

## 우리 나라 황토(풍화토)의 구성광물 및 화학성분

### Mineralogy and Chemical Composition of the Residual Soils (Hwangto) from South Korea

황진연 (Jin Yeon Hwang)\* · 장명익 (Myeong Ik Jang)\* · 김준식 (Jun Sik Kim)\*\* ·  
조원모 (Won Mo Cho)\*\* · 안병석 (Beong Seok Ahn)\*\* · 강수원 (Su Won Kang)\*\*

\*부산대학교 지구환경시스템학부 지질학과  
(Department of Geology, Pusan National University, Pusan 609-735, E-mail: hwangiy@hyowon.pusan.ac.kr)  
\*\*농림수산부 축산기술연구소  
(National Livestock Research Institute, Cheonan, Chungnam 330-800)

요약 : 우리나라에서 적갈색 내지 황갈색을 띠는 풍화토 소위 황토에 대하여 대표적 모암에 따른 그 구성광물과 화학성분 등을 검토해 보았다. 그 결과, 황토의 구성광물로는 점토광물이 약 40-80%로 다량 함유되며, 그 외에 석영, 장석, 각섬석, 침철석, 깃사이트 등의 여러 광물이 포함되는 것이 나타났다. 점토광물로는 카오리나이트, 할로이사이트, 일라이트, 수산화층간 버미큘라이트(HIV), 운모/버미큘라이트 혼합층광물, 녹니석 등이 주로 포함되는 것이 나타났다. 모암에 따라 황토중 구성광물의 조합과 함량에 차이를 나타내었다. 특히 화강암에 있어서도 주라기 화강암의 것이 상대적으로 많은 카오린광물을 포함하고, 백악기 화강암은 상대적으로 HIV와 일라이트가 다량 포함되는 차이를 나타냈다. 그리고 적색에 가까운 황토에서는 카오리나이트와 HIV가 많으며, 황색에 가까운 황토에서는 일라이트와 할로이사이트가 상대적으로 많이 함유된다. 황토의 구성광물은 모암 중의 장석과 운모 등의 광물이 화학적 풍화작용을 받아 일라이트, 할로이사이트, 운모/버미큘라이트 혼합층광물, HIV 등으로 변화되고 최종적으로 카오리나이트로 변하는 것으로 나타났다. 각 모암과 비교하여 황토의 주화학성분은  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $H_2O$  등이 많아지고, Ca, Mg, Na 등은 다소 적어지는 경향을 보인다. 미량성분에 있어서 황토에는 P, S, Zr, Sr, Ba, Rb, Ce 등이 대체로 많은 함량을 보이며, 다음으로 Li, V, Cr, Zn, Co, Ni, Cu, Y, Nb, La, Nd, Pb, Th 등이 약 10 ppm 이상으로 상당량 포함되어 있다. 대부분의 미량원소들이 각 모암의 성분에 비교해서 황토에서 함량이 다소 높게 나타났다. 황토의 주성분과 미량성분은 모암의 종류에 따라 다소 다르게 나타나지만, 모암의 성분 차이에 비하여 큰 차이가 없는 유사한 범위를 나타냈다.

주요어 : 황토, 점토광물, 카오리나이트, 할로이사이트, 수산화층간 버미큘라이트, 일라이트

**ABSTRACT** : The mineralogy and chemical composition of reddish to brownish yellow residual soils, so called "Hwangto" have been examined according to representative host rocks. The result of the study indicates that Hwangto consists of 40-80% clay minerals and various minerals such as quartz, feldspar, hornblende, goethite, and gibbsite. Clay minerals include kaolinite, halloysite, illite, hydroxy interlayered vermiculite (HIV), mica/vermiculite interstratified mineral and chlorite. The mineralogical constituents and contents of Hwangto were different depending on the types of host rocks. Moreover, the Jurassic granitic rocks contain relatively more kaolin minerals, whereas the Cretaceous granitic rocks contain more HIV and illite. In addition, reddish Hwangto contains relatively more kaolinite and HIV, and yellowish Hwangto contains more illite and halloysite. It is suggested that feldspars and micas of host rocks were chemically weathered into illite, halloysite, illite/vermiculite interstratified minerals, and HIV, and finally

into kaolinite. Compared with their host rocks, the major chemical compositions of Hwangto tend to contain more  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $H_2O$  in amount and less Ca, Mg, and Na. Hwangto contains relatively high amount of trace elements, P, S, Zr, Sr, Ba, Rb, and Ce including considerable amount of Li, V, Cr, Zn, Co, Ni, Cu, Y, Nb, La, Nd, Pb, Th in excess of 10 ppm. Relatively high amount of most trace elements were detected in the Hwangto. The major and minor chemical compositions of the Hwangto were different depending on the types of host rocks. However, their difference was in the similar range compared with the compositions of host rocks.

**Keywords** : residual soil (Hwangto), clay mineral, kaolinite, halloysite, hydroxy interlayered vermiculite, illite

## 서 언

우리 나라에서 황색 내지 적갈색 풍화토인 소위 황토는 황토방, 황토침대, 찹질방 등 우리 생활환경의 다방면에서 요즘 유행처럼 널리 이용되고 있다. 그리고 발생된 적조의 퇴치에도 황토가 이미 사용되고 있다. 이러한 용도들은 대부분 구전이나 경험을 바탕으로 한 것으로 과학적인 근거에 대한 설명이 잘 알려지지 않고 있다. 우리나라에서 일반적으로 통용되는 황토의 의미는 붉거나 누르스름한 풍화토를 뜻한다. 학술적인 용어로 사용되는 “바람에 의해 운반되어 퇴적된 담황색 내지 황회색을 띠는 실트질 퇴적물” 즉 풍성퇴적물인 黄土(Loess)의 용어와는 글자가 같아서 혼동하는 경우가 많다. 최근 우리나라에서 여러 용도로 이용되는 황토는 가까운 산에서 쉽게 볼 수 있는 황색 내지 적갈색의 풍화토를 의미한다. 즉 우리나라의 황토는 암석이 화학적 풍화작용을 받아 변질되어 토양화된 풍화잔류토(풍화토)를 말한다(황진연, 1997). 지금부터 황토의 용어는 풍화잔류토의 의미로 기술한다. 이와 같이 황토는 토양의 일종이다. 황토를 포함하는 토양에 관련된 연구 들로는 농학적 측면에서 주로 연구가 이루어지고 있다. 그리고 최근에는 환경학적 측면에서 토양 오염에 대한 연구가 많이 진행되고 있다(박종진 외, 1997; 정영욱 외, 1997; 이찬희 외, 1998; 김복영 외, 1995; 김기현 외, 1996; 전효택, 안수성, 1996 등). 그리고 일반적인 토양의 생성과정과 구성광물에 대한 몇몇 연구도 이루어진 바 있다(엄명호 외, 1991; 1992a; 1992b; 1993; 황진연, 장명익, 1994). 또한 몇몇 암석의 풍화작용에 의한 토양화 과정의 주화학성분의 이동에 대한 연구(남기상, 조규성, 1993)도 있

다. 그러나 토양의 구성광물과 화학성분을 종합적으로 검토한 연구는 잘 눈에 띄지 않는다. 특히 황토를 주 대상으로 한 구성광물 및 화학성분에 대한 연구는 자세히 이루어진 바는 없는 것 같다. 최근 황토에 대한 다방면의 이용도에 비하여 황토 자체의 특성에 대한 연구가 부족한 실정이다.

황토는 암석의 풍화산물이므로 본래 암석의 종류와 풍화정도 등에 따라 색, 성분, 물리화학적 성질 등이 다양하게 나타날 수 있다. 따라서 우리나라의 대표적인 모암에서 산출되는 황토를 대상으로 그 산출상태를 포함하여, 광물성분과 화학성분을 조사하였다. 이를 통하여 모암에 따른 구성광물과 화학성분의 특성을 규명하고, 그리고 황토의 형성과정에 따른 구성광물과 화학성분의 변화를 검토하고자 한다. 또한 황토의 많은 이용에 대하여 기초적인 자료를 제공하는 데도 연구의 목적이 있다.

## 시료 및 분석방법

본 연구에서는 이들 적갈색 토양이 분포하는 지역을 기원된 모암에 따라 백악기 화강암 지역, 쥐라기 화강암 지역, 백악기 퇴적암 지역, 변성암 지역, 석회암 지역, 화산암류 지역 등으로 구분하여 각각의 대표적인 토양단면에서 시료를 채취하였다(Table 1). 모암이 그 위치에서 그대로 풍화되어 잔류된 풍화잔적토이면서, 이동되고 퇴적된 양상이 없는 곳을 선택하였다. 본 연구에서는 일반적으로 황토로 간주될 수 있는 적갈색 내지 황갈색의 풍화토를 대상으로 하였다. 유기물을 포함하는 표토층은 제외하고, 주로 적갈색을 띠며 B층에 해당되는 풍화토와 그 하부의 담황 내지 황갈색의 풍화토, 그리고

