

기후적응수단으로써 도시숲의 역할

국립산림과학원 생활권도시숲연구센터

박찬열

2025. 9. 23.(화)

발표 순서

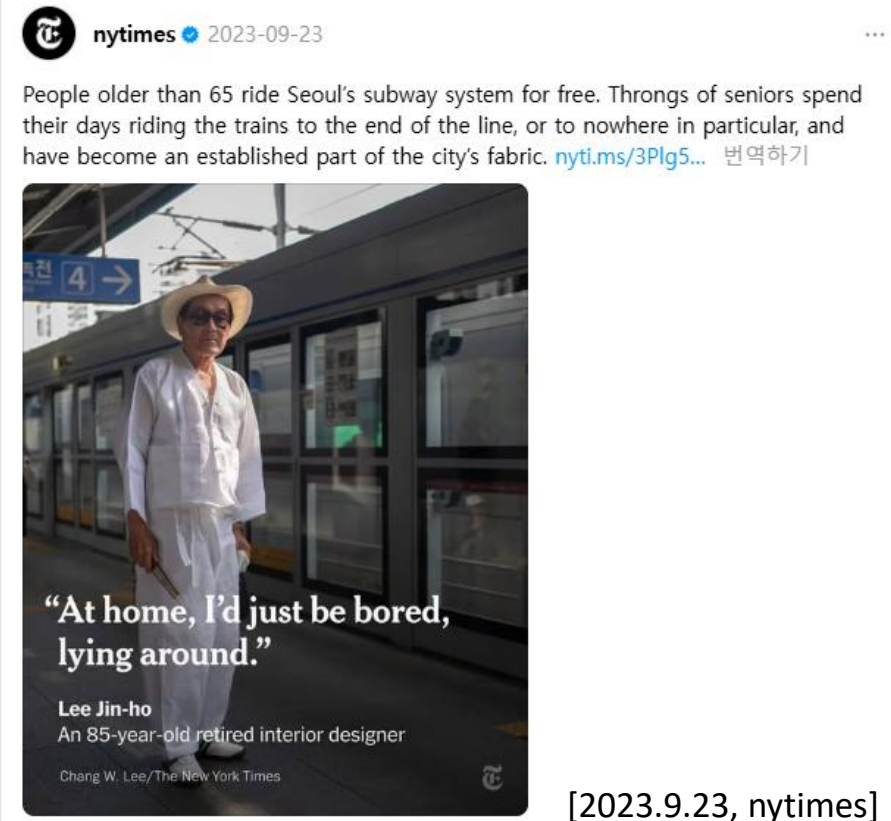
- 1 기후위기와 도시숲
 - 2 사회와 경제를 살리는 도시숲
 - 3 환경을 지키는 생명의 도시숲
 - 4 모두가 함께하는 도시숲 조성 · 관리
 - 5 미래의 도시숲
-

01

기후위기와 도시숲

“수도권에서 어르신들의 무료 지하철 이용 정책은,
폭염과 열대야가 한창일 때,
기후 재난 리스크를 줄이는 **적응** 정책(?)”

지공거사(地空居士): 요즘 한국사회에서 지하철을 공짜로 타고 다니는 65세 이상의 노인
<http://www.koreatimes.com/article/20170810/1070269>



“낙산공원·한방센터...케데헌 덕에 외국인 핫플로 났다”



#케데헌#낙산숲#성곽길#도시숲

[2025.8.25, 조선일보]

“도시숲과 정원 정책은 기후 재난 대응 및 적응 정책”



2024년 폭염과 열대야: 취약계층의 건강리스크 ↑, 도시숲 ↓

- 폭염일수(7~8월): 29.5일(2018), 27.5일(1994), **21.2일(2024)**
- ★2024년: **지난해엔 초여름인 6월 (2.8일)과 초가을인 9월 (6일) 폭염일수 ↑**
- 폭염일수(6~9월): **30.1일(2024)**, 31일(2018)에 이어 **2위**
- 최근 50년(1974 ~2023년) 동안 **연간 폭염일수: 1.2일 ↑/10년**

- 열대야(밤 최저기온 25도 이상)일수(7~8월): **20.1일(2024)**
- ★ **16.5일(2018), 16.4일(1994)**

연도	6월	7월	8월	9월	전체	순위
1994	0.6	17.7	9.8	1.2	29.6	3
2016	0.1	5.1	16.6	0	22	4
2018	1.5	15.4	14.1	0	31	1
2024	2.8	4.3	16.9	6	30.1	2

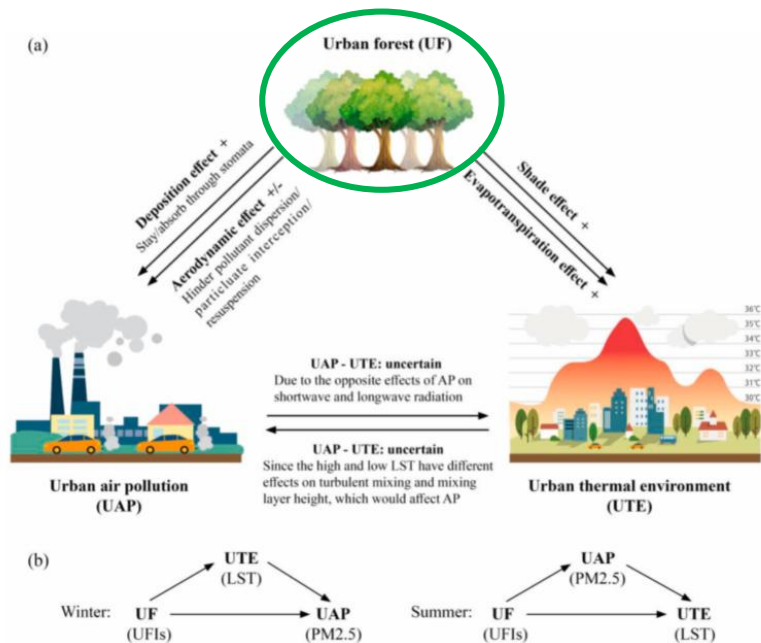


Fig. 1. Schematic diagram of the relationships between urban forests, air pollution and the thermal environment. Note that the arrow indicates the direction of the effect. The "+" and "-" symbols indicate whether the effect is positive or negative.



Combined effects of urban forests on land surface temperature and PM2.5 pollution in the winter and summer

Wei Cao, Wen Zhou, Wendong Yu, Tao Wu^{*}
College of Horticulture and Landscape Architecture, Yangzhou University, Yangzhou 225009, Jiangsu Province, China

기후위기 시대에 도시숲은 대기오염과 폭염 리스크 줄여 인간 건강에 이롭다.

- 도시숲-대기-광화학반응은 폭염일 때 더 빠르게 발생하고, 오존 및 미세먼지 생성 가능성 ↑

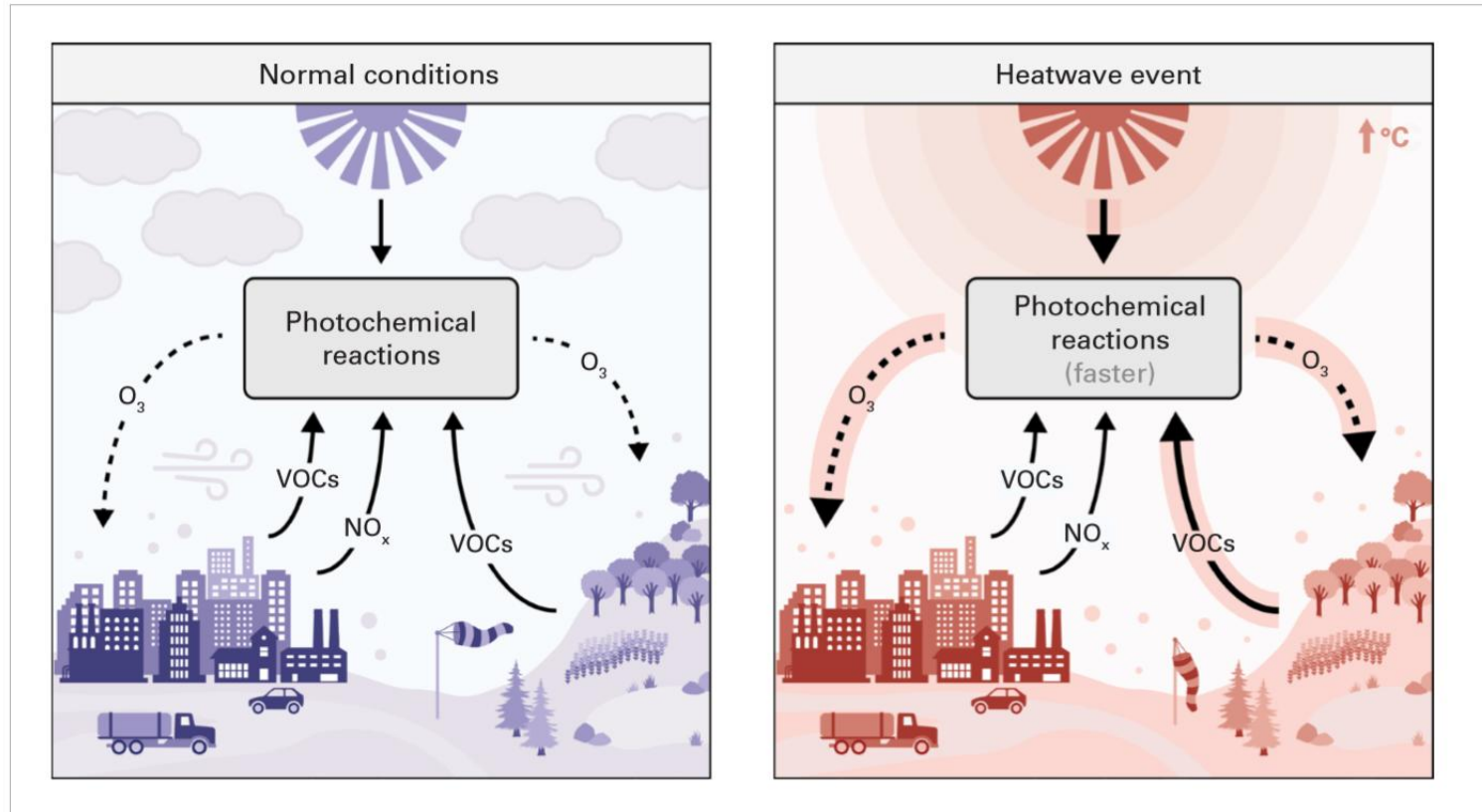
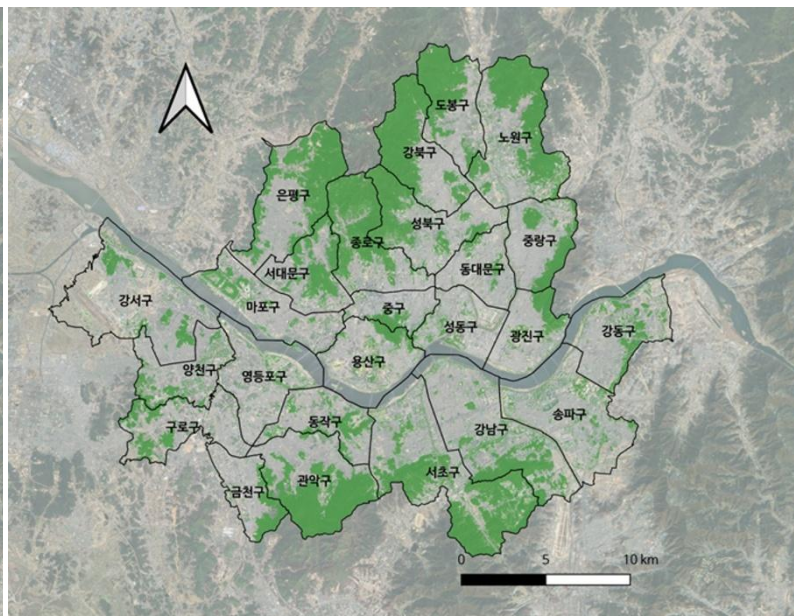
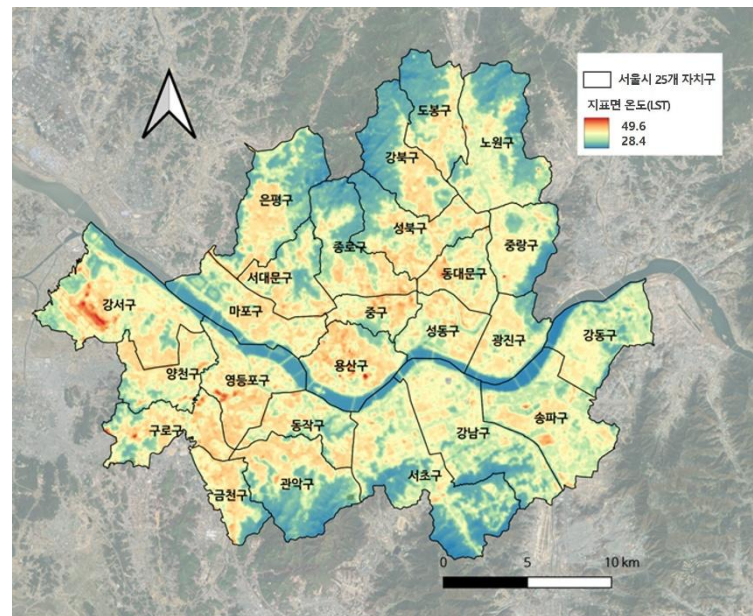
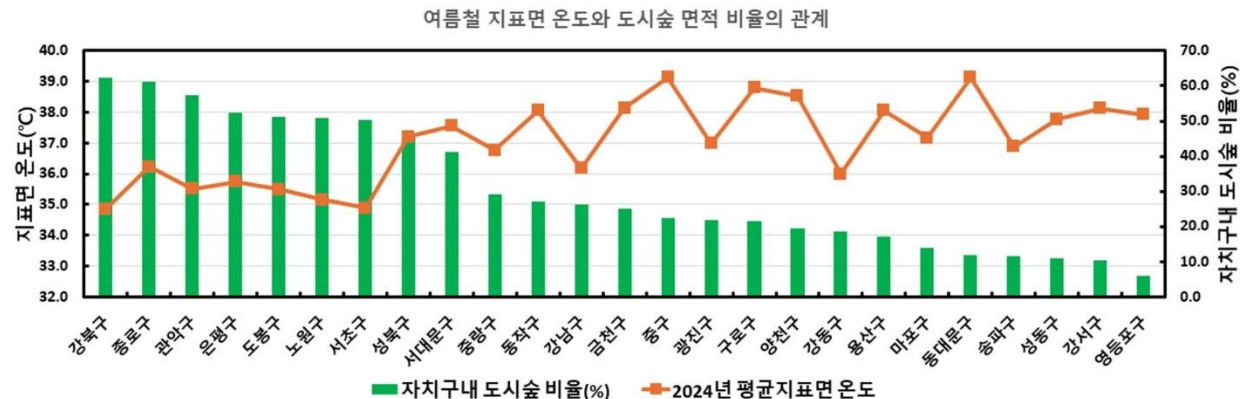


Figure 7. Ground-level ozone (O_3) is formed from the photochemical reactions (chemical reactions in sunlight) of NO_x and VOCs. Hot, stagnant conditions (right) lead to pollutant build-up, faster photochemistry and increased ozone production.

