

## 中國 遼寧省 建平縣 일대의 벤토나이트 광산에서 산출되는 벤토나이트의 용도별 특성

박성완<sup>1\*</sup>, 이상현<sup>1</sup>, Christoph Baumgartner<sup>2</sup>, 황진연<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(주)한국수드케미(geologist@maginc.com)

<sup>2</sup>Süd-Chemie South East Asia Pte. Ltd.

<sup>3</sup>부산대학교 지질학과

### 1. 서 언

우리나라의 산업용 벤토나이트는 1960년대말 부터 소규모로 생산되기 시작하여 현재 7-8개 업체에서 주물용, 토목용(쓰레기 매립장용 포함), 제지용, 동물사료용, 농업용 등의 산업적 용도로 생산하고 있다(박 성완과 이 상현, 2001). 이러한 벤토나이트 제품을 생산하기 위한 벤토나이트 원광은 과거에는 국내의 광산들에서 생산, 공급하여 자체 수급을 하였으나, 최근 들어 국내 광산들의 고품위 벤토나이트 매장량 감소, 심부채광에 따른 안전성 문제, 노천채굴에 따른 환경문제와 민원발생, 인건비와 작업비등의 상승으로 인하여 해마다 가행 광산의 수가 줄어들어 현재는 2개광산(G-46과 G-65)에서만 벤토나이트를 생산하고 있는 실정으로 그 공급이 원활하지 못한 상황이다. 이와 같은 벤토나이트 원광의 공급부족을 해결하기 위하여 국내 생산업체들은 10여 년 전 부터 중국, 인도, 터키 등지에서 원광을 수입하여 왔으나, 최근 들어 중국으로부터의 수입량이 급격히 증가하는 추세이며, 2004년에는 그 양이 50,000 MT을 넘어설 전망이다.

그럼에도 불구하고 중국 벤토나이트에 대한 지질학적, 광물학적 연구 및 현황에 대한 조사는 거의 이루어지지 않았으며, 최근 들어 노 진환(2003)의 요령성 흑산현에 위치한 흑산 벤토나이트에 대한 보고가 있을 뿐이다.

본 연구에서는 중국 요령성 건평현 일대에 분포하고 있는 벤토나이트 광산들에 대한 현황 소개 및 각 광산들로부터 채취한 시료에 대해 현재 국내 벤토나이트 생산업체에서 이용하고 있는 각 용도별 실험을 통한 벤토나이트원광의 산업적 용도 특성을 파악하고자 한다.

### 2. 시료 및 연구방법

본 연구에서 이용된 벤토나이트 원광시료는 2002년 12월부터 2003년 11월까지 5회에 걸쳐 중국 요령성 건평현 일대의 30여개의 광산을 직접 방문하여 채취한 시료를 연구대상으로 하였다.

본 연구에서는 현재 벤토나이트 제조업체에서 행하여지는 각 용도별 벤토나이트에 대한 일반적인 물성시험방법을 위주로 하였으며(박 성완과 이 상현, 2001), 그 외 구성광물성분을 알기위한 X-선회절분석 및 화학성분을 알기위한 X-선형광분석을 실시하였다.

### 3. 광산현황

본 연구 대상인 벤토나이트 광산들이 분포하는 요령성 건평현은 북경에서 직선거리로 북동쪽으로 약 310Km에 위치하고 있으며, 교통편은 북경-단둥간 기차를 이용하여 내몽골 지역인 적봉에서 건평으로 가는 기차를 갈아타고 가야하며, 약 12시간이 소요된다. 지리적 좌표는 E119° 22'- E119° 38', N41° 24'- N41° 34'에 해당된다.

이 지역의 조사자료로는 중국 요령성 지질광산국 제삼지질대대(遼寧省 地質礦產局 第 3

地質大隊)에서 발간한 광산별 팽윤토광지질탐사보고(膨潤土礦地質勘探報告, 2001)가 있다. 이 보고서에 따르면, 본 역의 지질은 선캄브리아기 건평군(建平群)의 편마암류와 여기에 협재된 자철석규암이 기반암을 이루며, 이것을 중생대 백악기초 화강암이 관입을 하였고, 이들을 현무암, 안산암, 유문암, 진주암, 응회암등이 관입 및 분출하였다. 이 벤토나이트는 이 응회암에 3개의 층으로 배태되어 있으며, 최상부의 벤토나이트는 주로 백색을 나타내고, 몬모릴로나이트(蒙脫石) 함량은 60-75%, 두께는 4-8m이며, 가운데 벤토나이트층은 회백색, 회황색을 나타내고, 두께는 0-2.0정도이다. 최하부의 벤토나이트층은 녹색, 황록색, 담황색, 자홍색을 나타내며, 몬모릴로나이트 함량은 65-95%, 층후는 약 2-30m이다. 이 보고서에 의한 본 역의 벤토나이트 매장량은 약 5,000만톤(1986년도 기준)이다.

