

## 울릉도 화산암류의 암석계열과 암석분류

황상구<sup>1,\*</sup> · 김유봉<sup>2</sup> · 황재하<sup>2</sup>

<sup>1</sup>안동대학교 지구환경과학과

<sup>2</sup>한국지질자원연구원 지질조사연구실

### 요 약

울릉도 화산암류에 대해 181개 주원소 분석치를 이용하여 암석계열과 암석분류를 검토한다. 울릉도에서 현무암류는 Irvine and Baragar (1971)의 알칼리-실리카 그림에서 알칼리 현무암 영역에 도시되고, 기타 화산암류는 Le Bas *et al.* (1986)의 TAS 분류도에서 조면현무암, 조면암과 포놀라이트 영역에 속한다. 따라서 울릉도 화산암류는 모두 알칼리암류에 속한다. 그런데 알칼리암류는  $K_2O/Na_2O$ 의 비에 따라 암석계열이 Na 계열과 K 계열로 세분되고 각각 원명과 완전히 다른 아원명을 부여한다. 울릉도의 알칼리암류는  $K_2O$ 가 높은 Na과 K 계열의 중간에 해당하는 다소 전이적인 성격을 지니므로 K 계열의 아원명보다 원명을 따라 분류하는 것이 바람직하다. 따라서 이 알칼리암류는 TAS 분류도의 '현무암-현무암질 조면안산암-조면안산암-조면암'의 원명을 사용하는 것이 바람직하다.

**주요어:** TAS 분류도, 알칼리암류, K 계열, Na 계열, 원명

Sang Koo Hwang, You Bong Kim and Jae Ha Hwang, 2014, Rock series and petrochemical classification of the volcanic rocks in Ulleung Island. *Journal of the Geological Society of Korea*. v. 50, no. 1, p. 61-70

**ABSTRACT:** We investigate rock series and classification of the Ulleung volcanic rocks from their 181 major element analyses. Basalts among them plot into a field of alkali basalt on the alkali-silica diagram of Irvine and Baragar (1971), and other volcanic rocks fall into fields of trachyandesite, trachyte and phonolite in the TAS diagram of Le Bas *et al.* (1986). So all the volcanic rocks belong to alkaline rocks. Generally alkaline rocks are subdivided into K and Na series from  $K_2O/Na_2O$  ratios, which call different 'subroot names' from root names respectively. The alkaline rocks should be classified along root names rather than subroot names of K series, because they have some transitional nature between K and Na series. So they should be called as root names as basalt-basaltic trachyandesite-trachyandesite-trachyte in the TAS diagram.

**Key words:** TAS diagram, Alkaline rocks, K series, Na series, Root name

(Sang Koo Hwang, Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University, Andong 760-749, Korea; You Bong Kim and Jae Ha Hwang, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea)

### 1. 서 언

울릉도는 한반도의 동해안 묵호에서 161 km 떨어진 동해 서부에 위치하는 하나의 별개 화산이며, 장단경 12.2×8.0 km를 가지는 오각형의 화산도로서 면적 72.9 km<sup>2</sup>를 가진다. 이 화산은 해수면 위에 983.6 m 높이로 그렇게 크지 않지만, 그러나 깊이 약 2,200 m의 해저면에서 큰 모양으로 솟아있고, 북동-

남서 방향으로 약 30 km의 기저장경을 가진다. 그래서 이 화산은 아마도 일본의 가장 큰 화산 중의 하나인 후지산에 비교될 만큼 크다.

울릉도는 현무암, 조면안산암, 조면암, 포놀라이트 용암의 조합을 가지는 것이 우세하다. 이 섬에서, 수많은 용암류 외에도, 다량의 화성쇄설암, 수백 개의 암맥, 그리고 분출물에 포함되어 있는 반심성암 및 심성암 성격의 암괴들이 산출된다. 그러나 비화

\* Corresponding author: +82-54-820-5469, E-mail: [hwangsk@andong.ac.kr](mailto:hwangsk@andong.ac.kr)

산성을 시사하는 기저부는 이 섬의 어디에도 노출되지 않는다.

화성암류는 일반적으로 광물조성, 화학조성에 근거한 정량적 분류와 암석조직에 근거한 정성적 분류에 따라 암석명을 붙이게 된다. 정량적 분류에 의한 암석명은 암석이 형성될 당시의 물리 화학적 조건들에 따라 다르게 나타나는 다양한 암석조직을 가미하여 사용하는 경우가 많다. 그러나 정량적 분류에서 광물조성, 화학조성에 근거한 분류는 현재까지도 상호 일치하는 방법이 제시되지 못하였다. 특히 심성암류는 일반적으로 현정질 조직을 나타내기 때문에 광물조성을 정량적으로 계산할 수 있지만, 반면에 화산암류는 흔히 비현정질로서 유리질 조직을 나타내기 때문에 광물조성에 근거한 정량적 분류가 어려워 화학적 분류 방법을 흔히 사용하게 된다.

화학적 분류는 여러 연구자들에 의해 다양한 방법이 제시되어 왔는데, 그 중에서 전 세계적으로 화산암류의 화학적 자료를 수집하고 이전 연구자들이 제시한 분류 방법들을 통합적으로 검토하여 만들어졌던 다음 분류 방법이 현재 주로 사용되고 있다. Irvine and Baragar (1971)는 화학분석치를 사용하여 계산한 노름광물(normative mineral)의 상대적인 비에 근거한 다양한 분류도를 제시하였으며, Le Bas *et al.* (1986)은 알칼리와 실리카에 의한 TAS ( $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})\text{-SiO}_2$ ) 분류도를 제안하여 국제지질과학연합회(IUGS: International Union of Geological Sciences)에서 흔히 사용하도록 추천되었다. 하지만 동일한 암석도 이와 같이 인위적으로 선택된 분류도에 적용하더라도 그 암석명이 다를 수 있다(Cox *et al.*, 1979; Rollinson, 1993).

