

경주 남산의 토양 이화학적 특성

허태철, 주성현

경북대학교 농업과학기술연구소, 경북대학교 임학과

Soil physio-chemical properties of Mt. NamSan on Kyungju in Korea

Tae-Chul Hur, Sung-Hyun Joo

Institute of Agriculture Science and Technology Kyungpook National university, Department of Forestry, Kyungpook National university, Daegu, 702-701, Korea

Abstract

This study was carried out in order to produce useful material for the forest multiple use and forest protection management by soil physio-chemical analysis of studied area in Mt. Namsan. The result of soil physio-chemical analysis and statical analysis represented as following.

In side of physical properties of forest soil in Mt. Namsan, Soil depth was average 31.4cm and available soil depth was average 20.0cm. Soil type was Brown forest soil that representative soil type in Korea. Soil texture was sandy loam(SL) except valley area.

In side of chemical properties, the range of soil acidity was 4.29 ~ 5.19 (average 4.76), organic matter content was 3.17% that compared the lowest value to organic matter content of Korea forest soil. Available phosphorus was 3.64ppm that was lower than others forest soil. Exchangeable cation content was similar to the Korea brown forest soil. Cation exchange capacity(CEC) was 8.22 cmol_c/kg in Mt. Namsan

Key words : forest multiple use, physio-chemical, Cation exchange capacity, Korea brown forest soil

서 언

경주는 천년의 고도로서 시가지를 중심으로 형산강이 관통하고, 토함산, 남산, 황성공원, 소금강산 등의 주요 녹지가 주변에 산재되어 있어

시의 규모, 인구, 경제적인 요건을 고려할 때 역사적 관광도시로서 뿐만 아니라 생태도시로서의 잠재력이 높은 도시로 판단된다. 하지만 역사적인 문화유산에 가려져 도시의 녹지 및 생태적인 연구, 토양환경에 대한 연구는 전무한 실정이다.

산림생태계에서 수목이 토양특성 변화에 영향을 미친다는 이론은 의심할 바가 없다. 수종차이에 따라 토양특성은 유의적으로 변화를 하며 또 노령의 임목이 존재할 경우 오랜 기간 토양에 영향을 미쳐 임지의 토양특성에 큰 변화를 가져온다.

따라서 토양입지환경 및 토양단면조사를 실시하고, 토양의 이화학적 변화를 분석함으로써 산림의 건강을 모니터링 할 수 있을 것이라 판단되며 산림생태에 대한 향후 보전대책을 마련할 수 있을 것이다. 임목의 성장과 토양의 이·화학적 인자에 관한 연구는 과거부터 수많은 학자들에 의해서 연구가 진행되어 왔다. (Chung과 Ramm, 1990; Jenny, 1980; Suwa와 Hattori, 1987) 그 결과 토양의 이·화학적 성질과 임목의 성장간에는 밀접한 관계가 있음이 분명해 졌다. 또한 지역별로 토양의 이·화학적 성질이 조사되어 植物養分 함유량을 안다고 하여도 그것이 실제로 임목에 흡수·이용되기 위해서는 그 양분의 存在 樣式이 문제가 되고 또한 임목의 내적, 외적 諸條件의 영향으로 인한 복잡한 生理作用이 개입되어 있기 때문에 토양과 임목의 성장과의 관계를 구명하는 것이 단순하지 만은 않다고 하였다(박남창, 1993; 이수복, 1980; 이수복, 1981; 정영관등, 1980).

경주의 남산은 경주시내의 남쪽에 위치해 있으며, 해발 468m의 금오산과 494m의 고위산에서 뻗어 내린 약 40여개의 등성이와 골짜기를 말하며 약 180여개의 봉우리로 이루어져 있다. 남북 길이 8km, 동서길이 12km에 달하며, 남북쪽은 경사가 완만한 반면 동서쪽은 경사가 급하다. 나정, 포석정 등 역사적 유물을 비롯하여 수많은 절터가 산재해 있어 남산일원이 사적으로 지정되어 있다. 남산은 토함산과 더불어 경주를 대표하는 산림으로 임산물 산지로는 물론 야생동물의 서식지로서, 수자원 공급원으로서, 레크레이