**Table 1.** Color, parent rock and sampling location of the residual soils (Hwangto) used for this study.

Sample No.	Color	Parent rock	Location		
JGA-1	Reddish brown (2.5YR 4/8)	Jurassic granite	Nam-Myeon, Yeongi-Gun,		
JGA-2	Yellowish brown (10 YR 6/4)		Chungcheongnam-Do		
JGB-1	Reddish brown (5YR 4/6)		Geumgu-Myeon, Gimje- Gun,		
JGB-2	Yellowish brown (7.5YR 5/8)		Jeonlabuk-Do		
JGC-1	Reddish brown (2.5YR 4/8)		Bongsan-Myeon, Damyang-Gun,		
JGC-2	Orange (5YR 6/8)		Jeonlanam-Do		
JGD-1	Bright brown (7.5YR 5/8)		Jucheon-Myeon, Namweon-Gun,		
JGD-2	Orange (7.5YR 6/8)		Jeonlanam-Do		
CGE-1	Brown (7.5YR 4/6)		Cretaceous granite	Dongmyeon-Myeon, Chilgok- Gun,	
CGE-2	Yellowish brown (10YR 5/6)			Gyeongsangbug-Do	
CGF-1	Brown (7.5YR 4/6)	Samnam-Myeon, Ulju-Gun,			
CGF-2	Bright brown (7.5YR 5/8)	Gyeongsangnam-Do			
MA-1	Reddish brown (2.5YR 4/8)	Jeongan-Myeon, Gongju-Gun,			
MA-2	Yellowish brown (10YR 6/4)	Chungcheongnam-Do			
MB-1	Reddish brown (2.5YR 3/6)	Simweon-Myeon, Gochang-Gun,			
MB-2	Orange (2.5YR 6/8)	Jeonlabuk-Do			
MC-1	Reddish brown (2.5YR 4/8)	Precambrian gneiss & schist		Hadong-Yeub, Hadong-Gun,	
MC-2	Yellowish brown (10YR 5/4)			Gyeongsangnam-Do	
MD-1	Reddish brown (2.5YR 4/8)		Namjong-Myeon, Gwangju-Gun,		
MD-2	Yellowish brown (10YR 7/6)		Gyeonggi-Do		
SA-1	Brown (7.5YR 4/6)		Gunwi-Yeub, Gunwi-Gun,		
SA-2	Yellowish brown (10YR 6/6)		Gyeongsangbug-Do		
SB-1	Reddish brown (5YR 3/6)		Cretaceous sedimentray rock	Gunbuk-Myeon, Haman-Gun,	
SB-2	Bright brown (7.5YR 5/6)			Gyeongsangnam-Do	
SC-1	Reddish brown (5YR 3/6)			Nadong-Myeon, Jinju-Si,	
SC-2	Bright brown (7.5YR 5/4)			Gyeongsangnam-Do	
VA-1	Brown (7.5YR 4/6)	Cretaceous volcanic rock		Gwanchon-Myeon, Ymsil-Gun,	
VA-2	Orange (7.5YR 6/8)			Jeonlabuk-Do	
VB-1	Bright brown (7.5YR 5/8)			Simweon-Myeon, Gochang-Gun,	
VB-2	Orange (7.5YR 6/8)			Jeonlabuk-Do	
LA-1	Reddish brown (2.5YR 4/8)			Paleozoic limestone	Maepo-Yeub, Danyang-Gun,
LA-2	Yellowish brown (7.5YR 5/8)				Chuncheongbuk-Do
LB-1	Reddish brown (2.5YR 3/6)		Yeongchun-Myeon, Danyang-Gun,		
LB-2	Yellowish brown (7.5YR 5/8)		Chungcheongbuk-Do		

모양을 포함한 각 지점별 3종류의 시료를 채취하여 분석하였다.

채취된 풍화토 시료들은 습한 상태에서 토양 표준색도(小山, 竹原, 1999)를 이용하여 색상을 결정하였고, 그리고 실내에서 건조시킨 후 아게이트 막자를 이용해 분쇄한 분말을 X-선분말회절 분석과 화학분석에 사용하였다. X-선분말회

절 분석을 이용하여 구성광물을 식별하고 그 함량을 측정하였다. 그리고 점토광물을 조사하기 위해 시료를 분쇄시킨 후 수중침강법에 의하여 2  $\mu\text{m}$ 이하의 점토입도로 분리하여 정방위 시편을 만들어 X-선회절분석을 실시하였다. X-선회절분석은 Rigaku사제 Geigerflex 2301을 사용하였으며, CuK  $\alpha$  선과 Ni-filter를 이용하였다.

측정조건은 전압 30 kV, 전류 15 mA, Scan speed  $2^\circ 2 \theta/\text{min}$ , 시정수 1 sec, slit  $1^\circ - 0.3 \text{ mm} - 1^\circ$  로 하였다. 점토광물의 정확한 식별을 위하여 약품처리와 가열처리 등을 행하였다. 그리고, 구성광물의 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 X-선회절분석을 행한 후, NEWMOD 프로그램(Reynold and Reynold, 1996)을 이용하여 회절선을 시뮬레이션하여, 상대적 함량을 측정하였다.

pH 측정방법은 환경처에 의한 수질환경 공정 시험방법(동화기술편집부, 1993)에 제시된 방법을 따랐다. 즉 분말시료 5g을 비이커에 담고 증류수 25ml를 부어 일정 시간 혼합하여 1시간 방치 후 pH미터(ORION사의 model 420A)로 측정하였다. 풍화토의 교환성양이온의 함량은  $\text{NH}_4\text{OAc}$ 을 사용한 간이법(농업기술연구소, 1988)에 따라 분석하였다. 여액 중 양이온의 함량 측정은 Shimazu사제 원자흡광분광 분석기(AA-670)을 이용하였다. 풍화토 및 모암의 주성분의 화학분석은 기초과학지원 연구소 부산분소의 X-선형광분석기(XRF)에 의하여 실시하였다. 그리고 미량원소와 희토류원소의 분석은 기초과학지원연구소 서울분소의 유도결합플라즈마분석기(ICP)를 이용하였다. 투과전자현미경(TEM)은 JEOL사제 1200EX II를 사용하여 80kv의 가속 전압으로 관찰하였다. 입도분석은 채분석과 비중법으로 행하였고, 미립 입자의 입도에 대해서는 Micromeritics사의 자동입도분석기(SEDIGRAPH 5100 모델)를 이용하여 검토하였다.

## 연구 결과

### 황토의 산상 및 분포

황토는 우리 나라 거의 전역에서 쉽게 발견할 수 있는 것으로 우리의 기후조건하에서 암석이 풍화된 잔류토양으로 토양단면의 B층 토양에 주로 해당된다. 모암의 종류와 장소에 따

라 산출상태가 다르지만 일반적으로 지표면에서 유기물을 다량 함유한 것일수록 검은 색을 띠고, 풍화작용이 덜 진행된 약간 깊은 부분에서는 황색에 가까운 색을 띠는 경향이 있다. 황토의 일반적인 토양단면은 유기물을 포함하는 암색의 표토층을 제외하고는 상부에 적갈색을 띠는 부분과 그 아래에 담황색 및 황갈색을 띠는 부분이 나타나고 그 아래에 풍화암 및 경질 모암의 순서로 나타난다. 상부 적갈색 풍화토의 색상은 시료에 따라 다소 차이가 있지만 대체적으로 reddish brown에 해당되는 2.5YR 4/8, 5YR 4/6의 색상이 많고, 일부 brown에 해당되는 7.5YR 4/6 도 포함된다(Table 1). 이들은 하부의 풍화토보다는 약간 붉고 짙은 색상을 보인다. 하부 풍화토는 yellowish brown에 해당되는 10YR 6/4와 orange의 7.5YR 6/8 등이 주로 나타난다. 따라서 이하의 설명에는 상부층을 적갈색토, 하부층을 황갈색토로 통일하여 기술한다.

이러한 적황색 토양 소위 황토는 비교적 전국적으로 분포하지만, 고지대 및 급경사지역, 하천 등에는 잘 나타나지 않는 경향을 보인다. 지역적으로는 경기, 충남, 전북, 전남의 서해안 지역에서 황토의 두께 및 분포 면적이 크게 나타나며, 반면에 강원 및 경북의 동해안 지역에서는 황토의 발달이 비교적 빈약하게 나타난다. 이러한 결과는 우리 나라 지체구조와 연관되는 것으로 동해안 지역은 상대적으로 용기에 의해 침식속도가 풍화속도보다 빠르며, 반면에 서해안 지역은 풍화작용의 지속기간이 길었기 때문에 생각된다. 지질에 따른 황토의 산출상태는 화강암, 편마암, 석회암 지역에서 대체적으로 잘 발달하고, 반면에 퇴적암층, 산성 화산암 지역에서는 미약하게 나타났다. 이것은 암석의 성질에 따른 화학적 풍화작용의 저항성에 관계하는 것으로 보인다.

### 구성광물의 식별 및 정량

모든 시료에 대해 X-선회절분석을 행하여 구성광물을 식별하였다. 그 결과 모든 시료에서 석영과 장석이 포함되었으며, 그 외에는 카올린광물, 일라이트,  $14\text{\AA}$ 과  $12\text{\AA}$ 의 회절선을 보이는 점토광물과, 각섬석, 침철석, 깎사이트 등의 광물이 나타난다(Table 2). 시료에 따라 구

Table 2. Mineralogy of the residual soils.

Sample No.	Qtz	Fd	Am	Kao	Ill	14 Å	12 Å	Gt	Gb
JGA-1	++	+		+++	+			+	
JGA-2	++	++		+++	++		+	+	
JGB-1	+++	+		+++	+	+	+	+	
JGB-2	++	++		++		+	++	+	
JGC-1	++			+++	+			+	
JGC-2	++	+		+++	+	++	+		
JGD-1	++	++		++	+	+		+	
JGD-2	++	+++		++	+		+		
CGE-1	+++	++	+	+		+		+	
CGE-2	++	++	+	+		+			
CGF-1	++	++		++	+	+	+	+	
CGF-2	++	+++		+	+	+	+	+	
MA-1	+++	+		++	+	+		+	
MA-2	++	++		++	++	++		+	
MB-1	++	+		++	+	+		+	
MB-2	++	++		++	+			+	
MC-1	++	+		+++	+	+	+	+	++
MC-2	++	+		+++	++	+	+	+	
MD-1	++	+		+	++	+		+	+
MD-2	++	+		+	++	+			
SA-1	++++	+		+	+	+		+	
SA-2	++++	+++			+				
SB-1	+++	+		+	++	++		+	
SB-2	++	++		+	++	+		+	
SC-1	+++	+		+	+	+	+	+	
SC-2	++	+		++	+	+	+		+
VA-1	+	+++	+	+		+++		+	
VA-2	+	+++	+	+	+	+++			
VB-1	++++	+		+	+	+		+	
VB-2	++++	++		+	+	+			
LA-1	+	+		+	++	+		+	+
LA-2	++	+		+	++	+		+	
LB-1	+	+		+	+	+		+	
LB-2	++	+		+	++	+		+	

Qtz; quartz, Fd; feldspar, Am; amphibole, Kao; kaolin mineral, Ill; illite and mica, 14 Å; 14 Å-clay mineral, 12 Å; 12 Å-clay mineral, Gt; geothite, Gb; gibbsite

