



Short Note

제주도 머체의 지질특성

박준범^{1,*}, 김태형², 문수형², 고기원³

¹미육군극동공병단

²제주특별자치도개발공사

³제주꽃자왈공유화재단 꽃자왈연구소

Geologic characteristics of Meoche in Jeju Island

Jun Beom Park^{1,*}, Tae Hyong Kim², Su Hyong Mun², Gi Won Koh³

¹US Army Corps of Engineers Far East District, Republic of Korea

²Jeju Province Development Corporation, Jeju 63345, Republic of Korea

³Gotzawal Research Center, The Gotzawal Trust of Jeju, Jeju 63345, Republic of Korea

Received: June 15, 2024 / Revised: July 9, 2024 / Accepted: July 15, 2024

*Corresponding author: E-mail: chunpom@empas.com

요약: 제주도 가시리에 분포하는 행기머체(직경 18 m, 높이 7 m)와 꽃머체(직경 14 m, 높이 6 m)에 대한 연구 결과를 소개한다. ‘머체’는 돌무더기를 이르는 제주어로서, 반구형 용암언덕이다. 용암언덕을 구성하는 용암류는 반상장석회석현무암류의 암석기재적 특징과 알칼리 현무암의 조성을 가진 파호이호이 용암류로서, 약 3만 년 전에 생긴 화산분화로 분출되었을 것으로 추정된다. 이 용암언덕은 크립토돔(cryptodome)이 아니라 벌버스 스퀴즈업(bulbous squeeze-ups)으로 해석된다. 벌버스 스퀴즈업은 먼저 흐른 용암류가 굳어가는 동안 분화구나 깨진 틈을 통해 점성이 높은 용암류가 밀고 올라와 둥글게 부풀어진 형태의 지형이다(Nichols, 1939). 세계의 다른 화산지대에서 보고된 벌버스 스퀴즈업 사례에 비해 행기머체와 꽃머체는 상당한 클 뿐만 아니라 독립적인 반구형을 이룬다.

주요어: 머체, 반구형 용암언덕, 벌버스 스퀴즈업, 제주도

ABSTRACT: We report the research result of Haenggi Meoche (diameter 18 m, height 7 m) and Kkot Meoche (diameter 14 m, height 6 m) in Gashiri, Jeju Island. ‘Meoche’ is a Jeju dialect that means ‘a pile of stones’ and is a hemispherical lava mound. These lava mounds are composed of pahoehoe lava flows of porphyritic feldspar augite basalt petrographically, and of alkali basalt in composition. It is inferred that the lava flows had effused about 30 ka. It is interpreted that these lava mounds are not cryptodome but bulbous squeeze-ups. Bulbous squeeze-ups are bulbous features that are formed by extrusions of viscous lava through vents and cracks in a solidifying flow (Nichols, 1939). Compared to bulbous squeeze-ups reported from other volcanic fields in the world, Haenggi Meoche and Kkot Meoche are extremely big and occur as discrete hemispherical lava mounds.

Key words: Meoche, hemispherical lava mound, bulbous squeeze-ups, Jeju Island

1. 서언

용암 지형을 나타내는 제주어, ‘꽃자왈’, ‘빌레’ 등은 학계에 비교적 널리 알려진 데 반해 ‘돌무더기’를 뜻하는 ‘머체’는 거의 소개된 바가 없다. ‘행기머체’와 ‘꽃머체’라 불리는 반구형의 용암언덕(lava mound)이 제주특별자치도 서귀포시 표선면 가시리 가시리공동목장 일대에 분포한다(그림 1). ‘행기머체(그림 2a)’는 ‘머체 위에 행기물(눗그릇에 담긴 물)이 있었다’고 해서 유래하였고, ‘꽃머체(혹은 풀머체)(그림 2b)’는 ‘머체 위의 나무에 꽃이 아름답게 핀다’고 하여 붙여진 명칭이다.

지금까지 이들의 성인은 크립토돔(cryptodome)으로 해석되었다(Park *et al.*, 2003). 즉, 머체는 용암분출 과정에서 지하에 형성된 ‘지하용암돔’으로, 돔을 둘러싼 기반암 혹은 퇴적층(화산퇴적층 포함)이 오랜 세월 침식되어 지표에 노출된 것으로 설명되어 왔다.

이 연구의 목적은 (1) 머체가 크립토돔의 정의에 부합되는지, 즉, 기반암 혹은 퇴적층이 침식으로 제거되었는지 또한 그러한 지층이 제거되지 않은 채 주변에 존재하는지를 밝히고, (2) 머체와 그 기반을 이루는 용암류간의 접촉관계를 조사하고, (3) 머체와 그 주변 용암류의 암석기재, 암석

조성 및 화산활동 연대를 밝히며, (4) 머체의 지질학적 성인을 재해석하는 것이다.

2. 지질개요

머체가 위치한 반경 약 4 km 이내 지역에는 서북쪽에서 시계방향으로 소록산(죽은사슴이; 표고 442.4 m), 대록산(표고 472.1 m), 새끼오름(셋기오름)(표고 301.2 m), 따라비오름(표고 342 m), 번널오름(표고 272.3 m), 병곳오름(표고 287 m) 등 다수의 분석구들이 분포하고 있으며, 약 2도 내외의 경사를 이루는 완만하고 편평한 지형을 이룬다(그림 1). 이 지역에 분포하는 용암류는 1:50,000 축척의 표선 도폭(Won *et al.*, 1995)에서는 구두리오름(표고 514.9 m)에서 분출한 구두리오름용암류로 기재되어 있다. 반면, 1:250,000 축척의 제주도 도폭(Park *et al.*, 2000)에 의하면 소록산-대록산 분석구에서 분출한 조면현무암(IV)으로 기재되어 있다.

