
2022년 연구사업 보고서

도시수목의 탄소흡수량 조사

2023. 1.



인천보건환경연구원
(기후대기과)

< 요약 >

☐ 추진배경

- 온실가스 증가에 대한 대응책으로서 도시녹지의 중요성 파악
- 이산화탄소 흡수효과를 극대화하기 위한 신규 탄소흡수공원 조성 방안 등 정책 방향 제시

☐ 사업개요

- 조사대상 : 인천대공원 내 인천수목원 대표수종 55종
- 조사기간 : 2022년 1월 ~ 12월
- 조사항목 : 흉고직경, 근원직경, 수고, 수관고, 수관표, 엽록소 형광분석
- 조사방법 : 물리량을 이용한 이산화탄소 저장량 및 흡수량 산정
엽록소 형광분석을 이용한 생태환경 적응도 평가

☐ 조사결과

- 실 적 : 총 439건
- 이산화탄소 저장량 및 흡수량 평가 (219건)
 - 산정방법 : 수목을 침엽교목, 침엽관목, 활엽교목, 활엽관목으로 구분하여
흉고직경 및 근원직경 측정 후 계산식에 대입
 - 범주별 평균값은 활엽교목 > 침엽교목 > 침엽관목 > 활엽관목
 - 수종별 평균값은 중국굴피나무 > 갈참나무 > 상수리나무 > 꽃개오동나무
순으로 모두 활엽교목

수종별(전체)	①	②	③	④
	중국굴피나무	갈참나무	상수리나무	꽃개오동나무
저장량 (kg CO ₂ /주)	1651	1423	1407	1029
흡수량 (kg CO ₂ /주/년)	54.4	51.5	51.2	45.4

- ☞ 이산화탄소 저장량과 흡수량은 수목의 흉고직경 및 근원직경에 비례
의존하기 때문에 직경이 큰 교목이 이산화탄소 저장량과 흡수량 높았고
- ☞ 특히, 재질이 치밀하고 무게가 무거운 활엽교목이 침엽교목보다 단위부피당
더 많은 이산화탄소를 저장할 수 있음

< 요약 >

○ 수목의 생태환경 적응도 평가 (220건)

- 평가방법 : 전·후반기 각 1회, 동·서·남·북 4방위에서 잎을 채취하여 최대양자수율(F_v/F_m)로 평가

※ 최대양자수율 : 외부 스트레스에 대한 저항성 혹은 견디는 능력으로 높을수록 생태환경 적응도가 좋고, 낮을수록 식물이 스트레스 환경에 노출이 되었다고 평가

- 범주별 평균값은,
침엽교목(0.801) > 침엽관목(0.795) > 활엽교목(0.788) > 활엽관목(0.787)
- 수종별 평균값은,
소나무(0.827) > 잣나무(0.821) > 구상나무(0.820) > 측백나무(0.820)
소나무·잣나무·측백나무는 침엽교목, 구상나무는 침엽관목으로 모두 침엽수

□ 결 론

- 이산화탄소 저장량과 흡수량은 활엽교목이 높았고, 침엽교목, 침엽관목, 활엽관목의 순으로 나타났으며, 생태환경 적응도는 침엽교목이 가장 좋았고, 침엽관목, 활엽교목, 활엽관목의 순으로 조사됨
- 이산화탄소 저장량 및 흡수량과 생태환경 적응도가 전반적으로 좋은 수종으로 조사된 중국굴피나무, 산수유, 느티나무, 상수리나무, 단풍나무가 인천의 도시숲에 적합할 것으로 판단됨
- 도시림 조성 사업 및 조림사업 등 녹지공간 조성 시 식재수종 선택에 본 자료를 적절히 활용을 하면 이산화탄소 저장과 흡수 효과를 극대화하고, 스트레스에 대한 저항성을 갖춘 건강한 생태계 조성이 가능할 것으로 기대됨
- 노령림을 탄소순환림으로 교체하는 등의 산림경영정책 등을 펼칠 때 적절한 식목에 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료됨

도시수목의 탄소흡수량 조사

유승혜*, 조신혜, 이제훈, 이영주, 전미희, 박완순, 권문주
인천광역시보건환경연구원 기후대기과

A Study on the Carbon Storage and Uptake by Urban Trees

Seung-Hye Yu*, Shin-Hye Cho, Je-Hoon Lee, Young-ju Lee, Mi-Hee Jeon,
Wan-Soon Kwack, Mun-Ju Kwon

Division of Climate and Air Quality, Incheon Research Institute of Public Health and Environment

Abstract

In the era of climate crisis, there are carbon sink countermeasures to offset the emission source in the step towards carbon net-zero, and trees are attracting attention for their ability to store and uptake carbon dioxide as carbon sinks. In this study, carbon dioxide storage and uptake were investigated for 55 species of trees planted in the Incheon arboretum.

Broadleaf tall trees showed the highest carbon dioxide storage and uptake, and needleleaf tall trees showed the best ecological adaptation. The top 5 tree species for carbon dioxide storage and uptake were Chinese wing nut, Oriental white oak, Sawtooth oak, Indian-bean-tree, Japanese cornel, all of which were broadleaf tall trees. All 5 species with good ecological adaptation were needleleaf trees; Korean red pine, Korean pine, Korean fir, Oriental Arborvitae, Umbrella pine. The species with generally good carbon dioxide storage, uptake and ecological adaptation were Chinese wing nut, Japanese cornel, Zelkova, Sawtooth oak, Palmate maple.

This study investigated on the amount of carbon storage and uptake of various tree species, is expected to be helpful for appropriate afforestation such as the creation of urban forests in the future.

Key words : Carbon net-zero, Carbon dioxide storage, Carbon dioxide uptake, Trees, Carbon sink

I. 서론

지난 한 세기 동안 지구 온난화가 가속화되면서 지구 기온 상승 제한에 대하여 구체적인 대책 마련이 지속적으로 요구되어 왔다. 이에 따라 2021년 9월 24일 『기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법』이 제정되었고, 법제화 하에 실제로 시행할 수 있는 활동에 대한 강구가 수반이 되어야 한다.

온실가스는 기후위기를 초래하는 요인이다. 사람의 활동으로 인하여 변화된 온실가스의 농도는 폭염·최장기간 장마 등 이상 기온과 극단적인 날씨뿐만 아니라 물이나 식량 부족, 해수면 상승, 생태계 붕괴 등 비가역적 위험을 야기할 수 있다. 따라서 온실가스의 배출을 감축시키고 온실가스의 흡수는 확대시켜서 온실가스의 순 배출량이 영(0)이 되는 ‘탄소중립’ 사회를 실현시키고자 대응책 마련이 촉구되고 있다.

이에 본 연구에서는 탄소중립 달성 전략 수립에 활용할 수 있는 탄소흡수원의 확충과 효과적인 방안 제시를 위하여 탄소흡수원으로서 도시수목의 기능에 주목을 하였다. 탄소저장과 흡수의 측면에서 최대 효율을 낼 수 있는 수종을 제안하여 보고, 인천의 생태환경에서 수종의 생태환경 적응도를 조사하여 기후위기 대응을 위한 도시공원 등 녹지확충 정책에 기여할 수 있는 자료를 마련하고자 하였다.

II. 이론적 고찰

2.1. 국제 탄소중립 동향

세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)와 유엔환경계획(United Nations Environmental Program, UNEP)의 주관으로 설립된 기후변화에 관한 정부 간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)가 1990년에 발표한 제1차 기후변화 평가보고서(the First

Assessment Report, FAR)를 필두로 국제사회가 기후변화에 대해 심각성을 인지한 최초의 협약은 1992년 유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)이었다. 그러나 기후변화는 전 지구적 문제로서 국제사회 모두가 참여를 해야 한다는 인식에도 불구하고 첫 번째 협약은 강제성이 없는 느슨한 수준이었기 때문에, 2005년 발효된 교토의정서에서부터는 의무적인 감축 목표를 부여하게 되었다. 산업화된 국가들을 대상으로 하였으며, 대상 온실가스는 이산화탄소·메탄·아산화질소·불화탄소·수소화불화탄소·불화유황이었다.

제1차 이행기간과 제2차 의무감축 기간 동안 전 세계적인 배출량 감소를 위해서는 일부 국가뿐만 아니라 개발도상국까지 감축에 필수적으로 참여해야 함이 증명되었다. 이에 따라 2015년 파리협정부터는 선진국과 개발도상국이 온실가스 배출 감축에 모두 함께 자발적으로 참여하여 전 세계적으로 기후변화에 대처하게 되었으며, 지구 평균 온도 상승을 산업화 이전에 비해 2℃를 넘기지 않고, 더 나아가 1.5℃를 넘기지 않는 것으로 합의를 이루었다.

2018년에는 기후변화에 관한 정부 간 협의체에서 지구 온도 상승 억제 목표를 1.5℃로 권고하며 2050년까지 세계 탄소 순배출량이 0이 되는 탄소 중립(Net-zero)을 달성해야 한다고 제안하였다. 이에 2019년 기후행동 정상회의(Climate Action Summit)와 당사국총회(Conference of the Parties) 등에서 기후위기 대응 행동의 중요성이 강조되어 탄소중립에 대한 국제사회 논의가 확산되었다.

