

전북 부안 화강암지역 퇴스-고토양 연속층의 퇴적물 특성과 기원지

박충선* · 윤순옥** · 황상일***

Properties and Provenance of Loess-paleosol Sequence at the Daebo Granite Area of Buan, Jeonbuk Province, South Korea

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

요약 : 전북 부안 화강암지역에서 기반암을 피복하고 있는 세립질 퇴스-고토양 연속층의 퇴적물 특성과 기원지를 검토하였다. 조사 단면에서 퇴적층 두께는 약 280cm이며, 상부로부터 표층, Layer 1(고토양), Layer 2(퇴스), Layer 3(고토양), Layer 4(퇴스), Layer 5(고토양)로 이루어져 있다. 대자율값은 각 층준 사이에 뚜렷한 차이를 보이며 변동한다. pH, 산화환원전위(ORP), 수분함량, 토양경도와 달리, 유기물 함량은 대자율과 유사하게 토층의 특징을 잘 반영한다. 세 가지 조건하에서 측정된 토색 중 습윤 상태의 토색이 각 층준의 차이를 양호하게 반영하지만, 먼셀(Munsell) 색체계의 특성상 일부 지점에서는 변화 양상이 다소 불분명하다. 부안단면의 지형적 특성, 퇴적 구조 그리고 주원소 및 희토류 원소 조성이 주변 기반암 및 하천퇴적물과는 분명한 차이를 보이는 반면, 중국 황토고원의 시료와 매우 유사한 조성을 보이기 때문에, 연구 지역의 퇴스는 중국 황토고원 및 그 주변지역에서 기원한 물질에 의해 형성된 것으로 판단된다. 퇴적 이후에는 퇴적지의 환경, 즉 한국의 기후조건, 특히 많은 강수량에 의해 기원지와 다른 풍화특성을 보인다.

주요어 : 퇴스, 고토양, 대자율, 풍화특성, 기원지, 부안

Abstract : We examined soil properties and provenance of loess-paleosol sequences at the Daebo Granite area of Buan, Jeonbuk Province, South Korea. The section consists of the surface layer, Layer 1(paleosol), Layer 2(loess), Layer 3(paleosol), Layer 4(loess), and Layer 5(paleosol), from top to bottom and thickness of the exposed section is approximately 280cm. The magnetic susceptibility values show the distinct variations between the loess- and the paleosol layer. Even though pH, ORP, water content, and soil hardness do not display the obvious differences in the section, the organic content indicates the variation similar to those of the magnetic susceptibility. In the respect of the soil colors measured under 3 conditions, although the variations of the wet soil color exceedingly reflect the difference of the layers, these variations are obscure in some points in the section due to the characteristics of the Munsell color system. Based on the geomorphological properties, sedimentary structure, the difference of the major element composition and the condrite-normalized rare earth element(REE) patterns showing the clear difference from the adjacent bedrocks and stream sediments and the similarity to those of the Chinese Loess Plateau, it is suggested that the section was formed by the material originated from the Chinese Loess Plateau and peripheral areas. However, because the material experienced the alteration after sedimentation under the environment of the sediment area, it has the properties different from the material in the provenance areas. This phenomenon may result in the climatic condition of Korea, especially in precipitation.

Key Words : loess, paleosol, magnetic susceptibility, weathering properties, provenance, Buan.

* 경희대학교 지리학과 석사(Master, Department of Geography, Kyunghee University), pcus96@khu.ac.kr

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

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

1. 서론

익산, 정읍의 일부와 김제와 부안의 대부분을 차지하고 있는 전라북도 서부 평야지대는 해발고도 5~10m 이하의 넓은 충적평야와 해발고도 10~20m 내외의 구릉지로 이루어져 있다. 충적평야는 논, 구릉지는 주거지, 밭 또는 묘지 등으로 이용되고 있다.

서부 평야지역은 상대적으로 풍화, 침식에 약한 주라기의 대보화강암으로 이루어져 있다. 대보화강암은 절개된 구릉지에서 관찰이 가능하다. 심층풍화를 받아 거의 토양화되어 신선한 기반암을 발견하기는 매우 어렵고, 기반암 상부에는 세립의 퇴적물이 피복되어 있다. 이 세립층에 대한 기원과 퇴적과정 등에 대한 연구는 현재까지 이루어지지 않았다.

이 퇴적층은 균질한 실트로 구성되어 있고, 토색의 차이를 통해 육안 관찰로도 몇 개의 층준으로 구분이 가능하다. 실트 퇴적층에서 반복적으로 soil crack은 나타나지만, 층리와 같은 퇴적구조는 발견되지 않는다. 이와 같은 퇴적상의 특징은 풍성층인 뾰스-고토양 연속층임을 강하게 암시한다.

이 실트층이 하천에 의해 운반되었을 가능성은 거의 없으며, 기반암 풍화토의 잔재로 보기도 어렵다. 더욱이 뾰스층 형성의 기본 조건을 뾰스 물질의 지속적인 공급이 가능한 공급지, 물질을 운반시킬 수 있는 충분한 바람 에너지와 적당한 퇴적지 등(Pye, 1995)으로 볼 때, 조사지역의 실트층은 이러한 조건에 잘 부합된다.

즉, 아시아 지역에서 중국 황토고원 주변지역의 경우, 지난 빙기 중국 황토고원에 퇴적된 뾰스가 빈약한 식생피복과 강력한 시베리아 고기압의 영향으로 인하여 한국이나 일본 및 동아시아 전역에 재이동 되었을 가능성이 크다(윤순옥 등, 2007). 이렇게 운반되고 퇴적된 뾰스층은 퇴적지의 간빙기 기후 환경에 적응하면서 기후변화를 겪게 되므로 뾰스층과 고토양층이 교호로 나타나게 된다.

상술한 여러 사실들을 통해 본 연구 지역인 부안 일대 실트층은 뾰스-고토양의 연속층이며, 플라이스토세 빙기에 운반된 뾰스(loess)일 것으로 판단된다. 그러나 아직 한국의 뾰스 연구는 시작단계이며, 한편으

로는 뾰스층의 존재 가능성에 대해 회의적인 주장도 있다(이선복, 2005). 따라서, 한반도 뾰스의 토양 특성을 파악하는 일은 뾰스 연구의 중요한 목적이 된다.

한국에서의 뾰스 연구는 전북 정읍, 김제 지역(박동원, 1985), 경기도 연천 전곡리 지역(오경섭·김남신, 1994; 신재봉 등, 2004), 경기도 용인 평창리 지역(이용일·이선복, 2002), 경기도 남양주 덕소 지역(Shin, 2003), 강원도 홍천 지역(신재봉 등, 2005), 경기도 안성 일죽 지역(김영래, 2007), 충남 대천 지역(윤순옥 등, 2007) 등 몇 편이 이루어졌다. 고고학 발굴과 연계되어 편년을 시도하거나(이용일·이선복, 2002; 신재봉 등, 2004), 뾰스-고토양 연속층을 이용하여 하안단구(신재봉 등, 2005)나 해안단구(윤순옥 등, 2007)의 편년을 시도한 연구, 방법론에 대한 연구(박충선·윤순옥, 2005) 그리고 한국 뾰스 연구의 성과와 논의(박충선 등, 2007) 등을 통하여 한국 뾰스 연구의 새로운 가능성을 제시하였다.

그리고 한국에 분포하는 뾰스층의 기원지에 대해서도 이견이 존재한다. 즉, 뾰스의 기원지를 중국 황토고원 기원(Shin, 2003; 신재봉 등, 2004; 윤순옥 등, 2007; 박충선 등, 2007) 또는 황해나 한강, 임진강 유역 기원(오경섭·김남신, 1994)과 인접한 충적지(김영래, 2007)로 주장하는 등 견해가 엇갈리고 있으므로 과학적 분석을 통해 기원지에 대해 논의할 필요가 있다고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 전북 부안 지역에 분포하는 뾰스층의 기초적인 토양 특성을 밝혀, 뾰스의 가능성을 확인하고 퇴적 및 형성 과정과 기원지를 밝히고자 한다.

