



주택재개발사업지의 층수변화 시나리오별 미기후 영향 예측*

: 기온, 미세먼지, 초미세먼지를 중심으로

Prediction of Micro-climate Impact by Floor Height Change Scenarios in Housing Renewal Site

: Focusing on the Temperature, Particulate Matter (PM10), Fine Particulate Matter (PM2.5)

백지원** · 김수련*** · 강동균**** · 고아라***** · 아이다 아야노***** · 최재연***** · 박 찬*****

Baek, Ji Won · Kim, Su Ryeon · Kang, Dong Gyun · Ko, Ah Ra · Aida, Ayano · Choi, Jae Yeon · Park, Chan

Abstract

As Seoul expanded, several buildings were constructed in a narrow space within the city, so situations that were harmful to humans, such as urban heat islands and stagnant air pollution, continued to occur in some areas. Ventilation corridors are being planned in cities to alleviate microclimate conditions and air pollution. Climate factors and air pollution, which can change at a microscale, can be derived through simulation to help plan and create sustainable cities. Based on urban and environmental planning, it is important to predict changes in climatic factors and air pollution on a microscale for spatial planning and structural changes. Therefore, this study attempted to compare and analyze, using computational fluid dynamics, how climate factors and air pollution change with the number of floors at a redevelopment planning project site in Seoul. ENVI-met was used to compare and analyze the temperature, particulate-matter, and fine-particulate-matter changes inside and outside the study area before development and during development planning for floor height change Scenario 1 (O type) and floor height change Scenario 2 (U type). Compared with before development in Scenario 1 (O type), the temperature decreased by 0.54 °C, the particulate matter decreased by 43.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and fine particulate matter decreased by 30.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Inside and outside the study area, compared with before development, the Scenario 1 (O type) temperature decreased by 0.15°C, the wind speed increased by 1.11 m/s, particulate matter decreased by 18.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and fine particulate matter decreased by 9.73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The buildings located on the outskirts of the study area are relatively low, and the cool wind along the Cheonggyecheon Stream flows in, affecting not only the inside of the study area but also the outside space. This study can be used as a guide for building planning and decision making for urban improvement projects and has meaningful implications for future apartment complex planning.

주제어 기후요소, 대기오염, ENVI-met, 공간계획, 주택정비사업

Keywords Climate Factor, Air Pollution, ENVI-met, Space Plan, Housing Renewal Project

* 과학기술정보통신부의 지원을 받은 한국연구재단(NRF) International R&D(NRF2019K1A3A1A7811297311)의 연구결과를 기초로 작성되었습니다.

** Master Student, Department of Landscape Architecture, University of Seoul (First Author: jwbaek97@uos.ac.kr)

*** Research Professor, Department of Urban Planning & Design, University of Seoul (landsue20@uos.ac.kr)

**** Ph.D. Student, Department of Urban Planning & Design, University of Seoul (kazureleo@naver.com)

***** Research Professor, Department of Urban Planning & Design, University of Seoul (soop0614@uos.ac.kr)

***** Ph.D. Student, Department of Urban Planning & Design, University of Seoul (a.a.s.ryeon91@gmail.com)

***** Ph.D. Student, Department of Landscape Architecture, University of Seoul (mmm9026@uos.ac.kr)

***** Professor, Department of Landscape Architecture, University of Seoul (Corresponding Author: chaneparkmomo7@uos.ac.kr)

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 좁은 영토와 산악지형의 불리함을 극복하고 효율적 국토이용이란 미명하에 대규모 신도시 및 택지조성 등 도시개발이 이뤄졌다(손정우 외, 2009). 현재는 인구의 절반이 수도권에 집중되어 수도권 주변으로는 계속해서 도시가 확장될 것이며, 노후화된 건물과 도시의 이미지를 변화시키기 위해서 도시재생, 재개발, 재건축 등 지속해서 도시개발이 이뤄질 것으로 보인다. 도시가 확장하면서 도시 내 좁은 공간에 많은 건물을 집중적으로 건설하다 보니 일부 지역에 도시열섬 및 대기오염 정체와 같은 인간에게 위해가 되는 상황이 계속해서 발생했다. 도시 내 열섬현상이 지속된다면 도시 내 육상 및 수생 생태계를 교란하며, 여름철을 냉방을 위한 에너지 소비량 증가, 도시 공기의 정체현상으로 인하여 도시 내 다양한 대기오염물질의 도시 외곽으로 배출 방해 등 또 다른 환경 관련 문제를 일으키기 때문에 심각한 문제로 파악되고 있다(이건원 외, 2019). 또한, 대기오염물질 역시 자동차에서 배출되는 가스, 공장 매연 등으로 인해 2차 생성 물질로 변환되면 인체 건강에 미치는 영향은 더욱 유해하다.

도시 내 열섬현상과 대기오염 정체를 완화하기 위해서 도시 숲, 그린루프 등 자연적 피복 면적을 확대하여 도시 미기후¹⁾를 관리하거나(안승만 외, 2016), 도시의 하천이나 산맥을 활용해서 바람길을 형성해 효과적으로 미기후와 대기오염물질을 관리하는 실정이다. 도시 바람길을 조성하기 위해서는 건물과 도로, 도시 시설물과 같은 물리적 요소의 변화가 필수적이다. 신도시를 계획하는 단계라면, 기반 시설 조성계획 단계에서부터 바람길을 고려한 도시설계가 이루어질 수 있다(권혜영, 2020). 바람길을 고려해 도시공간 구조를 재설계하고자 할 때는 사업을 시행하기 위한 계획 단계에서 접목하는 것이 좋다(권혜영, 2020). 또한 건물의 위치, 방향, 형태에 따라 다르게 형성되는 바람길을 예측·분석하여 열 및 미세먼지 정체나 배출 성능을 도시계획 시 시뮬레이션을 통해 도출한다면 지속가능한 도시를 계획하고 조성하는 데 큰 도움을 줄 수 있을 것이다(김동호 외, 2006).

박중순 외(2019)는 세종시를 대상으로 바람길을 조성했을 때 영향을 살펴봤고, 도시 바람 환경의 변화양상을 파악하고, 미세먼지 저감에 유리한 방향으로 건축물을 배치해야 함을 시사하였다. 차재규 외(2019)에서는 수원시를 대상으로 바람길을 분석하였고, 주변 산의 찬 공기가 원활하게 유입될 수 있도록 시가지지역의 녹지가 연결되어야 하고 건축물의 조성과 배치에 대한 장기적인 고려가 필요하다고 판단하였다. 권혜영(2020)은 바람길을 시뮬레이션을 할 수 있는 모델을 활용해 열과 미세먼지가 심각한 지역을 공간 분석을 통해 도시계획과 운영에 반영되어야 함을 주장하였다. 김태원 외(2017)는 연구를 통해 건축물의 밀집 형태에

따라 바람길이 변화하고 보행자 쾌적성 및 거주지 환경 등 종합적인 분석이 필요하다고 얘기했다.

선행연구를 통해 도출한 사항은 도시 건축물 계획 및 구조가 변할 때 미시적 규모에서 변화하는 기후요소 및 대기오염이 어떻게 변화하는지 예측하는 것이 중요하고, 이를 저감하고 완화할 수 있는 수단에 대해 검토할 필요가 있다. 또한, 기존의 선행연구는 환경문제 개선, 바람길 유동 분석, 바람길의 적용방안과 정책적인 대안을 제시하는 데 초점이 맞춰져 연구가 되어 왔지만, 향후 공간적인 차원 혹은 수평적 차원에서 고려와 연구가 필요한 실정이다. 도시의 공간구조는 재개발, 재건축, 도시개발 등에 따라 변화된다. 특히, 저층주거지에서 다중주택, 다가구주택, 다세대주택 위주의 재개발을 주도하게 된다(이정현·남진, 2020). 저층 주거유형의 경우 높은 건축물 면적 비율을 나타내는 지역으로 지표 온도가 높은 지역이고, 열섬 대책의 최우선 과제로 많이 이야기 되는 실정이다(안세결 외, 2017). 도시공간적 계획과 도시공간 구조가 변화할 때, 특히 미시적 공간차원의 단지의 수평적 변화(층수변화 시나리오)가 기후요소 및 대기오염과 어떠한 상관성이 있는지를 예측하는 것이 중요하다고 주장한다. 이에 본 연구에서는 CFD(Computation Fluid Dynamics) 모델 기반의 ENVI-met 프로그램을 활용해 서울시 재개발 계획 부지의 사업 전·후의 층수가 바뀔 때 따라 기온, 미세먼지(PM10) 및 초미세먼지(PM2.5) 농도 변화를 비교·분석하는 데 목적이 있다. 이러한 연구는 도시 내 공간적 차원의 바람길 계획의 중요한 기후요소로 저감 혹은 완화수단을 검토하는 데 시사점을 제공할 수 있다.

II. 연구방법

1. 연구대상지

연구대상지는 서울의 도시하천, 청계천 주변에 재개발이 진행 중인 용답동 주택재개발정비사업 정비구역으로 설정하였다. 정비구역의 면적은 73,341㎡로, 주변에는 2호선 신답역, 용답역, 5호선 답십리역이 있어 유동 인구가 많고 대중교통과 차량 교통량이 많은 지역 중 하나이다(〈Figure 1〉 참조). 2021년 1월 철거 및 착공신고까지 마무리되었고 본격적으로 재개발이 진행 중이다. 용답동 주택재개발정비사업 지역은 제3종 일반주거지역으로 건폐율 50% 이하, 용적률 200~300% 이하로 조성되어야 한다. 현재 대상지에서 진행 중인 개발계획(안)은 대지면적 60,857㎡, 건축면적 7,057㎡, 연면적 231,651㎡, 건폐율 19.61%, 용적률 288.24%의 지상 35층 지하 2층으로 구성된 아파트를 계획하고 있다.

2. 단지 내 공간구조 변화 전략

본 연구에서는 변화되는 것은 층수로 고정해 연구를 진행하였



Figure 1. The location of the Study Area

다. 단지가 변화하려면 건물의 배치와 주동이 변화되는 것인데 건물의 배치와 주동이 변경되면 바람길에 대한 영향도 달라질 수 있을 것으로 예측해 층수변화에 대한 사항만 고려하였다. 서울시에서 발표한 '2040 서울도시기본계획'에서는 주거지역의 35층 높이 기준을 폐지해 앞으로는 개별 정비계획 심의 단계에서 지역 여건에 맞게 층수를 허용해 다채로운 스카이라인을 유도한다는 방침이다(서울특별시, 2022). 35층 높이 기준이 없어진다고 해도 건물의 용적률이 상향되는 것이 아닌 동일한 밀도(연면적·용적률) 상에서 높고 낮은 건물들이 조화롭게 배치될 수 있다(서울특별시, 2022). 이에 본 연구에서는 현재 35층 기준의 시나리오 유형과 높이 기준이 폐지된 시나리오를 살펴보았다.

