

추가령 열곡 연천 고호소층의 퇴적물 기원지 분석

이민부* · 이광률** · 김남신***

The Origin of Paleo-Lacustrine Deposits at Yeoncheon in Chugaryeong Rift Valley, Central Korea

Min-Boo Lee*, Gwang-Ryul Lee**, Nam-Shin Kim***

요약 : 본 논문은 용암댐에 의해 형성된 고호소층인 연천읍 일대 점토층에 대한 주원소, 희토류원소 등의 이화학적 분석과 ¹⁴C 및 OSL 연대측정을 통해 고호소층의 형성시기와 물질의 유사도를 분석하였다. 고호소변 점토층(YC1)의 OSL 연대는 11~13만년으로 분석되어, 고호소층은 약 13만년 이전부터 존재하였으며, 최소한 2만년 이상 지속된 것으로 추정된다. 기원지 분석을 위해 고호소 점토층(YC1, 2) 뿐만 아니라, 주변의 다양한 지형 구성물질과의 대비를 통해 기원지 분석을 시도하였다. 그 결과, 차탄천 중류 하안의 선상지 퇴적물(YC8)과 용암대지 표면의 점토층(YC9)에서 물질의 유사도가 가장 높으며, 고호소저 점토층(YC2)과 서쪽 산록의 사면 풍화물(YC5)간에도 유사도가 높으며, 차탄천의 현 하상 퇴적물(YC7), 고호소변 점토층(YC1), 동쪽 산록의 사면운반 물질(YC4) 사이에서도 유사도가 높은 것으로 나타났다.

주요어 : 용암댐 고호소, 고호소 점토층, 주원소분석, 희토류분석, OSL연대측정, 기원지 유사도

Abstract : This study aims to estimate the similarities of lacustrine deposits of lava-dammed Yeoncheon paleo-lake by geochemical analysis such as XRF, ICP-AES, and ¹⁴C and OSL age datings in Chugaryeong Rift Valley of Central Korea. OSL age of the lacustrine coastal deposit(YC1) is estimated as 0.11-0.13 Ma. It indicates that paleo-deposits may have remained during at least 20,000 years from 0.13 Ma. The origin analysis of deposits were carried out by comparison between lacustrine mud layers(YC1~2) and various geomorphic materials of vicinity. As a result, the similarity of the origin is highest between the paleo-coastal alluvial deposit of Chatan River(YC8), and surface clay deposit of Jeongok lava plateau(YC9). Next higher similarity is between paleo-lacustrine bottom deposit(YC2) and west valley-side mountain slope colluvial materials(YC5). Another high similarities are among present Chatan River channel sediment(YC7), lacustrine coastal deposit(YC1) and east valley-side mountain slope colluvial materials(YC4).

Key Words : lava-dammed paleo-lake, paleo-lacustrine deposit, XRF, ICP-AES, similarity of deposits origin

* 한국교원대 지리교육과 교수(Professor, Department of Geography Education, Korea National University of Education), minblee@knue.ac.kr

** 경북대학교 지리교육과 전임강사(Full-time Lecturer, Department of Geography Education, Kyungpook National University), georiver@knu.ac.kr

*** 한국교원대 지리교육과 강사(Lecturer, Department of Geography Education, Korea National University of Education), kns9027@dreamwiz.com

1. 서론

추가령 열곡은 서울과 원산 사이에서 구조운동 및 화산분출에 의해 형성된 NNE-SSW 주향의 곡을 말한다. 추가령이라는 지명은 이 열곡의 중북부에 위치한 북한의 강원도 고산군 삼방리와 세포군 세포리 사이의 용암대지 개석 단애로서 분수계는 아니지만, 일반인들에게는 고개로 인식되고 있다(이민부 · 전중환, 2005).

추가령 열곡의 중앙부인 철원-평강 지역에는 넓은 용암대지가 분포한다. 이는 평강에서 남서쪽 3km에 위치한 오리산(454m)을 중심으로 열하 분출한 현무암질 용암에 의해 형성된 것이다(원종관, 1983; 대한지질학회, 1999; 이민부 외, 2004). 이 용암은 열곡을 따라, 북쪽으로는 남대천을 따라 북한의 강원도 고산군 북부 일대까지, 남쪽으로는 한탄강과 임진강을 따라 경기도 파주시 파평면 일대까지 흘러 내렸다.

한탄강을 따라 흘러내린 용암의 분출 시기는 학자 및 분석방법에 따라 다양하게 제시되고 있다. 먼저 원종관 외(1990)는 현무암의 절대 연대와 전곡리 구석기 유적을 근거로 하여, 10~27만년 전으로 추정하였다. Danhara *et al.*(2002: 신재봉 외, 2004에서 재인용)은 fission track과 K-Ar 연대측정을 통해 전곡 현무암의 연대를 500,000년 전으로 보고하였고, 이선복(2005)은 지금까지의 연구 자료들을 종합하여 약 150,000년 전으로 추정하고 있다.

철원을 지나 한탄강의 고하곡을 따라 흘러내린 용암으로 전곡리 일대에도 30~40m의 두꺼운 현무암층이 형성되었다(이민부 · 이광률, 2003). 이로 인해, 전곡리 일대에서 한탄강에 유입하는 지류 하천인 차탄천은 용암땀에 막혀, 연천읍 일대에는 과거에 넓은 호소가 형성되었던 것으로 추정된다(이민부 외, 2001). 용암땀에 의한 호소의 형성은 차탄천의 하류 뿐 만 아니라, 영평천의 하구에서도 발생하여, 영평천 하류의 하안에는 점토층과 모래층이 교호하는 4m 이상의 두꺼운 호소성 퇴적층이 형성되었고, 고호소는 약 3만년 전까지 지속된 것으로 추정되었다(이민부 외, 2005).

차탄천의 종류에 해당되는 연천읍 차탄리의 동쪽 사면에는 용암땀에 의한 호소 및 선상지성 퇴적층이 산록의 하단부에 완경사면을 이루며 남아있다. 이민부

외(2001)에 의해 소개된, 차탄리 일대의 합류 선상지 퇴적층에 대한 분석은 차탄천 하곡의 고호소에 대한 최초의 언급으로, 입도 분석에 통해 호소 환경과 선상지 환경이 반복되었음을 증명하였다. 그러나 입도를 중심으로 퇴적층을 분석하였기 때문에, 고호소 퇴적층을 이루고 있는 퇴적물의 다양한 이화학적 특성에 대해서는 설명이 부족하였다. 또한 고호소 퇴적물의 기원 및 퇴적층의 형성시기를 구체적으로 언급하지 못하였다.

이에 따라, 본 연구에서는 사면의 개석작용과 아파트 공사로 인해 범람원 기저부에서 새로 드러난 퇴적층 노두를 대상으로, 퇴적물의 다양한 이화학적인 특성을 보다 구체적으로 분석하고, OSL 연대측정을 통해 퇴적물의 연대를 밝히며, 고호소 퇴적물 및 주변 지역에 분포하는 물질에 대한 주원소 및 희토류 원소 분석을 실시하여, 지화학적 유사도와 형성과정을 분석하고자 한다.

