

백악기 구산동응회암 내 장석의 알바이트화 작용

정종옥 · 손영관*

경상대학교 지구환경과학과/기초과학연구소, 경남 진주시 가좌동 900번지

Albitization of feldspar in the Cretaceous Kusandong Tuff, Korea

Jong Ok Jeong and Young Kwan Sohn*

Department of Earth and Environmental Sciences and Research Institute of National Sciences,
Gyeongsang National University, Jinju 660-701

요 약: 백악기 경상분지의 대표적인 건층으로 알려진 구산동응회암은 하양층군 상부에 약 1-4 m의 두께로 200 km 이상 연장되어 나타나는 화쇄류 및 화쇄난류 기원의 결정질 응회암이다. 구산동응회암에 포함된 장석을 편광현미경, 전자 현미 분석기(EPMA), BSE(back-scattered electron) 이미지로 분석 및 관찰한 결과, 사장석은 대부분의 지점에서 거의 순수한 알바이트(>97% Ab) 조성을 띠며, 기질의 함량이 현저히 높은 최남단 지점에서는 부분적인 알바이트화 작용을 받았다. K-장석은 기질의 함량과 관계없이 전 지역에서 부분적인 알바이트화 작용을 받았다. 퍼사이트 조직과 체스판 쌍정, 벽개면 또는 미세절리를 따라 일어난 알바이트화 작용 그리고 기질의 함량과 알바이트화 작용의 상관관계 등은 구산동응회암이 매몰된 후 Na를 많이 함유한 외부유체에 의해 알바이트화 작용이 일어난 것으로 해석된다. 알바이트화 작용은 벽개면이나 절리면을 따라 우선적으로 시작되며 높은 기질 함량으로 인해 투수도가 낮고 외부유체의 침투가 어려운 경우 알바이트화 작용이 잘 일어나지 않는 것으로 해석된다. 또한 구산동응회암의 사장석의 현재 조성은 대부분 알바이트이나 본래 조성은 올리고클래스(oligoclase)에서 안데신(andesine)의 조성범위(Ab_{62.5}-Ab_{83.3})를 가졌을 것으로 해석된다.

핵심어: 구산동응회암, 경상분지, 알바이트화 작용, 속성작용, 화쇄류암

Abstract: The Kusandong Tuff, known as a representative key bed in the Cretaceous Gyeongsang Basin, is a crystal-rich tuff of pyroclastic flow and surge origin. It is 1-4 m thick and laterally extends for more than 200 km intercalated in the upper part of the Hayang Group. Observations and analyses of the feldspar crystals in the tuff, using polarizing microscopes, EPMA, and BSE images, reveal that the plagioclase crystals in the tuff were completely albitized (>97% Ab) whereas those in the southernmost localities where the tuff is rich in fine ash matrix are unaltered or partly albitized. K-feldspars are partly albitized at all localities, irrespective of the matrix content of the tuff. Perthitic textures, chessboard twinning, albitization along micro-fractures and cleavages, and the relationship between matrix content and the degree of albitization suggest that feldspars in the Kusandong Tuff were albitized by Na-rich fluid after burial. Albitization is interpreted to start preferentially along micro-fractures and cleavages and be hampered in matrix-rich tuffs with a low permeability. Original composition of the plagioclases in the Kusandong Tuff is also interpreted to have ranged between oligoclase and andesine (Ab_{62.5}-Ab_{83.3}) before the albitization.

Key words: Kusandong Tuff, Gyeongsang Basin, Albitization, Diagenesis, Ignimbrite

서 론

장석의 변질작용은 거의 모든 암종을 대상으로 퇴적 환경, 마그마계 및 저온 변성작용(속성작용) 등의 다양

한 측면에서 연구가 이루어져 왔다(Tucker, 1991; Lee and Lee, 1998; Rougvié and Sorensen, 2002; Leichmann *et al.*, 2003). 특히 장석의 알바이트화 작용(albitization)은 쇄설성 장석(detrital feldspar)을 함유한 퇴적

*Corresponding author: Tel. 82-55-751-6005, E-mail. yksohn@gsnu.ac.kr

암에서 가장 일반적인 속성작용으로 알려져 있으며 매몰되는 동안 그 외의 속성반응에도 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(노진환과 최우일, 2001; Yu *et al.*, 1997; Lee and Lee, 1998). 퇴적분지에서 장석의 알바이트화 작용 연구는 주로 비화산원 사암과 이암에 포함된 사장석과 K-장석을 대상으로 이루어져 왔으며, 장석의 알바이트화 된 조직, 2차 공극 및 입자간 충전물의 종류를 파악하여 알바이트화 작용의 원인과 속성반응에 초점을 둔 연구가 주로 진행되어 왔다(노진환과 박현수, 1990; Walker, 1984; Morad *et al.*, 1989; Milliken, 1992). 이와 같이 비화산원 퇴적암의 알바이트화 작용 연구는 비교적 많이 수행되어 왔으나, 폭발적인 화산분출에 의해 쌓인 후에 매몰된 고기 화쇄류암(ancient ignimbrite)의 알바이트화 작용 연구는 거의 이루어져 있지 않아, 화쇄류암에 포함된 화산기원 장석의 알바이트화 작용이 어떠한 반응경로를 통해서 얼마만큼 일어나는지 거의 알려지지 않았다.

백악기 경상분지의 대표적인 건층으로 알려진 구산동응회암은 하양층군 상부에 약 1.4 m의 두께로 200 km 이상 연장되어 나타나며 다량의 결정질 함유하고 있는 특이한 화쇄류암이다(장기홍 외, 1977; 정종욱 외, 2005; Jeon and Sohn, 2003). 이 연구의 목표는 구산동응회암에 다량 포함되어 있는 장석의 조직관찰과 조성분석을 통하여 사장석의 본래 조성을 유추하고 화쇄류암에 포함된 장석의 알바이트화 작용을 이해하는데 있다. 이러한 연구는 고기 화쇄류암의 결정입자를 이용하여 마그마 조성을 유추하고자 하는 지구화학적인 연구에 여러 시사점을 제공할 수 있을 것이다.

지질개요

한반도는 백악기 당시 유라시아판의 동쪽 가장자리에 속해 있었으며, 유라시아판 아래로 사각섭입하는 해양판의 영향으로 인해 좌수향의 주향이동 단층운동을 받게 되었다. 이때 경상분지는 단층운동에 의해 확장되어 약 6-9 km 두께의 육성 퇴적층(경상누층군)이 쌓였고, 해양판의 섭입과 관련된 화성암류가 분출 또는 관입하였다(Chough *et al.*, 2000). 경상누층군은 하부로부터 신동층군, 하양층군, 그리고 유천층군으로 구성되어 있으며, 하양층군 퇴적시기에 분지가 동쪽으로 확장되면서 경상분지는 남쪽으로부터 밀양소분지, 의성소분지, 그리고 영양소분지로 나뉘어졌다. 신동층군과 하양층군은 주로 충적평원 및 호성환경에서 쌓인 이암, 세일, 사암, 역암 그리고 탄산염암으로 구성되어 있으며, 유천층군은 주로 산성 내지 중성의 화산암류와 화

산원 퇴적암으로 구성되어 있다(장기홍, 1977; Chang, 1975; Choi, 1986; Chang *et al.*, 1997)(Fig. 1).

구산동응회암은 하양층군의 상부에 협재되어 있으며 밀양소분지와 의성소분지 전역에 걸쳐 분포한다(Fig. 1). 경북 신령에서 처음 발견되어 신령역암으로 불리기도 하였으나(손진담, 1976), 각진 결정입자들이 다량 함유되어 있는 화산쇄설암임이 확인된 이후 구산동응회암이라 명명되었다(장기홍 외, 1977). 구산동응회암의 조성은 유문암 내지 유문-테사이트인 것으로 알려져 있으며(장기홍 외, 1977; 김충현, 1990; 장기홍 외, 1998, 정종욱 외, 2005), 저어콘 입자의 U-Pb 연대는 약 96-97 Ma인 것으로 밝혀졌다(좌용주 외, 2004). 이 응회암은 약 1 내지 4 m의 두께를 가지며 남북으로 200 km 이상 연장되어 나타나며, 이암이 우세한 상-하부의 퇴적암에 비해 풍화에 강하고 결정함량이 높아 야외에서 쉽게 식별된다. 이러한 특징 때문에 구산동응회암은 지금까지 경상분지의 훌륭한 건층 역할을 해왔다(장기홍 외, 1977; 장기홍 외, 1998; Chang *et al.*, 1997). 구산동응회암은 과거 열극을 통해 분출한 하나의 화쇄류암 또는 화산쇄설성 쇄설류 퇴적층으로 추정되어 왔으나(장기홍 외, 1998; Chang and Park, 2003), 최근 연구에 따르면 구산동응회암은 대구시 현풍 지역을 기준으로 남부구산동응회암과 북부구산동응회암으로 구분될 수 있고, 남부구산동응회암의 경우 두 번 이상의 분출로 만들어진 화쇄류와 화쇄난류 기원의 복합층(multiple bed)으로 해석되고 있다(정종욱 외, 2005; Jeon and Sohn, 2003; Sohn *et al.*, 2005).

