

CFD 시뮬레이션을 통한 저층주거지 도시재생뉴딜사업 마중물사업의 시행에 따른 온도 및 미세먼지(PM2.5) 감소효과 분석 연구

배웅규^{1*}, 박진철²

¹중앙대학교 사회기반시스템공학부 도시시스템공학, ²중앙대학교 일반대학원 도시공학과

A Study on the Effect of Temperature and Fine Dust (PM2.5) on the Implementation of the Urban Regeneration New Deal Project in Low-rise Residential Areas through CFD Simulation

Woong-Kyoo Bae^{1*}, Jin-Cheol Park²

¹Dept, of Urban and Studies, Chung-Ang University, ²Dept, of Urban Engineering, Chung-Ang University

요약 오늘날 심화되는 폭염과 미세먼지로 시민들의 건강이 위협받고 있으며, 상대적으로 열악한 주거환경인 노후 저층 주거지는 취약성이 더 높다. 노후 저층주거지는 상대적으로 고령화가 심하고, 밀집한 노후주택과 좁은 골목길 등 부족한 기반시설로 도시재생사업의 대상이 되고 있다. 이 연구는 도시재생뉴딜사업의 마중물사업 시행 전·후에 따른 마중물 사업의 인접 및 근접 골목길 내 온도·미세먼지의 변화를 CFD 시뮬레이션을 통해 밝히고자 한다. 첫째, 도시재생뉴딜사업의 마중물 시행에 따라 대상지 전역의 평균 온도와 미세먼지는 감소된 것으로 분석되었다. 둘째, 마중물사업이 분포된 인접 골목은 온도·미세먼지 감소효과가 집중적으로 나타났고, 분포되지 않은 근접 골목은 감소효과가 미미하게 나타났다. 셋째, 마중물사업 인접 골목길 중 물리적 환경변화가 이루어지지 않은 부분에서 온도 감소는 나타났지만 미세먼지 변화는 없었다. 넷째, 녹지생성은 온도와 미세먼지 감소가 동시에 나타났고, 도로폭원 및 건물신축은 미세먼지 감소에만 영향을 미쳤다. 다섯째, 마중물사업 근접 골목의 부분 중 녹지생성위치와 가까운 곳만 보행자높이에서 온도감소가 나타났고, 미세먼지 감소현상은 높이 10m이상에서 관찰되었다.

Abstract The health of citizens is threatened by increasing heat waves and fine dust, and old low-rise residential areas that have relatively poor living conditions are more vulnerable. Old low-rise residential areas are aging and subject to urban regeneration projects due to insufficient infrastructure, including dense old houses and narrow alleys. The goal of this study is to reveal changes in temperature and fine dust in adjacent and neighboring alleys under the priming water project through CFD simulations before and after the implementation of the project for urban regeneration under the New Deal project. First, we analyzed the average temperature and fine dust throughout the target area, which decreased due to the implementation of the Urban Regeneration New Deal project. Second, adjacent alleys where the priming water business was distributed were a focus of temperature and fine-dust-reduction effects, while those where it was not distributed showed minimal reduction effects. Third, there was a decrease in temperature where no physical environmental changes were made among the alleys adjacent to the priming water project, but there was no change in fine dust. Fourth, green generation has reduced both temperatures and fine dust, but road width and building construction only affected fine dust reduction. Fifth, temperature reduction was observed at pedestrian height in only the neighboring alley of the priming water project near the green space, and fine dust reduction was observed at a height of more than 10 meters.

Keywords : Urban Regeneration New Deal Project, Alley, Temperature, PM2.5, CFD (Computational Fluid Dynamics)

이 논문은 2020년도 중앙대학교 연구장학기금 지원에 의한 것이며, 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2019R1A2C1011102).

*Corresponding Author : Woong-Kyoo Bae(Chung-Ang Univ.)

email: baegogh@cau.ac.kr

Received August 24, 2021

Accepted January 7, 2022

Revised October 8, 2021

Published January 31, 2022

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

여름철의 폭염과 계절에 상관없이 나타나는 미세먼지는 최근 서울의 주요 현안이 되고 있다. 서울연구원에서 조사한 결과에 따르면, 최근 10년의 평균 여름 기온은 100년 전의 기온에 비해 1.8℃가 증가했으며, 2018년 39.6℃에 가장 높은 수치를 도달하며 111년 동안 보유했던 종전 기록을 깼다[1]. 이러한 추세가 지속될 경우 서울시민의 건강에 심각한 영향을 미칠 것으로 예측할 수 있다.

폭염 등 열환경 문제와 대기 풍속의 악화가 상호작용하면서 미세먼지 등 대기오염 문제도 더욱 심각해지고 있다. 국내 미세먼지(Particulate Matter, PM10·PM2.5) 농도는 2001년 이후 전반적으로 감소하고 있으나 고농도 미세먼지 발생빈도는 점차 증가하고 있다. 서울시 미세먼지 농도(PM2.5)는 2015년 연평균 $23\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 2019년 $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났으며, 같은 기간 주요국 도시(LA, 도쿄, 파리, 런던)의 미세먼지 농도는 11~14.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 범위이며[2], 초미세먼지 주의보 및 경보 발령횟수와 일수도 2015년 6회, 8일에서 2019년 17회, 29일로 확연히 악화되고 있는 것으로 보아[3], 서울시의 미세먼지는 심각한 수준이다.

특히나 건강보험심사평가원의 2011~2020까지 조사한 자료에 의하면 폭염일수가 가장 많았던 2018년도에 온열질환자수가 31,251명으로 가장 많은 것으로 나타났다[4]. 2013년 세계보건기구(World Health Organization, WHO) 유럽지구 보고서에 따르면 장기간 PM2.5에 노출시, PM2.5 농도가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때마다 심장질환 및 폐질환으로 인한 사망률이 6~13% 증가한다고 보고하였다[5]. 이렇게 폭염과 미세먼지는 직·간접적으로 시민들의 건강에 영향을 미치고 있어 이에 대한 대응이 필요하다.

현재 서울시 전체면적(605km²) 중 224km²가 주거지이며 그 중 약 55% (122km²)가 저층주거지로 세대수 기준으로 약 41%를 차지하고 있다. 이 중 20년 이상의 노후주택으로는 72%를 차지하고 있어 저층주거지는 상대적으로 더 취약한 환경이다. 저층주거지는 바람길 확보가 어려워 신선한 공기의 유입이 제한적이고, 대류가 원활하지 않을 수 있어 대기오염물질 재순환과 더위와 추위 등 미기후 환경에 적응력이 낮다[6].

이를 해결할 수 있는 방안으로 과거 철거형 정비사업에 이어 최근에는 도시재생사업을 추진하고 있다. 재개발·재건축사업으로 물리적 측면에서 주거환경의 개선이 이루어졌으나, 당해 지역의 이상기후 대응 및 쾌적하고

건강한 주거지 조성 등 개선효과에 대해서는 주요한 관심이 아니었다. 따라서 본 연구에서는 당해 지역주민의 거주환경측면에서 폭염, 미세먼지 등 이상기후 대응효과 확인을 위한 기초 연구로서, 정량적으로 연구할 필요가 있다. 이에 따라 본 연구는 도시재생뉴딜사업지역을 대상으로 사업간 연계를 유도하고 민간의 투자를 유치하기 위하여 전략적으로 추진하는 사업인 마중물사업의 시행 전·후의 온도 및 미세먼지 변화를 CFD시뮬레이션을 통해 구체적으로 분석하여 향후 바람직한 재생사업 추진을 위한 시사점을 제공하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

이 연구는 도시재생사업의 마중물사업의 시행에 따른 온도 및 미세먼지의 감소효과를 시뮬레이션 하는 것으로서 “본동 도시재생뉴딜사업지역”(서울시 동작구 본동 10-32번지 일대)을 대상으로 한다. 이 연구의 마중물사업은 2020~22년 계획되어 있는 점을 감안하여 본 연구에서는 완료시점을 가정하여 CFD 시뮬레이션 분석을 진행하고자 한다. 시뮬레이션 기상경계조건은 2020년 기온이 가장 높게 기록된 6월22일의 오후2시 온도와 그 날의 평균 미세먼지(PM2.5) 농도를 사용한다. 내용적으로는 CFD 시뮬레이션을 수행하여 도시재생뉴딜사업(안)에 제시된 마중물사업 시행 전·후의 기온 및 미세먼지를 높이별로 분석하여 향후 바람직한 도시재생사업 방향을 제시하는 것이다.

이를 위해 효과적으로 연구를 추진할 수 있도록 도시환경적 측면에서 온도 및 미세먼지의 시뮬레이션이 가능한 CFD(Computational Fluid Dynamics) 시뮬레이션 프로그램(ANSYS Fluent 17.0)을 적용하도록 하고, 기상 경계조건 설정을 위해서는 공개된 최신 여름철 데이터인 지역별상세관측자료(온도) 및 한국환경공단(미세먼지) 포털을 활용하여 진행한다. 시뮬레이션 결과에 대한 분석은 마중물사업 시행 전·후 및 인접(마중물사업 부지 도로에 직접 면하는)·근접(마중물사업 부지와 이격하여 다른 골목길에 접하는) 골목길 부분의 4가지 데이터에 대한 비교분석을 기초로 진행하고자 한다.



