강원도 고성-간성일대의 신생대 화산체의 형성과정

김화성^{1,*} · 길영우² · 이문원³

¹강원과학고등학교, 220-966, 강원도 원주시 치악로 2242

²전남대학교 에너지자원공학과, 500-757, 광주광역시 북구 용봉동 300

³강원대학교 사범대학 과학교육학부, 200-701, 강원도 춘천시 강원대학길 1

The Formation of the Cenozoic Volcanic Edifice in the Goseong-Ganseong Area, Gangwondo, Korea

Hwa Sung Kim^{1,*}, Youngwoo Kil², and Moon Won Lee³

¹Kangwon Science High School, Gangwon 200-966, Korea

²Department of Energy and Resources Engineering, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

³Division of Science Education, Kangwon National University, Gangwon 200-701, Korea

Abstract: In the Obongri-Goseong area of Gangwondo, South Korea, there are six densely distributed volcanic edifices i.e., Duibaejae, Oeumsan, Galmibong, 249 m height, 166 m height, and 102 m height, and two other volcanic edifices including Goseongsan and Unbongsan volcanic edifice that are separately located from a distance. A previously undiscovered 249m volcanic edifice in Obongri was found in this investigation, and the six volcanic edifices distributed in Obongri will be referred to as the Obongri volcanic edifice group. Volcanic edifices in this area were interpreted by other researchers as being volcanic plug, plug dome, and cylindrical volcanic pipe type edifices. The aim of this study is to investigate the aspect of volcanic activity in the Obongri-Goseong area and the formation of volcanic edifices by examining of the shape of volcanic edifices, stratigraphy, and characterization of volcanic products. All the volcanic edifices in the area are composed of basaltic rocks on the Mesozoic granite basement, and the prevalence of the dome shape increased towards the upper part of the mountain. Three volcanic edifices (Duibaejae, 166 m height, 102 m height) include intercalated pyroclastic deposits between the basaltic rocks and the basement. The pyroclastic deposit in the Duibaejae volcanic edifice is composed of quartz, feldspar, granite fragments originated from the basement, and scoria fragments originated from the volcanic eruption. In addition to angular olivine, plagioclase, and pyroxene xenocrysts, all the basaltic rocks contained mantle xenolith, gabbroic xenolith originated from the lower crust, and granitic xenolith originated from the basement. This fact indicates that magma rapidly rose to the surface and that the volcanic activity was explosive. It is also interpreted that, as the basaltic magma became highly viscous due to the large amount of xenocrysts, the erupted magma formed a dome structure on the surface. The original dome structure was then severely eroded out leaving a plug dome formation on the basement.

Keywords: volcanic edifice, basalt, pyroclastic deposit, plug dome

*Corresponding author: mars2000@chol.com

Tel: +82-17-211-9896

Fax: +82-33-250-6731

요약: 강원도 고성군 오봉리에는 6개의 화산체(뒤배재, 오음산, 갈미봉, 249 m 고지, 166 m 고지, 102 m 고지)가 밀집하여 분포하고 있다. 그리고 고성산 화산체와 운봉산 화산체가 단독으로 멀리 떨어져 있다. 오봉리의 249 m 고지 화산체는 이 연구에서 새롭게 발견된 것이며, 오봉리에 분포하는 6개의 화산체들을 오봉리 화산체군이라 명명한다. 이 지역 화산체는 여러 연구자에 따라 화산전, 플러그 돔, 원통형 화산통 등으로 해석된다. 이 연구는 화산체의 형태, 화산분출물의 층서 및 특징을 바탕으로 화산활동 양상과 화산체의 형성과정을 알아보았다. 이 지역의 모든 화산체는 중생대 화강암 위에 현무암류가 분포하고, 기반암에서 상부로 갈수록 산사면의 경사도가 증가하는 돔 형태이다. 특히 3개의 화산체(뒤배재, 166 m 고지, 102 m 고지)에서는 현무암과 기반암 사이에 화성쇄설층이 발견된다. 뒤배재 화산체의 화성쇄설층에서는 기반암 기원으로 추정되는 석영, 장석 및 화강암편과 화산분출물인 스코리아 암편이 분포한다. 그리고 모든 화산체의 현무암내에는 맨틀포획암과 기반암인 화강암류와 하부지각 기원의 반려암류의 포획암을 함유한다. 또한 각진 형태의 감람석, 사장석, 휘석 등의 포획광물이 있다. 이러한 사실은 마그마가 지표로 빠르게 상승하였고, 화산활동이 폭발적이었음을 지시한다. 또한 현무암내의 다량의 포획광물 등은 현무암질 마그마의 점성을 증가시켜 동형의 화산체를 형성한 것으로 판단된다. 그리고 화산체가 오랜 시간 동안의 삭박작용을 거쳐 원지형이 파괴되면서, 돔의 심부가 기반암 위에 플러그 돔으로 남게 된 것으로 해석된다.