2. 연구방법

먼저, 지형도 분석과 야외조사를 실시하여 차탄천 하류인 연천군 연천읍과 전곡읍 일대의 지형면 분류도를 작성하였다. 그리고 고호소층이 분포하는 연천읍 차탄리 일대에 대하여 1:5,000 지형도를 토대로, GIS를 이용하여, 3차원 음영기복도를 작성하였다. 다음으로, 차탄리의 동쪽 사면의 하단과 차탄천의 범람원 기저부에서 발견된 고호소 퇴적층을 대상으로, 지형도 계측 및 수준 측량을 실시하여, 하곡 및 퇴적층의 횡단면도를 작성하고, 퇴적층의 층서 관계 및 지형 기록을 검토하였다. 그리고 고호소 퇴적물 대상으로 입도 분석, 대자율 측정, 유기물 함량 분석 등을 실시하여, 퇴적물의 이화학적 특성을 파악하였다.

입도분석 과정은 시료 50g에 대해 유기물 제거 및 점토의 물리적 분해를 위해, 5%의 과산화수소수와 확산제를 이용하여, 전처리를 실시하였다. 입도 측정에서, sand 및 granule급 입자는 체(sieve)를 이용하였으며, mud 입자는 Stokes 법칙에 따른 침강법을 이용하여 측정하였다. 입도의 통계적 분석은 ϕ 척도로 Folk

and Ward 방식으로 계산하였다. 고호소의 형성과 관련한 퇴적물 내 유기물의 함량을 살펴보기 위한 작열감량(LOI, loss of ignition)은 경희대학교 지형학실험실에서 100℃에서 24시간 이상 완전히 건조시킨 상태의 시료 무게와, 이를 다시 550℃의 오븐에서 4시간 동안 연소시킨 후의 시료 무게를 측정하여 계산하였다. 대자울은 ZH사의 SM30을 이용하여 측정하였고, 토색은 수분에 100% 포화된 시료에 대해 Munsell 토색척을 이용하여 판정하였다.

퇴적층의 형성 시기를 확인하기 위해서, 세 개의 층에서 시료를 파이핑하여, 한국기초과학지원연구원에서 OSL(Optically Stimulated Luminescence) 연대 측정을 실시하였다. 그리고 퇴적 당시의 기후 환경을 유추하기 위하여, 유기물이 집적된 층에 대한 화분 분석을 실시하였다(이민부 외, 2006).

퇴적물의 지화학적 특성과 기원지를 추적하기 위해서, 고호소 퇴적물을 포함해 부근의 다양한 지형들에 분포하는 토양 및 퇴적물을 대상으로, 서울대학교 기초과학교육연구공동기기원에서 주원소 분석(XRF) 및 희토류 원소 분석(ICP-AES)을 실시하여 고호소 퇴적물의 기원지를 추정하고, 이를 종합하여 고호소층의 형성과정을 지형학적으로 해석하고자 하였다.

3. 연천-전곡 일대의 지형 특성

추가령 열곡에서도 차탄천 하류에 해당하는 연천-전곡 일대는 폭 1~2km 내외의 남북 방향의 좁은 직선형 하곡을 이루고 있다. 한탄강은 구조선을 가로질러 동에서 서로 흐르며, 한탄강의 지류인 차탄천과 신천은 단층선을 따라 각각 남쪽과 북쪽으로 흘러 한탄강에 유입된다(그림 1). 차탄천 하류의 하곡은 용암대지를 뚫고 흐르는 곳과 그렇지 않은 곳의 두 가지 유형으로 크게 구분된다.

한탄강을 따라 흘러내린 용암은 차탄천의 하류인 전곡읍 일대의 하곡을 매우 넓고 평탄한 현무암 용암대지를 형성시켰는데, 이 용암은 차탄천의 하곡을 거슬러 통현리까지 도달하였다(그림 1). 현재 한탄강과 차탄천은 현무암과 기반암인 변성암의 경계부를 따라 깊

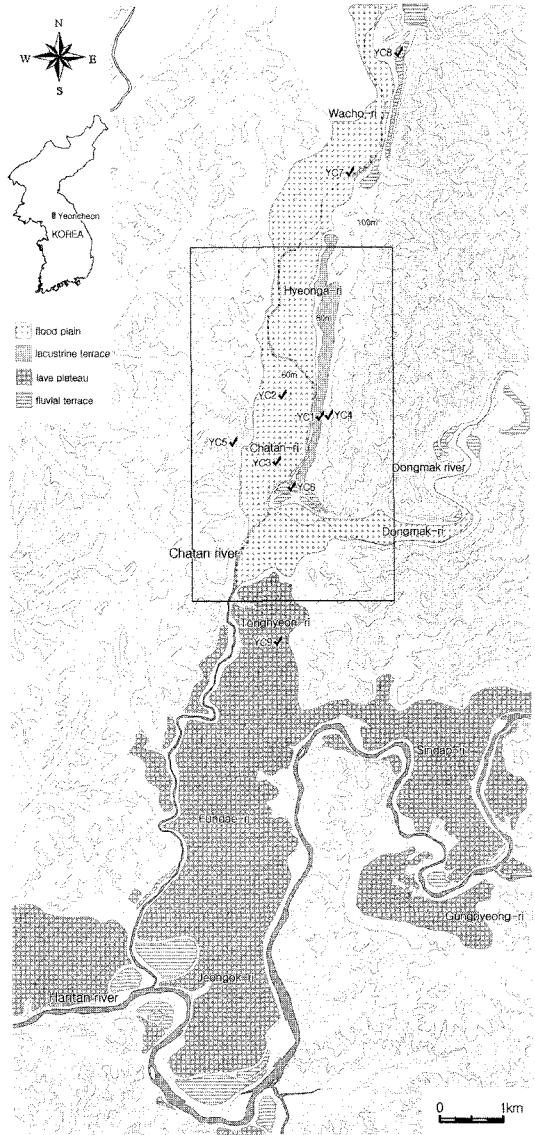


그림 1. 연구 지역의 지형 분류도 (YC1~9는 시료 채취 지점, □는 그림 3의 지역)

이 30~40m의 협곡을 이루며 곡류하고 있다. 용암이 도달하지 못한 차탄리의 북쪽 하곡에는 변랍원과 소규모의 하안단구 및 선상지 등의 지형이 분포한다. 특히, 연천읍 차탄리의 동쪽 사면 하단에는 토탄을 포함한 5m 이상의 두꺼운 점토 및 모래층이 나타나는데, 이는 과거 통현리에 도달한 용암류가 댐 역할을 하면서 차탄천의 하도가 막혀 형성된 고호소에 의한 퇴적층으로, 호안단구로 분류된다(이민부 외, 2001).

