

춘천 우두동 유적내 발경작 유구의 OSL 연대측정

김명진 · 송기웅^{1,3} · 심재연² · 홍덕균³

¹(재)충청문화연구원 ²강원문화재연구소 ³강원대학교 물리학과

Optical dating of samples from the dry field cultivation of Udu-dong site, Chunchon, Korea

Myung-Jin Kim, Ki-Woung Song^{1,3}, Jae-Yoan Sim², Duk-Geun Hong³

¹Chungcheong Cultural Properties Research Institute, Kongju 314-923, Korea

²Kangwon Cultural Properties Research Institute, Chunchon 200-020, Korea

³Dept. of Physics, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

1. 서론

루미네선스 연대측정은 자연계에 일반적으로 존재하는 석영(quartz)과 장석(feldspar), 방해석(calcite) 같은 무기결정 내에 축적된 루미네선스가 주위 환경방사능과 상관 관계에 있어 이들 결정 내에 축적된 루미네선스를 자연선량계로 이용할 수 있음을 전제로 한다^{1,2}. Huntly³는 퇴적층에서 분리한 석영을 녹색 파장의 빛으로 여기하여 방출되는 OSL(optically stimulated luminescence)를 이용한 연대측정법을 제안하였으며 단일시료 재현법(single aliquot regenerative dose method)⁴과 결합된 OSL 연대측정은 현재 퇴적층에 대한 연대측정 뿐만 아니라 고고학 시료에 대하여 폭넓게 적용되어지고 있다^{5,6}.

이 연구에서는 강원도 춘천시 우두동 유적내 발경작 유구⁷에서 채취된 시료의 세립 석영에 대한 물리적 특성을 조사하여 OSL 연대측정에 적합한지를 판단하였다. 또한 이를 근거로 단일시료 재현법을 적용하여 시료의 연대측정을 실시하였다.

2. 시료 및 실험기기

2-1. 시료

춘천 우두동 유적에서는 4개의 발경작층과 하부의 하상퇴적층들이 확인되었다. Fig. 1은 시료가 채취된 춘천 우두동 참빛아파트 부지내 유적의 지리학적 위치와 표준 발굴 구덩이 단면에서의 시료 채취 위치를 나타낸다. 시료는 총 5개를 채취하였으며 지면에 가까운 시료부터 KMY-UD1, 2, 3, 4, 5로 명명하였다. 이들 중 KMY-UD1, 2, 3, 4는 발경작층이고 KMY-UD5는 그 아래의 하상퇴적층이다.

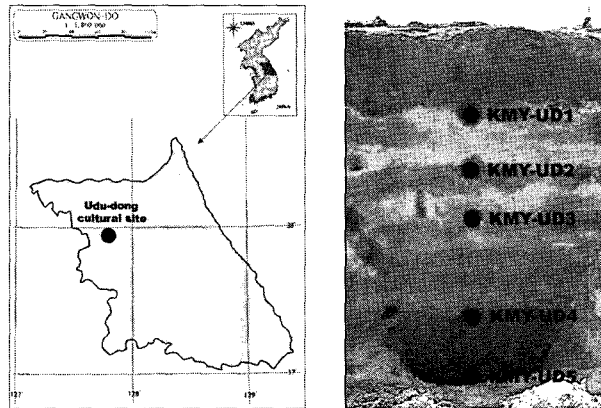


Fig. 1. 시료가 채취된 춘천 우두동 유적의 지리학적 위치와 표준 발굴 구덩이 단면에서의 시료 채취 위치.

2-2. 실험기기

모든 OSL 측정은 강원대학교 공동실험실습관에 설치된 자동화된 Riso TL/OSL 시스템(Riso TL/OSL-DA-15)에 의해 이루어졌다. 여기 열원으로는 선형적으로 온도가 증가되는 shaped Kanthal heater strip이 사용되었으며 시료의 장식 오염도를 측정하기 위하여 875nm의 파장을 가진 적외선 발광 다이오드(Nichia, Japan)가 사용되었다. OSL은 Hoya U-340 필터와 결합된 광전자 증배관(EMI 9635QA photomultiplier)으로 검출되었다. 검출기의 전기적 잡음(electric noise) 및 시간에 독립적인 루미네선스 신호(background signal)의 계수는 50 counts/sec 이하였다. 상온에서 시료에 조사되는 전리성 에너지는 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 베타선원으로부터 제공되었으며 시료가 받는 흡수선량율은 0.131 Gy/sec이다.

