

수도권 일대 신갈나무 숲의 토양이온, 식물체 영양염류 함량 및 생장의 비교

김준호 · 임병선* · 김종욱*

서울대학교 생물학과, 목포대학교 생물학과*

적 요: 토양산성화로 인해 나타나는 토양의 양이온결핍과 신갈나무의 당년지 및 잎의 영양염류 함량 변화 및 연륜생장의 변동을 조사하기 위하여 서울 남산을 기점으로 동쪽으로 25 km 떨어진 경기도 남양주군 예봉산으로부터 185 km 떨어진 강원도 명주군 매봉산까지 신갈나무 숲 14개 지소를 선정하여 조사하였다. 토양 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ 및 양이온 유효치환능(ECEC)은 서울에서 동쪽으로 멀어질수록 증가하는 경향이었다. 토양 pH도 서울에서 동쪽으로 멀어질수록 증가하였다. 당년지의 Ca과 Mg함량은 서울에서 동쪽으로 멀어질수록 증가하였으나, 당년지의 K 및 Na함량은 서울에서 동쪽으로 멀어질수록 대체로 감소하였다. 신갈나무 잎의 Ca함량은 서울에서 동쪽으로 멀어질수록 증가하였으나, 당년지의 K 및 Mg함량은 서울에서 동쪽으로 멀어질수록 감소하였다. 당년지의 생장은 경기도 지방의 것이 강원도 지방의 것보다 작았다. 대기오염지역으로서 남산과 대조지역으로서 예봉산의 연륜생장을 조사하였는데 평균연륜폭은 1970년대 초반부터 1980년대 후반까지 남산의 것이 예봉산의 것에 비하여 좁았다.

검색어: 식물체 영양염류, 신갈나무, 연륜생장, 토양산성화.

서 론

유럽과 북미에서 1970년대 초부터 산림쇠퇴가 나타나서 많은 연구자들이 산림의 쇠퇴 징후의 원인을 밝히려 시도하였다(Ulrich 1980, 1981, Freisleben and Rasmussen 1986, Davis 1990, Tomilinson 1990, 1991). 국내에서는 1960년대 이후 급격한 공업화로 인해 환경오염문제가 대두되었고 특히 1980년 이후 대도시와 공업단지 주변의 식생에 쇠퇴징후가 나타났으며, 1990년대에 그것이 전국적으로 확대되고 있다(김 1990, 유 1994). 이러한 오염의 피해는 주로 오염원 주변에서 국지적으로 일어났다. 우리나라와는 달리 유럽 및 북미에서의 산림쇠퇴는 대규모적으로 일어났다.

산성 강하물은 SO_2 , NO_x 및 Cl에서 유래한다. 이들은 대기 중에서 O_3 및 수증기와 결합하여 강산성의 산성비, 산성눈, 산성안개 및 건성 강하물이 되어 지상에 떨어지는데 주로 토양을 산성화시키는 피해를 준다. 현재까지 산성비에 의한 토양의 산성화 과정과 수목의 성장감소는 많은 과학자들에 의해 입증되었으나(Rhyu and Kim 1993, Freisleben and Rasmussen 1986, Foster *et al.* 1986, 유 1994), 산림쇠퇴가 양이온 결핍의 결과인지 Al 과잉의 결과인지가 분명치 않아 그 원인으로 양이온 결핍설과 Al 독성설이 각각 주장되고 있다. 양이온 결핍설은 산성 강하물이 산림에 낙하하면 Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ 등의 염기성 양이온이 세탈되어 토양의 완충능이 감소되므로 식물의 무기영양소 결핍이 일어난다는 설이다(Matznier *et al.* 1986, Hauhs and Wright 1986). 한편, Al 독성설은 산성비에 의하여 토

양이 산성화되었을 때 가용성 Al^{3+} 이 증가하므로 뿌리에 피해를 준다는 설이다(Ulrich 1980, 1981). 산림쇠퇴 원인이 Mg^{2+} 과 Ca^{2+} 등의 양이온 결핍에 있음은 독일을 비롯한 유럽의 많은 지역의 침엽수와 활엽수에서 밝혀져 있지만(Ende and Zöttl 1990/1991, Tomilinson 1990/1991), 식물체에서 충분한 영양소가 발견되는 지역에서도 산림쇠퇴징후가 보고되기 때문에 양이온 결핍설로는 산림쇠퇴 모두를 설명할 수 없다(Marschner 1989).

환경오염이 수목생장에 미치는 영향에 관한 연구는 연륜을 이용한 연륜연대학적 기법이 사용되는데, 수도권 주변의 리기다소나무림에서 연륜 생장의 감소가 보고되었고(유 1994, Rhyu and Kim 1994a, b), 여천공업단지 주변의 소나무와 울산공업단지 주변의 곰솔의 생장이 1970년대 후반부터 감소하였음이 보고되었다(박과 정 1994).

본 연구는 한반도 중부지역에서 서울로부터의 경도구배에 따라 1) 신갈나무 숲에서 토양의 산성화를 조사하고, 2) 식물체의 영양염류 함량을 분석하며, 3) 신갈나무의 연륜 및 소지생장 상태를 밝히고자 실시하였다.

