

제주도 사라봉-별도봉-화북봉 일원의 화산층서와 화산암의 특성

고보균^{1,*} · 원종관¹ · 이문원² · 손인석³

¹강원대학교 지구과학부, 200-701 강원도 춘천시 효자 2동 192-1

²강원대학교 과학교육학부, 200-701 강원도 춘천시 효자 2동 192-1

³사단법인 제주도동굴연구소, 690-180 제주도 제주시 노형동 1448-10

Volcanic Stratigraphy and Characteristics of Volcanic Rocks of the Sarabong-Byeoldobong-Hwabukbong Area, Cheju Island, Korea

Bokyun Ko^{1,*} · Chongkwan Won¹ · Moonwon Lee² · Inseok Sohn³

¹Division of Earth Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

²Division of Science Education, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

³Chejudo Cave Research Institute, Cheju, 690-180, Korea

Abstract: There are three scoria cones and their eruptive materials in Sarabong-Byeoldobong-Hwabukbong area, Cheju Island. And they made complicated volcanic stratigraphy. In Byeoldobong tuff, basalt and granite xenoliths are present. It is presumed that the granite is a kind of basement of Cheju island. And Biseokgeori hawaiite has many kaersutite phenocrysts. Therefore, this area is very important for the study about history of volcanic activity of Cheju island. The lowest beds are Shinheung basalt and Byeoldobong tuff. Byeoldobong tuff has xenoliths of granite and phenocrystalline basalt. After the formation of these rocks, the Hwabukbong volcanism commenced. First of all this volcanism formed Biseokgeori hawaiite that has lots of kaersutite, a member of amphibole group, characteristically. Over this rock, Hwabukbong scoria cone was formed. The next Sarabong volcanism effused Keonipdong hawaiite that has lots of plagioclase and olivine phenocrysts and then Sarabong scoria cone was made up. Basalt xenolith in Byeoldobong tuff is different from Shinheungri basalt with regard to petrography, therefore this offers suggestion about existence of another basalt between basement and Shinheungri basalt. Granite xenolith derived from the basement of this area has features of the Jurassic granite in the Korea Peninsula, for example a lot of myrmekitic texture, microcline, and absolute age (172.4 Ma) by K-Ar method.

Key words: volcanic stratigraphy, kaersutite, basalt xenolith, granite xenolith

요약: 제주도 사라봉-별도봉-화북봉 일대에는 3개의 분석구와 이들로부터 분출한 화산분출물들이 복잡한 화산 층서를 형성하였다. 또한 별도봉 응회암에는 현무암과, 제주도 기반암중의 하나인 화강암의 암편이 나타난다. 그리고 비석거리 하와이아이트(hawaiite)에는 케르수타이트(kaersutite)가 특징적으로 나타나기 때문에 제주도 화산활동사를 연구하는데 중요한 대상이 된다. 이 지역의 최하부에는 신흥리 현무암과 별도봉 응회암이 분포한다. 별도봉 응회암에는 반상 현무암과 이 지역의 기반암인 화강암의 암편을 함유한다. 그 위에 화북봉 화산활동에 의해 각섬석류의 한 종류인 케르수타이트를 다량 함유한 비석거리 하와이아이트가 피복하고 그 다음에 화북봉 분석구가 형성되었다. 그 후에 사라봉 화산활동에 의해 사장석과 감람석이 많은 건입동 하와이아이트가 분출하였고 마지막으로 사라봉 분석구가 형성되었다. 별도봉 응회암내에 포획된 현무암은 신흥리 현무암과는 암상이 다른 반정질 현무암으로, 신흥리 현무암과 기반암 사이에 또 다른 현무암층이 존재할 것으로 추정된다. 이 지역의 기반암인 화강암의 암편은 미르메카이트 조직(myrmekitic texture)과 미사장석을 보이며 K-Ar법에 의한 절대연령이 172.4Ma인 주라기 화강암이다.

주요어: 화산층서, 케르수타이트, 현무암편, 화강암편

서 언

제주도는 다량의 용암류와, 소량의 화성쇄설층과 퇴적층으로 구성되어 있는 화산도로서 독특한 지형과 지질을 가진다. 또한 제주도 형성과정을 통해 다량의 용암류가 많은 횡수에 걸쳐 분출하였다. 하지만 화산 분출물들의 분포상태와 화산층서에 대해서는 아직까지도 우세한 주장이 없을 만큼 복잡하다. 그러므로 이들에 대한 화산층서를 설정하는 작업은 아주 까다롭고 세밀한 연구를 필요로 한다.

지금까지 제주도 화산층서에 대한 연구는 시간적·경제적 여건 때문에 개략적이고 단속적으로 실행되었다. 따라서 복잡한 화산층서를 이루고 있더라도 연구지역이 좁은 경우에는 등한시 되어왔다. 분석구가 주를 이루는 소위 ‘오름’이 제주도 전역에 걸쳐 약 360여개가 분포하며 이들로부터 용암류와 화산분출물들이 생성되어 제주도의 화산층서를 이루고 있다. 그러나 이들 개개의 오름에서 분출된 분출물들의 화산층서도 제대로 설정되지 않은 경우가 허다하다. 따라서 2개 내지 3개 또는 그 이상의 오름이 밀집해 있는 지역들의 화산층서를 설정하고 그들을 서로 대비시키면서 점진적으로 제주도 전체의 화산층서를 확립하는 것이 필요하다.