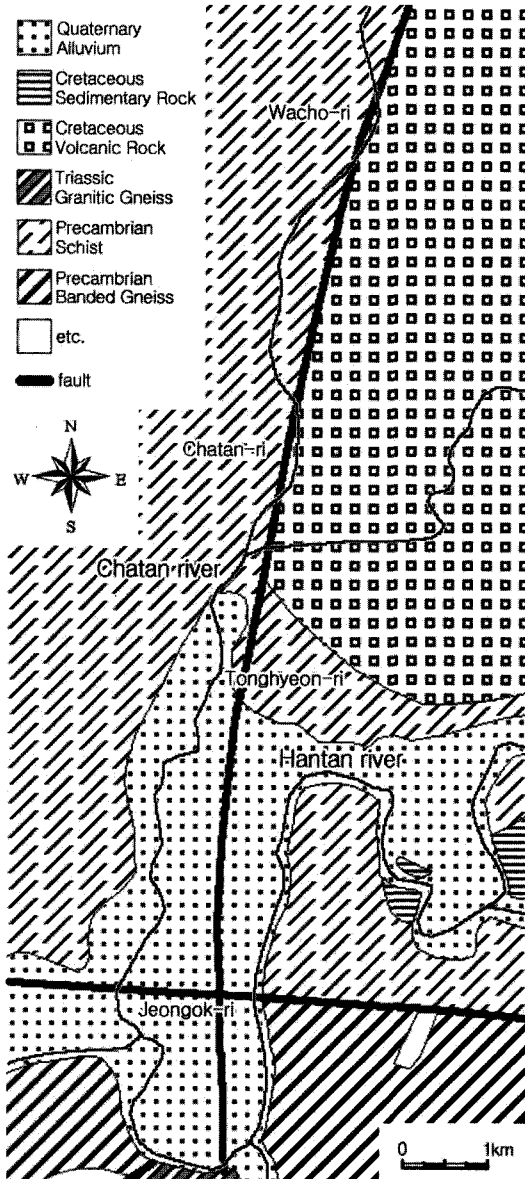


그림 2. 연구지역의 지질

연천-전곡 일대의 지질은 N-S 또는 NNE-SSW 방향의 단층선을 경계로 하여, 크게 3가지 유형으로 구분된다(그림 2). 가장 넓게 분포하는 암석은 경기변성암 복합체의 연천계 변성암으로 불리는 선캄브리아기 변성퇴적암이다. 이 암석은 단층선의 서쪽과 한탄강의 남쪽에 넓게 분포하며, 오랫동안 꾸준하게 풍화·침식을 받아서, 상대적으로 고도가 낮고 완만한 경사를 이루는 구릉성 산지로 이루어진 지표면을 형성하고 있

다. 단층선의 동쪽에는 지장봉 화산암으로 불리는 중생대 백악기 화산암류가 분포하는데, 상대적으로 풍화·침식에 강하여, 고도가 높고 경사가 급한 산지를 이루고 있다. 차탄천의 하류인 전곡 일대에는 신생대 제4기에 분출한 현무암이 연천계 변성암을 덮고, 20~40m의 두께로 분포하고 있다. 현무암의 표면은 풍화층, 고호소 및 고하성층(이민부 외, 2001; 2005), 풍성층(오경섭·김남신, 1994; 신재봉 외, 2004) 등으로 주장되는 총 5~8m 내외의 두께의 퇴적층이 분포하며, 지질도에는 모두 제4기 층적층으로 표현되어 있다.

4. 연천 고호소 퇴적물의 특성

연천읍 차탄리의 서쪽 산록 하단부를 따라 합류선상지의 형태로 길게 발달한 고호소 퇴적물에 의한 호안단구는 8~13°의 표면 경사를 가지며, 점토, 실트, 모래, 아각력 층들이 다양하게 나타나고 있다(이민부 외, 2001). 이 호안단구는 하류쪽에 위치한 통현리까지 용암이 역류하여 고화되어 생긴 용암담에 의해 형성되었을 것으로 추정되며, 이는 호안단구에서도 점토층 최상부의 해발고도와 통현리 일대 용암대지의 최상부 해발고도가 거의 일치한다는 점에서도 입증된다(이민부 외, 2001). 그림 3은 연천 일대의 현 지형도이며, 그림 4는 연천 일대에 과거 고호소 시기의 지형을 복원한 것이다.

고결도가 낮은 점토로 이루어진 호안단구면에는 폭우시에 개석이 급격하게 발생하여, 개석곡이 지속적으로 생성 및 확대되고 있다. 본 연구에서는 호안단구를 동서로 가로지른 개석곡인 노두 YC1의 조사를 통해, 고호소 퇴적층의 단면 특성 파악하고 퇴적물을 분석하였다(그림 5, 6, 7). 또한 범람원에 해당하는 연천읍 차탄리의 시가지에 위치한 아파트 건설 현장인 YC2 지점에서 10m 이상 두께의 고호소 및 하성 퇴적층을 확인하고 퇴적물을 분석하였고, 건설사로부터 YC2와 YC3 지점의 시추 자료를 획득하여, 주상도를 작성하고 퇴적층의 특성을 밝히었다(그림 5, 8, 9).

개석곡 노두 YC1 퇴적층의 하부에는 두께 5m 이상의 모래질 점토층이 나타나며, 상부에는 사면으로부터

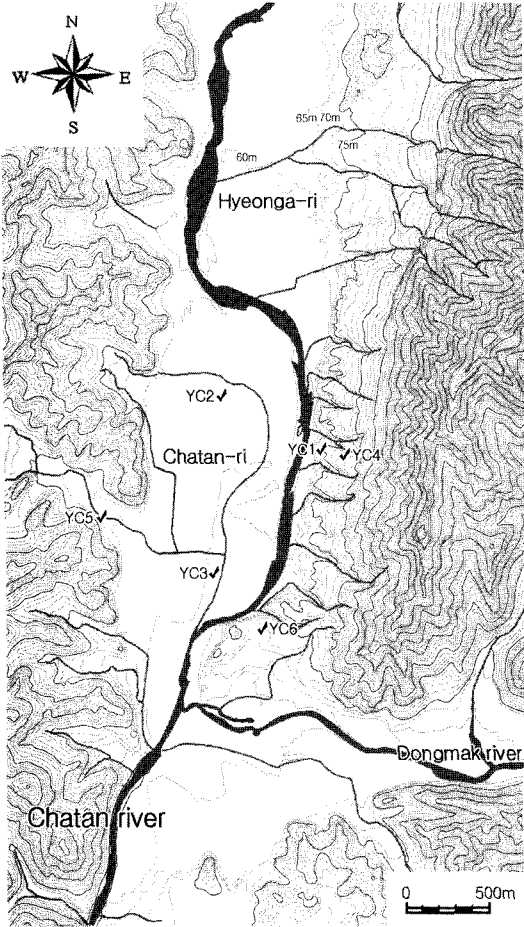


그림 3. 연천 일대의 지형도

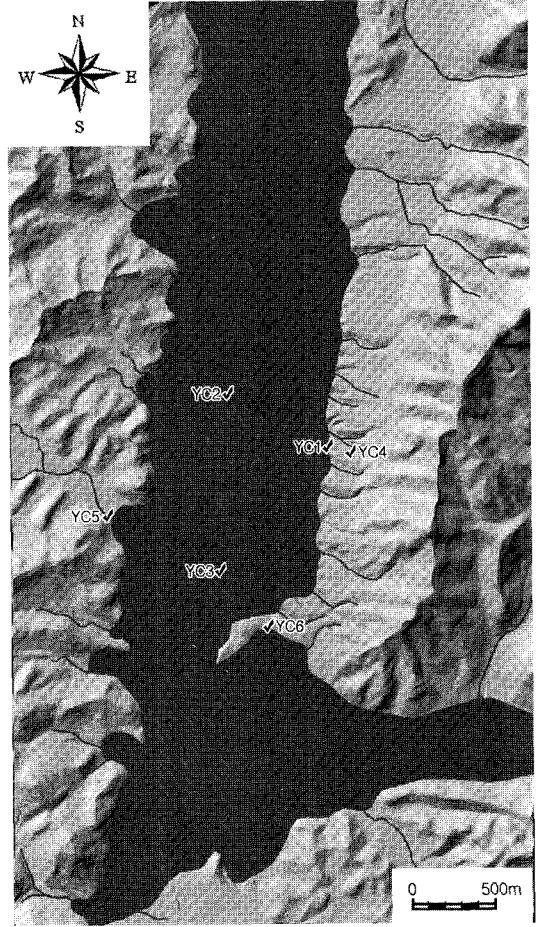


그림 4. 연천 일대의 고호소 복원도
(용암대지의 표면 고도인 70m까지를 호소로 처리)

운반된 두께 2m 이내의 아각력층이 존재한다. 입도 분석 결과, 모래질 점토층은 평균 입도 15~80 μ m 내외로 측정되며, 계절에 따른 퇴적 환경의 변화로 추정되는 수mm 두께의 미세한 입도 및 토색의 변화가 퇴적층 내부에서 확인된다. 그러나 점토층의 입도분석의 결과 모래 입자 크기로 측정된 것들의 대부분은, 유기물 제거제와 확산제를 이용한 전처리 이후에도 남겨진 유기물의 파편이거나 고화된 점토입자이기 때문에, 점토층에서의 실제 모래 입자의 비율은 분석 값보다 훨씬 적은 것으로 평가된다.

