리하여 제조하였다. 그림에서 보여주는 바와 같이 열처리온도가 증가함에 따라 분말의 입자크기 증가로 인해 비표면적 값은 감소하

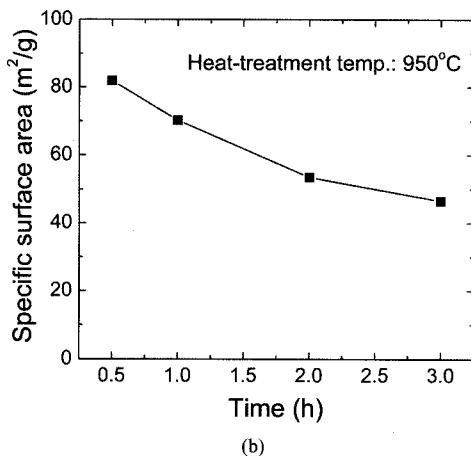
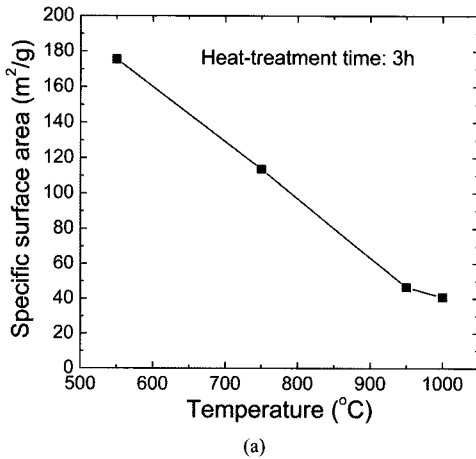


Fig. 3. The change of specific surface area for alumina powder prepared by heat-treatment of artificial marble waste as a function of (a) heat-treatment temperature and (b) heat-treatment time.

는 것을 알 수 있다. 550°C에서는 약  $177 \text{ m}^2/\text{g}$ 로 상용  $\text{Al}(\text{OH})_3$  분말의 값과 유사한 값을 보이며, 1000°C 열처리 후에는 550°C에 비해  $40 \text{ m}^2/\text{g}$ 으로 크게 감소하였다. 이 때, 950°C와 1000°C에서는 비교적 감소량이 적었다. 이는 Fig. 2의 XRD 패턴 결과에서 알 수 있듯이 상변화와 관련있는 것으로 판단된다. 950°C까지는 저온형의 활성알루미나인  $\gamma$  알루미나가 주성분이었다가, 1000°C 이상에서는 고온형 활성알루미나인  $\theta$  알루미나 또는  $\alpha$  알루미나로 상변태에 기인하는 것으로 판단된다. 한편, Fig. 3(b)에서와 같이 950°C에서 열처리 시간에 따른 비표면적값의 변화를 조사한 결과, 열처리 시간이 증가함에 따라 비표면적 값은 감소하며, 30분 열처리하면 약  $80 \text{ m}^2/\text{g}$ 이었던 것이 3시간동안 열처리 하면  $45 \text{ m}^2/\text{g}$ 로 감소하였다.

Fig. 4는 열처리 온도에 따른 알루미나 분말의 기공 크기분포를 나타낸 것이다. 본 그림에서 보여주는 바와 같이 550°C 열처리한 분말에서는 10 nm이하 크기를 갖는 나노크기의 미세한 기공이 존재하는 반면, 열처리 온도가 증가함에 따라 기공크기는 증가하고, 기공의 양은 상대적으로 감소함을 알 수 있다. 또한, 1100°C에서 열처리한 분말의 경우 기공이 거의 사라짐을 알 수 있었다. 따라서, 본 연구에서는 기공크기가 가장 작은 550°C 열처리한 분말에 대해 비소의 흡착성을 조사하였다.