션의 장소제공 등 환경림 으로서 역할을 담당하고 있다. 그러나 환경오염과 임분의 발달에 따라 산림토양이 어떻게 변화해 왔는지에 대한 종합적인 연구가 거의 없는 실정이다. 이러한 견지에서 산지의 합리적 이용과 생산성 향상을 위한 산림토양의 입지환경 및 토양단면특성을 구명하는 것이 대단히 중요하다. 따라서 본 연구는 남산 토양의 입지환경을 비롯한 토양의 단면을 분석하여 수목 성장과의 관계와 침·활엽수림의 산림토양의 차이를 구명함으로써 산지의 합리적 이용의 기초를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 토양조사

임업연구원(1995)의 산림입지조사 요령에 의거하여 토양단면조사 및 입지환경조사를 실시하여 토양단면도를 완성하였다. 입지환경조사는 모암, 표고, 경사, 지형, 기후대, 방위, 경사형태, 풍화정도, 퇴적양식, 토양배수, 풍노출도, 침석상태와 암석노출도를 조사하였다. 토양단면조사는 토양층계, 토심, 유기물, 토성, 구조, 토색, 석력함량, 견습도, 균사 및 균근과 식물근 형태를 조사하였다.

입지조사시 채취한 토양(1kg)을 풍건하여 2mm 체로 친 부분을 토양시료로 하여 토양 이화학적 성질을 분석하였다. 토양 물리적 특성 중, 토양 삼상 및 가비중은 100cc 용적의 토양채취용 원통(core)을 사용하여 측정하였으며, 토성은 비중계법으로 측정하였다. 함수를 및 수분함량은 일정량의 채취시료를 105℃에서 24시간 건조 후 함수율을 측정하였다.

토양 화학적 특성 중, 토양 pH는 풍건토양 10g과 증류수 50ml로 혼탁액(1:5 soil/water) 을 만들어 1시간 진탕후 pH-meter로 측정하였으며, 질소 및 탄소 함량은 CN 원소분석기(NCS 2500,

Fisons Instruments S.P.A, Italy)를 사용하여 정량 분석하였다. 치환성 양이온(Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+)은 1N CH_3COONH_4 (pH 7.0)로 전 처리하여 EDTA 적정법과 Flame photometer법으로, 양이온치환용량(CEC)은 Brown 간이법으로 유효인산(P_2O_5)은 Lancaster법으로 분석하였다.

2. 지질

남산의 기반암은 대구층이라 알려져 있는 중생대 백악기의 퇴적암류이다. 그후 화강암류가 관입하였으며 최후기에는 제 3기의 화산암 및 퇴적암류가 부정합적으로 피복하였다.

대구층은 저색, 녹색, 녹회색의 세일 및 사암의 호층으로 되어있으며 간혹 안산암이 협재된다. 이 층은 주로 토함산의 서남부와 북부지역에 분포하고 화강암질암체에 의해 관입되어있다.

화강암류는 토함산내에서 $N20^{\circ}W$ 방향의 대상 분포를 하며 대구층을 관입하였다. 그리고 감포 도폭 동반부에 분포하는 제3기 퇴적암 및 화산암류에 의해 부정합적으로 피복되어 있다. 화강암질 암체는 조직과 광물함량에 근거하여 화강섬록암, 세리아이트 화강암, 등립질화강암, 반상화강암, 미문상화강암, 그리고 알칼리장석화강암의 여섯 암상으로 분류하였다. 화강암질암체의 연변부에서는 모암이 포획암이 관찰된다. 불국사에서 석굴암사이의 전형적인 불국사 화강암의 암상은 야외에서 육안적으로 담홍색의 세립질이며 흑운모가 있고 포획암이 많고 반화강암맥이 관찰된다. 미문상화강암중에는 특히 미아를리틱 정동이 잘 관찰된다.

제 3기 화산암질 퇴적암류는 감포 도폭 동반부에 분포하며 연일층군의 천북역암, 범곡리층군의 범곡리 안산암 및 응회암, 그리고 장기층군의 효동리 화산암류가 있다. 이지역에서 최고기의 대구층이 백악기중기에 퇴적되고 그 후 경상분지가 융기하였다.

결과 및 고찰

1. 토양입지환경

남산의 산림입지 환경은 다음과 같다. 연구대상지의 해발고도는 145m에서 460m 이었으며, 모재는 불국사 화강암을 모암으로 하는 화강암이었다. 소나무가 우점하는 입지의 풍화정도는 대체로 중~하 이었으나 조사지 7번, 8번과 9번의 소나무가 우점하는 입지와 산정부근의 해송 조립지는 풍화정도가 상이었다. 산정부근의 리기다 소나무 입지를 제외하고는 암석의 노출도가 10 이하로 적었으며 등산로 부근과 많은 지역에서 침식이 많이 일어나고 있는 것을 알 수 있었다.