점토층의 상부에 존재하는 아각력층은 급경사의 배후산지로부터 공급된 사면운반물질로, 산화작용의 영향으로 모래 및 자갈의 표면에 황색 철각이 뚜렷하게 나타나며, 평균 입도는 약 200 μ m로 계산된다. YC1-1의

깊이 2.4~3.6m에는 목질 유기물이 집적된 토탄층이 나타난다.

이 토탄층을 대상으로 이민부 외(2006)에 의해 화분 분석이 실시되었다. 그 결과, 이 일대의 식생은 깊이 3.4~3.6m의 *Quercus-Betula*림을 이루는 YC-I에서 깊이 2.6~3.4m의 *Quercus*림이 우점한 YC-II로 변천되었음이 확인되어, YC-I는 침활혼합림시대에서 냉온대성 낙엽활엽수림시대로 이행하는 불완전한 냉온대성 낙엽활엽수림시대로 추정되고, YC-II는 온대성 낙엽활엽수림 시대로 현재와 유사한 기후였던 것으로 확인되었다. 따라서 화분분석 결과를 통해 볼 때, YC1 퇴적층의 형성시기는 특정 빙기의 후반부터 이후의 간빙기까지의 기간 동안으로 볼 수 있다. 그리고 토탄층

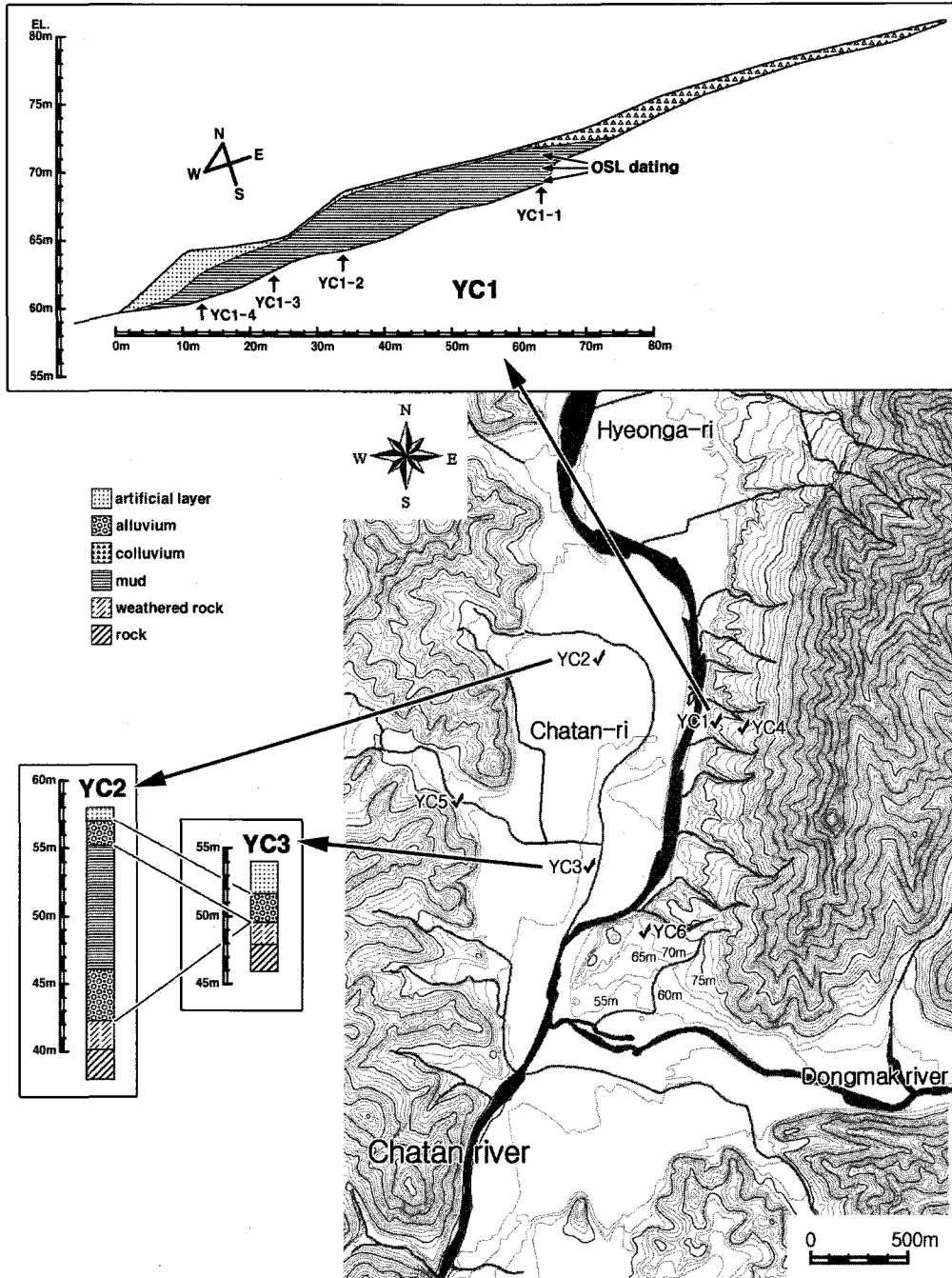


그림 5. 연천 일대의 지형 및 고호소층 노두의 단면

에 대한 ^{14}C 연대 측정 결과, 연대측정의 상한에 가까운 5만년 내외 및 측정 불가에 해당하는 수치가 얻어졌다.

