

도시환경 개선을 위한 바람길숲 조성 계획기법 개발 연구[†]

- 대전광역시를 사례로 -

A Study on the Wind Ventilation Forest Planning Techniques for Improving the Urban Environment[†]

- A Case Study of Daejeon Metropolitan City -

한봉호*, 박석철**, 박수영***

*서울시립대학교 조경학과 교수, **서울시립대학교 도시과학연구원 연구원, ***서울시립대학교 대학원 조경학과 석사

Han, Bong-Ho*, Park, Seok-Cheol**, Park, Soo-Young***

*Professor, Dept. of Landscape Architecture, University of Seoul

**Researcher, Institute of Urban Science, University of Seoul

***Master, Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, University of Seoul

Received: February 16, 2023

Revised: February 17, 2023 (1st)

March 13, 2023 (2nd)

Accepted: March 13, 2023

3인익명 심사필

Corresponding author :

Seok-Cheol Park

Researcher, Institute of Urban

Science, University of Seoul,

Seoul 02504, Korea

Tel.: +82-2-6490-5521

E-mail: psc9987@uos.ac.kr

국문초록

본 연구의 목적은 대전광역시를 사례로 도시환경 개선을 위한 도시 바람길숲 조성 계획기법을 개발하고자 하였다. 미세먼지 및 폭염 공간분석을 통해 상대적으로 심각한 집중지역의 유역권을 공간단위로 도출하였고, 해당 유역권 내 찬공기 유동 잠재성이 있는 지역을 바람길숲 조성 대상권역으로 선정하였다. 미세먼지 극심지역은 대덕구 대전 산업단지 재생사업지구, 유성구 대덕테크노밸리 일대가 해당되었다. 폭염 발생 우심지역은 대덕산업단지(목상동), 대전산업단지 재생사업지구(대화동), 오정동 밀집주거지(오정동) 일대가 해당되었다. 대전 지점 자동기상관측장비(AWS) 측정 결과 낮과 밤의 평균 풍속은 0.1~1.7%, 밤 시간 바람 유동이 낮보다 저조하였고, 밤에 외곽 산림에서 생성되는 찬공기의 이동을 원활하게 유도하는 바람길숲 계획이 필요하였다. 대전광역시 미세먼지·폭염 집중관리 권역은 대전천 권역, 유등천 권역, 갑천-유등천 권역, 갑천 권역으로 총 4개 권역이었다. 바람길숲 조성계획 사례는 4개 권역 중 대전광역시 구도심이며, 바람길 조성 효과가 높을 것으로 추정되는 갑천-유등천 권역을 대상으로 제시하였다. 갑천-유등천 권역은 계족산 서사면 산림, 우성이산 남사면 산림에서 생성된 찬공기를 갑천, 유등천과 가로숲을 통해 연결하여 도심으로 찬공기 확산될 수 있도록 바람길숲을 계획하였다. 바람길숲 대상 권역 선정 후 해당 권역 내 기후특성도, 바람형성가능 평가도 작성, 바람장미(밤) 현황 파악, 미세먼지 발생현황, 지표면 온도 분포 현황을 상세하게 파악하였다. 이를 통해 바람길숲 계획 구상 및 유형별 세부 대상지를 파악하였다. 그리고 바람길숲 유형별 조성방향 설정과 조성방향에 따른 세부 실행계획을 수립하였다.

주제어: 그린인프라, 유역권, 찬공기, 기후특, 바람길 계획

ABSTRACT

The objective of the study was to develop an Urban Windway Forest Creation Planning Technique for the Improvement of the Urban Environment using the case of Daejeon Metropolitan City. Through a spatial analysis of fine dust and heat waves, a basin zone, in which the concentration was relatively serious, was derived, and an area with the potential of cold air flow was selected as the target area for the windway forest development by analyzing the climate and winds in the relevant zone. Extreme fine dust areas included the areas of the Daejeon Industrial Complex Regeneration Business District in Daedeok-gu and Daedeok Techno Valley in Yuseong-gu. Heat wave areas included the areas of Daedeok industrial Complex in Moksang-dong, the Daejeon Industrial Complex Regeneration Business District in Daehwa-dong, and the high-density residential area in Ojeong-dong. As a result of measuring the wind speeds in Daejeon with an Automatic Weather System, the average wind speeds during the day and night were 0.1 to 1.7 %, respectively. So, a plan of for a windway forest that smoothly induces the movement of cold air formed in outer forests at night is required. The fine dust/heat wave intensive management zones of Daejeon Metropolitan City were Daejeoncheon, Yudeungcheon, Gapcheon-Yudeungcheon, and Gapcheon. The windway forest formation plan case involved the old city center of Daejeon Metropolitan City among the four

[†]본 결과물은 2021년도 서울시립대학교 연구년 교수 연구비에 의하여 연구되었습니다.

zones, the Gapcheon-Yudeungcheon area, in which the windway formation effect was presumed to be high. The Gapcheon-Yudeungcheon area is a downtown area that benefits from the cold and fresh air generated on Mt. Gyejok and Mt. Wuseong, which are outer forests. Accordingly, the windway forest was planned to spread the cold air to the city center by connecting the cold air generated in the Seosa-myeon forest of Mt. Gyejok and the Namsa-myeon forest of Mt. Wuseong through Gapcheon, Yudeungcheon, and street forests. After selecting the target area for the wind ventilation forest, a climate map and wind formation function evaluation map were prepared for the area, the status of variation wind profiles (night), the status of fine dust generation, and the surface temperature distribution status were grasped in detail. The wind ventilation forest planning concept and detailed target sites by type were identified through this. In addition, a detailed action plan was established according to the direction of creation and setting of the direction of creation for each type of wind ventilation forest.

Keywords: Green Infrastructure, Basin, Cold Air, Climate-Top, Ventilation Corridor Plan

1. 서론

도시환경 개선을 위한 해결 방안으로 도시숲의 기능과 역할이 대두되고 있다. 산림청은 지난 2019년부터 미세먼지 차단숲, 도시바람길숲 조성을 신규사업으로 추진하고 있다. '미세먼지 차단숲'은 산업단지 등 미세먼지 발생원과 주거지역 사이에 조성해 미세먼지의 생활권 유입을 차단하는 숲이다. '도시 바람길숲'은 대기순환을 유도해 도시의 광의 맑고 시원한 공기를 끌어들이고, 도시 내부의 오염되고 뜨거운 공기를 배출하는 기능을 한다. 산림청에서 분류하고 있는 바람길숲의 유형으로 바람 생성숲은 미세먼지 저감 조림·숲기구기 등에 의해 정화된 찬바람이 부는 숲, 연결숲은 바람숲과 디딤·확산숲을 연결하기 위한 가로수 이종식재 등 바람 생성숲-거점숲 연결녹지, 디딤·확산숲은 기온차를 통한 미풍생성을 위해 도시 내 거점숲으로 정의하였다.

바람길은 도시 외곽 산림에서 야간에 생성되는 '차고 신선한 공기(찬공기)'를 도심의 개발지까지 흐르게 하여 공기 순환을 촉진함으로써 대기오염 및 열환경 개선에 도움을 주는 역할을 한다(Eum, 2019a). 도시 바람길은 기상학적으로 종관풍과 상관성이 낮고, 국지적 기상규모의 바람과 상관성이 있다. 지형에 의한 바람순환체계인 산곡풍은 일몰 후 생성된 차가운 공기가 경사면을 따라 흘러 골짜기에 모여서 낮은 지형으로 이동하는데, 이때 이동하는 공기는 지표면의 에너지 전환(복사 냉각)에 의해 생성되는 상층보다 낮은 온도의 공기이다. 찬공기는 기상학적인 조건과 지형적 조건에 의해 발생되는데, 일반적으로 구름이 없는 맑은 야간 시간, 즉 일몰 후부터 일출 전까지 발생하며, 오전 4시-6시경에 가장 활발하게 생성된다(Verein Deutscher Ingenieure, 2003). 찬공기는 대부분 식생지역에서 자연적 정화과정을 거쳐 생성되기 때문에 비교적 깨끗하고 신선하여 대기위생적 가치를 지닌다.

대전광역시 내·외곽의 계족산, 보문산 등 산림에 둘러싸여 있고, 도시 내에 갑천, 대전천, 유등천과 같은 도시하천이 있으므로 바람길숲 조성 시 미세먼지 저감 및 열섬현상 완화가 가능할 것으로 보인다. 자연녹지가 풍부한 대전광역시의 지리적 특성을 활용하여 도시 외곽산의 청정공기를 도심으로 유입하기 위해 산림과 단절된 도시 내 숲을 연결하고 중간 허브숲이 연계된 수생태축, 생활공간(도시·마을), 거점녹지(자연공간)의 바람길숲 조성으로 도시·생활공간 생태네트워크 구축이 요구되는 실정이다. 2020년 대전광역시는 6개 광역시 중 최초로 미세먼지 집중관리구역을 지정한 바 있다(<https://www.blueskyday.kr>).