재료 및 방법

조사지 개황

본 연구에서는 서울 남산을 기점으로 동쪽으로 25 km 떨어진 경기도 남양주군 예봉산으로부터 184 km 떨어진 강원도 명주군 매봉산까지 신갈나무(*Quercus mongolica*) 숲 14개 지소를 선정하여 1994년 5월부터 1994년 10월까지 조사하였다(Fig. 1). 조사지 선정은 인위적 교란이 있다고 생각되는 지점을 피하여 수령, 사면 및 경사가 비슷한 지점

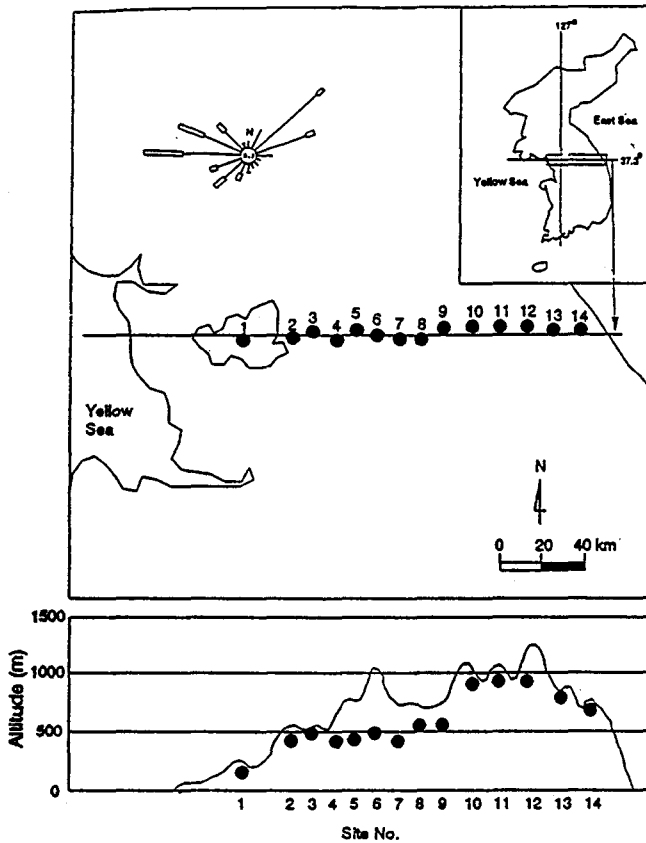


Fig. 1. Location of 14 *Quercus mongolica* stands investigated in this study.

을 선택하였다. 각 조사지점의 행정소재지명 및 남산으로부터의 거리, 고도, 경사, 사면 및 교목의 평균 키는 Table 1과 같다. 대기오염지역으로 서울시 중구 남산동에 위치한

남산(37°33'N, 127°00'E)으로 부터 동쪽으로 경도구배에 따라 약 20 km간격으로 강원도 명주군 옥계면(37°33'N, 129°02'E)에 위치한 매봉산까지 신갈나무 숲(*Q. mongolica* stands)을 조사하였다(Fig. 1).

토양의 채취와 pH 및 양이온 분석

각 조사지의 신갈나무 군집에서 임의로 5개체를 선택하여 각 개체의 그루터기로 부터 1 m 거리에서 채토하였다. 토양은 낙엽층 및 부식층을 제거한 다음 총 5점의 시료를 채취하여 실험실로 운반하였고 2주간 음건시킨 후 체는 2 mm 체로 쳐서 관병에 보관하여 화학분석에 사용하였다. 토양 pH는 음건토양과 증류수를 1:5로 혼합하여 30분간 진탕한 다음 여과지(Whatman No. 44)로 여과시켜, pH meter(Fisher 230 A)로 측정하였다. 양이온 함량은 음건토양 10 g을 1 N CH₃COONH₄ 수용액(pH 7.0으로 조정) 50 ml와 함께 100 ml 삼각플라스크에 넣고 30분간 진탕한 다음 여과지(Whatman No. 44)로 여과시켜, 유도결합 플라즈마 원자 발광분광계(inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, ICP: ICPQ-1000, Shimadzu)로 측정하였다. 토양의 양이온 유효치환능(effective cation exchange capacity, ECEC)은 치환성 Ca²⁺, K⁺, Na⁺, Mg²⁺ 및 Al³⁺의 합으로 나타내었다.

식물의 채취와 영양염류 분석

각 조사지의 신갈나무 군집에서 임의로 5개체를 선택하여 고지절단기구(낫과 낚시대를 이용하여 제작)를 이용하여 각 개체의 수관 외부에 광적용된 가지를 채취하였다. 표본 채집 시기는 1994년 5월부터 1994년 10월까지 채집하였다. 화학 분석을 위해 채집된 잎은 수돗물로 가볍게 세척한 다음 잎과 소지를 80℃ 건조기에서 72시간 건조시킨 후, 분쇄기(Model

Table 1. Locations and characteristics of *Quercus mongolica* forests examined in this study

