

## 향목리유적퇴적물에서 U, Th, K함량측정

리명혁, 전해일, 강분이

최근 강동군 향목리에서 구석기시대의 동굴유적을 새로 발굴하였다. 이 유적에 대한 연구에서 중요한 문제의 하나는 년대를 측정하여 유적의 시대를 정확히 밝히는것이다.

열형광년대측정에서는 총선량과 함께 반드시 연간선량을 결정하여야 한다. 지난 시기에는 연간선량을 결정하기 위하여 유적의 지층에 6개월이상 묻어두었던 열형광선량계를 리용하였다. 그러나 퇴적물에서  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ 의 함량을 측정하면 연간선량을 직접 계산할수 있다.[1]

본문에서는 이 유적의 년대를 열형광년대측정법으로 결정하기 위하여 유적퇴적물의 U, Th, K함량을  $\gamma$  선스펙트르분석법으로 측정하였다.

### 1. U, Th, K함량측정의 일반적방법들

동굴퇴적물에서 U, Th, K함량은 일반적으로 수ppm정도이므로 보통의 화학적 및 물리적방법으로는 측정할수 없다. 이로부터 주로 방사선이나 그것의 2차효과를 리용한 측정방법들이 리용된다. 지금까지 알려진 측정방법들에서 대표적인것은  $\alpha$  선스펙트르분석법,  $\gamma$  선스펙트르분석법, 중성자방사화법 등이 있다.

유적유물의 연구에서는 여러가지 측정방법가운데서 연구목적에 부합되는 적합한 방법을 선택하여 리용하는것이 중요한 문제로 제기된다.

#### 1) $\alpha$ 선스펙트르분석법

$\alpha$  선스펙트르분석법은 유물 혹은 그와 관련된 시료(방해석, 퇴적물 등)에서  $\alpha$  선을 측정하여 U 및 Th동위원소들의 함량을 결정하는 방법이다.

이 방법에서는 공침, 이온교환, 용매추출 등의 공정을 거쳐 시료에서 U 및 Th을 분리하여야 하며 또한  $\alpha$  선측정의 요구에 맞게 얇은 시편을 제조하여야 한다.

결합은 U과 Th의 화학분리공정이 복잡하며 시편제작에서 전해액을 합리적으로 선정하고 산도조건을 정확히 보장하여야 하는 등의 문제가 제기된다는것이다. 더우기 K은 측정하지 못하는 부족점이 있다.

#### 2) 중성자방사화법

중성자방사화법에서는 원자로에서 나오는 중성자로 시료를 쪼일 때 원자핵들이 중성자와  $(n, \gamma)$  핵반응을 일으키면서 나오는  $\gamma$  선을 측정하여 원소함량을 결정한다.

이외에도 가속기에서 나오는 양성자를 시료에 쪼여 방사화시키는 대전립자방사화법도 있다. 이 방법은 U, Th, K이 미량으로 들어있는 경우에도 적용할수 있는 우점이 있다. 특히 년대가 오래지 않은 유적에서 나온 시료들의 방사선량을 결정하는데서 효과적이다.

그러나 원자로나 가속기와 같은 실험장치가 요구되고 실험조작이 복잡한 부족점이 있다.

### 3) $\gamma$ 선스펙트럼분석법

$\gamma$  선스펙트럼분석법은 유물 혹은 그와 관련된 시료(방해석, 퇴적물 등)에서  $\gamma$  선을 측정하여 U 및 Th동위원소들의 함량을 결정하는 방법이다.

$\gamma$  선스펙트럼분석법이 나온 초기에는 섬광검출기의 분해능이 작아 일부 제한된 핵종만을 측정하였으나 현재는 분해능이 높은 고순도게르마늄검출기로 U, Th, K의 함량을 동시에 측정하고있다.[2]

이 방법은 화학적처리공정을 거치지 않으므로 측정이 훨씬 간단하다.

이외에도 U, Th, K함량측정에 유도결합플라즈마질량스펙트럼법(ICP-MS)과 유도결합플라즈마발광스펙트럼법(ICP-ESA)도 이용된다.

퇴적물시료의 U, Th, K함량을 측정하기 위하여  $\gamma$  선스펙트럼분석법을 선택하였는데 그것은 이 방법이 U, Th, K함량을 동시에 직접 측정할수 있을뿐아니라 복잡한 화학분리공정을 거치지 않으며 설비가 비교적 간단하고 측정시간이 짧기때문이다.

