

# 삼국시기 기후사 연구의 방법론적 전환\*

- 산소동위원소비 연륜연대기의 가능성을 중심으로 -

김봉근\*\* · 김정용\*\*\*

- I. 머리말
- II. 『삼국사기』에 보이는 사례와 연구의 한계
- III. 자연과학 자료를 활용한 연구와 새로운 가능성
  - 1. 기존 자연과학 자료의 활용과 한계
  - 2. 연륜고고학의 가능성: ‘산소동위원소비 연륜연대기’
- IV. 맺음말

## 【국문초록】

기후와 질병 그리고 정치·사회의 상호작용은 고대 동아시아 역사의 전개 과정을 입체적으로 이해하는 데 중요하다. 본고에서는 우선 문헌자료에 기록된 전염병과 기후의 상관관계를 검토하면서 문헌자료를 통한 해석의 한계를 확인하였다. 그리고 이를 극복하기 위한 방안으로 자연과학 연구를 주목할 것을 제안하였다.

다만, 기왕의 자연과학 자료와 연구 방법은 여러 면에서 한계가 있었다고 지적하였다. 그럼에도 최근 연륜고고학에서 활용하고 있는 산소동위원소를 활용한 산소동위원소비 연륜연대 측정법이 새로운 가능성을 열고 있다고 하였다. 이 방법은 고고학의 협업이 필수적이다. 역사학의 협업도 필요하다. 향후 고고학과 역사학 그리고 연륜고고학의 긴밀한 협동 연구가 요청된다.

주제어 : 재이론, 고기후, 고환경, 연륜고고학, 산소동위원소, 연륜연대기

\* 이 논문은 충북대학교 국립대학육성사업(2024)지원을 받아 작성되었음.  
 \*\* 제 1저자: 충북대학교 학술연구교수  
 \*\*\* 교신저자: 충북대학교 고고미술사학과 교수

## I. 머리말

다양한 학문 분야의 연구를 통해 공감하고 있듯 인류의 각종 질병은 기후와 밀접하였다. 특히 급격한 기후변화와 이상기후는 생태환경의 균형에 변화를 일으켜 전염병을 유발할 수 있었다. 더욱이 기후변화·이상기후는 신석기시대 이후 인류 문명 형성의 물적 기반이었던 농업과 목축의 안정적인 생산을 위협한 까닭에 전염병의 유행 가능성을 높였다.

전염병과 같은 치명적인 질병의 유행은 정치적·사회적 위기로 직결되었다. 고대 동아시아의 역사에서도 전염병은 주기적으로 유행하였는데, 이는 기후변화와 이상기후에 따른 재난과 더불어 왕조의 교체와 같은 정치적·사회적 변화에 간과할 수 없는 변수를 제공한 것으로 설명된다. 그러므로 기후와 질병 그리고 정치·사회의 상호작용을 해명하는 작업은 고대 동아시아 역사의 전개 과정을 입체적으로 이해하는 데 중요성이 크다.

한국 고대사에서도 마찬가지이다. 그럼에도 불구하고 지금까지 한국고대사·고고학 연구에서 기후와 질병의 상호관계를 체계적으로 검토한 시도는 많지 않았다. 비록 몇몇 연구를 통해 시론적인 접근은 이루어졌지만(하일식, 2010 ; 황상일·윤순옥, 2013 ; 이기봉, 2016 ; 이희진, 2017 ; 이현숙, 2022), 아직까지 기후와 질병의 상관관계를 명확히 해명하였다고 보기는 어렵다. 연구의 가장 큰 난관은 무엇보다 자료의 부족일 것이다. 직접적인 관측자료가 부재한 이상 대체 자료(proxy data)에 의존할 수밖에 없는데, 대체 자료는 문헌자료와 자연과학 자료로 대별된다. 각각의 방면에서 적지 않은 연구가 이루어졌지만, 지금까지 활용된 자료는 모두 일정한 한계를 안고 있다고 지적된다(徐珉秀, 2019).

이러한 가운데 최근 연륜고고학 분야에서 주목할 만한 성과를 거두고 있다. 특히 산소동위원소를 활용한 목재 자료에 대한 분석이 높은 신뢰성을 보임에 따라 정체된 것처럼 보였던 연구에 돌파구가 마련될 것으로 기대되고 있다. 본고는 이를 소개하기 위해 준비되었다. 즉 삼국시대 고기후를 복원하기 위한 예비적 검토의 일환으로, 대체 자료의 현황을 검토하고 연륜고고학의 가능성을 보고하려는 것이다.

먼저 문헌자료에 보이는 전염병과 기후 관련 사례를 통해 연구의 한계에 대해 생각해 보고자 한다. 이어 자연과학 자료의 현황과 한계를 짚어본 다음 연륜고고학의 최신 성과와 새로운 연구의 가능성을 제시해 볼 것이다. 다만 논의의 밀도를 높이기 위해 문헌자료 검토의 대상은 『삼국사기(三國史記)』로, 시간적인 범위는 삼국시기로 좁혀 보고자 한다. 본고를 통해 후속 연구가 이어져 이 분야의 연구가 진전될 수 있기를 기대한다.

## II. 『삼국사기』에 보이는 사례와 연구의 한계

우선 다음의 사례가 주목된다.

- A-1. 온조왕 4년(기원전 15) 봄과 여름에 가물고 기근이 들었으며 전염병이 돌았다. (『삼국사기』 권23, 백제본기1)<sup>1)</sup>
- A-2. 남해차차웅 19년(22)에 큰 전염병이 돌아 사람이 많이 죽었다. 겨울 11월에 얼음이 얼지 않았다. (『삼국사기』 권1, 신라본기1)<sup>2)</sup>
- A-3. 나해이사금 8년(203) 겨울 10월에 말갈이 변경을 침범하였다. 복숭아꽃과 자두꽃이 피었다. 사람에게 큰 전염병이 돌았다. (『삼국사기』 권2, 신라본기2)<sup>3)</sup>
- A-4. 중천왕 9년(256) 12월에 눈이 오지 않았다. 큰 전염병이 돌았다. (『삼국사기』 권17, 고구려본기5)<sup>4)</sup>
- A-5. 소수림왕 7년(377) 겨울 10월에 눈이 오지 않았다. 천둥이 쳤다. 민(民)에 전염병이 돌았다. (『삼국사기』 권18, 고구려본기6)<sup>5)</sup>
- A-6. 나물이사금 33년(388) 겨울에 얼지 않았다. 34년(389) 봄 정월에 경도(京都)에서 큰 전염병이 돌았다. 2월에 흠비가 내렸다. 가을 7월에 메뚜기의 재해가 있었다. 곡식이 익지 않았다. (『삼국사기』 권3, 신라본기3)<sup>6)</sup>
- A-7. 소지마립간 5년(483) 여름 4월에 큰 홍수가 났다. 가을 7월에 큰 홍수가 났다. 겨울 10월에 인선계(一善界)에 행차하여 재난을 당한 백성의 안부를 살피고, 곡식을 차등 있게 지급하였다. 11월에 천둥이 쳤다. 경도에 큰 전염병이 돌았다. (『삼국사기』 권3, 신라본기3)<sup>7)</sup>
- A-8. 동성왕 21년(499) 여름에 큰 가뭄이 들었다. 민이 굶주려 서로 잡아먹었다. 도적(盜賊)이 많이 일어났다. 신료(臣寮)가 창고를 열어 진후(賑救)하자고 청하였지만, 왕이 허락하지 않았다. 고구려로 도망쳐 들어간 한산인(漢山人)이 2천 명이었다. 겨울 10월에 큰 전염병이 돌았다. (『삼국사기』 권26, 백제본기4)<sup>8)</sup>
- A-9. 무령왕 6년(506) 봄에 큰 전염병이 돌았다. 3월에서 5월까지 비가 오지 않아 천택(川澤)이 말랐다. 민이 굶주려 창고를 열어 진구하였다. (『삼국사기』 권26, 백제본기4)<sup>9)</sup>

1) “四年 春夏旱 饑疫.”

2) “十九年 大疫 人多死. 冬十一月 無冰.”

3) “八年 冬十月 靺鞨犯境. 桃李華. 人大疫.”

4) “九年 十二月 無雪 大疫.”

5) “七年 冬十月 無雪 雷 民疫.”