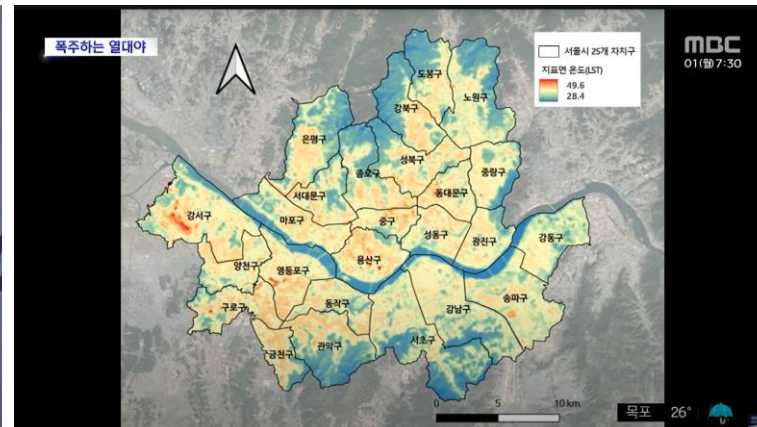
Source: University of York and National Centre for Atmospheric Science (Department of Chemistry), United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland

도시숲 면적 높을수록 지표면 온도 낮다

- 도시숲 면적 비율, 서울 강북구 62.3%, 영등포구 5.8%로 편차 커



기후위기 시대에 국민 모두를 위한 도시숲의 역할



밤낮 없는 무더위, '도시숲'이 식힌다 / KBS 2025.07.12.
<https://youtu.be/5MGB4pK8HQo?si=YPyj1OHrAomcq1Y8>

같은 서울인데 열대야 6배..열대야 최다, 최소 지역은 어디?, MBC 2025.09.01.
<https://youtu.be/Nik3gt8tseU?si=c3h3-4GBahtUdA5>

「재난 및 안전 관리 기본법」 에서 도시숲의 가치



- **폭염종합대책:** 관계부처 합동으로 작성 「폭염 재난」위기 관리 표준매뉴얼(2024.5.) 에 의거

* 「재난 및 안전관리 기본법」 제34조의 5, 국가위기관리기본지침(대통령훈령 제454호)

→ **산림청:** 도심지 폭염 완화(도시바람길숲, 기후대응도시숲) 인프라 구축 포함

- **미세먼지저감대책:** 미세먼지 집중관리 구역의 지정 및 지원

* 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법(약칭:미세먼지법) 제11조(시행령 제4조), 제22조

→ **산림청:** 수목 식재 및 공원 조성/고농도 미세먼지 발령시(환경부) 대응 결과 보고

도시숲 정의/생활권 도시숲

· 도시숲등이란? 「도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률(2021.6.10.)(약칭: 도시숲법)」

도시에서 국민의 보건 · 휴양 증진 및 정서함양과 체험활동 등을 위하여 조성 · 관리하는 산림 및 수목

- 「도시숲법」 제2조 정의에 따라 「자연공원법」 제2조에 따른 공원구역을 제외한 산림과 수목을 대상으로 하며,
「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」에 의한 공원녹지도 포괄함



※ 다만, 「도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률」에 따르는 '산림과 수목'이 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」에 의한 공원녹지와 중복시, 공원녹지 항목을 우선 포함
- 100㎡ 이상 도시숲 등은 모두 해당, 초본만 있거나 수목 없이 시설물만 있을 시, 제외
- 법령 개정, 현장여건 변화 등을 고려하여 치유의숲, 아파트(공동주택 단지) 내 조성된 녹지, 도시숲등 조성·관리에 국민이 참여한 대상지를 신규항목으로 추가 조사하였음

항목별		법률상구분	생활권	비생활권
도시숲		산림 및 수목 ◁「도시숲법」>	옥상·벽면녹화	산림, 자연휴양림, 산림욕장, 치유의숲
		공원 및 녹지 ◁「공원녹지법」>	대생활권 공원, 완충녹지, 유원지	도시자연공원(서울 제외), 묘지공원
생활숲	마을숲	산림 및 수목 ◁「도시숲법」>	국·공유지 및 담장녹화지, 기타 생활권 도시숲	-
		공원 및 녹지 ◁「공원녹지법」>	중소생활권 공원, 연결녹지	공공공지
	경관숲	산림 및 수목 ◁「도시숲법」>	하천변 녹지, 수목원·정원	-
		공원 및 녹지 ◁「공원녹지법」>	경관공원, 경관녹지	-
	학교숲	산림 및 수목 ◁「도시숲법」>	학교숲	-
가로수		산림 및 수목 ◁「도시숲법」>	가로수 등 도로변 녹지	-

도시숲등 면적/생활권도시숲등 면적

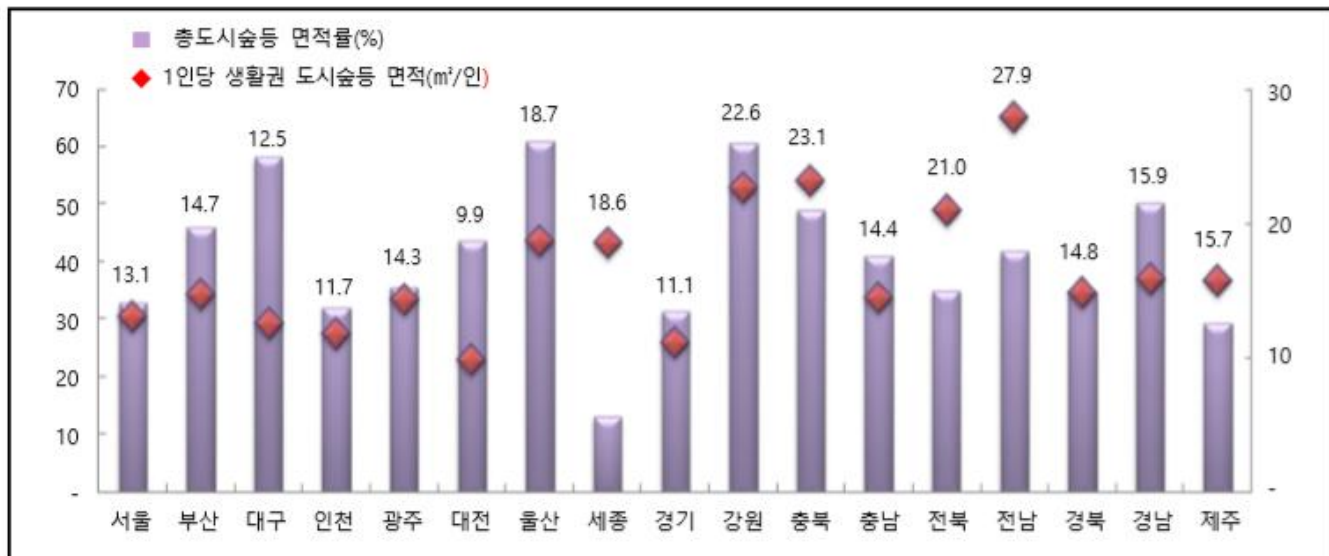
- 생활권 도시숲등 면적(65.9천ha): 전 국토 면적(10,045천ha) 약 0.6%〈2023년 기준〉, 도시숲등 면적(1,117천ha) 5.9%
- 시민 휴식, 산책 등 건강증진 및 여가활동, 미기후 조절 등 도심 생태환경을 개선하는 기능의 도시숲등의 확대가 필요.
- 생활권 도시숲등 면적: 경기도, 서울특별시, 부산광역시, 경상남도 순
- 도시 면적 대비 생활권 도시숲등 면적 비율: 서울(20.3%), 세종(7.4%), 인천(6.7%), 부산(6.7%), 광주(4.1%) 순

< 시·도별 도시숲 면적 분포 >

시도	도시지역 인구(천명) (A)	총 산림 면적(ha)	도시지역 면적(ha) (B)	총도시숲등 면적(ha) (C)	총도시숲등 면적률(%) (D=C/B)	생활권 도시숲등 면적(ha) (E)	1인당 총도시숲등 면적(㎡/인) (F=C/A)	1인당 생활권 도시숲등 면적(㎡/인) (G=E/A)
합계	46,877	6,298,134	2,638,598	1,117,022	42.33	65,937	238.29	14.07
서울	9,386	15,323	60,520	19,781	32.68	12,274	21.07	13.08
부산	3,286	34,926	71,736	32,838	45.78	4,828	99.94	14.70
대구	2,330	48,338	77,983	45,266	58.05	2,908	194.28	12.48
인천	2,930	39,373	50,770	16,183	31.88	3,420	55.23	11.67
광주	1,419	18,944	50,097	17,802	35.54	2,036	125.43	14.34
대전	1,442	29,764	53,978	23,531	43.59	1,421	163.16	9.85
울산	1,071	68,001	64,618	39,397	60.97	1,997	367.92	18.65
세종	343	24,849	8,659	1,117	12.90	636	32.56	18.55
경기	12,930	512,105	428,346	134,337	31.36	14,320	103.90	11.07
강원	1,172	1,366,644	406,679	246,229	60.55	2,654	2,101.14	22.64
충북	1,275	488,337	143,541	70,209	48.91	2,945	550.82	23.10
충남	1,499	404,097	168,522	68,916	40.89	2,157	459.82	14.39
전북	1,400	440,746	139,411	48,732	34.96	2,936	348.01	20.96
전남	1,221	686,852	235,378	98,099	41.68	3,405	803.61	27.89
경북	1,971	1,333,691	345,112	119,326	34.58	2,923	605.30	14.83
경남	2,565	698,810	181,568	91,041	50.14	4,077	354.92	15.89
제주	637	87,334	151,679	44,219	29.15	1,001	693.81	15.71

주1) 도시지역 인구·도시지역 면적(KOSIS 국가통계포털, 2023년 행정구역 기준), 총 산림면적(2020 산림기본통계 개정판)

주2) 서울특별시의 도시자연공원구역은 생활권도시숲 면적에 포함하여 집계

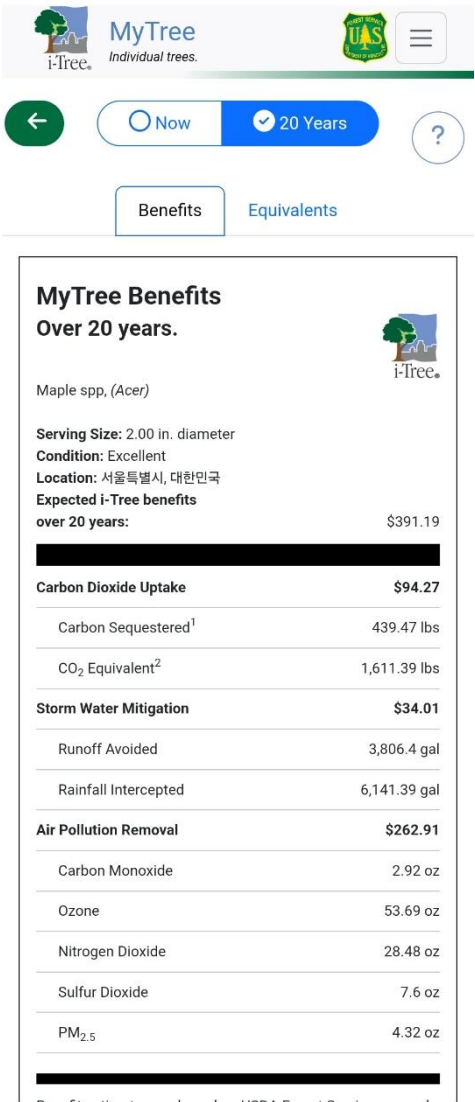
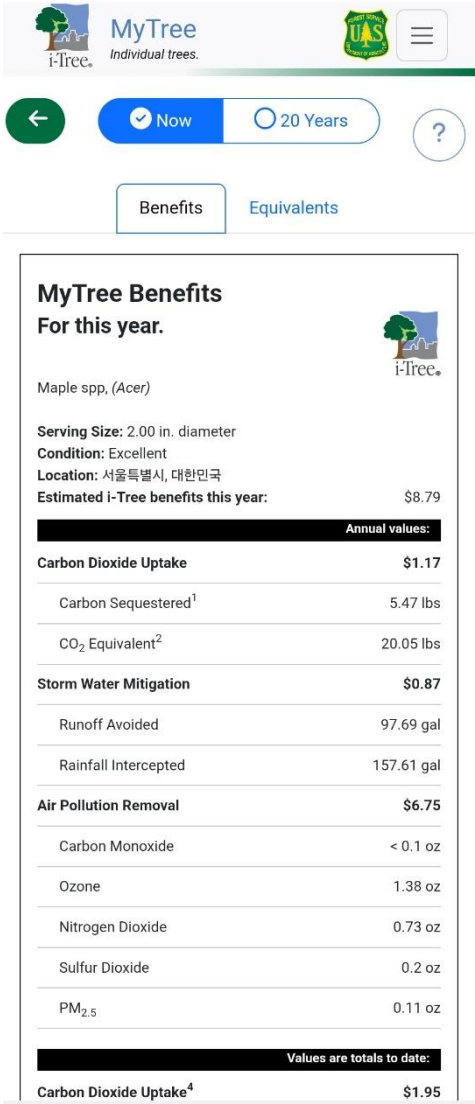


02

사회와 경제를 살리는 도시숲

“서울시청 앞에
한 그루 단풍나무를 심었을 때,
20년 후 경제적 가치는?”
20년 후 가치: 543,754원(44배)
현재 가치: 12,218원

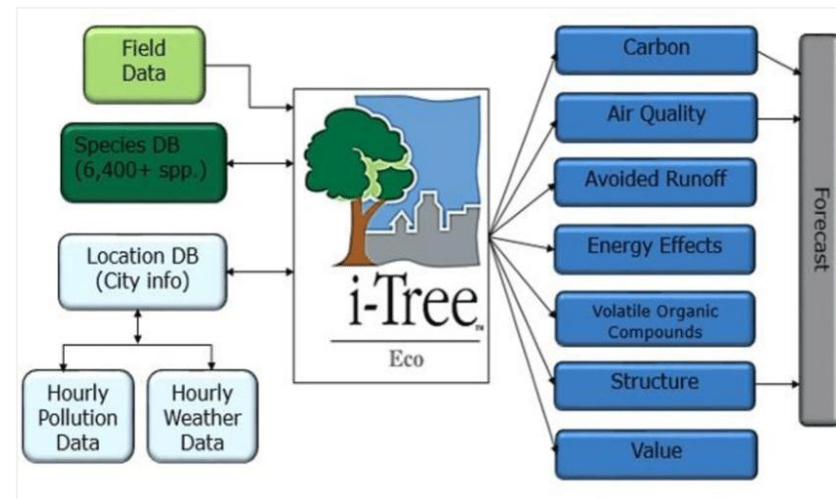
* 구입 비용: 40,000원(*마켓, 직경 5cm), 한국형 My Tree 적용



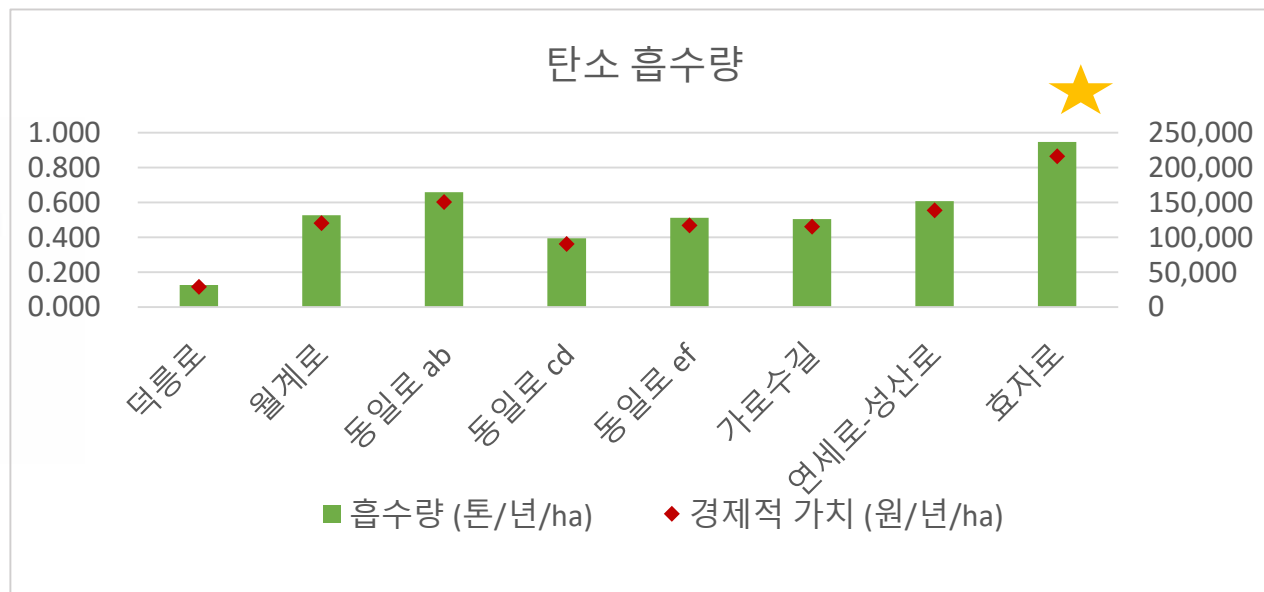
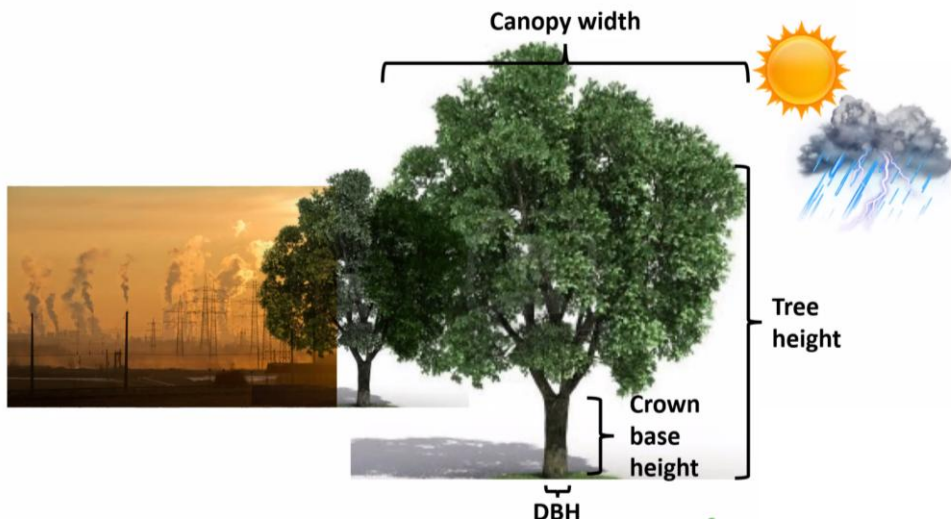
나무와 숲의 경제적 가치 추정 방법

