부산지역 도심하천 복원에 따른 기온변화 효과 분석

정우식 · 도우곤^{1)*}

인제대학교 대기환경정보공학과/대기환경정보연구센터, ¹⁾부산광역시 보건환경연구원
(2012년 4월 20일 접수; 2012년 5월 24일 수정; 2012년 7월 20일 채택)

An Analysis of the Temperature Change Effects of Restoring Urban Streams in Busan Area

Woo-Sik Jung , Woo-Gon Do^{1)*}

Department of Atmospheric Environment Information Engineering/Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University, Gimhae 621-749, Korea

¹⁾Busan Metropolitan City of Institute of Health and Environment, Busan 613-806, Korea

(Manuscript received 20 April, 2012; revised 24 May, 2012; accepted 20 July, 2012)

Abstract

This study is conducted to estimate the air temperature decreasing effects by restoring urban streams using WRF/CALMET coupled system. The types of land use on covered streams are constructed with the land cover map from Korea ministry of environment. Restoring covered streams changes the types of land use on covered areas to water. Two different types of land use(CASE 1 and CASE 2) are inputted to the WRF/CALMET coupled system in order to calculate the temperature difference.

The results of the WRF/CALMET coupled system are similar to the observed values at automatic weather stations(AWS) in Busan area. Restoring covered streams causes temperature to be decreased by about 0.34~2℃ according to the locations of streams and the regions that temperature is reduced are widely distributed over the restored area. Reduction of temperature is increased rapidly from morning and maximus at 13LST. Natural restoration of streams will reduce the built-up area within urban. With this, temperature reductions which are the cause to weaken the urban heat island appear. Relief of urban heat island will help to improve the air quality such as accumulation of air pollutants in within urban area.

Key Words : WRF, CALMET, Land use, Temperature, Restored urban stream

1. 서론

최근 하천의 가치에 대한 인식이 변화하여 도심내부의 하천은 단순히 치수나 이수 문제뿐만 아니라 환경적, 생태적으로 중요한 가치를 지닌 인간의 생

활과 문화에서의 중심적인 역할을 하는 것으로 여겨지고 있다(환경부, 한국환경공단, 2011). 치수와 공간활용을 주요 목적으로 하는 복개, 콘크리트형 하천정비 형태는 식물이나 수생생물이 살기 어려운 하천환경을 조성하고 하천수량의 부족과 하천으로 유입되는 오염물질의 증가 등으로 수질악화의 문제를 야기한다. 이러한 문제들을 해결하기 위하여 최근에 자연형 하천 정비 방법들이 각종 하천 살리기 운동 등과 연계하여 적용되고 있으며 이를 통하여 하천의 다양한 환경적 기능을 복원시킬 수 있는 방향으로 하천 정비 개

*Corresponding author : Woo-Gon Do, Busan Metropolitan City of Institute of Health and Environment, Busan 613-806, Korea
Phone: +82-51-888-6816
E-mail: dou777@korea.kr

넘이 변화하고 있다.

부산지역에는 국가하천 4개소, 지방하천이 44개소가 존재하고 있는데, 이중 도심에 위치해 있는 16개 하천은 복개가 되어 도로 또는 주차장으로 사용되고 있는 실정이다(신 등, 2008). 이 중에서 주요 복개하천 7개소에 대한 부산광역시 보건환경연구원의 수질조사 결과를 살펴보면 조사 대상 모든 지점에서 오염물질의 유입이 높고 이로 인해 생활 환경기준 VI등급의 ‘매우 나쁨’에 해당하는 수질을 나타내어 시급한 하천환경 개선이 필요한 것으로 조사된 바 있다(부산광역시 보건환경연구원, 2010). 이와 관련하여 부산지역에서는 대표적인 자연형 하천 복원 사업인 ‘온천천 복원 사업’이 성공적으로 진행되면서 최근에는 부산 도심내의 복개 하천들에 대한 수질개선 뿐만 아니라 자연형 하천으로의 복원 계획이 다양하게 수립되고 있어 이에 따른 도심지 환경개선 효과가 크게 기대되고 있다.