구산동응회암

구산동응회암은 내부구조와 입자조성에 따라 수직적으로는 기저층상층(BLD: Basal Layered Division), 괴상층(MD: Massive Division), 상부층상층(SUD: Stratified Upper Division)으로 나누어지며, 측방으로는 대구시 현풍을 기준으로 남부구산동응회암(SKT)과 북부구산동응회암(NKT)으로 구분된다(정종욱 외, 2005; Jeon and Sohn, 2003)(Fig. 1). 일반적으로 SKT는 BLD가 하부의 이암을 정합적으로 덮고 그 위에 MD가 나타나는 반면, NKT는 BLD 없이 MD가 직접 하부의 퇴적암을 침식적으로 덮고 있으며 그 위에 SUD가 나타난다(Jeon and Sohn, 2003). NKT의 MD는 SKT의 MD에 비해 결정편과 암편의 함량이 높으며 골격입자의 크기 역시 NKT의 MD가 더 크게 나타난다. 그리고 기질의 화학조성도 뚜렷이 구별된다(정종욱 외, 2005).

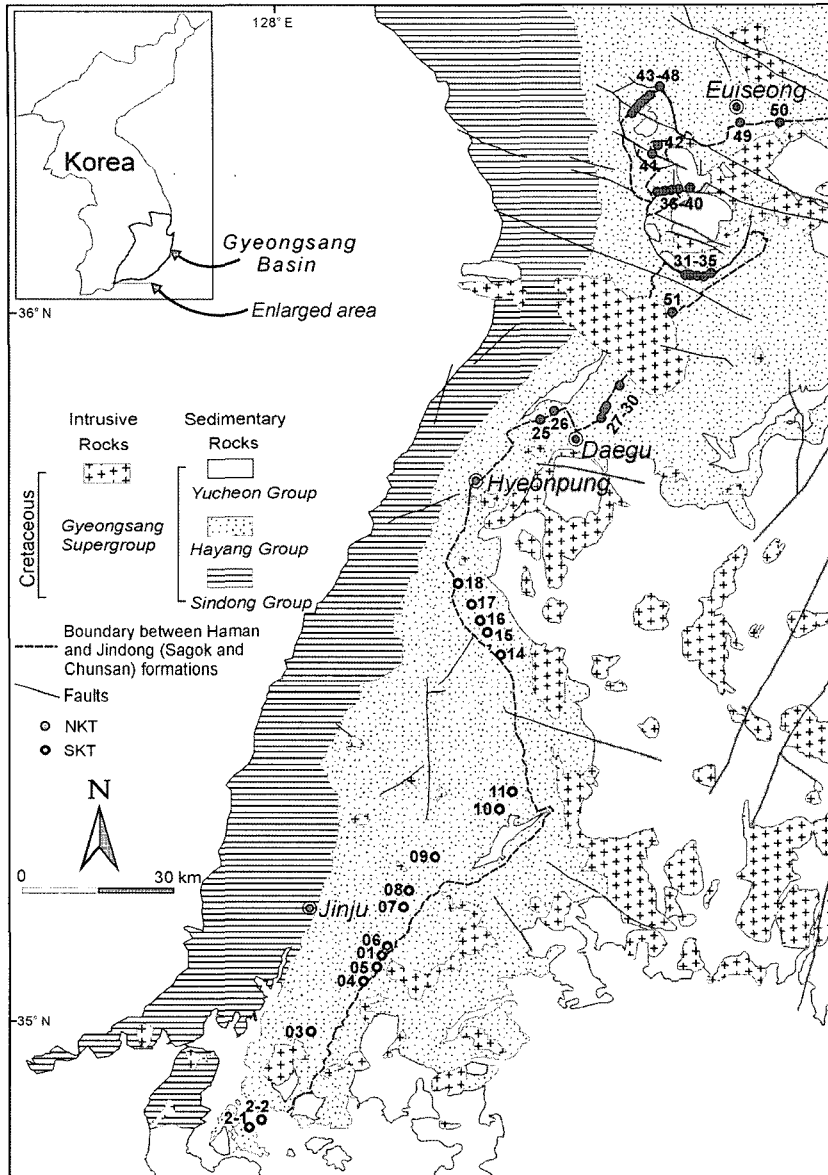


Fig. 1. Simplified geological map of the western part of the Gyeongsang Basin. Open and filled circles indicate the outcrop localities of the Southern Kusandong Tuff (SKT) and the Northern Kusandong Tuff (NKT), respectively. See Jeon and Sohn (2003) for the GPS coordinates of the localities.

남부구산동응회암(SKT)의 기저층상층(BLD)

SKT의 BLD는 주로 사장석, 알칼리 장석(정장석과 피사이트), 석영, 흑운모, 불투명광물, 저어콘 등으로 구성되어 있으며, 유리질의 기질이나 암편이 거의 없이 각진 결정편만으로 이루어져 있는 것이 특징이다 (Fig. 2A). 세립사에서 중립사 크기의 분급이 양호한 입자들이 서로 호충을 이루며 나타난다. 주 구성광물 중

알칼리 장석은 21.6-34.0 vol.% 함유되어 있으며 대부분 정장석과 피사이트(또는 체스판 쌍정)로 나타난다. 사장석은 12.8-42.4 vol.% 함유되어 있으며 대부분 알바이트 쌍정을 보이고 누대구조는 거의 관찰되지 않는다. 석영은 장석류보다 더 각진 형태를 가지며 MD에서 관찰되는 용식된 석영은 잘 나타나지 않는다. 석영과 장석 입자들은 대부분 각지고 길쭉한 형태를 하고

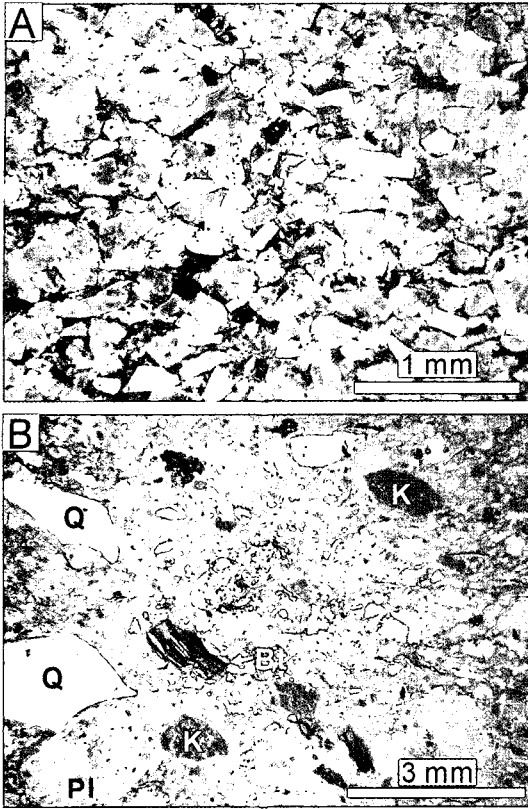


Fig. 2. Petrographic characteristics of the Kusandong Tuff. (A) Thin-section photomicrograph of the BLD of the SKT at locality 11 under open nicols, which was cut normal to the bedding plane. The BLD is composed of well-sorted, medium- to fine sand-size, angular to very angular, tightly grain-supported crystals of quartz and feldspar, which are well aligned parallel to bedding or weakly imbricated. (B) Thin-section photomicrograph of the massive division (MD) of the SKT at locality 1 under open nicols, which is composed of coarse sand- to granule-size crystals of quartz (Q), alkali feldspar (K), plagioclase (Pl), and biotite (Bt). These crystal grains are set in a poorly sorted, fine-grained ash matrix.

있다. 이러한 광물 입자들은 비늘배열을 잘 보여주며 (Fig. 2A) 입자의 배열성은 중립사보다는 세립사로 이루어진 층에서 더 잘 관찰된다.

남부구산동응회암(SKT)과 북부구산동응회암(NKT)의 괴상층(MD)

SKT와 NKT의 MD는 BLD와 유사한 광물들(알칼리 장석, 사장석, 석영, 흑운모, 불투명광물, 저어콘 등)로 구성되어 있으나, BLD에 비해 입자가 크고 분급이 불량하며 기질지지 되어있다(Fig. 2B). NKT의 MD는 전

체적인 골격입자의 함량과 크기가 SKT의 MD보다 크고 다량의 이암편을 함유하고 있다. 알칼리 장석은 7.8-32.4 vol.% 함유되어 있으며 약 0.1-4 mm 크기의 반자형 내지 파각상 입자로 나타난다. 사장석은 5.7-34.9 vol.% 함유되어 있으며 알바이트 쌍정을 띤다. 크기는 약 0.1-3 mm 정도의 반자형 내지 파각상 입자로 나타난다. 석영은 4.8-16.0 vol.% 함유되어 있으며 대부분 0.1-5 mm 크기의 파각상 또는 용식된 입자로 나타난다 (Fig. 2B). 알칼리 장석은 응회암 전체에 산재해 있으나 특히 MD의 기저부에 많으며 알칼리 장석 내에 사장석이 포획되어 있는 포이킬리틱(poikilitic) 조직이 관찰된다. 외래 결정편으로 생각되는 원마도가 양호하고 파동소광을 보이는 석영, 백운모, 미사장석의 결정편도 소량 나타난다. 암편은 자색 또는 올리브색 이암이 대부분이고 사암과 복운모 화강암(two-mica granite) 등이 소량 나타난다. NKT의 경우 암편의 크기는 최소 5 mm에서 최대 약 7 cm이며 모양은 판상이거나 매우 불규칙하다. 이암편은 종종 층리면에 평행하게 배열되어 있다. 골격입자 사이의 기질은 대부분 재결정화된 석영과 장석의 미세한 입자들로 구성되어 있으며 일부 지점에서 유리질 샤드(shard)가 관찰된다(정종욱 외, 2005).

