

월성지역 주변 유문암질 응회질암의 암석학적 특징

박준범¹ · 전은영¹ · 박성현¹ · 최성자^{2*}

¹미육군극동공병단 지반환경공학부, ²한국지질자원연구원 지질도지구조실

Petrology of Rhyolitic Tuffites Around Wolseong Area, Southeast Korea

Jun-Beom Park¹, Eun-Young Jeon¹, Seong-Hyun Park¹ and Sung-Ja Choi²

¹Geotechnical and Environmental Engineering Branch, U.S. Army Corps of Engineers Far East District, Seoul 100-195, Korea

²Geology & Geoinformation Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Dajeon 305-350, Korea

We report the petrographic and petrochemical results on the rocks which have been classified as hornfelsic sandstones or mudstones of the Gyeongsang Group in Wolseong Area, part of Choyang Geologic Sheet (Tateiwa, 1924) and discuss its origin. The rocks consist of alternating layers with dark, fine-grained and bright, coarse-grained but don't have any clues of thermal alteration such as hornfels. The rocks are composed of quartz, feldspar and rock fragments of volcanic origin. The overall geochemical characteristics of the rocks indicate that the rocks have mainly rhyolitic composition with 64.5-72 wt% SiO₂ and are similar to the trend of Cretaceous and Tertiary volcanic rocks around this area. On the contrary, the geochemical characteristics of rocks are distinguished from those of Lower Cretaceous Sindong and Hayang mudrocks in the Gyeongsang Basin. We re-name the rocks as rhyolitic tuffite.

Key words : petrographic and petrochemical results, hornfelsic Gyeongsang Group, volcanic origin, tuffite

이 연구는 조양 도폭 (立岩巖, 1924)내 월성 지역에서 경상층군의 호온펠스화된 사암이나 이암으로 기재된 암층에 대한 암석기재 및 암석화학적 특징을 보고하고, 이들의 기원을 재해석한다. 이들은 야외에서 특징적으로 입도의 차이에 기인한 암색의 변화, 즉 세립일수록 암색을, 반면 조립일수록 담색을 띠며, 호온펠스화와 같은 열변성 증거는 보이지 않는다. 경하에서 화산기원의 석영과 장석 그리고 다량의 암편을 함유하고 있다. 이들의 성분은 SiO₂ 64.5-72 wt% 로써, 주로 유문암 영역에 속하며, 백악기 및 제3기 화산암류와 유사한 변화 경향을 보인다. 반면, 경상분지내의 신동층군이나 하양층군 이암의 지화학적 성분과는 확연히 구분된다. 이러한 특징으로부터 이들을 유문암질 응회질암으로 명명한다.

주요어 : 경상층군의 호온펠스, 암석기재 및 암석화학적 특징, 유문암 영역, 유문암질 응회질암

1. 서 론

월성지역 주변에는 경상누층군으로 분류된 퇴적층이 넓게 분포하고 있는 것으로 기재되어 있다. 이 암석을 감포(조양)도폭 (立岩巖, 1924)에서 처음으로 기재하였으며 백악기의 흑색 혈암, 이회암 및 사암 등으로 분류하였다. 한편, 이 지역의 제3기 퇴적분지 혹은 제3기 지구조 운동 등에 관한 많은 논문들은 이를 단순히 제3기층의 기반암으로서 경상누층군의 하

양층군 혼펠스로 간주하고 있다. 즉, 1:25만 부산 도폭 (김동학 등, 1998)에서도 이 지역에 분포하는 이암층을 하양층군의 진동층으로 간주하였으며, 그 이외의 연구자들도 백악기 경상누층군의 일부 혹은 하양층군의 퇴적암류가 광역적 화성활동의 결과로 대부분 호온펠스화된 암회색, 녹회색, 흑색 및 적갈색의 사암 및 이암의 호층대로 기재하고 있다 (김근수 등, 1995; 윤선, 1982; 이준동 등, 2000). 그러나 상세히 이 암석을 관찰하여 보면 혼펠스로 기재된 이 암석은 전형

*Corresponding author: sjchoi@kigam.re.kr

적인 경상누층군의 하양층군이나 신동층군의 퇴적암과는 다른 야외 양상을 보이고 있다. 한편 어일도폭(최위찬 등, 1988)에서는 전기 3기의 응회암 및 응회질 퇴적암(Tuffite, Tpt)으로 기재하였다. 이 암석의 생성연대는 아직까지 정량적인 값으로 정할 수는 없으나 야외조사와 현미경 관찰 및 화학분석 등으로 경상누층군의 하양층군 퇴적층과 구분되는 화산기원의 쇄설성 암석임을 밝히고자 하는 것이 이 논문의 목적이다.