YC1의 대자울 값은 호소성 점토층에 비해, 보다 최근에 형성되어 지표면에 접한 사면운반물층에서 상대

적으로 높으며, 호소성 점토층에서는 수치의 미세한 변화가 나타나고 있다. 점토층에서 유기물의 함량은 대부분 5% 이상으로 높은 편이며, 특히, 신선한 목질의 유기물이 육안으로 관찰되는 -2.8m와 -3.0m에서



그림 6. 고호소 퇴적층인 노두 YC1 일대의 지형 경관

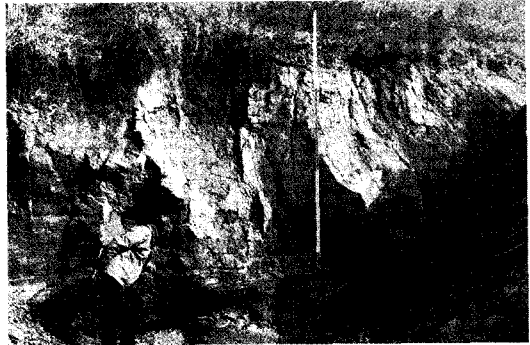


그림 7. 노두 YC1-1의 단면

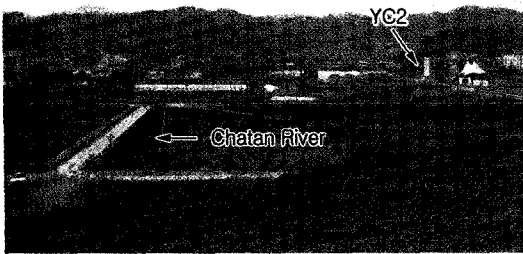


그림 8. 고호소인 연천읍 차탄리 일대의 경관과 노두 YC2의 위치

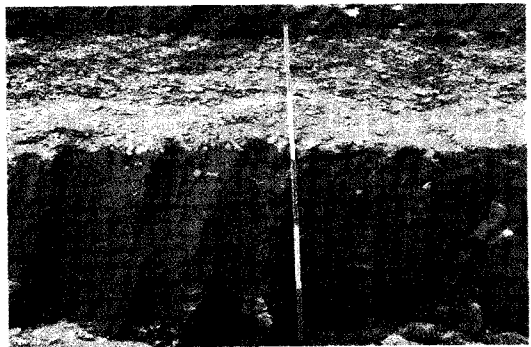


그림 9. 노두 YC2의 단면

는 작열감량비가 각각 16.9%와 12.7%로서, 전체에서 유기물의 함량이 가장 높게 나타났다.

YC1의 개석곡을 따라 수준측량을 실시한 결과, YC1 점토층이 나타나는 최고 해발고도는 72.5m로, 용암담이 존재했을 통현리 일대의 해발고도인 72m와 거의 일치하고 있어, 용암담에 의한 고호소의 존재에 대한 증거가 된다. YC1-1의 -1.6, -2.6, -3.6m 지점에서는 OSL 연대측정을 실시하였으며, 그 결과, -3.6m가 $127.1 \pm 3.6ka$, -2.6m가 $126.8 \pm 3.6ka$, -1.6m가 $108.3 \pm 3ka$ 로 측정되어, OSL 연대측정 범위의 상한에 해당하는 수치를 얻었다. 따라서 용암담에 의한 고호소는 약 13만년 이전부터 존재하였으며, 고호소는 최소한 2만년 이상 지속되었음을 확인하였다. 따라서 용암 분출시기도 13만년 이상으로 추정된다. 또한 화분분석 결과와 종합할 때, 점토층의 형성시기는 빙기인 MIS 6 시기 후반부터 이후의 간빙기인 MIS 5시기 초반까지 이거나 또는 그 이전의 빙기 후반에서 간빙기 초반 동안으로 볼 수 있다.

동사면 산록 하단부에 위치한 YC1의 점토층은 연천 고호소의 가장자리에 형성된 호변 퇴적층이라고 한다면, 하곡의 중앙에 위치한 YC2의 점토층은 고호소에서 수심이 깊었던 곳에서 쌓인 호저 퇴적층에 해당되며, 고호소 당시에는 최대 수심이 20m 이상이었을 것으로 추정된다(그림 5). YC2와 3은 차탄천의 범람원인 연천읍 시가지에 남북으로 위치하여, 차탄천 범람원 하부 층서의 종단면 확인이 가능한 노두이다(그림 5).

YC2는 공사 현장에 직접 확인한 퇴적층으로, 최하부에는 기반암과 기반암 풍화층이 존재하며, 그 상부 약 4m 두께에는 고하성 역층이, 다시 위로 약 9m 두께에는 고호소성 점토층이, 그리고 그 위 약 2m는 현하성 역층이, 그리고 지표에는 인위적인 교란층이 존재한다. 고호소 점토층의 평균 입도는 $10 \sim 30 \mu m$ 으로 YC1에 비해 입자의 크기가 더 작는데, 이는 호소의 중심부와 주변부 사이 퇴적물질의 일반적인 입도 차이를 잘 보여주고 있다. 이곳 점토층의 모래 크기 입자도 YC1에서와 마찬가지로, 대부분이 고화된 점토이기 때

표 1. 노두 YC1과 YC2 퇴적물의 입도, 대자율, 유기물 함량, 토색

site (m)	depth (m)	EL (m)	geomorphic process	grain size(%, μ m)					magnetic susceptibility(μ SD)	loss of ignition (%)	soil color ¹⁾ (moisture)
				granule	sand	mud	mean	sorting			
YC1-1	-0.2	72.8	colluvial	23.4	33.5	43.0	191	10.9	133.0	3.2	sYB
	-0.4	72.6	colluvial	2.3	36.2	61.5	46	3.3	160.0	6.8	mB
	-0.6	72.4	lacustrine	10.0	37.3	52.7	78	8.9	30.3	8.2	GB
	-1.6	71.4	lacustrine	0.3	30.3	69.4	30	4.0	74.0	8.0	dGB
	-2.6	70.4	lacustrine	5.2	29.1	65.7	41	6.7	49.2	9.6	dGB
	-3.6	69.4	lacustrine	0.0	6.2	93.8	18	2.3	67.6	4.6	GYB
YC1-2	-6.6	66.4	lacustrine	0.0	35.3	64.7	38	4.7	71.8	5.1	GYB
	-7.6	65.4	lacustrine	0.0	38.6	61.4	46	4.5	92.9	5.2	GYB
	-8.6	64.4	lacustrine	0.1	46.3	53.6	52	4.3	80.7	-	BG
YC1-3	-9.6	63.4	lacustrine	0.2	52.7	47.1	68	4.0	93.6	-	GYB
YC1-4	-10.6	62.4	lacustrine	0.8	9.1	90.1	15	3.1	96.6	-	lGY
	-11.6	61.4	lacustrine	0.0	12.2	87.8	23	2.6	-	-	dGYB
YC2	-1.5	52.4	alluvial	48.0	50.9	1.0	1,605	3.1	-	-	dYB
	-3.2	54.8	lacustrine	0.0	21.5	78.5	20	3.9	-	4.7	YG
	-3.4	54.6	lacustrine	0.0	15.1	84.9	16	3.4	-	5.3	YG
	-3.6	54.4	lacustrine	0.0	17.9	82.1	22	3.0	-	4.3	YG
	-3.8	54.2	lacustrine	0.0	27.4	72.6	31	3.1	-	4.1	YG
	-4.0	54.0	lacustrine	0.0	16.5	83.5	19	3.2	-	4.5	YG
	-4.2	53.8	lacustrine	0.0	1.2	98.8	9	2.1	-	4.4	lBG
	-4.4	53.6	lacustrine	0.0	11.1	88.9	13	3.4	-	6.0	lBG
	-4.6	53.4	lacustrine	0.0	16.7	83.3	16	3.7	-	5.7	YG
	-4.8	53.2	lacustrine	0.0	23.4	76.6	21	3.9	-	5.7	YG
	-5.0	53.0	lacustrine	0.0	20.0	80.0	17	4.0	-	5.9	YG
	-5.2	52.8	lacustrine	0.0	23.6	76.4	26	3.2	-	5.2	lBG
	-5.4	52.6	lacustrine	0.0	18.9	81.1	16	3.9	-	5.5	YG
	-5.6	52.4	lacustrine	0.0	17.2	82.8	16	3.7	-	5.9	YG

note. 1) s: strong, m: moderate, d: dark, l: light, Y: yellow, B: brown, G: gray

문에, 실제 점토의 비율은 입도분석 수치보다 높다. 점토층 상부의 하성 역층은 매우 신선한 원력과 모래로 이루어져 있어, 현 하천에 의한 범람원성 사력층으로 확인된다.