3. 연구방법

용암류 시료는 행기머체(G-1), 꽃머체(G-2)와 인접한 하

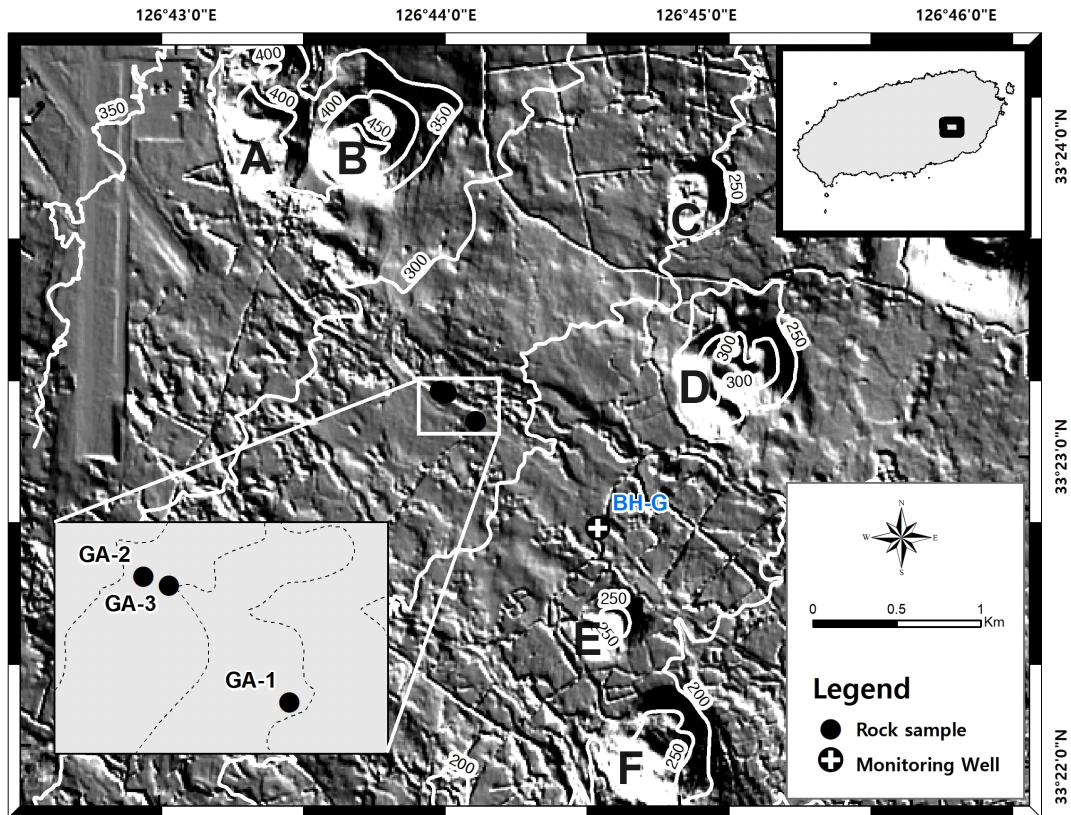


Fig. 1. The sampling sites on surface relief map of the studied area, Jeju Island. Name of volcanic cones: A-Soroksan, B-Daeroksan, C-Saekki oreum, D-Ttarabi oreum, E-Beonneol oreum, F-Byeonggot oreum. Numbers indicate contour in meters.

천의 노두(G-3) 그리고 행기머체에서 남동쪽으로 약 1 km 떨어진 곳에 위치한 가시리 관측정(BH-G)의 시추코어 중 최상부를 이루고 있는 용암류(채취심도: 지표하 9.5 m)에서 채취하였다(그림 1; 표 1).

Table 1. Sample location of volcanic rocks in the studied area, Jeju Island.

ID	Latitude	Longitude
GA-1	33.383883	126.735600
GA-2	33.385708	126.734628
GA-3	33.385633	126.734961
BH-G	33.379056	126.744307

시료의 박편, 분말시료 제작 및 X-선 형광분석(XRF)법을 이용한 전암 주성분분석(표 2)은 한국지질자원연구원에서 이루어졌다. 암석의 명명은 IUGS의 전암 이산화규소(SiO_2) 대 알칼리($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) 함량 분류도(Le Maitre *et al.*, 2002)에 적용하였다(그림 4). 이때 철 성분의 총 함량(Fe_2O_3^t)은 Fe_2O_3 와 FeO 값으로 재계산하여 다른 산화물의 값과 합한 후 물이 없는 상태의 백분율로 재계산되었다(González-Guzmán, 2016).