독일 슈투트가르트시는 대기질과 열환경 개선을 위해 바람길을 도입한 대표적인 도시로서 1970년대 후반부터 대기오염 현황조사, 미세기후 연구를 통해 바람길을 도시계획의 요소로 고려해왔다(Park et al., 2019). 국내의 경우 2000년대부터 바람길 관련 연구가 수행되기 시작했는데, Eum(2000)은 바람길을 녹지계획에 적용하기 위한 원칙들을 설정하고, 경기도 용인시를 대상으로 바람길 분석을 통해 바람길을 고려한 용인시 기본계획을 제안하였다. Shin(2012)은 전남 지역을 대상으로 전반적인 찬공기 생성지역과 바람길을 파악하여 광역도시계획 및 도시기본계획에서의 바람길 계획 지침을 제시하였다. Eum and Son(2016)은 지형적 특징 및 토지이용에 따라 찬공기 흐름의 특성이 다르며 지역 특성에 맞는 찬공기 관리전략이 필요하다고 제안하였다. 바람길숲을 주제로 한 연구는 Eum et al.(2019)이 대구시를 대상으로 바람길숲 각 유형의 등급화 기준을 적용하여 바람길숲을 분석한 사례가 있다. Jang et al.(2019)은 바람길의 생성원리 및 조성원칙을 파악하고, 바람길을 적용한 도시숲의 국내외 적용 사례를 고찰하여 바람길과 도시숲의 관계를 정립하였다. 기존 도시 단위 바람길 연구는 바람길 분석과 바람길 계획, 바람길숲 개

념 정립 및 바람길숲 유형화 등 개념과 조성 방향은 다루어졌지만, 실질적인 도시 자연환경의 특성을 반영한 바람길숲 조성 적지선정에 관한 체계적인 방법이 부족하였다. 그리고 현재 도시 전체를 대상으로 바람길 분석 및 찬공기 유동 분석을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 자료 구축 및 분석을 시행하기에는 많은 시간과 에너지가 필요한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 미세먼지, 기후 및 기상, 바람장미, 토지피복도 등 바람길숲 관련 기존 도시 환경정보를 활용한 적정 바람길숲 조성대상지 선정방법을 제시하고자 하였다.

본 연구는 효과적인 도시바람길숲 조성을 위한 여러 조건 중 대상지 선정에 주안을 두고, 유역 차원에서 미세먼지 및 폭염 발생 지역 분석과 찬공기 발생 및 유동 흐름 특성 분석을 통해 적정 대상지를 찾는 대상지 선정 체계를 제시하고자 하였다. 대전광역시의 바람길의 분석과 평가는 바람특성 분석(바람 장미), 기후특성도, 바람길 형성 평가를 통해 실시하였다. 바람길숲 조성 대상지 선정은 미세먼지 고농도지역, 폭염지역과 찬공기 유동 잠재지역을 파악하여 생태축 연결지역의 중첩 분석에 따라 선정하였다. 그리고 현장의 녹지조성 여건 및 기능에 따른 바람 생성숲, 연결숲, 디딤숲, 확산숲 조성 계획을 수립하였다. 본 연구는 체계적인 바람길숲 조성사업을 위한 기초자료로 활용 될 수 있다.

2. 연구 재료 및 방법

2.1 연구대상지

본 연구는 대전광역시 외곽 산림, 하천, 공원, 가로숲 등 연결 가능 구간 전체를 대상으로 바람길숲 조성 대상지 선정 및 조성 계획을 수립하였다. 대전의 지형은 크게 보아 분지의 중앙으로부터 하천유역의 충적지, 산록와사면 배후산지 등으로 이루어져 있다(<https://www.daejeon.go.kr>). 대전광역시는 동서남쪽 경계부를 따라 계족산, 식장산, 보문산 등 해발 고도가 400-500m 이상의 산지가 발달해 있고, 중심시가지는 해발 50m 이하 평지로 구성된 분지형 지형이다. 주요 자연녹지로 식장산(598m), 구봉산(264m), 보문산(458m), 계족산(429m), 금병산(315m) 등으로 둘러싸여 있으며 갑천, 대전천, 유등천이라는 큰 세줄기의 하천이 도심을 관통하여 흐른다(그림 1 참조). 이 하천들은 외곽 산림에서 차고 신선한 공기를 생성하며, 시가지로 유입시키는 바람길 역할도 하기 때문에 대기오염과 열섬문제를 개선하는데 매우 큰 잠재력을 가지고 있다.

2.2 연구 방법

2.2.1 연구체계 설정

국내 도시 바람길 연구는 열환경 취약지역을 분석하여 바람길 관리전략을 수립하는 연구(Eum et al., 2018), 유역 내 생성된 찬공기를 도시 바람길 계획 활용하는 연구(Eum, 2019b) 등이 진행되었다. 선행연구 결과를 고찰해보면 도시열섬 및 대기오염 문제를 해결하기 위한 바람길숲 조성에서 가장 중요한 것은 대기오염이 심각한 지역 선

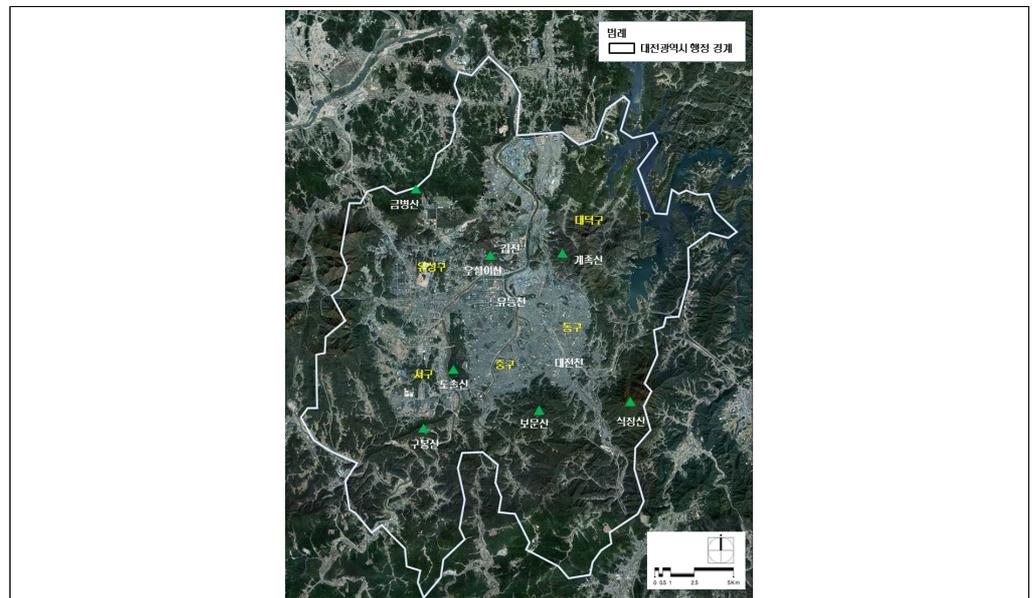


그림 1. 연구대상지 위치도

정과 찬공기가 유입되어 흐를 수 있는 공간을 선정하는 것이다. 다음 단계는 선정된 대상지 내 토지이용과 녹지위 치 및 구조 등을 파악하여 녹지를 조성하는 단계이다. 본 연구체계는 우선 대전광역시 바람길숲 대상지 선정 후 세 부적인 바람길숲 조성 계획을 수립하였다. 바람길숲 대상지 선정 기준은 미세먼지 공간 분석, 낮/밤 바람 유동 특성, 폭염도시열섬 분석 및 평가, 기후톱 분석 및 바람길형성가능 평가를 통해 최종 바람길숲 조성 권역을 선정하였다. 바람길숲 조성 계획은 권역 개황, 바람길숲 유형과 분포, 바람길숲 유형별 세부계획으로 구분하여 제시하였다.

바람길숲 대상지 선정은 대기오염 집중 관리지역을 선정하는 프로세스와 찬공기 유동 가능 공간범위를 선정하는 프로세스로 진행되었다. 분석 공간단위는 유역권 단위로 분석하였다. 집중관리 지역 선정은 미세먼지 공간분석 후 폭염분석 평가 순서로 진행되었다. 찬공기 유동 공간범위 설정은 바람 유동 특성 분석 후 기후톱 분석 및 바람길 형성가능 평가 순서로 진행되었다. 2개 분야 분석결과를 유역단위로 평가하여 미세먼지 농도가 높고, 폭염 발생이 높은 지역, 찬공기 유동 가능성이 높은 지역을 중첩하여 최종 바람길숲 조성 권역을 선정하였다(그림 2 참조).

