

江原道 春川市 地域에 있어서 5個 樹種 樹幹流의 pH 및 電氣傳導度 變化^{1*}

金玟植^{2*} · 西門原² · 全權兩²

Variations of pH Values and EC of Stemflow of 5 Tree Species in Chunchon Districts, Kangwon-do^{1*}

Min-Sik Kim^{2*}, Won Seomun² and Kun-Woo Chun²

요 약

강원대학교 산림과학대학 부속연습림의 대표적 조림수종인 잣나무와 낙엽송, 천연생 활엽수인 신갈나무, 굴참나무와 침엽수인 소나무 등 5종류, 각 2본씩 합계 10본의 강우와 수간류의 pH값 및 EC값을 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 수간류의 월평균 pH값은 강우의 pH값보다 낮게 나타났으며, 침엽수인 소나무, 잣나무 및 낙엽송보다 활엽수인 굴참나무와 신갈나무의 pH값이 높게 나타났다. 수종별 pH값은 잣나무 3.23~5.03(평균 : 4.23), 소나무 3.57~5.16(평균 : 4.36), 낙엽송 3.41~6.69(평균 : 4.45), 굴참나무 3.86~6.11(평균 : 4.70), 신갈나무 4.39~6.13(평균 : 5.18)였으며, 강우의 pH값과는 직접적인 상관이 없는 것으로 나타났다.

2. 수간류의 월평균 EC값은 침엽수종이 활엽수종보다 약 1.5~2배이상 높게 나타나, 잣나무 29.0~946.5 μ S/cm(평균 : 258.5 μ S/cm) > 소나무 18.6~907.5 μ S/cm(평균 : 220.3 μ S/cm) > 낙엽송 27.0~918.0 μ S/cm(평균 : 216.2 μ S/cm) > 굴참나무 16.5~301.6 μ S/cm(평균 : 125.4 μ S/cm) > 신갈나무 25.2~225.7 μ S/cm(평균 : 101.5 μ S/cm)순으로 나타났다.

3. 수간류의 평균 pH값과 EC값은 계절적인 차이가 나타났다. 즉 pH값은 봄에는 낮고, 여름과 가을에 높게 나타났으며, EC값은 봄에는 높고, 여름과 가을에는 낮게 나타났다.

4. 강우량에 따른 pH 변화는 뚜렷하게 나타나지는 않았으나, 침엽수와 활엽수 모두 적은 강우에서 낮은 pH값을 나타냈다. 그러나 EC값은 모든 수종에서 50mm 이하의 강우에서 100 μ S/cm 이상으로 높게 나타나 강우량에 따른 차이가 확인되었다.

ABSTRACT

This study investigated pH values and EC changes of rainfall and stemflow were investigated for 5 tree species such as *Pinus koraiensis*, *P. densiflora*, *Larix leptolepis*, *Quercus variabilis* and *Q. mongolica* in the Experiment Forests, College of Forest Science, Kangwon National University. The results were as follows;

1. Mean month pH values of stemflow were much lower than those of rainfall. Among tree species, pH values of the coniferous such as *P. densiflora*, *P. koraiensis* and *L. leptolepis* were lower those of the deciduous such as *Q. mongolica* and *Q. variabilis*. Mean month pH values of stemflow ranged from

¹ 接受 2001年 2月 14日 Received on February 14, 2001.

審査完了 2001年 8月 1日 Accepted on August 1, 2001.

² 江原大學校 山林科學大學 College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea.

* 본 논문의 일부는 1997년도 한국학술진흥재단 대학부설연구소과제 연구비에 의하여 연구되었음.

* 연락처자 E-mail : watangka@cc.kangwon.ac.kr

3.23 to 5.03 (average : 4.23) for *P. koraiensis*, 3.57 to 5.16 (average : 4.36) for *P. densiflora*, 3.41 to 6.69 (average : 4.45) for *L. leptolepis*, 3.86 to 6.11 (average : 4.70) for *Q. variabilis* and 4.39 to 6.13 (average : 5.18) for *Q. mongolica*.