6) “三十三年 冬 無冰. 三十四年 春正月 京都大疫. 二月 雨土. 秋七月 蝗 穀不登.”

7) “五年 夏四月 大水. 秋七月 大水. 冬十月 幸一善界 存問遘災百姓 賜穀有差. 十一月 雷 京都大疫.”

8) “二十一年 夏大旱 民饑相食 盜賊多起 臣寮請發倉賑救 王不聽. 漢山人亡入高句麗者二千. 冬十月 大疫.”

9) “六年 春太疫. 三月至五月不雨 川澤竭 民饑 發倉賑救.”

위 사료는 『삼국사기』에서 이상기후와 전염병이 동반된 삼국시기의 사례를 정리한 것이다. 이상기후는 기온·강수량과 같은 기후 요소가 평년값을 벗어난 현상을 의미하는데, 이상고온·이상저온 및 가뭄·홍수 등이 그에 해당한다. 위 사료를 보면 이상고온(A-2·3·4·5·6), 가뭄(A-1·8·9), 홍수(A-7)를 전후하여 전염병이 발생하였던 것으로 나온다.

이 중에서 이상고온은 동계(음력 10~12월)의 무빙(無氷: A-2·6)·도리화(桃李華: A-3)·무설(無雪: A-4·5)로 이른바 ‘이상난동(異常暖冬)’이었다(김연옥, 1985, 363쪽; 1998, 136쪽; 김영관, 2020, 286~288, 290쪽). 이상 난동은 가뭄과 직·간접적인 관계를 맺고 있는데 가뭄으로 “강수량이 감소하면 우물의 수위가 하강하여, 위생 상태가 나빠지거나 지하수가 오염될 가능성을 높여 수인성 전염병”을 발생시킬 수 있었다(황상일·윤순옥, 2009, 506쪽; 김영관, 2020, 288쪽). 이와 비교해 홍수와 전염병의 사례는 1건에 불과해 상대적으로 상관관계가 낮은 것으로 보이나, 홍수 역시 하수·오수에 의해 지하수의 오염을 유발할 수 있기에 전염병과 무관하다고 할 수 없다고 한다(황상일·윤순옥, 2009, 506쪽). 이상고온·가뭄·홍수 모두 전염병과 일정한 상관관계를 설정해 볼 수 있는 것이다. 그런데 위와 같은 사료의 단편적인 정보만으로 이상기후의 구체적인 실상을 파악하기는 어렵다.

현재 이상기후라고 하면, 대략 30년 동안의 통계적 평년값에서 현격히 높거나 현저히 낮은 수치를 보이는 현상으로 정의된다(김연옥, 1988, 16쪽). 그런데 『삼국사기』에 보이는 이상고온·가뭄·홍수의 사례만으로는 통계적 평년값을 찾기 어려움은 물론이고 기후변화의 원인과 시공간 범위를 알 수 없다. 현재의 정의를 적용하자면, 위 사료를 이상기후의 사례로 단언하기도 어려운 것이다. 그러므로 일찍부터 『삼국사기』에 보이는 이상기후의 사례는 개별적으로 검토하기보다 장기적인 기후변화의 추이 속에서 이해되었다.

『삼국사기』에 보이는 한난(寒暖)의 기사 빈도를 산출하고 그 차이를 지수로 나타내 장기적인 한난 현상을 살펴본 연구가 대표적이다(김연옥, 1985, 363-367쪽; 1998, 135-140쪽). 이에 따르면 삼국시기에는 온난기와 한랭기가 반복되었는데, 2~3세기가 한랭기였다고 한다. 이와 같은 연구 결과는 후속 연구를 통해 심화되었는데, 『삼국사기』에 수록된 기후의 양상이 균질적이지 못하고, 관련 기사가 유교의 관점에 입각해 서술되어 있다는 점에서 계량적 분석의 부적합성이 지적되고 있다(徐珉秀, 2019, 147~148쪽).

『삼국사기』는 1145년(고려 인종 23)에 완성되었는데, 편찬 책임자는 김부식(1075~1151)이었다. 편찬의 동기는 그가 지은 「진삼국사기표(進三國史記表)」(『동문선(東文選)』 권44, 표전)에서 살필 수 있다. 형식상 고려 인종(재위: 1122~1146)의 말로 되어 있지만, 김부식의 뜻을 담고 있는 것으로, 주안점은 군신(君臣)의 선악(善惡)과 충사(忠邪), 방업(邦業), 인민(人民)의 안(安危)·이란(理亂)을 드러내는 데 있었다(이기백, 2011, 54쪽). 유교의 도덕에 입각한 역사서를 추구하였던 것이다. 따라서 『삼국사기』 편찬의 전거자료 중에서 유교의 도덕에 부합하는 사례를 중시하였는데, 재이(災異) 기사도 마찬가지였다.

재이는 자연의 재해(災害)와 이변(異變)을 의미하는데, 이상기후·전염병은 재해에 속하였다. 다만 재해와 이변은 연속할 수 있었고, 이 때문에 서로 무관치 않았다. 『삼국사기』에 대

한 통계적 연구에 따르면, 재이 기사는 전체의 27.4%를 차지한다고 한다(申滢植, 1981, 184쪽). 그만큼 비중이 높은 것이다. 하지만 『삼국사기』에 보이는 재이 기사는 대부분 단편적이다.

『삼국사기』의 재이 기사 중 특히 이번은 본래 고대의 신이사(神異史)를 반영하였을 것으로 추정된다. 그런데 「동명왕편」에 인용된 『구삼국사』의 고구려 건국신화나 『삼국유사』에 보이는 천사옥대(天賜玉帶) 설화와 비교해 알 수 있듯 고대의 신이한 사실 중 믿기 어려운 것은 산삭(刪削)하였거나, 개필(改筆)하였다(李基白, 2011, 54-55쪽). 유교의 도덕에 교훈을 주기에 적합하지 않다고 본 신이사는 배제되었고, 일부만 선택된 것이다. 현재 『삼국사기』에 남아 있는 재이 기사도 이러한 취사선택의 결과로, 전거자료의 전모를 보여준다고 보기 어렵다. 이와 관련하여 다음의 사료가 참고된다.

- B. 창조리(倉助利)가 간언하였다. “천재(天災)가 거듭 발생하여 해마다 곡식이 익지 않고 있으니, 여민(黎民)은 의지할 곳을 잃었습니다. 장성한 이들은 사방으로 떠돌아 헤매고, 노인과 아이는 구렁텅이에서 뒹굴고 있습니다. 이와 같으니 참으로 하늘을 두려워하고 백성을 염려하며 공구수성(恐懼修省)할 때입니다. [그런데] 대왕께서는 이전부터 이를 생각하지 않으시고 굶주린 사람을 몰아서 토목의 노역으로 고단하게 하니, [임금이] 백성의 부모라는 뜻에 매우 어긋납니다. 하물며 이웃 나라에는 강력한 적이 있습니다. 만약 [그들이] 우리가 피폐해진 틈을 타서 [침입해] 온다면, 사직과 백성은 어찌 되겠습니까. 바라건대 대왕께서는 깊이 헤아려 주십시오.” (『삼국사기』 권49, 열전9 창조리)<sup>10)</sup>

위 사료는 『삼국사기』 창조리전의 일부이다. 『삼국사기』 고구려본기 봉상왕 9년(300) 8월 조에도 같은 내용이 보이는데, 이때 봉상왕은 궁실을 수리하였고, 이에 백성이 유망하였다고 한다. 『삼국사기』 고구려본기에서는 봉상왕 7년(298)에도 재이가 있었지만 군신의 반대에도 불구하고 궁실을 증축하였다고 하였고, 봉상왕 8년(299)부터 9년(300)까지 재이가 연이었다고 하였다. 상(霜)·박(雹)·귀곡(鬼哭)·객성범월(客星犯月)·뢰(雷)·지진(地震) 그리고 이어진 가뭄이었다. 그런데 결국 봉상왕은 창조리의 간언을 수용하지 않았고, 창조리는 군신과 함께 봉상왕을 폐위하고 을불을 맞아 국왕으로 옹립하였다고 한다.