2.2.2 바람길숲 대상지 선정 방법

미세먼지 및 폭염 공간분석을 통해 집중지역을 유역권 공간단위로 도출하고, 미세먼지·폭염 집중관리 유역권 내 기후가능 및 바람길 분석을 통한 찬공기 유동 잠재성이 있는 지역을 바람길숲 조성 대상권역으로 선정하였다. 유역권 단위 설정은 산림에서 생성되는 차고 신선한 공기는 공간지형학적 특성에 따라 국지적인 규모로 유동되기 때문이다.

미세먼지 및 폭염 공간분석은 미세먼지 측정 데이터 및 측정소 자료(에어코리아, excel 파일)를 확보하였다. 자료분석 대상 기간은 대전광역시 고농도 미세먼지 비상저감조치기간 중 최장연속기간(2019. 3/2~3/6)으로 선정하였다. 미세먼지 및 폭염 공간분석은 Arcgis 10.3 프로그램을 활용하여 측정소 위치를 shp 점데이터로 만든 후, 측정소별 측정 데이터 입력, IDW(Inverse Distance Weighting) 보간기법을 적용하였다. 낮/밤 바람 유동 특성은 기상자료 개방포털의 AWS 기상자료를 활용하였다. 기상대 최근 10년간 바람 특성(계절별 주요 풍향 및 풍속 분석-종관)과 주요 관측소 바람특성(계절별 주요 풍향 및 풍속 분석-지역별)을 분석하여 여름철 주간과 야간 바람 특성을 파악하였다. 최종적으로 산림에서 생성된 찬공기가 도심으로 유동될 수 있는 권역을 도출하고자 하였다. 폭염도시열섬 분석 및 평가는 Arcgis 10.3의 Raster Calculator에서 수식을 이용해서 복사량, 밝기 온도 및 지표면 온도를 계산하였다. 자료출처는 USGS(United States Geological Survey, <https://earthexplorer.usgs.gov/>)이고, 구름이 없는 여름철에 촬영한 영상 중 2017년 6월 16일자 영상을 활용하였다. 마지막으로 기상대에서 제공하는 위성영상 지표면 온도와 비교 검증하였다.

기후톱 분석 및 바람길 형성가능 평가에서는 바람길 형성가능 평가기준을 통해 바람길 형성가능 요인별 평가주 제도를 작성하였다(Choi et al., 2016). 그리고 바람길 형성가능 평가를 통해 냉기/신선기 생성 및 바람통로 기능이 큰 지역을 도출하였다. 바람길 형성가능 평가 기준은 토지피복도의 DEM 구축 자료를 통해 규모, 표면특성, 평균 경사도, 평균 경사길이, 거칠기 형태, 횡단면 유형이다. 찬공기 형성은 찬공기 발생지역의 크기, 지표면 상태, 지형 조건의 영향을 받고, 찬공기 유동은 평균경사길이와 계곡기저부의 거칠기 형태의 영향을 받는다. 이를 평가하기 위해 요인별 찬공기 형성 및 유동에 유리한 조건일 시 더 높은 가중치를 부여하여 모든 요인의 가중치를 합산한 점 수로 바람형성가능 등급을 5등급으로 구분하여 평가하였다(Kim and Jeong, 2005).

미세먼지·폭염 집중지역은 비상저감조치 발령기간 고농도 분포를 분석한 미세먼지 고농도 정체지역과 인공위성 8월 지표면 고온역 분포를 분석한 여름철 폭염 발생 우심지역을 종합적으로 고려하여 선정하였다. 찬공기 유동 잠

연구 단계	연구항목	세부내용
바람길숲 대상지 선정	미세먼지·폭염 집중 관리지역 선정	<ul style="list-style-type: none"> ■ 미세먼지 공간분석: 미세먼지(PM10, PM2.5) 농도 공간분석 ■ 낮/밤 바람 유동 특성: 지역 바람장미 및 낮/밤 유동 특성 분석
	찬공기 유동 잠재적 공간범위 선정	<ul style="list-style-type: none"> ■ 폭염도시열섬 분석 및 평가: 지표면 온도 분석 ■ 기후톱 분석 및 바람길 형성가능 평가: 찬공기 생성 및 유동 가능 우수 및 잠재지역 분석
	↓	
	바람길숲 조성 계획	<ul style="list-style-type: none"> ■ 권역 바람 유동 현황, 초미세먼지 평균 농도, 여름철 지표면 온도 분포 현황 ■ 대전시 바람길숲 개념 및 유형별 조성 기준 설정, 바람길숲 유형 구분 ■ 바람 생성소, 확산소, 연결소, 디딤소 유형별 현황과 세부 조성계획 수립

그림 2. 연구체계 설정

재적 공간범위 선정은 야간 산곡풍 유동이 활발한 지역과 기후특유형 분석 및 바람길 형성기능 평가를 통해 찬공기 생성 및 유동기능이 우수한 지역을 종합적으로 고려하여 선정하였다.

2.2.3 바람길숲 조성 계획 수립

바람길숲 대상 권역 선정 후 해당 권역 내 기후특지도, 바람형성기능 평가도 작성 및 바람장미(밤) 현황 파악, 미세먼지 발생현황, 지표면 온도 분포 현황을 상세하게 파악하였다. 이를 통해 바람길숲 계획 구상 및 유형별 세부 대상지를 파악하였다. 그리고 바람길숲 유형별 조성방향 설정과 조성방향에 따른 세부 실행계획을 수립하였다. 바람 생성숲으로 선정된 대상지는 임상도를 기반으로 대상지 경밀 현존식생을 현장조사·분석하였다. 이를 통해 산림 이외 식재가능지, 피도 30% 이하 산림, 야카시나무림 등 인공림, 기타 식재 가능지를 도출하였다. 확산숲은 대규모 공원녹지를 대상으로 토지피복 및 녹지현황을 상세 조사하였다. 토지피복 유형은 조경수목식재지, 불투수포장지, 수면, 건폐지로 구분하였다. 조경수목식재지의 경우 식재수종 및 식재구조에 따라 수목 규격과 식파율(%)을 현장 조사하였다. 연결숲은 선정된 연결숲을 대상으로 녹지 현황을 조사하였다. 녹지 현황조사는 가로수 수종 및 규격을 파악하였고, 가로녹지의 경우 식재 수종 및 피복율을 별도 조사하여 식재가능지를 도출하였다. 디딤숲은 토지피복 현황 및 녹지 현황을 상세조사하여 교목 및 관목 식재밀도를 파악하였다. 도시계획시설과 인접한 경우 최종적인 바람길숲 조성대상지는 토지소유를 중첩 분석하여 사유지 이외의 국유지 및 공유지에 해당하는 구역을 선정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 바람길숲 대상지 선정

3.1.1 미세먼지·폭염 집중지역 도출

미세먼지 극심지역($110\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상)은 대덕구 대전산업단지 재생사업지구, 유성구 대덕테크노밸리 일대이었고, 미세먼지 우려지역($100\sim 110\mu\text{g}/\text{m}^3$)은 대덕구 대전산업단지 재생사업지구, 유성구 대전지방기상청, 서남부권택지개발예정 지구 일대이었다. 상대적으로 양호한 관심지역($100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하)은 서구, 중구, 동구 일대로 파악되었다. 여름철 폭염 발생으로 우선적인 관리가 필요한 우심지역을 선정하였고, 고온역 발생지역은 33°C 이상으로 설정하였다. 녹지가 부족하고 건물 및 포장면적이 넓은 고밀도 도심지에서 주로 고온역을 형성하였고, 산림·공원·하천과 인접하고 녹지면적이 넓은 시가지는 열 스트레스가 높지 않았다. 폭염 발생 우심지역으로는 대덕산업단지(목상동), 대전산업단지 재생사업지구(대화동), 오정동 밀집주거지(오정동) 일대가 해당되었다.

대전(133)측정소의 최근 10년간(2010-2019년) 바람장미도 분석에서 대전지방기상청에서 운용하는 종관용 측정소 분석 결과 주로 서풍, 북서계열, 남서계열이 주 풍향이였다. 봄철은 북서풍과 남서풍계열, 여름철은 남서풍과 동남풍계열, 가을철과 겨울철은 북서풍계열이 우세하였다. 대전광역시 내 기상청에서 운용하는 방재용 측정소는 642지점(문화), 643지점(세천), 648지점(장동)으로 3개소이다. 2019년 방재용 측정소 자료 분석 결과 대청호 남쪽에 위치한 643지점(세천)은 주로 북서풍, 642지점(문화), 648지점(장동)은 주로 남서풍이 주 풍향이였다. 종관용 측정소와 방재용 측정소만으로는 차고 신선한 공기를 생성하고 유동할 수 있는 잠재적 공간범위를 도출하기에는 한계가 있었다. 대전 지점 AWS 낮/밤 평균 풍속은 $0.1\sim 1.7\text{m}/\text{s}$ 이었고, 밤 시간 바람 유동이 낮보다 저조하였다. 따라서 밤에 외곽 산림에서 생성되는 찬공기의 이동을 원활하게 유도하는 바람길숲 계획이 필요하였다.

