

전북 완주군 봉동 하안단구 상부 퇴스-고토양 연속층의 풍화특성과 기원지*

황상일** · 박충선*** · 윤순옥****

Weathering Properties and Provenance of Loess-Paleosol Sequence Deposited on River Terrace in the Bongdong Area, Wanju-gun, Jeonbuk Province*

Sangill Hwang** · Chung-Sun Park*** · Soon-Ock Yoon****

요약 : 전라북도 완주군 봉동읍에 위치한 만경강 하안단구 역층 상부에 퇴적되어 있는 퇴스-고토양 연속층을 대상으로 토양분석과 대자율 측정, 입도 및 원소분석을 행하여 퇴적물의 풍화 특성과 기원지를 검토하였다. 봉동단면은 상부에서 하부로 Layer 1(고토양), Layer 2(퇴스), Layer 3(고토양) 그리고 하안단구 역층으로 이루어진다. 대자율은 퇴스층과 고토양층 사이에 뚜렷한 차이를 보이며, 입도분석 결과는 봉동단면이 하천이나 사면이동이 아니라 바람에 의해 운반되었으며, 중국 퇴스고원이나 대천퇴스보다 상당히 세립 질임을 보여준다. 토양분석 중 유기물 함량만이 대자율과 유사한 변화를 보이며, 건조 토색보다는 습윤 토색이 퇴스-고토양 연속층의 특성을 보다 잘 반영한다. 주원소 및 희토류 원소 분석 결과, 봉동단면의 퇴스물질은 중국 퇴스고원과 동일한 기원지 또는 재이동된 물질에 의해 형성되었으며, 퇴적 이후에는 고온다습한 우리나라 기후 환경에서 중국 퇴스고원보다 심하게 풍화작용을 받았다.

주요어 : 퇴스, 고토양, 대자율, 풍화특성, 기원지, 만경강

Abstract : The weathering properties and provenance of loess-paleosol sequence deposited on gravel layer of river terrace in Bongdong-eup, Wangju-gun, Jeonbuk Province are examined using soil analysis, magnetic susceptibility measurement, grain size and element analysis. The Bongdong section consists of, from top to bottom, Layer 1(paleosol), Layer 2(loess), Layer 3(paleosol) and the gravel layer of river terrace. The magnetic susceptibility values show the systematic variations in the sequence and the results of grain size analysis reveal that the sequence was deposited by not fluvial or slope process, but eolian process, and that contains finer materials than the Daecheon loess and Chinese Loess Plateau. Among the results of soil analysis, organic contents indicate systematic variations similar to the magnetic susceptibility. The wet soil colors further reflect the characteristics of the sequence rather than the dry soil colors. Based on the analytical results of major and rare earth elements, the eolian materials contained in the sequence were deposited by the materials originated from the areas where the Chinese Loess Plateau has been originated or the reworked materials from the Chinese Loess Plateau, and after the depositions, the materials experienced the intensive chemical weathering under the humid-warm climatic conditions in the Korean Peninsula.

Key Words : loess, paleosol, magnetic susceptibility, weathering properties, provenance, Mangyeong-river

* 이 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-327-B00826).

** 경북대학교 지리학과 부교수(Associate Professor, Department of Geography, Kyungpook National University), hwangsi@knu.ac.kr

*** 경희대학교 지리학과 석사(MSc., Department of Geography, Kyunghee University), pcus96@hanmail.net

**** 경희대학교 지리학과 및 기초과학연구소 교수(Professor, Department of Geography and Research Institute for Basic Sciences, Kyunghee University), soyoon@khu.ac.kr

1. 서론

하안단구는 과거 하천의 하상이나 범람원의 잔유물로 제4기 지각변동 및 기후변화와 관련되어 형성되며 현재 하상보다 높은 고도에 나타난다. 하안단구는 유역분지 내에서 일어나는 하천의 침식, 운반, 퇴적작용이나 해당 지역의 기후변화 및 지반응기와 같은 구조운동의 과정을 설명해 줄 수 있다. 특히 하안단구면은 지형면이 평탄하고 하천의 홍수 수위에도 범람의 영향을 받지 않으므로, 지형면 상부에 인근 또는 원거리에서 바람에 의해 운반된 퇴적(Loess)과 같은 풍성물질이 퇴적될 수 있다. 이러한 퇴적층은 하천 고환경뿐 아니라 지역적 또는 광역적 대기 환경의 변화 등 고기후 변화를 해석하는데 중요한 단서가 될 수 있다.

퇴스는 바람에 의해 이동된 실트 크기의 입자가 퇴적되어 형성된 대표적인 육성의 쇄설성 퇴적층(Pye, 1995)으로 전 지구 표면의 약 10%를 덮고 있으며 온대 지방과 반건조 사막의 경계부에 집중적으로 분포하고 있다(Liu, 1985). 한반도에서 퇴스 연구는 주로 해안단구(윤순옥 등, 2007), 하안단구(오경섭 · 김남신, 1994; 이용일 · 이선복, 2002; 신재봉 등, 2005; Yu *et al.*, 2008), 용암대지(오경섭 · 김남신, 1994; 신재봉 등, 2004) 또는 구릉지(박동원, 1985; 박충선 등, 2007) 등과 같이 비교적 평탄한 지형면에서 이루어져 하부 퇴적층과 관련된 연구도 기대된다. 또한 한반도의 퇴스-고토양 연속층은 중국 퇴스고원(Chinese Loess Plateau)에 비해 퇴적층의 두께가 얇음에도 불구하고 장기간의 고환경 변화에 대한 정보를 포함하고 있다.

본 조사대상인 봉동퇴스는 만경강 하안단구면 위에 형성되어 있다. 만경강을 대상으로 한 지형학적 연구로는 충적평야 지형발달(권혁재, 1975; 조화룡, 1985), 만경강 퇴적물 분석(오경섭 · 오선희, 1994), 만경강 유역 습지 분석(박희두, 2005) 등 하안단구보다 대부분 하천 충적층을 대상으로 이루어졌다.

한반도에서 해안단구 및 하안단구 연구는 동해안과 태백, 소백산맥 일대에서 발원한 하천의 중, 상류부를 대상으로 이루어졌으며, 서해안 일대에 대해 이루어진 이 분야의 연구 성과는 충분하지 못하여, 지형면의 편

년 기준도 충분히 정립되지 못하였다(오건환, 1980a, 1980b; 최성길, 1996; 1998; 2003; 윤순옥 등, 2007). 서해안의 해안단구 및 하안단구 연구는 고환경 복원뿐 아니라 한반도 동·서해안간의 용기율의 차이와 이와 관련된 지구조 운동 및 과거 해수면 변화 등 한반도 내 과거 환경변화를 이해하는데 매우 중요한 자료를 제공할 수 있음에도 불구하고 시작 단계에 있다. 퇴스 연구는 이와 같은 문제 해결에 중요한 관건이 될 수 있는 지형면 형성시기를 논의하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 이러한 연구의 출발점으로서 만경강 하안단구 역층 상부에 퇴적되어 있는 봉동지역의 퇴스-고토양 연속층을 대상으로 국내에서 여전히 이견이 남아 있는 퇴스층의 존재를 확인하고, 퇴적층의 물리적, 화학적 분석을 행하여, 중국 퇴스고원 및 전세계에 보고된 퇴스와 비교하여 한반도 퇴스-고토양의 특성과 기원지를 검토하였다.

2. 봉동단면과 일대의 지형 및 지질 특성

연구지역은 만경강이 동부산지에서 서부구릉지로 나오는 경사급변부인 전라북도 완주군 고산면과 봉동읍 경계 부근의 하안단구로서, 만경강이 산간지역의 비교적 좁은 하도를 흐르다가 하도가 급격히 넓어지는 곳이다(그림 1). 만경강을 따라서 봉동읍에서 삼례읍까지는 선상지성 충적평야, 삼례읍에서 만경읍까지는 자연제방 및 배후습지로 이루어진 범람원 평야, 만경읍보다 하류부는 간석지와 간척사업으로 조성된 평야로 이루어진 연해평야로 구성되어 있다(조화룡, 1985). 시료가 채취된 봉동단면은 선상지성 충적평야로 분류되어 있으며, 하안단구 자갈층 위에 실트층이 퇴적되어 있다.

만경강은 완주군 동상면 사봉리 원등산(713m)에서 발원하여 북서류하다가 완주군 고산면 부근에서 고산천과 합류한 후 크게 곡류하여 남서류한다. 이후 전주 시 덕진구 전미동 부근에서 소양천과 전주시 덕진구 동산동에서 전주천과 합류하며, 동진강과 함께 전라북