주요어: 화산체, 현무암, 화성쇄설층, 플러그 돔

서론

경기 육괴의 동쪽 끝에 위치하고 있는 강원도 고성-간성 일대에는 8개의 크고 작은 플러그 돔 형태인 화산체가 있다. 이 산봉우리들의 7-8부 능선 상부에는 신생대의 현무암이 분포하며, 이 화산체 중 뒤배재, 오음산, 249 m 고지, 갈미봉, 166 m 고지, 102 m 고지는 오봉리 왕곡마을 주변에 타원형으로 밀집되어 있다(이하 오봉리 화산체군이라 함). 이 중에서 249 m 고지 화산체는 이 연구에서 처음 식별된 것이다. 오봉리 화산체군에서 북서방향으로 약 3.2 km 거리에 고성산 화산체가 위치하고, 남쪽방향으로 약 6.4 km 떨어진 거리에는 운봉산 화산체가 있다(Fig. 1). 이 화산체들의 기반암은 경기변성암복합체를 관입한 중생대의 화강암이다. 연구지역 북쪽의 화강암은 고성-간성 도폭에서 K-Ar 연대는 167 ± 4 Ma이며, 쥐라기 대보화강암으로 동정된다(Cho et al., 1998). 반면 연구지역 남쪽의 화강암은 속초·양양 도폭(Song et al., 2011)과 창암정 도폭(Kim et al., 2010)에서 백악기의 속초화강암으로 동정되고, SHRIMP 연대는 90 ± 1 Ma (Song et al., 2011)이다.

이 지역에 분포하는 화산체는 여러 연구자에 의해 연구가 수행된 바 있다(Lee et al., 1993; Lee, 1995; Park and Park, 1996; Cho et al., 1998; Koh and Yun, 2005; Kil et al., 2007; Song et al., 2011). 화산체를 이루는 현무암은 알칼리현무암질로 분류되며, 현무암내에는 다양한 맨틀암석과 지각암석 및 거정의 포획광물이 발견되는 것이 특징이다. 맨틀암석은 스

피넬 페리도타이트이고, 지각암석은 반려암과 화강암이며 거정의 포획광물은 감람석, 휘석, 사장석으로 밝혀졌다.

이 지역 화산체의 형성과정에 대해서 Cho et al. (1998)와 Koh and Yun(2005)는 플러그 돔(plug dome)으로, Kil et al.(2007)은 화산전(volcanic plug)으로 분류하였다. 한편 Song et al.(2011)은 운봉산 화산체를 마그마가 원통형 화산통(cylindrical volcanic pipe)으로 관입한 후, 삭박작용을 거쳐 화산체의 관입부만 남아 형성된 것으로 설명하고 있다. 한편 Park and Park(1996)은 뒤배재 화산체의 현무암이 Sr 동위원소 값을 근거로 하부현무암과 상부현무암으로 구분되는 것을 밝히고, 두 현무암 사이에 주성분 중 P_2O_5 의 차이를 지적하였다. 이와 같이 이 지역의 화산체는 연구자에 따라 화산활동 양상과 형성과정에 대해서 다양한 설명을 하고 있다.

이 연구는 야외조사를 통하여 화산체의 분포, 형태, 화산분출물의 층서 및 특징을 조사하고, 그 자료와 기존의 연구 자료를 바탕으로 이 지역에서의 화산활동 양상과 화산체의 형성과정을 밝히는데 목적이 있다.

연구방법

이 연구에서 야외조사는 1:5,000 지형도와 고성-간성 도폭(Cho et al., 1998), 창암정 도폭(Kim et al., 2010), 속초·양양 도폭(Song et al., 2011)을 참조하여 화산체 주변의 지형, 기반암과 화산분출물과의 관계, 화산분출물의 층서와 특징 및 포획암류의 종류를 조사

Fig. 1. A geological map of the Goseong-Ganseong area, showing the location of the eight volcanic edifices.

Fig. 2. Distribution of the volcanic products in the Goseong-Ganseong area and relative width and height of the eight volcanic edifices. A group do not include pyroclastic deposit but B group include pyroclastic deposit.

