

<Short Note> 제주도 꽃자왈지대의 지질 특성

박준범^{1,‡} · 강봉래² · 고기원³ · 김기표²

¹미육군극동공병단 지반환경공학부

²제주특별자치도 수자원본부

³제주특별자치도개발공사 물산업연구센터

요 약

꽃자왈지대는 제주도의 잘 알려진 독특한 화산 지형 중 하나이다. 우리는 용암류의 분포와 유형, 암석화학 및 절대연대에 근거하여 꽃자왈지대의 지질 특성을 요약하여 보고한다. 이 결과는 현재 훼손되지 않은 꽃자왈 지대 분포지에 대한 전면적인 재조사 및 각 지역의 특징에 맞는 보전 관리 계획을 수립할 필요성을 제기한다.

주요어: 꽃자왈지대, 지질, 관리 계획, 제주도

Jun Beom Park, Bong-Rae Kang, Gi Won Koh and Gi-Pyo Kim, 2014, Geological characteristics of Gotjawal terrain in Jeju Island. Journal of the Geological Society of Korea. v. 50, no. 3, p. 431-440

ABSTRACT: The Gotjawal terrain is a well-known unique volcanic land form in Jeju Island. We concisely report on the geological characteristics of Gotjawal terrain on the basis of distribution, type, rock chemistry and absolute age of lavas. It is absolutely imperative to conduct the survey for the existing Gotjawal terrain and to implement the customized management plan for conservation of each area.

Key words: Gotjawal Terrain, Geology, Management Plan, Jeju Island

(Jun Beom Park, Geotechnical and Environmental Engineering Branch, US Army Corps of Engineers Far East District, 29, Ulchiro 39 gil, Junggu, Seoul 100-195, Republic of Korea; Bong-Rae Kang and Gi-Pyo Kim, Water Resources Office, Jeju Special Self-Governing Province, 601, Joongsangdong-ro, Jocheonup, Jeju 690-170, Republic of Korea; Gi Won Koh, Water Industry Research Center, Jeju Special Self-Governing Province Development Corporation, 1717-35, Namjoro, Jocheonup, Jeju 695-961, Republic of Korea)

1. 서 론

일반인들에게는 생소한 용어이지만 꽃자왈(Gotjawal)은 고유 제주어로서 독립적으로 쓰이기도 하나, 숲을 뜻하는 '꽃'과 돌과 자갈들이 모인 곳을 뜻하는 '자왈'이라는 2개의 형태소로 이루어진 합성어로서, 제주어사전(濟州語辭典)에 따르면 나무와 덩굴 따위가 마구 헝클어져 수풀같이 어수선하게 된 곳으로 정의하고 있다(Jeju Special Self-Government Province, 2009).

과거 쓸모없는 땅으로 여겨지던 꽃자왈은 1990년대 이래 꽃자왈의 개발과 지하수 보전 문제가 지역 사회

의 논쟁 거리가 되고, 자연환경 보호에 사회적 관심이 높아지면서 꽃자왈에 대한 인식에 큰 변화가 생기기 시작하였다. 꽃자왈탐사대 활동(제민일보: 2002~2004), (사)꽃자왈사람들 창립(2005) 등 꽃자왈에 대한 관심이 지하수 분야 뿐만 아니라 동식물 등 생태 분야로 까지 확대되면서 꽃자왈의 학술적 가치와 보전의 필요성이 사회적 공감대를 얻기 시작했다. 이러한 사회적 공감대 속에서 제주특별자치도는 꽃자왈공유화재단 설립(2007)과 공유화 운동 추진, 그리고 꽃자왈 사유지 매입 등을 적극적으로 전개해 오고 있다. 2012년 제주 국제자연보전총회에서는 “꽃자왈 보전과 활용”이 공식 의제로 채택되기도 하였다.

[‡] Corresponding author: +82-2-2270-7258, E-mail: chunpom@lycos.co.kr

꽃자왈은 독특한 화산지형으로서의 지형 지질학적인 가치, 특유한 난대/온대림의 생태계로 구성되어 한라산과 해안지역을 잇는 생태 네트워크로서의 역할, 그리고 중산간 지역의 마을 공동체 형성에 영향을 준 인문지리학적 가치를 지닌다(Suh, 2012). 한편, 지질학적으로 꽃자왈은 지역에 따라 분출 시기와 성분이 다양한 용암류로 구성되었음에도 불구하고(Won *et al.*, 1993; Park *et al.*, 1998, 2000a, 2000b, 2000c), 꽃자왈을 구성하는 암석은 암괴상 아아 용암(Song, 2000)이며, 지역적인 특성과 결합하여 ‘꽃자왈용암’으로 명명되어 지금까지 통용되고 있다(참조: (사)꽃자왈사람들, <http://www.gotjawal.com/>; 꽃자왈공유화재단, <http://www.jejustrust.net/>). 반면, 최근 수산, 선홍, 저지 및 신평 꽃자왈 지역의 용암류가 파호이호이 용암류의 특징을 가지고 있음이 보고되었다(Jeon *et al.*, 2012).

제주특별자치도 수자원본부에서는 도 일원에 분포하고 있는 주요 꽃자왈 중 토지이용 등급도(Jeu Province, 1997)를 바탕으로 꽃자왈용암 분포지(Song, 2000)와 중첩되는 지역에 대해 용암류의 분포 및 유형, 시추조사를 통한 꽃자왈 용암 두께 확인, 용암의 암석성분 및 분출시기 그리고 침투율 조사 등 수문지질학적 특성 연구를 5개년 연구 사업(2009년-2013년)으로 수행하였다. 그 결과를 담은 보고서는 현재 출간 준비 중이며, 이 논문은 도출된 몇 가지 시사점을 중심으로 꽃자왈지대의 지질 특성에 대해 간략하게 보고한다.

