지질학회지 제 52권 제 4호, p. 433-441, (2016년 8월)
J. Geol. Soc. Korea, v. 52, no. 4, p. 433-441, (August 2016)
DOI http://dx.doi.org/10.14770/jgsk.2016.52.4.433

ISSN 0435-4036 (Print)
ISSN 2288-7377 (Online)

<Short Note>
매우 젊은 곶자왈 용암류의 연대: 곶자왈 형성의 주요원인

안웅산[1,‡] · 최형순[2]
[1]제주특별자치도 세계유산본부
[2]국립산림과학원

요 약

화산섬 제주도에서는 용암류 상에 형성된 독특한 자연숲을 '곶자왈' 이라 부른다. 본 연구는 곶자왈 용암류의 연대를 밝히기 위하여 용암류 하위에 놓이는 고토양층에 대하여 방사성탄소연대측정 및 광여기루미네선스 연대측정을 실시하였다. 연대 측정결과, 조천 곶자왈(< 11 ka), 애월곶자왈(< 10.4 ka), 한경곶자왈(< 6 ka), 교래곶자왈(< 8 ka)에서 약 1만년 이내의 연대를 얻었다. 최근 보고된 안덕곶자왈(< 5 ka : Lee *et al*., 2014b) 또한 매우 젊은 연대를 보인다. 제주도 고토양층 및 지표 퇴적물의 퇴적률을 고려할 때, 곶자왈 용암류의 매우 젊은 연대는 지표 토양층이 매우 빈약한 제주 곶자왈들의 공통적 특징을 잘 설명할 수 있다. 즉, 제주 화산활동에 있어 가장 최근에 분출한 용암류 표면에는 토양이 퇴적되거나 침전되는 시간이 매우 짧아 농사에 적합할 정도의 두께로 토양층이 생성되지 못하였고, 이로 인해 젊은 용암류 지대는 농지로 활용되지 못하고 자연숲, 즉 곶자왈로 남게 된 것으로 해석된다.

주요어: 제주도, 곶자왈, 방사성탄소연대, 광여기루미네선스, 퇴적률

Ung San Ahn and Hyeong Sun Choi, 2016, Very young Gotjawal lavas (aged < ca. 10 ka) on Jeju Island, Korea: The major causes of Gotjawal formation. Journal of the Geological Society of Korea. v. 52, no. 4, p. 433-441

ABSTRACT: In Jeju Island, Korea, unique natural forests, developed upon basaltic lava flows, are referred to as "Gotjawal" in the local language. This study focuses on determining the ages of the Gotjawal lavas based on radiocarbon and OSL datings of paleosol beds underlying the lavas. The result shows that the ages of Gotjawal lavas in different regions are varied but commonly less than ca. 10 ka (i.e., < 11 ka in Jocheon Gotjawal, < 10.4 ka in Aewol Gotjawal, < 6 ka in Hankyeong Gotjawal and < 8 ka in Gyorae Gotjawal). Also, a recent study of Andeok Gotjawal reported a very young age (< ca. 5 ka: Lee *et al*., 2014b) similar to the result of this study. Considering the mean sedimentation rate of paleosol or epiclastic sediment on Jeju Island, the common small thicknesses of recent soil beds on the Gotjawal account for the young ages of the Gotjawal forming lava flows. That is to say, there was no time enough to develop significant soil beds over the young Gotjawal lavas. It appears that the limited soil on Gotjawal terrains restricted agricultural activity, and left the regions as natural forests, "Gotjawal".

Key words: Jeju Island, Gotjawal, radiocarbon dating, OSL, sedimentation rate

(Ung San Ahn, World Heritage Office, Jeju Special Self-Governing Provincial Government, Jeju 63341, Republic of Korea; Hyeong Sun Choi, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Republic of Korea)

1. 서 언

제주도의 동부와 서부지역에는 제주어로 '곶자왈' 이라 부르는 지대가 넓게 분포한다(Song, 2000). 그 동안 지질학적 관점에서 곶자왈 형성의 원인과 특징을 밝히기 위한 연구들이 수행된바 있다(Song, 2000; Song and Yoon, 2002; Jeon *et al*., 2012; Park *et al*., 2014b; Ahn *et al*., 2015a). 최근 Ahn *et al*. (2015a)는 곶자왈의 형성(잔존)의 가장 큰 요인으로 ① 용암류의 매우 젊은 연대, ② 그로 인한 토양층 부재, ③ 지

‡ Corresponding author: +82-64-710-7483, E-mail: ungsan@hanmail.net

형기복을 제시하고, 조천곶자왈(< 11 ka)과 구좌-성산 곶자왈(< 9.5 ka)에 대하여 매우 젊은 용암류 연대를 보고하였다(그림 1).

본 연구에서는 지금까지 곶자왈의 기반을 이루는 용암류 연대가 밝혀지지 않은 애월, 한경, 교래 곶자왈에 대한 연대측정을 새롭게 실시하였으며, 조천곶자왈 내 추가 연대자료를 보고한다. 또한 최근 보고되고 있는 고토양 및 지표 퇴적물 연대측정 자료를 바탕으로 제주도에서의 퇴적률을 살펴보고, 이를 통해 곶자왈의 공통된 특징으로 나타나는 토양 빈약이 곶자왈 용암류의 젊은 연대와 관계됨을 제시하고자 한다.

