

충남 부여지역의 홀로세 기후변화 -탄소동위원소분석과 대자율분석을 이용하여-

박경* · 박지훈**

Holocene Environments of the Buyeo Area Choongnam Province: Reconstructed from Carbon Isotopic and Magnetic Evidences from Alluvial Sequences

Kyeong Park* · Ji-Hoon Park**

요약 : 충남 부여지역의 홀로세(약 8,400 yrs B.P.~현재) 기간의 환경 특히 기후환경을 복원하기 위하여 부여군 가탑리 일대에 분포하는 선상지 퇴적물을 대상으로 탄소동위원소분석과 대자율분석을 실시하였다. 탄소동위원소분석 결과에 의하면, 조사지역에서는 크게 5회의 기후변화가 확인되었는데 I 期부터 VI 期로 가면서 가장 냉량 건조→온난 습윤→냉량 건조→온난 습윤→IV 期에 비해 건조→V 期에 비해 습윤한 환경으로 변천하는 것을 알 수 있었다. 특히 약 5,900~3,200 yrs B.P.의 기간이 상대적으로 가장 온난·습윤했던 것으로 밝혀졌다. 하지만 대자율분석에 의하면 시료채취지점 일대의 환경변화는 크게 4개의 시대로 구분되는데 ii-期에 가장 대자율이 높다. I-期은 배후습지 기원의 퇴적물로 이루어져 있으며, 시간의 경과에 따라 토양화가 진전되었다. 이에 비해 ii-期과 iii-期에서 대자율이 다른 시기에 비해 높은 이유는 구릉사면의 풍화와 토양화 과정에서 강자성 광물이 집적된 토양층이 침식에 의해 제거되고 이들이 운반되어 선상지 퇴적물을 형성했기 때문이다. iv-期은 경작층으로 이용되는 현재에 대비된다.

주요어 : 기후복원, 탄소동위원소, 대자율, 배후습지, 토양화, 기후변화

Abstract : Multi-proxy analysis was used to produce a high-resolution paleoclimatic record from a thick section of the Holocene alluvial fan deposit in Gatap-ri, Buyeo. According to $\delta^{13}\text{C}$ analyses, five minor climate fluctuations can be determined. From the stage I to stage VI, climate changes are as follows: cool-dry, warm-humid, cool-dry, warm humid, drier than stage IV, and finally more humid environment than stage V. According to magnetic susceptibility records, four different stages can be identified, among which stage ii shows the highest susceptibility. Stage-i deposit is derived from sediments of back marsh-type wetland. Stage-ii and stage-iii deposits, however, show higher magnetic susceptibility because magnetite-enriched soil from weathered upland was transported to the area to form an alluvial fan deposits. Stage-iv deposit is comparable to the modern plow horizon.

Key Words : climatic reconstruction, stable carbon isotope, magnetic susceptibility, marsh, soil, climatic change

* 성신여자대학교 사회과학대 지리학과 부교수 (Associate Professor, Dept. of Geography, Sungshin Women's University)

** 공주대학교 사범대학 지리교육과 부교수 (Associate Professor, Dept. of Geography Education, Kongju National University),
parkpollen@hanmail.net

1. 서론

1) 문제제기 및 연구목적

충남지역에서 홀로세 동안 기후변화 및 인간 활동에 동반한 식생변천을 복원하기 위해 기존에 발표된 화분 분석 자료를 시·공간적으로 재분석하였다(Park and Lee, 2008). 분석 결과, 절대연대를 동반한 화분분석 사례의 부족과 화분 동정의 한계 등으로 인하여 충남 지역에서 구릉지와 산지뿐만 아니라 저지대의 홀로세

환경 특히 홀로세 초기의 식생 및 기후환경, 홀로세 중기의 기온변화 및 천년 단위의 건습변화, 홀로세 후기의 기후환경 및 인간간섭에 따른 식생변화 등에 관하여 충분히 밝혀지지 않은 점이 확인되었다.

Park(2000)의 연구는 층상 및 층서해석 그리고 지표 화분(군)을 이용하여 홀로세의 태풍이나 집중호우와 같은 이벤트의 기후환경에 따른 지형변화와 퇴적물의 퇴적상황을 논의했다는 점에서는 의의가 크지만, 홀로세의 기온과 건습환경 전체를 복원하는 데에는 한계가 있다.

고기후학 연구성과에 따르면 과거의 기후와 관련된

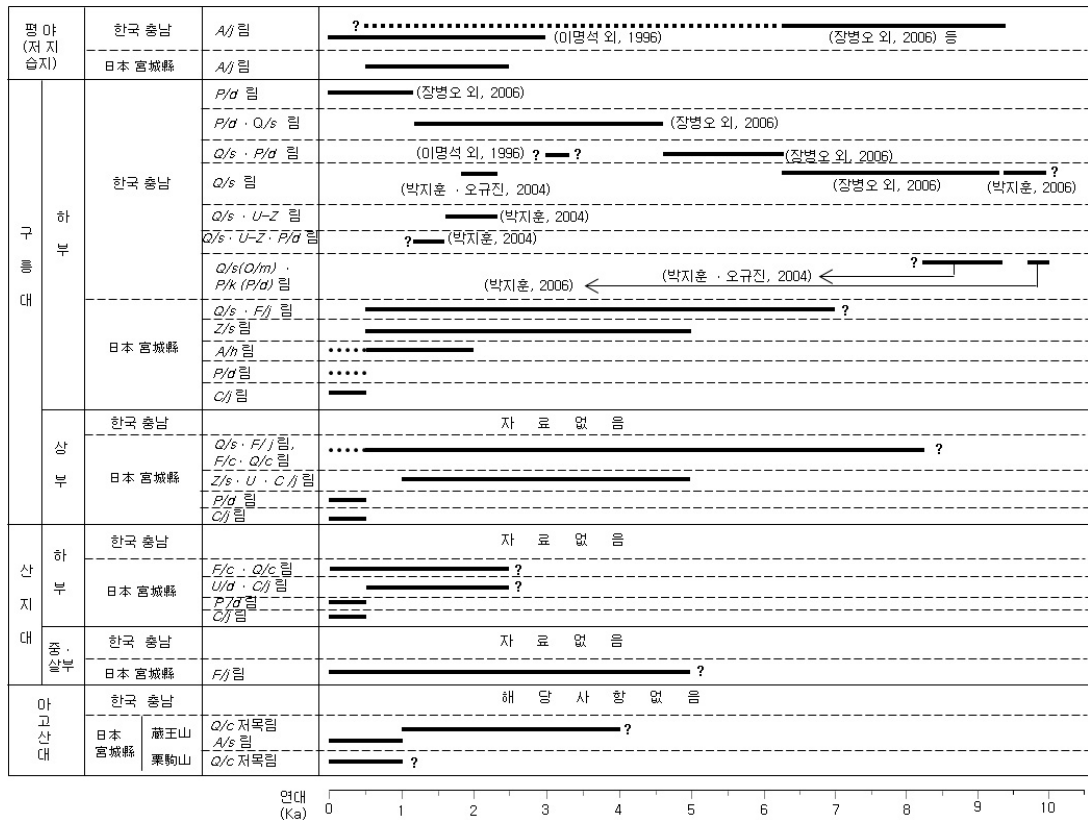


Figure 1. Woody vegetation change during the Holocene in Choongnam Province (modified from Park & Lee, 2008)

A/j : *Alnus japonica*, P/d : *Pinus densiflora*, Q/s : *Quercus serrata*, U-Z : *Ulmus davidiana-Zelkova serrata*, Q/m : *Quercus mongolica*, P/K : *Pinus Koraiensis*, Z/s : *Zelkova serrata*, A/b : *Abies holophylla*, C/j : *Cryptomeria japonica*, F/c : *Fagus crenata*, U/d : *Ulmus davidiana*, C/j : *Carpinus japonica*, F/j : *Fagus japonica*, Q/c : *Quercus crispula*, A/s : *Abies sachalinensis* . 충남지역의 홀로세 삼림변천 (박지훈 · 이상현, 2008 수정 가필)

어 식물의 광합성 경로의 차이에 따른 탄소순환 과정에서의 안정동위원소 값의 차이가 과거의 기후환경을 밝히는데 도움이 되고 있다(Cerling, 1984; Park, 1997; Johnson *et al.*, 1997). C₄ 식물의 δ¹³C값이 나타나는 환경은 온난하고 건조했으며 C₃ 식물이 나타나는 환경은 한랭하고 습윤했음이 밝혀지고 있다(Turney, 1999). 이와 같은 사실에 기초하여 탄소동위원소비 (13C/12C, 즉δ¹³C)를 이용하여 전지구적 혹은 국지적 스케일의 고기후 환경을 밝히는 연구가 활발히 진행되고 있다. 미국의 경우 대평원지역의 퇴스/고토양 층에서 미생물화석과 동위원소, 지자기 등 다수의 변수를 이용하여 플라이스토세에서 홀로세로 넘어가는 동안의 환경변화를 추적한 연구가 있으며(Miao *et al.*, 2007; Baket *et al.*, 2000; Johnson and Willey, 2000), 중국에서도 황토고원 지대에서 토양내 유기물에서 추출한 탄소동위원소를 이용하여 지난 35,000년간의 기후변화를 추적한 연구가 있다(Liu *et al.*, 2005). 그 근거는 C₄식물이 우점했던 시기는 온난하고 건조한 시기로 δ¹³C값이 높고, 반대로 C₃식물이 우점했던 시기는

한랭 습윤한 시기로 δ¹³C값이 낮기 때문이다(Farquhar and Richard, 1984 ; Hughes and Sherr, 1983 ; Shibuya *et al.*, 2006 ; Shibuya *et al.*, 2007 Sukumar 외, 1993 ; Lee *et al.*, 2008).

