제주도 상창리 제4기 퇴적층 연대와 화산활동

이진영¹ · 김진철^{1,‡} · 박준범² · 홍세선¹ · 임재수¹ · 최한우¹ ¹한국지질자원연구원 국토지질연구본부 제4기지질연구실 ²미육군극동공병단 지반환경공학부

요 약

본 연구에서는 제주도 상창리 일대 용암층 사이에 협재하는 미고화 퇴적층의 퇴적 연대를 측정하였고 이를 통하여 퇴적층 상부 용암층의 화산활동 시기를 추정하였다. 퇴적층에서 채취된 탄화된 목편과 토양 시료에 대 한 방사성 탄소(¹⁴C) 연대와 광여기 루미네선스(OSL) 연대측정 결과, 상창리 미고화 퇴적층은 약 5,000년 전후 에 형성된 것으로 추정된다. 따라서 미고화 퇴적층 상부 용암층의 경우 5,000년 이내에 형성되었음을 알 수 있 다. 이번 연구결과는 제주도에 광범위하게 분포하는 제4기 미고화 퇴적층들의 연대 측정을 통하여 최근까지 진 행된 제주도 내륙에서의 화산활동 시기와 화산활동 휴지기 동안의 환경 변화 규명이 가능함을 지시한다.

주요어: 제주도, 상창리, 제4기, 미고화 퇴적층, 화산활동, OSL, 방사성탄소연대

Jin-Young Lee, Jin Cheul Kim, Jun Beom Park, Jaesoo Lim, Sei Sun Hong and Hanwoo Choi, 2014, Age of volcanic activity from Quaternary deposits in Sangchang-ri, Jeju island, Korea. Journal of the Geological Society of Korea. v. 50, no. 6, p. 697-706

ABSTRACT: In this study, depositional age of unconsolidated sediments located in Sangchang-ri, Jeju Island based on optically stimulated luminescence dating (OSL) and radiocarbon dating from wood charcoal and bulk sediments was estimated. As a result, depositional age of unconsolidated sediments is approximately 5,000 years ago. Therefore, volcanic sequence overlying the unconsolidated sediments would be expected to be younger than 5,000 years. The new age dating result of unconsolidated sediments in Jeju Island indicates a recent lava flow following a volcanic eruption from the inner part of Jeju Island and the possibility of reconstruction of environmental changes between the volcanic activities.

Key words: Jeju Island, Sangchang-ri, Quaternary, unconsolidated sediment, volcanic eruption, OSL, radiocarbon dating

(Jin-Young Lee, Jin Cheul Kim, Jaesoo Lim, Sei Sun Hong, Hanwoo Choi, The Quaternary Geology Department, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Republic of Korea; Jun Beom Park, Geotechnical and Environmental Engineering Branch, US Army Corps of Engineers Far East District, 40, Ulchiro 5 ka, Junggu, Seoul 100-195, Korea)

1. 서 론

제주도는 신생대 제4기 동안에 형성된 화산섬으 로써 세계자연유산 및 세계지질공원 등의 지질학적 가치를 포함하는 매우 중요한 지역이다. 특히 제주 도의 형성과정을 이해하기 위하여 제주도의 화산활 동 시기가 중요한 주제로 다루어져 왔다. 제주도의 화산활동 시기와 관련된 절대연대측정은 현무암질 용암류에 대한 K-Ar 및 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 연대측정이 주를 이루었고, 일부 OSL 및 탄소 연대 측정이 화산쇄 설성 퇴적층을 대상으로 실시되었다(Won *et al.*, 1986; Lee *et al.*, 1988; 1994; Son *et al.*, 1998; Oh *et al.*, 2000; Sohn *et al.*, 2002; Yoon *et al.*, 2005, 2006; Cheong *et al.*, 2006, 2007; Koh *et al.*, 2008, 2013; Koh and Park, 2010a, 2010b).

하지만 기존의 많은 연구 결과들에도 불구하고 아직까지 2만년 이내의 화산활동으로 형성된 제주 도 내륙의 용암층은 알려져 있지 않은 상태이다. 이

^{*} Corresponding author: +82-42-868-3137, E-mail: kjc76@kigam.re.kr

는 지금까지 제주도의 형성시기 규명에 주로 활용된 K-Ar 및 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 연대측정법이 2만년 이내에 형 성된 화산암의 경우 암석연대분석방법이 갖는 측정 오차의 범위가 커지는 한계로 인하여 신뢰할만한 절대연대 값을 제공하기 어려웠기 때문으로 해석된 다. 다만 제주도 해안지역에 분포하는 수성화산체 화 산 분출에 의해 형성된 응회암층과 응회암에서 재 이 동된 퇴적물에 대한 연구를 통하여 4~5 천년 전의 매우 젊은 화산활동 시기가 보고된 바 있다(Kim *et al.*, 1999; Sohn *et al.*, 2002; Cheong *et al.*, 2007; Ahn *et al.*, 2013).

