

## 제주도 지질유산 탐방안내를 위한 소형 화산체의 지형·지질 비교분석

윤석훈<sup>1,\*</sup> · 추교형<sup>2</sup> · 박용성<sup>3</sup>

<sup>1</sup>제주대학교 지구해양학과  
<sup>2</sup>제주대학교사범대학부설고등학교  
<sup>3</sup>서귀포고등학교

### 요 약

일선 중등학교의 지구과학 현장실습과 일반인들의 탐방안내에 활용할 목적으로 제주도의 일출봉, 송악산, 하논, 산방산, 섭지코지, 금오름 등 소형 6개 화산체를 선정하여 야외지질답사, 디지털지형도를 통해 각 화산체 유형의 지형·지질학적 특성과 형성과정을 분석하였다. 이들 소형 화산체들은 응회구, 응회환, 마르, 분석구, 용암돛 등 5개의 유형으로 분류되는데, 화구의 크기와 깊이, 경사도와 함께 구성 지층의 암상, 조직과 구조 및 암석성분 등의 지형 및 지질학적 특성에 의해 뚜렷하게 구분된다. 특히, 화산체 사면의 경사도는 용암돛, 분석구, 응회구, 응회환, 마르 순으로 감소하며, 분화구 직경과 화산체 저경의 비는 동일한 순으로 증가한다. 제주도 화산체의 유형을 결정하는 요인으로서, 용암돛의 형성은 분출하는 마그마나 용암의 화학적 성분에 의한 높은 점성에 영향을 받으며, 기타 다른 분화구들의 형성은 마그마의 화학적 성분보다는 마그마 자체의 물리적 특성(기체함량)이나 외부조건(물과의 반응)에 영향을 받는 것으로 보인다. 분석결과는 탐방안내서 제작에 활용하기 쉽게 그림과 표, 흐름도 등으로 제시되었으며, 이를 통해 다양한 제주도 화산체의 특성과 형성과정을 이해하는데 도움이 될 것이다.

**주요어:** 지질유산, 제주도, 화산활동, 소형화산체

**Seok-Hoon Yoon, Kyo-Hyeong Choo and Yong-Sung Park, 2014, Comparative analysis of geomorphological and geological characteristics of small-scale volcanoes applicable to field guide for Jeju Island geoheritages. Journal of the Geological Society of Korea. v. 50, no. 1, p. 133-150**

**ABSTRACT:** In this study, geomorphological and geological characteristics of 6 small volcanoes in Jeju Island (Ilchulbong, Songaksan, Hanon, Sanbongsan, Seobjikoji and Geum-orm) are analyzed based on field survey and analysis of digital topographic maps, which are applicable to field guide for students and visitors. These volcanic bodies are classified into 5 different types of volcanic landform including tuff cone, tuff ring, maar, lava dome and scoria cone, and distinct from each other by lithology, texture and structure and chemical composition of the rock formation as well as caliber, depth and slope gradient of the crater. It is particularly noteworthy that maar, tuff ring, tuff cone, scoria cone and lava dome are in order of increasing slope gradient of outer rims, but the ratio of crater caliber to volcano diameter is in the reverse order. The formation of a lava dome seems to be influenced mainly by the chemical composition and higher viscosity of magma, but the other types of volcanoes are preferably controlled by physical properties of magma and/or external condition (e.g., gas content and water interaction) rather than chemical property of magma. The major results of this study are presented by tables, figures and a flow chart, which will help to understand the diverse nature of volcanic geoheritages of the Jeju Island.

**Key words:** geoheritage, Jeju Island, volcanic activity, small volcano

(Seok-Hoon Yoon, Department of Earth and Marine Sciences, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea; Kyo-Hyeong Choo, Jeju National University High School, Jeju 690-043, Korea; Yong-Sung Park, Seogwipo High School, Seogwipo 697-864, Korea)

\* Corresponding author: +82-64-754-3436, E-mail: shyoon@jejunu.ac.kr

## 1. 서론

북서태평양 활화산대의 북쪽에 위치한 우리나라에는 현재 활동 중인 화산은 없지만 제주도, 울릉도, 독도, 백두산 등이 비교적 최근의 신생대 화산활동에 의해 형성된 것으로 알려져 있다. 특히, 제주도는 약 180만 년 전부터 수십만 년에 걸쳐 일어난 대륙붕 환경에서의 수성분출과 그 이후 11세기 초까지 이어진 육상 용암분출을 통하여 형성된 우리나라의 대표적인 화산지대이다(Won, 1976; Lee, 1982; Won *et al.*, 1986; Lee *et al.*, 1988; Sohn *et al.*, 2008). 제주도에는 백록담을 비롯한 분화구, 화구호(습지), 용암동굴, 주상절리대, 현무암질 용암류 및 화성쇄설물 등 화산기원의 다양한 지질유산들이 잘 보존되어 있다. 그 중에서도 특히 제주도 전역에 산재하는 370여 개의 소형 화산체들은 제주어로 '오름'이라 불리는데, 이국적인 제주도 자연경관을 대표하는 주요 키워드가 되고 있다. 화산학적으로 이들 오름들은 분석구(scoria cone), 응회환/구(tuff ring/cone), 용암돔(lava dome), 마르(maar) 등의 유형으로 분류되는데, 분화구의 형태, 구조, 구성암석은 물론, 분포지역과 형성시기가 화산체 유형에 따라 서로 다르게 나타나는 양상을 보인다(Kim, 2001; Sohn *et al.*, 2002;

Lee and Yun, 2012). 이와 같은 지형·지질 특성의 다양성으로 인해 제주의 오름들은 제주도 자연경관의 핵심요소로 평가되고 있으며, 대부분이 보존지역으로 지정, 관리되고 있다. 그리고 최근에는 제주도가 유네스코 세계자연유산으로 등재(2007년)되고 세계지질공원으로 인증(2010년) 받으면서, 제주 오름의 성인과 형성과정에 대한 학생과 주민, 관광객 등 일반인들의 관심이 매우 높아지고 있다.

제주도 소형 화산체의 지형·지질학적 특성에 대해서는 이미 많은 학술논문을 통해 발표되었다. 그러나 비전문가의 입장에서 보면, 이러한 자료들의 대부분은 그 내용이 전문적이어서 이해하기가 곤란하며 일선학교의 과학교사들조차도 학습교재나 탐방안내자료를 제작하는 데 활용하기가 쉽지 않은 실정이다. 따라서 학생과 일반인 등 비전문가를 위한 제주도 지질유산 탐방안내서 제작을 위해서는 보다 쉽게 이해할 수 있는 제주도 화산체에 대한 자료 및 정보의 생산이 필요하다. 이 연구에서는 제주과학고 학생들의 야외지질탐구활동을 통하여 얻어진 자료를 기초로 하여 향후 탐방안내서 제작에 활용할 수 있도록, 유형이 다른 6개의 화산체(그림 1)에 대한 지형 및 지질학적 특성을 비교 분석하고, 그 결과로서 화산체 유형 차이와 구분요소를 직관적으로 이해

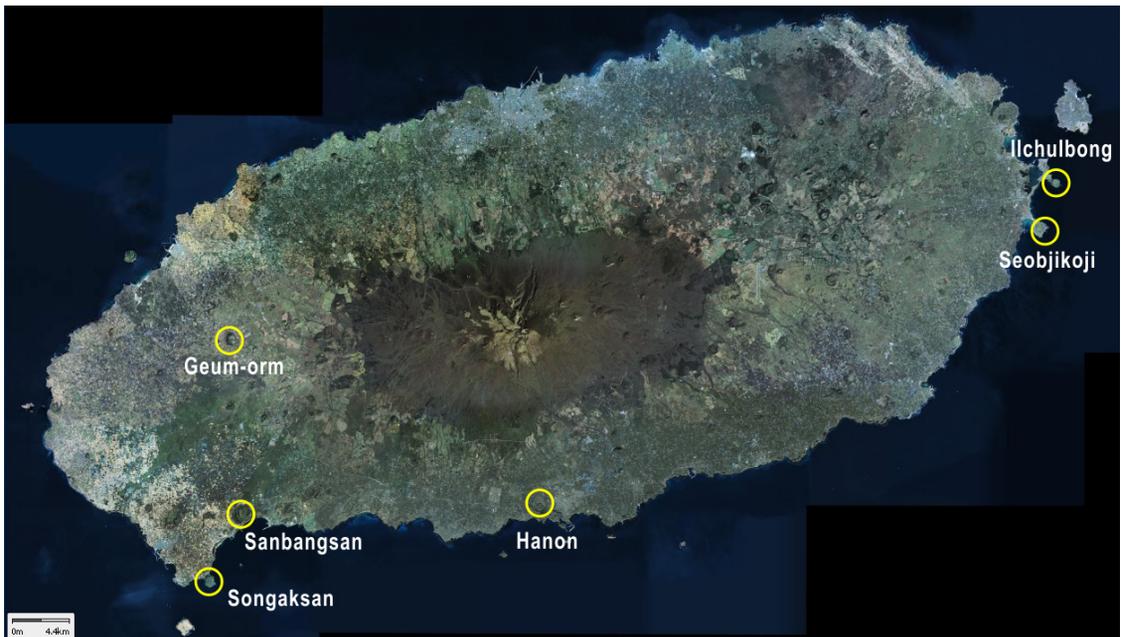


Fig. 1. Locations of small-scale volcanoes analyzed in this study.

할 수 있는 그림과 표, 흐름도 등으로 제시하였다. 또한 각 유형별 지형 및 지질학적 차이의 요인을 마그마 특성, 분출양상, 고환경의 관점에서 고찰하였다.

## 2. 연구 방법

이 연구는 제주도 소형 화산체 유형을 대표하는 일출봉(응회구) 송악산(응회환), 하논(마르), 산방산(용암돔), 섭지코지(분석구), 금오름(분석구) 등을 대상으로 한다(그림 1). 지질학적 분석은 각 화산체에서 실시된 야외지질조사와 기존 문헌의 종합을 통해 이루어졌다. 지형분석은 국립지리원 발간 1:5000 수치지형도를 기본자료로 하여 지리정보분석 소프트웨어인 ArcView를 통해 분화구의 형태를 파악하고 사면경사와 높이, 분화구 직경 등을 측정하였으며, 단면도와 3D 입체지형도를 작성하였다.