연구지역은 제주시 북동부 해안에 위치하며, 사리봉(148.2m), 별도봉(95.6m), 화북봉(136.0m)의 3개의 분석구가 분포하고, 이들로부터 분출된 용암류와 화성쇄설물이 복잡한 화산 층서를 이루고 있다. 특히 별도봉 북쪽 해안의 별도봉 응회암층에서는 제주도의 기반암으로 추정되는 화강암류의 포획암이 산출된다. 그리고 화북봉에서 분출한 것으로 추정되는 비석거리 하와이아이트(hawaiite)에서는 각섬석류의 한 종류인 케르수타이트(kaersutite)가 산출되어 제주도의 화산활동사를 연구하는데 중요한 대상이 된다.

原口(1930)는 이 세 분석구와 이들로부터 생성된 분출물의 층서관계를 확립하는 과정에서 10단계의 활동사를 제시하면서, 화북 1동 부근에 분포하는 신흥리 현무암(박기화 외, 1998)이 케르수타이트를 함유하는 비석거리 하와이아이트보다 더 젊은 것으로 분류하였다. 한편 박기화 외(1998)는 신흥리 현무암이 비석거리 하와이아이트보다 더 오래된 것으로 분류하고 있다. 이와 같이 연구자에 따라 이 지역에서 화산 층서는 차이점을 보이고 있다.

본 연구는 이 지역에 분포하는 분석구와 화산분출물에 대하여 原口(1930)와 박기화 외(1998)가 제안한

화산 층서를 고찰하고, 암석학적인 특징을 통해 화산 층서를 재정립하며, 기반암인 화강암류에 대한 지질학적 의미를 규명하는데 목적이 있다.

연구 범위 및 방법

이 지역의 화산 층서를 설정하기 위하여 야외에서 분출물의 종류, 그리고 분석구와 분출물의 분포 및 층서 관계를 확인하였다. 분출물은 케르수타이트의 유무 및 반정 광물의 종류에 따라 구분하고, 각각의 분출물에 대한 대표시료를 채취하였다. 채취된 시료는 박편을 제작하여 관광현미경을 이용한 암석기재를 실시하였다.

화산 층서

이 지역의 분석구와 분출물의 분포상태는 지질도(Fig. 1)에 나타나 있다.

신흥리 현무암

이 현무암은 화북봉 동쪽의 화북1동 일대에 분포하며, 이 지역의 화산 층서에서 가장 하부에 속한다. 原口(1930)는 이 용암류를 무반정 현무암이라 명명하고 이 지역에서 가장 젊은 용암류로 분류하였다. 화북중고등학교 북쪽의 화북천 하상에서 이 현무암의 상위층인 비석거리 하와이아이트와의 경계를 관찰할 수 있다(Fig. 2).

이 현무암은 연회색이며 다공질이다. 기공은 둥근 모양으로 대부분 4mm 이내이며 길게 신장된 기공은 1cm 이상인 것도 있다. 육안으로 사장석과 단사휘석의 반정을 관찰할 수 있으나 양은 많지 않다. 사장석 반정은 크기가 평균 5mm 정도이고 단사휘석은 3mm 정도이다. 사장석과 단사휘석 반정의 수는 비슷하나 사장석이 더 크기 때문에 두 반정의 양적 비율은 비슷하다.

별도봉 응회암

별도봉의 북쪽 해안에 소규모로 분포하며 동서로 약 450m 가량 연장되어 있다(박기화 외, 1998). 하한이 해수면 아래에 있기 때문에 하부층과의 관계는 알 수 없지만 해안가에서 비석거리 하와이아이트가 피복하는 것을 관찰할 수 있다(Fig. 3).

별도봉 응회암은 연갈색 내지 갈색을 띠며 주로 화산력으로 구성되어 있고 소량의 화산회와 화산암괴

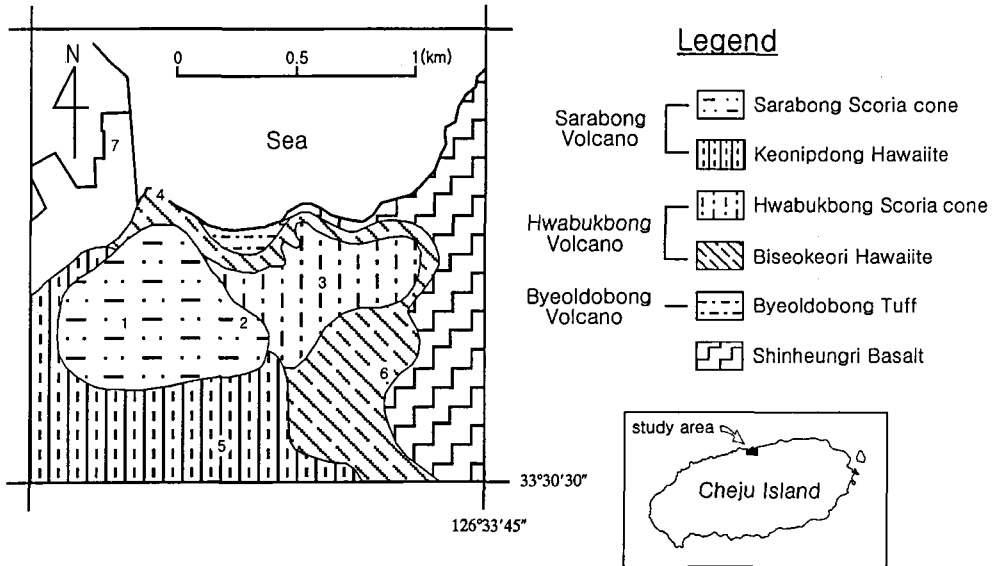


Fig. 1. Geologic map of the study area. 1, Sarabong; 2, Byeoldobong; 3, Hwabukbong; 4, Sanjideungdae (lighthouse); 5, National Cheju Museum; 6, Ohyeon Middle and High School; 7, Cheju port.

