

# ENVI-met을 활용한 도시개발사업에 따른 열환경 변화 분석 : 창원시를 대상으로

김종성\* · 강정은\*\*†

\*창원시정연구원 도시공간연구실 책임연구원, \*\*부산대학교 도시공학과 교수

## An Analysis of Thermal Environment Change According to Urban Development Project Using ENVI-met Model : Focused on ChangWon

Kim, Jong Sung\* and Kang, Jung Eun\*\*†

\*Associate Research Fellow, Department of Urban Planning Research, Changwon Research Institute, Changwon, Korea  
\*\*Professor, Department of Urban Planning & Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

### ABSTRACT

This study analyzed the thermal environment before and after the project to determine the impact of an urban development project on the regional thermal environment and suggested improvement methods of spatial planning. Buildings, spatial arrangement, vegetation, soil, and surface were modeled using ENVI-met for two urban development project areas adjacent to downtown areas, which are vulnerable to urban heat. Changes in urban microclimate factors such as temperature and wind were predicted and analyzed. The analysis confirmed that, in both areas, the temperature increased due to the increase in pavement area and the formation of dense high-rise buildings after development, and the thermal environment became weak as the air circulation in the overall area deteriorated. Accordingly, a spatial planning plan for improving the thermal environment and securing wind fluidity for the entire target area was presented.

*Key words: Thermal Environment, Urban Development, Wind Field, ENVI-met*

### 1. 서론

도시화에 따라 도시지역으로의 인구 집중이 가속되면서 유입인구의 수용을 위한 고층·고밀의 공간구조가 확대되고 있다. 이러한 고층건물과 인구의 집중은 인공배열량을 증가시키고 공기순환을 저해하여 도시 열환경을 악화시키고 있다(Kim and Kang, 2021; Kim and Kang, 2018; Fellenberg, 1991). 특히, 도심지역이 주변지역에 비해 높은 기온을 나타내는 열섬현상과 함께 지상 10 km 이내의 대기권 중상층에서 발달한 고기압이 정체되면서 돔과 같은 반구형 지붕을 형성하여 뜨거운 공기를

지면에 가두게 되는 열돔현상이 발생해 도시지역과 주민들에게 다양한 부정적 영향을 초래하고 있다(Fan et al., 2017). 우리나라의 최근 100년간(1912~2008년) 평균 기온 상승률은 1.7℃로 지구 전체의 평균기온 상승률( $0.74 \pm 0.03^\circ\text{C}$ )보다 높으며 이러한 기온상승 현상의 약 20~30%는 도시화에 따른 결과로 추정된다(Korea Adaptation Center For Climate Change, 2022). 매년 여름철마다 심각성이 더해지는 폭염 현상은 도시 거주민의 생활환경과 건강에 치명적인 영향을 미치고 있다. 포르투갈 보건국(DGS)에 따르면 포르투갈 전역에서 40도를 넘는 극심한 폭염현상이 지속되면서 올해 7월 7일부터 18일까지 폭염으로 인한 사망자 수가 1,063명 발생

†Corresponding author : [jekang@pusan.ac.kr](mailto:jekang@pusan.ac.kr) (2, Busandaehak-ro 63beon-gil, Geumjeong-gu, Busan, 46241, Korea. Tel. +82-51-510-2451)

ORCID 김종성 0000-0002-1436-6746

강정은 0000-0002-4144-5984

하는 등(Catarina et al., 2022) 도시지역의 개발 및 확산에 따른 도시 미기후 문제가 도시민들의 삶을 위협하고 있다. 국내에서도 폭염이 극심했던 2018년 온열질환 사망자가 163명 발생하였으며, 2011년에서 2019년까지 폭염으로 인한 인명피해는 동일기간 태풍과 호우에 의한 인명피해의 3.6배에 달하는 493명의 사망자가 발생함에 따라 자연재난 중 가장 많은 인명피해를 초래하고 있다(Shin, 2021). 이러한 열환경 악화는 기후변화의 심화와 함께 더욱 문제가 될 것으로 예상되는데 IPCC 제6차 평가보고서에 의하면 현재상태가 이어질 경우 21세기 후반기 우리나라는 경상권 기준으로 연평균 폭염일수는 현재 12.0일에서 최대 82.9일로, 열대야일수는 현재 1.8일에서 63.3일로 크게 증가될 것으로 예상된다(Korea Meteorological Administration, 2022).

도시지역의 인구증가와 함께 도시개발 수요가 증가함에 따라 지자체에서는 각종 도시개발사업을 진행하고 있다. 도시개발사업은 도시개발이 필요한 지역에 계획수립을 통해 주거, 상업, 산업, 유통, 정보통신, 생태, 문화, 보건 및 복지 등의 기능이 있는 단지 또는 시가지지를 조성하기 위해 시행하는 사업으로써 2000년 7월 제정된 「도시개발법」을 기반으로 운영되고 있다. 이러한 도시개발은 도시 내 녹지 등의 자연적인 피복을 아스팔트, 콘크리트 등의 인공적인 피복의 형태로 바꾸게 되면서 중간시간에 지표면에 축적되는 복사에너지량을 과도하게 증가시키고 증발산량을 감소시키는 등 도시기후의 변화를 초래하게 된다(Song, 2014; Erell et al., 2012; Stewart, 2011; Arnfield, 2003; Oke, 2002). 따라서 대단위 도시개발이 지형, 바람길 등의 지역적 특성의 변화를 고려하지 않고, 건물, 도로 등을 배치·건설하는 경우 미기후의 변화로 인한 열환경 악화를 가져올 수 있으며, 이는 지역 주민들의 건강과 삶의 질에도 부정적 영향을 미칠 수 있다. 따라서 이러한 무분별한 개발로 인한 도시환경의 훼손을 방지하기 위해 각종 법제도 및 가이드라인을 통한 규제 등 대안 마련의 필요성에 의견이 모아지고 있다.

현재까지 개발에 따른 열환경 영향을 살펴보고 저감하기 위한 제도적 기반으로 국토교통부는 도시계획수립지침을 개정하여 2012년 7월부터 도시계획을 수립하는 과정에서 기후변화 재해 취약성 분석을 시행하고 토지이용, 기반시설 등 각 부문별 계획에 반영토록 하고 있다. 이 평가는 집계구 단위로 현재 취약성, 미래 취약성을 평가하여 도시 종합 재해 취약성을 분석하도록 하고 있다. 폭염 취약성의 경우 연평균 일최고기온 33도 이상 일수, 연평

균 열대야 일수, 취약인구수 및 관련시설 등을 지표로 평가를 수행하고 있다. 도시개발사업은 현재 진행중이거나 예정지역의 면적을 미래도시민감도의 분석지표로 적용하여 평가를 수행하고 있다. 그러나, 재해취약성 평가는 분석단위가 집계구로 지역의 세밀한 공간특성이 고려될 수 없을 뿐 아니라 구체적인 개발계획과 사업에 따른 도시미기후 차원의 열환경 변화와 취약성에 대한 검토가 어렵다는 명확한 한계를 가진다. 또한 현재 도시개발사업에 관련된 86개의 법·시행령·규칙이 제정되어 있으나(Korean Law Information Center, 2020), 지역의 기후 및 환경에 대한 내용을 다루고 있는 법은 10개 정도에 불과하며, 대부분 구체적인 내용을 제시하지 않고 단순히 기온, 습도, 풍속 등 관련 요소에 대한 검토의 필요성을 간단히 명시하고 있는 수준에 불과하다. 「환경영향평가서등 작성 등에 관한 규정」에서는 대기환경분야에서 기상과 관련하여 열환경에 직접적인 영향을 미치는 기온, 습도, 풍향, 풍속 등에 대해 조사하도록 정하고 있으며 사업시행에 따른 기상의 변화를 기술하도록 정하고 있으나 구체적인 측정항목, 방법 등은 제시되어 있지 않다.

폭염의 심화에 따라 많은 지자체와 기관에서 예산을 투입하여 폭염 대응방안 및 관련 사업을 시행 중이다. 폭염 대응방안으로 녹지·공원 조성, 폭염저감시설 설치, 취약계층 지원사업이 대표적이며 그 외에도 폭염관리시스템 구축, 물품지원, 캠페인 및 교육, 산업·농업 부문 지원, 의료 및 건강 지원, 생태계 복원, 복지서비스 강화 등이 추진되고 있다(Kim et al., 2019). 하지만 이러한 대응사업의 대부분은 사후대응 방안으로 폭염 발생 전에 피해를 줄이기 위한 예방대책들은 많지 않은 상황이다. 이에 따라 선제적 대응을 위해 도시 및 지역계획 내 폭염 영향 평가 대응방안 마련이 필요한 상황이다.

창원시는 현재 약 103만 명의 인구가 거주하는 대도시로 도시의 성장과 산업의 발달과 함께 도시환경의 악화에 따른 문제들이 확대되고 있다. 특히, 도심지역이 산으로 둘러싸인 지형적 특성과 함께 중심지역들을 중심으로 고밀개발이 진행되고 외곽지역의 개발사업에 따른 도시면적 확산으로 지역 전반에 걸쳐 도시열환경이 악화되고 있다(Kim and Kang, 2021). 기상청 기상자료개방포털 폭염일수 통계(2021년 기준)에 따르면 창원시의 폭염일수는 28일로 경상남도 밀양시(31일)에 이어 전국에서 두 번째로 폭염일수가 많았던 것으로 나타났다. 이에 따라 도시민들에게 쾌적하고 안전한 도시공간을 제공하기 위해 열환경 개선방안 마련이 강조되고 있다. 창원시는 도시계획

조례, 건강도시 조례, 도시 및 주거환경정비 조례 등 여러 조례와 지속가능한 생태도시 규정, 도시·군관리계획수립 지침 등을 통해 도시 미기후환경, 도시생태 및 생활환경의 훼손 가능성 등을 검토하도록 하고 있으며 도시기본계획, 도시관리계획에서는 열섬현상 완화 방안, 바람길 조성에 대한 내용을 포함하도록 정하고 있다. 그러나 이러한 열섬완화 방안, 바람길 조성 등에 대한 사항은 매우 포괄적이고 일반적인 내용으로 권고사항으로 규정되어 있어 적용성은 매우 떨어지는 상황이다. 일부 도시개발사업에서는 열환경에 대한 논의가 필요함을 인지하고 사업지침을 통해 열환경을 고려한 계획을 수립하도록 유도하고 있으나, 실제 계획에 반영되고 이를 기반으로 개발사업이 이루어지는지에 대한 검토와 평가는 거의 이루어지지 않고 있다. 또한, 실제 도시개발사업 계획수립 시 적용되기 위한 구체적인 평가 방법에 대한 내용은 아직 구체적으로 마련되어 있지 않다.