2. 연구방법

일반적으로 화산암 시료를 직접 이용한 K-Ar 연대측정의 경우 10만년 이상의 연대를 가지는 암석에 그리고 Ar-Ar 연대측정은 2~3만년 이상의 연대를 가지는 암석의 연대측정에 적합하다(Bahn and Renfrew, 2007). 최근 제주도에서는 고토양층에 대한 방사성탄소연대측정 및 광여기루미네선스 연대측정을 통해 매우 젊은 화산 연대들이 다수 보고되고 있다(Lee *et al*., 2014a, 2014b; Ahn *et al*., 2015a; Lim *et al*., 2015). 본 연구에서는 젊은 연대를 가질 것으로 예상되는 곶자왈 용암류의 연대를 측정하기 위해 화산분출물 주변의 물질, 즉 용암층 혹은 분석층 하부의 고토양층에 대한 방사성탄소연대측정과 광여기루미네선스 연대측정을 실시하였다. 방사성탄소연대측정은 Beta Analytic Inc.와 한국지질자원연구원에 의뢰하여 분석하였으며, 광여기루미네선스 연대분석은 한국기초과학지원연구원에 의뢰하여 루미네선스 자동측정장비(Risø TL/OSL-DA-20)를 활용하여 측정되었다.

3. 연구결과

3.1 조천곶자왈 용암류 연대

Ahn *et al*. (2015a)은 조천곶자왈 인근 혹은 층서

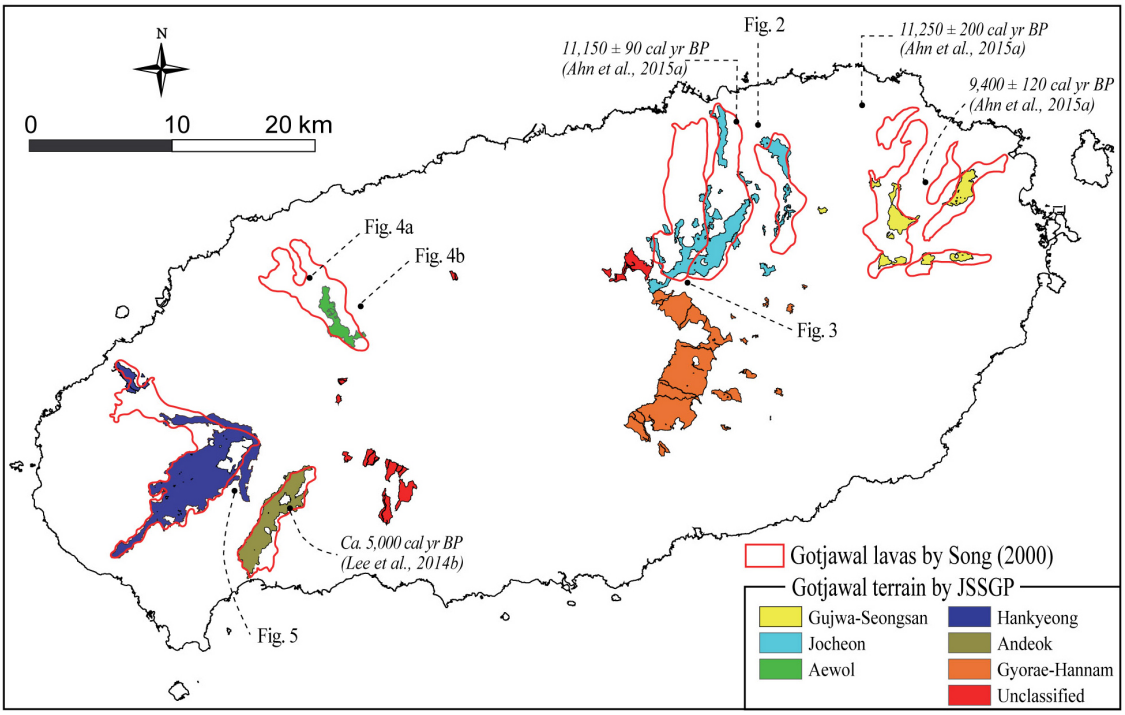

Fig. 1. Map showing the extent of Gotjawal terrains on Jeju Island and locations for age dating (black dots). The extent of Gotjawal terrains, designated by the Jeju Special Self-Governing Province (1997), are represented by areas of varying colors (after Park *et al*., 2014b). Areas outlined in red represent the extents of Gotjawal terrains defined and named by Song (2000).

상 동일한 층준에 해당하는 용암류역 내에 위치하는 절개지 2곳에 노출된 고토양층을 대상으로 방사성탄소연대를 보고한 바 있다(그림 1). 본 연구에서는 조천곶자왈 내 또 다른 채석장에 노출된 고토양층을 대상으로 방사성탄소연대측정 및 광여기루미네선스 연대측정을 실시하였다(그림 2). 해당 채석장 절개지에는 3매의 용암층과 2매의 고토양층이 노출되어 최소 2개 용암류의 연대를 측정할 수 있다(그림 2a). 특히 최상부 용암류 하부의 고토양층은 채석장으로부터 북북동 방향으로 각각 0.6 km와 1.4 km 거리에 위치한 인근의 다른 채석장들에서도 같은 층준에서 연속적으로 관찰된다.

