

독도 조면암질 각력암의 지구화학적 연구

심성호¹, 임지현¹, 장윤득¹, 김정진², 박병준¹

¹경북대학교 지질학과(shsim@knu.ac.kr), ²안동대학교 지구환경과학과

1. 서론

독도는 제4기 화산활동과 일본열도 동쪽에서 유라시아판 밑으로 섭입하는 태평양판과 연관된 것으로 해석했으나(Kuno 1959), 최근 연구에서는 독도가 섭입과 관련한 지화학적 특성들이 결여되어 있고, 그 대신 열점 화산활동에 의해 생성된 화산으로 새롭게 제안되었다(Nakamura et al, 1990; Tasumoto and Nakamura 1991). 독도가 고정된 하부맨틀에 위치하는 열점에 의해 움직이는 판의 내부에 만들어진 화산이라면 하와이 열도처럼 일련의 젊어지는 화산섬을 만들어 낼 수 있을 것이다. 독도 남동쪽에서 발견된 몇 개의 해산(sea mount)은 이러한 가능성을 높이고 있다(이종익 외 2000). 즉, 울릉분지의 spreading center를 통해 분출되던 맨틀마그마가 동해의 생성 후 응력이 안정된 시기에 지각 밑에 존재하다가 그 후 압축력을 받은 시기의 화산활동에 의해 분출되면서 생성되었다고 예상되며 이사부해산이 가장 먼저 생성되고 독도가 가장 후기에 생성되었다(김창환 외 2007). 울릉도-독도, 그리고 Oki Dozen 섬이 모두 비슷한 지화학적 특성을 보이는 것은 열점 기원의 맨틀 플룸들이 공통적인 지화학적 특성을 가진 근원물질로 구성되어있기 때문이다(송용선 외 2006).

본 연구에서는 독도 화산암의 산출상태와 마그마특성을 규명하기 위해, 조면암질 각력암의 체계적인 야외조사와 시료채취를 실시하였고, 전암화학분석을 수행하였다. 이를 통해 독도화산암의 기원 및 수중 독도화산체의 특성을 유추하였다.

2. 시료 채취 및 실험 방법

2007-2009년 독도 화산체에서 각력암시료 70점을 채취하여 박편제작과 편광현미경관찰, 주원소, 미량원소 및 희토류원소, 그리고 광물정량분석을 실시하였다. 박편제작과 암석분말제작은 경북대학교 지질학과에서 수행하였고, 전암화학분석은 캐나다 Activation Laboratories에 분석의뢰 하였다. 구성광물에 대한 정량분석은 경북대학교 공동실험실습관의 EPMA(Shimadzu EPMA-1600)를 사용하여 정량 분석하였다.

3. 결과 및 토의

채취된 각력암들은 시료에 따라 다공질 및 치밀한 암상을 보인다. 암석을 구성하는 반정 광물로는 단사회석, 사장석, 정장석, 흑운모, 자철석, 그리고 준장석류인 류사이트, 네필린등이 있고, 석기로는 레쓰상의 사장석과 단사회석이 거의 대부분을 차지하며 소량의 유리질 기질, 불투명 광물로 구성 된다. 시료는 육안으로 풍화 받지 않은 신선한 상태이며 각력암시료대부분이 분석되었다. MgO를 기준으로 한 주성분변화도에서는 각력암은 현무암, 조면안산암, 조면암까지 구분되는 영역에 도시된다. MgO함량이 감소할수록 Fe₂O₃와 TiO₂는 증가하다가 감소하는데, 이 시점에서 Fe-Ti 산화광물인 Hematite와 Ilmenite 분별정출을 지시한다. MgO함량의 감소에 따라 CaO함량은 감소하고, Al₂O₃, Na₂O, K₂O은 증가하는데 이는 장석류는 계속 분별 정출한 반면 알칼리장석 성분은 액상상태를 유지하며 규산불포화도가 높은 것으로 해석된다.