도심지 하천의 복원은 아스팔트로 이루어진 토지 피복 상태를 수역으로 변화시키는 효과가 있다. 일반적으로 토지 피복의 변화는 복사 플럭스의 변화를 야기하며 이로 인하여 도심내부의 기온에 변화를 일으킨다(김 등, 2007). 도심내부에 생성되는 녹지나 수역은 인공열 방출이 많은 도심내부에 상대적인 저온역을 형성하여 도시열섬 해소에 직접적인 효과가 있으며 지표면 마찰속도의 감소로 인한 풍속의 증가 등으로 인하여 대기오염의 확산에도 효과가 있다. 하천복원이 기온에 미치는 이러한 효과는 광주광역시 광주천을 대상으로 복개지역과 미복개지역의 기온측정을 통하여 확인이 된 바 있으며(박, 1995), 우리나라의 대표적인 하천 복원 사업인 청계천 복원 사업을 통해서도 확인 된 바 있다(김 등, 2007).

따라서 본 연구에서는 부산지역 도심지에 위치한 7개 주요 복개하천을 대상으로 자연형 하천 복원사업의 시행에 따른 도심내부의 토지 피복의 변화가 부산지역의 기온에 미치는 영향을 살펴보고 하천복원이 도시열섬과 같은 도심지 대기환경 개선에도 효과가 있음을 정량적으로 파악하고자 하였다.

2. 자료 및 방법

2.1. 연구대상

도심지 하천복원에 의한 토지 피복의 변화 효과를

살펴보기 위하여 부산지역 도심지에 위치한 복개 하천 7개소를 연구대상으로 설정하였다. 대상 지점은 부산광역시 보건환경연구원의 수질조사 결과 비교적 열악한 수질 상태를 나타내어(부산광역시 보건환경연구원, 2010) 하천 복원의 필요성이 높은 지역들로 선정하였다. 연구대상으로 선정한 복개 하천들의 위치와 현황은 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다.

Table 1. The states of covered streams which are investigated in this study

Name	Length (km)	Covering length (km)	Land use
Bosu stream	3.8	3.8	Road
Choryang stream	2.3	2.3	Road, Parking place
Busan stream	1.8	1.3	Road, Parking place
Bujeon stream	4.2	4.2	Road, Parking place
Jeonpo stream	2.6	2.3	Road
Hakjang stream	5.4	1.0	Road, Parking place
Sajik stream	4.5	4.5	Road

Fig. 1. Locations of covered streams which are used in this investigation.

2.2. 연구 사례일

본 연구에서는 부산지역 도심하천일대의 지표면 상태변화가 도심지 대기환경에 미치는 영향을 살펴보기 위해서 입자상 오염물질인 PM10 농도가 높았던 날들 중에 사례일을 선정하였다. 이 날을 연구대상일로 설정한 이유는 본 연구와 함께 수행될 도심지 하천 복원이 도심지 대기질에 미치는 영향 분석의 연구대상일과 동일한 날로 설정하기 위해서이다. 먼저 2010년을 대상으로 황사 및 강수일과 그 전, 후 일을 제외하고 박무나, 연무가 없는 날들 중에서 부산지역 전체 PM10의 일평균 농도가 가장 높았던($85 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 2010년 3월 28일을 연구사례일로 선정하였다. 이 날은 우리나라와 중국 상공에 고기압이 넓게 형성되었으며 우리나라 동쪽으로 약한 저기압이 위치하고 있어 북서계열의 약한 종관풍이 나타나서 도심지에서 배출된 대기오염물질의 확산에 불리한 기상조건이었음을 예상할 수 있다.

Fig. 2. Surface weather map at 09LST 28 March 2010.

2.3. 기상장 모델링

본 연구에서는 부산지역 도심지 하천일대의 토지피복변화가 도심지 기온에 미치는 영향을 살펴보기 위해 중규모 기상장 수치모델인 WRF(Weather Research and Forecasting model)와 진단적 기상장 생성 모형인 CALMET을 이용하여 연구를 수행하였다. 즉, 본 연구에서는 연구대상일에 부산광역시와 주변일대 및 종관규모의 기상장 패턴과 특징 파악은 WRF를 이용하여 분석하였고, 부산도심지 내의 상세 바람장 및

기온정보는 WRF 수치모델에서 도출된 부산광역시 일대의 기상정보를 입력 자료로 이용하여 CALMET 수치모델을 통해 도출하였다.

