

진주시 도시공원의 토양 탄소저장량과 토양성질의 관계

안소은¹, 이정민², 김춘식^{1,3*}

¹경상국립대학교 산림융복합학과, ²고려대학교 환경생태공학과, ³경상국립대학교 환경산림과학부
(2022년 3월 25일 접수; 2022년 4월 22일 수정; 2022년 4월 27일 수락)

Relationships between Soil Carbon Storage and Soil Properties of Urban Parks in Jinju-si, Gyeongsangnam-do

So Eun An¹, Jeongmin Lee², Choonsig Kim^{1,3*}

¹Department of Forest Convergence Science, Gyeongsang National University

²Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University

³Division of Environmental and Forest Science, Gyeongsang National University

(Received March 25, 2022; Revised April 22, 2022; Accepted April 27, 2022)

ABSTRACT

This study was performed to determine carbon (C) storage of urban parks [Hadae park (established year: 1977), Songlim park (established year: 1990), Pyeonggeo park (1992), Chojeon park (2005)] in Jinju-si, Gyeongsangnam-do. The soil at 0-30 cm depth was collected to measure soil C concentration. Bulk density in all soil depths was not significantly different among the four parks, whereas coarse fragments (>2 mm) were significantly higher in the Chojeon park than in the Pyeonggeo park. Soil pH and electrical conductivity were highest in Chojeon park among four parks. Soil C concentrations in all soil depths were significantly higher in the Hadae park established in 1977 compared with the other parks established since 1990. Mean soil C concentration at 0-30 cm was the highest in the Hadae park (1.04%), followed by the Chojeon park (0.87%), the Songlim park (0.75%), and the Pyeonggeo park (0.57%). Soil C storage at 0-10 cm was not significantly different among the four urban parks, whereas soil C storage at 10-20 cm and 20-30 cm was higher in the Hadae parks than in the other parks. Total soil C storage was significantly higher in the Hadae park (28,425 kg C ha⁻¹) than in the Pyeonggeo park (15,622 kg C ha⁻¹). Mean soil C concentration and C storage were positively correlated with silt content and negatively correlated with sand content. The results suggest that soil C storage of urban parks in Jinju-si might be related to the established period of parks and silt contents.

Key words: Carbon stocks, Park soils, Soil properties, Urban parks, Urban soils



* Corresponding Author : Choonsig Kim
(ckim@gnu.ac.kr)

I. 서 론

도시녹지는 거주민에게 건전한 여가 및 휴식공간을 제공하고 자연환경 및 경관을 보호하여 보건, 휴양 및 정서 생활 향상 등의 기능뿐만 아니라 지역생활권 거주자에게 다양한 생태계 서비스를 제공하고 있다 (Yoon *et al.*, 2016; Lindén *et al.*, 2020). 도시녹지가 가지는 생태계 서비스 기능은 대기오염 저감, 생물다양성 유지, 미세기후 조절, 문화적, 휴양적가치 외에도 최근에는 도시녹지가 가지는 이산화탄소 흡수능력에 대한 관심이 높아지고 있다 (Schwendenmann and Mitchell, 2014; Yoon *et al.*, 2016; Jo *et al.*, 2019). 특히 도시공원은 수목식재 및 지속적인 식생관리로 주거지나 가로수 식재지 등과 같은 타 토지 이용지역에 비해 탄소흡수 및 저장량이 높은 것으로 보고되고 있다 (Yoon *et al.*, 2016; Canedoli *et al.*, 2020).

토양은 지구 육상생태계 중 가장 많은 탄소를 저장하고 있는 것으로 알려져 있으나, 대부분 산림지역이나 농경지를 중심으로 연구결과가 보고되고 있으며, 도시공원의 탄소저장량에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다 (Cambou *et al.*, 2018). 도시공원은 조성과정 동안 표토가 제거되고 성토가 실시되거나, 진압에 의한 답압이 발생하기도 하며 조경수목이나 잔디의 식재 과정 동안 다양한 토양 교란이 발생하게 된다. 또한, 매년 수목으로부터 발생하는 낙엽·낙지 등이 공원 밖으로

반출되기 때문에 유기물의 토양 유입 등이 빈약하고, 일반 산림토양에 비해 유기탄소 농도의 공간적 변이 폭이 큰 것으로 알려져 있다 (Mao *et al.*, 2014).

최근 여러 연구들은 도시공원 녹지 내 토양 탄소저장량의 정량적 평가에 대한 중요성을 강조하고 있으며 (Bae and Ryu, 2015; Cambou *et al.*, 2018; Jo *et al.*, 2019), 국가 온실가스 배출 및 흡수계수에도 토양 탄소저장량 평가가 포함되고 있다 (Choi *et al.*, 2020). 한편, 도시토양은 인간의 활동에 의해 크게 영향을 받아 토양특성의 공간적 변동이 크게 나타나기 때문에 (Mao *et al.*, 2014), 토양 탄소저장량의 정량적 평가를 위해서는 토양 내 탄소 농도나 토양 용적밀도 및 석력함량 등과 같은 기여 요인들의 직접 측정이 필수적이다. 본 연구는 도시공원 내 토양 탄소저장량의 정량적 평가를 위해 경상남도 진주시에 위치하며 조성연도가 서로 다른 4개 공원을 대상으로 1) 토양 탄소 농도의 변화를 비교하고, 2) 토양 탄소저장량과 토양 환경 요인과의 관계에 대한 구명을 목적으로 하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 일반현황