2. Mean month EC of the coniferous species was 1.5 to 2 times higher than that of the deciduous species. Mean month EC of stemflow for *P. koraiensis*, *P. densiflora*, *L. leptolepis*, *Q. variabilis* and *Q. mongolica* was ranged from 29.0 to 946.5 $\mu\text{S/cm}$ (average : 258.5 $\mu\text{S/cm}$), 18.6 to 907.5 $\mu\text{S/cm}$ (average : 220.3 $\mu\text{S/cm}$), 27.0 to 918.0 $\mu\text{S/cm}$ (average : 216.2 $\mu\text{S/cm}$), 16.5 to 301.6 $\mu\text{S/cm}$ (average : 125.4 $\mu\text{S/cm}$) and 25.2~225.7 $\mu\text{S/cm}$ (average : 101.5 $\mu\text{S/cm}$), respectively.

3. Average pH values and EC were highly variable according to season. Average pH values appeared lower in spring than those in summer and autumn, but EC appeared higher in spring than those lower in summer and autumn.

4. According to precipitation, there was little difference in and pH values of stemflow the coniferous and the deciduous showed low pH values in the case of less than 50mm precipitation. However, EC of stemflow showed a difference depending on the precipitation, and EC of the coniferous and the deciduous was high more than 100 $\mu\text{S/cm}$ at the precipitation of less than 50mm.

Key words : pH, EC, stemflow, rainfall, coniferous, deciduous

서 론

도시화 및 공업화가 진전됨에 따라 삼림 뿐 만 아니라 삼림 이외의 지역에서 산성우의 발생빈도가 높아지면서 환경오염에 대한 관심이 고조되고 있다. 따라서 이미 미국과 일본 등에서는 산성우가 삼림토양에 미치는 영향(眞田 등, 1991; Thomas, 1991; 石塚, 1992; 相澤, 1996), 삼림의 산성우 정화기능(佐々 등, 1991; 吉田 등, 1992; 徳地와 岩坪, 1992; 岩井, 1993; 眞田 등, 1993; 井倉 등, 1994)에 대한 연구가 진행되고 있으며, 우리나라에서도 임업분야에서 산성우에 대한 연구가 다양하게 실시되어 인공산성우가 삼림토양에 미치는 영향(関一植과 李壽煜, 1990; 朱榮特과 金英彩, 1993; 김동엽 등, 1996; 李憲浩와 金載基, 2000), 삼림의 산성우 정화기능(張寬淳과 李壽煜, 1995; 李敦求 등, 1997; 韓心熙와 李景俊, 1997; CHUN 등, 1997, 1998a, 1998b; 朴在鉉과 禹保命, 1998; 程龍鎬 등, 2000) 등에 대한 연구결과가 보고되고 있다.

산성우에 의한 삼림의 피해는 대기 중으로 배출된 SO_4^{2-} 나 NO_3^- 등 오염물질의 강하가 주된 원인이나, 오염물질의 종류 및 피해 형태 등에 대한 명확한 해석이 내려지지 못하고 있다. 즉 산성우에 의한 삼림의 피해는 노령화로 빈약해진 수목의 고사나 낙엽을 분해하는 생물유체의 능력의 저하 등과 같은 삼림의 빈회현상을 가져온다고 추정하고 있다(中島와 田辺, 1992; 1993). 따라서 산성우

가 삼림에 미치는 영향, 삼림의 산성우 완충효과 및 수질정화기능을 파악하기 위한 연구의 일환으로 강원대학교 산림과학대학내 부속연습림의 대표적인 수종 중 침엽수종인 소나무, 잣나무 및 낙엽송 3수종과 활엽수종인 신갈나무와 굴참나무 2수종 등 총 5개 수종에 대한 수간류의 성분(pH, EC, 양이온 및 음이온)을 분석하고 있으며, 이번에는 pH와 EC를 중심으로 연구결과를 정리하였다.

연구방법

연구대상지는 강원도 춘천시 동산면 봉명리 소재의 강원대학교 산림과학대학 부속연습림 5임반 차소반과 6임반 다소반으로 천연생의 활엽수림은 신갈나무, 굴참나무 및 갈참나무 등 참나무류를 주종으로 하여 물푸레나무, 층층나무, 생강나무, 싸리나무 등이 혼재되어 있고, 침엽수림은 대개 인공림으로 잣나무와 낙엽송이 조림되어 있으며, 표고 450m에서 540m사이에 위치하고 있다(Figure 1). 지질은 화강암과 화강편마암으로 이들이 풍화하여 생성된 토양은 대부분 양토 또는 사질양토를 이루고 있다. 기후는 온대 대륙성기후로 연평균 기온은 약 10℃이고, 연평균 강수량은 1,300mm 정도이다.

