

점토광물 조성이 상이한 토양의 점토활성도와 이화학적 특성

장용선 · 손연규* · 박찬원 · 현병근 · 문용희 · 송관철

농촌진흥청 국립농업과학원

Clay Activity and Physico-chemical Properties of Korean Soils with Different Clay Minerals

Yong-Seon Zhang, Yeon-Kyu Sonn*, Chan-Won Park, Byung-Keun Hyun,
Yong-Hee Moon, and Kwan-Cheol Song

National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Republic of Korea

This research investigated classification of clay activity degree by different clay mineral components. Based on compositions of different clay and oxide minerals within 390 soil series in Korea, 7 soils were selected to analyze for CEC and specific surface area of clay minerals. As a result, soils were mainly composed with Chlorite originated from sandstone, Smectite originated from Andesite porphyry and combination of Allophane and Ferrihydrite originated from volcanic ash, if the ratio of CEC value to clay content (degree of clay activity) was greater than 0.7. If the degree of clay activity was ranged between 0.3 and 0.7, soils were composed mainly with Kaolin originated from anorthite. Soils with this ratio also was composted with combinations of Kaolin, Illite and Vermiculite originated with river deposits. When the degree of the activity was less than 0.3, soils were commonly red-yellowish color and composed with two different minerals. One type of composition was Kaolin originated from granite and granite gneiss and the soils contained Goethite and Hematite. The other type was composted mainly with Illite and Vermiculite minerals originated from granite. These soils contained Gibbsite, Goethite and Hematite. The degree of clay activity was highly related with CEC and specific surface area. The greater degree of the activity displayed greater values of clay CEC and specific surface area. It is not easy to measure actual quantity and compositions of clay minerals, while the degree of clay activity can be measured from routine soil analyses. As a conclusion, the degree of clay activity may be not just a simple but also powerful tool to estimate physical-chemical properties of soils and to evaluate the soil classification in Korean soils.

Key words: Soil minerals, Clay activity classes

서 언

작물 생산성은 주로 기후, 토양물리성, 물과 양분의 공급에 의해 결정된다. 토양의 구성요소 중 점토광물과 유기물은 이온 및 분자상 물질, 가스를 흡수·흡착할 수 있고, 토양의 종류에 따라 상이하다. 이러한 수차특성은 대기과 지하수계간의 완충지대 역할을 하면서 식물에 안정된 광물 성분을 공급한다. 적절한 양분의 공급에 영향을 미치는 토양의 물리·화학적 특성은 점토함량과 종류, 무정형광물, 유기물의 성상에 따라 특정 성질의 결과에 영향을 미친다. 점토광물의 수화과정에서 수반되는 독특

한 팽윤성 (swelling property), 점성 (viscosity) 및 요변성 (thixotropy) 등과 같은 물리성과 pH, 양이온-음이온 치환능력, pH 완충능력과 이온평형 등은 점토를 구성하는 점토광물 종류와 함유정도에 따라 분산 입도 및 형상, 체표면적 (surface area), 층간 및 표면 전하 등에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다 (Low, 1992; Van Olphen, 1992; Schoonheydt, 1995).

일반적으로 토양에서 미사 이상의 입자는 조암광물이 우세하고, 미사 이하가 되면 점토광물의 함량이 증가한다. 조암광물은 석영, 장석, 운모 기타 광물로 토양의 모재나 풍화도에 관한 정보를 제공하고, 2 μm 이하 입자의 대부분은 점토광물, 함수산화광물이 차지하고 있어 토양성질을 크게 좌우하고 있다. 토양모재를 중심으로 우리나라 토양의 주요 점토광물 조성을 살펴보면, 화강암과 화강편마암에서는 Kaolinite, Metahalloysite, Illite,

접수 : 2010. 11. 29 수리 : 2010. 12. 20

*연락처 : Phone: +82312900338

E-mail: sonnyk@korea.kr

산성암에서는 Kaolinite, Metahalloysite, Chlorite의 중간광물, 현무암에서는 Illite, Kaolinite, Vermiculite, 석회암에서는 Vermiculite-Chlorite의 중간광물, Kaolinite, Illite, 혈암에서는 Kaolinite, Halloysite, Illite, Vermiculite-Chlorite의 중간광물, 화산회토에서는 Allophane이다. 또한, 점토광물 종류별로는 Smectite가 유문암, 응회암, 제3기층에서, Vermiculite가 섬록암과 흑운모편암에서, Chlorite가 사암에서, Illite가 혈암과 운모편암에서, Kaolin이 화강암과 화강편마암에서 유래한 토양의 주광물이었다.

