

산림내 강우에 의한 산성 강하물의 영향 평가

이 총 규 · 김 종 갑

경남산림환경연구원 · 경상대학교 산림과학부*

Evaluation on Effects of Acid Deposition by Analysis Rainfall in the Forest

Lee, Chong-Kyu and Jong-Kab Kim*

Forest Environment Research Institute of Gyeongsang nam-do, Chinju 660-870, Korea

Faculty of Forest Science, Gyeongsang National University, Chinju 660-701, Korea*

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the characteristics of acid deposition by stemflow, throughfall, rainfall and SO_2 in the industrial, urban and rural areas where were affected by the acid rain due to air pollution in *Pinus thunbergii* than *Quercus* spp. forest.

As the stemflow pH in industrial and urban area were lowed that of rural area, the result industrial and urban, and correlation of negative ($r = -0.9415^{**}$) between pH and EC. The concentration of acid ion by stemflow, throughfall, rainfall were high SO_4^{2-} ion at industrial areas, especially of NO_3^- ion at urban areas. The concentration of basic ion all rain fall were high Ca^{2+} , Na^+ ion at industrial areas, but there were high Ca^{2+} , Na^+ ion at urban areas.

The concentration of SO_2 at survey areas were high SO_2 concentration at industrial and urban areas, but there was low at rural areas. There was correlation of negative ($r = -0.8007^{**}$) between pH and SO_2 concentration at survey areas. Soil acidity was also affected by stemflow and showed significantly low soil pH in industrial and urban areas.

Key words : Stemflow, Throughfall, Air pollution, *Pinus thunbergii*, *Quercus* spp.

서 론

최근 경제개발과 함께 중화학공장의 건설, 화력발전 그리고 자동차 등에 의한 화석연료의 급격한 사용의 증대와 인구의 도시 집중화는 공업지역 등 대도시 지역에 있어서 급격히 대기오염을 증대시켰다. 황산화물의 농도는 도시와 공업지대에서 증가하고 있고, 질소산화물의 오염은 넓은 지역으로 이동하여 직간접적인 대기오염의 피해를 가져오고 있다.

이러한 대기오염에 의한 산성강하물의 유입으로 인한 산림생태계 피해 현상은 세계적으로 발생하기 시작하고

있으며 (Manion and Lachance 1992, Georgii 1986) 우리나라에서도 대기오염으로 수목 종수의 감소 등 산림식생의 피해가 나타나기 시작했다 (김 1992). 공단지역은 토양의 pH가 낮고 유기물의 분해에 관여하는 미생물의 활력이 낮아 유기물과 전질소 함량이 상대적으로 높다 (유 등 1995). 산성강하물과 대기오염 물질에 의한 직접영향과 2차적으로 토양을 산성화시키므로 간접영향을 주고, 토양산성화를 가속시켜 식물의 피해를 유발하고 (김 등 1996), 또한 대기오염은 곤충생태계 변화를 유발하여 병해충의 발생에 영향을 미치고 있다 (岸 1988). 식생에 피해를 주는 대기오염 물질은 Gas형 물질과 입자형 오염물질로 나누고, 그중 SO_2 , NO_x 화합

물에 의한 산성비가 대표적인 오염물질이라고 보고 (Smith 1974)했고, 산성비의 농도와 용존물질의 성분은 조사지역에 따라서 다를 뿐만 아니라 임내와 임외 및 오염원과 근접관계의 많은 요인이 작용하므로, 조사지역과 산림특성에 따른 비교, 조사 연구는 산림내 양묘비하의 구멍 및 산림의 오염원 흡착능력의 파악에 매우 중요한 기초연구로서, 최근에 이러한 산성비에 관련된 연구 보고가 있다 (井川 1994, Nakashima and Tanabe 1991).

따라서 최근 공업지역과 대도시지역의 계속적인 대기오염에 의한 오염물질의 강하는 주변 산림생태계에 만성적인 피해 및 수목쇠퇴를 일으키고 있다. 본 연구는 대기오염의 원인으로 산성강하물의 영향을 받고 있는 산림에 대하여 공단지역, 도시지역, 비오염지역으로 구분하여 해송림과 참나무림에서 수관통과우, 수간류하우 그리고 임외강우의 이온 특성과 대기 중 SO₂ 농도 비교 분석을 실시하여 산성강하물의 영향을 분석하고자 실시하였다.

재료 및 방법

조사지 선정

조사지역으로 공단지역은 대기오염에 의한 산림생태계에 심각한 영향을 주어 산림내 수목과 초본류의 파괴가 진행되고 있는 울산광역시 온산공단지역에서 해송림과 참나무림이 같은 지역에 생립하는 산림을 선정하였고, 도시지역은 대기오염의 배출이 극심한 지역으로서 산림에서 산성강하물의 조사가 없는 부산광역시 사하구 산림을 선정하였다. 이들 오염지역과 대조지역으로서 경남 진주시 이반성면의 경상남도산림환경연구원 시험림

을 일반지역의 대상으로 선정하였다.