- i-Tree는 나무와 숲 구조, 생태계 서비스, 그리고 숲 자원의 가치를 평가하는 무료 소프트웨어로 USDA Forest Service와 DAVEY Tree Expert Company에 의해 개발.
- 숲의 구조와 환경적 영향 및 가치를 정량화하기 위해 시간 단위 지역 대기오염 데이터, 기상 데이터를 사용.

i-Tree (Inventory of Tree resources Economically and Ecologically)



The basic science



도시숲 ↑ 사망률 ↓

도시숲 증가는 사망률 감소 → 건강 증진

- 미국의 도시숲 : 녹지 증가하면 최소 34,000명 사망 예방

※ 미국 대도시 35개 지역, 65세 이상 성인, '00, '10, '19 자료 분석, Brochu et al.(2022)

- 질병관리센터의 사망률 데이터, Landsat 위성 데이터 분석

- 미국 대도시 녹지 증가 2.86%('00~'10), 11.11%('10~'19)

- NDVI 0.1 증가 → 34,080 ~ 38,187 노인사망 예방(15~20/1,000명)

Benefits of Increasing Greenness on All-Cause Mortality in the Largest Metropolitan Areas of the United States Within the Past Two Decades

Paige Brochu^{1*}, Marcia P. Jimenez², Peter James^{3,4}, Patrick L. Kinney¹ and Kevin Lane¹

¹ Department of Environmental Health, Boston University School of Public Health, Boston, MA, United States, ² Department of Epidemiology, Boston University School of Public Health, Boston, MA, United States, ³ Department of Population Medicine, Harvard Medical School, Harvard Pilgrim Health Care Institute, Boston, MA, United States, ⁴ Department of Environmental Health, Harvard T.H. Chan School of Public Health, Boston, MA, United States

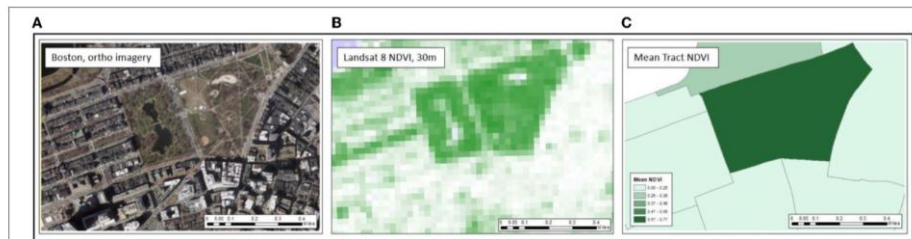


FIGURE 2 | Representation of assigning 30 m NDVI to Census tract in comparison to orthomage. Panels run left to right. **(A)** Orthomage of Boston Commons, Boston, MA. **(B)** Raw NDVI image at 30 m resolution where darker green represents more green vegetation. **(C)** Mean tract NDVI aggregated from 30 m resolution.

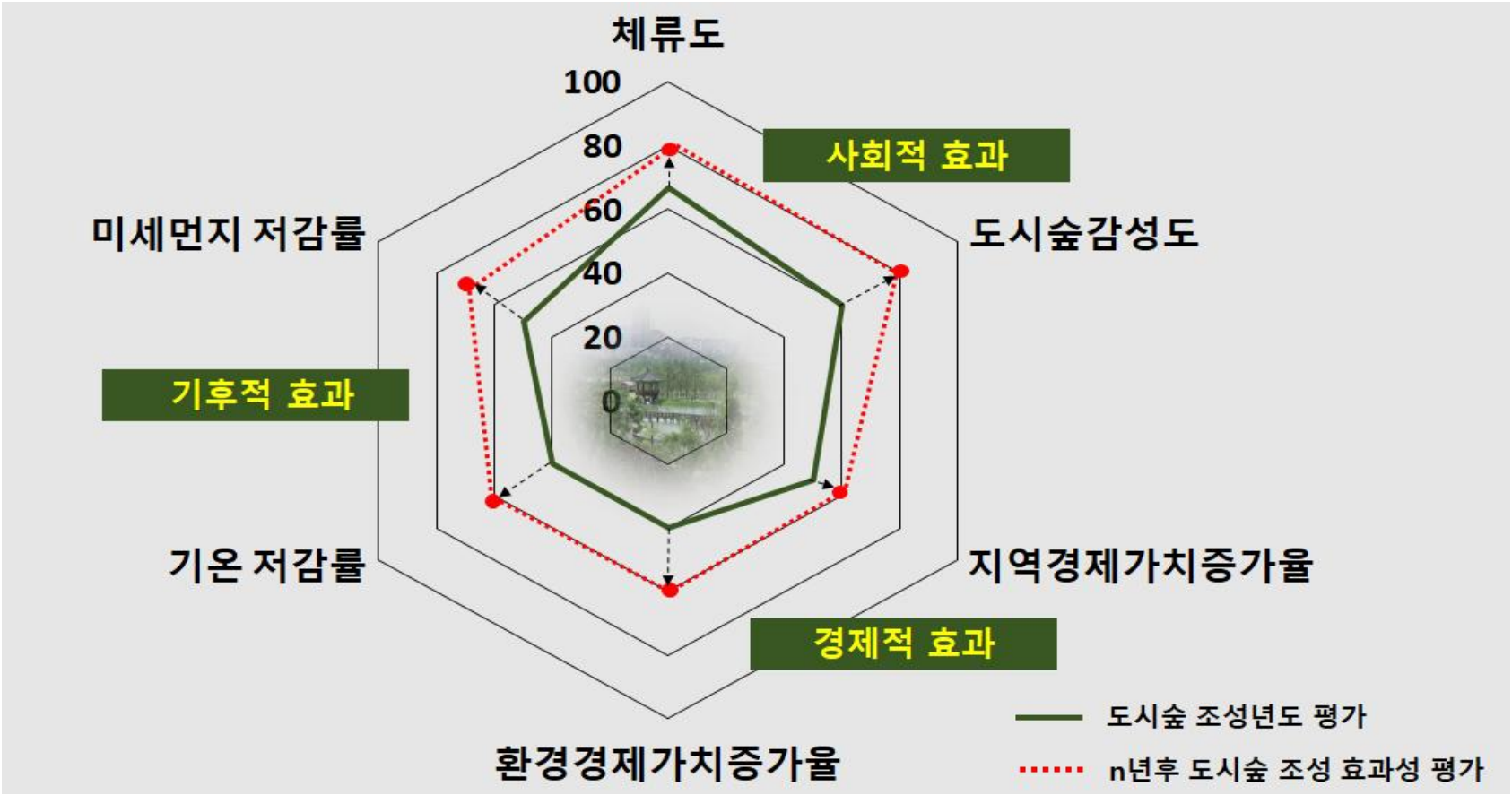
TABLE 1 | Summary statistics of population, exposure, and estimated reduction in all-cause mortality in study area.

Year	Total population	Population ≥ 65	All-cause mortality ≥ 65	NDVI (SD)	Est. reduction (range)	Est. reduction per 10,000
2000	113,508,720	17,396,104	634,665	0.35 (0.16)	34,846 (26,135–52,270)	20
2010	125,417,712	20,109,574	630,948	0.36 (0.16)	34,080 (25,560–51,120)	17
2019	133,273,276	26,195,614	753,300	0.40 (0.17)	38,187 (28,640–57,281)	15

“도시숲 혜택을 정량적 지표로 평가하여
모두가 누리는 도시숲의 효과성 분석”



국민 수요와 평가에 근거한
맞춤형 도시숲 관리”



@대전광역시

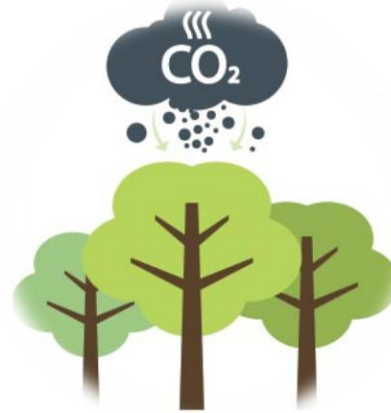
03

환경을 지키는 생명의 도시숲

탄소 중립 시대에 나무의 역할



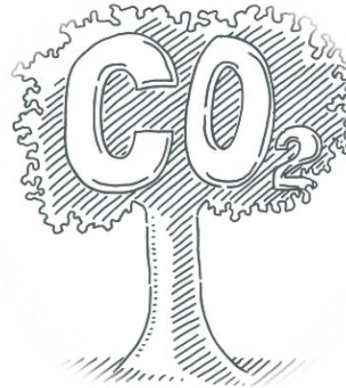
도시의 나무와 숲



Carbon Sequestration



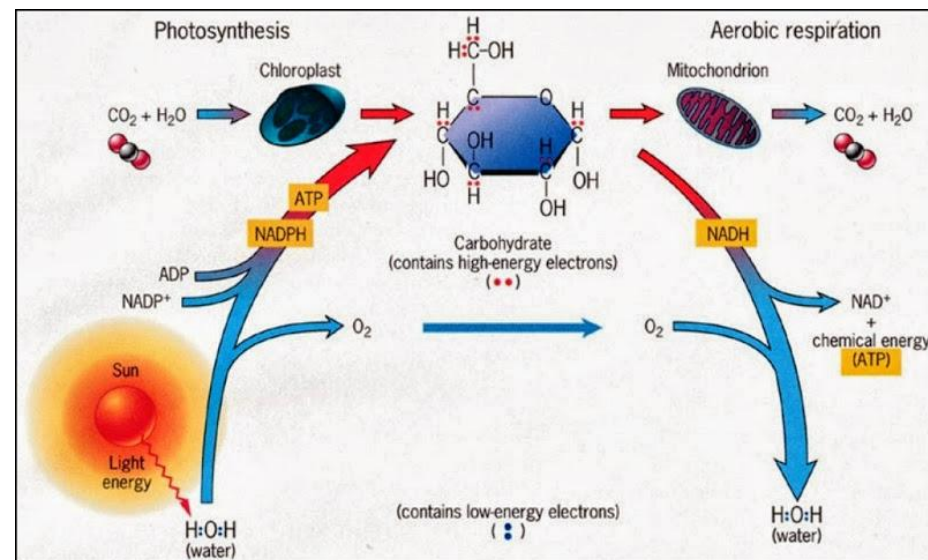
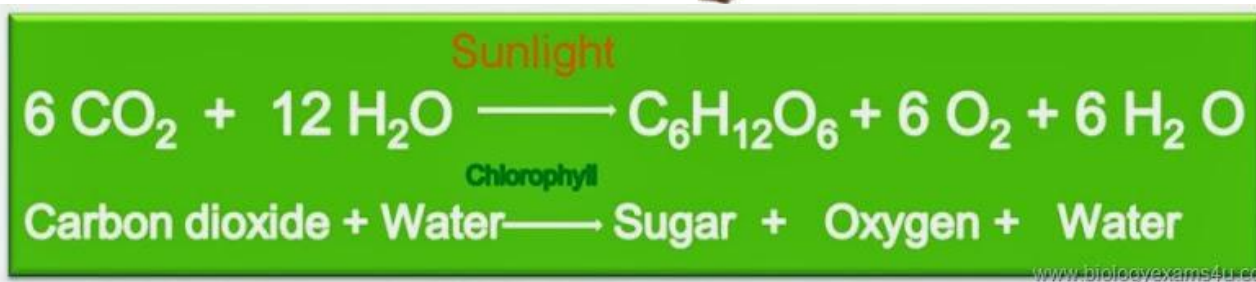
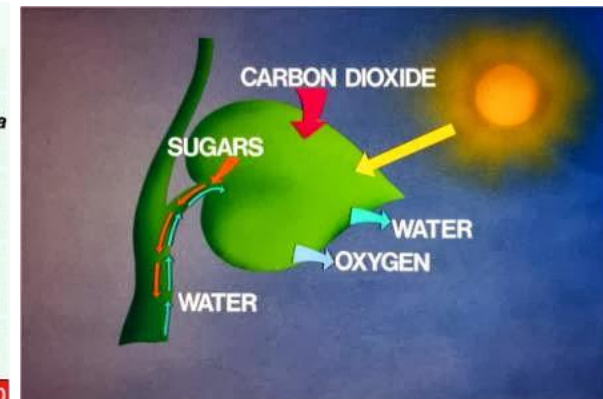
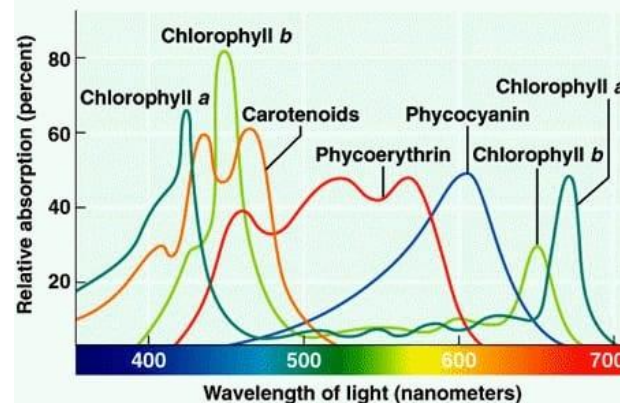
CLIMATE CHANGE
MITIGATION



Carbon Storage

→ 탄소 저장량 및 탄소 흡수량 정량화/어떻게 탄소를 흡수하고 저장하는지 과정을 쉽게 설명

태양, 나뭇잎, 물의 상호 작용

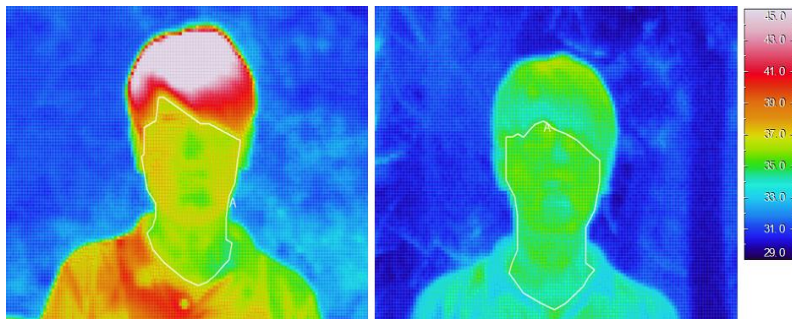


C-C만 중요하지 않고, H-O 결합이 도시에서 더 중요



도시숲 그들의 얼굴표면 온도 및 지표 온도 영향

❖ 열화상카메라에 의한 도시숲 그늘효과실험

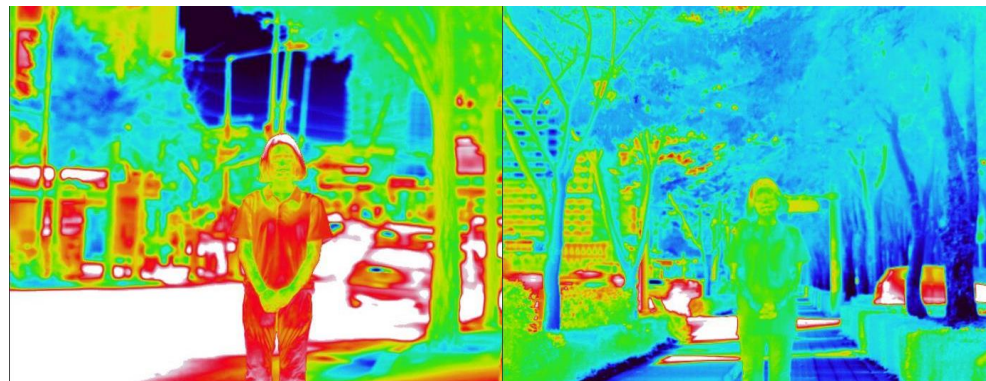
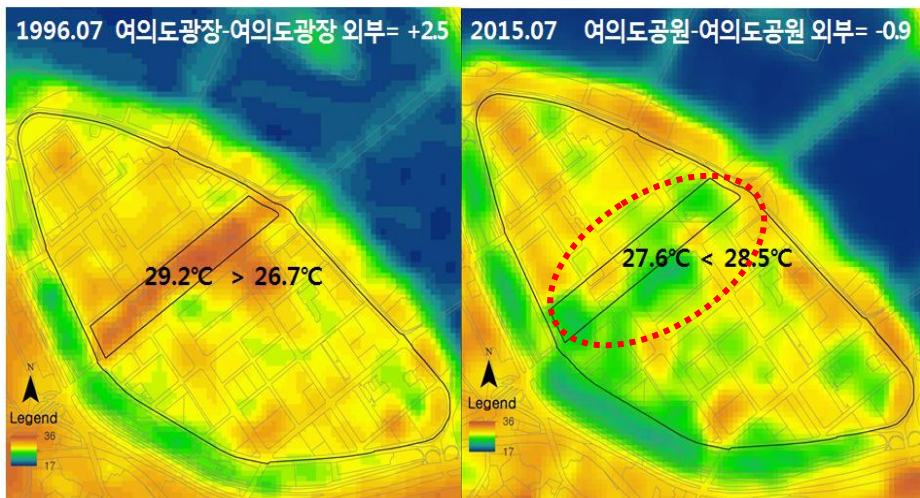