임의우는 조사지역내의 공개지에서, 임내우는 조사지역내 수관 아래에서 각각 채취하였다. 또한 수간류는 Table 1과 같이 조사지의 대표적 조림수종인 잣나무와 낙엽송, 천연생 활엽수인 신갈나

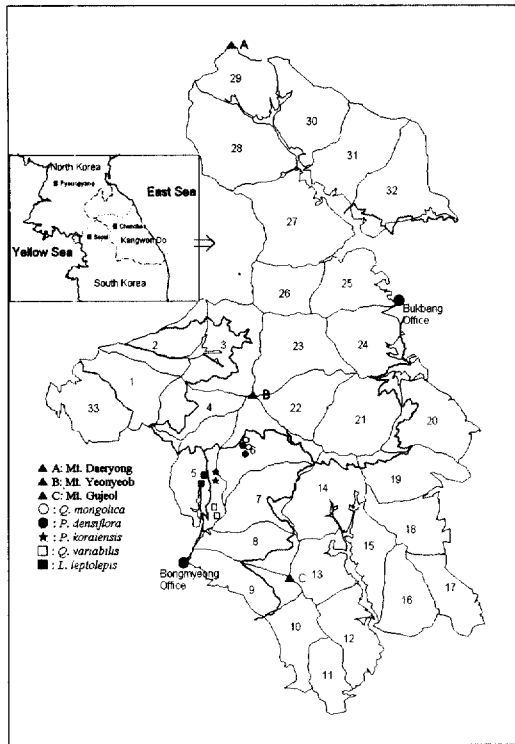


Figure 1. Location of study area.

Table 1. DBH, tree height, altitude and age of tree species.

Tree species	Altitude (m)	DBH (cm)	Height (m)	Tree age (year)
<i>Quercus mongolica</i> (1)	540	24.2	16.5	60
<i>Quercus mongolica</i> (2)	540	15.0	12.5	25
<i>Quercus variabilis</i> (1)	305	32.9	16.0	50
<i>Quercus variabilis</i> (2)	305	15.0	10.0	15
<i>Pinus densiflora</i> (1)	540	29.9	14.5	55
<i>Pinus densiflora</i> (2)	540	16.8	11.5	17
<i>Pinus koraiensis</i> (1)	355	34.0	17.0	53
<i>Pinus koraiensis</i> (2)	355	14.2	11.5	20
<i>Larix leptolepis</i> (1)	325	37.0	21.5	24
<i>Larix leptolepis</i> (2)	325	14.6	19.0	19

무, 굴참나무 및 침엽수인 소나무 등 5종류, 각 2본씩 합계 10본에서 1996년 6월 16일부터 1998년 8월 23일까지와 2000년 4월 24일부터 9월 20일까지 수간류가 발생한 총 67차례에 걸쳐 채수하였다. 수간류는 합성우레탄러버를 세로로 절단, 예각으로 잘라 나무 줄기에 감고 합성우레탄러버와 수목의 공간을 실리콘 수지로 채워 고정시킨 후

채취하였다. pH와 전기전도도는 강우종료후 즉시 실험실로 운반, 0.2 μ m의 멤브레인 필터로 필터링한 후, Mettler사의 M90 Operating Instructions Check Mate와 오리온사의 model 1230을 이용하여 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 수간류의 월평균 pH 변화

