

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

<Short Note> 토양쐐기층의 광여기루미네선스 연대측정

김진철^{1,‡} ·오근창²·최한우¹ ¹한국지질자원연구원 지질환경연구본부 지질환경재해연구센터 ²제4기환경연구소

요 약

이번 연구에서는 강릉시 박월동 구석기 유적 내 수직단면으로 노출된 미고화 퇴적층을 대상으로 광여기루미 네선스 연대측정을 실시하여 퇴적 시점을 유추하고자 하였다. 6 미터의 미고화 퇴적층 단면에서, 조사지점 하 부는 모래질과 자갈질이 우세한 하천퇴적층, 중하부 구간은 모래질과 이질이 교호하는 하천 범람원 퇴적층으로 해석되었다. 조사지점 중상부부터 최상부 구간까지는 붉은색을 띄는 괴상의 이질 퇴적층이 우세하며 수직으로 발달된 토양쐐기가 최소 2매 이상 관찰되었다. 이 구간은 퇴적 구조가 관찰되지 않아 퇴적층의 성인에 대한 해 석이 어렵다. 이번 광여기루미네선스 연대측정은 조사지역 퇴적층의 중하부부터 상부 구간까지 총 4개의 시료 를 대상으로 산처리를 통하여 분리된 4-11 μm 크기의 세립질 석영을 이용한 방법(fine grain method)과 조립질 석영(90-250 μm)을 이용한 방법(coarse grain method)으로 실시하였다. 광여기루미네선스 연대측정 결과, 조 립질 석영은 105±6 ka에서 42±4 ka의 연대 분포 범위와 층서적으로 잘 일치된 결과를 보이는 반면, 세립질 석 영을 이용한 결과는 62±5 ka에서 19±1 ka의 연대 분포 범위와 층서적 역전 양상을 보였다. 연대 결과의 층서적 일치와 시기별 퇴적환경을 고려할 때, 조립질 석영의 연대 결과 값이 신뢰도가 높다고 생각된다. 토양 쐐기형태 를 포함하는 퇴적층 중상부의 세립질 석영으로부터의 연대 결과는 마지막 빙기 중 가장 추웠던 최종빙기 최성 기(LGM: Last Glacial Maximum) 시기를 지시한다. 이는 한랭 건조한 시기에 토양쐐기가 형성된 이후 세립질 석영이 유입되었을 가능성을 지시한다.

주요어: 제4기, 토양쐐기, OSL, 고고학 유적

Jin Cheul Kim, Keun-Chang Oh and Hanwoo Choi, 2018, OSL dating in the sediments including soil wedge structures. Journal of the Geological Society of Korea. v. 54, no. 2, p. 183-191

ABSTRACT: In this study, optically stimulated luminescence (OSL) dating was applied to unconsolidated sediments in the paleolithic site from Bagwol-dong, Gangneung-si, Kangwon-do, Korea. From a 6.0 m sediment trench, basal sandy gravel sediments in the lower part were interpreted as paleo-channel deposits, and were overlain by floodplain sediments in the middle part. Fluvial sediments were gradually decreased as reddish, massive, muddy deposits in the upper part. Especially, more than two units of soil wedges have been observed from the middle to the upper part. Due to a lack of sedimentary structures, it is difficult to define the paleoenvironments in this part. OSL dating was applied to chemically separated fine- (4-11 µm, silt) and coarse- (90-250 µm, fine sand) grained quartz. The ages of coarse-grained quartz were consistent with stratigraphic order (105-42 ka). In contrast, ages of fine-grained quartz were 2~3 times lower (62-19 ka) than those of the coarse quartz fraction, and show an age reversal. The OSL ages on coarse-grained quartz agree with the stratigraphic consistency and depositional environments. OSL dated at between 12 and 20 ka from fine-grained fraction in the middle to upper part, suggests that several episodes of soil wedge formation during the end stages of the LGM, thereafter fine-grained quartz input was occurred.

