

진주 장흥리 와요지 유적의 절대편년연구

The Study of Absolute Dating on Jinju Janghungri Kiln site.

李賢珠 · 金大雄¹⁾ · 洪鍾旭 · 沈一雲²⁾

Hyeon Ju Yi, Dae Wung Kim¹⁾, Jong Ouk Hong and Il Wun Shim²⁾

< ABSTRACT >

This study carried out to understand thermoluminescence dating of ancient tiles at Jinju Janghungri Kilin site. Also radiocarbon dating by the benzene synthesis method and Liquid scintillation counting method were performed for comparison for the age determination of charcoal sample at the obtained same site.

1st and 2nd glow curve were obtained according to the typical method thermoluminescence. Plateau tests of revealed the proper temperature range to be 300~440℃. Palaeodose average values were formed to the 2.44Gy.

Annual dose of ancient tiles was calculated from soil samples and ancient tiles itself by measuring alpha radiation dose, potassium concentrations and water contents respectively. Annual dose average values were calculated to be 7.012mGy/yr.

The radiocarbon age(BP year) was converted to calibrated age(AD/BC year) using high precision curve. Radiocarbon ages were calculated to be AD 15~17C.

Comparison of samples with their radiocarbon and thermoluminescence ages for revealed the in range the AD 15~17C. This result means that the measured absolute ages are in good agreement with each other within the margin of error.

1) 경남문화재연구원 연구원

2) 중앙대학교 과학학과 유물과학 교수

I. 서론

문화 유적의 연대결정은 가장 기본적인 과제로 유적지나 출토된 유물을 연구하는데 바탕이 된다. 연대를 측정하는 방법에는 상대연대측정(Relative Dating)과 절대연대측정(Absolute Dating)이 있다. 상대연대는 유물의 퇴적 순서에 따라 선후를 결정하는 지질학적 층위학 연구와 유물의 형식은 반드시 오랜 형식으로부터 변화하여 새로운 형식으로 변해간다는 관점에서 형식의 새롭고 오래된 것을 추정하는 형식학연구 방법을 말한다. 절대연대측정은 연대범위와 시료종류에 따라 여러 가지 방법들이 있다. 동위원소 조성변화 측정법(Isotopic methods : ^{14}C , K-Ar/Ar-Ar, U-series, etc.), 축적된 손상 측정법(Radiogenic methods : Luminescence, ESR, FT, etc.), 화학·생물학적 측정법(Chemical·Biological methods : Aminostratigraphy, Obsidian, Lichenometry, etc.), 지형적 특성에 따른 측정법(Geomorphic methods : Soil geomorphology, Weathering profile, etc.), 상호작용에 의한 측정법(Correlation methods : Paleomagnetism, Tephrochronology, etc.) 등이 있다. 이러한 측정 방법을 통해 얻어진 상대연대 및 절대연대 결과들은 상호 보완을 통해 문화 유적지 연대추정에 근거자료로 활용되어야 한다.

본 연구는 진주 장흥리 와요지 출토 시료를 대상으로 절대편년 추정을 연구하였다. 진주 장흥리 와요지는 부산지방국토관리청이 시행하는 진주-집현 간 4차선 도로건설구간 내에 포함된 곳으로, 경남문화재연구원에서 발굴조사를 실시하였다. 조사 구역 가운데 C구역 7트렌치에서 와요지의 회원부로 추정되는 단면이 확인되어 2002년 4월부터 2002년 9월까지 추가 발굴조사를 실시하였고, 총 7기의 조선시대 반지하식 와요지가 확인되었다. 7기의 가마 중 5호 가마에서 출토된 기와 및 토양을 대상으로 열루미네선스연대를 측정하고 4, 6호 가마 출토 목탄을 대상으로 방사성탄소연대 측정을 실시하여 서로 다른 과학적 원리를 이용해 얻어진 절대연대 값을 비교 분석하였다. 여기에 상호 데이터 보완을 위해 가마의 구조와 출토되는 기와의 제작수법, 그리고 기와의 문양 등을 고려하여 추정된 상대연대 값과 비교 검토하였다.