성광물의 조합과 함량이 차이를 보이고 있다. 각섬석 및 깃사이트는 극히 일부 시료에서만 소량 포함된다. 침철석도 매우 소량으로만 포함되어 있으므로 전체적으로 볼 때 석영과 장석을 제외하면 나머지는 대부분 점토광물인 것을 알 수 있다. Table 3에 나타낸 것과 같이 석영과 장석에 대해 정량분석한 결과, 전체 시료에서 석영은 3-45%으로, 장석은 2-40%으로 매

우 폭넓은 범위를 나타낸다. 이들의 함량은 모암의 종류에 따라 많은 차이를 보이고 있다. 예를들어 석영의 함량은 화강암과 퇴적암 지역에서 다소 많이 나타나며, 반면에 석회암과 염기성 화산암 지역에서는 매우 적게 나타난다. 장석은 화산암의 일부 시료를 제외하면 대체로 20% 이내의 낮은 함량을 나타낸다. 장석은 대체로 상부 적갈색층에서는 적은 반면에 그 아

**Table 3.** Major mineral contents of the residual soils.

(unit: %)

Sample No.	Bulk			Clay fraction		
	Quartz	Feldspar	Others	Kaolin	Illite	HIV
JGA-1	27.8	9.4	62.8	80.7	8.7	10.6
JGA-2	18.6	14.1	67.3	83.2	13.8	3.0
JGB-1	30.4	5.9	63.7	83.8	6.2	10.0
JGB-2	19.5	16.0	64.5	79.6	13.6	6.8
JGC-1	23.9	4.7	71.4	88.0	8.3	3.7
JGC-2	16.3	11.4	72.3	78.4	14.4	7.2
JGD-1	11.6	11.5	76.9	74.7	13.9	11.4
JGD-2	19.4	17.3	63.3	74.8	17.6	7.6
CGE-1	39.0	14.6	46.4	42.5	19.1	38.5
CGE-2	16.4	18.4	65.2	35.2	9.5	55.3
CGF-1	40.7	10.1	49.2	48.1	13.7	38.2
CGF-2	22.3	5.9	71.8	45.0	28.6	26.4
MA-1	24.9	2.3	72.8	75.4	16.0	8.6
MA-2	22.9	12.5	64.6	76.7	14.6	8.7
MB-1	13.1	5.7	81.2	71.3	11.6	17.2
MB-2	20.1	20.0	59.9	75.9	17.5	6.6
MC-1	13.8	5.2	81.0	67.2	4.8	28.0
MC-2	18.1	6.5	75.4	70.7	22.1	7.2
MD-1	27.4	2.5	70.1	59.4	20.6	20.0
MD-2	28.3	6.1	65.6	75.4	16.0	8.6
SA-1	42.8	6.5	50.7	53.1	35.3	11.6
SA-2	39.7	18.7	41.6	46.4	41.0	12.6
SB-1	11.2	4.2	84.6	26.3	33.1	40.6
SB-2	20.0	4.1	75.9	33.5	40.9	25.6
SC-1	30.6	2.9	66.5	57.4	12.2	30.4
SC-2	31.5	3.1	65.4	81.1	11.2	7.7
VA-1	5.7	40.1	54.2	50.1	16.6	33.3
VA-2	6.1	35.0	58.9	20.4	5.5	74.1
VB-1	45.4	8.1	46.5	54.8	29.6	15.6
VB-2	39.0	11.6	49.4	57.3	38.1	4.6
LA-1	3.0	3.6	93.4	50.8	30.1	19.1
LA-2	23.2	4.9	71.9	34.1	38.9	27.0
LB-1	9.7	2.3	88.0	32.6	27.4	40.0
LB-2	24.3	5.9	69.8	33.0	38.9	28.1

래의 황갈색 층의 시료에서 상대적으로 많이 함유된다. 이는 장석이 풍화작용에 의해 그 함량이 감소되는 것을 잘 나타내는 것이다. 장석은 카리장석이 많으며 사장석도 수반한다. 황토에는 비정질 물질도 소량 포함될 것으로 추정되지만, 이러한 비정질 물질은 점토입경의 범위에 들어갈 정도의 매우 작은 입자일 것이며, 그의 상당 부분이 점토광물의 생성 초기단

계에 해당되는 물질인 것으로 일반적으로 생각될 수 있다. 따라서 석영과 장석 이외의 다른 광물들은 매우 소량으로 포함되기 때문에 석영과 장석을 제외한 함량의 대부분은 점토광물의 함량으로 보아도 좋을 것으로 생각된다. 이 자료에서 석영과 장석을 제외한 함량은 41-93%의 범위를 나타낸다. 극단적인 시료를 제외하고 기타 오차를 감안해 보면 점토광물의 함량

은 약 40-80%의 범위로 매우 높은 것을 잘 알 수 있다.

점토를 분리한 시료에 대해 각종 처리를 통한 X-선회절분석에 의하여 점토광물의 식별을 행하였다. 그 결과 점토광물로는 카오린광물, 일라이트, 14Å의 회절선을 나타내는 광물과 드물게 12Å의 회절선을 나타내는 광물이 주로 포함된다. Fig. 1에는 적갈색 풍화토의 한 시료에 대해 각종 처리한 X-선회절선을 대표적으로 나타냈다. 14Å 회절선은 에칠렌글리콜 처리에서 거의 변화가 없으며, 1N MgCl<sub>2</sub>로 Mg 포화 처리를 한 후에도 회절선이 거의 변하지 않았으며, Mg 포화 후 글리세롤 처리에서도 층간격의 변화가 없었다. 또한 1N KCl을 사용하여 K로 포화한 후(25°C)의 X-선회절선은 본래와 거의 변함이 없었으나, 300°C, 550°C로 1시간씩 가열할수록 조금씩 수축하여 10Å에 가까운 회절선을 나타냈다. 이러한 결과로 보아 이 광물은 층간에 Al과 수산기를 가지는 수산화층간 버미큘라이트(HIV, hydroxy interlayered ver-

miculite)에 해당되는 것으로 보인다(Douglas, 1977). 이 광물을 녹니석-버미큘라이트 중간체 광물 혹은 Al-버미큘라이트라고 부르기도 한다(岩生周一 등, 1985). 그리고 500°C 가열시에 14Å의 매우 작은 회절선이 남아 있는데 이것은 녹니석으로 판단된다. 이와 같이 일부 시료에서 녹니석이 소량 검출되기도 한다.

12Å의 회절선을 나타내는 광물의 12Å 회절선은 Mg 포화 후와, Mg 포화 후 글리세롤(Glycerol)을 처리한 후에도 아무 변화를 보이지 않았다. 가열처리에서 저면간격의 수축을 보이며, 550°C 가열처리에서 10Å의 회절선을 나타내었다. 그리고 무처리에서 12.2Å의 회절선과 함께 약 25Å 부근의 장주기 반사를 약하게 나타내었다. 이것으로 보아 이 광물은 운모/버미큘라이트 혼합층 광물로 생각된다. 이 시료는 일부 시료에서 소량으로 나타난다. 10Å의 회절선은 여러 처리에서 d값 및 강도에 거의 변화가 없어 일라이트에 해당되는 것으로 생각된다.

7Å의 회절선을 나타내는 카오린 광물은 거의 모든 시료에 상당량 포함되어 있다. Churchman *et al.*(1984)에 의해 제안된 것으로 카오린 광물 중 할로이사이트(halloysite)와 카오리나이트(kaolinite)를 구별하는 방법인 폼마이드(formamide) 처리실험을 행하였다. 그 결과, 모든 시료에 있어서 폼마이드 처리 한 후 1시간 이내에 7Å의 회절선의 일부가 10Å으로 이동되는 것이 나타났다. 따라서 이들 시료의 7Å 카오린 광물은 할로이사이트와 카오리나이트가 함께 구성되어 있는 것으로 보인다. 처리 후의 회절선의 강도변화로부터 할로이사이트와 카오리나이트의 구성비율을 대략적으로 추정해 본 결과, 상부층에 나오는 적갈색 황토의 시료에서는 카오리나이트가 아주 우세하고 할로이사이트는 매우 적은 함량을 나타냈다. 반면에 하부의 황갈색 시료에서는 할로이사이트가 비교적 많이 포함되어 있는 것이 나타났다. 황토시료의 점토분에 대한 투과전자현미경의 관찰 결과, 거의 모든 시료에서 긴 튜브 형태의 할로이사이트 결정이 잘 관찰되었다(Fig. 2). 여기서도 하부에 나오는 황갈색의 황토 시료에서 할로이사이트의 분포비율이 적갈색 황토에 비해 상대적으로 많이 나타난다(Fig. 2). 카오리나이트도 외형이 불규칙하고 크기가 작은 판상체로 나타났다. 카