울릉도에 대한 초기 지질조사는 1915-1916년에 Tamura and Shinohara에 의해 수행되었으며, 이들은 이 화산의 지형과 조면암 용암, 암맥 및 집괴암의 산출을 간단하게 언급하였다(Tsuboi, 1920). 그러나 울릉도의 지질에 관한 지식에 실질적으로 공헌한 사람은 Tsuboi가 처음이었다. 그는 포놀라이트 및 백류석-함유 용암의 산출을 보고하였으며(Tsuboi, 1920), 울릉도에 대해 유일하게 발간한 스케치 지질도를 첨부하였다.

울릉도 화산은 암석기재적 관점에서 다른 지역만큼 중요함에도 불구하고, 지질학 및 암석학에 관한 충분한 정보가 제공되지 않았다. Harumoto (1970)

는 울릉도 화산에 관한 지질, 화산역사, 암석기재를 다루었으며, 이 지역의 알칼리암대에 관한 지식에 약간이나마 공헌하려고 하였다. 그리고 그는 이 화산에서 산출되는 용암, 암맥과 포출 심성암의 20개 이상의 암형을 기재하였다.

울릉도 화산암류의 암석명은 Harumoto (1970)가 제시한 바와 같이 현장에서 주로 사용되는 구성광물에 기인한 암석명이 주로 사용되었다. 그러나 1980년대 이후부터는 암석의 주원소 분석치를 근거로 명명된 암석명이 주로 사용되어왔다(e.g., Kim and Lee, 1983; Won and Lee, 1984, 1988; Kim, 1985a, 1985b, 1986; Lee and John, 1985; Yun, 1986; Min *et al.*, 1988; Kim *et al.*, 1999; Song *et al.*, 1999, 2006). 우선 구성광물의 양적비와 암석조직에 근거한 암석명은 암석 화학분석이 이루어지지 않은 암층명이나 야외암상의 기재시 반정 광물의 종류 및 상대적인 비에 따라 붙여진 이름이다. 이러한 암석명은 비록 야외에서는 유용하게 사용되어질 수 있지만 주관적인 관점에 크게 좌우될 수밖에 없으며, 아직까지 암석에 포함된 유리질 때문에 화산암류의 정확한 모드 분석을 통해 통계적으로 객관적인 검증을 할 수 없는 것이 사실이다. 따라서 암석화학적 암석명이 화산암류에서 주로 사용될 수밖에 없는 것이 현실이고 기존 암석명을 검토할 수 있는 적절한 방법이다.

울릉도 화산암류는 알칼리 계열에 속하는 것으로 알려져 있지만 알칼리 계열 중에 Na 계열인지 K 계열인지에 관해 확실하게 검토되지 않았다. 각 계열은 암석명이 완전히 다르기 때문에 객관적인 구분 기준에 따라 확실하게 검증할 필요가 있다. 따라서 울릉도 화산암류는 알칼리암류의 구분 기준 및 그 특성을 고찰해야만 한다.

이 논문에서는 울릉도 화산암류의 전암 주원소 분석 자료를 이용하여 암석계열 및 암석분류를 고려할 때 문제점을 검토하고, 화학분석 자료를 이용한 화산암류의 층서명과 암석명을 기재할 때 혼용으로 인한 혼란을 막을 수 있는 합리적인 방안을 제공하고자 한다.

## 2. 지질개요

울릉도 화산암류는 모두 알칼리 계열로서 분출



조면안산암은 사장석, 알칼리장석, 휘석, 켈슈타이트(kaersutite), 흑운모 및 자철석 등의 반정을 포함한다. 석기는 대개 알칼리장석으로 구성되고 흔히 조면상 조직(trachytic texture)을 형성하며 켈슈타이트, 자철석, 백류석(leucite) 및 인회석을 소량 수반한다.

조면암은 반정으로 알칼리장석, 휘석과 켈슈타이트 등이 나타나고 석기에도 이들이 흑운모와 자철석 등과 함께 존재하며 인회석 등을 수반한다. 침상의 알칼리장석 미정들이 흔히 조면상 조직을 나타내며 그 사이에 유리질 물질이 존재한다.

포놀라이트는 반정이 거의 없고 대개 알칼리장석이 석기로서 조면상 조직을 이루며 휘석, 켈슈타이트, 흑운모, 소달라이트와 인회석 등이 수반된다.

화산암류는 사방휘석 반정의 유무에 따라, 혹은 반응연 및 석기로 산출하는 단사휘석이 성분에서 따라 감람석 알칼리 계열, 피저나이트 계열(솔리아이트 계열)과 자소휘석 계열(칼크알칼리 계열)로 구분된다(Kuno, 1959).

알칼리암류는  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 의 함량이 장석류를 생성하는데 필요한 것보다 더 많은 암석을 말하며, 암석 자체 혹은 CIPW 노움 계산치에서 네펠린(nepheline) 혹은 백류석과 같은 준장석류, 혹은 알칼리 휘석류와 알칼리 각섬석류를 함유한다(Carrie, 1976).

알칼리 화산암류는 일반적으로 반정과 석기단계에서 Ca-부족 휘석이 없고 감람석과 Ca-풍부 사방휘석 간의 반응관계가 없는 것이 특징적이다(Kuno, 1968). 감람석과 알칼리장석은 현무암의 석기에서 흔하다. 켈슈타이트는 약간의 현무암에서 소량으로 산출되고 알칼리 각섬석과 흑운모는 후기단계 암석에서 특징적이다.

