

남미 파타고니아 Pali-Aike 지역의 제4기 알칼리 현무암의 암석화학 및 K-Ar 연대

이종익¹⁾, 허순도¹⁾, 최문영¹⁾, 유찬민¹⁾, 황정²⁾, Nagao Keisuke³⁾

1. 서론

남미 파타고니아 남부 지역에서는 신생대 후기에 Chile Rise의 섭입 이후 남극판의 섭입에 의해 형성된 화산호(volcanic arc) 뒷부분의 광범위한 지역에서 대지현무암류가 분출했다(Stern *et al.*, 1990; Gorring *et al.*, 1997). 이 현무암류들은 해령의 섭입 이후 뒷부분에서 섭입과 직접 관련없이 발생한 것으로 생각되어(slab window model; Dickinson and Snyder, 1979) 해령의 섭입 이후 상부맨틀의 물리적, 조성적 변화를 추적하는데 좋은 재료가 된다. 이 연구는 남미 파타고니아 지역의 대지현무암 중 가장 남부의 Pali-Aike 지역에 분출한 대지현무암을 대상으로 K-Ar 연대측정을 통해 분출시기를 규명하고, 전암 및 동위원소 지구화학 분석을 통해 마그마의 화학조성 특성 및 지체구조 환경 특성을 밝힌 것이다.

2. 현무암의 산출상태와 조직

가. 중심상 현무암(central basalt)

주변 지역 보다는 높은 구릉지대를 형성하고 있고 용암류는 돔(dome)을 이루며 점성이 낮은 파호이호이(pahoehoe) 용암으로 산출된다. 다공질이며 반결정질인 본 암석은 감람석 반정을 일부 함유하고 있으며, 다소 변질을 받았다. 기공의 양은 주변상보다 많으나 기공에는 어떤 이차광물도 충전되어 있지 않다. 결정화가 보다 진행된 시료에서는 감람석과 단사휘석의 반정들이 관찰되고 석기에는 lath상의 사장석이 산출된다. 불투명광물의 일부는 산화되어 적철석화 되어 있다.

나. 주변상 현무암(marginal basalt)

대지현무암의 가장 외곽부에 해당하는 지역에서 산출되며 거의 편평하거나 낮은 구릉지대로 이루어져 있다. 한 매의 용암류의 두께는 1m 내외이며 기복이 심하지 않은 점으로 보아 점성이 매우 낮고 유동성이 좋은 용암류가 광범위하게 흐른 것으로 생각된다. 암상은 매우 신선한 다공질의 현무암으로 야외에서 감람석 반정을 쉽게 관찰할 수 있다. 자형 내지는 반자형의 감람석과 사방휘석이 반정 내지는 미반정으로 산출되며 결정도는 중심상보다 큰 편이다. 석기는 단사휘석, 사방휘석, 자철석 그리고 간극충진형의 사장석으로 구성된다. 석기에는 미립의 인회석이 관찰된다.

주요어: 파타고니아 대지 현무암, K-Ar 연대, 전암화학 조성, 동위원소 조성

1)한국해양연구소 극지연구센터 (sdhur@kordi.re.kr)

2)대전대학교 지질공학과

3)Laboratory for Earthquake Chemistry, University of Tokyo

3. K-Ar 연대측정

중심상의 K-Ar 연대는 1.66 ± 0.09 Ma, 2.12 ± 0.15 Ma이며, 주변상은 0.120 ± 0.007 Ma이다. Gorrington *et al.*(1997)은 파타고니아지역 Neogene 대지현무암의 형성 시기를 주대지현무암 시기(main plateau lava stage; 12 - 7 Ma)와 후대지현무암 시기(post plateau lava stage; 5 - 2 Ma)로 구분하고, 전자가 보다 양적으로 분출량이 많고 주로 서부에 분포한다고 하였다. 이에 따르면 중심상의 분출시기는 후대지현무암의 분출시기 말기에 해당한다. 그러나 주변상의 분출시기는 현재까지 파타고니아 지역에서 얻어진 가장 젊은 연대로 생각된다. 따라서 파타고니아 남동부 즉 Pali-Aike 지역의 분출활동은 훨씬 더 젊은 시기까지 진행되었고 분출활동도 여러 시기에 걸쳐 일어났었던 것으로 생각된다.

Table 1. Analytical results of K-Ar whole-rock ages from Pali-Aike alkali basalts.

