

서울 왕릉지역의 산림환경변화가 토양 이·화학성에 미치는 영향

南 怡^{1*} · 李 瑄² · 裴尙元³

¹농협중앙회 흙살리기팀, ²한국전통문화학교, ³국립산림과학원 산림생산기술연구소

The Effect of the Chang in Forest Environment on physico-chemical Properhes of Soil Located in Seoul Royal Tomb

Yi Nam^{1*} · Sun Yee² · Sang won Bae³

¹Farm Supply Dept. Agro-Fertilizer & Save Soil Team, N.A.C.F

²The Korean National University of Cultural Heritage

³Korea Forest Research Institute

ABSTRACT

The soil properties of the royal tombs (managed by cultural properties administration) located in Seoul and suburban Gyeonggi area were investigated to see the influence of the change in soil environment on the royal tomb soil. To compare the soil chemical properties of four royal tombs soil of Changdeokgung, Jongmyo, Seooneung, and Dongguneung, pH, organic content, available phosphate, extractable calcium, extractable potassium, extractable magnesium, cation exchange capacity, degree of base saturation, and total nitrogen content were measured. The concentrations of Cd, Pb, and Cu measured as the degree of heavy metal contamination can be an indication of atmospheric pollution in the soil environment. To estimate the degree of soil compaction, soil hardness, pore space, porosity, bulk density, and soil atmosphere were analyzed. Through these studies, following conclusions were made:

1. The soil hardness and pore space which can be used as indexes of soil compaction, were worse in the soil of Seooneung than in those of Changdeokgung and Dongguneury. These phenomena seem to be the result of increase in visitors in Seooneung and Dongguneung better and soil management in Changdeokgung and Dongguneung. When three different regions of forest area, prohibited area, and soil compaction area in Seooneung soil were compared, the degree of compaction in the forest area was less than compaction area, indicating the need for the employment of soil resting period in the compaction area.
2. The pH measurements of all four royal tombs soil were higher in top soil than sub soil. The higher soil pH values in Jongmyo and Seooneung seem to result from the application of soil conditioner. In the case of Seooneung, the values for soil pH and organic content were higher in the forest area than those in compaction area. It is thought that active soil management was employed in the forest area through application of organic matters and soil conditioners.
3. The heavy metal contents from soil of Changdeokgung and Jongmyo were higher than that from soil of Dongguneung. Since Changdeokgung and Jongmyo are located inside Seoul, it is thought that the high level of heavy metal concentrations in these royal tomb soil is the result of accumulation of pollutants from the city.

Key words : Royal tomb, Soil compaction, Pore space, porosity, Bulk density, Soil atmosphere

요 약 문

서울 및 경기지역의 문화재청 관할(창덕궁, 종묘, 서오릉, 동구릉) 왕릉지역에 대한 토양조사를 실시하여 산림환경변화가 토양 이화학성에 미치는 영향을 연구하였다. 창덕궁, 종묘, 서오릉, 동구릉의 4개 왕릉 지역의 토양이화학성을 비교하기 위하여 pH, 유기물, 유효인산, 치환성 칼슘, 칼륨, 마그네슘, 양이온치환용량, 염기포화도, 전질소를 분석하였

*Corresponding author : nambi@nonghyup.com

원고접수일 : 2005. 1. 4 게재승인일 : 2005. 5. 17

질의 및 토의 : 2005. 8. 31 까지

고 토양 내 오염도를 측정하기 위해 토양 내 중금속(Cd, Pb, Cu) 함량을 분석하였다. 또한 토양의 답압정도를 평가하기 위하여 토양경도, 통기성, 공극율, 기상율, 가비중을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 토양의 답압정도를 나타내는 지표인 토양경도와 통기성은 종묘와 서오릉지역이 창덕궁과 동구릉지역보다 불량하였으며 이는 출입하는 내방객의 증가와 지속적인 토양관리의 차이로 나타나는 현상으로 사료된다.

특히 서오릉지역의 토양경도와 통기성을 산림지역, 출입통제지역, 답압지역으로 구분하여 조사한 결과 산림지역이 답압지역보다 양호한 것으로 나타나 지속적인 토양관리를 위한 안식년제를 도입할 필요성이 제기 되었다.