남산의 토양단면의 특징은 다음과 같다. 소나무가 우점하는 산림입지는 대부분 토양층계가 불명이었으며 토심은 평균 31.3cm로 사면의 방향과 지형에 따라 다양한 토심을 나타내었다. 수목 및 식물의 성장과 직접적인 영향이 있는 유효 토심은 20.0cm 이며 낙엽층은 평균 6cm 였다. 토양구조는 무구조가 많았으며, 토성은 사토(S), 사양토(SL) 그리고 양질사토로 나타나 모래의 함량이 많았다. 토양형은 갈색건조산림토양과 미숙토양이 많이 나타났으며 성숙토양에 비해 달리 층위의 분화 및 발달이 불완전한 토양형을 나타내었다. 임목이 존재하지 않는 곳은 침식이 심하여 토심이 얇았다. 대체로 건밀도가 견을 보이는 조사구가 많았으며 인적이 드문 곳은 심층을 나타내는 곳도 있었다.

정상부근의 해송림은 산불후 조립한 곳으로 다른 지역과 달리 산정부근입에도 불구하고 식양토의 적절한 토양형을 나타냈다. 또한 2번 조사지의 리기다소나무림의 B층은 점토를 나타내어 보행토의 특성상 풍화가 많이 이루어진 상층의 토양이 많이 쌓여서 이루어진 것으로 판단된다. 하지만 조사지 41의 리기다소나무림은 토심이 7cm 유효 토심이 4cm인 매우 불량한 토양입지를 가지고 있었다.

