

人工酸性비 撒布에 의한 山林土壤의 土深別 酸度 및 電氣傳導度の 變化¹

李憲浩² · 金載基²

Variations of pH and Electrical Conductivity at Different Depths of Forest Soil after an Application of Artificial Acid Rain¹

Heon-Ho Lee² and Jae-Gi Kim²

요 약

본 연구는 팔공산 상류 水源地域에서 인공산성비 酸度の 변화에 따라 산림토양내를 통과한 토양수의 pH와 電氣傳導度(EC)를 분석하여 임지 및 토심별 그 변화 특성을 파악하고, 나아가 산림토양과 수질 정화기능과의 관련을 구명하고자 실시하였다. 시험구역의 상수리나무 및 낙엽송임지의 토양에서 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 토심별(0~5cm, 0~10cm, 0~20cm) 평균 토양pH는 상수리나무임지에서 4.8, 4.3, 4.5로, 그리고 낙엽송임지에서는 각각 5.15, 5.19, 5.21로 나타나 상수리나무임지에 비해 낙엽송임지에서 전반적으로 토양pH의 값이 높았다. 낙엽송임지의 토양에서는 토심이 깊을수록 토양pH가 다소 높았다.
2. 상수리나무임지에 비해 낙엽송임지의 토양에서 상대적으로 토양수 pH가 높았다. 이는 자연임지 자체의 토양 pH가 높은 것과 O층 두께의 차이에 의한 것으로 판단되었다.
3. 산림토양의 pH中和能力은 인공산성비 살포후 상당한 시간이 경과하였을 때 크게 발휘되었다. 일정시간이 경과한 후에 각 임지에서 토양수pH의 최대값이 나타났으며, 그 이후는 pH값이 더 높아지지 않았다.
4. 토양수EC의 특성은 pH3.0의 인공산성비 처리에서 시간의 경과에 따라 EC는 두 임지에서 모두 緩慢한 증가를 보였으며, pH5.0의 경우는 이와 반대로 EC가 시간의 경과에 따라 처음부터 값이 완만하게 감소하는 것으로 나타났다. 이는 토양 내에서 pH의 처리 범위에 따라 양이온의 溶脫量과 완충작용을 主導하는 이온이 달라지기 때문으로 추정되었다.
5. 토심별 토양수EC값의 변화 경향에서 판단할 때, 두 임지에서 모두 토심이 깊어질수록 산림토양의 완충능은 증가하는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

This study was carried out to analyze the characteristics of pH and electrical conductivity(EC) at each stand and soil depth by the artificial acid rain sprinkling in the upper watershed of Mt. Palgong and furthermore to clarify the relationships between forest soil and water purification function. The results obtained in the experimental sites of *Quercus acutissima* and *Larix leptolepis* were summarized as follows ;

1. The average soil pH at each soil layer(0~5cm, 0~10cm, 0~20cm in depth) were 4.8, 4.3 and 4.5 for the *Quercus acutissima* soil and 5.15, 5.19 and 5.21 for the *Larix leptolepis* soil. The soil pH of *Larix leptolepis* stand was higher than that of *Quercus acutissima* stand. In addition, the deeper soil depth was, the higher soil pH was.

¹ 接受 1999年 9月 13日 Received on September 13, 1999.

² 영남대학교 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, Youngnam University, Kyongsan, 712-749, Korea

2. The soil solution pH of *Larix leptolepis* stand was higher than that of *Quercus acutissima* stand. It was due to the high soil pH of *Larix leptolepis* stand itself and the difference of humus layer thickness.
3. It took time to show the pH buffer capacity of forest soil after application of artificial acid rain in the forest soil. The pH value of soil solution in each experimental site was maximum at this time and then did not increase pH value any more.
4. Soil solution EC increased slowly with pH 3.0 treatment, but it decreased slowly with pH 5.0 treatment over time. It was assumed that the amount of the leached cation and the ions leading buffer action changed at the stands with ranges of acidity treatment.
5. From the trend of soil solution EC at each soil depth, it seemed that the water buffer capacity of the forest soil increased as the soil depth increased.

Key words : Water quality, pH, Electrical conductivity, Forest soil, *Quercus acutissima* and *Larix leptolepis* stand

서 론

산림은 각종 환경오염을 淨化 또는 緩衝시키는 기능이 있어서 현대의 고도 산업화 과정에서 필연적으로 배출되는 각종 오염물질로부터 인간의 삶을 쾌적하게 유지하는데 크게 기여하고 있다. 특히 산림토양은 산림계 밖에서 산림계안으로 들어오는 임외강우의 수질을 완충시키는데 탁월한 효과를 발휘하는 것으로 알려져 있다. 최근 우리나라는 전국적으로 강우pH가 해를 거듭할수록 낮아지는 경향이 있으며, 더구나 국토면적의 약 54%가 산성암인 화강암류의 모암으로 구성되어 있어 앞으로 산림생태계에 산성비의 피해가 심각하게 나타날 것으로 예상된다(조성진 등, 1992).

