

排煙脫黃石膏로부터 無水石膏 製造 및 適用 特性

玄鍾泳 · *鄭洙福 · 蔡泳培 · 金炳洙

韓國地質資源研究院 資源活用素材研究部

Manufacture and Application of anhydrous calcium sulfate from flue gas desulfurization gypsum

Jong-Yeong Hyun, *Soo-Bok Jeong, Young-Bae Chae and Byung-Su Kim

Mineral & Material Processing Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

요 약

화력발전소의 배연탈황공정에서 발생된 탈황석고의 용도확대 및 천연 무수석고의 대체 가능성을 조사하기 위하여 탈황석고로부터 건식 열처리법에 의한 무수석고의 제조특성 및 탈황 무수석고에 대하여 시멘트 및 콘크리트 2차 제품으로의 적용 특성을 조사하였다. 탈황석고로부터 II형 무수석고의 상전이는 700°C 부근에서 완전히 종료되었고, 이러한 II형 무수석고의 상전이 과정에서 입자크기의 변화 등을 확인할 수 있었다. 천연 무수석고와 탈황 무수석고로부터 제조된 무수석고는 화학성분 조성, 입자크기, 열적특성 등의 물성이 유사하였다. 무수석고를 시멘트나 콘크리트 2차 제품에 적용시킬 때 부식문제를 발생시킬 수 있는 황산기(SO₄²⁻)의 용출실험 결과, 700°C에서 1시간 열처리로 제조된 탈황 무수석고는 천연 무수석고에 비하여 황산기의 용출량이 약 50 wt.% 감소됨을 확인할 수 있었고, 소석회(Ca(OH)₂) 3 wt.%의 첨가에 의해 황산기의 용출량이 천연 무수석고에 비하여 약 70 wt.% 감소시킬 수 있었다. 탈황 무수석고를 시멘트 및 콘크리트 2차 제품에 적용시킨 결과, 압축강도 등의 물성이 천연무수석고에 비하여 동등 또는 우수함을 확인할 수 있었다.

주제어 : 배연탈황, 석고, 무수석고, II형 무수석고

Abstract

The manufacture property of anhydrous calcium sulfate (anhydrite II) from flue gas desulfurization (FGD) gypsum discharged from domestic thermoelectric power plants to apply as an auxiliary material of cement and concrete by high temperature treatment were investigated. The FGD gypsum was completely converted to anhydrite II at the temperature of 700°C and the retention time of 1 hr. In the phase transformation process, particle size was also changed. The chemical composition, particle size and heat property of anhydrite II made from the FGD gypsum were very similar to them of natural gypsum. In the leaching test of sulfate ion (SO₄²⁻) at the temperature of 90°C and the retention time of 1 hr, the amount of leached SO₄²⁻ for the anhydrite II that was sintered at 700°C for 1 hr was about 50 wt.% based on that of natural gypsum. In addition, the amount of leached SO₄²⁻ for the anhydrite II by adding the slaked lime of 3 wt.% decreased about 70 wt.% comparing with that of natural gypsum. In the application test, the compressive strength of cement and concrete manufactured by using the anhydrite II as an auxiliary material were similar or superior compared with them of cement and concrete done by natural gypsum as an auxiliary material.

Key words: Anhydrite II, FGD, gypsum, Slaked lime

* 2004년 11월 4일 접수, 2005년 3월 28일 수리

*E-mail: sbjeong@kigam.re.kr

1. 서 론

석고는 고대 이집트 시대부터 토목·건축재료로 이용되어 왔으며, 최근에는 시멘트의 응결지연제, 토지 개량제, 건축재 등과 같은 각종산업의 원료소재로써 널리 사용되고 있다¹⁾.

석고는 천연으로 산출되는 천연석고와 인공적으로 합성하거나 화학공정의 부산물로 산출되는 화학석고로 대별할 수 있다. 천연석고와 화학석고는 산출특성은 매우 상이하지만, 물성 및 활용성은 매우 유사하다. 따라서 화학석고의 경우도 처리기술의 개발에 따라 천연 무수석고가 이용되고 있는 석고 판넬, 압축보드, SLP(self leveling plaster) 및 인조대리석 등과 같은 부가가치가 높은 분야로의 활용도 가능할 것으로 보인다.

국내에서 배연탈황석고, 인산석고 등과 같은 많은 양의 화학석고가 부산물로 발생되고 있음에도 불구하고 천연 무수석고가 산출되지 않는 관계로 무수석고가 연간 20만톤 이상 수입되고 있다²⁾. 이러한 석고 품목의 수입대체를 위해서는 화학석고의 용도개발 및 기능성 고부가가치 제품 제조를 위한 처리기술의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

국내 화력발전소의 배연 탈황공정에서는 연간 100만톤 이상의 배연탈황석고(flue-gas desulfurization gypsum, FGDG)가 발생되어 석고 보드용 원료 및 시멘트 부원료 등과 같은 저급용도로 활용되고 있다³⁾. 그리고 화력발전소의 배연탈황 설비의 확대 등으로 인하여 향후 탈황석고의 배출량도 급격히 증가될 것으로 추정되므로, 탈황석고의 용도확대 및 관련기술의 개발도 시급한 실정이다.

