

박성완¹, 황진연², 이상현¹, 김용운¹, 이병한¹, 서한기¹, 서전형¹, 현부영¹

¹ (주)한국수드케미(geologist@magicn.com)

² 부산대학교 지질학과(hwangjy@hyowon.pusan.ac.kr)

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). 또한 중국 등지에서 이러한 용도로 수입되어 사용되고 있으며, 세제용, 애완동물의 깔개용(cat litter), 화장품, 의약품 등에 사용되는 벤토나이트는 거의 전부 수입에 의존하여 사용되고 있는 실정이다.

이러한 산업용 벤토나이트에 대해서 각 용도별 벤토나이트에 대한 특성연구가 몇몇 시도되어 왔으며(김 동욱과 홍 영명, 1982; 손 용석외, 1998; 황 진연외, 1997), 최근 들어서는 벤토나이트 원광에 대한 응용광물학적 접근이 많이 시도되는 추세이다(고 상모외, 2002; 노 진환, 2000; 노 진환, 2002; 노 진환외, 2003).

그럼에도 불구하고 현재 유통되고 있는 산업용 벤토나이트들이 용도별로 적합한 물리화학적 특성에 따른 구분이 없이, 다만 몇가지 기초적인 특성들(몬모릴로나이트 함량, 팽윤도, CEC, pH 등)만으로 그 용도를 결정지어 사용되어지고 있는 실정이다.

본 연구에서는 현재 국내에서 유통되고 있는 산업용 벤토나이트를 각 용도별로 수거하여, 현재 국내 벤토나이트 생산업체에서 이용하고 있는 각 용도별 실험을 통한 산업용 벤토나이트의 특성을 파악하고, 이 특성에 따른 각 용도별 적합성 검토 및 문제점을 제시하고 그 해결방안을 알아보고자 한다.

2. 시료 및 연구방법

본 연구에는 현재 국내의 각 산업현장에서 사용되고 있는 산업용 벤토나이트의 제품을 현장에서 직접 수집하여 사용하였다. 현재 국내에서 가장 많은 수요를 가지는 주물용 벤토나이트 제품은 6개의 국내산 벤토나이트와 4개의 중국 및 인도 등지에서 수입되어 사용되고 있는 완제품을 포함하여 총10개를 사용하였으며, 토목용 벤토나이트는 2개의 국내산과 4개의 아프리카, 중국, 미국 등지에서 수입된 벤토나이트를 포함하여 6개 제품이며, 제지용과 동물사료용은 각각 2개씩 국내산 벤토나이트를 연구대상으로 하였다. 본 연구에서는 각 기업들의 사정을 감안하여 이들 제품의 제조회사 및 상품명 등의 구체적인 기술은 회피한다.

본연구에서는 현재 벤토나이트 제조업체에서 행하여지는 각 용도별 벤토나이트에 대한 일반적인 물성시험방법을 위주로 하였으며, 그 외 구성광물성분을 알기위한 X-선회절분석 및 화학성분을 알기위한 X-선형광분석을 실시하였다.

3. 연구결과

우선 용도별 벤토나이트 시료들에 대해 X-선회절분석을 행하여 구성광물들을 검토한 결과, 모든 시료들이 다량의 몬모릴로나이트를 포함하는 것이 확인되었으며, 그 외에 소량의 석영, 장석 등으로 구성되어 있으며, 몇몇 주물용 시료들에 있어서는 방해석을 포함하기도 하였다. 토목용 시료들도 다량의 몬모릴로나이트와 소량의 석영, 장석 등으로 구성되어 있

으나, 석영의 함량이 주물용보다 상대적으로 많이 나타나는 듯 하며, 제지용 시료들은 크리스토발라이트를 함유하고 있으며, 동물사료용 시료 중 AF2는 제올라이트광물을 함유하고 있다.

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. AF-2 시료(24 ml)를 제외하고는, 57-100 ml의 범위를 나타내고 있으며 주로 주물용시료들(F계열)이 토목용시료들(C계열)보다 높은 값을 나타내고 있다.

