

# 춘천지방 소나무림에서 임내우 및 토양수내 이온동태

柳鼎煥 · 金暎傑 · 李忠和 · 變載京 · 崔敬 · 吳正洙  
林業研究院 山林環境部

**적 요:** 본 연구는 강원도 춘천지방의 소나무임분을 대상으로 임내우와 토양수의 이온동태 특성을 알아보기 위하여 1998년 4월부터 10월까지 수행되었다. 임외우, 수관통과우, 수간류의 평균 pH는 수간류가 4.8로 가장 낮았으며, 토양수 pH는 심토층으로 내려갈수록 높았다. 전기전도도는 수간류가 55.9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 가장 높았고, 토양수에서는 심토층으로 내려갈수록 낮아졌다. 양이온은 임외우·임내우에서  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , 토양수는  $\text{Ca}^{2+}$ , 음이온은 임외우·임내우는  $\text{SO}_4^{2-}$ , 토양수  $\text{NO}_3^-$ 가 가장 높았다.

**검색어:** 임외우, 소나무, 수간류, 수관통과우, 토양수

## 서 론

삼림생태계에 공급된 강수는 생태계를 통과한 여러 가지 화학적·생물적 반응에 따라 이온조성이 변한다. 그중 일부 강수는 수관의 가지와 잎을 접촉하여 임내우로 토양에 떨어지고 또한 일부는 수간을 따라 토양에 유입된다. 수관에서는 대기로부터 건성강하물(가스, 분진 등)이 침착하여 임내우로 유입된 이온농도는 임외우에 비하여 높았다. 또한 잎에 있어서 이온교환반응과 이온용탈, 잎의 흡수 등도 수관 통과우와 수간류의 조성에 영향을 미치게 된다. 수관에 있어서 착엽시기, 잎면적, 수관의 물리적 구조, 잎의 형태·구조는 수중에 따라 현저히 차이가 난다. 건성강하물의 포집 능력, 잎의 반응성, 수목 내부와의 교환반응은 수중에 따라서 차이가 클 것으로 보고되고 있다 (Schaefer and Reiner, 1990). 임상에 도달한 수관통과우와 수간류는 유기물층과 토양광물층에 의하여 침투수의 이온형태가 변화하게 된다.

또한 최근 급속한 경제발전으로 인하여 생태계 피해가 가속화되는 것으로 보고되고 있다. 이런 피해는 직·간접적인 원인일 가능성이 있다. 직접적인 원인은 식물조직의 파괴, 양분용탈, 간접적인 원인은 토양내의 양료용탈에 의한 토양산성화, 유익한 토양소동물상의 변화 등 복합적인 스트레스에 의한 수목쇠퇴, 양분의 불균형을 일으키고 있다 (戶塚 1989, 溝口 1993, 李 등 1997). 德地와 岩坪(1992)은 산성강하물이 토양에 유입되면 토양생물의 활동 저하,  $\text{Ca}^{2+}$  등 양료 용탈,  $\text{Al}^{3+}$  등의 독성물질이 용출되어 산림생태계에 피해를 준다고 하였다.

산성강하물이 토양에 침착·침투하는 과정에서 수소이온과 염기간의 교환반응에 의해서 토양용액 중의  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  등의 양이온과  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  등의 음이온이 동시에 용탈된다고 했다 (Fernandez and Kosian 1986, 吉田과 川畑 1988).

金 등(1996)은 대기오염물질의 유입에 의하여 토양산성화가 진행되어  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  등의 식물필수원소를 유실시켜,

수목의 생장에 악영향을 미친다고 보고하였다.

