

## 부산 북부지역의 모암유형에 따른 토양의 구성광물 및 화학성분

### Mineralogy and Chemical Composition of Soils with Relation to the Types of Parent Rocks in the Northern Pusan Area

김의선 (Eui Sun Kim)\* · 황진연 (Jin Yeon Hwang)\* · 김진섭 (Jin Sup Kim)\* ·  
함세영 (Se Yeong Hamm)\* · 김재곤 (Jae Gon Kim)\*\*

\*부산대학교 지질학과

(Department of Geology, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea, E-mail: hwangjy@pusan.ac.kr)

\*\*농업기반공사

(Korea Agricultural & Rural Infrastructure Corporation, Anyang, 430-600)

요약 : 부산 북부지역에는 중생대 백악기의 화강암, 안산암, 퇴적암이 넓게 분포되어 있다. 이들의 모암에 따른 각분포지의 풍화잔류토, 발토양, 논토양에 대해 구성광물과 화학성분을 조사하여 이를 비교 검토하였다. 화강암 분포지의 토양은 석영을 많이 함유하며, 안산암 분포지 토양에는 점토광물의 함량이 높게 나타난다. 모든 토양의 점토광물로는 카올린광물, 일라이트, 수산화층간 비미콜라이트, 운모/비미콜라이트 혼합층광물, 녹니석 등이 주로 포함된다. 카올린광물은 논토양에 다소 많이 함유되며, 일라이트는 풍화가 덜된 풍화토에 비교적 많이 함유된다. 토양의 주화학성분에서는 화강암 분포지 토양에서 Si, K가 많으며, 안산암 분포지에서 Fe, Al이 다소 많은 함량을 보인다. 모든 토양에서 모암의 성분에 비하여 Ca, Mg, Na가 감소하는 경향을 나타냈다. 토양의 미량화학성분에 있어서 100 ppm 이상의 함량을 보이는 원소들은 화강암 분포지에서 Ba, Rb, 안산암 분포지에서 Zn, Ba, V, 퇴적암 분포지에서 Ba, V 으로 모암에 따라 차이를 보인다. 화강암 분포지의 토양이 모암에 비해 Rb, Th가 크게 부화되는 특징을 나타낸다. 이와같이 모암의 종류에 따라 원소의 거동이 다르게 나타났다. 그러나 모든 토양에 있어서 공통적으로 Cr, Ni, Sr이 감소하고 Pb가 다소 부화되는 경향을 보인다. 양이온교환용량은 점토광물의 함량이 많은 안산암 분포지의 토양에서 비교적 많은 함량을 나타냈다. 이상의 검토결과, 각 모암의 분포지에 따라 토양의 광물성분과 화학성분 등이 특징적인 차이를 보여, 토양의 특성이 모암의 종류에 크게 좌우되는 것으로 나타났다. 인공적 경작지인 논과 발토양의 광물성분 및 화학성분도 모암과 조화적이며, 풍화토의 범위가 크게 벗어나지 않았다.

주요어 : 구성광물, 화학성분, 풍화잔류토, 경작지 토양, 점토광물.

**ABSTRACT:** The Cretaceous granite, andesite and sedimentary rocks are widely distributed in the northern Pusan area. The present study investigates mineralogical and geochemical characteristics of residual and cultivated soils derived from these rocks. The soils of granite area contain a large amount of quartz relative to clay minerals, whereas the soils of the andesite area contain more clay minerals than quartz. Clay minerals consist mainly of kaolin minerals, illite, hydroxy interlayered vermiculite, interstratified mica/vermiculite, and chlorite. Kaolin minerals are abundant in paddy soils, while illite is abundant in less weathered soils. Si and K are major elements in the soils of granite area, while Fe and Al in the soils of andesite area. In all the soils, Ca, Mg and Na were generally depleted in comparison to those in parent rocks. Analysis data of trace element show that the enrichment pattern in soils depends on parent rock type with high concentration of some elements over 100 ppm: Ba and Rb in granite area, Zn, Ba, and V in andesite area, and Ba and V in sedimentary rock. In granite area, Rb and Th were greatly enriched in

soil than in parent rocks. However, Cr, Ni and Sr commonly decrease, whereas Pb increases in all the soils. Exchangeable cation capacity (CEC) is relatively high in the soils of andesite area including abundant clay minerals. Collective evidences prove that the mineralogical and chemical compositions of soils are strongly dependent on the parent rock type. The mineralogy and chemistry of long cultivated soils are not significantly different from those of residual soils.

**Keywords :** Mineralogy, Chemical Composition, Residual Soil, Cultivated Soil, Clay Mineral.

## 서 언

지표에서는 암석이 물리적·화학적인 풍화작용을 받아 토양으로 변한다. 그리고, 이러한 풍화작용은 모암의 종류, 기후, 시간, 지형, 식생 등의 요인에 따라 다양한 풍화산물을 포함하는 토양을 형성시킨다(오종민, 배재호, 1997). 토양은 지각의 표층부분에 존재하며 자연적인 풍화토 및 퇴적물과 함께 논·밭 등의 경작지 등을 포함하고 있다. 이러한 토양은 물·공기 등과 함께 환경의 중요한 구성인자이며, 인간을 비롯한 생물의 생존 기반으로서 또는 물질의 순환이나 생태계의 유지요소로서 중요한 역할을 담당하고 있다. 그 동안 토양에 대해서는 농학적 측면에서 많은 연구를 해왔으며, 최근에 환경의 중요성이 대두되면서부터 토양오염 등의 환경적 측면의 연구가 증가되고 있다. 우리나라에 있어서는 최근에 폐광산 주변 토양의 오염에 관한 연구(김경웅 외, 1996; 이재영 외, 1996; Jung and Thornton, 1996; 박종진 외, 1997; 이도경 외, 1997; 이상규 외, 1997; 이찬희 외, 1998)와 농경지를 포함한 토양의 중금속 오염에 관한 연구(김복영 외, 1995; 김기현 외, 1996; 전효택, 안수성, 1996; 김진섭 외, 1997; 허봉구 외, 1997) 등의 토양오염에 관한 많은 연구가 이루어졌다. 토양의 구성물질은 주로 광물이기 때문에 토양을 이해하기 위해서는 구성광물에 대한 검토가 필수적이다. 그동안 우리나라 토양의 생성과정과 구성광물에 대한 연구도 다소 이루어진 바 있으나(엄명호 외, 1991; 황진연, 장명익, 1994, 이수재, 김수진, 1994, 이석훈, 김수진, 2000), 모암에 따른 토양의 구성광물과 화학성분을 종합적으로 비교검토한 연구는 매우 드물다.

따라서 이 논문에서는 화강암, 안산암, 퇴적암의 3가지 모암이 넓게 분포되어 있는 부산의 북부지역인 철마면과 일광면 일대의 풍화잔류

토(풍화토)와 경작토를 대상으로 그 구성광물 및 화학성분을 조사하여 이 결과를 비교검토하였다. 이러한 연구는 모암에 따른 토양의 광물 성분 및 화학성분의 차이를 밝히는 것과 함께 이들의 토양화에 따른 변화과정을 규명하고자 한다. 그리고, 인위적으로 개발된 논과 밭의 토양에 대해서도 자연적 풍화토를 기준으로 구성성분을 비교함으로써 현재 토양환경을 검토하고자 한다. 즉, 같은 모암의 분포지에 있어서 자연적으로 형성된 풍화토를 기준으로 비료, 농약 등의 인위적인 첨가제가 포함될 수 있는 논·밭토양에 대한 비교검토를 통하여 현 환경하에서의 물질거동 실태를 밝히고자 하였다. 이러한 연구는 암석의 토양화에 따른 광물의 생성 및 변화와 이에 따른 지화학적 거동을 밝히는 것 이외에도 농업 및 환경문제에 응용될 수 있는 토양환경적으로 유용한 자료가 제시될 것으로 생각된다. 이번의 연구지역은 부산 북부의 일부 지역이며, 3가지의 모암이 분포하는 이 지역은 거의 비슷한 고도와 지형을 나타내며, 이들 모암들은 모두 중생대 백악기에 형성된 암석이기 때문에 토양화를 일으키는 풍화작용의 요인들 중에서 기후, 시간, 지형, 식생 등은 거의 유사한 것으로 간주할 수 있다. 따라서 이 연구지역은 모암의 종류에 따른 토양 특성의 차이를 밝히는데 매우 적합한 것으로 판단되어 연구를 행하였다.

## 시료 및 연구방법

연구지역은 부산시 철마면과 일광면을 포함하는 일대지역으로 화강암, 안산암, 퇴적암의 각 분포지에 대하여 암석 및 토양의 산출상태를 조사하고 시료를 채취하였다(Fig. 1). 각 모

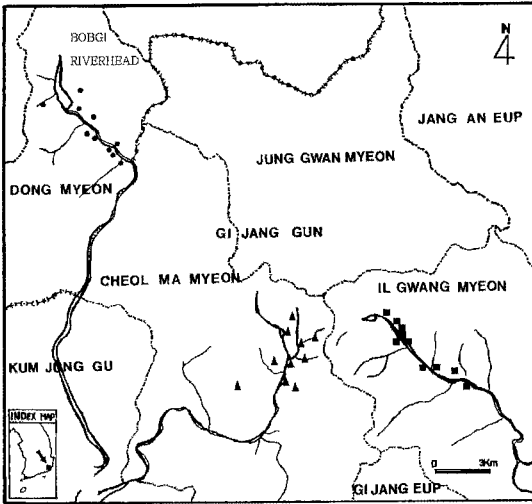


Fig. 1. Locality map of the study area.