2) 4개지역의 토양 pH는 표토가 심토보다 높게 나타났으며, 종묘와 서오릉지역의 토양 pH가 창덕궁 및 동구릉지역보다 높게 나타난 것은 시비에 기인한 것으로 판단된다.

서오릉의 산림지역의 경우 토양 pH와 유기물 함량이 답압지역보다 높게 나타나 시비 등 토양관리가 식물생육환경으로서의 토양개선에 효과적임을 반영하였다.

3) 4개지역의 토양 내 중금속함량은 서오릉 및 동구릉지역에 비해 창덕궁 및 종묘지역에서 높게 나타나 서울 도심권에 위치할수록 대기로부터 유입된 중금속류의 축적이 많음을 시사하였다.

주제어 : 왕릉, 답압, 공주, 공극율, 자비중, 기상율

1. 서 론

서울 등 대도시 지역의 왕릉 내 녹지대는 오랜 기간동안 내방객에 개방되어 인위적인 교란 등에 의한 산림파괴가 이루어져 왔다. 서울 인근의 왕릉지역은 주말뿐만 아니라 평일에도 많은 사람들의 휴식공간으로 제공되고 있다. 왕릉지역은 특히 산책 등으로 편리하게 입도를 개발하여 일반 산림과 같은 편의를 제공하면서 일반 시민들에게 각광 받고 있으며, 국립공원 등 대다수의 유명 휴양지보다 입장료 등 제반비용이 저렴하여 남녀노소 할 것 없이 많이 찾는 지역 중 하나라고 할 수 있다.

생활이 윤택해짐에 따라 주5일 근무제 등이 도입되면서 도시민은 늘어난 휴식을 위한 안식처를 찾기 시작하였으며, 이로 인해 경제적이고 교육적인 지역을 최우선적으로 하는 휴식공간이 서울근교의 왕릉지역을 선택하게 된 배경이 있다고 하겠다.

그러나 최근 입장객의 증가로 인해 왕릉 내 산림(숲, 녹지대)이 여러가지 환경인자에 노출된 결과 환경정화, 휴양처 등과 같은 숲의 고유한 계기능이 위협받고 있는 실정이다.

내방객의 무분별 출입으로 인한 토양의 답압 등 토양물리성의 악화는 식물뿌리의 호흡과 수분환경을 악화시켜 토양생물의 활동까지 악영향을 미칠 수 있다. 또한 이러한 토양물리성의 악화는 양분효율성과 밀접히 관련하는 pH, 치환성 양이온 등 토양화학성의 질적 저하로까지 이어져 토양의 양분보유능의 감소로 인한 식물의 생육부진을 초래할 수 있다는 점에서 간과되어서는 안 될 부분이다.

그 외에도 왕릉을 포함한 일반 도심 녹지대의 경우 도

시화와 산업화의 확산으로 인한 대기오염의 영향을 배제할 수 없는 지리적 특성을 지니고 있다. 특히 차량 배기 가스 등의 배출량이 극심한 도심권에서는 자상생물의 생활기반인 토양 내 중금속류의 축적이 문제시 되고 있다.

따라서 본 연구에서는 문화재 관리지역인 서울근교의 4개 왕릉지역을 대상으로 토양환경 실태를 파악하기 위하여 주요 토양 이 · 화학성을 비교 조사함으로써 왕릉 숲의 토양환경 관리 방안을 제시하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사지개황

본 연구를 위한 조사지로 서울지역의 창덕궁, 종묘를 선정하였고, 경기지역에서는 구리에 위치한 동구릉과 고양시에 위치한 서오릉을 선정하였다. 창덕궁은 인왕산 및 백악산과 인접한 지리적 특성을 가지고 있으며, 이들 인접산림지역과 마찬가지로 흑운모 화강암을 모암으로 하고 있다. 조립질인 흑운모 화강암으로 발달한 토양의 주요 조성광물인 석영, 사장석, 정장석 등으로 인해 특히 경사지에서 질리와 박리가 용이한 풍화작용으로 인한 침식토가 많이 발견되었다. 또한 창덕궁의 식생으로는 갈참나무, 느티나무, 소나무, 때죽나무, 팔배나무, 단풍나무 등이 우점하여 출현하고 있다. 종묘는 북쪽에 위치한 창덕궁과 창경궁에 연결되어 있었으나 일제시대 건설된 도로에 의해 단절되어 있으며, 참나무류 중 갈참나무가 우점하고 있고 곳곳에 잣나무 인공림이 형성되어 있다.