우리나라에서도 이와 같이 고기후 환경 복원에 유용한 분석기법인 탄소동위원소 분석으로부터 홀로세 환경 특히 기후변화를 복원하고자 하는 연구가 시작되고 있다. 예를 들어 강원도 양구에 위치한 고층습원인 대암산 용늪에 있어서 홀로세 후기(약 4100 yrs B.P.~현재)의 기후환경(Kang and Yoshioka, 2005), 인천 영종도의 해안곡저평야에서 홀로세 중기 이후(약 6,600 yrs B.P.~현재)의 기후환경(Chung *et al.*, 2010)을 복원하는 데 있어서 탄소동위원소 분석이 이용되었다. 그리고 박정재는 고기후 복원을 위해 습지 퇴적물을 대상으로 안정동위원소 분석가능성 연구의 가능성을 제시하였다(Park, 2008). 고기후 연구 뿐 아니라 현존 소나무 숲으로부터 안정동위원소를 이용한 분석(Chang, 2010)도 이루어졌으며 여기에서 도출된 데이터를 통하여 토양유기물 내의 δ¹³C값을 비교·해석하

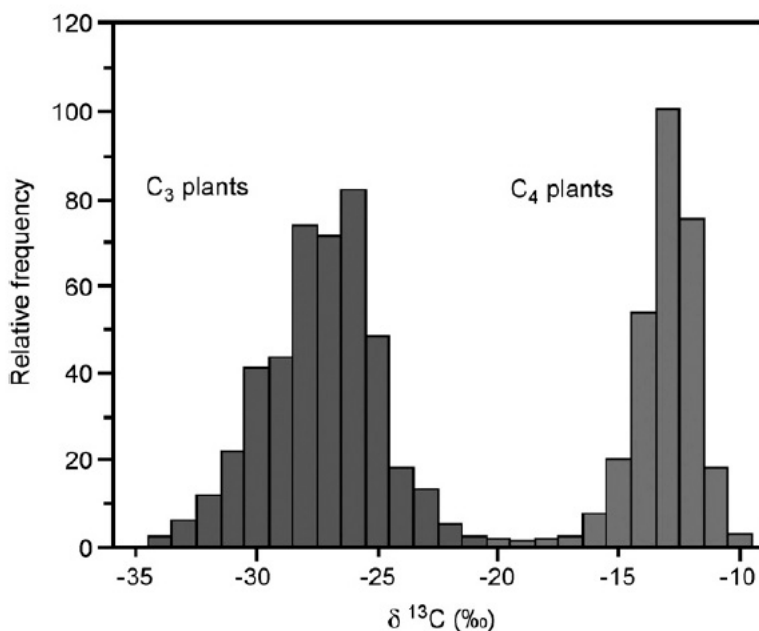


Figure 2. Relative frequency of δ¹³C signatures of C₃ and C₄ plants (modified from Johnson *et al.*, 2007 after Cerling, 1999). C₃ 식물과 C₄ 식물의 δ¹³C 상대 분포도

는 데 활용하였다. 안면도에서 채취한 18개의 소나무(C3 식물의 하나) 앞에서 추출한 평균 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 -27.42% 로 나타났으며, 그 표준편차는 0.70% 으로 우리의 연구에서 비교할 수 있는 기준치를 제공하고 있다.

이들 연구들은 공간적으로는 고층습원과 해안저지에서 단편적으로 행해졌으며, 시기적으로도 홀로세 중기 이후로 국한되어 있어 동위원소를 이용한 연구는 아직 초기단계에 불과하다. 이로 인해 탄소동위원소를 이용한 제4기 환경 특히 홀로세 기후환경 연구는 시·공간적으로 공백이 많은 실정이다. 따라서 홀로세 전체의 기후환경을 복원하기 위해서는 다수의 연대측정 결과를 동반한 사례연구의 축적이 절실하다고 보인다.

한편, 산화철 광물의 포함 정도에 따라 퇴적물(또는 암석, 토양)에서 대자율(magnetic susceptibility)의 차이가 발생한다. 특히 자연 퇴적층에서 층위별로 대자율의 차이가 존재한다면, 그 원인은 각 층을 구성하고 있는 퇴적물의 입도 차이(Thompson and Morton, 1979)이거나 화학적인 원인 및 철박테리아 등의 활동에 의한 초미립질의 자성광물성분의 생성(Maher and Thompson, 1995) 때문이다. 따라서 대자율 분석을 통하여 분석 물질이 갖고 있는 자화 정도 즉, 자성광물의 함량을 파악하는 것이 가능하다. 대자율을 이용한 고기후학적 연구는 일찍부터 특히 중국에서 퇴스와 고토양을 구분하는데 많은 성공을 거두었고 이를 통해 심해저에서 도출한 동위원소기와 연관 짓는 연구가 많이 이루어졌다(Heller and Liu, 1986; Hwang *et al.*, 2011).

또한 대자율분석은 오염물질의 기원을 찾는 연구, 퇴적물의 기원지를 밝히는 연구, 산불이나 토양의 침수와 같은 환경 이벤트(event)를 추정하는 연구뿐만 아니라, 더 나아가 전술한 퇴적물의 공급을 야기했던 당시의 기후환경(변화)을 복원하는 데에도 활용되고 있다(Park and Park, 2010; Dearing, 1994; Maher and Thompson, 1995). 특히 대자율의 유도자기장의 주파수에 따른 변동률 (frequency dependence: χ_{fd})은 초미립질의 자성물질의 집적을 밝혀주며 이는 곧 토양화의 정도를 보여주는 것으로 잘 알려져 있으며(Dearing *et al.*, 1996), 중국의 퇴스/고토양 층에서 연구 성과가 매우 두드러지게 나타나고 있다.

Maher와 Thompson(1995)에 의하면, 층위별로 대자율 값이 일정한 경우는 그 층이 형성될 당시의 퇴적 환경이 매우 정적이었고 따라서 급격한 퇴적물의 공급이 수반되지는 않았지만, 이와 반대로 대자율 값의 변이가 심한 층의 경우에는 이 층이 퇴적될 당시 퇴적물의 공급이 일정하지 않았다는 것을 의미한다. 또한 그들은 대자율의 크기가 일정하게 증가하는 층은 퇴적물 공급의 불규칙성이 없었으나 대자율 값을 좌우하는 자철석 같은 강자성광물의 양이 퇴적물 내에 다양 함유되게 되었거나 토양화의 진전에 따른 요인, 즉 철박테리아와 같은 유기물의 함유율에 따른 요인들에 대한 영향도 개입되었다고 주장하였다. 특히 Maher와 Taylor(1988)는 퇴적물의 유입이 없는 상태에서도 배수가 잘되는 토양에서 자철석 광물의 생성이 이루어질 수 있음을 증명하여 대자율 분석을 통한 고환경 분석의 이론적 기초를 제공하였다.

이 생각에 기초하여 Park(1997)은 미국 대평원지대의 퇴스/고토양 연속체에서 대자율 분석과 안정동위원소인 탄소(^{13}C)의 δ 값의 분석을 통하여 미국 대평원지대의 약 3만5천년간의 고기후를 복원하였다. 다른 연구에서 충남 천안 구룡천 하류부에 위치한 안골유역의 최종빙기 이후 사면물질이동을 야기했던 기후환경을 구명하기 위해 곡저 퇴적물을 대상으로 다양한 분석을 시도하는 과정에서 대자율분석을 이용하였다(Park & Park, 2010). 그들은 대자율분석을 바탕으로 조사지역에 분포하는 구룡사면의 토양화 과정에서 화학적으로 또는 마그네토 박테리아와 같은 생물학적 요인으로 인하여 대자율이 증가하였고, 토양생성 작용을 거친 표토층이 홀로세에 집중호우와 같은 이벤트에 의해 시료 채취지점인 곡저로 이동했기 때문에 이에 대비되는 곡저퇴적물의 대자율 수치가 높아진 것으로 추정하였다.

따라서 본고에서는 화분분석만으로 복원하기 어려웠던 충남지역의 홀로세 기후환경(특히 건설변동)을 밝히기 위한 사례연구로서 충남 부여 가탑리 일대의 층적층을 대상으로 $\delta^{13}\text{C}$ 분석과 대자율분석을 동시에 이용하여 홀로세 기후변화를 복원하고자 하였다.

2) 조사지역

Park *et al.*(2011)에 의하면, 조사지역의 지형개관은 다음과 같다. 조사지역은 금강 하류의 금강의 지류하천인 왕포천 유역에 해당되며 행정구역상으로는 충남 부여군 가탑리에 위치한다. 조사지역 일대를 관류하는 주요 하천으로는 금강을 비롯하여 그 지류하천인 왕포천이 있다.