Site No.	Site name	Longitude	Location	Distance from Mt. Namsan (km)	Altitude (m)	Slope (°)	Aspect (°)	Mean height of tree (m)
1	Mt. Namsan	127° 00'	Changchung-Dong, Chung-Gu, Seoul	0	240	20	360	15
2	Mt. Yebongsan	127° 16'	Yoabu-Up, Namyangju-Gun, Kyonggi-Do	25.4	400	25	290	18
3	Mt. Ungilsan	127° 18'	Joan-Myon, Namyangju-Gun, Kyonggi-Do	28.0	480	30	360	12
4	Mt. Chonggyesan	127° 24'	Yangseo-Myon, Yangpyong-Gun, Kyonggi-Do	35.6	430	30	350	16
5	Mt. Sogunisan	127° 29'	Okcheon-Myon, Yangpyong-Gun, Kyonggi-Do	44.4	450	30	310	15
6	Mt. Yongmunsan	127° 33'	Yongmun-Myon, Yangpyong-Gun, Kyonggi-Do	50.0	500	30	50	15
7	Mt. Chungwonsan	127° 36'	Yongmun-Myon, Yangpyong-Gun, Kyonggi-Do	55.6	400	30	80	15
8	Mt. Songjibong	127° 57'	Seowon-Myon, Hwoengseong-Gun, Kangwon-Do	77.2	550	32	360	15
9	Mt. Odapsan	128° 04'	Kapcheon-Myon, Hwoengseong-Gun, Kangwon-Do	96.5	550	27	360	17
10	Mt. Taegisan	128° 17'	Bongpyong-Myon, Pyongchang-Gun, Kangwon-Do	114.7	910	30	50	15
11	Mt. Paekchoksan	128° 30'	Yongpyong-Myon, Pyongchang-Gun, Kangwon-Do	133.7	960	25	360	15
12	Mt. Palwangsan	128° 40'	Doam-Myon, Pyongchang-Gun, Kangwon-Do	152.0	940	25	60	17
13	Mt. Taehwasolsan	128° 50'	Wangsan-Myon, Myongju-Gun, Kangwon-Do	165.5	650	30	320	15
14	Mt. Maebongsan	129° 02'	Okkae-Myon, Myongju-Gun, Kangwon-Do	183.5	450	25	50	14

MFC S1, Junke and Kunkel)로 1 mm 이하의 분말로 만들어 관병에 보관하여 화학분석에 사용하였다. 잎과 소지의 영양염류 함량은 식물체 시료 0.4 g을 혼합분해제($\text{Se} + \text{Li}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4$) 4.4 ml와 함께 100 ml micro-Kjeldahl 플라스크에 넣어 색이 투명해질 때까지 가열하여 분해시킨 다음 여과지(Whatman No. 44)로 여과시켜 50 ml로 정용하여, ICP로 측정하였다.

연륜의 채취와 분석

연륜의 채취는 서울 남산과 경기도 남양주군 예봉산으로부터 인위적 교란이 있다고 생각되는 지점을 피하여 수령, 사면 및 경사가 비슷한 지점을 선택하여 직경 4.5mm인 생장추(increment borer, Sweden)를 사용하여 20개체를 선택하여 지표면으로 약 1m 높이에서 수목당 2개씩의 연륜을 채취하였다. 추출된 표본은 플라스틱 빨대에 보관 후, 제작한 보관대(mount)에 아교로 붙여 건조시킨 후 정확한 측정을 위하여 사포(No. 320, 600, 1000 등)를 사용하여 순차적으로 연마하였다.

보관한 연륜은 연륜측정장치(tree-ring measuring equipment)로 0.01 mm의 단위로 측정 후 연륜분석 프로그램인 International Tree-Ring Data Bank Program Library (ver. 1)(Fritts *et al.* 1992) 중에서 COFFECHA, CRO-NOL 및 ARSTAN을 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

신갈나무 숲의 토양 산성화

서울의 남산을 기점으로 동쪽으로 14개 지소의 토양 pH 및 양이온의 함량을 Fig. 2에 나타내었다.

토양의 pH는 운길산의 것이 4.12로서 가장 낮았고 성지봉의 것이 4.73으로 가장 높았으며, 토양의 양이온 유효치 환능(effective cation exchange capacity, ECEC)은 남산의 것이 14.0 meq/kg으로 가장 작았고 중원산의 것이 112.7 meq/kg으로 컸다. 토양의 pH와 ECEC는 서울에서 동쪽으로 멀어질수록 증가하였다(Fig. 2a, b).

토양 Ca^{2+} 함량은 남산의 것이 5.8 meq/kg으로 가장 낮았고 백적산의 것이 65.2 meq/kg으로 가장 높았으며, 토양 K^{+} 함량은 운길산의 것이 0.25 meq/kg으로 가장 낮았고 청계산의 것이 2.60 meq/kg으로 가장 높았다. 토양 Ca^{2+} 함량은 서울에서 동쪽으로 멀어질수록 증가 후 감소하였고, 토양 K^{+} 함량은 서울의 남산의 것에 비하여 대체로 높았으나 일정한 경향성은 없었다(Fig. 2c, d).

토양 Na^{+} 함량은 용문산의 것이 1.5 meq/kg으로 가장 낮았고 대화설산의 것이 5.3 meq/kg으로 가장 높았으며, 토양 Mg^{2+} 함량은 남산의 것이 1.9 meq/kg으로 가장 낮았고 중원산의 것이 16.9 meq/kg으로 가장 높았다. 토양 Na^{+} 함량은 서울에서 동쪽으로 멀어질수록 감소 후 증가하였고, 토양 Mg^{2+} 함량은 서울에서 동쪽으로 멀어질수록 증가하였다(Fig. 2e, f).