1996년 6월 16일부터 1998년 8월 23일까지와 2000년 4월 24일부터 9월 20일까지 수간류가 발생한 67차례의 강우 및 수간류의 월평균 pH 변화는 Figure 2와 같다. 조사기간 중 총 67회의 강우가 발생하였으며, 이 중 66%에 해당하는 44회가 5.6 이하의 산성우를 기록하였고, 전체적으로는 약한 산성우(4.58~7.68, 평균: 5.49)가 내렸다(Chun 등, 1997; 1998a). Figure 2에서 알 수 있듯이 수간류의 월평균 pH는 대체로 모든 수종에서 강우보다 낮게 나타났으며, 전체적으로 침엽수가 활엽수보다 낮게 나타났다. 즉 잣나무의 pH 범위는 3.23 ~ 5.03(평균: 4.23), 소나무의 pH 범위는 3.57 ~ 5.16(평균: 4.36), 낙엽송의 pH 범위는 3.41 ~ 6.69(평균: 4.45), 굴참나무의 pH 범위는 3.86 ~ 6.11(평균: 4.70), 신갈나무의 pH 범위는 4.39 ~ 6.13(평균: 5.18)였다. 이상의 결과는 일반적으로 활엽수종이 침엽수종에 비해 산성우에 대한 완충능이 크다는 결과(佐々 등, 1991; 朱榮特 등, 1999)와 일치하는 것이다.

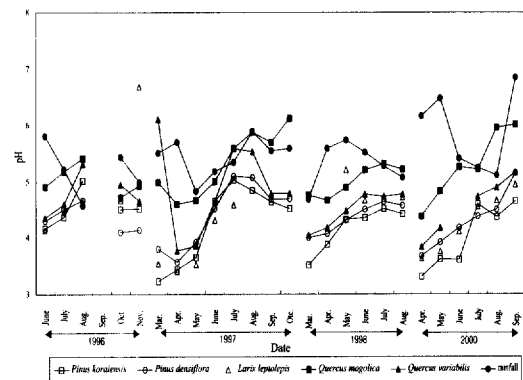


Figure 2. Variation of pH values of rainfall and stemflow in 5 tree species.

계절적인 월평균 pH 변화는 전체적으로 보아 3~5월에 모든 수종에서 낮은 pH값을 나타내었으

며, 7~9월에 높은 pH값을 나타내는 등 계절적인 차이가 확인되어 수간류의 pH값은 계절적인 차이가 나타난다는 선행 연구결과(中島와 田辺, 1993)와 일치하였다. 특히 침엽수의 경우 3~5월에 4.0 이하를 기록하여 토양을 산성화한다는 것을 확인할 수 있었으며, 이상과 같이 계절적인 차이가 나타나는 것은 침엽수의 경우 여름철의 대사작용이 왕성하여 양분 축적이 적은데 비해 resin과 essential oil(terpene 등)과 같은 물질의 농도가 겨울 월동 준비를 위해 증가하여 수피 자체의 양분농도가 높아지는 것과 함께 수목의 생장이 왕성한 시기에 수피에서 배출되는 유기산 등에 의한 이온교환작용 및 낙엽기에 강우에 영향을 미치기 때문이다(이정준, 1995).

또한 Figure 3에서 알 수 있듯이 강우와 수간류의 pH의 관계를 살펴보면, 강우의 pH값보다 침엽수종 모두에서 수간류의 pH값이 약 1~2정도 낮게 나타났으며, 활엽수인 신갈나무는 임의우의 pH값과 비슷하거나 높게, 굴참나무는 비슷하거나 낮게 나타나 高橋의 연구결과(1996)와 같이 활엽수종 중에서도 산성화시키는 수종과 알칼리성화시키는 수종이 있다는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 침엽수인 잣나무, 소나무 및 낙엽송의 경우 강우의 pH값과는 상관없이 pH 4 내외의 일정한 값을 나타내어 수목이 고유의 pH값을 가진다는 기존의 연구결과(佐々 등, 1991; 岩井, 1993)와 동일한 경향이 나타났다.

2. 수간류의 월평균 EC 변화

강우 및 수간류의 월평균 EC 변화는 Figure 4와 같다. 즉 강우의 EC값은 2.5~101.0 μS/cm(평균 : 27.3 μS/cm)로 나타났으며, 강우에 비해 모든 수종의 수간류의 EC값이 높게 나타났다. 수종별 수간류의 EC값은 침엽수인 소나무, 잣나무 및 낙엽송이 활엽수의 굴참나무, 신갈나무보다 약 1.5~2배 이상 높게 나타나, 잣나무(29.0~946.5 μS/cm, 평균 : 258.5 μS/cm) > 소나무(18.6~907.5 μS/cm, 평균 : 220.3 μS/cm) > 낙엽송(27.0~918.0 μS/cm, 평균 : 216.2 μS/cm) > 굴참나무(16.5~301.6 μS/cm, 평균 : 125.4 μS/cm) > 신갈나무(25.2~225.7 μS/cm, 평균 : 101.5 μS/cm)순이었다. 따라서 침엽수종인 잣나무, 소나무, 낙엽송이 활엽수종인 신갈나무, 굴참나무보다 다량의 이온을 삼림내로 유출한다는 것을 알 수 있으며, 이는 침엽수종이 활엽수종에 비해 건성강하물의 침착량이 많다(鶴見, 1995)는 연구결과와 일치하였다.

