

경주 양남면 상계리-신서리 일대에서 산출되는 벤토나이트의 산상과 산업응용적인 특성

김용운^{1*}, 박성완¹, 고상모², 이상현¹, 황진연³

¹(주)한국수드케미(gibbs69@sckorea.co.kr)

²한국지질자원연구원 지질기반정보연구부

³부산대학교 지질학과

1. 서 론

한반도의 동남부 일대는 제3기의 퇴적층이 분포한다. 이들 제3기층은 주로 퇴적암류와 화산암류 및 화강암류로 구성되었으며 장기층군과 어일층군을 이루는 화산퇴적암류 내에는 벤토나이트(산성백토), 불석 및 규조도가 풍부하게 배태되고 있음이 특징이다(고 상모 외, 2001). 그러나 대부분의 벤토나이트 광상은 오랫동안 개발되어 거의 채진되었고, 현재는 양북-양남지역 일대에서 벤토나이트 광상에 대한 개발이 일부 이루어지고 있다. 이 지역에 대한 벤토나이트의 광물학적 및 성인적 연구(노 진환과 오 성진, 1994; 황 진연, 1988; 황 진연과 박 성완, 1992; 노 진환, 2002)와 물리-화학적 특성에 대한 연구(노 진환 외, 2003; 문 회수 외, 1987; 전 용원과 이 철규, 1987)가 부분적으로 수행되었다. 따라서 이번 연구의 목적은 제3기층 내에서도 현재까지 연구 내용이 미흡했던 경주시 양남면 상계리-신서리(감포지적 40-50호) 일대에 분포하는 벤토나이트 광상의 지질 및 광상학적 배태상태를 규명하고 구성광물들의 공생관계와 산출상태를 검토하며, 벤토나이트의 물리-화학적 특성을 밝혀 벤토나이트의 산업응용적 활용에 근거가 되는 기초자료를 마련하는데 있다.

2. 연구방법

1: 5,000 축적의 지형도를 이용하여 미개발지역의 광산을 중심으로 야외 산상 및 암석학적 특성을 조사하였으며 벤토나이트 광체 노두를 대상으로 시료를 채취하였다. 대표적인 시료 중 11개를 선별하여 전암분석을 실시하였으며 벤토나이트의 물리적인 특성을 규명하기 위해 현재 산업체에서 시행중인 다양한 물성실험을 병행하였다(박성완과 이상현, 2001). 또한 벤토나이트의 구성광물성분을 알아보기 위해 대표적인 시료 6개를 선정하여 X-선회절분석을 실시하였다.

3. 벤토나이트의 산출상태

조사지역은 하부로부터 백악기 경상계 퇴적암류와 불국사 화강암류, 제3기의 화산암류와 화산쇄설성퇴적암류 및 쇄설성퇴적암류가 분포하며 현무암질 암류가 이들을 관입 및 분출한 양상으로 산출된다. Tateiwa(1924)는 우리나라 제3기의 지층을 하부로부터 장기층군(어일층군), 범곡리층군, 연일층군으로 분류하였고 고상모 외(2001)는 연일-구룡포지역에서는 장기층군 내에, 양북-양남지역에서는 장기층군과 대비되는 어일층군 내에서 벤토나이트 광상이 제한적으로 배태되고 있는 것이 지질학적 산출상태의 중요한 특징이라 보고하였다.

조사지역 내에 분포하는 제3기 화산쇄설성 퇴적암류는 역암층을 제외하고는 전체적으로 변질을 받았다. 이들은 모두 화산 기원의 응회물질로 구성되었기에 약간의 변질작용만으로도 벤토나이트화 될 수 있으리라 여겨진다. 그러나 변질 정도와 매장량에 따라서 다소 차이

가 있기 때문에 여기서는 개발 가능한 부분에 대해서만 언급하였다. 벤토나이트 광체는 전체적으로 북동-남서 방향의 분포를 보이며 상·하위에 불석 광체가 배태되어 있음이 특징이다. 전술한 암석들 가운데 벤토나이트 광체는 화산쇄설성퇴적암류인 전동층 내에서만 국한되어 층상과 괴상의 형태를 이루며 산출한다. 벤토나이트는 산출지역에 따라서 세 지역으로 구분하였고 아래와 같다.

1) A-area(다골-동넉골-지름골)

다골 계곡 입구 부근에서 산출되는 벤토나이트는 암갈색 내지 암회색을 띠며 호온펠스나 화산암류 같은 이질 암편을 상당히 많이 함유하고 있고 세립의 응회물질로 구성된 기질부만이 부분적으로 벤토나이트로 변질되었다. 동넉골 일대에서는 세립의 유리질 응회암류가 우세하게 분포하며 횡적 연장성이 발달한 층상으로 산출된다. 이들은 ash fall 형태로 퇴적된 것으로 사료된다. 두께는 대략 5 ~ 7m 정도이고 연장은 30 ~ 100m 이상일 것으로 추정된다. 일부 실트질암과 연장성이 불량한 갈탄층을 제외하고는 불순물이 거의 없으며 지방감과 점결력도 상당히 양호하다.

