

<Short Note>

제주도 내도동 제4기 미고화 퇴적층의 형성시기

김진철 · 이진영* · 홍세선 · 임재수 · 최한우
한국지질자원연구원 국토지질연구본부 제4기지질연구실

요 약

제주시 내도동 일원에는 토양썰기가 잘 관찰되는 미고화된 황갈색 실트질 퇴적층과 그 상부에 원마도가 매우 양호한 하성 자갈층이 분포한다. 이번 연구에서는 내도동 미고화 퇴적층 하부에 분포하는 실트질 퇴적층을 대상으로 광여기루미네선스 연대측정을 실시하여 94 ± 11 ka 부터 49 ± 5 ka의 연대 분포 결과를 얻었다. 이는 최근 연구가 진행된 외도동 구석기 유적 발굴지의 토양썰기층 형성시기(32~75 ka)와 잘 대비되며 토양썰기의 형태도 매우 유사하다. 또한, 이번 연구 결과는 내도동 미고화 퇴적층 상부에 분포하는 하성 자갈 퇴적층의 하한 연대가 실트질 퇴적층의 최상부(A01과 A02)시료의 연대값인 5만년 이내임을 지시한다.

주요어: 제주도, 토양썰기, OSL, 하성 자갈층

Jin Cheul Kim, Jin-Young Lee, Sei Sun Hong, Jaesoo Lim and Hanwoo Choi, 2016, The depositional age of the Quaternary unconsolidated deposits in Nedo-dong, Jeju Island, Korea. Journal of the Geological Society of Korea. v. 52, no. 2, p. 149-154

ABSTRACT: The Naedo-dong sediments are divided into the unconsolidated yellowish brown silty deposits containing 'soil wedge' in the lower part and the well-rounded gravely deposits in the upper part. Depositional ages of the unconsolidated silty deposits based on optically stimulated luminescence (OSL) dating range from 94 ± 11 ka to 49 ± 5 ka. Age ranges and soil wedge pattern are comparable with previous study of the Oedo-dong sediments containing soil wedge (ranging from 75 to 32 ka). The upper two samples in the unconsolidated silty deposits (A01 and 02) give a lower limit of 50 ka for the age of the gravely deposits in the Naedo-dong section.

Key words: Jeju Island, soil wedge, OSL, gravely deposits

(Jin Cheul Kim, Jin-Young Lee, Sei Sun Hong, Jaesoo Lim and Hanwoo Choi, Quaternary Geology Department, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Republic of Korea)

1. 서 론

제주시 내도동 일원에는 원마도가 매우 양호한 하성 자갈층이 노두상에 잘 발달되어 있다. 역의 종류는 현무암과 하와이아이트(hawaiite), 조면안산암 등 매우 다양하며 크기도 수 cm에서 수십 cm에 이르기까지 다양하다. 자갈층은 단면상에 2~3 m 두께로 관찰되며, 이들은 외도천과 도근천을 따라 상류로부터 침식 운반되어 하천이 합류되는 지점에서 퇴적된 것으로 해석된다(Park *et al.*, 1998). 제주·애월도폭(1998)에는 이러한 하성 자갈층의 위치와 분

포 범위가 제시되어 있다. Yoon *et al.* (2014)은 내도동 하성 자갈층을 포함하는 하성 쇄설성 퇴적층을 라하르(lahar) 기원의 탐라층(Tamna Formation)이라고 명명하였으며 그 생성시기를 약 0.5 Ma로 제안하였다. 이러한 하성 자갈층 하부에는 약 1~2 m 두께의 토양썰기(soil wedge)가 잘 관찰되는 미고화된 황갈색 실트질 퇴적층이 분포한다. Lee *et al.* (2015)은 내도동과 직선거리로 약 500 m 떨어진 외도1동의 문화재 발굴지에서 약 1 m 두께의 토양썰기 구조를 보이는 미고화 퇴적층을 대상으로 약 32~75 ka의 광여기루미네선스(Optically Stimulated Luminescence:

* Corresponding author: +82-42-868-3066, E-mail: jylee@kigam.re.kr

3. OSL 연대측정

제4기 퇴적층의 퇴적시기 결정은 주로 방사성 탄소연대측정법과 OSL 연대측정법 등을 활용한다. 방사성 탄소연대측정법은 퇴적물이 함유하고 있는 유기물, 목편이나 조개껍질 등을 대상으로 그 대상 물질의 형성시기를 추정하는 방법이다. 내도동 하부 미고화 퇴적층과 하성 자갈층의 경우 유기물 함유량이 매우 낮고 일부 시료의 경우 방사성 탄소연대측정이 가능한 연대 범위(4~5 만년 이내)를 넘었기 때문에 측정이 불가하였다. 따라서 이번 연구에서는 OSL 연대 측정 결과를 바탕으로 층서적 해석을 실시하였다.

