

산성 강우에 의한 수목의 쇠퇴현상(I) - 음이온을 중심으로 -

이총규* · 황진형¹ · 김종갑¹

경상남도산림환경연구원, ¹경상대학교 산림과학부

적 요: 대기오염으로 인하여 산성비의 영향을 받고 있는 공단지역과 도시 근교 지역, 농촌 지역으로 나누어 각 산림지역 내에 있는 임외우와 수관 통과우에 대한 강우의 pH, EC 및 이온특성, 대기중 SO₂, NO₂의 농도, 해송림의 쇠퇴도를 분석하였다. 도시 근교 및 농촌 지역의 임외우는 pH 5.29~5.76으로 공단지역보다 높게 나타났다. 수관 통과우는 공단 지역(온산, 농소)이 pH 4.64~4.98, 도시 근교 지역(진주)이 pH 4.87~5.13이었으며 전기전도도는 농촌 지역이나 도시 근교 지역보다 공단 지역이 높게 조사되었다. 임외우와 수관 통과우의 음이온 중 SO₄²⁻는 공단 지역이 농촌지역에 비해 각각 3배, 8배 이상 높게 나타났다. 해송의 쇠퇴도와 강우의 음이온 성분간의 상관분석을 실시한 결과는 해송의 쇠퇴도와 강우의 pH(r=-0.8374), pH와 Cl⁻(r=-0.9324)이 온 간에는 부의 상관성이 나타났다.

검색어: 쇠퇴도, 수관통과우, 임외우

서 론

경남과 울산지역에서는 산업화 이후 생활의 편리함을 위해 무분별하게 자연을 파괴했고 그 결과 환경오염은 심각한 지경에 이르렀으며, 대기오염에 의한 산림피해가 가시화되고 있다. 지상으로부터 배출된 산성의 1차 오염물질은 대기 중에서 물리·화학적 반응기작을 통해서 2차, 3차의 부산물(산성 산화물)로 전환한다. 대기 중의 산성물질은 에어로졸 상태로 존재하면서 강우시 그 일부가 빗방울에 흡수, 흡착되어 습성 강하물로서 강하한다(Hales, 1972).

1980년대 들어서서는 산성 안개 및 구름에 대해서도 연구가 진행되고 있으며(심, 1996; Sheppard *et al.*, 1994), 공단지역의 대기오염이 토양의 산성화에 미치는 영향(이, 1999; Larssen *et al.*, 2000), 모델식을 이용한 대기오염 물질의 이동(Zunckel *et al.*, 2000), 황화합물의 강하량(Wang *et al.*, 2000), 빗물의 산성도 중화력 평가(Bini and Bresolin, 1998) 및 인공 산성비를 이용한 식물의 생화학적 변화에 관한 연구(Wang *et al.*, 2000) 등이 있다.

산성비가 수목에 피해를 일으키는 양상은 엽면 cuticular 층을 파괴시키며(Cape *et al.*, 1981; Smith, 1990), 기공과 cuticular 층을 통해 침투된 산성물질이 내부 세포에 장애를 주어 물질대사와 생육과정을 저해한다(Guderian, 1985). 그리고 수목의 잎에 산성 오염물질이 침착되면 잎 표면의 Wax층을 침식시켜, 양이온 중에 Ca²⁺, Mg²⁺의 용탈을 가속화시키며(Garrec *et al.*, 1989), 표피층과 같은 잎의 보호 표면 세포층의 훼손은 수목의 잎, 가지, 줄기에서 양료 용탈을 가속화시키게 된다(Cowling, 1982).

이 연구는 경남지역의 도시 근교 지역(진주), 농촌 지역(함안, 창녕)과 공단 지역(울산 온산, 농소)을 중심으로 산림 내 유입되

는 강우에 대한 오염물질의 이온특성을 분석하고 산성 강하물에 의하여 산림이 쇠퇴해가는 징후를 구명하여 산림생태계가 파괴되거나 교란되는 현상을 방지하고 그 대책을 수립하기 위한 기초적 자료를 제공하기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

조사지 선정 및 기상개황

현재 대기오염에 노출되어 산성우가 내릴 것으로 예상되는 공단지역인 울산광역시 온산공단 지역의 온산 및 농소지역과 상대적으로 산성우의 영향이 덜 할 것으로 예상되는 도시 근교 지역인 진주시 이반성면, 농촌지역인 함안 대산면, 창녕 고암면 을조사지로 선정하였으며, 2001년 1월~2003년 12월에 걸쳐 실시되었다.