Fig. 1. Spatial range

2. 도시재생뉴딜사업과 CFD 및 선행연구 검토

2.1 저층주거지와 도시재생뉴딜사업

저층주거지는 단독·다세대·다가구주택 등이 4층 이하로 집중된 주거지역을 뜻하며 자연발생적으로 경사지에 입지하거나 도로망은 비격자형이며, 주택밀집이 특징이다[7]. 저층주거지 필지의 27%는 4m미만의 도로에 접해 있어 기반시설의 확충 및 정비가 동반되지 못하여 주택의 신축, 개량이 어려워 부정적인 문제가 발생하고 있다[7]. 대표적으로 오픈스페이스, 조경·경관 부족 등의 문제가 나타나며, 과도한 주택밀집현상으로 인한 주차공간, 보행환경, 소음 등의 주거환경 측면의 문제가 발생하고 있다[8]. 이러한 저층주거지는 상대적으로 고령화심화, 재해·재난 취약, 노후주택들의 밀집과 좁은 골목길로 기반시설이 부족하고, 쇠퇴하고 있어 주거환경개선이 시급하다. 또한 고령화된 주민의 안전을 위하여 미세먼지, 폭염 등 이상기후에 대응할 수 있도록 주거환경을 개선해야 한다.

도시재생뉴딜사업이란 도심의 노후 저층주거지·산업단지, 지방중소도시 등 총 500곳의 생활환경을 개선하는 사업을 뜻하며[9], 인구감소, 주거환경의 노후화 등으로 쇠퇴하는 도시를 경제적·사회적·물리적·환경적으로 활성

화 시키는 목적이 있다. 도시재생뉴딜사업의 유형별 선정현황은 Table 1과 같다. 유형은 전체 8개가 있으며 2021년 8월 기준 전국 446개, 서울 28개 사업이 진행되고 있다.

2.2 CFD(전산유체역학) 시뮬레이션 특징 및 활용

CFD(Computational Fluid Dynamic)는 유체의 흐름에 관한 지배방정식인 나비에-스토크스 방정식(Navier-Stokes Equations)을 유한차분법(FDM), 유한요소법(FEM), 유한체적법(FVM) 등의 방법들을 사용하여 이산화하여 변환된 대수 방정식으로 이를 수치 기법(numerical methods)의 알고리즘을 사용하여 유체 유동 문제를 해석하는 것을 의미한다[10]. 도시 및 건축 분야에서는 실내 환경의 열환경해석, 환기평가, 건축물 및 구조물의 설계 및 평가 등 활용되고 있다. 이는 곧 설계 단계, 시공단계, 사용 후 검증으로 활용됨과 동시에 유체역학 요소의 설계에 따른 다양한 도시 환경의 시뮬레이션 수행이 가능하다는 장점이 있어 도시설계 및 계획분야에서도 대기환경문제와 외부공간의 열 환경문제에 대응하기 위해 사용 범위가 확대되고 있다. 도시환경 분야의 대표적 CFD프로그램은 ENVI-MET(<https://www.envi-met.com/>)과 ANSYS Fluent(<https://www.ansys.com/>)가 있다. ENVI-MET은 열

Table 1. Selection status by type of urban regeneration new deal project

project type		Business scale	Business status											
			Nationwide						Seoul					
			14	17	18	19	20	Total	14	17	18	19	20	Total
Residential regeneration type	Saving our neighborhood	small scale low-rise residential areas (approximately 50,000㎡)	-	17	17	18	10	62	-	-	2	3	1	6
	Residential support type	Low-rise residential area (approximately 50,000~100,000㎡)	-	17	28	18	4	67	-	-	3	1	1	5
General neighborhood type		Quasi-residential, alley business district (approximately 100,000~150,000㎡)	24	15	34	40	33	146	2	-	2	2	1	7
city center type		commercial, regional business district (approximately 200,000㎡)	15	18	17	20	1	71	1	-	-	1	-	2
Economic-based type		Industrial, regional economy (approximately 200,000~500,000㎡)	7	1	3	2	1	14	1	-	-	1	-	2
Innovation district		Industrial, commercial, residential, etc. a consolidated area(Public-led)	-	-	-	4	2	6	-	-	-	1	-	1
General project manager		Areas linked to the hub project (Implementation of public enterprises)	-	-	-	2	22	24	-	-	-	-	1	1
Recognition project		Small-scale business (Urban Regeneration Strategy Plan)	-	-	-	12	44	56	-	-	-	1	3	4
Total			446						28					

Sources : Urban Regeneration Information System(<https://www.city.go.kr/portal/business/newDeal/statusInfo/link.do>) (accessed Aug. 20, 2021)

섬현상, 대기오염물질 확산, 공기의 흐름과 난기류 등을 시뮬레이션 가능하지만 격자모양의 모델로 구성이 되고, 본 연구대상지의 면적을 다 수용할 수 없는 반면 ANSYS Fluent 프로그램은 유한요소법(FEM)을 기준으로 계산알고리즘을 수행하고, 공간 및 적용범위가 방대하고, 분석의 정밀도가 높다. 저층주거지 같이 단순화 되지 않은 복잡한 모델의 경우 실제와 거의 유사한 모델링이 가능하고, 분석의 정밀도가 높은 ANSYS Fluent 프로그램을 사용하여 신뢰도 높은 분석이 가능할 것으로 판단되어 이를 적용하고자 한다.

2.3 선행연구 검토 및 차별성

도시재생뉴딜사업과 관련 연구는 사례지역의 전개과정, 사업추진 현황, 현 시점에서의 성과와 개선과제에 대한 연구가 주를 이룬다. 이정은(2020)은 도시재생 연구의 동향을 연구의 사례지역에 집중하여 분석하고 도시재생 뉴딜사업 현황과의 비교를 통해 향후 도시재생 연구가 나아가야 할 방향에 대해 시사점을 제시하였다[11]. 변혜선(2021)은 도시재생뉴딜사업을 진행함에 따라 긍정적인 영향과 진행중 어려운 사항, 도시재생뉴딜의 과제에 대하여 기술하였고[12], 이상준(2021)은 도시재생 뉴딜사업 정책의 전개과정, 사업추진 현황, 현 시점에서의 성과와 개선과제에 대해 기술하였다[9].

도시정비사업의 전·후를 도시환경적 측면으로 비교한 연구를 살펴보면 조명희(2009)는 대규모의 도시복원사업을 마친 청계천 복원지역을 대상으로 하여 복원 전후의 지표 열 분포도를 작성하고 열 환경 변화를 분석하였다. 청계천 복원에 따른 주위환경의 지표온도가 복원 전에 비하여 상대적으로 낮아짐을 확인하였다[13]. 김근희(2014)는 대규모 재개발 지역인 서울 은평구 뉴타운 개발 지역에 관측망을 구축하고 2007년 3월부터 2010년 2월까지 9개 지점에서 기온 및 상대습도를 관측하여, 기온과 습도는 토지이용도에 가장 큰 영향을 받은 것으로 확인하였다[14]. 백상훈(2011)은 대구시의 동성로를 대상으로 공공디자인 개선사업에 따른 여름철 가로공간의 쾌적성에 영향을 미치는 열환경 개선효과에 대하여 계획적 요소별로 비교 평가하였다[15].

도시·건축 분야에 CFD를 활용한 연구를 살펴보면 대부분의 연구들은 건물배치형태, 식생, 알베도 등의 요인을 주요 변수로 사용하여 온도 및 미세먼지의 감소효과에 치중되고 있다. Edward Ng(2012)는 교목, 관목, 녹지점유비율, 건물 높이 등에 따른 온도 변화를 분석하였다. 결과적으로 녹지점유비율이 높고, 교목 식재일수록

온도감소 효과가 컸으며, 건물 높이가 낮으면 보행자에 영향을 미치는 옥상녹화의 온도감소 효과가 큰 것으로 밝혔다[16]. 최현정(2016)은 도심 내의 연직확산속도, 난류량, 기온, 습도, 열적 쾌적도의 도시 내 열환경에 대한 안전도 평가를 하였으며, 건물 분배효과, 건물 최고층 높이효과, 식생효과 파악하였다[17]. 권유진(2019)는 도시 가로수 식재의 7가지 유형별 온도감소 효과 분석하였으며, 가로수 식재 시나리오를 식재의 간격, 열 수, 종류 등을 기준으로 배치하여 온도감소 차이를 분석하였다[18]. 오금동(2020)은 지표면에 집중형, 분산형 및 혼합형 지면녹화를 적용하여 보행자 높이에 최저온도 및 최고온도 시간에 대해 아파트단지 열환경을 평가했다[19].

