

Pre-dose effect를 이용한 고고학 시료의 연대측정

김명진^{1,2}, 홍덕균^{2,*}

¹(재)충청매장문화재연구원, 충남 공주시 반포면 봉곡리 233, (우)314-923.

²강원대학교 물리학과, 강원도 춘천시 호자2동 192-1, (우)200-701

1. 서론

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

이 연구에서는 일반적인 단일시료 재현법을 적용하여 자연축적선량을 결정할 수 없었던 서천 추동리 문화유적의 기와가마⁷로부터 채취된 후 화학적으로 분리된 석영시료를 사용하여 열루미네선스를 측정하고 pre-dose 효과를 이용하여 시료의 연대를 산출하는 pre-dose 연대측정을 실시하였다. 또한 동일한 기와 가마 내에서 채취된 목탄에 대한 방사성탄소 연대측정을 실시하여 pre-dose 연대측정 결과의 정확성(accuracy)과 정밀성(precision)을 판단하였다.

2. Pre-dose 연대측정

Pre-dose 효과^{1,2}는 시료가 매장 기간 동안 흡수한 방사능 선량(Pre-dose)과 활성화 온도(activation temperature)까지의 열처리로 인하여 발생하는 110°C TL 피크의 민감도 변화(sensitivity change)를 의미한다. Fleming⁸은 석영에서의 110°C TL 피크의 민감도 변화에 착안하여 Pre-dose 연대측정법을 개발하였

다. 이 연구에서는 하나의 시료 디스크(aliquot)를 사용하여 반복적으로 열루미네선스를 측정 한 후 자연축적선량(equivalent dose)을 산출하는 MA(multiple activation)법⁹을 사용하였다. 그러므로 Pre-dose 연대측정에서 자연축적선량은 다음과 같이 계산되어진다.

$$ED(Gy) = \frac{S_N - S_0}{S_{N+\beta} - S'_N} \times \beta \quad (1)$$

식 (1)에서 $S_N - S_0$ 는 시료가 매장 기간 동안에 흡수한 Pre-dose에 의한 11 0°C TL 피크의 민감도 증가이며 $S_{N+\beta} - S'_N$ 은 방사 소광이 보정된 calibration dose β 에 의한 민감도 증가이다. Pre-dose 연대측정에서 시료의 연대는 다음 식으로부터 산출된다.

$$Age (yr) = \frac{\text{Equivalent dose (Gy)}}{\text{Annual dose rate (Gy/yr)}} \quad (2)$$

여기서, 자연축적선량은 식 (1)에서 측정된 시료의 Pre-dose 효과를 이용하여 산출된 값이며 연간선량을(Annual dose rate)은 시료와 시료가 채취된 장소의 토양으로부터 알파, 베타, 감마선 및 우주선량을 측정하여 얻어진다.

3. 실험기기

모든 열루미네선스의 측정은 강원대학교 공동실험실습관에 설치된 자동화된 Riso TL/OSL 시스템(Riso TL/OSL-DA-15)¹⁰에 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. 열루미네선스는 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 ⁹⁰Sr/⁹⁰Y 베타선원으로부터 제공되었으며 시료가 받는 흡수선량은 0.131 Gy/sec이다.

연간선량을 산출을 위한 기와가마 벽체 시료의 방사성 동위원소의 농도 계측은 한국기초과학지원연구원 동위원소팀에 설치된 감마선 분석기(GCW3523 - 7915-30 / ULB well-type HPGe detector, Canberra Ltd.)를 이용하여 구해

졌다.

4. 결론

이 연구에 사용된 서천 추동리 문화유적의 기와가마로부터 채취된 후 화학적으로 분리된 석영시료와 같이 자연 루미네선스가 극히 낮거나 recuperation 이 높을 경우 시료의 자연축적선량을 결정할 수 없으므로 일반적인 광 여기 루미네선스 연대측정은 불가능하다.

Table 3. Optical dating result of the archaeological sample, burnt soil from the root-tile kiln, at Chudong-Ri cultural site using the pre-dose effect¹.

Sample	Equivalent dose (Gy)	Total dose rate corrected (mGy/yr)	Age (kyrs, 1σ SD)	Radiocarbon age(yrs, 1 σ SD)	
				SNU03-873	SNU03-874
CMY-CD1 (burnt-soil)	1.28 ± 0.12	4.92 ± 0.08	1725 ± 25 AD	1640(22.2%)1680AD	1660(13.8%)1690AD
				1740(38.5%)1810AD	1730(45.3%)1810AD
				1930 (7.5%)1950AD	1930 (9.1%)1950AD

* Total dose rate is corrected for water content using the formula of Zimmerman and takes account for beta attenuation through the grains by a factor of 0.9. Cosmic ray contribution was considered as 0.15 mGy/yr.