조사지역의 10년간(1994~2003)의 연평균 기온은 울산이 13.8℃, 진주가 13.1℃, 창녕과 함안의 인접한 마산기상청이 14.9℃로 거의 비슷하게 나타났으며, 강우량은 울산이 1,275 mm, 진주가 1,490 mm, 마산이 1,503 mm로 각 지역간의 차이를 나타내었다. 평균 풍속은 울산이 2.2 m/s, 진주가 1.8 m/s, 마산이 2.3 m/s였으며, 평균 상대습도는 울산이 67.5%, 진주가 71.5%, 마산이 65.2%로서 진주가 가장 높게 나타났다(기상청, 2003).

강우의 채취 및 분석

강우의 채취는 산성우 조사법(환경청, 1993)에 의하여 수관 통과우(Throughfall)는 20 l의 폴리에틸렌 용기에 이물질의 유입을 막기 위하여 그물망을 씌워 사용하였으며, 지면으로부터 튀어 오르는 강우를 방지하기 위하여 채취 장치를 남부지방 주요 분포 수종인 해송(*Pinus thunbergii* Parl)림 수관 아래 지상 60

* Corresponding author; Phone: 82-55-750-6360, e-mail: pro1719@gsnd.net

cm의 높이에 철근으로 고정하였다. 임의우는 자동강우채취기를 이용하여 수목의 간섭이 없는 조사지 인접지역의 민가 옥상에 채취하였다. 조사시기는 연구기간 동안 월 2회씩 각각 200 ml 씩 시료분석용으로 채취하였으며, 채취한 시료는 화학성분의 변화를 최소화하기 위하여 실험용 채취병에 담아 실험실로 옮겨서 4℃ 냉장고에 보관하여 분석용으로 이용하였다.

채취하여 보관된 시료에서 pH는 pH meter(DMS-880), EC는 EC meter(CM-14P, TOA, JAPAN)로 측정하였으며, Anion (SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻)은 Ion Chromatography에 의하여 분석하였고, 분석시료는 수용성 Membrane filter 0.45 μm(MFS)로 여과하여 이용하였다.

대기 중의 SO₂, NO₂의 분석

1. Passive Sampler 설치 및 수거

Sampler(badge type, Envors)의 설치장소는 오염원에 의해 직접 노출되는 곳을 피해, 약 3 m 높이에 설치하였다. 모든 조사지에 대해 높이가 일정하게 설치하였다. 설치 후에는 약 한달 후에 sampler를 수거하는데 교체 시에는 다시 걸마개의 위치를 바꾸어 밀봉한 후 수거 일시를 기록한다.

SO₂의 환산계수 344, NO₂ 환산계수는 458를 사용하며, 최종 농도 산출식은 아래와 같다.

2. Sampler 여지의 추출과정

수거한 sampler속의 여지를 추출하기 전에 라벨에 기입된 방치일수를 기록하여 sampler의 걸 마개를 연 후 공기 유입부 마개 밑 가장 바닥에 있는 흡수 여지를 꺼내어 vial이나 시험관으로 옮긴다. vial에 추출액(SO₂ : 0.15% H₂O₂, NO₂ : 초순수) 5 ml를 가하여 초음파 추출기에서 50-60℃를 유지하며 약 20분간 추출한다.

3. Ion Chromatography 분석 및 농도 환산

SO₄²⁻와 NO₃⁻ 표준용액을 분석한 후 calibration 시켜 추출된 시료를 IC로 분석한 값으로 용액상 ppm 농도를 가스상 ppb 농도로 환산하여 사용된다. 이때의 환산 계수는 sampler rate에 의해 정해진다.

Envors社 제품의 경우, SO₂의 환산계수 344, NO₂ 환산계수는 458를 사용하며, 최종 농도 산출식은 아래와 같다.

$$\text{시료농도(ppb)} = \frac{\text{용액상ppm농도} \times 5(\text{추출액량}) \times \text{환산계수}}{\text{방치일수} \times 24(\text{hr})}$$

해송의 가시적 쇠퇴도 분석

해송의 쇠퇴도 조사는 산림피해의 동태 및 관리 조사 방법(임업연구원, 1993)에 따라 잎이 완전히 성숙한 시기인 8월에 조사하였으며, 강우의 채취 조사지에서 인접한 지역의 산림에 쇠퇴도 조사구를 설정한 후, 그 중심점을 기준으로 하여 동서남북의 4방위로 각각 15 m 되는 곳에 조사지점을 설정하여 조사지점에서 제일 가까이 있는 상층목 5본을 선정하였다.

Table 1. The degree of decline by rate of fallen leaves and change color

Class of fallen leaves	Class of change color			
	0	1	2	3
0	0	0	1	2
1	0	1	2	2
2	1	2	3	3
3	2	3	3	3

낙엽율은 해송의 수관 전체를 100%로 하고, 여기에서 수관중 잎이 차지하는 부분을 제외하고, 공간이 100% 중에서 10% 미만을 0등급, 10%에서 24%를 1등급, 25%에서 59%를 2등급, 60% 이상을 3등급으로 판정하였다.