2. 연구방법

꽃자왈의 분포, 용암류의 유형 및 훼손지 조사에는 현장에서 GPS에 의한 측점좌표를 획득했을 뿐만 아니라 항공사진(2006년 및 2009년 촬영)을 활용하였고, 현장조사 결과를 1:5,000 축척의 수치 지형도에 입력시켜 향후 꽃자왈 보전·관리 및 관련 조사 연구에 활용될 수 있도록 준비하였다. 기존 지질 연구 문헌 및 육상지질조사, 시추공의 지질주상도 작성, 야외노두 및 시추코어에서 채집한 화산암 시료의 암석 기재 및 전산화학적 분석을 통해 꽃자왈 지역별 용암류의 암석학적 특징을 정리하였으며, 또한 10-25 m 깊이의 시추를 통해 꽃자왈의 지표 부분을 이루고 있는 용암류의 두께 및 특징을 규명하였다.

3. 연구결과 및 토의

3.1 꽃자왈지대의 분포 범위

꽃자왈과 관련하여 ‘꽃자왈’, ‘꽃자왈지역’, ‘꽃자왈지대’ 혹은 ‘꽃자왈용암숲’이라는 다양한 이름으로 사용자에 따라 혼용되고 있지만 이 연구에서는 ‘꽃자왈지대’라는 이름을 사용한다. 꽃자왈지대는 제주어 ‘꽃자왈’과 동일하거나 유사한 지리적 속성을 지니고 있는 일련의 지역을 나타내는 ‘지대’라는 단어를 결합하여 공간적으로 한정적인 의미를 지닌다. 꽃자왈지대의 명명은 대부분 지역에서 행정단위 <읍>이나 <면>의 이름이 이용되었으나, 조천-함덕 꽃자왈지대 만큼은 <면>과 그 하위 행정단위인 <리>의 이름을 혼용하고 있다. 따라서 이 연구에서는 ‘조천 꽃자왈지대’라 하였다.

1997년 만들어진 제주특별자치도의 토지이용 등급도(1:5,000 축척)에서 꽃자왈지대는 지하수보전등급 2등급 및 생태보전등급 3등급 지역으로, 동쪽에서부터 구좌-성산, 조천, 교래-한남, 애월, 한경 그리고 안덕 지대로 구분되며 그 면적은 113.3 km²로서도 전체 면적의 6.1%이다(그림 1). 그러나 이 도면의 꽃자왈지대 경계는 여러 곳에서 실제 꽃자왈지대 분포와 차이를 보이고 있어 재조사가 필요한 실정이다.

현재 꽃자왈지대의 분포와 관련한 그림 자료는 제주특별자치도의 토지이용 등급도보다는 꽃자왈용암 분포도(Song, 2000; 그림 1의 붉은 실선)가 흔히 인용되고 있는 실정이다(참조: Song *et al.*, 2006; Song, 2007; (사)꽃자왈사람들; 꽃자왈공유화재단). 구좌-성산 꽃자왈지대는 동거문이오름 꽃자왈용암류, 다랑쉬오름 꽃자왈용암류, 용눈이오름 꽃자왈용암류 및 백약이오름 꽃자왈용암류로 구분되며, 조천 꽃자왈지대는 조천-대흘 꽃자왈용암류, 함덕-와산 꽃자왈용암류, 서검은이오름 꽃자왈용암류로, 애월 꽃자왈지대는 노꼬메오름 꽃자왈용암류로, 한경 꽃자왈지대는 도너리오름 꽃자왈용암류로, 그리고 안덕 꽃자왈지대는 병악 꽃자왈용암류로 구분된다. 그러나 1:25,000 축척의 지형도를 이용하여 만들어진 꽃자왈용암 분포도는 토지이용 실태 뿐만 아니라 지질도와도 무관하게 작성되었음이 확인되며, 대축척(예: 1:5,000)에 비해 정밀도가 떨어지는 소축척 지도를 사용함으로써 분포 경계가 실제 지형과는 맞지 않는다.

토지이용 등급도의 꽃자왈지대와 꽃자왈용암 분

포도의 면적을 비교해 보면, 토지이용 등급도의 곶자왈지대가 상대적으로 약 20%에서 90% 정도의 작은 범위로 지정되었음을 알 수 있다(표 1). 조천 곶자왈지대의 경우 이미 농경지나 주거지 및 관광시설 등으로 개발되어 곶자왈 원형이 훼손된 곳은 곶자왈지대로 설정되지 않은 것으로 보이지만 수산 및 애플 곶자왈지대는 곶자왈의 지형 및 식생 특징을 유지하고 있음에도 불구하고 일부 누락되었음이 현장

조사를 통해 확인하였다. 또한 대부분 사려니숲(제주시 조천읍)에 해당하는 교래-한남 곶자왈지대와 안덕 곶자왈 동쪽 녹하지와 주변(서귀포시 여래동-중문동 일대) 지역은 곶자왈지대 특성이 관찰되지 않음에도 불구하고 지하수자원 보전을 목적으로 등급도에는 곶자왈지대로 지정되어 있다. 반면, 머चे왓숲길(서귀포시 남원읍 한남리) 인근에도 곶자왈지대가 분포하고 있지만 곶자왈로 포함되어 있지 않다.

Table 1. Acreage comparison of the Gotjawal terrain in Jeju island (unit; km²).

Gotjawal Terrain	Song (2000)	Land Use Thematic Map (1997)
Gujwa-Seongsan	38.0	7.8
Jocheon	60.1	20.7
Aewol	20.6	3.5
Hankyeong	38.1	34.2
Andeok	12.9	10.7
Non-overlapped (Gyoraе-Hannam, etc)	--	*36.4
Total Acreage	169.7	113.3

*Excluded area in this study

Please note that the acreage was automatically calculated from GIS software, ArcGIS[®].

