

전남 나주시 장동리 지역에 노출된 적갈색 점토-실트 퇴적물의 광물 및 지화학적 특성

Mineralogical and Geochemical Properties of Clay-silt sediments Exposed in Jangdongri, Naju, Korea

곽태훈(Tae-Hun Kwak) · 정기영(Gi Young Jeong)*

안동대학교 지구환경과학과

(Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University, Andong 36729, Korea)

요약 : 전남 나주시 장동리 지역의 화강암 풍화대를 피복하는 적갈색 점토-실트 퇴적물 단면(~2 m)에 대하여 광물학적 및 지화학적 특성 분석을 실시하였다. 퇴적물은 주로 석영(50%)과 점토광물(45%)로 구성되어 있으며, 소량의 K-장석, 침철석, 적철석, 깃사이트로 구성되어 있다. 점토광물은 일라이트(일라이트, 일라이트-스멕타이트 혼합층), 질석(질석, 수산화-Al 질석), 고령석(캐올리나이트, 할로이사이트) 계열의 점토광물로 구성되어 있다. 광물 및 화학조성의 수직 함량변화는 미미하며, 사장석과 녹니석이 전반적으로 결핍되어 있으나 최상부에 소량 함유되어 있다. 점토광물의 주성분이 일라이트 계열이므로 퇴적물의 기원물질은 주변 고령토질 화강암 풍화물이 아니라, 먼 기원지에서 유래한 풍성퇴적물로 판단된다. 현생 황사의 광물조성과 비교하면, 퇴적 후의 심한 화학적 풍화작용으로 사장석과 K-장석이 거의 없어지고, 석영과 점토광물로 구성된 광물학적 특성을 갖게 되었다. 풍화과정에서 사장석과 녹니석은 각각 고령토 광물과 질석으로 변질되었으며, 함철 유색광물의 풍화과정에서 침철석과 적철석이 침전되어 퇴적물이 적갈색을 띠게 되었다. 이 지역의 적갈색 점토-실트는 한반도 타지역 풍성 퇴적물과 광물학적 및 지화학적 특성을 공유하므로 풍성퇴적물로 추정되지만, 이에 대해서는 퇴적물 연대측정이나 동위원소 분석 등의 추가 검증이 필요하다.

주요어 : 점토, 실트, 장동리, 석영, 점토광물, 일라이트, 풍화, 풍성

ABSTRACT : Reddish brown clay-silt sediments covered granitoid weathering crust in the Jangdongri area, Naju, Korea. Mineralogical and geochemical properties of the ~2 m sediment section were investigated. The sediments were composed mainly of quartz (50%) and clay minerals (45%) with minor contents of K-feldspar, goethite, hematite, and gibbsite. The clay minerals were illite, illite-smectite mixed-layers, vermiculite, hydroxy-Al vermiculite, kaolinite, and halloysite. Mineral composition varied little through the section with the minor upward enrichment of plagioclase and chlorite. Abundant illitic clay minerals indicated the remote source of the sediments because clays derived by granite weathering in Korea were dominated by kaolin minerals. A comparison with the mineral composition of Asian dust (Hwangsa) suggested that plagioclase and K-feldspar disappeared by chemical weathering after deposition, resulting in the quartz and clay-rich sediments. Plagioclase and chlorite altered to kaolin and vermiculite, respectively. Goethite and hematite derived by the

*Corresponding author: +82-54-820-5619 E-mail: jearth@anu.ac.kr

weathering of iron-bearing minerals stained the sediment to reddish brown color. The mineralogical and geochemical properties of the reddish brown clay-silt sediments were consistent with those of eolian deposits identified in Korea, supporting eolian origin of the Jangdongri sediments, requiring future confirmation including age dating and isotopic analysis.

Key words : Clay, silt, Jangdongri, quartz, clay mineral, illite, weathering, eolian

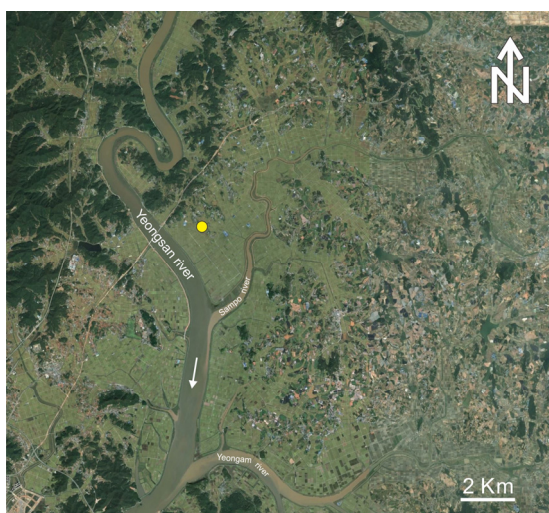


Fig. 1. Location of clay-silt sediment section in Jangdongri, Naju, Korea (Google Earth image).