한편, 제주도에는 용암층 사이에 미고화 퇴적층이 광범위하게 분포하고 있다(Yun et al., 1987; Park et al., 1998, 2000a, 2000b). 이러한 미고화 퇴적층은 고 토양층, 화산회층 또는 미고화 퇴적층 등으로 명명 되었고 화산활동의 휴지기 동안 다양한 퇴적환경에 서 형성되었을 것으로 추정되었다. 퇴적층의 형성 시기는 주변 화산암과의 상하관계를 고려하여 간접 적으로 추정되어 왔으나 아직까지 퇴적층의 형성 시 기는 정확하게 규명되지 않은 상태이다. 이러한 미 고화 퇴적층은 제주도의 시추조사에서도 화산암층 사이에 협재된 상태로 수 차례 관찰된다(Son et al., 1998; Yoon et al., 2006).

이번 연구에서는 제주도 남서부 상창리 일대의

최상부 용암층 사이에 협재된 미고화 퇴적층의 퇴적 시기 측정을 통하여 상부 용암류의 분출시기를 간접 적으로 유추하였고, 미고화퇴적층의 분포 특성 및 퇴적물 조성을 파악하여 퇴적 기원을 추정하였다.

2. 연구지역 및 연구방법

연구지역은 제주도 서귀포시 안덕면 상창리 일대 로 안덕 곶자왈에 해당되는 지역이다(그림 1). 안덕 곶자왈 지대는 병악(혹은 대병악, 서귀포시 안덕면 상창리, 표고 492 m) 및 소병악(혹은 족은오름, 표고 473 m) 일대에서부터 상창리를 지나 화순리 그리고 산방산(서귀포시 안덕면 사계리, 표고 396 m) 근처 의 해안까지 최대 약 1.5 km의 폭으로 약 9 km에 걸 쳐 분포한다(Song, 2003). 미고화 퇴적층을 덮고 있 는 용암은 병악(소병악 포함)으로부터 분출된 것으 로 추정되며, 용암 말단부까지 지형 경사도는 약 2° 의 일정한 경사를 이룬다(cf. Park et al., 2014). 상창 리의 미고결 퇴적층을 피복하는 용암층은 조성상 현 무암질 조면안산암에 해당한다. 병악 오름에서 유래 한 현무암질 조면안산암은 파호이호이 특징을 지니는 광해악현무암을 층서적으로 피복한다(Park et al., 2000a).

연구지역의 미고화 퇴적층은 채석장 개발 과정에



Fig. 1. a) Site location map of Jeju and b) Andeok Gotjawal zones based on the data in the report by Jeon *et al.*, 2012. c) A close-up view of the study area in Sangchang-ri Sechang industrial company.

다(그림 3). 조사 2 단면에서는 상부 클링커와 접하 는 곳에서 1개, 퇴적층 내에서 총 6개의 방사성 탄소연 대측정용 토양시료를 채취하였다. 또한 2개의 OSL 연대측정용 시료를 조사 2 단면에서 채취하였다(그림 4). 방사성 탄소연대는 한국지질자원연구원의 가속기 질량분석기(AMS)를 활용하여 측정하였다. 방사성 탄 소연대 측정을 위한 토양시료는 휴믹산(Humic acid) 처리를 통해 흑연을 추출하였고, 탄화된 목편 시료 는 산-염기-산(AAA) 화학처리를 통해 오염물을 제거 한 후 분석용 흑연을 추출하였다. 이번 연구에 적용된 모든 탄소 연대의 보정은 Oxcal을 이용하였고 2σ 오

서 드러난 절개면에서 수평적으로 연속된 층으로 확 인되며, 용암층 사이에 협재된 형태로 나타난다(그 림 2). 이번 연구에서는 미고화 퇴적층 내에서 다량 의 탄화된 목편이 관찰된 지역의 절개사면을 조사 1 단면(site 1)으로 하고, 퇴적층의 연장이 확인된 채석 장의 보조 출입구 주변에 추가적으로 조사 2 단면 (site 2)을 선정하였다. 조사 2 단면의 퇴적층에서는 클링커 하부에 노출된 약 40 cm 두께의 미고화 퇴적 층을 조사 대상으로 하였다. 조사 1 단면에서 채취된 다량의 탄화목 중에서 22 개의 목편 조각 시료를 무 작위로 선별하여 방사성 탄소연대 분석을 실시하였



Fig. 2. An overview of the study area. Unconsolidated sediments are intercalated between lava layers.