최상부 용암류 하부의 고토양에서는 방사성탄소연대측정으로 14,975±265 cal yr BP과 17,890±210 cal yr BP을, 그리고 광여기루미네선스연대측정으로 14±1 ka와 13±1 ka의 연대를 얻었다(그림 2b). 고토양층의 최상부 지점에서는 방사성탄소연대 및 광여기루미네선스 연대를 얻지 못했다. 두 번째 용암류 하부의 고토양에서는 광여기루미네선스 측정으로 상부에서 하부로 각각 20±1 ka, 24±1 ka, 23±1 ka의 연대를 얻었다. 방사성탄소연대는 분석을 시도하였으나 결과는 얻지 못하였다(그림 2c). Ahn *et al.* (2015a)에서 보고된 지점으로부터 동동남쪽으로 약 1.4 km 떨어진 곳에 위치하는 이번 분석 지점에서 고토양층의 최상부에서 연대를 얻지는 못했다. 하지만, 아래 토의에서 제시되는 바와 같이 제주도 고토양층의 일반적인 퇴적률을 고려한다면, 첫 번째 고토양층(1st paleosol)의 최상부로부터 20~40 cm 깊이에서 얻은 OSL 연대가 약 13 ka의 연대를 가지는 것은 조천곶자왈을 이루는 용암류의 하부 고토양에서 기존에 보고된 11 ka (Ahn *et al.*, 2015a)의 연대와 조화롭다는 것을 의미한다(그림 1).

3.2 교래곶자왈 용암류 연대

중산간에 위치하는 교래곶자왈 용암류 내에는 현재 가행되는 채석장이 존재하지 않아 하천 주변에 노출

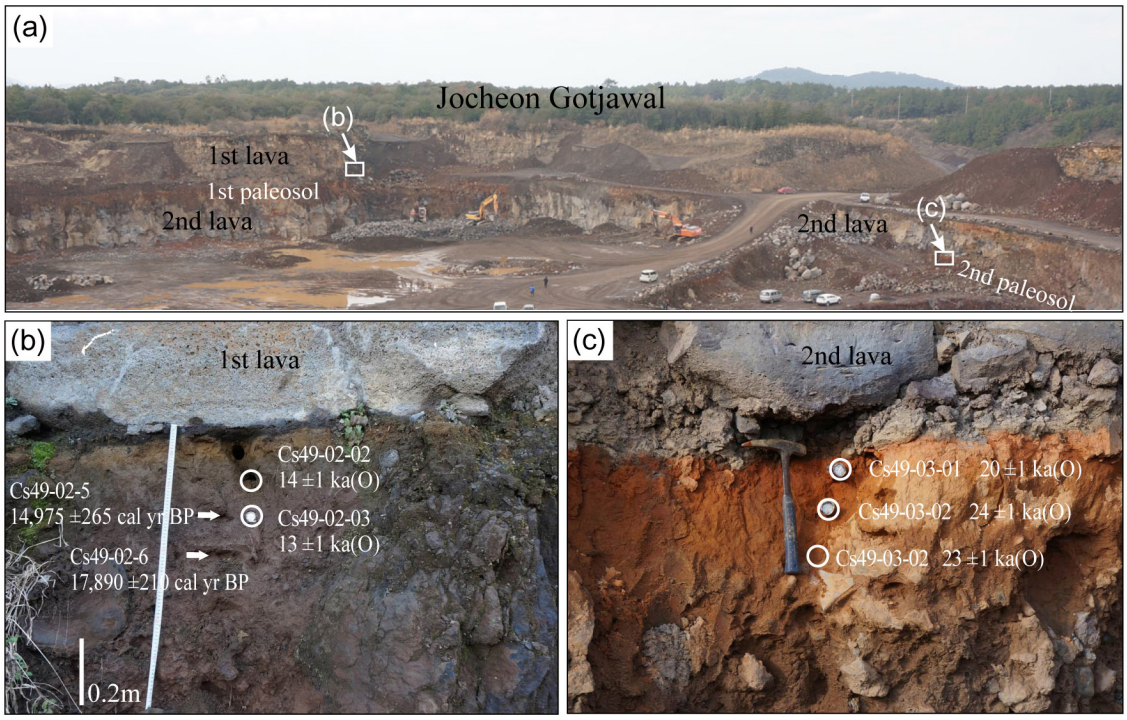

Fig. 2. (a) Field photograph showing the locations of two paleosol layers exposed on a deeply dissected quarry section in Jocheon Gotjawal area. The two white boxes indicate the locations of age dating for the two paleosol layers. Outcrop photographs with the results of age dating of the 1st lava underlying the Joncheon Gotjawal (b), and the 2nd lava (c). White circles and arrows represent the locations of OSL and radiocarbon samples, respectively. For location, see Fig. 1.

된 고토양층에 대한 연대를 측정하였다(그림 3a). 고토양층의 최상부에는 약 10 cm 두께의 스코리아가 연속적으로 분포하며, 그 하부에는 검은색 실트 및 점토질 퇴적물이 놓인다(그림 3b). 이러한 특징은 고토양층 상부의 스코리아 퇴적물이 용암류 이전에 퇴적된 것으로, 해당 고토양층의 연대가 퇴적 당시의 연대를 지시함을 의미한다.

방사성탄소연대 측정으로 7,120±130 cal yr BP와 6,300±100 cal yr BP를, 그리고 광여기루미네선스 연대측정으로 상부에서 하부로 각각 8.0±0.7 ka, 10.3±1.0 ka, 9.5±0.9 ka의 연대를 얻었다(그림 3b). 방사성탄소연대 측정값이 현생 식물뿌리 등의 영향으로 보다 젊은 연대를 지시할 가능성을 고려할 때, 교래곶자왈을 이루는 용암류는 고토양에서 광여기루미네선스 연대측정으로 얻은 약 8천년보다 젊은 연대를 가질 것으로 판단된다.