조사지역 일대의 주요지형은 크게 침식지형으로는 저산성 구릉지 그리고 퇴적지형으로는 선상지, 하안단구, 범람원(곡지평야 포함)으로 구분된다. 조사지역 북측에 분포하는 저산성 구릉인 금성산(해발고도 약 121m)은 흑운모화강암으로 이루어진 기반암체의 해체과정에서 풍화물질의 오랜 식박·침식에 의해서 형성된 것으로 알려져 있다(Chang, 1995).

분석용 시료를 채취하기 위해 트랜치 작업이 행해진

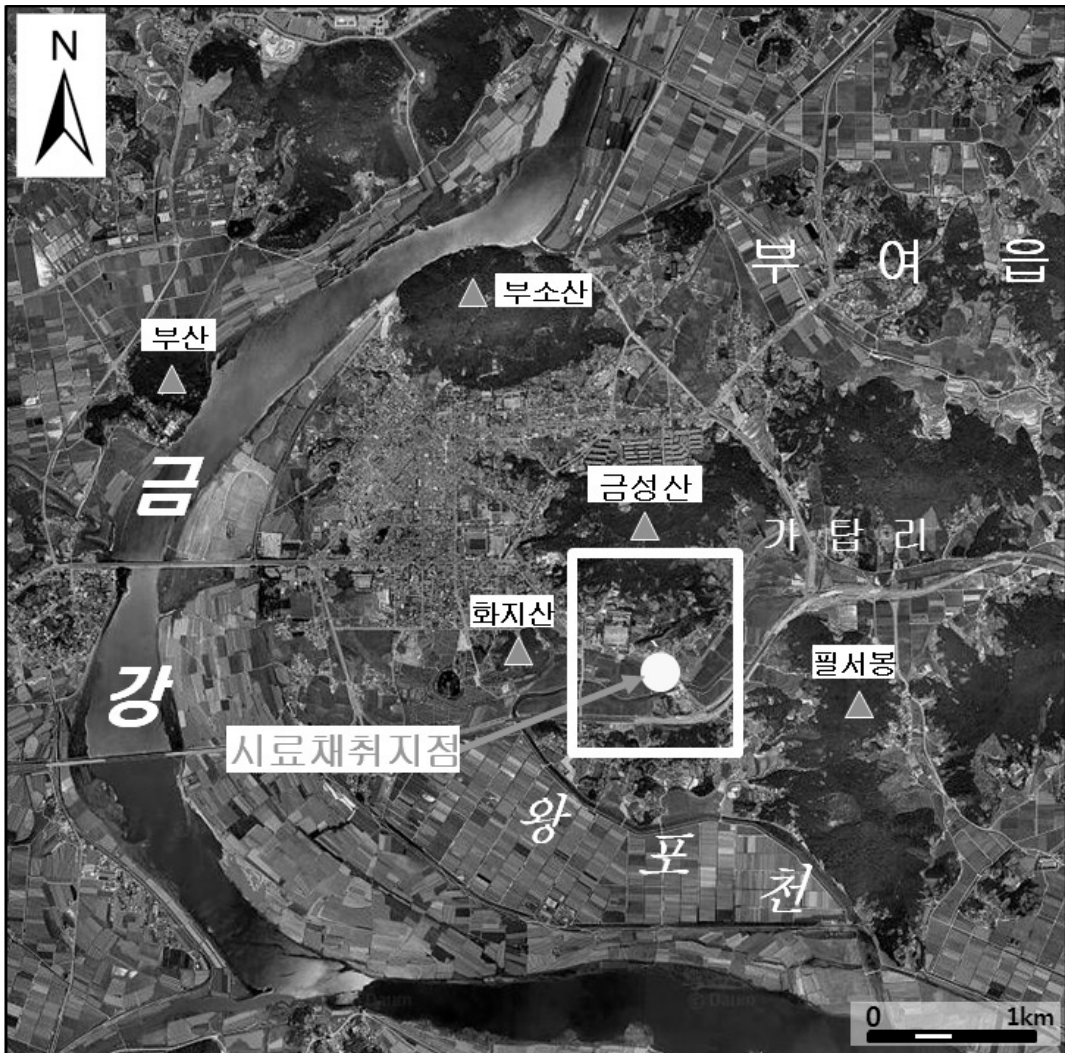


Figure 3. Satellite image of the sampling site and vicinity (<http://www.daum.net/>)
 (Rectangle in the middle indicate the location of Figure 4). 위성영상으로 본 시료채취지점 일대의 지형
 (그림 중앙에 있는 사각형 내부가 그림 4의 대략적인 범위)



Figure 4. The map of sampling site.
시료 채취지점의 위치

완사면상의 지형면은 소규모 층적선상지에 해당된다. 지형분석 결과, 이 지형면은 트렌치 지점 배후에 분포하는 금성산 정상에서 남동쪽으로 약 89m고지-약 76m고지가 이어지는 부분에서 76m 고지의 남쪽사면에 발달한 지곡을 따라 토사(또는 토석)가 운반 이동되어 형성된 소규모 층적추(alluvial cone) 형태를 띠고 있다. 그리고 이 층적선상지는 배후의 금성산 곡구 전면을 중심으로 단구화 되지 않고 범람원 하부로 수렴되는 형상을 띠는데 선정에서 선단으로 가면서 경사도는 5°에서 1°로 낮아진다. 층상·층상해석에 의하면, 조사지역의 지형면은 약 5,900 yrs B.P.~현재에 걸쳐서 금성산 남쪽사면의 삭박에 의해 발생한 토석류와 같은 사면물질이동의 형태로 다량의 무기물질이 왕포천 유역의 저지에 매적되어 형성된 소규모 홀로세 층적선상지인 것으로 밝혀졌다. 조사지역에 분포하는 이와 같은 층적선상지는 소지곡들의 곡구 전면에 분포하는 합류선상지 형상을 띠고 있다.

이 선상지 전면에는 금강의 지류하천인 왕포천에 의해 형성된 전형적인 층적평야(범람원)가 펼쳐져 있다.

특히 금강 본류와 지류가 합류하는 곳을 중심으로 규모가 큰 범람원이 분포하고, 왕포천과 같은 지류하천에는 대·소의 곡저평야가 모식적으로 나타난다. 범람원은 해발고도가 약 10m 이하로써 배후의 선상지 또는 곡저평야와는 협화적으로 연결되어 있다. 금강 본류 하도 내에는 하중도와 포인트바가 분포한다. 현재 범람원의 자연제방 일부는 인공제방으로, 대부분의 배후습지는 논으로 바뀌었다.

3) 시료채취지점과 분석방법

탄소동위원소 및 대자율 분석용 시료채취를 위하여 선상지를 대상으로 트렌치작업을 행하여 해발 7.84m~1.14m의 층후 6.7m의 토층단면을 인공적으로 만들어 약 10cm 간격으로 총 67점의 시료를 채취하였다.

탄소동위원소 분석을 위하여 트렌치 tr. 1 퇴적층에서 채취한 시료들은 한국기초과학지원연구원에서 분석장비 EA-IRMS(Elemental Analyzer-Isotope Ratio Mass Spectrometer)를 이용하여 토양 유기물의 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 비($\delta^{13}\text{C}$)를 분석하였다. 구체적인 처리방법을 보면 건조된 시료에 1.0 N의 염산을 첨가하여 탄산염과 무기탄소를 제거하고 증류수로 세척하여 다시 건조시킨 후 이를 연소시켜 발생한 CO_2 를 안정탄소동위원소 분석기에 주입하여 안정탄소동위원소 질량비($\delta^{13}\text{C}$)를 구하였다. 대자율 분석은 영국의 Bartington사에서 제작된 MS2 susceptibility meter와 MS-2B sensor를 이용하였으며, 동일 시료에 대하여 반복측정을 통하여 일정한 대자율 값(LF, HF)을 구하였다. 한편, 트렌치 단면의 층상해석과 탄소연대측정 자료는 Park *et al.*(2011)의 자료를 인용하였다.

2. 분석결과

1) 탄소동위원소 분석

탄소동위원소 분석에 기초하면, 트렌치 퇴적층은 크

계 6개의 시기(I期~VI期)로 구분된다. 분석결과, 상대적으로 건조한 시기와 습윤한 시기가 3회 교대로 나타난다. 즉, 건조한 시대로는 I期, III期, V期가, 상대적으로 습윤한 시기로는 II期, IV期, VI期가 확인되었다. 연대측정에 의하면, I期, II期, III期, IV期, V期 및 VI期の 시기는 각각 약 8,400~7,000 yrs B.P., 약 7,000~3,000(또는 2,500) yrs B.P., 약 3,000~2,500 yrs B.P., III期~약 900 yrs B.P., 약 900~700 yrs B.P. 및 약 700 yrs B.P.~현재에 대비된다.