연간선량율(annual dose rate) 산출을 위한 주변 토양의 방사성동위원소 ^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K 의 농도(mg/kg)는 한국기초과학지원연구원 동위원소팀에 설치된 유도결합 플라즈마 질량분석기(ICP/MS: PQ3 model, Thermo Elemental Ltd.)와 유도결합 플라즈마 분광분석기(ICP/AES: SHIMADZU ICPS-1000III)에 의한 원소분석으로 구해졌다.

3. 결과

3-1. 시료의 물리적 특성

시료의 물리적 특성은 여기 광원의 세기를 선형적으로 증가시키며 루미네선스를 관측하는 방법인 LM-OSL(linear modulation OSL)⁸을 측정하여 조사하였다. LM-OSL 피크를 이용하면 광이온화 단면적(photoionization cross-section)이 서로 다른 트랩(trap)에서 나오는 신호를 시간에 따라 나타낼 수 있다. 이는 광이온화 단면적이 크면 클수록 포획된 전자의 detrapping 민감도가 높아지고 그 결과 bleaching이 빠르게 진행되므로 루미네선스 신호가 빠르게 감소하는 반면 광이온화 단면적이 작은 트랩은 긴 감쇄시간(decay time)을 갖기 때문이다.

일반적으로 LM-OSL 피크는 first-order kinetic의 선형 결합으로 구성되며 이 연구에서는 각각의 성분을 Levenberg-Marquardt 알고리즘을 이용한 비선형 최소자승법(non-linear least square method)을 적용하여 각각 fast, medium, slow 성분으로 분리하였다⁹.

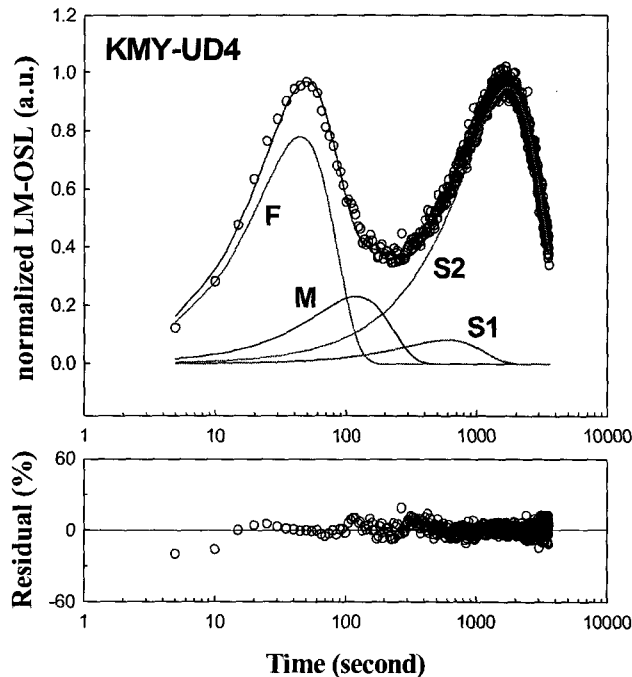


Fig. 2. LM-OSL을 이용한 광이온화 단면적에 따른 시료의 각 성분을 분해한 예.

3-2. OSL 연대산출

LM-OSL 측정을 통하여 각 시료의 성분을 분해한 결과 빛에 민감한 fast 성분의 신호가 대부분인 것으로 판단되었다(Fig. 2). 따라서 춘천 우두동 유적에서 채취된 시료는 OSL 연대측정에 적합한 시료임을 알 수 있었다.

