방사성탄소연대측정

Radiocarbon Dating

李賢珠 · 黃振周 · 白現朱

Hyeon Ju Leigh, Jin Ju Hwang and Hyun Ju Paek

ABSTRACT

It is very important to determine the age of the Cultural Properties in archeology. In about 1950, W.F. Libby and a team of scientists at the University of Chicago developed the Radiocarbon Dating technique. Radiocarbon(^{14}C) Dating is probably one of the most widely used and best known absolute dating methods. Radiocarbon ages are conventionally specified to the year 1950. This year is 0 BP year. BP is the initial of Before Present. The ^{14}C within an organism is continually decaying into stable carbon isotopes. When ^{14}C decays, it emits a β particle with an energy content of 156 KeV and becomes ^{14}N. Only the β particle is detected by Liquid Scintillation Counting. ^{14}C has a half life of 5730 years. It has been used to date samples as old as 50,000 years. Radiocarbon determinations can be obtained on organic material : wood, charcoal, shell, etc.

The results of radiocarbon dating using Benzene Synthesizer and Liquid Scintillation Counter are KCP539 4030±60BP year, KCP540 3980 ±60BP year, KCP575 4870±50, KCP576 100±50BP year, KCP577 130 ±50BP yea and KCP578 210±70BP year.

Ⅰ. 머 리 말

문화재의 연대측정에서 방사성탄소연대측정은 가장 널리 쓰이는 연대측정법이다. 방사성탄소연대의 절대편년은 고고미술사학에서 사용되는 층위학적이나 형태학적인 방법에 의한 상대편년과 함께 유적지나 유물의 연대결정에 많이 쓰인다. 이 방법은 시료 속에 함유된 방사성탄소의 농도를 측정하고 방사성탄소의 반감기를 이용하여 연대를 계산하는 것으로 정확도 및 정밀도가 우수하여 세계적으로 널리 응용되고 있다. 방사성탄소연대측정 시료대상은 탄소를 포함하고 있는 유기물 시료로 본 실험실에서는 목탄, 목재, 패각류를 주로 실험하고 있다.

본 고는 2002년도 측정 완료 결과치 중에서 수추섬 27호 주거지 목탄시료 1점, 창덕궁 금천교 목재시료 3점 그리고 소연평도 패각시료 2점의 방사성탄소연대측정 결과에 대해 기술하겠다. 각각의 시료는 물리적, 화학적 시료전처리를 마친 후 벤젠합성법과 액체섬광계측법을 통해 방사성탄소 연대를 구하였다.

Ⅱ. 측정 원리

방사성탄소연대측정법은 1950년경 시카고대학의 Libby에 의해 알려진 후 세계적으로 널리 이용되고 있는 절대연대측정법으로 시료 속에 함유된 방사성탄소의 농도를 측정하고 방사성탄소의 반감기를 이용하여 연대를 계산하는 것으로 정확도 및 정밀도가 우수하여 고고학에서 뿐 아니라 지질학, 해양학, 환경학 등 여러 방면에 응용되고 있다. 시료는 탄소를 포함하고 있는 유기물(목재, 목탄, 뼈, 패각류 등)을 대상으로 하고 있으며 약 5만년전까지 측정이 가능하다. 기본원리는 Fig. 1.로 도식화하였다.

