

ORIGINAL ARTICLE

## 도심 하천 복원에 따른 주변지역 열환경 변화 특성 분석

도우곤 · 정우식<sup>1)\*</sup>

부산광역시 보건환경연구원, <sup>1)</sup>인제대학교 대기환경정보공학과/대기환경정보연구센터

### Analysis of the Characteristics of Thermal Environment Change Due to Urban Stream Restoration

Woo-Gon Do, Woo-Sik Jung<sup>1)\*</sup>

Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment, Busan 46616, Korea

<sup>1)</sup>Department of Atmospheric Environment Information Engineerin/Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University, Gimhae 50834, Korea

#### Abstract

The purpose of this study is to quantitatively analyze the effects of a restoration project on the decrease in the temperature in the surrounding areas. The thermal environment characteristics of the investigation area were analyzed using the meteorological data from the Busanjin Automatic Weather System which is closest to the target area. The terrain data of the modeling domain was constructed using a digital map and the urban spatial information data, and the numerical simulation of the meteorological changes before and after the restoration of the stream was performed using the Envi-met model. The average temperature of the target area in 2016 was 15.2°C and was higher than that of the suburbs. The monthly mean temperature difference was the highest at 1.1°C in November and the lowest in June, indicating that the temperatures in the urban areas were high in spring and winter. From the Envi-met modeling results, reductions in temperature due to stream restoration were up to 1.7°C in winter, and decreased to 3.5°C in summer. The effect of temperature reduction was seen in the entire region where streams are being restored.

**Key words** : Bujeon stream, Envi-met, Stream restoration, Thermal comfort

#### 1. 서론

과거에는 오염된 하천의 수질 정화가 하천복원의 중점 개념이었던 것이 최근에는 생활수준의 향상과 더불어 지속가능한 친환경적 측면에서 시민들의 휴식공간 확보와 다양한 친수공간 조성을 위한 생태형 하천으로의 복

원이 주요 개념으로 강조되고 있다(Byum, 2016). 더불어 하천에 대한 인식도 변화하여 도심 내부의 하천은 단순히 치수나 이수 문제뿐만 아니라 환경적, 생태적으로 중요한 가치를 지닌 인간의 생활과 문화에서의 중심적인 역할을 하는 것으로 여겨지고 있다(Ministry of Environment, 2011). 치수와 공간활용을 주요 목적으로

Received 2 January, 2019; Revised 25 January, 2019;

Accepted 1 February, 2019

\*Corresponding author: Woo-Sik Jung, Department of Atmospheric Environment Information Engineering/Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University, Gimhae 50834, Korea  
Phone : +82-55-320-3932  
E-mail : wsjung1@inje.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

하는 복개, 콘크리트형 하천 정비 형태는 식물이나 수생 생물이 살기 어려운 하천환경을 유발할 뿐만 아니라 하천 수량의 부족과 하천으로 유입되는 오염물질의 증가 등으로 수질 악화의 문제도 일으킨다. 도심내부 또는 상류지역 하천의 내부 또는 주변의 환경정비를 통한 수질 개선의 효과는 국, 내외적으로 다양한 연구를 통하여 알려진 사실이다(Filoso and Palmer, 2011; Thompson et al., 2018). 또한 국내에서는 하천수질의 개선, 주변 환경의 복원을 위하여 자연형 하천 정비 방법들이 도입되고 있으며 이를 통하여 하천의 다양한 환경적 기능을 복원시킬 수 있는 하천 정비 계획들이 추진되거나 수립되고 있다(Woo, 2009; Kim and Kim, 2015; Woo, 2017). 한편 도심내부의 다양한 인공열원과 열용량이 콘크리트와 아스팔트 구조물로 뒤덮여 있는 지표면 상태가 도시의 기상 요소들의 변화를 야기하고 최종적으로 대기환경의 악화를 일으키는 것으로 알려져 있다. Rizwan et al.(2008)과 Santamouris(2013)은 도심내부의 인공열원이 결국 열환경의 변화를 일으키고 기후환경의 변화를 야기하여 도심열섬을 강화시킨다고 하였다. Akbari et al.(2016)은 도심내부의 열환경의 변화는 미시규모의 지표상태에 의해서 발생한다고 하였으며 Dwivedi and Mohan(2018)은 지표면 상태의 변화가 도심열섬의 감소에 효과가 있음을 Envi-Met 모델을 이용하여 증명하였다. 국내의 경우 청계천 복원이 성공하면서 하천복원에 따른 지표면의 상태변화가 도심지역의 열환경에 미치는 영향을 연구한 다양한 사례가 있다(Kim et al., 2003; Lee et al., 2010; Kim, 2012). 이러한 연구결과들은 공통적으로 하천복원으로 인한 지표면의 피복상태 변화가 도시열환경 개선에 효과적임을 지적하고 있다. 결국 도심지역에 형성되는 녹지와 하천은 환경적, 생태적인 가치와 더불어 주변의 온도를 낮추어 도시열섬 해소를 위한 최적의 방법으로 인식되고 있다. 부전천은 부산광역시 백양산 동쪽에서 발원해 동천에 합류하는 도심하천이다. 현재 부전천은 상류와 하류의 일부 구간을 제외하고는 모두 복개되어 원형의 하천형태는 찾아볼 수 없다(Naver knowledge encyclopedia, 2017). 이 지역은 부산의 대표적인 도심지역으로 최근에 대규모 하천복원계획이 수립 중에 있다(Busan metropolitan city, 2017). 본 연구는 대도시 도심지에서의 하천복원이 주변 도심지 일대의 기온에 미치는 영향의 정도를 진단하는 것을 목

적으로 한다. 이를 위하여 먼저 연구대상 지역의 열 환경 특성을 분석하고 미기상 수치모형을 사용하여 하천복원 전후 기상요소들의 변화를 수치적으로 분석하였다. 이를 바탕으로 도심지의 자연형 하천복원이 기온 감소와 도시 열섬 해소에 어느 정도 영향을 미치는지에 관한 과학적 정보 제공으로 실제 많은 곳에서 시행되고 있거나 계획되고 있는 정부 및 지방자치단체의 하천복원이 도심지 열 해소 측면에서 가질 수 있는 의미를 고찰해 보고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 연구대상 지역

부전천은 부산광역시 도심지에 위치한 도심하천으로 대부분 구간이 복개되어 있다(Naver knowledge encyclopedia, 2017). 본 연구의 대상 지역은 부산광역시 부전동 일대의 약 750 m 구간(Busan metropolitan city, 2017)으로, 이 지역은 부산의 대표적인 상업지역인 동시에 교통량과 유동인구가 많은 지역이며 고층건물이 밀집해 있어 도시협곡 사이로 복잡한 기류가 나타나는 지역이다(Fig. 1). Fig. 1에서 붉은 선은 하천복원이 시행되는 구간을 나타내며 도로 양옆으로 고층건물이 밀집해 있고 왼쪽으로는 교통량이 많은 도심지 도로가 위치하고 있는 것을 알 수 있다. Fig. 1을 보면, 연구대상 지역과 그 주변 대부분이 아스팔트와 콘크리트 구조물로 이루어져 있으며 녹지나 수계는 없는 것을 알 수 있다.

