

낙동강 북부 배수구역의 토양 점토광물 분포

Distribution of Clay Minerals in Soils on the Northern Drainage Basin of the Nakdong River

이 봉 호(Bong Ho Lee) · 정 기 영(Gi Young Jeong)*

안동대학교 지구환경과학과

(Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University, Andong 760-749, Korea)

요약 : 경북 북부 지역, 낙동강 상류 배수구역의 기반암별 토양 점토광물의 분포 특성을 이해하기 위하여, 준정량광물학적 분석을 실시하였다. 화강암류 분포지역에는 캐올리나이트와 스멕타이트가 다른 기반암 지역에 비하여 상대적으로 많이 함유되어 있었다. 퇴적암 지역 토양에는 일라이트의 함량이 다른 점토광물에 비해 월등히 높고, 캐올리나이트, 스멕타이트, 전이형(녹니석-스멕타이트 혼합층 및 층간수산기 질석 등) 광물들이 소량 수반된다. 변성암류와 화산암류 지역은 일라이트와 캐올리나이트 함량이 화강암류와 퇴적암류 지역의 중간 정도이나, 전이형 광물의 함량이 조금 더 높았다. 토양 점토광물의 조성은 기반암의 광물조성 및 각 광물의 풍화도 차이와 관련성이 있다. 화강암류 지역 토양의 높은 캐올리나이트 함량은 사장석의 풍화작용에 기인하나, 국지적으로 높은 스멕타이트 함량은 모암의 부분적인 열수변질작용과 관련된 것으로 추정된다. 퇴적암 지역 토양에 특히 풍부한 일라이트는 대부분 모암에서 잔류한 것이다.

주요어 : 강, 배수구역, 점토광물, 토양, 풍화작용

ABSTRACT : Semiquantitative mineralogical analysis of clays in soils was performed to understand the distribution of clay minerals in relation to bedrock lithology on the northern basin of the Nakdong River. The soils developed on the granitic bedrocks have high contents of kaolinite and smectite. Illite was the major clay mineral in the soils from sedimentary bedrocks, with minor kaolinite, smectite, and intergrade (interstratified chlorite-smectite or hydroxy-interlayered vermiculite) clay minerals. Illite and kaolinite contents of the soils from metamorphic and volcanic bedrocks fall between those of the soils from the granitic bedrocks and those of the soils from the sedimentary bedrocks. The clay mineralogy of the soils depends on the compositions of bedrock minerals and their susceptibility to chemical weathering. The weathering of plagioclase resulted in the high kaolinite content of the soils derived from granitic bedrocks, while the soils derived from sedimentary bedrocks are abundant in residual illite.

Key words : basin, clay minerals, river, soil, weathering

*교신저자: jearth@andong.ac.kr

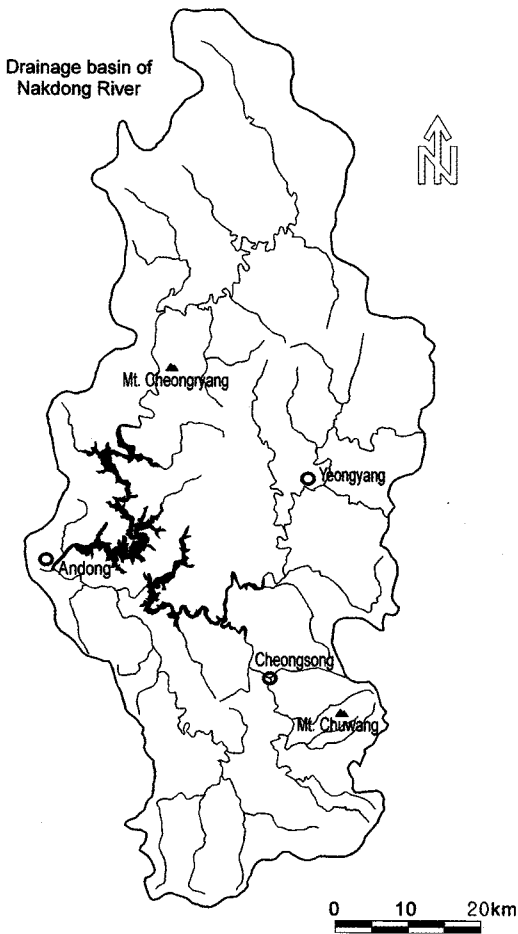


Fig. 1. Drainage basin of the Nakdong River.

