

Research Paper

## 도시 열환경 개선을 위한 취약지역 선정 및 바람길 조성 방안: 창원시를 대상으로

김종성\* · 강정은\*\*

창원시정연구원\*, 부산대학교\*\*

### A Study on the Effectiveness of Wind Corridor Construction for Improving Urban Thermal Environment: A Case study of Changwon, South Korea

Jong-Sung Kim\* · Jung-Eun Kang\*\*

Changwon Research Institute\*  
Pusan National University\*\*

**요약:** 본 연구는 경상남도 창원시의 열환경 개선을 위해 열환경, 찬공기의 생성·유동성 및 지리적 특성을 분석하여, 지역 맞춤형 바람길 조성 방안을 검토하였다. 공간분석(spatial analysis), 원격탐사(remote sensing) 기법을 활용하여 창원시의 지표면온도, 토지피복 및 토지이용, 바람장, 경사도를 측정하고 이를 통해 바람길 분석모형을 구성하였다. 2020년도를 기준으로 분석한 결과, 창원시는 전반적으로 찬공기 생성에 유리한 토지피복 특성을 가지고 있으나, 대부분의 도심지 지역의 기온이 가장 높게 나타났다. 북창원 생활권, 진북면, 웅동, 웅천동 등 지역의 기온이 비교적 높으며, 산지지역에서 평균 풍속이 높고, 시가지에서 평균 풍속이 낮은 전형적인 경향을 보였다. 이에 따라 북창원 생활권, 구 창원 도심지, 호계리·평성리 지역, 창포만 지역을 열환경 개선지역으로 도출하고 각 지역의 특성을 고려한 지역 내 찬공기 유입 및 주변 산지, 저수지, 공원 지역 등과의 바람 유동성 확보를 통해 기온저감 및 대기질을 개선할 수 있는 다양한 방안을 제안하였다.

**주요어:** 바람길, 열환경개선지역, 도시열섬, 기후변화적응

**Abstract:** This study examined the effectiveness of wind corridor construction by analyzing the thermal environment, cold air generation, ventilation, and geographical characteristics to improve urban thermal environment and establish the basis for specialized strategy in Changwon-si, Gyeongsangnam-do. Using spatial analysis and remote sensing techniques, surface temperature, land cover and land use, wind field, and slope were measured and through this, a wind corridor analysis model was constructed. As a result of the analysis as of 2020, Changwon-si generally has land cover characteristics that are advantageous for the generation of cold air, but the temperature

in most urban areas is the highest, and the temperature in areas such as north Changwon area, Jinbuk-myeon, Ung-dong, and Ungcheon-dong are relatively high. There was a typical trend of high average wind speed in mountain regions and low average wind speed in urban areas. Accordingly, the north Changwon area, the former Changwon downtown area, the Hogye-ri and Pyeongseong-ri areas, and the Changpo Bay area are derived as vulnerable areas to thermal environment, and various measures to reduce temperature and improve air quality that the inflow of cold air into the area considering the characteristics of each area and securing wind ventilation between the surrounding mountains, reservoirs, and park areas were proposed.

**Keywords :** Wind Path, Hot Spot, Urban Heat Island, Urban Climate Adaptation

## I. 서론

도시화가 진행됨에 따라 도시가 개발 및 확장되고, 인구의 밀집과 에너지사용의 증가 등으로 도시환경문제가 갈수록 심각해지고 있다. 녹지, 산림면적의 감소와 토지피복의 변화는 지역의 에너지수지 및 기상학적 조건들을 변화시켜 도시열섬현상을 유발하고 나아가 도시미기후의 변화를 야기하고 있다(Lee et al. 2018). 특히, 중심지역에 집중된 개발에 따른 높은 인구밀도 및 인공배열 증가, 산발적이고 분산적인 수직적 고층건물 배치 위주의 도시 고밀개발은 도시의 공기 순환을 방해하고 열환경 악화를 가속화하고 있다(Fellenberg 1991, Kim & Kang 2018). 또한 도시지역은 자연환기가 어려움에 따라 대기오염물질이 도시 내부에 정체되어 도시환경이 더욱 악화되고 있어(Seo 2014; Park et al. 2006) 도시의 공간적 특성 및 기후환경에 대한 분석을 통해 도시의 열환경 및 바람의 흐름을 파악하고, 도시의 열환경 개선을 위한 계획 수립이 필요하다.

도시에서 바람은 시민들이 체감하는 도시환경의 쾌적성을 향상시키는 역할을 하며(Eum et al. 2018), 특히 바람유동이 더워진 도시공기를 공간적으로 적절히 수송하고 순환시키는 매개체로서 야간의 열섬현상에 가장 큰 영향을 미친다(Oke 1976; Landsberg 1981, Seo & Jung 2017). 도심으로 갈수록 수직적 고도화에 따른 풍속 감소현상이 뚜렷하게 나타남에 따라 시가지의 개발형태 및 공원, 녹지 등의 조성은 도시의 바람유동과 순환에 핵심적인 영향요소라고 할 수 있다(Kim & Choi 2013). 이처럼 도시열섬현상을

개선하기 위해서 전체 도시공간에서부터 국지적인 공간단위까지 공간위계별로 바람유동성을 확보하는 것이 매우 중요하다. 도시의 기후와 공기의 순환을 고려해 도시 주변의 산지, 계곡, 녹지 등의 공간 및 지형적 특성을 고려해 자연적으로 발생하는 신선하고 차가운 공기가 도시 내로 원활하게 유입될 수 있도록 도시공간을 조성함에 따라 바람이 지나가는 길을 바람길이라고 한다. 이러한 바람길의 조성을 통해 찬공기의 생성 및 유동이 효과적으로 이루어질 수 있도록 공간적 연계성을 확보해야 한다(Jung et al. 2008; Eum et al. 2018).

국내에서도 기후변화의 영향으로 폭염일수가 증가하고, 도시의 열환경이 악화됨에 따라 바람길 조성에 대한 관심이 높아지고 있다(Eum et al. 2018). 도시 내 바람길의 조성은 공기의 순환을 원활하게 하여 도시 전체의 온도를 낮출 수 있을 뿐만 아니라 도시 내부에 남아 있는 대기오염물질을 도시 외부로 밀어낼 수 있다. 특히, 도시 내부의 온실효과를 저감하여 도시의 열섬현상을 줄일 수 있으며, 대기환경의 개선을 통해 도시민들의 삶의 쾌적성을 향상시킬 수 있다. 또한, 여름철 냉방에너지 사용을 줄임으로써 비용 지출 및 도심 고온화의 악순환을 줄이는 등 다양한 이점이 수반된다(Lee 2012).

국내의 주요 도시에서는 공간지형적 및 기상학적 특성을 반영하여 도시의 특성에 맞는 바람길 조성이 추진되고 있다. 이미 독일, 일본 등에서는 오래전부터 시민의 건강권을 확보하기 위해 바람길 조성과 관련한 연구를 수행해오고 있으며, 도시 열섬현상의 개선과 바람유동성 확보를 위한 공간계획을 수립하였

다(Jung 2015; Seo & Jung 2017). 국내에서는 대기 오염, 폭염으로 인해 악화되고 있는 도시생활환경의 개선과 도시 숲 조성 및 그린인프라의 확충 등을 위해 개별 사업단위로 바람길 조성 사업을 추진하고 있으며 이와 함께 법·제도적 차원의 바람길 조성 확대를 위한 노력이 이루어지고 있다. 또한 최근 법제도적 부분에서는 도시 개발과 관련하여 바람길 조성에 대한 사항을 반영하도록 하는데 초점을 맞추고 있다. 특히, 도시계획 수립 시 바람통로 계획, 공기의 순환 경로, 바람길 확보, 건축물의 배치 등 바람길 조성의 분석·평가 및 계획 수립에 대한 중요성이 강조되고 있다 (Eum et al. 2018).