선행연구 분석결과는 Table 2와 같다. 도시재생뉴딜사업 관련 선행연구 분석결과, 대부분의 연구들이 주제나 방법에 집중하여 사례지역의 전개과정, 사업추진 현황, 현 시점에서의 성과와 개선과제에 대해 기술한 연구가 집중되고 있어, 도시재생뉴딜사업의 종합적인 목표중 하나인 환경적 측면과 연계 진행한 연구는 전무한 상황이다. 또한, 도시 환경적 측면으로 도시정비사업의 전·후를 비교한 연구는 사업이 시행 전인 대상지와 장기적기간이 지나 시행된 후의 데이터를 가지고 열환경과 대기오염의 변화를 분석한 연구가 이루어지고 있다. 즉, 사업이 완료되기 전의 결과에 대한 예측 및 사후평가에 대한 연구가 부족하다. 도시·건축 분야에 CFD를 활용한 연구를 살펴보면 건물배치형태, 식생, 알베도 등의 요인으로 인한 온도, 미세먼지 감소효과에 관한 연구로 치중되어 있으며, 실제 시행되는 사업의 전·후를 비교하는 것에 대해서 다른 연구는 부족하다. 또한 기존 선행연구는 온도, 미세먼지 등 하나의 변화에만 초점을 맞추어 분석한 반면 본 연구는 두 가지를 동시에 비교한다는 점에 의의가 있다. 이에 본 연구는 사업추진과정에서 제시된 사업계획(안)을 바탕으로 경계조건을 설정하여 마중물사업 부지를 전제로 전체 대상지를 시뮬레이션하였다는 점에서 차별점이다. 이에 따라 본 연구는 저층주거지의 특성을 고려하여, 도시재생사업을 환경적 측면으로 시뮬레이션함으로써, 이를 토대로 도시재생사업의 효과에 대한 시사점을 제시하고자 한다.

3. 분석의 틀 및 시뮬레이션 조건 설정

3.1 대상지 선정 및 분석의 틀

본 연구는 도시재생뉴딜사업지인 저층주거지 내에 재

Table 2. Previous studies and implications.

The title of the thesis	Author	Major analysis	Implications
A Study on the Urban Regeneration New Deal Project	Lee jung eun (2020)	The trend of urban regeneration research was analyzed focusing on the case area of the study and compared with the current status of the urban regeneration new deal project to suggest implications for the future direction of urban regeneration research.	The urban regeneration new deal project focuses mainly on the development process of the case area, the current status of the project, and the performance and improvement tasks at this point, and no research has been conducted in connection with the environmental aspect, one of the comprehensive goals of the urban regeneration new deal project.
	Byun hye sun (2021)	As the urban regeneration new deal project was carried out, positive effects, difficulties in progress, and tasks of the urban regeneration new deal were described.	
	Lee sang jun (2021)	The development process of the urban regeneration new deal project policy, the current status of project implementation, performance, and improvement tasks were described.	
A study comparing the before and after urban maintenance projects	Cho myung hyee (2009)	The surface heat distribution map before and after restoration was prepared for the Cheonggyecheon restoration area, which completed a large-scale urban restoration project, and the changes in the thermal environment were analyzed.	Research is being conducted to analyze changes in thermal environment and air pollution with data from the target site before the project is implemented and after a long period of time, so studies on prediction and post-evaluation of the results before the project is completed are insufficient.
	Kim gun hyee (2014)	An observation network was established in the New Town Development Area in Eunpyeong-gu, Seoul, and temperature and relative humidity were observed at nine points from March 2007 to February 2010, confirming that temperature and humidity were most affected by land use.	
	Baek sang hun (2011)	For Dongseong-ro, Daegu, the effect of improving the thermal environment that affects the comfort of the street in summer according to the public design improvement project was compared and evaluated by planning factor.	
A study using CFD in urban and architectural fields	Edward Ng (2012)	Temperature changes according to trees, shrubs, green spot oil ratio, and building height were analyzed. As a result, the green spot oil ratio was higher, and the higher the tree planting, the greater the temperature reduction effect.	It is focused on research on the effect of reducing temperature and fine dust due to factors such as building arrangement type, vegetation, and albedo, and studies dealing with comparing the before and after actual projects are insufficient.
	Choi hyun jeong (2016)	The safety of the urban thermal environment of turbulence, temperature, humidity, and thermal comfort in the city was evaluated.	
	Kwon yu jin (2019)	The temperature reduction effect of seven types of urban street tree planting was analyzed, and the difference in temperature reduction was analyzed by arranging the street tree planting scenario based on the spacing, number of columns, and type of planting.	
	Oh keum dong (2020)	The thermal environment of the apartment complex was evaluated for the minimum temperature and maximum temperature time at the pedestrian height by applying concentrated, distributed, and mixed ground recording to the surface.	

생사업 시행의 도시환경측면 효과를 분석하기 위해 Fig. 2와 같은 조건으로 대상지를 선정한다. 서울시 도시재생 뉴딜사업지 중 저층주거 밀집지역이 대상인 우리동네살리기형과 주거지원형으로 선정된 11개를 우선 선발한다. 노후도와 경사도에 따라 2차 선별하였으며, 3차 선별 기준은 공기흐름이 빨라 시뮬레이션 효과를 극대화시킬 수 있는 한강주변으로 선별한다. 그 결과 본 연구에서는 1·2종 일반주거지역이 밀집하고, 경사지로서 수변(한강변)과 인접하고, 도시재생뉴딜사업을 진행하고 있는 서울시 동작구 본동의 저층주거지를 대상으로 선정하였다.

본 연구는 도시재생사업 시행의 도시환경측면 효과를 비교분석 시뮬레이션하는 것이다. 이를 위해 Fig. 3의 순서로 구분하여 연구를 진행한다. ‘대상지 기초현황분석 - 시뮬레이션조건 정립 - 현황 시뮬레이션 - 도시재생뉴딜사업(안) 시뮬레이션 - 연구종합 및 시사점’ 단계를 통해 분석한다.

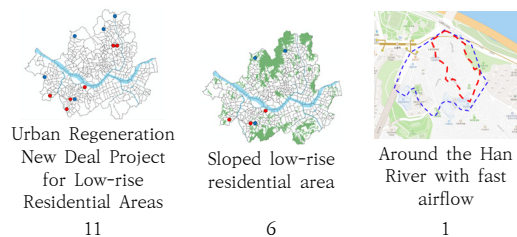


Fig. 2. Process for Target site selection

대상지 기초현황(입지, 표고, 경사도, 노후도, 주택현황 등)을 분석하고, 골목길 현황은 도로폭원, 결절점, 주변 건물높이, 주변 토지이용으로 특성을 구분하여 정리한다. 경사도는 이금삼·조화룡(2000)의 연구에 따라 분류하였으며, 본 연구에서는 골목길 현황을 고려하여, 평탄지(0-5°), 경사지(5-15°), 급경사지(15-20°이상)로 정

리한다. 골목길폭원은 실측값을 기준으로(5m이상, 3-5m, 3m미만)구분한다. 대상지 내 골목의 현장조사와 함께 주변 건축물의 층수도 조사한다. 기상경제조건은 지역별 상세 관측 자료를 활용한다. 추출지점은 도시재생뉴딜사업의 영향을 파악하기 위해 표고, 절절점, 경사도, 골목길 폭원, 건물층수에 따라 2개의 골목길로, 20m 간격으로 12개 지점에 대한 6개 추출 높이를 설정한다. 녹지의 미세먼지 흡착률은 Bo Hong(2017)의 연구를 착안하여 사용한다[20]. CFD 시뮬레이션 분석을 위한 모델링은 현황을 실제와 같이 모사한 현황모델과 실제 도시재생사업 설계요소를 반영한 적용모델을 생성하여 분석하고자 한다. 온도·미세먼지의 감소정도를 계산하기 위해 Eulerian-Eulerian방법을 사용한다[6]. 기초현황 시뮬레이션을 통해 도시재생 뉴딜사업 대상지에서의 온도 및 미세먼지를 추출하고, 도시재생뉴딜사업의 설계요소가 반영된 모델을 시뮬레이션을 통해 온도 및 미세먼지를 추출하여 도시재생 뉴딜사업의 도시 환경적 측면에서 비교 분석한다. 비교분석지점은 앞서 설정한 추출지점에서 도출한 데이터를 비교분석함으로써 결과를 도출한다.