변색율은 해송의 지엽전체에서 해송 고유의 진록색이 가장 선명하게 나타나지 않고, 연황색, 회백색, 연적색이 나타나는 색조의 비율을 100%중에서 10% 미만을 0등급, 10%에서 24%를 1등급, 25%에서 59%를 2등급, 60% 이상을 3등급으로 판정하였다.

해송의 쇠퇴도(Table 1)는 낙엽율과 변색율의 두 인자에 의하여 판정한 등급을 점수화하여 상호 교차되는 점수에 의거 방위별로 선정된 5본의 해송에 대하여 쇠퇴도를 산출하였다.

각 분석 항목 간의 상관분석

임의우, 수관통과우의 강우분석과 대기 중 SO₂ 및 NO₂ 농도, 각 분석치간의 상관관계를 SAS 통계프로그램에 의하여 분석하였다.

결과 및 고찰

산성우의 분석

1. 지역 및 계절별 강우의 pH 변화

도시근교, 농촌과 공단지역의 임외우와 수관 통과우의 pH를 계절별로 분석한 결과는 Figs. 1 및 2 와 같다.

Fig. 1은 지역별, 계절별에 따른 임외우의 pH 측정 결과로서, 지역별 강우의 pH는 도시 근교 지역이 4.95~5.30, 공단지역이 pH 4.76~5.15였으며, 농촌지역에서의 임외우는 pH 5.29~5.76으로 공단지역보다 도시 근교 및 농촌지역에서 높게 나타났다. 이러한 결과는 공단지역 임외우의 pH가 낮다는 보고(김 등, 1996 ; 이, 1998)와 유사하였다.

Fig. 2는 지역별, 계절별에 따른 수관 통과우의 pH 측정 결과로서, 지역별 강우의 pH는 도시 근교 지역이 4.87~5.13, 공단지역이 pH 4.64~4.98이었으며, 농촌지역에서의 수관 통과우는 pH 5.12~5.73으로 공단지역보다 도시 근교 지역, 농촌지역에서 높게 나타났다.

계절별 변화는 온산지역에서 임외우와 수관 통과우의 상반되

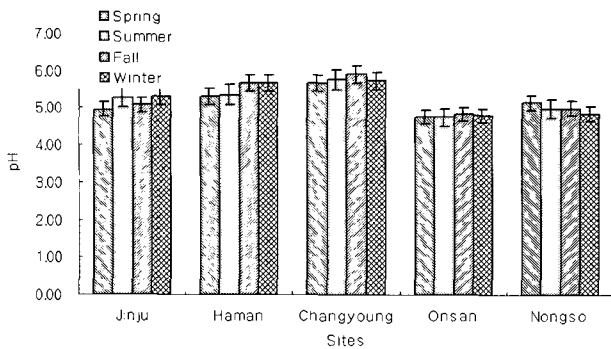


Fig. 1. Changes of pH by collection of rainfall at survey areas.

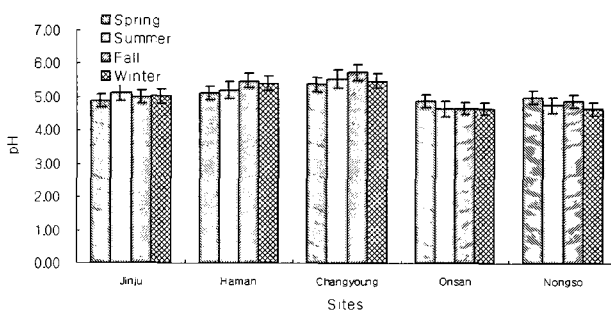


Fig. 2. Changes of pH of throughfall collected at survey areas.

는 결과를 나타내었다. 수관 통과우는 겨울에 대체로 pH 값이 낮았으며, 봄이 가장 높게 나타났다. 이는 온산이 공단지역으로서 겨울이 대기오염 물질의 건성 침착량이 많으며 강수량이 적어 pH값이 낮은 것으로 생각되었으며, 강수량이 적을수록 pH가 낮아진다는 보고(Hiraki *et al.*, 1985)와 유사하였다.

이러한 결과를 볼 때 공단지역은 산성우에 노출되어 있어 이로 인한 산림생태계의 교란이 많을 것으로 사료되었다.

2. 지역 및 계절별 강우의 EC 변화

도시 근교 지역, 농촌지역과 공단지역의 임외우와 수관 통과우의 EC를 분석한 결과는 Figs. 3, 4와 같다.