Fig. 3. The underlying unconsolidated sediments containing wood charcoal are covered by clinkerly upper lava layer in section 1. The yellow lines indicate the boundary of wood charcoal samples.

차 범위를 활용하였다(http://c14.arch.ox.ac.uk).

OSL 연대 측정은 2개의 수평코어시료에서 얻은 모래입자크기(90-212 µm)의 석영에 대하여 단일시 료재현법(SAR method)을 이용하여 한국지질자원 연구원에서 측정하였다(Murray and Wintle, 2000). 등 가선량 측정에 사용된 장비는 TL/OSL DA-20 reader 이며 0.099 Gy/sec 선량의 ⁹⁰Sr/⁹⁰Y 베타선원과 blue LEDs (470±20 nm) 광원이 사용되었다. 220℃ 열 전 처리(preheat)와 160℃ 열 차단(cut-heat)온도가 등가 선량 측정에 사용되었다. 단일시료재현법에 의한 등 가선량 측정시 민감도 보정이 잘 이루어졌는지 확인 하기 위하여 재측정 비율(recycling ratio)과 회귀율 (recuperation)을 측정하였다. 또한 장석에 의한 오 염 유무는 광여기루미네선스 적외선 감쇄 비율(OSL IR depletion ratio)을 측정하여 분석값의 사용 가능 여부를 최종적으로 판단하였다(Kim *et al.*, 2011).

퇴적물 시료의 구성 광물의 정성 및 정량 분석을 위하여 조사 2 단면의 5개 시료를 대상으로 X-선 회 절분석을 실시하였다. 또한 주사전자현미경(SEM) 하에서 입자 형태 등을 관찰하였다. 퇴적물 시료들 은 건조 후 분말화하여 glass bead를 제작하였고 X-선 형광분석기를 이용하여 주요원소 함량을 분 석하였다. 퇴적물의 구성 광물과 지화학 성분 분석 은 한국지질자원연구원 지질자원분석센터에서 수 행하였다.

3. 연구결과

3.1 퇴적층 분포 특성

상창리의 미고화 퇴적층을 덮고 있는 현무암질 조면안산암은 약 5~8 m 두께의 용암판과 하부 약1 ~2 m 두께의 클링커 층으로 구성되며, 일부 지역에 서는 용암판과 클링커가 혼재되어 산출된다. 이 용 암층 하부에 두께가 일정하지 않은 미고화 퇴적층이 발달한다. 조사 1 단면의 미고화 퇴적층은 약 30~ 50 cm 두께로 자갈 크기의 입자들이 많이 포함된 사 력층으로써 상부는 적색을 띠며, 하부는 암회색을 띠는 층으로 구분된다. 암회색층 상부 0~30 cm 구 간에는 직경 1~2 cm 크기(최대 10 cm)의 탄화목이 다량 산출된다(그림 3). 세창산업 채석장 입구에 위 치한 조사 2 단면은 용암층 사이에 미고화 퇴적층이 1 m 이내로 분포한다(그림 4). 조사 2 단면의 미고화 퇴적층은 상부 용암층의 클링커 하부에 분포하는데 1~10 cm 두께의 비정질 및 세립질 퇴적물로 구성 된 흑색층(unit 1)과 세립질로 구성된 적색층(unit Ⅱ), 그리고 조립질 암편을 포함하는 흑갈색층(unit Ⅲ)으로 구분된다. unit Ⅰ과 unit Ⅱ는 색상 및 퇴 적물 조성 차이로 뚜렷한 경계면이 관찰되는 반면, unit Ⅱ와 Ⅲ는 점이적인 색상 및 입도 변화를 보인 다. 조사 2 단면의 퇴적층 기질은 주로 실트 크기의 입자로 구성된다.



Fig. 4. Unconsolidated sediments are covered by the upper lava with clinker in section 2.

