

대기오염지역과 비오염지역 강우의 이온특성

김종갑 · 田中淳一* · 福岡義隆*
경상대학교 농과대학 산림과학부
히로시마대학 종합과학부 자연환경연구강좌*

Characteristic of Ions in Rainwater at Air Polluted and Non-Polluted Area

Kim, Jong-Kab, Yositake Fukuoka* and Junichi Tanaka*

Faculty of Forest Science, College of Agriculture, Gyeongsang National University, Chinju 660-701, Korea
Faculty of the Integrated Arts & Sciences, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima 724, Japan*

ABSTRACT

This study was carried out to investigate characteristic of ions in rainwater by throughfall, stemflow and rainfall at air polluted area(Kure city ; industrial city) and non-air polluted area (Higashihiroshima city ; non industrial city).

pH of rainwater in air polluted area were all low as compared with those in non-air polluted area. EC of rainwater in air polluted area were high in throughfall and stemflow, but there was no difference between both areas in rainfall. The concentration of major ions in rainwater were generally high at air polluted area, especially of Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^{-} and SO_4^{2-} in stemflow. But there was little difference in NH_4^{+} , and there was also cases had a high concentration in non-air polluted area. By comparison with forest type, in stemflow concentration of ions in coniferous forest were higher than those in broad-leaved, but in throughfall they were higher in mixed forest rather than coniferous forest. There was no correlation between the amount of rainwater and pH, and also EC. NO_3^{-} and SO_4^{2-} had high correlations between major ions besides Na^{+} and NH_4^{+} in air polluted area.

Key words : Air polluted area, Non-polluted area, Rainwater.

서론

최근 지구규모의 환경문제가 많은 관심을 불러 일으키고 있다. CO_2 , CH_4 등의 증가로 인한 지구온난화 문제, 프레온 가스에 의한 성층권 오존층의 파괴, 대규모의 열대림 파괴 및 무분별한 산지개발에 의한 산림의 축소, NO_x , SO_x 등의 대기오염가스 증가로 인한 산성강하물의 문제 등을 들 수 있다.

특히 산성비에 의한 산림의 쇠퇴와 호소의 산성화 등이 유럽, 북미, 중국 등에서 심각한 사회문제로 되고 있으며, 일본에서도 최근 관동 및 중국지방의 삼나무 등의 쇠퇴가 산성비와 관련되어 있다는 연구 보고가 많다 (Nakagima and Tanabe 1992, 1993, Kobayashi *et al.* 1995, 김 1997).

산림내에서 강우는 수관 및 수간을 통과하면서 임목에 부착되어 있는 건성침착물의 영향을 받는다. 산림수관층에 침착된 산성물질은 잎에 직접적인 영향을 미칠

뿐만 아니라 강수에 의해 유출되어 수관 바로 아래의 토양에 큰 영향을 미치고 있다. 대기오염지역에서 임목의 습성·건성침착물질은 수관통과우(임내우) 및 수간류에 의해 토양의 산성화를 가져와 토양생태계와 산림생태계의 변화를 초래시킨다(Tamaki et al. 1991). 따라서 임내우 및 수간류와 임외우를 비교함으로써 산림내 강우의 동태 및 영향에 대하여 조사할 수가 있다.

본 연구는 산림쇠퇴에 영향을 미칠 것으로 추측되는 산성우의 산림내에서의 동태를 파악하기 위해, 일본 히로시마현에서 대기오염원이 많은 산림지역과 대기오염원이 적은 산림지역에서 강우를 채취하여 그 이온의 특성을 조사하였다.

재료 및 방법

강수의 채취지역

강수의 채취에는 2가지의 의미가 있다. 하나는 「광역 monitoring」으로서, 넓은 범위에 걸쳐서 산성비의 백그라운드적인 상황을 장기적으로 감시하여 그 추이와 생태계에 미치는 영향을 평가하기 위한 것이며, 다른 하나는 「지역 monitoring」으로서, 그것은 국소 지역의 산성비 상황을 감시하기 위한 것이다. 이번 조사의 목적은 삼림내의 강수의 동태이며, 광범위한 산성비의 상황을 조사하는 것이 목적이 아니므로 「지역 monitoring」를 행하기로 했다.