도시숲 바깥

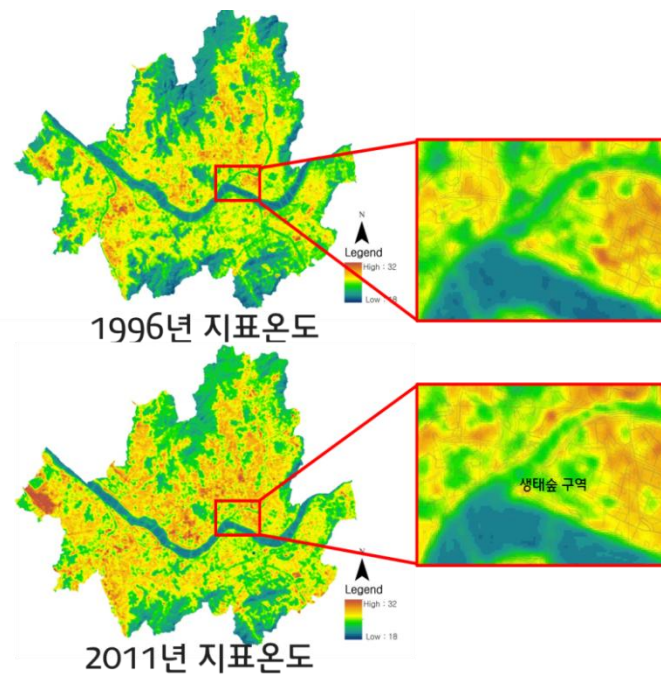
도시숲 안

■ 도시숲 안과 바깥에서 얼굴표면 온도 비교

❖ 위성사진 분석에 의한 지표온도변화



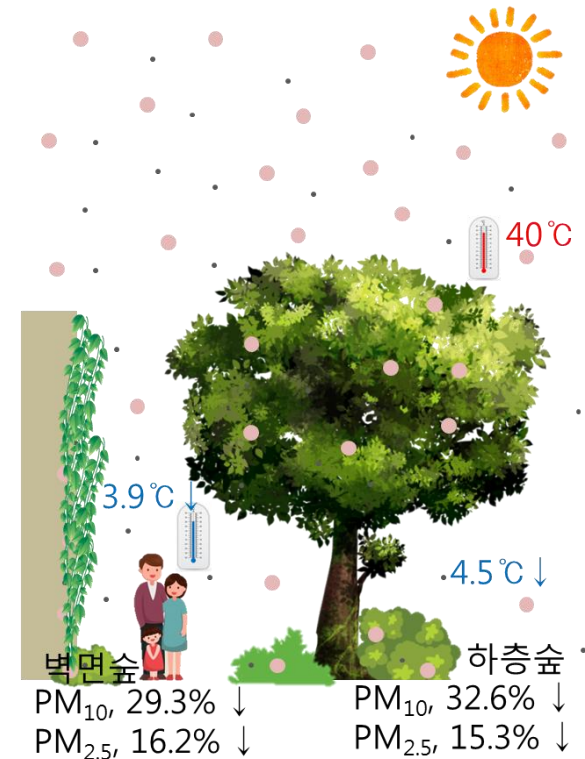
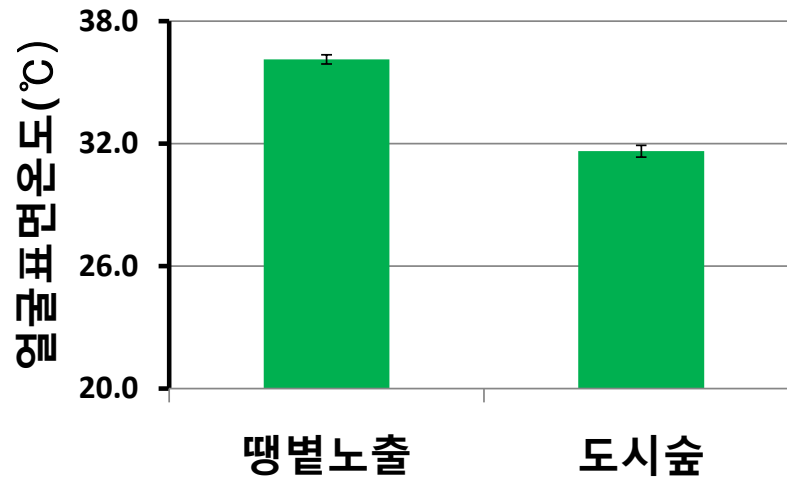
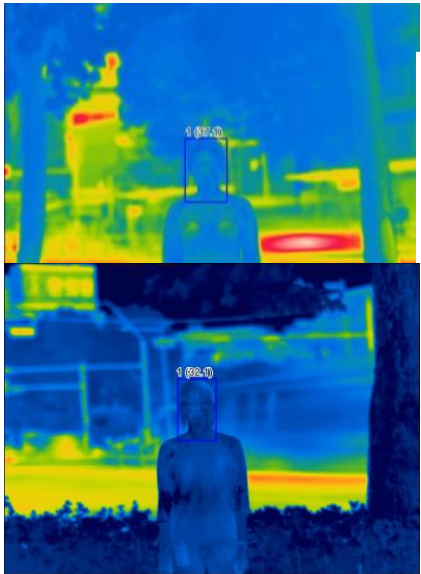
■ 서울 가락시장 가로수 없는 보도(좌, 38.1°C)와 두줄가로수(우, 35.8°C)에서 평균 표면온도



기온 저감 효과: 한 줄, 하층숲 가로수, 벽면숲 가로수

- 얼굴표면온도 : 한줄 가로수-평균 **1.8°C**, 하층숲 가로수-평균 **4.5°C**,
벽면 가로수-평균 **3.9°C** 저감 효과(서울 중구 및 동대문구, '18. 8.)

* 도시숲 열재해 스트레스 : 땀별에 노출 후 도시숲에서 10분 휴식 후 측정

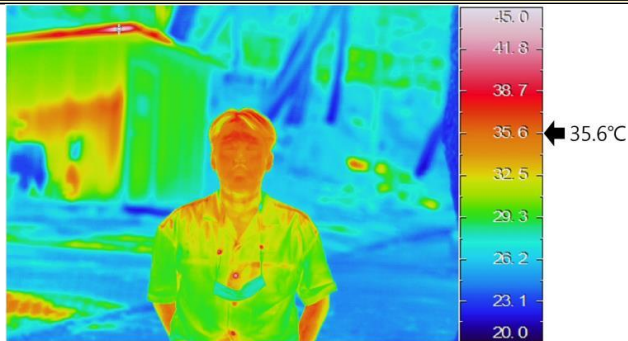


- ✓ 벤틀리 효과
- ✓ 그늘 효과
- ✓ 증산 작용
- ✓ 반사열 저감 효과
- ✓ <알베도>

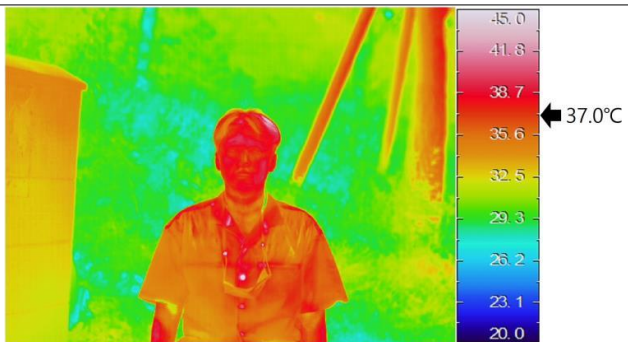
폭염시 열스트레스지수를 낮추는, 오아시스 도시숲

비고 열화상 카메라 사진 (얼굴표면온도)

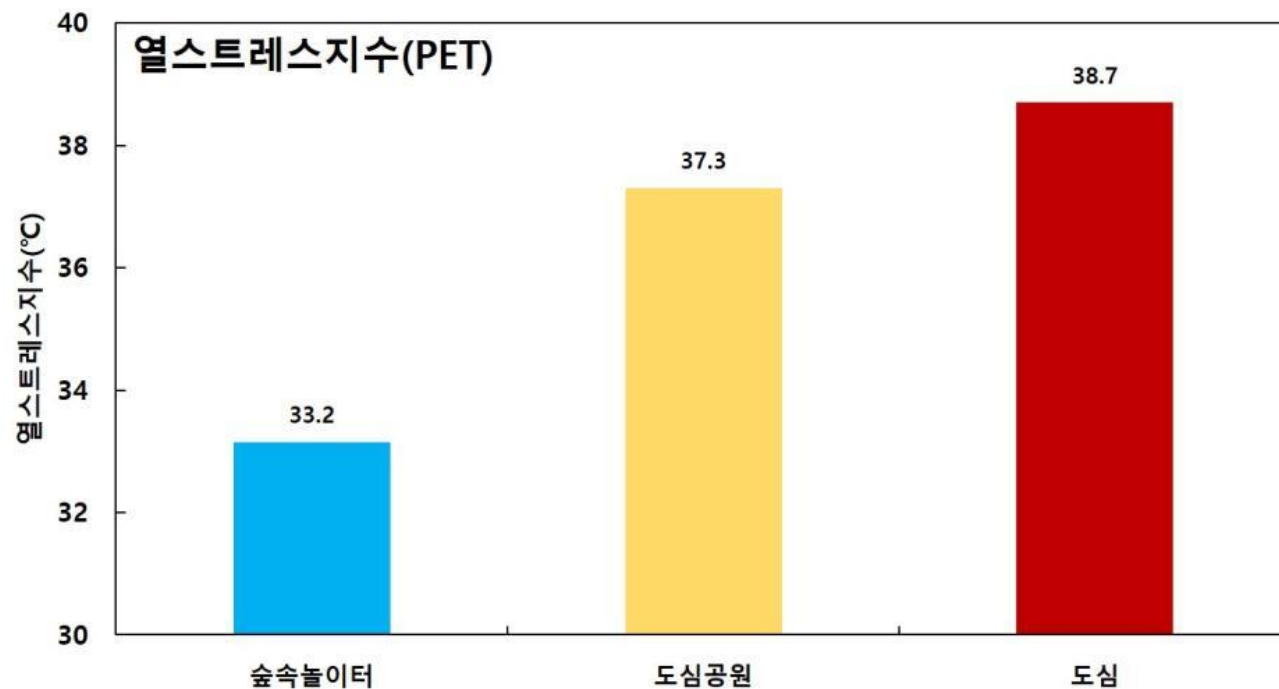
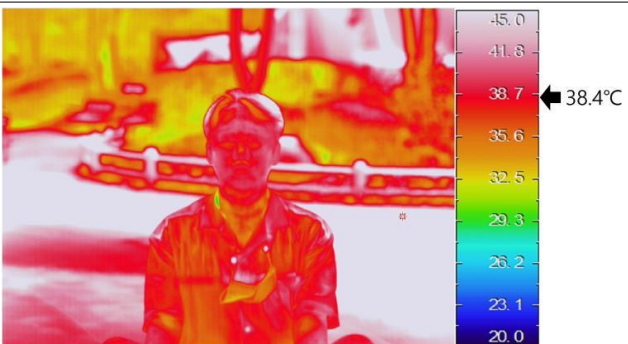
숲속 놀이터



도심 공원

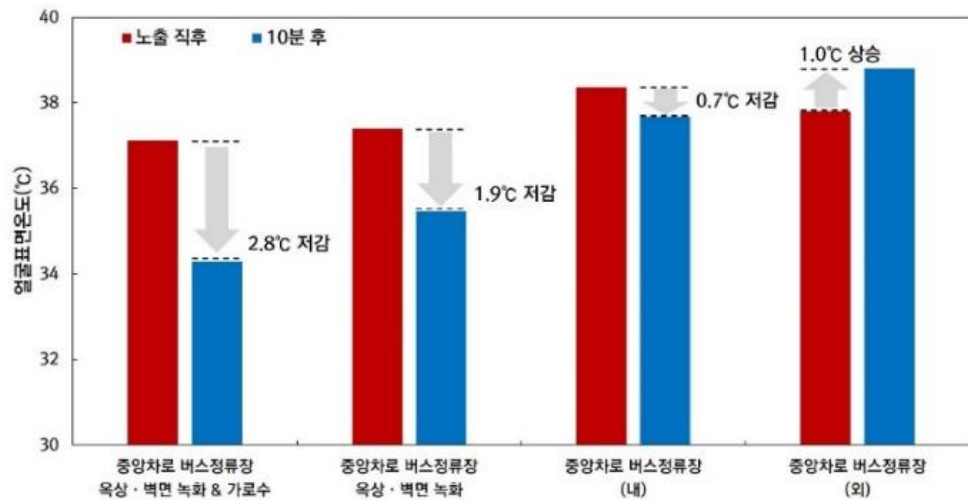


도심

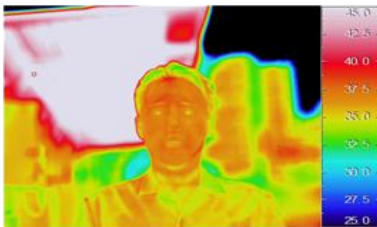
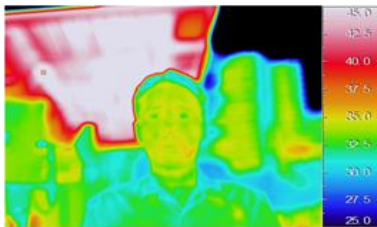
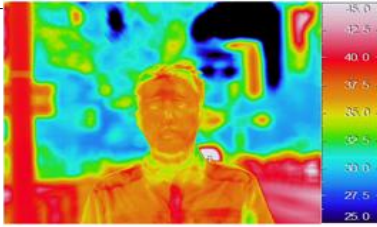
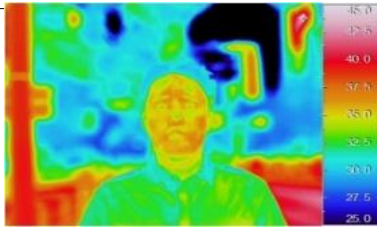
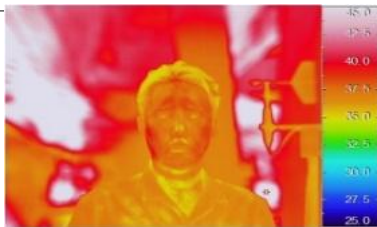
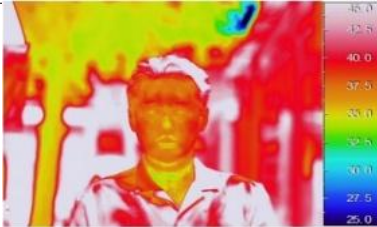
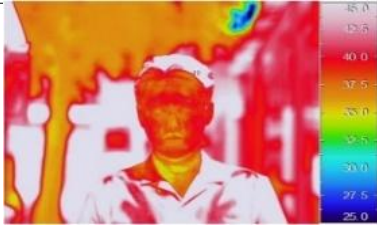


※ PET(Physiologically Equivalent Temperature): 독일에서 개발된 열스트레스 지표. 기온, 상대습도, 풍속, 복사에너지 등 등을 종합하여 인간이 실제로 느끼는 열스트레스를 단계별로 나타낸 지표·수치. 온도와 같은 도(°C)를 사용하지만, 실제 측정되는 기온과는 다른 값.