II. 본 론

1. 장흥리 와요지의 지리적 위치 및 조사 내용

진주시는 한반도의 동남단, 경상남도의 서남부에 위치하고 있으며, 지리적인 좌표는 북위 35° 03' 10"~35° 26' 58", 동경 127° 53' 52"~128° 22' 21"에 해당하며, 와요지는 경상남도 진주시 집현면 장흥리 57-4번지 일대에 위치한다.

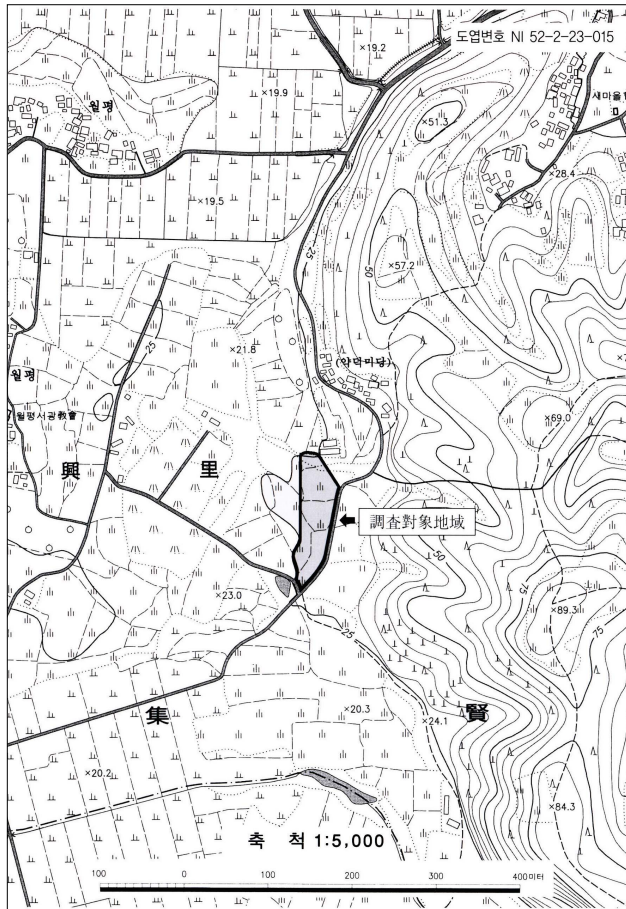


Fig. 1. 장흥리 와요지 위치도 (1/5,000)

장흥리 와요지는 적황색 생토층을 파내어 바닥과 측벽의 중·하부를 조성하고, 측벽의 상부 및 천정은 적갈색사질 점토층과 명적갈색사질점토층에서 축조한 반지하식 등요이다. 조사구역의 중앙부에서 북서쪽에 치우쳐진 곳에 1, 2호가, 북쪽 경계 부근으로 3, 4호가 한 쌍의 형태로 조성되었으며, 나머지 5, 6, 7호 가마는 조사구역의 북동쪽에 일정한 간격을 두고 각각 독립하며 위치한다.

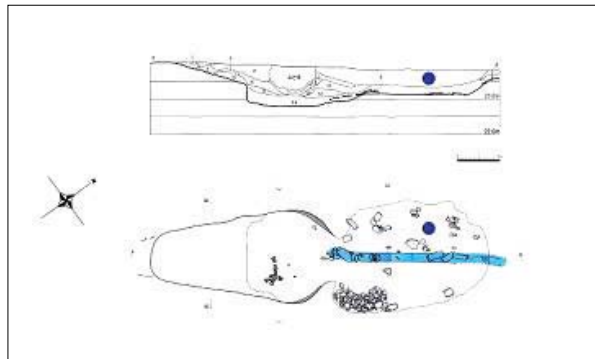


Fig. 2. 4호 와요지 유구 도면 (●는 시료 채취 위치)