바람길에 따른 영향을 살펴보기 위해 개발 전, 현재 개발계획(안), 현재 관련 규정 및 상위계획을 준수하여 계획된 재개발 구역의 건축물 층수 및 배치 계획에 따른 2개의 시나리오를 추가로 검토하여 총 4가지 경우를 비교하였다. 시나리오 설정 시에는 다음 몇 가지 원칙을 고려하였다. 첫 번째 원칙은 연구의 주제처럼 높이 변화에 따른 미세먼지 영향을 살펴보기 위해 유닛의 구성과 주동의 배치는 현재를 유지하는 것이다. 두 번째는 서울시의 높이 기준은 상위계획이 변경되더라도 적용받게 되는 건축법규를 준수하는 것이다. 세 번째는 현재의 계획안을 기준으로 하여 가능하면 5개 층 이상의 층수 변화가 가능한 시나리오를 설정하는 것이다.

1) 개발 전

대상지는 노후화된 저층 주택들이 밀집된 지역으로 2007년 정비구역으로 지정되어 2009년 사업시행인가가 고시되고, 2018년에는 관리처분인가가 진행되어 현재는 공동주택 건축을 위한 철거작업이 진행되고 있다. 대상지 내 유휴가 464동의 건축물 중 93%가 넘는 건축물이 2000년 이전에 건축된 건축물이며, 3층 이하의 건축물이 68%에 달해 평균 높이는 2층이 조금 넘는 정도로 노후화된 저층 주거지를 형성하고 있다.

2) 현재 개발계획(안)

현재 개발 중인 대상지는 주택재개발사업이 진행되면서 제2종 일반주거지역에서 제3종 일반주거지역으로 변경되었으며, 이에 따라 용도지역에 의한 건폐율은 60% → 50%로 하향됐지만, 용적률은 200% → 250%로 상향되었다. 주택재개발사업이 진행되면서 상향된 용적률로 인해 도로나 일부 공지를 기부채납하여 실제 사업 대상지 면적은 60,587㎡로 축소되었으며, 464동의 건축물은 14개 동의 공동주택이 들어서고 그중 6개 동의 청계천 변에 위치한다. 정비사업에 따른 공간 계획상 지형 변화 최소화, 녹지율을 증가시키는 녹지면적 확보, 비오톱 공간 확장과 차폐는 고려되지 않았고, 이외의 공사 중에 발생하는 영향 등 환경적 고려사항을 제외한 후 본 연구를 진행하였다. 또한, 확보할 수 있는 데이터의 한계 등으로 용담동 주택재개발정비사업 홈페이지에 공개된 자료를 기준으로 공간정보를 구축했다.²⁾

3) 층수 변화 시나리오 1(Ⅱ형)

앞서 설정한 원칙을 적용하면 14개 동의 계획된 현재의 배치 안에서 층수 변화를 검토할 수 있는 주거동은 구성된 유닛의 입지적 차이를 고려하여 청계천 변에 인접한 6개 동만 층수 변화 시나리오 검토대상으로 판단하였다(Figure 2) 참조. 선정된 6개 동은 25~30층으로 전반적으로 수평적인 스카이라인을 형성하고 있으며 관련 법령에 따라 최고 층수인 35층 이하로 계획되었다(Figure 1) 참조. 일반적인 공동주택의 높이 1개 층은 2.9m로 계획하고 있으며, 1층은 침수 등 비상 상황을 고려하여 1m 추가적인 높이를 부여하였다. 동간 이격거리는 현실에서 충분히 용인될 수 있는 거리를 고려해 설정하였다.³⁾

시나리오 1(Ⅱ)은 중앙에 있는 동들의 높이를 최고층화 시키는 계획안으로 중앙이 현재 개발계획(안)보다는 상대적으로 높은 계획안이다. 중앙에 주거동의 높이가 올라가면서 외곽에 있는 101, 106동은 18층으로 높이가 낮아지게 된다. 103동은 현재 계획안과 비교해 5개 층이 상승하여 주거동의 높이와 미세먼지 변화양상을 살펴볼 수 있는 시나리오이다(Figure 3) 참조. 계획된 시나리

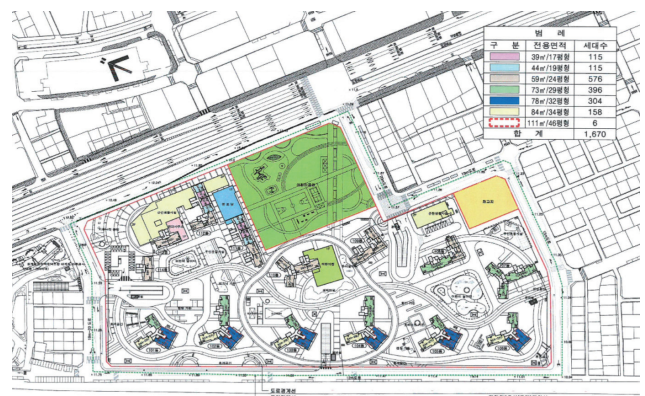


Figure 2. A block plan of Study Area

Source: <https://cleanup.seoul.go.kr/cafe/mainIdx.do?cafeUrl=yongdap>

Table 1. Development plan and floor height scenario plan

Scenario	Scenario characteristic	Building coverage and floor area ratio		Building floor height					
		Building coverage ratio	Floor area ratio	101	102	103	104	105	106
Before development	Ugliness of residential area on the lower floors	29.5%	65.6%	-	-	-	-	-	-
Development plan	Horizontal skyline plan	12%	250%	23	28	30	30	28	25
Scenario 1 (N type)	Induce changes in airflow outside apartment	12%	250%	18	28	35	30	35	18
Scenario 2 (U type)	Induce wind road formation in the center of apartment	12%	250%	30	28	20	30	28	28

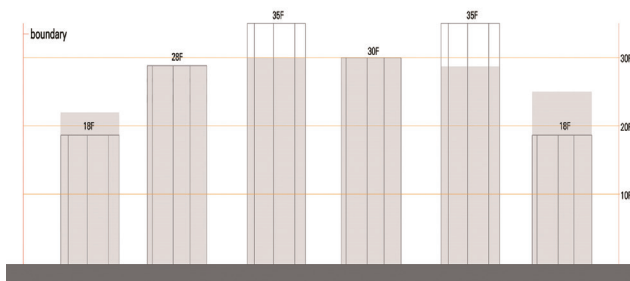


Figure 3. Scenario 1 floor height plan

Note: Gray shade area is development plan

오 1(N)은 수평적인 현재 계획안과 더불어 일반적으로 사용하고 있는 유형의 대안이다.

4) 층수 변화 시나리오 2(U형)

시나리오 2(U)는 앞서 검토한 시나리오 1(N)과 달리 중앙부를 최대한 낮추는 형태로 계획된 대안이다. 층수 변동이 어려운 102동과 104동은 층수를 유지하고 중앙에 있는 103동은 현재 개발계획(안)과 비교해 10개 층 가까이 저층으로 계획하여 새로운 바람길이 형성될 수 있도록 하였다. 103동을 제외한 동들은 28~30층으로 계획하여 전반적인 스카이라인은 현재 계획안과 유사한 수평적인 형태를 유지하게 되는 안으로 103동이 낮아지는 부분을

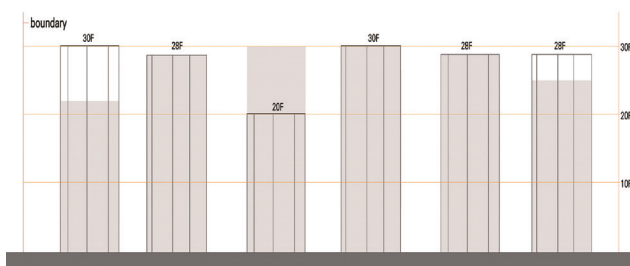


Figure 4. Scenario 2 floor height plan

Note: Gray shade area is development plan

제외하면 일반적인 공동주택에서 흔히 볼 수 있는 스카이라인을 조성하고 있다(〈Figure 4〉 참조).

3. 미세먼지 시뮬레이션

1) ENVI-met 모델

CFD 모델 중 하나인 ENVI-met은 3차원 미기상 모델링 프로그램으로 독일 Bochum University의 Michael Bruse에 의해 1998년 개발되었다(Wilson, 1988). ENVI-met에는 1차원의 토양 모델, 식생모델, 열교환 모델이 포함되어 있다. 또한 최대 250×250×30셀의 공간모델링이 가능한 격자 형태를 지원하여, 세밀한 미기후 변화를 수치상으로 분석할 수 있는 특징이 있어, 도시지역의 고층 건물에 의한 주변 지역의 미기후 변화(기류, 유체의 흐름장, 온도와 습도의 분포) 등은 모델링을 통해 계산할 수 있다(최현정, 2016). 또한, ENVI-met은 지표, 식물, 대기의 상호작용을 기본으로 하여 건축물, 대기, 지표면, 식생 요소 간 소규모의 상호작용을 분석할 수 있는 모델이다(ENVI-met, 2017). 이러한 조건들은 다양한 유형의 선택으로 격자 내부에서 자유롭게 배치될 수 있어 사용자의 설계 계획에 따라 실제 지형을 고려한 미세규모로 분석할 수 있다는 장점이 있다(최현정, 2016).

2) 입력데이터

ENVI-met 모형의 구동에서 2가지 입력자료(Configuration File, Area Input File)가 필요하다(권유진 외, 2019). Configuration File은 지역, 시간, 온·습도, 풍향, 풍속 등의 환경정보를, Area Input File에는 시뮬레이션 대상 지역의 건축물 위치와 높이, 재질, 식생의 위치와 수종, 토양 및 토지피복정보 등의 공간정보를 입력하는 파일이다(권유진 외, 2019).

ENVI-met에 입력하는 환경정보 중 기온은 연구대상지의 미기상을 확인하기 위해 스마트 서울 도시데이터 센서(이하, S-

DoT)를 활용하고 습도, 풍향, 풍속 데이터는 성동(421) AWS(자동 기상관측장비) 데이터를 사용했다. 미세먼지 및 초미세먼지 농도는 환경부 에어코리아(AirKorea)의 홍릉로(도로변대기), 성동구(도시대기) 센서 데이터를 사용한다. 2020년 1월~12월까지 미세먼지 및 초미세먼지 농도가 환경부 기준 '나쁨'으로 나타났던 날을 살펴본 결과 2월 14일, 5월 11일, 12월 11일로 도출되었다. 그중 선행연구를 바탕으로 우리나라는 사계절 중 가을~겨울 혹은 겨울~봄에 미세먼지 농도가 나빠 12월 11일로 시뮬레이션 날짜를 설정하였다. 대상지 인근의 시간별 미세먼지 농도, 초미세먼지 농도, 기온, 풍속, 풍향에 대한 데이터는 <Table 2>와 같다. 풍속과 풍향 데이터는 2020년 12월 11일 시간대별 평균 데이터를 사용하였다.