서론

지표에 노출된 암석은 다양한 기후, 지형, 식생 등의 환경 조건하에서 지표환경에 안정한 이차광물로 풍화된다. 점토광물, 철 또는 망간산화물, 비정질 광물 등이 주요 이차광물로 생성되며, 이 중 점토광물은 넓은 표면적과 높은 이온교환능을 가지고 있어서, 유기물과 함께 토양 내에서 일어나는 여러 가지 화학반응에 영향을 미친다(Sposito, 1989). 또한 육상점토광물은 해양 점토질 퇴적물의 근원물질로서, 연안퇴적물의 기원지, 고환경, 해류 이동에 관한 다양한 정보를 제공한다(Park and Han, 1983; Park and Khim, 1990; 최진용과 김석운, 1998; Jeong and Yoon, 2001).

토양 내 점토광물의 기원에 대해서는 기반암이 다른 풍화 단면에서의 광물조성 변화 연구(김종대

외, 1996; 김의선 외, 2001; 장용선 외, 2004), 사장석(정기영과 이병윤, 1998), 흑운모(이석훈과 김수진, 2002; 정기영 외, 1995; Jeong and Kim, 2003; Jeong *et al.*, 2006), 녹니석(정기영과 김수진, 1993) 등의 개별 광물의 풍화작용 연구, 화강암(Jeong, 2000), 편마암(이석훈과 김수진, 2000), 회장암(Jeong and Kim, 1993; 정기영과 김수진, 1994) 등의 암석에 대한 풍화작용 등 많은 연구가 있었지만, 큰 강의 배수유역을 대상으로 토양점토광물의 광역적 분포에 대한 체계적 연구는 드물다.

이 연구에서는 경북 북부의 낙동강 배수유역에 분포하는 다양한 기반암으로부터 생성된 토양시료 100개를 대상으로 광물학적 분석을 실시하여, 기반암에 따른 토양 점토광물의 분포 특성과 원인을 규명하고자 한다.

연구지역

연구 지역으로 선정한 경북 북부 낙동강 배수유역에는 1:250,000 안동지질도폭(황재하 외, 1996)의 안동시, 청송군, 영양군, 봉화군, 1:250,000 강릉-속초지질도폭(김정찬 외, 2001)의 태백시가 포함된다(그림 1). 연구지역 내에는 태백에서 발원한 낙동강 본류와 낙동강 지류인 영양 소분지의 반변천, 그리고 길안천이 있다. 선캠브리아기 변성암류는 주로 편마암류와 편암류로 구성되며, 대부분 변성사질암, 변성이질암, 변성석회질암 등에 해당된다. 안동-영주지역의 화강암류는 선캠브리아기의 변성암류를 관입하는 심성암 복합체로서 석영섬록암에서 화강암에 이르는 다양한 암상을 보인다(황상구, 2000). 백악기 퇴적암류는 경상누층군의 신동층군 상부와 하양층군 하부에 해당되며, 변성암류와 화성암류를 부정합으로 덮고 있거나 단층접촉을 한다. 지역 동부의 퇴적암류는 영양소분지의 동화치층과 가송동층, 남부의 퇴적암류는 의성소분지의 하산동층, 진주층, 일직층, 후평동층이다. 영양소분지 남동부에는 백악기 후기에서 제3기 초기의 현무암질 및 안산암질 용암과 응회암, 데사이트질 및 유문암질 화쇄류 등의 화산암류가 분포한다.

