

산림을 통과한 강우의 pH 및 화학적 조성의 변화

주영득¹ · 김홍률² · 이상덕¹

¹강원대학교 산림과학대학 삼림자원학부, ²경희대학교 생명과학부

(2002년 12월 20일 접수; 2003년 3월 4일 수락)

Changes to the pH and Chemical Composition of the Precipitation inside the *Pinus densiflora* and *Pinus rigida* Stands

Yeong-Teuk Joo¹, Hong-Ryul Kim² and Sang-Deok Lee¹

¹Division of Forest Resources, Kangwon National University, Chuncheon 220-701, Korea

²College of Life Science, Kyunghee University, Yongin 449-701, Korea

(Received December 20, 2002; Accepted March 4, 2003)

ABSTRACT

This study was conducted to investigate vertical movement properties of precipitation passing forest stands (*Pinus densiflora* and *Pinus rigida* stands) in Chuncheon, Kangwon-do. The results were as follows: The pH range of precipitation was 4.08~7.08, and the average pH showed 6.2 ± 0.7 . The average pH of the *Pinus densiflora* stand showed that the stemflow was 5.9 ± 0.9 , and the throughfall was 6.0 ± 0.8 . The pH value of stemflow and throughfall in the *Pinus rigida* stand was lower than for the *Pinus densiflora* stand. Changes of the cation concentrations in two different stands, Ca^{2+} , increased more than the Mg^{2+} , K^+ , and Na^+ ions. Anions, SO_4^{2-} and NO_3^- increased more than Cl^- . Leaching and washout for each species differed by precipitation and influence of tree organs (crown, branch, stem, etc.).

Key words : precipitation, *Pinus densiflora*, *Pinus rigida*, chemical composition, stemflow, throughfall

I. 서 론

대기 중의 오염물질은 건성침착과 습성침착의 과정에 의해 대기 중에서 제거되며(U.S. EPA, 1983), 이러한 과정을 거쳐 강수 속에 포함된 가스상 오염물질과 분진은 용해되어 양이온과 음이온의 화학적인 평형에 의해 강우의 산도를 결정하게 된다(Cooper and Lopez, 1976).

또한 산업사회의 급속한 발전에 따른 인위적인 환경오염 중에서 산성강우는 자연환경 및 생태계의 심각한 문제로 대두되고 있다. 이러한 대기오염물질은 대기 중에 부유하면서 직접적인 피해를 주기도 하지만,

비, 눈 등의 강수현상에 의해 응결·낙하되거나, 세정 작용으로써 강수 내 화학성분의 변화를 초래한다고 하였다(Park and Hwang, 1997).

이러한 대기오염에 의한 산성강하물의 유입은 산림 생태계에도 영향을 주고 있으며(Manion and Lachance, 1992; Georgii, 1986), 우리나라에서도 대기오염으로 수목 종수의 감소 등 산림 식생의 피해가 나타나기 시작했다(Kim, 1992). 산성비의 농도와 용존물질의 성분은 발생원에서의 거리나 기후인자 등 조사지역에 따라서 다를 뿐만 아니라 임내와 임외 및 오염원과의 근접 관계 등 많은 요인이 작용하므로, 조사지역과 산림특성에 따른 비교, 조사 연구는 산림내 양료변화의

구명 및 산림의 오염원 흡착능력을 파악하는데 매우 중요한 기초연구이다(Nakashima and Tanabe, 1991). 삼림생태계에서 물질의 이동은 대부분 수분을 통하여 일어나는데, 이러한 물질의 수직적 이동은 강수에 의해 크게 지배를 받는다. 임외우가 삼림생태계 내로 유입되면 여러 층의 임관을 통과하면서 지엽과 수피로부터의 용출 및 세탈되는 성분에 의하여 임내우(수관통과우, 수간류)의 용존원소가 증감하게 되는데(Bellot and Escarre, 1991; Aron and Lund, 1994), 이러한 경향은 수중(Cappellato *et al.*, 1993; Joo *et al.*, 1999), 수령(Binkley *et al.*, 1982), 지위(Tsutsumi and Nishitani, 1984), 지리조건(McDonald *et al.*, 1992) 및 기후조건(Lovett and Lindberg, 1984) 등의 요인에 따라 다르다.