위 사료에서 창조리의 간언이 주목된다. 이를 보면 천재의 발생에 따라 봉상왕의 공구수성을 요청하였는데, 이는 천자가 덕을 잃으면 하늘이 천견(天譴)을 내리며, 천자가 반성해서 덕을 쌓으면 재이는 자연히 소멸한다는 천견설에 바탕을 둔 것이었다. 이를 ‘천명론적(天命論的) 재이론’이라고 한다(溝口雄三 외 지음·김석근 외 옮김, 2003, 318-323쪽). 자연현상의 배후에 인간·사회 현상이 있다고 보고, 양자 사이에 유기적 상관관계를 설정한 다음, 이를

10) “倉助利諫曰，天災荐至，年穀不登，黎民失所。壯者流離四方，老幼轉乎溝壑。此誠畏天憂民，恐懼修省之時也。大王曾是不思，驅飢餓之人，困木石之役，甚乖爲民父母之意。而況比鄰有強梗之敵。若乘吾弊以來，其如社稷生民何。願大王熟計之。”

유교의 도덕과 결부시켜 재이의 발생 원인을 정치적으로 설명한 이론이었다. 자연현상과 인간사회 현상의 상관관계를 부정한 범가 계통과 상반된 이해 방식이었다(김석우, 2006, 122~123쪽).

유교의 천명론적 재이론을 체계적으로 종합해 설명한 이는 한대(漢代)의 동중서(董仲舒, 기원전 179~104)였는데, 이후 천명론적 재이론은 군주와 재상을 비롯해 정치권력의 담당자를 견제하는 데 활용되었다. 『삼국사기』 창조리전에서 창조리는 이와 같은 유교의 천명론적 재이론에 입각해 봉상왕의 정치를 간언한 것으로, 김부식은 이를 유교의 도덕에 교훈이 된다고 보아 기술하였다고 생각한다. 이는 『삼국사기』 고구려본기에 보이는 봉상왕대의 재이 기사도 마찬가지였다고 생각된다. 봉상왕대의 재이 기사는 창조리전과 더불어 천재가 거듭 발생하였던 사정을 전달했을 것이다. 『삼국사기』 창조리전 및 이와 관련된 봉상왕대의 재이 기사는 다분히 선택된 기록이었다는 것이다.

더욱이 『삼국사기』 창조리전은 봉상왕대에 작성된 것으로 단언할 수도 없다. 물론 『삼국사기』의 전거자료였다고 여겨지는 『구삼국사』 및 삼국시기의 역사서(고구려의 『유기』와 『신집』, 백제의 『서기』, 신라의 『국사』 등)가 편찬되었을 무렵에도 유교가 수용되고 있었다. 유교에 입각한 역사서술이었을 가능성이 높다. 다만 그와 같은 역사서가 편찬되기 이전, 즉 3~5세기 이전의 기록은 역사서 편찬 과정에서 부회·윤색되었을 것이다. 『삼국사기』 창조리전도 예외일 수 없다.

이처럼 『삼국사기』 창조리전과 이를 전후해 보이는 재이 기사는 부회·윤색·선택된 기록이므로, 기후의 양상을 통계적으로 가능하기에 적합성이 낮다. 비단 『삼국사기』 창조리전만 아니라 그 이외의 재이 기사도 마찬가지이다. 그럼에도 불구하고 『삼국사기』에 보이는 각종 재이 기사는 간접적이거나 고대의 자연현상에 대한 고대인의 사유를 담고 있다. 재난 기사의 경우 피해의 양상과 국가의 대응을 전하고 있기도 하다. 따라서 한국 고대의 기후변화·이상기후 및 전염병을 연구하는 데 이를 활용하지 않을 수 없다. 다만 『삼국사기』만으로 접근해서는 신뢰성을 확보하기 어렵다. 보다 객관적인 자료와 비교·검토해야 비로소 유의미한 해석을 내릴 수 있다고 생각한다. 이 점에서 주목되는 것이 자연과학 자료이다.

### Ⅲ. 자연과학 자료의 활용과 새로운 가능성

#### 1. 기존 자연과학 자료의 활용과 한계

자연과학 분야에서는 일찍부터 다양한 자료를 활용하여 고기후 및 고환경을 복원하고자 하였다. 그 대표적인 사례로는 해수면 변동·습지 퇴적물·빙핵(氷核)·나이트·화분(花粉)·동굴 석순(石筍)·태양의 조도 등이 있으며, 이들 자료는 고기후 분석에서 주요한 지표로 활

용되었다. 한국학계에서도 화분과 동굴 석순을 활용한 고기후 복원 연구가 꾸준히 진행되었으며, 그 연구 성과는 이미 한 차례 정리된 바 있다(徐珉秀, 2019, 148~154쪽). 이를 다시 간략히 소개하면 다음과 같다.

고기후 및 고환경을 분석을 위한 자연과학 자료 중에서 가장 많이 활용된 자료는 화분이었다. 화분 자료는 퇴적층의 우점(優點) 수종에 따라 고기후를 분석하는 방식으로, 일반적으로 한랭건조(소나무속)와 온난습윤(참나무속)으로 구분할 수 있다. 이와 관련된 주요 연구 성과는 아래 [표 1]과 같다.

[표 1] 화분 분석으로 복원한 고기후 연구의 주요 내용과 결과

연구자	연구 지역 및 시료	결과
曹華龍 (1979)	동해안 방어진 일대 · 포항 · 주문진	기원 전후 이후 건조기로 전환
安田喜憲 외(1980)		
Fujiki, T 외(2004)	강릉 향호	기원 전후부터 기후 냉각
윤순옥 외(2008)	경포호 화분	기원 전후부터 한랭건조
Park, J(2011)	동해안 산간지대의 표층 화분 · 석호 화분	350~700년: 상대적 저온기 700~1,200년: 온난기
Park, J 외(2013)	광주 황룡강 일대 밤나무 화분	200~800년: 기후 냉각화에 따른 인간의 식생 개입(밤나무 재배)
윤순옥 외(2014)	점봉산 · 대암산 · 오대산 · 정족산 · 지리산 등 고산습지 화분	기원 전후~기원후 950년: 온난기
Park, J. 외(2016, 2017) · Park, J.(2017) · 박정재(2018)	제주 물영아리 화분	기원 전후: 한국 중남부 온난 습윤

위 표에서 확인할 수 있듯이, 기존의 연구 성과들은 같은 지역 내에서도 서로 다른 결과를 보이기도 하였다. 그 이유는 화분 자료의 차이와 시료 채취지의 국지성에서 비롯된다. 화분 자료마다 해상도의 차이가 있고, 각 지역의 식생 환경이 다를 수 있기 때문이다(徐珉秀, 2019, 151쪽).

이와 관련하여 Park, J(2013)의 연구가 주목된다. 이 연구에 따르면 인류는 식생에 직접적으로 간섭하였다고 한다. 특히 철기가 수용 및 보급된 기원전 4세기 이후 동아시아 각지에서는 수목(樹木)보다는 초목(草本)이 우세함을 보인다고 하는데, 이와 같은 인류의 간섭이 화분 연구에도 적용된다는 것이다.

이처럼 인류가 농경을 비롯한 활동으로 식생 환경에 개입함에 따라 화분 자료는 교란되었을 가능성이 높다. 그러므로 화분 자료는 역사시대의 자료로 한계가 있다. 화분 자료의 한계를 보완하기 위해 인간의 식생 개입이 적었을 고산분지의 화분 자료에 대한 분석을 시도하기도 하였지만(윤순옥 외, 2014), 한계는 여전하다. 이 연구에서는 B.P 2,000~1,000년을 온난기

로 파악하였으나, 기온의 변동 곡선이 뚜렷하지 않고, 기존 연구에서 보이는 기원후 700년 이전의 한랭기도 확인되지 않았다(徐珉秀, 2019, 149쪽).

화분과 더불어 동굴 석순 자료도 많이 활용되었다. 동굴생성물인 석순에 대한 분석은 자연 과학에서 화분 자료를 통해 고대 환경을 이해하려는 연구가 주를 이루는 가운데 이를 보완할 목적으로 등장하였다. 동굴 석순은 장기간의 안정된 환경에서 성장하기 때문에 기후변화와 관련된 내용이 담겨 있다. 따라서 고기후·고환경 복원에 유용하다고 알려져 있다(유근배 외 2019, 440쪽 ; Poulson, T.L. and White, W.B., 1969. 971~981쪽). 또한 동굴 석순 내 포함된 탄소동위원소에 따라 당시 기후의 건조와 습윤 정도를 읽어낼 수 있다는 장점이 있다. 그런데 동굴 석순 자료는 시료를 충분히 확보하기 어렵다. 현재 국내의 동굴 석순 자료는 충청북도 단양군과 강원도 평창군, 속초시, 제주도 등지로 제한적이고, 시료의 수량 역시 한정적이다[표 2]. 특히 시간적 범위가 삼국시기에 해당하는 연구는 매우 드물다.

