

인공산성우 처리에 대한 삼림토양의 완충능

진현오¹ · 이계성¹ · 정동준²

¹경희대학교 임학과, ²경희대학교 생명자원과학연구원
(2002년 1월 22일 접수; 2002년 3월 8일 수락)

Buffer Capacities of Forest Soils by the Treatment of Simulated Acid Rain

Hyun O Jin¹, Gye Sung Lee¹ and Dong Jun Chung²

¹Department of Forestry, Kyunghee University, Suwon 449-701, Korea

²Institute of Life Science and Natural Resources, Kyung Hee University, Suwon 449-701, Korea

(Received January 22, 2002; Accepted March 8, 2002)

ABSTRACT

This study was conducted to find out buffer capacities of forest soils by the treatment of simulated acid rain(SAR) of four forests(*Q. spp.*, *P. rigida*, *P. koraiensis*, *L. leptolepis*) in Kyunghee university's practice forest. All soils of each forest stand were treated by simulated acid rain at the level of pH 3.0, 4.0, 5.0 respectively. The result obtained from this study can be summarized as follows: Soil pH was measured by soil depth of each forest stand. The deeper soil depth was, the higher soil pH was. Also it was appeared that base saturation of sample soils was the highest as 17.42% in *P. rigida* stand and cation exchange capacity(C.E.C) was the highest as 29.87 me/100 g in *Q. spp.* stand. For responses of soil leachates to acidification treatment with pH 3.0 simulated acid rain(SAR), as simulated acid rain(SAR)-input was increased, pH value of soil leachates appeared high temporarily, but soon pH value of soil leachates had been low gradually. At the rest of pH 4.0, pH 5.0 treatment, pH value of soil leachates was high proportionably. The amounts of TBC of primary stage had a difference as pH level of simulated acid rain and forest stands. But as simulated acid rain(SAR)-input was increased. Amount of TBC was diminished. Also the amounts of TBC of primary stage in acidification treatment with pH 3.0, 4.0 simulated acid rain(SAR) was higher than that of acidification treatment with pH 5.0 simulated acid rain(SAR). These trend showed obvious difference at low soil acidity and high TBC. The amounts of activity Al of primary stage appeared high as increasing the input acidity of simulated acid rain(SAR). Also, by soil depth, the amounts of Activity Al was different between A layer(0-15 cm) and AB layer(0-30 cm). There was considerable the correlation between simulated acid rain-input and activity Al change. But this was oppositional trend in soil leachates of pH 4.0, 5.0 treatment and total base cations(TBC).

Key words : acid rain, buffer capacity, cation exchange capacity, *Pinus koraiensis*, *Quercus spp.*, *Pinus rigida*, *Larix leptolepis*

I. 서 론

최근 산업문명의 발전에 따른 배기가스로 인해 대기 오염 및 산성강우에 의한 피해가 증가하면서 이에 대

한 문제가 대두되고 있다. 이러한 피해는 유럽 중앙부 뿐만 아니라 전 세계적으로 그 오염의 실태가 확산되어감에 따라 산업시설이나 대도시는 물론 자연생태계에 까지 그 심각성은 더욱 더 표면화되고 있는 실정

이다. 이러한 대기오염과 산성강우의 형태는 건성침착 또는 습성침착 형태로 지상으로 강하게 되는데 현재 까지 생태계에 미친 영향 가운데 가장 심각하고 광범위한 피해는 삼림지역에서 나타났다. 삼림생태계는 식생층과 토양층으로 이루어져 여러 가지 오염물질을 정화시키고 고정하는 능력을 가지고 있으나 이러한 삼림생태계의 능력에는 분명히 한계가 있다. 현재도 넓은 면적의 산림에서 임목들이 대량으로 고사되어 가면서 삼림이 황폐화되고 동시에 계류수나 하천들이 산성화되어가고 있는 것이 극명한 예라 할 것이다.

삼림쇠퇴의 원인으로 과거 중부 유럽과 북미 지역에서 발생한 삼림쇠퇴는 대기오염물질과 산성강하물의 장기유입에 따른 토양내 영양염류의 결핍과 AI stress가 다른 환경적 영향인자에 대한 저항성을 저하시키면서 초래된 만성적 피해라 할 수 있다(Huettl, 1988; Ulrich, 1989). 국내에 있어서는 현재 산성강하물에 의한 대규모의 삼림피해는 아직 보고되고 있지 않으나, 산성우 등의 산성강하물이 토양에 부하되면 장래에 토양이 산성화하여 삼림수종에 악영향을 미칠 가능성이 우려되고 있다(이수옥과 민일식, 1989; 김태훈 등, 1994). 이러한 피해발생은 대기 오염과 산성우에 함유되어 투입되는 산성물질인 질소산화물이나 황산화물에 의한 토양의 산성화가 주요한 원인이다(Freedman, 1986). 토양이 산성화되면 이로 인한 AI과 같은 각종 독성원소의 용탈이 식생의 생장에 저해를 일으킨다는 보고가 있다(Foy, 1974; Hutchinson, 1986; Abrahamsen, 1989). 특히 토양내에서는 산성화가 진행되면 식물의 생장에 필요한 양이온은 수소이온과 치환하여 침투수와 함께 용탈된다(주영특과 김영채, 1994). 산성우의 관점에서 가장 문제시 되고 있는 토양의 산성화는 빗물의 음이온 조성, 토양의 pH, 토양의 완충능, 토양입자의 크기, 모암의 성분 및 지형 등에 따라 다르게 나타난다(민일식 등, 1999).