WRF(Weather Research and Forecasting model) 시스템은 역학 해석에 따라 NCAR(National Center for Atmospheric Research)에서 개발된 ARW(The Advanced Research WRF)와 NCEP(National Centers for Environmental Prediction)에서 개발된 NMM(The Nonhydrostatic Mesoscale Model)의 두 종류가 있으며, 본 연구에서는 ARW(3.3 버전)를 사용하였다. ARW는 수 m에서 수천 km 규모에 적용이 가능하며, 모수화 연구, 자료동화 연구, 예보연구, 실시간 수치예보 등에 사용되고 있다. 초기 입력장으로는 $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ 의 해상도를 가지며, 6시간 간격으로 제공되는 NCEP FNL(Final Analyses) 자료를 사용하였다. 지형자료는 SRTM(Shuttle Radar Topography Mission) 3초 자료를 사용하였고, 토지이용 자료는 USGS(United States Geological Survey)의 토지이용 자료를 사용하였다. 본 연구에서는 부산광역시와 울산광역시, 그리고 경상남도 일부를 포함하는 1 km 격자(61×58) 간격의 영역을 상세기상장 파악의 최종 WRF 수치모델의 대상영역으로 설정하였으며, 전체 수치모델의 동지격자들의 수평 해상도는 각각 27 km, 9 km, 3 km, 1 km로 설정하였다. 상세한 내용은 Fig. 3과 Table 2에 제시하였다.

Fig. 3. WRF domain configurations.

Table 2. The configurations of WRF

	Domain1	Domain2	Domain3	Domain4
Horizontal grid	108×108	91×91	61×55	61×58
Horizontal resolution	27 km	9 km	3 km	1 km
Vertical layers	33 layers			
Physical options	WRF Single-Moment 6-class scheme			
	RRTM scheme			
	Dudhia scheme			
	MM5 similarity			
	Noah Land Surface Mode			
	Yonsei University scheme			
Initial data	Kain-Fritsch scheme			
	NCEP FNL(Final) Operational Global Analysis data			
Time period	2008. 3. 27. 09LST~2008. 3. 28. 21LST			

CALMET은 기상장 산출을 위한 진단 기상모형으로서 3차원 바람 및 온도장과 2차원의 혼합고, 지표특성, 확산특성을 산출할 수 있다.

이상의 두 수치모형을 이용하여, 먼저 중규모 기상 모델인 WRF의 상세 기상장 계산결과를 CALMET의 입력 자료로 활용하고 또한, 환경부 환경지리정보 사이트에서 제공하는 토지피복 분류도를 이용하여 지형 정보를 입력하였다(환경부, 2010). Fig. 4는 부산도심지의 상세 기상장 계산을 위한 CALMET 수치모의 영역의 위치와 상세 지형도를 나타낸 것이다. 영역의 서

북방향에 백양산 일대의 산림지역이 위치하고 있고 남서방향에는 구덕산, 동쪽으로 황령산일대의 산림지역이 형성되어 있음을 볼 수 있다. 이러한 영역에 대해 격자간격 250 m의 가로, 세로 각각 68개와 48개의 격자로 구성된 CALMET 수치모의 영역을 구성하였다.

CALMET 수치모의는 2가지 CASE를 설정하여 수행되었다(Fig. 5). CASE 1은 도심지 하천지역이 도로 또는 주차장으로 복개되어 있는 현 상태의 피복조건을 설정한 경우이고, CASE 2는 도심지 하천지역을 복원하여 강물이 드러난 피복조건으로 설정한 경우이

Fig. 4. WRF domain4(a) and CALMET domain with land use(b). The colors show built-up area(■), agricultural area(■), forested area(■) and water area(■).

