

# 도심재생하천 내 수리적 특성이 열환경 변화에 미치는 영향 평가: 청계천을 대상으로\*

김정호<sup>1)</sup> · 이주승<sup>2)</sup> · 윤용한<sup>1)\*\*</sup>

Impact Assessment on the Change of Thermal Environment, According to the Hydraulic Characteristic Urban Regeneration Stream: Cheonggyecheon Case Study

Jeong-Ho Kim<sup>1)</sup> · Ju-Seung Lee<sup>2)</sup> · Yong-Han Yoon<sup>1)\*\*</sup>

1) 건국대학교 녹색기술융합학과(Department of Green Technology Convergence, Konkuk University)

2) 건국대학교 대학원 산림과학과(Department of Forest Science, Konkuk University)

제출: 2015년 1월 13일 수정: 2015년 3월 13일 승인: 2015년 6월 18일

## 국문 요약

도심재생하천 내부의 수리적 특성이 열환경 변화에 미치는 영향을 알아보기 위해 하천의 물리적 구조와 수리적 특성, 기상요소, 온열환경을 분석하였다. 연구 대상지는 복원된 도시하천으로서 큰 의의를 가지는 청계천을 선정하였다. 유형은 물리적 구조별 녹피율의 차이에 따라 유형 I(0.0%)과 유형 II(20.2%)로 구분하였다. 여울이 끝나는 Ba지점에서 수온은 0.2℃ 감소, 유속은 0.7~0.9m/s 증가, 용존산소량은 0.5~0.6mg/L 증가하였으며, 기온은 평균 1.1~1.4℃ 감소, 상대습도는 평균 6.6~8.7% 증가, 풍속은 불규칙한 변화를 보였다. 습구흑구온도지수 분석결과, 유형에 따른 상류부의 하천 내부와 수면 외부의 값의 차이는 미비하였으나, 유형 I의 하류부에서 감소폭은 0.3~0.6℃, 유형 II는 0.8℃ 등이었다. 기온저감의 효과는 수직높이로 유형 I의 경우 120cm, 유형 II는 140cm까지 영향이 있었으며, 거리별 기온저감의 효과는 유형 I의 경우 여울이 끝나는 Ba지점 이후로 증가하였고, 유형 II의 경우 지속해서 감소하였다.

■ 주제어 ■ 수리적 특성, 기상요소, 온열환경, 습구흑구온도지수

## Abstract

Our goal is to verify how changes in water's hydraulic characteristics after urban regeneration stream can affect any possible transformation of its thermal environment. To that end, we analyzed changes in numerous physical characteristics the subject stream along with the meteorological factors and thermal environment affected by it. Cheonggyecheon was selected as our subject as it is a great example of successful urban regeneration stream. As for physical characteristics, we allocated Type I (0.0%) and Type II (20.2%), depending on the green coverage ratio. As for numerical characteristics, at the point of Ba in which the riffle ends, the water temperature fell by 0.2℃ and the flow increased from 0.7m/s to 0.9 m/s with the dissolved oxygen increasing from 0.5mg/L to 0.6mg/L. As for meteorological

\* 이 논문은 2015년도 건국대학교 KU학술연구비 지원에 의해 이루어진 논문임.

\*\* 교신저자 : yonghan7204@kku.ac.kr

factors surrounding the subject stream, the temperature dropped from 1.1°C to 1.4°C on average and relative humidity increased from 6.6% to 8.7%. Furthermore, there was an irregular change in wind velocity. According to the result of the Wet Bulb Globe Temperature (WBGT), the change in the values of Type I and II inside and on the surface of the subject stream was negligible. The downstream temperature in Type I fell from 0.3°C to 0.6°C and by 0.8°C in Type II. As for vertical cooling effect, the change of water level was 120cm in Type I and 140cm in Type II. As for horizontal cooling effects, the value of Type I was increased from the point of Ba where the riffle ends and the value of Type II was on a steady decline.

■ **Keywords** ■ Hydraulic Properties, Meteorological Elements, Thermal Environment, WBGT

---

## I. 서론

도시화가 진전됨에 따라 인공하천은 생물서식처로서 그 기능을 상실하고 인간생활에 도움을 주는 생태적 기능도 발휘하지 못하게 되었다(이창석, 오종민, 이남주, 2003). 그러나 리우회의 이후 세계적으로 녹지를 선호하는 패러다임이 생겨났으며 도시경관에 대해 더욱 쾌적한 환경을 추구하려는 요구도가 높아짐에 따라(정성관, 이정, 1994), 도시녹지로서 하천의 중요성과 하천환경을 개선하고 복원해야 한다는 인식이 확산되기 시작하였다(박병관, 2012).

하천복원은 훼손된 하천의 물리적 형태 및 생태적 기능을 회복시키는 과정으로, 생물서식지, 자정작용, 경관과 친수성 등의 하천이 지닌 성질을 되살리기 위한 과정을 의미하며, 하천에 교란을 주는 원인을 제거하거나 감소하는 소극적인 활동으로부터 교란으로 훼손된 하천을 적극적으로 복원하는 활동 모두를 포함하고 있다(환경부, 한국환경공단, 2011). 도심 내 하천의 복원은 단순히 치수나 이수 문제뿐만 아니라, 수변 녹지 및 생태기능 증진을 통한 자연성 회복은 물론이고 다양한 친수공간을 조성함으로써 시민의 휴식공간으로 이용하며(김양호, 2010), 수체에 의한 열섬저감효과와 바람길을 형성하는 효과가 있다(정창원, 2004).

도시하천이 복원됨에 따라 진행된 연구는 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 첫째, 하천복원에 의한 열환경 변화에 관한 연구로서, 하천 주변의 열환경 측정결과 하천에 의한 기온저감 효과는 그 주변에 걸쳐 나타났으며(권태현 외, 2009; 정우식, 도우곤, 2012), 하천 내부의 열환경 변화는 복개된 지점과 미복개된 지점의 열환경 측정을 통해 하천 내부의 수역과 불투수포장면에 따른 기온의 차이를 규명(박석봉, 1995)하였다. 둘

째, 복원된 하천의 유형분석에 관한 연구로서, 복원하천의 유형을 분석한 연구(김양호, 2010; 박범수, 2014)에서 대부분의 하천은 획일화된 복원이 이루어졌으며 그에 따른 정비방안으로 지역적 특징에 맞는 다양한 복원기법이 적용되어야 할 것으로 제시되었다. 셋째, 생태적 변화에 관한 연구로서, 복원된 도시하천을 대상으로 생태건강도를 조사하여 하천생태계에 대한 평가를 한 결과(김현정, 이상재, 안광국, 2010; 한봉호, 최일홍, 기경석, 2010), 복원에 의한 생태적 변화는 효과적이지 않았고, 환경적으로 고려되지 않은 맹목적인 복원은 효과적이지 않았으며, 지속적인 관리가 필요한 것으로 분석되었다. 지금까지 진행된 연구는 주로 복원된 하천의 유형분석과 생태적 변화에 관한 연구가 있었으며, 획일화된 복원으로 인한 문제점과 정비방안을 위한 기초자료를 제공하였다. 열환경 변화에 관한 연구는 하천에 의한 외부의 기온저감 효과에 국한되어 있었고, 하천의 내부 공간을 대상으로 한 연구는 복개지점과 미복개 지점을 비교·분석하여 기온의 차이를 규명한 연구를 제외하곤 거의 없었다. 또한, 하천 내부의 이용자들에게 대한 온열환경을 분석한 연구는 전혀 없다.

