



## 일본 벤토나이트의 광상 및 공업현황

高木哲一\* · 内藤一樹\* · 고상모\*\* · 김문영\*\*

\* 일본산업기술총합연구소 심부지질환경연구센터

\*\* 한국지질자원연구원 지질연구부

일본의 비금속 광업생산고는 연간 약 2,200억 엔에 달하며 (1990년 현재), 금속·석유·가스·석탄광업을 추월하여, 국내광업의 47.4%를 차지하고 있다 (須藤·平野, 1994). 일본국내에서는 600여개 이상의 비금속광산(쇄석, 석재 및 골재 제외)이 가행되고 있으며 주로 탄산염암(석회석, 백운석), 규질암(규석, 규사), 점토질암, 장석질암 및 기타광종(벤토나이트, 불석, 규조토, 활석 및 감람석 등)을 채굴하고 있다. 광산수에서는 탄산염암이 가장 많은 40%를 차지하고 다음으로 점토질암(약 25%)과 규질암(약 20%) 순이다.

점토질암은 탄산염암을 제외한 비금속 광업의 생산고 중에서 약 33%를 차지하고, 기와, 도자기, 유리섬유를 비롯하여 공업제품의 원료로서 유용하게 이용되고 있다. 점토질암은 그 성인에서 다음의 3종류로 구분할 수 있다.

1. 퇴적성 점토: 와목(蛙目), 목절(木節), 혈암(頁岩) 점토, 기와(瓦) 점토 등
2. 열수성 점토: 카오린, 납석, 도석, 견운모
3. 속성변질 점토: 벤토나이트, 산성백토

광산수는 퇴적성 점토가 48%, 열수성 점토가 38%, 속성변질 점토인 벤토나이트와 산성백토가 14%로 구성되어 있으나, 생산고에서는 반대로 열수성 점토가 47%를 차지하고 퇴적성 점토가 35%, 벤토나이트와 산성백토가 18%에 달한

다(1990년 현재). 본 보고에서는 이들 중에서 벤토나이트 광상의 지질과 공업현황 및 전망에 관하여 보고하고자 한다.

### 일본 벤토나이트 광상의 지질

일본 열도에서는 신생대 제3기 중신세(中新世)에서 신신세(鮮新世)에 걸쳐, 동해(일본해) 연안역을 중심으로 광범위한 화산활동과 동시에 다수의 퇴적분지가 형성되어, 사암, 이암 및 응회암류가 두텁게 퇴적되었다. 이들 지층은 한국 남동부 포항-감포지역에 소규모로 분포된 신제3기층에도 대비된다. 일본의 이들 신제3기 퇴적암류는 약한 열수변질 작용을 받아 담녹색을 띠는 경향이 있기 때문에, 일본에서는 이 활동전체를 '녹색응회변동(Green tuff movement)' 이라고 부른다. 일본의 벤토나이트 광상은 대체로 이 녹색 응회암층대 내에 분포된다(그림 1). 주된 벤토나이트 산지는 동북지방 남부(山形, 官城), 관동지방 북부(群馬), 산음(山陰) 지방(島根)이다. 벤토나이트 원암은 주로 규장질응회암류이며, 이들이 속성작용(일부 약한 열수변질 작용)에 의해 스멕타이트(smectite)를 주성분으로 한 점토질암을 형성시켰다.

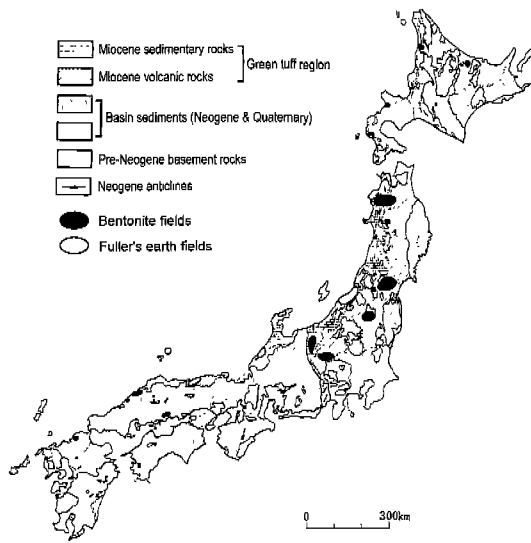


그림 1. 일본 열도에의 녹색응회암, 벤토나이트 및 산성백토 광상의 분포도 (清水 외, 1981).