삼림생태계의 물질 순환 규명 뿐만 아니라 삼림환경 변화를 예측하기 위해서는 강수-식생-토양에 이르기까지 각 단계에 있어서 강수에 포함되어 있는 용존원소의 특성을 구명할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 이 중에서 강우가 산림을 통과하면서 변화하는 수직적 이동특성을 구명하고자 강원도 춘천지역에서 임외우와 수관통과우와, 수간류를 채취하여 pH 및 용존원소를 분석하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 조사지 개황

강원도 춘천시 소재 강원대학교 내 조성되어 있는 산림 중 소나무와 리기다소나무 임분을 대상으로 2001년 4월부터 2001년 11월까지 강우강도 5 mm 이상의 단위 강우 발생시 임외우 및 임내우(수관통과우, 수간류)를 채취하였다. 조사지로 선정된 임분의 개황을 Table 1에 나타내었다.

2.2. 시료채취 및 분석

임외우의 분석용 시료는 일반 우량계를, 강수량은 전도형 우량계(수수구 직경 20 cm, 1전도 0.5 mm)를 이용하였다. 수관통과우는 지상 1.2 m 높이로 표준목 수

관하부의 수간쪽, 중간과 인접목 수관과의 경계부 등 3개 위치에 각 3개씩 9개소에 배치하고, 수간류의 경우는 우세목, 준우세목, 열세목 등을 각 3분씩 선정하여 총 9분에 대상목의 수간부 흉고(지상 1.2 m)에서 유도 채취하였다.

수질 분석용 시료(수관통과우, 수간류)는 시료채취가 불가능하였던 결빙기를 제외한 5 mm 이상의 단위강우 종료 후 1~2일 내에 채취하였다. 채취한 시료는 곧바로 여과를 거쳐 pH를 측정하고 분석시까지 냉동고에 보관하여, 양이온(Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Al³⁺ 등)은 원자흡광광도계(Z8230, HITACHI), 음이온(Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ 등)은 IC(DX-120, DIONEX)를 이용하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 강우량과 계절에 따른 pH의 변화

본 연구에서 측정된 임외우의 pH의 범위는 4.1~7.1이었으며, 평균 pH는 6.2±0.7으로 나타났다. 이러한 결과는 우리나라 중부지방의 성남(pH6.3)지역에서 관측한 강우의 평균 pH 보다는 낮은 값이었으나, 청원(pH6.1), 인천(pH5.8)과 강릉(pH4.8)의 경우보다는 높은 pH를 보였다(Park *et al.*, 1995). 소나무 임분의 수간류의 평균 pH는 5.9±0.9이었으며, 수관통과우는 pH6.0±0.8으로 측정되었다. 리기다소나무 임분의 경우는 수간류가 pH5.5±0.6, 수관통과우는 pH5.8±0.7의 평균값이 측정되었다. 또한 이 기간 중 조사지의 강우량 범위는 8 mm~252 mm로 평균 42±61 mm로 측정되었다. Fig. 1은 강우량과 임외우 및 조사 임분의 임내우(수간류, 수관통과우) 사이의 pH 관계를 나타낸 것이다. 그 결과를 보면 전체적으로 강우량이 적은 경우에 pH의 변이 폭이 컸으나, 강우량이 증가함에 따라 점차 감소하거나 증가하여서 안정화되는 것을 알 수 있었다. 이는 강우 시간이 지속되거나 강우량이 많아질 경우에 많은 양의 양이온과 음이온이 함께 세정되어 임외우 pH에 영향을 주는 것으로 사료된다(Choi *et al.*, 1998).