냉기/신선기 생성 및 바람통로 기능이 커 매우 높은 도시기후 조절기능을 가진 1등급 지역은 산림으로 전체 면적의 32.1%이었으며, 계족산, 보문산, 식장산, 우성이산, 금병산, 계룡산, 구룡산, 장태상, 만인산 등이 해당되었다. 산림지역은 생성된 찬공기가 경사면을 따라 이동하기에 유리한 지형적 조건을 갖추고 있다(Son, 2019). 냉기/신선기 생성 및 바람통로에 높은 조절 기능을 가진 2등급은 잔존산림, 하천, 초지 등 45.0%이었으며, 갑천, 대전천, 유등천 등과 대화중학교 일대, 한남대학교 일대 잔존산림 등이 해당되었다. 공원으로는 남선공원, 대전청사주변 공원 녹지 등, 초지 유형으로 밭, 논 등 경작지가 포함되었다. 주변까지 영향을 주지 못하나 자체의 기후 조절기능을 가진 3등급은 13.0%이었다. 녹지율이 높은 고층아파트, 철도, 대학교 등 일부 대기순환을 가지는 기후 부하 예상이 되는 4등급 지역은 7.5%이었다. 산업단지, 녹지율이 낮은 저층주거 밀집지역 등 열부하/열섬화 위험, 공기순환이 열악한 지역 5등급 지역은 2.5%이었다. 대전광역시 전체 면적에서는 찬공기 생성 및 유동이 활발한 1, 2등급이 77.1%로 가장 높았으나, 인구가 집중되는 도시 중심지역 대부분이 4, 5등급이므로 주변 산림 및 하천과 녹지축으로 연결할 필요가 있었다(표 1, 그림 3 참조).

표 1. 대전광역시 바람길 형성기능 평가 등급

구분	기후기능 (찬공기생성 및 유동 기능)	평가기준치 합계	면적 (km ²)	비율 (%)
1	냉기/신선기 생성 및 바람통로기능이 매우 커 매우 높은 도시기후 조절 기능	35점 이상 (75% 이상)	173.2	32.1
2	냉기/신선기 생성 및 바람통로에 높은 조절 기능	25-34점	242.49	45.0
3	주변까지 영향을 주지 못하나 자체의 기후 조절기능	16-24점	70.05	13.0
4	일부 대기순환을 가지나 기후부하 예상	7-15점	40.36	7.5
5	열부하/열섬화위험 공기순환이 열악한 지역	7점 이하	13.36	2.5
합계			539.46	100.0

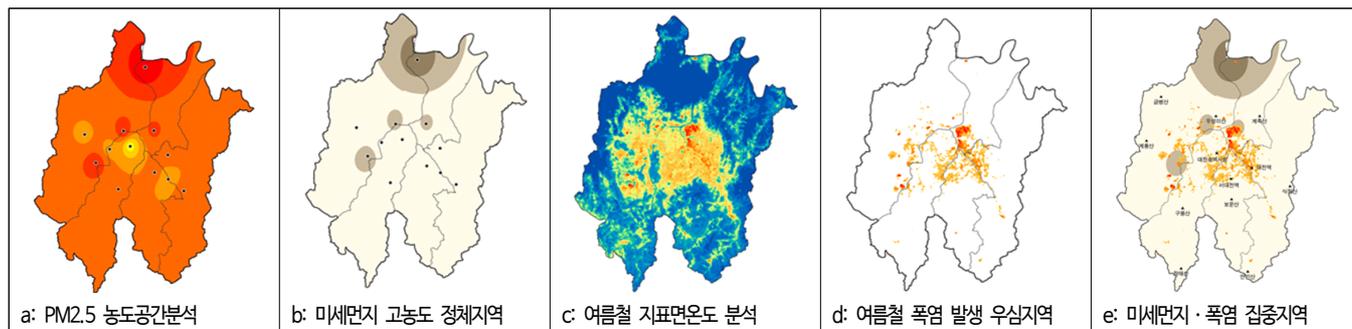


그림 3. 대전광역시 미세먼지·폭염 집중지역 분석

3.1.2 미세먼지·폭염 집중관리 구역권 분석

산림에서 생성되는 차고 신선한 공기는 공간지형학적 특성에 따라 국지적인 규모로 유동되므로 바람길숲 대상지 선정 및 계획을 위해 구역권 범위를 계획단위로 설정하였다. 국가공간정보포털에서 제공하는 수치표고모델(DEM)을 기반으로 Arc Map 10.3을 사용하여 각 셀의 고도값을 기반으로 빗물이 모이는 지역을 계산하여 총 30개의 구역권을 도출하였다. 그리고 미세먼지·폭염 집중지역 분석도와 구역권 도면을 중첩하여 상대적으로 극심하고 우선적인 관리가 필요한 미세먼지·폭염 집중관리 구역권을 도출하였다. 여름철 폭염발생 우심구역으로 1-6순위 지역을 선정하였고, 미세먼지·폭염 집중관리 구역권에 대전광역시 전체 30개 구역권 중 7개 구역이 해당되었으며, 도심권역에 집중되었고 정북권역 일부도 포함되었다.

3.1.3 찬공기 유동 잠재적 공간범위

앞서 분석된 대전광역시 미세먼지·폭염 집중관리 구역권 30개 중에서 산림에서 생성된 찬공기가 도심으로 유동 잠재성이 있는 구역권을 도출하여 바람길숲 조성 대상권역으로 선정하였다. 바람길 형성기능 평가도를 활용하여 구역권 내 바람을 생성할 수 있는 산림기반이 형성되어 있고, 기후특유형도를 중첩하여 구역권 내 찬공기 유동이 가능한 하천, 공원녹지, 도로 등이 잘 연결된 지역을 고려하여 최종 대상지로 선정하였다. 대전광역시 내 찬공기 도심 유동 잠재성이 있는 미세먼지·폭염 집중관리 구역권 총 4개 권역을 선정하였다.

3.1.4 대전광역시 바람길숲 조성 대상 권역

대전광역시 도시바람길숲 조성 대상 권역은 대전천 권역, 유등천 권역, 갑천-유등천 권역, 갑천 권역이다. 바람길숲 조성 계획 사례는 갑천-유등천 권역을 대상으로 제시하였다. 선정 이유로 본 권역은 현재 대전광역시에서 미세먼지 및 폭염이 가장 심각한 구역권에 해당되며, 신도심 공동주택지, 대전산업단지, 오정동주거지 등이 밀집하고 있어 바람길숲 조성 계획이 시급한 대상지로 판단되었다. 또한 대전산업단지 인근 대화·목상동·읍내동을 중심으로 현재 미세먼지 집중관리구역에 포함되어 있다(그림 4 참조).

3.2 대전광역시 도심 갑천-유등천 합수부 권역 바람길숲 조성 계획

3.2.1 권역 개황

본 권역은 외곽 산림인 계족산, 우성이산에서 생성된 차고 신선한 공기의 혜택을 받는 도심지역이다. 여름철 야간에 계족산, 우성이산에서 생성된 바람이 갑천과 유등천을 따라 도시 내부로 연결되어 유입되며 대덕대로, 둔산대로,