## 3. 제주도 지질 개관

제주도는 약 180만년 전인 신생대 플라이스토세에 시작된 화산 분출에 의해 형성된 화산섬으로서, 지표의 지질은 용암분출에 의한 두꺼운 화산암과 화성쇄설암(응회암) 및 퇴적암으로 구성되어 있다(Won, 1976). 화산암은 현무암, 조면현무암, 현무암질조면안산암, 조면안산암 및 조면암 등으로 분류되며, 알칼리 화산암계열의 지화학적 특성을 보인다(Lee, 1982; KIGAM, 2000). 주로 제주도 동부와 서부에 분포하는 현무암류는 분출 당시의 낮은 점성 때문에 넓은 지역을 피복하며 평탄한 지형을 이루었고, 상대적으로 높은 점성을 갖는 조면암류는 유동성이 작아 화구 주변에 높은 기복을 보이는 구릉을 형성하였다(Won, 1975).

화성쇄설암은 수성화산 분출과 스트롬볼리형(Strombolian) 분출에 의해 형성된 것으로 구분되는데, 수성화산분출에 의해 형성된 유리질쇄설암은 퇴적암과 같이 잘 발달된 층리를 보이면서 주로 해안지역에 분포하고 있으며, 스트롬볼리형 분출과 관련된 화산암은 스킨리아(scoria)로서 주로 분석구(오름)로 분류되는 소형 단성화산체들을 형성하고 있다(Sohn, 1996; Park *et al.*, 2006).

퇴적암은 주로 용암류 사이에 협재한 황적색 혹은 회색의 이암, 사암, 역암, 함각력 역암이며, 고지

형의 저지대와 하천 혹은 바닷가에서 퇴적된 것으로 분포는 매우 제한적이다(Park *et al.*, 2006). 한편 제주도의 남부와 동부해안에 각각 노출되어 있는 서귀포층과 신양리층은 해성퇴적층으로서 재동된 화성쇄설물을 포함하는 사암 및 이암 혹은 소량의 역암으로 이루어져 있으며, 다양한 종류의 해양화석이 산출되고 있다(Kim, 1969, Park *et al.*, 2005; Yoon and Chough, 2006).

한편, 시추조사 자료를 종합하면, 제주도 동부는 해수면 하 150 m까지, 서부 지역은 50~70 m까지 용암류 화산암이 분포하고, 그 하부에는 서귀포층과 미고결 퇴적층(U층)이 분포한다. 제주도 지하의 서귀포층은 제주도 화산분출 초기단계에 집적된 퇴적층으로서, 친해환경에서 일어난 수성분출의 화성쇄설물과 화산활동 휴지기에 쌓인 해양퇴적물로 구성되어 있다(Sohn and Park, 2004; Yoon and Chough, 2006). 서귀포층 하부의 미고결퇴적층(U층)에는 해양 유공충이 포함되어 있어서 제주도 화산활동 이전에 퇴적된 해성층으로 해석되고 있다(Koh, 1997). 미고결퇴적층 하부에는 중생대 백악기 유천층군에 대비되는 것으로 추정되는 응회암층과 신생대 팔레오세에 이를 관입한 화강암층이 분포한다(Ahn *et al.*, 1995; Koh, 1997).

## 4. 분석 결과

### 4.1 일출봉 응회구

#### 4.1.1 지형 특성

제주도 동쪽 끝 성산포 해안에 위치한 일출봉(그림 1)은 제주도 유네스코 세계자연유산과 세계지질공원의 핵심지역으로서, 현재 제주도에서 가장 많은 관광객이 찾는 곳이다. 원형의 화구를 갖는 일출봉 화산체는 북서쪽 일부를 제외하고는 대부분의 화산체 사면부가 파도에 의해 침식되어 급경사의 해안절벽을 형성한다(그림 2). 일출봉의 표고는 179 m이며, 주변 평지 위에 약 175 m의 높이(비고)로 솟아있다(표 1). 접시모양의 화구는 직경이 약 550 m이며, 가장 낮은 지점의 표고가 89 m로서 화구의 최대깊이는 약 90 m이다. 화산체의 상당부분이 침식을 받아 없어져 버렸지만 원형의 화산체를 가정한다면, 화산체의 저경은 약 1,920 m로 추정된다. 화산체 사면의 경사는 거의 응회암 지층의 경사와 일치하여

평균 약 22°이며, 화구근처에서 35° 이상의 급경사에서 화산체의 외곽으로 가면서 20° 이하로 점차 감소한다(그림 2b, 2d).

4.1.2 지질 특성

일출봉 화산체는 용암류가 아닌 서로 분리된 화성쇄설물 입자가 굳어져서 형성된 응회암과 화성쇄설물이 쌓인 후 그 일부가 재동되어 굳어진 재동퇴적암층으로 이루어져 있다(그림 3; 표 2). 성산일출봉의 응회암층은 대체로 기공의 함량이 높은 현무암

질 화산력과 미세한 유리질 화산재로 구성되어 있으며, 반고화 내지 고화된 상태로 나타난다. 화산암괴도 곳곳에 산재하여 나타나는데, 암괴의 약 60%와 화산력의 약 5%는 기반암에서 뜯겨 올라온 결정질 현무암편으로 이루어져 있다. 일출봉의 응회암층은 오랫동안 바닷물에 깎이면서 해안을 따라 가파른 해식단이나 파식대지에 잘 드러나 있고(그림 3a), 이곳에서 다양한 구조들을 관찰할 수 있다. 특히 일출봉에서는 퇴적암에서 관찰되는 것과 유사한 평행층리가 잘 나타나며(그림 3a, 3b), 화산암괴가 응회암층

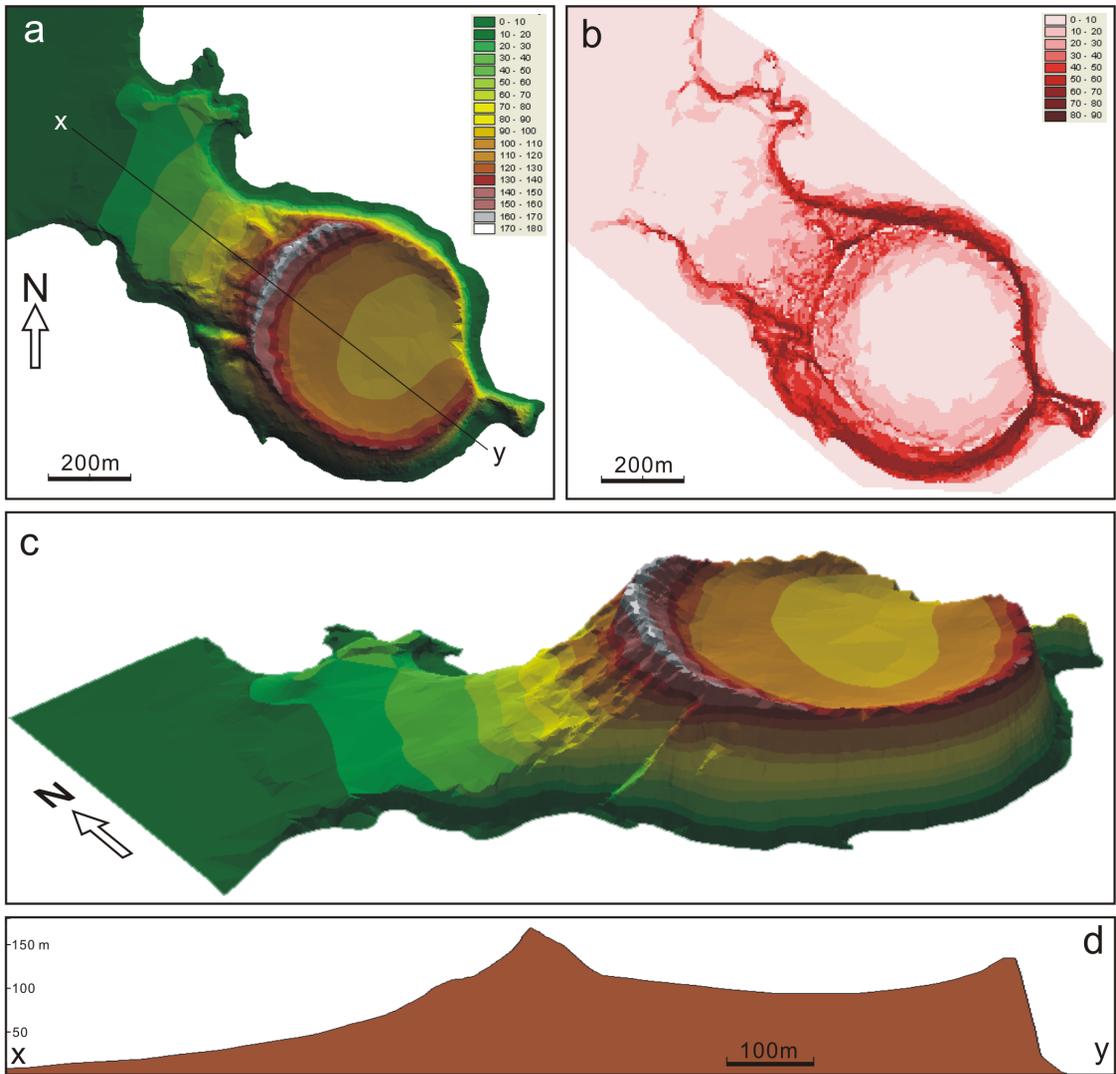


Fig. 2. Topography of Ilchulbong tuff cone. (a) Topographic relief map (contour in meter), (b) distribution of slope gradient (°), (c) 3D topography, and (d) cross section (x-y).

