울릉도 국수바위 주상절리의 형성과정과 자연유산적인 가치

우현동 · 박진수 · 오한솔 · 장윤득*

경북대학교 지질학과

Forming processes and the Value of the Natural Heritage of the Guksubawi in Ulleung Island, Korea

Hyeon Dong Woo, Jin Soo Park, Han Sol Oh, and Yun Deuk Jang*

Department of Geology, Kyungpook National University, Daegu, 702-701, Korea

요 약: 울릉도 서면의 비파산에는 마치 국수가락과 같은 독특한 외관을 가진 조면암절 단애가 위치하고 있다. 이 단애는 외관상의 특징에 의해 국수바위라 명명되었으며 북쪽을 제외한 삼면에 단애가 발달하고 있고 각 면에서 아수직 방향의 주상절리를 뚜렷하게 보여주고 있다. 이 주상절리는 노출된 방향에 따라 형태 및 광물학적으로 상이한 특징을 보이고 있으며 이 경향은 동쪽 면과 서쪽면의 대조에서 두드러진다. 본문에서는 양 측면에 노출된 주상절리의 대조를 바탕으로 용암의 분출 이 후의 냉각과정에 대해 고찰하였다. 형태학적인 측면에서 동쪽 면은 서쪽 면에 비해 주상절리와 끝 구조의 간격이 좁고 절리면이 비교적 뚜렷하게 발달하고 있다. 그리고 광물학적인 측면에서 서쪽 면의 조면암은 동쪽 면에 비해 반정이 크고 취반상조직을 보이며 라쓰상의 사장석에 의한 트라카이트조직이 미약하다. 이러한 차이점을 중심으로 하여 고온의 암체가 냉각될 때 보이는 전형적인 온도구배를 모델링하였으며, 그 결과 동쪽 면은 서쪽 면에 비해 암체의 바깥쪽에 해당하였을 것이라는 추론에 부합하였다. 국수바위의 주상절리는 경관적인 가치와 함께 조면암절 용암에서 발달하는 주상절리의 형성과정에 대한 학술적인 중요성으로 자연유산적인 보전가치가 높은 것으로 판단된다.

핵심어: 냉각, 주상절리, 끝 구조, 온도구배, 자연유산

Abstract: Trachytic cliff showing a unique appearance like noodle is located in the Mt. Bipa, Seo-myeon, Ulleung island. This cliff is named 'Guksubawi'(means noodle-like rock) by its appearance. There is cliffs on three sides except north side and each side shows semi-vertical columnar joints obviously. This columnar joint has different character in appearance and mineralogy according to their direction and this tendency is remarkable in contrast between the east side and the west side. The consideration of the cooling processes after eruption of trachytic lava based on the contrast of both columnar joints dealt in the full text. In the morphological approach, the columnar joint on the east side has narrower space and chisel-like marks than the west side. And the joint walls are sharper on the east side than west side too. In the mineralogical approach, then, trachyte on the west side has bigger phenocrysts than the east side and is showing glomeroporphyritic texture and weak trachytic textures of lath of plagioclase. Around these differences between the east side and the west side, it modelled the typical temperature gradient while the cooling processes of hot rocks and the east side, consequently, corresponds to exterior of the entire trachytic volume. The columnar joint of the Guksubawi has the value of landscape and scientific importance about the forming processes of the columnar joint of trachytic lava, and so supposed it has enough values to preserved as natural heritage.

Key words: Cooling, Columnar joint, Chisel-like mark, Temperature gradient, Natural heritage

*Corresponding author
Tel: 053-950-5358
E-mail: jangyd@knu.ac.kr

서 언

가족단위의 교육중심 관광의 비중이 높아지고 있는 오늘날, 환경보호, 경제적 효과와 더불어 교육적 요구 또한 충족시킬 수 있는 지질관광(geotourism)의 필요성이 대두되고 있다. 지질관광은 지금까지의 구경에 그쳐왔던 관광과 달리 자연유산에 대한 과학, 역사, 문화 등의 여러 방면으로부터의 다양한 자극을 통하여 지식적으로 배우고 수준 높은 즐거움을 얻을 수 있도록 하는 진보된 개념의 관광이다.