광상은 층상 또는 불규칙 괴상으로 산출되나, 습곡 및 단층의 영향으로 복잡한 지질구조를 나타내는 경우가 많다 (澤田, 1996). 산형현(山形縣) 중부나 군마현(群馬縣) 중서부의 소규모 벤토나이트 광상에서는 수십 km에 걸친 광범위한 분포가 확인되고 있다. 일본 벤토나이트 광상의 특징은 거의 Ca형인 한국의 벤토나이트와는 달리 Na형과 Ca형이 모두 산출되고 있다는 점이다. 특히 앞서 저술한 바 같이 소규모 층상 광상의 일부인 산형현 월포(月布) 광상과 군마현 묘의(妙義) 광상은 Na형 벤토나이트의 대표적 산지이다. 다음은 일본 벤토나이트 광상의 대표적인 예로서 산형현 중부-관성현 서부 광상군의 구체적 산상에 대해 기술하고자 한다.

### 산형현 중부-관성현 서부 지역의 벤토나이트 광상

본지역에서는 토부산(土浮山; Dobuyama),

천기(川崎; Kawasaki) 및 월포(月布; Tsukinuno) 광상이 분포한다(그림 2). 이들의 광상 개요는 표1에 요약되어 있다 (小林 · 伊藤, 1992).

표 1. 산형현 토부산, 천기, 월포 벤토나이트 광상의 위치 및 개요(小林 및 伊藤, 1992).

	Tsukinuno	Kawasaki	Dobuyama
Location	Oe, Yamagata	Kawasaki, Miyagi	Zao, Miyagi
Mining method	Underground	Openpit	Openpit
Type of bentonite	Na	Ca-Na	Ca
Shape of ore body	Thin beds	Thick block	Lump
Bentonite genesis	Diagenesis	Hydrothermal?	Hydrothermal?
Mineral assemblage	Mont., Qz., Feld., Cal.	Mont., Crist., Qz., Zeo.	Mont., Crist., Qz., Zeo.
Main uses	Civil eng., Foundry	Foundry, Pet litter	Foundry

약어 : Mont; 몬모릴로나이트, QZ; 석영, Feld; 장석, cal; 방해석, Crist; 크리스토팔라이트, Zeo; 불석

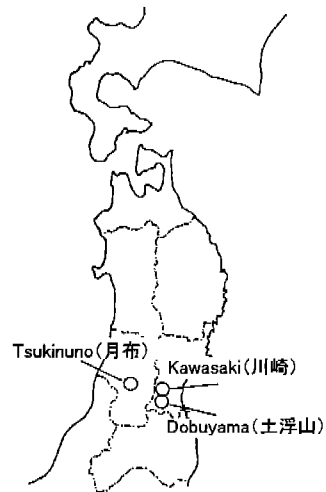


그림 2. 산형현 토부산, 천기, 월포 벤토나이트 광상의 위치도.

토부산 광상은 Ca-몬모릴로나이트로 주로 구성되고 소량의 크리스토팔라이트, 석영, 불석 광물을 함유한 소규모의 불규칙한 피상 광상이다. 小坂 외(1981)에 의하면 이 광상은 흑운모 유문암질 암편질응회암이 유문암류의 관입에 수반한 열수변질작용에 의해 스�멕타이트로 변질된 것이며, 각 원소의 거동에서 변질은 지표 근처에서 알카리성 조건에서 형성된 것으로 해석하였다. 이 광상은 'Kunimine'사(クニミネ工業株式会社)에 의해서 노천채굴 방식으로 개발되고 있다.

천기 광상은 두께 10~30m, 연장 100m에 걸쳐 연결되는 중규모 층상 광상이다. 원암은 토부산 광상과 같은 암편질응회암이며 Ca형 및 Na형 몬모릴로나이트와 약간의 크리스토팔라이트, 석영, 불석 광물로 구성되고 있다. 본 광상은 천기광산(川崎鑛業株式会社)에 의해 노천채굴에 의해 개발되고 있다. 이 토부산 및 천기 광상의 원암의 형성시기는 저어콘과 인회석의 피션트랙(fission track) 연대측정 결과, 19~13 Ma (中新代 中期)에 해당되며 스�멕타이트의 산소 및 수소동위체 조성에 의한 광상형성 온도가 46~53℃로 추정되고 있다 (伊藤 외, 1999).

