

남산과 광릉지역 소나무림 토양시비가 소나무잎의 왁스함량, 접촉각 및 무기양이온 함량과 토양산도에 미치는 영향

Effects of Soil Fertilizers on Wax Content, Contact Angle, Mineral Nutrient Content of Japanese Red Pine (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) Leaves and Soil Acidity of Japanese Red Pine Communities in Namsan and Kwangnung

최 기 영 · 이 용 범 · 조 영 렬 · 이 경 재¹⁾
서울시립대학교 환경원예학과
¹⁾서울시립대학교 조경학과
(1995년 3월 7일 접수, 1996년 7월 24일 채택)

Ki-Young Choi, Yong-Beom Lee, Young-Ryoul Cho, Kyong-Jae Lee¹⁾

Department of Environmental Horticulture, Seoul City University

¹⁾*Department of Landscape Architecture, Seoul City University*

(Received 7 March 1995; accepted 24 July 1996)

Abstract

This study was carried out to investigate the effects of soil fertilizers on wax content, contact angle, mineral nutrient content of Japanese red pine (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) leaves and soil acidity of Japanese red pine communities in Namsan and Kwangnung to see whether they can recover forest decline.

Japanese red pine communities were treated with $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$, and $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{C.F.}$ (compound fertilizer) in a randomized complete block design with 3 replication from November, 1990 through October, 1993.

Wax content, contact angle value and mineral nutrient content of Japanese red pine leaves and soil pH of communities were measured and the results obtained are as follows:

1. Contact angle value and wax content of Japanese red pine leaves increased when the fertilizers were applied in soil. The older leaves grew, the smaller their contact angle values.
2. K and Ca contents of Japanese red pine leaves were higher in Namsan than in Kwangnung, whereas Mg content was higher in Kwangnung. K and Mg contents of the leaves increased with fertilization both in Namsan and Kwangnung.
3. Soil acidity of pH 4.2~4.3 was shown in Namsan and pH 4.6~4.9 in Kwangnung. No acidity changes were shown when the fertilizers were applied in soil. However with the lapse of the soil fertilizer application time, there was the indication that soil pH became higher in the fertilizer treatments than in the control.

Key words : soil fertilizer, wax content, contact angle value, soil acidity, Japanese red pine

1. 서 론

화석 연료의 사용량 증가 등으로 야기된 대기오염물질 및 산성우에 의한 각종 피해는 오염이 심한 공단과 도시 지역은 물론 지역간, 국가간, 대륙내, 더 나아가서는 전 지구적 규모의 환경문제로 나타나고 있다.

국내도 급격한 산업화로 인해 공단과 대도시 지역을 중심으로 산성우 원인물질인 대기오염물질의 방출량이 크게 증가되고 있으며, 그 피해는 오염원 인근지역은 물론 그 주변지역까지 확대되고 있다. 한편, 아시아 국가들의 급속한 공업화 및 산업성장으로 산성우의 장거리 오염도 유럽과 북미의 경우와 유사하게 나타나고 있다. 우리나라도 중국의 대기오염물질이 황해를 통과하면서 수분과 광화학 반응을 일으켜 제2차적인 오염물질과 함께 산성비의 생성을 가능케 한다는 보고(정용승, 1990)가 있다. 또한 1980년대 이후 공업단지 주변의 일부지역과 대도시에서 수목의 생육저하와 식생구조의 변화가 일어나고 있음을(이경재, 1993; 류창희, 1991) 보고하였다.

그러나 Garner 등(1990)은 북미지역에서 산성우의 영향에 대한 산림피해를 조사한 결과 산림쇠퇴의 정확한 원인을 밝힐 수 없다고 하였다. 국내에서도 Kim(1994)은 산성우 및 대기오염물질에 의한 피해라기보다는 다른 요인에 의한 피해라고 보고하였다. 이우석 등(1993)은 대기오염과 산성우에 의한 피해조사 및 평가에 관한 연구결과 산성우가 우리나라 산림생태계에 직접적인 영향을 미치고 있다는 사실은 확인할 수 없었으나 오염원에 가까운 지역의 산림들이 멀리 떨어진 지역보다 피해를 받은 흔적을 발견할 수 있었다고 보고하였다. 이로써 아직까지는 산림의 피해원인을 정확히 밝힐 수 없는 상황이다.

