ISSN 0367-6315 (Print) / ISSN 2288-2162 (Online)
Korean J. Soil Sci. Fert. 46(6), 519-524 (2013)
http://dx.doi.org/10.7745/KJSSF.2013.46.6.519

Article

The Acid Buffer Capacity of a Horizons in Young Residual Entisols in Korea

Yong-Seon Zhang, Yeon-Kyu Sonn*, Gye-Jun Lee[1], Kyung-Hwa Han, and Hee-Rae Cho

National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon 441-707,Korea
[1]National Institute of Highland Agriculture, RDA, Pyeongchang 232-955, Korea

(Received: November 6 2013, Accepted: November 22 2013)

pH buffer capacities (pHBC, $cmol_c\ kg^{-1}\ pH^{-1}$) of 6 residual Entisols derived from granite, granite-gneiss, limestone, sandstone, shale, and basalt in Korea were studied. Soil acidity may become a problem if the soil pH is reduced to critical levels when nutrient cycles are unbalanced (especially N, C and S). The relation between the pHBC and the physico-chemical properties of the 6 soils was also studied. In the A horizons of all the soils except Euiseong series developed from sandstone, the contents of clay, organic matter and cation exchange capacity (CEC) were higher than those of C horizon, but bulk density and pH were lower than C horizon. Clay content of Euiseong series decreased with soil depth, which might be caused by the elluviation. The soils developed from granite, granite-gneiss and sandstone have a higher SiO_2 content than those developed from basalt and limestone. The contents of Fe_2O_3 and MgO were high in the soils from developed from basalt, limestone and shale comparing with the soils from granite, granite-gneiss and sandstone. The soils from basalt and limestone showed higher values of ignition loss than those from the other parent rocks. The pHBC of the soils was ranged from 1.8 to 3.2 $cmol_c\ kg^{-1}\ pH^{-1}$ showing as follows : basalt, limestone > shale, granite-gneiss > granite sandstone.

Key words: pH buffer capacity, Young residuum soil, Parent material

pH buffer capacity (pHBC, $cmol_c\ kg^{-1}\ pH^{-1}$) of A horizon soils in residual Entisols derived from different Parent materials.

Rocks	granite	granite-gneiss	sandstone	shale	limestone	basalt
pHBC ($cmol_c\ kg^{-1}\ pH^{-1}$)	2.5	2.7	2.8	1.8	3.0	3.2

*Corresponding author : Phone: +82312900338, Fax: +82312900208, E-mail: sonnyk@korea.kr
§Acknowledgement: This study was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ008546)", Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

대기중으로의 오염물질 배출량의 증가는 대기오염문제 뿐만 아니라 산성우 현상을 초래하게 된다. 산성우 현상은 발생과정에서부터 피해현상에 이르기까지 그 대상이 매우 광범위하고 광역적으로 나타나는 현상이기 때문에 산성우에 대한 문제는 범지구적인 환경문제로 다루어지고 있다 (Dikaiakos et al, 1990). 석탄이나 석유 등 화석연료의 연소에 따라 배출되는 황산화물과 질소산화물이 원인이 되어 생성되는 산성우는 지난 수십년간 유럽을 비롯하여 북미의 북동부지역 등에서 중요한 관심의 대상이 되어왔다 (Saxena et al, 1996). 우리나라를 비롯한 동아시아는 급속한 산업화와 경제 성장으로 인해 많은 양의 오염물질을 배출하고 있다. 특히 산성강하물의 주요 원인 물질인 황산화물과 질소산화물은 화석연료와 자동차 사용, 빠른 경제성장과 인구증가로 급격히 배출량이 증가하는 것으로 알려져 있다 (Streets et al., 2001; Tiktak et al., 1995).