## 2. 측정결과 및 분석

시료채취 향목리유적은 평양시에서 동북쪽으로 35km정도 떨어진 강동군 향목리에 위치하고있다.

향목리유적에 대한 발굴은 2017년 9월부터 2018년 10월까지 진행하였다.

향목리유적의 퇴적층은 퇴적물의 크기와 립도, 색깔 등에 따라 밑에서부터 위로 모두 7개 층으로 구분된다.

층위에 따르는 퇴적물조성을 보면 다음과 같다.

- 7층-석회암판석이 섞인 검은회색흙층의 두께 1.8m
- 6층-석회암각력이 50% 섞인 황갈색점토층의 두께 1.5m
- 5층-석회암각력이 30% 섞인 회황색점토층의 두께 0.8m
- 4층-석회암각력이 20% 섞인 적황색점토층의 두께 0.9m
- 3층-석회암각력이 10% 섞인 황색점토층의 두께 1.0m
- 2층-점판암자갈이 포함된 황색분사질점토층의 두께 0.4m
- 1층-황색모래질점토층의 두께 0.9m

층위에 따르는 유물출토정형을 보면 다음과 같다.

- 7층-청동기시대의 팽이그릇조각 10점, 조가비껍질 12개
- 6층-신석기시대의 조선옛류형사람이발 5개, 질그릇조각 40점
- 5층-구석기시대 후기의 석기 8점, 짐승뼈화석 950여점
- 4층-구석기시대 후기의 석기 8점, 짐승뼈화석 700여점
- 3층-유물 없음
- 2층-유물 없음
- 1층-유물 없음

구석기시대의 유물이 나온 4층과 5층가운데서 년대가 보다 오랜 4층의 퇴적물시료 225g을 채취하고 60℃에서 건조한 다음 밀폐된 용기에 넣어 보관하였다가 측정하였다.

측정장치 측정장치의 구성도는 그림 1과 같다.

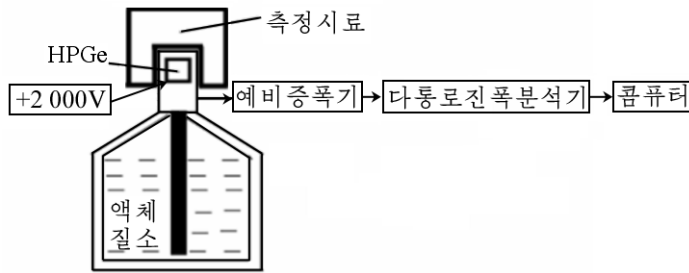


그림 1.  $\gamma$  선스펙트럼분석기의 구성도

HPGe검출기 《IGC-15》의 주요특성을 보면 분해능 1.8keV/1.33MeV, 동작전압 +2 000V, 콤프톤붕우리에 대한 빛전기붕우리의 비 46:1이다.

$\gamma$  선스펙트럼측정 토리움계열의 핵종들에서  $\gamma$  선스펙트럼분석기로 측정가능한 핵종들은  $^{228}\text{Ac}$  (911.07keV)과  $^{212}\text{Pb}$  (238.63keV)이다. 그러나  $^{212}\text{Pb}$  (238.63keV)  $\gamma$  선은 Rn의 딸핵이므로 그것의 영향을 받을수 있다. 그러므로 U의 방사능결정에는  $^{228}\text{Ac}$ 을 리용하는것이 합리적이다. 그러나 U의 방사능결정에서는  $^{238}\text{U}$ 의 붕괴계열에서  $^{226}\text{Ra}$  (186keV),  $^{214}\text{Bi}$  (609keV)를 리용할수 있지만 Ra선은  $^{235}\text{U}$ 의 185keV선의 간섭을 받으므로 리용할수 없다. 그러므로 U의 방사능결정에  $^{214}\text{Bi}$  (609keV)를 리용하였다.  $^{40}\text{K}$ 은 직접 측정하였으며 측정시간은 30 255s이다.

향목리유적퇴적물의  $\gamma$  선스펙트럼은 그림 2와 같다.