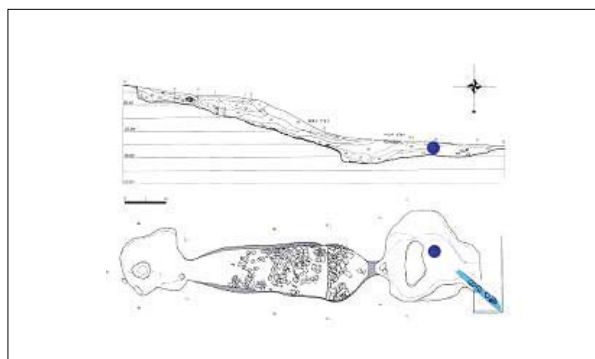


Fig. 3. 5호 와요지 유구 도면 (●는 시료 채취 위치)

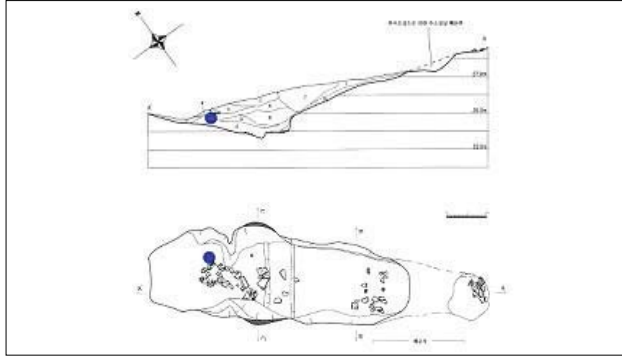


Fig. 4. 6호 와요지 유구 도면 (●는 시료 채취 위치)

2. 장흥리 와요지 출토 시료의 절대연대 분석

(1) 출토 시료의 열루미네선스연대 측정

1) 시료 채취 및 보관

시료를 채취할 때는 광물이 강한 빛에 쏘이면 발광 현상을 일으켜서 루미네선스 양이 줄어들게 되므로 시료는 최대한 태양광선에 노출되지 않은 것이어야 한다. 5호 와요지 기와 시료는 가능한 층의 중앙에 위치하고 적어도 지표 아래 30cm 이상에 놓여 있고 주위 반경 30cm 내에 큰 바위나 돌 같은 것으로 최대한 빛에 노출되지 않도록 해서 채취하였다. 연간선량 보정용으로 토양 시료의 경우에는 빛에 의한 노출을 최소화하기 위해서 동일 층의 채취된 토양을 사용하였다. 채취한 시료는 바로 불투명한 검은 봉투에 넣어 옮긴 후 실험실내 암실에 보관하였다. 보관 시에는 수분함량 측정을 위해 시료에 포함된 수분이 증발하지 않도록 철저히 밀봉하였다.

2) 시료 전처리

입수된 시료는 대체로 3등분 하여 수분함량, 연간선량, 고고선량용으로 사용하였다. 수분함량용 조각을 제외한 나머지 2조각 모두 50℃에서 7일간 완전히 건조시켰다. 건조된 고고선량용 시료를 막자사발에 넣고 시료를 분쇄한 후 체에 걸렀다. 90 μ m 이하 시

료를 취하여 입자를 추출한 후 알루미늄 디스크(두께 0.45mm, 직경 0.95cm)에 안착시켜 시료 디스크를 제작하였다. 연간선량용 기와 시료와 토양 시료를 각각 시료 분쇄기(Rock Lab)에 넣고 분쇄하여 분말($38\mu\text{m}$ 이하)로 만들었다. 이 분말은 알파선량을 측정과 산화칼륨 함량(%K₂O) 분석에 사용하였다.

3) 고고선량 측정

고고선량이란 시료가 제작되고 사용되다가 폐기되어 매장된 시점부터 발굴 후 측정하는 시점까지 받아온 총 방사선량을 말한다. 총 방사선량은 자연방사선량과 우주방사선량을 모두 고려해준다. 부가선량법(Additive dose method)을 이용하여 시료의 알파 및 베타선의 등가방사선량(Equivalent dose)을 측정하기 위해 시료 디스크 40개를 준비하여 시료의 자연 열루미네선스 양(Natural TL)에 대응하는 등가방사선량을 대략 측정하였다. 각 단계에서 시료에 조사해 주어야 할 부가선량(조사 시간)을 결정하여, 1차 및 2차 성장 곡선(Glow curve)을 작성하였다.