토양 중 Kaolin, Illite, Smectite, Chlorite 등 순수한 단일 광물의 기원과 생성, 물리-화학적 특성은 이전의 많은 연구를 통하여 밝혀져 있으나 자연계에서 순수한 광물 집합체로 산출되는 경우는 극히 드물고 순수한 광물 종만으로 존재한다고 하여도 유기물질, 탄산염, 산화철과 수산화물, 비정질 물질이 자연환경에서 점토광물의 반응과 행동에 기여한다. 그러나 이런 연구들을 실제 이용하는 데에는 매우 한계가 있다. 그러므로 점토의 종류와 유기물이 토양의 물리적 특성, 양분 흡탈착 등 화학적 특성에 미치는 영향을 추정할 필요가 있다. 우리나라 390개 토양통을 점토광물과 함수산화광물을 기준으로 7개의 주요 점토광물 조성이 다른 대표적인 토양통을 선정하여 점토광물과 토양의 물리·화학적 관계를 구명하였다.

재료 및 방법

공시토양은 우리나라 390개 토양통 중에서 점토함량이 유사하면서 점토광물 조성이 상이한 7개의 토양을 선발하였으며, 7개의 토양은 주요광물이 Allophane인 오라통, Chlorite가 주광물인 용곡통, Kaolin이 주광물인 산청통, Smectite가 주광물인 나산통, Kaolin-Illite-Vermiculite가 혼합된 호남통, 적황색토양으로 Kaolin이 주광물에 함수산화광물이 함유된 송정통, Mixed Minerals를 주광물로 함수산화광물이 함유된 평창통이었다. 각각의 토양 층위 중 해당 토양통을 대표하는 토양층 토

양을 채취하여 풍건 후 2mm체를 통과시켜 사용하였으며, 공시토양의 분류 및 토지이용과 시료 채취지점은 Table 1과 같다.

토양의 입경분석은 30% H₂O₂로 유기물을 분해하고, 5% sodium hexametaphosphate로 분산시켜 pipette법으로 측정하였다. pH는 토양과 물의 비율을 1:1로 하여 초자전극법으로 측정하였으며, 유기물 함량은 Walkley-Black법으로 정량하였다. 인산흡수계수는 2.5%-(NH₄)₂HPO₄ (pH 7.0) 용액으로 침출하여 비색계로 측정하였으며, 치환성 Ca, Mg, Na 및 K는 1N-NH₄OAc (pH 7.0) 용액으로 침출하여 원자흡광분광분석기로, 양이온치환 용량(CEC)은 1N-NH₄OAc (pH 7.0)로 포화한 후 ethanol로 과잉의 NH₄를 세척한 후 증류하여 정량하였다. 점토의 비표면적(Specific surface area)은 Ethylene Glycol Monoethyl Ether (EGME)로 포화시킨 후 과량의 EGME는 흡출 제거한 후 EGME 흡착량을 평량하여 표면적을 분석하였다.

점토의 광물 조성은 일정량의 토양시료(50-100g)에 30% H₂O₂로 유기물을 제거한 후, 2 L용 침강병으로 시료를 옮기고 Na₂CO₃ (pH 10.0) 용액에서 분산시켜 침강법으로 2 μm 이하의 점토를 분리 채취하여 점토의 화학 조성은 토양시료와 용제(LiBO₃)를 1:5 비율로 혼합하고 1,000°C에서 용융하여 Bead형태로 만든 후, Philips model PW-2400형 X-선형광분석기(XRF)를 사용하였다. 점토광물의 동정 및 정량은 조암광물과 점토광물로 나누어 실시하였다. 조암광물의 정량은 X-선회절분석법으로 Chung (1974)의 매트릭스 플러싱법(matrix flushing method)을 적용하여 대조물질로는 표준물질인 강옥(Al₂O₃, corundum)을 50 wt% 혼합해서 측정된 기준 강도비(RIRs, reference intensity ratios)를 사전에 작성한 후 비교하는 방법을 적용하였다. 점토광물의 정량은 정향시편(preferred-oriented section)을 만들어 Mg 포화, Mg-glycerol 포화, K포화 및 300°C, 500°C에서 3시간 가열 처리하여 Philips model PW-1710을 이용하여 CuKα 단일파장(λ = 1.5406 Å)으로 Ni-filter를 사용하여 저면간격의 변화를 관찰한 후, X-선 회절분석상의 피크 면적(peak Area)에 무게인자(weighting factors)를 사

Table 1. Classifications and sampling location of the soils.

