

## 인공산성비 처리가 토양의 무기양분 이동에 미치는 영향

유관식

대구대학교 자연자원대학

### Effects of Simulated Acid Rain on Mineral Nutrient Movement in Soil

Kwan-Shig Ryu (College of Natural Resources, Taegu Univ. Kyongsan, Kyongbuk, Korea 712-714)

**Abstract :** To investigate the effects of simulated acid rain(SAR) on the downward movement of mineral nutrients, SARs of different pH were applied to the soil. SAR of pH 2.0 decreased the soil pH greatly, while SAR of pH 4.0 and 6.0 did not change the soil pH to compare to that of SAR of pH 2.0. Decrease in soil pH was in the order of sandy loam > loam > clay loam. The amount of leached exchangeable and soluble bases from the soil due to the penetration of SAR was in the order of Ca > Mg > K. After application of 1200mm SAR of pH 2.0 in to the soil downward mean movements of the exchangeable and soluble bases was in the order of Mg > Ca > K in sandy loam and loam soil and Ca > Mg > K in clay loam soil. Downward movements of the those bases under pH 4.0 into the soil was in the order of Mg > K > Ca in sandy loam and clay loam, and K > Mg > Ca in loam soil. Available phosphorus moved slightly downward with increasing acidity of the SAR.

**Key Words :** Mean Movement, SAR, Available phosphorus, Exchangeable and soluble bases.

### 서 언

대기중에는 탄산가스가 0.03% 들어있어 이들이 물에 용해되면 탄산으로 되고 pH는 5.6으로 산성비는 이보다 pH가 더 낮은 경우를 말한다. 산성비의 발생원은 여러 가지가 있으나 주로 황산화물과 질소산화물이 주종을 이루며 이들의 함유비율은 기상과 지역조건에 따라 차이가 있지만 일반적으로 황산 : 질산 = 2 : 1의 비율로 보고 되었으나, 근래에는 질산의 비율이 증가되고 있는 경향이다<sup>9)</sup>. 근래에 대기 오염이 증가되므로써 이들 오염원들이 강우와 함께 산성비의 형태로 되어<sup>4)</sup> 산성우의 산성도가 높아져 자연의 완충력은 한계에 도달하여 전세계에 피해가 크며 석유위기에 따른 발전에 소요되는 석탄 소비량 증가는 산성비를 더욱 증가시킨다고 하였으며<sup>17)</sup>, 우리나라에서도 이미 대도시 및 공업단지는 물론 농촌 지역에서도 산성비가 내린다고 보고 되었다<sup>10)</sup>. 완충능이 큰 토양이라도 강우가 많은 지역은 대부분의 토양이 산성화되고<sup>4)</sup> 토양의 산성화 과정은 토양에 어떠한 산성물질이 투입되었을 때 토양내의 염기가 용탈되거나, 염기가 작물에 흡수되어 토양으로부터 제거되므로써 상대적으로 토양용액내의 수소이온 농도를

높여주게 되어 가속화 된다<sup>4,11)</sup>. 토양이 산성화되면 규산염 구조의 유실에 의한 점토광물의 불안정화, 토양의 포도축화, pH의존 전하에 의한 CEC감소, 토양용액내의 치환성 H, Al 이온이 증가되어 식물생육을 저해시키고<sup>8)</sup>, 양분고정<sup>3)</sup>, 지하토층 또는 지하수로의 양분용탈<sup>2,6)</sup>, 토양과 식물체 사이의 양분순환체계 혼란<sup>6,13)</sup>, 부영양화, 산림파괴, 어족자원감소 등 환경생태계를 황폐화 시킨다<sup>4)</sup>. 반면 토양이 산성화 되어 수산화 Al과 Fe이 증가되면 토양의 양하전이 증가되어 토양내 음이온의 흡착을 증대시킨다.

토양에 산성비가 들어가게 되면 산성비의 구성성분과 토양내에 있는 광물의 종류에 따라서 흡착, 치환되는 성분이 다르게 나타나며<sup>15)</sup>, 토양의 산성화 과정에서 일어나는 토양내 염기와 산화물질의 이동은 주로 토양내에 있는 대용 음이온에 의해 중성염의 형태로 된 후 토양수분 이동에 따라서 일어나게 된다<sup>6,11)</sup>.