시료 및 방법

야외에서 모암-사프롤라이트(saprolite)-토양이 함께 노출된 풍화단면 약 100개(화강암류 34, 변성

암류 10, 퇴적암류 47, 화산암류 9개)를 선정한 후에 좌표를 기록하고 노두의 사진을 찍은 후, 신선한 모암과 토양시료를 함께 채취하였다. 토양은 유기물 층을 걷어내고 15 cm 깊이의 토양을 1 kg 정도 채취하여 비닐 지퍼백에 보관하였다.

모암과 토양의 전암구성광물의 감정을 위해서 모암과 2 mm 이하 입도의 토양을 아게이트 유발에서 분쇄한 후, 분말X선회절(XRD) 분석을 실시하였다. 점토광물의 감정과 준정량분석을 위하여 0.075 mm 이하 입도로 분리한 토양시료를 초순수에 초음파로 분산처리한 후, 원심분리기로 2 µm 이하의 점토를 분리하였다. 점토 시료는 유리판 위에 필터법으로 정향시료를 만들고 에틸렌글리콜(Ethylene glycol) 처리(60°C에서 16시간)와 350°C, 500°C에서 가열처리하였다. 사용된 XRD 기기는 Rigaku D/MAX2200 장비였다. 작동 조건은 가속전압/전류가 40 kV/30 mA, 발산슬릿(divergent slit), 반산란슬릿(antiscatter slit), 수광슬릿(receiving slit)이 각각 1°, 1°, 0.15 mm, 주사속도 2°/min, 주사범위는 분말시료 2°~65°(2θ), 정향시료 2°~35°였다. 토양 점토광물의 XRD 준정량(semiquantitative) 분석은 해양퇴적물 분석에 많이 사용되는 Biscaye (1965)의 방법을 채용하였다. Biscaye (1965)의 방법은 원래 일라이트, 스펙타이트, 캐올리나이트, 녹니석의 총합을 100%로 정량화하는 것이나, 본 연구에서는 15 Å 부근에서 주피크가 중첩되어 나타나는 스펙타이트, 질석, 전이형 광물(녹니석-스펙타이트/질석 혼합층, 중간수산기 질석) 광물들을 에틸렌글리콜 및 가열처리로 감정하여 구분하였다.

점토광물의 분포

일라이트는 전 조사지역에 걸쳐 평균 45%의 함량을 보이며, 특히 퇴적암류 분포지역 토양에 61%까지 높게 함유되어 있다(그림 2). 그리고 화산암과 변성암 지역 토양에도 각각 48%와 33%로 비교적 함량이 높았다. 그러나 화강암류 지역의 평균 일라이트 함량은 27%로 다른 기반암에 비하여 상대적으로 함량이 낮았다. 본 연구의 일라이트는 광물학적으로 정의된 좁은 의미의 일라이트가 아니라, 현생 퇴적물이나 토양에서 흔히 언급되는 점토 크기의 극미립 운모입자들을 포괄한다.

캐올리나이트는 전 조사 지역에 걸쳐 평균 27%의 함량을 보이는데, 화강암류 지역 토양에서 평균 41%로 가장 높고(그림 2), 변성암 지역 26%, 화산

암 지역 25%, 퇴적암 지역 18%로 낮지만, 일라이트와 함께 전 지역 토양에 항상 함유되어 있다.

스펙타이트 함량은 전 조사 지역에서 평균 8%의 함량을 보이는데, 화강암류 지역이 평균 14%로서 가장 높고, 변성암 지역 6%, 퇴적암 지역 5%, 화산암 지역 8% 정도로 낮다(그림 2). 특히 안동 및 봉화의 화강암 분포지역 토양에서 스펙타이트의 함량이 국지적으로 매우 높았다.

녹니석과 질석은 전지역 평균 각각 2%와 1%로 소량 함유되어 있는데, 전체적으로 기반암의 종류에 관계없이 함량이 매우 낮았다(그림 2). 변성암류 지역 토양에서는 질석의 함량이 가장 높았다.

