

## 감포 효동리-석읍리일대 화산암류와 벤토나이트의 분포 및 암석화학적 특성

윤현수<sup>1</sup>, 박덕원<sup>2</sup>, 유장한<sup>1</sup>, 홍세선<sup>3</sup>, 이동진<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국지질자원연구원 지질기반정보연구부(hyuns@kigam.re.kr)

<sup>2</sup> 지하수지열연구부, <sup>3</sup> 지질환경재해연구부

### 1. 서론

감포남서부인 효동리-석읍리일대는 효동리 화산암류(다데이와, 1924)로 보고된 바 있으나, 야외조사결과 경상계 퇴적암, 화산쇄설암류, 안산암, 데사이트, 유문암, 석영장석반암 그리고 염기성암 등으로 구분될 수 있다.

경상계 퇴적암은 연구지역의 최하부층으로서 완만한 경사를 이루며, 주로 세일과 일부 사암으로 구성된다. 가장 넓게 분포하는 화산쇄설암류는 국부적으로 응회암, 래피리질 응회암과 응회암질 각력암 등으로 분대되기도 하나 대체로 그 연속성이 빈약한 편이며, 후자가 이들의 대부분을 차지한다. 안산암류는 회색-암회색을 띠며 화산쇄설암류내에 발달하며 산정상부나 산사면부에서 수평상으로 분포한다. 데사이트는 자색 또는 담회색-암회색을 띠며, 반정은 장석류와 약간의 석영으로 구성된다. 유문암류는 연구지역의 북동부에서 소규모로 분포하며 유상구조가 뚜렷이 발달한다. 석영장석반암은 맥상으로 도처에서 분포하며, 염기성암은 흑색의 현무암질 암맥류로서 북부의 화산쇄설암 분포지에서 국부적으로 발달한다.

벤토나이트는 그 분포위치에 따라 북부광상, 중부의 동측광상과 서측광상 그리고 남서부광상으로 구분될 수 있다. 전자는 동서향을 이루는 소계곡부를 따라 약 4 개소에 걸쳐 불연속적으로 분포한다. 광상은 대체로 동서향에 가까운 주향이동 단층을 따라 배태되며, 응회암질 각력암을 모암으로 한다. 중자는 모두 응회암질 각력암을 모암으로 하며, 동측광상은 N30°E/70°SE, N25°E/80°SE 등의 단층이 발달한다. 서측광상은 응회암질 각력암내의 석기에 부분적으로 배태되고 역들은 미약하게 벤토나이트화 되며 그 직상부에 안산암류가 분포한다. 후자는 담회색을 띠는 응회암질 각력암을 모암으로 하며 그 상위부의 안산암류와 접하며 저각도로 배태된다. 이 안산암류는 열극을 따라 심화된 적색의 착색대가 발달한다.

### 2. 시료채취 및 실험방법

연구지역일대에 분포하는 화산암류와 벤토나이트의 전반적인 암석화학적 특성 및 변화양상을 알기 위하여 가능한 넓은 지역에 걸쳐 시료를 채취하였다. 암석시료는 화산쇄설암류, 데사이트와 안산암 등을 대상으로 하였다. 이들은 육안감정에 의해 가능한 가장 신선한 시료를 택하였으며, 화산쇄설암류는 응회암이나 가능한 역들이 적게 함유된 부위의 시료를 채취하였다.

벤토나이트 시료는 북부광상, 중부의 동측광상과 서측광상, 남서부광상에서 각각 대표적인 시료를 택하였다. 벤토나이트는 야외에서 한 지점에서 복합시료를 취하였고, 이들을 실내에서 완전히 건조한 후에 잘게 분쇄하였다. 이들 분쇄시료에서 육안으로 보이는 작은 역들을 제거하여 가능한 화산회 성분과 가까운 시료를 과쇄, 분말화 과정을 거쳐 분석되었다.

이 곳의 화산쇄설암류, 데사이트와 안산암, 그리고 벤토나이트의 주원소성분을 분석하였

다. 그리고 북부광상과 그 주변 모암에서는 주원소, 미량과 희토류원소 등을 분석하여 양자에서의 이들 성분차이와 변화양상 등을 비교하여 보았다. 또한 북부광상과 주변 모암의 광물학적 성분차이를 알기위하여 X-선 회절분석을 실시하였다.

