

소행성 기원의 현무암질 분화 운석(유크라이트) TIL07014의 변성 및 각력화 작용

박창근^{1*}, 추미경^{2,3}, 이종익², 최변각¹

¹ 서울대학교 지구과학교육과(ckpark79@gmail.com)

² 한국해양연구원 부설 극지연구소

³ 이화여자대학교 과학교육과

1. 서론

유크라이트(eucrite)는 태양계 초기 모천체의 화산 활동에 의해 형성된 암석으로 주로 사장석과 휘석으로 이루어져 있으며, 부수 광물로 실리카 동질이상(석영 또는 트리디마이트), 티탄철석, 크롬철석, 트로일라이트, 감람석, 철-니켈 금속 등이 포함되어 있다. 대부분의 유크라이트는 열변성을 받았으며, 모천체에서의 활발한 충돌 작용에 의해 서로 같은 암편이 섞이거나(monomict), 이질적인 암편이 섞인(polymict) 각력암이다. 조직에 따라 집적 조직(cumulate texture)을 보이는 집적 유크라이트와 현무암질 조직(basaltic texture)을 보이는 비집적 유크라이트(non-cumulate eucrite)로 크게 나눌 수 있으며, 집적 유크라이트는 비집적 유크라이트에 비해 Mg#가 높고 불호정 미량 원소(incompatible trace element)의 함량이 적으며, 희토류 원소 중 Eu이 양의 이상치(positive anomaly)를 보인다. 비집적 유크라이트는 Mg#와 Ti 함량 관계나 Sc과 La의 함량 관계에 따라 다시 스테넨 경향(Stannern trend)과 주그룹-뉴보 라레도 경향(Main group-Nuevo Laredo trend)으로 나눈다. 주그룹-뉴보 라레도 경향은 Mg#가 작아짐에 따라 불호정 원소의 함량이 약간 증가하는 경향을 보이며, 스테넨 경향은 주그룹-뉴보 라레도 경향과 주 원소 함량은 비슷하나 불호정 원소의 함량이 더 많고, 불호정 원소의 함량이 증가해도 Mg#는 크게 변하지 않는다. 주그룹-뉴보 라레도 경향은 사방휘석으로 이루어진 디오제나이트(diogenite)와 집적 유크라이트의 순차적 분별 결정 작용의 잔여 액으로 설명이 가능하며, 스테넨 경향은 주그룹 유크라이트와 같은 기원의 맨틀 부분 용융의 결과로 설명된다(e.g., Barrat et al., 2007). 제 2차 대한민국 남극 운석 탐사로 서남극의 티엘 산맥에서 발견된 TIL07014는 검게 빛나는 용융각으로 완전히 덮여 있었고, 내부는 밝은 회색을 보이며 풍화를 거의 받지 않은 매우 신선한 상태였다. 암석학적 특징과 산소 동위원소의 분석 결과를 통해 TIL07014는 유크라이트로 분류되었다(Park et al., 2007). 본 연구에서는 유크라이트 TIL07014의 암석학적, 지구화학적 연구를 통해 모천체에서의 변성 및 각력화 작용에 대해 논의하고자 한다.

2. 시료 및 분석 방법

TIL07014는 조직에 따라 밝은 회색을 띄며 균질화된 현무암 쇄설물(basaltic clast), 조립의 휘석, 사장석으로 이루어진 반려암질 쇄설물(gabbroic clast), 그리고 이 두 개가 혼합된 부분(mixture)으로 나뉜다. 각 조직을 대표하는 박편을 제작하여 서울대학교 공동기기원의 전자현미 분석기(JXA-8900R)로 광물의 화학 조성을 분석하였다. 특히 휘석은 오자이트 라멜리가 나타나지 않는 일차 피저나이트(primary pigeonite)와 현무암 쇄설물 내의 세립질 휘석, 반려암질 조직의 조립질 휘석으로 나누어 분석하였다. 전암 화학 조성 분석을 위해 각 조직을 대표하는 부분을 고른 후, 오염을 최소화하기 위해 청정실에서 아게이트 사발을 이용하여 고온 분말로 만들어 오븐에서 약 70°C로 24시간 이상 건조시켰다. 세척된 테플론 용기에 분