Depth (cm)	Quartz	Plagioclase	Alkali Feldspars	Augite	Iron oxide Minerals	Clay Minerals	Mica	Amorphous	Total
5	1.2	16.9	•	•	•	•	·	81.9	100
10	29.3	28.4	•	12.1	9.5	20.7	tr	•	100
15	34.8	24.7	•	10.2	8.9	21.4	tr	•	100
25	31.8	19.2	14.1	•	8.9	26.0	tr	•	100
30	33.4	21.8	•	9.4	8.1	27.3	tr	•	100

Table 1. Quantitative analysis by X-ray Diffraction of unconsolidated sediments in Sangchang-ri (section 2; unit: wt(%)).

Table 2. Major element concentrations (wt%) of unconsolidated sediments in Sangchang-ri (section 2).

Depth (cm)	SiO ₂	Al_2O_3	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P_2O_5	CaO	TiO ₂	LOI	Total
10	49.65	18.73	14.11	1.38	2.60	0.27	1.12	0.38	1.59	2.46	7.40	99.69
15	50.51	19.48	13.22	1.41	2.35	0.26	1.04	0.42	1.27	2.50	7.10	99.56
25	47.80	20.05	13.58	1.50	1.96	0.17	0.83	0.35	0.85	2.38	10.42	99.89
30	48.49	20.10	12.67	1.54	1.81	0.18	0.85	0.36	0.77	2.35	10.58	99.70



Fig. 5. Typical XRD patterns of unconsolidated sediments in Sangchang-ri (section 2).

3.2 퇴적물 조성

X-선 회절분석으로 정량 분석한 전체 광물조성은 표 1과 그림 5에 나타나 있다. 전체적으로 석영이 29 ~35 wt(%)를 차지하는 가장 주된 광물이며, 다음 으로는 장석류가 전체 퇴적물의 14~28 wt(%)를 차 지한다. 이밖에는 녹니석, 적철석과 운모류가 소량 관찰된다. 조사 2 단면의 unit I에서는 비정질이 약 80 wt(%) 이상을 차지한다. 주성분원소의 조성은 표 2에 나타나 있다. 퇴적물 시료의 가열시 휘발되는 양 을 지시하는 LOI (loss-on-ignition)는 평균 10 wt(%) 로 비교적 높은 값을 보인다. 전체적으로 볼 때 SiO₂ 가 약 47~50%를 차지하는 가장 주된 원소이며 다 음으로는 Al₂O₃가 약 19~20%를 차지한다. 이밖에 Fe₂O₃가 12~14%의 분포 범위를 보이며 나머지 주 원소들은 3% 이하로 관찰된다. 주사전자현미경 하 에서 관찰된 광물 입자들은 화산유리편(glass shard) 이 부분적으로 관찰되며 자형의 결정질 광물들도 다 수 관찰된다.

3.3 방사성 탄소연대 측정결과

상창리 조사 1 단면의 퇴적층에서 채취된 22 개의 탄화된 목편 시료에 대한 연대측정결과는 최대 5,150 년에서 최소 4,810년(cal. yr BP) 사이의 연대를 보이 며, 대체적으로 약 5,000년(평균 4,964년)의 연대를 지시한다. 조사 2 단면에서 채취된 7 개 토양시료의 연대는 상부에서 하부로 2,250~7,410년(cal. yr BP) 의 범위를 갖는다(표 3; 그림 6). unit I 에서 확인 되는 방사성탄소연대는 2,250년 전(cal. yr BP)이며, unit II 의 방사성탄소연대는 2,530년 전(cal. yr BP) 이다. unit III의 방사성탄소연대는 4,950~7,410년 (cal. yr BP)까지의 범위를 갖는다. 조사 2 단면 unit III의 탄소연대 분포 범위는 조사 1 단면의 탄화된 목편 시료에서 확인된 5,000년의 연대 범위와 중첩 된다.