현재 창원시는 총괄상황반, 건강관리지원반, 예찰활동반 등 3개 반으로 구성된 폭염대응 TF팀을 중심으로 폭염대응 종합대책을 마련하고 보건·위생 관리, 생활 안전, 시민 불편 해소 대책, 에너지 절약 대책 등 4개 분야 29개의 세부대책을 추진 중에 있다. 도시계획 및 개발과 관련된 폭염 대책으로는 녹색커튼, 쿨루프, 녹지공간조성, 폭염저감시설인 그늘막, 실내외 무더위 쉼터의 정상운영 및 추가설치, 신규 산업단지 조성 시 녹지 비율 상향 설계 등을 포함하고 있다. 하지만, 많은 폭염대응 대책들이 일부 지역 및 시민들에게 일시적인 효과를 제공할 뿐 폭염에 대해 도시의 적응능력을 향상시키거나 회복력을 강화시킬 수는 없으며 지역특성에 맞는 대응이 이루어지기는 어렵다. 따라서 계획단계에서부터 도시열환경 개선을 위한 대응방안 수립 및 도시개발사업들과의 연계가 필요하다.

이에 본 연구는 도시개발사업에 열환경 이슈를 어떻게 반영할 수 있는지에 대한 연구질문을 기반으로 열환경 취약지역에서 현재 개발을 진행하고 있는 사업들 가운데, 열환경 측면을 고려하도록 권고한 도시개발사업을 사례로 ENVI-met을 활용하여 개발 전후의 열환경 변화를 비교·분석하고자 한다. 이를 통해 도시개발사업이 도시 열환경에 미치는 영향을 살펴보고 공간계획 차원의 개선방안을 제안하고자 하였다. 이러한 연구는 도시개발로 발생할 수 있는 도시 미기후의 변화를 예측하여 부정적 영향을 최소화할 수 있는 근본적인 방안 논의에 대한 방법론적 시사점을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 선행연구 검토

도시개발에 따른 도시 열환경의 변화에 대한 선행연구는 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫째는 위성영상 및 기상측정소 자료를 활용해 토지이용 또는 피복의 변화가 도시열환경에 미치는 영향을 실증적으로 분석하는 연구이다. 이러한 선행연구들은 측정데이터를 기반으로 주로 통계분석, 공간분석을 활용하여 검토하였다. Klok et al.(2012), Li et al.(2011), Ahn (2007) 등은 위성영상 분석을 통해 도시 지역의 포장화에 따른 불투수포장지역이 열환경에 미치는 부정적 영향을 검증하였으며 Kim and Yeom (2012), Song and Park (2012), Jung et al.(2011), Lee et al.(2010), Jo et al.(2009), Kato and Yamaguchi (2007) 등은 토지이용 및 토지피복 유형에 따른 지표면 상태의 변화가 도시열환경에 미치는 영향을 검증하고 도시열섬현상을 개선하기 위한 방안을 도출하였다. 뿐만 아니라 선행연구(Santamouris, 2013; Rizwan et al., 2008)는 도시 내 인구활동으로 발생하는 인공배열은 도시열환경을 악화시키는 주요한 원인이며 도심지역의 열섬현상을 심화시킨다는 것을 검증하였다. Kim and Kang (2018)은 9년(2005~2013) 동안의 패널자료 분석을 통해 압축적 도시공간구조 특성이 도시열환경에 미치는 영향을 검토하고, 높은 인구밀도와 불투수면적의 증가는 도시의 열지수를 높이고, 풍속과 강수량은 열환경을 개선하는 긍정적 효과가 있음을 확인하였다. 이러한 연구들은 실측자료를 기반으로 특정 시점 이후의 변화를 분석하고 실증하는 연구들로 주요 피복형태 또는 환경 변화가 어떤 영향을 미치는지를 살펴보고 있다. 이에 사용된 실측자료는 공간해상도가 중·저해상도임에 따라 복합적인 도시공간의 특성을 반영하기가 쉽지 않으며, 사후 분석이므로 계획과정에 직접 활용되기에는 한계가 있다.

두 번째 선행연구들은 토지피복, 건물 배치 등을 포함한 공간구조의 변화 시나리오를 기반으로 도시미기후 모델을 활용하여 열환경에 대한 영향을 분석하고 비교하는 연구들이다. 기존 연구들은 열환경에 영향을 미치는 물리적 요소들을 기반으로 모델을 구축하고 시뮬레이션 분석을 통해 영향력을 검증하였다. 먼저, Lim et al.(2013), Chow et al.(2011), Winston et al.(2011)는 기존 공원 및 주변지역을 대상으로 공원의 기온저감 및 야간시간 냉각효과를 검증하였으며, Dwivedi and Mohan (2018), Taleghani et al.(2014), Ng et al.(2012), Fahmy et al.(2010), Hien and Jusuf (2008), Wong et al.(2007)

은 ENVI-met 모델링을 활용하여 대상지역의 녹지조성 비율에 따른 지역의 온도변화를 분석하고 열환경 개선을 위한 녹지조성 형태를 제시하였다. 또한 도시의 공간구조 및 형태가 열환경에 미치는 영향과 관련하여 Hwang and Kang (2020), Song (2014)은 도시의 공간지형적, 기상학적 특성을 반영하여 도시 열섬현상의 개선 및 바람의 유동성 확보를 위한 아파트의 배치 및 단지 조성 형태를 제시하였으며, Middel et al.(2014), Ng et al.(2012), Krüger et al.(2011)은 개발된 도시의 형태를 모형으로 만들어 공간구조의 형태 및 토지이용에 따른 도시열환경의 개선효과에 대한 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 이와 함께 도시의 열환경과 관련하여 바람장의 변화에 대해서도 시뮬레이션 분석을 활용한 연구가 수행되었다. Li et al.(2019), Morakinyo and Lam (2016), Tan et al.(2016)의 연구에서는 수목의 배치에 따른 바람장의 변화를 분석하고 적절한 식재 배치에 따른 열쾌적성 개선효과를 입증하였으며, Aboelata (2020), Kwon et al.(2019)는 가로수의 식재 피턴에 따른 수목의 기온저감 효과의 차이를 검증하였다. Cheung and Jim (2018)는 수목과 인공구조물의 그림자의 냉각효과를 분석하였으며, Nadia (2020), Morakinyo et al.(2017)은 도심지역 내에서 옥상녹화 적용시 기온저감효과를 분석하여 도시지역의 열섬현상 개선을 위한 적용방안을 제시하였다. 이러한 미기후 모델 시뮬레이션을 기반으로 토지피복 및 건물형태 배치 등에 따른 열환경 변화를 정량적으로 살펴보는 선행연구들은 대부분 공원 및 주변지역 또는 아파트 단지 정도의 규모를 대상으로 모델링 지역 내에 미치는 영향을 대상으로 분석을 수행하거나, 실제 현실에서는 적용되기 어려운 단순한 가정을 기반으로 분석이 수행되어 계획과정이나 현실에서의 적용성이 상대적으로 낮은 한계점이 있었다.

본 연구는 도시 내 피복, 구조물 등이 열린 대기를 통해 주변 환경 요소들과 복잡한 상호작용을 하면서 온도, 습도 등의 미기후에 영향을 미치게 됨을 고려하여 분석범위를 선행연구가 주로 다루었던 사업지역 내에서 확장하여 도시개발사업지역과 함께 개발에 따른 영향이 있을 것으로 예상되는 주변지역을 포함하여 지역 전반을 대상으로 분석을 수행하였다. 또한 본 연구는 현재 사업이 진행중이거나 계획된 지역 가운데 열환경 관련 요소가 포함되어 있는 도시개발사업을 대상으로 사업 전후의 건물, 공간배치, 식생 등을 모델링으로 구현하여 실제로 사업이 진행되었을 때 열환경에 미치는 영향을 사전에 검증하

고 실질적인 개선방안을 제시하고자 하였다. 도시미기후 모델로는 도시환경에서 지표면, 건축물, 식생, 대기 등의 상호작용을 시뮬레이션하는 3차원 전산 유체 역학 모델로 식생, 토양, 건물 등의 조건을 자유롭게 설정하고, 연구자의 설계에 따라 실제지형을 고려한 미세규모의 분석이 가능하다는 장점이 있어 많은 연구가 활용하고 있는 ENVI-met을 선택하여 기온, 바람 등 도시 미기후적 요소의 변화를 예측 및 분석하였다. 또한 본 연구는 단순히 열환경 변화만을 검토하는 것으로 끝나는 것이 아니라 열환경 개선 및 바람의 유동성 확보를 위한 공간계획 방안을 함께 제시하고자 하였다.

### 3. 연구방법

#### 3.1. 연구대상지

본 연구는 택지개발, 재개발, 재건축 등의 도시개발사업이 도시열환경에 미치는 영향을 분석하기 위해 창원시를 대상으로 열환경 취약지역을 분석한 Kim and Kang (2021)의 지표면온도 Hotspot 분석결과를 활용하여 창원시의 열환경 취약지역 및 인근 지역에서 계획되거나 진행되고 있는 도시개발사업을 검토하였다. Fig. 1은 2020년 여름철 기간 중 운량이 적고(10% 미만) 낮 시간에 촬영된 대상지역(path114/row36)의 Landsat 8 (OLI/TIRS) 위성자료의 열적외선 밴드(Band 10, (2020.09.04. 촬영))를 활용한 창원시 전역의 지표면온도의 Hotspot 분석 결과이다. 이 그림에서 확인할 수 있듯이 창원시 내 도심지역이 개발밀도가 높고 건축물이 집중되어 지표면온도가 가장 높으며, 북창원 생활권, 진북-진전면 일대, 웅천-웅동 일대 지역이 비교적 녹지의 부족 및 바람의 유동성이 원활하지 못하거나 찬 공기 유입의 어려움 등의 이유로 고기온밀집지역(Hotspot)으로 나타났다. 창원시는 2022년 8월 기준 총 31개의 도시개발사업이 수행되었는데, 이중 실시계획 5건, 부분준공 1건, 개발계획 1건이 현재 진행 중이며, 24건의 도시개발사업이 준공되었다. 도시개발사업 대상지는 도시의 외곽지역과 도심지에 산재하여 분포하고 있었다. 본 연구는 창원시에서 열환경이 가장 취약한 도심지역 및 인근지역에서 진행되고 있는 도시개발사업 중 사업계획 내 열환경에 관한 내용을 포함하고 있는 ‘창원국가산업단지 개발사업(○○부대 이전부지 개발사업)’과 ‘사파지구도시개발사업’ 지역을 사례지역으로 선정하여 분석을 수행하였다.