용암류(전암 석기)의 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 절대연대는 미국 오리곤 주립대학교 Argon Geochronolgy Lab에서 ARGUS VI 모델(Thermo Scientific)의 다검출기 불활성기체 질량분석기로 이루어졌으며, ArArCALC v2.7.0 (beta version) 전산프



Fig. 2. Field photographs of outcrops. (a) Haenggi Meoche (diameter 18 m, height 7 m). (b) Kkot Meoche (diameter 14 m, height 6 m). (c) Pahoehoe lava flows exposed along the stream adjacent to Kkot Meoche. (d) Inside of Haenggi Meoche, featuring relatively large open space loosely filled with lava blocks crushed by the development of joints. (e) Kkot Meoche (white dotted line) and the pahoehoe lava flow that formed in base are interconnected. (f) Another small lava mound (diameter 3 m, height 2 m) distributed near Je-3 Gyoraegyo at upstream of Cheonmicheon.

로그그램(Koppers, 2002)으로 절대연대가 계산되었다. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 절대연대 자료(표 3)의 해석에서는 과잉 아르곤의 영향을 배제할 수 있는 연대인 플래토 연대를 이용하였다(Schaen *et al.*, 2021).

4. 연구결과

각각 독립적인 반구형의 용암언덕을 이루는 행기머체(직경 18 m, 높이 7 m)와 꽃머체(직경 14 m, 높이 6 m)는 밑 가장자리에서 정상까지 평균 약 40도의 경사도를 이룬다

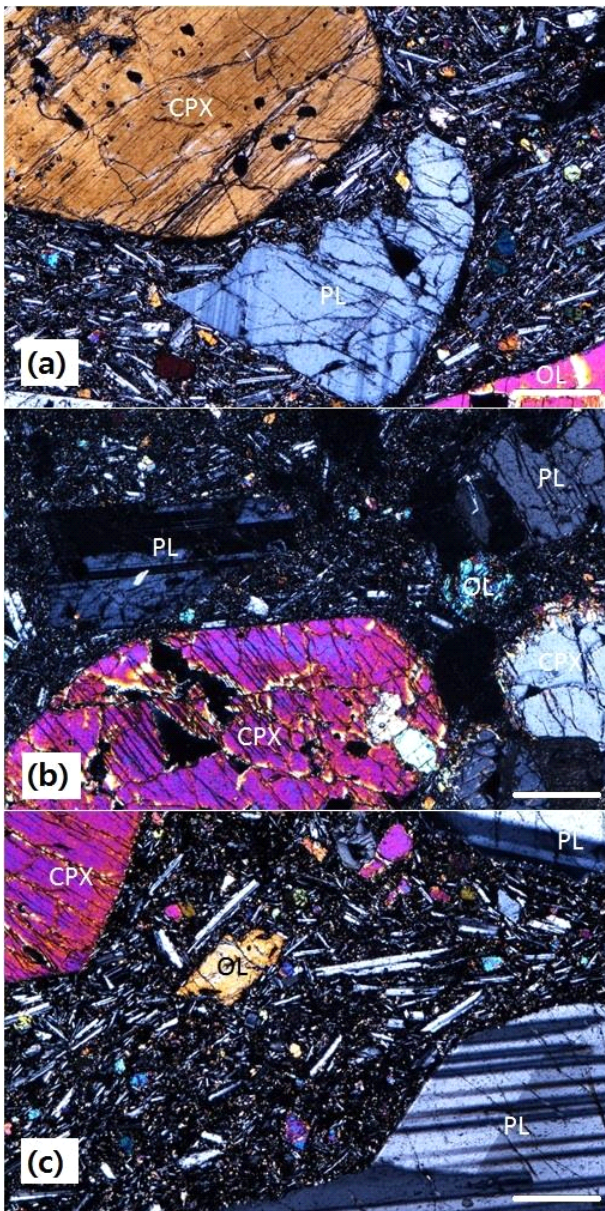


Fig. 3. Microphotographs of rock samples (under cross polarized light; scale bar 0.5 mm). (a) GA-1. (b) GA-2. (c) GA-3. Abbreviation: CPX-clinopyroxene, OL-olivine, PL-plagioclase.

(그림 2a, 2b). 언덕 상부는 균열 틈을 따라 뿌리를 내린 활엽수들이 자라 작은 숲을 이루며, 나무뿌리 썩기작용에 의해 떨어져 나온 암괴들이 주변에 널려있다.

머체와 인접한 하천의 노두와 시추코어를 통해 파악된

Table 2. Major element abundances (wt%) of volcanic rocks in the studied area, Jeju Island.

ID	GA-1	GA-2	GA-3	BH-G-9.5*
Rock Name	AB	AB	AB	AB
SiO ₂	48.62	47.76	47.86	49.13
TiO ₂	2.46	2.50	2.57	2.53
Al ₂ O ₃	14.72	14.47	14.65	14.23
Fe ₂ O ₃ [†]	12.37	12.76	12.79	12.44
MnO	0.16	0.17	0.17	0.16
MgO	8.05	8.59	8.38	7.83
CaO	9.12	9.24	9.23	8.94
Na ₂ O	2.94	2.79	2.83	3.10
K ₂ O	0.90	0.70	0.76	1.02
P ₂ O ₅	0.39	0.36	0.40	0.39
Igloss	-0.14	0.28	0.14	-0.46
Total	99.59	99.62	99.78	99.31

Total Fe₂O₃ as Fe₂O₃[†]. Analyzed by XRF at Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

Abbreviation: AB-alkali basalt, Igloss-ignition loss.

*Sample (9.5 m below surface) from monitoring well, Gashiri-Hole (BH-G).

