한국농림기상학회지, 제3권 제3호(2001)
Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 3, No. 3, (2001), pp. 143~149

江原道 平昌地域의 山林內 降雪 酸性度와 化學的 組成

- 大關嶺과 雲橋里를 中心으로 -

金英彩 · 鄭東浚 · 金洪律
慶熙大學校 林學科/生命資源科學硏究院
(2001년 8월 13일 접수)

The Acidity and Chemical Compositions of the Snowfall at *Pinus koraiensis* Stand in Pyungchang Region

- A centering around the Daegwalyung and Woongyori -

Young Chai Kim, Dong Jun Chung and Hong Ryul Kim
Department of Forestry/Institute of Life Science and Natural Resources
Kyunghee University, Yongin 449-701, Korea
(Manuscript received August 13, 2001)

ABSTRACT

This study was conducted to analyze the propertis, acidity and chemical compositions of the snowfall in the bare land and forest stand. The research sites of this study are the Daegwalyung (a high hill) and Woongyori in Pyungchang-gun, Kangwon province. The results of this study are as follows: The snowfall pH showed large changes when the snowfall was small. The more snow falls, the smaller changes of the pH are narrow. According to the local conditions, it means that the acid deposition changed over adsorption ratio in suspended matters of the atmosphere. Changes of the ion concentrations for the snowfall in the forest stand showed a thendency to increase. Chemical composition of the snowfall for each sampling site showed that the ion concentrations of Ca^{2+} and anions had higher value than other ions.

Key words **: snowfall, acidity, chemical composition, ion concentration, *Pinus koraiensis***

I. 서 론

생태계의 순환과 보전에 필요한 기본적인 환경요소로 깨끗한 공기, 맑은 물 그리고 비옥한 토양 등을 들 수 있다. 그러나, 이러한 요소들은 각종 산업화가 급속히 발전함으로써 그 성분과 질이 변화되고 있으며, 생태계에 위협이 되고 있다. 특히, 대기오염물질의 배출증대와 산성우의 발생 등의 환경문제는 매우 복합적이며, 대기-수질-토양 오염에 관련된 종합적인 환경영향을 야기하고 있다. 예를 들어, 산성우의 발생은 하천과 호수에 서식하는 어류의 종류와 양에 큰 영향을 주고있으며(Oden, 1976), 토양의 산성화를 가속시키고, 산림은 물론 여러 종류의 식물의 성장과 결실에도 피해를 주고 있다(김종갑, 1992; 김동엽 등, 1996). 이와 같은 산성우에 의한 산림의 쇠퇴와 호소의 산성화 등은 특히 유럽, 북미, 중국 등에서 심각한 사회문제로 제기되고 있으며, 일본(관동지방) 및 중국의 삼나무 임분의 쇠퇴가 산성우와 관련되어 있다는 연구 보고(Nakashima and Tanabe, 1991; 1992; Kobayashi *et al.*, 1995; 김종갑, 1997)가 있다. 또한 대기오염에 의한 산성우의 유입으로 나타나는 산림생태계의 피해현상은 세계 각 지역에서 발생하여 확산되고 있으며(Georgii, 1986; Manion and Lahance, 1992), 우리 나라에서도 대기오염으로 인한 수종의 감소 등

Corresponding Author : Hong-Ryul Kim(ryul02@hanmail.net)

산림 식생의 피해 양상이 나타나기 시작했다(김종갑, 1992). 특히 20세기 후반, 선진국은 물론 개발도상국에 이르기까지 인구의 도시 집중화와 공업화로부터 야기된 대기오염과 그로 인한 산성도가 높은 강수는 생물권의 생존환경을 위협하므로 이에 대한 관심이 고조되었다.

산성우가 식물 생태계에 미치는 영향은 기존 토양의 양료 상태와 강하한 산성물질 침착의 지속시간에 따라 상이하며, 농작물과 삼림의 생산성에 있어서도 증가 또는 감소한다는 엇갈리는 연구 결과(Johnson, 1981; Morison, 1984) 등으로 아직 확실한 결론을 내리지 못하고 있으나, 장기적으로 볼 때는 토양의 생산성이 감퇴되고, 식물생장 감퇴의 가능성이 큰 것으로 집약되고 있다(Johnson *et al.*, 1982). 산성우는 계절마다 여러 형태로 변화하여 생태계에 피해를 주고 있는데 봄, 가을엔 산성안개, 겨울엔 산성눈의 형태로 지상에 강하하고 있다. 현재의 연구는 강설보다는 강우에 치중하는 경향이 있어, 산성눈에 대한 연구는 미진한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 산성눈의 이온성분 특성을 조사하여 산성눈 연구에 대한 장기적이고 체계적인 기초 연구자료로 활용하고자 강원도 평창지역(대관령 과운교리) 강설을 적설심도 단계별로 채취하여 각각의 산성도와 이온 성분의 화학적 특성을 조사 분석하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 조사지 선정