녹화된 버스정류장에서 폭염 피난처, 오아시스 도시숲

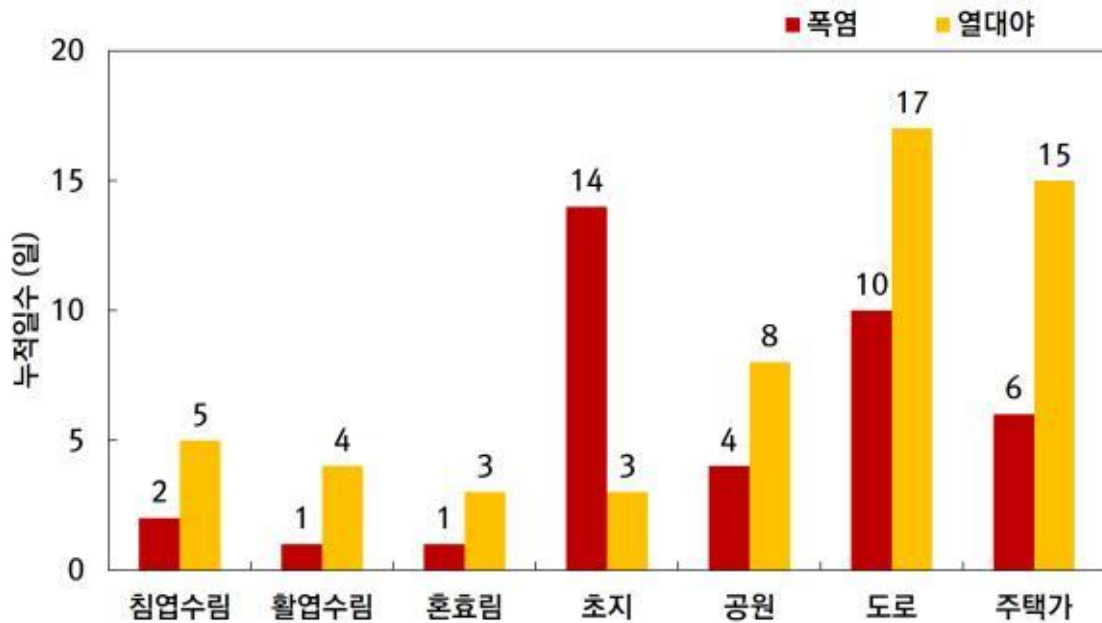


얼굴표면온도(2020)

유형	땀별 노출 직후	10분 후
중앙차로 버스정류장 (옥상·벽면 녹화 & 가로수)		
중앙차로 버스정류장 (옥상·벽면 녹화)		
중앙차로 버스정류장		
중앙차로 버스정류장(외)		

열대야와 도시숲: 늦더위 식히는 도시숲, 도심보다 폭염 일수 최대 29.4% 낮아

- 국립산림과학원, '도시숲의 폭염 완화 효과' 연구 결과 국제저널 게재



시청자 코너 LIVE

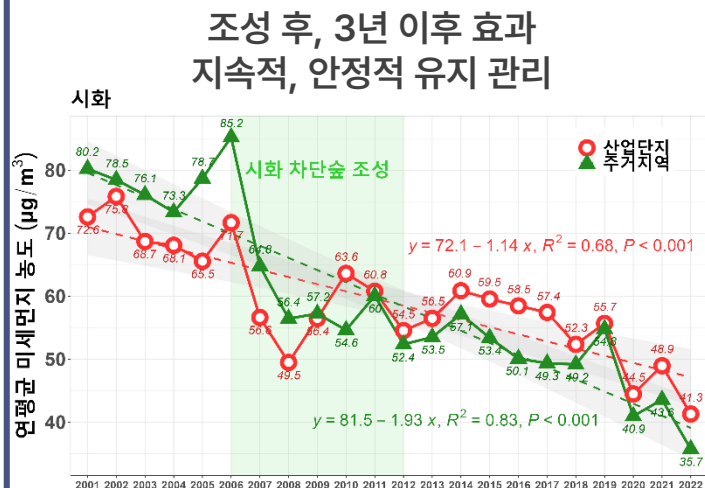
YTN 사이언스

시청자 코너 LIVE

YTN 사이언스



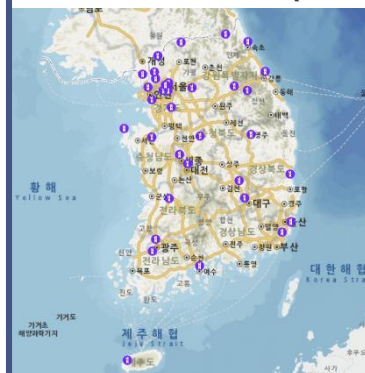
폭염과 미세먼지 피난처, 오아시스 도시숲



국내 시흥 차단숲
폭 200미터, 길이 3 킬로미터



산림 미세먼지 측정넷(44개소 132지점)구축



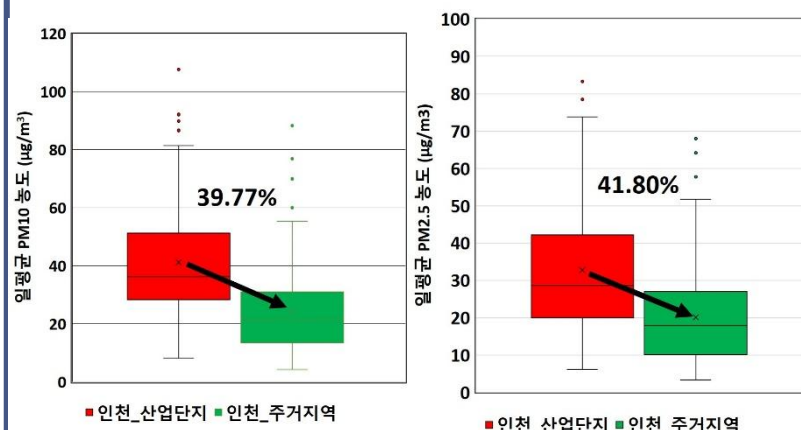
aican.nifos.go.kr



오아시스도시숲알리미 프로그램

<숲속과 도심자료 비교 표출 프로그램>

미세먼지 계절제 시기의 차단숲 조성 효과
미세먼지 39.77%↓, 초미세먼지 41.80% ↓



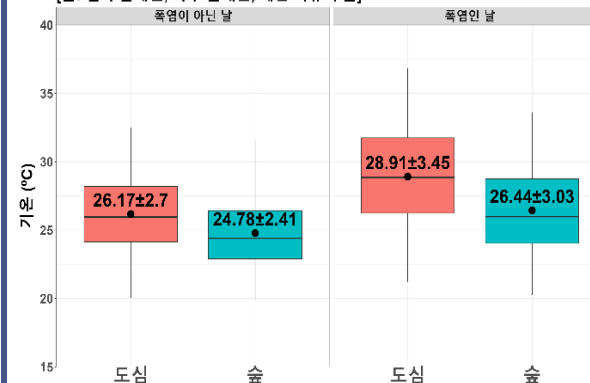
인천 서구 석남 차단숲 조성 후 모습

인천 (인천광역시 서구 석남동 223-494)



폭염시 시원한 숲 효과
2.47°C ↓

2022.07. 숲과 도심 기온 비교
[숲: 칠곡 숲체원, 나주 숲체원, 예산



나무와 숲의 미세먼지 저감 과정

» 차단Blocking, 흡수Absorption, 흡착Adsorption, 침강Deposition



입자성 물질, 미세먼지를 잡는 나뭇잎



입자성 물질, 미세먼지를 잡는 나뭇잎의 무기



잎 표면을 보호하는 역할을 하는 왁스층은 성분에 따라 다양한 크리스탈 구조를 가지는데요. 대나무의 한 종류인 왕대는 동그란 형태, 은행나무는 기둥 형태, 전나무는 조각 형태의 왁스층을 보입니다.



기공은 주로 식물 잎의 뒷면에 존재하며 크기와 개수는 나무의 종류에 따라 나르게 나타납니다. 기공의 굴곡에 의하여 잎 표면에 미세먼지가 흡착되기도 하고 기공을 통해 나뭇잎 내부로 흡수되기도 합니다.

미세 털은 길쭉한 형태, 방사형으로 퍼진 형태, 동그란 형태, 펼쳐진 형태 등 다양하게 나타나는데요. 수종에 따라 털의 형태가 다르며 하나의 잎에 2종류 이상의 미세 털 형태가 존재하기도 합니다.

폭염과 미세먼지 관측 데이터: 44개소 132지점

“코로나 시대에 숲을 이용하는 국민에게, 숲 아래에서 다른 체감농도 정보”를 국민에게

나무그늘이 시원해~
무더위 피하기 딱 좋군!

시원해서 놀기 좋아!!
더워야 물러가라~

아~상쾌하다!
'숨편안길'의 퇴근길

'숨편안길' 라이딩은
힐링 그 자체야!



aican.nifos.go.kr

❖ 청량(淸涼) 아시아 산림 미세먼지 측정넷
(AiCAN, Asian Initiative for Clean Air Networks)

산림미세먼지측정넷 구축 현황

- AiCAN(산림 미세먼지 측정넷) Installation: 44sites 132 points ('19~'23) in public lands

– Definition: Data Platform of PMs and Meteorological Dataset among Pollutants, Buffer forests and Residential Areas sets



aican.nifos.go.kr

〈AiCAN: 44 sites and 132 points〉

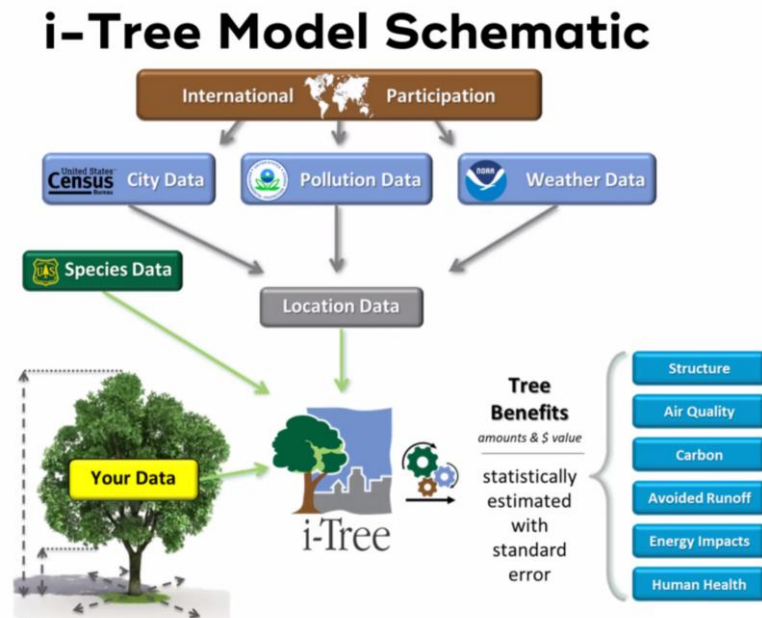
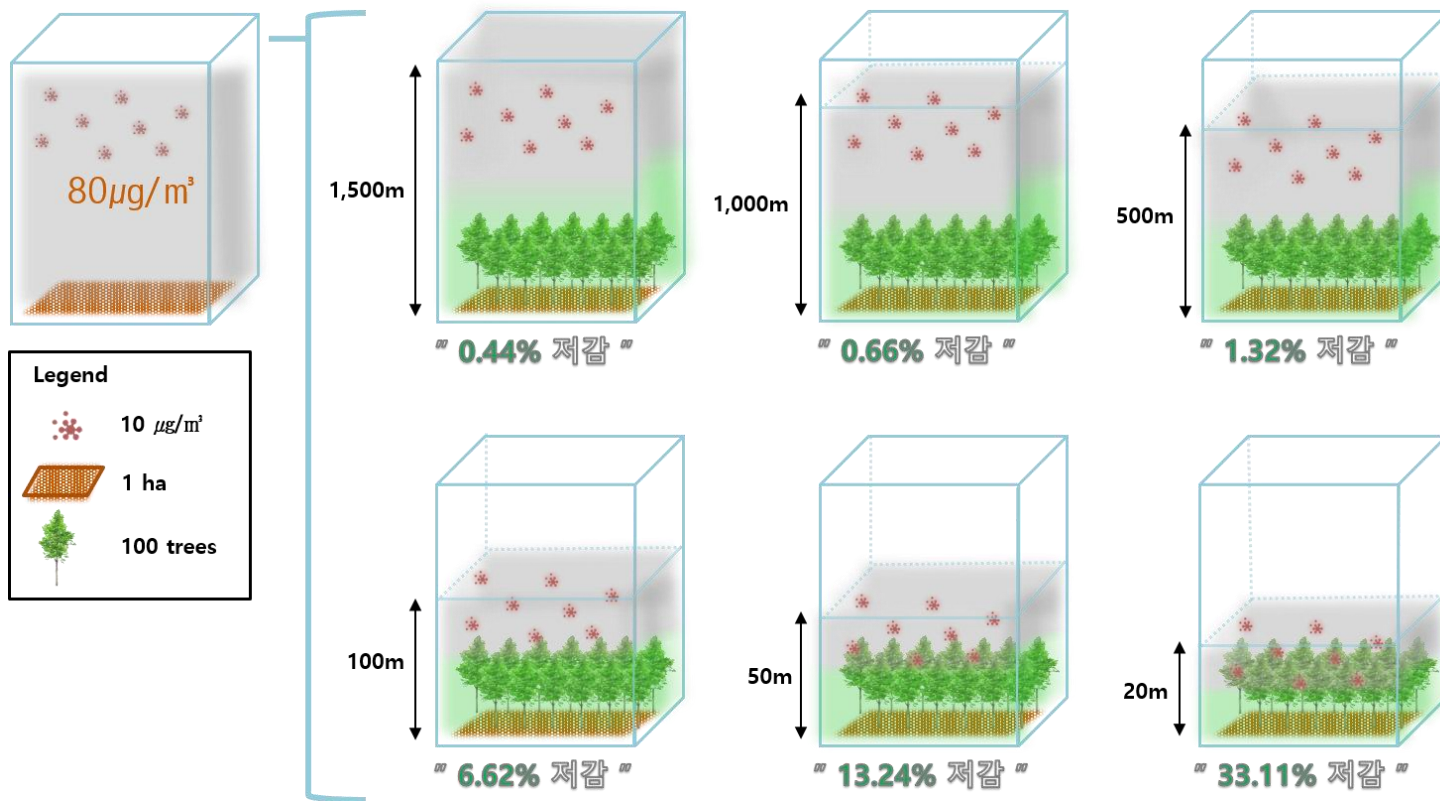
도시숲의 대기질 개선의 국제적 기준 방법

도시숲의 대기질 개선 기능은 있다. 시 공간 규모에 따라 다르다.

● "국내 대기오염물질 총배출량과 비교했을 때 숲의 저감율은 매우 낮다." (경향신문, 2020)

[숲 면적 X 흡수량 < 총 배출량] ← 대기오염물질 2차 생성, 이동, 유출 과정 이해하지 못한 기고문

--> "대기혼합고 1,000미터에서 0.66% 저감, 20미터에서 33.11% 저감" (미국 산림청, i-Tree 국제공동연구)



도시숲의 미세먼지 저감 모델링

- 천리안 위성을 활용한 광학 먼지두께(Aerosol Optical Depth)자료와 환경부 에어코리아의 지상 미세먼지 자료, 기상청 기상자료를 상호 심층학습(Deep Learning) 분석
- 도시숲 지역의 미세먼지는 도심보다도 평균 $16.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 낮았고
- 도시숲 평균 초미세먼지는 WHO 야외 기준($25.0\mu\text{g}/\text{m}^3$) 보다 낮았다.

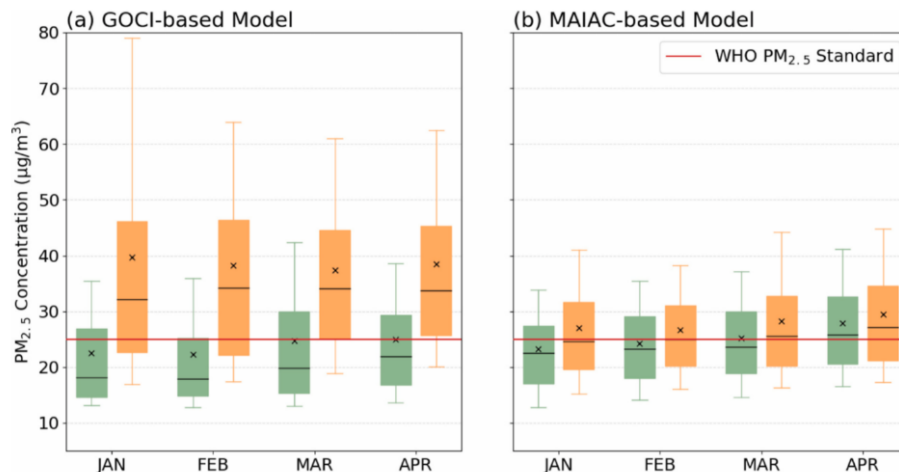


Fig. 5. Monthly distribution of predicted $\text{PM}_{2.5}$ concentration ($\mu\text{g m}^{-3}$) from 2016 to 2019 according to land cover using the (a) GOCI-based model and (b) MAIAC-based model. Green (orange) boxes indicate the forest (urban) region. The black solid line and cross in the boxes show median and mean values obtained for each group, respectively. The red solid line refers to the $\text{PM}_{2.5}$ standard ($25\mu\text{g m}^{-3}$) based on WHO air quality guidelines. The whiskers under (above) boxes represent the 10th (90th) percentile. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)



Potential role of urban forest in removing $\text{PM}_{2.5}$: A case study in Seoul by deep learning with satellite data

Ahreum Lee^a, Sujong Jeong^{a,*}, Jaewon Joo^b, Chan-Ryul Park^c, Jhoon Kim^{d,e}, Sookyoung Kim^f

^a Department of Environmental Planning, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea

^b Environmental Planning Institute, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea

^c Urban Forests Research Center, National Institute of Forest Science, Seoul, Republic of Korea

^d Department of Atmospheric Sciences, Yonsei University, Seoul, Republic of Korea