연구방법 및 EPMA 분석

구산동응회암의 광물조성과 조직을 파악하기 위해 현미경 관찰과 모드조성을 분석하였다. 모드분석은 남부구산동응회암의 기저층상층 6개, 괴상층 9개, 그리고 북부구산동응회암의 괴상층 13개 지점에서 채취한 시료를 대상으로 박편을 제작하여 편광현미경하에서 박편당 1,000~1,500타씩 점계수를 실시하였다. 각 지역별 사장석의 화학조성을 알아보기 위해 총 15개의 연마편을 제작하여 EPMA(Electron Probe Micro-Analyzer) 분석을 실시하였다. 기종은 한국기초과학지원연구원에 있는 CAMECA SX-50이고, 분석 가속 전압(accelerating voltage)은 15 kV, 빔 전류(beam current)는 20 nA, 빔 크기(beam size)는 1 μ m이다. 12개 지역(SK 5개소, NKT 7개소)의 괴상층에서 33개의 알바이트 쌍정을 보이는 사장석을 선택하여 114점을 측정하였으며, 3개 지역의 기저층상층에서 6개의 알바이트 쌍정을 보이는 사장석을 선택하여 13점을 측정하였다(Table 1, 2, 3). 또한 사장석의 알바이트화된 조직은 편광현미경 및 BSE(back-scattered electron) 이미지를 통해 관찰하였다.

EPMA 분석결과, SKT의 기저층상층의 사장석은 $Ab_{97.3}-Ab_{99.3}(An_{0.4}-An_{1.5})$ 로서 알바이트(albite)조성에 해

Table 1. Chemical composition and structural formulae of plagioclase from Basal Layered Division (BLD) in the Southern Kusandong Tuff (SKT).

Loc. no.	08								11								18																
	68.70	69.73	68.43	68.30	68.87	68.27	68.70	67.67	68.76	69.09	68.86	68.48	68.37	68.70	68.30	68.27	68.70	67.67	68.76	69.09	68.86	68.48	68.37	68.70	68.30	68.27	68.70	67.67	68.76	69.09	68.86	68.48	68.37
SiO ₂	68.70	69.73	68.43	68.30	68.87	68.27	68.70	67.67	68.76	69.09	68.86	68.48	68.37	68.70	68.30	68.27	68.70	67.67	68.76	69.09	68.86	68.48	68.37	68.70	68.30	68.27	68.70	67.67	68.76	69.09	68.86	68.48	68.37
TiO ₂	0.00	0.02	0.00	0.01	0.02	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	20.36	20.35	20.02	20.56	20.12	20.01	20.16	19.25	19.80	20.06	19.23	19.52	19.71	20.16	20.56	20.01	20.16	19.25	19.80	20.06	19.23	19.52	19.71	20.06	20.06	20.01	20.16	19.25	19.80	20.06	19.23	19.52	19.71
FeO*	0.07	0.00	0.04	0.03	0.05	0.00	0.05	0.03	0.01	0.04	0.00	0.00	0.02	0.05	0.03	0.00	0.05	0.03	0.01	0.04	0.00	0.00	0.02	0.04	0.04	0.01	0.05	0.03	0.01	0.04	0.00	0.00	0.02
MnO	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	0.04	0.04	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.05	0.04	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04	0.01	0.01	0.01	0.04	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01
CaO	0.17	0.08	0.09	0.17	0.11	0.32	0.30	0.20	0.16	0.10	0.07	0.11	0.23	0.30	0.17	0.32	0.30	0.20	0.16	0.10	0.07	0.11	0.23	0.10	0.10	0.10	0.30	0.20	0.16	0.10	0.07	0.11	0.23
Na ₂ O	11.70	11.85	11.48	11.40	11.79	11.58	11.65	11.33	11.77	11.56	11.23	11.61	11.61	11.58	11.40	11.58	11.65	11.33	11.77	11.56	11.23	11.61	11.61	11.56	11.56	11.56	11.65	11.33	11.77	11.56	11.23	11.61	11.61
K ₂ O	0.13	0.06	0.05	0.36	0.03	0.07	0.09	0.07	0.05	0.04	0.06	0.05	0.05	0.09	0.36	0.07	0.09	0.07	0.05	0.04	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	0.09	0.07	0.05	0.04	0.06	0.05	0.05
Total	101.15	102.09	100.11	100.85	100.99	100.32	100.98	98.57	100.56	100.90	99.48	99.80	100.00	100.98	100.85	100.32	100.98	98.57	100.56	100.90	99.48	99.80	100.00	100.90	100.90	100.32	100.98	98.57	100.56	100.90	99.48	99.80	100.00
O=8	5.93	5.95	5.95	5.91	5.95	5.95	5.95	5.99	5.97	5.96	6.02	5.99	5.97	5.95	5.91	5.95	5.95	5.99	5.97	5.96	6.02	5.99	5.97	5.96	5.96	5.95	5.95	5.99	5.97	5.96	6.02	5.99	5.97
Si	2.07	2.05	2.05	2.09	2.05	2.05	2.05	2.01	2.03	2.04	1.98	2.01	2.03	2.05	2.09	2.05	2.05	2.01	2.03	2.04	1.98	2.01	2.03	2.04	2.04	2.05	2.05	2.01	2.03	2.04	1.98	2.01	2.03
Al	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ti	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02
Na	1.96	1.96	1.94	1.91	1.98	1.96	1.96	1.95	1.98	1.94	1.90	1.97	1.97	1.96	1.91	1.96	1.96	1.95	1.98	1.94	1.90	1.97	1.97	1.94	1.94	1.96	1.96	1.95	1.98	1.94	1.90	1.97	1.97
K	0.01	0.01	0.01	0.04	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
mole%																																	
Ab	98.50	99.30	99.30	97.30	99.30	98.10	98.10	98.60	99.00	99.30	99.30	99.20	98.60	98.10	97.30	98.10	98.10	98.60	99.00	99.30	99.30	99.20	98.60	99.30	99.30	98.10	98.10	98.60	99.00	99.30	99.30	99.20	98.60
An	0.80	0.40	0.40	0.80	0.50	1.50	1.40	1.00	0.70	0.50	0.40	0.50	1.10	1.40	0.80	1.50	1.40	1.00	0.70	0.50	0.40	0.50	1.10	0.50	0.50	1.50	1.40	1.00	0.70	0.50	0.40	0.50	1.10
Or	0.70	0.30	0.30	2.00	0.20	0.40	0.50	0.40	0.30	0.20	0.40	0.30	0.30	0.50	2.00	0.40	0.50	0.40	0.30	0.20	0.40	0.30	0.30	0.20	0.20	0.40	0.50	0.40	0.30	0.20	0.40	0.30	0.30

Table 2. Chemical composition and structural formulae of plagioclase from Massive Division (MD) in the Southern Kusandong Tuff (SKT).

Loc. no.	02															01																																																																																																																																																																																																	
	SiO ₂	64.03	63.85	64.00	64.24	64.97	63.89	66.09	65.40	65.72	65.83	66.03	58.91	66.89	59.75	59.70	59.30	69.07	68.64	67.83	68.09	TiO ₂	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	Al ₂ O ₃	22.44	22.45	22.10	22.23	21.62	22.82	21.02	21.00	21.19	20.92	20.77	24.71	19.98	24.54	24.58	24.64	20.11	19.88	20.74	20.04	FeO*	0.12	0.25	0.17	0.15	0.14	0.16	0.06	0.10	0.06	0.04	0.06	0.15	0.00	0.28	0.22	0.19	0.05	0.03	0.05	0.01	MnO	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.03	0.06	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05	0.09	0.00	0.00	0.07	0.00	MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00	0.01	CaO	3.83	3.87	3.51	3.53	2.89	3.87	2.12	2.20	2.17	2.08	1.80	6.82	0.63	6.66	6.61	6.84	0.09	0.08	0.39	0.19	Na ₂ O	8.70	8.79	8.87	8.90	8.96	8.92	9.73	9.67	9.87	9.63	9.74	7.17	11.50	7.34	7.35	7.23	11.76	11.71	11.45	11.70	K ₂ O	1.12	1.12	1.19	1.28	1.49	1.13	1.36	1.37	1.19	1.40	1.57	0.81	0.04	0.84	0.85	0.82	0.08	0.06	0.10	0.07	Total	100.25	100.38	99.88	100.37	100.07	100.81	100.45	99.75	100.23	99.90	100.02	98.57	99.03	99.45	99.35	99.12	101.23	100.42	100.63
O=8	5.66	5.66	5.69	5.68	5.75	5.63	5.82	5.81	5.80	5.82	5.84	5.36	5.92	5.39	5.39	5.37	5.96	5.97	5.88	5.94	Si	2.34	2.34	2.31	2.32	2.25	2.37	2.18	2.20	2.20	2.18	2.16	2.65	2.08	2.61	2.61	2.63	2.04	2.03	2.12	2.06	Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Fe ²⁺	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ca	0.36	0.37	0.33	0.34	0.27	0.37	0.20	0.21	0.21	0.20	0.17	0.66	0.06	0.64	0.64	0.66	0.01	0.01	0.04	0.02	Na	1.49	1.51	1.53	1.53	1.54	1.52	1.66	1.67	1.69	1.65	1.67	1.27	1.97	1.28	1.29	1.27	1.97	1.97	1.93	1.98	K	0.13	0.13	0.14	0.15	0.17	0.13	0.15	0.16	0.13	0.16	0.18	0.09	0.01	0.10	0.10	0.10	0.01	0.01	0.01	0.01																					
mole%																						Ab	75.30	75.30	76.50	76.10	77.70	75.60	82.50	82.10	83.30	82.30	82.80	62.50	96.90	63.40	63.60	62.60	99.10	99.30	97.60	98.70	An	18.30	18.40	16.70	16.70	13.80	18.10	9.90	10.30	10.10	9.80	8.50	32.80	2.90	31.80	31.60	32.70	0.50	0.40	1.80	0.90	Or	6.40	6.30	6.80	7.20	8.50	6.30	7.60	7.60	6.60	7.90	8.80	4.60	0.20	4.70	4.80	4.70	0.50	0.40	0.60	0.40																																																																																																																													

Table 2. Continued.