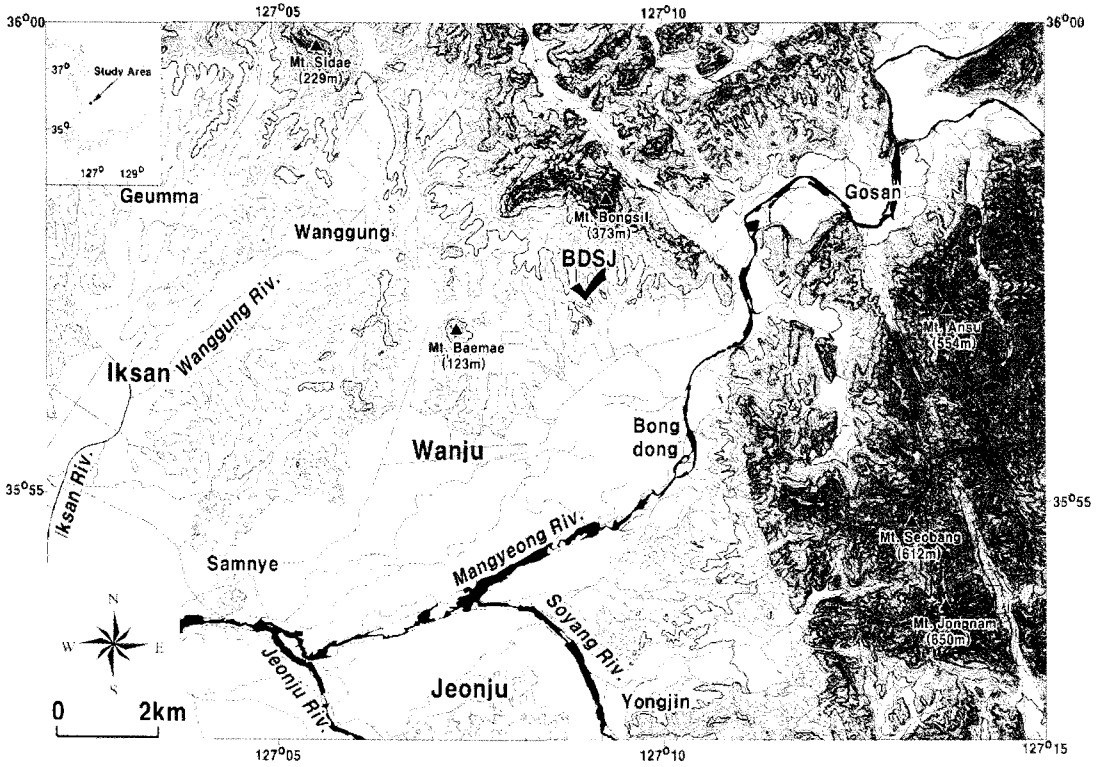


그림 1. 봉동단면(BDSJ) 주변의 지형 개관

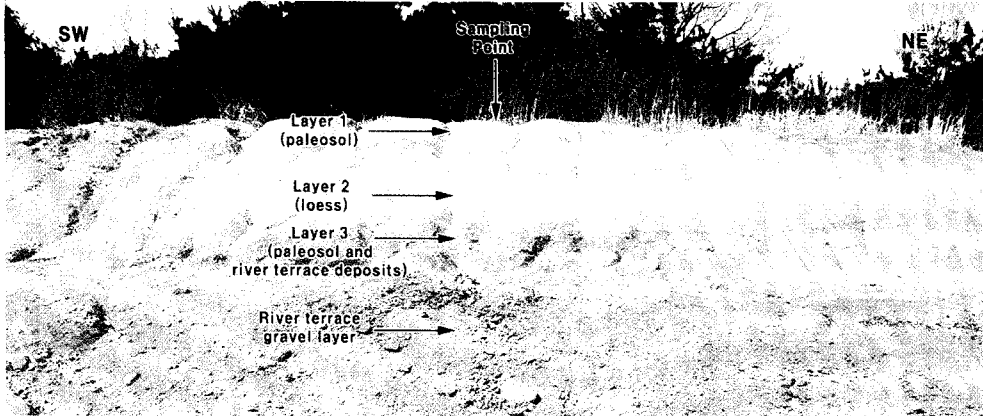


그림 2. 봉동단면의 사진

도 서부 평야지대의 근간을 이루는 넓은 충적평야를 형성한다. 만경강은 김제시 진봉면에서 서해로 유입하는 유로연장 약 108km, 유역면적 약 1,646km²(국가수자원관리 종합정보시스템, www.wamis.go.kr)의 하천이다. 하구의 평균조차는 약 4m, 최대조차는 약 7m에

달하며, 과거 대조시에 삼례 부근까지 하천수위가 주기적으로 상승하였다(권혁재, 1975).

봉동단면은 전라북도 완주군 봉동읍 제상마을 종합복지센터 뒤편에 위치한다(북위 35° 57' 13", 동경 127° 09' 00"), 노두에서 확인된 퇴적층 두께는 약 5m이며,

하부의 하안단구 역층 위에 퇴스-고토양 연속층이 퇴적되었다. 표층(교란층)은 시료 채취 지점에서는 제거되어 확인할 수 없으나, 남서쪽 약 2m 떨어진 경작지에서 발견된다. 단면은 북동-남서 방향으로 기울어져 장소에 따라 그 두께가 다르지만 조사 지점에서 확인된 퇴스-고토양 연속층의 두께는 약 320cm이다(그림 2).

층서구분은 절대연대 자료를 얻지 못하였으나, 토색, soil crack과 같은 육안관찰과 대자율 변화를 기초로 상부에서 하부로, Layer 1(고토양), Layer 2(퇴스), Layer 3(고토양)으로 각각 명명하였다. 육안관찰 결과 최하부 고토양인 Layer 3에서 퇴적층의 하부로 갈수록 모래의 비율이 증가하며, 깊이 310cm부터 자갈이 드물게 포함되어 있다. 정밀 측량을 실시하지 않았으나, 1:5,000 지형도 판독 결과 봉동단면 퇴스-고토양 최상

부의 해발고도는 약 50m이다. 단면은 현재 시설물 공사로 인해 많이 훼손되어 있다.

봉동단면에서 최상부층인 Layer 1(고토양)은 두께 약 120cm이며, 토색은 밝은 황등색(7.5YR 8/4) 내지 황등색(10YR 8/6)이다. 상부에 soil crack이 1~2cm 폭으로 발달해 있으며 하부로 갈수록 폭이 넓어진다. Layer 2(퇴스)는 두께가 약 105cm이며, 토색은 옅은 등색(7.5YR 7/4) 내지 등색(7.5YR 7/6)이다. 이 층의 상부에는 수평의 soil crack이 발달해 있으며 폭은 1cm 미만이다. 층의 하부에는 수직의 soil crack이 나타나고 하부로 갈수록 폭이 좁아진다. 최하부 고토양층인 Layer 3(고토양)은 두께 약 125cm이며, 토색은 층의 상부와 하부가 밝은 황등색(7.5YR 8/4, 7.5YR 8/6)이며, 중간 부분은 등색(5YR 7/8, 5YR 7/6)이다. Layer 3(고토양)에서도 soil crack이 발견되며 폭은 다른 층에

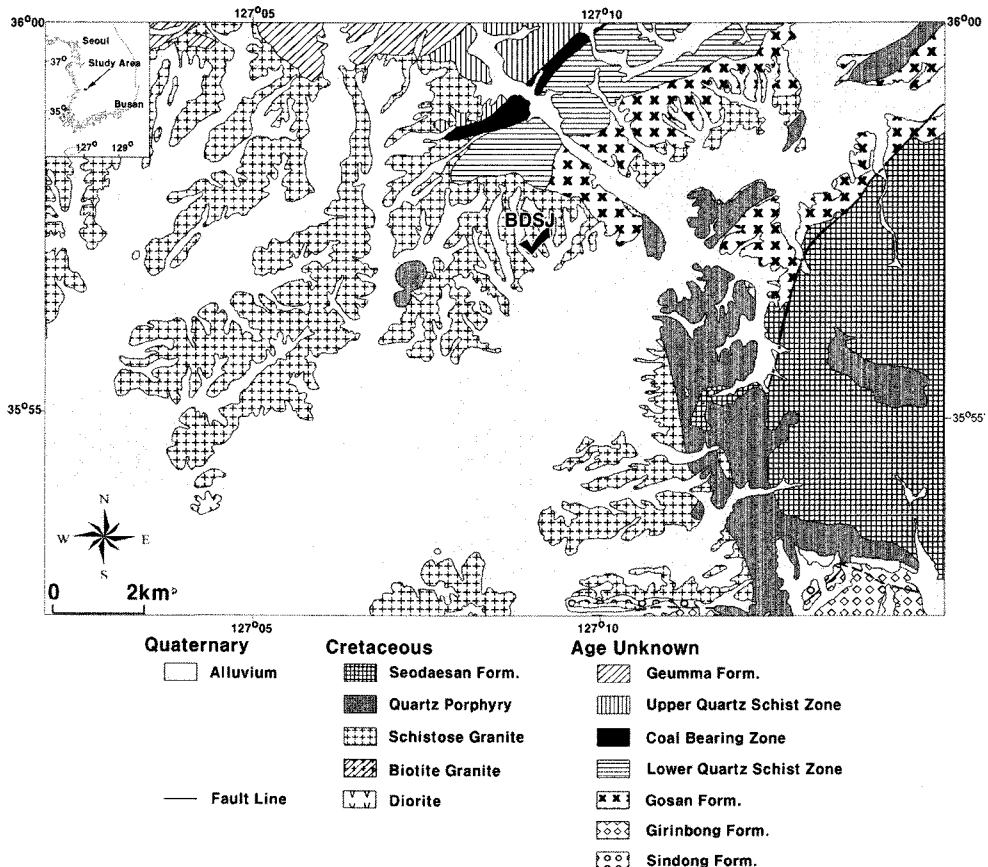


그림 3. 봉동단면 주변의 지질(홍만섭 · 김영원, 1969에서 편집)

비해 좁지만 밀도는 높다. 층의 하부에서 드물게 역이 발견되며, 깊이 약 350cm에서 역층이 나올 것으로 예상된다.

봉동단면 부근의 기반암은 동쪽에서 서쪽으로 백악기 경상계 신라통의 서대산 응회암과 불국사계의 석영반암, 편상화강암, 흑운모화강암 등이 넓은 면적을 차지한다. 서대산 응회암 지역은 비교적 험준한 산지를 형성하는데 반해, 불국사계의 화강암 지역은 낮은 구릉지와 넓은 층적평야로 되어 있다. 또한 시대미상 유천계의 비봉통과 전주통이 북쪽과 남쪽에 주로 분포하며, 경상계와 유천계는 서로 부정합을 이룬다(홍만섭·김영원, 1969; 그림 3).

3. 연구방법

본 연구에서는 퇴적층의 자기적 특성 및 퇴적 특성을 파악하기 위해 대자율(Magnetic Susceptibility, MS) 측정 및 입도분석을 실시하였다. 그 밖에 pH, 산화환원전위, 토양경도, 유기물 함량 및 토색을 측정하였다. 지구화학적 특성을 파악하기 위해 주원소 및 희토류 원소 분석을 실시하였다.

대자율 측정은 ZH instruments社의 휴대용 대자율 측정기인 SM-30을 이용하여 5cm 간격으로 행하고, 오차를 최소화하기 위해 동일 지점에서 총 3번 측정된 평균값을 기록하였다.

입도분석은 수분을 제거하기 위해 24시간 동안 100℃에서 시료를 건조시킨 후, 30%의 과산화수소(H₂O₂)로 유기물을 제거하고, 0.4%의 나트륨 헥사메타인산염(NaPO₃)₆으로 퇴적물을 확산시켜, 경희대학교 중앙기기센터에서 Malvern社의 Laser Particle Size Analyzer Mastersizer -2000을 이용하였다. 분석된 결과를 기초로 Folk and Ward(1957)의 방식에 따라 중앙값과 평균, 분급, 왜도 및 첨도 등의 입도 통계치 및 점토(<4μm), 세립실트(4~16μm), 조립실트(16~63μm), 모래(>63μm)의 비율을 산출하였다. 또한 퇴적환경을 식별하기 위해 퇴적환경을 알고 있는 퇴적층으로부터 도출된 경험적 수식인 Y(Lu *et al.*, 2001; Zhang *et al.*,

2005) 값을 산출하여, 중국 리스고원에서 이루어진 결과와 비교하여 퇴적특성을 고찰하였다.

$$Y = -3.5688 \times M + 3.0716 \times SD^2 - 2.0766 \times SK + 3.1175 \times K$$

(∅단위, M: 평균, SD: 분급, SK: 왜도, K: 첨도)

pH 측정은 1:5의 비율로 완전 건조된 토양 시료와 중성수를 혼합하여 충분히 휘저어 토양과 중성수가 섞이도록 한 후, Barnant社의 Barnant 20 Digital pH/mV/ORP meter를 이용하였다. pH와 함께 산화환원전위도 pH meter의 모드를 변경시켜 함께 측정하였다. 수분 함량은 채취된 습윤 시료 100g을 100℃에서 24시간 이상 완전 건조시켜 무게 변화를 측정하는 방식을 이용하였다. Daiki社의 Hardness Tester DIK-5553을 이용하여, 퇴적층의 경도를 측정 후 환산표를 이용하여 kPa(1kPa=1,000N/m²) 단위로 환산하여 도시하였다. Hardness Tester의 측정 범위는 4~1,948,572kPa이다. 유기물 함량은 작열감량법(Loss On Ignition)을 이용하였다. 채취된 시료를 100℃에서 완전 건조시킨 후, 시료 50g을 디지털 전기로를 이용하여 550℃에서 4시간 동안 태워 무게 변화를 측정하여 10cm 간격으로 유기물 함량을 측정하였다.