Fig. 3은 지역별, 계절별에 따른 임외우의 EC를 분석한 결과로서, 지역별 강우의 EC는 도시 근교 지역이 4.18~8.65 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 공단지역이 13.64~17.22 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 였으며, 농촌지역에서의 임외우는 4.09~4.65 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 공단지역이 가장 높게 나타났으며, 농촌지역에서 가장 낮게 나타났다.

Fig. 4는 계절별, 지역별에 따른 수관 통과우의 EC를 분석한 결과로서, 도시 근교 지역이 17.02~23.89 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 공단지역이 41.60~103.59 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이었으며, 농촌지역에서는 13.75~21.44 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 으로 공단지역이 가장 높게 나타났다.

계절별 변화는 공단지역인 온산과 농소에서는 봄에 EC가 낮고, 겨울에 EC가 높게 나타났으며 도시 근교 지역, 농촌지역인 진주, 함안, 창녕에서는 계절에 따른 차이가 뚜렷하지 않았다.

임외우와 수관 통과우의 EC는 조사지역 모두 수관 통과우에서 높게 나타나 오염물질의 수관 침착에 의한 영향일 것으로 생

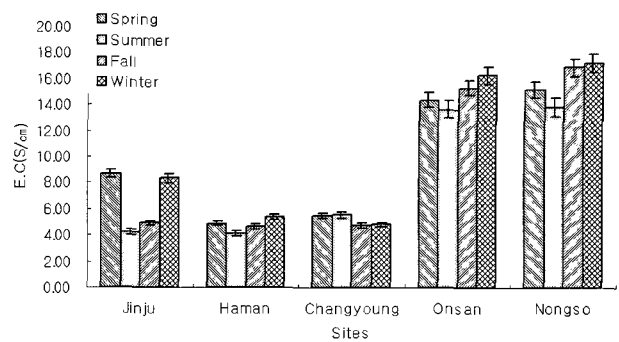


Fig. 3. Changes of EC of rainfall collected at survey areas.

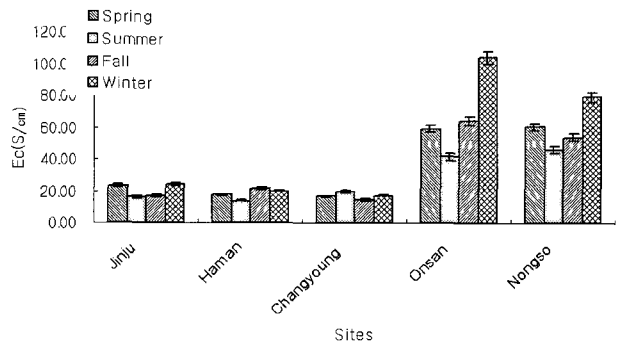


Fig. 4. Changes of EC of throughfall collected at survey.

각되었다.

EC는 강우 중의 이온성분과 매우 높은 상관관계를 갖고 있으며, 이온총량의 지표로서 유효한 것으로 알려져 있다. 또한 EC는 오염의 정도가 크면 클수록 이온농도가 증가하여 EC가 높아지며(Hiraki *et al.*, 1985), 강수가 깨끗할수록 EC가 낮아진다(Whitehead *et al.*, 1988).

음이온의 지역 및 계절별 변화

조사지역 내 임외우 및 수관 통과우의 Cl^- 을 분석한 결과는 Figs. 5, 6과 같다.

Fig. 5는 지역별, 계절별에 따른 임외우의 Cl^- 을 분석한 결과로서, 지역별 강우의 Cl^- 은 도시 근교 지역이 6.04~12.09 mg/ℓ , 공단지역이 8.01~51.79 mg/ℓ 였으며, 농촌지역에서는 3.75~20.67 mg/ℓ 로 공단지역보다 도시근교지역, 농촌지역에서 낮게 나타났다.

Fig. 6은 계절별, 지역별에 따른 수관 통과우의 Cl^- 을 분석한 결과로서, 도시 근교 지역이 6.29~17.69 mg/ℓ , 공단지역이 39.63~104.65 mg/ℓ , 농촌지역에서 5.67~31.98 mg/ℓ 으로 공단지역보다 도시 근교 지역, 농촌지역에서 낮게 나타났다.

계절별 변화는 도시 근교 지역, 농촌지역은 월별 경향이 뚜렷하게 나타나지 않았으며, 공단지역은 여름인 7월과 8월에 낮은 결과를 나타내었는데 이는 7월과 8월에는 집중강우에 의하여 수목에 부착된 산성 강하물이 희석된 때문으로 추측되었고, 위치적으로 바닷가에 인접해 염분의 영향을 받는 것으로 사료되었다.