Key words: Quaternary, soil wedge, OSL, paleolithic site

(Jin Cheul Kim and Hanwoo Choi, Korea Institute of Geoscience and Mineral Reseouces, Daejeon 34132, Republic of Korea; Keun-Chang Oh, Quaternary Environmental Research Institute, Daejeon 34131, Republic of Korea)

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

1. 서 론

제4기 미고화 퇴적층 내의 토양쐐기(soil wedge) 형성은 퇴적 이후에 수직방향으로 다각형의 균열 현 상이 있었음을 의미한다. 이것은 토양 내의 간극수가 빠져나가는 건조 건열, 혹은 동결에 의해 토층의 수 축과 팽창의 반복에 의해 수반되는 구조이다(Lee, 1987). 이러한 토양쐐기 구조는 제4기 후기 동안의 빙기(glacial) 와 간빙기(intergalcial) 또는 아빙기(interstadial)의 반복에 따른 지표환경변화 특성이라고 생각된다. 대 부분의 기존 연구들에서는 토양쐐기의 형성이 현재 보다 한랭 건조한 기후에서 형성되었을 것으로 추정 하고 있다(Shin et al., 2004; Yi et al., 2006; Lee et al., 2015). 남한의 고고학 유적 발굴지 퇴적층에서는 대 부분의 경우 토양쐐기 구조가 관찰된다. 일반적으 로 제4기 퇴적층의 수직적 분포는 선상지성 내지 하 성 기원 퇴적층이 하부 구간에 분포하며 중상부에는 퇴적 환경의 구분이 어려운 고토양층이 분포한다. 토 양쐐기 구조는 제4기 퇴적층의 중상부에 해당되는 고 토양층 내에서 주로 관찰되며, 경우에 따라서 3회 이 상의 반복된 쐐기 구조가 하나의 퇴적 단면에서 관 찰되기도 한다. 토양쐐기 내부는 실트 크기 이하의 황회색이나 담회색 입자들이 주로 충진되며 기존 퇴 적층을 교란시키는 형태로 나타난다. 고인류의 삶을 지시하는 문화층은 고토양층 내에 주로 분포하며 유 물의 종류 및 형태, 그리고 퇴적층의 퇴적연대를 통 하여 문화층의 형성 시기를 유추한다. 토양쐐기를 포 함하는 퇴적층의 형성 시기는 주로 방사성탄소(¹⁴C) 연 대측정과 광여기루미네선스(OSL: optically stimulated luminescence) 연대측정을 통하여 추정한다. 하 지만 토양 쐐기 그 자체에 대한 형성 원인과 시기에 대 해서는 아직까지 명확한 결론에 이르지는 못하고 있 다(Shin *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2008; Chang, 2013; Lee *et al.*, 2015).

이번 연구에서는 강릉시 박월동 구석기 유적 내 수 직단면으로 노출된 미고화 퇴적층을 대상으로 광여 기루미네선스 연대측정을 실시하여 퇴적 시점을 유추 하였다. 산처리를 통하여 분리된 조립질 석영과 세 립질 석영의 루미네선스 특성들이 비교 분석되었고 토 양쐐기 구조가 퇴적층의 퇴적 연대 결과에 미치는 영 향에 대해서 논의하였다. 이를 통하여 조사지역 퇴적 층에 가장 신뢰도 높은 퇴적 절대연대를 제시하고자



Fig. 1. Location and the study area in Bagwol-dong, Gangneung-si, Gangwon-do, Korea.

하였다.

2. 지질 및 퇴적환경

이번 연구지역은 강릉시 박월동 산 90번지 일대(N 37°43'10.66", E 128°54'42.11")이며 중생대 대보관입 암류인 화강암이 기반암을 이루고 있다(그림 1). Jin et al. (1984)는 화강암의 Rb-Sr 연대를 173±1.4 Ma로 제 시한 바 있다. 연구지역의 동쪽 약 500 m 지점에는 남 북방향으로 흐르는 금광천 수계가 위치하며, 북서방 향으로 약 1.25 km 떨어진 지점에는 섬석천 수계가 분포한다. 연구지역 단면의 표층 해발고도는 약 30.0 m 이며, 절개한 수직 단면의 총 길이는 약 6.0 m이다. 연구단면의 하부 1.0 m는 화강암, 사암 및 셰일 등의 기반암류에서 기원하는 고 하성 역층이 분포하며, 퇴 적층 중하부 구간(하부로부터 약 1~3.5 m)은 평행, 수 평 엽층리가 우세하며 상향 세립화의 특징을 보이는 하성기원의 범람원 퇴적층이 분포한다. 이는 고 하 도 퇴적환경이 하도 연변부의 범람원 환경으로 바뀌 었음을 의미한다. 조사지점 중상부에서 최상부 구간 (하부로부터 약 3.5~6.0 m)까지는 붉은색을 띄는 고 토양층이 분포한다. 이 구간에서는 퇴적 구조 및 조 직 등이 관찰되지 않아 정확한 퇴적 환경을 유추하 기는 어렵다. 이 구간에서는 최소 2매 이상의 토양쐐 기 구조가 관찰된다(그림 2).