따라서, 본 연구는 소나무림을 대상으로 임외우, 수관통과우, 수간류, 토양수내의 이온 동태를 알아보기 위해 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 조사지역의 개황

본 연구는 강원도 춘천시 동면 장학리, 월야리(북위 37도 50분, 동경 127도 40분)에 위치한 지역이다 (Fig. 1). 년평균

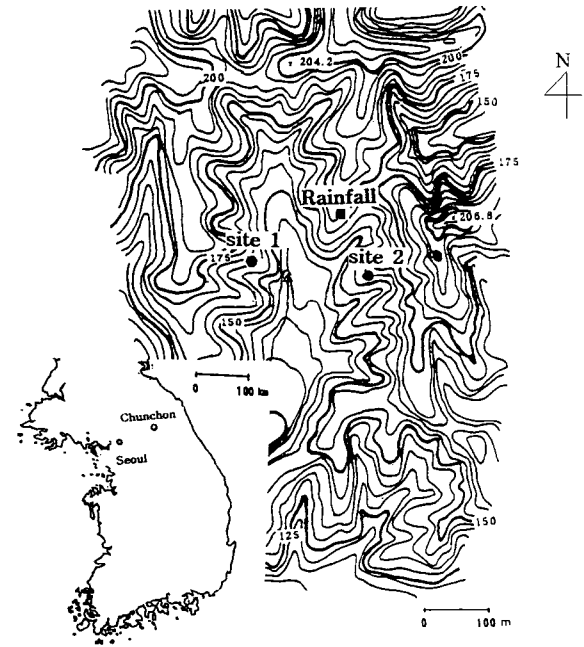


Fig. 1. Location map of the study sites (site 1 and 2: throughfall, stemflow and soil solution at 10, 20, 30, 50 cm in depth).

강수량 1,314 mm이며 평균온도는 11.5°C이다. 조사기간 중 강수량은 1,557 mm(연 강수량은 1,708 mm)로 전체의 92%이었다. 월 강수량은 10월이 가장 적었고 7, 8월에 1,000 mm로 전체 강우의 64%가 내렸다 (Fig. 2).

조사지는 화강암~흑운모편암에서 발달된 갈색산림토양으로 표고 100~200 m의 산록구릉지에 위치하고 있다. 경사는 19~25°, 홍고직경은 20~30 cm, 수고는 10~15 m의 소나무단순림이다.

**조사방법**

소나무 임분내에 10×10 m의 조사구에서 매목조사를 실시하였다. 각 임분의 가장 대표적인 수목을 선정하여 수관통과우와 수간류는 각각 2개소, 토양수는 각각 1개소, 그리고 수목의 영향이 없는 장소에 임외우 1개소를 선정 채취장치를 설치하여 1998년 4월 1일부터 10월 31일까지 수목의 생육기간동안 조사를 실시했다. 시료채취는 매월 15일과 30일에 2회 채취하여 분석시료로 사용하였다.

채취방법은 임외우 및 수관통과우는 지상 1.5 m 높이에 직경 16 cm 폴리에틸렌제 깔때기가 부착된 25 l의 폴리에틸렌통을 이용하여 시료를 채취하였다.

수간류는 소나무의 수간 1.2~1.8 m 부위에 내경 25 mm 비닐튜브를 4회 감아서 실리콘 접착제를 이용하여 고정시킨 후 5 cm 간격으로 직경 3 mm내외의 구멍을 뚫어 수간류가 튜브내로 흘러 들어오도록 수간에 부착하였다. 비닐튜브 끝부분에 25 l의 폴리에틸렌통을 부착하여 수량을 채수하였다. 측정수목의 수고는 13.0 m, 홍고직경 28.0 cm이었다.

토양수는 소나무 임분내에서 표토로부터 10, 20, 30 및 50 cm 깊이에 ceramic porous cup의 선단부에 부착된 염화비닐제 파이프를 매설한 후, 테브론제 튜브를 이용하여 1 l 용 삼각플라스크와 연결하여 85 kPa까지 감압하여 토양수를 채취하였다 (Wagner 1962, Baba et al. 1995).

한편, 임외우, 수관통과우 및 수간류의 채수용기에 시료채취 기간 중 매 시료채수시에는 깨끗한 물로 채수통을 세척한 후, 수질이 미생물에 의하여 변질되는 것을 방지하기 위하여 Chloroform(CHCl<sub>3</sub>)을 약 5 mL 첨가하였다.