조사수종 선정

조사지역에서 수관통과우와 수간류하우의 조사를 위한 공시수종으로 침엽수는 해송림 (*Pinus thunbergii*)과 활엽수는 상수리나무 (*Quercus acutissima*)와 갈참나무 (*Quercus aliena*)를 선정하였다. 조사는 산림내 수목의 수관에 1차적으로 차단된 후 임지내로 유입되는 수관통과우는 공단지역, 도시지역, 일반지역으로 구분하였으며, 각 지역에서 수종별로 해송림과 참나무림에 각각 3반복으로 18개를 설치하여 실시하였고, 수목의 수관에 차단된 후 수간을 타고 임지내로 유입되는 수간류하우는 해송림과 참나무림 (Table 1)중에서 평균이 되는 수목은 공단지역, 도시지역, 일반지역으로 구분한 후 각 지역에서 수종별 해송림과 참나무림에 각각 3반복으로 18본을 선정하여 실시하였다. 수목의 연륜, 흉고직경 그리고 수고의 측정은 연륜을 판정하는 성장추를 사용하여 Core를 채취하여 판정하였고, 흉고직경은 윤척에 의하였으며, 수고는 Dendrometer II (Topcon회사 제품)로 측정하여 이용하였다.

강우의 채취 및 분석

강우의 채취 방법은 산성우조사법 (環境廳 1993)에 의거 포집하였는데, 수관통과우와 임외강우는 20 l의 폴리에틸렌 용기에 이물질의 유입을 막기 위하여 그물 망을 씌워 이용하였고, 임외강우는 주위에 건물이나 수목 등의 장애물이 없는 곳에서 지면으로부터 튀어 오르는 강우를 방지하기 위하여 채취장치를 지상 60 cm 높이에 철근으로 고정하였다. 수간류하우는 수목에 거즈를

Table 1. Sample trees and forest composition by survey area

Sites	Dominant speices	Age (yr)	D.B.H (cm)	Tree height (m)	Understory vegetation
Ulsan	<i>Pinus thunbergii</i>	25±5	26±4	12±3	<i>Pinus thunbergii</i> <i>Quercus acutissima</i> <i>Robinia pseudo acacia</i>
	<i>Quercus acutissima</i>	30±5	25±4	13±3	
Pusan	<i>Pinus thunbergii</i>	25±5	25±3	12±5	<i>Pinus thunbergii</i> <i>Quercus aliena</i> <i>Rhus trichocarpa</i>
	<i>Quercus aliena</i>	25±5	24±4	12±4	
Chinju	<i>Pinus thunbergii</i>	25±5	25±2	13±1	<i>Pinus thunbergii</i> <i>Quercus aliena</i> <i>Rhododendron yedoense</i>
	<i>Quercus aliena</i>	30±5	22±2	10±1	

(mean±s.d)

둘러 채취하는 거즈식으로 지상 2 m의 높이에서 거즈를 아래로 향하여 감아 거즈 끝을 고무호스로 연결하여 폴리에틸렌 용기에 접속하고 외부의 이물질 유입을 막기 위하여 실리콘으로 고무호스와 용기의 연결부위를 밀봉하여 채취하였으며, 조사기간은 1997년 1월부터 12월까지 매 강우시 마다 해송림과 참나무림을 구분하여, 수관통과우, 수간류하우, 임외강우를 익일 전강우를 측정하여 강우량을 기입하고, 시료는 200 ml씩 채취하였다. 전기전도도는 HI-9033MCM을 이용하여 현장에서 측정하였고, 채취 시료는 화학성분의 변화를 최소화하기 위하여 실험용으로 제작된 플라스틱 용기에 담아 실험실로 옮겨서 냉장고 (4°C 이하)에 보관하였다. 분석방법은 산성우조사법 (環境廳 1993)에 의하여 E.C, pH, Anion (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-)과 Cation (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+})은 Ion Chromatography (SYKAM S-134)를 사용하였다.

대기중의 SO_2 분석

조사지역에서 대기중의 SO_2 농도를 측정하기 위하여 PbO_2 Candle Method (林業研究院 1993)로 지역별로 소형 백엽상을 오염물질 발원이 없는 곳으로부터, 강우 채취장소와 같은 지역의 지상 1.8m 높이에 고정하여 설치하고 PbO_2 candle은 1개당 PbO_2 4 g + gumtraganth 0.1 g + 95% ethyle alcohol 0.5 cc + D.W.9.5 cc를 조제하여 매일 백엽상에 설치하고 30 ± 1 일간 대기중에 방치한 후 PbO_2 candle을 아크릴 통에 넣어 수거하여 SO_2 농도를 측정하였다. SO_2 분석을 위하여 대기중에서 반응된 시료는 실험실에서 5% sodium acetate로 분리 후 barium chloronilate로 발색시켜 분광광도계 파장 530으로 측정 분석하였다. 측정시 파장은 530으로 측정한 후 다음 식으로 $\langle \text{SO}_3 \text{ (mg/100 cm}^2 \text{ /day)} \rangle = 0.5 \times (\text{시료의 흡광도/standard의 흡광도}) \times (50/40) \times 100/\text{candle의 방치일수}$ 산출하면, SO_3 량이 되고, 이 산출량에 다시 환산계수 0.04를 곱하여 SO_2 (ppm/day) 농도를 산출하였으며, 분석 기기는 UV/VIS Spectrophotometer (ANTHELTE)를 사용하여 분석하였다.

