

## 동암동유적과 청파대유적의 절대년대 비교

김 정 호

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《유물정리를 잘하여야 유물과 자료에 대한 종합적연구를 옳게 추진시킬수 있으며 분석과 종합을 잘하여야 년대를 확정하고 그 시기의 사회경제형편과 문화발전정도를 정확히 밝혀낼수 있습니다.》(《김정일전집》 제3권 124페이지)

일반적으로 유적의 년대는 각이한 시료에 의한 여러가지 년대측정값들이 오차한계에서 서로 일치하는것은 물론 인류학적, 고고학적, 고생물학적인 시대와도 잘 부합되어야 그 믿음성이 담보된다.

절대년대측정값들은 보통  $^{14}\text{C}$ 년대나 K-Ar년대와 비교하여 보는것이 일반적이다.

그러나 이 방법들은 년대측정한계에서의 제한성으로 하여  $5 \cdot 10^4\text{y}$  이후 또는  $10^6\text{y}$  이전시기의 해당하는 대상들에서는 그리 적당치 않다.

ESR법, TL법, FT법, U계렬법들은 년대측정한계가 수백 $\sim 2 \cdot 10^6\text{y}$ 이며 시료로는 유적들에서 비교적 자주 알려져있는 뼈화석, 돌순 혹은 돌고드름(방해석), 불자리흙 등을 리용할수 있으므로 구석기시대의 유적들에 대한 년대측정들의 믿음성을 담보하는데 많이 리용되고있다.

본문에서는 ESR법, TL법, FT법, U계렬법 등을 리용하여 동암동유적과 청파대유적의 년대들을 비교 고찰하였다.

### 1. 대동강류역에서 발견된 유적들에 적용된 년대측정방법들의 원리와 방법

#### ① 전자스핀공명법(ESR)

유물이 자연방사선( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ )과 우주선의 영향을 받으면 유물안에 있는 결정살창의 원자준위에서 전자들이 전리되면서 홀전자들이 생긴다. 이 홀전자들은 에네르기보충결과로 려기되어 일정한 에네르기를 가지고있는 살창의 고유결함이나 혼입물결함 등이 포획되어 준안정상태로 안정화된다. 이 포획전자들이 자기마당속에서 마이크로파를 흡수하면 공명현상을 일으켜 상태가 변화된다.

자기마당속에서 ESR현상이 준안정상태의 포획전자들과 관련된다것은 ESR스펙트르의 세기가 포획전자들의 수에 관계되며 그 수는 자연방사선의 총흡수선량과 같다는것을 의미한다. 그러므로 ESR스펙트르세기를 리용하여 시료가 받은 자연방사선의 총량을 구할수 있으며 이로부터 유물의 절대년대를 알아낼수 있다.

ESR법에 의한 년대  $T(\text{y})$ 는 자연방사선의 세기가 일정하다고 보면 다음과 같다.

$$T = TD / D$$

여기서  $TD$ 와  $D$ 는 각각 시료가 받은 총선량(Gy) 및 연간선량(Gy/y)이다.

먼저 이발법랑질의 결층을 벗겨버린 다음  $120\mu\text{m}$ 의 알갱이들을 선별하고 자성분리기

로 철성분을 제거한다.

다음 이것을 1건당 20mg씩 저울질하여  $^{60}\text{Co}$  방사선원천에서 나오는  $\gamma$  선을 리용하여 200~1 000Gy의 조건에서 조임한다.

조임한 후 RSR측정장치 《JEX-JEOL》로 스펙트르를 측정한다.

측정조건은 자기마당의 세기  $(3\,410 \pm 100) \cdot 10^{-4}\text{T}$ , 마이크로파출력 1mW, 증폭도 1 000, 응답시간 0.01s이다.

년간선량은 시료내부와 주위퇴적물속에서 연간선량률에 영향을 주는 성분들의 함량을 결정하는 방법으로 진행한다.

