

## 전자상자성공명법에 의한 향목리동굴유적 곰이발화석의 절대년대측정

지원혁, 리명혁

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)

최근 원시유적들에 대한 조사를 심화시키는 과정에 평양시 강동군 향목리에서 구석기시대와 신석기시대, 청동기시대의 문화층이 차례로 겹놓인 원시동굴유적이 새로 발견되였다. 유적에 대한 발굴결과 구석기시대문화층(유적의 4층과 5층)에서는 포유동물화석 9종에 1 650여점과 석기 8종에 16점, 포분화석 280여개가 발견되였다.

본문에서는 유적의 구석기시대문화층에 대한 절대년대를 결정하기 위하여 전자상자성공명(EPR)법으로 4층에서 나온 곰이발화석에 대한 년대측정을 진행하였다.

### 1. 총선량평가

시료준비 시료로 선택한 곰이발화석에서 EPR측정에 적합한 범랑질부분만을 기계적으로 분리해냈다. 다음 범랑질조각들의 결면을 세척하여 오염된 부분을 제거한 상태에서 방안온도에서 2d동안 건조시켰다. 이것을 마노절구로 붓아 립자크기가  $120\mu\text{m}$  이하인 미세한 가루로 만들었다. 이렇게 얻은 범랑질시료는 1g정도였다. 다음 자석을 리용하여 철성분을 제거하고 1건당 60~90mg정도 되게 15건의 시료들로 나누었다. 그중 3건을 1개조로 하여 자연EPR스펙트럼측정에 리용하였다.

인공방사선쪼임 12건의 시료를 3건씩 4개 조로 가르고 매 조에 방사성동위원소  $^{60}\text{Co}$ 에서 나오는  $\gamma$  선을 리용하여 각각 100, 200, 250, 300Gy의 선량을 쪼임하였다.(그림)

EPR스펙트럼측정 인공적으로 쪼임된 시료들과 쪼임되지 않은 시료들에 대한 EPR스펙트럼을 EPR분광계 《JEX-JEOL》을 리용하여 측정하였다.

먼저 시료를 석영으로 된 유리관에 넣어 EPR분광계의 공동중심에 놓았다. 다음 자기마당세기를 변화시키면서 마이크로파가 흡수될 때의 스펙트럼을 기록하였다. 이 과정을 매 시료에 대해 반복하면서 15건의 시료들에 대한 스펙트럼들을 얻었다.

스펙트럼측정파라미터들은 다음과 같다.

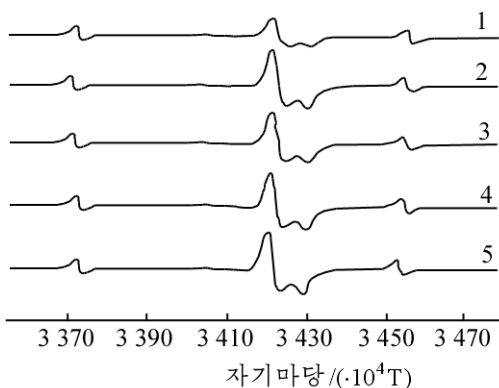


그림. 향목리동굴유적 곰이발화석 범랑질에 대한 EPR스펙트럼

1-5는 쪼임선량이 각각 0, 100, 200, 250, 300Gy인 경우

자기마당세기  $(3310 \sim 3510) \cdot 10^{-4} \text{T}$ , 변조진폭 1mT, 마이크로파출력 5mW, 증폭도 500, 시간상수 0.01s.

총선량(TD)계산 측정된 EPR스펙트르들로부터 인공방사선조임선량에 따르는 EPR신호의 상대세기들을 구한 다음(표 1) 추가선량법을 리용하여 시료가 흡수한 총선량을 결정하였다.

표 1. 인공방사선조임선량에 따르는 EPR신호의 상대세기

조임선량 /Gy	시료질량 /mg	EPR신호의 상대세기	단위질량당 신호세기/mg	단위질량당 신호세기의 평균값/mg
0	93.3	84.4	1.11	$1.11 \pm 0.02$
	84.2	76.7	1.10	
	70.8	62.1	1.14	
100	149.2	80.1	1.86	$1.96 \pm 0.10$
	139.6	67.8	2.06	
	141.0	72.4	1.95	
200	215.3	85.3	2.52	$2.71 \pm 0.18$
	168.8	58.4	2.89	
	192.4	71.1	2.71	
250	210.8	72.2	2.92	$3.03 \pm 0.13$
	191.9	64.0	3.00	
	222.4	70.0	3.18	
300	208.8	60.4	3.46	$3.34 \pm 0.17$
	254.2	74.6	3.41	
	211.3	67.2	3.14	

결과 시료가 받은 총선량은 다음과 같다.

$$TD = (156.3 \pm 12.6) \text{Gy} \quad (1)$$

## 2. 연간선량평가

년간선량은 시료내부와 주위퇴적물속에 들어있는 방사성원소들에 의한 선량과 우주선량의 합으로 결정한다.