2020년에는 EU, 영국, 미국, 캐나다, 일본 등 주요국에서 당사국이 스스로 발표하는 국가 온실가스 감축목표인 NDC(Nationally Determined Contribution)를 탄소중립까지 균등 감축 수준으로 상향하였으며, 그에 맞춰서 2030년의 감축수준을 설정하였다. 2021년 4월

기후정상회의에서는 미국과 EU, 일본, 캐나다 등이 기존보다 상향된 감축목표를 제시하여 보다 높은 수준의 감축목표와 기후행동을 추진할 것을 선언하였다.

2.2. 국내 탄소중립 동향

우리나라는 제19차 유엔기후변화협약 당사국총회 결정문 조항에 따라 2015년 6월 최초로 온실가스 감축목표를 수립하였다. 당시 목표는 2030년 온실가스 배출 전망치(Business As Usual, BAU) 대비 37 %를 감축하는 것이었다. 이후 2018년 7월, 기후변화 대응에 대한 정책 의지를 반영하여 부문별 감축 계획을 보완하며 2030 NDC 달성을 위한 기본 로드맵 수정이 이루어졌다. 온실가스 감축목표로서 기존 수립되었던 BAU 대비 37 % 감축 중 국내 감축량에 해당하는 25.7 %를 32.5 %로 확대하여 실질적인 감축을 강화한다는 것이었다. 2019년과 2020년에 거쳐서는 온실가스 감축목표의 표기법을 변경하여 2017년 대비 24.4 %(2018년 대비 26.3 %)를 감축시키겠다는 고정불변의 절대치를 명시하여 온실가스 감축 의지를 명확화하였고, UN에 그 목표치를 제출하였다.

마침내 2021년 9월, 우리나라는 탄소중립 목표를 담은 『기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법』을 제정하며 유럽연합, 스웨덴, 영국, 프랑스, 독일, 덴마크, 스페인, 뉴질랜드, 캐나다, 일본 등에 이어 세계에서 14번째로 탄소중립을 법제화 한 국가가 됐다. 그리고 본 법의 입법 취지와 국제 동향, 국내 여건 등을 고려하여 2030년의 온실가스 목표 배출량을 2018년 727.6 백만톤 대비 40 %(291 백만톤)을 감축한 436.6 백만톤으로 상향 설정하였다.

온실가스 배출을 감축하기 위하여 부문별로 감축목표를 수립하였다. (Table 1)에서와 같이 범주는 크게 전환·산업·건물·수송·농축수

산·폐기물·수소의 배출 분야와 흡수원·CCUS (Carbon Capture and Storage)·국외 감축의 흡수 및 제거 분야로 구분이 된다. 흡수 및 제거 분야는 총배출량에서 감하여 순배출량을 산정할 수 있는 양적인 값으로서 2030년 배출량 목표 수립에 반영이 되었다.

Table 1. Greenhouse gas emission reduction targets by sector in Korea(2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안, 2021).

(unit : million-tonCO₂eq)

	sector	reference year emissions ('18)	target emissions ('30)
	Emissions	727.6	436.6
Carbon source	Power generation	269.6	149.9
	Industry	260.5	222.6
	Building	52.1	35.0
	Transportation	98.1	61.0
	Agriculture, livestock farming and fisheries	24.7	18.0
	Waste	17.1	9.1
	Hydrogen	-	7.6
	etc.	5.6	3.9
Uptake and removal	Carbon sinks	-41.3	-26.7
	CCUS	-	-10.3
	Overseas reduction	-	-33.5

* 기준연도('18) 배출량은 총배출량, '30년 배출량은 순배출량 (총배출량 - 흡수·제거량)

2.2.1. 국내 탄소중립 법제화 현황

『기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법』의 제4조에는 국가와 지방자치단체의 책무를 담고 있다. 국가와 지방자치단체는 각종 계획의 수립과 사업의 집행 과정에서 기후 위기에 미치는 영향과 경제와 환경의 조화로운 발전 등을 종합적으로 고려하여야 하며, 탄소중립 사회로의 이행과 녹색성장의 추진을 위한 대책을 수립·시행할 때 해당 지방자치단체의 지역적 특성과 여건 등을 고려하여야 한다.

시·도에서 탄소중립 녹색성장 기본계획을

수립할 시에는 국가기본계획과 관할 구역의 지역적 특성을 고려하여 10년을 계획기간으로 하는 시·도 탄소중립 녹색성장 기본계획을 5년마다 수립·시행하여야 한다. 이에 인천광역시에서도 『기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본 조례』를 제정하여 시행령에서 위임된 사항을 규정하고 2050년까지 탄소중립을 목표로 하여 환경과 경제의 조화로운 발전을 도모하는 비전을 설정할 계획이다. 마찬가지로 2022년 서울특별시, 부산광역시, 대구광역시, 광주광역시, 강원도, 대전광역시, 충청남·북도, 울산광역시, 경기도, 전라남·북도, 경상남·북도, 제주특별자치도 등 지자체 별로 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본조례안을 제정하였다.

2.2.2. 인천시 탄소중립 현황

인천광역시는 2022년 11월 9일 『기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본 조례』를 제정하였다. 경제와 환경의 조화로운 발전을 도모하는 것을 목적으로 하는 구 조례인 저탄소 녹색성장 기본조례에서 한 단계 더 나아가 기후위기 적응대책을 강화하고 탄소중립 사회로의 이행을 촉구하며 현재 세대와 미래 세대의 삶의 질 향상 및 지역사회의 지속 가능한 발전에 기여하는 것에 이 조례의 목적이 있다. 국가, 인천광역시, 기초지자체의 기후변화적응대책 세부시행계획 수립의 연동성을 위하여 인천광역시에서는 2014~2018년의 「제1차 기후변화 적응대책 세부시행계획」의 수립을 실시하였고, 현재는 2021년에 수립한 2022~2026년의 「제3차 기후변화 적응대책 세부시행계획」을 기반으로 각 부문별 이행계획에 따른 기후변화대책을 수립 및 이행하고자 한다.

『기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법』의 제8조 1항에 명시되어있는 2030년까지 2018년의 국가 온실가스 배출량 대비 35% 이상의 범위(40%)에서 국가 온실가스 배

출량을 감축한다는 목표와 지역적 특성 및 여건 등을 고려하여 인천시의 온실가스 감축목표 시나리오를 마련하였다(인천연구원, 2021).

2022년 12월, 인천광역시는 저탄소도시 국제포럼에서 국가온실가스 감축목표보다 5년 앞서서 2045년 탄소중립을 실현하겠다는 ‘2045 탄소중립 비전’을 선언하였다. 선언문에는 저탄소 경제 생태계 조성·맞춤형 시민 기후행동 확대·글로벌 기후 협력체계 활성화·안전한 기후위기 적응강화를 골자로 하는 4대 정책방향과 15대 과제를 담고 있다.

2.3. 탄소흡수원

『기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법』의 제33조에는 탄소흡수원 등의 확충에 대하여 법제화가 되어 있는데, 온실가스의 흡수원을 조성하고 확충하기 위한 목표와 기본방향에 대하여 시책을 수립하고 시행하여야 함을 명시하고 있다.

우리나라는 흡수원 관련 지표를 Table 1에 서처럼 예측 및 목표 설정을 하였으며, 인천광역시도 ‘2045 탄소중립 실현’에서 나무 심기 등의 탄소흡수원 확충을 15대 과제 중 하나로 채택하여 흡수원에 대한 내용을 중요하게 다루고 있다. 탄소흡수원에는 산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지 및 바다숲 등이 있는데, 산림은 탄소흡수원으로서 주목을 받아온 바 『탄소흡수원 유지 및 증진에 관한 법률』로서 제도화 및 관리가 되고 있다.

이런 현 추세와 연관 지어 인천시에서는 2025년까지 3,000만 그루 나무 심기 사업을 추진하여 공원 및 녹지조성·대지 안의 조경·식목일 행사·도시녹화운동 캠페인 등을 추진 중에 있다. 또한 기후변화 대응 종합계획에 녹지조성 및 생활환경 개선 등의 추진과제로써 녹지공간을 확충한다는 계획이 있다(인천연구원, 2021).

이처럼 탄소흡수원의 역할과 탄소흡수원의

개발·확대와 탄소흡수원의 기능 증진을 통한 탄소흡수 효과의 증대 등 탄소흡수원의 중요성이 갈수록 중요해지고 있다.

이에, 본 연구에서는 탄소흡수원으로서 수목의 기능에 주목을 하여 수목의 이산화탄소 저장량과 흡수량을 여러 수종에 대하여 조사해 보고자 하였다. 또한 수종 별 생태환경 적응도를 조사하여 향후 도시녹지 조성 및 효과적인 생태계 구성 방안으로서 도움이 될 수 있는 자료를 마련하고자 하였다.

Ⅲ. 조사대상 및 방법

3.1. 조사대상 및 기간

본 조사에서는 인천대공원 내 인천수목원에 식재되어 있는 수목을 대상으로 하였다. 침엽교목·침엽관목·활엽교목·활엽관목의 네 범주로 수목을 구분하여 55종을 선별하였으며, 수목 선정 목록을 (Table 2)에 나열하였다. 2022년 1월부터 4월에는 각 수목별로 네 주씩 표준목을 선정하여 조사지점도를 작성하였다. 본 조사는 이산화탄소 저장량과 흡수량 산정을 위한 흉고직경·근원직경 등의 일반항목 측정과 생태환경 적응도 평가를 위한 엽록소 형광측정으로 구분되며, 환경 조건을 고려하여 수목의 잎이 완전하게 피어있는 5월에서 10월에 수행하였다.