울릉도의 화산암류는 위 기준을 적용하면 사방휘석이 없고 석기의 단사휘석으로서 피저나이트가 산출되지 않기 때문에 알칼리 계열에 해당한다. 광물 조합에서 알칼리장석이 매우 흔하게 산출되고 켈슈타이트와 같은 알칼리 각섬석이 흔히 나타나며 드물지만 백류석과 소달라이트가 관찰되기 때문에 알칼리 계열을 지지해준다.

4. 암석화학적 특성

알칼리암류는 성인과 관련하여  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 의 함

량이 장석류를 생성하는데 필요한 것보다 더 많은 암석을 말하며,  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 보다 작지만  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 보다 크다(Yoder and Tilley, 1962; Green and Ringwood, 1967; Irvine and Baragar, 1971).  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 의 비가 1보다 더 커서 추가 알칼리를 함유하는 암석은 과알칼리암류로 부르게 되며, 과알칼리암류는  $\text{SiO}_2$ 로 비포화되어 있다.

울릉도 화산암류는 암석화학적 자료에 의해 알칼리암류로만 구성된 화산도로 알려져 왔다. 암석조직과 구성광물의 차이에서도 알칼리 현무암질암류는 반상조직이 뚜렷하게 나타나지만 사방휘석 반정이 존재하지 않고, 감람석 반정과 잔류마그마의 반응으로 만들어진 Ca-풍부 사방휘석 반응연(reaction rim)이 없으며, 석기에 최종충진물(mesostasis)로 채워지는 석영의 존재(Macdonald and Katsura, 1964; Irvine and Baragar, 1971)가 인지되지 않는다. 한편 알칼리 화산암류의 특성은 암석화학적 성질에서 쉽게 인지되는데, 울릉도 알칼리암류는 동일한 MgO 조성에서 한반도의 비알칼리암류에 비해 상대적으로 CaO와  $\text{SiO}_2$ 는 낮고,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ 와  $\text{P}_2\text{O}_5$ 는 높은 편이다.

울릉도 화산암류는 TAS 분류도(Le Maitre, 1984; Zanettin, 1984; Le Bas et al., 1986; Le Maitre et al., 1989)에서 대부분 알칼리암류로 분류되지만(그림 2), 그러나 이들은 어떤 기준을 적용하는가에 따라 약간의 차이를 나타낸다.

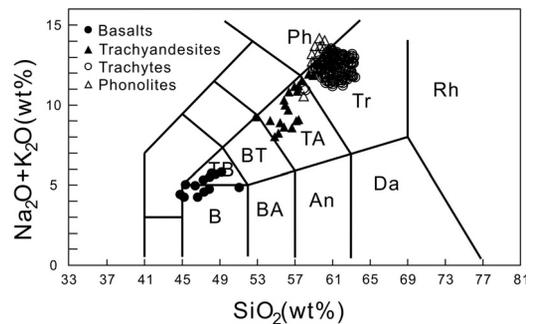
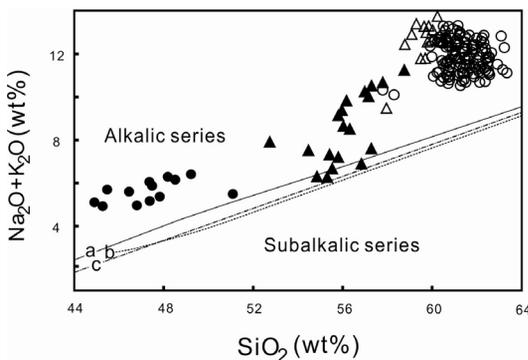


Fig. 2. Classification of the volcanic rocks in Ulleung Island on the total alkali silica (TAS) diagram. The fields rock nomenclature schemes of Le Maitre (1984), Zanettin (1984), Le Bas et al. (1986) and Le Maitre et al. (1989, 2002). The root names are the same as B, basalt; TB, trachybasalt; BT, basaltic trachyandesite; TA, trachyandesite; Tr, trachyte; Ph, phonolite; BA, Basaltic andesite; An, andesite; Da, dacite, Rh, rhyolite.

울릉도 화산암류는 Irvine and Baragar (1971)의 기준에 적용하면 모든 시료가 대부분 알칼리암류에 속하지만 조면안산암류는 그렇지 않다(그림 3). 따라서 여러 연구자에 의해 제시된 기준을 비교함으로써 더 합리적인 구분 기준을 제시할 수 있을 것이다. 이 결과를 다시 TAS 분류도에서 Macdonald and Katsura (1964)와 Kuno (1968)의 기준과 비교해 보면, 모든 시료가 알칼리암류에 속하는 것으로 나타난다(그림 3).

