

강릉 강문동 유적의 절대연대측정

- 방사성탄소연대 및 열발광연대 -

강형태*, 정광용

국립중앙박물관 보존과학실 · 한국전통문화학교 보존과학과

Absolute Age Determination of Gangmun-dong Sites

Gangneung, Gangwon-Do

- Radiocarbon and Thermoluminescence Dating -

Hyung Tae Kang and Kwang Yong Chung

Conservation Science Laboratory The National Museum of Korea

Department of Conservation Science, The Korean National University of Cultural Heritage

I. 머리말

강원도 강릉시 강문동 134번지에 위치하는 저습지 유적에서 인공유물로서 절구공이, 떡메, 팽이자루, 주걱, 망태기 등 목재류가 다량 출토되었는데 대부분 용기류와 공구류이며 생선뼈, 패각류 등과 함께 철기시대 경질무문토기, 타날문토기, 신라시대의 각종 토기류가 출토되었다(지현병 2000). 이러한 유물들은 경포호 주변의 습지유적으로서 당시의 생활상과 주변 자연환경연구에 귀중한 자료를 제공할 것으로 기대된다.

이러한 고고학적 유물들의 연구를 통하여 당시의 생활상 및 자연환경을 이해하기 위해서는 정확한 연대가 그 밑바탕이 된다. 따라서 유물의 고고학적 편년과 함께 자연과학적 방법에 의한 유물의 연대측정 결과를 제시하는 것이 중요하다.

본 연구를 위하여 강문동 저습지에서 출토된 유기물로서 목재 및 패각 시료 3점, 토기 시료 2점을 입수하였다. 각 유기물 시료의 방사성탄소 함량을 측정하여 방사성탄소연대(BP yr)를 계산하였다. 실연대(AD/BC)교정은 국제적으로 사용하고 있는 고정밀교정곡선(High precision calibration curve)을 전산화한 프로그램(Stuiver and Pearson 1993: 1-33)을 사용하였다.

토기의 열발광 측정은 토기 시료에서 추출한 석영입자(90~150 μ m)를 사용하는 조립자법(Quartz inclusion method)(Aitken 1985)을 채용하였다. 토기 시료의 열발광량으

로 부터 토기가 매장 기간 중에 받은 총방사선량을 결정하였고, 토기 및 토양 각각의 알파선량을 측정, 산화칼륨(%K₂O) 함량분석 그리고 수분함량을 측정하여 연간선량을 계산하였다. 시료가 받는 총방사선량을 연간선량으로 나누어 토기의 열발광연대를 계산하였다.

II. 방사성탄소연대측정

강문동 유적의 각 시료에 대하여 시료전처리, 벤젠합성 및 액체섬광계측 과정을 수행하였다. 그리고 방사성탄소연대를 계산하기 위한 내용은 아래와 같다. 방사성탄소연대는 아래 식(1)을 사용하여 계산한다.

$$t(\text{year}) = 8033 \ln(A_0/A) \text{ ----- (1)}$$

이때 반감기는 Libby의 반감기인 5,568년을 사용하는 것이 국제적 관례이다. 여기서 A₀는 옥살산(NIST Oxalate SRM4990C)의 알짜 계수율(net count rate)을 -25%로 표준화한 값에 0.7459배를 곱해 주어 AD 1,950년의 기준 값으로 환산한 계수율이다. 그리고 A는 시료의 알짜 계수율이다. 표준시료인 옥살산의 계수율(A₀)과 시료의 계수율(A)을 구하고 위의 식 (1)로 부터 계산한 방사성탄소연대(BP yr) 결과를 Table 1에 함께 나타내었다.

방사성탄소연대(BP yr)로부터 실연대(AD/BC)교정(Stuiver and Pearson 1993; Stuiver and Kra 1986)은 전 세계가 공용으로 사용하고 있는 고정밀교정곡선(High precision calibration curve)을 전산화한 프로그램(CALIB. rev. 3.0.3, 1993)을 사용하였다.