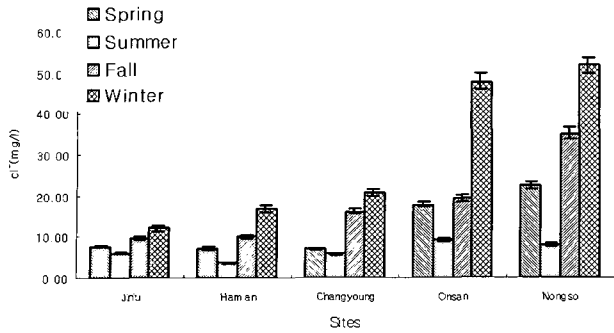


Fig. 5. Changes of Cl⁻ of rainfall collected at survey areas.

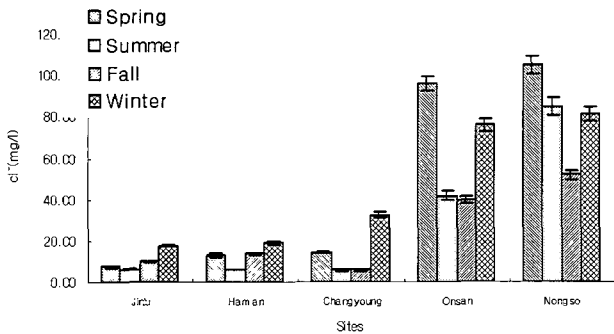


Fig. 6. Changes of Cl⁻ of throughfall collected at survey areas.

임외우와 수관 통과우의 비교에서는 도시 근교 지역과 농촌 지역은 차이가 없었으나, 공단지역에서는 수관 통과우의 Cl⁻이 훨씬 높게 나타나 수관에서의 건설 침착에 의한 영향이 있는 것으로 보여진다.

조사지역의 임외우 및 수관 통과우의 NO₃⁻ 함량을 분석한 결과는 Figs. 7, 8과 같다.

지역별, 계절별에 따른 임외우의 NO₃⁻을 분석한 결과 도시 근교 지역이 7.47~19.60 mg/l, 공단지역이 17.94~33.28 mg/l, 농촌지역이 8.50~30.00 mg/l로 공단지역이 가장 높았으며, 도시 근교 지역과 농촌지역에서는 큰 차이가 없었다.

계절별, 지역별에 따른 수관 통과우의 NO₃⁻를 분석한 결과, 도시 근교 지역이 22.84~33.10 mg/l, 공단지역이 69.21~115.71 mg/l, 농촌지역이 6.67~20.18 mg/l로 수관 통과우 역시 공단지

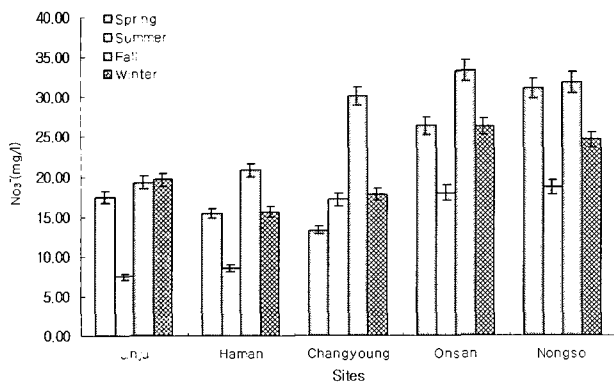


Fig. 7. Changes of NO₃⁻ of rainfall collected at survey areas.

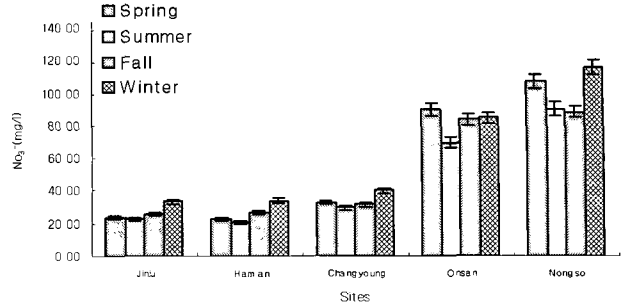


Fig. 8. Changes of NO₃⁻ of throughfall collected at survey areas.

역에서 가장 높게 나타났으며, 도시 근교 지역과 농촌지역에서는 낮게 나타났다.