플래토 테스트(Plateau test)를 수행하여 1차 및 2차 성장 곡선에서 안정한 구역 범위를 정하였다. TLAPPLIC VERSION 3.25 Program을 이용해 선정된 온도 범위에서 1차 성장 곡선을 이용하여 Q값, 2차 성장 곡선에서는 I값을 계산하였다. 시료에 대한 고고선량(P)값은 등가선량(Q)값과 방사선량(I)값의 합이다.

4) 연간선량 측정

연간선량이란 시료가 연간 받은 방사선량을 말한다. 시료와 토양 각각의 알파선량율을 구하고, 유도결합플라스마분석법(ICP)을 이용해서 산화칼륨 함량(%K₂O)을 구하고, 베타선량, 감마선량을 계산하여 연간선량을 측정하였다. 우주선에 의한 연간선량은 0.15mGy/a를 사용하고 있다. 기와와 토양이 받은 방사선량은 이들이 함유하고 있는 수분에 의해 일부 흡수되기 때문에 매장 기간 동안의 평균 수분함량을 측정해서 보정해주었다.

5) 연대 계산

열루미네선스의 연대 계산은 시료가 받은 총 방사선량인 고고선량을 연간 받은 방사선량인 연간선량으로 나뉜 준 값으로, 연대(Age) = 고고선량(Palaeodose) / 연간선량

$(D'\alpha + D\beta + D\gamma + Dc)$ 이 식을 이용하여 계산하였다. 여기서 $D'\alpha$ 는 위에서 언급한 것과 같이 유효알파선량(effective alpha dose-rate)으로 $D'\alpha = aD\alpha$ 이다. a 는 유효알파계수(effective alpha coefficient)로 등가베타선량(equivalent beta dose, $Q\beta$)에 대한 등가알파선량(equivalent alpha dose, $Q\alpha$)의 비($Q\beta/Q\alpha$)로 값을 구할 수 있다.

(2) 출토 시료의 방사성탄소연대 측정

1) 시료 채취 및 보관

4, 6호 와요지에서 채취된 시료에서 목탄 시료를 수습하였다. 수집한 목탄 시료는 바로 알루미늄 호일에 싼 후 공기가 차단되도록 시료 봉투에 담아 밀봉하였다. 저장용기에 밀봉한 시료는 실험실로 옮겨 냉암소(냉장고)에 보관하였다.

2) 시료 전처리

채취된 목탄시료를 탈이온수로 세척하면서 이물질을 제거하였다. 시료 내 오염원(탄산염이나 부식산 등)을 제거하기 위해서, 시료를 5~8% HCl에 담가 60℃ 오븐에 24 시간동안 가열한 후 탈이온수로 중성 처리하였고, 0.5N NaOH용액에 담가 4~5시간 방치한 후 탈이온수로 중성을 맞추었다. 다시 5~8% HCl에 4~5시간 담가 용존 이산화탄소를 제거하였고, 탈이온수로 중성이 될 때까지 처리한 후 건조시켰다.

3) 벤젠합성

벤젠합성의 전 단계는 진공상태로 진행되었다. 건조된 시료 6g을 시료 홀더에 담은 후 Bomb Combustion을 이용하여 CO_2 를 합성하였다. Parr Bomb는 O_2 압을 300psi로 하여 CO_2 를 합성하였다. $Li(0.5 \times 6.5'' \text{ Rod}, 11g/1 \text{ piece})$ 을 800℃ oven으로 가열하여 녹여 액체 상태가 되면 포집한 CO_2 와 반응시켜 Li_2C_2 를 합성하였다. Li_2C_2 를 3차 탈이온수와 반응시켜서 C_2H_2 를 합성하였다. 촉매를 사용하여 C_2H_2 를 삼중합하였다. 100℃에서 2시간 동안 추출하고 무게를 칭량하였다.