Soil Series	Classification	Locality	Land use
Honam	Fine, mixed, Typic Endoaqualfs	Hadong Gun	Paddy
Nasan	Loamy skeletal, Ruptic-Ultic Dystrudepts	Hampyeong Gun	Forest
Ora	Fine silty over fine loamy, Andic Eutrudepts	Namjeju Gun	Upland
Pyeongchang	Very fine, mixed, Typic Hapludalfs	Pyeongchang Gun	Upland
Sancheong	Fine, Typic Hapludalfs	Sancheong Gun	Forest
Songjeong	Fine loamy, Typic Hapludalfs	Suwon City	Upland
Yonggog	Coarse loamy, mixed, Fluvaquentic Eutrudepts	Yongin City	Paddy

용하는 방법으로 Biscaye (1965), Heath and Piasis (1979), Wilke et al. (1984), Ottner et al. (2000)의 방법에 따라 각 광물의 특징적인 피크 중 대표적인 피크는 Ethylene Glycol 처리로 팽윤시킨 후 smectite는 18 Å (001), illite는 10 Å (002), kaolin은 7 Å (001), chlorite는 7 Å (002), vermiculite는 14 Å (001)로 하였으며 7 Å 피크는 3.58 Å (002)의 kaolin 피크와 3.54 Å (004)의 chlorite 피크의 상대적 강도비율에 따라 kaolin 피크면적과 chlorite 피크면적을 추정하였다. 화산회토

중 Allophane과 Ferrihydrite 함량은 Parfitt (1989)와 Childs (1985)에 따라 0.2 M NH₄-Oxalate로 침출하여 원자흡광분광분석기로 분석하였다.

결과 및 고찰

토양의 물리-화학적 특성 토양통별 토양입자 분포 및 화학적 특성을 Table 2에서 살펴보면, 토양 중 모래 함량이 많은 토양은 사암에서 유래한 용곡통, 미사함량

Table 2. Physical properties in the selected soil with different clay minerals.

Soil series & soil horizons	Particle size distribution (%)			Texture (USDA)	Moisture Retention (%)		
	Sand	Silt	Clay		10 kPa-w	33 kPa-w	1500 kPa-w
Honam C	1.4	54.9	43.7	SiC	48.2	35.4	19.0
Nasan B1t	40.8	32.4	26.8	L	30.6	21.2	18.6
Ora B	11.7	69.3	19.7	SiL	34.6	29.2	13.4
Pyeongchang B1	8.1	17.9	74.0	C	51.0	38.8	26.9
Sancheong B1t	36.6	36.6	26.8	L	38.6	29.6	12.6
Songjeong Bt1	17.8	46.2	36.0	SiCL	36.6	28.3	16.4
Yonggog B2	72.7	14.6	12.9	SiCL	21.9	14.6	7.2

Table 3. Chemical properties in the selected soil with different clay minerals.

Soil series & soil horizons	pH (H ₂ O)	O.M. g kg ⁻¹	Ext. cation				CEC
			Ca	K	Mg	Na	
	1:1		cmol _c kg ⁻¹				
Honam C	6.5	14.9	9.10	0.14	3.99	0.42	15.0
Nasan B1t	4.2	32.0	0.60	0.02	3.83	0.20	26.1
Ora B	6.0	131.0	11.62	0.89	3.42	0.23	44.0
Pyeongchang B1	5.4	15.6	4.79	0.16	1.80	0.06	17.4
Sancheong B1t	5.3	5.2	2.66	0.04	1.25	0.05	12.4
Songjeong Bt1	4.8	10.0	0.54	0.15	0.38	0.13	7.5
Yonggog B2	5.0	28.0	5.25	4.50	0.20	0.23	11.7

Table 4. Mineral contents, clay CEC, and specific surface area in the clay fraction of the soils.

Soil series & soil horizons [†]	Mixed -layer	Mineral contents (wt, %)														Clay CEC cmol _c kg ⁻¹	Specific surface area of clay fraction m ² g ⁻¹
		HIV	Sm	Vt	Ch	It	Ka	Qz	Fd	Gb	Hm	Geo	Alp	Fhd			
Honam C	10	-	-	20	20	19	11	12	8	-	-	-	-	-	28.0	24.1	
Nasan B1t	9	-	15	-	-	15	21	40	-	-	-	-	-	-	40.5	74.5	
Ora B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	23	259.0	84.3	
Pyeongchang B1	-	6	-	21	-	28	13	4	-	5	15	8	-	-	38.0	23.7	
Sancheong B1t	7	-	-	8	-	10	69	5	-	1	-	-	-	-	23.7	34.8	
Songjeong Bt1	14	-	-	5	3	35	19	16	3	-	3	1	-	-	25.5	38.6	
Yonggog B2	-	-	-	19	47	21	3	8	2	-	-	-	-	-	34.6	46.7	

[†]Mineral abbreviation - Ch: chlorite, Fd: feldspars, Gb: gibbsite, Ge: geothite, He: hematite, It: illite, Ka: kaolin, Qz: quartz, Sm: smectite, Vt: vermiculite, Ta: Talc, HIV: Hydroxy-intelayered vermiculite, Mixed layer: Illite-Vermiculite or Kaoline-illite mixed layer, Alp: Allophane, Fhd: Ferrihydrite.