YC3는 해발고도와 지형적 위치로 볼 때, 고호소층이 존재해야 함에도 불구하고, YC2와는 달리 고하성 역층과 고호소 점토층이 발견되지 않는다(그림 5). 이

에 대한 원인을 유추할 수 있는 단서로 YC3의 기반암 고도가 주목되는데, 하류쪽에 위치한 YC3의 기반암은 상류쪽인 YC2에 비해 약 7m가 더 높다. 즉, 하천 또는 호소의 하류쪽에 위치한 기반암 돌출부에 해당하므로, 상대적으로 퇴적이 불리하고, 또한 상대적으로 유속이 빨라, 용암담의 개석 이후, 침식작용도 매우 활발하여, 고호소 퇴적층이 잔존하지 않은 것으로 추정된다.

표 2. 연천 일대 퇴적물 시료의 주원소 weight percent(%)와 silica:alumina, silica:Al+Fe, silica:R2O3의 molecular rate

samples		SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	LOI	Si/Al	Si/(Al+Fe)	Si/(Al+Fe+Ti)
YC1	-3.6	67.4	15.1	1.0	5.2	2.2	0.7	0.8	2.9	0.0	0.1	4.8	7.57	6.21	5.82
	-7.6	67.8	13.9	0.8	5.2	1.9	0.7	0.9	2.7	0.1	0.1	5.1	8.28	6.68	6.30
	-11.6	73.2	12.5	0.6	3.0	1.1	0.7	0.9	2.9	0.0	0.1	4.3	9.94	8.64	8.23
	ave.	69.4	13.8	0.8	4.5	1.7	0.7	0.8	2.8	0.0	0.1	4.7	8.60	7.18	6.78
YC2	-3.2	59.9	17.8	0.8	5.6	2.2	0.7	0.8	3.0	0.0	0.1	8.5	5.73	4.76	4.55
	-3.4	59.5	18.2	0.8	5.8	2.1	0.7	0.9	3.1	0.0	0.1	9.1	5.57	4.63	4.43
	-3.6	61.4	16.8	0.8	6.5	2.2	0.7	0.9	3.1	0.1	0.1	7.1	6.20	4.98	4.75
	-3.8	62.8	16.5	0.8	6.7	2.3	0.6	0.9	3.0	0.1	0.1	6.9	6.47	5.14	4.90
	-4.0	61.4	17.4	0.8	6.2	2.2	0.6	0.9	3.1	0.1	0.1	7.7	6.00	4.89	4.67
	-4.2	64.7	16.4	0.7	4.6	1.8	0.6	1.3	3.0	0.1	0.1	7.0	6.69	5.67	5.40
	-4.4	57.6	17.6	0.8	7.0	2.2	0.7	0.9	3.1	0.1	0.2	9.6	5.56	4.44	4.25
	-4.6	57.5	18.1	0.7	7.0	2.1	0.7	0.9	3.0	0.2	0.1	10.3	5.39	4.32	4.15
	-4.8	56.6	18.6	0.8	6.4	2.2	0.7	0.7	3.0	0.1	0.1	10.5	5.18	4.25	4.07
	-5.0	56.4	18.0	0.8	6.8	2.1	0.7	0.8	2.9	0.1	0.2	11.4	5.32	4.29	4.11
	-5.2	60.5	17.4	0.7	5.5	2.0	0.6	1.1	3.1	0.1	0.1	8.7	5.91	4.91	4.70
	-5.4	56.9	18.7	0.8	6.9	2.1	0.7	0.8	3.1	0.1	0.3	10.3	5.17	4.19	4.02
	ave.		59.6	17.6	0.8	6.3	2.1	0.7	0.9	3.0	0.1	0.1	8.9	5.77	4.71
YC4	reg	74.5	12.3	0.6	2.8	0.9	0.5	1.7	2.8	0.1	0.0	2.8	10.26	8.95	8.46
	coll	61.2	15.8	0.7	8.9	0.8	0.6	0.9	2.7	0.0	0.0	8.9	6.60	4.85	4.66
	ave.	67.8	14.1	0.7	5.9	0.8	0.6	1.3	2.7	0.0	0.0	5.8	8.43	6.90	6.56
YC5		54.5	16.4	1.0	7.2	3.2	2.5	0.4	2.4	0.1	0.3	12.4	5.66	4.41	4.15
YC6		57.1	21.5	0.5	4.8	1.3	0.4	0.6	2.6	0.1	0.1	11.0	4.51	3.95	3.84
YC7		59.1	16.3	0.8	6.1	2.0	0.9	0.8	3.1	0.5	0.2	10.3	6.15	4.96	4.73
YC8		66.8	14.0	0.7	5.0	1.6	0.7	0.7	3.0	0.1	0.1	7.2	8.12	6.60	6.26
YC9		68.5	15.2	0.8	4.4	1.1	0.5	1.1	2.5	0.0	0.1	6.0	7.67	6.47	6.11

5. 연천 고호소 퇴적물의 기원지와 형성과정

연천 고호소 퇴적물의 기원지와 형성과정을 파악하기 위해, 고호소의 호변 퇴적물(YC1) 및 호저 퇴적물(YC2)을 비롯하여, 동쪽 산록(지장봉 화산암 산지)의 풍화층과 사면운반물질(YC4), 서쪽 산록(연천계 퇴적 변성암 산지)의 사면 풍화물(YC5), 동막천 하류의 단구 퇴적물(YC6), 차탄천의 현 하상 퇴적물(YC7), 차탄천 중류 하안의 선상지 퇴적물(YC8), 용암대지 표면의 점토층(YC9)을 대상으로, X선 형광(XRF) 분석을 통해 10 가지 주 원소 및 LOI(Loss of Ignition)의 무게비를 측정하였다(표 2). 이 중에서, 상대적으로 풍화에 강한 원

소인 Si, Al, Fe, Ti를 대상으로, silica:alumina, silica:Al+Fe, silica:R2O3의 molecular rate를 계산하고(표 2), 각 물질간의 유사성을 검증하기 위해 삼각다이아그램(ternary diagram)을 작성하였다(그림 10).

주 원소비의 삼각다이아그램 분석 결과, 각 물질들은 선형적 분포를 나타내며, 그 순서는 YC1, 4, 8, 9, 7, 2, 5, 6의 순서로서, 고호소변 점토(YC1)와 동막천 단구(YC6) 간의 물질 유사도가 가장 낮고, YC 1, 4, 8, 9와 YC 7, 2, 5가 일정한 군집을 이루면서, 서로간의 상대적인 물질 유사성이 높게 나타났다.