Area Input File에서는 건축물의 위치와 높이, 재질, 토양 및 토지피복정도, 미세먼지 발생원을 지정하였다. 개발 전의 건축물 위치와 높이는 국토지리정보원 국토정보플랫폼(2021)의 연속수치지형도와 서울 열린데이터 광장의 2019년 서울특별시 건축물

대상 정보(2020)를 참고하여 현황과 유사하게 묘사하였다 (<Table 3> 참조). 대상지 내·외부 토지피복은 위성지도와 환경부 세분류 토지피복지도를 바탕으로 구축하였다. 미세먼지 발생원은 선행연구를 바탕으로 왕복 6차선 이상의 도로와 지하철 노

Table 3. ENVI-met area input data

Data	Factors	Value	
Area	Simulation boundary	200m radius of site area	
	Building wall surface	Concrete	
	Land cover	Inside the site area	Granit stone Pavement (road)
			Concrete pavement Brick
		200m radius of site area	Asphalt (main street) Concrete pavement (alley) Water (stream) Pavement (subway)
	Particulate matter source	Main street subway line	

Table 2. Environmental information for each time period in the model (2020.12.11.)

Index	Particular matter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fine particular matter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Wind speed (m/s)	Wind direction (deg)	Humidity (%)
0:00	98	78	8	1.1	305	76.8
1:00	97	73	7.4	0.8	311.4	77.3
2:00	96	72	6.7	0.6	250.3	86.3
3:00	84	64	6.2	0.5	189.2	89.5
4:00	87	67	6	1	53.4	86.5
5:00	80	63	5.7	0.1	49.6	88.6
6:00	89	69	5.3	0.2	52.1	86.3
7:00	91	69	5	1.1	45.8	86.3
8:00	95	78	5	0.9	25.4	86.2
9:00	98	73	5.3	1	22.8	84.8
10:00	107	80	6.3	0.6	194.8	82
11:00	104	81	7.9	0.5	95.1	72.8
12:00	99	76	8.4	1.3	227.9	62.6
13:00	87	69	9.6	1.5	317.4	56
14:00	98	75	9.9	2.2	318	54.3
15:00	89	70	10.3	2.1	300.3	56.1
16:00	91	69	10.3	2.6	271.2	52.4
17:00	86	69	9.7	2.4	273.4	57.3
18:00	101	77	9.2	2.1	254.2	60
19:00	107	81	9	0.7	258.1	65.1
20:00	115	89	8.6	1.2	275.9	67
21:00	105	83	8.2	1.1	307.1	68.6
22:00	101	82	8.3	0.6	280.8	69.1
23:00	91	70	7.7	1.3	278.5	69.7

Source: Korea Meteorological Administration (2021a); Seoul Open Data (2021); AirKorea (2021)

선 주변으로 미세먼지가 발생하는 것으로 가정해 포인트를 지정하였다. 대상지를 S-DoT 지점별로 나눠 대상지 근처 6차선 도로에는 용답동 127(S-DoT V02Q1940491 지점) 데이터, 대상지 주변 저층 주거지 골목길 미세먼지 데이터는 용답동 125-1(S-DoT V02Q1940580 지점) 데이터를, 2호선 용답역은 지상 지하철역으로 용답동 28-7(S-DoT V02Q1940868 지점) 데이터를 활용해 지점별로 미세먼지 데이터를 구축해 입력하였다. Cell size는 5m×5m로 진행하였고, 연구대상지 주변 200m 직경으로 시물레이션하였다. 또한, 본 연구에서는 층수 변화를 집중적으로 살펴보고자 수목과 자연 요소는 고려하지 않았다.

본 연구에서는 기온은 13~15시 총 3시간을 시나리오별로 비교·분석하고, 미세먼지와 초미세먼지는 10~12시, 13~15시, 20~22시 총 9시간을 비교·분석하였다.⁴⁾ 또한, 층수 변화로 인해 시민들이 체감할 수 있는 저감 농도를 살펴보기 위해서 보행자의 평균 눈높이인 1.5m를 설정해 시물레이션 결과를 도출하였다.

3) 결과 도출 방법

도시화하면 재개발 예정 부지가 개발될 때 대상지 내부뿐만 아니라 외부도 영향을 미칠 것으로 예상된다. 이에 본 연구에서는 결과를 도출하는 방법을 크게 두 가지 유형으로 구분해 결과를 기술하였다. 첫 번째 연구자가 설정한 대상지 200m 경계가 포함된 공간의 기온, 미세먼지, 초미세먼지를 계산하기 위해 각각의 5×5m 셀의 평균값을 전체 대상지의 결괏값으로 환산하여 도출한다. 두 번째, 대상지 내부 4개 정도 임의의 포인트를 찍어 대상지 내부의 결괏값을 도출하고, 대상지 외부의 4개의 임의의 포인트를 찍어 대상지 외부의 결괏값을 도출한다.

시물레이션 후 현재 계획(안), 시나리오 1(N), 시나리오 2(U)의 건축물 배치, 면적에 따라 발생하는 결괏값의 차이가 통계적으로 유의한지 살펴보았다. ANOVA 분석은 두 개 이상 집단들의 평균을 동시에 비교하고자 할 때 사용되는 분석기법이다(정미미·엄한주, 2011). 이에 본 연구에서는 Python 프로그램을 활용해 ANOVA 분석으로 시나리오에 차이를 보이는지를 확인하였다.

III. 결과

1. 개발 전

청계천 주변에 저층주거지가 밀집되어 남측지역보다 기온이 최대 0.59℃ 낮게 분포한다. 큰 도로와 청계천변과 같이 바람이 통하는 곳은 기온이 다소 낮게 나타나지만, 저층주거지가 밀집된 곳은 바람길이 막혀 열이 정체되어 있는 경향을 보였다(Figure 5) 참조). 바람길이 통하는 곳과 저층주거지의 풍속 차이는 최대 1.15m/s의 차이가 났으며, 이는 열의 정체와 상관성이 있는 것으로 보인다.

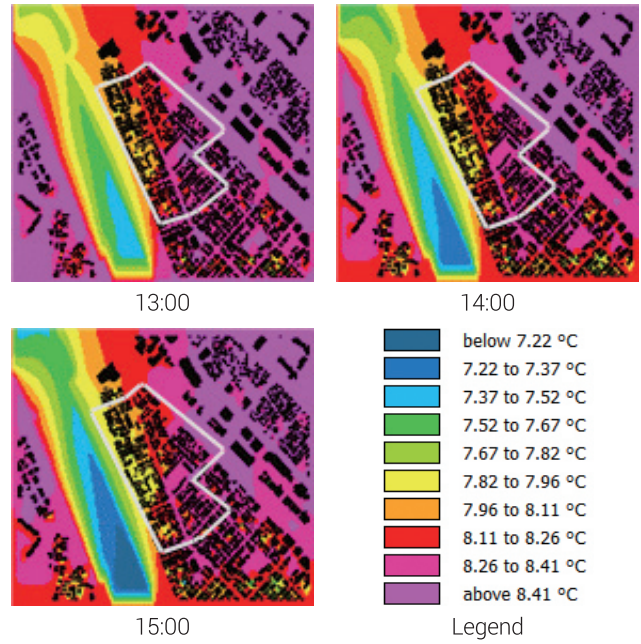


Figure 5. Before development temperature

대상지 전체 미세먼지 농도는 10~12시 평균 118.84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 13~15시는 평균 96.89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 18~22시 평균 123.20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 청계천 주변으로 시원한 바람이 불어왔지만, 도로변에 미세먼지가 집중되고 저층주거지로 바람길이 막혀 전체적으로 미세먼지 농도가 상당히 높은 것으로 보인다(Figure 6) 참조).

대상지 전체 초미세먼지 농도는 10~12시 평균 103.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 13~15시 평균 73.18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 20~22시는 평균 102.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 하루 중 최대 농도가 나타난 10시와 최소 농도가 나타난 2시를 비교했을 때 최대 52.37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 만큼 차이가 발생했다(Figure 7) 참조).