월포 광상은 상기의 두 광상과는 달리 산상과 성질에서 다른 특성을 보인다. 월포 광상은 경질

해성 셰일(硬質海城頁岩) 중에 호층으로 협재되는 유리질 응회암이 변질되어 스�멕타이트화된 대규모 층상 광상으로 35층준의 벤토나이트가 확인된다(小林 및 伊藤, 1992). 월포 광상 지역에 발달되는 2개의 배사축 주변에 부존된 벤토나이트 층을 월포 광산에서 항내 채광에 의해 개발하고 있다 (그림 3).

매장량은 확인된 지역에서만 1,700만톤에 달한다. 벤토나이트는 Na-몬모릴로나이트와 약간의 석영, 장석류, 방해석, 운모류 및 불석 광물로 구성된다. 현재 두께 1m 이상의 9개의 벤토나이트 층준이 가행되고 있다 (표 2). 그 중에서도 29와 31층이 두껍고 고품위이기 때문에, 이 광산의 주력광체로 개발된다 (그림 4). 원암의 형성 연대는 저어콘의 피션트랙(fission track) 연대에서는 15~13 Ma (中新世 中期)이며 스�멕타이트의 산소 및 수소동위체 조성에 의한 광상형성 온도가 58~69℃로 추정되고 있다. 또한 벤토나이트에 함유된 석영을 대상한 전자회절공명(electron-spin resonance) 및 열발광 연대측정(thermoluminescence)에 의한 해석결과는 월포 광산에서는 10~40만년 전까지 열적 영향이 계속되고 있었음을 지시한다(伊藤 외, 1999).

표 2. 월포 광산의 벤토나이트 층들의 두께와 용도.

No.	층 두께	
31	1.5 - 2.4	토목용(고 점성도)
29	7	
22	1	
19	1.5	주물용
17	1	
13	1	
8	1	
6	1	
2	2	

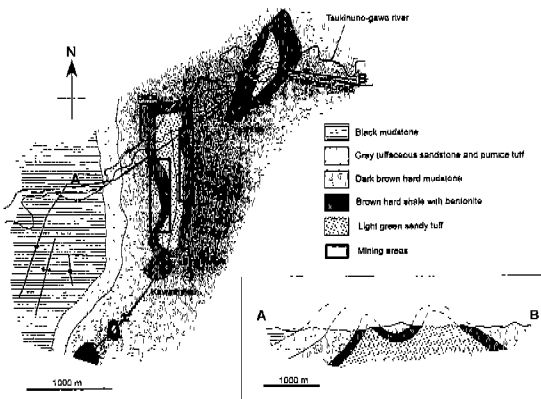


그림 3. 산형현에 위치한 월포 벤토나이트 광상 주변지역 지질도 (小林·伊藤, 1992).

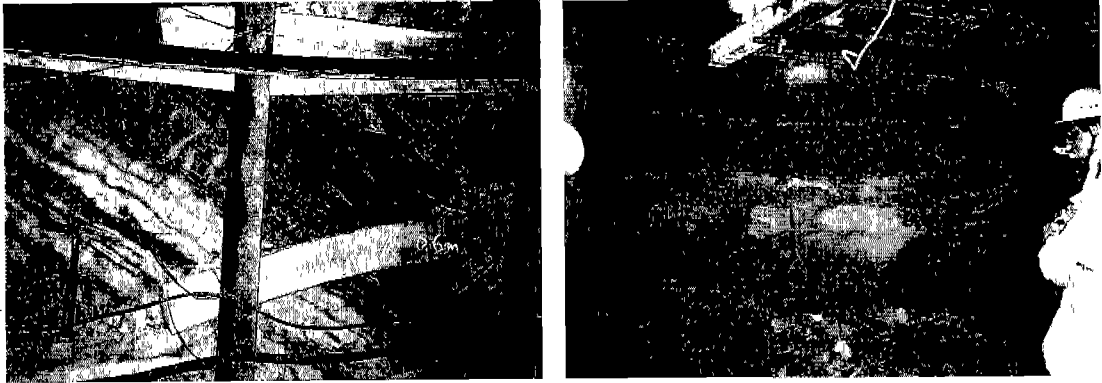


그림 4. 월포 광산 항내에서의 벤토나이트 산출상태 (우측 사진: 제13층, 좌측 사진: 제31층).