이 많은 토양은 화산회에서 유래한 오라통과 하성층적층을 모재로 하는 호남통이었다. 점토함량이 많은 토양은 석회암에서 유래한 고평통으로 모재의 석기(matrix)가 미세한 모암에서 발달한 토양이었다. 미사 대 점토 함량의 비가 높은 토양은 화산회에서 유래한 오라통으로 토양의 풍화가 진전되어 발달할수록 토양 중 모래 함량은 감소하고, 미사 및 점토 함량은 증가(Templin et al., 1951)한다는 점을 고려하면 대상토양 대부분은 토양 생성년대가 오래된 토양이었다. 따라서 공시토양의 입도분포는 오라통을 제외하고 토양의 발달로 미사에 대한 점토 함량의 비가 낮은 토양이었으며, 특히 모암의 석기가 미세한 평창통에서 점토함량이 많았다.

토양의 점토함량에 따른 유기물 함량과 양이온 치환용량(CEC)은 점토함량 15% 이하, 모래함량 85% 이하로 중립질 토양인 용곡통은 OM 28.0 g kg⁻¹, CEC 11.7 cmol_c kg⁻¹이었으며, 점토함량 15~25%의 세립질 토양인 오라통은 OM 131.0 g kg⁻¹, CEC 44.0 cmol_c kg⁻¹이었다. 한편, 점토함량 25%이상의 미립질 토양인 산청·송정·호남·평창·나산통에서는 OM 5.2~16.7 (평균 15.5) g kg⁻¹, CEC 7.5~26.1 (평균 15.6) cmol_c kg⁻¹이었다. Brady (1974)는 점토입자가 부식물질을 흡수하여 토양 중에서 부식-점토복합체를 형성하며, 점토에 흡수된 부식물질은 유리상태의 부식보다 더욱 천천히 분해됨으로서 점토함량이 많아질수록 유기물 및 CEC함량도 증가한다고 하였다. 그러나 본 연구에서는 점토함량 15%이하인 용곡통이나 점토함량 15~25%의 세립질 토양의 OM과 CEC가 점토함량이 많은 미립질 토양보다 높게 나타나 토양의 CEC는 점토 함량보다는 점토광물 종류와 함량, 유기물 수준에 따라 상이한 결과를 보인 것으로 추정되었다.

토양모재를 중심으로 공시토양의 주요한 점토광물의 조

성을 살펴보면, 회장석에서 유래한 산청통은 Kaolin, 안산암질 반암에서 유래한 나산통은 Smectite와 함께 석영(Quartz), 화강암 및 화강편마암에서 유래한 송정통은 Illite와 Kaolin, 사암에서 유래한 용곡통은 Chlorite, 하성퇴적토 모재의 호남통은 Chlorite, Illite, Vermiculite, 석회암에서 유래한 평창통은 Illite, Vermiculite, 화산회에서 유래한 오라통은 비결정질 광물과 더불어 Allophane과 Ferrihydrite이었다. 한편, Gibbsite, Geothite, Hematite 등의 산화광물은 화강암 및 화강편마암에서 유래한 송정통, 석회암에서 유래한 평창통에 함유되어 있었다.

점토의 광물조성과 이화학적 특성 Soil Taxonomy에서는 점토 활성도 등급(clay activity class)을 토양 중 편상 규산염 물질 또는 혼합광물이 주광물인 점토의 광물조성에 관한 정보를 제공하기 위하여 2 mm이하 토양 CEC에 대한 점토의 비를 점토활성도라 정의하고 있다(Soil survey staff, 1998). 토양의 점토활성도가 0.7 이상인 고풍성 점토는 Smectite 및 Vermiculite가 주광물이며, Illite 및 Chlorite 또는 혼합광물이 주광물인 토양은 0.3~0.7, Kaolin이 주광물인 토양은 0.3 이하로 저활성 점토로 분류하고 있다. 한편, FAO WRB(The World Reference Base)에서는 ammonium acetate (pH 7)에 침출된 양이온 치환용량이 24 cmol_c kg⁻¹ 이하를 저활성 점토로 구분하고 있어 토양의 점토함량을 반영하지 않고 있다(De Oliveira et al, 1996).