3. 시료 채취 및 실험 방법

수직단면에서 길이 30 cm, 지름 6 cm의 스틸 관을 퇴적 층리에 평행하게 삽입하여 총 4개의 광여기루 미네선스 연대측정용 시료들(GRK-01, 05, 22, 38)을 획득하였다. 광여기루미네선스 연대측정은 산처리를 통하여 분리된 세립질 석영(4-11 μm)을 이용한 방법 (fine grain method)과 조립질 석영(90-250 μm)을 이 용한 방법(coarse grain method)으로 진행되었다. 시 료 전처리 과정은 Kim *et al.* (2009, 2010)에 소개되어 있다. 이번 연구에서는 TL (ThermoLuminescence)/OSL 측정 장비(DA-20)를 사용하여 등가선량을 측정하였 다. 현재 한국지질자원연구원에 설치된 이 장비는 0.085 Gy/sec 선량의 ⁹⁰Sr/⁹⁰Y 베타선원과 820 nm 파장의 1.0 W 적외선 레이저가 부착되어 있다. 석영 입자로 부터의 루미네선스 신호는 470±30 nm 파장의 청색



Fig. 2. Photographs of trench section with vertical variations of grain composition and magnetic susceptibility.

발광다이오드(Blue-LED)광원이 사용되었으며, 청색 발 광다이오드를 조사하여 얻어진 루미네선스 신호는 광 전자 증배관(photomultiplier tube)으로 검출하였다. 검출기에는 Hoya U-340필터를 삽입하였다. 등가선량 분석에는 단일시료재현법(SAR method: Murray and Wintle, 2000)이 사용되었고, 감쇄곡선(decay curve) 의 초기 2초가 루미네선스 신호값으로, 마지막 20초 동안의 평균값이 배경신호(background signal) 값으 로 사용되었다. 루미네선스 시그널의 민감도 변화를 알아보기 위하여 재측정 비율(recycling ratio)과 회귀 율(recuperation)이 사용되었다. 장석의 오염 정도를 확인하기 위하여 광여기루미네선스 적외선 감쇄 비율 (OSL IR depletion ratio)을 측정하였다. 열 전처리 플 라토우 시험(preheat plateau test)은 단일시료재현 법을 이용하여 160~300℃까지 20℃ 간격으로 열 전 처리 후 등가선량을 측정하여 온도별 선량값을 비교 하였다. 연간선량 측정은 고순도 감마선 검출기(미국 캔버라(Canberra) SEGc 3018 모델)를 사용한 감마선 분광 분석법이 사용되었다. 퇴적물의 입도분석은 전 처리 단계를 거친 이후 습식 체분석과 Mastersizer 2000을 이용한 미립자 분석이 진행되었다. 습식 체분 석 결과와 기기분석 결과를 종합하여 최종적으로 토 층단면의 입도분석 결과를 도출하였다.

4. 결과 및 토의

조립질 석영과 세립질 석영을 이용한 광여기루미 네선스 연대측정의 일반적인 장단점은 표 1에 요약 되어 있다. GRK-38 조립 석영에서의 열 전처리 플라 토우 시험을 통한 열전처리 온도 별 등가선량 측정 결 과, 플라토우가 180~220℃ 범위에서 형성됨을 알 수 있었다(그림 3). 이번 연구에서는 플라토우 형성 구

Table 1. Advantages and disadvantages of OSL dating between fine- and coarse-grained fraction.

Feature	Advantages	Disadvantages	
	less time consuming	early saturation	
Coarse grain dating	• possible to detect partial bleaching	• foldsman contamination	
	• α-irradiation is excluded	• leidspar contamination	
	Higher saturation doses	• difficult to detect partial bleaching	
Fine grain dating	 less feldspar contamination 	• α -irradiation induced luminescence effective	
	 higher luminescence intensity 	 consuming sample preparation 	



Fig. 3. preheat plot of D_e values using preheat temperatures from 160 to 300°C for coarse-grained quartz (GRK-38).