암이 넓게 분포하는 지역에서 같은 수계와 분수령으로 구획된 분지형태의 지형을 보이는 곳을 대상으로 토양 시료를 채취하였다. 토양시료는 각 모암의 분포지역별로 풍화토, 논토양, 밭토양으로 구분하여 채취하였고, 풍화토는 모암에서부터 상부의 표토층까지 풍화양상을 잘 보여주는 단면의 풍화잔류토를 대상으로 채취하였다. 풍화토는 소위 황토라고도 부를 수 있는 상부에 적갈색을 띠는 풍화토와 그 하부의 황색을 띠는 풍화토의 2종류를 채취하였고, 그리고 신선한 모암도 채취하여 비교 분석하였다. 농경지로 넓게 이용하는 논, 밭 토양은 각 분포지로 대표되는 논토양 4개, 밭 토양 3개씩을 채취하여 분석하였다. 이들은 지표에서 약 10 cm 이하의 지점에서 채취하였다.

채취된 모든 시료는 실내에서 건조시킨 후 아게이트 막자로 미분하여 X-선회절분석(X-ray diffraction, XRD) 및 화학분석 등을 행하였다. 그리고 모든 시료에 대해서는 분쇄시킨 후 수증침방법에 의하여 2  $\mu\text{m}$  이하의 점토성분을 분리하여 정방위 시편을 만들어 XRD분석을 실시하여 점토광물을 조사하였다. 논토양과 같이 유기물을 다량 함유하는 시료에 대해서는 과산화수소수를 이용하여 유기물을 분해시킨 후 구성광물을 조사하였다. XRD분석기(Rigaku Geigerflex 2301) 측정조건은 CuK $\alpha$ , 전압 30 kV, 전류 15 mA, 주사속도 2° 2 $\theta$ /min, 시정수 1 sec, 슬릿(slit) 1°-0.3 mm-1° 였다. 점토광물의 정

확한 식별을 위하여 약품처리와 가열처리 등을 행하였다. 그리고, 석영 및 장석과 같은 광물의 정량은 산화아연의 분말을 내부 표준물질로 이용한 방법(Chung, 1974)으로 측정하였다. 내부 표준물질에 대한 각 광물의 대표적인 2~3개의 회절선에 대해 강도비를 측정하여 정량하고 이들을 평균하였으며, 또 같은 시료에 대해 같은 방법으로 2회 반복하여 정량하였다. 그리고, 점토광물의 정량은 정방위 시편에 대한 XRD분석을 행한 후, NEWMOD 프로그램(Reynold and Reynold, 1996)을 이용하여 회절선을 시뮬레이션하여, 상대적 함량을 측정하여 반정량하였다.

pH 측정방법은 환경처에 의한 수질환경 공정시험방법(동화기술편집부, 1993)에 제시된 방법을 따랐다. 즉 분말시료 5 g을 비이커에 담고 증류수 25 mL을 부어 일정 시간 혼합하여 1시간 방치 후 pH측정기(ORION 420A)로 측정하였다. 교환성양이온의 함량은 NH<sub>4</sub>OAc을 사용한 간이법(농업기술연구소, 1988)에 따라 분석하였다. 여액 중 양이온의 함량 측정은 원자흡광분광 분석기(Shimadzu AA-670)을 이용하였다. 토양 및 모암의 주성분의 화학분석은 기초과학지원 연구소 부산분소의 X-선형광분석기(XRF)에 의하여 실시하였다. 그리고 미량원소와 희토류원소의 분석은 기초과학지원연구소 서울분소의 유도결합플라즈마분석기(ICP)를 이용하였다.

약산에 의한 용출실험은 80 메쉬(mesh) 이하의 시료 10 g에 50 mL의 0.1 N HCl을 넣은 후, 항온 진탕기를 이용하여 30°C를 유지하며 1시간 흔들어 반응시킨 후 원심분리하여 여액을 분석하였다. 용출된 양이온의 측정은 기초과학지원 연구소 부산분소의 플라즈마분석기(ICP)를 사용하였다.

### 일반지질

본 연구지역 지질에 대한 조사는 손치무 외(1978)에 의한 동래·월내 도폭(1:50000)으로 보고된 바 있으며, 암석학적 연구도 이루어진 바 있다(차문성, 1976; 윤성효, 차문성, 1982; 김진섭, 윤성효, 1993). 본 연구지역 일대의 지질은 중생대 백악기에 속하는 퇴적암류와 이를 관입 및 분출한 화산암류, 불국사 화강암류로 주로 구성되어 있다(Fig. 2).

퇴적암류는 대체로 흑색 또는 암회색의 셰일

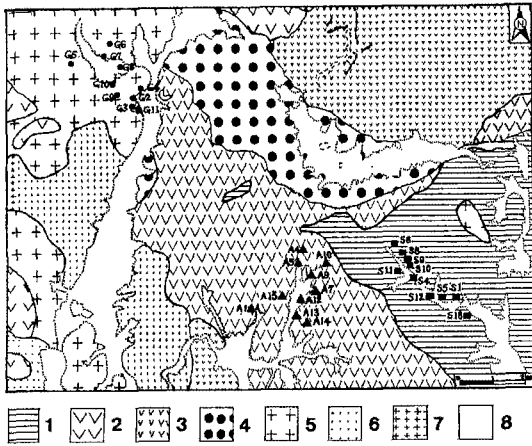


Fig. 2. Geological map of the study area (after Son et al., 1978) and sampling locations.

로 되어 있으며 실트암 및 세립질사암이 협재된다. 이들은 대부분 혼펠스화되어 있다. 화산암류는 안산암질암과 래필리 응회암으로 대별된다. 안산암질암은 본 역에서 가장 넓은 분포 면적을 가지며 철마면, 정관면, 기장면과 동래구 등에 주로 분포한다. 이것은 흑색 치밀한 안산암으로 주로 구성되어 있다. 편광현미경하에서는 사장석의 반정을 포함하는 반상조직을 보인다. 화강암류는 흑운모 화강암, 화강섬록암, 아다멜라이트, 미분상화강암이 나타난다. 이번 연구에서는 흑운모 화강암 분포지역을 대상으로 하였다.

## 결과 및 고찰

### 주구성광물의 종류 및 함량

각 지역에서 채취한 시료의 XRD분석을 통하여 구성광물을 식별한 결과, 모든 시료에서 석영과 장석을 포함하고 있으며, 시료에 따라서 운모 및 각섬석이 수반되며, 카올린광물, 일라이트, 수산화층간 비미클라이트(HIV), 운모/비미클라이트혼합층광물, 녹니석 등의 점토광물이 나타난다(Table 1). 화강암 분포지에서 채취한 시료는 타 분포지에 비해 석영과 장석이 비교적 많이 포함되고 있다. 안산암 분포지의 시료에서 소량의 각섬석을 함유하는 특징을 보여준다. 점토광물로는 카올린광물과 일라이트가 주로 많이 포함되며 다른 점토광물은 드물게

산출한다.

모암 중의 1차광물로 보이는 석영, 장석 및 각섬석의 함량을 검토한 결과를 Table 2에 나타냈다. 화강암 분포지의 토양들은 석영이 25~67%의 범위를 보여 타분포지에 비해 많은 함량을 보이는 반면 안산암 분포지에서는 10~36%으로 적은 함량을 나타낸다. 그리고 장석도 화강암 분포지에서 9~34%의 범위로 가장 많은 함량을 나타낸다. 이러한 석영과 장석의 함량은 모암의 광물조성과 잘 일치하는 것으로 생각된다. 여기서 석영은 모암 중의 함량과 큰 차이가 없으나 장석은 모암보다 토양에서 대부분 적은 함량을 나타내는데, 이것은 석영은 풍화작용에 의한 변화가 없는 반면에 장석은 많은 분해가 일어났기 때문이다. 안산암과 퇴적암 분포지에서의 토양 중 장석의 함량은 모암에 비하여 매우 적은 함량을 보이는데 이것은 풍화에 약한 사장석이 주로 구성되어 있기 때문으로 보인다. 안산암 분포지의 일부 시료에서 모암의 석영 함량보다 토양에서 다소 많은 함량을 보이는 것은 안산암 분포지내에는 안산암과 함께 응회암도 협재되고 있기 때문으로 생각된다. 석영, 장석, 각섬석을 제외한 나머지 함량은 대부분 점토광물의 함량에 해당되는 것으로 보아도 큰 차이가 없을 것으로 보인다. 일부 운모 등의 광물이 포함될 수 있지만 토양화된 시료에서는 거의 일라이트 등의 점토광물로 변화된 것으로 판단된다. 약간의 오차를 무시하면 이러한 나머지 함량을 점토광물함량으로 간주하여도 좋을 것 같다. 나머지 광물함량은 화강암 분포지에서 18~57%, 안산암 분포지에서 48~88%, 퇴적암 분포지에서 41~80%의 범위를 나타낸다. 따라서 점토광물의 함량은 안산암 분포지에서 가장 많이 나타나고 화강암질암 분포지에서 가장 적은 특징을 보인다. 이것은 안산암에는 유리질물질과 사장석 등 풍화에 약해 점토광물로 변질되기 쉬운 물질과 조직을 많이 가지고 있기 때문으로 생각된다. 이상의 광물조성에 대해 분포지 및 토양 종류별 광물의 평균함량을 Fig. 3에 그래프로 비교하여 나타냈다. 여기서 모암의 분포지별로 차이가 잘 나타난다. 화강암 분포지에서는 풍화토에서 장석의 함량이 대체로 많으며 논과 밭 토양에서는 장석이 다소 적으며 점토광물이 약간 많은 경향이 있다. 안산암 분포지에서는 논토양에서 장석이 매우 적고 점토광물