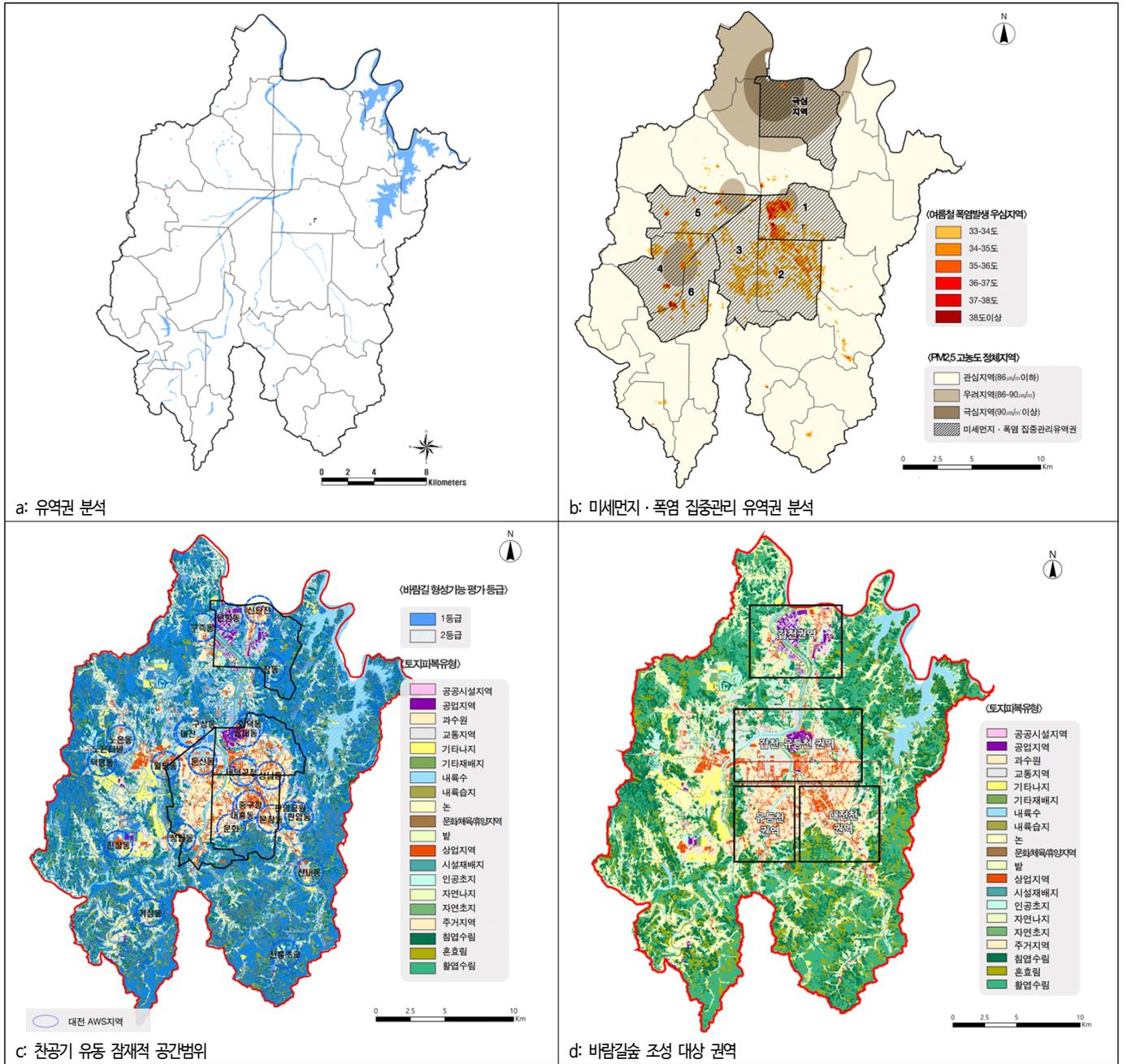


그림 4. 대전광역시 바람길숲 조성 대상 권역 선정

대전로, 한밭대로 등 가로공간을 통해서도 바람이 유동한다. 대상지의 2019년 3월 비상저감조치기간 초미세먼지 평균농도는 $82\text{--}90\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 다른 지역에 비교해 상대적으로 높은 것으로 파악되었는데, 녹지량이 적은 주거지가 밀집해있기 때문에 판단되었다. 인공위성 영상을 통한 여름철 지표면온도 분석결과, 계족산, 우성이산 등 외곽산림과 갑천, 유등천 등 하천이 저온역으로 확인되었고, 도심지 일대가 고온역을 형성하였다. 시가지 중 상대적으로 지표면 온도가 낮은 지역은 산림 주변과 상수도사업본부, 유등천변 잔존산림 일대로 파악되었고, 폭염 우려지역은 대전산업단지, 오정동주거밀집지역으로 판단되었다. 따라서 갑천, 유등천, 비하산, 계족산, 우성이산, 상수도사업본부, 유등천변 잔존산림이 계획대상지의 대기환경 개선에 중요한 지역이 되며, 바람순환 개선의 잠재지역으로는 대덕대로, 둔산대로, 대전로, 한밭대로 등 가로공간과 계족산 주변에 있는 학교 공간이 주요 계획대상지로 도출되었다.

3.2.2 유등천-갑천 권역 바람길숲 유형과 분포

대전 도시바람길숲 개념은 도시의 미세먼지를 저감하고 열섬현상 완화를 위해 외곽 산림 및 녹지에서 생성되는

차고 신선한 공기를 시민 생활공간까지 연결시킨 생태네트워크 숲 조성으로 설정하였다. 바람길 통풍을 확보하고, 도심의 하천을 이용하여 산바람뿐만 아니라 강바람과 연계하여 도시 생활공간에서 단절된 생태네트워크(생태축) 연결하고 미세먼지 차단숲·저감숲 기능과 연계된 통합적 네트워크 기능을 할 수 있어야 한다. 바람 생성숲은 차고 시원한 공기를 생성하는 숲을 위해 도시 산림의 지형적 특성과 수림 조건에 따라 발생한 찬공기가 도심으로 효과적으로 유입될 수 있는 숲 관리 시행이 필요하다. 확산숲은 찬공기의 성능을 유지하여 도심으로 확산시키는 숲으로, 산림에서 생성된 바람을 효과적으로 도심으로 유동시키기 위해 거점녹지 및 하천숲의 구조 개선이 필요하다. 연결숲은 찬공기로 도심 대기환경을 개선하여 연결하는 숲으로, 차고 시원한 바람이 도심으로 효과적으로 연결될 수 있도록 도로 및 가로숲 연결 네트워크 조성이 필요하다. 디딤숲은 찬공기 유동을 도와주는 징검다리 역할 숲으로, 바람통로의 기능을 보완하고 징검다리 역할을 할 수 있는 학교숲, 옥상숲, 벽면숲 등 녹화사업 시행이 필요하다.

유등천-갑천 권역 바람길숲 계획 방향은 계족산 서사면 산림, 우성이산 남사면 산림에서 생성된 찬공기를 갑천, 유등천과 가로숲을 통해 연결하여 도심으로 찬공기 확산을 유도하는 것으로 설정하였다. 바람 생성숲은 계족산 서사면 산림, 우성이산 남사면 산림이고, 확산숲은 갑천, 유등천, 동춘당공원, 유등천변-상수도사업본부-한남대학교 잔존산림이 해당된다. 연결숲은 한밭대로, 계족로, 대덕대로, 둔산대로, 유등천, 대전로, 대전조차장역이고, 디딤숲은 중리초등학교, 법동중학교가 해당되었다(그림 5 참조).

3.2.3 바람길숲 유형별 세부계획

3.2.3.1 바람 생성숲

바람 생성숲의 조성방향은 산소배출 및 수분증발이 뛰어난 낙엽활엽수 숲 조성하고 도심으로 찬공기 유동이 효과적인 숲 조성으로 설정하였다. 세부 방향으로 대기정화, 찬공기 생성 최적화 수준의 ‘수종 갱신 및 숲 가꾸기 시행’, 산림훼손지, 아까시나무 도복 및 쇠퇴지를 대상으로 ‘자생낙엽활엽수 숲으로 전환, 생물다양성 및 경관성 기능, 현재 수목의 대기정화 기능을 고려하여 ‘제한적 숲 관리 시행’, 도심과 인접한 계곡과 사면지역을 대상으로 ‘찬공기 유동 특화 숲 가꾸기 시행’을 제시하였다.

바람생성 자생숲 전환관리 계획은 도심과 인접한 계곡과 사면지역에 분포하고 있는 아까시나무림을 대상으로 바람생성 자생숲으로 전환관리하는 내용을 계획하였다. 아까시나무 큰나무를 벌채하고 작은 나무로 수종 갱신하는 경우에는 도시 산림의 생물다양성 및 경관성이 훼손되고, 생태량의 급격한 감소로 대기정화 기능이 약화되므로 산중하고 점진적인 접근이 필요하다. 아까시나무가 높은 밀도로 유지되고 있는 숲에서는 아까시나무 교목 일부를 벌채하여 30-50% 범위로 수관을 개방하고, 아까시나무가 쇠퇴하고 일부 도복된 숲에서는 도복목을 정리하고, 쇠퇴목을 선택적으로 벌채하여 개방수관을 확보하여야 한다. 도시 외곽 및 내부에 산림에서 찬공기 생성을 최적화하기 위해서 산림훼손지를 대상으로 바람 생성숲을 조성할 필요가 있다. 산소 배출 및 수분 증발 기능이 뛰어나고, 온대 중부지방의 친이계열을 고려한 자생 낙엽활엽수 숲으로 조성·관리하여야 한다. 최근 참나무류 중 신갈나무를 중심으