Sample No.	K (wt.%)	[⁴⁰ Ar]-rad (E- ⁸ cc/g)	Atm. ⁴⁰ Ar (%)	K-Ar age (Ma)
P01A1	1.19	0.556 ± 0.030	93.7	0.12 ± 0.007
P01B2	1.21	0.564 ± 0.031	93.0	0.12 ± 0.007
P01C2	1.13	0.526 ± 0.030	95.0	0.12 ± 0.007
P02A1	1.12	7.22 ± 0.37	92.8	1.66 ± 0.09
P02B1	1.05	8.63 ± 0.58	97.5	2.12 ± 0.15

4. 전암 화학 조성

SiO₂ 함량은 매우 좁은 변화폭을 갖고 보통 현무암에 비해 낮은 편이며, MgO의 함량이 매우 높고 다른 원소의 변화폭도 매우 작은 것으로 보아 현무암의 화학조성은 매우 균질하며 분화 진행이 거의 안된 초생 현무암질 마그마의 조성에 가까운 것으로 생각된다.

대표적인 주성분원소와 미량원소를 이용해 지체구조 판별도에서 이들은 섭입관련 현무암과 중앙해령 현무암(MORB) 보다는 깊은 맨틀로부터 유래한 것으로 생각된다.

시원적인 운석 값과 비교한 희토류원소 특성은 가벼운 희토류원소(LREE)가 무거운 희토류원소(HREE)에 비해 부화되어 있으며, HREE를 향하여 단순하게 감소한다는 것을 나타낸다. LREE/HREE 비가 매우 큰 것은 근원물질로부터의 부분용해(partial melting) 정도가 매우 낮다는 점을 지시한다. Pali-Aike 현무암의 LREE/HREE 비를 기존의 파타고니아지역 Neogene 대지현무암의 그것(Gorrington *et al.*, 1997)과 비교하면 후대지현무암의 것들과 유사하다. 따라서 기존의 연구 결과와 같이 파타고니아의 대지현무암들은 시기가 젊어질수록 부분용해의 정도가 줄어들면서 마그마 발생량도 감소해 왔던 것으로 생각된다.

5. 동위원소 조성

⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 비는 0.703360 - 0.703434이고, ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 비는 0.512848 - 0.512916으로 매우

좁은 변화 폭을 보이고 있어 중심상과 주변상 현무암 모두 동일한 기원물질로부터 유래된 것으로 생각된다.

Sr-Nd 동위원소 변화도에서 Pali-Aike 현무암의 Sr-Nd 동위원소 조성은 전반적인 해양도 화산암(OIB) 영역에 접재되지만 파타고니아 지역의 다른 Neogene 대지현무암들보다는 중앙해령 현무암(MORB) 영역에 치우쳐져 있어 보다 결핍된(depleted) 성질을 갖는다. 또 남극반도의 back-arc 화산암류(Hole, 1988, 1990)와 유사한 조성을 갖는다. 이로부터 Pali-Aike 현무암을 발생시킨 맨틀은 다른 파타고니아 Neogene 대지현무암을 발생시킨 맨틀과는 동위원소 조성이 상당히 달랐음을 알 수 있다. Pali-Aike 현무암의 분출시기가 훨씬 더 젊은 결과와 연결시키면 이 지역의 상부맨틀 조성은 시간 경과와 함께 보다 결핍되는 방향으로 진화되어 왔을 가능성이 있다. 또 남극반도의 back-arc 화산암류와는 기원물질 및 지체구조 환경 상에서 유사했을 것으로 생각된다.