**Table 1.** Mineralogy of the rocks and soils in the studied area.

Sample	Qtz	Fd	Am	Chl	Ill	Kao	HIV	M/V	
G	WS	G2-R	+++	+		++	++	+	
		G5-R	+++	++		+	++	+	
		G6U-R	++	++			++		
		G6L-Y	+++	+++			+		
	FR	G6P	+++	+++		+			
	PS	G4	+++	++		+	+++		
		G8	++	++		++	+++	+	
		G9	+++	++		+	+	+	
		G11	+++	+		+	+++	+	
		FS	G3	+++	+		+	++	+
G7			+++	++		+	++	+	
G10	+++		++		+	++	+		
A	WS	A1-R	+	+		+	+++	+	
		A10-R	+	+	+		++	+	
		A4U-R	++	+			+++	+++	+
		A4L-Y	+	+			+++	+++	
	FR	A4P	+	++	++	++	+		
	PS	A5	+++	+			+++	++	+
		A9	+++	+	+		+	+++	+
		A12	++	++	+		+	+++	+
		A13	+++	+	+		+	+++	+
		FS	A7	++	+			+	+++
A14			+	+			+++	+++	+
A15	+		+	+		++	+++	+	
S	WS	S1-R	+++	+		+	+++	+	
		S6-R	+++	+		+	++		
		S9U-R	+	+			+	+++	
		S9L-Y	+	+			++	++	
	FR	S9P	+++	+++		+	++		
	PS	S4	+++	+			+	+++	+
		S10	+++	+			+	+++	+
		S12	+++	+			+	+++	+
		S13	+++	+			++	+++	+
		FS	S5	+++	++			+	+++
S8			++	++			++	++	+
S11	+++		+			++	++	+	

G: Granite, A: Andesite, S: Sedimentary rock. FR: Fresh rock, WS: Weathered soil, PS: Paddy soil, FS: Farmland soil, -R: Reddish soil, -Y: Yellowish soil Qtz: Quartz, Fd: Feldspar, Am: Amphibole, Chl: Chlorite, Ill: Illite or mica, Kao: Kaolin mineral, HIV: Hydroxy interlayered vermiculite, M/V: Interstratified mineral of mica and vermiculite. +++: Abundant, ++: Moderate, +: Rare.

이 많이 포함된다. 퇴적암 분포지에서는 풍화토에서 장석과 점토광물이 상대적으로 많이 함유된다. 퇴적암은 층리별로 여러 암석들이 다양하게 구성되기 때문에 지역에 따라 구성광물의 차이가 다소 크게 나타날 수 있을 것으로 생각된다.

**점토광물의 식별 및 함량**

점토분을 분리한 시료에 대해 각종 처리를 통한 X-선 회절분석에 의하여 점토광물의 식별

을 행하였다. Fig. 4 에는 퇴적암 분포지역의 한 시료에 대해 각종 처리한 X-선 회절선을 대표적으로 나타냈다. 14 Å 회절선은 에칠렌글리콜 처리에서 거의 변화가 없으며, 1 N MgCl<sub>2</sub>로 Mg 포화 처리를 한 후에도 회절선이 거의 변하지 않았으며, Mg 포화 후 글리세롤 처리에서도 층간격의 변화가 없었다. 또한 1 N KCl을 사용하여 K로 포화한 후의 회절선은 본래와 거의 변함이 없었으나, 300°C, 550°C로 1시간씩 가열할수록 조금씩 수축하여 10 Å에 가까운 회절선을 나타냈다. 이러한 결과로 보아 이 광물은

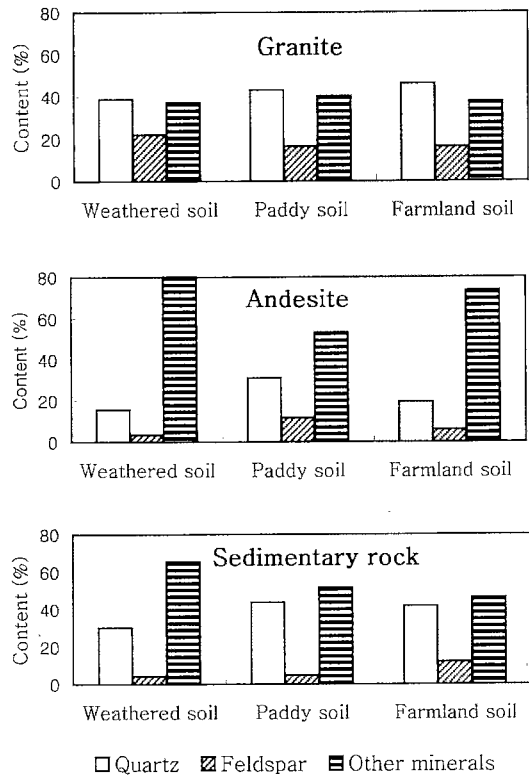
**Table 2.** Mineral contents of the rocks and soils in the studied area (wt. %).

Sample	Qtz	Fd	Am	Others	
WS	G2-R	48.6	9.0	42.4	
	G5-R	34.6	20.6	44.8	
	G6U-R	32.7	24.9	42.4	
	G6L-Y	39.3	33.7	27.0	
FR	G6P	56.0	43.4	0.6	
G	G4	34.6	21.3	44.1	
	PS	G8	24.6	18.3	57.1
	G9	66.6	15.3	18.1	
	G11	46.9	11.3	41.8	
FS	G3	51.6	11.3	37.1	
	G7	41.6	20.6	37.8	
	G10	45.0	17.3	37.7	
WS	A1-R	18.3	6.4	75.3	
	A10-R	13.0	2.7	2.7	81.6
	A4U-R	10.7	1.7	87.6	
	A4L-Y	20.6	3.0	76.4	
FR	A4P	15.4	33.6	10.6	40.4
A	PS	A5	31.3	3.3	65.4
	A9	35.4	12.7	3.0	48.9
	A12	28.3	20.0	3.0	48.7
	A13	32.0	11.3	6.7	50.0
FS	A7	21.6	10.0	68.4	
	A14	20.0	5.3	74.7	
	A15	17.0	2.7	2.7	77.6
WS	S1-R	42.3	3.7	54.0	
	S6-R	41.6	3.7	54.7	
	S9U-R	17.7	2.8	79.5	
	S9L-Y	18.9	7.2	73.9	
FR	S9P	33.6	45.0	21.4	
S	PS	S4	41.0	4.0	55.0
	S10	44.7	3.0	52.3	
	S12	46.6	7.3	46.1	
	S13	42.6	4.3	53.1	
FS	S5	40.3	14.3	45.4	
	S8	30.6	17.7	51.7	
	S11	54.6	4.0	41.4	

For the abbreviations, see Table 1.

층간에 Al과 수산기를 가지는 수산화층간 버미클라이트(HIV, hydroxy interlayered vermiculite)에 해당되는 것으로 보인다(Douglas, 1977). 이 광물을 녹니석-버미클라이트 중간체광물 혹은 Al-버미클라이트라고 부르기도 한다(岩生周一 등, 1985). 그리고 일부 시료에서 500°C 가열시에 14 Å의 매우 작은 회절선이 남아 있는 경우가 있는데 이것을 녹니석으로 판단하였다.

12 Å의 회절선을 나타내는 광물의 12 Å 회절선은 Mg 포화후와, Mg 포화후 글리세롤(Glycerol)



**Fig. 3.** Diagrams showing mineral variation in the soils derived from different parent rocks.

을 처리한 후에도 아무 변화를 보이지 않았다. 가열처리에서 저면간격의 수축을 보이며, 550°C 가열처리에서 10 Å의 회절선을 나타내었다. 그리고 무처리에서 12.2 Å의 회절선과 함께 약 25 Å 부근의 장주기 반사를 약하게 나타내었다. 이것으로 보아 이 광물은 운모/버미클라이트 혼합층광물로 생각된다. 이 광물은 안산암과 퇴적암 분포지의 밭토양 시료에서 소량 나타난다. 10 Å의 회절선은 여러 처리에서 d값 및 강도에 거의 변화가 없어 일라이트에 해당되는 것으로 생각된다.