### 일본의 벤토나이트 공업

일본에서 벤토나이트는 기계공업, 토목공업등의 기반산업에 중요한 원료자원으로서, 제2차 세계대전 후의 고도경제 성장기에 급속히 수요가 신장되어 다수의 벤토나이트 광산이 각지에서 개발되었다. 일본의 1995년 벤토나이트 생산량은 478,000 톤으로서 세계 벤토나이트 생산량의 4.32%를 차지한다(그림 5).

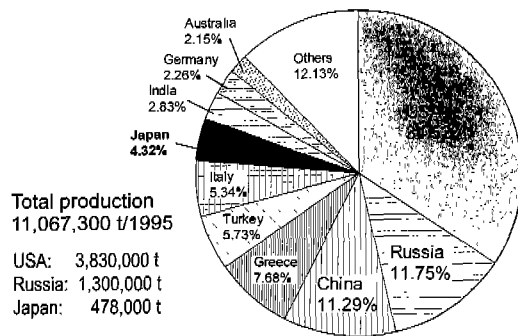


그림 5. 세계 벤토나이트 생산량(1995).

그러나 거품경제 붕괴(1990년) 이후, 생산량은 감소경향에 있고 국내산 벤토나이트에 수입광과 산성백토를 합친 생산량도 약 50만톤에 불과한 실정이다(그림 6). 장기간의 불황에서도 벤토나이트 각 회사들은 한정된 시장의 확보에 노력

하고 제품의 용도확대, 고부가가치화를 목표로 신기술 연구와 개발을 추진하고 있다.

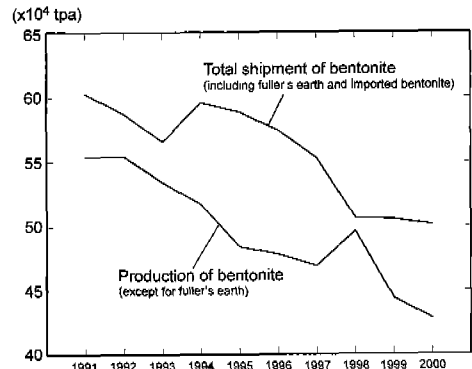


그림 6. 일본의 벤토나이트 생산량 및 수요량 추이.

### 벤토나이트 생산량

2001년 현재 일본 국내에서는 14개의 벤토나이트 광산(산성백토 제외)이 가행되고 있으며(그림 7) 연간 가행되는 광산수는 10여개 정도이다. 지역별로 연간생산량(1999년 현재)은 동북 지방(山形縣·官城縣)이 가장 많고 일본 전체의 약 반을 차지하고 있다. 다음으로 관동 지방(郡馬縣)과 중국(中國) 지방으로서 中國·九州 지방은 대부분 소규모 광산이며 생산량도 미미하

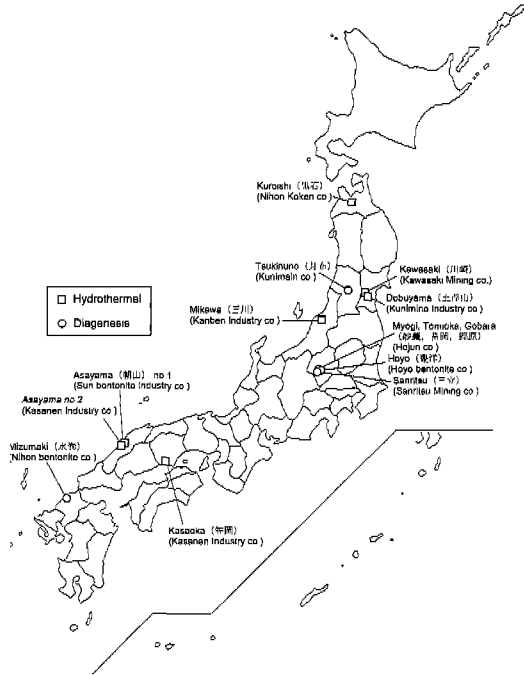


그림 7. 일본 벤토나이트 광산의 위치 및 성인.