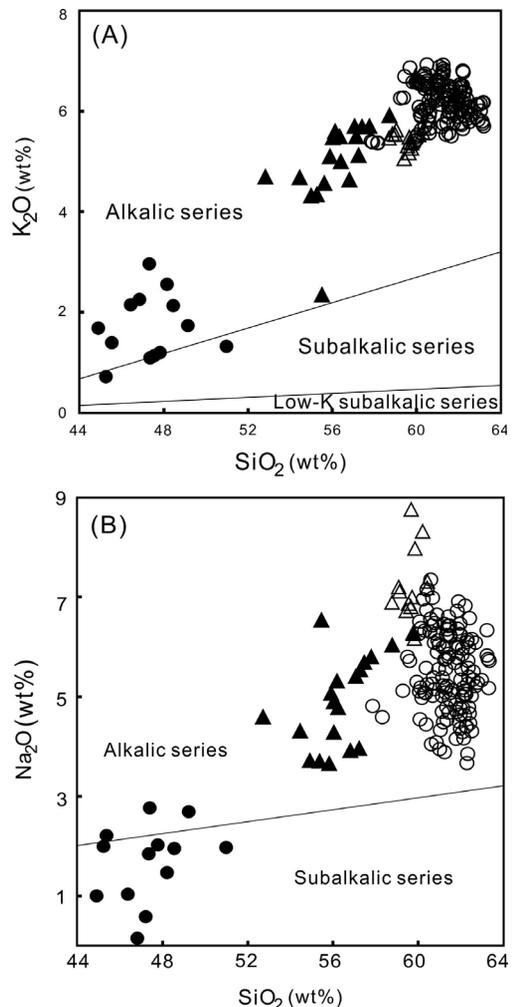
특히 현무암류는 Middlemost (1975)에 의하면  $\text{Na}_2\text{O}$ 와  $\text{K}_2\text{O}$ 의 특징을 이용하여  $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}$ 와  $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$  그림으로 구분하는 방안을 제안하였다. 이 그림에서 그는 각각의 고유 영역에만 도시되는 암석은 알칼리 현무암과 비알칼리 현무암으로 분류하였다. 그러나 동일한 시료가 두 그림에서 서로 다른 영역에 도시되는 암류는 전이성 현무암(transitional basalt)으로 구분하였다. 울릉도 현무암류는  $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$  그림에 적용하면 일부를 제외하고 대부분 알칼리 현무암에 속하며,  $\text{K}_2\text{O}$  함량이 비교적 높다는 것을 나타낸다(그림 4A). 그러나  $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}$  그림에서는 이 현무암류가 대부분 알칼리가 적은 비알칼리 현무암에 속하는데, 이는  $\text{Na}_2\text{O}$  함량이 비교적 적다는 것을 암시한다(그림 4B). 따라서 울릉도 현무암류는 Middlemost (1975) 기준에 의하면 동일한 시료가 두 그림에서 서로 다른 영역에 도시되기 때문에 전이성 현무암으로 볼 수 있다. 그러나 Hyndman (1985)의  $\text{SiO}_2$ 에 대한  $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 의 그림을 적용하면 1개 시료를 제외하



**Fig. 3.** Classification of alkalic and subalkalic series in term of  $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$  versus  $\text{SiO}_2$  for the basaltic rocks in Ulleung Island. The boundary lines are from (a) Irvine and Baragar (1971), (b) Kuno (1968), and (c) Macdonald and Katsura (1964). Symbols are the same as in Fig. 2.

고 모두 알칼리 현무암류 영역에 도시된다(그림 5). 이처럼 분류 기준에 따라 나타나는 상반된 결과는 전암 주원소 중에서 특정원소의 변화만을 이용하여 울릉도에 분포하는 현무암류의 성격을 규정하는 데에는 상당한 어려움을 제공한다. 그러나 다만 울릉도의 화산암류가 비교적  $\text{K}_2\text{O}$  함량이 상당히 높다는 것을 알 수 있을 뿐이다.

울릉도 현무암류는 Middlemost (1975)의 방법에 의해 구분된 전이성 현무암은 모두 Irvine and Baragar (1971)의 알칼리 현무암 영역에 도시되는 동시에, Macdonald and Katsura (1964)와 Kuno (1968)의



**Fig. 4.** Classification of alkalic and subalkalic series in terms of (A)  $\text{K}_2\text{O}$  versus  $\text{SiO}_2$  and (B)  $\text{Na}_2\text{O}$  versus  $\text{SiO}_2$  (after Middlemost, 1975). Symbols are the same as in Fig. 2.

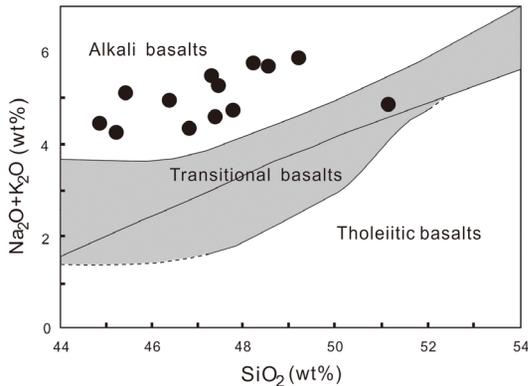


Fig. 5.  $K_2O+Na_2O$  versus  $SiO_2$  plot of the basaltic rocks in Ulleung Island, showing transitional basalt between alkalic and tholeiitic basalts (after Hyndman, 1985).

기준에서도 알칼리 현무암 영역이 중첩되는 곳에 도시된다(그림 3). 한편, Le Bas *et al.* (1986)의 TAS 분류도에서 비알칼리 현무암 영역에 도시되는 시료는 전혀 없다(그림 2). 그런데 TAS 분류도에서 Macdonald and Katsura (1964)와 Kuno (1968)의 기준과 Irvine and Baragar (1971)의 기준 간에 차이가 나는 이유는 Rickwood (1989)가 분석기관 간에 나타나는 오차에 기인한 것으로 해석하였다. 따라서 각각의 기준선 사이에 도시되는 현무암류는 알칼리 혹은 비알칼리 현무암으로 단정 지을 수 없는 중간적인 성격을 가진다고 제안하였던 것(Rickwood, 1989)을 생각하지 않을 수 없다.

이상에서 울릉도 화산암류는 그 분류 기준에 따라서 다른 암석 영역에 도시될 수 있음을 확인할 수 있었다. 특히 Le Bas *et al.* (1986)의 TAS 분류도에서 현무암 영역에 도시되는 울릉도 현무암류는 Irvine and Baragar (1971)의 알칼리 현무암 영역에 도시되기 때문에 알칼리 현무암으로 분류하는 것이 당연하고 생각된다. 결과적으로 이들 그림에서 울릉도 현무암류의 성격은 조산대 화산암에 속하지 않는다는 것이고 판내부 혹은 열곡대의 화산암에 해당되는 것을 암시한다.