채취지는 다음의 몇 가지를 고려하여 선택했다.

- ① 오염원이 있는 시설 또는 도시 주변일 것.
- ② 그 지역과 비교할 수 있는 오염원이 거의 없는 지역.
- ③ 채취를 행하기 위한 장소로서 침엽수와 활엽수가 공존해 있는 지역.

또한 일반적으로 강수의 채취에 필요한 조건은 環境廳大氣保全局(1993)에 의하면 「지역 monitoring」의 경우,

- ① 반경 20 m 이내에 뚜렷한 장애물이 없을 것.
- ② 기상관측 데이터를 얻을 수 있을 것.
- ③ 가능한 大氣汚染常時測定局의 데이터를 얻을 수 있는 곳 등으로 되어 있으며, 이 가운데 ①은 임외우에 관한 조건이다.

이번 조사에서는 위의 조건을 충족한 지역으로서, 오염지역으로서는 히로시마현 구레시(吳市) 休山 山頂 부

근으로 했으며, 대조지역으로서는 오염원이 거의 없다고 판단되는 동히로시마시(東廣島市)의 주변으로 했다. 두 지역의 거리는 50 km 이상 떨어진 곳이다.

양지역 모두 임내우 2지점, 수간류는 Nakagima와 Tanabe(1992)에 의해 지적된 바와 같이 침엽수, 활엽수에 따라 차이가 있으므로 각각 1종씩 채취했다. 임내우에 있어서도 수종에 따라 차이가 있지만 양지역에서 같은 수종을 가진 활엽수림을 찾을 수 없어서, 본 조사에서는 다양한 수종이 혼효되어 있는 혼효림과 침엽수림은 소나무림에서 채취했다. 수간류는 東廣島市에서는 *Acanthopanax sciadophylloides*(두릅나무과에 속하는 낙엽교목), 삼나무(*Cryptomeria japonica*), 吳市에서는 소나무(*Pinus densiflora*), 졸참나무(*Quercus serrata*)에서 채취했다. 침엽수에서 양지역 같은 수종을 선택할 수 있었지만 흉고직경과 수고가 적당한 나무를 찾을 수 없어서, 수종이 다르지만 흉고직경과 수고가 비슷한 소나무와 편백을 선택하여 채취했다. 임외우는 임내우, 수간류의 채취장소에서 가까운 장소에서 각각 하나씩 채취했다.

조사방법

임내우, 임외우의 채취장치는 용량 20 l의 폴리에틸렌 용기에 이물질이 들어가지 못하도록 망사를 붙인 직경 30 cm의 로드를 접속한 간이 채취장치방식(環境廳大氣保全局 1993)으로 했다. 이 장치를 빗물이 지면으로부터 튀어오르는 것을 방지하기 위해 60 cm 높이로 설치대를 설치하여 고정했다. 이러한 채취방식은 건성침착물도 채집되지만, 매강수마다의 채취가 아닌 경우 자동포집기가 아닌한 습성침착물과 구별하여 채집하기는 어렵다. 따라서 본 조사에서는 습성, 건성 모두 채집했다. 수간류에 관하여는 채취법에 의한 차이가 크고, 또한 각각의 방법에 대하여 검토의 여지가 많지만, 이번에는 비교적 간단하고 채취하기 쉬운, 수목에 거즈를 둘러 채취하는 거즈식을 사용했다. 1 m에서 2 m의 높이에 거즈를 둘러 거즈 끝을 고무호스에 연결하고 그 고무호스를 용량 20 l의 폴리에틸렌 용기에 접속하여 채취했다. 각각의 용기는 알루미늄 호일로써 싸서 햇빛을 차단했다. 한편 강수 채취부의 높이는 지상으로부터 약 1.3 m 이상으로 했다.

임내우는 설치지점 상부에 충분한 수관이 있는 것을 고려하여 설치했다.

시료의 분석·측정

1996. 7. 4~1996. 11. 17까지로서 2주 간격으로 채취했다.