에 충돌하면서 층리가 변형된 탄낭구조가 곳곳에서 발견된다(그림 3c). 이외에도 습윤한 상태의 화산재가 화산암편의 표면에 들러붙어 만들어진 피복화산력, 응회암층의 퇴적직후에 형성된 단층과 균열, 분출 도중 일어난 사면붕괴에 의해 재동된 응회암층 등 다양한 지질구조를 해안절벽에서 관찰할 수 있다. 이러한 퇴적구조들은 폭발적인 화성쇄설물의 분출을 지시하는 것으로서, 성산일출봉이 분출할 당시에 다량의 물이 화도로 흘러들어 마그마가 급격히 고화되고 수증기의 폭발력을 야기함으로써 수지상의 탄도분출과 화쇄난류에 의해 다량의 화성쇄설물이 급경사를 이루면서 쌓여 응회구가 형성되었던 것으로 해석된다(Sohn and Chough, 1992). 한편, Sohn (1996)은 일출봉 응회암층 내에서 제주도 화산암 지

층의 하부에 나타나는 대륙붕 퇴적층인 U층과 그 밑의 중생대 화강암에서 유래한 암편들이 발견되지 않는 것을 근거로하여 일출봉의 폭발이 비교적 얇은 심도, 즉 두께가 약 120 m인 최상부 용암층 내부에서 일어난 것으로 해석하였다. 일출봉의 분출시기는 일출봉 응회암을 피복하고 있는 신양리층의 조개화석 연대(<sup>14</sup>C)에 근거하여 약 5,000년 전으로 추정되고 있다(Kim *et al.*, 1999; Cheong *et al.*, 2006).

4.2 송악산 응회환

4.2.1 지형 특성

일출봉과 비슷하게 넓은 원형 화구를 갖는 송악산도 해안에 위치하고 있기 때문에 화산체 사면부와 화구륜의 약 80%가 침식되어 없어졌으며, 화구의

Table 1. Summary of topographic analysis.

	Max. height (m)	Relative height* (m)	Base diameter** (m)	Crater caliber (m)	Crater caliber vs. base diameter ratio	Crater depth*** (m)	Average slope gradient	Original shape
Ilchulbong tuff cone	179	174	1,920	550	0.29	90	22°	Bowl (circular)
Songaksan tuff ring	104	99	2,500	850	0.34	35	13°	Bowl (circular)
Hanon maar	143.4	63	1,300~1,800	1,000~1,150	0.63	90	7°	Bowl (circular)
Sanbangsan lava dome	395	345	1,400~2,000	0	0	-	37°	Dome
Seobjikoji scoria cone	33	18	370	100**	0.27	Crater eroded	31°	Conical
Geum-orm scoria cone	427.5	178	850~1,000	260~300	0.30	52	27°	Conical

\* Altitude difference between the highest point of volcano and the surrounding plain.

\*\* Restored.

\*\*\* Altitude difference between the highest point on crater rim and the lowest point of crater floor.



Fig. 3. Outcrop photos of Ilchulbong tuff cone. (a) Steeply-inclined stratification on the sea cliff, (b) tafoni, and (c) bomb sag.

일부도 소멸된 상태이다(그림 4a, 4c). 송악산 분화구는 직경이 일출봉에 비해 1.5배 정도인 850 m 이상이며, 그 내부에 직경 약 150 m인 분석구 화구가 형성되어 있는 복합화산의 형태를 보인다(표 1). 송악산의 최고점은 중앙의 분석구에 나타나는데 표고 104 m이며, 비고는 약 100 m이다. 하모리 지역까지 나타나는 응회암층의 분포를 보면 화산체의 저경은 최소한 2,500 m 이상으로 추정된다. 외곽 응회환 분화구의 깊이는 약 35 m이며, 화산체 사면부의 경사는 평균 13° 정도로 측정된다(그림 4b, 4d). 중앙분화

구는 깊이 69 m로 70° 이상의 급경사 내벽을 갖는다.

4.2.2 지질 특성

제주도 서남단에 자리잡은 송악산 역시 응회암으로 이루어진 화산체이지만, 일출봉과는 달리 중심부에는 스킨리아로 이루어진 분석구와 용암류가 나타나는 복합화산체의 특징을 보인다(Hwang, 2000) (그림 5a). 송악산 중심부의 스킨리아 분화구에서는 층리를 보이지 않는 붉은 색을 띠는 스킨리아가 불규칙하게 쌓여서 다소 가파른 경사의 분화구를 이루

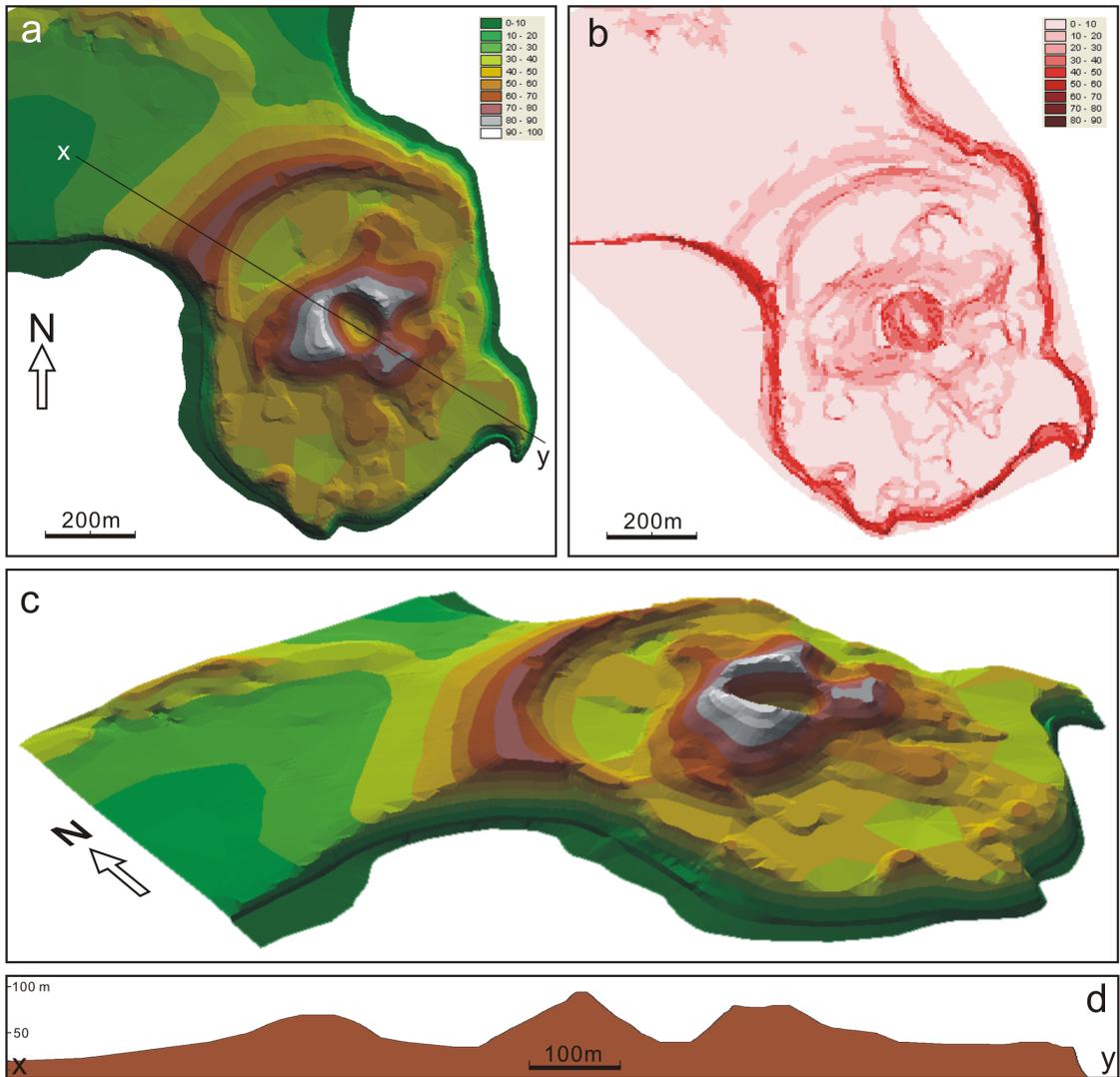


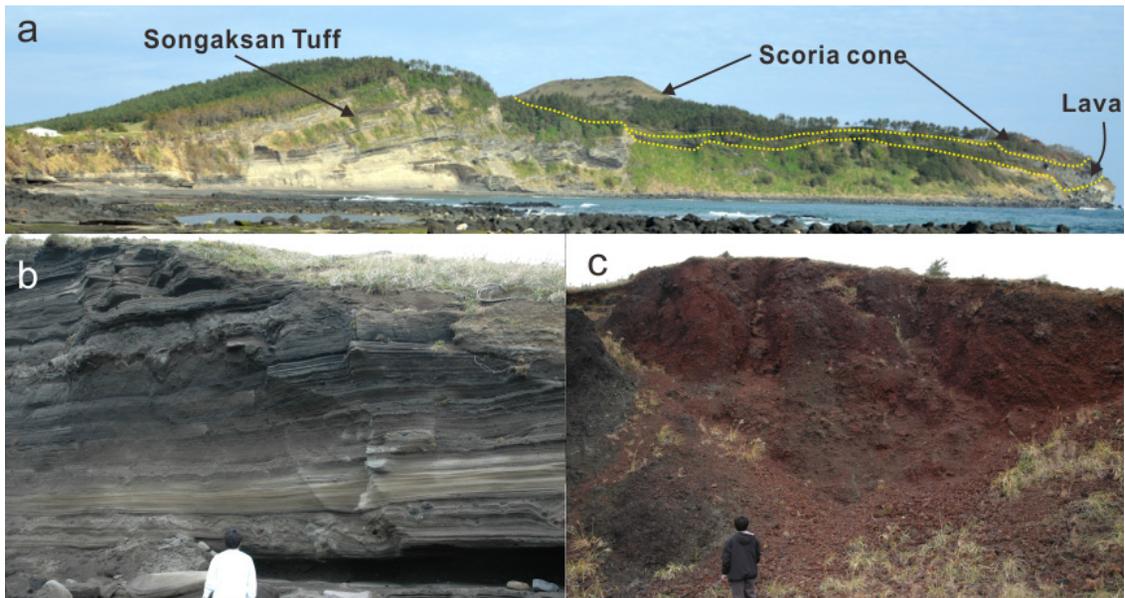
Fig. 4. Topography of Songaksan tuff ring. (a) Topographic relief map (contour in meter), (b) distribution of slope gradient (°), (c) 3D topography, and (d) cross section (x-y).