서오릉은 서울 서북부지역에 위치하고 있으며 행정구역상 경기도 고양시에 속하지만 서울시 은평구와 경계를 이루고 있다. 서오릉의 산림지대는 화강암질 편마암을 모암으

로 하고 있으며, 주변 평탄지는 호상흑운모편마암이 주로 분포하고 있다. 화강편마암을 모재로하여 생성된 토색 7.5YR 4/4.5/6의 갈색이나 명갈색 토양이 주로 분포하고 있으며, 답압지는 토사유실로 인한 침식토양형이고 능주변의 출입 통제지역에서 기후적인 영향으로 유실된 토양과 인위적으로 복구한 토양을 볼 수 있다. 서오릉의 식생은 전체적으로 참나무류(신갈나무, 졸참나무, 굴참나무, 갈참나무 등)가 우세하며, 1960~70년대에 조림된 리기다소나무, 아까시나무 등의 외래 수종이 곳곳에 위치하고 있다. 능역 주변을 제외한 사면부에는 신갈나무, 굴참나무, 졸참나무가 우세하고 북사면의 일부지역에서는 서어나무가 우점하고 있다. 경기북부지역에 위치한 동구릉은 주라기에 형성된 대보화강암류의 흑운모화강암이 주종을 이루며 토양은 흑운모화강암을 모재로 한 갈색 산림토양이 분포하고 있다.

2.2. 토양물리성 분석

토양 내 답압정도를 조사하기 위해 토성, 토양경도, 통기성 및 토양 기상율을 측정하였다. 토성은 pipette법, 토양경도(soil hardness tester)는 penetrometer CI-700을 이용하였으며, 통기성은 현지 토양에 삽입된 주입침의 선단으로부터 확산되는 공기용량을 단위시간당으로 측정하여 산출하는 방식의 현장토양통기성 측정장치(K&M style, Japan)를 이용하였다. 토양 기상율은 삼상측정기(DIK-1130, 다이키 Co. Japan)에서 개발한 것을 이용하였으며, 기준압력이 34 KPa(1/3기압)이 80 ml인점을 착안하여 1/3 기압 만큼 압력을 가해 현지에서 실용적을 3회 반복하여 측정하였다.

2.3. 토양화학성 분석

토양 내 비료 성분량을 파악하기 위해 지역별 9개 시료를, 표토(0~15 cm)와 심토(15~30 cm)로 구분하여 총 72개 토양시료를 500 g씩 채취하였으며, 채취한 시료는 풍건상태에서 건조시킨후 2 mm체로 쳐서 pH(1:5), 유기물(Tyurin법), 유효인산(Lancaster법), 치환성 양이온(K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) (1N- NH4OAC), 양이온 치환용량(CEC), T-N 등을 분석하였다⁹⁾.

2.4. 토양중금속 분석

토양내 중금속 함량의 분포를 파악하기 위해 지역별 표토와 심토를 구분하여 각 지점별 500 g씩 토양시료를 채취하였으며 실험실에서 0.1N-HCl용액 50 mL를 가하여 상온에서 1시간 진탕후 유도결합 플라즈마 원자흡광분광계(ICP)로 납(Pb), 구리(Cu), 카드뮴(Cd)을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 토양환경에 따른 토양물리성 변화

4개지역 토양의 답압정도를 표토와 심토로 구분하여 비교하였다. 토양 경도를 분석한 결과, Fig. 1에서 보는 바와 같이 토양경도가 가장 양호한 지역은 동구릉이었으며, 가장 불량한 지역은 종묘지역으로 나타났다. 이러한 현상은 토성, 식생과 토양관리가 우선적으로 고려되었지만 관