산성비에 의한 수소이온이 대량 流入된 산림생태계는 임목생장에 필수적인 양이온들을 置換 또는 溶脫시키기 때문에 임목생육환경의 매우 중요한 요소인 산림토양의 地力を 약화시킨다(이수옥, 1989). 산지에서 산성비가 樹幹流水로 산림계 내에 장기간 유입될 경우 수목 주변의 토양 산성화의 촉진 원인이 되기도 하며(Beniamino 등, 1991), 수관통과수와 수간유하수가 토양의 화학적 조성에 미치는 영향은 수중에 따라 차이가 크다. 산림의 물순환과정별로 각 유출수량의 pH 변화를 측정했을 때 pH가 낮은 임외강우라도 산림지를 통과하여 계류에 도달하면 계류수는 대부분이 pH6~pH8 정도로 안정된다(이현호와 전재홍, 1995). 산림계 밖의 임외강우가 산림지의 樹冠層을 통과하면서 화학적 조성이 변하여 대개 활엽수보다 침엽수에서 pH가 더 낮아지며(이현호, 1997), 또한 임외강우가 토양 pH에 영향을 미쳐

산악지역에 비하여 도시와 공업지역의 토양에서 낮게 나타난다(김동엽 등, 1996). Ulrich 등(1980)은 산성 퇴적물에 대한 산림생태계의 정화기능에는 수관층에 의한 1차적인 여과기능과 오염물질의 吸着 및 토양층에 의한 吸收, proton consumption 효과 등이 있으며, 그 가운데 산림토양의 완충작용은 매우 중요한 요소라고 강조한 바 있다.

토양에 산성비가 들어가게 되면 산성비의 구성 성분과 토양 내에 있는 광물의 종류에 따라서 흡착, 치환되는 성분이 다르게 나타나며(Huete 등, 1984), 토양의 산성화 과정에서 일어나는 토양 내 염기와 산화물질의 이동은 주로 토양 내에 있는 대응 음이온에 의해 중성염의 형태로 된 후 토양 수분 이동에 따라서 일어나게 되는데(Tan, 1993), 인공산성비를 撒布하여 토양 및 산림생태계에 미치는 영향을 밝힌 연구로서 Olson 등(1982)은 Al의 溶脫量을 조사하여 산성비에 대한 토양의 저항력을 구하고, 저항력이 낮은 토양은 토양pH가 낮고 급경사지와 모암이 산성이 경우라고 하였다. 또 河野吉久 등(1996)은 인공산성우를 이용하여 pH와 電氣傳導度(EC)와의 관계를 구명하였으며, Killham 등(1983)은 산성비로 인해 토양미생물의 활동은 토양 표층부가 가장 큰 영향을 받으며, pH2.0의 인공산성비를 살포하였을 때 미생물의 호흡기작이 억제되었다고 하였다. 민일식(1989)은 인공산성비 처리에 의한 토양의 완충능 조사에서 서울지역의 산림에서는 pH3.0 이상의 인공산성비에 대해서는 양이온 치환이 緩衝作用을 主導하였으며, pH2.0의 경우는 Al 및 Si가 토양의 완충작용을 주도한다고 하였다. 주영특과 김영채(1994)는 토양종류에 따른 인공산성비실험에서 置換性

鹽基에 의한 수소이온의 소비능력이 가장 큰 산림 토양은 암적색 토양이며, 이어서 화산재 토양, 적 황색 토양, 회갈색 토양, 갈색 토양의 順으로 나타난다고 한 바 있다.

이와 같이 산림은 산성비와 산성 건성강하물을 걸러주는 필터 역할을 하고 있어서 자연생태계 중 정화기능이 큰 것으로 알려져 있으며, 최근에 이르러 산성비에 대한 산림토양의 완충능에 대한 다수의 연구논문이 발표되고 있다(김태주, 1993; 박재현, 1995; 유정환 등, 1995; 이승우와 이수옥, 1995; 정용호 등, 1997; 한신희와 이경준, 1997). 그러나 임의강우 또는 인공산성비가 산림토양의 어느 부위에서 주로 이러한 기능이 발휘되는지, 또 산림토양의 土深別로 그 기능의 차이가 어떻게 나타나는지 등에 관해서는 아직 연구가 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 상수리나무임지와 낙엽송 임지의 산림토양에 인공산성비를 살포하여 각 토양의 土深別로 pH와 EC를 측정하고, 두 임지의 토양 토심별로 pH 및 EC값의 경시적 변화와 동태를 분석하였다.

본 연구의 목적은 우리나라의 주요 樹種인 상수리나무와 낙엽송 임지의 산림토양을 대상으로 하여 인공산성비를 살포하여 각 토양의 토심이 pH와 EC값의 변화에 미치는 영향과 두 임지에서의 변화 특성을 분석하여 산림토양의 토양완충능과의 관련을 구명하는데 있다.

재료 및 방법

1. 조사지 선정 및 연구 재료

경상북도 경산시 와촌면 대한리(동경 128° 44' 00"~128° 44' 30", 북위 35° 59' 00"~35° 59' 30") 소재 팔공산유역을 야외 조사지로 선정하고 (Fig. 1), 해발 500~600m의 산복에 생육하고 있는 상수리나무(*Quercus acutissima*; Q)와 낙엽송 (*Larix leptolepis*; L) 임지의 산림토양을 공시재료로 선정하였다. 조사지의 주요 林相은 소나무와 참나무류 등의 천연혼효림과 낙엽송의 조림지로 구성되어 있으며, 또한 이 지역의 최근 연평균 강수량은 1,132mm로 우리나라의 연평균강수량과 비슷하였다. 상수리나무 지역은 표고가 570m인 사양토 지역으로 O층은 7.5cm, 방위 340°, 사면경사 33°, 山中式 토양경도계를 사용한 토양경도는 1.43kg/cm³였다. 주요 식생은 중·상층에 있어 수고가 8.5~9m, 흉고직경이 12~16cm인 신갈,

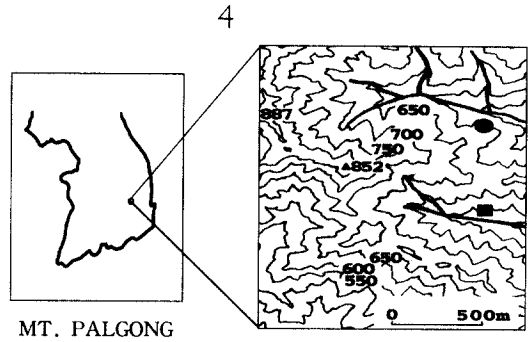


Fig. 1. Location map of experimental sites

- : *Quercus acutissima* stand
- : *Larix leptolepis* stand

왕벚나무로 구성되어 수관폭은 1.5~2.5m였다. 상층에 있어서는 수고 10~12m, 흉고직경이 15~22cm인 상수리나무로 구성되어 수관폭은 2~2.5m였다.