Table 5는 Soil Taxonomy에 따라 토양의 주요한 점토광물별 토양 CEC에 대한 점토의 비를 나타내었는데, 점토 활성도 0.7 이상인 토양은 Chlorite와 Smectite를 주광물로 하는 용곡통과 나산통을 토양을 포함하여 활성도가 가장 큰 토양은 Allophane과 Ferrihydrite가 주광물로 이루어진 오라통이었다. 화산회토의 경우, Allophane,

Table 5. Soil CEC/Clay content, clay CEC, specific surface area of clay fraction according to different clay minerals.

Soil Series & soil horizons [†]	Clay minerals	Soil CEC	Clay content	Soil CEC /Clay content	Clay CEC	Specific surface area of clay fraction
	XRD	cmol _c kg ⁻¹	wt, %		cmol _c kg ⁻¹	m ² g ⁻¹
Honam C	VT+CH+IT	15.0	43.7	0.34	28.0	24.1
Nasan B1t	SM+QT	26.1	26.8	0.97	40.5	74.5
Ora B	ALP	44.0	19.7	2.22	259.0	84.3
Pyeongchang B1	IT+VT+OH	17.4	74.0	0.23	38.0	23.7
Sancheong B1t	KA	12.4	26.8	0.46	23.7	34.8
Songjeong Bt1	IT+KA+OH	7.5	36.0	0.21	25.5	38.6
Yonggog B2	CH	11.7	12.9	0.91	34.6	46.7

[†]Abbreviation - VT+CH+IT with Vermiculite, Chlorite, and Illite; SM+QZ with Smectite and Quartz; ALP with Allophane and Ferrihydrite; IT+VT+OH with Illite, Vermiculite, and Oxide minerals; KA mainly contained with Kaolin; IT+KA+OH with Illite, Kaolin and Oxide minerals; CH mainly contained with Chlorite.

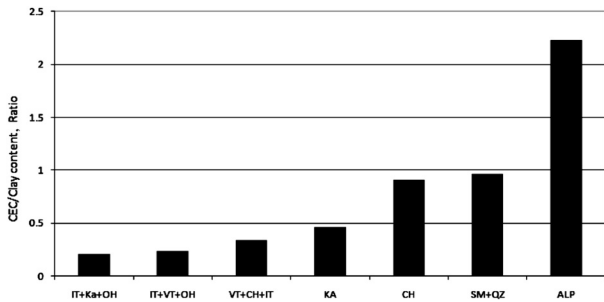


Fig. 1. Clay Activity (Soil CEC/Clay content) according to different clay minerals.

Ferrihydrite, Imogolite, Opaline silica와 같은 비정질의 물질, short-range-order 물질, 또는 Al-유기복합체가 주요한 조성물질이므로 다공성이어서 용적밀도가 낮고 보수력이 크며 입단 안정도가 매우 높아 CEC가 높은 것으로 알려져 있다 (Park et al, 1985). 또한 Smectite를 소량 함유한 토양에서 점토활성도가 높은 것은 Smectite는 전하 특성과 이온이나 분자크기의 물질이 결정표면 및 층간격에 흡착될 수 있는 표면적이 넓어 비록 작은 양이라도 토양 CEC에 큰 영향을 미친 것으로 생각되었다 (Tan, 1990).

점토활성도 0.3~0.7인 토양은 Kaolin이 주광물인 산청통, Kaolin, Illite, Vermiculite가 혼합된 호남통 토양이었다. 점토활성도 0.3이하인 토양은 산화광물이 함유된 적황색계 토양으로 Kaolin이 주광물인 송정통, Illite와 Vermiculite가 주광물인 평창통 토양이었다. Van Wambeke (1992)에 의하면 점토활성도가 낮은 토양은 주로 Alfisols, Ultisols, Oxisols로, 주요광물은 석영, Kaolinite, 산화철 및 알루미늄 등이며, Kaolin 광물은 치환성 이온들이 점토광물 입자의 외부에 결합되므로 광물 구조 변형을 초래하지 않을 뿐 만 아니라 토양특성에 미치는 영향이 작아 점토 활성도가 매우 낮은 것으로 알려져 있다.

결정형의 점토광물은 판상격자를 가지고 있고 규산 4면체판과 알루미늄 8면체판이 결합되어 전기적으로 중성이지만 사면체나 팔면체판에서 Si^{4+} 를 Al^{3+} 이 치환하거나, 또는 Al^{3+} 를 Mg^{2+} , Ca^{2+} 이 치환되면서 충전하가 형성된다. 충전하가 큰 점토광물일수록 상대적으로 높은 CEC를 가질 수 있지만 층간팽창이 되지 않는 광물은 CEC가 낮아서 Kaolinite 3~15 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, Montmorillonite 80~120 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, Illite 10~40 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ Chlorite 10~40 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, Vermiculite 100~150 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ 으로 알려져 있다 (Burt, 1995).