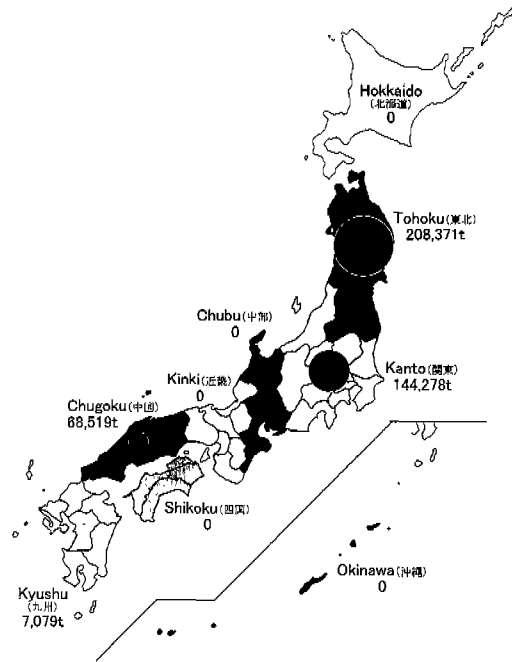


그림 8. 일본의 국내 지역별 벤토나이트 생산량 (1999).

다(그림 8).

Pearson 외(1999)에 의한 주요기업별 생산량 (1998년 현재)을 표3에 나타내었다. 국내생산의 제1위사는 구니미네공업주식회사(クニミネ工業株式会社)이며 이어 풍순양행주식회사(현재 주식회사 豊順: ホーヅン; Hojun), 풍순벤토나이트(주) 순이다. 일본에서는 대량의 벤토나이트가 수입되고 있으며 제1위 수입기업은 일삼암정(日商岩井) 벤토나이트(주)이며 미국 'Amcol International'사에서 벤토나이트 및 그 가공품을 수입하여 각종 용도로 판매하고 있다.

### 벤토나이트 용도

일본의 벤토나이트 용도는 토목용이 가장 많고 그다음으로 주물용, 가축사료용으로서 이들 용

도가 약 80%를 차지한다(그림 9). 일본은 구미에 비해 애완동물을 기르는 가정이 적기 때문에, 고양이 집갈개(cat litter)용이 미국에 비하면 적지만 약 10%에 달한다. 굴착용 및 농약용 벤토나이트수요는 최근 10년간 점차 감소되는 경향이다.

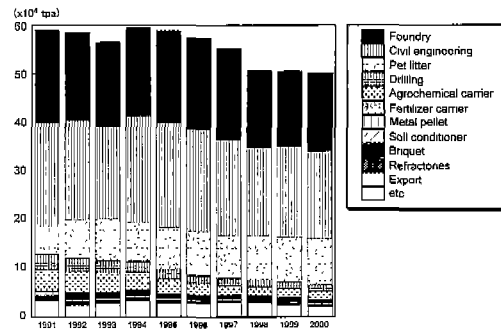


그림 9. 일본의 최근 10년간 용도별 벤토나이트 출하량 추이.

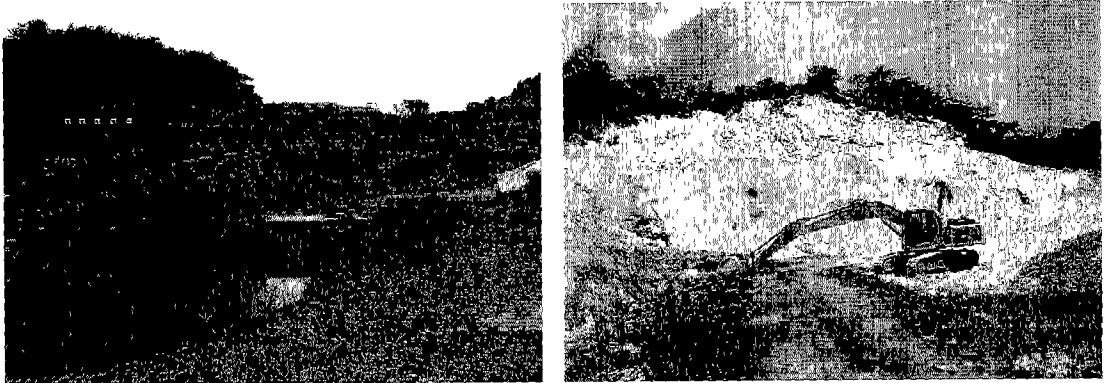


그림 10. 좌측사진: 군마현에 위치한 'Hojun' 사에서 개발하는 부광 광상, 우측사진: 도군현에 위치한 벤토나이트 광상.