고 있다(그림 5c). 송악산의 북서쪽을 제외한 모든 방향이 침식되어 최대 80 m 높이의 해안절벽을 이루고 있기 때문에 응회환 화산체 내부의 구조가 잘 노출되어 있다. 이 단면에서 평행층리와 파형층리,

**Table 2.** Basic information and outcrop characteristics of study areas.

	Location	Approx. age (ky)*	Lithology*	Texture	Structure	Grain stacking
Ilchulbong tuff cone	Coastal	5	Tuff (basalt)	Vesicular	Stratification; bomb sag; accretionary lapilli; slide; fault	Discrete
Songaksan tuff ring	Coastal	5	Tuff (andesite to trachyandesite)	Vesicular	Stratification; bomb sag; accretionary lapilli; channel; syn-depositional fault	Discrete
			Scoria (trachybasalt)	Vesicular	Structureless	Partly coalescent
Hanon maar	Inland	34	Tuff (trachyandesite)	Vesicular	Stratification; bomb sag	Discrete
			Scoria	Vesicular	Structureless	Partly coalescent
Sanbangsan lava dome	Coastal	750	Lava (trachyte)	Massive; dense; aphanitic or porphyritic	Structureless	-
Seobjikoji scoria cone	Coastal	95	Scoria (bomb; spatter) & lava (basalt)	Vesicular	Partly stratified	Partly coalescent or discrete
Geum-orm scoria cone	Inland	?	Scoria & lava (trachybasalt?)	Vesicular; porphyritic	Structureless	Partly coalescent

\* See text for the data sources.



**Fig 5.** Photos of Songaksan tuff ring. (a) Panoramic view, (b) parallel stratified tuff, and (c) outcrop of scoria cone.

거대연흔, 탄낭, U-자형 하도구조 혹은 폭풍침식면 등을 관찰할 수 있고(그림 5b) 퇴적동시성 단층도 나타난다. 화산체 중앙의 분석구는 화산암괴, 화산탄, 스페터, 스킨리아 등으로 구성되어 있다. 따라서 송악산에서는 하부로부터 응회암, 스킨리아층, 현무암, 다시 스킨리아층의 순서로 다양한 암석이 나타난다(KIGAM, 2000; Hwang *et al.*, 2001). 이들 암석은 수성분출과 연이어 일어난 스트롬볼리형 분출의 산물로 해석된다(Sohn and Chough, 1989; Hwang *et al.*, 1992). 송악산을 구성하는 화산암의 조성은 응회환은 안산암 혹은 조면안산암으로, 분석구와 용암류는 모두 조면현무암으로 분석되었다(Hwang *et al.*, 2001).

### 4.3 하는 마르

#### 4.3.1 지형 특성

서귀포에 위치한 하는 분화구는 화구의 최대직경이 1 km를 넘는 제주도에서 가장 큰 화산체이다. 하는 분화구에서 분출한 응회암층의 현재 분포(Yoon *et al.*, 2006)로 볼 때, 하는 화산은 동서방향으로 약 1,800 m, 남북방향으로 약 1,300 m의 저경을 갖는 타원형 화산이다. 화산 주변은 남남동쪽으로 완만하게 경사져 있는 사면(고도 50~110 m)으로서, 그 위에 최대 63 m의 높이(비고)로 형성되어 있다(표 1). 화산체의 중심에는 원형의 분화구가 형성되어 있고, 분화구 안에는 다시 소규모 분석구들이 발달하고 있는 이중화산의 특징을 보인다(그림 6a, 6c). 화산의 사면은 남서측 일부 지역이 20° 이상의 급경사를 보이지만, 이를 제외하면 대부분 10° 이하(평균 7° 정도)의 완경사를 보인다(그림 6b). 화산의 높이는 분화구 남서측 부분에서 해발 143.4 m로 가장 높고, 분화구 동쪽에서는 해발 60 m 정도로 가장 낮는데, 서쪽 화구륜은 대부분 해발 100 m 이상이나 동쪽은 해발 80 m 이하로 낮다(그림 6d). 분화구를 둘러싸고 있는 화구륜은 직경이 1,000~1,150 m이며, 분화구 안쪽 사면은 대부분 10° 이상, 최대 50°까지의 급경사로 나타난다(그림 6b). 분화구 내부는 해발 53~65 m의 높이로 남쪽에서 북쪽으로 완만하게 경사져 있으며, 분석구가 발달하는 남쪽 부분과 습지가 형성되어 있는 북쪽 부분이 55 m 등고선을 경계로 비교적 뚜렷하게 구분된다. 분화구 내 북부에 발달하는 평탄한 습지(논)는 53~55 m의 고도 분포를 보이

며, 화구륜 정상보다 최대 90 m, 화산 외곽의 지표면(고도 50~110 m)보다 최대 60 m 정도 낮게 위치한다(그림 6d).

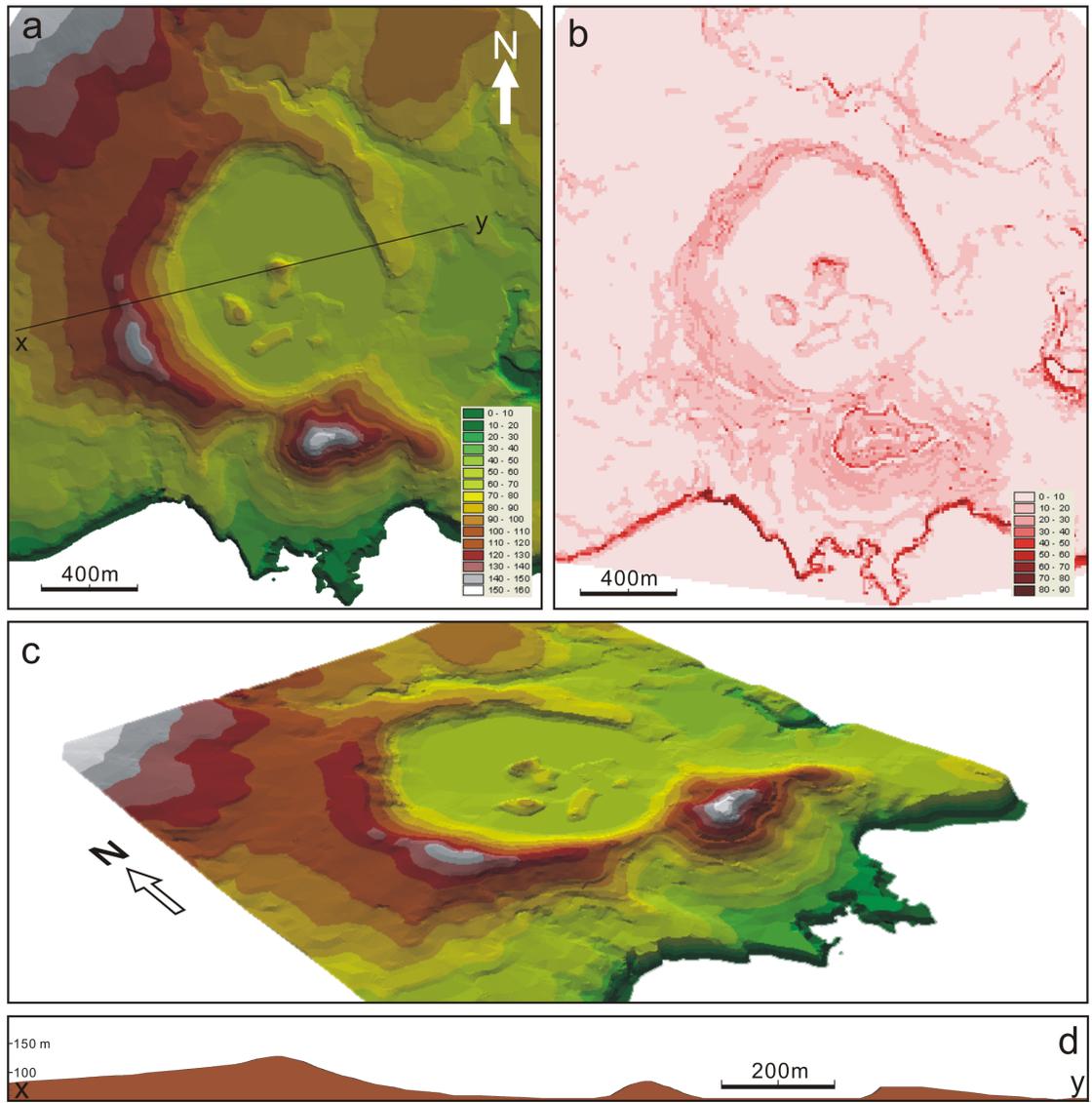
#### 4.3.2 지질 특성

하는 분화구는 대부분은 응회암으로 구성된 마르형 화산체로 분류되지만 화구 중심에 소형 분석구가 형성되어 있다(그림 7a). 분화구의 바깥쪽으로는 평균 약 40 m 두께의 응회암층(그림 7b)이 10° 이하의 완만한 사면을 이루고 있으며, 분화구의 안쪽 사면에는 용암류 기반암(하는 분출 이전에 형성된 천지연조면안산암, 각수바위조면안산암)이 드러나 있으며(그림 7c), 최대 15 m 두께의 화구호 퇴적층이 분석구와 함께 화구 중심에 집적되어 있다(Yoon *et al.*, 2006). 화성쇄설물은 괴상 혹은 층리구조를 보이는데, 대부분 미립 내지는 조립의 화산재와 라필리로 구성되어 있으며, 10 cm 이상 되는 암괴들도 다수 포함되어 매우 불량한 분급을 보인다(표 2). 비교적 밝은 색을 띠는 응회암층에는 유리질 및 다공질 물질로 구성된 본질입자(juvenile grain) 외에도 화산 분출 시 기반암으로부터 포획된 석영과 암편 등 다량의 이질입자(accidental grain)가 포함되어 있으나, 본질입자의 양이 이질입자보다 우세(70% 이상)한 편이다. 화구저의 일부에서는 용암류와 스킨리아가 나타나는데, 분화구 내부의 중앙과 남쪽 부분에 분포하는 여러 개의 작은 분석구를 구성하고 있다. 용암류는 담회색 혹은 암갈색을 띤 다공질 암석으로서, 대부분 비현정질 및 유리질 조직을 보이며 1~3 mm 크기의 장식 반정이 소량 함유되어 있다. 스킨리아는 다양한 크기의 다공질 입자로서 적갈색을 띠며 유리질 특성을 보인다. 지화학분석 결과, 하는에 분포하는 응회암과 용암류는 조면안산암질로 분류되며, 분출 시기는 화구호 퇴적층의 AMS <sup>14</sup>C 연대에 근거하여 약 34,000년 전으로 추정되고 있다(Yoon *et al.*, 2006).