2. 지형 및 지질

시료를 채취한 노두(이하 부안단면이라 칭함; 그림 1과 2에서 BUPS)는 전라북도 부안군 행안면 진동리 신흥마을 입구에 위치하고 있으며(북위 35°41'57", 동경 126°43'36"; 그림 1), 부안군 공설운동장 건설로 인해 단면이 노출되어 있다. 기반암인 화강암이 북에서 남

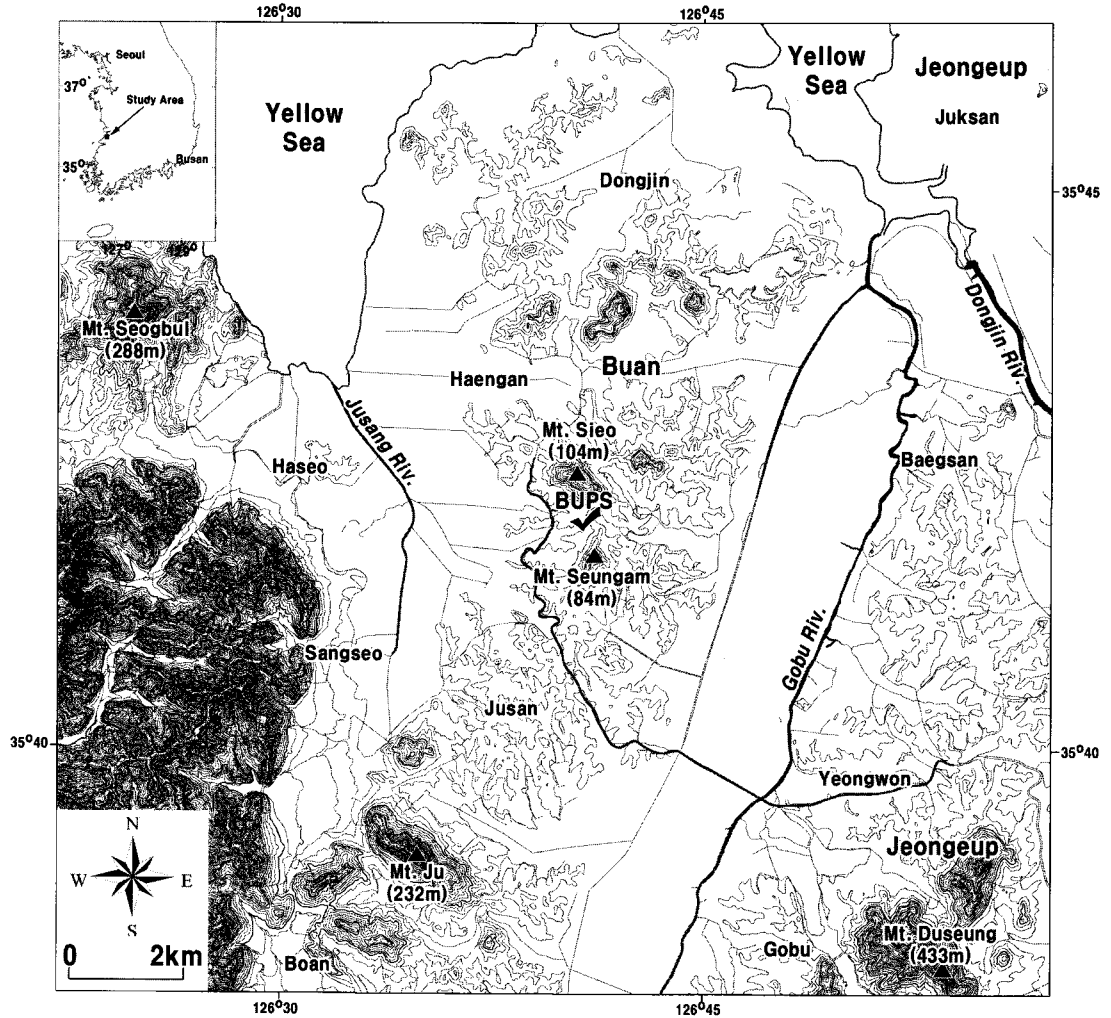


그림 1. 부안단면(BUPS) 주변의 지형 개관
(해안쪽의 실선은 1917년의 해안선임)

으로 기울어져 있어 부안단면 역시 기반암의 경사를 따라 북에서 남으로 기울어져 있다. 시료를 채취한 지점에서 토양층의 두께는 약 280cm이며, 기반암의 경사로 보아 깊이 약 350cm 이내에서 기반암이 나타날 것으로 생각한다. 기반암은 시료를 채취한 곳에서 북쪽으로 약 3m 떨어진 지점에서는 지표면에서 약 1m 높이까지 노출되어 있다. 기반암은 심하게 풍화를 받아 거의 토양화된 상태이다.

부안단면의 서쪽에는 부안군 주산면 주산(231m)에서 발원한 주상천이 북류하고 있다. 1917년 일제시대

에 제작된 지형도에 의하면, 주상천은 부안군 하서면 독리 부근에서 서해로 유입하였으나, 소위 계화도 간척사업(동진강 간척사업)으로 인해 현재 계화간척지의 남쪽을 관통하여 하서면 의복리에서 서해로 유입한다. 동쪽으로는 고창군 신림면 매봉재에서 발원한 고부천이 북류 또는 북동류하여 부안군 동진면 장동리 부근에서 동진강에 합류한 후 서해로 유입한다.

이들 하천을 따라서 넓은 충적평야가 형성되어 있고, 주상천과 고부천, 동진강의 하구부에는 점토질 실트 간석지(tidal flat)가 넓게 분포한다(조화룡, 1985).

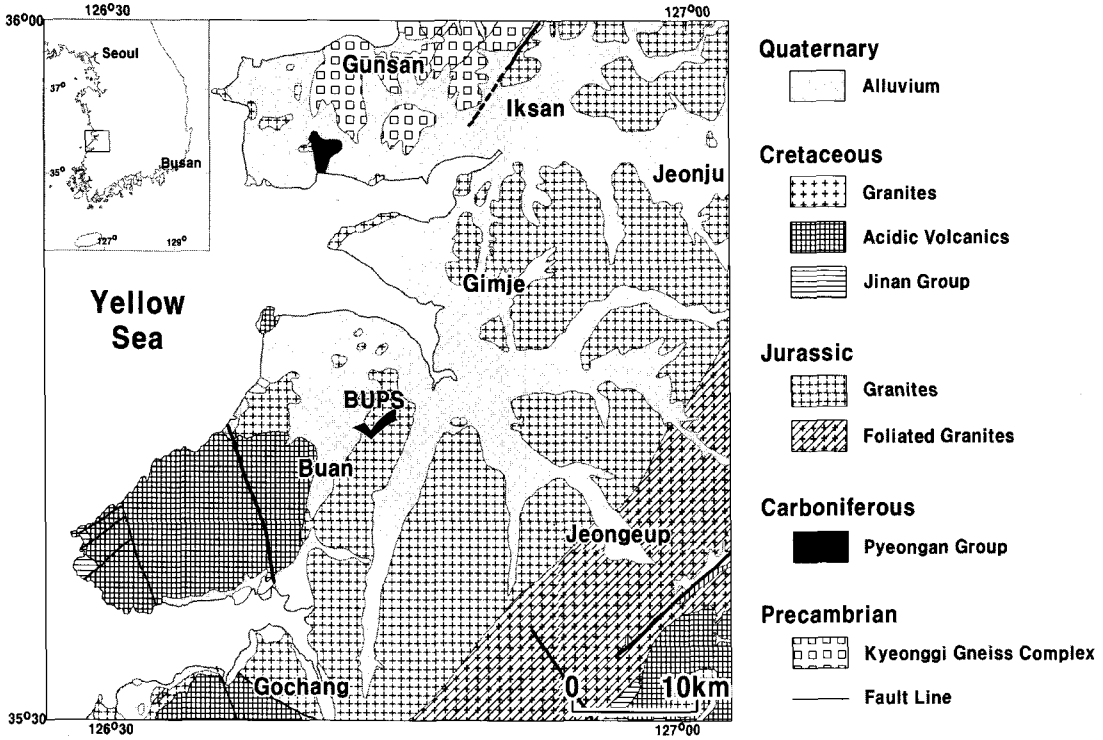


그림 2. 부안단면 주변의 지질

이 간석지는 간척사업으로 인해 현재 논으로 이용되고 있다. 부안단면이 위치한 부안군 일부지역과 부안군 동쪽에 위치한 정읍시에는 하천 주변부에 해발고도 100m 이하의 저기복 구릉지가 주로 분포한다. 이와는 대조적으로 부안군 서쪽의 변산반도 지역에는 해발고도 500m 이상인 산지가 나타난다. 이러한 지형경관의 차이는 기반암 분포에 기인한다. 저기복의 구릉지는 대부분 중생대 주라기 대보관입암의 화강암류로서, 상대적으로 풍화, 침식에 약하여 해발고도가 낮고 사면 경사가 완만하지만, 변산반도 일대는 중생대 백악기의 화산암류로 이루어져 있어, 높은 산지와 협곡이 분포한다. 중생대 주라기 관입암인 대보화강암류는 부안지역 뿐만 아니라, 김제시와 정읍시 일부, 익산시 일부 지역에 분포하며 호남평야의 기저를 이루고 있으며 넓은 충적평야와 함께 저기복의 구릉지 경관을 만들고 있다(한국자원연구소, 1997; 그림 2).