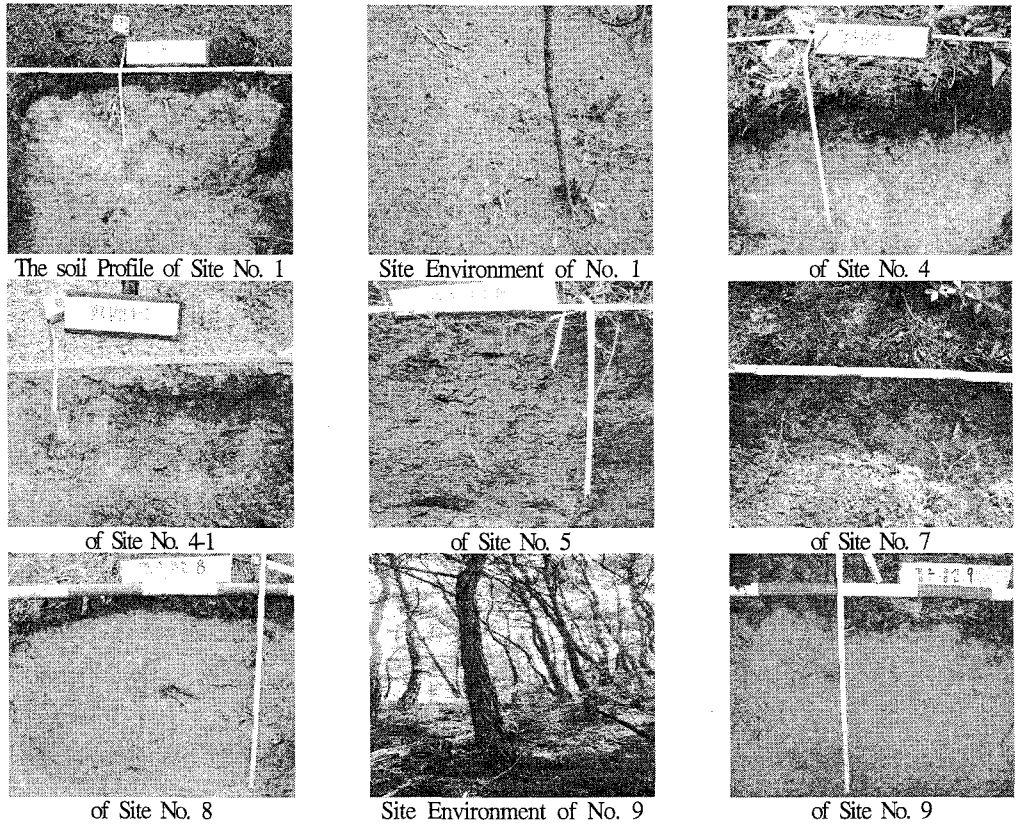


Figure 1. The soil Profiles of survey site and soil site environment

2. 토양이화학적 특성

Table 1. Soil physio-chemical properties of Mt. Namsan

Site	Horizon	pH	P (ppm)	C(%)	T.N (%)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CEC	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	texture
No. 1	B	4.91	3.87	1.24	0.15	0.50	2.90	0.23	0.26	7.70	71.80	3.40	24.80	SCL
No.2	A	4.29	3.94	0.79	0.47	0.80	0.70	0.21	0.46	12.98	42.00	24.60	33.40	CL
	B	4.77	3.89	0.56	0.28	0.50	2.80	0.27	0.36	9.02	41.00	18.80	40.20	C
No.3	A	5.08	3.07	2.35	0.22	0.80	2.20	0.35	0.28	7.04	70.00	10.20	19.80	SL
	B	5.13	2.10	3.78	0.29	0.80	2.80	0.37	0.25	13.20	72.40	8.00	19.60	SL
No.4-1	B	4.68	2.83	5.70	0.37	1.00	0.80	0.35	0.24	7.26	72.80	5.20	22.00	SCL
No.4	A	4.90	2.33	0.97	0.20	1.20	1.20	0.22	0.22	8.36	79.40	1.20	19.40	SL
	B	4.52	3.92	2.78	0.20	0.90	0.40	0.24	0.28	12.10	65.60	12.00	22.40	SCL
No.5	B	5.04	3.92	0.99	0.23	0.70	0.50	0.20	0.22	6.60	40.40	30.20	29.40	CL

Table 1(continued). Soil physio-chemical properties of Mt. Namsan

Site	Horizon	pH	P (ppm)	C(%)	T.N (%)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CEC	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	texture
No.6	A	4.50	3.89	0.56	0.21	0.80	0.30	0.29	0.43	12.32	73.10	17.80	9.10	SL
	B	4.78	3.93	0.99	0.19	1.20	1.60	0.39	0.28	12.76	73.00	3.50	23.50	SL
No. 7	A	4.28	3.97	3.09	0.16	0.50	0.70	0.39	0.52	6.38	54.00	24.20	21.80	SCL
	B	4.79	3.93	1.46	0.13	1.40	1.10	0.26	0.36	5.72	82.80	4.70	12.50	LS
No. 8	B	4.62	3.88	1.58	0.13	1.20	0.40	0.26	0.32	9.90	59.20	21.50	19.30	SCL
No. 8-1	B	5.19	3.91	0.52	0.12	1.10	0.80	0.38	0.54	4.84	57.50	20.60	21.90	SCL
No. 9	B	4.66	3.86	2.79	0.14	0.16	0.11	0.04	0.03	0.44	83.70	4.40	11.90	LS
No.10	B	4.77	3.94	1.58	0.13	1.80	0.70	0.23	0.39	7.04	72.20	5.90	21.90	SCL
No. 10-1	B	4.94	3.88	1.93	0.13	0.70	0.70	0.34	0.34	6.38	75.60	9.40	15.00	SL
No. 10-2	B	4.80	3.86	1.10	0.13	1.12	0.78	0.31	0.37	3.74	78.90	7.00	14.10	SL
average		4.77	3.63	1.83	0.20	0.90	1.03	0.28	0.32	8.09	66.60	12.24	21.16	

1) 토양 pH

토양 pH에 영향을 주는 인자는 부식층의 발달이나 모암, 토양의 질산화를 정도, 식생에 의한 양이온 흡수, 최근 증가하는 환경오염물질 등에 의해 시·공간적으로 변화를 보인다. 전체 조사지의 토양의 pH는 평균 4.76로 우리나라 산림 토양의 평균 토양 pH 5.5보다 산성으로 나타났다. 조사지역별로 비교하면 조사지7의 A층이 4.28로 강산성으로 나타났다. 일반적으로 침엽수림보다 활엽수림이 토양 pH가 높다고 하였지만, 남산 조사지의 경우 별다른 차이가 없었다. 이는 직접적인 원인은 찾을 수 없으나, 경주지역의 모암에 기인한 결과라 하겠다.