Loc. no.	01					11					14			18					
	67.51	66.56	67.75	67.79	67.90	68.06	65.76	68.48	68.52	68.55	68.47	68.21	68.90	68.60	67.45	68.34	68.06	68.39	
SiO ₂	68.03	67.51	66.56	67.75	67.79	67.90	68.06	65.76	68.48	68.52	68.55	68.47	68.21	68.90	68.60	67.45	68.34	68.06	68.39
TiO ₂	0.01	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00
Al ₂ O ₃	20.36	20.00	21.32	20.18	20.00	19.82	19.98	21.14	19.78	20.11	20.16	19.88	19.63	19.90	19.87	19.83	20.41	19.78	20.12
FeO*	0.05	0.00	0.11	0.06	0.02	0.05	0.02	0.18	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.04	0.01	0.03	0.03	0.00	0.02
MnO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.03	0.01	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03
MgO	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
CaO	0.30	0.26	0.28	0.31	0.21	0.09	0.21	0.17	0.13	0.22	0.26	0.30	0.19	0.20	0.07	0.23	0.11	0.31	0.19
Na ₂ O	11.37	11.67	10.92	11.52	11.48	11.53	11.84	10.57	11.67	11.81	11.67	11.66	11.41	11.77	11.61	11.57	11.51	11.49	11.42
K ₂ O	0.06	0.10	0.67	0.06	0.08	0.14	0.08	1.09	0.07	0.03	0.08	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05	0.10	0.04	0.04
Total	100.19	99.56	99.87	99.92	99.60	99.55	100.22	98.99	100.18	100.69	100.75	100.36	99.48	100.89	100.24	99.21	100.51	99.71	100.21
O=8																			
Si	5.92	5.93	5.81	5.92	5.94	5.95	5.95	5.80	5.97	5.95	5.94	5.96	5.98	5.97	5.97	5.94	5.92	5.96	5.94
Al	2.09	2.07	2.19	2.08	2.06	2.05	2.06	2.20	2.03	2.06	2.06	2.04	2.03	2.03	2.04	2.06	2.08	2.04	2.06
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ²⁺	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02
Na	1.92	1.99	1.85	1.95	1.95	1.96	2.01	1.81	1.97	1.99	1.96	1.97	1.94	1.98	1.96	1.98	1.93	1.95	1.92
K	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.02	0.01	0.12	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
mole%																			
Ab	98.20	98.30	94.90	98.20	98.50	98.70	98.60	92.90	99.00	98.80	98.40	98.40	98.90	98.90	99.40	98.60	98.90	98.30	98.90
An	1.40	1.20	1.30	1.50	1.00	0.50	1.00	0.80	0.60	1.00	1.20	1.40	0.90	0.90	0.40	1.10	0.50	1.50	0.90
Or	0.40	0.50	3.80	0.40	0.50	0.80	0.40	6.30	0.40	0.10	0.40	0.20	0.20	0.20	0.30	0.30	0.60	0.30	0.20

Table 3. Chemical composition and structural formulae of plagioclase from Massive Division (MD) in the Northern Kusandong Tuff (NKT).

Loc. no.	25										30										51																																																																																																																																																																																																																																																			
	68.19	68.33	68.43	68.54	67.74	68.12	68.33	68.76	68.49	68.63	68.53	68.49	68.25	68.37	68.16	68.12	68.93	68.80	68.42	68.35	68.31	20.35	20.06	20.37	20.29	20.67	20.20	20.33	19.58	19.69	19.51	19.38	19.76	19.60	19.50	19.33	19.57	19.70	19.55	19.82	20.04	20.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.10	0.03	0.00	0.08	0.05	0.04	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.05	0.01	0.00	0.00	0.03	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.05	0.06	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.04	0.03	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.37	0.17	0.23	0.20	0.68	0.29	0.22	0.04	0.01	0.00	0.00	0.33	0.25	0.01	0.00	0.02	0.04	0.03	0.03	0.15	0.26	0.12	11.60	11.54	11.41	11.59	11.37	11.61	11.65	11.76	11.73	11.79	11.70	11.55	11.81	11.81	11.83	11.66	11.75	11.60	11.92	11.70	11.57	0.08	0.07	0.06	0.08	0.14	0.11	0.06	0.15	0.09	0.06	0.05	0.15	0.18	0.05	0.03	0.14	0.13	0.11	0.15	0.15	0.36	100.58	100.19	100.54	100.73	100.61	100.36	100.63	100.31	100.13	100.05	99.67	100.36	100.20	99.80	99.41	99.54	100.67	100.09	100.54	100.62	100.44																																															
SiO ₂	68.19	68.33	68.43	68.54	67.74	68.12	68.33	68.76	68.49	68.63	68.53	68.49	68.25	68.37	68.16	68.12	68.93	68.80	68.42	68.35	68.31	20.35	20.06	20.37	20.29	20.67	20.20	20.33	19.58	19.69	19.51	19.38	19.76	19.60	19.50	19.33	19.57	19.70	19.55	19.82	20.04	20.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.10	0.03	0.00	0.08	0.05	0.04	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.05	0.01	0.00	0.00	0.03	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.05	0.06	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.37	0.17	0.23	0.20	0.68	0.29	0.22	0.04	0.01	0.00	0.00	0.33	0.25	0.01	0.00	0.02	0.04	0.03	0.03	0.15	0.26	0.12	11.60	11.54	11.41	11.59	11.37	11.61	11.65	11.76	11.73	11.79	11.70	11.55	11.81	11.81	11.83	11.66	11.75	11.60	11.92	11.70	11.57	0.08	0.07	0.06	0.08	0.14	0.11	0.06	0.15	0.09	0.06	0.05	0.15	0.18	0.05	0.03	0.14	0.13	0.11	0.15	0.15	0.36	100.58	100.19	100.54	100.73	100.61	100.36	100.63	100.31	100.13	100.05	99.67	100.36	100.20	99.80	99.41	99.54	100.67	100.09	100.54	100.62	100.44																																																																					
Total	100.58	100.19	100.54	100.73	100.61	100.36	100.63	100.31	100.13	100.05	99.67	100.36	100.20	99.80	99.41	99.54	100.67	100.09	100.54	100.62	100.44																					O=8																																																																																																																																																																																																																														
Si	5.92	5.94	5.92	5.93	5.89	5.93	5.92	5.99	5.98	5.99	6.00	5.97	5.98	5.99	6.00	5.98	5.99	5.99	5.97	5.95	5.95	2.08	2.06	2.08	2.07	2.11	2.07	2.08	2.01	2.02	2.01	2.00	2.03	2.02	2.01	2.00	2.02	2.01	2.01	2.04	2.05	2.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.02	0.02	0.06	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	1.95	1.95	1.91	1.95	1.92	1.96	1.96	1.99	1.99	2.00	1.99	1.95	2.01	2.01	2.02	1.98	1.98	1.96	2.02	1.97	1.95	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	mole%	97.90	98.80	98.60	98.60	96.00	98.00	98.60	99.00	99.40	99.70	99.70	97.70	97.90	99.70	99.90	99.20	99.10	99.20	98.50	98.00	97.50	1.70	0.80	1.10	0.90	3.20	1.40	1.10	0.20	0.10	0.00	0.00	1.60	1.10	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.70	1.20	0.50	0.40	0.40	0.40	0.40	0.50	0.80	0.70	0.30	0.80	0.50	0.30	0.30	0.80	1.00	0.30	0.10	0.80	0.70	0.60	0.80	0.80	2.00

Table 3. Continued.