3.4 OSL 연대 측정 결과

상창리 퇴적층의 OSL 연대분석결과는 표 4와 그 림 6과 같다. 조사 2단면 unit Ⅱ (SC-OSL 01)시료 의 사질 크기(90-212 ㎞) 석영만을 이용한 OSL 연대 는 3,430±180년이다. 조사 2단면 unit Ⅲ (SC-OSL

Sample ID	Material	δ ¹³ C (‰)	¹⁴ C age yr BP	Calibrated age (2σ range) Cal yr BP	Lab Code
SC-W01	Charcoal	-24.8	4,280±40	4,840±130	ITg120294
SC-W02	Charcoal	-26.7	4,340±30	4,910±70	ITg130334
SC-W03	Charcoal	-29.7	4,270±40	4,810±160	IWd130180
SC-W04	Charcoal	-29.2	4,370±40	4,950±100	ITg130361
SC-W05	Charcoal	-26.6	4,320±30	4,903±60	ITg130393
SC-W06	Charcoal	-25.1	4,310±40	4,901±70	ITg130424
SC-W07	Charcoal	-24.7	4,310±40	4,901±70	ITg130471
SC-W08	Charcoal	-31.7	4,390±30	4,960±100	ITg130536
SC-W09	Charcoal	-25.9	4,350±30	4,940±90	ITg130499
SC-W10	Charcoal	-28.7	4,310±40	4,900±80	ITg130567
SC-W11	Charcoal	-23.8	4,400±40	5,070±220	ITg130601
SC-W12	Charcoal	-24.7	4,280±40	4,840±130	ITg130644
SC-W13	Charcoal	-26.1	4,420±30	5,070±200	ITg130700
SC-W14	Charcoal	-28.0	4,390±40	5,030±200	ITg130728
SC-W15	Charcoal	-24.2	4,390±30	4,960±100	ITg130828
SC-W16	Charcoal	-27.6	4,290±40	4,850±130	ITg130792
SC-W17	Charcoal	-30.9	4,340±40	4,940±100	ITg130868
SC-W18	Charcoal	-28.0	4,500±40	5,150±170	ITg130921
SC-W19	Charcoal	-25.7	4,380±40	5,040±190	ITg130988
SC-W20	Charcoal	-29.4	4,390±40	5,060±210	ITg131021
SC-W21	Charcoal	-27.2	4,400±40	5,070±220	ITg131067
SC-W22	Charcoal	-26.8	4,360±40	4,950±100	ITg131098
SC-B01	bulk	-18.2	2,230±30	2,250±100	ITg130347
SC-B02	bulk	-29.1	2,400±50	2,530±190	ITg130910
SC-B03	bulk	-13.1	4,370±40	4,950±100	ITg130354
SC-B04	bulk	-16.8	5,270±30	6,060±120	ITg120578
SC-B05	bulk	-26.5	5,310±40	6,080±140	ITg130351
SC-B06	bulk	-15.3	6,320±40	7,290±130	ITg130348
SC-B07	bulk	-23.8	6,510±40	7,410±90	ITg130913

Table 3. Radiocarbon dating results for 29 samples from unconsolidated sediments in Sangchang-ri.

02)시료의 사질 크기(90-212 /៣) 석영의 OSL 연대는 4,880±230년이다.

4. 토 의

4.1 상창리 미고화 퇴적층의 퇴적 기원

조사 2 단면의 미고화 퇴적층은 실트질 점토 또는 비정질 입자가 상부에 우세하게 분포하며 하향 조립 화 경향을 보인다. 하부의 조립 입자들은 화산 쇄설 성 입자들로 구성된다. X-선 회절분석 및 XRF 주원 소 분석 결과는 최상부인 unit [을 제외하면 상부 에서 하부에 걸쳐서 퇴적물 조성의 차이가 크지 않 음을 지시한다.

미고화 퇴적물은 주로 화산쇄설성 물질에서 유래 되었을 것으로 추정된다. 왜냐하면 제주도 지표의 많은 쇄설성 퇴적물이 주로 화산분출 과정에서 퇴적 되었거나 퇴적된 이후 재동된 퇴적물로 추정되기 때 문이다. 하지만 X-선 회절분석결과에서는 석영이 평 균 30% 정도를 차지하기 때문에 또 다른 기원의 퇴 적물 공급원이 존재할 가능성도 있다. 첫째, 제주도 형성 이전에 대륙붕 퇴적층으로 분포하던 U층(미고 결 퇴적층: Unconsolidated Formation)이 화산 분 출 과정에서 화산쇄설성 퇴적물에 혼합되어 유입되 었을 가능성이 있다(cf. Sohn and Park, 2005). 둘째, 세립질 퇴적물들이 바람에 의한 풍성기원으로 유입 되었을 가능성도 존재한다(cf. Lim *et al.*, 2005).