하였다. 그리고 각 화산체에서 채취한 대표적인 시료는 강원대학교에서 16개 박편을 제작한 후, 편광현미경하에서 광물의 동정과 조직의 관찰이 이루어졌다.

오봉리 화산체군

이 지역의 오봉리 화산체 군은 뒤배재, 오음산,

Fig. 3. (a) Outcrop of pyroclastic deposit and (b) sketchy of the outcrop from Duibaejae volcanic edifice. (c)-(d) Photos of scoria fragment in the pyroclastic deposit from Duibaejae volcanic edifice. (e)-(f) Photomicrograph of pyroclastic mineral fragments. Q=quartz and fe=feldspar and S=scoria.

249 m 고지, 갈미봉, 166 m 고지, 102 m 고지의 화산체들이다. 각 화산체의 분포, 모양 및 규모는 Fig. 2와 같으며, 각 화산체의 특징은 다음과 같다.

뒤배재 화산체

뒤배재 화산체의 형태는 전체적으로 불규칙한 원통형이며, 지질은 화강암을 기반암으로 하부로부터 화성쇄설층, 현무암의 순서로 이루어졌다. 이 화산체의 대부분을 이루는 현무암은 산출상태와 구성광물에 따라 하부 현무암과 상부현무암으로 구분된다. 화산체의 지형은 기반암에서 시작하여 화성쇄설층과 하부현무암이 분포하는 구간의 경사도는 20° - 30° 정도이며, 상부현무암이 시작되는 곳부터 정상부까지의 경사는 약 45° 이다. 이와 같이 화산체의 하부에서 상부로 가면서 경사도가 크게 변하는 곳을 경계로 하부

현무암과 상부 현무암으로 구분된다.

이 화산체의 기저를 이루는 화성쇄설층의 노두는 화산체의 서측에서 두께 약 3-4 m로 잘 관찰된다 (Fig. 3a). 화성쇄설층의 기질은 석영과 알바이트 쌍정의 장식 및 갈색인 세립의 스코리아로 구성되며, 석영은 여러 방향의 깨짐이 보인다(Fig. 3c, e, f). 그리고 역은 크기가 약 23 cm인 화강암편과 기공이 많은 스코리아 암편으로 이루어졌다(Fig. 3a, d). 화성쇄설층을 덮고 있는 하부현무암은 대부분의 표면이 둥글거나 유동적인 모양의 집괴암 특징을 보이며, 두께는 약 40 m이다(Fig. 4a). 한편 상부 현무암층은 두께 약 25 m로 수직의 주상절리가 발달되어 있다(Fig. 4b). 하부현무암과 상부현무암은 암석기재에서 큰 차이를 보인다. 하부현무암은 상부현무암에 비해 상대적으로 포획암류와 포획광물이 드물고, 현무암층 내에서

Fig. 4. Outcrop views of (a) lower basalt and (b) upper basalt from Duibaejae volcanic edifice. (c) Photomicrograph of iddingsite from lower basalt. (d) Photomicrograph of olivine from upper basalt. Id=iddingsite and Ol=olivine.

Fig. 5. (a) A slab of pyroclastic rock from 166m height volcanic edifice and (b) photomicrograph of rounded basaltic fragment.

윗부분으로 갈수록 감람석이 이딩사이트(iddingsite)화 되었으며 불투명 광물이 많아진다. 한편 상부현무암에서는 거정의 감람석, 휘석, 사장석 등의 포획광물이 많은 것이 특징이며, 특히 감람석이 우세하다. 그러나 하부 현무암과 상부 현무암이 직접 접하는 경계는 확인되지 않으며, 뒤배재 화산체 정상부에는 현무암이 직경 90-120 cm인 구형으로 분포하고 있다.

오음산 화산체와 249 m 고지

오음산 화산체에서 북쪽 방향으로 약 300 m 떨어진 곳에 249 m 고지가 있으며, 이것은 이 연구에서 처음 찾아진 것이다. 오음산 화산체와 249 m 고지의 형태는 불규칙한 원통형이며, 오음산 화산체의 규모

가 더 크다. 이 화산체는 기반암위에 현무암이 두께 약 43 m로 분포하고, 정상부에는 수직의 주상절리가 발달한다. 또한 동쪽방향의 골짜기에는 현무암 테일러스가 폭 33 m, 길이 200 m 이상으로 발달되어 있고, 정상부에는 뒤배재 화산체와 같이 현무암이 큰 구형으로 분포한다. 현무암내에는 거정의 휘석, 감람석, 사장석 포획광물과 하부지각 기원의 반려암이 포획되어 있는 것이 특징이다. 249 m 고지 화산체의 층서는 오음산 화산체와 유사하고, 현무암의 두께는 약 14 m이다.