말 시료 0.1 g을 넣고 질산, 불산을 1 ml씩 첨가하여 가열판 위에서 약 130°C에서 반응시켰다. 질산, 불산과 반응이 끝난 시료는 뚜껑을 1% 질산으로 3차례 씻은 후 뚜껑을 개방하여 가열판 위에서 건조시켰다. 일부 녹지 않은 침전물을 녹이기 위해 가염소산 1 ml를 첨가하여 가열판 위에서 130°C에서 완전 분해하였다. 최종적으로 1% 질산을 넣어 500배 희석시켜 분석용 용액을 만들었으며, 한국 해양연구원 부설 극지연구소의 유도 결합 플라즈마 질량 분석기(ELAN 6100)로 미량 원소를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

TIL07014도 대부분의 유크라이트와 같이 열변성에 의한 조적을 보이는데, 휘석과 사장석 내에서 불투명 광물의 용리에 의한 클라우딩(clouding)이 빈번하게 관찰되며, 휘석 내의 오자이트 라멜리 두께는 10 μm 내외로 두꺼운 편이다. 또한 휘석의 화학 조성 분석 결과, 일차 피저나이트에서 일부 성분 누대(chemical zoning)가 남아 있는 것을 제외하고 모든 휘석이 평형화된 것을 알 수 있다(Fig. 1). 하지만 휘석 내의 부원소인 Al, Cr, Ti은 쇄설물의 종류에 따라 다른 양상을 보인다(Fig. 2). Pun and Papike (1996)의 연구에 따르면, 유크라이트의 휘석과 사장석이 동시에 정출하면 Al과 Ti 함량의 변화에 비해 Cr의 함량 변화가 적게 나타나는 반면, 휘석이 정출한 후에 사장석이 정출하게 되면 Al과 Cr의 함량 변화에 비해 Ti의 함량 변화가 적게 나타난다. 따라서 Fig. 2의 반려암질 쇄설물의 휘석 결정은 사장석과 동시에 정출하였고, 일차 피저나이트는 사장석보다 먼저 정출하였다는 것을 뜻한다. 이는 전암 화학 분석 결과와도 일치하는데, CI 콘드라이트에 표준화한 희토류 원소(REE)의 함량에서 반려암질 쇄설물은 집적 유크라이트와 같은 양상을 보여준다(Fig. 3). 즉, 희토류 원소의 함량이 적고 사장석으로의 Eu 농집으로 인한 양의 이상치가 나타난다. 이에 반해 현무암질 쇄설물은 희토류 원소의 함량이 많고 경희토류(LREE)와 중희토류(HREE)의 함량이 편평한 모습을 보이며, Eu은 음의 이상치(negative anomaly)가 나타나는 전형적인 비집적 유크라이트의 특징을 보인다. 또한 현무암질 쇄설물과 반려암질 쇄설물의 평균 희토류 원소 조성이 두 쇄설물의 혼합물의 조성으로 거의 일치한다. 따라서, 광물의 화학 조성 분석 결과와 쇄설물의 희토류 원소 함량 분석 결과를 통해, TIL07014는 모천체에서 집적 유크라이트(반려암)와 비집적 유크라이트(현무암)가 정출된 이후 충돌에 의해 혼합된 각력암이며, 높은 온도에서 열변성을 받아 평형화되었다는 것을 알 수 있다.

참고 문헌

- Barrat, J. A., J. Blichert-Toft, P. Gillet and F. Keller (2000). *Meteoritics & Planetary Science* 35: 1087-1100.
- Barrat, J. A., A. Yamaguchi, R. C. Greenwood, M. Bohn, J. Cotten, M. Benoit and I. A. Franchi (2007). *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71(16): 4108-4124.
- Lodders, K. (2003). *The Astrophysical Journal* 591: 1220-1247.
- Park, C. K., I. Ahn, B. G. Choi, J. I. Lee, A. E. Rubin and Z. K. (2008). *Meteoritics & Planetary Science* 43(7): #4030 (Supplement).
- Pun, A. and J. J. Papike (1996). *American Mineralogist* 81(11-12): 1438-1451.