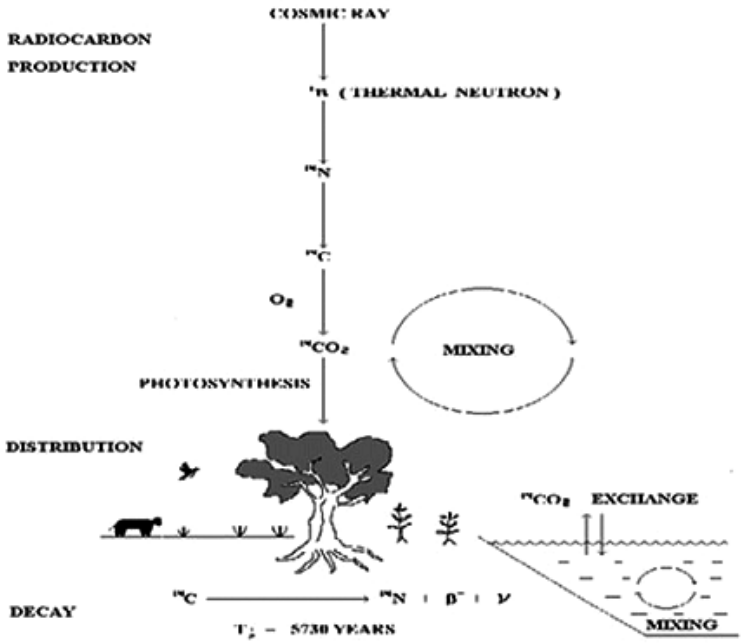


Fig. 1.
방사성탄소연대측정의 기본원리

방사성탄소(^{14}C, Radiocarbon) 생성은 간단한 자연현상에 의한다. 우주선(cosmic ray)으로부터 생성된 열중성자(^{1}n, thermal neutron)가 대기 중 ^{14}N와 핵반응을 일으켜 불안정한 동위원소인 ^{14}C가 생성된다.

$$^{1}n + {}^{14}N \rightarrow {}^{14}C + {}^{1}H$$

생성된 ^{14}C는 빠르게 O_2와 반응하여 $^{14}CO_2$를 형성한다. 이 $^{14}CO_2$는 $^{12}CO_2$와 혼합되어지고 대기 중에 고르게 분포(distribution)한다. 탄소교환반응에 의해 수권에 균일하게 분포하게 되고, 광합성(photosynthesis)등에 의해 생태계에도 균일하게 분포하게 된다.

방사성사성탄소(^{14}C, Radiocarbon)는 대기권에서 그 생성율이 일정하며 자연 생태계에 흡수되어 세 가지 탄소(^{12}C,^{13}C,^{14}C)가 일정한 농도를 유지하고 있다고 가정

하고 있다.

어느 시점에서 이들 탄소의 출입이 폐쇄되면 즉, 식물이 죽어 탄소동화작용이 중지되거나 동물들이 죽게 되면 탄소의 공급이 중단되면서 체내의 방사성탄소의 양이 감소하게 된다.

$$^{14}C \rightarrow {}^{14}N + \beta + \nu$$

방사성탄소의 반감기는 5730년으로 일정하다. 이러한 원리를 이용하면 유적에서 출토되는 동식물의 방사성탄소 농도를 측정함으로써 죽은 후 경과된 시간을 계산할 수 있게 된다.

저장고별로 약간의 차이가 있다 하더라도 ^{12}C는 99%, ^{13}C는 1%, ^{14}C는 1×10^{-10}%정도이다. 지구상 저장고별 ^{14}C의 분포를 아래 Table 1.에 나타내었다.

Table 1. 지구상 각 저장고 별 14C 의 분포

탄소 저장고		탄소의 양 10^{18}g	$\delta^{13}C$*(‰)	^{14}C 농도		^{14}C 총량
				상대치	dpm**/g	dpm(10^{18})
대기권	성 층 권	0.09	-7	1.087	16.6	1.49
	대 류 권	0.55	-7	1.037	15.9	8.74
육상	생 물 권	0.08	-25	1.000	15.3	0.12
	부 식 토	~1	-25	~1.000	~15.3	~15
해양 무기물	혼 합 층	0.7	-1.5	1.01	15.5	10.9
	심 해	34.7	-1.5	0.95	14.5	503
	해 저 토	~0.3	0	0.266	4.07	~1.2
해양 유기물	바 다 생 물	0.008	-13.5	0.98	15.0	0.12
	가용성유기물	2.7	-13.5	~1	15	40.5
계						581

* $\delta^{13}C$ ‰ = $[(^{13}C/^{12}C)sample/(^{13}C/^{12}C)standard\ -1]\times1000$

** dpm = disintegrations per minute

육상식물에 대한 값은 15.3 dpm을 기준으로 구한 값이다. 부식토의 탄소양은 과거 3만년동안의 생물의 퇴적양으로부터 구한 값이며, 해저토의 ^{14}C 농도 상대

치 값은 과거 3만년동안 일정한 속도로 퇴적했다는 가정 아래 구한 값이다. 성층권내의 ^{14}C 체류시간을 1년이라 보고 계산한 값이다.

III. 측정방법

1. 대상 시료 목록

대상 시료는 2002년도 측정 완료 데이터 중에서 KCP575 수추섬 27호 주거지 목탄시료 1점, KCP576-578 창덕궁 금천교 목재시료 3점 그리고 KCP539-540 소연평도 패각시료 2점 총 6점이다.