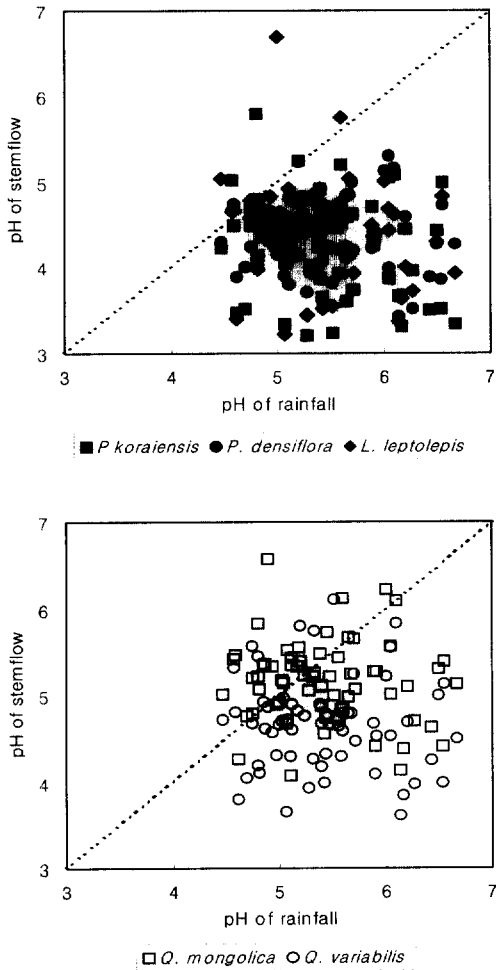


Figure 3. Relationship of pH in rainfall and stemflow.

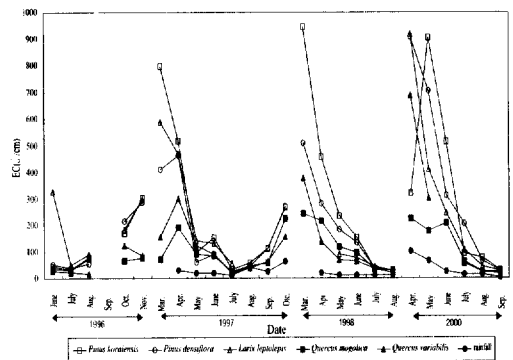


Figure 4. Variation of EC of rainfall and stemflow in 5 tree species.

계절별 월평균 EC값의 경우도 pH값의 경우와 같이 침엽수종은 봄철에 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이상이었으나, 이후 점차 감소하다 10월 이후 다시 상승하는 경향이 나타났다. 또한 활엽수종인 신갈나무, 굴참나무도 침엽수와 비슷한 경향이 나타나 기존의 연구결과(眞田 등, 1993)와 같이 계절에 따른 변화를 확인할 수 있었으며, 특히 수간류가 발생하지 않는 12월~2월 이후 첫 강우가 기록된 3월과 4월에 모든 수종의 EC값이 최대치를 기록하였다. 이는 중국에서 발생한 황사에 의한 영향과 겨울철 대기의 정체로 인해 건성강하물이 수간 또는 수관에 흡착된 후 강우 발생시 세탈 또는 용탈되기 때문인 것으로 사료된다. 이와같이 수체를 통한 배출성분의 차이와 EC값은 건성강하물에 크게 영향을 받으므로 이에 대한 조사가 변밀히 이루어져야 할 것이다.

강우와 수간류의 EC값의 관계는 Figure 5와 같이 침엽수와 활엽수 모두에서 강우보다 높게 나타났다. 특히 침엽수인 잣나무, 소나무 및 낙엽송에서 높은 수치를 나타내어 각종 성분이 다량으로 유출되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 小林 등의 연구결과(1995)에서 보고된 것과 같이 수피의 거친 정도와 엽면적의 차이에 의해 잎, 가지, 줄기에서 용탈량이 많고, 수체내의 유기산에 의한 작용에 따른 수종의 흡착능력과 수체내에서의 배출성분의 차이가 있는 것에 기인하는 것이다.

