

## 단일 시료 재현법에 의한 외편의 연대 측정

노희삼\* · 김수겸\* · 서만철\*\* · 홍사용\*

\*공주대학교 자연과학대학 응용물리학과

\*\*공주대학교 문화재비파괴진단연구실

### 요 약

본 연구는 단일 시료 재현법(SAR protocol)에 따른 충청남도 서천군 남산리 산성 터에서 발굴한 외편에 대하여 연대를 추정하였다. 외편에서 석영을 분리(90 - 150  $\mu\text{m}$ )하여 불산(HF)을 사용하여 표면을 10 % 정도 에칭하여 알파선원의 영향을 제거하였다. 외편의 자연축적선량(Paleodose)은 단일 시료 재현법으로 측정하고, 토양과 외편의 연간선량(dose rate)은 ICP 분석으로 계산한 값을 활용하여 외편의 연대를 계산하였다. 광 여기 루미네선스 연대 측정 결과 외편 6 개의 자연축적선량과 연간선량을 이용하여 연대를 추정하면 (733  $\pm$  50)AD에서 (1160  $\pm$  50)AD 사이의 것으로 추정되며, 오차의 범위는 10 % 이내로 나타났다.

**주요어:** 광학적 연대측정, OSL, SAR

**Heuisam Rho, Sugyum Kim, Mancheol Suh and Sayong Hong, 2001, Age dating of roof tiles using SAR protocol. Journal of the Korean Geophysical Society, v. 4, n. 2, p. 87-93**

**ABSTRACT:** The roof tiles excavated from the mountain fortress at Namsan-ri Seocheon-gun in Chungnam province were dated by using SAR protocol. Sample preparation was done with the quartz exclusion method. The paleodoses from 6 kinds of roof tiles were obtained from OSL measurements and the dose rates of the soil around the excavated roof tiles and the tile themselves were measured from ICP/MS and ICP/AES with the conversion table. From the evaluated paleodose and the dose rate, the age of the roof tiles were determined to be from (733  $\pm$  50)AD to (1160  $\pm$  50)AD and the error was less than 10 %.

**Key words:** Optical dating, OSL, SAR

(Heuisam Rho, Sugyum Kim, Sayong Hong, Department of Applied Physics, Kongju National University, E-mail: syhong@kongju.ac.kr, Mancheol Suh, Nondestructive Research Lab. Cultural Property, Kongju National University, Kongju, 314-701, Chungnam, Korea, e-mail: mcsuh@kongju.ac.kr)

### 1. 서 론

역사를 추적하기 위한 각종 유물 및 유적에 대한 고고학적 정보를 얻는 과정에서 정확한 연대를 밝혀내는 일은 매우 중요한 일이다(Shin, Park, 1999). 이러한 연대측정에는 여러 가지 방법이 이용되고 있다.

지층 연대 결정방법으로 층서법이나 형식학적 방법 등 상대 연대 결정 방법이 알려져 있었다(최성락, 1986). 유적의 절대 연대 결정에는 19세기 유럽에서는 지질 편년법인 빙하점도층편년법

등에 의해 추정되었고, 1901년 천문학자 A.E. Douglass에 의해 나무나이테를 이용한 연륜법이 개발되었다(이종선, 1977). 방사선 연대 측정은 1951년 W.F. Libby에 의해 연구된 방사성 탄소 연대 측정법이 유기물에 대하여 적용되었고(최성락, 1982), 역사적인 무기물에 대해서는 다양한 과학적 연대 결정법이 개발되어 적용되었다(Aitken, 1990).

