

## 톨루올액체섬광체에 의한 력사유적의 년대결정

안재석, 장미, 우철

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《력사유적에 대한 발굴사업은 유물을 찾아내는것으로 그쳐서는 의의가 없습니다. 발굴된 유물이 은을 내도록 하자면 유물을 옳게 정리하고 그에 대한 분석과 종합을 잘하여야 합니다.》(《김정일전집》 제3권 124페이지)

우리 인민이 창조하고 발전시켜온 민족문화유산을 더 많이 찾아내고 발굴고증하는것은 우리 민족의 단일성과 독자성, 우수한 문화전통을 계승발전시키고 주체적립장을 철저히 고수하기 위한 사업에서 매우 중요한 문제로 나선다.

력사유적유물에 대한 분석과 종합을 잘하기 위하여서는 유물의 절대년대를 정확히 결정하는것이 중요하다. 특히 5만년전까지의 년대를 정확히 결정하려면 액체섬광체를 개발하고  $^{14}\text{C}$ 년대측정방법을 적용하여야 하는데 여러가지 시료들을 높은 정확도로 측정하려면 톨루올액체섬광체를 개발하여야 한다.[2-4]

우리는 액체섬광체의 기본구성성분인 톨루올용매와 1차 및 2차용질의 합리적인 조성비를 찾고 이에 기초하여 력사유적의 절대년대를 높은 정확도로 측정하기 위한 연구를 하였다.

### 1. 톨루올액체섬광체의 조성

톨루올액체섬광체를 제조할 때 용매로는 톨루올을, 1차용질로는 3.4g/L PPO(2, 5-디페닐옥사졸), 2차용질로는 4.2mg/L POPOP(1, 4-비스-2-(5-페닐옥사졸)-벤졸)를 리용하는것이 합리적이다.[1] 이러한 조성의 톨루올액체섬광체를 리용하면 빛전자증배관의 신호가 강해진다. 이때 제조하려는 섬광체의 체적( $V$ )이 주어졌을 때 PPO( $X$ )와 POPOP의 량( $Y$ )은 다음의 식에 따라 구할수 있다.

$$X=0.020\ 4V, \quad Y=0.252 \cdot 10^{-4}V$$

이렇게 만들어진 섬광체 2mL를 시료벤졸 10mL에 넣으면 용액 1L당 PPO는 3.4g, POPOP는 4.2mg 풀려있는 측정용액을 얻을수 있다.

시료벤졸의 체적을  $V_1$ , 들어가는 섬광체의 체적을  $V_2$ 라고 하면  $V_2=0.2V_1$ 이다.

### 2. 톨루올액체섬광체의 계수특성

톨루올액체섬광체의 계수효를 제조한 톨루올액체섬광체의 계수효를 표준원천의 방사능을 측정하여 표준값과 비교하는 방법으로 결정하였다. 이때 표준원천( $1\ 129\text{Bq/kg}$ )의 비계수속도는  $67.74\text{개}/(\text{min} \cdot \text{g})$ 이다.

톨루올액체섬광체의 계수효율을 결정하기 위하여  $^{14}\text{C}$ 표준원천의 비계수속도( $n$ )를 매일 30min씩 24일 동안 측정하였다.(표 1)

표 1.  $^{14}\text{C}$ 표준원천의 비계수속도

날자	$n/(\text{개} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1})$	날자	$n/(\text{개} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1})$	날자	$n/(\text{개} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1})$
1	68.65	9	68.57	17	68.84
2	68.22	10	68.24	18	68.54
3	67.67	11	68.24	19	67.86
4	67.72	12	68.16	20	67.61
5	68.34	13	68.95	21	68.50
6	69.61	14	69.10	22	68.03
7	68.04	15	68.70	23	68.31
8	69.61	16	68.69	24	68.18

표 1의 결과로부터 계산한  $^{14}\text{C}$ 표준원천의 비계수속도평균값은  $(68.43 \pm 0.11)$ 개/(min · g)이고 폰시료의 비계수속도평균값은  $(1.99 \pm 0.012)$ 개/(min · g)이다. 즉 우리가 제조한 톨루올액체섬광체의 계수효율은 98.1%로서 이미 리용되고있는  $m$ -크실톨액체섬광체의 계수효율(93.2%)보다 더 높다.

