

# 함안 성산산성 일대의 고대 이후 고기후 환경변화와 인간 영향의 가능성\*

정혜경\*\* · 박지훈\*\*\*

## Possibility of Paleoclimatic Environmental Change and Human Influence around Haman Seongsan Fortress\*

Hea Kyung Jung\*\* · Ji-Hoon Park\*\*\*

**요약 :** 본 연구에서는 함안 성산산성의 고대환경복원 연구를 통해 얻어진 고고학 발굴 성과와 퇴적층에서의 토양유기물분석법을 활용하여 종합적인 고대의 기후환경 변화를 논의하였다. 토양유기물을 활용한 분석으로 토양유기탄소분석과 휴무스분석을 이용하였다. 분석결과, 퇴적층이 형성되는 동안 적어도 4번의 서로 다른 환경이 있었음을 추론할 수 있으며 고고학적 편년 결과와 함께 고찰해 보면 다음과 같다. 6세기 중엽이전 시기는 상대적으로 상부층보다 더 따뜻하거나 습윤했으며, 6세기 중엽에서 후엽의 시기는 6세기 중엽이전 시기보다 상대적으로 추운 환경이었거나 건조한 환경이었던 것으로 추론된다. 6세기 후엽부터 7세기까지의 시기는 기후환경의 영향이 반영된 것보다는 농경의 영향이 반영된 것으로 추론된다. 7세기 이후부터 8~9세기까지 시기 또한 기후환경의 영향보다 농경이 토양생성 조건에 영향을 준 것으로 추론된다.

주요어 : 토양유기탄소분석, 휴무스분석, 고기후, 환경변화, 고대

**Abstract :** In this study, archaeological excavation results obtained from Haman Seongsan Fortress ancient environmental restoration research and soil organic matter analysis method in sediment layer were utilized and we discussed a comprehensive and ancient climate and environmental change. Soil organic carbon analysis and Humus analysis were used for soil organic matter analysis. As a result of the analysis, it can be deduced that there were at least four different environments during the formation of the sediments and considering this as a result of archaeological era, it is as follows. The pre-6th century was relatively warmer and humid than the upper layer. The period from the middle of the 6th century to the late 6th century was inferred to be a relatively cooler or drier environment before the middle of the 6th century. It is inferred that the period from the late 6th century to the 7th century reflects the effects of agriculture rather than reflecting the effects of the climate environment. The period from the 7th century to the 8~9th century was also deduced that agriculture affected soil formation conditions rather than the effects of climate environment.

Key Words : Soil organic carbon analysis, Humus analysis, Paleoclimate, Environmental change, Ancient times

### I. 서론

경상남도 함안지역은 아라가야의 고도로 아라가야 시

기의 많은 고분군이 남아 있으며 함안 성산산성 등 관방 유적이 곳곳에 분포하고 있다. 함안군 가야읍 광정리 1675번지 및 함안면 괴산리 784번지 일대에 위치한 조남

\*본 논문은 국립가야문화재연구소의 2012년 「함안성산산성 고대환경복원연구 결과 보고서」의 일부 내용을 수정·가필하였음.

\*\*순천대학교 화학교육과 강사(Lecturer, Department of Chemistry Education, Suncheon National University, yunakoru@daum.net)

\*\*\*공주대학교 지리교육과 교수(Professor, Department of Geography Education, Kongju National University, pollenpjh@kongju.ac.kr)

산(139.4m)의 정상부에는 삼국시대 성으로 알려져 있는 성산산성이 있다. 산성은 현재의 가야읍 소재지에서 남동 방향으로 2.5km 정도 떨어져 있으며, 산성의 북성벽에서는 함안 말이산 고분군(사적 제515호)이 한눈에 내려다보인다. 또한 남쪽 바닷가로 이어지는 진동만과는 18km 정도 떨어져 있고 북쪽으로는 약 7km 떨어져 남강이 흐르고 있다(국립가야문화재연구소, 2012).

그간의 연구결과 함안 성산산성은 6세기 중엽 멸망한 아라가야의 고지에 신라가 축조한 고대산성으로 동성벽 구간의 부엽층에서 출토된 목간의 기재형식과 지명, 관등명 등에 근거하여 산성의 초축 시기를 6세기 중엽 또는 6세기 후반에 해당하는 것으로 파악하고 있다(이주현, 2015). 6세기를 전후한 시기는 한국의 고대사에 해당하는 삼국시대 후기이다. 한국의 고대사와 관련하여 당시의 상황을 직접적으로 기록한 문자 자료는 삼국사기 등이 있다. 다수의 학자들(김연옥, 1983; 박창용·이혜은, 2007; 윤순옥·황상일, 2009; 이희진, 2017)이 과거의 기후환경을 이해하기 위하여 삼국사기 등의 문헌을 이용한 연구를 진행하였다.