3. 강우량에 따른 pH 및 EC 변화

강우량에 따른 수간류의 pH 및 EC값의 변화는 Figure 6 및 7과 같다. pH값은 Figure 6에서 알 수 있듯이 모든 수종에서 강우량에 따른 변화는 명확하게 나타나지는 않았으나, 침엽수와 활엽수 모두 비교적 적은 강우에서 낮은 pH값이 나타났다. 이는 수체에 집적된 건성강하물이 적은 강우량에 의해 세탈·용탈되었기 때문에 많은 강우보다 낮은 pH값을 나타낸 것으로 사료된다. 한편 EC값은 Figure 7과 같이 모든 수종에서 월강우량이 50mm 이하의 적은 강우에서 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이상으로 높게 나타나 강우량에 따른 차이가 있는 것을 확인할 수 있었다. 특히 이러한 현상은 잣나무, 낙엽송과 소나무 등 침엽수에서 더욱 명확하게 나타났으며, 이는 수체 또는 옆에 흡착되어 있던 건성강하물이 수간류 발생시 각종 성분들이 용존되거나 세탈되는 과정에서 강우량이 증가함에 따라 수간유량도 증가하여 희석되었기 때문이라

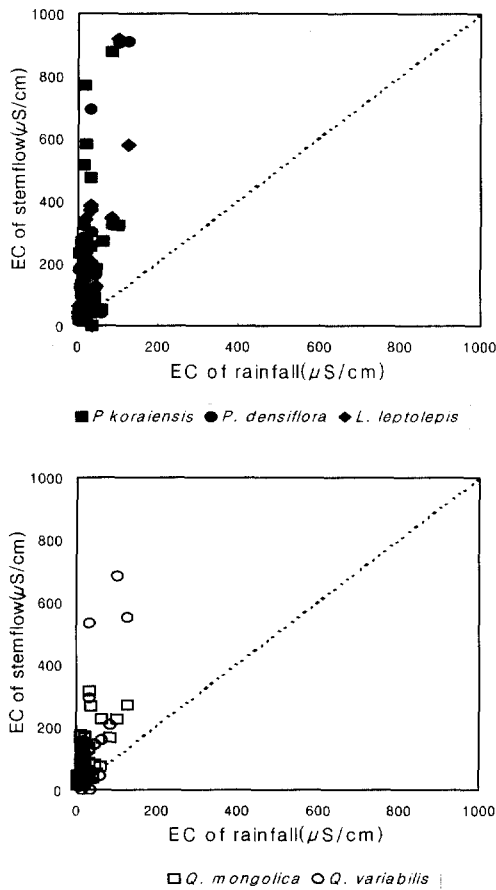


Figure 5. Relationship of EC in rainfall and stemflow.

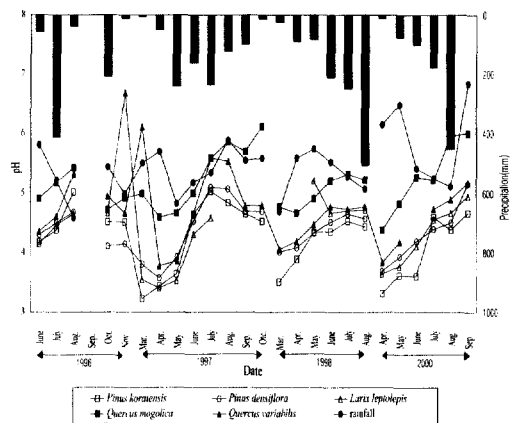


Figure 6. Variation of pH of stemflow in 5 tree species according to precipitation.

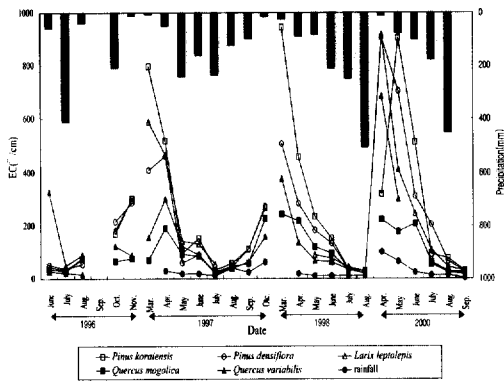


Figure 7. Variation of EC of stemflow in 5 tree species according to precipitation.