### 4.4 산방산 용암돔

#### 4.4.1 지형 특성

송악산으로부터 북동쪽으로 약 5 km 떨어진 해안절벽 위에 자리잡은 산방산은 다른 화산체와는 달리 중앙부에 분화구가 발달되어 있지 않은 화산체로서, 돔(dome) 형태로 나타난다(그림 8). 화산체의 하



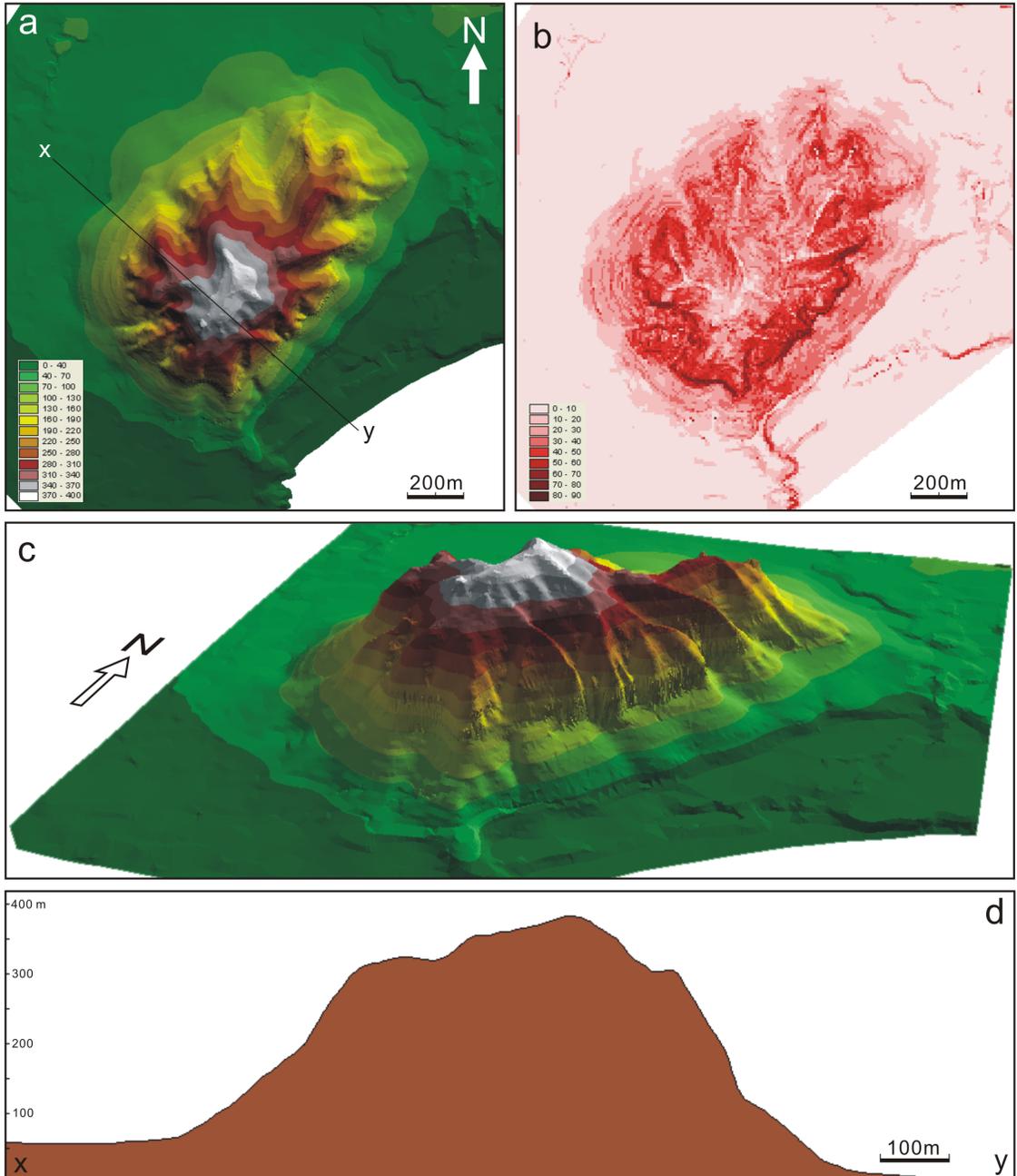
**Fig. 6.** Topography of Hanon maar. (a) Topographic relief map (contour in meter), (b) distribution of slope gradient ( $^{\circ}$ ), (c) 3D topography, and (d) cross section (x-y).



**Fig. 7.** Photos of Hanon maar. (a) Overview of the crater, (b) crudely stratified tuff on the crater rim, and (c) basement rocks (trachyandesites) exposed on the inner crater wall.

부는 장경이 약 2 km, 단경이 약 1.4 km인 타원형이며, 정상부의 표고는 395 m로서 주변 평지에서 약 340 m 높이로 솟아있다(표 1). 화산체 사면의 평균 경사는 35°~40°이며, 남쪽사면이 북쪽사면보다 다

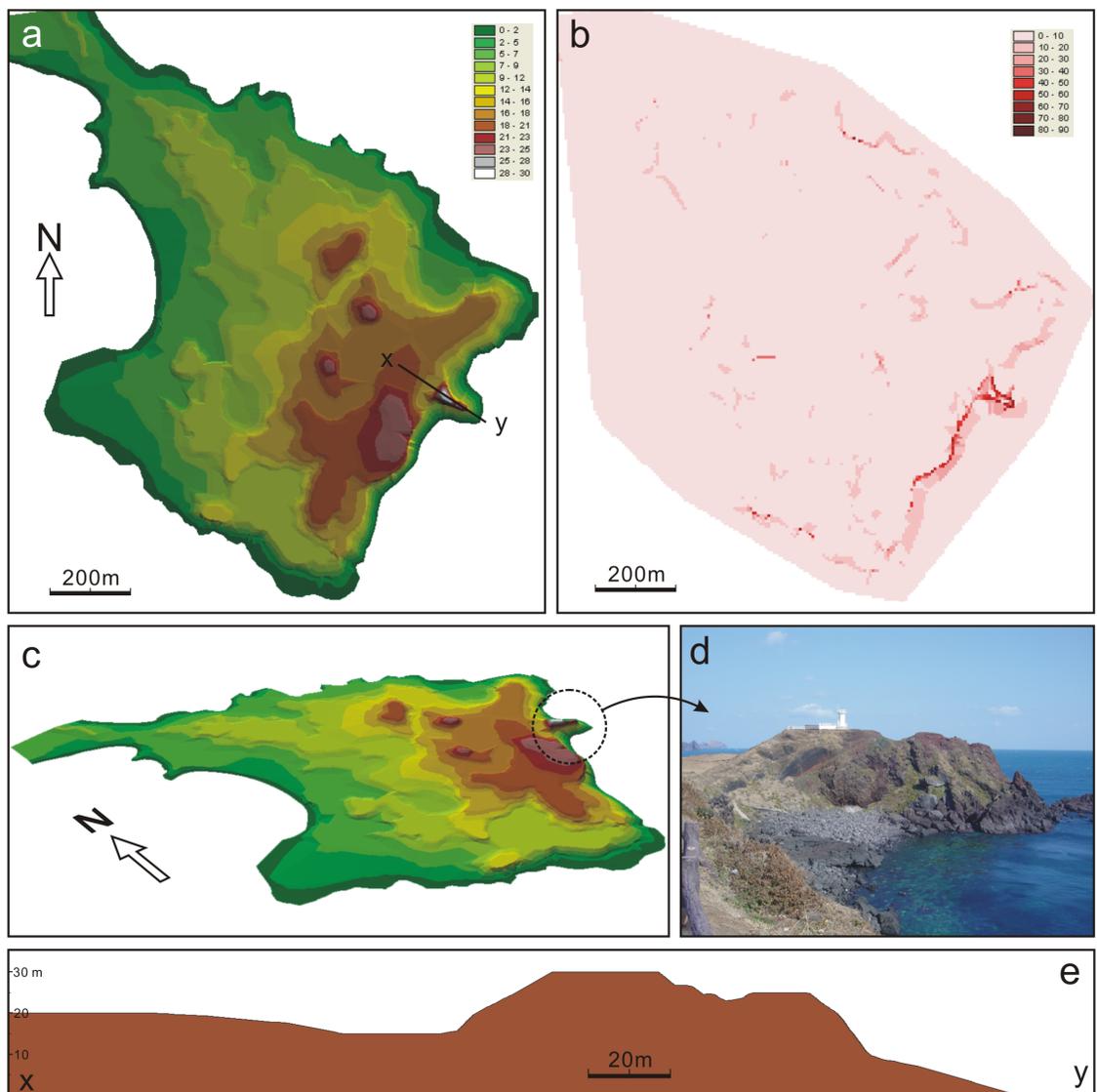
소 경사가 급하며 일부 남동사면에서는 70° 이상의 급경사가 나타나기도 한다(그림 8b). 특히, 남사면의 중간부분에서는 풍화에 의한 동굴이나 주상절리가 특징적으로 관찰되기도 한다.



**Fig. 8.** Topography of Sanbansan lava dome. (a) Topographic relief map (contour in meter), (b) distribution of slope gradient (°), (c) 3D topography, and (d) cross section (x-y).



**Fig. 9.** Photos of Sanbangsan lava dome. (a) Distinctive dome-shaped external appearance, (b) light gray trachyte, and (c) well-developed columnar joints on the cliff.



**Fig. 10.** Topography of Seobjikoji scoria cone. (a) Topographic relief map (contour in meter), (b) distribution of slope gradient ( $^{\circ}$ ), (c) 3D topography, and (d) cross section (x-y).