다골에서 지름골로 이어지는 계곡 일대에서는 부석질 라필리 응회암이 우세하게 산출되며 부분적으로 양질의 벤토나이트가 괴상으로 배태되어 있다. 이 지역에서 산출되는 벤토나이트는 담회색, 적갈색, 연갈색, 분홍색 등의 다양한 암색을 띠고 있으며, 암편으로 부석을 상당히 많이 함유한 것이 특징이다. 이들은 모두 변질되어 벤토나이트화 되었다. 또한 벤토나이트를 배태한 지층 상부에는 약 40cm 두께의 회백색 처어트가 단속적으로 발달해 있고, N10°E, 20°NW의 주향과 경사를 갖는다.

2) B-area(범실-하서 범실지)

이 지역은 조사지역의 중앙부에 해당하며 하위의 역암층과의 단층 접촉 그리고 현무암류의 관입으로 조사지역 좌우에 벤토나이트가 산출된다. 즉, 범실마을 북쪽의 가는밭골과 범실지 우측부 일대에 분포하는 벤토나이트 광체로서 화산쇄설성 퇴적암 중 라필리 응회암을 모암으로 한다. 가는밭골의 광체는 층상으로 배태되었으며 유문암 계열의 라필리 응회암으로 여겨진다. 유백색 내지 담회색의 암색을 띠며, 본질 암편인 석영, 장석, 흑운모, 그리고 소량의 부석이 함유되어 있다. 점결력은 양호하지만 지방감은 다소 약한 편이다. 이 광체 바로 상위 층준에는 유백색의 불석이 층상으로 배태되어 있으며 약 7m의 두께와 100m 이상의 연장성을 가진다. 범실지 우측부의 광체는 렌즈상으로 배태되어 있으며 안산암질 라필리 응회암을 모암으로 한다. 다소 푸석 푸석한 느낌이 들고 약간의 지방감을 가지고 있다. 부석과 소량의 이질 암편이 함유되어 있으며, 담황색 내지 담갈색을 띤다.

윗 하서범실지에서 하서2리로 오는 농로길의 왼쪽 산 능선부에 괴상 또는 렌즈상으로 고품위의 벤토나이트가 배태되며 양질의 지방감과 점결력을 가진다. 이 곳의 벤토나이트는 안산암질-현무암질 라필리 응회암을 모암으로 한다. 유백색 내지 담회색, 연홍색 등의 암색을 띠고 암편으로 부석을 상당량 함유하고 있으며 응회물질, 안산암, 호온펠스 등이 소량 함유되어 있다.

3) C-area(하서2리-옥골)

하서2리 북측 계곡에서는 각력질 응회암내에 세립의 현무암질 응회암과 유문-안산암질의 라필리 응회암을 모암으로 하는 벤토나이트가 산출된다. 세립의 현무암질 응회암을 모암으로

로 하는 벤토나이트는 층상으로 배태되어 있고 고품위를 유지하며 상당히 양호한 지방감과 점결력을 가진 벤토나이트가 산출된다. 이에 비해 유문-안산암질 라필리 응회암을 모암으로 하는 벤토나이트는 렌즈상으로 본질 압편을 많이 함유하고 있다.

오류골 남쪽 산 정상부에서 아래로 내려오면서 산출되는 벤토나이트는 안산암질-현무암질 라필리 응회암을 모암으로 한다. 암갈색, 갈회색 등을 띠며 부석과 장석이 압편으로 많이 함유되어 있고 약간의 지방감과 점결력을 가진다. 아래 하서 범실지 북쪽 계곡에는 유문-안산암질의 라필리 응회암을 모암으로 하는 벤토나이트가 렌즈상으로 산출된다. 대부분 본질 압편을 가지며, 소량의 흑운모가 산출된다. 또한 옥골 뒷산 정상부에서 사암과 이암의 호층대를 이루는 부분에서도 소량 산출되는데 품위 자체는 상당히 낮은 것으로 판단된다. 하서2리-옥골 지역에서 산출되는 벤토나이트는 조사지역 중 품위가 제일 낮고 경제성도 떨어지는 것으로 판단된다.