간 중 220℃를 열 전처리 온도로 정하였고, 민감도 보

정을 위한 실험 선량(test dose)의 열처리(cut-heat) 온

도를 160℃로 선택하여 등가선량 측정에 활용하였다.

조립질 석영의 자연 루미네선스 감쇄 곡선은 높은 광

여기루미네선스 신호세기(OSL intensity)와 빠르게

감쇄하는 경향을 보였다(그림 4a). 이는 조립질 석영 시

료들이 빛에 민감하며 빠르게 감쇄하는 루미네선스 성

분(fast component)이 우세함을 나타낸다. 성장 곡선

의 경우 모든 시료들에서 exponential+linear component

로 fitting되며, 자연선량 값은 linear component에

도시되었다(그림 4b). Linear component의 경우 성장

곡선이 300 Gy 이상 지속적으로 증가하였기 때문에 자

연선량(natural dose)이 포화(saturation) 되지 않았음

을 지시한다. 또한 SAR protocol 측정 주기(measurement

cvcle)별 민감도 변화를 나타내는 T_x/T_n(T_x:재현선량

측정 단계의 시험선량, Tn:자연선량 측정 단계의 시험

선량) 도시 결과, 0.9~1.1 이내의 매우 낮은 변화 양상을

보였다(그림 4c). 이는 각각의 cycle 마다 민감도 변화 가 매우 적었음을 지시한다. 세립질 석영의 등가선량

측정 결과 또한 조립질 석영과 마찬가지로 매우 높은

광여기루미네선스 신호세기와 빠르게 감쇄하는 경향

을 보였다(그림 5a). 성장 곡선은 Exponential+ linear

component로 fitting되며 약 250 Gy 이상 지속적으로

증가하였다. 자연선량 값은 exponential component 에 도시되었다(그림 5b). T_x/T_n은 0.9~1.1 이내의 매 우 낮은 값을 보였다(그림 5c). 다음과 같은 루미네선스 특성들은 세립 및 조립질 석영 모두 SAR protocol을 이용한 루미네선스 연대측정에 적합하였고, 이로부터 도출된 연대 결과들은 신뢰도가 높다고 생각된다.

하지만 조립질 석영의 광여기루미네선스 연대 측 정 결과는 세립질 석영의 연대측정 결과 값 보다 약 2~3배 높은 결과를 보였다. 조립질 석영으로부터의 광여기루미네선스 연대측정 결과는 105±6 ka에서 42±4 ka의 연대 분포 범위를 보이며 충서적으로 잘 일치 하는 반면, 세립질 석영은 62±5 ka에서 19±1 ka의 연대 분포 범위와 충서적으로 역전된 양상을 보였다 (그림 6; 표 2).

하천 퇴적환경으로 해석되는 퇴적단면의 중하부 구간은 조립질 석영의 연대 결과 값을 기준으로 MIS (Marine Isotope Stage) 5a와 5c에 해당한다. 반면, 동일 구간의 세립질 석영을 이용한 연대 결과 값은 MIS 2와 4에 해당된다. 연구지역은 현재 해안선에 서 직선거리로 5 km이내, 해발고도는 약 30 m 정도 로 해수면 변화에 매우 민감한 퇴적환경 범위에 속한 다. 하천 환경에서의 퇴적과 침식은 해수면 변화에 의 한 하천의 침식기준면(base level of erosion) 변화



Fig. 4. The natural OSL decay curve (a), the dose response curve (b), sensitivity (T_x/T_n) measured for repeated regeneration cycles (c) and statistical graphs (d, e, f) of D_e values for coarse-grained quartz (GRK-05).