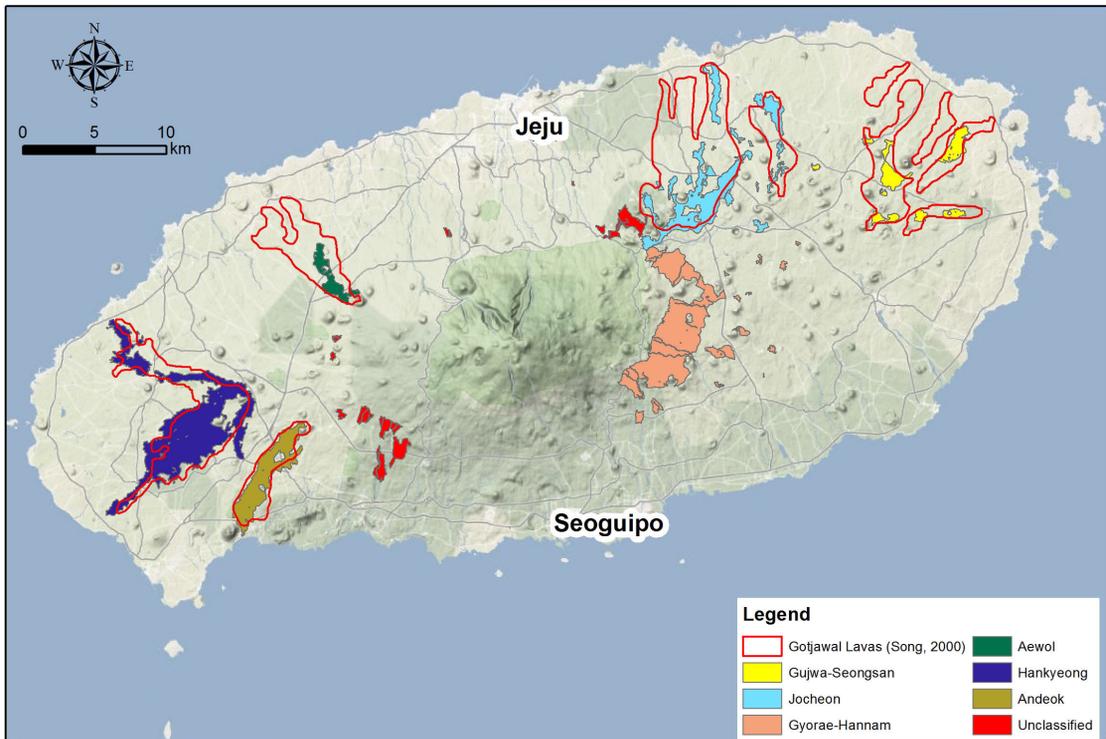


Fig. 1. Distribution of the Gotjawal terrain in Jeju Island (Jeju Province, 1997).

3.2 꽃자왈지대의 지표 용암류 유형

일반적으로 제주도의 현무암질 용암 지형 중 '빌레'는 파호이호이 용암류가, '꽃자왈'은 아아 용암류의 분포지로 구분 기재된다(Park *et al.*, 2008). 그러나 이미 발간된 지질도(Won *et al.*, 1993; Park *et al.*, 1998, 2000a, 2000b, 2000c)에서는 한경-안덕 꽃자왈

지대를 제외하고 꽃자왈용암의 분포지와는 분포범위가 서로 차이를 보일 뿐만 아니라, 각각 꽃자왈지대는 분출 시기와 성분이 다양한 용암류로 구성되어 있음을 나타낸다. 또한, 꽃자왈지대에 분포하는 용암류가 아아 용암 뿐만 아니라 빌레형의 파호이호이 용암도 분포하고 있음이 구체적으로 보고되고 있다