조사지는 차량통행이 빈번한 영동고속도로 신갈기점 180 km 지역(대관령)과 차량 및 인간활동의 영향이 적은 강원도 평창군 운교리의 산림지역을 선정하였다. 각 조사지에 대한 위치와 개황은 Table 1과 Fig. 1에 나타내었다.

대관령 지역(강원도 평창군 도암면 횡계리, 북위 41°00', 동경 128°45')은 영동고속도로 신갈기점 180 km 지점에 인접한 산림지역으로서, 연평균 기온 6.3 °C, 강수량 1581.4 mm이다. 이 지역은 해발 900 m에 위치한 잣나무 인공조림지로서 평균 흉고직경은 16.5 ±2.1 cm이고, 평균 수고는 8.31±0.8 m인 25~28년생의 III 영급의 동령 임분구조를 나타내었다.

운교 지역(강원도 평창군 방림면 운교리, 북위 37° 22', 동경 128°22')은 연평균 기온 10.5°C, 강수량 1,287 mm로 인근에 소규모 농경지가 존재하며, 해발 400~850 m의 산지 지형으로 이루어진 산촌지역이다. 조사지는 해발 450 m의 잣나무 조림지로서 보안림으

Table. 1. General description of sampling sites

Location	Species	Age (yr)	DBH* (cm)	Height (m)	Density (trees/ha)	Aspect
Daegwalyung	*Pinus koraiensis*	25~28	16.5 ± 2.1	8.31 ± 0.8	1,239	SE
Woongyori		29~33	20.4 ± 3.5	9.6 ± 2.4	1,640	SE

*Diameter at breast height

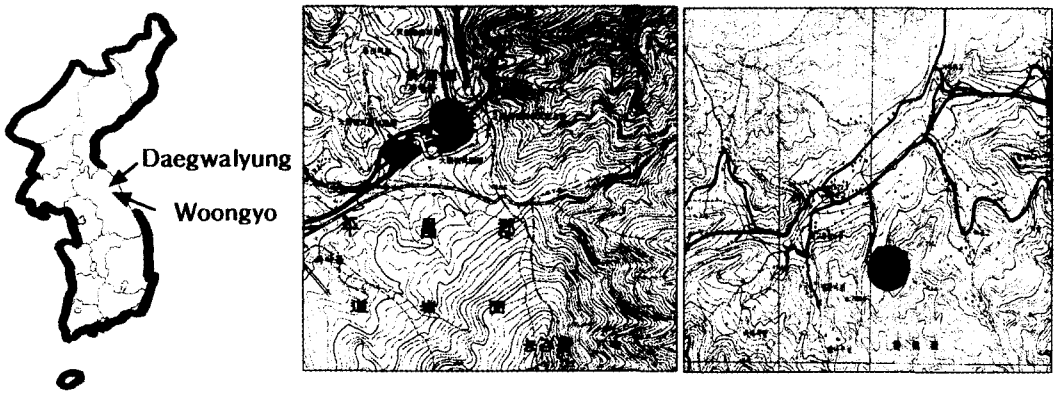

Fig. 1. The location map of research sites.

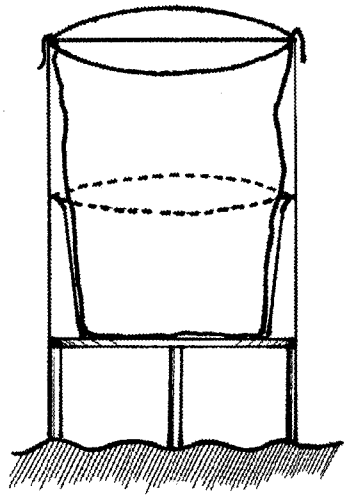

Fig. 2. An apparatus for sampling the snowfall.

로 지정되어 있어 외부의 영향을 받지 않은 건전임분이며, 평균 흉고직경이 20.4±3.5 cm, 평균 수고가 9.6±2.4 m인 29~33년생의 IV 영급의 임분이다.