1.1. 연구 방법

이 지역에 분포하는 이들 암석의 특징을 기재하기 위해, 채취된 암석은 강원대학교에 의뢰하여 박편을 제작하고, 이를 이용하여 현미경 기재를 하였다. 시료 채취 위치(WGS84 세계측지좌표계)는 Table 1과 같다.

또한, 전암 분석을 위한 분말시료의 제작은 오염을 피하기 위해 해머만을 사용하여 약 1.3 cm 가량의 조각으로 만든 후 육안으로 보아 신선한 것을 선택하였다. 파쇄시킨 암편의 표면에 있는 분말과 먼지를 초음파 세척기에서 제거하고 오븐에서 건조한 후 연세대학교 지구시스템과학과에 설치된 텅스텐 가바이트 볼 밀(ball mill)을 이용하여 분말시료를 만들었다. 전암 분말시료의 주성분 및 미량성분 원소 함량은 영국 런던대학 지질학과의 J.N. Walsh교수에 의해 ICP-AES(inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry) 및 MS(mass spectrometry) 방법으로 분석(MS-2 program; Walsh, 1980)되었다. Table 1은 선정된 시료의 주성분 및 부성분 분석치를 나타낸다. 또한 경상분지 내에 분포하는 백악기 화산암류(김규한과 김진수, 1993), 거제도 화산암류(윤성호 등, 1997), 갑천분지 유문암(Lee *et al.*, 1992), 신생대 구룡포 지역에 분포하는 화산암(이문원 등, 1988) 및 장기-하서 분지의 화산암류(Song *et al.*, 1998), 최근 보고된 경상분지내의 신동층군이나 하양층군내 이암류(Lee and Lee, 2003)의 암석화학 자료와 비교하였다.

한편, 선별된 3개 시료에 대해 연세대학교 지구시스템학과에 있는 에너지 분산형 X-선 분석기(Oxford Instrument Ltd. ISIS-300 energy dispersive x-ray analyzer detector)가 부착된 주사전자현미분석기(JEOL JSM-5410 scanning electron microscope)를 이용하여, 암석내의 석영과 암석편에 대해 성인적 기재를 실시하였다. 주사전자현미분석기의 분석조건은 가속 전압은 20 kV, 주사거리(working distance)는 20 mm이었다.

Table 1. Comparison with major and trace element composition.

	Tatt (7)		Sindong Group (14)		Hayang Group (16)	
	mean	std	mean	std	mean	std
SiO ₂	70.17	4.44	57.29	6.44	53.73	5.25
TiO ₂	0.43	0.28	0.76	0.19	0.67	0.18
Al ₂ O ₃	13.72	1.41	16.74	3.03	15.00	1.35
Fe ₂ O ₃ ¹	3.10	1.55	5.32	1.36	6.63	1.47
MgO	1.24	0.81	2.70	0.91	4.02	1.63
MnO	0.07	0.04	0.04	0.03	0.09	0.06
CaO	2.26	1.44	4.21	3.36	6.04	3.18
Na ₂ O	3.23	1.05	0.63	0.47	1.81	0.49
K ₂ O	3.39	0.98	4.43	1.11	3.41	0.67
P ₂ O ₅	0.08	0.04	0.22	0.12	0.20	0.03
LOI	N.A	N.A	7.30	3.07	7.96	2.71
Total	97.70	0.68	99.63	0.29	99.57	0.40
Ba	620.7		688.9		429.6	
Co	40.4		11.3		12.7	
Cr	44.7		77.0		54.8	
Cu	22.9		40.8		268.1	
Li	21.9					
Ni	18.7		47.6		36.3	
Sc	7.6		13.4		12.3	
Sr	195.7		189.2		247.0	
V	46.9					
Y	20.0		24.8		20.8	
Zn	78.4		123.9		338.9	
Zr	132.1		47.4		34.8	
U	2.1		3.2		3.4	
Th	10.3		15.3		11.5	
Rb	117.5		163.4		109.9	
Nb	11.2		9.0		6.0	
Cs	7.6		13.0		11.0	
Hf	4.2		1.8		1.3	
Ta	2.9		0.7		0.3	
Tl	1.4					
La	23.8		43.5		33.5	
Ce	44.9		89.7		68.9	
Pr	4.7		10.2		8.0	
Nd	21.7		37.4		29.9	
Sm	4.0		6.9		5.7	
Eu	0.7		1.5		1.2	
Gd	3.4		6.7		5.7	
Dy	2.9		4.8		4.1	
Ho	0.7		0.9		0.8	
Er	1.8		2.7		2.4	
Yb	1.8		2.5		2.1	
Lu	0.3		0.4		0.3	

Fe₂O₃¹ as Total FeO. N.A: not analyzed.