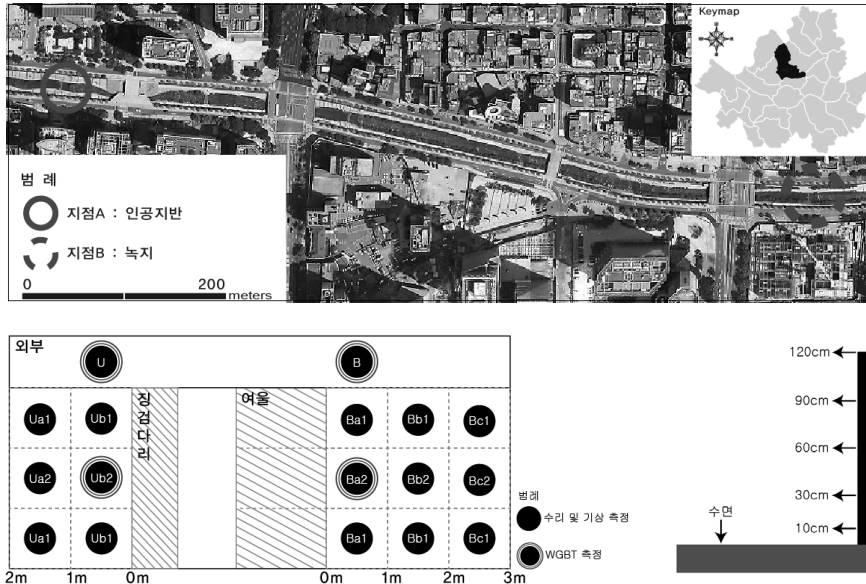
따라서 본 연구는 복원된 도시하천 내부의 물리적 구조 변화가 수리적 특성과 열환경 변화에 미치는 영향을 규명하고, 그에 따라 이용자들이 느끼는 온열환경을 분석하고자 하였다.

## II. 연구범위 및 방법

### 1. 연구대상지

본 연구의 대상지는 <그림 1>과 같으며, 도시하천복원의 대표적인 사례 중 하나인 서울시 청계천으로 유역면적은 50.1km<sup>2</sup>이며, 유로연장은 10.9km이다. 청계천은 복원공사가 시행된 후, 도시경관의 획기적 개선과 랜드마크를 형성하면서 도시인들이 자연의 분위기 속에서 휴식을 취할 수 있는 수변 및 친수공간이 제공되었고, 다양한 생물 종이 돌아오면서 도심자연의 회복이 진행되고 있으며, 물길이 열리면서 청계천은 그 자체로 바람길이 되어 대기를 순환시키는 효과를 낳고 있다(조명래, 배재호, 2005).

그림 1 연구 대상지 위치 및 측정지점 모식도



자료: 필자 작성.

## 2. 측정지점 및 기간

측정지점은 <그림 1>에 제시되어 있으며, 연구대상지로 설정한 청계천의 복원구역 5.8km 중에서 물리적 구조의 특징이 나타나는 모전교 하류부의 여울 지점과 수표교 하류부의 여울 지점으로 총 2곳을 선정하였다. 선정된 지점은 녹피율의 차이에 따라 유형 I과 유형 II로 구분하였으며, 수역 폭과 수심의 변화는 일정하였다(표 1 참조). 측정지점의 열환경은 주변의 여건에 따라 변화될 수 있으므로 기존 문헌을 토대로 영향권은 50m로 설정한 뒤(권영상, 2004; 김정호, 오득균, 윤용한, 2012; 윤용한, 2002; 차영화, 김학열, 허태영, 2009), Ua지점 상류로 50m, Bc지점 하류로 50m를 설정하여 녹피율을 조사하였다. 유형 I의 대상지와 영향권 내 녹피율은 0.0%로 수면을 제외하고는 모두 불투수포장면으로 구성되어 있었다. 여울의 길이는 5.0m, 단차는 40cm, 수역 폭은 8.0~9.7m, 수심의 경우 상류부는 39~50cm, 하류부는 17~25cm로 변화폭이 일정하였다. 유형 II의 대상지 녹피율은 20.2%, 영향권 내 녹피율은 35.6%로 분석되어 대상지와 영향권 내 토지피복의 상태는 유사하였다. 여울의 길이는 4.5m, 단차는 42cm, 수

역 폭은 6.5~7.0m, 수심의 경우 상류부는 40~56cm, 하류부는 20~30cm로 변화폭이 일정하였다.

유형별 측정지점의 구분은 <그림 1>과 같으며, 지점에 따른 열환경 변화의 차이를 규명하기 위해 수역의 외곽부를 1지점으로, 중앙부를 2지점으로 구분한 뒤, 징검다리를 중심으로 상류 2m지점까지 1m 간격으로 Ua지점, Ub지점으로 나누었으며 징검다리 하류에 있는 여울 아래로 3m지점까지 1m간격으로 Ba지점, Bb지점, Bc지점으로 나누어 총 10개소(Ua1지점, Ua2지점, Ub1지점, Ub2지점, Ba1지점, Ba2지점, Bb1지점, Bb2지점, Bc1지점, Bc2지점)로 구분하였다.

지점별 측정항목으로 수리적 특징은 유속, 수온, 용존산소량을 측정하였고, 기상요소로는 수면온도와 수면으로부터 수직별(10cm, 30cm, 60cm, 90cm, 120cm)로 기온, 상대습도, 풍속을 측정하였다. 온열환경은 습구온도, 흑구온도, 건구온도를 수면으로부터 120cm 높이에서 하천내부의 Ub2지점과 Ba2지점에서 측정하였으며, 하천외부는 U지점과 B지점에서 측정하였다.

측정 기간은 2014년 8월로 한 달 동안 측정하였으며, 서울의 8월 평균기온은 25.2℃, 평균최저기온은 22.1℃, 평균최고기온은 29.6℃이었으며, 연구의 목적에 부합하는 날을 선정하여 분석하였다.

표 1 유형별 물리적 구조 특징

구분		유형 I	유형 II
녹피율	대상지	0% (총 면적 : 351.8m <sup>2</sup> , 녹지면적 : 0.0m <sup>2</sup> )	20.2% (총 면적 : 319.0m <sup>2</sup> , 녹지면적 : 64.3m <sup>2</sup> )
	영향권 내 토지피복	0% (총 면적 : 2,390.6m <sup>2</sup> , 녹지면적 : 0.0m <sup>2</sup> )	35.6% (총 면적 : 2,308.5m <sup>2</sup> , 녹지면적 : 822.7m <sup>2</sup> )
여울 길이		5.0m	4.5m
여울 단차		40cm	42cm
수역 폭		8.0~9.7m	6.5~7.0m
수심	상류부	39~50cm	40~56cm
	하류부	17~25cm	20~30cm

자료: 필자 작성.

### 3. 분석방법

수리적 특징으로 수온과 유속은 JDC Electronic사의 Flowatch를 사용하였고, 용존산소량은 Lutron사의 DO-5512SD를 사용하였으며, 기상요소의 기온, 상대습도, 풍속은 TSI사의 3360-M-GB를 사용하였다. 온열환경은 건·습구 온도계와 흑구온도계를 사용하여 실외온열환경의 지표 중 하나인 습구흑구온도지수(WBGT)를 분석(WBGT(실외) =  $0.7t_w + 0.25t_g + 0.1t_a$ ( $t_w$  : 습구온도,  $t_g$  : 흑구온도,  $t_a$  : 건구온도))하였으며, 물리적 구조에 따라 인체가 느끼는 감각적 온도의 변화를 수치화하여 표현하였다.

측정된 항목은 유형별로 하천으로부터 종방향, 횡방향, 수직별로 분석하였으며, 이를 통해 물리적 구조에 따른 열환경 변화를 규명하고자 하였다. 또한, 유형 간 비교를 통해 열환경 변화의 차이점을 분석하였다. 통계분석은 SPSS(Ver. 18.0) 프로그램을 통해 분산분석, 상관성분석, 독립표본 T-검정, 회귀분석을 하였다.