Fig. 5. Land use distributions in CALMET modeling domain. Left(a) is the covered stream(CASE 1) and right(b) is the rest stream(CASE 2).

다. 이 두 CASE를 대상으로 수치모의를 수행하여 부산 도심지의 상세 기상장을 산출하였다.

2.4. 대상지역의 토지피복 현황

연구대상 도심 복개 하천들이 위치하고 있는 영역의 현재 지표면 토지 피복 상태를 설정한 CASE 1(Fig. 5(a))은 환경부에서 제공되는 토지피복도(Fig. 4(b))를 활용하여 각 격자별 토지 피복 상태를 생성하여 도출하였다. 현재의 지표 토지피복 상태를 보면 CALMET 계산 영역의 많은 부분이 도시지역으로서 전체 격자의 약 43.7%를 차지하고 있고 황령산, 구덕산, 백양산을 중심으로 산림지역이 약 30.7% 차지하고 있다. 토지피복 종류의 관점에서 물표면을 나타내는 수역은 부산항 지역과 서쪽의 낙동강 지역 그리고 동쪽의 수영강 일부 지역이 있으며 전체 격자의 약 17.4%를 차지하고 있음을 확인할 수 있다. Fig. 5(b)는 복개된 도심지 하천영역을 수역으로 복원하였을 경우의 토지피복 상태를 예상하여 나타낸 것이다. 하천의 지리적 위치에 따라 복원 전후의 전반적 토지이용도 비율이 변화하였는데(Table 3), 하천 복원이 이루어 질 경우 농업지역과 산림지역도 일부 감소되지만 대부분의 경우 도심지역이 하천으로 변경되는 것을 알 수 있다. 이는 도심지 하천이 복개된 후에 현재까지 대부분 도로와

주차장 등으로 이용되고 있기 때문이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. WRF 모델링 결과

WRF 수치모의는 spin up 시간을 고려하여 3월 27일 09LST부터 3월 28일 21LST까지 수행하였으며 기상청에서 운영 중인 AWS지점의 관측값과 비교를 통해 수치모의 결과의 타당성을 살펴보았다. Fig. 6은 부산지역에 위치하고 있는 기상청 AWS 11개 지점의 위

Fig. 6. Locations of AWS in WRF domain4.

Table 3. Number(%) of grid at each case

	Built-up	Agricultural	Forested	Water	Barren	Total
CASE 1	1426(43.7)	261(8.0)	1003(30.7)	568(17.4)	6(0.2)	3264
CASE 2	1274(39.0)	256(7.8)	987(30.2)	741(22.7)	6(0.2)	3264

Fig. 7. Comparisons of the modeling results with observations at each AWS station. 'OBS' and 'MODEL' denote observations and modeling results respectively.

Fig. 8. Horizontal distribution of wind and temperature from WRF modeling results at 0600, 0900, 1200, 1500, 1800 and 2100LST on 28 March.

치를 나타낸 것이고, Fig. 7은 이들 11개 지점에서 관측된 기온, 풍향, 풍속 관측값과 WFR 수치모의 결과를 비교한 것이다.

기온의 경우, 관측값과 수치모의 결과를 비교해 보면 지점별로 다소 차이는 있지만 대부분의 관측지점에서 시간별에 따른 일변화 패턴과 기온값 정도를 WRF 수치모의가 관측값을 비교적 잘 모의하고 있음을 알 수 있다. 풍향의 경우에도 거의 모든 AWS 지점에서 관측에서 나타난 일중 탁월하게 나타난 주풍의 형태와 시간에 따른 변화 양상을 수치모의 결과에서도 비교적 유사하게 잘 나타나고 있다. 즉, 낮 시간대에 서풍계열이 바람이 불다가 야간으로 가면서 동풍이나, 북풍계열의 바람으로 바뀌고 있는데, 일부 지점에서(940, 939) 27일 야간에서 28일 새벽사이에 나타난 북동, 북풍계열의 바람은 수치모의 결과가 다소 차이를 보이지만, 그 외 대부분의 지점에서 전반적으로 28일 저녁까지 주로 나타난 서풍계열의 바람과 그 이후 북풍, 동풍계열의 바람이 나타나는 일변화 패턴을 비교적 잘 모의하는 것으로 판단된다. 풍속의 경우도 전체 AWS 지점에서 27일 야간에서 28일 새벽까지는 낮은 풍속을 보이다가 28일 낮 시간대에 증가하는 경향을 보이고 있으며 전반적으로 수치모의 결과가 이러한 경향을 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다. 이를 통해 연구 대상일 WRF 수치모의 결과가 부산지역의 여러 AWS 지점 관측값에서 나타난 지점별 주요 기상요소의 특징과 전반적인 변화 경향을 반영하는 것으로 보아, 부산지역 도심지의 토지피복변화에 따른 도심지 기온변화 분석을 위한 CALMET 수치모의의 입력 자료로 사용하기에는 무리가 없을 것으로 판단된다.