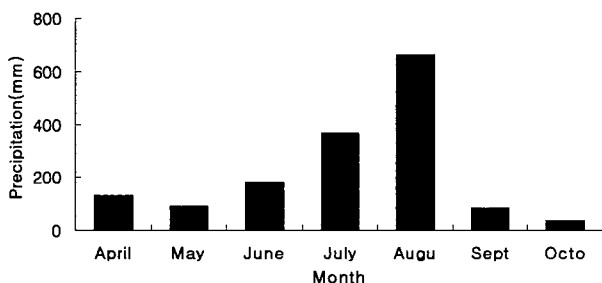


Fig. 2. Variations of monthly precipitation in *Pinus densiflora* stands in Chunchon.

**시료분석**

임외우, 수관통과우, 수간류 및 토양수는 강우 pH, 전기전도도(EC), 양이온(K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)과 음이온(Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)을 분석하였다. 채취한 시료는 실험실에 가져와 공극이 0.45 μm인 밀리포아 필터로 여과시킨 다음 4°C의 냉장고에 보관하여 분석시료로 사용하였다.

pH 측정은 KCl glass electrode meter로, 전기전도도는 전기전도계로 측정하였다. 양이온(K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)과 음이온(Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)의 분석은 ion chromatography (Waters Co., ILC-1)를 사용하여 측정하였다.

**결과 및 고찰**

**강수의 pH 변화**

강수 pH는 임외우의 평균 pH는 5.6(4.9~5.9), 수관통과우의 평균 pH는 5.3(4.9~6.1), 수간류의 평균 pH는 4.8(4.2~5.4)이었으며 수관통과우와 수간류에서 임외우 보다 각각 0.3과 0.8정도가 낮았다 (Fig. 3). 또한, 월별로 보면 9월을 제외하고는 임외우보다 임내우(수관통과우+수간류)에서 pH가 낮게 나타났다. 이는 수관통과우 및 수간류에서 낮은 것은 수관과 수피에 침착된 산성물질의 세탈 및 유기산에 의한 것으로 판단된다. 또한 9월에 임외우가 pH 4.7로 임내우에서 높게 나타나는데 이러한 결과는 임외우의 pH가 5.0보다 낮을 때의 수관통과우의 pH는 임내우보다 높다고 한 결과와 일치하였다 (Roda et al. 1990).

**전기전도도의 변화**

전기전도도(EC)는 임외우에서 평균 15.3 μS/cm, 수관통과우는 평균 23.9 μS/cm, 수간류는 평균 55.9 μS/cm로 나타났으며, 수간류에서 가장 높은 값을 나타내었다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 강우량이 증가함에 따라서 EC가 감소하였다. 또한 월별로는 7, 8월에 강우량이 적은 달보다 3~5배 정도 낮게 나타내었다. 강우량이 적은 시기에 전기전도도가 높은 것은 강우량이 적거나 무강수 기간이 길어져 수관에

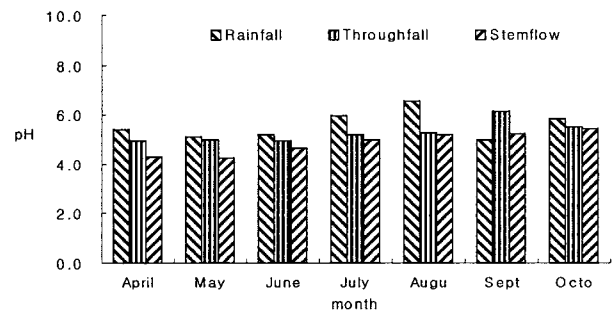


Fig. 3. Monthly pH variations in rainfall, throughfall and stemflow in *Pinus densiflora* stands in Chunchon.

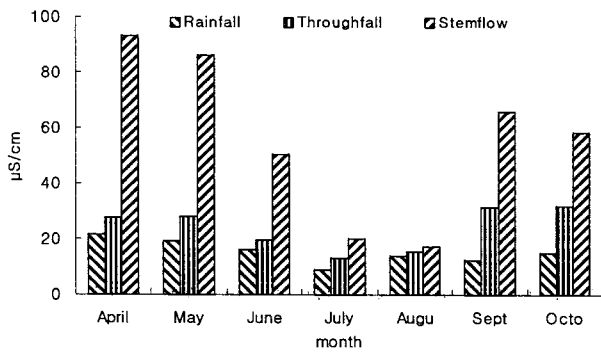


Fig. 4. Monthly electric conductivity (EC) variations in rainfall, throughfall and stemflow in *Pinus densiflora* stands in Chuncheon.

