국립수목원 전문전시원의 토양특성에 관한 연구

김태운¹ · 김충열¹ · 문현식^{1*} · 강미영² · 허무룡² · 이정희³ · 진혜영³ · 이해주³

¹경상대학교 산림자원학과(농업생명과학연구원), ²경상대학교 원예학과, ³국립수목원 전시교육과

Soil Characteristics of Specialized Plant Garden in Korea National Arboretum

Tae Woon Kim¹, Chung Yeol Kim¹, Hyun Shik Moon^{1*}, Mee Young Kang², Moo Ryong Huh², Chung Hee Lee³, Hye Young Jin³, and Hae Joo Lee³

¹Department of Forest Environment Resources, Gyeongsang National University, Jinju 52828, South Korea

²Department of Horticulture, Gyeongsang National University, Jinju 52828, South Korea

³Division Gardens Education, Korea National Arboretum, Pocheon 11186, South Korea

Abstract

This study was carried out to provide the basic informations on the sustainable management methods for soil resources by determining the soil physico-chemical properties of specialized plant gardens (Sedum garden, Fern garden, Medicinal plant garden, Ornament plant garden, Rare & endemic plant garden, and Shrub garden) and forest in Korea National Arboretum. Soil particle size showed similar distribution except for Sedum garden and Medicinal plant garden. Soil bulk densities were significantly difference among forest and specialized plant garden ($p < 0.05$) and ranged from 0.79 g/cm^3 in Sedum garden to 1.13 g/cm^3 in shrub garden. Sedum garden and medicinal plant garden showed significantly low of soil moisture content ($p < 0.05$). Soil pH ranged from 4.87 in Sedum garden to 5.41 in rare & endemic plant garden. Soil organic matter content ranged from 2.61% in Sedum garden to 4.71% in forest. The lower value in total N content was 0.11% in Sedum garden and 0.18% in medicinal plant garden. Available phosphorus was significantly lower in Sedum garden and medicinal plant garden than in other specialized plant garden of ranging from 16.90 ppm to 20.34 ppm ($p < 0.05$). The contents of inorganic NH_4^+ and NO_3^- were significantly different among the specialized plant gardens ($p < 0.05$). The ratios of NO_3^- to total inorganic N content ranged from 28% in Sedum garden to 44% in fern garden and forest. N mineralization and nitrification rate were also significantly different among the specialized plant gardens ($p < 0.05$).

Key words : inorganic NH_4^+ and NO_3^- , nitrification rate, N mineralization, soil bulk density, soil chemical properties

I. 서론

수목원은 다양한 종류의 가치 있는 교목, 관목, 만경류 또는 그 지역에서 잘 자랄 수 있는 모든 식물들을 수집해서 전시, 재배, 유지관리, 분류 및 연구 등을 위해 조성된 공간(Wyman, 1960)이다. 일반적으로 수목원은 목본식물, 식물원은 모든 식물이 대상이라는 면에서 차이가 있기는 하지만, 기능이 거의 동일하기 때문에 최근에는 구분하지 않는 것이 추세이다(Kim et al., 2005). 또한 우리나라의 ‘수목원 조성 및 진흥에 관한 법률’에서 수목원만을 대표용어로 사

용함에 따라 수목원으로 통일하여 사용되고 있다.

1992년 지구상의 생물다양성을 포괄적으로 보전하는 것을 목적으로 하는 생물다양성협약이 채택된 이후 생물다양성의 기초인 식물다양성 보전을 위해 세계식물보전전략(GSPC: Global Strategy for Plant Conservation)이 채택되어 구체적인 실천목표를 제시한 바 있다(Jackson and Kennedy, 2009). 수목원은 생물다양성과 식물 보전을 증진시키는 중요한 기관으로 세계식물보전전략의 핵심적인 역할을 수행하고 있을 뿐만 아니라 수목원 역할에 대한 국민들의 사회·문화적 기대도 높아지고 있다. 식물 종 보전이라는 목표와 함께 교육적 여가시설로서의 역할도 강조되고 있다. 이를 위해 수목원이 추구하는 종 보존과 학술 연구목적뿐만 아니라 시민을 위한 여가공간 및 레크리에이션의 장소를 제공하고 녹지보전과 다양성을 꾀할 수 있는 수목원으로의 관리가 필요한 실정이다.

국내수목원의 역사는 외국에 비해서는 아주 짧지만 2001년에

Received on April 28, 2016. Revised on May 16, 2016.

Accepted on September 19, 2016.

*Corresponding author: hsmoon@gnu.ac.kr

본 논문은 국립수목원 전시원 기능증진을 위한 소재식물 특성 평가 및 적용(과제번호: KNA3-138, 15-5)의 지원에 의해 이루어진 것임.