각 시대의 상대적 건습환경을 보면, I期→II期→III期→IV期→V期 가면서 가장 건조→습윤→건조→약간 습윤→IV期에 비해 건조→V期에 비해 습윤한 환경으로 변천하는 것을 알 수 있었다. 조사지역에서 약 8,400 yrs B.P.~현재에 걸쳐서 기후변화를 구체적으로

살펴보면 다음과 같다. 즉, 약 8,400 yrs B.P. 이후 약 1,400년 동안 건조화가 진행되었고, 7,000 yrs B.P.부터 다시 약 3,900년 동안 습윤화가 진행되었다. 그 뒤를 이어서 3,200 yrs B.P. 이후 약 200년 동안 일시적으로 다시 건조화가 진행되었으며 다시 3,000 yrs B.P. 이후 약 1,100년 동안 습윤화가 진행되었다. 1,900 yrs B.P. 이후 약 1,200 yrs B.P. 동안 건조화가 진행되고 그 후 700 yrs B.P.에서 현재에 이르는 동안 다시 습윤화가 진행되었던 것이다. 그 중, I期는 다시 반건조→건조→반건조로 이어지는 미건습 변동이, II期는 다시 습윤→강습윤→습윤으로 이어지는 미건습 변동이 존재했다. 그리고 II期 중에서 특히 약 5,900~3,200 yrs B.P.의 기간이 상대적으로 가장 냉량 습윤했으며, I期가 가장 건조했던 것으로 밝혀졌다.

Table 1. $\delta^{13}\text{C}$ Values for the sampling trench. 조사지역의 탄소동위원소값

No.	height a.s.l(cm)	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}(\text{‰})$	No.	height a.s.l(cm)	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}(\text{‰})$
1	784-774	-25.92	34	454-444	-24.87
2	774-764	-25.63	35	444-434	-24.54
3	764-754	-25.55	36	434-424	-25.14
4	754-744	-24.68	37	424-414	-24.57
5	744-734	-24.35	38	414-404	-24.40
6	734-724	-23.32	39	404-394	-24.94
7	724-714	-24.15	40	394-384	-26.07
8	714-704	-22.72	41	384-374	-27.70
9	704-694	-22.75	42	374-364	-27.48
10	694-684	-21.91	43	364-354	-26.66
11	684-674	-23.15	44	354-344	-27.48
12	674-664	-21.80	45	344-334	-27.56
13	664-654	-23.68	46	334-324	-27.52
14	654-644	-23.68	47	324-314	-25.15
15	644-634	-23.72	48	314-304	-25.81
16	634-624	-23.93	49	304-294	-26.19
17-1	624-619	-24.13	50	294-284	-24.98
17-2	619-614	-24.58	51	284-274	-24.28
18	614-604	-24.73	52	274-264	-24.47
19	604-594	-24.94	53	264-254	-24.91
20	594-584	-25.01	54	254-244	-23.06

No.	height a.s.l(cm)	¹³ C/ ¹² C(‰)	No.	height a.s.l(cm)	¹³ C/ ¹² C(‰)
21	584-574	-25.30	55	244-234	-22.41
22	574-564	-25.00	56	234-224	-21.77
23	564-554	-24.68	57	224-214	-21.73
24	554-544	-24.20	58	214-204	-23.72
25	544-534	-24.68	59	204-194	-23.58
26	534-524	-24.11	60	194-184	-20.46
27	524-514	-23.81	61	184-174	-22.70
28	514-504	-23.84	62	174-164	-22.09
29	504-494	-23.34	63	164-154	-22.38
30	494-484	-23.93	64	154-144	-22.21
31	484-474	-22.67	65	144-134	-22.40
32	474-464	-21.76	66	134-124	-23.50
33	464-454	-23.33	67	124-114	-23.03

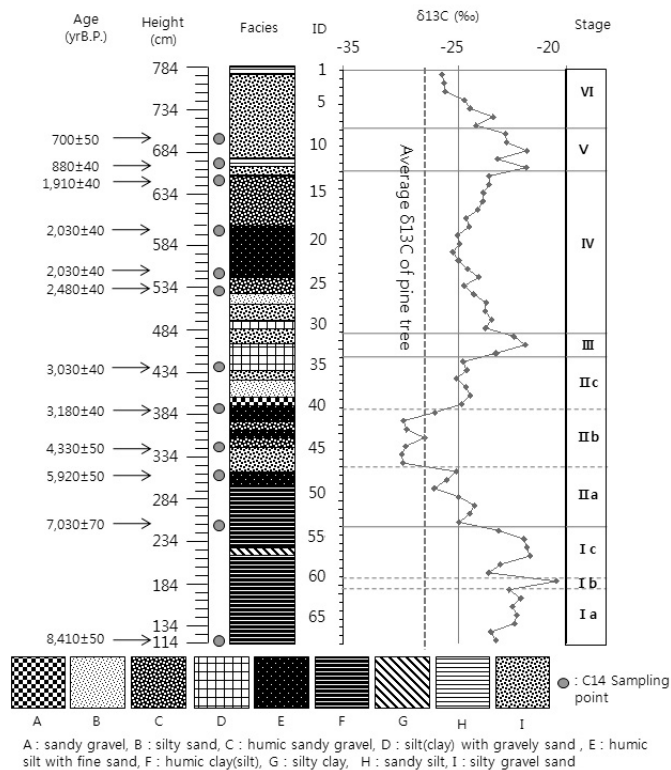


Figure 5. Stable isotope signal and sedimentary facies from Gatap-ri, Buyeo (Data for radiocarbon age and sedimentary facies are from Park et al. (2001); average $\delta^{13}C$ value of *Pinus densiflora* comes from Chang(2010). 충남 부여 가탑리 일대 트렌치 단면의 탄소동위원소와 퇴적상(탄소연대치와 퇴적상의 자료는 박지훈 외(2001)의 tr. 1 지점의 자료를 인용함). 현생 소나무의 동위원소값은 장(2010)에 의함

2) 대자율 분석

대자율 분석에 기초하면, 트렌치 퇴적층은 크게 4개의 시기(i-期~iv-期)로 구분되었다. i-期는 트렌치 전체 퇴적물의 대자율 측면에서 보면, 상대적으로 가장 낮은 대자율을 보이며, 수회의 작은 증감이 반복되지만, 규칙적인 변화는 아니다. ii-期는 이전 시대에 비

해 대자율이 급격히 증가하는데 트렌치 퇴적물 전체에서 볼 때, 경작층 시기에 대비되는 iv-期를 제외하면, 가장 대자율의 변화가 크고 그 비율도 높다. iii-期에서는 다시 대자율이 급격히 감소하는데 ii-期에 비해 대자율의 변화 폭도 작고 비율도 낮지만 i-期에 비해서는 대자율의 변화 폭이 크고 비율도 높다.

Table 2. Magnetic susceptibility data from the trench. 조사지역의 대자율

No.	height a.s.l(cm)	LF(μ SI/g)	No.	height a.s.l(cm)	LF(μ SI/g)
1	784-774	604.68	34	454-444	97.50
2	774-764	1129.65	35	444-434	112.04
3	764-754	464.04	36	434-424	99.85
4	754-744	417.83	37	424-414	54.23
5	744-734	154.78	38	414-404	78.13
6	734-724	116.17	39	404-394	73.90
7	724-714	264.67	40	394-384	47.75
8	714-704	77.01	41	384-374	86.47
9	704-694	80.99	42	374-364	66.11
10	694-684	261.52	43	364-354	4.62
11	684-674	202.10	44	354-344	95.72
12	674-664	95.97	45	344-334	77.53
13	664-654	86.45	46	334-324	24.27
14	654-644	237.16	47	324-314	25.64
15	644-634	241.79	48	314-304	101.22
16	634-624	349.91	49	304-294	120.48
17-1	624-619	272.33	50	294-284	142.98
17-2	619-614	208.47	51	284-274	141.89
18	614-604	201.07	52	274-264	114.24
19	604-594	1125.00	53	264-254	109.48
20	594-584	148.31	54	254-244	119.39
21	584-574	798.37	55	244-234	147.94
22	574-564	973.08	56	234-224	146.30
23	564-554	224.69	57	224-214	140.86
24	554-544	197.75	58	214-204	137.10
25	544-534	83.70	59	204-194	150.83
26	534-524	70.12	60	194-184	-20.46
27	524-514	105.08	61	184-174	-22.70
28	514-504	92.44	62	174-164	-22.09

No.	height a.s.l.(cm)	LF(μ SI/g)	No.	height a.s.l.(cm)	LF(μ SI/g)
29	504-494	154.77	63	164-154	-22.38
30	494-484	100.18	64	154-144	-22.21
31	484-474	100.18	65	144-134	-22.40
32	474-464	108.39	66	134-124	-23.50
33	464-454	115.76	67	124-114	-23.03