창원시는 약 105만 명이 거주하는 대도시로서 도시의 성장과 함께 자동차의 증가, 인구유입, 산업의 발달 등으로 도시환경이 더욱더 악화되고 있다. 이에 따라 창원시에서는 친환경적이고 쾌적한 도시공간 조성을 위해 바람길 확보에 대한 필요성이 강조되고 있다. 창원시는 바람길 조성의 기반 마련을 위해 '2025년 창원도시기본계획(변경)'의 '도심 및 주거환경계획 부문', '환경의 보전과 관리계획 부문'에서 건축물의 형태 및 배치, 각종 개발 사업 시 바람길을 고려한 계획수립을 강조하고 있으며, 또한 창원시 빗물관리에 관한 조례, 창원시 환경보전계획에서는 바람길 조성 실현을 위한 조사 및 관련부서의 업무 협력에 대해 언급하고 있다. 그러나 아직 구체적이고 실행력이 높은 바람길 조성을 위한 조례나 도시개발 가이드라인, 지침 등이 마련되어 있지는 못하다. 이를 위해서는 창원시의 공기 유동, 도시 공간구조, 토지이용현황 등을 검토하고, 지역특성을 반영한 바람길 조성에 관한 연구가 수행될 필요가 있다.

이에 본 연구는 창원시 열환경 개선을 위한 바람길 조성에 대한 기초연구로 원격탐사(remote sensing), 공간분석(spatial analysis) 기법 등을 활용해 창원시의 바람장 및 열환경을 분석하여 열환경 개선이 필요한 지역을 선정하고, 이 지역에 적합한 바람길 조성 방안을 제시하고자 한다. 이를 통해 쾌적하고 친환경적인 도시환경 조성을 위한 정책방향과 도시계획의 기초자료들을 제시하고자 한다.

## II. 선행연구

도시의 바람길 조성과 관련하여 도시 및 공간계획, 기후·공간적 특성들에 대한 다양한 연구가 수행되었다. 도시 및 공간계획 분야에서는 Evans and de Schiller(1990), Kim and Jung(2005), Eum(2008), Song and Park(2010), Kim and Choi(2013), Eum et al.(2018) 연구에서가 기존 도시의 기후특성과 도시계획을 검토하여 바람길을 고려한 새로운 도시계획안을 마련하고 바람길을 도시계획에 적용하기 위한 방안을 제시하였으며, Ellefsen(1998), Cionco and Ellefsen(1998), Oke(2004), Joo et al.(2006)는 도시의 공간구조에 따라 유형을 분류하고 이를 바탕으로 바람길 조성 계획 및 개발방향을 제시하였다.

기후특성과 관련해서는 주로 열환경, 바람장을 중심으로 연구가 수행되었다. Barlag and Kuttler(1990)은 시간에 따른 풍속의 차이가 온도에 미치는 영향을 살펴보았으며, Laza and Podesser(1999), Cha et al.(2007)과 같은 학자들은 열섬현상 및 대기오염도와 바람과의 관계를 분석하였다. Eum et al.(2018)의 연구에서는 지역의 풍향 및 풍속을 분석하여 열환경이 취약한 지역에 대해 관리방안을 제시하였다.

바람장을 중심으로 한 연구로는 Cho and Park(2003), Song(2003), Goo(2004), Kim and Baik(2005), Seo and Jung(2017)가 바람장에 대한 분석 및 시뮬레이션을 수행하고, Kim and Choi(2013), Eum et al.(2001)은 바람장을 기반으로 도시의 개발 방향 및 녹지 조성 방안 등을 제시하였다. 또한 토지이용에 따른 찬공기의 생성 및 유동을 통한 바람길 분석이 수행되었다. Seo and Jung(2017)의 연구에서는 기상학적 상관성과 공간지형적 영향관계를 바탕으로 실측자료와 수치모델링분석결과의 비교 검증을 수행하여 도시 내 공간지형적 특성에 따른 국지적 바람유동성을 파악하였다. 경기도 포천시(Son et al. 2012), 부산, 울산 및 포항일대(Eum & Son 2016), 전주 및 광주 인근(Korea Forest Service, 2016)을 대상으로 한 지역연구에서는 도시 주변의 산지를 대상으로 찬공기의 생성지역 및 이동 특성에 관해 분석

하고, 이를 바탕으로 찬 공기 생성 지역 및 바람 통로에 대한 관리 전략을 제시하였다. Song(2003), Jung et al.(2008), Song and Park(2010)의 연구에서는 차고 신선한 공기를 생성하는 지역을 도출하고 이를 기반으로 바람길 전략 및 보전 지역 설정 방안을 제시하였다.

본 연구는 선행 연구들이 바람길 조성 계획 수립을 위해 도시공간 특성, 기후 특성, 토지이용 등의 요소들을 개별적으로 살펴보고, 종합적으로 고려하지 못한 한계점을 극복하고, 이들 다양한 요소들을 복합적으로 고려하여 찬 바람의 생성 및 유동에 유리한 지역 및 바람의 흐름을 분석하고자 한다. 또한, 위성영상 자료를 활용하여 도출된 열환경 취약 지역과 중점 분석하여 바람길 조성 방안을 제안하고자 하였다.

### III. 분석 방법

#### 1. 연구 대상지

경상남도 창원시는 현재 의창구, 성산구에 해당하

는 기존 창원, 마산합포구, 마산회원구에 해당하는 마산시, 진해구에 해당하는 진해시를 통합한 대도시로 남측 해상으로 마산만과 진해만이 위치하고 있으며, 북측으로는 함안과 밀양, 동측으로는 부산과 김해, 서쪽으로는 고성군이 위치하고 있고, 넓은 평야와 주거용지, 상업용지, 공업용지, 녹지 등이 다양하게 분포하고 있다. 지리적으로는 서쪽에 서북산, 광려산, 무학산이 위치하고 성산구·의창구의 중심부를 팔룡산, 천주산, 구룡산, 정병산, 비음산, 불모산, 장복산이 둘러싸고 있는 산지가 많은 지형적 특성을 나타내고 있으며, 중심부의 구 창원 도심지, 북부의 북창원 생활권, 서부의 진전면, 진북면, 구산면, 내서읍, 동남부 진해구 웅동·웅천동 지역 등으로 크게 구분할 수 있다(Figure 1). 토지피복지도를 통해 창원시 전역의 토지이용 현황을 살펴보면, 전체면적 743.95km<sup>2</sup> 중 산림지역이 401.09km<sup>2</sup>(53.91%)로 가장 넓은 면적을 차지하며, 농업지역 118.53km<sup>2</sup>(15.93%), 시가화·건조지역 107.49km<sup>2</sup>(14.45%), 초지 70.43km<sup>2</sup>(9.47%)의 순으로 나타났다(Figure 2). 또한 창원시는 폭염



Figure 1. Study area.

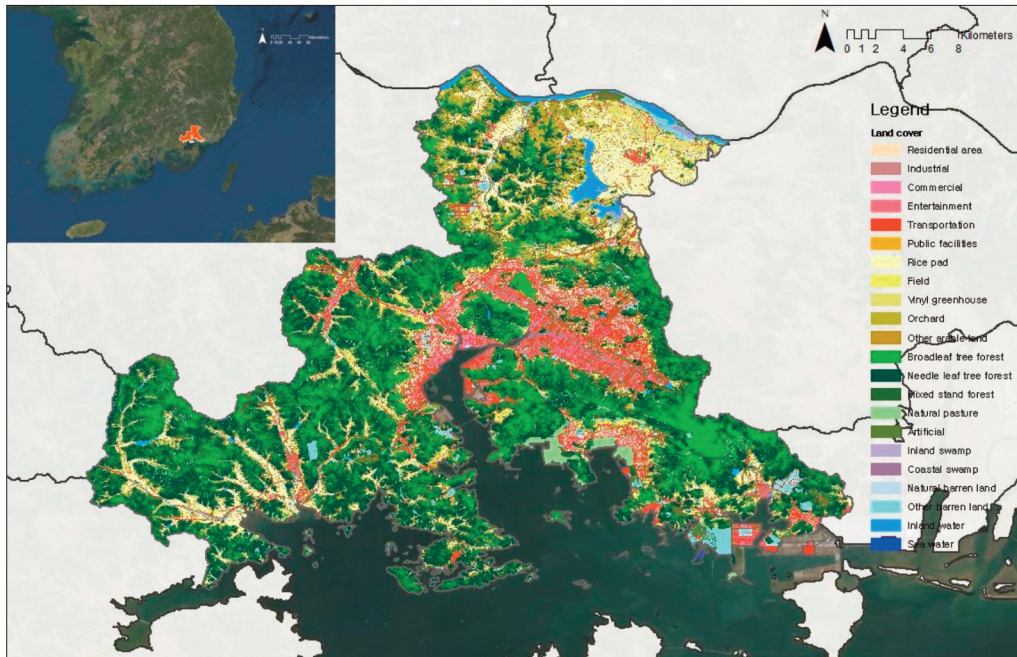


Figure 2. Land cover of Changwon.