3.3 애월곶자왈 용암류 연대

애월곶자왈은 노꼬메 오름에서 유래한 용암류로(Song, 2000), 노꼬메 용암유역 내 채석장 절개지에서 노꼬메 용암류 하위의 고토양층을 대상으로 광여기루미네선스 연대측정을 실시하여 10.0±0.5 ka의 연대를 얻었다(그림 4a). 더불어 노꼬메 분석구에서 분출한 분석층 아래에 놓이는 고토양층에 대한 방사성탄소연대측정으로 10,340±90 cal yr BP과 12,200±180 cal yr BP의 연대를 얻었다(그림 4b).

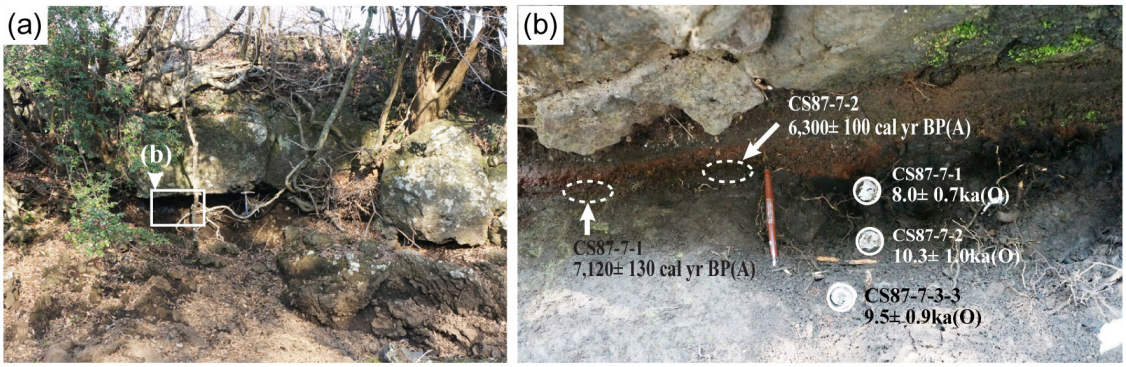

Fig. 3. (a) Outcrop photograph showing a paleosol bed exposed in small mountainous catchment near Gyorae Gotjawal area. For location, see Fig. 1. (b) Photograph showing details of the sampling site with the ages of the paleosol bed. White circles and arrows represent the locations of OSL and radiocarbon samples, respectively.

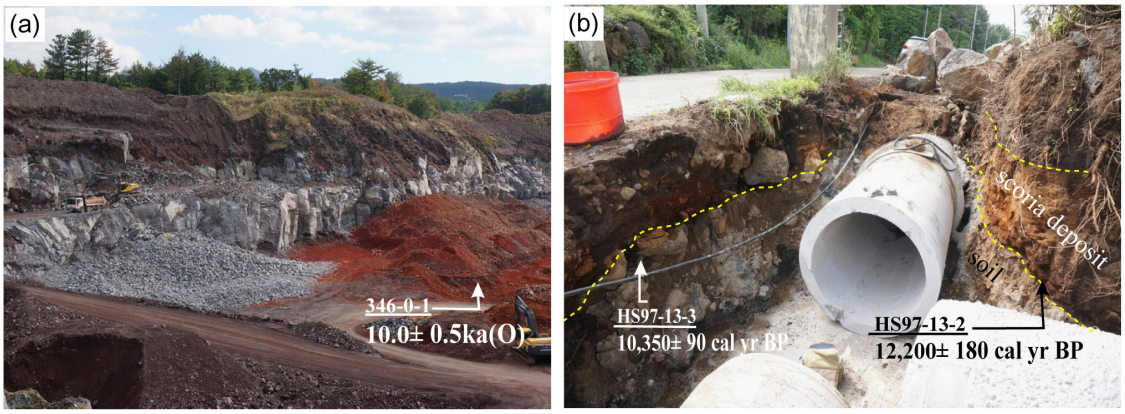

Fig. 4. (a) Field photograph showing a paleosol layer exposed on a dissected quarry section in Aewol Gotjawal area. The OSL age of the paleosol layer is shown in white. (b) Photograph showing paleosol under the scoria deposit of the Nokkome Oreum with radiocarbon ages. For location see Fig. 1.

Table 1. AMS radiocarbon ages of paleosols underlying several Gotjawal lavas in Jeju Island, Korea.

Gotjawal (Location)	Latitude	Longitude	Sample code	$\delta^{13}C$ (‰)	^{14}C age yr BP	Calibrated age (2σ range) cal yr BP	Note
Jocheon Gotjawal	N33° 33' 42.9"	E126° 42' 18.8"	CS49-02-5	-20.02	12,630±60	14,975±265	Fig. 2b
	N33° 33' 42.9"	E126° 42' 18.8"	CS49-02-6	-19.4	14,710±70	17,890±210	
Gyorae Gotjawal	N33° 25' 45.0"	E126° 39' 41.2"	CS87-7-1	-19.4	6,200±40	7,120±130	Fig. 3b
	N33° 25' 45.0"	E126° 39' 41.2"	CS87-7-2	-20.1	5,490±40	6,300±100	
*Aewol Gotjawal	N33° 24' 48.4"	E126° 24' 25.7"	HS97-13-2	-18.9	10,340±40	12,200±180	Fig. 4b
	N33° 24' 48.4"	E126° 24' 25.7"	HS97-13-3	-18.7	9,210±30	10,340±90	
Hankyeong Gotjawal	N33° 17' 45.3"	E126° 18' 48.1"	HC 02	-24	5,210±40	5,965±65	Fig. 5b
	N33° 17' 45.3"	E126° 18' 48.1"	HC 03	-21.2	6,250±40	7,210±60	
	N33° 17' 45.3"	E126° 18' 48.1"	HC 04	-20.3	7,380±40	8,190±140	
	N33° 17' 45.3"	E126° 18' 48.1"	HC 05	-18.4	8,310±40	9,160±20	

All but one ^{14}C age are determined by accelerator mass spectrometer at the Korea institute of geoscience and mineral resources in Daejeon, South Korea. Age of *Aewol Gotjawal is analyzed at Beta Analytic Inc.