채취시료의 분석항목은 pH, EC, 양이온(Mg²⁺, Ca²⁺, Na⁺, K⁺, NH₄⁺) 및 음이온(Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻) 등이며, 이들 이온들이 강수에 포함되는 일반적인 성분이고, 이 8개의 성분이 강수의 성분을 대부분 차지하고 있기 때문에 본 조사에서는 이들의 농도분석을 행했다.

금속이온은 ICP-AES(Optima 3000)를 이용하여 정량하였으며, 그외 이온은 이온크로마토그래프법으로 행했으며, 이온크로마토그래프에서 사용된 칼럼은 음이온 ICS-A23, 양이온 ICS-C15이었다.

결과 및 고찰

강수의 채취량과 pH, EC의 변화

8회의 채취결과를 채취량으로 단순평균하여 양지역을 비교한 것은 Fig. 1과 같다. 임의우의 채취량은 구레시와 동히로시마시가 2,900 ml 정도로서 양지역이 비슷했지만 임내우와 수간류는 차이가 많았다. 임내우는 구레

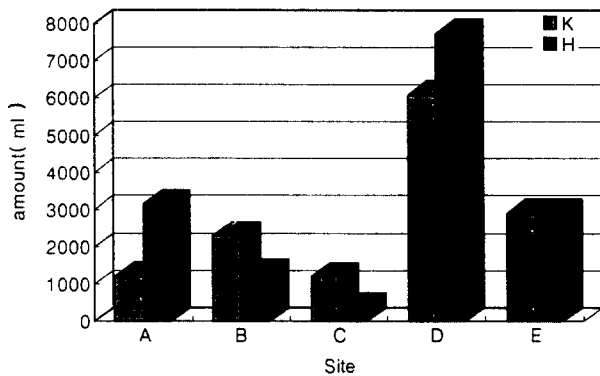


Fig. 1. Average collection amount in both areas. (K : Kure city, H : Higashiroshima city)
 {Legend ; A : Throughfall of coniferous forest, B : Throughfall of mixed forest, C : Stemflow (K : *Pinus densiflora*, H : *Cryptomeria japonica*), D : Stemflow (K : *Acanthopanax sciadophylloides*, H : *Quercus serrata*) E : Rainfall}

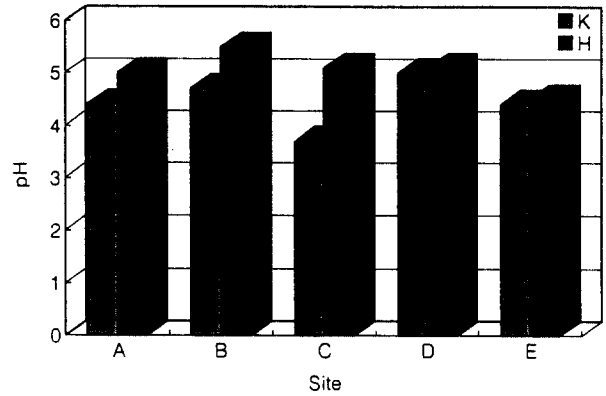


Fig. 2. Average pH of each survey site.

시의 침엽수림을 제외하면 임의우보다 적어 잎과 가지에서의 강우 차단현상이 있음을 알 수 있었다. 또한 일반적으로 활엽수의 수간류가 임내우보다 훨씬 많은 채취량을 보이긴 하지만(Nakagima and Tanabe 1992, 1993), 본 조사에서의 활엽수의 수간류는 양지역 모두 많았는데 이는 본 조사에서의 수간류 채취목이 수피가 깨끗한 수목이며 채취방법이 거즈식이어서 임내우와 침엽수의 수간류보다 많이 채취되었다고 추측할 수 있었다. 그러나 침엽수의 수간류는 적게 채취되었으며, 특히, 동히로시마시의 침엽수 수간류는 매우 적었는데 이는 강우가 있었지만 채취량이 적어 분석에 이용할 수 없었던 경우가 있었으며, 또한 수피가 거칠어서 채취가 어려웠다고 사료되었다. 이는 앞으로 수간류 채취방법상 고려해야 할 것으로 사료되었다.