또한, 본 실험의 조사지역인 남산 소나무림의 쇠퇴에 관해서도 학자에 따라 견해가 다르다. Kim(1994)는 솔잎혹파리에 의한 피해와 아까시나무 등 낙엽활엽수와 의 경쟁으로 인한 도태로써의 생물학적 요인을 소나무림 쇠퇴의 주원인으로 보았다. 한편, 이경재(1991)는 대기오염 및 산성우에 의한 토양산성화와 함께 그 피해가 가중된 것으로 보고하였다. 따라서, 육상생태계의 현황을 파악하고 피해가 발생하게 된 원인을 명확하게 밝혀내어 피해를 조기 발견할 수 있는 방법의 개발이 시급하게 되었다.

따라서, 본 연구는 다양하고 복잡한 환경요인에 의해 발생된 산림쇠퇴에 대한 회복책의 하나로 1990년 11월부터 1993년 8월까지 3년에 걸쳐 서울시 중심에 위치한

남산과 서울로부터 반경 15 km 떨어진 광릉지역의 소나무 우점종인 군집에 석회, 마그네슘과 석회+마그네슘+복합비료를 사용한 후 소나무잎의 왁스함량, 접촉각 및 무기양이온 함량, 토양 산도를 분석하여 시비처리의 효과를 알아보고자 실시하였다.

2. 재료 및 방법

1990년 10월 1일에 남산과 광릉 지역에 10×10 m의 시험구 12개를 설치하여 대조구, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Mg}(\text{OH})_2$ + 복합비료 (N-P-K=18-18-18)로 4처리하여, 난괴법 3반복으로 시험을 수행하였다. 석회와 마그네슘 비료의 시비량은 토양 산도에 따라 토양을 pH 5.0으로 교정할 수 있도록 산정하여 사용하였으며 복합비료 사용량은 7 kg/10a을 사용하였다. 첫 시비는 1990년 10월 31일에, 그리고 매년 11월 10~15일에 실시하였다.

잎분석 시료는 각 시험구마다 3주씩의 소나무를 선정하여 채취하였으며, 소나무는 1, 2년생 잎을 분리하여 1993년 8월까지 매년 채취하여 분석시료로 사용하였다.

왁스의 정량분석은 소나무 1년생 잎 생중량 5g을 미리 무게를 측정하여 둔 비이커에 넣은 후, 기화성인 CHCl_3 50 ml를 넣어서 10초간 진탕하여, PTEE membrane (0.45 μm pore size, 25 mm diameter)으로 여과한 다음 여과된 용액을 후드에서 건조시켜 왁스량을 정량하였으며, 3반복 측정하였다.

접촉각(contact angle) 측정은 구분된 1, 2년생 잎을 각각 10개씩 선정하여 2차 증류수를 0.2 μl 의 주사기로 침엽표면(adaxial side)에 떨어뜨려 침엽표면의 왁스와 물방울이 이루는 각도를 광학현미경내의 graticule로 측정하였다.

식물체내 무기양이온 함량을 분석하기 위해 채취해 온 시료를 80°C에서 48시간 건조시킨 후 건중량 0.5 g을 정확히 평량한 후 ternary solution ($\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{SO}_4 : \text{HClO}_4 = 10 : 1 : 4$) 10 ml를 넣고 습식분해시켜 원자흡광분광광도계(Perkin Elmer 3100)로 측정하였다.