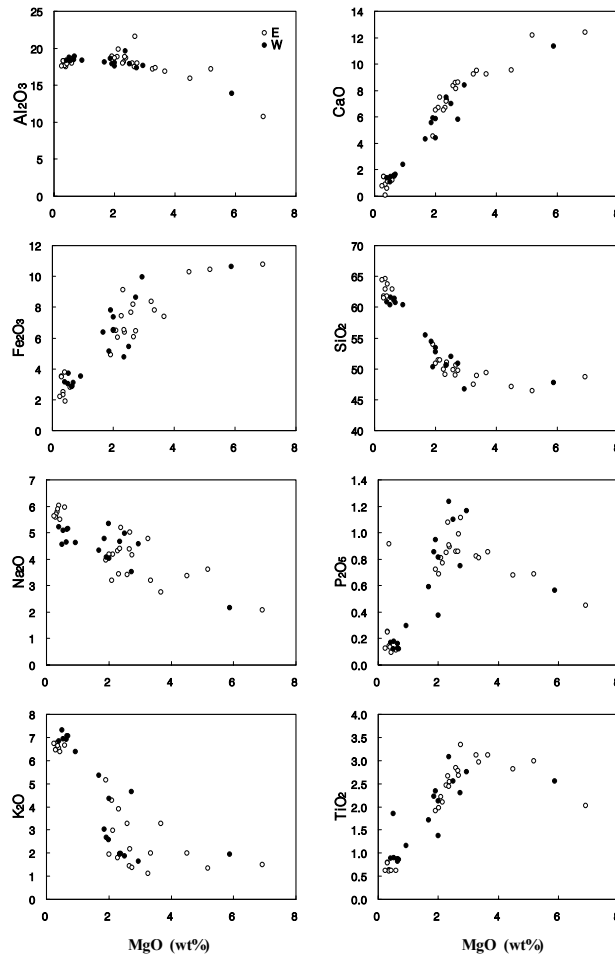


Fig 1. Total alkalis vs. MgO (wt%) plotting for the igneous rocks in the Dokdo Trachytic Breccia area (Le Maitre et al.).

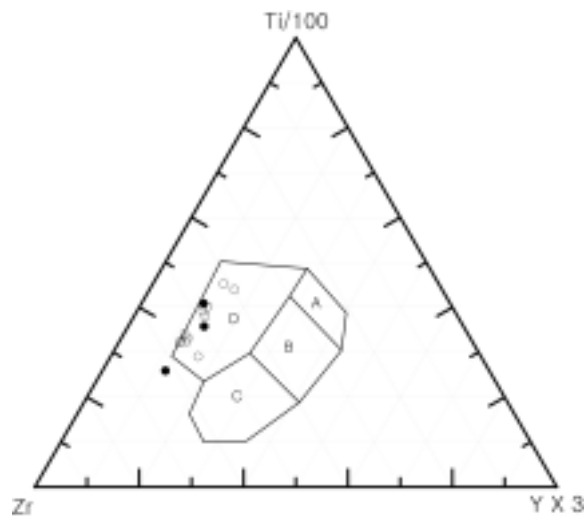


Fig. 2. Ti-Zr-Y discrimination diagram for Dokdo breccia (after Pearce and Cann, 1973). Island-arc tholeiites plot in field A, calc-alkaline basalts plot in field C and MORB plot field B, within-plane basalts plot in field D.

미량원소의 조성변화 또한 독도 화산암의 화학적 거동을 지시하는 기준이 된다 즉 MgO의 함량은 현무암질 화산암편에서 분출말기의 조면암을 향해서 호정성 원소에 해당하는 Sc, V는 점진적으로 감소하는 반면에 Rb, Th, U 등의 불호정성원소는 점차 증가하는 특성을 보여 화산암류의 일반적인 분화경향을 잘 보여준다. 원소 Zr, Nd 등은 MgO 함량이 감소할수록 전반적으로 증가하는 경향을 나타내다가 분출 말기에 이르러 급격히 증가하는 특성을 보인다. 이런 특성은 독도 화산암류 분화과정의 모든 단계에서 위와같은 원소를 함유한 대표적 부성분광물인 저어콘 등이 분화과정에 참여하지 않았음을 지시한다.