## III. 선행연구 고찰

현재 미기후 분야의 연구는 아직 기초적인 수준에 머물러 있고, 열환경 개선의 측면보다는 바람길 조성과 같은 도시규모 차원에서의 접근이 대부분을 차지하고 있었다(이정아 외, 2010). 특히 도시하천복원 시 쾌적한 이용측면의 열환경을 고려한 계획은 진행되고 있지 않은 상태였다. 열환경은 외부활동에 있어 시민들의 건강과 직결되는 매우 중요한 요소이기 때문에 지역의 특징에 적합한 관리방안을 수립하고 실제적인 도시공간의 개선을 위해 소규모 공간에 대한 진단 및 평가에 관한 체계적인 연구가 필요한 실정이다(박수국, 2013).

지금까지 열환경 변화에 관한 연구는 <표 2>와 같으며, 열환경과 관련된 선행연구는 기온변화에 영향을 미치는 인자들을 분석하는 연구가 주를 이루었다. 토지이용과 기온과의 관련성에 관한 연구는 토지이용현황에 따른 지점별 실측을 통해 기온과의 관련성을 분석(윤용한, 2004; 조성모 외, 2007; Murakawa, Sekine, Narita, 1991; Shudo et al., 1997), 자동기상관측망(AWS)를 이용하여 주변의 토지이용과 기온간의 영향인자를 분석하고 개선안을 도출(차영화, 김학열, 허태영, 2009; 홍원화, 이강국, 서원덕, 2007) 등의 연구가 이루어졌다.

하천과 기온과의 관련성에 관한 연구는 하천의 수온과 기온과의 관련성을 분석

(Kaushal et al., 2010; Mohseni, Stefan, 1999; Stoneman, Jones, 1996), 도시하천이 주변의 기온저감에 미치는 효과를 분석(이강국 외, 2011; Sun et al., 2012), 하천복원 전·후로 주변의 기온을 실측하여 복원에 따른 기온저감 효과를 분석(이규석 외, 2010; 정우식, 도우곤, 2012; 박석봉, 1995), 하천 주변의 토지이용 및 기상요소의 변화에 따른 기온저감효과에 관한 요인 분석(Hathway, Sharples, 2012) 등의 연구가 이루어졌다.

온열환경에 관한 연구는 토지이용에 따른 온열쾌적감의 차이 분석(주창훈 외, 2008), 하천복원 전·후로 열환경 실측을 통한 시공간적 예상온열감의 차이 분석(권태현 외, 2009), 녹지에 의한 습구흑구온도의 개선효과 분석(안동만 외, 2013; 주민진, 이춘석, 류남형, 2004) 등의 연구가 이루어졌다.

지금까지 하천에 관한 국내외의 열환경 연구는 하천과 기온의 관계 및 영향인자 분석에서의 접근이 이루어지고 있었으며, 하천내부의 소규모 공간에서 열환경 변화를 분석한 연구는 미비하였다. 특히 하천내부의 소규모 공간에서 물리적 구조가 열환경 변화에 미치는 영향을 분석한 연구는 전혀 없다.

표 2 관련 연구 동향

연구자	연구 내용
Murakawa Sekine, Narita (1991)	히로시마시의 오타강에서 하천내부와 외부의 토지피복에 따른 기온차이를 실측하여 하천이 주변 열환경에 미치는 영향력과 범위 분석
박석봉 (1995)	도시하천의 복개지점과 미복개지점의 열환경 측정을 통한 물리적 구조의 변화가 열환경에 미치는 영향 분석
Stoneman and Jones(1996)	미국 온타리오주의 6개 하천지점에서 수온과 기온을 실측 및 회귀분석하여 노모그래프 제시
Shudo et al. (1997)	토지피복 및 유형에 따른 기온간의 관계를 회귀분석을 실시하여 토지피복 및 유형에 따라 나타나는 기온차이 분석
Mohseni and Stefan(1999)	하천의 수온과 기온과의 상호관계를 분석하여 하천수온과 기온변화의 유사함 제시
윤용한 (2004)	녹지 내 토지피복상태 및 식재층위를 세분화하여 기온과 유형간의 관련성을 분석하여 미기상조절효과 분석
주민진, 이춘석, 류남형 (2004)	수목의 잎면적 지수에 따른 습구흑구온도(WBGT)의 저감효과를 분석하여 최적의 수목규격 도출
조성모 외 (2007)	청주시 시가지를 대상으로 기온, 풍향·풍속을 관측하여 토지이용형태에 따른 기온변화의 관련성 분석

연구자	연구 내용
홍원화, 이강국, 서원덕 (2007)	자동기상관측망(AWS) 지점의 토지이용형태에 따른 도시 열환경 특성 및 시뮬레이션 분석을 통해 도시 열환경 개선방안 도출
주창훈 외 (2008)	여름철 인체실험을 통해 온냉감, 쾌적감, 기류강 등을 측정하여 토지피복현황에 따라 인간이 느끼는 온열쾌적감 분석
권태현 외 (2009)	청계천 복원 전·후로 주변의 열환경 관측을 실시하여 기온과 예상온열감을 분석하여 하천복원에 따른 열환경 저감효과 분석
이규석 외 (2010)	서울시 양재천과 그 주변지역의 기온을 비교하여 도시하천복원에 따른 기온저감의 효과 분석
차영화, 김학열, 허태영 (2009)	자동기상관측망(AWS) 지점의 토지피복 및 유형과 관련된 인자를 이용하여 대기온도의 회귀모형을 추정하여 기온관리를 위한 도시계획적 시사점 도출
Kaushal et al. (2010)	미국 전역의 주요한 20개 하천의 수온을 실측하여 도시화 및 지구온난화가 하천 수온에 미치는 영향 분석
이강국 외 (2011)	도시 내 공원 및 하천의 기온변화 상태를 실측하여 기온변화율과 기온완화 효과 분석
정우식, 도우곤 (2012)	부산지역 도심에 위치한 7개의 복개하천을 대상으로 하천복원에 따른 토지피복의 변화가 부산지역의 기온에 미치는 영향 분석
Hathway and Sharples (2012)	도시하천 주변에서 토지이용 및 기상요소의 변화에 따른 기온저감효과에 관한 요인 분석
Sun et al. (2012)	ASTER의 이미지를 사용하여 도심내 수역의 크기와 위치에 따른 기온저감효과 분석
안동만 외 (2013)	도심보행공간의 습구흑구온도(WBGT) 측정을 통해 가로수 녹음의 열쾌적성 향상 효과 분석

자료: 필자 작성.

## IV. 결과 및 고찰

### 1. 수리적 특징

수리적 특징에 관한 분석결과는 <표 3>과 같으며 수온, 유속, 용존산소량을 측정하였고, 측정방법은 하천설계기준(국토교통부, 2009)의 방법을 이용하였다. 유형 I의 수온은 여울이 끝나는 지점인 Ba지점에서 0.2℃ 감소하였고, 유속은 Ba지점에서 0.7~0.9m/s 증가하였으며, 용존산소량은 0.5mg/L 증가하였다. 유형 II의 수온은 Ba지점에



서 0.2℃ 감소하였고, 유속은 Ba지점에서 0.7~0.8m/s 증가하였으며, 용존산소량은 0.6mg/L 증가하였다. 유형 I과 유형 II의 모두에서 수리적 변화는 물리적 구조의 특징이 나타나는 Ba지점에서 나타났으며, 그 변화는 같은 경향으로 수온은 감소하였고, 유속과 용존산소량은 증가하였다. 유속과 수온은 반비례 관계(이현석 외, 2008)이며, 여울에 의해 유속이 증가하면 용존산소량은 증가한다는 선행연구(이상수, 2002)와 유사한 경향이였다.