OSL 연대측정법은 1980년대부터 활용되기 시작하였고 2000년대 단일시료재현법(Single Aliquot

Regenerative dose)이 개발된 이후 제4기 퇴적층을 대상으로 한 연대측정의 정밀도와 신뢰도가 크게 향상되었다(Murray and Wintle, 2000). OSL 연대측정의 필수 조건인 블리칭(bleaching)은 퇴적물이 기원지로부터 침식, 운반되는 과정에서 빛이나 열에 노출되어 기존에 가지고 있던 루미네선스 신호를 잃어버리는 것을 뜻한다. 따라서 퇴적물이 이동되는 과정에서 블리칭이 완벽하게 이루어져야 하며, 퇴적된 이후에는 빛이나 열에 노출되지 않아야 퇴적층의 정확한 퇴적시기를 구할 수 있다. OSL 연대측정은 주로 모래입자크기(90~250 μm) 또는 실트입자크기(4~11 μm)의 석영이나 장석을 이용한다. 석영을 이용한 OSL 연대측정법의 기본 원리와 전처리 과정은 Choi *et al.* (2004)와 Kim *et al.* (2010, 2011), 장석을 이용한 광여기 루미네선스 연대측정법은 Hong *et*

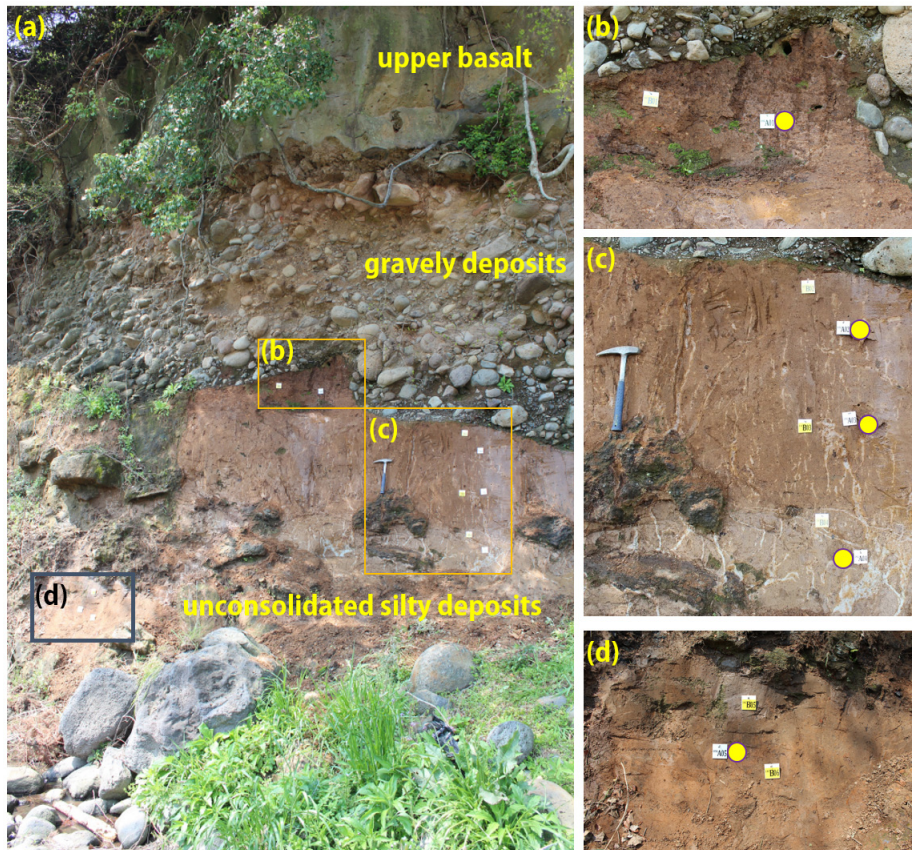


Fig. 2. (a) Photographs of outcrop features of the Naedo-dong deposits, (b) The uppermost part of the unconsolidated silty deposits, (c) The middle part of the unconsolidated silty deposits including soil wedges, (d) The lowermost part of the unconsolidated silty deposits, linear rock fragments marks the boundary between the middle and the lowermost parts of the unconsolidated silty deposits. Yellow circles represent the sampling locations for OSL dating.

al. (2013)에 자세히 소개 되어 있다.