결정형 부도체에서의 루미네선스 현상은 1663년 보일이 왕립학회에 발표한 다이아몬드의 루미네선스 현상에 대한 논문이었다. 그러나 빛의 강도가 매우 작았기 때문에 주목을 받지 못하였다. 이후

1940년대 광 증폭기(PMT: photomultiplier)의 발명으로 이러한 현상은 제조명되었다. 이러한 발광 현상을 연대측정에 응용할 수 있다는 사실이 1953년 Daniels, Boyd, Saunders에 의해 제시되었다(Daniels. *et al.*, 1953). 1960년 베를린 대학의 Grogler, Houtermans, Staufferrhl 캘리포니아의 Kennedy, Knopff에 의해 고대 도자기로부터 열 루미네선스(TL: thermoluminescence)현상이 처음 관측되었다. 곧이어 1960년대 옥스퍼드 대학의 Aitken에의 구체적인 열 루미네선스 방법이 정립되었다(Daniels *et al.*, 1953; Aitken *et al.*, 1964). 비슷한 시기에 일본의 Kyoto, 미국의 Mazess, Zimmerman, Ralph, Han, 덴마크의 Mejdahl 등도 비슷한 연구를 시작하였다.

고대 토기에 대한 열 루미네선스에 의한 연대 측정법으로 측정된 연대는 500년 이상으로 오차의 범위는 10% 정도였다(Aitken *et al.*, 1964). 그러나 몇 십년 단위에서 수 만년 사이의 무기물, 특히 비금속 지층이나 토기류, 도자기류에 대하여 신뢰성 있는 과학적 연대측정방법은 없는 편이다. 이런 점에서 광 여기 루미네선스 연대측정 방법의 개발은 큰 의미가 있다고 생각된다.

본격적인 광 여기 루미네선스 연대측정 방법의 적용은 비교적 최근의 일로 1985년 Huntley에 의한 광 여기 루미네선스(OSL: Optically Stimulated Luminescence)방법이 적용되었으나 측정의 정확성과 재현성의 문제로 인하여 연대측정에 폭 넓게 사용되지 못하였다(Huntley *et al.*, 1985). 그러나 Single aliquot regeneration added dose (SARA) protocol(Mejdahl, Bøtter-Jensen, 1997)과 1999년 Murray, Wintle 등에 의한 Single-aliquot regenerative-dose(SAR) protocol(Murray, Wintle, 1999)이 고안되어 본격적인 OSL 방법은 석영 추출방법과 결합되어 실험이 간단하고 정확한 방법으로 평가되고 있으며, 특히 SAR 방법은 SARA 방법을 개선하여 소량의 시료로도 실험이 가능한 연대측정 방법으로 각광을 받고 있다.

본 연구에서는 충청남도 서천군 남산리 산성터에서 출토된 와편에서 석영을 분리하여, Murray, Wintle에 의한 단일 시료 재현법에 의한 광 여기 루미네선스(OSL)방법의 절차에 따라 와편이 묻힌

연대를 추정하는 실험을 하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 실험 시료의 채취

본 연구에서 분석에 사용된 와편은 삼국시대부터 조선 세종 때까지 시대를 달리하면서 장기간 관아로 사용된 곳으로 추정되는 충청남도 서천군 남산리 남산성(영취산성)터에서 깊이 30 cm 이상에서 출토한 와편(Fig. 1)을 이용하였다(백제문화재발연구원, 1997).

분석에 사용된 와편은 출토할 당시 외부의 빛과 자외선에 의한 빛의 표백(bleaching)효과를 방지하기 위하여 심야에 적색 탐조등의 불빛만을 이용하여 채취하였으며, 수분에 의한 방사선량의 영향을 보정하기 위한 수분함량 측정을 위해 출토한 시료를 즉시 플라스틱 백에 넣고 밀봉하였다.

이 와편과 토양의 연간선량(annual dose rate)을 구하기 위한 절차로, 먼저 건조기를 이용하여 수분함량을 측정했으며, 이 와편에서 실험에 필요한 석영을 분리하는 절차를 실행하였다. 또한 토양은 자연축적선량(Paleodose)을 측정하기 위해 한국기초과학연구소의 방사선탐에 측정을 의뢰하여 Th, U, K의 함량을 분석하였다.