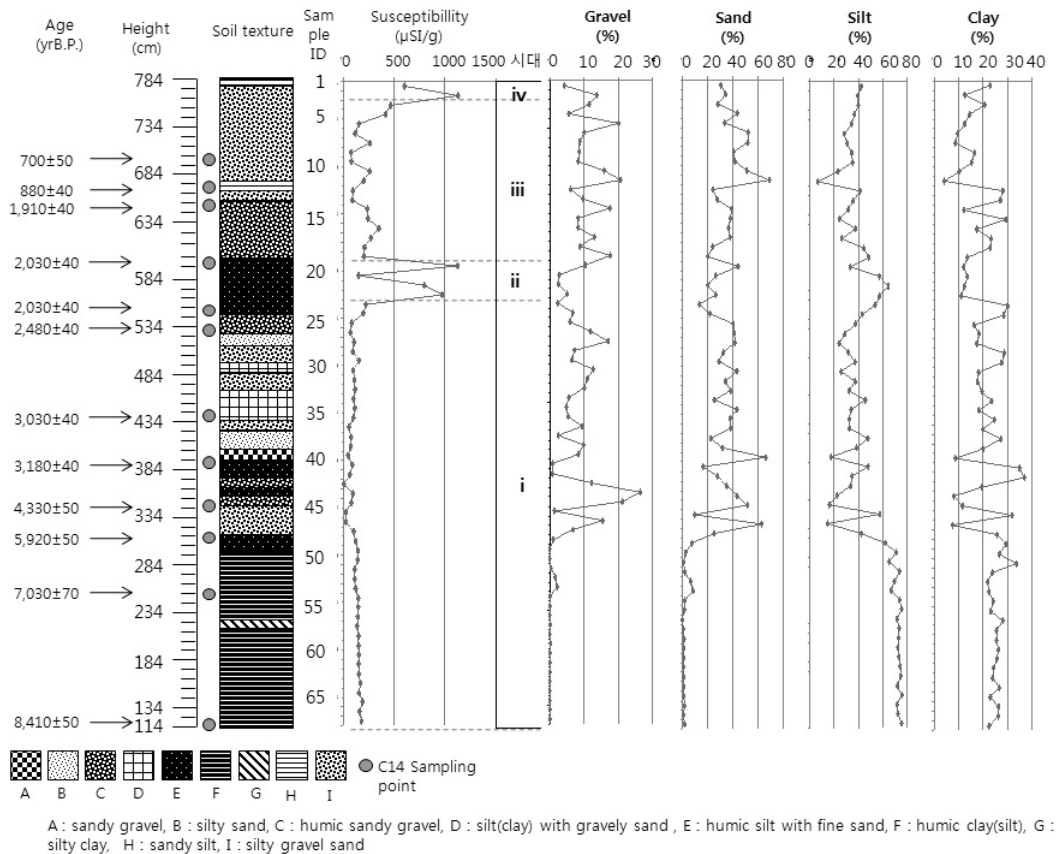


Figure 6. Magnetic susceptibility and sedimentary texture plots from Gatap-ri, Buyeo (Data for radiocarbon age and sedimentary facies are from Park et al. (2001); particle size data is from Park's unpublished data). 충남 부여 가탑리 일대 트렌치 단면의 대자율과 퇴적상(탄소연대치와 퇴적상의 자료는 박지훈 외(2001)의 자료를 인용, 입도분석 자료는 박지훈의 미발표 자료를 참조함)

3. 고찰

석을 실시하여 홀로세 기후환경을 복원한 결과는 다음과 같다.

충남 부여 가탑리 일대에 분포하는 소규모 선상지 퇴적물을 대상으로 탄소안정동위원소분석과 대자율분

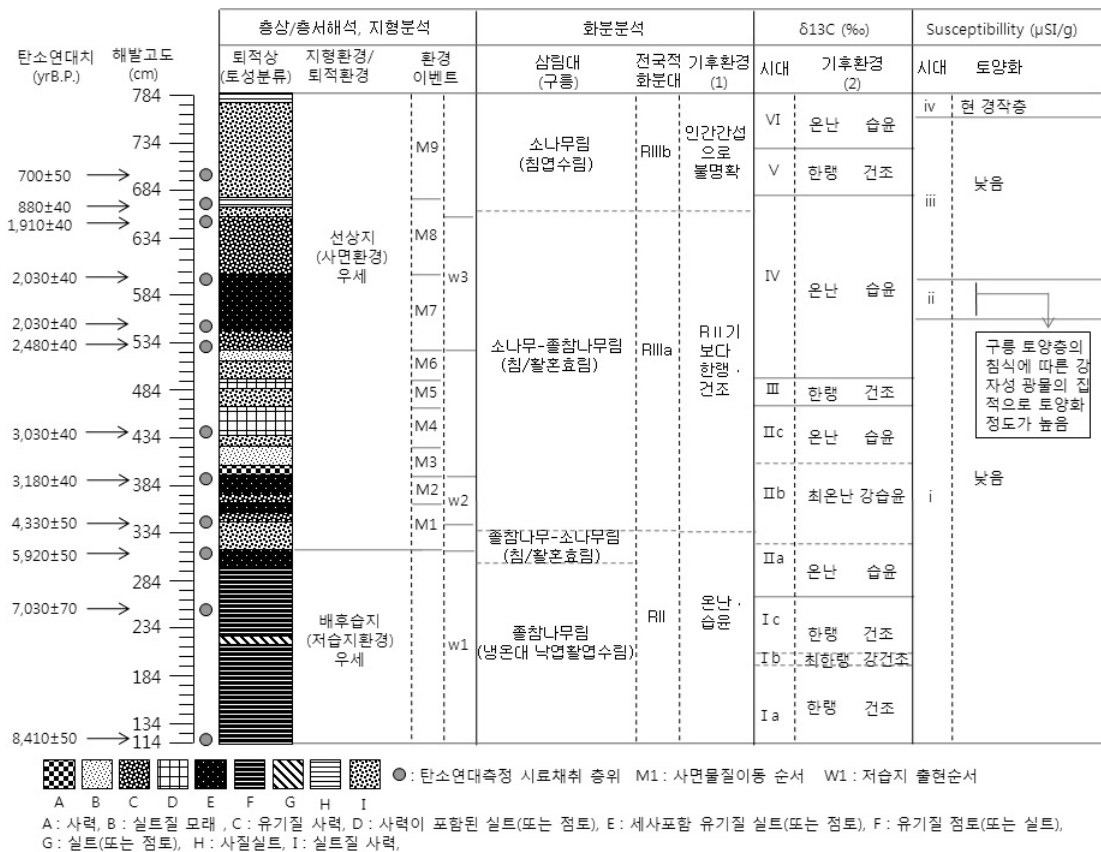


Figure 7. Holocene environmental and climate changes in Gatap-ri area, Buyeo (radiocarbon age, stratigraphy, landform analysis data are modified from Park et al. (2011), pollen diagram from Park and Lee(2008). 충남 부여 가탑리 일대의 홀로세 환경변화 및 기후변화 (탄소연대치, 총상/총서해석, 지형분석의 자료는 박지훈 외(2011)를 인용, 화분분석 자료는 박지훈·이상현(2008)을 인용)

1) 탄소안정동위원소

탄소동위원소 분석에 의해 조사지역에 있어서 홀로세(약 8,400 yrs B.P.~현재) 기후환경은 크게 6개의 시대로 구분되었다. 광범위하게 탄소동위원소 분석이 이루어진 미국의 대평원지역에서 지난 빙기에 퇴적된 피오리아 퇴스에 함유된 유기물에서 평균 δ13C값이 -23.7‰로 나타나고 홀로세의 고토양층에서 δ13C값은 -16.6‰(Miao, et al., 2007)로 나타나는데 비하여 부여가탑리 일대의 전반적인 δ13C값의 범위는 -27~-20‰ 정도로 전체적으로 C3 생물환경에 가까운 수치를 보여주고 있으나 이 부분에 대한 동아시아 지역의 연

구가 적어, 이 부분에 대한 충분한 설명을 위해서 앞으로 지속적인 연구가 필요하다고 판단된다.

(1) I 期

δ13C분석에 의하면, I 期는 약 8,400 yrs B.P.~현재에 이르는 동안 상대적으로 가장 냉량 건조했던 것으로 밝혀졌다. 또한, 이 시대는 약 1,400년간 지속되는 동안 건조→반건조→건조로 이어지는 미건습 변동이 존재했던 것으로 밝혀졌다.

총상해석과 탄소연대 측정결과(박지훈 외, 2011) I 期에 대비되는 해발고도 약 254~114cm 층위는 올리브흑색(5Y 3/2) 또는 회올리브색(5Y 4/2, 7.5Y 4/2)을

씨는 유기질 점토(또는 실트)층으로서 퇴적시기는 약 8,400~7,000 yrs B.P.로 파악된다. I기에 퇴적된 유기질 점토층은 홀로세 해수면 상승에 따른 왕포천의 범람에 의해 형성된 배후습지에서 형성된 것으로 추정된다. 그리고 선행 화분분석의 결과(박지훈 · 이상헌, 2008)를 보면 시료채취지점 배후에 위치한 금성산의 남쪽사면에서는 전반적으로 졸참나무림(*Quercus serrata*)이 우점했지만, I 시기의 초기(Ia期)에는 일부 잣나무(*Pinus koraiensis*)가 어느 정도 포함되어 있을 가능성도 배제할 수 없으며, 배후습지 환경이 우세했던 시료 채취지점 주변의 지표면에는 오리나무림(*Alnus japonica*)이 분포했을 것으로 추정된다.

따라서 I기의 기후는 대부분 홀로세 중기로서 최종빙기와 홀로세 초기에 비해 온난·습윤했으며, 보다 구체적으로 살펴보면, 홀로세 중기~현재에 이르는 동안에 가장 냉량 건조했던 것으로 생각된다.

한편, 이 시대에 형성된 배후습지 기원의 유기질 점토층에서 함께 행해진 대자율분석과 입도분석을 상호 비교한 결과, 퇴적물의 토양화 정도가 다른 시대에 비해 상대적으로 가장 낮았지만, 시간의 경과에 따라 토양화가 진전되었던 것으로 추정된다.