한국의 토양은 이미 오랫동안 배출된 대기오염물질과 산

성비로 말미암아 넓은 지역이 산성화되고 있는데 여천과 울산공업단지 주변에서 공업단지에 인접할수록 많은 양의 염기성 양이온이 세탈되었음이 보고된 바 있다(김 등 1996, Kim *et al.* 1996). 수도권 일대의 산림토양의 낮은 pH는 산성강하물에 의한 것으로 보이는데, 특히 유의한 수준의 $\text{SO}_4^{2-}-\text{S}$ 가 도시의 산림지역에 포함되어 있으며, SO_4^{2-} 는 서울의 습성강하물의 전체 이온 중 61%를 차지하였다. 또한 수도권에서는 강산성의 비가 수년째 내렸다(Rhyu and Kim 1994b). 본 연구의 조사 결과 토양의 Ca^{2+} , Mg^{2+} 및 Na^{+} 같은 양이온 함량은 서울에서 동쪽으로 멀어질수록 증가하는 경향이었으며, 또한 토양의 ECEC도 서울에서 동쪽으로 멀어질수록 증가하였는데, 이는 수도권에서의 산성비 등의 대기오염물질의 강하로 인해 수도권에 인접할수록 토양 pH의 감소에 따라 유의하게 양이온이 세탈되었다는 유(1994)의 결과와 잘 일치하였다. 토양이 산성화됨에 따라 토양의 염기성 양이온은 토양수의 수소이온에 의해 치환되어 세탈된 것으로 해석된다(Rhyu and Kim 1994b).

신갈나무 당년지의 영양염류 함량 변화

서울의 남산을 기점으로 동쪽으로 14개 지소의 신갈나무 당년지의 영양염류 함량을 Fig. 3에 나타내었다.

당년지의 Ca함량은 예봉산의 것이 296.0 mg/100 g으로 가장 낮았고 성지봉의 것이 843.2 mg/100 g으로 가장 높았으며, 당년지의 K함량은 각각 매봉산의 것이 166.2 mg/100 g으로 가장 낮았고 예봉산의 것이 420.3 mg/100 g으로 가장 높았다. 당년지의 Ca함량은 서울에서 동쪽으로 멀어질수록 증가하였고 당년지의 K함량은 서울의 남산의 것이 가장 낮았으나 서울에서 동쪽으로 멀어질수록 감소하였다(Fig. 3a, b).

당년지의 Na함량은 매봉산의 것이 974.5 mg/100 g으로 가장 낮았고 남산의 것이 1473.6 mg/100 g으로 가장 높았으며, 당년지의 Mg함량은 예봉산의 것이 98.0 mg/100 g으로 가장 낮았고 성지봉의 것이 244.9 mg/100 g으로 가장 높았다. 당년지의 Na함량은 남산에서 동쪽으로 갈수록 대체로 감소하였고 Mg함량은 서울의 남산을 제외하고 증가 후 감소하였다(Fig. 3c, d).

당년지의 영양염류의 함량중 특히 Ca과 Mg함량은 토양의 Ca^{2+} 과 Mg^{2+} 함량에서와 마찬가지로 서울에서 동쪽으로 멀어질수록 증가하여 토양이온의 양과 상관관계가 있음을 암시하였으나 다른 이온의 경우는 잘 일치하지 않았다.

신갈나무 잎의 영양염류 함량 변화

서울의 남산을 기점으로 동쪽으로 14개 지소의 신갈나무 잎의 영양염류 함량을 Fig. 4에 나타내었다.

신갈나무 잎의 Ca함량은 남산의 것이 537.4 mg/100 g으로 가장 낮았고 태기산의 것이 907.9 mg/100 g으로 가장 높았으며, K함량은 성지봉의 것이 170.5 mg/100 g으로 가장 낮았고 남산의 것이 439.1으로 가장 높았다. 신갈나무 잎의 Ca함량은 서울에서 동쪽으로 멀어질수록 증가하였으나 K함량은 서울에서 동쪽으로 멀어질수록 감소하였다