7 Å의 회절선을 나타내는 카오린 광물은 거의 모든 시료에 상당량 포함되어 있다. Churchman *et al.* (1984)에 의해 제안된 것으로 카오린 광물 중 할로사이트(halloysite)와 카오리나이트(kaolinite)를 구별하는 방법인 폼아미드(formamide) 처리실험을 행하였다. 그 결과, 모든 시료에 있어서 폼아미드 처리 한 후 1시간 이내에 7 Å의 회절선의 일부가 10 Å으로 이동되

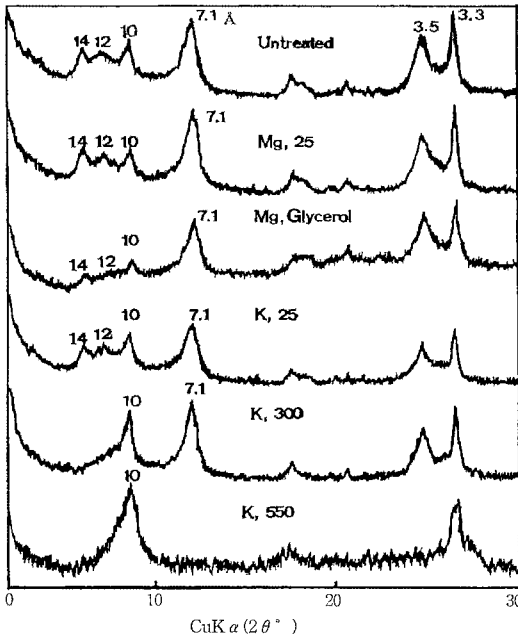


Fig. 4. X-ray diffraction patterns of clay fraction in a soil from sedimentary rock area. Mg, 25: Mg saturation and air-dry, Mg, Glycerol: Mg saturation and glycerol treated, K, 25: K saturation and air-dry, K, 300: K saturation and heating at 300°C, K, 550: K saturation and heating at 550°C.

는 것이 나타났다. 따라서 대부분의 토양시료의 카올린 광물은 할로이사이트와 카오리나이트가 함께 구성되어 있는 것으로 보인다. 처리 후 회절선의 강도변화로부터 할로이사이트와 카오리나이트의 구성비율을 대략적으로 추정해 본 결과, 풍화가 덜된 황갈색 풍화토에서는 할로이사이트가 비교적 많이 포함되어 있으며, 그 외의 논 및 밭토양에서는 카오리나이트가 우세한 것으로 나타났다.

각 시료 중 점토광물의 상대적 함량을 반정량한 결과를 Table 3에 나타냈다. 그 결과 카올린 광물이 전체적으로 40~87%로 가장 많은 함량을 나타내며, 그 다음으로 일라이트가 8~59%의 범위를 나타낸다. 이들의 함량은 각 모암의 분포지 및 토양종류별로 큰 차이는 잘 나타나지 않는다. 그러나 평균치로 보면 안산암 분포지 토양에서 카올린광물이 약간 많으며, 화강암 분포지 토양에서는 일라이트가 약간 많은 경향을 보인다. 전반적으로 논토양이 다른 토양에 비해 카올린광물의 함량이 다소 많고 일라이트

Table 3. Contents of clay minerals in the soil samples (wt. %)

Sample	Kao	Ill	M/V	Chl	HIV
WS	G2-R	53.5	38.4		8.1
	G5-R	60.7	26.1		13.2
	G6U-R	58.0	42.0		
	G6L-Y	49.3	50.7		
G	FR G6P				
	G4	71.6	20.2		8.2
	G8	62.2	29.2		8.6
	PS G9	43.6	40.3		16.1
FS	G11	76.8	14.6		8.6
	G3	68.2	24.3		7.5
	G7	51.3	34.4		14.3
	G10	66.3	29.7		4.0
WS	A1-R	87.5	10.4		2.1
	A10-R	62.0	33.5		4.5
	A4U-R	55.9	40.5		3.6
	A4L-Y	59.9	40.1		
FR A4P		56.6		43.4	
A	A5	39.6	59.3		1.1
	PS A9	66.5	30.1		3.4
	A12	68.2	29.4		2.4
	A13	81.8	11.2		7.0
FS	A7	65.8	17.4	9.5	7.3
	A14	51.8	38.0	5.8	4.4
	A15	54.5	31.8	7.9	5.9
	S1-R	70.2	22.4		7.4
WS	S6-R	56.7	8.3		35.0
	S9U-R	83.8	16.2		
	S9L-Y	54.8	45.2		
	FR S9P		80.4		19.6
S	S4	79.8	15.3		4.9
	PS S10	76.9	14.7		8.4
	S12	70.1	22.1		7.8
	S13	67.9	29.2		2.9
FS	S5	68.7	15.2	2.9	13.2
	S8	42.4	53.9	1.0	2.7
	S11	49.3	45.4	2.2	3.1

For the abbreviations, see Table 1.

가 약간 적게 포함된다. 풍화토 시료에 있어서 상부의 적갈색 토양은 카올린광물이 많고, 그 하부의 황갈색 풍화토에서는 상대적으로 일라이트가 많은 경향이 모든 분포지에서 나타난다. 이는 우리나라의 일반적인 황토(풍화토)에서의 연구결과(황진연 외, 2000)와 일치한다. 수산화층간 버미클라이트(HIV)는 거의 모든 논 및 밭 토양에 소량 포함되어 있으며, 풍화토에서는 상부의 적갈색 토양에서 나타난다. 운모/버미클라이트 혼합층광물은 안산암과 퇴적암 분포지의 밭토양에서 소량 포함되었다. 이상과 같이 모암

의 분포지와 토양 종류에 따라 점토광물의 조성이 차이를 나타냈다.

이상과 같은 구성광물의 산출상태로 볼 때 장석, 운모, 각섬석 등의 1차 광물이 풍화작용에 의해 카오린광물, 일라이트, HIV, 운모/버미큘라이트 혼합층광물 등의 점토광물로 변화되는 것으로 나타났다. 모암의 종류에 따라 약간의 차이는 있지만 대체적으로 볼 때, 풍화가 덜 진행된 황갈색의 황토에서 일라이트가 비교적 많이 포함되고, 많은 풍화과정을 겪은 표토층인 적갈색 풍화토와 논토양에서 카오린광물과 HIV가 많은 경향을 나타냈다. 이것으로 보아 암석의 풍화작용에 의해 일라이트가 비교적 먼저 형성되고 그 뒤에 HIV와 카오리나이트가 형성되는 것으로 생각된다. 일반적으로 알려진 풍화 안정도(Jackson *et al.*, 1948)와, 풍화작용에 따라 2:1 층형 점토광물에서 1:1 층형 점토광물로 일반적으로 변화된다는 Velde(1992)의 연구로 볼 때 함량이 적은 HIV보다는 카오린광물이 이 지역 풍화작용의 최종 산물로 생각된다.

#### 토양의 주화학생분

모든 시료에 대하여 화학분석을 행하여 주화학생분 및 미량성분을 검토하였다. 화강암 분포지 내 토양의 주성분 원소의 분석 결과(Table 4),  $\text{SiO}_2$ 는 45.0~74.2%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  11.2~21.8%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  1.6~5.5%,  $\text{CaO}$  0.05~0.7%,  $\text{MgO}$  0.3~0.8%,  $\text{K}_2\text{O}$  2.2~4.4%,  $\text{Na}_2\text{O}$  0.2~1.3%의 범위를 보이며, LOI(작열감량, loss on ignition) 4.9~28.5%의 범위를 보인다. 여기서 LOI가 시료에 따른 함량 차이가 크게 나타난다. 다른 모암의 분포지에 비하여 Si가 다소 많은데 이는 전술한 석영의 함량과 관계되는 것으로 보인다. K가 다른 모암에 비해 약간 많은데 이는 카리장석의 함량에 기인하는 것으로 보인다. 그 외에 Fe, Ca, Mg, Ti 등은 다른 지역에 비해 대체로 적은 함량을 보인다. 토양의 종류에 있어서 풍화토의 성분 범위가 비교적 크게 나타나며, 논 및 밭토양은 거의 모두 풍화토의 함량범위에 들어간다. 즉, 풍화토는 약간 덜 풍화된 황갈색 토양에서부터 지표에서 화학적 풍화를 심하게 받은 적갈색 토양까지 폭넓은 범위를 포함하기 때문으로 생각된다.

안산암 분포지 내 토양의 주성분 원소의 함

량은 다음과 같이,  $\text{SiO}_2$ 는 47.2~61.0%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  14.6~25.6%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  4.8~12.9%,  $\text{CaO}$  0.02~6.8%,  $\text{MgO}$  0.92~3.81%,  $\text{K}_2\text{O}$  1.09~2.09%,  $\text{Na}_2\text{O}$  0.04~2.4%, LOI 9.6~11.9%의 범위를 보인다. 이 분포지에서는 Si가 다른 분포지 토양에 비하여 낮은 함량을 나타내고 반면에 Al과 Fe는 다소 많이 함유된다. 그리고 Mg와 Ti가 약간 많은 경향을 보인다. 이러한 결과는 모암의 성분과 비교적 조화적으로 생각된다. Al가 다소 많은 것은 안산암분포지에서 일라이트와 카오린광물 등의 점토광물 함량이 높은 것과 관계하는 것으로 생각된다. 이 분포지의 토양 종류에 있어서 풍화토의 성분 범위가 비교적 크게 나타나며, 논 및 밭토양은 거의 모두 풍화토의 함량범위에 들어간다.

