

酸性화된 山林土壤에 石灰, 黃酸苦土 및 複合肥料 施肥가 土壤의 化學的 性質에 미치는 影響¹

柳鼎煥² · 邊載京² · 金禧權² · 李忠和² · 金映傑² · 李元圭²

Effects of Lime, Magnesium Sulfate, and Compound Fertilizers on Soil Chemical Properties of Acidified Forest Soils¹

Jeong-Hwan Yoo², Jae-Kyoung Byun², Choonsig Kim²,
Choong Hwa Lee², Young-Kul Kim² and Won-Kyu Lee²

要 約

산성화된 산림토양에 Ca, Ca+Mg, Ca+Mg+C.F. 등의 시비가 토양의 화학적 성질변화에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보기 위해 도시지역인 남산과 수락산, 산림지역인 광릉의 참나무류 임분과 리기다소나무 임분을 대상으로 1991년 11월부터 1995년 4월까지 매년 시비한 후 시비 5년차인 1995년 11월에 토양의 화학적 성질을 조사하였다. 시비는 산림토양의 화학적 성질에 변화를 초래하였다. 토양 pH는 비료의 종류에 관계없이 상승하였으나 지역이나 임분에 따라 다른 경향을 보였다. 유기물, 전질소함량 등은 비료 종류 간에 뚜렷한 차이가 나타나지 않았으나, 칼슘, 마그네슘, 염기총량은 시비 후 증가하였다. 치환성 양이온 함량은 리기다소나무 임분이 참나무류 임분에 비해 낮은 값을 보이고 있으며, 또한 도시지역이 산림지역에 비해 낮게 나타나 도시지역 산림에서 이들 양분의 용탈이 더 심한 것으로 나타났다.

ABSTRACT

The effects of CaO, CaO+MgSO₄, and CaO+MgSO₄+compound fertilizers(NPK) on soil chemical properties of acidified forest soils were studied in *Quercus* spp. and *Pinus rigida* stands in Mt. Namsan and Mt. Surak in urban areas, and Kwangnung in a mountain area. The soil samples were collected in November 1995 after every year fertilization from November 1991 through April 1995.

The fertilizations affected soil chemical properties. Soil pH increased after fertilizations compared with control. However, the effect was different between the stand types and the areas. Organic matter and total nitrogen content were not changed, while exchangeable cations such as calcium and magnesium increased after fertilizations. However, these cation concentrations after fertilizer treatments were lower in *P. rigida* than in *Quercus* spp. stands. These cations also showed increased leaching characteristics more in the urban area than in the mountain area.

Key words : liming, fertilization, *Pinus rigida*, *Quercus* spp., soil acidification

¹ 接受 1998年 3月 2日 Received on March 2, 1998.

² 林業연구원 임지환경과 Div. of Forest Soils, Forestry Research Institute, Dongdaemun, Seoul 130-012, Korea

緒 論

최근 도시화·산업화의 발달과 함께 대기오염 물질의 산림내 유입은 산림토양산성화에 주요 원인 중의 하나로서 알려지고 있다(Persson과 Ahlström, 1990/91; Eriksson 등, 1992; Kreutzer, 1995). 임업연구원(1995)에서 조사한 전국 산림 지역 65개소의 토양 산성화 경향은 토양 pH 5.0 이하가 약 29% 정도였으며 서울같은 대도시나 울산 같은 공단지역내 산림토양의 pH는 4.5 이하의 강산성으로 보고되고 있다. 산림토양의 산성화는 토양내 칼슘, 마그네슘같은 양분의 용탈에 의한 양분수지의 불균형을 초래하거나, 알루미늄 같은 독성물질의 유효도를증가하여 산림쇠퇴의 주요한 원인일 가능성이 있는 것으로 알려지고 있다(Evers와 Hüttl, 1990/91; Joslin 등, 1992).