2.2. 공시재료의 채취

2000년 1월 1일부터 2월 29일까지 공시재료를 채취하였다. 임외 강설의 채취는 산림과 인접한 나지 3개소에 poly-bucket(20 *l*) 용기의 개구부가 수평하게 지면에 설치하여 적설되도록 하였다. 임외 설치 장소는 반경 15 m이상 소개된 지역을 선택하였다.

임내 강설의 채취는 조사대상지의 각 임분 내에 3개소씩 임의 선정하여 임외 강설 채취 방법과 동일하게 설치하였다.

2.3. 시료의 분석

채취된 강설은 채취 즉시 실험실로 운반하여 산성도를 측정하였다. 이때 산성도를 측정하기 전 불순물질을 제거하기 위하여 filter paper(Toyo Roshi Kaisha, No. 5C-110 mm)로 1차 2회 여과 전처리한 후 pH meter (Bench top pH meter, HANNA Instrument Inc.)를 이용하여 3회 반복 측정하고 이를 산술평균하여 pH 값으로 취하였다. pH를 측정한 후 수용성이온을 분석하였으며, 분석직전 시료를 0.45 μm filter(Whatman) 2차 여과하였다. Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, Al^{3+} 등 양이온은 AAS(Z8230, HITACHI)로, NO_3^-, SO_4^{2-}, 등의 음이온은 IC(DX-120, DIONEX)를 이용하여 측정 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 강설의 산성도

대관령 지역과 운교 지역에서 관측된 강설의 pH와 적설량과의 관계를 Fig. 3에 나타내었다. 대관령 지역에 채취된 강설의 pH 값을 적설량과 비교하여 분석한 것이다. 총 21개의 시료 중 pH 5.60 이하의 값을 보인 경우가 14개로서 전체의 66.7%가 산성강설로 측정되었다.

이 지역의 적설량 분포는 0.8~10.7 cm로 평균 4.4±3.1 cm였으며, 강설의 pH는 3.66~6.08로 평균 pH 5.19±0.70이었다. 1회 강설이 3.0 cm 이하를 보였을 때 pH 값의 분포는 3.66~6.08로 적설량과 pH의 관계에서 일정한 경향이 보이지 않았으나, 3.1~6.0 cm

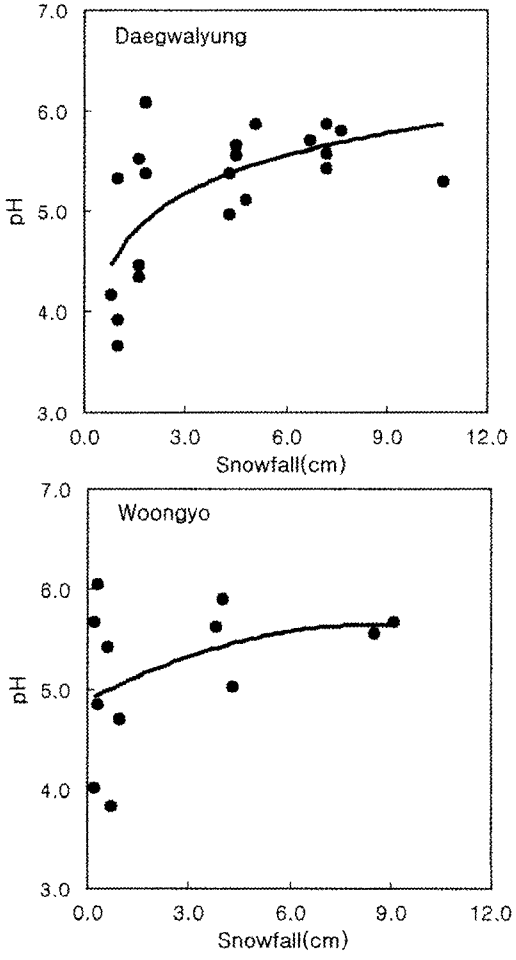

Fig. 3. Distribution pf pH values with the amount of snowfall at Daegwalyung and Woongyo.

의 적설시에는 pH 4.97~5.87, 적설량 6.1 cm 이상에서는 pH 5.29~5.87로 적설량 3.0 cm 이하의 경우보다 점차 pH 값이 안정되는 경향을 보였다. 이와 같은 현상은 초기 강수시 일시적으로 낮아진 pH는 강수량에 따라 다시 점점 높아지는 경향을 나타내었다는 결과(박정호 등, 1996)와 일치하는 것으로 강설에서도 적설량에 따른 pH 변화의 특성이 강수와 동일한 것으로 판단하였다. 이는 강우 중의 pH가 초기 강우나 강우량이 적을 때 일시적으로 감소하다가 강우의 경과에 따라 점차 pH가 증가하는 경향과 비교하여 볼 때, 낙하하는 강설의 결정에 의해 포집, 흡착되는 대기 중의 washout의 특성으로 생각하였다.