Parenthesis denote number of samples.

Data of Sindong and Hayang Group from Lee and Lee (2003).

2. 본 론

2.1. 야외 노두의 기재적 특징

이전 연구자들은 이 지역에 분포하는 이 암층을 백악기 경상층군의 일부 혹은 경상계 하양층군에 해당하는

퇴적암류로써 광역적 화성활동의 결과로 대부분 호온펠스화된 암회색, 녹회색, 흑색 및 적갈색의 사암 및 이암의 호층대로 기재하고 있다(김근수 등, 1995; 윤선, 1982; 이준동 등, 2000). 따라서 이들 암석을 기재함에 있어, 다음과 같은 가능성으로부터 검토하였다. 즉, 퇴

적구조 혹은 호온펠스의 증거가 있는 지 여부를 찾아 보았다. 야외조사 결과, 이 암층이 입도의 차이에 기인한 암색의 변화, 즉 세립일수록 암색을, 반면 조립일수록 암색을 띄는 것 이외에 다른 퇴적구조나 조직을 발견하지 못하였다(Fig. 1). 또한 양북-양남면 경계의 화

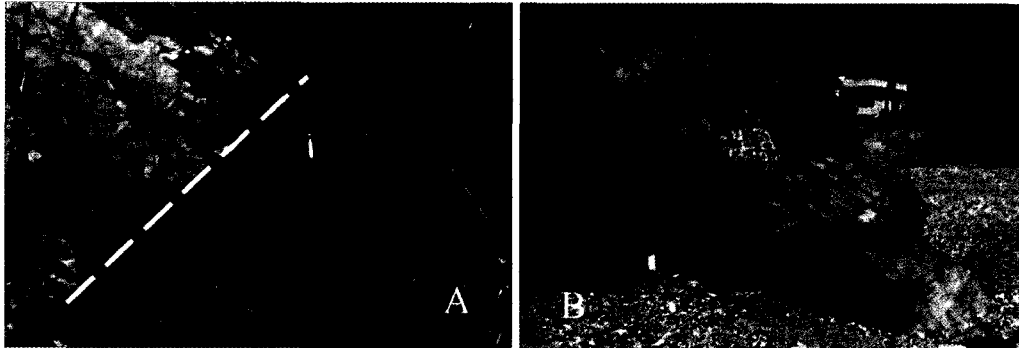


Fig. 1. (A) Outcrop exposure at Site 5: (N 35 43 05.25 E 129 27 46.55), showing phase change from medium greenish gray to medium dark gray, fine lower to milky white to yellowish gray, coarse upper layer. (B) at Site 8 (N 35 38 41.72 E 129 26 29.60), showing alternate layering of coarse grained, medium light gray to fine grained, dark gray.

