

# 매립지 차수재 개발을 위한 국내 벤토나이트의 팽윤성 향상에 관한 연구

최우진<sup>1)</sup> · 이원영<sup>1)</sup> · 노진환<sup>2)</sup>

## 1. 서론:

벤토나이트는 주성분이 몬모릴로나이트인 점토광물로서 입자의 흡착성, 가소성, 이온교환성, 팽윤성, 촉매성, 점성, 현탁성 등의 물리적·화학적 특성이 우수하여 주물사의 점결제, 시추 및 그라우팅용 점토, 유지정제, 의약품, 화장품, 농약, 도로점증제, 제지, 비료 및 사료, 토지개량제, 윤활제, 정수제, 점착제 등 용도가 매우 다양한 것으로 알려져 있다. 특히, 벤토나이트는 물과 반응시키면 팽윤성이 우수하여 체적이 크게 팽창하므로 토양입자사이의 간극을 메우기 때문에 매립지 및 토목용 차수재료 등으로 많이 이용되고 있다. 캐나다를 비롯한 선진국에서는 매립지 차수재료로서 벤토나이트를 혼합한 복합라이너 재료를 개발하여 현장에 적용함으로써 효과적인 매립지 시스템을 구축하고 있다. 그러나 국내의 경우 매립지의 차수재료로서 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)계통의 단일 라이너를 사용함으로써 매립지의 침출수 누출 문제에 효과적으로 대처하고 있지 못한 실정이다.

현재 국내에서는 경북 양남 및 포항일대에 분포되어 있는 벤토나이트를 채광하여 생산하고 있으나 대부분의 업체들이 채광된 벤토나이트를 분쇄공정을 거쳐 제품화하는 단순 제조공정을 채택하고 있어서 주로 저급용 주물사 점결제나 토목용에만 제한적으로 사용되고 있다. 국내 부존하고 있는 벤토나이트는 대부분이 팽윤도가 낮기 때문에 크게 활용이 되지 못하고 있는 실정이며, 따라서 매립지 차수재 등으로 활용하기 위해서는 물성향상 및 정제 기술 등의 개발이 시급한 실정이다. 본 논문에서는 국내 벤토나이트를 이용하여 내투수성 뿐만 아니라 내구성이 우수한 복합라이너 재료로 활용하기 위한 기초특성을 수행한 결과를 제시하고자 한다.

## 2. 국내 벤토나이트의 부존 및 광물학적 특성

국내의 벤토나이트 광상은 제3기의 양북층군의 퇴적기원 응회질 암층에 부존된다. 따라서 경제성 있는 벤토나이트 광상은 경북 포항-경주-울산으로 이어지는 삼각 지대 내에서 10 m내의 두께의 층상으로 한정되어 분포하고 제품회사나 공장도 대부분이 지역내에 위치하고 있다. 부존지역의 지질 여건과 산출상태를 고려하여 벤토나이트의 산출지를 편의상 (1) 영일지역, (2) 감포지역, (3) 하서지역으로 구분하였다. 영일지역의 벤토나이트 광상은 늘대리 응회암층, 상하부 함탄층 및 현무암질 응회암층에서 제올라이트와 함께 산출된다. 감포지역은 감포역암층내의 염기성 응회암 층군에서 소규모로 산출된다. 하서지역에서는 하서리 응회암층을 따라 양질의 벤토나이트 광상이 부존된다. 다른 지역에 비해서 규모도 크고 많은 채굴적이 분포한다.

주요어: 매립지, 차수재, 벤토나이트, 화학적 처리, 팽윤성

1) 수원대학교 환경공학과

2) 강원대학교 지질학과

벤토나이트제품 가공공장들은 주로 감포지역에 밀집되어 있고 현재 가공업체들은 주로 하서지역의 벤토나이트를 원료로 사용하고 있다. 현지 조사를 통해서 원광과 제품시료를 40개(원광: 27개, 제품: 13개) 채취 또는 입수하였다. 채취한 시료를 우선 현장과 실내에서 육안적 관찰과 X-선 회절분석을 실시하여 광석의 품위와 부존상태를 평가하였다. 이 과정을 통해서 10여개의 시료들이 본 연구의 실험대상으로 선정되었다. 채택된 원광중의 일부는 현재 미개발중인 것도 있다.