전이형 점토광물들은 전체 평균 15%로서 일라이트 및 캐올리나이트와 함께 전 지역에 넓게 분포하나, 특히 영양소분지 퇴적암 및 봉화지역 변성암 토양에서 함량이 높다(그림 2).

광물함량 변화의 원인

캐올리나이트는 장석의 가장 중요한 풍화 산물이지만, 장석 광물종에 따른 풍화정도의 차이는 매우 크다. 기존 연구들에 의하면 K장석은 풍화에 대한 저항성이 매우 큰 반면에, 사장석은 상대적으로 풍화에 매우 약하여 고령토 광물인 캐올리나이트와 할로이사이트(Jeong and Kim, 1993; 정기영과 이병운, 1998)로 풍화되는 경향이 있다. 사장석은 대부분의 암석에 포함되어 있기 때문에 캐올리나이트와 할로이사이트는 전지역 토양에 주요 점토광물로 함유되어 있다. 본 연구의 준정량분석법에서는 캐올리나이트와 할로이사이트를 구분하지 않으므로, 계산된 캐올리나이트 함량에는 할로이사이트도 상당히 함유되어 있을 것이다. 캐올리나이트의 함량이 화강암류 지역 토양에서 가장 높은 것은, 캐올리나이트의 주요 근원물질인 사장석이 화강암류 기반암에 가장 많이 함유되어 있기 때문이다. 한편, 퇴적암류 지역 토양에서는 캐올리나이트의 함량은 상대적으로 작다. 연구 지역의 주요 퇴적암인 경상계 퇴적암에 장석질 사암이 산출되기는 하지만, 전반적으로 사장석의 함량이 작기 때문에 캐올리나이트의 생성도 상대적으로 미약했던 것으로 보인다. 더구나 경상계 퇴적암 내 사장석들은 속성과정에서 엘바이트로 교대되었기 때문에 Ca가 함유된 일반 사장석보다 풍화에 약간 강한 것으로 생각된다.