갈미봉 화산체

갈미봉 화산체는 폭이 100 m 정도의 작은 원통형

Fig. 6. (a) View of the Unbongsan. A, B, and C in the picture indicate the different slope angles of Unbongsan volcanic edifice. (b) Angulated xenocryst enclosed in the basalt from Unbongsan volcanic edifice. (c) Photomicrograph of basalt from Gosongsan volcanic edifice. Ol=olivine.

으로 분포하고, 정상부에는 현무암이 폭 15-30 cm인 수직의 주상절리가 발달한다. 현무암내에는 크기가 1 cm 내외인 휘석, 감람석, 사장석 포획광물이 있으며, 휘석의 양이 우세하다. 감람석은 산화되어 붉은 색을 보인다.

166 m 고지와 102 m 고지 화산체

166 m 고지에서 동쪽으로 약 660 m 거리에 102 m 고지가 위치한다. 이 두 화산체의 형태는 불규칙한 원통형이다. 166 m 고지 화산체의 지질은 기반암위에 화성쇄설층과 현무암 순서로 분포한다. 화성쇄설층은 두께는 약 20 m이며, 유리질이 두께 0.1 mm로 둘러싼 현무암 암편이 발견된다(Fig. 5). 현무암의 두께는 약 41 m로 주상절리가 발달하며, 현무암내에는 거정의 휘석, 감람석, 사장석 포획광물과 포획암으로는 지각 기원의 반려암이 있다.

102 m 고지 화산체의 지질은 166 m 고지와 유사하나, 화성쇄설층이 대부분을 이룬다. 현무암은 정상부에 20-40 cm 크기의 암편으로 분포하며, 주상절리는 발달하지 않는다. 현무암내에는 거정의 휘석, 사장석, 감람석이 있으며, 휘석의 양이 우세하다. 거정의 포획광물 크기는 다른 화산체에 비해서 작고 길쭉하며, 둘레에 예리한 각을 가지고 있다. 그리고 지각 기원의 포획암은 잘 관찰되지 않는다.

운봉산과 고성산 화산체

운봉산 화산체

운봉산(286 m) 화산체에서는 원지형이 삭박작용을 받아 현재와 같이 되는 과정을 잘 보여주고 있다. 이 화산체는 화강암으로 이루어진 평탄한 주변지형 위에 원뿔형으로 남아있으며, 화산체 산사면은 저변에서 정상부를 향하여 15°, 10°, 40° 등 3단계(A, B, C)로 경사도가 변한다(Fig. 6a). 이와 같이 화산체 산사면 경사도의 변화는 지질과 관계가 있다. A 단계는 화강암의 기반암이고, B 단계는 화강암의 풍화토이다. 그리고 경사가 급한 C 단계는 화산분출물인 신생대 현무암으로 이루어져 있다. 운봉산 화산체는 폭이 약 361 m인 원통형이고, 기반암 위에 현무암이 직접 피복되어 있으며, 화성쇄설층은 관찰되지 않는다. 현무암의 두께는 약 86 m이고, K-Ar연대는 7.2-7.5 Ma이다(Kim et al., 2005).

현무암은 육안상으로 암회색이고 조직이 치밀하며, 정상부에는 직경이 약 60-80 cm인 주상절리가 수직으로 발달한다. 현무암내에는 하부지각 기원의 반려암류와 기반암의 화강암편 및 거정의 포획광물 등이 산출된다. 포획광물은 대부분이 둘레가 예리한 각을 보이며(Fig. 6b), 거정의 휘석, 사장석, 감람석으로 이루어졌다. 이들 중 휘석의 양이 우세하며 크기는 1.0-

Fig. 7. A schematic history of the formation of Unbongsan volcanic edifice. (a) The erupted magma formed volcanic edifice at 7.5 Ma ago. (b) Plug dome only remains due to intensive erosion.

10.7 cm 정도이다.