연구대상 지역과 같은 대도시의 도심지 지역과 대도시 지역이지만 도심지에서는 일정 거리 벗어난 지역의 열환경에 어떤 차이가 있는지 살펴보기 위하여 연구대상 지역 인근의 도심지에 설치되어 있는 기상청 ‘부산진’ AWS 지점과 부도심지인 ‘금정’ AWS 지점을 비교, 분석하였다(Fig. 2(a)). 연구대상 지역에서 서쪽으로 약 3.5 km 떨어져 있는 ‘부산진’ 지점은 위성사진 등에서 연구대상 지역과 거의 동일한 지표면 특성(아스팔트 도로 및 건물밀집 정도)을 나타내고 있어 도심지역의 기상특성을 대표하는 지점으로 볼 수 있으며(Weather data release portal, 2017), ‘금정’ 지점은 연구대상 지역에서 북북동쪽으로 약 15 km 떨어져서, 연구대상 지역인 도심지로부터는 떨어져 있으나, 부산 동북지역의 상업 및 주택 밀집지역인 부도심지에 위치하고 있어 대도시 도심지와



Fig. 1. Current status of study area(<http://map.naver.com/>). Red lines designate the stream restoration section.

기상학적 차이를 파악하기 위한 대조 지점으로 볼 수 있다(Weather data release portal, 2017). 미기상 모형을 적용하기 위한 연구대상 지역의 상세 지형자료는 Fig. 2(c)와 같다. Fig. 1에서 살펴보았듯이 연구 대상 지역의 지표면은 아스팔트와 콘크리트 구조물로 구성되어 있으므로 건물의 위치와 높이가 미기상요소의 변화를 일으키는 주요한 요인이 된다. 연구 대상 지역의 세부적인 건물 위치는(Fig. 2(c)) 국토정보플랫폼에서 1:1,000 수치 지도를 활용하여 구축하였으며(2018년 기준) 건물의 높이는(Fig. 2(d)) 부산광역시 도시 공간정보 업무포탈에서 사용된 2010년 지적자료를 참고하여 구축하였다(Busan UIS system, 2017; Land information platform, 2017). Fig. 2(c)와 2(d)를 보면, 수치모의 대상 지역은 2 m에서 88 m에 이르는 다양한 높이의 건물이 복잡하게 분포하고 있고 건물들 사이로 주요도로가 산재해 있어 도심지 복잡지형지물에 의한 기류변동성이 크게 나타날 수 있을 것으로 판단된다.

## 2.2. Envi-met 모형

본 연구대상 지역과 같이 미세규모 영역에서의 기상

요소 변화를 예측 및 진단하기 위해서는 수 m에서 수십 m 단위의 미세한 격자체계를 구성하여 도심의 기상장에 크게 영향을 미치는 건물들의 영향을 고려하여야 한다(Choi, 2016). 본 연구에서는 도심지에 위치한 건물과 식생 등 상세한 지표면 상태를 고려할 수 있는 미기상 예측 및 진단 모형인 Envi-met을 사용하였다. Envi-met은 3차원 미기상 수치모의 프로그램으로 독일 Bochum university의 Michael Bruse에 의해 1998년 개발된 것으로, 본 연구에서는 지속적으로 개선된 Envi-met V3.6을 사용하였다. 이 모형에는 토양모형, 식생 모형, 열교환 모형이 포함되어 있으며 세밀한 미기상 변화를 수치적으로 분석할 수 있어, 고층 건물에 의한 주변 지역의 미기상 변화 등을 계산할 수 있다. 즉, Envi-met은 지표, 식물, 대기의 상호작용을 기본으로 하여 건축물, 대기, 지표면, 식생 요소 간 소규모의 상호작용을 분석할 수 있는 모형이다(ENVI\_MET, 2017). 이러한 조건들은 편리한 사용자 인터페이스를 통하여 격자 내부에서 자유롭게 배치될 수 있어 사용자의 설계 계획에 따라 실제 지형을 고려한 미세규모로 분석할 수 있다는 장점이 있다(ENVI\_MET, 2017).