연구지역 퇴적층 내에는 명확한 퇴적구조가 관찰 되지 않는데 이는 퇴적 이후 지표 노출에 의해 풍화 작용을 받았을 가능성을 지시한다. 조사 2 단면의 unit Ⅱ는 화산 분출 과정에서 상부 용암류의 높은 온도에 의해 산화되어 적색으로 변색되었을 가능성 (cf. Manvill *et al.*, 2009; Rodriguez-Gonzalez *et* *al.,* 2009; Gatti *et al.,* 2013)과 대기 중 노출 또는 지 하수와의 접촉에 의해서 산화되었을 가능성들이 존 재한다.

전체적으로 상창리의 미고화 퇴적층은 하부 용암 류 이후 주변의 지속적인 화산활동에 의해 화산쇄설 물이 피복되거나 화산활동의 휴지기 동안에 주변에 쌓인 화산쇄설물이 재 이동되어 형성되었으며 이후 후기 화산활동에 의해 용암류가 퇴적층 상부를 피복

Table 4. Dose rate information, equivalent dose values and ages for sediments from Sangchang-ri using OSL. Data were derived from sand-sized $(90 \sim 212 \ \mu\text{m})$ quartz.

Lab. No	SC-OSL 01	SC-OSL 02	
Water Content (%)	15.7±5	9.8±5	
Depth (m)	3.5	3.7	
Beta dose (Gy/ka)	1.55±0.09	1.16±0.07	
Gamma dose (Gy/ka)	1.08±0.07	0.89±0.06	
Cosmic dose (Gy/ka)	0.13±0.01	0.13±0.01	
Dose rate (Gy/ka) β + γ +cosmic	2.76±0.11	2.17±0.09	
D _e (Gy)	9.5±0.3	10.6±0.2	
No. of discs	12/15	15/15	
Age (yr)	3,430±180	4,880±230	



Fig. 6. Comparison of age (yr) results between radiocarbon and OSL dating.

한 것으로 해석 될 수 있다.

4.2 상창리 일대의 화산활동 시기 해석

연구지역 용암층 및 미고화 퇴적층은 제주도의 화산활동과 연계하여 해석이 가능하다. 상창리 퇴적 층 상하부를 피복하는 것으로 추정되는 병악 현무암 질 조면안산암은 시간적 차이를 두고 3 차례에 걸쳐 분출되었는데, 지금까지 알려진 용암의 측정연대 (⁴⁰Ar/³⁹Ar)는 76,900±12,600부터 31,700±13,700년의 범위를 갖는다(Park et al., 2014). Park et al. (2014) 에서는 연대측정결과를 토대로 마지막 용암 분출이 약 31,000년 전에 있었던 것으로 보고한 바 있다. 그 러나 이 연대가 상창리 퇴적층의 상하부에 있는 용 암층 중 어느 용암층에 대비되는지 명확하지 않아 상창리 미고화 퇴적층에서 얻은 연대자료와 상호 비 교가 어렵다. 조사 2단면의 unit Ⅰ과 unit Ⅱ에서 측정된 탄소 연대는 2,250~2,530년(cal. yr BP)이며 unit Ⅱ에서 측정된 OSL 연대는 3,430±180년을 지 시한다. unit Ⅲ에서의 탄소연대는 7,410~4,950년 전(cal. yr BP)의 연대 범위를 보이며 OSL 연대는 4,880±230년이다. 탄소 연대측정 결과들은 층서적 으로 잘 일치한다. 다만 조사 1 단면에서 획득된 탄 화된 목편 시료를 제외한 나머지 탄소 연대측정용 시료들은 토양에 잔류된 유기물을 대상으로 분석된 결과로써 직접적인 퇴적연대를 지시하지 않을 가능 성이 존재한다. 또한 조사 2단면 unit Ⅰ과 Ⅱ의 경 우 현재에도 상부 용암층과 하부 미고화층 경계면에 서 지하수의 유출이 빈번하기 때문에 지하수 접촉에 따른 탄소값의 외부 오염 가능성을 갖는다. OSL 연 대는 퇴적층의 퇴적 연대를 직접적으로 지시하지만 조사 2 단면 unit Ⅱ의 적색층이 상부 용암층의 높은 열에 영향을 받았을 경우 퇴적 이후 집적된 루미네선 스시그널의 부분적인 열적 블리칭(thermal bleaching) 에 의해 측정 연대가 실제 퇴적 연대보다 젊은 연대 를 지시할 가능성을 갖는다. 층서상으로 조사 1 단면 에서 채취된 탄화목의 위치는 적색층 바로 아래인 암 회색층 상부에 위치하는데 조사 2 단면에서의 unit Ⅲ가 이에 대비된다. 조사 2단면 unit Ⅲ에서의 탄 소 최소 연대 결과 및 OSL 연대측정 결과는 조사 1 단면에서의 탄화목 탄소연대결과와 오차범위 내에 서 일치한다(그림 6). 따라서 unit Ⅰ과 unit Ⅱ의 연 대측정결과들을 제외하더라도 상부 용암층은 5,000년 보다는 최근에 형성된 것임을 알 수 있다. 이는 병악 오름에서의 용암분출을 동반하는 화산활동이 지금 까지 알려진 31,000년 전보다 최근인 5,000년 이내에 있었음을 명확하게 지시한다. 상창리 퇴적층의 측정 연대가 갖는 중요한 의미는 지금까지 연대측정이 불 가하였던 제주도 최상부 용암층의 생성시기를 용암 층 사이에 협재된 미고화 퇴적층의 연대 측정을 통 하여 추정 가능하다는 점과 암석연대측정방법으로 측정이 어려웠던 최근 2만년 이내의 제주도 화산활 동에 대한 시기규명이 가능하다는 점이다. 따라서 제주도 전역에 분포하는 미고화 퇴적층에 대한 연대 측정 및 퇴적환경 연구가 지속된다면 최근 2만년 이 내의 제주도 화산활동 시기를 명확히 규명할 수 있 을 것으로 판단된다.