표 3 유형별 수리적 특징

구분			상류부		하류부		
			Ua	Ub	Ba	Bb	Bc
유형 I	수온 (℃)	중심부	25.1	25.1	24.9	24.9	24.9
		외곽부	25.0	25.1	24.9	24.9	24.9
	유속 (m/s)	중심부	0.1	0.1	1.0	0.8	0.9
		외곽부	0.1	0.1	0.8	0.8	0.8
	용존산소량 (mg/L)	중심부	7.9	7.9	8.4	8.3	8.2
		외곽부	7.9	7.9	8.4	8.3	8.2
유형 II	수온 (℃)	중심부	24.9	24.9	24.7	24.8	24.8
		외곽부	24.9	24.9	24.7	24.8	24.8
	유속 (m/s)	중심부	0.1	0.1	0.9	0.5	0.5
		외곽부	0.1	0.1	0.8	0.4	0.4
	용존산소량 (mg/L)	중심부	7.7	7.7	8.3	8.2	8.2
		외곽부	7.7	7.7	8.3	8.2	8.2

자료: 필자 작성.

## 2. 기상요소 특징

기상요소의 변화에 관한 분석결과는 <그림 2>와 같다. 기온변화의 분석결과 유형 I의 수직별 기온분포는 120cm > 90cm > 60cm > 30cm > 10cm 순으로, 수면으로부터 높아질수록 기온은 상승하였다. 거리별 기온의 변화는 여울이 끝나는 지점인 Ba지점에서 평균 1.1℃ 감소하였다. 유형 II의 수직 및 거리별 기온의 변화는 유형 I과 같은 경향이었으며, Ba지점에서 평균 1.4℃ 감소하였다. 기온변화에서 징검다리 상류부의 Ua지점과 여울 하류부의 Bc지점의 차이는 Ua지점이 Bc지점 보다 유형 I에서 평균 0.5℃ 높았으며, 유형 II에서는 평균 1.5℃ 높았다. 기온과 수면온도의 변화는 대기에서

수면으로 발생하는 열전도 현상에 의해 유사하게 나타났다.

상대습도의 수직별 변화는 유형 I의 경우 10cm > 30cm > 60cm > 90cm > 120cm 순으로, 수면으로부터 높아질수록 감소하였다. 상대습도의 거리별 변화는 여울로 인해 Ba지점에서 평균 6.6% 증가하였다. 유형 II의 수직별 상대습도변화는 유형 I과 같은 경향이 나타났으며, Ba지점에서 평균 8.7% 증가하였다. 상대습도의 변화에서 징검다리 상류부의 Ua지점과 여울 하류부의 Bc지점의 차이는 Ua지점이 Bc지점보다 유형 I에서 평균 3.8% 낮았으며, 유형 II에서는 평균 10.1% 낮았다. 녹지 내에서 기온과 상대습도의 관계에 대한 선행연구(윤용한, 2003)를 고찰해 보았을 때, 녹지에서 뿐만 아니라 하천공간에서도 상대습도와 기온의 변화는 반비례의 관계인 것으로 분석되었다.

풍속의 경우 유형 I의 수직별 변화는 뚜렷하지 않았으나, 하류로 이동하면서 증가하는 경향을 보였으며, 풍속은 하천을 따라 바람길이 형성되어 증가한다는 선행연구(조성모 외, 2007; 이상정 외, 2012)와 같은 결과였다. 유형 II의 풍속은 불규칙한 변화를 보였는데, 주변 하층식생과 수목들이 연속적인 바람의 흐름을 방해하여 나타난 것으로 사료되었다.

그림 2 유형별 기상요소 변화 그래프

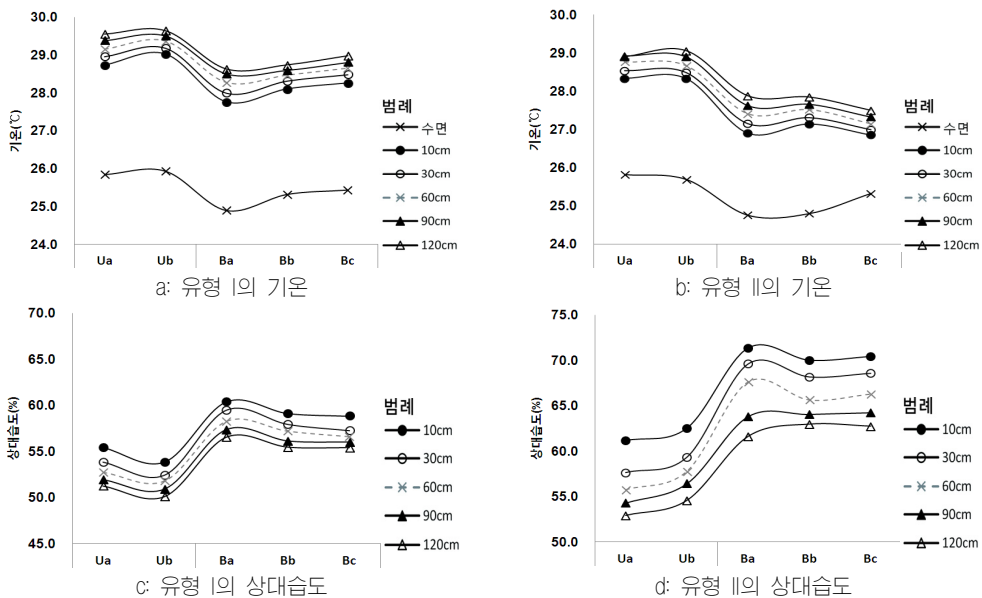
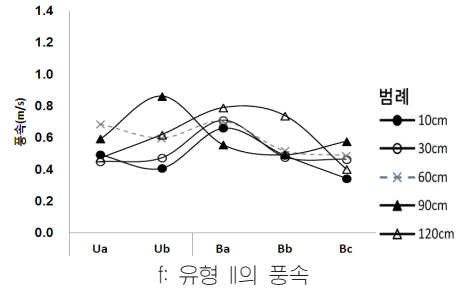
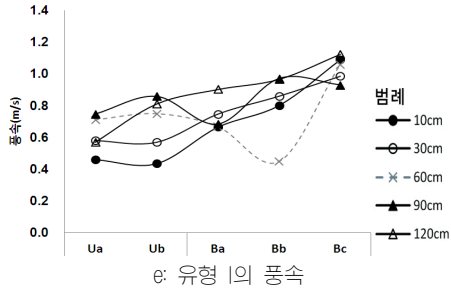


그림 2 계속



자료: 필자 작성.

#### 4. 수리적 특징과 기상요소의 관계분석

수리적 특징(수온, 유속, 용존산소량)과 기상요소(기온, 상대습도, 풍속)의 상관성 분석결과는 <표 4>와 같다. 유형 I의 기온은 수온과 정의 상관계수(0.446)로 분석되었으며, 부의 상관계수는 풍속(-0.347), 상대습도(-0.785), 유속(-0.510), 용존산소량(-0.585)으로 분석되었다. 유형 II의 기온은 수온과 정의 상관계수(0.427)로 분석되었고, 부의 상관계수로 나타난 항목은 상대습도(-0.761), 유속(-0.667), 용존산소량(-0.787)으로 분석되었다. 특히 용존산소량은 여울의 폭기작용에 의해 증가(김진홍, 2000; 김태원, 1997; 안성식, 이상수, 김진홍, 2002; Gulliver, Thene, Rindels, 1990)된다는 선행연구와 같았으며, 현재 하천의 수질평가 항목(국토교통부, 2009)으로 사용되고 있다. 본 연구에서 용존산소량은 기온과 반비례 관계, 상대습도는 정비례 관계로 분석되었는데, 이는 여울에 의한 수리적 특징의 변화는 기상요소에도 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