서 언

한반도에는 단구 등의 평탄지형을 중심으로 고토양이라고 부르는 적갈색의 점토-실트질 퇴적층들이 분포한다(Lee, 1999). 이들 점토-실트질 퇴적층들은 흔히 구석기 유적 발굴시에 노출되며, 일부 동해안 지역에서는 고지진학 연구 트랜치에서도 보고된 바 있으며(Jeong *et al.*, 2013), 흔히, 입도, 주원소 및 미량원소조성, 색상, 구조, 자기감응도, 탄소동위원소, 광여기발광연대, 광물조성 측정 등의 방법으로 연구된 바 있다(Yi *et al.*, 1998; Yi, 2000; Kim *et al.*, 2002, 2004; Shin *et al.*, 2004, 2005; Yoon *et al.*, 2007, 2011; Yu *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2011; Yi, 2011; Yi *et al.*, 2011). 이상의 연구들에서 각종 고기후 지시자들의 수직 변화가 인지되었으며, 이는 곧 제4기 빙기-간빙기의 주기적 기후변화와 관련되는 것으로 해석되었다. 그러나 이러한 연구에도 불구하고 점토-실트질 퇴적물의 원물질이 무엇인가에 대한 논란은 오랜 동안 계속되었다. 즉 구성 입자들이 중국의 퇴스(loess)와

같은 풍성과정(aeolian process)으로 퇴적되었는지, 혹은 국지적인 하성과정(fluvial process)에 의하여 퇴적되었는지에 대한 논란이 많았다. 최근 연구에 의하면 원물질이 풍성퇴적물이라는 견해가 우세하지만(Jeong *et al.*, 2013), 그 기원을 명확히 정리하기는 쉽지 않다. 그 주요 원인은 퇴스의 주분포지인 중국 서부 내륙에 비하여 우리나라 기후가 다습하고 따뜻하기 때문에, 퇴스가 퇴적되었다 하더라도 격심한 화학적 풍화작용으로 원물질의 광물조성, 화학조성, 조직을 인지하기 매우 어렵기 때문이다.

한반도 점토-실트질 적갈색 고토양 원퇴적물의 기원을 보다 분명히 하기 위해서는 더 많은 고토양 단면들을 대상으로 연구자료를 확보되어야 한다. 특히 이러한 점토-실트질 퇴적층들의 두께가 매우 두꺼운 서해안 지역을 대상으로 광물학적 및 지구화학적 자료를 확보하여 기존 연구에서 보고된 타 지역 연구자료와 비교해볼 필요가 있다. 이 연구에서는 서남해안 나주시 장동리 지역에 노출되어 있는 적갈색 점토-실트질 퇴적물 노두를 대상으로 입도분석, 광물학적 및 지구화학적 분석을 실시하였으며, 이를 바탕으로 퇴적물의 기원에 대하여 토의하였다. 이 지역의 점토-실트질 퇴적물에 대하여는 구석기 유적 발굴지를 중심으로 제4기 지질환경연구(Lee *et al.*, 2006), 서관구조연구(Lim *et al.*, 2007), 적갈색 퇴적물(황토)의 광물학적 연구(Kim *et al.*, 2014) 등이 있다.

퇴적층 단면과 시료

연구지역은 나주시 동강면 장동리 일대로서 서남쪽에는 영산강이 흐르고 남동쪽에는 영산강 지류인 삼포강이 흐른다(Fig. 1). 이 지역은 50,000 : 1 지질도가 발간되어 있지 않아서 자세한 지질을 추정하기는 어려우나, 250,000 : 1 지질도에 의하면 중생대 쥐라기 흑운모 화강암으로 주로 구성되어 있다(KIGAM, 2016).

이 지역의 지형은 해안에 가까운 매우 완만한

경사의 대지로서, 퇴적층 단면 노두를 관찰하기 어렵다. 이 연구의 조사 대상인 점토-실트 퇴적층 단면은 나주시 동강면 장동리의 한 농로변 절토지에 노출되어 있다(N34° 53' 50.56", E126° 33' 11.71") (Fig. 1). 퇴적층 단면은 전반적으로 적갈색을 띠고 있지만, 심도별로 토양구조와 색상의 차이가 인지된다(Fig. 2). 시료를 채취한 단면 깊이는 215 cm 인데, 최상부 30 cm 구간(Unit 1)은 어두운 황갈색을 띠는데, 유기물의 영향으로 보인다, 30-170 cm 구간(Unit 2)은 적갈색을 보이며 수직 균열들이 발달되어 있고, 균열 주변으로 너비 1-2 cm 정도가 백색으로 탈색되어 있다. 수직 균열 사이의 간격은 평균 13 cm 정도이다. 170 cm 이하(Unit 3)에서는 수평 균열들이 약 2 cm 정도의 간격으로 발달되어 있고, 균열 주변이 회백색으로 탈색되어 있다. 이전 연구들에 의하면 이 지역 세립퇴적물 시료들은 모래는 5% 이하이며 각각 절반씩의 점토와 실트로 구성된 점토질 실트이다(Lee *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2014).

시료는 토양 단면을 플라스틱 박스 모양으로 성형하여 그대로 박스에 떼어내어 상하 방향과 깊이를 표시하는 방법으로 채취하였다. 시료는 적갈색 부분을 대상으로 5 cm 간격으로 분취하여 분석을 위한 시료를 채취하였다.