Fig. 5는 인조대리석 폐기물을 550°C에서 3시간 열처리한 분말에 대한 시간 및 pH에 따른 비소흡착능을 분석한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 5(a)에서 보여주는 바와 같이 pH 5에서 흡착시간에 따른 비소흡착능을 조사한 결과, 6시간 후에는 100%의 높은 흡착률을 나타내

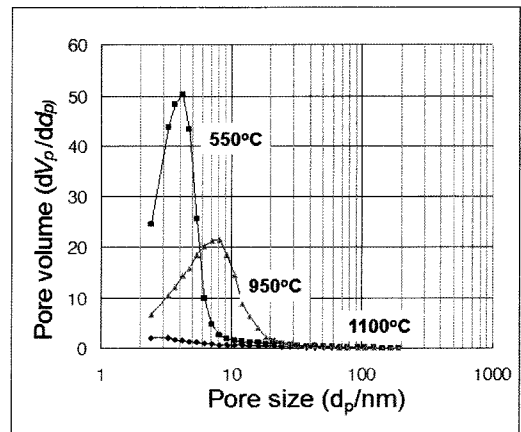
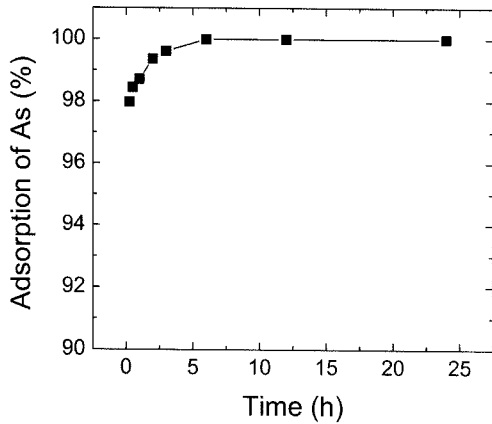
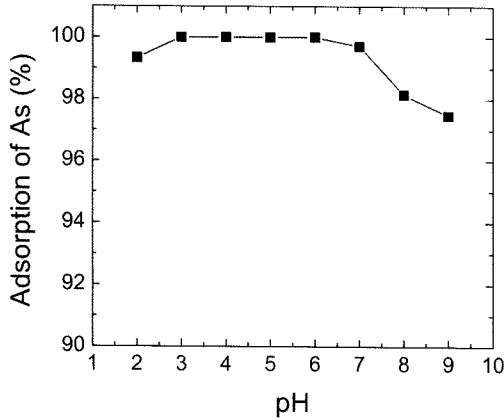


Fig. 4. Pore size distribution of industrial waste with heat-treatment temperature.



(a)



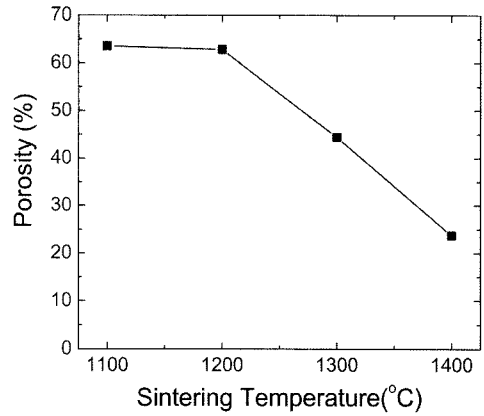
(b)

Fig. 5. Adsorption behavior of As element for alumina powder heat-treated at 550°C for 3h with (a) the adsorption time in pH 5 and (b) pH.

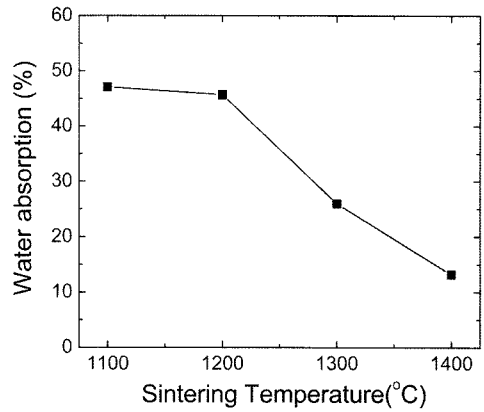
는 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 5(b)에서 보여주는 바와 같이 모든 pH 영역에서 97% 이상의 높은 비소 흡착능을 가지며, pH 3에서 6 사이에서는 100%의 비소 흡착능을 갖는 것을 알 수 있다. 이것으로 보아 활성알루미나의 비소흡착 특성은 매우 우수하기 때문에 인조 대리석의 폐기물 재활용을 통한 중금속 흡착제로 응용 가능성이 높을 것으로 판단된다.