### 2.2. 석영의 분리

와편에서 석영의 분리는 Fleming에 의해 제안된 석영 분리 방법을 이용하였다(Fleming, 1973). 먼저 시료의 수분의 함량을 측정하기 위해 최초 질량을 측정 후 건조시킨다. 건조는 압실 내에 설치한 건조기에서 건조 온도는 시료의 시간에 독립적인 루미네선스 신호(back ground signal)에 영향을 주지 않게 하기 위해 50 °C로 고정하여 48 시간 이상 건조한 후 질량을 측정하였다.

석영을 분리하는 절차로 토양에서의 alpha선과 beta선의 기여, 외부 빛에 의한 효과 그리고 토양의 불순물을 제거하기 위해 와편의 표면을 2.3 mm 정도 절취해 버리고 남은 시료를 건조기에 넣어 건조한 후에 석영을 추출하는 절차를 거친다.

절차는 건조된 와편 시료를 막자사발에 넣고

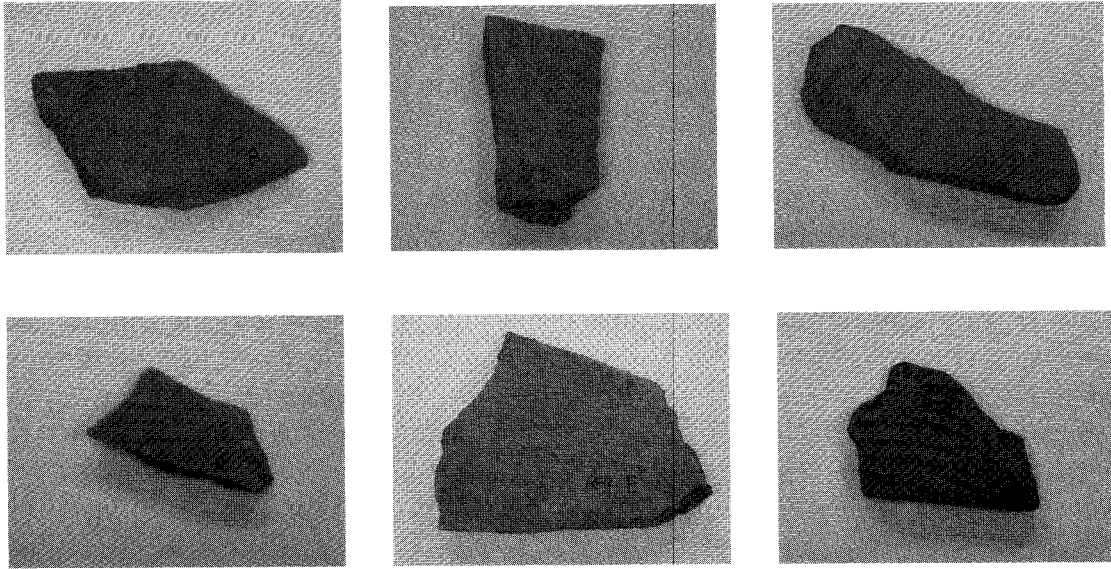


Fig. 1. 시료로 사용한 외편의 형태.