Table 1. 강문동유적의 방사성탄소연대 및 교정연대

Sample No.	1. Sites	Item	¹⁴ C Age (BPyr±1σ)	Calibrated AD/BC Yr	Calibrated Age (±1σ)	Calibrated Age (±2σ)
Kcp 360	모래층 4-1층(지표하 1.0m)	패각	1860±50	AD139	AD120~230AD	AD 60~320AD
Kcp 367	니토층 No. 1(지표하 1.3m)	목재	2160±50	BC188	BC350~ 90BC	BC360~ 50BC
Kcp 368	모래층 No. 2(지표하 1.6m)	목재	2210±50	BC315	BC360~200BC	BC390~140BC

Table 1에서는 방사성탄소연대(BP yr)에 대응하는 실연대(Calibrated AD/BC yr)를 오른쪽 칼럼에 삽입하여 참고하도록 하였다. 그리고 다음 컬럼에는 ± 1 편차($\pm 1\sigma$)에 범위에 해당하는 실연대범위(Calibrated age)를 삽입하였는데 이는 참연대가 들어올 확률은 68%이다. 또 다음 컬럼에는 ± 2 편차($\pm 2\sigma$)에 범위에 해당하는 실연대범위(Calibrated age)인데 이는 참연대가 들어올 확률이 95%이라는 것을 의미한다.

Table 1에서 보는 바와 같이 강문동 유적의 연대는 회갈색 모래층 패각의 연대는 기원 후 2~3세기로 나타났으며, 흑회색층(지표에서 1.3m) 및 회갈색층(지표에서 1.6m)의 목재는 기원 전 4~2세기 범위의 연대임을 알 수 있다.

III. 열발광연대측정

열발광연대측정법은 측정 시료로서 사용되는 입자의 종류 및 크기에 따라 조립자법(Quartz inclusion method) 또는 미립자법(Fine grain method) 등으로 나뉜다. 본 연구에서는 강문동 유적에서 출토된 토기 2점의 열발광연대를 측정하기 위해서 조립자법을 채용하였다.

본 연구를 위하여 강문동 유적에서 출토된 토기의 시료 번호 및 유적 위치를 Table 2에 함께 나타내었다.

조립자법의 경우 석영 알갱이가 받은 자연방사선은 태토층의 방사성원소에서 방출되는 베타선과 감마선, 주위의 흙에 포함되어 있던 방사성원소에서 방출되는 감마선, 그리고 우주선이다. 조립자법의 연대측정식은 다음 식(2)와 같이 표현된다. 여기서 D 는 각 방사선의 연간선량이며 c 는 우주선이다.

$$\text{연대(Age)} = \frac{\text{고고선량(Palaeodose)}}{0.90D_{\beta} + D_{\gamma} + D_c} \text{ ----- (2)}$$

1. 고고선량(Palaeodose)

1차 열발광 : 12개 디스크는 석영알갱이 시료의 자연열발광량(Natural TL)을 측정하기 위한 것이다. 나머지 12개는 Sr-90 베타선원(0.0808 Gy/sec)이 들어있는 조사장치(801 Multiple irradiator, Daybreak Co., USA)를 사용하여 부가선량법(Additive

dose method)으로 4개 디스크를 한 셋트로 하여 세 셋트를 각각 80초, 160초, 240초 간 조사하였다. 이들 24개 디스크를 열발광읽개(Model 1100 TL System, Daybreak Co., USA)의 가열판 위에 올려놓았다. 열발광읽개를 진공상태로 해준 상태에서 아르곤가스를 계속 흘려주면서 200℃에서 30초간 예열(Preheating)한 다음 10℃/sec의 속도로 500℃까지 가열하여 각 시료의 열발광량 및 백그라운드를 얻었다.

본 연구에서는 프레토, 320~370℃의 온도 범위를 선정하였다. 위 온도범위에서 24개 디스크의 열발광량을 석영알갱이 무게로 나누어 표준화(Normalization)된 열발광량으로 부터 시료의 등가방사선량(Equivalent Dose), Q를 구하였다.

2차 열발광 : 위의 1차 열발광에서 자연열발광(Natural TL)의 측정에 사용하였던 12개의 디스크를 세 셋트로 나누어 Sr-90 베타선원(0.0808 Gy/sec)으로 다시 80초, 160초, 240초, 320초간 조사하고 표준화된 열발광량으로 부터 시료의 방사선량을 계산하였다. 위와 동일한 온도 범위, 320~370℃에서 방사선량 I를 계산하는데 이는 1차 열발광곡선의 supralinearity를 보정한 값이 된다.