본 연구에서는 인공산성비(황산 : 질산 = 2 : 1)의 산성 정도와 산성비의 토양 침투량에 따른 토양의 산성화 경향, 토양중 무기양분의 토성별 용탈양상, 무기양분의 평균이동 거리를 비교 검토하였다.

Table 1. Some physical and chemical properties of the soils

Soil	pH	OM	Av.P	Ext.Cat				CEC	Part. Size Dist.			Water 10kPa	Ca Req. pH 6.5	pH after adjust
				Ca	Mg	K	Na		sand	silt	clay			
	(1:1)	g · kg <sup>-1</sup>	mg · kg <sup>-1</sup>	cmol · kg <sup>-1</sup>					g · kg <sup>-1</sup>			g · kg <sup>-1</sup>	cmol · kg <sup>-1</sup>	
SL	6.52	9.7	320	3.30	0.46	0.40	0.05	5.45	716	234	50	201	-	6.52
Lx	5.74	22.2	390	3.65	1.25	0.65	0.09	8.20	463	437	100	308	1.03	6.48
CL	5.31	21.2	120	3.07	1.30	0.68	0.05	11.15	263	464	273	317	3.00	6.52

**재료 및 방법**

**공시토양**

공시토양은 사양토, 양토, 식양토로서 표 1에서 보는 바와 같다. 토양의 pH는 사양토에서는 6.52로 그대로 사용하였으며, 양토, 식양토에서는 중산성 내지 강산성으로 이 두 토양에 석회를 사용하여 pH를 조절하였다. pH 6.5조절은 Ca(OH)<sub>2</sub>를 이용 48시간 진탕후 완충극선법으로 석회소요량을 산출하였다. 양토의 경우 pH 5.74로 석회 소요량은 1.03 cmol · kg<sup>-1</sup>, 식양토는 pH 5.31로서 3.00 cmol · kg<sup>-1</sup>에 해당하는 Ca(OH)<sub>2</sub>를 사용한 결과 양토에서는 pH 6.48, 식양토에서는 pH 6.52로 조절되었다. 유효인산은 사양토, 양토에서 높았으며 식양토에서 낮았고 유기물은 양토, 식양토가 사양토보다 많았으며 사양토는 1.0%미만이었다. 치환성 염기는 세토양 비슷하게 함유하였으나, Mg의 경우는 양토와 식양토에서 사양토보다 2배이상 많았다. 토양의 보수력은 토양수분장력이 10 kPa 일 때 사양토 201 g · kg<sup>-1</sup>, 양토는 308 g · kg<sup>-1</sup>, 식양토는 317 g · kg<sup>-1</sup>으로서 식양토> 양토> 사양토의 순이었다.

**산성비 처리**

인공산성비(황산:질산 = 2:1혼합용액)의 pH를 2.0, 4.0, 6.0으로 조절하였으며, 공시토양은 사양토, 양토, 식양토로서 pH를 6.5로 조절하여 2"×30cm(D×L) column에 용적 밀도를 사양토 1.30, 양토와 식양토 1.25 g · cm<sup>-3</sup>로 충전후 표토부분에 여지를 덮고 증류수로 포화시키고나서 자연배수한 후 인공산성비를 1.0, 2.0, 5.0 pore volume(1 pore volume은 토양수분 10 kPa 기준 사양토 80, 양토 115, 식양토 120mm)과 자연강우량(1200mm)에 해당되는 양을 점적관수의 형태로 처리하였다.

**조사내용**

인공 산성비 처리한 토양을 5 cm깊이 별로 채취하여 풍건한 후 인공 산성비 처리에 따른 토양의 pH, 토양내의 염기 이동양상과 용탈량, 무기성분의 평균이동거리를 산정하였다. 평균 이동거리는 토양 시료를 5cm 간격으로 30cm까지 채취하여 용탈된 성분은 각 층위에서 30cm하부로 이동된 것으로 가정하여 산출하였다<sup>12,13)</sup>.

**토양분석**

pH는 초자전극법(1:2.5), 유기물은 Walkley-Black 방법, CEC는 1N-NH<sub>4</sub>OAc 용액(pH 7.0)으로 염기를 치환시킨 후 NH<sub>4</sub>는 semi micro Kjeldahl법, 치환성 염기는 1N-NH<sub>4</sub>OAc 용액(pH 7.0)으로 추출하여 원자흡광분석법, 인산은 Bray NO.1으로 추출하여 비색정량 하였다.