3.2. 조사 방법

3.2.1. 흉고직경 및 근원직경 등 일반항목 측정

흉고직경과 근원직경은 버니어캘리퍼스 흉고자와 파이자(SR-01)를 사용하였으며, 수관폭은 일반 줄자, 수고·수관고·지하고 등은 수고측정기(Haglof Vertex 5, SE)를 이용하여 (Fig. 1)에서처럼 측정하였다. (Fig. 3)은 수목의 일반항목 측정 시 각 측정위치에 대한 설명이다.

3.2.2. 엽록소 형광측정

수목의 잎을 동서남북 네 방위에서 전지가위를 이용하여 채취하였다. (Fig. 2)와 같이 고정클립으로 잎을 고정한 뒤 플레이트를 닫아 암적응을 15분 이상 수행하였다. 엽록소 형광측정 장비(Hansatech, UK)에 고정클립을 결합하고 플레이트를 열어 엽록형광최소값(F_0)과 엽록형광최대값(F_m) 및 최대양자수율(F_v/F_0)을 측정하였다. 한 수종당 두 그루의 나무를 지정하여 5~7월에 거쳐서 한차례, 8~10월에 한차례 반복 조사하였다.



Fig. 1. measurement of tree height using hypsometer



Fig. 2. measurement of chlorophyll fluorescence

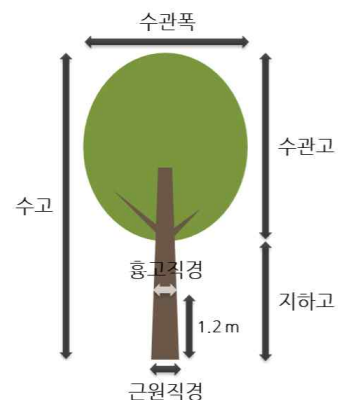


Fig. 3. Each measurement position of tree

IV. 결과 및 고찰

4.1. 인천수목원 조사수목 일반현황

인천수목원 조성은 2004년 착공하여 2007년 준공되었으며, 2008년에 개원을 하였다. 수목 전시원은 255,859 m²의 규모이며, 조사수종은 3개지구 43개 전시원에 2005~2007년에 거쳐 식재되었다. 인천대공원 지도와 조사수종 지점도를 (Fig. 4, 5)에 나타내었다.

본 조사는 조사대상 수목의 잎이 모두 피어 있는 5월부터 10월 사이에 수행하였다. (Table 3)에 나열되어 있듯이 조사수종은 총 55종이며, 수목의 식물학상 분류에 따라 크게 침엽수/활엽수로 구분하고, 수고에 따라 교목/관목으로 구분하여 침엽교목·침엽관목·활엽교목·활엽관목의 총 네가지로 조사수종의 범주를 나누었다. 침엽교목은 소나무 등 15종, 침엽관목은 반송 등 11종, 활엽교목은 산벚나무 등 15종, 활엽관목은 남천 등 14종을 포함한다. 각 수종별로 네 주를 선정하여 조사를 수행하였다.



Fig. 4. View of Incheon arboretum investigation site map

4.1.1. 조사기간 기상사항

5월부터 10월 조사는 강우가 없고 일사량이 확보된 날, 9시부터 15시 사이에 조사를 수행하였다. 조사기간의 평균기상상태는 (Table 2)과 같다.

Table 2. Average weather conditions by month during the investigation period

월	기온 (°C)	풍속 (m/s)	운량 (0-10)	상대 습도(%)	기압 (hPa)	시정 (km)	일사 (MJ/m ²)
5	20.1	3.7	3.6	57.3	1009.8	16.1	2.59
6	22.5	2.8	7.5	63.0	1009.6	12.7	1.88
7	26.7	2.5	4.8	74.7	999.4	17.1	2.26
8	25.7	2.7	6.8	74.7	1006.2	17.6	1.67
9	21.7	2.4	2.9	56.7	1015.8	14.3	2.09
10	17.6	2.3	5.6	66.4	1019.4	20.0	1.63

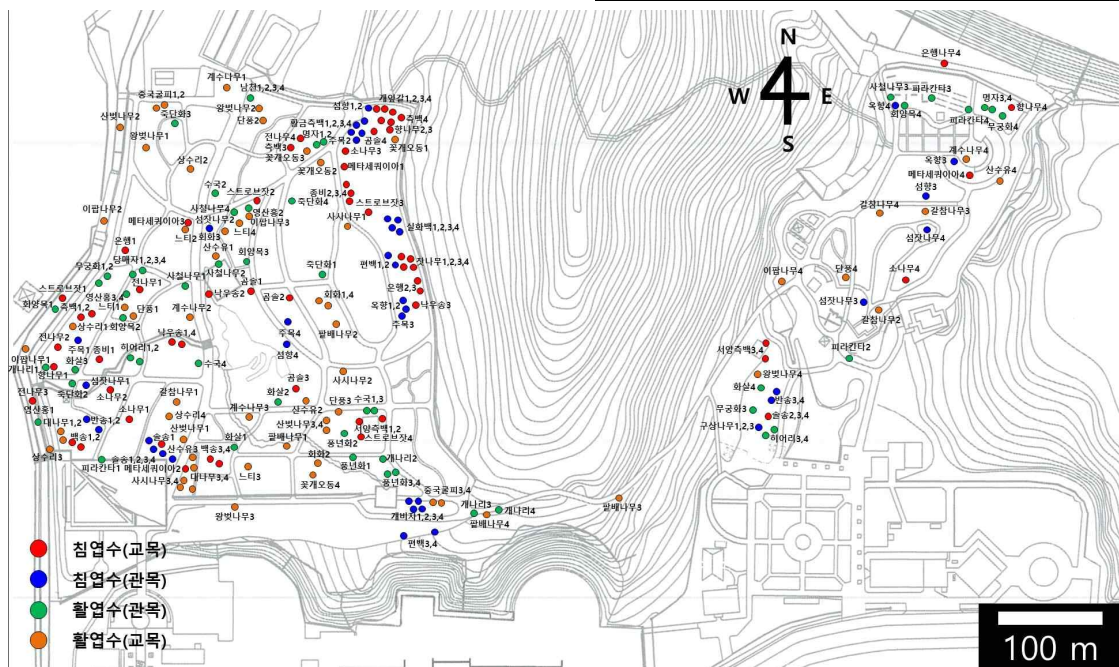


Fig. 5. Display of Incheon arboretum investigation site map and target trees

Table 3. List of investigation target trees

Classification of tree species	Tall tree			Shrub		
	English name	Scientific name	Korean name	English name	Scientific name	Korean name
Needleleaf	Korean red pine	<i>Pinus densiflora</i>	소나무	Umbrella pine	<i>Pinus densiflora</i> for. <i>multicaulis</i>	반송
	Black pine	<i>Pinus thunbergii</i>	곰솔	Hemlock spruce	<i>Tsuga sieboldii</i>	솔송나무
	Korean pine	<i>Pinus koraiensis</i>	잣나무	Rigid-branch yew	<i>Taxus cuspidata</i>	주목
	White pine	<i>Pinus strobus</i>	스트로브잣나무	Ulleungdo white pine	<i>Pinus parviflora</i>	섬잣나무
	Arborvitae	<i>Thuja occidentalis</i>	서양측백	Chinese globular juniper	<i>Juniperus chinensis</i> 'Globosa'	옥향
	Oriental Arborvitae	<i>Platycladus orientalis</i>	측백나무	Procumbens Chinese juniper	<i>Juniperus chinensis</i> var. <i>procumbens</i>	섬향나무
	metasequoia	<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	메타세쿼이아	Oriental Arborvitae	<i>Platycladus orientalis</i> 'Aurea Nana'	황금측백
	Taxodium distichum	<i>Taxodium distichum</i>	낙우송	Japanese false cypress	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	편백
	Himalayan cedar	<i>Cedrus deodara</i>	개잎갈나무	Korean fir	<i>Abies koreana</i>	구상나무
	Pinus bungeana	<i>Pinus bungeana</i>	백송	Oriental arborvitae	<i>Chamaecyparis pisifera</i> 'Flfera'	실화백
	Korean spruce	<i>Picea koraiensis</i>	종비나무	Plum yew	<i>Cephalotaxus harringtonia</i>	개비자나무
	Hemlock spruce	<i>Tsuga sieboldii</i>	솔송나무			
	Chinese juniper	<i>Juniperus chinensis</i>	향나무			
	Needle fir	<i>Abies holophylla</i>	전나무			
	Maidenhair tree	<i>Ginkgo biloba</i>	은행나무			
Broadleaf	Sargent's cherry	<i>Prunus sargentii</i>	산벚나무	Nandina	<i>Nandina domestica</i>	남천
	Korean flowering cherry	<i>Prunus × yedoensis</i>	왕벚나무	Korean boxwood	<i>Buxus sinica</i> var. <i>insularis</i>	회양목
	Sawleaf zelkova	<i>Zelkova serrata</i>	느티나무	Evergreen spindletree	<i>Euonymus japonica</i>	사철나무
	Chinese scholar tree	<i>Styphnolobium japonicum</i>	회화나무	Chinese barberry	<i>Berberis chinensis</i>	당매자나무
	Retusa fringetree	<i>Chionanthus retusus</i>	이팝나무	Chinese sweetleaf	<i>Hydrangea macrophylla</i>	수국
	Chinese wing nut	<i>Platycarya stenoptera</i>	중국굴피나무	Japanese witch hazel	<i>Hamamelis japonica</i>	풍년화
	Indian-bean-tree	<i>Catalpa bignonioides</i>	꽃개오동나무	Korean winter hazel	<i>Corylopsis coreana</i>	히어리
	Oriental white oak	<i>Quercus aliena</i>	갈참나무	Chinese-quince	<i>Chaenomeles speciosa</i>	명자꽃
	Sawtooth oak	<i>Quercus acutissima</i>	상수리나무	Japanese kerria	<i>Kerria japonica</i> f. <i>pleniflora</i>	죽단화
	Palmate maple	<i>Acer palmatum</i>	단풍나무	Mugunghwa	<i>Hibiscus syriacus</i>	무궁화
	Korean mountain ash	<i>Sorbus alnifolia</i>	팔배나무	Korean goldenbell tree	<i>Forsythia koreana</i>	개나리
	Japanese cornel	<i>Cornus officinalis</i>	산수유	Satsuki azalea	<i>Rhododendron indicum</i>	영산홍
	Katsura tree	<i>Cercidiphyllum japonicum</i>	계수나무	Burning bush spindletree	<i>Euonymus alatus</i>	화살나무
	Korean aspen	<i>Populus tremula</i> var. <i>davidiana</i>	사시나무	Pyracantha	<i>Pyracantha angustifolia</i>	피라칸타
	Arrow bamboo	<i>Pseudosasa japonica</i>	대나무			