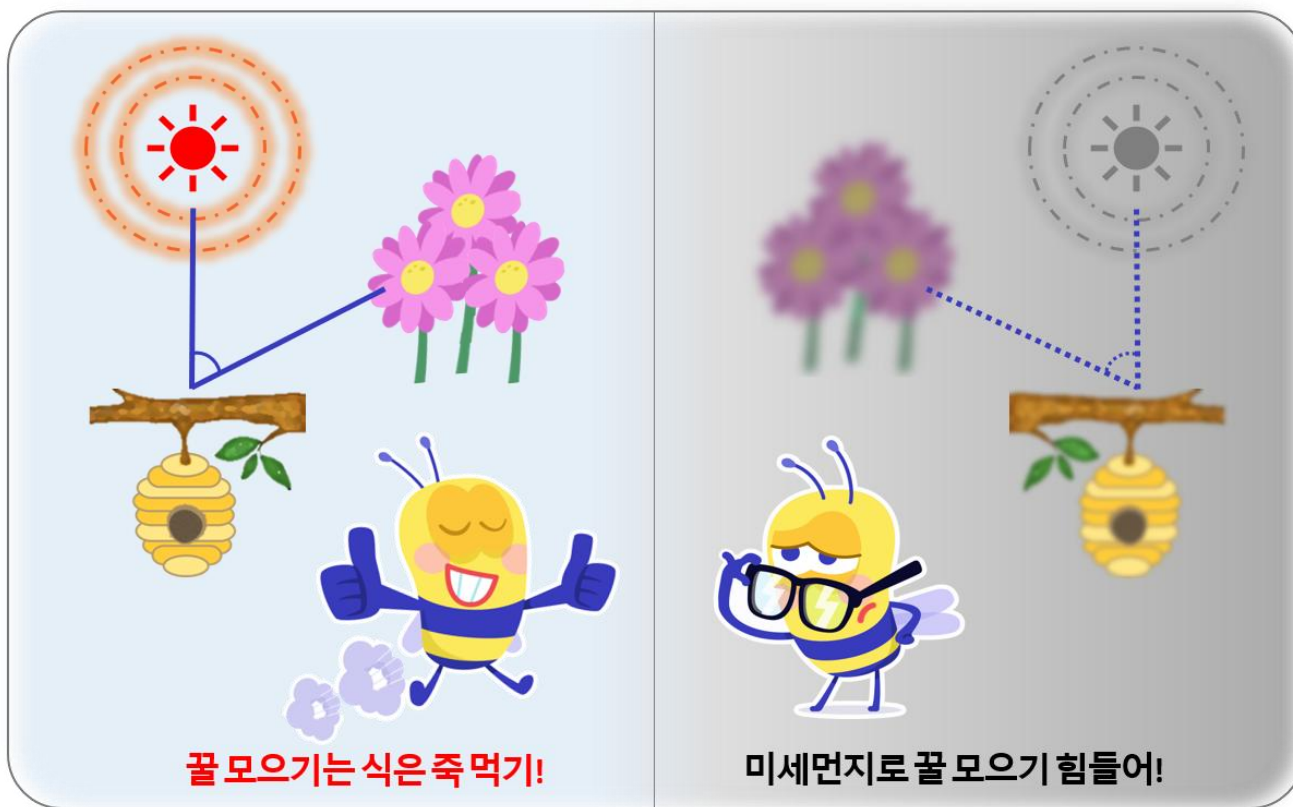
^e Particulate Matter Research Institute, Samsung Advanced Institute of Technology (SAIT), Suwon, Republic of Korea

^f Lawrence Livermore National Laboratory, California, USA



생물서식지로서 숲: 꿀벌을 키우는 도시숲

- 황사 이후 꿀벌은 벌집에 복귀하는 시간이 1.7배 증가함.
- 태양과 꽃의 상대적 각도로 위치를 잡는 8자 춤의 상호 소통의 교란의 보임
→ 가로수와 도시숲에 피나무 등 밀원식물의 식재 필요함



Received: 26 April 2020 | Revised: 16 November 2020 | Accepted: 3 December 2020
DOI: 10.1002/ece3.7145

NATURE NOTES

Ecology and Evolution WILEY

Foraging trip duration of honeybee increases during a poor air quality episode and the increase persists thereafter

Yoori Cho¹ | Sujong Jeong¹ | Dowon Lee¹ | Sang-Woo Kim² |
Rokjin J. Park² | Luke Gibson³ | Chunmiao Zheng³ | Chan-Ryul Park⁴

¹Department of Environmental Planning, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Seoul, Korea
²School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea
³School of Environmental Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen, China
⁴Urban Forests Research Center, National Institute of Forest Services, Seoul, Korea

Correspondence
Sujong Jeong, Department of Environmental Planning, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Seoul, Korea.
Email: sujong@snu.ac.kr

Funding Information
National Research Foundation of Korea (NRF), Grant/Award Number: NRF-2018R1D1A1B07050593; SciEx Asia grant by National Geographic Foundation, Grant/Award Number: Asia 36-16; National Institute of Forest Science of Korea, Grant/Award Number: NIFOS FE000201801; Korea Environment Industry & Technology Institute (KEITI); Korea Ministry of Environment (MOE), Grant/Award Number: 2019000160007

Abstract

Increased concentration of airborne particulate matter (PM) in the atmosphere alters the degree of polarization of skylight which is used by honeybees for navigation during their foraging trips. However, little has empirically shown whether poor air quality indeed affects foraging performance (foraging trip duration) of honeybee. Here, we show apparent increases in the average duration of honeybee foraging during and after a heavy air pollution event compared with that of the pre-event period. The average foraging duration of honeybees during the event increased by 32 min compared with the pre-event conditions, indicating that 71% more time was spent on foraging. Moreover, the average foraging duration measured after the event did not recover to its pre-event level. We further investigated whether an optical property (Depolarization Ratio, DR) of dominant PM in the atmosphere and level of air pollution (fine PM mass concentration) affect foraging trip duration. The result demonstrates the DR and fine PM mass concentration have significant effects on honeybee foraging trip duration. Foraging trip duration increases with decreasing DR while it increases with increasing fine PM mass concentration. In addition, the effects of fine PM mass concentration are synergistic with overcast skies. Our study implies that poor air quality could pose a new threat to bee foraging.

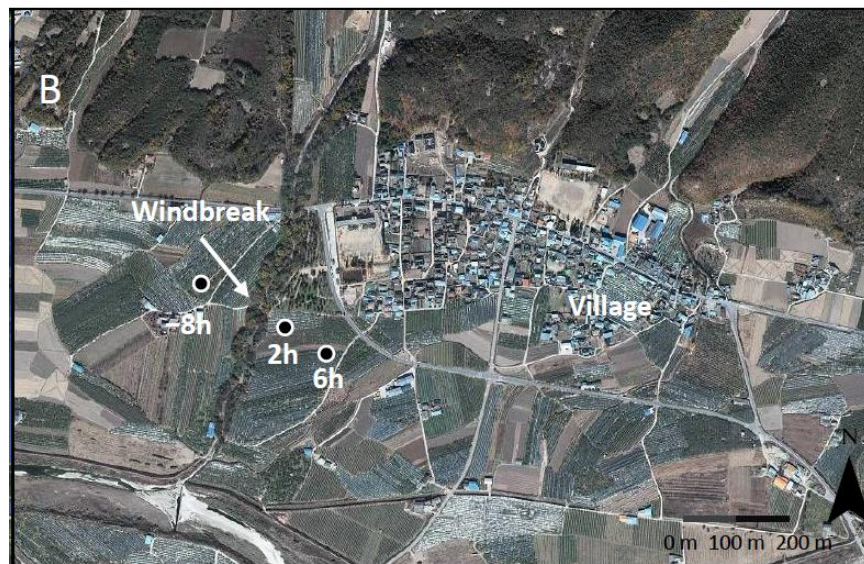
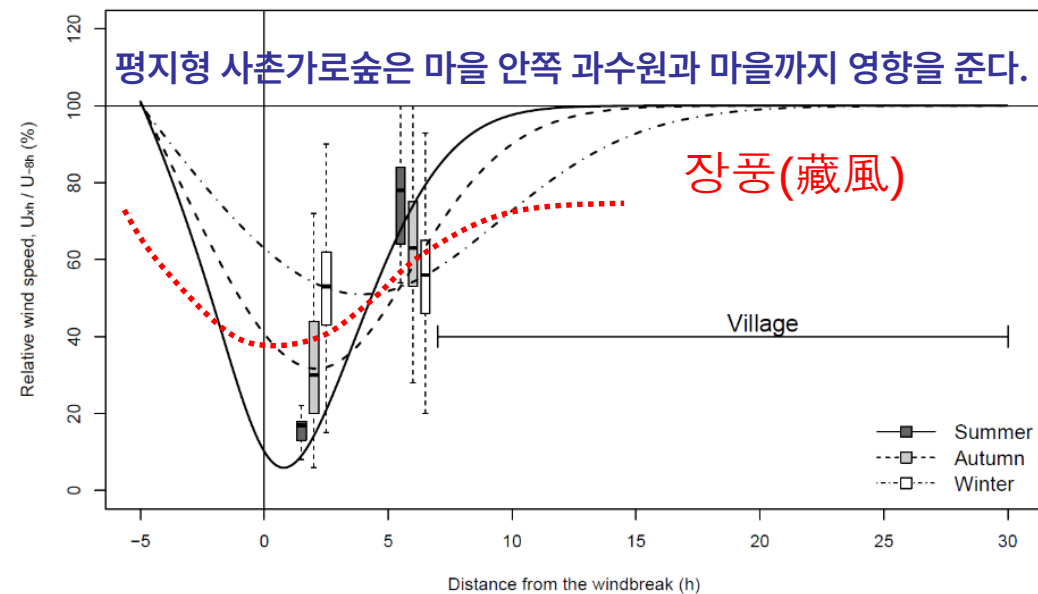
KEYWORDS

air pollution, air quality, airborne particulate matter, *Apis mellifera*, Depolarization Ratio, foraging, PM2.5, pollination, sky polarization

04

모두가 함께하는 도시숲 조성·관리

겨울 찬바람을 이겨낸 지혜, 오아시스 도시숲

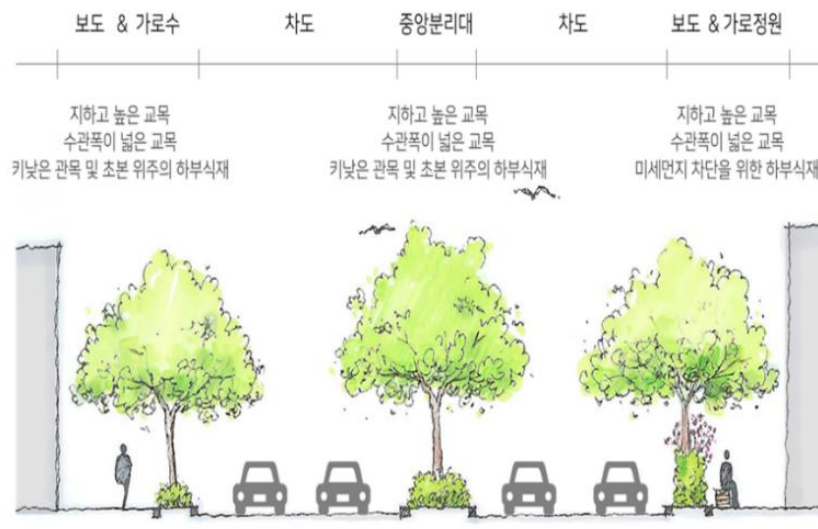
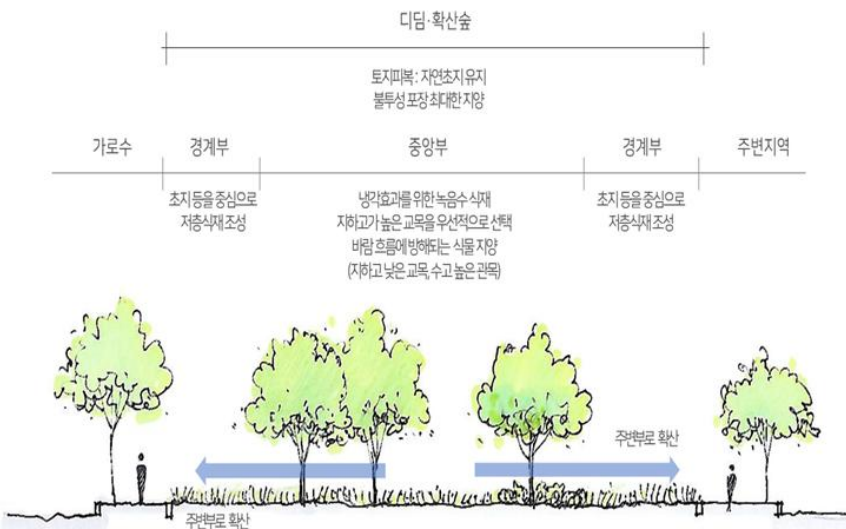
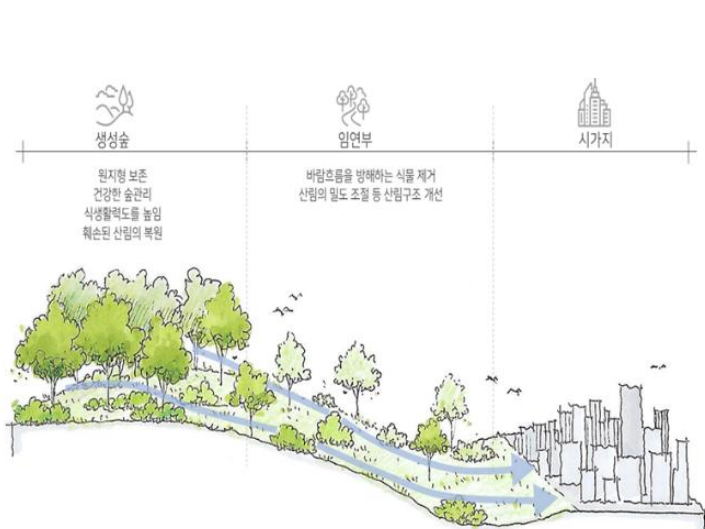


대기오염물질을 도시 외곽으로 분산을 위한 바람길숲

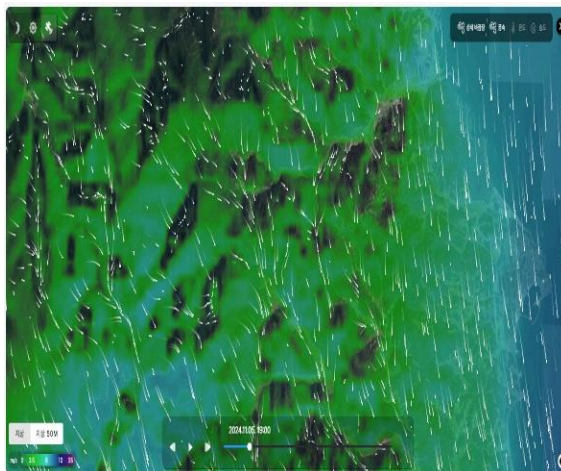
- 도시바람길숲 유형별(생성숲, 연결숲, 디딤확산숲) 조성 방향
- 도시 내·외곽숲의 신선하고 깨끗한 공기를 도심으로 유도·확산하도록 연결된 숲

Kalt luft abfluß
(Cold) (Air) (drain)
(찬) (공기) (유출)
바람길숲

생성숲	디딤·확산숲	연결숲
✓ 식생 분포 지역은 최소 5도 정도의 경사 지역 ✓ 임연부 숲 구조 개선으로 찬공기 생성/흐름 원활	✓ 벤투리 효과에서 발생하는 숲바람 활용 ✓ 확산/냉각 효과 함께 고려한 비움 식재 배치	✓ 가로숲(도로), 완충숲(철도·고속도로), 하천숲 조성 ✓ 바람 흐름 연결/기온 저감 효과 등 고려, 체감도 향상

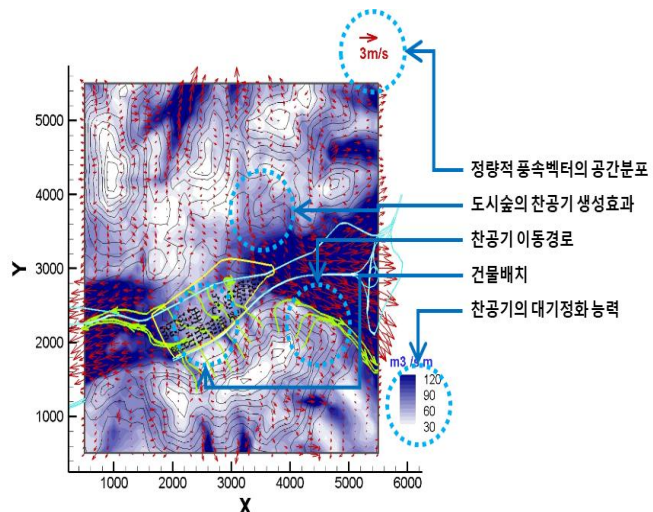


대기오염물질을 도시 외곽으로 분산을 위한 숲바람지도



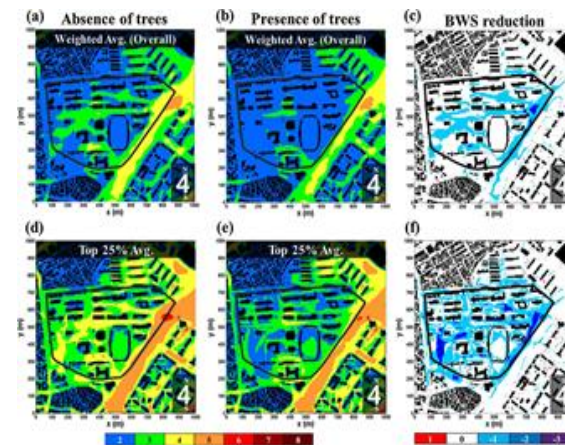
* 한반도 고해상도 상세 바람장 지도

* 산불, 산사태 등 산림분야 활용(0.5km× 0.5km)