[표 2] 동굴 석순을 활용한 고환경 연구 동향(유근배 외, 2019, 수정 후 인용)

연구자	연구 지역	연대	연구자	연구 지역	연대
우경식 외(2004)	제주도 당처물동굴	-	지효선(2011)	제주도 용천동굴	?~A.D 2007
woo et al.(2005)	6개의 동굴	A.D 1910~현재	Jo et al.(2011)	강원도 대야동굴	B.P 295ka~90ka
조경남(2006a)	강원도 섭동동굴	A.D 1999~2004	홍석우 외(2012)	제주도 당처물동굴	B.P 4450~현재
조경남(2006b)	충북 예덴동굴	B.P 295ka~90ka	홍석우(2013)		
지효선(2010)	제주도 용천동굴	A.D 1761~현재	우경식 외(2013 a·b)	제주도 용천동굴	A.D 1400~2005
지효선 외(2010)		?~AD 2007	Jo et al.(2014)	24개의 동굴	-
Jo et al.(2010)	강원도 관음동굴	B.P 90.9ka~1.2ka	유근배 외(2016)	강원도 평창	B.P 4450~920

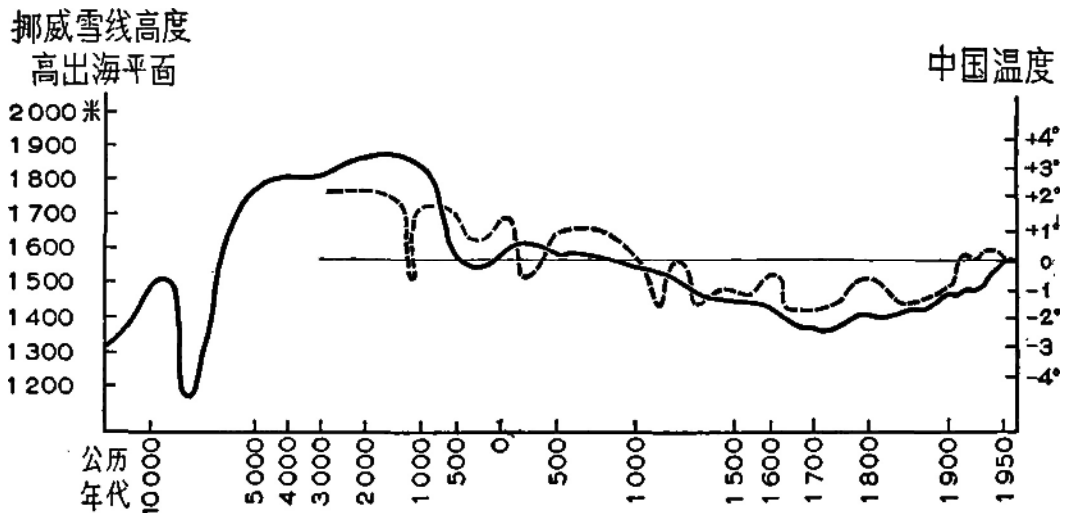
또한 제한된 지역에서 시료를 채취해 기후를 복원하기 때문에 비교군이 적고 시간적 범위가 분절되어 있으며, 지리적·환경적으로 다양한 지역에서 성장한 석순을 활용하였기 때문에 석순 각각의 편차가 존재할 수 있다. 따라서 기존 연구의 결과와 같이 동굴 석순 자료의 분석을 통해 확인할 수 있는 고기후의 해상도는 낮은 편으로 단지 수백 수천 년이라는 장기간에 걸친 주기 변화를 짐작해 볼 수 있을 뿐이다.

국외의 연구 성과도 참고된다. 먼저 과거 5,000년간 중국의 기후변동을 파악하려 한 주커전(竺可楨, 1972)의 성과가 대표적이다. 그의 연구는 중국 기후사 연구에 토대를 마련한 것으로 평가되어 한국의 기후사 연구에 주요 참고가 되었다(김연옥, 1998 ; 신성곤, 2010 ; 전덕재, 2013a·2013b). 그는 중국의 기후를 복원하기 위해 문헌 기록과 동물화석, 강의 결빙기, 강설, 강상(降霜), 기온(평균온도·최저 기온) 개화기 등 다양한 자료를 활용하였다[표 3]. 그

런데 그의 연구는 중국 전역을 연구 대상으로 삼기에 자료가 턱없이 부족하였다. 무엇보다 자연과학적 분석이 배제된 상태에서 이루어진 연구였기에 한계가 크다. 그럼에도 주커전은 약 5,000년 동안의 중국 기후변동을 4번의 온난기와 4번의 한랭기로 파악하여 후속 연구에 큰 영향을 미쳤다[그림 1].

[표 3] 竺可楨이 중국 기후 분석에 활용한 자료

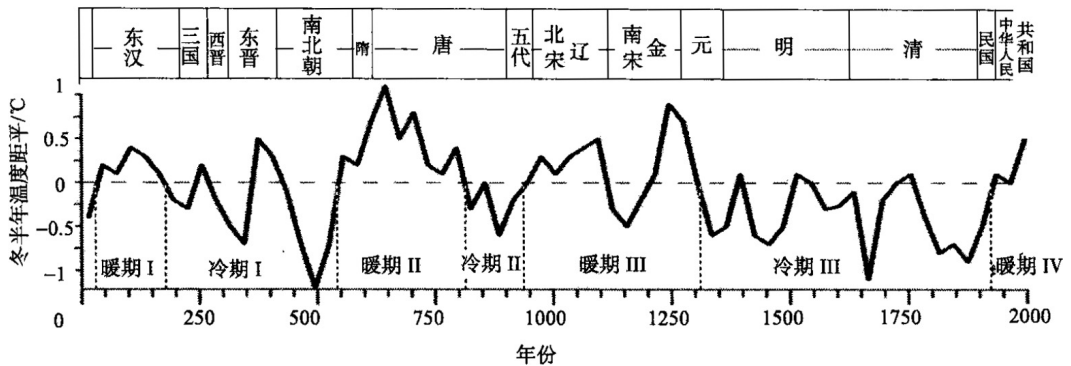
지역	연대	분석 자료	
섬서성 서안(西安)	BC 3000~1100년	반파(半坡)유적 출토	노루·대나무쥐 뼈
산둥성 역성(歷城)		용산문화 유적 출토	대나무
하남성 안양(安陽)		은허(殷墟)유적 출토	노루·대나무쥐·물소·멧돼지 뼈
전국	BC 1100~AD 1400년	① 문헌 기록: 『左傳』, 『竹書紀年』, 『詩經』, 『秦風』, 『書經』, 『史記』, 『齊民要術』, 『蠻書』, 『成都曲』, 『長春真人西遊記』 등 ② 일본 벚꽃 개화일의 평균과 백분율 ③ 1922~1958년 황하(黃河) 결빙일	
장강(長江) 유역 및 근해 열대지역	AD 1400~1900년	① 지방지(地方志) 기록: 장강(長江) 유역 강·호수 결빙연대 / 근해 열대지역 강설·강상 연대 ② 1500~1900년 일본 스와고(諏訪湖)의 결빙일수	
북경(北京)·남경(南京)·항주(杭州)·소주(蘇州)	AD 1900년 이후	1957~1962년, 1875~1880년, 1954~1964년의 월별 온도 측정 기록	
상해(上海)·천진(天津)·홍콩(香港)		① 역대 동절기 평균온도 ② 최강 한파기 평균온도(1870년대~1930년대)	
화중(華中)·화남(華南)		음력 1월 절대 최저온도	



[그림 1] 약 5,000년간 중국 기온 변화(점선)와 기원전 10,000년 이래 노르웨이 雪線 고도(실선) 변화 비교(竺可楨, 1972)

주커전은 5,000년간의 온난기와 한랭기를 왕조의 번영 및 쇠퇴와 연관시켜 이해하였다. 온난기에 왕조와 사회가 번영하였고, 한랭기에 왕조와 사회가 쇠락하였다고 본 것이다. 한랭기 왕조 및 사회의 쇠락과 관련하여 특히 주목한 것은 북방 유목 세력의 남하였다. 예컨대 8세기 중반의 한랭기후는 북쪽 유목민이 중앙의 평원으로 이동하도록 만들었고, 이는 당 왕조의 붕괴를 촉진하였다고 해석하였다. 그런데 주커전이 분석하는 데 활용한 기후분석의 최소 단위는 100년 정도였다. 기후분석의 내용과 왕조의 번영 및 쇠퇴는 합리적인 인과관계의 설명이 쉽지 않다. 흥미로운 시도였지만, 논의에 공백이 많았다. 주커전의 연구는 다양한 학문 분야의 성과를 조합하여 통시적인 논의의 틀을 제공하였다는 점에서 연구사적 의의가 크지만, 자료의 정합성은 떨어질 수밖에 없었다. 이는 취사선택하였다는 비판에 직면하기 쉬웠다.