산림토양의 산성화를 완화하는 방법으로는 일반적으로 석회나, Dolomite, 재 등을 시비하고 있으며(Kreutzer, 1995), 산성화된 토양에 석회를 시비할 경우 토양의 이화학적인 변화 뿐만 아니라, 토양 pH의 상승으로 미생물의 활동을 증가시키고 임지의 양분유효도를 향상하게 하는 것으로 알려져 있다(Kreutzer, 1995; Nilsson 등, 1995). 그러나 국내에서 실시된 석회 시비 후 토양 성질의 변화에 관한 자료들은 농지 토양에 한정되어 있으며(장계현 등, 1987; 주진호 등, 1988)

산림토양에 관한 자료는 극히 미비한 실정이다.

본 연구는 토양 산성화가 심한 도시지역과 인접한 산림지역을 대상으로 임분과 지역에 따라 석회(Ca), 석회+황산고토(Ca+Mg), 석회+황산고토+산림용고형복합비료(Ca+Mg+C.F.)의 시비가 산림토양의 화학적 성질에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보기 위해 실시되었다.

材料 및 方法

본 연구는 비교적 토양산성화가 심하고 도시내에 있거나 인접한 남산, 수락산과 도시로부터 약 30km 떨어져 있고 산림이 비교적 잘 보존되고 있는 곳으로 알려진 광릉을 대상으로 실시하였다. 시비처리를 위한 조사구는 각 지역으로부터 유사한 입지환경을 가지는 참나무류 임분과 리기다소나무 임분에 10m×10m의 총 72개 조사구 (3지역(광릉, 남산, 수락산)×2임분(리기다소나무, 참나무류)×4처리구(무처리구, 석회처리구, 석회+황산고토처리구, 석회+황산고토+복합비료처리구)×3반복)를 임의 선정하였으며 조사구의 일반적인 현황은 Table 1에 나타나 있다. 시비 처리는 1991년 11월부터 1995년 4월까지 매년 1회 조사구내에 균일한 양이 살포되도록 주의와 함께 표면살포(broadcast)를 실시하였으며, 살포된 비료의 종류와 시비량이 Table 2에 나타나 있다. 시비에 따른 토양의 이화학적 성질 변화를 조사하기 위하여 시비 5년차인 1995년 11월에 각 처리

Table 1. General characteristics of the study sites.

Area	Stand type	Aspect	Elevation (m)	Slope (°)	Stand age class	Soil types
Mt. Namsan	<i>Q. mongolica</i>	E	100	17	6	B ₃
	<i>P. rigida</i>	S	80	15	3	B ₂
Mt. Surak	<i>Q. mongolica</i>	W	64	29	5	B ₂
	<i>P. rigida</i>	W	120	26	2	B ₁
Kwangnung	<i>Q. acutissima</i>	S	200	23	1	B ₃
	<i>P. rigida</i>	E	250	25	3	B ₂

Table 2. Amount and type of the applied fertilizer treatment.

Treatment	Element	Amount(g/m ² /yr)
Control	None	0
CaO	Ca	78
CaO+MgSO ₄	Ca+Mg	278(78+200)
CaO+MgSO ₄ +Compound Fertilizer	Ca+Mg+NPK	353(78+200+75)
		Ca 60% Mg 27% N : P : K(12 : 16 : 4%)

Table 3. ANOVA of selected soil chemical characteristics after fertilizations.

	Area(A)	Stand type (S)	Fertilizer treatment(T)	A*S	A*T	S*T	A*S*T
pH	<0.001	0.649	<0.001	<0.001	0.297	0.469	0.010
O.M.	<0.001	<0.001	0.003	0.235	0.121	0.010	0.352
T.N.	<0.001	<0.001	0.008	0.437	0.002	<0.001	<0.001
P ₂ O ₅	0.715	0.011	<0.001	0.278	0.277	0.009	0.080
CEC	<0.001	<0.001	0.906	0.306	0.604	0.182	0.256
K	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.152	0.014	0.050
Na	0.084	0.263	0.256	0.301	0.959	0.390	0.387
Ca	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.004	0.003	0.059
Mg	<0.001	0.023	<0.001	0.052	<0.001	0.011	0.079
B.S.	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.008	0.139	0.728
T.B.	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	0.005	0.546