토양의 산성화는 기후, 토양모재 특성, 식생, 지형, 토양관리 등에 따라 다양하게 나타나지만, 우리나라 토양은 양이온 함량이 적은 화강암 및 화강편마암에서 유래되어 토양 비옥도가 척박하고, 경사지가 많이 분포하고 여름철 집중강우로 인하여 토양 및 양분유실이 심하므로 토양에 유입되는 산성물질에 영향을 받기 쉽다 (Shin et al., 2012). 산성물질이 토양에 유입되며, 토양의 유기물과 점토광물의 표면에서 염기성 양이온이 H^+ 및 Al^{+3}을 일부 중화시켜 산성화를 늦추는 역할을 하지만 암석 및 토양 내 구성광물의 풍화로부터 염기성 양이온 (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+ 등)의 계속적인 공급이 없으면 토양의 산성화를 초래한다 (Lindroos et al., 2003). 특히 염기포화도가 15% 이하일 때 토양용액 내 식물에 독성이 강한 Al^{+3}와 Mn^{+2} 농도가 높아지는 원인이 되며 (Emmanuel and Ryan, 1995), Al^{+3}이온은 식물 뿌리성장을 방해하고 토양의 종 다양성을 감소시킬 뿐만 아니라 (Matzner and Murach, 1995) 식물뿌리는 Al^{+3}와 Mn^{+2} 농도 높은 곳에서는 뿌리 성장이 어려워 건기에 한해를 받기 쉽다 (Lindroos et al., 2003; Ulrich, 1995). 그러므로 토양의 산성강하물의 영향은 토양 자체의 완충능 때문에 비록 느리게 나타나지만 일단 토양이 산성화하여 식물 피해가 나타나기 시작하면 다시 회복하는데 장구한 시간이 소요된다 (Gundersen et al, 1995).

본 연구에서는 토양발달이 미약하여 산성강하물에 의한 영향이 심할 것으로 예상되는 잔적 암쇄토의 표토를 대상으로 우리나라에 많이 분포하는 토양 모암을 달리하여 토양의 이화학적 특성과 산 완충능을 평가함으로서 토양모재와 산성강하물질의 관련성을 구명하고자 하였다.

Materials and Methods

공시 토양은 Table 1과 같은 산지의 잔적 토양으로 화강암에서 유래한 도산통 (경기 안성군 삼죽면 마전리), 화강편마암에서 유래한 덕산통 (경북 김천시 구성면 마산리), 석회암에서 유래한 장성통 (충북 제천시 수산면 율기리), 현무암에서 유래한 구좌통 (강원 철원군 갈말읍 상사리), 사암에서 유래한 의성통 (경북 군위군 소보면 달산리), 혈암에서 유래한 음성통 (경북군위군 부계면 가호리)을 토양층위별로 채취하였다. 조사토양은 모두 B층이 발달되지 못하여 A층과 C층으로 된 암쇄토 (Lithosols)이다.

토양단면 조사는 미농무성의 토양조사편람 (USDA, 1993)을 기준으로 하여 지형, 경사, 배수, 석력함량, 토색, 반문, 구조, 층위경계, 공극, 식물뿌리, 점착성, 가소성, 견고도 등을 조사하였다.

모암의 광물조성은 모재층에서 암석시료를 채취하여 분쇄한 후 X-선 회절분석기 (X-ray diffraction, D/MAX-2200 system, Rigaku)를 이용하여 분석하였으며, 분석조건은 40

Table 1. Morphology, classification, and vegetation of the studied soils.

Soil series (Parent rocks)	Horizon	Depth (cm)	Soil color	Structure			Soil Classification
				Grade	Size	Type	
Dosan	A	0-6	Yellowish brown	Weak	Coarse	Granular	Typic Udisamments
(Granite)	C	6-28	Yellowish red	---	---	---	
Deogsan	A	0-7	Reddish brown	Moderate	Medium	Granular	Lithic Udorthents
(Granite-gneiss)	C	7-18	Yellowish red	---	---	---	
Jangseong	A	0-6	Strong brown	Weak	Fine	Granular	Lithic Udorthents
(Limestone)	C	6-15	Reddish brown	---	---	---	
Gujwa	A	0-5	Yelloow brown	Weak	Fine	Granular	Lithic Fuluudands
(Basalt)	C	5-12	Strong brown	---	---	---	
Euiseong	A	0-7	Strong brown	Weak	Fine	Granular	Lithic Udorthents
(Sandstone)	C	7-25	Reddish brown	---	---	---	
Eumseong	A	0-8	Reddish brown	Moderate	Fine	Granular	Lithic Udorthents
(Shale)	C	8-28	Brown	---	---	---	

kV/30 mA에서 흑연단색화 장치에 의한 Cu-Kα 단일파장(λ=1.54050 Å)을 사용하였으며, 3~50° 2θ 구간에서 0.02° 주사간격과 1° min^{-1} 주사속도로 측정하였다.