동일한 환경조건에서 수종별 수관통과우와 수간류의 용탈특성은 각 수종의 용탈능력에 따라 다르게 나타난다(Pylypec과 Redmann, 1984). 따라서 토양의 산성화는 수목에서의 양료 용탈 특성과 깊은 관련이 있으며, 삼림토양의 토심별로 그 가능한 차이가 어떻게 나타나는지를 확인할 수 있다. 따라서 본 연구는 우리나라의 주요 조림수종인 참나무류, 잣나무, 리기다소나무, 낙엽송 임지의 산림토양을 대상으로 하여 산도별로 조제한 인공산성우를 살포하여 각 토양의 토심에 따른

pH의 경시적인 변화 및 각 임지에서의 변화 특성과 삼림토양의 완충능과의 관계를 구명하여 주요 조림수종의 육림 활성화를 목적으로 수행하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 조사대상지 개황

본 연구의 조사지는 경기도 광주군 퇴촌면에 위치한 경희대학교 연습림의 잣나무(*P. koraiensis*), 낙엽송(*L. leptolepis*), 리기다소나무(*P. rigida*)의 침엽수림 3개소와 밤나무, 신갈나무 등이 혼재하고 있는 참나무류(*Q. spp.*)의 천연활엽수 1개소 임분 등 4개소이다.

조사지의 연평균 기온은 10.2°C이고, 연 강수량은 1,000-1,200 mm이다. 지리적 조건과 기상조건에 의한 수질변화의 영향을 최소화하기 위하여 4개 임분 모두 표고 200 m 전후, 경사 30-35°에 위치의 인접한 임분을 조사지로 선정하였다. 각 조사지별로 10×10 m(100 m^2) 구획을 3개소 씩 선정하였다.

2.2. 연구방법

2.2.1. 공시토양채취

토양시료는 조사임분내의 임목이 비교적 안정된 대표적인 곳으로 선정하여 기초 임분조사에 이용된 3개 방형구($10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$) 내에서 임상으로부터 낙엽층(A_0 층)을 제거한 후 채취하였다. 이때 조사지의 토심 범위는 0-15 cm와 15-30 cm의 2 수준으로 채토원통(400 ml)을 이용하여 채취하였다. 토양시료 채취지점은 임목으로부터 3 m 이상의 거리를 유지함으로서 수간으로부터의 거리에 반비례하여 증가하는 토양 중 염기성 양이온과 산성 음이온의 함량이 공간적 편차를 최소화 했다(Seiler and Matzner, 1995; 한심희와 이경준, 1997).

2.2.2. 토양의 화학적 성질 분석

토양 pH는 세토 20 g을 100 ml의 비이커에 넣어 증류수 50 ml를 첨가하여 혼합한 후, 20분에 1회씩 유리봉으로 저으면서 1시간 방치한 토양현탁액의 pH(H_2O)를, 또한 세토 20 g과 1M-KCl 100 ml를 혼합하여 1시간동안 진탕배양기(JEIO TECH SI-900R)에서 진탕 후, 여과지(Toyo Co., No. 5A)를 통과시킨 추출물의 pH(KCl)를 pH 미터로 측정하였다. 한편, 치환성 양이온($\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{K}^+$)은 IN-NH₄OA₄를 이용하여 추출, 원자흡광법으로 측정하였다. 또한 토양의 C 함량은 Tyurin 법, N 함량은 황산분해법으로 측정하였으

며 CEC는 Peech 법에 의해 추출한 후 측정하였다.

2.2.3. 인공산성우 조제와 처리

인공산성우는 공시토양 채취지역인 경기도 광주군의 1년간(1997. 7월~1998. 6월) 평균 강수의 음이온 함량비율(진현오 등, 1999)인 SO_4^{2-} , NO_3^- 및 Cl^- 이온의 당량비가 5 : 3 : 2의 비율이 되도록 중류수에 황산(H_2SO_4), 질산(HNO_3) 및 염산(HCl)을 첨가하여 소정의 pH로 조정한 용액을 사용하였다. 인공산성우의 pH는 3.0, 4.0 및 5.0으로 조제하였으며, 이상과 같이 조제된 인공산성우는 토양의 산성화 처리에 이용되었다. 조사지역의 인공산성우 총 강하량은 조사지역의 연평균 강수량이 1,260 mm 인 것을 가정하여 아래식을 이용한 단위 면적당 유입량으로 산출하였다.

$$P = 10 \cdot V/\pi \cdot (D/2)^2$$

P : 강수량(mm)

D : 원형 칼럼의 직경(cm)

V : D cm의 직경에 연간 강하된 강우용적(mL)

연평균 강수량과 칼럼 횟단면적에 근거하여 인공산성우의 총 강하량은 890.6 mL가 되고, 이 총 강수량에 해당되는 인공산성우를 1일 간격으로 총 10회(10일)에 걸쳐 나누어 강하시켰으며, 이때 1회 강하량은 강우강도를 8.9 mm/hr로 하여 10시간에 걸쳐 살포하였다.

2.2.4. 토양 칼럼의 구성

토양 칼럼은 유리 칼럼(내경 30 mm, 높이 12 cm)을 제작하여 칼럼 아래쪽에는 탈지면을 넣어 여과역함을 하도록 하였다. 또한 토양칼럼은 각 토심별 채취한 토양시료를 순서대로 재배열하는 방법으로 구성되었다 (Miller 등, 1989; Clayton 등, 1991).