조사기간 중 임외우와 소나무, 리기다소나무 임분에서 측정된 강우 pH의 계절적 변화를 Fig. 2로 나타내었다. 임외우와 각 임분의 수간류와 수관통과우의 월별 pH의 변화는 4월부터 6월까지의 임외우를 비롯한 모든 강우가 낮아지는 경향을 보였으며, 7월과 8월

Table 1. Description of research stands

Species	Age (yr)	D.B.H. (cm)	Height (m)	Density (trees/ha)	Aspect
<i>Pinus koraiensis</i>	35~45	21.7±8.7	11.5±3.4	560	SW
<i>Pinus rigida</i>	27~33	14.8±5.2	11.2±2.7	1,130	SW

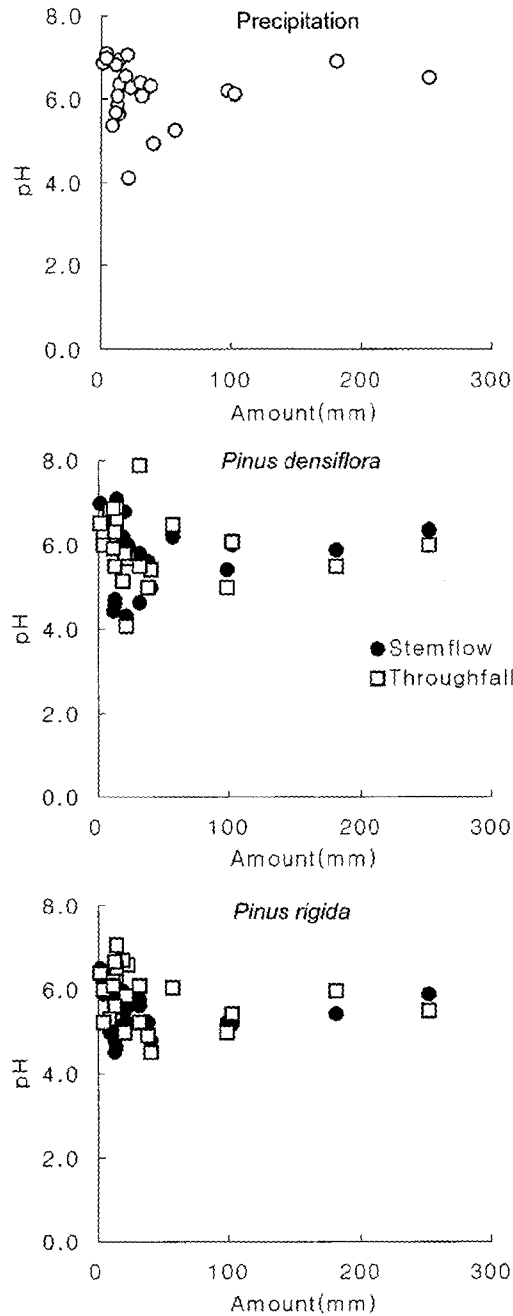


Fig. 1. Changes to the pH values in precipitation, stemflow and throughfall by amounts of the precipitation.

에 임외우의 pH는 증가한 반면 소나무 임분과 리기다 소나무 임분을 통과한 수간류와 수관통과우의 pH는 감소하는 양상을 보였다. 수간류의 경우는 8월과 10월

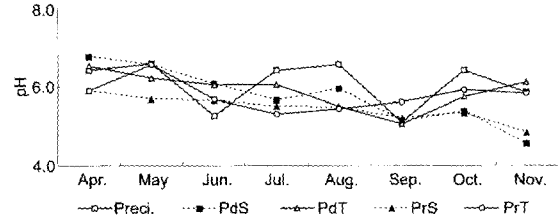


Fig. 2. Monthly changes to the pH values in *Pinus densiflora* and *Pinus rigida* stands. [Preci. : precipitation, Pd : *Pinus densiflora* stand, Pr : *Pinus rigida* stand, S : stemflow, T : throughfall]

을 제외한 나머지 기간에서 pH가 낮아졌으며, 수관통과우에서는 뚜렷한 계절적 특성을 찾을 수 없었다.

3.2. pH와 화학적 조성의 농도

본 연구에서 측정된 임외우와 소나무와 리기다 소나무의 수관통과우, 수간류 pH와 화학적 조성의 전체 평균 농도를 Table 2에 나타내었다. 임외에서 채취한 강우의 pH가 다른 두 수종의 임분에서 채취한 수간류와 수관통과우보다 높게 측정되었으며, 수간류에서는 리기다 소나무의 경우가 임외우보다 pH가 낮아지는 양상을 보였다. 수관통과우에서는 강우의 pH가 임외우보다는 낮았고, 수간류보다는 높게 측정되었다. 이는 산림내 건성강하물의 영향을 받은 것으로 판단되었다. 또한 임외우의 양이온과 음이온의 농도를 분석한 결과, 소나무와 리기다 소나무 임분에서 채취한 강우가 임외우보다 높게 나타난 것은 건기 때 건성강하물이 차지하는 비율이 그만큼 크다는 것을 알 수 있었다.