3. 연구 방법

리스층의 시료는 5cm 간격으로 채취되었으며(그림 3), 채취된 시료의 기초적인 토양 특성을 파악하기 위해, pH, 산화환원전위(ORP, Oxidation Reduction Potential), 수분 함량, 토양 경도, 유기물 함량을 측정하였다. 세립층의 자기적 특성을 확인하기 위해 야외 조사시 대자율을 측정하였으며, 또한 풍화 특성과 기원지를 확인하기 위해 주원소(major element)와 희토류(rare earth element, REE) 분석을 실시하였다.

pH는 1:5의 비율로 완전 건조된 토양 시료와 증성수를 혼합시킨 후 충분히 휘저어서 토양과 증성수가 섞이도록 한 후, Barnant社의 Barnant 20 Digital pH/mV/ORP meter를 이용하여 측정하였다. pH와 함께 산화환원전위도 pH meter의 모드를 변경시켜 함께 측정하였다. 수분 함량은 채취된 습윤 시료 100g을

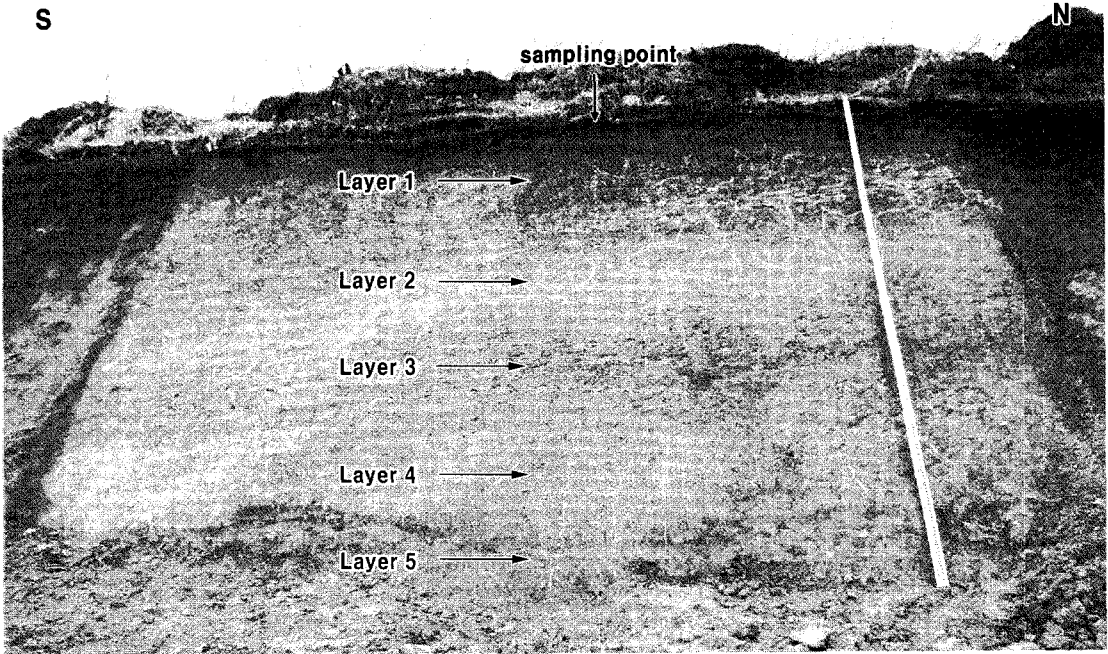


그림 3. 부안단면 퇴적상

100℃에서 24시간 이상 완전 건조시켜 무게 변화를 측정하는 방식을 이용하였다.

퇴적층의 단단한 정도를 파악하기 위해 Daiki社의 Hardness Tester DIK-5553을 이용하여, 퇴적층의 경도를 측정한 후 환산표를 이용하여 kPa(킬로 파스칼, 1kPa=1,000N/m²) 단위로 환산하여 도시하였다. Hardness Tester의 측정 범위는 3.92~1,948,572kPa이다.

유기물 함량은 작열감량법(Loss Of Ignition)을 이용하였다. 채취된 시료를 100℃에서 완전 건조시킨 후, 건조된 시료 50g을 디지털 전기로를 이용하여 550℃에서 4시간 동안 태워 무게 변화를 측정하는 방법을 이용하여 10cm 간격으로 유기물 함량을 측정하였다.

토색은 수분 함량에 따라 크게 달라질 수 있기 때문에 건조 상태(dry), 습윤 상태(wet)와 야외(field) 등 조건을 달리하여 각각 측정하였다. 건조 상태의 토색은 채취된 시료를 실내에서 완전 건조시킨 상태에서 그리고 습윤 상태의 토색은 채취된 시료를 물로 포화시킨 상태에서 각각 먼셀(Munsell) 색 체계 토색칩을 이용하

여 측정하였다. 측정된 토색은 한국디자인진흥원(<http://www.designdb.com>)이 고안한 “디지털색채팔레트”를 이용하여 CMYK 색체계로 변환하여 토색의 변화를 정량화 시켰다. 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 K 값의 유효성을 검토하였다. K 값은 최소 0, 최대 90이며, K 값이 클수록 어두워진다.

대자율(Magnetic Susceptibility, MS) 측정은 ZH instruments社의 휴대용 대자율 측정기인 SM-30을 이용하여 야외에서 5cm 간격으로 측정하였다. 오차를 최소화하기 위해 동일 지점에서 총 3번 측정하여 평균값으로 대자율을 표현하였다.

주원소 분석은 서울대학교 기초과학교육연구 공동기기원에서 XRF(X-Ray Fluorescence; Shimadzu XRF-1700 Spectrometer)에 의해 상대적인 질량비(wt%)를 산출하였다. 분석 결과를 기초로 Nesbitt and Young(1984, 1989)의 A-CN-K 또는 A-CN-K-FM 다이

어그랩에 나타내어, 부안단면의 풍화특성 및 기원지를 확인하였다. 희토류 원소는 서울대학교 기초과학교육 연구 공동기원에서 ICP-MS(Induced Coupled Plasma-Mass Spectrometer, 유도결합 플라즈마 질량 분석기) 방식을 이용하여, 총 14개의 희토류 원소(La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu)의 함량(ppm)을 분석하였으며, 주변 기반암 및 하천퇴적물(권종택 등, 1999), 중국 황토고원의 자료(Gallet *et al.*, 1996; Jahn *et al.*, 2001)와 비교, 검토하여 부안지역 세립층 기원지에 대해 고찰하였으며, 표준화는 Leedey 운석(Masuda *et al.*, 1973; Masuda, 1975)을 이용하였다.

4. 분석 결과

1) 노두 기술

부안단면에서 지표에 노출된 토양층 두께는 약 280cm이다. 주변에서 확인된 기반암의 경사로 보아 시료채취 지점에서 기반암은 지표 아래로 약간 더 연속될 것으로 추측된다. 시료를 채취한 토양층의 두께는 3m 내외이며 상부에서 하부로 표층(교란층), 실트층 그리고 풍화 기반암으로 이루어져 있다. 노두의 전체적인 퇴적상, 토색, soil crack과 같은 육안 관찰과 대자율 변화를 통해 기반암을 피복하고 있는 실트층을 총 5개의 층준으로 구분하였다. 실트층은 상부에서 하부로, Layer 1, Layer 2, Layer 3, Layer 4, Layer 5로 명명되었다(그림 3, 4). 시료 채취는 2005년 2월 말에 행해졌으며, 2005년 5월 답사 당시, 부안군 공설운동장의 주차장 건설로 인해 조사 단면은 모두 파괴된 상태이나, 인근에서 유사한 구조의 퇴적층을 확인할 수 있다.

표층의 두께는 약 25cm로, 겨울철임에도 불구하고 수분을 많이 포함하며, 토색은 암적갈색(5YR 3/4)이다. 이 층준은 오랫동안 경작으로 인하여 심하게 교란되었다.

표층 아래에 있는 Layer 1은 두께가 약 55cm이며,

토색은 적색(10R 4/8)이다. 상부에는 수직의 soil crack이 발달해 있지만 Layer 2와의 경계부에는 수평으로 나타나며, crack의 폭은 약 1cm이다. Layer 2는 두께가 약 60cm이고, 토색은 밝은 황갈색(10YR 6/8)으로 수직의 soil crack이 고르게 발달하며 crack의 폭은 약 1cm이다. 부안단면에서 가장 두꺼운 층인 Layer 3은 밝은 적갈색(5YR 5/6) 내지 적갈색(5YR 4/8)이며, soil crack은 발견되지만 다른 층에 비해 밀도가 낮으며 불연속적이다. Layer 4는 두께가 약 35cm이며, 토색은 Layer 3과 유사하나, 대자율 값에서 차이를 보인다. soil crack은 Layer 2와 유사한 분포 양상을 보이거나 폭은 더 얇다. 최하부 층인 Layer 5는 두께가 25cm 이상일 것으로 예상되며, 토색은 Layer 3, Layer 4와 유사하다. soil crack이 발견되며, 상부층인 Layer 4와 연결되어 있으며 폭은 약간 더 두껍다.

부안단면의 대자율 값은 층준 사이에 뚜렷한 차이를 보이고 있다(그림 4). 같은 층준 내부에서 대자율 값의 미변동은 미약하다. 대자율값이 가장 높은 층준은 Layer 3으로 $64.6 \sim 135 \times 10^{-5}$ SI unit를 보이며, 가장 낮은 측정치는 Layer 2에서 $37.5 \sim 64.6 \times 10^{-5}$ SI unit이다. Layer 1은 $37.5 \sim 99.3 \times 10^{-5}$ SI unit, Layer 4는 $55.8 \sim 101 \times 10^{-5}$ SI unit, Layer 5는 $55.7 \sim 117 \times 10^{-5}$ SI unit의 대자율 값을 각각 보인다.