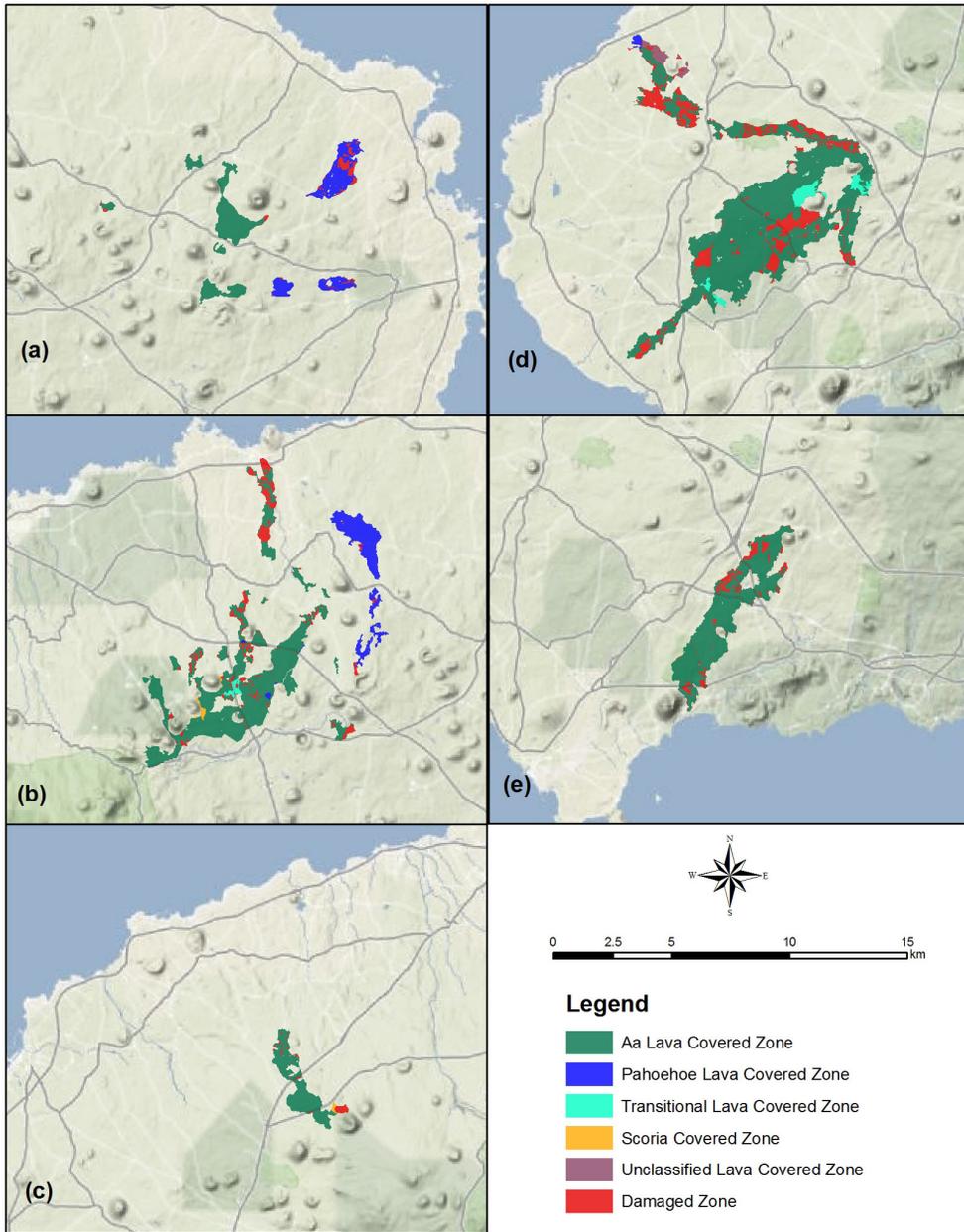


Fig. 2. Classification of surface lava types in the studied Gotjawal terrain in Jeju Island. (a) Gujwa-Seongsan (b) Jocheon (c) Aewol (d) Hankyeong (e) Andeok.

Table 2. Classification of surface lava types in the studied Gotjawal terrain (unit; km²).

Covered Zone	Gujwa-Seongsan	Jocheon	Aewol	Hankyeong	Andeok
Aa Lava	3.93	14.35	3.10	25.66	9.34
Pahoehoe Lava	3.17	3.44		0.16	
Scoria		0.15	0.07	tr	0.01
Transitional Lava		0.23		1.32	
Unclassified Lava				0.57	
Damaged	0.66	2.53	0.29	6.49	1.34
Total Acreage	7.76	20.70	3.46	34.20	10.69

Abbreviation: tr; trace. Please note that the acreage was automatically calculated from GIS software, ArcGIS[®].

(Jeon *et al.*, 2012).

곶자왓지대의 현장조사를 통해 지표지질에 대한 실태를 파악하고 GIS 프로그램(ArcGIS[®])를 이용하여 각 지역별 분포도를 작성한 후 면적을 계산하였다(표 2, 그림 2). 각 곶자왓지대에서 아아 용암으로만 구성된 곳은 애월(해당 지역의 전체 면적 대비 89.7%)과 안덕(87.4%) 곶자왓지대이며, 아아 용암과 함께 파호이호이 용암이 분포하는 곳은 한경(75%:0.5%), 조천(69.3%:16.6%), 구좌-성산(50.6%:40.8%) 곶자왓지대이다. 특히 곶자왓지대 중 가장 유명한 선홍곶자왓(조천 곶자왓지대)은 거의 대부분 파호이호이 용암 지형에 해당한다. 애월(1.9%), 조천(0.7%), 안덕(0.1%) 곶자왓지대는 오름 주변부로서 두꺼운 분석층에 의해 피복된 지형이 비교적 소규모로 분포한다. 파호이호이 용암에서 아아 용암으로 일부 전이(transition)되었거나 혹은 아아 용암과 파호이호이 용암의 구분이 쉽지 않은 전이대 지역은 조천 곶자왓지대의 돌문화공원 입구 주변, 한경 곶자왓지대의 도너리오름 남쪽과 문도지오름 동쪽 및 남송이오름 서쪽 일대, 무릉곶자왓 및 신평곶자왓 일대에 해당한다. 특히 신평곶자왓 지역은 도너리오름 기원의 아아 용암이 평탄한 저지대에 도달하여 선단부(distal) 지역에서 파호이호이 용암으로 전이되어 만들어진 지형(Bailey *et al.*, 2006; Applegarth *et al.*, 2010; Favalli *et al.*, 2010; James *et al.*, 2012)으로 해석된다. 한경 곶자왓지대의 북서쪽 끝부분에 해당하는 정월오름 주변의 숲지(약 0.57 km²)는 모슬포-한림 지질도폭(Park *et al.*, 2000a)에 의하면 파호이호이 용암(광해악현무암) 분포지에 해당하지만, 도너리 아아 용암과의 접촉관계 및 그 단면을 파악할 수 있는 노두가 없어 분류 불가능 지역으로 구분하였

다. 전체 곶자왓지대 중 목장, 농경지, 골프 코스 및 주거 지역으로 개발되어 지표를 덮고 있는 용암이 존재하지 않거나 곶자왓지대 원형이 훼손된 곳의 면적은 지하수자원보전지구 지정 당시(2003년 4월)에 비해 약 14.7%가 증가된 것으로 나타났다.

이 결과는 ‘제주도의 곶자왓지대는 아아(암괴상) 용암 분포지’로 통용되는 정의(참고: 곶자왓공유화재단)와 서로 부합되지 않는다. 아아 용암류만 분포하는 지역은 애월과 안덕 곶자왓지대 뿐이며, 그외 지역은 아아 용암과 함께 부분적으로 파호이호이 용암 혹은 용암전이에 의한 용암류로 구성되므로, 아아 용암 지형과 파호이호이 용암 지형의 형성과 관련된 기재적인 사항을 각 지역별로 구분하여 서술해야 할 것을 제안한다. 이를 토대로 현재 곶자왓 입구마다 만들어져 있는 안내문의 내용을 정정해야 한다.