## 5. 토 의

### 5.1 암석계열

TAS 분류도에서 화산암류의 계열은 실리카의 포화도에 따라 달라지며, 이는  $K_2O$ 와  $Na_2O$ 의 알칼리

에 의해 좌우된다고 말할 수 있다. 그래서 알칼리 계열은  $K_2O$  대  $Na_2O$ 의 도시에 의해 Na, K 및 고K 계열(혹은 타입)로 세분되어 왔는데, 울릉도 화산암류는 K 계열과 Na 계열에 도시된다(그림 6).

특히 고K 계열을 제외한 알칼리 계열은 전통적으로  $K_2O$ 와  $Na_2O$ 의 상대적인 양에 따라 K 타입과 Na 타입으로 구분하여 왔다. 즉 조면현무암과 조면안산암은  $K_2O < Na_2O$ 이면 하와이아이트, 뮤저라이트, 벤모래아이트로 이름하였고, 반면에  $K_2O > Na_2O$ 이면 K조면현무암, 쇼쇼나이트, 라타이트로 불려져 왔다. 그런데 알칼리가 1.5% 이하인 세계의 모든 암석은 틀림없이 K 타입에 해당된다. 또한 모든 화산암 중에 오로지 약 12%만이  $K_2O$ 가  $Na_2O$ 보다 많은 K 타입에 속한다. 이와 같은 이유들 때문에 이 두 타입은  $Na_2O-1.5 > K_2O$  혹은  $Na_2O-1.5 < K_2O$ 의 기준에 따라 구분하도록 하였다(Le Maitre, 1984; Zanettin, 1984). 이렇게 하더라도 K 타입이 훨씬 많기 때문에 양적 차이를 현실화하기 위해 또다시  $Na_2O-2.0 > K_2O$  혹은  $Na_2O-2.0 < K_2O$ 의 기준에 따라 Na 계열과 K 계열로 구분할 것을 제안하였다(Le Bas *et al.*, 1986; Le Maitre *et al.*, 1989, 2002).

울릉도 화산암류는 단순히  $K_2O$ 과  $Na_2O$ 의 함량 차이에 의하면 암형(rock type)에 따라 차이가 있지만 전체적으로 45%만이 K 타입에 속한다(표 1). 그러나  $K_2O > Na_2O-1.5$ 의 기준에 따르면 이 자료의

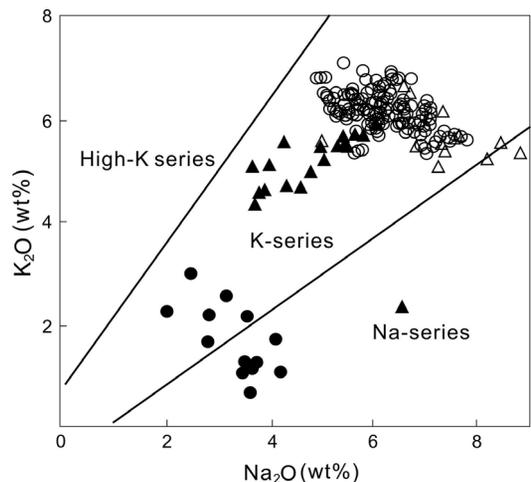
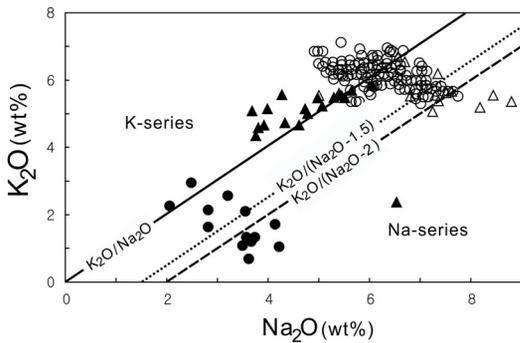


Fig. 6.  $K_2O$  versus  $Na_2O$  diagram of the volcanic rocks in Ulleung Island, showing the subdivision of the alkalic series into high-K, K and Na subseries (after Middlemost, 1975). Symbols are the same as in Fig. 2.

**Table 1.** Number and percentage of three relative content difference of K<sub>2</sub>O and Na<sub>2</sub>O from each rock type of the volcanic rocks of Ulleung Island.

Criteria	Basalts		Trachyandesites		Trachytes		Phonolites		Total	
	data	%	data	%	data	%	data	%	data	%
K <sub>2</sub> O>Na <sub>2</sub> O	2/13	15	7/20	35	72/139	52	0/9	0	81/181	45
K <sub>2</sub> O> (Na <sub>2</sub> O-1.5) <sup>a</sup>	6/13	46	19/20	95	130/139	94	1/9	10	156/181	86
K <sub>2</sub> O> (Na <sub>2</sub> O-2.0) <sup>b</sup>	6/13	46	19/20	95	138/139	99	3/9	33	166/181	92

a: Le Maitre (1984) and Zanettin (1984), b: Le Bas *et al.* (1986).



**Fig. 7.** K<sub>2</sub>O versus Na<sub>2</sub>O plot of the volcanic rocks in Ulleung Island, showing the subdivision of the alkalic series into K and Na subseries. The boundary line K<sub>2</sub>O/(Na<sub>2</sub>O-1.5) are designed from Le Maitre (1984) and Zanettin (1984), and K<sub>2</sub>O/(Na<sub>2</sub>O-2), Le Bas *et al.* (1986). Symbols are the same as in Fig. 2.

86%가 K 계열에 속하고 K<sub>2</sub>O>Na<sub>2</sub>O-2.0의 기준에 의하면 92%가 K 계열로 구분된다(그림 7).

일반적으로 맨틀의 부분용융으로 형성된 근원마그마에서 K와 Na는 정상 맨틀 광물의 특성상 불호정성 특징을 갖기 때문에 K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 비는 근원지에 대한 지시자의 역할을 할 수 있다. 또한 대부분의 알칼리 화산암류는 분별정출작용에 의해 분화되는 동안에도 어느 정도의 일정한 K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 비를 유지하기 때문에, 이는 알칼리 화산암류를 Na와 K 계열로 구분하는데 이용될 수 있다(Wilson, 1989).