토양 분석

조사지역과 수종별로 산성강하물이 토양에 미치는 영향을 조사하기 위하여 수목의 수간을 중심으로 20 cm 이내의 토양, 1 m의 토양, 수관폭 끝 토양 그리고 조사

지점의 주위의 수목이 생립하지 않는 임지의 토양을 500 g씩 각각 3반복으로 채취하여, 토양의 화학적 특성을 분석하였다 (김 1988).

통계처리

조사된 자료의 통계처리는 통계 package SAS system을 이용하여 조사자료의 상호관계분석을 실시하였고, 토양 및 강우의 지역별 이온성분 등의 차이를 검정하기 위하여 ANOVA를 실시하고 유의차가 인정되면 각 조사치의 평균값의 차이를 Alpha = 0.05의 범주에서 Duncan's multiple range test에 의하여 비교하였다.

결과 및 고찰

지역별, 수종별 강우의 pH와 전기전도도의 변화

Fig. 1은 산성비를 측정된 결과 pH는 공단지역이 pH 3.3~4.6으로 도시지역 pH 4.1~5.36, 일반지역 pH 4.9~5.7로서 지역별로 차이가 있었는데, 공단지역이 강우 pH가 낮다 (김 등 1996, 原 1991, 玉置 및 小山 1991)는 결과와 일치하였고, 수종별로 공단과 도시지역 그리고 일반지역에서 모두 해송림이 참나무림보다 pH가 낮았다 (Nakashima and Tanabe 1991). 해송림의 pH가 낮게 나타나는 것은 해송엽과 가지에 부착된 오염분진 물질의 원인 (中根 1996)으로 보고했다. 강우별로는 수간류하우가 수관통과우와 임외강우보다 강우 pH가 낮았는데, 이것은 대기오염 물질이 수목의 엽과 가지에 부착되어 강우시 wash out되며, 수간류하우의 이온 성분 중 산성이온인 SO_4^{2-} 와 NO_3^- 이온이 많은 양이 pH에 관여한 원인으로 생각되며, 이러한 수간류하우중 가장 농도가 높은 SO_4^{2-} 이온은 토양으로 유입되어 토양의 산성화에 영향을 주어, 토양 pH에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 전기전도도는 공단지역이 도시지역과 일반지역에서 보다 측정치가 2.9배, 6.2배 높았고, 수종별로 해송림이 참나무림보다 공단 (2.4배), 도시 (1.5배), 일반 (2.1배) 높았다. 강우별로는 수간류하우가 수관통과우와 임외강우에 비하여 2.6배 높았다. 오염지역에서 전기전도도는 높은 값을 나타내며 강우가 깨끗할수록 전도도의 측정치가 낮다 (Whitehead et al 1988). Fig 3은 pH와 전도도를 비교한 결과로서 두 변수 사이에는 강한부의 상관 ($r = -0.9415^{**}$)이 있으며 (김과 이 1998), 공단지역과 도시지역에서 일반지역보다 pH는 낮고, 전기

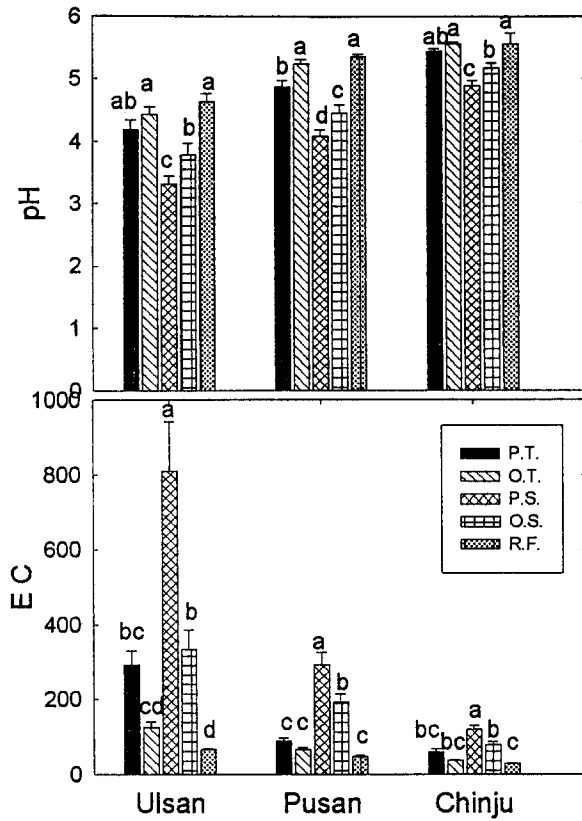


Fig. 1. Changes of pH and EC by collection in rainfall at survey area.