Table 2. 2002년도 측정 시료 목록 중

시료번호	시료종류	유적지 명
KCP 575	목탄	수추섬 27호 주거지 01 수추 7
KCP 576	목재	창덕궁 금천교 어구 동편 확장부 북쪽 탐색 Tr 출토
KCP 577		창덕궁 금천교 남편 아치 하부 남쪽 Tr 출토
KCP 578		창덕궁 동쪽 아치 남단-북 4M 지점 출토
KCP 539	패각	소연평도 제 2패총 S50 W25 pit sample 2.
KCP 540		소연평도 제 1패총 제 1패각 2번 sample(굴)

(수추섬 27호 주거지 목탄시료 1점, 창덕궁 금천교 목재시료 3점 그리고 소연평도 패각시료 2점)

2. 시료 채집 및 보관

시료를 채집할 시에는 본 소에서 직접 채취하는 것이 시료 노출 시 생길 수 있는 오염을 최소화 할 수 있는 방법이다. 어떠한 사유에 의해 유적지에서 발굴자에 의한 채취가 이루어질 경우 이 글을 참고하여야 한다.

방사성탄소연대측정용 시료(목탄, 목재, 패각 등)는 우선 유적과 직접 관련 있는 시료를 선택하며, 층위적으로도 일치하는가를 확인하고 지표에서 채집된

시료는 가급적 선정하지 않는다. 시료 채취 지점의 위도 및 경도를 기록하도록 한다. 국제방사성탄소회의에 보고 시에는 지점의 위치를 기록하게 되어있다.

시료채취 지점 부근에 지하수나 잔가지, 식물뿌리 등이 있으면 기록해둔다. 지하수에 남아있는 석회석 입자들은 유물의 연대를 올리고, 식물뿌리 등은 유물의 연대를 내리게 하는 오염물질이다. 탄소 1~2%의 오염은 방사성탄소연대 약 100년의 오차를 일으킨다. 시료의 채취지점 및 주변에서 담배나 음식물을 섭취하지 않도록 주의한다. 음식물이나 종이, 의류 등은 현대탄소에 오염이 되는 물질이다.

Table 3. 각 시료별 연대측정시 필요로 하는 시료양

종류	시료채취 시 시료량(g)	전처리 후 시료량(g)	탄소함유 (%)	탄소 양 (g)	벤젠 양* (㎖)
패각	50~	40~45	12	5	5
목탄	20~30	6	90	5	5
목재	15~20	9	50	5	5

* 탄소 5g 벤젠 5㎖

시료를 채취할 때는 모종삽과 같은 금속도구를 사용하여야 하며 시료를 손으로 만질 때에는 꼭 1회용 비닐장갑을 사용하고 바로 버린다. 시료양은 가급적 많이 채취하여 2회 정도 분석할 수 있는 양이면 좋다. 시료별로 측정 시 필요량을 Table 3.에 나타내었다. 시료양은 1회 측정을 기준으로 나타내었다. 또한 시료채취 시 시료는 이물질(부식산, 모래, 수분 등)이 섞여 있으므로 이를 고려한 양과 전처리를 마친 후 벤젠합성 시 필요한 양으로 나타내었다.

시료를 수집한 다음 즉시 공기와 차단할 수 있는 용기에 담아 밀봉한다. 불필요한 세척이나 건조 등으로 공기 중에 노출시키는 것은 피하는 것이 좋다. 밀봉한 시료는 빠른 시간 내 에 방사성탄소연대측정실로 옮기도록 한다. 그렇지 못할 경우에는 냉암소에 보관하도록 한다. 냉암소에 보관하면 미생물의 생육조건을 억제해주고 빛이나 열에 의해 시료가 변질되는 것을 막을 수 있다.

시료는 수집한 즉시 알루미늄 호일에 싼 다음 폴리에틸렌병(보통 플라스틱통)

이나 비닐팩 같이 공기를 차단할 수 있는 용기에 담아 밀봉한다. 종이, 의류, 솜, 먹물 등은 현대탄소가 포함되어 있으므로 절대 사용하지 말아야한다. 불필요한 세척이나 건조 등으로 시료가 공기 중에 노출되는 것을 피해야한다. 저장용기에 밀봉한 시료는 즉시 연대측정실험실로 옮겨 물리적 및 화학적 전처리가 이루어져야 한다. 부득이 장기간 보관할 때에는 냉암소(냉장고)에 보관한다. 시료에 관한 기록들을 Data Sheet에 정확하고 자세하게 기록한다.