‘창원국가산업단지 개발사업’은 군부대 이전 부지에 대

한 도시개발사업으로 경남 창원시 의창구 중동 일원의 955,965.1 m<sup>2</sup>의 규모로 2019년 6월 7일에 준공 후 각 부지별 개발사업이 진행 중인 사업지역이다(Changwon City, 2019). 대상지역 전체를 개발하는 계획으로 대규모 건축물 및 공원이 조성될 예정이다(Fig. 2). 열환경과 관련하여 개발계획 시행지침에서 공동주택 용지의 건축물의 배치는 시각적 개방감의 확보를 위하여 통경축상의 주동배치와 바람길을 막는 주동배치를 지양하도록 하고, 단지 내 조경에 관

한 사항으로 단지 외곽도로 경계부녹지와 아파트 건물 주변 녹지의 수목식재를 규정하였다. 또한 공원 및 녹지에 관한 사항으로 적극적인 식재 및 식재유형을 정하고 있다. 이를 반영하여 중심부에는 공기의 순환을 고려한 남북을 가로지르는 중앙공원과 함께 공동주택용지에는 바람이 통할 수 있도록 건물이 배치된 4개 단지, 42개 동, 최고 46층, 총 6,100 세대의 대단지 아파트가 준공되었다. 또한 대상지역의 남측에는 기존 등명산 중턱을 개발하여 약 9만평의 대규모 공원

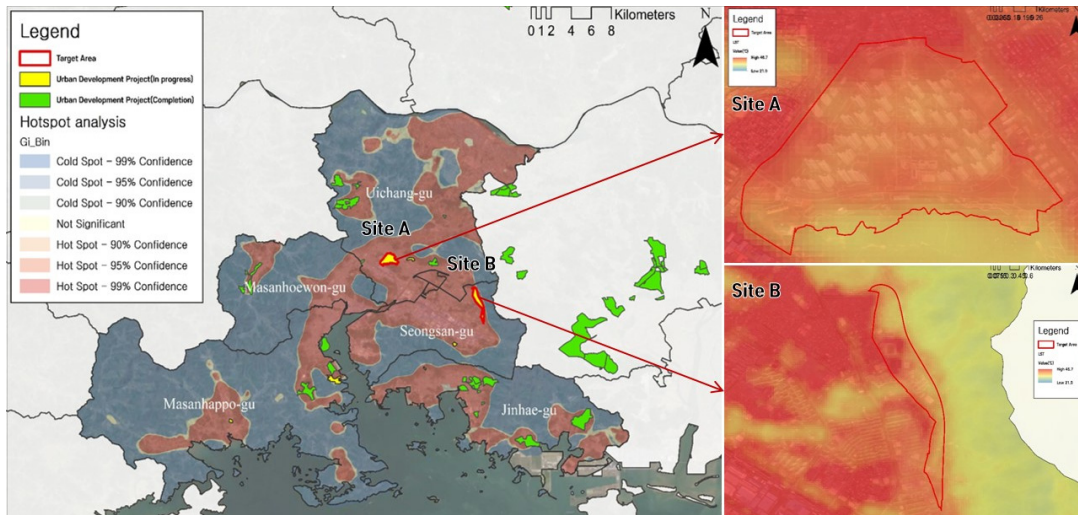


Fig. 1. Hotspot area of Changwon and target area with land surface temperature

\*Source: Kim and Kang, 2021

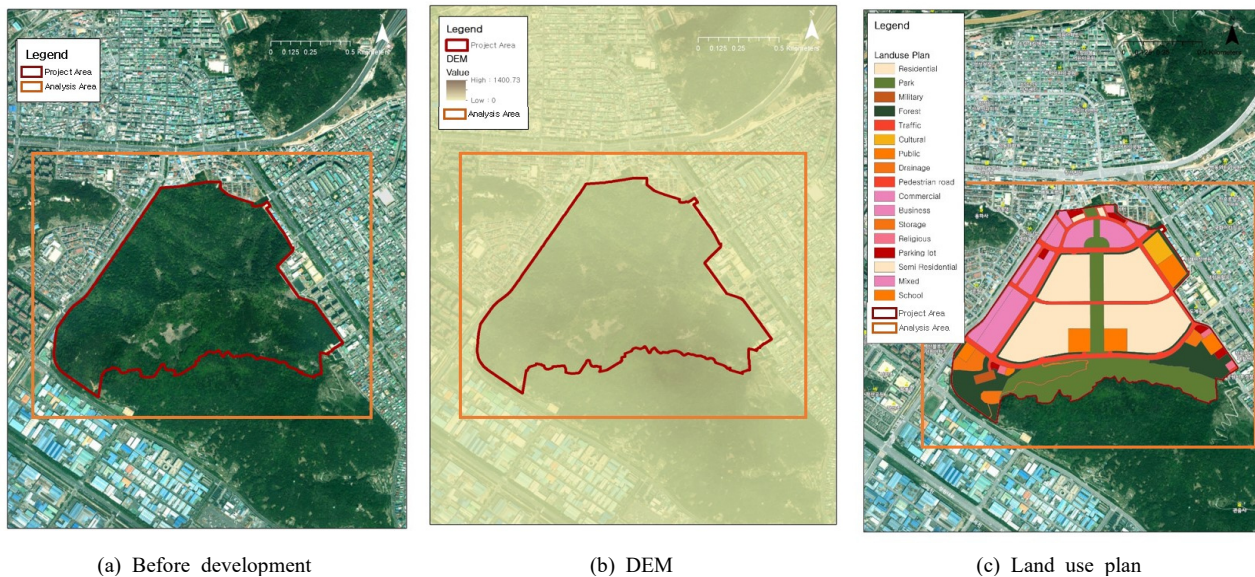


Fig. 2. Land use of Changwon National Industrial Complex Development Project

\*Source: VWorld 2D Satellite Basemap, National Spatial Information Portal

인 사회공원의 정비 및 개발을 통해 미술관, 조각공원 등 다양한 문화체험과 함께 광장, 수목원, 경관플 등의 공원 시설이 조성되고 있다. 서쪽 상업지역은 대형유통시설 및 오피스텔 3개 동, 462세대가 준공 및 건축예정에 있다. 상업지역의 왼쪽에는 내동천이 복개되어 있으나 하천의 복원 및 정

비에 대한 내용이 계획에 포함되어 있지 않다. 북쪽 공공업무용지에는 대형상가 및 오피스 건물이 입점 예정이며 동쪽에 계획된 학교용지, 문화용지는 학교 및 교육문화시설이 조성될 예정이다. 토지이용계획을 살펴보면 개발사업의 진행에 따라 대규모 공동주택용지(31.9%), 공원(20.3%), 교통

Table 1. Landuse changes at Changwon National Industrial Complex Development Project

Changwon National Industrial Complex Development Project						
Landuse	Pre-development		After-development		Variation	
	Area (m <sup>2</sup> )	Ratio (%)	Area (m <sup>2</sup> )	Ratio (%)	Area (m <sup>2</sup> )	Ratio (%)
Residential	1,032.8	0.1%	304,762.9	31.9%	303,730.1	31.8%
Commercial	760.7	0.1%	50,874.0	5.3%	50,113.3	5.2%
Infrastructure	-	0.0%	82,513.4	8.6%	82,513.4	8.6%
Public utility	-	0.0%	64,864.9	6.8%	64,864.9	6.8%
Traffic	7,369.5	0.8%	126,086.8	13.2%	118,717.3	12.4%
Park	-	0.0%	193,919.4	20.3%	193,919.4	20.3%
Green	76,547.2	8.0%	105,550.8	11.0%	29,003.6	3.0%
Agricultural	7,095.3	0.7%	-	0.0%	-7,095.3	-0.7%
Forest	839,593.0	87.8%	-	0.0%	-839,593.0	-87.8%
Stream	-	0.0%	22,437.9	2.3%	22,437.9	2.3%
Barren	23,566.5	2.5%	-	0.0%	-23,566.5	-2.5%
Military facility	-	0.0%	4,955.0	0.5%	4,955.0	0.5%
Total	955,965.1	100%	955,965.1	100%	-	-

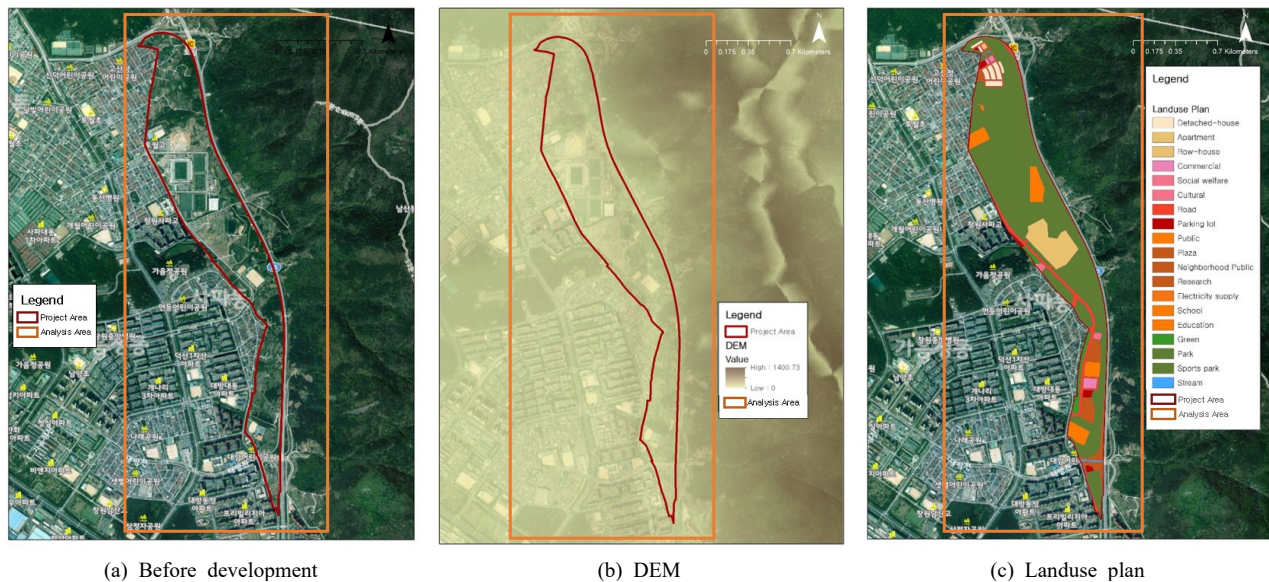


Fig. 3. Landuse of Changwon Sapa District Development Project

\*Source: VWorld 2D Satellite Basemap, National Spatial Information Portal

지역(13.2%), 녹지(11.0%) 등이 조성될 계획이며, 산림지역(87.8%), 나지(2.5%) 농업지역(0.7%)이 감소하는 등 피복의 변화가 클 것으로 예상된다(Table 1).

‘창원 사파지구 도시개발사업’은 경남 창원시 성산구 일대 914,690 m<sup>2</sup>의 도시개발사업 지역으로(Fig. 3) 인접단지와 지구 내 산지 등의 자연자원과의 조화된 경관을 유지할 수 있는 적정 밀도의 효율적 도시자원 이용을 목표로 기존 체육공원의 확대 및 공원 조성과 함께 일부 지역을 공동주택 및 연구시설 등으로 조성하도록 계획하고 있다(Changwon City, 2022). 개발계획에서는 열환경을 고려한 사항으로써 건축물의 배치와 관련하여 리듬감 있는 스카이라인 형성 및 최소 폭 8 m 이상의 통경축 확보를 통한 단지 내 도로, 보행자도로, 숲길, 바람길 활용을 제시하고 있으며 공동주택단지는 조망축과 통경축을 확보하고 중, 횡 일률적인 배치를 지양하고, 녹지축 및 지형의 흐름에 순응하는 건축물 배치계획을 수립하도록 정하고 있다. 그러나, 해당 사업지 중심부 공동주택용지에는 가로형 동배치의 15층, 17개 동, 1,045세대의 대단지 아파트가 바람의 유동성을 고려하지 않은 건물 간 간격이 좁은 일자형 배치의 형태로 2022년 3월에 준공되었다. 대상지역의 북측에는 단독주택용지가

계획되어 있으며, 그 아래에 체육공원은 2009년 12월에 개장한 창원축구센터로 주경기장, 보조구장, 숙박시설이 조성되어 있으며 주변지역을 정비하여 청소년 수련시설 및 공원을 추가 조성할 예정이다. 또한 남측에는 연구시설과 함께 창원 가정법원, 학교가 4~5층 규모로 개발 예정이다. 토지이용계획에 따른 개발 이후의 변화를 보면 전체 대상 지역의 8.9%를 주거용지로, 70.8%를 공원으로 개발하고 공원(70.8%), 주거용지(8.3%), 공공시설(2.2%)이 증가하고 농업지역(39.3%), 녹지(16.3%), 산림지역(9.5%) 등이 감소할 것으로 예상된다(Table 2).