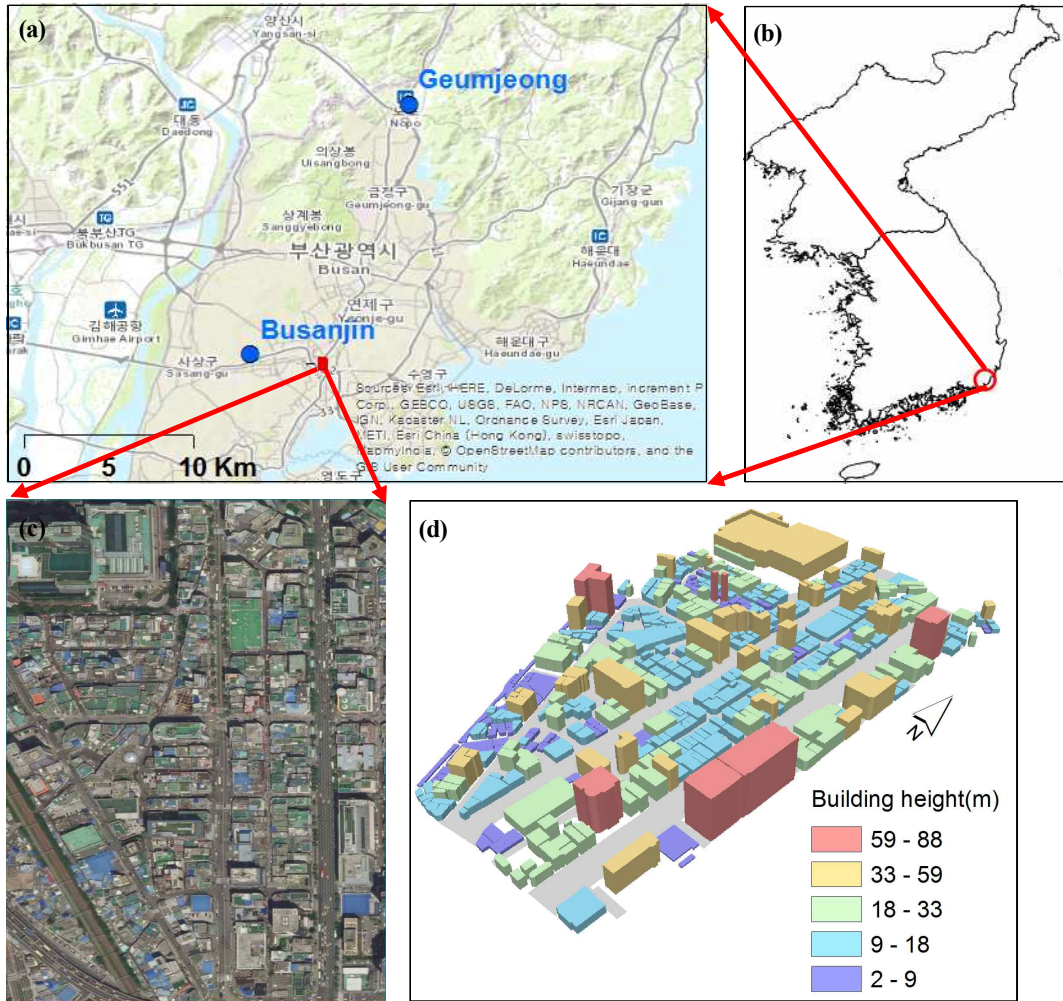


Fig. 2. Location map of study area. (a), (b) Locations of the study area and the automatic weather stations for analysis of meteorological characteristics, (c) detailed building locations map of study area, (d) building height distribution of study area.

본 연구에서는 하천복원 시행 전후의 지표면 상태를 격자화하고 Envi-met 모형에 입력하여 하천복원으로 인한 주변 지역의 기온 변화와 열 쾌적성지수의 변화를 분석하였다.

### 2.3. 열 쾌적성 평가

쾌적이란 인간의 심리적, 생리적 반응을 나타내는 것으로 환경에 대하여 만족하는 마음의 상태라 할 수 있으며 쾌적감에 영향을 미치는 각종 요소 중 열적인 측면에서의 영향을 파악하게 되면 열 쾌적성을 분석할 수 있게

된다(Kim, 2007). 최근에는 도시 집중화와 과도한 도시 개발 및 기후변화 등의 영향으로 기온 상승, 풍속, 풍향의 변화, 상대습도의 감소 등의 다양한 기후변화가 나타나고 있으며 이에 따른 쾌적한 열환경에 대한 욕구도 증가하고 있는 실정이다(Lee, 2005). 열 쾌적성은 공기 온도, 기류 속도, 상대습도, 복사온도 등의 환경조건과 착의상태, 운동상태 등의 인체 조건에 영향을 받게 되는데 이러한 열 쾌적성의 평가지표로는 불쾌지수(Discomfort Index, DI), 열지수(Heat Index, HI) 및 습구흑구온도

**Table 1.** ASHRAE(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) thermal sensation scale(Gaggae et al., 1986; ASHRAE, 2018)

PMV value	Thermal perception	Grade of physiological stress
3	Hot	Strong heat stress
2	Warm	Moderate heat stress
1	Slightly warm	Slight heat stress
0	Neutral	No thermal stress
-1	Slightly cool	Slight cold stress
-2	Cool	Moderate cold stress
-3	Cold	Strong cold stress

(Wet Bulb Globe Temperature, WBGT), 예상온열감 반응(Predicted Mean Vote, PMV) 등이 있다(Kang, 2014 ; Park et al., 2016). 이 중 PMV는 열 쾌적성에 영향을 미치는 열 환경 요소뿐만 아니라 개인적 요소까지 고려하여 인체의 열적 부하를 계산하고 온열감을 산출하기 때문에 다른 지표들보다 민감한 지표로 평가받는 동시에 가장 보편적으로 사용되고 있다(Kim et al., 2011). PMV는 덴마크의 Povl Ole Fanger에 의해 제안되었으며, 주위 환경과 인체와의 열적 반응에 의한 인체의 열평형에 기초하여 쾌적성을 구분하고 있다. PMV는 기온, 상대습도, 풍속, 평균 복사온도의 환경적 요소와 활동지수, 의복 지수 등의 개인적 요소를 통해 산출된다(Atthajariyakul and Leephakpreeda, 2005). 본 연구에서는 하천 복원 전, 후 연구대상 지역의 열 쾌적성 변화를 평가하기 위하여 Envi-met 모형을 이용하여 PMV 지수를 계산하고 각 격자별로 계산된 PMV 지수 값을 Table 1의 PMV 값에 따른 열 쾌적성 개념과 비교하여 하천 복원 전, 후의 열적으로 쾌적한 상태(-0.9 이상, 0.9 이하) 보이는 격자수의 변화를 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 연구대상 지역 지표면 특성

도심 하천복원이 주변지역의 기온에 미치는 정도를 분석하기 위하여 연구대상 지역을 중심으로 미기상 수치모의 수행을 위한 입력자료를 구축하였다. Fig. 3은 Fig. 2(c)에 제시된 연구대상 지역을 나타낸 것으로, 수평격자 간격은 10 m로 설정하고 x 방향으로 45개, y 방향으로 74개의 영역(450 m × 740 m)을 대상으로 계산을 수행

하였다. 이와 더불어 동서남북 각 4면의 경계에 3개의 동지격자(nesting area)를 추가로 고려하여 측면경계에서 발생 가능한 계산 불안정을 최소화하였다. 본 연구에 사용한 Envi-met 모형의 수행력에 대한 평가 및 타당성 분석은 선행연구들에 상세히 제시되어 있으므로 지면관계상 여기서는 생략하였다(Jung et al., 2006, Kim et al., 2009).

Fig. 3(a)와 3(b)는 각각 하천복원 전후의 지표면 상태를 나타낸 것으로 Fig. 3(b)의 하늘색 영역이 복원 대상인 하천의 위치이다. 전체 계산영역에서 하천복원 전인 Fig. 3(a)을 보면, 전체 영역의 51.2%가 도로, 48.8%가 건물로 구성 되어있으나 하천복원 이후인 Fig. 3(b)를 보면 Fig. 3(a)의 전체 도로면적 중에서 약 13%가 하천으로 바뀌게 된다(Table 2, stream). 즉, 도로에서 하천으로 바뀐 면적은 전체 수치모의 영역에서 약 6.7% 정도로 열 환경적인 측면에서는 중요한 의미를 가질 수 있으므로 이 면적에 해당하는 도심지 도로가 자연환경인 하천으로 복개되었을 경우, 나타날 수 있는 미기상학적 변화를 살펴보고자 하였다.