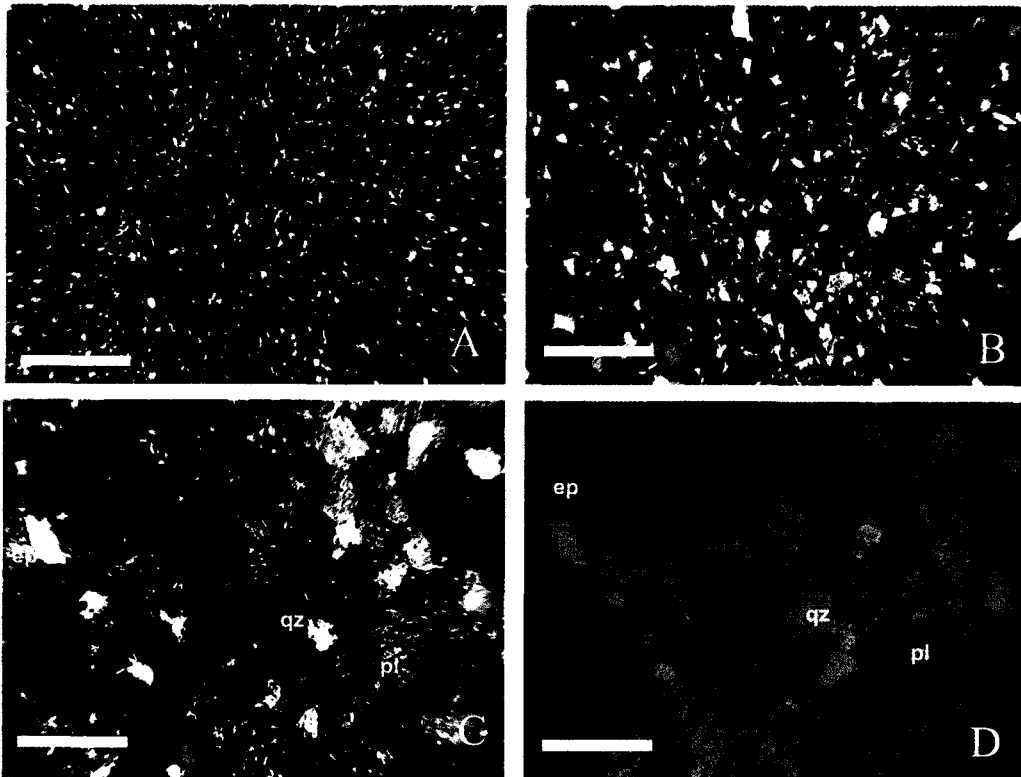


Fig. 2. Photomicrographs of Tuffite. (A) (Cross Nicol) Fine grained Krtft (sample #4a) showing very fine grained micaceous matrix (B) (Cross Nicol) Fine grained Krtft (sample #5b) showing that angular grains are distinct (C) (Cross Nicol) Coarse grained Krtft (Sample #5a), showing relatively equigranular and ubiquitous occurrence of epidote. (D) (Open Nicol) same as (C). Scale bar represents 0.5 mm. Abbreviations: qz, quartz; pl, plagioclase; ep, epidote.

강섬록암체(Tgd)와 가까운 곳 혹은 조사 지역 내 소규모 단층이 존재하는 곳, 그리고 우리 나라 백악기-제3기 화산암류의 풍화 변질 광물로 흔히 기재되는 산발적인 녹염석의 산출을 제외하면, 이들이 “전반적으로 호온펠스화된 것”이라는 어떠한 열변성 증거도 발견하지 못하였다.

2.2. 암석기재적 특징

이미 언급한 바와 같이 이 암석은 암색의 조립질이 거나, 암색의 세립질에 따라 그 기재적 특징이 다르다.

2.2.1. 세립질 (Fig. 2A, B)

반정과 석기 조직을 보이며, 반정은 0.8 mm 미만의 크기로 각진 형태를 하며 주로 석영, 사장석, 정장석으로 구성되어있다. 광물의 구성 비는 일반적으로 석영(55%), 사장석(20%) 그리고 정장석(5%)이다. 결정의 원마도는 매우 불량하다. 녹염석은 도처에서 관찰되며 흑운모, 견운모 등이 관찰된다. 저콘은 약 0.1 mm의 크기로 둥글고 쪼개져 관찰된다. 구성 광물 입자사이의 경계는 대부분 명확하게 구분되며, 일부에서는 압편으로 추정되는 세립질이 우세한 부분이 관찰된다.

석영은 주로 독립된 하나의 결정으로 균질한 소광을 하지만 드물게는 복합 소광을 하기도 한다. 정장석은 페리클린(pericline) 쌍정을 보이며 경우에 따라서는 칼스바드(carlsbad)-페리클린 쌍정을 보이기도 한다. 사장석은 특징적인 알바이트 쌍정에 의해 결정의 크기가 상대적으로 작음에도 불구하고 확연히 구분된다. 암편으로 추정되는 부분은 입자의 크기가 매우 작으며(0.1 mm 미만), 야외에서 대부분 유백색의 부분에 해당된다. 구성 광물의 특징은 유사하지만 견운모 혹은 세립질 운모들의 정향 배열이 인지됨으로써 인접 암석과 구분되어진다. 일부 지역의 특정 층에서는 녹황색의 녹염석-실리카 복합 결핵체(concretion)를 다량 갖는데, 이들은 장경 1 mm-6 cm의 불규칙한 타원형 내지 무정형이다. 원암과의 접촉부에서는 녹염석이 밀집되어 나타나는 반면 결핵체의 중심부에서는 실리카(석영)가 소량 관찰된다. 특히 결핵체 부분을 주의깊게 제거한 이 시료의 모암 성분은 다른 암석에 비해 K₂O가 높고, Na₂O와 SiO₂가 낮는데(Table 1), 해수와 염기성-중성 화산암류와의 반응에서 나타나는 전형적인 풍화에 의한 성분 변화를 보인다. 따라서 특정 지역의 특정 층에서 서만 나타나는 이 복합 결핵체는 이 층이 퇴적될 시기나 이후 해수와 반응으로 인한 변질이나 혹은 속성작용에 의해 형성된 것으로 사료된다. 한편, 연일 지역의 일부 제3기 암층에서 기재되는 것과 같이(노진환과 우경