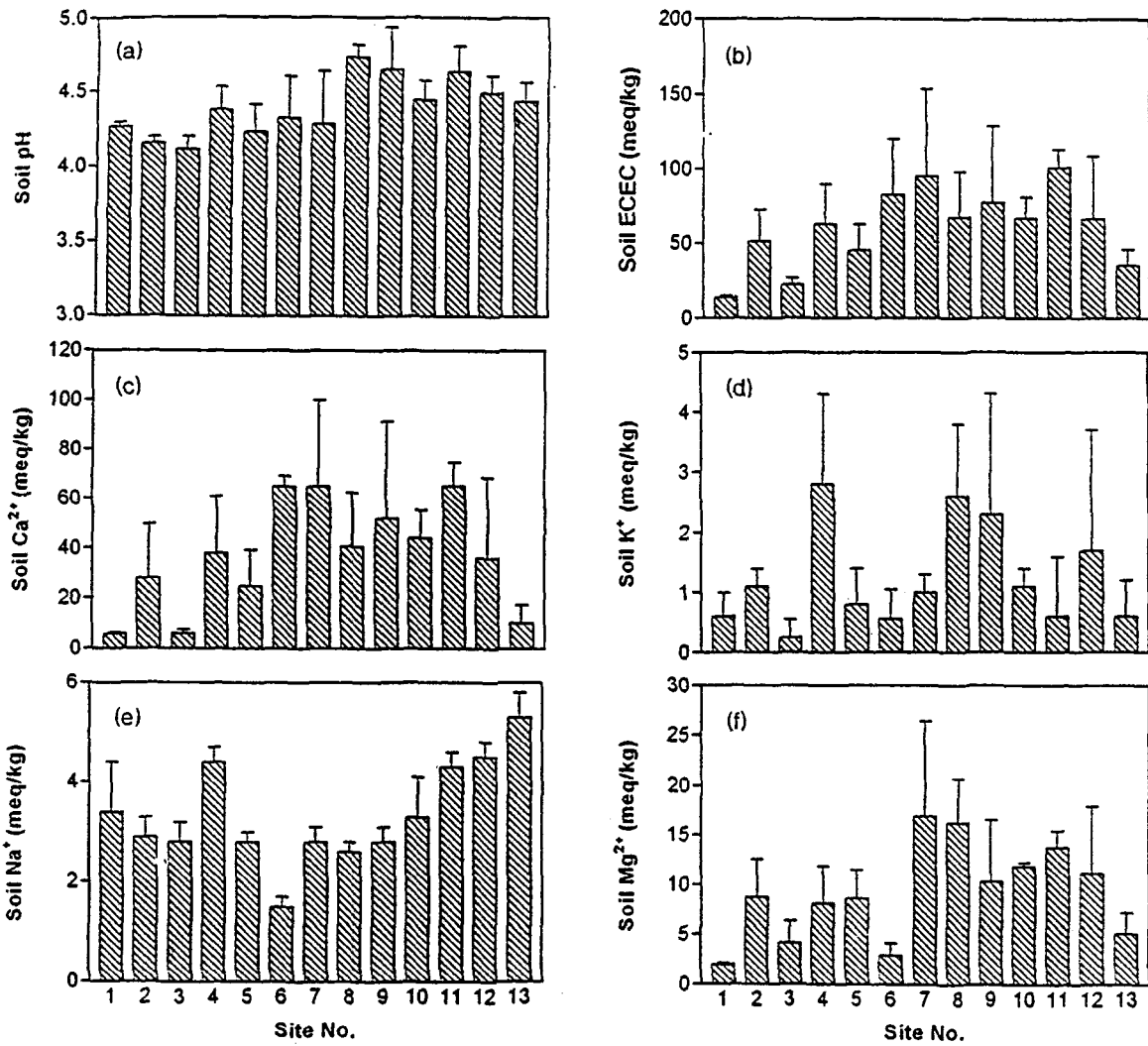


Fig. 2. Soil pH (a), ECEC (b), Ca²⁺ (c), K⁺ (d), Na⁺ (e) and Mg²⁺ content (f) of 13 *Quercus mongolica* stands. Error bars indicate a standard deviation from the mean (n=5).

(Fig. 4a, b).

신갈나무 잎의 Na함량은 남산의 것이 1069.6 mg/100 g으로 가장 낮았고 용문산의 것이 1340.2 mg/100 g으로 가장 높았으며, Mg함량은 매봉산의 것이 165.8 mg/100 g으로 가장 낮았고 소구니산의 것이 290.7 mg/100 g으로 가장 높았다. 신갈나무 잎의 Na함량은 대체로 일정하였으나 Mg함량은 서울에서 동쪽으로 멀어질수록 감소하였다(Fig. 4c, d).

잎의 영양염류의 함량중 Ca 함량 만이 토양의 Ca²⁺과 당년지의 Ca함량에서와 마찬가지로 서울에서 동쪽으로 멀어질수록 증가하여 토양이온의 양 및 당년지의 영양염류의 양과 유의한 상관관계가 있었으나 다른 이온의 경우는 잘 일치하지 않았다.

신갈나무의 당년지의 생장과 연륜연대기 분석

당년지의 생장은 경기도 지방의 것이 강원도 지방의 것

보다 작았다(Fig. 5). 당년지의 생장은 남산, 예봉산, 운길산, 청계산, 소구니산, 용문산, 중원산, 성지봉, 어답산, 태기산, 백적산, 발왕산, 대화설산 및 매봉산에서 각각 12.7, 14.9, 9.7, 9.8, 15.8, 8.7, 9.6, 30.5, 12.0, 14.4, 22.6, 21.7, 15.5 및 11.7 cm/yr이었다.

서울 남산과 경기도 남양주군 예봉산에서 각각 수목당 2개씩의 20개의 연륜에 대한 두 지역의 평균연대기 및 표준화된 각 연륜지수연대기를 평균한 지역연대기를 Fig. 6a와 b에 나타내었다.

어떤 연륜폭과 다음 연륜폭과의 상대차의 평균을 나타내는 평균민감도(mean sensitivity)는 예봉산의 것이 0.105, 남산의 것이 0.066으로 두 연륜연대기 모두 낮았는데 이는 개개의 연륜의 상대적 연변동이 크지 않았다는 것을 의미한다. 표준편차(standard deviation)는 예봉산의 것이 0.280, 남산의 것이 0.045로서 모두 낮았으며 남산의 것이 예봉산