실내분석

전시료의 X선 회절분석(X-ray diffraction, XRD)을 위한 분말시료는 다음과 같이 준비하였다. 원시료를 건조한 후, 3 g의 시료를 10 μm 이하 입도로 파쇄하고 100 mesh 체를 통과한 응집입자들을 측면 채움(side-packing)법으로 Al-홀더(holder)에 충전하여 부정방위시료를 제작하였다. XRD 분석은 회절빔 단색화장치가 부착된 Rigaku사의 Ultima IV 모델의 XRD 기기를 이용하여 분석하였다. XRD 분석은 40 kV의 가속전압과 30 mA의 전류에서 발생한 $\text{CuK}\alpha$ 선을 사용하여 슬릿 slit 조건 $2/3^\circ$ - 0.3 mm - $2/3^\circ$, 각도범위 3 - 65° (2θ), 계수간격 0.03° , 계수시간 2초의 조건에서 시행되었다. 광물 조성의 정량분석은 Siroquant (2012, Sietronics Ltd.)를 이용하여 실시하였으며, 분석구간, 기저값, 단위포 값들을 변화시키며 최적화하였다. 정량분석은 프로그램 내에 구비된 광물구조자료를 이용하여 수행하였는데, 실제 분석시료에 존재하는 광물들의 결정학적 및 화학적 특성과 차이가 있다. 특

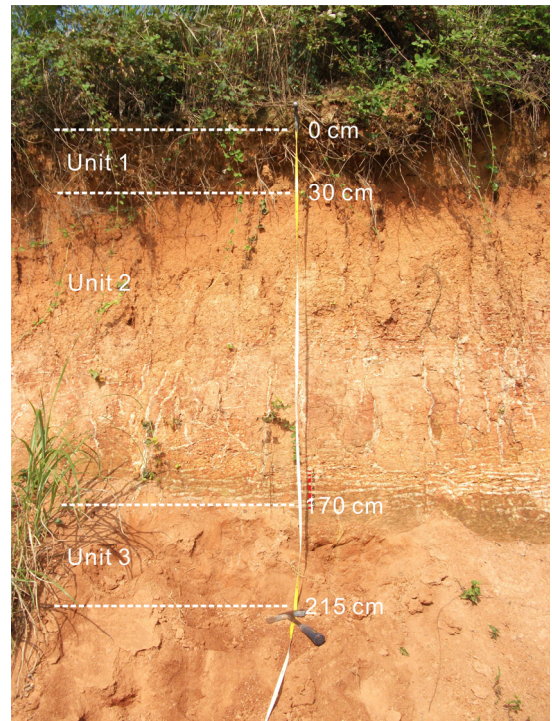


Fig. 2. Clay-silt sediment section exposed in Jangdongri, Naju, Korea.

히 점토광물은 다양한 구조변화가 있으므로, 개별 점토광물 함량보다는 유사한 구조의 점토광물들을 묶은 그룹 함량의 오차가 적다. 그러나 표준화된 조건에서 정량이 시행되었다면 절대함량보다 단면 내 수직 함량변화 등의 경향성 판단에는 문제가 없다.

점토광물의 XRD분석을 위한 점토분리시료를 준비하기 위하여 원시료 2 g을 250 mL 비커에 담고 초순수 250 mL와 혼합하여 초음파 진동기로 분산시켰다. 정치 3시간 50분 후에 상부 5 cm 현탁액을 피펫으로 분리하고 원심분리하여 2 μm 이하의 점토 시료 슬러리를 준비하였다. 슬러리는 스포이드로 유리 슬라이드 위에 고르게 도포한 후, 자연건조시켜 부정방위시료를 제작하였다. 부정방위 시료는 에틸렌 글리콜(ethylene glycol) 처리, 300°C 가열, 500°C 가열을 순차적으로 처리하고 각 단계별로 XRD분석을 실시하였다. 슬릿, 전류, 전압, 계수간격, 계수시간은 전시료 XRD 분석조건과 동일하나 측정범위는 2 - 30° (2θ)하였다.

전시료의 주원소 화학분석은 Activation Laboratories에서 유도결합플라즈마방출분광분석으로 실시하였다.