Table 2. 강문동 출토 토기의 고고선량(Palaeodose : $P = Q + I$)

Sample no.	Sites	Plateau(℃)	Palaeodose	
			Q(Gy)	+ I(Gy)
KCP99TLQi 16-1-B	강문동 흑회색 니토층	310~380	5.23±0.45	3.54±0.35
KCP99TLQi 17	강문동 회갈색 모래층	310~370	4.38±0.68	1.86±0.58

본 토기 시료의 1차 열발광곡선과 2차 열발광곡선에 대한 방사선량 Q값 및 I값 그리고 고고선량, P를 계산한 결과는 각각 8.77, 6.24 Gy이었다.

2. 연간선량(Annual Dose)

조립자법에서는 불산으로 처리한 석영알갱이를 사용하므로 알파선의 영향은 무시할 수 있다. 따라서 석영알갱이가 받은 자연방사선은 태토층에 방사성원소(우라늄, 토륨, 칼륨)에서 방출되는 베타선과 감마선, 매장 토양에 포함된 방사성원소(우라늄, 토륨, 칼륨)에서 방출되는 감마선, 그리고 우주선이다. 우주선에 의한 연간선량은^{6,12} 0.15

mGy/a를 사용하고 있다.

토기가 받은 실제 방사선량을 계산하기 위해서 매장되어 있을 때 토기와 토양이 함유하고 있는 수분에 의한 방사선 흡수효과를 고려해 주어야 한다.

년간선량을 계산하기 위한 강문동 토기 및 토양시료 각각의 알파계수율, K₂O %함량 및 수분함량을 Table 3에 함께 나타내었다.

Table 3. 강문동 토기 및 토양 각각의 알파계수율, K₂O 및 수분함량

Sample no.	Sites	Sample	α_0^*	K ₂ O(%)	Water(%)
KCP99TLQi 16-1	강문동 흑회색 니토층	Pottery	0.824	4.70	10.93
		Soil	0.484	2.77	77.11
KCP99TLQi 17	강문동 회갈색 모래층	Pottery	0.791	2.40	12.03
		Soil	0.296	2.80	27.89

* 알파계수율, $\alpha_0 = \text{cnts/ks/cm}^2$

여기서 W는 시료의 포화흡수율(%), W₁은 토양의 수분함량(%)이다. F는 매장기간 중 평균 수분흡수 분율(Fractional uptake of water)로서 극한 조건이 아닌 경우에 대부분 F=(0.8±0.2)를 사용하고 있다.

$$D_{\beta, \text{tile}} = \frac{(D_{\beta})_{\text{dry}}}{1+1.25FW} \quad D_{\nu, \text{soil}} = \frac{(D_{\nu})_{\text{dry}}}{1+1.14FW_1} \quad D_{\text{cosmic}} = 0.15 \text{ mGy/a}$$

Table 4. 강문동 토기의 고고선량, 연간선량 및 열발광연대

Sample no.	Palaeodose(Gy)		Annual dose (mGy/a)			TL age (yrs. BP)*	AD/BC age
	Q	I	D _β	D _ν	D _c		
KCP99TLQi 16-1	5.23	3.54	3.197	0.706	0.15	2167±290	BC 168±290
KCP99TLQi 17	4.38	1.86	1.882	0.786	0.15	2212±438	BC 213±438

* 열발광연대에서 BP yr는 측정연도, 즉 1999년을 기준으로 함

따라서 위에서 계산된 각 방사선의 고고선량과 연간선량으로 시료의 연대를 식(2)로부터 계산할 수 있으며 그 결과를 Table 4 나타내었다. 열발광연대에서 yrs. BP는 시료의 열발광량을 측정된 시점을 기준으로 하므로 측정년도인 1999년을 빼주면 실제 연대를 구할 수 있다. 여기서 강문동 흑회색 니토층(16-1)의 토기는 2167 BP yr. 이므로 실연대로 전환하면 중심연대가 기원전 170년이며 이때의 오차는 13%로서 다소 오차가 크다 할 수 있다. 강문동 회갈색 모래층(17)은 2212 BP yr. 로서 실연대는 기원전 210년이고 오차는 약 20%로서 매우 크다.