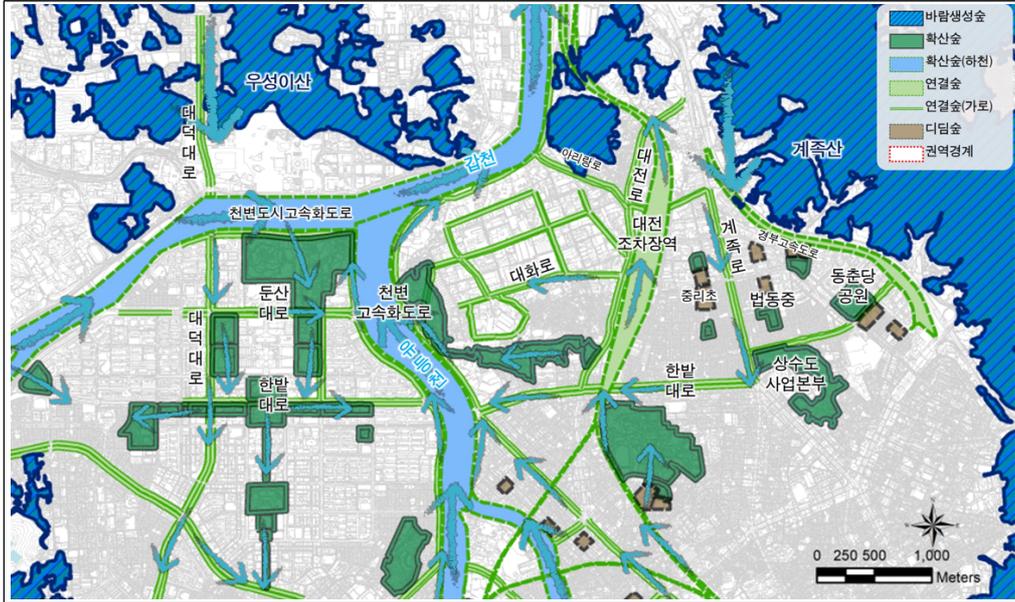


그림 5. 유등천-갑천 합수부 권역 바람길숲 유형과 분포

로 참나무시들음병이 발병되고 있어, 산림 저지대 및 해안가에 주로 분포하는 상수리나무와 졸참나무 위주로 교목을 식재할 필요가 있다.

바람 생성숲 대상지로 계곡산 서사면 산림이 선정되었다. 세부 계획대상지 선정에 위해 대전천 상류 산림인 계곡산 주변부를 대상으로 현존식생 조사를 실시하여 식재가능 지역을 선정하였다. 식재가능 지역 대부분이 현재 경작지로 이용되는 산림이외 식재가능지와 아까시나무림 숲 갱신이 필요하였다(표 2, 그림 6 참조).

3.2.3.2 확산숲

확산숲은 도심에서 찬공기를 보완 생성하고 확산시키는 숲으로 대기정화, 폭염저감, 찬공기 유동, 대기순환 가능 증진을 위한 특화 숲으로 조성하였다. 공원 및 녹지에서 도로와 연결되고 식재량이 부족한 지역에 보완 식재를 계획하였다. 수목 주수와 녹지량은 상대습도에 영향을 미치며, 교목이 관목보다 상대습도 형성에 효율적이다.

도시거점 공원 및 녹지 확산숲의 경우 필터 기능을 수행할 수 있도록 녹지 안쪽으로 밀식 식재를 계획하였다. 도로변 가장자리부터 약, 중, 강 형태의 밀도로 숲 조성, 미세먼지 체류형 식생대를 중심에 두고 가장자리에 낮은 밀도로 조성한다. 식재구조는 교목+관목+초본의 다층구조로 식재한다. 사람이 이용하는 통로와 보도면 등 공원 활동영역은 식재밀도를 낮게 식재하고, 녹지 안쪽일수록 수관용적이 큰나무를 고밀도로 식재, 도로변 관목이 미세먼지 저감에 효과가 크므로 충분한 관목을 식재, 바람 확산을 위하여 녹지 내 간헐적으로 통로를 확보할 필요가 있다.

표 2. 유등천-갑천 합수부 권역 계곡산 바람 생성숲 조성계획

구분	면적 (㎡)
산림이외 식재가능지	481,904
아까시나무림 갱신	467,794
피도 30% 이하	9,768
기타 식재가능지	5,790
합계	965,256

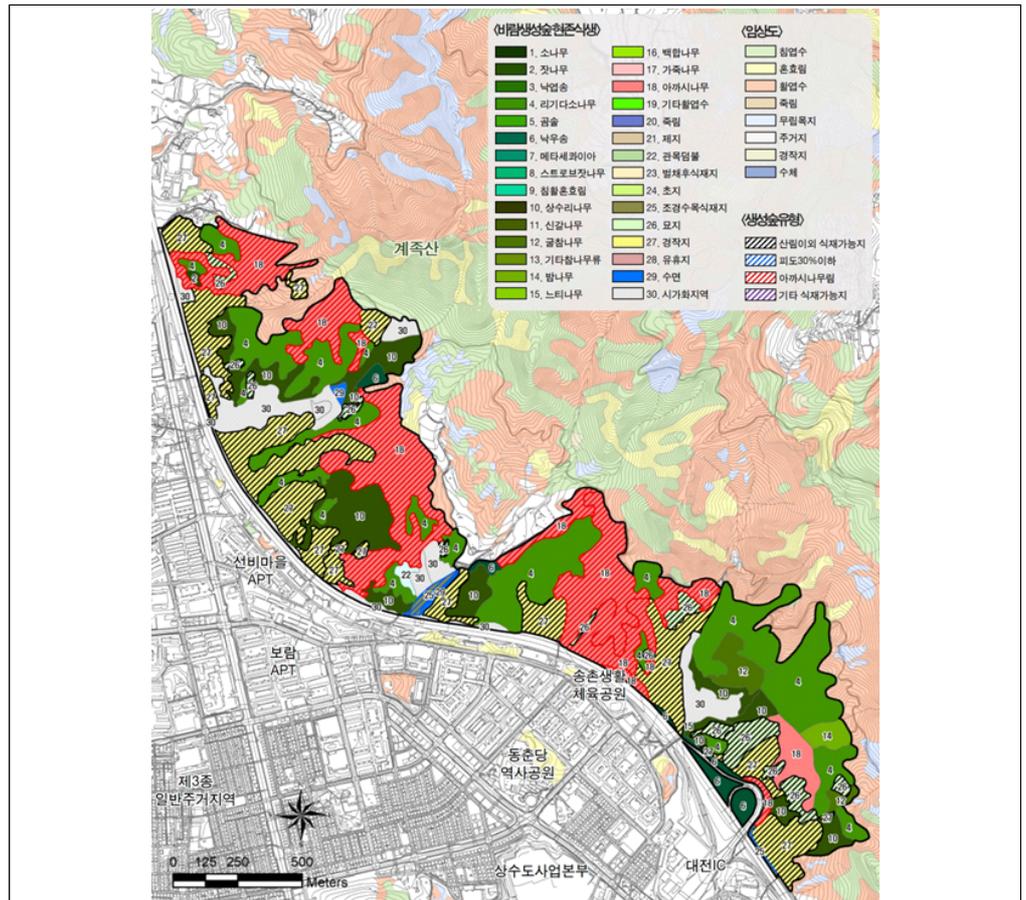


그림 6. 유등천-갑천 합수부 권역 계곡산 바람 생성숲 조성계획 대상지

하천 확산숲의 경우 하천 산책로변 그늘목 식재와 하천 둔치 확산숲으로 구분하여 조성 방향으로 설정하였다. 하천 산책로변 그늘목 식재의 경우 하천 제방 상부 산책로, 둔치 산책로변 낙엽활엽수 그늘목 식재, 주변 수종과 동일하거나 유사한 수종, 넓은 수관을 형성하는 수종 선정, 찬공기 통풍 기능 및 수변경관을 고려한 배식패턴으로 식재, 하천을 중심으로 양쪽 산책로변에 동일하게 적용한다. 하천 둔치 확산숲은 하천변 녹음기능이 뛰어난 그늘숲을 조성, 하천변 나대지 및 포장지를 중심으로 조성대상지를 선정, 하천변의 여유녹지가 충분할 경우 교목+아교목+관목 식재 적용, 하천변의 여유녹지가 적을 경우 가로수 추가 보식만 적용한다.

상수도사업본부 잔존산림을 대상으로 토지소유를 중첩 분석하여 사유지 이외의 국유지 및 공유지에 해당하는 구역을 도출하였으며, 용전근린공원을 계획대상지로 선정하였다. 현재는 경작지로 산림 이외 식재가능지에 해당하였다. 한남대학교 주변 잔존산림을 대상으로 토지소유를 중첩 분석하여 사유지 이외의 국유지 및 공유지에 해당하는 구역을 도출하였다. 1번 지역의 도시계획현황은 일반철도였으며, 대상지는 아까시나무림에 해당하였다(표 3, 그림 7 참조).