고성산 화산체

고성산(297 m) 화산체는 전체 모양이 불규칙한 원통형이며, 층서는 운봉산 화산체와 유사하다. 현무암 두께는 약 42 m이며, K-Ar 전암 연대는 6.1 ± 0.3 Ma 이다(Cho et al., 1998). 현무암은 육안상으로 짙은 회색의 치밀한 조직을 보인다. 현무암내에는 거정의 휘석, 감람석, 사장석 포획광물과 하부지각 기원인 반력암류와 화강암류가 포획되어 있다. 현무암은 현미경하에서 반상조직을 보이며 신선한 감람석 반정과 침상의 사장석 석기로 이루어져있다(Fig. 6c). 정상부는 원지형이 인위적으로 훼손되어 평탄한 지형을 이룬다.

결 과

이 지역에는 뒤배재 화산체를 비롯하여 6개의 크고 작은 화산체로 이루어진 오봉리 화산체군과 운봉산 화산체 및 고성산 화산체가 분포한다. 오봉리 화산체군은 약 2.6 km 거리내에 밀집하여 분포하며, 운봉산 화산체와 고성산 화산체는 단독으로 떨어져 있

다. 오봉리 화산체군을 이루는 각 화산체의 규모는 밑면의 직경이 약 122-633 m인 타원이며, 높이가 약 14-59 m인 원통형이다. 고성산 화산체와 운봉산 화산체의 규모는 밑면의 직경이 약 332-361 m이며, 높이가 약 42-86 m인 원통형이다.

이 지역의 모든 화산체는 중생대 화강암을 기반암으로 하는 평탄한 지형위에 분포하며, 기반암에서 화산체 상부로 갈수록 산사면의 경사도가 증가하는 돔 형태이다. 이 지역의 화산체들은 운봉산에서 약 7.2-7.5 Ma (Kim et al., 2005), 고성산에서 6.1 ± 0.3 Ma (Cho et al., 1998) 전에 산발적인 화산활동으로 형성되었다. 오봉리 화산체군의 활동 시기는 미정이다. 그러나 여러 화산체의 분포위치와 형태 및 층서로 보아 거의 유사한 시기에 형성되어 침식·풍화작용을 거쳐 현재와 같은 모양을 이루게 된 것으로 해석된다.

이 지역 화산체의 층서는 중생대 화강암을 기반암으로 화산분출물이 피복하고 있으며, 기반암과 화산분출물 사이에 화성쇄설층의 유무에 따라 두 그룹으로 분류된다. 오봉리 화산체군에 속하는 166 m 고지와 102 m 고지 및 뒤배재 화산체에는 화성쇄설층이 분포한다. 반면 오음산 화산체와 249 m 고지 및 갈미봉 화산체에서는 화성쇄설층이 없다(Fig. 2). 그리고 운봉산 화산체와 고성산 화산체에서는 화성쇄설층이 확인되지 않는다. 화성쇄설층은 뒤배재 화산체의 노두에서 가장 잘 관찰된다. 이 노두에서는 기반암 기원으로 추정되는 석영, 장석 및 화강암편과 화산분출물인 용암 암편과 스코리아 편이 관찰된다(Fig. 3). 166 m 고지의 화성쇄설층에는 0.1 mm의 두께로 유리질화된 작은 현무암 암편이 있다(Fig. 5).

특히 뒤배재 화산체의 현무암은 산출상태와 구성 광물에 따라 하부 현무암과 상부 현무암으로 구분된다. 하부 현무암은 집괴암이며, 상대적으로 포획광물의 함량이 적고, 불투명광물과 이딩사이트를 다량 함유한다. 상부 현무암은 신선한 거정의 포획광물이 많고, 주상절리가 잘 발달되어 있으며, 이딩사이트는 거의 없다. 다른 화산체의 현무암은 뒤배재의 상부 현무암과 유사하며, 102 m 고지를 제외한 모든 화산체의 현무암은 정상부에 수직의 주상절리로 산출된다. 현무암내에는 휘석, 감람석, 사장석 등의 거정 포획광물과 하부지각 기원의 반력암류와 기반암인 화강암류의 포획암이 있다. 포획암류와 포획광물은 대부분 예리한 각이 있으며, 모암과의 반응연이 거의 없다.

결론 및 논의

이 지역 화산체의 형성과정은 플러그 돔(Cho et al., 1998; Koh and Yun, 2005), 화산전(Kil et al., 2007), 화산통(Song et al., 2011) 등으로 다양하게 해석되고 있다. 특히 Park and Park(1996)은 뒤배재 화산체의 현무암을 Sr 동위원소 값과 주성분 변화 차이로 하부현무암과 상부현무암으로 구분한 바 있다. 위의 결과에서와 같이 이 지역의 화산체는 화산층서, 분포위치 및 화산체의 지형변화 등에서 다양한 특징을 보이고 있다.