이번 연구에서는 90~250 μm 크기의 석영 입자들만을 분리하여 단일시료재현법을 이용한 등가선량(equivalent dose)을 측정하였다. 등가선량 측정에 사용된 장비는 TL/OSL DA-20 reader이며 0.091 Gy/sec 선량의 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 베타선원과 blue LEDs (470 $\pm$ 20 nm) 광원이 사용되었다. 등가선량 측정에는 220 $^{\circ}\text{C}$ 열 전처리(preheat)와 160 $^{\circ}\text{C}$ 열 차단(cut-heat) 온도가 사용되었다. 단일시료재현법을 이용한 등가선량 측정에서 민감도 보정이 잘 이루어졌는지 알아보기 위하여 재측정 비율(recycling ratio)과 회귀율(recuperation)을 측정하였으며, 장석에 의한 오염 유무를 확인하기 위하여 OSL 적외선 감쇄 비율(OSL IR depletion ratio)을 측정하였다. 이러한 배경조건(recycling ratio와 IR depletion ratio가 10%보다 클 경우, recuperation이 5%보다 클 경우)을 적용하여 측정된 등가선량 값의 사용 여부를 최종적으로 판단하였다. 연간선량은 감마선 분광분석법을 이용하였으며, 측정 시스템은 고순도 감마선 검출장치(Canberra: SEGc 3018)와 제니(Genie) 2000 분석 프로그램을 이용하였다.

4. 토양쇄기 퇴적층 형성시기 및 자갈퇴적층 하한 연대

내도동 연구단면 하부의 미고화 퇴적층은 상당한 정도의 토양화 과정이 진행되었기 때문에 뚜렷한 퇴적환경을 나타내지는 않지만 이전 제주도 미고화층을 대상으로 한 연구결과들(Lee *et al.*, 2014, 2015; Lim *et al.*, 2015)에서 제시한 바와 마찬가지로 화산활동의 휴지기 동안에 주변의 화산쇄설물 또는 바람에 의한 풍성기원 퇴적물의 유입 등에 의해 퇴적층이 형성되었고 고토양화 작용을 받은 이후 하성 환경의 자갈층과 후기 화산활동에 의해 용암류가 상부를 피복한 것으로 해석 가능하다. OSL 연대측정 결과, 내도동 미고화 퇴적층은 49 $\pm$ 5 ka 부터 94 $\pm$ 11 ka의 연대 분포 범위를 보였다(그림 3; 표 1). A01과 A02 사이에는 상하 관계가 불명확하며, A01은 51 $\pm$ 7 ka로 49 $\pm$ 5 ka의 A02보다 오래된 퇴적연대를 지시하지만 오차범위 내의 연대값을 가진다. 비교적 층서적으로 상하관계가 명확한 A02~A04 시료들의 경우 49 $\pm$ 5 ka 부터 66 $\pm$ 6 ka 범위의 층서적으로 잘 일치하는 연



Fig. 3. Outcrop photograph of the Naedo-dong deposits, showing sample locations and OSL ages.

Table 1. Dose rate information, equivalent dose (D_e) values and OSL ages for the Naedo-dong deposits. Data were derived from sand-sized quartz (90-250 μm).