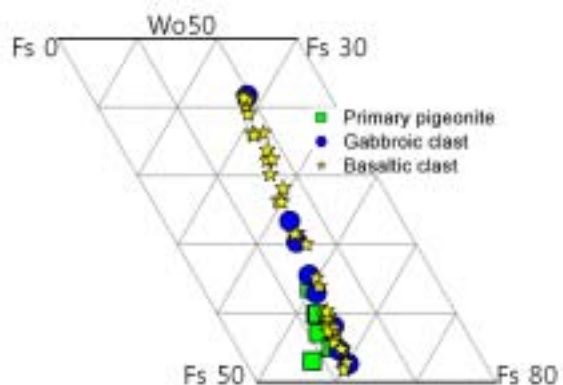


Fig. 1. A cut-out of the quadrilateral diagram for the primary pigeonites (square □), coarse grained pyroxenes (circle ○) in the gabbroic clast, and fine grained pyroxenes (star ☆) in the basaltic clast

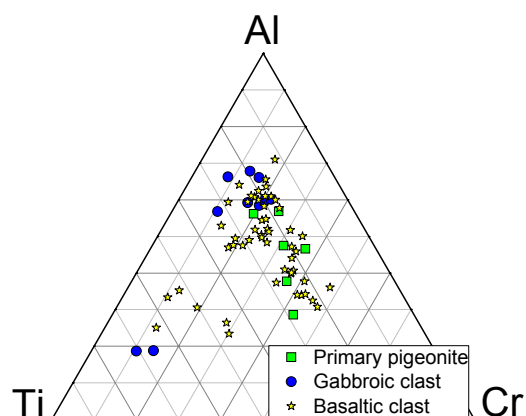


Fig. 2. Al, Ti, and Cr compositions in pyroxenes of TIL07014. The symbols are the same as Fig. 1.

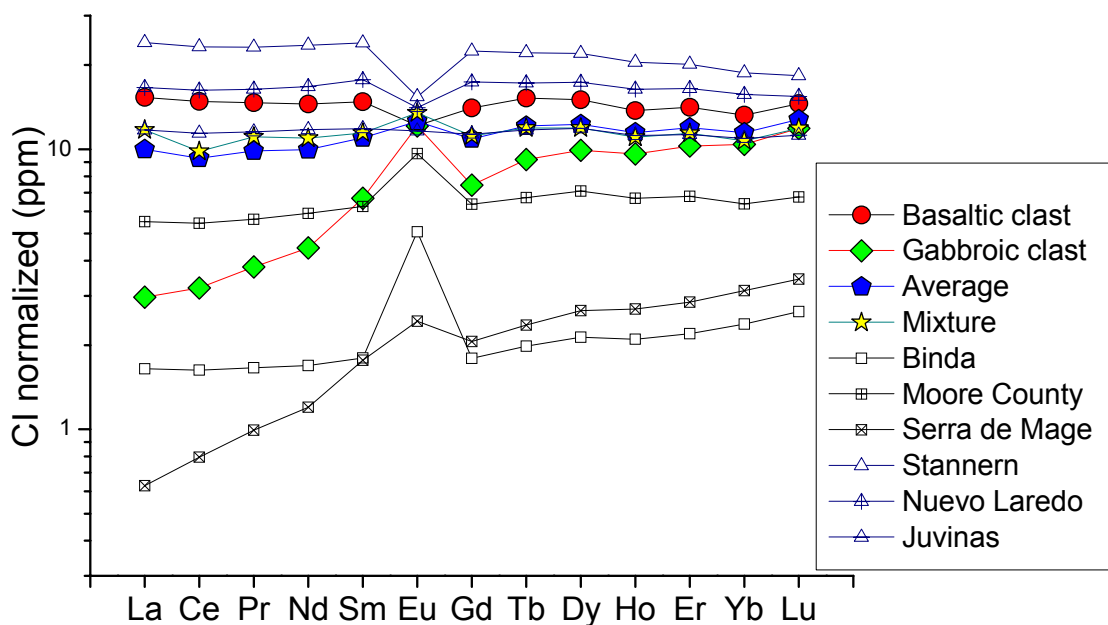


Fig. 3. REE patterns of TIL07014 (closed symbols), cumulate eucrites (open square; Binda, Moore County, and Serra de Mage), and basaltic eucrites (open triangle; Stannern, Nuevo Laredo, Juvinas). The eucrite literature data are from Barrat et al. (2000, 2007), and the reference CI chondrite is from Lodders (2003).