토양 pH는 시험구에서 3점의 토양을 채취하여 토양 : 증류수=1 : 5로 하여 2시간 교반 후 pH meter (TOA HM-20E)로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 소나무의 왁스함량 및 접촉각 측정

남산과 광릉지역 소나무림의 토양개량제 처리에 따른 소나무 1년생 잎의 왁스함량을 측정된 결과, 그림 1과 같이 토양개량제를 처리함에 따라 왁스함량은 증가하였다. 그러나 연도에 따른 소나무 왁스함량 변화를 살펴볼 때 남산 소나무 1년생 잎은 1991년 4.33 mg/g Fr. wt., 1993년 5.47 mg/g Fr. wt. 으로 1991년에 비해 1993년에 높았으나, 광릉의 소나무 1년생 잎은 1991년 6.67 mg/g Fr. wt., 1993년 6.70 mg/g Fr. wt. 로 차이가 없었다.

지역별 남산과 광릉지역 소나무의 왁스함량 차이가 1991년은 2.34 mg/g Fr. wt.에서 1993년에는 1.19 mg/g Fr. wt.로 거의 비슷한 함량분포를 나타냈다. 이 우석 등(1993)은 대도시, 도시, 공단, 청정 지역으로 구분하여 소나무 1년생 잎의 왁스함량을 측정된 결과 지역별, 시기별 차이가 크다고 보고하였다. 또한, 이경재(1993)는 중부권지역의 소나무, 전나무, 독일가문비나무를 대상으로 산성우 및 대기오염물질에 의한 피해정도를 도식화한 결과 피해가 매년 증가한다는 보고하였다. 본 연구에서는 도시지역인 남산과 그 인근지역인 광릉지역간 소나무 1년생 잎 왁스함량간에는 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

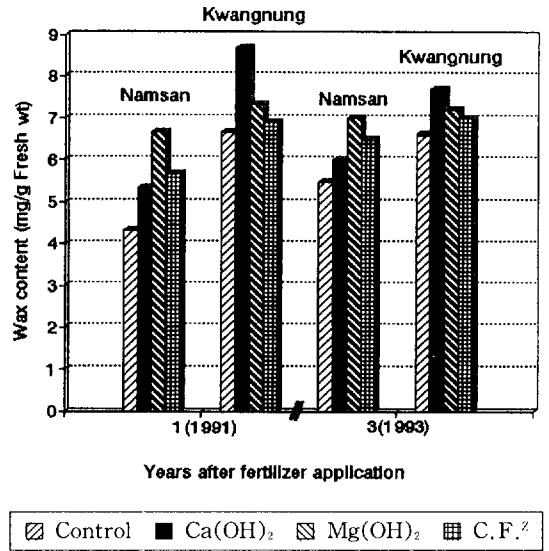


Fig. 1. Changes of annual wax content of 1-year Japanese red pine at 1 and 3 years after fertilizer application in Namsan and Kwangnung. ^z: Ca(OH)₂+Mg(OH)₂+Compound fertilizer

Table 1. Changes in annual contact angle of Japanese red pine in Namsan and Kwangnung by fertilizer application.

Application year ^z	Treatment	1 year		2 year	
		Namsan	Kwangnung	Namsan	Kwangnung
1	Control	64.0	65.2	59.1	57.6
	Ca(OH) ₂	68.3	63.1	63.5	56.8
	Mg(OH) ₂	67.5	63.1	64.8	58.6
	Ca+Mg+C.F. ^y	62.4	66.1	58.4	56.3
	LSD*	1.0	2.4	2.0	2.1
2	Control	74.8	78.5	65.5	61.8
	Ca(OH) ₂	77.3	79.0	65.6	68.9
	Mg(OH) ₂	82.2	80.3	73.0	63.5
	Ca+Mg+C.F.	77.5	78.5	74.0	67.3
	LSD	1.5	0.8	1.8	1.2
3	Control	80.6	84.7	68.9	67.6
	Ca(OH) ₂	81.9	88.2	71.1	73.0
	Mg(OH) ₂	83.6	85.5	76.7	76.6
	Ca+Mg+C.F.	87.6	86.7	75.3	77.2
	LSD	4.4	4.7	5.1	3.4
Significance Year		**	**	**	**
Significance Treatment	**	ND	**	**	**

^z Year after fertilizer application

^y Ca(OH)₂+Mg(OH)₂+Compound Fertilizer

* Means are separated within columns for each fertilizer by Fisher's least significance at p≤0.05.