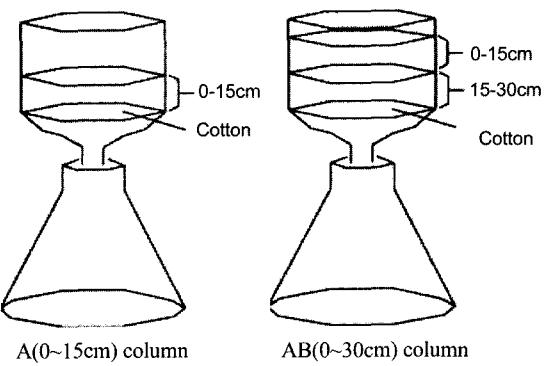


Fig. 1. Design of soil columns used in forest soil response study.

Fig. 1과 같이 칼럼에는 각 토심별로 토양시료를 차례로 채운 다음, 칼럼배수에는 토양 용탈수를 채수하기 위한 용기를 두어 자연 투수된 토양 용탈수를 분석시료로 이용하였다. 칼럼에는 0-15 cm와 15-30 cm 토심의 건토 10 g 씩을 채웠으며, 칼럼을 통과한 토양 용탈수는 하부에 설치된 삼각플라스크(200 mL)에 수집하였다.

2.2.5. 토양 용탈수 분석

삼각플라스크에 수집된 토양 용탈수는 매 강하 회수 별로 pH를 측정하였고, 수소이온에 의해 치환되는 각 종 이온들의 량을 조사하기 위해 치환성 양이온(Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+)과 Mn^{2+} 및 Al^{3+} 을 원자흡광법으로 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 공시토양의 화학적 성질

공시토양의 화학적 성질을 보면(Table. 1), 각 토심

Table 1. Chemical properties of sample forest soil

Species	layer	pH		C (g·g ⁻¹)	N (mg·g ⁻¹)	C/N	CEC (me/100 g)	Ex-Cation(me/100 g)				Base sat.(%)
		H ₂ O	KCl					Ca	Mg	K	Total	
<i>Q. spp.</i>	A	4.23b	3.78a	0.055a	3.26a	17.63a	29.87a	1.80c	0.37ab	0.67b	2.84	9.51
<i>P. rigida</i>	A	4.22b	3.73a	0.042ab	2.52b	17.46a	25.22b	2.33b	0.39a	0.46c	3.18	17.42
<i>P. koraiensis</i>	A	4.40a	3.75a	0.038b	2.20b	17.54a	24.22b	2.50ab	0.32ab	0.84a	3.66	15.11
<i>L. leptolepis</i>	A	4.14b	3.75a	0.038b	2.44b	16.95a	26.88b	2.66a	0.26b	0.45c	3.37	12.54
<i>Q. spp.</i>	B	4.39b	4.05a	0.023a	1.77a	13.68a	18.58c	1.35b	0.16b	0.34c	1.85	9.96
<i>P. rigida</i>	B	4.32a	3.85b	0.025a	1.72a	14.52a	21.90a	2.13a	0.36a	0.43b	2.93	12.61
<i>P. koraiensis</i>	B	4.27a	3.81b	0.029a	1.67a	17.22a	20.57b	2.20a	0.20b	0.55a	2.92	14.34
<i>L. leptolepis</i>	B	4.32a	3.91b	0.027a	1.33a	16.20a	18.91bc	2.14a	0.18b	0.27d	2.59	13.70

별 토양 pH는 활엽수 임지가 침엽수 임지보다 전체적으로 높았다. 이 결과는 같은 모암지역 일 경우에 활엽수임지의 토양이 침엽수임지에서 보다 큰 H^+ 소비 효과의 영향으로 생각된다(이수욱과 장관순, 1987)는 보고와 일치하였다. 그리고 임지 비옥도 판정기준으로 쓰이는 양이온 치환용량(C.E.C)과 염기포화도는 산림 토양의 일차적인 산증화 작용과 관계되므로 토양 산성도와 더불어 산림토양 자체의 화학적 성질을 조사한 결과, C.E.C는 활엽수임지의 경우 29.87 me/100 g으로 가장 높았으며, 염기포화도는 리기다소나무임지에 있어서 17.42%로 가장 높게 나타났다. 또한, 치환성 염기량은 원소별로 볼 때 $Ca^{2+} > K^+ > Mg^{2+}$ 순으로 나타났다.

연구대상지의 염기포화도 수준은 김태훈 등(1998)^a

보고한 국내 산림 토양 분류상의 표토의 염기포화도 평균치인 26.8% 보다 현저히 낮은 수준이었다. C/N 비의 경우도 토양의 비옥도를 판정하기 위한 지표로서 중요한 자료로 인정되는데 활엽수가 침엽수보다 적은 값을 나타낼 것이라는 예상과 달리 수종간에 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 표토층의 낙엽층을 제거하고 층위를 구별하였기 때문으로 판단된다.

3.2. 토양 용탈수의 화학적 성질 변화

3.2.1. 토양 용탈수의 pH 변화

각 임지에서 토심별로 채토해 온 총 24개의 토양시료에 인공산성우를 유입시킨 후 시간의 경과에 따른 토양 용탈수 pH의 측정 결과를 임지별 및 토심별로 평균하여 Fig. 2~4에 나타내었다.