Fig. 8은 WRF 수치모의를 통해 도출된 부산광역시 일대의 시간대별 수평바람장과 기온분포를 나타낸 것이다. 기온의 경우 관측값과의 비교에서 살펴본 것과 같이 12LST에서 15LST 사이에 도심내부 대부분의 지역에서 일 최고 기온을 나타내고 이후 급격히 하강하는 경향을 보이고 있다. 시간대별로 살펴보면, 일출 시간대 부근인 06LST에는 도심지역이 해양지역보다 낮은 온도를 보이고 있으나 시간이 지나면서 도심지역의 기온이 급격히 증가하면서 해양지역과 비슷한 온도 분포를 보이며 이후, 15LST 되면서 전 영역 전체에 걸쳐 10℃~14℃ 정도의 기온분포를 나타내고 있다. 전

반적으로 낮 시간대로 가면서 산림지역에서의 기온변화와 해양에서의 기온변화에 비해 부산 도심지를 형성하고 있는 저지대 지역에서의 기온변화 폭이 크게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 이는 일반적으로 잘 알려진 것으로 산림지역이나 연안 바다지역에 비해 도심지 내부는 지표면에 수분의 부족과 포장화된 구조물이 많기 때문으로 볼 수 있다. 즉, 본 연구의 연구대상일의 수치모의에서도 그러한 일반적인 대도시의 수평 기온분포의 특징을 잘 볼 수 있고, 앞서 분석한 기온의 일변화 경향에 대한 관측값과의 타당성 분석과 더불어 본 연구의 수치모의 결과가 연구대상일 기온의 공간분포와 시간에 따른 변화특성을 비교적 정확히 수치모의하고 있다고 판단할 수 있다. 수평 바람장 수치모의 결과도 관측에서 나타난 바람장의 특징을 비교적 잘 나타내고 있는데, 우리나라 주변의 기압계 분포(Fig. 2)와 AWS 관측값과의 비교 분석에서(Fig. 7) 살펴본 바와 같이 연구대상 영역에서도 북서풍 계열의 바람이 탁월하게 분포하고 있는 것으로 나타났다. 전반적으로 전 시간대에 걸쳐 해상에서의 풍속이 내륙에 비해 강한 경향을 나타내고 있고, 도심 내륙에서는 낮 시간대로 가면서 점차적으로 강화되는 양상을 보이고 있다. 이후 18LST 부터 북풍계열의 바람이 나타나고 있으며 21LST에는 북풍~동풍 계열의 바람으로 바뀌면서 Fig. 6에서 확인한 것과 같은 패턴을 보이고 있다.

이상의 분석을 통해 WRF 수치모의 결과의 타당성을 검토한 결과, 연구 사례일의 부산광역시 일대의 기온과 바람분포 및 변화특성을 비교적 잘 수치모의하고 있는 것을 알 수 있었다.

3.2. CASE 1 수치모의 결과

앞서 타당성을 검증한 WRF 수치모의 결과를 이용하여 부산지역 도심지 하천지역의 토지피복 변화에 따른 기온변화 정도를 살펴보기 위하여 CALMET 수치모의를 수행하였다.