본 연구는 진주지역에 위치한 공원 중 조성연도와 위치를 고려하여 초전공원, 송림공원, 하대공원, 평거공원 등 4개 공원을 선정하였다 (Fig. 1). 이들 공원 중

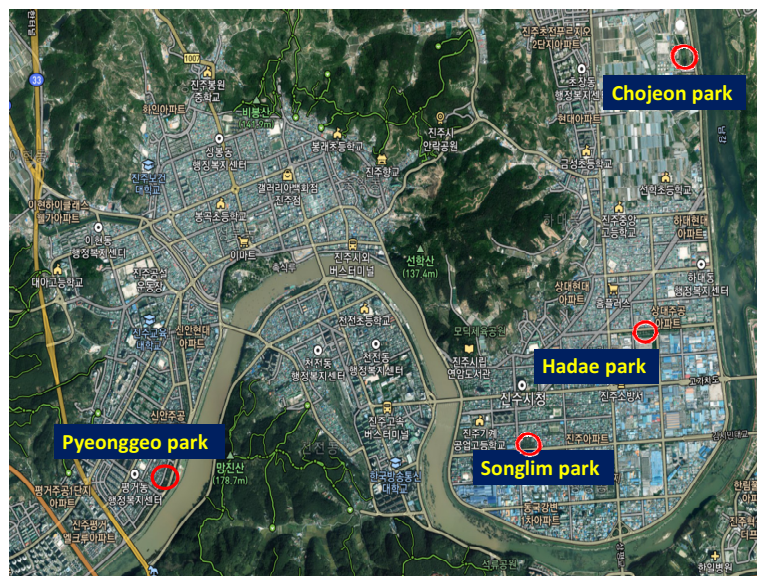


Fig. 1. Location of four parks in Jinju-si, Gyeongsangnam-do.

Table 1. Location, established year, and area of four parks in Jinju-si, Gyeongsangnam-do

Park	Location	Established year	Area (ha)
Hadae	35°11'3"N 128°7'19"E	1977	0.6
Songlim	35°10'32"N 128°6'31"E	1990	2.7
Pyeonggeo	35°11'3"N 128°7'19"E	1992	0.2
Chojeon	35°10'24"N 128°04'07"E	2005	9.6

초전공원과 송림공원은 지역생활권 거주자의 보건 휴양 및 정서함양을 목적으로 설치된 근린공원이며, 하대공원과 평거공원은 어린이의 보건 및 정서생활 향상을 위한 어린이 공원으로 분류된다. 공원조성 연도는 하대공원이 1977년으로 가장 오래되었고, 송림공원 1990년, 평거공원 1992년, 초전공원은 조사한 4개 공원 중 가장 최근인 2005년에 조성되었다. 공원면적은 근린공원인 초전공원이나 송림공원은 2.0 ha 이상이며, 생활권 공원 중 어린이 공원인 하대공원이나 평거공원은 0.6 ha 이하의 소규모 면적을 점유하였다.

2.2. 현지조사 및 토양성질 분석

본 연구의 현지조사는 2020년 10월 28일부터 30일 사이에 실시되었으며, 각 공원 지역을 대상으로 임의로 선정된 3개의 20 × 20m의 조사구를 선정 후 6cm 이상의 교목과 관목에 대해 흉고직경과 수고를 측정하였다. 토양시료 채취는 각 조사구로부터 임의로 3개 소씩 선정하고 깊이 50cm, 폭 60cm의 토양단면을 제작하였다. 토양 성질 및 탄소 농도 측정을 위한 시료는 400cm³ 원통형 토양채취기를 이용하여 0~10cm, 10~20cm, 20~30cm 깊이에서 토양 시료를 채취한 후 (총 108점: 4개 공원 × 3조사구 × 3반복 × 3깊이), 지퍼백에 밀봉하고 실험실로 운반하였다. 채취한 시료 중 일부는 온풍 건조기에서 105°C로 48시간 이상 건조 후 2mm체로 선별하여 세토의 토양 용적밀도를 계산하였으며 석력 함량과 석력의 입자밀도 2.65를 이용하여 석력함량비를 계산하였다(Cambou et al., 2018). 조사구의 토양 입경 분포는 비중계법으로 모래, 미사, 점토함량을 USDA 입경 분포 기준에 따라 결정하였다(Kalra and Maynard, 1991). 토양 pH 측정은 토양:중류수(1:5) 혼합액을 이온전극(Model-735, ISTEK, Korea)으로, 전기전도도는 EC 측정기(Orion 3 Star-Conductivity,

Singapore)를 이용하였다. 토양 시료 중 일부는 0.420 mm체를 이용하여 분석용 시료를 조제한 후 대용량 원소분석기(Vario Macro cube, Germany)를 이용하여 토양 탄소 농도를 측정하였다. 본 연구의 토양 탄소 농도는 분석 시 무기탄소를 제거하지 않아 탄소 농도에는 일부 무기탄소가 포함되어 있으며, 국내 농경지 토양의 경우 원소분석기를 이용한 건조연소법(dry combustion)의 경우 토양유기물 함량이 습식산화법(wet oxidation)에 비해 1.09~1.12배 정도 높게 나타나는 결과가 보고된 바 있다(Kim et al., 2021). 토양 탄소량은 토양 탄소 농도, 토양 용적밀도, 토양 시료 채취 깊이, 석력함량의 용적비를 이용하여[토양 탄소저장량 = 토양탄소농도 × 토양용적밀도(< 2mm 세토) × 토심 × (1-석력용적비)] 계산하였다(Cambou et al., 2018).