낙엽송지역은 표고가 520m인 사양토 지역으로 O층은 3cm, 방위 200°, 사면경사 27°, 토양경도는 1.88kg/cm³였다. 주요 식생은 중·하층에 있어 수고가 2~7m, 흉고직경이 3~3.5cm, 수관폭이 1.5~2m인 낙엽송, 굴참나무, 생강나무로 구성되어 있고 상층에 있어서는 수고가 10~12m, 흉고 직경이 11~13cm, 수관폭이 2.5~3m인 낙엽송으로 구성되어 있다.

2. 연구방법

대상 산지에서 상수리나무와 낙엽송 임지의 토양을 주문제작한 探土圓筒管으로 채토하여 실내로 운반하고, 실내에서 製造한 pH3.0 및 pH5.0의 인공산성비를 채토한 원통관에 각각 살포하여 두 임지의 토심별 pH와 EC를 수 차례 측정하였다. 본 연구에 이용한 토양 채토장비와 조사방법, 인공산성비 제조법 및 인공살포장치 그리고 pH와 EC의 측정방법은 다음과 같다.

(1) 토양시료 채토장비와 조사방법

본 조사지에서는 토양 층위별 구분이 불명확하여 단순히 토심의 변화에 따른 pH와 EC값의 변화를 측정할 목적으로, 조사지의 토심 크기는 0~5cm, 0~10cm, 0~20cm의 3레벨로 하여 채토하였다. 샘플토양 채토는 Fig. 2에 표시한 것처럼 직경 10.5cm, 두께 3mm의 상하입구가 열린 원통형 스테인레스 스틸관을 주문 제작하여 사용하였다. 이때 토양에 박히는 원통관의 입구쪽은 날을 세워

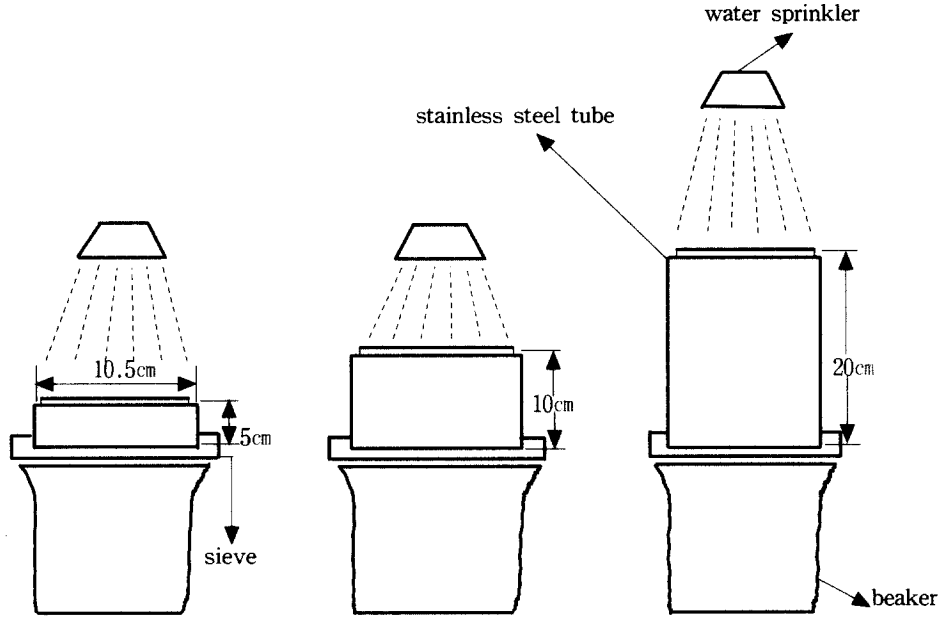


Fig. 2. Schematics of artificial acid rain spray

서 쉽게 토양에 挿入되도록 하였다. 또한 현장에서 토양을 채토할 때는 가급적 원통관 주변의 토양을 攪亂시키지 않도록 주의하면서 채토하였다. 분석에 사용한 토양시료는 상수리나무임지와 낙엽송임지의 2임지에서 각각 2개의 plot를 선정하고 각 plot에서 3레벨의 토심별로 4곳에서 토양샘플을 채토하였다. 따라서 총 48개(2×2×3×4=48)의 토양시료를 분석에 사용하였다.

(2) 인공산성비의 제조와 살포

산성비 제조는 일반적으로 사용하고 있는 工團 및 도시지역의 강수성분 측정자료를 기초로 조절하는 방법(이수욱, 1989)을 이용하였다. 오중환 등(1988)이 산성비의 주성분인 SO_4^{2-} 와 NO_3^- 에 대해 공단지역과 대도시지역에서 내리는 강수성분을 조사한 결과 두 지역에서 각각 9.72ppm, 2.31ppm과 7.88ppm, 2.22ppm으로 보고한 바 있어, 본 연구에서는 이 결과를 기초로 하여 0.1N의 황산과 질산을 4:1의 비율로 제조하였다. 산림토양에서는 산성도의 크기에 따라 개별 이온의 溶脫水準이 달라서 토양pH와 토양EC에 영향을 미치므로, 본 연구에서는 제조한 혼합용액에 증류수를 섞어서 pH3.0과 pH5.0의 두 가지 형태의 인공산성비를 만들었다. 이 두 형태의 산성도는 기존의 연구에서 자주 사용하는 값으로 산림토양의 완충능을 조사하는데 적당한 농도로 판단하였다.