화산 분출 양상

일반적으로 화산분출의 양상은 용암, 가스, 화성쇄설물 등 화산분출물의 종류, 분출순서 및 양에 따라 달라진다. 그 예로서 점성이 작은 현무암질 용암은 하와이식 등과 같이 비교적 조용히 분화하여 경사도가 완만한 화산체를 만든다. 반면 점성이 큰 유문암질 용암은 대체로 폭발형으로 화쇄류를 분화하며 경사도가 큰 화산체를 만든다.

이 지역에서 화산이 활동할 때는 현무암질 용암, 가스, 화성쇄설물 등 모든 분출물이 분출하였다. 특히 화성쇄설층의 유무는 화산활동 양상을 밝히는데 중요한 지시자 역할을 한다. 오봉리 화산체군 중, 166 m 고지와 102 m 고지 및 뒤배재 화산체에는 기반암 위에 화성쇄설층이 피복하고 있다. 그리고 화성쇄설층의 기질에는 기반암 기원으로 추정되는 석영, 장석 및 화강암편과 화산분출물인 용암 암편과 스코리아 편이 관찰된다. 이는 화산활동의 초기에 활동양상이 폭발성이었음을 암시한다. 한편 모든 화산체의 현무암내에는 수 mm-수십 mm의 포획광물과 포획암류가 모암인 현무암과 반응연이 없이 예리한 각의 조각으로 산출된다. 이는 격렬한 화산폭발에 의하여 포획암과 포획광물 등이 깨진 것으로 해석할 수 있다. 또한 현무암질 마그마가 약 50 km에서 직경 10 cm 크기의 맨틀포획암을 지표로 운반하기 위해서는 약 1 km/h의 속도로 상승하여야 한다(Kushiro et al., 1976). 즉 이 지역에 분포하는 현무암내의 포획광물의 특징은 마그마의 빠른 상승과 격렬한 폭발성을 수반하였음을 지시한다.

뒤배재 화산체의 화산활동

뒤배재 화산체는 기반암 위에 화성쇄설층이 직접

피복되어 있으며, 현무암은 하부와 상부로 구분된다. Park and Park(1996)은 뒤배재 현무암을 Sr 동위원소 값을 근거로 하부 현무암(0.7041-0.7048)과 상부 현무암(0.7033-0.7037)으로 구분하였고, 두 현무암의 차이를 서로 다른 마그마로 해석하였다. 야외조사에서 뒤배재의 현무암은 산출상태와 구성광물의 차이가 뚜렷하다. 산출상태에서 하부 현무암은 집괴암의 특징을 보이고 상부 현무암은 주상절리로 발달한다. 그리고 하부 현무암내에는 이딩사이트와 불투명광물이 많고, 상부 현무암내에는 신선한 거정의 포획광물이 많다. 하부 현무암과 상부 현무암은 주성분(P_2O_5) 함량에서도 하부 현무암(0.596 wt %)이 상부 현무암(0.298 wt %)의 약 2배인 뚜렷한 차이를 보이며(표예정), 이러한 특징은 Park and Park(1996)에서도 확인된다.

뒤배재 화산체의 하부 현무암에는 감람석의 수화광물인 이딩사이트의 함량이 매우 높고(Edwards, 1938), 166 m 고지 화산체의 화성쇄설층에는 직경이 약 1 cm인 구형의 현무암 암편이 있다. 이 표면에는 용암이 빙하 또는 물이 포화된 퇴적물을 관입하거나 물과 접할 때 만들어지는 조적인 유리질이 두께 0.1 mm로 둘러 싸여있다(Bates and Jackson, 1980; Brown, 2007). 이러한 사실은 뒤배재와 166 m 고지에서의 화산활동은 물과 용암이 상호작용을 하였음을 암시하고 있다. 그러나 육성 환경에서 용암이 지하수와 지표수의 접촉에 의한 것인지 또는 수성 환경인지는 알 수 없다.

화산체 형성과정

하나의 화산체는 단기간의 화산활동에 의해 형성되거나, 오랜 시간 동안 여러 번의 분화가 반복되어 형성되기도 한다. 화산체의 형태와 구조는 용암의 점성과 화성쇄설물과 용암의 비율 및 분출양상 등 여러 요인의 영향을 받는다. 또한 원지형이 보존된 경우에는 화산체를 형성한 화산활동 양상을 쉽게 유추할 수 있다. 그러나 대부분의 화산체는 오랜 시간 동안의 삭박작용으로 원지형이 많이 훼손되어 화산체의 형성과정을 유추하는 데는 정밀한 화산층서 자료가 요구된다. 이 지역의 화산체는 약 7.2-7.5 Ma (Kim et al., 2005) 전과 6.1±0.3 Ma (Cho et al., 1998) 전에 형성되어 원지형이 많이 삭박되어 있다. 이러한 이유로 이 지역의 화산체를 형성한 화산활동 양상 및 과정을 유추하는데 많은 어려움이 있다.