2.3. 자료 분석

본 조사 과정에서 수집된 토양 성질, 토양 탄소 농도, 토양 탄소저장량 등에 대한 자료는 SAS의 일반선형모형(GLM)을 이용하여 $P < 0.05$ 수준에서 검정하였으며, 처리 간 유의성이 있는 경우 Tukey 방법을 이용하여 평균 간 사후 비교를 실시하였다(SAS Institute, 2003). 또한 공원 간 토양 성질 및 탄소 농도와 탄소저장량 사이 상관성은 Canoco 5.1(Ter Braak and Šmilauer, 2018)을 이용하였다.

III. 결 과

3.1. 식생 현황

조사구의 입목밀도는 조성된 기간이 가장 오래된 하대공원이 375본/ha으로 가장 높았으며, 평거공원은 241본/ha으로 가장 낮게 나타났다(Table 2). 평균 흉고 직경은 송림공원 24.9cm, 평거공원 24.4cm, 하대공원

Table 2. General characteristics of trees planted in four parks in Jinju-si, Gyeongsangnam-do

Park	Tree density (tree ha ⁻¹)	DBH (cm)	Height (m)	Dominant tree species
Hadae	375	24.3 (1.6)	9.6 (0.5)	- <i>Pinus thunbergii</i> Parl. - <i>Zelkova serrata</i> Makino. - <i>Pinus densiflora</i> Siebold et Zucc. - <i>Acer buergerianum</i> Miq. - <i>Diospyros kaki</i> Thunb. - <i>Koelreuteria paniculata</i> Laxm. - <i>Quercus acutissima</i> Carruth.
Songlim	308	24.9 (1.5)	10.5 (0.7)	- <i>Zelkova serrata</i> Makino. - <i>Acer palmatum</i> Thunb. - <i>Pinus rigida</i> Mill. - <i>Pinus densiflora</i> Siebold et Zucc. - <i>Pinus thunbergii</i> Parl. - <i>Lagerstroemia indica</i> L.
Pyeonggeo	241	24.4 (2.2)	8.7 (0.5)	- <i>Quercus myrsinifolia</i> Blime. - <i>Acer palmatum</i> Thunb. - <i>Pinus densiflora</i> Siebold et Zucc. - <i>Celtis sinensis</i> Pers. - <i>Sophora japonica</i> L. - <i>Diospyros kaki</i> Thunb.
Chojeon	283	18.0 (1.7)	7.0 (0.5)	- <i>Metasequoia glyptostroboides</i> Hu et W.C. Cheng. - <i>Acer palmatum</i> Thunb. - <i>Prunus yedoense</i> Matsum. - <i>Chionanthus retusus</i> Lindl. et Paxton. - <i>Pinus densiflora</i> Siebold et Zucc. - <i>Ginkgo biloba</i> L. - <i>Sophora japonica</i> L.

Values in parenthesis are standard errors.

24.3cm, 초전공원 18.0cm로 가장 최근에 조성된 초전공원이 송림공원이나 평거공원에 비해 낮게 나타났다. 평균 수고의 경우 송림공원이 10.5m로 가장 크게 나타났고, 가장 최근에 조성된 초전공원은 7.0m로 평균 흉고직경에서 나타난 결과와 유사하였다. 진주시 공원지역의 주요 목본수종 중 소나무는 4개 조사구에 공통적으로 분포하였으며, 낙엽활엽수로는 단풍나무 또는 중국단풍나무가 4개 조사구에 모두 나타났다.

3.2. 토양 용적밀도와 석력함량

토양 깊이별 용적밀도는 4개 공원 간 큰 차이가 없었으며 0~30cm 깊이의 평균 토양용적밀도는 초전공원이 1.13 g cm⁻³로 가장 크게 나타났고, 하대공원 1.10 g cm⁻³, 송림공원 1.08 g cm⁻³, 평거공원 1.04 g cm⁻³ 순이었다(Fig. 2). 산림토양의 경우 표토의 토양 용적밀도가 심토에 비해 일반적으로 낮은 경향을 보이나 본

연구에서도 조사된 진주시 4개 공원지역의 평균 토양 용적밀도는 0~10cm가 1.06 g cm⁻³, 10~20cm가 1.09 g cm⁻³, 20~30cm가 1.11 g cm⁻³로 깊이가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보이나 유의적인 차이는 없었다.

석력함량은 초전공원이 0~10cm나 10~20cm 깊이에서 평거공원에 비해 높게 나타났으며, 0~30cm 깊이의 평균 석력함량은 초전공원 24.2%, 송림공원 18.7%, 하대공원 16.6%, 평거공원 12.3%로 초전공원의 석력함량이 평거공원에 비해 높은 함량을 보였다(Fig. 2). 그러나 깊이별 평균 석력함량은 0~10cm가 17.1%, 10~20cm는 18.3%, 20~30cm는 18.5%로 뚜렷한 차이는 없었다.