계절별 변화는 공단지역과 도시지역의 겨울과 봄은 대체로 NO₃⁻이 높았으나, 여름인 7월과 8월에 낮았다. 이는 7월과 8월에는 집중강우에 의하여 수목에 부착된 산성 강하물이 희석된 때문으로 추측할 수 있었으며, 도시 근교 지역, 농촌지역은 공단지역보다는 낮은 값을 나타내었으나 계절별 변화는 공단지역과 비슷하게 나타났다. 산성 강하물질이 수간에 흡착된 후 수간류에 의하여 용탈되어 과도하게 임내로 유입되면 질소 순환에 이상을 초래할 수 있다(小林禱樹, 1995). 또한 NO₃⁻은 산성비의 직접적인 원인물질이므로 수목에 직·간접적인 영향으로 피해를 줄 수 있다.

수관 통과우의 NO₃⁻ 역시 Cl⁻과 마찬가지로 공단지역이 농촌 및 도시 근교 지역보다 훨씬 높게 나타났다(Fig. 9). 이와 같은 현상은 공단에서 배출되는 NO_x가 주변 산림의 수관에 건설 침착된 것으로 판단된다.

임외우 및 수관 통과우의 SO₄²⁻을 분석한 결과는 Figs. 9, 10과 같다.

임외우의 SO₄²⁻를 분석한 결과 도시 근교 지역이 8.46~28.52 mg/l, 공단지역이 23.58~53.66 mg/l, 농촌지역이 8.20~36.08 mg/l로 도시 근교 지역과 농촌지역 간에는 차이가 없었으며, 창녕 지역이 약간 높았으나 큰 차이는 없었다. 그러나 공단지역에서는 이들 지역보다 대체로 높게 나타나 공단에서 배출되는 물질의 영향으로 사료된다.

수관 통과우의 SO₄²⁻를 분석한 결과, 도시 근교 지역이 25.26~39.17 mg/l, 공단지역이 118.92~173.30 mg/l, 농촌지역이 23.88

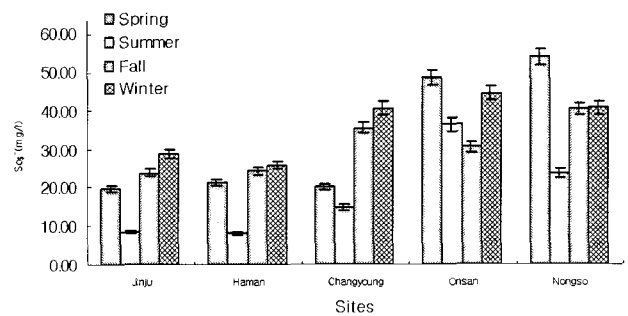


Fig. 9. Changes of SO₄²⁻ of rainfall collected at survey areas.

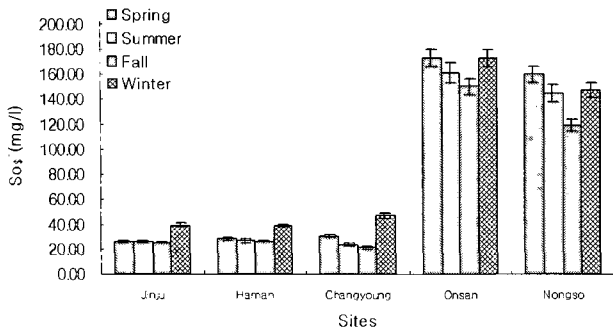


Fig. 10. Changes of SO₄²⁻ of throughfall collected at survey areas.

~47.07 mg/l로 공단지역보다 도시 근교 지역, 농촌지역에서 낮게 나타났다(Fig. 10). 공단지역에서는 도시 근교 및 농촌지역보다 계절에 관계없이 매우 높게 나타났는데 이는 공단에서 배출되는 SO₂ 가스의 영향으로 판단되며, SO₂ 가스가 수목에 건성 침착되어 수관 통과우에서 SO₄²⁻의 농도가 높은 것으로 생각 되었으며 임내우보다 수관 통과우에서 일반적으로 SO₄²⁻이 높은 것도 이와 같은 영향 때문으로 사료된다. 공단지역에서 배출되는 SO₂는 산성비의 주 원인이며, 강우시 화학반응에 의하여 산성비로 되어 산림생태계의 피해가 발생하는 것으로 판단된다.

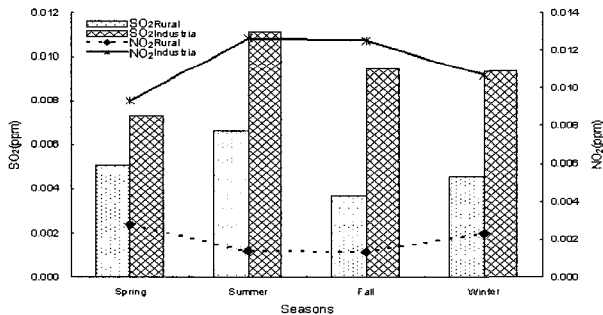


Fig. 11. Seasonal changes of SO₂ and NO₂ concentration at survey areas.