토양의 화학조성은 H_2O_2로 유기물을 분해한 토양시료와 융제 ($LiBO_3$)를 1:5 비율로 혼합하고 1,000℃에서 용융하여 Bead형태로 만든 후, Philips model PW-2400형 X-선형광분석기 (XRF)를 사용하여 분석하였으며, 토양의 작열감량(ignition loss)는 토양시료를 전기로에서 1,000℃로 3시간 동안 가열한 후 유기물과 탄산염 광물의 작열에 따른 감량을 측정하였다.

토양의 이화학적 특성은 Soil Survey Laboratory Methods Manual (USDA, 2012)와 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)을 기준으로 분석하였다. 토양의 입도 분포는 Hydrometer 법으로 측정하였으며 용적밀도는 100 ml core로 교란되지 않은 시료를 채취하여 분석하였다. 토양 pH는 토양과 증류수를 1:1로 하여 초자전극법으로, 유기물함량은 Walkey-Black 법으로, 치환성 Ca, Mg, K, Na는 1N-NH_4OAc (pH 7.0) 용액으로 침출하여 고주파 유도 결합 플라스마 (inductively coupled plasma, ICP) (CINTRA 6, GBC SCINTIFIC, AU)로 분석하였다. 양이온치환 용량 (CEC)은 NH_4OAc (pH7.0)로 포화 후 Ethanol로 과잉의 NH_4^+를 세척한 후 증류하여 정량하였다.

토양의 산 완충능은 토양 10 g에 0.1M-KCl 25 ml를 가한 다음 0.1N-HCl을 1 ml에서 5 ml씩 6개 수준으로 첨가하여 24 시간 방치 후, 20분에 1회씩 유리봉으로 저으면서 1시간 방치한 후 토양 현탁액의 pH를 측정하였다. 추가한 0.1N-HCl 1 ml는 2.50 cmol H^+ kg^{-1}, 0.1N-HCl 3 ml는 2.96 cmol H^+ kg^{-1}, 0.1N-HCl 5 ml는 3.41 cmol H^+ kg^{-1}에 해당하는 양이다.

Results and Discussion

모암의 광물과 토양의 화학적 조성 각 토양의 모암에 대한 X선 회절 Peak를 강도 순으로 보면 Table 2와 같다. 화강암, 화강편마암과 혈암은 석영, 장석, 운모를 주광물로 하는 암석이었고 사암은 석영, 석회암은 석회석과 백운석, 현무암은 휘석과 장석이었다. 이와 같은 결과는 Um and Kim (1991)의 우리나라 주요 암석 광물조성에 대한 연구결과와 유사한 경향이었다.

토양의 화학조성을 분석한 결과는 Table 3에 나타난 바와 같이 SiO_2함량은 화강암, 화강편마암, 혈암유래 토양에서 높았고 Fe_2O_3, K_2O, MgO, CaO 함량은 현무암, 석회암

Table 2. Mineralogical composition of the parent rocks.

Parent rocks	Mineral composition	
	Major minerals	Minor minerals
Granite	Feldspar, Mica, Quartz	Augite, Hematite
Granite-gneiss	Quartz, Feldspar, Mica	Augite
Limestone	Calcite, Dolomite	Magnetite
Basalt	Feldspar, Augite	Amphibole, Magnetite, Quartz
Sandstone	Quartz, Feldspar	Chlorite, Mica
Shale	Mica, Quartz, Feldspar	

Table 3. The contents (wt, %) of different chemicals in the fine earth fractions (<2mm) of the soils.