울릉도 울릉읍 서면의 비파산에 위치하고 있는 국수바위는 퇴적물 위로 드러난 부분을 기준으로 높이 약 30 m, 길이 약 270 m에 달하는 조면암질 단애이다. 아수직 방향의 주상절리가 바위의 동·서쪽 양면에서 잘 발달하고 있으며 특히 동쪽 면에서 관찰할 수 있는 하늘로 곧게 뻗은 주상절리가 마치 젓가락으로 집어올린 국수의 모습과 같다고 하여 국수바위라 불리게 되었다.

국수바위는 주상절리의 형성원리와 환경, 나아가서 울릉도를 이루는 조면암질 용암의 분출과 이동, 냉각과 침식과정에 대한 많은 정보들을 담고 있다는 점에서 학술적인 가치가 크다. 또한 이와 더불어, 국내에서 주상절리가 가장 뚜렷하게 발달한 장소 중 하나이며 빼어난 경관을 지니고 있다는 점에서 우수한 지질관광의 명소(geosite)로 개발될 가치가 있다.

지질개요

울릉도는 해수면 하의 약 2,000 m에 달하는 화산체를 고려하면 전체높이가 약 3,000 m에 이르는 동해의 울릉분지 북쪽에 위치한 화산섬이다. 해수면 위로 노출된 가장 높은 봉우리는 나리분지 외륜부에 해당하는 해발 984 m의 성인봉이며, 전체적으로 나리칼데라 내에 알봉이 솟은 2중 화산의 형태를 지닌다. 접근성의 문제로 인해 해수면 아래의 화산체에 대해서는 아직 연구가 진행되지 않았으며 현재까지 연구된 연대 및 층서자료들은 조사 가능한 지역에 한하여 진행되었다. 울릉도의 화산활동은 신생대 제4기 플라이스토세에서 홀로세까지 일어났으며(Min *et al.*, 1988; Kim *et al.*, 1999), 가장 최근의 활동은 9,300 내지 6,300 BP로 보고되었다(Arai *et al.*, 1981; Machida *et al.*, 1984). 신생대 제4기부터 진행된 울릉도의 화산활동은 암질과 구조 및 조직에 따라 크게 5기로 구분된다(Kim and Lee, 1983; Won and Lee, 1984; Min *et al.*, 1988). 제 1활동기는 현무암질 집괴암과 용암 및 응회암의 분출기이며 제 2활동기는 조면암질 집괴암과 응회암의 분출기로서 전기 화산퇴적층을 피복하고 있다. 제 3활동기에는 울릉도 북부의 조면암류가 분출하였으며 제 4활동기는 다량의 조면암 및 포놀라이트를 형성시킨 시기이며 이들이 울릉도의 주 골격을 이룬다. 제 5활동기는 매우 폭발적인 화산활동

Fig. 1. Geological map of the study area located in the southwestern part of the island with locations of sampling.

동에 의해 부석 등의 화산쇄설물들을 분출시킨 시기이며 현재 나리칼데라 및 죽도 등의 상부를 피복하고 있고, 이들의 흔적은 동해는 물론 일본 남부에서도 발견된다(Im *et al.*, 2011).

국수바위는 가장 많은 화산퇴적층을 형성한 제 4회동기의 하부 조면암에 해당한다. 본도의 거의 전역에 걸쳐 분포하는 이 조면암은 화학적 풍화작용에 강하고 절리가 잘 발달하고 있는 것이 특징이며 흔히 반상조식을 포함한다(Kim and Lee, 2008). 연대는 0.73-0.60 Ma(Min *et al.*, 1988) 또는 1.57 ± 0.25 Ma(Kim *et al.*, 1999)로 알려져 있다. 국수바위의 하부에서는 현무암질 집괴암과 부정합적인 경계를 이루고 있으며 상부층은 삭박되어 존재하지 않는다. 주상도상에 표기된 본 조면암의 상부층은 주로 울릉도의 스택(stack) 지형을 이루는 포놀라이트에 해당한다.