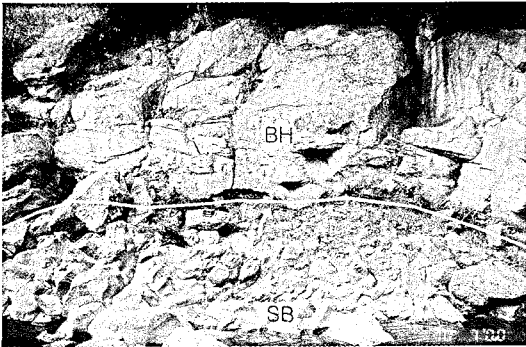


Fig. 2. Boundary between Shinheungri basalt (SB) and Biseokeori hawaiiite (BH).



Fig. 3. Boundary between Byeoldobong tuff (BT) and Biseokeori hawaiiite (BH).

로 구성되어 있다. 또한 현무암편과, 제주도 하부 기반암중의 하나인 화강암편을 함유하고 있다(Fig. 4). 응회암에 함유된 암편의 특징은 다음과 같다.

현무암편: 약간 어두운 회색을 띠며 불규칙하고 작은 기공이 비교적 다량 분포한다. 반정은 주로 사장석이며 소량의 감람석도 나타난다.

사장석은 평균 4mm이며 최대 크기는 1cm에 달한다. 사장석 반정의 대부분이 변질에 의해서 거친 표면을 보이며 부분적으로 연한 갈색이나 검은색을 띠기도 한다.

감람석은 소량 나타나는데 큰 것은 1mm 정도이다.



Fig. 4. Basalt xenolith (BX) and granite xenolith (GX) in Byeoldobong tuff.

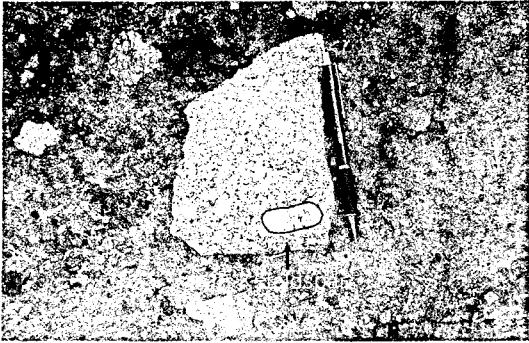


Fig. 5. Granite xenolith in Byeoldobong tuff.

하지만 변질에 의해 대부분 이딩사이트(iddingsite)화 하여 갈색을 띤다.

화강암편: 암편의 크기는 다양하며 최대 크기가 20cm 가량인 것도 있다. 이 암편은 육안상 비등립질이고 조립질이며 담홍색을 띤다. 그리고 4cm 가량의 알칼리 장석의 거정을 다량 함유하는 반상 화강암에 해당된다(Fig. 5).

비석거리 하와이아이트

이 용암류는 화북봉 남쪽의 제주교육대학교 일대에 분포하며, 화북봉 동쪽의 비석거리마을과 북쪽, 그리고 별도봉 북쪽에 분포하며 사라봉의 산지등대까지 연장된다. 이 용암류는 별도봉 북동쪽 해안에서 신흥리 현무암을 피복하고(박기화 외, 1998) 화북봉 북쪽에서 화북봉 분석구에 의해 피복되며(Fig. 6) 산지등대 남쪽에서 사라봉 분석구에 의해 피복된다.

사장석과 케르수타이트가 반정의 대부분을 구성하며 단사휘석과 소량의 감람석도 있다. 사장석 반정은

대부분 반자형 내지 타형이며 평균 크기가 4mm이다.

케르수타이트 반정은 대부분 주상의 자형 내지 반자형을 띠고 평균 크기는 5mm이며 최대 크기가 장경 1cm 이상인 것도 있다. 큰 결정에서는 육안으로 결정 주연의 반응연이 관찰되기도 한다. 케르수타이트와 사장석은 크기와 양적 비율이 비슷하다.

단사휘석은 2~4mm 정도로 양이 적으며 감람석은 1mm 이하로 대부분 변질을 받아 이딩사이트화 하여 갈색을 띤다.

화북봉 분석구

화북봉 분석구를 구성하는 분석으로 화북봉의 정상부와 화북봉 주위의 산책로를 따라서 노도가 잘 관찰된다. 이 분석구는 화북봉 북쪽에서 비석거리 하와이아이트를 피복한다.

이 분석구를 구성하는 분석은 전체적으로 암적색을 띠며 다공질이다. 또한 평균 크기 3cm인 화산력이 가장 우세하며 화산암괴가 소량 분포한다. 사장석과 케르수타이트 결정이 들어 있으며 소량의 단사휘석과 감람석이 관찰되기도 한다.

건입동 하와이아이트

이 용암류는 사라봉을 중심으로 서쪽과 남서쪽 그리고 남쪽에 넓게 분포하며 사라봉 서쪽의 건입동에서 사라봉 분석구에 의해 피복된다(Fig. 7). 또한 사라봉 분석구와의 경계 부근에서 사라봉 분석구와 이 용암류가 얇게 호층을 이루면서 교호하다가 상부로 갈수록 사라봉 분석구가 우세해지고 결국은 분석구만 분포한다.