습식 배연탈황 공정에서 발생하는 탈황석고는 일반적으로 이수석고($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, calcium sulfate dihydrate)로서, 이수석고는 열처리나 기타 화학 반응을 통하여 반수석고($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$, calcium sulfate hemihydrate)와 III형 및 II형 무수석고(CaSO_4 , calcium sulfate anhydrite)로의 상전이가 가능한 것으로 알려져 있다⁴⁾.

III형 무수석고는 반수석고에서 결정수가 그대로 빠져나간 형태로 미량의 잔존 결정수가 실측되어 완전히 무수형태의 물질은 아닌 것으로 알려져 있고, II형 무수석고는 격자에 대칭성이 좋고 강도, 경도가 높은 화학적 인 불활성으로 용해도가 작기 때문에, 각종 산업의 원료소재로 활용도가 높은 것으로 알려져 있다¹⁾.

따라서 본 연구에서는 건식 열처리에 의한 배연탈황석고(flue-gas desulfurization gypsum, FGDG)의 상전

이에 따른 물성 및 시멘트 및 콘크리트 2차 제품에 혼화제로 사용되는 천연 무수석고를 탈황 무수석고(flue-gas desulfurization anhydrite, FGDA)로 대체하였을 때의 압축강도 특성 등을 고찰하였다.

2. 시료 및 실험방법

2.1. 시료

국내에서는 여러 곳의 화력발전소에서 배연탈황석고(flue-gas desulfurization gypsum, FGDG)가 발생되고 있으나, 유연탄을 연료로 사용하고 있는 보령화력발전소에서 발생된 탈황석고를 본 실험의 시료로 사용하였다.

Fig. 1은 본 실험에 사용된 시료의 저온 영역에서의 TG-DTA 곡선을 나타낸 것으로, 90°C~200°C까지의 결정수에 탈수에 의한 중량감소(20.07 wt.%)를 이용하여 이수석고의 품위를 아래의 식 (1)으로 계산한 결과 품위가 95.9 wt% 정도로 비교적 고품위의 이수석고임을 확인할 수 있었다.

Fig. 2는 시료의 입도분포를 나타낸 것으로, d_{50} 이 32.72 μm , d_{max} 가 247 μm 였으며, 10 μm 이하의 미세한 입자들이 17 wt.% 정도 함유되어 있었다.

Fig. 3은 본 실험에 시료로 사용된 탈황석고의 구성

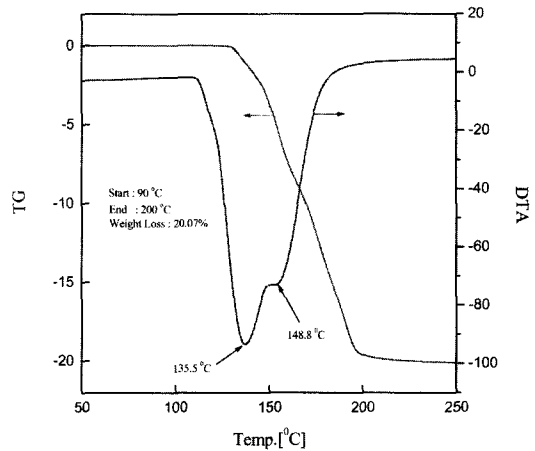


Fig. 1. TG-DTA curve of the sample.

$$GS(\%) = CW(\%) \times \frac{GS_{mw}}{CW_{mw}} \quad (\text{eq. 1})$$

where, GS is gypsum ($\text{CaSO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) content
 CW is combined water content
 GS_{mw} is molecular weight of gypsum
 CW_{mw} is molecular weight of combined water

물질을 조사하기 위한 X선 회절분석 결과로, 주구성 광물은 석고이고 불순물로 방해석과 석영광물이 함유되어

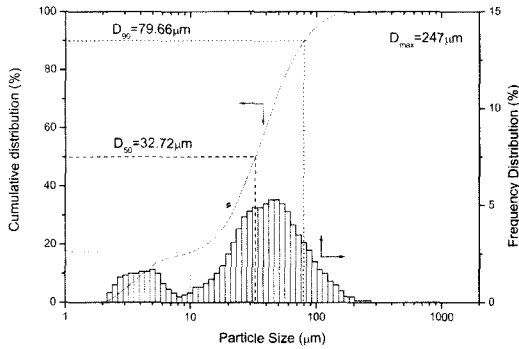


Fig. 2. Particle size distributions of the sample.

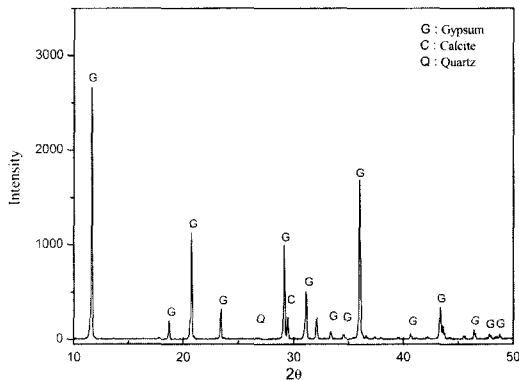


Fig. 3. XRD patterns of the sample.