제정된 ‘수목원 조성 및 진흥에 관한 법률’ 등 정부의 육성 정책으로 수적으로는 증가되고 있는 추세이지만, 각 수목원마다의 특성화, 전문화 등 질적으로는 미흡하다는 평가를 받고 있는 것이 사실이다. 2014년 기준 산림청의 관리 하에 있는 전국의 수목원은 국립수목원 한 곳을 포함하여 모두 45곳이며, 면적으로는 9,561ha에 달한다. 국내에서의 수목원에 대한 연구는 수목원의 역할과 정의에 대한 연구에서부터 실태 및 발전방안에 관한 연구가 많이 이루어졌는데, 수목원의 유형분류(Cho, 2002; Kim, 2006), 수목원의 조성(Kim, 2001; Kim et al., 2005), 수목원의 활용(Jung, 2013; Kim, 2004), 수목원의 특성(Lee, 2005), 수목원 이용자의 만족도(Hyun et al., 2012; Kim, 2010; Lee, 2011; Lim, 2005), 수목원의 식생(Chae, 2007; Cheon et al., 2012)에 관한 연구로 구분할 수 있다. 하지만, 수목원의 주된 구성요소 중 하나인 각 전시원(주제원) 내 식물들의 생육기반을 제공하는 토양환경을 분석한 연구는 Choi (2014)의 대구수목원 토양의 이·화학적 특성을 분석한 연구를 제외하면 전무한 실정이다. Park(2013)은 해외 주요 수목원의 설계 전략을 연구하여 각 전시원별 테마가 정해져 있어 방문객들로 하여금 다양한 경험을 할 수 있도록 유도하는 것이 가장 큰 특징이라고 보고한 바 있다. 국립수목원 전시원은 생육기반인 토양에 대한 정확한 특성 파악이 되어 있지 않고, 시비 등 체계적인 토양관리도 이루어지지 않아 토양의 생산성이 떨어지는 문제가 발생하고 있다. 국립수목원에서는 전시원의 토양생산성을 수목원 주변 산림토양 수준으로 올리기 위해 부산물비료 등을 시비할 계획을 가지고 있다. 이를 위해 우선적으로 전시원별 토양특성이 정확하게 분석되어야 할 것이다.

본 연구는 국립수목원 내 각 전시원의 토양특성을 분석하여 각 전시원에 부합하는 합리적인 관리방안을 마련하기 위한 기초자료를 제공하기 위하여 수행하였다.

II. 연구방법

1. 조사지 개황

본 연구는 2015년 3월부터 10월까지 경기도 포천시 소흘읍 직동리에 위치한 국립수목원 내 전문전시원에서 이루어졌다. 국립수목원은 산림생물종 연구기관이며, 국가식물자원 관리시스템 구축, 식물보존센터 설치운영 등에 기여하고 있다. 본 연구에서는 22개의 전시원 중 6개의 전시원과 수목원 주변 산림을 대상으로 하였으며, 각 전시원별 식재현황을 살펴보면, 돌나물원은 돌나물(*Sedum sarmentosum*), 섬기린초(*S. takesimensis*) 등 40분류군, 양치식물원은 음양고비(*Osmunda claytoniana*), 팽고비(*O. cinnamomea* var. *forkiensis*) 등 81분류군, 약용식물원은 산마늘(*Allium microdictyon*),

참당귀(*Angelica gigas*) 등 329분류군, 관상수원은 히어리(*Corylopsis gotoana* var. *coreana*), 가침박달(*Exochorda serratifolia*), 개느삼(*Echinosophora koreensis*) 등 625분류군, 희귀·특산식물원은 눈썹백나무(*Thuja koraiensis*), 복사나무(*Prunus persica*) 등 362분류군, 관목원은 미선나무(*Abeliophyllum distichum*), 만리화(*Forsythia ovata*), 흰진달래(*Rhododendron mucronulatum* f. *albiflorum*) 등 388분류군이 식재되어 있다. 각 전시원은 조성된 이후 시비 등 체계적인 토양관리가 이루어진 적이 없어 각 전시원에 식재되어 있는 식물의 생육상태는 좋지 않은 상황이다. 대상지의 최근 30년간의 기상자료는 연평균기온 11.5°C, 연강수량 1,453 mm였다(KMA, 2015).