5. 결 론

상창리 미고화 퇴적층 상부의 용암층 분출 시기 는 기존의 암석연대 분석방식으로는 확인하기 어려 웠다. 그러나 이번 연구에서 용암층 사이에 협재된 미고화 퇴적층을 대상으로 탄화목과 토양시료에 대 한 방사성 탄소 연대측정과 OSL 연대측정을 수행한 결과, 미고화 퇴적층의 형성 시기는 약 5,000년 전으 로 해석된다. 따라서 미고화 퇴적층 상부의 용암층 은 이보다 후기에 발생한 화산활동의 결과물로써, 지금까지 보고된 화산활동 시기보다 더 최근까지 제 주도 내륙에서 화산활동이 진행되었음을 지시한다. 또한 상창리 미고화 퇴적층의 연대측정결과는 용암 층 사이에 협재된 퇴적층의 연대측정을 통하여 2만 년 이내의 매우 젊은 화산활동에 대한 시기규명이 가능하다는 점을 지시한다. 따라서 이번 연구결과는 향후 제주도 최후기의 화산활동을 규명하는데 중요 한 근거 자료가 될 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원 기본사업 과제의 일환으로 수행되었습니다. 이 연구를 위하여 유익한 조언을 주신 손영관 교수님과 고기원 박사님, 그리 고 논문의 개선을 위하여 세심하게 검토하고 지적해 주신 안웅산 박사님과 익명의 심사위원님들께 깊이 감사 드립니다.

REFERENCES

- Ahn, U.S., Sohn, Y.K., Yoon, W.S., Ryu, C.-G., Jeong, J.-O. and Kang, C.-H., 2013, Age constraints on human footprints-bearing strata, Jeju Island, Korea. The 68th Annual Conference of the Geological Society of Korea. Geological Society of Korea, Jeju Island, p. 168.
- Cheong, C.-S., Jeong, Y.-J, Sohn, Y.K., Choi, M.S. and Park, B.-K., 2006, Introduction to sample preparation and thermal ionization mass spectrometry for ²³⁸U-²³⁰Th dating of Quaternary volcanic rocks. Journal of the Geological Society of Korea, 42, 455-465 (in Korean with English abstract).
- Cheong, C.S., Choi, J.H., Sohn, Y.K., Kim, J.C. and Jeong, G.Y., 2007, Optical dating of hydromagmatic volcanoes on the southwestern coast of Jeju Island, Korea. Quaternary Geochronology, 2, 266-271.
- Gatti, E., Mokhtar, S., Talib, K., Rashidi, N., Gibbard, P. and Oppenheimer, C., 2013, Depositional processes of reworked tephra from the late pleistocene youngest Toba tuff deposits in the Lenggong valley, Malaysia. Quaternary Research, 79, 228-241.
- Jeon, Y., 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., Eum, C.H., Yi, S. and Lim, J-S., 2011, Evaluation of the possibility of OSL application to the exposed sediments core. Journal of the Geological Society of Korea, 47, 707-713 (in Korean with English abstract).
- 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 Seoguipo and Shinyangri Formations, Cheju Island, Korea. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 154, 219-235.
- Koh, G.W. and Park, J.-B., 2010a, The Study on Geology and Volcanism in Jeju Island (II): Petrochemistry and ⁴⁰Ar/³⁹Ar Absolute ages of the Volcanic Rocks in Gapado-Marado, Jeju Island. Economic and Environmental Geology, 43, 53-66 (in Korean with English abstract).
- Koh, G.W. and Park, J.B., 2010b, The study on geology and volcanism in Jeju Island (III): early lava effusion records in Jeju Island on the basis of 40Ar/39Ar absolute ages of lava samples. Economic and Environmental Geology, 43, 163-176 (in Korean with English abstract).
- Koh, G.W., Park, J.B. and Park, Y.S., 2008, The study on geology and volcanism in Jeju Island (I): Petrochemistry