본 역의 벤토나이트 가행 광산의 수는 약 40-50개로, 주로 독일, 미국에서 진출한 회사와 중국 현지 생산회사들이 가행하는 광산이 약 70%이며, 나머지는 개인들이 직접 채광하여 이들 회사에 납품하고 있는 실정이다. 채광방법은 인력에 의한 노천채굴을 주로 하며, 일부 규모가 큰 광산에서는 굴삭기와 같은 중장비를 이용하여 채광하고 있다.

본 역에서 벤토나이트 생산시설을 갖춘 공장은 약 50여개이며, 이 중 15-20여개의 공장에서 활성화(Activated) 시킨 벤토나이트를 생산하고 있으며, 나머지 공장에서는 Ca-벤토나이트를 단순하게 분쇄하여 Ore pelletizing용으로 생산하고 있다.

#### 4. 실험결과 및 토의

우선 각 광산별 벤토나이트 시료들에 대해 X-선회절분석을 행하여 구성광물들을 검토한 결과, 모든 시료들이 다량의 몬모릴로나이트를 포함하는 것이 확인되었으며, 그 외에 소량의 석영, 장석, 제올라이트 광물, 크리스토팔라이트를 포함하기도 하였다. 특히, 몇몇 광산들의 벤토나이트에서는 몬모릴로나이트의 피크가 상당히 샤프(sharp)하게 나타나며, 이런 벤토나이트에서는 크리스토팔라이트를 대부분 수반하는 경향이 있다. 모든 시료들에서 몬모릴로나이트의  $d(001)$ 값이 16Å을 나타내므로 전형적인 Ca-벤토나이트라 할 수 있다.

벤토나이트에 대한 화학성분을 검토한 결과  $SiO_2$  함량이 53-73 wt.%의 범위를 나타내며, 몬모릴로나이트 함량이 높을수록 낮은  $SiO_2$  함량을 나타낸다.  $Na_2O$ 의 함량은 0.0-0.8 wt.%의 범위를 나타내는 데, 이는 우리나라 벤토나이트의 함량 0.57-2.44 wt.%(고 상모 외, 2002)보다 낮은 경향을 보인다.

벤토나이트의 메틸렌블루 흡착량의 측정은 벤토나이트 제조회사 및 사용업체에서 저렴한 비용, 간편성 및 신속성 때문에 벤토나이트내의 몬모릴로나이트의 함량 및 그 품질을 간접적으로 평가하는데 많이 이용되고 있다. 본 역의 메틸렌블루 흡착량은 몇 개의 광산들을 제외하고는 70-100ml을 나타내는데, 이는 우리나라 벤토나이트의 흡착량(60-80ml) 보다 높은 값을 나타낸다. 팽윤도를 측정한 결과, 17-40 ml/2g의 범위를 나타내며, 메틸렌블루 흡착량이 높을수록 팽윤도가 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

주물용 벤토나이트의 주요 품질평가항목인 생형압축강도와 습태인장강도를 측정해본 결과, 생형압축강도는 몇몇의 시료를 제외하고는 10-14  $N/cm^2$ 의 범위를 가지며, 습태인장강도는 0.17-0.24  $N/cm^2$ 의 범위를 나타내는데, 메틸렌블루 흡착량이 높을수록 생형압축강도와 습태인장강도가 높음을 알 수가 있다. 특히 생형압축강도의 경우에 있어서는 아주 좋은 상관관계를 보여준다. 하지만, 열적안정성을 나타내는 550°C에서 30분간 가열한 후에 측정한 생형압축강도 결과를 보면 그러한 상관관계를 나타내지 않는다. 이것은 벤토나이트내의 몬모릴로나이트의 열안정성의 차이에 기인한 것으로 볼 수 있다.