Table 2. OSL ages of paleosols underlying several Gotjawal lavas in Jeju Island, Korea.

Gotjawal (location)	Sample code	Dose Rate (Gy/ka)	Water content (%)	Equivalent Dose (Gy)	Aliquots used (n/N)	OSL age (ka, 1σ SE)	Note
Jocheon Gotjawal	Cs49-02-02	2.62±0.06	49.1	38±1	16/16	14±1	Fig. 2b
	Cs49-02-03	2.93±0.07	33.2	37±1	16/16	13±1	
	Cs49-03-01	2.96±0.08	46.4	60±2	16/16	20±1	Fig. 2c
	Cs49-03-02	2.97±0.07	39.3	71±2	16/16	24±1	
	Cs49-03-03	2.67±0.07	33.9	62±2	16/16	23±1	
Gyorae Gotjawal	CS87-7-1	1.16±0.06	124	9.3±0.7	16/16	8.0±0.7	Fig. 3b
	CS87-7-2	1.03±0.05	111	10.6±0.8	16/16	10.3±1.0	
	CS87-7-3	1.26±0.06	98	12.0±0.9	16/16	9.5±0.9	
Aewol Gotjawal	346-0-1	2.80±0.08	16	27.9±1.2	13/16	10.0±0.5	Fig. 4a

용암류의 하부, 그리고 분석층의 하부에서 얻은 연대가 각각 10±0.5 ka와 10.4~12 ka의 연대를 보이는 것으로 미루어, 곶자왈을 이룬 용암류는 적어도 10.4 ka 전 이후에 분출한 것으로 판단된다.

3.4 한경곶자왈 용암류 연대

한경곶자왈의 남동쪽 가장자리에 위치하는 채석장 절개지에는 한경곶자왈의 기반을 이루는 도너리오름 용암류와 그 하부의 고토양층이 관찰된다(그림 5a). 고토양에서 총 5개의 시료를 채취하여 방사성탄소연대측정을 실시하였다. 연대측정 결과 최상부 시료(HC01)의 경우 탄소연대측정이 불가하였으나, 그 하위 탄소연대는 5,965±65 cal yr BP에서 9,160±20 cal yr BP로 순차적으로 증가한다(그림 5b). 이러한 연대결과를 고려할 때, 한경곶자왈을 이루는 도너리오름 용암류는 고토양층에서 얻은 5,965±65 cal yr BP의 시기보다 후기에 분출한 것으로 판단된다.

4. 토의 및 결론

1990년대 지질학적 관점에서의 초기 연구에서는 곶자왈 지대가 전형적인 암괴상 아아(Aa)의 특징을 보이는 용암지대라는 것에 주목하고, 곶자왈을 이루는 용암류를 "곶자왈 용암"이라고 명명한바 있다

Table 3. Various definitions of Gotjawal.

① 용암류 혹은 암석지로 분류(Rural development Administration, 1976)
② 나무와 덩굴 따위가 마구 엉클어져 어수선하게 된 곳(Jeju Special Self-Government Province, 2009)
③ 지형 지질 측면에서 보면 토양이 거의 없거나 그 토층의 심도가 낮으며, 화산분화시 화구(오름)으로부터 흘러 나와 굳어진 용암의 크고 작은 암괴가 **요철지형**을 이루고 있고, 식생 측면에서는 다양한 종류의 양치식물과 함께 나무(자연림)와 가시덩굴이 혼합 식생하고 있는 자연 숲지(Park *et al*., 2013)
④ 토양이 거의 없거나 그 표토층의 심도가 다른 지역에 비해 상대적으로 얕으며, 화산 분화시 화구(오름)로 부터 흘러나와 굳어진 용암의 크고 작은 암괴가 **요철 지형**을 이루고 있는 곳(Park *et al*., 2014b)
⑤ "곶자왈"이란 제주도 화산활동 중 분출한 용암류가 만들어낸 **불규칙한** 암괴지대로 숲과 덤불 등 다양한 식생을 이루는 곳(Jeju Special Self-Government Province, 2014)

Fig. 5. (a) Outcrop photograph showing a paleosol layer exposed on a dissected quarry section in Hankyeong Gotjawal area.. The white box is the sample location for age dating. For location see Fig. 1. (b) Results of age dating of the paleosol.