김연옥(1983)은 삼국사기에서 기후 및 기상자료를 추출하여 한난과 건습에 관해서 시계열적인 분석을 하였고, 박창용·이혜은(2007)은 삼국시대 동안 발생한 가뭄과 호우 현상을 정리하여 삼국시대 영호남의 기후 차이 등을 분석하였다. 윤순옥·황상일(2009)은 삼국사기 신라본기를 토대로 BC 57년에서 AD 935년까지, 992년간 발생한 자연재해 기록을 유형별로 분석하고, 가뭄과 한발의 기록을 기초로 고대 한반도에서의 건조 및 가뭄주기를 추정하였다.

이러한 문헌 자료가 아예 없는 경우나 문헌 자료 분석의 결과를 보완하기 위하여 자연과학분석법이 이용되고 있다. 우리나라에서 과거 기후환경 변화를 연구하기 위해 활용하는 대표적인 자연과학 분석법은 퇴적물의 미화석을 이용하는 화분분석, 식물규소체분석, 규조분석 등이 있다. 그리고 퇴적물의 토양유기물인 탄소를 이용하는 탄소연대측정분석, 탄소안정동위원소분석, 휴무스 분석 등이 있다.

본 연구에서는 국립가야문화재연구소에서 진행된 ‘함안 성산산성의 고대환경복원’ 연구를 통해 얻어진 고고학 발굴 성과들을 활용하여 산성 내에 분포하는 문화층을 포함한 퇴적층의 지형층서적 편년을 유추하고, 산성 축성 전후에 산성 내부와 그 주변 지역의 기후환경변화

를 규명하고자 한다. 이에 고고학 발굴 성과와 삼국사기 등의 고문헌을 통한 연구 결과를 바탕으로 자연과학분석법의 한 방법인 토양의 유기탄소 내에 있는 휴무스를 분석하여 종합적으로 고대의 기후환경변화를 논의하고자 한다.

토양유기물(soil organic matter)은 토양 내에 존재하는 유기물을 총칭한다. 토양유기물의 대부분을 차지하면서 토양에서 새로 형성된 토양 고유의 유기물을 휴무스(humus)라고 한다. 토양 내 휴무스는 다양한 광물 또는 점토와 결합하거나 점토를 피복하고 있다. 휴무스는 토양의 생성과 발달에 큰 영향을 주며, 토양 단면에서의 물질 이동, 집적에도 관여한다. 토양에서 휴무스화(humification)는 토양권에 있어서 탄소 안정화의 작용이고 휴무스는 탄소의 동적인 농축 형태이다. 일반적으로 토양 내의 탄소 함량은 1% 이하에서부터 20% 이상에 이르기까지 다양하다.

휴무스를 휴믹물질(humic substance)이라고도 하며 이는 풀빅산(Fulvic acid), 휴믹산(Humic acid), 휴민(Humin)으로 나누어지는데, 이때 생성된 휴믹물질은 토양 내에 생체 분자(biomolecule)의 형태로 정보를 저장하고 있다(Dergacheva *et al.*, 1984; Piccolo, 2001). 또한 토양에 따라 서로 다른 휴믹물질이 만들어 진다. 예를 들어, 초지식생이 많은 토양에서는 주로 휴믹산 비율이 높은 토양이, 삼림식생이 많은 토양에서는 풀빅산 비율이 높은 토양이 생성된다(Kononova, 1963; Gerasimov, 1990). 따라서 토양 속에 존재하는 휴무스 또한 생성될 당시의 자연환경 조건을 반영하며(Shmyk, 1924; Orlov, 1974), 기온, 강수량 등의 기후조건과 밀접한 관련을 맺고 있다(Dergacheva *et al.*, 1984).

## II. 연구지역

연구지역은 한반도 동남부에 위치한 경상남도 함안군 조남산 일대이다. 함안군의 남부에는 여항산(771m), 봉화산(649m), 서북산(739m), 미산령(661m), 광려산(720m) 등이 동부에는 천주산(638m), 작대산(648m), 무릉산(568m) 등의 비교적 높은 산지가 발달해 있고, 서부에는 방어산(530m), 오봉산(525m), 쾌방산(458m) 등의 산지가 발달해 있다. 북쪽에는 낙동강과 남강이 흐르고 있기 때문에 함안군은 전반적으로 남고북저의 지형을 나타내고 있