에 큰 영향을 받게 되는데 조립질 석영의 연대 결과 는 하천의 침식기준면이 높았던 시기로써 하천의 퇴 적 작용이 활발하였을 것으로 추정되는 MIS 5 시기 와 일치한다. 반면, 세립질 석영으로부터의 연대 결과 에 해당하는 MIS 2와 4는 침식기준면이 매우 낮았던 시기로 연구지역은 퇴적 보다는 침식이 우세하였을 것 으로 추정된다. 따라서 세립질 석영의 연대 결과보다 는 조립질 석영의 연대 결과 값이 하천퇴적층의 퇴적 시기로는 더 적합하다고 생각된다. 또한 조립질 석영 으로부터의 광여기루미네선스 연대결과가 세립질 석 영의 결과 값에 비해 충서적으로 잘 일치하기 때문에 이러한 해석을 뒷받침 해준다고 볼 수 있다.

퇴적단면의 중상부~최상부 구간에서 관찰되는 세 립질 석영의 과소평가된 연대결과 값은 토양쐐기 형태 의 퇴적 흔적으로부터 유추해 볼 수 있다. 토양쐐기 는 일반적으로 매우 추웠던 시기에 토양의 동결, 해 동 작용이 반복됨에 따라 땅의 갈라진 틈으로 새로 운 퇴적물이 유입되어 형태적으로 쐐기 모양을 띄며 기존 층과 서로 다른 색상으로 관찰된다. 따라서 토 양쐐기로부터 유래된 퇴적물들은 한랭 건조한 기후 를 반영하며 풍성 기원의 세립질이 우세한 경우가 일 반적이다. 또한 시기적으로 퇴적층 형성시기보다 매 우 후기에 유입되었을 가능성이 높다. 연구지역 퇴적 층의 입도 분석 결과, 토양쐐기가 매우 우세한 중상 부 퇴적층은 매우 특이한 다중분포(multimodal) 모 양의 입도 경향을 보인다(그림 6b). 이는 서로 다른 퇴적 기작으로부터 퇴적물이 유입되었을 가능성을 지 시한다. 또한 일부 세립질 석영으로부터의 연대 결 과 값들은 마지막 빙기 중 가장 추웠던 최종빙기 최 성기(LGM: Last Glacial Maximum) 시기를 지시 한다. 따라서 시기를 달리하는 서로 다른 퇴적 기작 으로부터의 퇴적물 유입이 세립질과 조립질 석영으 로부터의 광여기루미네선스 연대측정 결과의 차이 를 야기 시키는데 일정 부분 역할을 하였을 것으로 추 정된다.

광여기루미네선스 연대측정 시 일부 시료들에서 나타나는 세립질 및 조립질 석영의 연대측정 결과 차이에 대해서는 2000년대 후반부터 활발한 논의가 진행되어 왔다. 몇몇 연구들에서는 세립질 석영의 광 여기루미네선스 연대측정 결과가 과소평가 되었다고 주장하였다(Fan *et al.*, 2010; Lai, 2010; Lowick *et al.*, 2010, Lowick and Preusser, 2011; Timar-Gabor *et al.*, 2011). 이러한 과소 평가된 연대 결과는 세립질 로부터의 자연 선량이 루미네선스 시그널의 포화 범 위를 넘었기 때문으로 해석하였다. 반면, 다른 연구 결과들은 세립질 석영의 루미네선스 시그널들이 운



Fig. 5. The natural OSL decay curve (a), the dose response curve (b), sensitivity (T_x/T_n) measured for repeated regeneration cycles (c) and statistical graphs (d, e, f) of D_e values for fine-grained quartz (GRK-05).

반되는 과정에서 시그널의 소멸(bleaching)을 완벽 하게 이루지 못하여 연대 결과가 과대평가 되었다고 주장하였다(Hu *et al.*, 2010; Zhang, J.F. *et al.*, 2010; Zhang, Y.E. *et al.*, 2010; Guo *et al.*, 2012). 한반도 퇴적층을 대상으로 세립 및 조립 석영의 광여기루미 네선스 연대측정 결과들을 비교해 보면홀로세(Holocene: 약 1만년 이내) 퇴적층에서는 서로 잘 일치하는 연대 결과들을 얻었다(Kim et al., 2015a). 하지만 후기 플 라이스토세 시료들에서는 조립질 석영의 시그널들이 조기 포화(early saturation)되어 실제 퇴적 시기보다 과소 평가된 반면, 세립질 석영은 시그널들이 포화되 지 않아 퇴적 연대를 잘 지시함을 보여주었다(Kim et al., 2015b). 이번 연구 결과에서는 세립질 석영이 조 립질 석영의 연대 결과보다 과소 평가되었을 것으로

Table 2. Dose rate information, equivalent dose (De) values and OSL ages for unconsolidated sediments in the paleolithic site from Bagwol-dong.