화산암류의 계열은 다른 지역의 전형적인 알칼리 화산암류와의 경향성 비교를 통해 하와이 등과 같은 Na 계열과 고프와 같은 K 계열로 구분할 수도 있다(Macdonald and Katsura, 1964; Middlemost, 1975; Le Maitre, 1984; Zanettin, 1984; Le Bas *et al.*, 1986). 이들의 자료에 따르면 하와이(Macdonald and Katsura, 1964), 세인트헬레나(Baker, 1969), 헤브리드의 화산암류가 Na 계열에 속하고, 반면 고프(Le Roex, 1985)와

트리스탄다쿤하(Le Roex *et al.*, 1990)의 화산암류가 K 계열에 속한다.

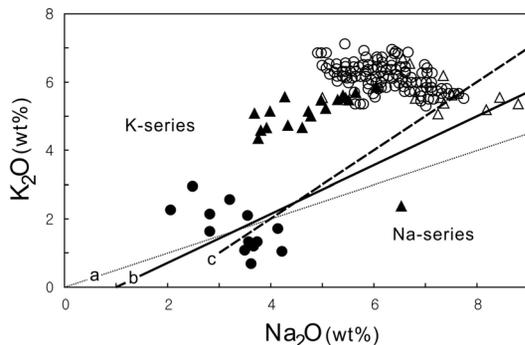
그림 8은 여러 연구자들이 제시한 K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 기준(Macdonald and Katsura, 1964; Middlemost, 1975; Le Bas *et al.*, 1986)에 울릉도 화산암류 시료를 적용한 것이다. 이들 전형적인 특징을 나타내는 알칼리 화산암류 지역은 각각의 기준에 따라 확연히 Na 계열과 K 계열로 구분된다. 그러나 이와 달리 울릉도 화산암류는 대부분 K 계열에 속하지만 각 기준에 따라 4~8%가 약간 다르게 나타난다(표 2). 즉 일부가 기준에 따라 정확히 구분할 수 없지만 Na 계열 영역으로 약간 중첩되는 양상을 나타낸다. 즉 울릉도 화산암류는 Macdonald and Katsura (1964)의 기준에 따르면 이 자료의 4%가 Na 계열에 속하고 Middlemost (1975)의 기준에 의하면 6%가 Na 계열로 구분되며 Le Bas *et al.* (1986)의 기준에 의하면 8%가 Na 계열의 영역에 도시된다(그림 8). 이 구분을 단순히 적용할 경우 울릉도 알칼리 화산암류가 서로 다른 두 계열의 마그마로부터 분출된 것으로 해석될 수도 있다. 그러나 이의 가능성은 아마 암석 기재 및 암석화학적 특징이 보고된 울릉도 화산암류에 대한 자료(Kim and Lee, 1983; Won and Lee, 1984, 1988; Kim, 1986; Yun, 1986; Song *et al.*, 1999)를 검토해 보았을 때, 이들 암류가 암석기재, 암석화학 및 동위원소적으로 모두 동원임을 암시한다. 그러나 K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 비의 기준에 따라 Na 계열 혹은 K 계열로 구분되기 때문에 앞으로 더 자세한 연구로 효과적인 구분법이 나온다면 더 검토할 소지를 남긴다.

K 계열의 분화된 암류에서는 특징적으로 준장석류인 백류석이 산출되는 것이 일반적이다(Hirokawa, 1980; Wilson, 1989). 그러나 전형적인 K 계열의 고프나 트리스탄다쿤하의 화산암에서도 백류석이 산출되지 않으며, 그 대신 고프에서는 주요 조암광물

**Table 2.** Number and percentage of three criteria according to  $K_2O/Na_2O$  ratio from each rock type of the volcanic rocks of Ulleung Island.

Criteria	Basalts		Trachyandesites		Trachytes		Phonolites		Total	
	data	%	data	%	data	%	data	%	data	%
$K_2O > 0.5Na_2O^a$	6/13	46	19/20	95	139/139	100	9/9	100	173/181	96
$K_2O > 5/7 (Na_2O-1)^b$	6/13	46	19/20	95	139/139	100	7/9	78	171/181	94
$K_2O > (Na_2O-2)^c$	6/13	46	19/20	95	138/139	99	3/9	33	166/181	92

a: Macdonald and Katsura (1964), b: Middlemost (1975), c: Le Bas *et al.* (1986).



**Fig. 8.**  $K_2O$  versus  $Na_2O$  plot of the volcanic rocks in Ulleung Island, showing the subdivision of the alkalic series into K and Na subseries. The boundary line are from (a) Macdonald and Katsura (1964), (b) Middlemost (1975), (c) Le Bas *et al.* (1986). Symbols are the same as in Fig. 2.

이외에 조면암에서 이지린-휘석(aegirine-augite)과 흑운모가, 트리스탄다쿤하에서는 테프리포노라이트(tepriphonolite)에서 하이인(hauyine)과 소다라이트(sodalite)가 보고된 바 있다(Le Roex, 1985; Le Roex *et al.*, 1990). 따라서 분화된 암석 내 준장석류의 존재와 종류를 근거로 K 계열이라고 단정하기도 곤란하다. 한편, 울릉도는 조면암류, 조면안산암류와 포놀라이트에서 흔히 알칼리장석과 칼슘타이트가 나타나며 백류석과 소달라이트가 극소량으로 기재된다(Hwang *et al.*, 2012).