표 4 유형별 수리적 특징과 기상변화의 상관성 분석결과

구분		풍속	상대습도	유속	용존산소량	수온
유형 I	상대습도	상관계수 유의확률	.342 <sup>*</sup> .007			
	유속	상관계수 유의확률	.408 <sup>**</sup> .001	.426 <sup>**</sup> .001		
	용존산소량	상관계수 유의확률	.316 <sup>*</sup> .014	.372 <sup>**</sup> .003	.858 <sup>**</sup> .000	
	수온	상관계수 유의확률	-.442 <sup>**</sup> .000	-.504 <sup>**</sup> .000	-.842 <sup>**</sup> .000	-.621 <sup>**</sup> .000
	기온	상관계수 유의확률	-.347 <sup>**</sup> .007	-.785 <sup>**</sup> .000	-.510 <sup>**</sup> .000	-.585 <sup>**</sup> .000
유형 II	상대습도	상관계수 유의확률	.127 .333			
	유속	상관계수 유의확률	.263 <sup>*</sup> .042	.636 <sup>**</sup> .000		
	용존산소량	상관계수 유의확률	-.025 .849	.702 <sup>**</sup> .000	.850 <sup>**</sup> .000	
	수온	상관계수 유의확률	-.121 .356	-.453 <sup>**</sup> .000	-.632 <sup>**</sup> .000	-.699 <sup>**</sup> .000
	기온	상관계수 유의확률	-.002 .989	-.761 <sup>**</sup> .000	-.667 <sup>**</sup> .000	-.787 <sup>**</sup> .000

주: \* 상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의, \*\* 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의.  
자료: 필자 작성.

## 5. 열환경 분석

### 1) 수직 및 거리에 따른 기온변화 분산분석 및 사후검정 결과

#### (1) 일원배치 분산분석

수직 및 거리에 따른 기온의 집단 간 차이를 검정한 분산분석의 결과는 <표 5>에 제시하였다. 수직별 결과는 유형 I과 유형 II의 F값이 각각 12.457, 7.714으로 분석되었다. 유의 확률값의 경우, 유형 I과 유형 II 모두 0.000이므로 하천의 수직별 높이에 따른 기온의 차이는 없다는 귀무가설을 기각하고 수직 거리별로 기온의 차이가 적어도 한 집단은 있다는 대립가설을 채택하였다.

높이별 결과는 유형 I과 유형 II의 F값이 각각 8.842, 7.389으로 분석되었다. 유의 확률값의 경우, 유형 I은 0.000, 유형 II는 0.001으로 분석되었으므로 수직별 분석결과와 마찬가지로 거리에 따른 기온은 차이가 없다는 귀무가설을 기각하고 거리별로 기온의 차이가 적어도 한 집단은 있다는 대립가설을 채택하였다.

표 5 수직 및 거리에 따른 기온차의 일원배치 분반분석 결과

구 분		제곱합	df	평균제곱	F	유의 확률	
수 직 별	유형 I	집단-간	22.413	4	5.603	12.457	.000
		집단-내	132.690	295	.450		
		합계	155.103	299			
	유형 II	집단-간	20.317	4	5.079	7.714	.000
		집단-내	194.242	295	.658		
		합계	214.559	299			
거 리 별	유형 I	집단-간	4.843	2	2.422	8.842	.000
		집단-내	48.480	177	.274		
		합계	53.323	179			
	유형 II	집단-간	3.502	2	1.751	7.389	.001
		집단-내	41.948	177	.237		
		합계	45.450	179			

자료: 필자 작성.

## (2) Duncan 다중범위검정

수직 및 거리에 따른 기온변화의 다중비교 검정결과는 <표 6>와 같다. 수직높이에 대한 유형 I과 유형 II의 통계분석 결과는 120cm > 90cm > 60cm > 30cm > 10cm 의 순으로 기온이 높은 것으로 분석되었다. 거리별 통계분석 결과로 유형 I의 경우 3m > 2m > 1m 의 순으로 기온이 높았으며, 유형 II의 경우 2m > 1m > 3m 순으로 기온이 높은 것으로 분석되었다. 또한, 수직 및 거리별 기온의 차이에서 모두 유의성이 나타났다.

표 6 수직 및 거리에 따른 기온차의 다중범위 검정결과

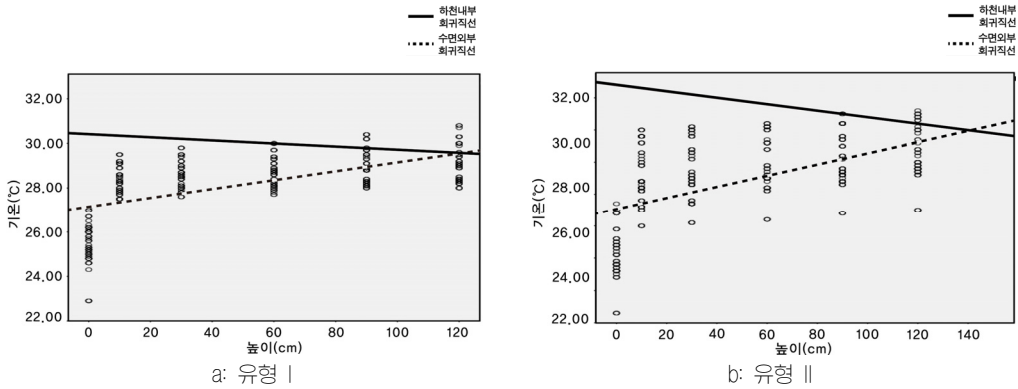
구 분		유형 I	유형 II
수직별	10cm	28.32d <sup>2</sup>	27.51d
	30cm	28.52cd	27.70cd
	60cm	28.74bc	27.91bc
	90cm	28.93ab	28.09ab
	120cm	29.08a	28.23a
거리별	1m	28.23c	27.39a
	2m	28.44b	27.50a
	3m	28.63a	27.16b

주: d<sup>2</sup> 는 서로 다른 문자는 던컨 다중비교 검정에서 5% 수준에서 유의 자료: 필자 작성.

## 2) 수직 및 거리별 기온변화

기온의 수직별 변화에 관한 분석결과는 <그림 3>과 같다. 유형 I의 수직높이에 따른 하천수면의 기온저감 회귀식은  $Y = 0.02X + 27.114(X=높이, Y=기온)$ 로 분석( $R^2=36.4%$ ) 되었으며, 수면외부의 기온저감 회귀식은  $Y = -0.028X + 32.012(X=높이, Y=기온)$ 로 분석( $R^2=26.8%$ )되었다. 하천내부의 회귀직선은 수면에 의해 감소된 기온이 수면으로부터 높아질수록 상승하는 직선이며, 수면외부의 회귀직선은 복사열로 뜨거워진 지면으로부터 수직으로 높아질수록 낮아지는 점선으로, 하천내부의 상승직선과 외부의 하강점선이 만나는 120cm지점까지 통계적으로 기온저감효과가 나타나는 것으로 분석되었다. 유형 II의 하천수면에 관한 기온저감 회귀식은  $Y = 0.017X + 26.53(X=높이, Y=기온)$ 으로 분석( $R^2=32.2%$ )되었으며, 수면외부의 기온저감 회귀식은  $Y = -0.01X + 30.393(X=높이, Y=기온)$ 으로 분석( $R^2=25.1%$ )되었다. 기온저감의 범위는 하천내부의 회귀직선과 수면외부의 회귀직선이 만나는 140cm지점까지 나타나는 것으로 분석되었다. 유형에 따른 기온저감범위의 차이는 녹지의 규모가 클수록 기온저감의 효과가 증가 된다는 선행연구(윤용한, 배병호, 2002)를 고찰해 보았을 때, 유형간 녹피율의 차이로 인해 유형 II는 유형 I보다 수직으로부터 20cm 더 높게 나타난 것으로 판단되었다.