$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Lab. No	Water Content (%)		Depth	A	lpha	Beta dose (Gy/ka)		Gamma	Cosmic	Dose rate (Gy/ka)			De (Gy)		Age (ka, 2oSE)	
GRK-01 12.7 ± 5 4.5 0.30 ± 0.15 1.51 ± 0.09 1.72 ± 0.12 0.91 ± 0.06 0.12 ± 0.01 2.54 ± 0.11 3.04 ± 0.20 266.35 ± 9.25 189.86 ± 7.91 104.9 ± 5.8 62.4 ± 4.5 GRK-05 14.7 ± 5 4 0.44 ± 0.22 1.81 ± 0.11 2.06 ± 0.14 1.22 ± 0.07 0.12 ± 0.01 3.15 ± 0.13 3.84 ± 0.27 263.67 ± 11.52 46.38 ± 1.11 83.6 ± 5.1 12.1 ± 0.07 GRK-22 24.8 ± 5 2.5 0.38 ± 0.19 2.02 ± 0.11 2.30 ± 0.14 1.21 ± 0.07 0.15 ± 0.01 3.38 ± 0.13 4.03 ± 0.24 162.79 ± 1993 82.00 ± 1.77 48.2 ± 6.2 20.3 ± 1.7				(m)	(G	y/ka)	coarse grain	fine grain	(Gy/ka)	(Gy/ka)	$^{\beta+\gamma+}_{cosmic}$	α+6 cos	3+γ+ smic	coarse quartz	fine quartz	coarse quartz	fine quartz
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	GRK-01	12.7	± 5	4.5	0.30	± 0.15	1.51 ± 0.09	1.72 ± 0.12	0.91 ± 0.06	0.12 ± 0.01	2.54 ±0.11	3.04	± 0.20	266.35 ±9.25	189.86 ± 7.91	104.9 ± 5.8	62.4 ± 4.8
$GRK-22 24.8 \pm 5 2.5 0.38 \pm 0.19 2.02 \pm 0.11 2.30 \pm 0.14 1.21 \pm 0.07 0.15 \pm 0.01 3.38 \pm 0.13 4.03 \pm 0.24 162.79 \pm 1993 82.00 \pm 1.77 48.2 \pm 6.2 20.3 \pm 1.77 48.2 \pm 6.2 40.3 \pm 1.77 40.3 \pm 1.7$	GRK-05	14.7	± 5	4	0.44	± 0.22	1.81 ± 0.11	2.06 ± 0.14	1.22 ± 0.07	0.12 ± 0.01	3.15 ± 0.13	3.84	± 0.27	263.67 ±11.52	46.38 ±1.11	83.6 ± 5.1	12.1 ± 0.9
	GRK-22	24.8	± 5	2.5	0.38	± 0.19	2.02 ± 0.11	2.30 ± 0.14	1.21 ± 0.07	0.15 ± 0.01	3.38 ±0.13	4.03	± 0.24	162.79 ±19.93	82.00 ± 1.77	$48.2 \ \pm 6.2$	$20.3\ \pm 1.3$
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	GRK-38	18.3	± 5	0.6	0.45	± 0.23	1.87 ± 0.11	2.13 ± 0.14	1.25 ± 0.07	0.19 ± 0.01	3.31 ±0.13	4.02	± 0.28	138.55 ±12.82	75.70 ± 1.56	41.9 ±4.2	18.8 ± 1.4

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

^bAlpha dose rate was calculated using an a-value of 0.04±0.02 (Rees-Jones, 1995).



Fig. 6. Comparison of OSL ages for fine- and coarse-grained quartz samples and grain size distribution patterns.

추정되지만 기존 연구들에서 주장하였던 루미네선 스 특성에 따른 결과로 해석하기에는 무리가 따른 다. 그 이유는 세립 및 조립질 석영의 루미네선스 특 성들이 연대측정에 모두 적합하였고 루미네선스 시 그널의 부분적 소멸(partial bleaching)현상도 관찰 되지 않았기 때문이다.