토색은 수분함량에 따라 크게 달라질 수 있기 때문에 실험실에서 건조 상태, 습윤 상태로 조건을 달리하여 각각 측정하였다. 건조 상태의 토색은 시료를 완전 건조시킨 상태에서, 그리고 습윤 상태의 토색은 시료를 물로 포화시킨 상태에서 각각 먼셀(Munsell) 색체계 토색칩을 이용하여 측정하였다. 측정된 토색은 한국디자인진흥원이 고안한 “디지털색채팔레트”를 이용하여 CMYK 색체계로 변환하여 토색의 변화를 정량화시켰다. CMYK 색체계는 녹색과 파란색 빛인 Cyan, 빨간색과 파란색 빛인 Magenta, 빨간색과 녹색 빛인 Yellow, 검정빛인 Black으로 색을 표현하는 체계로, 이 중 밝고 어두운 정도를 나타내는 K값의 유효성을 검토하였다. K값은 최소 0, 최대 90이며, K값이 클수록 어두워진다.

주원소 및 희토류 원소는 서울대학교 기초과학공동기기원에서 각각 XRF(X-Ray Fluorescence; Shimadzu XRF-1700 Spectrometer)와 ICP-MS(Induced Coupled

Plasma-Mass Spectrometer, 유도결합 플라즈마 질량 분석기; PERKIN-ELMER SCIEX, ELAN-6100) 방식을 이용하여 상대적인 질량비(wt%)와 함량(ppm)을 측정하였다. 주원소의 경우 휘발성 물질이 없다는 가정 (volatile-free)하에 재계산된 값을 이용하였으며, Nesbitt and Young(1984, 1989)의 A-CN-K 다이어그램과 CIA(Cheical Index of Alteration, $CIA=100 \times Al_2O_3 / (Al_2O_3 + K_2O + CaO^* + Na_2O)$)를 통하여 봉동단면의 풍화정도, 풍화 특성 및 기원지를 파악하였다. CaO^* (규산염광물만의 Ca함량)의 함량은 McLennan (1993)이 제안한 방식을 따랐으며, 희토류 원소의 표준화는 Leedey 운석(Masuda *et al.*, 1973; Masuda, 1975)을 이용하였다. 분석결과를 기초로, 봉동단면 퇴적층의 근거리 및 원거리 기원의 가능성을 검토하기 위해, 봉동단면 주변의 기반암 및 하천 퇴적물(권종택 등, 1999), 중국 퇴스고원(Gallet *et al.*, 1996; Jahn *et al.*, 2001)의 자료와 비교하였다. 국내에서 이루어진 대천퇴스(윤순옥 등, 2007), 부안퇴스(박충선 등, 2007), 덕소퇴스(Shin, 2003; Yu *et al.*, 2008)와 비교하여 한반도내 지역차를 검토하였다. 또한 전세계 퇴스의 평균값(Global Average Loess; Újvári *et al.*, 2008)과 비교하여 한반도 퇴스의 특성을 파악하였다. 지구화학적 참조물질로는 UCC와 PAAS(Upper Continental Crust and Post-Archean Australia Shale; Taylor and McLennan, 1985)를 이용하였다.

4. 분석 결과 및 토의

1) 대자율 및 입도분석 결과

대자율 변화는 고토양에서 높고, 퇴스에서 낮은 값을 보이지만 미변동한다(그림 4(a)). 가장 높은 대자율 값은 Layer 3에서 $59.7 \sim 139 \times 10^{-5}$ SI unit을 보이며, 가장 낮은 값은 Layer 2에서 $20 \sim 61.7 \times 10^{-5}$ SI unit이며, 최상부층인 Layer 1은 $47.6 \sim 127 \times 10^{-5}$ SI unit이었다. 사면이나 식생피복이 불량한 건조지역에 퇴적된 퇴스는 퇴적 이후 표면 유출이나 토양포행 등에 의해

이동할 수 있으며, 이에 따라 약간의 층리가 생길 수 있고, 사면의 하부에 이동되어 퇴적된 퇴스는 좀 더 두꺼운 층을 형성할 수 있다(Pye, 1995). 사면에서의 이동은 퇴적 초기의 토양 특성을 어느 정도 변화시킬 수 있으므로, 대자율 값의 미변동은 이러한 영향에 따른 것으로 판단된다. 또한 퇴적연대가 오래된 경우 퇴적층의 교결작용이 일어나 장기간의 대자율 변화가 비교적 얇은 퇴적층 안에 포함되어 있을 가능성도 있다.

봉동단면에서 퇴적물의 중앙값은 $5.26 \sim 9.03 \mu m$ 로서 매우 세립이며, 깊이에 따른 입도변화는 대자율 변화와는 약간 다르다(그림 4(a), 4(b)). 깊이 75cm까지는 대자율과 유사하게 미변동하나, 깊이 95cm에서 중앙값이 약 $5.7 \mu m$ 로 작아지고, 다시 증가하여 깊이 135cm에서 약 $9.03 \mu m$ 에 이른다. 깊이 200cm~275cm에서는 약 $6 \mu m$ 에서 미변동하다가 단면의 하부로 갈수록 조립화 양상을 보인다.

Y값은 작을수록 입도의 세립화를 의미하므로 Y값의 차이는 상이한 퇴적환경을 지시한다. 중국 퇴스고원의 퇴스 및 고토양층의 Y값은 $-7.9 \sim 0.1$, 하부에 놓인 제3기 중기~제4기 초기에 형성된 풍성퇴적층(Liu, 1985)인 "Red Clay"는 $-12.3 \sim 0$ 을 보이는 반면, 호소 퇴적층은 $922 \sim 1287$, 하성 퇴적층은 $-0.5 \sim 3.2$ 를 나타낸다(Lu *et al.* 2001). 또한 중국 퇴스고원의 풍하지역에 해당하는 양쯔강 하류부 Xiashu 퇴스(Zhang *et al.*, 2005)는 Y값이 $-21.8 \sim -4.9$ 이다. 봉동단면은 $-13.39 \sim -7.99$ 로서(그림 4(c)), 중국 퇴스고원의 퇴스 및 고토양층보다는 "Red Clay"나 Xiashu 퇴스와 유사하고 대천퇴스($-9.81 \sim -2.27$, 윤순옥 등, 2007)보다 작다.

중국 퇴스고원에서 "Red Clay"가 상부의 퇴스-고토양 연속층보다 Y값이 작은 것은 약한 겨울계절풍 또는 강한 화학적 풍화작용에서 원인을 찾는다(Lu *et al.*, 2001). 봉동단면의 Y값이 중국 퇴스고원의 퇴스-고토양 연속층보다 작은 것은 장거리 운반으로 인한 퇴적물의 분별작용 또는 강한 화학적 풍화작용에 기인하는 것으로 보이며, 대천지역보다 작은 것은 한반도에 유입되는 퇴스물질의 경로가 서풍계열보다는 북서풍계열의 바람일 가능성이 있다. 또한 대천지역보다 퇴적층 형성시기가 오래되어 장기간의 풍화작용과 두 지역

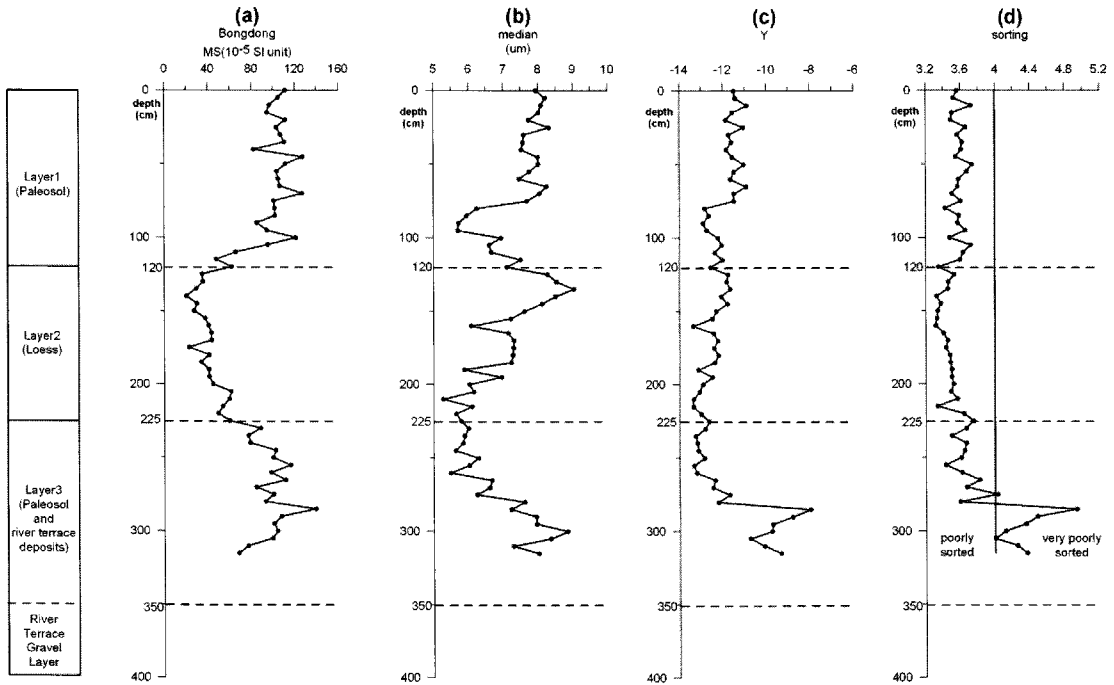


그림 4. 봉동단면의 층서, 대자율(MS, (a)), 중앙값(b), Y값(c) 및 분급(d)의 변화

사이의 기후차이가 원인일 수 있다. 한편 분급은 대체로 불량하며 하부로 가면서 더 불량해진다. Layer 2(loess)가 상, 하부의 고토양층보다 분급이 약간 더 좋다(그림 4(d)).