Legend : P.T.: Pine Throughfall
 O.T.: Oak Throughfall
 P.S.: Pine Stemflow
 O.S.: Oak Stemflow R.F.: Rainfall

* Means with the same letter are not significantly different at the 5% level for Duncan's multiple range test

전도도는 높아 오염지역의 강우가 산성화되어 해송림과 참나무림의 이온성분의 용탈과 토양으로 산성이온(SO₄²⁻와 NO₃⁻)의 유입으로 산성화가 진행되고 있음을 알 수 있었다.

수관통과우, 수간류하우 및 임외강우의 이온성분의 농도변화

Fig. 3는 수관통과우, 수간류하우, 임외강우에서 산성이온으로 음이온의 분석결과 공단지역이 도시지역과 일반지역에서 보다 이온 함량이 높았으며, 공단지역 SO₄²⁻와 Cl⁻ 농도가 도시와 일반지역 보다 높았고, 도시지역에서 보다 NO₃⁻ 농도가 공단지역의 2배, 일반

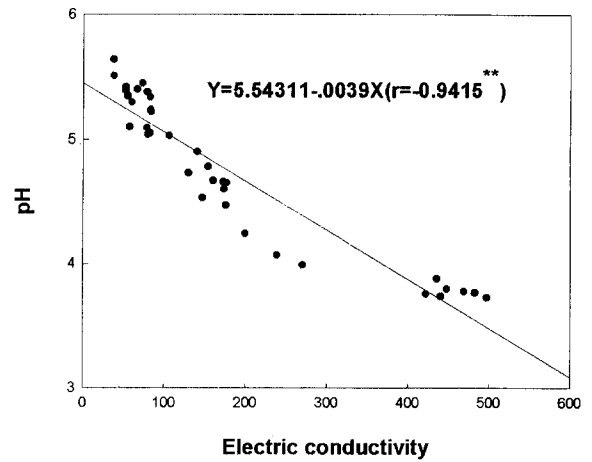


Fig. 2. The relationship between pH and EC in rainfall.

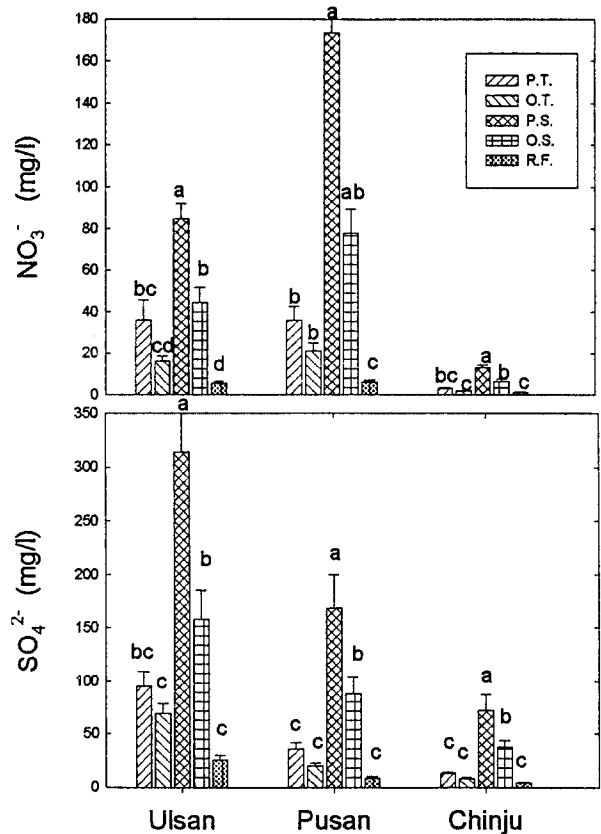


Fig. 3. Changes of acidic ion (NO₃⁻, SO₄²⁻) in rain of the survey area.

Legend : P.T., P.S., O.T., O.S., R.F.,* ; see Fig. 1.

지역의 13배로 상대적으로 높아 도시의 난방연료, 자동차에 의한 도시지역의 대기오염을 반영하였다. NO₃⁻

농도는 강우산도에 영향을 미치는 SO_4^{2-} 의 농도와 깊은 상관이 있으며 (正 1993), 대기오염물질이 수관에 흡착되었다가 수간류하수에 의하여 용탈되어 과도하게 임내로 유입되면 질소 순환에 이상을 초래할 수 있으며 (小林 1995), 또한 수간류하수의 산성이온이 유입되므로 토양에 영향을 초래하며 (金子 등 1993, 福原 1995), 공단지역에서 수간류하수의 SO_4^{2-} 농도의 용존성분이 가장 높게 나타나므로 산성비의 주원인으로, 이것은 대기중의 SO_2 에 영향을 있으며 (宇都宮 등 1993, 玉置 및 小山 1991), 특히, 강우의 이온성분중 SO_4^{2-} 및 NO_3^- 이 pH에 영향을 미치므로, 수간류하수에서 높은 SO_4^{2-} 이온이 토양으로 유입되어 토양의 산성화에 관여하며, 이러한 결과는 토양의 산성화를 초래하여 산림생태계의 피해는 수목 생장의 지표가 되는 흉고직경, 수고의 크기 등의 쇠퇴현상이 나타나고, 일본 삼나무의 가지의 밀도, 낙엽율, 엽의 변색, 수목 초두부의 고사 등의 피해가 나타난다고 지적하였으며 (小林 및 中川 1993), 울산공단 지역의 산성비에 의한 수목의 낙엽현상과 엽의 변색현상이 일반지역보다 높다 (이와 김 1998)는 보고가 있고, 우리나라에의 대도시와 공단지역에서의 강우산도가 낮다 산림피해가 나타난다 (김 등 1996)고 보고하였다.