이후 여러 연구에서 주커전의 연구를 보완하고자 하였다. 거취엔성(葛全勝)이나 정징윈(鄭景雲) 등은 5,000년이 넘는 관련 자료를 사용하는 등 연구 결과의 신빙성을 더하였으며, 주커전이 활용한 자료 외에도 화분 자료와 습지 퇴적물, 동굴 석순, 빙핵 등의 자연과학 자료에 대한 분석 결과를 접목하여 주커전의 연구보다 한층 구체적인 결과를 도출하였다(그림 2).



[그림 2] 2,000년간 중국의 기온 변화(葛全勝, 2011)

하지만 역시 시료 채취의 국지성이나 인류의 식생 간섭·소량의 비교군·자료 해상도의 편차란 한계를 동반하고 있었다(표 4). 이에 따라 보다 안정적이고 직접적으로 고기후·고환경을 복원할 수 있는 자료와 분석 방법이 요청되었다.

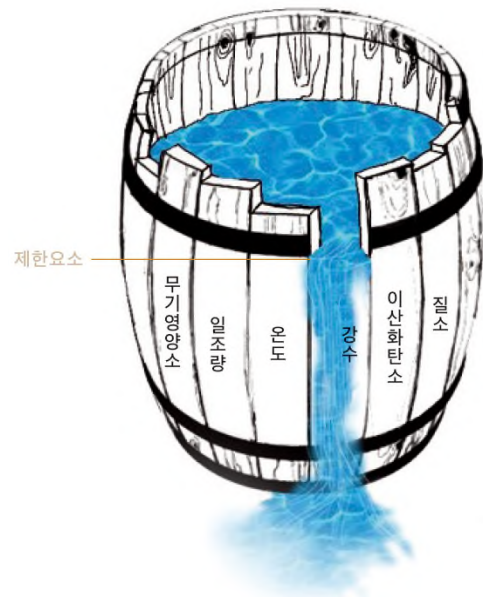
[표 4] 기존 자연과학 자료의 한계

	화분	동굴 석순
방법	우점 식생 분석	탄소동위원소 기록, 석순의 성장성
분석	온난기/한랭기, 건조기/습윤기	온난기/한랭기, 건조기/습윤기
한계	인간의 식생 간섭, 시료 채취의 국지성	소량의 비교군, 자료 해상도의 편차

## 2. 연륜고고학의 가능성: ‘산소동위원소비 연륜연대기’

최근 연구의 새로운 가능성으로 주목받는 것이 연륜고고학(年輪考古學, Dendroarchaeology)이다. 연륜고고학이란 목재의 벌목·운반·가공 등에 이용된 정확한 시간 범위를 결정하고 (Domínguez-Delmás, M., 2020), 각각의 연륜에 정확한 생육 연대를 부여하는 연륜연대학(Dendrochronology)의 한 분야이다(이재호 외, 2023, 289쪽). 수목이 성장하면서 생성되는 나이테(年輪, Annual ring)를 활용한 것으로, 기후 차이에 따라 나이테의 폭(이하 연륜폭)이 차이를 보인다.

이처럼 연륜폭을 통해 고기후와 고환경을 복원할 수 있는 요인은 수목이 ‘제한요소의 법칙(principle of limiting factor)’에 따르기 때문이다. 즉 [그림 3]과 같이 온도·물(강수량, 적설량)·빛(일조량)·바람·토양조건 등 나무의 생장에 필요한 여러 요소 중에 가장 부족한 한 요소에 의해 연륜폭이 결정된다는 것이다(국립경주문화재연구소, 2023, 30쪽). 따라서 동일 성장 환경에서 수목은 유사한 생육 패턴을 보인다. 그런데 수목의 여러 성장 환경 가운데 기후는 매년 규칙적이지 않기 때문에 연륜폭의 변동 패턴 역시 불규칙하며, 시기에 따라 일정한 패턴을 지니게 된다. 이 같은 특징을 통해 고환경을 조사하는 데 연륜폭의 시계열 패턴이 활용된다(Douglass, A.E., 1919, 255쪽 ; Coulthard, B.L. and Smith, D.J., 2013, 453-458쪽).



[그림 3] 제한요소의 법칙  
모식도(국립경주문화재연구소, 2023)

특히 동아시아에서 사계절이 뚜렷한 한국·중국·일본 등에서 수목은 1년 단위로 성장한다. 그렇기 때문에 1년 단위의 고기후와 고환경 정보를 전해줄 수 있어, 동아시아 지역의 고기후 및 고환경의 복원과 그 변화에 관한 연구에 적합성이 높다(Rinne-Garmston 외, 2022, 215-249쪽).

이와 같은 정보를 담고 있는 것으로 최근 주목받는 것이 산소동위원소(Oxygen isotope)이다. 산소동위원소는 중성자 수에 따라  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ 의 3가지 안정동위원소(Stable isotope)가 대기 중에 존재한다(서정욱 외, 2017, 662쪽). 이 가운데  $^{16}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ 의 비율은 자연과학에서 자주 사용된다(McCarroll, D., Loader, N.J. 2004, 771-801쪽). 특히 나무에 축적된 셀룰로오스(Cellulose, 식물의 세포막을 구성하는 주요 성분)에서 측정되는  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 는 연륜이 형성된 각 연도의 강수량 또는 기온을 대표할 수 있는 정보를 제공한다(Rebetez, M., Saurer, M.,

Cherubini, P. 2003 ; Danis, P.A. 외, 2006 ; Kress, A. 외, 2010 ; Sano, M. 외, 2013 ; Xu, C, Sano, M., Nakatsuka, T. 2013 ; Altieri, S. 외, 2015).

최근 연구에 따르면, 연륜폭이 아닌 각 연륜에서 측정한 산소동위원소비( $\delta^{18}\text{O} = ^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ ), 즉 산소동위원소연륜연대기를 작성하여 상호 비교하면, 연륜폭으로 작성된 연대기보다 상관관계가 높고(Robertson, I. 외, 1997 ; Saurer, M. 외, 2008 ; Baker, J.C.A. 외, 2015), 50년 정도 성장한 수목에서 연대를 확인할 수 있음이 밝혀졌다(Loader, N.J. 외, 2019). 또한 수종과 지역에 따른 제한을 크게 받지 않을 뿐만 아니라 활용 범위가 넓어 고목재의 연대 분석에 크게 기여하고 있다(Baker, J.C.A. 외, 2015 ; 서정욱 외, 2017 ; 최은비, 2019). 산소동위원소비 연륜연대기를 작성하기 위한 일련의 과정은 다음과 같다[그림 4].



「그림 4」 산소동위원소 연륜연대기 작성 과정

첫째 「시료 선정 및 채취」이다. 고고학 조사를 통해 출토되는 수많은 목재 유물이 있다. 하지만 모든 유물에서 고기후·고환경의 정보를 추출할 수 있는 것은 아니다. 조건에 부합하는 목재를 선별해야 한다. 먼저 연륜의 개수가 많을수록 연대 분석의 성공률이 크게 향상된

다. 연륜 개수를 최소 50개 이상인 목재를 선별하는 것이 중요하다. 또한 樹皮가 남아 있는 목재의 경우에는 정확한 벌채 연도를 밝힐 수 있으므로 가능하면 수피가 남아 있는 목재를 선별한다. 또한 연륜의 개수는 충족되거나 수피가 남아 있지 않으면 인공적 가공이 적은 목재를 선별한다(최은비, 2024, 87~88쪽). 이는 연륜의 개수와 수피를 통해 해당 유적이나 유구의 연대는 물론 구조물의 축조 시기나 목재의 사용 시점, 그리고 당시 기후를 밝히는 데 주요 근거로 작용한다.