염기류의 용탈에 의한 것으로 판단된다 (Sanada *et al.* 1991).

**임외우, 임내우(수관통과우+수간류)의 이온변화**

임외우, 수관통과우 및 수간류의 평균이온함량을 Table 1에 나타내었다. 수관통과우 및 수간류의 이온함량은 모든 이온함량이 임외우에 비하여 높게 나타났다. K<sup>+</sup>은 수관통과우 및 수간류에서 임외우에 비하여 각각 약 2배와 4배 정도 높은 값을 나타내었다. 또한, Ca<sup>2+</sup> 및 Mg<sup>2+</sup>은 수관통과우 및 수간류에서 임외우에 비하여 각각 1.7~1.8배 및 3.5~4.8배 정도 높았으며, 수간류에서의 K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> 및 Mg<sup>2+</sup>의 증가는 수관과 수간으로부터의 이온의 용탈에 기인된다는 연구결과와도 유사한 경향을 보였다 (Johannes *et al.* 1986, 大類 등 1995).

음이온 중 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>가 임외우, 수관통과우에서 공히 높았으며 수간류의 경우 임외우에 비하여 2.1배 정도 높은 값을 나타내었다. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 수간류에서 임외우에 비하여 3배 정도 높은 값을 나타내었다. 이와 같이 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>가 임외우보다 수관통과우 및 수간류에서 높은 값이 나타난 것은 인위적인 오염물질인 아황산가스 등의 건성강하물이 수목에 침착된 후 강수에 의하여 산림 내에 유입되었기 때문으로 판단된다 (大類 등 1995).

이온성분 중 양이온의 경우 K<sup>+</sup> 및 Ca<sup>2+</sup>, 음이온은 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 이온이 많이 유입되고 있는 결과는 다른 연구와 비슷한 경향을 나타내고 있다 (眞田 등 1991, 徳地와 岩坪 1992, 張과 李 1995, 韓과 李 1997).

**토양수의 이온변화**

토양수 평균 pH는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 토양수내 pH는 토양 깊이 10 cm에서 가장 낮게 나타내었다. 심토층으로 내려갈수록 pH가 급격히 높아지고 있다. 이는 토양의 산중화 능력에 의하여 pH가 높아지고 있는 것으로 사료된다. 또한, 표층토에서 pH가 낮은 것은 오랫동안 수간류를 통한 산성물질 유입에 의한 영향으로 판단된다 (Beniunimo *et al.* 1991, 松浦 등 1991, 佐藤 등 1996).

EC는 10 cm에서 105 μS/cm로 높게 나타냈으며 심토층으로 갈수록 감소하고 있다 (Fig. 6).

Table 2와 같이 양이온 중 Ca<sup>2+</sup> 및 Mg<sup>2+</sup> 이온함량은 토심

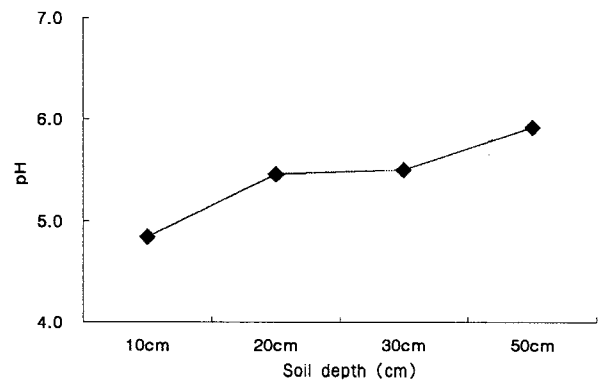


Fig. 5. Average pH in soil solution in *Pinus densiflora* stands in Chuncheon.