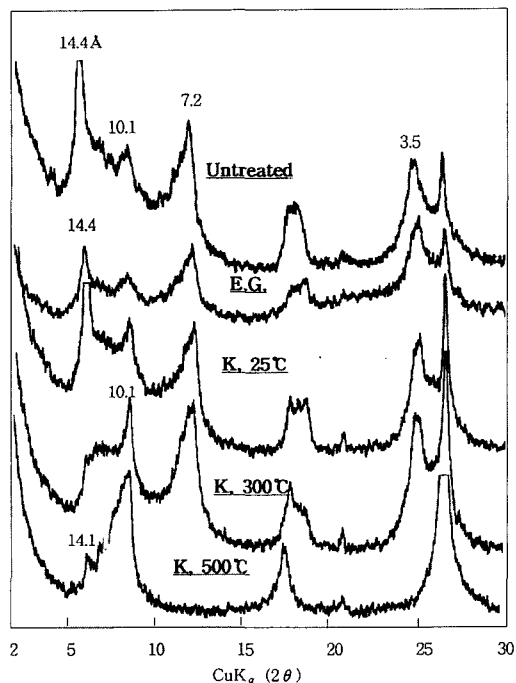
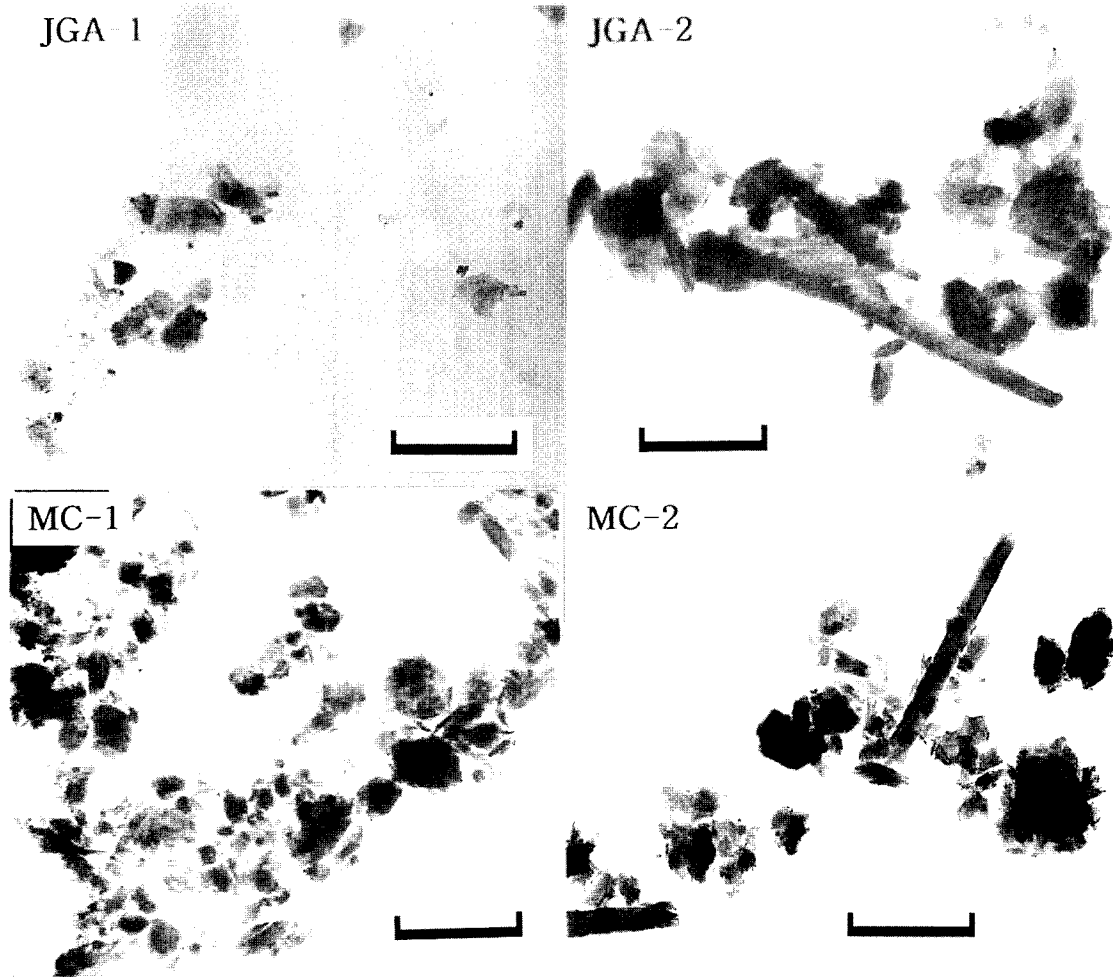


Fig. 1. X-ray diffraction patterns after various treatments of the clay fraction of a reddish residual soil.



**Fig. 2.** Transmission electron micrographs of clay fractions of the residual soils (scale bar= 1  $\mu$ m). Note the tube-like shape of halloysite. JGA-1 and MC-1 are reddish soils. JGA-2 and MC-2 are yellowish soils.

오린광물의 함량이 높은 시료에 대해 포름마이드 처리를 행하여 카오리나이트와 할로이사이트의 상대적 함량을 검토하였으며, TEM을 이용하여 그 결과를 확인하였다. 그 결과 적갈색의 토양은 주로 카오리나이트가 주를 이루고 있고, 황갈색의 토양에는 다량의 할로이사이트가 포함되어 있음이 나타났다.

각 점토광물의 함량은 무처리시에 나타나는 X-선회절선 중 7Å, 10Å, 14Å의 3개의 회절선을 대상으로 NEWMOD프로그램(Reynold and Reynold, 1996)을 이용하여 X-선회절선을 시뮬레이션하여 상대적인 비율로 반영량하였다(Table 3).

그 결과, 7Å을 나타내는 카오린광물이 전체적으로 볼 때 가장 많은 함량을 나타내며, 시료에 따라 여러 성분비를 나타낸다. 카오린광물은 쥘라기 화강암과 변성암지역의 황토에서 상대적으로 많이 함유되는 경향이 있다. 반면에 백악기의 화강암과 퇴적암, 그리고 석회암 지역의 것에서 상대적으로 적은 함량을 나타낸다. 전술한 바와 같이 10Å과 14Å의 회절선은 거의 모두 일라이트와 HIV에 해당되는 것으로 보아도 될 것으로 보인다. 이 광물들도 모암의 종류에 따라 특징을 보이고 있다. 즉, 백악기 퇴적암과 고생대 석회암 지역의 황토에서 일라이트가 상



대적으로 우세하게 나타나고 있다. HIV는 백악기 화강암에서 많이 포함되며, 백악기 퇴적암과 화산암 지역에서 일부 상당량 함유되고 있다. 이와 같이 모암의 종류에 따라 특징적으로 차이를 잘 나타내고 있다. 그리고 일라이트는 상부층인 적갈색 황토의 시료에 비하여 하부의 황갈색 시료에 상대적으로 많이 함유되는 경향이 나타난다. HIV는 대체로 일라이트와는 반대의 함량분포를 보이고 있다.

황토를 0.2  $\mu\text{m}$  이하로 분리한 세립점토(fine clay)에서 더 진한 적색계열의 색을 띠고 있고, 이 세립점토의 X-선회절분석 결과 침철석과 같은 수산화철광물의 함량이 많아지는 경향이 나타났다. 따라서 황토의 적갈색을 띠는 주 원인은 이러한 수산화철광물에 기인하는 것으로 생각된다. 그러나 0.2  $\mu\text{m}$  이하인 세립점토의 함량은 약 2-3%으로 매우 적으며, 세립점토에도

점토광물이 상당량 함유되기 때문에 실제적인 수산화철광물의 함량은 극히 적은 것으로 판단된다.

주화학성분 및 미량성분

황토 시료와 모암에 대하여 화학분석을 행하여 주화학성분 및 미량성분을 검토하였다. 황토 시료의 주화학성분은  $\text{SiO}_2$  43-76%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  13-24%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  2-12%,  $\text{MgO}$  0.5-2.9%,  $\text{K}_2\text{O}$  1.7-4.8%, L.O.I.(작열감량, 주로  $\text{H}_2\text{O}$ ) 2-11%의 범위로 나타내고 다른 성분은 소량 포함된다 (Table 4). 이들 성분들도 모암에 따라 상당한 차이를 보이고 있다. 예를들어 석회암의 경우는  $\text{SiO}_2$ 가 다른 시료에 비해 가장 적으며  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 와  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 는 가장 많은 함량을 보인다. 풍화가 되지 않은 모암과 황토인 풍화토와 성분을 비교해

Table 4. Major element analyses of the residual soils and their parent rocks.

(unit: wt. %)

Sample	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	L.O.I.	Total
JGB-1	54.43	16.60	8.82	1.06	0.12	2.63	2.91	2.94	3.46	0.79	6.25	100.01
JGB-2	62.81	20.31	4.37	0.56	0.06	0.88	2.01	1.73	1.23	0.02	6.02	100.00
JGB-R	74.04	14.46	0.15	0.00	0.00	0.07	0.07	10.17	0.88	0.00	0.25	100.09
CGE-1	70.55	15.11	4.28	0.64	0.05	0.76	0.97	3.49	1.38	0.02	3.08	100.33
CGE-2	63.65	18.82	4.81	0.59	0.08	1.40	1.32	3.34	2.13	0.02	3.78	99.94
CGE-R	68.02	15.70	2.72	0.34	0.06	2.34	0.85	4.01	3.55	0.13	2.32	100.04
MA-1	63.99	18.41	4.30	0.52	0.03	0.05	0.99	4.45	0.37	0.05	6.86	100.02
MA-2	61.30	17.78	8.55	0.87	0.05	0.03	0.80	1.73	-0.05	0.06	4.94	96.06
MA-R	61.82	24.13	7.58	0.84	0.06	0.15	1.09	3.51	0.18	0.08	0.52	99.96
MC-1	52.35	24.02	9.66	1.09	0.07	0.17	1.36	2.31	0.18	0.13	8.62	99.96
MC-2	53.56	20.83	8.50	0.92	0.09	0.08	1.63	2.93	0.18	0.15	11.08	99.95
MC-R	61.92	18.39	6.57	0.89	0.06	4.43	2.18	2.04	3.24	0.20	0.06	99.98
SA-1	74.15	13.65	3.50	0.60	0.02	0.64	0.90	2.28	1.17	0.02	3.15	100.08
SA-2	76.47	13.71	1.41	0.28	0.01	0.99	0.48	2.45	2.25	0.01	1.95	100.01
SA-R	80.21	11.82	0.59	0.13	0.01	0.80	0.31	2.40	2.82	0.02	0.87	99.98
SB-1	65.05	16.06	6.37	0.93	0.07	0.15	2.47	2.93	0.38	0.04	5.72	100.17
SB-2	60.76	18.40	7.60	0.88	0.08	0.14	2.95	4.29	0.28	0.05	4.64	100.07
SB-R	52.56	15.11	5.96	0.64	0.07	7.80	3.59	3.87	0.68	0.18	9.54	100.00
VB-1	72.04	15.18	2.78	0.43	0.06	0.06	0.62	4.14	0.22	0.02	4.44	99.99
VB-2	69.64	17.20	2.46	0.28	0.06	0.11	0.49	4.82	1.34	0.02	3.54	99.96
VB-R	77.34	13.20	1.04	0.06	0.02	0.10	0.26	5.29	1.17	0.01	1.54	100.03
LA-1	43.24	24.41	12.04	0.76	0.09	1.38	2.71	3.10	0.01	0.11	10.89	98.74
LA-2	57.58	19.69	8.26	0.85	0.06	0.15	1.97	5.08	0.00	0.09	5.57	99.30
LA-R	1.13	0.76	0.50	0.03	0.01	31.93	20.55	0.16	0.02	0.02	44.89	100.00

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Total Fe, L.O.I.: Loss of ignition, R: Fresh rock

보면  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , 작열감량 등이 풍화토에서 많아지는 경향이 잘 나타난다. 시료에 따라 약간 다른 경향을 보이는 것도 있지만 Ca, Mg, Na 등이 풍화토에서 적어지는 경향을 보이고 있어 일반적인 풍화작용에 의한 화학적 변화 (Loughman, 1969)와 일치한다. 특히 석회암에서 형성된 황토들의 성분이 모암인 석회암의 것과 매우 큰 차이를 보이고 있어 풍화작용에 의한 많은 화학적 변화가 일어났음을 알 수 있다. 모암별 시료에 대하여 상부 적갈색 황토와 하부의 황갈색 풍화토, 그리고 모암의 주성분을 알기 쉽게 Fig. 3에 비교해 나타냈다. 여기서 보듯이 모암의 화학성분은 그 종류에 따라 많은 차이를 보이고 있으나, 황토에 해당되는 적갈색과 황갈색의 풍화토에 있어서는 큰 차이가 없이 비슷한 패턴을 나타낸다.