두 개발사업지역은 창원시 내 열환경이 취약한 도심지역에서 진행 중인 열환경을 고려하도록 권고된 도시개발사업으로, 기존 녹지 및 산지에 인접한 도시지역에서 진행되는 개발사업이라는 공통점을 가진다. 반면 차이점으로 ‘창원국가산업단지 개발사업’은 대상지역 전체를 개발하도록 계획하고 있으며 열환경에 긍정적인 영향을 줄 수 있는 요소들이 비교적 잘 반영된 사례인 것과 달리 ‘창원 사파지구 도시개발사업’은 대상사업지역의 일부(전체의 약 27.4%)에서 개발이 계획되어 있으며, 열환경 개선을 위한 권고사항들이 소극적으로 적용되어있다.

Table 2. Landuse changes at Changwon Sapa District Development Project

Changwon Sapa District Development Project						
Landuse	Pre-development		After-development		Variation	
	Area (m <sup>2</sup> )	Ratio (%)	Area (m <sup>2</sup> )	Ratio (%)	Area (m <sup>2</sup> )	Ratio (%)
Residential	5,329.1	0.6%	81,131.5	8.9%	75,802.4	8.3%
Commercial	3,801.6	0.4%	-	0.0%	-3,801.6	-0.4%
Infrastructure	74,554.7	8.2%	69,385.3	7.6%	-5,169.4	-0.6%
Public utility	7,936.9	0.9%	28,149.7	3.1%	20,212.8	2.2%
Traffic	136,883.9	15.0%	69,488.2	7.6%	-67,395.7	-7.4%
Park	-	0.0%	647,565.5	70.8%	647,565.5	70.8%
Green	166,085.5	18.2%	16,782.7	1.8%	-149,302.8	-16.3%
Agricultural	359,884.5	39.3%	-	0.0%	-359,884.6	-39.3%
Forest	86,763.9	9.5%	-	0.0%	-86,763.9	-9.5%
Wetland	992.5	0.1%	-	0.0%	-992.5	-0.1%
Stream	9,723.1	1.1%	2,187.2	0.2%	-7,535.9	-0.8%
Barren	62,734.4	6.9%	-	0.0%	-62,734.4	-6.9%
Total	914,690.0	100.0%	914,690.0	100.0%	-	-

### 3.2. 분석방법 및 분석과정

본 연구는 공간구조, 건물 배치형태, 토지이용 및 토지 피복의 변화 등 다양한 공간계획에 따른 열환경 및 미기후적 변화를 사전에 비교하는데 효과적인 ENVI-met 모델 (Chen et al., 2009; Song et al., 2014) 5.0.3을 활용하여 대상지의 도시개발사업 전후의 열환경 변화를 분석하였다. 본 연구에 사용된 ENVI-met 모델은 1998년 독일 Bochum 대학의 Bruse에 의해 개발된 3차원 미기후 모델로, 도시지역의 지표면, 건물, 식생, 토양, 대기 등의 모델로 구성되어 있다. 이를 통해 상세한 기상정보를 반영하여 물리적 요소들에 의한 주변 지역의 기류, 바람장, 온도, 습도 분포 등 미기후 변화를 정량적으로 분석할 수 있어 도시개발사업 진행에 따른 도시 미기후의 변화를 분석하는데 가장 적합한 모형이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 두 곳의 대상지의 도시개발사업 조성계획에 따른 개발 전후 상황을 ENVI-met 모델을 이용하여 바람장 및 열환경의 변화를 비교분석 하였다.

본 연구에서는 대상지역의 개발이전 상태 및 개발계획에 따라 건물(Buildings), 토지(Soil and Surface), 식생(Vegetation)을 모델링하였다. 모델링을 위해 필요한 미기후 자료인 연구대상지의 온도 및 습도는 기상청 기상자료 개방포털에서 제공하는 대상지 가장 인근에 위치한 OBS 유관기관관측자료를 활용하였다. 시뮬레이션은 대상지역 선정 시 기준으로 하였던 2020년 여름철 기간 중 Landsat 8 (OLI/TIRS) 위성자료의 취득이 가능한 9월 4일의 도시 열환경이 가장 취약한 시간대인 10시에서 14시 4시간 동

안을 대상으로 하였다(Table 3).

대상지역의 개발 전후 건물의 배열 및 높이, 지표면 피복 재질 유형, 식생 유형 등을 구현하기 위해 환경공간정보서비스에서 제공하는 토지피복지도, 네이버 위성지도, 국토정보플랫폼의 연속수치지형도, 도시개발사업계획을 이용하였다. 각 대상지역의 모델 영역으로 사업계획구역을 포함하여 창원국가산업단지 개발사업 지역의 경우 전체  $1,680 \times 1,140 \times 448$  m 영역을 대상으로 모델링을 수행하였으며, 공간해상도는  $10 \times 10 \times 4$  m로 총  $168 \times 114 \times 112$ 개의 그리드로 구성하였다(Fig. 4). 창원 사파지구 도시개발사업 지역도 동일한 크기의 그리드 단위로 총  $x = 130, y = 335, z = 110$  개 그리드, 전체  $1,300 \times 3,350 \times 440$  m로 영역을 설정하였다(Fig. 5). 식재의 경우 대상지역의 식재 현황 및 개발계획 시행지침의 권장수종을 고려하여 수고 15 m, 수관폭 7 m의 침엽수가 산림지역에 식재되었으며, 공원 및 녹지에는 수고 7 m, 수관폭 3 m의 활엽수를 적용하였다. 또한 Nesting Grids를 20으로 설정하여 해당 대상지의 측면경계에서 발생할 수 있는 난류계산 과정상의 오류가 최소화될 수 있도록 하였다(Do and Jung, 2019).

본 연구에서는 두 대상지역의 개발사업 전후, 총 4가지 Case에 대한 시뮬레이션을 진행한 후, 개발사업에 따른 공간구조 및 특성의 변화가 도시열환경에 미치는 영향을 알아보기 위해 개발 전후를 비교하여 건축물의 그림자에 따른 영향이 가장 적은 12시를 기준으로 사람들이 직접적으로 체감할 수 있는 지상 1.5 m 높이에서의 풍속 및 풍향, 대기 온도의 변화를 분석하였다.

Table 3. Conditions of ENVI-met models

Category	Site	Changwon National Industrial Complex Development Project	Changwon Sapa District Development Project
Simulation setting	Start simulation at Day (dd.mm.yyyy)	04.09.2020	04.09.2020
	Start simulation at Time (hh.mm.ss)	10:00:00	10:00:00
	Total simulation time in hour (hr)	4	4
	Save model state (min)	60	60
Meteorological inputs	Wind speed (m/s)	1.65	2.44
	Wind direction (°)	216	161
	Initial temperature atmosphere (K)	301.10 (27.95℃)	301.98 (28.83℃)
	Relative humidity (%)	51.57%	51.98%



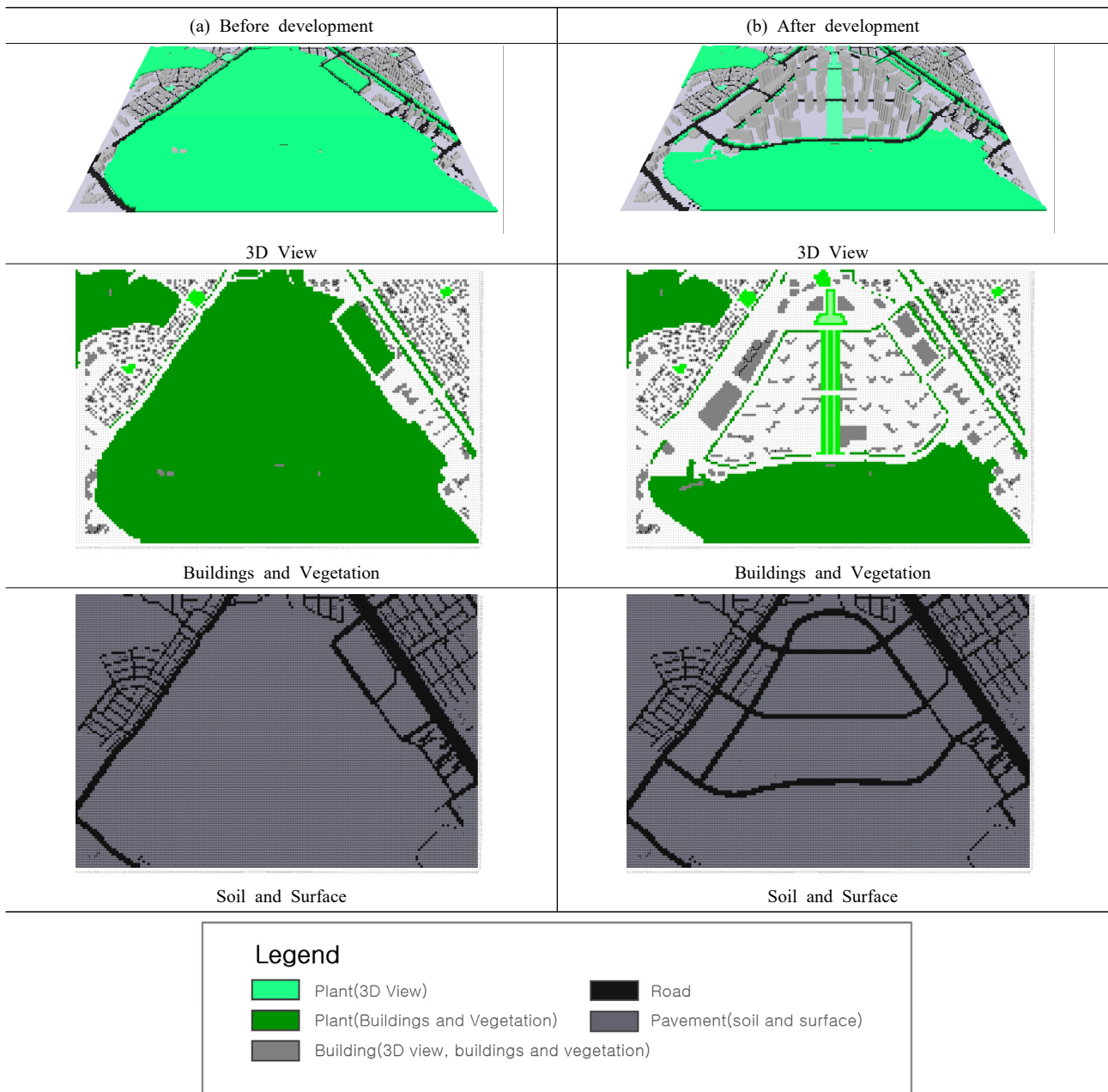


Fig. 4. Changwon National Industrial Complex Development Project model configuration