Fig. 4에서 포집된 강우의 양이온 성분은 공단지역이 임외강우와 수관통과우 보다 수간류하수의 해송림에서 2배 높았고, 공단지역의 수간류하수의 해송림과 참나무림에서 $Ca^{2+} > Na^+ > K^+ > NH_4^+ > Mg^{2+}$ 의 순으로 수목의 수피내의 양이온성분이 산성비에 의하여 용탈이 진행되고 있었고, 도시지역에서는 해송림에서 $Ca^{2+} > NH_4^+ > Na^+ > K^+ > Mg^{2+}$ 순이며, 수간류하수 NH_4^+ 은 도시지역 해송림이 임외강우 보다 10배, 참나무림이 6.6배로 높았다. 關口 (1995)는 일본의 도시지역 일원에서 비교적 높은 농도의 NH_4^+ 성분이 검출된다는 결과에서 질소양분 공급의 불균형을 초래하여 도시지역 해송림의 생장에 큰 영향을 미칠 것으로 사료된다. K^+ 이온은 도시지역의 참나무림에서 용탈되는 농도가 높게 분석되어 산성물질에 비하여 수간 목질부내로부터 용탈되는 무기양료중에서 K^+ 의 양이 높다는 보고 (Wood & Bormann 1975)와 일치하였고, 수관통과우와 수간류하수에서 Ca^{2+} 농도가 임외강우 보다 높아, 엽세포에서의 H^+ 이온과 Ca^{2+} , Mg^{2+} 이온이 서로 교환작용을 하는데 기인한다 (Hoffman 1980). 양이온 성분의 조성은 공업지역에서 높았는데, 강우가 임분을 통과하면서 수목의 양료성분을 용탈시켜 수목의 고사, 조기낙엽의 영향이 있

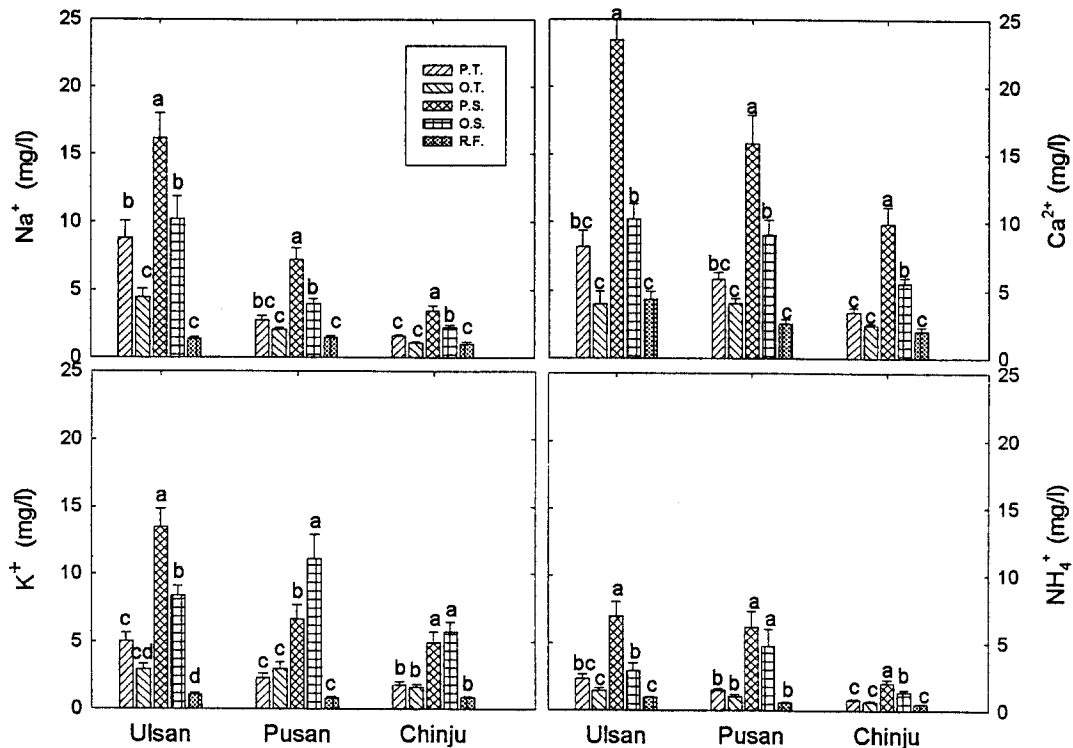


Fig. 4. Changes of basic ion (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+}) in rain of the survey area. Legend : P.T., P.S., O.T., O.S., R.F., * : see the Fig. 1.