2. 조사 및 분석방법

국립수목원 내 22개의 전문전시원 중 토양특성 분석을 위해 돌나물원(Sedum Garden, SeG), 양치식물원(Fern Garden, FG), 약용식물원(Medicinal Plant Garden, MPG), 관상수원(Ornament Tree Garden, OTG), 희귀·특산식물원(Rare & Endemic Plant Garden, REPG), 관목원(Shrubs Garden, ShG) 등 현재 모니터링이 진행되고 있는 6개의 전문전시원과 인접한 산림지역(Forest, F)을 대상으로 하였다. 산림지역은 참나무류 위주의 낙엽활엽수림으로 구성되어 있다. 토양시료는 2015년 5월, 8월, 10월에 각 대상지에서 5개를 채취하였다. 해당월에 35개씩 3반복으로 총 105개 토양시료를 분석하였다. 토양 물리성을 측정하기 위한 시료는 2015년 8월에 표토로부터 5~10cm 깊이를 대상으로 100cm³ 스테인레스 캔을 이용하여 시료를 채취, 밀봉한 후 실험실로 운반한 후 입경 분포와 용적밀도를 측정하였다. 시료채취는 토양표면의 낙엽층 및 부식토를 제거하고 20cm 깊이 이내에서 채취하였다. 토양 수분함량은 일정량의 생토를 105°C 건조기에서 48시간 이상 건조시킨 후 평량하여 소실된 양을 생토에 대한 수분함량의 백분율(%)로 나타내었다. 토양의 화학성 분석을 위한 시료는 음건한 후 2mm체로 쳐 분석용 시료로 이용하였다. 토양 pH는 pH meter(720A, Orion, USA), 유기물(O.M)은 Tyurin법, 유효인산(Available P₂O₅)은 Lancaster법, 전질소(TN)는 Kjeldahl법, 치환성양이온(Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺)은 ICP(Atomscan, USA)로 정량분석하였다(NIAST, 2000). 토양 중 질소동태를 분석하기 위하여 무기태 NH₄⁺와 NO₃⁻는 토양 5g에 2 M KCl 용액 25ml를 첨가하고 200rpm에서 1시간 동안 진탕시킨 후 여과하여 분광광도계(U-4100, Shimadzu)를 이용하여 비색법으로 측정하였고 분석치는 건토함량으로 환산하였다. 질소무기화를 측정하기 위한 여러 방법 중에서 본 연구에서는 실험실에서 배양법을 이용하여 질소무기화를 분석하였다. 20g의 토양을 25°C, 포장용수량의 60%의 수분조건으로 배양기에서 한

달간 배양한 후 무기태 질소와 동일한 방법으로 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 의 농도를 분석하였다. 질소무기화와 질산화작용은 각각 30일간 배양된 토양 시료의 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 와 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 농도와 배양 전 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 와 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 농도와의 차이로 계산하였다. 본 연구에서는 모든 분석항목에 대한 결과를 전시원별 평균값으로 나타내었으며, 각 전시원별 토양특성의 차이를 규명하기 위해 분산분석을 실시하였으며, 통계분석은 SPSS 14.0K(IBM Corp., Armonk, NY, USA) 프로그램을 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

국립수목원 내 전문전시원 토양의 물리적 특성 중 입경분포와 토양용적밀도, 토양수분함량을 측정한 결과(Table 1), 토양입경분포의 경우 모든 전시원 및 산림에서 모래의 함량이 높았으며, 토성은 돌나물원(SeG)과 약용식물원(MPG)은 사질양토, 그 외 전시원 및 산림지역은 양토로 분류되었다. 토양의 답압정도를 나타내는 인자인 토양용적밀도(Miller et al., 2001)는 돌나물원과 약용식물원이 각각 $0.79, 0.81\text{g/cm}^3$ 로 다른 전시원($0.98\sim 1.13\text{g/cm}^3$)에 비해 유의적으로 낮은 값을 보였다. 산림(F)지역의 용적밀도 0.92g/cm^3 는 우리나라 산림토양 표토의 토양용적밀도 $0.84\sim 0.97\text{g/cm}^3$ 의 범위 내에 있는 것으로 나타났지만, 관목원(ShG)에서 토양용적밀도가 1.13g/cm^3 으로 유의적으로 높게 나타났다. 이는 다른 전시원은 전시원 내에서 지정된 탐방로로만 이동할 수 있는 것에 비해 관목원은 탐방에 제한이 없어 많은 탐방객에 의한 답압이 원인일 것으로 추정된다. 토양수분함량은 다른 전시원에 비해 점토함량이 낮았던 돌나물원과 약용식물원에서 각각 14.9% 와 16.7% 로 유의성이 없는 것으로 나타났으며, 다른 전시원 간에는 $20.9\sim 24.5\%$ 의 범위로 유의성이 없었다. 돌나물속 식물은 토양수분 함량이 높을수

록 생장이 좋다는 연구(Lee and Hwang, 2010)를 고려하면 돌나물원의 토성개량 등을 통해 수분함량을 늘리는 방안이 강구되어야 할 것으로 판단된다.