3.2 본동 도시재생뉴딜사업 및 대상지 기초현황

도시재생뉴딜사업은 지역쇠퇴가 심화되고 있는 지역의 정주여건을 개선 및 활성화하는 목적이 있으며 본 연구의 대상지인 본동은 대표적 구릉지로서 다양한 기법을 적용하여 파급효과가 기대된다. 본동 도시재생뉴딜사업을 살펴보면 크게 3가지의 목표로 구분할 수 있으며, 역사문화 콘텐츠 활성화·지역안전 예방, 거주환경 및 생활SOC개선, 지역경제·공동체 활성화와 같다. 3가지 목표에

따라 지역밀착형 사업 9개가 선정되었으며, 역사문화 콘텐츠 활성화·지역안전 예방으로는 기반시설정비 및 범죄예방 본동 안전골목 조성사업, 어린이집 담장 수리 및 활용을 통한 골목놀이터 조성사업, 용양봉저정 일대 역사문화 공간 조성사업이 있다. 거주환경 및 생활SOC개선으로는 청년, 신혼부부 임대주택 공급 자율주택정비사업 유도, 위험시설물 보강 및 재래식 화장실 등 집수리, 리모델링 지원, 국유지 및 사유지 활용 본동 공영주차장 건립사업이 있다. 지역경제·공동체 활성화는 어르신 콘텐츠 스토리텔링 활용 마을기업(CRC) 육성, 공공시설 리모델링을 통한 커뮤니티시설 조성사업, 노후된 빈집을 활용한 앵커시설 조성사업이 있다.

도시재생뉴딜사업의 대상지인 본동은 Fig. 4와 같이 경사지형 노후 저층주거지로 가로·세로 약 300미터가량이며, 면적은 약 8ha이다. 주거용도 건축물의 경우 1:2 중 전용주거지역이 혼재되어 있고 전체 약 346호가 위치하고 있다. 노후건축물 비율(20년 이상)이 전체 주택 수의 82.3%를 차지하고 있어(285호, 이 중 30년 이상 건축물은 103호) 주거환경 개선이 시급하다. 대부분의 건축물이 2~3층으로 구성되어있으며, 지형은 초입(노들역 인근)에서 상부까지 경사지형으로 이루어져 있다.

본 연구에서 분석하는 대상지는 Fig. 4와 같이 2020년 도시재생 뉴딜사업지로 선정된 서울시 동작구 본동 10-32번지 일대로 총 면적 약 3.7ha, 68개동 155세대를 대상으로 분석하고자 한다. 대상지의 65세 고령인구 비율은 서울시 평균(13.9%) 대비 높은 고령인구 비율

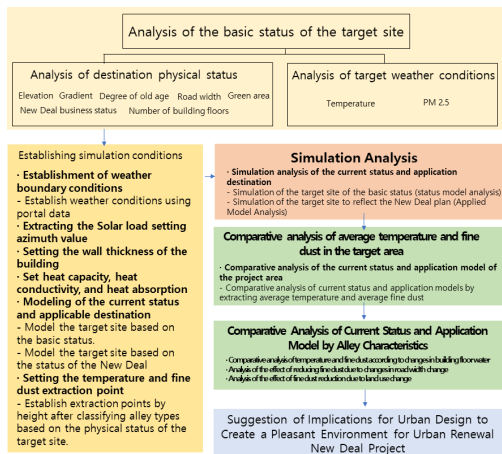


Fig. 3. Research Framework

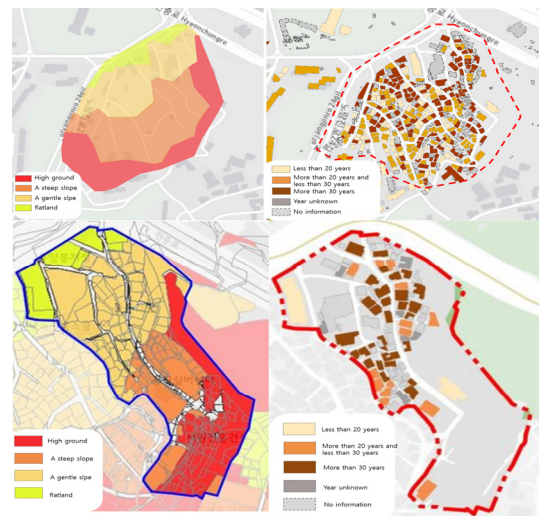


Fig. 4. Status of Slopes and Building Deterioration in Bond-dong and Target Areas

Table 3. Comprehensive analysis of basic status

Division		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Adjacent alley	Elevation	18.7	22.5	24.3	25.8	28.1	32.2	34.6	38.4	39.8	41.7	44.2	47.9
	Nodular point										○		○
	slope(°)	3.4	4.0	11.3	13.5	9.7	9.0	14.0	9.8	13.9	6.9	8.2	14.1
	Width of road	9	6	6	7	4	4	4	4	4	5	5	8
	Number of building floors												
	north	-	3	3	1	2	1	2	2	2	3	2	2
	south	6	6	6	2	2	2	3	2	2	1	2	2

Division		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Near alley	Elevation	18.7	22.5	24.3	25.8	28.1	32.2	34.6	38.4	39.8	41.7	44.2	47.9
	Nodular point										○		○
	slope(°)	3.4	4.0	11.3	13.5	9.7	9.0	14.0	9.8	13.9	6.9	8.2	14.1
	Width of road	9	6	6	7	4	4	4	4	4	5	5	8
	Number of building floors												
	north	-	3	3	1	2	1	2	2	2	3	2	2
	south	6	6	6	2	2	2	3	2	2	1	2	2

(15.7%)로 65세 이상 고령인구 비율이 상대적으로 높게 형성된 지역이다. 대상지 내 주택 노후도는 20년 이상 건축물 82.1%, 30년 이상 건축물 57.1%로 대다수 건물이 노후화된 지역이다. 또한 벽돌구조(51.8%), 목구조(19.6%) 등 71.4%의 건축물이 화재 및 지진 등 안전에 취약하고, 좁은 골목길과 낮은 주택 접도율로 화재 시 소방차 진입에 어려움이 발생하고 노후시설물(주택, 담장, 지붕, 축대, 옹벽 등)로 인한 산재, 붕괴가 우려 되는 지역이다.

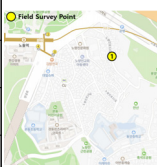
또한 본 연구에서 활용하는 골목길 현황은 다음 Table 3와 같다. 폭원은 3m미만, 3-5m, 5m이상으로 분류하였고, 연장길이는 250m이다. 대상지 남측으로 구릉지가 형성되어 북저남고 지형을 형성하고 있으며, 최대경사도 44.0° 급경사 지역은 47% 분포로 주거 동선은 열악한 수준이다. 추출지점은 대상지의 골목길 특성(표고, 절절점, 경사도, 도로폭원, 건물층수, 골목길 주변건물용도)을 고려하여 대략 20m 간격으로 12개 지점씩 2개의 골목길로 총 24개 지점을 선정하였다. 1-12spot 골목길은 마중물사업부지에 인접하고, A-L spot 골목길은 마중물사업부지와 이격되어 있다. 추출지점(spot)은 골목길 양끝(X-Y-Z좌표지정)의 선으로 지정하여, 이 선의 평균값을 추출하여 사용하였고, 동일한 위치상에서 진행하였다.

3.3 시뮬레이션 경계조건 설정 및 모델링

본 연구의 시뮬레이션 기상경계조건은 대상지 중심과의 거리가 1.5km(동측) 정도 떨어져 있는 지역별상세관측자료 (<https://www.weather.go.kr/weather/observation/>

[aws_table_popup.jsp](#))과 한국환경공단 (<http://www.airkorea.or.kr/web>)에서 수집한 기상 데이터를 기준으로 설정하여 실행하였다. 또한 대상지 내 실측데이터(20.8.19)는 비교차원에서 활용하며 Table 4과 같다. 온도 및 미세먼지 감소효과를 극대화시키기 위해 연중 기온이 가장 높았던 2020년 6월 22일의 최고기온인 35.4℃, 상대습도는 그 날의 평균 습도인 53.1%, 그 날의 평균 초미세먼지 농도인 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 기준으로 설정하였다. solar load 설정 방위는 Latitude 37.511, Longitude 126.956이고, 하루 중 가장 더운 현지시간 14시를 기준으로 설정하였다. 단일 평균 풍속은 기온이 가장 높았던 2020년 6월 22일을 기준으로 2.3m/s로 설정하였다. 시

Table 4. Comparison table of measured and weather data

Division	Field survey (2020.8.19)	Base value*		Actual measurement point plot
	1 (Average value)	The actual day of measurement	The highest day** (2020.6.22)	
Temperature (°C)	28	32.5	35.4	
Humidity (%)	63	83	53	
Wind speed (m/s)	0.2	5.2	2.3	
PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	30	35	24	

*Temperature, humidity, and wind speed reference values utilize AWS data

**Days with highest temperature

*Using Air Korea's data for the standard value of fine dust.