식, 1997) 테사이트질의 화산물질을 다량의 외래세실물(epiclast)로 가지는 퇴적암(사암, 이암)과 순수한 응회암과의 구분이 가능한 지를 검토해 보았다. 조사지역의 암류는 경하에서 각질의 석영편이 우세하며, 장석편과 래필리 크기의 화산기원 암석편(juvenile)이 기재된다. 그러나 그 입도가 아주 작은 경우는 그 구성분의 구분이 용이하지 않다(Fig. 2A, B). 이를 보완하기 위한 방법으로 주사전자현미분석을 실시한 결과, 석영은 주로 단결정으로 대부분 직소광을 하며, 대체로 입자의 가장자리가 직선을 이루고 둥근 형태의 코너를 보인다. 간혹 입자의 가장자리가 둥글게 패인 형태(embayed)를 보인

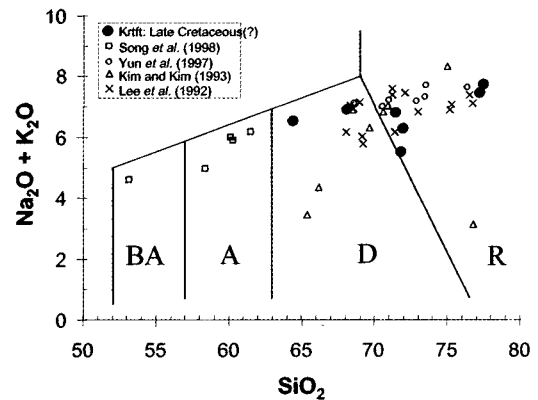


Fig. 3. The chemical classification and nomenclature of the rocks using the total alkali versus silica diagram of Le Bas et al.(1986). Krtft: Late Cretaceous(?) rhyolitic tuffite in this study, BA: Basaltic andesite, A: Andesite, D: Dacite, R: Rhyolite.

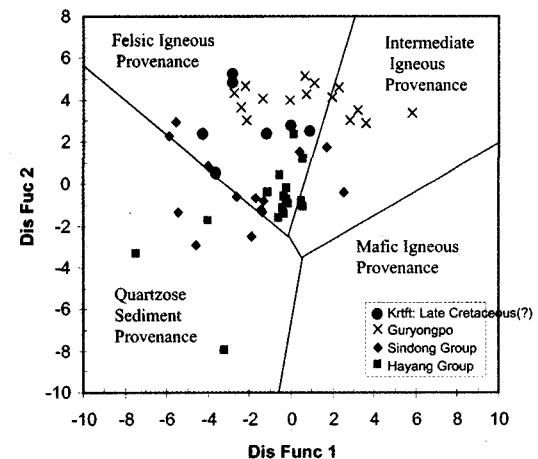


Fig. 4. Discrimination function diagram for the provenance signature of the tuffites using major elements (after Roser and Korsch, 1988). Krtft: Late Cretaceous(?) rhyolitic tuffite, Guryongpo from Lee et al. (1988), Sindong and Hayang Group from Lee and Lee (2003).

다. 또한 암편은 길쭉한 사장석의 결정들로 이루어져 있다. 이러한 석영과 암편의 특징은 이들이 화산기원 암을 시사한다.

2.2.2. 조립질 (Fig. 2C, D)

주로 알바이트 쌍정을 갖는 사장석이 반정을 구성하

고 석기는 석영과 세립의 사장석으로 구성되어 있다. 사장석은 보통 1 내지 1.5mm 크기의 반정으로 최대 3mm의 크기에 이른다. 때로는 1mm 크기 이상의 사장석이 모여 취반상 조직을 보이는 경우도 관찰된다. 많은 경우 사장석 반정은 녹염석으로 치환되어 관찰된