운교 지역은 총 12회 측정 중 pH 5.60 이하의 강설은 7회로서 전체의 58.3%가 산성강설이었으며, 평균 pH 5.20±0.7, 적설량은 2.70±3.2 cm로 측정되었다. 총 12회 측정된 강설의 pH는 적설량이 증가함에 따라 pH의 변화 폭이 작아지는 경향을 보였다. 적설량이 1.0 cm 이하였을 때 강설의 pH 값은 3.84~6.05의 변화를 나타내었으며, 8.0 cm 이상의 적설량에서는 pH 값이 5.56과 5.68로서 변이가 작았다. 즉, 대체적으로 적설량이 적은 때의 pH 값은 큰 편차를 나타내었으며, 강설량이 많아지면 pH 5.50~5.70 정도에서 거의 일정한 값을 나타낸다. 이와 같은 현상은 초기 강설시에 많은 양의 양이온과 음이온이 강설에 포집되어 흡착하여 pH의 변화를 가져오는 것으로 생각되었다. 강우의 경우와 비교했을 때 일반적으로 강우량이 증가함에 따라 pH 값의 변화가 작아지면서 어느 정도에서 일정한 pH 값에 수렴한다는 연구(최금찬 등, 1998)와 유사한 경향이었다. 이와 같은 현상은 강수 초기에 대기 중에서 산성물질과 함께 NH_3와 $CaCO_3$와 같은 성분들이 함께 녹아들어 산성물질을 중화시키기 때문으로 추측하였으며(최금찬 등, 1998), 본 연구에서도 비교적 적설량이 많은 경우에 pH 값이 높게 측정되어 이와 비슷한 양상을 보였다.

각 조사지역에서 채취된 강설의 적설량과 pH의 관계를 보면, 적설량이 적을 때에 pH 값 변화 분포가 크게 나타났으며, 적설량이 증가할수록 pH 값도 안정되는 경향을 보였다. 이러한 결과는 강우와 비교할 때, 강수량과 pH의 관계가 분산상을 보이면서도 전체적으로 보아 강수량이 많아짐에 따라 pH가 높아지는 경향을 보여 대기 중에 존재하는 산성물질의 희석비율이 달라짐을 의미함과 동시에 기단의 이동에 수반되어 유입되는 산성물질 역시 전적으로 배제할 수 없다는 결과(나춘기와 정재일, 1997)와 유사한 것으로 판단하였다. 즉, 우리 나라는 중위도 편서풍 지역에 위치해 있으므로, 서쪽으로부터 형성된 구름에 의해 강수가 시작되거나, 국지적인 대류현상에 의해 강수가 시작되기도 하는데(박종길과 황용식, 1997), 이러한 경우에 강수의 산성도는 rainout과 washout 현상의 복합적인 요인에 의해 시간이 지속됨에 따라 달라질 수 있으므로, 대기 중에 방출된 SOX, NOX 등의 인위적인 대기오염물질이 응결핵화 작용을 함으로써 비구름을 형성하고, 이것이 편서풍에 이동되어 강수현상이 발생하는 것이라 할 수 있다. 또한 국지적인 대류현상에 의한 강수현상은 그 지역 대기에 존재하는 응결핵과 인위적인 활동에 의해 방출된 오염물질이 응결핵화되어 강수를 형성(rainout)하거나, 씻겨내림(washout)으로써 강수량이 적을 때 pH의 값이 저하될 수 있다고 생각하였다.

3.2. 강설의 화학적 조성

대관령 지역의 임외 및 임내 강설의 화학적 조성의 경시적 변화를 Fig. 4와 5에 나타내었다. 대관령 지역의 강설 중 양이온 농도의 변화를 보면(Fig. 4), 임외 강설의 경우 전체적으로 평균 값이 Ca^{2+}은 3.488 mg/L로 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 K^+(1.648 mg/L), NH_4^+(0.942 mg/L), Na^+(0.779 mg/L) 그리고 Mg^{2+}(0.172 mg/L)의 순으로 나타났다.