산지에서 채토해 온 토양시료에 대해 실내에서 인공산성비를 살포하기 위한 人工撒布裝置를 제작하였다. 인공산성비 撒布強度는 본 연구의 결과 導出에 거의 영향을 주지 않는 것으로 판단하고 단순한 물조리개가 부착된 분무기를 사용하였으며, 이때 總撒布量의 결정에 유의하였다. 인공산성비 총살포량의 결정은 우리 나라 연평균강수량을 약 1,200mm로 보고, $P=10 \cdot V/\pi \cdot (D/2)^2$ 의 공식(土平井八十二, 1977)으로 산출하였다. 단, P; 총살포량(mm), D; 원통의 직경(cm), V; 원통의 직경이 D(cm)일 때 1년간 강우량의 체적(ml)이다. 우리 나라는 강우 특성상 雨期인 6~8월에 연강우량의 약 40~60%가 집중하여 내리므로 인공산성비 살포량은 여름철 집중강우량에 해당하는 연강우량의 약 40%(480mm)를 기준으로 하였다.

(3) pH와 EC의 측정 및 분석

pH는 수질측정시 반드시 필요한 기본인자이며, EC도 물이 함유하고 있는 이온 溶解鹽의 농도를 종합적으로 표시해 주므로 수질의 변화상태를 쉽게 파악할 수 있는 중요한 인자이다(Whitehead 등, 1988).

상수리나무와 낙엽송임지의 산림토양pH의 측정은 먼저 주문제작한 3레벨의 토양채토 원통관으로 채토하여 낙엽과 뿌리부분을 제거한 후에 충분히 風乾시킨다. 이어서 풍건토양을 2mm 토양체

(sieve)로 걸러서 통과한 토양과 증류수의 비율 1 : 5로 한懸濁液에 대하여 초차전극법으로 토양 pH를 측정하였다(농촌진흥청, 1988).

토양을 채토한 원통관에 인공산성비를 일정한 규칙에 의하여 살포하고 약 2시간이 경과한 후에 비이커에 채수된 토양수를 여과지로 거른 후 바로 pH와 EC를 측정하였다. pH와 EC의 측정은 각각 Mettler-Toledo社에서 제작한 check mate 90과 YSI社의 Model 30/10FT를 사용하였다.

두 임지의 토양pH와 토양수pH, 토양수EC는 각각 임지별 그리고 토심별로 평균값을 이용하여 분석 비교하였다. 또한 시간의 경과에 따른 토양수의 pH와 EC값의 經時變化는 총 토양시료 48개에 대하여 측정한 평균값을 이용하여 분석하였다. 두 임지에서 채토한 산림토양에 인공산성비를 약 56시간 간격으로 총 5회에 걸쳐 168시간 동안 살포하였으며, 1회당 살포량은 약 830ml이며, 24mm/hr의 살포강도로 약 4시간 동안 계속 살포하였다. 이때 初期實驗으로서 원통관 토양시료에 최초로 인공산성비를 살포하여 수 시간이 경과한 후 원통관 토양샘플을 통과한 토양수의 pH 및 EC를 측정하여 초기값을 측정하고, 이어서 두 번째부터 56시간 간격으로 총 168시간에 걸쳐 각 일정 시간별로 수 차례 pH와 EC값을 각각 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 임지 및 산림토양의 토심별 토양pH 특성

산림토양의 pH는 주로 모암과 임지의 낙엽 부식으로 발생하는有機酸에 의해 지배된다. 특히 부식이 가지는 Carboxyl基, Phenol성 水酸基 또는 Amino基 등에서 解離되는 H⁺로 인해 산성을 나타내며(Bohn 등, 1979), 토양에 산성비가 유입되면서 수소이온에 의해 염기이온들이 분해되어 토양pH가 새로운 균형을 이루는 것이 산림토양의 특성이다. 팔공산 야외 조사지에서 토심별 토양 pH를 측정한 결과, 상수리나무임지에서는 토심 0~5cm, 0~10cm, 0~20cm의 경우 평균 토양pH는 각각 4.8, 4.3, 4.5로 나타났으며, 낙엽송임지에서는 각 토심별 평균 토양pH가 5.15, 5.19, 5.21로 나타나 상수리나무임지보다 전체적으로 높은 값을 보였다(Fig. 3). 이 결과는 같은 모암지역일 경우에 활엽수임지의 토양이 침엽수임지 토양에서 보다 큰 proton consumption효과에 의해 영향을

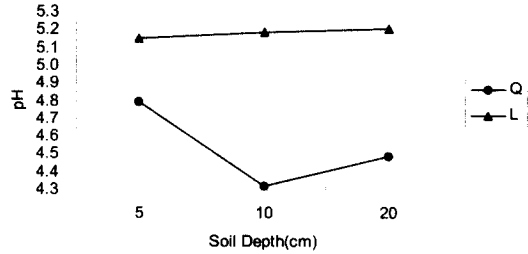


Fig. 3. The pH value of forest soil by soil depth
Q : *Quercus acutissima* stand
L : *Larix leptolepis* stand

pH가 높게 나타난다(이수옥과 장관순, 1987)는 보고와는 반대의 경향이 있었다. 그 이유는 본 실험에서는 토양pH의 측정시에 토층별로 구분하지 않고 단순히 토심별로 구분하여 표토의 낙엽층과 A₀층을 거의 제거하지 않고 측정을 하였기 때문으로 생각된다. 이로 인해 두 임지간의 표토층의 유기물량의 차이로 부식질에서 분리되는 유기산이 토양pH에 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한 이 측정 결과는 낙엽송임지와 상수리나무임지에 있어서 대략적인 토양pH값의 범위로 볼 수 있다.