먼저, 부산지역 도심지 하천이 복개되어 도로나 주차장의 토지피복을 나타내고 있는 현 상황에 대한 수치모의(CASE 1)를 수행하였다. Fig. 9(a)는 CALMET 수치모의 영역과 기상청 AWS 위치를 나타낸 그림이다. CALMET 수치모의 결과의 타당성을 살펴보기 위하여 CASE 1의 결과와 AWS 기온 측정값을 비교한 결

Fig. 9. Locations of AWS in CALMET domain(a) and comparisons of the CALMET modeling results with observations at each AWS station in CALMET domain(b). 'OBS' and 'MODEL' denote observations and CALMET modeling results respectively.

과(Fig. 9(b)) 지점별로 다소 차이는 있지만 전반적으로 관측치의 일변화 패턴을 잘 따르고 있음을 알 수 있다. 938 지점에서 낮 시간대 기온이 다소 과소평가되고 있지만 CALMET 수치모형을 이용하여 지표면 피복변화에 따른 기온 변화 효과를 살펴보기에는 무리가 없을 것으로 판단된다.

Fig. 10는 CASE 1의 수평기온 분포를 시간대별로 나타낸 것이다. 부산 도심지 내부의 시가지 지역을 중심으로(Fig. 4(b) 참고) 16LST까지 기온의 상승이 지속적으로 나타나고 있으며 이후 시간대로 가면서 급격하게 기온이 낮아지는 것을 볼 수 있다. 계산영역의 서남방향에 위치한 구덕산자락과 북서방향에 위치한 백양산 그리고 동쪽에 위치한 황령산자락은 부산 도심을 둘러싸고 있는 삼림지역으로서 도심지에 비해 상대적으로 낮은 기온을 지속적으로 유지하는 것을 알 수 있다. 17LST가 지나면서 해상과 산림지역을 중심으로 기온이 점차적으로 하강하고 있으나 이들 산림지역에서는 이보다 더 빠른 기온하강의 경향을 보이고 있고 18LST에는 도심지 내부의 기온이 해상보다 더 낮은 것을 볼 수 있다. 이는 연구대상일이 3월 하순으로 낮 시간의 길이가 여전히 짧아서 고지대에서의 빠른 기온하강을 나타나고 있는 것이며 또한 빠른 일몰에 따른 내륙의 빠른 기온하강이 하계에 비해 더 빨리 나타나서 해상보다 낮은 기온을 보이고 있는 것으로 분석할 수 있다.

3.3. CASE 2 수치모의 결과

여기서는 현재 도로와 주차장 등의 구조물로 복개되어 있는 부산 도심하천의 피복 상태를 자연 상태로 복원한 것으로 가정하여 수치모의한 CASE 2의 CALMET 수치모의 결과를 CASE 1의 수치모의 결과와 비교분석하였다. Fig. 9는 CASE 1과 CASE 2의 격자별 기온 차이를 나타낸 것으로 앞서 CASE 1 수치모의에서 전 영역 평균 가장 높은 기온을 보였던 13LST의 결과를 비교하여 그 차이를 나타낸 것이다. 그림에서 점선은 도심지 하천이 위치한 지역을 나타낸 것으로 이 영역의 피복상태가 CASE 1과 CASE 2 수치모의의 차이점이다.

연구대상일인 3월 28일 13LST는 CASE 1의 분석에서 전 영역 평균기온이 가장 높은 시간대이기도 하지만, CASE 1과 CASE 2의 격자별 기온차이가 가장 크고 넓게 나타난 시간대였다. 따라서 여기서는 두 경우의 차이가 가장 크게 나타난 13LST의 결과 분석을 수행하였다. 그림을 보면 도심지 하천이 자연 상태로 복원되는 경우, 대부분의 지점에서 0.1℃ 이상의 기온하강 효과가 있는 것으로 나타났다. 특히, 대상영역의 서쪽에 위치하고 있는 학장천 일대는 1℃ 이상의 기온하강지역이 넓게 분포하고 있어 하천 복원에 따른 기온하강 효과가 가장 크게 나타날 것으로 예측되었다. 하천 복원을 통한 기온하강 효과는 지표면 피복 상태가 변화된 하천영역 뿐만 아니라 이들 하천의 주변 영역에 걸쳐 비교적 넓게 나타나고 있는 것을 알 수 있으며

Fig. 10. Horizontal distributions of temperature field from CALMET modeling result from 0700 to 1800LST on 28 March.