이전의 많은 고고학 유물 발굴 조사에서는 제4기 퇴적층 단면에서 관찰되는 토양쐐기의 수직적 횟수 만으로 과거 퇴적 시기를 추정하였다. 최근에는 토 양쐐기와 더불어 탄소 및 광여기루미네선스 연대측 정으로부터 얻어진 연대결과를 고고학적 해석에 활 용하고 있다. 하지만 이로부터 얻어진 절대연대 결 과들이 여러 지질학적 특성들에 의해 서로 다른 연 대 결과를 야기 시킬 수 있는 가능성은 간과되어왔 다. 토양쐐기를 포함하는 제4기 퇴적층의 절대 연대 측정 시 서로 다른 퇴적기작으로부터 유입된 퇴적물 들이 서로 다른 입자 크기 별 연대 결과의 차이를 야 기하였을 가능성이 충분히 고려되어야 한다.

반면, 이러한 토양 쐐기의 영향만으로 연구단면 의 하부부터 상부까지 전체 퇴적층의 조립과 세립 석영의 연대 결과 차이를 해석하기에는 무리가 있 다. 특히 범람원 퇴적층의 경우 세립질 석영의 유입 이 조립질 석영과 같은 환경에서 번갈아가며 반복적 으로 일어나기 때문에 세립질 연대 결과를 쐐기로부 터의 유입으로 단정하기는 힘들다. 그럼에도 불구하 고 이번 연구 결과는 토양쐐기를 포함하는 제4기 퇴 적층에서의 서로 다른 퇴적물 유입 기작이 퇴적층의 절대 연대 결과 값에 영향을 미칠 가능성을 제시하 는데 그 목적이 있다. 앞으로 이러한 절대연대 결과 값들의 신뢰도를 높일 수 있는 다양한 연구들과 토 양쐐기 형성 기작에 대한 심도 있는 후속 연구들이 진행되어야 할 것이다.

5. 결 론

강릉시 박월동 구석기 유적 내 수직단면으로 노출 된 미고화 퇴적층을 대상으로 광여기루미네선스 연 대측정을 실시한 결과, 조립질 석영의 광여기루미네 선스 연대 값이 세립질 석영의 연대측결과 값 보다 약 2~3배 높았으며 층서적으로 잘 일치하는 결과를 얻 었다. 시기별 퇴적환경과 층서적 특성으로 미루어 조 립질 석영의 연대 결과 값이 퇴적시기로는 더 적합 하다고 생각된다. 세립질 석영의 과소평가된 연대결 과 값은 토양쐐기 형태의 세립질 퇴적물 유입이 영 향을 미쳤을 것으로 추정되지만, 토양쐐기의 영향만 으로 해석하기는 힘들다. 토양쐐기를 포함하는 제4 기 퇴적층의 절대연대측정 시에 여러 지질학적 특성 들이 고려되어야 하며 후속 연구들을 통하여 좀 더 심도 있는 논의가 필요하다.

감사의글

이 연구는 한국지질자원연구원의 주요과제인 "지질 기록체를 활용한 한반도 아열대화 규명 연구: 중기 홀로세 기후-특성 평가 (GP2017-013)"의 일환으로 수행되었습니다. 유익한 심사를 해주신 두분의 심사 위원께 진심어린 감사를 드립니다.

REFERENCES

- Chang, Y., 2013, Human activity and lithic technology between Korea and Japan from MIS 3 to MIS 2 in the late paleolithic period. Quaternary International, 308-309, 13-26.
- Fan, Y.X., Zhao, H. and Chen, F.H., 2010, The equivalent dose of different grain size quartz fractions from lakeshore sediments in the arid region of north China. Quaternary Geochronology, 5, 205-211.
- Guo, Y.-J., Zhang, J.-F., Qiu, W.-L., Hu, G., Zhuang, M.-G. and Zhou, L.-P., 2012, Luminescence dating of the Yellow River terraces in the Hukou area, China. Quaternary Geochronology, 10, 129-135.
- Hu, G., Zhang, J.-F., Qiu, W.-L. and Zhou, L.-P., 2010, Residual OSL signals in modern fluvial sediments from the Yellow River (HuangHe) and the implications for dating young sediments. Quaternary Geochronology, 5, 187-193.
- Jin, M.S., Gieadow, A.J.W. and Lovering, J.F., 1984, Fission track dating of apatite from the Jurassic and Cretaceous granites in South Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 20, 257-265.
- Kim, J.C., Cheong, D.K., Shin, S., Park, Y.-H. and Hong, S.S., 2015a, OSL chronology and accumulation rate of the Nakdong deltaic sediments, southeastern Korean Peninsula. Quaternary Geochronology, 30, 245-250.
- Kim, J.C., Chang, T.S., Yi, S., Hong, S.S. and Nahm, W.-H., 2015b, OSL dating of coastal sediments from the southwestern Korean Peninsula: A comparison of different

size fractions of quartz. Quaternary International, 384, 82-90.