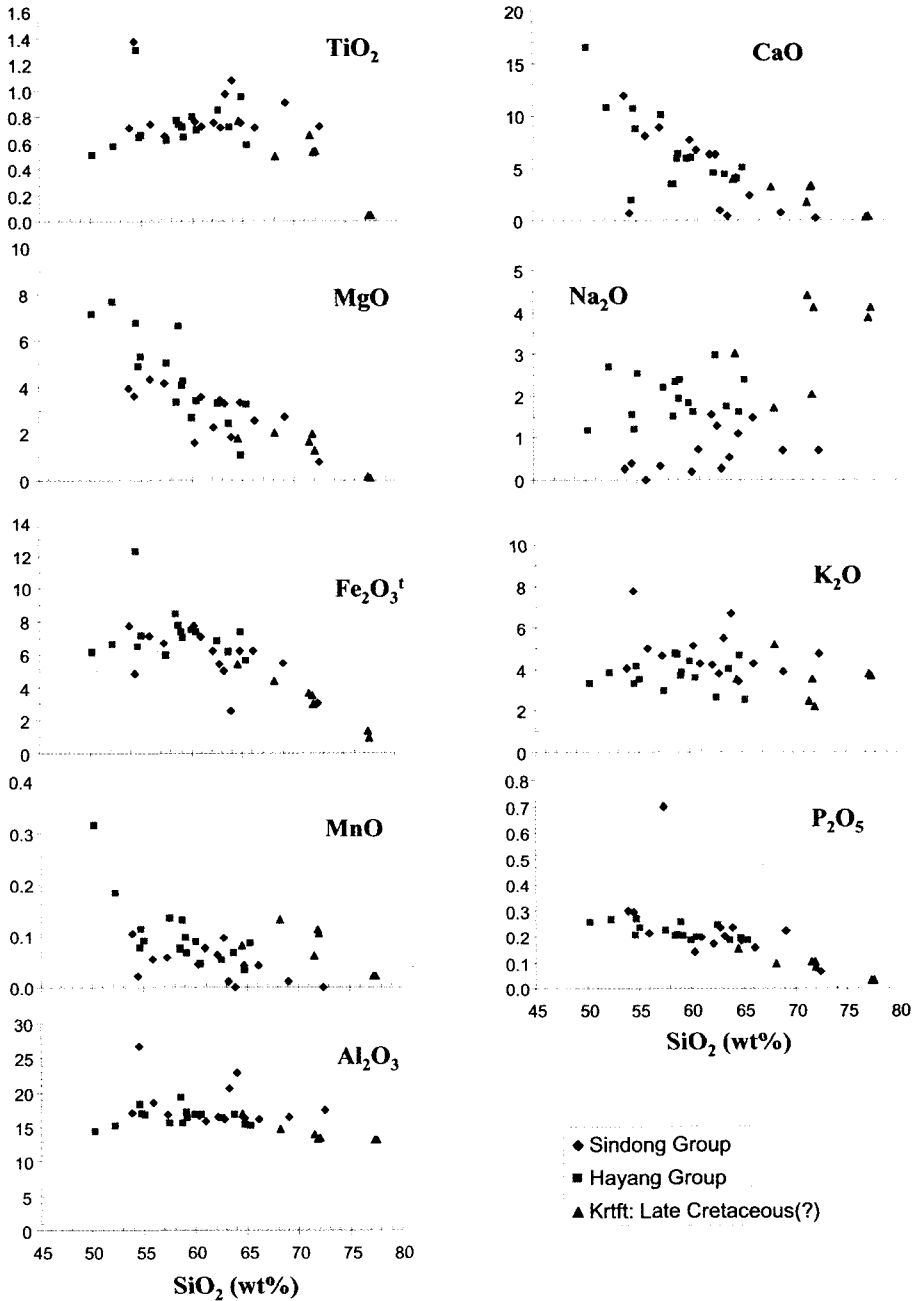


Fig. 5. Harker variation diagrams for the rocks from the studied area. Krfft: Late Cretaceous(?) rhyolitic tuffite in this study. Data of Sindong and Hadong Group from Lee and Lee (2003).

다. 석영은 주로 석기를 이루고 있으며 0.5 mm 미만의 크기로 인접 광물과 불규칙한 경계면을 보인다. 사장석 반정 주위에서 산출하는 석영의 경우 세립의 등립질 다결정 조직을 보인 경우도 관찰된다. 녹염석은 대부분 사장석을 치환하고 나타나는데, 비교적 작은 크기로 산출된다. 정장석은 칼스바트 쌍정을 보이고 0.3 내지 0.5 mm 크기로 산출한다.

일부 시료에서는 다양한 모양과 크기(수 cm에서 수 mm)의 압편(석영 및 장석류로 구성)을 포획하며 압편과의 접촉부에서는 대부분 뚜렷한 경계를 보이지만 일부에서는 점이적으로 변화는 경우도 관찰된다. 점이적인 변화를 보이는 경우는 압편이 포획되면서 기질부분에 동화되면서 형성되어진 것으로 사료된다. 압편 및 주변암 모두 후기의 녹염석 맥에 의해 교란당하고 있다.