결론적으로 여러  $K_2O$  및  $Na_2O$ 의 함량차이 혹은 다양한  $K_2O/Na_2O$  비의 기준을 이용한 암석계열의 구분법을 울릉도의 알칼리 화산암류에 적용시키면, 전형적인 지역의 알칼리 화산암류와 달리 K 계열이 우세하지만 Na 계열에 약간 중첩되는 전이적인 성격을 가지므로 이 구분법을 적용하여 암석계열을 세분하는 것이 적절하지 않다고 생각된다. 따라서 울릉도의 알칼리암류는 K 계열이라고 단정하기가 곤

란하다. 왜냐하면 알칼리암류의 계열에 대한 결론은 이의 성격 규정에 따라 암석명이 완전히 다르게 부여되기 때문이다.

## 5.2 암석분류

울릉도 화산암류는 그 분류 및 명명법으로 과거에 육안적 혹은 현미경 분류에 의해서 왔으며 최근에 와서 화산암의 분류에 흔히 이용되는 TAS 분류도가 사용되고 있다. 그러나 이 명명은 K 계열임을 전제한 것이므로 이미 위에서 언급된 바와 같이 울릉도 화산암류의 명명에 적합하지 않음을 밝힌다.

TAS 분류도 이외에 화산암류의 분류는 Cox *et al.* (1979)의 분류도를 적용할 수 있다. 하지만 이 분류도는 그들이 이미 인정한 바와 같이 조면안산암의 범위가 너무 넓어 TAS 분류도와 차이를 보일뿐만 아니라, 조면암으로 분류해야 하는 것들이 조면안산암으로 분류되는 등 혼란을 일으킬 소지가 있다.

TAS 분류도에서 알칼리 화산암류로 분류되는 암석명은 '현무암-조면현무암-현무암질 조면안산암-조면안산암-조면암'과 같은 원명(root name)으로 구분되었고, 이와 더불어 Na 혹은 K 계열에 따른 아원명(sub-root name)을 함께 추가하여 제시되었다(Le Maitre, 1984; Zanettin, 1984; Le Bas *et al.*, 1986; Le Maitre *et al.*, 1989, 2002). Na 계열은 '현무암-하와이아이트-뮤저라이트-벤모라이트-조면암'으로 붙여지고 K 계열은 '현무암-K조면현무암-쇼쇼나이트-라타이트-조면암'으로 사용된다.

지금까지 울릉도 화산암류는 K 계열로 구분되었고 한반도 다른 지역의 알칼리 화산암류와 암석계열이 다른 것으로 알려져 왔다(e.g., Kim and Lee, 1983; Won and Lee, 1984, 1988; Kim, 1985b; Lee and John, 1985; Song *et al.*, 1999). 그러나 지금까지 보고된 울릉도에 관한 연구 자료는 대부분 K 계열로 분류하고도 원명

을 이에 대한 아원명으로 사용하였을 뿐(Kim and Lee, 1983; Won and Lee, 1984), 대부분의 연구에서는 원명과 유사하거나 부합되는 암석명을 사용했던 것으로 여겨진다. 그렇지만 이미 밝힌 바와 같이 울릉도 알칼리 화산암류는 K 계열로 단정 지을 수 없는 전이적인 특징을 상당히 가지기 때문에, 앞으로 암석분류에 대한 혼란을 피하기 위해 원명을 그대로 암석명이나 층서명으로 사용하는 것이 합리적이라고 생각된다.

## 6. 결론

주원소 자료를 이용하여 울릉도 화산암류에 대한 암석계열과 암석분류를 검토한 결과는 다음과 같다.

- 1) 울릉도에서 현무암류는 Baragar (1971)의 알칼리 현무암 영역에 도시되는 동시에, Macdonald and Katsura (1964)와 Kuno (1968)의 기준에서도 알칼리 현무암 영역이 중첩되는 곳에 도시되기 때문에 모두 알칼리 현무암에 속한다.
- 2) 기타 화산암류는 TAS 분류도에서 조면안산암, 조면암과 포놀라이트 영역에 속하므로, 울릉도 화산암류는 모두 알칼리 화산암류로 분류된다.
- 3) 이 알칼리암류는 다른 전형적인 알칼리 화산도에서의 특징과는 달리  $K_2O$ 가 높은 Na과 K 계열의 중간에 해당하는 전이적인 성격을 지니므로 이에 부여되는 아원명을 따르기가 곤란하다. 따라서 울릉도 화산암류에서 암석명 부여는 IUGS로부터 추천된 TAS 분류도의 '현무암-현무암질 조면안산암-조면안산암-조면암'의 원명에 따를 것을 제안한다.

## 사 사

이 논문은 한국지질자원연구원 도폭지질조사사업의 수행과정에서 얻어진 자료를 바탕으로 연구되었다. 논문 심사에서 유익한 조언을 해준 부산대 윤성효 교수, 익명의 심사위원과 편집위원장께 감사를 드린다. 그림 제작은 안동대 대학원 최장오와 서승환 군의 도움으로 이루어졌다.

## REFERENCES

Baker, I., 1969, Petrology of the volcanic rocks of Saint

Helena Island, South Atlantic. Geological Society of American Bulletin, 80, 1283-1310.

Carrie, K.L., 1976, The alkaline rocks of Canada. Geological Survey of Canada Bulletin, 239 p.

Cox, K.G., Bell, J.D. and Pankhurst, R.J., 1979, The interpretation of igneous rocks. London, Allen & Unwin, 450 p.

Green, D.H. and Ringwood, A.E., 1967, The genesis of basaltic magmas. Contribution to Mineralogy and Petrology, 15, 103-190.

Harumoto, A., 1970, Volcanic rocks and associated rocks of Utsuryoto island. Nippon Printing and Publishing Co., 39 p.

Hirokawa, O., 1980, Introduction to description of volcanoes and volcanic rocks. Mineral Technology Development Centre, Bandung, Indonesia, 132 p.

Hwang, S.K., Hwang, J.H. and Kwon, C.W., 2012, Geological report of the Ulleung Sheet. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 84 p.