3. 전처리 과정 (Pre-treatment Step)

시료의 연대를 정확하게 측정하기 위해서 전처리 과정은 매우 중요하다. 특히 오래된 시료일 경우 그 중요성은 매우 커진다. 대체로 시료의 실제 오염도를 알아내는 것은 어렵지만 시료 채취 장소의 환경조건 등을 정확히 파악한다면 오염을 최소화하는 방향으로 전처리를 할 수 있다. 시료 전처리는 시료마다 각기 다르며 물리적이나 화학적인 처리법에 따라 시료와는 상관없는 외부탄소를 제거하였다. 물리적 전처리란 이물질 제거, 시료 분쇄 등의 과정을 말하며 화학적 전처리란 약품을 이용하여 시료 내에 함유된 오염물을 제거하는 과정을 말한다.

3.1 목탄시료의 전처리 과정

목탄시료의 경우에는 대부분 무게의 절반이 이물질(흙, 잔뿌리, 수분 등)로 섞여 있었다. 이 이물질들은 탈이온수로 세척하면서 핀셋 등을 이용하여 일일이 제거해 주었다.

시료 내 탄산염이나 부식산 등을 제거하기 위해서 시료를 5~8% HCl에 담가 60°C 오븐에 24시간동안 가열한 후 탈이온수로 중성 처리하고, 0.5N NaOH 용액에 담가 4~5시간 방치한 후 탈이온수로 중성을 맞춘 다음, 다시 5~8% HCl에 담가 4~5시간 방치한 후 탈이온수로 중성이 될 때까지 처리한 후 오븐에서 건조시켰다.

건조된 시료는 ROCK RAB을 이용하여 powder형태로 만든 후 Aluminum Hoil에 싸고

시료봉투에 담아 냉암소에 보관하였다.

3.2 목재시료의 전처리 과정

목재 시료의 경우에는 대체로 통나무의 형태로 의뢰가 들어오므로 먼저 탈이온수로 표면에 묻어있는 이물질(흙 등)을 제거한 후 적당한 크기로 잘라주었다.

화학적 전처리 과정 및 보관까지의 과정은 목탄시료와 같다.

3.3 패각시료의 전처리 과정

패각류 시료($CaCO_3$ 시료)는 위 목탄이나 목재 시료와 화학적 전처리 과정이 다르다. 먼저 탈이온수를 이용하여 흙 등의 오염물질을 제거하였다. 대기의 탄산가스나 지하수의 탄산염은 시료 표면의 탄소와 교환반응이 일어날 수 있으므로 묽은 염산으로 수회 세척하여 표면을 녹여 제거하였다. 다시 탈이온수를 이용하여 수회 세척해준 뒤 오븐에서 건조시켰다. 건조 한 후 막자(pestle)와 막자사발(mortar)을 이용하여 잘게 부수어 Aluminum Hoil에 싼 후 시료봉투에 담아 냉암소에 보관하였다.

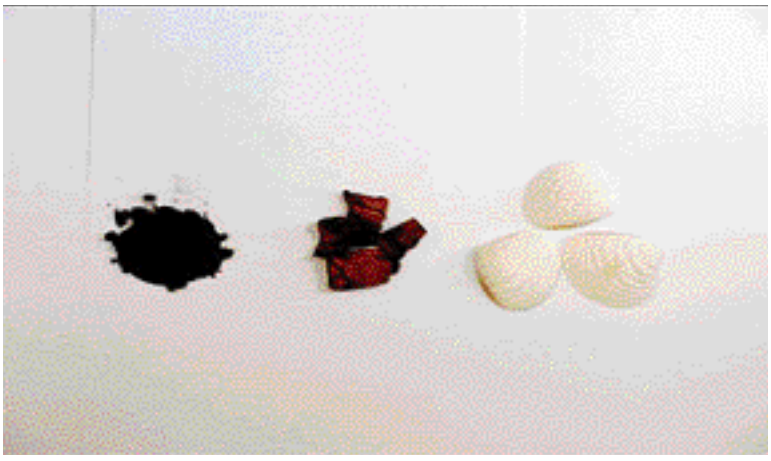


Photo 1.
전처리 과정을 마친
목탄, 목재, 패각시료

4. 벤젠합성과정 (Benzene Synthesis Step)

시료에 함유된 방사성탄소의 양을 측정하기 위해서는 시료를 계측 가능한 물질(벤젠)로 전환하는 것이 필요하다. 벤젠합성은 산화과정을 통해 발생하는 CO_2로부터 C_2H_2을 거쳐 C_6H_6으로 합성하는 과정을 말하며, 크게 4단계로 진행되고 있다. 벤젠합성의 전 단계는 진공상태로 진행되었다.