#### 4. 개발사업에 따른 열환경 변화 분석

##### 4.1. 창원국가산업단지 개발사업으로 인한 변화 및 개선방안

대상지역의 바람장의 변화를 분석한 결과는 다음과 같다. 창원국가산업단지 개발사업 이전 풍속은 최소 0 m/s에서 최

대 2.1 m/s로 나타났으며 평균 풍속이 0.75 m/s, 주풍향은 남서풍으로 나타났다(Fig. 6). 개발사업 이후 최대풍속은 2.6 m/s이며 평균풍속이 개발 이전에 비해 0.16 m/s 증가한 0.91 m/s로 나타났다. 대단지의 공동주택이 조성되면서 바람의 통과를 고려한 건물 배치 및 동 간 간격 확보, 중심부 공원 조성에 따라 바람이 북동쪽 지역으로 전달되고 있으나 고층건물에 도심상공의 바람이 부딪혀 풍속이 감소하는 것

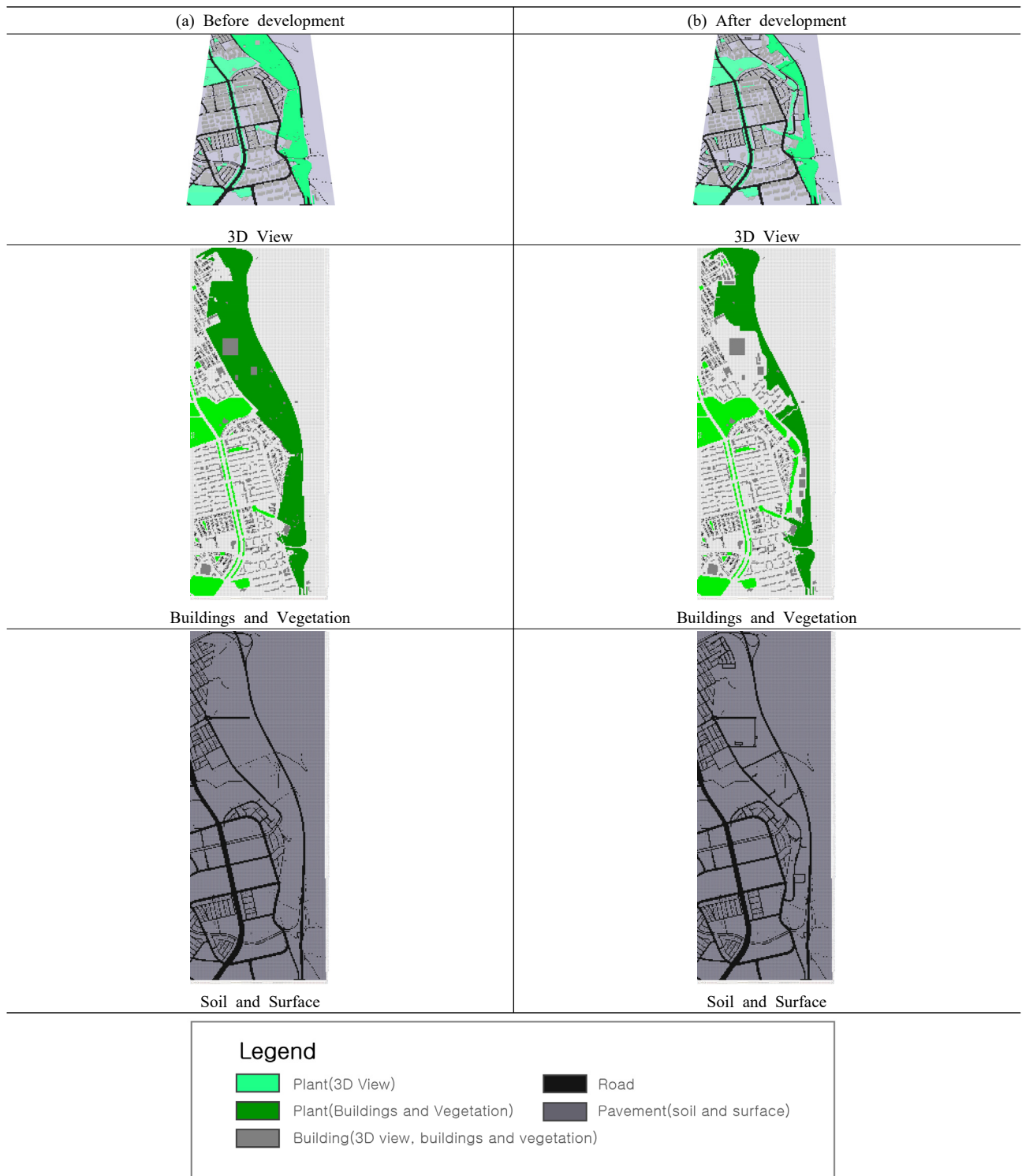
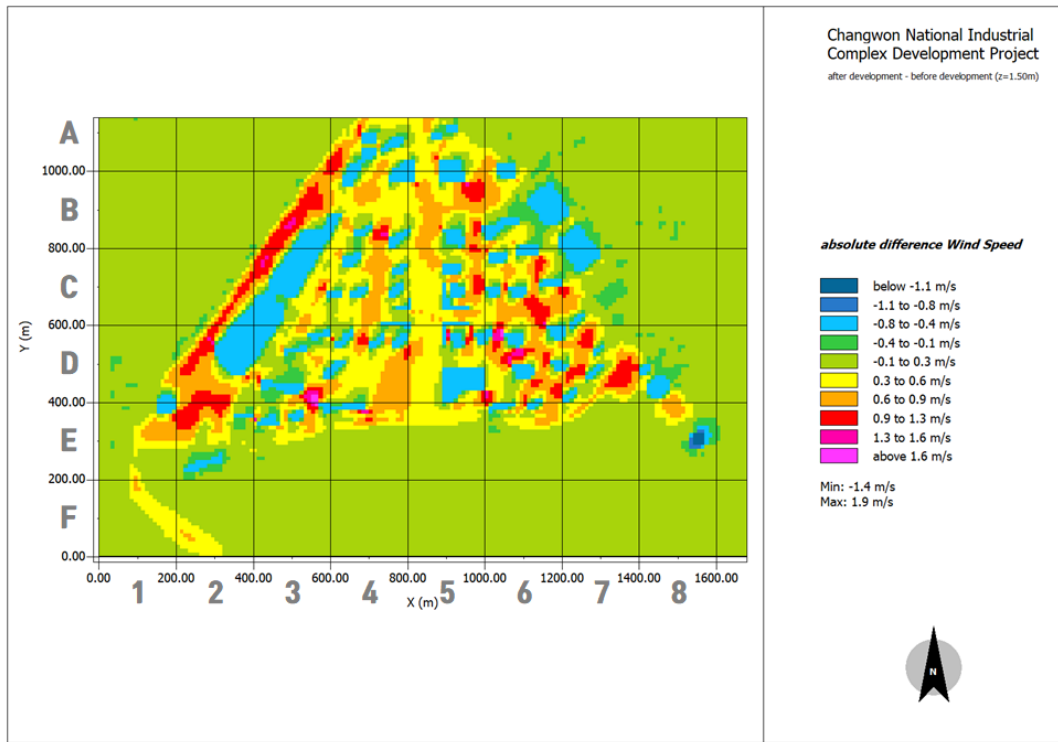


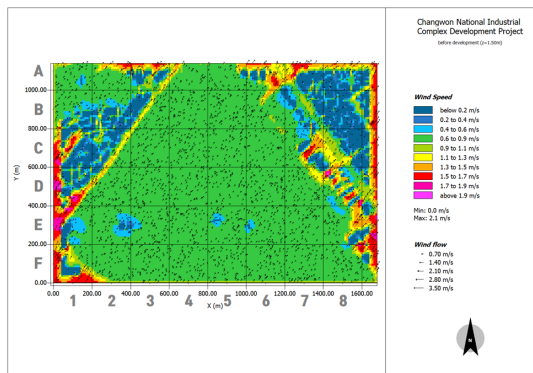
Fig. 5. Changwon Sapa District Development Project Model Configuration

으로 나타난다. 건물 사이의 일부 구간에서 빌딩풍으로 불리는 도심 상공의 바람이 밀집된 고층 건물들에 부딪히면서

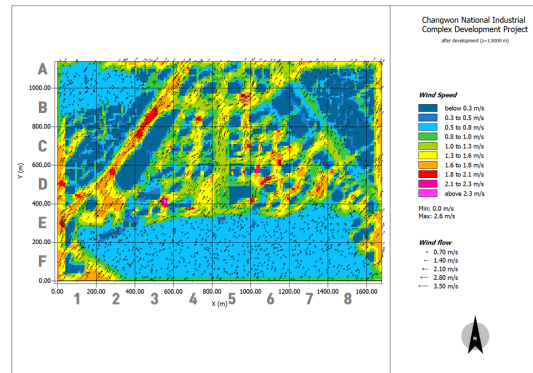
지표면으로 급강하한 뒤 위로 솟구치거나 좌우로 빠르게 이동하는 Downwash 현상(Choi, 2012)이 발생하여 풍속이 높



(a) After development - Before development



(b) Before development



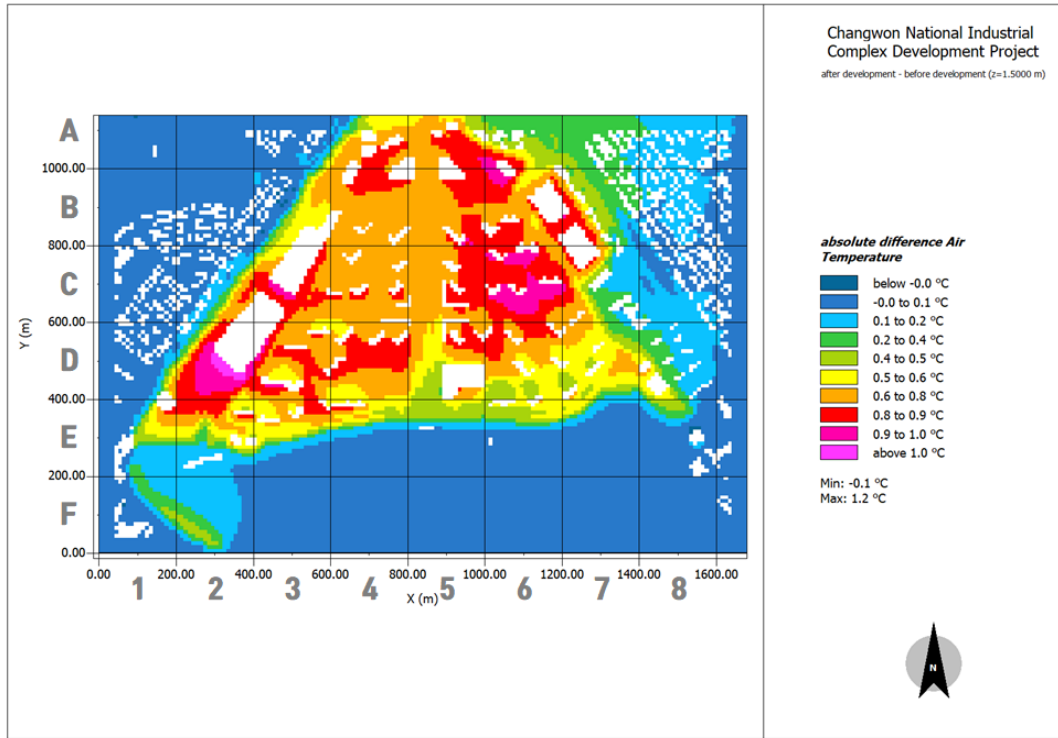
(c) After development

Fig. 6. Wind field analysis result, (Changwon National Industrial Complex Development Project)