일라이트는 경상계 퇴적암류 지역 토양에서 62%

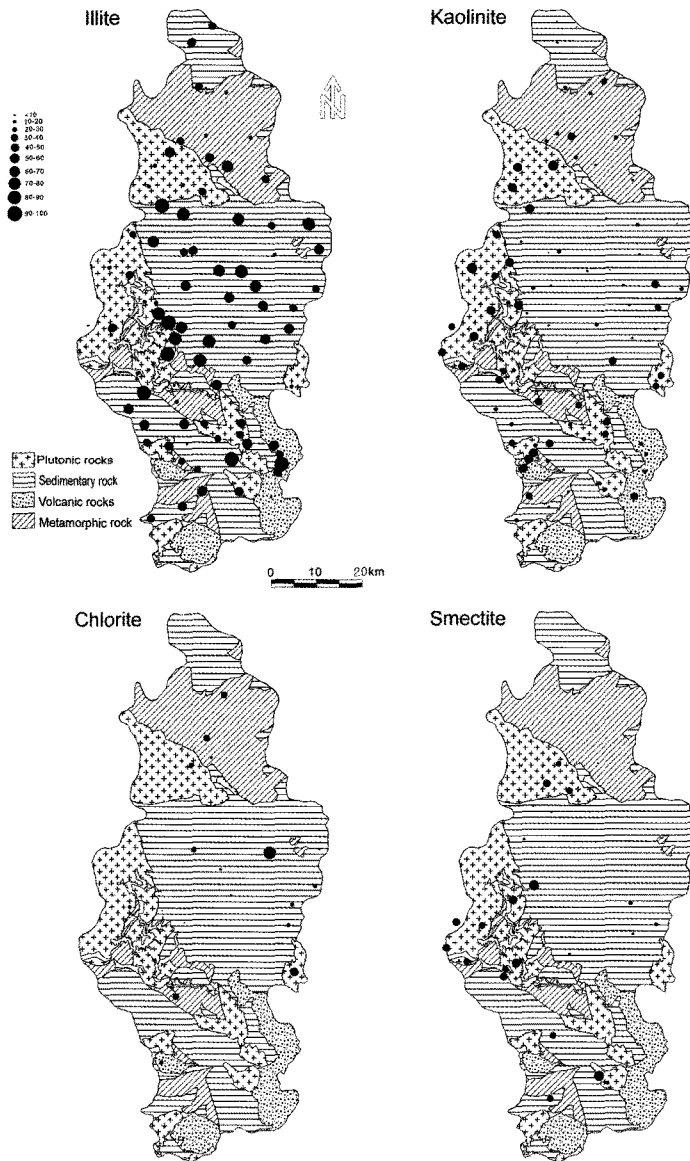


Fig. 2. Distribution of clay minerals in the soils of the northern drainage basin of the Nakdong River.

로 함량이 가장 높다. 이는 퇴적암 지역 토양의 경우, 일라이트가 모암인 실트암, 이암, 셰일의 주 성분으로 함유되어 있기 때문이다. 이들 퇴적암의 일라이트는 쇄설성 입자로 퇴적되었거나 퇴적암의 속성과정에서 새로이 생성된 자생광물로 알려져 있다. 일라이트는 퇴적암 외에도 대부분의 다른 기반암 지역에서 주요 토양 점토광물이었다. 안동 및 영주지역 화강암류 암석의 사장석들은 혼

히 마그마 냉각 후기의 초생변질작용(deuteric alteration)의 결과로 부분적인 건운모화 작용을 받았다. 풍화환경에서 사장석은 화학적으로 쉽게 분해되므로, 사장석 내의 건운모 입자들은 약간의 변질 과정을 거쳐 토양 내로 분산되며, 입도 측면에서 일라이트에 포함될 수 있다. 한편 Fordham (1990)은 화강암질 암석 내 흑운모가 풍화과정에서 극미립의 삼팔면체 일라이트로 풍화될 수 있음

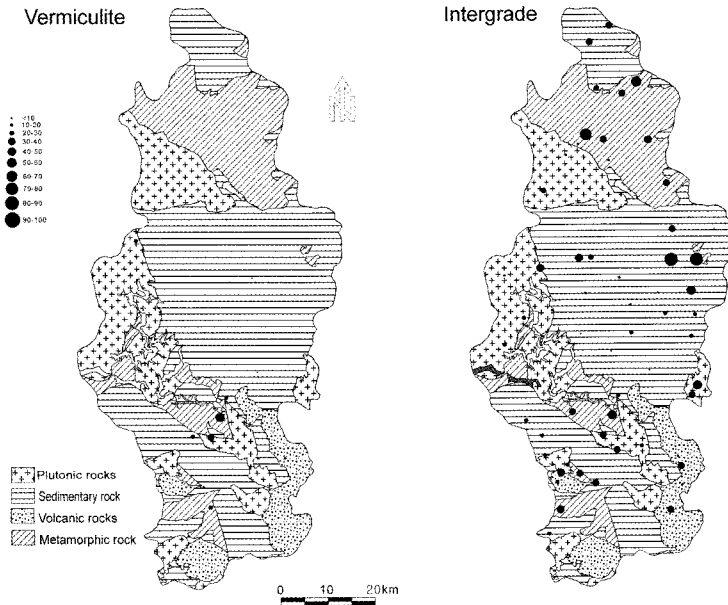


Fig. 2. Continued.

을 보고하였다. 편암이나 편암이 대부분인 변성암도 사장석의 견운모화작용은 흔한 현상이며, 흑운모가 다량 존재하므로, 변성암지역 토양 내 일라이트의 성인은 화강암류 지역과 유사할 것으로 판단된다. 화산암 지역의 경우, 화산유리의 열수변질 또는 속성변질 작용으로 견운모 혹은 일라이트가 생성되어, 토양 속에 잔류하는 것으로 판단된다.