### 3.3. 열처리 분말의 소결거동 및 비소흡착 특성

인조대리석 산업폐기물을 열처리한 분말의 경우 900°C이하에서 열처리한 분말의 경우 비소흡착 특성이 우수함을 확인하였으나, 이를 산업현장에 흡착제로써 사용하기 위해서는 일정한 강도를 가지는 pellet 형태를 가져야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 열처리 분말의



(a)



(b)

Fig. 6. (a) Porosity and (b) water absorption of alumina powder as a function of sintering temperature, which was heat-treated at 550°C for 3h.

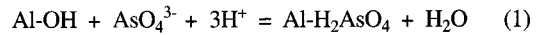
pellet화를 위해 일정 압력을 통해 성형체를 제조한 후 900°C에서 1300°C 범위에서 소결거동을 조사를 하였으나, 900°C까지 소결한 소결체의 강도가 매우 취약해 소결체의 특성을 분석하기가 어려워 이후 데이터는 1100°C에서 1300°C 온도범위에서의 소결거동 및 특성을 나타내었다. Fig. 6은 인조대리석 산업폐기물을 550°C에서 3시간동안 열처리하여 얻은 분말 성형체를 소결온도를 달리하여 2시간동안 소결한 후 소결온도에 따른 기공률 및 흡수률의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 6(a)에서 보여주는 바와 같이 기공률은 1200°C까지는 60% 이상의 높은 값을 보이다가 1300°C 이상의 온도에서는 급격하게 기공률이 감소함을 알 수 있다. Fig. 6(b)의 흡수률 변화추정결과, 기공률 변화경향과 유사하며 1200°C까지는 40%이상의 높은 흡수률을 보이다가

1300°C 이상의 온도에서는 소결온도가 증가함에 따라 감소하며, 소결에 따른 치밀화로 인해 1400°C에서는 13%로 1100°C에 비해 급격하게 감소함을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 시료를 열처리한 분말을 이용하여 1200°C 이하의 온도에서 소결을 통해 높은 기공률과 흡수율을 갖는 펠렛을 제조할 수 있음을 확인 할 수 있었다.

Fig. 7은 550°C에서 3시간 열처리하여 얻은 분말 성형체의 소결온도에 따른 소결밀도를 나타낸 것이다. 그림에서 보여주는 바와 같이 1200°C의 온도까지는 소결밀도의 변화가 없다가 그 이후에서는 온도에 따라 증가하는 거동을 보이는 것을 알 수 있으며, 소결밀도는 1200°C이하에서 1.5 g/cm<sup>3</sup> 이하의 낮은 값을 보이다가 1400°C 소결후에는 2.55 g/cm<sup>3</sup>에 도달하였다.

Fig. 8은 열처리 분말의 소결 후에 소결시편에 대한 비소 흡착능을 조사한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보여주는 바와 같이 900°C에서 소결한 시편의 흡착률은 2시간 후 약 98%로 높은 비소 흡착 특성을 가지는 반면에 1100°C와 1300°C에서 소결한 시편의 경우 900°C에 비해 흡착률이 크게 떨어짐을 알 수 있다. 또한, 소결온도가 높아짐에 따라 그 흡착률은 감소하였다. 소결온도가 증가함에 따른 흡착률의 감소는 기공률의 감소 및 기공크기의 증가에 기인하는 것으로 판단되나, 1100°C에서 소결한 시편의 경우 60%이상의 높은 기공률을 가짐에도 불구하고 흡착률은 20% 이하로 낮게 나왔다. 이는 비소의 열처리 분말 흡착기구가 기공률 및 기공크기 뿐만 아니라 시편 표면에 이온상태에 의해서도 영향

을 받는 것에 기인할 수 있다. Jain 등<sup>14)</sup>에 의하면 5가의 비소가 철산화물에 흡착하는 반응은 주로 흡착제 표면의 OH<sub>2</sub> 혹은 OH와의 리간드 교환반응에 의해 일어난다고 알려져 있다. 이와 같이 본 연구에서 아래의 식 (1)과 같이 물에 녹아있는 +5가의 비소이온(AsO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)이 알루미늄 표면의 OH기와 반응하여 시편표면에 흡착하는 기구를 생각할 수 있다.