*, ** Significance at p≤0.05 or 0.01, respectively

표 1은 남산과 광릉지역 소나무림의 토양개량제 처리에 따른 침엽의 접촉각값 측정 결과이다. 토양개량제를 처리함에 따라 접촉각값은 증가하여 시비에 따른 효과가 1% 유의수준에서 유의성이 인정되었고, 엽령이 증가함에 따라 접촉각값은 감소하였다. 류창희(1991)가 1990년 6월에서 10월까지 광릉과 서울시립대의 독일가문비나무와 전나무의 접촉각을 측정한 결과 엽령이 증가하고 시간이 경과할 수록 접촉각의 감소가 뚜렷하다고 보고하여 엽령에 따른 접촉각값은 2년생 잎이 낮음을 확인할 수 있었다. 한편, 이우석 등(1993)은 소나무 1년생 잎에서는 계절별 접촉각값이 유의하게 감소하였지만 2년생 잎에서는 이러한 경향을 찾을 수 없다고 보고하였다. 이는 2년생 잎의 경우 이미 수목의 활력도가 저하되어 접촉각값이 줄어든 상태이므로 계절에 따른 일정경향을 띠지 않은 것으로 해석했는데, 본 연구에서는 토양시비가 소나무 1, 2년생 잎의 접촉각값에 기여한 것으로 보인다.

확합량과 접촉각 측정결과, 복합적인 환경요인으로 쇠퇴화된 산림에 대한 회복적으로 산림토양에 토양개량제인 칼슘과 마그네슘 비료의 시용은 소나무림의 활력을 높여 수목의 생육을 촉진시키며 환경스트레스에 대한 식

물체의 저항성을 높여줄 수 있으리라 생각된다.

3.2 소나무림의 무기양이온 함량

토양개량제 처리에 따른 연도별 남산과 광릉지역 소나무 1, 2년생 잎의 무기양이온함량 변화는 표 2, 3과 같다. 토양개량제를 처리함에 따라 소나무 1년생 잎의 K 함량은 증가하여 남산과 광릉 두 지역 모두 시비 효과가 인정되었다. 2년생 잎도 1년생 잎과 마찬가지로 시비기간이 길어짐에 따라 잎의 K 함량이 증가하여 1% 유의수준에서 유의성이 인정되었다. 엽령에 따른 잎의 K 함량은 2년생 잎의 K 함량이 낮았는데, K 이온은 체내이동이 빠른 원소로 쉽게 재분배가 이루어졌기 때문이라고 생각된다.

소나무의 엽내 Ca 함량은 토양개량제 처리에 따라 증가하다가 시비 3년째에는 감소하였다. 이는 두 지역 모두 같은 결과로 1993년 남산 소나무의 Ca 함량이 65.3% 감소한 반면, 광릉의 소나무는 26.8% 감소하여 남산지역 소나무의 엽내 Ca 함량 감소가 두드러졌다. 한편 Ca은 체내이동이 잘 안되는 원소로 시비 3년째의 분석결과치가 여름에 이루어진 것이기 때문에 다른 해의 결과치보다 상대적으로 낮게 나타난 것으로 생각된다. 시비처

Table 2. Changes in annual mineral nutrient of 1-year Japanese red pine in Namsan and Kwangnung by fertilizer application.