회토류원소를 포함한 미량성분의 분석결과를 Table 5에 나타냈다. 여기서도 모암의 종류에 따라 그 성분이 여러 차이를 보이고 있으나, 풍화토인 황토에 있어서 P, S, Zr, Sr, Ba, Rb, Ce 등이 대체로 많은 함량을 보이고 있으며, 다음으로 Li, V, Cr, Zn, Co, Ni, Cu, Y, Nb, La, Nd, Pb, Th 등이 약 10 ppm 이상으로 상당량 포함되어 있다. 분석한 대부분의 원소들이 각 모암의 성분에 비교해서 황토에서의 각 성분의 함량이 높게 나타났다. 각 모암과 비교한 황토의 성분의 차이도 시료에 따라 다르게 나타났다. 그러나 Co는 대부분 시료에서 모암보다 황토에서 그 함량이 공통적으로 감소하고 있다. 그 외 성분들은 거의 같거나 높게 나타난다. 석회암의 경우는 S와 Sr이 모암보다 황토 중의 함량이 감소되고 있고 나머지 모든 성분들은 증가하는 경향을 나타낸다. 적갈색 황토의 미량성분에 대해 여러 모암의 것과 비교하여 보면 선캄브리아기의 변성암과 고생대 석회암의 시료가 비교적 높은 회토류 및 기타 미량성분의 함량을 나타내는 경향이 있다. 화강암 지역의 황토에서는 Ba이 다른 것에 비해 높게 나타난다. 모암별 시료에 대하여 상부 적갈색 황토와 하부의 황갈색 풍화토, 그리고 모암의 미량화학성분을 알기 쉽게 Fig. 4에 비교해 나타냈다. 여기서 적갈색 황토의 유라기 화강암 시료에서 Rb가 매우 크게 나타나지만, 이것만 제외하면 전체적으로 큰 차이는 없다. 여기서도 모암의 미량성분은 그

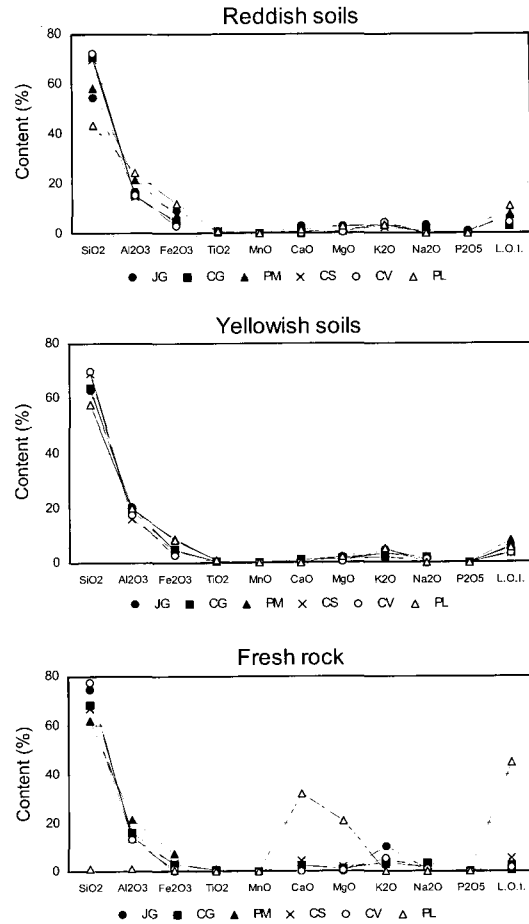


Fig. 3. Variation of major elements of the residual soils and their parent rocks. JG: Jurassic granite. CG: Cretaceous. FM: Precambrian gneiss & schist. CS: Cretaceous sedimentary rock. CV: Cretaceous volcanic rock. PL: Paleozoic limestone

종류에 따라 다소 많은 차이를 보이고 있으나, 황토에 해당되는 풍화토에 있어서는 큰 차이가 없이 비슷한 패턴을 나타낸다.

#### 기타 물리화학적 특성

황토 시료들의 pH와 양이온교환용량(CEC)을 측정된 결과를 Table 6에 나타냈다. 석회암 지역을 제외하면 pH는 4.3-6.2의 범위로 모두 산성을 나타낸다. 석회암지역의 황토에서는 약간 높은 pH를 나타낸다. 다른 대부분의 시료에서

Table 5. Trace element analyses of the residual soils and their parent rocks.