2.3. 암석화학적 특징

그 성분은 SiO₂ 64.5-72 wt%, Na₂O+K₂O, 5.5-6.9 wt%로서, 테사이트질에서 유문암질에 해당하고, 주로 유문암 영역에 속한다(Fig. 3). 또한 이들은 백악기 및 제3기 화산암류와 유사한 변화 경향을 보인다(김규한과 김진수, 1993; 윤성효 외, 1997; 이문원 외, 1988; Lee et al., 1992; Song et al., 1998).

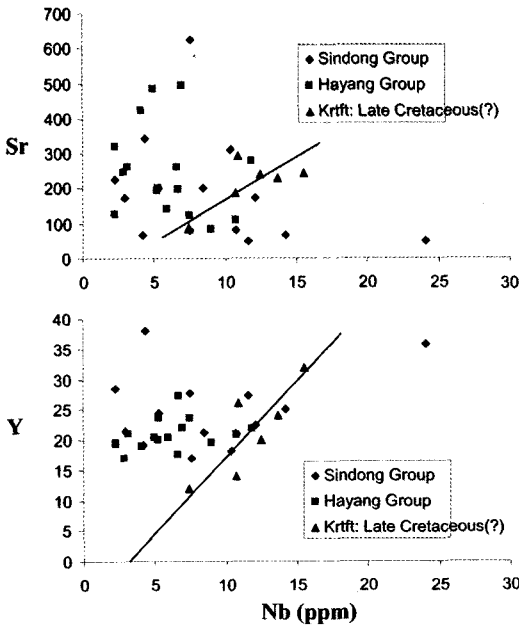


Fig. 6. Sr and Y variation diagrams against Nb for the rocks from the studied area. Krtft: Late Cretaceous(?) rhyolitic tuffite in this study. Data of Sindong and Hadong Group from Lee and Lee (2003).

주성분 원소간의 함수 관계를 이용한 사암 및 이암류의 근원암 분류도(Rosen and Korsch, 1988)에 이 지역의 암석과 구룡포 지역에 분포하는 신생대 화산암(이문원 외, 1988), 경상분지내의 신동층군과 하양층군 이암류(Lee and Lee, 2003)의 암석화학 자료를 적용하였다(Fig. 4). 이 지역에 분포하는 암석은 모두 산성 화성암류를 근원지로 하는 영역에 도시되는 반면, 하양층군의 이암류는 산성 및 중성 화성암류 그리고 석영질 퇴적암류 근원지 영역에 넓게 도시된다.

주성분원소의 변화를 보이는 Harker 그림(Fig. 5)에서 이 지역의 암류는 경상분지내의 신동층군이나 하양층군 이암과는 확연히 구분된다. 특히 SiO₂함량에서 하양층군이 암류와는 구분되며(SiO₂ 65 wt%에서), 이로부터 TiO₂, MgO, Fe₂O₃(total), CaO, P₂O₅가 낮은 반면, K₂O는 높다. 또한 선택된 Sr, Y의 Nb변화도(Fig. 6)에서도 퇴적암류와는 달리 원소간의 변화 상관도가 높으며, LOI(loss on ignition)와 더불어 원소별

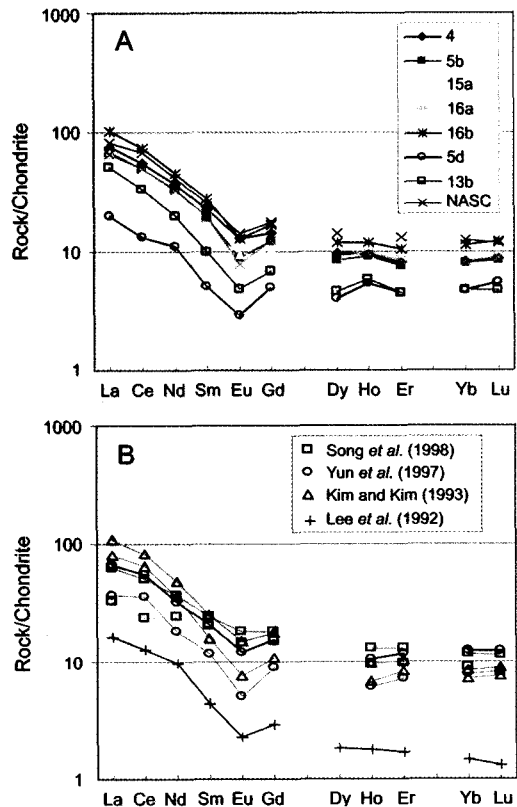


Fig. 7. Chondrite-normalized (Taylor and McLennan, 1985) rare earth element patterns for the tuffites. A. Studied area, NASC (North American Shale Composite) from Gromet et al. (1984). B. Range between maximum and minimum of Referenced Area.