본 실험실에서는 벤젠합성기로 TASK BENZENE SYNTHESIZER (Athen, GA USA)를 사용하였다.

4.1 CO_2 Production(Sample → CO_2)

CO_2를 생성하는 과정은 시료별로 세 가지 방법이 있다. : Oven combustion, Bomb combustion 그리고 Wet combustion이 있다.

Oven combustion은 벤젠합성기 내에 부착되어 있는 장비로 목탄이나 목재 시료 등의 CO_2 생성 시 사용하였다. 요즘은 주로 뼈 시료를 산화시킬 때 사용하고 있다. 산화하는 동안 O_2는 80cc/min전도의 비율로 흘려 보내주었다.

Bomb combustion(Photo 2.)은 벤젠합성기의 옵션 장치로 수추섬 27호 주거지 목탄시료와 창덕궁 금천교 목재시료의 CO_2 생성에 사용하였다. 본 실험실에서는 주로 이 장치를 사용하여 CO_2를 생성하고 있다. Parr Bomb 사용할 때 O_2압은 300psi이었다. Oven combustion 사용할 때 보다 수득률이 높아서 측정 시 필요로 하는 시료양이 약 2g정도 적어졌다. 이 장비로는 주로 목재나 목탄 시료를 이용하고 있다.

Wet combustion은 주로 패각류 시료에 사용하고 있는 것으로 이 산화과정을 통해 소연평도 패각시료의 CO_2를 생성하였다. 패각류 시료를 2000mL combustion generator flask에 놓고 50% H_3PO_4을 넣어 생성하였다.

Photo 2.
Bomb combustion - Oxygen Bomb(Parr Bomb)

4.2 Li_2C_2 Formation ($2CO_2 + 10Li \rightarrow Li_2C_2 + 4Li_2O$)

Li은 0.5×6.5″Rod, 11g/1 piece를 사용하였다. Li의 양은 포집된 CO_2의 양에 따라 달라졌다. Li을 Lithium Reaction Chamber에 넣고 우선 진공을 시켜주었다. Reaction Chamber에 water hors를 연결하여 cooling 시켜준 후 800°C oven으로 가열하여 Li을 녹였다. Li이 녹아 액체 상태가 되면 CO_2와 반응시켰다. 반응이 마무리되면 불순물 제거 및 수득률을 높이기 위해 같은 온도로 2시간 가량 Lithium Reaction Chamber를 더 가열하였다.

4.3 C_2H_2 Production ($Li_2C_2 + 2H_2O \rightarrow C_2H_2 + 2LiOH$)

Li_2C_2를 3차 탈이온수와 반응시켜서 C_2H_2을 합성하였다. 이 반응에서는 P_2O_5과 Ascarite로 충진된 관을 합성라인에 연결해서 잔존하는 수분을 제거하여 C_2H_2 합성

수율을 높여 주었다.

4.4 C_6H_6 Production($3C_2H_2 \rightarrow C_6H_6$)

C_2H_2을 C_6H_6으로 삼중합하는 촉매로 Chromium activated Si-Al Catalyst를 사용하였다.

이 촉매는 Furnace에서 450°C로 2일 동안 건조시키고 벤젠합성기 내 oven에서 300°C로 약 2~3시간 활성화시킨 다음 합성 전에 100°C로 온도를 낮춰주었다. 그 후 40°C 물로 촉매관을 중탕해주면서 C_2H_2과 반응시켜 C_6H_6을 합성하였다. 합성된 C_6H_6을 100°C에서 2시간 추출하고 무게를 칭량하였다.