3.3 곶자왓지대 용암류의 암석학적 특징

곶자왓지대의 지질 특성을 규명하기 위해 20개 지점에서 시추조사를 실시하였으며, 시추코어 및 야외노두에서 채취한 102개의 시료에 대해 한국지질자원연구원에 의뢰하여 X-선 형광분석법으로 전암 주성분 분석을 실시하였다.

곶자왓지대의 지표부 용암류는 동일한 분화구로부터 분출된 것으로 판단되는 평균 5 m 두께를 지닌 여러매(최소 2매)의 용암단위가 층상을 이루고 있다. 아아 용암류의 경우는 가운데 용암판을 중심으로 상하위에 암괴와 클링커로 구성된 층을 지니고 있으며 그 두께는 최대 10 m에 달하는 경우도 있다. 한편, 파호이호이 용암류의 경우, 아아 용암에 비해 용암판의 두께(평균 3 m 내외)가 얇으며 때로는 복합용암류(compound lava flows)를 이루기도 하고

Table 3. Average concentration (wt%) of major elements of lavas in the studied Gotjawal terrain.

Terrain	Gujwa-Seongsan		Jocheon	
	N*			
	17	5 ¹	29	2 ²
SiO ₂	49.60 (0.86)	51.10 (0.35)	49.70 (1.02)	52.85 (0.20)
TiO ₂	2.31 (0.14)	2.28 (0.04)	2.30 (0.11)	2.01 (0.02)
Al ₂ O ₃	14.74 (0.57)	15.81 (0.36)	15.41 (0.81)	14.69 (0.11)
MgO	7.39 (1.10)	5.38 (0.46)	6.31 (1.41)	5.66 (0.12)
Fe ₂ O ₃ [†]	12.00 (0.39)	11.42 (0.14)	12.48 (0.62)	11.70 (0.03)
MnO	0.16 (0.00)	0.15 (0.01)	0.16 (0.01)	0.15 (0.00)
CaO	8.46 (0.57)	7.45 (0.24)	8.05 (0.49)	8.58 (0.03)
Na ₂ O	3.07 (0.29)	3.59 (0.12)	3.36 (0.35)	3.03 (0.08)
K ₂ O	1.39 (0.29)	1.86 (0.08)	1.37 (0.34)	0.70 (0.03)
P ₂ O ₅	0.47 (0.08)	0.56 (0.02)	0.47 (0.07)	0.26 (0.01)
Igloss	-0.36 (0.34)	-0.51 (0.29)	-0.55 (0.18)	-0.29 (0.01)
Total	99.23 (0.33)	99.09 (0.32)	99.06 (0.26)	99.34 (0.11)

Terrain	Aewol	Hankyeong	Andeok
	N*		
	8	19	13 ³
SiO ₂	49.87 (0.57)	48.83 (0.90)	51.07 (1.37)
TiO ₂	2.16 (0.09)	2.43 (0.12)	2.26 (0.20)
Al ₂ O ₃	15.87 (0.50)	14.22 (0.76)	15.76 (0.54)
MgO	5.95 (0.62)	7.98 (1.13)	4.77 (1.26)
Fe ₂ O ₃ [†]	11.83 (0.29)	12.37 (0.38)	11.94 (0.40)
MnO	0.16 (0.00)	0.16 (0.01)	0.16 (0.00)
CaO	8.03 (0.41)	8.74 (0.52)	7.23 (0.82)
Na ₂ O	3.59 (0.30)	2.96 (0.26)	3.84 (0.35)
K ₂ O	1.63 (0.13)	1.47 (0.16)	1.89 (0.26)
P ₂ O ₅	0.55 (0.05)	0.46 (0.05)	0.70 (0.10)
Igloss	-0.28 (0.16)	-0.43 (0.20)	-0.38 (0.26)
Total	99.36 (0.13)	99.19 (0.21)	99.24 (0.35)

Total FeO as Fe₂O₃[†]. Analyzed by XRF at Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources. Parenthesis denote standard deviation (1σ). *Number of analyzed samples. 1: Yongnuni Orum Pahoehoe (Susan Gotjawal), 2: Buk Orum Pahoehoe (Seonhul Gotjawal), 3: Byeongak Aa (Andeok Gotjawal).

냉각과정에서 생겨나는 균열과 절리가 무수히 발달할 뿐만 아니라, 소규모 용암동굴과 투물러스(tumulus), 용암함몰지 등의 지형을 이룬다.

꽃자왈지대의 용암류는 SiO₂ 함량이 48.6~51.7 wt% 인 현무암질암 및 현무암질 조면안산암류로서, 주로 전이질 현무암, 조면현무암, 그리고 현무암질 조면안산암의 조성을 가진다(그림 3; 표 3). 툴레이아이트질(tholeiitic) 현무암 영역에 접시되는 시료들은 전이질 현무암과 툴레이아이트질 현무암간의

경계 부근에 접시될 뿐만 아니라(그림 3), 이미 제주도에서 보고된 전형적인 현무암류간의 평균 성분 범위에서 전이질 현무암(특히 P₂O₅ 함량 등)에 해당한다. 또한 용암단위내 동일 암석 조직을 가지는 시료들과 비교하여 이를 재검토한 후, 전이질 현무암으로 재분류하였다. 반면, 조천 꽃자왈지대내 선홍꽃자왈(동백동산 주변)의 용암류는 SiO₂ 함량이 52.7~53.0 wt% 인 툴레이아이트질 안산암에 해당하여 다른 지역의 용암류와는 성분이 확연히 차이가 난다(그림 3; 표

3). 한편, 동일한 조성(가령, 현무암질 조면안산암)의 용암류라도 구좌-성산 꽃자왈지대에서는 용눈이 파호이호이 용암류로, 반면 안덕 꽃자왈지대에서는 병악 아아 용암류의 특징을 지닌다(그림 3; 표 3).