부드러운 압력을 주어 분쇄한다. 분쇄된 가루를 표준망체를 이중으로 이용하여 90~150  $\mu\text{m}$ 의 알갱이만을 골라낸다. 이것을 증류수에 넣고 4~5 차례 행구어 점토 성분을 제거한다. 다음 질차는 침전된 성분을 10%의 염산 용액에 24 시간 정도 담가서 방해석, 칼슘 성분 등의 불순물을 녹여 제거한다. 침전물을 증류수로 세척하여 염산 성분을 제거한다. 다음 단계로 유기물을 제거하기 위하여 10%의 과산화수소 용액으로 12 시간 정도 반응시킨 후 증류수로 3 번 정도 세척하여 과산화수소 성분을 제거한다. 침전된 알갱이를 10%의 불산(HF)용액을 부어 15 분 동안 반응시킨다. 이 반응은 진한 불산 처리를 위한 선행 반응이며, 이어서 추출한 석영결정의 표면에 대한 alpha선원의 영향을 배제하기 위한 에칭(etching)을 48~51%의 불산(concentrated 용액)으로 30 분간씩 각기 2 회 처리한다. 이 때 시간을 정확히 지켜야 하며, 1 회 처리할 때에는 1 시간을 정확하게 처리한다. 이때의 에칭 정도는 약 10%(10  $\mu\text{m}$  에칭)정도이다. 그리고 증류수로 3 번 처리하여 불산 성분을 제거한다. 이 알갱이를 적외선 파장 영역 빛 여기 루미네선스(IRSL: infrared-stimulated luminescence) 방법을 실시하여 신호가 없으면 장식 성분은 없는 시료이며(Hütt *et al.*, 1998), 신호가 있으면 불산

(concentrated 용액)처리를 5~15 분 정도 추가로 실시하여 장식 성분을 완전히 제거한다. 이렇게 추출된 시료는 불산 반응시 생성될 수 있는 불소 화합물을 제거하기 위하여 10%의 염산으로 45 분 정도를 반응시킨다. 최종적으로 침전된 성분을 증류수로 3 번 세척하여 염산 성분을 제거하고, 찬 공기를 쫓아 10 시간 정도 건조시킨다. 이때 건조기를 이용할 때에는 50  $^{\circ}\text{C}$  이내에서 건조한다. 이 과정을 통하여 얻어진 석영 알갱이를 실험에 적용한다.

### 3. 실험기기 및 광 여기 루미네선스의 측정

단일 시료 재현법은 자연 방사선량(natural dose)으로부터 광 여기 루미네선스 신호와 실험실 선량으로부터 신호를 비교하여 자연 방사선량의 크기를 결정하는 방법이다. 이 실험은 Riso TL/OSL (model TL/OSL-DA-15) detector로 sequence 파일을 구성한 후 작동한다.

절차는 (1) irradiation(처음에는 0 초 선택 : natural dose만을 PMT로 검출) (2) 260  $^{\circ}\text{C}$ 까지 10 초 동안 preheat한다(히터를 보호하기 위해 반드시 질소를 공급한다). (3) 125  $^{\circ}\text{C}$ 에서 100 초간 OSL 한다(blue diode light source 이용한다). (4) irradiation

test dose (고정한 양으로 natural dose의 10~30 %정도)를 beta-irradiator로 조사한다. (5) 125 °C에서 100 초간 OSL 한다(blue diode light source 이용한다). (6) 160 °C로 TL peak를 얻는다. 이 과정을 기본 틀로 하여 (1) 번의 irradiation 값을 (가) 예상되는 natural dose양 보다 적은 값, (나) 예상되는 natural dose양과 비슷한 값, (다) 예상되는 natural dose양 보다 큰 값, (라) irradiation을 1초간 멈추고 (마) 다시 예상되는 natural dose양 보다 적은 값을 적용하여 위의 (1)~(5) 과정을 반복한다.

이 방법이 타당성을 갖기 위한 선행 조건으로는 방사선에 의하여 전자가 trap을 채우는 비율이 자연 방사선량과 실험실 방사선량이 동일해야만 한다. 또한 OSL response(sensitivity)가 동일해야 하며, trap이 주어진 연대 동안 안정적이어야 한다.

실험기기는 Riso TL/OSL system(model TL/OSL-DA-15)으로 OSL의 절차에 따른 sequence 파일은 예상되는 연대를 추정 구성한 후 추출된 석영 시료를 스텐레스-스틸 캡(직경 10 mm)에는 약 20 mg 정도의 석영을 넣은 aliquot 3 개를 기기에 넣어 선행 실험을 하여 추정연대를 예비로 계산한다. 그리고 sequence 파일을 수정하여 aliquot 12 개를 1 개조로 하여 system에 장착하여 실험한다.