유효인산의 함량은 전체 평균 3.64ppm으로 우리나라 산림토양(정진현외, 2002)의 유효인산함량이 평균 20ppm인 것과 비교해 보아도 조사지역의 유효인산의 함량이 적은 것으로 나타났다. 조사지역을 비교하면 조사지 3번의 인산함량이 2.10으로 가장 적었으며 조사지 7번이 3.97으로 가장 높게 나타났다. 토양의 pH가 가장 낮음에도 불구하고 인산의 함량이 높게 나타난 것은 낙엽층의 부식에 의한 분해된 인산성분의 집적

과 모암층의 인회석성분의 분해에 따른 것으로 생각되나 시료채취의 시기적인 영향 및 오염물질의 성분등 여러 요인을 지속적으로 검토해야 할 것으로 판단된다.

유기물의 함량(탄소함량 × 1.724)은 전체 평균 1.84(유기물함량 3.17%)로 우리나라 산림토양(평균 A층 4.5%)보다 낮게 나타났다. 조사지역이 전반적으로 사람들이 왕래가 없는 지역으로 낙엽층의 보전과 인위적인 피해(답압 등)가 없는 곳으로 현재의 자연 상태를 잘 반영한 곳으로 판단된다. 또한 유기물의 유입이 용의하고 유기물의 축적이 많은 곳으로 판단되지만, 남산의 모암이 화강암 기반으로 이루어져 아직까지 토양이 성숙되지 않고 A층이 형성되지 않은 상태에서 여전히 많은 양의 유기물을 요구하는 것으로 판단된다. 일반적으로 유기물의 함량은 양이온치환용량, 보수력, 토양구조 등의 토양의 이화학적 특성을 지배하는 것으로 알려져 있어 이러한 상황이 지속된다면 다른 양분의 공급도 불리하리라 생각된다. 남산 조사지 6번의 탄소함량이 평균 0.77%로 가장 낮았으며 유기물층이 없음에도 불구하고 남산 조사지 4-1의 탄소함량이 5.70으

로 가장 높았다. 이는 조사지의 토성이 사질식양토(SCL)인 점을 감안하면 다른 토성보다 많은 유기물을 포함할 수 있을 것이라 생각되지만, 잔적으로 이루어진 점을 볼 때 뜻밖의 결과를 얻었다.

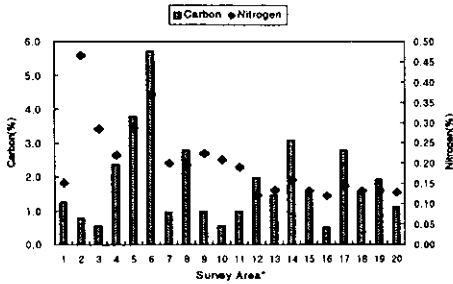


Figure 2. Carbon and nitrogen content of Mt. Namsan

임목생장에 가장 중요한 무기 영양소인 질소는 대기 중에 78%를 차지하고 있으나, 고등식물에 의하여 직접 이용되지 못하고 토양미생물의 질소고정, 강우, 방전 등에 의하여 암모니아 이온(NH₄-)형태로 바뀐 다음 이용된다. 유기물 함량과 더불어 전질소의 함량(평균 0.20%)으로 우리나라 갈색산림토양의 질소함량 (0.06~0.46%)과 비교 해볼 때 비슷한 것으로 나타났다. 조사지역별로는 남산 조사지 2번이 0.47%로 가장 높았고 노간주나무와 조사지 8-1번이 0.12%로 가장 낮았다. 노간주나무가 서식하는 곳은 사람이 많이 왕래하는 등산로 주변으로 유기물함량이 평균 이상임에도 불구하고 질소의 함량도 적게 나타났으며 유기물 함량이 적음으로 인하여 수목이 이용할 수 있는 전질소의 함량은 줄어드는 경향이 나타났다고 생각된다.