화강암류 암석에 함유된 녹니석은 대부분 초생 변질작용의 결과로 풍화이전에 이미 생성되어 있었으며, 지표부근에서 버미큘라이트로 풍화된다. 반면에 변성암이나 퇴적암에 함유된 변성 또는 속성기원 녹니석은 직접적으로 버미큘라이트로 풍화되지 않고 혼합층광물로 주로 풍화되는 것으로 보인다. 이와 같은 차이는 설명하기 어려우나, 생성과정의 차이로 인한 약간의 결정구조적 차이에 기인한 것으로 보인다. 즉, 화강암류 암석에 함유된 녹니석은 흑운모를 열수 교대하여 생성된 것이며, 변성암이나 퇴적암에 함유된 녹니석은 변성 과정이나 속성과정에서 생성되었다.

한편, 화강암류 분포 지역의 국지적으로 높은 스�멕타이트 함량은 단층활동과 관련된 열수 작용과 관련된 것으로 판단된다. 안동 단층을 비롯한 단층들에 인접한 화강암류에는 변형에 의한 열극들이 흔히 관찰되며, 열극면은 흔히 스�멕타이트질 점토 광물로 피복되어 있거나 장석이 스�멕타이트

또는 일라이트-스멕타이트 혼합층 광물로 교대되어 있기도 하다. 향후 토양 내 스�멕타이트 함량이 높은 지역을 대상으로 기반암 내 스�멕타이트의 산출 상태를 조사해볼 필요가 있다.

녹니석은 전 지역 토양 내 평균 함량이 1.5%로 전반적으로 함량이 매우 낮다. 이는 모암 내 녹니석이 풍화에 매우 약하여 이미 점토광물로 대부분 풍화되었음을 의미한다. 안동 지역 화강암류 암석에는 풍화이전에 흑운모가 다양한 정도로 녹니석으로 열수 변질되어 있다. 화강암과 토양을 비교 분석한 결과, 녹니석이 대부분 질석으로 변질되었음을 알 수 있었다. 변성암과 퇴적암에 함유된 녹니석은 토양 내 전이형 광물들의 주요한 기원물질로 보인다. 그러나 모암과 토양의 비교분석에 의하면 경상계 퇴적암 지역 토양에 함유된 일부 녹니석-질석 또는 녹니석-스멕타이트 혼합층 광물은 원래 모암에 속성광물로 존재하던 것들이다.

요약 및 결론

안동-봉화-태백-영양-정송 지역 낙동강 유역의 토양의 광물학적 분석을 실시한 결과, 화강암류 분포 지역 토양에서 캐올리나이트와 스�멕타이트가 다른 기반암 지역 토양에 비하여 상대적인 함량이 높았다. 퇴적암 지역 토양에는 일라이트 함량이 특히

높고, 캐올리나이트, 스펙타이트, 전이형 광물들이 소량 함유되어 있었다. 변성암류와 화산암류 지역 토양은 화강암류와 퇴적암류 지역 토양의 중간 정도에 해당하는 점토광물조성 특성을 보이나, 혼합층 광물을 비롯한 전이형 광물의 함량이 조금 더 높았다. 토양 점토광물의 광물별 분포특성의 차이는 기반암의 광물조성과 광물 풍화도의 차이와 관련이 있다. 본 연구에서 확인된 기반암별 토양점토광물 조성의 차이를 입증하기 위한 보다 광범한 연구와 일반적 생성과정에 대한 연구가 이루어진다면 연안 해양퇴적물의 기원지 연구와 토양관리의 기본 자료로서 매우 유용할 것으로 보인다.

사 사

원고의 부족함을 상세히 지적하여 주신 손병국 박사 및 익명의 심사위원께 깊은 감사사를 드립니다.