Soil series (Parent rocks)	Horizon	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	K_2O	MgO	Na_2O	TiO_2	SiO_2/Al_2O_3	LOI$^+$
Dosan	A	56.90	34.71	2.53	0.49	0.44	0.33	0.08	0.13	2.78	4.40
(Granite)	C	64.10	28.65	2.48	0.65	0.35	0.26	0.08	0.03	3.80	4.00
Deogsan	A	59.20	33.4.	3.36	0.15	0.44	0.58	0.11	0.25	3.01	2.30
(Grabite-gneiss)	C	65.10	27.32	2.82	0.16	0.42	0.78	0.11	0.22	4.04	3.30
Jangseong	A	46.90	22.34	6.51	3.28	0.63	3.65	0.15	0.23	3.56	16.30
(Limestone)	C	29.30	12.76	3.66	13.38	0.49	11.48	0.11	0.12	3.90	28.70
Gujwa	A	48.00	25.36	10.63	0.33	0.39	2.66	0.12	0.89	3.21	10.30
(Basalt)	C	48.90	23.21	9.49	0.47	0.45	3.98	0.13	0.79	3.17	10.90
Euiseong	A	73.60	21.41	1.60	0.06	0.41	0.31	0.10	0.10	5.84	2.50
(Sandstone)	C	68.90	25.43	1.80	0.05	0.42	0.28	0.11	0.02	4.60	3.00
Eumseong	A	62.00	25.18	5.06	0.22	0.10	1.48	0.09	0.08	4.18	5.80
(Shale)	C	56.70	29.20	5.36	0.24	0.96	1.79	0.09	0.06	3.29	5.60

$^+$loss of ignition at 1,000℃

유래 토양에서 높은 경향을 보였다.

토양모재별로 토양발달에 따른 A층의 화학조성을 C층과 비교하면, 화강암과 화강편마암에서 유래한 도산통과 덕산통에서 SiO_2와 CaO는 감소하고 Al_2O_3, Fe_2O_3, K_2O는 증가하는 경향이었다. 우리나라의 화강암과 화강편마암은 사장석이 정장석보다 많고 흑운모보다는 각섬석이 많아 암석의 풍화가 진전됨에 따라 Al_2O_3와 Fe_2O_3가 증가한다 (Kang, 1973).

석회암에서 유래한 장성통의 SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3는 A층에서 현저하게 증가하고, CaO와 MgO는 감소하는데, 이러한 결과는 $CaCO_3$와 $MgCO_3$가 CO_2를 함유한 용액에서 용해가 용이하여 심한 용탈을 받았기 때문이다 (Song et al., 1992).

현무암에서 유래한 구좌통에서는 Al_2O_3와 Fe_2O_3를 제외한 다른 화학성분들이 약간 감소하고 다른 토양통에 비하여 층위간 변화가 적었으나 작열감량은 높았다. 특히 Fe_2O_3 함량이 높은 것은 구좌통의 A층 유기물 함량이 11.7%로 Fe가 유기물과 결합하여 토양의 입단화와 더불어 점토분산의 억제작용에서 기인된 것으로 보였다.

사암에서 유래한 음성통과 혈암에서 유래한 의성통에서는 SiO_2 함량이 A층에서 증가하고 다른 화학성분들은 다소 감소하였다. 이는 석영의 풍화 안정도가 크기 때문이며, 음성통의 표토에서 K_2O 함량이 급격한 감소를 보인 것은 퇴적과정에서 조성된 운모와 정장석의 풍화에 기인한다 (Brown et al., 2001).

토양의 이화학성과 산염기 완충능 토양의 이화학성은 Table 4에 나타난 바와 같이 용적밀도 (bulk density)는 A층보다 C층에서 높았고, 유기물의 함량이 많거나 입단형성이 발달된 토양에서는 용적밀도가 낮게 나타났으며, Jo et al. (1985)이 보고한 결과와 같은 경향을 보였다. 그리고 구좌통의 표토만이 용적밀도가 1.0이하인 것은 화산회의 영향이 있기 때문으로 볼 수 있다.

토양의 물리적 특성 중 모재와 관련이 있는 것은 토양입자의 분포로 모래는 화강암, 화강편마암, 사암에서 유래한 토양, 미사는 혈암과 현무암이 풍화된 토양, 점토는 석회암 모재의 토양에서 각각 높았다. 층위별로는 풍화가 진행된 A층에서 미사 및 점토 함량은 증가하고 모래 함량은 감소하였으나 사암에서 유래한 의성통 C층의 점토함량은 5.3%인 반면, A층은 4.4%로 감소한 것은 모암 자체에 5~20% 공극이 있어 점토의 유실 또는 하향 이동이 용이한 결과로 보인다.