Table 5. Simulation Modeling of priming water projects for the Urban Regeneration New Deal Project Bond-dong

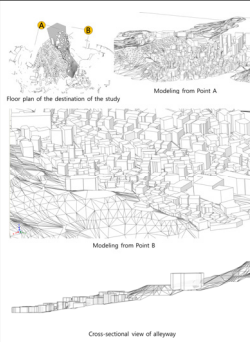
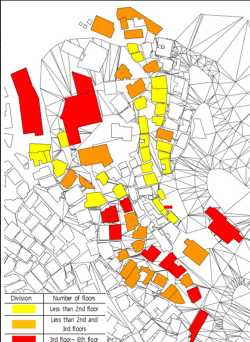
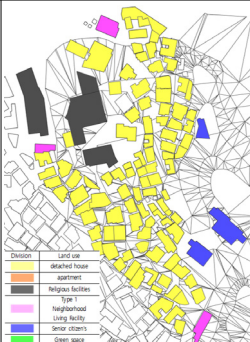
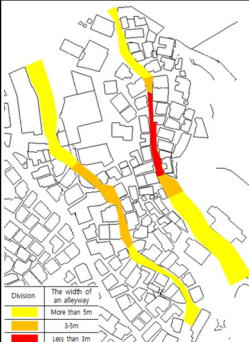
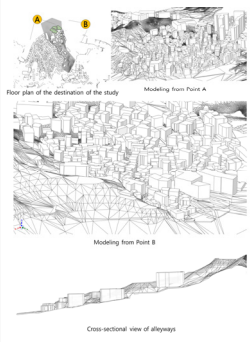
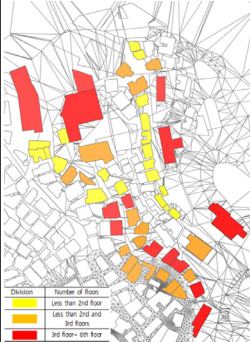
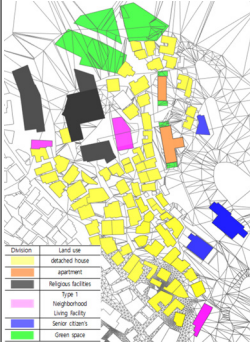
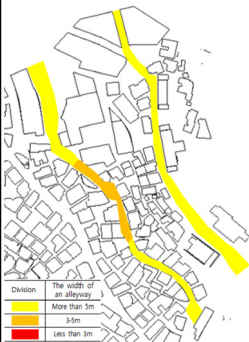
Division	Historic and cultural space creation project	Autonomous housing maintenance project	Alley playground construction project	Anchor facility construction project	Safety alley construction project
Current situation					
Priming water projects plan					
Simulation Modeling					

물레이션 기상경계조건에서 풍향과 풍속은 모든 높이에서 동일하게 적용하였고, 유체벽면점착조건에 의해 작동한다. 직달태양복사(direct solar radiation)와 산달(diffuse solar radiation)은 각각 서울의 위치와 시물레이션 시간 면에서 $869.6W \cdot m^2$ 와 $113.6W \cdot m^2$ 로 나타났다. 빌딩의 음영효과는 고려했지만, 녹지의 음영효과는 고려하지 않았다. 건물의 외벽 두께는 건물의 높이에 따라 달라질 수 있으나 본 연구에서 건물의 외벽두께는 창문이 있는 외벽 두께의 범위 $0.2m \sim 0.3m$, 창문이 없는 외벽 두께는 $0.3m \sim 0.4m$ 의 중간값인 $0.3m$ 로 단순화했다. 이를 통해 열용량(Heat Capacity)은 $970 J \cdot kg^{-1} K^{-1}$, 열전도도(thermal conductivity)는 $1.7 W \cdot m^{-1} K^{-1}$, 밀도(density)는 $2500 kg \cdot m^3$ 로 설정하였다. 지면의 경우 열용량(Heat capacity)은 $300 J \cdot kg^{-1} K^{-1}$, 열전도도(thermal conductivity)는 $1.1 W \cdot m^{-1} K^{-1}$, 밀도(density)는 $2100 kg \cdot m^3$, 열흡수량(Heat Flux)값은 $400w/m^2$ 로 지정하였다. 대류 열 전달(Convective heat transfer)은 건물 외부 벽과 지표면에서 발생함을 기초로 시물레이션 조건을 설정하였다. 본 연구의 모델링 전체 크기는 AIJ guideline(2008)의 연구를 바탕으로 기초현황과 도시재생뉴딜사업(안) 모두 동일하게 설정하였다

[21]. 기초현황의 모델링은 주변지형 및 건물의 영향을 고려하기 위해 본동 전체의 현장조사 및 국토정보플랫폼의 수치지형도에 근거하여 지형·지물 등을 모델링 하였다. 본동 도시재생뉴딜사업의 모델링은 기초현황에서 동작구 본동 뉴딜사업(안)을 반영하여 모델링 하였다.

본 연구에서 활용하는 뉴딜사업(안)의 모델링은 Table 6와 같다. 먼저 역사문화공간조성 사업지인 동작구 본동 10-7외 9필지를 대상으로 약 $2,700m^2$ 의 소규모 공원을 모델링하였다. 녹지의 높이는 관목의 평균 높이인 $1m$ 로 모델링하였다. 둘째, 노후건축물이 집적된 연구대상지역 내 주거환경과 기반시설 개선을 목적으로 한 자율주택 정비 사업지인 A블록(본동 10-19외 5필지)과 B블록(본동9-48외 7필지)을 대상으로 건폐율 37%, 용적율 150%인 제 1종 일반주거지역의 기준에 따라 모델링 하였다. 또한, 서울시 건축조례 제24조 대지안의조경을 기초로 연면적 $1000m^2$ 미만으로 건축된 건축물은 대지면적의 5% 이상의 녹지 배치를 해야 한다. 이에 따라 녹지의 크기는 A블록 B블록 동일한 녹지 크기인 $64m^2$ 를 배치하였다. 세 번째, 담장과 식생으로 고립된 선재구립 어린이집 주민센터 및 어린이 놀목놀이터 조성을 위한 녹지배치를 진행하였다. 선재구립어린이집을 중심으로

Table 6. Modeling Comparison of Basic Status and Simulation

Division	Modeling	Number of building floors	Land use	The width of an alleyway
Basic Status Modeling		 Division: Number of floors - Less than 2nd floor - Less than 2nd and 3rd floor 3rd floor - 6th floor	 Division: Land use - detached house - apartment - religious facilities - Type 1 - neighborhood living facility - senior citizens - green space	 Division: The width of an alleyway - More than 5m 3-5m - Less than 3m
Simulation Modeling		 Division: Number of floors - Less than 2nd floor - Less than 2nd and 3rd floor 3rd floor - 6th floor	 Division: Land use - detached house - apartment - religious facilities - Type 1 - neighborhood living facility - senior citizens - green space	 Division: The width of an alleyway - More than 5m 3-5m - Less than 3m

담장의 실제 높이인 2m를 기준으로 식재를 배치하였다. 넷째, 앵커시설조성사업의 대상지인 본동 11-29 외 5필지를 대상으로 수십년간 방치된 빈집에 앵커시설을 모델링하였다. 건폐율 30%, 용적율 90%로 계획(안)의 기준에 따라 모델링하였다. 다섯째, 연구대상지 내 좁은 골목길의 기반시설과 생활도로확장을 목적으로 한 본동 안전골목 조성사업지인 골목길의 도로폭원을 증가시켜 모델링하였다. 기초현황모델링과 도시재생뉴딜사업(안)모델링을 비교하면 녹지생성, 생활도로 확장, 건축면적증가 등 물리적환경이 변화였다.

4. 사업시행 전·후 시뮬레이션 비교분석

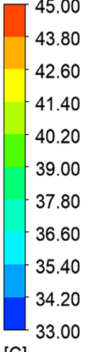
4.1 사업시행 전·후 평균 온도 및 미세먼지 분석

본 연구는 본동 도시재생뉴딜사업의 시행 전·후 온도와 미세먼지를 비교하고자 한다. 이에 따라 도시재생뉴딜사업지의 평균온도와 평균미세먼지를 비교하고 앞서 언급한 골목길 추출지점에 따라 20m간격으로 12개 지점씩 2개의 골목길로 총 24개 지점을 선정하고, 동일한

위치상에서 진행하였다. 분석 높이는 어린이의 평균키 높이인 1m, 성인의 평균 키 높이인 1.5m와 2m, 건물의 1층 높이인 5m, 대상지 평균 건물 높이인 10m, 그 상부인 20m로 설정하였다.