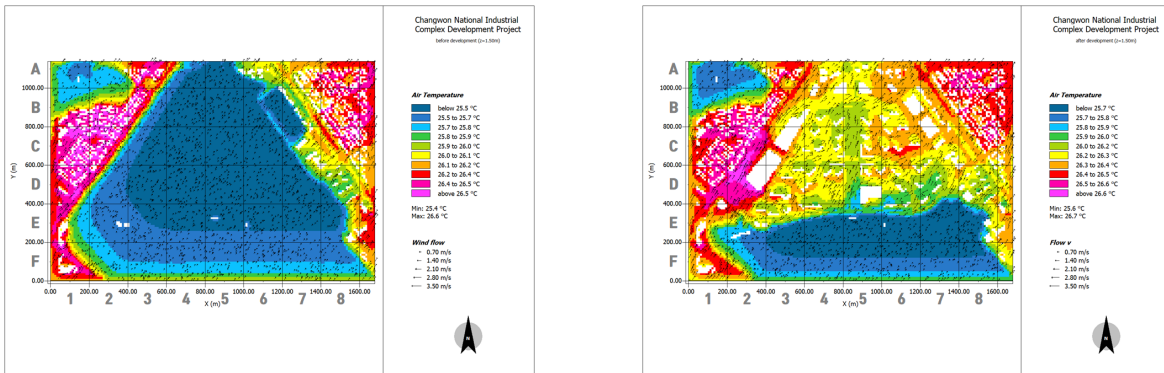
게 나타나는 것을 볼 수 있으며 이는 지역 내 통풍 및 환기 등 공기의 순환기능을 수행할 것으로 예상된다. 대상지역 남측 E3 ~ E7에 조성되는 사화공원에 따른 영향은 거의 없으며 B3, C3, D2 일대 상업지역의 대형유통시설 및 고층 오피스텔 조성으로 바로 위 도로지역에 바람골이 형성되면서 풍속이 0.9 ~ 1.3 m/s 증가한 것을 확인할 수 있다. 또한 B5에서 D5지역의 중앙공원 조성 및 건축물들의 바람길을 고려한 주동배치를 통해 건축물 사이와 공원으로 공기의 유동

성이 비교적 원활하게 확보되고 있는 것을 확인할 수 있다.

창원국가산업단지 개발사업 대상지역의 개발 전후 기온변화를 살펴보면 Fig. 7과 같다. 개발사업 이전 기온은 최소 25.4°C에서 최대 26.6°C 사이로 평균 기온은 25.77°C로 나타났다. 개발사업 이후에는 25.6°C ~ 26.7°C 기온으로 평균기온 26.11°C로 개발이전에 비해 0.34°C 증가하였다. 대상지역의 남측은 공원의 조성 이 이루어짐에 따라 기온의 변화가 거의 없으며 상업지역 및 중심부 공동주택용지는 기존 녹지가 포



(a) After development – Before development



(b) Before development

(c) After development

Fig. 7. Air temperature analysis result (Changwon National Industrial Complex Development Project)

장면으로 바뀔에 따라 0.6~1°C 이상 증가한 것으로 나타났으며 포장면에서 발생하는 현열이 정제되면서 중앙공원을 포함한 개발사업지역 전체의 기온이 증가하여 열환경이 악화되는 것을 확인할 수 있다. 또한 중앙공원 및 단지 외곽도로 경계부 녹지의 경우 수목식재를 통해 주변 지역보다 0.1~0.2°C 기온이 낮은 것을 볼 수 있다. 상업지역의 경우 좌측의 도로를 통해 공기의 순환이 원활하게 이루어지고 있으나, 포장면으로 이루어져 있고 주변에 찬공기 생성 기능을 수행할 공간

이 없어 차가운 공기의 유입이 어려움에 따라 기온이 높은 것을 알 수 있다. 대상지역은 열환경을 고려한 개발계획에 따라 아파트 단지 중심에 남북으로 가로지르는 녹지가 조성되고 바람길을 고려한 동배치가 적용됨으로써 개발 이후 개발지역 인근 주변 공동주택단지에 비해 기온이 낮게 나타났다.

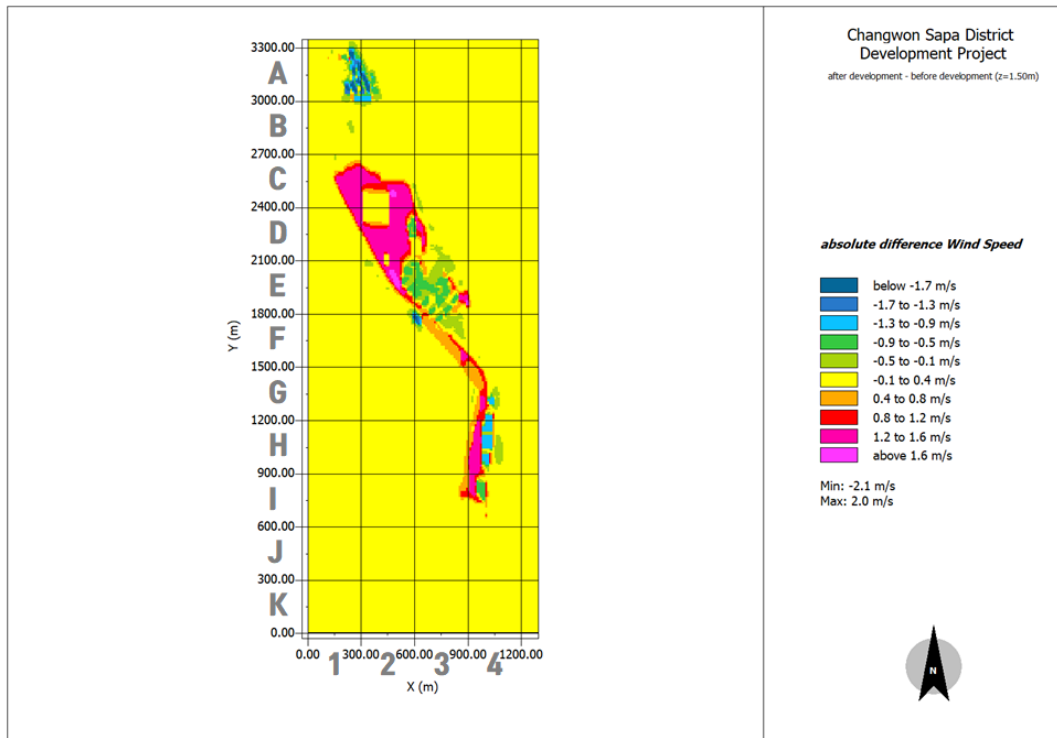
개발사업 이후 대상지역의 열환경을 보다 개선하기 위해 다음의 방안을 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 먼저 B3, C3, D2 상업지역 바로 좌측에 내동천이 일부구간 복개되어

있으며 관리가 이루어지지 않고 있다. 이에 따라 복개구간 복원 및 하천정비, 주변 지역과 연결된 수변공간 조성 등을 통해 지역의 기온저감 및 주변 지역과 연계한 바람통로를 확보하고 공기의 순환이 원활히 이루어질 수 있도록 하는 개선방안의 적용이 필요하다. 또한 대규모 아파트 단지가 조성되어 있음에 따라 단지 내 조경면적 및 수목식재 양을 확대하고 옥상녹화를 적용하는 것이 지역의 기온을 저감하는데 효과가 있을 것으로 예상된다. 이와 함께 남측의 사화

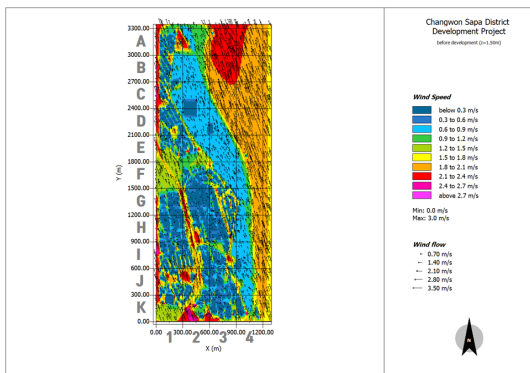
공원의 찬공기를 지역 전반으로 전달될 수 있도록 단지 배치를 개선하여 지역 전반의 열환경 개선이 가능할 것이다.

4.2. 창원사파지구 개발사업에 따른 변화 및 개선방안

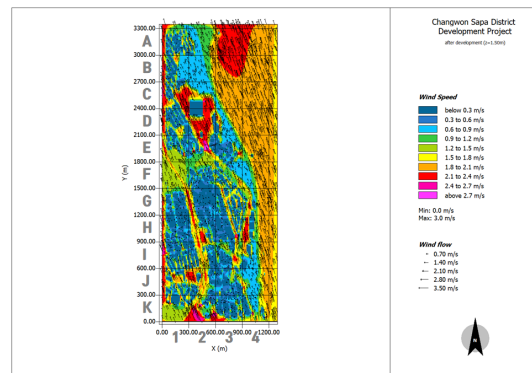
창원 사파지구 도시개발사업 지역의 개발전 주풍향은 남동풍으로 풍속이 0.0 m/s ~ 3.0 m/s, 평균 1.35 m/s로 나타났다. 도시개발사업 계획안대로 개발하는 경우 풍속은 0.0 m/s ~ 3.0 m/s, 평균 1.42 m/s로 평균풍속이 0.07 m/s 증가했