구내 임의로 선정된 5지역을 대상으로 임상(forest floor)을 제거한 후 광물질 토층 0-5cm까지 깊이의 토양을 채취하였으며, 채취된 토양시료는 실험실로 운반하고 실내에서 건조 후 10mesh와 40mesh를 통과한 것을 분석용 시료로 사용하였다. 분석항목중 토양 pH는 pH meter를 이용하여 측정하였으며, 유기물함량은 Tyurin법, 전질소는 Kjeldahl법, 유효인산은 Lancaster법, 양이온치환용량은 Brown법, Ca, Mg는 EDTA 적정법, Na, K는 Flame photometer를 이용하여 측정하였다.

수집된 자료는 지역, 임분, 비료 종류의 3가지 요인에 대하여 분산분석을 실시하였으며 3인자 모두 고정된 인자로서 고려되었다. 본 실험을 묘사하는 통계모델은 다음과 같다.

$$Yijk = u + Ai + Sj + Tk + (AS)ij + (AT)ik + (ST)jk + (AST)ijk$$

u: 전체평균,

Ai: 지역간 처리 영향(i=1, 2, 3),

Sj: 임분간 처리 영향(j=1, 2),

Tk: 시비의 영향(k=1, 2, 3, 4)

結果 및 考察

수집된 자료에 대하여 분산분석을 실시한 결과 토양 pH, 전질소 등은 지역, 임분, 비료 처리의 3요인 상호관계($\alpha 0.05$)가 있는 것으로 나타났다(Table 3). 가장 큰 증가는 Ca+Mg+C.F. 처리구가 무처리구에 비해 pH 0.7~1.7정도 상승하였으며, 일반적으로 Ca, Ca+Mg, Ca+Mg+C.F. 처리구 순으로 pH가 높아지는 경향을 보

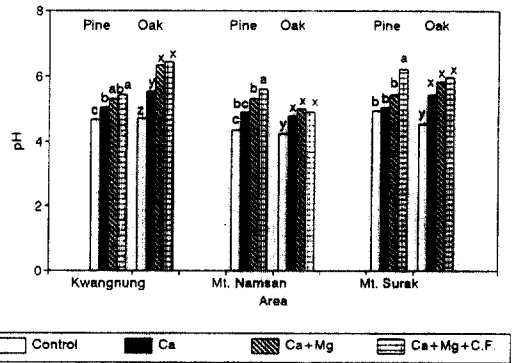


Fig. 1. Treatment effects of areas, stand types, and fertilizers for means of soil pH. The same letters within each stand are not significantly different at $p=0.05$.

이고 있다(Fig. 1). 시비 후 토양 pH의 뚜렷한 증가는 비료에 포함된 Ca, Mg 같은 치환성영분의 토양내 유입이 주요한 원인으로 판단된다. 임분별 pH의 변화는 참나무류 임분이 리기다소나무임분에 비해 시비효과가 뚜렷하였으며, 리기다소나무임분의 경우 Ca+Mg+C.F. 처리구만이 무처리구에 비해 pH의 유의적인 상승을 보여주고 있다. 두 임분 사이에 비료에 대한 반응이 다르게 나타난 것은 두 임분 간에 임상의 구조적 형태적 차이로부터 발생되었을 가능성이 있으며, 리기다소나무임분의 경우 계속적으로 유입되는 신선한 낙엽의 분해과정 동안 발생된 산성화 물질의 유입에 의해 시비의 영향이 크게 나타나지 않았을 가능성이 있다(Kreutzer, 1995). 또한 복합비료의 시비 영향은 남산과 수락산의 침엽수림을 제외하고는 Ca+Mg처리구와 Ca+Mg+C.F.