퇴적암 분포지 토양의 주성분 원소로는  $\text{SiO}_2$ 는 41.9~69.9%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  11.8~26.1%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  3.7~15.5%,  $\text{CaO}$  0.01~1.21%,  $\text{MgO}$  0.51~1.48%,  $\text{K}_2\text{O}$  1.19~2.47%,  $\text{Na}_2\text{O}$  0.04~1.23%, LOI 5.9~11.9%의 범위이다. 퇴적암 분포지 토양의 화학성분은 화강암과 안산암의 중간에 해당되는 범위에 들어간다. 여기서도 논 및 밭토양은 거의 모두 풍화토의 것과 비슷하며 그 함량범위에 해당된다. 논 및 밭토양의 화학성분의 범위가 비교적 좁은 범위를 보이는데 이는 경작활동에 의한 혼합과 함께 지표면에서 장기간에 걸친 풍화에 의해 균질화되고 안정화 되었기 때문으로 생각된다. 논 및 밭토양의 화학성분이 풍화토의 범위에 대체적으로 포함되는 것으로 보아 자연적 풍화산물로 주로 구성되며 인위적인 첨가물질은 많지 않는 것으로 사료된다.

각 분포지별 토양시료의 화학성분을 모암의 성분과 비교해보면 토양의 종류에 따라 다소 차이를 나타냈다. 모든 토양 시료에서 모암에 비하여 현저히 높은 작열감량을 나타낸다. 이는 모암의 풍화작용에 따라 점토광물이 증가하기 때문에 점토광물의 흡착수와 층간수의 영향으로 보인다. 화강암 분포지 토양은 모든 토양에서 LOI를 제외하고는 모암의 성분과 큰 차이가 없다. 분포지에 따라 정도의 차이는 있으나 Al은 덜 풍화된 풍화토에서는 약간증가되며 풍화를 많이 받은 표토층에서는 약간 감소하는 경향을 보이고 있다. 반면에 Fe는 대부분의 토양에서 감소하지만 적갈색의 풍화토에서는 다소 부화되어 나타난다. 모암에서 용해되어 온 Fe가 침



**Table 4.** Major element composition of the rocks and soils in the studied area (wt. %).

Sample	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	L.O.I	Total		
WS	G2-R	72.56	14.78	3.85	0.08	0.05	0.36	2.82	0.23	0.02	0.39	4.91	100.04	
	G5-R	53.71	16.92	5.56	0.13	0.10	0.77	2.57	0.41	0.03	0.63	18.28	99.11	
	G6U-R	45.08	17.46	4.49	0.11	0.15	0.70	2.28	0.37	0.04	0.48	28.52	99.65	
	G6L-Y	62.33	21.85	2.86	0.09	0.40	0.43	4.39	1.35	0.03	0.36	5.87	99.93	
G	FR G6P	69.69	17.54	6.02	0.10	0.68	0.97	2.02	0.44	0.25	0.82	1.02	99.55	
	PS	G4	64.76	16.13	2.49	0.06	0.30	0.42	2.99	0.67	0.22	0.43	9.47	99.98
		G8	63.78	16.73	3.73	0.09	0.53	0.75	2.92	1.19	0.26	0.65	8.92	99.54
		G9	67.90	13.36	2.72	0.07	0.63	0.56	2.88	1.07	0.41	0.37	9.32	99.30
G11		68.57	12.60	1.65	0.03	0.70	0.33	3.27	0.81	0.47	0.32	10.01	98.75	
FS	G3	67.70	14.41	1.80	0.05	0.50	0.37	3.04	0.62	0.37	0.33	9.27	98.44	
	G7	66.80	13.03	4.03	0.17	0.35	0.71	3.02	0.73	0.13	0.62	9.54	99.13	
	G10	74.18	11.23	2.63	0.11	0.64	0.41	2.98	0.47	0.48	0.40	6.47	100.00	
WS	A1-R	47.29	22.74	12.97	0.17	0.30	1.42	1.60	0.07	0.17	1.21	12.18	100.11	
	A10-R	47.77	25.66	9.70	0.11	0.03	0.92	1.56	0.09	0.11	1.07	11.48	98.50	
	A4U-R	52.18	22.57	9.69	0.12	0.02	1.43	1.52	0.09	0.04	1.10	9.61	98.35	
	A4L-Y	47.68	24.44	11.60	0.13	0.03	1.45	1.09	0.04	0.04	1.16	10.77	98.42	
FR	A4P	52.24	15.97	10.79	0.20	6.80	3.81	1.49	2.20	0.24	0.92	5.20	99.86	
A	PS	A5	52.70	14.61	6.43	0.14	5.20	2.76	2.09	2.44	0.20	0.63	11.75	98.94
		A9	59.63	16.71	4.88	0.06	0.74	1.23	1.97	0.88	0.20	0.96	11.30	98.56
		A12	61.07	15.80	5.80	0.09	1.30	1.58	2.04	0.80	0.26	0.83	9.60	99.19
		A13	59.63	16.91	6.08	0.08	1.35	1.50	1.95	0.91	0.20	1.11	10.15	99.87
FS	A7	56.89	17.46	7.53	0.10	1.18	1.78	1.91	0.93	0.49	0.85	10.83	99.94	
	A14	51.10	19.86	11.17	0.23	0.85	1.20	1.64	0.20	0.50	1.27	11.67	99.68	
	A15	49.70	21.51	11.24	0.23	0.64	1.70	1.15	0.14	0.55	1.17	11.89	99.90	
WS	S1-R	67.66	15.53	6.06	0.05	0.11	0.51	1.31	0.08	0.06	0.94	6.67	98.97	
	S6-R	65.04	16.86	6.35	0.05	0.18	1.16	1.66	0.51	0.04	1.10	6.74	99.70	
	S9U-R	45.04	26.15	12.80	0.05	0.01	0.87	1.19	0.07	0.08	1.12	11.93	99.31	
	S9L-Y	41.89	25.71	15.53	0.30	0.01	1.48	1.67	0.05	0.18	1.44	11.86	100.10	
FR	S9P	68.48	14.50	4.41	0.09	1.84	1.16	2.30	3.90	0.10	0.65	1.69	99.10	
S	PS	S4	66.11	14.55	3.71	0.05	0.49	0.97	1.84	0.61	0.19	0.80	10.75	100.05
		S10	68.16	14.00	5.19	0.12	0.24	0.92	1.73	0.42	0.12	0.87	8.06	99.83
		S12	69.98	12.25	3.72	0.05	0.84	0.94	1.84	0.71	0.19	0.63	8.36	99.51
		S13	68.10	14.19	3.82	0.05	0.64	0.97	2.00	0.61	0.28	0.77	8.22	99.65
FS	S5	65.38	16.23	5.56	0.10	0.20	1.00	2.00	0.68	0.11	0.95	7.65	99.86	
	S8	63.91	15.67	6.46	0.16	0.70	1.48	2.47	1.23	0.22	0.84	7.00	100.14	
	S11	67.70	11.82	5.04	0.19	1.21	0.95	1.86	0.46	0.73	0.76	9.01	99.73	

For the abbreviations, see Table 1.

철석 등의 수산화철광물로 침전되었기 때문에 적갈색을 띠고 Fe의 함량도 다소 높게 나타나는 것으로 생각된다. 그러나 모든 분포지의 논토양에서는 모암성분에 비해 Fe의 함량이 현저히 결핍되어 나타났다. 논토양은 유기물질을 다량 함유하고 있어 수산화철광물들이 부식산 등에 의해 다시 용해되어 제거되었기 때문으로 생각된다. 그리고 모든 토양에서 Ca, Mg, Na는 감소하는 경향을 보여 주는데 이들은 물에 잘 용해되어 소실되었기 때문으로 생각된다. 이러한 경향은 여러 연구 결과(Loughman, 1969; Nesbitt

and Young, 1984)와도 일치한다. Ca 및 Na는 사장석의 분해에 따라 용탈되어 유출수로 제거되는 것으로 보인다. P는 모암에서도 소량 나타나며, 토양에서도 소량이지만 논 및 밭 토양에서 미미하게나마 부화되는 경향이 나타났다. 이는 비료와 유기물의 영향으로 볼 수도 있으나 함량이 매우 적어 말하기 어렵다.

#### 토양의 미량원소 및 희토류원소

토양 및 모암에 대하여 미량원소 및 희토류

원소 함량을 분석하여 검토하였다. 그러나 이들의 분석치의 제시는 지면 관계상 생략하고 주요 내용만 기술한다. 화강암 분포지의 모든 토양에서는 Ba, Rb가 100 ppm 이상이고, Zn, Ga, Sr, Li, Y, Pb, Th, La, Ce, Nd가 10 ppm 이상이고, 그외 나머지 원소들은 10 ppm 이하의 함량을 나타냈다. 안산암 분포지의 모든 토양에서는 Zn, Ba, V가 100 ppm 이상이고, Co, Ni, Cr, Ga, Cu, Sr, Li, Rb, Y, Cs, Pb, La, Ce, Nd가 10 ppm 이상이고, 그외 나머지 원소들은 10 ppm 이하의 함량을 나타냈다. 퇴적암 분포지의 모든 토양에서 Ba, V가 100 ppm 이상이고, Zn, Co, Ni, Cr, Ga, Sr, Li, Rb, Y, Cs, Pb, Th, La, Ce, Nd가 10 ppm 이상이고, 그외 나머지 원소들은 10 ppm 이하의 함량을 나타냈다. 이와같이 분포지별로 토양의 미량원소들이 특징적으로 함량의 차이를 보이고 있다. 모든 분포지의 토양에서 공통적으로 각 모암과 같이 Ba이 100 ppm 이상으로 많이 함유하는 것이 특징이다.