봉동단면의 입도 조성은 대부분의 지점에서 실트(4~63 μ m)가 60% 이상이며, 조립 실트(16~63 μ m)보다 세립 실트(4~16 μ m)의 비율이 높다(그림 5(b), (c)). 한편 점토(<4 μ m)가 약 30~69%이며(그림 5(a)), 모래(>63 μ m)는 대부분의 지점에서 4% 미만이지만 단면의 하부에서는 약 6%에 이른다(그림 5(d)).

많은 변수가 있으나 주로 20 μ m 이하의 입자는 부유 상태에서 높은 고도까지 운반되어 장거리 이동된다(Tsoar and Pye, 1987). 봉동단면의 20 μ m 이하 입자는 74~85%로 평균 약 80%이다. 또한 모래의 비율이 4% 내외이므로 하천 및 사면 과정에 의해 형성될 수 없고 대부분의 입자가 바람에 의해 그리고 장거리 운반에 의해 퇴적되었음을 의미한다. 한편 중국 뤼스고원에서 이루어진 연구결과(Yang and Ding, 2008)에 의하면, 비교적 세립의 특성은 최중간빙기(MIS 5)에 형성된 고

토양에서 확인되며 중앙값 6~20 μ m, 20 μ m 이상 입자가 20~50%에 달한다. 이와는 대조적으로 봉동단면의 중앙값은 5~9 μ m, 20 μ m 이상의 입자는 약 15~26%로, 전체적으로 중국 뤼스고원보다 세립질이다. 만일 봉동단면이 바람에 의해 운반되어진 것이 아니라면, 다른 어떠한 기구(agent)들도 이와 같은 세립질의 물질을 이 지역에 운반하여 퇴적시킬 수 없다. 아울러 근거리에서 공급된 풍성 퇴적층이라면 중국 뤼스고원의 입도 조성보다 오히려 조립의 경향을 보여야 할 것이다. 따라서 봉동단면의 입도 조성은 봉동단면이 하천이나 사면 과정에 의해 형성된 퇴적층이 아닌 바람에 의해 형성된 풍성퇴적층이며, 그 기원지는 근거리가 아닌 비교적 원거리임을 증명한다. 이러한 사실은 원소 분석 결과에서 보다 확실해진다.

2) 토양 분석 결과

그림 6에 봉동단면에서 측정된 pH와 ORP, 수분함량, 토양경도 그리고 유기물 함량을 나타내었다. 봉동

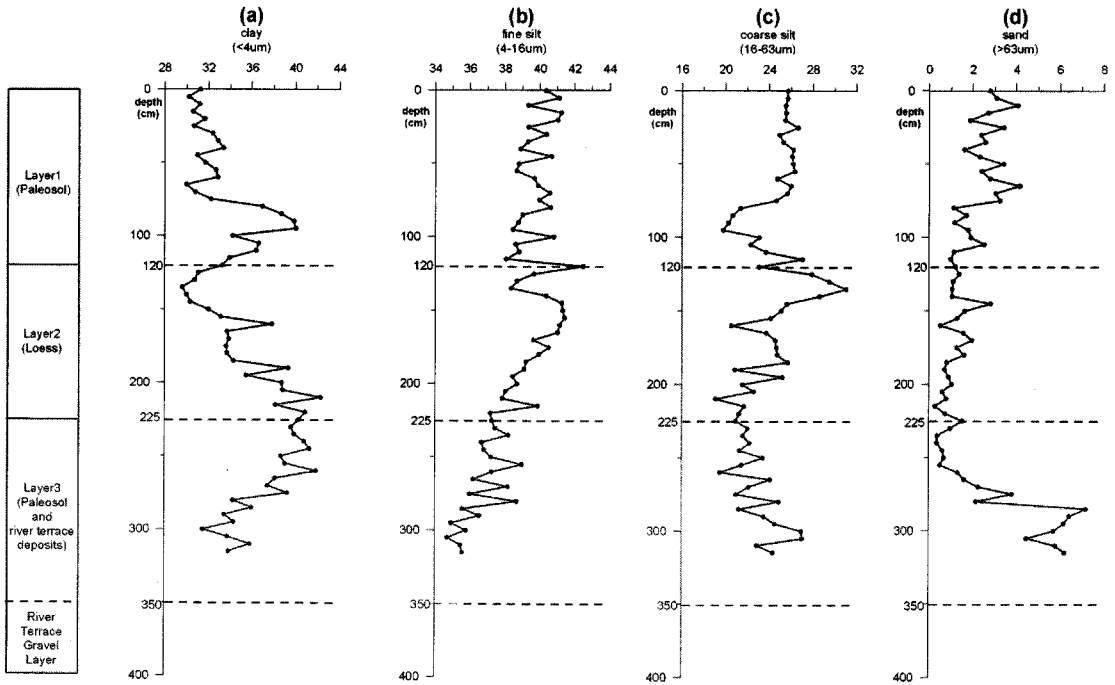


그림 5. 봉동단면의 입도 조성

단면의 pH는 중성 내지 약한 산성을 띠고 있다. pH 값은 6.17~6.71의 범위에서 미변동하며 층간에 차이가 거의 없다. ORP는 Layer 1과 Layer 2에서는 비교적 높은 값이나 Layer 3에서 급격히 낮아진 후 약간 증가한다(그림 6(a)). 수분함량은 11.03~23.54%를 보이며, 변화 양상은 대자울과 유사하다. 고토양에서는 11.03~23.54%, 퇴스층에서는 12.75~18.61%를 나타낸다(그림 6(b)). 봉동단면의 토양경도는 약 1,370~11,648kPa이며, 약 5,000kPa를 기준으로 미변동하는데, 일부 지점에서 큰 폭으로 변화한다(그림 6(c)). 퇴스에서는 약 2,955~8,306kPa이며, 고토양에서는 퇴스보다 더 넓은 범위의 1,370~11,648kPa를 보인다.

봉동단면의 유기물 함량은 Layer 1의 깊이 60cm에서 최소치를 보인 후 하부로 가면서 다시 약간 증가하다가 감소하며, 전체적으로 상부로 갈수록 유기물의 함량이 감소한다. 대자울과 유기물 함량은 Layer 1을 제외하면 대체로 변화경향이 일치한다. Layer 1의 유기물 함량과 대자울과의 낮은 상관관계는 사면에서의 이동, 지표유출, 표층의 제거 등으로 인해 지표면 가까

분 부분의 유기물이 분해 또는 제거되었기 때문으로 판단된다(그림 6(d)).

봉동단면의 토색 측정은 먼셀(Munsell) 색체계로 건조 상태와 습윤 상태에서 각각 측정된 후, “디지털색채 팔레트”를 이용하여 CMYK 색체계로 변환시켜, 그 중 밝고 어두운 정도를 나타내는 K값의 유효성을 검토하였다. 그림 7에 건조 상태와 습윤 상태의 K값과 대자울 변화(MS)를 함께 제시하였다. 건조 상태에서의 K값은 0~6으로 제한된 범위에서 대자울과 무관하게 미변동한다($R^2=0$). 이와는 대조적으로 습윤 상태의 K값은 대자울과 유사한 경향을 가지며 증감을 반복한다. 즉 Layer 1 내에서 K값은 미변동하지만 전체적으로 대자울과 유사하며, Layer 2에서 K값 역시 대자울과 마찬가지로 매우 낮았다. 이후 Layer 3에서 K값은 대자울과 함께 높은 특징을 보인다. 따라서 건조 토색 보다는 습윤 토색이 퇴스-고토양 연속층 간의 차이를 보다 잘 반영하므로, 습윤 상태 토색의 변화양상 역시 고기후 변화의 지표(proxy)로 사용될 수 있음을 의미한다. 그러나 먼셀(Munsell) 색체계의 특성상 개략적인 변화는

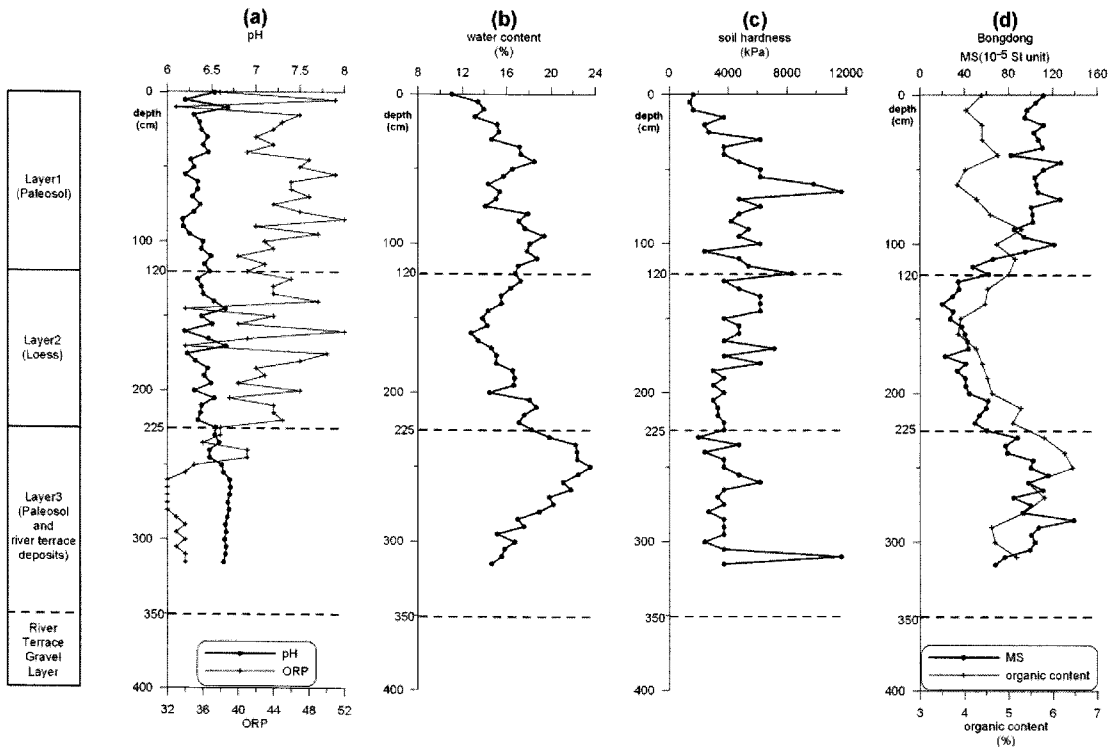


그림 6. 봉동단면의 토양 분석 결과

(a) pH와 ORP; (b) 수분함량(%); (c) 토양경도(kPa); (d) 유기물함량(%)과 대자율(MS)

파악할 수 있으나 정밀한 고기후 특성을 확인하기는 어렵다.