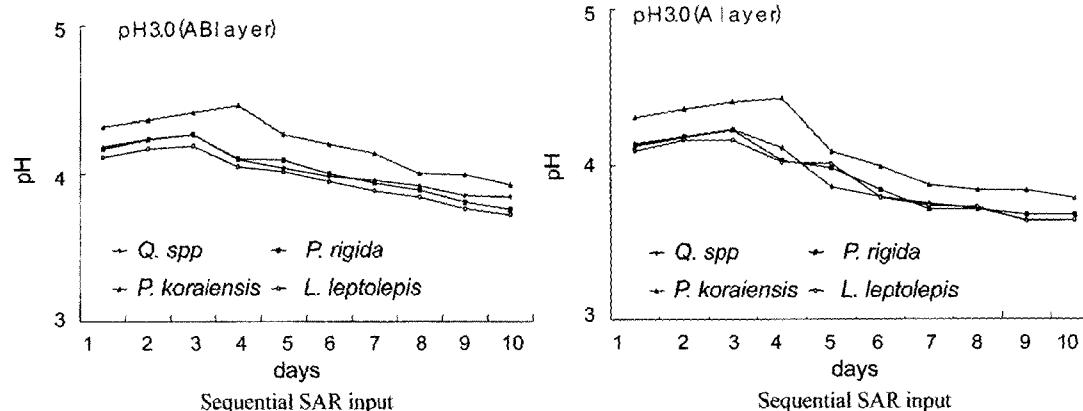


Fig. 2. Change in pH leached from two types of soil column as increase pH 3.0 simulated acid rain(SAR)-input into soils of each forest stand.

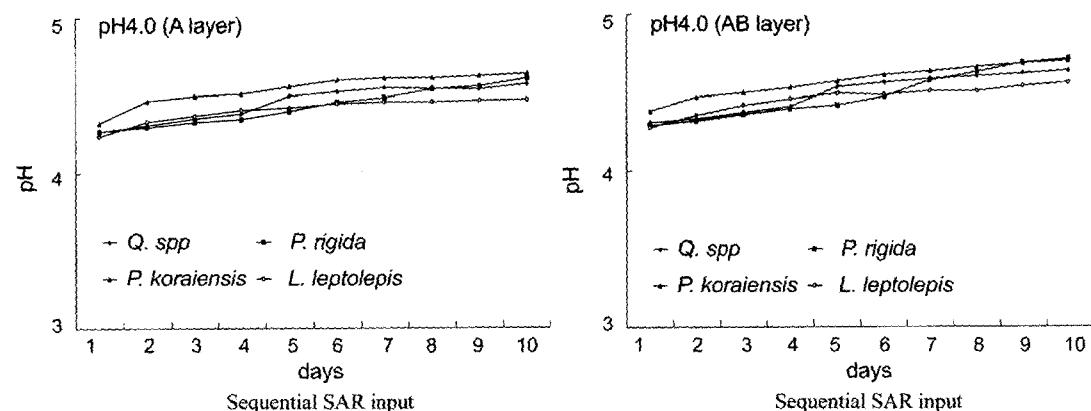


Fig. 3. Change in pH leached from two types of soil column as increase pH 4.0 simulated acid rain(SAR)-input into soils of each forest stand.

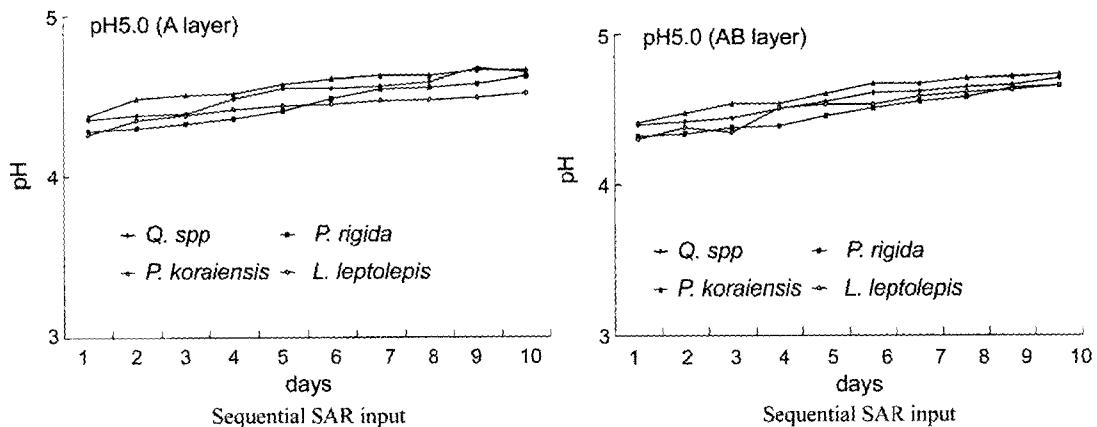


Fig. 4. Change in pH leached from two types of soil column as increase pH 5.0 simulated acid rain(SAR)-input into soils of each forest stand.

pH 3.0의 경우, A층과 AB층의 토양 용탈수 pH는 인공산성우 유입회수가 증가함에 따라 초기에는 일시 높아지다가 다시 낮아지는 변곡성을 보였으나, pH 4.0과 pH 5.0의 경우에서는 모든 토양 용탈수의 pH가 이상의 변곡성이 없이 인공산성우 유입 회수에 따라 소폭 증가하였다. 이러한 변곡성은 산중화 기작이 AI 용해에 의해 주도될 때 토양용탈수의 pH는 감소하기 때문에 나타난 결과로 판단된다(Reuss, 1983; 佐藤 등, 1994).