기간이 이전 10년에 비해 최근 최초 발생 시점과 기간이 지속적으로 증가하고 있으며, 과거 10년(1999~2008)과 최근 10년(2009~2018)을 비교해보면 여름철 연평균 열대야 발생일 수는 10.5일에서 14.9일로, 폭염발생 횟수는 7.7회에서 15회로 상승하는 추세를 나타내며 열환경의 악화가 가속화 되고 있는 지역이다. 이에 따라 본 연구는 최근 10년간 폭염발생이 큰 폭으로 증가하고 있는 창원시를 대상으로 분석을 수행하였다.

## 2. 분석방법 및 분석과정

본 연구의 분석은 공간분석(spatial analysis), 위성영상자료 분석을 통한 열환경분석, 바람장분석, 지형분석, 찬공기 유동분석을 수행한 다음 열환경개선 지역 도출하고 지역별 바람길 조성방안을 검토하는 순서로 수행되었다(Figure 3).

### 1) 열환경분석

Landsat 8 위성영상자료를 통해 작성된 표면온도

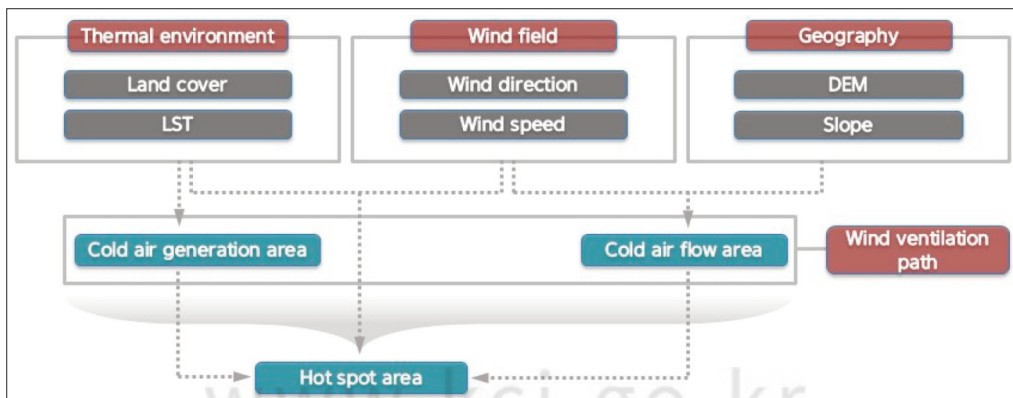


Figure 3. Concept for wind corridor analysis model.

분포도를 활용하여 Hotspot 분석을 수행하였으며 이를 통해 창원시의 열환경을 분석하였다. 먼저, Landsat 8 위성자료 중 열적외선 밴드인 밴드 10과 밴드 11 중 밴드 11이 대기에 대한 영향에 민감함에 따라 온도가 다소 낮게 측정되는 경향이 있어(Park and Cho 2016; Kim et al. 2018) 밴드 10을 사용하여 표면온도를 산출하였다. Landsat 8 위성은 2013년 발사되어 운영 중인 위성으로 16일을 주기로 동일 지역을 관측하며 USGS Glovis(<https://glovis.usgs.gov>)에서 영상자료를 제공하고 있다. 본 연구에서는 분석조건인 여름철 기간 중 온량이 적고(10% 미만) 낮 시간에 촬영된 대상지역(path114/row36)의 2020년 9월 4일 01:59:33 GMT 위성영상자료를 활용하였다. 우선 ArcGIS v10.3의 raster calculator, image analysis를 활용하여 표면 온도를 산출하였다. 선형 회귀식 1을 활용하여 복사에너지(TOA Radiance)를 계산하였다. 식 1에서  $L_i$ 는 센서에 도달하는 스펙트럼 복사량을 의미하고  $M_L$ 는 해당밴드에 대한 Radiance multiplicative scaling factor를  $Q_{cal}$ 은 해당 화소의 DN(Digit Number),  $A_L$ 은 해당밴드에 대한 Radiance additive scaling factor를 의미한다(Missions 2016).

$$L_i = M_L \times Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

다음 계산된 복사량을 바탕으로 식 2를 통해 밝기 온도(Satellite Temperature)를 산출하였다. Landsat 8 위성 센서의 적외선 밴드(밴드 10)에 대한 보정상수 K1, K2로 각각 774.89, 1321.08을 적용하여 위성영상의 DN값을 반사도 값으로 변환한 뒤 절대온도( $T = ^\circ\text{C} + 273.15$ )값을 통해 온도( $^\circ\text{C}$ )값으로 보정하였다.

$$T(k) = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_i} + 1\right)} - 273.15 \quad (2)$$

영상자료 밴드 2, 3, 4, 5를 활용하여 도출한 정규식생지수(NDVI; Normalized Difference Vegetation Index)를 통해 지표면 방출률(Land Surface Emissivity)  $\epsilon$ 를 산출하고 식 3을 적용하여 지표면 온도(Land Surface Temperature)를 계산하였다.

$$LST = T(k) / (1 + w \times (T(k) / p) \times \ln(\epsilon)) \quad (3)$$

$T(k)$  = At satellite temperature  
 $w$  = wavelength of emitted radiance (11.5  $\mu\text{m}$ )

$$p = h \times c / s \quad (1.438 \times 10^{-2} \text{ mK})$$

$$h = \text{Planck's constant} \quad (6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})$$

$$s = \text{Boltzmann constant} \quad (1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K})$$

$$c = \text{velocity of light} \quad (2.998 \times 10^8 \text{ m/s})$$

다음으로, 열환경이 취약한 지역을 분석하기 위해 표면온도 분포도를 바탕으로 GIS 공간군집분석(Spatial clustering analysis) 기법인 Hot spot 분석을 수행하였다. Hot spot 분석을 통해 도출되는  $G_i^*$  Z scores 값이 0에 가까울수록 군집의 이질적 분포를 의미하며 값이 높으면 높은 속성 값의 군집을, 속성 값이 낮은 경우 낮은 속성 값들의 군집이 형성된 것을 나타낸다(Song, 2014). 본 연구에서는 분석결과  $G_i^*$  Z scores 값이 높은 곳을 Hot spot 지역, 낮은 곳을 Cool spot 지역으로 구분하여 열환경을 분석하였다.

## 2) 바람장분석

바람장 분석을 위해 기상청 기상자료개방포털에서 제공하는 풍력기상자원지도를 활용하여 풍속(Wind speed), 풍향(Wind direction)에 대한 분석을 수행하였다. 풍력기상자원지도는 지표면으로부터 10m, 50m, 80m 높이의 최근 5년간 해상도 1km의 평균 풍속, 풍향 관측 자료를 csv 형태로 제공하는데 본 연구에서는 지표면의 영향을 적게 받는 80m 높이의 관측 자료를 활용하였다. GIS 공간보간방법 Kriging을 통해 해상도 30m×30m인 래스터 자료로 resampling 하였으며 Jenks Natural Breaks 분류법을 적용하여 평균풍속이 낮은 지역(3.57m/s 이하), 평균풍속이 높은 지역(4.54m/s 이상)을 도출 및 지도화하였다.