는데, 양이온 성분의 용탈은 강우중 강우산도에 영향을 미치는 SO_4^{2-} 와 NO_3^- 이온성분이 가장 큰 원인으로 생각된다.

대기 중 SO_2 분석

Fig. 5는 조사지역에서 대기 중 SO_2 의 농도를 측정 결과 (Fig. 5)로서, 지역별 농도의 변화는 공단지역과 도시지역이 청정지역보다 각각 2.4배, 1.9배 높은 농도였고, 겨울과 봄에 농도가 높게 나타났으며, 강우의 분석에서 SO_4^{2-} 의 이온농도 측정치와 일치하는 결과였고, SO_2 는 대기오염의 주범으로 산림식생의 파괴와 식물종의 변화를 초래하며 (김 1992, 김 1994), 공단과 도시지역에서 식생의 파괴는 계속될 것으로 생각된다. 일반지역은 계절별 농도의 변화가 뚜렷하게 나타나지 않으므로 현재 SO_2 의 피해로부터 영향이 적은 것으로 사료되었다.

pH와 SO_2 농도의 상관

Fig. 6은 pH와 SO_2 의 측정결과로서, 지역별로 공단지역과 도시지역에서 높았고, 일반지역에서 낮게 나타나므로 대기오염의 영향이 있는 것으로 밝혀졌고, 두 변수 사이에 강한 부의 상관 ($r = -0.8007^{**}$)이 있으며, 또한 공단지역과 도시지역에서는 강우산도가 낮아 상호간에 연관성이 있으며, 산성비는 대기오염에 의해 영향을 받고 있음을 알 수 있었고, 계절별로는 겨울과 봄에 SO_2 가 높고, pH는 낮으므로 여름과 가을에 보다 대기 중 오염물질의 피해가 있는 것으로 평가된다.

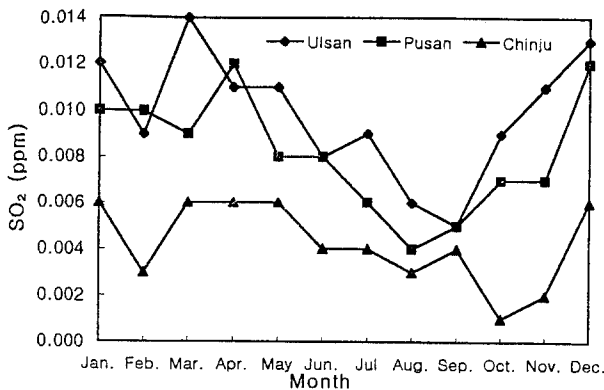


Fig. 5. Monthly changes of SO_2 concentration at survey area.

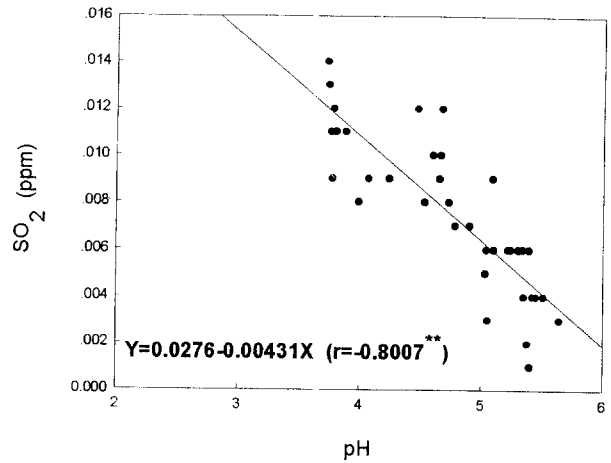


Fig. 6. The relationship between SO_2 concentration in air and pH in rainfall.

토양의 변화

Table 2는 조사지역의 토양의 이화학적 분석 결과로서 조사지 토양은 공단지역이 토양 pH가 낮아 유의차가 있었고 ($p < 0.05$), 도시지역, 일반지역 순으로서 토양이 산성화되고 있음을 의미한다. 유기물은 Ulsan > Pusan > Chinju 순서로 공단지역과 도시지역이 같은 수준이었고 ($p < 0.05$), 전질소 함량은 Pusan > Ulsan > Chinju 순서로서 도시지역에서 높게 나타나므로 ($p < 0.05$), 이것은 경향은 산림내 수목을 통과하는 강우가 산성화로 변화되는데, 이것은 강우성분중 강우의 pH에 관여하는 SO_4^{2-} 와 NO_3^- 이온에 의한 것으로 생각되며, 다시 산림토양으로 유입되어 토양을 산성화시킨다. 토양의 산성화는 미생물의 활력이 억제되어 유기물의 분해가 이루어지지 않으므로 상대적으로 유기물과 전질소 함량이 공단지역과 도시지역의 오염지역에서 높았다는 보고 (유 등 1995)와 유사한 경향이었는데, 특히 도시지역의 전질소 함량이 높은 것은 본 조사에서 강우중 이온분석결과 NO_3^- 의 함량이 높은 도시지역에서 높은 결과와 일치하는 결과로 사료된다. 또한 토양의 산성화의 피해를 확인할수 있는 것으로서 토양내 Al 함량의 분석결과 공단지역이 가장 높게 조사되었으며, 이러한 결과는 공단지역과 도시지역의 토양에서 토양의 산성화로 산성화로 양료의 용탈과 토양내 독성물질인 Al의 생성으로 인한 수목의 뿌리활력을 감소시켜 산림생태계내 전반적인 토양의 완충능이 떨어질 것으로 생각되며, 유 등 (1995)과 Mahendrapa