Loc. no.	31																					
	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51							
SiO ₂	68.65	68.86	68.53	68.35	68.51	68.89	68.99	68.62	69.04	68.62	68.82	69.35	68.79	68.68	68.54	68.93	68.68	68.56	67.44	67.59	68.25	67.97
TiO ₂	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	19.77	19.54	19.59	19.51	19.53	19.85	20.21	20.41	19.57	19.68	19.88	19.73	19.93	19.24	19.94	20.01	19.57	19.87	20.04	20.55	19.77	20.13
FeO*	0.07	0.00	0.05	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.06	0.00	0.01	0.02	0.01	0.05	0.02	0.00	0.00	0.08	0.07	0.07
MnO	0.01	0.00	0.00	0.04	0.00	0.08	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00
MgO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
CaO	0.01	0.09	0.05	0.01	0.06	0.01	0.02	0.07	0.00	0.03	0.01	0.04	0.03	0.01	0.05	0.02	0.02	0.08	0.17	0.27	0.00	0.15
Na ₂ O	11.81	11.82	11.81	11.72	11.61	11.66	11.88	11.41	11.90	11.80	11.67	11.70	11.66	11.83	11.60	11.82	11.80	11.85	11.89	11.50	11.70	11.50
K ₂ O	0.11	0.14	0.14	0.21	0.16	0.09	0.10	0.25	0.08	0.09	0.12	0.07	0.08	0.08	0.13	0.13	0.11	0.13	0.06	0.34	0.12	0.21
Total	100.45	100.47	100.16	99.82	99.89	100.61	101.23	100.82	100.59	100.26	100.56	100.92	100.52	99.91	100.26	100.97	100.21	100.55	99.66	100.39	99.92	100.03
O=8	5.97	6.00	5.99	5.99	5.99	5.97	5.95	5.93	6.00	5.98	5.97	5.99	5.97	6.02	5.96	5.96	5.99	5.97	5.93	5.89	5.97	5.93
Si	2.03	2.00	2.02	2.01	2.01	2.03	2.05	2.08	2.00	2.02	2.03	2.01	2.04	1.99	2.04	2.04	2.01	2.04	2.07	2.11	2.04	2.07
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ²⁺	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.00	0.01
Na	1.99	2.00	2.00	1.99	1.97	1.96	1.99	1.91	2.00	1.99	1.96	1.96	1.96	2.01	1.96	1.98	2.00	2.00	2.03	1.94	1.98	1.95
K	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01
mole%																						
Ab	99.40	98.80	99.00	98.80	98.80	99.40	99.30	98.30	99.60	99.40	99.20	99.40	99.40	99.50	99.10	99.20	99.30	98.90	98.90	96.90	99.30	98.10
An	0.00	0.40	0.20	0.00	0.30	0.10	0.10	0.30	0.00	0.10	0.10	0.20	0.20	0.00	0.20	0.10	0.10	0.40	0.80	1.20	0.00	0.70
Or	0.60	0.80	0.80	1.10	0.90	0.50	0.60	1.40	0.40	0.50	0.70	0.40	0.50	0.40	0.70	0.70	0.60	0.70	0.30	1.80	0.70	1.20

Table 3. Continued.

Loc. No.	40										49											
	68.12	68.09	67.95	66.92	67.63	68.34	67.95	68.43	68.68	67.94	68.01	68.19	68.07	68.14	68.31	67.46	68.01	67.90	68.02	68.12	67.91	67.21
SiO ₂	0.03	0.00	0.02	0.00	0.02	0.04	0.01	0.03	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.03	0.04	0.00
TiO ₂	19.92	19.62	19.31	19.27	19.49	19.54	19.14	19.53	19.75	19.44	20.12	19.44	19.85	20.00	19.85	20.60	19.72	19.68	20.17	19.87	19.63	19.94
Al ₂ O ₃	0.00	0.05	0.01	0.07	0.01	0.02	0.00	0.01	0.03	0.04	0.02	0.07	0.09	0.07	0.03	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.09	0.11
FeO*	0.00	0.00	0.04	0.00	0.03	0.00	0.01	0.03	0.07	0.02	0.03	0.00	0.03	0.03	0.00	0.04	0.00	0.00	0.03	0.04	0.00	0.00
MnO	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.01
MgO	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.12	0.19	0.26	0.09	0.25	0.09	0.11	0.13	0.05	0.15	0.46
CaO	11.75	11.70	11.84	11.49	11.72	11.84	11.57	11.70	11.78	11.47	11.45	11.65	11.70	11.58	11.49	11.44	11.71	11.69	11.47	11.77	11.65	11.46
Na ₂ O	0.06	0.07	0.04	0.05	0.03	0.06	0.01	0.03	0.07	0.04	0.17	0.06	0.08	0.11	0.08	0.26	0.10	0.05	0.16	0.08	0.08	0.04
K ₂ O	99.90	99.55	99.20	97.80	98.97	99.86	98.69	99.78	100.41	99.00	100.13	99.53	100.01	100.19	99.84	100.05	99.71	99.43	100.01	99.97	99.56	99.21
Total	5.95	5.97	5.99	5.97	5.97	5.99	6.01	5.99	5.98	5.98	5.93	5.99	5.96	5.95	5.96	5.88	5.96	5.96	5.93	5.96	5.97	5.93
O=8	2.05	2.03	2.01	2.03	2.03	2.02	1.99	2.01	2.02	2.02	2.07	2.01	2.05	2.06	2.04	2.12	2.04	2.04	2.07	2.05	2.03	2.07
Si	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04
Na	1.99	1.99	2.03	1.99	2.01	2.01	1.98	1.99	1.99	1.96	1.94	1.98	1.98	1.96	1.94	1.93	1.99	1.99	1.94	2.00	1.99	1.96
K	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00
mole%	99.60	99.60	99.80	99.70	99.80	99.60	99.90	99.80	99.60	99.80	97.60	99.10	98.70	98.20	99.10	97.40	99.00	99.20	98.50	99.30	98.90	97.70
Ab	0.10	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.50	0.90	1.20	0.40	1.20	0.40	0.50	0.60	0.20	0.70	2.10
An	0.30	0.40	0.20	0.30	0.10	0.30	0.10	0.20	0.40	0.20	1.00	0.30	0.40	0.60	0.50	1.50	0.60	0.30	0.90	0.40	0.40	0.20
Or																						

Table 3. Continued.

Loc. no.	49			50						
SiO ₂	68.09	67.94	68.58	67.93	67.67	68.19	67.78	68.00	67.94	68.30
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	19.73	20.06	19.75	20.18	20.32	19.72	19.75	20.11	19.70	19.71
FeO*	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.01	0.08	0.01
MnO	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
CaO	0.19	0.22	0.09	0.23	0.28	0.06	0.18	0.15	0.13	0.09
Na ₂ O	11.75	11.61	11.63	11.71	11.52	11.85	11.61	11.57	11.63	11.88
K ₂ O	0.10	0.11	0.06	0.10	0.23	0.04	0.08	0.08	0.09	0.05
Total	99.92	99.95	100.12	100.19	100.02	99.92	99.41	99.93	99.57	100.05
O=8										
Si	5.97	5.94	5.97	5.93	5.91	5.97	5.96	5.93	5.96	5.97
Al	2.04	2.06	2.03	2.07	2.09	2.03	2.04	2.07	2.04	2.03
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
Na	2.00	1.97	1.96	1.98	1.95	2.01	1.98	1.96	1.98	2.01
K	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
mole%										
Ab	98.50	98.30	99.30	98.40	97.50	99.50	98.70	98.90	98.90	99.30
An	0.90	1.10	0.40	1.10	1.30	0.30	0.80	0.70	0.60	0.40
Or	0.60	0.70	0.30	0.50	1.20	0.20	0.40	0.40	0.50	0.20

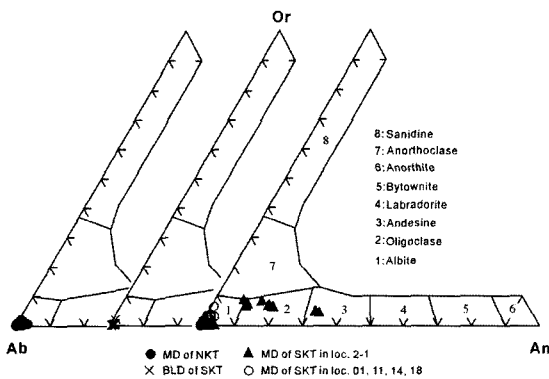


Fig. 3. Orthoclase (Or)-Albite (Ab)-Anorthite (An) triangular diagram for the plagioclase crystals from the Kusandong Tuff.

당되며, 2-1번 지역을 제외한 SKT 괴상층의 사장석은 Ab_{92.9}-Ab_{99.4}(An_{0.4}-An_{1.8}), NKT 괴상층의 사장석은 Ab_{96.0}-Ab_{99.9}(An_{0.0}-An_{3.2})로서 기저층상층의 사장석과 마찬가지로 거의 순수한 알바이트 조성에 해당된다(Fig. 3). 그러나 2-1번 지점의 괴상층의 사장석은 Ab_{62.5}-Ab_{96.9}

(An_{2.9}-An_{32.8})로서 알바이트에서 안데신(andesine)조성에 해당되는 비교적 넓은 조성범위와 높은 An 함량(anorthite content)을 보인다(Fig. 3).

알바이트화 된 장석의 조직

퍼사이트(perthite) 조직과 체스판 쌍정(chessboard twinning)

구산동응회암에 포함된 알칼리 장석은 대부분 K-장석과 알바이트가 서로 연정(intergrowth)을 이루고 있는 퍼사이트(perthite) 조직과 체스판 쌍정(chessboard twinning)을 띠고 있다(Fig. 4A). 체스판 쌍정은 알바이트 박층이 블록모양 또는 불연속적으로 나타나며 일부는 탄산염광물로 치환되어 나타나기도 한다(Fig. 4A).