### 벤토나이트의 채광

가행되는 벤토나이트 광산의 대부분은 노천채굴에 의해 개발되고 있어 항내채광을 실시하는 광산은 월포(月布) 광산과 묘의(妙義) 광산 2개소이다. 이 광산들은 서로 고품위인 Na-형 벤토나이트를 주체로 한 층상광체가 가행대상이며, 채굴비용에 맞는 고부가가치 제품(골작 니수용, 고순도 몬모릴로나이트용)의 원료로 활용된다. 월포 광산의 경우 층후 약 5~7m의 두꺼운 광체는 중단채광법(sublevel stopping)으로, 박층(1m 정도)광체는 슈린키지법(shrinkage)에 의해 채굴되고 있으며 각 층준마다 품질평가가 실시되어 각각 적합한 용도에 분별된다(小林 · 伊藤, 1992).

기타 노천채굴 광산의 경우는 파워쇼블(power shovel)과 불도저(bulldozer)에 의해 표토를 제거한 후에 벤치절단법(bench cut method)으로 채굴하는 것이 일반적이다. 채굴된 광석은 채굴장에서 불도저에 의해 적층혼합시켜 균질화한다. 천기(川崎) 광산의 경우 채굴 전에 고밀도 시추에 의해 광체의 품질평가를 실시하고 용도 및 채굴장내에서의 채굴순서를 결정한다(小林 · 伊藤, 1992). 최근 주민의 환경문제 의식도가

높아 환경규제가 강화되어 대규모 광산개발을 할 경우에 자치체와 주민의 협조 및 합의가 불가피한 실정이다.

표 3. 일본 국내 벤토나이트의 1998년 생산량 및 수입량 (Pearson 외, 1999).

〈생산량 : 1998년 기준〉

Company	Location	Production(tpa)
Kanto Bentonite	Niigata	36,099
Kunimine	Yamagata	167,782
Sun Bentonite	Shimane	16,163
Sanritsu Kogyo	Gunma	11,942
Nihon Bentonite	Fukuoka	25,578
Hojun Yoko	Gunma	130,713
Hoyo Bentonite	Gunma	118,113
Total		506,390

〈수입량 : 1998년 기준〉

Company	Source	Volume(tpa)
Kunimine	Black Hills, USA	50,000
Nissho Iwai	Amcol, USA	85,000
Mitsubishi Corp.	Baroid, USA	14,000
Hojun Yoko	MH Drilling, USA	24,000
Shinagawa Yozai	China	12,000
Sobue Clay	China	7,000
Total		192,000

## 벤토나이트의 제조 및 가공

채굴된 벤토나이트 원광은 다음과 같은 두가지 방법에 의해 제품으로 가공된다.

1. Na-형 또는 Ca-형 벤토나이트를 단순하게 건조 및 분말화하는 방법.
2. Ca-형 벤토나이트를 알카리 활성화(alkaline activation) 처리 후에 건조·분말화하는 방법.

전자는 모든 벤토나이트에서 실시되는 공정이 다. 보통 원광을 조쇄기(jaw crusher 또는 roll crusher)에서 파쇄한 후에 로터리건조기(rotary dryer)에서 건조시켜, 수분 함량을 6~10% 정도로 조절한다. 그 다음에 롤러분쇄기(roller mill)를 사용하여 200~300 메쉬(mesh)까지 분쇄하지만, 이 과정에서 석영 및 장석등의 불순광물을 제거하여 제품을 용도별로 분리하고 포장하여 출하한다.

후자는 조쇄 후에 탄산나트륨( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )을 첨가하여 알카리 활성화시켜 Ca-몬모릴로나이트를 Na-몬모릴로나이트로 변환시키는 공정을 거친다. 이 공정에 사용되는 각 기구의 용량, 사용방법, 처리시간, 온도설정은 원광의 성질에 크게 좌우되기 때문에 각 회사마다 다소 방법에 차이는 있다.