그림 3 유형별 수직별 기온변화 그래프

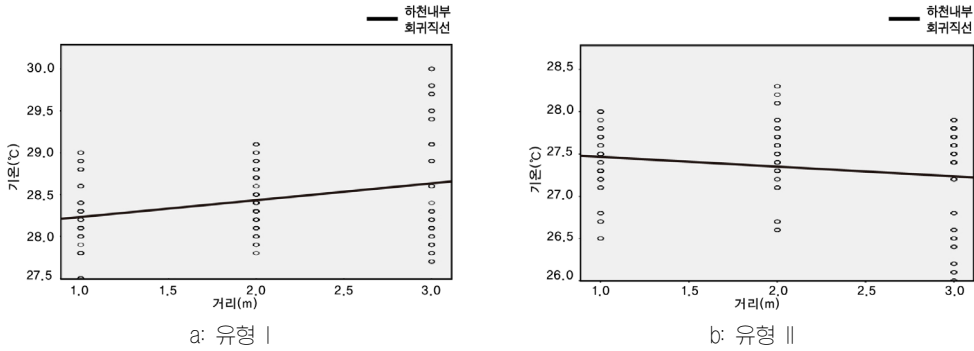


자료: 필자 작성.

기온의 거리별 변화에 관한 분석결과는 <그림 4>와 같다. 유형 I에 관한 거리별 기온 변화의 회귀식은  $Y = 0.201X + 28.032$  ( $X=높이$ ,  $Y=기온$ )로 분석( $R^2=29.1%$ )되었다. 거리에 따른 기온변화는 여울이 끝나는 지점인 Ba지점 이후로 거리가 멀어질수록 점차 상승하는 것으로 나타났다. 유형 II에 대한 거리별 기온변화의 회귀식은  $Y = -0.116X + 27.582$  ( $X=높이$ ,  $Y=기온$ )로 분석( $R^2=23.5%$ )되었다. 거리에 따른 기온변화는 유형 I과 반대로 기온저감이 발생한 Ba지점에서 하류로 향하면서 계속 감소하는 것으로 나타났다. 지속적인 기온의 감소는 여울로 인한 기온저감과 함께 주변 수목으로 인해 기온저감의 효과가 지속되는 것으로 사료되었다. 따라서 기온저감의 효율을 높이기 위한 방법으로는, 여울을 중심으로 하류부분의 녹피율을 증가시켜 저감된 기온이 지속적으로 유지 및 감소될 수 있도록 하는 것이 효과적일 것으로 판단되었다.

기온의 수직 및 거리별 변화에 관한 설명력의 경우, 실외실험의 측정에 따른 특성으로 불규칙한 풍속 및 측정시차로 인해 정확한 분석에는 한계가 있었다. 그러나 수리적 특징과 기상요소의 상관성 분석에서 기온은 다양한 변수에 의해 영향을 받았던 결과를 고찰해 보았을 때, 물리적 구조에 따른 기온의 변화는 충분히 발휘되는 것으로 사료되었다.

그림 4 유형별 거리별 기온변화 그래프



자료: 필자 작성.

### 3) 유형별 평균기온분석

유형 I의 평균기온은 28.2°C로 분석되었고, 유형 II의 평균기온은 27.4°C로 분석되어 유형 I이 유형 II에 비해 0.8°C정도 높은 것으로 나타났으며, 통계적으로 유의( $p < 0.01$ )한 것으로 분석되었다(표 7 참조).

표 7 유형별 평균기온의 독립표본 T-검정결과

구분	유형	평균	표준 편차	등분산	Levene의 등분산 검정 유의확률	평균의 동일성에 대한 t-검정			
						t	유의확률 (양쪽)	차이의 95% 신뢰구간	
								하한	상한
기온	유형 I	28.1767	1.42520	가정됨	.703	7.294**	.000	.54588	.94800
	유형 II	27.4297	1.32077						

주: \*\* 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의.

자료: 필자 작성.

유형간 평균기온의 차이는 녹피율이 증가함에 따라 기온이 감소하였다는 선행연구(윤용한, 배병호, 2002)를 고찰해 보았을 때, 유형 I의 녹피율(0.0%)과 유형 II(20.2%)의 녹피율 차이로 인해 평균기온의 차이가 발생하였으며, 하천 내부의 소규모 공간에서는 하천의 물리적구조뿐만 아니라 녹피율의 차이는 미기상의 변화에 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

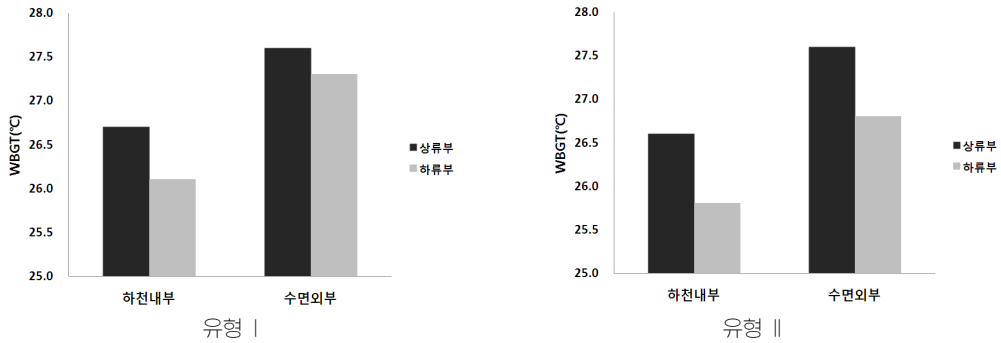


### 3) 유형별 습구흑구온도(WBGT) 분석

물리적 구조에 따른 WBGT의 분석결과는 <그림 5>와 같다. 습구흑구온도의 값은 유형 I의 하천 내부에서 상류부(징검다리)는 26.7℃, 하류부(여울)는 26.1℃로 상류부와 하류부의 차이는 0.6℃로 분석되었고, 수면 외부의 상류부는 27.6℃, 하류부는 27.3℃로 상류부와 하류부의 차이는 0.3℃로 분석되었다. 유형 II의 하천 내부의 상류부는 26.6℃, 하류부는 25.8℃로 상류부와 하류부의 차이는 0.8℃로 분석되었고, 수면 외부의 상류부는 27.6℃, 하류부는 26.8℃로 상류부와 하류부의 차이는 0.8℃로 분석되었다. 유형에 따른 상류부의 하천 내부와 수면 외부의 값의 차이는 미미하였으나, 하류부의 감소폭은 유형 I의 경우 0.3~0.6℃, 유형 II는 0.8℃의 차이로 유형 II에서 감소폭이 더 컸다. 하천 외부의 보행공간에서 일사지점과 녹음지점의 습구흑구온도를 측정 한 선행 연구(안동만 외, 2013)와 비교해 보았을 때, 하천 외부의 보행공간에서 일사지점의 습구흑구온도는 최저 28.5℃~최고 34.2℃, 녹음지점은 최저 27.4℃~최고 30.6℃로 나타났는데, 본 실험에서 하천 내부는 최대 27.6℃로 하천 외부의 보행공간보다 대부분 낮게 나타났다.

습구흑구온도의 범위는 유형 및 지점에 상관없이 모두 '경계수준(25~28℃)'에 분포하였으나, 하류부에서 유형 I은 '위험수준(28~31℃)'에 가까이 분포하였고, 유형 II는 '주위수준(21~25℃)'에 가까이 분포하였다. 유형 I과 유형 II의 습구흑구온도의 값이 차이는 녹지량이 많을수록 WBGT의 값이 낮은 경향이 나타난 선행연구(윤용한 외, 2014)를 고찰해 보았을 때, 주변 녹지의 차이로 인해 유형 II의 습구흑구온도의 값이 유형 I에 비해 낮게 나타났다. 따라서 이용적인 측면의 열환경을 고려할 때 여울은 열쾌적성을 완화시키는 효과가 있으며, 그 효율을 높이기 위한 방안으로는 여울 주변의 녹피율을 증가시켜야 할 것으로 판단되었다.