and ⁴⁰Ar/³⁹Ar absolute ages of the subsurface volcanic rock cores from boreholes in the eastern lowland of Jeju Island. Economic and Environmental Geology, 41, 93-113 (in Korean with English abstract).

- Koh, G.W., Park, J.B., Kang, B.-R., Kim, K.-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).
- Lee, D.Y., Yun, S.K., Kim, J.Y. and Kim, Y.J., 1988, Quaternary geology of the Jeju Island. Korea Institute Energy & Resources Rpt, 87-29, 233-278 (in Korean).
- Lee, M.W., Won, J.K., Lee, D.Y., Park, G.H. and Kim, M.S., 1994, Stratigraphy petrology of volcanic rocks in southern Cheju island, korea. Journal of the Geological Society of Korea, 30, 521-541 (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-moon linkage. Quaternary Research, 64, 12-20.
- Manville, V., Németh, K. and Kano, K., 2009, Source to sink: A review of three decades of progress in the understanding of volcaniclastic processes, deposits, and hazards. Sedimentary Geology, 220, 136-161.
- Murray, A.S. and Wintle, A.G., 2000, Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. Radiation Measurements, 32, 57-73.
- Oh, J., Yi, S.Y., Koh, G.W., Yun, H. and Lee, J.-D., 2000, Subsurface stratigraphy of Jeju Island. Journal of the Geological Society of Korea, 36, 181-194 (in Korean with English abstract).
- Park, J.B., Kang, B.-R., Koh, G.W. and Kim, G.-P., 2014, 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 Segwipo-Hahyori Sheet (1:50,000). Jeju Provincial Government, 163 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).

- Rodriguez-Gonzalez, A., Fernandez-Turiel, J.L., Perez-Torrado, F.J., Hansen, A., Aulinas, M., Carracedo, J.C., Gimeno, D., Guillou, H., Paris, R. and Paterne, M., 2009, The Holocene volcanic history of Gran Canaria island: Implications for volcanic hazards. Journal of Quaternary Science, 24, 697-709.
- Sohn, Y.K., and Park, K.H., 2005, Composite tuff ring/cone complexes in Jeju Island, Korea: possible consequences of substrate collapse and vent migration. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 141, 157-175.
- 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.
- Son, I.S., Lee, M.W. and Youn, J.S., 1998, The subsurface stratigraphy of Cheju volcanic island, Korea. Journal of the Korean Earth Science Society, 19, 581-589 (in Korean with English abstract).
- Song, S.T., 2003, Lavas in Gotjawal Terrain, Jeju Island, Korea No. 4. Byeongak Gotjawal Lava. The journal of basic sciences Cheju national university, 16, 57-63 (in Korean with English abstract).

- Won, J.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 the Korean Institute of Mining Geology, 19, 25-33.
- Yoon, S., Hyun, W.H. and Jung, C.Y., 2005, Geology of Hallasan (Mt. Halla), Jeju Island, Journal of the Geological Society of Korea, 41, 481-497 (in Korean with English abstract).
- Yoon, S.-H., Lee, B.-G. and Shon, 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).
- Yun, S.K., Han, D.S. and Lee, D.Y., 1987, Quaternary geology in the southern part of Jeju Island. Korea Institute Energy & Resources Rpt KR-86-2-(B)-2, 64 p (in Korean).

투	고	일	:	2014년	8월	11일	
심	사	일	:	2014년	8월	18일	
심시	사완료	로일	:	2014년	12월	24일	