**결과 및 고찰**

**인공 산성비의 처리에 의한 토성별 pH변화와 염기용탈양상**

토양에 인공산성비를 우리나라의 년평균 강우량에 해당되는 1200mm를 처리했을 때 각 토양의 pH변화는 그림 1에서 보는 바와 같이 인공 산성비의 pH 2.0 처리에서는 사양토의 경우 토심별로 단계적으로 큰 차이를 보였고, 양토의 경우 0 - 10cm까지는 pH가 큰 차이를 보인 반면 그 이하에서는 약간의 차이를 보였으며, 식양토의 경우에도 심한 차이를 보였으나, 양토나 사양토에서 보다는 작은 차이를 보였다. 산성비의 pH 4.0과 일반비 pH 6.0을 처리하였을 때는 사양토, 양토, 식양토 모두 토심별로 별 차이가 없었다.

인공 산성비(1200mm)를 처리하였을 때 토양의 토심별 치환성과 수용성 염기의 분포는 사양토의 경우 그림 2에서 보는 바와 같으며, 사양토, 양토, 식양토의 각 토심에서 염기들이 토양밖으로 용탈된 양은 표 2와 같다. 강산성의 인공산성비(pH 2.0)를 처리하였을 때 그림 2에서 보는 바와 같이 사양토에서는 각 토심별로 심한 용탈양상을 보였고, 특히 0 - 20cm까지 더욱 많이 용탈되었다. 염기 성분별 용탈양은 Ca이 가장 많았고 다음이 Mg 와 K순위였다. 양토에서는 0 - 10cm까지는 pH의 변화 양상과 비슷하게 심한 용탈 양상을 나타냈고 성분별 용탈양상은 사양토와 비슷하였다. 식양토의 경우 0 - 15cm토심까지 큰 차이를 보였으나 그 이하에서는 별 차이 없었다. 양분의 용탈양상은 Ca 이 가장 많았고 다음이 Mg 과 K의 순위로 사양토와 비슷하게 나타났으며, 토성별 염기의 용탈양은 식양토, 양토, 사양토의 순위였다. 인공 산성비의 pH 4.0 과 일반비 pH 6.0처리에서는 pH 변화(그림 1)에서와 같이 사양토, 양토, 식양토 공히 별 차이를 나타내지 않았으나 치환성 염기의 용탈양은 pH 4.0의 산성비 처리구에서 약간 증가하였으며,

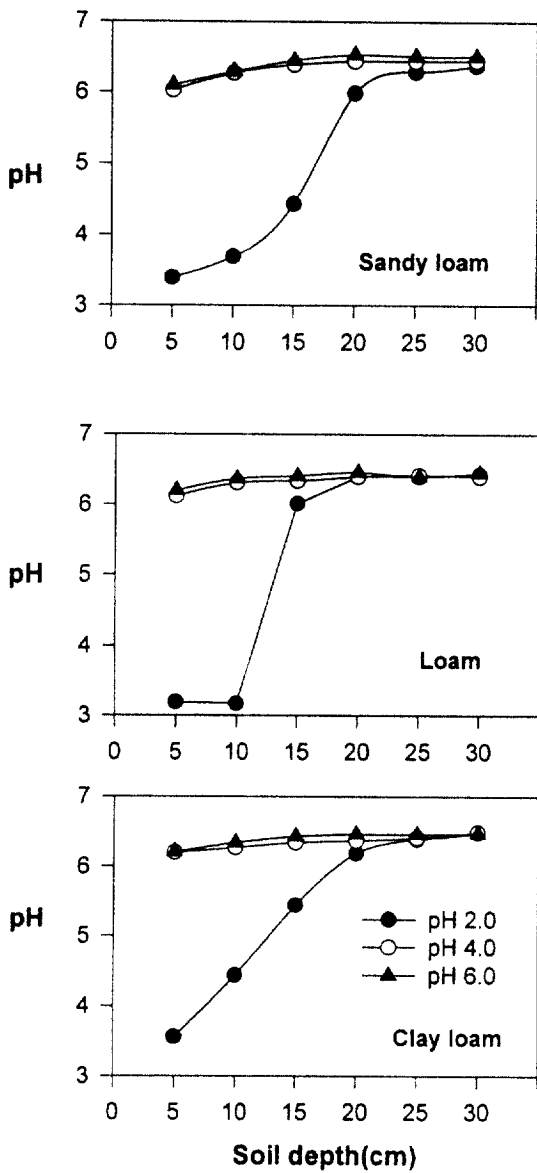


Fig. 1. pH change to soil depth after application of 1200 mm SAR of pH 2.0, 4.0 and 6.0 in the sandy loam(upper), loam(middle) and clay loam soil(lower)

토성별 염기들의 용탈량은 양토 > 식양토 > 사양토의 순위였다.