지금까지의 조사결과로는 품위나 부존규모면에서 개발가치가 있는 벤토나이트 광상들은 주로 하서지역에 분포하는 것으로 보인다. 대부분 소규모 광체를 이루고 채굴장마다 원암의 조건이 다르기 때문에 벤토나이트 원광들의 품위와 품질이 서로 다르게 나타난다. 또한 벤토나이트 채굴권자와 가공공장이 별개의 사업체를 이루고 있는 관계로, 한국 IM 사를 제외하고 대부분 군소업체들의 원광공급이 일관적으로 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

벤토나이트 원광들은 광석 광물인 스멕타이트(smectite)의 함유도와 불순광물의 조성에 있어서 다양한 양상을 보이고 있으며, 비편향장착(unoriented mounting) 방식으로 X-선 회절법으로 반정량 분석해본 결과, 일반적으로 하서지역의 시료들과 영일 지역의 1개 시료(모포리 광체)가 고품위 벤토나이트 광석으로서의 스멕타이트 함유도(약 60-90 wt%)를 유지하는 것으로 평가된다. 그 밖의 시료들은 스멕타이트 함량 약 50 wt% 전후의 저품위 광석이거나, 특별한 정제 과정을 거치지 않는 한 벤토나이트로서의 상품가치를 유지하기 어려울 정도로 품위가 낮은 것으로 분석된다. 불순물로서는 원암으로부터 유래된 석영 및 장석류 광물들과 제올라이트(clinoptilolite), 단백석(opal-CT) 등이 흔히 혼재되는 것으로 분석된다. 영일지역 죽실 광체와 하서지역의 양남 52호의 상부 광체에는 특이하게 점토 광물로서 스멕타이트 이외에 소량의 고령토가 약간 수반되는 것으로 보인다. 감포지역의 벤토나이트(동양 벤토나이트 원광)는 특이하게 불순물로 방해석이 많이 수반되는데, 이는 패류화석의 파편이 많이 함유되기 때문인 것으로 보인다. 벤토나이트중에 탄산염 광물이 존재하면 'Na-activation' 처리시에 팽윤효과를 저하시키는 관계로 유의해야 한다. 이 광석은 그 이외에도 장석류 광물들을 많이 함유하기 때문에 품위등급이 낮은 것으로 분석된다.

### 3. 국내산 벤토나이트에 대한 'Clay Liner' 원료로서의 특성 평가

현재까지의 조사 및 분석 결과로는 영일지역의 미개발 광체 1곳(모포리 광체: YB-3)과 하서지역의 2-3개 광체(HB-1, HB-6 등)의 벤토나이트 원광이 품위 면에서 상대적 우위를 보이는 것으로 평가된다. 그러나 이들이 기본적으로 Ca-형 벤토나이트이므로 팽윤성이 낮기 때문에 원광자체로서는 토목용으로 사용되기에 부적합한 것으로 평가된다. 'Clay Liner'와 같이 소위 토목용 팽윤성 점토로 국내산 벤토나이트가 사용되기 위해서는 반드시 'Na-activation'라고 알려져 있는 팽윤성 기능강화 처리과정이 필요할 것으로 여겨진다.

동원된 시료중에서 동해백토(YB-1)를 비롯한 영일지역의 벤토나이트 들은 원암의 특성상 스멕타이트군 점토광물외에 제올라이트 광물로서 클리놉틸로라이트(clinoptilolite)가 주요 불순물을 이룬다. 이 제올라이트는 팽윤성은 없으나 오염물질들의 흡착능력에 있어서는 일반 점토광물들보다도 오히려 뛰어난 성능을 발휘하는 것으로 알려져 있다. 또한 현재 이들은 벤토나이트와 제올라이트의 어느 쪽으로도 활용되지 못하는 상황이므로 가격면에서 유리한 조건에 있을 것으로 사료된다. 따라서 제올라이트를 불순물로 갖는 벤토나이트들은 다소 팽윤도가 낮더라도 'Na-activation' 시켜서 시공 목적에 부합하는 최소한도의 기준에 맞출 수만 있다면 'Clay Liner'의 원료로서 검토될 수 있을 것으로 여겨진다.