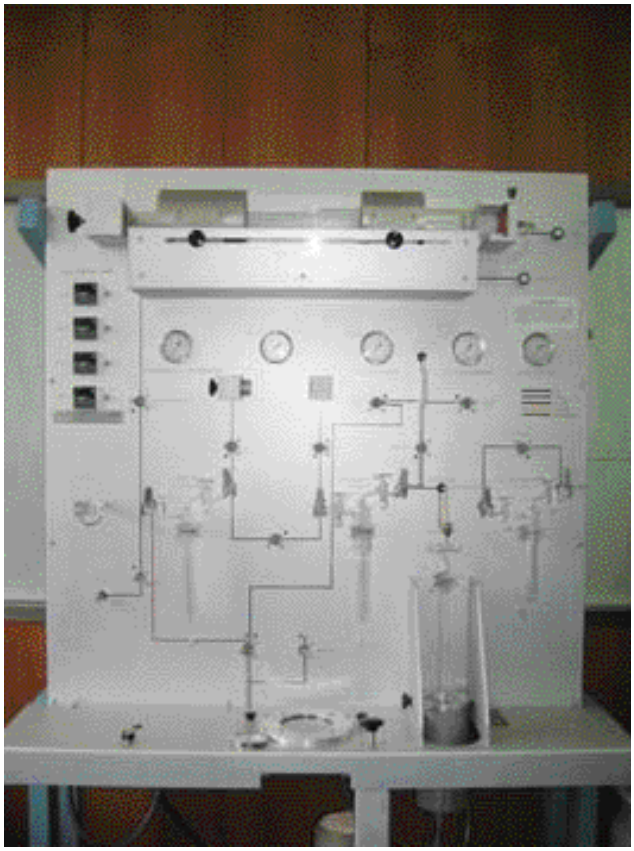


Photo 3.
벤젠합성기(Benzene Synthesier)

5. 액체섬광계측 과정 (Liquid Scintillation Counting Step)

액체섬광계측법은 벤젠시료에 함유된 ^{14}C가 β붕괴되면서 ^{14}N로 돌아갈 때 방출되는 β선의 양을 간접적으로 측정하는 계측법이다.

$$^{14}C \rightarrow {}^{14}N + \beta + \nu$$

^{14}C핵의 특성 붕괴 에너지 값은 156 KeV 이다. 대부분 에너지는 붕괴 시 발생되는 β입자와 ν의 운동에너지로 분배 또는 소모된다. 따라서 β입자의 운동에너지는 붕괴에너지에서 ν의 운동에너지와 그 외 에너지 손실을 빼 준 값이 된다. 이 때 최대 운동에너지 값이 156 KeV이다. 이 운동에너지를 액체섬광용액(Liquid Scintillation Cocktail Solution)으로 빛에너지로 바꿔주어 그 빛을 검출함으로써 β 입자를 간접적으로 측정하는 방법이다.

또한 측정시료가 섬광체와 섞여 있는지의 여부에 따라 구분하기도 하는데 연대측정법의 경우 대부분 시료를 벤젠으로 합성하여 cocktail 용액에 사용하는 internal sample LSC(Liquid Scintillation Counter)를 사용한다. 액체섬광용액은 일차섬광체(primary scintillator)로는 PPO(2,5-Diphenyloxazole)를 사용했고, 이차 섬광체(secondary scintillator)로 POPOP(1,4-Bis-(5,2-phenyl-oxazolyl)-benzene)를 사용하였다.

계측범위는 현대 표준물질(NIST Oxalate SRM 4990C)로부터 합성된 벤젠과 백그라운드 벤젠 시료(고순도 CO_2로부터 합성해낸 벤젠)를 2700분 계측하여 얻은 ^{14}C 스펙트럼으로부터 최대 FOM(Figure of Merit)값을 나타내는 에너지 범위를 설정하였다. 계수율로부터 FOM값을 계산한 결과 최대 FOM값을 나타내는 계측범위는 10.0~130.0 KeV이었다.

본 실험실에서는 액체섬광계측기로 Packard TRI-CARB 2900TR Liquid Scintillation Analyzer (USA)를 사용하였다. Standard로는 Oxalic acid (NIST SRM 4990C)를 사용한다.