Table 5에서 주요한 점토의 구성광물별 점토의 CEC를 살펴보면, Allophane이 주광물인 오라통의 점토의 CEC는 259.0 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ 으로 가장 높았고, Smectite가 함유

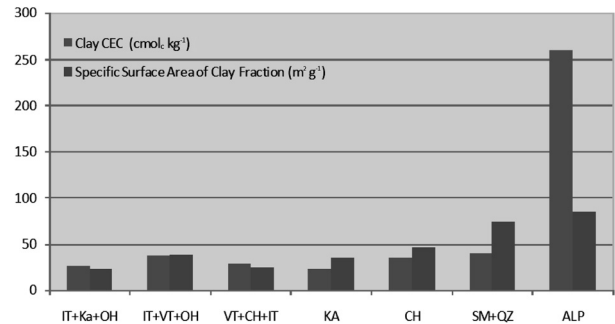


Fig. 2. The relation between Clay CEC and Specific surface area of clay fraction according to different clay minerals.

된 나산통의 점토 CEC가 40.5 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, Illite와 Vermiculite를 주광물로 산화광물이 함유된 평창통은 38.0 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, Chlotite가 주광물인 용곡통은 34.6 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, Illite와 Kaolin을 주광물로 산화광물이 함유된 송정통은 25.5 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, Kaoline이 주광물인 산청통은 23.7 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ 로 점토 중 광물 조성에 따라 차이를 보였다. 또한 Allophane의 CEC는 다른 점토광물과는 달리 층간 양이온의 교환이 아닌 구성성분과의 화학반응에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다 (Birrell and Fieldesi, 1952).

점토의 CEC를 점토활성도와 비교하면 (Fig. 2), 점토활성도 0.7 이상으로 Chlorite가 주광물인 용곡통, Smectite가 함유된 나산통, Allophane과 Ferrihydrite이 주광물인 오라통에서는 평균 111.3 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ 이었으며, 점토활성도 0.7이하로 Kaolin이 주광물인 산청통, Kaolin, Illite, Vermiculite가 혼합된 호남통, 점토활성도 0.3이하의 산화광물이 함유된 적황색계 토양으로 Illite와 Kaolin이 주광물인 송정통과 Illite와 Vermiculite가 주광물인 평창통 토양에서는 평균 28.8 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ 이었다. 한편, Hyun et al 등 (1991)의 우리나라 토양의 토성별 CEC에 관한 보고에 따르면 우리나라 토양의 점토 CEC는 평균 24 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ 으로 범위는 17.0~53.9 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ 으로 조사된 바 있어 점토의 조성광물에 따라 토양의 CEC가 다양하게 나타남을 알 수 있었다.

점토입자의 표면적은 동등한 무게에서 모래입자의 약 1,000배 이상으로 토양의 비표면적은 광물의 형태와 함량, 유기물 함량, 입단화 정도, 입경 크기와 관련이 있어 토양의 팽창성, 이온이나 분자크기의 물질 흡착등과 같은 물리-화학적 성질에 많은 영향을 준다 (Bigham et al, 1978).

Table 5에서 EGME법으로 측정된 점토의 비표면적은 Smectite가 함유된 나산통에서 74.5 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ 과 Allophane과 Ferrihydrite이 주광물인 오라통에서 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ 으로 안산암질 반암과 화산회에서 유래한 토양에서 넓었으며, Kaolin, Illite, Vermiculite가 혼합된 호남통과 Illite와

Vermiculite를 주광물로 산화광물이 함유된 평창통은 30 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ 이하로 작았다. 점토의 비표면적을 점토활성도와 비교하면 (Fig. 1), 점토 활성도 0.7 이상인 토양은 Chlorite가 주광물인 용곡통, Smectite가 함유된 나산통, Allophane과 Ferrihydrite이 주광물인 오라통에서 46.7~84.3 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ 범위에었으며, 점토활성도 0.7이하에서는 점토의 비표면적이 23.7~38.6 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ 의 범위에었다. 점토광물은 층간 팽창이 어려운 Kaolinite 광물의 경우 비표면적이 외부 면적에 국한되어 10~70 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ 인데 비하여 층간팽창이 가능한 Smectite와 같은 광물은 최대 810 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ 까지 비표면적을 갖는다 (Carter et al., 1965). 또한 Fontes (1992)에 의하면, 광물의 결정도가 낮은 산화철 광물이 함유된 토양의 비표면적을 N_2 -BET 법으로 측정하였을 때 기대 값보다 낮았는데, 이는 kaolinite와 산화철이 강하게 결합되었기 때문에 N_2 분자가 단일막으로 피복 시 충분히 확산이 이루어지지 못하기 때문이다.