## ② 열형광법(TL)

석회암동굴의 퇴적층에는 유적유물들과 함께 돌고드름, 돌순 등 탄산칼시움(방해석)들도 나오게 된다. 이것들은 석회암지대로 흐르는 자연수에 의하여 용해, 재결정화된 이후 새롭게 축적된 열형광을 나타낸다. 이때 축적된 열형광을 열형광측정장치로 결정하면 그것을 발생시킨 총방사선량(등가선량)을 알수 있으며 그 위치에서의 년간에 받은 선량을 알아내면 돌고드름이나 돌순 혹은 방해석이 재결정화된 이후시기 다시말하여 퇴적층에 묻힌 시기를 알아낼수 있다.

시료는 퇴적층에서 발견된 방해석을 리용한다.

시료가공은 선행연구[4]에서와 같이 하고  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  선원천에서 조임한 후(선량률 88y/h) 한주일동안 방치하였다가 열형광을 측정한다.

열형광을 측정할 때 빗거르개는 청색으로, 가열속도는  $5^\circ\text{C/s}$ 로 보장하였으며 이것을 등가선량에 리용한다.

년간선량은 두꺼운 원천  $\alpha$  계수법으로, 퇴적물의 U, Th가 내는 외부  $\gamma$  선량과 내부의  $\alpha$ ,  $\beta$  선량 그리고 K가 내는 외부  $\beta$ ,  $\alpha$  선량은 퇴적물 K함량분석값으로 계산한다.

방해석에는 보통 K함량이 무시할 정도이므로 따로 분석하지 않고 알갱이크기가  $120\mu\text{m}$  정도이므로  $\gamma$  내부선량도 고려하지 않는다.

## ③ 자발핵분열흔적년대측정법(FT)

유적에서 발굴된 유물과 퇴적물에는 지르콘석, 설석, 린회석 등이 포함되어있다. 이 퇴적물속에 포함되어있는 광물들에는 우라늄이  $\sim 10^{-4}\%$  정도 포함되어있다. 이 우라늄가운데서 99.8%를 차지하는  $^{238}\text{U}(\lambda = 7.03 \cdot 10^{-17}\text{y}^{-1})$ 은 자발핵분열을 일으켜 지르콘석, 설석, 린회석 등에 분열흔적을 남긴다.[5]

핵분열흔적년대측정법은 광물들에 우라늄함량이 일정할 때 핵분열흔적의 수가 년대에 비례하여 증가한다는 원리에 기초하고있다.

동굴속에 있는 불자리의 흙이나 질그릇 등에 포함되어있는 지르콘석, 설석, 린회석 등에서  $^{238}\text{U}$ 의 함량이 일정할 때 그것의 분열로 인하여 생긴 흔적수는 불의 사용이 끝난 시기 또는 질그릇이 소성된 때로부터 현재까지의 년대에 비례한다

따라서 광물들에 남아있는 흔적의 수를 계수하고 년대를 알아낼수 있다.

먼저 불자리흙을 80~250 $\mu\text{m}$ 인 채로 쳐서 선별하고 물로 씻어 건조로( $80^\circ\text{C}$ )에서 건조시킨다. 다음 자성분리하고  $[\text{CHBr}_3(\rho = 2.89), \text{CH}_3\text{I}_2(\rho = 3.33)]$ 이 되게 중액분리하여 이질립자들을 비롯한 불순물들을 제거한다. 그리고 테플론수지에 의한 매물법[5]으로 지르콘

석알갱이들을 고정 한 다음 알카리부식시켜 자발핵분열흔적을 500배의 광학현미경에서 계수한다. 유도핵분열흔적은 백운모검출기를 시료에 부착시켜 열중성자를 쏘인 다음 방온도에서 HF(48%)로 30min동안 부식시켜 우와 같은 조건에서 계수한다.

#### ④ 우라니움계렬년대측정법(U계렬법)

현재 살아있는 동물들의 뼈, 이발 등 굳은 조직들에는 우라니움이 포함되어있지 않다. 그런데 일단 짐승이 죽어 땅에 묻히면 뼈가 화석화되는 과정에 우라니움이 흡착된다. 그러나 Th나 Pa는 화학적성질의 차이로 인하여 뼈화석에 흡착되지 않는다.