전문전시원 토양의 pH, 유기물 함량(O.M), 전질소(TN), 유효인산 함량을 분석한 결과는 Fig. 1과 같다. 토양 pH의 경우 전시원 간에 유의적인 차이가 있는 것으로 분석되었는데, 희귀·특산식물원(REPG)이 5.41로 가장 높았으며, 돌나물원(SeG)에서 4.87로 가장 낮은 pH값을 나타내었다. 다른 전시원에서는 pH값이 5.10~5.28의 범위에 있었으며 전시원 주변의 산림도 5.04로 우리나라 산림토양 A층의 평균 pH 5.48(Jeong et al., 2002)보다도 낮은 것으로 분석되었다. Jonhson et al.(1982) 및 Schlegel et al.(1992)은 토양산성도가 증가함에 따라 염기성 양이온의 가용성 저하 및 Al과 Mn의 활성증가로 임목생육저하를 초래할 수 있다고 보고한 바 있다. 토양의 질 평가체계에서 토양 pH는 최적범위에 있어야 하는 항목(Karlen et al., 2003)이므로 토양 pH 유효범위 5.5~6.5(Korea Forest Research Institute, 2012)에 미치지 못하는 전시원, 특히 돌나물 자생지 토양의 pH는 6.0에서 7.5 사이의 약산성 또는 약염기성이라는 Lee and Hwang(2000)의 연구결과를 고려하면 소석회 등을 이용한 토양개량이 필요할 것으로 판단된다. 전시원의 경우 인위적으로 조성된 곳이기 때문에 환경오염물에 의한 토양산성화의 가능성도 있을 것으로 추정되며, 시간의 경과에 따른 전시원 토양의 pH변화에 대한 지속적인 모니터링이 요구된다. 토양의 보수력, 토양구조 등 토양의 이화학적 성질에 많은 영향을 미치는 토양유기물(OM)은 돌나물원(SeG)과 약용식물원(MPG)에서 각각 2.61%, 2.68%로 유의적으로 낮은 값을 보였으며, 다른 전시원에서는 3.48~4.25%의 범위에 있는 것으로 나타났다. 산림지역은 4.71%로 우리나라 산림토양의 평균 토양유기물 함량(4.49%)보다는 조금 높게 나타났으며, 토성이 사질양토인 돌나물원과 약용식

Table 1. Soil physical properties and moisture content of specialized plant garden in Korea National Arboretum.

Specialized plant garden ^z	Particle size distribution (%)			Bulk density (g/cm^3)	Moisture content (%)
	Sand	Silt	Clay		
SeG	59.3a ^y	32.1b	8.6c	0.79d	14.9b
FG	38.2c	32.6b	29.2b	0.96b	24.5a
MPG	48.7b	45.2a	6.1d	0.81d	16.7b
OTG	38.9c	36.3b	24.8b	0.98b	22.3a
REPG	36.5c	24.8c	38.7a	0.99b	22.9a
ShG	40.1bc	33.8b	26.1b	1.13a	20.9a
F	37.8c	36.5b	25.7b	0.92c	22.8a

^zSeG: Sedum Garden, FG: Fern Garden, MPG: Medicinal Plant Garden, OTG: Ornament Tree Garden, REPG: Rare & Endemic Plant Garden, ShB: Shrub Garden, F: Forest.

^yMeans followed by different letters within columns are significantly different at $P=0.05$ by Duncan's multiple range test.

Fig. 1. Soil pH and contents of organic matter, total N and available P₂O₅ of specialized plant garden in Korea National Arboretum. Abbreviation of the specialized plant garden were shown in Table 1. Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test. The data are mean values with standard deviation.

물원을 제외한 전시원에서는 토양유기물 유효범위 3~10%(Korea Forest Research Institute, 2012) 내에 있는 것으로 나타났다. 토양유기물과 밀접한 관계가 있는 전질소(TN)는 산림(0.39%)에서 유의적으로 가장 높은 값을 보였으며, 둘나물원(0.11%)과 약용식물원(0.18%)에서 유의적으로 낮은 값을 보였다. 그 외 전시원에서는 0.22~0.25%의 범위로 우리나라 산림토양의 평균 전질소 함량 0.19%(Jeong et al., 2002)보다도 높게 나타났으며, 산림토양의 전질소 유효범위인 0.2~0.4%(Korea Forest Research Institute, 2012) 내에 있는 것으로 나타났다. 전시원의 유효인산 함량은 둘나물원 2.41ppm, 약용식물원 6.63ppm, 그 외 전시원에서는 16.90~19.29ppm이었으며 산림에서는 20.34ppm으로 분석되었다. 우리나라 산림토양의 평균 유효인산 함량 25.6ppm(Jeong et al., 2002)에 비해서는 낮은 편이다. 산림토양의 유효인산 함량은 토양 pH나 유기물함량과 밀접한 관계가 있는데, pH가 낮으면 교환성 Fe과 Al에 의한 인산흡착이 발생하여 식물이 인산을 흡수할 수 없게 된다. 모든 조사지에서 산림과학원에서 제시한 인산의 유효범위 200 ppm(Korea Forest Research Institute, 2012)에 훨씬 미치지 못하는 것으로 나타났다. 식물의 세포벽과 DNA를 구성하는 필수원

소인 인산의 가용화를 늘리기 위해서는 복합비료, 용성인비 등을 시비함과 동시에 토양 산도를 중화시킬 수 있는 방안이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