춘천 우두동 유적에서 채취된 각 시료의 OSL 연대는 다음 식으로부터 산출되며 Table 1에 정리하였다.

$$Age (yr) = \frac{\text{자연축적선량}(Gy)}{\text{연간선량율}(Gy/yr)} \quad (\text{식. 1})$$

시료의 연대 결정을 위한 자연축적선량(equivalent dose)은 단일시료 재현법을 적용하여 산출되었다. 단일시료 재현법은 시료간의 규격화(normalization) 과정이 필요 없고 결정된 여러 자연축적선량 값의 통계처리를 통하여 신뢰도 높은 자연축적선량을 얻을 수 있으며 이를 바탕으로 시료의 절대연년을 판단할 수 있다는 장점이 있다. 이와 더불어 연간선량율은 자연축적선량과 함께 광 여기 루미네선스 연대를 결정하기 위한 필수 요소이며 시료채취 장소에서 토양을 채취한 후, 시료와 주변 토양 각각의 방사성 핵종 ^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K 등의 농도(mg/kg)를 구하고 변환인자(conversion factor)를 사용하여 계산한다¹⁰.

산출된 절대연대 측정치와 지표면으로부터 각 시료까지의 깊이를 이용하여 각 층의 퇴적 속도를 추정하였다(Table 1).

Table 1. 춘천 우두동 참빛아파트 부지내 유적(밭)의 표준 밭갈 구덩이에서 채취된 시료의 광 여기 루미네선스 연대측정 결과와 각 층들의 퇴적 속도.

Sample	Depth (cm, 1 σ SE)	Age (yrs AD, 1 σ SE)	Deposit rate (cm/yr, 1 σ SE)
GROUND	0	2004	
KMY-UD1 발경작층	55 \pm 5	1,450 \pm 50	0.10 \pm 0.01
KMY-UD2 발경작층	91 \pm 5	1,300 \pm 30	0.24 \pm 0.10
KMY-UD3 발경작층	120 \pm 5	1,150 \pm 40	0.19 \pm 0.08
KMY-UD4 발경작층	190 \pm 5	810 \pm 30	0.21 \pm 0.04
KMY-UD5 하상퇴적층	210 \pm 5	150 \pm 100	0.03 \pm 0.01

4. 결론

이 연구에서는 춘천 우두동 유적의 표준 발굴 구덩이에서 조사된 4개의 발경작층과 하부의 하상퇴적층으로부터 시료를 채취한 후 화학적으로 분리된 석영의 OSL를 측정하고 이를 연대측정에 응용하였다. 이 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, LM-OSL 측정을 통하여 각 시료의 성분을 분해한 결과 빛에 민감한 fast 성분의 신호가 대부분인 것으로 판단되었다. 따라서 춘천 우두동 유적에서 채취된 시료는 OSL 연대측정에 적합한 시료임을 알 수 있었다.

둘째, 연대측정 결과 각 시료는 모두 10%의 이내의 오차를 가졌으며 이는 물에 의해 운반되어 퇴적되는 과정에서 석영 시료들이 햇빛에 충분히 오랫동안 노출되고 더불어 선사인들의 인위적인 경작 과정을 통하여 절대연년이 충분히 이루어졌음을 의미한다.

셋째, 시료가 채취된 각 층의 지표면으로부터 깊이와 산출된 절대연대로부터 퇴적속도를 추정하였다. 이를 근거로 춘천 우두동 유적의 현재와 같은 환경은 적어도 AD 9세기 전기 이후에 형성되었으리라 추론 가능하다.

Reference

1. M. J. Aitken, "Thermoluminescence dating", Academic Press, London, 1985.
2. R. Chen, S. W. S. Mckeever, "Theory of thermoluminescence and related phenomena", World Scientific Publishing, Singapore, 1997.
3. D. J. Huntley, D. I. Godfrey-Simth and M. L. W. Thewalt, *Nature*, 313, 105-107 (1985).
4. A. S. Murray and A. G. Wintle, *Radiat. Meas.*, 32, 57-73 (2000).
5. D. G. Hong, S. B. Yi, R. B. Galloway T. Tsuboi and T. Hashimoto, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 247, 179-184 (2001).
6. M. J. Kim and D. G. Hong, *J. Conserv. Sci.*, 16, 5-14 (2004).
7. 강원문화재연구소, "춘천 우두동 참빛 아파트부지내 유적 시굴조사 지도위원회의 자료", 강원문화재연구소, 2004.
8. E. Bulur, *Radiat. Meas.*, 26, 701-709 (1996).
9. R.B. Hayes, E.H. Haskell, G.H. Kenner, *Ancient TL*, 16, 57-62 (1998).
10. K. S. V. Nambi and M. J. Aitken, *Archaeometry*, 28, 202-205 (1986).