	JOB-1	JGB-2	JGB-R	CGE-1	CGE-2	CGE-R	MA-1	MA-2	MA-R	MC-1	MC-2	MCR	SA-1	SA-2	SA-R	SB-1	SB-2	SB-R	VB-1	VB-2	VB-R	LA-1	LA-2	LA-R	
Li	37.70	30.40	0.20	25.10	24.80	14.20	23.10	20.80	15.80	40.10	33.30	38.20	19.90	6.50	1.90	41.40	37.60	38.70	25.90	14.70	24.10	124.00	193.10	7.50	
P	171.90	98.90	27.40	99.00	144.80	592.80	273.70	237.60	300.20	543.40	553.30	905.20	101.80	47.10	28.30	201.70	213.10	808.00	82.10	104.30	23.30	507.40	416.30	264.20	
S	244.40	133.00	33.30	69.50	149.00	211.10	270.70	66.50	163.30	172.40	83.40	1771.60	58.10	102.30	51.20	146.00	98.50	625.00	60.70	53.70	23.50	250.30	130.70	1933.10	
Sc	8.60	8.30	0.70	8.30	4.30	5.30	13.50	4.30	5.80	22.10	18.60	13.70	7.10	3.00	1.40	13.90	15.80	13.20	6.70	5.60	3.20	25.70	18.30	0.70	
V	49.20	37.20	0.30	67.70	66.50	38.80	88.60	49.70	15.70	102.50	83.40	75.70	50.10	21.70	11.20	112.00	109.80	86.70	32.40	22.60	11.00	149.20	120.30	8.20	
Cr	51.40	47.60	2.70	32.20	21.00	8.90	106.30	59.20	16.20	95.30	59.10	59.90	37.10	12.70	5.60	95.80	93.90	74.60	19.10	8.90	3.20	100.00	95.40	9.40	
Zn	57.90	60.10	1.20	35.20	44.40	20.20	82.90	81.40	61.50	86.90	93.50	79.20	44.50	24.90	6.40	77.30	92.70	93.00	52.60	58.00	33.70	115.30	86.60	5.00	
Zr	49.90	32.00	20.30	86.80	45.90	45.00	53.90	32.10	72.30	86.50	72.00	33.30	93.00	25.60	23.80	164.80	163.50	119.00	109.30	84.10	88.80	167.10	154.20	13.80	
Sr	95.40	178.50	88.80	139.20	195.70	317.40	131.00	105.80	214.70	57.40	59.80	271.10	240.30	403.00	375.40	42.30	37.10	189.50	43.30	69.00	39.60	62.50	30.60	183.50	
Ba	817.20	797.40	201.10	640.40	679.20	986.20	207.60	1397.90	1025.90	621.60	812.30	411.60	643.90	813.30	779.20	582.20	749.40	651.10	572.90	678.90	439.40	338.20	294.10	22.40	
Co	10.60	12.04	201.13	9.45	9.96	170.97	14.17	10.94	62.81	19.47	57.88	58.75	42.10	21.11	13.90	9.41	68.56	66.18	64.30	19.22	9.81	7.57	101.11	68.15	13.52
Ni	39.69	33.75	7.20	21.44	20.23	10.95	59.78	62.81	19.47	57.88	58.75	42.10	21.11	13.90	9.41	68.56	66.18	64.30	19.22	9.81	7.57	101.11	68.15	13.52	
Cu	13.70	9.95	1.49	17.73	43.95	8.33	16.27	13.47	6.95	45.02	42.74	26.57	33.02	8.41	3.27	36.83	38.07	41.28	14.84	6.88	2.59	68.89	32.81	2.35	
Rb	1740.02	140.58	320.38	135.53	142.68	142.21	127.20	154.89	138.42	125.39	146.19	121.11	110.27	79.49	62.82	165.53	213.11	180.11	203.11	209.54	279.03	208.70	176.27	8.92	
Y	11.91	28.03	3.35	17.43	27.51	17.73	34.29	22.78	13.06	39.10	59.92	34.87	15.12	4.60	5.04	22.99	34.22	28.16	17.65	17.81	18.51	59.48	25.58	1.46	
Nb	11.67	12.13	5.07	18.52	18.04	2.22	27.00	16.72	7.11	18.60	20.18	14.97	15.81	7.32	1.56	23.21	23.73	14.07	18.74	16.52	11.17	21.97	18.90	1.35	
Cd	0.17	0.12	0.08	0.21	0.23	0.18	0.47	0.20	0.19	0.48	0.58	0.20	0.16	0.12	0.10	0.32	0.66	0.57	0.27	0.41	0.18	0.47	0.42	0.19	
Cs	7.44	8.33	3.66	6.55	8.68	4.18	6.90	2.19	2.45	7.82	6.17	4.08	5.47	1.45	0.30	11.44	13.95	12.40	5.83	4.44	10.91	19.36	10.99	0.18	
La	33.22	73.21	1.63	33.83	49.41	54.85	109.93	138.06	177.45	84.46	92.47	87.87	32.51	14.77	24.83	33.45	56.39	49.71	23.44	39.59	30.84	59.18	46.46	3.21	
Ce	80.78	76.44	2.33	68.78	89.88	98.70	238.61	270.60	341.94	188.71	176.89	179.11	72.91	48.99	45.07	72.68	72.64	101.14	81.62	77.59	61.59	124.01	110.92	4.30	
Pr	6.95	16.62	0.32	6.97	10.29	10.71	27.92	31.37	39.18	22.63	25.38	23.09	7.48	3.27	5.74	7.67	12.77	12.39	5.73	8.43	7.51	16.62	9.29	0.48	
Nd	21.43	55.78	1.43	22.60	31.95	30.84	87.81	93.96	120.07	73.46	85.57	75.93	25.12	10.79	17.96	25.47	40.92	40.02	17.44	25.97	23.53	58.66	29.61	1.86	
Sm	3.41	9.98	0.66	3.83	5.55	4.48	15.40	14.64	15.33	13.29	15.52	13.43	4.32	1.73	2.79	4.40	6.88	6.86	3.32	4.28	4.39	12.99	5.29	0.42	
Eu	0.79	2.42	0.25	0.86	1.10	0.89	1.60	1.84	1.80	2.00	2.62	1.89	0.86	0.43	0.66	0.86	1.29	1.37	0.60	0.69	0.47	2.36	1.06	0.05	
Gd	2.96	7.78	0.11	3.35	4.94	4.01	14.22	13.49	11.32	11.92	13.84	11.12	3.42	1.29	1.76	4.02	6.13	6.52	3.20	3.45	3.48	11.56	5.21	0.08	
Tb	0.38	1.05	0.06	0.47	0.76	0.51	2.05	1.71	1.02	1.55	2.04	1.47	0.89	0.17	0.24	0.63	0.97	0.93	0.50	0.49	0.53	1.84	0.81	0.04	
Dy	2.12	5.59	0.47	3.07	4.61	3.01	9.43	7.27	4.43	7.93	11.37	7.23	2.83	1.01	1.26	3.93	5.46	5.18	2.83	2.89	2.93	10.13	4.74	0.28	
Ho	0.40	0.98	0.09	0.57	0.91	0.53	1.32	0.88	0.54	1.45	2.16	1.14	0.51	0.17	0.20	0.78	1.09	0.98	0.61	0.56	0.56	1.95	0.96	0.06	
Er	1.16	2.79	0.27	1.81	2.95	1.72	3.30	1.77	1.42	4.35	6.13	2.99	1.53	0.43	0.51	2.62	3.34	2.93	1.93	1.81	1.80	5.67	2.96	0.16	
Tm	0.16	0.36	0.05	0.26	0.40	0.25	0.38	0.14	0.12	0.57	0.84	0.34	0.20	0.05	0.07	0.37	0.46	0.41	0.29	0.25	0.25	0.73	0.41	0.03	
Yb	0.97	2.20	0.27	1.84	2.88	1.69	2.34	0.68	0.64	3.42	4.98	1.95	1.35	0.39	0.39	2.57	3.10	2.58	1.79	1.78	1.80	4.80	2.76	0.15	
Lu	0.16	0.33	0.04	0.29	0.45	0.27	0.34	0.11	0.10	0.51	0.79	0.30	0.22	0.06	0.06	0.39	0.47	0.38	0.28	0.29	0.30	0.74	0.42	0.02	
Pb	29.90	25.97	54.77	17.38	18.53	10.92	38.82	80.48	30.64	46.79	40.46	20.99	25.64	20.56	12.80	29.01	36.30	30.55	34.30	25.49	10.60	45.05	30.45	11.50	
Th	14.55	12.92	8.40	10.22	17.88	12.91	32.62	36.61	52.68	31.52	31.24	28.53	12.02	12.81	8.90	16.97	18.00	15.43	17.98	25.76	19.09	26.61	22.62	1.26	
U	3.15	2.98	1.15	2.77	3.60	2.39	3.49	3.67	2.12	3.36	3.27	1.81	2.29	1.15	0.53	3.52	3.38	2.40	3.23	3.60	2.75	4.44	6.00	1.02	

우곡두부암(야호천)의 잔류토의 미량 원소 분석 결과

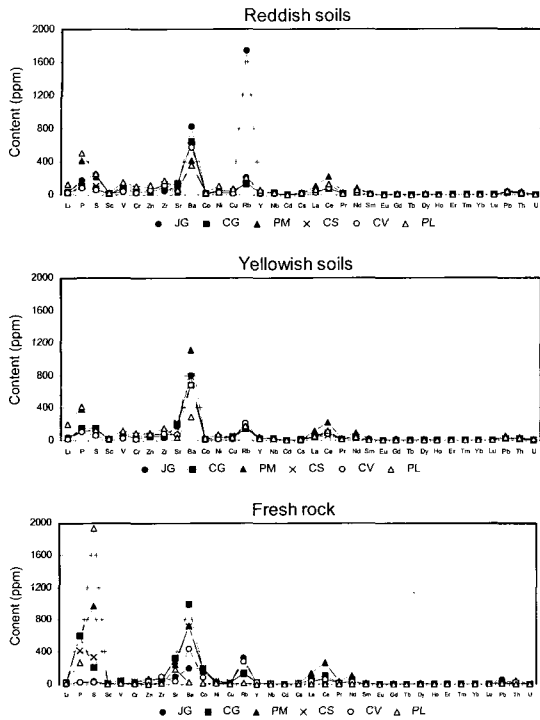


Fig. 4. Variation of trace elements of the residual soils and their parent rocks. Symbols are same as those of Fig. 4.

는 표층에 가까운 적갈색 황토가 그 하부의 황갈색 시료 보다 약간 더 낮은 pH를 나타내는 경향이 있다. 이온별 교환량을 보면 염기성 화산암에 해당되는 시료에서는 Ca와 Mg가 특히 많은 함량을 보이고, 석회암의 것에서도 Ca의 교환량이 다소 큰 값을 보이고 있다. 그러나 이러한 시료를 제외한 다른 시료들은 매우 낮은 값을 나타낸다. 즉, Ca는 0.1-3.7 meq/100g, Mg는 0.2-4.8, Na와 K는 0.4 이하의 범위로 낮은 값을 보인다. CEC는 석회암과 화산암 일부의 시료를 제외하면 4-13 meq/100g으로 매우 낮은 값을 나타낸다. CEC도 대부분의 시료에서는 표층에 가까운 적갈색 황토가 그 하부의 황갈색 시료 보다 약간 더 낮은 값을 나타낸다. 즉 pH가 낮을수록 CEC도 낮게 나타나는 경향을 보인다. 황토에서 낮은 CEC값을 보이는 것은 CEC가 낮은 카올린광물과 함께, CEC가 낮은 것으로 알려진 Al을 층간에 포함하는 수산화층간 베퍼큘라이트(Barnhisel and Bertsch, 1989)

가 주로 함유되기 때문인 것으로 사료된다.

황토 시료들을 채분리 하여 50 μm 이상의 입자들을 제거시킨 후, 그 현탁액을 자동입도 분석기로 입도를 분석하였다. 그 결과 시료별로 입도분포가 여러 형태를 나타내었으며, 그 중에 대표적인 4개 시료의 입도분포곡선을 Fig. 5에 나타냈다. 대부분의 시료에서 0.3 μm과 약 10 μm를 중심으로 하는 두 개의 피크를 가지는 분포곡선을 나타낸다. 표층에 가까운 적갈색 황토가 그 하부의 황갈색 시료 보다 0.3 μm 부근의 피크가 크게 나타나는 경향이 있다. 즉 적갈색 황토가 더 많은 미립자들을 포함하는 것을 말한다. 특히 석회암 지역의 적갈색 황토가 미립자들을 매우 많이 포함하고 있다. 이러한 입도분포곡선의 자세한 해석은 더 검토할 필요가 있으나, 전술한 바와 같이 0.2 μm이하의 세립점토를 분리한 시료에서 침철석 같은 수산화철광물이 상대적으로 많이 포함되는 것으로 보아 미립 부분의 피크는 산화철광물의 함량에 주로 좌우되는 것으로 생각된다.

황토의 전체적 입도분석의 결과, 적갈색을 띠는 상부의 것은 모래 15-40%, 미사 20-50%, 점토 30-60%의 범위를 보여, 주로 silty clay loam 내지 clay loam에 해당되는 것으로 나타났다. 황갈색을 띠는 하부의 것은 모래 40-80%, 미사 10-30%, 점토 10-40%의 범위를 나타내어 주로 sandy clay loam에 해당되는 것으로 나타났다. 이와 같이 적갈색 황토가 더 많은 점토입자를 포함한다.