Photo 4.
액체섬광계측기
(Liquid Scintillation Counter)

6. 데이터 처리 과정 (Calibrated Age Step)

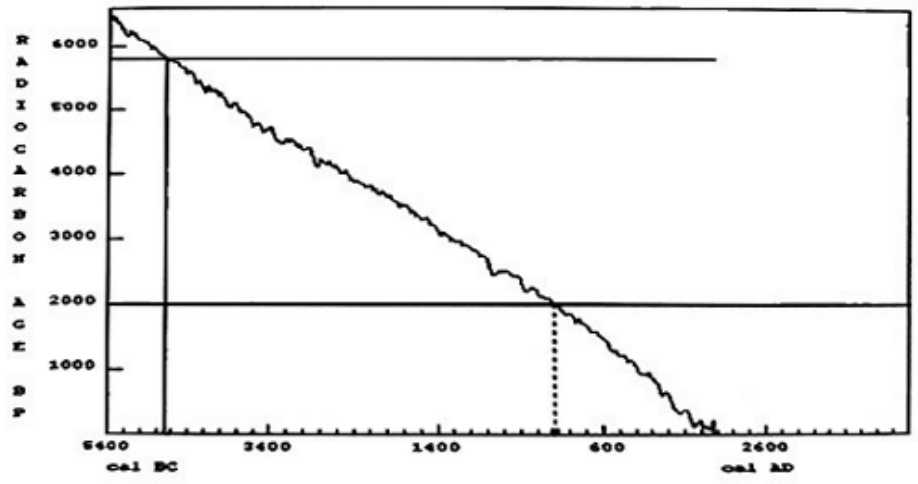
^{14}C 연대는 BP(Before Present)연대로 표시하며 1950년을 기준으로 한다. 방사성탄소 연대는 아래 식을 사용하여 계산한다.

$$t(year) = 8033 \ln(Ao/A)$$

반감기는 Libby의 반감기인 5568년을 사용하는 것이 국제적 관례이다. 여기서 Ao는 옥살산(NIST Oxalate SRM4990C)의 알짜 계수율을 -25‰로 표준화한 값에 0.7459배를 곱해줌으로써 1950년을 기준으로 환산한 계수율이고, A는 시료의 알짜 계수율이다. 동위원소 분별효과(isotope fractionation)는 고려하지 않았으며 $\delta^{13}C$값은 -25‰을 사용한다.

^{14}C 연대(BP year)는 실연대(AD/BC year)로 보정된다. 지난 수 천년 동안 대기

의 방사성탄소 함량의 변화는 연륜연대학(Dendrochronology)에 의해서 정확히 연대를 알고 있는 목재시료의 분석으로 관찰되었고 이로부터 교정곡선(Calibration curve)을 만들게 되었다. 1985년 제12차 국제 방사성탄소회의에서 Stuiver와 Pearson이 제시한 고정밀보정곡선이 국제적으로 채택된 이래 최근에는 AD 1950 - BC 20,000까지 확장된 고정밀보정곡선이 사용되고 있다. BP year의 편차는 1σ를 사용하고, 보정연대(Calibrated Age)는 2σ를 사용하여 AD/BC year로 전환한 연대이다. 고정밀보정곡선(High-precision calibration curve, M. Stuiver & P.J. Reimer, 1993 REV.3.0.3)을 사용하여 BP year를 AD/BC year로 전환한다. Graph 1.에 고정밀보정곡선(High-precision calibration curve, M. Stuiver & P.J. Reimer, 1993 REV.3.0.3)을 나타내었다.



Graph 1.
고정밀보정곡선

(High-precision calibration curve, M. Stuiver & P.J. Reimer, 1993 REV.3.0.3)

IV. 결과 및 고찰

방사성탄소연대결과를 Table 4 6.에 나타내었다.

Table 4. 소연평도 패각시료 2점의 방사성탄소연대측정 결과

유 적 지	시료번호	^{14}C-Year (BP-Year)	Calibrated Year (AD/BC Year)
소연평도 제 2패총 S50 W25 pit sample 2.	KCP 539	4030±60	BC 2680 2450 BC
소연평도 제 1패총 제 1패각 2번 sample(굴)	KCP 540	3980±60	BC 2680 2280 BC

Table 5. 수추섬 27호 주거지 목탄시료 1점의 방사성탄소연대측정 결과

유 적 지	시료번호	^{14}C-Year (BP-Year)	Calibrated Year (AD/BC Year)
수추섬 27호 주거지 01 수추 7	KCP 575	4870±50	BC 3780 3520 BC

Table 6. 창덕궁 금천교 목재시료 3점의 방사성탄소연대측정 결과

유 적 지	시료번호	^{14}C-Year (BP-Year)	Calibrated Year (AD/BC Year)
창덕궁 금천교 어구 동편 확장부 북쪽 탐색 Tr 출토	KCP 576	100±50	AD 1680 1940 AD
창덕궁 금천교 남편 아치 하부 남쪽 Tr 출토	KCP 577	130±50	AD 1680 1950 AD
창덕궁 동쪽 아치 남단 북 4M 지점 출토	KCP 578	210±70	AD 1520 1955 AD

방사성탄소연대측정에서 목재의 경우 땅에 묻혀진 시기보다는 베어진 순간의 시기를 나타낸다. 따라서 금천교 축조 시기와 연대의 차이가 있을 수 있으므로 연대 값을 다룰 때 이 점을 고려하여야 한다.