2) 물리적 특성

pH는 6.48~6.98의 값을 보여 중성 내지 약한 산성이다. 토층 간에 거의 차이가 없으나, 깊이 약 100cm 이하에서는 약간 더 중성을 띤다. 최근까지 경작지로 활용되었던 표층에서는 5.87로 하부층 보다 산성을 보였다. ORP(산화환원전위)는 21~63의 값을 보이며, pH와 마찬가지로 층간에 큰 차이를 보이지는 않으나, Layer 2의 하부에서 크게 감소하여, 이후 깊이에 따라 약간 증가한다. 수분 함량은 9.47~20.84%의 값을 보이며, 표층에서 하부로 갈수록 증가하는 경향이 있으나, Layer 1과 Layer 2 부근에서 최대값을 보인 이후, 감소하여 Layer 2와 Layer 3의 경계 부근에서 최소값을 보이고, 다시 약간 증가한다. 토양경도는 전체적으로 531~4,720kPa이며, Layer 3에서 3,000~4,700kPa로

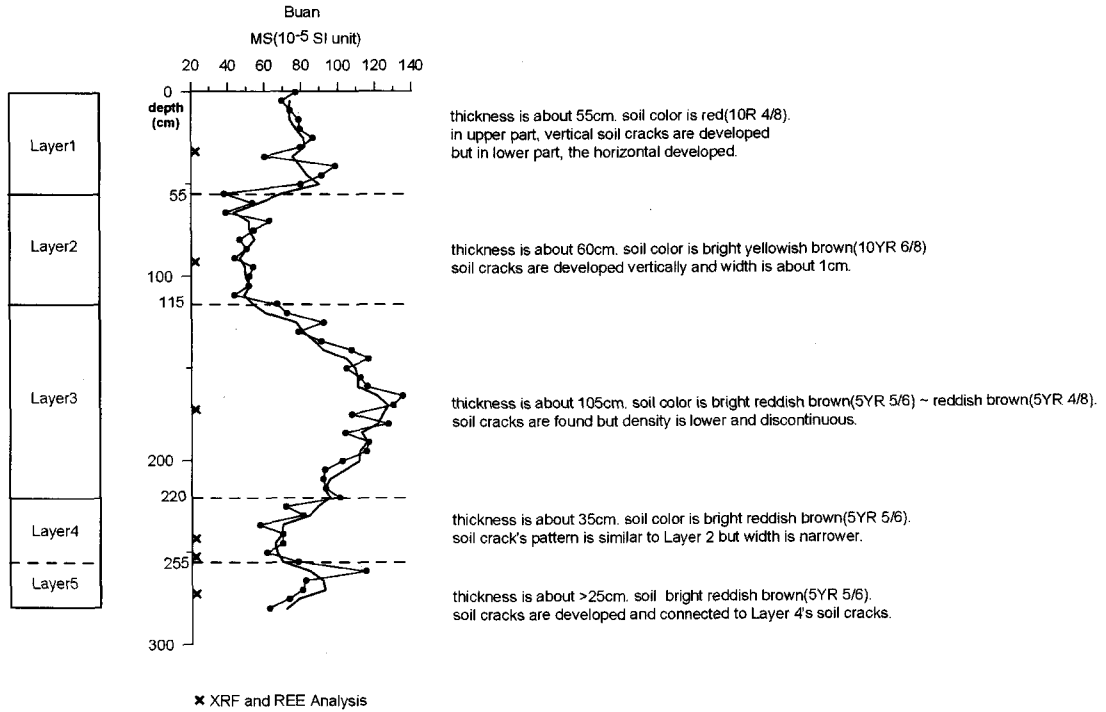


그림 4. 부안단면의 대자율(MS) 변화와 층서 기술
(굵은 선은 세 지점 이동평균임)

최대치를 나타내었다. 최소치는 표층과 세립층의 경계 부에서 나타난다(530 kPa). 토양 경도는 수분 함량과 대체로 반비례 관계에 있다. 표층의 토층 강도가 약한 것은 수분이 많이 포함된 것과 관계있는 것으로 판단 된다. 부안단면의 유기물 함량은 2.88~4.70%이며, Layer 2에서 2.88~3.88%로 단면내에서 최소치를 보이고, 이 층과 대자율 변화 경향이 유사한 Layer 4에서는 부안단면 최대치인 4.70%를 보이기도 한다. 유기물 함량의 변화는 Layer 4와 5의 일부 지점을 제외하고는 전체적으로 대자율과 조화된다(그림 5(d)).

건조 상태(Dry K)의 토색은 0~2의 값을 미변동할 뿐, 각 층준 사이에 큰 차이를 보이지 않는다. 습윤 상태(Wet K)의 토색은 Layer 1에서는 변동폭이 크지만 Layer 2에서는 13~17의 비교적 낮은 값에서만 미변동 하고, 이후 Layer 3에서는 K값이 크게 증가하여 대자율과 유사한 경향을 보인다. 그러나 이후 Layer 3의 하부에서부터는 일정한 양상을 보이지 않고 변동폭이 크

다. 야외에서 토색을 측정할 경우, 세밀한 토색 측정에 어려움이 있지만, Layer 1, 2, 3에서는 대자율 값과 증감 경향이 유사하다. Layer 3 하부부터 단면의 최하부까지는 습윤 상태와 야외 상태 모두에서 토색의 변화가 상부층과 달리 변동폭이 크거나 동일한 토색으로 측정되었다. 즉, 대자율 값에서는 뚜렷하게 차이를 보여 특성이 다른 층으로 구분하였으나, 야외 관찰시 육안으로 층간의 토색 차이를 뚜렷이 식별하기란 매우 어렵다. 따라서 실내에서 관찰한 토색도 다소 모호했던 것으로 판단된다(그림 6).

3) 화학적 특성

부안단면의 주원소 함량을 알아보기 위해 XRF 분석을 실시하였다. 분석지점은 Layer 1에서 한 지점(BUPS 30), Layer 2에서 한 지점(BUPS 90), Layer 3에서 한 지점(BUPS 170), Layer 4에서 두 지점(Layer 240, 250)

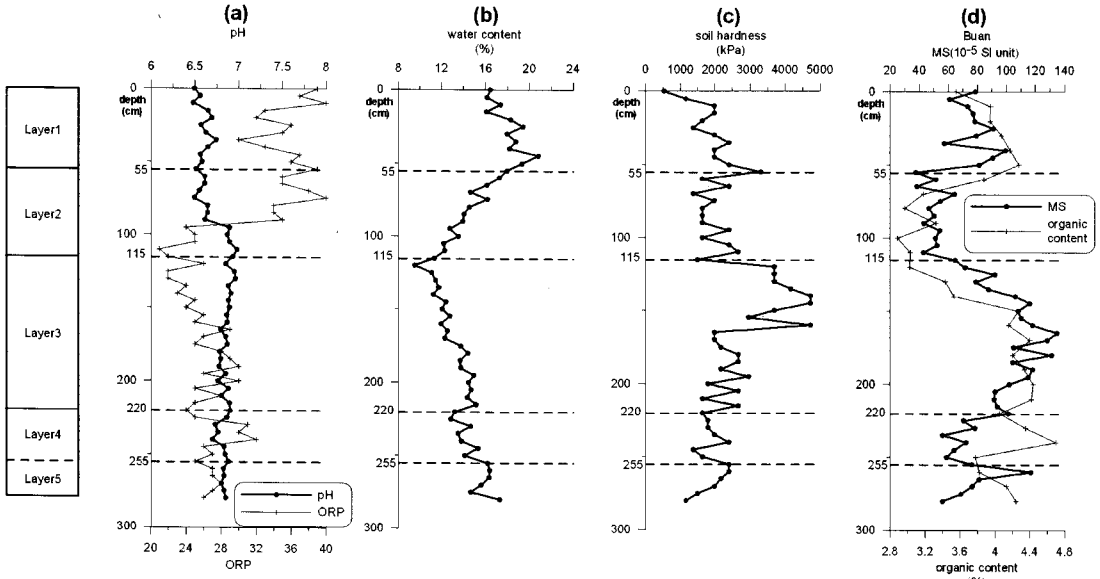


그림 5. 부안단면의 물리적 특성 변화
MS(대자율); (a) pH와 ORP; (b) 수분함량(%); (c) 토양경도(kPa); (d) 유기물 함량(%)