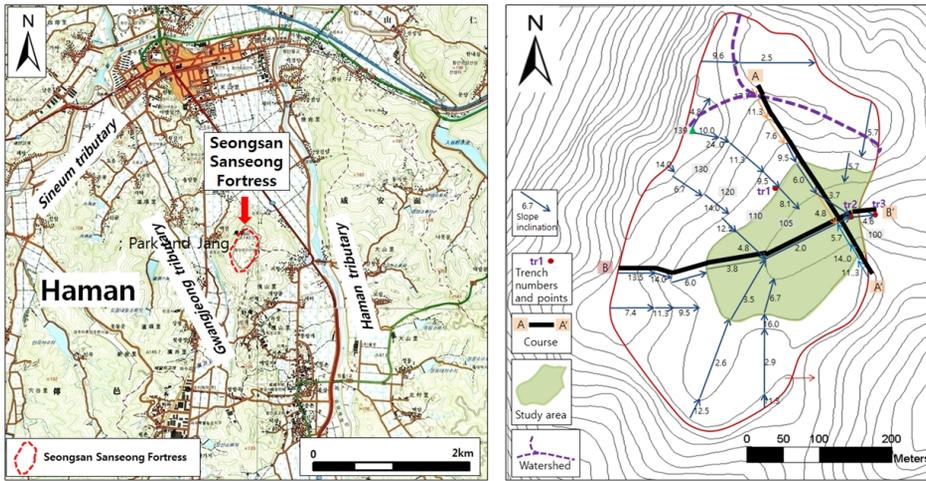


그림 1. 성산산성의 지리적 위치, 성산산성 주변의 지형과 퇴적물 채취 지점

출처 : 박지훈, 2016:19.

다. 함안군의 북쪽에서 흐르는 낙동강과 남강에 의해 북부에는 충적평야가 발달해 있다.

주요 하천으로는 함안군의 중앙을 흐르는 함안천, 동부에서 흐르는 석교천, 서부에서 흐르는 광려천이 있다. 남고북저의 지형적 특징으로 인해 함안군의 주요 하천들은 모두 북류한다. 함안천은 서북산 부근에서 발원하여 북류하며 낙동강에 흘러든다. 석교천은 함안군 내에서 가장 긴 하천으로 오봉산 부근에서 발원하여 북류하다 남강으로 흘러들고, 광려천은 광려산에서 발원하여 칠원천, 운곡천, 가연천 등을 합하며 북류하여 낙동강에 합류한다.

함안군의 기후는 남부온대기후대에 속하며, 연평균기온 14.8°C, 1월 평균기온 4°C, 8월 평균기온 26.6°C이며, 연강수량은 1,497.2mm이다. 식생은 온대 남동부대에 속하는 수종이 주를 이룬다. 지질은 중생대 백악기에 형성된 경상계 신라통의 퇴적암이 주를 이루나 산지부에는 화강암계의 지층도 분포한다(한국지질자원연구원).

조남산(140m)은 함안천의 서쪽에 발달한 구릉으로 주변에 평야와 낮은 구릉이 발달해 있어 상대적으로 높은 지형으로 인지된다. 지역 개관은 박지훈(2016)에 의하면 다음과 같다. 조남산에는 삼국시대의 석축산성인 성산산성(사적 제67호)이 있다(그림 1). 산성이 위치한 조남산을 북쪽에서 조망하면 독립구릉처럼 보이며 남쪽 구릉사면이 비교적 경사가 완만한 형상을 띠고 있다. 조남산은 비교적 큰 곡이 남동쪽과 북동쪽에 발달해 있지만,

북부 구릉사면과 동부 구릉사면에서는 곡의 발달이 미약하고 구릉사면의 경사가 다른 방향의 구릉사면에 비해 매우 급한 지형을 띠고 있다.

성산산성 내부에서는 동쪽이 개방되어 있고, 북서-남쪽으로는 폐쇄된 전형적인 와지형의 평탄면을 띠고 있다. 산성은 조남산의 전형적인 구릉 곡두부에 위치하며, 산성 내부의 지형은 능선, 구릉 사면 및 곡저로 크게 3개의 구역으로 구성되어 있다. 조남산의 곡두부를 흐르는 하천은 강우 시에만 일시적으로 흐르는 남강의 지류하천인 함안천의 원류곡으로서, 곡두부의 계곡은 우곡 형태를 띠고 있다. 조남산 일대의 지질은 함안층으로 구성된 북부지역을 제외하면, 산성이 입지하고 있는 지역의 대부분이 주산안산암으로 구성되어 있다(박지훈, 2016).

### III. 연구방법

토양유기탄소와 휴무스분석은 조남산 산성 내에서 트랜치(trench)한 Tr.2의 단면에서 시료를 채취하여 실시하였다. 휴무스는 토양유기물에 속하기 때문에 토양유기물 분석법으로 실험한다. 토양유기물 분석에 이용되는 분석법은 작열감량법과 화학약품을 통한 분석법으로 나뉘는데 일반적으로 화학약품을 통한 분석은 튜린(Tyurin)법을 많이 이용한다. 작열감량법은 토양 내의 유기물을 연소시킴으로서 유기물의 양을 측정하는 것이고, 화

학약품을 통한 분석법은 토양을 화학적으로 처리하여 토양유기탄소를 측정하고, 계산식을 통하여 유기물량을 측정하는 것이다(Tyurin, 1937). Tyurin(1937)이 토양 유기물에 대한 분석법을 제시한 이후 다양한 토양학자들에 의해 목적에 맞게 그 연구방법이 조금씩 변형되어 왔다. 본 연구에서 토양의 유기탄소 분석은 튜린법을 이용하였고, 휴무스분석은 튜린법을 개량한 Panamareva-Plotnikova법을 이용하였다(Ponomareva and Protnikoba, 1980).