둘째 「연륜폭 측정」이다. 먼저 이전 단계에서 선정한 목재를 연륜폭이 잘 측정될 수 있는 방향으로 절삭하는 과정이 필요하다. 선정한 목재를 대상으로 수피 부분이나 가공되지 않거나 상대적으로 적은 부분으로 연륜폭을 측정할 수 있는 방향을 선정한다. 다음으로 정확한 연륜폭 측정을 위해 횡단면 표면을 절삭하여 연륜의 경계가 명확히 관찰되도록 하고, 실제현미경과 연륜폭측정기를 사용해 연륜의 경계를 확인하면서 0.01 mm 단위로 측정한다.

셋째 「산소동위원소비 측정」이다. 산소동위원소비 측정은 각 연륜에 있는 셀룰로오스에서 측정되는  $^{18}\text{O}$ 와  $^{16}\text{O}$ 의 비율과 표준물질(VSMOW: Vienna Standard Mean Ocean Water)에서 측정되는  $^{18}\text{O}$ 와  $^{16}\text{O}$ 의 비율을 천분율로 계산한다.<sup>11)</sup> 이를 위해 먼저 두 번째 연륜폭 측정 단계에서 시료 처리한 부분을 다시 1mm의 두께로 절삭한다. 이렇게 제작된 두께 1mm의 박편에서  $\alpha$ -셀룰로오스만을 추출하기 위해 일련의 화학 처리한 후 고온원소분석기가 장착된 안정동위원소 질량분석기를 통해 산소동위원소비를 측정한다.

넷째 「크로스 데이팅(Cross dating)」이다. 각 연륜에 정확한 생성 연도 부여 및 각 개체의 연륜연대기를 확인하기 위한 것으로, 연륜폭의 양상을 주변 또는 다른 지역의 나무와 비교를 거쳐 僞연륜과 實연륜을 구분하고, 이미 분석 및 검토된 기준 연대를 이용하여 정확한 생육 연대를 각 연륜에 부여한다(그림 5). 또한 나무의 벌채 혹은 枯死 연도를 밝히기 위해 절대 연도가 부여된 연륜연대기와 비교하여, 그 일치도를 통해 연도가 파악되지 않는 시료의 각 연륜에 정확한 생육 연도를 부여할 수 있다(국립경주문화재연구소, 2023, 31쪽).

크로스 데이팅 정도를 확인하기 위해 t-value와 G-value를 사용한다. t-value는 상관관계와 상호 비교되는 연륜연대기 중첩 기간을 기초로 계산된 통계치이다. G-value는 연륜폭 시계열 변동 패턴 일치도를 백분율로 계산한 수치이다.<sup>12)</sup> t-value와 G-value의 수치에 따라, 즉 각

11) 계산식은 다음과 같다(서정옥 외, 2017, 662쪽 참조).

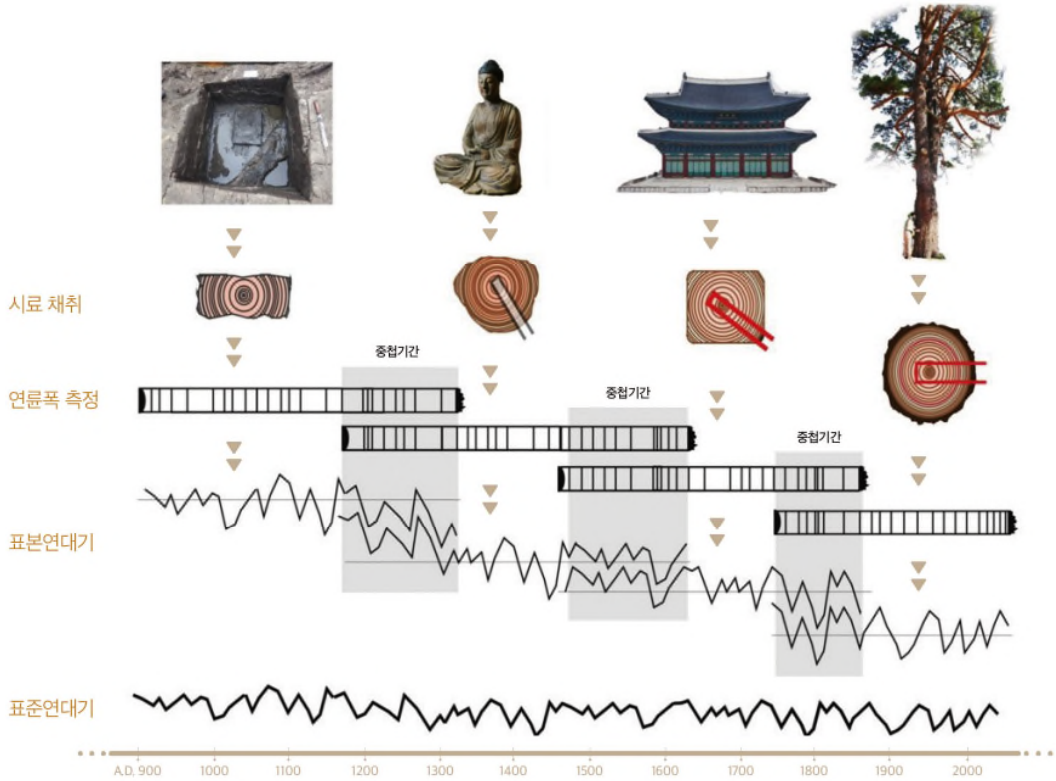
$$\delta^{18}\text{O} = \left( \frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard}}} - 1 \right) \times 1000\text{‰}$$

$R_{\text{sample}}$  : 연륜의 셀룰로오스에서 측정된  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$   
 $R_{\text{standard}}$  : VSMOW에서 측정된  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$

12) 계산식은 다음과 같다(서정옥 외, 2017, 662쪽 참조).

① t-value

연륜에서 t-value 3.5 이상, G value 65% 이상의 수치가 확인되면 같은 시기에 제작되거나 벌채되었음을 알 수 있다.



[그림 5] 크로스 데이팅 원리 및 표준연륜연대기 작성 방법(국립경주문화재연구소, 2023)

다섯째 「산소동위원소비 연륜연대기 작성」이다. 현재 국내에는 1628년~2020년까지의 산소 동위원소비 연륜연대기가 작성되어 있을 뿐이다. 그러므로 1628년 이전의 목재 유물에 대한

$$t = \frac{\sqrt{N-2}}{1-r^2}$$

r	: 상관계수
N	: 두 연륜폭 연대기 간 중첩되는 연륜 개수

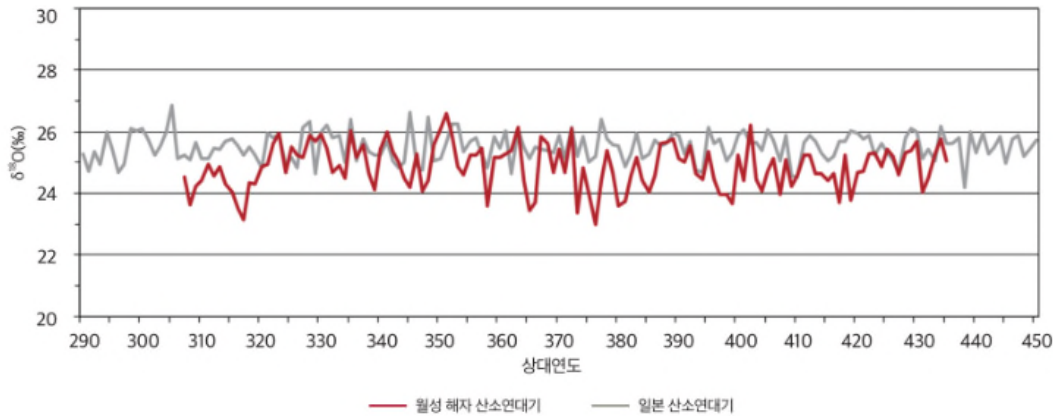
② G-value

$$G_{(x,y)} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} |G_{ix} + G_{iy}|$$