3) 원소 분석 결과

봉동단면의 주원소 및 희토류 원소 분석은 Layer 1에서 한 지점(BDSJ 60), Layer 2에서 세 지점(BDSJ 150, 160, 200) 그리고 Layer 3의 한 지점(BDSJ 270)에서 이루어져 결과를 표 1에 나타내었다. SiO₂는 최하부 고토양층인 BDSJ 270을 제외하면 모두 무게비 70% 이상이다. 또한 모든 시료에서 Na₂O는 검출되지 않았고, CaO는 무게비 0.2% 미만으로 극히 소량이다. Na₂O 및 CaO의 낮은 함량은 이미 한반도 내에서도 많이 보고되었으며(박동원, 1985; 박충선 등, 2007; 윤순옥 등, 2007), 한반도 내 많은 강수량으로 인해 화학적 풍화작용이 활발하게 진행되어 퇴적 이후 단면 내에서 제거된 것으로 판단된다.

그림 8에는 봉동단면, 근거리 기원지로 주변 기반암 및 하천 퇴적물(권종택 등, 1999) 그리고 원거리 기원지로 중국 퇴스고원(Gallet *et al.*, 1996; Jahn *et al.*, 2001), 이와 함께 한반도에서 이루어진 주요 퇴스 연구 결과(Shin, 2003; 박충선 등, 2007; 윤순옥 등, 2007; Yu *et al.*, 2008), 세계 평균 퇴스(Ujvári *et al.*, 2008) 그리고 UCC와 PAAS(Upper Continental Crust and Post-Archean Australia Shale; Taylor and McLennan, 1985) 등의 주원소 조성을 함께 도시하였다. 우선, 한반도의 퇴스는 지리적인 거리에도 불구하고 주원소 조성이 상당히 유사하지만, 중국 퇴스고원과는 그 조성에서 차이가 난다. 중국 퇴스고원의 경우, SiO₂와 Al₂O₃는 비례하는 관계인 반면, 한반도 퇴스에서는 이 주원소 사이의 관계는 반비례한다. 또한 한반도 퇴스는 SiO₂와 TiO₂간에 특별한 관계가 없지만 중국 퇴스고원의 시료들은 비례관계를 보인다. 봉동단면과 더불어 한반도의 경우 Al₂O₃와 TiO₂와 같이 풍화작용에 강

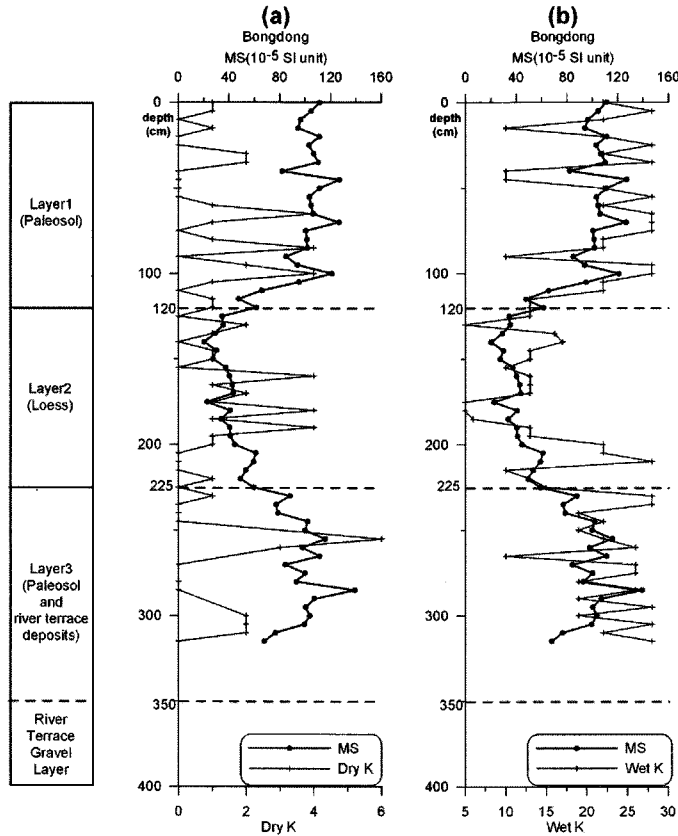


그림 7. 봉동단면의 대사율(MS)과 토색 변화
(a) 건조(Dry K); (b) 습윤(Wet K)

한 원소일수록 중국 퇴스고원이나 세계 평균 퇴스보다 높은 값을 보이며, K_2O 는 중국 퇴스고원 또는 세계 평균 퇴스보다 약간 적게 포함되어 있다. 중국 퇴스고원에서 SiO_2 와 Al_2O_3 의 비례관계는 장석과 운모와 같은 알루미늄규산염 광물에 의해 두 원소의 함량이 영향을 받는 것으로 보이거나(Újvári *et al.*, 2008), 낮은 상관관계로 볼 때 다른 광물도 영향을 미치는 것으로 보인다. 한반도 퇴스는 알루미늄규산염보다는 phyllosilicate 광물에 의해 영향을 받으며(Hofmann *et al.*, 2003), 비교적 높은 상관관계는 phyllosilicate 광물이 두 원소의 함량에 지배적인 영향을 미치고 있음을 의미한다. 또한 SiO_2 와 TiO_2 의 비례관계는 주로 조립물질에서 나타나는 금홍석, 티타나이트, 타이타늄철석 등과 같은 티타늄 광물의 존재와 흑운모 또는 녹니석과 같은 티타늄을 포함하고 있는 phyllosilicate 광물의 존재를 의미

한다(Újvári *et al.*, 2008). 그러나 한반도 퇴스에서 이러한 관계가 확인되지 않으면서, 중국 퇴스고원에 비해 높은 함량을 보이는 사실은 앞서와 마찬가지로 심한 풍화작용을 받았음을 의미한다.

그림 8(d)에서 한반도 퇴스와 중국 퇴스고원은 분포 경향에서 확실한 차이를 보인다. 즉, 중국 퇴스고원의 경우, K_2O/Al_2O_3 의 비율은 거의 일정한데 반해, CaO/Al_2O_3 의 비율은 큰 차이를 보이고 있다. 또한 중국 퇴스고원 시료의 가장 하단 끝부분에 PAAS가 위치하고 있다. 그러나 한반도의 퇴스시료들은 중국 퇴스고원의 시료와 대조적으로 CaO/Al_2O_3 의 비율은 거의 일정한데 반해, K_2O/Al_2O_3 의 비율은 큰 차이를 보이며, 기반암 및 하천 퇴적물과는 확연하게 구분된다. 이러한 주원소 조성의 차이는 한반도의 퇴스가 퇴적 이후 풍화작용을 강하게 받았음을 의미한다. 즉, 중국 퇴

표 1. 봉동단면의 주원소 함량(wt%)과 희토류 원소 함량(ppm)

stratigraphy	Layer 1(paleosol)		Layer 2(loess)		Layer 3(paleosol)
sample name	BDSJ 60	BDSJ 150	BDSJ 160	BDSJ 200	BDSJ 270
SiO ₂	78.74	78.35	78.26	74.73	68.03
Al ₂ O ₃	12.97	13.03	13.14	15.67	19.51
TiO ₂	1.29	1.29	1.30	1.28	1.17
Fe ₂ O ₃	4.52	4.78	4.82	5.36	8.20
MgO	0.52	0.56	0.50	0.56	0.72
CaO	0.11	0.12	0.11	0.17	0.23
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	1.78	1.78	1.78	1.84	2.02
MnO	0.02	0.04	0.04	0.35	0.06
P ₂ O ₅	0.05	0.05	0.03	0.05	0.06
LOI	4.90	5.04	4.83	5.90	7.61
total	99.45	100.05	99.67	100.59	100.13
La	37.37	44.70	46.72	50.96	52.97
Ce	82.18	80.77	78.68	88.12	87.76
Pr	8.46	9.77	10.53	11.21	11.67
Nd	30.97	35.74	38.42	41.55	42.57
Pm	-	-	-	-	-
Sm	5.49	6.22	6.69	7.27	7.67
Eu	1.04	1.19	1.29	1.48	1.57
Gd	5.45	5.96	6.42	7.31	7.55
Tb	0.78	0.82	0.86	1.00	1.07
Dy	4.18	4.15	4.23	5.18	5.23
Ho	0.88	0.87	0.88	1.08	1.07
Er	2.73	2.64	2.65	3.21	3.15
Tm	0.39	0.38	0.38	0.45	0.45
Yb	2.63	2.52	2.56	3.01	2.95
Lu	0.41	0.41	0.40	0.47	0.46
Eu/Eu*	0.58	0.59	0.60	0.62	0.63
(La/Yb) _N	9.36	11.67	12.04	11.14	11.82

주원소는 volatile-free에 의해 재계산된 값이며, total은 재계산이전의 값임.

$Eu/Eu^* = Eu_N / ((Sm_N + Gd_N) / 2)$, $Eu_N = \text{chondrite로 표준화된 Eu}$

스고원의 경우, CaO의 함량이 시료간에 큰 차이를 보이고, 한반도의 경우 K₂O의 함량이 시료간에 큰 차이를 보이며, CaO는 중국 리스고원보다 확연하게 낮다. 따라서 중국 리스고원은 CaO가 제거되고 있는 단계, 한반도는 이미 CaO는 충분히 제거되었고, K₂O가 제거되는 단계에 있음을 보여준다(Nesbitt and Young, 1984, 1989). 이러한 한반도와 중국 리스고원 사이의 풍화 단계의 차이는 A-CN-K 다이어그램(Nesbitt and Young, 1984, 1989; 그림 9)에서 보다 확실하다.