Hyndman, D.W., 1985, Petrology of igneous and metamorphic rocks. 2nd ed., McGraw-Hill, 786 p.

Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A., 1971, A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences, 8, 523-548.

Kim, K.H., Tanaka, T., Nagao, K. and Jang, S.K., 1999, Nd and Sr isotopes and K-Ar ages of the Ulreungdo alkali volcanic rocks in the East Sea, South Korea. Geochemical Journal, 33, 317-341.

Kim, Y.K., 1985a, Petrology of Ulreung volcanic island, Korea-part 1, Geology. Journal of Japanese Association of Mineralogists, Petrologists and Economic Geologists, 80, 128-135 (in Japanese with English abstract).

Kim, Y.K., 1985b, Petrology of Ulreung volcanic island, Korea-part 2, Petrography and bulk chemical composition. Journal of Japanese Association of Mineralogists, Petrologists and Economic Geologists, 80, 292-303 (in Japanese with English abstract).

Kim, Y.K., 1986, Magmatic differentiation in the volcanic rocks from Ulreung Island, Korea. Journal of Japanese Association of Mineralogists, Petrologists and Economic Geologists, 81, 165-180 (in Japanese with English abstract).

Kim, Y.K. and Lee, D.S., 1983, Petrology of alkali volcanic rocks in northern part of Ulreung Island. Journal of Korean Institute of Mining Geology, 16, 319-336 (in Korean with English abstract).

Kuno, H., 1959, Origin of Cenozoic petrographic provinces of Japan and surrounding areas. Bulletin of Volcanology, 20, 37-76.

Kuno, H., 1968, Differentiation of basalt magma. in H.H. Hess and A. Poldervaart (eds.), Basalts, Wiley, New

- York, v. 2, 623-689.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A. and Zanettin, B., 1986, A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27, 745-750.
- Lee, M.S. and John Y.W., 1985, Study on the Quaternary volcanics and their tectonic environments of southern Korea. *Journal of Geological Society of Korea*, 21, 260-280 (in Korean with English abstract).
- Le Maitre, R.W., 1984, A proposal by the IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks for a chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali silica (TAS) diagram. *American Journal of Earth Sciences*, 31, 243-255.
- Le Maitre, R.W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre, M., Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Woolley, A.R. and Zanettin, B., 1989, A classification of igneous rocks and glossary of terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 193 p.
- Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M.J., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lameyre, J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H. and Woolley, A.R., 2002, *Igneous rocks: A Classification and Glossary of Terms*. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. Cambridge University Press, 236 p.
- Le Roex, A.P., 1985, Geochemistry, mineralogy and magmatic evolution of the basaltic and trachytic lavas from Gough Island, South Atlantic. *Journal of Petrology*, 26, 149-186.
- Le Roex, A.P., Cliff, R.A. and Adair, B.J.I., 1990, Tristan da Cunha, South Atlantic: Geochemistry and petrogenesis of basanite-phonolite lava series. *Journal of Petrology*, 31, 779-812.
- Lim, J.H., 2011, The volcanology and petrology of the pumices in Ulleung Island, Korea. Master thesis, Graduate School, Kyungpook National University. 52 p (in Korean with English abstract).
- Macdonald, G.A. and Katsura, T., 1964, Chemical composition of Hawaiian lavas. *Journal of Petrology*, 5, 82-133.
- Middlemost, E.A.K., 1975, The basalt clan. *Earth Science Reviews*, 11, 337-364.
- Min, K.D., Kim, O.J., Yun, S., Lee, D.S. and Kim, K.H., 1988, Applicability of plate tectonics to the post-Late Cretaceous igneous activity and mineralization in the southern part of South Korea (II). *Journal of Geological Society of Korea*, 24, 11-40 (in Korean with English abstract).
- Rickwood, P.C., 1989, Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements. *Lithos* 22, 247-263.
- Rollinson, H.R., 1993, *Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation*. Longman Scientific & Technical, England, 352 p.
- Song, Y.-S., Park, K.-H. and Park, M.-E., 1999, Major, rare-earth and trace geochemistry of Ulleungdo volcanic rocks. *Journal of Petrological Society of Korea*, 8, 57-70 (in Korean with English abstract).
- Song, Y.-S., Park, M.-E. and Park, K.-H., 2006, Ages and evolutions of the volcanic rocks from Ulleung-do and Dok-do. *Journal of Petrological Society of Korea*, 15, 72-80 (in Korean with English abstract).
- Tsuboi, S., 1920, On the leucite rock, vulsinitic vicoite from Utsuryoto island in the Sea of Japan. *Journal of Geological Society of Tokyo*, 27, 91-104.
- Won, C.K. and Lee, M.W., 1984, The volcanism and petrology of alkali volcanic rocks, Ulrung Island. *Journal of Geological Society of Korea*, 20, 296-305 (in Korean with English abstract).
- Won, C.K. and Lee, M.W., 1988, The study on petrology for the Quaternary alkali volcanic rocks of the Korean Peninsula. *Journal of Geological Society of Korea*, 24, 181-193 (in Korean with English abstract).
- Wilson, M., 1989, *Igneous petrogenesis*. Unwin Hyman, London, 466 p.
- Yoder, H.S. and Tilley, C.E., 1962, Origin of basaltic magmas: an experimental study of natural and synthetic rock systems. *Journal of Petrology*, 3, 342-532.
- Yun, H.D., 1986, The geochemical characteristic and origin of alkaline magmas in the Ulrung Island, Korea. Doctoral dissertation, Graduate School, Seoul National University (in Korean with English abstract).
- Zanettin, B., 1984, Proposed new chemical classification of volcanic rocks. *Episodes*, 7, 19-20.

---

투 고 일 : 2013년 12월 26일

심 사 일 : 2013년 12월 27일

심사완료일 : 2014년 2월 7일