그러므로 뼈화석에서 Th나 Pa는 흡착된  $^{235}\text{U}$ 의 방사성붕괴에 의하여서만 생겨나게 된다. 뼈의 화석화과정에서 우라니움만 포함되고 Th나 Pa는 포함되어있지 않다고 하면 뼈화석에서의 Pa의 축적은 방사성붕괴법칙에 따라 년대와 다음과 같은 관계를 가진다.

$$A_{231\text{Pa}} = A_{235\text{U}}(1 - e^{-\lambda_{231}T})$$

여기서  $A_{231\text{Pa}}$  과  $A_{235\text{U}}$  는 각각 주어진 핵들의 방사능이며  $\lambda_{231}$  은  $^{231}\text{Pa}$ 의  $\lambda = (2.134 \cdot 10^{-5} / \text{y})$  이다. 그러므로 뼈화석에서 주어진 핵들의 방사능비 ( $A_{231\text{Pa}} / A_{235\text{U}}$ )를 측정하면 년대를 구할수 있다.

시료는 동굴퇴적층에 묻혀있는 뼈화석의 결면을 2mm정도 깎아 오염된 부분을 제거한 다음  $50\mu\text{m}$  크기로 분쇄하고 건조시킨 다음 측정한다.

측정은 IGC-10형게르마니움검출기가 연결된  $\gamma$ 선스펙트럼측정장치로 진행한다.[6]

## 2. 유적들의 년대호상간 비교

1) 구석기시대의 전기유적으로 알려진 순천시 동암동유적에서는 수많은 포유동물화석과 함께 방해석덩어리들이 발견되었다.

실험에서는 2문화층에서 발견된 큰쌍코뿔이이발화석 그리고 방해석덩어리를 리용하여 이 년대측정에 적합한 ESR측정법과 TL측정법을 적용하였다.[1]

측정결과 동암동유적 2문화층에서 발견된 큰쌍코뿔이이발화석의 ESR년대는  $7.04 \cdot 10^5 \text{y}$  이며 ( $\delta \pm 7.4\%$ ), 퇴적층속에 묻혀있던 방해석시료의 TL년대는  $7.39 \cdot 10^5 \text{y}$  이다. ( $\delta \pm 10.8\%$ )

이와 같이 ESR법으로 측정한 동암동유적에 묻혀있던 큰쌍코뿔이이발화석은  $7.6 \cdot 10^5 \sim 6.5 \cdot 10^5 \text{y}$  사이 그리고 TL법으로 측정한 동암동퇴적물속에 묻혀있던 방해석은  $8.2 \cdot 10^5 \sim 6.6 \cdot 10^5 \text{y}$  사이의 년대를 가진다. 이 값들은 동암동일대의 포분식물상에 반영된 기온변화 특성곡선에서 나타나는 제4기 중갱신세의 군쯔-민델간빙기의 기온변화특성과 유사하며 저산성구릉평야지대의 온화한 기후환경과 풍부한 식물피복을 이룬 포분화석자료와도 잘 일치한다.[2]

그러므로 동암동에서 발견된 유적은 년대학적전지에서 그리고 환경학적전지에서 그 믿음성이 담보된다는것을 알수 있다.

2) 황주군 청과대동굴유적에서는 구석기시대 중기로부터 후기에 이르는 기간을 대표하는 유적들로서 황주사람으로 알려진 인류화석과 함께 그들이 쓰던 로동도구와 잡아

먹고 버린 짐승뼈 화석들이 많이 발견되었다. 이와 함께 황주사람들이 살면서 사용한 많은 불자리들도 발견되었다.

그러므로 여기에서 발견된 유물들의 년대결정에 적합한 FT법과 TL법 그리고 U계렬법을 적용하였다.

년대결정은 8퇴적층에서 발견된 짐승뼈 화석과 불자리 그리고 자연동굴퇴적층에서 발견된 방해석을 리용하여 진행하였다.

#### ① 불자리의 FT년대

시료로서는 불자리흙에서 선별한 지르콘석을 리용하였다.

이 방법으로 측정한 청파대동굴 불자리의 FT년대는  $7.4 \cdot 10^4$  y이다. ( $\delta = \pm 14.6\%$ )

#### ② 청파대동굴퇴적층에서 발견된 방해석의 TL년대

청파대동굴에서 나온 방해석시료의 TL년대는  $6.8 \cdot 10^4$  y이다. ( $\delta = \pm 10\%$ )

#### ③ 청파대동굴퇴적층에서 발견된 뼈 화석의 U계렬년대

청파대동굴 8퇴적층에서 나온 사슴뼈 화석을 시료로 하여 4 096통로분석기 《SILENAPC-7329》로  $\gamma$ 선스펙트르를 측정하였다.