기공의 평균 크기는 1cm이며 불규칙한 형태로 다량 분포한다. 기공은 부분적으로 유동 방향에 따라 신

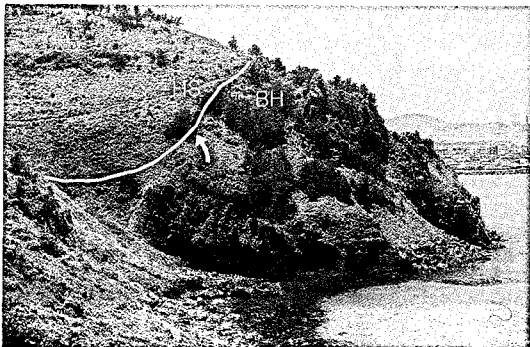


Fig. 6. Boundary between Hwabukbong scoria cone (HS) and Biseokgeori hawaite (BH).

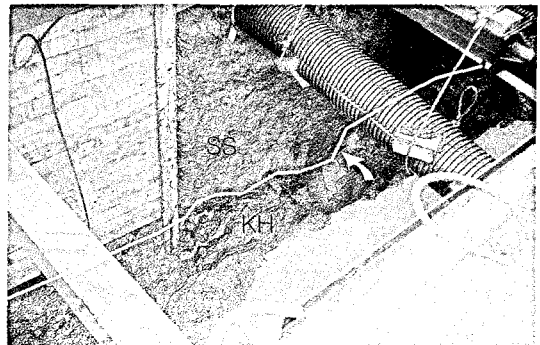


Fig. 7. Boundary between Keonipdong hawaite (KH) and Sarabong scoria cone (SS).

Table 1. Relative ratio between phenocryst and groundmass of lava flows (volume %).

Rock type	Sample No.	Phenocrysts					Groundmass	Remark
		olivine	pyroxene	kaersutite	plagioclase	opaque mineral		
Shinheungri basalt	SH	4.7	4.5		3.0		88.8	
Biseokgeori hawaiite	BH-1	2.0	3.4	12.7	13.6	1.3	66.9	the most phenocrystalline sample
	BH-2	1.1	1.4	7.2	11.5	0.9	77.9	
Keonipdong hawaiite	KH	3.8	2.2		33.2	3.6	57.2	
basalt xenolith in Byeoldobong tuff	BX	1.6			26.4		72.0	

장된 것이 있으며 이런 기공은 5cm에 이르기도 한다. 사장석, 단사휘석 그리고 감람석이 반정을 이루며 다량의 반정을 함유한다. 사장석 반정은 양적으로 가장 우세하고 대부분 반자형 내지 타형이며 1.5cm 크기의 반정도 나타난다.

단사휘석의 최대 크기는 6mm 정도이지만 개수는 많지 않다. 감람석 반정은 대부분 1mm 이내 이지만 2mm 정도의 큰 반정도 있으며 큰 반정들은 결정형을 보이기도 한다.

사라봉 분석구

사라봉 일대에 분포하는 이 분석구는 사라봉 북서쪽의 산책로와 동쪽에서 분석구 정상으로 올라오는 산책로 그리고 분석구 남쪽의 길가에서 소규모 관찰된다. 화북봉 분석구와는 달리 노두가 잘 나타나지 않으며 분석구의 정상에서 가장 잘 나타난다. 이 분석구는 분석구 서쪽의 건입동에서 건입동 하와이아이트를 피복하고 있다.

이 분석구의 분석은 암적색을 띠며 다공질로 화북봉 분석구의 분석구와 아주 유사하다. 하지만 대부분의 노두에서 결정이 거의 없으며 사라봉 정상에 분포하는 분석에서 결정이 나타난다. 결정의 종류도 화북봉의 분석과는 달리 사장석과 감람석이 우세하며 양이 많지 않다.

암석기재

각 용암류의 대표적인 시료를 박편으로 제작하여 현미경하에서 관찰하였다. 광물은 크기에 따라(Keil and Foder, 1972) 반정과 석기로 구분하였으며(Table

1), 반정과 석기는 0.3mm를 기준으로 구분하였다. 또한, 반정은 0.7mm를 기준으로 그 이상은 반정, 그 이하는 미반정으로 나누었다.

신흥리 현무암

반정은 단사휘석과 사장석 그리고 감람석이다. 사장석과 단사휘석은 함량이 비슷하며 감람석은 이보다 적다. 단사휘석 반정은 최대 크기가 2mm이지만 대부분 0.5mm 정도이며 반자형과 타형이다. 사장석 반정은 최대 크기가 3.7mm이지만 2mm 이상의 것은 소량이며 대부분 0.5mm 내외인 미반정이 우세하다. 감람석 반정은 최대 1mm이며 0.5mm 이하인 미반정이 대부분이다.

석기는 래스(lath)상의 사장석이 가장 우세하며 미립의 단사휘석과 감람석 그리고 불투명 광물로 구성되어 있다. 석기의 사장석에 대한 최대 소광각은 평균 36°로 안데신(andesine)에 해당된다. 사장석 래스들은 비교적



Fig. 8. Photomicrograph of Shinheungri basalt. Ol, olivine; Py, clinopyroxene; Pl, plagioclase (XPL, scale bar: 0.5mm).

일정한 방향성을 보이며 석기와 반정들이 간입상 조직(*intergranular texture*)을 나타낸다(Fig. 8).