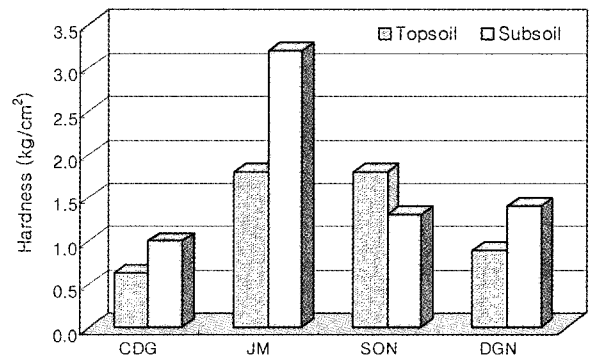


Fig. 1. Hardness of topsoil and subsoil in four investigated sites.

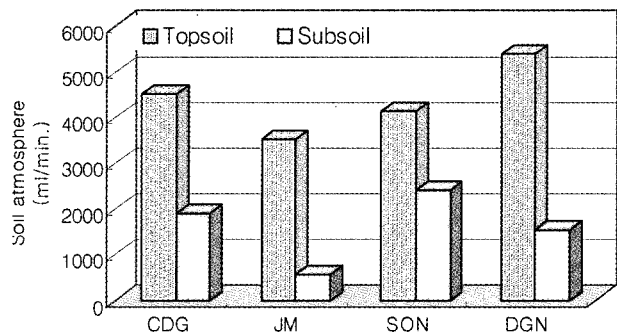


Fig. 2. Soil atmosphere of topsoil and subsoil in four investigated sites.

Table 1. Proportion of particles for soil texture in four investigated sites

Horizon	Changdeokgung			Jongmyo			Seooneung			Dongguneung		
	Sand	Silt	Clay	Sand	Silt	Clay	Sand	Silt	Clay	Sand	Silt	Clay
Topsoil	65.4%	19.5	15.1	56.7	29.0	14.3	64.1	18.4	17.5	64.6	20.5	14.9
Subsoil	66.2%	20.3	13.5	56.2	30.2	13.6	60.3	14.0	25.7	60.9	21.2	17.9

람을 위한 내방객의 수와도 일치하는 것으로 나타났다. 2002년 문화재 관리지역의 내방객 인원수는 창덕궁 505천명, 종묘 494천명, 서오릉 264천명, 동구릉 200천명으로 나타났다. 창덕궁과 서오릉지역이 내방객이 종묘와 동구릉지역보다 많이 발생했는데도 경도가 양호한 것은 산림지역의 내방객 출입통제 등 적극적인 식생과 토양 관리로 사료된다.

4개 지역의 토양 중 표토에서의 통기성이 가장 양호한 지역은 동구릉이었으며, 가장 불량한 지역은 종묘지역으로 토양경도와 비슷한 경향을 나타내었다. 이러한 현상은 토성이 사양토인 것이 지배적이며, 특히 내방객이 여름에 그늘이 있는 휴식공간을 많이 활용하고 있음을 시사하는 것으로 종묘지역은 도심지역에 위치하여 숲의 녹지공간이 많이 노출되어 있어 개방되지 않은 그늘을 찾아 휴식공간으로 이용된 사례로 추측된다. 또한 통기성은 분당 1,000 mL 이상이면 상당히 양호하고, 100 mL 이하이면 불량한 것으로 보고(本村,木下による)된 바 있다.

문화재관리지역중 서오릉 지역에 대한 답압지역, 출입

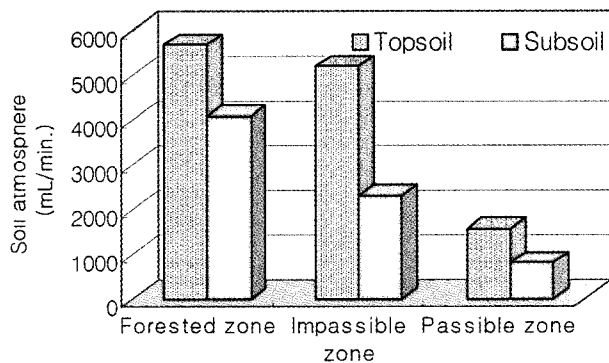


Fig. 3. Soil atmosphere of three types of zone according to land use in Seooneung. NOTE. Impassible and passible zone mean zone not compacted by visitors and compacted and in grassed area, respectively.