## 3) 찬공기 유동분석

찬공기의 생성 및 이동에 적합한 지역을 도출하여 찬공기의 유동을 분석하였다. 찬공기 생성량에 대한 정량적 측정이 어려움에 따라 공간적 특성에 따른 정성적 평가 주로 이루어지고 있으며(Song & Park 2010), 본 연구에서는 찬공기 형성의 주요 요인인 지표면의 상태와 지형조건을 고려하여 찬공기의 생성이 예상되는 지역을 도출하고 풍향·풍속을 고려하여 찬공기의 이동을 분석하였다. 먼저 토지피복 및 토지이용유형과 Hotspot 분석 결과를 활용하여 찬공기를

생성하는 기능을 가지는 찬공기 생성지역을 도출하였다. 환경공간정보서비스에서 제공하는 토지피복지도 자료를 활용하여 찬공기 생성 기능 가지는 토지피복유형(논, 밭, 과수원, 기타채배지, 활엽수림, 침엽수림, 혼효림, 자연초지, 인공초지, 내륙습지, 내륙수지역)을 도출하고 Hot spot 분석에서의 저기온밀집지역(Cool spot)과 중첩하여 창원시 내에서 찬공기 생성기능을 가지는 지역을 분석하였다. 다음으로 풍속·풍향 및 지형에 따라 찬공기가 이동에 적합한 찬공기 유동지역을 산정하였다. 바람장 분석을 통해 도출된 평균 풍속이 4.54m/s 이상인 지역과 경사도가 5~25°인 지역을 중첩하여 풍향을 고려한 찬공기 유동지역을 지도화 하고 찬공기의 생성 및 이동하는 경로에 대한 예측을 수행하였다. 평균 경사도가 5~25°인 지역에서 생성된 찬공기가 계속 아래로 이동할 때 해당 공간에 다른 공기의 유입이 자연스럽게 이루어져 바람의 유동에 가장 유리함에 따라(김수봉, 정응호, 2005), 지형 분석을 위해 국토지리정보원에서 제공하는 수치지형도를 활용하여 수치표고모델(DEM)을 작성하고 이를 활용하여 경사도 자료의 구축 해당 지역을 도출하였다.

4) 바람길 분석

마지막으로 앞에서 수행한 열환경분석, 바람장분석을 활용하여 열환경개선지역을 도출하였다. 구체적으로 열환경분석의 hotspot인 고기온밀집지역(Hot spot)과 바람장분석 내 평균 풍속이 낮은 지역(3.57m/s 미만인 지역)을 중첩하여 열환경개선지역

으로 산정하였다. 이렇게 도출된 열환경개선지역과 찬공기유동분석 결과로 도출된 주변의 찬공기 생성지역, 유동지역을 중첩하여 창원시의 열환경 개선을 위한 바람길의 조성 및 보존에 대한 전략을 제시하였다.

IV. 분석결과

1. 열환경 분석

Landsat 8(OLI/TIRS) 위성자료의 열적외선 밴드(Band 10, (2020.09.04, 촬영))를 활용하여 창원시 전역의 지표면온도 분포도를 작성하였다(Figure 4). 지표면온도 분포도를 살펴보면 대부분의 도심지 행정구역의 기온이 가장 높은 것을 알 수 있으며, 북창원 지역, 진북면, 웅동, 웅천동 등의 지역의 기온이 비교적 높은 것으로 나타났다. 특히, 북창원 생활권의 경우 지역 내 수공간인 주남저수지가 있지만 규모가 작고 전반적으로 농업지역 및 공업지역 위주의 평지임에 따라 열환경이 취약한 것으로 평가되며, 중심부에 위치한 통합 이전 창원의 도심지는 아파트, 고층 건물들이 밀집되어 있고 포장면으로 되어있음에 따라 지표면 온도가 높게 나타났다. 또한 서쪽의 내서읍 지역은 지역 내 녹지가 대부분 소규모 녹지로 조성되어 녹지면적이 부족하고 상업지역의 상가건물들이 고밀화 된 형태로 조성되어 바람의 유동이 잘 이루어지지 못하여 기온이 비교적 높으며, 서남부의 창포만 일대는 바다에 인접해 있으나 주풍향과 만의 특성을 고려하였을 때 찬공기의 유입이 어려워 전반적 기온이 높은 것으로 판단된다.

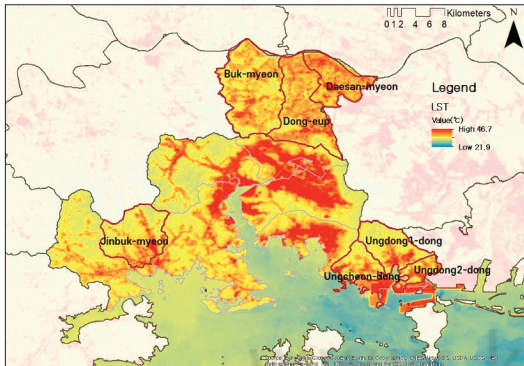


Figure 4. Land surface temperature (Landsat 8).

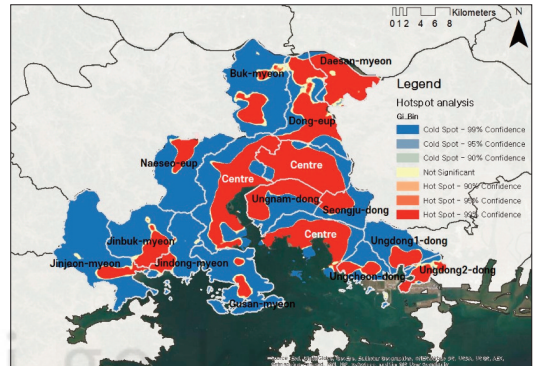


Figure 5. Hot spot and Cool spot area.

지표면온도 분포도를 활용한 GIS 공간통계 Hotspot 분석을 수행하여 고기온밀집지역(Hot spot), 저기온밀집지역(Cool spot)을 도출하였다(Figure 5). 분석결과 창원 내 도심지, 북창원 생활권, 진북·진전 면 일대, 웅천·웅동 일대 지역이 고기온밀집지역(Hot spot)으로 도출되었고, 웅남동, 성주동, 내서읍 등의 산지지역이 저기온밀집지역(Cool spot)으로 나타났다.

### 2. 바람장 분석

국립기상연구소의 풍력 기상자원지도를 활용하여 창원시 전역을 대상으로 최근 5년 동안의 지상으로부터 80m의 풍속, 풍향을 분석하고, 이를 통해 바람장 분석 및 도면화를 수행하였다. 평균 풍속은 4.16m/s 이고 주 풍향은 남동풍으로 나타났다(Figure 6). 바람골(성산구 천선동)에서 불모산(801m) ~ 굴암산(662m)로 이어지는 지역이 가장 풍속이 높고, 천주산(638m), 무학산(761m), 서복산(739m)~광려산(752m) 일대가 비교적 풍속이 높은 반면, 북창원 생활권, 성산구 및 의창구 도심지, 내서읍 일대의 풍속

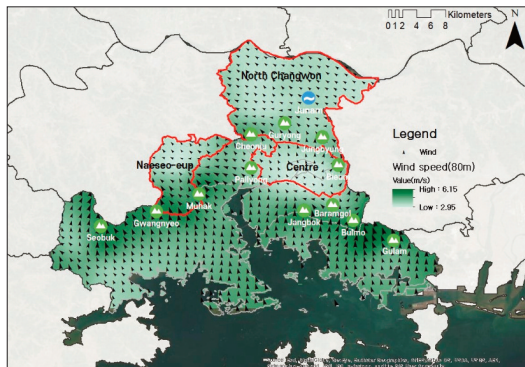


Figure 6. Wind speed and direction.

이 비교적 낮음을 알 수 있다. 창원시의 경우 산지지역에서 평균 풍속이 높은 경향을 보이며, 이에 따라 지형에 따른 바람장의 영향이 큰 것으로 판단된다(Figure 7).