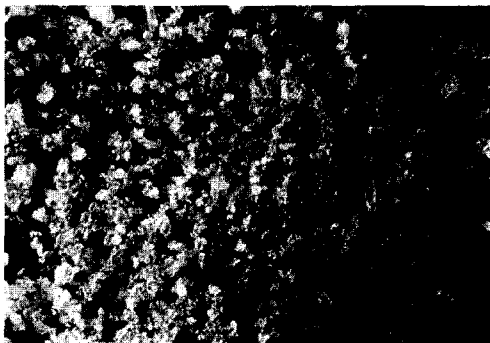


Fig. 4. Photography of the sample.

있음을 확인할 수 있었다. 불순물 중에서 방해석의 경우는 배연 탈황 공정에서 석회석 슬러리에 배기가스를 반응시킬 때 미 반응된 석회석의 혼입으로 보이며, 석영 광물은 사용된 석회석 중에 불순물로 함유되었던 석영 광물인 것으로 생각된다.

Fig. 4는 시료의 현미경 사진으로 배연탈황석고는 일반적으로 침상으로 알려져 있으나³⁾, 본 실험의 시료는 침상으로 발달한 결정도 있었으나 대부분은 타원형으로, 투명도가 높고 입자의 크기가 불균일한 특성을 나타내었다. 사진에서 투명도가 낮고, 입자의 형상이 구형에 가까운 입자들은 미반응된 방해석이나 불순물로 혼입된 석영광물 등인 것으로 생각된다.

2.2. 실험방법

II형 무수석고(anhydrite II)는 이론적으로 400°C 이상에서 제조되는 것으로 알려져 있으므로¹⁾, 본 실험에서는 시료의 장입량을 1 kg으로, 소성시간을 1시간으로 고정 후 400°C, 500°C, 600°C, 700°C 및 800°C에서 소성된 산물의 특성을 고찰하였다.

본 연구의 목적이 천연 무수석고를 대체하기 위한 것이었기 때문에, 현재 태국으로부터 수입되어 시멘트 및 콘크리트 2차 제품 제조에 혼화재로 사용되는 분말상태의 천연 무수석고와 탈황석고를 700°C에서 1시간 열처리하여 제조된 탈황 무수석고의 화학성분 조성, 광물학적 특성, 입도분포 및 열적특성 등을 조사하였다. 이때, 화학성분조성은 XRF(XRF-1700, Shimadzu, Japan)와 ICP(JY-38plus, Jobin Yvon, France) 및 습식분석 등을 이용하였고, 광물학적 조성은 XRD(Pillips X'pert MPD, Phillips, USA)로 분석하였으며, 입자크기는 레이저 타입의 입도분석기(MS20, Malvern, UK)를 이용하였다. 또한 열적 특성은 TG-DTA(DTG-60H, Shimadzu, Japan)으로 조사하였다.

천연 무수석고를 탈황 무수석고(flue-gas desulfurization anhydrite, FGDA)로 대체하였을 때의 압축강도 등을 고찰하기 위한 실험에서는 천연 무수석고를 혼화재로 사용하여 시멘트 및 콘크리트 2차 제품을 생산하는 A사의 배합기준인 Table 1에 의거하여 Fig. 5와 같이, 시멘트, 굵은 골재, 모래, 물 등과 무수석고를 포함

Table 1. Mixing ratio of each material for the manufacturing of the test mold in A company (unit : kg).

W/B(%)	Water	Cement	Gypsum and others	Sand	Aggregates (φ13 mm)
50	245	343	147	800	1,000

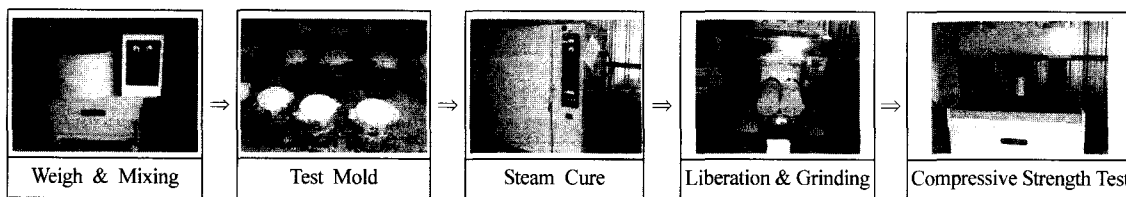


Fig. 5. Experimental procedure of application test for the sample.