앞의 Fig. 2의 XRD 패턴 분석결과에서도 알 수 있었던 듯이, 1000°C 전후에서 형성되는 상이 크게 변화하며, 1000°C 이상에서는 OH기가 포함된 알루미늄의 비율이 그 미만의 온도에 비해 상대적으로 크게 떨어진다. 또한, 1000°C 이하에서의  $\gamma$  알루미늄이 1000°C에서 대부분을 차지하는  $\theta$  알루미늄 또는  $\alpha$  알루미늄에 비해 표면화학적 활성이 높은 것으로 알려져있다.<sup>15)</sup> 이로 인해 1100°C 이상의 온도에서 소결한 시편의 경우 높은 기공률에도 불구하고 낮은 비소흡착률을 보이는 원인으로 판단된다. 이러한 결과로부터 550°C의 열처리한 분말 상태에서의 높은 비소흡착능을 유지하면서도 강도를 가지는 pellet 형태로 제조하기 위해서는 상변화가 일어나기 전 온도인 1000°C 미만의 온도에서 소결체를 제조하는 것이 필요함을 알 수 있었다. 따라서, 저온소결을 위해 소결조제인 glass 분말을 열처리된 알루미늄 분말에 첨가하여 소결거동을 조사하였다.

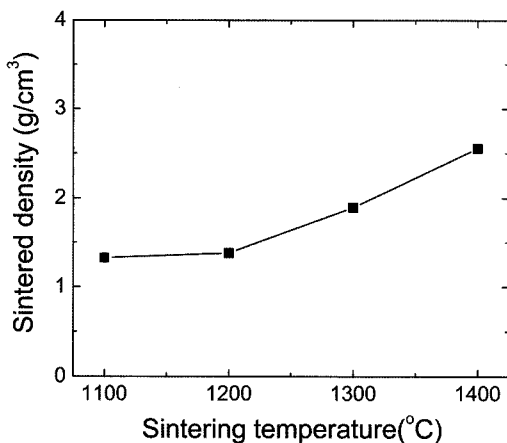


Fig. 7. Sintered density as a function of sintering temperature of alumina powder, which heat-treated at 550°C for 3h.

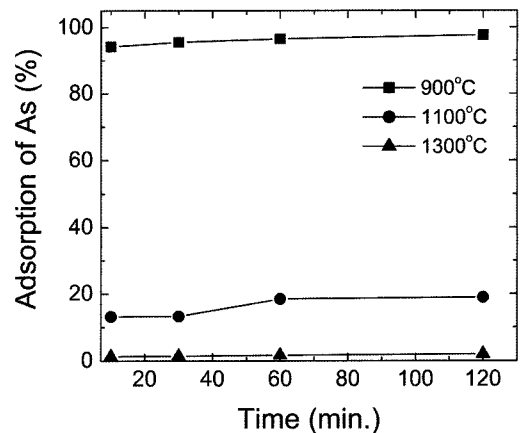


Fig. 8. Adsorption behavior of As with time for alumina sintered specimen. Alumina powder was prepared by heat-treatment of artificial marble waste at 550°C for 3h.