이와 같은 결과는 대관령과 인접한 강원도 강릉시의 겨울철 강수의 양이온 농도가 $NH_4^+ > Na^+ > Ca^{2+} > K^+ > Mg^{2+}$로 나타난 결과(박국태 등, 1995)와 일치하지 않았다. 이는 조사 지역의 지형이 남서사면으로서 편서풍의 영향을 받는 것과 강릉 지역이 동해안과 접해 해양성 기후의 영향에 기인한 것으로 판단하였다. 임외 강설의 양이온 농도의 변화동태는 조사 전기간 동안 Ca^{2+}을 제외한 나머지 이온들은 그 변화 폭과 농도의 증가와 감소의 경향이 유사하게 나타났다.

임내 강설 중 양이온 농도의 평균 값 변화는 Ca^{2+}이 4.414 mg/L로 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 K^+(2.327 mg/L), NH_4^+(1.695 mg/L), Na^+(0.933 mg/L) 그리고 Mg^{2+}(0.755 mg/L)의 순으로 나타났다. 이러한 결과는 임외 강설의 양이온 농도와 동일한 순서였으며, 모든 양이온에서 농도의 증가 경향을 보였다.

또한 산림지역에서 임내우의 양이온 농도가 증가하

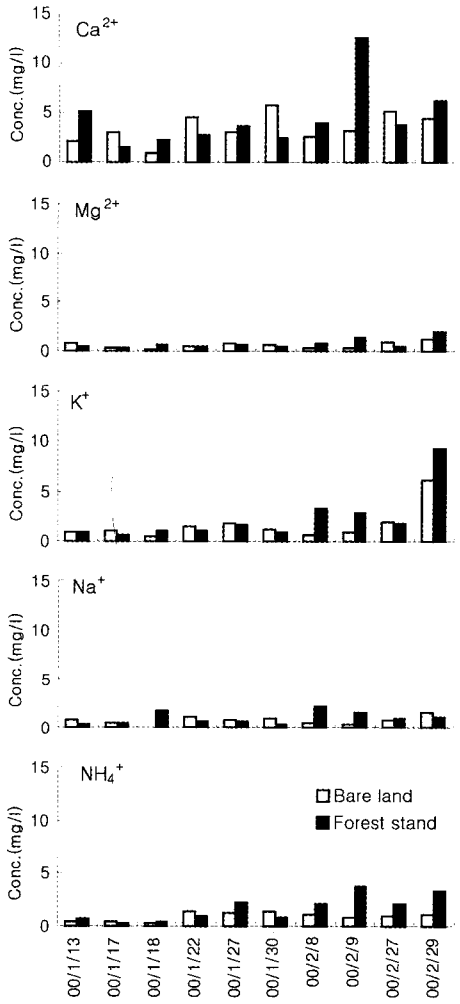

Fig. 4. Changes of the cation concentrations between the bareland and forest stand at Daegwalyung.

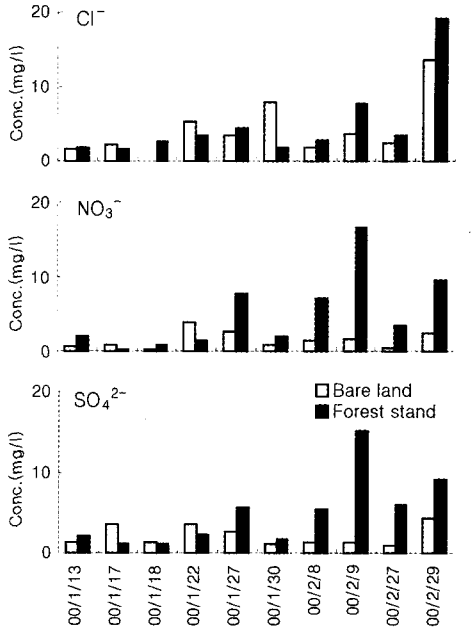

Fig. 5. Changes of the anion concentrations between the bare land and forest stand at Daegwalyung.

는 경향은 강우가 임내를 통과(수관통과우)하면서 각 용존원소의 농도가 증가하며(박영대 등, 1999), 수관통과우의 용존원소량이 임외우와 비교해서 많다는 것(박재현과 우보명, 1998)과 일치하였다.