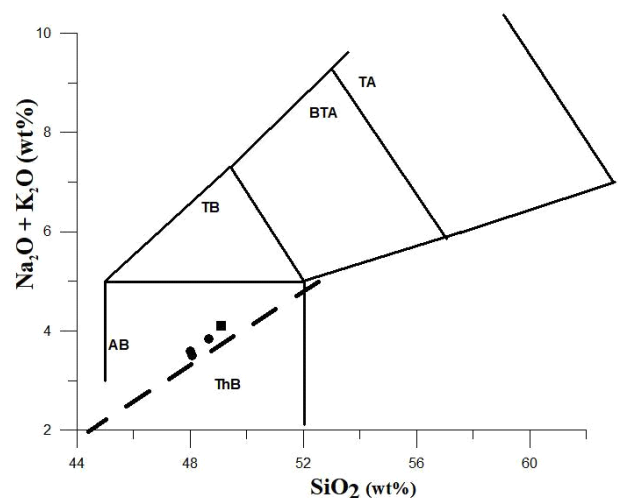


Fig. 4. (Na₂O+K₂O) (wt%) vs. SiO₂ (wt%) plot of volcanic rocks in the studied area, Jeju Island. The fields show rock nomenclature schemes of Le Maitre *et al.* (2002) with thick solid line from Macdonald and Katura (1964), dividing alkalic rocks from sub-alkalic rocks. Abbreviation: ThB-tholeiitic Basalt; AB-alkali basalt; TB-trachybasalt; BTA-basaltic trachyandesite; TA-trachyandesite. Symbol: black square, borehole core at Gashiri Hole; black circle, outcrop rock samples.

Table 3. Result of ⁴⁰Ar-³⁹Ar age dating of volcanic rocks in the studied area, Jeju Island.

		ID			
		GA-1	GA-2	GA-3	BH-G-9.5*
Weighted Plateau	Age (ka)	20.0	33.5	25.5	28.0
	2 s.d.	9.9	6.4	10.3	6.2
	% ³⁹ Ar	75	73	62	92
	MSWD	0.40	0.57	2.24	0.34
	Step	19/26	16/26	17/26	25/26
Normal Isochron	Age (ka)	18.7	37.4	8.7	25.6
	2 s.d.	27.9	21.5	34.3	7.7
	⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar i	298.73	297.12	300.65	299.56
	2 s.d.	4.61	7.17	4.20	2.16
	MSWD	0.43	0.59	2.31	0.32
Inverse Isochron	Age (ka)	19.1	37.5	8.7	25.8
	2 s.d.	12.5	16.4	4.5	7.2
	⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar i	298.72	297.15	300.70	299.59
	2 s.d.	4.60	7.19	4.21	2.16
	MSWD	0.44	0.60	2.32	0.32

Samples irradiated at OSU TRIGA reactor for 6 hours at 1 MW power. Material-groundmass; Experiment method - incremental heating; extraction method - bulk laser heating. Plateau age includes % ³⁹Ar and number of steps in the plateau (steps in plateau /total steps).

이 지역의 지표지질은 두께 1 m 이내의 표토가 하부의 용암류를 덮고 있음이 확인된다. 또한 기존 지질 설명(Park *et al.*, 2003)과는 다르게 머체 주변에는 머체를 두겹게 덮고 있었다고 추정 가능한 지층이 존재하고 있지 않다.

이 지역을 덮고 있는 용암류는 파호이호이 용암류의 특징을 나타내며, 머체 이외의 곳에서도 비록 그 규모는 작지만 투물러스(tumulus)와 같은 용암류 팽창(lava flow inflation) 지형이 드문드문 산재하고 있다. 과거 목장조성으로 많은 부분이 평탄화되어 대부분 흔적만 있지만, 1918년 간행 지형도와 1967년 항공정사영상을 통해 투물러스의 존재를 추정할 수 있다. 가시리 관측정의 시추코어에서 이 용암류는 약 10 m 두께를 지닌 파호이호이 용암류로 상하부에 각각 1 m 내외의 다공질 구간과 중앙부의 치밀질 구간을 가지며, 하부 용암류와의 접촉 부분에서는 산화대가 있다.

행기머체는 가장자리 주변이 표토로 피복되어 기반을 이루는 용암류와의 관계를 파악할 수 없으나(그림 2a), 꽃머체는 그 하단부의 겉 부분이 하천을 따라 노출된 용암류와 구분되지 않고 서로 연결되어 있어, 머체를 구성하는 용암류와 이 지역 지표면에 분포하는 용암류가 같은 시기에 분출한 동일 용암류임이 확인된다(그림 2b, 2c, 2e). 꽃머체와 인접한 하천의 용암류는 약 1 m 두께의 상부 용암판과

그 밑 하부 용암류로 구분된다(그림 2c). 이는 용암류가 유동하는 과정 중 일부 구간에서 용암튜브(tube)처럼 먼저 굳은 용암 상판의 하부 통로를 따라 용암류가 이동하였음을 나타낸다. 표선 도폭(Won *et al.*, 1995)에서는 하천 중앙부를 경계로 서쪽은 구두리용암류, 동쪽은 소록산용암류로 구분하고 있으나, 그 경계를 확인할 수 없으며 꽃머체와 인접한 곳에서는 좌우 동일한 용암류로 이루어져 있다.

머체의 표면은 용암언덕 지형이 만들어진 후 풍화작용에 의해 표피 부분이 없어졌지만, 바로 밑 피각 부분은 매끈하고 치밀질이며 거북등 절리가 발달되어있다.