계절별 변화는 여름인 7월과 8월이 약간 낮게 나타났으나 큰 차이는 없었다.

대기중의 SO₂, NO₂ 분석

농촌지역과 공단지역에서 2001년부터 2003년까지 3년간 측정된 대기중 SO₂ 및 NO₂ 농도의 계절별 변화는 Fig. 11과 같다. 대기중 SO₂의 농도는 공단지역에서 평균 0.009 ppm이며, 농촌지역은 0.005 ppm으로서, 공단지역이 농촌지역보다는 약 2배 높았으며, NO₂의 농도는 공단지역에서 평균 0.011 ppm이며, 농촌지역은 0.002 ppm으로서, 공단지역이 농촌지역보다는 약 6배 높아 공단지역과 농촌지역간의 SO₂와 NO₂의 대기중 농도 함량의 차이를 알 수 있었다.

대기 중 농도가 높은 공단지역에서의 계절별 변화는 여름과 가을이 높아 이충규 등(1998)의 겨울과 봄에 높았다는 결과와는 차이를 보였다. 그러나 전체적인 평균 농도(0.09 ppm) 차이는 거의 없었으므로 조사시기에 따른 차이인 것으로 사료된다.

해송의 가시적 쇠퇴도 분석

해송의 쇠퇴도 조사를 낙엽율과 엽변색율의 2가지 인자에 의하여 분석한 결과(Fig. 12)는, 도시 근교 지역인 진주의 쇠퇴도는 1.07, 농촌지역인 함안은 1.25, 창녕은 1.20으로 나타났으며, 공단지역인 온산의 쇠퇴도는 2.75, 농소는 2.08로서 공단지역이 도시 근교 지역, 농촌지역보다 약 2배 정도 높게 조사되어 해송의 변색율과 낙엽율이 심각하였고, 해송의 신초 부분이 조기낙엽 및 고사가 되고 있어, 대기오염의 영향으로 해송림의 쇠퇴가 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

수목의 쇠퇴도와 pH, EC, SO₂, NO₂, 강우 성분과의 상관 분석

도시 근교 지역, 농촌지역과 공단지역에서 수목의 쇠퇴도와 pH, EC, SO₂, NO₂ 강우성분과의 상관관계를 분석한 결과는 Table 5와 같다.

해송의 쇠퇴도와 강우의 이온성분 상관분석 결과 pH는 부의

Table 2. Correlation coefficient matrix among the analyzed factors at survey areas

Factor	pH	EC	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₂	NO ₂	DOD
pH	1							
EC	-0.6517*	1						
Cl ⁻	-0.9324**	0.6428*	1					
NO ₃ ⁻	-0.4628	0.4793	-	1				
SO ₄ ²⁻	-0.7874**	0.8522**	0.7333**	0.7626**	1			
SO ₂	-0.8106**	0.6780*	0.6788	0.5342*	0.8066**	1		
NO ₂	-0.7908**	0.5774	0.4658	0.8064**	0.6054*	0.8069**	1	
DOD	-0.8374**	0.4775	0.64017*	0.6948*	0.7264**	0.8108**	0.7621**	1

Note 1) ** ; p<0.01, * ; p<0.05, - ; NS, 2) DOD : degree of decline.

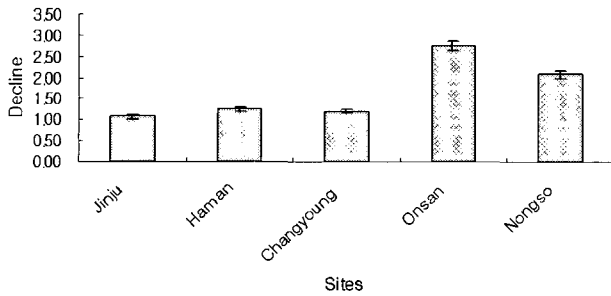


Fig. 12. Degree of decline of *Pinus thunbergii* at survey areas.

상관, pH와 Cl^- ($r=0.9324$)과 SO_4^{2-} ($r=0.7874$) 이온과 대기 중 SO_2 와 NO_2 간에는 정의 상관이 나타났다.

이러한 결과는 경남의 공업지역과 일반지역에서 해송의 쇠퇴도와 강우 이온간에 상관관계가 있어 해송의 쇠퇴가 진행되고 있다는 결과와 비슷하였으며(이 등, 1998), 해송의 쇠퇴에 영향을 미치는 인자 중 pH 및 SO_4^{2-} 와 강한 상관관계가 있음을 알 수 있었다.