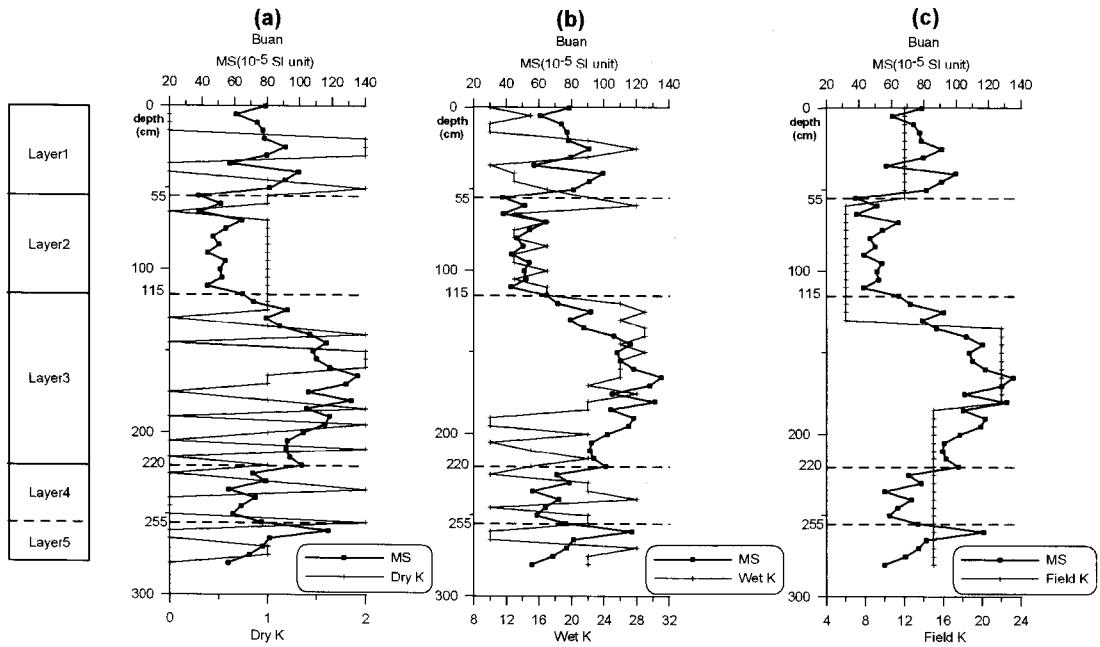


그림 6. 부안단면의 대자율(MS)과 토색 변화
(a) 건조(Dry K); (b) 습윤(Wet K); (c) 야외(Field K)

표 1. 부안단면의 주원소(wt%)와 희토류 원소(ppm) 함량

Stratigraphy	Layer 1	Layer 2	Layer 3	Layer 4		Layer 5	Weathered Bedrock
Sample name	BUPS 30	BUPS 90	BUPS 170	BUPS 240	BUPS 250	BUPS 270	BUPS WR
SiO ₂	69.81	73.45	69.20	68.79	69.15	66.84	47.92
Al ₂ O ₃	14.56	12.91	15.23	15.62	15.53	16.66	33.01
TiO ₂	1.05	1.12	1.05	1.05	1.03	1.04	0.46
Fe ₂ O ₃	5.11	3.88	5.04	4.97	5.02	5.62	4.67
MgO	0.73	0.71	0.57	0.54	0.56	0.51	0.50
CaO	0.18	0.19	0.22	0.22	0.20	0.23	0.27
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	2.30	2.39	2.28	2.35	2.39	2.40	0.43
MnO	0.07	0.05	0.06	0.03	0.05	0.04	0.02
P ₂ O ₅	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.03	0.05
LOI	5.65	4.50	6.14	5.91	6.28	6.46	11.94
total	99.49	99.24	99.84	99.53	100.26	99.83	99.26
La	57.16	67.29	51.26	50.64	52.62	53.71	61.70
Ce	112.75	104.18	107.35	102.15	103.71	89.80	132.71
Pr	13.28	15.61	11.53	11.26	11.71	11.94	12.92
Nd	48.73	57.31	41.71	40.92	42.60	43.25	46.76
Pm	-	-	-	-	-	-	-
Sm	8.82	10.08	7.52	7.22	7.38	7.67	7.37
Eu	1.79	2.05	1.52	1.51	1.56	1.64	1.70
Gd	8.53	9.62	7.07	6.75	7.07	7.42	6.30
Tb	1.13	1.26	0.93	0.89	0.88	0.90	0.63
Dy	5.38	5.92	4.56	4.16	4.08	4.11	2.15
Ho	1.09	1.18	0.91	0.81	0.78	0.79	0.36
Er	3.21	3.50	2.68	2.41	2.31	2.38	1.09
Tm	0.44	0.48	0.38	0.33	0.33	0.33	0.13
Yb	2.91	3.09	2.47	2.21	2.16	2.19	0.82
Lu	0.45	0.49	0.38	0.34	0.33	0.34	0.12
Ce/Ce*	0.95	0.79	1.00	0.97	0.96	0.84	1.03
Eu/Eu*	0.63	0.63	0.63	0.66	0.66	0.66	0.75
(La/Yb) _N	13.02	14.17	13.76	15.14	16.11	15.96	51.96

그리고 Layer 5에서 한 지점(Layer 270)이며, 비교를 위해 화강암 풍화층(BUPS WR)에서도 하나의 시료를 채취하여 분석하였다(표 1).

분석 결과, 전 시료에서 Na₂O가 검출되지 않았으며, CaO 역시 무게비 0.2% 내외의 소량만이 검출되었다.

화강암 풍화층을 제외한 모든 시료에서 SiO₂의 무게비는 약 70%였다. 이와는 대조적으로 화강암 풍화층에서는 SiO₂의 무게비는 약 48%로서, 상부의 실트층에 비해 적게 검출되었다. 이 화강암 풍화층은 육안 관찰로도 석영 입자가 거의 발견되지 않았다. 부안단면 상

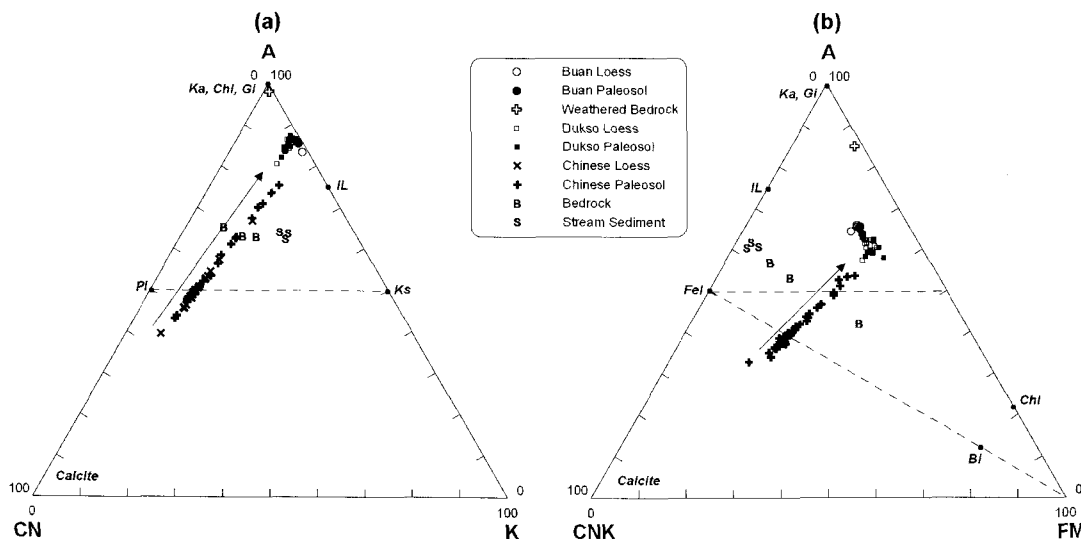


그림 7. 부안단면의 A-CN-K 또는 A-CN-K-FM 다이어그램(Nesbitt and Young, 1984, 1989)
 (Sm=smectite; Pl=plagioclase; IL=illite; Ks=K-feldspar; Ka=kaolinite; Gi=gibbsite; Fe=feldspar; Chl=chlorite; Bi=Biotite;
 $A=Al_2O_3$; $CN=CaO+Na_2O$; $K=K_2O$; $CNK=CaO+Na_2O+K_2O$; $FM=Fe_2O_3+MgO$)

자료 : 주변 기반암 및 하천퇴적물(권종택 등, 1999), 덕소(Shin, 2003), 중국(Gallet *et al.*, 1996; Jahn *et al.*, 2001)

부 실트층에서 CaO가 매우 적게 검출되고, Na₂O가 확인되지 않은 것은 높은 강수량으로 인한 활발한 화학적 풍화작용으로 풍화작용에 약한 원소들이 모두 제거되었기 때문인 것으로 생각된다. 이와 같은 현상은 김제, 정읍지역(박동원, 1985) 그리고 현재 우리나라와 유사한 기후 특성을 보이는 중국 Changjiang 하구부(Yang *et al.*, 2004)에서도 보고되었다.

그림 7은 부안단면의 XRF 분석결과를 주변 기반암 및 하천퇴적물(권종택 등, 1999), 덕소단면(Shin, 2003), 그리고 중국 황토고원(Gallet *et al.*, 1996; Jahn *et al.*, 2001) 뤼스-고토양과 함께 Nesbitt and Young(1984, 1989)의 A-CN-K 또는 A-CN-K-FM 다이어그램으로 표현한 것이다. 이들 다이어그램에서 중국 황토고원과 한국의 부안, 덕소(Shin, 2003) 시료가 일정한 방향성을 보이고 있다. 즉 중국 황토고원 뤼스-고토양 시료의 연속선상에 덕소단면과 함께 부안단면의 시료가 분포하고, 방향성은 방해석(calcite)에서 점토광물인 일라이트(illite)와 고령토(kaolinite), 녹니석(chlorite), 깁사이트(gibbsite)의 중간 지점으로 향한다. 그러나 화강암 풍화층은 그림 7(a)에서는 A의 정점

에 위치하고 있으며, (b)에서는 부안단면과 덕소단면의 시료에 비해 A의 정점에 가깝게 위치하고 있어, 다른 시료와 확연히 구분된다. 또한 주변 기반암 및 하천 퇴적물 역시 다이어그램 상에서 부안단면의 시료와는 동떨어져 있다. 따라서 부안단면의 실트층을 기반암인 화강암 및 이의 풍화산물로부터 공급된 퇴적물로 보는 것은 무리가 있다. 또한 주변 기반암 및 하천퇴적물과도 다이어그램상에서 떨어져 있어, 이 일대의 기반암과 그 풍화물결과도 관련이 없는 것으로 생각된다. 오히려 이 지역의 주변 기반암 및 하천퇴적물보다는 지리적으로 멀리 떨어진 덕소 지역의 뤼스, 고토양 시료와 유사한 화학조성을 보이고 있으며, 덕소단면과 함께 중국 황토고원과 일정한 방향성 또는 경향성을 보이고 있다.