Application Year ²	Treatment	Namsan			Kwangnung		
		K(%)	Ca(%)	Mg(ppm)	K(%)	Ca(%)	Mg(ppm)
1	Control	0.550	0.203	712	0.407	0.166	743
	Ca(OH) ₂	0.470	0.270	756	0.487	0.225	810
	Mg(OH) ₂	0.567	0.264	722	0.487	0.119	874
	Ca+Mg+C.F. ³	0.540	0.323	715	0.520	0.249	853
	LSD ⁴	0.018	0.013	51.9	0.011	0.004	20.1
2	Control	0.613	0.311	877.6	0.646	0.219	1035.3
	Ca(OH) ₂	0.653	0.342	986.4	0.668	0.300	1190.3
	Mg(OH) ₂	0.616	0.324	1148.7	0.662	0.228	1436.4
	Ca+Mg+C.F.	0.764	0.316	1054.2	0.683	0.211	1136.3
	LSD	0.012	0.009	53.4	0.015	0.013	70.2
3	Control	0.819	0.144	983.2	0.846	0.168	1003.8
	Ca(OH) ₂	0.879	0.259	978.6	0.795	0.185	1100.4
	Mg(OH) ₂	0.858	0.235	1007.1	0.896	0.171	1159.2
	Ca+Mg+C.F.	0.834	0.304	1037.4	0.911	0.183	1045.8
	LSD	0.061	0.179	110.1	0.069	0.034	189.5
Significance Year		**	*	**	**	**	**
Significance Treatment		**	NS	**	NS	**	**

² Year after fertilizer application

³ Ca(OH)₂+Mg(OH)₂+compound Fertilizer

⁴ Means are separated within columns for each fertilizer by Fisher's least significance at p≤0.05.

*,** Significance at p≤0.05 or 0.01, respectively

Table 3. Changes in annual mineral nutrient of 2-year Japanese red pine in Namsan and Kwangnung by fertilizer application.

Application year ^z	Treatment	Namsan			Kwangnung		
		K(%)	Ca(%)	Mg(ppm)	K(%)	Ca(%)	Mg(ppm)
1	Control	0.410	0.406	577.0	0.313	0.306	649.0
	Ca(OH) ₂	0.393	0.452	589.0	0.333	0.415	732.0
	Mg(OH) ₂	0.417	0.414	690.0	0.333	0.382	695.0
	Ca+Mg+C.F. ^y	0.460	0.493	595.0	0.347	0.456	724.0
	LSD ^x	0.014	0.017	42.2	0.021	0.019	18.8
2	Control	0.526	0.453	768.8	0.536	0.434	911.4
	Ca(OH) ₂	0.485	0.566	938.0	0.545	0.509	995.4
	Mg(OH) ₂	0.577	0.429	964.4	0.553	0.493	969.4
	Ca+Mg+C.F.	0.606	0.534	882.0	0.589	0.415	1007.0
	LSD	0.032	0.025	21.4	0.035	0.036	11.0
3	Control	0.545	0.376	905.1	0.566	0.331	975.8
	Ca(OH) ₂	0.576	0.528	953.4	0.608	0.440	987.0
	Mg(OH) ₂	0.591	0.475	982.0	0.587	0.303	1041.6
	Ca+Mg+C.F.	0.590	0.549	970.2	0.612	0.312	1029.0
	LSD	0.058	0.102	73.1	0.057	0.044	133.1
Significance Year		**	*	**	**	**	**
Significance Treatment		**	**	**	**	**	**

^z Year after fertilizer application

^y Ca(OH)₂+Mg(OH)₂+compound Fertilizer

^x Means are separated within columns for each fertilizer by Fisher's least significance at p≤0.05.

*,** Significance at p≤0.05 or 0.01, respectively

리구로 보면 두 지역 모두 칼슘시비가 대조구에 비하여 특히 Ca 함량이 높아 시비의 효과가 인정되었다. 일반적으로 염내 Ca 함량은 염령이 증가할수록 증가한다. 남산과 광릉 소나무 2년생 잎의 Ca 함량이 1년생 잎보다 높았으며, 남산지역은 칼슘과 복합비료 처리구, 광릉 지역은 칼슘과 마그네슘 처리구의 Ca 함량이 높아 시비 처리의 효과가 나타났다.

소나무잎의 Mg 함량도 토양 개량제를 처리함에 따라 증가하여 시비의 효과가 인정되었다. 한편, 소나무잎 K와 Ca 함량은 남산지역이 높은 반면, Mg 함량은 광릉 지역이 높았고, 염령별로는 1년생 잎에 비하여 2년생 잎의 Mg 함량이 두드러지게 낮았다.