Fig. 3에 표시한 것처럼 상수리나무임지와 낙엽송임지에 있어서 토심의 크기에 따른 토양pH의 변화 경향은 낙엽송임지에서는 토심에 관계없이 토양pH가 거의 일정한 값으로 나타났으며, 상수리나무임지에서는 토심이 깊어질수록 토양pH가 낮은 값을 나타내었다. 일반적으로 산지에서 산림토양pH가 낮아진다는 것은 토양완충능이 약화되어 치환성염기의 생성대신에 양료의 결핍이 일어나는 것에 기인하는 것으로 판단된다(Ulrich, 1980).

2. 산림토양의 토심별 토양수pH 특성

두 임지에서 토심별로 채토해 온 총 48개의 원통관 토양시료에 인공산성비를 살포한 후 시간의 경과에 따른 토양수pH의 측정 결과를 임지별 및 3레벨의 토심별로 평균하여 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 초기값은 원통관 토양시료에 최초로 인공산성비를 살포하여 數時間이 경과한 후 원통관 토양샘플을 통과한 토양수의 pH를 측정된 값을 가르킨다. 두 번째부터의 명기된 시간은 이 초기값을 얻은 후 다시 56시간 간격으로 인공산성비를 살포하고 그 때 채수한 토양수의 pH값이다. 인공산성비 pH3.0과 pH5.0의 살포시

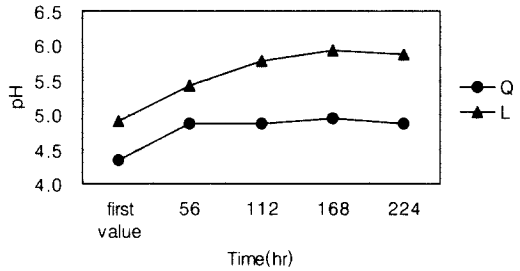


Fig. 4. The change of pH value by time in *Quercus acutissima* and *Larix leptolepis* after artificial acid rain(pH 3.0) treatment

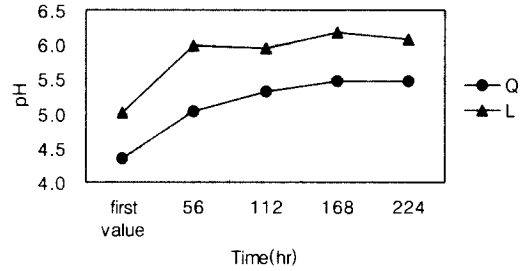


Fig. 5. The change of pH value by time in *Quercus acutissima* and *Larix leptolepis* after artificial acid rain(pH 5.0) treatment

Fig. 6. The difference of pH value by soil depth in *Quercus acutissima* and *Larix leptolepis* after acid rain(pH 3.0) treatment

양쪽 모두 시간의 경과에 따라 약 168시간까지는 토양수pH가 증가하다가 그 이후는 소폭 감소 또는 일정한 값으로 安定되었다. 또한 초기값과 56시간 경과후의 pH값에는 차이가 있었는데, 이는 초기값을 얻기 위한 초기실험에서는 건조상태에서 인공산성비를 살포하였으나 이후 56시간 후의 두 번째 값은 원통관 토양샘플이 충분히 飽水되어 있는 상태에서 인공산성비를 살포하여 얻은 것에 起因하며, 즉 토양샘플의 토양수분 함수량의 차이 때문으로 판단된다. 이 결과로부터 산성비로 인한 산림토양의 pH중화능력은 상당한 시간이 경과 하였을 때 크게 發揮되는 것으로 나타났다. 또한 상당한 시간이 경과하였을 때 두 임지에서 토양수pH의 최대값이 존재하는데 이 값이 pH에 대한 각 임지의 토양완충능의 限界值로 판단된다. 그리고 두 임지에 pH3.0과 pH5.0의 인공산성비를 살포했을 때는 두 처리에서 모두 상수리나무임지보다 낙엽송임지의 토양에서 전체적으로 높은 값을 維持하면서 經時變化를 하였다. 한편 박재현(1997)은 토양수 pH를 측정된 결과 리기다소나무림에서 pH 5.68~5.79, 뱃나무림에서 6.47~

Fig. 7. The difference of pH value by soil depth in *Quercus acutissima* and *Larix leptolepis* after acid rain(pH 5.0) treatment

6.49로 나타나서 침엽수인 리기다소나무림에서 토양수 pH가 낮다고 보고한 바 있다.

두 임지의 토양을 대상으로 pH3.0의 인공산성비를 살포하고 토심과 토양수pH와의 관계를 구하여 Fig. 6에 나타내었다. 상수리나무임지의 토양에서는 토심이 깊어짐에 따라 토양수pH가 소폭으로 증가하였다. 이 결과는 박재현(1997)이 뱃나무와 리기다소나무임지의 토양층 A와 토양층 B에서 토양수 pH를 측정된 결과, 토심이 깊을수록 토양수 pH가 다소 높았다는 연구결과와 일치하는 하나, 낙엽송임지의 토양에서는 상대적으로 높은 값을 유지하면서 토심별로는 반대로 소폭 감소하는 경향이 있었다. 두 임지에서의 토양수pH의 평균값은 각각 4.8과 5.6으로 관측되어 낙엽송임지에서 높은 값으로 나타났다. pH 5.0의 인공산성비를 살포하였을 경우도 Fig. 7에 표시한 것과 같이 pH3.0의 경우와 마찬가지로 상수리나무임지에서 토심이 깊어짐에 따라 토양수pH가 소폭으로 증가하였으며, 또한 초기값이 상당히 높게 나온 것이 특징적이다. 이것은 강수에 포함되어 있는 수소이온이 산림토양을 통과할 때에 Ca^{2+} ,

Mg²⁺ 등 염기성의 금속이온이 치환되어 유출수의 pH가 안정된다는 보고와 관련이 깊다(只木良也等, 1982). 따라서 토심이 깊어질수록 염기성 금속이온의 양이 많은 것에 기인하는 것으로 판단된다.