탄질물은 유기물 분해에 가장 크게 영향을 주는 요인으로 유기물이 미생물에 의하여 분해되는 난이도와 분해의 진행정도를 나타내는 지표로 사용되며 유기태질소의 무기화, 즉 질소의 유

효성을 나타내는 지표로서 토양의 비옥도를 판정하기 위한 중요한 자료로 사용되고 탄질물이 10인 경우 가장 안정된 토양 유기물 분해상태를 나타내는 것으로 알려져 있다. 전체 조사지역의 탄질물의 경우 평균 9.98로 토양내의 미생물상과 유기물분해가 정상적으로 이루어짐을 알 수 있으며 유기물의 함량과 질소의 함량이 상대적으로 가장 이상적인 것으로 판단된다. 조사지역별로는 노간주나무의 탄질물이 16.09로 가장 높아 유기물의 분해가 적게 이루어진 것을 알 수 있으며 남산조사지 4번의 A층과 남산 조사지 8-1번의 B층의 경우 4.29과 4.86으로 상당히 낮은 수치를 나타내어 유기물의 함량이 적은 것으로 판단된다.

치환성양이온(Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺)의 함량은 우리나라 산림토양의 함량과 보다 낮은 수치를 나타내었으며 특히 Ca²⁺함량은 우리나라 산림토양의 평균 2.44 cmol/kg보다 낮은 함량인 1.04 cmol/kg를 나타내었다. 치환성 Ca²⁺은 수목의 분열조직 발달과 뿌리의 신초생장에 관련하는 것으로 추정되고 이동하기 어려운 성분으로 토양 입단화에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있으며 거의 무기태로 존재하고 강우가 비교적 적은 지역에서 발달된 토양은 습한 지역의 토양보다 치환성 Ca²⁺의 공급이 큰 것으로 알려져 있다. Ca²⁺ 함량은 1.04 cmol/kg, Mg²⁺함량은 1.19 cmol/kg, K⁺함량은 0.34 cmol/kg, Na⁺함량은 0.30 cmol/kg, 순으로 나타나 일반적으로 산림토양에서 치환성 양이온의 함량순서(Ca²⁺>Mg²⁺>K⁺>Na⁺)와는 달리 마그네슘의 함량이 칼슘함량보다 많이 함유되어있는 것으로 나타났다. 토양 pH가 낮음에도 불구하고 치환성양이온의 량과 양이온 치환용량(C.E.C)은 평균 8.22cmol/kg 으로 나타났다. 일반적으로 양이온 치환용량은 토양내 유기물이나 점토함량과 밀접한 관계가 있으며(조성진 등, 2001) 이수욱, 1981)모재 중 점토함량에

따라 차이가 있다고 보고되고 있다. 조사지역의 양이온 치환용량은 상대적으로 유기물함량에 많은 영향을 받은 것으로 생각된다. 조사지역별로 살펴보면 남산 조사지 3B층과 남산조사지 2A층에서 다른 지역보다 높은 값(13.20 cmol_e/kg, 12.98 cmol_e/kg)을 나타내었다.

하지만 산림토양에서의 양이온 치환용량은 토양에 따라 많은 차이를 보이기 때문에 현재는 염기포화도(degree of base saturation: 치환성양이온의 전체함량을 양이온치환용량으로 나눈 값)를 사용하여 토양조건을 더욱더 정확하게 표현한다. 우리나라 산림토양에서 표층토의 평균 염기포화도의 범위는 10~40%로 나타나는데 조사지역의 염기포화도는 38.08%를 나타내어 비슷한 값을 나타내었다. 치환성양이온의 함량이 적은 것으로 미루어 보아 조사지역의 양이온의 함량은 불량한 것으로 판단된다.

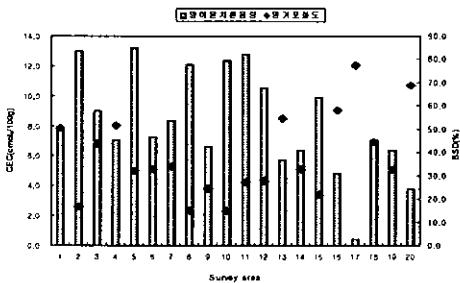


Figure 3. Cation exchange capacity(CEC) and Base saturation degree(BSD) at Mt. Namsan.

조사지역의 토성은 대부분이 사질양토를 나타내었고 곳에 따라 점토와 식질양토가 나타나는 곳도 있었다. 토성 중 모래의 함량은 남산 조사지 7의 B층과 남산조사지 9의 B층이 83.70%와 82.8%로 양질 사토를 나타내었다. 미사의 함량과 점토의 함량은 남산조사지 2번의 토성이 점토와 식질 양토로 나타나 가장 높았다.