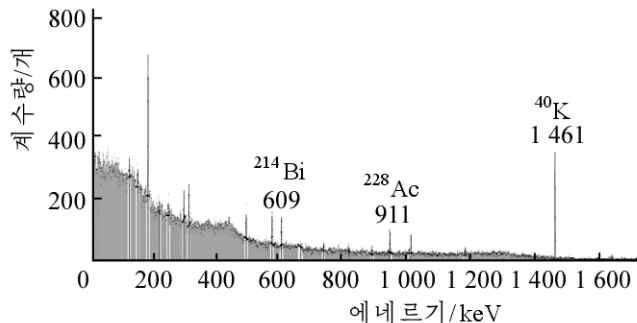


그림 2. 향목리유적퇴적물의  $\gamma$  선스펙트럼

그림 2에서 보는바와 같이 스펙트럼에서는  $^{238}\text{U}$ 의 딸핵인  $^{214}\text{Bi}$ 의 609keV,  $^{228}\text{Ac}$ 의 911keV,  $^{40}\text{K}$ 의 1461keV붕우리들이 나타났다.

U, Th, K함량결정 우선 방사능을 다음의 식으로 계산하였다.[2]

$$A = (S_{\text{빛}} / t_{\text{측}}) / (P_{\gamma} \cdot \varepsilon_p \cdot G_{\gamma})$$

여기서  $S_{\text{빛}}$ 은 빛전기흡수붕우리면적,  $t_{\text{측}}$ 은 측정시간(s),  $P_{\gamma}$ 는 붕괴당  $\gamma$  선방출률,  $\varepsilon_p$ 는 검출효율,  $G_{\gamma}$ 는  $\gamma$  선자체차폐결수이다.

원천(150mL)의 기록효율은 방사성동위원소  $^{121}\text{I}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{130}\text{I}$ ,  $^{60}\text{Co}$ 의 점원천을 제조하여 HPGe검출기에서 방사능을 결정한 다음 일정한 원천으로 다시 제조하여 결정하였다. 이때 리용된 방사성동위원소들의  $\gamma$  선에너지는 159, 171.3, 245.4, 418, 536.1, 668.54, 739.5, 1 157.51, 1 173.2, 1 332.5keV이다.

검출효율은 다음의 회귀방정식으로 결정하였다.[2]

$$\lg(\varepsilon_p) = -2.339\,99 + 1.247\,87 \cdot \lg(E) - 0.402\,67(\lg(E))^2$$

동위원소의 함량은 방사능  $A$ 로부터 다음의 식으로 계산하였다.

$$\rho = \frac{M \cdot T \cdot A}{\ln 2 \cdot N_A} \cdot \frac{1}{m_{\text{시료}}}$$

여기서  $M$ 은 원자량,  $T$ 는 반감기(y),  $A$ 는 방사능(Bq),  $N_A$ 는 아보가드로수,  $m_{\text{시료}}$ 는 시료의 질량(g)이다. 측정결과는 표와 같다.

표. 함목리유적 제4층 퇴적물에서 $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{40}\text{K}$ 의 함량				
동위원소	기록효율	계수속도 / (개·s <sup>-1</sup> ) (오차/%)	방사능/Bq	함량/%
$^{238}\text{U}$	0.011 540	0.01(18.3)	2.53	$9.1 \cdot 10^{-5}$
$^{232}\text{Th}$	0.005 817	0.02(14.8)	16.4	$1.8 \cdot 10^{-3}$
$^{40}\text{K}$	0.002 612	0.04(4.03)	174.7	$3 \cdot 10^{-4}$

## 맺는 말

1)  $\gamma$  선스펙트럼분석법은 시료의 화학적처리가 없고 측정시간이 오래지 않으며 복잡한 설비를 쓰지 않으므로 고고학적유물연구에 적합한 방법이다.

2) 열형광 및 전자스핀공명년대측정에서  $\gamma$  선스펙트럼분석법으로 U, Th, K의 함량을 직접 측정하여 연간선량을 계산할수 있다.

## 참고 문헌

[1] A. G. Wintle; Fifty Years of Luminescence Dating, Archaeometry, 50, 276, 2008.

[2] 刘广山 等; 不平衡铀系和钍系核素的  $\gamma$  谱测定, 海洋学报, 25, 5, 65, 2003.

주체108(2019)년 12월 5일 원고접수

## Content Determination of U, Th and K from Deposits of the Hyangmokri Site

Ri Myong Hyok, Jon Hae Il and Kang Pun I

The content of  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  in the deposit of layer 4 measured by  $\gamma$  ray spectrum analysis are respectively  $9.1 \cdot 10^{-5}$ ,  $1.8 \cdot 10^{-3}$  and  $3 \cdot 10^{-4}$  %, for the TL ages of the Hyangmokri site.

Keywords: Hyangmokri site,  $\gamma$  ray spectrum analysis, annual dose