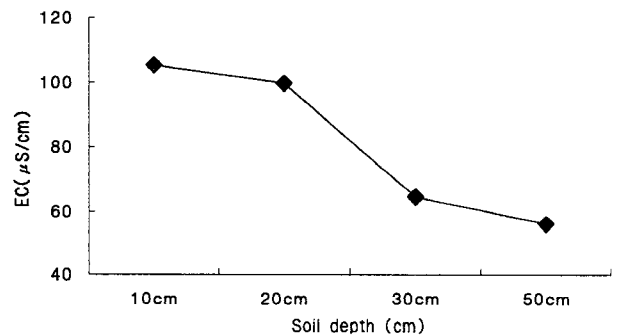


Fig. 6. Average electric conductivity (EC) in soil solution in *Pinus densiflora* stands in Chuncheon.

Table 1. Average concentrations of ion species in rainfall, throughfall and stemflow in *Pinus densiflora* stands in Chuncheon (μmol/l)

	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Rainfall	18.93	38.71	44.41	12.34	32.20	33.57	32.69	16.29
Throughfall	40.15	56.98	73.85	22.21	48.86	36.95	49.14	23.87
Stemflow	80.56	53.07	154.69	58.41	102.17	66.01	68.71	48.55

Table 2. Average concentrations of ion species in soil solution in *Pinus densiflora* stands in Chunchon ( $\mu\text{mol/l}$ )

Soil depths (cm)	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
10	60.10	109.18	459.58	129.99	113.83	93.37	62.25	460.65
20	106.91	67.42	292.42	78.98	174.35	73.62	70.37	325.48
30	47.83	74.38	171.66	69.11	92.17	51.06	65.38	218.87
50	66.75	73.08	233.53	70.75	39.42	51.62	149.28	98.55

50 cm보다 10 cm에서 높게 나타났다. 이는 수소이온 및 산성강하물의 유입으로 인하여 토양내 교환성 염기의 용출로 인한 것으로 사료된다 (石塚 등 1990). 또한 임내우보다 높은 것은 토양내 유기물이 무기화의 영향으로 판단된다 (大類 등 1995).

한편, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>이온은 임외우에 비해 토심 10 cm의 토양수에서 약 29배 높았다. 이러한 결과는 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>이온이 토양내에서 질산화작용에 의하여 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>로 변화하기 때문으로 판단된다 (Gundersen and Rasmussen 1990). 또한 大類 등(1995)도 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>이온이 50 cm에서 급격히 낮은 것은 용탈작용에 의한 것이라고 했는데 본 연구와도 일치하는 경향을 보이고 있다.