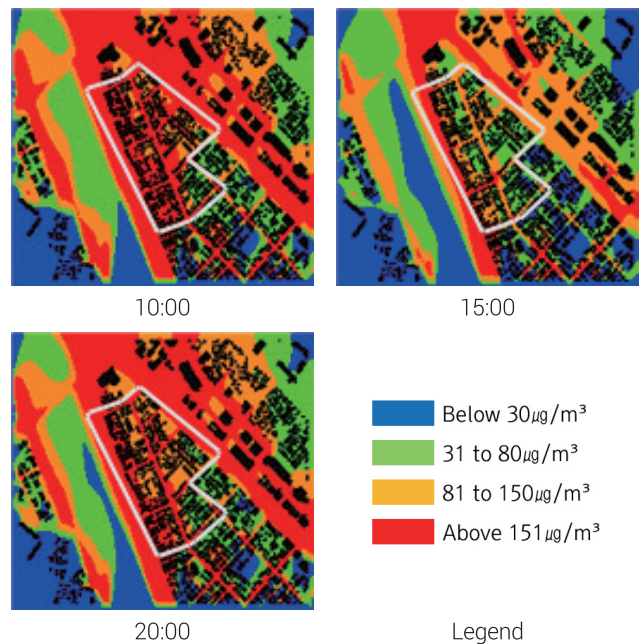


Figure 6. Before development particulate matter

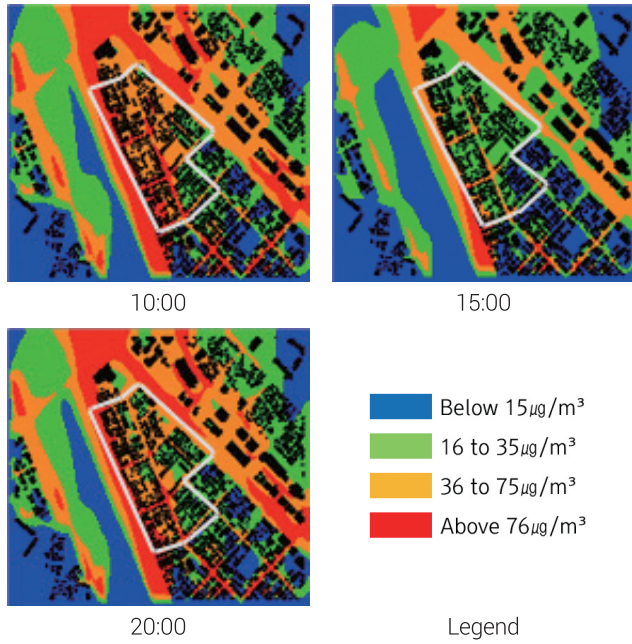


Figure 7. Before development fine particulate matter

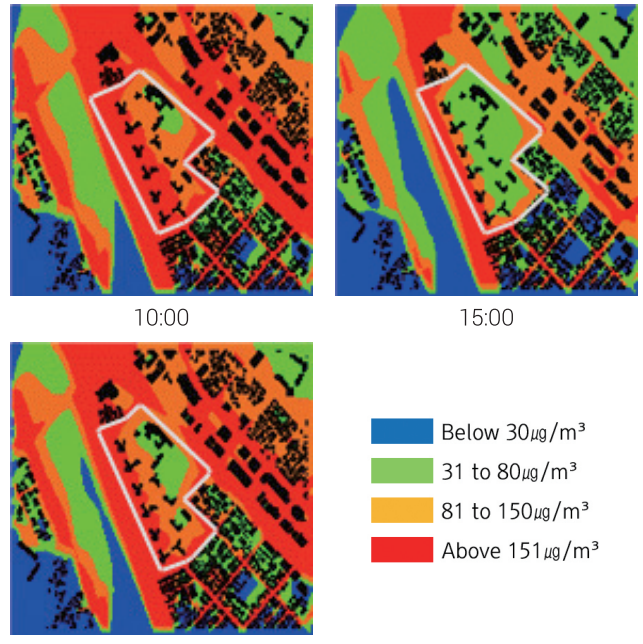


Figure 9. Development plan particulate matter

2. 현재 개발계획(안)

하루 중 기온이 가장 높은 시간대인 13~15시의 평균 기온 분포를 살펴보면, 13시는 7.66℃, 14시는 7.72℃, 15시는 7.79℃로 도출되었다. 청계천변 주변으로 차가운 공기가 분포되면서 서서히 기온이 낮아지는 경향을 살펴볼 수 있다. 기온 분포를 보면 큰 도로변 주변으로 열이 집중되는 공간이 많이 분포되고 있고, 주거지역 골목길에서도 기온이 높게 분포되고 있다(〈Figure 8〉 참조). 재개발되기 전 기온과 비교했을 때 평균 0.03℃ 차이가 나는데 이는 겨울철을 대상으로 시뮬레이션을 해 큰 차이가 나타나지 않은

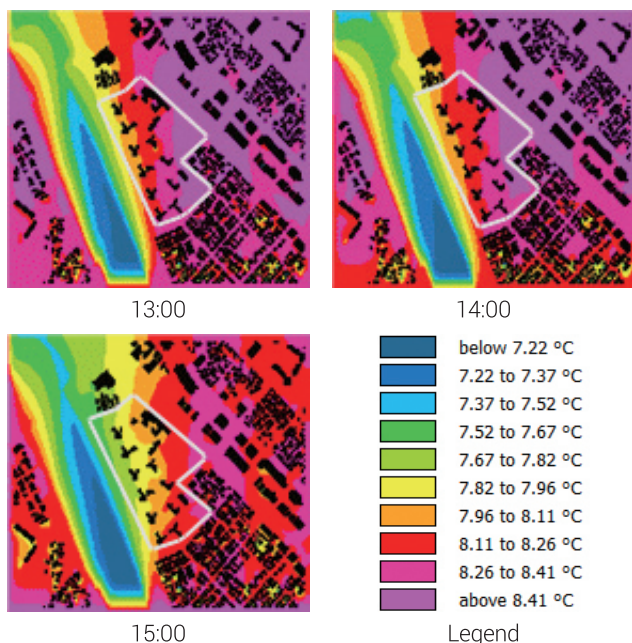


Figure 8. Development plan temperature

것으로 보인다. 풍속의 경우 대체로 개발되기 전보다는 원활한 흐름을 보인다.

교통량이 많지 않은 13~15시의 대상지 전체 미세먼지 분포를 살펴보면 재개발되기 전과 비교했을 때 대상지 내 미세먼지 양이 저감되는 경향을 살펴볼 수 있다. 대상지 내부에는 미세먼지가 ' 좋음' 수치의 분포를 보이게 되며 미세먼지 농도가 높은 10~12시, 20~22시 미세먼지 분포에서도 단지 내에는 개발 전보다는 농도가 낮아 보인다(〈Figure 9〉 참조).

대상지 전체 초미세먼지 평균 농도와 개발 전 평균 농도를 비교했을 때 10~12시 평균 12.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 13~15시 평균 18.31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 20~22시 평균 14.39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 차이가 나타났다. 도로 주변의 초미세먼지 농도가 높게 나타났지만, 저층주거지 및 재개발이 이뤄진 공간에서도 미세먼지는 ' 좋음(파랑)' 및 ' 보통(초록)'의 색을 보였다. 재개발된 후 바람이 원활하게 흐르면서 초미세먼지도 저감되는 경향을 보였다(〈Figure 10〉 참조).

3. 층수 변화 시나리오 1(ㄱ형)

풍속의 경우 연구대상지 건물의 이격거리를 법적인 규제를 따라 조성했음에도 불구하고 건물 사이사이 풍속이 정체되는 모습을 확인할 수 있다. 개발 전과 시나리오 1(ㄱ)의 풍속을 비교했을 때 각각 1.11m/s 증가하였다. 특히 개발 전과는 풍속이 7.53% 증가한 수치인데, 개발 후 청계천변에서 불어오는 바람이 원활하게 흐른다는 사실을 알 수 있다(〈Figure 11〉 참조).

대상지 전체의 미세먼지 평균 농도는 특히 10시에 105.31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 기록해 하루 중 미세먼지 농도가 가장 높았다. 개발 전과 비교했

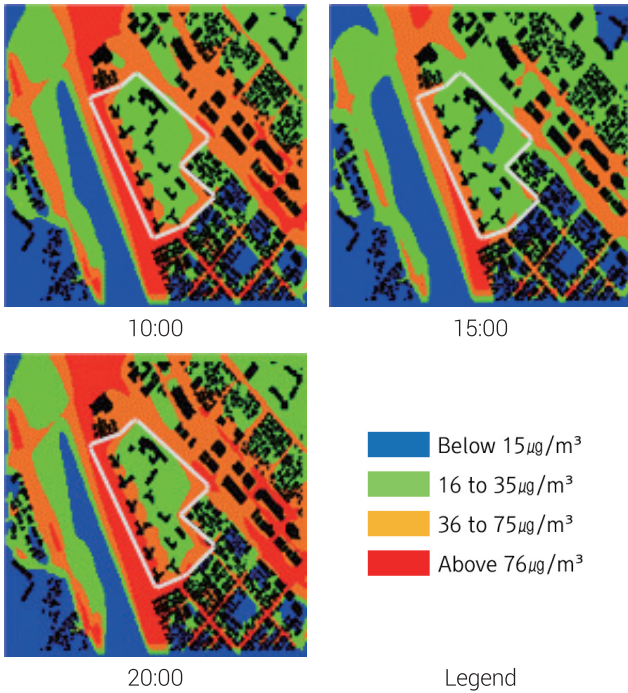


Figure 10. Development plan fine particulate matter

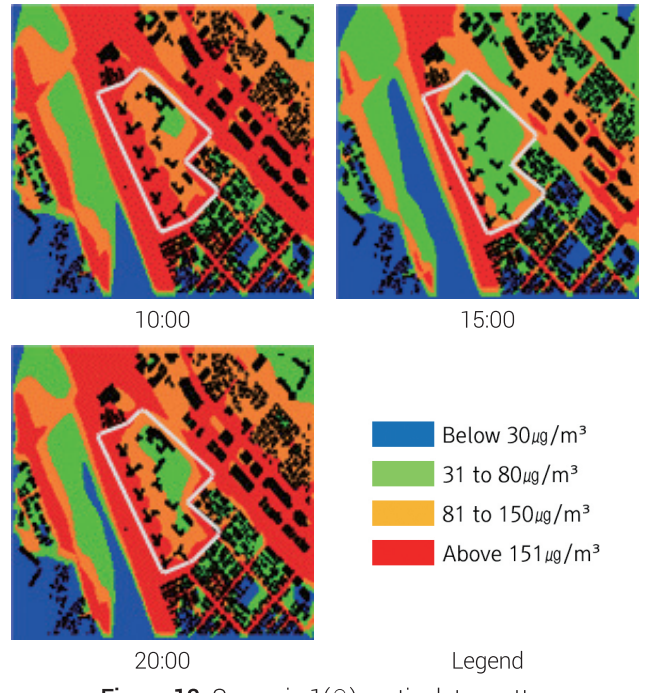


Figure 12. Scenario 1(n) particulate matter

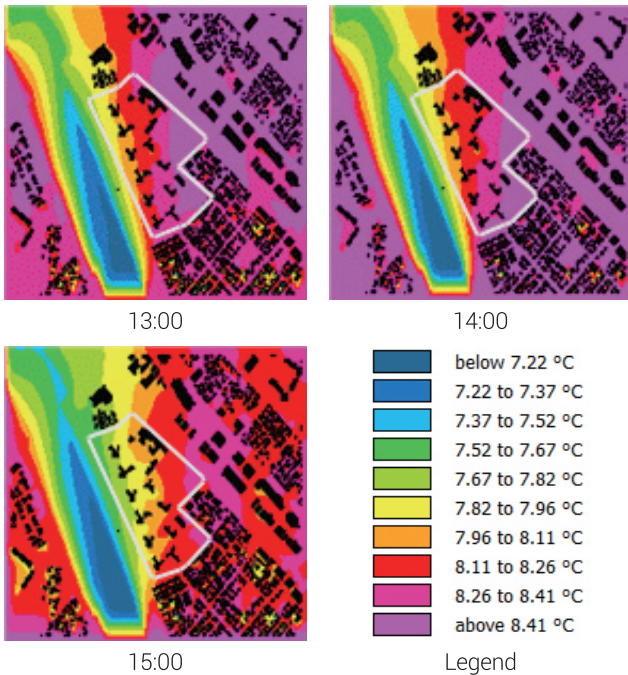


Figure 11. Scenario 1(n) Temperature

을 때 10~12시는 평균 $24.47\mu\text{g}/\text{m}^3$, 13~15시는 평균 $25.56\mu\text{g}/\text{m}^3$, 20~22시는 $31.47\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소하였다. 개발 전과 비교했을 때 미세먼지 저감이 확실히 일어난 것 같지만, 교통량이 증가하는 시기에는 '매우 나쁨(빨간색)' 수치를 기록해 이 부분도 관리가 필요한 것을 시사할 수 있다(〈Figure 12〉 참조).

