

우리나라 벤토나이트광산에서 산출되는 벤토나이트원광의 용도별 특성

박성완^{1*}, 이상현¹, 황진연², 김용운¹, 옥수석³

¹(주)한국수드케미(geologist@magin.com)

²부산대학교 지질학과

³경성대학교 교양과정부

1. 서 언

우리나라의 벤토나이트광상들은 신생대 제3기층이 주로 분포하고 있는 경주 감포, 양북, 양남, 포항 영일, 울산 정자 일대에 산재하고 있으며, 특히 경주지역의 양북, 양남일대에 많이 분포하고 있다. 이 지역의 벤토나이트광상에 대한 광물학적 및 성인적인 연구에 있어서는 많은 수의 논문이 보고되어 있으며(김 옥준 외, 1971; Moon and Morgan, 1983; 문 회수, 1986; 문 회수 외, 1987; Moon et al., 1988; 문 회수 외, 1989; 황 진연과 박 성완, 1992; 노 진환과 오 성진, 1994), 최근 들어서는 벤토나이트 원광에 대한 응용광물학적 접근이 많이 시도되는 추세이다(고 상모 외, 2002; 노 진환, 2000; 노 진환, 2002; 노 진환 외, 2003).

본 연구에서는 최근 10여년간 우리나라의 각각의 벤토나이트 광산들에서 산출된 벤토나이트 원광에 대하여 현재 국내 벤토나이트 생산업체에서 이용하고 있는 각 용도별 실험을 통하여, 각 광산별 벤토나이트 원광의 특성을 파악하고, 이 특성에 따른 각 용도별 적합성을 검토하고, 그 결과에 의거 우리나라 벤토나이트 광산을 분류해보고자 한다.

2. 시료 및 연구방법

본 연구에서 이용된 벤토나이트 원광시료는 1994년 하반기부터 2003년 09월까지 포항일원의 6개 광산, 경주시 양북면, 감포읍 일대 8개 광산과 경주시 양남면 일대의 10개 광산으로부터 (주)한국수드케미에 월별로 입고된 벤토나이트 원광시료 352개와 주로 미개발 광산의 노두에서 직접 채취한 시료 17개를 연구대상으로 하였다. 본 연구에서는 각 광산들의 이름이 세월에 따라 변화가 있어 혼란을 초래할 수 있으므로, 광업권 지적번호로서 나타내었다.

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

3. 연구결과

우선 각 광산들의 벤토나이트 시료들에 대해 X-선회절분석을 행하여 구성광물들을 검토한 결과, 모든 시료들이 다량의 몬모릴로나이트를 포함하는 것이 확인되었으며, 그 외에 불순물로 소량의 석영, 장석 등으로 구성되어 있으며, 몇몇 시료들에 크리스토팔라이트, 제올라이트광물, 방해석등을 포함하기도 하였다.

각 시료들에 대한 일반적인 물성시험결과를 표1에 나타내었다. 각각의 벤토나이트 시료의 결과와 분포지역에 따라 다음과 같이 크게 4가지 유형으로 분류할 수 있다.

상라 유형(Sangra Type) : G-35, G36, G-46 광산들이 이 유형에 속하며, 경주시 양남면 상라리, 양북면 두산리에 분포한다. 신생대 어일화산암류와 중생대 퇴적암류와의 단층접촉부

Table 1. Industrial test results of raw bentonites from Korean bentonite mines(MB, Methylene Blue Adsorption; SV, Swelling Volume; GCS, Green Compression Strengths; WTS, Wet Tensile Strengths; MV, Marsh Funnel Viscosity; GS, Gel Strength, FL, Fluid Loss).