이상으로 토양 CEC에 대한 점토 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ 의 비가 0.7 이상인 토양은 사암을 모재로 Chlorite를 주광물로 하는 토양, 안산암질 반암을 모재로 Smectite를 함유한 토양, 화산재를 모재로 Allophane과 Ferrihydrite가 주광물로 이루어진 토양이었으며, 점토활성도 0.3~0.7인 토양은 회장석을 모재로 Kaolin이 주광물 토양, 하성퇴적토를 모재로 Kaolin, Illite, Vermiculite가 혼합된 토양이었으며, 점토활성도 0.3이하인 토양은 화강암 및 화강편마암 모재의 Illite와 Kaolin을 주광물로 Geothite와 Hematite가 함유된 적황색계 토양, 석회암 모재의 Illite와 Vermiculite를 주광물로 Gibbsite, Geothite, Hematite가 함유된 토양이었다.

토양의 점토활성도는 점토의 CEC, 점토의 비표면적과 상관성이 있어서 점토활성도가 높은 토양에서는 점토의 CEC가 높고 점토의 비표면적이 넓었다. 점토의 CEC와 점토의 비표면적은 점토 활성도와 관련이 있어서 점토 CEC는 점토 활성도 0.7 이상에서 평균 111.3 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, 점토활성도 0.7 이하에서는 평균 28.8 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ 이었다. 또한 점토 비표면적은 점토 활성도 0.7 이상에서 평균 68.5 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$, 점토활성도 0.7 이하에서는 평균 30.3 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ 이었다.

이와 같이 점토활성도는 점토광물 종류에 따라 토양 특성을 지배하는 영향이 달라 Smectite와 같이 점토활성도가 높은 점토광물은 소량이라도 토양의 물리·화학적 특성에 크게 영향을 미치는 반면에 Kaolin이나 산화광물과 같이 활성도가 낮은 점토광물을 주요한 광물인 종으로 이루어진 토양은 영향이 작았다. 따라서 토양 CEC에 대한 점토의 비인 점토활성도 (clay activity)는 토양 중 점토광물 종류를 반영하므로, 기존의 X-선회절분석 (X-Ray Diffraction analysis), 열분석 (Thermal Analysis), 적외

선흡광분석 (Infrared Spectroscopy analysis), 전자현미경 (Electron microscope) 관찰을 통한 점토광물의 정성과 정량분석 대신에 토양의 일반적인 분석만으로도 토양 중 점토광물의 조성을 추정하고 토양의 물리·화학적 특성을 평가할 수 있을 것으로 생각된다.

요 약

토양광물 종류별 토양의 점토활성도를 구분하기 위하여 우리나라 390개 토양통을 점토광물과 함수산화광물을 기준으로 점토광물 조성이 다른 7개의 토양을 선정하여 토양광물 종류에 따른 점토의 CEC와 비표면적을 비교하였다.

토양 CEC에 대한 점토의 비가 0.7 이상인 토양은 사암을 모재로 Chlorite를 주광물로 하는 토양, 안산암질 반암을 모재로 Smectite를 함유한 토양, 화산재를 모재로 Allophane과 Ferrihydrite가 주광물로 이루어진 토양이었으며, 점토활성도 0.3~0.7인 토양은 회장석을 모재로 Kaolin이 주광물 토양, 하성퇴적토를 모재로 Kaolin, Illite, Vermiculite가 혼합된 토양이었다. 또한 점토활성도 0.3이하인 토양은 화강암 및 화강편마암 모재의 Kaolin을 주광물로 Geothite와 Hematite가 함유된 적황색계 토양, 석회암 모재의 Illite와 Vermiculite를 주광물로 Gibbsite, Geothite, Hematite가 함유된 적황색계 토양이었다. 토양의 점토활성도는 점토의 CEC, 점토의 비표면적과 상관성이 있어서 점토활성도가 높은 토양에서는 점토의 CEC가 높고 점토의 비표면적이 넓었다.

따라서 토양의 점토활성도는 기존의 점토광물의 정성과 정량분석을 실시하지 않고도 토양의 일반적인 분석을 통하여 토양 중 점토광물의 조성을 추정하고 토양의 물리·화학적 특성을 예측하는데 유용한 기준이 될 것으로 생각된다.