동춘당공원을 대상으로 토지피복 및 녹지현황 조사를 실시하였다. 이를 바탕으로 불투수포장, 건폐지, 교목밀도 30% 이하의 지역 총 11,120㎡를 계획대상지로 선정하였다(그림 8 참조).

표 3. 유등천-갑천 합수부 권역 내 확산숲(잔존산림) 조성계획 대상지 선정

계획대상지	구분	도시계획현황	계획내용	계획규모 (㎡)
상수도사업본부 주변 잔존산림	1번 지역	용전근린공원 (조성 중)	산림 이외 식재가능지	667.0
한남대학교 주변 잔존산림	1번 지역	일반철도	아까시나무림	3,684

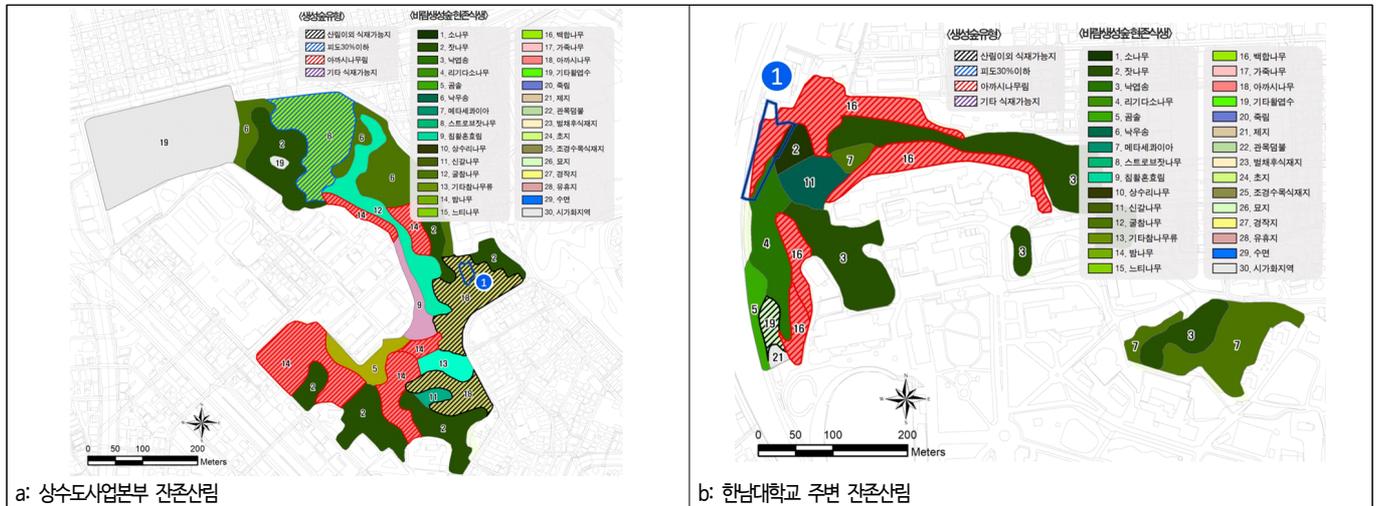


그림 7. 유등천-갑천 합수부 확산숲 조성계획

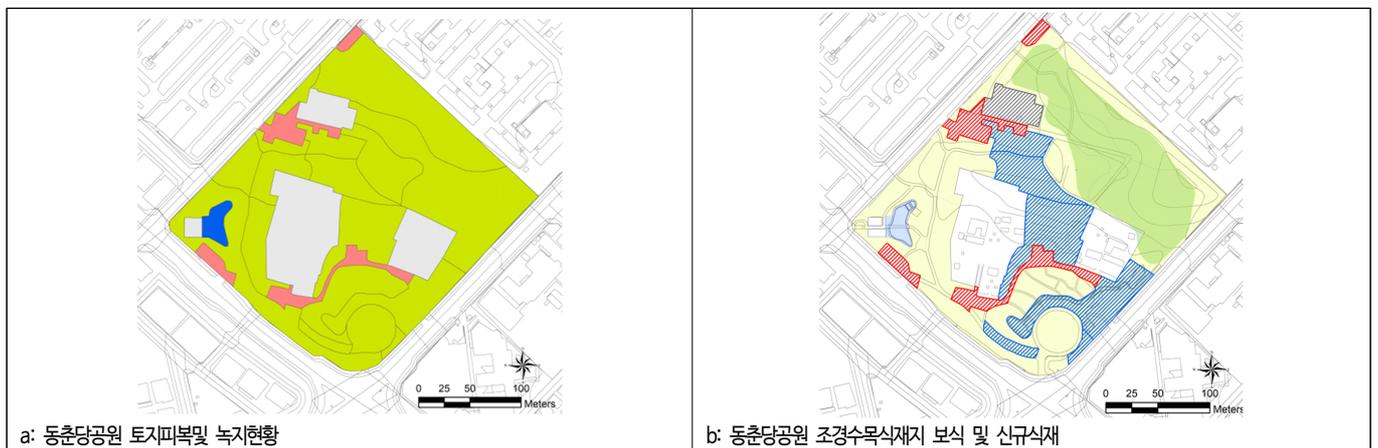


그림 8. 유등천-갑천 합수부 권역 확산숲(조성형 공원) 조성계획

Legend: 현황 1. 조경수목식재지 2. 불투수포장 3. 수면 4. 건폐지 계획 1. 불투수포장 2. 건폐지 3. 교목밀도 30%이하

3.2.3.3 연결숲

연결숲은 차고 시원한 바람이 도심으로 효과적으로 연결될 수 있도록 도로 및 가로숲 연결 네트워크를 조성한다. 차고 신선한 공기가 생성되는 산림과 인접한 곳은 양질의 찬공기 유동 및 확산 효과 범위를 확대해야 하므로 통풍을 고려하여 저밀도의 선형숲 조성을 계획하였다. 교목의 집중식재보다 분산식재가 바람통로를 확보해 초미세먼지의 대기확산과 농도저감에 기여하는 것으로 알려져 있다(Hwang et al., 2018). 미세먼지의 원활한 배출이 필요한 지역에는 수목 사이 일정한 틈을 통해 오염된 공기가 도시 외부로 배출되도록 복합 배치가 유리하다. 중앙분리대 녹지 조성을 통해 차고 신선한 공기의 질을 유지하고 주변 지역으로 확산시켜 미세먼지 및 폭염 저감 기능을 극대화할 수 있다. 연결숲은 양질의 찬공기 유동효과 범위를 확대(찬공기 확산)하는 숲으로 조성한다. 찬공기 통풍 성능 고려한 저밀도 선형숲 조성, 도로폭 및 교통량 여건, 교통안전지대 공간을 고려 조성대상지 및 조성폭 설정, 시범사업구간을 선정하여 차선 줄이기, 도로다이어트 검토, 녹지폭 조성규모에 따라 적절한 크기의 수목 식재, 무단횡단 차단 및 도로안전 확보를 위해 키가 큰 관목 고밀도 식재, 필요 시 녹지 내 방호울타리 설치를 계획할 수 있다.

연결숲 신규 조성계획은 대덕대로를 중심으로 2열 가로수로 식재, 띠녹지에 관목 및 아교목을 식재하여 가로숲 조성을 계획하였다. 둔산대로, 대전로 등을 중심으로 보도폭에 따라 구간형 띠녹지 및 띠녹지 조성을 계획하였다. 천변도시고속화도로에 띠녹지 틀을 조성하고, 관목 및 아교목을 식재하여 다층구조 가로녹지 조성을 계획하였다. 연결숲 개선·보완계획은 대덕대로와 천변도시고속화도로 띠녹지에 관목 및 아교목을 보식하여 다층구조 가로녹지 보완을 계획하였다(표 4, 그림 9 참조).