또한 pH 3.0에서 초기 값과 2일 경과후의 pH 값에는 차이가 있었는데, 이는 초기 값을 얻기 위한 초기실험에서는 전조상태에서 인공산성우를 유입하였으나 2일 후의 두 번째 값은 공시토양이 충분히 포수되어 있는 상태에서 인공산성우를 유입하여 얻은 것에 기인하며, 즉 공시토양의 토양수분 함수량의 차이 때문으로 판단된다. 그리고 pH 3.0, pH 4.0, pH 5.0의 인공산성우 유입에 따른 토양 용탈수의 pH 값을 보면 전체적으로 A층보다 AB층이 소폭으로 높게 나타났음을 알 수 있는데 이것은 토양의 적산량이 많을수록 염기성 금속이온의 양이 많은 것에 기인하는 것으로 판단된다.

임지별 pH 중화능력을 보면 뚜렷한 차이를 보이지 않고 소폭의 차이를 보였는데 이 소폭의 차이도 토양 자체가 가지고 있는 산성도에 기인한 것으로 사료된다. 이 결과로부터 pH 3.0은 비교적 짧은 시일 내에 pH 중화능력이 발휘되지만 pH 4.0과 pH 5.0의 경우는 어느 정도 시간이 경과한 후에 삼림토양의 pH 중화능

력이 발휘되는 것으로 나타났으며, 또한 각 임지에서 토양 용탈수 pH의 최대값이 존재하는데 이 값이 pH에 대한 각 임지의 토양완충능의 한계치로 판단된다.

각 임지와 토양에서는 토성이 깊어짐에 따라 토양수 pH가 소폭으로 증가하였다. 이 결과는 박재현(1997)이 벚나무와 리기다소나무임지의 A층과 B층에서 토양수 pH를 측정한 결과, 토성이 깊을수록 토양수 pH가 다소 높았다는 연구결과와 일치하였다.

pH 3.0 처리에서 토양 pH가 감소했던 것과 달리 pH 4.0과 pH 5.0 처리에서 토양 pH가 증가한 결과를 통하여 pH 4.0의 강우가 단기적으로 유입될 경우에는 토양의 pH에는 아무런 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 그러나 장기간 강우가 유입된다면 pH 3.0 처리와 마찬가지로 감소할 것으로 예측된다.

수종간 pH 변화를 살펴보면 잣나무임지가 다른 수종의 임지보다 토양 용탈수의 pH가 높았는데 그 이유는 잣나무임지의 삼림토양 자체의 pH가 상대적으로 높았기 때문으로 판단하였다. 또한, 다른 수종간 임지의 pH 변화는 경시적 변화는 보였으나 각 임지의 토양 완충능의 상대적인 크기도 명확하게 구명할 수가 없었다. 그러나 인공산성우 유입 후 2일째 이상의 시간이 경과하였을 때 모든 임지토양 완충능이 크게 발휘되었다.

3.2.2. 염기성 양이온의 용탈 변화

각 임지의 토양에 인공산성우를 회수별 유입시켰을 때 토양 용탈수 내에 염기성이온(Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) 함량의 변화는 Table 2와 같다.

Table 2. Each base cation and total base cations(TBC) leached from two types of soil column with different pHs of simulated acid rains(SAR) for soils of each forest stand

pH of SAR	layer	Species	Base cations leached(mg/kg)			TBC (mg/kg)
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	
pH 3.0	A	<i>Q. spp.</i>	175.03a	9.77a	32.73b	217.53
		<i>P. rigida</i>	183.76a	10.56a	30.71b	225.03
		<i>P. koraiensis</i>	177.83a	9.77a	43.36a	230.96
		<i>L. leptolepis</i>	177.36a	9.86a	31.92b	219.14
	AB	<i>Q. spp.</i>	174.61a	7.76a	50.24a	232.61
		<i>P. rigida</i>	178.50a	8.41a	48.51a	235.42
		<i>P. koraiensis</i>	180.45a	5.79a	55.28a	241.52
		<i>L. leptolepis</i>	173.72a	7.42a	42.20a	223.34
pH 4.0	A	<i>Q. spp.</i>	150.53a	8.46a	29.91ab	188.9
		<i>P. rigida</i>	156.59a	10.19a	22.92b	189.7
		<i>P. koraiensis</i>	153.28a	8.53a	32.49a	194.3
		<i>L. leptolepis</i>	160.15a	7.81a	22.89b	190.85
	AB	<i>Q. spp.</i>	160.57a	10.04a	30.63ab	201.24
		<i>P. rigida</i>	160.27a	15.43a	27.22ab	202.92
		<i>P. koraiensis</i>	163.66a	11.89a	34.88a	210.43
		<i>L. leptolepis</i>	159.93a	13.20a	23.76b	196.89
pH 5.0	A	<i>Q. spp.</i>	129.00a	6.60a	27.83a	163.43
		<i>P. rigida</i>	129.68a	6.53a	19.65b	155.86
		<i>P. koraiensis</i>	129.30a	5.36a	29.91a	164.57
		<i>L. leptolepis</i>	134.32a	5.91a	24.55ab	164.78
	AB	<i>Q. spp.</i>	148.08a	7.07a	29.72ab	184.87
		<i>P. rigida</i>	153.03a	8.21a	26.11bc	187.35
		<i>P. koraiensis</i>	132.68b	5.61a	37.01a	175.3
		<i>L. leptolepis</i>	132.14b	7.02a	21.85c	161.01

Values followed by the different letters within a column are significantly different according to the Duncan's new multiple range test ($p<0.05$). Each value is the mean of 3 determinations.