pH는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 동히로시마 지역이 4.5~5.5로서, 공업지역인 구레시의 3.7~5.0보다 높아, 구레시 지역이 대기오염의 영향을 많이 받고 있음을 시사하고 있다. 구레시에서는 수간류D에서 가장 높게 나타났는데, 이는 일반적으로 강우량이 많으면 pH가 높다는 결과(Hiraki et al. 1985)와 일치하는 것이다. Nakagima와 Tanabe(1992)는 수종별 수간류의 pH조사에서 침엽수가 활엽수보다 pH가 낮았다고 하였는데, 본 조사에서도 구레시에 있어서는 이와 같은 경향이었으나 동히로시마시에서는 비슷한 경향을 나타내었다.

Fig. 3은 임내우, 수간류, 임의우의 전기전도도(EC)를 나타낸 것이다. EC는 강수중의 이온성분과 매우 높은 상관관계를 갖고 있으며, 이온총량의 지표로서 유효하다(Hiraki et al. 1985). 또한 EC는 오염의 정도가 크면 클수록 이온농도가 증가하여 EC가 높아지며, 강수가 깨

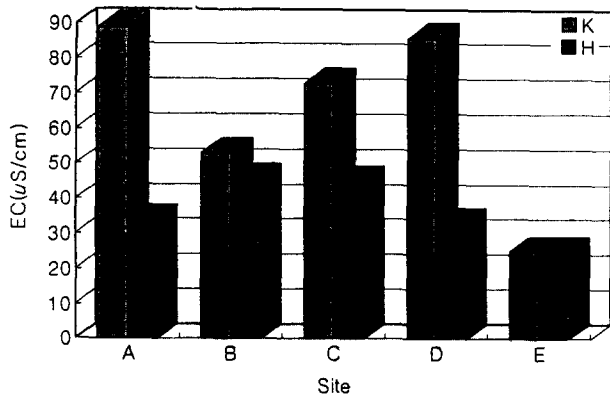


Fig. 3. Average EC of each survey site.

꽃할수록 EC가 낮아진다(Whitehead *et al.* 1988). 본 연구에서는 공업지역인 구레시가 임외우를 제외하고 모두 비공업 지역인 동히로시마시보다 높아 대기오염의 영향을 추측할 수 있었다. 특히 침엽수림의 임내우와 수간류에서는 2배 이상으로 높았으며, 임내우 및 수간류의 EC가 임외우보다 높아 건성침착물의 영향이 큰 것으로 사료되었다.

임내우 수간류 및 임외우 이온성분의 농도변화

Table 1은 8회의 채취에서 분석한 양이온의 농도를 평균하여 나타낸 결과이다. 임내우 및 수간류의 농도는 임외우보다 거의 모두 높았다. 임내우에서 보면, 구레시에서는 $Ca^{2+} > K^+ > Na^+ > Mg^{2+} > NH_4^+$ 순이었으며, 동히로시마시에서는 $Ca^{2+} > K^+ > NH_4^+ > Na^+ > Mg^{2+}$ 으로 약간의 차이가 있었다. 각이온의 농도는 대부분 구레시가 높았으며, 침엽수림의 임내우에서는 차이가 더욱 더 높게 나타났다. 그러나 혼효림의 임내우에서는 거의 비슷한 경향이었으며, Ca^{2+} 는 오히려 구레시가 낮았다.

이와 같이 동히로시마시에서 이온성분의 농도가 높은 것은 강수량이 적었기 때문인 것으로 생각할 수 있으며, 강수량이 증가하면 이온성분의 농도는 낮게 되는 경향이다. 구레시에서 침엽수의 수간류 이온농도는 $Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+} > K^+ > NH_4^+$ 순이었으며, 특히 Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} 농도가 높게 나타났고, 활엽수에서는 $Ca^{2+} > K^+ > Mg^{2+} > Na^+ > NH_4^+$ 순이었으며, NH_4^+ 농도가 특히 낮게 나타났다. 동히로시마시의 수간류 이온농도에서는 침엽수가 활엽수보다 높게 나타났다. 또한 수간류에서도 구레시가 동히로시마시보다 이온 성분의 농도가 대부분 높게 나타나 대기오염의 지역특성을 잘 반영하고 있음을 알 수 있었으며, 구레시에서 건성침착물에 의한 용탈현상이 두드러졌음을 알 수 있었다.