공시토양의 A층 화학특성을 C층과 비교하면, 전반적으로 유기물 함량은 높았고 점토함량이 낮은 도산통, 덕산통, 의성통 등은 pH가 낮았는데, 조립질 토양모재의 염기 함량이 낮은데서 기인된 것으로 보여 판단되었다. 토양의 양이온치환용량 (CEC)은 유기물과 점토함량이 높은 석회암과 현무암에서 높았고, 산성모재인 화강암, 화강편마암, 사암에서는 낮아 CEC에 대한 유기물과 점토의 중형회귀식과 편회귀계수는 유의성이 있는 것 (Hyeon et al., 1991)으로 보인다. 토양의 염기포화도 (Base saturation)는 석회암을 모암으로 하는 장성통과 혈암을 모암으로 하는 음성통을 제외하고 A층 및 C층 모두 7.3~22.7%의 낮은 염기포화도를 보이는데, 이는 공시토양이 산지에 분포하고 있어 강우의 영향으로 용탈이 원인으로 판단되었다.

산 용액에 대한 완충능과 pH의 관계는 Fig. 1에 나타나 있다. 초기 평형 pH와 산 (HCl)의 첨가량에 대한 초기의 기울기는 시료에 대한 수소이온흡착 때문에 모든 시료에서 유사하게 감소하였다. 산의 첨가량이 증가함에 따른 석회암

Table 4. Physico-chemical properties of the soils.

Soil series (Parent rocks)	Horizon	Depth (cm)	Bulk Density	Particle-Size distribution			Soil texture (USDA)	pH	OM	Ext. Cations				Base Saturation	CEC
				Sand	Silt	Clay				Ca	K	Mg	Na		
			kg m^{-3}	%				(1:1)	g kg^{-1}	-------	$cmol_c$ kg^{-1}		-------	%	$cmol_c$ kg^{-1}
Dosan	A	0-6	1.22	50.4	36.6	13.0	L	4.5	92	1.13	0.23	0.17	0.19	18.5	9.3
(Granite)	C	6-28	1.64	48.8	38.2	13.0	L	5.0	5	0.93	0.08	0.60	0.34	22.7	8.6
Deogsan	A	0-7	1.15	62.6	29.0	8.4	SL	5.0	23	0.73	0.05	0.35	0.07	11.8	10.8
(Granite -gneiss)	C	7-18	1.16	66.8	27.8	5.4	Sl	4.8	16	1.28	0.09	0.35	0.07	16.6	10.2
Jangseong	A	0-6	1.09	8.6	46.3	45.1	SiC	7.7	51	12.95	0.30	10.11	0.09	93.0	25.2
(Limestone)	C	6-15	1.13	34.8	39.0	26.2	L	8.0	14	8.13	0.10	5.65	0.06	118.1	11.8
Gujwa	A	0-5	0.94	14.6	67.0	18.4	SiL	5.3	117	7.62	0.19	2.27	0.08	33.0	30.8
(Basalt)	C	5-12	1.18	23.6	63.0	13.4	SiL	7.8	78	3.60	0.11	1.42	0.09	20.9	25.0
Euiseong	A	0-7	1.09	70.8	24.8	4.4	SL	4.8	43	0.82	0.12	0.30	0.06	15.9	8.2
(Sandstone)	C	7-25	1.31	74.4	20.3	5.3	SL	4.7	16	0.26	0.06	0.08	0.05	7.3	6.2
Eumseong	A	0-8	1.31	31.8	51.2	17.0	SiL	5.5	33	6.37	0.14	1.12	0.08	61.2	12.6
(Shale)	C	8-28	1.43	38.4	48.3	13.3	L	5.7	20	6.51	0.07	0.87	0.09	63.9	11.8

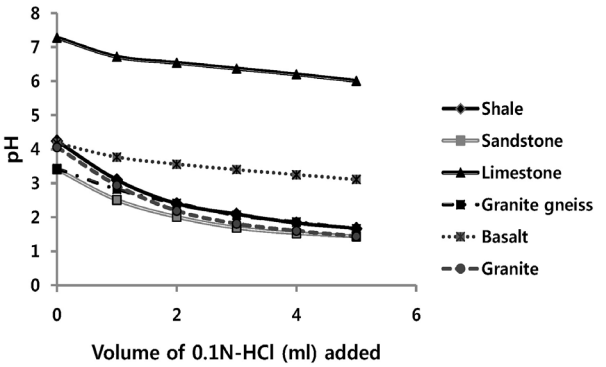

Fig 1. The buffering of pH by volume (ml) of 0.1N-HCl added to 25 ml 0.1N-KCl and soils in residual Entisols derived from different parent materials.