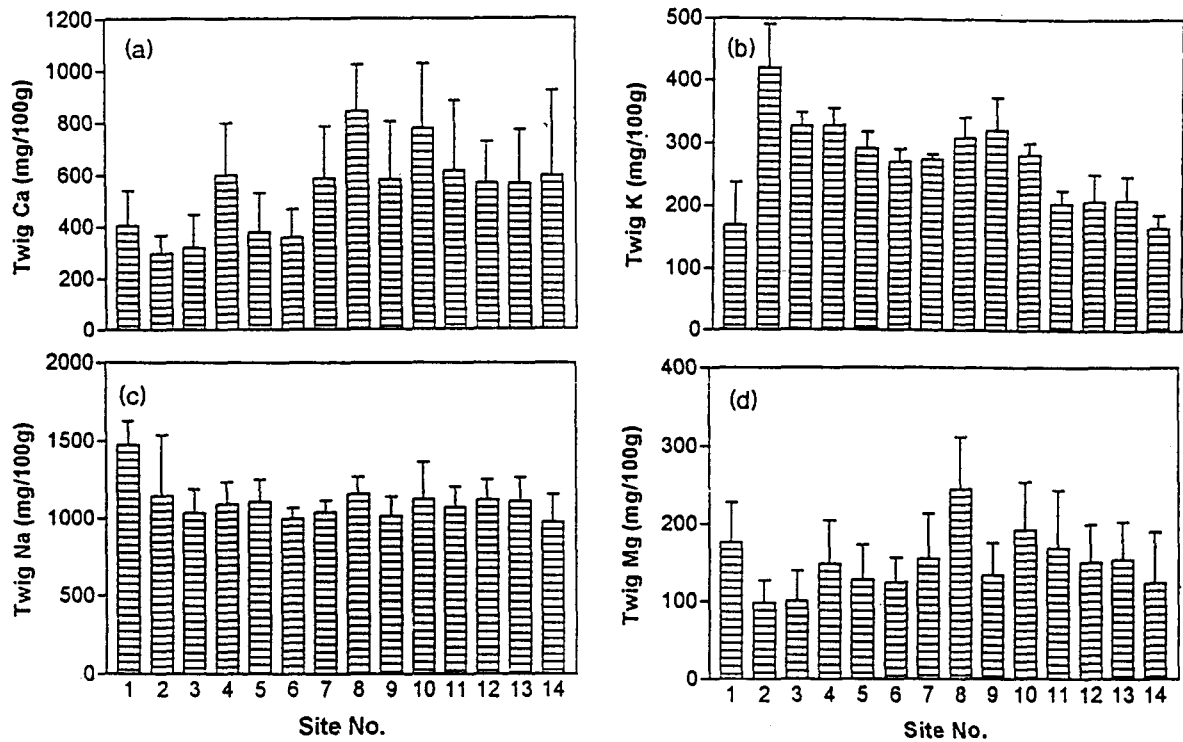


Fig. 3. Ca (a), K (b), Na (c) and Mg content (d) of 1-year old twigs in 14 *Quercus mongolica* stands. Error bars indicate a standard deviation from the mean (n=5).

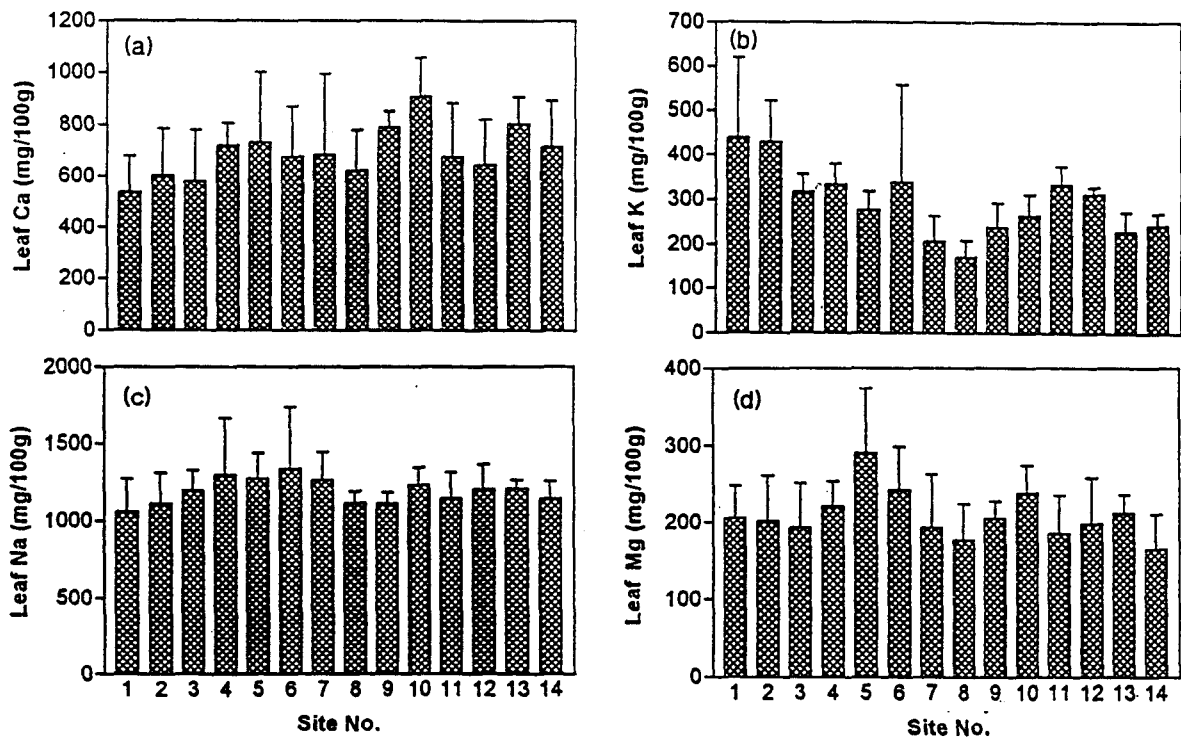


Fig. 4. Ca (a), K (b), Na (c) and Mg content (d) of leaves in 14 *Quercus mongolica* stands. Error bars indicate a standard deviation from the mean (n=5).