소나무잎의 무기양이온 함량을 분석한 결과, 토양개량제를 처리하기 전에 비하여 시비처리 시간이 경과함에 따라 남산과 광릉 지역에서 시비 효과는 인정되었다.

3.3 소나무림의 토양화학적 변화

소나무 우점종인 군집의 토양 산도를 pH 5.0으로 교정할 목적으로 각각 Ca(OH)₂, Mg(OH)₂, Ca+Mg+C.F.로 시비한 토양 분석 결과는 표 4와 같다.

남산과 광릉지역 소나무림의 연도별 토양산도 변화는 두 지역 모두 차이가 없었다. 산성화된 토양이 회복되려

면 6~10년이 경과해야 한다고 한 Stuanes 등 (1992)의 보고에서와 같이 토양 산도의 변화는 오랜 시간이 경과해야 나타날 것으로 생각된다. 두 지역간의 토양 pH를 보면 남산이 pH 4.2~4.3 수준이고 광릉은 pH 4.6~4.9 수준을 나타내고 있어 남산이 광릉보다 낮았다. 두 지역 모두 시비처리 전에 비하여 처리 시간이 경과함에 따라 토양 pH의 차이는 거의 나타나지 않았으나 1991년 이후 대조구에 비하여 시비처리구의 토양 pH가 상대적으로 높아지는 경향을 나타냈다. 이를 수소이온농도로 환산해 보면, 남산소나무림은 4%, 광릉소나무림은 23% 증가한 것이다. 또한 토양개량제 처리구는 남산의 경우, 평균 12.6%, 광릉의 경우 22% 감소하여 시비처리에 의한 토양 산성화의 정도가 낮아지는 것으로 시비 처리에 따른 효과를 볼 수 있었다.

이수옥과 민일식 (1990)은 산성우에 의한 토양산도의 변화는 토양조건에 따라 다르며, 치환성 양이온함량이나 염기포화도가 클수록 완충능이 크다고 보고했다. 그리고 토양산도가 낮아지는 것은 장기간의 산 집적에 따른 토양완충능의 감퇴가 주 요인으로 본 실험결과도 토양시비에 따른 토양 산도의 명확한 효과를 살펴보기 위해서는 5~10년 이상의 장기간의 연구가 계속 수행되어야 할 것이라고 생각된다.

Table 4. Changes in annual soil pH in Japanese red pine community of Namsan and Kwangnung by fertilizer application.

Application year ^z	Treatment	Namsan	Kwangnung
1	Control	4.28	4.90
	Ca(OH) ₂	4.35	4.87
	Mg(OH) ₂	4.48	4.86
	Ca+Mg+C.F. ^y	4.51	4.79
	LSD ^x	0.11	0.04
2	Control	4.36	4.63
	Ca(OH) ₂	4.40	4.73
	Mg(OH) ₂	4.49	4.80
	Ca+Mg+C.F.	4.56	4.71
	LSD	0.06	0.13
3	Control	4.24	4.70
	Ca(OH) ₂	4.35	5.09
	Mg(OH) ₂	4.41	5.12
	Ca+Mg+C.F.	4.50	5.10
	LSD	0.11	0.12
Significance Year		**	**
Significance Treatment		**	**

^z Year after fertilizer application
^y Ca(OH)₂+Mg(OH)₂+Compound Fertilizer
^x Means are separated within columns for each fertilizer by Fisher's least significance at p≤0.05.
^{*},^{**} Significance at p≤0.05 or 0.01, respectively

또한, Binkly 등 (1989)은 미국에서 산성비의 직접적인 영향에 관한 증거를 찾지는 못했지만 산성강하물이 토양을 산성화시켜 간접적으로 영향을 주었다고 보고하였다. 이처럼 남산과 광릉지역 토양개량제 처리에 따른

시비효과가 토양산성화에 뚜렷한 효과를 가져오지는 못했지만 여러 복합적인 환경요인으로 산성우 및 대기오염의 피해지역이 확산되는 상황에서 강산성은 아니더라도 지속적인 산성 강우가 내리면 토양의 완충능은 급격히 감소하여 토양과 식생에 간접적인 영향을 끼칠 것이다. 따라서, 토양산도를 높이면서 완충력을 높일 수 있도록 지속적으로 칼슘과 마그네슘 및 유기질 비료를 사용하면서 지속적인 관리를 해야 할 것으로 생각된다.