그림 5 유형별 하천 내부 및 수면 외부의 WBGT 분석결과



자료: 필자 작성.

## V. 결론

본 연구는 도시환경문제가 심각한 현 상황에서 하천의 환경을 개선하고 복원해야 한다는 필요성과 그 중요성이 확산됨에 따라 최근 많은 관심이 집중되고 있는 하천의 미기후 개선기능을 분석하고자 하였다.

대상지는 도심 내 복원된 대표적인 하천으로 청계천을 선정하였으며, 하천 내부의 복원된 물리적 구조에 따른 열환경 변화를 규명하고자 하였다. 측정지점은 연구대상지로 설정한 복원구역 5.8km 중에서 물리적 구조의 특징이 나타나는 모전교 하류부의 여울지점과 수표교 하류부의 여울지점으로 총 2곳을 선정하여 실측하였다.

물리적 구조에 따른 유형구분의 결과, 모전교 하류부와 수표교 하류부의 여울과 수역 및 수심의 변화는 큰 차이가 나지 않았으나, 녹피울의 경우 모전교와 수표교의 여울지점은 각각 0.0%와 20.2%로 큰 차이를 보였다. 여울이 존재하며 수역 및 수심의 변화 폭이 일정한 두 지점에서 녹피울의 차이에 따라 모전교의 여울지점은 유형 I로 구분되었으며, 수표교의 여울지점은 유형 II로 구분되었다.

수리적 특징의 분석결과 유형 I은 여울이 끝나는 지점인 Ba지점에서 수온은 0.2°C 감소하였고, 유속은 0.7~0.9m/s 증가하였고, 용존산소량은 0.5mg/L 증가하였다. 유형 II는 Ba지점에서 수온은 0.2°C 감소하였고, 유속은 0.7~0.8m/s 증가하였고, 용존산소량은 0.5mg/L 증가하였다. 여울에 의한 수리적 특징의 변화는 유형 간 같은 경향으로 수온은 감소하였고, 유속과 용존산소량은 증가하였다.

기상요소의 분석결과 유형별 기온분포는 10cm > 30cm > 60cm > 90cm > 120cm 순으로, 수면으로부터 높아질수록 상승하였다. 유형별 상대습도의 분포는 120cm > 90cm > 60cm > 30cm > 10cm 순으로, 수면으로부터 높아질수록 감소하였다. 유형별 풍속의 수직별 분포는 뚜렷하게 나타나지 않았으나, 유형 I은 하류로 갈수록 증가하였고, 유형 II에서는 불규칙한 변화가 나타났다.

수리적 특징과 기상요소의 관계에 관한 분석결과 유형 I에서 기온과 정비례 관계는 수온(0.446)이었으며, 반비례 관계는 유속(-0.347), 상대습도(-0.785), 유속(-0.510), 용존산소량(-0.585)으로 분석되었다. 유형 II에서 기온과 정비례 관계는 수온(0.427)이었으며, 반비례관계는 상대습도(-0.761), 유속(-0.667), 용존산소량(-0.787)으로 분석되었다. 특히 용존산소량은 지금까지 수질적인 측면으로 제시되었는데, 여울로 인한 폭기작용은 용존산소량을 증가시키면서 그에 따라 주변의 기온을 감소시키는데 효과적인 것으로 판단되었다.

유형별 평균기온의 분석결과 유형 I의 평균기온은 28.2℃로 분석되었고, 유형 II의 평균기온은 27.4℃로 분석되어 유형 I은 유형 II에 비해 0.8℃정도 높은 것으로 분석되었다.

유형별 온열환경(WBGT)의 분석결과 유형 I의 하천내부에서 상류부는 26.7℃이었고, 하류부는 26.1℃로 상류부와 하류부의 차이는 0.6℃로 분석되었다. 수면외부의 상류부는 27.6℃이었고, 하류부는 27.3℃로 상류부와 하류부의 차이는 0.3℃로 분석되었다. 유형 II는 하천 내부에서 상류부는 26.6℃이었고, 하류부는 25.8℃로 상류부와 하류부의 차이는 0.8℃로 분석되었다. 수면 외부의 상류부는 27.6℃이었고, 하류부는 26.8℃로 상류부와 하류부의 차이는 0.8℃로 분석되었다. 유형 간 WBGT의 범위는 모두 '경계수준'이었으나, 유형 I은 '위험수준'에 가까이 분포하였고, 유형 II는 '주위수준'에 가까이 분포하였다.

열환경 분석결과 수직높이에 따른 기온의 변화는 유형 I의 경우 하천 수면의 회귀식은  $Y = 0.02X + 27.114$ 로 분석( $R^2=36.4\%$ )되었으며, 수면 외부의 회귀식은  $Y = -0.028X + 32.012$ ( $X=높이$ ,  $Y=기온$ )로 분석( $R^2=26.8\%$ )되었다. 하천 수면의 회귀식과 수면 외부의 회귀식이 만나는 120cm 지점까지 통계적으로 기온저감의 효과가 있는 것으로 분석되었다. 유형 I의 경우 하천 수면의 회귀식은  $Y = 0.017X + 26.53$ ( $X=높이$ ,  $Y=기온$ )으로 분석( $R^2=32.2\%$ )되었으며, 수면 외부의 회귀식은  $Y = -0.01X + 30.393$ 으로 분석( $R^2=25.1\%$ )되었다. 기온저감의 효과는 140cm 지점까지 있는 것으로 분석되었다. 거리에 따른 기온의 변화는 유형 I의 경우 회귀식은  $Y = 0.201X + 28.032$ ( $X=높이$ ,  $Y=기온$ )로 분석

(R<sup>2</sup>=29.1%)되었다. 거리에 따른 기온변화는 여울이 끝나는 지점인 Ba지점 이후로 거리가 멀어질수록 점차 상승하는 것으로 나타났다. 유형 II에 대한 거리별 기온저감의 회귀식은  $Y = -0.116X + 27.582$ (X=높이, Y=기온)로 분석(R<sup>2</sup>=23.5%)되었다. 거리에 따른 기온변화는 유형 I과 반대로 하류로 향하면서 계속 감소하였다.

본 연구는 복원된 물리적 구조에 따른 열환경 변화를 규명한 것에 의의를 가진다. 여울은 생태적인 측면으로 생물의 서식처 제공과 수질개선의 기능에 국한되어 왔지만, 본 연구에서는 복원된 물리적 구조가 미기상을 변화시켜 온열환경을 개선할 수 있다는 가능성을 확인하였다. 따라서 도시하천의 복원계획 시 친수공간과 열환경에 노출된 지역을 대상으로 여울을 복원하면 주변의 미기후 개선을 기대할 수 있다. 또한, 여울을 중심으로 하류부의 녹피울의 증가는 더욱 효과적인 미기후 개선이 작용될 것으로 판단되었다. 본 연구에 있어 한계점으로는 물리적 구조의 대상을 여울에 한정하였으며, 실외환경에서 한정된 기간 동안 실측하여 분석하였기 때문에, 정확성에 있어 어느 정도의 오차를 감안해야 하는 한계점을 가진다. 따라서 향후 연구에서는 같은 유형이더라도 계절의 차이와 같은 다양한 환경요건이 어떻게 열환경에 작용되는지 분석하여 오차에 관한 한계점이 보완되어야 할 것이다.