대관령 지역의 임외와 임내 강설에서 분석된 음이온 농도의 변화를 보면(Fig. 5), 평균 값이 Cl^-(4.648 mg/L), SO_4^{2-}(2.145 mg/L) 그리고 NO_3^-(1.507 mg/L)의 순으로 측정되었다. 이는 인접한 강원도 강릉시에서 관측된 강우 중의 음이온 농도가 $NO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$인 결과(박국태 등, 1995)와 일치하지 않았다. 이는 대관령 지역이 고지대의 산악 지형과 표고차에 의한 빠른 편서풍의 영향을 받는 것으로 판단되었다. 조사기간 동안의 임외 강설의 음이온 농도의 변화는 Cl^-을 제외한 다른 두 이온의 변화가 유사하였다. 이는 양이온 농도에서 Ca^{2+}의 농도 변화가 다른 양이온에 비해 높게 나타난 것으로 보아 조사 지역이 잦은 강설로 제설시 사용되는 $CaCl_2$의 영향을 받는 것으로 판단되었다.

임내 강설의 평균 음이온 농도의 변화는 임외 강설과 달리 NO_3^-가 5.086 mg/L로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 SO_4^{2-}(4.957 mg/L), Cl^-(4.903 mg/L)의 순이었다. 임내에서의 음이온 농도 변화는 임외 강설과 달리 모든 음이온에서 증가와 감소의 폭이 크게 나타났다. 특히, 임외 강설에서 가장 높았던 Cl^-의 경우, 임내 강설에서는 시일이 경과함에 따라 점차 그 농도가 증가하여 산림 내에 축적되는 것을 알 수 있었다.

운교 지역에서 채취한 강설의 양이온과 음이온의 농도에 대한 경시적 변화를 분석한 결과를 Fig. 6과 7에 나타내었다. 운교 지역의 양이온 농도(Fig. 6)는 임외 강설의 경우 Ca^{2+}(3.161 mg/L)이 가장 높았으며, NH_4^+(2.451 mg/L), K^+(1.205 mg/L), Na^+(0.807 mg/L)과 Mg^{2+}(0.451 mg/L)의 순으로 나타났다. 이와 같은 결과는 동일한 지역에서 채수한 강우의 양이온 농도가 $Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+} > NH_4^+ > K^+$의 순서였다는 연구(김홍률, 2000)와 차이가 있는 것이었다. 그러나 김홍률(2000)의 연구에서는 겨울철을 제외한 강우의 이온농

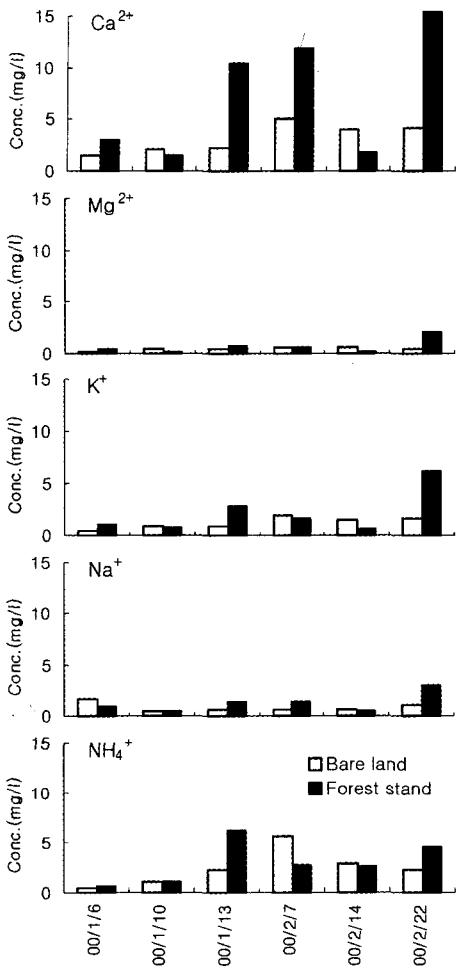

Fig. 6. Changes of the cation concentrations between the bare land and forest stand at Woongyo.

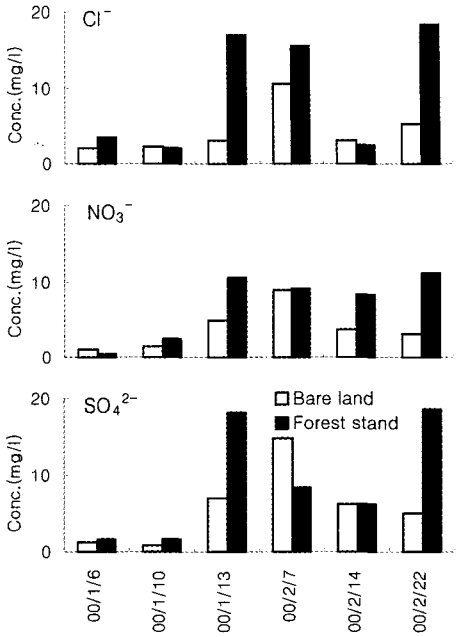

Fig. 7. Changes of the anion concentrations between the bare land and forest stand at Woongyo.