개발 전과 시나리오 1(n)의 대상지 전체 초미세먼지 평균 농도 차이를 살펴보면 10~12시에는 평균 $15.69\mu\text{g}/\text{m}^3$, 13~15시에는 $16.63\mu\text{g}/\text{m}^3$, 20~22시에는 평균 $13.59\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소한 수치를 보였다. 대상지 내부에는 초미세먼지 농도가 ' 좋음(파랑)', '보통(초록)'

을 의미하는 색이 많이 보이고, 13~15시 분포를 보면 바람이 불어 대상지 내부뿐만 아니라 도로변 및 저층주거지에서도 초미세먼지가 '보통' 수치를 기록하고 있는 것을 확인할 수 있다. 교통량이 증가하는 10~12시, 20~22시에는 미세먼지 분포와 달리 도로변에서도 서서히 초미세먼지 농도가 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 도로변 전체적으로 초미세먼지 농도가 나쁜 것이 아닌 저층주거지가 밀집된 지역의 도로변 근처에서 초미세먼지가 정체되어 '매우 나쁨(빨강)'의 색을 띠고 있다(〈Figure 13〉 참조).

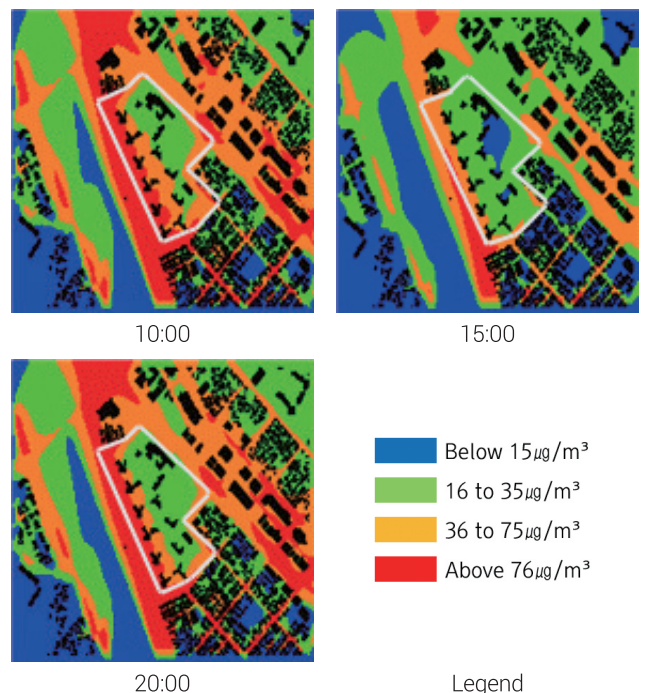


Figure 13. Scenario 1(n) fine particulate matter

4. 총수 변화 시나리오 2(U형)

개발 전과 시나리오 2의 기온 차이를 살펴보면 13시 평균 0.12℃ 14시 평균 0.08℃ 15시 평균 0.01℃ 낮아졌고, 시나리오 1과 2를 비교했을 때는 각각 평균 기온은 시나리오별로 0.03℃, 0.04℃, 0.04℃ 높았다(Figure 14) 참조). 이는 바람길이 통하는 대상지 외곽부의 층고가 시나리오 1보다는 높아져 열이 정체되는 경향을 보였다. 풍속의 경우 개발 전과 비교했을 때 거의 차이가 발생하지 않았고, 시나리오 1과 비교했을 때는 평균 0.11m/s 감소하였다.

대상지 전체 미세먼지의 평균 농도를 개발 전 평균 농도와 비교했을 때 10~12시 평균 7.93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 13~15시 26.55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 20~22시 17.68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 저감되었다. 시나리오 1(㉠)과 비교했을 때 교통량이 많은 10~12시 평균 16.54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 20~22시 13.79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 수치만큼 농도가 증가하였고, 교통량이 많이 없는 13~15시에는 0.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 만큼 증가하였다(Figure 15) 참조). 시나리오 1(㉠)보다는 외곽에 있는 동의 층수가 10~12층 증가해 바람길이 막혀 미세먼지도 정체된 모습을 보인다. 도로변까지 바람길이 미치지 못해서 도로변 주변에 있는 저층주거지에서도 미세먼지가 '매우 나쁨'을 보인다. 대상지 전체 초미세먼지 분포는 미세먼지 분포 경향과 비슷하게 나타났으며 교통량이 많은 10~12시에는 평균 15.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 20~22시는 평균 13.06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 저감되었으며, 교통량이 많지 않은 13~15시에는 평균 18.18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 농도가 저감하였다(Figure 16) 참조). 시나리오 1(㉠)과 비교했을 때는 10~12시 평균 4.26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 13~15시 1.55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 20~22시 0.53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가한 농도를 보였다.

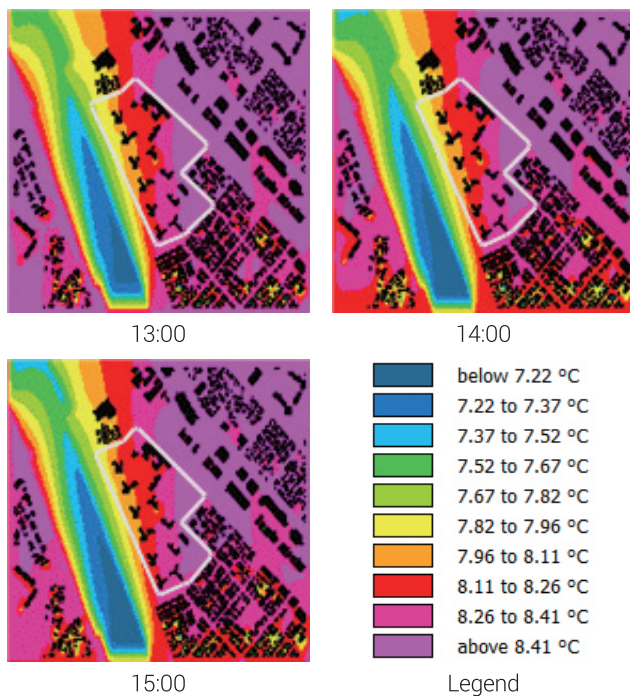


Figure 14. Scenario 2(U) temperature

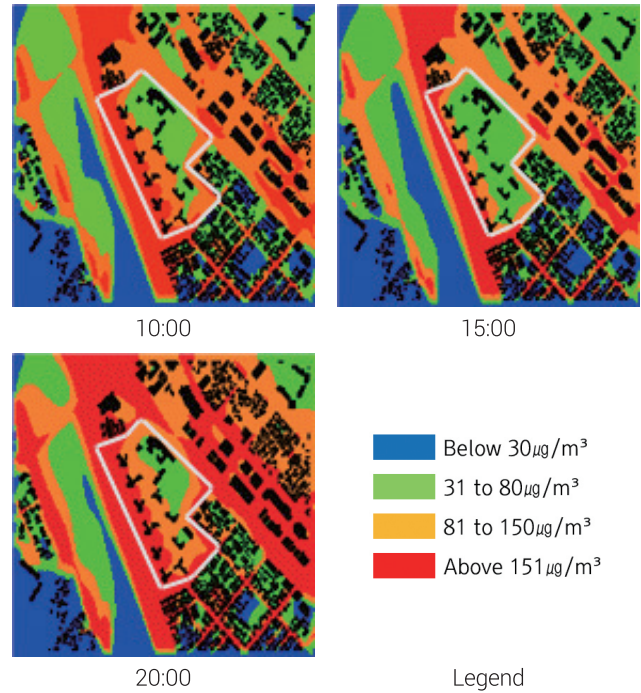


Figure 15. Scenario 2(U) particulate matter

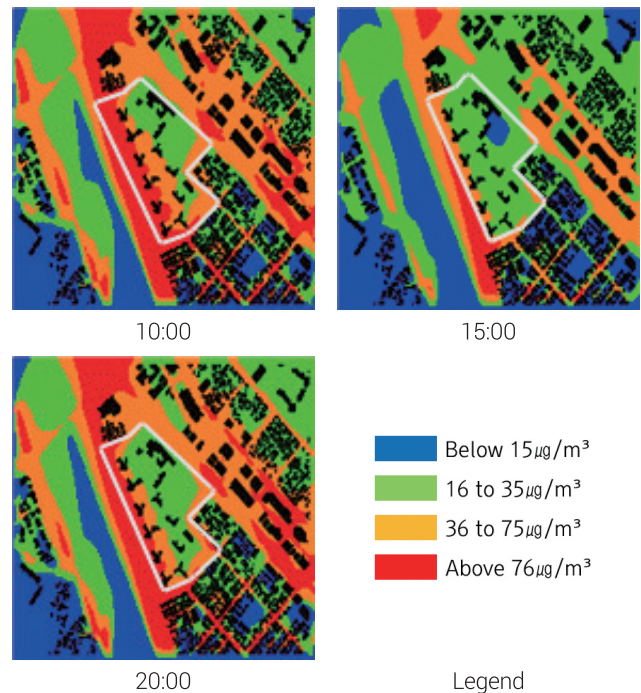


Figure 16. Scenario 2(U) fine particulate matter

5. 종합

시나리오별 기온, 미세먼지, 초미세먼지 분포는(Figure 17)과 같다. 현재 개발계획(안), 시나리오 1(㉠), 시나리오 2(U)는 비슷한 분포를 그리고 있고, 개발 전과 비교했을 때 기온, 미세먼지, 초미세먼지 분포가 크게 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 도시 내 저층주거지역이 일부 재개발되면 기후 및 대기오염 요소가 수치상으로 많이 해소됐다.