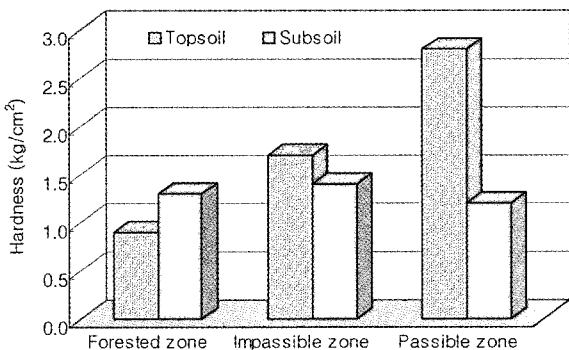


Fig. 4. Soil hardness of three types of zone according to land use in Seooneung.

통제지역, 산림지역을 구분하여 통기성을 비교한 결과는 Fig. 3과 같다.

Fig 3, 4에서 보는 바와 같이 서오릉지역에서 산림지역이 답압지역보다 통기성과 토양경도가 양호하게 나타났으며, 특히 표토가 심토보다 통기성, 토양경도가 양호한 것으로 나타났다. 출입통제지역은 개방을 일정기간 한 후 문화재관리청에서 산림생태보전차원에서 출입을 통제하여 산림지역보다는 통기성과 경도가 불량하지만 회복단계에 이르고 있는 것으로 사료된다.

문화재관리지역 중 서울중심에 위치한 창덕궁, 서오릉과 경기북부에 위치한 동구릉지역의 토양 물리적 성질을 비교 분석한 결과는 Table 2와 같다.

Table 2에서 보는 바와 같이 서울 중심에 위치한 창덕궁지역이 도심외곽에 위치한 서오릉과 동구릉 지역 보다 가비중, 공극율, 기상율이 대체적으로 불량하였다. 이러한 현상은 산림의 토성과도 밀접한 연관이 있겠지만 산림의 식생생태복원과 토양관리가 영향을 미치며 또한 내방객의 잦은 방문으로 인해 토양의 물리적 성질의 변화를 일으킨 것으로 사료된다. 서울중심의 창덕궁과 경기 동북부에 위치한 서오릉, 동구릉 모두에서 가비중은 산림지 > 초지 > 답압지 순으로 낮았다. 토양삼상 중 기상율은 산림지 > 초지 > 답압지 순으로 높게 나타났다.

토양의 가비중은 자연상태의 토양입자간의 부피를 나타낸 것으로 가비중이 낮을수록 토양내 공극이 불량한데 이는 토성과도 밀접한 영향을 갖지만 토성이 동일한 지역일 경우에는 인위적인 영향이 더 큰 것으로 나타났으며, 특히 공극의 비율은 수목뿌리의 신장, 수분과 공기의 공급 등 식물의 생육에 중요하게 관계하며, 산림 토양의 퇴적 유기물과 토양구조에 유래하는 높은 보수, 침투능과 연관이 있다는 보고와 유사한 경향을 나타냈다. 또한 휴경지와 보리 경작지에서 토양의 삼상비율은 휴경지일 경우 토심 50 cm까지는 고상 45%, 액상 25-45%, 기상 25-5%의 범위를 가지며 토심 100 cm까지 내려 갈수록 기상은 없고 고상과 액상만 존재하며 보리를 경작할 경우에는 토심 100 cm까지 기상이 존재하고 있다고 보고되었다.