미량원소의 변화경향을 알아보기 위해서 거미도표(spider diagram)를 사용하였고, 이 도표에서 유동성을 가진 Sr, K, Rb, Ba 원소들은 증가하다가 비유동성을 나타내는 Th부터 Yb까지 점차 감소하는 전형적인 해양성 화산호 현무암(OIB) 경향을 보여주었다. 또 섭입하는 해양판에 고정되기 때문에 화산호 화산암에서는 결핍되는 Nb이 다소 부화되어 있는 점에서는 독도 화산암류는 해양판의 섭입과는 관련 없는 환경에서 형성되었다는 것을 증명한다 (Tatsumi and Eggins, 1955). 그러나 독도 화산암류는 해양도 화산암류에 비해 전체적으로 Pb가 부화되는 점이 특징적이다. 또 조면암의 조성에서 동도와 서도 시료 중 Ba의 조성차이가 인지된다. 말기 분출 상태인 조면암에서는 이전 것들에 비해 호정성원소의 함량이 다소 증가하고, Ba, Sr, P, Ti 등의 부의 이상이 보이는데 이는 사장석, 인회석, Fe-Ti 산화광물 등이 상당히 분별된 상태임을 알 수 있다.

EPMA 분석결과, 각력암내의 사장석 반정은 대체로 Ab₃₅-Ab₅₀로서 라브라도라이트이지만, 일부 조면암내의 사장석 반정은 Ab₇₀-Ab₈₀로서 올리고클레이스를 가리키는데 이는 사장석의 Ca성분이 Na로 치환되었음을 지시한다. 그리고, 사장석 반정의 중심부에서 외연부쪽으로 점차 Ab성분이 증가하는 정누대구조를 나타낸다.

4. 결론

독도는 알칼리 계열 화산활동과 휘귀광물인 류사이트 준장석이 발견되는 지역으로서 ‘암석학의 보고’이자 해저화산의 진화과정을 한눈에 알아볼 수 있는 중요한 지질유적으로서 학문적으로도 중요한 연구대상이다. 이러한 독도화산체의 각력암들을 체계적으로 획득하여 마그마활동 및 기원과 수증 독도화산체의 특성을 고찰해 보고자 하는 것이 본 연구의 목적이다. 대부분 암석의 반정광물인 사장석에 대한 EPMA결과는 대부분 라브라도라이트이지만 일부 올리고클레이스에 속하는 것으로 Ca에서 Na로 치환되었음을 지시한다. 기본적인 주원소 분석결과는 매우 체계적인 변화양상을 보이고 있으며, 분별정출작용에 따른 원소성분의 급격한 변화가 관찰되었다. 여러 학자들이 제시한 상관도는 화산암류의 모마그마가 발생한 지체 구조 환경을 지시하는데 매우 유사하게 사용되는데 미량원소를 이용하여 독도화산암를 분석한 결과 해양도 현무암(OIB)이 갖는 성질과 매우 유사함을 알 수 있다. 그러나 아직 독도해저화산체에 대한 지구화학 자료와 절대 연령 측정 자료가 부족해서 각력암의 자료만으로는 이들 화산체가 형성되기 시작한 시기를 규정할 수 없다는 어려움이 있다. 또한 독도화산체가 일련의 열점 작용으로 형성되었다면 주변 판의 이동이 전제되어야 하고, 이 판의 이동은 울릉분지의 열개과정과 불가분의 관계를 가져야만 하지만 울릉분지의 형성기작에 대해서는 현재까지도 많은 논란이 있고 그 형성시기를 규정하기에는 자료가 많이 부족하다. 따라서 독도 해저화산체의 각층마다 체계적인 시료 채취가 불가피하고 이 시료들에 대한 절대 연령 측정 및 지구화학적 연구가 더욱 이루어져야 한다.