Table 4. CO₂ capacity and uptake formula(이관규, 2003)

	CO ₂ capacity (kgCO ₂ /tree)	CO ₂ uptake (kgCO ₂ /tree/year)
Needleleaf, tall tree	$Y=0.3510DBH_{aver.}^{2.1436}$	$Y=-2.7714+0.9714DBH_{aver.}-0.0225DBH_{aver.}^2$
Needleleaf, shrub	$Y=0.1608DAG_{aver.}^{2.1892}$	$Y=0.0568DAG_{aver.}^{1.3350}$
Broadleaf, tall tree	$Y=0.2572DBH_{aver.}^{2.4595}$	$Y=-4.2136+1.9006DBH_{aver.}-0.0068DBH_{aver.}^2$
Broadleaf, shrub	$Y=0.1800DAG_{aver.}^{1.9494}$	$Y=0.0333DAG_{aver.}^{1.5823}$

* DBH_{ever.}: 평균흉고직경, DAG_{ever.}: 평균근원직경

4.2. 이산화탄소 저장량 및 흡수량

본 연구에서는 녹지를 구성하는 식물의 수목직경 측정자료로 간단히 식생의 이산화탄소 저장량 및 흡수량을 산정하는 방법을 도입하여 국내의 실정에 맞게 응용 및 종합한 이관규의 산식을 사용하였다(이관규, 2003). (Table 4)와 같이 침엽교목·침엽관목·활엽교목·활엽관목 별로 산식이 구분이 되어 있으며, 산식에서 교목의 변수인 평균흉고직경(DBH_{aver.}: Diameter at Breast Height)은 수목직경이 5~40 cm, 관목의 변수인 평균근원직경(DAG_{aver.}: Diameter at Above Ground)은 1~4 cm 범위에서 적용한다. 그러나 본 조사에서 침엽관목 대상 수종 11종 모두와 활엽관목 대상 수종 14종 중 6종의 평균근원직경은 4 cm를 초과하였으며, 활엽관목 대상 수종 14종 중 2종의 평균근원직경은 1 cm 미만이었다. 관목 중 다수는 지면에서부터 가지가 나뉘어서 성장하는 다간형(多幹形)으로서, 4 cm를 초과하는 경우가 대부분이었다. 본 조사에서 사용하는 관목의 이산화탄소 저장량과 흡수량 산정식은 관목의 근원직경이 1~4 cm만 해당한다고 한정되어 있으나, 첫째; 실제 측정 조건에서 근원직경이 1~4 cm의 범위를 벗어나 있는 수가 더 많고, 둘째; 산식을 외삽하여도 길이가 증가함에 따라 결과값이 정의 관계로 증가하기 때문에, 1~4 cm 외 근원직경도 식에 확대 적용하여 값을 산출하였다.

4.2.1. 흉고직경 및 근원직경

(Fig. 6~9)은 수종당 네주에 대하여 교목의 평균흉고직경 및 관목의 평균근원직경, 표준편차를 보여준다. 침엽교목의 평균흉고직경은 최소 12.0 cm(잣나무)에서 최대 35.6 cm(백송)의 범위이며, 침엽관목의 평균근원직경은 6.8(섬향나무)~31.4(반송) cm로 조사되었다. 활엽교목의 평균흉고직경은 최소 2.5 cm(대나무)에서 최대 35.3 cm(중국굴피나무), 활엽관목의 근원직경은 0.8(명자꽃)~18.1(풍년화) cm의 범위로 조사되었다.

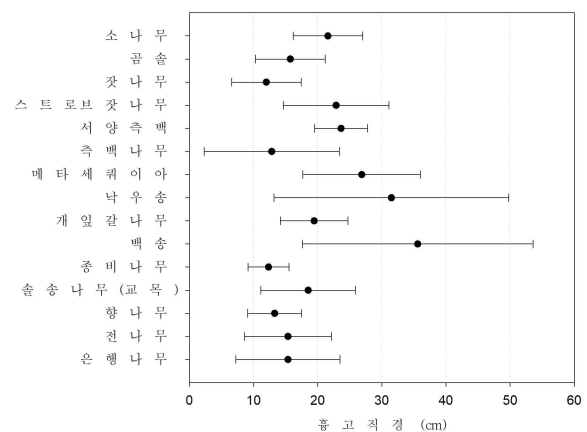


Fig. 8. Average diameter at breast height (DBH) of needleleaf tall trees

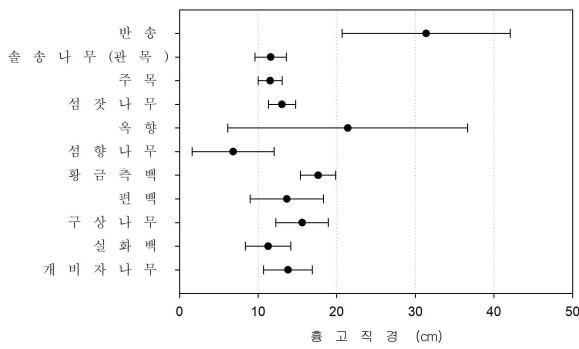


Fig. 9. Average diameter at aboveground (DAG) of needleleaf shrubs

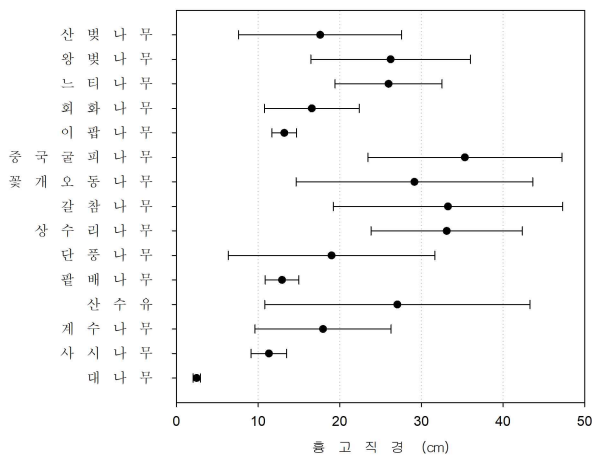


Fig. 10. Average diameter at breast height (DBH) of broadleaf tall trees

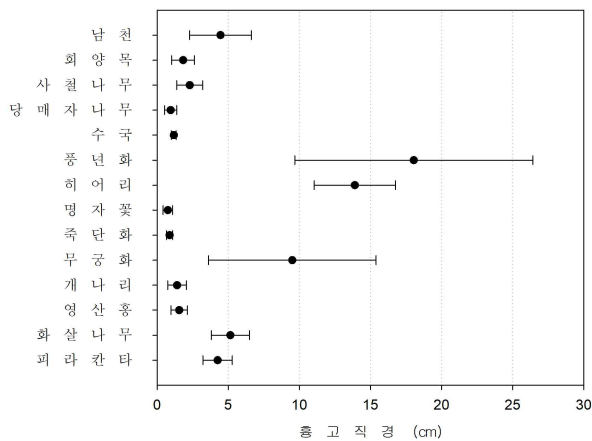


Fig. 11. Average diameter at aboveground (DAG) of broadleaf shrubs

4.2.2. 이산화탄소 저장량

조사수종의 평균흉고직경 및 평균근원직경에 따른 이산화탄소 저장량 산정값을 (Fig. 10~14)에 나타내었다. 침엽교목·침엽관목·활엽교목·활엽관목 모두 평균직경이 증가함에 따라 이산화탄소 저장량 또한 증가하는 관계를 보였다. 침엽교목은 72(갯나무)~743(백송) $\text{kgCO}_2/\text{주}$ (이하 단위 생략)의 이산화탄소 저장량 범위를 나타냈으며, 침엽관목은 11(섬향나무)~304(반송)로 나타났다. 활엽교목의 이산화탄소 저장량 범위는 최소 대나무 2에서 최대 중국굴피나무 1651로 나타나 침엽교목·침엽관목·활엽관목보다 큰 이산화탄소 저장량을 보였다. 활엽관목은 0.1(명자꽃)~51(풍년화)의 이산화탄소 저장량 범위를 나타내었다.