각 처리구에서 보면, 다른 원소보다 Ca 용탈이 현저하였으며, 특히 pH 3.0에서는 높은 Ca 용탈을 보였고, 인공산성우 처리에 따른 Ca 용탈의 변화양상은 대체로 처리 초기부터 서서히 증가하다가 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 이 결과는 pH 값이 높을수록 Ca 용탈은 급격히 감소한다고 한 大羽(1990)의 연구 결과와도 전체적인 경향이 일치하였다.

본 연구에서 염기성 양이온은 토양의 일차적인 산증화 물질로 인공산성우 유입 회수별 염기성 양이온(Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺)들의 합인 총 염기성 양이온(TBC; total base cations)의 활성 변화로 나타내었다. 인공산성우의 pH 수준과 임지에 따라 초기 용탈량은 차이가 있으나, 모든 처리에서 인공산성우의 유입회수가 증가함에 따라 염기성 이온(Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺)의 용탈량은 감소하는 경향을 보였다. 또한 산성우의 유입 산도가 높

을수록 염기성 양이온의 용탈량이 클 것이라는 예상과 같이, pH 5.0 처리에 비하여 pH 3.0과 pH 4.0 인공산성우 처리에서 총 염기성 양이온의 초기 용탈량이 더 커졌으며 이러한 경향은 토양산성도가 낮고 토양내 염기성 양이온 함량이 높은 임지일수록 뚜렷한 차이를 보였다(Table 2).

따라서 pH 3.0 처리에서 pH 4.0과 pH 5.0 처리보다 토양 용탈수 중 수소이온과 치환되는 염기성 양이온의 함량이 가장 높았다. 이중 Ca의 함량은 다른 이온보다 매우 높게 나타나고 있는데, 이는 모암으로부터의 Ca 공급의 영향으로 치환반응의 전 pH 처리에서 주로 Ca²⁺ 작용한 것으로 사료된다(Abrahamsen, 1975).

인공산성우 유입 회수별 용탈량을 합하여 총 용탈량으로 산출된 각 이온과 총 염기성 양이온(TBC)는

Table 2와 같다. 총 염기성 양이온(TBC)의 총 용탈량은 인공산성우 pH 3.0 처리의 경우 잣나무>리기다소>찰엽수>낙엽송 순이었다. 이 결과는 Ezaki(1996)가 침엽수 보다는 활엽수에서 산성완충능이 크다고 보고한 내용과는 다소 차이가 있었다. 또한 전 임지에서 A층보다 AB층 처리에서 총 양이온 용탈량이 높아 토심이 깊을수록 토양 산성화는 완만해짐을 알 수 있었다. 이러한 결과는 Fig. 2~4에서처럼 A층에 비해 AB층에서 산에 대한 염기 치환작용이 커지기 때문에 AI 용해량이 감소한데 기인한 것으로 판단된다.

3.2.3. AI 이온의 용탈 변화

일반적으로 산성 토양에서는 점토광질을 구성하고 있는 Aluminum의 일부 또는 유리 Aluminum 화합

물의 일부가 용해되어 Al^{3+} 로 나타난다. 이 Al^{3+} 은 다음과 같은 식에 나타낸 것과 같이 가수분해에 의하여 토양용액에 H^+ 을 공급함으로서 pH를 낮춘다(진현오 등, 1994). 따라서 각 임지간의 용해되어 있는 AI의 활성변화를 인공산성우 산도 처리별로 분석하였다.



인공산성우 pH 3.0 처리에서 유입회수가 증가함에 따라 토양 pH는 저하되고 있었고, 치환성 AI 함량은 큰 폭으로 증가되는 경향을 보이고 있었다. 이와 같은 인공산성우 처리에 의한 토양 pH의 저하는 이충화(1998)의 H^+ 부하량의 증가에 따라 토양 pH는 저하

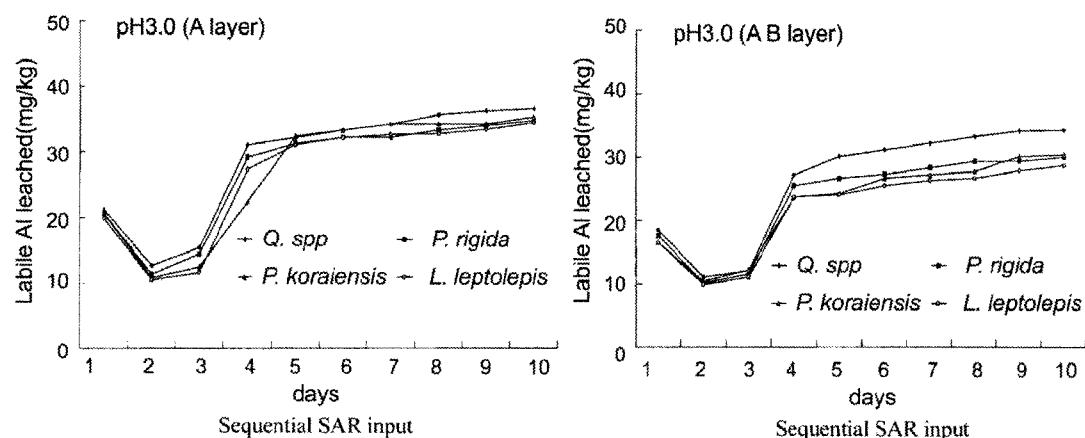


Fig. 5. Change in labile Al leached from two types of soil column as increase pH 3.0 simulated acid rain(SAR)-input into soils of each forest stand.