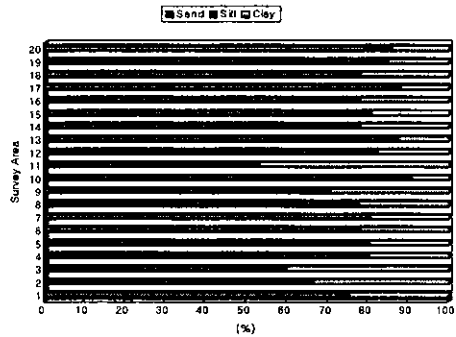


Figure 4. Soil texture(percentage of sand, silt and clay) of Mt. Namsan

적 요

본 연구는 경주남산의 산림토양의 이화학적 특성을 분석하여 산림의 다목적이용과 남산의 산림보호 관리에 도움을 주고자 실시하였다. 조사지는 각 층위별로 토양성분을 분석하였고, 그 결과는 다음과 같다.

남산 산림토양의 물리적 특성은 토심이 31.4cm 이고 유효토심은 20.0cm 였으며 유기물 층의 깊이는 5.9cm였다. 계곡부를 제외한 다른 조사지의 토성은 사질 양토이었다.

전체 토양 pH는 평균 4.76으로 우리나라 산림 토양의 평균보다 낮게 나타났으며 유효인산의 함량은 평균 3.64로 유효인산의 함량이 매우 적은 것으로 나타났다. 치환성양이온(Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺)의 함량은 우리나라 산림토양의 함량과 보다 낮은 수치를 나타내었으며 특히 Ca²⁺함량은 우리나라 산림토양의 평균 2.44 cmol_e/kg보다 낮은 함량인 1.04 cmol_e/kg를 나타내었다.

참고문헌

Page, A. L. & D. E. Baker & Roscoe Ellis, Jr.,

- 1982, Methods of soil analysis; Chemical and Microbiological properties, Madison, Wisconsin, U.S.A. pp.539~693.
- Armson, K. A., 1977. Forest soils; Properties and processes. Univ. of Toronto press. pp.1~163.
- Garrison Sposito : 1989. The Chemistry of Soils, Oxford Univ.Press.New York. p277
- William L. Pritchett & Richard F. Fisher, 1987, Properties and Management of Forest soils, 2nd ed., JOHN WILEY & SONS. N.Y. pp.1~160.
- 김동엽, 유정환, 채지석, 차순형. 대기오염물질의 산림생태계내 유입과 토양의 화학적 특성 변화. 한국임학회지 85(1) : 84~95
- 박관수 · 이수옥. 1992. 산림토양내의 유기물함량이 토양입단화에 미치는 영향, 한국임학회지 79(4) : 367~375
- 산림청. 1995. 산림입지조사요령. p86.
- 산림토양단면도집. 1989. 산림청, p.54.
- 윤을수, 정연태, 손일수, 정기열, 이동창. 2002. 한국 동남해안지대에 분포된 영일통의 모재와 생성학적 특성. 한국토양비료학회지 35(3) : 137-144.
- 윤성효, 김진섭, 옥수석, 홍현근, 김형식. 1994. 영
 일반도 일원의 화산암류에 대한 암석학적 연구. 한국토양비료학회지 15(2) : 126-138.
- 이수옥. 1980. 한국산림토양에 관한 연구(I), 한국임학회지. 47 : 52~61.
- 이수옥. 1981. 한국산림토양에 관한 연구(II), 한국임학회지 54 : 25~35.
- 이수옥, 김지문, 송호경. 1978. 황폐지 토양수분이 묘목의 생장 및 양분흡수에 미치는 영향. 한국임학회지 38 : 46~54
- 이천용. 1992. 산림환경토양학, 보성문화사, p.329
- 정영관, 홍병화, 김종만. 1980. 토양의 화학적 성질과 임목생장과의 관계. 한국임학회지 46:10~20.
- 정진현, 구교상, 이충화, 김춘식. 2002. 우리나라 산림토양의 지역별 이화학적 특성. 한국임학회지 91(6) : 694~700
- 정진현, 김춘식, 구교상, 이충화, 원형규, 변재경. 2003. 우리나라 산림토양의 모암별 이화학적 특성. 한국임학회지 92(3) : 254~262.
- 조성진 외 10인. 1990. 삼정 토양학, 향문사, p.396.
- 진현호, 이명종, 신영오, 전상근. 1994. 산림토양학. 향문사, 서울.
- 홍성천. 1982. 영일사방사업지의 삼림생태학적 연구. 한국임학회지 58 : 41~47