이 지역 화산체는 알칼리현무암질 마그마가 원통상으로 분출하여 형성된 것으로 플러그 돔, 화산전, 화산통 등 여러 의견이 제안되고 있다(Cho et al., 1998; Koh and Yun, 2005; Kil et al., 2007; Song et al., 2011). 일반적으로 알칼리현무암질 마그마는 점성이 작아서 플러그 돔이 형성되기 어렵다. 그런데 이 지역의 마그마는 알칼리현무암질이다. Cho et al. (1998)는 현무암내의 많은 포획암과 포획광물이 현무암질 마그마의 점성을 증가시키는 것으로 해석하여, 이 지역의 화산체를 플러그 돔으로 설명하였다. 한편 Song et al.(2011)는 염기성 현무암에서는 플러그 돔 형이 형성되기 어려움을 지적하고, 운봉산 화산체를 원통형 화산통 형태로 마그마가 관입한 것으로 해석하였다. 그러나 그는 이 지역 화산체가 초기에는 현무암 플러그 돔형을 이룬 후, 돔형이 모두 삭박되어 현재와 같이 관입부만 남아 있을 수 있는 가능성도 제시하였다. 그리고 Kil et al.(2007)는 운봉산의 지형학적 특징을 근거로 화산전으로 분류하였다.

플러그 돔과 화산전은 일반적으로 다음과 같은 특징에 의해 분류된다. 플러그 돔은 지표위에 형성된 용암 돔의 한 형태로서, 점성이 큰 용암이 화도 내부의 가스 압력에 의해 용암이 화구위로 형성된 원추구를 의미한다. 동의어로는 용암돔(lava dome), 화산돔(volcanic dome) 및 종상화산(tholoid)이 있으며, 일반적으로 테사이트질 마그마에서 만들어질 가능성이 높다고 알려져 있다(Williams and Mcbirney, 1979; Bates and Jackson, 1980). 또한 Yokoyama(2005)는 플러그 돔을 거의 굳은 상태의 마그마가 분출되어 형성된 용암 돔으로 정의하기도 하였다. 화산전은 일반적으로 화산활동이 멈춘 후 화도내에서 굳어진 현무암이 기반암과의 차별침식에 의해 현무암이 기둥모양으로 솟은 지형을 의미하며, 화산전에서는 주상절리가 발달하는 것이 특징이다(Juang and Chen, 2004). 화산암경(volcanic neck), 화산통(volcanic pipe), 용암암경(lava neck), 컨듀트(conduit)가 동의어로 사용된다(Bates and Jackson, 1980). 화산통은 깔대기 모양으로 깊어짐에 따라 폭이 좁아지는 특징을 보이며, 킴벌라이트 마그마의 분출과정에서 형성된다(Rakovan, 2006).

위의 분류와 같이 플러그 돔은 주로 점성이 큰 용암에 의해서 지표위에 형성된 둥근 원통형의 화산체이고, 화산전은 오랜 시간동안 기반암이 깊이 침식되는 동안 화도내의 현무암이 지표에 노출된 것이다.

따라서 화산체 형태는 화산체가 기반암 위에 발달해 있는가 또는 기반암의 침식에 의해 화도내의 현무암이 노출되어 있는가에 따라 플러그 돔 또는 화산전으로 분류되는 것으로 말할 수 있다.

이 지역의 모든 화산체는 중생대 화강암인 기반암 위에 분포하며, 대부분의 화산체는 현무암으로 이루어져 있고, 3개의 화산체는 화성쇄설층과 현무암으로 구성된 것이 확인된다. 그리고 플러그 돔은 대개 점성이 큰 용암에서 형성되는 것으로 알려져 있지만, 현무암질 용암이 다량의 포획암류와 포획광물에 의해 점성이 증가할 수 있음을 지적하고 있다(Fisher and Schmincke, 1984; Cho et al., 1998; Yokoyama, 2005). 이러한 사실은 이 지역의 화산체 형태가 기반암 위에 용암이 돔 형태로 형성된 플러그 돔형임을 암시한다. 따라서 이 지역의 화산체 형성과정을 다음과 같이 해석할 수 있다.