Fig. 10은 각 하천별 하천 대표지역에서(Fig. 11 참조) 하천복원 전·후의 기온변화를 시간대별로 나타낸 것이다. 전반적으로 전 지점에서 하천복원 후에 기온이 하강하고 있는 것을 알 수 있고, 특히 낮 시간대에 하천복원에 따른 기온하강 효과가 더 크게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 지점별로 기온 하강 효과가 차이가 있음을 알 수 있는데, 이는 수치모의 대상일의 종관기상요인이나 분석지점 주변의 지형적, 지리적 조건 등 다른 요인의 영향이 반영된 것으로 판단된다(이에 대한 정확한 정량적 분석은 차후 연구에서 지속적으로 추진할 계획이다.). 하천별로 복원에 따른 최대 기온하강값을 살펴보면, 학장천이 2.01℃로 가장 많이 감소하였고, 보수천은 1℃, 전포천은 0.63℃, 부전천은 0.56℃, 초량천은 0.46℃, 부산천은 0.38℃, 그리고 사직천은 0.34℃로 나타나서 지점별로 0.34℃~2.01℃의 기온하강 효과가 있음을 알 수 있었다. 기온하강이 가장 크게 나타난 학장천의 경우, 오전 시간대부터 지속적으로 기온차이가 크게 나타나고 있어 지표면 피복 변화인 하천복원에 따른 기온하강 효과가 시, 공간적

으로 가장 크게 나타날 것으로 예상되었다.

실제 지자체의 자연형 하천복원 성격의 사업들을 살펴보면 복개하천 대상 지역의 해당 면적 중 일부는 조림지로도 조성하고 있지만 조림지 또한 산림 형태

Fig. 11. Horizontal difference of temperature between CASE 1 and CASE 2 at 1300LST. Dashed lines denote the boundary of stream area and circles denote the representative locations of each stream.

Fig. 12. Comparisons of hourly air temperature in CASE 1 and CASE 2.

의 친수공간 개념이 포함되므로 이러한 면적을 포함 하더라도 자연형 하천복원 사업 대상지 대부분은 물이 흘러가는 물표면으로 복원하고 있어 전반적으로는 친수공간 성격의 자연 상태인 하천환경으로 구성되고 있다. 따라서 아스팔트나 빌딩 등의 지표면 상태를 가지고 있는 부산시내의 주요 복개하천들이 수역을 포함한 친수공간으로 복원될 경우 그 주변의 넓은 범위에 걸쳐 기상 및 지형적, 지리적 조건에 따라 최대 2℃까지 기온 하강 효과가 있을 수 있음을 알 수 있으며 이는 도시화에 따른 도시열섬 등의 효과를 감소시켜 도심지 대기환경을 개선하는데 비교적 큰 효과가 있을 것으로 예상할 수 있겠다.

4. 결 론

본 연구에서는 부산지역을 대상으로 도심지 하천의 복원에 따른 토지 피복의 변화가 도시지역 기온변화에 어떠한 영향을 미치는지를 중점적으로 살펴보고자 하였다. 이를 위해 도심지 내부에 위치한 복개하천 7개소에 대하여 환경부에서 제공되는 토지 피복도를 활용하여 하천 복원 전 후의 토지 피복 상태를 구성하였으며 중규모 기상모델인 WRF 수치모델을 통해 부산지역 기상장을 분석하고 이 결과를 CALMET 모형의 입력 자료로 구성하여 하천복원 전(CASE 1)과 후(CASE 2)의 도심지역 상세 온도장 분석을 수행하였다.