4. 토의 및 결과

조사지역은 하부로부터 백악기 경상계 세일 또는 호운펠스와 이를 관입한 화강암류가 기반암을 이룬다. 이들은 제3기의 화산쇄설암류와 현무암 그리고 역암층에 의해 부정합으로 피복되어 있다. 조사지역의 벤토나이트 광체는 주로 안산암질 응회암류에 제한적으로 산출되며 성인적인 측면과 관련해서 세 가지로 분류할 수 있다; (1) 구조적 연약대인 단층연변부(A-area); (2)상하부에 불석층의 존재(B-area); (3) 상부의 현무암이나 관입암체 주변부(C-area). 조사지역의 벤토나이트 광체는 퇴적암 특유의 횡적 연장성이 발달한 층상으로 산출되는 경우는 약간 드물며 고품위일수록 단속적이고 피상 또는 렌즈상으로 배태되어 있다. 벤토나이트의 주성분 광물은 몬모릴로나이트이며 장석, 석영, 크리스토팔라이트, 그리고 클라이노틸로라이트가 불순광물로 함유되어 있다.

조사지역에서 산출되는 벤토나이트의 화학조성결과는 다음과 같다. SiO₂ 49.0-63.0%, Al₂O₃ 13.0-18.0%, Fe₂O₃는 A-area에서는 2.5-8.9%까지 상당히 높은 함량을 보이며 그 외의 지역은 2.1-6.7%이다. K₂O, Na₂O 및 CaO는 약 4.0% 미만이다. 조사지역의 벤토나이트 원광석에 대한 물리적 특성을 알아보기 위하여 현재 벤토나이트 제조업체에서 사용되는 방법으로 물성을 측정하였다. 그 결과는 Table. 1과 같으며 산출지역에 따라 비교해 보았다.

Table 1.에서 알 수 있듯이 벤토나이트의 메틸렌블루 흡착량은 원광 상태에서는 A-area; 57-104ml, B-area; 61-88ml, C-area; 65-87ml까지, 그리고 활성화시킨 상태에서는 A-area; 66-112ml, B-area; 70-98ml, C-area; 71-99ml까지 다양한 범위를 보이며, 전체적으로 B-area에서 산출되는 벤토나이트의 메틸렌블루 흡착량이 가장 높게 나타난다. pH는 3.3-8.8까지의 범위에 있으며 산성 내지 약알칼리성을 보인다. 팽윤도는 A-area; 9.5-21.5ml/2g, B-area; 18.5-24.5ml/2g, C-area; 11-34ml/2g로 B-area의 벤토나이트 원광이 평균적으로 높은 수치를 나타내었다. 주물용에서 특히 주요한 특성인 열안정성도 B-area에서 하나의 시료-K를 제외하고는 4.85 - 9.85N/cm²로 높은 수치를 보여준다. 마쉬점도는 A-area에서 시료 A는 31.03 / 339.01Sec, B-area에서는 시료-E, -F, -G, 31.10 / 37.09 Sec, 30.36 / 35.83 Sec., 31.32/36.24 Sec.의 값을 각각 보인다. C-area에서는 시료-J가 39.93 / 57.90 Sec.로 점도가 가장 높게 나타났다. 양이온교환능은 82-135meq/100g로 전체적으로 높은 이온치환용량을 나타내는데 특히, 양이온교환능이 100meq/100g 이상일 경우는 전암조성의 SiO₂ 함량도 높게 나타난다. 이는 벤토나이트 내에 불순물로 함유되어 있는 제올라이트와 관련있음을 시사한다. 전술한 결과로 볼 때, 전체적으로 높은 메틸렌블루 흡착량을 보이는 B-area의 벤토나이트가 고품위,

A-area는 중간 품위, 그리고 C-area의 벤토나이트는 저품위의 벤토나이트로 평가할 수 있다.

Table 1. Industrial test results of Bentonite from study area.(MB, Methylene Blue Adsorption; SV, Swelling Volume; GCS, Green Compression Strengths; WTS, Wet Tensile Strengths; TS, Thermal Stability; MV, Marsh Funnel Viscosity; FL, Fluid Loss; CEC, Cation Exchange Capacity).