용암류의 분출시기는 꽃자왈지대 내 혹은 근접지에서 획득된 16개의 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대자료(미발표자료 및 Koh *et al.*, 2013)를 이용하여 해석하였다(표 4; 그림 4). 꽃자왈지대의 용암류는 약 11만5천년전부터 약 2만6천년전의 화산분화에 의해 분출된 용암류인 것으로 나타났다. 이는 제주도 형성 과정 중 가장 마지막으로 활발했던 화산활동기 동안 분출한 용암류에 의해 꽃자왈지대가 만들어졌음을 의미한다. 이 연구 수행 중 안덕 꽃자왈지대의 최상부 아아 용암판 직하부에서 채집된 탄화목에서 최근 약 5천년전의 탄소연대(이진영 박사, 개인통신)가 얻어졌다. 이

는 꽃자왈지대를 만든 용암분출이 최근까지 진행되었음을 시사하는 것이며, 향후 제주도 최후기 특히 홀로세 기간 동안의 화산활동을 규명하기 위한 보다 정밀한 연대측정 연구가 요구된다고 하겠다.

3.4 꽃자왈지대의 지질학적 정의 재정립 필요성

자연 및 인문지리적인 면을 배제하고 순수히 지질학적 측면만을 고려한 꽃자왈지대는 화산기원 각력층(Song *et al.*, 1996)에서 압괴상 아아 용암(Song, 2000) 분포지로 정의되어, ‘꽃자왈용암은 아아 용암이다’라는 등식이 널리 각인되어 왔다. 최근 “용암의 조성 및 성인에 상관없이 압괴들이 불규칙하게 흩어져 분포하고 있으며, 독특한 생태계가 유지되고 있는 보존가치가 높은 지역”으로 꽃자왈의 정의가 제안되었다(Jeon *et al.*, 2012).

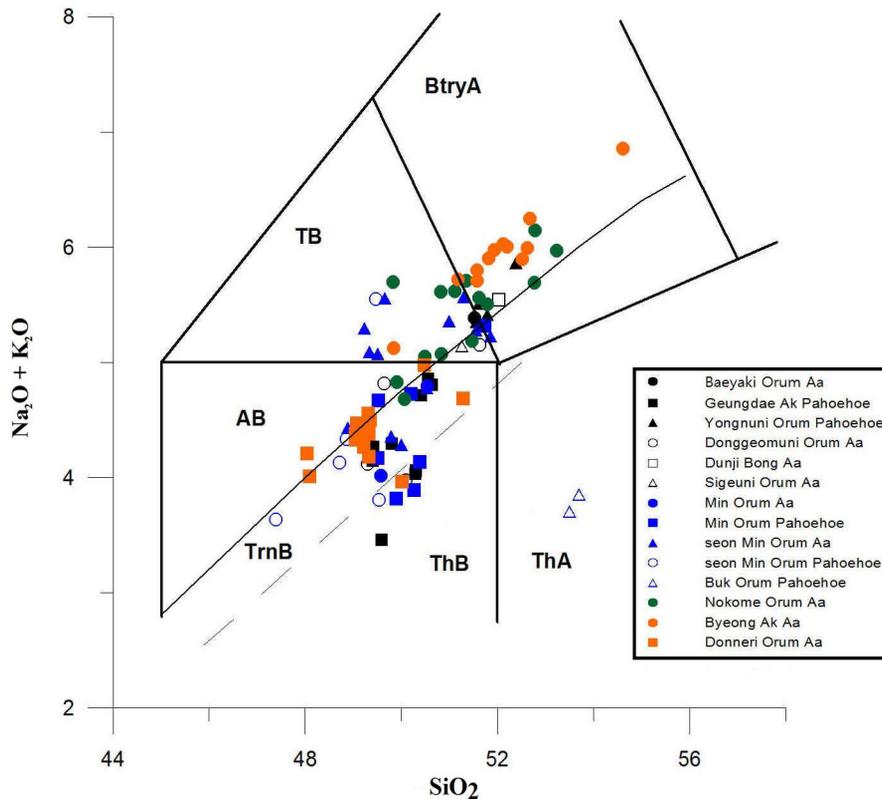


Fig. 3. (Na₂O+K₂O) (wt%) vs. SiO₂ (wt%) plot of the volcanic rocks from boreholes and outcrops in the Gotjawal terrain, Jeju Island. The fields show rock nomenclature schemes of Le Bas *et al.* (1986) with solid line from Irvine and Baragar (1971) and dashed line from Macdonald and Katsura (1964), dividing alkalic rocks from sub-alkalic rocks. Color codes for symbol: black; Gujwa-Seongsan, blue; Jocheon, green; Aewol, brown; Hankyeong and Andeok. Abbreviation: ThA; tholeiitic andesite, ThB; tholeiitic basalt, TrnB; transitional basalt, AB; alkali basalt, TB; trachybasalt, BtryA; basaltic trachyandesite.

Table 4. ^{40}Ar - ^{39}Ar age dating result (plateau) of the subsurface lava cores from borehole and surface samples from outcrop in/around the studied Gotjawal terrain (excerpt from Koh *et al.*, 2013 including unpublished data).