다음으로, 각 풍화 및 퇴적층 지형 구성 물질을 대상으로, La부터 Lu까지 14개의 희토류 원소(Pm 제외)의

표 3. 연천 일대 퇴적물 시료의 희토류 원소 함량비(ppm)와 Ce와 Eu anomaly 및 (La/Yb)_N의 값

		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Ce/Ce*	Eu/Eu*	(La/Yb) _N
YC1	-3.6	32.0	56.3	7.2	27.7	4.9	1.1	5.2	0.7	3.6	0.7	2.1	0.3	1.9	0.3	0.87	0.68	10.98
	-7.6	34.3	64.6	7.7	30.1	5.5	1.2	5.9	0.8	4.3	0.9	2.5	0.3	2.2	0.3	0.91	0.63	10.13
	-11.6	26.0	53.9	6.2	23.8	4.7	1.0	4.9	0.8	4.3	0.9	2.6	0.4	2.4	0.4	0.98	0.62	7.33
		30.8	58.3	7.0	27.2	5.0	1.1	5.3	0.8	4.1	0.8	2.4	0.3	2.2	0.3	0.92	0.64	9.37
YC2	-3.4	41.2	79.2	9.4	36.9	6.6	1.4	7.2	1.0	5.2	1.0	3.0	0.4	2.7	0.4	0.93	0.63	10.34
	-5.4	54.0	87.5	12.6	58.5	9.1	1.9	9.9	1.4	7.1	1.4	3.9	0.5	3.4	0.5	0.79	0.61	10.78
		47.6	83.4	11.0	47.7	7.9	1.7	8.5	1.2	6.1	1.2	3.4	0.5	3.1	0.5	0.85	0.62	10.58
YC4	reg	27.1	56.7	6.1	23.7	4.4	0.8	4.7	0.7	4.0	0.8	2.5	0.4	2.3	0.4	0.99	0.54	7.76
	coll	35.5	75.4	9.0	36.4	7.6	1.3	8.4	1.1	5.9	1.1	3.3	0.5	3.0	0.4	0.98	0.50	8.18
		31.3	66.1	7.5	30.1	6.0	1.0	6.6	0.9	4.9	1.0	2.9	0.4	2.7	0.4	0.98	0.51	7.99
YC5		44.0	82.3	10.4	39.9	7.4	1.6	7.9	1.1	6.0	1.2	3.6	0.5	3.2	0.5	0.91	0.63	9.28
YC6		31.8	81.8	7.6	29.0	6.0	1.2	6.4	1.0	5.4	1.1	3.1	0.5	3.0	0.5	1.15	0.62	7.12
YC7		35.1	69.3	7.9	29.8	5.5	1.2	5.8	0.8	4.4	0.9	2.7	0.4	2.6	0.4	0.95	0.64	9.06
YC8		39.8	80.7	9.3	34.9	6.5	1.2	6.6	0.9	4.9	1.0	2.9	0.4	2.7	0.4	0.97	0.56	9.90
YC9		35.5	82.0	8.1	31.0	5.5	1.1	5.6	0.7	3.8	0.8	2.3	0.3	2.3	0.3	1.07	0.63	10.59

함량비(ppm)를 측정한 후, Leedey 운석(Masuda *et al.*, 1973; Masuda, 1975)을 이용, 규격화하여 각 샘플의 희토류 분포 그래프를 작성하고, 물질의 기원지 추정을 위해, Ce, Eu 이상 및 (La/Yb)_N를 계산하였다. 희토류 원소는 풍화, 변성, 변질 작용 등에 대한 저항력이 커서 퇴적순환 동안 그 함량이 크게 변하지 않으며, 특히 운석으로 규격화한 분포양상은 크게 변화하지 않

는 특성을 가지므로, 이를 이용하여 퇴적물의 기원지 혹은 기원암 추적에 유용하다(이현구 외, 1999; 이승구 외, 2004).

이러한 기원지 추정 결과, YC 5, 1, 7과 YC 8, 9 사이에서 기원지의 유사성이 매우 높은 것으로 분석되며, YC2, 4, 6은 다이어그램 상의 분포 패턴에 거리가 떨어지는 것으로 볼 때, 각 물질들간의 기원지가 어느

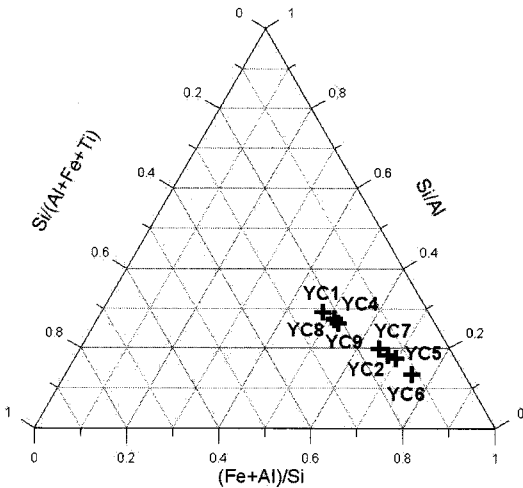


그림 10. 시료별 주 원소비의 ternary diagram.

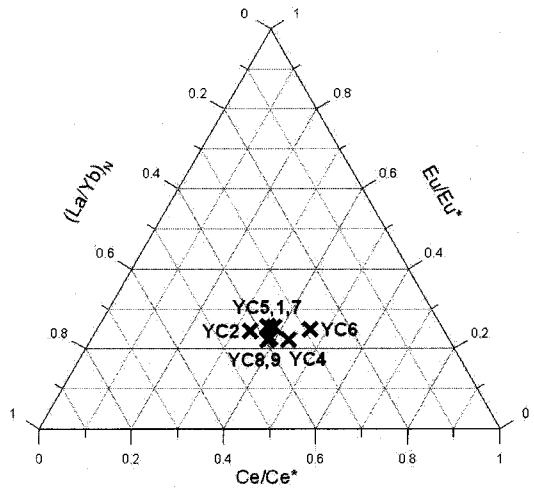


그림 11. 시료별 희토류 원소비의 ternary diagram.

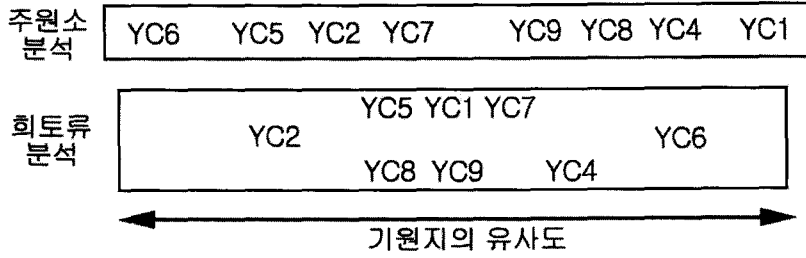


그림 12. 기원지 유사도 분석의 개념도

정도 상이한 것으로 판단된다(그림 11). 특히, YC6은 주원소 분석에서와 마찬가지로, 다른 물질들과의 유사성이 상대적으로 가장 낮은 것으로 분석된다.

이를 종합해보면, YC8(선상지)과 YC9(용암대지 상부 점토)에서 물질의 유사도가 가장 높으며, YC2(고호저 점토), YC5(서사면 풍화물), YC7(차탄천 하상)과 YC1(고호변 점토)과 YC4(동사면 풍화물) 사이에서도 유사성이 높은 것으로 판단되며, YC6(동막천 단구)은 이상의 물질들과 기원지가 약간 상이한 것으로 나타났다(그림 12).

따라서 지형 구성물질의 형성과정을 추정하면, 고호소에서도 중심부 호저에 퇴적된 물질은 풍화·침식에 약한 연천계 퇴적변성암 산지로부터 운반된 퇴적물이 차탄천을 통해 고호소로 공급된 것으로 볼 수 있다. 급경사의 동쪽 산지의 풍화물과 사면 하단부에 위치한 고호소변 점토의 물질 특성이 매우 유사한 것으로 볼 때, 동사면 풍화층에서 사면이동 등의 과정을 거친 녹설물질 등이 고호소의 주변부에 집중적으로 퇴적된 것으로 판단된다.