임외우에서는 양 지역간의 두드러진 차이는 없으며, 이온농도는 임내우와 수간류에 비해 매우 낮은 값을 나타내, 건성침착물에 의한 대기오염의 상황을 파악하여 산성비의 영향을 조사하기 위해서는 임내우 및 수간류의 조사에 의한 영향평가가 이루어져야 할 것으로 판단되었다. Hiraki 등(1985)은 도시지역과 비도시지역에서 강우성분에 의한 대기오염평가를 실시했는데, Ca^{2+} 와 Mn^{2+} 은 지역간의 차이가 커서 대기오염의 지표로서 유용하다고 했으며, NH_4^+ 는 지역간 농도의 차가 적어 대기오염의 지표로서 어렵다고 하였는데 본 조사에서도 수간류의 Mg^{2+} , Ca^{2+} 에서는 지역간의 차이가 컸으며, NH_4^+ 에서는 지역간의 차이가 크지 않았다. 그러나 동히로시마지역의 NH_4^+ 농도의 증가는 NH_4^+ 는 비료와 가축의 배설물에 기인되는 것이 많아 동히로시마 지역의 채취지점이 농업지역인 것이 원인이라고 생각할 수 있었다.

Table 2는 음이온의 성분농도를 나타낸 것이다. 임내우에서의 침엽수림에 있어서는 구레시의 성분농도가 동히로시마시보다 훨씬 높지만, 혼효림에서는 Cl^- 와 SO_4^{2-} 는 비슷하며, NO_3^- 에서는 오히려 비공업도시인

Table 1. Average concentration of cations in throughfall, stemflow and rainfall at both areas(unit : $\mu eq/l$)

Site	Mg^{2+}		Ca^{2+}		Na^+		K^+		NH_4^+	
	K	H	K	H	K	H	K	H	K	H
A	90.7	12.9	232.4	68.2	140.7	26.7	118.6	59.5	48.3	29.4
B	33.7	28.5	90.8	112.7	56.2	34.8	109.6	96.7	24.7	35.6
C	121.4	12.1	368.8	91.7	236.9	73.4	45.3	56.8	44.8	38.8
D	124.2	12.0	233.7	68.8	87.5	36.0	176.5	51.6	9.3	15.5
E	4.5	3.3	17.7	7.3	28.5	18.0	2.7	1.5	13.9	22.1

○K ; Kure-city, H ; Higashiroshima-city
(A, B, C, D, E ; see the Fig. 2. legend)

Table 2. Average concentration of anions in throughfall, stemflow and rainfall at both areas(unit ; μ eq /l)

Site	Cl ⁻		NO ₃ ⁻		SO ₄ ²⁻	
	K	H	K	H	K	H
A	429.6	111.2	292.7	75.2	485.1	118.7
B	138.5	140.7	69.9	117.1	171.1	171.2
C	624.5	186.1	559.0	123.5	469.6	141.7
D	246.7	111.5	82.3	44.1	518.8	94.4
E	70.5	52.5	34.7	34.6	77.4	70.8

◦ K : Kure-cit Higashihiroshima-city

동히로시마시가 높아, 양이온과 비슷한 경향이었다.

수간류에서는 모두 구레시가 동히로시마시보다 훨씬 이온성분의 농도가 높았고, 특히 침엽수의 수간류에서는 이러한 경향이 뚜렷하여, 대기오염의 영향을 잘 반영하고 있으며, 건성침착물의 용탈현상도 두드러짐을 알 수 있었다. 한편 임외우에서는 양지역 모두 농도가 낮았으며, 구레시가 조금 높게 나타났으나 큰 차이는

없었다.