휴믹산은 알칼리에 녹고 산에 녹지 않는 갈색~흑색의 무정형 산성 유기질로 분자량(molecular weight)이 10,000에서 100,000에 이르는 큰 분자이다. 원소 조성은 탄소 50~60%, 산소 30~35%, 수소 3~5%, 질소 1.5~6% 등이다. 휴믹산의 화학 구조는 탄소 사슬과 탄소 고리의 혼합물로 그 본질은 다가 페놀형의 방향족 화합물과 합질소 화합물과의 축합물이다. 이온 교환능을 가져 콜로이드(colloid)의 성질을 나타낸다.

풀빅산은 토양유기물로부터 알칼리에 의해 추출되는 유기물 중 산에서 침전되지 않은 분획(fraction)을 말하며 미네랄에 결합된 풀빅산과 free form 풀빅산이 있다. 알칼리성 용액에서만 용해되는 부식산과는 달리 모든 pH 수준에서 물에 용해되는 성질도 있다. 풀빅산은 휴믹산보다 훨씬 작은 분자로, 분자량이 1,000에서 10,000 사이이다. 원소 조성은 휴믹산에 비하여 탄소의 함량은 적지만 산소의 함량은 많은 편이다.

휴무스 분석은 산과 알칼리에 서로 다르게 반응하는 이러한 성질을 이용한다. 먼저 산과 알칼리를 적정하여 휴무스를 풀빅산, 휴믹산, 휴민으로 분리한다. 풀빅산과 휴믹산은 다시 각각의 분획으로 나누어 분석한다. 휴민은 토양의 광물질과 결합되어 분리하기 쉽지 않고, 기후나 식생과의 어떠한 상관관계가 없기 때문에 분획으로 분석하지 않는다. 풀빅산은 4개의 분획으로, 휴믹산은 3개의 분획으로 세분한다.

#### IV. 연구결과

시료를 채취한 Tr.2의 총 토층단면 길이는 330cm이며, 토양시료 채취는 10cm 간격으로 하였다. Tr.2 지점의 최상부 해발고도는 102m이며, 최하부의 해발고도는 98.7m

이다. 트렌치는 지표 하(下) 약 3.3m까지 작업이 수행되었으나, 기반암 풍화층은 확인하지 못하였다. Tr.2의 토층단면에서는 회황갈색(10YR4/2)의 사질실트층이 나타나는 지표 하 330cm 지점에서부터 교란층(경작층 포함)인 무딘 황갈색(10YR4/3)의 사질실트층(왕모래(granule) 포함)의 표층까지 다양한 층상이 관찰된다. 특히 해발고도 101.3~100.3m(지표 하 70~170cm), 99.5~98.9m(지표 하 250~310cm) 지점에서 유기물층이 발견되었다(그림 2).

토층단면에 대한 분석결과 지표면과 최상부 30cm 사이의 시료는 지표면이 이미 경작층으로 이용되고 있기 때문에 교란되어 분석에서 제외하였다. 이에 따라 토양유기탄소와 휴무스분석이 이루어진 구간은 해발고도 98.7~101.7m의 구간이다. Tr.2 퇴적층에서 토양을 이용한 절대연대분석은 이루어지지 않았으나 다년간 함안성산산성에 대한 발굴 조사와 분석 결과(국립가야문화재연구소, 2012) 문화층에서 발굴한 유물과 유물의 절대연대측정을 통하여 다음과 같은 편년이 연구되었다(그림 2).

Tr.2의 토양유기탄소분석결과에 따르면 해발고도 98.7~98.9m의 구간에서는 1.0 미만의 토양유기탄소 값이 측정되었고, 해발고도 98.9~99.6m의 구간에서는 1.0 이상

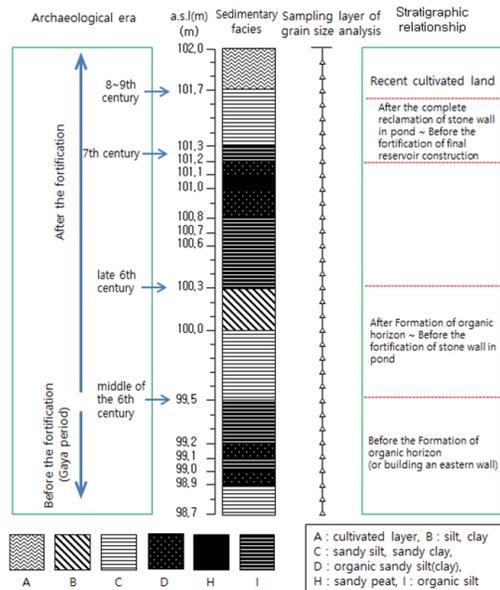


그림 2. 트렌치(Tr-2)한 지점의 퇴적상과 층서적 관계, 문화층으로 규명된 편년

출처 : 박지훈·이예진, 2016:334.