#### 4. 벤토나이트의 팽윤성 조사

벤토나이트를 폐기물 매립지의 차수재로 개발하기 위해서는 벤토나이트 시료에 대한 팽윤성 (Swelling) 을 평가하는 것이 매우 중요하다. 벤토나이트에 물을 가하면 결정간에 수분을 흡수하여 체적이 10 배까지 팽창하는 특성이 있다. 앞서 언급하였듯이 국내 벤토나이트 원광은 Ca-형 벤토나이트로서 Na-형 벤토나이트에 비해 팽윤성이 일반적으로 낮은 특성을 갖고 있다. 따라서, 본 연구에서는 채취한 벤토나이트 원광에 대한 팽윤성을 조사하였을 뿐 아니라 팽윤성을 개선할 목적으로 화학처리된 활성벤토나이트를 제조한 시료에 대한 팽윤성도 조사하였다. 시료의 팽윤성은 벤토나이트 원광을 200 mesh이하로 분쇄한 후 20g의 벤토나이트를 200ml의 물에 산포시킨 후 1주일후에 팽윤도를 조사하였다. 벤토나이트 제품의 경우는 분말상태를 그대로 실험에 사용하였다.

벤토나이트 완제품에 대한 팽윤도 실험결과에 의하면, 동양벤토나이트의 DY-100 (CMC 처리) 제품이 600%로 가장 우수한 것으로 나타났다. 그러나 대부분의 벤토나이트 원광은 200 ~ 300% 수준이었으며 반면에 달전벤토나이트의 경우 팽윤도가 120%에 불과하였다. 한국벤토에서 원광으로 이용하던 시료의 경우 팽윤도가 360%로서 가장 우수한 것으로 나타났다. 앞서 언급하였듯이 국내 벤토나이트 원광은 Ca형으로서 대부분의 팽윤도가 300%에 불과한 실정이다. 따라서, Ca-형 벤토나이트의 팽윤성을 개선하기 위해 인위적으로 교환성 양이온 Ca를 Na로 치환시키는 것이 가능한 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 Soda Ash ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )를 이용하여 벤토나이트 원광에 대해 Na-activation 실험을 수행하였다. Soda Ash 처리는 원광에 적당량의 물을 뿌린 후 1 ~ 4%의 Soda Ash를 첨가하여 혼합한 후 24시간 방치하였다. 실험결과에 의하면 Soda Ash를 처리하지 않은 모포 벤토나이트 원광의 팽윤도는 210%에 불과하였으나 3% Soda Ash로 처리한 원광의 팽윤도는 550%까지 향상되었다. 또한 원광에 대한 Soda Ash의 첨가량이 1%에서 3%까지 증가시키면 팽윤도가 지속적으로 향상되었으나 4%이상을 첨가시켜도 팽윤도가 증가되지 않음을 보여주었다. 따라서 Soda Ash 첨가량은 3%가 최적양인 것으로 나타났다. Table 1에서 알 수 있듯이 모포 이외의 달전 및 성우 화학의 원광의 경우도 유사한 경향을 보여주고 있다.

Table 1. Soda Ash 처리에 따른 벤토나이트 원광별 팽윤성 비교

Soda Ash 양 \ 원 광	모 포	달 전	성우화학(원 광)
No Soda Ash	218 %	130 %	205 %
Soda Ash (1 %)	332 %	233 %	380 %
Soda Ash (2 %)	395 %	325 %	490 %
Soda Ash (3 %)	548 %	350 %	530 %
Soda Ash (4 %)	546 %	305 %	520 %

한국벤토(와음) 시료의 경우 원광의 팽윤도는 360%이었으나 3% Soda Ash 처리 후 팽윤도는 800%까지 향상됨을 보여주었다. 모포 및 성우화학 원광도 Soda Ash 처리 후 팽윤성이 크게 개선되었다. 따라서 이들 원광은 Soda Ash를 처리하여 활성화 시키면 현재 판매되고 있는 벤토나이트 제품의 팽윤도에 손색이 없는 것으로 사료되며 또한 매립지 차수재로 활용하는데 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.