3.3. 토양 입경분포

토양 입경분포 중 표토(0~10cm)의 모래 함량은 공원 간 큰 차이가 없었으나 10~20cm와 20~30cm 깊

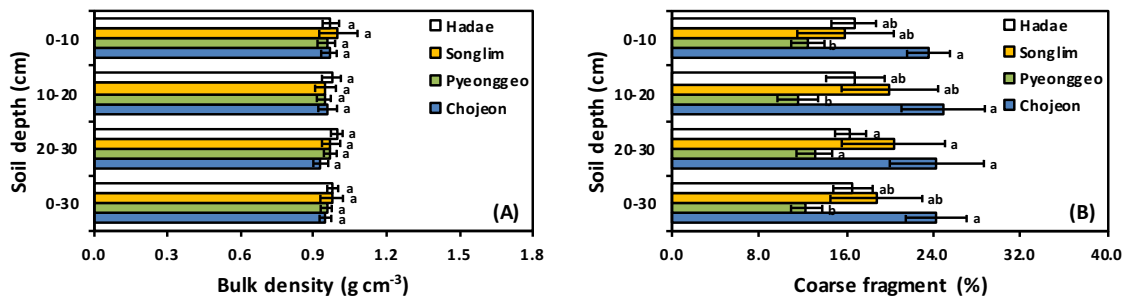


Fig. 2. Bulk density (A) and coarse fragments (B) in three soil depths of four parks in Jinju-si, Gyeongsangnam-do. Horizontal bars represent standard errors. Different letters on bars in each soil depth indicate a significant difference among treatments ($P < 0.05$).

이는 송림공원이 하대공원에 비해 높은 모래 함량을 보였다(Fig. 3). 모래 함량과는 대조적으로 미사 함량은 송림공원이 가장 낮았으며, 낮은 모래 함량을 보인 하대공원의 미사 함량은 타 공원에 비해 높았다. 점토 함량은 표토의 경우 4개 공원 간 큰 차이가 없었으나 10~20cm나 20~30cm 깊이는 초전공원이 평거공원이거나 송림공원에 비해 높은 함량을 보였다. 0~30cm 깊이의 평균 모래 함량은 평거공원이거나 송림공원이 하대공원에 비해 높은 반면에 미사 함량은 모래 함량과는 반대되는 경향을 보였다. 그러나 점토 함량은 공원 간 큰 차이가 없었으며 토성은 모든 조사 깊이에서 사양토로 나타났다.

3.4. 토양 pH 및 전기전도도

토양 pH는 모든 조사 깊이에서 초전공원이 송림공원, 하대공원, 평거공원에 비해 높은 값을 보이고 있다(Fig. 4). 깊이별 평균 토양 pH는 0~10cm가 pH 6.21, 10~20cm가 pH 6.36, 20~30cm가 pH 6.48로 깊이가 깊어질수록 토양 pH가 증가하는 경향을 보였다. 0~30cm의 평균 토양 pH는 초전공원이 pH 7.05로 송림공원 pH 6.20, 평거공원 pH 6.18, 하대공원 pH 5.98에 비해 높게 나타났다.

토양 전기전도도의 경우 토양 pH와 유사한 경향을 보이고 있으며, 조사한 깊이 모두 초전공원이 하대공원, 평거공원, 송림공원에 비해 높게 나타났다(Fig. 4). 그러나 전기전도도는 0~10cm가 $184 \mu\text{s cm}^{-1}$, 10~20cm가 $183 \mu\text{s cm}^{-1}$, 20~30cm가 $183 \mu\text{s cm}^{-1}$ 로 깊이 간 뚜렷한 차이는 없었다. 0~30cm 깊이의 평균 토양 전기전도도는 초전공원이 $333 \mu\text{s cm}^{-1}$ 로 송림공원의 $185 \mu\text{s cm}^{-1}$ 나 하대공원 $119 \mu\text{s cm}^{-1}$, 평거공원 $96 \mu\text{s cm}^{-1}$ 에 비해 유의적으로 높은 값을 보였다.

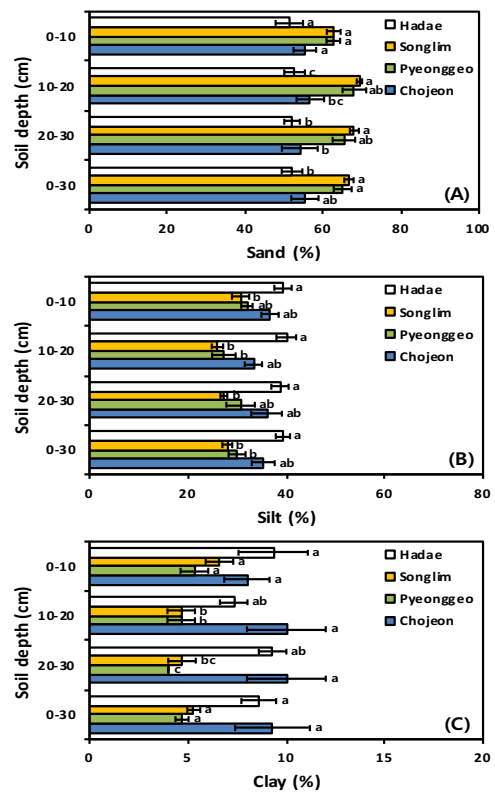


Fig. 3. Soil particle size distribution (A: sand, B: silt, C: clay) in three soil depths of four parks in Jinju-si, Gyeongsangnam-do. Horizontal bars represent standard error. Different letters on bars in each soil depth indicate a significant difference among treatments ($P < 0.05$).