톨루올액체섬광체와  $m$ -크실톨액체섬광체의 질지표비교 제조한 톨루올액체섬광체와  $m$ -크실톨섬광체와의 질지표를 비교하기 위하여 시료병들에 화학순벤зол 10mL씩 넣고 각각 2mL의 톨루올섬광체와  $m$ -크실톨섬광체를 첨가하여 폰시료를 만들었다. 다음 동일한 체적속에 방사성원천을 첨가하여 미지시료를 만들고 액체섬광계수장치에서 30min씩 폰시료와 미지시료의 계수속도를 측정하여 섬광체들의 질지표를 비교하였다.(표 2)

표 2. 액체섬광체에 따르는 질지표의 비교

구분	톨루올섬광체		$m$ -크실톨섬광체	
	폰시료의 계수속도 /(개 · min <sup>-1</sup> )	미지시료의 계수속도 /(개 · min <sup>-1</sup> )	폰시료의 계수속도 /(개 · min <sup>-1</sup> )	미지시료의 계수속도 /(개 · min <sup>-1</sup> )
계수값	20.8	104.6	19.4	100.2
	20.6	107.9	21.1	100.6
	21.7	103.6	19.3	99.9
	20.5	107.9	20.2	101.2
	20.4	107.9	20.1	101.2
	20.7	104.7	19.4	100.1
	21.2	104.1	19.2	100.0
	20.9	107.7	20.4	101.7
	21.3	104.3	19.2	100.6
	20.9	107.3	20.7	101.5
평균	20.9	106.0	19.9	100.7
질지표	27.76		22.57	

표 2에서 보는바와 같이 톨루올액체섬광체와  $m$ -크실톨액체섬광체의 질지표가 각각 27.76, 22.57로서 톨루올액체섬광체의 질지표가 더 좋다는것을 알수 있다.

### 3. 역사유적유물의 연대결정

라돈의 영향 라돈은 자연방사성원소의 붕괴계열원소로서 자연방사능에 가장 큰 영향을 미치는 중요한 방사성기체이다. 라돈의 반감기는 3.825일이다.

라돈은 물속에 미량으로 포함되어있으며 침전물에 잘 흡착된다. 또한 물과 접촉되어있는 시료겉면에 흡착될수 있다. 이로부터 카바이드를 제조할 때 리용되는 물속에 라돈이 섞이여 합성한 벤졸이 오염될수 있다. 따라서 라돈의 영향을 제거하여야 한다.

라돈의 영향을 평가하기 위하여 현대나무시료로부터 합성한 벤졸 5mL에 톨루올액체섬광체 1mL를 첨가하여 날자에 따르는 계수속도변화를 측정 한 결과는 그림과 같다.

그림에서 보는바와 같이 날자가 지남에 따라 계수속도값이 작아졌다. 이것은 카바이드합성과정에 물속에 섞여들어간 라돈이 시간에 따라 붕괴되면서 없어지기 때문이다.

따라서 라돈의 영향을 제거하기 위하여서는 시료로부터 벤졸을 합성한 다음 15~20일동안 방치하였다가 측정에 리용하는 것이 합리적이다.

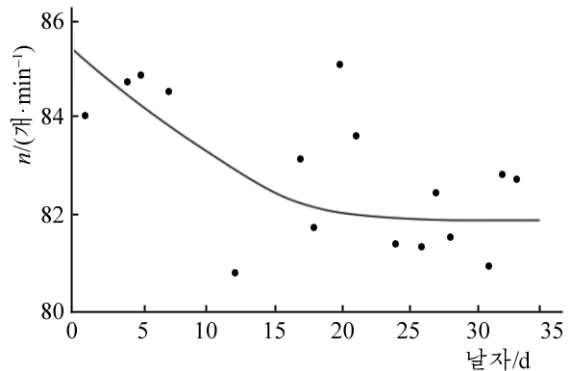


그림. 날자에 따르는 계수속도변화

안학궁터점성대유적의  $^{14}\text{C}$ 절대연대결정 침성대유적은 안학궁 서문터에서 서쪽으로 약 200m 떨어진 곳에 위치하고있다. 이 유적의 지상건축물은 남아있지 않으며 지하하부구조물만 약 380m<sup>2</sup>의 면적을 차지하고있다.

유적은 크게 평면이 4각형인 중심시설과 주변의 7각형보조시설로 이루어져있다. 4각형기초시설의 중심부분에는 특이하게 숲이 3.2m×3.2m의 면적에 약 0.3~0.4m의 두께로 깔려있었다. 숲층은 약 3cm이하크기의 크고작은 숲덩어리들로 이루어져있었다. 이 숲덩어리들은 인공적으로 매우 잘 구워진것이며 유적의 지층속에 그대로 보존되어 있었다.