및 현무암 모재 토양에서 pH 변이는 적었으나 화강암, 화강편마암, 사암 및 혈암 모재의 토양에서는 산 첨가량 2 ml 까지 급격한 감소를 보이다가 산 첨가량이 증가하여도 pH의 변이가 적었다.

산의 농도가 증가하여도 석회암 및 현무암 모재 토양에서 초기의 기울기가 유지되는 것은 Table 3에 나타난 바와 같이 2개의 토양 중 다량의 CaO와 MgO로 구성되어 있어서 토양에 가해진 수소 (H^+)이온이 Ca^{2+} 또는 Mg^{2+} 이온과 치환되어 수소이온으로 포화되지만 입자표면의 H^+는 HCl의 H^+보다 해리되기 어렵기 때문에 pH의 감소가 적었던 것으로 추정된다.

화강암, 화강편마암, 사암 및 혈암 모재의 토양에서 pH 완충력은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 산 첨가량 2 ml를 기준으로 2단계로 표시할 수 있는데, Multiple step을 나타내는 이유는 Step 1에서 CEC 및 치환성 양이온 함량과 수용성 규반산염류의 함량이 높아서 수소이온을 흡착하기 때문으로 생각된다 (Table 4). Step 2의 pH 3.0 이하에서 pH 의 변화 없이 완충능이 크게 나타난 것은 광물의 용해에 의한 중화반응의 결과라 할 수 있으며 (DOE, 1990), Wada and Wada (1985)는 광물이 pH 4이하에서 Al, Fe 등의 용해로 결정구조가 파괴된다고 하였다.

산의 첨가에 의한 pH변화에 대한 회귀식은 Table 5와 같으며, 이 식에서 기울기는 산에 대한 완충능 ($cmol_c\ kg^{-1}\ pH^{-1}$)을 나타내고 있다. 각 모재별로 토양에 0.1N-HCl을 처리한 후 pH 한 단위 감소로 비교한 토양의 완충능은 화강암 모재의 표토 2.5 $cmol_c\ kg^{-1}\ pH^{-1}$, 화강편마암 모재의 표토 2.7 $cmol_c\ kg^{-1}\ pH^{-1}$, 사암 모재의 표토 2.8 $cmol_c\ kg^{-1}\ pH^{-1}$, 혈암 모재의 표토 1.8 $cmol_c\ kg^{-1}\ pH^{-1}$, 석회암 모재의 표토 3.0 $cmol_c\ kg^{-1}\ pH^{-1}$, 현무암 모재의 표토 3.2 $cmol_c\ kg^{-1}\ pH^{-1}$이었다. DOE (1990)에 의하면 토양pH 4에서 pH 8 범위에 있는 토양에서 산 완충능은 토성과 유기물 함량에 따라 1 $cmol_c\ kg^{-1}\ pH^{-1}$에서 10 $cmol_c\ kg^{-1}\ pH^{-1}$의 범위에 있다고 하였다.

산 완충능이 큰 토양은 현무암, 석회암 모재 〉 화강암, 화강편마암, 사암 모재 》 혈암 모재 토양의 순이었다. 전체적으로 염기성 모재 토양이 다른 모재의 토양 보다 산에 대한 완충 능력이 가장 크게 나타났다. 한편, Helyar et al. (1990)과 Aitkin et al. (1990)에 따르면 토양의 산 완충능은 점토함량 및 유기물 함량과 정의 상관이 있다고 하였다.