(Table 5)에 수종별 상세한 이산화탄소 저장량을 나타내었다. 각 범주별 평균 이산화탄소 저장량은 침엽교목(243.8), 침엽관목(76.6), 활엽교목(636.7), 활엽관목(7.8)으로 나타났다. 평균 이산화탄소 저장량 중간값은 침엽교목(183.2), 침엽관목(49.1), 활엽교목(359.2), 활엽관목(0.7)이었다.

조사수종 중 이산화탄소 저장량이 큰 상위 수종은 중국굴피나무(1651), 갈참나무(1423), 상수리나무(1407), 꽃개오동나무(1029), 산수유(856), 왕벚나무(794), 느티나무(775) 등으로 다수가 활엽교목의 범주에 속한다. 그 다음으로 침엽교목의 백송(743), 낙우송(572), 메타세쿼이아(407)가 이산화탄소 저장량이 큰 것으로 나타났다. 이산화탄소 저장량이 작은 수종은 섬향나무(11), 실화백(32), 솔송나무·주목(34), 섬갯나무(44) 등의 침엽관목과 명자꽃(0.8), 죽단화(0.9), 당매자(1.0), 수국(1.2), 개나리(1.4), 영산홍(1.6), 회양목(1.8) 등 활엽관목으로 조사되어, 관목의 수종들이 이산화탄소 저장량이 작은 것으로 나타났다.

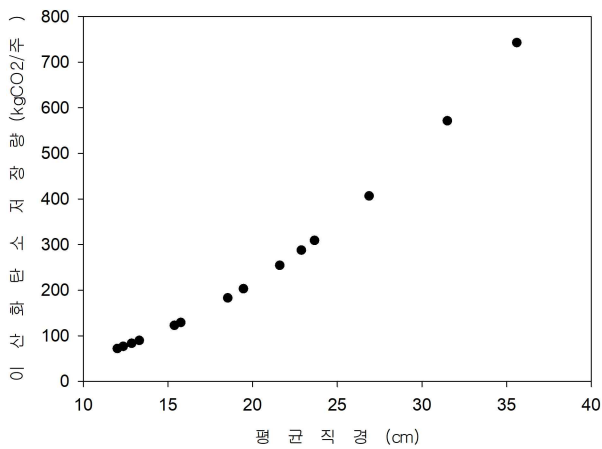


Fig. 12. CO₂ storage capacity accrding to the average diameter of needleleaf tall trees

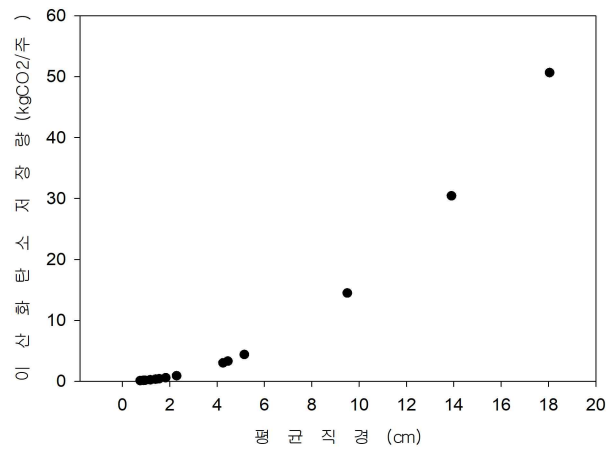


Fig. 15. CO₂ storage capacity accrding to the average diameter of broadleaf shrubs

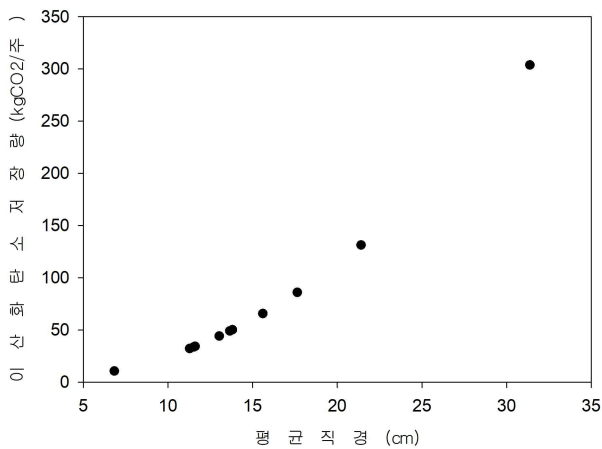


Fig. 13. CO₂ storage capacity accrding to the average diameter of needleleaf shrubs

(unit : kgCO₂/주)

침엽 교목	잣나무 (72)	백송 (743)
침엽 관목	섬향나무 (11)	반송 (304)
활엽 교목	대나무 (2)	중국굴피나무 (1651)
활엽 관목	명자꽃 (0.1)	풍년화 (51)

Fig. 16. CO₂ capacity range of needleleaf tall trees·needleleaf shrubs·broadleaf tall trees·broadleaf shrubs

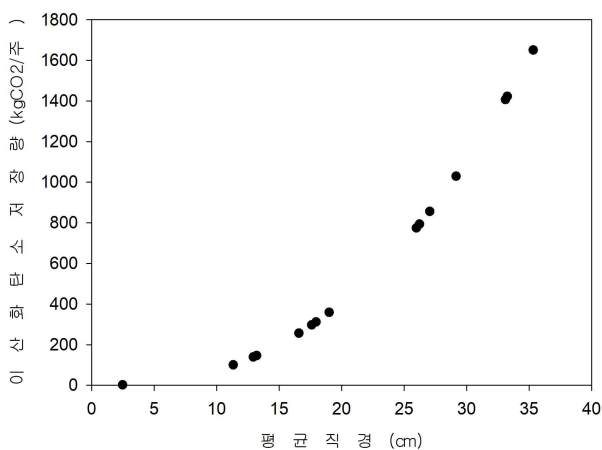


Fig. 14. CO₂ storage capacity accrding to the average diameter of broadleaf tall trees

Table 5. CO₂ storage capacity of all investigation target trees

no.	needleleaf tall trees	needleleaf shrubs	broadleaf tall trees	broadleaf shrubs
1			중국굴피나무(1651)	
2			갈참나무(1423)	
3			상수리나무(1407)	
4			꽃개오동나무(1029)	
5			산수유(856)	
6			왕벚나무(794)	
7			느티나무(775)	
8	백송(743)			
9	낙우송(572)			
10	메타세콰이아(407)			
11			단풍나무(359)	
12			계수나무(312)	
13	서양측백(309)			
14		반송(304)		
15			산벚나무(298)	
16	스트로브잣나무(288)			
17			회화나무(257)	
18	소나무(255)			
19	개잎갈나무(203)			
20	솔송나무(교목)(183)			
21			이팝나무(147)	
22			팔배나무(139)	
23		옥향(131)		
24	곰솔(129)			
25	전나무·은행나무(123)			
26			사시나무(101)	
27	향나무(90)			
28		황금측백(86)		
29	측백나무(84)			
30	종비나무(77)			
31	잣나무(72)			
32		구상나무(66)		
33				풍년화(51)
34		개비자나무(50)		
35		편백(49)		
36		섬잣나무(44)		
37		솔송나무(관목)·주목(34)		
38		실화백(32)		
39				히어리(30)
40				무궁화(14)
41		섬향나무(11)		
42				화살나무(4)
43				남천·피라칸타(3)
44			대나무(2)	사철나무(2)
45				회양목·영산홍·개나리·수국·당매자·죽단화·명자꽃(<1)

4.2.3. 이산화탄소 흡수량

(Fig. 16~18)에서와 같이 침엽관목, 활엽교목 및 활엽관목은 평균흉고직경 및 평균근원직경이 증가함에 따라 이산화탄소 흡수량도 증가하는 양상을 나타내지만, (Fig. 15)와 같이 침엽교목의 경우 직경이 증가한다고 해서 정의관계로 이산화탄소 흡수량이 증가하지는 않는다. 따라서 평균흉고직경이 가장 컸던 백송은 침엽교목 중 가장 큰 이산화탄소 저장량을 보였지만 반면 가장 낮은 이산화탄소 흡수량을 갖는 것으로 나타났으며, 소나무가 7.7 kgCO₂/주/년(이하 단위 생략)으로써 가장 큰 이산화탄소 흡수량을 보였다. 활엽교목은 시간 경과에 따라 매년 흡수량이 증가하는 반면에, 침엽교목은 흉고직경이 약 20 cm가 되는 시점부터는 이산화탄소 흡수량이 매년 낮아지고, 약 40 cm부터는 이산화탄소 흡수량이 거의 없어지기 때문이다(김현재, 2016).