연구대상지 전역에 대한 높이에 따른 평균 온도 및 미세먼지 분석 결과, 각 높이별 변화폭이 다르게 나타났지만, 1m에서 20m 높이까지 평균온도와 미세먼지는 시행 전에 비해 시행 후가 전체적으로 감소한 것으로 나타났다. 이는 대다수의 선행연구와 비슷한 맥락으로 대상지 내 소규모공원조성, 골목놀이터조성 등 녹지에 의한 온도와 미세먼지의 감소효과가 나타난 것으로 판단된다. 어린이 평균키인 1m에서 사업대상지의 평균온도는 39.7℃에서 38.9℃로 0.8℃ 감소하였고 미세먼지는 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소하였다. 성인의 평균 키 높이인 1.5m와 2m에서 사업대상지의 평균온도는 각각 38.4℃에서 37.7℃로 0.7℃ 감소하였고 37.7℃에서 37.1℃로 0.6℃ 감소하였다. 미세먼지는 각각 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소하였고 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소하였다. 또한 높이 5m에서 사업대상지의 평균온도는 36.6℃에서 36.2℃로 0.4℃ 감소하였

Table 7. Comparison of average temperature and PM2.5 before and after implementation of the project

Division		1m	1.5m	2m	5m	10m	20m	Legend
Temperature Simulation Results	Before (A)							Temperature heat  [C]
	℃	39.7	38.4	37.7	36.6	36	35.8	
	After (B)							
	℃	38.9	37.7	37.1	36.2	35.9	35.7	
	A-B	0.8	0.7	0.6	0.4	0.1	0.1	
PM2.5 Simulation Results	Before (A)							PM 2.5  [μg/m³]
	μg/m³	24	24	24	24	24	24	
	After (B)							
	μg/m³	21	21	23	23	23	22	
	A-B	3	3	1	1	1	2	

고 10m, 20m에서는 각각 36℃에서 35.9℃로, 35.8℃에서 35.7℃로 0.1℃씩 감소하였다. 미세먼지는 높이 5m, 10m에서, 1μg/m³씩 20m에서 2μg/m³ 감소하였다. 사업대상지 평균온도·미세먼지 분석에서 대상지 평균온도가 가장 큰 폭으로 감소한 구간은 1m, 1.5m, 2m순으로 보행자 높이에서 대상지의 온도감소 효과가 가장 높게 나타났다. 또한 평균 미세먼지수치가 가장 큰 폭으로 감소한 구간은 1m, 1.5m, 20m 순으로 보행자 높이와 건물 높이의 상부인 지점에서 대상지의 미세먼지감소 효과가 가장 높게 나타났다.

4.2 사업시행에 따른 지점별 온도 및 미세먼지 비교 분석

4.2.1 건물신축에 따른 온도·미세먼지 분석

본 연구의 골목길 지점 중에서 건물 층수가 도시재생 뉴딜사업 시행 후 증가하는 지점은 3-7spot (3-5spot : 2F→5F, 6-7spot : 1F→5F)이다. 각 지점마다 높이별 온도·미세먼지감소는 상이하게 나타났으며 표6과 같다. 높이 20m에는 건물신축으로 인한 생긴 바람 흐름변화로 마중물사업부지와 이격된 근접 골목까지 영향을 끼치며, A spot - 2μg/m³, B spot- 3μg/m³, C spot - 4μg/m³, D spot - 3μg/m³, E spot - 2μg/m³, F spot - 5μg/m³, G spot - 6μg/m³, H spot - 1μg/m³ 감소하였다.

4.2.2 골목길폭원변화에 따른 온도·미세먼지 분석

본 연구의 골목길 지점 중에서 도시재생뉴딜사업 시행 후 폭원변화가 생긴 지점은 3-7spot, 10,11spot (3spot:4m→8m, 4spot:2m→7m, 5spot:2m→5m,

6spot:2m→5m, 7spot:2m→6m, 10spot:6m→10m, 11spot:5m→10m)이다. 10,11spot은 각 높이별로 온도감소가 나타나지 않았다. 3-7 spot은 물리적 변화(건물층수, 도로폭원 증가, 녹지생성)로 인한 온도감소가 나타났으나 물리적 변화가 중복되었기 때문에 특정한 물리적 변화로 인한 온도감소로 보기는 어렵다. 이 지점과 10,11spot(도로폭원증가)부분을 살펴보면, 온도감소는 3-7spot에서만 나타났다. 이는 물리적 변화 중 도로폭원 증가는 온도 감소에 직접적인 영향을 끼치지 않는다고 볼 수 있다. 반면, 미세먼지 부분은 10,11spot의 미세먼지가 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 씩 보행자 높이인 1m, 1.5m 2m부분에서만 감소하였다. 이는 건물간의 인동간격이 넓어짐으로서 바람의 흐름이 강해져 미세먼지 감소에 영향을 끼치는 것으로 볼 수 있다.

4.2.3 골목길 인접 토지이용 변화에 따른 온도·미세먼지 분석

본 연구의 골목길 지점 중에서 도시재생뉴딜사업 시행 후 인접 토지이용이 변하는 지점은 1-5, 7spot (주거→녹지)이다. 높이 1m에서 소공원생성으로 마중물사업부지와 이격된 근접 골목까지 영향을 미친다. A-C spot은 직접적으로 녹지가 생성되지 않았지만 1,2spot의 녹지 생성으로 인한 온도감소 효과가 나타났다. 높이 1m에서 A,B spot은 0.6°C , C spot은 0.4°C 가 감소하였다. 높이 1.5m에서 A,B spot은 0.4°C , C spot은 0.5°C 감소하였다. 높이 2m에서 A-C spot은 0.6°C 씩 감소하였다. 높이 5m에서 A spot은 0.1°C 감소하였고, B,C spot은 감

소하지 않았다. 높이 10, 20m에서의 온도감소는 나타나지 않았다. 미세먼지 또한 각 지점마다 높이별로 상이하게 나타났으며, 높이 10m에서 소공원생성부분인 1,2spot은 미세먼지가 감소하지 않았다. 반면에 물리적 환경변화(녹지생성, 건물층수, 도로폭원증가)가 이루어진 3-5spot, 7spot부분은 3spot $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소, 4-5spot $9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소하였다. 높이 20m에서 소공원생성부분인 1,2spot 감소하지 않았고, 3,5spot $7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 씩 감소하였다.

4.3 종합분석 및 시사점

녹지의 온도감소를 검증한 H. E. Landsberg & T. N. Maisel (1972), 김대욱(2010) 등과 녹지의 대기오염 감소효과를 검증한 조현길(2003), Nowak & Crane (2000) 등의 연구를 참고하여 본 연구를 진행한 결과 [22-25], 선행연구와 유사한 맥락으로 녹지의 온도, 미세먼지 감소효과를 확인했다. 또한 LI, et al(2007)의 [26] 건물높이에 따라 미세먼지가 감소한다는 결과와 유사한 맥락에서 연구되었다. 이에 시뮬레이션을 통해 물리적환경변화에 따른 2개의 골목길, 24개 지점에 대한 온도 및 미세먼지 감소효과를 분석하면 <Table 9,10>과 같다.

온도감소 부분을 살펴보면, 마중물사업부지와 인접한 골목(1-12 spot)에서 물리적환경변화(건물신축, 주변건물용도, 도로폭원)가 없는 8,9spot은 보행자 높이인 1, 1.5, 2m에서 온도감소 효과가 나타났고, 마중물사업부지와 이격된 근접 골목 중 보행자 높이인 1, 1.5 2m 부분에서 A-C spot(신규로 생성된 소공원 근접한 부분)에

Table 8. Reduction in temperature and PM2.5 by point*

division	Height	Alley adjacent to the priming water project												Alley near priming water project											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
temperature ($^\circ\text{C}$)	1m	1.8	1.4	0.6	0.2	0.2	0.2	0.6	0.4	0.1	-	-	-	0.6	0.6	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1.5m	0.9	1.0	0.4	0.3	0.4	0.3	0.5	0.1	0.1	-	-	-	0.4	0.4	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2m	1.8	1.4	0.9	0.4	0.4	0.3	0.7	0.2	0.3	-	-	-	0.6	0.6	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5m	1.3	0.5	0.3	0.3	0.6	0.3	0.2	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10m	0.2	0.2	-	-	-	0.2	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1m	10	9	5	5	6	2	4	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1.5m	9	8	6	5	7	2	5	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2m	6	4	5	5	7	1	4	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5m	2	1	4	5	8	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10m	-	-	10	9	9	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20m	-	-	7	-	7	-	-	-	-	-	-	-	2	3	4	3	2	5	6	1	-	-	-	-

*Decrease = Extraction value before implementation - Extraction value after implementation

Table 9. Temperature Reduction Effect Analysis

Division	Effect of Temperature Reduction on Building Construction(A)	Effect of Temperature Reduction due to Variation of Alley Width(B)	Effect of Temperature Reduction due to Land Use Changes in the Alley(C)
1m			
1.5m			
2m			
5m			
10m			
20m			
Review results	*Gray Box :Include other physical changes · A : Temperature reduction · B : No Temperature Reduction Effect · C : Impact on business close streets (1, 1.5, 2m) · C : Temperature reduction relatively large (1, 1.5, 2m)		

Table 10. Analysis of the effect of PM2.5 reduction

Division	Effect of PM2.5 Reduction on Building Construction(A)	Effect of PM2.5 Reduction due to Variation of Alley Width(B)	Effect of PM2.5 Reduction due to Land Use Changes in the Alley(C)
1m			
1.5m			
2m			
5m			
10m			
20m			
Review results	*Gray Box :Include other physical changes		· A : influences business close alleyways (20m) · A : is relatively large in reducing PM2.5 (5, 10 ,20m) · B : reduces PM2.5 · C : is relatively large in reducing PM2.5 (1, 1.5, 2, 5m)

서 온도감소 효과가 나타났다. 이는 도시재생사업으로 인한 물리적 변화가 마중물사업이 분포되지 않은 근접한 골목까지 온도감소에 영향을 끼치는 것으로 볼 수 있다. 3-7spot은 물리적 변화로 인한 온도감소가 나타났지만 물리적 변화가 중복되었기 때문에 특정한 물리적 변화로 인한 온도감소로 보기는 어렵다. 또한 도로폭원이 증가한 부분인 3-7, 10, 11spot을 살펴보면, 온도감소는 3-7spot에서만 나타났다. 이는 물리적 변화 중 도로 폭원의 증가는 온도감소에 직접적인 영향을 끼치지 않는다고 볼 수 있다. 또한, 높이 20m에서 온도감소는 나타나지 않았으며, 이는 높이 20m에서 온도감소에 영향을 미치는 물리적 변화는 없는 것으로 판단된다.