본 실험의 자극 광원은 high-power blue diodes (470 ± 30 nm)이고, filter는 Schott GG-420 장착되어 있다(Bøtter-Jensen *et al.*, 1999). detection filter는 U-340이고, PMT는 bialkali PMT튜브 EMI 9235형이다. 장착된 beta 방사선원은 <sup>90</sup>Sr(40 mCi)이다. 시료를 irradiation 하기 위한 beta 선원의 세기는 0.0134 Gy/s로 고정 조사하였다.

#### 4. 연대 결정방법

전자가 생존시간이 긴 준위에 일단 구속되면 외부에서 충분한 에너지가 주어지기 전에는 그 준위에 그대로 머무르게 된다. 외부에서 일정한 세기의 방사선을 이와 같은 물질에 쬐여주면 방사선에 의해 전자는 높은 에너지 상태로 들뜨게 되

며, 조사된 방사선 양에 비례하여 구속되는 전자의 수는 증가한다. 따라서 저장된 전자의 수를 측정하면 조사된 방사선의 양을 역으로 추정할 수 있다. 방사선이 조사된 물질을 열이나 빛으로 자극하면 물체는 빛을 방출하며 방출된 빛의 크기는 저장된 전자의 수에 비례한다. 따라서 방출된 빛의 크기로부터 조사된 방사능의 양을 역산할 수 있다. 실제로 조사된 방사능 양을 추산하기 위해서는 한 가지 과정이 더 필요하다. 조사된 방사선에 의해 들뜨는 전자의 비율을 사전에 알 수 없기 때문에 조사율을 정확히 아는 표준 방사선원 시료에 조사하여 그 결과를 모르는 방사선량과 비교해야 한다.

도자기류에는 석영과 장석 등의 결정형 부도체가 포함되어 있으며 이러한 물질은 빛을 저장할 수 있는 안정된 전자 준위가 존재한다. 도자기류는 제조 특성상 고열로 처리되었기 때문에 초기에 trap된 전자수를 영으로 가정할 수 있다. 이러한 유물이 땅속에 묻힌 후 토양과 대기중의 천연 방사선이 일정한 양으로 조사됨에 따라, 유물에 조사되는 전체 방사선량은 시간에 비례하게 된다. 이러한 유물을 출토한 후 TL/OSL 방법으로 발생하는 빛의 양을 측정하면 조사된 총 자연 축적선량(Paleodose)의 측정이 가능하며 이를 발굴된 환경으로부터 얻어지는 연간선량(Dose rate=토양의  $\gamma$  선량 + 외편의  $\beta$  선량의 90% + 우주선량의 효과)으로 나누어주면 유물의 연대를 계산할 수 있다(Aitken, 1998).

$$\text{Age(ka)} = \frac{\text{Paleodose (Gy)}}{0.9 D_{\beta} + D_{\gamma} + D_c \text{ (Gy/ka)}}$$

### 5. 결과 및 고찰

#### 5.1. 외편의 자연축적선량의 측정

단일 시료 재현법에 의한 외편의 자연축적선량(Paleodose)의 측정은 자동화된 OSL System을 이용한다. 발굴된 6 개의 외편 시료에서 시료당 각각 약 20 mg의 추출 석영을 갖는 12 개의 aliquot를 1 개조로 하여 system에 장착했다. 이 측정결과를 활용하여 자연축적선량 계산하고, 연대를 계산한다.