비석거리 하와이아이트

사장석과 케르수타이트가 가장 우세한 반정이며 감람석과 단사휘석 그리고 불투명 광물이 소량 있다. 지역적으로 단사휘석이 반정으로 나타나지 않는 곳도 있다. 반정의 함량은 평균 20% 정도이지만 별도봉 북쪽의 시료에서는 반정이 33%까지 나타난다. 사장석 반정은 크기가 평균 5mm이며 10mm 이상인 것도 있다. 대부분 반자형 또는 타형이고 석기에 의한 만입을 나타내며 누대구조를 보이기도 한다. 사장석 반정의 쌍정에 대한 최대 소광각은 평균 44°로 안데신에 해당된다. 케르수타이트 반정은 대부분 1~2mm 이고 최대 4mm인 반정도 있다. 대부분 반자형 또는 타형이지만 뚜렷한 6각형의 자형을 보이는 결정도 있다. 모든 케르수타이트 반정이 테두리에 불투명 광물의 반응연(*reaction rim*)을 가지며 연녹색 또는 연갈색에서 갈색까지의 선명한 다색성을 보인다. 또한 두 방향의 벽개를 보이며 벽개각은 54°와 126°이다. 감람석 반정은 평균 크기가 0.5mm이며 대부분 타형이다. 대부분이 테두리나 내부의 균열면을 따라 갈색의 이딩사이트로 변질되었다. 단사휘석 반정은 지역에 따라 나타나지 않는 곳도 있다. 감람석과 평균 크기가 유사하며 대부분 타형이다.

석기는 주로 래스상의 사장석으로 구성되며 그외에 미립의 단사휘석, 감람석, 불투명 광물이 있고 소량의 화산유리도 나타난다. 사장석 래스가 약한 방향성을 보인다. 석기와 반정이 간입상 조직을 보이지만 부분적으로 전간상 조직(*intersertal texture*)을 보이기

도 한다(Fig. 9).

건입동 하와이아이트

반정의 함량이 43%로서 반상조직을 보이며, 사장석이 가장 우세한 반정이다. 그 외에 감람석과 단사휘석 그리고 불투명 광물이 반정으로 소량 나타난다. 사장석 반정은 크기가 1~6.5mm이며 대부분 반자형 내지 타형이다. 결정의 크기가 클수록 단결정을 이루는 경향이 있고 타형이며, 반대로 크기가 작을수록 집합체(*aggregate*)를 이루고 반자형의 형태를 가진다. 단사휘석 반정은 크기가 0.5~2.5mm이며 반자형이 많다. 쌍정을 나타내기도 하며 대부분이 한 방향의 벽개를 보인다. 어떤 반정은 작은 감람석 미반정과 서브오피틱 조직(*subophitic texture*)을 이루기도 한다. 감람석 반정은 단사휘석과 평균 크기가 비슷하지만 최대 크기는 작다. 대부분 타형이며 테두리나 내부의 균열면을 따라서 약하게 이딩사이트로 변질되었다.

석기는 래스상의 사장석과 불투명 광물 그리고 화산유리가 가장 우세하며 미립의 단사휘석과 감람석이 소량 나타난다. 다른 용암류에 비해 사장석 래스의 크기가 작고 양이 적으며 화산유리와 미립의 불투명 광물의 양이 많다. 따라서 이들은 전형적인 전간상 조직을 보인다(Fig. 10).

별도봉 응회암 내에 포획된 현무암편

사장석과 감람석이 반정을 이루며 함량은 28%이다. 사장석이 대부분이며 감람석은 극소량 분포한다. 5mm 이상의 사장석 반정이 비교적 다수 있어 마치 반상조직과 유사하다. 그외에도 2~3mm 정도의 사장석 반정이 있다. 이들은 대부분 반자형 내지 타형



Fig. 9. Photomicrograph of Biseokgeori hawaiiite. Pl, plagioclase; Ka, kaersutite (XPL, scale bar: 0.5mm).

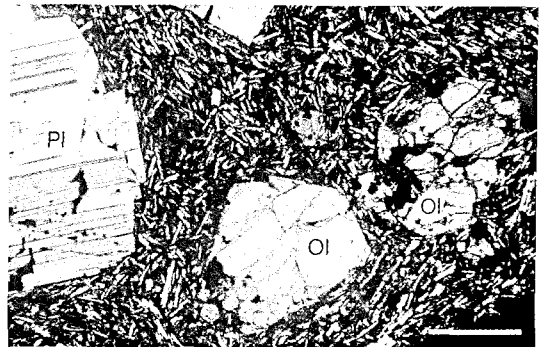


Fig. 10. Photomicrograph of Keonipdong hawaiiite. Ol, olivine; Py, clinopyroxene; Pl, plagioclase (XPL, scale bar: 0.5mm).



Fig. 11. Photomicrograph of basalt xenolith in Byeoldobong tuff. Pl, plagioclase (XPL, scale bar: 0.5 mm).

이며 변질에 의해 결정 내부가 떨어져 나간 것이 많고 석기에 의한 만입을 보이는 것도 있다. 감람석은 아주 소량이며 내부의 균열면과 테두리가 변질에 의해 이당사이트화되어 갈색을 띤다.

석기는 사장석의 래스가 우세하고 감람석과 휘석의 미립, 불투명광물, 화산유리도 함께 있다. 화산유리가 비교적 많으며 전간상 조직을 보이고 부분적으로 사장석 래스가 약한 방향성을 보인다. 석기의 감람석도 테두리가 대부분 이당사이트화 되었다(Fig. 11).

별도봉 응회암 내의 화강암편

제주도 하부 기반암에 대한 연구는 原口(1929)에

의해 최초로 실시되었다. 그는 별도봉 응회암내에 포획된 화강암편을 제주도의 하부 기반암으로 추정하였다. 이 화강암은 한반도에 분포하는 불국사화강암과 대비되며, 1960년대 말까지 제주도의 기저는 이 화강암류를 기반암으로, 제3기말의 해성퇴적층으로 해석되어진 서귀포층이 부정합적으로 피복하며, 그 퇴적층 위에 일련의 현무암류들이 분출하여 해수면 위의 화산도가 형성된 것으로 해석하였다.