차탄천 하류에 위치한 용암대지 표면의 점토는 전체 8개 분석 지점 중 용암대지보다 해발고도가 유일하게 높은 곳인 차탄천 중류의 선상지 퇴적물과의 기원지 유사도가 가장 높다. 따라서 현재 용암대지 표면을 이루고 있는 점토층은 집중호우 시 용암댐을 넘쳐 흐른 부유하중에 의한 퇴적층일 가능성이 높은 것으로 추정된다.

한편, 동막천 단구 퇴적물(YC6)은 차탄천 중·상류 유역을 물질의 공급지로 하는 다른 지형 구성물질들과는 달리, 지장봉 화산암 산지 하곡을 흐르는 동막천을 물질의 공급지로 하고 있기 때문에, 기원지의 특성이

가장 상이함을 지시하고 있다.

6. 결론

본 논문은 용암댐에 의해 형성된 것으로 추정되는 연천 고호소의 퇴적층에 대한 이화학적 분석을 시도하여, 호소 퇴적층의 가능성에 대한 증거, 퇴적층 구성물질의 기원지, 호소의 형성시기와 존속 기간을 파악하고자 하였다. 10~27만년 전으로 추정되는 철원-평강 용암대지의 형성과정 중 한탄강을 따라 하류로 흘러나온 용암류에 의해 그 지류인 차탄천 하구가 막히면서 차탄천 상류쪽으로 고호소가 형성되었다. 이러한 고호소 상태에서 퇴적된 것으로 보이는 호소성 점토층에 대한 이화학적 성분 분석과 기원지 분석에 대한 결과를 다음과 같이 얻었다.

고호소변 점토층인 YC1의 ¹⁴C 연대 측정 결과는 상한인 5만년 내외 및 그 이상의 측정 불가로 나왔으며, OSL 연대 측정 결과는 11~13만년의 수치를 얻었다. 따라서 고호소층은 약 13만년 이전부터 존재했을 것으로 추정된다. 호소의 가장 낮은 호저 퇴적층인 YC2는 최하부의 기반암과 고하성 역층 위에 약 9m의 점토층이 존재한다.

이러한 퇴적물의 기원지와 형성과정을 파악하기 위해 YC1, 2 이외에 YC4(동쪽 산록의 사면운반 물질), YC5(서쪽 산록의 사면 풍화물), YC6(동막천 하류의 단구 퇴적물), YC7(차탄천의 현 하상 퇴적물), YC8(차탄천 중류 하안의 선상지 퇴적물), YC9(용암대지 표면의 점토층)을 대상으로 주원소, 퇴토류 원소, 작열감량 분석을 실시하였다. 그 결과, YC8과 YC9에서 물질의 유

사도가 가장 높으며, YC2, YC5, YC7과 YC1, YC4 사이에서도 유사성이 높은 것으로 판단되었다. 용암대지 표면의 점토층 YC9는 풍성층의 가능성도 있으나(오경섭 · 김남신, 1994; 신재봉 외, 2004), 본 연구 결과로 볼 때, 집중호우 시 용암담을 넘쳐 흐른 부유하중에 의한 퇴적층일 가능성이 높은 것으로 추정된다. 그렇지만 지역적인 기복의 특성에 따라 풍성층의 가능성도 배제할 수는 없으므로, 보다 정밀한 논의가 요구된다.

謝辭

C2와 YC3 노두의 관찰, 시추층서자료 및 시료 채취에 많은 도움을 주신 (주)LBC 한용철 전무이사께 감사드립니다.

文獻

대한지질학회, 1999, 한국의 지질, 시그마프레스.

신재봉 · 유강민 · Naruse, T. · Hayashida, A., 2004, “전곡리 구석기 유적 발굴지인 E55S20-IV 지점의 미고결 퇴적층에 대한 퇴스-고토양 층서에 관한 고찰,” 지질학회지, 40(4), 369-381.

오경섭 · 김남신, 1994, “전곡리 용암대지 피복물의 형성과 변화과정,” 한국제4기학회지, 8(1), 43-68.

원종관, 1983, “한반도에서의 제4계 화산활동에 관한 연구: 추가령 열곡 내에서,” 지질학회지, 19(3), 159-168.

원종관 · 김윤규 · 이문원, 1990, “추가령 알칼리 현무암에 대한 지구화학적 연구,” 지질학회지, 26(1), 70-81.

이대성 · 유기주 · 김광호, 1983, “추가령곡의 지구조적 해석,” 지질학회지, 19(1), 19-38.

이민부 · 박지훈 · 이광률, 2006, “추가령 열곡 연천 고호소 퇴적물 분석: 화분분석을 중심으로,” 한국지형학회지, 13(2), 13-22.

이민부 · 이광률, 2003, “추가령 구조곡 차탄천 상류와 독서당천의 고지형 분석,” 한국지형학회지, 10(3), 345-358.

이민부 · 이광률 · 김남신, 2004, “추가령 열곡의 철원-평강 용암대지 형성에 따른 하계망 혼란과 재편성,” 대한지리학회지, 39(6), 833-844.

이민부 · 이광률 · 김남신, 2005, “추가령 열곡 영평천 하류 단구지형의 형성과정,” 대한지리학회지, 40(6), 716-729.

이민부 · 이광률 · 윤순옥 · 황상일 · 최한성, 2001, “추가령 구조곡 연천 단층대에 분포하는 합류 선상지의 퇴적 환경 분석,” 지질학회지, 37(3), 345-364.

이민부 · 전중환, 2005, “추가령 지명에 관한 지형학 및 역사지리적 해석,” 문화역사지리, 17(1), 47-65.

이선복, 2005, “임진강 유역 용암대지의 형성에 대한 신자료,” 한국지형학회지, 12(3), 29~48.

이승구 · 김진관 · 양동운 · 김주용, 2004, “이천지역 하상 퇴적물의 입도별 지구화학적 특성을 이용한 기원지 규명,” 지질학회지, 40(4), 409-429.

이현구 · 조애란 · 이찬희, 1999, “입도분포에 따른 하상 퇴적물의 지구화학적 분산 및 부화,” 자원환경지질, 32(3), 247-260.

Danhara, T., Bae, K.D., Okada, T., Matsufuji, K., and Hwang, S., 2002, What is the real age of the last 75kyr. Paleolithic site? - a new approach by fission track dating, K-Ar dating and tephra analysis, in Bae, K.D.(ed.), *Paleolithic Archaeology in Northeast Asia*, 77-116.

Masuda, A., 1975, Abundances of mono isotopic REE, consistent with the Leedey chondritic values, *Geochemical Journal*, 9, 183-184.

Masuda, A., Nakamura, N., and Tanaka, T., 1973, Fine structure of mutually normalized rare-earth patterns of chondrites, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37, 239-248.

교신 : 이민부, 363-791, 충북 청원군 강내면 다락리 산7, 한국 교원대학교 지리교육과(이메일: minblee@knue.ac.kr, 전화: 043-230-3630)

Correspondence: Min-Boo Lee, Department of Geography Education, Korea National University of Education, San7, Darak-ri, Gangnae-myeon, Cheongwon-gun, Chungbuk, 363-791, Korea(e-mail: minblee@knue.ac.kr, Phone: +82-43-230-3630)

최초투고일 07. 2. 4.

최종접수일 07. 3. 9.