Conclusions

본 연구에서는 토양발달이 미약하여 산성강하물에 의한 영향이 심할 것으로 예상되는 화강암, 화강편마암, 편암, 사암, 혈암, 석회암, 현무암 모재 잔적 암쇄토의 표토를 대상으로 토양의 이화학적 특성과 산 완충능을 평가하였다. SiO_2 함량은 화강암, 화강편마암, 혈암유래 토양에서 높았고 Fe_2O_3, K_2O, MgO, CaO 함량은 현무암, 석회암 유래 토양에서 높은 경향을 보였다. 토양의 용적밀도 (Bulk density)는 유기물의 함량이 많거나 입단형성이 잘 된 토양에서는 낮게 나타났으며, 토양입자 중 모래는 화강암, 화강편마암, 사암에서 유래한 토양, 미사는 혈암과 현무암이 풍화된 토양, 점토는 석회암 모재의 토양에서 각각 높았다. 층위별로는 풍화가 진행된 A층에서 미사 및 점토 함량은 증가하고 모래 함량은 감소하였으나 사암에서 유래한 의성통에서는 점토의 유실 또는 하향 이동으로 모재층에서 점토 함량이 높았다. 공시토양의 A층 화학특성을 C층과 비교하면, 전반적으로 유기물 함량은 높았고 점토함량이 낮은 도산통, 덕산통, 의성통 등은 pH가 낮았는데, 조립질 토양모재의 염기 함량이 낮은

Table 5. Acid buffer capacity of A horizon soils in residual Entisols derived from different parent materials.

Parent rocks	Acid buffer capacity ($cmol_c\ kg^{-1}\ pH^{-1}$)	Regression equation	r^2
Granite	2.5	$y=e^{-0.53(x+1.24)}-1.96$	0.99***
Granite-gneiss	2.7	$y=e^{-0.31(x+1.19)}-2.59$	0.99***
Limestone	3.0	$y=e^{-0.36(x+5.84)}-0.94$	0.98***
Basalt	3.2	$y=e^{-0.31(x+2.86)}-0.82$	0.99***
Sandstone	2.8	$y=e^{-0.55(x+1.30)}-1.34$	0.99***
Shale	1.8	$y=e^{-0.54(x+1.51)}-1.86$	0.99***

*** : $p<0.001$ significance level in student's t-test

데서 기인된 것으로 보여 판단되었다. 토양의 염기포화도(Base saturation)는 석회암을 모암으로 하는 장성통과 혈암을 모암으로 하는 음성통을 제외하고 A층 및 C층 모두 7.3~22.7%의 낮은 염기포화도를 보이는데, 이는 공시토양이 산지에 분포하고 있어 강우의 영향으로 용탈이 원인으로 판단되었다. 각 모재별로 토양에 0.1N-HCl을 처리한 후 pH 한 단위 감소로 비교한 토양의 완충능은 화강암 모재의 표토 2.5 $cmol_c\ kg^{-1}\ pH^{-1}$, 화강편마암 모재의 표토 2.7 $cmol_c\ kg^{-1}\ pH^{-1}$, 사암 모재의 표토 2.8 $cmol_c\ kg^{-1}\ pH^{-1}$, 혈암 모재의 표토 1.8 $cmol_c\ kg^{-1}\ pH^{-1}$, 석회암 모재의 표토 3.0 $cmol_c\ kg^{-1}\ pH^{-1}$, 현무암 모재의 표토 3.2 $cmol_c\ kg^{-1}\ pH^{-1}$이었다. 산 완충능이 큰 토양은 현무암, 석회암 모재 〉 화강암, 화강편마암, 사암 모재 》 혈암 모재 토양의 순이었다. 전체적으로 염기성 모재 토양이 다른 모재의 토양 보다 산에 대한 완충 능력이 가장 크게 나타났다. 따라서 농경지 토양에서 산성강하물질에 대한 완충력을 증가시키기 위해서는 사질토양의 객토와 적절한 유기물 시용이 필요한 것으로 판단되었다.

Acknowledgement

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 연구사업 (과제번호: PJ008546, 농업환경변화 대응 작물근권 및 지하수위 기술설정)의 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

References

Aitkin, R.L., P.W. Moody, and P.G. McKinley. 1990. Lime requirement of acidic Queensland soils. Australian J. Soil. Res. 28:695-715.