### 3. 찬공기 유동 분석

토지피복 및 토지이용 유형 중 찬공기 생성기능을 가지는 논, 밭, 과수원, 기타재배지, 활엽수림, 침엽수림, 혼효림, 자연초지, 인공초지, 내륙습지, 내륙수지역을 피복특성 상 찬공기 생성기능을 가지는 토지피복 및 토지이용 지역으로 도출하였다. 전체적으로 찬공기 생성기능을 가진 지역은 601.68km<sup>2</sup>(80.9%)로 나타났으며, 이 중 침엽수림이 187.08km<sup>2</sup>(25.2%), 활엽수림이 148.32km<sup>2</sup>(19.9%), 혼효림이 65.68km<sup>2</sup>(8.8%)로 가장 높은 비중을 차지하는 것으로 나타났다(Table 1).

찬공기 생성기능을 가지는 토지피복 및 토지이용 지역과 저기온밀집지역(Cold spot)을 중첩분석하여 찬공기 생성지역을 도출한 결과는 Figure 8과 같다. 불모산, 비음산, 장복산, 주남저수지, 구룡산, 천주산,

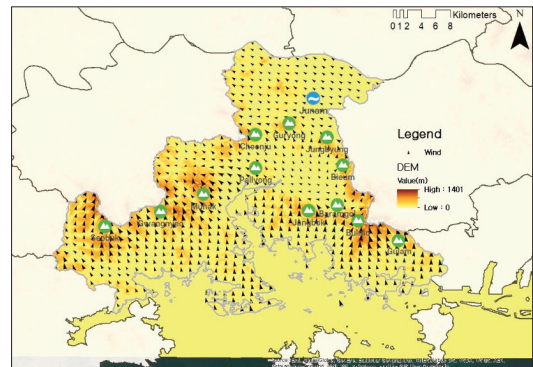


Figure 7. Wind field and slope.

Table 1. Land cover of generating cold air

Land cover	Area(km <sup>2</sup> )		Land cover	Area (km <sup>2</sup> )	
Needle leaf tree forest	187.08	25.15%	Orchard	28.70	3.86%
Broadleaf tree forest	148.32	19.94%	Natural pasture	19.01	2.56%
mixed stand forest	65.68	8.83%	Inland water	13.77	1.85%
Artificial pasture	51.41	6.91%	Inland swamp	6.17	0.83%
Rice pad	41.90	5.63%	Other arable land	0.95	0.13%
Field	38.68	5.20%	<b>Total</b>	<b>601.68</b>	<b>80.88%</b>

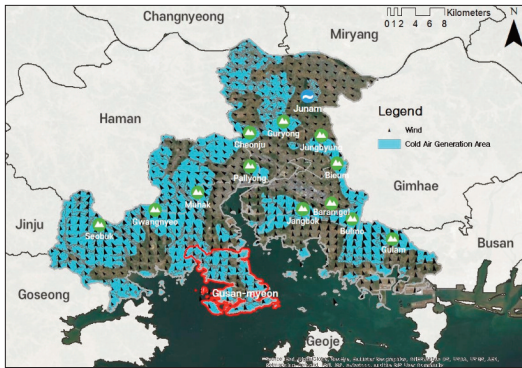


Figure 8. Cold air generation area.

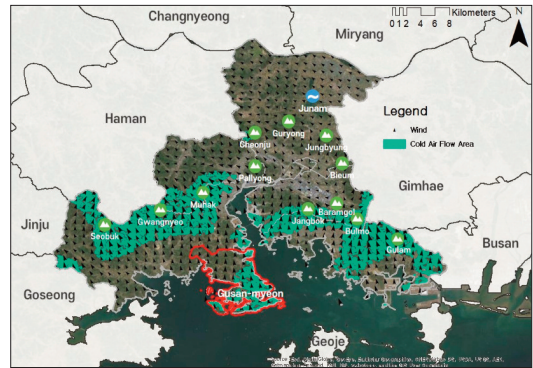


Figure 9. Cold air ventilation area.

팔룡산, 무학산, 광려산, 진전면, 이명리 지역 일대가 찬공기 생성지역인 것으로 나타났다. 찬공기 생성에는 찬공기 생성지역의 면적이 클수록 유리하며 주변 지역의 지형적 조건에 따라 생성된 찬공기의 유입 및 집결 효과가 다르게 나타난다. 토지피복의 경우, 초지와 농경지가 수림지에 비해 야간시간대의 지표면 냉각효과가 더욱 크기 때문에 초지와 농경지가 차지하는 비율이 높을수록 찬공기 생성에 유리하다. 이에 따라 찬공기의 생성강도는 찬공기 생성지역의 크기와 토지피복 및 토지이용, 지형조건에 크게 영향을 받으며 특히 계곡지형에서 생성량이 가장 많으며 대부분의 찬공기 생성지역이 산지지역에 집중되어 있는 것을 알 수 있다. 또한 생성된 찬공기를 시가화지역으로 유동시킬 수 있는 통로의 계획이 필요함을 알 수 있다.

찬공기 유동지역을 도출하기 위해 평균 풍속이 높고, 15~25° 경사지역과 창원시 바람장분석 결과를 중첩분석한 결과(Figure 9), 장복산 - 바람골(성산구 천선동) - 불모산 - 굴암산으로 이어지는 지역, 서북산 - 광려산 - 무학산, 구산면 일대가 찬공기 유동지역으로 나타났다. 생성된 찬공기의 적절한 유동에 있

어서 경사지의 횡단면 형태가 영향을 미치는데, 오목한 형태의 경사지에서 찬공기가 집결되고 수직적 유동 및 흐름에 적합한 반면, 볼록한 경사지는 찬공기의 유동성을 약화시키고 불안정한 대기의 유동 상태를 유발하여 유동성에 부정적 영향을 미친다. 이에 따라 지형적 조건, 토지피복 형태 등이 매우 중요하며 평지지형이나 너무 높은 경사지(25°이상)에서는 찬공기의 유동이 불리하다.

찬공기 생성지역과 찬공기 유동지역 분석결과를 중첩하여 찬공기가 흘러가는 경로를 살펴보면 찬공기 생성지역에서 생성되는 찬공기들은 구 창원 시가지 및 북창원 생활권으로 전달되지 못하고 함안, 김해지역으로 우회하여 나가고 있는 것으로 나타나며 주남저수지 일대에서 생성되는 찬공기는 효율적으로 주변 지역에 전달되고 있지 못한 것을 알 수 있다.

#### 4. 바람길 조성 방안

창원시내 도심지, 북창원생활권, 내서읍, 진북·진전면 일대 지역이 고온밀집지역 및 평균풍속이 낮은 지역으로 나타남에 따라, 이러한 지역들에 찬공기가 유입될 수 있는 방안 마련이 필요하다. 장복산에서 불

Table 2. Land surface temperature of Hot spot areas

Hot spot areas	Area (km <sup>2</sup> )	Mean (°C)	Max (°C)
A (North Changwon)	66.41	32.82	45.08
B (Former Changwon downtown)	67.90	35.82	45.13
C (Hogye-ri and Pyeongseong-ri)	7.88	33.03	41.21
D (Changpo Bay)	15.52	32.84	44.32
<b>Total</b>	<b>157.70</b>	<b>34.12</b>	<b>45.13</b>

모산 일대 지역과 서북산에서 무학산에 이르는 지역이 창원시의 찬공기 흐름에 가장 중요한 역할을 하는 녹지로서 가로형의 녹지축을 형성하고 있으나 중간

지역에 시가화 구역이 고밀화된 형태로 분포하고 있음에 따라, 도심외곽 산지지역과 도심지역 내 공원녹지가 단절되어 바람의 연계가 이루어지지 못하고 있다.