3.5. 토양 탄소 농도 및 탄소 저장량

토양 탄소 농도는 공원 간 차이가 있었으며 0~30cm 깊이의 평균 탄소 농도는 하대공원이 1.04%로

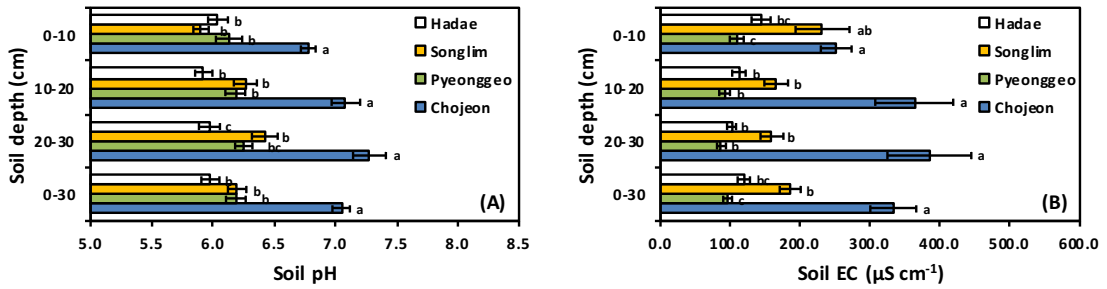


Fig. 4. Soil pH (A) and soil EC (B) in three soil depths of four parks in Jinju-si, Gyeongsangnam-do. Horizontal bars represent standard error. Different letters on bars in each soil depth indicate a significant difference among treatments ($P < 0.05$).

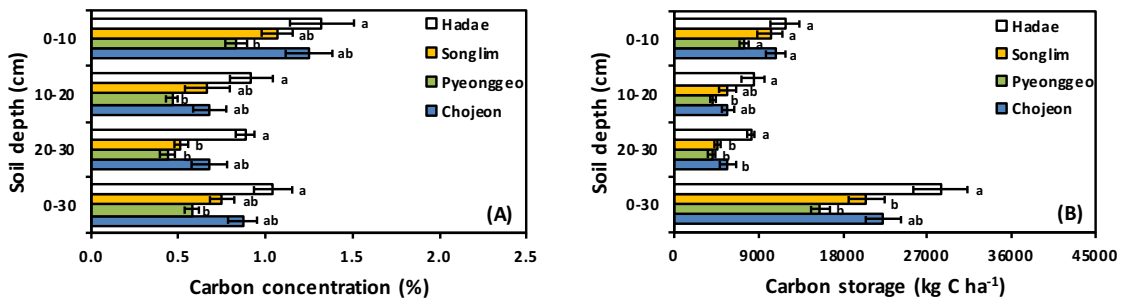


Fig. 5. Soil carbon concentration (A) and storage (B) in three soil depths of four parks in Jinju-si, Gyeongsangnam-do. Horizontal bars represent standard error. Different letters on bars in each soil depth indicate a significant difference among treatments ($P < 0.05$).

가장 높았고, 초전공원 0.87%, 송림공원 0.75%, 평거공원 0.58% 순이었다(Fig. 5). 탄소 농도는 조성기간이 가장 오래된 하대공원이 평거공원이나 송림공원에 비해 유의적으로 높은 농도를 보였다. 그러나 초전공원, 송림공원, 평거공원의 탄소 농도는 공원 간 큰 차이가 없었다. 깊이별 토양 탄소 농도는 0~10cm가 1.12%로 10~20cm의 0.68%, 20~30cm의 0.63%에 비해 높게 나타났다.

토양 탄소저장량 중 0~10cm 깊이는 4개 공원 간 차이가 없었으나 10~20cm나 20~30cm 깊이는 하대공원이 평거공원에 비해 높았다(Fig. 5). 0~30cm 깊이의 총 탄소저장량은 1970년대에 조성된 하대공원이 28,425 kg C ha⁻¹로 1990년 이후 조성된 송림공원의 20,560 kg C ha⁻¹이나 평거공원의 15,622 kg C ha⁻¹에 비해 높은 값을 보이고 있다. 깊이별 토양 탄소저장량은 0~10cm 깊이가 10,088 kg C ha⁻¹, 10~20cm는 6,008 kg C ha⁻¹, 20~30cm는 5,641 kg C ha⁻¹ 순으로 0~10cm 깊이의 탄소저장량이 10~20cm나 20~30cm 깊이에 비해 높은 값을 보였다.