#### 4.4.2 지질 특성

산방산은 약 75만년 전(K/Ar 연대)에 형성된 용암돔으로서(Won *et al.*, 1986)(그림 9a), 응회암으로 잘 알려진 용머리 응회환을 피복하고 있다(Sohn, 1995). 화산체의 최하부에서는 화성쇄설물이 관찰되기도 하지만, 산방산의 대부분은 비교적 밝은 색깔(회색)을 띠는 단단한 용암으로 이루어져 있다(그림 9b). 산방산 용암은 지화학적 분류에 따르면 조면암에 해당하며(Lee *et al.*, 1994; KIGAM, 2000), 암석 내부에서는 눈에 띄는 광물입자는 관찰되지 않고 기공도 거의 없이 치밀한 비현정질 조직 혹은 사장석 반정을 포함하고 있는 반상조직을 보인다(표 2). 산방산 남서사면의 가파른 암벽에서는 수직의 수많은 절리가 폭 1~2 m, 높이 50 m 이상으로 나타난다(그림 9c). 용암돔 아랫부분에는 조면암의 각진 파편들로 구성되어 있는 두꺼운 화산각력암층이 나타난다.

#### 4.5 섭지코지 선돌 분석구(붉은오름)

##### 4.5.1 지형 특성

성산 일출봉에서 남쪽으로 약 3.5 km 떨어진 해안가에 위치한 섭지코지 붉은오름 분석구는 현재 파도에 의해 거의 침식되어 원래 화산체의 10% 정도만이 남아있다(그림 10). 현재 화산체의 표고는 33 m이며 주변 육상의 평지는 표고가 15 m이므로 비교는 18 m로 계산된다(표 1). 분화구 역시 파도에 침식되어 사라져 버렸지만 해안선과 조금 떨어져 있는 외판바위 선돌이 화구의 중심에 해당하는 암경으로 해석되므로(Koh *et al.*, 2007), 이를 이용하여 화산체의 형태를 복원해보면 저경은 약 370 m, 최고높이는 약 50 m (표고)로 연구대상 화산체 중에서 가장 작다. 현재 남아있는 화산체 사면의 경사는 평균 30°로

일출봉이나 송악산 보다는 크고 산방산보다는 작은 편이다(그림 10b, 10e).

##### 4.5.2 지질 특성

해안에 위치한 섭지코지 화산체는 상당부분이 파도에 침식되어 원래 모습의 일부만 약 150 m 길이의 해안선을 따라 남아 있다(그림 11a). Koh *et al.* (2007)에 의하면, 이 분석구는 약 95,000년 전(K/Ar 전암연대)에 스트롬볼리형 분출을 통해 형성되었으며, 이어서 일어난 용암분출로 인해 분석구 주변에는 현무암질 용암류 화산암이 분포하게 되었다. 분석구를 형성한 화도는 해안선에서 약 50 m 떨어져 있는데, 화도를 채운 마그마가 굳어 형성된 암경이 폭 5 m, 높이 23 m의 선돌(sea stack)로 남아있다. 암경은 치밀한 비현정질 현무암으로 구성되어 있으며, 주변의 화산체 기저부에는 적갈색 내지 암회색을 띠는 매우 거칠고 크기가 다양한 암편(스패터)과 화산탄, 암괴 등이 산재하여 나타난다(그림 11b; 표 2). 이들 조립 입자들은 분화구의 외곽과 상부층으로 가면서 크기가 작아지고 산출량도 적어진다. 대신 흑색 혹은 암갈색의 스코리아의 함량이 증가한다. 스코리아층에서는 상층부로 가면서 층리가 잘 발달되어 나타나는데, 층리의 경사도 상부로 가면서 20° 내외에서 45° 이상으로 증가한다. 선돌 분석구의 남서쪽과 북동쪽 해안절벽을 따라서는 분출 후기단계에서 형성된 것으로 보이는 약 1 m 이하의 얇은 두께를 갖는 용암류층이 겹겹이 쌓여 나타난다(그림 11c).

#### 4.6 금오름 분석구

##### 4.6.1 지형 특성

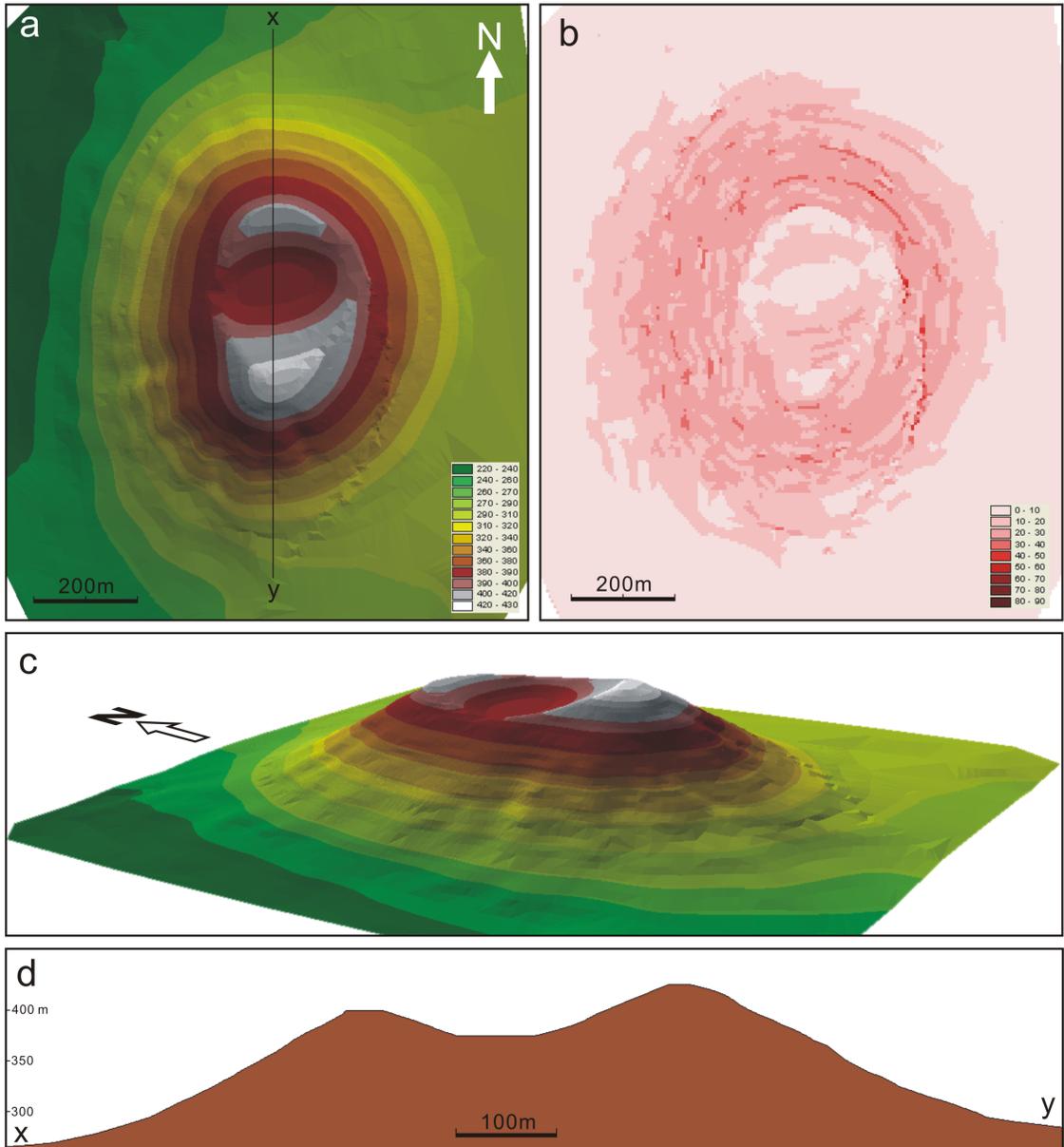
제주도 북서쪽 내륙의 완만한 한라산 사면에 위



**Fig. 11.** Outcrop photos of Seobjikoji scoria cone. (a) Eroded scoria body with volcanic neck (seastack), and (b) crudely stratified agglomerate composed of scoria and spatters, and (c) downslope lava-flow units erupted from Seobjikoji scoria cone.

치한 금오름은 하부의 직경이 850~1,000 m인 원추형의 화산체로서 중심부에 우묵한 그릇모양의 화구가 잘 발달되어 있다(그림 12). 제주도 내륙에 위치한 금오름은 그 형태가 비교적 잘 보존되어 있는 화산체이다. 전체적으로는 산방산과 유사한 타원형 하부를 갖는 원추형이지만, 산방산과는 달리 정상부에 분화구가 잘 발달되어 있다(그림 12). 화산의 저경은

남북방향으로 1,050 m, 동서방향으로 850 m이며, 표고는 427.5 m이다. 화산 주변은 서쪽으로 완만하게 경사져 있는 평지이며, 그 위에 최대 178 m의 높이(비고)로 형성되어 있다(표 1). 화산체의 중심에 있는 분화구는 남북방향으로 300 m, 동서방향으로 260 m의 규모이며, 깊이는 52 m이다. 화산체의 사면은 평균 25°~30°의 경사를 보인다(그림 12b, 12d).



**Fig. 12.** Topography of Geum-orm scoria cone. (a) Topographic relief map (contour in meter), (b) distribution of slope gradient (°), (c) 3D topography, and (d) cross section (x-y).

4.6.2 지질 특성

화산체의 대부분은 나무나 풀로 덮여 있어서 노두가 거의 나타나지 않는데, 화구륜의 일부 지역에서 붉은 색을 띠는 스킨리아와 암회색의 용암류 화산암을 관찰할 수 있다(그림 13; 표 2). 스킨리아는 다공질이고 유리질로서 광물결정이 육안으로 구분되지 않으며, 용암류 화산암은 스킨리아에 비해 기공이 적고 치밀하며 부분적으로 감람석, 각섬석, 휘석과 같은 광물들이 반정으로 나타난다. KIGAM(2000)에 따르면, 금오름 화산암은 광물구성비와 층서에 있어서 대포동조면현무암과 유사하여 이에 대비되는 것으로 추정되고 있다.