1970년 초반부터 제주도 지하수개발을 위한 시추로 인해 심부지질에 대한 자료가 수집되었다. 그런데 섬의 해안주변에서 서귀포층 하부에 또 다른 현무암의 분포가 확인되어 이 현무암을 기저현무암(감람석 휘석 현무암)으로 명명하였다(농업진흥공사, 1971).

이동영 외(1987)는 우도의 동남 해안 절벽에 분포하는 응회암층에 백악기 응회암이 포획된 것을 근거로 하부 기반암으로 응회암류도 있음을 제안했다. 그리고 송악산 해안 절벽이나 수월봉 해안 절벽에서는 편마암류의 역도 확인된다(이문원, 1994). 통상산업부(1996)는 심부 시추결과와 제주도 동부 우도 소머리 오름에 포획되어 있는 용결응회암을 근거로 백악기 응회암이 있음을 확인하였고, 최근의 많은 시추자료로부터 제주도 하부 기반암을 화강암과 백악기 응회암으로 추정하고 있다(원종관 외, 1993, 1995; 손인석, 1997).

이들 기반암중에서 화강암에 대해서 原口(1929)를

Table 2. The works for granite and granite xenolith of Cheju Island.

Authors	Location of sample	Contents	Remark
Haraguchi (1929)	granite xenolith in Byeoldobong tuff	size: 10 ~ 20cm • thermal alteration of margin of xenolith → by volcanic process	
Ahn et al. (1995)	boring core near Manjanggul (cave); -1,200m	• micrographic granite • K-Ar absolute age: 58.14±1.40 Ma. (K-feldspar) early Tertiary granite	
	boring core in Jungmun	• no micrographic texture • lots of microcline	
	granite xenolith in Byeoldobong tuff	• lots of microcline	similar to granite from Jungmun
Yun et al. (1998)	boring core of Hadeokcheon area	• micrographic texture • K-Ar absolute age: 66.4±1.7 Ma. (whole rock) → Cretaceous granite	
Yun et al. (1999)	granite xenolith in Byeoldobong tuff	• porphyritic granite • myrmekitic texture • microcline • K-Ar absolute age: 172.4 Ma. → Jurassic granite	similar to granite located in southwestern area of Korea Peninsula

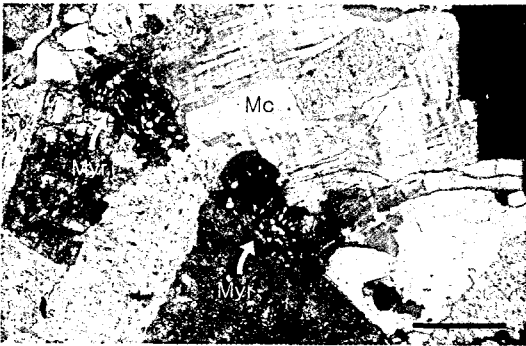


Fig. 12. Photomicrograph of granite xenolith in Byeoldobong tuff. Mc, microcline; Myr, myrmekitic texture (XPL, scale bar: 0.5mm).

비롯해 안건상 외(1995)와 윤성효 외(1999)가 연구하였다(Table 2).

原口(1929)는 별도봉 응회암내에 포획된 화강암편을 남해안의 거문도에 분포하는 화강암에 대비하여 백악기말 불국사화강암류에 해당된다고 언급하였다. 그러나 윤성효 외(1999)는 K-Ar 연대 측정 결과(172.4Ma)와 암석기재적 특징(미르메카이트 조직, 미사장석의 산출)을 제시하면서 이 암편을 주라기 화강암류로 구분하였다(Fig. 12).

토 의

사라봉-별도봉-화북봉 일대의 화산층서에 관한 연구는 原口(1930)에 의해 시작되었고, 그 후 박기화 외(1998)에 의해 재정립되었다. 연구자들에 의해 제

안된 화산층서는 Table 3과 같다. 原口(1930)의 화산층서에서 별도봉은 화북봉을 지시하는 것이며, 별도봉에 대한 명칭은 없다. 또한 화성쇄설층은 별도봉 응회암과, 별도봉 용암은 비석거리 하와이아이트와 같은 암층이고, 장식 현무암과 제주 용암은 건입동 하와이아이트와, 무반정 현무암은 신흥리 현무암과 동일한 암층이다.

原口(1930)와 박기화 외(1998)가 제안한 화산층서의 차이점은 다음과 같다. 첫째 原口(1930)는 무반정 현무암이라고 명명한 신흥리 현무암을 이 지역에서 가장 젊은 용암류로 분류하였지만 박기화 외(1998)는 가장 하부에 분포하는 용암류로 분류하였다. 둘째 原口(1930)는 비석거리 하와이아이트의 분포를 화북봉 하부와 화북봉 동쪽으로 제한하였지만, 박기화 외(1998)가 사라봉 하부에도 분포하는 것을 확인하였다. 셋째 장식 현무암과 제주 현무암을 박기화 외(1998)는 하나의 층으로 분류하였다. 넷째 사라봉 분석구와 건입동 하와이아이트의 형성 순서가 다르다.

야외에서의 분포상태와 암석학적인 특징을 고려하면 박기화 외(1998)가 제시한 화산층서가 더 타당하므로 이 연구는 박기화 외(1998)의 화산층서를 토대로 하였고 여기에 아래의 몇 가지 사항을 더 수정하여 화산층서를 재정립을 하였다.