#### 3.2. 기상특성 분석

부산광역시 도심지인 연구대상 지역에는, 현재, 상시적으로 운영되는 기상관측지점이 없어, 대상지역과 가장 가까운 곳에 위치한 ‘부산진’ 지점(연구대상 지역에서 서쪽으로 약 3.5 km 지점)의 자료를 사용하여 도심지 기상 특성을 분석하였다(Fig. 2(a)). 이 두 지점은 부산의 주요 대도심지인 ‘서면’ 일대에 동일하게 포함되는 지점으로, 연구대상 지역 일대의 도심지 특성(토지피복도, 건물분포, 주변 지형조건 등)과 유사한 조건을 나타내고 있어

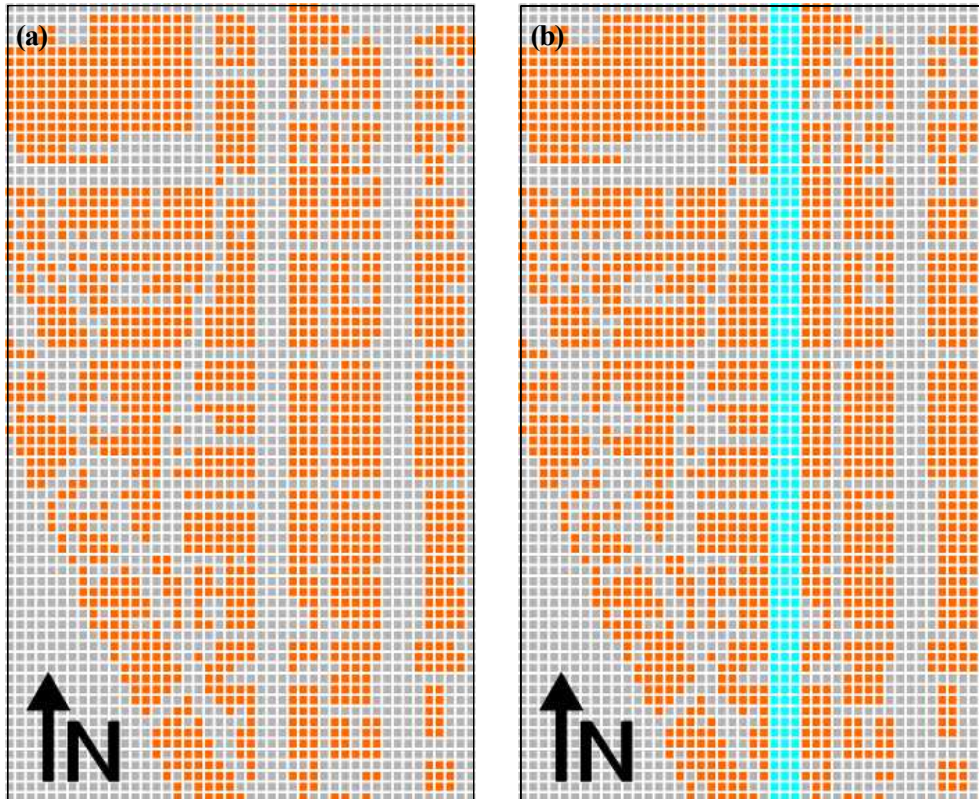


Fig. 3. Distribution of land cover condition of study area, (a) shows the current state and (b) shows the state after stream restoration. Brown, grey and blue square designate building, asphalt road and restored stream respectively.

Table 2. The number of grid and composition ratio of the surface condition of each case, base means current state and stream means the state after stream restoration

	Road	Building	Stream	Total
Base	1,704(51.2%)	1,626(48.8%)	-	3,330
Stream	1,482(44.5%)	1,626(48.8%)	222(6.7%)	3,330

이 지점의 기상자료를 바탕으로 연구대상지역에서 나타날 수 있는 ‘도심지 열적특성’ 분석에 활용하였다. 이와 더불어, 비교자료로 활용하기 위해 연구대상 지역에서 북동쪽으로 약 15 km 떨어진 ‘금정’ AWS 지점의 기상자료를 분석하였다. Table 3은 2016년 1년간 부산진과 금정 AWS에서 측정된 기온과 풍속의 평균, 주풍향을 나타낸다. 도심지역에 해당하는 부산진의 평균기온은 15.2℃로 부도심지인 금정의 14.7℃보다 약 0.5℃ 높은 것으로 나타났다. 부산지역의 기온분포와 관련된 기존 연

구를 참고하면 도심지역 기온이 교외 지역보다 높은 열섬효과의 영향이 반영된 것으로 판단된다(Do and Jung, 2012). 2016년 평균 풍속은 부산진이 1.9 m/s, 금정구가 1.6 m/s로 나타났으며 주 풍향은 부산진에서 서북서, 금정구에서 북동풍으로 나타났다.

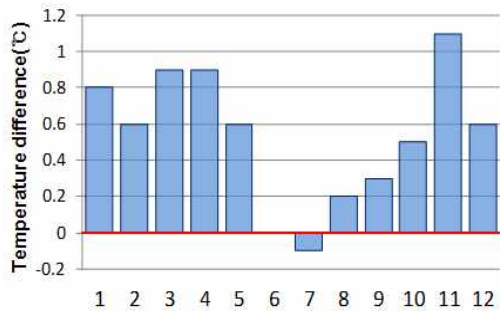
Fig. 4는 2016년 부산진과 금정 두 지점 간의 월평균 기온의 차이를 나타낸 그림이다. 도심지역에 위치한 부산진 기온이 교외 지역인 금정보다 대부분 높게 유지되는 것을 알 수 있다. 두 지점 간의 기온 차이는 11월에

**Table 3.** Average meteorological elements in 2016 at Busanjin(downtown area) and Geumjeong (suburban area)

	Temperature(°C)	Wind speed(m/s)	Prevailing wind direction
Busanjin	15.2	1.9	WNW
Geumjeong	14.7	1.6	NE

1.1°C로 가장 높았고 6월에 차이가 없는 것으로 나타났으며 7월에는 부산진이 약 0.1°C 낮은 것으로 나타났다. 주로 봄철과 겨울철을 중심으로 도심지역인 부산진 기온

천복원이 주변지역의 미기상에 미치는 영향을 분석하기 위한 수치모의는 도심지역 기온이 가장 높았던 11월과 도심지와 교외 지역의 기온차이가 가장 적었던 7월의 기상조건을 활용하여 각각 수행하였다.