5.2. 토양과 외편의 연간 받은 방사선량 계산

출토된 외편과 주변의 토양을 가지고, 연간 받은 방사선량을 구하기 위하여 수분함량을 측정된 후 건조된 토양과 외편을 한국기초과학지원연구소 동위원소분석팀에 성분 분석을 의뢰하였다. 성분 분석에 사용된 장비는 ICP/AES(SHIMADZ, ICPS-1000III model)와 ICP/MS(PQ3 model, Thermo Elemental)의 원소분석기기로 Th, U, K 함량을 측정하여 계산하였다. 그 결과는 Table 1 과 같다. Table 2는 방사성 원소의 농도에 따른

방사선량에의 기여를 환산하는 전환 상수이다. Table 을 이용하여 출토지의 토양과 외편에 대한 고고학적 방사선량을 계산하는 데, 수분의 영향과 우주선(cosmic ray)효과 0.18 Gy/ka을 고려하여 보정하면

$$\text{dose rate} = (2.053 \pm 0.13) \text{ Gy/ka} \times 0.9 + (3.441 \pm 0.10) \text{ Gy/ka} + 0.18 \text{ Gy/ka}$$

하면 (5.469 ± 0.27) Gy/ka 값을 얻었다. 그 계산

Table 1. 토양과 외편의 성분 분석 결과.

구 분	Th(μg/g)		U(μg/g)		K( %)		수분함량 ( % )
	Mean	std	Mean	std	Mean	std	
토 양	46.3	1.0	7.0	0.3	3.32	0.06	14.6
외당 A	16.6	1.1	3.6	0.3	1.84	0.03	15.2
외당 B	15.5	0.9	3.4	0.4	1.78	0.00	15.2
외당 C	13.0	0.9	3.25	0.3	2.59	0.03	17.0
외당 D	17.0	1.1	3.42	0.3	2.06	0.00	13.5
외당 E	18.4	1.1	3.42	0.3	1.84	0.00	19.7
외당 F	15.1	0.9	3.05	0.3	1.95	0.00	19.4

Table 2. Dose rate for radioactive elements(Nambi and Aitken 1986).

구 분	농 도	Dose rate (mGy/a)		
		Alpha	Beta	Gamma
U	1 μg/g	2.781	0.147	0.1136
Th	1 μg/g	0.739	0.0286	0.0521
K	1%		0.8140	0.243
Rb	100 μg/g		0.0486	

Table 3. 토양의 연간선량.

wet content	K(Gy/ka)	Rb(Gy/ka)	Th(Gy/ka)	U(Gy/ka)	sum(Gy/ka)	wet_atten	eff_dose
0.146	3.320±0.06 (μg/g)	0	46.300±1.0 (μg/g)	7.000±0.3 (μg/g)			
alpha	0.000	0	34.216	19.467	53.683	1.219	44.038
beta	2.596	0	1.324	1.029	4.949	1.183	4.186
gamma	0.807	0	2.412	0.795	4.014	1.166	3.441 ± 0.10

**Table 4.** 외편A의 연간선량.

wet content	K(Gy/ka)	Rb(Gy/ka)	Th(Gy/ka)	U(Gy/ka)	sum(Gy/ka)	wet_atten	eff_dose
0.152	1.840 ± 0.03 (µg/g)	0	16.600 ± 1.1 (µg/g)	3.600 ± 0.3 (µg/g)			
alpha	0.000	0	12.267	10.012	22.279	1.228	18.143
beta	1.439	0	0.475	0.529	2.443	1.190	2.053 ± 0.13
gamma	0.447	0	0.865	0.409	1.721	1.173	1.467

**Table 5.** OSL dating 결과.

sample	sample 수 (개)	외편의 paleodose (Gy)	dose rate (Gy/ka)	Age(yr)
외편 A	격자문	12	6.05 ± 0.26	5.469 ± 0.27 (894 ± 50)AD
외편 B	선문	10	5.27 ± 0.30	5.387 ± 0.27 (1022 ± 71)AD
외편 C	태선문	12	4.93 ± 0.26	5.755 ± 0.27 (1160 ± 50)AD
외편 D	태선문	12	6.61 ± 0.26	5.623 ± 0.27 (733 ± 50)AD
외편 E	선문	12	6.06 ± 0.26	5.404 ± 0.27 (833 ± 50)AD
외편 F	태선문	12	5.47 ± 0.26	5.364 ± 0.27 (988 ± 50)AD

절차는 Table 3, 4 와 같다. 각 외편에 대하여 계산된 값은 Table 5 에 정리하였다. 토양의 연간선량은 다른 지역보다 비교적 높은 값으로 나타났다(Shin *et al.*, 1999; Murray *et al.*, 1987).