3. 4 각 조사항목간의 상관분석

표 5와 표 6은 남산과 광릉 토양 개량제 처리에 따른 소나무 각 조사항목간의 상관관계를 나타낸 것이다. 남산과 광릉 모두 엽령에 따른 왁스함량과 접촉각값 간에는 상관성이 인정되었으며, 왁스함량과 Ca 함량, 접촉각값과 K, Ca, Mg 간에, 토양산도와 왁스함량, Ca, Mg 함량간에도 상관성이 인정되었다.

Cape (1983)가 산성우 및 대기오염의 수목피해 조기 판단방법으로 제시했던 왁스함량과 접촉각 측정은 수목의 유전형질, 측정시기에 따른 편차가 심하며, 개개의 잎을 조사자가 직접 광학현미경으로 많은 시료를 반복하여 측정해야 하는 불편함을 고려할 때 그 사용 범위가 제한적이라 생각된다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서는 토양개량제를 처리함으로써 소나무잎의 활력을 높여 왁스함량과 접촉각값이 무기양이온의 함량에 기여한 것으로 나타났다. 따라서, 복합적인 여러 환경요인에 의한 산림쇠퇴의 회복책으로 사용한 토양개량제 처리는 수목의 생리적인 회복에 관여하여 시비의 효과가 나타났다.

Table 5. Correlation of the each factor of Japanese red pine in Namsan by fertilizer application.

	X1 ²⁾	X2 ³⁾	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
X2	0.95**									
X3	0.334	0.322								
X4	0.504**	0.505**	0.897**							
X5	0.339	0.033	0.784**	0.640**						
X6	0.435**	0.670**	0.764**	0.472**	0.519**					
X7	0.846**	0.863**	0.093	0.099	-0.08	0.316				
X8	0.362*	0.541**	0.410*	0.358*	0.329	0.450**	0.592**			
X9	0.287	0.393*	0.890**	0.679**	0.640**	0.543**	0.299	0.530**		
X10	0.473**	0.292	0.857**	0.582**	0.655**	0.656**	0.012	0.515**	0.622**	
X11 ³⁾	0.523**	0.541**	-0.219	-0.078	-0.144	0.019	0.559**	0.319	-0.037	-0.255

²⁾ X1, X3, X5, X7, X9 mean wax content, contact angle, K, Ca, and Mg content of 1-year Japanese red pine, respectively.
³⁾ X2, X4, X6, X8, X10 mean wax content, contact angle, K, Ca, and Mg content of 2-year Japanese red pine, respectively.
³⁾ X11 means soil pH in Japanese red pine community.

Table 6. Correlation of the each factor of Japanese red pine in Kwangnung by fertilizer application.

	X1 ²⁾	X2 ²⁾	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
X2	0.564*									
X3	0.143	0.553**								
X4	0.088	0.535**	0.797**							
X5	0.320	0.017	0.647**	0.694**						
X6	0.402*	0.235	0.796**	0.719**	0.560**					
X7	0.372*	0.478*	0.071	0.262	0.007	0.074				
X8	0.143	0.267	0.013	-0.002	0.056	0.118	0.620**			
X9	0.398*	-0.017	0.587**	0.471**	0.562**	0.765**	0.379*	0.256		
X10	-0.079	-0.322	0.560**	0.599**	0.422*	0.615**	0.234	0.293	0.626**	
X11 ³⁾	0.606**	0.470**	0.395*	0.142	0.263	0.409*	0.301	0.364*	0.548*	0.234

²⁾ X1, X3, X5, X7, X9 mean wax content, contact angle, K, Ca, and Mg content of 1-year Japanese red pine, respectively.