4) 액체섬광계측

7ml Borosilicate glass Scintillation Vial에 추출된 벤젠 3ml을 넣고 액체섬광용액(Scintillation Cocktail Solution) 0.5ml를 첨가한 후 계측기에 넣어 각각 2700분씩 계측하였다. 액체섬광용액은 일차섬광체로는 PPO(2,5-Diphenyloxazole)을 사용하였고, 이차 섬광체로 POPOP(1,4-Bis-(5,2-phenyl-oxazolyl)-benzene)을 사용하였다. 계측범위는 10.0-130.0 KeV이었다.

3. 장흥리 와요지 출토 시료의 절대연대 결과

(1) 출토 시료의 열루미네선스연대 결과

1) 고고선량 측정

1, 2차 성장곡선 및 플레토 테스트 측정 결과를 Fig. 5 ~ 10에 나타내었다. TLAPPLIC VERSION 3.25 Program을 통해 플레토 범위에서 시료의 1차 및 2차 열루미네선스 양에 대한 방사선량인 등가선량(Q)과 방사선량(I) 구하고 이 값을 Table 1에 나타내었다. Q값과 I값을 합하여 고고선량(P)을 계산하였고, 그 결과는 Table 2와 Fig. 11 ~ 12 나타내었다.

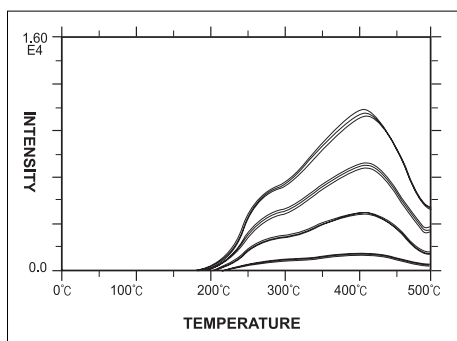


Fig. 5.
5호 와요지 1기와 시료의 1차 성장 곡선

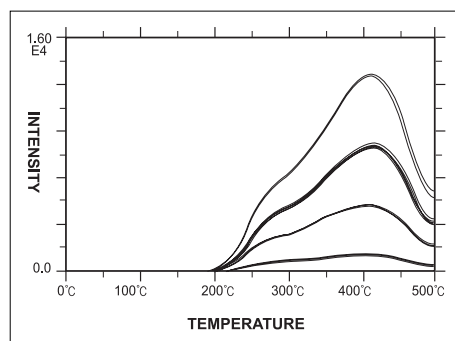


Fig. 6.
5호 와요지 2기와 시료의 1차 성장 곡선

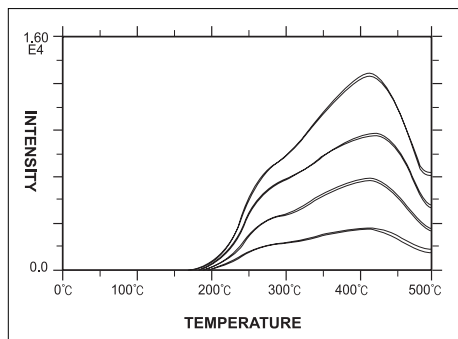


Fig. 7.
5호 와요지 1기와 시료의 2차 성장 곡선

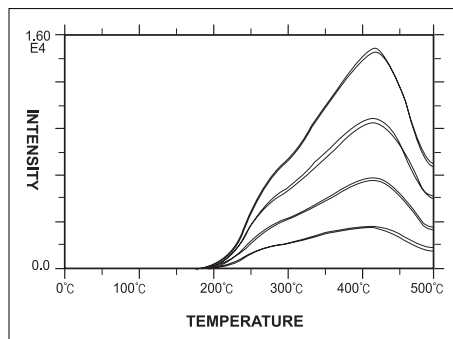


Fig. 8.
5호 와요지 2기와 시료의 2차 성장 곡선

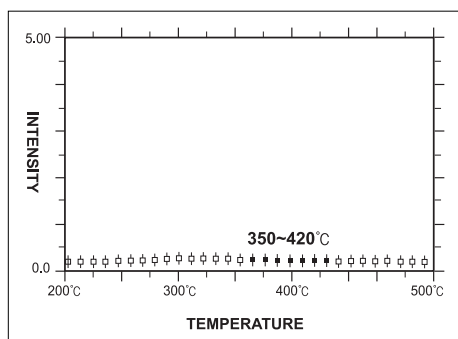


Fig. 9.
5호 와요지 1기와 시료의 플래토 테스트

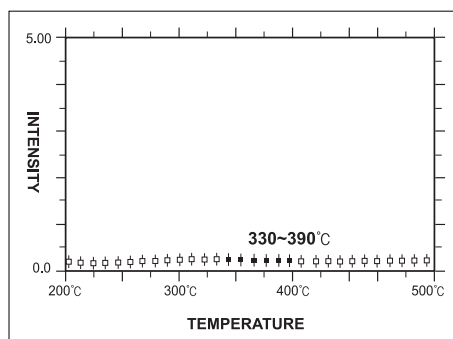


Fig. 10.
5호 와요지 2기와 시료의 플래토 테스트