(2) II期

$\delta^{13}C$ 분석에 의하면, II期는 홀로세 전체에서 상대적으로 온난 습윤한 편에 속한다. 특히 이 시대 중에서도 약 5,900~3,200 yrs B.P.의 기간이 상대적으로 가장 온난 습윤했다. 그리고 II期の 약 3,900 yrs B.P. 동안 다시 습윤→강습윤→습윤으로 이어지는 미진습 변동이 확인된다.

층상해석과 탄소연대 측정결과(Park *et al.*, 2011) II기에 대비되는 해발고도 약 454~254cm 층위는 황갈색(2.5Y5/4)의 사력이 포함된 실트층부터 올리브흑색(5Y3/2)의 유기질 점토층까지 다양한 층상이 확인된다. 그리고 탄소연대 측정결과, 이 시대가 시작될 시기는 약 7,000 yrs B.P.부터이며, 종료 시기는 약 3,000 yrs B.P.와 약 2,500 yrs B.P. 사이의 어느 시기로 수렴된다. 따라서 II期는 시기적으로 홀로세 중기와 후기 일부에 대비된다.

이 시대 중에서 약 7,000~5,900 yrs B.P. 기간에는

I기에 이어서 홀로세 해수면 상승에 따른 왕포천의 범람에 의해 형성된 배후습지 환경이 우세하며, 이로 인해 유기질이 포함된 점토층이 퇴적되었다. 그 후 5,900 yrs B.P.부터 이 시기가 종료될 때까지 기존의 범람기원의 배후습지 환경은 거의 사라지고 시료채취지점 배후의 금성산 남쪽사면에서 기원한 사면물질이 동인 매스무브먼트(mass movement)로 인하여 선상지 환경이 나타나며, 이 시기에 대략 4회(M1~M4)의 사면물질이동이 발생했다. 그러나 이와 같은 사면기원의 물질 이동이 우세한 환경 속에서도 약 4,300~3,200 yrs B.P. 기간에는 당시 선상지 지표면에 국지적으로 저습지가 형성되었다.

화분분석 결과(Park and Lee, 2008)를 보면 약 7,000~5,900 yrs B.P. 기간에는 I기에 이어서 금성산의 남쪽사면에 낙엽활엽수림인 졸참나무림이 우점했으며, 배후습지에서는 오리나무림이 생육했을 것으로 보인다. 그리고 약 4,300~3,200 yrs B.P. 기간에는 약 7,000~5,900 yrs B.P. 기간의 식생환경과는 달리 금성산의 남쪽사면에서는 혼효림인 소나무-졸참나무림이 우점했으며, 당시 선상지 고지표면에 형성된 저습지에는 오리나무림이 분포했던 것으로 추정된다.

따라서 기존 화분분석 결과에 기초하여 기후환경을 추정하면, II期는 약 4,900(또는 4,500)년 동안 전반적으로 습윤한 편에 속한다. 그리고 다시 이 시대를 $\delta^{13}C$ 분석에 의해 미시적으로 살펴보면, 약 7,000~5,900 yrs B.P. 기간에는 I期과 유사하게 온난·습윤했으며, 약 4,300~3,200 yrs B.P. 기간에는 I期과 유사하거나 또는 상대적으로 다소 냉량·건조했던 것으로 생각된다.

그리고 II기에 대비되는 퇴적물은 I期和 마찬가지로 토양화의 정도가 상대적으로 매우 낮은 것으로 밝혀졌다. 그 이유는 전술했듯이 배후 금성산 지곡으로부터 운반된 선상지성 퇴적물의 지속된 유입으로 토양화 정도가 낮게 나타나는 것으로 생각된다.

(3) III期

$\delta^{13}C$ 분석에 의하면, 약 8,400 yrs B.P.~현재에 이르는 동안, III期가 전후의 시대에 비해 일시적으로 건조·냉량했던 것으로 밝혀졌다.

층상해석에 의하면, III기에 대비되는 해발고도 약

494~454cm 층위는 사력이 포함된 실트층(황갈색(2.5Y 5/4) 또는 암올리브색(5Y4/3))과 실트질 사력층(황갈색(2.5Y5/4) 또는 암올리브색(5Y4/3))이다. 탄소연대 측정결과, 이 시기는 약 3,000~2,500 yrs B.P. 사이의 어느 시기로 수렴된다. 층상·층서해석(Park *et al.*, 2011)에 의하면, 전술한 무기물층은 시료 채취지점 배후의 금성산 남쪽사면에서 기원한 1회의 사면물질이동(M4)에 의해 퇴적된 물질로서 선상지 환경이 우세했던 것으로 추정된다.

화분분석 자료(Park and Lee, 2008)에 기초하면, Ⅲ期는 Ⅱ期인 약 4,300~3,200 yrs B.P. 기간과 마찬가지로 금성산의 남쪽사면에서 혼효림인 소나무-졸참나무림이 우점했을 것으로 추정된다. 그러나 선행 화분분석 자료에 기초하면, Ⅲ期가 Ⅱ期에 비해 기후적으로 냉량 또는 건조했다는 증거를 발견하기가 어려운 상황이었다. 단, 식생환경에 기초하면, Ⅲ期の 기후환경은 Ⅱ期の 약 4,300~3,200 yrs B.P.처럼 온난·습윤했을 것으로 생각된다.

따라서 Ⅲ期는 기존 화분분석 결과에 기초하면, 시기적으로 홀로세 중기(Middle Holocene)에 비해 다소 상대적으로 냉량·건조했지만, 최종빙기(Last Glacial) 또는 홀로세 초기(Early Holocene)에 비해 온난·습윤했던 것으로 알려진 홀로세 후기에 대비되며, $\delta^{13}C$ 분석에 의하면, 전후의 시대(Ⅰ期, Ⅳ期)에 비해 일시적으로 건조·냉량했던 것으로 생각된다. 그리고 Ⅲ期에 대비되는 퇴적물은 Ⅰ期과 Ⅱ期の 그것과 마찬가지로 금성산 남쪽사면에서 기원한 사면물질이동의 결과로 토양화의 정도가 상대적으로 낮은 것으로 생각된다.

(4) Ⅳ期

$\delta^{13}C$ 분석에 의하면, Ⅳ期는 Ⅱ期와 같이 상대적으로 온난 습윤했다. Ⅳ期에 대비되는 해발고도 약 684~494cm 층위에는 최하위 504~494cm의 올리브색(5Y4/3) 실트질 사력층부터 최상위 684~674cm의 황갈색(2.5Y5/4) 실트질 사력층까지 다양한 층상이 확인된다. 그리고 탄소연대 측정결과 Ⅳ期는 Ⅲ期~약 900 yrs B.P.로 수렴되는데 그 개시 시기는 약 3,000 yrs B.P.~2,500 yrs B.P.의 어느 시기 그리고 종료 시기는 약 1,900 yrs B.P.~900 yrs B.P.의 어느 시기로 수렴된

다.

층상·층서해석(Park *et al.*, 2011)에 의하면, Ⅳ期에 전반적으로 선상지 환경이 우세하여 3회의 사면물질이동(M6, M7, M8)이 발생했으며, 그러나 이 시기 내에서도 약 2,000 yrs B.P.경에 형성된 흑색(10Y 2/1)의 세사가 포함 유기질 실트층은 일시적으로 형성된 저습지에 자연제방에서 기원한 사질실트가 혼입된 것으로 추정되는 점에서 비록 단기간이지만 하천환경이 우세했던 시기가 존재하는 것이 밝혀졌다.

화분분석 결과(Park and Lee, 2008)에 따르면, Ⅳ期는 Ⅲ期와 마찬가지로 시료채취지점 배후인 금성산에 혼효림인 소나무-졸참나무림이 우점했을 것으로 추정된다. 그런데 이 시대는 화분분석에 따라 크게 홀로세 후기의 전반부와 후반부를 각각 화분대 RⅢa期, RⅢb期로 세분하고, 기후적으로 홀로세 후기 전반부(화분대 RⅢa期)는 후빙기 중기에 비해 다소 냉량·건조했으며, 홀로세 후기 후반부(화분대 RⅢb期)는 인위적 삼림파괴에 의해 기후환경을 파악하는 것이 다소 어렵다고 알려져 있다.

따라서 Ⅳ期는 Ⅲ期에 이어서 홀로세 후기 중에서 전국적 홀로세 화분대 RⅢa에 대비되며, 이 시대의 기후환경은 식생환경에 기초하면, Ⅲ期の 그것과 큰 차이가 없었던 것으로 생각되지만, $\delta^{13}C$ 분석에 의하면, Ⅳ期는 Ⅱ期와 같이 상대적으로 온난 습윤했던 것으로 생각된다.

그리고 이 시기에 대비되는 대지율 변화곡선을 보면, 이전 시기들에 비해 그 수치가 증가하는데 크게 3개의 아층위(상부층, 중부층, 하부층)는 각각 후술할 대지율 i-期, ii-期, iii-期에 대비된다. 상부층은 저습지에 혼입된 사면기원의 무기물질, 중부층은 세사가 포함 유기질 실트, 하부층은 사면기원의 무기물질로 구성되었다. 대지율 ii-期는 약 2,000 yrs B.P.경으로 수렴된다. 상부층과 하부층은 토양화의 진전 정도가 이전의 탄소동위원소 Ⅲ期와 마찬가지로 낮은 반면에 중부층은 토양화의 진전 정도가 직하의 하부층과 직상의 상부층에 비해 일시적으로 크게 증가했던 것으로 밝혀졌다.