벤토나이트의 수분함량은 6.5-13.7 %의 다양한 범위를 나타낸다. 대부분의 제조업체에서 벤토나이트 제품 생산시 10 % 이하로 조절하여 생산하는 것을 감안하면 10 %를 훨씬 초과하는 몇몇 시료들은 생산후 오랜 기간동안 방치되었거나 수입과정에서 공기중의 수분을 흡수하여 나타난 결과로 볼 수 있다.

이들 시료들의 현탁액에 대한 pH를 측정된 결과, 대부분 9.4에서 10.6의 알칼리성을 나타내며, AF-2 시료만 상대적으로 낮은 값인 7.7을 나타낸다.

팽윤도를 측정된 결과, 제지용 시료의 경우 33.5-35.0 ml/2g의 다른 시료들에 비해 상대적으로 높은 값을 나타낸다. 토목용의 경우는 대부분 20 ml/2g 이상을 나타내며, 주물용 벤토나이트에 있어서는 10.0-24.5 ml/2g까지 다양한 범위를 나타낸다. 메틸렌블루 흡착량과 비교해보면, 흡착량이 높을수록 팽윤도가 높게 나타나는 것을 알 수 있으며, 비슷한 흡착량 일지라도 토목용이 주물용보다 상대적으로 높은 값을 나타내는 편이다.

주물용벤토나이트의 주요 품질평가항목인 생형압축강도와 습태인장강도를 토목용, 제지용, 사료용 벤토나이트에 대해서도 함께 측정하였다. 생형압축강도는 주물용은 7.8-13.2 N/cm²의 범위를 가지며, 제지용의 경우는 13.3 N/cm²의 높은 값을 나타낸다. 주물용의 경우 토목용(7.5-9.6 N/cm²)보다 상대적으로 높은 값을 나타낸다. 습태인장강도는 주물용은 0.17-0.23 N/cm²의 범위를 나타내며, 이 또한 토목용(0.17-0.18 N/cm²)보다 상대적으로 높은 경향을 나타낸다.

메틸렌블루 흡착량에 대한 생형압축강도와 습태인장강도와 관계를 검토하여 보면, 메틸렌블루 흡착량이 높을수록 생형압축강도와 습태인장강도가 높음을 알 수가 있다. 특히 생형압축강도의 경우에 있어서는 아주 좋은 상관관계를 보여준다. 하지만, 열적안정성을 나타내는 550℃에서 30분간 가열한 후에 측정된 생형압축강도와 습태인장강도의 결과를 보면 그러한 상관관계를 나타내지 않는다. 이것은 벤토나이트내의 몬모릴로나이트의 열안정성의 차이에 기인한 것으로 볼 수 있다.

마쉬점도는 토목용 벤토나이트의 특성과약을 위해 측정하는 실험항목으로 37초-51초의 범위를 나타내나, C5의 시료의 경우는 약 31초, C4시료의 경우 100초가 넘는 값을 가지며, 이 안정액을 1시간 방치한 후의 점도는 45초에서 62초 사이의 값을 가진다. 다른 용도의 벤토나이트와 비교하여 보면, 주물용의 경우 30초 내외(1시간후는 29-38초), 제지용은 32-35초(1시간후는 39-48초), 동물사료용은 27-31초(1시간후는 27-37초)의 값을 가진다.

전단강도(gel strength 또는 shear strength)는 토목용의 경우 0.0에서 17.0 lbs/ft²의 값을 가지며, 그 외의 시료들은 주물용의 F2의 시료(6.2)와 제지용의 P2 시료(10.7)를 제외하고는 0의 값을 가진다.

여과수량(Fluid Loss 또는 Filter Loss)은 토목용의 경우 6-11 ml의 범위를 나타내며, 그 외의 벤토나이트들도 이와 유사한 범위를 나타내지만, 동물사료용의 AF2시료는 비정상적으로 109 ml를 나타낸다.