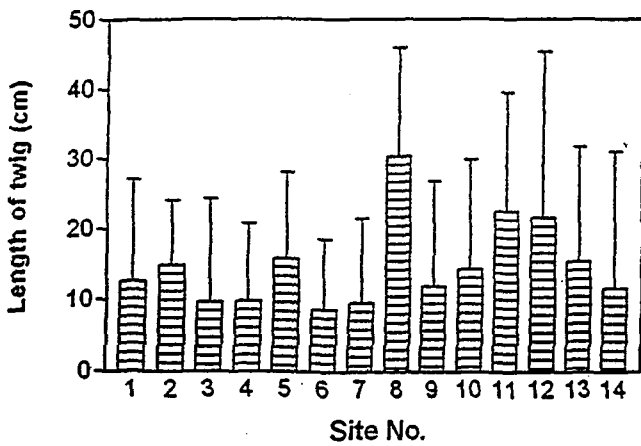


Fig. 5. Length of 1-year old twigs of 14 *Quercus mongolica* stands. Error bars indicate a the standard deviation from the mean (n=20).

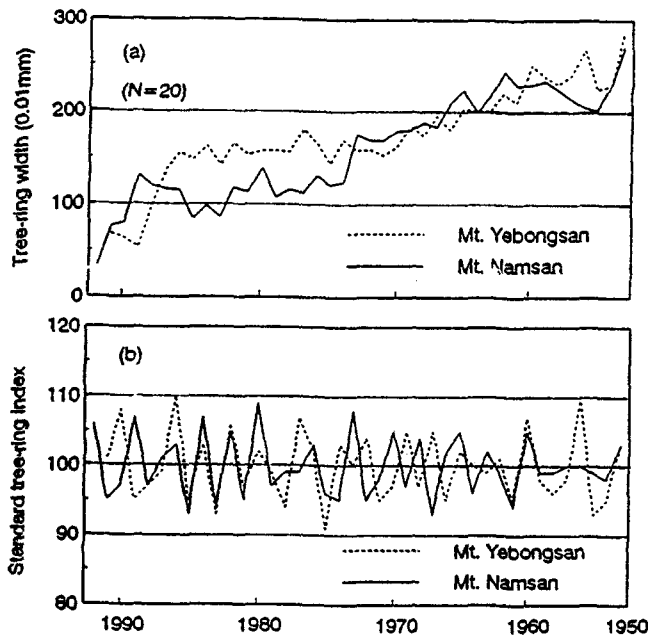


Fig. 6. Chronologies of mean tree-ring width (a) and standard tree-ring index (b) of *Quercus mongolica* in Mt. Namsan and Mt. Yebongsan.

의 것에 비하여 연륜의 상대적 변동이 크지 않았다. 연륜 시계열 내에서의 1차 자기상관(autocorrelations, lag 1)은 예봉산의 것이 0.757, 남산의 것이 0.618로서 높은 자기상관을 보이는데 연륜의 생장이 전년의 환경과 밀접한 관련이 있음을 나타낸다. 두 지역의 평균연대기는 1980년을 전후해 약 10년 동안 남산의 것이 예봉산의 것에 비하여 생장이 낮았으나 그 이후 역전되었다(Fig. 6a).

표준화된 각 연륜지수연대기를 평균한 예봉산과 남산의 지역연대기는 두 지역 간에 차이가 없었다(Fig. 6b). 결과적으로, 당년지의 생장에서 일정한 경향성이 나타나지 않

았는데 이는 개체간, 조사지 간의 큰 변이 때문으로 사료되며, 일부 기간 동안에 연륜의 생장 감소를 확인하였다. 본 연구의 결과에서 수도권 인근 지역의 신갈나무 당년지의 생장 감소와 평균연대기에서 1980년대 전후의 남산의 생장 감소는 토양산성화로 인한 식물체의 염기성의 흡수감소로 인한 Ca와 Mg의 결핍 때문으로 생각된다. 한편 여천공업단지 주변의 소나무와 울산공업단지 주변의 곰솔의 생장이 1970년대 후반부터 감소하였음이 보고되었으며(박과 정 1994), 수도권 지역의 리기다소나무의 연륜생장의 감소가 보고되었는데 Rhyu와 Kim(1994b)은 토양의 낮은 Mg 함량과 높은 Al 함량이 주요한 원인이며, 이 때문에 세균이 비정상적인 수직분포를 하게 되어 수분스트레스를 받게 됨으로써 생장이 감소하였다고 보고하였다.

인용문헌

김준호. 1990. 산성비-식물에 미치는 영향. 식물과 환경오염. 한국생태학회 · 한국식물학회, '90심포지움 및 워크숍 pp. 3-33.

김준호, 문형태, 이창석, 이규송, 유영한, 김종욱. 1996. 울산공업단지 주변지역 토양의 이온함량 분포. 1996년도 한국생태학회 춘계학술발표대회.