(5) Ⅴ期

$\delta^{13}\text{C}$ 분석에 의하면, V期는 상대적으로 IV期에 비해 건조했던 것으로 판명되었다. V期에 대비되는 해발고도 약 714~664cm 층위는 흑갈색(2.5Y3/2)의 실트질트와 황갈색(2.5Y5/4)의 실트질 사력층이다. 탄소연대 측정결과, 이 시기는 약 900~700 yrs B.P.로 수렴된다. 층상·층서해석(Park *et al.*, 2011)에 의하면, 전술한 실트질 사력층은 약 694cm 층위에서 확인되는 구하상 퇴적물이고, 구하상 퇴적물의 직상과 직하의 퇴적물은 시료채취지점 배후의 금성산 남쪽사면에서 사면물질이동(M8과 M9의 일부분)에 의해 퇴적된 물질로서 당시는 선상지 환경이 우세했던 것으로 추정된다.

화분분석(Park and Lee, 2008)에 의하면, 이 시기에 금성산에서는 2차림인 소나무림이 우점했을 것으로 생각된다. 현 단계로는 화분분석만으로는 V期の 인위적인 삼림파괴에 때문에 기후환경을 추정하기 어려운 실정이다.

따라서 V期는 홀로세 후기(Late Holocene) 후반부로서 전국적으로 홀로세 후기 화분대 RⅢb期에 대비된다. 그런데 층상해석과 화분분석만으로 추정되는 증거들 예를 들어 왕포천의 유로변경이 발생하고, 소나무림이 우점하는 금성산에서 사면물질이동의 발생하는 점으로 보아, 빙기-간빙기 스케일 상에서 볼 때, 당시의 기후는 간빙기로서 전반적으로 온난 습윤했을 것으로 추정하는데 머물고 있을 뿐 이 시대가 이전 시대에 비해 어떠한 기후였는지를 파악하는 것은 전술한 분석방법들로는 추정하기가 어렵다. 그러나 $\delta^{13}\text{C}$ 분석에 의하면, V期는 상대적으로 IV期에 비해 상대적으로 건조했던 것으로 판명되었다. 한편, 이 시대에 대비되는 선상지 기원의 무기물층은 토양화 진전 정도가 IV期の 그것과 유사하다.

(6) VI期

$\delta^{13}\text{C}$ 분석에 의하면, 상대적으로 VI期는 V期에 비해 습윤했던 것으로 생각된다. 이 시대에 대비되는 해발고도 약 764~664cm 층위는 흑갈색(2.5Y3/2)의 실트질 사력층이다. 이 시대는 탄소연대 측정결과, 시기적으로 약 700 yrs B.P.~현재로 수렴된다. 층상·층서해석(Park *et al.*, 2011)에 의하면, 전술한 실트질 사력층은 시료채취지점 배후의 금성산 남쪽사면에서 기원

한 사면물질이동(M9의 일부분)에 의해 퇴적된 물질로서 선상지 환경이 우세했던 것으로 추정된다.

화분분석 결과(Park and Lee, 2008)에 의하면, 이 시기도 V 시기와 마찬가지로 금성산에서는 2차림인 소나무림이 우점했을 것으로 추정된다. 그리고 VI期도 V期와 마찬가지로 홀로세 후기 화분대 RⅢb期에 대비된다.

따라서 VI시기는 V 시기와 마찬가지로 화분분석만으로 두 시대의 기후환경 차이를 밝히는 것이 어렵지만, $\delta^{13}\text{C}$ 분석에 의하면, 이 시대는 상대적으로 IV期에 비해 상대적으로 건조했다고 판단된다. 그런데 이 시기에 대비되는 선상지 기원의 무기물층의 토양화 진전 정도는 V期の 그것과 유사하다.

2) 대자율 분석

대자율분석에 기초하면, 조사지역에 있어서 약 8,400 yrs B.P.~현재에 이르는 동안 크게 4회(i-期~iv-期)의 환경변화를 겪었다.

i-期는 약 8,400~2,500 yrs B.P.로 구분된다. 일반적으로 토양화가 많이 진전된 퇴적층에서 대자율이 실트나 점토의 변화곡선과 유사한 양상을 나타내는 것으로 알려져 있다(Park and Park, 2010). 그런데 실트의 변화곡선과 매우 유사한 경향을 띠고 있는 i-期는 시료채취지점이 당시 배후습지 환경였던 것으로 밝혀졌다(Park *et al.*, 2011). 따라서 이 시기에 홀로세 해수면 상승에 따른 왕포천의 범람에 기원한 미립물질인 실트와 점토가 계속하여 시료채취지점으로 공급되었기 때문에 다른 시대에 비해 상대적으로 가장 토양화 정도가 낮았으며, 이 시대에 퇴적된 배후습지의 퇴적물은 시간의 경과에 따라 토양화가 진전되었던 것으로 생각된다.

ii-期는 약 2,500~1,900 yrs B.P.로 구분된다. II期の 대자율 변화경향은 이 시대에 해당되는 퇴적물 중 모래 함량의 변화 경향과 유사하다. 박지훈 외(2011)에 의하면, 이 모래는 왕포천 범람에 의해 형성된 배후습지 퇴적물에 금성산의 지곡으로부터 운반 이동된 사면물질인 모래가 혼합된 층상을 띤다. 따라서 II期가 전후의 시대에 비해 대자율이 높은 수치를 나타내는 것

은 박지훈·박경(2010)이 주장한 것처럼, 구릉사면의 토양화 과정에서 강자성 광물의 집적된 토양층이 침식에 의해 제거되고 이들이 곡저에 운반되어 선상지 퇴적물을 형성했기 때문으로 생각된다.

iii-期는 약 1,900 yrs B.P.~최근까지의 시기로 구분된다. 이 시대에는 II期에 비해 다시 대자율이 급격히 감소하는데 ii-期에 비해 대자율의 변화 폭도 작고 비율도 낮지만 i-期에 비해서는 대자율의 변화 폭이 크고 비율도 높은 편이다. iii-期の 대자율 변화 경향은 점토 변화 경향과 유사하다. tr. 1 지점이 지형적으로 볼 때, 선상지의 선단에 속한다는 점 그리고 iii-期 퇴적물의 층상·층서해석(Park *et al.*, 2011)에 의하면, iii-期 퇴적물은 tr. 1 지점 배후에 위치한 구릉 사면에서 기원한 계류성 무기물질이 대부분을 차지하고 있다는 점 등을 고려하면, 토양화의 진전에 따른 변화가 아니라 ii-期和 마찬가지로 구릉의 토양에서 기원한 광물(또는 다른 요인)의 영향을 많이 받아 대자율의 비율이 높아진 것으로 생각된다.

iv-期에 이르면 대자율은 다시 급격히 증가하는 경향이 나타난다. 이 시기의 퇴적물은 현재의 경작층에 해당된다.

4. 결론

충남 부여지역의 홀로세 자연환경(특히 기후환경)을 복원하기 위하여 부여군 가탑리 일대에 분포하는 소규모 선상지 퇴적물을 대상으로 고밀도로 집중적인 표본 채취를 통하여 탄소동위원소분석과 대자율분석을 실시하였다. 그 결과는 다음과 같다.

탄소동위원소분석에 의해 약 8,400 yrs B.P.~현재에 이르는 동안, 크게 6회의 시기(I期~VI期)가 확인되었다. I期, II期, III期, IV期, V期 및 VI期の 시기는 각각 약 8,400~7,000 yrs B.P., 약 7,000~약 3,000(또는 2,500) yrs B.P., 약 3,000~2,500 yrs B.P., III期~약 900 yrs B.P., 약 900~700 yrs B.P. 및 약 700 yrs B.P.~현재에 대비된다. 시대별 기후환경을 보면, I期→II期→III期→IV期→V期→VI期로 가면서 가장

냉량 건조→온난 습윤→냉량 건조→온난 습윤→IV期에 비해 건조→V期에 비해 습윤으로 변천했다는 것을 알 수 있었다. 그 중, I期는 다시 건조→반건조→건조로 이어지는 미건습 변동이 확인되었다. 그리고 II期 중에서 특히 약 5,900~3,200 yrs B.P. 의 기간이 상대적으로 가장 온난 습윤했으며 이 기간은 다시 습윤→강습윤→습윤으로 이어지는 미건습 변동이 존재했다.

대자율분석에 의해 약 8,400 yrs B.P.~현재의 환경 변화는 크게 4개의 시대로 구분된다. i-期, ii-期, iii-期 및 iv-期の 시대는 각각 약 8,400~2,500 yrs B.P., 약 2,500~1,900 yrs B.P., 약 1,900 yrs B.P.~최근, 현재에 대비된다. 시대별 퇴적 환경을 보면, i-期는 배후습지성 퇴적물로 환원환경에서 대자율 값이 낮게 나타나는 시기이며, 시간의 경과에 따라 토양화가 진전된 것으로 생각된다. 이에 비해 ii-期和 iii-期에서 대자율이 높은 이유는 구릉사면의 토양화 과정에서 강자성 광물이 집적된 표토층이 침식에 의해 제거되고 이들이 운반되어 선상지 퇴적물을 형성했기 때문이다. 특히 ii-期에 가장 대자율이 높으며, iv-期는 현재 경작층으로 이용되는 시대이다.