각 분포지별 토양시료의 미량원소와 희토류 원소의 평균함량을 모암의 성분을 기준으로 표준화한 그림을 Fig. 5에 나타내었다. 세 분포지의 토양 모두 일반적으로 미량원소의 함량에 대한 변화폭이 큰 반면, 희토류원소의 변화폭은 작으며 비슷한 거동을 보인다. 그리고 모암의 분포지에 따라 각각 특징적인 패턴을 잘 보여준다. 이것은 토양이 모암성분에 크게 좌우되는 것을 알 수 있다. 각 분포지에 있어서 풍화토, 논 및 밭토양의 성분들도 크게 다르지 않고 유사한 패턴을 보여준다. 화강암 분포지에서는 모든 토양에서 Co, Ni, Cr, V, Sr, Li의 함량이 모암에 비해 상당히 결핍되어 있다. 반면에 Rb, Pb, Th가 크게 부화된 특징을 보인다. 그리고, 풍화토의 희토류원소 함량이 논, 밭토양에 비해 다소 높게 나타난다. 안산암질암 분포지의 토양은 Ni, Cr, Cu, Sr이 모암에 비해 크게 결핍되어 나타나고, Zn, Ba, Ga, Cd, Li, Ce, Pb, Bi 등의 함량이 다소 높게 나타난다. 퇴적암 분포지의 토양에서는 Zn, Cu, Pb, Bi가 모암보다 크게 높게 나타나며, 반면에 Ni, Cr, Sr 등은 감소되어 있다. 이와 같이 모암의 분포지에 따라서도 차이를 보이고 있으며, 또한 모든 분포지의 토양에서 Pb가 공통적으로 부화되고, 반면에 Cr, Ni, Sr은 공통적으로 감소하는 경향을 나타냈다. 희토류원소에서는 각 분포지에서 토양의 종류에

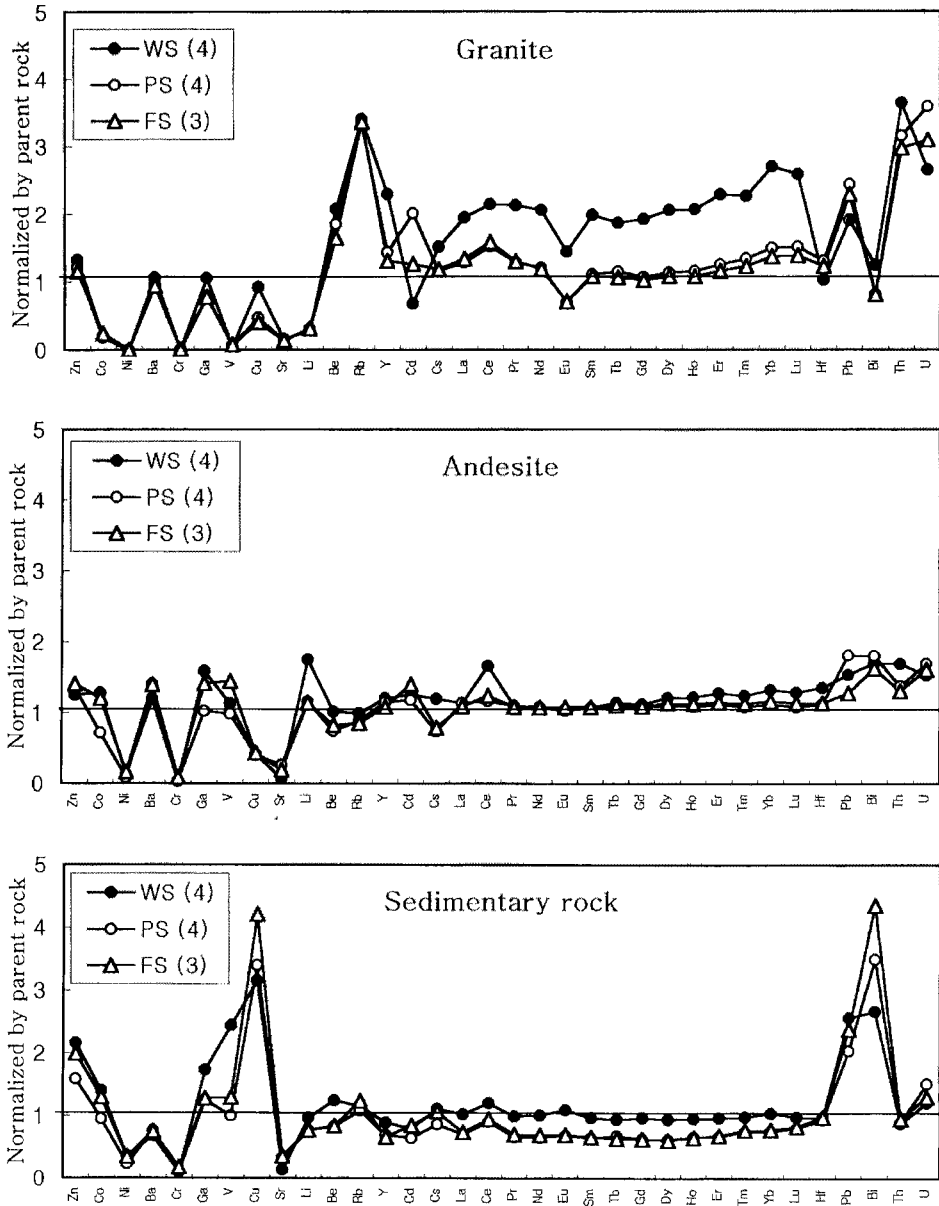
따라 평행하게 비슷한 패턴을 나타내어 이들의 변화는 거의 없는 것으로 생각된다. 즉, 광물의 변화에 관계없이 희토류원소들의 거동이 같으며, 별로 이동하지 않는 것으로 생각된다.

#### 기타 화학적 특성

토양시료들의 pH를 측정한 결과(Table 5), 퇴적암 분포지의 토양을 제외한 모든 시료가 4.2~6.4의 범위로 산성에 속하였다. 퇴적암 분포지의 토양은 4.8~7.8의 범위로 타 지역에 비해 약간 높은 경향을 보인다. 퇴적암 분포지의 모암을 분말화하여 pH를 측정해 보면 약 7.9의 약알카리성을 나타내는 것으로 보아 모암의 성분과 관계있는 것으로 타 분포지보다 산성화가 다소 지연된 것으로 생각된다. 이것으로 보아 모암의 종류에 따라 경작지 토양의 pH도 다소 영향을 받는 것으로 생각된다. 타 분포지 토양의 경작지 pH는 우리나라 논토양의 평균 pH 값인 5.4 (김복영 외, 1995)에 유사한 값을 보인다.

교환성 양이온 함량과 양이온 교환용량(CEC)의 측정 결과(Table 5), 거의 모든 토양시료가 유사한 함량을 나타내며, CEC는 0.3~13 meq/100 g으로 매우 낮게 나타났다. 모든 지역의 토양에서 대체로 Ca > Mg > K > Na의 순으로 교환성 양이온 함량을 나타낸다. 대체적으로 양이온 교환용량은 안산암 분포지에서 다소 높고, 화강암 분포지 토양에서 낮은 값을 보이는 경향이 있는데, 이것은 안산암 분포지에서의 점토광물의 함량이 타 분포지에 비하여 높기 때문으로 보인다. 본 연구지역의 대부분의 토양이 낮은 CEC값을 보이는 것은 토양의 주구성광물이 CEC가 낮은 카올린광물로 구성되어 있으며, 그리고 버미큘라이트 중에서도 CEC가 낮은 AI을 층간에 함유하는 버미큘라이트(Barnhisel and Bertsch, 1989)로 존재하기 때문인 것으로 사료된다.

0.1 N HCl을 사용하여 토양시료의 용출실험 후 성분을 분석한 결과를 Table 6에 나타냈다. 토양 중에서 비교적 많은 용출량을 보이는 원소는 Mg, K, Ca, Fe, Mn 등이고, 다른 원소들은 비교적 적은 용출량을 나타낸다. 이러한 용출량은 모암에 따른 분포지별의 차이는 뚜렷하게 나타나지 않으나, 토양의 종류에 따라서는 다소 차이를 나타낸다. Mg, K, Mn은 밭토양에서 비교적 많은 용출량을 보이고, Fe는 논토양



**Fig. 5.** Diagrams showing variation of minor and rare earth elements of the soils. The mean value was normalized against parent rocks. WS: Weathered soil, PS : Paddy soil, FS: Farmland soil. The numbers in the bracket are the number of samples.