## 참고 문헌

- 국토교통부. 2009. 「하천설계기준」.
- 권영상. 2004. “Landsat ETM+ 영상자료를 이용한 하천의 도시기온 저감효과 측정에 관한 연구”. 서울대학교 석사학위논문.
- 권태헌, 김규량, 변재영, 최영진. 2009. “도시 내부 하천 복원에 의한 열 환경의 시공간적 변화”. 「한국환경영향평가학회」. 18(6): 321-330.
- 김양호. 2010. “도시하천의 생태복원을 위한 하천정비 방안 연구”. 울산대학교 석사학위논문.
- 김정호, 오득균, 윤용한. 2012. “다중회귀를 이용한 도심 재생하천이 음이온 농도에 미치는 영향 분석: 서울시 청계천을 대상으로”. 「서울도시연구」. 13(3): 36-45.
- 김진홍. 2000. “하천 여울에서의 공기유입에 관한 수리학적 연구”. 「중앙대학교 건설환경연구소」. 11(2): 105-115.
- 김태원. 1997. “수리구조물에서 용존산소 부조비율 추정식의 개발”. 서울대학교 석사학위논문.
- 김현정, 이상재, 안광국. 2010. “창원천, 남천에서 생태복원 전, 후의 생태건강도 비교평가”. 「한국 하천호수학회」. 14(3): 307-318.
- 박범수. 2014. “생태복원하천의 유형화 기법 연구”. 건국대학교 석사학위논문.
- 박병관. 2012. “생태하천 저수호안의 식재기반에 따른 식생복원 모델에 관한 연구”. 단국대학교 박사학위논문.
- 박석봉. 1995. “도심하천복원의 복개에 따른 열환경 변화에 관한 연구”. 「대한건축학회」. 15(2): 329-331.
- 박수국. 2013. “인간 열환경 지수를 이용한 조경계획 및 디자인 방법”. 「한국조경학회」. 41(1): 21-31.
- 안동만, 이재원, 김보람, 윤호선, 손승우, 최유, 이나래, 이지영, 김혜령. 2013. “도심 가로 녹음의 습구흑구온도(WBGT) 측정을 통한 보행자 열쾌적성 효과 분석”. 「한국조경학회」. 41(3): 22-30.
- 안성식, 이상수, 김진홍. 2002. “하천여울에서 폭기효과에 대한 수리학적 연구”. 「중앙대학교 건설환경연구소」. 13(2): 7-11.
- 윤용한. 2002. “식재특성에 따른 녹지내의 기온변화”. 「국토계획」. 36(2): 213~219.
- \_\_\_\_\_. 2003. “수림의 계층구조가 녹지내의 기온 및 습도에 미치는 영향”. 「한국환경생물학회」.

- 21(2): 120-125.
- \_\_\_\_\_. 2004. “녹지의 토지피복현황과 식재층위구조가 미기상조절효과에 미치는 영향”. 「한국산림휴양학회」. 8(1): 25-33.
- 윤용한, 박승환, 김원태, 김정호. 2014. “학교 운동장과 녹지공간의 UTCI, PMV, WBGT 비교 분석”. 「한국환경생태학회」. 28(1): 80-89.
- 윤용한, 배병호. 2002. “녹지의 규모와 기온저감효과와의 관련성에 관한 연구”. 「한국환경생물학회」. 20(1): 10-19.
- 이강국, 김태우, 서원덕, 홍원화. 2011. “도시 내 공원과 하천의 기온변화율과 기온완화효과에 관한 연구”. 「한국생태환경건축학회」. 11(3): 3-9.
- 이규석, 신동훈, 김재철, 이상화, 이효진, 김문성, 정해연. 2010. “복원된 도시 하천에 의한 기온저감 효과”. 「한국영향평가학회」. 19(1): 75-81.
- 이상수. 2002. “하천 생태 서식을 고려한 여울의 산소 전달 효과에 관한 연구”. 중앙대학교 석사학위논문.
- 이상정, 이원보, 김문성, 이규석. 2012. “도시하천의 바람 특성 -서울 강남구 양재천을 대상으로-”. 「한국환경영향평가학회」. 21(1): 201-208.
- 이정아, 정대영, 전진형, 이상문, 송영배. 2010. “공간 구조별 열쾌적성 평가와 열환경 개선방안”. 「한국조경학회」. 38(5): 12-20.
- 이창석, 오종민, 이남주. 2003. 「하천환경과 수변식물」. 동화기술교역.
- 이현석, 이근상, 김영성, 양재린. 2008. “자연하천에서의 유속과 수온의 상관성 조사”. 「한국수자원학회」. 1879-1883.
- 정성관, 이정. 1994. “담장의 시각적 선호성 및 이미지 분석”. 「한국조경학회」. 22(3): 65-78.
- 정우식, 도우곤. 2012. “부산지역 도심하천 복원에 따른 기온변화 효과 분석”. 「한국환경과학회」. 21(8): 939-951.
- 정창원. 2004. “해안도시의 바람길 계획을 위한 하천공간의 열적 효과”. 「위덕대학교 산업기술연구소」. 8(1): 1-10.
- 조명래, 배재호. 2005. “청계천 복원의 성과와 한계”. 「대한토목학회」. 53(11): 140-155.
- 조성모, 윤용한, 류을렬, 박봉주, 김원태, 박준석, 김승태, 송태갑. 2007. “도시의 토지이용형태가 기상환경에 미치는 영향”. 「한국녹지환경디자인학회」. 3(3): 1-5.
- 주민진, 이춘석, 류남형. 2004. “도심 녹음수의 체감온도지수(WBGT) 조절효과”. 「한국조경학회」. 32(3): 51-59.

- 주창훈, 윤용한, 박봉주, 김원태. 2008. "도시녹지의 토지피복현황이 온열쾌적감에 미치는 영향". 「한국인간식물환경학회」. 11(3): 59-65.
- 차영화, 김학열, 허태영. 2009. "토지이용·토지피복 특성이 서울시 도시기온에 미치는 영향". 「서울도시연구」. 10(4): 107-120.
- 한봉호, 최일홍, 기경석. 2010. "경기도 수원천 생태하천 복원사업 이후 식생변화 연구". 「한국환경생태학회」. 24(6): 723-734.
- 홍원화, 이강국, 서원덕. 2007. "토지이용상태에 따른 도시 기온 특성과 열환경 시뮬레이션". 「대한건축학회」. 23(9): 139-146.
- 환경부, 한국환경공단. 2011. 「생태하천 복원 기술지침서」.
- Kaushal S. S., G. E. Likens, N. A. Jaworski, M. L. Pace, A. M. Sides, D. Seekell, K. T. Belt, D. H. Secor, and R. L. Wingate. 2010. "Rising stream and river temperatures in the United States". *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8(9): 461-466.
- Mohseni O., and H. G. Stefan. 1999. "Stream temperature/air temperature relationship: a physical interpretation". *Journal of Hydrology*, 218(3): 128-141.
- Murakawa S., T. Sekine, and K. Narita. 1991. "Study of the effects of a river on the thermal environment in an urban area". *Energy and Buildings*, 16(3): 993-1001.
- Hathway, E. A., S. Sharples. 2012. "The interaction of rivers and urban form in mitigating the Urban Heat Island effect: A UK case study". *Building and Environment*, 58: 14-22.
- Gulliver, J. S., J. R. Thene, and A. J. Rindels. 1990. "Indexing gas transfer in self-aerated flows". *Journal of Environmental Engineering*, 116(3): 503-523.
- Shudo, H., J. Sugiyama, N. Yokoo, and T. Oka. 1997. "A Study on Temperature Distribution Influenced by Various Land Uses". *Energy and Buildings*, 26: 199-205.
- Stoneman C. L., M. L. Jones. 1996. "A Simple Method to Classify Stream Thermal Stability with Single Observations of Daily Maximum Water and Air Temperatures". *North American Journal of Fisheries Management*, 16(4): 728-737.
- Sun, R., A. Chen, L. Chen, and Y. Lu. 2012. "Cooling effects of wetlands in an urban region: the case of Beijing". *Ecological Indicators*, 20: 57-64.