

제주도 화산쇄설물 기원 토양의 성숙도에 따른 광물조성의 변화 연구

하대호¹⁾, 송윤구¹⁾, 이규호¹⁾, 문희수¹⁾

Clay Mineralogy in Volcanic Ash Derived Soils with Different Soil Maturity, Cheju Island

Dae-ho Ha, Yungoo Song, Gyoo Ho Lee, Hi-Soo Moon

1. 서론

제주도는 제4기에 형성된 화산섬이다. 현무암질 화산암과 화산쇄설물을 모재로 하여 발달한 제주도 토양은 대부분 지역에서 Andisols가 특징적으로 분포하고 있다. Andisols 토양은 다양한 Al- 혹은 Fe-유기물복합체 및 결정도가 낮은 Short-range order를 갖는 Allophane과 Imogolite 등이 특징적으로 나타난다(Parfitt and Childs, 1988 ; Parfitt, 1990). 이 같은 Andisols 토양의 발달정도는 제주도 지역의 기후조건, 특히 강우량 분포의 불균질성 등에 의해 지역적으로 다양하다. 또한 강우량이 상대적으로 적은 서쪽 해안일대에는 Andisols 토양까지 발달하지 못한 Inceptisols 토양이 분포하고 있는 것도 기후조건 차이가 주요 요인으로 작용한 결과이다.

본 연구에서는 동일한 화산쇄설물을 기원물질로 하고 있지만 토양성숙도에서 뚜렷한 차이를 보이는 대표적인 Andisols 와 Inceptisols 토양단면을 선정하여 그 광물조성의 차이 및 수직적 변화양상을 광물학적 및 화학적 연구방법을 통해 체계적으로 밝히고자 한다. 특히 풍화단계 초기에 나타나는 Hydroxy interlayer 광물을 포함하는 2:1 점토광물의 특성 및 변화양상 규명을 주요 연구내용으로 포함하고자 한다.

이 연구는 토양성숙도의 증가, 즉 Andisols 토양으로의 발달과정에서 일어나는 광물들의 전이과정을 보다 정량적으로 파악할 수 있게 하며, 이러한 과정에서의 원소거동, 특히 Aluminum의 용해도 및 거동특성 연구(Su *et al.*, 1995), 이와 관련된 Al-Toxicity 및 토양산성화 연구를 위한 기초적인 주요 정보를 제공해 줄 것이다.

2. 시료 및 연구방법

시료의 채취 및 준비 : 제주도 서해안에 나타나는 Allophane 물질을 포함하지 않는 토양 중 단면이 잘 발달된 곳에서 깊이 별로 다섯 개(31-35)의 토양 시료를 채취하였다. 시료는 60°C에서 건조시킨 후 체를 이용해 2mm 이하를 분리했다. 토양의 화학적, 광물학적 특성 연구는 2mm 이하의 시료를 대상으로 한다.

전처리 : 2mm 이하 시료에 대해 carbonate와 유기물을 제거하는 전처리를 실시하였다. 1 M NaOAc를 이용해 carbonate를 제거한 후 유기물 제거를 위해 30% H₂O₂ 처리를 실시하였다. 유기물 제거 시 1M NaOAc(pH 5)를 buffer로 이용하였다. 전처리 된 시료에 대해 Na₂CO₃로 분산을 시킨 후 wet sieving과 퇴적법을 이용하여 sand, silt, clay로 입도 분리를 실시하였다. 분리된 점토 시료는 동결건조 시킨 후 DCB를 이용해 철 산화물을 제거하였다. DCB 처리된 시료는 원심분리법을 이용해 0.2-2 μ m와 0.2 μ m 이하를 분리하였다.

화학적 분석 : 토양의 화학적 특성을 알아보기 위해 pH, CEC, 유기물 함량을 측정하고, 주 구성원소 및 미량원소의 함량에 대한 분석을 실시하였다. 토양 pH는 증류수(1:3)와, 1M KCl(1:3)로 측정하였으며, 토양에 존재하는 비정질 물질의 함량을 알아보기 위해 1M NaF(1:50) pH를 구하였다. CEC는 NH_4OAc 치환법을 이용하여 구하고, 유기물 함량은 Sulfuric acid에 의해 용해된 유기물을 Ammonium iron sulfate hexahydrated를 이용하여 적정해서 구하였다. 주구성원소 및 미량원소에 대한 분석은 ICP를 이용하였다.

토양 내의 결정도가 낮은 광물들(Allophane, imogolite, ferrihydrite 등)의 동정 및 정량적 연구를 위하여는 Na-pyrophosphate (pH=10), Acid-oxalate(pH=3), DCB를 이용한 선택적 용해법을 이용하였다.