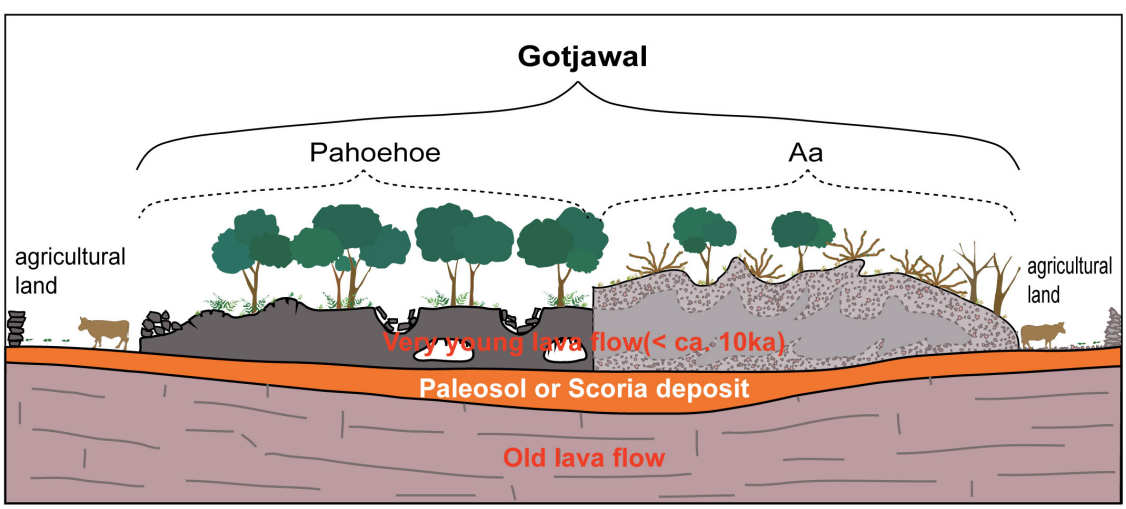

Fig. 6. Cartoon illustrating the development of the Gotjawal terrain. It is inferred that Gotjawal terrains are developed and preserved on very young (less than ca. 10 ka) lava flows, irrespective of the lava-flow type, whether pahoehoe or aa. Young Gotjawal lavas may not have had sufficient time to form soil on their surface. It appears that the limited soil on the Gotjawal terrain restricted agricultural activity, and left the region as a natural forest. On the other hand, old lava flows with thick soil covers may have been preferentially cultivated for farming. Modified from Ahn *et al*. (2015a).

(Song, 2000). 하지만 최근 들어 곶자왈이 아아 뿐만 아니라 파호이호이 지대에도 발달한다는 것이 보고되었으며(Jeon *et al*., 2012), 하나의 곶자왈 지대를 이루는 용암류의 표면 특징이 아아(aa), 파호이호이(pahoehoe), 전이(transitional)적 특징 등으로 다양할 뿐만 아니라(Park *et al*., 2014b; Ahn *et al*., 2015a), 마그마의 성분과도 특별한 연관성이 없음이 보고되었다(Park *et al*., 2014b).

본 연구에서는 곶자왈의 주요 특징을 결정하는 요인을 유추하기 위해 곶자왈의 정의를 살펴보았다(표 3).

지질학적 관점에 국한할 때, 우리는 곶자왈 정의에서 크게 두 가지 공통점을 찾을 수 있다. '암석지' 및 '암괴지대' 그리고 여러 기술내용에서 '토양 빈약'이라는 하나의 주요 특징을 찾을 수 있다. 그리고 '불규칙한' 혹은 '요철지형'이라는 표현에서 '큰 지형기복'을 갖는 곶자왈의 또 다른 특징을 찾을 수 있다.

'큰 지형기복'은 제주도와 같은 현무암질 화산지대에서 점성유체인 용암의 흐름, 용암상승작용(lava inflation) 등으로 인해 1차적 화산작용만으로 쉽게 형성되는 지형 특징으로, 이는 곶자왈에만 국한된 특징이라 보기 어렵다. 즉 곶자왈의 결정적 요인이기보다는 곶자왈 형성의 부수적 요인일수 있음을 의미하는 것이다.

이에 비해 '토양빈약'은 표 3에서 알 수 있는 바와 같이 대부분의 곶자왈 정의에서 나타나는 가장 핵심적 특징이다. Yoon (2014)는 곶자왈이 '토지이용적 측면에서 활용가치가 떨어지지만, 그 곳의 식생과 지하수함양 기능이 뛰어나고'라고 기술하고 있다. 이 표현에서도 우리는 곶자왈의 토지이용적 활용가치가 떨어지는 이유가 '토양빈약'에 있음을 알 수 있다.

제주도와 같은 화산지대에서 나타나는 토양 빈약의 원인으로는 퇴적물의 공급이 매우 적은 경우, 퇴적이 일어날 수 있는 지형적 조건을 가지지 않는 경우, 혹은 이미 형성된 토양이 새로운 용암에 의해 덮이는 경우 등을 들 수 있다. 만약 이미 형성된 토양층이 새로운 용암에 의해 덮이게 될 경우, 점성 유체인 용암은 주변 지형에 비해 볼록하게 돌출된 지형을