Pre-dose 효과는 110°C TL 피크의 민감도가 매장 기간 동안 시료가 흡수한 Pre-dose에 의존하는 R 중심의 농도 변화와 활성화 온도까지의 열처리에 의해 변화되는 현상이며 이러한 pre-dose 효과를 이용하여 시료의 연대를 결정하는 경우 활성화온도(TAC)의 결정은 매우 중요한 부분이다. 시료의 활성화온도에 따른 110°C TL 피크의 민감도는 점차로 증가되다가 450°C에서 최대로 활성화되므로 이 연구에서는 활성화온도를 500°C로 결정하였다. 또한 자연축적선량을 구하기 위한 루미네선스의 합산은 루미네선스의 최대점, 방사 소광, 민감도 변화의 안정성 등을 모두 고려하여 85-105°C 영역으로 선택하였다. 최종적으로 산출된 시료의 연대를 Table 1에 정리하였으며 Pre-dose 연대측정 결과는 오차 범위 내에서 방사성탄소 연대측정 결과와 정확히 일치하고 Fig. 1과 같이 radiocarbon plateau에 포함된 방사성탄소 연대측정보다 높은 정밀도를 가짐을 알 수 있었다^{11,12,13}.

결론적으로 pre-dose 연대측정을 통하여 산출된 연대는 정밀도와 정확도의 높은 증가로 인하여 기원 이후의 고고학적 사건들에 대한 지시자로서의 역할이 가능하며 이후의 연구를 통하여 radiocarbon plateau 구간 내의 유물과 유구의 방사성탄소 연대를 보완할 수 있으리라 기대된다.

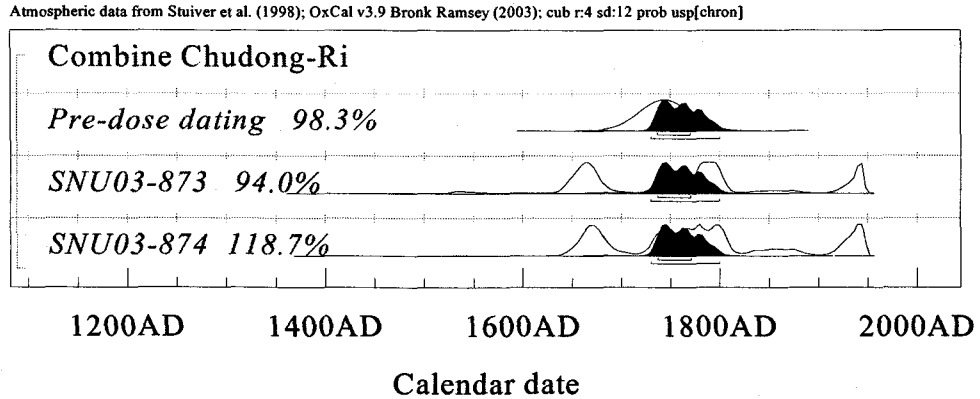


Fig. 1. Plot of the calibrated radiocarbon ages versus the age applied pre-dose dating methods from the No. 1 roof-tile kiln sample. All ages give a good agreement with each other and in the radiocarbon plateau, it was concluded that the pre-dose dating result gives the high precision compared with radiocarbon dating.

참고문헌

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. (재)충청문화재연구원, “서천-공주간 고속도로 건설공사 구간내 7-2지역 서천 추동리 유적”, (재)충청문화재연구원, 2003.
8. S. J. Fleming, *Archaeometry*, **15**, 13-30 (1973).
9. I. K. Bailiff, *PACT*, **9**, 219-225 (1983).
10. L. Botter-Jenson, E. Bulur, G. A. T. Duller and A. S. Murray, *Radiat. Meas.*, **32**, 523-528 (2000).
11. J. Zimmermann, *J. Phys. C: Sol. St.*, **4**, 3277-3291 (1971).
12. K. S. V. Nambi and M. J. Aitken, *Archaeometry*, **28**, 202-205 (1986).
13. J. R. Prescott and L. G. Stephan, *PACT*, **8**, 205-213 (1982).