일반적으로 퍼사이트 조직은 알칼리 장석의 용리작용에 의해 형성되며, 비교적 낮은 압력하에서 서냉하면서 생기는 현상으로 알려져 있어 급냉하는 화산암에서는 잘 관찰되지 않는다. 따라서 구산동응회암에 관찰되는 퍼사이트 조직 또는 체스판 쌍정은 화성작용에 의해 형성된 것으로는 보기 힘들다. 또한 이 조직의 기

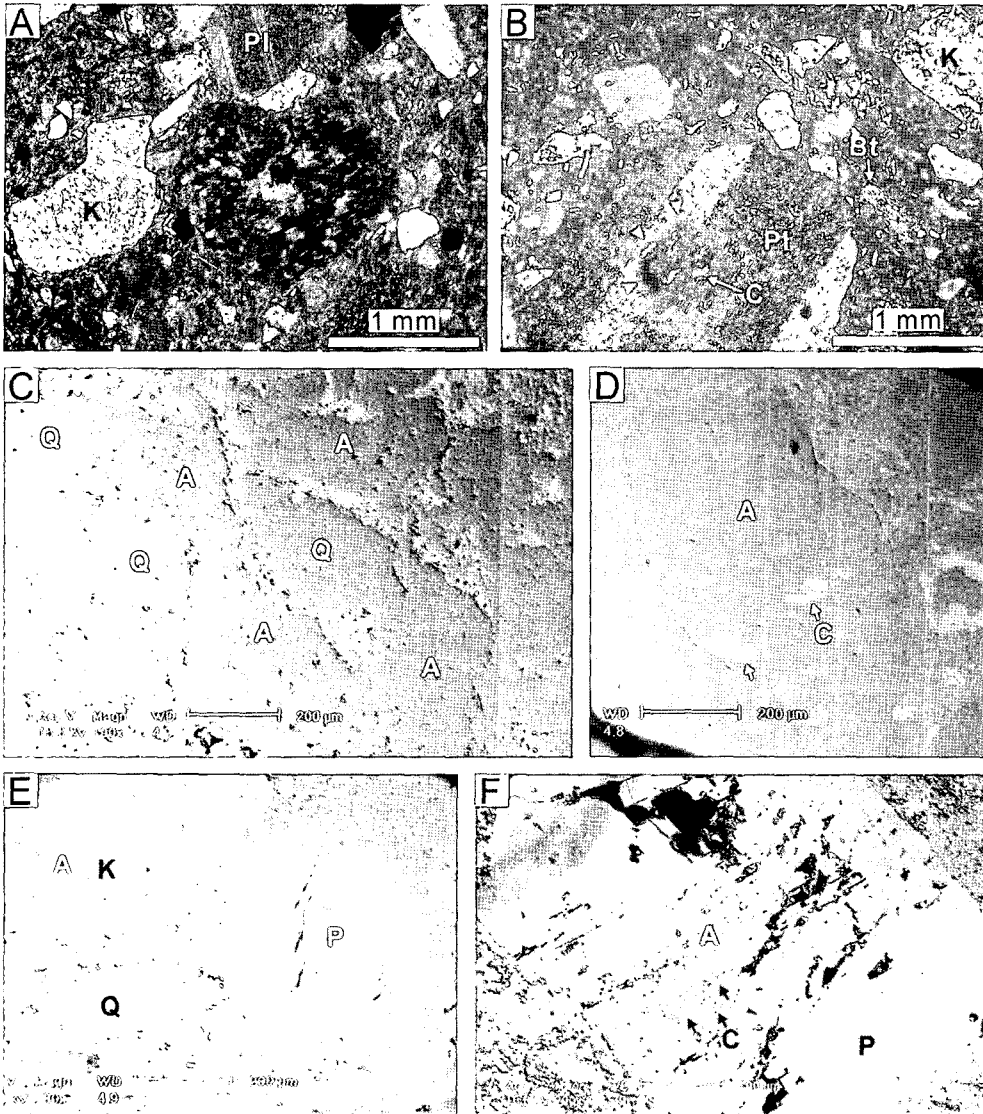


Fig. 4. Thin-section photomicrographs and BSE images of the Kusandong Tuff. (A) Thin-section photomicrograph of the MD of the SKT at locality 8 under crossed nicols, showing an albite crystal with chessboard twinning (central part). Note the blocky, discontinuous nature of the twin lamellae. (B) Thin-section photomicrograph of the MD of the SKT at locality 1 under crossed nicols, showing albitized plagioclase (Pl) and calcite (C) in the grain interior, probably a byproduct of albitization. (C) BSE image of the BLD of the SKT at locality 8, showing completely albitized plagioclase grains (A) and quartz grains (Q) with similar grey level. (D) BSE image of the MD of the NKT at locality 50, showing carbonatization (C) of albite (A) along twin planes. (E) BSE image of the MD of the SKT at locality 2-1, which is composed of unaltered Plagioclase (P) and partly albitized K-feldspar (K). (F) BSE image of the MD of the SKT at locality 2-1, showing plagioclase albitization along micro-fractures and later replacement by calcite (C).

원이 모암에서 유래한 외래 결정편일 가능성도 배제할 수 없으나 거의 모든 알칼리 장석이 이 조직을 띠고 있어 외래 기원일 가능성도 희박하다. 따라서 이 조직은 구산동응회암이 매몰되는 동안 K-장석이 속성작용

을 받아 형성되었으며, Na를 함유하고 있지 않던 K-장석이 외부기원의 유체로부터 Na를 공급받아 알바이트화 작용을 받은 것으로 해석된다.

전 알바이트화 작용(complete albitization)

구산동응회암의 최남단 지점인 2-1번과 2-2번 지점의 괴상층을 제외하면 구산동응회암에 포함된 대부분의 사장석은 거의 순수한 알바이트($Ab_{92.9}-Ab_{99.6}$) 조성을 갖고 있다(Fig. 4B, 4C, Table 1, 2, 3). 전 알바이트화 된 사장석은 일반적으로 공극과 절리가 발달해 있으며 대부분 쌍정면과 나란하게 배열되어 있다(Fig. 4D). 공극 내에는 방해석이 채우고 있는 경우가 많으며 사장석의 중심부와 입자간 충전물로 방해석이 나타나는 경우도 있다(Fig. 4B).

대부분의 사장석 입자들이 거의 순수한 알바이트로 이루어져 있어 외래 결정편일 가능성은 거의 없으며 알바이트가 고규산질 마그마로부터 유래된 본래의 사장석 조성일 가능성도 있으나 속성작용 연구에 의하면 알바이트화된 사장석의 조성이 거의 순수한 알바이트로 알려져 있어(노진환과 최우일, 2001) 구산동응회암에 포함된 알바이트는 속성기원 사장석일 것으로 해석된다.

벽개면 또는 미세절리를 따라 일어난 알바이트화 작용

벽개면을 따라 발달한 알바이트는 대부분 K-장석에서 관찰되며(Fig. 4E), 미세절리를 따라 발달한 알바이트는 구산동응회암의 최남단 지점인 2-1번과 2-2번 지점의 괴상층의 사장석에서만 관찰된다. 미세절리는 쌍정면과 반드시 일치하지 않으며 미세절리 주변부를 따라 알바이트대가 나타난다. 알바이트대의 중심부에는 방해석이 절리면과 평행하게 발달해 있다(Fig. 4F). 이 지점들은 다른 지역의 괴상층에 비해 기질의 함량이 현저히 높다.

사암과 이암의 알바이트화 작용은 우선적으로 미세절리 또는 벽개면을 따라 진행되는 것으로 알려져 있다(Lee and Lee, 1998). 미세절리와 벽개면은 장석의 다른 부분에 비해 유체의 침투와 용해가 용이했을 것으로 생각되며, 특히 K-장석은 Na를 함유하고 있지 않으므로 이 조직은 외부유체에 의해 선택적인 알바이트화 작용이 일어난 것으로 해석된다.

알바이트화 작용의 수직축방변화

구산동응회암의 알바이트화 작용은 전술한 바와 같이 거의 모든 지점에서 전적으로 알바이트화 작용을 받았으나 최남단 지점인 2-1번과 2-2번 지점의 사장석은 원래의 조성이 보존되어 있거나 부분적으로 알바이트화되어 있다. 알바이트화 작용의 수직변화를 알아보기 위해 상대적으로 알바이트화 작용을 받지 않은 2-

2번 지점에서 20 cm 간격으로 수직으로 시료를 채취하여 편광현미경 관찰을 하였다. 관찰결과 BLD의 사장석은 대부분 전적으로 알바이트화되어 있으나 MD의 사장석은 높이변화와 상관없이 부분적으로 알바이트화되어 있어(Fig. 5) 상-하부 퇴적층의 영향력은 거의 없었던 것으로 해석된다.

토 의

사장석의 본래 조성

구산동응회암에 함유된 사장석들은 전술한 바와 같이 대부분 알바이트화되어 있어 원래의 조성을 파악하기 어려운 실정이다. 그러나 알바이트화 작용이 불완전하게 진행된 2-1번 지점에서 변질되지 않고 잔존된 사장석의 조성을 알아낸다면 속성반응 및 지구화학적 해석에 큰 도움이 될 것으로 보인다. 2-1번 지역 괴상층의 사장석은 $Ab_{62.5}-Ab_{83.3}(An_{10.1}-An_{32.8})$ 로서 구산동응회암의 원래의 사장석 조성은 올리고클래스(oligoclase)에서 안데신(andesine)영역의 조성범위를 가졌을 것으로 추정된다(Fig. 3). 이 조성범위는 경상분지에 분포하는 화강암의 사장석 조성(하양층군의 퇴적암에 포함된 화산기원 쇄설성 사장석의 조성)와 유사하여 백악기 동안 일련의 산성질 화성활동이 성인적으로 연관성이 있을 것으로 추정된다.