야외지재

국수바위(Fig. 2)는 울릉도 남부 해안과 인접한 남북방향의 계곡을 따라 형성되어 있으며 전체적으로 로브(lobe)의 형태를 가진다. 그리고 상부는 식생으로 피복되어있고 북쪽을 제외한 삼면에서 암체가 노출되어 있으며 노출된 부분에서 주상절리가 잘 발달하고 있다.

주상절리는 일반적으로 화산암이나 응회암과 같이 고온에서 급랭하여 형성되는 암석에서 주로 발달하는 구조이며 냉각에 수반한 수축에 기인한다. 고온의 용

암이 냉각되면 그에 따른 부피의 감소가 일어나게 되는데, 이러한 부피의 감소는 냉각 속도가 빨라지면, 즉 수축 속도가 빨라지면 전체 체적에 대한 수축이 미처 일어나지 못하고 부분적인 단위에 대한 수축들이 일어나게 된다. 그런데 이러한 수축은 단위면적당 둘레가 가장 작은 원형으로 일어나게 되며 이렇게 수축한 각 단위들은 기본적으로는 원에 가장 가까우면서 2차원 평면을 채울 수 있는 육각형의 형태로 주로 발달하게 된다. 냉각면 상에 2차원적으로 형성된 다각형들은 3차원적으로는 냉각면에 수직한 방향으로 연장되어 나타나며 야외에서 관찰했을 때 그 형태가 기둥과 유사하다고 하여 주상절리라 부른다. 고온의 용암에서 일어나는 위와 같은 과정들은 전분의 냉각실험을 통해서도 밝혀진 바 있다(Goehring, 2003).

고온의 용암이 흐르는 동안 냉각은 여러 방향에서 이루어질 수 있다. 일반적으로 용암의 냉각면은 상부(공기 또는 물)와 하부(지표면)에 형성이 되는데 상부에서부터 하향으로 형성되는 주상절리군을 상부 칼리네이드(upper colonnade), 하부에서부터 상향으로 형성되는 주상절리군을 하부 칼리네이드(lower colonnade)라 부른다. 또한 상부와 하부에서 동시에 용암체의 중심부를 향해 주상절리가 형성이 되면 이 두 절리군이 서로 마주치는 영역이 생겨난다. 그래서 이 영역에서는 두 절리군이 서로 뒤엉켜 발달하게 된다. 또한 암체의 중심부에 해당하므로 상부 및 하부에 비해 냉각속도가 느리게 된다. 이 때문에 절리의 발달이 뚜렷하지 않은 부분이 존재하는데, 이를 엔테블러췌(entablature)라 부른다.

한편, 용암의 수축으로 주상절리가 발달할 때 절리는 암체의 외부에서부터 형성되어 내부로 전파되게 된다. 이 때 암체 외부와 내부의 냉각정도가 다르기 때문에 절리면의 전파가 한 번에 이루어지기는 어렵다. 따라서 절리면은 냉각면에서부터 내부로 진행되는 일련의 단속적인 전파에 의해 형성된다(DeGraff and Aydin, 1987). 이는 각 기둥에 해당하는 절리면의 약간의 굴절을 야기시키는데 이로 인해 형성되는 구조가 끌 구조(chisel-like mark)이다(Goehring *et al.*, 2009).

국수바위를 이루는 암석은 어두운 회색 내지는 청회색을 띠며 최대 장경 5 mm에 달하는 백색의 장석 반정과 장경 1 mm내외의 감람석 반정을 보인다. 절리대에서의 기공은 관찰되지 않으며 염풍화에 의한

Fig. 2. Geometry of columnar joints on the cliff of the Guksubawi on the east. Note the junction of the entablature(irregular part) and lower colonnade(systematic part) columnar zones.

Fig. 3. Columnar jointing at the Guksubawi. Jointing characters are form a contrast with south(a)-, west(b, d)- and east(c, e)-side.