박원규, 정성호. 1994. 연륜연대학적 기법을 응용한 산림식도 평가. "환경오염이 산림 생태계에 미치는 영향"에서, 과학기술처, pp. 31-53.

유태철. 1994. 수도권 지역에서 산성 강하물에 의한 리기다소나무림 식퇴의 기구와 회복. 서울대학교 박사학위 논문, 219 p.

Davis, M.R. 1990. Chemical composition of soil solutions extracted from New Zealand beech forests and West Germany beech and spruce forests. *Plant and Soil* 126: 237-246.

Ende, H.P. and H.W. Zöttl. 1990/1991. Effect of magnesium fertilizer on the vitality and nutrition of a European beech(*Fagus sylvatica* L.) stand in the southern black forest of West Germany. *Water, Air, and Soil Pollution* 54: 561-566.

Freisleben, N.E.V. and L. Rasmussen. 1986. Effects of acid rain on ion leaching in a Danish forest soil. *Water, Air, and Soil Pollution* 31: 965-968.

Fritts, H.C., H.D. Crissino-Mayer, R.L. Holmes and E.R. Cook. 1992. International Tree-Ring Data Bank Library(ver. 1). International Tree-Ring Data Bank Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, USA.

Hauhs, N.I. and R.F. Wright. 1986. Regional pattern of acid deposition and forest decline along a cross section through Europe. *Water, Air, and Soil Pollution* 31: 463-474.

Kim, J.H., H.T. Mun, C.S. Lee, Y.H. You, J.W. Kim and

- K.S. Lee. 1996. Distribution of ion concentration and pH value of soils in Yecheon area. Proceedings of the 50th annual meeting of the Korean Association of Biological Sciences, Seoul Education Culture Hall, Korea.
- Marschner, B., K. Stahr and M. Renger. 1989. Potential hazards of lime application in a damaged pine forest ecosystem in Berlin, Germany. *Water, Air, and Soil Pollution* 48: 45-57.
- Matzner, E., D. Murach and H. Fortann. 1986. Soil acidity and its relationship to root growth in declining forest stands in Germany. *Water, Air, and Soil Pollution* 31: 273-282.
- Rhyu, T.C. and J.H. Kim. 1993. Cation leaching from soils percolated with simulated sulfuric acid rain. *Korean J. Ecol.* 16: 169-180.
- Rhyu, T.C. and J.H. Kim. 1994a. Water deficit of pitch pines caused by superficial rooting and air pollutants in Seoul and its vicinity. *J. Plant Biol.* 37: 309-316.
- Rhyu, T.C. and J.H. Kim. 1994b. Growth decline and abnormal vertical distribution of fine roots of pitch pine in Seoul metropolitan area. *Korean J. Ecol.* 17: 261-275.
- Roy, A.K., A. Sharma and G. Talukder. 1988. Some aspects of aluminum toxicity in plants. *The Botanical Review* 54: 145-177.
- Tomlinson, G.A. 1990/1991. Nutrient disturbances in forest trees and the nature of the forest decline in Quebec and Germany. *Water, Air, and Soil Pollution* 45: 61-74.
- Truman, R.A., F.R. Humphreys and P.J. Ryan. 1986. Effect of varying solution ratios of Al to Ca and Mg on the uptake of phosphorus by *Pinus radiata*. *Plant and Soil* 96: 109-123.
- Ulrich, B. 1980. Die Wälder in Mitteleuropa Messergebnisse ihrer Umweltbelastung, Theorie ihrer Gefährdung. Prognose ihrer Entwicklung-Allg. Forstz. 25: 1198-1202.
- Ulrich, B. 1981. Eine Ökosystemare Hypothese über die Ursachen des Tannensterbens(*Abies alba* Mill.)-Forstwiss. Centralbl. 100: 228-236.

(1998년 10월 28일 접수)

Comparison of Soil Ion, Plant Nutrient Contents and Growth in *Quercus mongolica* Forests in Seoul and Its Vicinity

Kim, Joon-Ho, Byung-Sun Ihm* and Jong Wook Kim*

Department of Biology, Seoul National University

*Department of Biology, Mokpo National University**

ABSTRACT: To investigate and compare the effects of air pollution near Seoul on soil ion, plant nutrient contents and plant growth, 14 *Quercus mongolica* forests were studied from Mt. Namsan in Seoul to Mt. Maebongsan in Kangwon-Do along the line transect. Soil pH values decreased as approached to Seoul. Concentrations of basic cations such as exchangeable Ca^{2+} , Mg^{2+} and Na^{+} and effective cation exchange capacity(ECEC) in forest soil decreased as approached to Seoul. Ca^{2+} and Mg^{2+} contents in 1-year-old *Q. mongolica* twigs decreased, but their K^{+} and Na^{+} contents increased as approached to Seoul. Ca^{2+} contents in 1-year-old *Q. mongolica* leaves decreased, but their K^{+} and Mg^{2+} contents increased as approached to Seoul. Length of 1-year-old twigs generally decreased near Seoul. Tree-ring analyses of *Q. mongolica* trees in Mt. Namsan and Mt. Yebongsan showed that mean tree-ring width in Mt. Namsan was narrower than that of Mt. Yebongsan from early 1970's to late 1980's.

Key words: Plant nutrients, *Quercus mongolica*, Soil acidification, Tree-ring growth.