그림 8에는 Leedey 운석(Masuda *et al.*, 1973; Masuda, 1975)으로 표준화한 부안단면의 시료(표 1)와 함께 주변 기반암 및 하천퇴적물(권종택 등, 1999), 중국 황토고원의 뤼스-고토양(Gallet *et al.*, 1996; Jahn *et al.*, 2001)과 UCC(Upper Continental Crust; Taylor and McLennan, 1985)를 함께 도시하였다.

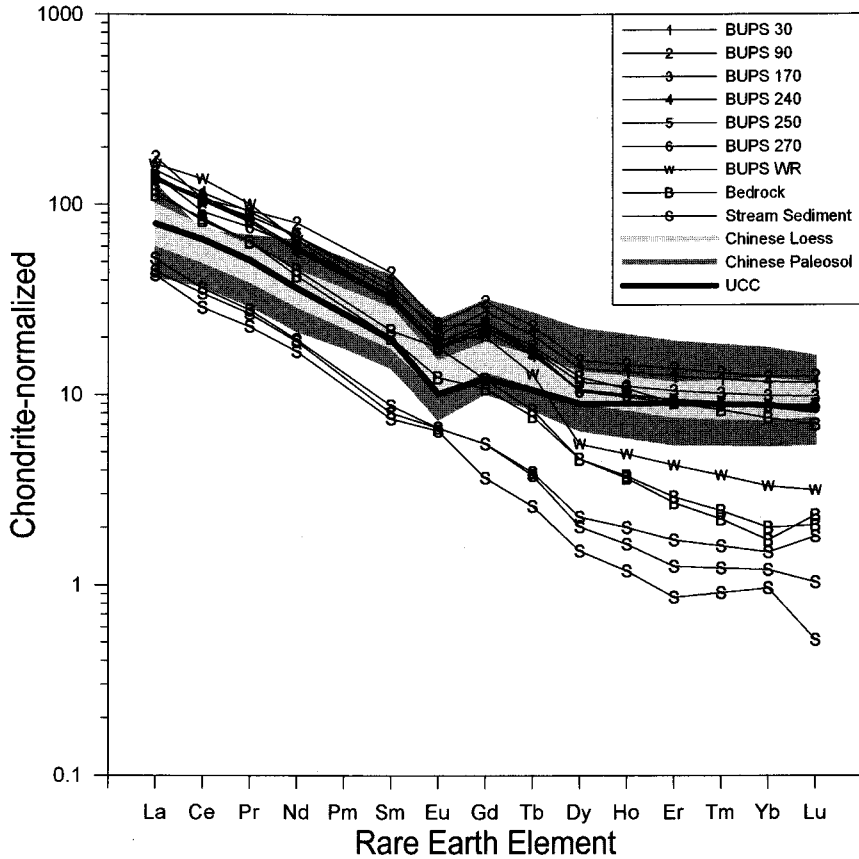


그림 8. 부안단면의 희토류 분포

자료 : 주변 기반암 및 하천퇴적물(권중택 등, 1999), 중국(Gallet *et al.*, 1996; Jahn *et al.*, 2001), UCC(Upper Continental Crust, Taylor and McLennan, 1985)

부안단면의 희토류 분포를 살펴보면, 실트층의 시료 모두 경희토류(LREE)가 부화(enriched)되어 있으며 $(La/Eu)_N = 7.32 \sim 7.72$, 중희토류(HREE)는 편평한 분포 경향을 보인다($(Tb/Lu)_N = 1.83 \sim 1.93$). 실트층 시료는 중간정도 음의 Eu 이상(anomalies, $Eu/Eu^* = 0.63 \sim 0.66$)을 보이는 반면, Ce 이상은 약한 음의 이상을 보이거나 발견되지 않는다($Ce/Ce^* = 0.79 \sim 1.00$). 또한 중국 황토고원과 비교해 보면 경희토류 중 La~Pr은 부안단면이 부화되어 있지만, 다른 경희토류와 중희토류는 중국 시료의 범위 안에 포함되며, 전체적으로 중국 황토고원의 퇴스-고토양 연속층과 희토류 분포 경향이 매우 유사하다. 또한 부안단면 세립층의 희토류 원소는 일부 중희토류를 제외하고는 UCC보

다 부화되어 있다.

부안단면 시료와 화강암 풍화층 및 주변 기반암 및 하천퇴적물 사이의 차이를 살펴보면, 우선 기반암 풍화층(BUPS WR)은 현저한 중희토류의 결핍을 나타내며($(La/Yb)_N = 51.96$, $(Tb/Lu)_N = 4.10$), 이러한 대보화강암의 중희토류의 결핍은 이미 다른 지역에서도 보고되었다(이승구 등, 2005). 따라서 부안단면의 퇴스-고토양 연속층은 기반암 또는 기반암의 풍화산물과는 관련성이 없는 것으로 확인되었다. 또한 주변 기반암은 Eu 이상과 $(La/Yb)_N$ 이 각각 $0.78 \sim 1.05$, $43.10 \sim 64.92$ 이며, 하천 퇴적물은 $0.93 \sim 1.16$, $30.02 \sim 43.10$ 로, 현저한 중희토류의 결핍을 보이고 있으며, 전체적인 희토류 원소 분포 역시 부안단면 세립층의 분포와는 전혀

다른 양상을 보이고 있어, 주변 기반암 및 하천퇴적물 과도 관련이 없는 것으로 확인되었다.

부안단면 세립층의 시료들은 $(La/Yb)_N = 13.02 \sim 16.11$, $Eu/Eu^* = 0.63 \sim 0.66$ 로, $UCC((La/Yb)_N \approx 10, Eu/Eu^* \approx 0.65)$ 와 유사한 값을 보이고 있어, 부안단면 역시 다단계의 퇴적순환을 겪은 물질에서 기원했을 것으로 판단된다(Gallet *et al.*, 1998). 그러나 Ce 이상은 $Ce/Ce^* = 0.79 \sim 1.00$ 으로 다양한 범위의 값을 나타내고 있다. 희토류 원소 중 Eu 이상(Eu/Eu^* 로 표현)과 $(La/Yb)_N$ 의 비율은 퇴적물의 기원지를 밝혀주는 유용한 방법(Talyor and McLennan, 1985; Roddaz, *et al.*, 2007)으로 풍화작용이나 속성작용 등에 의해서도 큰 영향을 받지 않는다. 따라서 희토류 원소에서 확인된 부안단면과 화강암 풍화층 그리고 주변 기반암 및 하천퇴적물의 특성은 서로 다르며, 이는 부안단면 세립층의 기원지가 인근에 분포하는 기반암 풍화산물에서 기원한 것이 아님을 의미한다.

5. 토의

1) 뢰스로서의 가능성과 그 기원지

부안단면은 시어산(104m)과 승암산(84m)에서 발원한 소하천의 상류부에 위치한다. 이 소하천은 주산(232m)에서 발원한 주상천에 합류하여 서해로 유입한다. 따라서 짧은 유로와 하천의 규모로 볼 때, 부안단면은 하천의 범람에 의해 형성된 퇴적층은 아니다.

또한 주상천의 유역분지는 서해를 향해 열려 있는 형태이며, 이에 유입하는 소하천 역시 주상천을 향해 열려 있고, 그 배후에는 시어산과 승암산으로 연속되는 낮은 구릉지에 의해 가로 막혀 있어, 호소 환경에서 형성되었을 가능성도 희박하다. 아울러 부안단면 내에서 층리와 글레이화(gleyzation) 등의 호소 퇴적물의 특징을 보이는 퇴적구조는 발견되지 않는다(김영래, 2007). 따라서 부안단면을 호소 퇴적물이라고 볼 수는 없다.

한편, 서해와 인접해 있고, 과거 해수의 유입이 가능

하다는 점 그리고 세립층이라는 점에서 부안단면의 실트층을 고간석지 퇴적층일 가능성을 생각할 수도 있다. 일반적으로 간석지 퇴적층은 수평층리가 발달되어 있고, 전체적으로 등질적인 퇴적층을 이루고 있으므로, 토색 및 대자율 변화가 나타나지 않으며, 과거의 저서 또는 지중 생물의 활동으로 인한 소규모의 서관 구조(burrow; 임현수 등, 2004)가 확인된다.