5. 토의 및 결론

5.1 화산체 유형별 특징 비교

각 화산체의 지형적 특성들을 분석한 결과를 중

합해보면(표 3), 화구는 용암돔을 제외한 모든 화산체에서 나타나는데, 화구의 직경은 마르에서 가장 크고, 응회환, 응회구, 분석구 순으로 작아진다. 화산체 사면의 경사는 화산체의 넓이(저경)와 높이에 따라 결정되는데, 용암돔이 가장 급한 경사를 갖고 있으며, 분석구, 응회구, 응회환, 마르 순으로 경사도가 작아짐을 알 수 있다. 응회구와 응회환은 지질학적으로 거의 동일하지만 지형학적으로 볼 때 사면경사에 의해 구분이 되는데, 이번 조사결과로 보면 그 구분기준은 15° ~ 20°로 볼 수 있다. 한편, 응회환과 마르는 응회암으로 구성되며 사면 경사도가 작다는 점에서는 유사하지만, 화구저가 마르에서는 화산체 주변 평지보다 더 깊게 형성되어 있는 반면에, 응회환에서는 화산체 기준면보다 높게 형성되어 있는 점에서 차이를 보인다.

암석학적 특성을 보면, 분석구는 다공질 스킨리아로 주로 구성되며 스킨리아층에서 층리의 발달이 거

Table 3. Generalized geomorphological and geological characteristics of small-scale volcanos in Jeju Island.

	Lava dome	Scoria cone	Tuff cone	Tuff ring	Maar
Crater size*	-	4	3	2	1
Slope gradient*	1	2	3	4	5
Level of crater floor	-	Above ground surface	Above ground surface	Above ground surface	Under ground surface
Eruption product	Lava	Scoria	Pyroclastics	Pyroclastics	Pyroclastics
Texture & structure	Dense, massive	Vesicular, massive	Vesicular, stratified	Vesicular, stratified	Vesicular, stratified
Rock color	Light gray	Red brown, dark gray	Dark gray	Dark gray	Dark gray
Chemical composition	Intermediate	Intermediate to (ultra) mafic	Intermediate to mafic	Intermediate to mafic	Intermediate to mafic

\* Numbers denote ranking of relative crater size or slope gradient.



Fig. 13. Outcrop photos of Geum-orm scoria cone. (a) Bowl-shaped crater, (b) scoria and basalt blocks on the crater rim, and (c) scoria outcrop on the creeping slope near the crater rim.

**Table 4.** Eruption condition and style of small-scale volcanos in Jeju Island.

Volcano type		Lava dome	Scoria cone	Tuff cone/ring	Maar
Eruption condition	Chemical composition of magma	Intermediate	Intermediate to (ultra) mafic	Intermediate to mafic	Intermediate to mafic
	Viscosity	High	Intermediate to low	Intermediate to low	Intermediate to low
	Gas pressure	Low	High	High	High
Interaction with water		×	×	○	○
Eruption style	Eruption style	Effusive	Explosive (lava fountain)	Explosive	Explosive
	Type of products	Lava (liquid)	Lava to scoria and bombs	Pyroclastics and subordinate gas	Gas and subordinate pyroclastics
	Behavior of products	Stacking up directly over and around a vent	Ballistically ejecting and subsequently stacking up around a vent	Pyroclastic flow or surge and settling from eruption column	Dispersed in the air and pyroclastic flow or surge

의 없거나 미약하게 나타난다. 용암돔은 기공이 거의 없는 단단한 용암류 화산암으로 구성되며, 응회구, 응회환 및 마르는 모두 층리가 잘 발달된 다공질 화산재로 이루어져 있다. 한편, 암석의 성분을 고려해보면 용암돔은 규산(SiO<sub>2</sub>) 함량과 알칼리(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) 함량이 상대적으로 높은 조면암으로 구성되는데, 제주도의 또 다른 용암돔인 백록담 서벽 및 영실기암에서도 산방산과 거의 유사하게 높은 규산과 알칼리 함량을 보이는 조면암이 나타나는 것으로 보고되어 있다 (Jeju Provincial Government, 2000). 반면에 용암돔을 제외한 다른 화산체들은 Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O 함량은 다소 낮지만 규산 함량은 다양하여 고철질암에서 중성암까지의 암석으로 구성되어 있다.

### 5.2 다양성의 요인

화산체의 지형 및 지질학적 특성의 다양성은 마그마 고유의 특성인 지화학적 구성, 점성도 및 기체의 함량, 그리고 2차적으로 마그마가 상승하는 동안 물과 접촉했느냐에 따라 영향을 받는 것으로 해석된다(표 4, 그림 14). 마그마 성분 중에서 규산 함량이 높을수록 마그마의 점성도는 증가하는 경향이 있고, 따라서 분출된 용암은 멀리 퍼지지 못하고 화구주변에 모이면서 용암돔과 같은 높은 화산체를 형성하게 된다(Schmincke, 2004). 그러나, 용암돔 이외의 다른 화산체들은 다양한 종류의 구성암석을 갖는 것으

로 보아 분석구나 응회암 화산체의 형성에 있어서 마그마의 화학구성이 화산체 지형이나 암석조직에 미치는 영향은 그다지 크지 않은 것으로 보인다.

마그마 속에 용해되어 있는 기체의 함량은 점성도에 영향을 미치기도 하지만, 화산의 분출양상에 직접적으로 영향을 미친다. 즉 기체압이 매우 높을 경우, 좁은 화도로부터 액체상태의 용암이 강한 압력의 기체와 함께 분수처럼 공중으로 솟구치고, 화구주변에 떨어져 굳어지게 되면 스킨리아나 스패터로 구성된 분석구가 형성된다(Schmincke, 2004). 그러나 기체압이 낮은 경우 용암은 비폭발적으로 유출하여 멀리 분산되기 때문에 화구주변에는 뚜렷한 화산체가 형성되지 않는다. 한편, 마그마가 지표면을 향해 상승하는 과정에서 바닷물이나 지하수와 접촉하게 되면 급격한 마그마의 온도 하강과 격렬한 수증기의 팽창으로 화산재가 폭발적으로 분출하게 되고(즉, 수성분출), 화산체의 사면을 따라 화쇄류의 형태로 흘러내리게 된다(Cas and Wright, 1987; McPhie *et al.*, 1993; Schmincke, 2004). 응회구, 응회환, 마르의 층리는 이러한 폭발적인 화쇄류의 작용에 의해 형성되는 것으로 알려져 있다(Sohn, 1996). 이때 수분함량에 의해 결정되는 화쇄류의 점성도가 작으면 멀리까지 흘러서 완만한 응회환이 형성되고, 반대의 경우에는 경사가 급한 응회구가 발달하게 된다. 한편, 화산재에 비해 기체의 양이 많은 경우 폭발

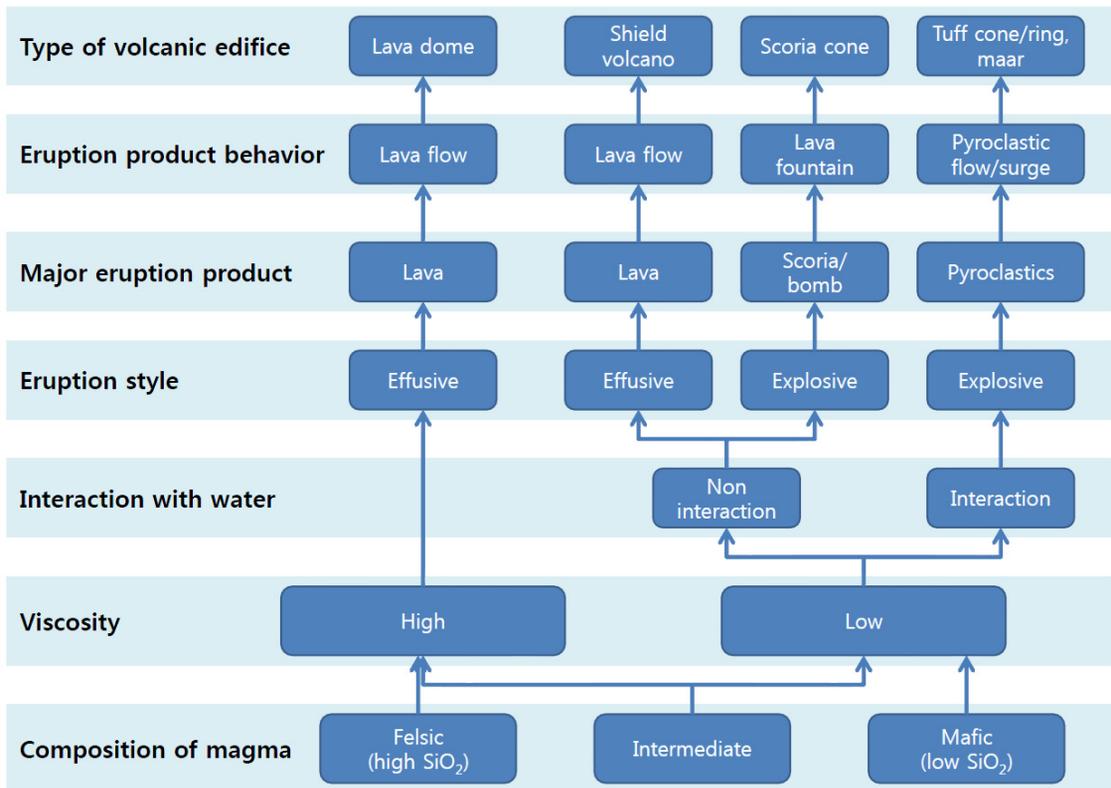
력이 더 강력해지고 화구주변에 쌓이는 고체상태의 분출물이 적어져서 깊은 화구와 낮은 화구륜으로 이루어진 마르가 형성된다(Yoon *et al.*, 2006).

**5.3 화산체 형성과 고환경**

현재 제주도에 분포하는 응회암 화산체는 10여개에 이르는데, 이들 중에서 하논 마르를 제외하면 모두 해안가에 위치한다. 이러한 분포양상은 이들 응회암 화산체를 형성한 폭발적인 화산분출이 바닷물과의 접촉에 의한 것임을 강하게 지시한다. 그러나 하논 화산체인 경우에는 현재 해발 65~85 m에 위치하고 있으며, 하논 화산분출이 일어났을 것으로 추정되는 약 3만년 전의 해수면은 현재보다 65 m 정도 낮았던 것으로 보고되고 있다(Chappell and Shackleton, 1986). 따라서 화산분출은 당시 해수면보다 130~150 m 정도 높은 내륙에서 일어났던 것으로 추정되며, 이 경우 바닷물보다는 지하 깊은 곳의 지하수가 마그마와 접촉하면서 수성분출을 일으켰던 것으로 보인다.