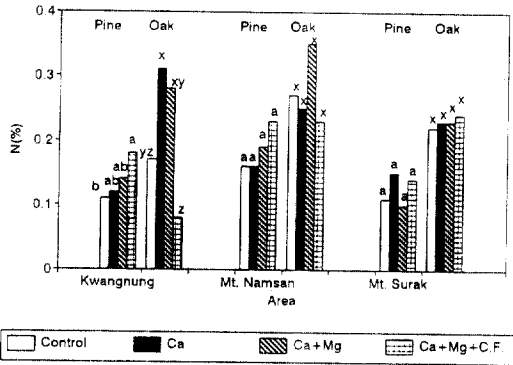


Fig. 2. Treatment effects of areas, stand types, and fertilizers for means of total nitrogen. The same letters within each stand are not significantly different at $p=0.05$.

처리구 사이는 뚜렷한 차이가 나타나지 않아 Ca+Mg비료에 복합비료를 첨가하는 것은 토양 pH 교정에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

토양내 전질소함량은 광릉지역을 제외하고는 시비에 대한 뚜렷한 영향이 없는 것으로 나타나고 있다(Fig. 2). 비록 광릉지역 소나무임분의 Ca+Mg+C.F. 처리구내 전질소함량이 무처리구에 비해 증가되었으나 이 임분에서도 비료 처리구간에는 뚜렷한 증가 경향은 나타나지 않았다. 특히 상당량의 질소를 포함하는 복합비료처리구에서 전질소함량의 증가가 나타나지 않은 것은 시비된 질소가 석회시비 후 임상의 pH 상승과 함께 낙엽층이나 부식층에서 증가되는 미생물 군집에 의한 생물학적인 부동화(microbial immobilization)나, 토양 pH의 변화와 함께 암모니아 고정작용(ammonia fixation)에 의한 화학적인 부동화(chemical immobilization)가 발생하였을 가능성이 있다. 또한 식생에 의한 질소흡수나, 질소 환산 등으로 인하여 광물질 토층으로 이동하는 양이 적었거나, 토양 pH의 상승과 함께 질산화작용이 활발하고 질산화작용에 의해 생성된 질산태질소가 급속히 광물질 토층 하부로 용탈되었기 때문일 수 있다(Yavitt and Newton, 1990/91). Kreutzer(1995)는 독일가문비나무임분에서 석회 시비 7년 후 유기물분해의 가속화와 함께 부식층에 포함된 질소의 14%가 손실되었으나, 0-5cm 깊이에 광물질 토층에서는 질소함량에 뚜렷한 변화를 관찰하지 못했다고 보고하고 있다.

유기물, 인산, 칼슘, 마그네슘, 총염기함량의

경우 임분과 비료 처리간의 유의성($p<0.05$)을 보이고 있다(Fig. 3). 유기물의 경우, 리기다소나무임분이 Ca+Mg+C.F. 처리구가 무처리에 비해 높은 값을 보이고 있으나 참나무류 임분에서는 유의적인 차이가 나타나지 않았으며 비료의 종류는 유기물의 증가와 큰 관계가 없는 것으로 나타났다. 그러나 리기다소나무임분의 복합비료 처리구에서 유기물의 증가는 시비 후 임목생장의 증가와 함께 세균생산이나 낙엽유입량의 증가가 발생했기 때문으로 생각된다.

토양내 인산은 Ca+Mg+C.F. 처리구가 Ca처리구나 Ca+Mg처리구에 비해 높은 값을 보이고 있으며 복합비료내 포함된 인산이 토양 pH의 상승과 함께 인산의 유효화가 발생했기 때문이다. 비록 토양 pH의 상승에도 불구하고 Ca처리구나 Ca+Mg 처리구에서 인산함량이 증가하지 않은 것은 토양 pH의 변화와 함께 인산의 유효화가 발생되었다라도 인산이 칼슘과 결합하여 난용성 인산으로 변화되었을 가능성이 있다.

칼슘과 마그네슘은 비료처리구가 무처리구에 비해 높은 값을 보이고 있다(Fig. 3). 주 원인은 비료에 포함된 칼슘이나 마그네슘의 토양내 유입 때문이며, 산림토양에서 칼슘함량은 시비처리 후 1년부터 증가되는 경향이 있는 것으로 알려져 있다(최기영 등, 1996). 마그네슘의 경우 두 임분 모두 마그네슘을 포함하는 비료가 시비된 처리구가 높은 값을 보이고 있다(Fig. 3).