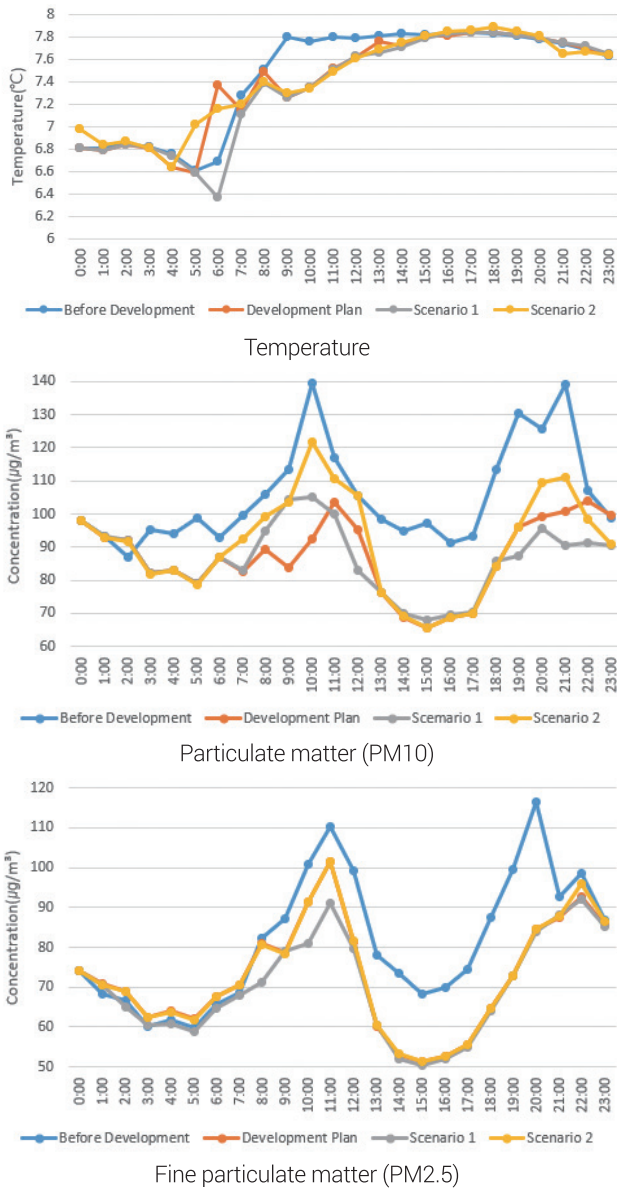


Figure 17. Scenarios simulation result

시뮬레이션을 진행한 2020년 12월 11일에는 주로 서풍이 불어와 청계천을 통해 바람길이 형성돼 미세먼지 저감에 상당한 영향을 줄 수 있을 것으로 예상했지만, 저층주거지로 둘러싸인 공간에서는 기온 및 미세먼지 저감에 크게 영향을 못 미쳤다. 재개발이 이뤄진 후 도로와 청계천변에 바람길이 형성되어 기온과 미세먼지 농도가 낮아진 결과를 도출할 수 있었다. 재개발되기 전의 풍속과 된 후의 풍속을 비교했을 때 평균 0.09m/s 증가한 결과를 도출했다. 하지만, 재개발이 이뤄지지 않은 저층주거지에서는 여전히 미세먼지가 정체되어 농도가 높고, 도로변에서도 높은 수치의 미세먼지 농도가 지속해서 나타나는 것으로 보인다. 수치상으로 봤을 때 재개발된 후 농도는 평균적으로 18.17µg/m³가 저감되었다. 저감된 양은 약 17.24% 감소한 수치를 기록하였다.

개발 전과 시나리오 1(ㄱ)을 비교했을 때 13시 기온은 0.15℃ 차이가 나고, 14시는 0.12℃, 15시는 0.11℃ 차이를 나타냈다. 13

시에 기온이 최대 2.05% 감소하였다. 이는 재개발이 되면서 저층주거지가 없어지고 대상지 외곽부에 층수가 낮은 건물이 배치되다 보니 청계천 방향에서 불어오는 시원한 바람이 대상지 내부뿐만 아니라 주변 대로까지도 퍼지는 모습을 볼 수 있다. 15시의 대상지 내부와 저층주거지가 밀집되어 있는 공간의 기온 차이는 최대 0.45℃ 차이가 발생했다. 개발 전과 시나리오 2(U)의 차이를 살펴보면 13~15시 각각 평균 0.12℃, 0.08℃, 0.01℃ 낮아졌고, 시나리오 1(ㄱ)과 2를 비교했을 때는 각각 0.03℃, 0.04℃, 0.04℃ 높았다(Figure 18) 참조. 이는 바람길이 통하는 대상지 외곽부의 층수가 시나리오 1(ㄱ)보다는 높아져 열이 정체되는 경향을 보였다. 풍속의 경우 개발 전과 비교했을 때 거의 차이가 발생하지 않았고, 시나리오 1(ㄱ)과 비교했을 때는 평균 0.11m/s 감소

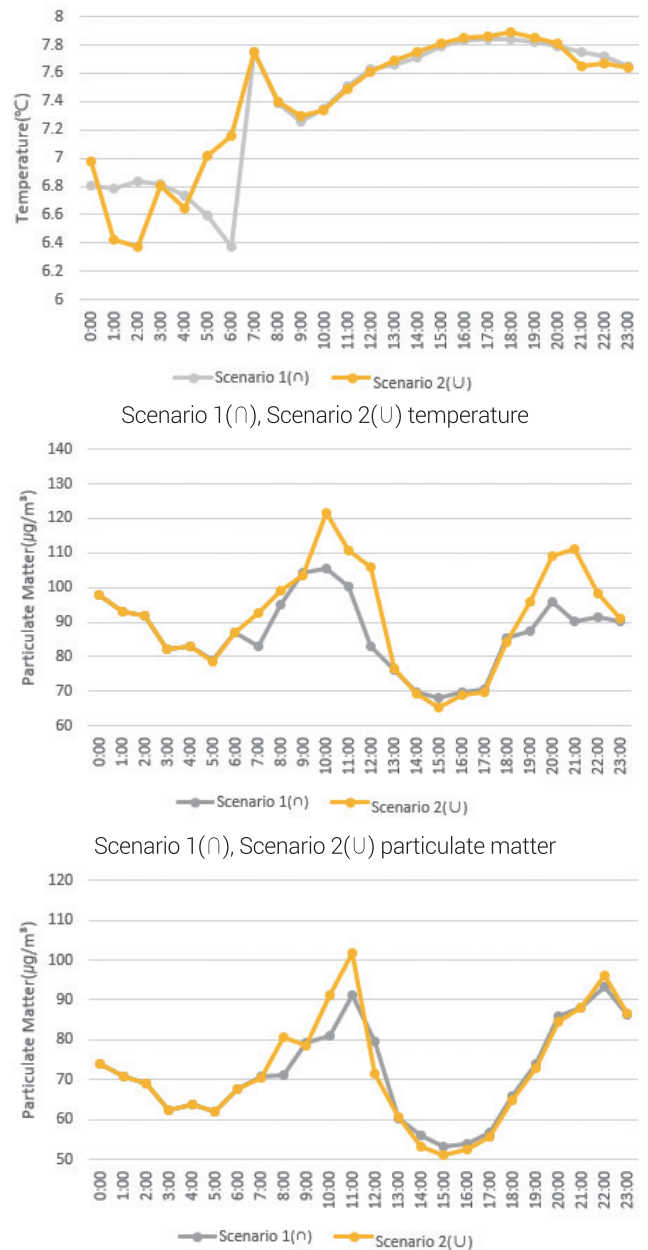


Figure 18. Scenario 1(ㄱ), Scenario 2(U) simulation result

하였다.

개발 전, 현재 개발계획(안), 층수 변화 시나리오 1(○), 시나리오 2(U) 각각 대상지 내부 평균 기온은 6.30℃, 6.20℃, 6.14℃, 6.19℃로 계산됐다. 대상지 외부의 평균기온은 개발 전 6.48℃, 현재 개발계획(안) 6.39℃, 시나리오 1(○) 6.29℃, 시나리오 2(U) 6.35℃로 나타났다. 미세먼지의 경우 대상지 내부 평균은 시나리오별로 각각 93.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 87.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 79.79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 83.62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고, 외부의 미세먼지 평균 농도는 각각 105.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 100.04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 97.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 계산됐다. 대상지 내부의 초미세먼지는 시나리오별로 74.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 67.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 62.79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 65.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 도출되었고 외부의 초미세먼지는 83.54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 78.58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 73.91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 76.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도가 계산됐다. 대상지 전체와 내·외부의 기온, 미세먼지, 초미세먼지를 ANOVA 분석을 시행한 결과 모든 시나리오에서 p-value p<0.001로 유의한 결과를 도출했다(〈Table 4〉 참조).

주택정비사업 시나리오가 대상지에 적용 후 겨울철 기온이 완화된 것으로 보였는데, 이는 건폐율은 낮을수록, 천공률이 높을수록 연면적이 감소할수록, 용적률이 낮을수록 도시 열섬효과를 완화하는 것으로 나타난 것과 유사한 맥락의 결과를 보인다(박재민 외, 2017). 하지만 개발이 이뤄진 곳과 그 주변지역에서는 열섬이 완화된 것처럼 보였지만, 6차선 이상의 도로에 차량이 집중되어 열섬이 지속되는 모습을 확인할 수 있었다. 주택정비사업 후 대상지 전체적으로 효과적인 열섬현상 완화를 위해서는 교통량 분산 및 교통 에너지 저감이 도시 내 열섬현상 완화에 필수적인 조건임을 확인할 수 있었다(조혜민 외, 2019). 미세먼지와 초미세먼지의 경우 하루 중 10~12시에 농도가 가장 높게 나타났는데, 이는 미세먼지와 초미세먼지는 직접적인 오염물질 배출뿐만 아니라 이차적으로 생성되는 물질까지 포함되는데 시간 지연이

나타나 10~12시 사이에 농도가 높게 나타난 것과 유사하게 나타났다(허창희, 2019). 미세먼지와 초미세먼지 모두 12시 이후에 농도가 감소해 그 이후에는 일정한 값을 유지했다. 열섬과 비슷하게 미세먼지와 초미세먼지 저감에도 교통량 분산이 필수적인 조건이고, 건물의 배치만으로 농도 저감은 한계가 존재하기 때문에 수목이 필수적으로 배치되어 효과적인 농도저감을 끌어낼 수 있을 것으로 예상된다.

대상지 내·외부의 기온을 살펴보면 14시의 기온이 가장 높았는데, 내부와 외부의 기온 차는 각각 0.23℃, 0.23℃, 0.15℃, 0.21℃로 나타났다(〈Figure 19〉 참조). 미세먼지는 교통량이 많은 11시에 가장 높은 농도를 보였는데 시나리오별로 외부와 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 차이를 보였다. 초미세먼지 역시 내·외부 차는 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 농도 차를 보였으며 미세먼지 및 초미세먼지는 교통량에 많은 영향을 받는 것을 〈Figure 20, 21〉을 통해서도 확인해볼 수 있다.