Lab. No	Water Content (%) ^a	Alpha dose (Gy/ka)	Beta dose (Gy/ka)	Gamma dose (Gy/ka)	Cosmic dose (Gy/ka)	Dose rate (Gy/ka)	D_e (Gy)	No. of discs	Age (ka, 2 σ SE)
A-01	37 $\pm$ 5	-	1.00 $\pm$ 0.05	0.77 $\pm$ 0.04	0.15 $\pm$ 0.01	1.92 $\pm$ 0.07	98.68 $\pm$ 13.79	8/10	51$\pm$7
A-02	25 $\pm$ 5	-	2.17 $\pm$ 0.12	1.21 $\pm$ 0.07	0.14 $\pm$ 0.01	3.52 $\pm$ 0.14	170.84 $\pm$ 14.41	9/10	49$\pm$5
A-03	24 $\pm$ 5	-	2.21 $\pm$ 0.13	1.26 $\pm$ 0.07	0.13 $\pm$ 0.01	3.59 $\pm$ 0.14	226.54 $\pm$ 13.06	8/10	63$\pm$4
A-04	16 $\pm$ 5	-	1.71 $\pm$ 0.10	1.05 $\pm$ 0.06	0.12 $\pm$ 0.01	2.88 $\pm$ 0.12	191.28 $\pm$ 14.90	9/10	66$\pm$6
A-05	19 $\pm$ 5	-	1.48 $\pm$ 0.09	0.83 $\pm$ 0.05	0.11 $\pm$ 0.01	2.42 $\pm$ 0.10	226.74 $\pm$ 24.52	8/10	94$\pm$11

^a The water content is expressed as the weight of water divided by the weight of dry sediments.

대결과를 얻었다. 최하부 시료인 A05의 경우 94 $\pm$ 11 ka의 연대결과를 보이며 A04 시료와는 약 30 ka 정도의 시간 간격이 존재한다. 따라서 A04와 A05 사이의 시기에는 부정합이 존재하였거나 퇴적작용이 매우 미약하였을 것으로 추정된다.

이번 연대측정의 대상이 된 하부 미고화 퇴적층은 특징적으로 토양썰기의 형태가 잘 관찰되며 이는 최근 연구가 진행된 외도동의 구석기 유적 발굴지 퇴적 단면에서 관찰되는 토양썰기 형태와 유사성을 갖는다(그림 1의 붉은색 별표지역). Lee *et al.* (2015)은 외도1동의 문화재 발굴지에서 약 1 m 두께의 토양썰기 미고화 퇴적층을 대상으로 OSL 연대측정을 실시하여 약 32~75 ka의 연대결과를 얻었다. 또한 퇴적층의 토양썰기 형성이 출고 건조했던 시기의 겨울 몬순 기후 영향임을 제시하였다. 내도동 하부 미고화 퇴적층은 그 형성시기가 외도동 퇴적층과 잘 대비되며 토양썰기의 형태도 매우 유사하기 때문에 퇴적층 형성 당시의 퇴적환경과 토양썰기의 형성 기작도 외도동 퇴적층과 비슷하였을 것으로 추정된다.

제주도에서 관찰되는 미고화 퇴적층의 형성시기는 절대연대 값을 측정하기 어려운 2만년 이내에 형성된 화산암의 생성시기를 간접적으로 추정하는데 이용되어졌다(Lee *et al.*, 2014; Lim *et al.*, 2015). 내도동 하부 미고화 퇴적층의 경우, 탐라층이라고 명명되었으며 그 생성시기가 약 0.5 Ma로 추정된 하성기원 자갈층에 대한 직접적인 퇴적 하한연대를 제시할 수 있는 역할을 한다(cf. Yoon *et al.*, 2014). 이번 연구 결과에서는 내도동 미고화 퇴적층 내의 상부 시료인 A01 (51 $\pm$ 7 ka)과 A02 (49 $\pm$ 5 ka)의 평균값을 기준으로 할 때 하성 자갈 퇴적층의 하한연대가 5만

년 이내임을 지시한다. 이는 기존에 제시된 자갈층의 형성 연대보다 매우 젊은 연대로써 현재의 한라산이 형성된 이후 제주도 내륙으로부터 기원한 하천들에 의해 하성 기원의 자갈 퇴적층이 형성되었을 가능성을 시사한다.