행기머체의 경우 나무뿌리 썩기작용에 의해 동쪽 일부가 깨져 용암언덕 지형의 내부가 노출되어 있는데, 내부는 비교적 상당한 공간이 비어있으나 붕괴된 암괴로 메워져 있어 내부 공간의 크기와 바닥 면은 확인할 수 없다. 용암언덕의 겉 부분에 해당하는 암괴의 조직은 치밀질과 다공질 부분이 불규칙하게 섞여 있으며, 점성이 높아진 용암류가 냉각되는 동안 위쪽에서 아래쪽(겉에서 내부)으로 아주 느리게 흐른 듯한 주름 조직을 이룬다(그림 2d).

시추 코어와 노두에서 관찰되는 치밀질 용암류는 육안으로 단사휘석과 사장석 반정을 확연히 식별할 수 있는 반상장석휘석현무암류의 암석기재적 특징을 지닌다. 이들 반정의 크기는 대체로 1~2 mm 내외이나 최대 2 cm의 것도 포함되어 있다. 반정의 함량은 10~15%이고, 반정 중 단사휘석과 사장석의 비는 약 4:1에서 3:2로서, 사장석에 비해 단사휘석 반정이 우세한 반상 조직을 지닌다. 현미경하(그림 3)에서 단사휘석은 주로 반자형 단결정의 반정을 이룬다. 매우 드물게 미반정 결정이 뭉쳐져 산출되기도 하는데, 타형의 결정 가장자리가 용식상을 가지는 것으로 미루어 집적체(cumulate)로 추정된다. 사장석은 주로 장방형 혹은 각주상의 반자형 혹은 용식에 의해 타형으로 산출한다. 칼스바드-알바이트 쌍정(carlsbad-albite twin)이나 칼스바드-페리클린 쌍정(carlsbad-pericline twin)을 이루고, 누대조직(zoning)이 발달하기도 한다. 한편 감람석은 두 반정 광물에 비해 비교적 소량이며, 미반정의 크기이다. 석기는 대부분 은미정질의 사장석, 감람석 및 단사휘석, Fe-Ti 산화 광물로 구성된다.

용암류의 조성은 SiO₂, 47.8~49.1 wt%, 알칼리(Na₂O+K₂O), 3.5~4.1 wt%의 범위를 가지는 알칼리 현무암에 해당하는데, 톨레이아이트질 현무암과의 경계에 가깝게 점사된다(그림 4).

용암류의 연대는 최소 20.0±9.9 ka에서 최대 33.5±6.4 ka를 나타내어, 약 3만 년 전에 화산분화가 있었음을 지시한다(그림 5). 이 곳에서 약 7 km 북서쪽에 위치한 교래리 지역(Koh *et al.*, 2021) 및 한라산 일대(Koh *et al.*, 2019; Hong *et al.*, 2021) 용암류의 연대자료를 고려하면, 이 시기 동안 제주도 한라산을 포함한 중산간 일대에서 화산분화가

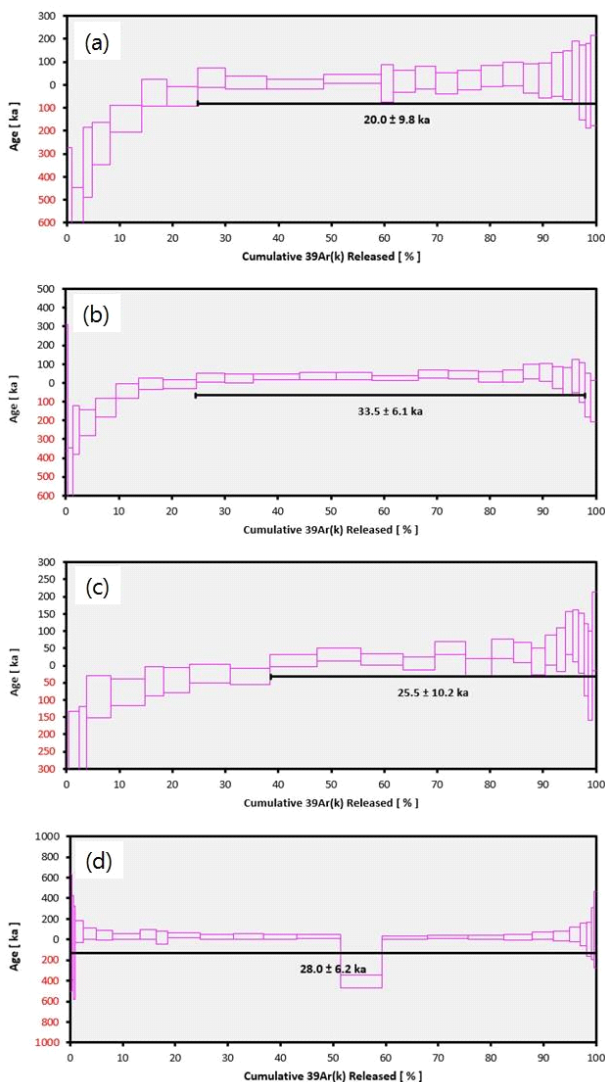


Fig. 5. ^{40}Ar - ^{39}Ar absolute age results of volcanic rocks (groundmass) in the studied area, Jeju Island.

활발했음을 나타낸다.