Mines		MB	Water	S V	GCS	WTS	Thermal Stability		45 g / l				60 g / l			
Type	No	ml	wt %	ml / 2g	N/Cm ²	N/Cm ²	GCS	WTS	M V	G S	F L	M V	G S	F L		
									sec	sec	lb/100ft ²	ml	sec	sec	lb/100ft ²	ml
Gyeongju	G-55	12.9	27.2	15.5	1.2	0.19	7.3	0.17								
	G-56	75.4	27.1	15.5	1	0.19	10.9	0.17				32.6	30.0	0.0		
	G-57	83.0	20.8	16.0	1.2	0.19	7.7	0.18								
	G-58	77.3	25.2	15.5	1.1	0.19	7.7	0.14								
Hyodong-ni	G-59	65.0	25.9	15.0	0.7	0.19	0.8	0.15	20.1	29.3	0.0	10.0	20.5	20.5	0.0	2.5
	G-56	63.8	24.9	12.5	8.3	0.23	7.3	0.13	33.5	36.3	4.3	8.0				
	G-60	69.9	25.7	17.0	10.0	0.19	10.4	0.17								
	G-65	67.6	25.0	16.0	8.8	0.19	6.3	0.11	31.7	35.1	3.0	15.6	33.9	37.8	4.3	15.2
	G-61	66.9	26.3	17.5	8.9	0.19	5.9	0.13	29.2	30.4	0.0	16.2				
	G-66	68.0	27.5	15.0	9.4	0.19	6.3	0.11	33.0	33.4	3.8	12.0	38.2	38.9	13.5	9.9
	G-67	63.7	23.5	27.5	8.7	0.18	7.2	0.11	32.9	35.0	5.2		37.9	41.6	11.0	
	G-63	77.0	33.5	35.0	10.7	0.18	11.6	0.18	32.2	33.7	0.0					
G-78	64.3	28.3	24.5	8.6	0.18	5.9	0.10	33.9	36.1	7.1	9.5	38.9	42.0	10.0	9.3	
Haecheon	G-30	71.6	24.5	17.9	10.6	0.20	5.0	0.15	28.3	28.1	0.0	11.0	23.3	30.0	0.0	11.0
	G-33	72.1	31.9	14.2	2.5	0.18	5.0	0.01								
	G-40	67.0	31.9	24.5	12.3	0.24	9.9	0.17	29.7	30.4		8.4	31.3	36.2		6.9
	G-49	75.0	30.4	19.5	12.5	0.19	2.2	0.06	25.0	28.5		15.0	22.0	30.1		12.2
	G-50	63.0	28.7	20.0	12.3	0.18	5.8	0.10	27.9	28.8		11.7	28.8	30.0		10.0
Haecheon	G-43	65.0	27.7	12.0	12.8	0.17	1.7	0.04	27.4	28.1		21.6	27.8	29.0		18.4
	G-44	58.3	27.3	11.2	8.6	0.17	7.9	0.13	33.7	37.0	0.0					
	G-45	65.0	27.7	12.0	12.8	0.17	1.7	0.04	27.4	28.1		21.6	27.8	29.0		18.4
	G-46	65.0	27.7	12.0	12.8	0.17	1.7	0.04	27.4	28.1		21.6	27.8	29.0		18.4
	G-47	65.0	27.7	12.0	12.8	0.17	1.7	0.04	27.4	28.1		21.6	27.8	29.0		18.4
	G-48	65.0	27.7	12.0	12.8	0.17	1.7	0.04	27.4	28.1		21.6	27.8	29.0		18.4
	G-49	65.0	27.7	12.0	12.8	0.17	1.7	0.04	27.4	28.1		21.6	27.8	29.0		18.4
	G-50	65.0	27.7	12.0	12.8	0.17	1.7	0.04	27.4	28.1		21.6	27.8	29.0		18.4
	G-51	65.0	27.7	12.0	12.8	0.17	1.7	0.04	27.4	28.1		21.6	27.8	29.0		18.4
	G-52	65.0	27.7	12.0	12.8	0.17	1.7	0.04	27.4	28.1		21.6	27.8	29.0		18.4
Haecheon	G-11	76.8	28.8	13.1	12.4	0.20	6.6	0.10				30.3	33.9	0.0	9.1	
	G-13	65.5	14.1	19.5	11.2	0.19	1.5	0.00								
	G-14	43.9	32.3						33.7	35.9	5.8	10.5	39.1	43.9	15.0	8.1
	G-24	79.0	37.2	14.5	15.6	0.22	0.0	0.00								