개발이 시작되면서 기온은 낮아지지만, 겨울철이라는 계절적 특징으로 인해 여름철과 비교해서 큰 차이를 나타내지 못한 것으로 보인다. 미세먼지와 초미세먼지는 많이 저감되었고, 수치적으로는 온종일 '나쁨'을 유지하고 있다. 대상지 내부에는 개발 후 바람길이 통해 미세먼지 및 초미세먼지 모두 저감되었고 초미세먼지에서 개발 전과 후의 차이가 큰 폭으로 나타났다. 대상지 외부에서도 내부의 바람길이 통해 저감된 것으로 보인다.

IV. 결론 및 시사점

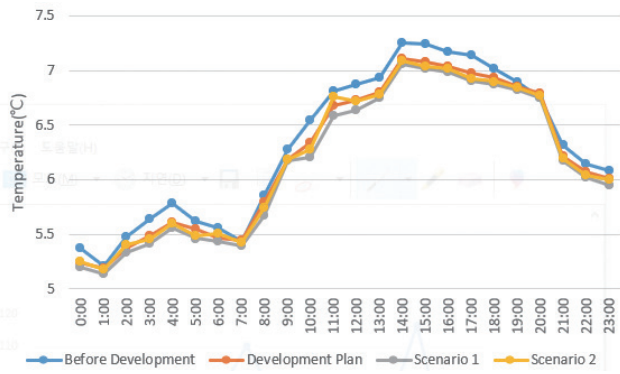
본 연구는 CFD 모델인 ENVI-met을 활용해 도시하천 주변 재개발이 계획되는 공간에서 건물의 층수가 변화할 때 열, 미세먼지, 초미세먼지가 어떻게 달라지는지 비교분석 하였다.

Table 4. Study Area ANOVA Test

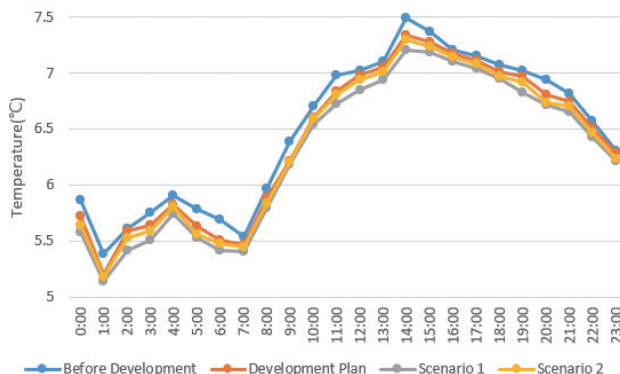
Index	Study Area						
	Mean difference	Standard error (SE)	F-value	p-value	95% confidence interval		
					Lower limit	Upper limit	
Temperature	B.D - D.P	-0.1012	0.1030	1.1692	0.017***	-0.29901	0.0965
	B.D - S1	-0.0687	0.0977	1.1465	0.032***	-0.2562	0.1187
	B.D - S2	-0.09	0.0981	1.1785	0.013***	-0.2783	0.0983
Particulate matter	B.D - D.P	18.1795	2.7699	1.1358	0.025***	12.8647	23.4944
	B.D - S1	18.7991	2.6706	1.1102	0.054**	13.6748	23.9234
	B.D - S2	14.3620	2.2673	1.1380	0.022***	10.0115	18.7125
Fine particulate matter	B.D - D.P	8.9637	2.1864	1.1344	0.041***	4.7685	13.1589
	B.D - S1	9.7391	2.1702	1.1594	0.021***	5.5750	13.9033
	B.D - S2	9.1912	2.3001	1.1181	0.062**	4.7779	13.6045

B.D: before development, D.P: development plan, S1: Scenario 1(○), S2: Scenario 2(U)

p<0.05, *p<0.01

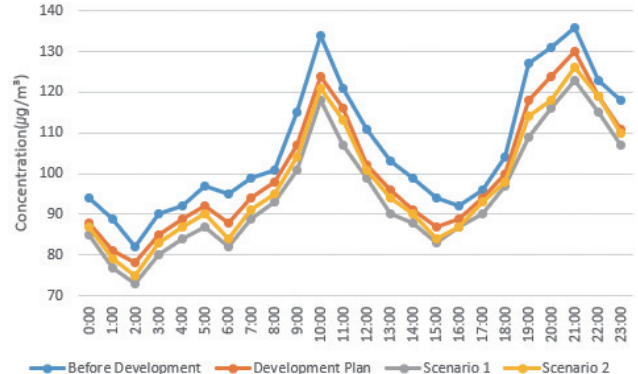


Inside Study Area temperature



Outside Study Area temperature

Figure 19. Inside and outside temperature

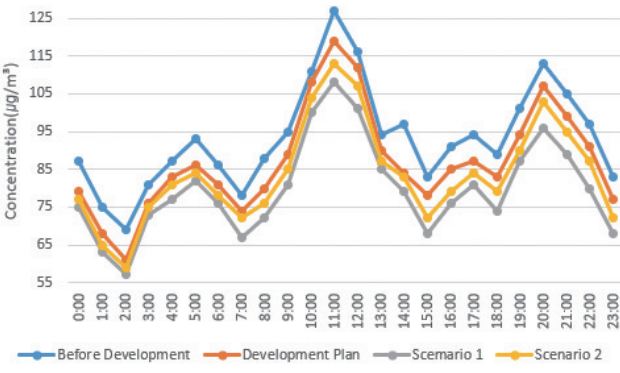


Inside Study Area fine particulate matter

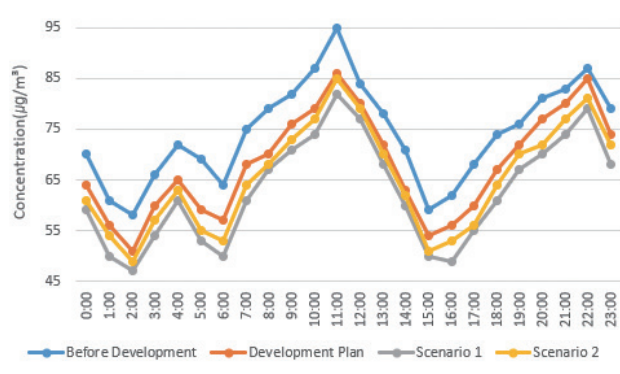


Outside Study Area fine particulate matter

Figure 21. Inside and outside fine particulate matter



Inside Study Area particulate matter



Outside Study Area particulate matter

Figure 20. Inside and outside particulate matter

S-DoT, AWS, 에어코리아 데이터를 활용해 대상 지역의 전반적

인 기후, 미세먼지 및 초미세먼지 농도를 살펴보고, S-DoT를 활용해 대상지 인근의 미기후를 본 연구 입력데이터로 활용해 미시적인 공간에서 미기후와 대기질 농도를 확인하였다. 재개발이 일어나는 공간에서 개발 전, 계획된 재개발안, 층수 변화 시나리오 1(N), 시나리오 2(U), 총 4가지 시나리오를 가정해 기온, 미세먼지, 초미세먼지를 분석했다.

개발 전 14시의 기온과 비교했을 때 현재 개발계획(안)은 1.40%, 시나리오 1(N)은 1.53%, 시나리오 2(U)는 1.02% 기온이 낮아졌다. 개발 전의 11시의 미세먼지 농도를 각각의 시나리오를 비교했을 때 현재 개발계획(안)은 11.55%, 시나리오 1(N)은 14.5%, 시나리오 2(U)는 5.49% 감소한 결과를 도출했다. 11시의 초미세먼지 역시 현재 개발계획(안)은 7.82%, 시나리오 1(N)은 17.22%, 시나리오 2(U)는 7.76% 감소하였다. 현재 개발계획(안)은 단일화된 층수를 가지고 있어 건물과 건물 사이에서 미세먼지가 정체되는 구간이 지속해서 발생하였고, 시나리오 2(U)는 전반적으로 차가운 바람이 대상지로 들어오지만, 외곽부의 높은 층수 건물로 인해서 주변 도로 및 저층주거지까지 바람길이 미치지 못한 곳이 많았다. 시나리오 1(N)에서 대상지 외곽부를 낮은 층수로 조성했을 때 바람이 단지 내부까지 유입되어 미세먼지 저감에 평균 17% 이상 효과의 차이를 보인 점을 고려할 때, 향후 하천과 인접한 지역의 주택재개발사업 추진 시 하천 주변의 건물은 저층

으로 조성하는 스카이라인 형태가 바람직할 것으로 보인다.

도시하천 인근의 재개발, 재건축, 도시개발이 이뤄질 때는 대상지 인근의 장기적인 바람의 흐름을 살펴볼 뿐만 아니라, 도시 하천에서 불어오는 시원한 바람이 대상지 내부까지 확산할 수 있는 건물 배치안을 계획 및 설계해야 할 것이다. 본 연구대상지를 대상으로 했을 때는 청계천 변에서 불어오는 시원한 바람이 외곽 지역이 낮은 층수로 조성된 시나리오 1(∩)에서 바람길이 원활하게 통하는 것을 보였으므로, 도시하천변 개발지역에서는 충분히 고려될 만한 시나리오일 것으로 보인다. 하지만, ∩형으로 건물이 조성되었을 때 경관 및 높은 층수로 조성될 수 없다는 한계로 인해서 실거주자의 수요가 떨어질 수 있다는 한계가 존재하는 것으로 보이니, 단지설계 시 충분히 고려해야 할 사항으로 생각된다. 또한, 본 연구에서는 층수의 변화로 기온, 미세먼지, 초미세먼지 변화에 관해서 연구를 진행했으나, 도시 계획적으로 공간적인 변화는 건물의 배치와 주동의 변화도 함께 고려해야 하므로 한계가 존재하였지만, 향후 연구에서 보완할 예정이다. 본 연구에서는 공동주택 설계 시 많이 고려되고 있는 -, ∩, U형의 건축물에 대한 미기후와 대기오염물질 변화에 대해서 살펴봤었는데, 다양한 스카이라인(W, M형 등)에 관한 연구도 후속 연구로 진행할 예정이다. 또한, 도시는 회색의 건물과 녹색의 수목이 결합하여 있는 공간으로 건물 층수의 변화와 녹지를 결합했을 때 기온, 미세먼지, 초미세먼지가 어떻게 변화될 수 있는지에 대한 후속 연구도 진행할 수 있을 것으로 생각한다.

주1. 미기후(Microclimate)는 접지기층과 같은 작은 공간에서 수평적 또는 수직적으로 나타나는 모든 기후를 통칭함(Geiger, 1942).
 주2. 용답동 주택재개발정비사업조합(<https://cleanup.seoul.go.kr/cafe/mainindex.do?cafeUrl=yongdap>)의 사업개요, 조감도, 배치도, 단위세대 평면도를 기준으로 현재 개발계획(안)과 시나리오를 구성하였다.
 주3. "건축법 제61조 제1호 전용주거지역과 일반주거지역 안에서 건축하는 건축물의 높이는 일조 등의 확보를 위하여 정북방향(正北方向)의 인접대지경계선으로부터 거리에 따라 대통령령으로 정하는 높이 이하로 하여야 한다."를 기준으로 동간 이격거리를 정했다.
 주4. 허창희(2019)의 선행연구 및 기상청(2021b) 자료를 이용해 도시 내 열이 집중되는 시간대와 미세먼지 농도가 집중적으로 높아지는 시점을 도출하였다.