용암류의 분출 근원지를 추적하고 주변 다른 용암류와의 접촉 관계를 밝히기 위한 정밀 지질조사는 수행하지 않았다. 이 연구에서 밝혀진 머체를 구성하는 용암류의 특징인 반상장석회석현무암의 기재적 특징과 알칼리 현무암의 용암 조성은 표선 도폭(Won *et al.*, 1995)의 구두리오름용암류(반상회석현무암과 반상장석현무암으로 혼용 기재; 알칼리 현무암) 혹은 제주도 도폭(Park *et al.*, 2000)의 조면현무암과 부합되지 않는다. 따라서 향후 이 지역의 지질이 새롭게 정립되기를 기대한다.

5. 고찰

크립토돔은 심부에서 올라온 마그마가 지표 위로 분출

하지 않고 화산체의 일부 혹은 천부에 관입 후 돔 모양을 이루는 경우 만들어진다. 일반적으로 화산체의 표면이 부풀어 오른 듯한 화산 지형을 일컬으며, 주로 규장질 조성의 마그마에 의해 만들어진다(Burchardt *et al.*, 2019). 대표적인 예로서 1980년 4월 미국의 세인트 헬렌즈 화산 정상부가 크립토돔에 의해 부풀어져 있었던 모습이다(Moore and Albee, 1981). 간혹 분석구의 내부에 관입된 크립토돔이 인위적으로 화산쇄설물이 제거되었을 때 그 모습이 확인되기도 한다(Delcamp *et al.*, 2014). 따라서 크립토돔은 기본적으로 화산체 내에서 기존 화산분출물과 관입 관계를 이루고 있다(Burchardt *et al.*, 2019).

그러나, 앞서 설명한 바와 같이 제주도 행기머체와 꽃머체의 지형 및 구성 용암류는 기반을 이루고 있는 용암류와 동일하다. 따라서 행기머체와 꽃머체는 크립토돔이 아니다.

일반적으로 파호이호이 용암류가 유동과정에서 만들어진 대표적인 용암언덕 지형은 투물러스(압력은 포함)이다(예: Wentworth and MacDonald, 1953; Walker, 1991; Hon *et al.*, 1994; Rossi and Gudmundsson, 1996; Anderson *et al.*, 2012). 투물러스는 용암류가 유동하는 동안 넓은 오목지형 내로 저류되거나 혹은 매우 평탄한 지형을 따라 흐를 때 원형 내지 타원으로 길게 늘어진 돔 형태로 만들어지며 그 높이는 수 m에서 수십 m에 달한다. 이것은 굳어진 용암 각(curst) 밑으로 유동성을 가진 고온의 용암류가 지속적으로 주입되어 길의 용암 각이 팽창하면서 만들어진다. 용암 각이 부풀어 오르면서 돔 모양의 반구형 지붕이 만들어지고, 뒤이어 지붕 각이 위로 팽창하는 동안 인장응력에 의해 균열이 생긴다. 균열은 투물러스의 중앙에서부터 지붕의 측면 아래로 방사상으로 이루어지는데, 대체로 투물러스의 장축을 따라 주된 균열이 생긴다. 깨진 용암판은 가운데가 벌어져 경사를 이루며, 깨진 면을 따라 투물러스의 단면을 보면 빈 공간이 거의 없이 용암류가 채워져 있다. 공간이 있는 경우 내부의 미처 식지 않은 용암류가 흘러나와 굳어있다. 이를 ‘브레이크아웃(breakout)’이라 한다. 이러한 투물러스는 제주도 동북쪽 김녕-월정 해안 일대에서 쉽게 발견된다(Kim *et al.*, 2020). 외견상으로만 볼 때, 머체는 대형 투물러스로 간주할 수도 있으나 앞서 기술한 투물러스의 특징을 가지고 있지 않아 이를 배제할 수 있다.

한편, 유동하는 용암류는 일반적으로 상부 겉 부분이 먼저 굳고 그 내부는 여전히 뜨거운 멜트(melt) 상태가 유지되는데, 내부 멜트가 굳은 상부 용암판의 깨진 틈으로 밀어올라와 부풀어진 형태의 지형이 만들어지기도 한다. 이렇게 만들어진 용암 지형을 스퀴즈업(squeeze-ups)라고 한다(Nichols, 1939, 1946)(그림 6). 내부로부터 공급되는 용암류에 의해 만들어진 용암 지형이다(Sheth *et al.*, 2024). 그 형태에 따라 선형(linear) 혹은 벌버스(bulbous) 스퀴즈업

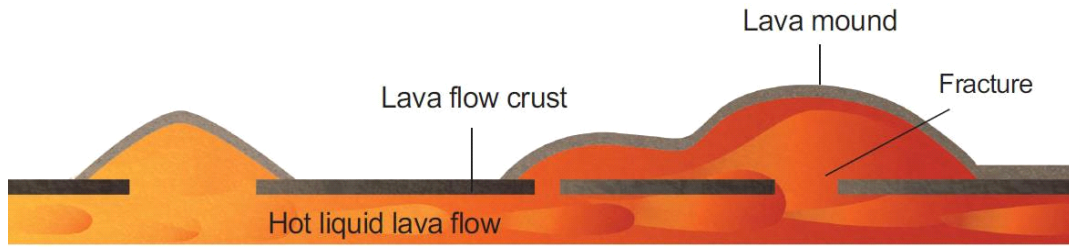


Fig. 6. Schematic diagram showing the formation of lava mound by squeeze-ups in lava flow fields (modified from Zhang *et al.*, 2017).