**Fig. 4.** Monthly mean temperature differences between Busanjin and Geumjeong in 2016. The positive values mean that the temperature in Busanjin is higher than that of Geumjeong.

이 교외 지역의 기온보다 높게 유지되고 있어 최근까지도 부산지역에는 도시 열섬 현상이 있음을 알 수 있다. 하

**3.3. 하천복원에 의한 기온 감소 효과**

부진천 복원에 따른 주변 지역의 영향을 파악하기 위하여 Fig. 3의 지면조건과 도시 열섬 현상이 가장 심했던 2016년 11월과 기온이 가장 높았던 7월 부산진 AWS의 평균 기상조건을 적용하여 Envi-met 모델을 수행하였다. Table 4는 케이스별 모델의 초기 기상조건을 나타낸다. 2016년 11월과 7월 부산진 AWS의 평균 기상조건을 Envi-met 모델의 초기 입력자료로 사용하였으며 각각 현재 상태와(base) 하천복원 후(stream)의 지형조건에 대하여 모델링을 실시하였다. Table 5에는 Envi-met 수행을 위한 기본적인 모델링 옵션을 제시하였다.

Fig. 5는 도시 열섬이 가장 강하게 나타난 2016년 11월의 평균적인 기상조건을 입력하여 기온의 변화를

**Table 4.** Initial meteorological data for Envi-met in each case

Case	Wind speed (m/s)	Wind direction (degree)	Temperature (°C)	Relative humidity (%)
11 base	1.6	292.5	10.7	61.2
stream				
7 base	1.8	292.5	25.9	84.2
stream				

**Table 5.** Model and grid configuration for Envi-met

Item	Value
Start time	06:00 LST
Total simulation time	12 hour
Roughness Length $z_0$ at Reference Point	0.1 m
Grid structure	45 × 74 × 20(10 m × 10 m × 2 m)

※ dz increased with height (Increase factor : 18%)



Fig. 5. Overall temperature distribution of 11, base case(a) and temperature difference between base and stream case(b).

모델링한 결과이다. Fig. 5(a)는 현재 상태의 지표면 조건에서 기온의 분포를 나타낸 그림이다. 2016년 11월 사례는 가을에서 겨울로 넘어가는 계절로 모델링 도메인에서 최고 기온은 20.0°C, 최저 기온은 16.3°C, 평균 기온은 17.8°C로 나타났다. 초기 입력 풍향이 292.5°이기 때문에 모델링 도메인의 왼쪽경계에서는 서북서풍 계열의 바람이 나타나고 있으나 사업대상지역과 그 주변지역에서는 도시협곡의 영향으로 복잡한 기류가 형성되는 것을 볼 수 있다. 전반적으로는 풍하측인 사업대상 지역의 오른쪽, 중앙대로 지역과 그 주변 건물 밀집지역을 중심으로 기온이 낮은 지역이 형성되고 있다(16-18°C). 사업지역의 왼쪽으로는 주변 보다 기온이 높은 지역들이 나타나고 있으며 건물과 도로의 위치에 따라 약 17°C에서 20°C까지 기온의 차이를 보인다. Fig. 5(b)는 base 케이스에서 부천천 지역을 하천으로 변경한 경우(stream)와의 기온 차이를 나타내는 그림이다. 기온 차이가 클수록 하천복원으로 인한 기온의 감소 효과가 큰 것으로 판단할

수 있다. 기온 차이는 하천이 위치하는 지점에서 가장 크게 나타나고 있으며 최대 1.7°C까지 나타났다. 주풍향의 영향으로 사업지역 오른쪽 건물 뒤까지 0.1°C 이상의 기온 차이가 나타나고 있으며 동쪽으로 최대 10개의 격자(100 m)까지 약하지만, 기온이 감소하는 것을 알 수 있었고 남북방향으로는 전체 하천구역에서 기온이 감소한 것으로 나타나고 있다. 본 사례 모델링은 11월의 평균 기상조건을 적용한 경우로 모델링 결과 전체 도메인의 평균 기온도 17.8°C로 폭염이나 열대야 등 고온으로 인한 문제가 없는 계절이지만 도심에 있는 사업지역은 교외지역보다 1°C 이상 온도가 높은 도시 열섬이 생성되는 계절이므로 사업지역에서의 기온 감소는 도시 열섬을 해소하는 데 도움이 될 것으로 판단된다.

Fig. 6은 전형적인 여름 조건에 해당하는 2016년 7월의 평균적인 기상조건을 입력하여 기온의 변화를 모델링한 결과이다. Fig. 6(a)는 현재 상태의 지표면 조건에서 기온의 분포를 나타내고 Fig. 6(b)는 하천복원 이후 기온의





Fig. 6. Overall temperature distribution of 7, base case(a) and temperature difference between base and stream case(b).

차이를 나타낸다. 2016년 7월은 전형적인 여름으로 모델링 도메인에서 최고 기온은 37.2℃, 최저 기온은 29.5℃, 평균 기온은 33.2℃로 나타났다. 앞의 11월의 경우와 마찬가지로 초기 입력 풍향이 292.5°이기 때문에 모델링 도메인의 왼쪽 경계에서는 서북서풍 계열의 바람이 나타나고 있으나 사업대상 지역과 그 주변지역에서는 도시협곡의 영향으로 복잡한 기류가 형성되는 것을 볼 수 있으며 사업지역 오른쪽 건물과 중앙대로 쪽으로 주위보다 기온이 낮은 지역이 형성되고 있다. 11월과 마찬가지로 사업지역의 왼쪽으로 기온이 높은 지역들이 나타나고 있으며 건물의 위치에 따라 약 31℃에서 37℃ 이상까지의 기온분포를 보여 전형적인 여름철의 기온을 나타내는 것으로 판단할 수 있다. 부전천 복원 후 경우와 기온 차이를 살펴보면 하천이 생기는 위치에서 기온 차이가 가장 크게 나타났으며 최대 3.4℃까지의 기온 감소 효과가 있는 것으로 나타났다. 모델에 입력되는 주풍향의 영향으로 사업지역의 오른쪽으로 건물을 지나 중앙로까지 최대

13개의 격자(130 m)에 대하여 약하지만 0.1℃ 이상의 기온 감소가 나타나고 있으며 남북방향으로는 전체 하천 구역에서 기온이 감소한 것을 알 수 있었다. 본 사례 모델링은 전형적인 여름의 평균 기상조건을 적용한 경우로 모델링 결과 전체 도메인의 평균 기온도 33.2℃로 매우 높게 나타나고 있다. 연구대상 지역은 다양한 인공열원 등의 효과로 여름철 폭염이나 열대야 등이 빈번할 것이 예상되는 지역으로 부전천 복원을 통하여 하절기 열환경을 개선하는 데 도움이 될 것으로 판단된다.