Table 1. Mineral compositions of clay-silt sediments in Jangdongri, Naju, Korea

Unit	Depth (cm)	Q*	Kfs	Pl	Illt	Ka	Exp. Clay	Ch	Gt	Hm	Ant	Gib	Sum	Total phyll
Unit 1	5	49.1	3.0	1.2	7.8	7.3	28.4	0.4	1.9	1.0	0.2	0.0	100.0	43.8
	15	51.9	2.9	1.3	7.7	7.0	26.3	0.0	1.8	1.0	0.3	0.0	100.0	41.0
	25	51.6	2.8	1.2	8.7	7.1	25.4	0.0	1.8	1.1	0.2	0.3	100.0	41.2
Unit 2	35	47.8	1.6	0.2	7.7	8.4	30.5	0.0	1.9	1.3	0.2	0.7	99.9	46.5
	45	48.3	1.5	0.0	8.3	8.9	29.5	0.0	1.9	1.2	0.2	0.5	100.0	46.7
	55	45.5	1.1	0.1	8.0	10.2	31.0	0.0	2.4	1.3	0.2	0.4	100.0	49.2
	65	44.2	1.3	0.0	7.8	10.2	32.8	0.0	2.4	1.2	0.2	0.2	100.0	50.7
	75	46.7	1.6	0.0	8.2	10.6	29.5	0.0	2.3	1.1	0.2	0.0	100.1	48.3
	85	46.6	1.4	0.0	7.8	10.5	30.1	0.0	2.3	1.1	0.2	0.1	100.0	48.3
	95	49.4	1.4	0.0	7.9	10.1	27.6	0.0	2.3	1.1	0.2	0.1	100.0	45.6
	105	43.6	2.1	0.0	8.1	12.0	30.8	0.0	2.1	1.3	0.2	0.0	100.1	50.8
	115	46.8	2.4	0.1	8.9	10.4	28.4	0.0	1.8	1.5	0.1	0.0	100.0	47.6
	125	49.2	1.5	0.0	7.9	10.5	26.9	0.0	1.9	2.1	0.1	0.1	100.1	45.3
	135	53.8	1.5	0.1	7.4	9.3	24.0	0.0	1.5	2.1	0.3	0.4	100.1	40.6
	145	46.6	1.3	0.0	6.7	9.9	30.7	0.0	1.8	1.9	0.2	1.0	100.0	47.2
	155	52.0	1.3	0.2	6.5	9.6	25.8	0.0	2.0	2.1	0.2	0.5	100.0	41.8
	165	49.6	1.6	0.0	7.3	9.9	27.1	0.0	2.4	1.7	0.2	0.4	100.1	44.2
Unit 3	175	51.8	1.3	0.0	6.5	7.7	27.5	0.0	3.3	1.8	0.2	0.2	100.0	41.6
	185	51.4	1.1	0.1	7.5	7.1	27.0	0.0	3.1	2.6	0.2	0.0	100.0	41.6
	195	51.7	1.2	0.1	7.1	7.9	25.9	0.0	3.8	2.1	0.2	0.0	100.0	40.9
	205	56.3	1.9	0.3	7.7	8.3	22.1	0.0	2.2	1.2	0.2	0.0	99.9	38.0
	215	56.6	1.8	0.4	7.9	7.9	22.3	0.0	1.9	1.1	0.2	0.0	100.0	38.1
Average		49.6	1.7	0.2	7.7	9.1	27.7	0.0	2.2	1.5	0.2	0.2	100.0	44.5

*Q = quartz, Kfs = K-feldspar, Pl = plagioclase, Illt = illite, Ka = kaolinite, Exp. clay = expandable clay minerals (illite-smectite mixed-layers, vermiculite), Ch = chlorite, Gt = goethite, Hm = hematite, Gib = gibbsite, Total phyll = total phyllosilicate.

찰되므로 일라이트-스멕타이트 혼합층 광물도 존재한다(Fig. 4). 한편 300°C 가열시 10 Å과 14 Å 사이의 기저회절대 강도가 크게 증가하며(Fig. 5), 500°C 가열 시 완전히 없어지지 않고, 10 Å 회절선의 저각도 쪽에 긴 회절 어깨(shoulder)를 형성하고 있다(Fig. 6). 이는 질석 층간에 층간수의 탈수를 방해하는 전하를 띠는 수산화 Al (hydroxy aluminium)의 존재를 지시한다.

에틸렌 글리콜 처리시료의 7 Å 부근 회절선의 경우, 최상부 시료에서는 캐올리나이트의 7.16 Å 회절선 우측에 7.07 Å의 미약한 녹니석 회절어깨

가 있으나 하부 시료에서는 나타나지 않는다(Fig. 4). 보다 날카로운 7.16 Å 회절선 하부에 저각도쪽으로 긴꼬리를 갖는 넓은 폭의 회절선이 중첩되어 있는데(Fig. 5), 이 넓은 선폭의 회절선은 탈수할로이사이트(dehydrated halloysite)로 보인다. 500°C 가열 시에는 7 Å 부근 회절선이 대부분 사라지므로, 에틸렌 글리콜 처리시료 XRD 패턴의 7 Å 부근 회절선 광물은 대부분 캐올리나이트와 할로이사이트이나, 약간의 7.16 Å과 7.07 Å 회절선이 남아 있어서 녹니석이 결정도가 높은 소량의 캐올리나이트와 함께 잔존하는 것으로 판단되었다(Fig. 6).

5 Å 회절선은 일라이트로 인한 회절선이며, 저각도 쪽에 긴 꼬리를 갖는 회절대가 나타난다(Fig. 4). 특히 최상부 시료에서는 4.7 Å 부근에 녹니석 회절선이 있다. 5 Å과 4.7 Å 사이 회절대의 일부는 깁사이트에 의한 것으로 보이나, 일라이트와 녹니석, 혹은 일라이트와 수산화-Al 질석의 혼합층 효과에 의한 것으로 추정된다.

에틸렌 글리콜 처리시료에서 3.5 Å 부근의 회절선은 최상부 시료들에서 3.54 Å과 3.58 Å 회절선으로 분해되는데, 각각 녹니석과 캐올리나이트로 인한 것이다(Fig. 4).