전문전시원의 치환성 양이온 함량을 살펴보면(Fig. 2), 대부분 유효범위 내에 있거나 초과하는 것으로 나타났다. Ca²⁺은 전시원 간에 유의적인 차이가 나타났으며, 양치식물원(FG)에서 9.73cmol⁺/kg으로 가장 높은 Ca²⁺ 함량을 보였다. 이어 관상수원(OTG, 6.00cmol⁺/kg), 희귀·특산식물원(REPG, 5.81cmol⁺/kg), 산림(F, 5.41cmol⁺/kg), 약용식물원(MPG, 4.41cmol⁺/kg) 순이었으며, 관목원(ShG)과 둘나물원(SeG)이 각각 2.92와 2.80cmol⁺/kg으로 유효범위(3.0~6.0cmol⁺/kg)에 미치지 못하는 것으로 나타났다. Mg²⁺함량도 전시원 간에 유의적인 차이가 나타났는데, 둘나물원(1.04cmol⁺/kg)과 관상수원(1.10cmol⁺/kg)이 조금 낮게 나타났으며 그 외 전시원은 1.50cmol⁺/kg 전후의 함량으로 유효범위 1.0~2.0cmol⁺/kg 내에 있는 것으로 조사되었다. K⁺는 모든 전시원에서 유효범위 0.2~0.4cmol⁺/kg 내에 있거나 조금 초과하는 것으로 나타났으며, Na⁺은 양치식물원(0.14cmol⁺/kg)을 제외한 모든 전시원에서 0.05~0.09cmol⁺/kg로 유효범위 0.1~0.3cmol⁺/kg에는 조금

Fig. 2. Cation (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+}) concentration of specialized plant garden in Korea National Arboretum. Abbreviation of the specialized plant garden were shown in Table 1. Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test. The data are mean values with standard deviation.

부족한 것으로 나타났다. Karlen et al.(2003)은 토양의 질을 평가함에 있어 분석항목을 최적범위(Optimum Range), 높을수록 좋음(More is Better), 적을수록 좋음(Less is Better), 바람직하지 못한 범위(Undesirable Range)로 분류하였는데, 양이온 함량은 최적범위에 있는 것이 좋다고 하였다. 한편 토양 pH는 5.15로 그다지 높지 않은 양치식물원에서 치환성양이온 함량이 가장 높게 나타난 것은 주목할 만한데, 양치식물 자생지 토양의 pH 5.13, 유기물 함량 1.9%(Lee, 2010)을 고려하면 수목원 내 양치식물원의 높은 유기물 함량(3.6%)에 의한 것으로 판단되지만 향후 지속적인 모니터링이 필요할 것이다.

질소는 산림생태계에서 식물의 성장을 제한하는 주된 양분으로 알려져 있다(Spiecker, 1999; Vitousek and Howarth, 1991). 국립수목원 내 전문전시원의 토양 중 무기태 질소함량을 분석한 결과(Fig. 3), 무기태 NH_4^{+} 와 NO_3^{-} 의 농도는 전시원별로 유의적인 차이가 있었고($p < 0.05$), 산림에 비해 전문전시원의 농도가 낮은 것으로 분석되었다. 전시원별 NH_4^{+} 와 NO_3^{-} 의 농도를 살펴보면, 돌나물원(SeG) 0.31, 0.12mg/kg, 관목원(ShG) 2.34, 1.23mg/kg, 약용식물원(MPG) 0.94, 0.58mg/kg, 양치식물원(FG) 1.22, 0.94 mg/kg, 관상수원(OTG) 1.89, 0.76mg/kg, 희귀·특산식물원(REPG)

1.77, 0.63mg/kg, 산림지역(F) 3.36, 2.61mg/kg 등이었다. 특히 다른 전시원에 비해 돌나물원과 약용식물원의 NH_4^{+} 와 NO_3^{-} 농도가 1mg/kg 이하로 아주 낮게 나타난 것은 모래함량이 많은 토성에 의한 것으로 판단된다. 돌나물은 질소 시비량에 비례하여 생체중 및 건물중이 증가하기(Lee et al., 2004) 때문에 토성 개량 및 질소 시비가 필요할 것으로 판단된다. 한편 산림의 NH_4^{+} 와 NO_3^{-} 농도는 국립수목원 내 침엽수림의 NH_4^{+} 4.0~5.1mg/kg와 NO_3^{-} 3.9~5.3 mg/kg(Son et al., 1995) 보다는 조금 낮은 것으로 나타났으나, 경기도 양평의 리기다소나무림과 낙엽송림의 NH_4^{+} 1.96, 1.14mg/kg와 NO_3^{-} 0.55~1.28mg/kg(Lee and Son, 2006)와 비교하면 높게 나타났다. 이와 같이 토양 내 무기태 질소의 농도는 토양 내 유기물 함량이나 전질소 등의 입지환경 요인이나 식생상태의 차이 등에 의해 다르다는 것을 알 수 있다. 또한 모든 전시원에서 낮은 NO_3^{-} 농도는 낮은 토양 pH의 영향도 있을 것으로 사료된다. 총 무기태 질소농도에 대한 NO_3^{-} 농도의 비율은 돌나물원 28%, 양치식물원 44%, 약용식물원 38%, 관상수원 29%, 희귀·특산식물원 26%, 관목원 34%, 산림 44%로 조사지 간에 차이가 있는 것으로 나타났다. 일반적으로 NH_4^{+} 는 토양의 양이온 치환부위에 결합되어 있는데 비해 음이온인 NO_3^{-} 는 대부분 토양용액 속에 존재하기 때문에 식물이나