이와 같이 인공산성비를 살포했을 때 낙엽송임지에서 상대적으로 토양수pH가 높은 것은 자연임지의 토양pH가 높은 점과 O층 두께의 차이에 의한 결과로 추정된다. 이 결과로 산성비가 林床으로 유입되면서 임상에 존재하는 이온물질 등이 첨가되어 이온농도는 높아지게 되지만, 토양 내에 존재하는 점토물질이나 孔隙 등에 의해 吸着 또는 置換되어 산도가 낮아지는 것으로 판단된다(이현호와 전재홍, 1995).

이 두 결과로부터 상수리나무임지나 낙엽송임지에서 산성비로 인한 토양수pH가 크게 중화되는 것을 알 수 있으며, 前者는 토심이 깊어질수록 pH의 중화기능이 증가하는 것으로 나타났으나 後者는 토심에 따른 pH의 변화에 뚜렷한 경향이 나타나지 않았다. 낙엽송임지에서의 결과는 유관식(1998)이 pH4.0과 pH6.0의 인공산성비를 사양토와 양토에 대해 토심별로 살포한 결과, 모두 토심별로 큰 차이가 없었다는 연구보고와 비슷한 경향을 보였으나, Tsugio Ezaki(1996)가 침엽수보다는 활엽수에서 산성완충능이 크다고 보고한 내용과는 다소 차이가 있었다. 이와 같이 토심에 따른 토양수pH값에 명확한 차이가 나타나지 않는 것은 본 실험방법에 있어서 토양샘플로 採擇한 土深間의 간격이 너무 좁았었던 것도 한 원인으로 생각된다.

3. 산림토양의 토심별 토양수EC 특성

상수리나무와 낙엽송임지에서 採土해 온 토양

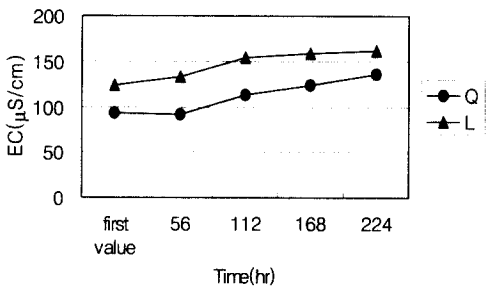


Fig. 8. The change of EC value by time in *Quercus acutissima* and *Larix leptolepis* after artificial acid rain(pH 3.0) treatment

샘플에 pH3.0의 인공산성비를 일정시간 간격으로 계속 살포한 후 시간의 경과에 따른 EC값의 변화를 조사하여 Fig. 8에 나타내었다. 두 임지의 토양에서 시간의 경과에 따라 대부분의 토양수 EC값이 90~160 μS/cm의 범위 내에서 모두 완만한 증가를 하였으나, 두 임지를 비교하면 상수리나무임지보다 낙엽송임지 토양에서 토양수EC가 높은 값을 유지하면서 증가하였다. 낙엽송임지의 토양에서 토양수EC가 평균적으로 약 35 μS/cm 높게 나타났다. 본 실험에서는 인공산성비를 약 168 시간까지 살포하여 토양수EC값을 측정하였으나 그 이후의 토양수EC값은 점차 일정한 값에 接近하였다.

pH5.0의 인공산성비를 살포하였을 때는 이와 반대로 살포시간의 경과에 따라 토양수EC값이 25~65 μS/cm의 범위 내에서 살포초기부터 완만하게 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 9). 이와 같이 두 인공산성비 살포에서 토양수EC값이 두 임지의 토양에서 각각 다른 경향을 보이는 것은, Ulrich(1980)의 보고처럼 토양 내에서 인공산성비 pH의 처리범위에 따라 양이온의 용탈량을 주도하는 이온이 달라지기 때문인 것으로 생각할 수 있다. 또한 인공산성비 처리범위에 따라 토양수EC 값이 크게 다른 것도 pH의 크기가 양이온의 용탈량을 좌우하기 때문으로 판단된다. 이 결과는 이현호(1997)가 산성비가 임지 내 토양으로 유입되면서 林相에 존재하는 이온물질 등이 첨가되어 이온농도가 높아지게 되고 토양 내에 존재하는 점토물질이나 孔隙 등에 의해 吸着 또는 置換되는 과정에 있어서 치환된 무기이온들에 의해 EC값이 높아진다고 한 연구보고와 같은 경향을 나타내었다.

pH3.0의 인공산성비를 두 임지에서 채토해 온

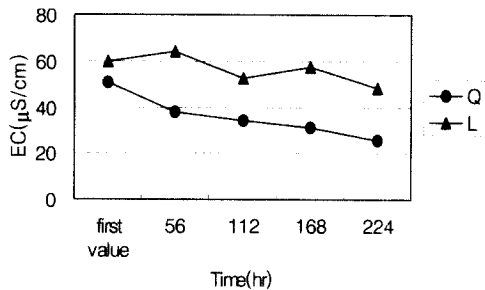


Fig. 9. The change of EC value by time in *Quercus acutissima* and *Larix leptolepis* after artificial acid rain(pH 5.0) treatment