주원소는  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  및 Ig.loss 등의 성분이 분석되었다. 이 중에서  $\text{FeO}$ 는 습식법 그리고 나머지 성분은 XRF로 실시되었다. 미량원소 중에서 Ba, Sr, Y, Nb, Pb와 Ga은 ICP, 그리고 Rb, Zr, Ta, Cu, Cr과 Zn는 INAA, 그리고 희토류원소(REE)는 ICP MS로 분석되었다. X-선 회절분석은 Rigaku D/Max (1000 series)에 의하여 2°/분의 속도로 실시되었다. 이들 주원소와 미량 및 희토류원소, 그리고 광물성분은 모두 지질자원연구원에서 분석되었다.

### 3. 본문

감포남서부 효동리-석읍리 일대는 경상계 퇴적암, 화산쇄설암류, 안산암, 데사이트, 유문암, 석영장석반암맥과 염기성암맥 등으로 구성된다. 이 중에서 화산쇄설암류는 가장 넓게 분포하며 쇄설물 크기에 따라 부분적으로 분대되기도 하나 대부분 연속성이 빈약한 편이다. 즉 북부일부에서는 응회암, 래피리질 응회암, 응회암질 각력암 등으로 동에서 서로 갈수록 뚜렷한 변화를 이루기도 한다.

안산암류는 사장석과 각섬석류가 반정을 이루며 흑운모, 휘석류와 불투명광물 등이 수반된다. 각섬석류의 결정주변부는 철의 산화작용으로 인한 검은 테두리를 이루기도 한다. 데사이트는 석영, 사장석, 흑운모, 각섬석류, 불투명광물 등으로 구성된다. 반정을 이루는 석영은 파동소광을 보이며 그 크기와 빈도가 사장석보다 감소한다. 그리고 석기는 래스상의 미립질 결정들이 다소 방향성없이 발달한다.

TAS도에서 이 곳의 화산쇄설암류, 안산암류, 데사이트류는 각각 유문암-데사이트, 안산암-현무암질 안산암 그리고 데사이트 영역에 각각 해당한다. 벤토나이트의 광상은 동서향 또는 북동향의 단층, 그리고 직상위부의 안산암류 등이 배태역할을, 그리고 광상은 역질부보다 석기부에 더 배태된 양상을 보인다. 그리고 역 중에서 데사이트류보다는 안산암류가 다소 더 벤토나이트화된 경향을 이룬다. 연구지역의 화산암류와 벤토나이트는  $\text{SiO}_2$ 가 각각 53.73-73.25(평균 67.86) wt. %와 57.54-66.81( " 63.51) wt. %의 값을 가져 모두 중성암-산성암, 그리고 TAS도에서 모두가 서브알칼린 계열에 해당한다. 그리고 전자는 부-과 알루미늄 나암질에 속한다.

연구지역 북부광상에서 대표적인 주변화산암류(GP 1과 GP 5)와 벤토나이트(NB 1-5, 2-1, 3-1, 4-3)의 X-선 회절분석의 결과는 다음과 같다(Fig. 1). 화산암류는 사장석이 주이고 일부 석영으로 구성된다. 벤토나이트는 몬모릴로나이트가 주이고 사장석 등의 부수광물, 그리고 소량의 지올라이트류(NB 1-5)가 포함되기도 한다. 이로 미루어 주변화산암류의 변질작용으로 인하여 사장석 외에 몬모릴로나이트와 일부 지올라이트를 함유한 벤토나이트 점토광상이 형성된 것(Deer W.A. et al., 1966)으로 해석된다. 그리고 이들 몬모릴로나이트는 모두 Ca-계에 해당한다.

한편 북부광상과 주변모암인 화산쇄설암류는 다음과 같은 주원소변화를 가진다. 즉 화산쇄설암류와 벤토나이트의  $\text{SiO}_2$ 는 각각 69.99-74.45 wt. %와 60.43-66.65 wt. %의 값을 가져 그 함량이 후자에서 약간 감소한다. 이들은  $\text{SiO}_2$  함량증가에 따라  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3(t)$ ,  $\text{MgO}$ 와  $\text{CaO}$ 는 뚜렷하거나 완만한 부의,  $\text{Na}_2\text{O}$ 와  $\text{P}_2\text{O}_5$ 는 별다른 변화경향을 보이지 않는다. 특히  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3(t)$ ,  $\text{MgO}$ 와  $\text{CaO}$ 는 벤토나이트에서,  $\text{K}_2\text{O}$ 는 모암에서 각각 그 함량이 뚜렷이 증가되는 바 이는 주변 화산암류의 변질작용으로 형성된 몬모릴로나이트에 의한 것