구성광물의 형성과 화학성분에 대한 고찰

적갈색 내지 황갈색을 띠는 풍화토 소위 황토에 대하여 대표적 모암에 따른 그 구성광물과 화학성분 등을 검토해 보았다. 그 결과, 모암의 종류에 따라 다양한 특성을 나타내었다. 이것은 모암에 따라 풍화작용에 의한 광물성분과 화학성분의 변화가 다르게 나타나며 결국 황토의 특성에 차이가 생기는 것으로 생각된다. 모암 및 황토의 구성광물로 볼 때 장석, 운모, 각섬석 등의 1차 광물이 풍화작용에 의해 할로사이트, 카올리나이트, 일라이트, HIV, 운모/버미큘라이트 혼합층광물 등의 점토광물로 변화되는 것으로 나타났다. 그러나, 석영은 그 함량

으로 보아 풍화에 의한 광물의 변화에는 거의 관여하지 않은 것으로 생각된다. 모암의 종류에 따라 약간의 차이는 있지만 대체적으로 볼 때, 풍화가 덜 진행된 황갈색의 황토에서 일라이트와 할로이사이트가 비교적 많이 포함되고 표토층인 적갈색 황토에서 카오리나이트와 HIV가 많은 경향을 나타냈다. 이것으로 보아 암석의 풍화작용에 의해 일라이트와 할로이사이트가 비교적 먼저 형성되고 그 뒤 최종적으로 HIV와 카오리나이트가 형성되는 것으로 생각된다. 운모/버미큘라이트 혼합층광물은 이러한 중간 단계에서 형성된 것으로 운모나 일라이트가 HIV로 변화되는 과정의 중간산물로 생각된다. 쥬라기 화강암과 백악기 화강암에서 나온 황토의 구성 점토광물이 큰 차이를 보이는 것은 매우 흥미로운 것으로 보인다. 쥬라기 화강암에 카오린광물이 많이 함유되고 상대적으로 백악기 화강암의 황토에 HIV가 비교적 많이 함유되었다. 이것은 질리 발달상태와 같은 암석의 구조와

본래 암석의 변질작용의 여부 등이 관여될 수 있으며, 지표에 노출되어 풍화작용을 받은 경력도 요인이 될 수 있다. 이에 대해서는 앞으로 더 검토가 필요하지만, 쥬라기 화강암이 절리와 암맥을 비교적 많이 포함하고 시대와 분포지역 등을 고려해 볼 때 백악기 화강암에 비하여 더 강한 풍화작용을 받았을 것으로 생각된다. 쥬라기 화강암의 황토내에 카오린광물이 많이 함유되는 것은 일반적으로 알려진 풍화 안정도 (Jackson *et al.*, 1948)의 측면에서 보면 잘 설명된다. 즉, HIV보다는 카오린광물이 풍화작용에 더 안정한 것으로 볼 수 있다. 그리고 풍화작용의 진행에 따라 점토의 양이 많아지고, 이에 따라 2:1 층형 점토광물에서 1:1 층형 점토광물로 일반적으로 변화된다는 Velde(1992)의 연구와도 같은 경향을 나타낸다. 백악기 퇴적암 및 고생대 석회암의 황토에서 비교적 일라이트가 많이 포함되었는데, 이들은 본래의 모암내 상당량 포함되어 있는 운모 및 일라이트의 영향인 것

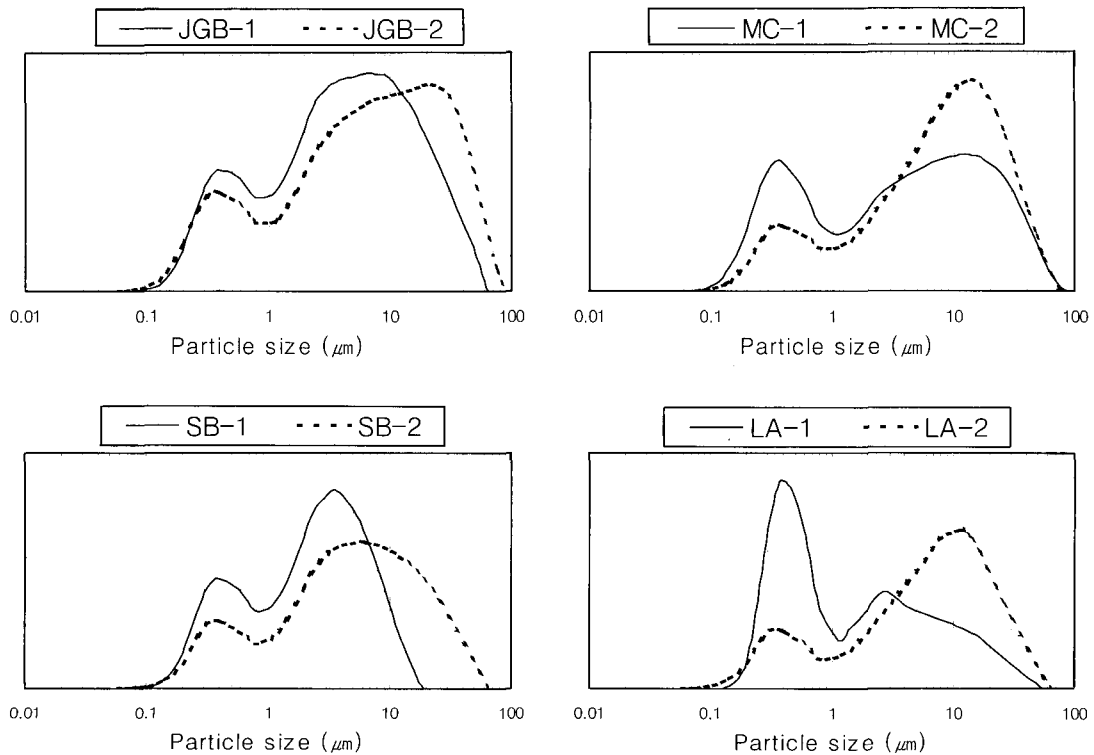


Fig. 5. Particle size distribution curves of <50  $\mu$  m fraction of some residual soils.

**Table 6.** Cation exchange capacity and pH of the residual soils.

Parent rock	Sample No.	pH	Exchangeable cation (meq/100g)				Total	CEC (meq/100g)
			Ca	Mg	Na	K		
Jurassic granite	JGA-1	4.52	1.10	1.10	0.08	0.14	2.43	6.95
	JGA-2	4.95	1.62	2.09	0.12	0.06	3.88	8.83
	JGB-1	4.34	0.32	0.25	0.05	0.00	0.62	4.96
	JGB-2	5.38	0.73	1.86	0.18	0.08	2.84	8.22
	JGC-1	4.67	1.12	1.30	0.07	0.15	2.65	7.32
	JGC-2	4.95	0.75	1.85	0.09	0.06	2.76	7.71
	JGD-1	5.44	1.03	1.60	0.23	0.15	3.01	8.45
Cretaceous granite	JGD-2	5.87	3.16	1.94	0.33	0.14	5.57	11.44
	CGE-1	5.73	0.53	2.25	0.21	0.05	3.04	8.77
	CGE-2	6.07	3.06	3.58	0.09	0.20	6.92	12.99
	CGF-1	4.86	0.56	0.37	0.13	0.15	1.21	6.07
Precambrian gneiss & schist	CGF-2	5.05	0.11	1.03	0.11	0.23	1.48	6.53
	MA-1	4.45	0.52	0.65	0.07	0.10	1.34	5.79
	MA-2	5.22	0.25	3.02	0.10	0.20	3.58	8.80
	MB-1	4.78	1.78	1.39	0.11	0.11	3.40	8.18
	MB-2	5.00	0.58	0.72	0.13	0.12	1.55	6.55
	MC-1	5.86	3.74	1.80	0.06	0.16	5.77	11.63
	MC-2	4.99	0.18	0.68	0.06	0.20	1.12	6.11
	MD-1	4.72	0.25	2.34	0.07	0.24	2.90	7.62
MD-2	5.25	1.19	2.68	0.06	0.27	4.20	9.45	
Cretaceous sedimentary rock	SA-1	5.16	1.73	2.67	0.29	0.11	4.80	9.96
	SA-2	5.85	2.05	1.80	0.13	0.07	4.06	9.91
	SB-1	5.09	0.35	0.77	0.03	0.32	1.48	6.57
	SB-2	4.95	1.58	2.80	0.03	0.42	4.83	9.78
	SC-1	5.03	3.63	3.57	0.07	0.18	7.45	12.48
	SC-2	5.32	0.81	4.13	0.09	0.23	5.26	10.58
Cretaceous volcanic rock	VA-1	5.94	17.51	14.34	0.12	0.08	32.06	38.00
	VA-2	6.24	22.01	13.98	0.12	0.03	36.14	42.38
	VB-1	5.42	0.68	3.53	0.13	0.20	4.55	9.97
	VB-2	5.73	2.55	3.38	0.17	0.16	6.25	11.98
Paleozoic limestone	LA-1	8.11	12.58	4.81	0.07	0.31	17.78	25.89
	LA-2	5.63	5.79	3.71	0.06	0.22	9.78	15.41
	LB-1	6.14	10.11	4.72	0.09	0.28	15.20	21.34
	LB-2	5.63	5.79	3.71	0.06	0.22	9.78	15.41

으로 생각된다. 침철석 등의 수산화철광물과 깃사이트 등은 암석의 풍화작용에 따른 광물의 분해 및 새로운 광물의 형성시에 용출된 Fe, Al 등이 수산화물로 침전된 것으로 볼 수 있다. 특히 황토의 특징인 적갈색을 띠는 원인은 수산화철광물에 기인한다. 0.2  $\mu\text{m}$  이하의 극미립 입도로 분리한 세립점토에서 더욱 진한 적색을 띠며, 침철석의 함량이 높아지는 경향이 나타났다. 즉 이러한 수산화철광물은 그 함량은 매우 적지만 극미립 물질로 황토 전체에 분산되어 있기 때문에 적갈색을 나타내어 황토의 색을 좌우하는 것으로 생각된다.

모암과 황토인 풍화토에 대한 주화학적성분의 검토 결과, 대체적으로  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 작열감량 등이 풍화토에서 많아지는 경향이 잘 나타났다. 풍화의 진행에 따라 카오린광물과 같은 점토광물이 증가하고 침철석 같은 수산화철광물이 농집되는 것으로 설명된다. 그리고 풍화대의 하천수 분석으로부터 검토한  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 의 비이동성에 대한 연구결과(White *et al.*, 1963)와도 일치한다. 황토의 화학성분은 모암의 성분에 다소 영향을 주는 것으로 나타났다. 그러나 조사한 모든 모암의 종류에 대한 풍화토의 성분을 비교 검토한 결과, 모암 자체의 화학성분의 차이에 비하

여 풍화토인 황토의 성분은 큰 차이가 없이 비슷한 패턴을 나타내었다. 이것은 현재의 지표 풍화환경에서 장기간 토양화가 되면서 현재 조건에 안정화되었기 때문으로 생각된다. 즉 모암 성분의 차이가 크더라도 오랜 동안 비슷한 기후 조건에서 풍화를 받게 되면 여러 형태의 원소의 거동이 일어나 결국 현재 조건에 안정된 성분으로 남게 되는 것으로 사료된다. 미량 화학성분에 있어서도 주화학성분과 마찬가지로 결과가 나타났다. 즉 모암 자체의 미량성분의 차이에 비하여 황토의 미량성분은 큰 차이가 없이 비슷한 패턴을 나타내었다. 이것 역시 현재의 지표 풍화환경에서 장기간 토양화가 되면서 현재 조건에 맞는 지화학적 안정화를 이루었기 때문으로 생각된다. 이번의 여러 검토결과로 보아 황토의 광물성분 및 화학성분은 모암의 종류와 함께, 풍화 시간 및 풍화조건 등에 따라 크게 좌우되는 것으로 나타났다.