임외우의 이온 농도에 따른 양이온과 음이온의 변화를 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ 등의 양이온 중에서는 Ca^{2+} 의 농도 변화가 수간과 수관을 통과하면서 가장 크게 나타났으며, Mg^{2+} 과 Na^{2+} 의 경우는 농도의 변화가 Ca^{2+} 에 비해 상대적으로 작게 나타났다. 그러나, K^+ 의 경우는 임외우에 용존된 양이 적었음에도 불구하고 조사 임분을 통과하면서 평균 약 7~10배까지 증가하는 양상을 보였다. 이는 강우에 의한 수목의 용탈과 세정의 차이가 있으며, 그 중에서 K^+ 이 그 영향을 특히 많이 받는 것으로 판단하였다(Jin et al., 1999). 이와 같은 결과는 임외우 중의 양이온이 임내를 통과하면서 수간과 수관으로부터의 성분 용탈 및 건성 침착의 세탈에 기인하는 것으로 판단하였다(Feller, 1977; Edmond et al., 1991).

Table 2. Mean values of pH and ion concentration in *Pinus densiflora* and *Pinus rigida* stands

	Precipitation	Stemflow(meq/L)		Throughfall(meq/L)	
		<i>P. densiflora</i>	<i>P. rigida</i>	<i>P. densiflora</i>	<i>P. rigida</i>
pH	6.17±0.73	5.92±0.88	5.52±0.56	5.98±0.78	5.83±0.66
Ca ²⁺	0.034±0.05	0.119±0.14	0.154±0.23	0.091±0.14	0.107±0.18
Mg ²⁺	0.008±0.01	0.045±0.03	0.032±0.02	0.026±0.02	0.022±0.02
K ⁺	0.011±0.01	0.106±0.07	0.092±0.06	0.090±0.07	0.074±0.05
Na ⁺	0.007±0.00	0.044±0.03	0.038±0.03	0.026±0.03	0.025±0.03
Cl ⁻	0.022±0.03	0.125±0.09	0.133±0.12	0.074±0.06	0.072±0.09
NO ₃ ⁻	0.040±0.04	0.304±0.29	0.465±0.53	0.213±0.24	0.274±0.43
SO ₄ ²⁻	0.069±0.08	0.593±0.53	0.496±0.68	0.345±0.38	0.223±0.39