참고문헌

김의선, 황진연, 김진섭, 함세영, 김재곤 (2001) 부산 북부지역의 모암 유형에 따른 토양의 구성광물 및 화학조성. 한국광물학회지, 14, 58-72.
 김정찬, 고회재, 이승렬, 이창범, 최성자, 박기화 (2001) 1:25만 강릉-속초 지질도폭설명서. 한국지질자원연구원.
 김종대, 문희수, 오상훈 (1996) 기반암이 다른 풍화단면에서의 광물조성 변화와 그 성질. 한국지구시스템공학회, 33, 349-357.
 이석훈, 김수진 (2000) 유구지역 화강암질 편마암의 풍화작용에 의한 광물조성의 변화. 한국광물학회지, 13, 121-137.
 이석훈, 김수진 (2002) 흑운모의 풍화작용에 의한 1:1 점토광물의 형성 메커니즘. 한국광물학회지, 15, 221-230.
 장용선, 정석재, 김선관, 정연태 (2004) 모재별 토양의 점토광물 특성 규명. 한국토양비료학회지, 37, 293-303.
 정기영 (1998) 팔공산 화강암내 흑운모의 풍화작용에서 생성되는 고령토 광물들의 광물학적 특성 및 생성환경. 한국광물학회지, 11, 97-105.
 정기영, 김수진 (1994) 산청지역 고령토의 성인: 광물 및 조직분석 연구. 지질학회지, 30, 262-283.
 정기영, 이병윤 (1998) 팔공산 화강암내 사장석의 풍화. 지질학회지, 34, 44-57.
 정기영, 김수진, 김영호, 조현구 (1995) 산청 고령토 중의 흑운모의 풍화작용에 의한 캐올리나이트의 생성.

한국광물학회지, 8, 37-45.
 최진용, 김석운 (1998) 한반도 주변해역 점토광물의 함량과 분포. 한국지구과학회지, 19, 524-532.
 황상구 (2000) 안동저반. 2000년도 한국암석학회 · 한국광물학회 학술답사안내서.
 황재하, 김동학, 조동룡, 송교영 (1996) 1:25만 안동 지질도폭 설명서. 한국지질자원연구원.
 Biscaye, P. (1965) Mineralogy and sedimentation of recent deep sea clay in the atlantic ocean and adjacent seas and oceans. Geological Society of America Bulletin, 76, 803-831.
 Fordham, A.W. (1990) Formation of trioctahedral illite from biotite in a soil profile over granite gneiss. Clays and Clay Minerals, 38, 187-195.
 Jeong, G.Y. (2000) The dependence of localized crystallization of halloysite and kaolinite in the weathering profile of granite. Clays and Clay Minerals, 48, 196-203.
 Jeong, G.Y. and Kim, S.J. (1993) Boxwork fabric of halloysite-rich kaolin formed by weathering of anorthosite in the Sancheong area, Korea. Clays and Clay Minerals, 41, 56-65.
 Jeong, G.Y. and Kim, H.B. (2003) Mineralogy, chemistry, and formation of oxidized biotite in the weathering profile of granitic rocks. American Mineralogist, 88, 352-364.
 Jeong, G.Y. and Yoon, H.I. (2001) The origin of clay minerals in soils of King George Island, South Shetland Islands, West Antarctica, and its implications for the clay-minerals compositions of marine sediments. Journal of Sedimentary Research, 71, 833-842.
 Jeong, G.Y., Cheong, C.-S., and Kim, J. (2006) Rb-Sr and K-Ar systems of biotite in surface environments regulated by weathering processes with implications for isotopic dating and hydrological cycles of Sr isotopes. Geochimica et Cosmochimica Acta 70, 4734-4739.
 Park, B.-K. and Han, S.-J. (1983) The distribution of clay minerals in recent sediments of the Korea Strait. Sedimentary Geology, 41, 173-184.
 Park, Y.A. and Khim, B.K. (1990) Clay minerals of the recent fine-grained sediments on the Korean continental shelves. Continental Shelf Research, 10, 1179-1191.
 Sposito, G. (1989) The Chemistry of Soils. Oxford University Press.
 접수일(2008년 11월 3일), 수정일(1차 : 2008년 12월 3일), 게재확정일(2008년 12월 3일)