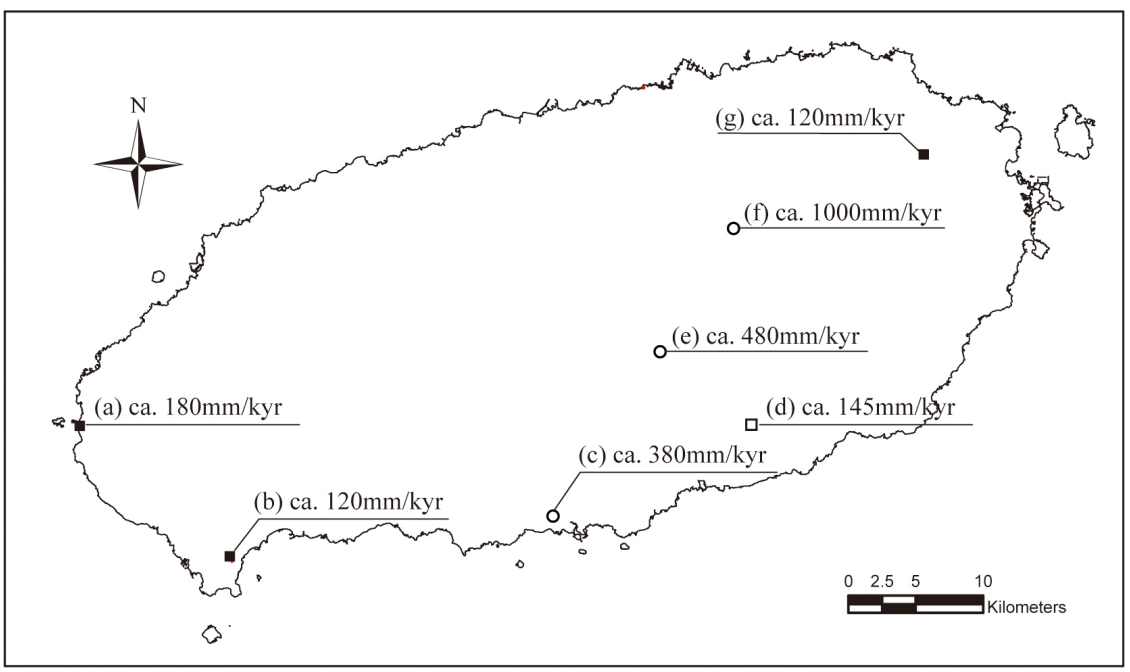

Fig. 7. Sedimentation rate recalculated from existing age data of several paleosol or soil in Jeju island. Sedimentation rate = (lowest part age - uppermost part age)/thickness between two ages. Black squares represent paleosol on lava flow, while open square represents surface soil on lava flow. Open circles represent sediments in craters. Data sources: (a) Lim *et al*. (2015), (b) Ahn *et al.* (2015b), (c) Park *et al*. (2014a), (d) Chung and Oh (2010), (e) Lim *et al*. (2005), (f) Lee *et al*. (2016), (g) Ahn *et al*. (2015a).

만들게 될 것이다. 이러한 볼록한 지형은 퇴적이 일어나기에 불리한 지형적 조건을 가지게 될 것이다. 이러한 지대들은 결국 토양이 빈약한 지역으로 남게 되고, 농경에 활용되지 못하고 그대로 자연숲으로 방치되면서 곶자왈로 남게 된 것이다(그림 6). 이러한 해석은 제주도 4개 곶자왈 지대를 이루는 용암류의 암상과 분포특성을 조사하고, 곶자왈을 이루는 용암류 하부에 공통적으로 지표퇴적물(epiclastic sediment)이 분포한다고 기재한 바 있는 Song (2000)의 연구와도 조화된다. 특히 Song and Yoon (2002)은 곶자왈 아래에 넓게 분포하는 흑갈색을 띠는 이질 사암층(퇴적층)을 "탐라층"으로 기재하였는데, 곶자왈 하부에 놓이는 지표퇴적물(epiclastic sediments) 혹은 "탐라층"으로 기재된 일부 퇴적층은 곶자왈을 이루는 매우 젊은 용암류에 의해 피복된 고토양층으로 해석될 수 있다(Ahn *et al*., 2015a). 이러한 전반적 해석은 Yoon *et al*. (2006)의 제주도 지질도에서 곶자왈을 형성하는 용암류들이 아아 용암, volcanic debris-avalanche deposit으로 명명되어, 층서상 탐라층 상위에 놓이는 것으로 기재된 것에 의해서도 지지되며, 곶자왈 용암류가 제주도에서 가장 젊은 용암류라는 본 연구와도 조화된다.

제주도 지표 및 지하에는 여러 겹의 점토/실트질 퇴적층이 분포한다. 특히 용암층 사이에 협재된 고토양층들은 용암분출 사이 휴지기에 퇴적된 퇴적층(Park *et al*., 1998, 2000a, 2000b; Lee *et al*., 2014a; Lim *et al*., 2015)으로 연대분석을 통해 화산분출 시기를 간접적으로 측정할 수 있을 뿐 아니라(e.g., Lee *et al*., 2014a, 2014b; Ahn *et al*., 2015a; Lim *et al*., 2015; Kim *et al*., 2016), 제주도 퇴적물의 퇴적률을 측정할 수 있는 자료로 활용될 수 있다. 본 연구에서는 제주도 토양 및 고토양에서 연속적으로 얻어진 기존 연대자료를 바탕으로 퇴적률을 산출했다. 본 연구에서 퇴적률은 퇴적층 내에서 연대가 측정된 최상부 지점 연대 값과 최하부 지점 연대 값 사이의 연대차를 두 측정 지점사이의 두께로 나누어 얻었다. 이렇게 얻어진 퇴적률을 살펴보면, 제주도 토양 및 고토양의 퇴적률은 용암대지와 같은 곳에서는 100~180 mm/kyr로 상대적으로 낮은 반면(Chung and Oh, 2010; Ahn *et al*., 2015a, 2015b; Lim *et al*., 2015), 하논과 같은 화구호 환경과 같은 곳에서는 380~1000 mm/kyr로 상대적으로 매우 큼을 알 수 있다(Lim *et al*., 2005; Park *et al*., 2014a; Lee *et al*., 2016)(그림 7). 특히 상기의 퇴적물 연대측정 자료들이 용암대지 상에서 상대적으로 퇴적이 쉽게 일어나는 오목한 곳에 형성된 퇴적층에서 얻어진 연대자료임을 감안한다면, 실제 용암대지 위에서의 전반적인 퇴적률은 훨씬 낮을 것으로 유추된다.