인공 산성비 처리에 따른 토양 내에서의 양분이동거리 토양에서의 염기의 용탈은 토양에 많이 들어있는 성분의 용탈량이 많은 것으로 나타났다. 따라서 성분별 용탈양상을 염기별로 상대적으로 비교하기가 곤란하여 용탈되고 남은 토양내 염기분포중심의 이동거리의 척도인 이들 염기들의 평균이동거리를 비교하므로써 성분별로 상대적 이동양상을 비교 검토할 수 있었다<sup>22,23</sup>.

인공산성비 처리량에 따른 양분의 평균 이동거리는 토

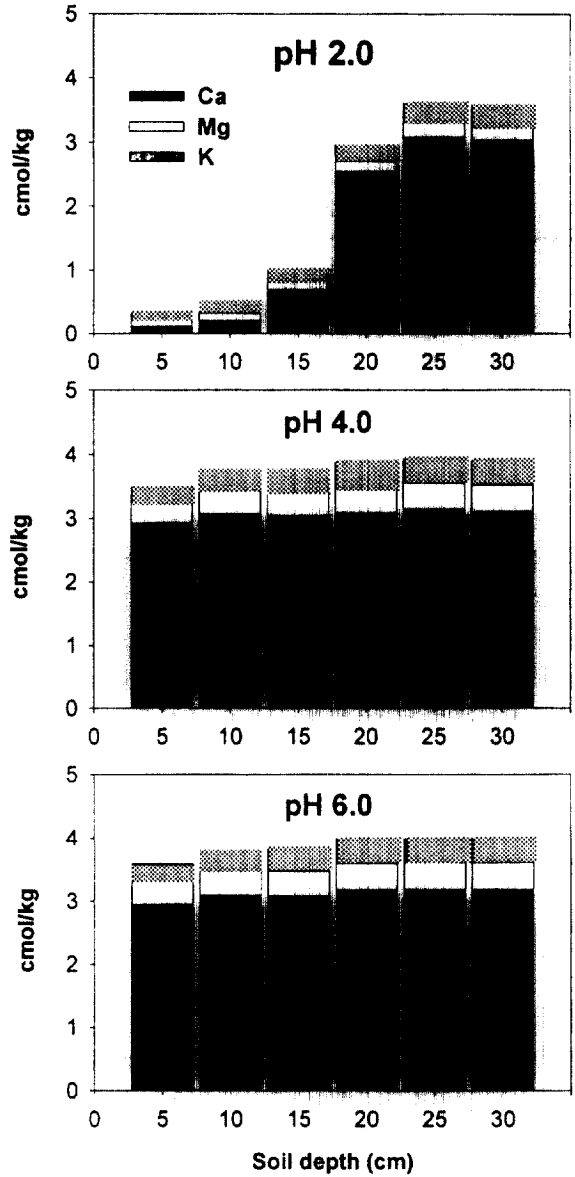


Fig. 2. Distribution of exchangeable and soluble bases at different soil depth after application of 1200 mm SAR of pH 2.0(upper), pH 4.0(middle) and 6.0(lower) to sandy loam soil.

성별로 그림 3에서 보는 바와 같이 산성비의 산도가 증가할수록 산성비의 처리량이 증가할수록 멀리 이동하였다. 사양토의 경우(그림 3 상) 무기 성분별 이동거리는 일반비(pH 6.0)처리에서는 강우처리량이 적을 때 Mg > K > Ca의 순위였으나 관수에 의한 시비양분의 토양내 이동에서는 K > Mg > Ca의 순위로 다르게 나타났으나<sup>2</sup>. 강우 처리량이 증가하면서 부터는 Mg ≥ K > Ca의 순위로 Mg의 이동이 증가하였다. 산성비의 pH 2.0처리에서는 Mg > Ca > K의 순위로 Mg이 제일 많이 이동하였다. 양토의 경우, 일반비(pH 6.0)에서는 처리량이 적을 때(3 pore volume)는 Mg > Ca > K의 순위였고, 처리량이 증가하면서 Mg > K