Table 1. 플래토 온도 범위, 등가선량(Q)과 방사선량(I)

시료	Plateau(°C)	Q(Gy)	I(Gy)
장흥리 5호 1기와	350 ~ 420	1.38	1.01
장흥리 5호 2기와	330 ~ 390	1.46	1.02

* 직경 44.4mm(15.5cm) 섀광스크린에서의 알파 계수율

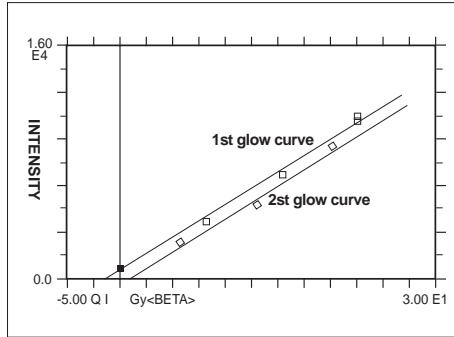


Fig. 11.
5호 와요지 1기와 시료의 고고선량 곡선

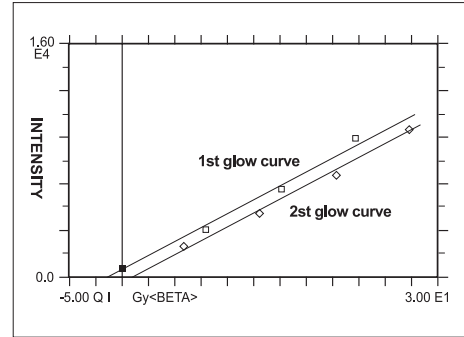


Fig. 12.
5호 와요지 2기와 시료의 고고선량 곡선

Table 2. 고고선량(P)과 유효 알파 계수(a)

시료	P(Gy)	a(Q β /Q α)
장흥리 5호 1기와	2.39	0.0787
장흥리 5호 2기와	2.48	0.0705

2) 연간선량 측정

알파선량을, 산화칼륨 함량, 수분함량을 통해 연간선량을 계산할 수 있었고 각 방사선량을 Table 3에 나타내었다.

Table 3. 각 방사선별 연간 선량

시료	Annual dose(mGy/a)			
	D' α	D' β	D' γ	D' c
장흥리 5호 1기와	2,567	2,658	1,676	0.15
장흥리 5호 2기와	2,248	2,490	1,846	0.15

3) 열루미네선스연대 계산

열루미네선스의 연대 계산은 시료가 받은 총 방사선량인 고고선량을 연간 받은 방사선량인 연간선량으로 나눠 준 값으로, 연대(Age) = 고고선량(Palaeodose) / 연간선량 (D' α + D β + D γ + D c) 이 식을 이용하여 계산하였다. 여기서 D' α 는 위에서 언급한 것과

같이 유효알파선량(effective alpha dose-rate)으로 $D'\alpha = aD\alpha$ 이다. a 는 유효알파계수(effective alpha coefficient)로 등가베타선량(equivalent beta dose, $Q\beta$)에 대한 등가알파선량(equivalent alpha dose, $Q\alpha$)의 비($Q\beta/Q\alpha$)로 값을 구할 수 있다.