강우의 산성화의 지표는 pH에 의해 되어지지만 대기오염에 대한 지표성은 NO₃⁻이 SO₄²⁻보다 높은 경향이 있으며, 대기오염의 지표성을 포함한 동태분석은 기본적으로 강우중의 NO₃⁻ 또는 강우중의 이온 총량에 비례하는 EC에 의해서도 평가할 수 있다(Hiraki *et al.* 1985).

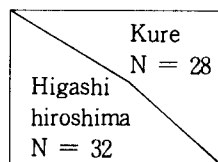
각 이온성분간의 상관관계를 보면(Table 3), 구레지역에서는 Ca²⁺와 Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻간에 양호한 상관관계를 나타내고 있었으며, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ 등의 음이온 간에도 높은 상관관계를 나타내었다. 그러나 양이온 간에는 Mg²⁺와 K⁺간의 상관을 제외하고는 거의 상관을 나타내지 않았다. 이는 Hiraki 등(1985)이 도시지역의 강수에서 대부분의 이온성분간에 높은 상관관계를 나타내었다고 한 연구결과와는 상당한 차이가 있었는데, 임내우와 수간류만을 대상으로 한 본 조사와는 샘플의 차이에서 기인된 것으로 사료되었다.

Table 3. Correlation coefficient between various ions in throughfall and stemflow at both areas

	A	pH	EC	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
A		0.0427	-0.0441	-0.1311	-0.0856	-0.3194	-0.1849	-0.2293	-0.3389	-0.2368	0.0072
pH	-0.1602		-0.0427	-0.0277	-0.4534*	0.2605	-0.3703*	-0.0256	-0.2045	-0.6957*	-0.2096
EC	0.1718	0.0337		0.1421	0.3927*	0.0950	0.0803	0.0137	0.1305	0.0595	0.4678*
Mg ²⁺	-0.3715	-0.3479	0.0118		0.2756	0.1225	0.4654**	0.0659	0.1581	-0.0087	0.5233**
Ca ²⁺	-0.3795*	0.0476	0.0585	0.4653*		0.2650	-0.0656	0.0106	0.5776**	0.7073**	0.7551**
Na ⁺	-0.2765	-0.0003	0.0243	0.5209**	0.7394**		0.0757	-0.0721	0.8213**	0.1923	0.3300
K ⁺	-0.4203*	-0.3349	0.0353	0.3755*	0.3036	0.3786*		0.1457	-0.0106	0.4140*	0.4519**
NH ₄ ⁺	-0.2506	-0.4724*	0.0769	0.4644**	0.9720**	0.7056**	0.4418*		-0.0203	0.0652	0.0870
Cl ⁻	-0.3818*	-0.0787	-0.0111	0.3227	0.8703**	0.4122*	0.4150*	0.9008**		0.5868**	0.4818**
NO ₃ ⁻	-0.3721	-0.3406	-0.0160	0.5714**	0.8074**	0.9088**	0.6571**	0.8237**	0.6550**		0.3283**
SO ₄ ²⁻	-0.4063*	-0.2216	0.0297	0.5266**	0.9568**	0.8373**	0.4236*	0.9387**	0.7920**	0.8891**	

*) A : rainfall amount

Coefficients :



양 지역에서 NO_3^- 와 SO_4^{2-} 은 구례지역의 Na^+ 와 NH_4^+ 를 제외하고, 대부분의 이온성분과 높은 상관관계를 나타내고 있어 대기 중의 오염물질의 조성 등을 생각해 볼 때 이들 이온의 증가는 임내우 및 수간류의 양 이온의 증가와 더불어 수목의 각종 이온의 용탈을 증가시킬 것으로 생각되었다.

한편 Kobayashi와 Nakagawa(1993)는 삼나무의 쇠퇴도와 강우의 이온성분 및 전기전도율과의 상관분석에서 쇠퇴도와 전기전도율간에는 1%수준에서, SO_4^{2-} 과는 5%수준에서 유의성이 인정되었다고 하여, 강우속의 이온성분이 삼나무의 쇠퇴에 영향을 미치고 있음을 시사하였다. 또한 Kobayashi 등(1995)은 수목엽의 이온성분의 용탈실험에서, pH값이 낮을수록 Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} 의 용탈율이 증가했다고 하였는데, 본 연구에서도 대기오염지역인 구례시에서는 이러한 경향을 나타내고 있었으며, 특히 Ca^{2+} 와 K^+ 은 5%의 수준에서 부의 상관을 나타내었다.