제주도는 지형 특성상 남북으로 주요 하천들이 형성되어 있다. 이러한 하천들은 퇴적물의 운반 거리가 비교적 짧기 때문에 자갈층을 형성할 수 있는 퇴적환경이다. 또한 자갈의 주요 암석인 현무암은 비교적 물리적 풍화에 약하기 때문에 기원지로부터의 짧은 운반거리에도 불구하고 침식에 따른 원마도가 좋은 반면, 자갈의 분급도는 낮은 편이다. 이러한 자갈층의 형성은 세립질 퇴적물들이 주로 퇴적되는 비교적 조용하고 안정된 퇴적환경에서 5만년을 기점으로 그 어느 시점에 유로와 유속의 변화가 심하며 좀 더 역동적인 하천 환경으로 퇴적환경이 변화하였음을 지시한다. 이번 연구에서 제시된 5만년이라는 연대 설정은 하성 자갈층 퇴적의 하한이며 실제로 하성 자갈층의 형성이 현재부터 5만년 동안의 어느 시점이었는지는 불명확하다. 그럼에도 불구하고 자갈퇴적층은 하부의 미고화 퇴적층 보다는 반드시 젊은 연대 분포를 보여야 한다. 향후 상부 현무암의 생성연대와 추가적인 단면에서의 하부 미고화 퇴적층의 연대 결과를 통하여 자갈층의 퇴적 연대 범위를 좀 더 제한할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 결론

제주도 내도동 퇴적층은 하부로부터 황갈색 실트질 미고화 퇴적층, 하성 자갈층 그리고 현무암층으로

구분된다. 이번 연대측정의 대상이 된 하부 미고화 퇴적층은 특징적으로 토양째기의 형태가 잘 관찰된다. OSL 연대측정 결과, 하부 미고화 퇴적층은 49 ± 5 ka 부터 94 ± 11 ka의 연대 분포 범위를 보인다. 이는 그 형성시기가 Lee *et al.* (2015)가 제시한 외도동 토양째기 퇴적층과 잘 대비되며 토양째기의 형태도 매우 유사하다. 미고화 퇴적층 내의 상부 시료인 A01 (51 ± 7 ka)과 A02 (49 ± 5 ka)의 평균값을 기준으로 할 때 하성 자갈 퇴적층의 하한연대는 5만년 이내이다. 이는 Yoon *et al.* (2014)에서 제시된 자갈층의 형성 연대 (0.5 Ma)보다 매우 젊은 연대로써 현재의 한라산이 형성된 이후 제주도 내륙으로부터 기원하여 하성 자갈 퇴적층이 형성되었을 가능성을 시사한다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원의 연구사업(지질 기록체를 활용한 한반도 아열대화 규명 연구(GP 2016-025))의 일환으로 수행되었습니다. 논문의 심사과 유익한 의견을 주신 편집위원장님, 임현수 교수님과 최정현 박사님께 깊이 감사드립니다.

REFERENCES

- Choi, J.-H., Cheong, C.-S. and Chang, H.-W., 2004, Principles of quartz OSL (Optically Stimulated Luminescence) dating and its geological applications. *Journal of the Geological Society of Korea*, 40, 567-583 (in Korean with English abstract).
- Hong, S., Choi, J.-H., Yeo, E.-Y. and Kim, J.-W., 2013, Principles of K-Feldspar IRSL (InfraRed Stimulated Luminescence) Dating and Its Applications. *Journal of the Geological Society of Korea*, 49, 305-324 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.C., Eum, C.H., Yang, D.Y., Kim, G.D., Cheong, D.K. and Choe, H.G., 2010, A preliminary study of paleoenvironments using OSL (Optically Stimulated Luminescence) dating of coastal dune sequences on Manripo area. *Journal of the Geological Society of Korea*, 46, 207-219 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.C., Eum, C.H., Yi, S. and Lim, J., 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).
- Lee, J.-Y., Kim, J.C., Lim, J., Hong, S.S. and Kho, J., 2015, The formation age of the soil wedges developed in the Quaternary deposits in Oedo-dong, Jeju Island, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 51, 605-610 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.-Y., Kim, J.C., Park, J.B., Lim, J., Hong, S.S. and Choi, H., 2014, 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., 2015, Paleoenvironmental and volcanologic implications of the Gosan Formation in Jeju Island, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 51, 537-544 (in Korean with English abstract).
- 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.
- 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).
- Yoon, S., Jung, C.Y., Hyun, W.H. and Song, S.T., 2014, Tectonic history of Jeju Island. *Journal of the Geological Society of Korea*, 50, 457-474 (in Korean with English abstract).

Received : April 12, 2016

Revised : April 27, 2016

Accepted : April 27, 2016