타포니가 국수바위의 서쪽 면에서 관찰된다. 동쪽 면과 서쪽 면 모두에서 공통적으로 하부 칼러네이드와 엔테블러취는 잘 발달하고 있지만 상부 칼러네이드는 관찰되지 않는다.

국수바위에서 나타나는 주상절리는 동쪽 면과 서쪽 면에서 다소 차이를 보인다(Fig. 3). 국수바위의 동쪽 면에서는 주상절리가 5 내지 10°가량 남쪽으로 기울어져 있고 각각의 절리 기둥의 지름은 평균 약 50 내지 60 cm로 비교적 조밀하게 나타난다. 또한 끝 구조도 아수직으로 발달한 주상절리에 수직으로 즉, 지

표면과 평행하게 뚜렷하고 조밀한 간격으로 발달하고 있다. 국수바위의 서쪽 면에서도 주상절리가 5 내지 10°가량 남쪽으로 기울어져 있으며 각각의 절리 기둥의 지름은 1 m내외로 동쪽 면에 비해 큰 경향을 보인다. 반면 끝 구조는 뚜렷하게 나타나지 않으며 동쪽 면에 비해 절리의 간격이 넓다.

남쪽 즉, 해안 방향에서 바라본 국수바위는 서쪽으로 20°가량 기울어있으며 하부로 갈수록 절리의 방향이 동쪽으로 휘어지면서 경사가 완만해져서 기저부에서는 45° 내외의 경사를 가진다.

암석 및 광물학

주원소 분석결과 국수바위는 조면암 내지는 포놀라이트질 조면암(Fig. 4)으로 구성되어 있으며 장석 반정이 잘 나타나고 있어서 노출된 단면부 또는 전석에서 육안으로도 확인이 가능하다. 바위의 신선한 파단면에서 암회색 내지는 청회색을 띠고 있으며 암질이 매우 치밀하다.

편광현미경을 이용한 국수바위의 동쪽 면과 서쪽

Fig. 4. TAS diagram.

면의 시편에 대한 관찰은 국수바위의 형성에 관한 중요한 정보들을 제공한다. 먼저 국수바위의 동쪽 면에서는 전체적인 반정의 함량이 낮고, 장석 반정의 크기가 비교적 작으며 반정의 외곽부에서는 용식구조가 보인다. 반면 감람석의 반정은 비교적 크고 육각형의 자형으로 나타난 반정도 흔히 관찰된다. 기질부는 라쓰(lath)상의 사장석들이 미약한 트라카이트(trachytic) 조직을 보이며 배열되어 있고 불투명광물이 다수 포함되어 있다. 한편, 국수바위의 서쪽 면에서는 전체적인 반정의 함량이 많고 특히 장석 반정이 최고 장경 약 5 mm 정도로 크게 형성되어 있으며 반정들이 서로 모여 있는 취반상 조직도 흔히 관찰된다. 감람석 반정들도 포함되어 있기는 하지만 비교적 크기가 작고 함량 또한 많지 않다. 기질부는 세립의 라쓰상의 사장석들이 뚜렷한 트라카이트 조직을 보이며 배열되어 있다(Fig. 5).

토 의

상부 칼라네이드와 엔테블러취, 하부 칼라네이드로 크게 삼분되는 수직 주상절리의 기본적인 구조를 고려하면 국수바위는 과거의 온전한 모습을 지니고 있는 것은 아닐 것이라 판단된다. 여기에서는 국수바위의 동쪽 면과 서쪽 면의 차이를 중심으로 하여 조면

Fig. 5. Microphotographs of the trachyte on the Guksubawi. The trachyte in the west-side(a, c) has smaller phenocryst of plagioclase with much obvious flow alignment of laths of plagioclase than the east-side(b, d).

암질 용암체의 냉각과정에 대해 분석하고 이를 국수 바위에 적용하여 절리구조의 패턴과 광물학적 접근을 근거로 한 냉각 직후의 국수바위 형성과정에 대해 고찰하고자 한다.