강우중의 이온농도는 강수량의 증가와 함께 저하하는 경향이 있다. 이것은 강우초기에는 질량이 커서 입경(粒徑)이 큰 입자상물질이 빗물 속에 많이 취해지고, 강수량이 많아짐에 따라서 빗물 속에 가두어지기 어려운 입경이 작은 입자와 가스상 물질이 취해지기 때문인 것이다(Tamaki 1980). 본 조사에서도 이러한 경향이 나타났지만 유의성이 나타난 것은 동히로시마 지역의 Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} 뿐이었다.

적 요

대기오염 지역과 비대기오염 지역의 산림에서 강우(임내우, 수간류, 임외우)를 채취하여 강우속의 이온성분을 조사하여 그 특성을 분석하였다.

대기오염지역에서는 강우의 pH가 비오염지역에 비해 임내우, 수간류, 임외우 모두 낮아 대기오염의 영향으로 추측할 수 있었다. EC는 임내우, 수간류에서 대기오염지역이 높았으며, 임외우에서는 차이가 없었다. 특히, 침엽수의 임내우 및 수간류에서는 양지역이 2배 이상의 차이가 있었다.

강수의 이온성분의 농도는 대기오염지역인 구례시가 대체적으로 높았으며, 수간류에서는 양지역 농도의 차이가 컸고, 특히, Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} 에서 차이가 컸다. 그러나 NH_4^+ 는 그다지 차이가 없었으며, 비오염지역이 오히려 더 높았던 경우도 있었다. 임상별 조사에서는 수간류에서 K^+ 를 제외하고는 침엽수가 활엽수보다

높았으나, 임내우에서는 오히려 침엽수보다 혼효림의 이온농도가 높았다. 각 이온 성분간의 상관에서는 채취량과 pH 및 EC와는 상관이 없었으며, NO_3^- 와 SO_4^{2-} 는 대기오염지역의 Na^+ 와 NH_4^+ 를 제외하고 대부분의 이온성분과 높은 상관관계를 나타내 대기오염물질과 밀접한 관계가 있음을 시사하였다.

인 용 문 헌

- 김종갑. 1997. 지구환경변동과 농림업, 서경출판사, 서울. 237 p.
- 環境廳大氣保全局. 1993. 酸性雨調査法. ぎょうせい, 東京. 401 p.
- Hiraki, T., M. Tamaki, H. Mitsugi and H. Watanabe. 1985. Estimation of Air Pollution by Rainwater Components. Bull. of Hyogo Prefectural Pollution Station 17: 6-11.
- Kobayashi, T. & Y. Nakagawa. 1993. Degree of the Decline of *Cryptomeria japonica* in the South-eastern Parts of Hyogo Prefecture and the Effect of Acid and Oxidative Pollutants. Bull. of Hyogo Prefectural Pollution Station 25: 8-11.
- 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 Dividedly-. Jap. J. Environmental Science 8(1): 25-34.
- Nakashima, Y. & 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 Hiroshima Prefectural Forest Experiment Station 26: 63-74.
- Nakashima, Y. & K. Tanabe. 1991. Studies on the effect of forest system by acid rain(II) -Chemical compositions of rain water and fog water at Miyoshi area-. Bull. of Hiroshima Prefectural Forest Experiment Station 27: 37-48.
- Tamaki, M., M. Shoga and T. Hiraki. 1991. Precipitation Chemistry by Wet/Dry Sampler in Kobe. Jap. J. Chemistry 6: 930-935.
- Whitehead, P. G., S. Bird, M. Homung, J. Cosby, C. Neal and P. Paricos. 1988. Stream acidification

June 1998

Characteristic of Ions in Rainwater

201

trends in the welsh uplands - a modelling study 101: 191-212.
of the Llyn Brianne catchments. J. of Hydrology

(1998년 2월 12일 접수)