### 5.3. 외편의 연대 추정

외편 A 에 대한 자연축적선량을 Riso 연구소의 분석방법을 이용하여 계산하면 6.05 ± 0.26 Gy로 나타났으며, 연간선량의 계산은 토양의 gamma 효과 3.441 Gy/ka, 외편의 beta 효과 2.053 Gy/ka에서 에칭에 의한 효과를 보정하여 90 %를 취하고, cosmic 효과 0.18 Gy/ka을 합하여 5.469 ± 0.27 Gy/ka로 계산되었다. 이 값을 이용하여 외편 A 의 연대를 추정하면 (6.05 ± 0.26)Gy/(5.469 ± 0.27) Gy/ka하여 (1106 ± 50)년 전으로 계산되기 때문에 시대를 추정해보면 (894 ± 50)AD로 통일 신라시대의 것으로 추정되며, 나머지 외편의 추정 연대를 Table 5 에 정리하였다.

각 외편 6 개의 연대를 추정한 결과는(733 ± 50) AD에서 (1160 ± 50)AD 사이의 것으로 판단되며, 오차의 범위는 10 %이내로 비교적 정확도가 있는 것으로 여겨진다. 그러나 외편의 경우 상당기간을 지붕 위에 있었을 것으로 추정되고, 땅속에 묻힐 당시의 상황을 정확히 알 수 없다는 문제점을 가지고 있다.

## 6. 결 론

본 연구를 통하여 출토한 외편에 대하여 광 여기 루미네선스 방법에 의한 고고학적 절대연대를 결정하여 보았다. 외편에 대하여 간단한 화학적 처리 방법을 이용하여 점토질 속의 석영을 효과적으로 분리(90 - 150 µm)하였고, 불산을 사용하여 표면을 10 - 20 µm 정도를 에칭함으로써 Alpha선 원에 의한 영향을 배제하였다. 광 여기 루미네선스 방법에 의한 자연축적선량의 계산은 Riso 연구소의 방법을 이용하였고, 출토된 외편과 주변의 토양을 가지고, 연간 받은 방사선량을 구하기 위하여 수분함량을 측정한 후 건조된 토양과 외편을 한국기초과학지원연구소 동위원소분석팀에 의뢰하여 ICP/MS와 ICP/AES를 이용한 성분분석(Th, U, K)으로 계산한 연간선량을 계산하였다. 그 결과는 토양과 외편의 수분함량은 약 13.5 %~19.7 % 정도로 나타났으며, 토양의 연간선량의 gamma 영역은 (3.44 ± 0.10)Gy/ka 이었고, 외편 A의 연간선량의 beta 영역은 (2.053 ± 0.13)Gy/ka이었고, cosmic 효과를 0.18 Gy/ka이라면, 연간선량은 5.47 ± 0.27 Gy/ka이었다. 또한 외편 A에 대한 자연축적선량은 6.05 ± 0.26 Gy로 나타났다. 외편 A의 연대를 추정하면 (6.05 ± 0.26)Gy/(5.47 ± 0.27)Gy/ka하면 (1106 ± 50)년전으로 시대를 추정해보면 (894 ± 50)

AD로 나타났다.

출토한 외편의 추정연대는 Table 5를 참조하면 통일신라말기부터 고려초에 묻힌 것으로 추정된다.

시대추정의 오차의 범위는 10% 이내로 나타났다. 그런데 외당의 경우 상당기간을 지붕 위에 있었을 것으로 추정되며, 지중에 묻힐 당시의 상황을 정확히 알 수 없다는 문제점을 가지고 있다. 또 같은 시료를 이용한 다른 연대측정 방법으로서의 연대를 측정하여 비교하지 못한 점은 추정 연대의 신뢰성을 떨어뜨리는 요인이 될 수 있으나 본 기기를 이용하여 유물의 연대를 작은 오차 범위 내에서 추정할 점은 고무적인 일이라 생각되어진다.