Table 2. Soil chemical properties at survey area

(means, (): standard error)

Survey site	pH	O.M. (%)	T.N. (%)	Avail. P ₂ O ₅ (ppm)	CEC	Exchangeable				Al (ppm)
						K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
						(me /100g)				
Ulsan	4.67 ^a (0.18)	8.67 ^a (1.39)	0.20 ^{ab} (0.02)	89 ^a (43.1)	14.66 ^{NS} (1.34)	0.29 ^{NS} (0.04)	0.14 ^{NS} (0.01)	1.89 ^{NS} (0.61)	0.88 ^{NS} (0.28)	252.86 ^a (40.89)
Pusan	4.71 ^{ab} (0.14)	5.93 ^a (0.75)	0.25 ^a (0.03)	15 ^b (2.6)	14.90 (0.64)	0.18 (0.04)	0.13 (0.01)	1.73 (0.37)	0.50 (0.10)	232.43 ^{ab} (22.33)
Chinju	5.40 ^b (0.13)	2.37 ^b (0.17)	0.13 ^b (0.01)	12 ^b (2.3)	10.60 (0.51)	0.20 (0.02)	0.14 (0.02)	3.04 (1.09)	1.55 (0.47)	144.00 ^c (23.55)

Legend :

* NS indicates that the property was not significantly different at the 5% level

** Means within each column with the same letter are not significantly different at the 5% level for Duncan's multiple range test

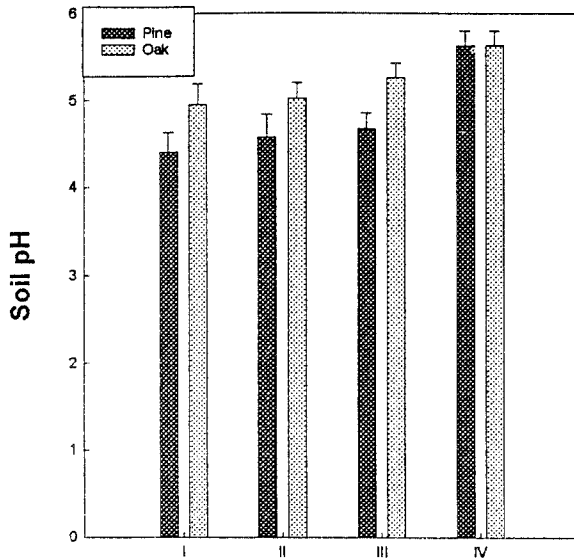


Fig. 7. pH of soil around stem in the forest at survey areas.

Legend I : soil of 20 cm a part from stem
 II : soil of 1 m a part from stem
 III : soil of end from crown
 IV : outside soil from the forest

(1982)의 보고에서 앞으로 수목의 많은 피해가 있을 것으로 사료되었다.

수간을 중심으로 토양 pH는 20 cm 이내의 토양이 해송림과 참나무림에서 pH 4.40, pH 4.95로서 제일 낮아 수간류하우의 산성이온 (SO₄²⁻와 NO₃⁻)에 의하여 토양이 산성화되고 있음을 반영하였다. 토양의 경우 수간 근처의 토양산성도가 인접지역에 비해서 월등히 높

다 (Mahendrappa 1982)고 보고했는데, 이것은 수목의 잎과 가지에 부착된 산성이온이 강우에 의하여 씻겨져 수목의 수간으로 흘러내려 수목주변의 토양 pH에 영향을 미친 것을 알 수 있었는데, 참나무림보다 해송림에서 영향이 클 것으로 사료된다.