를 따라 분포하고 있으며, 광산내에서도 소규모 단층들이 발달되어 있다. 벤토나이트는 어 일화산암류중의 응회질 퇴적암류에 배태되어 있고, 그 상부는 주로 석영안산암성분의 화산 암류가 피복하고 있다. 벤토나이트는 백색, 담록색을 나타내며, 부분적으로 고품위 부분에서는 핑크색 및 노란색을 나타내고 있으며, 안산암, 호온펠스 및 화강암등의 암편들을 포함하고 있다. 이 유형의 벤토나이트들에 대한 물성시험결과를 보면, 몬모릴로나이트 함량을 나타내는 메틸렌블루 흡착량이 약 70-90ml이며, 팽윤도(SV)는 약 13.5-16.5 ml/2g, 주물용의 특성을 나타내는 생형압축강도(GCS)는 약 9.7-11.1 N/Cm², 열적안정성을 나타내는 550℃에서 30분간 가열한 후에 측정된 열안정성 압축강도는 6.8-11.2 N/Cm²을 나타낸다. 토목용 특성을 나타내는 마쉬점도(MV)는 증류수 1리터에 벤토나이트 60g을 혼합하여 측정하였을때 약 32초, 1시간후에 측정하였을때는 약 36초를 나타낸다.

효동 유형(Hyodong Type) : G-56, G-66, G-67, G-68, G-78들이 여기에 속하며, 경주시 양남면 효동리, 양북면 죽전리에 분포한다. 주로 신생대 어일화산암류(일명 효동리 화산암류) 내의 단층접촉부를 따라 분포하고 있으며, 일부분에서는 중생대 퇴적암류와 단층접촉부에서도 분포하고 있다. 광산내에서도 소규모의 단층들이 발달하고 있다. 벤토나이트는 이 화산암류내에 배태되어 있으며, 그 상부를 중성화산암류가 피복하고 있다. 벤토나이트는 주로 녹색을 나타내고 있으며, 지표 가까운 곳에서 산출되는 벤토나이트는 풍화작용의 영향으로 적갈색을 나타내기도 한다. 이 또한 다양한 종류의 암편들을 함유한다. 이에 대한 물성시

협결과를 보면, 메틸렌블루 흡착량은 주로 64-70ml정도이며, 팽윤도는 약 15-35ml/2g 이며, 생형압축강도는 8.3-10.7 N/Cm², 열안정성 압축강도는 5.9-11.6 N/Cm²을 나타낸다. 마쉬점도는 약 34-39초, 1시간후에 측정하였을때는 38-42초를 나타내며, 다른 유형에서는 측정되지 않는 전단강도(GS)가 4-13 lbs/ft²정도의 수치를 나타내었다. 마쉬점도는 상라 유형의 벤토나이트 보다 높은 수치를 가지고 있음을 알 수 있다.

하서 유형(Haseo Type) : G-29, G-39, G-40, G-50, U-41들이 여기에 속하며, 경주시 양남면 하서리와 그 인접지역에 분포한다. 주로 하서리화산암류(Tateiwa, 1924)내에 분포하고 있으며, 소규모의 단층들이 많이 발달하고 있다. 이 유형의 벤토나이트는 다른 유형의 벤토나이트와는 달리 균질한 괴상체로 나타나며, 암편을 거의 포함하고 있지 않는 세립질로 나타난다. 광체의 색은 연청색, 황색, 연록색, 황갈색, 적갈색등으로 나타나지만, 그 구성광물이나 암질은 거의 같다. 메틸렌블루 흡착량은 주로 58-83ml정도이며, 팽윤도는 약 11-25ml/2g 이며, 생형압축강도는 8.6-12.8 N/Cm², 열안정성 압축강도는 0.9-9.9 N/Cm²을 나타낸다. 마쉬점도는 약 28-31초, 1시간후에 측정하였을때는 29-36초를 나타낸다.

연일 유형(Yeonil Type) : Y-03, Y-06, Y-13, Y-16, Y-32, Y-43등이 여기에 속하며, 주로 감포이북 지역인 포항시 동해면, 장기면, 오천읍 일대에 분포한다. 광체는 연일층군의 현무암질용회암내에 연장성이 좋은 층상으로 배태되어 있으며 단층에 의해 절단되기도 한다(고상모 외, 2001). 암편을 거의 포함하고 있지 않는 세립질로 나타나며, 암회색 내지 담회색을 나타낸다. 메틸렌블루 흡착량은 주로 60-68ml정도이며, Y-43의 경우에는 86.0ml를 나타낸다. 팽윤도는 약 10-18ml/2g 이며, 생형압축강도는 11.6-16.6 N/Cm²을 나타내어 상대적으로 다른 유형들 보다 높다. 하지만, 열안정성 압축강도는 0.0 N/Cm²을 나타내며, Y-16의 경우는 10.4 N/Cm²을 나타낸다. 마쉬점도는 약 30-31초, 1시간후에 측정하였을때는 32-34초를 나타낸다