으로 구분된다. 일반적으로 스퀴즈업의 크기는 주변 용암 지형의 지표 기복에 비해 최대 1 m 내외 높이로 부풀어 오른 형태를 지닌다(예: Nichols, 1939, 1946; Wentworth and MacDonald, 1953; Olson, 2016; Zhang *et al.*, 2017; Sheth *et al.*, 2024). 스퀴즈업은 내부에 대부분 빈 공간(cavity)을 가지는데, 이는 깨진 틈으로 공급되던 멜트의 양이 감소되거나 혹은 굳어있는 상판 하부를 흐르던 멜트가 갑자기 빠져 나가면서 공간을 충분히 채우지 못하고 굳어져 만들어진 것이다(Nichols, 1946).

스퀴즈업의 형성 과정과 형태 등을 고려하면 행기머체와 꽃머체는 벌버스 스퀴즈업으로 해석된다. 세계의 다른 화산지대에서 보고된 사례에 비해 행기머체와 꽃머체는 상당한 클 뿐만 아니라 독립적인 반구형을 이룬다는 점에서 차이가 난다. 한편, 행기머체와 꽃머체와 유사한 용암언덕이 비록 그 규모(직경 3 m, 높이 2 m)는 작지만 제주도 교래리 일대 하천에서도 분포(N33.428667, E126.652000)하고 있음이 확인된다(그림 2f).

6. 결론

이번 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 머체는 반구형의 용암언덕 지형이다. 이 지역은 파호이호이 용암류가 비교적 평탄한 지형을 이루어 분포하며, 기존 지질 설명과 같이 머체를 두껍게 덮고 있었다고 추정 가능한 지층이 주변에 존재하지 않는다. 용암류는 머체 이외의 곳에서도 드문드문 소규모 용암류 팽창 지형의 특징을 보인다.

둘째, 반구형의 용암언덕은 약 40도의 경사를 가지는데, 그 표면 부분은 매끈하며 치밀질이고 거북등 절리가 발달되어 있다. 용암언덕의 내부는 비교적 넓은 빈 공간을 가진다. 용암언덕의 겉부분에 해당하는 암괴의 조직은 치밀질과 다공질 부분이 불규칙하게 섞여 있으며 점성이 높아진 용암류가 냉각되는 동안 위쪽에서 아래쪽(겉에서 내부)으로 아주 느리게 흐른 듯한 주름 조직을 이룬다.

셋째, 용암류는 반상장석회석현무암류의 암석기재적 특징을 지니며, 알칼리 현무암의 암석조성을 가진다. 용암류

의 연대는 최소 20.0±9.9 ka에서 최대 33.5±6.4 ka를 나타내어, 약 3만 년 전에 화산분화가 있었음을 지시한다.

머체는 그 동안 알려진 것과 달리 크립토돔이 아니며, 반구형 용암언덕으로 벌버스 스퀴즈업(Nichols, 1939, 1946)에 해당한다. 이는 파호이호이 용암류가 유동되는 과정에서 상부 겉 부분이 먼저 굳고 그 내부는 여전히 뜨거운 멜트로 유동되던 중 흐르던 용암류의 일부가 상부 용암판의 깨진 틈으로 밀어 올라와 채우면서 점성이 증가하며 부풀어 오른 형태를 이룬 후 냉각되어 형성된 용암 지형이다.

향후, 현장의 안내판 및 인터넷에서 검색되는 정보가 수정되길 기대한다.

감사의 글

논문의 초고에 세심한 심사를 해주신 심사위원과 편집 위원께 감사드립니다.

REFERENCES

- Anderson, S.W., Smrekar, S.E. and Stofan, E.R., 2012, Tumulus development on lava flows: Insights from observations of active tumuli and analysis of formation models. *Bulletin of Volcanology*, 74, 931-946, <https://doi.org/10.1007/s00445-012-0576-2>.
- Burchardt, S., Mattsson, T., Palma, J.O., Galland, O., Almqvist, B., Mair, K., Jerram, D.A., Hammer, Ø. and Sun, Y., 2019, Progressive growth of the Cerro Bayo cryptodome, Chachahuén volcano, Argentina-Implications for viscous magma emplacement. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124, 7934-7961, <https://doi.org/10.1029/2019JB017543>.
- Delcamp, A., van Wyk de Vriew, B., Stephane, P. and Kervyn, M., 2014, Endogenous and exogenous growth of the monogenetic Lemptegy volcano, Chaîne des Puys, France. *Geosphere*, 10, 998-1019, <https://doi.org/10.1130/GES01007.1>.
- González-Guzmán, R., 2016, NORRRM: A Free Software to Calculate the CIPW Norm. *Open Journal of Geology*, 6, 30-38, doi: 10.4236/ojg.2016.61004.
- Hon, K., Kauahikaua, J., Denlinger, R. and McKay, K., 1994, Emplacement and inflation of pahoehoe sheet flows observation and measurements of active lavas on Kilauea volcano, Hawaii. *Geological Society of American Bulletin*, 106, 351-370.