이상의 분석으로부터 퇴적물의 주요 구성광물인 점토광물은 전반적으로 일라이트, 일라이트-스펙타이트 혼합층 광물, 녹니석, 질석, 수산화-Al 질석, 캐올리나이트, 할로이사이트 등으로 구성된 것으로 보인다. 이들 점토 광물들과 함께 석영, K-장석, 사장석, 침철석, 적철석의 광물정량분석을 실시하였다(Table 1). 퇴적물 시료들의 광물조성 수직 변화는 뚜렷하지 않다. 석영이 평균 50% 정도 함유되어 가장 높고, 점토광물이 총 45% (일라이트-스펙타이트 혼합층이나 질석 등을 포함한 팽윤성 광물 28%, 고령토 광물 9%, 일라이트 8%) 정도 주성분으로 함유되어 있으며, 나머지 광물들은 소량이다. 광물조성의 수직 변화가 뚜렷하지 않지만, 대체로 3개의 단위로 구분된다. 0~30 cm 구간에서는 석영, K-장석, 사장석의 함량이 조금 높으나, 고령토 광물과 팽윤성 점토광물의 함량은 약간 낮다. 하부에는 함유되어 있지 않은 녹니석이 소량 함유되어 있다. 30~170 cm 구간에서는 고령토 광물과 팽윤성 점토광물의 함량이 높으며, 미량이지만 깁사이트(gibbsite)도 함유되어 있는 반면에, 석영과 K-장석의 함량이 낮으며, 사장석은 거의 검출되지 않았다. 170~215 cm 구간은 석영의 함량이 약간 높고, 고령토 광물과 팽윤성 광물의 함량이 낮아서 등, 0~30 cm 구간과 비슷한 특성을 보이지만, K-장석의 함량이 낮으며, 사장석은 검출되지 않는다.

지구화학적 특성

퇴적물 시료의 화학조성도 광물조성과 마찬가지로 수직 변화가 뚜렷하지 않다(Table 2). K-장석과 사장석 함량이 상대적으로 높은 0~30 cm 구간에서 K₂O, Na₂O, CaO 함량이 조금 높으며, 고령토 함량이 높은 30~170 cm 구간에서 Al₂O₃ 함량이 조금 높다. 170~215 cm 구간은 SiO₂의 함량이 약

간 높고, Al₂O₃의 함량이 낮아서 0~30 cm 구간과 유사하나, K₂O, Na₂O, CaO 함량이 낮다. K₂O 함량이 전시료 평균 1.48% 정도인데, K-장석 함량이 매우 낮으므로, K₂O는 K-장석이 아니라 일라이트류 점토 광물에 함유되어 있음을 지시한다. MgO 함량은 0~30 cm 구간에서 조금 높는데, 이는 소량 존재하는 녹니석에 기인한다.

퇴적물의 기원

Kim *et al.* (2014)은 이 지역의 적갈색 점토-실트(황토)를 화강암류의 풍화잔류물로 해석하였다. 그러나 이 지역의 기반암은 조립질 화강암류로서 석영은 풍화가 되지 않으므로 풍화잔류물에 모래 크기의 석영입자들이 남아 있어야 한다. 그러나 이 지역 점토-실트 층에 모래 입자가 거의 없을 뿐만 아니라, 화강암류 암석의 잔류 조직이 관찰되지 않으므로, 점토-실트층은 이 지역 화강암의 풍화잔류물은 아니다. Lee *et al.* (2006)은 이 지역의 적갈색 점토-실트를 고토양이라 하였는데, 그 기원에 대한 결론은 유보하였다.

이 지역의 점토-실트 퇴적물이 풍화 잔류물이 아니라면 외부로부터 이동되어 쌓인 퇴적물로 보인다. 이 경우 영산강 및 지류에 의한 하성 퇴적, 서해안 조간대 퇴적, 풍성퇴적 등의 3가지 기원을 상정할 수 있다. 서해안 조간대 퇴적물로서의 가능성은 낮은 것으로 보인다. 왜냐하면 이들 퇴적물에서 조개 등 해양 생물 유해가 전혀 발견되지 않고, 조간대 퇴적물에서 흔히 관찰되는 규칙적인 호층구조가 관찰되지 않기 때문이다. 영산강 하성 퇴적물일 가능성을 광물조성과 화학조성으로부터 확증할 방법은 매우 제한적이다. 이는 전형적인 영산강 점토-실트질 하성퇴적물의 광물조성과 화학조성이 정량적으로 알려져 있지 않기 때문이다. 그렇다 하더라도 점이 층리 등의 퇴적구조들이 전혀 관찰되지 않고 있어서 하성 퇴적물로 보기에 어려움이 있다.

한편 이전 연구들에서 이런 종류의 적갈색 점토-실트 퇴적층이 풍성기원이라는 결과들이 있다(Jeong *et al.*, 2013). 아시아 내륙 건조지역에서 발생한 광물먼지(황사)는 장거리 운반되어 육상, 해상, 빙상에 퇴적하여 빙기-간빙기의 기후변화를 기록한다(Kukla and An, 1989; Asahara *et al.*, 1999; Biscaye *et al.*, 1997; Porter, 2001). 특히 육상에 퇴적된 연황색 실트질 광물먼지 퇴적물을 피스