Table 2. Amount of leached exchangeable and soluble bases from the soil at each depth after application of 1200mm of SAR of pH 2.0, 4.0 and 6.0 to the different soils

Soil	Soil depth (cm)	pH 2.0				pH 4.0				pH 6.0			
		Ca	Mg	K	Σ	Ca	Mg	K	Σ	Ca	Mg	K	Σ
———— cmol · kg <sup>-1</sup> ————													
Sandy loam	0-5	3.18	0.35	0.31	3.84	0.38	0.13	0.17	0.68	0.35	0.10	0.12	0.57
	5-10	3.09	0.35	0.25	3.69	0.22	0.10	0.09	0.41	0.20	0.08	0.08	0.36
	10-15	2.60	0.34	0.21	3.15	0.25	0.10	0.04	0.39	0.21	0.08	0.04	0.33
	15-20	0.75	0.31	0.14	1.20	0.21	0.09	0.01	0.29	0.11	0.05	0.01	0.17
	20-25	0.21	0.24	0.10	0.55	0.15	0.06	0.02	0.23	0.11	0.04	0.02	0.17
	25-30	0.26	0.25	0.06	0.57	0.19	0.05	0.02	0.26	0.11	0.04	0.01	0.16
	mean	1.68	0.31	0.18	2.17	0.23	0.09	0.06	0.38	0.18	0.07	0.05	0.29
Loam	0-5	4.56	1.16	0.55	6.27	0.86	0.39	0.31	1.56	0.71	0.32	0.27	1.30
	5-10	4.11	1.13	0.46	5.70	0.58	0.25	0.13	0.96	0.52	0.23	0.09	0.84
	10-15	0.39	0.99	0.19	1.57	0.53	0.24	0.07	0.84	0.44	0.20	0.05	0.69
	15-20	0.33	0.69	0.16	1.18	0.48	0.21	0.06	0.75	0.43	0.23	0.05	0.71
	20-25	0.46	0.36	0.12	0.94	0.49	0.22	0.05	0.76	0.40	0.24	0.05	0.69
	25-30	0.50	0.29	0.08	0.87	0.60	0.23	0.05	0.88	0.39	0.21	0.03	0.63
	mean	1.73	0.77	0.26	2.76	0.59	0.26	0.11	0.96	0.48	0.24	0.09	0.81
Clay loam	0-5	5.17	1.20	0.43	6.80	0.84	0.29	0.18	1.31	0.78	0.24	0.16	1.18
	5-10	3.99	1.03	0.27	5.29	0.64	0.26	0.10	1.00	0.56	0.18	0.07	0.81
	10-15	3.63	0.78	0.11	4.52	0.55	0.17	0.06	0.78	0.54	0.13	0.04	0.71
	15-20	0.26	0.46	0.03	0.75	0.49	0.14	0.03	0.66	0.41	0.13	0.05	0.59
	20-25	0.13	0.16	0.00	0.29	0.52	0.12	0.04	0.68	0.36	0.13	0.03	0.52
	25-30	0.17	0.11	0.00	0.28	0.46	0.15	0.03	0.64	0.48	0.16	0.02	0.66
	mean	2.23	0.62	0.14	2.99	0.58	0.19	0.07	0.85	0.52	0.16	0.06	0.75

Table 3. Mean nutrients movement in different soils after application of 1200 mm of the SAR of different pH.( cm )

	Sandy loam			Loam			Clay loam		
	pH 2.0	pH 4.0	pH 6.0	pH 2.0	pH 4.0	pH 6.0	pH 2.0	pH 4.0	pH 6.0
Ca	12.09	1.37	1.16	10.62	2.25	1.88	9.16	1.84	1.66
Mg	12.45	3.84	2.90	13.10	3.90	3.50	11.08	2.90	2.35
K	9.65	3.46	2.83	9.18	4.00	3.27	5.30	2.48	2.08
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3.58	2.11	1.33	1.77	1.17	1.00	0.63	0.37	0.02

> Ca되다가 Mg ≥ K > Ca의 순위로 되었다. pH 2.0의 산성비 처리에서는 Mg > Ca > K의 순위로 Mg이 제일 많이 이동하였다. 식양토의 경우(그림 5) pH 6.0에서는 강우 처리량이 적을 때(4 pore volume이하) 성분별로 별 차이 약간이나마 Mg > Ca > K의 순위가 었으나, 강우 처리량이 증가하면서 야간씩 Mg > K > Ca의 순위였다. pH 2.0의 강산성에서는 Mg > Ca > K의 순위로서 순위간 차이가 크게 나타났다. 따라서 토양내에서 염기의 이동량은 Ca > Mg > K순으로 염기의 이동량과 이동거리는 다르게 나타났다.