토목용 벤토나이트의 특성파악을 위해 마쉬점도를 측정하여 보았다. 증류수 1리터에 벤토나이트 45g을 혼합하여 측정하였을 때 약 29-35초, 1시간 후에 측정하였을 때는 약 29-40초의 범위를 나타낸다. 1시간 후에 측정하였을 때의 마쉬점도는 메틸렌블루 흡착량과 팽윤도와의 좋은 상관관계를 나타낸다.

양이온교환능은 대부분의 시료가 약 80에서 100 meq/100g의 값을 가지는데, 이는 현재 우리나라에서 산출되고 있는 벤토나이트(약 70-80meq/100g)보다 높은 값을 가진다. 이 또한 메틸렌블루 흡착량이 높을수록 양이온교환능도 높은 경향을 가진다.

이상의 결과를 정리하여 볼 때, 본 역에서 산출되는 벤토나이트는 우리나라의 것보다 높은 몬모릴로나이트 함량, 팽윤도, 생형압축강도, 양이온교환능을 가지고 있다. 박성완 외(2003)에 의하면, 산업용 벤토나이트의 품질평가에 있어서 몬모릴로나이트의 함량을 측정하는 것은 아주 기본적인 실험에 속하지만, 이 몬모릴로나이트의 함량이 모든 벤토나이트의 산업적 용도를 결정짓는 요소는 아니라고 언급하였다. 주물용 벤토나이트의 품질측정에 있어서 무엇보다도 중요한 특성은 열적안정성을 나타내는 550℃에서 30분간 가열한 후에 측정된 생형압축강도인데, 몬모릴로나이트 함량과 생형압축강도는 좋은 상관관계를 보여주지만, 열안정성 생형압축강도와는 상관관계를 나타내지 않는다. 이것은 벤토나이트를 사용하는 주물공장에서는 중요하게 평가하는 요소로서 벤토나이트의 사용량과 직접적인 관련이 있기 때문이다. 우리나라에서 중국으로부터 수입하는 벤토나이트의 대부분은 주물용 벤토나이트를 생산하는데 이용된다. 또한 본 역에는 제지용 벤토나이트에 필수적인 높은 백색도를 나타내는 벤토나이트를 산출하는 광산들도 있다. 그러므로 이런 벤토나이트의 특성을 사전에 파악하는 것이 무엇보다도 중요하다 할 것이다. 차후 중국으로부터의 벤토나이트 수입량은 늘어날 전망이므로 본 역을 포함한 중국의 벤토나이트 산출지에 대한 지질광상학적, 광물학적 연구가 필수적이며, 이러한 연구자료들이 중국으로부터 수입되는 벤토나이트의 산업적 활용에 많은 도움이 되리라 생각한다.

## 5. 참고문헌

- 고상모, 손병국, 송민섭, 박성완, 이석훈 (2002) 벤토나이트의 물리-화학적 성질을 지배하는 요인분석. 한국광물학회지, 15, 259-272.
- 노진환 (2003) 중국 요녕성 흑산 벤토나이트 광산의 광상 및 광물특성 평가. 광물과 산업, 16, 1-12.
- 박성완, 이상현 (2001) 국내산 벤토나이트 제품의 제조 현황 및 그 용도. 제26회 자원활용·소개 워크숍 논문집. 한국지질자원연구원, 247-277.
- 박성완, 황진연, 이상현, 김용운, 이병한, 서한기, 서전형, 현부영 (2003) 국내 산업용 벤토나이트의 용도별 특성. 2003년 한국광물학회·한국암석학회 공동학술발표회 논문집(초록), 한국지질자원연구원 5월 30일, 95p.
- 遼寧省地質礦產局第三地質大隊 (2001) 馬南山膨潤土礦地質勘探報告. 13p.
- 遼寧省地質礦產局第三地質大隊 (2001) (018)膨潤土礦地質勘探報告. 15p.
- 遼寧省地質礦產局第三地質大隊 (2001) (032)膨潤土礦地質勘探報告. 16p.
- 遼寧省地質礦產局第三地質大隊 (2001) (051)膨潤土礦地質勘探報告. 16p.
- 遼寧省地質礦產局第三地質大隊 (2001) (058)膨潤土礦地質勘探報告. 15p.
- 遼寧省地質礦產局第三地質大隊 (2001) (070)膨潤土礦地質勘探報告. 15p.