Brown A.G., L. Cooper, C.R. Salisbury, and D.N. Smith. 2001. Late Holocene channel changes of the middle trent: channel response to a thousand-year flood record. Geomorphology 39:69-82.

Dikaiakos J.G., C.G. Tsitouris, P.A. Siskos, D.A. Melissos, and P.T. Nastos. 1990. Rainwater composition in Athens, Greece, Atmos. Environ. 24:171-176.

DOE. 1990. Acid deposition in the United Kingdom 1986-1988. Third report of the United Kingdom review group on acid rain (Chairman J.G. Irwin). Department of the Environment, Warren Spring Laboratory.

Emmanuel, D. and P.R. Ryan. 1995. Aluminum toxicity and tolerance in plants. Plant physiology, 107:315-321.

Gundersen, P., B.A. Emmettb, O.J. Kjønaasc, C.J. Koopmansd, and I.A. Tietemad. 1995. Impact of nitrogen deposition on nitrogen cycling in forests: a synthesis of NITREX data. Forest Ecology and Management. 71:153-161.

Helyar K.R., P.D. Cregan, and D.L. Godyn. 1990. Soil acidity in New South Wales-current pH values and estimates of acidification rates. Australian J. Soil Res. 28:523-537.

Hyeon, G.S., C.S. Park, S.J. Jung, S.K. Rim, and K.T. Um. 1991. Soil CEC for textural classes in Korea. Korean J. Soil. Sci. Fert. 24:10-16.

Jo, I.S., B.K. Hur, L.Y. Kim, and S.J. Cho. 1985. A study on the correlations among the physical and chemical properties of soils in Korea. Korean J. Soil. Sci. Fert. 18:134-139.

Kang Y.P. 1973. A study of red soils developed on granite gneiss. J. Korean Geo. Soc. 1:64-92.

Lindroos, A.J., T. Brügger, J. Derome, and K. Derome. 2003. The weathering of mineral soil by natural soil solutions. Water, Air, and Soil Pollution 149:269-279.

Matzner, E. and D. Murach. 1995. Soil changed induced by air pollutant deposition and their implication for forest in Central Europe. Water Air Soil Pollut. 85:63-73.

NIAST. 2000. Analytical methods of soil and plant. National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Administration. Suwon, Korea.

Saxena, A., U.C. Kulshrestha, N. Kumar, K.M. Kumari, and S.S. Srivastava. 1996. Characterization of precipitation at Agra, Atmos. Environ. 30:3405-3412.

Shin A.Y., M.Y. Sung, J.S. Choi, J.S. Son, S.A. Roh, J.Y. Ahn, J.S. Han, and G.W. Lee. 2012. A study on the acid deposition of inorganic ions and flux in Seoul, Ganghwa, Incheon. 2008. J. Korean. Soc. Urban Environ. 12:15-22.

Song, K.H., Y.N. Park., Y.S. Chung, and K.T. Park. 1992. A preliminary study on the acidity of precipitation in the rural area of Choongbook province. Korean J. Atmos. Environ. 1:38-44.

Streets, D.G., N.Y. Tsai, H. Akimoto, and K. Oka. 2001. Trends in emissions of acidifying species in Asia. 1985-1997. Water, Air and Soil Pollution 130:187-192.

Tiktak, A., J.M Hans, and van Grinsven. 1995. Review of sixteen forest-soil-atmosphere models. Ecological Modelling. 83:35-53.

Ulrich. B. 1995. The history and possible causes of forest decline in Central Europe, with particular attention to the German situation. Environ. Rev. 3:262-276.

Um, M.H. and T.S. Kim. 1991. Genesis and characteristics of the soil clay minerals derived from major parent rocks in Korea: II. Physical and chemical properties of the whole soils. Korean J. Soil. Sci. Fert. 24:79-85.

USDA, Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. Agricultural Handbook 18. USDA-NRCS, Washington.

USDA, Soil Survey Staff. 2012. Soil Survey Laboratory Methods. SSIR No. 42 . USDA-NRCS, Washington.

Wada, S.I. and K. Wada. 1985. Characteristics and exchangeable cation status of Korea Ultisols and Alfisols and Thai Ultisols and Oxisols. J. Soil Sci. 36:21-29.