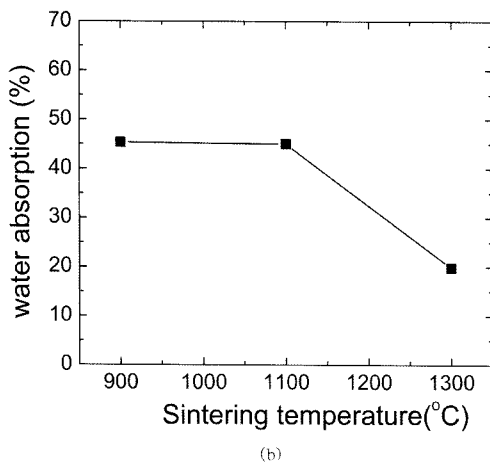
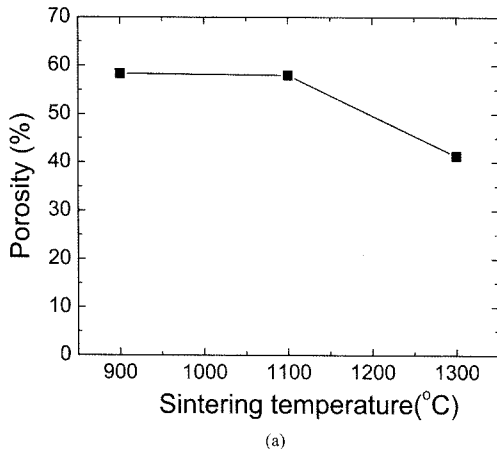


Fig. 9. (a) Porosity and (b) water absorption of alumina powder with 25 wt% glass powder as a function of sintering temperature, which was heat-treated at 550°C for 3h.

#### 3.4. Glass 분말 첨가에 따른 소결거동 및 비소흡착 특성

Fig. 9는 1000°C 미만의 저온소결을 위해 glass 분말을 25 wt% 조성으로 하여 550°C 열처리한 분말에 첨가하여 성형체를 제조한 후, 900°C에서 1300°C 온도범위에서 소결한 후 기공률 및 흡수률을 측정된 결과이다. Fig. 9(a)에서 보여주는 바와 같이 1100°C 온도까지는 60% 이상의 기공률을 나타내며, 1300°C에서는 42%로 낮아짐을 알 수 있다. 또한, Fig. 9(b)의 흡수률은 1100°C 온도까지 45%를 보이다가 1300°C에서는 20%로 낮아지는 것을 알 수 있다. 이러한 특성 값들은 소결제재인 glass를 첨가하지 않고 소결한 시편과 비교하여 다소 낮기는 하나 비교적 높은 값을 유지하고 있고, 특히, 상변화가 일

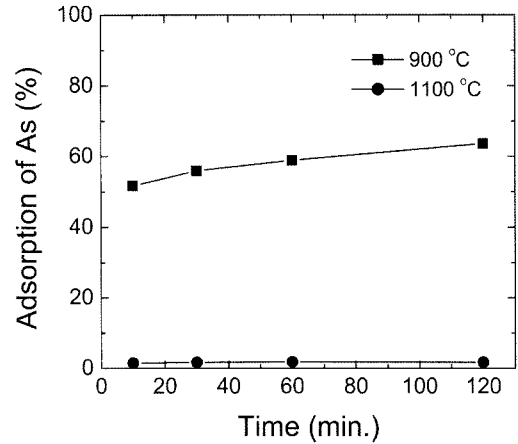


Fig. 10. Adsorption of As for alumina sintered specimens with 25 wt% glass powder.

어나기 이전온도인 900°C에서 소결한 경우 60% 이상의 높은 기공률을 가지는 소결체를 제조할 수 있었다.

Glass 분말을 첨가한 시편에 대해서도 비소흡착능 평가를 진행하였으며, 그 결과를 Fig. 10에 나타내었다. Fig. 10에서 보여주는 바와 같이 900°C에서 소결한 시편의 경우, 비소 흡착률은 약 63%로 900°C에서 열처리한 분말보다는 낮지만 비교적 높은 값을 얻을 수 있었으며, 반면에 1000°C에서 소결한 경우 흡착률이 매우 떨어짐을 알 수 있다. 이것으로 보아 비소흡착능은 기공률보다는 형성된 알루미늄의 상에 더 의존한다는 것을 확인할 수 있었으며, glass 분말을 첨가하여 저온 소결이 가능함으로써 비소 흡착률이 높은 상태 pellet화의 제조 가능성을 확인할 수 있었다. 다만, 후후 분말에서와 달리 pellet 상태에서의 비소 흡착률이 낮은 원인을 분석하고, 흡착률을 높일 수 있는 방안에 대해 연구하는 것이 필요하다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 수산화알루미늄이 포함된 인조대리석 폐기물에 대한 재활용가능성을 조사하기 위해, 연마공정에서 발생된 분말형태의 폐기물을 500°C-1000°C 범위에서 열처리 공정을 진행하고, 열처리 분말에 대한 특성분석과 비소 중금속 흡착성을 조사하였다. 그 결과, 1000°C 전후 하여 형성된 알루미늄 분말의 상변화가 크게 일어나며, 1000°C 미만에서 열처리 분말의 경우 열처리 온도와 관계없이 높은 비소흡착률을 나타내었다. 또한 비표면적이 가장 큰 550°C에서 열처리한 분말에