첫째, 별도봉 응회암에 포획된 현무암편을 신흥리 현무암의 암편으로 추정하여 신흥리 현무암을 별도봉 응회암의 하부층으로 분류하였으나, 박편을 관찰한 바에 의하면 현무암편과 신흥리 현무암은 암상이 다르다. 따라서 지표에서 관찰은 되지 않지만 신흥리

Table 3. Volcanic stratigraphy of the study area by some authors.

Haraguchi (1930)	Park et al. (1998)		this work
Sarabong scoria cone			Sarabong scoria cone
aphanitic basalt	Keonipdong hawaiiite		
sedimentation of lapilli			Keonipdong hawaiiite
erosion			
feldspar basalt	Sarabong scoria cone		
Cheju lava			Hwabukbong scoria cone
erosion			
Byeoldobong lava	Biseokgeori hawaiiite		Biseokgeori hawaiiite
pyroclastic rocks	Byeoldobong tuff	Shinheungri basalt	Byeoldobong tuff
			Shinheungri basalt
basement rock	basement rock		porphyritic basalt (?)
			basement rock



Fig. 13. Photomicrograph of Hwabukbong scoria. Ka, kaersutite; Pl, plagioclase (XPL, scale bar: 0.5mm).



Fig. 14. Photomicrograph of Sarabong scoria. Ol, olivine; Pl, plagioclase (XPL, scale bar: 0.5mm).

현무암과 기반암 사이에 또 다른 현무암층이 존재하는 것으로 추정된다.

둘째, 박기화 외(1998)는 사라봉 분석구와 화북봉 분석구를 하나의 분석구로 분류하였지만 이 연구에서는 다른 분석구로 분류하였다. 야외에서 관찰하면 두 개의 분석구가 독자적인 지형을 보이기 때문에 화북봉과 사라봉이 각각의 독립적인 화산 활동을 가졌던 것으로 생각하였다. 이 사실을 증명하기 위해 두 분석구를 구성하는 분석의 차이점에 주목하였다.

비석거리 하와이아이트에는 다량의 케르수타이트가

들어있다. 화북봉의 화산활동에 의해 비석거리 하와이아이트가 형성되었기 때문에 화북봉 분석구의 분석에도 케르수타이트가 들어있을 것이다. 하지만 화북봉의 화산활동과는 독자적으로 활동하였을 사라봉 분석구의 분석에는 케르수타이트가 들어 있지 않을 것이라 가정하였고, 야외조사와 실내작업에서 이 사실을 확인하였다. 박편을 관찰한 바에 의하면 화북봉 분석구의 분석은 케르수타이트와 사장석 결정이 있지만(Fig. 13), 사라봉 분석구의 분석에는 케르수타이트는 없고 사장석과 심하게 이당사이트화된 감람석 결

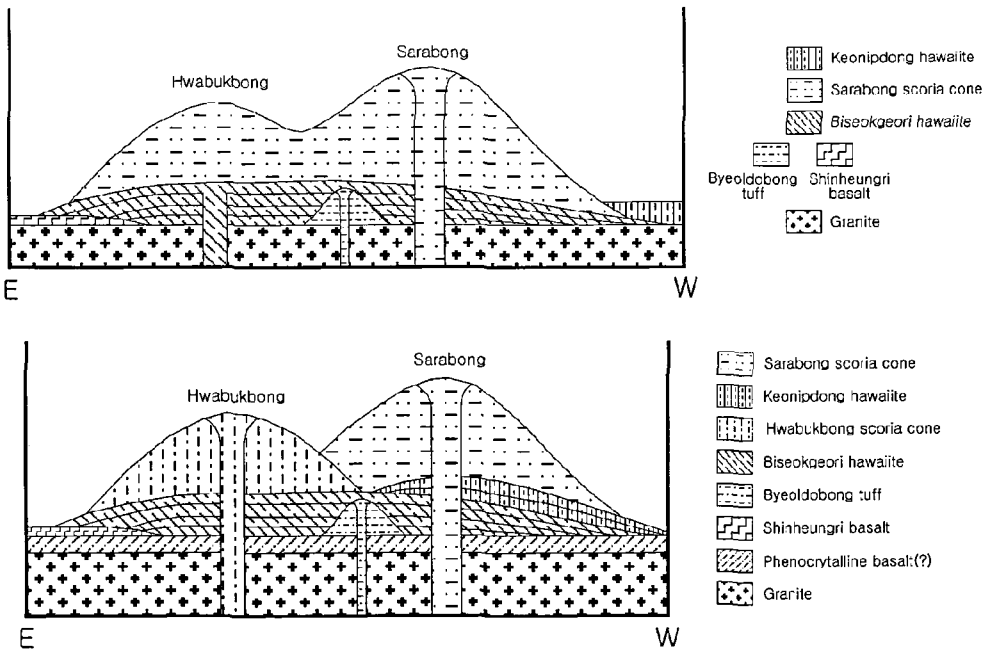


Fig. 15. Simplified geological cross section of the study area. Top, based on the volcanic stratigraphy by Park *et al.* (1998); bottom, this study.

정만 들어있다(Fig. 14). 따라서 둘은 서로 다른 분석구로서 각각 독자적인 화산활동을 가졌었다.

셋째, 건입동 하와이아이트와 사라봉 분석구의 선후 관계이다. 박기화 외(1998)는 사라봉 분석구가 형성된 후에 남쪽으로부터 건입동 하와이아이트가 흘러와 사라봉 분석구를 피복하였다고 하였다. 그러나 야외에서 사라봉 분석구가 건입동 하와이아이트를 피복한다(Fig. 7). 또한 둘 사이의 경계부에서 두층이 얇게 호층을 이루면서 교호하다가 상부로 갈수록 사라봉 분석구가 우세해지며 결국은 사라봉 분석구만 분포하게 된다. 그리고 건입동 하와이아이트의 반정의 종류와 사라봉 분석구의 분석을 이루는 결정의 종류가 아주 유사하므로(Figs. 10, 14) 건입동 하와이아이트는 사라봉의 화산활동에 의해 형성되었다고 결론지을 수 있다.