도 변화에 대한 것으로서 겨울철 강수와 비교하기는 적합하지 않다는 것을 알 수 있었다. 즉, 이 지역의 강우가 Na^+과 Mg^{2+}의 농도가 높은 것과는 달리 임외 강설은 이 두 원소가 낮은 값으로 나타나 강우와 강설의 화학적 특성은 차이가 있었다. 그 외의 연구로는 구자공과 박경렬((1993)이 겨울철 강수의 이온농도가 $Ca^{2+} > NH_4^+ > Mg^{2+} > Na^+ > K^+$의 순으로 측정되어 운교지역의 임외 강설 이온농도와 마찬가지로 Ca^{2+}과 NH^{4+}의 농도가 높게 나타나는 비슷한 양상을 보였다. 양이온 농도의 변화 동태는 임외 강설에서 모두 동일한 증가와 감소의 경향을 보였고, Ca^{2+}과 NH^{4+}의 경우만 그 변화폭이 크게 나타났으며, 그 외의 이온은 변화의 폭이 비교적 작았다. 이와 같은 경향은 우리나라 중부지방의 겨울철 강수의 이온농도 변화가 Ca^{2+}과 NH^{4+}에서 가장 크게 나타난 것(박국태 등, 1995)과 동일한 양상이었다.

임내 강설의 양이온 농도는 Ca^{2+}(7.356 mg/L)이 가장 높았으며, NH_4^+(2.946 mg/L), K^+(2.160 mg/L), Na^+(1.260 mg/L)과 Mg^{2+}(0.702 mg/L)의 순으로 나타나 임외 강설과 동일한 순서를 보였다. 또한 각 이온농도의 값은 NH^{4+}를 제외한 나머지 모든 이온에서 임외 강설보다 증가하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 강우가 임내를 통과(수관통과우)하면서 각 용존원소의 농도가 증가하며(박영대 등, 1999), 수관통과우의 용존원소량이 임외우와 비교해서 많다는 것(박재현과 우보명, 1998)과 일치하였다.

임외 강설에서 음이온 농도의 변화를 보면(Fig. 7), SO_4^{2-}가 5.876 mg/L로 가장 높았으며, Cl^-(4.364 mg/L)과 NO_3^-(3.846 mg/L)의 순으로 측정되었다. 이러한 결과는 우리 나라 성남시와 인천광역시의 경우와는 동일한 것(박국태 등, 1995)이었고, 서울 지역의 강수의 화학적 특성 중 음이온 농도가 $SO_4^{2-} > NO_3^- > Cl^-$의 순이었다는 것과는 차이가 있는 것이었다(강공언 등, 1996). 음이온 농도의 변화동태는 조사 전기간 동안 SO_4^{2-}가 큰 폭으로 변화하였으며, 나머지 Cl^-과 NO_3^- 역시 유사한 증가와감소의 경향을 보였으나, SO_4^{2-}보다는 변화 폭이 작았다.

임내 강설의 음이온 농도의 변화는 임외 강설과 달리 Cl^-(9.806 mg/L)이 가장 높게 나타났으며, SO_4^{2-}(9.089 mg/L)와 NO_3^-(6.968 mg/L)의 순이었다.

이와 같은 결과는 임외우가 임내를 통과하면서 음이온의 농도가 증가한다는 연구(주영특 등, 1999)와 일치하는 결과였다. 임내 강설의 음이온 농도의 변화동태는 임외 강설 중 음이온 농도의 증가 또는 감소의 경향과 거의 동일하게 나타나 결정체 상태의 강설 역시 강우와 동일한 변화 양상을 보인다는 것을 알 수 있었다.

IV. 적 요

각 지역의 겨울철 강수인 눈의 산성도와 화학적 조성과 산림지역의 임내·외 강설의 특성을 비교 분석하고자 대관령 지역(강원도 평창군 도암면 횡계리)과 운교 지역(강원도 평창군 방림면 운교리)을 대상으로 강설을 채취하여 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 조사 지역의 강설을 채취하여 적설량과 pH의 관계를 보면, 두 지역 모두 적설량이 적을 때는 pH의 변화 분포가 크게 나타났으며, 적설량이 증가할수록 pH가 안정되는 경향을 보였다. 이와 같은 결과는 강우현상에 있어 국지적인 환경에 따른 대기중의 부유물질 중에서 산성물질의 흡착비율이 달라짐을 의미함과 동시에 광역적으로 분포하는 산성물질의 유입도 고려해야 한다는 연구(나춘기와 정재일, 1997)와 유사한 것으로 강설의 경우에도 적용할 수 있다고 판단하였다.