칼슘과 마그네슘함량은 참나무류 임분에 비해 리기다소나무임분이 낮은 값을 보이고 있으며 이 결과는 일반적으로 활엽수임분에 비해 보다 산성화된 빗물이 유입이 되는 소나무임분에서 이들 양분의 용탈이 더 심하였거나, 활엽수에 비해 유기물의 분해속도가 느려 두꺼운 임상이 주로 발달되는 소나무임분의 부식층에 이들 양분이 더 많이 잔류하여 광물질 토층으로 이동되는 양이 적기 때문일 수 있다. 특히 임상은 석회나 마그네슘 비료가 완전히 용해되었다도 시비된 칼슘의 70%, 마그네슘의 30%정도를 보유하는 것으로 알려져 있다(Kreutzer, 1995). 또한 도시지역에 위치하고 인간의 간섭이 심한 지역으로 고려되는 남산이나 수락산의 경우도 광릉에 비해 낮은 함량을 보이고 있어(Fig. 3), 지역별로 동일한 양이 시비되었다도 도시지역에서 용탈이 더 심한 것으로 나타나고 있다. 염기총량은 시비처리 후 칼슘이나 마그네슘의 뚜렷한 증가에 기인하여 시

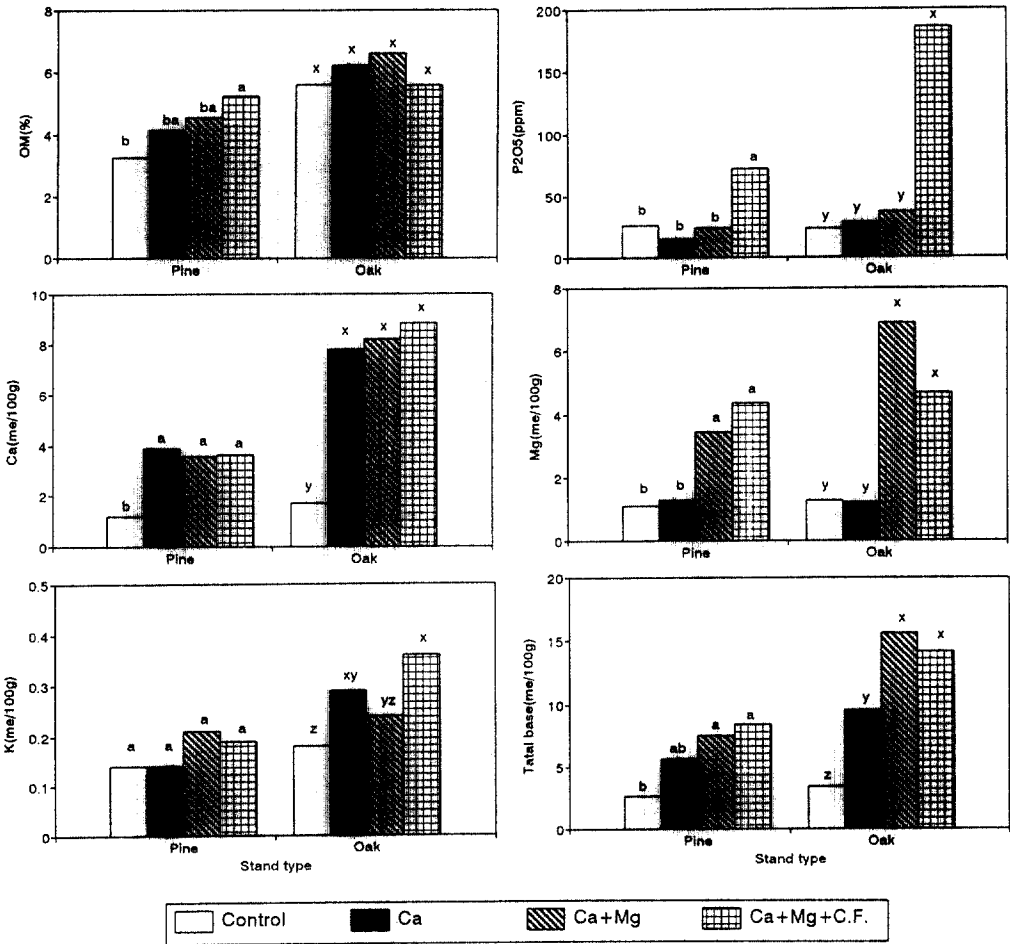


Fig. 3. Treatment effects of stand types and fertilizers for means of organic matter, available phosphorus, calcium, magnesium, potassium, and total base. The same letters within each stand are not significantly different at $p=0.05$.