Na의 공급원

Na를 포함하고 있는 사장석은 Na의 외부유입 없이도 알바이트화 작용이 진행될 수 있다. 만약 사장석의 Ca가 유리되어 방해석이나 고령토와 같은 다른 광물상을 생성시킬 경우에는 사장석 내부에 미세한 2차 공극이 흔히 수반되며 속성기원의 알바이트의 체적은 쇄설성 사장석의 체적보다 작아야만 한다. 구산동응회암의 사장석에는 쌍정면과 나란하게 발달한 미세공극과 공극 내부 또는 사장석 주위에 속성기원 방해석이 종종 관찰된다. 이러한 특징은 알바이트가 사장석으로부터 유래된 것으로 볼 수 있다. 그러나 구산동응회암의 사장석은 대부분 전적으로 알바이트화 작용을 받았고 미세절리 또는 벽개면을 따라 알바이트화 작용이 선택적으로 일어나 있으며 기질의 함량과 알바이트화 작용의 상관관계와 알칼리 장석의 퍼사이트 조직 등으로 볼 때 알바이트화 작용이 사장석의 용해-침전과정의 영향보다는 외부로부터 유입된 Na의 영향을 더 크게 받은 것으로 해석된다.

육성 퇴적암의 외부기원 Na의 공급경로는 염수호(saline lake)에 포함된 Na의 침전, 속성기원 스�멕타이

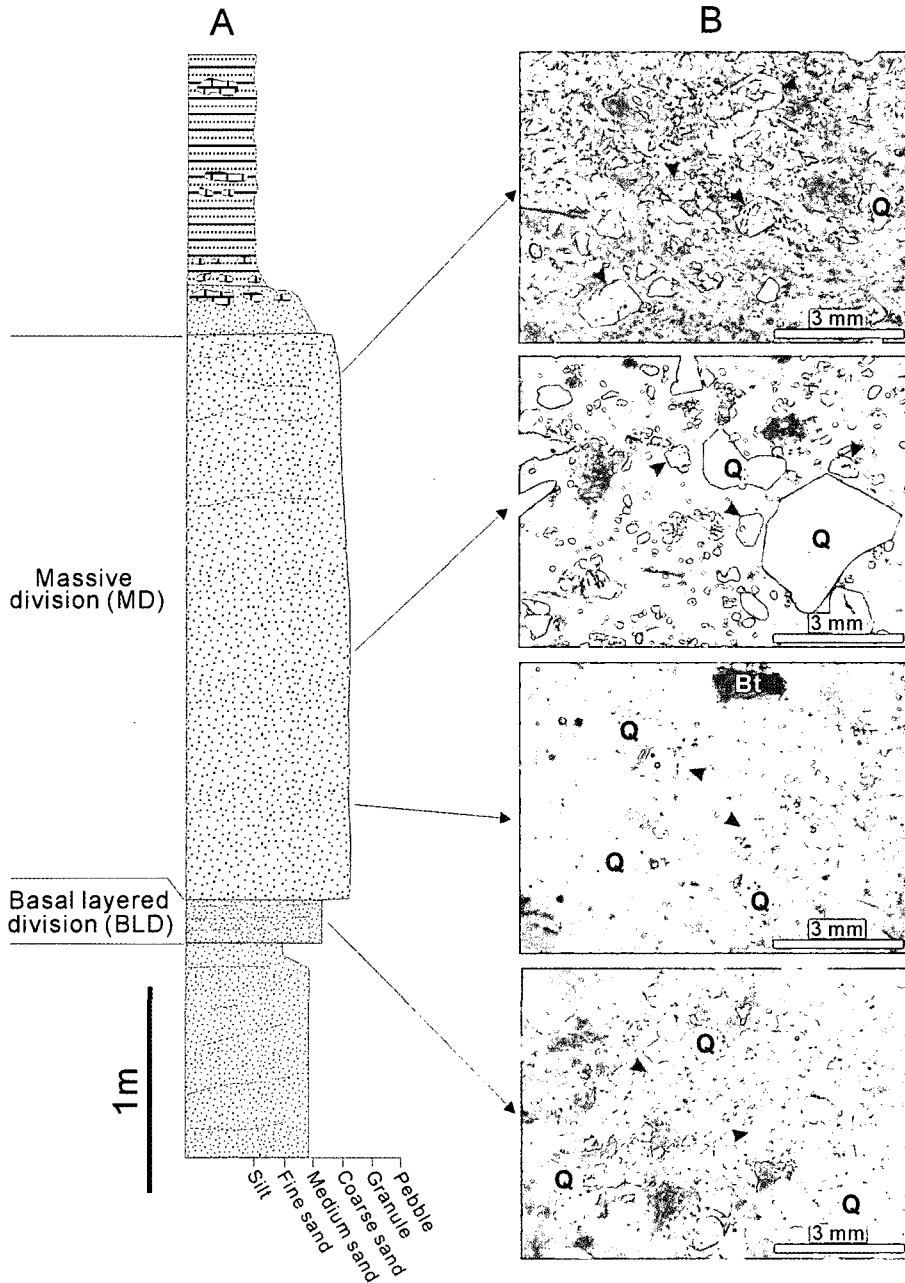


Fig. 5. Columnar log (A) and thin-section photomicrographs (B) of the SKT at locality 2-2. The plagioclase crystals in the MD are mostly of unaltered or partly albitized (black arrow), irrespective of the vertical positions in the tuff whereas the plagioclase crystals in the BLD are completely albitized.

트질 점토광물의 상전이 과정, 그리고 Na가 풍부한 유체의 침투 등이 있다. 탄산염암의 암석학적 연구를 통해 경상분지는 Aptian-Albian 동안 온난하고 건조-아건조 기후의 염수호인 것으로 알려져 있다(Woo *et al.*,

1991). 그러나 신동층군과 하양층군에서 Na를 함유한 증발암은 보고된 바 없으며 구산동층군에 포함된 퇴적동시성 알바이트가 관찰되지 않는 것으로 보아 퇴적동시성 알바이트화 작용은 없었던 것으로 보인다. Na

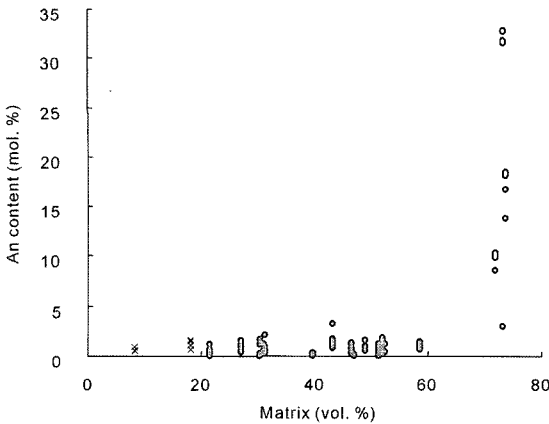


Fig. 6. Diagram showing the relationship between the anorthite content of plagioclase and the matrix content of the Kusandong Tuff. Filled circles and crosses indicate the MD and BLD, respectively.

의 또 다른 공급원은 스펙타이트질 점토광물이 매물과 정을 겪는 동안 일라이트와 녹니석으로 전이되며 이상전이 반응에서 상당한 양의 Na가 유리되는 것으로 알려져 있다(노진환과 최우일, 2001). 이 반응은 점토광물을 함유한 구산동응회암 자체에서도 일어날 수 있으나, 양적으로 점토광물이 많이 함유된 응회암의 상-하부 이암에서 주로 일어난 것으로 해석된다. 이암의 점토광물 속성작용으로부터 유리된 Na는 물과 함께 투수율이 보다 높은 응회암 내로 유입됨으로써 궁극적으로 구산동응회암의 알바이트화 작용을 유발시켰을 가능성도 있다. 마지막으로 Na를 많이 함유한 유체가 암석 내로 유입됨으로써 장석 내에 포함된 K 또는 Ca과 교대반응을 일으켜 알바이트화 작용이 발생할 수 있으며 특히 이 작용은 암석의 투수도와 밀접한 연관성이 있는 것으로 알려져 있다(Lee and Lee, 1998).

알바이트화 작용을 제어하는 요인

일반적으로 장석의 알바이트화 작용은 매물온도와 밀접한 연관성이 있는 것으로 알려져 왔다(Morad *et al.*, 1989; Ramseyer *et al.*, 1992). 그러나 최근 들어 매물온도와는 상관없이 퇴적암의 투수도와 주변암상에 따라 알바이트화 작용이 규제 받는 경우도 있는 것으로 보고되고 있다(Lee and Lee, 1998). 즉 층준과 상관없이 상대적으로 투수도가 낮은 이암과 미크라이트질 사암의 장석보다는 투수도가 높은 사암의 장석이 더 높은 알바이트화 작용을 받거나 이암이 협재되는 빈도수가 증가할수록 알바이트화 작용을 더 많이 받는 것으로 알려져 있다.