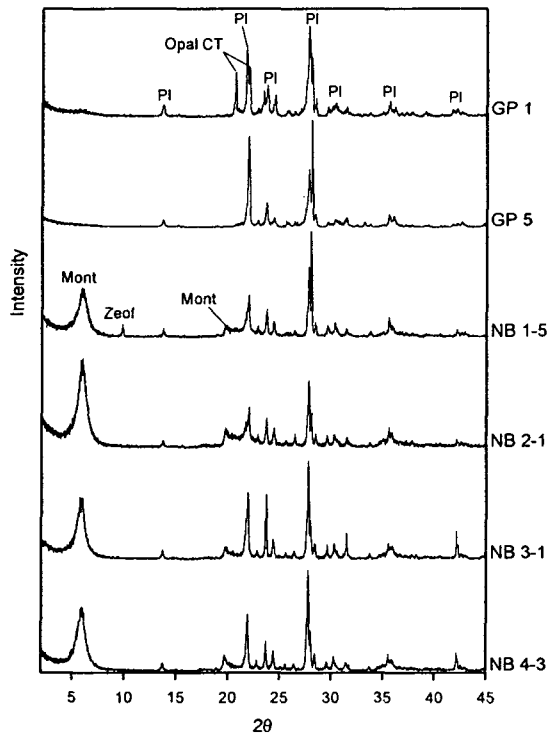


Fig. 1. XRD traces of the representative pyroclastic rocks and bentonites at the northern part of the area. GP: pyroclastic rocks, NB: bentonites.

으로 보인다. 생성된 벤토나이트 점토광물은 K 함량이 낮고 Ca 함량이 풍부한 Ca-계 (Deer et al., 1966)에 속한다. 그 밖에  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}$ 와  $\text{P}_2\text{O}_5$ 는 별다른 변화경향을 보이지 않는다.

북부광상과 주변 화산쇄설암류의 미량원소 변화특성은 다음과 같다. Ba은 각각 1,026 ppm과 810 ppm을 가져 그 함량이 전자에서 더 증가한다. Sr은 각각 447 ppm과 498 ppm을 가져 후자에서 약간 증가한다. Rb은 각각 58 ppm 그리고 거의 9.2 ppm 이하의 값을 가져 그 함량이 후자에서 뚜렷이 감소하여, 이들의  $\text{K}_2\text{O}$  함량차이와도 잘 일치한다.  $\text{SiO}_2$  함량 증가에 따라 Ba, Sr과 Zr은 다소 불규칙한, Nb, Pb, Y, Ga과 Cr은 별다른 변화경향을 보이지 않는다. Rb은 벤토나이트는 변화경향을 보이지 않으나 주변모암에서 부의 경향을 이룬다. Zn는 뚜렷한 부의 경향을 이루며 벤토나이트에서 그 함량이 뚜렷이 증가한다.

콘드라이트값으로 표준화한 희토류원소 변화도에서 북부 벤토나이트와 주변모암은 경희토류원소인 La-Tb는 급격히 결핍되는 경향을 보인다. 그러나 중희토류원소인 Dy-Lu에서는 전반적으로 모암보다 벤토나이트에서 약간 더 부화되는 경향을 이룬다.

## 5. 참고문헌

다데이와, 1924, 조선지질도 1: 50,000 조양도폭

Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J., 1966, An introduction to the rock-forming minerals. Longman, 527.

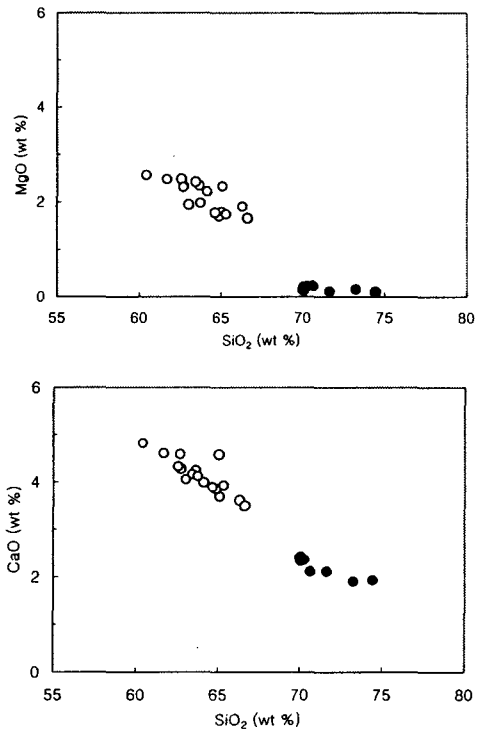


Fig 2. Relations of  $\text{SiO}_2$  vs. MgO and CaO

at the northern part of the area. Open and closed circles are the bentonites and pyroclastic rocks, respectively.