미생물에 흡수되지 않으면 토양수와 함께 용탈되어 NH_4^+ 보다 적게 분포하는 경향이 있다(Shibata et al., 2011).

각 전문전시원의 질소무기화와 질산화율을 분석한 결과, 조사지간에 유의적인 차이($p<0.05$)가 있는 것으로 나타났다(Fig. 4). 질소무기화는 돌나물원에서 가장 낮은 0.59mg/kg 을 보였으며, 이어 양치식물원 1.06mg/kg , 약용식물원 1.24mg/kg , 희귀특산식물원 1.57mg/kg , 관목원 1.99mg/kg , 관상수원 2.04mg/kg 그리고 산림이 3.14mg/kg 로 가장 높은 무기화율을 나타내었다. 질산화율도 전시원 간에 유의적인 차이가 있었으며, 돌나물원이 0.21mg/kg 로 가장 낮은 값을 보였으며, 산림에서 1.93mg/kg 으로 가장 높았으며, 다른 전시원에서는 $0.69\sim 1.36\text{mg/kg}$ 의 범위에 있는 것으로 조사되었다. 질소무기화량 가운데 질산화율이 차지하는 비율은 돌나물원 26%, 양치식물원 39%, 약용식물원 37%, 관상수원 36%, 희귀·특산식물원 30%, 관목원 41%, 산림 38%를 나타내었다. 질소무기화는 입지여건, 수종, 토양의 배양방법 등에 따라 측정치의 범위가 아주 넓게 나타나기 때문에(Binkley et al., 1992) 다른 연구결과와 비교하는 것은 어렵다. 질소무기화는 토양온도가 높을수록 무기화가 빠르게 이루어져 온도가 유기체 질소의 무기화에 영향을

미치며(Agehara and Warncke, 2004), 토양온도가 30°C 정도일 때 최대가 된다(Deenik, 2006). 본 연구에서는 토양에 배양한 것이 아니라 배양온도 25°C , 포장용수량 60%의 최적조건을 부여한 항온함습 상태에서의 결과임을 고려하면, 국립수목원 내 전시원의 질소무기화와 질산화율은 전체적으로 아주 낮은 것으로 나타났다. 토성이 사양토인 돌나물원과 약용식물원을 제외한 전시원의 경우 토양 유기물함량과 전질소 함량이 우리나라 산림토양의 평균 함량보다 높은 값을 보이고 있는데도 질소무기화와 질산화율이 낮은 것은 토양미생물의 활성이 낮기 때문인 것으로 판단된다(Oh et al., 2012). Mondini et al.(2008)의 입상 유기질비료가 골분과 어분이 포함되어 있어 분해가 쉽고 토양 중 미생물의 활성을 강화시킨다는 보고를 고려하면, 토양 산도를 중화시킴과 동시에 부산물 비료 사용이 국립수목원 내 전시원 토양의 생산성을 증진시키기 위한 방안이 될 수 있을 것이다.

IV. 적요

본 연구는 국립수목원 내 각 전문전시원 토양의 이화학적 특성

Fig. 3. Inorganic NH_4^+ and NO_3^- concentration of each specialized plant garden in Korea National Arboretum. Abbreviation of the specialized plant garden were shown in Table 1. Different letters indicate significant differences ($p<0.05$) by Duncan's multiple range test. The data are mean values with standard deviation.

Fig. 4. Nitrogen mineralization and nitrification rate of specialized plant garden in Korea National Arboretum. Abbreviation of the specialized plant garden were shown in Table 1. Different letters indicate significant differences ($p<0.05$) by Duncan's multiple range test. The data are mean values with standard deviation.