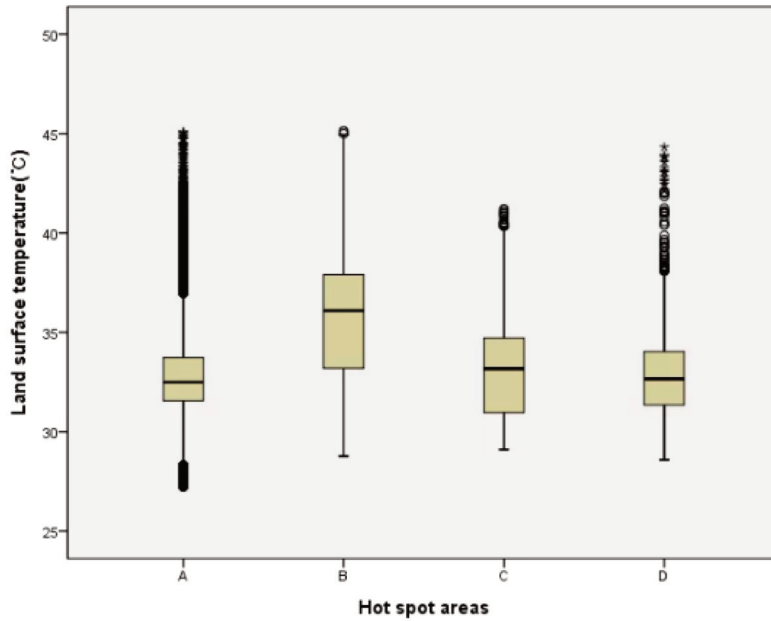


Figure 10. Temperature distribution of Hot spot areas (Box plot).

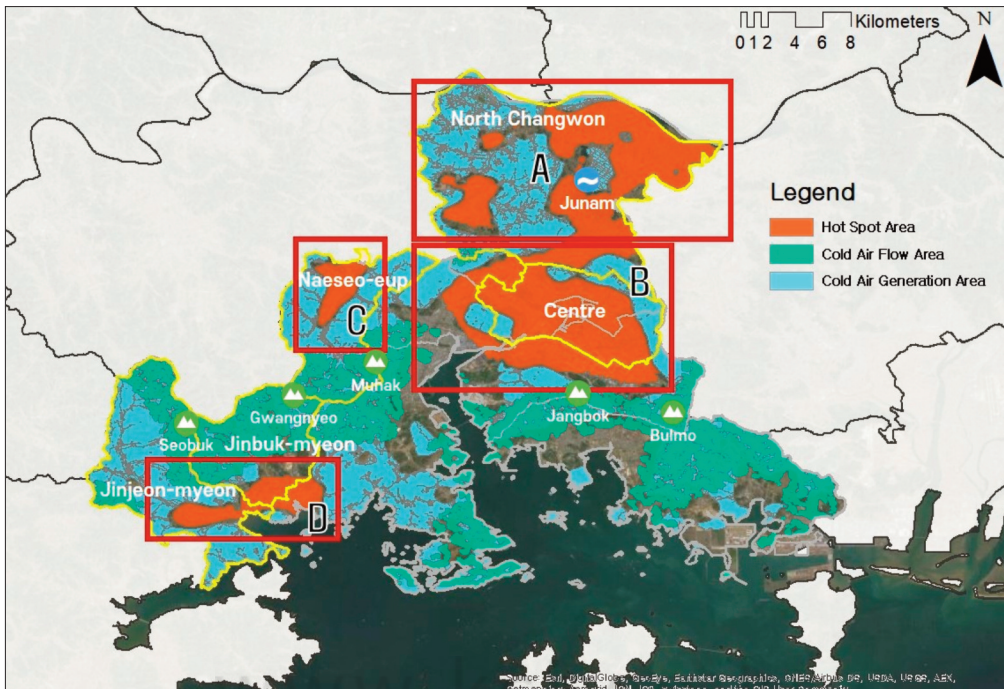


Figure 11. Hot spot areas of Changwon.

특히 시가화지역은 인공구조물(건축물 및 기타시설)과 포장면으로 덮여있으며 대부분 평지지형으로 이루어져 있어 기후생태적 기능이 열악하며 교외지역에서 유입되는 찬공기가 도시 내부로 가면서 유동성이 약해져 원활한 공기 순환이 이루어지지 못하고 있다. 또한 교외지역의 찬공기 생성지역과 시가화 지역의 연결성을 고려한 녹지공간의 조성으로 바람길을 계획할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 Hotspot 분석을 통해 도출된 고기온밀집지역(Hot spot)과 바람장 분석을 통해 도출된 평균풍속이 느린 지역을 중첩하여 열환경이 취약한 열환경 개선지역을 도출하였다(Figure 11). 창원시의 열환경의 개선이 필요한 지역은 A. 북창원 생활권, B. 구 창원 도심지, C. 호계리·평성리 지역, D. 창포만 지역으로 구분하였다.

1) 북창원 생활권

북창원 생활권의 경우 찬공기가 발생되는 수공간이 위치해 있으나 발생면적의 규모가 작고 지형이 평지임에 따라 찬공기의 유동이 원활하지 못하며, 비닐하우스 중심의 농업지역 및 공업지역이 분포하고 있음에 따라 열환경개선지역 내부로 찬공기가 효율적으로 전달되지 못하고 있다(Figure 12). 대산면과 일부 시가화지역이 평지로 조성되어 있어 도시지역으로 찬공기의 유동이 어려울 것으로 판단되며 아파트 단지 조성 및 개발의 진행에 따라 인구가 더 유입되면서 열환경이 더욱 악화될 것으로 예상된다. 지역 내에서 생성되는 찬공기를 활용하기 위해서는 찬공기 생성지역이 우선적으로 보전되어야 하며 생성된 찬공기가 열

환경개선지역까지 원활하게 유입되기 위해 찬공기 생성지역 주변의 계획적 개발 및 기 개발계획 수립지역의 바람 흐름을 고려한 건물 배치 및 층수 규제를 통해 바람길이 조성될 수 있도록 해야 할 것으로 판단된다. 또한 바람이 다니는 길을 구체적으로 파악하고 도시녹지계획에 반영시켜 도시외부로부터 도심까지 녹지축을 연결하는 바람골을 형성하고 주남저수지 일대 및 구룡산에서 생성되는 찬공기를 대산면 및 북면(신촌리, 무곡리 등)일대로 유동시킬 수 있도록 찬공기 생성지역과 연결되는 녹지축의 조성 및 계획적 개발이 필요한 것으로 판단된다.

2) 구 창원 도심지

구 창원 도심지는 창원시의 대표적인 시가화 지역으로서 아파트, 고층 빌딩 등이 밀집해있으며 대부분의 지표면이 포장면으로 덮여있는 공간구조를 형성하고 있다(Figure 13). 대상지역의 주변에 찬공기 생성지역이 둘러싸고 있으나 지역으로 바람이 통하지 못하고 주변으로 우회하며 약해지고 있다. 구 창원 도심지의 바람길 조성을 위해서는 남측의 바람이 도심지 내로 이어질 수 있도록 연결녹지의 조성을 통한 바람길 조성이 필요한 것으로 판단된다. 도심지 내 녹지 네트워크 조성을 통해 주변지역과의 바람 연계성을 확보하고, 기존 시가지 및 개발예정지에 대해 저영향개발(Low Impact Development, LID)을 적용한 친환경적 열환경 개선방안이 필요하며, 창원천, 남산천, 남천 등 수변지역의 정비, 열환경개선지역과 가로, 공원, 수변지역의 연계가 필요하다. 또한 기존

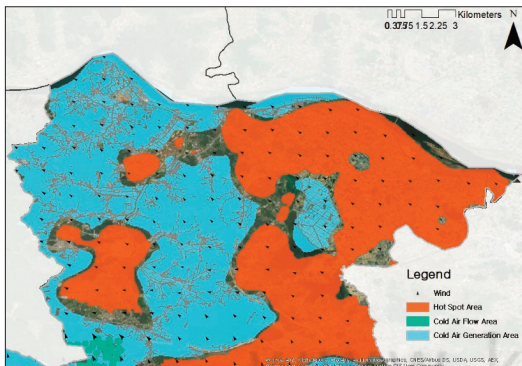


Figure 12. North Changwon area.

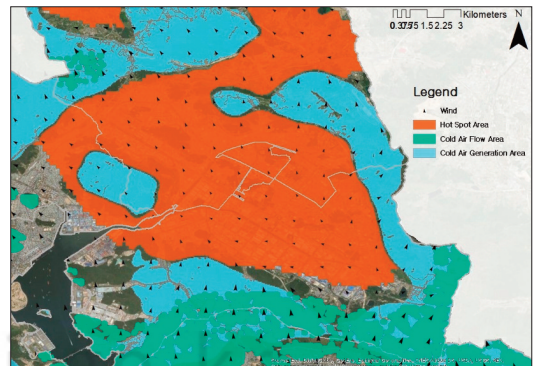


Figure 13. Former Changwon downtown area.