Fig. 7은 11월 평균기상조건 수치모의 결과에 대하여 y=42되는 단면의 XZ방향 연직 온도 프로파일을 나타낸다. Fig. 7(a)는 현재 상태의 지표면 조건을 입력한 base 케이스의 결과이다. 수평면 기온분포에서 본 것처럼 도메인의 왼쪽영역 지표에 고온지역이 형성되면서 연직 방향으로 그 영향이 나타나고 있다. 또한, 아스팔트 도로가 있는 지점에서 지표면의 온도가 주위보다 높아서 연직 방향으로 그 영향이 나타나고 있음을 알 수 있다.

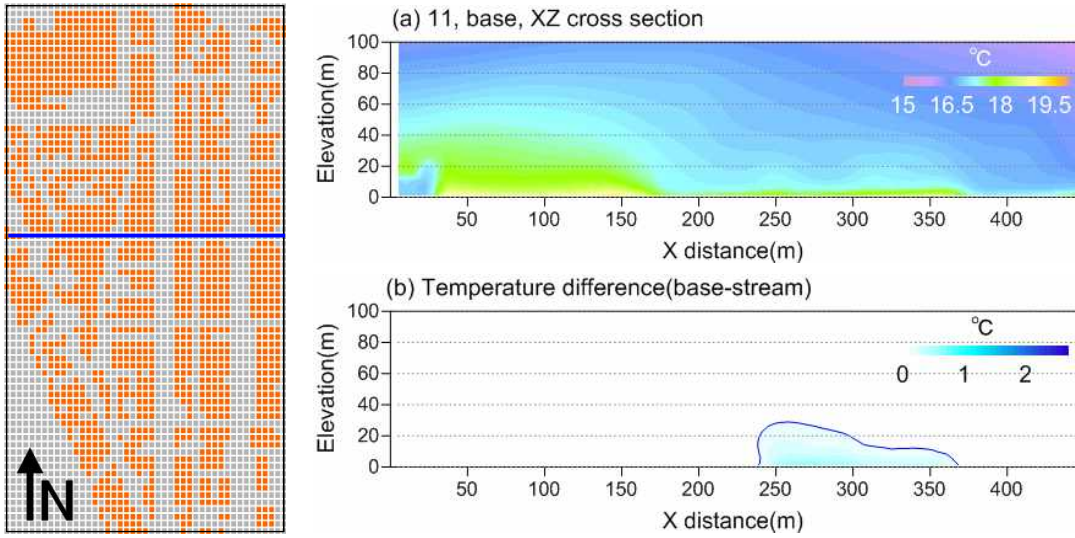


Fig. 7. Vertical cross section(XZ) along blue line(y=42), (a) base case of 11, (b) temperature difference.

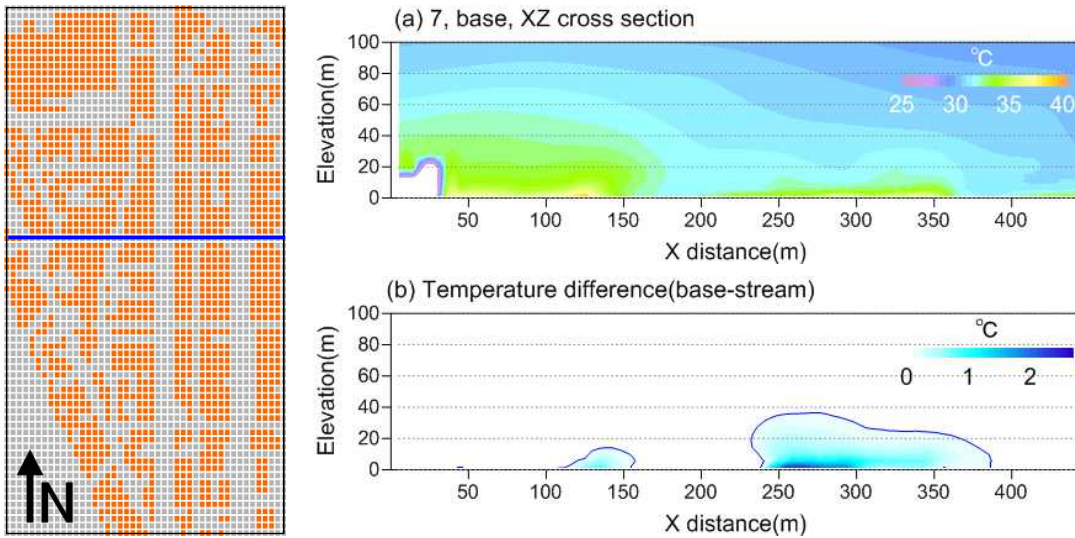


Fig. 8. Vertical cross section(xz) along blue line(y=42), (a) base case of 7, (b) temperature difference.

Fig. 7(b)는 하천 복원 전후의 연직 방향 기온 차이를 나타내는 그림이다. 수평면의 기온 차이보다는 크게 나타나지는 않지만, 하천복원 지역을 중심으로 약 30 m 높이 까지 0.1 °C 이상의 기온이 감소한 것을 알 수 있다. 하천의 바로 위쪽에는 최대 1.3 °C까지 기온이 감소하여 겨울철 도심지역의 기도를 낮추는 데 어느 정도 효과가 있을

것으로 판단된다. Fig. 8(a)는 여름철 평균적인 기상조건을 입력한 경우의 XZ방향 연직 온도 프로파일을 나타낸다. 11월의 경우와 유사하게 도메인의 왼쪽 지표면에서의 고온영역이 연직 방향으로 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. 또한, 도로와 건물 위쪽으로 35 °C 이상의 고온영역이 발생하고 있음을 확인할 수 있었다. Fig. 8(b)는

**Table 6.** PMV section input configuration for Envi-met

Item	value
Walking speed(m/s)	0.11
Internal energy prod(W/m2)	116.00
Mechanical factor	0.00
Clothing insulation	0.50(7), 1.5(11)