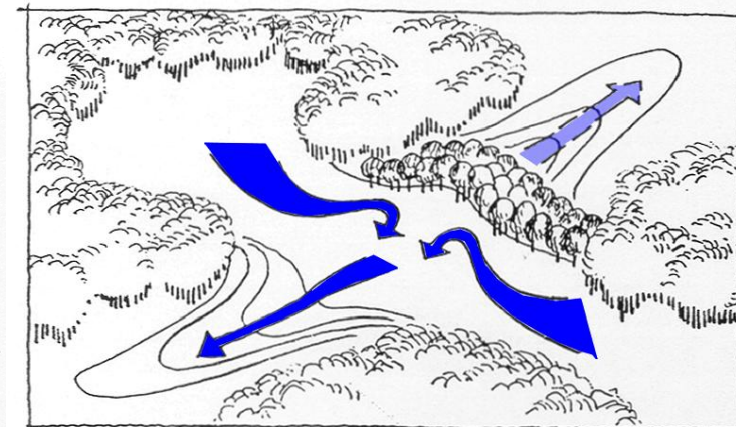
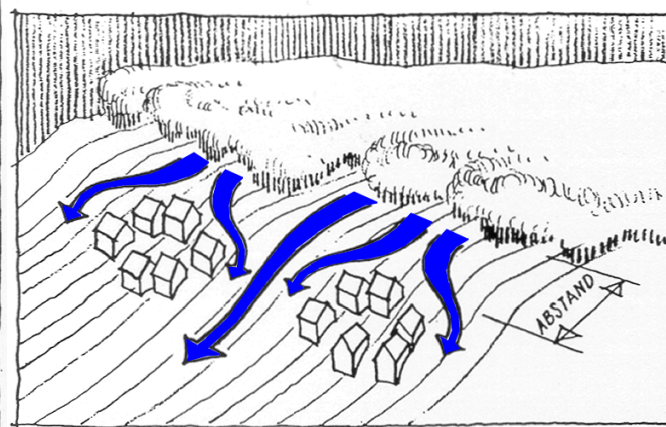
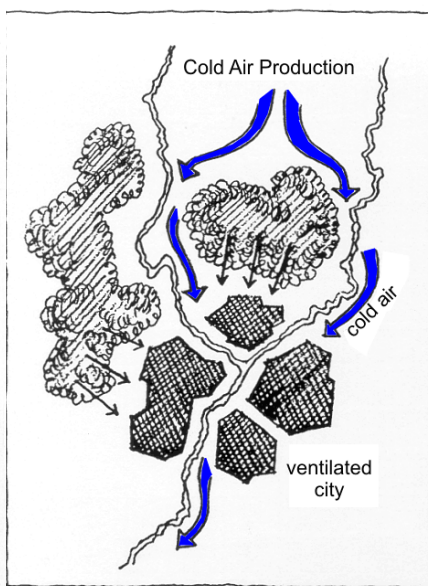
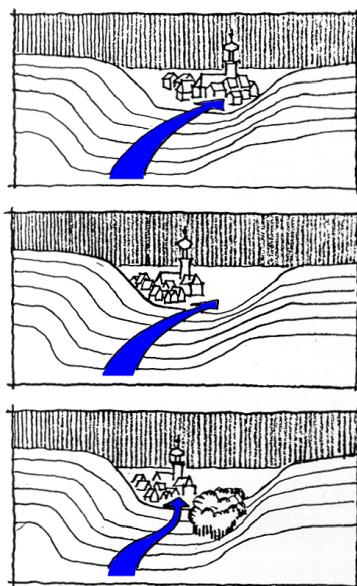
* CFD를 적용한 바람장및 찬기류모델링

(홍릉산림과학시험림 주변)



* 나무, 빌딩 효과의 바람 역학 시뮬레이션 모델

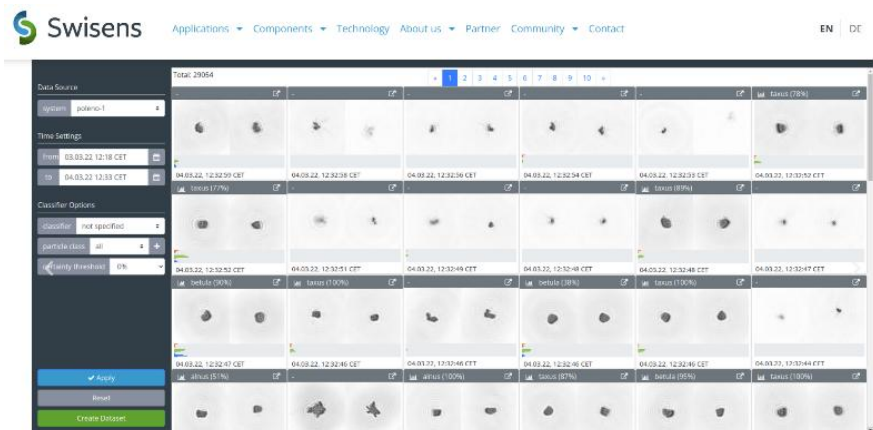
* 나무 적정 배치의 보행자 쾌적성 개선 효과(부경대)



(<http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/>)

극한 기후값 시대의 정원, 도시숲, 건강

● My Tree ← 꽃가루, 벌쏘임, BVOCs를 고려한 수종 선정



Overview of all measured particles, summarized as measurement events in the Event Viewer.



Swisens Applications Components Technology About us Partner Community Contact

New standards in pollen monitoring

MeteoSwiss pioneers the automation of the pollen measurement network. Swisens convinces MeteoSwiss and supplies the systems for the nationwide Swiss Automated Pollen Network.

Swiss Automated Pollen Network
In close scientific cooperation with the renowned Federal Office of Meteorology and Climatology MeteoSwiss, Swisens has developed a special solution for real-time pollen measurement. Swisens supplies the nationwide pollen measurement network "Swiss Automated Pollen Network" and supports MeteoSwiss in the unique pioneering achievement. The entire network with 18 monitoring stations will be ready for use in 2022 and will set new standards for automated pollen measurements in Europe and around the world.

[More about the project](#)

SwisensEcosystem Pollen Monitoring

<꽃가루 자동 모니터링 시스템, 유럽 지역 사례>

위해 요인	수종 선정 기준
대기오염	BVOCs 고방출 수종 제외
알레르기	꽃가루 알레르기 유발 가능성이 높은 수종 제외
벌 쏘임	벌 유인 관목(밀원수종) 제외

분류	추천 수종
관목	개나리, 꽃댕강나무, 돈나무, 무궁화, 사철나무, 조팝나무, 쥐똥나무, 진달래, 팔배나무, 화살나무, 황매화, 회양목, 후박나무
교목	침엽 개잎갈나무, 메타세쿼이아, 은행나무, 섬잣나무, 소나무, 스트로브잣나무, 잣나무, 전나무, 편백, 향나무, 화백
	활엽 고로쇠나무, 굴거리나무, 느티나무, 단풍나무, 모감주나무, 물푸레나무, 밤나무, 배롱나무, 백목련, 백합나무, 복자기, 산딸나무, 산수유, 왕벚나무, 이팝나무, 중국단풍, 참느릅나무, 칠엽수, 팽나무

분류	제외 수종
BVOCs 고방출 수종	리기다소나무, 버드나무, 신갈나무, 왕대, 왕버들, 졸참나무
꽃가루 알레르기 유발 가능성이 높은 수종	(개암나무속) 개암나무, 물개암나무, 병개암나무, 유럽개암나무, 참개암나무 (너도밤나무속) 너도밤나무, 미국너도밤나무 (삼나무속) 삼나무 (오리나무속) 물오리나무, 오리나무 (자작나무속) 만주자작나무, 물박달나무, 박달나무, 사스래나무, 자작나무 (참나무속) 갈참나무, 굴참나무, 떡갈나무, 상수리나무, 신갈나무, 졸참나무
벌 유인 관목	동백나무, 때죽나무, 마가목

<자녀안심그린숲 수종 선정 기준 및 수종, 산림청>

인간과 생물을 위한 연결성과 접근성 높은 도시숲

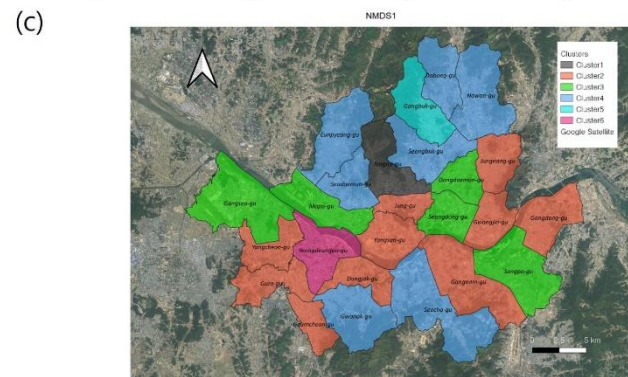
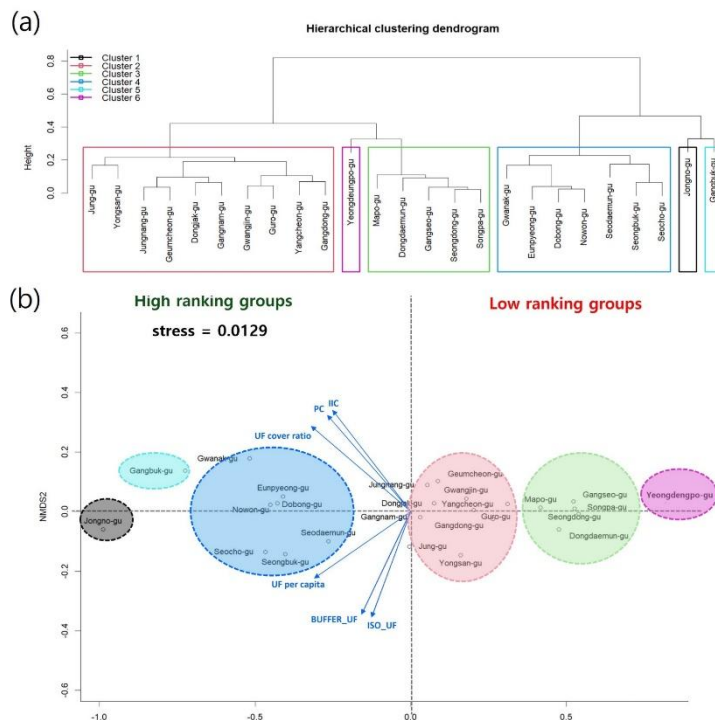
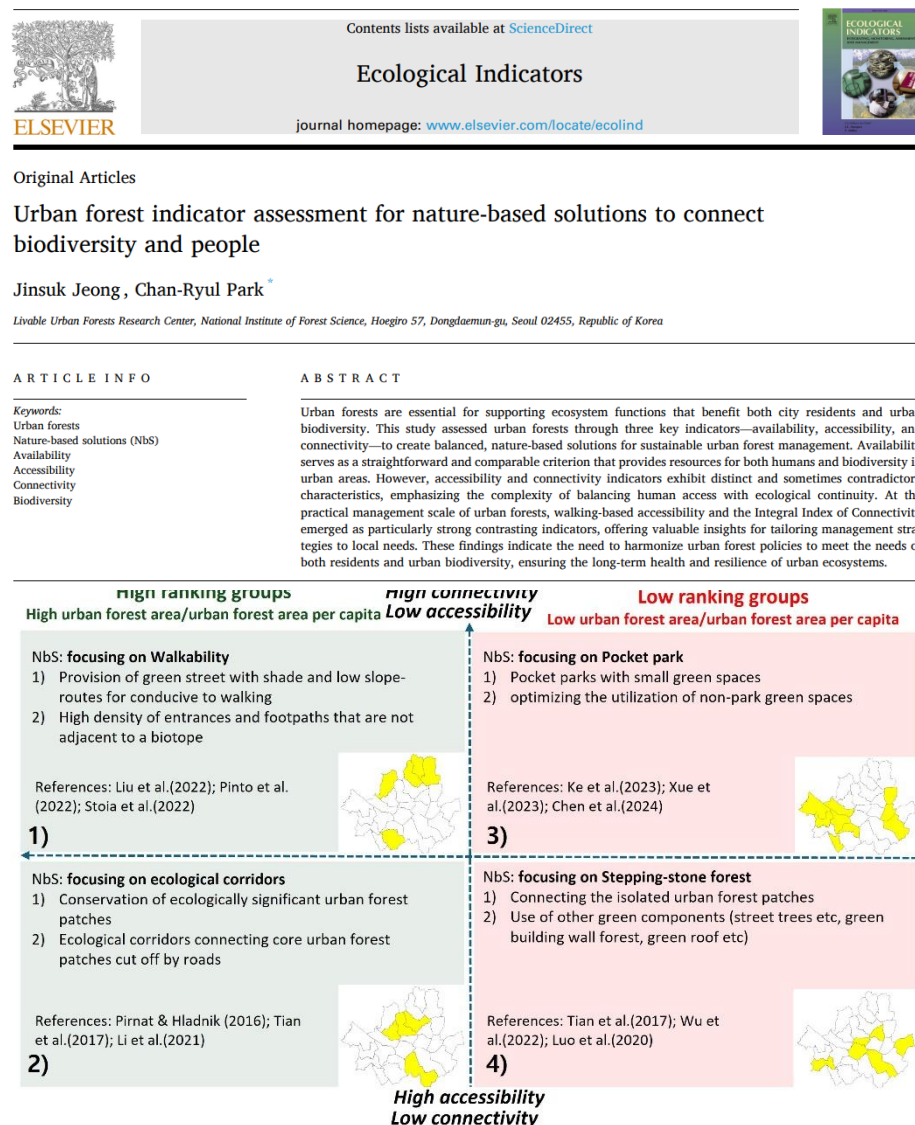
세금은 공평하지만, 복지 혜택은 다르다니!!!

지속 가능한 도시 숲 관리를 위한
균형 잡힌 자연 기반 솔루션을 만들
기 위해 가용성, 접근성, 연결성이라
는 세 가지 주요 지표를 통해 도시
숲을 평가

- 도시숲의 가용성은 도시 환경의 인간과 생물 다양성 모두를 위한 간단하고 비교 가능한 기준
- 지역 수준에서는 도보 기반 접근성과 통합 연결성 지수가 특히 대조적인 지표로 나타났으며, 이는 지역 요구에 맞게 도시 숲 관리 전략을 조정하는 데 유용한 통찰력을 제공

도시숲의 다양한 생태계서비스를
도시민, 도시생물에게 공평 제공

→ 지속가능한 도시, 건강한 도시생태계를 구현하기 위한 정량적 지표로 활용



기후위기를 극복할 도시숲 조성 후 효과성

도심 속 허파, 도시숲 효과

1 기후조절

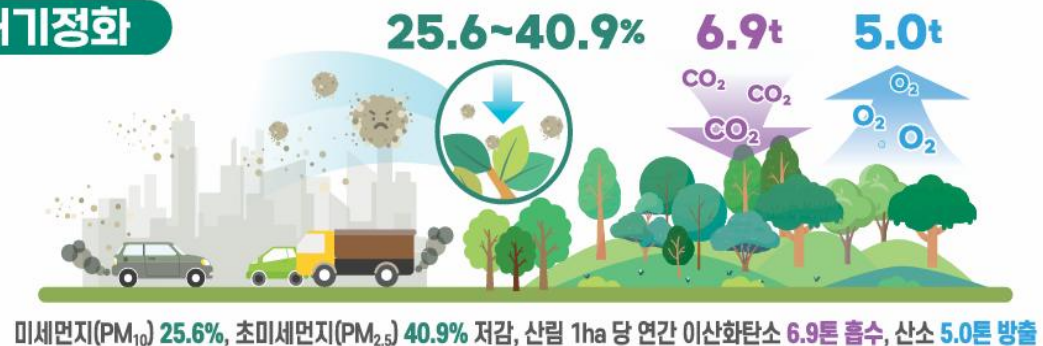


2 소음저감



도심 속 허파, 도시숲 효과

3 대기정화



4 휴식·정서 함양



05

미래의 도시숲

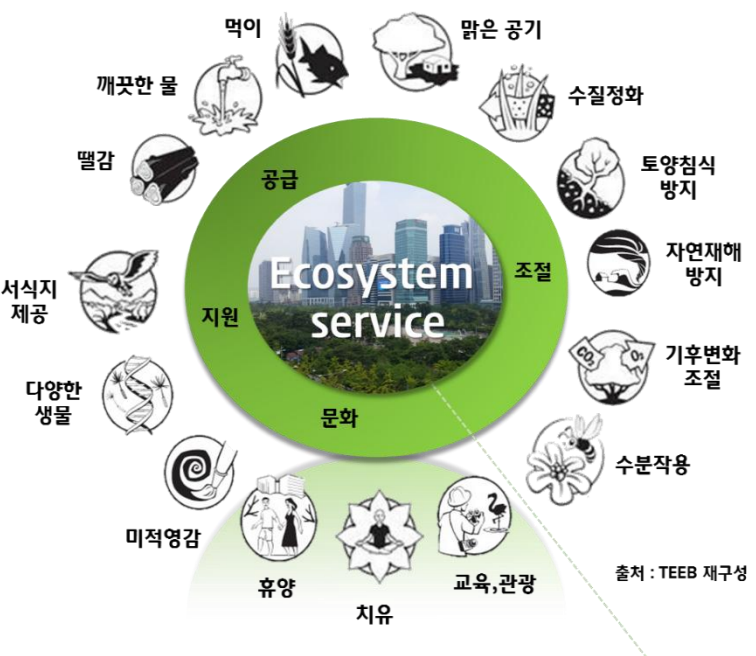
4)에너지와 환경분야 중점을 둔 도시

출처: Jo. Et al. 2019. An "An Analysis on the Expert Opinions of Future City Scenarios."