Table 2. Chemical Compositions of clay-silt sediments in Jangdongri, Naju, Korea

Unit	Depth (cm)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ (T)*	MgO	TiO ₂	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
Unit 1	5	67.46	14.43	5.90	0.74	1.120	0.088	0.08	0.27	1.73	0.05	8.20	100.06
	15	68.29	14.29	5.85	0.71	1.121	0.095	0.08	0.28	1.72	0.05	7.71	100.17
	25	68.49	14.46	5.66	0.68	1.157	0.111	0.07	0.24	1.68	0.05	7.66	100.20
Unit 2	35	65.18	15.44	6.31	0.64	1.169	0.084	0.04	0.13	1.53	0.05	8.81	99.36
	45	66.49	15.17	6.25	0.64	1.161	0.084	0.04	0.14	1.51	0.06	8.65	100.16
	55	64.88	15.89	6.39	0.63	1.136	0.141	0.04	0.13	1.48	0.05	9.26	99.99
	65	64.07	16.32	6.50	0.64	1.152	0.091	0.03	0.14	1.50	0.06	9.42	99.90
	75	65.44	15.68	6.36	0.61	1.168	0.064	0.03	0.14	1.49	0.06	8.99	100.03
	85	66.74	15.05	6.08	0.58	1.117	0.046	0.04	0.12	1.38	0.05	8.97	100.12
	95	66.75	15.00	5.78	0.55	1.149	0.053	0.03	0.12	1.35	0.05	8.25	99.07
	105	65.99	15.86	6.23	0.57	1.171	0.053	0.03	0.12	1.41	0.05	9.01	100.50
	115	67.14	15.09	6.09	0.55	1.198	0.057	0.03	0.12	1.41	0.05	8.24	99.96
	125	66.99	14.62	7.12	0.53	1.217	0.050	0.03	0.11	1.34	0.05	8.25	100.29
	135	68.69	13.83	7.10	0.51	1.273	0.042	0.03	0.11	1.30	0.05	7.39	100.30
	145	64.49	15.61	7.06	0.56	1.193	0.038	0.03	0.13	1.26	0.05	8.80	99.20
	155	67.55	14.30	7.34	0.53	1.217	0.033	0.03	0.11	1.24	0.07	8.00	100.40
	165	67.86	14.14	6.98	0.54	1.172	0.026	0.03	0.12	1.32	0.05	8.10	100.30
Unit 3	175	67.13	13.62	8.09	0.51	1.140	0.022	0.03	0.12	1.30	0.06	7.91	99.92
	185	67.34	13.73	8.72	0.51	1.164	0.027	0.04	0.12	1.26	0.05	7.75	100.65
	195	68.68	12.61	7.80	0.48	1.133	0.035	0.05	0.11	1.22	0.05	7.25	99.37
	205	71.01	13.07	5.74	0.49	1.265	0.078	0.04	0.11	1.30	0.05	6.57	99.71
	215	72.37	13.34	4.72	0.51	1.308	0.075	0.05	0.13	1.39	0.05	6.32	100.30
Average		67.23	14.61	6.55	0.58	1.18	0.06	0.04	0.14	1.41	0.05	8.16	100.00

*Total Fe

(loess)라고 하는데, 중국 서부 사막 연변부에 두께가 수백 m의 퇴적층을 형성한다(Liu *et al.*, 1988). 중국의 퇴스는 제4기 지질학 및 고기후학의 주요 연구 대상인데, 춥고 건조한 빙기에는 퇴적률이 높고 화학적 풍화가 약하므로 퇴스가 퇴적 당시의 광물조성이나 화학조성을 반영하고 있지만, 보다 따뜻하고 습한 간빙기에는 퇴적률이 낮고 화학적 풍화가 심하여 적갈색으로 변한다(Kukla and An, 1989; Jeong *et al.*, 2008, 2011). 황사발원지에서 먼 한반도는 평탄지에 수 m 정도의 얇은 퇴적층을 형성하는 것으로 알려져 있다(Jeong *et al.*, 2013).

최근 광물학적 연구에 의하면 황사의 주 구성광

물은 석영, 사장석, K-장석, 일라이트, 일라이트-스멕타이트 혼합층, 녹니석, 방해석, 석고 등이다 (Jeong, 2008; Jeong *et al.*, 2014; Jeong and Achterberg, 2014; Park and Jeong 2016). 이 중 방해석, 사장석, 석고, 녹니석 등은 화학적 풍화작용에 특히 취약하다. 이러한 풍성광물들이 퇴적된 후에 한반도의 습한 토양환경에서 풍화되면 방해석과 석고는 없어지고, 사장석과 녹니석은 이차 광물들로 변질된다. 따라서 풍화된 풍성퇴적물들은 석영과 점토광물로 구성된 비교적 단순한 광물조성을 갖게 된다. 이 지역의 점토-실트 퇴적물도 석영 50%와 점토광물 45% 정도로 구성된 단순한