주상절리는 고온의 용암이 빠르게 냉각되면서 수반되는 수축에 기인한다. 이 때 냉각속도가 빠를수록 수축에 주어지는 시간이 줄어들게 되므로 절리의 간격(또는 기둥의 지름)은 조밀해진다. 그리고 끝 구조 또한 같은 이유로 동일한 경향을 가진다.

조면암질 용암은 현무암과 달리 높은 점성에 의해 일반적으로 납작한 력비공과 유사한 형태로 발달하게 된다. 고온의 용암이 지표에서 냉각되는 동안 모암과 용암의 온도구배는 일반적으로 Fig. 6과 같이 형성된다(Philpotts, 1990). Fig. 6에서 가로축은 모암과 용암을 가로지르는 선이며 세로축은 위치별 온도이다. $X=0$ 인 지점을 기준으로 좌측은 모암, 우측은 용암에 해당하며 X_s 지점은 용암의 온도가 충분히 하강하여 (T_s) 취성을 가지기 시작하는 가상의 위치이다. 용암이 모암과 접촉하는 초기에는 경계부에서 온도분포가 단속적이고 고화대는 형성되지 않으며 시간이 지남에 따라 Fig. 6과 같은 온도분포를 보이게 된다. 주상절리는 용암의 냉각에 수반되는 수축에 기인하고 있으며 수축이 빠르게 일어난다고 해도 암체가 취성을 충분히 가질 온도에 이르지 못하면 절리가 형성될 수가 없다. 즉, 주상절리는 용암이 취성을 가지는 영역에서

Fig. 6. A diagram showing the temperature gradient of a boundary between the country rock and the igneous body(after Philpotts, 1993). The temperature gradient is the result of the equilibrium on the outer boundary of the lava with country rock. The solidification zone is formed between solid rock(where $X=0$) and molten zone(above X_s) and it ranges from T_c to T_s in temperature. The boundary point forming joints between ductile zone and brittle zone falls into solidification zone.

온도의 하강에 따른 수축에 의해 형성된다. 따라서 주상절리의 형성은 용암체의 연변부 즉, Fig 6에서의 고화대(solidification zone) 영역에서 이루어질 것이라 예상할 수 있다(DeGraff and Aydin, 1993; Dance *et al.*, 2000).

고온 및 저온의 물질이 서로 접촉하였을 때 형성되는 온도 구배는 최초에는 단속적인 선으로 나타나다가 시간이 지남에 따라 두 물질 간의 열전도에 의해 기울기가 낮아진다는 것은 이제 일반적인 사실이 되었으며 여러 실험(Porter and Easterling, 1981)들을 통하여서도 증명되었다. 또한 고온의 용융체와 저온의 고체 간의 접촉부에서 용융체의 고체화가 진행되는 영역에 관하여 다음과 같은 식(Carslaw and Jaeger, 1959)이 제안되었다.

$$X_s = 2\lambda\sqrt{k_s t}$$

X_s = solidification zone

λ = dimensionless constant(Philpotts, 1990)

k_s = thermal diffusivity

t = time

이 고화대의 영역은 시간의 제공근에 비례하는 관계를 가지며, 시간이 지남에 따라 고화대의 영역이 점차 넓어짐을 알 수 있다.

용암이 분출하여 정지된 이 후 시간이 지남에 따라 용암의 온도는 하강하고 접촉부에 해당하는 모암의 온도는 상승한다는 일반적인 사실과 더불어 이를 다음(Fig. 7)과 같은 정성적인 그래프로 표현해보았다. 일반적인 조면암질 용암에서 고화대(X_s)가 형성되는 온도의 범위를 T 라고 할 때, 마그마의 분출 초기(t_1)에는 아직 충분한 열 에너지의 이동이 일어나지 않았으므로 온도 구배가 크고 고화대는 좁은 영역에 형성된다. 그리고 시간이 지나면서(t_2, t_3) 온도 구배가 점차 낮아지면 고화대의 영역도 계속해서 넓어지게 된다. 충분한 시간이 흐르면 평형온도에 도달하면서 온도 구배가 0으로 수렴하게 될 것이다.

t_1 에서부터 t_3 로 시간이 경과하면서 미소 위치의 변화에 따른 온도의 변화 폭이 작아지는 것을 볼 수 있다. 인접한 영역에서의 온도의 차이가 클수록 교환되는 열에너지의 양이 많아지게 되고 온도의 하강에 의한 수축도 빠르게 일어난다. 그러므로 고화대의 영역에서 냉각이 진행될 때 t_1 에서는 빠른 수축이, t_3 에서는 비교적 느린 수축이 일어난다.