침성대유적의 숲층에서 보존성이 좋은 큰 숲덩어리들을 100g정도 채취하여 그중에서 20g으로 벤졸 2.3mL를 합성하였다.

합성된 벤졸에 톨루올섬광체 0.46mL를 첨가하여 미지시료를 만들었다. 표준시료로는 《CO》, 폰시료로는 석탄으로부터 합성한 벤졸을 리용하였다.

전체 측정시간은 3 000min으로 하였으며 미지시료, 표준시료, 폰시료를 엇바꾸어가면서 50min 간격으로 비계수속도(n)와 비방사능(A)을 측정하였다.

측정값들은 표 3과 같다.

표 3. 폰시료, 미지시료 및 표준시료의 측정값

No.	$n_{\text{폰}}/$ (개·min <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup> )	$A_{\text{미}}/$ (개·min <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup> )	$A_{\text{표}}/$ (개·min <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup> )	No.	$n_{\text{폰}}/$ (개·min <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup> )	$A_{\text{미}}/$ (개·min <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup> )	$A_{\text{표}}/$ (개·min <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup> )
1	1.12	11.16	13.57	11	1.13	10.46	13.49
2	1.2	11.7	13.53	12	1.08	11.27	13.7
3	1.08	11.33	13.68	13	1.14	11.88	13.65
4	1.11	10.47	13.45	14	1.17	10.44	13.53
5	1.15	9.91	13.57	15	1.09	11.34	13.45
6	1.07	9.89	13.35	16	1.15	10.67	13.5
7	1.13	11.57	13.46	17	1.1	10.99	13.36
8	1.06	10.58	13.53	18	1.16	11.08	13.62
9	1.07	9.96	13.61	19	1.08	10.54	13.63
10	1.06	11.21	13.65	20	1.19	11.89	13.63

표 3의 결과로부터 아래의 식들에 의하여 절대년대( $T$ )와 오차( $\sigma$ )를 계산하였다.

$$T = 8033 \ln \frac{A_{\text{표}}}{A_{\text{시}}}$$

$$\sigma = \frac{1}{\lambda \sqrt{t_{\text{전}}}} \left[ \frac{1}{\sqrt{n_{\text{표}} + n_{\text{폰}}} + \sqrt{n_{\text{폰}}}} + \frac{1}{\sqrt{n_{\text{시}} + n_{\text{폰}}} - \sqrt{n_{\text{폰}}}} \right]$$

식으로부터 계산한 절대년대는  $1735 \pm 125$ 이다. 이 값을 B.P.년대로 고치면  $(1675 \pm 125)$ B.P.이다.년대보정곡선을 리용하여 기원후 년대로 보정하면 410년이다.

이것은 427년 고구려가 수도를 평양으로 옮기면서 안학궁과 함께 그 서쪽에 천문대를 건설하였을것이라는 역사학적자료와도 잘 일치한다.

안학궁터첨성대유적의년대결정을 통하여 우리 민족이 평양지방을 중심으로 한 대동강류역에서 유구하고 찬란한 문화를 창조해왔으며 과학기술이 매우 발전되었다는것을 다시한번 과학적으로 고증하였다.

## 맺 는 말

1) 가장 좋은 계수특성을 주는 톨루올액체섬광체의 혼합비와 시료속에 들어가는 섬광체의 량을 구하는 식은 다음과 같다.

$$X=0.0204V$$

$$Y=0.252 \cdot 10^{-4}V$$

$$V_2=0.2V_1$$

2) 톨루올액체섬광체의 계수효율은 98.1%이며 질지표는 27.76이다.

3) 안학궁터첨성대유적의년대는 410년으로서 이 유적은 고구려시기 우리 민족의 발전된 과학기술수준을 보여주는 역사유적의 하나이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 61, 4, 87, 주체104(2015).
- [2] N. Horvatincic et al.; Radiocarbon, 46, 1, 105, 2004.
- [3] C. Varlam et al.; Applied Radiation and Isotopes, 67, 812, 2009.
- [4] I. K. Bronic et al.; Applied Radiation and Isotopes, 67, 800, 2009.

주체104(2015)년 9월 5일 원고접수

## **Dating of the Historical Relics by Toluene Liquid Scintillator**

*An Jae Sok, Jang Mi and U Chol*

We determined the mixing ratio of toluene liquid scintillator with the best count characteristics.

We decided the absolute age of the Chomsongdae, the observatory relics in Anhak Palace, the court of Koguryo dynasty using toluene liquid scintillator. This relics shows the development level of science and technology of our nation at the Koguryo age.

Key words: radioactivity, liquid scintillator, historical relic