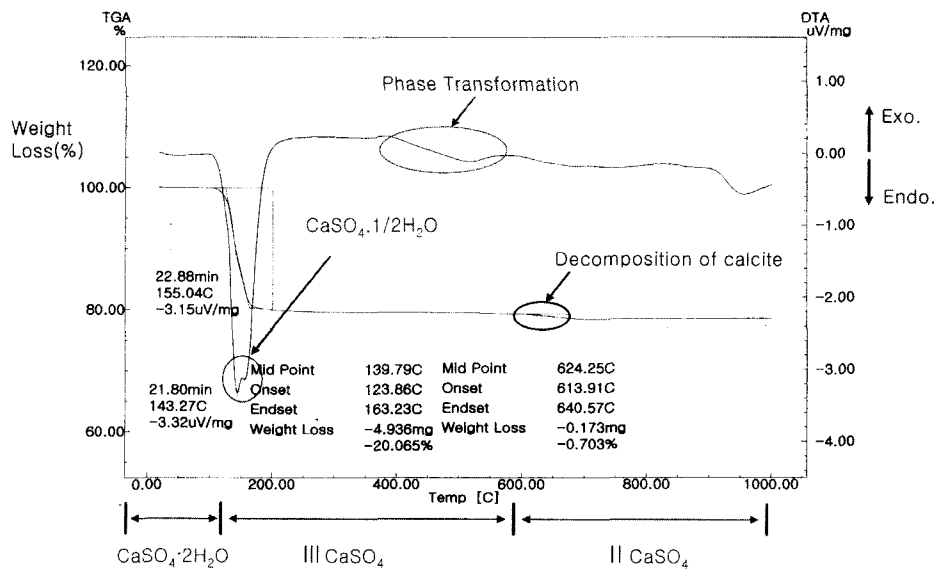


Fig. 6. TG-DTA Curve of the sample.

한 혼화재를 혼합기에서 균질하게 혼합하여 직경 10cm, 길이 20cm의 실린더형 몰드에 주입시킨 공시체를 증기양생하였다. 이때 증기양생 조건은 40°C에서 1시간 30분 유지하고 5°C/분의 승온속도로 85°C까지 승온시킨 후, 85°C에서 3시간 유지한 후 서냉하였고, 증기양생이 끝난 공시체는 탈형한 다음, 표면을 연마하여 대기중에서 양생시킨 후 1일, 3일, 7일 및 28일의 압축강도를 측정하였다.

황산기(SO₄²⁻)의 용출실험에서는 초순수(500 ml)에 석고(50 g)를 혼탁시켜 90°C에서 1시간 용출시킨 후, 여과하여 여액에 함유된 황산기의 농도를 Ion Chromatography (DX300, Dionex, USA)로 분석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 탈황석고의 열특성

Fig. 6은 본 실험에서 시료로 사용된 탈황석고의 상온

에서 1,000°C까지의 TG-DTA 분석 결과이다. DTA 곡선에서와 같이, 350°C 부근부터 600°C까지 피크가 넓게 존재하는 것이 확인되었는데, 이는 III형 무수석고가 II형 무수석고로 상전이되기 때문인 것으로 생각되었다. TG 곡선에서는 614°C에서 641°C 부근에서 약 0.7 wt.%의 중량 감소가 발생되는데 이것은 탈황석고에 불순물로 함유된 방해석의 하소 때문인 것으로 판단되었다.

II형 무수석고는 일반적으로 400°C 이상에서 제조되는 것으로 알려져 있으나¹⁾, 본 실험에 사용된 시료의 경우는 TG-DTA 분석 결과 600°C 부근에서 III형 무수석고에서 II형 무수석고로의 상전이가 종료되는 것으로 판단되었다.

Fig. 7은 400°C, 500°C, 600°C, 700°C 및 800°C에서 본 실험에 사용된 시료를 1시간 소성하였을 때 각 소성 산물의 XRD 분석 결과를 나타낸 것으로, 400°C와 500°C에서 열처리된 산물의 경우는 III형 무수석고와 II형 무수석고가 공존하는 것으로 동정되었고,

600°C의 열처리에서는 III형 무수석고의 흔적만을 확인할 수 있는 미약한 피크가 관찰되었다. 그러나 700°C와 800°C의 열처리에서는 II형 무수석고의 피크만이 관찰