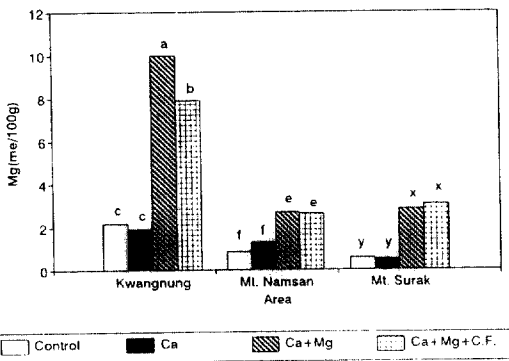


Fig. 4. Treatment effects of areas and fertilizers for means of magnesium. The same letters within each area are not significantly different at $p=0.05$.

비처리구가 무처리구에 비하여 높은 값을 보여주고 있다(Fig. 3).

토양내 칼륨함량은 시비에 대한 영향이 뚜렷하지 않았으며(Fig. 4), 복합비료처리구 같이 칼륨성분을 포함하는 비료가 시비되더라도 증가하는 경향이 나타나지 않았는데, 이는 가동성인 칼륨이온이 표토층으로부터 급속히 용탈되어 심토층으로 이동하여 표토층에서 비료처리 간에 뚜렷한 차이를 보이지 않은 것으로 판단된다.

引用 文 獻

1. 임업연구원. 1995. 1995년 임업연구 사업 보고서(미발표자료).

2. 장계현 · 하호성 · 이춘희 · 이한생 · 신원교. 1987. 석회 및 벅짚시용이 벼수량과 토양화학적성질에 미치는 영향. 농지논문집 29 : 142-149.
3. 주진호 · 하상건 · 엄명호 · 임형식. 1988. 토양석회요구량 결정방법의 실험적 고찰. 한국토양비료학회지 21 : 280-288.
4. 최기영 · 이용범 · 조영렬 · 이경재. 1996. 남산과 광릉지역 소나무림 토양시비가 소나무잎의 왁스함량, 접촉각 및 무기양이온 함량과 토양산도에 미치는 영향. 한국대기보전학회지 12 : 255-262.
5. Eriksson, E., E. Karlun and J-E. Lundmark. 1992. Acidification of forest soils in Sweden. *AMBIO* 21 : 150-154.
6. Evers, F.H. and R.F. Hüttl. 1990/91. A new fertilization strategy in declining forests. *Water, Air, and Soil Pollution* 54 : 495-508.
7. Joslin, J.D., J.M. Kelly and H. Van Miegroet. 1992. Soil chemistry and nutrition of north American spruce-fir stands : evidence for recent change. *J. Environ. Qual.* 21 : 12-30.
8. Kreutzer, K. 1995. Effects of forest liming on soil processes. *Plant and Soil* 168-169 : 447-470.
9. Nilsson, L.O., R.F. Hüttl, U.T. Johansson and H. Jocheim. 1995. Nutrient uptake and cycling in forest ecosystems-present status and future research directions. *Plant and soil* 168/169 : 5-13.
10. Persson, H. and K. Ahlström. 1990/91. The effects of forest liming on fertilization on fine-root growth. *Water, Air, and Soil Pollution* 54 : 365-373.
11. Yavitt, J.B. and R.M. Newton. 1990/91. Liming effects on some chemical and biological parameters of soil(Spodosols and Histosols) in a hardwood forest watershed. *Water, Air, and Soil Pollution* 54 : 529-544.