CALMET에 입력되는 WRF 수치모델의 결과를 기상청 AWS 관측값과 비교 분석한 결과, 전반적으로 연구대상일의 기온분포와 풍향, 풍속의 특징을 잘 재현하는 것으로 나타났다. 따라서 주 연구대상지역인 부산도심지의 상세 기상장 계산을 위한 CALMET 수치모델의 입력 자료로 활용하는데 타당함을 알 수 있었다. WRF 수치모델의 결과를 입력 자료로 활용하여 먼저, 하천지역이 도로나 주차장 등으로 복개되어 있는 도심지 내부 7개 하천의 현재 지표면 피복 상태를 고려한 CASE 1의 CALMET 수치모델의 결과 또한 관측값과 유사한 기온값과 일변화 경향을 보여 CALMET 수치모델의 결과 또한 타당한 것을 확인할 수 있었다. CASE 1의 경우, 13LST까지 부산의 도심지 지역을 중심으로 기온이 급하게 상승하였으나 도심지를 둘러싸고 있는 여러 산림지역을 중심으로 일 중으로 저온역이 형성되

어 지표면 피복상태가 기온분포에 상당한 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다. 이와 더불어 도심지 내부의 7개 하천이 모두 복원되어 수역으로 변경된 경우인 CASE 2의 수치모델의 결과를 CASE 1의 결과와 비교 분석한 결과, 하천복원지역을 중심으로 기온의 하강효과를 확인할 수 있었으며 지표면 상태가 수역으로 변경된 대상 하천지역뿐만 아니라 그 주변으로도 비교적 넓게 기온 하강효과가 나타나는 것을 예상할 수 있었다. 이러한 기온하강 정도는 하천의 대표지점별로 0.34℃에서 최고 2.01℃까지 나타났다.

따라서 현재 도로나 주차장, 그리고 여러 형태의 구조물로 복개되어 있는 부산 도심지 주요 하천들이 친환경 복원사업의 형태로 사업이 진행되어 자연 상태의 친수공간을 포함한 하천으로 되돌려질 경우, 하천을 포함한 그 주변의 넓은 지역에 걸쳐 최대 약 2℃까지의 기온 하강효과가 있을 수 있음을 알 수 있었으며 이는 궁극적으로 도시화 등에 따른 도시열섬 등의 효과를 감소시켜 대도시의 대기환경 개선에도 효과가 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 권태현, 김규량, 변재영, 최영진, 2009, 도시 내부 하천 복원에 의한 열 환경의 시공간적 변화, 환경영향평가, 18(6), 321-330.
- 김연희, 구해정, 김규량, 최병철, 백종진, 2007, 서울의 도심 내 하천 복원 사업은 국지 기후에 영향을 미치는가?, 한국대기환경학회 2007년 공동학술대회 초록집, 131-134.
- 김유근, 정주희, 배주현, 오인보, 권지혜, 서장원, 2006, WRF 모형을 통한 복잡연안지역에서의 해상풍 모의 개선, 한국대기환경학회지, 22(3), 309-323.
- 박석봉, 1995, 도심하천의 복개에 따른 열환경 변화에 관한 연구(제1보), 대한건축학회학술발표논문집, 15(2), 329-332.
- 부산광역시 보건환경연구원, 2010, 부산시내 주요 복개 하천 오염도조사 결과보고.
- 신동수, 손태석, 장종경, 신현식, 2008, 부산시 복개하천 관리 실태조사 및 평가, 대한토목학회 정기학술대회, 1719-1722.
- 이현미, 이화운, 이순환, 2012, WRF/FLEXPART를 이용한 한반도 동남지역 계절별 공기과 이동 패턴 분석, 한국환경과학회지, 21(3), 327-337.

- 이현주, 이귀옥, 원경미, 이화운, 2009, 최신토지피복자료를 이용한 대구시의 열환경 수치모의, 한국대기환경학회지, 25(3), 196-210.
- 조성모, 윤용한, 류을렬, 박봉주, 김원태, 2009, 도시내 용도지역의 토지피복형태가 열섬현상에 미치는 영향, 한국환경과학회지, 18(2), 169-176.
- 환경부, 2010, 환경지리정보서비스, <http://egis.me.go.kr/>.
- 환경부, 한국환경공단, 2011, 생태하천 복원 가이드북.
- 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, 환경영향평가, 19(1), 75-81.