구산동응회암에 포함된 사장석은 거의 모든 지역에서 전알바이트화 작용을 받았으나 특이하게 2-1번과 2-2번 지점의 괴상층의 사장석에만 부분적으로 알바이트화되어 있다. 이 두 지점은 다른 지역과 달리 기질의 함량이 현저히 높고(Fig. 6), 상-하부 퇴적암이 주로 사암과 실트암으로 이루어져 있다(Jeon and Sohn, 2003; Sohn *et al.*, 2005). 사암은 이암에 비해 상대적으로 점토광물의 함량이 낮아 점토광물의 상전이 반응으로부터 유리된 Na의 유입은 거의 없었을 것으로 생각된다. 만약 이 변질 양상이 우세하였다면 두 지점의 기저층상층도 괴상층과 같이 알바이트화 작용을 부분적으로 받아야 한다. 또한 괴상층의 수직단면에서 상-하부 경계면으로부터 멀어질수록 알바이트화 작용을 적게 받아야 한다. 그러나 두 지점의 기저층상층은 전적으로 알바이트화 작용을 받았고 괴상층에서 수직적인 알바이트화 작용의 변화는 관찰되지 않는다. 따라서 상-하부 퇴적층으로부터 유리된 Na의 영향은 거의 없었던 것으로 해석된다.

응회암의 세립질 화산유리는 비화산원 퇴적암의 점토광물과 미크라이트질 교결물과 같이 투수도를 현저히 저하시켜 외부유체로부터 쇄설성 장석을 보호하는 역할을 했을 것으로 추정된다. 구산동응회암의 괴상층과 기저층상층의 기질의 함량과 사장석의 An 지수와 상관계(Fig. 6)에서 기질의 함량이 증가할수록 An 지수가 점진적으로 증가하는 것이 아니라 기질의 함량이 약 60-70 vol.%를 기준으로 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 이러한 변화는 구산동응회암의 알바이트화 작용이 투수도와 밀접한 연관성이 있으며 기질의 함량이 적어도 60 vol.% 이상 되어야 외부유체로부터 현저한 보호막 역할이 가능할 것으로 해석된다.

결론

구산동응회암에 포함된 대부분의 사장석은 매물되는 동안 전 알바이트화 작용을 받았으며 퍼사이트 조각과 체스판 쌍정, 벽개면 또는 미세절리를 따라 발달한 알바이트화 작용, 기질의 함량과 알바이트화 작용의 상관관계 등은 Na를 많이 함유한 외부유체에 의해 알바이트화 작용이 일어났음을 지시한다. 알바이트화 작용은 벽개면이나 절리면을 따라 우선적으로 시작되며 기질의 함량이 약 60 vol.% 이상 되면 잘 일어나지 않는다. 또한 구산동응회암의 사장석의 본래조성은 올리고클레스에서 안데신의 조성범위($Ab_{62.5}-Ab_{83.3}$)를 가졌을 것으로 해석된다.

장석은 속성작용을 받는 동안 상대적으로 쉽게 변질

된다. 특히 알바이트화 작용은 장석의 조성을 변화시키는 주된 요인으로서 이 작용을 거친 퇴적암의 장석을 조사하여 그 기원이나 고기후를 알아내려고 한다면 잘못된 결과를 얻기가 쉽다. 외부유체로부터 기인한 알바이트화 작용은 전암의 Na성분을 현저히 증가시켜 비알칼리 계열의 암석을 알칼리 계열의 암석으로 오인케할 가능성이 있다. 또한 장석의 알바이트화된 정도와 원인에 따라 Na, K, Ca의 복잡한 고대반응이 일어나므로 암석화학적 또는 광물화학적 해석을 하기에 앞서 장석의 알바이트화 작용에 대한 논의가 반드시 필요할 것으로 생각된다.

고용체 광물인 사장석이 비평형 상태에서 정출작용이 일어나면 원래의 액상조성보다 Na가 풍부한 사장석이 만들어져 조성의 다양화를 초래하게 된다. 사장석 조성의 다양화는 마그마작용 외에도 매몰되는 과정에서 발생하는 알바이트화 작용으로도 형성될 수 있으므로 조성분석만으로는 본래의 조성을 판단하기 힘들다. 응회암의 알바이트화 작용은 투수도와 밀접한 관련이 있으므로 신뢰성 있는 분석자료를 얻기 위해서는 우선 기질의 함량이 높은(>60 vol.%) 시료를 선정할 필요가 있다. 선정된 시료로부터 폭넓은 사장석 조성이 얻어졌을 경우 거의 순수한 알바이트(>97% Ab)와 BSE 이미지 관찰을 통해 알 수 있는 알바이트화된 조성을 제거하고 남은 조성이 본래의 사장석 조성일 것으로 해석된다. 그러나 알바이트화 작용은 Ca의 비율이 클수록 더 많이 받는 것으로 알려져 있어(Lee and Lee, 1998) 본래 사장석의 An-단성분(anorthite endmember)은 실제 분석자료보다 더 높을 가능성도 있다.

감사의 글

이 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2001-000-00062-0) 지원으로 수행되었다. 본 논문을 읽고 심사해 주신 정기영 교수님께 감사드립니다.

참고문헌

김충현, 1990, 경상분지 서남부 함안층-진동층 경계부의 층서 및 퇴적. 경북대학교 석사학위논문, 49 p.
 노진환, 최우일, 2001, 경북 군위지역 신동층군 사암의 속성광물상 및 속성작용. 지질학회지, 37, 323-344.
 손진담, 1976, 경상북도 군위-대울동-신령 일대의 상부 백악계 층서 및 지사. 복현지질, 2, 13-19.
 장기홍, 1977, 경상분지 상부중생계의 층서, 퇴적 및 지구조. 지질학회지, 13, 76-90.
 장기홍, 고인석, 이재영, 김상욱, 1977, 한국지질도

(1:50,000), 구산동 도폭 및 설명서, 자원개발연구소, 25 p.
 정종욱, 전용문, 손영관, 2005, 백악기 구산동응회암의 암석기재와 모드조성 변화. 지질학회지, 41, 73-90.
 좌용주, 이용일, Orihashi, Y., 2004, 구산동 응회암과 진동화강암에서 산출되는 저온에 대한 U-Pb 연대와 진동층 퇴적시기에 대한 고찰. 2004 대한지질학회 추계학술발표회 초록집, 73.
 Chang, K.H., 1975, Cretaceous stratigraphy of southeast Korea. Journal of Geological Society of Korea, 11, 1-23.
 Chang, K.-H. and Park, S.-O., 2003, Cretaceous stratigraphy of Korea and interregional correlations. Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum, 2, 103-112.
 Chang, K.H., Park, S.O. and Kim, H.S., 1997, Cretaceous stratigraphy and geologic history of medial Kyongsang Basin: tectonics and volcanism. Geoscience Journal, 1, 2-9.
 Choi, H.I., 1986, Sedimentation and evolution of the Cretaceous Gyeongsang Basin, southeastern Korea. Journal of the Geological Society, London, 143, 29-40.
 Chough, S.K., Kwon, S.T., Ree, J.H. and Choi, D.K., 2000, Tectonic and sedimentary evolution of the Korean peninsula: a review and new view. Earth-Science Reviews, 52, 175-235.
 Jeon, Y.M. and Sohn, Y.K., 2003, Sedimentary characteristics and stratigraphic implications of the Kusandong Tuff, Cretaceous Gyeongsang Basin, Korea. Geosciences Journal, 7, 53-64.
 Lee, J.I. and Lee, Y.I., 1998, Feldspar albitization in Cretaceous non-marine mudrocks, Gyeongsang Basin, Korea. Sedimentology, 45, 745.
 Leichmann, J., Broska, I. and Zachovalova, K., 2003, Low-grade metamorphic alteration of feldspar minerals: a CL study. Terra Nova, 15(2), 104-108.
 Milliken, K.L., 1992, Chemical behavior of detrital feldspars in mudrocks versus sandstones, Frio Formation (Oligocene), South Texas. Journal of Sedimentary Petrology, 62, 790-801.
 Morad, S., Bergen, M., Knarud, R. and Nystuen, J.P., 1989, Albitization of detrital plagioclase in Triassic reservoir sandstones from the Snorre field, Norwegian North Sea. Journal of Sedimentary Petrology, 60, 411-425.
 Ramseyer, K., Boles, J.R. and Lichtner, P.C., 1992, Mechanism of plagioclase albitization. Journal of Sedimentary Petrology, 62, 349-356.
 Rougvié, J.R. and Sorensen, S.S., 2002, Cathodoluminescence record of K-metasomatism in ash-flow tuffs: Grain-scale mechanisms and large-scale geochemical implications. Geology, 30, 307-310.
 Sohn, Y.K., Jeong, J.O. and Son, M., 2005, Long-runout pyroclastic surge on a Cretaceous alluvial plain, Republic of Korea. Terra Nova, 17(1), 13-24.
 Tucker, M.E., 1991, Sedimentary Petrology. Blackwell Sci-

- entific, Oxford, 260 pp.
- Yu, K.M., Boggs, S. Jr., Seyedolali, A. and Ko, J., 1997, Albitization of feldspars in sandstones from the Gohan (Permian) and Donggo (Permo-Triassic) formations, Gohan area, Kangwondo, Korea. *Geoscience Journal*, 1, 26-31.
- Walker, T.R., 1984, Diagenetic albitization of potassium feldspar in arkosic sandstones. *Journal of Sedimentary Petrology*, 54, 3-16.
-
- (2005년 11월 23일 접수; 2005년 12월 3일 채택)