벤토나이트는 용도에 적합한 품질을 제조하기 위하여 일반적으로 국내 광석에 수입된 광석을 혼합하기도 한다. 벤토나이트 수입은 미국 와이오밍(Wyoming) 주를 비롯하여 인도, 중국 등으로부터 이루어진다. 가축사료용 벤토나이트는 미분말 상태에서 직경 약 2~5 mm 정도로 입상화하여 판매된다. 입상화하는 방법은 물로 혼화된 벤토나이트 반죽을 소공에서 밀어내어 면상(麵狀)의 벤토나이트를 수 mm로 절단하는 방법과 미분말을 핵에 부착시키는 방법 등이 있다. 또한 통상적으로 탈황제, 항균제 등도 가축사료용에서는 첨가된다.

## 벤토나이트 및 스�멕타이트 가공에서의 신기술

근래 주요 벤토나이트 회사에서는 Na-형 벤토나이트를 정제하여 고순도화 시키고 있다. 이는 Na-형 벤토나이트의 분산용액의 침강·원심 분리공정을 반복함에 의해 몬모릴로나이트 이외의 불순광물들을 완전히 제거시킴으로서, 화장품, 의약품, 연마제, 왁스 등에 사용된다. 또한 스�멕타이트 중의 교환성 양이온을 유기물로 치환시킨 유기 벤토나이트의 개발도 추진되고 있다. 유기 벤토나이트는 유기용액 중에서 팽윤·분산되는 성질이 강하기 때문에 도료, 그리스 등의 증점제, 요변성(thixotropy) 개량제로 이용되고 있다(鈴木, 2000). 합성 스�멕타이트도 근래 실용화되어 이미 생산이 시작되고 있으며, 이는 원료의 화학물질을 고압반응기(autoclave)에서 수열합성시켜 제조된다. 'Kunimine'사(クニミネ工業株式会社)의 경우, 합성 스�멕타이트로서 사포나이트(saponite)를 제조하여 화장품, 의약품, 일반 화학원료, 심부굴착 이수용등으로 출하되고 있다. 합성 사포나이트는 순백색의 분말로서, 물에 분산하면 무색 투명하게 되어 천연 스�멕타이트에 비하면 극히 높은 점성을 보이며 전자 및 광학부품에서도 이용이 기대된다(鈴木, 1999; 2000).

## 벤토나이트 및 스�멕타이트 응용에서의 새로운 전망

벤토나이트의 새로운 용도로서 가장 주목되고 있는 것은 원자력발전소에서 배출되는 방사성폐기물 지층처분장에 이용되는 완충제 및 충전제이다. 고준위 방사성폐기물의 경우 지층처분은 지하 400~1000m에서 실시된다. 벤토나이트는 방사성 폐기물을 주입된 용기의 주위에 충전

되어 지수성(止水性), 차수성, 핵종 흡착성, 열전도성, 화학적 완충성, 응력 완화성 등 벤토나이트 특유의 기능에 의해 처분지의 장기적 안정성을 향상시킨다(伊藤, 1994). 일본에서는 2000년에 고준위 방사성 폐기물을 지층에 처분하는 방침이 정식으로 결정되어, 지층 처분지의 후보지 선정에 대한 구체적 논의가 시작되었다. 지층처분 기술의 확립에서는 벤토나이트의 장기안정성의 평가가 불가피하여 현재 관련기관에서 연구가 활발하게 진행되고 있다. 지층처분이 실시되면 벤토나이트는 초기에 100만 톤이, 연차적으로 수백만 톤의 수요가 있을 것으로 예상된다(岩崎, 1992).

스멕타이트의 나노복합체(nano-composite)도 신용도 중의 하나이다. 이것은 스멕타이트를 수지나 플라스틱중에 분산시켜 내열성과 기계적 강도를 크게 향상시키는 신기술로서, 자동차, 카메라, 가전제품 등에 이용된다. 또한 스멕타이트의 층간에 산화물 기둥(pillar)을 세워 다공체로서의 기능을 갖는 필러드 점토(pillared clay) 제조기술도 실용화되고 있다(岩崎, 1992). 앞으로 기술개발에 의해 천연 및 합성 벤토나이트와 이를 이용한 가공품의 용도는 크게 확대 될 것으로 예측된다.