Terrain	Gujwa-Seongsan					Jocheon				
	Well ID	HD-3	JD-3	JD-3	JD-5	JD-5	WAS	WAS	WAS	GYR
Longitude	126.795303	126.856351	126.856351	126.799756	126.799756	126.660231	126.660231	126.660231	126.724872	126.724872
Latitude	33.508752	33.472928	33.472928	33.464627	33.464627	33.476223	33.476223	33.476223	33.427736	33.427736
Elev. (m)	112.2	100.2	100.2	200.8	200.8	311	311	311	342.6	342.6
Well depth (m)	260	252	252	430	430	350	350	350	491	491
Sample depth (m)	7	3	42	8	48	15	37	55	13	14
Rock Name	TB	BtryA	AB	TB	TrnB	TB	TrnB	TB	ThB	TB
Age (ka)	53.2*	53*	57	58	53*	43	117	112	40*	71
2 s.d.	11	66	17	19	82	23	36	22	144	11
% ^{39}Ar	100	98.4	96.8	100	100	91.3	93.4	84	100	98
Steps ¹	7/7	3/4	3/4	5/5	5/5	4/5	4/5	4/5	4/5	6/7
MSWD	2.18	0.23	0.26	0.57	2.70	0.79	0.03	0.78	0.04	0.32

Terrain	Aewol		Hankyeong		Andeok	
	Outcrop ID	JE17	AE09	SE05	JE24	JE18
Longitude	126.392696	126.380409	126.347324	126.251481	126.312394	126.333495
Latitude	33.392162	33.420591	33.281790	33.335679	33.307632	33.277297
Elev.(m)	520.0	325.0	200.0	115.0	235.0	165.0
Rock Name	TB	AB	TB	AB	AB	BtyA
Age (ka)	51.5	26.4	34.5	34.9	31.7	76.9
2 s.d.	14.1	13.2	17.1	11.4	13.7	12.6
% ^{39}Ar	94.9	92.9	95	94	89.4	70
Steps ¹	6/7	6/7	4/5	6/7	5/7	3/7
MSWD	0.46	0.44	1.12	0.06	0.43	0.50

Samples irradiated at OSU TRIGA reactor for 6 hours at 1MW power.

Neutron flux measured using FCT-3 biotite monitor (Renne *et al.*, 1998). *: Data in use with caution

1. Plateau age includes % ^{39}Ar and number of steps in the plateau (steps in plateau / total steps)

Abbreviation of rock name is the same as in Fig. 3.

꽃자왈은 오랜 기간 동안 제주인의 삶과 관련되어 문화적이며 생태적인 면에서 접근되어 왔으며, 지질학적 의미의 부여는 1990년대초 부터 적용되었음을 고려해야 할 것이다. 이런 점에서 이전의 연구 결과(Jung *et al.*, 2006; Song, 2007; Song *et al.*, 2010; Jeon *et al.*, 2012, Yang *et al.*, 2013)와 꽃자왈지대의 특성을 종합하면, “꽃자왈지대는 토양이 거의 없거나 그 표토층의 심도가 다른 지역에 비해 상대적으로 얇으며, 화산 분화시 화구(오름)로부터 흘러나와 굳어진 용암의 크고 작은 암괴가 요철 지형을 이루고 있는 곳”으로 정리된다. 이 요철 지형은 용암류의 성분과 물성의 차이, 화산분출 시기의 차이, 그리고 용암류의 유동 과정에 만들어진 1차적인 구조와 조

직에 기인한 것과 이후 냉각되는 과정 동안 생긴 다양한 형태의 균열을 포함한 붕괴 등 2차적인 구조에 의한 것이며, 이들은 이후 풍화, 침식 및 인간의 활동과 식생의 성장(Kang *et al.*, 2013)에 의해 영향을 받았음을 짐작할 수 있다. 이와 더불어 식생 측면에서는 다양한 종류의 양치식물과 함께 나무(자연림 또는 2차림)와 가시덩굴이 혼합 식생하고 있는 자연 숲지를 지칭한다고 할 수 있다.

현재 훼손되지 않은 꽃자왈지대 분포지에 대한 전면적인 재조사가 필요하다. 새로 작성된 꽃자왈지대의 분포도와 그 지질 특성을 바탕으로 지질학적 정의를 재정립해야 한다. 또한 지역별 특성을 고려하여 그 가치를 재조명하고 보전 및 관리 계획을 수

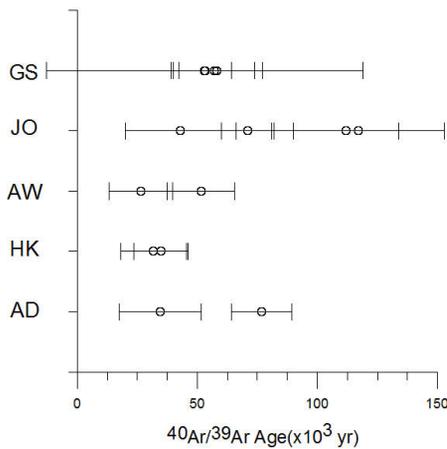


Fig. 4. Variation of $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ absolute ages (with 2 SD) from the selected volcanic rock samples in and around the Gotjawal terrain in Jeju Island (excerpt from Koh *et al.*, 2013 including unpublished data). Abbreviation: GS; Gujwa-Seongsan, JO; Jocheon, AW; Aewol, HK; Hanyeong, AD; Andeok.

립할 필요가 있다.

사 사

이 연구는 제주특별자치도 수자원본부의 “제주도 일원에 분포하는 곳자왓 지역의 수문지질학적 특성조사” 과제로 수행되었다. 탄화목의 탄소연대 측정을 해주신 한국지질자원연구원 이진영 박사님께 감사드린다. 논문의 심사과정에서 건설적인 비평과 유익한 조언을 해주신 제주특별자치도 세계자연유산관리단 전용문 박사과 한국지질자원연구원 홍세선 박사 그리고 익명의 심사위원님께 감사드린다.

REFERENCES

Applegarth, L.J., Pinkerton, H., James, M.R. and Calvari, S., 2010, Morphological complexities and hazards during the emplacement of channel-fed aa lava flow fields: A study of the 2001 lower flow field on Etna. *Bulletin of Volcanology*, 72, 641-656.

Bailey, J.E., Harris, A.J.L., Dehn, J., Calvari, S. and Rowland, S.K., 2006, The changing morphology of an open lava channel on Mt. Etna. *Bulletin of Volcanology*, 68, 497-515.

Favalli, M., Harris, A.J.L., Fornaciai, A., Pareschi, M.T., and Mazzarini, F., 2010, The digital segment of Etna’s

2001 basaltic lava flow. *Bulletin of Volcanology*, 72, 119-127.

Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A., 1971, A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523-548.

James, M.R., Applegarth, L.J. and Pinkerton, H., 2012, Lava channel roofing, overflows, breaches and switching: insights from the 2008-2009 eruption of Mt. Etna. *Bulletin of Volcanology*, 74, 107-117.

Jeju Province, 1997, General Investigation Report on Mid-mountain Area of Jeju Island, 344 p (in Korean).

Jeju Special Self-Government Province, 2009, Jeju Dialect Dictionary, 730 p (in Korean).

Jeon, Y.M., Ahn, U.S., Ryu, C.G., Kang, S.S. and Song, S.T., 2012, A review of geological characteristics of Gotjawal terrain in Jeju Island: Preliminary Study. *Journal of the Geological Society of Korea*, 48, 425-434 (in Korean with English abstract).

Jung, C.Y., Yang, K.H. and Song, S.T., 2006, Topography and Geology of Mt. Halla. Jeju Special Self-Government Province, Hallasan Ecology and Culture Institute, 186 p (in Korean, title translated).

Kang, H.G., Kim, C.S. and Kim, E.S., 2013, Human influence, regeneration, and conservation of the Gotjawal forests in Jeju Island, Korea. *Journal of Marine and Island Cultures*, 2, 85-92.

Koh, G.W., Park, J.B., Kang, B.R., Kim, G.P. and Moon, D.C., 2013, Volcanism in Jeju Island. *Journal of the Geological Society of Korea*, 49, 209-230 (in Korean with English abstract).

Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A. and Zanettin, B., 1986, A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27, 745-750.

Macdonald, G.A. and Katsura, T., 1964, Chemical composition of Hawaiian Lavas. *Journal of Petrology*, 5, 82-133.

Park, K.H., Cho, D.L. and Kim, J.C., 2000a, Geologic report of the Mosulpo-Hanrim Sheet (1:50,000). Korea Institute Geology, Mining and Materials, Taejon, 56 p (in Korean with English abstract).

Park, K.H., Cho, D.L., Kim, Y.B., Kim, J.-C., Cho, B.-W., Jang, Y.N., Lee, B.-J., Lee, S.-R., Son, B.K., Cheon, H.Y., Lee, H.Y. and Kim, Y.U., 2000b, Geologic report of the Seogwipo-Hahyori Sheet (1:50,000). Jeju Provincial Government, 163 p (in Korean with English abstract).

Park, K.H., Koh, D.C., Kim, Y.C., Moon, S.H., Seong, K.S., Shin, J.H., Yum, B.U., Jeon, C.M., Chae, K.T., Hwang, S.H., Kim, G.Y., Kim, Y.J., Kim, T.H., Park, I.H., Park, K.K., Ahn, J.S., Lee, B.J., Cho, S.Y. and Ha,

- K.C., 2008, Integrated analysis of groundwater occurrence in Jeju. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, GP2007-009-04-2008(2), 365 p (in Korean with English abstract).
- Park, K.H., Lee, B.J., Cho, D.L., Kim, J.C., Lee, S.R., Choi, H.I., Hwang, J.H., Song, G.Y., Choi, B.Y., Cho, B.U. and Kim, Y.B., 1998, Geologic report of the Jeju-Aewol Sheet (1:50,000). Korea Institute Geology, Mining and Materials, Taejon, 290 p (in Korean with English abstract).
- 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., 2000c, 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).
- Renne, P.R., Swisher, C.C., Deino, A.L., Karner, D.B., Owens, T.L. and DePaolo, D.J., 1998, Intercalibration of standards, absolute ages and uncertainties in $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating. *Chemical Geology*, 145, 117-152.
- Song, J.H., Song, S.T., Kim, B.C., Kim, D.S., Ryu, S.P., Kim, H.C., Kang, S.S., Jeong, S.B. and Oh, C.H., 2006, Study on systematic management plan for specific survey of Gotjawal in Jeju Island (mid-term report). Jeju Environmental Technology Center, 140 p (in Korean, title translated).
- Song, S.T., 2000, Distribution and Lithology of the Aa Rubble Flows in Cheju Island, Korea. Ph.D. thesis, Pusan National University, 118 p (in Korean with English abstract).
- Song, S.T., 2007, The Gotjawal in Jeju. The National Folk Museum of Korea, 180 p (in Korean, title translated).
- Song, S.T., Koh, G.W. and Yoon, S., 1996, A study on Sumgol structures and Gotjawal areas affecting groundwater recharge and pollution in Jeju Island (1). Annual Conference of the Korea Society of Groundwater (Abstract), 68-69 (in Korean, title translated).
- Song, S.T., Kim, C.S. and Kim, D.S., 2010, The Gotjawal Story. Jeju Special Self-Government Province, Environmental Resources Institute, 305 p (in Korean, title translated).
- Suh, Y.B., 2012, Gotjawal Forests of Jeju: Conservation and sustainable managements. The IUCN World Conservation Congress 2012 Workshop 0596 The role and Conservation Plan of Gotjawal on Jeju, The Gotjawal Trust of Jeju (Abstract), 189-196.
- Won, C.K., Lee, M.W., Lee, D.Y. and Sohn, Y.K., 1993, Explanatory text of the geological map of Seongsan Sheet (1:50,000), Ministry of Construction, Jeju Provincial Government and Korea Water Resources Corporation, 104 p (in Korean, title translated).
- Yang, Y.H., Kim, C.J., Kang, I.B., Song, S.T., Oh, J.K., Lee, Y.D., Kim, W.B., Jeong, S.H., Kim, D.S., Kim, S.K., Koh, S.H. and Yang, S.H., 2013, Gotjawal Environmental Resources Survey. Jeju Special Self-Government Province, Hallasan Resources Institute, 223 p (in Korean, title translated).

투 고 일 : 2014년 4월 22일

심 사 일 : 2014년 4월 28일

심사완료일 : 2014년 5월 22일