광물 조성을 보이고 있다. 점토광물은 일라이트나 일라이트-스멕타이트 혼합층 등의 일라이트 계열의 점토광물이 35%로 대부분이고 고령토 광물이 9% 정도 함유되어 있다. 한반도 화강암질 암석의 풍화로 생성되는 점토광물이 대부분 고령토 광물(캐올리나이트, 할로이사이트)임을 고려하면(Jeong and Lee, 1998; Jeong, 2000), 이 지역의 점토-실트 퇴적물을 한반도 기반암 풍화물로 보기 어렵다. 그러나 이 지역의 점토-실트 퇴적물을 황사 등의 풍성기원으로 가정하면 광물조성의 정합적 해석이 가능하다. 즉, 사장석과 K-장석이 풍화되어 고령토 광물이 생성되었으며, 일부는 깎사이트나 질석 층간의 수산화 Al로 침전되었다. 녹니석은 풍화되어 질석으로 변질되었으며, 일라이트는 부분적으로 일라이트-스멕타이트 호층구조로 변환되었을 것으로 판단된다. 녹니석과 기타 흑운모나 각섬석 등 유색광물에 함유된 철은 일부 빠져나와 침철석이나 적철석으로 침전되었을 것이다. 화학분석값으로부터 계산한 점토-실트 퇴적물의 평균 Si/Ti 원자비는 76으로서 기존 연구(Jeong *et al.*, 2013)에서 얻어진 풍성퇴적물들의 Si/Ti 원자비의 범위(80-90)에 가까운 값을 보인다.

결 론

전남 나주시 장동리 지역에는 점토-실트질의 균질한 적갈색 퇴적물들이 평탄지의 화강암 풍화대를 넓게 피복하고 있다. 이들 퇴적물은 석영(50%)과 점토광물(45%)로 주로 구성되어 있으며, 나머지 소량의 K-장석, 침철석, 적철석, 깎사이트 등으로 구성되어 있다. 점토광물은 일라이트, 일라이트-스멕타이트 혼합층, 질석, 수산화 Al 질석, 캐올리나이트, 할로이사이트 등이며 최상부 층에는 녹니석도 소량 함유되어 있다. 주원소조성 분석결과, N_2O , CaO, MgO 등의 함량이 매우 낮아 화학적 풍화 작용을 많이 받았음을 알 수 있다. 일라이트류 점토광물이 우세한 광물학적 특성으로부터 퇴적물의 기원물질은 이 지역 화강암질 기반암의 풍화물이 아니라, 장거리 이동한 풍성퇴적물로 판단된다. 풍성퇴적물은 퇴적 후에 심한 화학적 풍화작용을 받아서 사장석과 K-장석이 거의 없어지고, 석영과 점토광물이 주성분인 광물학적 특성을 갖게 되었다. 사장석과 녹니석은 각각 고령토 광물과 질석으로 변질되었으며, 합철 유색광물의 풍화과정에서 생성된 침철석과 적철석으로 인하여 퇴적물이

적갈색을 띠게 되었다. 이 지역의 적갈색 점토-실트 퇴적물은 한반도 타지역 풍성퇴적물과 매우 유사한 광물학적 및 지화학적 특성을 갖고 있어서 풍성퇴적물로 추정되지만, 향후 퇴적물 연대측정이나 동위원소 분석 등의 추가 분석을 실시하여 검증해야 한다.

사 사

이 연구는 2016학년도 안동대학교 연구비에 의하여 연구되었습니다. 원고에 대하여 건설적 비평을 해주신 익명의 심사위원님들께 감사드립니다.

REFERENCES

- Asahara, Y., Tanaka, T., Kamioka, H., Nishimura, A., and Yamazaki, A. (1999) Provenance of the north Pacific sediments and process of source material transport as derived from Rb-Sr isotopic systematics. *Chem. Geol.*, 158, 271-291.
- Biscaye, P.E., Grousset, F.E., Revel, M., Van der Gaast, S., Zielinski, G.A., Vaars, A., and Kukla, G. (1997) Asian provenance of glacial dust (stage 2) in the Greenland Ice Sheet Project 2 Ice Core, Summit, Greenland. *J. Geophys. Res.*, 102, 26,765-26,781.
- Brindley, G.W. (1980) Order-disorder in clay mineral structures. In: Brindley, G.W., Brown, G. (eds.), *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification*, Monograph 5, Mineralogical Society, London, 125-195.
- Jeong, G.Y. (2000) The dependence of localized crystallization of halloysite and kaolinite on primary minerals in the weathering profile of granite. *Clays Clay Miner.*, 48, 196-203.
- Jeong, G.Y. (2008) Bulk and single-particle mineralogy of Asian dust and a comparison with its source soils. *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 113, D02208, doi: 10.1029/2007JD008606.
- Jeong, G.Y. and Achterberg, E.P. (2014) Chemistry and mineralogy of clay minerals in Asian and Saharan dusts and the implications for iron supply to the oceans. *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 12415-12428.
- Jeong, G.Y. and Lee, B.Y. (1998) Weathering of plagioclase in Palgongsan granite. *J. Geol. Soc. Korea*, 34, 44-57.
- Jeong, G.Y., Hillier, S., and Kemp, R.A. (2008) Quantitative bulk and single-particle mineralogy of a thick Chinese loess-paleosol section: implications for loess provenance and weathering. *Quat. Sci. Rev.*, 37, 1271-1287.