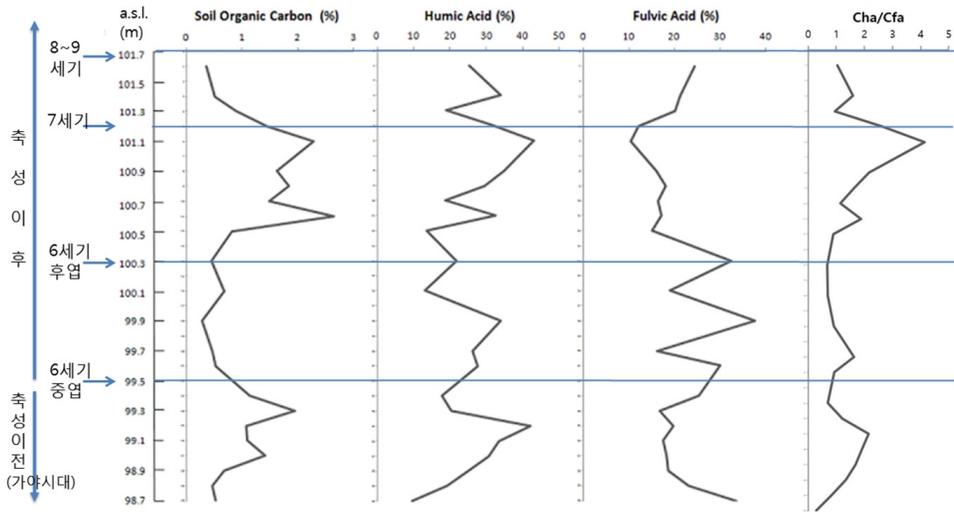


그림 3. 토양유기탄소와 휴무스분석

의 토양유기탄소 값이 측정되었다. 해발고도 99.6~100.5m 구간에서 토양유기탄소 값은 다시 1.0 미만으로 낮아지며 값의 분포가 최하부인 98.7~98.9m 구간의 값과 유사하다. 해발고도 100.5~101.1m 구간까지는 토양유기탄소 값이 계속적으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 특히 해발고도 100.6m 지점에서는 가장 높은 토양유기탄소 값이 측정되었다. 해발고도 101.1~101.7m 구간에는 토양유기탄소 값이 다시 감소하는 경향을 나타낸다(그림 3).

휴무스분석 중 휴믹산분석 값을 먼저 살펴보면, 해발고도 98.7~99.2m 구간에서 분석 값은 계속적인 증가를 나타낸다. 특히 해발고도 99.2m 지점에서는 가장 높은 휴믹산분석 값이 나타나고 있다. 이후 해발고도 99.2~99.4m 구간에서는 휴믹산분석 값이 감소하다가 해발고도 99.4~99.9m 구간에서는 다시 증가되고 있다. 해발고도 99.9~100.5m 사이는 감소-증가-감소로 나타나며 그 값의 변화는 크지 않다. 해발고도 100.3m를 제외하면 전체 토양퇴적 층위 중 가장 낮은 휴믹산분석 값이 측정되었다. 해발고도 100.5~101.1m 사이의 구간은 전반적으로 증가하는 경향을 나타낸다. 특히 해발고도 101.1m에서는 해발고도 99.2m와 마찬가지로 전체 층위 중 가장 높은 휴믹산분석 값이 측정되었다. 해발고도 101.1~101.3m 구간은 감소하는 경향이 나타나며, 해발고도 101.3m 이후부터는 다시 증가-감소하는 값이 나타난다(그림 3).

풀빅산분석 값의 경우, 해발고도 98.7~99.3m 구간에서는 비교적 큰 변화 없이 일정한 경향을 보인다. 해발

고도 99.3~99.6m 구간까지는 증가하는 풀빅산분석 값이 나타나며, 해발고도 99.6~100.5m 구간까지는 반복적으로 증가-감소의 경향이 보인다. 해발고도 100.9m까지 풀빅산분석 값은 큰 변화 없이 일정한 양상으로, 해발고도 101.1m까지는 감소하는 것으로 나타난다. 특히 101.1m 지점은 전체 토양퇴적 층위 중 가장 낮은 풀빅산분석 값이 측정되었다. 해발고도 101.1m 이후에는 풀빅산분석 값이 계속 증가하는 양상으로 나타난다(그림 3).