$(x_{i+1} - x_i) > 0 : G_{ix} = +1/2$   
 $(x_{i+1} - x_i) = 0 : G_{ix} = 0$   
 $(x_{i+1} - x_i) < 0 : G_{ix} = -1$

X	: i 연도의 연륜폭
X <sub>i+1</sub>	: i+1 연도의 연륜폭
G <sub>ix</sub> , G <sub>iy</sub>	: 각 연대기의 연륜폭 패턴의 계산값
n	: 두 연륜폭 연대기 간 중첩되는 연륜 개수

연대 분석은 일본 야쿠시마 삼나무를 측정하여 작성된 장기간의 산소동위원소비 연륜연대기가 활용되고 있다. 일본 야쿠시마의 산소동위원소비 연륜연대기는 최근까지 지리산 국립공원의 아고산대 침엽수와 경주 월성 해자에서 출토된 목재 등을 측정하고 분석한 다수의 연구를 통해 확인됨으로써[그림 6], 한국 남부지역과 일본 서남부지역은 유사한 기후로 인해 산소동위원소비 시계열 패턴 역시 유사하다는 결과가 도출되어 연대 분석에 도움이 되고 있다(국립경주문화재연구소, 2023).



[그림 6] 경주 월성 해자와 일본 야쿠시마의 산소동위원소비 연륜연대기 비교(국립경주문화재연구소, 2023)

또한 연륜에 내재된 산소동위원소비는 수종별 생리학적 요인보다는 기후에 영향이 크기 때문에 같은 기후대에서는 서로 다른 수종으로 작성된 산소동위원소비 연륜연대기가 유의미한 결과를 보인다고 한다(최은비, 2024, 95~96쪽).

이상의 산소동위원소비 연륜연대 측정은 한국고대사와 고고학 연구의 새로운 가능성을 제시하고 있다. 최근 경주 월성 해자의 목재구조물을 대상으로 삼아 월성 해자 축조 연대와 축조용 목재의 수종, 당시의 계절 등을 특정함으로써 기존의 역사학과 고고학에서 밝혀낼 수 없었던 고기후·고환경·연대 등을 해결하였다[표 5]. 또한 기원후 307~438년의 산소동위원소비 연륜연대기가 확보됨으로써 향후 출토되는 삼국시기 목재 유물의 측정과 비교 검토할 수 있는 기준이 마련되었다.

[표 5] 경주 월성 해자 산소동위원소비 연륜연대 측정 성과

구분	결과
수종 및 환경	참나무속의 활엽수(88%)가 우점한 환경
기후	한랭습윤
벌채 연도(계절)	기원후 438년(늦가을) ~ 439년(초봄)
축조연대	기원후 5세기 중엽 이후

이러한 산소동위원소비 연륜연대기는 연간 단위의 고해상도 자료로서, 특정 시기의 기후변화와 그 발생 시기를 정밀하게 밝힐 수 있다는 장점이 있다. 이는 기존의 문헌 기록 및 화분, 동굴 석순, 해수면 변동, 습지 퇴적물, 빙핵, 태양의 조도 등 연륜 외 자연과학적 자료를 통해 재구성된 기후를 보완하고 정교화하는 역할을 한다.

다만 지금의 단계에서는 한계 역시 분명히 존재한다. 전술하였듯 현재 국내에는 1628년부터 약 400년간의 산소동위원소비 연륜연대기가 작성되어 있을 뿐이다. 또한 일본의 산소동위원소비 연륜연대기와 상호 비교·검토가 가능한 자료도 한반도 남부에 국한되어 있다. 따라서 삼국시기 혹은 그 이전 시기까지 포함하는 장기간의 산소동위원소비 연륜연대기 작성을 위한 방안이 필요할 것이다.

이를 위해서는 고고학 연구가 필요하다. 특히 고고학 현장에서 목재의 선별과 보존이 이루어질 수 있다면, 측정 가능한 시료가 늘어날 것이다. 최근 고고학 조사가 이루어진 옥천 이성산성 등 여러 유적의 목곽고 등 목재구조물과 목재 유물에 대한 산소동위원소비 연륜연대 측정이 진행되고 있는데, 이와 같은 작업이 협업의 좋은 사례로 주목된다. 이처럼 시료의 확보와 측정, 분석이 점차 전국으로 확장된다면, 한국고대사와 고고학 분야의 연구에서도 장기간에 걸친 산소동위원소비 연륜연대기를 작성해 낼 수 있을 것으로 기대한다.

#### IV. 맺음말

『삼국사기』를 분석해 보면, 전염병은 이상고온·가뭄·홍수와 같은 재난과 밀접하였다. 그런데 『삼국사기』의 재난 기사는 유교적 재이론에 따라 취사선택된 것으로, 전염병과 재난에 대한 고대인의 사유와 대응 방식을 보여주는 자료로 의미가 있지만, 그 구체적인 실상을 파악하는 데는 한계가 있다. 한층 객관적인 자료와 비교·검토를 통한 해석이 필요하다. 이에 학제간 연구가 요청된다.

일찍부터 자연과학의 성과가 주목받았다. 그런데 기왕에 활용한 화분과 동굴 석순 등은 시료 채취의 국지성을 비롯하여 인류의 식생 간섭, 소량의 비교군, 자료 해상도의 편차 등의 한계를 보였다. 이러한 가운데 최근 나이에에 축적되는 산소동위원소를 활용한 산소동위원소비 연륜연대 측정법이 주목받고 있다. 이 측정법은 나무의 생장 연대를 알 수 있을 뿐만 아니라 나무가 생장하던 당시의 기후환경도 복원할 수 있다.

다만 현재 국내의 산소동위원소비 연륜연대기는 1628년부터 약 400년간으로 비교적 짧다. 목재 유물도 한반도 남부에 국한되어 있다. 고고학과 역사학 그리고 연륜고고학 지속적인 협동 연구가 요청된다.

투고일: 2025.05.11, 심사개시일: 2025.06.02, 게재확정일: 2025.06.11.

**【참고문헌】**

(국문)

- 溝口雄三 외 지음·김석근 외 옮김, 2003, 『中國思想文化事典』, 민족문화문고.
- 국립경주문화재연구소, 2023, 『나이트로 신라의 시간을 읽다: 월성 해자(호안 목제구조물) 연대 분석 보고서』.
- 김범철, 2018, 『溫暖濕潤 혹은 寒寒乾燥? -韓國先史時代 文化變動에 대한 氣候考古學的 接近 試論, 『湖西考古學』 39, 호서고고학회.
- 김석우, 2006, 『자연재해와 유교국가-漢代의 災害와 荒政 研究-』, 일조각.
- 김연옥, 1985, 『한국의 기후와 문화-한국 기후의 문화 역사적 연구-』, 이화여자대학교 출판부.
- 김연옥, 1998, 『기후변화』, 민음사.
- 김영관, 2020, 「삼국 및 통일신라시대 자연재해와 민간의 대응」, 『白山學報』 118, 백산학회.
- 박혜정, 2021, 「역사와 기후의 조우-지질적 행위자로서의 인류를 위한 기후사-」, 『문화역사지리』 33-1, 한국문화역사지리학회.
- 徐珉秀, 2019, 「韓國 古代 氣候 研究의 動向과 課題」, 『湖西考古學』 44, 호서고고학회.
- 서정욱 외, 2017, 「지리산국립공원 아고산대 주요 수종(주목, 잣나무, 구상나무, 신갈나무)에 대한 산소동위원소연대기 작성 및 기후와의 관계분석」, 『목재공학』, 한국목재공학회, 45-5.
- 신성곤, 2010, 「10세기 이전 동아시아의 기후 변화와 인구 이동」, 『동아시아문화연구』 48, 한양대학교 동아시아문화연구소.
- 申滢植, 1981, 『三國史記 研究』, 一潮閣.
- 유근배 외 2019, 「동굴생성물(석순)을 이용한 한반도 고기후 연구」, 『한국지역지리학회지』 22-2, 한국지역지리학회.
- 윤순옥 외, 2014, 「한반도 고산습지의 식생환경과 역사시대 기후변화」, 『한국지형학회지』 21-4, 한국지형학회.
- 이기백, 2011, 『韓國史學史論』, 一潮閣.
- 이기봉, 2016, 『통일신라시대 災異와 정치·사회 변동』, 충남대학교 박사학위논문.
- 이재호 외, 2023, 「연륜고고학적 연구에 있어 곱솔의 연륜으로 작성된 산소동위원소 시계열 그래프의 활용 가능성 조사」, 『보존과학회지』 39-3, 한국문화재보존과학회
- 이현숙, 2022, 「생태환경으로 본 신라멸망에 대한 시론-8~9세기 기후변동과 신라의 역병 상관 관계를 중심으로-」, 『신라사학보』 56, 신라사학회.
- 이희진, 2017, 「삼국-통일신라시대 환경과 인간의 상호작용의 이해-기후진동에 대응한 사회 지속성의 메카니즘-」, 『한국학연구』 60, 고려대학교 한국학연구소.
- 전덕재, 2013a, 「통일신라시대」, 『서울災害史』, 서울특별시사편찬위원회.
- 전덕재, 2013b, 「삼국과 통일신라시대 가뭄 발생 현황과 정부의 대책」, 『한국사연구』 160, 한국사연구회.
- 최은비, 2019, 『산소동위원소연륜연대기와 연륜연대기 상호간 비교-임목·수종·지역 상호간 일