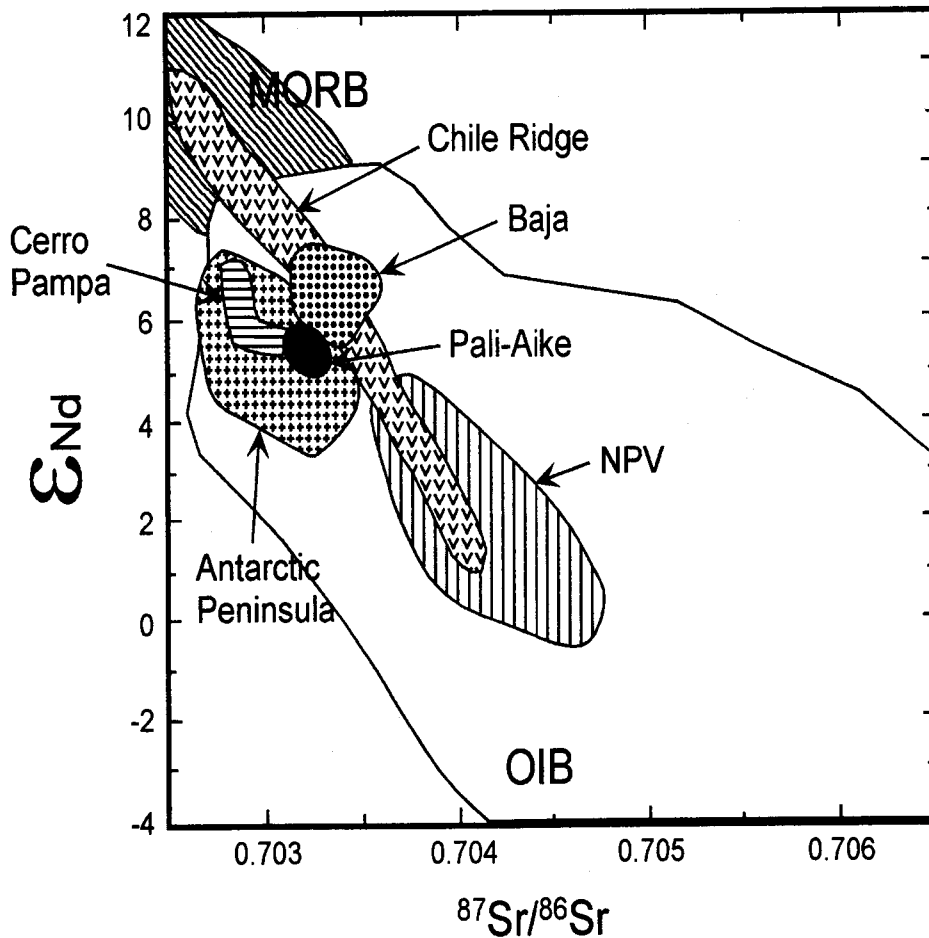


Fig. 1. Plot of ϵNd versus $^{87}Sr/^{86}Sr$ for Pali-Aike plateau basalts showing isotopic affinity with slab window lavas from the Antarctic Peninsula (Hole, 1988, 1990) and the contrast with the other Neogene Patagonian plateau volcanic rocks (NPV) (Gorring et al., 1997; and references therein).

6. 토의 및 결론

Pali-Aike 대지현무암은 다공질의 현무암으로 야외에서 감람석 반정을 쉽게 관찰할 수 있으며 분포지역에 따라 중심상과 주변상으로 대별된다. K-Ar 전암 연대는 중심상이 2.12 - 1.66 Ma 그리고 주변상이 0.12 Ma로 파타고니아 대지현무암류 중 가장 젊은 시기에 분출되었다는 것을 지시한다. Pali-Aike 현무암은 SiO₂ 함량이 낮고, MgO 함량이 높은 알칼리 계열의 현무암으로 초생 현무암질 마그마의 조성과 유사하며, 미량원소 및 희토류원소의 조성은 이 현무암이 해양도 현무암의 화학조성과 유사하고 부분용해의 정도가 낮다는 점을 지시한다. Pali-Aike 현무암의 Sr-Nd 동위원소 조성은 전반적인 해양도 현무암의 조성과 유사하지만 파타고니아 지역의 다른 Neogene 대지현무암들보다는 결핍된 성질을 갖는다. 이런 특성은 Pali-Aike 현무암이 발생하기 이전에 신장성 환경이 이미 형성되어 부화된 맨틀이 상당 부분 제거되어 있었을 가능성과 파타고니아 대지현무암류를 형성시킨 연약권 상승류가 시간적으로 줄어들면서 subcontinental lithosphere와의 혼합 정도가 줄어들었을 가능성과 관련이 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Dickinson, W. R. and W. S. Snyder, 1979, Geometry of subducted slabs related to San Andreas transform. *J. Geol.*, 87: 609-627.
- Gorring, M. L., S. M. Kay, P. K. Zeitler, V. A. Ramos, D. Rubiolo, M. I. Fernandez, and J. L. Panza, 1997, Neogene Patagonian plateau lavas: Continental magmas associated with ridge collision at the Chile Triple Junction. *Tectonics*, 16: 1-17.
- Hole, M. J., 1988, Post-subduction alkaline volcanism along the Antarctic Peninsula. *J. Geol. Soc. London*, 145: 985-988.
- Hole, M. J., 1990, Geochemical evolution of Pliocene-Recent post-subduction alkalic basalts from Seal Nunataks, Antarctic Peninsula. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 40: 149-167.
- Stern, C. R., F. A. Frey, K. Futa, R. E. Zartman, Z. Peng, and T. K. Kyser, 1990, Trace-element and Sr, Nd, Pb, and O isotopic composition of Pliocene and Quaternary alkali basalts of the Patagonian plateau lavas of southernmost South America. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 104: 294-308.