3.2. 토양화학성 변화

4개 문화재관리지역의 토양 pH는 표토가 pH 4.87~6.20, 심토가 pH 4.50~6.14의 범위로 서울의 산림지역 중 남산 pH 4.40, 인왕산 pH 4.09, 북악산 pH 4.27, 수락산 pH 4.53과 비교하면 상당히 양호한 상태였으며 4개 문화재관리지역 모두에서 표토가 심토보다 토양 pH가 높게 나타났으나 서오릉지역은 심토가 표토보다 토양 pH가 높게

Table 2. Bulk density, porosity and gaseous phase rate of soils of three types of zone according to land use in Changdeokgung, Seooneung and Dongguneung

Site	Type	Horizon	Bulk density (kg/cm ²)	Porosity (%)	Gaseous phase rate (%)
Changdeokgung	Forested	Top	1.63	52.0	28.0
		Sub	1.70	48.4	37.0
	Impassible ^a	Top	1.39	46.9	11.5
		Sub	1.86	44.0	9.6
Seooneung	Forested	Top	1.27	74.1	30.9
		Sub	1.43	59.3	24.7
	Impassible	Top	1.55	57.0	18.7
		Sub	1.62	50.6	15.3
	Passible ^b	Top	1.58	52.8	11.3
		Sub	1.60	47.6	9.0
Dongguneung	Forested	Top	1.33	56.0	42.7
		Sub	1.38	47.4	40.9
	Impassible	Top	1.95	48.7	21.4
		Sub	2.01	42.2	11.0
	Passible	Top	2.40	47.0	9.0
		Sub	2.41	46.6	7.7

^a and ^b mean zone not compacted by visitors and compacted and in grassed area, respectively

Table 3. Soil chemical properties in four investigated sites

Site	Type	Horizon	pH (1:5)	T-N (%)	Avail. P (mg/kg)	Exchangeable cations (cmol _c /kg)				CEC (cmol _c /kg)	BS (%)
						K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺		
Changdeokgung	Forested	Top	5.30	0.16	97.5	0.20	4.06	1.29	0.19	13.0	50.1
		Sub	5.00	0.04	38.3	0.11	1.62	0.46	0.15	8.16	34.3
Jongmyo	Forested	Top	6.20	0.36	380.2	0.38	10.6	4.33	0.30	21.7	74.3
		Sub	4.50	0.04	35.3	0.15	1.43	0.73	0.21	7.95	40.3
Seooneung	Forested	Top	5.80	0.05	5.60	0.07	2.61	1.16	0.49	9.09	45.9
		Sub	6.14	0.13	14.7	0.26	4.51	1.25	0.52	12.0	55.1
Dongguneung	Forested	Top	4.87	0.21	30.2	0.25	2.07	0.40	2.97	15.0	37.5
		Sub	4.46	0.15	25.6	0.16	0.39	0.09	3.29	9.37	11.0

나타났다. 이러한 현상은 4개 문화재관리지역 모두 토양 관리를 위한 토양개량제인 소석회를 시비한 결과이며, 소석회의 알칼리분이 비료공정규격상 63%인 점을 감안하면 표토에서 심토로 이동하여 일어난 결과로 사료된다. 일반 경작지 토양은 1 ha당 3 m³의 토양개량제를 시비하는 것과 비교한다면 부족하지만 지속적인 토양개량제 살포가 이루어져야 될 것으로 사료된다. 또한 토양개량제 살포로 서울지역의 산림지역보다 토양산도를 중화시켜 산성비등 산림 내 질소 산화물이나 유황산화물 같은 토양산성화 및 대기오염물질의 유입 등에 노출된 토양을 보전한 결과로 사료된다.

4개 문화재 관리지역 중 토양내 유기물함량이 가장 높

은 곳은 창덕궁과 동구릉 산림지역인데 이는 일반 내방객의 잦은 출입을 통제하여 산림보호지역으로 지정하여 관리 하였고, 특히 동구릉지역은 내방객의 방문이 3개 문화재 관리지역보다 적고 외곽지역에 위치해 있어 식생과 토양이 많이 노출되지 않은 결과로 사료된다.

염기포화도는 일반 밭토양과 비교해 볼때 60~80%를 유지하는것과는 달리 대부분 50% 이하로 나타났는데 이는 일반적으로 화학비료 시비가 없어 나타난 결과이며 향후 산림 지역도 임지보전을 위한 시비기술이 필요한 때로 사료된다.