그림 9에서 중국 리스고원의 시료들은 A-CN 축과 거의 평행하게 분포한다. 반면, 한반도 리스 중 덕소피스는 중국 리스고원과 유사하게 A-CN축과 거의 평행하지만, 대천리스의 일부는 A-CN축, 또 일부는 A-K축과 평행하고, 부안 및 봉동리스는 A-K축과 평행하게 분포한다. 또한 중국 리스고원과 한반도 시료가 거의 일직선상에서 분포하며, 중국 리스고원의 CN 방향으로의 연장선상에는 UCC, 그 끝에는 PAAS가 위치하여 전세계의 리스는 평균적으로 중국 리스고원과 거의 유

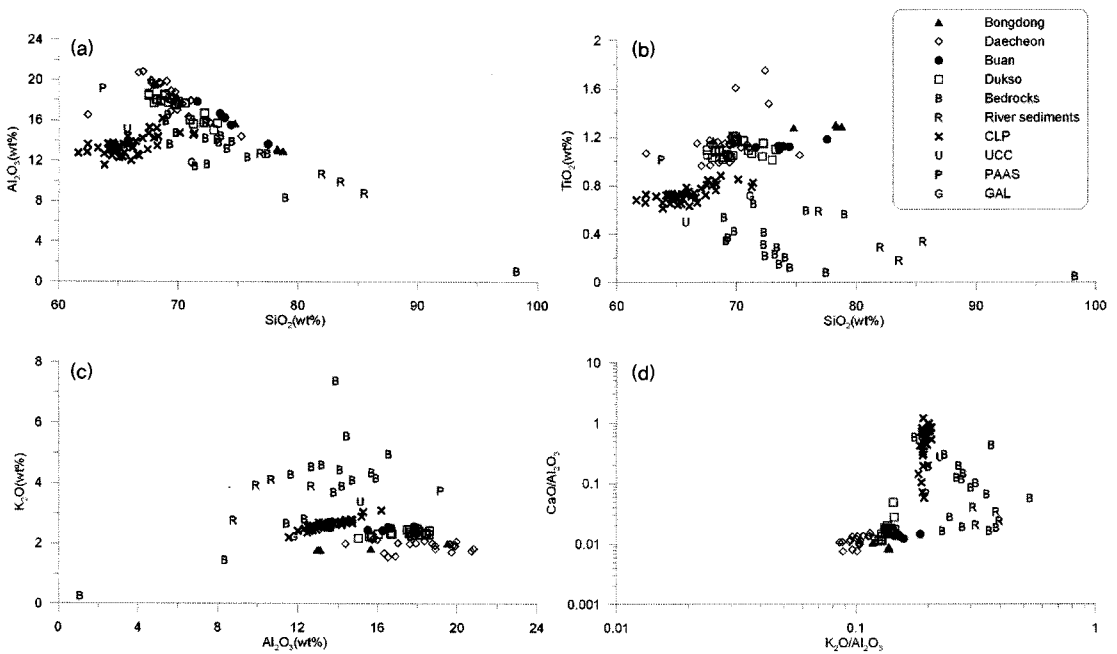


그림 8. 봉동단면의 주원소 조성

Daecheon(윤순옥 등, 2007); Buan(박충선 등, 2007); Dukso(Shin, 2003; Yu *et al.*, 2008); Bedrocks and River sediments(권종택 등, 1999); CLP(Chinese Loess Plateau, Gallet *et al.*, 1996; Jahn *et al.*, 2001); UCC and PAAS(Upper Continental Crust and Post-Archean Australia Shale, Taylor and McLennan, 1985); GAL(Global Average Loess, Újvári *et al.*, 2008)

사한 원소조성을 보인다. 반면, 주변 기반암과 하천 퇴적물은 전혀 다른 분포 양상을 보인다. 이러한 A-CN-K 다이어그램에서의 분포는 중국 퇴스고원의 퇴스물질이 UCC와 화학조성이 매우 유사한 물질에서 기원하였으며, PAAS와 유사하게 다단계의 퇴적순환을 겪었던 것을 의미한다(Gallet *et al.*, 1998; Nesbitt and Young, 1984; 1989). 또한 그 연장선상에 한반도의 시료들이 분포하는 것은 한반도와 중국 퇴스고원의 퇴스물질이 동일한 기원지에서 발원하여 다단계의 퇴적순환을 겪어 중국 퇴스고원을 거치거나, 중국 퇴스고원에 퇴적된 물질이 재이동되어 한반도내에 퇴적되었음을 의미한다.

다이어그램에서 확인된 원소조성의 분포 특성은 풍화단계의 차이를 의미한다. 즉, 중국 퇴스고원은 Nesbitt *et al.*(1980)과 Nesbitt and Young(1984; 1989)이 제안한 Ca, Na 또는 사장석이 제거되는 풍화의 1단계(Chen *et al.*, 1998; Chen *et al.*, 2001)인데 비해, 한반도는 1단계의 후반단계 또는 K 또는 정장석이

제거되는 풍화의 2단계에 속하는 것으로 볼 수 있다. 이러한 풍화 단계의 차이는 CIA값에서도 확인된다. 주원소 조성 및 A-CN-K 다이어그램에서 주원소 조성의 일정한 경향성, 풍화단계의 차이 등은 한반도 퇴스가 중국 퇴스고원에서 발원한 물질에 의해 형성되었지만, 퇴적 이후 한반도의 환경 특히 기후환경에 의해 변화되었음을 의미한다. 한 가지 주목할 것은 입도분석 결과에서도 논의된 것과 같이 한반도 내에서도 풍화도의 공간적인 차이가 존재하는 것이다. 그러나 현재로서는 지역적인 차이를 언급할 만큼 많은 연구가 이루어지지 않았으므로 퇴스 퇴적물의 풍화도 등 지역적인 차이의 공간분포나 그 원인에 대해 논의하는 것은 어렵다.

봉동단면을 포함한 한반도 퇴스와 중국 퇴스고원과의 주원소 조성의 특성으로 부터 논의한 두 지역간 풍화작용의 지역차는 그림 10에서도 확인된다. 상대적으로 풍화에 강한 원소들의 조성에서 봉동, 대천, 부안, 덕소 그리고 중국 퇴스고원의 시료들이 일정한 영역 내에 모두 포함되지만(그림 10(a)), 풍화에 민감하게

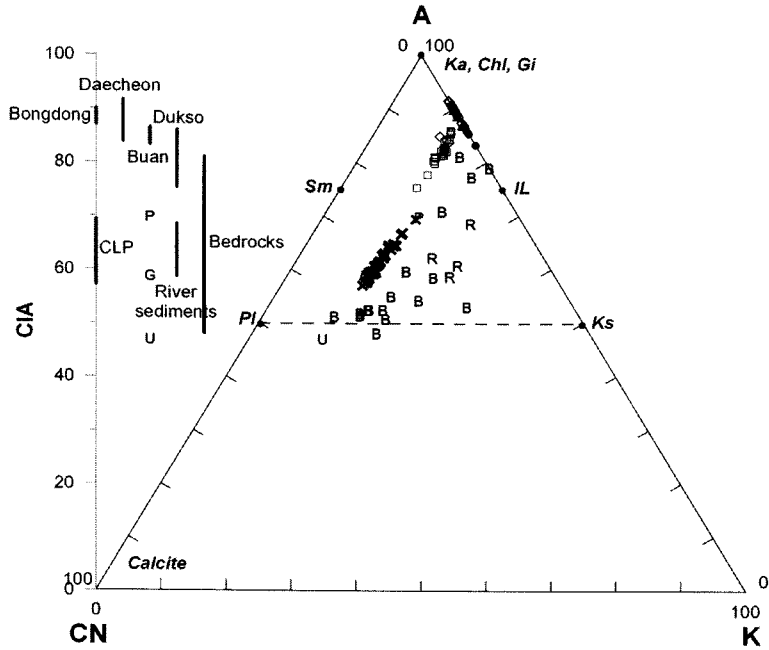


그림 9. 봉동단면의 A-CN-K 다이어그램과 CIA(Nesbitt and Young, 1984; 1989)

Sm=smectite; Pl=plagioclase; IL=illite; Ks=K-feldspar; Ka=kaolinite; Gi=gibbsite; Chl=chlorite; A=Al₂O₃; CN=CaO+Na₂O; K=K₂O; (범례 및 참고문헌은 그림 8과 동일)

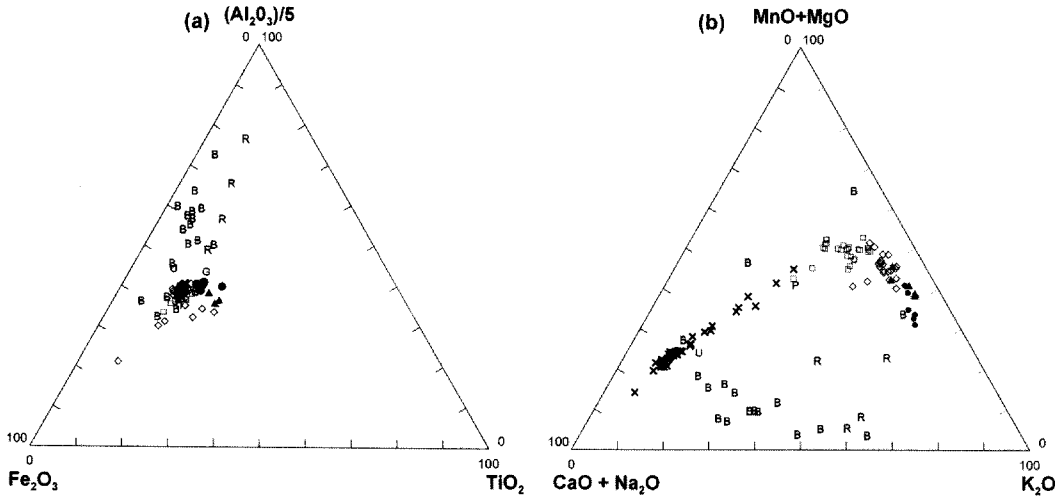


그림 10. 봉동단면의 주원소 삼각다이어그램

(범례 및 참고문헌은 그림 8과 동일)

반응하는 Ca와 Na가 포함된 원소들의 관계에서는 중국 퇴스고원과 한반도 퇴스사이에서 일정한 방향성이 존재한다(그림 10(b)). 또한 두 그림 모두에서 주변 기반

암 및 하천 퇴적물은 전혀 다른 영역에 분포하므로, 봉동단면이 중국 퇴스고원에서 기원한 퇴스물질에 의해 형성되었음을 확인할 수 있다.

그림 11은 그림 8과 마찬가지로 봉동단면과 더불어, 근거리 기원지로 주변 기반암 및 하천 퇴적물(권종택 등, 1999) 그리고 원거리 기원지로 중국 퇴스고원(Gallet *et al.*, 1996; Jahn *et al.*, 2001)의 Leedeey 운석(Masuda *et al.*, 1973; Masuda, 1975)으로 표준화한 희토류 원소 분포를 나타낸 것으로, UCC와 PAAS(Upper Continental Crust and Post-Archean Australia Shale; Taylor and McLennan, 1985)도 표현하였다. 그림 12에는 봉동단면의 희토류 원소 조성을 한반도의 대천(박충선, 2006), 부안(박충선 등, 2007)의 결과와 함께 제시하였다.