(a) After development – Before development

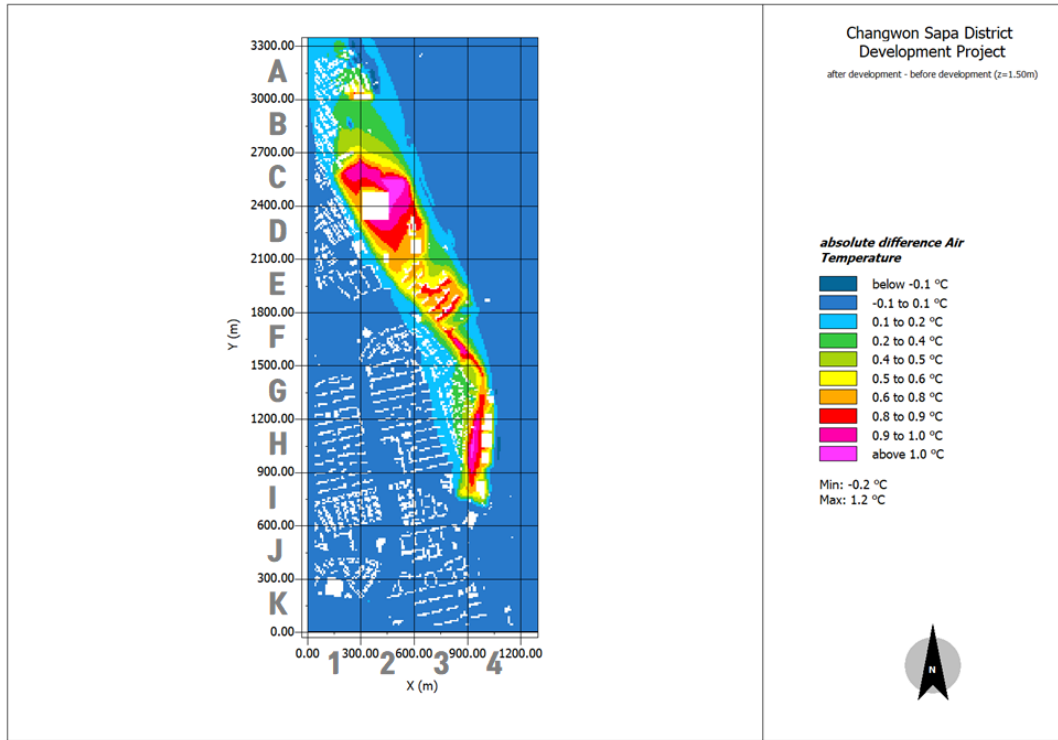


(b) Before development

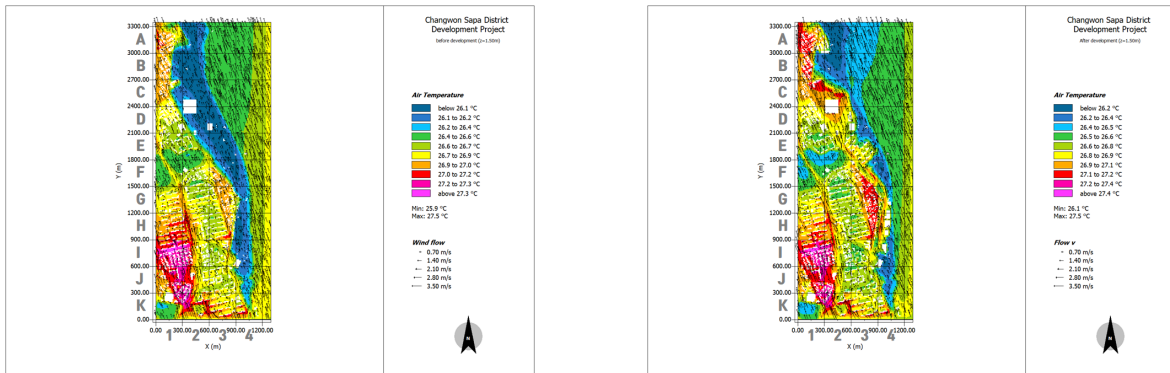


(c) After development

Fig. 8. Wind field analysis result (Changwon Sapa District Development Project)



(a) After development – Before development



(b) Before development

(c) After development

Fig. 9. Air temperature analysis result (Changwon Sapa District Development Project)

다(Fig. 8). 북측 A1, A2구역의 단독주택용지에서는 건축물에 바람이 부딪히며 풍속이 다소 감소하였다. C1, C2, D2 일대에서는 체육공원을 확장하면서 기존 지면으로부터 1.5 m 높이에서 풍속을 저감시킨 수목을 제거하고 경기장 및 주차장 등을 조성함에 따라 풍속이 비교적 크게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 또한 중심부의 E3지역 일대 공동주택 용지는 개발계획에서 건축물 높이의 다양화를 통한 리듬감 있는 스카이라인 형성, 통풍축 확보를 통한 바람길 활용을

제시하고 있으며, 종, 횡 일률적인 배치를 지양하고 녹지축 및 지형의 흐름에 순응하는 건축물 배치를 통해 조망축과 통풍축을 확보하도록 하고 있다. 그러나 현재 준공된 아파트단지의 경우 개발계획과 달리 일률적인 건축물 배치로 바람이 거의 통과하지 못함에 따라 지역의 공기 순환에 부정적 영향을 미치고 있는 것을 확인할 수 있다.

남측 H4지역에는 연구시설, 학교, 가정병원 등 공공시설들이 저밀도로 개발됨에 따라 풍속에 큰 영향이 없는

것으로 나타나며, 바로 앞 공간에서는 체육공원의 확장, 바람과 마찰이 발생하는 수목이 제거되면서 풍속이 증가하는 것을 볼 수 있다.

창원 사파지구 도시개발사업 지역은 개발 전 기온이 25.9℃ ~ 27.5℃, 평균 26.59℃에서 개발 후 평균 26.70℃로 평균기온이 0.11℃ 높아졌다(Fig. 9). 대상지역은 기존 녹지를 개발함에 따라 전반적으로 기온이 증가하였다. 북측의 단독주택지역(A1, A2)과 C2, D2 일대의 체육공원지역은 기존 녹지를 개발하여 불투수면으로 변화함에 따라 기온이 상승한 것을 볼 수 있다. 또한 E3 일대의 대단지 아파트 조성 및 H4 일대의 연구시설 및 공공시설 개발로 인해 포장면적이 증가하고 공기순환이 잘 이루어지지 않아 기온이 증가하였다. 이 지역의 개발은 기존 개발계획 시행지침에서 제시한 공동주택의 건축물 배치형태 및 바람길 확보에 대한 내용을 적용하지 않고 바람이 통과하기 어려운 동간격이 좁은 일자형 배치를 적용하여 개발 완료 시 지역의 공기 순환에 악영향을 미칠 것으로 판단된다.

따라서 대상지역의 열환경 개선을 위해 다음 방안들의 적용이 필요하다. 우선 주거지역의 쾌적성 향상을 위해 바람통로의 확보가 필요하며, 바람이 통과하고 지속적인 공기 순환이 이루어질 수 있도록 공동주택 지역의 건물배치형태의 개선이 요구된다. 인근 녹지에서 생성된 신선한 공기가 아파트 단지를 지나 도심지역 전체에 효과적으로 확산될 수 있는 지그재그형 건물배치 방법에 대한 고려 및 지역의 환기성능을 개선시키기 위한 바람통로 설계가 필요하다. 체육공원 및 단독주택지역 내 주차장, 공동주택 단지 내부, 건축물 옥상 등 아스팔트 및 콘크리트 포장면에 녹지포장이 적용되어야 할 것이다.

## 5. 결론 및 시사점

본 연구에서는 도시개발이 지역의 열환경에 미치는 영향을 알아보기 위해 도시열환경이 취약한 지역에서 이루어지며, 개발계획에서 열환경에 대한 내용을 반영한 창원국가산업단지 개발사업과 사파지구 도시개발사업 지역을 사례지역으로 선정하였다. 선정된 사업지역을 대상으로 개발 전후의 건축물, 식생, 포장면, 기후를 모델링하여 시뮬레이션을 통해 비교분석을 수행하였다. 이를 통해 도시개발사업이 진행되었을 때 실제 어떤 변화가 나타나는지를 검증하고 개선방안을 제시하였다.

분석결과, 두 사례지역 모두 정도의 차이는 있으나 개발사업 이후 평균기온이 증가하는 것으로 나타났다. 사업

완료 후 유입되는 인구 및 활동으로 인한 인공배열량까지 함께 고려하면 더 큰 온도증가가 예상된다. 그러나, 두 지역간 차이도 분명 존재했다.

창원국가산업단지 개발사업은 개발계획 시행지침에서 공동주택 용지의 바람길을 고려한 건축물의 배치와 조정, 수목식재 및 공원·녹지 조성시 열환경 고려를 제시하고 있으며, 이러한 사항들이 바람길을 고려한 건축물 배치, 중앙공원 조성 등을 통해 계획에 비교적 잘 반영되었다. 이러한 계획노력은 ENVI-met 분석 결과에도 잘 나타났다. 개발이후 대상지역 내 건축물 사이 및 중앙공원을 통해 바람이 통과하는 것을 확인할 수 있었으며, 평균 기온은 기존 수목이 제거되고 포장면이 조성되어 일부 증가하였으나 창원 사파지구 도시개발사업 지역에 비해 열환경에 대한 부정적 영향이 적은 것을 확인할 수 있었다.

반면, 창원 사파지구 도시개발사업의 경우 개발계획 시행지침에서 공동주택 개발 시 통풍축 확보를 통한 바람길 활용, 건축물의 중·횡 방향의 일률적인 배치를 지양하도록 제시하고 있었다. 그러나, 이러한 부분이 개발사업에 잘 반영되지는 못한 것으로 보인다. 모델링 결과, 공동주택단지 바람이 통과하지 못하여 지역의 공기순환이 저해되고 아파트단지와 함께 체육공원, 주차장, 단독주택용지 등이 조성되면서 포장면적이 증가하여 지역 전반의 기온이 높아짐에 따라 열환경이 악화되는 것을 확인할 수 있었다.

두 사업은 현재 진행중인 사업들로 본 연구는 개발로 인한 부정적 영향을 최소화하기 위해 추가적인 개선방안을 제안하였다. 창원국가산업단지 개발사업 지역의 경우 현재 계획에 포함되지 않은 내동천 복원·정비, 옥상녹화 적용, 조경면적 및 수목식재 확대를 통해 개발에 따른 열환경 피해를 최소화할 수 있을 것으로 판단되며, 창원 사파지구 도시개발사업 지역에서는 동측 녹지지역에서 생성되는 차고 신선한 공기를 대상지역 전반으로 확산시킬 수 있는 바람통로의 설계 및 환기성능의 개선을 위해 공동주택단지 고층 건물의 배치를 변경하고 높이를 획일화하지 않고 리듬감 있게 조성하여 바람의 유동성을 확보하는 방안이 고려가 필요하다. 뿐만 아니라 녹지공간 조성 및 식생 배치를 확대하여 기온저감 뿐만 아니라 생태기능, 에너지 순환, 탄소저감 등의 역할이 가능할 것으로 보이며, 녹지공간에서의 기온 저감으로 주변지역과 온도차이가 발생하여 풍속 증가에 따른 바람의 유동성을 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다. 또한 이러한 개선방안들이 계획에 적극적으로 반영되고 사업에서 실현되기 위해서는 관련 법제도 내에서 열환경에 관련된 사안들에 대해 검토할 수 있는 구체적인

기준을 명시하고, 법·조례의 조항을 통해 사업지침에서 제시한 사항들이 의무적으로 반영될 수 있도록 해야 할 것이다. 이와 함께 공개공지 확대, 건축물의 필로티 구조 적용과 같은 열환경 개선을 위한 부분을 적용할 시 용적률 상향 등의 인센티브를 제공하여 보다 적극적으로 참여하도록 하는 방안도 함께 고려되어야 할 것이다.