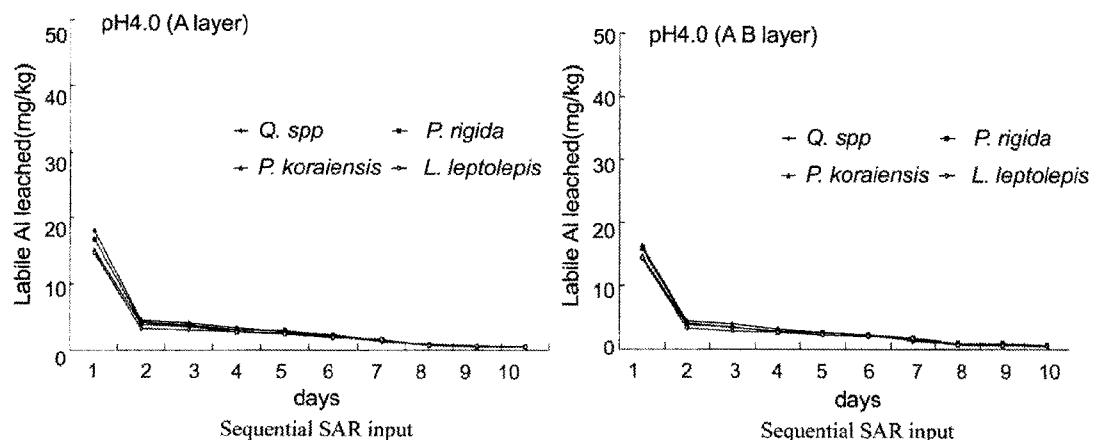


Fig. 6. Change in labile Al leached from two types of soil column as increase pH 4.0 simulated acid rain(SAR)-input into soils of each forest stand.

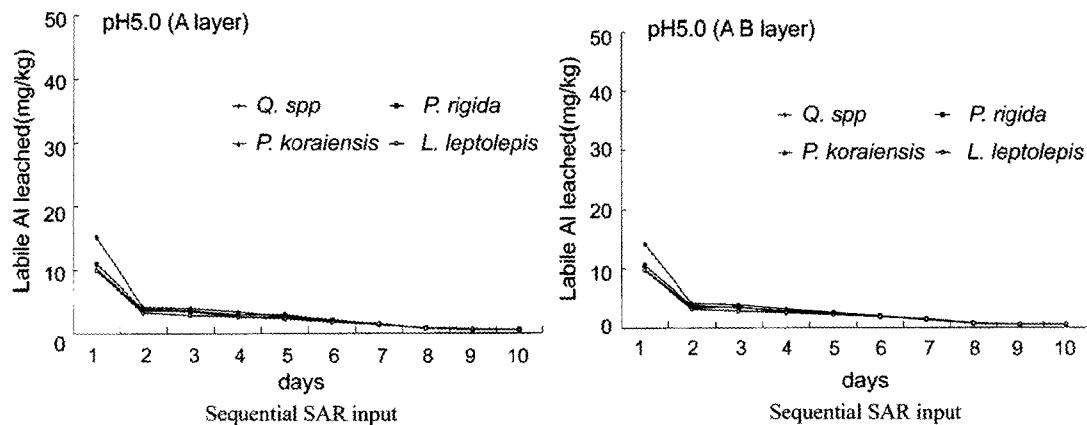


Fig. 7. Change in labile Al leached from two types of soil column as increase pH 5.0 simulated acid rain(SAR)-input into soils of each forest stand.

하고 그에 따라서 Al 및 Mn 농도가 증가하였다는 보고와도 일치하였다.

임지, 토심, 유입회수별 AI의 용탈 변화는 Fig. 5~7과 같으며, 활성 AI의 초기 용탈은 토양산성도가 높은 지역일수록, 인공산성우의 유입산도가 클수록 높게 나타났다. 또한 A층과 AB층간의 AI 용탈량도 소폭의 차이가 있었다. 인공산성우 pH 3.0 처리에서는 모든 임지에서 AI 활성 변화가 정의 관계를 나타내었는데 이는 pH 4.0과 pH 5.0에서의 용탈수와는 반대되는 경향이었으며, 총 염기성 양이온과도 반대되는 경향이 나타났다. 그리고 인공산성우 pH 3.0 처리에서는 변곡성이 나타나 염기 치환에 의한 산중화 기작에서 AI 용해에 의한 산중화 기작이 전이되는 과정이 명확히 구분되었다. 그러나 pH 4.0과 pH 5.0 처리에서는 이런 변곡성이 나타나지 않았다. 이는 염기치환 작용으로 광물질 토양의 AI 용해에 의한 산중화 작용이 지연된 결과로 판단된다.

IV. 적  요

본 연구는 경기도 광주군 퇴촌면 소재 경희대 연습림의 산림토양을 대상으로 인공산성우의 회수별 유입에 따른 산림토양의 완충능에 미치는 영향을 구명하고자 pH 3.0, pH 4.0, pH 5.0의 인공산성우를 하루에 1시간 간격으로 10회 유입하여 얻은 결과는 다음과 같다.