인 용 문 헌

- Bigham, J.M., D.C. Golden, S.W. Boul, S.B. Weed, and L.H. Bowen. 1978. Iron oxide mineralogy of well-drained Ultisols and Oxisols. II. Influence on color, surface area and phosphate retention. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:825-830.
- Birrell, K.S. and M. Fieldes, M. 1952. Allophane in volcanic ash soils. *J. Soil Sci.* 3:156-166.
- Biscaye, P.E. 1965. Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans. *Geol. Soc. Am. Bull.* 76:803-831.
- Brady, N.C. 1974. *The nature and properties of soils* : 8th edition. Macmillan Publishing, INC., New York.
- Burt, R. 1995. *Soil survey laboratory information Manual.*

- Soil survey investigations rept. N. 45, Version 1.0, USDA, US government printing office, Washington, DC.
- Carter, D.L., M.D. Heilman, and C.L. Gonzalez. 1965. Ethylene glycol monoethyl ether for determining surface area of silicate minerals. *Soil Sci.* 100:356-360.
- Childs, C.W. 1985. Towards understanding soil mineralogy. II. Note on ferrihydrate. Laboratorg Report CM7. Soil Bureau, Lower Hutt, New Zealand.
- Chung, F.H. 1974. Quantitative interpretation of x-ray diffraction patterns of mixtures. I. Matrix flushing method for quantitative multi-component analysis. *J. Appl. Crystallog.* 7:519-525.
- De Oliveira, J.B. and M. van den Berg. 1996. Relation between the soil units of the FAO-Unesco soil map of the world legend and the soil classes used in the Brazilian surveys, Technical Paper 29, ISRIC, Wageningen, 45 pp.
- Fontes, M.P.F. 1992. Iron oxide clay-mineral association in Brazilian Oxisols : A magnetic separation study. *Clays & Clay Miner.* 40:175-179.
- Heath, G.R. and N.G. Pisias. 1979. A method for the quantitative estimation of clay minerals in North Pacific deep sea sediments. *Clays Clay Miner.* 27:175-184.
- Hyeon G.S. C.S. Park, K.Y. Jung, S.K. Rim, and K.T. Um. 1991. Soil CEC for textural classes in Korea. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 24:10-16.
- Low, P.F. 1992. Interparticle forces in clay suspensions: flocculation, viscous flow. and swelling. in: *Clay-Water Interface and its Rheological Implications*, Guven, N. and Pollastro, R.M. (eds.), cms workshop lectures, 4, The Clay Minerals Society, 157-190.
- Ottner, F., S. Gier., M. Kuderna, and B. Schwaighofer. 2000. Results of an inter-laboratory comparison of methods for quantitative clay analysis. *Applied Clay Science* 17: 223-243.
- Parfitt, R.L. 1989. Phosphate reactions with natural allophane, ferrihydrite and goethite. *J. Soil. Sci.* 40:359-369.
- Park, C.S., L.Y. Kim, and S.J. Cho. 1985. Classification of Volcanic Ash Soils and Contribution of organic Matter and Clay to Cation Exchange Capacity. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 18:161-168.
- Schoonheydt, R.A. 1995. Clay mineral surfaces. In: *Mineral Surfaces*, Vaughan, D.J. and Patrick, R.A.D. (eds.), The Mineralogical Society Series, 5, The Mineralogical Society of Great Britain and Ireland, 303-332.
- Soil Survey Staff. 1998. Keys to soil taxonomy. 8th Ed. USDA-NRCS. US Government Printing Office, Washington, DC.
- Tan, K.H., R.A. Leonard, L.E. Asmussen, J.C. Lobartini, and A.R. Gingle. 1990. The geochemistry of black water in selected coastal streams of the Southeastern United States. *Com. Soil Sci. & Plant Ana.* 21:17.
- Templin, E.H., I.L. Martin, and R.S. Dyal. 1951. Red-yellow podzolic soils of the southeastern United States I & II. *Agronomy J.* 43:476-487.
- Van Olphen, H. 1992. Particle associations in clay suspensions and their rheological implications. In: *Clay-Water Interface and its Rheological Implications*, Guven, N. and Pollastro, R.M. (eds.), cms workshop lectures 4, The Clay Minerals Society, 191-210.
- Van Wambeke, A. 1992. *Soils of the Tropics - Properties and Appraisal*. McGraw-Hill. New York.
- Wilke, B.M., V.K. Mishra, and K.E. Rehfuess. 1984. Clay mineralogy of a soil sequence in slope deposits derived from Hauptdolomit (dolomite) in the Bavarian Alps. *Geoderma* 32:103-116.