그러나 부안단면은 주변 기반암 및 하천퇴적물과 이질적인 화학조성을 보이고 있어, 고간석지 퇴적층의 가능성 역시 희박하다. 따라서 부안단면의 실트층 퇴적상의 특징으로 볼 때 바람에 의해 운반된 세립의 물질로 형성된 풍성층, 즉 뢰스일 가능성이 매우 높다.

우리나라에서 보고된 뢰스의 기원지에 대해서는 중국 황토고원이라는 주장과 황해나 인근 범람원 등에서 기원한다는 주장이 맞서고 있다. 부안단면의 뢰스층도 서해의 간석지나 인근의 범람원 물질이 건조한 시기에 강한 바람에 의해 운반되었을 가능성을 검토하여야 한다. 연구지역의 인근 범람원은 주상천의 충적평야로, 퇴적물은 주변의 화강암 구릉지와 변산반도의 화산암 계열의 산지로부터 공급된다. 또한 주변 간석지는 해수 순환에 의해 주변 물질과 혼합이 이루어지지만, 1차적으로 인근 육지에서 풍화, 침식에 의해 운반된 퇴적물에 의해 형성되므로, 부안단면에 영향을 줄 수 있는 하천은 고부천과 동진강을 꼽을 수 있다. 그러나 화학 조성 특히 희토류 원소에서 부안단면과 주변 기반암 및 하천퇴적물은 전혀 다른 조성을 보이고 있으므로, 부안단면의 뢰스층은 인근 간석지 또는 범람원 기원의 퇴적층으로 볼 수 없다.

연구지역 퇴적물의 화학조성은 주변 기반암 및 하천 퇴적물보다는 덕소의 퇴적물, 중국 황토고원의 물질과 유사한 조성을 보이고 있어서, 근거리 이동에 의해 형성된 뢰스층이 아니라, 중국 황토고원과 그 주변 지역에서 기원한 물질의 장거리 이동에 의해 형성된 뢰스층으로 생각된다. 빙기에 발달한 강한 계절풍에 의해 운반, 퇴적된 뢰스층이 간빙기에 토양형성작용을 받은 결과 뢰스-고토양의 반복적이고 연속적인 토양층서 형성되었으며, 제4기 플라이스토세의 환경변화를 반영하는 각 시기의 특징적인 현상들이 토색, 대자율, 유기물 함량, soil crack에서 확인되었다.

A-CN-K 또는 A-CN-K-FM 다이어그램에서 나타난 연구지역 퇴적물의 주원소 조성은 부안단면의 세립층이 중국 황토고원과 그 주변지역에서 기원한 물질에 의해 형성되었다 하더라도, 퇴적 이후 한반도 환경에서 상대적으로 강한 화학적 풍화작용을 받아 변화했음을 의미한다. 즉 중국 황토고원보다는 많은 강수량과 높은 기온에 의해, 풍화에 약한 양이온이 쉽게 제거되어 낮은 함량을 보인다. 이러한 현상은 부안지역 뿐만 아니라 덕소(Shin, 2003), 대천지역(윤순옥 등, 2007)에서도 유사하게 발견되었으므로 한국 퇴스-고토양층의 일반적인 토양특성을 잘 반영한다고 판단된다.

2) 부안 퇴스-고토양 연속층의 특성

간빙기 동안 강수량이 전반적으로 증가하게 되면 퇴스 물질의 기원지와 퇴적지의 식생피복은 양호해진다. 따라서 퇴적률은 감소하게 되고 토양형성작용은 활발해져, 퇴적층에서 극세립 자성입자의 비율이 높아지게 되어 대자율이 증가하게 된다. 이와는 대조적으로, 빙기 동안에는 기후가 한랭, 건조해져서 식생 피복이 불량하고, 풍식으로 많은 풍화물질이 생성, 운반되어 풍성층의 퇴적률이 증가하며, 토양형성작용은 약화된다. 따라서 퇴스 퇴적물이 많이 유입되므로 자성을 띠는 입자의 비율은 감소하게 되어 대자율은 낮아지게 된다. 이러한 특징으로 인해 대자율은 고기후 대리자로 간주되기도 한다(An *et al.*, 1991).

대자율은 토양 내에 포함되어 있는 극초세립자의 자철석(magnetite, Fe_3O_4)과 maghemite($\gamma-Fe_2O_3$)와 같은 페리자성체의 함량에 1차적으로 영향을 받는다. 유사한 산화철인 적철석(hematite, $\alpha-Fe_2O_3$)은 강자성으로, 퇴스-고토양 연속층에서 토양색을 붉고, 어둡게 하는 역할을 한다(Ji *et al.*, 2001; Chen *et al.*, 2002). 이외에 침철석(goethite, $\alpha-FeO(OH)$)은 퇴스층에서 토색을 노란색으로 보이게 한다(Scheinost and Schwertmann, 1999). Ji *et al.*(2001), Maher(1998), Chen *et al.*(2002)에 따르면, 자철석, maghemite 그리고 적철석은 산화와 환원의 조건이 반복되는 기후 조건에서 잘 생성된다. 강수량에 따라 이들의 생성조건은 약간의 차이를 보인다. 적철석의 경우 기온은 높으나 강수량이 그리

많지 않은 환경(약 350mm/yr 이하)에서 보다 잘 형성되며, 자철석과 maghemite는 보다 습윤한 조건에서 잘 형성된다. 예를 들어, 건조기후에서 습윤기후로의 전환기에 강수량이 증가함에 따라 먼저 함량의 증가를 보이는 것은 적철석이다. 따라서 이 시기에 대자율은 큰 변화를 보이지 않는다. 이후 강수량이 계속 증가하면, 자철석이 증가하기 시작하여 대자율도 같이 증가하게 되며, 적철석은 감소하게 된다. 계속 강수량이 증가하게 되면(1,500~2,000mm/yr 이상), 환원조건이 감소하게 되어 자철석의 생성도 감소하여 대자율도 감소하게 된다. 따라서 부안단면은 육안관찰과 토색 변화 그리고 유기물 함량과 대자율 변화에 기초하여, 상부로부터, Layer 1, Layer 2, Layer 3, Layer 4, Layer 5로 구분되며, 대자율값이 뚜렷하게 낮아지는 Layer 2와 Layer 4는 퇴스층으로, 크게 높은 값을 보이는 Layer 1, Layer 3, Layer 5는 고토양층에 해당하는 것으로 볼 수 있다.

이와 같은 사실을 통하여, 한국의 퇴스-고토양 연속층에서 대자율은 중국 황토고원에서와 마찬가지로 의미있는 고기후 대리자로서 대단히 유용하지만, 한국과 같은 습윤기후에 적용시켜 고기후 변화를 해석하려는 경우에는 주의를 기울여야 할 것이다. 부안단면에서 대자율 변화는 같은 층에서 미변동이 인정되지만, 퇴스-고토양 간에 뚜렷한 차이를 보인다.

토색의 변화 특히 습윤 상태에서 밝고 어두운 정도를 나타내는 K 값이 대자율과 유사한 변화를 보인다. 부안단면에서 건조 상태(Dry K)의 경우 대자율이 증가할수록 K 값도 증가하는 정(正)의 비례 관계를 보이며, 습윤 상태(Wet K) 또는 야외(Field K)에서 측정된 토색 역시 대자율과 조화된다. 그러나 그 상관관계는 습윤 상태보다 야외상태에서 더 높게 나타났다.

중국 황토고원의 백색도(whiteness) 연구(Chen *et al.*, 2002)에서는 대자율과 백색도가 $R^2=0.87$ 로 나타나 높은 상관관계를 보였다. 그러나 본 연구에서는 습윤 상태(Wet K)의 경우 0.17로 매우 낮았다. 이러한 차이는 Munsell 색 체계의 한계에 기인한 것으로 추정된다. Munsell 색 체계는 인간의 인지에 의해 색을 표현하는 것으로 토색측에 표현된 색의 종류는 총 389개이다. 이 중 부안단면에서 습윤 상태(Wet)에서는 총 10개

의 색깔만이 표현되었으며, 이를 “디지털색채팔레트”를 이용하여 변환된 K 값은 총 6가지이다. 따라서 부안단면에서 채취, 분석된 총 57개의 시료가 단지 6가지의 색으로만 표현되었으며, 이러한 색 표현의 한계로 인해 상관관계가 매우 낮게 나타난 것으로 판단된다. 아울러 일부 지점에서 대자율과 다른 경향을 보인다 하더라도, 대자율과의 변화 양상은 전체적으로 매우 규칙적이고 유사하다. 따라서 한국 뾰스-고토양 연속층에서 토색의 변화 중 밝고 어두운 정도를 나타내는 변수는 고기후 대리자로서 사용가능할 것으로 판단되나, 먼셀(Munsell) 색체계의 한계점은 보완되어야 할 것이다.