대부분의 도시개발사업 수립지침이 바람길 및 열환경을 고려해야 함을 명시하고 있으나, 실제 개발계획이 이를 효과적으로 반영하고 있는지는 검토가 필요한 사항이다. 이에 본 연구는 실제 수립된 개발계획을 ENVI-met으로 시뮬레이션하여 해당지역의 열환경에 미치는 영향을 구체적으로 검토하였다. 이는 도시계획과정에서 열환경 문제를 어떻게 다룰 수 있는지 구체적으로 보여주었다는 점에서 의의가 크다. 또한, 선행연구들이 주로 소규모의 단지를 대상으로 분석을 수행하는 것과 달리 도시개발사업지역 전체를 대상으로 주변지역에 대한 영향을 함께 고려하여 분석을 수행함으로써 단순 대상지역의 열환경을 살펴보는 것을 넘어서 지역 전반에 대한 영향을 검토하고 열환경 개선을 위한 방안을 제시하였다.

본 연구가 다양한 노력을 기울였음에도 연구의 한계가 존재한다. 우선, 개발계획에 따라 건물, 식생, 기상, 토지피복을 모델링하여 시뮬레이션 분석을 수행하였으나 실제 현실을 그대로 반영하기에는 한계가 있으며, 개발 이후 유입된 도시민의 영향을 함께 고려하지는 못하였다는 한계점도 존재한다. 향후 추가적인 연구를 통해 개발이 완료된 지역을 대상으로 도시민의 활동이 지역의 열환경에 미치는 영향을 분석할 필요가 있으며, 본 연구에서 제시한 개선방안들에 대해서도 세부적인 방안 및 요소들을 도출하고 적용을 통한 효과를 살펴볼 필요가 있겠다.

IPCC (2022)는 지구의 평균 기온이 산업화 이전에 비해 1.5℃ 상승 시(현재 1.09℃ 상승) 50년 빈도의 극한고온이 8.6배 증가할 것으로 예상하였다. 이러한 상황에서 도시개발사업 진행 시 해당 사업으로 인한 열환경 변화를 예측하고 예상되는 문제를 사전에 확인하는 작업은 반드시 필요할 것으로 보인다. 본 연구가 이러한 과정을 구체적으로 보여줌으로써 제도적 기반과 실천방안 마련을 위한 중요한 자료로 활용되기를 기대한다.

## 사사

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. 2021R1A2C1011977)과 환경부의

재원으로 한국환경산업기술원의 환경보건디지털 조사기반 구축기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다 (2021003330002).

## References

- Aboelata A. (2020). Vegetation in different street orientations of aspect ratio (H/W 1: 1) to mitigate UHI and reduce buildings' energy in arid climate. *Building and Environment* 172: 106712.
- Ahn JS. 2007. A study on thermal environment evaluation for eco-friendly urban planning [dissertation]. Keimyung University
- Arnfield AJ. 2003. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology* 23: 1-26.
- Catarina D, Miguel P, Pedro N. 2022 July 20. Portugal reports more than 1,000 heat-related deaths. REUTERS.
- Changwon City. 2019. Changwon National Industrial Complex Development Project (00 Military base relocation site development project). Changwon City Announcement 2019-1345
- Changwon City. 2022. Changwon Sapa District Development Project. Changwon City Announcement 2022-524
- Chen H, Ooka R, Huang H, Tsuchiya T. 2009. Study on mitigation measures for outdoor thermal environment on present urban blocks in Tokyo using coupled simulation. *Building and Environment* 44: 2290-2299.
- Cheung PK, Jim CY. 2018. Comparing the cooling effects of a tree and a concrete shelter using PET and UTCI. *Building and Environment* 130: 49-61.
- Choi HJ. 2012. The numerical modeling the sensitivity of coastal wind and ozone concentration to different SST forcing. *Journal of Atmosphere Environment* 46: 2022-2042.
- Chow WTL, Pope RL, Martin CA, Brazel AJ. 2011. Observing and modeling the nocturnal park cool island



- of an arid city: horizontal and vertical impacts. *Theoretical and Applied Climatology* 103: 197-211.
- Do WG, Jung WS. 2019. Analysis of the Characteristics of Thermal Environment Change Due to Urban Stream Restoration. *Journal of Environmental Science International* 28(2): 235-248.
- Dwivedi A, Mohan BK. 2018. Impact of green roof on micro climate to reduce Urban Heat Island, Remote Sensing Applications. *Society and Environment* 10: 56-69.
- Erell E, Pearlmutter D, Williamson T. 2012. *Urban microclimate: designing the spaces between buildings*. Routledge.
- Fahmy M, Sharples S, Yahiya M. 2010. LAI based trees selection for mid latitude urban developments: A microclimatic study in Cairo, Egypt. *Building and Environment* 45: 345-357.
- Fan Y, Li Y, Bejan A, Wang Y, Yang X. 2017. Horizontal extent of the urban heat dome flow. *Scientific reports* 7(1): 1-10.
- Fellenberg G. 1991. *Lebensraum Stadt*. Verlag der Fachvereine Zürich.
- Hien WN, Jusuf SK. 2008. GIS-based greenery evaluation on campus master plan. *Landscape and Urban Planning* 84: 166-182.
- Hwang HS, Kang JE. 2020. Spatial Distribution of Urban Heat and Pollution Islands using Remote Sensing and Private Automated Meteorological Observation System Data -Focused on Busan Metropolitan City, Korea-. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 23(3): 100-119.
- IPCC. 2022. Summary for Policymakers In, *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- Jo MH, Jo YW, Kim SJ. 2009. The Application of ASTER TIR Satellite Imagery Data for Surface Temperature Change Analysis -A Case Study of Cheonggye Stream Restoration Project-. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 12(1): 73-80.
- Jung GS, Koo S, Yoo HH. 2011. Temperature Change Anlysis for Land Use Zoning Using Ladnsat Satellite Imagery. *The Journal of Korean Society for Geospatial Information Science* 19(2): 55-61.
- Kato S, Yamaguchi Y. 2007. Estimation of storage heat flux in an urban area using ASTER data. *Remote Sensing of Environment* 110: 1-17.
- Kim HO, Yeom JM. 2012. Effect of the Urban Land Cover Types on the Surface Temperature: Case Study of Ilsan New City. *Korean Journal of Remote Sensing* 28(2): 203-214.
- 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 JS, Kang JE. 2021. A Study on the Effectiveness of Wind Corridor Construction for Improving Urban Thermal Environment: A Case study of Changwon, South Korea. *Journal of Environmental Impact Assessment* 30(4): 187-202.
- Kim JS, Lee SH, Yoon JB, Jung JH. 2019. A study on the improvement of urban heat island phenomenon in consideration of regional characteristics. Changwon, Korea: Changwon Research Institute. Policy Report 2019-10.
- Klok L, Zwart S, Verhagen H, Mauri E. 2012. The surface heat island of Rotterdam and its relationship with urban surface characteristics. *Resources Conservation and Recycling* 64: 23-29.
- Korea Adaptation Center For Climate Change. 2022. Change effect; [accessed 2022 Aug 6]. <http://www.kacc.kei.re.kr/portal>
- Korea Meteorological Administration. 2021 December 22. In the second half of the 21st century, summer extends to up to six months.
- Korean Law Information Center. 2020. List of laws related to urban development projects.

- Krüger EL, Minella FO, Rasia F. 2011. Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. *Building and Environment* 46: 621-634.
- Kwon YJ, Lee DK, Ahn S. 2019. Urban Street Planting Scenarios Simulation for Micro-scale Urban Heat Island Effect Mitigation in Seoul. *Journal of Environmental Impact Assessment* 28(1): 23-34.
- Lee WS, Jung SG, Park KH, Kim KT. 2010. Analysis of Urban Thermal Environment for Environment-Friendly Spatial Plan. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 13(1): 142-154.
- Li et al.(2019) Optimization of vegetation arrangement to improve microclimate and thermal comfort in an urban park.
- Li J, Song C, Cao L, Zhu F, Meng X, Wu J. 2011. Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: A case study of Shanghai, China. *Remote Sensing of Environment* 115: 3249-3263.
- Lim EN, Lee WS, Choi CH, Song BG, Jung SG. 2013. An evaluation of thermal comfort on urban neighborhood park for improving thermal environment. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 16(4): 159-170.
- Middel A, Hab K, Brazel AJ, Martin CA, Guhathakurta S. 2014. Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix local climate zones. *Landscape and Urban Planning* 122: 16-28.
- Morakinyo TE, Dahanayake KKC, Ng E, Chow CL. 2017. Temperature and cooling demand reduction by green-roof types in different climates and urban densities: A co-simulation parametric study. *Energy and Buildings* 145: 226-237.
- Morakinyo TE, Lam YF. 2016. Simulation study on the impact of tree-configuration, planting pattern and wind condition on street-canyon's micro-climate and thermal comfort. *Building and environment* 103: 262-275.
- Nadia Assaf. 2020. Green rooftops' mitigation potential on urban heat island.
- Ng E, Chen L, Wang Y, Yuan C. 2012. A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. *Building and environment* 47: 256-271.
- Oke TR. 2002. *Boundary layer climates*. Routledge.
- Rizwan AM, Dennis LY, Chunho LIU. 2008. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of environmental sciences* 20(1): 120-128.
- Santamouris M. 2013. Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—A review of the actual developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26: 224-240.
- Shin BS. 2021 July 22. Heatwave deaths were more than three times higher than typhoons and heavy rains. *KBS NEWS*.
- Song BG, Park KH, Jung SG. 2014. Validation of ENVI-met model with in situ measurements considering spatial characteristics of land use types. *Journal of the Korean association of geographic information studies* 17(2): 156-172.
- Song BG, Park KH. 2012. Analysis of Heat Island Characteristics Considering Urban Space at Nighttime. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 15(1): 133-143.
- Song BG. 2014. *Development of Environmental Planning Methodology for Mitigation of Climate change and Heat island effect in Urban area* [dissertation]. Changwon National University.
- Song DW. 2012. An analysis of local wind field by location of industrial complex using CALMET and Envi-met. *Journal of Environmental Impact Assessment* 21(3): 417-429.
- Stewart ID. 2011. A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. *International Journal of Climatology* 31: 200-217.
- Taleghani M, Tenpierik M, Dobbelsteen A, Sailor DJ. 2014. Heat in courtyards: a validated and calibrated parametric study of heat mitigation strategies for urban courtyards in the Netherlands. *Solar Energy* 103:

108-124.

- Tan Z, Lau KK-L, Ng E. 2016. Urban tree design approaches for mitigating daytime urban heat island effects in a high-density urban environment. *Energy and Buildings* 114: 265-274.
- Winston TLC, Ronal LP, Chris AM, Anthony JB. 2011. Observing and modeling the nocturnal park cool island of an arid city: horizontal and vertical impacts. *Theoretical and Applied Climatology* 103: 197-211.
- Wong, N.H., Jusuf, S.K., Win, A.A.L., Thu, H.K., Negara, T., Xuchao, W., 2007, Environmental study of the impact of greenery in an institutional campus in the tropics, *Building and Environment* 42: 2949-2970.