사료된다. 그러나 임내로 공급되는 총 EC량을 추정한다면 수체 주위로 공급되는 양은 강우량 증가에 따라 급격히 증가하게 되고, 이는 수체 주위의 토양에 영향을 미치게 된다는 연구결과(韓心熙와 李景俊, 1997)와 같이 토양의 산성화를 촉진시킬 수 있으므로 수목 주위의 토양에 대한 지속적인 조사가 이루어져야 할 것이다.

결론

강원대학교 산림과학대학 부속연습림의 대표적 조림수종인 잣나무와 낙엽송, 천연생 활엽수인 신갈나무, 굴참나무와 침엽수인 소나무 등 5종류의 수간류를 분석한 결과, 침엽수인 소나무, 잣나무 및 낙엽송보다 활엽수인 굴참나무와 신갈나무의 pH값이 높게 나타났으며, EC값은 침엽수가 활엽수보다 높게 나타났다. 또한 pH값과 EC값은 계절별로 뚜렷한 차이가 나타났으며, 이는 수간류 발생시 수체에서 배출되는 유기산 등에 의한 이온교환작용과 계절에 따라 수간 또는 수관에 침착되어 있던 전성강하물이 강우발생시 세탈 또는 용탈되는 양이 다르기 때문인 것으로 사료된다. 즉 수간류의 pH값과 EC값은 침엽수류와 활엽수류 간에 명확한 차이가 나타났으므로, 산성우 발생에 따른 수목의 완충효과나 산성우에 따른 중화능력이 높은 임분 조성 등에 관한 기초자료로 이용될 수 있을 것이다. 또한 현재 진행되고 있는 양이온과 음이온 변화를 병행하여 지속적으로 모니터링을 실시한다면 산성우 발생에 따른 삼림의 영향 평가에 대한 보다 객관적인 자료를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

인용문헌

1. 김동엽·유정환·채지석·차순영. 1996. 大氣汚染物質의 山林生態系內 流入과 土壤의 化學的 特性 變化. 韓國林學會誌 85(1): 84-95.
2. 関一植·李壽煜. 1990. 人工酸性雨가 森林土壤의 緩衝能에 미치는 影響. 韓國林學會誌 84(1): 376-387.
3. 朴在鉉·禹保命. 1998. 山林地域內 降水, 樹冠通過雨, 土壤水 및 溪流水 水質의 化學的 性質. 韓國林學會誌 87(1): 62-73.
4. 程龍鎬·朴在鉉·尹豪重·金景河. 2000. 전나무림, 잣나무림 流域에서 山林의 水質淨化機能에 미치는 山林施業 影響(III) - 林外雨, 樹冠通過雨, 樹幹流의 pH와 電氣傳導度를 中心으로-. 韓國林學會誌 89(2): 223-231.
5. 이경준. 1995. 수목생리학. 서울대학교 출판부. 514pp.
6. 李敦求·金甲泰·朱洗杓·金泳秀. 1997. 京畿道 廣州地方 잣나무림, 낙엽송림 및 참나무림에서 樹冠通過雨量, 樹幹流 및 遮斷損失. 韓國林學會誌 86(2): 200-207.
7. 李憲浩·金載基. 2000. 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. 韓國林學會誌 89(1): 55-64.
8. 張寬淳·李壽煜. 1995. 酸性雨에 대한 山林生態系의 敏感度 및 自淨機能(II) - 植生層과 土壤層 溶脫이온 分析을 中心으로-. 韓國林學會誌 84(1): 103-113.
9. 朱榮特·金英彩. 1993. 人工酸性雨가 山林土壤에 化學的 性質에 미치는 影響. 韓國林學會誌 83(3): 280-285.
10. 朱榮特·陳鉉五·孫堯丸·吳鍾敏·鄭德永. 1999. 降雨와 植生의 相互作用이 樹冠通過雨 및 樹幹流의 化學的 性質變化에 미치는 影響. 韓國林學會誌 88(2): 149-156.
11. 韓心熙·李景俊. 1997. 酸性雨에 依한 土壤酸性化에 대한 4個 樹種의 緩衝能力과 樹冠으로부터 養料溶脫 變異. 韓國林學會誌 86(3): 342-351.
12. 高橋忠辛. 1996. 主な落葉廣葉樹樹幹流의 酸性度とヤマナラシ樹幹流による土壤酸性化抑制機能. 岩手技術七研究 6: 17-27.
13. 吉田桂子·平井敬三·岩川雄幸. 1992. ヒノキ若齡林内外における降雨のpHとECについて.