	Unit	A-area				B-area					C-area			
		A	B	C	D	E	F	G	K	L	H	I	J	
MB	ml	104/112	57/66	83/95	65/73	61/70	88/98	83/93	75/86	83	87/99	65/71	66/73	
Water Cont.	%	32.5	33.0	28.7	27.7	35.4	37.4	37.9	33.4	29.53	34.3	29.6	28.7	
pH		3.81	6.90	5.81	7.90	7.70	5.52	6.69	7.21		8.81	6.93	5.60	
Swelling Volume	ml/2g	4/21.5	4/9.5	3.5/20.0	4/12.0	4.5/20	4/24	5/24.5	4/18.5	22.5	5/24	3.5/11	3.5/34	
G. C. S.	N/cm ²	12.45	11.1	11.95	10.8	9.7	14.1	12.75	12.0	11.9	12.5	8.3	10.3	
W T S	N/cm ²	0.220	0.168	0.180	0.172	0.213	0.220	0.237	0.185	0.233	0.029	0.201	0.211	
T S.	G. C. S.	N/cm ²	7.30	1.30	5.80	1.65	7.85	7.0	9.85	2.2	4.85	5.1	7.1	8.15
	W. T. S.	N/cm ²	0.161	0.017	0.098	0.038	0.120	0.101	0.174	0.078	0.085	0.173	0.122	
60g / L	M V (imm)	Sec.	31.03	27.69	28.81	27.78	31.10	30.36	31.32	29.20		30.28	29.43	39.93
	M V. (1 H)	Sec.	39.01	28.90	30.01	29.01	37.09	35.83	36.24	30.14		33.12	30.59	57.90
	F L.	ml	5.5	22.5	10.0	18.4	7.1	7.7	6.9	12.2		9.0	6.5	9.2
C. E. C.	meq/100g	134.0	90.5	127.7	99.5	95.00	117.23	105.21	109.22	84.90	118.00	112.50	82.00	
Whiteness		55.10	24.70	15.90	30.45	53.25	57.60	56.00	41.00	57.00	48.70	49.00	53.45	
Application		Foundry				Foundry & Civil Eng.					Civil Eng.			

조사지역에서는 A-area의 시료-A와 B-area의 시료-E, -F, -G, -L은 메틸렌블루 흡착량, 열안정성 및 점도가 높게 나타나 주물용에 적합하며 일부 토목용으로서도 사용 가능성이 높다. 또한, A-area의 시료-C와 C-area의 시료-H와 -J는 부분적으로 메틸렌블루 흡착량이 낮고 점도가 높게 나타나기에 토목용에 적합하다. 특히, 시료-J는 상당히 높은 점도를 보이기에 토목용 벤토나이트 원광으로 개발했을 경우 그 효과가 상당히 클 것으로 기대된다.

조사지역 내에서 산출되는 벤토나이트 원광을 제지용과 사료용으로서의 적합성을 측정된 결과 부적절한 것으로 평가되었다. 왜냐하면 제지용이나 사료용은 불순물의 함량이 거의 없어야 하며, 특히 제지용에서 요구되는 백색도가 현저히 낮기 때문이다. 국내산 벤토나이트는 약 25% 이상의 불순물을 함유한 것으로 보고되었으며(노진환, 2002), 조사지역의 벤토나이트에 대한 백색도 측정 결과치는 24-57이다.

박성완 외(2003)에 의하면, 벤토나이트의 산업적인 용도는 전적으로 몬모릴로나이트의 함량에 따라 좌우되는 것이 아니라 언급하였는데, 이상의 결과에서도 본 역의 벤토나이트의 산업적인 용도는 전적으로 몬모릴로나이트의 함량에 따라 좌우되는 것이 아님을 알 수 있다. 일반적으로 몬모릴로나이트의 함량이 높을수록 고품위로 평가하지만, 산업 응용적 측면에 있어서 각각의 물리적인 특성에 따른 활용도가 다르기 때문에 반드시 물성 파악이 선

행된 후에 그 용도에 맞게끔 효율적으로 사용되어야 한다.

5. 참고문헌

- 고상모, 유장한, 박성완 (2001) 제3기층에 분포하는 원료광물자원의 부존 특성, 광물특성 및 활용현황. 제26회 자원활용소재 워크샵, 한국지질자원연구원, 159-194.
- 노진환 (2002) 국내산 벤토나이트의 광물학적 및 암석학적 특징과 그 성인적 의미. 지질학회지, 38, 41-455.
- 노진환, 오성진 (1994) 양남지역 제3기층에 부존하는 벤토나이트의 지구화학 및 광물생성관계. 한국광물학회지, 7, 111-127.
- 노진환, 유재영, 최우진 (2003) 국내산 벤토나이트에 대한 응용광물학적 특성 평가(II): 광물학적 특징, 대표면적 및 유변학적 특성과 그 연계성. 한국광물학회지, 16, 33-47.
- 문희수, 유장한, 김종환, 조한익 (1987) 국내산 벤토나이트의 몇 가지 물리화학적 특성에 관하여. 광산지질, 20, 159-168.
- 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, 서전형, 현부영 (2003) 국내 산업용 벤토나이트의 용도별 특성. 2003년 한국광물학회·한국암석학회 공동학술발표회 논문집(초록), 한국지질자원연구원 5월 30일, 95p.
- 전용원, 이철규 (1987) 국내 제3기층 내 산출되는 벤토나이트의 지구화학적 및 공학적 특성에 관한 연구. 대한광산학회지, 24, 97-106.
- 황진연 (1988) 경북 감포지역 제3기층에 산출되는 불석광물 및 점토광물의 상 및 분포. 지질학회지, 24, 105-112.
- 황진연, 박성완 (1992) 경북 양남지역 벤토나이트 광상의 성인적 고찰. 지질학회지, 28, 392-402.