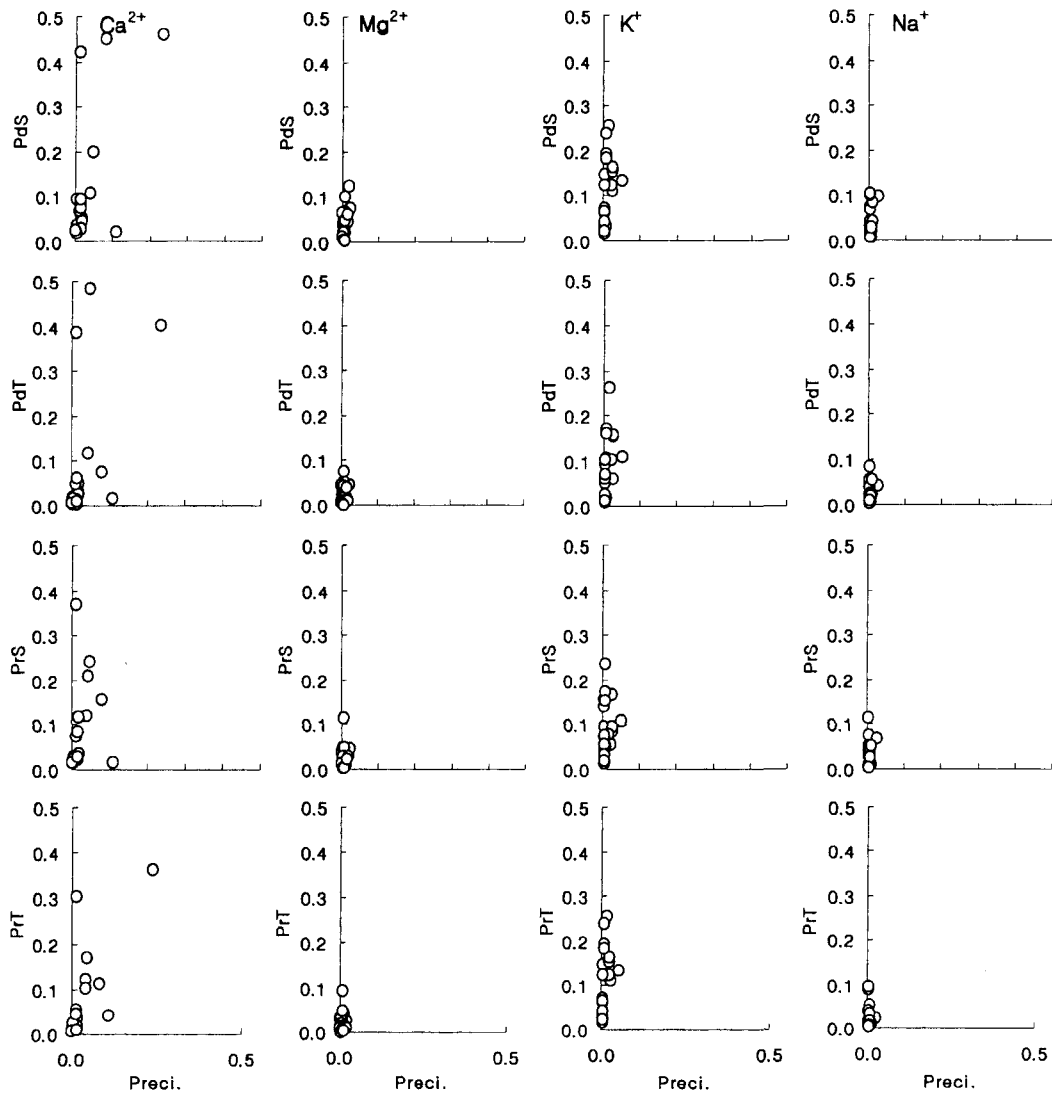


Fig. 3. Changes of the cation concentrations among the stemflow, throughfall and the precipitation.