Fig. 7. The graphs showing that the solidification zone is getting wider with time. In close system, two boundary temperatures of solidification zone are fixed (ΔT). The solidification zone is getting wider with the decreasing temperature gradient, as lava cool.

조면암질 용암의 분출이 일어났을 때 암체 내에서 위치에 따른 온도 구배가 어떻게 형성되는지를 Fig. 7에서 고찰한 내용을 바탕으로 나타내보았다(Fig. 8). 용암이 분출하였을 당시의 온도는 암체의 가장자리로부터 점차 낮아지게 되는데 이 때 암체의 중심부에는 미처 냉각의 영향을 받지 못하는 구간이 형성된다. 이 구간은 암체 단면의 수평적인 온도 구배 그래프에서 기울기가 0인 구간으로 표현되며 t_1 에서부터 t_3 로 시간이 경과하면서 냉각의 영향으로 점차 좁혀지게 된다. 또한 시간이 경과함에 따라 고화대의 범위가 넓어지면서 암체의 내부 방향으로 이동하는 것을 볼 수 있는데, 이 때 t_1 의 고화대에 의해 형성된 주상절리는 큰 온도 구배로 인해 조밀하게 형성되었고 t_3 의 고화대에 의해 형성된 주상절리는 비교적 낮은 온도 구배에 의해 넓은 간격으로 발달하였을 것이다.

지표 또는 대기와 고온의 용암의 접촉면에서부터

내부로 냉각이 진행되면서 온도 구배가 시간에 따라 변화하게 된다. 온도 구배의 변화는 용암의 내부와 외부의 냉각환경의 차이를 발생시키며 이로 인해 주상절리의 패턴이 위치별로 다르게 나타난다. 국수바위의 경우 암체의 동쪽 면에서 나타나는 주상절리는 용암의 냉각 초기에 형성되어서 높은 온도구배에 따른 급격한 수축에 의해 조밀하게 발달하고 있는 반면, 암체의 서쪽 면에서 관찰되는 주상절리는 비교적 냉각 후기에 발달하였으며 따라서 상대적으로 넓은 간격으로 발달하고 있다.

주상절리대가 가지는 기본 구조를 토대로 국수바위의 동쪽 면과 서쪽 면에서 보이는 용암의 냉각과 흐름에 있어서의 차이점을 고찰하여 보면, 이와 같은 결과들은 절리의 간격이 넓고 광물들이 비교적 크며 뚜렷한 트라카이트 조직을 보이는 국수바위의 서쪽 면이 기존에 존재했던 조면암질 암체의 중심부에 해당하였으며 따라서 동쪽 면은 로브상의 조면암질 암체의 가장자리였음에 부합한다. 조면암질 마그마가 분출하여 계곡을 따라 경사방향으로 이동하였으며 지표면과 대기에 의해 용암이 냉각되면서 냉각면에 수직인 방향으로 절리를 형성하였을 것이다. 이 때 용암류의 기저부에서는 전단력에 의해 냉각절리가 흐름 방향 즉, 남쪽으로 경사지며 만곡되었고 국수바위의 남쪽 면에서 절리의 방향이 휘어진 것은 냉각면이 사면을 이루고 있는 계곡의 가장자리에 해당하였기 때문이다.