하천 복원 전 후의 연직 방향 기온 차이를 나타내는 그림이다. 여름철의 경우도 약 40 m까지 0.1 °C 이상의 기온 감소 효과가 나타났다. 최대 기온 차이는 하천복원 지점의 바로 위쪽에서 2.9 °C까지 기온이 감소한 것으로 나타났으며 풍하 방향인 하천복원 지역 오른쪽 건물 뒤쪽에서 높이 약 20 m까지 기온이 감소한 지역이 발생하였다. 열대야나, 폭염이 발생하는 여름철에는 하천복원 지점의 상공 약 40 m까지, 풍하 방향으로 약 80 m까지 광범위하게 기온 감소 효과가 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

현재의 연구에서는 도심지 기온에 영향을 줄 수 있는 나머지 여타의 제반조건은 그대로 두고, 현재 도로가 위치한 복개하천의 표면만을 수면으로 변경하여 수치적 계산을 수행한 것으로, 실제 자연하천으로의 복원과정에 동반되는 표면(지표면→수면) 고도의 변화, 주변 식생의 분포 및 여타 복원과정에 동반되는 환경개선 등은 고려되지 않았기 때문에 반드시 제시된 수치에 해당하는 정도의 기온 하강효과가 발생한다고 확정할 수는 없다. 그러나, 현재의 분석을 통해, 도심지에 위치한 일정규모의 도심하천이 복원을 통해 자연하천으로서 재생되었을 때 나타날 수 있는 미기상 변화가 어느 정도의 수준을 가질 것인지에 대한 정량적 평가의 측면에서 본다면, 본 연구에서 제시된 기온변화 정도는 지역기상 및 미기상학적 관점에서 상당히 유의미하고 도시계획 및 정책 활용도에 대한 가능성이 될 수 있는 수준으로 나타난 것으로 판단된다.

이러한 결과를 바탕으로 본다면, 도심지 기온상승에 영향을 미치는 것으로 잘 알려진 아스팔트나 콘크리트 재질의 표면으로 복개되어 있는 도심지 하천이 현재의 연구에 제시된 바와 같이 자연상태인 수표면의 하천으로 복원되는 경우 발생 가능한 도심지 기온 저감효과와 더불어, 실제 도심지 복개하천의 자연하천 복원에 동반되는 여타의 하천주변 식생군락 및 조정조성 등의 친수공

간 조성과 같은 도심지 기온 저감에 기여할 수 있는 하천 주변 정화사업이 동반되는 경우, 대도시 도심지 복개하천 복원에 따른 도심지 기온저감 효과는 충분히 그 효과를 나타낼 가능성이 있다고 사료된다.

**3.4. 열 쾌적성 지수 변화 분석**

Envi-met 모형을 이용하여 PMV를 계산하기 위해서는 모형에서 계산되어지는 미기상 요소들과 더불어 추가적인 입력자료가 필요하다. Table 6은 PMV 계산을 수행하기 위해 설정한 표를 나타낸 것이다. ‘Walking speed’는 일반적인 사람의 보행 속도를 기준으로 하였고, 이 Walking speed에 따라 ‘Internal energy prod’, ‘Mechanical factor’는 Envi-met에서 제공되는 디폴트로 값을 사용하였다. ‘Clothing insulation’는 의복의 종류에 따라서 인체가 외부 환경과 에너지 균형을 이루는 상수로 본 연구에서는 여름과(7)과 겨울의(11) 대푯값을 사용하였다.

Fig. 9는 수치모의 도메인에 대하여 7월과 11월의 하천 복원 시행 전 후의 격자별 PMV 지수의 변화를 나타낸 그림이다. 지표면에서의 열 쾌적성 분석을 위하여 건물이 위치하게 되는 지점의 격자는 분석에서 제외하였다. PMV 값은 열로 인한 스트레스가 없는 상태인 -0.9에서 0.9사이의 값을 가지는 격자를 분석 대상으로 하였다. Fig. 9(a)는 여름철인 7월의 평균 기상을 적용한 경우의 하천 복원 전후 PMV 지수 값의 변화를 나타낸 그림이다. 하천 복원 전에 열적으로 쾌적한 상태를 보이는 격자 수는 421개로 나타났으며 하천복원 후에는 1개 지점이 증가한 422개로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 지점별로 보면 하천복원 지역과 주변으로 3개의 격자에서(파란색 사각형) 열 쾌적성이 개선되었고 도메인 중앙 2개 지점에(열은 초록색)서 열 쾌적성이 악화되는 것으로 나타났으며 나머지 초록색 지점들은 열 쾌적성의 변화가



Fig. 9. Changes in thermal comfort(between slightly cool and slightly warm) before and after stream restoration, the blue rectangles mean the area added after the stream restoration and the light green rectangles mean the area excluded after the restoration of the stream.

복원 전후 동일하게 쾌적한 상태를 보이는 것으로 나타났다. Fig. 9(b)는 11월의 평균 기상을 적용한 경우의 PMV 지수변화를 나타낸 그림이다. 열적으로 쾌적한 상태를 보이는 격자수가 하천 복원 전에는 751개에서 하천 복원 후 756개로 약간 증가한 것으로 나타났다. 지점별로는 중앙부 영역에 위치한 하천복원 주변 6개 지점에서(파란색 사각형) 열 쾌적성이 개선되었고 1개 지점(열은 초록색)에서 열 쾌적성이 악화되는 것으로 나타났으며 나머지 지점들은 동일한 상태를 유지하는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구는 우리나라 대도시 도심지에 위치한 복개하천이 자연하천으로 복원되는 경우, 주변 지역의 기온에 어떠한 영향을 미칠 것인지에 대하여 분석을 수행한 것이다. 본 연구에서는 부산광역시 도심지에 설치된 기상청 AWS의 기상자료를 이용하여 연구대상 지역의 열환경 특성을 분석하고 수치지도와 도시공간정보 자료를 이용하여 수치모의 영역의 지형자료를 구축하고 이를 바탕으로 미기상 수치모형인 Envi-met을 활용하여 분석을 수행하였다.

1. 하천복원 대상지역을 포함하는 X 방향 45개, Y 방

향 74개(10 m × 10 m)의 수치모의 영역을 구축하고 하천복원 전 후의 지표면 상태를 변화를 분석하면, 현재 수치모의 영역의 51.2%는 도로, 48.8%는 콘크리트 건물로 구성되어 있으나 하천복원이 시행되면 아스팔트 도로 중 약 13%가 하천으로 바뀌게 되는 것으로 나타났다. 이는 전체 수치모의 영역에서는 약 6.7%의 비교적 적은 부분이다.