Fig. 10. The difference of EC value by soil depth in *Quercus acutissima* and *Larix leptolepis* after acid rain(pH 3.0) treatment

다수의 토양샘플에 살포하여 토심별 토양수EC값의 변화를 조사한 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 상수리나무임지의 토양에서 토심별 토양수EC는 토심 0~5cm, 0~10cm, 0~20cm에서 각각 111 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 126 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 98 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (평균 112 $\mu\text{S}/\text{cm}$)로 나타났다. 낙엽송임지의 토양에서는 각 토심별로 166 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 159 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 113 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (평균 146 $\mu\text{S}/\text{cm}$)로 나타나 상수리나무임지의 토양에서보다 높은 값이 높았다. 이 결과는 박재현(1997)과 이현호(1997)가 침엽수림 보다 활엽수림의 임내우 EC값이 낮았다는 연구결과와 관련이 깊은 것으로 판단된다.

한편, pH5.0의 인공산성비를 두 임지에서 채토해 온 토양샘플에 살포한 결과는 Fig. 11에 나타내었다. 상수리나무임지의 토양에서 토심별 토양수EC는 토심 0~5cm, 0~10cm, 0~20cm에서 각각 35 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 39 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 34 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (평균 36 $\mu\text{S}/\text{cm}$)이었다. 낙엽송임지의 토양에서는 각 토심별로 53 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 45 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 72 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (평균 56 $\mu\text{S}/\text{cm}$)로 나타나 상수리나무임지의 토양에서보다 높은 값이 측정되었다. 또한 상수리나무임지의 토심0~20cm의 경우를 제외하고는 pH3.0의 처리 때와 마찬가지로 토양수EC값은 토심이 깊어질수록 전반적으로 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 산성비가 임상을 거쳐 산림토양 내로 유입되면서 얇은 표토층에서는 임상에 존재하는 이온물질 등이 첨가되어 이온농도가 높아져서 토양수EC값이 높아지나, 산성비가 깊은 토양 내로 유입할수록 토양 내에 존재하는 점토물질이나 공극 등에 의해 흡착 또는 치환되는 무기이온량이 감소하여 EC값은 상대적으로 낮아지는 것(이현호, 1997)으로 판단된다. 따라서 토양수EC값의 토심별 변화 경향에서만 판단하면 토심이 깊을수록 수질정화능이 크게 發

Fig. 11. The difference of EC value by soil depth in *Quercus acutissima* and *Larix leptolepis* after acid rain(pH 5.0) treatment

揮되는 것으로 나타났다.

결론

본 연구는 우리 나라의 주요 樹種인 상수리나무와 낙엽송임지의 산림토양을 대상으로 하여 두 종류의 인공산성비를 살포한 후, 인공산성비 pH의 크기에 따라 각 토양 내를 통과한 토양수의 pH와 電氣傳導度(EC)를 측정하여 林地 및 土深別 그 변화 특성을 파악하고, 나아가 산림토양과 수질정화기능과의 관련을 구명하고자 실시하였다. 시험유역인 팔공산 상류수원지역에서 상수리나무 및 낙엽송임지의 토양에서 얻은 결과는 다음과 같다.

상수리나무임지와 낙엽송임지의 토심별(0~5cm, 0~10cm, 0~20cm) 토양 pH를 측정한 결과, 낙엽송임지에서는 토심별로 토양pH가 거의 일정한 값으로 나왔으며, 상수리나무임지에서는 토심이 깊을수록 토양pH가 높았다.

두 임지의 토양샘플에 pH3.0과 pH5.0의 인공산성비를 살포하여 산림토양층을 통과시켰을 때 낙엽송임지에서 토양수pH가 높았는데, 그 이유는 낙엽송임지의 산림토양 자체의 pH가 상대적으로 높았기 때문으로 판단하였다. 상수리나무임지에서는 토심이 깊을수록 토양 완충능이 증가하는 것으로 나타났으나, 낙엽송임지에서는 토심별로 뚜렷한 경향을 보이지 않았으며, 또한 두 임지의 토양 완충능의 상대적 크기도 명확하게 구명할 수가 없었다. 그러나 인공산성비 살포 후 약 50시간 이상의 상당한 시간이 경과하였을 때 산림토양의 완충능이 크게 발휘되는 것은 두 임지에서 동일한 결과를 얻었다.

한편, 두 임지의 토양샘플에 pH3.0과 pH5.0의

인공산성비를 살포했을 때 토양수 EC값의 경시적 변화는 상수리나무와 낙엽송임지에서 반대의 경향을 나타냈으나, 토심별로는 토심이 깊어질수록 두 임지에서 모두 전반적으로 EC값이 낮게 나타났다. 이것은 산성비가 산림토양 내로 유입되면서 토양 내에 존재하는 점토물질이나 공극 등에 의해 흡착 또는 치환되는 무기이온량이 감소하여 EC값이 낮아지는 것으로 판단하였다. 즉 토심별 토양수EC값의 변화 경향에서 판단할 때, 산림토양의 완충능은 토심이 깊어질수록 증가하는 것을 알 수 있었다.

앞으로의 후속 연구에서 임지별 토양 완충능의 정량적 비교에 관한 정확한 해석과 주요 양이온과 음이온에 대한 임지 토양별 동태 분석을 실시할 예정이며, 또한 실험 반복회수를 대폭 증가하여 토심별, 임지별의 토양 완충능의 차이를 통계 분석을 통하여 검증하고자 한다.