이 지역에서는 알칼리현무암질 마그마가 깊이 약 160 km에서 생성되어 상승하는 도중 맨틀암과 지각 물질 및 거정의 포획광물을 포획하면서 빠르게 상승하였다(Kil et al., 2007). 현무암질 마그마는 다량의 포획물질로 인해 점성이 증가하여 지표에 돔 형태의 화산체를 형성하였다(Fig. 7a). 화산체 심부에서는 용암이 냉각되면서 수직의 주상절리가 발달한다. 그 후 화산체는 기반암과 함께 오랜 시간 동안의 삭박작용을 거쳐 원지형이 파괴되면서 돔의 심부가 기반암 위에 플러그 돔 형태로 남게 된 것으로 해석된다(Fig. 7b).

감사의 글

이 논문의 세심한 검토와 심사 및 중요한 의견을 제시해 주신 부산대학교 윤성호 교수와 익명의 심사 위원께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- Bates, R.L. and Jackson, J.A., 1980, Glossary of geology. American Geological Institute Falls Church, Virginia, USA, 690 p.
- Brown, D.J., 2007, A guide to the use of volcanic nomenclature in engineering investigations. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 40, 105-112.
- Cho, D.L., Hong, S.H., Chwae, U.C., Lee, B.J., and Choi, P.Y., 1998, Geological report of the Goseong-Ganseong

- sheet. Korea Institute of Geology, Mining and Materials 59 p. (in Korean)
- Edwards, A., 1938, The formation of Iddingsite. *American Mineralogist*, 277-281.
- Fisher, R.V. and Schmincke, H.U., 1984, *Pyroclastic rocks*. Springer, Berlin, Germany, 52 p.
- Juang, W.S. and Chen, J.C., 2004, The topographic landscapes of volcanic necks in the coastal range and Lutaio, eastern Taiwan. *College and Research*, 17, 83-92.
- Kil, Y.W., Shin, H.J., and Ko, B.K., 2007, Magma pathway of alkali volcanic rocks in Goseong, Gangwon-do, Korea. *Petrological Society of Korea*, 16, 196-207. (in Korean)
- Kim, K.H., Nagao, K., Tanaka, T., Sumino, H., Nakamura, T., Okuno, M., Lock, J.B., Youn, J.S., and Song, J., 2005, He-Ar and Nd-Sr isotopic compositions of ultramafic xenoliths and host alkali basalts from the Korean peninsula. *Geochemical Journal*, 39, 341-356.
- Kim, Y.B., Chwae, U.C., and Hwang, S.K., 2010, Geological report of the Changamjeom sheet. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 80 p. (in Korean)
- Koh, J.S. and Yun, S.H., 2005, Petrology on the Late Miocene basalts in Goseong-gun, Gangwon province. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 26, 78-79. (in Korean)
- Kushiro, I., Yoder, H.S., and Mysen, B.O., 1976, Viscosities of basalt and andesite melts at high pressures. *Journal of geophysical research*, 81, 6351-6356.
- Lee, H.Y., 1995, Petrochemical study on the mantle xenoliths in alkali basalts from S. Korea: P-T regime of upper mantle. *Petrological Society of Korea*, 4, 104-123. (in Korean)
- Lee, H.Y., Kim, Y.K., Koh, S.M., and Hong, S.S., 1993, Study on the mantle xenoliths for the calculation of heat flow. Korea Institute of Geology, Mining and Materials, KR-93(B)-10, 98 p. (in Korean)
- Park, J.B. and Park, K.H., 1996, Petrology and petrogenesis of the Cenozoic alkali volcanic rocks in the middle part of Korean Peninsula (I): Petrography, mineral chemistry and whole rock major element chemistry. *Geological Society of Korea*, 32, 223-249. (in Korean)
- Rakovan, J., 2006, Word to the wise: Diatreme. *Rocks and Minerals*, 81, 153 p.
- Song, K.Y., Park, S.I., and Cho, D.L., 2011, Geological report of the Sokcho-Yangyang sheet. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 81 p. (in Korean)
- Williams, H. and Mcbirney, A.R., 1979, *Volcanology*. Freeman Cooper and Company, California, USA, 190 p.
- Yokoyama, I., 2005, Growth rates of lava domes with respect to viscosity of magmas. *Annals of Geophysics*, 48, 957-971.

2012년 10월 4일 접수
2012년 11월 7일 수정원고 접수
2012년 12월 21일 채택