각 임지(활엽수, 리기다소나무, 잣나무, 낙엽송)의 토심별(0~15 cm, 15~30 cm) pH를 측정한 결과 모든 임지에서 토심이 깊을수록 토양 pH가 높았다. 또한 각

임지별 염기포화도를 살펴보면 리기다소나무 임지에서 17.42%로 가장 높게 나타났으며 C.E.C는 활엽수임지의 경우 29.87 me/100 g으로 가장 높았다. 인공산성우 회수별 유입 토양용탈수의 pH 변화를 보면 pH 3.0 처리에서 인공산성우 유입회수가 증가함에 따라 초기에는 일시적으로 높아지다가 다시 낮아지는 변곡성을 보였으며, 나머지 pH 4.0과 pH 5.0에서는 토양 용탈수의 pH가 비례적으로 증가하였다. 인공산성우의 pH 수준과 임지에 따라 초기 용탈량은 차이가 있으나 모든 처리에서 인공산성우의 유입회수가 증가함에 따라 염기성 이온의 용탈량은 감소하였다. 또한 pH 5.0 처리에 비하여 pH 3.0과 pH 4.0의 인공산성우 처리에서 총 염기성 양이온의 초기 용탈량이 더 커졌으며 이러한 경향은 토양 산성도가 낮고 토양의 염기성 양이온이 높은 임지일수록 뚜렷한 차이를 보였다. 활성 AI의 초기 용탈은 토양 산성도가 높은 지역일수록, 인공산성우의 유입산도가 클수록 높게 나타났다. 또한 토심별로 확인해 본 결과 A층과 AB층간의 AI 용탈량도 소폭의 차이가 있음이 확인되었다. 인공산성우 pH 3.0 처리에서는 모든 임지에서 AI 활성 변화가 정의 관계를 나타내었는데 이는 pH 4.0과 pH 5.0에서의 용탈수와는 반대되는 경향이었으며, 총 염기성 양이온과도 반대되는 경향이 나타났다.

인용문헌

김태훈, 정진현, 구교상, 김규현, 차순형, 김준섭, 이충호
구창덕. 1998: 산림토양 분류에 관한 연구. 임업연구

- 연구보고 **37**, 19-34.
- 민일식, 김명희, 송석환. 1999: 모암별 토양의 인공 산성우 처리에 대한 완충능. 중부대학교 자연과학연구소 8권.
- 박재현. 1995: 산림유역에 있어서 계류수질 평가기준 정립에 관한 고찰(1). 자연보존 **92**, 23-38.
- 이수욱, 민일식. 1989: 대기오염 및 산성우가 산림생태계의 토양 산도 및 양료 분포에 미치는 영향. 한국임학회지 **78**, 11-25.
- 이수욱, 장관순. 1987: 한국내 산성우의 장거리 오염원에 관한 연구. 충남대학교 환경연구보고 **5**, 1-14.
- 이충화. 1998: 토양산성화가 소나무 묘목의 생장 및 영양 상태에 미치는 영향. 한국임학회지 **87**(4), 611-619.
- 주영특, 김영채. 1994: 인공산성우가 산림토양의 화학적 특성에 미치는 영향. 한국임학회지 **83**(3), 280-285.
- 진현오, 이명종, 신영오, 김정제, 전상근. 1994: 삼림토양학. 향문사. 54-63.
- 진현오, 정덕영, 이충화. 1999: 잣나무 잎분에 있어서 강우 수질의 이동 특성. 한국농림기상학회지 **1**, 110-118.
- 한심희, 이경준. 1997: 산성우에 의한 토양 산성화에 대한 4개 수종의 완충능력과 수관으로부터 양료 용탈 변이. 한국임학회지 **86**(3), 342-351.
- 大羽 裕. 1990: 大気汚染と酸性雨による土壤汚染の酸中和能の評価. 人間環境系研究報告集. 文部省. 113-131.
- 佐藤一男, 池田英史, 安池慎治. 1994: 土壤の酸中和能. 電研研レピュ. 「酸性雨の影響評価」. Denchuken Review **3**, 62-65.
- Abrahamsen, G., A.O. Stuanes and B. Tveite. 1994: Long term experiments with acid rain in norwegian forest ecosystems. Springer-Verlag. 342pp.
- Clayton, J.L., D.A. Kennedy and T. Nagel. 1991: Soil response to acid deposition, Wind, River, Mountains, Wyoming: II. Column leaching studies. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **55**, 1433-1439.
- Foy, C.D. 1974: Effects of aluminum on plant growth. In E.W. Carson.(eds.) *The plant root and its environment*. University Press of Virginia. Charlottesville. 601-642.
- Freedman, B. 1986: Environmental ecology. Dalhousie University Press. Halifax. 81-123.
- Huettl, R.F. 1988: "New type" forest declines and restabilization /revitalization strategies. *Water, Air and Soil Pollution* **41**, 95-111.
- Hutchinson, T.C. 1986: Effects of acid leaching on cation loss from soil. Page 483-497 in Hutchinson, T.C. and M. Havas (eds.), *Effects of Acid Precipitation on Terrestrial Ecosystems*. Plenum Press.
- Miller, D.M., M.E. Sumner and W.P. Miller. 1989: A comparison of batch- and flow-generated anion adsorption isotherms. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **53**, 373-380.
- Pylypec, B. and R.E. Redmann 1984: Acidbuffering capacity of foliage from boreal forest species. *Can. J. Bot.* **62**, 2650-2653.
- Reuss, J.O. 1983: Implications of the calcium-aluminum exchange system for the effect of acid precipitation on soils. *J. Environ. Qual.* **12**(4), 591-595.
- Seiler, J. and E. Matzner. 1995: Spatial variability of throughfall chemistry and selected soil properties as influenced by stem distance in a mature Norway spruce (*Picea abies*, Karst.) stand. *Plant and Soil* **176**, 139-147.
- Tsugio Ezaki. 1996: Change in pH values on the runoff water of the rainfall by forest. Northeast AsianForests in 21st Century in '96 International Symposium on Forest Science, The Institute of Forest Science, Kang-won National University, October **24**, 37-46.
- Ulrich, B. 1989: Forest decline in ecosystem perspective. In Proceedings International congress on forest decline research. 21-41.