³⁾ X2, X4, X6, X8, X10 mean wax content, contact angle, K, Ca, and Mg content of 2-year Japanese red pine, respectively.

³⁾ X11 means soil pH in Japanese red pine community.

4. 결 론

참 고 문 헌

다양하고 복잡한 환경요인에 의해 발생된 산림쇠퇴에 대한 회복책의 하나로 1990년 11월부터 1993년 8월까지 3년에 걸쳐 서울시 중심에 위치한 남산과 광릉지역의 소나무 우점종인 근집에 석회, 마그네슘, 석회+마그네슘+복합비료를 사용한 후 소나무잎의 왁스함량, 접촉각 및 무기양이온 함량, 토양의 산도를 분석하여 시비처리의 효과를 알아보고자 실시한 연구 결과는 다음과 같다.

1. 남산·광릉지역 소나무잎의 왁스함량 및 접촉각값은 토양시비에 따라 증가하였고, 열령이 증가함에 따라 접촉각값은 작아졌다.
2. 소나무잎의 K, Ca 함량은 남산에서 높았으나, Mg 함량은 광릉지역에서 높았다. 소나무잎의 K, Mg 함량은 남산과 광릉 모두 시비가 계속됨에 따라 증가하여 시비의 효과가 나타났다.
3. 토양산도는 남산지역이 pH 4.2~4.3, 광릉지역이 pH 4.6~4.9이었고, 토양시비처리에 따른 토양 산도는 변화가 없었다. 그러나 토양시비처리 기간이 경과함에 따라 무시비구에 비하여 시비처리구의 토양 pH가 상대적으로 높아지는 경향을 보였다.

사 사

본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구(90-0701-01) 지원에 의하여 수행되었습니다.

농업과학기술연구소(1988) 토양화학분석법, 농촌진흥청.

류창희(1991) 수도권지역 환경오염에 의한 수목 및 식물근집구조 피해 판단에 관한 연구, 서울시립대학교 석사학위논문, 24-28pp.

이경재(1991) 남산자연공원의 수목생육 환경실태 및 관리방안. 서울시립대학교 환경생태연구실, 30-31pp.

이경재(1993) 산성우 및 대기오염물질이 삼림에 미치는 피해의 조기판단에 관한 연구: 산성우 및 대기오염물질에 의한 수목의 생리적 변화, 한국과학재단, 73-75pp.

이수옥, 민일식(1990) 인공산성우가 삼림토양의 완충능에 미치는 영향, 한국임학회지, 79(4), 376-387.

이우석 등 13인(1993) 대기오염과 산성비에 의한 피해 조사 및 평가에 관한 연구(III-2): 산림생태계에 미치는 영향을 중심으로, 국립환경연구원보, 15, 41-52.

정용승(1990) 대기오염물질의 장거리 이동과 산성비 강하에 관한 연구(II), 국립 환경 연구원보, 195-253.

Binkley, D. et al.(1989) Context and case studies in Southern United States, in Acidic deposition and forest soils, Ecological studies, 52, 149pp.

Cape, J.N(1983) Contact angles of water droplets on needles of Scots pine grow-

ing in polluted atmospheres, *New phytology*, 93, 263-299.

Garner, J.H., B.P. Terry and E.B. Cowling (1990) An evaluation of the role of ozone, acid deposition and other airborne pollutants on the forests of Eastern North America, in USDA For. Serv., Washington, USDA Gen. Tech. Rep., SE-59.

Kim, E.S.(1994) Ecological examinations of the radial growth of pine trees on Mt. Namsan and potential effects of current level of air pollutants to the growth of the trees in Central Seoul, Korea, *J. KAPRA*, 10(E), 371-386.

Stuanes, A.O., H.W. Miegroet, D.W. Cole and G. Abrahamsen (1992) Recovery from acidification, in *Atmospheric deposition and forest nutrient cycling*, IFS Case Study, 467-494.