분석을 통해 토양자원의 지속가능한 관리방안을 마련하기 위한 기초정보를 제공하기 위해 수행되었다. 본 연구에서는 돌나물원, 양치식물원, 약용식물원, 관상수원, 희귀·특산식물원, 관목원의 여섯 전문전시원과 수목원 주변 산림을 대상으로 하였다. 토양입경 사이즈는 돌나물원과 약용식물원을 제외한 전시원 및 산림에서 유사한 경향을 나타내었다. 토양용적밀도는 산림과 전문전시원간에 유의적인 차이가 나타났으며($p<0.05$), 돌나물원의 $0.79\text{g}/\text{cm}^3$ 에서 관목원의 $1.13\text{g}/\text{cm}^3$ 의 범위를 보였다. 돌나물원과 약용식물원은 다른 전시원에 비해 유의적으로 낮은 토양수분 함량을 보였는데($p<0.05$), 이는 모래 함량이 많은 토성에 기인하는 것으로 판단된다. 토양 pH는 돌나물원의 4.87에서 희귀·특산식물원의 5.41의 범위에 있는 것으로 나타났다. 토양유기물 함량은 돌나물원에서 2.61%로 가장 낮았고, 산림에서 4.71%로 가장 높게 나타났다. 전질소 함량은 돌나물원과 약용식물원에서 각각 0.11%, 0.18%로 낮게 분석되었다. 유효인산 함량은 돌나물원과 약용식물원이 유의적으로 낮게 나타났다($p<0.05$). 식물이 이용가능한 무기태 질소(NH_4^+ , NO_3^-) 함량은 전문전시원 간에 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났으며($p<0.05$), 총 무기태 질소(NH_4^+ + NO_3^-) 함량에 대한 NO_3^- 의 비율은 돌나물원의 28%에서 양치식물원과 산림의 44%의 범위에 있는 것으로 분석되었다. 질소무기화율과 질산화율도 전문전시원 간에 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다($p<0.05$). 본 연구결과를 활용하기 위해서는 적절한 시비 등을 통하여 토양비옥도가 관리·유지되고 있는 공·사립수목원 전문전시원과의 비교 검토가 필요하다. 이를 통해 국립수목원 전문전시원의 토양특성에 대한 정보는 합리적인 전문전시원 관리방안을 마련하기 위한 구체적인 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

V. References

- Agehara, S. and D.D. Warncke. 2004. Soil moisture and temperature effects on nitrogen release from organic nitrogen sources. *Am. J. Soil Sci.* 69:1844-1855.
- Binkley, D., R. Bell, and P. Sollins. 1992. Comparison of methods for estimating soil nitrogen transformations in adjacent conifer and alder-conifer forests. *Can. J. For. Res.* 22:858-863.
- Chae, J.W. 2007. Research about ways of flora management for Daegu municipal arboretum established in landfill. MS thesis, Kyungpook Natl. Univ., Daegu, Korea.
- Cheon, K.I., S.C. Jung, J.H. Cho, J.G. Byun, S.H. Joo, and J.H. You. 2012. Vegetation type and habitat characteristics of Hongneung arboretum at Seoul. *J. Korean Insti. For. Recre.* 16:51-63.
- Cho, S.J. 2002. A study on the development guideline for urban arboretum garden-a case of Korean highway corporation Jeon-ju arboretum. MS thesis, Kongju Natl. Univ., Kongju, Korea.
- Choi, Y.G. 2014. The analysis on the change of physicochemical properties of soil in Daegu arboretum. MS thesis, Kyungpook Natl. Univ., Daegu, Korea.
- Deenik, J. 2006. Nitrogen mineralization potential in important agricultural soils of Hawaii. *Soil Crop Manage.* 15:1-5.
- Jackson, P.W. and K. Kennedy. 2009. The global strategy for plant conservation: a challenge and opportunity for the international community. *Trends in Plant Sci.* 14:578-580.
- Jeong, J.H., K.S. Koo, C.H. Lee, and C.S. Kim. 2002. Physico-chemical properties of Korean forest soils by regions. *J. Korean For. Soc.* 91:694-700.
- Johnson, D.W., J. Turner, and J.M. Kelly. 1982. The effects of acid rain on forest nutrient status. *Water Resour. Res.* 18:449-461.
- Jung, M.N. 2013. Activation of arboretum/botanical gardens in Korea through characterization survey on theme gardens, visitors and gardeners-focused on the private arboretum and botanical garden registered at the forestry administration. PhD Diss., Konkuk Univ., Seoul, Korea.
- Hyun, J.O., Y.S. Kim, H.T. Shin, S.K. Kang, J.I. Kim, J.G. Kim, J.W. Yoon, and M.H. Yi. 2012. The user's satisfactory analysis of botanical gardens and arboreta in Korea. *J. Korean Insti. For. Recre.* 16:13-24.
- Karlen, D.L., C.A. Ditzler, and S.S. Andrews. 2003. Soil quality: Why and how? *Geoderma* 114:145-166.
- Kim, K.G., B.K. Lim, and H.Y. Jin. 2001. A study on creation method of ecological arboretum as wildlife habitat in urban area: a case study of Daejeon metropolitan city. *J. KIEAE* 1:55-62.
- Kim, J.S., D.K. Oh, and S.B. Kim. 2010. Visitor's evaluation of trail in the Hanbat arboretum: a case importance: satisfaction analysis. *J. Korean For. Soc.* 99:404-413.
- Kim, M.J. 2004. A study on the improvement of ecological learning center utilizing arboretum. MS thesis, Korea Natl. Univ. of Edu., Seoul, Korea.
- Kim, T.J., Y.S. Hong, S.H. Ahn, and W.H. Byun. 2005. A study on the trend of private arboretum in Korea. *J. Korean Insti. For. Recre.* 9:49-59.
- Kim, Y.J. 2006. A comparative study of Korean arboretums for the establishment of reasonable arboretums. MS thesis, Mokpo Natl. Univ., Mokpo, Korea.
- Korea Forest Research Institute. 2012. Forestry technology handbook. Korea Forest Service. p. 996.
- Korea Meteorological Administration. 2015. Weather information. <http://www.kma.go.kr>.
- Kweon, M.H., H.K. Kang, K.J. Bang, S.H. Kim, and S.J. Baek. 2012. A study of user's behavior and satisfaction on botanic gardens and arboretums in Korea. *J. Korean Soc. People Plants Environ.* 15:127-134.
- Lee, B.C. 2005. Analysis of vegetation, display, recreation facilities and management for the local characterization of the garden of Morning Calm. MS thesis, Univ. of Seoul, Seoul, Korea.
- Lee, H.J., J.H. Kim, Y.J. Lim, C.Y. Chang, Y.L. Tae, and S.K. Hong. 2011. An analysis on the satisfaction of service quality for seasonal arboretum visitors using IPA. *J. Korean For. Soc.* 100: 650-663.