황토는 공극에 포함되는 물과 공기를 제외하고 고체의 대부분이 광물로 구성되어 있다(Brady and Weil, 1996). 물론 고체 중에는 아직 광물이 되지 못한 비정질 물질도 소량 포함될 수 있으며, 식물의 뿌리와 박테리아와 같은 미생물이 포함될 수 있지만, 이러한 물질들은 황토 전체로 볼 때 그 비율은 극히 적다. 따라서 황토의 구성물질은 주로 광물이라고 볼 수 있다. 검토한 바와 같이 황토의 구성광물은 석영, 장석, 점토광물, 침철석, 깃사이트 등도 포함하지만, 그 중에서 점토광물이 가장 많은 함량을 나타내었다. 오래 전부터 황토는 고가옥의 벽, 바닥, 부엌아궁이 등의 건축재료, 적벽돌, 토기, 기와 등의 요업원료, 논외의 객토용 즉 토양개량재, 양어장 바닥, 외양간 바닥 깔개 등으로 이용되고 있었으며(류도옥, 1995), 최근에는 고급 아파트의 바닥 및 벽재, 황토옥탕, 황토침대, 의약용, 적조제거용 등 그 용도가 매우 많다. 그러나 이러한 용도는 황토의 가소성, 흡착성, 흡수 및 탈수성, 현탁성, 이온교환성 등의 특성 때문인 것이다. 이러한 특성의 근본은 그 함량과 광물학적 특성으로 보아 점토광물이 가장 크게 기인하는 것으로 생각된다. 왜냐하면 점토광물은 다른 광물에 비해 가장 활성도가 높으며, 가소성, 이온교환성, 흡착성, 축매성, 현탁성, 높은 표면적, 전자파의 흡수 및 방출 등

의 다양한 성질을 가지고 있기 때문이다. 따라서 황토에 포함된 점토광물의 성질을 이해한다면 황토가 여러 용도로 이용되는 이유는 어렵지 않게 설명될 수 있는 것으로 생각된다. 그러므로 황토에 대한 올바른 이해와 효과적 이용을 위해서는 구성광물에 대한 검토 및 연구가 필수적인 것으로 생각된다.

## 결 론

우리나라에서 적갈색 내지 황갈색을 띠는 풍화토 소위 황토에 대하여 대표적 모암에 따른 그 구성광물과 화학성분 등을 검토해 본 결과는 다음과 같다.

1) 황토의 구성광물로는 석영과 장석과 함께, 카오린광물, 일라이트, 수산화층간 버미큘라이트(HIV), 운모/버미큘라이트 혼합층광물, 녹니석 등의 점토광물이 다량 함유되고, 각섬석, 침철석, 깃사이트 등이 소량 포함된다.

2) 간접적으로 추정된 황토 중의 점토광물 함량은 약 40-80%의 범위로 다량 함유되어, 점토광물이 황토의 물리화학적 특성에 크게 관여하는 것으로 나타났다.

3) 황토 중의 카오린광물은 튜브상의 할로이사이트와 불규칙한 외형의 카오리나이트가 혼합되어 나타나며, 상부층인 적갈색 황토에서는 카오리나이트가 아주 우세하고 반면에 하부의 황갈색 시료에서는 할로이사이트가 비교적 많이 포함된다.

4) 모암에 따라 황토의 구성광물이 특징적인 차이를 나타내었다. 특히 주라기 화강암과 백악기 화강암에서 주라기 화강암의 것이 상대적으로 많은 카오린광물을 포함하고, 백악기 화강암은 상대적으로 HIV와 일라이트가 다량 포함되는 차이를 나타냈다.

5) 황토의 구성광물은 모암 중의 장석과 운모 등의 광물이 화학적 풍화작용을 받아 일라이트, 할로이사이트, 운모/버미큘라이트 혼합층광물, HIV 등으로 변화되고 최종적으로 카오리나이트로 변하는 과정에서 형성된 것으로 나타났다. 황토 중의 이러한 광물조합은 모암의 종류 및 성질, 풍화기간, 풍화조건 등에 좌우되어 여러 형태를 나타내는 것으로 사료된다.

6) 모암과 황토와 화학성분을 비교해 보면

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O 등이 황토에서 많아지고, Ca, Mg, Na 등은 다소 적어지는 경향을 보이고 있다. 황토의 주화합성분도 모암의 종류에 따라 다소 다르게 나타나지만, 모암의 성분 차이에 비하여 유사한 범위를 나타낸다.

7) 황토에서 P, S, Zr, Sr, Ba, Rb, Ce 등이 대체로 많은 함량을 보이고 있으며, 다음으로 Li, V, Cr, Zn, Co, Ni, Cu, Y, Nb, La, Nd, Pb, Th 등이 약 10 ppm 이상으로 포함되었다. 미량성분에 있어서 Co를 제외한 대부분의 원소들이 각 모암의 성분에 비교해서 황토에서 각 성분의 함량이 높게 나타났다. 미량성분들도 모암의 종류에 따라 황토 중의 함량이 다소 차이를 나타내었으나, 모암의 성분 차이에 비하여 유사한 범위를 나타내었다.

### 사 사

이 논문은 1998년도 농림수산부의 농림기술개발연구과제 연구비에 의해 연구되었음을 밝히며, 이에 감사한다.

### 참 고 문 헌

김기현, 김세현, 최영천(1996), 중금속의 토양오염; 한국중부지역의 농경지를 중심으로. *자원환경지질*, 29(6), 725-732.

김복영, 정변간, 최정원, 윤윤선, 최 선(1995), 우리나라 논 토양중 중금속 자연함량. *한국토양비료학회지*, 28(4), 295-300.

남기상, 조규성(1993), 암석의 풍화에 따르는 주요성분의 상대적 이동. *광산지질*, 26, 1, 67-81.

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

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

류도옥(1995), 黃土의 神秘, 행림출판

박종진, 김명균, 전효택(1997), 금왕 금·은광산 주변 지구화학적 환경에서의 중금속 원소들의 분산, *자원환경지질*, 30(5), 407-416.

小山正忠, 竹原秀雄(1999), 標準土色帖. 日本色研事業株式會社

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

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

엄명호, 엄기태, 임형식(1992a), 한국의 주요 모암에서 발달된 토양점토광물의 특성과 생성학적 연구. III. 모래와 미사 중에 토양광물의 특성비교. *한국토양비료학회지*, 25, 1, 1-7.

엄명호, 임형식, 김태순(1992b), 한국의 주요 모암에서 발달된 토양점토광물의 특성과 생성학적 연구. IV. 토양점토광물의 분포 및 생성. *한국토양비료학회지*, 25, 3, 202-212.

엄명호, 정필균, 엄기태, 임형식(1993), 회색혈암에서 유래된 토양점토 광물의 특성. *한국토양비료학회지*, 26, 1, 1-9.

이찬희, 이현구, 이종창(1998), 나림광산 수계의 토양과 퇴적물에 관한 지구화학적 특성; 중금속 원소의 분산, 부화 및 기원, *자원환경지질*, 31(4), 297-310.

전효택, 안수성(1996), 수도권 위성도시의 토양과 분진의 중금속 오염에 관한 연구. *자원환경지질*, 29(1), 87-100.

정영욱, 민정식, 김인기, 김옥환, 이승길, 우종환, 최광호 (1997), 다덕광산 주변 토양에서의 금속 및 시안의 분포와 산성침출수 생성. *토양환경학회지*, 2(3), 39-47.

황진연(1997), 맥반석과 황토의 특성과 활용. *한국광물학회 창립 10주년 기념 심포지움 논문집*, 89-99.

황진연, 장명익(1994), 부산시 구월산의 풍화토중 점토 광물의 특성 및 성인, *한국토양비료학회지*, 27(3), 158-167.

Barnhisel, R. I. and Bertsch. P. M. (1989) Chlorites and hydroxy interlayered vermiculite and smectite, In. J.B. Dixon and S.B. Weed eds, *Minerals in Soil Environments*. Soil Sci. Soc. Am. Madison, wisconsin, USA. 729-788.

Brady, N. C. and Weil, R. R. (1996) *The nature and properties of soil*. Prentice Hall, 1-24.

Chung, F. H. (1974) Quantitative interpretation of X-ray diffraction patterns of mixtures. I. Matrix flushing method for quantitative multicomponent analysis. *J. Appl. Cryst.*, 7, 519- 525.

Churchman, G. J., Whittion, J. S., Clardge, G. G. G. and Theng, B. K. G. (1984) International method using foramide for differentiating halloysite from kaolinite, *Clay and Clay Minerals*, 32, 241-248.

Douglas, L. A. (1977) Vermiculite: in *Minerals in Soil Environment* (J.B. Dixon and S.B. Weed, Eds.), Soil Science Society of America, 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.

Loughman, F. C. (1969) Chemical weathering of the



- silicate minerals. Elsevier, New York, 154.
- Reynold, R. C. and Reynold III, R. C. (1996) NEW-MOD 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.
- White, D. E., Hem, J. D. and Waring, G. A. (1963) Chemical composition of subsurface waters, Chap. F in Data of Geochemistry. 6th ed., U.S. Geol. Survey Prof. Paper, 440-470.
- 
- 2000년 2월 8일 원고접수, 2000년 6월 3일 게재승인.