- 平成3年度森林総合研究所四國支所研究報告 : 33-34.
14. 徳地直子・岩坪五郎. 1992. 酸性雨と森林生態系の物質循環. 森林立地 34(1) : 14-19.
 15. 小林禧樹・中川吉弘・玉置元則・平木隆年・正賀充. 1995. 森林樹冠への酸性沈着の影響評価-乾性沈着と溶脱の分別評価法の検討-. 環境科学會誌 8(1) : 25-34.
 16. 相澤州平. 1996. 林木の生育と森林土壌-樹幹流が森林土壌の化学性に及ぼす影響-. 森林総合研究所報 95 : 8-9.
 17. 石塚和裕. 1992. 酸性降下物に対する土壌の緩衝能の實態と評価. 森林立地 34(1) : 26-35.
 18. 岩井宏壽. 1993. 千葉懸のスギ衰退地と非衰退地における林外雨, 林内雨, 樹幹流の成分比較. 第104回日本林學會大會學術講演集 : 377-380.
 19. 井倉洋二・吉村和久・久保田勝義・中尾登志雄・荒上和利. 1994. 九州山地中央部における降水および樹幹流のpHと溶存成分. 九州大學農學部演習林報告 71 : 1-12
 20. 中島泰公・田辺紘毅. 1992. 酸性雨等による森林への影響調査(I) -三次地域における雨水・霧水のイオン組成-. 廣島懸立林業試験場研究報告 26 : 63-74.
 21. 中島泰公・田辺紘毅. 1993. 酸性雨等による森林への影響調査(II) -三次地域における雨水・霧水のイオン組成-. 廣島懸立林業試験場研究報告 27 : 37-48.
 22. 眞田勝・太田誠一・眞田悦子. 1991. 札幌近郊におけるトドマツ, エゾマツ人工林の樹幹流・林内雨および林外雨について. 森林立地 32(2) : 8-15.
 23. 眞田勝・太田誠一・眞田悦子. 1993. 森林内における降水の性質と土壌への影響(I) -落葉広葉樹天然林における降水性質-. 第104回日本林學會大會學術講演集 : 381-382.
 24. 佐々朋幸・後藤和秋・長谷川浩一・池田重人. 1991. 盛岡市周辺の代表的森林における林外雨, 林内雨, 樹幹流の酸性度ならびにその溶存成分-樹種による樹幹流のpH固有値-. 森林立地 32(2) : 43-58.
 25. 鶴見實. 1995. 特集環境科学シンポジウム1994 - I : 酸性降下物-. 環境科学會誌 8(2) : 193-206.
 26. Chun, K.W., M.S. Kim, M.J. Yi, D.S. Jeon and T. Ezaki. 1997. Variation in the pH values of rainfall, stemflow and torrent water in Chun-chon districts, Korea. Proceeding of International Congress of Acid Snow and Rain 1997 : 341-346.
 27. Chun, K.W., M.S. Kim, M.J. Yi, T. Ezaki and T. Fukushima. 1998a. Variations in the pH, NO_3^- and SO_4^{2-} concentrations of rainfall, stemflow and torrent water in Chunchon districts, Korea. Journal of Rainwater Catchment Systems 3(2) : 33-37.
 28. Chun, K.W., M.S. Kim and T. Ezaki. 1998b. Variations in the amount, pH, EC and anions of stemflow in *Pinus koraiensis* and *Larix leptolepis*, Korea. Journal of Rainwater Catchment Systems 4(1) : 29-36.
 29. Thomas Andersson. 1991. Influence of stemflow and throughfall from common oak (*Quercus robur*) on soil chemistry and vegetation patterns. Canadian Journal of Forest Research 21 : 917-924.