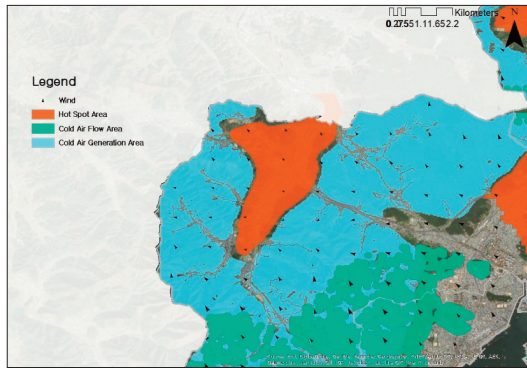


Figure 14. Hogye-ri and Pyeongseong-ri areas.

녹지지역의 생태적 관리, 산업단지 주변의 대기오염 및 열환경 개선을 위한 시설녹지 설치, 수변공간을 축으로 한 선적 녹지대 조성 등을 활용하면 바람의 유동성을 증가시킬 수 있을 것으로 예상된다.

### 3) 호계리·평성리 지역

호계리·평성리 지역의 아파트단지 및 연립주택 지역 일대가 열환경개선이 필요한 지역으로 나타났다 (Figure 14). 남측 무학산 일대에 찬공기 생성지역이 형성되어 있으나 대상지의 평균풍속이 매우 낮음에 따라 열환경이 취약한 것을 알 수 있다. 이 지역에서는 광려산에서 무학산으로 이어지는 지역의 바람의 유동성이 높음에 따라 이 지역과 개선이 필요한 지역을 연결할 수 있도록 바람길 조성 계획이 마련되어야 할 것으로 보인다. 해당 지역은 주거지역 내 아파트 및 단독주택에 대한 바람 유동성 확보를 위한 주거지역 내 녹지 조성 및 연계성 확보가 필요하며 상업지역의 경우 소규모 녹지가 대부분에 따라 녹지면적 및 연계성 부족, 고밀화 된 상가 건물로 인한 바람의 차단이 문제가 됨에 따라 기존 녹지공간의 확대·개선을 통해 도시환경의 안정을 기하고, 외부로부터 생성된 바람을 도시 내로 유입할 수 있도록 해야 할 것이다.

### 4) 창포만 지역

창포만 지역은 지산리, 사동리 일대 마을지역으로 바다에 인접해 있으나, 만의 특성상 바람의 유동이 원활하지 못한 것으로 나타났다 (Figure 15). 대상지역의 주 풍향이 남동풍이나 남측에 바다가 인접하여 있

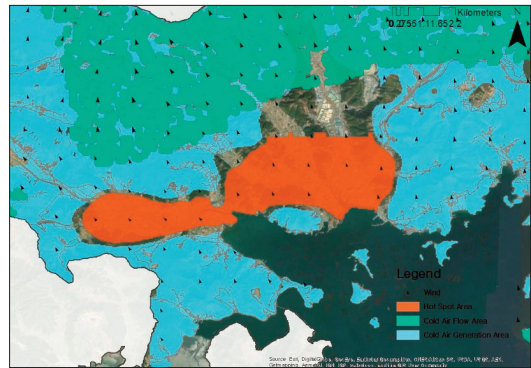


Figure 15. Changpo bay area.

어 찬공기를 유입해 오기가 어려운 여건임에 따라 지역 내 찬공기 생성지역의 조성이 필요한 상황이다. 바다와 인접한 지역에 선박관련 공장들이 위치하고 있고 지역 내 찬공기 생성지역 부재 및 주변 녹지와 연계성이 매우 떨어진다는 문제점을 확인할 수 있다. 또한 찬공기가 생성되는 밤시간에는 육풍이 불면서 야간에 생성되는 찬공기가 바다쪽으로 불어나감에 따라 높은 나무를 뺀 채 식재함으로써 신선하고 차가운 공기를 제공하는 공기땀을 만들어 공기의 유동성을 확대하거나 바람의 통로가 되는 산림에 바람이 빠져나갈 길을 조성할 필요가 있다. 주변지역의 찬공기 생성지역과 열환경개선지역의 연결성을 고려한 녹지공간의 조성으로 바람길을 조성할 필요가 있는 것으로 판단된다.

## V. 결론 및 시사점

본 연구는 원격탐사, 공간분석 기법 등을 활용한 열환경, 바람장, 지리적 특성 분석을 통해 창원시의 바람길 조성이 필요한 열환경 개선지역을 도출하고, 주요 지역에 대한 바람길 조성방안을 제안하였다. 열환경 개선이 필요한 지역들에 대한 분석결과, 지면으로부터 높이에 따른 평균 풍속차이에 비해 지형적 특성에 의한 평균풍속의 차이가 큰 것을 알 수 있다. 따라서 구조물 및 시설의 설치보다는 지형적 요인을 고려한 바람길 조성을 통해 공기 순환을 유도하고 이를 통해 대상지역의 기온감소 및 대기질 개선이 가능할 것으로 판단된다. 창원시는 찬공기 생성에 유리한 토

지피복 특성을 가지고 있는 반면, 개발이 밀집된 도심 지역의 기온이 가장 높게 나타났으며 북창원 생활권, 진북면, 웅동, 웅천동 등 지역의 기온이 비교적 높게 나타났다. 산지지역에서 평균 풍속이 높고, 시가지에서 평균 풍속이 낮은 전형적인 경향도 함께 보이고 있었다. 창원 내 도심지, 북창원 생활권, 진북·진전면 일대, 웅천·웅동 일대 지역이 고온밀집지역 및 평균 풍속이 낮은 지역으로 나타났으며, 북창원 생활권, 구 창원 도심지, 호계리·평성리 지역, 창포만 지역이 대표적 열환경 개선지역으로 도출되었다. 이들 지역은 찬공기 생성에 유리한 토지피복 및 토지이용 특성을 갖추고 있으나, 공기의 순환이 원활하지 못하여 도심지로의 찬공기의 공급이 잘 이루어지고 있지 못함에 따라 열환경 개선지역 내에 찬공기가 통과할 수 있도록 주변의 산지, 저수지, 공원 등과의 공기 순환체계를 마련하고, 기존 바람길과의 연계를 통한 바람길 조성 계획이 필요하다.

최근 도시계획과 환경 관련 제도에서는 도시개발시 바람통로 계획, 공기의 순환 경로, 바람길 확보, 건축물의 배치 등 바람길을 적용한 도시계획을 강조하고 있다. 도시계획 관련 대다수의 법률에서 자연환경의 보전과 훼손된 자연환경에 대한 개선 및 복원 등 환경을 고려한 계획수립을 기본이념으로 하고 있으며, 환경 관련 법률은 사전환경성검토와 환경영향평가를 통해 자연환경의 훼손을 예방하고 개발사업으로 인한 환경의 악영향을 최소화 하도록 하고 있다. 이에 따라 국내 주요 도시에서도 도시맞춤형 바람길 조성을 추진하고 있으나, 열환경에 대한 체계적인 분석이 미흡하고, 개별 사업단위로 이루어져 아직 실효성은 부족한 상황이다. 이에 반해, 해외 주요 도시는 시민의 건강권을 확보하기 위한 목적으로 다양한 정보를 기반으로 과학적 분석을 통해 바람길 조성이 이루어지고 있다. 창원시가 보다 구체적인 바람길 조성계획을 수립하기 위해서는 생태환경 및 기후환경 정책수립을 지원하는 도시생태현황지도와 기후요인을 포함한 도시기후 관련 공간정보가 구축될 필요가 있다. 뿐만 아니라 바람길 조성을 위한 조례제정 등 제도적 기반을 마련하고 쿨루프 사업, 도시숲 조성사업, 도시생태축 구축사업, 물순환 구축사

업 등과 같은 도시열 감소를 위한 바람길 관련 신규 사업 발굴 및 정책사업 추진, 바람길 조성의 이행력 강화를 위한 홍보 및 시민참여 촉진을 위한 노력들이 함께 이루어져야 할 것이다.