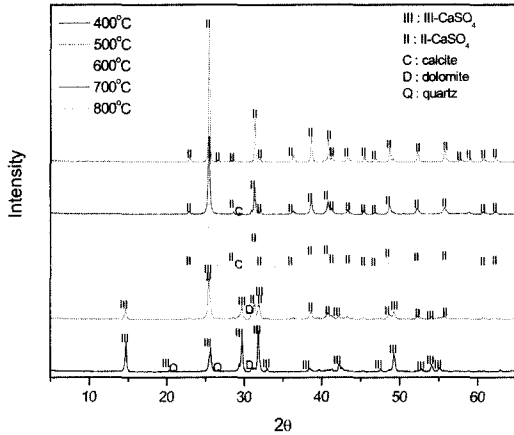
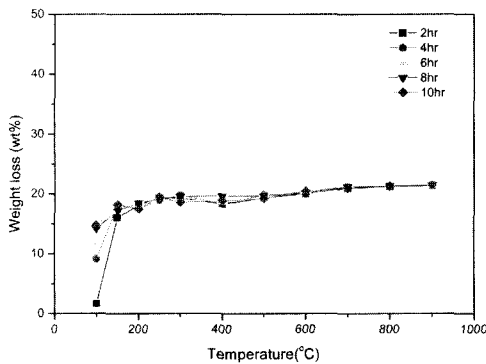
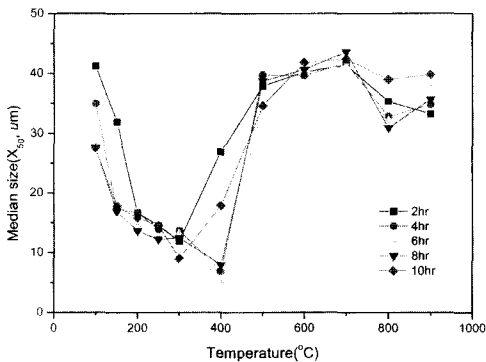


Fig. 7. XRD patterns of the fired FGDG in various temperature for 1 hr.



(a) Weight loss



(b) Particle size

Fig. 8. Change of weight loss and particles size treated by firing.

되었으며, 본 실험에서 사용된 시료는 700°C 이상에서 1시간 열처리로 거의 완전히 II형 무수석고로 상전이됨을 확인할 수 있었다.

상전이가 진행되면 중량감소가 발생되고, 또한 입자의 크기 등의 변화가 발생할 것으로 예측되었기 때문에, 열처리온도와 시간에 따른 중량감소(weight loss) 및 평균 입경(median size)을 조사하여 Fig. 8에 나타내었다.

(a)의 중량감소 곡선의 200°C이하에서 급격한 중량감소를 나타내었는데, 이는 이수석고의 1차 탈수($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) 및 2차 탈수($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{III-CaSO}_4$)에 의한 것으로 판단된다. 200°C 이상에서는 소성시간이 증가하여도 중량감소의 변화는 거의 없었으나, 400°C 부근에서 약간의 중량감소가 확인되었는데, 이는 III형 무수석고에 잔존하는 미량의 결정수 탈리에 의한 것으로 추측된다.

(b)의 평균입자의 크기 변화에서와 같이, 400°C 부근까지는 입자크기가 급격히 작아지는 특성을 보이는데 이는 이수석고가 반수 및 III형 무수석고로의 상전이 과정에서 결정수의 탈리에 의한 것으로 판단되고, 400°C 이상에서 입자의 크기가 서서히 커지는 것은 결정 성장에 의한 것으로 추측된다.

따라서 배연탈황석고를 열처리하게 되면 중량감소, 입자크기 등의 변화가 발생되는데, 이러한 현상은 이수석고에서 반수, III형 및 II형 무수석고로의 상전이와 밀접한 관계가 있음을 확인할 수 있었다.

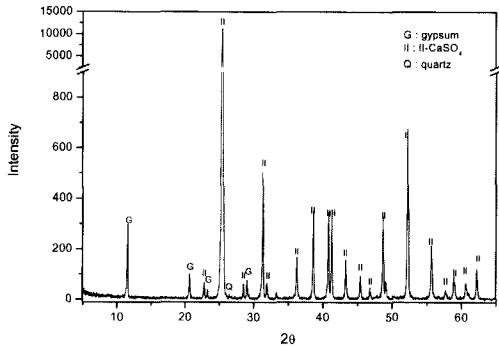
배연탈황 이수석고를 열처리하여 제조한 무수석고(FGDA)를 시멘트 및 콘크리트 2차 제품의 혼화재로 사용할 경우 황산기(SO_4^{2-})에 의한 부식 문제의 발생이 우려되었기 때문에, 각 소성산물에서 황산기(SO_4^{2-})의 용출량을 측정하여 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 소성하기 전의 탈황석고에서 황산기의 용출량은 13,600 mg/kg 정도였고, 400°C로 소성한 경우에는 용출량이 19,500 mg/kg으로 증가하였으나, 소성온도가 증가함에 따라 황산기의 용출량이 감소하여 800°C에서는 6,220 mg/kg 정도로써 탈황 이수석고의 용출량의 46 wt% 정도였다. 황산기의 용출량이 400°C와 500°C에서 증가하는 이유는 이수석고가 열처리에 의하여 III형 무수석고의 생성량이 증가되는데, III형 무수석고의 경우 준안

Table 2. Results of leaching test for the fired FGDG as a function of firing temperature. (unit : mg/kg)

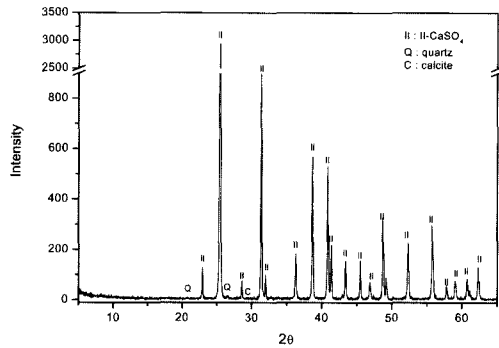
	Raw	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C
SO_4^{2-}	13,600	19,500	21,400	10,960	7,750	6,220

Table 3. Chemical composition of FGDA and NG(unit:wt.%).