일반적으로 지하 수m에서는 우주선의 영향을 무시할수 있는데 곰이발화석이 퇴적층 표면으로부터 약 5m깊이에 묻혀있었으므로 시료가 받은 우주선량값은 무시하였다.[2]

외부선량과 내부선량을 평가하기 위해 곰이발화석이 묻혀있던 주위에서 채취한 흙시료 약 0.5kg과 곰이발화석 범랑질시료 1g정도에 들어있는 방사성원소들의 함량을 평가하였다. 함량측정은  $\gamma$  선스펙트르법으로 진행하였는데 곰이발화석 범랑질시료에 대해서는 결과가 검출되지 않았다. 그러므로 내부선량값은 무시할수 있을 정도로 작다고 보았다.

$\gamma$  선스펙트르법에 의해 항목리유적 4층 흙시료에 포함되어있는 방사성원소들의 함량은 표 2와 같다.[1]

표 2. 항목리유적 4층 흙시료에 포함되어있는 방사성원소들의 함량

방사성원소	함량/ppm
$^{232}\text{Th}$	18
$^{238}\text{U}$	0.91
$^{40}\text{K}$	3

한편 농도가 1ppm인  $^{232}\text{Th}$  와  $^{238}\text{U}$ ,  $^{40}\text{K}$  으로부터 1년간 나오는  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  선량은 표 3과 같다.[2]

표 3. 각이한 방사성원소에 따르는 연간선량

방사성 원소	농도 /ppm	연간선량 $\alpha$	/( $\mu\text{Gy} \cdot \text{y}^{-1}$ )		
			$\beta$	$\gamma$	
$^{232}\text{Th}$	1	738	28.6	51.4	
$^{238}\text{U}$	1	2 783	146.2	114.8	
$^{40}\text{K}$	1	—	697.7	203	

$\alpha$  선의 주행거리는  $20\mu\text{m}$  정도밖에 되지 않기 때문에 흡시료에서 나오는  $\alpha$  선은 시료에 거의 영향을 주지 않으므로 고려하지 않아도 된다.

표 2와 3으로부터  $\beta$  선에 의한 연간선량값은 약  $2\,740.94\mu\text{Gy/y}$ ,  $\gamma$  선에 의한 연간선량값은 약  $1\,638.67\mu\text{Gy/y}$ 이다. 따라서 외부선량값은 약  $4\,379.61\mu\text{Gy/y}$ 이다.

시료내부선량값과 우주선량값이 다 무시되었으므로 결국 연간선량값은 외부선량값과 거의 같다고 볼수 있다.

$$D \approx 4\,379.61\mu\text{Gy/y} \approx 4.38\text{mGy/y} \quad (2)$$

### 3. EPR년대

곰이발화석시료가 받은 총선량  $TD$ 와 연간선량  $D$ 로부터 EPR년대는 다음과 같다.

$$T = TD / D \approx 156.3(\text{Gy}) / 4.38(\text{mGy/y}) \approx 3.6 \cdot 10^4 \text{y} \quad (3)$$

측정오차는 인공방사선조임에서의 오차, 스펙트르분석에서의 오차, 연간선량평가에서의 오차 등을 고려하면 약 11%정도이다.

### 맺 는 말

강동군 향목리동굴유적에서 나온 곰이발화석의 전자상자성공명년대는 약 3만 6천y이다. 이 결과는 이 유적의 구석기시대문화층에서 나온 방해석에 대한 열형광년대(약 3만 4천y)와 잘 일치할뿐만아니라 이 문화층에서 나온 석기들과 동물뼈화석들에 대한 분석결과들을 년대학적으로 잘 안받침해준다.

### 참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보 물리학, 66, 2, 103, 주체109(2020).
- [2] J. S. Bogard et al.; Journal of Human Evolution, 46, 276, 2004.

주체109(2020)년 12월 5일 원고접수

### Absolute Dating of the Bear Tooth Fossil Excavated from Hyangmok-ri Cave Site by EPR Method

*Ji Won Hyok, Ri Myong Hyok*

EPR age of the bear tooth fossil excavated from Hyangmok-ri Cave Site in Kangdong County is about 36ky. This result agrees with TL age of calcite from the Paleolithic layer.

Keywords: EPR(electron paramagnetic resonance) dating, bear tooth fossil, Hyangmok-ri Cave Site