표 4. 유등천-갑천 합수부 권역 연결숲 조성계획

구분	번호	구분	규격 (m)	계획규모 (㎡)
신규	2	가로숲 조성	1.5	5,189
	3	다층구조 가로녹지 조성	1.5	2,268
	4	띠녹지 조성	1.5	9,351
	5	구간형 띠녹지 조성	1.0	1,216
개선	2	다층구조 가로녹지 보완	1.5	3,231

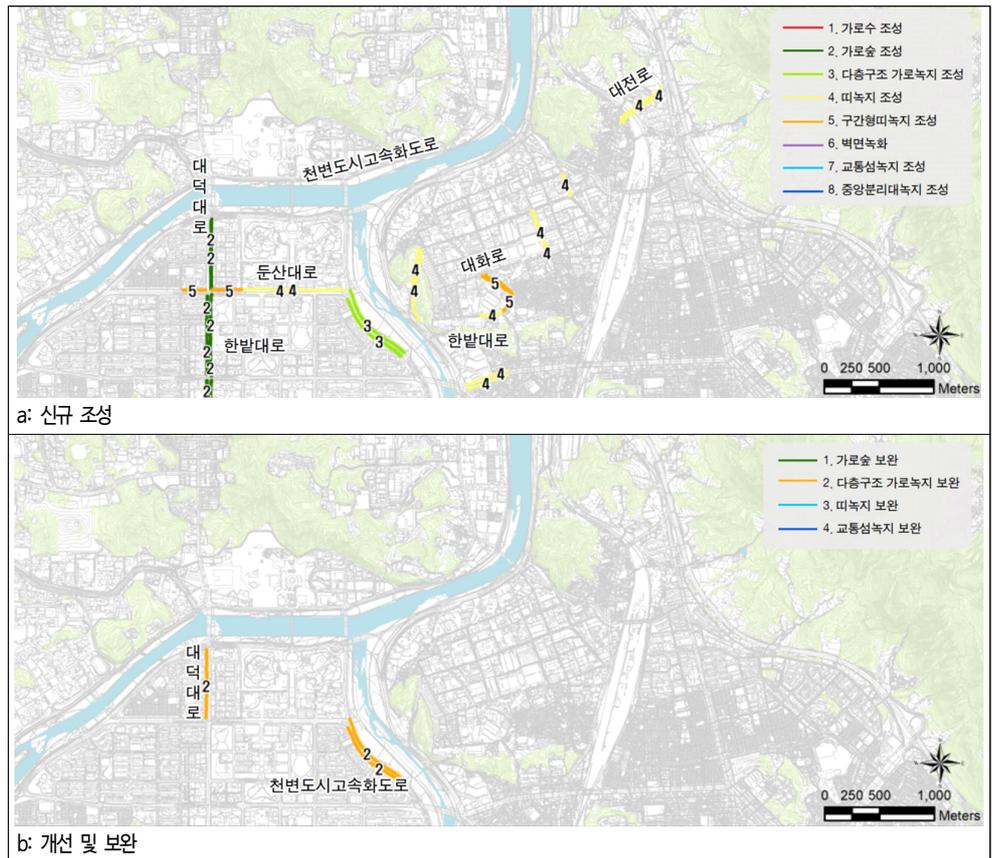


그림 9. 유등천-갑천 합수부 권역 연결숲 조성계획

권역을 선정하였다. 바람길숲 조성계획 사례는 갑천-유등천 권역을 대상으로 실시하였다. 갑천-유등천 권역은 계족산 서사면 산림, 우성이산 남사면 산림에서 생성된 찬공기를 갑천, 유등천과 가로숲(대덕대로, 둔산대로, 대전로, 한밭대로 등 가로공간)을 통해 연결하여 도심으로 찬공기 확산을 유도하였다.

바람 생성숲의 조성방향은 산소배출 및 수분증발이 뛰어난 낙엽활엽수 숲 조성과 도심으로 찬공기 유동이 효과적인 숲 조성으로 설정하였다. 세부 방향으로 대기정화, 찬공기 생성 최적화 수준의 '수종 갱신 및 숲 가꾸기 시행', 산림훼손지, 아카시나무 도복 및 쇠퇴지를 대상으로 '자생낙엽활엽수 숲으로 전환', 생물다양성 및 경관성 기능, 현재 수목의 대기정화 기능을 고려하여 '제한적 숲 관리 시행', 도심과 인접한 계곡과 사면지역을 대상으로 '찬공기 유동 특화 숲 가꾸기 시행'을 제시하였다. 확산숲은 도심에서 찬공기를 보완 생성하고 확산시키는 숲으로 대기정화, 폭염저감, 찬공기 유동, 대기순환 기능 증진을 위한 특화 숲으로 조성한다. 공원 및 녹지에서 도로와 연결되고 식재량이 부족한 지역에 보완 식재를 계획하였다. 연결숲은 차고 시원한 바람이 도심으로 효과적으로 연결될 수 있도록 도로 및 가로숲 연결 네트워크를 조성한다. 차고 신선한 공기가 생성되는 산림과 인접한 곳은 양질의 찬공기 유동 및 확산 효과 범위를 확대해야 하므로 통풍을 고려하여 저밀도의 선형숲 조성을 계획하였다. 디딤숲은 찬공기 유동을 도와주는 징검다리 역할 숲으로서 바람길숲 계획 권역에서 바람 생성숲, 확산숲, 연결숲과 연계하여 대기순환을 촉진시킬 수 있는 오픈스페이스, 건물 및 시설물에 적용하였다. 학교 및 공공기관 녹화, 고가도로 교각부 및 옹벽 벽면녹화, 도로 교통섬 녹화 등 건물과 시설물의 입체녹화를 통해 대기 선순환과 환경공생을 유도한다.

본 연구는 효과적인 도시바람길숲 조성을 위한 여러 조건 중 대상지 선정에 주안을 두었다. 이를 위해 국내 도시 기반환경을 고려하여 유역 차원에서 미세먼지 및 폭염 발생 지역 분석과 찬공기 발생 및 유동 흐름 특성 분석을 통해 적정 대상지를 찾는 대상지 선정 체계를 제시하였다. 향후 도시 기반환경에 관한 최신의 환경정보를 반영할 필요가 있으며, 도시개발에 따른 찬공기 발생원 및 유동범위 변화에 지속적인 모니터링이 필요하다.

References

1. Choi, Y. J., Y. S. Kim, J. S. Won, H. M. Jo and I. M. Yang(2016) Production of The Climate Environment Energy Map in Seoul. The Seoul Institute.
2. Eum, J. H.(2000) A Study on Using the Wind Flow for the Urban Open Space Planning -A Case Study of YongIn City -. Master Thesis. Seoul National University. pp. 91.
3. Eum, J. H.(2019a) International case of fine dust reduction using wind ventilation. Korea Research Institute for Human Settlements 2019(6): 13-19.
4. Eum, J. H.(2019b) Strategies for utilizing urban ventilation corridor considering local cold air in watershed areas: A case study of Uijeongbu and Gwacheon. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 22(2): 133-151.
5. Eum, J. H. and J. M. Son(2016) Management of the Nakdong-Jeongmaek based on the characteristics of cold air- Focused on Busan, Ulsan, Pohang -. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 44(5): 103-115.
6. Eum, J. H., J. H. Oh, J. M. Son, K. Kim and C. H. Lee(2019) Analysis schemes of wind ventilation forest types -A case study of Daegu metropolitan city-. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 22(4): 12-23.
7. Eum, J. H., J. M. Son, K. H. Seo and K. H. Park(2018) Management strategies of ventilation paths for improving thermal environment: A case study of Gimhae, south Korea. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 21(1): 115-127.
8. Hwang, K. I., B. H. Han, J. I. Kwark and S. C. Park(2018) A study on decreasing effects of ultra-fine particles (PM 2.5) by structures in a roadside buffer green-A buffer green in Songpa-gu, Seoul-. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 46(4): 61-75.
9. Jang, G. S., J. H. Eum, J. M. Son, J. B. Baek, W. J. Sung, J. E. Kim and S. H. Kim(2019) Application of Wind Ventilation Corridor Model in Urban Forest Planning and Management. National Institute of Forest Science. pp. 1-82.
10. Kim, S. B. and E. H. Jung(2017) Basic Research on the Introduction of Wind Ventilation for Environmental City Construction. Gyeongbuk Development Institute. pp. 145.

11. Park, J. S., T. S. Park, E. L. Kim, E. S. Lee, S. M. An, C. J. Lee, Y. S. Sung, E. J. Yoon, S. W. Nam, H. S. Ju, J. J. Kim and G. W. Lee(2019) A Study on Integration of Spatial and Environmental Planning to Mitigate Particulate Matter – Focusing on Ventilation Corridors. Korean Research Institute for Human Settlements. pp. 216.
12. Shin, D. H.(2012) Applying of Wind Ventilation Corridor for Low Carbon Green City. Gwangju Jeonnam Research Institute. pp. 78.
13. Son, J. M.(2019) A Study on the Management of Cold Air for Improving Thermal Environment in Urban Areas: A Case Study of Cheongju, Jeongju and Jinju. Master's Thesis. Keimyung University. pp. 95.
14. Verein Deutscher Ingenieure(2003) Environmental meteorology–local cold air. In: VDI Guideline 3787 (Part 5). Berlin: Beuth Verlag. pp. 85.
15. <https://earthexplorer.usgs.gov>
16. https://www.blueskyday.kr/bbs/board.php?bo_table=map&xwr_id=52&sca=%EB%8C%80%EC%A0%84&page=2
17. <https://www.daejeon.go.kr/drh/DrhContentsHtmlView.do?menuSeq=2035>