한편 광물학적인 측면에서 국수바위의 양 측면을 비교해보면, 반정광물의 크기나 함량이 동쪽 면에서 보다 서쪽 면에서 더 높게 나타난다. 이는 용암의 내부와 가장자리 간의 유체 속도가 차이를 보였고, 베르누이의 원리에 따른 양력이 작용하여 분급이 일어나 부피가 큰 입자가 유체의 중심부로 모였기 때문이라 생각된다. 또한 대표적인 흐름조직인 사장석의 트라카이트 조직은 동쪽 면에서는 미약한 반면 서쪽 면에서는 뚜렷하게 관찰된다. 따라서 국수바위를 이루는 반정광물의 크기분포와 기질을 이루는 사장석의 배열에서 보이는 양 측면의 차이는 용암이 흐름 당시, 암체의 동쪽 면에서보다 서쪽 면의 유동성이 더 높았음을 의미한다. 일반적으로 유체의 중심부가 가장 속도가 빠르고 온도가 높으며 점성이 낮으므로 위와 같은 광물학적인 차이점들 또한 국수바위의 서쪽 면이 암체의 중심부에 해당하였음을 설명해준다.

이 후 시간이 흐름에 따라 절리에 규제된 낙반 등

Fig. 8. Formation model of the Guksubawi with columnar joint(cooling joint). (a) Erupted trachytic lava forms the lobe-shaped body. There are numerous columnar joints having curvatures owing to cooling direction with topograph in the rock body. (b) Upper drawing is the cross section of the lobe-shaped body(a) and lower graphs are the temperature gradients along the horizontal locations of lava. At the outer part of the lava, B, the columnar joints were made by dotted line of lower temperature gradient. Likewise the columnar joints at the inner part of the lava, A, were formed by solid line of higher temperature gradient and dashed line is intermediate. Other parts of the rocks have been eroded away over time except the shaded part. The curvature of the columnar joints on the south-side of the Guksubawi corresponds with the joint pattern according to paleotopography as shown in the shaded part(present rock). (c) Due to erosion and weathering over geologic time, there is no upper colonnade left and only the entablature and the lower colonnade are presented.

에 의한 침식을 거치면서 절리가 뚜렷하게 발달한 상부 칼러네이드는 삭박되었으며 비교적 절리가 뚜렷하지 않은 엔테블러치가 지붕의 역할을 하며 하부 칼러네이드가 보존되어 현재에 이르렀을 것이다(Fig. 8).

지질명소로서 자연유산은 경관적인 미적 가치와 더불어 학술 및 교육적 가치도 요구한다. 국수바위는 사면을 따라 로브형으로 발달한 형태에서 조면암질 화산암의 전형적인 분출양상을 보여주고 있으며 삼면에 노출된 단면에서 냉각시기와 위치에 따른 주상절리의 형성에 관한 다양한 정보들을 제공하고 있다. 따라서 국수바위는 이미 널리 알려진 외관상의 아름다움과 동시에 학술적인 정보와 이를 교육적으로 활용하기 위한 제반환경을 두루 갖추고 있는 자연유산이라 판단되며 지질명소로서의 가치도 높이 평가된다.

요약 및 결론

울릉도 남부해안에 위치한 국수바위는 남북 방향으로 약 300 m 연장된, 높이 약 50 m의 반정질 조면암체이며 북쪽을 제외한 삼면에 주상절리가 잘 발달하고 있다. 국수바위의 삼면을 둘러싼 주상절리는 미

관상의 아름다움과 더불어 과거 용암의 냉각사에 대한 정보를 담고 있다는 점에서 교육적 및 학술적인 가치가 크다.

국수바위에서는 암체의 전반에서 상부 칼러네이드가 관찰되지 않으며 노출된 면에서 주상절리와 끝 구조는 동쪽 면에 비해 서쪽 면에서 더 넓은 간격으로 나타난다. 이는 고온의 용암이 냉각될 당시의 시간 및 공간적인 온도 구배를 고려하여 볼 때, 동쪽 면에 발달하고 있는 주상절리는 초기 냉각작용에 의한 냉각의 영향으로 이루어졌으며 서쪽 면의 주상절리는 비교적 후기 냉각작용에 의한 냉각에 의해 형성되었음을 인지할 수 있었다. 초기 냉각작용은 암체의 바깥쪽에서, 후기 냉각작용은 암체의 중심부에서 일어난다는 사실을 적용하면 동쪽 면이 최초 암체의 가장 자리에 해당하였으며 서쪽 면은 비교적 암체의 내부였다는 사실을 지시한다.