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	Igloss	SO ₃
NG	0.13	0.26	0.10	40.82	0.11	0.06	0.07	0.003	0.018	0.008	1.25	58.30
FGDA	0.15	0.53	0.24	40.12	0.60	0.11	0.06	0.01	0.025	0.008	0.53	57.20



(a) NG



(b) FGDA

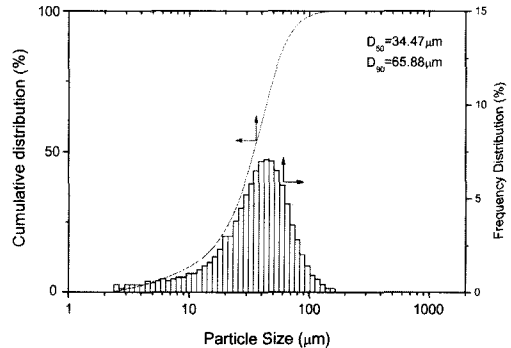
Fig. 9. XRD patterns of NG and FGDA.

정형으로 용해도가 높기 때문인 것으로¹⁾ 판단된다. 반면 600°C이상에서 열처리한 산물의 경우는 용해도가 낮은 II형 무수석고의¹⁾ 함유량이 많아지기 때문에 용출량이 감소한 것으로 판단된다.

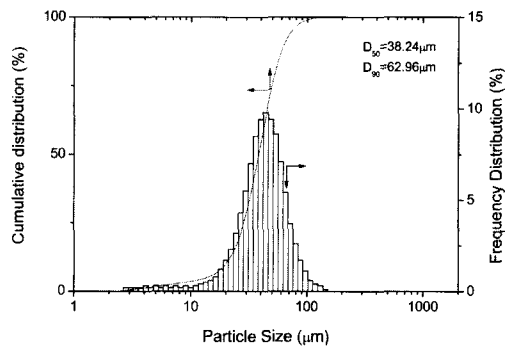
3.2. 탈황 무수석고와 천연 무수석고의 물성 비교

Table 3은 시멘트 및 콘크리트 2차 제품에 혼화제로 사용되는 태국산 천연 무수석고(natural gypsum, NG)와 700°C에서 1시간 열처리로 제조된 탈황 무수석고(flue-gas desulfurization anhydrite, FGDA)의 화학성분을 나타낸 것이고, 광물학적 조성은 Fig. 9에 나타내었다.

Table 3에서와 같이, 천연 무수석고와 배연탈황 무수석고는 성분상의 커다란 차이를 보이지 않았지만, 탈황



(a) NG



(b) FGDA

Fig. 10. Particle size distributions of NG and FGDA.

무수석고가 천연 무수석고에 비하여 Fe₂O₃의 함량이 약간 높았고 SO₃의 함량은 약간 낮은 경향을 나타내었다. 따라서 배연탈황 무수석고가 천연 무수석고에 비하여 석고의 품위는 약간 떨어지는 것으로 분석되었다.

Fig. 9의 XRD 분석결과에서와 같이, 천연 무수석고의 주구성 광물은 anhydrite(CaSO₄)와 gypsum(CaSO₄ · 2H₂O)이지만, 탈황 무수석고는 anhydrite(CaSO₄)였다. 따라서 천연 무수석고에는 이수석고와 무수석고가 공존하지만, 본 실험에서 제조된 탈황 무수석고는 무수석고만으로 구성되어 있음을 확인할 수 있었다.

Fig. 10은 천연 무수석고와 탈황 무수석고의 입도분포를 나타낸 것으로, 천연 무수석고의 경우 d₅₀이 34.47 μm, d₉₀이 65.88 μm 정도였으나, 배연탈황 무수

석고는 d_{50} 이 38.24 μm , d_{90} 이 62.96 μm 정도로 두 시료 모두 비슷한 입자크기를 나타내었다.

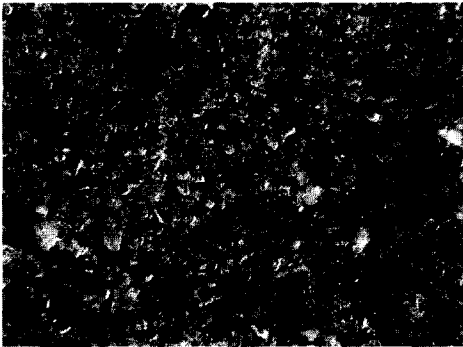
천연 무수석고(NG)와 배연탈황 무수석고(FGDA)의 입자 형태를 조사하기 위하여 광학 현미경으로 관찰한 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 사진에서와 같이, 천연 무수석고는 분쇄된 산물이기 때문에 입자 형상 및 크기가 다양하였고, 배연탈황 무수석고의 경우는 침상의 결정과 Fig. 4의 탈황 이수석고의 사진에서 관측되었던 바와 같은 형태인 타원형입을 확인할 수 있었다.