박기화 외(1998)에 의하면, 건입동 하와이아이트는 그 기원지는 알 수 없지만 지형상 해발고도가 높은 남쪽에서 분출하여 대상으로 넓게 북쪽으로 흘렀다. 이 건입동 하와이아이트가 사라봉 분석구에서 분출하였다면 그렇게 높은 위치까지 흘러간다는 것은 어렵다. 따라서 건입동 하와이아이트의 분포지를 사라봉 근처로 한정하여 건입동 하와이아이트의 기원지를 해석하였으며, 남쪽의 높은 지역에 분포하는 건입동 하와이아이트와 사라봉 근처의 하와이아이트와의 상호 관계에 대해서는 앞으로 더 많은 연구를 필요로 한다.

위의 사실들을 종합하여 연구지역에 대한 지질단면도를 단순화한 그림으로 나타내었다(Fig. 15). 주라기 화강암이 기반암으로 분포하고, 야외에서 관찰되지는 않지만 그 위에 신흥리 현무암과는 다른 반상 현무암이 분포한다. 그 위에 신흥리 현무암, 그리고 반상 현무암과 기반암인 화강암의 암편을 함유한 별도봉 응회암이 형성되었다. 그 후 화북봉 화산활동에 의해 케르스타이트를 다량 함유한 비석거리 하와이아이트가 분출하였고 그 위를 화북봉 분석구가 피복하였다. 그 다음에 사라봉 화산활동에 의해 사장석과 감람석이 많은 건입동 하와이아이트가 분출하였으며 마지막으로 그 위를 사라봉 분석구가 피복하였다.

결론

첫째, 제주도 사라봉-별도봉-화북봉 일원의 최하부에는 신흥리 현무암, 그리고 화강암편과 현무암편을

함유한 별도봉 응회암이 분포한다. 그 위를 화북봉 화산활동에 의해 형성된 비석거리 하와이아이트가 덮고 있으며 그 후에 화북봉 분석구가 형성되었다. 그 다음으로 사라봉 화산활동에 의해 건입동 하와이아이트가 분출하였고 그 위를 사라봉 분석구가 피복한다.

둘째, 별도봉 응회암내에 포획된 현무암은 신흥리 현무암과는 암상이 다른 반상 현무암이다. 이 암층은 지표에서 관찰되지 않지만 신흥리 현무암과 기반암 사이에 분포하는 것으로 추정된다. 그리고 이 지역의 기반암인 화강암편은 절대연령과 암석기재적 특징을 토대로 주라기 화강암으로 분류된다.

참고문헌

- 농업진흥공사, 1971, 제주도 지하수 보고서, 381 p.
- 박기화 · 이병주 · 조동룡 · 김정찬 · 이승렬 · 김유봉 · 최현일 · 황재하 · 송교영 · 최범영 · 조병욱, 1998, 제주 · 애월도폭 지질보고서(1:50,000), 제주도, 한국자원연구소, 290 p.
- 손인석, 1997, 제주화산도의 암석층서 및 연대층서, 제주대학교 대학원 박사학위논문, 213 p.
- 안건상 · 이현구 · 임현철, 1995, 제주도에서 산출되는 화강암에 관한 연구. 자원환경지질학회지, 28(5), 513-518.
- 원종관 · 이문원 · 이동영 · 손영관, 1993, 한국지질도(1:50,000), 성산도폭 및 설명서. 건설부, 제주도, 한국수자원공사, 104 p.
- 원종관 · 이문원 · 이동영 · 윤성효 · 고보균, 1995, 한국지질도(1:50,000), 표선도폭 및 설명서. 건설교통부, 한국수자원공사, 59 p.
- 윤성효 · 이윤종 · 정원우, 1998, 제주도 하부 기반암중의 화강암에 대한 암석학 및 저어콘 결정 형태 연구: (I) 백악기 화강암. 한국지구과학회지, 19(5), 486-494.
- 윤성효 · 이윤종 · 정원우 · 고정선, 1999, 제주도 하부 기반암중의 화강암에 대한 암석학 및 저어콘 결정 형태 연구: (II) 선백악기 화강암. 한국지구과학회지, 20(3), 277-281.
- 이동영 · 윤상규 · 김주용 · 김윤중, 1987, 제주도 제4기 지질 조사연구. 한국동력자원연구소 연구보고서, 233-278.
- 이문원, 1994, 제주도의 형성사와 지질구조, 제주도 지하수 자원의 환경학적 보전과 개발 이용. 대한지하수환경학회, 전략광물자원연구센터, 54-74.
- 통상산업부, 1996, 제주도 지열자원탐사 및 최적활용방안 (III). 951K101-113AG1, 23-28.
- Keil, K. and Foder, R.V., 1972, Contributions to the mineral chemistry of Hawaiian rocks. Contributions to Mineralogy and Petrology, 37(2), 253-276.
- 原口九萬, 1929, 濟州道 別刀峯 西北海岸の 火山碎屑層中に 捕獲された 花崗岩に 對する. 地球, 12, 94-99.
- 原口九萬, 1930, 濟州火山島. 小川博士還曆記念論文集. 1-55.

2000년 11월 13일 원고 접수

2001년 1월 16일 수정원고 접수

2001년 2월 2일 원고 채택