침엽교목은 3.3(백송)~7.7(소나무)의 이산화탄소 흡수량 범위를 나타냈으며, 침엽관목은 0.7(섬향나무)~5.7(반송)로 나타났다. 활엽교목의 이산화탄소 흡수량 범위는 최소 대나무 0.4에서 최대 중국굴피나무 54.4였으며, 활엽관목은 0.02(명자꽃)~3.2(풍년화)의 이산화탄소 흡수량 범위를 나타내었다.

(Table 6)에 수종별 상세한 이산화탄소 흡수량을 나타내었다. 각 범주별 평균 이산화탄소 흡수량은 침엽교목(6.5), 침엽관목(2.2), 활엽교목(32.8), 활엽관목(0.6)으로 나타났다. 평균 이산화탄소 흡수량 중간값은 침엽교목(6.8), 침엽관목(1.9), 활엽교목(29.4), 활엽관목(0.1)으로 조사되어 활엽교목이 침엽교목·침엽관목·활엽관목보다 큰 이산화탄소 흡수량을 보였다.

조사수종 중 이산화탄소 흡수량이 큰 상위 수종은 중국굴피나무(54.4), 갈참나무(51.5), 상수리나무(51.2), 꽃개오동나무(45.4), 산수유(42.2), 왕벚나무(41.0), 느티나무(40.6) 등 14종이 활엽교목의 범주에 속한다. 그 다음으로 침엽교목의 소나무·스트로브잣나무(7.7), 서양

측백·개잎갈나무(7.6), 솔송나무(7.5), 메타세쿼이아(7.1) 등이 이산화탄소 흡수량이 큰 것으로 나타났다. 이산화탄소 흡수량이 작은 수종은 섬향나무(0.7), 실화백(1.4), 솔송나무·주목(1.5) 섬잣나무(1.7)등의 침엽관목과 명자꽃(0.02), 죽단화(0.03), 당매자나무(0.03), 수국(0.04), 개나리(0.06), 영산홍(0.07), 회양목(0.09) 등 활엽관목으로 조사됨으로써, 관목의 수종들이 이산화탄소 흡수량이 작은 것으로 나타났다.

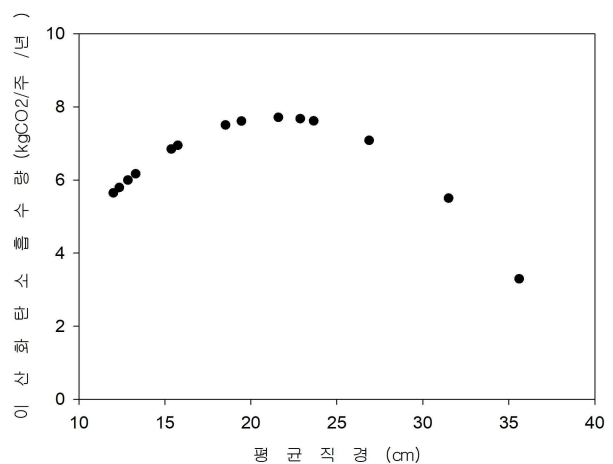


Fig. 17. CO₂ uptake according to the average diameter of needleleaf tall trees

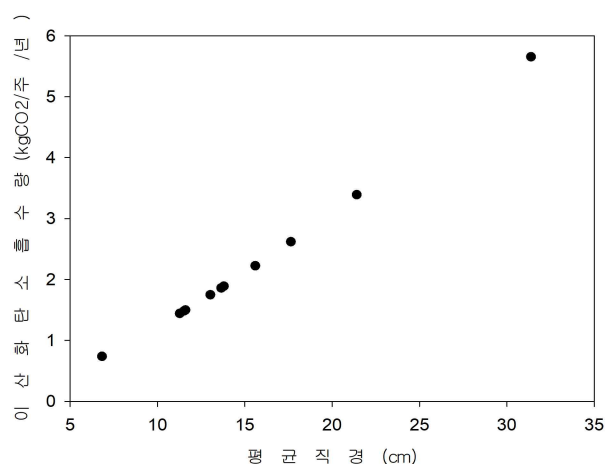


Fig. 18. CO₂ uptake according to the average diameter of needleleaf shrubs

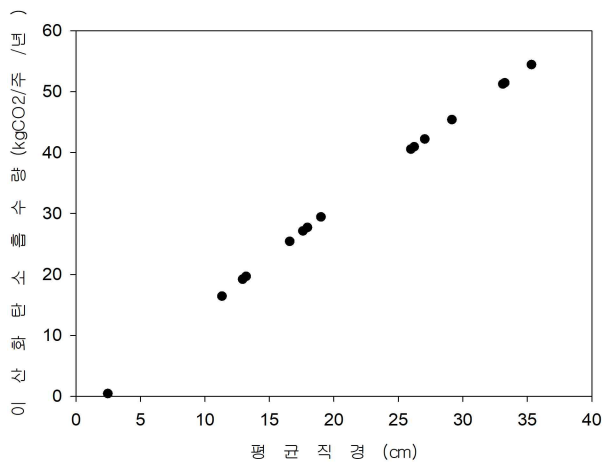


Fig. 19. CO₂ uptake accrding to the average diameter of broadleaf tall trees

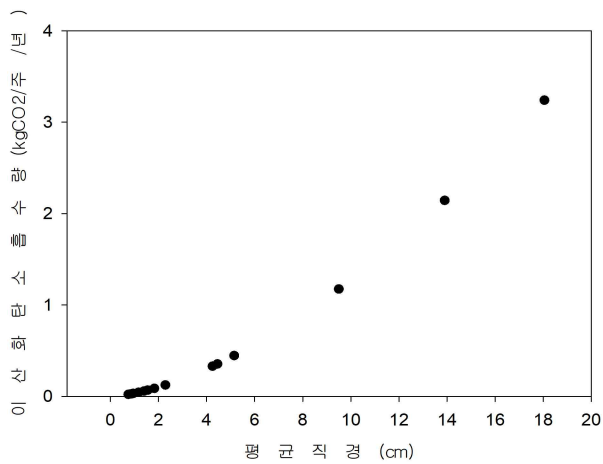


Fig. 20. CO₂ uptake accrding to the average diameter of broadleaf shrubs

(unit: kgCO₂/주/년)

침엽 교목	백송 (3.3)	소나무 (7.7)
침엽 관목	섬향나무 (0.7)	반송 (5.7)
활엽 교목	대나무 (0.4)	중국굴피나무 (54.4)
활엽 관목	명자꽃 (0.02)	풍년화 (3.2)

Fig. 21. CO₂ uptake range of needleleaf tall trees·needleleaf shrubs·broadleaf tall trees·broadleaf shrubs

Table 6. CO₂ uptake of all investigation target trees

no.	needleleaf tall trees	needleleaf shrubs	broadleaf tall trees	broadleaf shrubs
1			중국굴피나무(54.4)	
2			갈참나무(51.5)	
3			상수리나무(51.2)	
4			꽃개오동나무(45.4)	
5			산수유(42.2)	
6			왕벚나무(41.0)	
7			느티나무(40.6)	
8			단풍나무(29.4)	
9			계수나무(27.7)	
10			산벚나무(27.1)	
11			회화나무(25.4)	
12			이팝나무(19.7)	
13			팔배나무(19.2)	
14			사시나무(16.4)	
15	소나무·스트로브잣나무(7.7)			
16	서양측백·개잎갈나무(7.6)			
17	솔송나무(교목)(7.5)			
18	메타세콰이아(7.1)			
19	곰솔(7.0)			
20	전나무·은행나무(6.9)			
21	향나무(6.2)			
22	측백나무(6.0)			
23	종비나무(5.8)			
24	잣나무(5.7)	반송(5.7)		
25	낙우송(5.5)			
26		옥향(3.4)		
27	백송(3.3)			
28				풍년화(3.2)
29		황금측백(2.6)		
30		구상나무(2.2)		
31				히어리(2.1)
32		개비자나무·편백(1.9)		
33		섬잣나무(1.7)		
34		솔송나무(관목)·주목(1.5)		
35		실화백(1.4)		
36				무궁화(1.2)
37		섬향나무(0.7)		
38				화살나무(0.5)
39			대나무(0.4)	남천(0.4)
40				피라칸타(0.3)
41				사철나무(0.1)
42				회양목·영산홍·개나리·수국·당매자·죽단화·명자꽃(<0.1)

4.2.4. 수고, 수관고, 지하고

조사수종의 평균 수고, 평균수관고와 평균 지하고를 (Fig. 20~23)에 표현하였다. 크게 범주별로 구분해 보면, 침엽교목의 평균수고는 8.1 m, 평균수관고는 6.0 m, 평균지하고는 2.1 m이었다. 침엽관목의 평균수고, 평균수관고, 평균지하고는 각각 3.7 m, 2.5 m, 1.1 m이었으며, 활엽교목은 각각 9.5 m, 6.7 m, 2.7 m로