산성비를 우리나라의 자연 강우량(1200mm)에 해당되는 만큼 토양에 처리하였을 때 무기양분의 평균 이동거리는 표 3에서 보는바와 같이 사양토 > 양토 > 식양토의 순위였고 산성비가 아닌 일반 강우조건에서는 이동거리가 짧았다. 이들 염기들의 평균이동거리는 pH 2.0의 산성비 처리에서는 각 토양 공히 Mg > Ca > K의 순위였으나, 산성비의 pH 4.0인 경우 사양토와 식양토는 Mg > K > Ca, 양토의 경

우는 K > Mg > Ca의 순위였다. 인산의 경우 평균 이동거리는 다른 성분에 비하여 매우 짧았으며 산성비의 산도가 증가할수록 증가하였고, 일반 강우 조건에서는 거의 이동하지 않았다. 토양내에서 염기의 이동은 산성물질이 토양에 투입되었을 때 토양내에 존재하는 대응이온이 존재할 때에 이동되기 때문에<sup>5)6)</sup> 토양내에서 염기의 이동은 강우의 pH와 산성물질에 따라서 토성별로 다르게 나타났다.

### 요 약

사양토, 양토, 식양토의 3 가지의 토양을 2" column에 충전한 후 인공 산성비( pH 2.0, 4.0, 6.0) 1200mm를 처리하여 산성비의 토양내 침투수량에 따른 토양 중 무기양분의 이동 양상과 토양내에서의 환경변화에 대한 시험 결과, 산성비의 토양침투에 따른 토양의 pH 변화는 산성비의 pH가 4.0과 6.0에서는 별 차이가 없었으나 pH 2.0에서는 토심

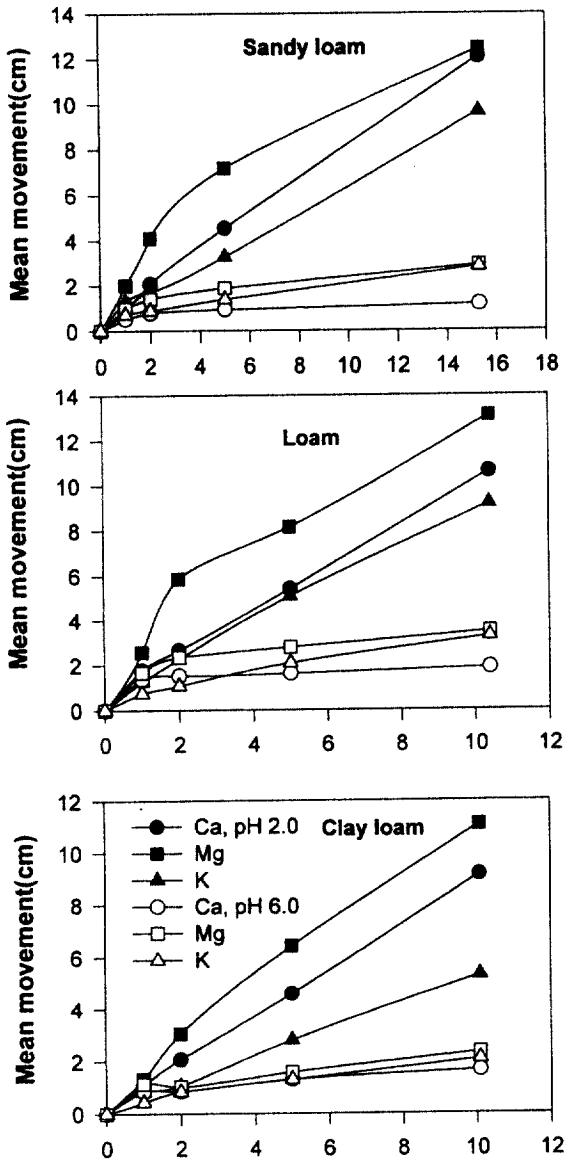


Fig. 3. Mean downward movement of exchangeable and soluble bases after application of different amount of SAR of pH 2.0 and 6.0 in sandy loam soil(upper), loam(middle) and clay loam(lower).