- Hong, S.S., Lee, C.O., Lim, J., Lee, J.Y. and Ahn, U.S., 2021, Volcanic Activity of the Volcanoes in the Hallasan Natural Reserve, Jeju Island, Korea. *Economic and Environmental Geology*, 54, 1-19 (in Korean with English abstract).
- Kim, Y., Kwon, C.W., Kim, Y., Lim, J., Ha, K., Hong, S.S., Park, W.B., Koh, G.W., Park, J.B., Sohn, Y.K., Yoon, S.H. and Jeon, Y., 2020, Geological Splendors of Jeju Island. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources and Jeju Research Institute, 262 p.
- Koh, G.W., Park, J.B., Hong, S.S., Ko, I.J. and Kim, T.H., 2019, Multiple volcanic eruption episodes in the highlands of Mt. Halla (Hallasan), Jeju Island, Korea: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of lava flows. *Journal of the Geological Society of Korea*, 55, 71-86 (in Korean with English abstract).
- Koh, G.W., Park, J.B., Kim, T.H., Moon, D.C. and Mun, S.Y., 2021, Geologic Characteristics of Jeju Samdasoo Watershed in Jeju Island, Korea (I): Regional Surface Geology and Volcanic Activities. *Journal of the Geological Society of Korea*, 57, 49-65 (in Korean with English abstract).
- Koppers, A.A., 2002, ArArCALC software for $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ calculations. *Computers & Geosciences*, 28, 605-619.
- 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., Sørensen, H. and Woolley, A.R., 2002, Igneous rocks: A classification and glossary of terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. 2nd Edition, Cambridge University Press, 236 p.
- Macdonald, G.A. and Katsura, T., 1964, Chemical composition of Hawaiian Lavas. *Journal of Petrology*, 5, 82-133.
- Moore, J.G. and Albee, W.C., 1981, Topographic and structural changes, March-July 1980-Photogrammetric Data. US Geological Survey Professional Paper, 1250, 123-134.
- Nichols, R.L., 1939, Squeeze-ups. *Journal of Geology*, 47, 421-425.
- Nichols, R.L., 1946, McCarty's basalt flow, Valencia County, New Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 57, 1049-1086.
- Olson, G.D., 2016, Inflated sheet flows and the origin of bulbous squeeze ups. Keck Geology Consortium 29th Annual Symposium, ISBN: 1528-7491.
- Park, K.H., Lee, B.J., Han, M.G., Kim, J.C., Ki, W.S., Park, W.B. and Kim, T.W., 2003, Geologic Tour in Jeju Island. KIGAM & JDRI, KR-B306 2003, 179 p (in Korean, title translated).
- Park, K.H., Lee, B.J., Kim, J.C., Cho, D.L., Lee, S.R., Park, D.W., Lee, S.R., Choi, Y.S., Yeum, D.Y., Kim, J.Y., Seo, J.Y. and Shin, H.M., 2000, Geologic report of the Jeju (including Baekado-Jinnampo) Sheet (1:250,000). Korea Institute Geology, Mining and Materials, Taejon, 59 p (in Korean with English abstract).
- Rossi, M.J. and Gudmundsson, A., 1996, The morphology and formation of flow-lobe tumuli and Icelandic shield volcanoes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 72, 291-308, [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(96\)00014-5](https://doi.org/10.1016/0377-0273(96)00014-5).
- Schaen, A.J., Jicha, B.R., Hodges, K.V., Vermeesch, P., Stelten, M.E., Mercer, C.M., Phillips, D., Rivera, T.A., Jourdan, F., Matchan, E.L., Hemming, S.R., Morgan, L.E., Kelley, S.P., Cassata, W.S., Heizler, M.T., Vasconcelos, P.M., Benowitz, J.A., Koppers, A.A.P., Mark, D.F., Niespolo, E.M., Sprain, C.J., Hames, W.E., Kuiper, K.F., Turrin, B.D., Renne, P.R., Ross, J., Nomade, S., Guillou, H., Webb, L.E., Cohen, B.A., Calvert, A.T., Joyce, N., Ganerød, M., Wijbrans, J., Ishizuka, O., He, H., Ramirez, A., Pfänder, J.A., Lopez-Martínez, M., Qiu, H. and Singer, B.S., 2021, Interpreting and reporting $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronologic data. *The Geological Society of America Bulletin*, 133, 461-487, <https://doi.org/10.1130/B35560.1>.
- Sheth, H., Naik, A., Shekhar, A., Astha, B. and Samant, H., 2024, Lava squeeze-ups and volcanic resurfacing: a review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 451, 108085, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2024.108085>.
- Walker, G.P.L., 1991, Structure, and origin by injection of lava under surface crust, of tumuli, "lava rises", "lava-rise pits", and "lava-inflation clefts" in Hawaii. *Bulletin of Volcanology*, 53, 546-558.
- Wentworth, C.K. and MacDonald, G.A., 1953, Structures and forms of basaltic rocks in Hawaii. *Geological Survey Bulletin*, 994, United States Department of the Interior, Geological Survey, 98 p.
- Won, C.K., Lee, M.W., Lee, D.Y. and Yun, S.H., 1995, Explanatory text of the geological map of Pyoseon Sheet (1:50,000). Ministry of Construction, Jeju Provincial Government and Korea Water Resources Corporation, 59 p (in Korean, title translated).
- Zhang, F., Head, J.W., Basilevsky, A.T., Bugiolacchi, R., Komatsu, G., Wilson, L. and Zhu, M.-H., 2017, Newly discovered ring-moat dome structures in the Lunar Maria: Possible origins and implications. *Geophysical Research Letter*, 44, 9216-9224, <https://doi.org/10.1002/2017GL074416>.