광물학적 연구 : 토양시료의 주구성광물 동정 및 특성연구를 위하여 X-선 회절분석 및 FT-IR 분석을 실시하였다. 토양 전체시료 및 입도 분리된 자연시료 및 이들의 화학적 전처리 시료에 대한 체계적인 분석을 통해 광물의 특성변화, 특히 Short-range ordered 광물 및 Hydroxy interlayered 광물의 정량적 특성규명을 시도하였다. 입도 분리된 점토시료들은 X-선 회절분석을 위해 정방위 시료로 제작되었으며, 멤버레인 필터를 이용, 1M의 KCl과 0.5M의 MgCl을 이용하여 층간을 K와 Mg으로 치환을 시켰고, K 치환된 시료는 110°C, 300°C, 550°C 열처리를 각각 2시간씩 실시하였다. Mg 치환된 시료는 60°C에서 24시간 동안 ethylene glycol 처리를 하였다. X-선 회절분석은 Cu-K α target을 이용하였다. X-선 회절 실험을 한 시료를 일부 취하여 FT-IR 실험을 실시하였다.

3. 결과 및 토의

Andisols : 전형적인 Andisols 토양의 X-선 회절분석 분석결과, 층상규산염광물이 거의 나타나지 않으며, Bo1 및 Bo2 층에 Gibbsite가 상당량 나타나는 특징을 보이고 있다(Fig.1).

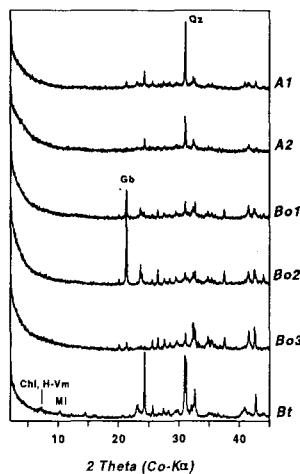


Fig. 1. X-ray patterns for the typical profile of Andisols in Cheju Island.

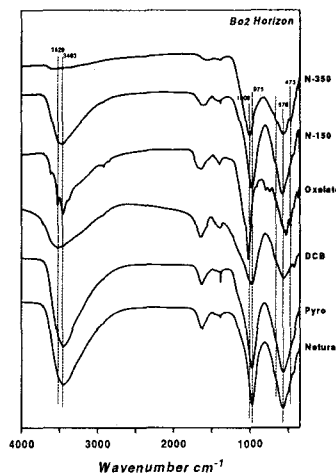


Fig. 2. FT-IR spectra for the typical profile of Andisols in Cheju Island.

이외에 일차광물로 석영이 관찰된다. 최하부 층은 고기 토양층으로 상대적으로 다량의 2:1 점토광물(질석, Hydroxy interlayered 광물, 녹니석, 운모)과 카올린나이트 등이 관찰되며, 따라서 상부의 Andisols 토양과는 구분되어야 할 것이다. 이들 시료에 대한 화학적 전처리 과정후의 X-선 회절분석 및 FT-IR 분석결과(Fig. 2)는 상당량의 Short-range ordered 광물이 포함되어 있음을 지시한다.

선택적 화학용해법을 이용하여 X-선 회절분석에서는 관찰되지 않는 Short-range ordered 광물의 정량분석 결과를 Table 1 및 2에 제시하였다.

Table 1. Quantitative analysis for allophanic materials using selective chemical dissolution method.

Horizon	<0.5micron			0.5-2micron			bulk		
	Si(d)-(p)	Si(o)-(p)	Si(o)-(d)	Si(d)-(p)	Si(o)-(p)	Si(o)-(d)	Si(d)-(p)	Si(o)-(p)	Si(o)-(d)
A1	3.88	7.90	2.89	5.60	6.33	0.05	3.42	8.39	4.41
A2	6.78	21.63	13.90	7.91	14.85	6.45	5.91	17.42	10.95
Bo1	11.72	39.71	27.49	14.89	35.18	20.10	14.21	30.30	16.04
Bo2	16.32	45.33	28.56	17.02	44.93	27.79	15.06	31.08	15.83
Bo3	12.77	41.54	28.22	13.06	47.91	34.63	12.98	39.50	26.43

Table 2. Quantitative analysis for ferrihydrite using selective chemical dissolution method.

Horizon	<0.5micron		0.5-2micron		bulk	
	Fe(d)-(p)	Fe(o)-(p)	Fe(d)-(p)	Fe(o)-(p)	Fe(d)-(p)	Fe(o)-(p)
A1	9.39	4.66	11.36	3.90	7.62	5.08
A2	10.28	7.78	11.31	6.01	8.44	7.46
Bo1	20.45	16.42	25.64	17.69	16.76	15.77
Bo2	28.18	23.03	33.06	26.80	19.60	19.48
Bo3	18.30	15.27	20.56	18.43	14.75	16.03

분석결과 전체토양에서 심부토양으로 갈수록 26.43%까지 Allophane 광물이 증가하였으며, Ferrihydrite도 약 16%까지 함유되어 있음을 알 수 있다. 이 같은 낮은 결정도의 광물들은 작은 입도에 보다 농집되어 있어 0.5 μ m 이하입도에서의 Allophane 광물 함량이 약 40%까지 높아진다. Na-pyrophosphate 처리 결과는 상부시료에는 Al 및 Fe의 상당량이 유기물과 복합체를 형성하고 있음을 보여준다.