별로 큰 차이를 보였으며, pH감소는 사양토> 양토> 식양토 순위였다. 산성비의 토양침투에 따른 토양의 토심별 치환성과 수용성 염기의 용탈량은 Ca> Mg> K 순위였으며, 산성비의 pH 2.0에서 가장 많은 양이 이동하였다. 이들 염기들의 평균이동거리는 pH 2.0의 산성비 처리에서는 사양토, 양토, 식양토 공히 Mg> Ca> K의 순위였으나, 산성비의 pH 4.0인 경우 사양토와 식양토는 Mg> K> Ca, 양토의 경우는 K> Mg> Ca의 순위였다. 인산의 경우 평균 이동거리는 다른 성분에 비하여 매우 짧았으며 산성비의 산도가 증가할수록 증가하였고, 일반 강우 조건에서는 거의 이동하

지 않았다.

사 사

이 논문은 일부가 1998년도 대구대학교 연구비 지원에 의해 수행된 과제임

참 고 문 헌

1. Chao, T.T, M.E. Harward, and S.C. Fang.(1965). Exchange reactions between hydroxyl and sulfate ions in soils. *Soil Sci.* 99:104-107.
2. Freiesleben,N.E.V. Rasmussen,L.(1986). Effect of acid rain on ion leaching in a Danish forest soil. *Water, Air and Soil Pollution.* 31(314)P:965-968.
3. Gunjigake, N, and K. Wada.(1981). Effects of phosphorus concentration and pH on phosphate retention by active aluminum and iron of ando soils. *Soil Sci.* 132:347-352.
4. Howells, G.(1990). *Acid rain and acid waters.* Ellis Horwood.
5. Huete, A.R. McColl, J.G.(1984). Soil caion leaching by acid rain with varying nitrate to sulfate ratio. *J. of Envir. Qual.*13:366-371.
6. Ishiguro, M, K.C. Song, and K. Yuita.(1992). Ion transport in an allophanic andisol under the influence of variable charge. *Soil Sci. S. A. J.* 56: 1789-1793.
7. Lee, J.J. and D. E. Weber.(1982). Effect of sulfuric acid rain on major cation and sulfate concentrations of water percolating through two model hardwood forest. *J. Environ. Qual.* 11:57-64
8. McColl,J.G. Firestone,M.K.(1987). Cumulative effects of simulated acid rain on soil chemical and microbial characteristics and conifer seedling growth. *Soil Sci. Soc. A. J.* 51:794-800.
9. Okita, T.(1980). Research on sulfate, nitrate and nitric acid in Kanto area. *Proc. 5th US-Japan*
10. Song, K.C. and M. Ishiguro.(1992). Effects of solution pH on ion transport in allophanic andisol. *Soil Sci. Plant Nutr.* N.R.I.A.E. 38:477-484.
11. Tan, K. H.(1993). *Soil reaction in Principle of soil chemistry.* p255-266, Mercel Dekker,Inc.
12. 유관식, 유순호, 송관철.(1991). 관개수에 의한 시비양분의 토양중 이동에 관한 연구. 1. 관수량에 따른 양분 이동, 한토비지, 24:102-108.
13. 유관식, 유순호, 송관철.(1994). 토양수분조건에 따른 Ca, Mg 과 K의 이동, 한토비지, 27: 255-262.
14. 송기형, 박용남, 정용승, 박국태.(1992). 충청북도 농촌

- 지역의 강수의 산성도에 관한 기초 연구. 한국대기보전학회지. 8(1):38-44.
15. 최호진.(1990). 인공산성비가 콩, 들깨의 초기생장 및 토양특성에 미치는 영향. 석사학위논문. 고려대학교.
16. 脇 孝介.(1991). 自然土壤への酸性雨の影響. 酸性雨生態系に与える影響.P193-224. (社)ゴルフア-の緑化促進協力會.
17. 石 弘之.(1990). 深刻化する酸性雨. 地球環境の危機.P225-226. 岩波書店
16. 脇 孝介.(1991). 自然土壤への酸性雨の影響. 酸性雨