시료에서 석영을 추출하는 방법을 보다 더 정밀하게 할 수 있는 기술의 습득과 연간선량 계산에서의 성분분석의 신뢰도 등 몇 가지를 보완하고 향상시키면, 신뢰성을 높일 수 있을 것이며, 보다 체계적인 연구의 진행이 필요하다고 하겠다.

## 사 사

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실 사업으로 지원된 공주대학교 문화재비파괴진단연구실의 지원을 받았음을 명기하며 이에 감사한다.

## 참고문헌

H.S. Shin, B. B. Park. (1999). Dating of Pottery Shards by Thermoluminescence Dosimetry.  
 최성락.(1986) “상대연대결정법의 종합고찰”. “영남고고학”. 2.  
 이종선.(1977) “연대결정법”. “교양으로서의 고고학”(임효재 · 이종선 편). 서울대 고고학과.  
 최성락. (1982) “방사성탄소측정년대 문제의 검토”. “한국고고학보”. 13.  
 Aitken. M. J.,(1990). *Science-based dating in archaeology*. longman, London.  
 Daniels. F., Boyd, C. A. and Saunders. D. F. (1953) Thermoluminescence as a research tool. *Science*, 117, 343-349.

Aitken. M. J., Tite, M. S. and Reid. J.(1964) Thermoluminescent dating of ancient ceramics. *Nature* 202, 1032-1033.  
 Aitken. M. J., Zimmerman, D. W. and Flemings, S. J.(1968a) Thermoluminescent dating of ancient pottery. *Nature* 219, 442-444.  
 Huntley. D. J., Godfrey-Smith. D. I. and Thewalt. M. L. W. (1985) Optical dating of sediments. *Nature* 313, 105-107.  
 Mejdahl, V. and Bøtter-Jensen, L. (1997) Experience with the SARA method. *Radiat. Meas.* 27, 291-294.  
 Murray, A. S. and Wintle. A. G. (1999) Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiat. Meas.* 32, 57-73.  
 백제문화개발연구원. (1997). “충남지역의 문화유적” 제10집-서천.  
 S.J. Fleming. (1973). The pre-dose technique : a new thermoluminescence dating method. *Archaeometry*. 15. 13-30.  
 Hütt. G., Jaek. I. and Tchonka. J. (1998) Optical dating: K-feldspars optical response stimulation spectra. *Quat. Sci. Rev.* 7, 381-386.  
 Bøtter-Jensen, L., Banerjee, D., Duller, G.A.T., Murray, A.S., (1999). Blue light emitting diodes for optical stimulation of quartz in retrospective dosimetry and dating. *radiation Protection Dosimetry* 84, 335-340.  
 Aitken. M. J.,(1998). *An Introduction to Optical Dating*. Oxford University. pp.37-47.  
 Günther A. Wagner. Age Determination of Young Rocks and Artifacts. *Physical and Chemical Clocks in Quaternary Geology and Archaeology*. With 177 Figures. Springer. p233.  
 Günther A. Wagner. Age Determination of Young Rocks and Artifacts. *Physical and Chemical Clocks in Quaternary Geology and Archaeology*. Springer.  
 H.S. Shin, C.W. Lee, Y.M. Nam, K.Y. Gee, B.B. Park and S.N. Choi.(1999). Method for thermoluminescence dating of pottery. *23th The Korean Society of Analytical Science*. COEX. Seoul.  
 A.S. Murray, R. Marten, A. Johnston, P. Martin.(1987). Analysis For Naturally Occuring Radionuclides At environmental concentrations by gamma spectrometry. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles*, Vol 115, No.2 263-288.

---

2001년 9월 1일 원고접수  
 2001년 12월 20일 원고채택