2. Envi-met 모형을 사용하여 하천복원 전 후의 기온 변화를 분석한 결과, 겨울철의 경우 최대 1.7℃까지 기온이 감소하였고 남북방향으로는 하천 구간 전체, 동쪽으로는 약 100 m 까지 기온이 감소하여 겨울철 도시 열섬을 해소에 도움이 될 것으로 판단되었다. 여름철의 경우 최대 3.5℃까지의 기온 감소 효과가 있는 것으로 나타났으며 동쪽으로 최대 13개의 격자(130 m)까지 영향이 나타나고 있으며 연직으로는 하천복원 지역을 중심으로 약 30 m에서 40 m 높이까지 0.1℃ 이상의 기온이 감소하는 것으로 나타나 도심 열 환경 개선에 효과가 있을 것으로 예상된다.

### 감사의 글

이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2017R1D1A3B03036152).

### REFERENCE

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), 2018, <https://www.ashrae.org/>.

Atthajariyakul, S., Leephakpreeda, T., 2005, Neural computing thermal comfort index for HVAC systems, *Energy Conversion And Management*, 46, 2553-2565.

Busan Metropolitan City, 2017, <http://news.busan.go.kr/>.

Busan UIS System, 2017, <http://uis.busan.go.kr/wp/index.do/>.

Byun, J. D., 2016, The study of urban river restoration policy in Korea - Focused on residents' perception survey of Sadangcheon restoration policy -, Master's thesis, Chungang university, Seoul, Korea.

Choi, H. J., 2016, Diffusion simulation using Envi-met. in urban planetary boundary layer, *Journal of Climate*

*Change Research*, 7(3), 357-371.

Do, W. G., Jung, W. S., 2012, An Analysis on the variation trend of urban heat island in Busan area(2006-2010), *Journal of the Environmental Science International*, 21(8), 953-963.

Dwivedi, A., Mohan, B. K., 2018, Impact of green roof on micro climate to reduce Urban Heat Island, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 10, 56-69.

ENVI\_MET, 2017, <http://www.envi-met.com/>.

Filoso, S., Palmer, M. A., 2011, Assessing stream restoration effectiveness at reducing export to downstream, *Ecological Applications*, 21(6), 1989-2006.

Gaggae, A. P., Fobelets, A. P., Berglund, L. G., 1986, A Standard predictive index of human response to the thermal environment, *ASHRAE Trans*, 92, 709-731.

Jung, W. S., Park, J. K., Lee, H. W., 2006, An Analysis on influence of geographical variation induced by development affecting to the local scale wind environment - Numerical simulation using the Envi-met model -, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 22(6), 888-903.

Kang, D. H., 2014, An Evaluation of thermal comfort and prediction according to landcover, Master's thesis, Kyungpook national university, Daegu, Korea.

Kim, B. S., Min, Y. K., Min, B. C., Kim, J. H., 2011, The changes of psychological and physiological emotional responses according to change of the index of Predicted Mean Vote (PMV) due to air conditioning types, *Sci. Emot. Sensib.*, 14(4), 645-652.

Kim, J. H., Lee, J. S., Yoon, Y. H., 2015, Impact assessment on the change of thermal environment, according to the hydraulic characteristic urban regeneration stream: Cheonggyecheon case study.

Kim, J. U., Lee, D. K., Oh, K. S., Sung, H. C., 2003, A Fundamental study on the relationship between riparian vegetation and surface temperature, *J. Korean Env. Res. and Reveg. Tech.*, 6(3), 79-85.

Kim, Y. M., 2012, Analyzing mitigation effects of heat island through restoring a covered stream using ENVI-met : Focused on old downtown, CheongjuCity, Master's thesis, Chungbuk National University, Cheongju, Korea.

Kim, K. H., Kim, J. S., 2015, Sustainable eco-river

- restoration and river management, Journal of The Korean Society Of Civil Engineers, 63(2), 26-30.
- Kim, M. K., Lee, H. W., Do, W. G., Jung, W. S., 2009, An Analysis of Wind Field around the Air Quality Monitoring Station in the Urban Area by Using the Envi-met Model, Journal of the Environmental Science International, 18(9), 941-952.
- Kim, H. R., 2007, A Study on the thermal and acoustic environment characteristics of traditional Korean houses in the southern regions, Ph. D. Dissertation, Chonnam National University, Gwangju, Korea.
- Lee, E. J., 2005, The relationship between urban spatial elements and the thermal comfort - the case study of Seoul -, Master's thesis, Hanyang University, Seoul, Korea.
- Lee, K. S., Shin, D. H., Kim, J. C., Lee, S. H., Lee, H. J., Jin, W., Zheng, H., 2010, Air temperature decreasing effects by restored urban stream, Journal of Environmental Impact Assessment, 19(1), 75-81.
- Land information platform, 2017, <http://map.ngii.go.kr/mn/mainPage.do/>.
- Ministry of Environment, 2011, Ecology river restoration guide book.
- Naver knowledge encyclopedia, 2017, <http://terms.naver.com/>.
- Park, S. A., Kong, H. Y., Kim, S. H., Park, S. M., Shin, Y. K., 2016 Characteristics of thermal variations with the different land covers in an urban Area, Ecology and Resilient Infrastructure, 3(1), 46-53.
- Rizwan, A. M., Dennis, Y. C. L., 2008, A Review of the generation, determination and mitigation of urban heat islands, J. Environ. Sci., 120-128.
- Santamouris, M., 2013, Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island - A review of the actual developments, Renew. Sustain. Energy Rev, 224-240.
- Thompson, J., Pelc, C. E., Brogan, W. R., Jordan, T. E., 2018, The multiscale effects of stream restoration on water quality, Ecological Engineering, 124, 7-18.
- Weather data release portal, 2017, <https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do/>.
- Woo, H. S., 2009, River restoration models and review of river restoration guides, Journal Of The Korean Society Of Civil Engineers, 57(12), 19-28.
- Woo, H. S., 2017, Assessment of definitions and models of river restoration based on the functions, services, and values of river ecosystem, Ecology and Resilient Infrastructure, 4(3), 123-129.

- 
- 도우곤, 부산광역시 보건환경연구원 환경연구사  
dou777@korea.kr
  - 정우식, 인제대학교 대기환경정보공학과 교수  
wsjung1@inje.ac.kr