희토류 원소 조성을 살펴보면, 봉동단면의 퇴스-고토양 시료는 경희토류(Light REE, LREE)가 중희토류(Heavy REE, HREE)에 비해 부화(enrichment)되어 있으며($(La/Eu)_N=7.72\sim 8.62$), 중희토류는 평평한 분포를 보인다($(Tb/Lu)_N=1.32\sim 1.58$). Eu는 중간정도 음의 이상($Eu/Eu^*=0.58\sim 0.63$)을 보여 UCC($Eu/Eu^*\approx 0.65$)와 유사하며, $(La/Yb)_N=9.36\sim 12.04$ 의 값을 보여 UCC와 유사하다($(La/Yb)_N\approx 10.00$; 그림 11(a)). Gallet *et*

al.(1998)이 지적한 대로 봉동단면의 퇴스-고토양도 다단계의 퇴적순환을 겪은 물질에서 기원했을 것으로 판단된다. 또한 분석된 시료의 희토류 분포가 매우 유사하고, 시료 간에 차이가 크지 않은 것은 봉동단면이 동일한 기원지에서 발원한 물질이 퇴적된 것으로 생각된다. 주변 기반암 및 하천 퇴적물의 경우, 기반암 시료에 비해 하천 퇴적물에서 희토류 원소의 결핍(depletion)이 확인된다(그림 11(b)). 또한 이들은 봉동단면과는 거의 유사하거나 약간 부화된 형태의 희토류 원소 분포를 보이나, 일부 시료에서는 중희토류의 결핍과 현저히 낮은 Eu 이상치 등을 확인할 수 있다(그림 11).

봉동단면의 희토류 원소 조성을 중국 퇴스고원의 퇴스-고토양 시료와 비교해 보면(그림 11(c)), 전체적으로 매우 유사하다. 즉 중국 퇴스고원의 Eu 이상($Eu/Eu^*=0.61\sim 0.67$)도 봉동단면과 거의 유사하며, $(La/Yb)_N=4.93\sim 10.4$ 로, 이 중 현저히 낮은 값을 보이는 시료를 제외하면 7.16~10.42로 이 또한 봉동단면과 매우 유사하다. 다만 봉동단면의 경희토류(특히 La)

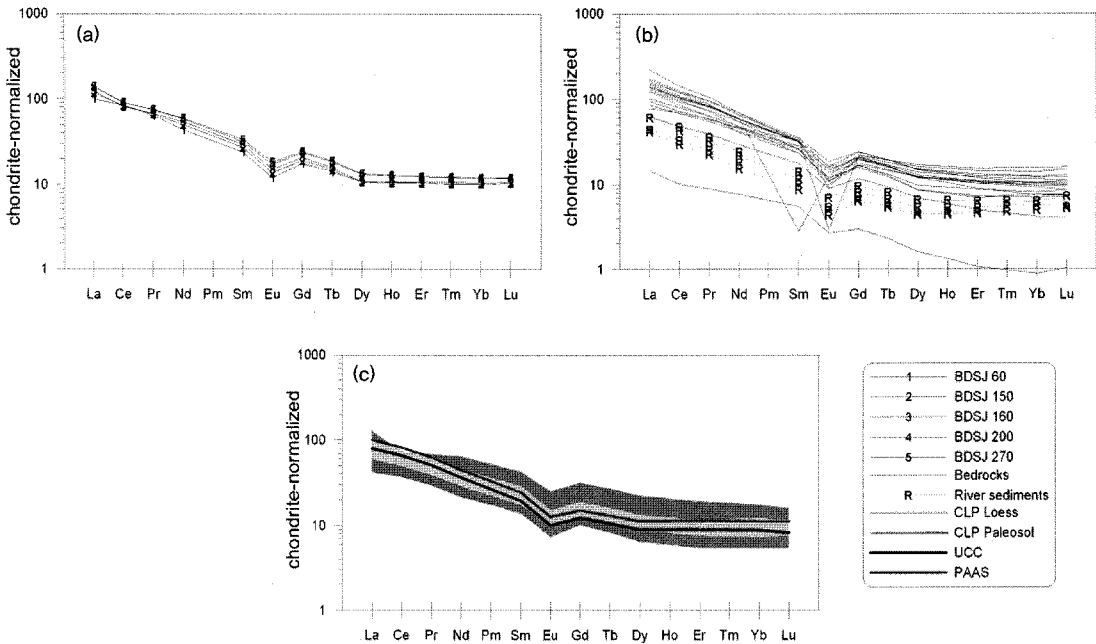


그림 11. 봉동단면의 희토류 원소 분포
(참고문헌은 그림 8과 동일)

가 중국 퇴스고원에 비해 약간 부화되어 있다. 따라서 앞서 주원소 분석 결과에서도 언급하였듯이, 봉동단면과 중국 퇴스고원의 퇴스물질이 동일한 기원지에서 발원하여 다단계의 퇴적순환을 겪었음을 의미하며, 중국 퇴스고원을 거쳐 또는 중국 퇴스고원에 퇴적된 물질이 재이동되어 연구지역내에 퇴적되었음을 확인할 수 있다.

봉동단면의 희토류 원소 비율은 지리적인 거리에도 불구하고 대천, 부안, 중국 퇴스고원과 매우 유사하다(그림 12). 이러한 유사성은 봉동, 대천, 부안단면 간에 보다 강하며, 이 세 지역과 중국 퇴스고원과는 약간의 차이가 있고, 주변 기반암 및 하천 퇴적물과는 큰 차이가 있다. 중국 퇴스고원과의 미세한 차이는 앞서 언급한 봉동단면의 희토류 원소의 부화로 인한 것이다.

한편 봉동단면과 중국 퇴스고원 사이에 희토류 원소의 총합(ΣREE)과 경희토류와 중희토류의 총합의 비율($\Sigma LREE/\Sigma HREE$)은 다른 비율에 비해 비교적 차이가 크다(그림 12(d)). ΣREE 의 경우, 중국 퇴스고원은 150 내외이지만 봉동단면은 200 내외이다. 또한 봉동단면

의 $\Sigma LREE/\Sigma HREE$ 값이 중국 퇴스고원에 비해 높은 것은 봉동단면의 경희토류 부화와 더불어 다른 원인도 작용하였을 것으로 생각된다.

퇴적물의 지구화학적 원소의 농도는 기원지, 퇴적 전후의 풍화작용, 퇴적 이후의 변화, 퇴적물의 분급효과 그리고 각 원소의 지구화학적 특성 등에 영향을 받는다(Rollinson, 1993). 봉동단면을 비롯한 한반도내 대천, 부안, 덕소지역의 퇴스물질은 지구화학적 조성이 매우 유사하며, 이는 동일한 기원지 즉, 중국 퇴스고원과 동일한 기원지 또는 중국 퇴스고원에서 발원한 물질에 의해 형성된 것이다. 그러나 동일한 기원지를 갖는다 하더라도, 퇴적 이후 각 지역의 기후환경에서 풍화작용 등으로 원소 조성에 변화가 발생하였음을 확인하였다. 그러나 희토류 원소의 경우, 이러한 퇴적순환 및 풍화작용 등에 큰 영향을 받지 않기 때문에(Taylor and McLennan, 1985), 봉동, 대천, 부안지역의 퇴스물질과 중국 퇴스고원의 조성이 매우 유사하다.

희토류 원소는 주로 조립질보다는 세립질의 퇴적물

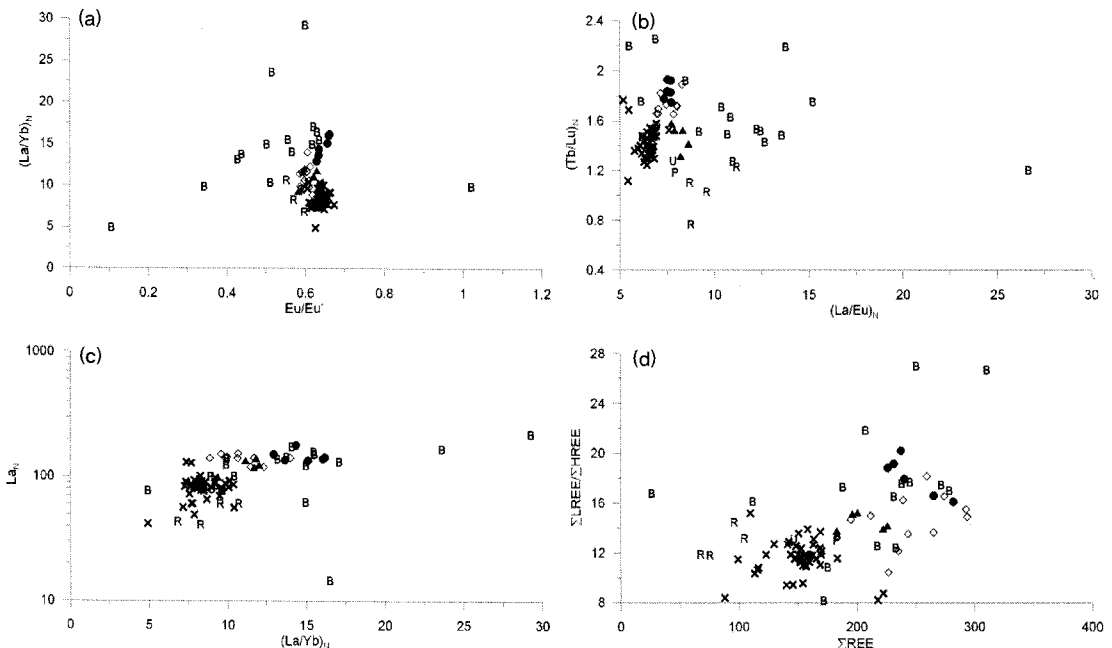


그림 12. 봉동단면의 희토류 원소 비율
(범례 및 참고문헌은 그림 8과 동일)

에서 높은 함량을 보이기 때문에 세립질의 퇴적물에서 ΣREE 가 높을 수 있다(Yang *et al.*, 2007; Roddaz *et al.*, 2006). 또한 $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 의 비율은 조립에서 세립으로 갈수록 점점 감소하며, 이는 중희토류의 점토광물에 대한 친화력이 크기 때문이다(Li *et al.*, 2007). 한편 Yang *et al.*(2007)은 퇴적물의 입도 차이 때문에 경희토류의 부화가 나타난다고 보았다. 따라서 봉동단면 및 대천, 부안지역의 퇴적물의 ΣREE 가 중국 퇴스고원보다 높은 것은 이러한 세립화의 영향으로 생각되지만, 한반도 내 세지역의 $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 가 중국 퇴스고원보다 높은 것은 단순한 분급효과 때문만은 아닌 것으로 보이며, 이에 대해서는 보다 자세한 연구가 더 필요할 것으로 생각된다.