인 용 문 헌

1. 김동엽 · 유정환 · 채지석 · 차순형. 1996. 대기 오염물질의 산림생태계내 유입과 토양의 화학적 특성변화. 한국임학회지 85(1) : 84-95.
2. 김태주. 1993. 인공산성비가 작물 및 토양에 미치는 영향과 피해경감대책. 영남대학교 대학원 박사학위논문. 170p.
3. 농촌진흥청, 1988. 토양화학분석법. pp.27-28.
4. 민일식. 1989. 대기오염 및 산성우가 산림생태계내의 양료동태 및 토양완충능에 미치는 영향. 충남대학교 대학원 박사학위논문. 125p.
5. 박재현. 1995. 산림유역에 있어서 계류수질 평가기준 정립에 관한 고찰(1). 자연보존 92 : 23-38.
6. 박재현 · 우보명. 1997. 산림유역내 강수로부터 계류수에 미치는 영향인자 분석¹ -pH, 용존산소, 전기전도도. 한국임학회지 86(4) : 489-501.
7. 오종환 · 김영인 · 제지석. 1988. 대기오염과 산성우가 산림생태계에 미치는 영향 - 산림지역 대기오염도의 경시적 변화. 과학기술처 연구보고 : 25-69.
8. 유관식. 1998. 인공산성비 처리가 토양의 무기양분 이동에 미치는 영향. 한국환경농학회지 17(4) : 362-367.
9. 유정환 · 강현 · 박현. 1995. 여천공단의 대기오염이 토양의 화학적 특성, 지의류, 탈질균 및 황산환원균에 미치는 영향. 한국임학회지 84(2) : 178-185.
10. 이수욱 · 장관순. 1987. 한국내 산성우의 장거리 오염원(Distance pollution source)에 관한 연구. 충남대학교 환경연구보고 5(1) : 1-14.
11. 이수욱. 1989. 대기오염 및 산성우가 삼림생태계내의 양료동태 및 토양생태계에 미치는 영향. 충남대학교 대학원 박사학위논문. 85p.
12. 이승우 · 이수욱. 1995. 울산 공단주변 산림토양의 산성화가 산림생태계의 양료와 중금속 분포에 미치는 영향. 한국임학회지 84(3) : 286-298.
13. 이현호 · 전재홍. 1995. 산지물순환 소과정에 서 산도, 전기전도도, 용존산소량의 변화. 한국임학회지 85(4) : 1-13.
14. 이현호. 1997. 산지 물순환 소과정에 있어서 수질변화의 추적분석에 의한 산림의 환경적 정화기능의 계량화 연구. 한국임학회지 86(1) : 56-68.
15. 정용호 · 원형규 · 김경하 · 박재현 · 유정환. 1997. 전기전도도가 산림계류내 계류수와 토양수질에 미치는 영향. 산림과학논문집 55 : 125-137.
16. 조성진 · 박천서 · 엄대익. 1992. 토양학. 향문사 : 24-25.
17. 주영특 · 김영채. 1994. 인공산성우가 삼림토양의 화학적 성질에 미치는 영향. 한국임학회지 83(3) : 280-285.
18. 한심희 · 이경준. 1997. 산성우에 의한 토양산성화에 대한 4개 수종의 완충능력과 수관으로부터 양료용탈 변화. 한국임학회지 86(3) : 342-351.
19. 只木良也 · 吉良電夫. 1982. 森林の環境調節作用. 共立出版株式會社. 155p.
20. 河野吉久 · 松村秀幸 · 小林卓也. 1996. 人工酸性雨暴露に併う土壤理化學性の變化とスキ, ヒノキ根の生育. 大氣環境學會誌 31(5) : 203-212
21. 土平井八十二. 1977. 農業氣象 Handbook. 養賢堂 : 675-828.
22. Beniamino, F., J.F. Bonge, and P. Arpin. 1991. Soil classification under the crown of

- oak tree(1). *Forest Ecology and Management* 40 : 221-232.
23. Bohn, H.L., B.L. McNeal, and G.A. O'Connor. 1979. *Soil chemistry*. John Wiley and sons. 354p.
 24. Killham, K., M.K. Fireston., and J.G. McColl. 1983. Acid rain and soil microbial activity. *J. of Environmental Quality* 12(1) : 133-137.
 25. Huete, A.R. and J.G. McColl. 1984. Soil Cation leaching by acid rain with varying nitrate to sulfate ratio. *J. of Envir. Qual.* 13 : 366-371.
 26. Olson, R.J., D.W. Johnson, and D.S. Shriner. 1982. Regional assessment of potential sensitivity of soils in the Eastern United States to acid precipitation. ORNL/TM-8374. Oak Ridge National Laboratory, Tennessee. 78p.
 27. Tan, K.H. 1993. Soil reaction in *Principle of soil chemistry*. MerceL Dekker, Inc. pp.255-266.
 28. Tsugio Ezaki. 1996. Change in pH values on the runoff water of the rainfall by forest. *Northeast Asian Forests in 21st Century in '96 International Symposium on Forest Science*, The Institute of Forest Science, Kang-won National University, October 24, 1996, pp.37-46.
 29. Ulrich, B. 1980. Production and consumption of hydrogen ions in the ecosphere. in T.C. Hutchinson and M. Havas(ed.) "Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems" Plenum Press : 255-282.
 30. Ulrich, B., B. Mayer, and P.K. Khanna. 1980. Chemical change due to acid precipitation in a loss-derived soil in Central Europe. *Soil Science* 130(4) : 193-199.
 31. Whitehead, P.G., S. Bird, M. Hornung, J. Cosby, C. Neal, and P. Paricos. 1988. Stream acidification trends in the welsh uplands-modelling study of the Llyn Brianne catchments. *of Hydrology* 101 : 191-212.