이상과 같이 1만년 이내의 곶자왈 용암류의 매우 젊은 연대, 제주도 퇴적물의 낮은 퇴적률 등을 고려할 때, 제주도 곶자왈 형성의 가장 주요한 요인은 용암류의 매우 젊은 연대에 기인함을 유추할 수 있다.

사 사

본 논문은 국립산림과학원 난대 · 아열대산림연구소 "용암숲 곶자왈의 가치발굴 및 지속가능한 활용기반 구축 연구(FE0100-2014-03)"의 지원과 제주특별자치도 세계유산본부 자체연구 과제의 일환으로 얻어진 결과에 기초하여 쓰여졌다. 논문 심사과정에서 건설적인 비평과 유익한 조언으로 논문의 오류와 부정확한 표현을 바로잡아 주신 심사위원님들께 감사드린다.

REFERENCES

Ahn, U.S., Sohn, Y.K., Kang, S.S., Jeon, Y.M. and Choi, H.S., 2015a, The major causes of Gotjawal formation in Jeju Island. Journal of the Geological Society of Korea, 51, 1-19 (in Korean with English abstract).

Ahn, U.S., Sohn, Y.K., Yoon, W.S., Ryu, C.K., Jeong, J.O. and Kang, C.W., 2015b, Geochemical fingerprinting of basaltic glass in tephra deposits underlying the human footprints-bearing strata in Jeju Island, Korea: Provenance of tephra and age of the human footprints. Journal of the Geological Society of Korea, 51, 105-126 (in Korean with English abstract).

Bahn, P. and Renfrew, C., 2007, Archaeology essentials. Thames and Hudson, London, 304 p.

Chung, C.H. and Oh, K.H., 2010, Holocene paleovegetation and paleoclimate of Hannam-ri area, Jeju, based on pollen analysis. Journal of the Paleontological Society of Korea, 26, 165-172 (in Korean with English abstract).

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

Jeju Special Self-Government Province, 2014, Gotjawal Conservation and management regulations.

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).

Kim, J.C., Lee, J.-Y., Hong, S.S., Lim, J. and Choi, H.W., 2016, The depositional age of the Quaternary unconsolidated deposits in Nedo-dong, Jeju Island, Korea. Journal of the Geological Society of Kore, 52, 149-154 (in Korean with English abstract).

Lee, J.-Y., Hong, S.S., Choi, H.W., Lim, J., Kim, J.C., Kwon, C.W. and Katsuki, K., 2016, A planning of Quaternary sediments research in Jeju Island. Korea institute of geoscience and mineral resources, Daejeon, 152 p (in Korean with English abstract).

Lee, J.-Y., Hong, S.S., Choi, H.W., Nahm, W.H., Lim, J., Kim, J.C. and Katsuki, K., 2014a, Preliminary geological interpretation of Quaternary deposits between volcanic activities in Jeju island. Korea institute of geoscience and mineral resources, Daejeon, 143 p (in Korean with English abstract).

Lee, J.-Y., Kim, J.C., Park, J.B., Lim, J.S., Hong, S.S. and Choi, H.W., 2014b, Age of volcanic activity from Quaternary deposits in Sangchang-ri, Jeju island, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 50, 697-706 (in Korean with English abstract).

Lim, J., Lee, J.-Y., Kim, J.C., Hong, S.S. and Choi, H.W., 2015, Paleoenvironmental and volcanological implications of the Gosan Formation in Jeju Island, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 51, 537-544 (in Korean with English abstract).

Lim, J., Matsumoto, E. and Kitagawa, H., 2005, Eolian quartz flux variations in Cheju Island, Korea, during the last 6500 yr and a possible Sun-monsoon linkage. Quaternary Research, 64, 12-20.

Park, J., Lim, H.S., Lim, J., Yu, K.B. and Choi, J., 2014a, Orbital-and millennial-scale climate and vegetation changes between 32.5 and 6.9 k cal a BP from Hanon Maar paleolake on Jeju Island, South Korea. Journal of Quaternary Science, 29, 570-580.

Park, J.P., Kang, B.R., Koh, G.W. and Kim, G.P., 2014b, Geological characteristics of Gotjawal terrain in Jeju Island. Journal of the Geological Society of Korea, 50, 431-440 (in Korean with English abstract).

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., Kim., Y.J., Kwon, C.W., Ha, K.C., Park, W.B., Koh, G.W. and Park, J.B., 2013, Experience the geological splendor of Jeju Island : The visitor's guide. Korea institute of geoscience and mineral resources, and Jeju Development Institute, 204 p (in Korean).

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).

Rural development Administration, 1976, Soil Map in Jeju Island. 138 p (in Korean).

Song, S.T., 2000, Distribution and Lithology of the Aa Rubble Flows in Cheju Island, Korea. Ph.D. thesis, Pusan National University, Pusan, 118 p (in Korean with English abstract).

Song, S.T. and Yoon, S., 2002, Lavas in Gotjawal Terrain, Jeju Island, Korea: No. 1. Jocheon-Hamdeok Gotjawal Terrain. Journal of the Geological Society of Korea, 3, 377-398 (in Korean with English abstract).

Yoon, S., Jung, C.J., Song, S.T. and Hyun, W.H., 2006, Geology of Jeju Island. Jeju Provincial Office, Korea Rural Community and Agriculture Corporation (KRC), 73p, 1 map (1:150,000).

Yoon, Y.T., 2014, A Humanities Reflection on Got, Jawal and Gotjawal Forest. Journal of Cheju Studies, 41, 27-59 (In Korean).

Received : June 8, 2016
Revised : July 8, 2016
Accepted : July 12, 2016