- Jeong, G.Y., Hillier, S., and Kemp, R.A. (2011) Changes in mineralogy of loess-paleosol sections across the Chinese Loess Plateau. *Quat. Res.*, 75, 245-255.
- Jeong, G.Y., Choi, J.-H., Lim, H.S., Seong, C., and Yi, S.B. (2013) Deposition and weathering of Asian dust in Paleolithic sites, Korea. *Quat. Sci. Rev.*, 78, 283-300.
- Jeong, G.Y., Kim, J.Y., Seo, J., Kim, G.M., Jin, H.C., and Chun, Y. (2014) Long-range transport of giant particles in Asian dust identified by physical, mineralogical, and meteorological analysis. *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 505-521.
- KIGAM (2016) Geological Information System. https://mgeo.kigam.re.kr/map/map.jsp?mode=geology_250k.
- Kim, J.C., Lee, Y.I., Lim, H.S., and Yi, S. (2011) Geochemistry of Quaternary sediments of the Jeongokri archaeological site, Korea: implications for provenance and palaeoenvironments during the Late Pleistocene. *J. Quat. Sci.*, 27, 260-268.
- Kim, J.Y., Bae, K., Yang, D.Y., Nahm, W.H., Hong, S.S., Ko, S.M., Lee, Y.S., and Kang, M.K. (2002). A preliminary result of soil and sediment analysis in the Pit-E55S20 of Chongok Palaeolithic site, Korea. In: Bae, K. (Ed.), *Paleolithic Archaeology in Northeast Asia*. Institute of Cultural Properties, Hanyang University, Ansan, Korea, 117-146.
- Kim, J.Y., Lee, G.G., Yang, D.Y., Hong, S.S., Nahm, W.H., Lee, and J.Y. (2004) Research on the distribution and formation process of Quaternary deposits of South Korea. *J. Korean Palaeolithic Soc.* 10, 1-24.
- Kim, Y., Bae, J.R., Kim, C.-B., and Roh, Y. (2014) Pedological and Mineralogical Characterizations of Hwangto (Yellow Residual Soils), Naju, Jeollanam-do, Korea. *Econ. Environ. Geol.*, 47, 87-96.
- Kukla, G. and Z. An (1989), Loess stratigraphy in central China. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 72, 203-225.
- Lee, D.Y. (1999) Quaternary Research of Korea. Assembled Papers by Late D.Y. Lee. Hyeon, Seoul.
- Lee, H.-J., Kim, C.B., Chung, C.-H., Lim, H.S., and Lee, H.Y. (2006) The paleolithic archaeology and Quaternary geology in Youngsan river region. *Hakyonmunhwasa*, p.320.
- Lim, H.S., Lee, Y.I., Yi, S., Kim, C.-B., Chung, C.-H., Lee, H.-J., and Choi, J.-H. (2007) Vertebrate burrows in late Pleistocene paleosols at Korean Palaeolithic sites and their significance as a stratigraphic marker. *Quat. Res.*, 68, 213-219.
- Liu, T.S., *et al.* (1988) Loess in China. China Ocean Press, Springer, Berlin, p.224.
- Moore, D.M. and Reynolds Jr., R.C. (1997) X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. Oxford University Press, New York, 332pp.
- Park, M.Y. and Jeong, G.Y. (2016) Mineralogical Properties of Asian Dust Sampled at Deokjeok Island, Incheon, Korea in February 22, 2015. *J. Miner. Soc. Korea*, 29, 79-87.
- Porter, S.C. (2001) Chinese loess record of monsoon climate during the last glacial-interglacial cycle. *Earth-Sci. Rev.*, 54, 115-128.
- Shin, J.-B., Naruse, T., and Yu, K.-M. (2005) The application of loess-paleosol deposits on the development age of river terraces at the midstream of Hongcheon River. *J. Geol. Soc. Korea*, 41, 323-333.
- Shin, J.-B., Yu, K.-M., Naruse, T., and Hayashida, A. (2004) Study on loess-paleosol stratigraphy of Quaternary unconsolidated sediments at E55S20-IV pit of Chongokni Paleolithic site. *J. Geol. Soc. Korea* 41, 369-381.
- Yi, S. (2000) For chronology and stratigraphy of Korean Paleolithic. *J. Korean Archaeol. Soc.* 42, 1-22.
- Yi, S. (2011) On the age and depositional characteristics of the Jeongok-ri Palaeolithic site. *Gogo Hakji* 17, 9-21.
- Yi, S., Soda, T., and Arai, F. (1998) New discovery of Aira-Tn ash (AT) in Korea. *J. Korean Geogr. Soc.*, 33, 447-454.
- Yi, S., Yoo, Y., Yang, S., Kim, D., and Lee, J. (2011) Excavation in the Road Construction Site in Jeongok-ri. Seoul National University Museum, Seoul.
- Yoon, S., Park, C.-S., and Hwang, S. (2011) Geochemical properties of loess-paleosol sequence in the Haemi area, Seosan, Chungnam Province, South Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, 47, 343-362.
- Yoon, S., Park, C.-S., Hwang, S., and Naruse, T. (2007) Weathering characteristics of loess-paleosol sequence at the Daecheon area, South Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, 43, 281-296.
- Yu, K.-M., Shin, J.-B., and Naruse, T. (2008). Loess-paleosol stratigraphy of Dukso area, Namyangju City, Korea (South). *Quat. Int.*, 176-177, 96-103.

Received January 23, 2017, Revised March 13, 2017, Accepted March 27, 2017, Associate Editor: Yul Roh