## V. 논의

일반적으로 토양유기탄소는 표토 부근에서 가장 그 값이 높고 토양퇴적층의 하부로 갈수록 감소한다. 따라서 하나의 연결된 토양퇴적층에서 토양유기탄소가 증감을 나타낸다는 것은 토양의 퇴적환경 또는 퇴적시기가 서로 다른 조건일 수 있다는 것으로 해석될 수 있다. 이 지역을 발굴한 기존의 고고학적 연구(국립창원문화재연구소, 1998; 2004; 2006; 국립가야재문화재연구소, 2012)에 따르면, 산성의 퇴적층은 크게 축성 이전 퇴적층과 축성 이후 퇴적층으로 크게 구분된다. 축성 이후 퇴적층은 다시 3개의 퇴적층으로 세분된다. 첫째, 축성 이전 퇴적층은 고고학적으로 6세기 중엽 이전, 층서적으로 부여층 조성(또는 동성벽 축조) 이전에 형성된 층이다. 둘째는 고고학적으로 6세기 중엽에서 후엽으로 층서적으로

로 부엽층 조성 이후부터 호안석축 축조이전의 층이다. 셋째는 6세기 후엽부터 7세기로, 넷째는 7세기 이후부터 8~9세기로 층서적으로 호안석축 매적 이후부터 최종저수지 축조 이전시기에 형성된 층이다(그림 2).

토양유기탄소분석과 휴무스분석 결과로 보아 Tr.2의 토층단면이 퇴적되는 동안 적어도 4번의 서로 다른 환경이 있었음을 유추할 수 있다. 그 시기를 고고학 연구결과와 함께 고찰해보면, 6세기 중엽 이전, 6세기 중엽에서 후엽, 6세기 후엽에서 7세기, 7세기 이후부터 8~9세기로 구분된다. 그림 3에서 언급된  $C_{\text{tot}}:C_{\text{fa}}$ 는 휴믹산의 탄소와 풀빅산의 탄소 비를 의미하며, 이 비가 1.0 이상이면 휴믹산이 많은 토양형이고, 1.0 이하이면 풀빅산이 많은 토양형이다. 일반적으로 온대와 냉대 기후의 초지토에서는 휴믹산의 비율이 높고, 온대와 냉대의 삼림토에서는 풀빅산의 비율이 높은 것으로 알려져 있다(Kononova, 1963; Gerasimov, 1990).  $C_{\text{tot}}:C_{\text{fa}}$ 는 온도, 강수량과 밀접한 관련이 있으며, 휴믹산은 기온과 풀빅산은 강수량과 특히 높은 상관관계가 있음이 연구되었다(Dergacheva *et al.*, 1984; Fedeneva and Dergacheva, 2003).

6세기 중엽이전 시기(해발고도 98.7~99.5m)의 토양유기탄소 분석결과 하부에서 상부로 갈수록 증가·감소·증가를 보이고 있으나, 전반적인 토양유기탄소 값은 0.5% 이상을 나타내며, 대체적으로 증가하는 경향이 나타난다. 토양내의 유기물이 계속적으로 증가하는 것은 적어도 하부의 토양보다 상부의 토양에서 유기물(주로 식물이나 미생물)의 생산력이 더 높았다는 것을 의미한다. 이는 토양유기물 생성환경이 하부보다는 상부가 더 따뜻하거나 습윤했다는 것으로 생각된다.  $C_{\text{tot}}:C_{\text{fa}}$ 는 하부에서 상부로 가면서 증가하는 양상을 보이며, 전반적으로 1.0 이상의 높은 값이 나타난다. 이것은 전체 휴무스의 비율 중에서 휴믹산의 비율이 풀빅산보다 많았다는 것을 의미하며, 이 역시 온난 습윤한 기후 조건을 반영하는 것이라 할 수 있다. 이 시기는 로마시대 기후 최적기에 해당하는 시기로 전지구적인(global) 기후환경이 온난 습윤했다고 알려져 있다. 삼국사기 등의 고문헌을 통한 연구(김연옥, 1983; 박창용·이혜은, 2007)도 이 시기는 대체적으로 습윤한 시기로 분석되고 있다.

6세기 중엽에서 후엽의 시기(해발고도 99.5~100.3m)는 전반적인 토양유기탄소 값이 0.5% 이하로 Tr.2의 전체 층위 중 가장 낮은 값을 보이고 있다. 이것은 상대적으로 이 구간에서 토양유기물 생성이 열악한 한랭한 환

경이었거나 건조한 환경이었던 것으로 추측할 수 있다.  $C_{\text{tot}}:C_{\text{fa}}$  또한 대체로 1.0 이하의 값으로 전체 층위 중 가장 낮은 값들이 나타나고 있다. 이것은 휴믹산의 비율이 풀빅산보다 작다는 것을 의미하며, 건조하거나 냉량한 기후조건을 반영하는 것으로 생각된다. 6세기 후반부터는 전지구적인 기후환경은 중세 온난기 전의 중세 암흑기라는 소빙기로 알려져 있다. 고문헌을 통한 연구(김연옥, 1983; 이희진, 2017)에서 이 시기는 대체적으로 가뭄이 있었던 시기로 분석되고 있다.