Ⅴ. 맺음말

소연평도 패각시료의 연대결과는 KCP539 4030±60BP year, KCP540 3980±60BP year이며, 수추섬 27호 주거지 목탄시료의 연대결과는 KCP575 4870±50BP year이고, 창덕궁 금천교 목재시료의 연대결과는 KCP576 100±50BP year, KCP577 130±50BP year, KCP578 210±70BP year이다.

이들 시료의 방사성탄소연대측정에는 벤젠합성법(Benzene Synthesis Method)과 액체섬광계측법(Liquid Scintillation Analysis)을 사용하였고, 방사성탄소연대의 교정연대(calibrated age)는 국제적으로 사용하고 있는 고정밀보정곡선(High-precision calibration curve)을 사용하였다.

유구 및 유적의 연대 결정 시 방사성탄소연대측정만을 이용하는 방법보다는 두 종류의 시료를 사용하여 서로 다른 과학적 원리에 입각한 절대연대측정 결과를 비교하면 좀 더 신뢰감 높은 결과를 얻을 수 있고 연대규명에 중요한 기초를 마련할 수 있을 것이다. 또한 이들 연대측정 결과를 유적의 성격 그리고 출토유물의 형식학적 편년과 함께 비교 검토하면 고고학적 연구성과도 크리라 기대한다.

참고문헌

1. M. J. Aitken, Science-based dating in archaeology (Singapore: Longman archaeology series), 1990, p.56 119, p.141 186.
2. H. A. Polach and S. K. Gupta, Radiocarbon Dating at ANU, Australia ANU Printing Service, 1985, p.8 45, p.100 105.
3. H. A. Polach, *Radiocarbon* Vo.129 No.1, 1987, p1 11.
4. R. E. Taylor, Radiocarbon Dating an Archaeological Perspective, Academic Press, 1987, p71 75.
5. M. Stuiver and G. W. Pearson, *Radiocarbon* Vol.35 No.1, 1993, p1 33.
6. M. Stuiver and R. Kra, *Radiocarbon* Vol.28 No.2B, Proc. 12th Int. Radiocarbon Conf. 1986.
7. M. Stuiver and H. Polach, *Radiocarbon* Vol.19 No.3, 1977, p355.
8. G. E. Calf and H. A. Polach, Liquid scintillation counting : Recent development(New York : Academic Press, 1974), p223 234.
9. H. E. Suess, *Science* Vol.120, 1954, p5 7.
10. H. Barker, *Nature* Vol.172, 1953, p631 632.
11. E. R. Swart, *Experienti* Vol.20, 1964, p47 48.
12. Harold Barker, *Nature* Vol.221, 1969, p49 50.
13. 이융조, 방사성탄소 연대측정과 한국의 선사시대 편년문제- H. E. Suess 이론을 중심으로-, 歷史學報 68, 1975, p53 55.
14. 이융조, 한국고고학의 편년에 대한 한 연구-MASCA의 방사성탄소연대측정 해석을 중심으로-, 韓國史硏究 第15號, 1977, p5 7.
15. H. Craig, *Geochim. et Cosmochim Acts*3, 1953, p53.
16. H. Craig, *Geochim. et Cosmochim Acts*12, 1957, p133.
17. N. Nakai and T. Nakamura, *Mem. Geol. Soc. Japan* 29, 1988, p235.

18. V. A. Nehmi, *Radiocarbon* Vol.22 No.2, 1980, p501.

19. P. M. Grootes, 1987, *Science* 200 (4337), p11.

20. 나경임, ^{14}C 年代測定을 위한 벤젠合成및 液體閃光計測, 1994, p6.

21. 강형태, 추연식, 나경임, 放射性炭素年代測定과 高精密補正方法, 1993, p18 20.