3.3. 토양중금속 변화

4개 지역의 토양 중금속을 비교한 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. Content of heavy metals in soil for four investigated sites

Site	Type	Horizon	Pb	Cd	Cu
			(ppm)		
Changdeokgung	Forested	Top	15.2	ND	3.9
		Sub	12.1	0.10	2.7
Jongmyo	Forested	Top	20.6	0.10	9.4
		Sub	6.8	ND	1.0
Seooneung	Forested	Top	2.36	ND	2.23
		Sub	2.11	ND	1.63
Dongguneung	Forested	Top	7.41	0.05	3.28
		Sub	5.12	0.03	2.09

4개 문화재관리지역의 토양 중금속을 분석 비교한 결과 Pb, Cd, Cu는 종묘와 창덕궁 산림 지역이 서오릉과 동구릉 산림지역보다 높게 나타났는데 이는 종묘와 창덕궁지역이 서오릉 및 동구릉 지역보다 도심에 위치하여 자동차 등 도시산업화로 인한 대기오염의 영향을 받은 것으로 사료된다. 서울시 산림지역의 평균 중금속 함량이 구리가 가장 높고 카드뮴 순으로 높았다. 이는(김춘식의 4인)의 연구결과와 유사하였으며, 특히 논토양(표토)에서 구리 4.52, 납 4.62 mg/kg(김복영 등, 1995)과 비교하면 낮은 함량이지만 김춘식의 4인이 1999년에 조사한 결과와 비교해 볼 때 서울시 중심부에 위치한 북악산과 인왕산의 구리, 납의 중금속이 2배에 달해 중금속 경감대책이 시급한 실정이다.

4. 결 론

문화재청에서 운영하는 서울 도심지역 및 인근지역의 토양물리성, 화학성 및 중금속을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 토양의 답압정도를 나타내는 지표인 토양경도와 통기성은 종묘와 서오릉지역이 창덕궁과 동구릉지역보다 불량하였으며 이는 출입하는 내방객의 증가와 지속적인 토양관리의 차이로 나타나는 현상으로 사료된다.

특히 서오릉지역의 토양경도와 통기성을 산림지역, 출입통제지역, 답압지역으로 구분하여 조사한 결과 산림지역이 답압지역보다 양호한 것으로 나타나 지속적인 토양관리를 위한 인식년제를 도입할 필요성이 제기 되었다.

2) 4개지역의 토양 pH는 표토가 심토보다 높게 나타났으며, 종묘와 서오릉지역의 토양 pH가 창덕궁 및 동구릉 지역보다 높게 나타난 것은 시비에 기인한 것으로 판단된다.

서오릉의 산림지역의 경우 토양 pH와 유기물 함량이 답압지역보다 높게 나타나 시비 등 토양관리가 식물생육 환경으로서의 토양개선에 효과적임을 반영하였다.

3) 4개지역의 토양 내 중금속함량은 서오릉 및 동구릉 지역에 비해 창덕궁 및 종묘지역에서 높게 나타나 서울 도심권에 위치할수록 대기로부터 유입된 중금속류의 축적이 많음을 시사하였다.

참 고 문 헌

문화재청, 2002, 창덕궁종묘원유, p. 576.
 문화재청, 2003, 서오릉 산림생태 조사연구 보고서, p. 304.
 농촌진흥청, 2003, 농업환경변동조사사업, p. 200.
 김복영, 정병간, 최정원, 윤을수, 최선, 1995, 우리나라 논토양 중 중금속 자연함량, 한국토양비료학회지 28(4), 295-300.
 김춘식, 유정환, 변재경, 정진현, 이봉수, 1999, 서울시 산림토양 내 중금속 분포, 한국임학회지, 88(1), 111-116.
 조성진, 박천식, 업태이, 김문규, 김성교, 김재성, 김현구, 김영옥, 양창술, 육창수, 임수길, 1994, 삼정토양학, 향문사, p. 384.
 남이, 박승기, 1997, 산림환경변화가 토양내 수저유능력과 유출에 미치는 영향, 한국토양환경학회지, 2(2), p. 17-33.
 前田正男, 松尾嘉郎, 1997, 図解 土壤의 基礎知識, p. 211.
 농촌진흥청, 2001, 토양 및 식물체 분석법, p. 202.
 농림부, 2003, 비료·농약관리법령, p. 273.