시료량은 520g, 측정시간은 30 219s, 시료통의 높이는 8.5cm이다.

이 조건에서 측정한 사슴뼈 화석의 U계렬년대는  $7.3 \cdot 10^4$  y이다. ( $\delta = \pm 8.4\%$ )

이와 같이 청파대동굴유적 제8층에서 U계렬년대 측정법으로 결정한 사슴뼈 화석은  $7.9 \cdot 10^4 \sim 6.7 \cdot 10^4$  y 사이, FT년대 측정법으로 결정한 청파대동굴 불자리흙은  $8.5 \cdot 10^4 \sim 6.4 \cdot 10^4$  y 사이, TL년대 측정법으로 결정한 동굴속에 묻혀있던 방해석은  $7.5 \cdot 10^4 \sim 6.1 \cdot 10^4$  y 사이의 년대를 가진다.

우의 세 값들은 년대 측정 원리와 방법 그리고 시료가 서로 다른 조건이지만 오차한계 안에서 비교적 잘 일치한다.

또한 이 유적에서 알려진 인류 화석과 석기, 포유동물 화석 그리고 포분 분석 결과들과도 잘 일치한다.[3]

대동강류역에서 발견된 유적들의 년대 값 자료를 종합한 결과는 표와 같다.

표. 대동강류역에서 발견된 유적들의 년대 값 자료

유적명	년대 측정 방법	시료	$T/10^4$ y	$\delta/\%$
평안남도 순천시 동암동	ESR	큰쌍코뿔이 이발 화석	70.4	$\pm 7.4$
유적	TL	방해석	73.9	$\pm 10.8$
황해북도 황주군 청파대	FT	불자리 흙	7.4	$\pm 14.6$
동굴 유적	TL	방해석	6.8	$\pm 10$
	U계렬	사슴뼈 화석	7.3	$\pm 8.4$

표로부터 평안남도 순천시 동암동 유적이 구석기시대 전기에 해당한 유적이며 황해북도 황주군 청파대동굴의 유적은 구석기시대 중기로부터 후기에 이르는 기간에 형성된 유적이라는 것을 알 수 있다.

또한 우의 방법으로 측정한 값들이 서로 다른 대상에 대하여 서로 다른 방법으로 측정한 값임에도 불구하고 오차한계에서 비교적 일치한다는 것을 알 수 있다.

## 맺 는 말

- 1) 대동강류역에서 발견된 유적들의 절대년대자료는 구석기시대전기로부터 중기 및 후기에 해당된다.
- 2) 전자스핀공명년대, 열형광년대, 핵분열흔적년대, 우라늄계렬년대측정법으로 결정된 절대년대는 오차한계에서 비교적 잘 일치한다.
- 3) 대동강류역에서 발견된 유적들은 고생물학적견지에서도 그 믿음성이 담보된다는 것을 알수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 63, 1, 87, 주체106(2017).
- [2] 김일성종합대학학보(자연과학), 60, 5, 159, 주체103(2014).
- [3] 한금식; 전국과학토론회논문집, 김일성종합대학출판사, 127, 주체100(2011).
- [4] W. J. Rink et al.; Journal of Archaeological Science, 30, 123, 2003.
- [5] Cagin Gunes et al.; Cankaya University Journal of Science Engineering, 8, 1, 15, 2011.
- [6] H. K. Hendley et al.; Chemical Geology, 340, 40, 2014.

주체107(2018)년 3월 5일 원고접수

## The Comparison of Absolute Ages between Tongamdong and Chongphadae Sites

*Kim Jong Ho*

In this paper we have compared and considered absolute ages between Tongamdong and Chongphadae sites by using ESR, TL, FT and U-series methods. The data of dating shows that these sites correspond to the former, middle and latter terms of the Paleolithic era.

Key words: electron spin resonance, luminescence, fission-track