4. 토의 및 결론

우리나라의 각 광산에서 산출되는 벤토나이트원광은 60-70%대의 함량을 가지며, 많은 암편들을 가지고 있다. 이런 이유로 인해 비교적 고품위의 벤토나이트원광을 필요로 하는 제지용이나 동물사료용으로 이용하기는 무리이며, 특히 다양하게 나타나는 색깔은 높은 백색도를 요구하는 제지용 벤토나이트에는 이용하기는 더욱 더 무리이다. 그러므로 국내에서 산출되는 벤토나이트는 주로 주물용, 토목용으로 이용되고 있으며, 일부 저품위의 벤토나이트는 농약용으로 이용되고 있다.

상라 유형의 벤토나이트들은 다른 유형들보다 비교적 높은 몬모릴로나이트 함량을 가지며, 주물용 벤토나이트의 품질측정에 있어서 무엇보다도 중요한 열적안정성을 나타내는 550℃에서 30분간 가열한 후에 측정된 생형압축강도가 보다 높은 값을 가진다. 하지만, 점도는 효동 유형 보다는 높지 않고, 전단강도는 0의 값을 나타낸다. 이는 토목용보다는 주물용으로 적합하는 것을 알 수 있다. 효동 유형의 벤토나이트들은 상라 유형보다는 낮은 몬모릴로나이트 함량, 생형압축강도, 열안정성 강도를 가지나, 팽윤도와 마쉬점도가 상대적으로 높으며, 특히, 토목용에서 중요한 요소인 높은 전단강도의 값을 가진다. 이는 다른 유형에서는 나타나지 않는 것으로 토목용 벤토나이트로의 이용에 적합함을 알 수 있다. 이 유형은 주물용으로도 이용이 가능하다. 하서 유형의 벤토나이트들은 비교적 높은 몬모릴로나이트 함량을 가지고는 있으나, 열안정성 강도의 변화가 심하며, 낮은 점도를 가진다. 이런 유형의 벤토나이트는 주물용으로 이용이 가능하나 세심한 주의가 요구된다. 연일 유형의 벤토나이트들은 다른 유형들에 비해 가장 낮은 몬모릴로

나이트 함량을 가지고 있으며, 높은 생형압축강도를 가지고 있으나, 열안정성 강도를 거의 나타내지 않거나 낮은 값을 나타내며, 낮은 점도를 가진다. 이러한 유형의 벤토나이트들은 일반적인 주물용이나 토목용의 용도로는 이용이 불가능하며, 현재 산성백토의 원료로서 이용되고 있다.

벤토나이트에 있어서 몬모릴로나이트의 함량이 높다고 해서 반드시 산업용으로 좋은 벤토나이트라고는 할 수 없다(박성완 외, 2003). 몬모릴로나이트 함량이 높아도 열안정성 강도가 낮으면 주물용으로 이용이 불가능하며, 마취점도와 전단강도의 값이 낮으면 토목용으로 이용이 불가능하다. 벤토나이트에 있어서 이러한 차이는 광상이 분포하는 지역의 지질과 구조에 기인한다. 신생대 제3기 지층 전반에 걸쳐 속성변질작용에 의해 벤토나이트가 생성되었으나, 감포 이남 지역인 양북면, 양남면 일대는 단층과 같은 많은 구조적 약대를 따라 이동된 지하수 혹은 열수등의 용액에 의한 모암의 변질작용도 관여되어 벤토나이트 광상들이 형성되었으므로(황진연과 박성완, 1992), 상라 유형과 효동 유형의 벤토나이트들은 연일 유형의 벤토나이트들보다 열적 안정성이 높다고 생각할 수 있다. 연일 유형에서도 Y-16의 경우와 같이 지표 가까운 곳이나 소규모의 단층대에 채취된 것은 이차적인 변질작용의 영향을 받아 높은 열안정성 강도를 나타낸다(10.4 N/Cm²). 토목용 벤토나이트에 있어서의 특성의 차이는 주로 몬모릴로나이트 층간의 교환성양이온의 종류와 양에 기인한다. 층간의 교환성양이온으로서 Na이온이 많으면 높은 점도와 전단강도를 가지는데, 효동 유형이 상라 유형보다 좋은 토목용 특성을 가지는 것은 많은 Natural Na이온을 가지고 있기 때문이다. 박성완(1991)의 자료에 의하면, 상라 유형의 벤토나이트들의 Natural Na이온의 양은 1-7 meq/100g을 나타내지만, 효동 유형의 G-78의 경우 약 27 meq/100g을 나타낸다. 이는 벤토나이트 모암과 주변암석의 영향인 듯 하다.