참고문헌

- 김규한, 김진수 (1993) 경상퇴적분지내에 분포하는 백악기 화산암류의 암석지구화학적 연구. 암석학회지, 29권, p. 84-96.
- 김근수, 김종열, 정규귀, 황진연, 이준동 (1995) 경상북도 경주-감포 일원에 분포하는 화강암류의 Rb-Sr 연대. 한국지구과학회지, 16권, p. 272-279.
- 김동학, 황재하, 박기화, 송교영 (1998) 부산 지질 도폭보 고서 및 지질도 (1:250,000). 한국자원연구소, 52p.
- 노진환, 우경식 (1997) 연일층군 탄산염 결핵체의 산출상태, 광물상 및 생성. 지질학회지, 33권, p. 210-219.
- 윤선 (1982) 한국 어일분지의 제3기 층서. 지질학회지, 18권, p. 173-180.
- 윤성효, 이준동, 이상현, 고정선, 서윤지 (1997) 거제도 화산암류의 암석학적 연구. 암석학회지, 6권, p. 1-18.
- 이문원, 원종관, 김광호, 노진환 (1988) 구룡포지역에 분포하는 신생대 화산암의 지질과 암석학적 연구. 지질학회지, 24권, p. 1-15.
- 이준동, 김중선, 우상진, 황병훈, 김인수, 김진섭, 백인성 (2000) 경주-감포 일대 화강암체의 암석학적 연구. 암석학회지, 9권, p. 70-83.
- 立岩巖 (Tateiwa, I) (1924) 연일 구룡포 및 조양도폭 (1:50,000). 조선총독부지질조사소.
- 최위찬, 황재하, 윤옥, 김동학 (1988) 어일지질 도폭보고서 및 지질도 (1:25,000). 한국동력자원연구소. 42p.
- Asch, K. (2002) Draft for term dictionaries of the international Geological map of Europe and Adjacent Area. 1:5 Million International Geological Map of Europe and Adjacent Areas (IGME5000 Project), 9p.
- Demirci, C. (1994) Geology and petrology of the volcanic rocks in the YANIKLI area, ARTVIN-NORTHEAST TURKEY. M.S. in Geological Engineering, Supervisor: Assoc. Prof. Dr. M. Cemal GONCUOGLU, August 1994, 118p.
- Gromet, C.P., Dymek, R.F., Haskin, L.A. and Korotev, R.V. (1984) The "North American Shale Composite": its compilation, major and trace element characteristics. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 48, p. 2469-2482.
- Jackson, J.A. (1997) *Glossary of Geology*, 4th (ed.), American Geological Institute, Elsevier, 769p.
- Lee, M.W., Won, C.K. and Kim, K.H. (1992) The Cretaceous volcanic activities and petrology in Kyonggi Massif - on the Kapcheon, Emsung and Kongju Basin. *Jour. Geol. Soc. Korea.*, v. 28, p. 314-333. (In Korean with English Abstract)
- Lee, J.I. and Lee, Y.I. (2003) Geochemistry and provenance of Lower Cretaceous Sindong and Hayang mudrocks, Gyeongsang Basin, Southeastern Korea. *Geosciences Journal*, v. 7, p. 107-122.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A. and Zanettin, B. (1986) A classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Jour. Petrol.*, v. 27, p. 745-750.
- Rosen, B.P. and Korsch, R.J. (1988) Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chem. Geol.*, v. 67, p. 119-139.
- Schmid, R. (1981) Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: Recommendations of the IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. *Geology*, v. 9, p. 41-43.
- Song, S., Lee, H.K. and Yun, H. (1998) Petrogenesis of the Tertiary volcanic rocks from the southeastern part of Korea. *Jour. Min. Petro. Econ. Geol.*, v. 93, p. 441-461.
- Taylor S.R. and McLennan S.M. (1985) *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell, Oxford, 312p.
- Walsh, J.N. (1980) The simultaneous determination of the major, minor and trace constituents of silicate rocks using inductively coupled plasma spectrometry. *Spectrochim. Acta*, v. 35B, p. 107-111.

2004년 3월 9일 원고접수, 2004년 5월 24일 게재승인.