6세기 후엽부터 7세기까지의 시기(해발고도 100.3~101.2m)는 토양유기탄소 값이 대체적으로 증가하는 경향이 나타나며, 그 값이 1% 이상으로 전체 층위 중 가장 높다. 그 중 해발고도 100.6m에서는 가장 높은 값이 나타나고 있다. 이것은 전체 Tr.2 토양퇴적층 중 이 시기의 기후환경이 토양 내의 유기물을 생산하는데 가장 적합했다는 것을 의미한다.  $C_{\text{tot}}:C_{\text{fa}}$ 는 토양유기탄소 값의 변화와 같이 대체적으로 증가하는 경향이 나타나며, 그 값은 1.0 이상이고, 해발고도 101.1~101.2m 구간에는 특히하게  $C_{\text{tot}}:C_{\text{fa}}$ 가 3.0 이상으로 높게 나타난다. 이것은 이 시기에 어떤 환경적인 영향이나 인공적인 이유에서 목본보다 초본이 더 많았던 환경이었음을 시사하는 것으로 생각된다.

이 시기는 전지구적으로는 중세 암흑기라는 소빙기로의 시기로 알려져 있는데, 연구지역의 토양유기탄소 값과  $C_{\text{tot}}:C_{\text{fa}}$ 는 상대적으로 가장 크게 증가하는 경향을 보인다. 퇴적층에 대한 직접적인 절대연대값이 없어서 단정적으로 언급하기는 조심스럽지만, 이 시기의 변화가 전지구적인 기후환경의 영향이 반영된 것이라고 추론하기는 어려울 것으로 생각된다. 어떤 이유에서 이 시기에 연구지역에서 농경이 시작되었거나 활발해졌고 그 결과가 퇴적층 중 가장 높은 토양유기탄소 값이나 가장 큰  $C_{\text{tot}}:C_{\text{fa}}$ 로 나타난 것으로 생각된다.

7세기 이후부터 8~9세기까지 시기(해발고도 101.2~101.7m)의 토양유기탄소 값은 지속적으로 감소하며, 값의 변화는 2%에서 0.5%이하로 급격하게 변화되고 있는 것을 보여준다. 이는 토양유기물 생산력이 감소했다는 의미하는데 어떠한 이유로 식생이 제거된 환경이어서 토양내의 유기물이 지속적으로 감소하고 있는 것을 나타낸 것이라 생각된다.  $C_{\text{tot}}:C_{\text{fa}}$  값은 감소·증가·감소의 변화를 나타내지만 감소의 폭이 크다. 해발고도 101.3m를 제외하면 전반적인 감소의 경향이 나타나지만 해발고도

101.3m를 제외하면 1.0 이상이어서 여전히 전체 휴무스 비율 중 휴믹산의 비율이 풀빅산보다 많음을 보여주고 있다. 이 시기는 전지구적으로 계속 중세 암흑기라는 소빙기에 가까운 시기이지만 이미 중세 온난기로 전이해 가는 시기이다. 그러나 이러한 전지구적인 기후환경과 비교해 토양유기탄소 값과  $C_{4a}:C_{3a}$ 의 변화경향을 고려해 보면 이 시기 역시 농경이 토양생성 환경에 영향을 준 것으로 추론된다.

## VI. 결론

본 연구에서는 ‘함안 성산산성의 고대환경복원’ 연구를 통해 얻어진 고고학 발굴 성과들을 활용하여 그 성과와 함께 자연과학분석법의 한 방법인 토양의 유기물을 이용한 토양유기탄소와 유기탄소내의 휴무스를 분석하여 종합적으로 고대의 기후환경 변화를 논의해보고자 하였다. 토양유기탄소와 휴무스분석 결과로 보아 퇴적층의 토층단면이 퇴적되는 동안 적어도 4번의 서로 다른 환경이 있었음을 유추할 수 있다. 그 시기를 고고학적 연구 결과와 함께 고찰해보면 다음과 같다.

6세기 중엽이전 시기(해발고도 98.7~99.5m)는 상대적으로 상부층보다 더 따뜻하거나 습윤했으며, 이 시기는 전지구적인 기후환경이 온난 습윤했다고 알려져 있는 로마시대 기후 최적기 말에 대비된다. 6세기 중엽에서 후엽의 시기(해발고도 99.5~100.3m)는 6세기 중엽이전 시기보다 상대적으로 추운 환경이었거나 건조한 환경이었던 것으로 추론된다. 6세기 후반부터는 전지구적인 기후환경이 소위 중세 암흑기라는 소빙기로 알려져 있고 이 시기에 대비된다. 6세기 후엽부터 7세기까지의 시기(해발고도 100.3~101.2m)에 보이는 높은 토양유기탄소 값이나 큰  $C_{4a}:C_{3a}$ 는 기후환경의 영향이 반영된 것이 아니라 연구지역에서 농경이 시작되었거나 활발해진 결과가 반영된 것으로 추론된다. 7세기 이후부터 8~9세기까지 시기(해발고도 101.2~101.7m) 시기 역시 기후환경의 영향보다 농경이 토양생성에 영향을 준 것으로 추론된다.