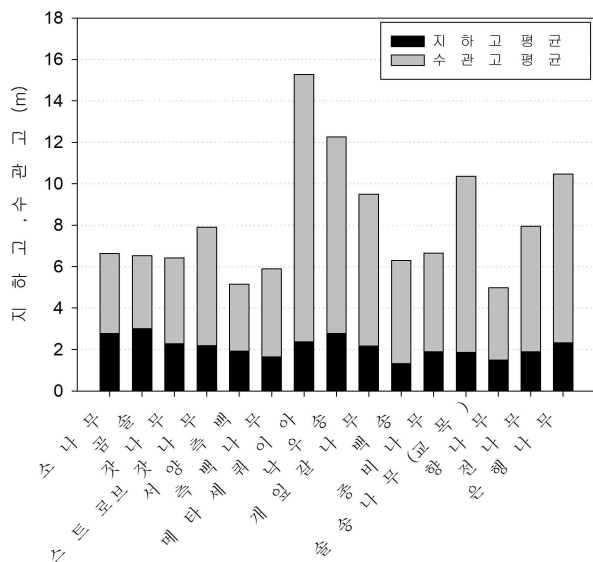


Fig. 22. Height, crown height, clear-bole length of needleleaf tall trees

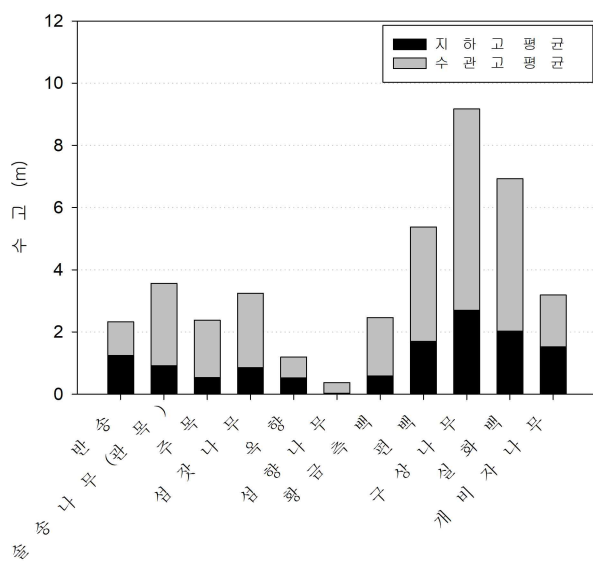


Fig. 23. Height, crown height, clear-bole length of needleleaf shrubs

조사되었다. 활엽관목은 각각 1.9 m, 1.3 m, 0.6 m로 조사되어 수고나 수관고, 지하고 모두 가장 작은 수치를 나타내었다. 수고에 대한 수관고의 비율은 침엽교목 73.9 %, 침엽관목 68.1 %, 활엽교목 71.3 %, 활엽관목 68.5 %로 교목이 관목에 비하여 수고에 대한 수관고의 비율이 더 큰 것으로 나타났다.

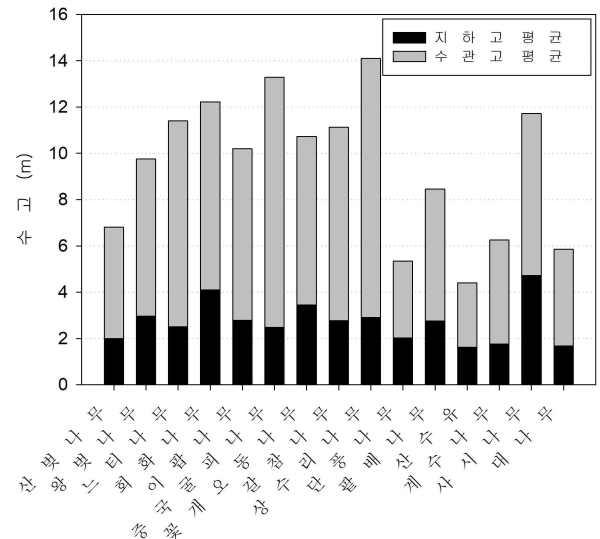


Fig. 24. Height, crown height, clear-bole length of broadleaf tall trees

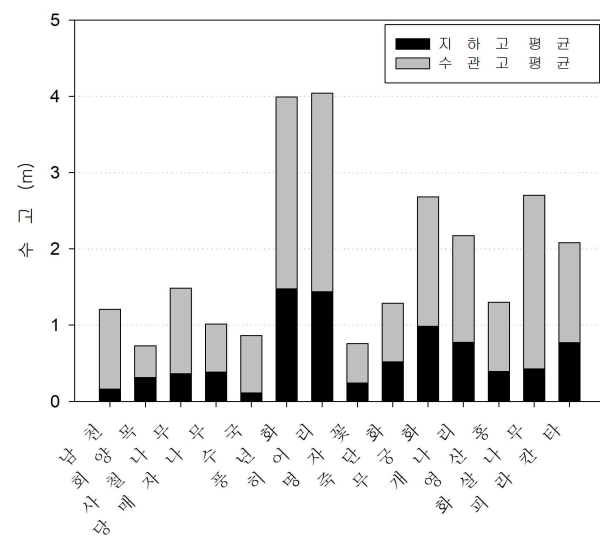


Fig. 25. Height, crown height, clear-bole length of broadleaf shrubs

4.2.5. 수종별 일반측정인자 상관관계 분석

본 연구에서는 한 분석인자와 다른 분석인자 간 상관관계 정도를 나타내는 수치인 피어슨(Pearson) 상관계수를 통하여 상관관계분석을 수행하였다. 1에 가까울수록 강한 양의 상관관계가 있으며, 상관계수의 절대값이 0으로 가까워질수록 상관관계가 약한 것으로 결과를 분석하였다(환경통계학, 2009).

침엽교목·침엽관목·활엽교목·활엽관목에서 0.89 이상의 상관계수를 보여 수목의 수고가 클수록 수관고 또한 큰 것으로 나타났다. 수관고와 수관폭은 모든 범주에서 0.64 이상의 상관관계를 보여 수관고가 클수록 수관폭이 커지는 경향이 있었다. 침엽교목을 제외하고

이산화탄소 저장량과 이산화탄소 흡수량은 0.93 이상의 높은 상관관계를 보였다.

활엽수의 경우 흉고직경과 근원직경이 넓을수록 이산화탄소 저장량 및 흡수량이 커지는 경향이 침엽수에서보다 뚜렷하게 나타났다. 침엽관목·활엽교목·활엽관목은 수관폭과 이산화탄소 저장량 및 흡수량이 0.69~0.85의 상관계수를 보이며 수관폭이 커짐에 따라 이산화탄소 저장량 및 흡수량도 커지는 상관성이 있는 것으로 조사되었다. 수관폭이 큰 침엽관목이나 활엽교목·활엽관목을 식재한다면 이산화탄소 저장량과 흡수량의 측면뿐만 아니라 넓은 수관으로 얻어지는 열섬 완화 효과도 있을 것이라 사료된다(오규식, 2005).

Table 7. Correlation coefficients among each basic factors of needleleaf trees

	수고	수관폭	수관고	지하고	흉고 직경	이산화탄소 저장량	이산화탄소 흡수량
수고	1						
수관폭	0.670	1					
수관고	0.981	0.676	1				
지하고	0.419	0.195	0.233	1			
흉고 직경	0.455	0.471	0.495	-0.039	1		
이산화탄소 저장량	0.260	0.186	0.285	-0.028	0.666	1	
이산화탄소 흡수량	0.154	0.171	0.103	0.290	-0.104	-0.467	1

Table 8. Correlation coefficients among each basic factors of needleleaf shrubs

	수고	수관폭	수관고	지하고	근원 직경	이산화탄소 저장량	이산화탄소 흡수량
수고	1						
수관폭	0.771	1					
수관고	0.978	0.757	1				
지하고	0.836	0.644	0.709	1			
근원 직경	0.285	0.536	0.269	0.282	1		
이산화탄소 저장량	0.606	0.802	0.587	0.532	0.566	1	
이산화탄소 흡수량	0.729	0.853	0.695	0.660	0.431	0.931	1

Table 9. Correlation coefficients among each basic factors of broadleaf trees

	수고	수관폭	수관고	지하고	흉고 직경	이산화탄소 저장량	이산화탄소 흡수량
수고	1						
수관폭	0.567	1					
수관고	0.957	0.641	1				
지하고	0.644	0.103	0.395	1			
흉고 직경	0.401	0.787	0.450	0.084	1		
이산화탄소 저장량	0.422	0.695	0.506	0.003	0.704	1	
이산화탄소 흡수량	0.371	0.713	0.438	0.019	0.737	0.941	1

Table 10. Correlation coefficients among each basic factors of broadleaf shrubs

	수고	수관폭	수관고	지하고	근원 직경	이산화탄소 저장량	이산화탄소 흡수량
수고	1						
수관폭	0.844	1					
수관고	0.890	0.717	1				
지하고	0.726	0.663	0.339	1			
근원 직경	0.837	0.716	0.681	0.695	1		
이산화탄소 저장량	0.825	0.707	0.685	0.668	0.870	1	
이산화탄소 흡수량	0.848	0.729	0.710	0.677	0.884	0.997	1

4.3. 생태환경 적응도 평가

수목의 생태환경 적응도는 엽록소 형광측정 분석을 이용하여 수행하였다. 다양한 환경에 따른 수목의 광합성 상태 등 생태학적 변화를 연구할 수 있는 방법으로 비파괴적이며, 빠르고, 신뢰성이 있는 방법이다(정병철, 2002). 엽록소가 흡수한 에너지가 광합성에 이용되면서 열, 형광 등으로 치환이 되는 원리를 이용하여 형광 세기의 변화를 통해 광합성 활성을 간접적으로 측정을 할 수 있다.