- Lee, J.G. and J.M. Hwang. 2000. A study on the native environment and growth characteristics in *Sedum sarmentosum* Bunge. Insti. Agric. Sci. Techn. Andong Natl. Univ. 7:27-35.
- Lee, S.Y., J.H. Ahn, and H.J. Kim. 2004. Characteristics of growth and flowering by nitrogen levels in *Sedum sarmentosum*. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 22:426-430.
- Lee, S.Y., K.Y. Park, and Y.H. Park. 2010. Nutrient contents of bracken (*Pteridium aquilinum* L.) and soil chemical properties of its habitat in the coastal area. Korean J. Soil Sci. Fertil. 43:509-514.
- Miller, R.E., J. Hazard, and S. Howes. 2001. Precision, accuracy, and efficiency of four tool for measuring soil bulk density or strength. USDA Forest Service Res. Paper. PNW-RP-532.
- Mondini, C., M.L. Cayuela, T. Sinicco, M.A.S. Mondereo, E. Bertolone, and L. Bardi. 2008. Soil application of meat and bone meal. Short-term effects on mineralization dynamics an soil biochemical and microbiological properties. Soil Biol. Biochem. 40:462-474.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Soil and plant analysis. NIAS, Suwon, Korea.
- Oh, T.K., M.G. Cho, J.M. Chung, H.R. Jubg, K.S. Jeon, H.S. Moon, S.J. Lee, and S. Yoshiyuki. 2012. Effect of thinning intensity on soil nitrogen dynamics in *Pinus densiflora* stand. J. Fac. Agric. 57:473-479.
- Park, H. 2013. A study on the strategies to design arboretums. Proc. Archit. Inst. Korea. 15:1-12.
- Schlegel, H., R.G. Amundson, and A. Huttermann. 1992. Element distribution in red spruce (*Picea rubens*) fine roots: evidence for aluminium toxicity at Whiteface Mountain. Can. J. For. Res. 22: 1132-1138.
- Shibata, H., R. Urakawa, H. Toda, Y. Inagaki, R. Tateno, K. Koba, A. Nakanishi, K. Fukuzawa, and A. Yamasaki. 2011. Changes in nitrogen transformations in forest soil representing the climate gradient of the Japanese archipelago. J. For. Res. 16:374-385.
- Son, Y., J.T. Kim, S.E. Lee, and I.K. Lee. 1995. Differences of nitrogen mineralization in *Larix decidus*, *Pinus strobus* and *Thuja occidentalis* plantations of the Kwangneung experimental forest, Kyonggi Province. Korean J. Ecol. 18:385-395.
- Son, Y. and I.K. Lee. 2006. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on soil nitrogen mineralization of *Pinus rigida* and *Larix kaempferi* plantations in Yangpyeong area, Gyeonggi Province. J. Korean For. Soc. 95:82-90.
- Spiecker, H. 1999. Overview of recent growth trends in European forests. Water Air Soil Pollut. 116:33-46.
- Vitousek, P.M. and R.W. Howarth. 1991. Nitrogen limitation on land and in the sea: how can it occur? Biochem. 13:87-115.
- Wyman, D. 1960. How to establish an arboretum or botanical garden. Bull. Pop. Inform. Arnold Arboretum, Harvard Univ. 20:69-83.