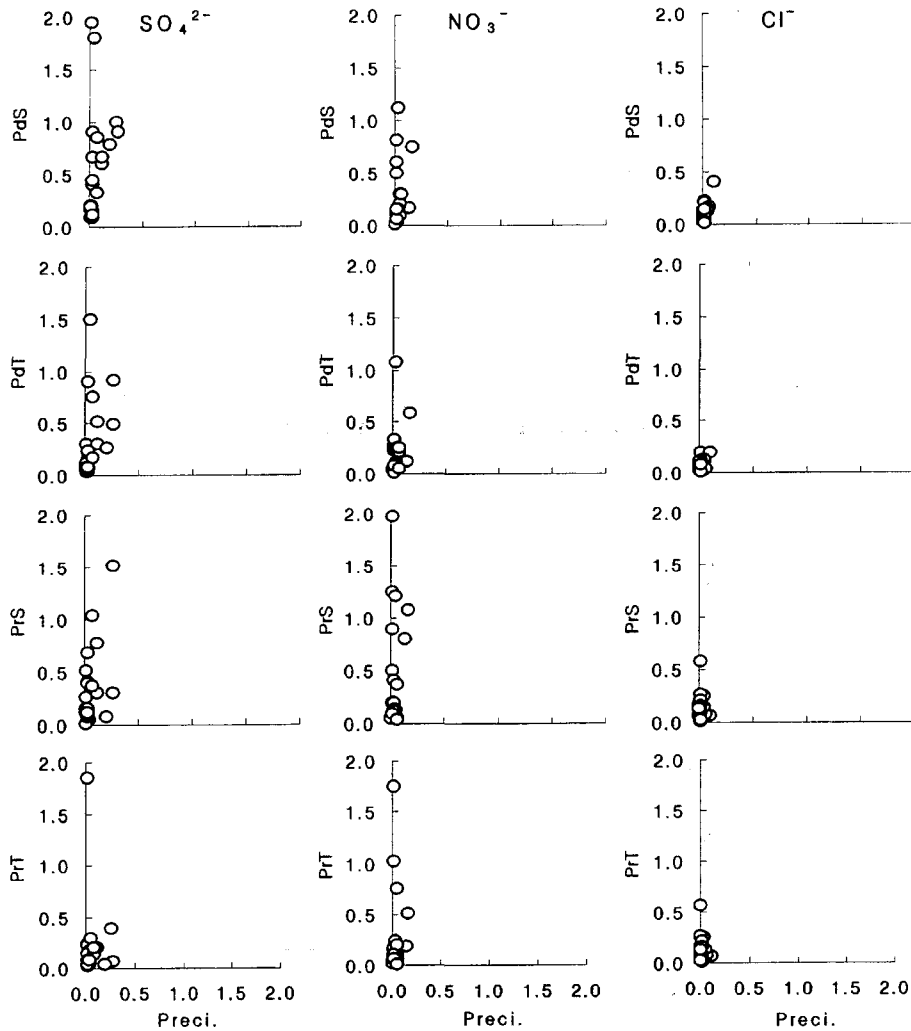


Fig. 4. Changes of the anion concentrations among the stemflow, throughfall and the precipitation.

SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- 등의 음이온의 농도 변화에서는 Cl^- 을 제외한 나머지 SO_4^{2-} 와 NO_3^- 에서 임외우보다 이온 농도가 증가하거나 변화하는 것을 볼 수 있었다. SO_4^{2-} 와 NO_3^- 의 이온 농도 변화는 수관통과우보다는 수간류를 거쳐 현저하게 임외우에 비해 크게 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이는 수목으로부터의 용탈과 건성침착으로 인한 세탈에 기인한 것으로 생각되었다(Joo *et al.*, 2001). 이와 같은 결과로 볼 때, 강우에 의한 수목의 용탈과 세탈의 차이가 있으며, 이는 수목의 각 기관을 통과하면서 그 차이가 있다는 것을 알 수 있었다. 앞으로 건성강하물과 습성강하물의 구분과 그 역할에 대한 체계적인 연구가 필요하겠다.

IV. 적 요

강우가 산림을 통과하면서 변화하는 화학적 조성을 알아보기 위하여 강원도 춘천지역의 소나무와 리기다 소나무 임분에서 임외우와 수관통과우, 수간류를 채취하여 pH 및 용존원소를 중심으로 한 화학적 조성의 수직적인 이동특성을 구명하고자 수행한 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

임외우의 pH의 범위는 4.1~7.1 이었으며, 평균 pH는 6.2 ± 0.7 로 나타났다. 소나무 임분의 경우는 수간류가 평균 pH 5.9 ± 0.9 이었으며, 수관통과우는 pH 6.0 ± 0.8 로 측정되었다. 리기다 소나무 임분의 경우는

수간류가 pH 5.5±0.6, 수관통과우는 pH 5.8±0.7의 평균값이 측정되었다. 강우량에 따른 임외우와 임내우(수간류, 수관통과우)의 pH 변화는 전체적으로 강우량이 적은 경우에 pH 값이 넓게 분포하였으나, 강우량이 증가함에 따라 점차 감소하거나 증가하여서 안정화되는 것을 알 수 있었다.

임외우와 소나무와 리기다 소나무의 수관통과우, 수간류에서 측정된 화학적 조성의 농도 변화는 양이온 중에서는 Ca²⁺의 농도 변화가 가장 크게 나타났으며, 음이온에서는 Cl⁻을 제외한 나머지 SO₄²⁻와 NO₃⁻에서 임외우보다 현저하게 이온 농도가 증가하거나 변화하는 것을 볼 수 있었다. 이와 같은 결과로 볼 때, 강우에 의한 수목의 용탈과 세정의 차이가 있으며, 이는 수목의 각 기관을 통과하면서 그 차이가 있다는 것을 알 수 있다.