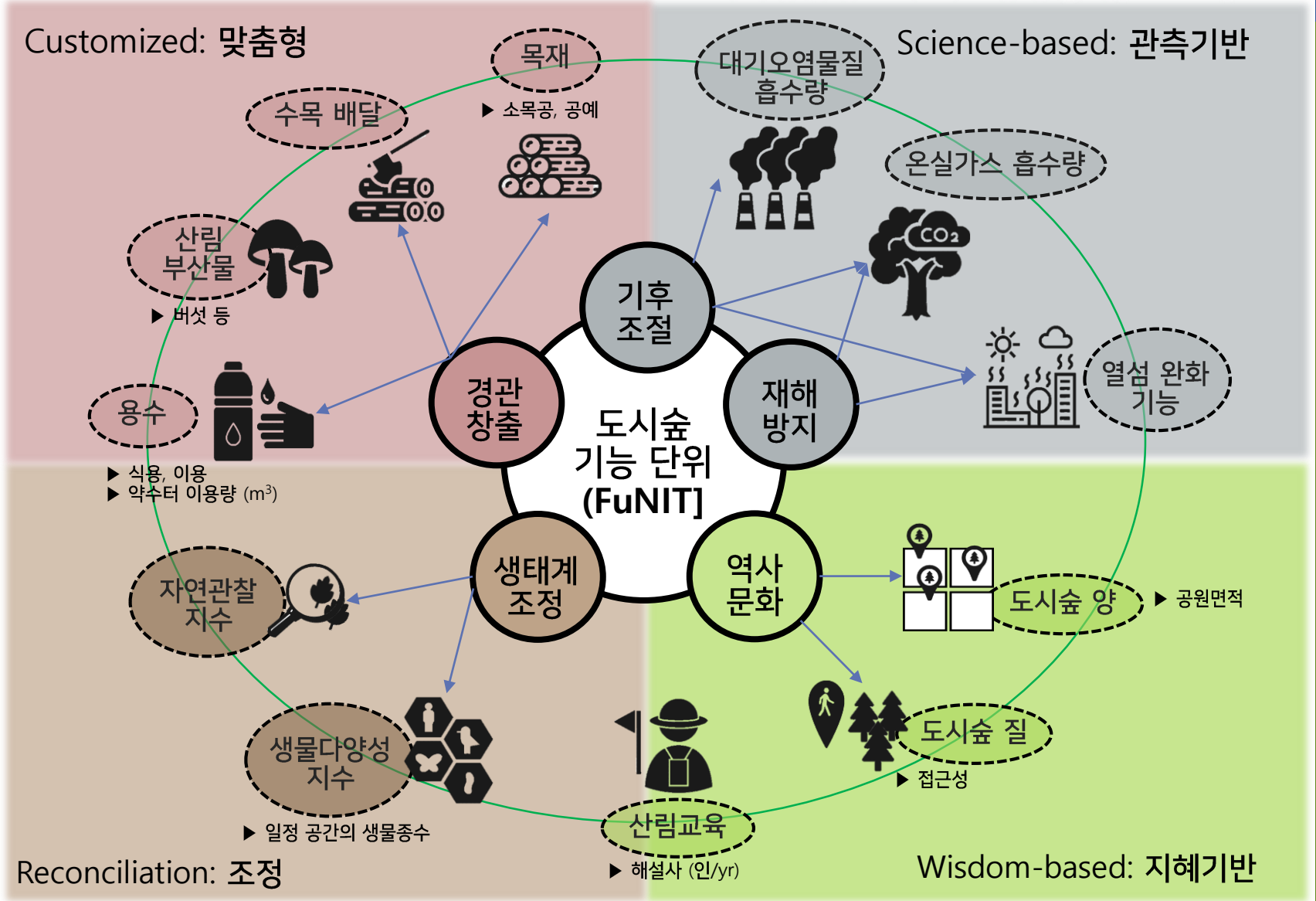


도시숲의 다양한 혜택

도시에 92%이상의
사람들이 살고 있어요.



"한국에서 도시숲 4가지 용기(SCRew)"



5 도시숲의 미래

3-30-300 rule

Have you heard of the 3-30-300 rule?

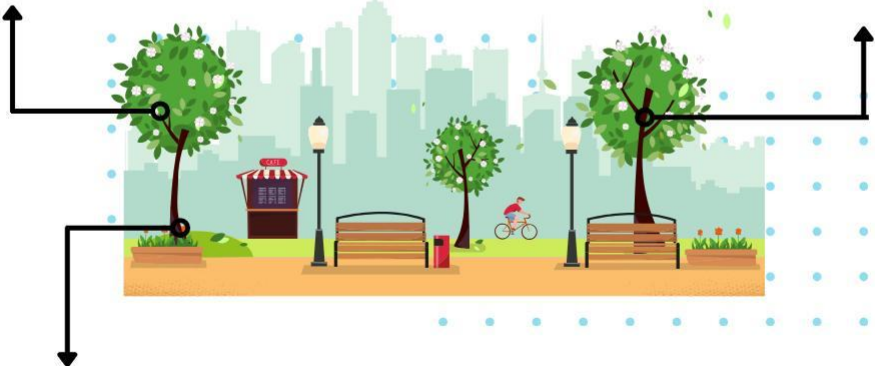


3 Large Trees

Everyone should be able to see at least three large trees from where they live, work, learn, or receive care.

30% Tree Canopy Cover

Neighbourhoods – defined based on local definitions and needs – should have at least 30% tree canopy cover.



Green Space 300m walk or ride away

We should all have a high-quality, publicly accessible green space of at least 0.5–1.0 hectares no more than 300 metres walk or bike ride away.

A concept by Cecil Konijnendijk



자료 : The 15-minute City: a new urban model. The London School of Economics and Political Science. 2022.

Urban Forest Equity

LOS ANGELES URBAN FOREST EQUITY

This infographic is based on two reports published by Dr. Vivek Shandas and CAPA Strategies, with support from Cindy Chen, Stross Landscape Urbanism, TreePeople, City Plants, California Climate Action Corps, the Los Angeles Urban Forest Equity Collective. Special thanks to our funders, Accelerate Resilience Los Angeles and the U.S. Forest Service via the Los Angeles Center for Urban Natural Resources Sustainability.

20% OF TREE CANOPY
in the City of Los Angeles is located in **FOUR NEIGHBORHOODS**

BENEFITS OF TREES
include cooling shade, clean air, and saving money on electricity bills.¹

When trees aren't distributed evenly, neither are their benefits.

REDLINING
is one major reason for this uneven distribution of trees.
Redlining was a federal policy that refused to provide mortgage loan guarantees for neighborhoods primarily based on racial composition. This prevented some neighborhoods from investing in improvements, like parks.

자료 : cityplants.org

5 도시숲의 미래

- ✓ 도시에서 비움과 채움<찬바람길숲과 연결숲>
- ✓ 연결숲 : 정원숲, 교통숲, 골목숲, 수직숲, 가로숲, 큰숲, 경관숲



자료 : 산림청

기후 위기의 전사(WARRIOR), 도시숲

- 기후 위기와 도시화는 도시숲의 기능 중 조절기능(regulation)에 대한 중요성이 더욱 증가할 것이다.
- 도시숲의 폭염저감, 대기질 개선 등뿐 아니라, 도시민의 건강과 사망률 등 건강 도시 연구 필요하다.
- 현장에 적용가능한 다양한 형태와 규모에서 연구 및 정책 개발이 필요하다.



접근성(Accessibility) 분석에 기반한 채움숲

- 도시숲 접근성을 세대, 젠더, 지역별 맞춤형 연구 성과물로 제시하자.
- 도시숲의 접근성 평가기법을 적용하여, 한정된 예산으로 투자하여
효과를 높일 '채움숲'을 발굴하자.
- 도시숲 다기능을 시민에게 동등하게 접근 기회를 제공하여,
구성원간 사회적 불평등 및 사회갈등을 줄이자.
- 접근성 높은 공평한 도시숲은 사회통합의 장소로서의 역할을 할 것이다.



결론: 데이터 기반으로 도시를 살리자

“도시를 살리는 나무와 숲을 데이터 기반으로
도시숲의 조성, 유지, 관리정책을 추진하자.”

기후적응수단으로서 도시숲의 역할

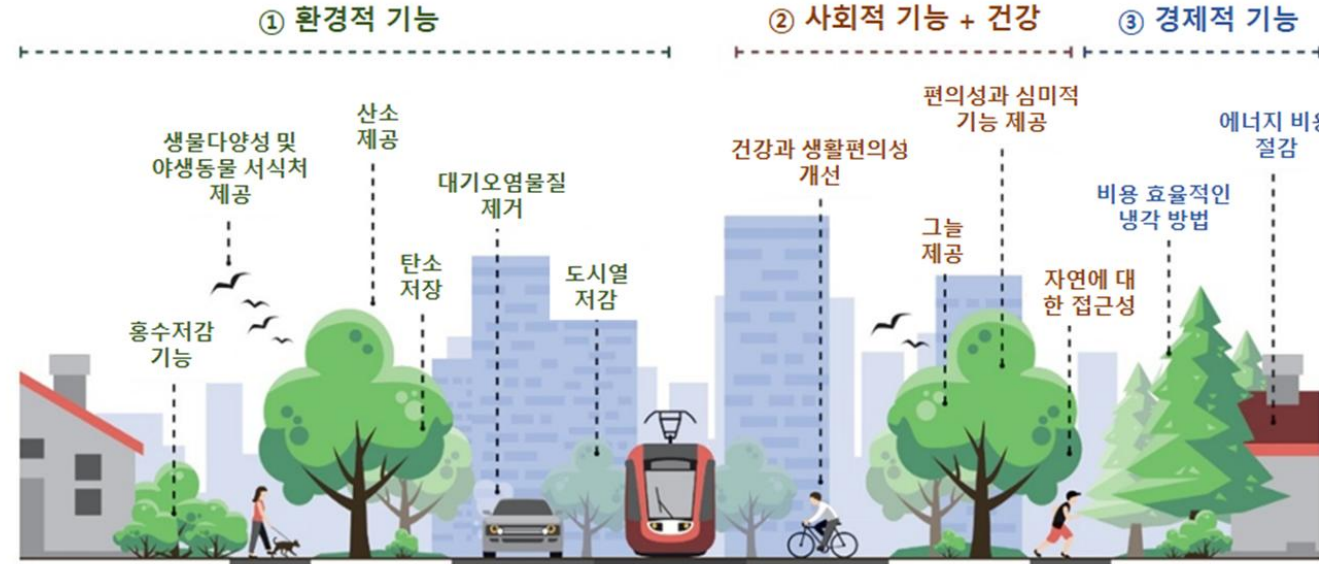
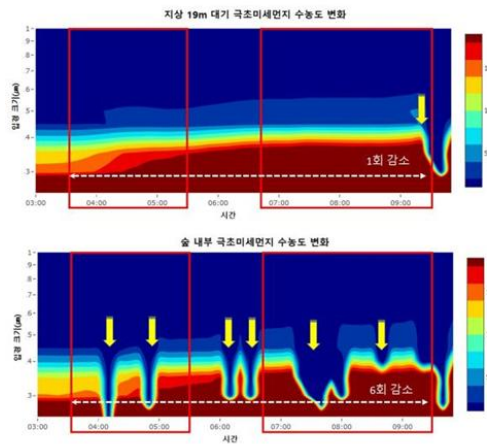
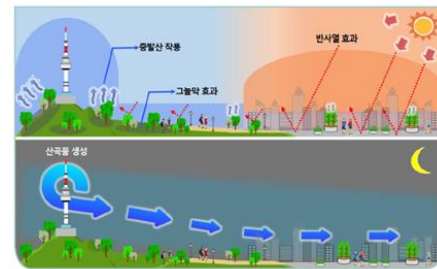
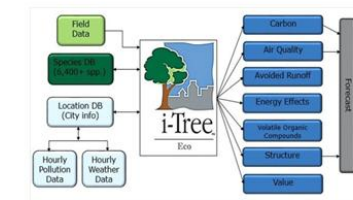
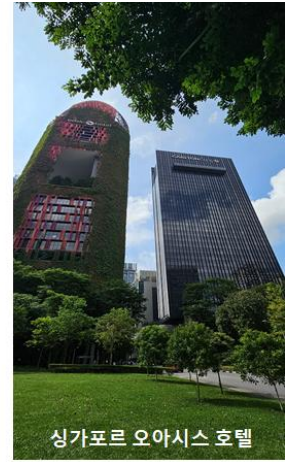
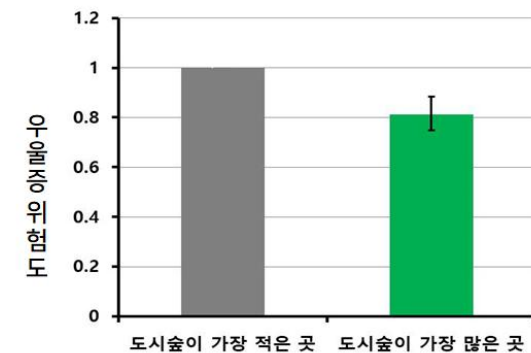
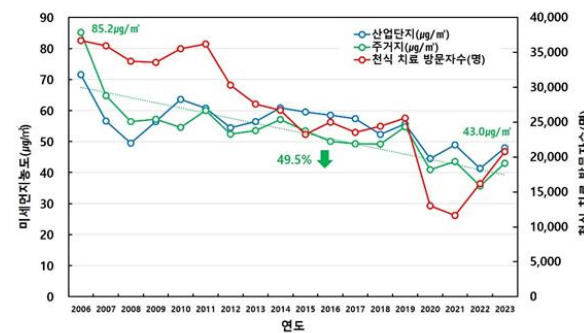
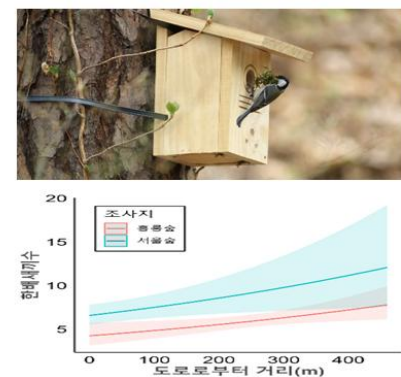
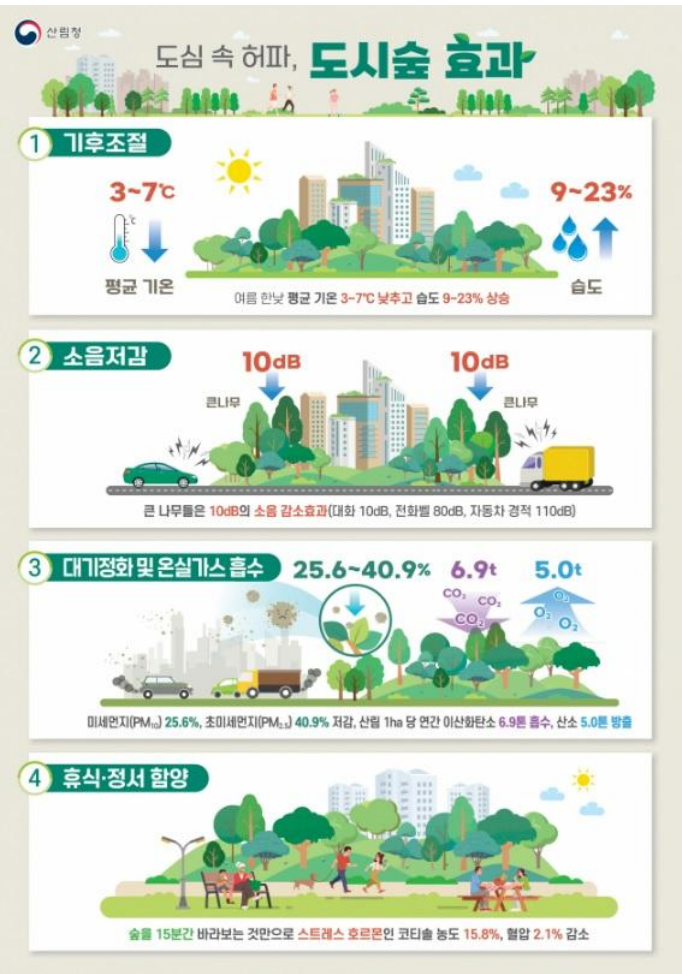


Image credit.: <https://www.climatechoices.act.gov.au/policy-programs/canberras-living-infrastructure-plan>

출처: kalamunda.wa.gov.au/our-city/environment/urban-forest-strategy

기후적응수단으로서 도시숲의 역할



출처 : 산림청, 2024



산림 미세먼지 측정넷 기반 '스마트 도시숲 모니터링넷' 모식도

감사합니다.