에서 상대적으로 많이 용출되고 있으며, Ca은  
논과 밭토양에서 많은 용출량을 나타낸다. 논  
및 밭토양에서 용출량이 많은 원소들은 경작작  
업에 의해서 광물입자들이 분쇄되어 미립화되  
어 표면에서 용해되기 쉬운 형태로 되거나 용

해하기 쉬운 다른 화합물로서 존재하기 때문인  
것으로 생각된다. Cu, Pb, Cr은 소량으로 용출  
되며, 그 용출량은 풍화토의 범위에 대체로 포  
합된다. 묽은 염산에 의한 용출실험 결과, 세 분  
포지 모두 Na, Mg, K, Fe, Ni, Cr 등이 모암보

**Table 5.** pH and cation exchange capacity in soil samples.

Sample	pH	Exchangeable cations (meq/100 g)				CEC (meq/100 g)	
		Ca	Mg	K	Na		
WS	G2-R	4.22	0.19	0.21	0.11	0.03	0.54
	G5-R	4.27	0.05	0.09	0.04	0.05	3.53
	G6U-R	4.41	0.08	0.09	0.11	0.04	2.52
	G6L-Y	4.77	0.12	0.16	0.04	0.04	0.36
FR	G6P	5.11	1.28	1.16	0.16	0.13	0.53
	G4	4.63	2.90	0.80	0.01	0.01	3.72
PS	G8	5.02	1.13	0.56	0.19	0.05	5.45
	G9	5.78	0.24	0.81	0.15	0.04	0.80
	G11	5.37	2.47	1.31	0.01	0.06	3.19
FS	G3	5.38	3.40	1.01	0.39	0.11	4.47
	G7	4.98	1.36	0.90	0.41	0.03	2.70
	G10	6.34	4.54	2.01	0.42	0.06	4.83
WS	A1-R	4.93	2.00	1.74	0.66	0.07	9.31
	A10-R	4.36	0.07	0.17	0.07	0.10	5.69
	A4U-R	4.91	0.05	1.10	0.11	0.06	9.02
	A4L-Y	4.88	0.04	1.41	0.10	0.08	8.45
FR	A4P	7.28	0.58	0.01	0.34	0.12	1.93
	A5	5.54	2.49	0.02	0.14	0.05	7.98
PS	A9	5.31	2.24	1.51	0.13	0.04	5.24
	A12	5.35	2.15	1.32	0.23	0.05	6.17
	A13	6.42	2.32	1.19	0.15	0.06	3.50
	A7	4.47	2.98	1.05	0.22	0.04	13.53
FS	A14	4.81	3.08	1.65	0.35	0.04	8.42
	A15	5.52	4.26	1.44	0.45	0.05	7.08
	S1-R	5.03	1.55	0.98	0.23	0.04	0.60
WS	S6-R	5.03	0.12	0.89	0.06	0.09	2.92
	S9U-R	4.78	0.09	1.25	0.09	0.05	8.08
	S9L-Y	7.76	0.07	1.37	0.10	0.12	4.74
	S9P	7.88	0.24	1.21	0.31	0.22	1.10
FR	S4	4.86	2.48	1.56	0.06	0.03	9.63
	S10	5.66	1.41	0.78	0.07	0.04	1.64
PS	S12	5.09	2.69	1.39	0.01	0.05	9.20
	S13	5.29	2.01	0.92	0.14	0.04	2.23
	S5	5.24	2.03	1.00	0.29	0.04	6.22
	S8	6.89	5.43	2.46	0.41	0.06	9.90
FS	S11	7.03	3.35	2.31	0.22	0.04	5.48

For the abbreviations, see Table 1.

다 적게 용출된다. Ni, Cr 등의 중금속 용출량을 우리나라 전국 논외의 평균용출량(김복영 외, 1995)과 비교해 보면, 대체로 낮거나 비슷한 함량을 나타낸다. Cr, Ni, Cd은 모암의 것에 비해 모두 아주 적은 용출량을 보인다. Pb 및 Mn은 논과 밭토양에서 모암의 것보다 더 많이 용출된다. 그러나 Pb의 용출량은 매우 낮은 함량을 보이며, 일부 두 시료에서만 10 ppm 가까운 용출량을 보인다. 이상으로 보아 이 지역의 토양에서는 중금속에 대한 특별한 오염의 증거는

잘 나타나지 않는 것으로 생각된다.

### 결론

연구지역의 모암에 따른 분포지의 풍화잔류토, 밭토양, 논토양에 대하여 구성광물과 화학성분 등을 검토해 본 결과는 다음과 같다.

1) 본 지역 화강암 분포지의 토양은 석영이 타분포지에 비해 많이 함유되며, 점토광물의 함량은 타분포지에 비해 적다. 반면에 안산암질암

**Table 6.** Cation contents extracted with 0.1 N HCl from the soil samples(ppm)

Sample	Na	Mg	K	Ca	Fe	Cu	Pb	Mn	Cr	Ni	Cd	
WS	G2-R	1.2	10.4	32.2	18.0	26.0	0.1	3.8	51.8	3.9	0.1	0.8
	G5-R	5.2	9.2	7.6	5.9	24.0	1.0	1.3	39.4	4.0	0.2	1.2
	G6U-R	4.5	7.2	32.1	7.5	17.7	1.4	4.6	34.5	4.0	0.2	1.4
	G6L-Y	23.8	8.8	11.4	12.5	11.0	1.4	1.8	9.2	4.3	0.3	1.2
FR	G6P	86.9	207.0	162.0	325.2	265.2	1.5	1.1	30.3	35.1	45.7	1.4
G	G4	6.7	62.8	15.1	305.7	136.2	2.5	6.7	34.0	4.4	0.4	1.1
	G8	6.0	45.4	64.9	212.4	168.9	2.3	8.1	50.2	4.2	0.3	1.5
	G9	9.0	75.2	52.0	346.7	139.8	2.0	5.5	47.6	4.1	0.9	1.7
	G11	12.4	102.9	63.6	349.5	113.7	1.7	5.2	27.0	4.8	1.4	1.3
FS	G3	27.9	118.0	157.8	347.2	37.5	1.2	5.0	42.7	4.0	0.9	0.9
	G7	1.9	69.0	148.1	247.0	44.0	0.3	3.0	91.8	4.5	0.5	1.2
	G10	10.6	241.3	128.9	352.6	43.7	0.6	2.3	106.1	4.6	1.3	1.5
WS	A1-R	14.1	203.8	156.7	273.6	2.7	0.4	1.9	43.1	3.7	0.5	1.4
	A10-R	20.1	11.6	13.4	7.1	44.2	2.9	4.0	26.9	4.5	0.4	1.2
	A4U-R	8.4	60.1	29.1	4.3	5.1	1.3	4.8	25.7	4.5	0.04	1.2
	A4L-Y	15.2	75.5	26.5	5.4	34.2	0.6	2.8	10.5	4.6	0.03	1.4
FR	A4P	82.5	226.5	199.2	445.2	262.8	3.0	2.3	32.8	26.1	42.6	1.3
A	A5	10.2	91.7	47.9	478.2	187.2	1.8	5.5	23.0	3.6	0.5	1.0
	A9	7.4	94.3	39.8	381.1	31.8	2.1	6.9	12.8	3.5	0.6	1.1
	A12	7.9	77.2	80.3	382.2	206.1	3.8	10.3	13.9	4.6	0.8	1.0
	A13	13.1	136.7	66.9	494.6	214.2	1.4	3.7	55.0	4.2	0.7	1.0
FS	A7	7.0	129.7	73.0	425.6	162.6	5.0	2.5	52.7	4.1	1.3	1.0
	A14	4.8	121.1	121.3	489.2	70.6	1.6	1.5	102.6	3.9	0.9	1.0
	A15	9.7	195.2	154.3	546.5	57.1	0.1	1.4	93.3	4.4	1.5	1.1
WS	S1-R	7.1	67.6	83.4	250.0	73.5	3.3	3.0	12.8	4.0	0.7	1.1
	S6-R	19.0	47.8	15.7	16.3	73.0	1.9	5.2	20.0	11.3	0.4	1.0
	S9U-R	7.5	72.9	24.6	13.9	42.8	0.1	10.0	2.8	3.7	0.2	1.1
	S9L-Y	31.3	86.1	29.9	11.5	63.3	1.1	1.2	49.9	3.9	0.4	0.9
FR	S9P	86.5	174.4	172.9	203.2	230.1	3.1	0.9	11.1	8.6	7.8	1.1
S	S4	5.8	104.3	18.6	402.8	158.7	0.3	5.8	15.6	4.7	0.8	1.2
	S10	11.6	64.7	20.7	280.9	228.6	4.2	6.3	154.3	4.4	0.6	1.0
	S12	15.2	95.7	38.3	427.6	148.5	0.6	4.6	8.3	4.9	0.9	1.1
	S13	12.9	78.7	57.1	384.1	180.0	3.9	5.2	18.0	5.0	0.6	1.2
FS	S5	6.6	99.4	115.9	354.6	116.4	0.1	4.3	61.7	4.9	0.5	1.1
	S8	18.1	181.7	163.2	550.0	99.8	1.3	3.1	131.7	3.8	1.1	1.0
	S11	51.9	274.2	183.8	565.0	65.0	3.0	5.3	161.6	5.1	7.2	1.4

For the abbreviations, see Table 1.

분포지 토양에는 석영의 함량이 적고, 점토광물의 함량이 높게 나타난다.

2) 본 지역 전체 토양의 점토광물로는 카올린 광물(할로사이트, 카올리나이트), 일라이트, HIV, 운모/버미큘라이트 혼합층광물, 녹니석 등이 주로 포함된다. 논토양이 밭토양에 비해 카올린광물이 약간 더 우세하며, 일라이트는 하부의 황색 풍화토에서 비교적 많이 함유된다.