4) 열루미네선스연대 측정 결과

각 시료의 열루미네선스 연대 측정값을 Table 4에 나타내었다. 연대를 문헌상에 표기할 때는 유효숫자를 감안해 주어 연대 및 오차의 마지막 자리를 가장 가까운 10의 배수로 표시하였다.

Table 4. 각 시료의 고고선량, 연간 선량, 열루미네선스 연대, 교정연대

시료	Palaeodose (Gy)	Annual dose (mGy/a)	TL age (yr BP)	Calibrated age (AD/BC yr)**
장흥리 5호 1기와	2.39±0.15	7.056	330±40	1670±40
장흥리 5호 2기와	2.48±0.15	6.972	350±50	1650±50

** 열루미네선스 연대 yr BP는 측정 연대인 2004년 기준

(2) 출토 시료의 방사성탄소연대 결과

1) 방사성탄소연대 계산

방사성탄소 연대는 $t(\text{year}) = 8033 \ln(A_0/A)$ 이 식을 사용하여 계산하였다. 여기서 A_0 는 옥살산(NIST Oxalate SRM4990C)의 알짜 계수율을 -25%로 표준화한 값에 0.7459배를 곱해줌으로써 1950년을 기준으로 환산한 계수율이고, A 는 시료의 알짜 계수율이다. BP(Before Present)연대로 표시하며 1950년을 기준으로 한다. 반감기는 국제적 관례인 5568년(Libby의 반감기)을 사용하였다. BP year를 Calib program을 통하여 고정밀보정곡선(High-precision calibration curve)을 사용해서 AD/BC year로 보정 해주었다.

2) 방사성탄소연대 측정 결과

각 시료의 방사성탄소 연대 측정 결과를 Table 5에 나타내었다. 여기서도 유효숫자를 감안해 주어 연대 및 오차의 마지막 자리를 가장 가까운 10의 배수로 표시하였다. Fig. 13 ~ 14에 각 시료의 고정밀보정곡선을 나타내었다.

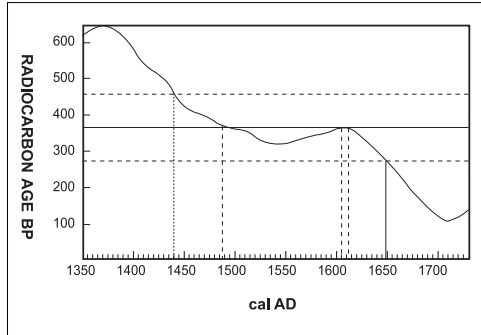


Fig. 13.
4호 와요지 목탄 시료의 고정밀보정곡선

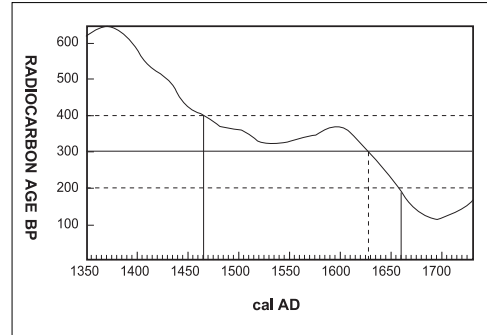


Fig. 14.
6호 와요지 목탄 시료의 고정밀보정곡선

Table 5. 각 시료의 방사성탄소연대, 보정연대

시료	^{14}C age(BP yr $\pm 1\sigma$)	Calibrated Age(AD/BC year, 2σ)***
장흥리 4호 와요지	400 \pm 45	1450–1640
장흥리 6호 와요지	300 \pm 50	1470–1670

*** 2σ 가 실연대에 들어온 확률은 98%임

Ⅲ. 결 론

본 연구는 열루미네선스연대 측정과 방사성탄소연대 측정을 통해 진주 장흥리 와요지 유적의 절대편년을 연구해보았다.