인용문헌

- 김동엽, 유정환, 채지석, 차순형. 1996. 대기오염물질의 산림생태계내 유입과 토양의 화학적 특성분석. 한국임학회지 85(1): 84-95.
- 심상규. 1996. 우리나라 산성비 특성과 감시망 현황. 첨단환경기술 4(8): 2-9.
- 이충규. 1999. 산성강하물이 산림쇠퇴에 미치는 영향. 경상대학교 박사학위논문. 103 p.
- 이충규, 김종갑, 조현서. 1998. 수목피해와 산성강하물의 관련성에 관한 연구. 환경생태학회지 12(2): 131-137.
- 임업연구원. 1993. 대기오염에 의한 산림피해의 동태 및 관리조사 방법. 3-10.
- 환경청. 1993. 산성우조사법. 일본산성우조사연구회. 123-171.
- Cape, J.N. and D. Fowler. 1981. Changes in epicuticular wax of *Pinus sylvestris* exposed to polluted air. *Silva Fennica* 15: 457-458.
- Cowling, E.B. 1982. Acid precipitation un historical perspective. *Environ. Sci. Technol.* 16(2): 10-35.
- Garrec, J., C. Kerfourn and E. Laitat. 1989. Etude des surfaces folieres des arbres deperissants. In air pollution and forest decline(eds. J. B. Bucher and I. Bucherwallin proc. 14th Int.) Meeting for specialists in air pollution effects on forest ecosystems. IUFRO P2. 05: 141-146.
- Guderian, R. 1985. Air pollution by photochemical oxidants. *Ecological studies* 52. Springer Verlag, Berlin, Germany. pp. 296.
- Hales, J.M. 1972 fundamentals of the theory of gas scavenging by rain. *Atomospheric Environment* 6: 653-659.
- 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.
- Larssen, T. and G.R. Carmichael. 2000. Acid rain and acidification in China : The importance of base deposition. *Environment Pollution* 110: 89-102.
- Sheppard, L.J., I.D. Leith, and J.N. Cape. 1994. Effects of acid mist on mature grafts of Sitka Spruce. Part I. Frost hardiness and foliar nutrient concentrations. *Environmental Pollution* 85: 229-238.
- Smith, W.H. 1990. Air pollution and foersts. Springer Verlag New York Inc. New York. 117-290.
- Wang, T.J., L.S. Jin, Z.K. Li and K.S. Lam. 2000. A modeling study on acid rain and recommended dmission control strategies in China. *Atomospheric Environment* 34: 4467-4477.
- 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.
- Zunckel, M., L. Robertson, P.D. Tyson and H. Rodhe. 2000. Modelled transport and deposition of sulphur over Southern Africa. *Atomospheric Environment* 34: 2797-2808.
- 小林禰樹. 1995. 山林樹冠への酸性沈着の影響評價-乾性沈着溶解分別評價法檢討. *環境科學會誌* 8(1): 25-34.
- 下原孝章. 1993. 大氣中の酸性降下物の動態と沈着評價(1). *大氣汚染學會誌* 28(5): 295-307.

(2004년 10월 6일 접수; 2004년 12월 14일 채택)

Study on Decline of Trees by Acid Rainfall

Lee, Chong Kyu*, Jin-Hyoung Hwang¹ and Jong-Kab Kim¹

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

¹Division of Forest Science, Gyeongsang National University, Chinju 660-701 Korea

ABSTRACT : This study was carried out to analyze pH, Electrical conductivity(EC), cation and anion on rainfall and throughfall raining at industrial area(Onsan and Nongso of Ulsan city), suburban area(Myeongsek-myeon of Jinju city) and rural area(Haman and Changyoung-gun), and to investigate SO₂ and NO₂ concentration in the air of industrial area and rural area, and to survey degree of decline of *Pinus thunbergii* growing at each area. The rainfall pH was higher than the throughfall pH at the all surveyed areas. The rainfall pH and throughfall pH was 4.76~5.15 and 4.64~4.98, 4.95~5.30 and 4.87~5.13, 5.29~5.76 and 5.12~5.73 at the industrial area, suburban area and rural area, respectively. The EC of rainfall and throughfall was 13.64~17.22 and 41.60~103.59, 4.18~8.65 and 17.02~23.89, 4.09~6.65 and 13.75~21.44 at the industrial area, suburban area and rural area, respectively. Generally EC at the industrial area was higher than those of suburban area and rural area. In the correlation analysis among Degree of decline on *Pinus thunbergii* and ingredients of rainfall, it showed that there was a negative correlation between Degree of decline and pH. There was a positive correlation between pH and Cl⁻ respectively.

Key words : Degree of decline, Rainfall, Throughfall