3.6. 토양 성질과 탄소 농도 및 탄소 저장량의 관계

진주시 공원지역 토양 0~30cm 깊이의 토양 성질

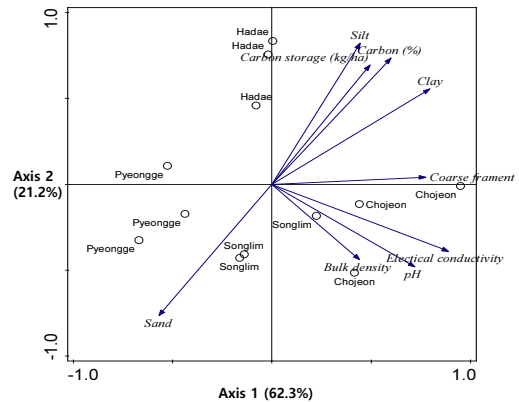


Fig. 6. Principle component analysis of soil properties and soil carbon concentration or carbon storage in 0-30 cm soil depth of four parks in Jinju-si, Gyeongsangnam-do.

과 토양 탄소 농도나 토양 탄소 저장량 사이의 상관관계를 조사하기 위해 주성분 분석을 실시한 결과 제1주성분은 62.3%, 제2주성분은 21.2%로 두개의 주성분이 총 변이의 83.5%를 설명하는 것으로 나타났다(Fig. 6). 한편, 0~30cm 깊이에서 토양 탄소 저장량과 토양 탄소 농도는 미사함량과 강한 정의 상관이 있었으나 모래함량과는 부의 상관을 보였다.

IV. 고 찰

도시공원은 시민들에게 다양한 생태계 서비스를 제공하고 휴양 및 교육 공간으로 제공되며(Schwendenmann and Mitchell, 2014; Bae and Ryu, 2015; Kim *et al.*, 2016), 도시 생태계의 가장 중요한 자산으로 평가되고 있다(Cambou *et al.*, 2018). 또한, 도시공원의 다양한 녹지공간은 대기 중 이산화탄소 흡수를 통한 기후변화를 완화할 수 있는 탄소 저장고로써 그 중요성이 높아지고 있다(Jo *et al.*, 2019). 본 연구에서 조사된 진주시 4개 도시공원은 자연공간을 이용하기 보다는 공원 조성을 위해 지표면을 절토하거나 성토하여 공원을 조성하고 조경용 화목류나 수목을 식재하였다. 조사된 4개 공원 모두 자연 식생보다는 메타세쿼이아, 단풍나무, 이팝나무, 모감주나무, 감나무 등과 같은 인공적으로 식재된 수종과 송림공원의 경우 약 0.05ha 정도의 곱솔이 조립되어 있었다. 입목밀도는 241본/ha에서 375본/ha 정도로 공원 간 입목밀도의 차는 크지 않았다. 평균 입목밀도는 302본/ha으로 서울시 총 38개 공원을 대상으로 조사된 평균 입목밀도 410본/ha보다는 낮았다(Jo *et al.*, 2019). 이는 서울시는 흉고직경 2cm 이상의 교목과 관목을 조사한 반면에 본 연구에서는 흉고직경 6cm 이상의 입목을 대상으로 하여 조사방법의 차이가 원인으로 사료된다.

흉고직경의 경우 1992년 이전에 조성된 하대공원, 송림공원, 평거공원이 24.3~24.9cm이고, 수고의 경우 8.7~10.5m로 2005년에 조성된 초전공원의 평균 흉고직경 18.0cm와 평균 수고 7.0m에 비해 크게 나타났다. Jo *et al.*(2019)은 서울시 공원 내 2cm 이상의 교목과 관목을 포함한 수목의 평균 흉고직경을 18.1cm로 보고한 바 있다.

진주시 4개공원의 토양 용적밀도는 1.06 g cm^{-3} 에서 1.13 g cm^{-3} 범위에 분포하였으며 조사된 공원이나 토양 깊이 사이에 큰 차이는 없었다. 이는 조사된 4개 공원 모두 인공적으로 조성되어 토양 용적밀도의 차이

가 나타나지 않은 것으로 사료된다. 타 연구의 결과로 서울 숲의 토양 용적밀도는 1.0 g cm^{-3} 이상(Bae and Ryu, 2015), 대구, 대전, 서울의 공원은 1.27 g cm^{-3} (Yoon *et al.*, 2016)로 본 연구의 평균 토양 용적밀도는 타 지역 공원의 평균값 범위보다 약간 낮거나 범위 내에 분포하였다. 그러나 국외에서 조사된 핀란드 헬싱키의 도시공원 내 토양 용적밀도 0.93 g cm^{-3} (Lindén *et al.*, 2020)보다는 약간 높았다. 토양 용적밀도와는 대조적으로 석력함량의 경우 외부에서 유입되는 성토나 복토된 토양의 종류 등에 따라 달라질 수 있기 때문에 4개 공원 간 차이가 크게 나타났다. 석력함량과 유사하게 미사와 점토함량은 공원 간 상당한 차이가 있어 하대공원은 송림공원이나 평거공원에 비해 높은 함량을 보였다. 토양 pH와 전기전도도(EC)는 초전공원이 타 공원에 비해 높은 값을 보였으며, 이는 타공원과 달리 초전공원은 쓰레기 매립장을 성토 후 공원으로 조성하였기 때문으로 사료된다. 타 연구에서도 유사한 결과가 보고되고 있어 폐기물 매립지의 토양 pH 상승은 폐건축 자재 등이 매립된 경우 칼슘 이온 등이 강우 발생 시 용출되어 표토에 집적되기 때문으로 알려져 있다(Kang *et al.*, 2015).