Table 4는 천연무수석고와 700°C에서 1시간 열처리하여 제조된 탈황 무수석고에 소석회($\text{Ca}(\text{OH})_2$)를 1, 3, 5 wt.%를 첨가하였을 때의 pH와 황산기(SO_4^{2-})의 용출

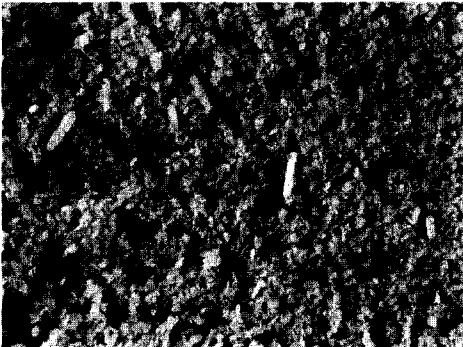
량을 조사한 것으로, 천연 무수석고의 pH는 8.4 정도로 약알칼리성이었으나, 배연탈황 무수석고는 pH가 12정도로서 강한 알칼리성을 나타내었다. 황산기의 용출량은 천연석고의 경우 14,800 mg/kg 정도였으나, 탈황무수석고는 소석회를 첨가하지 않았을 경우에 천연 무수석고의 52 wt% 정도인 7,750 mg/kg 정도가 용출되었다. 그리고 소석회를 첨가한 배연탈황 무수석고의 경우는 소석회의 첨가량이 증가할수록 황산기의 용출량이 감소되어 소석회를 3.0 wt.% 첨가한 경우 황산기의 용출량은 천연 무수석고의 30 wt% 정도인 4,610 mg/kg가 용출되었는데, 이러한 현상은 소석회 첨가에 의하여 탈황 무수석고에 잔류되었던 가용성 황산기가 소석회의 칼슘이온과 결합하여 불용성 칼슘화합물을 형성하기 때문인 것으로 추측된다.

3.3. 탈황 무수석고의 적용 특성

Table 5는 각 온도에서 소성된 산물을 혼화재로 첨가하여 제조된 공시체의 압축강도를 나타낸 것으로, 혼화재로 첨가된 시료의 열처리 온도가 증가할수록 공시체의 압축강도도 증가되는 경향을 나타내었다. 그러나 600°C 이하에서 소성한 산물을 혼화재로 첨가한 경우는 천연 무수석고를 첨가한 공시체에 비하여 압축강도가 낮은 특성을 나타내었다. 이는 전술한 Fig. 7의 XRD 분석에서 알 수 있었던 바와 같이, 600°C 이하에



(a) NG



(b) FGDA

Fig. 11. Morphology of NG and FGDA.

Table 5. Compressive strength of the fired FGDA in various temperature for 1 hr.

	Firing Temp.(°C)	Compressive strength (kgf/cm ²)		
		1 day	3 days	7 days
FGDA	400	187	253	261
	500	187	242	260
	600	202	246	272
	700	206	265	294
	800	207	278	298
NG	-	203	267	281

Table 4. Sulfuric ion amounts and pH for the leached NG and FGDA.

Sample	NG	Additional amounts of slaked lime in FGDA			
		0 wt.%	1.0 wt.%	3.0 wt.%	5.0 wt.%
pH	8.4	11.9	12.2	12.6	12.6
SO_4^{2-} (mg/kg)	14,800	7,750	5,060	4,610	4,400

서 소성한 산물의 경우 가용성인 III형 무수석고가 존재하기 때문인 것으로 추측된다. 그러나 700°C 이상에서 소성한 산물의 경우는 천연 무수석고를 첨가한 공시체의 압축강도와 유사하거나 높은 결과를 나타내었는데, 이는 Fig. 9의 XRD 분석 결과에서와 같이, 700°C 이상에서 소성한 산물은 이수석고가 함유되지 않고 무수석고만으로 구성되었기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 본 실험에 사용된 시료의 경우 탈황 무수석고를 제조하기 위한 최적 조건은 700°C 이상인 것으로 판단되었다.

혼화제인 무수석고의 입자 크기가 달라지면 압축강도의 변화도 발생할 것으로 예측되어 d_{50} 이 38.2 μm 인 700°C 에서 1시간 열처리하여 제조한 탈황 무수석고(FGDA)와 불빛에서 30분 분쇄하여 d_{50} 이 14.2 μm 인 탈황 무수석고(FGDA*)를 첨가하여 제조한 공시체의 압축강도 특성을 조사하여 Table 6에 나타내었다. 표에서와 같이, 분쇄공정을 거친 미립의 탈황 무수석고를 첨가한 공시체의 초기 3일까지의 압축강도는 분쇄하지 않

이는 700°C 부근에서 완전히 종료되었고, II형 무수석고로의 상전이에 의하여 증량감소, 입자의 크기 등의 변화가 발생됨을 확인할 수 있었다.