암적응된 잎의 형광유도과정 중 약한 광을 조사하였을 때 얻어지는 F_0 값과 포화광을 조사하였을 때 얻어지는 F_m 값의 차이는 F_v ($F_m - F_0$, maximum variable fluorescence)로 표현하며, F_v/F_m 값은 광화학 반응에 대한 양자수율의 최대치를 의미한다. F_v/F_m 값은 식물 잎이 광합성을 수행할 수 있는 최대값 즉, 잠재력을 의미하며, 높을수록 생태환경 적응도가 좋고, 낮을수록 식물이 스트레스환경에 노출이

되었다고 판단한다.

본 조사에서는 조사수종의 동서남북 네방위에서 잎을 채집하여 각각 엽록소형광측정을 실시하였고, 5~7월과 8~10월에 동일 수목에 대하여 두 차례 반복 조사를 실시하여 수목이 갖는 평균의 최대양자수율값을 확보하고자 하였다.

최대양자수율 F_v/F_m 조사 결과, 침엽교목(0.801), 침엽관목(0.795), 활엽교목(0.788), 활엽관목(0.787)의 순이었으며, 중간값은 침엽관목(0.805), 침엽교목(0.804), 활엽관목(0.793), 활엽교목(0.791)의 순으로 나타나 침엽수의 생태환경 적응도가 활엽수에 비해 좋은 것으로 조사되었다. 전체 수종 중 침엽교목인 소나무의 최대양자수율이 0.827로 가장 높았으며, 마찬가지로 침엽교목인 잣나무가 0.821로 두 번째로 최대양자수율이 높았다. 침엽관목인 구상나무와 침엽교목인 측백나무가 세 번째로 높은 수치인 0.820을 기록하였으며, 침엽관목인

반송이 0.815로 다섯 번째로 높은 값을 기록하여 전반적으로 침엽수종이 최대양자수율 상위권에 포진하는 양상으로 나타났다. 최대양자수율 하위권에는 섬향나무(0.737)와 개비자나무(0.758) 등 침엽관목이 일부 있기는 했지만 사시나무(0.716), 메타세쿼이아(0.756), 은행나무(0.757), 계수나무(0.768) 등 활엽교목과 회양목(0.745), 영산홍(0.773), 화살나무(0.776), 수국 등(0.779) 활엽관목이 다수여서 전반적으로 침엽수목이 생태학적스트레스 내성이 더 좋은 것으로 조사되었다.

수목에 스트레스가 가해지게 되면, 엽록소의 구조 및 활성에 영향을 미치고, 효소의 활성, 항산화물질, 생장에 관여하는 신호 전달, 활성산소종 등에 영향을 미치게 된다(우수영, 2021). 수목은 스트레스를 극복하기 위해서 항산화효소들의 활성에 변화를 유발하게 되는데, 수목마다 항산화효소의 활성을 조절하는 능력이 다르다. 이러한 점은 외부 스트레스에 대한 저항성 혹은 견디는 능력에 차이를 가져온다. 수목이 외부 스트레스에 대해서 어떠한 상태에 놓여 있는지를 알 수 있는 지표 중 하나가 바로 엽록소 형광반응이다.

스트레스에 노출된 수목은 기공의 개폐가 원활하지 않아 증산량과 수분이용효율 등에도 변화가 있게 되고, 전체적인 물질생산량의 변화, 수목이나 뿌리의 활력도, 병충해에 대한 저항성의 변화 등이 야기되는 등 스트레스 반응이 수목의 세포, 조직, 기관에서 전체적으로 나타나게 된다. 스트레스는 산림, 생태계에 종 다양성의 변화, 식생의 활력도 및 면적 감소, 생물 간 상호작용 교란 등에 영향을 미친다. 따라서 생태계에서의 종 다양성을 변화시키는 중요한 요인이 되며, 산림생태계에까지 상당한 영향을 미칠 수 있으므로 수목의 생리학적인 차원을 넘어서 생태계 차원에서도 중요하다.

Table 11. F_v/F_m of all investigation target trees

no.	needleleaf tall trees	needleleaf shrubs	broadleaf tall trees	broadleaf shrubs
1	소나무(0.827)			
2	잣나무(0.821)			
3	측백나무(0.820)	구상나무(0.820)		
4		반송(0.815)		
5			산수유(0.814)	
6		황금측백(0.812)		
7	곰솔(0.811)		단풍나무·느티나무(0.811)	
8		실화백(0.810)	중국굴피나무(0.810)	
9	스트로브잣나무·낙우송(0.809)			
10	전나무(0.807)	편백(0.807)		
11			상수리나무·팔배나무(0.806)	
12		섬잣나무(0.805)		
13	개잎갈나무·솔송나무 (교목)·서양측백(0.804)	주목(0.804)		
14				개나리·명자꽃(0.802)
15			왕벚나무(0.801)	피라칸타(0.801)
16				히어리(0.7981)
17				풍년화(0.797)
18	종비나무(0.796)			
19				남천·무궁화(0.795)
20			갈참나무(0.791)	
21				죽단화(0.790)
22	향나무(0.788)	옥향(0.788)		
23		솔송나무(관목)(0.787)	꽃개오동나무(0.787)	
24				당매자나무(0.784)
25				사철나무(0.782)
26			회화나무(0.781)	
27				수국(0.779)
28			이팝나무(0.777)	
29				화살나무(0.776)
30				영산홍(0.773)
31			대나무(0.769)	
32			산벚나무(0.768)	
33			계수나무(0.768)	
34		개비자나무(0.758)		
35			은행나무(0.757)	
36			메타세쿼이아(0.756)	
37				회양목(0.745)
38		섬향나무(0.737)		
39			사시나무(0.716)	

V. 결론

인천수목원 내 55종의 수목에 대하여 이산화탄소 저장량과 흡수량, 생태환경 적응도를 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 이산화탄소 저장량과 흡수량은 활엽교목이 높았고, 그 다음으로 침엽교목 > 침엽관목 > 활엽관목의 순으로 나타났다.
2. 생태환경 적응도는 침엽교목이 가장 좋았으며, 이어서 침엽관목 > 활엽교목 > 활엽관목의 순으로 조사되었다.
3. 이산화탄소 저장량 및 흡수량 상위 수종 5개는 중국굴피나무, 갈참나무, 상수리나무, 꽃개오동나무, 산수유로서 모두 활엽교목에 해당하였다.
4. 생태환경 적응도 상위 수종 5개는 모두 침엽수로서, 소나무, 잣나무, 구상나무, 측백나무, 반송으로 나타났다.
5. 이산화탄소 저장량 및 흡수량과 생태환경 적응도가 전반적으로 좋은 수종은 중국굴피나무, 산수유, 느티나무, 상수리나무, 단풍나무이다.

도시림 조성 사업 및 조림사업 등 녹지공간 조성 시 식재수종 선택에 본 자료를 적절히 활용을 하면 이산화탄소 저장과 흡수 효과를 극대화할 수 있을 뿐만 아니라 환경 스트레스에 대한 저항성을 갖추며 도시의 온도 저감과 열섬효과 저감에 도움을 주는 건강한 생태계 조성이 가능할 것으로 기대된다.

특히 도시림 조성은 불가피한 탄소 배출에 대한 상쇄 기반이기도 하면서 시민 모두가 사각영역 없이 체감할 수 있는 탄소중립 정책으로서 기능할 수 있을 것이기 때문에 본 조사의 데이터가 의미 있게 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

다만 생물 다양성과 미관성 등 식물이 갖는

기능을 고려하는 영역 안에서 조림이 시행되어야 할 것이다.

또한, 우리나라 산림은 1970~1980년대에 집중적으로 조성되었기 때문에 2025년 이후에는 노령화로 인해 이산화탄소 흡수량이 급격히 감소할 것으로 예측된다. 본 조사 결과는 노령림을 탄소순환림으로 교체하는 등의 산림경영정책 등을 펼칠 때 적절한 식목에 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

VI. 참고문헌

1. 관계부처 합동, (2021), 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안.
2. 이용식, (2021), 제3차 인천광역시 기후변화 대응 종합계획, 인천연구원.
3. 이관규, (2003), 아파트단지의 녹지 지속가능성지표 개발, 서울대학교 공학박사학위논문.
4. 김현재, (2016), 생애주기를 고려한 도시근린생활권공원의 이산화탄소 배출·흡수량 분석, 한양대학교 석사학위 논문.
5. 환경통계학, (2009), 동화기술.
6. 한국도시설계학회지, (2005), 도시공간 구성요소와 도시열섬현상의 관련성 연구 6(1), 47-63.
7. 정병철, 이춘환 (2002). 엽록소형광을 이용한 광합성 생물의 특성 연구, 생물학전문연구정보센터 4월호.
8. 수목환경생리학, (2021), 월드사이언스.