다년간 함안성산산성에서 실시한 연구인 문화층에 대한 분석, 발굴한 유물과 유물의 절대연대측정을 통하여 고고학적 편년이 확정되었지만, 연구지역의 퇴적층에 대한 직접적인 절대연대값이 없어서 본 연구의 논의 결과를 단정적으로 언급하기는 조심스러운 부분이 있다.

따라서 추후의 연구과제는 가능하면 이 퇴적층에 대한 직접적인 절대연대값을 보완하는 것이 필요할 것으로 보인다. 또한 우리나라에서는 아직 휴무스분석을 이용한 연구 성과가 많지 않으므로 지속적인 연구자료 축적과 함께 다른 자연과학분석 결과들을 함께 활용하여 종합적으로 논의하는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 참고문헌

- 국립가야문화재연구소, 2012, 「함안성산산성 고대환경복원 결과 보고서」, 창원: 국립가야문화재연구소.
- 국립창원문화재연구소, 1998, 「함안성산산성II」, 창원: 국립창원문화재연구소.
- 국립창원문화재연구소, 2004, 「함안성산산성II」, 창원: 국립창원문화재연구소.
- 국립창원문화재연구소, 2006, 「함안성산산성III」, 창원: 국립창원문화재연구소.
- 김연옥, 1983, “한국 고대의 기후환경 -삼국시대 기후자료의 분석,” 「지리학의 과제와 접근방법: 석천 이찬박사 회갑기념논집」, 서울: 교학사, 231-273.
- 박지훈, 2016, “경남 함안 조남산 동쪽사면의 사면물질이동 발생사 -함안 성산산성을 사례로” 한국지형학회지, 23(4), 17-29.
- 박지훈이예진, 2016, “화분분석으로 본 함안 성산산성의 축성 전후 환경변화와 인간활동” 기후연구, 11(4), 331-341.
- 박창용이혜은, 2007, “삼국시대의 가뭄 및 호우에 관한 연구” 기후연구, 2(2), 94-104.
- 윤순옥황상일, 2009, “삼국시대를 통해 본 한국 고대의 자연재해와 가뭄주기” 대한지리학회지, 44(4), 497-509.
- 이주현, 2015, “함안 성산산성 부엽층과 출토유물의 검토” 중앙고고연구, 16, 76-103.
- 이희진, 2017, “삼국-통일신라시대 환경과 인간의 상호작용의 이해 기후진동에 대응한 사회 지속성의 메커니즘” 한국학연구, 60, 235-276.
- Dergacheva, M.I., Zykina, V.S., and Volkov, I.A., 1984, *The Problems and Method of the Paleosols Study*, Novosibirsk: Academic Press (in Russian).
- Fedeneva, I.N. and Dergacheva, M.I., 2003, Paleosols as the basis of environmental reconstruction in Altai mountainous areas, *Quaternary International*, 106,

89-101.

Gerasimov, I.P., 1990, *The Evolution and Differentiation of Earth Nature: Selected Works*, Moscow: Academic Press (in Russian).

Kononova, M.M., 1963, *The Soil Organic Matter*, Moscow: Academic Press (in Russian).

Orlov, D.C., 1974, *Humic Acids of Soil*, Moscow: Academic Press (in Russian).

Piccolo, A., 2001, The supramolecular of humic substance, *Soil Science*, 166(11), 823-829.

Ponomareva, V.V. and Protnikoba, T.A., 1980, *Humus and Soil Science*, Leningrad: Academic Press (in Russian).

Shmyk, A.A., 1924, *Chemical Analysis of The Soil Organic Matter*, Kyban: Academic Press (in Russian).

Tyurin, I.V., 1937, *Organic Matter of Soils*, Moscow: Academic Press (in Russian).

한국지질자원연구원 <http://www.kigam.re.kr>

교신 : 박지훈, 32588, 충남 공주시 공주대학로 56, 공주대학교 사범대학 지리교육과(이메일: pollenpjh@kongju.ac.kr)

Correspondence : Ji-Hoon Park, 32588, 56 Gongju-daehak-ro, Gongju-si, Chungcheongnam-do, Korea, Department of Geography Education, Kongju National University (Email: pollenpjh@kongju.ac.kr)

투 고 일: 2019년 3월 25일

심사완료일: 2019년 4월 11일

투고확정일: 2019년 4월 19일