제지용 벤토나이트에서의 점도는 브룩펠드사의 점도계로 측정된 결과, 제지용 벤토나이트 시료들은 86, 157 cP (1시간후는 192, 321 cP)의 값을 나타내며, 주물용 시료들은 5-73 cP (1시간후 21-120 cP)의 범위를 나타내며, F2시료는 비교적 높은 값인 200 cP (1시간후 264 cP)를 나타낸다. 토목용 시료들은 마쉬점도에서 나타난 것처럼 대부분 높은 값인 101-700 cP (1시간후 174-701 cP)을 나타낸다. 동물사료용 시료 중 AF2시료는 4 cP (1시간후 2 cP)의 아주 낮은 값을 나타낸다.

양이온교환능은 주물용 시료가 약 88에서 122 meq/100g의 값을 가지며, 토목용 시료들의 경우는 76에서 97 meq/100g의 범위로 주물용보다 상대적으로 낮은 값을 가진다. 제지용은 94에서 110 meq/100g의 값을 가지며, 동물사료용은 약 89 meq/100g의 값을 가진다.

4. 토의 및 결론

산업용 벤토나이트의 품질평가에 있어서 몬모릴로나이트의 함량을 측정하는 것은 아주 기본적인 실험에 속한다. 그렇지만, 이 몬모릴로나이트의 함량이 모든 벤토나이트의 산업적 용도를 결정짓는 요소는 아니다. 위에서 나타난 것과 같이 대부분의 주물용 벤토나이트는 토목용 벤토나이트 보다 높은 몬모릴로나이트 함량을 가진다. 또한 같은 토목용 벤토나이트 중에서도 C5시료는 다른 시료들(59-72 ml)보다 높은 84 ml의 메틸렌블루 흡착량을 가지지만, 낮은 마쉬점도(33.9초, 다른 시료들은 45에서 125초)를 가진다. 이 메틸렌블루 흡착량과 다른 물성치들과 비교하여 볼 때, 생형압축강도와 습태인장강도를 제외하면 별다른 상관관계를 보여주지는 않는 듯 하다. 이러한 점은 벤토나이트 원광에 대한 특성을 연구한 기존의 연구자들도 언급한 바 있다(고 상모외, 2002; 노 진환외, 2003).

주물용 벤토나이트의 품질측정에 있어서 무엇보다도 중요한 특성은 열적안정성을 나타내는 550℃에서 30분간 가열한 후에 측정된 생형압축강도와 습태인장강도이다. 몬모릴로나이트 함량과 생형압축강도, 습태인장강도는 좋은 상관관계를 보여주지만, 열안정성 생형압축강도와 습태인장강도와는 상관관계를 나타내지 않는다. 이것은 벤토나이트를 사용하는 주물공장에서는 중요하게 평가하는 요소로서 벤토나이트의 사용량과 직접적인 관련이 있기 때문이다. 그러므로 생형압축강도와 습태인장강도가 높다고 해서 좋은 품질의 주물용 벤토나이트가 아니며, 반드시 열적안정성이 높아야만 좋은 벤토나이트라 할 수 있다.

토목용 벤토나이트는 일반적으로 높은 점도가 요구된다. 하지만 지하연속벽 같은 공사현장에서는 너무 높은 점도는 벤토나이트 안정액을 다시 펌핑(pumping)하는데 어려움이 있기 때문에 적당한 점도를 유지해야 하며, 대신 높은 전단강도와 적은 양의 여과수량을 가진 벤토나이트를 선호한다. 팽윤도와 마쉬점도와 비교하여 보면, 다른 용도의 벤토나이트들은 좋은 상관관계를 나타내지만 토목용 벤토나이트들은 비정상적으로 높은 값을 나타낸다. 이것은 점도를 높이기 위하여 제조업체에서는 벤토나이트 제조시 점증제를 투입하여 제조하는 경향이 있기 때문이다.