수성화산분출은 마그마 고유의 특성보다는 ‘물’이라는 지표면 혹은 얇은 지하의 환경조건의 영향을 받게 되므로, 제주도 고환경에 대한 몇 가지 단서들을 제공한다.

현재 제주도를 형성하고 있는 화산암층의 하위에는 오늘날 황해와 유사한 환경에서 형성된 해성퇴적층(U층과 서귀포층)이 놓여 있는데, 이는 제주도가 형성되기 전에 현재의 제주도 지역이 천해의 해양환경이었음을 지시한다(Park *et al.*, 2006; Yoon and Chough, 2006). 따라서 초기의 제주도 화산활동은 필연적으로 수성분출 양상으로 일어났을 것으로 추정되며, 현재 지하에 묻혀있는 제주도 형성초기의 화산체는 분석구나 용암돔보다는 응회암 화산체 유형이 더 우세할 것으로 판단된다. 실제 제주도 지하수 시추공을 통해서 기저부의 응회암층이 확인되고 있다(Koh, 1997; Sohn and Park, 2004, 2006). 한편, 해수면 근처에 위치한 송악산과 일출봉의 형성연대가 약 5,000년 전으로 알려져 있는데(Sohn *et al.*,



**Fig. 14.** Major geological factors and their interrelationship influencing formation of small-scale volcanoes in Jeju Island.

2002), 이는 빙하기가 절정에 도달하였던 약 18,000년 전에 해수면은 현재보다도 120 m 이상 낮았지만, 그 이후에 빠르게 상승하여 약 5,000년 전에는 거의 현 수준에 도달하였음을 지시한다. 한편, 섭지코지 분석구는 일출봉과 유사하게 해안에 위치하는데도 불구하고 비수성 화산활동의 분출물인 스크리아와 용암류로 구성되는데, 이는 섭지코지 분석구가 형성되던 약 95,000년 전(Koh *et al.*, 2007)에는 해수면의 위치가 현재보다 낮았음을 지시한다.

## 사 사

이 논문은 2013년도 제주대학교 학술진흥연구비 지원사업에 의하여 연구되었습니다. 논문의 심사과정에서 매우 유익한 조언을 주신 윤성호 교수님과 익명의 심사위원께 깊은 감사를 드립니다.

## REFERENCES

- Ahn, K.S., Lee, H.K. and Lim, H.C., 1995, A petrological and geochemical study of granites in the Cheju Island. *Economic and Environmental Geology*, 28, 513-518 (in Korean with English abstract).
- Cas, R.A.F. and Wright, J.V., 1987, *Volcanic Successions Modern and Ancient: A geological approach to processes, products and successions*. Allen & Unwin Ltd., London, 528 p.
- Chappell, J. and Shackleton, N.J., 1986, Oxygen isotopes and sea level. *Nature*, 324, 137-140.
- Cheong, C.S., Choi, M.S., Khim, B.K., Sohn, Y.K. and Kwon, S.T., 2006,  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  dating of Holocene mollusk shells from Jeju Island, Korea, by multiple collectors inductively coupled plasma mass spectrometry. *Geosciences Journal*, 10, 67-74.
- Hwang, S.K., 2000, Volcanic form of the Songaksan tuff ring-cinder cone complex, Jeju Island, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 36, 473-486 (in Korean with English abstract).
- Hwang, S.K., Hwang, J.H., Kim, D.H. and Howells, M.F., 1992, Volcanic processes on the Songaksan tuff ring and cinder cone, Cheju Island, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 28, 110-120 (in Korean with English abstract).
- Hwang, S.K., Won, C.K., Lee, M.Y., Yun, S.H., Lee, I.W. and Kim, S.K., 2001, Petrologic evolution of the Songaksan monogenetic volcano, Jeju Island, Korea. *Journal of Petrological Society of Korea*, 10, 13-26 (in Korean with English abstract).
- Jeju Provincial Government, 2000, Geological Report of the Seogwipo-Hahyori Sheet (scale 1:50,000). 163 p (in Korean with English abstract).
- KIGAM, 2000, Geologic Report of the Moseulpo-Hanlim Sheet (scale 1:50,000). 56 p (in Korean with English abstract).
- Kim, B.K., 1969, A stratigraphic and paleontologic study of the Sinyangri Formation in the vicinity of Sinyangri and Gosanri, the Jeju Island. *Journal of the Geological Society of Korea*, 5, 103-121.
- Kim, K.H., Tanaka, T., Nakamura, T., Nagao, K., Youn, J.S., Kim, K.R. and Yun, M.Y., 1999, Paleoclimatic and chronostratigraphic interpretations from strontium, carbon and oxygen isotopic ratios in molluscan fossils of Quaternary Seogwipo and Sinyangri Formations, Cheju Island, Korea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, and Palaeoecology*, 154, 219-235.
- Kim, T.H., 2001, Volcanic topography and conservation of the Jeju Island. *Nature Conservation*, 114, 1-7 (in Korean with English abstract).
- Koh, J.S., Yun, S.H. and Kim, S.Y., 2007, The basalts and volcanic process in the Seondol cinder cone, Seobjikoji area, Jeju Island. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 28, 462-477 (in Korean with English abstract).
- Koh, K.W., 1997, Characteristics of the groundwater and hydrogeologic implications of the Seogwipo Formation in Cheju Island. PhD Thesis, Pusan National University, Pusan, 326 p.
- Lee, D.Y., Yun S.K., Kim, J.Y. and Kim, Y.J., 1988, Quaternary geology of the Jeju Island. Korea Institute of Energy and Resources Report, KR-87-29, 233-278 (in Korean).
- Lee, J.H. and Yun, S.H., 2012, Morphological analysis of Quaternary monogenetic volcanoes in Jeju Island, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 48, 383-400 (in Korean with English abstract).
- Lee, M.W., 1982, Petrology and geochemistry of Jeju volcanic Island, Korea. *Science Reports of the Tohoku University*, 15, 177-256.
- Lee, M.W., Won, C.K., Lee, D.Y., Park, G.H. and Kim, M.S., 1994, Stratigraphy and petrology of volcanic rocks in southern Cheju Island, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 30, 521-541 (in Korean with English abstract).
- McPhie, J., Doyle, M. and Allen, R., 1993, *Volcanic textures: A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks*. University of Tasmania, 197 p.
- Park, K.H., Ahn, J.S., Kee, W.S. and Park, W.B., 2006, *Guidebook for a Geological Tour of Jeju Island*. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources/Jeju

- Development Institute, 183 p.
- Park, M.H., Kim, J.H. and Seo, K.S., 2005, Geochemical characteristics of Quaternary Shinyangri Formation in the eastern Jeju Island, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 41, 19-33 (in Korean with English abstract).
- Schmincke, H., 2004, *Volcanism*. Springer, 324 p.
- Sohn, Y.K., 1995, Structures and sequences of the Yongmeori tuff ring, Cheju Island, Korea: Sequential deposition from shifting vents. *Journal of the Geological Society of Korea*, 31, 57-71.
- Sohn, Y.K., 1996, Hydrovolcanic processes forming basaltic tuff rings and cones on Cheju. Island, Korea. *Geological Society of America Bulletin*, 108, 1199-1211.
- Sohn, Y.K. and Chough, S.K., 1989, Depositional processes of the Suwolbong tuff ring, Cheju Island (Korea). *Sedimentology*, 36, 837-855.
- Sohn, Y.K. and Chough, S.K., 1992, The Ilchulbong tuff cone, Cheju Island, South Korea: Depositional processes and evolution of an emergent, Surtseyan-type tuff cone: *Sedimentology*, v. 39, p. 523-544.
- Sohn, Y.K., Park, J.B., Khim, B.K., Park, K.H. and Koh, G.W., 2002, Stratigraphy, petrochemistry and Quaternary depositional record of the Songaksan tuff ring, Jeju Island, Korea. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 119, 1-20.
- Sohn, Y.K. and Park, K.H., 2004, Early-stage volcanism and sedimentation of Jeju Island revealed by the Sagye borehole, SW Jeju Island, Korea. *Geosciences Journal*, 8, 73-84.
- Sohn, Y.K. and Park, K.H., 2006, Widespread hydrovolcanism and marine/nonmarine sedimentation during growth of a shelfal shield volcano (Jeju Island, Korea). In: Yamada, T. (ed.), *Sediments of Japanese Island*, Abstract, 17<sup>th</sup> International Sedimentological Congress, Fukuoka, Japan, 186 p.
- Sohn, Y.K., Park, K.H. and Yoon, S.H., 2008, Primary versus secondary and subaerial versus submarine hydrovolcanic deposits in the subsurface of Jeju Island, Korea. *Sedimentology*, 55, 899-924.
- Won, C.K., 1975, Study of geologic development and the volcanic activity of the Jeju Island. *Journal of Sciences*, Konkuk University, 1, 7-48.
- Won, C.K., 1976, Study of petro-chemistry of volcanic rocks in Jeju Island. *Journal of the Geological Society of Korea*, 12, 207-226 (in Korean with English abstract).
- Won, C.K., Matsuda, J., Nagao, K., Kim K.H. and Lee, M.W., 1986, Paleomagnetism and radiometric age of trachytes in Jeju Island, Korea. *Journal of Korea Inst. Mining Geology*, 19, 25-33.
- Yoon, S.H. and Chough, S.K., 2006, Sedimentary facies and depositional environment of the Seoguipo Formation, Jeju Island. *Journal of the Geological Society of Korea*, 42, 1-17 (in Korean with English abstract).
- Yoon, S.H., Lee, B.G. and Sohn, Y.K., 2006, Geomorphic and geological characteristics and eruption process of the Hanon volcano, Jeju Island. *Journal of the Geological Society of Korea*, 42, 19-30 (in Korean with English abstract).

---

투 고 일 : 2013년 12월 6일

심 사 일 : 2013년 12월 9일

심사완료일 : 2013년 12월 23일