미세먼지 감소부분을 살펴보면, 마중물사업부지와 인접한 골목(1-12spot)에서 물리적환경변화가 없는 8,9spot 미세먼지 감소 효과는 나타나지 않았으며, 마중물사업부지와 이격된 근접 골목의 미세먼지 감소 효과는 10m, 20m에서 나타났다. 이는 건물신축으로 인해 건물층수가 증가하여 바람의 흐름이 변해 미세먼지 감소가 마중물사업이 분포되지 않은 근접한 골목까지 영향을 주는 것으로 볼 수 있다. 3-7spot은 물리적 변화로 인한 미세먼지 감소가 나타났지만 물리적 변화가 중복되었기 때문에 특정한 물리적 변화로 인한 미세먼지 감소로는 보기가 어렵다. 또한 3-7, 10, 11spot의 도로폭원이 증가한 부분 중 도로폭원만 증가한 지점인 10,11spot을 살펴보면 1m, 1.5m, 2m부분에서 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 씩 감소하였다. 이는 교통의 영향으로 도로폭원이 넓어지면 미세먼지 수치가 높다는 것이 통념적 생각이었는데 본 연구는 교통의 영향까지는 시뮬레이션의 조건에 설정을 하지 않아 도로폭원이 증가하면 바람길이 생성되어 미세먼지 환기의 역할을 하는 것으로 판단된다. 또한, 녹지가 생성된 1,2 spot 부분을 살펴보면, 녹지생성으로 인한 미세먼지 감소 영역 높이는 5m까지인 것으로 나타났다.

앞선 분석 결과에 따라 시사점을 제시하고자 한다. 첫째, 도시재생사업의 효과를 비교분석하기 위해 마중물사업부지와 인접한 골목과 근접한 골목을 비교분석하였다. 분석결과, 마중물사업부지와 인접한 골목에서 물리적 환경 변화로 인해 온도와 미세먼지 감소가 나타났다. 둘째, 마중물사업부지와 인접한 골목길 중 물리적환경변화가 없는 부분에서 온도감소는 나타났지만 미세먼지 변화는 없었다. 셋째, 도시재생사업 후 마중물사업부지와 근접한 골목길의 보행자높이에서 온도감소 효과가 나타났으며, 미세먼지 감소는 10m, 20m에서 나타났다. 이는 도시재생사업으로 인해 온도와 미세먼지 감소가 마중물사

업이 분포되지 않은 근접한 골목길까지 영향을 끼치는 것으로 판단된다. 넷째, 물리적환경변화 중 녹지생성은 온도와 미세먼지 감소를 동시에 하는 것으로 나타났으며, 도로폭원증가 및 건물신축은 온도 감소효과가 나타나지 않았으나 미세먼지 감소효과는 나타났다. 다섯째, 녹지생성으로 인한 미세먼지감소 높이는 5m까지인 것으로 판단되며, 건물층수가 높아지면 바람의 흐름이 변하여 미세먼지에 영향을 끼친다. 또한 도로폭원이 증가하면 바람길이 생성되어 미세먼지 환기의 역할을 하는 것으로 판단된다.

5. 결론

최근 심화되는 여름철 폭염과 계절에 상관없이 등장하는 미세먼지는 많은 사람들이 거주하고 있는 도시지역에 심각한 문제로 인식되고 있으며, 다수의 주민들에게 직접적인 영향과 피해를 주고 있다. 특히, 상대적으로 고령화가 심하고, 노후화와 기반시설의 부족 등으로 거주환경이 더 열악한 저층주거지가 더 심각하다. 도시재생뉴딜사업은 이 같은 노후 저층주거지의 생활환경을 개선하기 위해 기획된 공공사업으로 종합적 재생을 지향한다. 이 연구는 도시재생뉴딜사업 중 우리동네살리기유형으로 지정된 곳으로 마중물사업의 시행 전·후의 온도 및 미세먼지의 감소효과를 확인하기 위해 CFD 시뮬레이션 시행하여 그 시사점을 마련하는 것이다.

대상지 전역에 대한 CFD 시뮬레이션 결과 마중물사업 전·후의 평균 온도와 미세먼지는 감소효과가 있는 것으로 밝혀졌다. 즉, 어린이 평균키인 높이 1m에서 대상지의 평균온도는 $39.7^{\circ}\text{C} \sim 38.9^{\circ}\text{C}$ 로 0.8°C 감소하고, 미세먼지는 $24\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 21\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 $3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소하였다. 또한 성인의 평균키 높이인 1.5m와 2m에서 평균온도는 각각 $38.4^{\circ}\text{C} \sim 37.7^{\circ}\text{C}$ 로 0.7°C 감소, $37.7^{\circ}\text{C} \sim 37.1^{\circ}\text{C}$ 로 0.6°C 감소하였으며, 미세먼지는 각각 $24\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 21\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 $3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소, $24\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 23\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 낮아졌다. 아울러 높이 5m에서 평균온도는 $36.6^{\circ}\text{C} \sim 36.2^{\circ}\text{C}$ 로 0.4°C 감소, 10m, 20m에서는 각각 $36^{\circ}\text{C} \sim 35.9^{\circ}\text{C}$ 로, $35.8^{\circ}\text{C} \sim 35.7^{\circ}\text{C}$ 로 0.1°C 씩 감소하고, 미세먼지는 높이 5m, 10m에서, $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 씩 20m에서 $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 낮아졌다.

마중물사업부지와 인접된 골목과 근접된 골목길의 온도 및 미세먼지 감소효과 시뮬레이션 결과는 다음과 같다. 첫째, 마중물사업부지와 인접한 골목은 온도-미세먼지 감소효과가 집중적으로 나타났고, 분포되지 않은 골

목은 감소효과가 미미하게 나타났다. 둘째, 마중물사업 부지 인접 골목 중 물리적 환경변화가 이루어지지 않은 부분에서 온도감소는 나타났지만 미세먼지 감소는 나타나지 않았다. 셋째, 마중물사업부지와 이격된 근접 골목은 마중물사업에 의해 녹지생성이 이루어진 부지와 가까운 일부에서만 보행자 높이에서 온도 감소가 나타났으나, 미세먼지는 이보다 높은 높이 10m이상에서 나타났다. 넷째, 마중물사업으로 조성된 녹지는 온도와 미세먼지 감소를 동시에 유발하였으나, 도로폭원 증가와 건물 신축은 온도에는 영향은 없고, 바람길 확산으로 인한 미세먼지 감소에 영향이 있는 것으로 판단된다.

이 연구는 도시재생뉴딜사업의 마중물사업의 시행 전·후를 시뮬레이션을 통해 온도 및 미세먼지 등 도시환경적 측면에서 효과를 구체적으로 분석하였다는데 의의가 있다. 즉, 마중물사업의 세부 물리적 변화항목별로 온도 및 미세먼지의 감소량을 도출하여 뉴딜사업의 도시환경적 영향을 확인하였다는 점에서 향후 도시재생뉴딜사업의 환경적 문제개선에 적용할 수 있는 기초자료로 활용 가능하다. 또한 향후 유사사업 시 마중물 사업의 위치, 규모, 형태 등 시사점을 도출할 가능성이 있다고 판단된다.

반면 시뮬레이션의 한계상 단일 대상지역에 해서 분석하여 일반화의 어려움이 있고, 시시각각 변하는 기상환경과 교통, 유동인구 등 다양한 변수를 고려할 수 없었다. 또한 전산 모델링하는 과정에 있어 컴퓨터 구현 기술적 한계로 인해 실제 환경을 가능한 범위에서 단순화하여 적용한 것과 세부적인 여러 대안을 가지고 검토하지 못한 것도 한계라 할 수 있다. 향후 이 연구를 기초로 마중물사업으로 생성되는 물리적 환경요소별로 추가 시뮬레이션을 시행하여 도시환경에 대한 영향을 구체적으로 분석할 필요가 있다.