인용문헌

- Aron, D. B. and L. J. Lund, 1994: Factors controlling throughfall characteristics of a high elevation Sierra Nevada site, California. *Journal of Environmental Quality*, **23**, 844-850.
- Bellot, J. and A. Escarre, 1991: Chemical characteristics and temporal variations of nutrients in throughfall and stemflow of three species in Mediterranean holm oak forest. *Forest Ecology and Management*, **41**, 125-135.
- Binkley, D., J. P. Kimmins and M. C. Feller, 1982: Water chemistry profiles in an early- and mid successional forest in coastal British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research*, **12**, 240-248.
- Cappellato, R., N. E. Peters and H. L. Ragsdale, 1993: Acidic atmospheric deposition and canopy interactions of adjacent deciduous and coniferous forests in the Georgia Piedmont. *Canadian Journal of Forest Research*, **23**, 1114-1124.
- Choi, K. C., C. H. Kim, J. G. Cho and J. H. Park, 1998: Ionic composition of early and succeeding rainwater in Pusan area. *Journal of Korea Air Pollution Research Association*, **14**(4), 361-368.
- Cogbill, C. V. and G. E. Likens, 1974: Acid precipitation in the northern United States. *Water Resource Research*, **10**(6).
- Edmond, R. L., T. B. Thomas and J. J. Rhodes, 1991: Canopy and soil modification of precipitation chemistry in a temperate rain forest. *Soil Science Society of American Journal*, **55**, 1685-1693.
- Feller, M. C., 1977: Nutrient movement through western hemlock-western redcedar ecosystems in southwestern British Columbia. *Ecology*, **58**, 1269-1283.
- Georgii, H. W., 1986: Atmospheric pollutants in forest areas. Reidel Publishing Co., Dordrecht. Holland. 287p.
- Jin, H. O., D. Y. Chung and C. H. Lee, 1999: Water chemistry profiles under Korean white pine(*Pinus koraiensis* S. et. Z.) stand. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, **1**(2), 110-118.
- Joo, Y. T., H. O. Jin and S. D. Lee, 2001: A study on leaching and adsorption in Korean pine(*Pinus koraiensis*) to precipitation. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, **3**(1), 1-4.
- Joo, Y. T., H. O. Jin, Y. H. Son, J. M. Oh and D. Y. Jung, 1999: The effects of the interaction between precipitation and tree species on the chemical properties of throughfall and stemflow. *Journal of Korean Forestry Society*, **88**(2), 149-156.
- Kim, J. K., 1992: Effects of air pollution on the forest vegetation in the vicinity of Onsan industrial complex in Korea. Ph. D. Thesis, Gyeongsang National University, 59p.
- Lovett, G. M. and S. E. Lindberg, 1984: Dry deposition and canopy exchange in a mixed oak forest as determined by analysis of throughfall. *Journal of Applied Ecology*, **21**, 1013-1027.
- Manion, P. D. and D. Lachance, 1992: Forest decline concepts. *APS Press*. St. Paul. MN. 249p.
- McDonald, N. W., A. J. Burton, H. O. Liechty, J. A. Witter, K. S. Pregitzer, G. D. Mroz and D. D. Richter, 1992: Ion leaching in forests ecosystem along a Great Lakes air pollution gradient. *Journal of Environmental Quality*, **21**, 614-623.
- Nakashima, Y. and K. Tanabe, 1991. Studies on the effect of forest system by acid rain(1)-Chemical compositions of rain water and fog water at Miyosi area. *Bull. of Hirosima Prefectural Forest Experiment Station*, **26**, 63-74.
- Park, J. K. and Y. S. Hwang, 1997: The characteristics of chemical components and acidity in the precipitation at Kimhae area. *Journal of the Korean Environmental Sciences Society*, **6**(5), 461-472.
- Park, K. T., G. E. Moon, J. G. Heo and H. B. Hong, 1995: A comparative study on the chemical compositions of precipitations in Sungnam city of Kyunggi province, Incheon city, Kangneung city of Kangwon province, and Chongwon-gun of Chungbuk province. *Journal of the Korean Environmental Sciences Society*, **4**(3), 285-294.
- Tsutsumi, T. and Y. Nishitani, 1984: On the effects of soil fertility on the throughfall chemicals in a forest. *Japanese Journal of Ecology*, **34**, 321-330.
- U.S. EPA., 1983: Acidity nutrient and minerals in atmospheric precipitation over Florida deposition patterns, mechanisms and ecological effects. EPA-600/3-83-004.