2. 각 조사 지역의 강설 중 임외 강설과 임내 강설으 이온농도 변화는 전체적으로 임내에서 증가하는 경향을 보였다. 이 중에서 양이온의 경우는 Ca^{2+}, 음이온은 NO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^- 모두가 증가의 양상을 보였다.

3. 이러한 결과를 기초로 하여 각 이온농도간의 편차와 상호관계를 파악하기 위해서 각 이온간의 상관성과 요인분석을 실시하여 비교하는 것이 각 지역 강설의 화학적 특성을 구명할 수 있을 것으로 판단된다.

V. 인용문헌

구자공, 박경렬. 1993: 대전지역 산성강우의 화학적 특성에 관한 연구. 한국대기보전학회지 **9**(2), 147-153.

김동엽, 유정환, 채지석, 차순형. 1996: 대기오염물질의 산림생태계내 유입과 토양의 화학적 특성 변화. 한국임학회지 **85**(1), 84-95.

김종갑. 1992: 온산공단주변의 대기오염이 산림식생에 미치는 영향. 경상대학교 박사학위논문. pp.1-59.

김종갑. 1997: 지구환경변동과 농림업. 서경출판사. 서울. 237p.

김홍률. 2000: 임외우, 수관통과우, 안개 및 이슬의 산도와 화학적 조성의 지역간 비교. 경희대학교 대학원 박사학위논문. pp.94.

나춘기, 정재일. 1997: 전주시에서 채수된 강수의 화학적 조성. 한국대기보전학회지 **13**(5), 371-381.

박국태, 문경언, 허정언, 홍현보. 1995: 경기도 성남시, 인천시, 강원도 강릉시, 충북 청원군 강수의 화학적 성분에 관한 비교 연구. 한국환경과학회지 **4**(3), 285-294.

朴榮大, 李敦求, 金東燁. 1999: 京畿道 廣州 地方 잣나무林, 落葉松林, 濶葉樹林에서 樹冠通過雨, 樹幹流, 土壤水內 養料動態. 韓國林學會誌 **88**(4), 541-554.

박재현, 우보명. 1998: 산림유역내 강수, 수관통과우, 토양수 및 계류수 수질의 화학적 특성. 한국임학회지 **87**(1), 62-73.

박종길, 황용식. 1997: 김해지방의 강수의 산도 및 화학적 성분 특성. 한국환경과학회지 **6**(5), 461-472.

주영특, 진현오, 손요환, 오종민, 정덕영. 1999: 강우와 식생의 상호작용이 수관통과우 및 수간류의 화학적 성질변화에 미치는 영향. 한국임학회지 **88**(2), 149-157.

최금찬, 김창환, 조정구, 박정호. 1998: 부산시 일부지역에 대한 초기 및 후속강우의 이온성분 특성. 한국대기보전학회지 **14**(4), 361-368.

Georgii, H. W. 1986: Atmospheric pollutants in forest areas. Reidel Publishing Co., Dordrecht. Holland. 287p.

Johnson, D. W. 1981: Acid rain and forest productivity. Proc. XVII IUPRO World Congress. Div. **1**, 73-89.

Johnson, D. W., J. Turner and T. M. Kelly. 1982: The effects of acid rain on forest nutrient status. *Water Resources Research* **18**, 449-461.

Kobayashi, T., Y. Nakagawa, M. Tamaki, T. Hiraki and M. Shoga. 1995: Evaluation of Acidic Deposition onto the Forest Canopies -Study on the Method of Estimating Dry Deposition and Leaching Rate Devidedly-. *Jap. Environmental Science* **8**(1), 25-34.

Manion, P. D. and D. Lachance. 1992: Forest decline concepts. APS press. St. Paul. MN. 249p.

Morrison, I. K. 1984: Acid rain: A review of literature on acid deposition effects in forest ecosystems. *Forestry Abstracts* **45**(8), 483-506.

Nakashima, Y. and K. Tanabe. 1991: Studies on the effect of forest system by acid rain(I)-Chemical compositions of rain water and fog water at Miyoshi area. *Bull. of Hirosima Prefectural Forest Experiment station* **26**, 63-74.

Oden, S. 1976: The acidity problem an outline of concepts. *Water Air Soil Pollu.* **6**, 137-148.