토양 탄소 농도는 1970년대 조성된 하대공원이 가장 높고 1990년 이후 조성된 평거공원이 가장 낮게 나타났으며, 이는 하대공원의 조성기간이 오래되어 식생으로부터 유기탄소의 환원이 크게 나타났기 때문으로 사료된다. 국내에서 조사된 공원 지역 0~30cm 깊이의 토양 내 탄소 농도는 서울 0.7%, 대구 0.8%, 대전 0.5%로 보고 되고 있으며(Yoon *et al.*, 2016), 본 연구 조사지인 진주시 4개 공원의 평균 탄소 농도는 0.8%로 대구와 유사하였다.

토양 탄소 농도는 0~10cm 부위가 가장 높고, 10~20cm나 20~30cm는 큰 차이가 없었다. 이는 공원지역의 경우 유기물층이 거의 발달하지 않는 것을 고려할 때 지표면의 피복을 위해 식재된 잔디의 생육과정에서 발생하는 세균 등의 환원이 0~10cm 부위의 토양 탄소 농도에 주로 기여한 것으로 사료된다. 토양의 깊이에 따른 토양 탄소 농도의 감소는 서울 숲 같은 타 도시 공원에서도 관찰된 바 있다(Bae and Ryu, 2015). 진주시 공원의 탄소저장량은 조성기간이 오래된 하대공원이 $28,425 \text{ kg C ha}^{-1}$ 으로 타 공원의 탄소저장량 $22,343 \text{ kg C ha}^{-1}$ ~ $15,622 \text{ kg C ha}^{-1}$ 보다 높게 나타났다. 평균 탄소저장량(0~30cm)은 $21,739 \text{ kg C ha}^{-1}$ 으로, 이는 서울시 공원의 $22,400 \text{ kg C ha}^{-1}$ 이나

대구의 23,400 kg C ha⁻¹과는 큰 차이가 없으나 대전시 공원의 12,800 kg C ha⁻¹(Yoon *et al.*, 2016) 보다는 높은 값을 보였다. 국외에서 조사된 결과로 뉴질랜드 오클랜드 도시공원의 탄소저장량은 0~55cm 깊이가 20,200 kg C ha⁻¹ 로 (Schwendenmann and Mitchell, 2014) 본 연구 결과와 큰 차이는 없었으나, 이탈리아 Milan 지역 도시공원의 7,900 kg C ha⁻¹ 보다는 (Canedoli *et al.*, 2020) 본 조사 결과가 높게 나타났다. 이와 같이 지역 간 탄소 저장량에 차이가 나타난 것은 식생의 차이뿐만 아니라 탄소 저장량에 영향을 미치는 깊이별 토양 탄소 농도, 석력함량, 토양 용적밀도 등의 요인들이 지역 간 차이가 있기 때문으로 사료된다.

진주시 도시공원의 토양성질과 토양 탄소 농도 및 탄소저장량은 미사나 점토함량과 밀접한 양의 상관관계를 보였다. 유사한 결과로 Augustin and Cihacek (2016)는 토양내 미사함량은 토양 탄소 농도($r=0.72$)나 탄소 저장량($r=0.79$)과 강한 상관관계 있었으며, 이는 식물생산력과 관계되는 가용수분함량이 증가하기 때문으로 보고한바 있다. 한편, Matus(2021)는 토양내 미사나 점토 함량의 증가는 토양입단(soil aggregates) 구조 발달과 관계되어 토양 탄소가 토양 미세 입단구조에 흡착되고, 미생물에 의한 분해로부터 보호되어 안정화하기 때문에 토양 내 탄소 저장량 증진에 기여하는 것으로 해석하였다.

V. 결 론

진주시에 위치하며 1970년대 조성된 하대공원으로부터 2000년대 조성된 초전공원을 대상으로 토양 0~30cm 깊이의 토양 성질과 토양 탄소 농도 및 저장량 사이의 관계를 조사한 결과 공원 조성연도와 토양 내 미사 및 점토함량은 토양 탄소 농도 및 토양 탄소저장량과 밀접한 관계를 보였다. 공원 조성이 가장 오래되고 미사함량이 가장 높았던 하대공원의 토양 탄소 농도 및 토양 탄소저장량은 타공원에 비해 가장 높았으며, 모래함량이 높았던 평거 공원은 토양 탄소 농도 및 토양 탄소저장량이 가장 낮게 나타났다. 그러나 도시 공원의 토양 탄소저장량은 식재된 수종, 하층 초종의 유무, 시비 등과 같은 요인에 의해 시·공간적으로 변화가 발생할 수 있기 때문에 도시공원의 토양 탄소량 증진을 위해서는 보다 다양한 요인을 고려한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