References

- [1] H. M. Cho · C. W. Shon · K. Y. Yoo · Y. J. Choi · Y. H. Lee · J. A. Kim "Measures to Strengthen Response to Heatwaves in Seoul", The Seoul Institute, Korea, 2017.
- [2] Air Korea, Air pollution status outside of the country Comparison of major foreign cities, Available From : https://www.airkorea.or.kr/web/contents/contentView/?pMENU_NO=127&cntnts_no=4 (accessed Aug. 20, 2021)
- [3] Seoul Metropolitan Government, Air Quality Information in Seoul Metropolitan Government Annual Issue Status, Available From : <https://cleanair.seoul.go.kr/statistics/warning/pm25> (accessed Aug. 20, 2021)
- [4] HEALTH INSURANCE REVIEW & ASSESSMENT SERVICE, Watch out for thermal diseases in August when the heat wave begins!, 2021, Available From : <https://www.hira.or.kr/bbsDummy.do?pgmid=HIRAA020041000100&brdScnBltno=4&brdBltno=10385> (accessed Aug. 20, 2021)
- [5] Health effects of particulate matter. Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia, WHO, 2013.
- [6] S. H. Kim · W. K. Bae "Simulation on the Effect of Reducing Fine Dust (PM2.5) according to the Green Space in the Alley of Low-rise Residential Area, Seoul, Korea", The Seoul Institute, Vol.21 No.3 pp.65-86, 2020.
- [7] D. M. Meng · N. J. jang · S. N. Baek "Current Condition and Policy Direction for Low-Rise Residential Areas in Seoul", The Seoul Institute, Korea, pp. 2-74, 2017.
- [8] E. Y. Sung · H. Y. Lee "The Spatial-Temporal Patterns and the Classification of Single Family Housing Clusters in Seoul", *Seoul Studies*, vol.17, no.4, pp. 33-57, 2016.
- [9] S. J. Lee "Current Status and Challenges of Urban Renewal New Deal Project", *Urban planners*, Vol.8, No.1, pp.8-19, 2021.
- [10] J. H. Cho · S. R. Yim · K. S. Lee · S. E. Han "A Study on the Evaluation of Wind Environment and Analytical Method Using CFD Analysis", *Architectural Institute of Korea*, Vol.28 No.7 pp.99-106, 2012.
- [11] J. E. Lee · S. J. Lee · Y. M. Park "Urban Regeneration Studies in South Korea: Focusing on Study Areas", The Korean regional development association, *The Korean Regional Development Association* Vol.32 No.5 pp.25-48 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.22885/KRDA.2020.32.5.25>
- [12] H. S. Byun 2021, "From the Fields of Urban Regeneration Projects", *Korea Planning Association*, Vol.- No.466 pp.17-20, 2020.
- [13] M. H. Cho · Y. W. Cho · S. J. Kim "The Application of ASTER TIR Satellite Imagery Data for Surface Temperature Change Analysis -A Case Study of Cheonggye Stream Restoration Project-", *The Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol.12 No.1 pp.73-80, 2009.
- [14] G. H. Kim · Y. H. Kim · H. J. Koo · K. R. Kim · H. S. Jung "The Changes of Meteorological Environment by Urban Development", *Korea Meteorological Society*, Vol.24 No.1 pp.69-76, 2014. DOI: <https://doi.org/10.14191/Atmos.2014.24.1.069>
- [15] S. H. Baek · S. Aki · H. Y. Kim · E. H. Jung "Evaluation of Thermal Environment Improvement Effect from Public Design Improvement Project on the Urban

- Street Space", *The Korean Environmental Sciences Society*, Vol.20 No.9 pp.1105-1114, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.5322/JES.2011.20.9.1105>
- [16] Edward Ng · C. Liang · Y. Wang · Y. Chao "A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong", *Building and Environment*, Volume 47, January pp.256-271, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.014>
- [17] H. J. Choi "Thermal Comfort Evaluation Using the Envi-Met. Micro Climate Model", *Korea Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, Vol.10 No.6 pp.416-427, 2016.
- [18] Y. J. Kwon · D. G. lee · S. K. Ahn "Urban Street Planting Scenarios Simulation for Micro-scale Urban Heat Island Effect Mitigation in Seoul", *Environmental impact assessment*, Vol.28 No.1 pp.23-34, 2019.
- [19] K. D. Oh · J. H. Lee · S. H. Yoon "A Analytical Simulation of Outdoor Thermal Environment in Summer Based on Ground Greening Types of Eco-City Apartment - Concentrated on the China's Cases -", *Architectural Institute of Korea-RA*, Vol.22 No.5 pp.89-96, 2020.
- [20] Hong B · Lin BR · Qin HQ, Numerical Investigation on the Effect of Avenue Trees on PM2.5 Dispersion in Urban Street Canyons. *Atmosphere*, July 2017.
DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos8070129>
- [21] Y Tominaga · A Mochida · R Yoshie · H Kataoka · T Nozu · M Yoshikawa · T Shirasawa AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol 96, pp.1749-1761, 2008.
- [22] Landsberg H.E · Maisel T.N. 'Micrometeoro logical observation in an area of urban growth', *Boundary Layer Meteorology*, vol.2, no.3, pp.61-63, 1972.
- [23] D. W. Kim · J. K. Kim · E. H. jung "An Analysis of Micro-climate Environmental Changes Followed by Establishment of an Urban Park- Focused on the Junggu in Daegu City", *Urban Design Institute of Korea*, Vol.11 No.2 pp.77-94, 2010.
- [24] H. G. Cho · Y. H.Cho · T. W. Ahn "Effects of Urban Greenspace on Improving Atmospheric Environment - Focusing on Jung-gu in Seoul -", *Korea Society of Environment and Ecology*, Vol.31 No.3 pp.83-90, 2003.
- [25] D.J. Nowak, K.L. Civerolo, S. T. Rao, G. Sistla, C. J. Luley, D. E. Crane "A modeling study of the impact of urban trees on ozone", *Atmospheric Environment*, Volume 34, pp.1601-1613, 2000.
DOI:[https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00394-5](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00394-5)
- [26] X. L. Li, J. S.Wang , X. D. Tu , W. L. iu, Z. Huang, "Vertical variations of particle number concentration and size distribution in a street canyon in Shanghai, China", *Science of the Total Environment*, Volume 378, Issue 3, pp.306-316, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.02.040>
- [27] J. E. Kang, "Urban renewal strategy for adapting to climate change : use of green infrastructure on flood mitigation", *Korea Environment Institute*, Korea, pp.1-224, 2011.
- [28] D. J. Kim , H. K. Kim, S. K. Oh, J. M. Kang, "Evaluation of Microclimate Condition and Thermal Comfort in Pedestrianlevel Environment of a Remodeled Apartment Complex", *Urban Design Institute of Korea*, Vol.19 No.3, pp.33-46, 2018.
DOI:<https://doi.org/10.38195/judik.2018.06.19.3.33>
- [29] W. J. Kim, S. Y. Woo , C. R. Yoon, M.Z. Kwak, "Evaluation on the Reduction Effect of Particulate Matter through Green Infrastructure and Its Expansion Plans", *The Seoul Institute*, pp.1-107, 2018.
- [30] C. H. Mo, "Fine dust countermeasures and wide-area transportation", *Korea Transport Institute*, Korea, Vol.2018 No.2 pp.28-34, 2018.
- [31] J. H Lee , J. Nam, "A Study on the Factors Affecting the Development of Housing Types in Low-Rise Residential Area in Seoul", *Korea Planning Association*, 55Vol, no.1, pp.35-53, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.17208/jkpa.2020.02.55.1.35>
- [32] H. S hwan, R. Y Kang, M. Y. Ahn, J. S Kim, E. S Jung, "Study on the Impact of Roadside Forests on Particulate Matter between Road and Public Openspace in front of Building Site - Case of Openspace of Busan City hall in Korea -", *Korea Society of Environment and Ecology*, Volume 32 Issue 3, pp.323-331, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.13047/KJEE.2018.32.3.323>

배 웅 규(Woong-Kyoo Bae)

[정회원]



- 1994년 8월 : 서울대학교 환경대학원 석사(도시설계)
- 2001년 8월 : 서울대학교 일반대학원 공학박사
- 2007년 2월 : 미국 콜롬비아대학교 건축도시대학원 Post-Doc.

• 2003년 9월 ~ 현재 : 중앙대학교 사회기반시스템공학부 (도시시스템공학) 정교수

<관심분야>

도시설계, 도시정비, 도시재생, 주민참여, 도시열섬

박 진 철(Jin-Cheol Park)

[준회원]



- 2020년 2월 : 광주대학교 도시계획·부동산학과 (공학사)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 중앙대학교 일반대학원 도시공학과 석사과정

〈관심분야〉

도시설계, 도시계획, 도시재생