대해 pellet 시편을 제조하기 위해 성형체의 소결저동을 조사하였으며, 저온소결을 위해 glass 분말을 첨가하였다. 그 결과, 1200°C 이하의 소결온도에서 60% 이상의 높은 기공률을 가지는 pellet 시편을 제조할 수 있었으며, glass 분말을 첨가한 결과, 900°C의 비교적 낮은 온도에서 소결한 경우 60% 이상의 높은 기공률을 보였으며, 60% 이상의 비교적 높은 비소흡착률을 나타내었다.

### 감사의 글

본 연구는 중소기업 기술혁신개발사업 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. Lee, J. H. *et al.* 2002 : J. Korean Ind. Eng. Chem., 13, 588.

2. Yang, Y. K. *et al.*, 2004 : J. Korean Ind. Eng. Chem., 15, 786.
3. Lee, K. and Kim, H. S. 2003 : J. Korean Ind. Eng. Chem., 14, 622.
4. Kim, I. Kim, H. J. and Hong, I. K. 2000 : J. Korean Ind. Eng. Chem., 11, 220.
5. Eui-Hwan Hwang, Young Soo Koo and Jong-Ki Jeon, 2008 : J. Korean Ind. Eng. Chem. 14, 265.
6. 김창은, 이종혁, 이해옥, 1991 : 한국세라믹학회지, 28, 568.
7. 이상진, 김해두, 2004 : 한국세라믹학회지, 41, 513.
8. 박병기, 이정민, 서동수, 2003 : 한국세라믹학회지, 40, 683.
9. 양재규 등, 2003 : 대한환경공학회지, 25, 853.
10. 정영욱 등, 1997 : 한국토양학회지, 2, 39.
11. 김선태 등, 1998 : 한국토양학회지, 3, 33.
12. 이기철 등, 1999 : 한국토양환경학회지, 4, 25.
13. Welch, A. H. *et al.* 2000 : Ground Water, 38, 589.
14. Jain, A. Raven, K. P. and Loeppert, R. H. 1999 : Environ. Sci. Technol., 33, 1179.
15. 김성연, 김연식, 1995 : 한국세라믹학회지, 32, 1065.

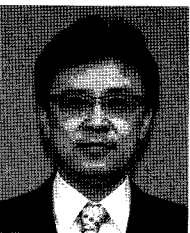


柳 聖 洙

- 2002년 漢陽大學校 材料工學科 工學博士
- 2003년~2005년 三星電機 部品事業部
- 현재 요업기술원 엔지니어링세라믹 센터

徐 城 揆

- 2007 水原大學校 工藝學科 理學士
- 현재 요업기술원 엔지니어링세라믹 센터 선임연구원



金 亨 泰

- 1997년 漢陽大學校 無機材料工學科 工學博士
- 현재 요업기술원 엔지니어링세라믹 센터 센터장



金 亨 駿

- 2000년 漢陽大學校 無機材料工學科 工學博士
- 2001년~2007년 三星SDI PDP事業部
- 현재 요업기술원 엔지니어링세라믹 센터 선임연구원

朴 俊 奎

- 1997년 Univ. of Southern California, 環境工學, 工學博士
- 1997년~2008년 네오에코즈(舊, LG環境研究院)
- 현재 (주)다산컨설턴트 전무이사

梁 在 奎

- 2000년 Maryland State University, 化學工學科, 工學博士
- 2000년~2004년 네오에코즈(舊, LG環境研究院)
- 현재 광운대학교 교수