이상과 같은 결과를 종합하여 보면, 우리나라 벤토나이트 광산에서 산출되는 벤토나이트 원광은 표2와 같이 분류할 수 있다

Table 2. Classification of Korean Bentonite Mines.

Type	Sangra	Hyodong	Haseo	Yeonil
Montmorillonite	***	**	*~***	**
Thermal Stability	***	***	*~***	*
Swelling Volume	**	***	*~**	*~**
Marsh Viscosity	*	***	*~**	*
Areas	Sangra-ri, Dusan-ri	Hyodong-ri, Jookjeon-ri	Haseo-ri, Songjeong-ri	Yeonil Area
Mines	G-35, G-36, G-46	G-56, G-65, G-66, G-67, G-68, G-78	G-29, G-39, G-40, G-50, U-41	Y-03, Y-06, Y-13, Y-16, Y-32, Y-43
Applications	Foundry	Civil Engineering & Foundry	Foundry	Bleaching Earths

5. 참고문헌

- 고상모, 손병국, 송민섭, 박성완, 이석훈 (2002) 벤토나이트의 물리-화학적 성질을 지배하는 요인분석. 한국광물학회지, 15, 259-272.
 고상모, 유장한, 박성완 (2001) 제3기층에 분포하는 원료광물자원의 부존특성, 광물특성 및

- 활용현황. 제26회 자원활용·소재 워크샵 논문집. 한국지질자원연구원, 159-194.
- 김옥준, 이하영, 김서운, 김수진 (1971) 포항-울산간의 점토자원의 지질과 그 물리화학적 연구. 광산지질, 4, 167-215.
- 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, 오성진 (1994) 양남지역 제3기층에 부존하는 벤토나이트의 지구화학 및 광물 생성관계. 한국광물학회지, 7, 111-127.
- 노진환, 유재영, 최우진 (2003) 국내산 벤토나이트에 대한 응용광물학적 특성 평가(II): 광물학적 특징, 체표면적 및 유변학적 특성과 그 연계성, 16, 33-47.
- 문희수 (1986) 삼기층에 배태된 벤토나이트의 산소 및 수소동위원소 연구. 광산지질, 19(특별호), 131-138.
- 문희수, 안재영, 최선경, 김문영, Morgan, D. J. (1989) 감포지역 Ca-몬토릴로나이트의 광물학적 및 열적 특성 : 죽전 및 용동리지역 광상 비교연구. 광산지질, 22, 207-219.
- 문희수, 유장한, 김종환, 조한익 (1987) 국내산 벤토나이트의 몇 가지 물리화학적 특성에 관하여. 광산지질, 20, 159-168.
- 박성완 (1991) 경북 경주군 양남지역에 분포하는 벤토나이트 광상에 대한 광물학적 연구. 부산대학교 이학석사학위 논문, 63p.
- 박성완, 이상현 (2001) 국내산 벤토나이트 제품의 제조 현황 및 그 용도. 제26회 자원활용·소재 워크샵 논문집. 한국지질자원연구원, 247-277.
- 박성완, 황진연, 이상현, 김용운, 이병한, 서한기, 서진형, 현부영 (2003) 국내 산업용 벤토나이트의 용도별 특성. 2003년 한국광물학회·한국암석학회 공동학술발표회 논문집(초록), 한국지질자원연구원 5월 30일, 95p.
- 황진연, 박성완 (1992) 경북 양남지역 벤토나이트광상의 성인적 고찰. 지질학회지, 28, 392-402.
- Moon, H. S. and Morgan, D. J. (1983) Some mineralogical and physico-chemical properties of Fuller's Earths from Tertiary sediments in South Korea. J. Korean Inst. Mining Geol., 16, 149-161.
- Moon, H.-S., Choi, S. K. and Kim, M. Y. (1988) Thermal and mineralogical characterization of Ca-montmorillonite from Gampo area. J. Korean Inst. Mining Geol., 21, 175-184.