제지용 벤토나이트는 높은 몬모릴로나이트 함량과 일정한 점도, 높은 백색도를 요구한다. 주물용 벤토나이트 중에서도 메틸렌블루 흡착량이 높은 시료들이 있으나, 점도와 백색도가 이에 미치지 못하는 못한다.

동물사료용 벤토나이트에 있어서의 필수 특성요소는 수분함량과 양이온교환능이다(사료관리법). 이 기준으로만 본다면, AF2시료는 아무런 문제가 없는 벤토나이트이다. 하지만, 메틸렌블루 흡착량이 다른 시료들에 비해 현저히 낮으며(24ml), X-선회절분석 결과에 의하면 제올라이트 광물이 다량 검출되는 것으로 보아서 이 제올라이트광물에 의한 높은 양이온교환능을 가지는 것으로 보인다. 또한 다른 시료들보다 낮은 pH값(7.7)을 가진다. 이런 점들을 보면 이 AF시료는 진정한 벤토나이트 제품이라고 할 수 없을 것이다. 우리나라 광업법에 의하면 벤토나이트는 몬

모릴로나이트 함량이 50%이상이라고 규정되어 있다.

이상과 같이 각 용도별 벤토나이트의 특성을 검토한 결과, 국내 유통되는 많은 벤토나이트 제품들이 같은 용도로 사용되는 것 중에서도 그 특성의 차이가 비교적 크게 나타났다. 이것은 많은 경우에 용도에 맞추어 생산된 제품을 사용하는 것이 아니고, 동일 제품을 여러 용도로 사용하고 있기 때문으로 생각된다. 이러한 문제점은 용도에 따른 품질기준이 명확하지 못하고, 또한 사용업체에서 벤토나이트에 대한 이해부족과 제대로 품질을 평가하는 시스템이 구축되지 않기 때문으로 보인다. 연구결과에서와 같이 일반적으로 벤토나이트의 품질을 평가하는 기준인 몬모릴로나이트의 함량만으로 용도에 따른 평가를 하기에는 다소 부족한 점이 많기 때문에, 앞으로 각 용도별에 맞는 특성기준이 마련되어야 되고, 이에 따른 특성시험이 실시되어야 효율적인 벤토나이트의 활용이 이루어질 것으로 생각된다.

5. 참고문헌

- 고상모, 손병국, 송민섭, 박성완, 이석훈 (2002) 벤토나이트의 물리-화학적 성질을 지배하는 요인분석. 한국광물학회지, 15, 259-272.
- 김동욱, 홍영명 (1982) 동해백토(주) 벤토나이트(BS)에 대한 생형용 점결제로소의 특성조사. 구조, 2, 4, 16-21.
- 노진환 (2000) 광물학적 지식기반 사업으로서의 벤토나이트의 개발과 응용: 국내현황, 문제점 및 발전방안. 광물과 산업, 13, 1-17.
- 노진환 (2002) 국내산 벤토나이트에 대한 응용광물학적 특성 평가(I): 광물 조성 및 특징과 양이온 교환특성과의 연계성. 한국광물학회지, 15, 329-344.
- 노진환, 유재영, 최 우진 (2003) 국내산 벤토나이트에 대한 응용광물학적 특성 평가(II): 광물학적 특징, 체표면적 및 유변학적 특성과 그 연계성, 16, 33-47.
- 박성완, 이상현 (2001) 국내산 벤토나이트 제품의 제조 현황 및 그 용도. 제26회 자원활용·소재 워크샵 논문집. 한국지질자원연구원, 247-277.
- 손용석, 김수홍, 홍성호, 이성호 (1998) 벤토나이트와 맥반석의 급여가 반추위내 완충능력과 발효양상에 미치는 효과. 한국낙농학회지, 20, 1, 21-32.
- 황진연, 박성완, 황한석 (1997) 국내 토목용 벤토나이트의 물리화학적 특성. 지질공학회지, 7, 127-137.