- 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.
- Kim, J.C., Roberts, H.M., Duller, G.A.T., Lee, Y.I. and Yi, S.B., 2009, Assessment of diagnostic tests for evaluating the reliability of SAR D_e values from polymineral and quartz fine grains. Radiation Measurements, 44, 149-157.
- Kim, J.Y., Yang, D.Y., Nahm, W.H., Yi, S.H., Kim, J.C., Hong, S.-S., Yun, H.-S., Lee, J.Y., Kim, J.-K., Oh, K.-C. and Choi, D.-W., 2008, Last glacial and Holocene fluvial wetland sedimentary stratigraphy: Comparison between Soro-ri and Jangheung-ri archeological sites, Korea. Quaternary International, 176-177, 135-142.
- Lai, Z.P., 2010, Chronology and the upper dating limit for loess samples from Luochuan section in the Chinese Loess Plateau using quartz OSL SAR protocol. Journal of Asian Earth Sciences, 37, 176-185.
- Lee, D.Y., 1987, Stratigraphic Research of the Quaternary deposits in the Korean Peninsula. The Korean journal of quaternary research.
- Lee, J.-Y., Kim, J.C., Lim, J., Hong, S.S. and Kho, J., 2015, 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).
- Lowick, S.E. and Preusser, F., 2011, Investigating age underestimation in the high dose region of optically stimulated luminescence using fine grain quartz. Quaternary Geochronology, 6, 33-41.
- Lowick, S.E., Preusser, F., Pini, R. and Ravazzi, C., 2010, Underestimation of fine grain quartz OSL dating towards the Eemian: comparison with palynostratigraphy from Azzano Decimo, northeastern Italy. Quaternary Geochronology, 5, 583-590.

- 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.
- Rees-Jones, J., 1995, Optical dating of young sediments using fine-grain quartz. Ancient TL, 13, 9-14.
- Shin, J.-B., Naruse, T. and Yu, K.-Y., 2005, The application of loess-paleosol deposits on the development age of river terraces at the midstream of Hongcheon river. Journal of the Geological Society of Korea, 41, 323-333 (in Korean with English abstract).
- Shin, J.-B., Yu, K.-M., Naruse, T. and Hayashida, A., 2004, Study on loess-paleosol stratigraphy of Quaternary unconsolidated sediments at E55S20-IV pit of Chongokni Paleolithic Site. Journal of the Geological Society of Korea, 40, 369-381 (in Korean with English abstract).
- Timar-Gabor, A., Vandenberghe, D.A.G., Vasiliniuc, S., Panaoitu, C.E., Panaiotu, C.G., Dimofte, D. and Cosma, C., 2011, Optical dating of Romanian loess: a comparison between silt-sized and sand-sized quartz. Quaternary International, 240, 62-70.
- Yi, S., Kim, J.-Y., Oh, K.-C., Yang, D.-Y., Ryu, E. and Oh, K.-J., 2006, Late Pleistocene paleoenvironments of the Poonggi-dong area, Asan, inferred from pollen analysis. Journal of the Geological Society of Korea, 42, 57-68 (in Korean with English abstract).
- Zhang, J.F., Huang, W.W., Yuan, B.Y., Fu, R.Y. and Zhou, L.P., 2010, Optically stimulated luminescence dating of cave deposits at the Xiaogushan prehistoric site, northeastern China. Journal of Human Evolution, 59, 514-524.
- Zheng, Y.E., Zhou, L.P. and Zhang, J.F., 2010, Optical dating of the upper 22 m of cored sediments from Daihai Lake, northern China. Quaternary Geochronology, 5, 228-232.

Received	:	February	22,	2018
Revised	:	April	30,	2018
Accepted	:	April	30,	2018