현미경관찰 결과 반정을 이루는 입자의 크기가 동쪽 면에 비해 서쪽 면이 더 크며 트라카이트 조직도 서쪽에서 더 뚜렷하게 나타난다. 이는 서쪽 면에서의 용암의 흐름이 더 빨랐음을 의미하며 형태학적인 연구결과와도 부합한다.

국수바위는 조면암질 화산작용과 냉각 간 주상절리의 형성에 대한 다양한 정보들을 담고 있으며, 지질 명소로서의 수려한 경관과 학술 및 교육적 가치를 충분히 지닌 자연유산이라 판단된다.

사 사

연구를 지도해주시고 관련 자료들을 제공해주신 추창오 박사님께 감사드립니다. 이 논문은 2012년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었다.

참고문헌

- Arai, F., Oba, T., Kitazato, H., Horibe, Y. and Machida, H., 1981, Late Quaternary tephrochronology and paleo-oceanography of the sediments of the Japan Sea. The Quaternary Research, 20, 209-230.
- Carslaw, H.S. and Jaeger, J.C., 1959, Conduction of Heat in Solids, 2nd edition. Oxford University Press, Inc., New York, p. 510.
- Dance, M., Hancock, P.L., Sparks, R.S.J. and Wallman, A., 2000, Fracture and surface crust development in a Holocene pahoehoe lava flow on the Island of Tenerife, Canaries. Journal of Structural Geology, 23, 165-182.
- DeGraff, J.M. and Aydin, A., 1987, Surface morphology of columnar joints and its significance to mechanics and direction of joint growth. Geological Society of America Bulletin, 99, 605-617.
- DeGraff, J.M., Aydin, A., 1993, Effect of thermal regime on growth increment and spacing of contraction joints in basaltic lava. Journal of Geophysical Research, 98, 6411-6430.
- Goehring, L., 2003, A Study of 3D Crack Patterns and Columnar Jointing in Corn Starch. Ph.D. dissertation, Toronto University, p. 61.
- Goehring, L., Mahadevan, L. and Morris, S.W., 2009, Non-equilibrium scale selection mechanism for columnar jointing. PNAS, 106, 387-392.
- Im, J.H., Choo, C.O. and Jang, Y.D., Petrological and Mineralogical Characteristics of Matrix of Pumice in Ulleung Island. The Mineralogical Society of Korea, 24, 151-164.
- Kim, K.B. and Lee, G.D., 2008, A Study on Volcanic Stratigraphy and Fault of Ulleung-do, Korea. The Journal of Engineering Geology, 2, 321-330.
- Kim, K.H., Tanaka, T., Nagao, K. and Jang, S.K., 1999, Nd and Sr isotopes and K-Ar ages of the Ulleungdo alkali volcanic rocks in the East Sea, South Korea. Geochemical Journal, 33, 317-341.
- Kim, Y.K. and Lee, D.S., 1983, Petrology of Alkali Volcanic Rocks in Northern part of Ulleung Island. The Korean Society of Economic and Environmental Geology, 16, 19-36.
- Machida, H., Arai, F., Lee, B.S., Moriwaki, H. and Furuta, T., 1984, Late Quaternary tephra in Ulleungdo island, Korea. Journal of Geography, 93, 1-14.
- Min, K.D., Kim, O.J., Yun, S.K., 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). The Geological Society of Korea, 24, 11-40.
- Philpotts, A.R., 1990, Principles of Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall, New Jersey, p. 686.
- Porter, D.A. and Eaterling, K.E., 1981, Phase Transformations in Metals and Alloys. Van Nostrand Reinhold, New York, p. 597.
- Won, J.K. and Lee, M.W., The Volcanism and Petrology of Alkali Volcanic rocks, Ulleung Island. The Geological Society of Korea, 20, 296-305.

2012년 9월 5일 접수
 2012년 9월 5일 심사개시
 2013년 1월 14일 채택