Inceptisols : 토양의 성숙도가 낮은 Inceptisols 시료의 X-선 회절분석 결과는 Andisols과는 달리 2:1 및 1:1 층상광물이 뚜렷이 관찰된다. <0.2 및 0.2-2 μ m 입도의 정제시료에 대하여 K 치환 후 550 $^{\circ}$ C까지의 단계적 열처리 결과와 Mg 치환 후 ethylene glycol 처리 결과는 Vermiculite, 녹니석, Hydroxy interlayer 광물, 다양한 비율의 V/C(vermiculite/chlorite) 혼합층광물 등의 존재가능성을 보여주며 (Reynold, 1989), 특히 상부 층에서의 Hydroxy interlayer 광물 혹은 V/C 광물의 비율이 증가한다. 이외에도 운모류와 카올린나이트 등이 소량 존재하며, 전형적인 Andisols와는 달리 결정도가 낮은 Allophane 및 Imogolite, 그리고 Gibbsite가 거의 나타나지 않는다(Fig. 3).

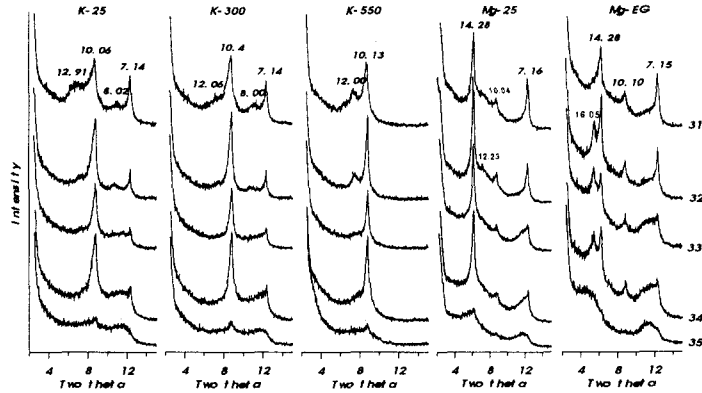


Fig. 3. X-ray diffractograms of DCB-treated clay fractions(2-0.2 μm) after saturated with K and heating to 300°C, 550°C and saturated with Mg and treated with ethylene glycol.

광물조성의 변화 특성 : 동일한 화산쇄설물질을 모재로 하지만 성숙도를 달리하는 대표 토양단면의 광물조성의 변화를 요약하면, Andisols 토양의 경우 하부로부터 Imogolite (Allophane) → Gibbsite → Al-, Fe-유기물 복합체의 변화단계를 보여준다. 이러한 변화경향은 원소들의 용탈작용 증가와 이동성 낮은 Al 및 Fe의 상대적 농집에 기인하는 것으로 토양 성숙도 증가에 따른 전형적인 변화양상이다.

이와는 달리 토양성숙도가 낮은 Inceptisols 토양에서의 광물조성 변화경향은 비교적 초기 풍화산물인 Vermiculite로부터 Hydroxy interlayer 광물, 혹은 V/C 혼합층광물로 변화하는 경향을 보인다. 또한 대부분의 시료들이 선택적 용해처리 및 열처리 후의 다양한 저면간격의 변화를 보이는 것으로 보아 존재가능성이 높은 Hydroxy interlayer 광물, 혹은 V/C 혼합층 광물 모두 층간구조의 안정성 및 규칙성이 낮은 것으로 생각된다. 이러한 양상은 대상 토양이 비교적 토양형성 초기단계에 있음을 지시하며, 풍화도의 증가를 원소 용탈작용의 증가 등에 의해 보다 성숙한 토양, 즉 Andisols 토양으로의 변화잠재성이 크다고 할 수 있다.

유사한 모재를 갖는 제주도 토양에서의 이 같은 성숙도 차이는 토양 형성과정에서의 기후조건에 의한 높은 영향도를 반영하는 것이며, 제주도 토양에서의 Al-Toxicity 및 거동특성 연구에 주요 영향요인으로 고려되어야 할 것이다.

4. 참고문헌

- Parfitt, R.L. and Childs, C.W. (1988) Estimation of forms of Fe and Al : A Review, and analysis of contrasting soils by dissolution and Moessbauer methods. *Aust. J. Soil Res.*, 26, 121-144.
- Parfitt, R.L. (1990) Allophane in New Zealand - review. *Aust. J. Soil Res.*, 28, 343-360.
- Su, C. and Harsh, J.B. (1995) Solubility of hydroxy-aluminum interlayers and imogolite in a Spodosol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59, 373-379.
- Reynolds R.C Jr. (1989) X-ray diffraction and the identification and analysis of clay mineral. Oxford univ. press. p. 241-271.

주요어 : 화산쇄설물, Andisols, Inceptisols, Allophane, 층상규산염 광물

1) 연세대학교 지구시스템과학과