유기물의 함량은 당시의 식생 피복의 정도를 반영하고 있으므로, 대자율과 함께 고기후 대리자로 유용하다. 부안단면에서 분석된 유기물의 함량은 습윤 토색과 유사하게 대자율과 규칙적으로 증감을 반복하고 있는 것으로 나타났다(그림 5). 유기물 함량 역시 일부 지점에서는 대자율과 조화되지 않는 경향을 보이지만 전체 경향성은 매우 닮아 있다. 그러나 정점(peak)이 대자율보다 하부에 위치하고 있다. 퇴적된 뾰스물질은 많은 강수량으로 인한 침투수와 토양내의 수분 등에 의해 이온화 경향이 큰 금속원소를 토양층에서 제거하며, 이와 함께 유기물 성분까지 하부로 이동시킬 수 있다. 이동된 유기물은 일정한 부분에 집적층을 이루고, 일부는 토양층 내에서 빠져 나갈 수도 있을 것이다. 또한 높은 강수량으로 인한 유기 성분의 분해 등도 퇴적층의 유기물 함량에 영향을 미칠 수 있다. 이와 함께 현재의 식생 피복 상태나 토지 이용도 뾰스-고토양 연속층의 유기물 함량에 영향을 미쳤을 것으로 생각된다.

6. 결론

본 연구에서는 부안지역에 나타나는 화강암 피복의 세립층에 대해 물리, 화학적 분석을 실시하여, 이 퇴적층의 특성과 기원지 그리고 퇴적과정을 밝혀, 뾰스 퇴적층으로서의 가능성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 부안단면의 화강암 피복 세립층은 지형적 그리고 퇴적학적으로 유수에 의한 하천 퇴적물, 고간석지 퇴적물 또는 호소 퇴적층이 아닌 바람에 의해 세립의 물질이 운반, 퇴적되어 형성된 뾰스 퇴적층이다.
2. 부안단면은 육안관찰과 토색 변화 그리고 유기물 함량과 대자율 변화에 기초하여, 상부로부터, Layer 1, Layer 2, Layer 3, Layer 4, Layer 5로 구분되며, Layer 2와 Layer 4는 뾰스층에, Layer 1, Layer 3, Layer 5는 고토양층에 해당된다.
3. 부안단면의 풍성층 기원지는 화학조성 분석으로 확인하였다. 즉, 세립층 하부의 화강암 풍화층 그리고 주변 기반암 및 하천퇴적물과 다른 화학 조성을 보였으나, 덕소 지역과 중국 황토고원과 서로 유사한 화학조성을 가지므로 부안단면 세립층은 중국 황토고원 및 그 주변지역에서 기원한 물질에 의해 형성된 것으로 판단된다.
4. 부안단면 뾰스-고토양 연속층이 중국 황토고원과 그 주변지역에서 기원한 물질에 의해 형성되었다 하더라도, 퇴적지의 환경에 맞게 변화되어, 중국 황토고원의 물질과 차이를 보였다. 즉, 한국에서의 많은 강수량 및 높은 기온에 의해 쉽게 제거되는 염기성 양이온이 낮은 함량을 보였으며, 덕소지역에서도 관찰되었다.
5. 대자율 변화는 뾰스-고토양 간에 분명한 차이를 보이고 있어, 고기후 대리자로 유용한 것으로 판단되었다. 연구지역에서도 일반적인 경향과 동일하게 뾰스층에서는 낮게, 고토양층에서는 높게 나타난다.
6. 먼셀(Munsell) 색체계로 측정된 토색을 한국디자인진흥원의 “디지털색채팔레트”를 이용하여 CMYK 색체계로 변환한 후, K 값의 유효성을 검토하였다. 결과, 습윤 토색(Wet K)은 뾰스-고토양간의 차이를 잘 반영하고 있으며, 대자율과도 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. 그러나 일부지점에서는 대자율과는 다른 양상을 보여, 먼셀(Munsell) 색체계에 기초한 토색 표현에 한계가 있는 것으로 확인되었다. 또한, 건조 토색(Dry K)의 경우 변동폭이 작고 야외에서 측정된 토색(Field K)도 야외에서의 측정한계를 보였다.
7. 작열감량방법을 이용하여 뾰스-고토양 연속층에서

유기물 함량을 분석한 결과, 일부 퇴스층(Layer 4)을 제외하면 퇴스층과 고토양층에서는 일반적인 경향과 유사한 것으로 나타났다.

註

$$1) \text{Eu anomalies} = \frac{\text{Eu}}{\text{Eu}^*} = \frac{\text{Eu}_N}{\frac{\text{Sm}_N + \text{Gd}_N}{2}}$$

Eu_N은 운석으로 표준화된 Eu 함량을 의미함.

文獻

권종택 · 지정만 · 장윤희, 1999, “한반도 서해안 변산지역의 연안퇴적물과 육상지질과의 지화학적 상관관계,” 한국자원공학회지, 36, 42-66.

김영래, 2007, “차령 산지 내 소규모 분지에 퇴적된 풍적토 특성 -안성시 일죽면,” 한국지형학회지, 14, 67-81.

박동원, 1985, “김제 · 정읍 일대에 분포하는 퇴스상 적황 색토에 대한 연구,” 지리학, 32, 1-10.

박충선 · 윤순옥, 2005, “퇴스연구를 위한 방법론,” 지리학회지, 33, 36-49

박충선 · 윤순옥 · 황상일, 2007, “한국 퇴스 연구의 성과 및 논의,” 한국지형학회지, 14, 1-15.

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

신재봉 · Toshiro Naruse · 유강민, 2005, “퇴스-고토양 퇴적층을 이용한 홍천강 중류에 발달한 하안단구의 형성시기,” 지질학회지, 41, 323-333.

오경섭 · 김남신, 1994, “전곡리 용암대지 피복물의 형성과 변화과정,” 제4기학회지, 8, 43-68.

윤순옥 · 박충선 · 황상일 · Toshiro Naruse, 2007, “대전지역 퇴스-고토양 연속층의 풍화특성,” 지질학회지, 43, 281-296.

이선복, 2005, “임진강 유역 용암대지의 형성에 대한 신자료,” 한국지형학회지, 12, 29-48.

이승구 · 김통권 · 이진수 · 송윤호, 2005, “우리나라 고온

성 온천수에 함유된 희토류원소의 지구화학적 특징,” 지질학회지, 41, 35-44.

이용일 · 이선복, 2002, “용인시 평창리 구석기유적발굴지 고토양 특성과 이의 고고지질학적 적용,” 지질학회지, 38, 471-489.

임현수 · 이용일 · 이용우 · 이선복 · 장수범 · 김정민, 2004, “전곡 및 나주지역에서 관찰되는 대형 서관구조에 대한 예비연구,” 지질학회지, 40, 559-566.

한국자원연구소, 1997, 1:250,000 광주 지질도폭 설명서, 과학기술부.

An, Z. S., Kukla G. J., Porter, S. C., and Xiao, J. L., 1991, Magnetic susceptibility evidence of monsoon variation on the Loess Plateau of central China during the last 130,000 years, *Quaternary Research*, 36, 29-36.

Chen, J., Ji, J., Balsam, W., Chen, Y., Liu, L., and An, Z. S., 2002, Characterization of the Chinese loess-paleosol stratigraphy by whiteness measurement, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 183, 287-297.

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., Lanoë, 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.

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.

Ji, J., Balsam, W., and Chen, J., 2001, Mineralogic and Climatic Interpretations of the Luochuan Loess Section(China) Based on Diffuse Reflectance Spectrophotometry, *Quaternary Research*, 56, 23-30.

Maher, B. A., 1998, Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessic paleosols: paleoclimatic implications, *Palaeogeography, Palaeoclimatolo-*

- gy, *Palaeoecology*, 137, 25-54.
- 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.
- 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., Debat, P., and Niki'ema, S., 2007, Geochemistry of Upper Birimian sediments (major and trace elements and Nd-Sr isotopes) and implications for weathering and tectonic setting of the Late Paleoproterozoic crust, *Precambrian Research*, doi:10.1016/j.precamres.2007.06.008(in press).
- Scheinost, A. C. and Schwertmann, U., 1999, Color identification of iron oxides and hydroxy-sulfates: use and limitations, *Soil Science Society of America Journal*, 63, 1463-1471.
- 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, Department of Earth System Science, University of Yeonsei, Seoul.
- Taylor, S. R. and McLennan, S. M., 1985, *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*, Geoscience Texts, Blackwell, Oxford, London.
- Yang, S. Y., Li, C. X., Yang, D. Y., and Li, X. S., 2004, Chemical weathering of the loess deposits in the lower Changjiang Valley, China, and paleoclimatic implication, *Quaternary International*, 117, 27-34.
- 조화룡, 1985, 한국의 충적평야, 교학연구사, 서울.
- 한국디자인진흥원 홈페이지(www.designdb.com)
- 교신: 윤순옥, 130-701, 서울시 동대문구 회기동 1번지, 경희대학교 이과대학 지리학과(이메일: soyoon@khu.ac.kr, 전화: 02-961-0862, 팩스: 02-961-0251)
- Correspondence: Soon-Ock Yoon, Department of Geography, Kyung-Hee University, 1 Hoegi-Dong, Dongdaemun-Gu, Seoul, 130-701, Korea(email: soyoon@khu.ac.kr, phone: 82-2-961-0862, fax: 82-2-961-0251)
- 최초투고일 07. 12. 12.
최종접수일 07. 12. 23.