IV. 맺음말

강문동 저습지유적에서 출토된 3점의 유기물 시료(목재 및 패각)에 대하여 방사성 탄소연대를 측정하였고 토기 편 2점에 대해서는 열발광연대를 측정하였다.

방사성탄소연대 : 강문동 저습지유적의 목재 및 패각 시료 3점의 교정연대를 살펴 보면 회갈색 모래층 패각 시료의 연대 범위는 기원후 1~4세기(AD 60~320)이며, 흑회색 니토층 및 회갈색 모래층의 목재 시료는 모두 유사하게도 기원전 4~2세기(BC 360~50, BC 390~140)의 연대 범위를 나타내었다.

열발광연대 : 강문동 유적 입수한 토기의 중심연대는 각각 BC 170 yr 및 BC 210 yr로서 동일 지점에서의 방사성탄소연대 BC 360~50 BC 및 BC 390~140 BC에 포함되어 있음을 알 수 있다. 따라서 동일지역에서 출토된 목재, 패각 및 토기의 연대가 서로 잘 일치하고 있어 신뢰성이 높은 절대연대측정 결과를 얻어졌음을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. 지현병, 2000. 강릉 강문동 저습지유적, 전국역사학대회
2. 전영수, 1989. 「질그릇의 연대측정에서 열형광법의 응용」, 『조선고고학연구』(사회과학 출판사) 2: 46-48.
3. Aitken, M. J. 1990. *Science-based dating in archaeology* (Singapore: Longman archaeology series) 141-185.
4. Aitken, M. J. 1985. *Thermoluminescence Dating* (Orlando:Academic press) 17-39

5. Nagatomo T., 1991. Thermoluminescence Dating of Earthenwares and other related materials, *Japanese Antiques and Art Crafts* 29: 111-120.
6. Polach H. A. and Gupta S. K., Radiocarbon Dating at ANU, Australia ANU Printing Service, p100-105, 1985
7. Polach H. A., Radiocarbon Vol.29, No.1, 1-11,1987
8. Parkes, P. A. 1986. *Current scientific techniques in archaeology* (Great Britain: Mackays of Chatham Ltd) 36-60.
9. Prescott, J. R. and Hutton, J. T. 1994. Cosmic ray contribution to dose rates for luminescence and ESR dating: large depths and long-term time variations. *Radiation Measurements* 23: 2/3, 497-500.
10. Stuiver M. and Kra R., Proc. 12th Int. Radiocarbon Conf. , Radiocarbon, Vol 28, No. 2B, 1986
11. Stuiver M and Pearson G. W., Radiocarbon Vol. 35, No 1, 1993, p1-33
12. Taylor R. E., Radiocarbon Dating an Archaeological Perspective, Academic Press, p71-75, 1987

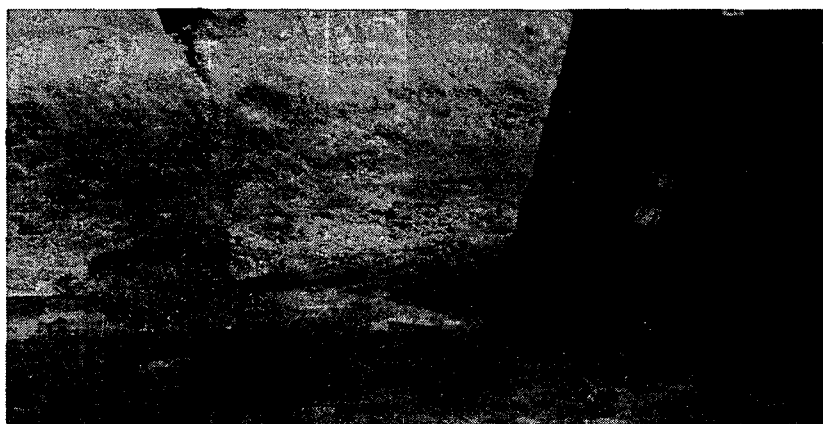


Photo. 1 강문동 회갈색 모래층 4-1층(지표하 1.0m)출토 패각층 모습



Photo. 2 강문동 흑회색 니토층 No.1(지표하 1.3m)의 모습