## 결 언

일본의 광업은 구조불황 업종으로 인지되어 금속 광산은 주요 가행광산이 점차로 감소되어 2개(豊羽鑛山, 菱刈鑛山)에 불과한 실정이다. 그러나 비금속 광업, 특히 벤토나이트 광업은 국내에 고품위 광석이 풍부히 부존되어 활발히 생산하고 있다. 방사성 폐기물처분장 건설에도 벤토나이트의 활용이 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 그 외에 복합재료의 용도개발과 함께 벤토나이트 공업은 고기술 산업에도 관여된다. 일본

의 벤토나이트 공업은 장기적으로 발전되는 추세에 있다.

근래에 일본의 전자산업을 비롯하여 많은 제조업계는 중국 및 동남아시아 등에 잇따라 진출하여, 이들 나라들과 밀접한 경제적 관계를 구축하고 있다. 그 점에서 일본의 벤토나이트 공업은 일부 원광의 수입 외에는 아시아 국가들과의 관계가 없음이 사실이다. 앞으로 일본산 벤토나이트 및 스멕타이트가 세계시장에 진출하기 위해서는 아시아국가들, 특히 한국과의 인적교류 및 기술교류를 적극적으로 추진하는 것이 필요할 것으로 여겨진다.

## 사 사

본 보고를 출판하는데 있어서 집필의 기회를 준 한국광물학회 산하 '광물과산업' 편집진에게 진심으로 감사드립니다. 또한 귀중한 정보를 제공하여준 澤田武夫(ホーゾウン株式会社)氏에게도 깊이 감사드립니다.

## 참고 문헌

- 伊藤雅和, 石井 卓, 中島 均, 平田征彌 (1999) 벤토나이트의成因·生成環境する一考察, - 國內4鑛床의 比較-. 粘土科學, 38, 181-187.  
 伊藤雅和 (1994) 벤토나이트利用의現狀と 新展望. 粘土科學, 33, 193-201.  
 岩崎孝志 (1992) 스멕타이트とゼオライト. 西曆 2000年の資源地質, 資源地質特別, 13, 143-150.  
 小林紘治, 伊藤雅和, (1992) 最近のベントナイトの製造工程について. 粘土科學, 31, 4, 222-230.  
 小坂寸矛, 平林順一, 岡田 清, 加藤昌宏 (1981)



官城顯土浮山モソモロナイト鑛床の産狀と組成變化. 鑛物學雜誌, 15, (特別號), 170-186.

Pearson, K and Senior Assistant Editor (1999) Bowed down with imports. A review of Japan's mineral industry. Industrial Minerals, Dec. 1999, 49-59.

澤田武夫 (1996) 續成作用による벤토나이트鑛床의 成因へのアプローチ. 스멕타이트研究會會報, 6, 13-22.

清水大吉郎, 藤田至則, 鈴木尉元 (1981) 日本列

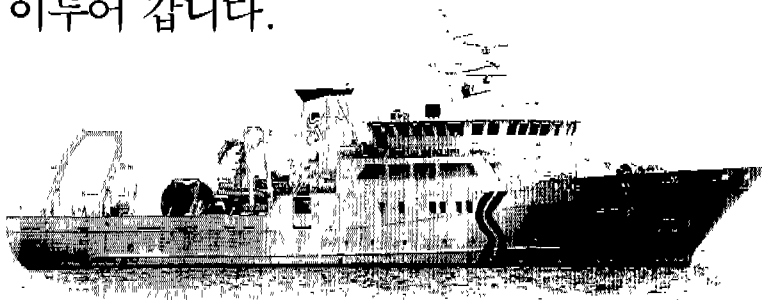
島の構造區とその特徴. 構造地質(藤田至則・鈴木尉元編), 地球科學講座8, 170-182, 共立出版.

須藤定久, 平野英雄 (1994) 日本の工業原料鑛物資源(その1). 地質ニュース, 484, 25-32.

鈴木啓三 (2000) ナノコソジット用粘土鑛物. プラスチックス, 51, 日本プラスチック工業聯盟.

鈴木啓三 (1999) 天然および合成스멕타이트. Filler, 4, 144-157, 日本ファイラー研究會.

더 멀리... 더 깊게... 세계와 만나는 큰길,  
한국해양연구원이 해양부국의 꿈을  
이루어 갑니다.



**한국해양연구원**

Korea Ocean Research & Development Institute