5. 결론

본 연구에서는 전라북도 완주군 봉동읍에 위치한 만경강 하안단구 역층 상부에 퇴적되어 있는 퇴스-고토양 연속층을 대상으로 기본적인 토양분석과 더불어 대자율 측정, 입도분석 그리고 원소분석 등을 통해 퇴스-고토양 연속층의 풍화 특성과 기원지에 대해 검토해 보았다. 봉동단면은 상부에서 하부로 Layer 1(고토양), Layer 2(퇴스), Layer 3(고토양) 그리고 하안단구 역층으로 이루어져 있으며, 조사가 이루어진 부분은 깊이 약 320cm까지이다. 봉동단면의 대자율은 퇴스층과 고토양층 사이에 뚜렷한 차이를 보이거나 약간의 미변동 현상이 확인된다. 이는 퇴적 이후, 사면이동 과정에 의한 변화 또는 장기간의 변화를 비교적 짧은 퇴적층 내에 포함하기 때문으로 생각된다. 입도분석 결과는 봉동단면이 하천이나 사면 이동과정에 의해 형성된 퇴적층이 아닌 풍성 퇴적층임을 반영하며, 중국 퇴스고원이나 대천퇴스보다 상당히 세립질이 특징이다. 이는 풍화작용의 정도 뿐 아니라 한반도에 유입된 퇴적물의 경로가 서풍계열보다는 북서풍계열일 가능성을 지시한다. pH, 산화환원전위, 수분함량 그리고 토양 경도는 퇴스-고토양 사이에 특별한 차이가 없지만, 유기물 함량은 대자율과 유사한 변화 양상이다. 토색의

경우, 건조 토색보다는 습윤 토색이 퇴스-고토양 연속층의 특성을 보다 잘 반영한다. 주원소 및 희토류 원소 분석 결과, 봉동단면의 퇴스물질은 중국 퇴스고원과 동일한 기원지 또는 재이동된 물질에 의해 형성되었으며, 퇴적 이후에는 고기후 환경에 맞게 변화되어 중국 퇴스고원보다 상당히 강한 풍화작용을 받은 것으로 나타났다. 이러한 풍화작용은 한반도내에서 약간의 공간적인 차이가 확인되지만, 현재까지는 연구결과가 부족하여 추후의 과제로 남겨야 할 것으로 보인다.

참고문헌

- 권종택 · 지정만 · 장운호, 1999, "한반도 서해안 변산지역의 연안퇴적물과 육상지질과의 지화학적 상관관계," 한국자원공학회지, 36, 42-66.
- 권혁재, 1975, "호남평야의 층적지형에 관한 지리학적 연구," 지리학, 12, 1-20.
- 박동원, 1985, "김제 · 정읍 일대에 분포하는 퇴스상 적황색토에 대한 연구," 지리학, 32, 1-10.
- 박충선, 2006, 서해안 대천, 봉동, 부안지역의 퇴스-고토양 층서와 편년, 경희대학교 석사학위논문.
- 박충선 · 윤순옥 · 황상일, 2007, "전북 부안 화강암지역 퇴스-고토양 연속층의 퇴적물 특성과 기원지," 대한지리학회지, 42(6), 898-913.
- 박희두, 2005, "만경강과 동진강 유역의 습지 분석," 한국지형학회지, 12, 1-12.
- 신재봉 · 유강민, Naruse, T., Hayashida, A., 2004, "전곡리 구석기 유적 발굴지인 E55S20-IV 지점의 미고결 퇴적층에 대한 퇴스-고토양 층서에 관한 고찰," 지질학회지, 40, 369-381.
- 신재봉 · Naruse, T. · 유강민, 2005, "퇴스-고토양 퇴적층을 이용한 홍천강 중류에 발달한 하안단구의 형성 시기," 지질학회지, 41, 323-333.
- 오건환, 1980a, "한반도 동 · 서해안 중부에 분포하는 해성단구면의 대비," 부산여대 논문집, 8, 157-170.
- 오건환, 1980b, "한반도의 해성단구와 제4기 지각변동," 부산여대 논문집, 9, 377-415.
- 오경섭 · 김남신, 1994, "전곡리 용암대지 피복물의 형성과 변화과정," 제4기학회지, 8, 43-68.

- 오경섭 · 오선희, 1994, “금강과 만경강 역과 모래의 비교 연구”, *한국지형학회지*, 1, 103-124.
- 윤순옥 · 박충선 · 황상일, Naruse, T., 2007, “대천지역 퇴스-고토양 연속층의 풍화특성”, *지질학회지*, 43, 281-296.
- 이용일 · 이선복, 2002, “용인시 평창리 구석기유적발굴지 고토양 특성과 이의 고고지질학적 적용”, *지질학회지*, 38, 471-489.
- 조화룡, 1985, *한국의 총적펄야*, 교학연구사, 서울.
- 최성길, 1996, “웅천천유역의 하성단구로부터 추정되는 구정선고도와 그 의의”, *대한지리학회지*, 31(3), 613-629.
- 최성길, 1998, “충남 서해안에 있어서 제4기 지형발달과정의 연구를 위한 기준시간면 설정에 관한 시론적 연구”, *한국지형학회지*, 5, 21-40.
- 최성길, 2003, “충남 보령 웅천천유역 후기경신세 하성단구의 종단면 특성 고찰: 매몰곡저의 종단면을 중심으로.” *한국지형학회지*, 10, 87-92.
- 홍만섭 · 김영원, 1969, *한국 지질도 삼례도폭(1:50,000) 및 설명서*, 국립지질조사소.
- Chen, J., An, Z., Liu, L., Ji, J., Yang, J., and Chen, Y., 2001, Variations in chemical compositions of the eolian dust in Chinese Loess Plateau over the past 2.5 Ma and chemical weathering in the Asian inland, *Science in China (Series D)*, 44, 403-413.
- Chen, J., Ji, J., and Qiu, G., 1998, Geochemical studies on the intensity of chemical weathering in Luochuan loess-paleosol sequence, China, *Science in China (Series D)*, 41, 235-241.
- Folk, R. L. and Ward, W. C., 1957, Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters, *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-26.
- Gallet, S., Jahn, B., and Torii, M., 1996, Geochemical characterization of the Luochuan loess-paleosol sequence, China, and paleoclimatic implications, *Chemical Geology*, 133, 67-88.
- Gallet, S., Jahn, B., Lanoe, B. V. V., Dia, A., and Rossello, E., 1998, Loess geochemistry and its implications for particle origin and composition of the upper continental crust, *Earth and Planetary Science Letters*, 156, 157-177.
- Hofmann, A., Bolhar, R., Dirks, P., and Jelsma, H., 2003, The geochemistry of Archaean shales derived from a mafic volcanic sequence, Belingwe greenstone belt, Zimbabwe: provenance, source area unroofing and submarine versus subaerial weathering, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67, 421-440.
- Jahn, B., Gallet, S., and Han, J., 2001, Geochemistry of the Xining, Xifeng and Jixian sections, Loess Plateau of China: eolian dust provenance and paleosol evolution during the last 140 ka, *Chemical Geology*, 178, 71-94.
- Li, F., Jin, Z., Xie, C., Feng, J., Wang, L., and Yang, Y., 2007, Roles of sorting and chemical weathering in the geochemistry and magnetic susceptibility of Xiashu loess, East China, *Journal of Asian Earth Sciences*, 29, 813-822.
- Liu, T. S., 1985, *Loess in China*, China Ocean Press, Beijing.
- Lu, H., Vandenberghe, J., and An, Z., 2001, Aeolian origin and palaeoclimatic implications of the “Red Clay” (north China) as evidenced by grain-size distribution, *Journal of Quaternary Science*, 16, 89-97.
- 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.
- Masuda, A., 1975, Abundance of mono isotopic REE, consistent with the Leedeey chondritic values, *Geochemical Journal*, 9, 183-184.
- McLennan, S. M., 1993, Weathering and global denudation, *The Journal of Geology*, 101, 295-303.
- Nesbitt, H. W., Markovics, G., and Price, R. C., 1980, Chemical processes affecting alkalis and alkaline earths during continental weathering, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44, 1659-1666.
- Nesbitt, H. W. and Young, G. M., 1984, Prediction of some weathering trends of plutonic and

- volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 1523-1534.
- Nesbitt, H. W. and Young, G. M., 1989, Formation and diagenesis of 584 weathering profiles, *The Journal of Geology*, 97, 129-147.
- Pye, K., 1995, The nature, origin and accumulation of loess, *Quaternary Science Review*, 15, 653-667.
- Roddaz, M., Viers, J., Brusset, S., Baby, P., Boucayrand, C., and Herail, G., 2006, Controls on weathering and provenance in the Amazonian foreland basin: Insights from major and trace element geochemistry of Neogene Amazonian sediments, *Chemical Geology*, 226, 31-65.
- Rollinson, H. R., 1993, *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*, Longman, England.
- Shin, J. B., 2003, *Loess-Paleosol Stratigraphy of Dukso and Hongcheon Areas and Correlation with Chinese Loess-Paleosol Stratigraphy: Application of Quaternary Loess-Paleosol Stratigraphy to the Chongokni Paleolithic Site*, Ph. D. dissertation, University of Yeonsei.
- Taylor, S. R. and McLennan, S. M., 1985, *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*, Geoscience Texts, Blackwell, Oxford, London.
- Tsoar, H. and Pye, K., 1987, Dust transport and the question of desert loess formation, *Sedimentology*, 34, 139-153.
- Újvári, G., Varga, A. and Balogh-Brunstad, Z., 2008, Origin, weathering, and geochemical composition of loess southwestern Hungary, *Quaternary Research*, 69, 421-437.
- Yang, S. and Ding, Z., 2008, Advance-retreat history of the East-Asian summer monsoon rainfall belt over northern China during the last two glacial-interglacial cycles, *Earth and Planetary Science Letters*, 274, 499-510.
- Yang, X., Liu, Y., Li, C., Song, Y., Zhu, H., and Jin, X., 2007, Rare earth elements of aeolian deposits in Northern China and their implications for determining the provenance of dust storms in Beijing, *Geomorphology*, 87, 365-377.
- Yu, K. M., Shin, J. B., and Naruse, T., 2008, Loess-paleosol stratigraphy of Dukso area, Namyangju City, Korea (South), *Quaternary International*, 176-177, 96-103.
- Zhang, Q., Zhu, C., Jiang, T., and Becker, S., 2005, Mid-Pleistocene environmental reconstruction based on Xiashu loess deposits in the Yangtze Delta, China, *Quaternary International*, 135, 131-137.
- <http://www.wamis.go.kr>
<http://www.designdb.com>
- 교신: 윤순옥, 130-701, 서울시 동대문구 회기동 1번지, 경희대학교 이과대학 지리학과(이메일: soyoon@khu.ac.kr, 전화: 02-961-0862, 팩스: 02-964-0250)
- Correspondence: Soon-Ock Yoon, Department of Geography, Kyung-Hee University, 1 Hoegi-dong, Dongdaemun-gu, Seoul, 130-701, Korea(e-mail: soyoon@khu.ac.kr, phone: +82-2-961-0862, fax: +82-2-964-0250)
- 최초투고일 09. 09. 02
 수정일 09. 09. 15
 최종접수일 09. 09. 17