본 연구는 창원시의 열환경, 바람의 흐름, 지형적 특성에 대한 정량적 분석에 기반하여 바람길 조성방안을 제시함으로써 도시열섬 현상의 완화 및 대기오염 저감 정책수립의 기반을 마련하고 창원시 바람길 조성 추진 여건에 대한 판단근거를 제공하였다. 또한 도시계획, 환경계획 분야 등에서 기초자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다. 향후 상세바람길 분석을 통한 야간시간대의 공기순환성에 대한 평가를 실시하여 바람의 이동지역과 정체지역을 파악하고 구체적인 바람길 적용방안을 마련하는 연구가 필요할 것이다. 또한 본 연구는 정밀 공간정보의 구득한계로 지구단위 계획 등 세부계획 활용을 위해 분석에는 이르지 못한 한계점을 가지고 있다. 이러한 한계점은 정밀 공간정보의 지속적 구축, 정밀자료를 활용한 기후 및 대기 환경에 대한 시뮬레이션 분석 및 검증, 바람길 계획 수립 및 효율적 바람길 조성을 위한 평가기준 마련 등의 추가적인 연구를 통해 보완할 수 있을 것으로 생각한다.

## 사사

본 논문은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 환경보건디지털 조사기반구축기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다.(2021003330002)

## References

- Barlag AB, Kuttler W. 1990. The significance of country breezes for urban planning, *Energy and Buildings*, 15(3-4): 291-297.
- Cha JG, Jung EH, Ryu JW, Kim DW. 2007. Constructing a Green Network and Wind Corridor to Alleviate the Urban Heat-Island, *Journal of the Korean Association*

- of Geographic Information Studies, 10(1): 102-112. [Korean Literature]
- Cho KD, Park MH. 2003. Atmospheric environment improvement in consideration of wind paths and plans for utilization, Incheon Development Institute. [Korean Literature]
- Cionco RM, Ellefsen R. 1998. High resolution urban morphology data for urban wind flow modeling, Atmospheric Environment, 32(1): 7-17.
- Ellefsen R. 1998. High Resolution Urban Morphology for Urban Wind Flow Modeling, Atmospheric Environment, 32: 7-17.
- Eum JH. 2008. Integration of climate information into spatial planning in Seoul, South Korea. Doctoral dissertation, Technische Universitaet Berlin, Berlin, Germany.
- Eum JH, Son JM. 2016. Management of the Nakdong-Jeongmaek based on the characteristics of cold air, Journal of Korean Institute of Landscape Architecture, 44(5): 103-115. [Korean Literature]
- Eum JH, Son JM, Seo KH, Park KH. 2018. Management Strategies of Ventilation Paths for Improving Thermal Environment, Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 21(1); 115-127. [Korean Literature]
- Eum JH, Woo JH, Yang BE. 2001. A Study on the Urban Open Space Planning Using the Ventilation Path: A Case Study of Yong-In City, Journal of Korea Planning Association, 36(1): 231-241. [Korean Literature]
- Evans JM, de Schiller S. 1990. Climate and urban planning: The example of the planning code for Vicente Lopez, Buenos Aires, Energy and Buildings, 15(1-2): 35-41.
- Fellenberg G. 1991. Lebensraum Stadt. Verlag der Fachvereine Zürich; 55-56.
- Goo YS. 2004. Eco-friendly wind road analysis and strategic urban design plan for new administrative waterworks construction, Korea National Housing Corporation. [Korean Literature]
- Joo HS, Kim SC, Ban JY, Choi SS. 2006. Study on Wind flow and Air Quality in Urban Terrain, Korea Environment Institute. [Korean Literature]
- Jung EH. 2015. A study on the theory and cases of introducing urban planning for sustainable urban planning, Munundang, Seoul. [Korean Literature]
- Jung EH, Kim DW, Ryu JW, Cha JG, Son KS. 2008. Evaluation of Spatial Characteristic of Wind Corridor Formation in Daegu Area using Satellite Data. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 11(2): 73-84. [Korean Literature]
- Kim GH, Lee YG, Kim JH, Choi HW, Kim BJ. 2018. Analysis of the Cooling Effects in Urban Green Areas using the Landsat 8 Satellite Data, Korean Journal of Remote Sensing, 34(2-1): 167-178. [Korean Literature]
- Kim JH, Choi JH. 2013. A study on the Destination of Use Districts through Evaluation of Forming and Flowing a Wind Corridor in Daejun by GIS, Journal of the Korean Society of Cadastre, 29: 225-238. [Korean Literature]
- Kim JJ, Baik JJ. 2005. An Investigation of Flow and Scalar Dispersion in an Urban Area Using a CFD Model, Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences, 41(5): 733-749. [Korean Literature]
- Kim JS, Kang JE. 2018. Effects of Compact

- Spatial Characteristics on the Urban Thermal Environment, *Journal of the Urban Design Institute of Korea Urban Design*, 19(1): 21-36.
- Kim SB, Jung EH. 2005. A study on the introduction of wind way for eco-friendly city construction, Daegu Gyeongbuk Development Institute. [Korean Literature]
- Korea Forest Service. 2016. The study on a natural resources change survey and management practice in the Honam-Jeongmaek. [Korean Literature]
- Landsberg HE. 1981. *The urban climate*, Academic Press, New York.
- Lazar R, Podesser A. 1999. An urban climate analysis of Graz and its significance for urban planning in the tributary valleys east of Graz (Austria), *Atmospheric environment*, 33(24-25): 4195-4209.
- Lee HJ, Cho SS, Kang MS, Kim J, Lee HT, Lee MS, Jeon JY, Yi CY, Jänicke B, Cho CB, Kim KR, Kim BJ, Kim HS. 2018. The Quantitative Analysis of Cooling Effect by Urban Forests in Summer, *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 20(1): 73-87. [Korean Literature]
- Lee JE. 2012. Study on the Wind Road of the Urban residential area, Master dissertation, Konkuk University, Seoul. [Korean Literature]
- Missions L. 2016. Using the USGS Landsat8 Product, US Department of the Interior-US Geological Survey-NASA.
- Oke TR. 1976. The distinction between canopy and boundary layer urban heat islands, *Atmosphere*, 14(4): 268-277.
- Oke TR. 2004. Siting and exposure of meteorological instruments at urban sites, 27th NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application, Banff. 1-14.
- Park JH, Cho GH. 2016. Influence of Park Size on the Park Cooling Effect: Focused on Ilsan New Town in Korea, *Journal of Korea Planning Association*, 51(5): 247-261. [Korean Literature]
- Park JH, Jeong EH, Kim SB, Kim DU, Ryu JW. 2006. Evaluation of wind way formation according to the development of apartment complexes. In *Proceedings of the Korean Environmental Sciences Society Conference*; 540-543. [Korean Literature]
- Seo BY. 2014. Comparison and Analysis of Wind Path Formation Depending on Urban Spatial Characteristic, Master dissertation, Keimyung University, Daegu. [Korean Literature]
- Seo BY, Jung EH. 2017. Comparative Analysis of Wind Flows in Wind Corridor Based on Spatial and Geomorphological Characteristics to Improve Urban Thermal Environments, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 20(2): 75-88. [Korean Literature]
- Son HG, Jing SS, Lee SB, Choi S, Kwon YS, Kim JY, Sung SY, Bae YJ, Sung YB, Eum JH, Han YJ. 2012. A study of the forestland management policy on the perspective of new paradigm, Korea Research Institute for Human Settlements. [Korean Literature]
- Song BG. 2014. Development of environmental planning methodology for mitigation of climate change and heat island effect in urban area, Doctoral dissertation, Changwon University.
- Song BG, Park KH. 2010. An Analysis of Cold Air Generation Area Considering Climate-

Ecological Function, Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 13(1): 114-127. [Korean Literature]  
Song YB. 2003. Methodology of Climate-

Ecological Priority Area Analysis for Air Corridor Planning, Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, 31(3): 59-73. [Korean Literature]