인용문헌
References

1. 권유진·이동근·안세결, 2019. "미시적 열섬현상 저감을 위한 도시 가로수 식재 시나리오별 분석 -서울시를 대상으로", 「환경영향평가」, 28(1): 23-34.
 Kwon, Y.J., Lee, D.K., and Ahn, S.K., 2019. "Urban Street Planting Scenarios Simulation for Micro-scale Urban Heat

Island Effect Mitigation in Seoul", *Journal of Environmental Impact Assess*, 28(1): 23-34.
 2. 권혜영, 2020. 「LX가 그리는 상쾌한 바람길」, 전주: 한국국토정보공사.
 Kwon, H.Y., 2020. *LX's Refreshing Ventilation Corridor*, Jeonju: Land and Geospatial Informatix Corporation.
 3. 김동호·육인수·송두삼·김재민, 2006. "주택 단지 설계 시 바람길 예측에 관한 CFD 활용 기법 연구", 「대한건축학회 학술발표대회논문집 계획계」, 26(1): 665-668.
 Kim, D.H., Yook, I.S., Song, D.S., and Kim, J.M., 2006. "CFD based Prediction of Wind Road in Site Planning of Apartment Housing", *Journal of Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 26(1): 665-668.
 4. 김태원·강인성·최은지·정민희, 2017. "CFD 시뮬레이션을 통한 단지유형별 바람길 분석", 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집, 제주: 해비치호텔, 37(1): 585-586.
 Kim, T.W., Kang, I.S., Chio, E.J., and Chung, M.H., 2017. "Wind Path Analysis by Complex Types using the CFD Simulation", paper presented at Architectural Institute of Korea Spring Conference, Jeju: Haevichi Hotel, 37(1): 585-586.
 5. 박재빈·임하나·김수현·최창규, 2017. "다세대·다가구 우세지역과 아파트 우세지역의 건폐율과 용적률이 열섬효과에 미치는 영향분석 -서울시 AWS 지점을 중심으로-", 「국토계획」, 52(7): 159-176.
 Park, J.B., Im, H.N., Kim, S.H., and Choi, C.G., 2017. "An Effect of Building-Coverage Ratio and Floor-Area Ratio on Urban Heat Island Effect -Focused on Multi-family Housing and Apartments with Automatic Weather Station in Seoul-", *Journal of Korea Planning Association*, 52(7): 159-176.
 6. 박종순·박태선·김은란·이상은·안승만·이정찬·성선용·윤은주·남성우·주현수·김재진·이건원, 2019. 「미세먼지 저감을 위한 국토·환경계획 연계 방안 연구: 바람길 적용을 중심으로」, 국토연구원.
 Park, J.S., Park, T.S., Kim, E.R., Lee, S.E., Ahn, S.M., Lee, J.C., Sung, S.Y., Yoon, E.J., Nam, S.W., Joo, H.S., Kim, J.J., and Lee, G.W., 2019. *A Study on Integration of Spatial and Environmental Planning to Mitigate Particulate Matter: Focusing on Ventilation Corridors*, Korea Research Institute for Human Settlements.
 7. 서울특별시, 2022. 「디지털 대전환시대 미래공간전략 '2040 서울 도시기본계획」, 서울.
 Seoul Metropolitan Government, 2022. *Seoul Metropolitan Government Announces '2040 Seoul Metropolitan Basic Plan' for Future Space Strategies in the Era of Digital War*, Seoul.
 8. 손정우·전성우·최철웅, 2009. "GIS와 통계기법을 이용한 대한민국의 도시확장 패턴분석", 「한국지형공간정보학회지」, 17(4): 13-22.
 Son, J.W., Jeon, S.W., and Choi, C.U., 2009. "GIS and Statistical Techniques used in Korea Urban Expansion Trend Analysis", *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, 17(4): 13-22.
 9. 안세결·이동근·김준식·성선용, 2017. "서울시 주거지역의 건축물 면적 비율에 따른 여름철 주간 지표면온도 영향 분석", 「국토계획」, 52(2): 171-181.
 Ahn, S.K., Lee, D.K., Kim, J.S., and Sung, S.Y., 2017. "The

- Effect of Ground Coverage Ratio on Daytime Land Surface Temperature -Focusing on the Residential Area of Seoul”, *Journal of Korea Planning Association*, 52(2): 171-181.
10. 안승만·김승중·이형찬, 2016. 「도시지역 미기후 관리방향 연구」, 국토연구원.
Ahn, S.M., Kim, S.J., and Lee, H.C., 2016. *A Study on the Urban Area Microclimate Management Direction*, Korea Research Institute for Human Settlements.
 11. 이진원·정윤남·문윤덕, 2019. “도시, 건축형태 및 미기후로 인한 건축물군의 에너지 소비량의 관계”, 「예술인문사회 융합 멀티미디어 논문지」, 9(10): 923-934.
Lee, G.W., Jeong, Y.N., and Moon, Y.D., 2019. “The Relation of between the Architectural and Urban Form, Microclimate Factors and Buildings Energy Consumption”, *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, 9(10): 923-934.
 12. 이정현·남진, 2020. “서울시 저층주거지의 주택유형별 개발에 미치는 영향요인에 관한 연구”, 「국토계획」, 55(1): 35-53.
Lee, J.H. and Nam, J., 2020. “A Study on the Factors Affecting the Development of Housing Types in Low-Rise Residential Area in Seoul”, *Journal of Korea Planning Association*, 55(1): 35-53.
 13. 정미미·엄한주, 2011. “Two-way ANOVA 분석절차 및 사후검증방법의 이해”, 「한국체육측정평가학회지」, 13(2): 1-15.
Jung, M.M. and Eom, H.J., 2011. “Understanding and Interpretation of Interaction Effects in Multi-factor ANOVA Designs”, *The Korean Journal of Measurement and Evaluation in Physical Education and Sports Science*, 13(2): 1-15.
 14. 조혜민·하재현·이수기, 2019. “서울시 도시열섬현상 지역의 물리적 환경과 인구 및 사회경제적 특성 탐색”, 「지역연구」, 35(4): 61-73.
Cho, H.M., Ha, J.H., and Lee, S.G., 2019. “Exploring Physical Environments, Demographic and Socioeconomic Characteristics of Urban Heat Island Effect Area in Seoul, Korea”, *Journal of Korea Regional Science Association*, 35(4): 61-73.
 15. 차재규·최태영·강다인·정응호, 2019. “도시 바람길 활용을 위한 수원시 찬공기 유동 분석”, 「한국지리정보학회지」, 22(4): 24-38.
Cha, J.G., Choi, T.Y., Kang, D.I., and Jung, E.H., 2019. “Analysis of the Cold Air Flow in Suwon for the Application of Urban Wind Corridor”, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 22(4): 24-38.
 16. 최현정, 2016. “ENVI-met.을 이용한 도심 대기경계층 내 확산장 변화 수치 모의”, 「한국기후변화학회지」, 7(3): 357-371.
Choi, H.J., 2016. “Diffusion Simulation Using ENVI-met. in Urban Planetary Boundary Layer”, *Journal of Climate Change Research*, 7(3): 357-371.
 17. 허창희, 2019. “서울시 미세먼지 저감정책의 효과: 차량 배출량 관점”, 「기상기술정책」, 12(2): 69-80.
Huh, C.H., 2019. “Effect of Seoul’s Particular Matter Reduction Policy: Vehicle Emission Perspective”, *Meteorological Technology & Policy*, 12(2): 69-80.
 18. Geiger, R., 1942. *The Climate Near the Ground*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
 19. Wilson, J.D., 1988. “A Second Order Closure Model for Flow through Vegetation”, *Boundary Layer Meteorology*, 42: 371-392.
 20. 국토정보플랫폼, “연속수치지형도”, 2021.5.10. 읽음. <http://map.ngii.go.kr/ms/map/NlipMap.do>
National Geographic Information Platform, “Digital Topographic Map”, Accessed May 10, 2021. <http://map.ngii.go.kr/ms/map/NlipMap.do>
 21. 기상청, “방재기상관측(AWS)-자료”, 2021a.4.2. 읽음. <https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAwsRltmList.do>
Korea Meteorological Administration, “Automatic Weather System Data”, Accessed April 2, 2021a. <https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAwsRltmList.do>
 22. 기상청, “하루 중 기온은 언제 가장 낮고 높을까?”, 2021b.9.15. 읽음. 대한민국 기상청 대표 블로그: 생기발랄, https://m.blog.naver.com/PostView.naver?isHttpsRedirect=true&blogId=kma_131&logNo=220935778688
Korea Meteorological Administration, “When Will the Temperature Be the Lowest and Highest during the Day?”, Accessed 2021b, September 15. Korea Meteorological Administration Blog: Saenggiballal, https://m.blog.naver.com/PostView.naver?isHttpsRedirect=true&blogId=kma_131&logNo=220935778688
 23. 서울 열린데이터 광장, 2020.07.22. “서울특별시 건축물대장 정보”. <https://data.seoul.go.kr/dataList/OA-15387/S/1/datasetView.do>
Seoul Open Data, July 22, 2020. “Seoul Building Information”. <https://data.seoul.go.kr/dataList/OA-15387/S/1/datasetView.do>
 24. 서울 열린데이터 광장, “스마트서울 도시데이터 센서(S-DoT) 환경정보”, 2021.4.2. 읽음. <https://data.seoul.go.kr/dataList/OA-15969/S/1/datasetView.do>
Seoul Open Data, “Smart Seoul Data of Things (S-DoT) Environmental Information”, Accessed April 2, 2021. <https://data.seoul.go.kr/dataList/OA-15969/S/1/datasetView.do>
 25. 에어코리아, “최종확정 측정자료 조회”, 2021.4.2. 읽음. https://www.airkorea.or.kr/web/pastSearch?pMENU_NO=123
AirKorea, “Inquiry of Final and Conclusive Measurement Data”, Accessed April 2, 2021. https://www.airkorea.or.kr/web/pastSearch?pMENU_NO=123

Date Received	2022-04-07
Reviewed(1 st)	2022-05-23
Date Revised	2022-07-25
Reviewed(2 nd)	2022-10-01
Date Accepted	2022-10-01
Final Received	2022-10-20