본 연구결과는 충남 부여 일대에서 홀로세 환경변화 특히 기후변화를 논의하고자 할 때, 유용한 기초자료로 활용될 것이다. 그러나 본 연구는 부여 지역에 국한되며, 그리고 중국이나 미국의 퇴적물 연속적인 퇴적물이 아니라 단속적으로 퇴적된 선상지 퇴적물을 대상으로 하였기 때문에 추후 표본을 채취할 때 정밀도를 높이고 연대측정을 정교화하는 등의 더 많은 연구가 축적된다면 부여 더 나아가 충남지역과 한반도의 홀로세 동안의 기후변화를 복원하는데 도움이 될 것이다.

참고문헌

- Baker, R. G., Fredlund, G. G., Mandel, R. D. and Bettis, III E.A., 2000, Holocene environments of the central Great Plains: multiproxy evidence from alluvial sequences, southeastern Nebraska,

- Quaternary International*, 67, 75-88.
- Chang, H., 1995, A Pedogeomorphological Study on the Low Hills around the Alluvial Plains of the Honam and Nonsan Plains, *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 2(2), 73-100(in Korean).
- Cerling, T. E., 1984, The stable isotopic composition of modern soil carbonate and its relationship to climate, *Earth and Planetary Science Letters*, 71, 229-240.
- Cerling, T. E., Quade, J., Wang, Y. and Bowman J. R., 1989, Carbon isotopes in soils and palaeosols as ecology and palaeoecology indicators, *Nature*, 341, 138-139.
- Chang, E. M., 2010, Final ISP Report for Korea Forest Seed and Variety Center(in Korean).
- Dearing, J., 1994, Environmental Magnetic Susceptibility-using the Bartington MS2 system, *Chi Publishing*, 104pp.
- Dearing, J., Dann, R., Hay, K., Lees, J., Loveland, P., Maher, B. and O'Grady, K., 1996, Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials. *Geophysical Journal International*, 124, 228-240.
- Farquhar, G. D. and Richards P. A., 1984, Isotopic composition of plant carbon correlates with water-use efficiency of wheat genotypes, *Australian Journal of Plant Physiology*, 11, 539-552.
- Heller, F. and Liu, T. S., 1986, Paleoclimate and sedimentary history from magnetic susceptibility of loess in China, *Geophysical Research Letters*, 13, 1169-1172.
- Hibino, K., 1987, The Study of the Pollen Analysis on Changes of the Forest, *the Academic Research Report for Conservation Measures of Virgin Forest*, 101-122(in Japanese).
- Hwang, S., Kang, C-H, and Yoon S-O., 2011 Sedimentary Characteristics and Chronology of Loess-paleosol Sequence in Jeongjang-ri, Geochang basin, Gyeongnam Province, *The Geographical Journal of Korea*, 46(1), 1-19(in Korean).
- Hughes, E. H. and Sherr, E. B., 1983, Subtidal food webs in a Georgia estuary; $\delta^{13}C$ analysis, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 67, 227-242.
- Johnson, W. C. and Willey, K. L., 2000, Isotopic and rock magnetic expression of environmental change at the Pleistocene-Holocene transition in the central Great Plains, *Quaternary International*, 67(1), 89-106.
- Johnson, W. C., Park, K., Isaacson, J. S. and Johnson, D. L., 1997, Late Pleistocene and Holocene environments on Fort Riley, Kansas, *Current Research in the Pleistocene*, v. 14, pp. 163-165.
- Jung H. K., Park J. H. and Kim C. B., 2010, Carbon Isotope analysis for the climatic environment change in South Korea during the Holocene : a case study in Yeongjong Islands of Yellow Sea, *The Korean Earth Science Society*, 13(4), 313-321(in Korean).
- Kang, S. J. and Yoshioka, T., 2005, Environmental Change of High Moor in Mt. Dae-Am of Korean Peninsula., *Korean Journal of Limnology*, 38(1), 45-53(in Korean).
- Lee J. S., Park Y. H., Rhee J. S., Jeong J. I., Lim M. A. and Chung H. S., 2008, Planting Conditions of Korean Cannabis Derived from Stable Isotope Ratio & Tetrahydrocannabinol Contents, *Yakbak Hoeji*, 52(3), 172~175(in Korean).
- Lew, W., Huang, Y., An, Z., Clemens, S.C., Li, L., Prell, W. L. and Ning Y., 2005, Summer monsoon intensity controls $C4/C3$ plant abundance during the last 35 ka in the Chinese Loess Plateau: Carbon isotope evidence from bulk organic matter and individual leaf waxes, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 220(3-4), 243-254.
- Maher, B. A. and Taylor, R. M., 1988, Formation of ultrafine-grained magnetite in soils, *Nature*, 336(6197), 368-370.
- Maher, B. A. and Thompson, R., 1995, Rainfall reconstruction from pedogenic magnetic

- susceptibility variations in the Chinese loess and paleosols, *Quaternary Research*, 44, 383-391.
- Miao, X., Mason, J. A., Johnson, W.C. and Wang, H., 2007, High-resolution proxy record of Holocene climate from a loess section in Southwestern Nebraska, USA, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 245, 368-381.
- Park, J., 2008, The applicability of stable isotope analyses on sediments to reconstruct Korean paleoclimate, *The Geographical Journal of Korea*, 43(4), 477-494(in Korean).
- Park, J. H., 2000, Holocene Climatic Change and Geomorphic Processes on Hillslopes in the Central Part of the Oh-u Backbone Range, Northeastern Japan - A chronological approach consisting of pollen analysis and detailed stratigraphy of closed depression deposits -. *Dissertation to the Toboku Univ.* 113pp(in Japanese).
- Park, J. H. and Yi S., 2008, Postglacial Environments of the Chungnam Province inferred from Pollen Analysis: with Emphasis of Change in Climate and Vegetation together with Human Impact, *J. Paleont. Soc. Korea*. 24(1), 55-75(in Korean).
- Park, J. H. and Park, K., 2010, Mass-Movement of Slope Material Since the Last Glacial Period at Angol Basin within Downstream Area of Guryongcheon in Cheonan, Choongnam Province, *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 17(3), 1-17(in Korean).
- Park, J. H., Jang, D. H., and Kim, C., 2011, Mass-Movement of Slope Material During the Holocene Period on the Southern Slope of Geumseong Mountain in Buyeo, Chungnam Province, *Journal of the Association of Korea Photo-Geographers*, 21(1), 1-14(in Korean).
- Park, J., 2008, The application of stable analysis on sediments to reconstruct Korea paleoclimate, *The Geographical Journal of Korea*, 43(4), 477-494(in Korean).
- Park, K., 1997, Reconstruction of Late-Quaternary Climates of the Central Great Plains using magnetic and nonmagnetic parameters, Ph. D. Dissertation, University of Kansas.
- Shibuya, E. K., Sarkis, J. E. S., Neto, O. N. and Martinelli, L. A., 2007, Carbon and nitrogen stable isotopes as indicative of geographical origin of marijuana samples seized in the city of Sao Paulo(Brazil), *Forensic Science International*, 167, 8-15
- Shibuya, E. K., Sarkis, J. E. S., Neto, O. N., Moreira, M. Z. and Victoria, R. L., 2006, Sourcing Brazilian marijuana by applying IRMS analysis to seized samples, *Forensic Science International*, 160, 35-43
- Sukumar, R., Ramesh, T., Pant, R. K. and Rajagopalan, G., 1993, A $\delta^{13}\text{C}$ record of late Quaternary climate change from tropical peats in southern India, *Nature*, 364, 703-706.
- Thompson, R. and Morton D. J., 1979, "Magnetic susceptibility and particle-size distribution in recent sediments of the Loch Lomond Drainage Basin, Scotland", *Journal of Sedimentary Petrology*, 49(3), 8-1-812.
- Turney, C. S. M., 1999, Lacustrine bulk organic $\delta^{13}\text{C}$ in the British Isles during the last glacial Holocene transition (14-9ka C-14 BP), *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 31, 71-81
- West, J. B., Bowen, G. J. Thure E. Cerling, T. E. and Ehleringer, J. R., 2006, Carbon isotopes in soils and palaeosols as ecology and palaeoecology indicators, *Trends in Ecology and Evolution*, Vol.21 No.7, 408-414.
- 교신: 박지훈, 314-701, 충남 공주시 신관동 182 공주대학교 사범대학 지리교육과 부교수(이메일: parkpollen@hanmail.net, 전화: 041-850-8245, 팩스: 041-850-8240)
- Correspondence: Ji-Hoon Park, Dept. of Geography Education, Kongju National University, 182 Singwan-dong, Kongju-si, Choongnam, 317-701, Korea(e-mail: parkpollen@hanmail.net, phone:+82-41-8508245, Fax: +82-41-850-8240)
- 최초투고일 2011. 5. 19
수정일 2011. 6. 22
최종접수일 2011. 6. 27