치도를 중심으로-』, 충북대학교 석사학위논문.

최은비, 2024, 『산소동위원소비 연륜연대기를 이용한 기후 해석 및 고목재 연륜연대 분석』, 충북대학교 박사학위논문.

하일식, 2010, 「신라 말, 고려 초의 지방사회와 지방세력-향촌 지배세력의 연속성에 대한 시론-」, 『한국중세사연구』 29, 한국중세사학회.

황상일·윤순옥, 2009, 「삼국사기를 통해 본 한국 고대의 자연재해와 기뻐주기」, 『대한지리학회지』 44-4, 대한지리학회.

황상일·윤순옥, 2013, 「자연재해와 인위적 환경변화가 통일신라 붕괴에 미친 영향」, 『한국지역지리학회지』 19-4, 한국지역지리학회.

### (중문)

葛全勝, 2011, 『中國歷朝考氣候變化』, 科學出版社.

竺可楨, 1972, 「中國近五千年來氣候變遷的初步研究」, 『考古學報』 1972-1.

### (영문)

Altieri, S., Mereu, S., Cherubini, P., Castaldi, S., Sirignano, C., Lubritto, C., Battipaglia, G., 2015, “Tree-ring carbon and oxygen isotopes indicate different water use strategies in three Mediterranean shrubs at Capo Cassia”, *Trees* 29(Sardinia, Italy).

Baker, J.C.A., Hunt, S.F.P., Clerici, S.J., Newton, R.J., Bottrell, S.H., Leng, M.J., Heaton, T.H.E., Helle, G., Argollo, J., Gloor, M. and Brienen, R.J.W., 2015, “Oxygen isotopes in the tree rings show good coherence between species and sites in bolivia”, *Global and Planetary Change* 133.

Coulthard, B.L. and Smith, D.J., 2013, *Dendrochronology*. In: Elias, S.A. and Mock, C.J.(eds.), *Encyclopedia of quaternary science*(2nd edition), Elsevier, Amsterdam.

Danis, P.A., Masson-Delmotte, V., Stievenard, M., Guillemin, M.T., Daux, V., Naveau, Ph., von Grafenstein, U., 2006, “ Reconstruction of past precipitation  $\delta^{18}O$  using tree-ring cellulose  $\delta^{18}O$  and  $\delta^{13}C$ : a calibration study near Lac d’Annecy”, *France. Earth and Planetary Science Letters* 243.

Domínguez-Delmás, M., 2020, “Seeing the forest for the trees: New approaches and challenges for dendroarchaeology in the 21st century”, *Dendrochronologia* 62.

Douglass, A.E., 1919, “Climatic cycles and tree growth: A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity”, *Carnegie Institution of Washington No.289*.

- Kress, A., Saurer, M., Siegwolf, R.T.W., Frank, D.C., Esper, J., Bugmann, H. 2010, "A 350 year drought reconstruction from Alpine tree ring stable isotopes", *Global Biogeochemical Cycles* 24.
- Loader, N.J., McCarroll, D., Miles, D., Young, G.H.F., Davies, D. and Ramsey, C.B., 2019, "Tree ring dating using oxygen isotopes: a master chronology for central England", *Journal of Quaternary Science* 34(6).
- McCarroll, D., Loader, N.J. 2004. "Stable isotopes in tree rings", *Quaternary Science Reviews* 23(7-8).
- Park, J., Kim, M., Lim, H. S., Choi, J., 2013, "Pollen and sediment evidence for late-Holocene human impact at the Seonam-dong archaeological site", *Review of Palaeobotany and Palynology* 193, Gwangju, Korea.
- Poulson, T.L. and White, W.B., 1969, "The cave environment", *Science* 165(3897).
- Rebetez, M., Saurer, M., Cherubini, P. 2003, "To what extent can oxygen isotopes in tree rings and precipitation be used to reconstruct past atmospheric temperature? A case study", *Climatic Change* 61.
- Rinne-Garmston, K.T., Helle, G., Lehmann, M.M., Sahlstedt, E., Schleucher, J. and Waterhouse, J.S., 2022, "Newer developments in tree-ring stable isotope methods", In: Siegwolf, R.T.W., Brooks, J.R., Roden, J. and Saurer, M. (eds.), *Stable isotopes in tree rings.*, Springer, Charm.
- Robertson, I., Switsur, V.R., Carter, A.H.C., Barker, A.C., waterhouse, J.S., Briffa, K.R. and Jones, P.D., 1997, "Signal strength and climate relationships in  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratio of tree ring cellulose from oak in east England", *Journal of Geophysical Research* 102(D16).
- Sano, M. 2016, *Final Research Report: Variations in Summer Monsoon Intensity Over the Past 2000 Years in Southwestern Japan, as Reconstructed from Tree-ring Oxygen Isotopes.*, Kakenhi, Tokyo.
- Sano, M., Tshering, P., Komori, J., Fujita, K., Xu, C., Nakatsuka, T. 2013, "May-September precipitation in the Bhutan Himalaya since 1743 as reconstructed from tree ring cellulose  $\delta^{18}\text{O}$ ", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118.
- Saurer, M., Cherubini, P., Reynolds-Henne, C.E., Treydte, K.S., Anderson, W.T. and Siegwolf, R.T.W., 2008, "An investigation of the common signal in tree ring stable isotope chronologies at temperate sites", *Journal of Geophysical Research* 113.
- Seo, J.-W., Sano, M., Jeong, H.-M., Lee, K.-H., Park, H.-C. Nakatsuka, T., and Shin, C.-S. 2019, "Oxygen isotope ratios of subalpine conifers in Jirisan

National Park, Korea and their dendroclimatic potential”, *Dendrochronologia* 57.  
Xu, C, **Sano, M, Nakatsuka, T.** 2013, “ **Tree-ring cellulose  $\delta^{18}O$  of *Fokienia hodginsii* in northern Laos: a promising proxy to reconstruct ENSO?**”, *Journal of Geophysical Research* 116.

**【Abstract】**

**Methodological Shifts in the Study of Climate History  
during the Three Kingdoms Period  
- Focusing on the Potential of Oxygen Isotope Chronology -**

Kim, Bong-geun

(Research professor, Chungbuk National University)

Sung, Jeong-yong

(Professor, Chungbuk National University)

Understanding the interactions between climate, disease, and socio-political factors is crucial for a comprehensive understanding of the development of ancient East Asian history. This paper first examines the correlation between epidemics and climate recorded in historical documents, identifying the limitations of interpretations based solely on literary sources. To overcome these limitations, it suggests focusing on research from the natural sciences.

However, it also points out that previous natural science data and research methods have had several limitations. Nonetheless, it introduces the recent use of oxygen isotope ratios in dendrochronology as opening new possibilities. This method can yield precise results through collaboration with archaeology. Cooperation with historians is also essential. Therefore, close collaborative research among archaeology, history, and dendrochronology is required in the future.

**Keywords** : Theory of Portents and Disasters, Paleoclimate, Paleoenvironment,  
Dendroarchaeology, Tree-Ring oxygen isotope,  
Dendrochronology