적 요

도시 공원이 지역의 토양 탄소저장량을 평가하기 위해 경상남도 진주시 하대공원(1977년 조성), 송림공원(1990년 조성), 평거공원(1992년 조성), 초전공원(2005년 조성) 등을 대상으로 0~30cm 깊이의 토양 성질 및 토양 탄소 저장량을 조사하였다. 토양 용적밀도는 공원 간 차이가 없었으나 석력함량, 토양 pH, 토양 전기전도도 등은 가장 최근에 조성된 초전공원이 가장 높은 값을 보였다. 토양 탄소 농도는 조사한 모든 깊이에서 조성연도가 가장 오래되고 미사함량이 높았던 하대공원이 평거공원에 비해 높은 농도를 보였다. 토양 0~30cm 깊이의 평균 탄소 농도는 하대공원 1.04%, 초전공원 0.87%, 송림공원 0.75%, 평거공원 0.57%이었다. 토양 탄소저장량은 0~10cm 깊이의 경우 공원 간 차이가 없었으나, 10~20cm와 20~30cm 깊이는 하대공원이 타 공원에 비해 높은 저장량을 보였다. 총 탄소저장량은 하대공원이 28,425 kg C ha⁻¹로 송림공원의 20,561 kg C ha⁻¹이나 평거공원 15,622 kg C ha⁻¹에 비해 높았다. 평균 토양 탄소 농도 및 탄소 저장량은 미사함량과 정의 상관을 모래함량과는 부의 상관을 보였다. 본 연구 결과에 따르면 진주시의 공원 지역의 탄소저장량의 증가는 조성연도나 토양 내 미사함량과 관련이 있을 가능성을 시사한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었습니다(과제번호 22UMRG-C158194-03). 저자들은 시료채취와 분석에 도움을 주신 경상국립대학교 산림토양연구실 대학원생들에게 감사한 마음을 전합니다.

REFERENCES

- Augustin, C., and L. J. Cihacek, 2016: Relationships between soil carbon and soil texture in the Northern Great Plains. *Soil Science* **181**(8), 386-392.
- Bae, J., and Y. Ryu, 2015: Land use and land-use changes explain spatial and temporal variations of the soil organic carbon stocks in a constructed urban park. *Landscape and Urban Planning* **136**, 57-67.

- Cambou, A., R. K. Shaw, H. Huot, L. Vidal-Beaudet, G. Hunault, P. Cannavo, F. Nold, and C. Schwartz, 2018: Estimation of soil organic carbon stocks of two cities, New York City and Paris. *Science and the Total Environment* **644**, 452-464.
- Canedoli, C., C. Ferrè, D. A. E. Khair, E. Podoa-Schioppa, and R. Comolli, 2020: Soil organic carbon stock in different urban land uses: high stock evidence in urban parks. *Urban Ecosystem* **23**, 159-171.
- Choi, S. E., B. Ham, C. Song, E. Park, J. Kim, and W. K. Lee, 2020: Pilot study and development of activity data for greenhouse gas inventory of settlement categories in Korea: A case of Incheon Seo-gu. *Journal of Climate Change Research* **11**(3), 187-196.
- Jo, H. K., J. Y. Kim, and H. M. Park, 2019: Carbon reduction and planning strategies for urban parks in Seoul. *Urban Forestry & Urban Greening* **41**, 48-54.
- Kalra, Y. P., and D. G. Maynard, 1991: Methods Manual for Forest Soil and Plant Analysis. Forestry Canada, Northwest Region, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta. Information Report NOR-X-319E, 116pp.
- Kang, S. C., B. H. Han, J. W. Choi, J. H. Jang, and H. S. Kim, 2015: Study on tree growth and soil environment relations of Sudokwon landfill. *Korean Journal of Environment and Ecology* **29**(3), 431-440.
- Kim, G. S., J. H. Pi, J. H. An, C. H. Lim, S. H. Jung, S. J. Jo, and C. S. Lee, 2016: Carbon budget evaluated in two urban parks of Seoul. *Korean Journal of Environment and Ecology* **49**(1), 51-61.
- Kim, M.-S., S.-H. Jeon, T.-G. Lee, Ha-I. Jung, C.-W. Kim, and Y.-K. Kim, 2021: Comparison of wet oxidation and dry combustion methods for organic matter analysis of soils derived from granite, limestone, and volcanic ash. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* **54**(4), 674-683.
- Korea Meteorological Administration, 2017: 2017 Annual Climatological Reports 323pp.
- Lindén, L., A. Riikonen, H. Sttälä, and V. Yli-Pelkonen, 2020: Quantifying carbon stocks in urban parks under cold climate conditions. *Urban Forestry & Urban Greening* **49**, 126633.
- Mao, Q., G. Huang, A. Buyantuev, J. Wu, S. Luo, and K. Ma, 2014: Spatial heterogeneity of urban soils: the case of the Beijing metropolitan region, China. *Ecological Processes* **3**, 23.
- Matus, F., 2021: Fine silt and clay content is the main factor defining maximal C and N accumulations in soils: a meta-analysis. *Scientific Reports* **11**, 6438.
- SAS Institute Inc., 2003: SAS/STAT Statistical Software. Version 9.1 SAS publishing Cary, NC.
- Schwendenmann, L., and N. D. Mitchell, 2014: Carbon accumulation by native trees and soils in an urban park, Auckland. *New Zealand Journal of Ecology* **38**(2), 213-220.
- Ter Braak, C. J. F., and P. Šmilauer. 2018: Canoco Reference Manual and User's Guide: Software for Ordination (Version 5.10). Microcomputer Power, Ithaca, NY, USA, 536pp.
- Yoon, T. K., K. W. Seo, G. S. Park, Y. M. Son, and Y. Son, 2016: Surface soil carbon storage in urban green space in three major South Korean cities. *Forests* **7**, 115.