3) 토양의 주화학생분은 모암에 비해 작열감량이 크게 높아지는 것 이외에는 큰 함량의 차

이를 나타내지 않는다. 화강암 분포지 토양에서 Si와 K가 많으며, 안산암 분포지에서 Fe, Al 이 다소 많은 함량을 보여, 모암의 종류에 따른 토양의 화학성분도 조화적으로 나타났다. 모든 토양에서 모암의 성분에 비하여 Ca, Mg, Na가 감소하는 경향을 나타냈다. 특히 논토양에서 Fe가 매우 결핍되어 나타났다.

4) 토양의 미량성분에 있어서 100 ppm 이상의 함량을 보이는 원소들은 화강암 분포지에서는 Ba, Rb이고, 안산암 분포지에서 Zn, Ba, V

이고, 퇴적암 분포지에서 Ba, V으로 모암에 따라 차이를 보이며, 이 중에서 Ba이 공통적으로 다량 함유된다. 화강암 분포지의 토양에서 Rb와 Th가 모암에 비해 부화되는 특징을 나타낸다. 이와같이 모암의 종류에 따라 원소의 거동이 다르게 나타났다. 그러나 모든 토양에 있어서 공통적으로 Cr, Ni, Sr이 감소하고 Pb가 다소 부화되는 경향을 보인다.

5) 본 지역 토양의 pH는 화강암과 안산암 분포지에서 4.2~6.4의 산성을 나타내며, 퇴적암 분포지에서 4.8~7.6으로 약간 높게 나타나 모암의 종류와 다소 관련이 있는 것으로 나타났다.

6) 모든 토양의 양이온교환용량은 0.3~13 meq/100 g의 범위로 대체로 적지만, 그 중에서도 안산암 분포지의 토양이 비교적 많은 함량을 나타냈다. 교환성 양이온 함량은 대부분 Ca>Mg>K>Na의 순으로 나타났다. 그러나 풍화토에서는 Mg의 함량이 가장 높은 반면 논토양과 밭토양에서는 Ca의 함량이 높게 나타나는 특징을 보인다.

7) 묽은 염산에 의한 용출실험 결과, 논 및 밭토양에서 Pb 및 Mn은 모암의 것보다 더 많이 용출되며, 반면에 Na, K, Mg, Ni, Cr 등은 용출량이 적다. Fe는 논토양에서 비교적 다량 용출된다. 이와같이 용출량은 분포지 보다는 토양의 종류에 따라 다소 다르게 나타났다.

8) 이상의 검토결과, 각 모암의 분포지에 따라 토양의 광물성분과 화학성분 등이 특징적인 차이를 보여, 토양의 특성이 모암의 종류에 크게 좌우되는 것으로 나타났다. 인공적 경작지인 논과 밭토양의 광물성분과 화학성분도 모암과 조화적이며, 풍화토의 범위와 크게 벗어나지 않았다. 따라서 논과 밭토양도 모암의 풍화에서 기인된 물질이 대부분을 차지하고 있으며 인공적인 물질의 첨가 및 변화는 크지 않은 것으로 생각된다.

## 사 사

이 논문은 1998년 한국학술진흥재단의 학술연구비(과제번호: 1998-15-D00279)에 의해 수행되었으며, 이에 감사한다.

## 참 고 문 헌

김경웅, 홍영국, 김나립 (1996) 달성광산 주변지역에

서의 중금속오염과 이의 제거방안. 자원환경지질, 29, 57-63.

김기현, 김세현, 최영천 (1996) 중금속의 토양오염; 한국중부지역의 농경지를 중심으로. 자원환경지질, 29, 725-732.

김복영, 정변간, 최정원, 윤율선, 최 선 (1995) 우리나라 논 토양중 중금속 자연함량. 한국토양비료학회지, 28, 295-300.

김진섭, 박맹인, 윤 일 (1997) 부산 지역 토양 중의 Cu, Pb, Zn, Cd, Mn의 지구화학적 분산. 자원환경지질, 30, 117-122.

김진섭, 윤성효 (1993) 부산 일원에 분포하는 백악기 화산암류의 암석학적 연구 (I). 한국암석학회지, 2, 156-166.

농업기술연구소 (1988) 토양화학분석법. -토양, 식물체, 토양미생물-. 농촌진흥청 농업기술연구소, 117-124.

동화기술 편집부 (1993) 수질오염 폐기물 공정시험 방법. 동화기술 출판사, 313-325.

박중진, 김명균, 전효택 (1997) 금왕 금·은광산 주변 지구화학적 환경에서의 중금속 원소들의 분산. 자원환경지질, 30, 407-416.

손치무, 이상만, 김영기, 감삼욱, 김형식 (1978) 동래·월내도폭(1:50000) 및 설명서. 자원개발연구소, 1-27.

岩生周一 외 6인 (1985) 粘土の事典. 朝倉書店, 457-458.

엄명호, 임형석, 김영호, 엄기태 (1991) 한국의 주요 모암에서 발달된 토양점토 광물의 특성과 생성학적 연구-1. 조암광물과 광물학적 생성. 한국토양비료학회지, 24, 1-9.

오종민, 배재호 (1997) 토양오염학. 신평문화사, 5-506.

윤성효, 차문성 (1982) 부산시 일원의 백악기 화산활동-특히, 장산칼데라 잔유구조에 대하여-. 부산대학교 자연과학 논문집, 34, 377-396.

이도경, 정덕영, 이규승 (1997) 구룡광산 주변 중금속의 분포양상 및 인근농경지와 하천수계에 미치는 영향. 토양환경학회지, 2, 69-80.

이상규, 황세호, 이태섭 (1997) 폐광산의 토양오염영역 및 폐기된 광미의 탐지. 자원환경지질, 30, 371-377.

이석훈, 김수진 (2000) 유구지역 화강암질 편마암의 풍화작용에 의한 광물조성의 변화. 한국광물학회지, 13, 121-137.

이수재, 김수진 (1994) 남산 화강암의 풍화 및 광물-물 반응에 관한 연구. 한국광물학회지, 7, 40-48.

이재영, 이인호, 이순영 (1996) 금속폐광산 주변의 토양, 식물 및 하천의 중금속 오염에 대한 지화학적 연구-달성 및 경산광산-. 자원환경지질, 29, 597-613.

이찬희, 이현구, 이종창 (1998) 나립광산 수계의 토양과 퇴적물에 관한 지구화학적 특성; 중금속 원소

- 의 분산, 부화 및 기원. *자원환경지질*, 31, 297-310.
- 전효택, 안수성 (1996) 수도권 위성도시의 토양과 분진의 중금속 오염에 관한 연구. *자원환경지질*, 29, 87-100.
- 차문성 (1976) 부산지역의 불국사 산성화강암류의 암석학적 연구. *광산지질*, 9, 85-106.
- 허봉구, 임상규, 김유학, 이계엽 (1997) 우리나라 논토양 유형별 이화학적 특성. *한국토양비료학회지*, 30, 62-66.
- 황진연, 장명익 (1994) 부산시 구월산의 풍화토중 점토광물의 특성 및 성인. *한국토양비료학회지*, 27, 158-167.
- 황진연, 장명익, 김준식, 조원모, 안병석, 강수원 (2000) 우리나라 황토(풍화토)의 구성광물 및 화학성분. *한국광물학회지*, 13, 147-163.
- Barnhisel, R. L. and Bertsch, P. M. (1989) Chlorites and hydroxy interlayered vermiculite and smectite. In: J.B. Dixon and S.B. Weed (ed.), *Minerals in Soil Environments*. Soil Sci. Soc. Amer, Madison, wisconsin, USA. 729-788.
- Chung, F. H. (1974) Quantitative interpretation of X-ray diffraction patterns of mixtures. I. Matrix flushing method for quantitative multicomponent analysis. *Jour. Appl. Cryst.*, 7, 519-525.
- Churchman, G. J., Whittion, J. S., Clardge, G. G. G., and Theng, B. K. G. (1984) International method using formamide for differentiating halloysite from kaolinite. *Clay Clay Miner.*, 32, 241~248.
- Douglas, L. A. (1977) Vermiculite: in *Minerals in Soil Environment* (J.B. Dixon and S.B. Weed, eds.). Soil Sci. Soc. Amer., 259-292.
- Jackson, M. L., Tyler, S. A., Willis, A. L., Bourbeau, G. A., and Pennington, R. P. (1948) Weathering sequence of clay-size minerals in soil and sediments. I. Fundamental generalization. *Jour. Phys. Colloid. Chem.*, 52, 1237-1260.
- Jung, M. C. and Thornton (1996) Heavy metal contamination of soils and plants in the vicinity of a lead-zinc mine, Korea. *Appl. Geochem.*, 11, 53~59.
- Loughman, F. C. (1969) *Chemical weathering of the silicate minerals*. Elsevier, New York, 154 p.
- Nesbitt, H. W. and Young, G. M. (1984) Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on the thermodynamic and kinetic considerations. *Geochem. Cosmochim. Acta*, 48, 1523-1534.
- Reynold, R. C. and Reynold III, R. C. (1996) NEWMOD for WINDOW. The calculation of one dimensional X-ray diffraction patterns of mixed-layered clay minerals. 8 Brook Road, Hanover New Hampshire, 1-25.
- Velde, B. (1992) *Introduction to clay minerals*. Chapman and Hall, 198 p.

---

2001년 3월 8일 원고접수, 2001년 3월 17일 게재승인.