천연무수석고와 탈황이수석고로부터 제조된 무수석고는 화학성분 조성, 입자크기 및 형상, 열적특성 등의 물성이 유사하였으나, 황산기(SO_4^{2-})의 용출실험 결과 700°C에서 1시간 소성한 탈황무수석고는 천연무수석고에 비하여 황산기의 용출량이 약 50%정도였고, 소석회($\text{Ca}(\text{OH})_2$)의 첨가에 의해 탈황 무수석고에서 황산기(SO_4^{2-})의 용출량이 감소됨을 확인할 수 있었다.

700°C에서 1시간 열처리로 제조된 탈황 무수석고를 혼화제로 첨가하여 제조된 공시체의 압축강도가 천연 무수석고를 사용한 경우보다 동등하거나 높은 특성을 나타내었기 때문에 천연 무수석고의 대체가 가능할 것으로 기대되었다.

참고문헌

1. 關谷道雄, 1965: “石膏”, 技報堂.
2. 통계청, 2002: “2001년 무역통계연보”.
3. 정종구, 1997: “세계의 탈황석고 재활용 현황 및 향후 전망”, 석탄회 및 탈황석고 활용 국제 워크샵, 한국전력공사, pp. 79-121.
4. 石膏石灰學會, 1972: “石膏石灰ハンドブック”, 技報堂
5. Hammer, H. and Hueller, R. 2002: “Future development of the FGD gypsum market in europe”, Gypsum and Fly Ash 2002, Canada.
6. Luckevich, L. 2002: “The effect of reagent(lime or limestone) on the properties of gypsum from flue gas desulfurization”, Gypsum and Fly Ash 2002, Canada
7. 노재성, 1998: “석고·석회를 이용한 기능성 첨가제의 제조 및 특성”, 제6회 석고·석회 심포지움, 한국요업학회, pp. 25-46.
8. 오성원, 1997: “석탄회 및 탈황석고 배출 현황 및 대책”, 석탄회 및 탈황석고 활용 국제 워크샵, 한국전력공사, pp. 27-53.
9. 윤영식, 1987: “II형 무수석고의 수화에 미치는 하소온도의 영향”, 단국대학교 화학과 석사학위 논문.
10. 최정봉 외, 1997: “산업부생 II형 무수석고의 재활용에 의한 시멘트·콘크리트 압축강도 개선”, 한국폐기물학회지, 14(7), pp. 680-690.

Table 6. Compressive strength as a function of particle size.

$(d_{50}: \mu\text{m})$	Median Size	Compressive strength (kgf/cm ²)			
		1 day	3 days	7 days	28 days
FGDA	38.2	206	265	294	362
FGDA*	14.2	211	272	289	355

은 탈황 무수석고를 첨가한 경우보다 약간 높은 양상을 나타내었으나, 7일 및 28일 강도는 약간 낮은 특성을 나타내었다. 이러한 압축강도의 미미한 차이는 실험오차의 한계범위에 있는 것으로 판단된다. 따라서 본 실험에서 제조된 탈황 무수석고를 혼화제로 첨가할 경우 입자크기의 영향은 크게 발생하지 않는 것으로 판단되었다.

4. 결 론

배연탈황 공정에서 발생하는 탈황석고의 용도확대를 위하여 탈황 이수석고의 열처리 온도에 따른 상전이를 관찰한 결과, 탈황이수석고로부터 II형 무수석고의 상전



玄 鍾 泳

- 1999. 2 인하대학교 자원공학과 공학 박사
- 2004. 7~현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 파견연구원



鄭 洙 福

- 2000. 8 전북대학교 자원공학과 공학박사
- 1987. 5~현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 선임연구원



蔡 泳 培

- 1987. 2 건국대학교 화학공학과 공학 박사
- 1988. 5 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 책임연구원



金 炳 洙

- 1999. 12 미국 유타대학교 금속공학과 공학박사
- 2001. 9~현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 선임연구원

학회지 광고게재 안내

격월로 년간 6회 발간되는 한국자원리사이클링 학회지에 광고를 게재하고 있습니다. 알찬 내용의 학회지가 될 수 있도록 특별회원사 및 관련기관에서는 많은 관심을 가지고 협조하여 주시기 바랍니다. 광고게재 비용은 아래와 같으며, 기타 자세한 내용 및 광고게재에 관해서는 학회로 문의하시기 바랍니다.

	칼라인쇄 (1회)	흑백인쇄 (1회)	1년 6회 게재 기준			
			칼라 인쇄		흑백 인쇄	
			일 반	특별회원사	일 반	특별회원사
앞표지 안 쪽	50 만원	30 만원	180 만원	140 만원	130 만원	100 만원
뒷표지 안 쪽	50 만원	30 만원	180 만원	140 만원	130 만원	100 만원
뒷표지 바깥쪽	60 만원	40 만원	200 만원	150 만원	150 만원	120 만원
학회지 안(내지)	30 만원	20 만원	100 만원	80 만원	80 만원	50 만원

※Film을 주시는것을 기준으로 책정된 금액입니다.