## 인용문헌

- 溝口次夫. 1993. 酸性雨の科學と對策. 日本環境測定分析協會, 東京. pp. 5-300.
- 金東燁, 柳鼎煥, 蔡智錫, 車淳馨. 1996. 大氣汚染物質의 山林生態系內 流入과 土壤의 化學的 특성 變化. 韓國林學會誌 85: 84-95.
- 吉田稔, 川畑洋子. 1988. 酸性雨의 土壤による 中和機構. 日本土壤肥料學雜誌 59: 413-415.
- 大類清和, 生原喜久雄, 相場芳憲. 1995. 森林小集水域での水質變化의 過程. 水文·水質源學會誌 8: 367-381.
- 德地直子, 岩坪五郎. 1992. 酸性雨と森林生態系의 物質循環. 森林立地 34: 14-19.
- 提利夫. 1987. 森林物質의 循環. 東京大. pp 124.
- 石塚和裕, 高橋正通, 高橋美代子. 1990. 人工酸性雨による土壤의 pH緩衝能. 日林論 101: 249-252.
- 松浦陽次郎, 堀田庸, 荒木誠. 1991. 關東地方におけるスギ林表層土壤의 pH低下. 森林立地 32: 65-69.
- 吳國南, 生原喜久雄, 相場芳憲, 戶田浩人. 1996. 스기およびヒノキ林의 林內雨成分に 占める 乾性沈着および樹冠溶脫의 分離. 日本林學會誌 78: 461-466.
- 李壽煜, 閔一植. 1989. 大氣汚染 및 酸性雨가 森林生態系의 土壤酸度 및 養料分布에 미치는 影響. 韓國林學會誌 78: 11-25.
- 李忠和, 伊豆田猛, 青木正敏, 戶塚績. 1997. 硫酸添加により 酸性化させた褐色森林土で育成したアカマツ苗의 成長及び體內元素含有量. 日本大氣環境學會誌 32: 46-57.
- 李憲浩, 全幸弘. 1996. 山地 물循環過程에 있어서 酸度, 電氣傳導度 및 溶存酸素量의 變化. 韓國林學會誌 85: 634-646.
- 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). 韓國林學會誌 84: 103-113.
- 佐藤一男, 高橋章. 1996. 스기樹幹から水素イオン의 溶脫と樹幹近傍土壤의 酸性化. 環境科學會誌 9: 221-230.
- 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: 342-351.
- 戶塚績. 1989. 酸性雨による 森林被害. 燃料協會誌 68: 200-209.
- Baba, M., M. Okazaki and T. Hashitani. 1995. Effect of acid deposition on forested Andiosol in Tama Hill region of Japan. Environmental Pollution 89: 97-106.
- Beniamio, F., J.F. Bonge and P. Arpin. 1991. Soil classification under the crown of oak trees. 1. Spatial distribution. Forest Ecology and Management 40: 221-232.
- Fernandez, I.J. and P.A. Kosian. 1986. Chemical response of soil leachate to alternative approaches to experimental acidification. Soil Sci. Plant Anal. 17: 953-973.
- Gundersen, N.P. and L. Rasmussen. 1990. Nitrification in forest soils: Effects from nitrogen deposition on soil acidification and aluminium release. Review of Environmental Contamination and Technology 113: 1-45.
- Johannes, A.H., Y.L. Chen, K. Dackson and T. Suleski. 1986. Modeling of throughfall chemistry and indirect measurement of dry deposition, Water, Air and Soil Pollution 30: 211-216.
- Roda, F., A. Anna and D. Bonilla. 1990. Precipitation, throughfall, soil solution and streamwater chemistry in a Holm-oak (*Quercus ilex*) forest. J. of Hydrology 116: 167-183.
- Sanada, M., S. Ohta, R. Ootomo and E. Sanada. 1991. Stemflow and throughfall in the plantation of *Abies sachalinensis* and *Picea jezoensis* in suburbs of Sapporo. Jap. J. For. Environment 33: 8-15.
- Schaefer, D.A. and W.A. Reiners. 1990. Throughfall chemistry and canopy processing mechanisms. In S.E. Lindberg, A.L. Page and S.A. Norton (eds.), Acidic Precipitation 3, Source, Deposition and Canopy Interactions. Springer-Verlag, New

York. pp. 241-284.

soil solution within the profile. Soil Science 94: 379-386.

Wagner, G.H. 1962. Use of porous ceramic cups to sample

(1999년 10월 5일 접수)

---

## Ions Dynamics in the Rainfall, Throughfall, Stemflow and Soil Solution of Red Pine (*Pinus densiflora*) Stands at Chunchon

Yoo, Jeong-Hwan, Young-Kul Kim, Choong-Hwa Lee, Jae-Kyoung Byun,  
Kyung Choi and Jeong-Soo Oh

Forestry Research Institute, Seoul 130-012, Korea

**ABSTRACT:** This study was conducted to determine the ions dynamics in rainfall, throughfall, stemflow and soil solution of *Pinus densiflora* stands at Chunchon, Kangwon-Do. Ion concentration of stemflow was greater than that of rainfall and throughfall. The EC values of rainfall, throughfall and stemflow were 15.3  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 23.9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  and 55.9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respectively. Average pH of soil solution was 4.8, 5.4, 5.5 and 5.8 at 10, 20, 30 and 50 cm depth, respectively. The cations were higher in  $\text{K}^+$  and  $\text{Ca}^{2+}$  for rainfall, throughfall and stemflow, and in  $\text{Ca}^{2+}$  for soil solution. The anions were higher in  $\text{SO}_4^{2-}$  for rainfall, throughfall and stemflow, and in  $\text{NO}_3^-$  for soil solution.

**Key words:** *Pinus densiflora*, Rainfall, Soil solution, Stemflow, Throughfall

---