적 요

대기오염 지역으로 공단지역, 도시지역, 일반지역에서 해송림과 참나무림의 강우로부터 산림내 유입되는 수관 통과우, 수간류하우, 임외강우에 대하여 산성강하물의 이온특성과 대기 중 SO₂ 분석을 분석하였다.

pH는 공단과 도시지역은 수관통과우와 수간류하우가 임외강우 보다 낮았고, 해송림이 참나무림보다 낮았다. EC는 공단 > 도시 > 일반지역 순서이며, pH와 강한 부의 상관 (r = -0.9415**) 이었고, 음이온에서 공단은 SO₄²⁻이 가장 높았고, 도시는 NO₃⁻이 가장 높았다. 양이온은 공단지역이 Ca²⁺, Na⁺ 이온이 높고, 도시지역은 Ca²⁺, NH₄⁺ 이온이 높았다. 대기 중 SO₂의 농도는 공단지역과 도시지역이 높았고, 일반지역은 낮았으며, pH와 상관 (r = -0.8007**)은 부의 상관이었다. 토양조사는 공단지역이 토양 pH가 낮았고, 토양의 산성화는 수간류하우에 영향을 받으며, 공단지역과 도시지역의 토양의 완충능은 감소할 것이다. 따라서 대기오염이 모든 강우의 이온성분에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

인 용 문 헌

김동수. 1988. 토양화학분석법. 농촌진흥청, 농업기술연구소. 450p.

- 김동엽, 유정환, 채지석, 차순형. 1996. 대기오염물질의 산림생태계내 유입과 토양의 화학적특성 변화. 한림지 85(1): 84-95.
- 김점수. 1994. 사상공단주변의 대기오염이 산림식생에 미치는 영향. 경상대학교 박사학위논문. pp. 1-59.
- 김종갑. 1992. 온산공단주변의 대기오염이 산림식생에 미치는 영향. 경상대학교 박사학위논문. pp.5-86.
- 김종갑, 이충규. 1998. 강우분석에 의한 산성강하물의 영향평가. '98 한국생태학회 춘계학술 발표대회논문 초록. pp. 70-71.
- 유정환, 가강현, 박 현. 1995. 여천공단의 대기오염이 토양의 화학적 특성, 지의류, 탈질균 및 황산환원균에 미치는 영향. 한림지. 84(20): 178-185.
- 이충규, 김종갑, 조현서. 1998. 수목피해와 산성강하물의 관련성에 관한 연구. 환경생태학회지. 12(2): 1-12.
- 林業研究院. 1993. 大氣汚染에 의한 山林被害의 動態 및 管理 調査方法. pp.3-10.
- 金子 信博, 加藤憲道, 富永明良, Eric Salamanca, 新村 義昭. 1993. 酸性降下物が森林土壤にえる影響. 日本關西支論. 3: 65-67.
- 環境廳. 1993. 酸性雨調査法. ぎょうせい. pp.123-171.
- 小林 禎樹. 1995. 山林樹冠への酸性沈着の影響評價-乾性沈着溶脱分別評價法檢討. 環境科學會誌. 8(1): 25-34
- 小林 禎樹, 中川 吉弘. 1993. 兵庫縣南部地域におけるスギの衰退度と酸性・酸化性物質の影響. pp.8-14.
- 中根 周歩. 1996. 大氣汚染物質による森林被害の實態解明. 廣島大學校. pp.1-44.
- 正 賀. 1993. 林外雨, 林内雨および樹幹流の性狀と相互の關係. 兵庫縣立公海研究所報告. 25: 45-50.
- 關口 恭一. 1995. 大氣中の酸性汚染物質とその環境影響. 北里大學博士學位論文. pp.121-166.
- 井川 學. 1994. 日本氣象學會春季大會シンポジウム「酸性雨-地球環境問題として-」の報告. pp.271-275.
- 玉置 元則, 小山 功. 1991. 地上から見た日本の酸性雨. 大氣汚染學會誌. 26(1): 1-22
- 福原 世津子. 1995. 酸性雨による森林への影響調査(IV). 日本關西支論. 4: 35-37.
- 岸 洋一. 1988. マツ材線笠病-松くい笠-, トーマス・カンパニー 298.
- 宇都宮 彬, 大石興弘, 兵村研吾, 須田隆一, 石橋龍吾, 溝口次夫. 山岳地域自然林の土壤特性と酸性降下物. 1993. 大氣汚染學會誌. 28(3): 159-167.
- Georgii, H.W. 1986. Atmospheric pollutants in forest areas. Reidel Publishing Co., Dordrecht. Holland. 287p.
- 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.
- Hoffman. W.A. 1980. Precipitation acidity. The role of forest canopy in acid exchange. J. of Environ. 9(1): 95-100.
- Mahendrappa, M.K. 1982. Prediction of throughfall quantities under different forest ecosystems. 227: 981-985.
- Manion, P.D. and D. Lachance. 1992. Forest decline concepts. APS press. St. Paul. MN. 249P.
- 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. 27: 37-48.
- Smith, W.H. 1974. Air pollution-effects on the structure and function of the temperate forest ecosystem. Environmental Pollution. 6: 11-129.
- Whitehead, P.G., S. Bird, M. Homung, J. Cosby, C. Neal and P. Paricos. 1988. Stream acidification trends in the welsh uplands - a modelling study of the Llyn Brianne catchments J. of Hydrology. 101: 191-212.
- Wood, T. and F.H. Bormann. 1975. Increase in foliar leaching caused by acidification of an artificial mict. Ambio. 4: 169-171.

(1998년 8월 17일 접수)