5호 와요지 출토 기와 시료를 대상으로 고고선량, 연간선량을 측정하여 열루미네선스 연대 값을 구하였다. 고고선량 측정 결과, 알파등가선량은 260초, 베타등가선량은 110초이고, 평균 2.44Gy이었다. 플래토 테스트에서는 300~440℃에서 매우 안정하였다. 연간선량은 우주선량은 0.15mGy/yr로 고려하고 시료의 수분함량에 대한 보정을 하여 결정되었다. 측정한 결과, 평균 7.012mGy/yr이었다. 계산해 본 결과, 열루미네선스 연대(BP year)는 330 \pm 40, 350 \pm 50이고 중심연대가 되는 교정연대가 1670 \pm 40, 1650 \pm 50임을 알 수 있었다.

4, 6호 와요지 출토 목탄을 대상으로 벤젠합성, 액체섬광계측을 하여 방사성탄소연대 값을 구하였다. 측정 결과, 방사성탄소연대(^{14}C age)는 400 ± 45 , 300 ± 50 이었다. 방사성탄소연대 값을 나타내는 yr BP는 AD 1950년을 기준으로 한다. 보정연대 (Calibrated Age)는 Calib. REV 3.0.3 프로그램으로 고정밀보정곡선을 사용하여 계산해 본 결과, 1450–1640, 1470–1670임을 알 수 있었다.

측정된 연대를 비교해 보면, 진주 장흥리 와요지 시료는 방사성탄소연대의 보정연대 폭이 비교적 큰 편이지만 절대편년이 15~17세기경인 것으로 나타났으며 오차 범위 내에서 일치한다는 것을 알 수 있다.

경남문화재연구원에서 발굴 조사된 자료에 상대연대 값을 보면, 가마의 구조와 출토 되는 기와의 제작수법, 그리고 기와의 문양 등을 고려하여 볼 때 15세기 중반 경에 편년 되는 특징을 가지고 있다고 할 수 있으며, 이와 같은 편년은 4호가마의 분청사기와 백자 4점, 6호가마의 인화분청 1점 등은 모두 15세기 후반은 넘지 않는 것이어서 앞선 편년을 뒷받침하고 있다고 한다고 한다. 절대 편년과 비교 검토해 보면 열루미네선스연대 값에서 차이를 보이고 있지만 전체적으로 오차 범위 안에 있는 것을 알 수 있다. 차후 좀 더 많은 와요지의 절대편년 분석이 이루어지면 보다 정확한 결론을 도출할 수 있을 것이라고 기대된다.

참고문헌

1. 장호수, 1983, 연대측정방법, 한국사론 12 p40-60.
2. 이선복, 1988, 고고학개론-이론과 실천 p106-114.
3. J. S. Noller, J. M. Sowers and W. R. Lettis, 1999, Quaternary Geochronology: methods and applications(AGU reference shelf, 4).
4. 정의도, 김대웅, 2004, 진주장흥리와요지, 경남문화재연구원.
5. M. J. Aitken, 1990, Science-based dating in Archaeology, Longman Archaeology series p56-121, 141-185.
6. M. J. Aitken, 1985, Thermoluminescence dating, Academic press.
7. H. A. Polach and S. K. Gupta, 1985, Radiocarbon dating at ANU, Australia ANU Printing Service p8-45, 100-105.
8. J. R. Prescott, 1994, Cosmic ray contribution to dose rates for Luminescence and ESR dating : large depths and long-term time variations, Radiation Measurement 23 ; 2/3 p497-500.
9. M. Stuiver and G. W. Pearson, 1993, Radiocarbon Vol. 35 No 1 p1-33.