

연구논문

## 도시 내부 하천 복원에 의한 열 환경의 시공간적 변화

권태현 · 김규량 · 변재영 · 최영진

국립기상연구소, 기상청

(2009년 07월 29일 접수, 2009년 11월 08일 승인)

## Spatiotemporal Changes of the Thermal Environment by the Restoration of an Inner-city Stream

Tae Heon Kwon · Kyu Rang Kim · Jae-Young Byon · Young-Jean Choi

National Institute of Meteorological Research, Korea Meteorological Administration

(Manuscript received 29 July 2009; accepted 8 November 2009)

### Abstract

Spatiotemporal changes in the thermal environment in a large city, Seoul, Korea were analyzed using a thermal index, perceived temperature (PT), to standardize the weather conditions. PT is a standard index for the thermal balance of human beings in thermophysiological environment. For the analysis of PT, the data from long-term monitoring and intensive observations in and around the inner-city stream called 'Cheonggye' in Seoul, were compared with a reference data from the Seoul weather station. Long-term data were monitored by installing two automatic weather stations at 66m (S1) and 173m (S2) away from the center of the stream. Through the analysis of the data during the summer of 2006 and intensive observation periods, it was revealed that the stream's effects on the PT extended up to the distance of the S1 site. In winter, the increase of the PT between pre- and post-restoration was stronger at S1, which was nearer than S2 from the stream. These results suggest that PT can be used as an effective model in analyzing the changes of the thermal environment in relation with the changes of water surface areas.

Keywords : Perceived temperature (PT), Restoration, Cheonggye stream, Urban thermal environment

## 1. 서론

일반적으로 도시 열 환경에 대한 연구는 도시와 주변 지역의 열 환경적 차이를 설명하는 것에 집중되어 과거의 수많은 연구들이 도시 열섬 현상과 열섬 강도 파악을 위해 수행되었다. 최근에는 개발 사업과 관련된 환경 변화에 대한 관심이 늘면서 열 환경 개선 및 평가에 대한 연구들이 대두되었고, 환경영향평가를 실시하게 되면서 체계적이고 과학적인 열 환경 변화 분석방법의 개발이 필요하게 되었다.

도시 열 환경 분석을 위해 기온, 습도, 풍속, 운량, 복사량 등의 기상 자료에 대해 도시와 도시 외곽 지역의 차이를 규명하는 많은 연구들이 수행되었다(Peterson and Stoffel, 1980; Landsberg, 1981; Baik *et al.*, 2001; Morris *et al.*, 2001). 또한, 도시화에 따른 강수 변화(Changnon *et al.*, 1991), 냉각 물질에 의한 열섬 강도 저하(Synnefa *et al.*, 2008), 도시심의 토지 피복도 변화에 따른 열 환경 평가(김상백등, 2004)와 같은 연구가 개발 사업에 의한 도시 열 환경 변화 분석을 위해 수행되었다. 한편, 국립기상연구소에서는 대규모 토지 이용도 변경이 도시 열 환경 변화에 미치는 영향을 분석하기 위해 서울의 청계천 복원 사업 전·후에 걸쳐 청계천 주변지역에서 집중관측과 장기관측을 수행하였다. 국립기상연구소의 관측 결과 청계천 복원으로 현열의 순복사량에 대한 비율이 줄어들고 기온에도 저감 효과가 있다고 보고하였다(Kim *et al.*, 2008). 실제 생활에서의 열 환경은 식생, 교통량, 유동인구, 사건(event), 토지이용도, 건물 밀집도 등과 같은 주변 환경의 영향에 크게 지배되기 때문에 단순한 기온 분석만으로 열 환경을 표준화하여 변화를 분석하기는 어렵다. 또한 열 환경 평가가 궁극적으로 인간의 삶의 질 향상과 연관된 것이므로 환경 변화를 인체가 실제 느끼는 상황에 대한 분석이 필요하다. 요컨대, 실제 생활에서의 열 환경 분석은 외부 환경에 노출된 인체를 고려하며 다양한 기상조건을 표준화 할 수 있어야 한다.

본 연구에서 열 환경을 분석하기 위해 사용한 모델은 독일 기상청에서 개발한 Klima-Michel

Model(KMM)로 다양한 외부 기상조건에서의 열 환경을 인체생리학적인 관점에서 평가하는데 유용한 열 수지 모델이다(Jendritzky *et al.*, 2000). KMM은 Fanger(1982)의 Comfort 방정식과 고온다습 조건에 대한 보정항(Gagge *et al.*, 1986)을 포함하고 있는데, 인체가 받는 열 스트레스를 표현하는 지수로 인지온도를 제시하고 있다. 인지온도란 실제상황에서 느끼는 열 스트레스와 한기 스트레스를 표준화된 환경에서의 기온(°C)으로 나타낸 것이다. 표준 환경이란 풍속이 약하고 평균 복사온도가 대기 기온과 같은 조건을 의미한다(Friedrich *et al.*, 2001). 열 생리학적 환경에서 인간이 느끼는 열 스트레스는 기온, 습도, 풍속, 장파복사, 단파복사와 같은 여러 기상요소들에 의해 복합적으로 영향받으며(Matzarakis and Mayer, 1997), 인체와 주변 환경과의 에너지교환 작용과도 관련되어 있다. 인체와 주위 환경과의 에너지 교환에는 인체 내부 온도, 호흡, 땀을 흘리는 비율, 피부의 건조 상태, 인체가 입고 있는 옷의 형태 등 여러 요소들이 작용한다. 그러므로 인체의 열 스트레스를 실제로 모사하기 위해서는 기상조건과 인체의 열 교환 과정을 함께 고려해야 한다. Jendritzky *et al.* (2000과 2001)은 인지온도가 열 교환 과정의 모든 범주를 포함하고, 모든 기후, 계절, 규모에서 사용가능하며, 생명기상에서 유용한 응용성을 가지고 있다고 말하고 있다. 즉, 인지온도는 인체가 위치하고 있는 지점의 대기 열 환경을 평가하기 위해 인체의 발열 및 보온 조건과 기상조건을 함께 고려하기 때문에, 서로 다른 지역 또는 시기의 환경에서 인체가 느끼는 열 환경을 비교할 수 있는 지표를 제시해 줄 수 있다.

본 연구에서는 실제 생활환경의 열 환경에 대한 표준화 되고 신뢰성 있는 분석결과를 제시함으로써, 열 환경 변화 평가방법 개발을 위한 기술 기반을 제공하고자 한다. 연구의 내용은 청계천 주변지역 기상 관측 자료 및 인지온도를 사용하여 청계천 복원에 의한 여름철, 겨울철 및 공간적 열 환경 특성을 분석한 것이다.

## II. 분석방법

청계천의 열 환경 변화 분석을 위해 KMM을 통해 계산된 인지온도를 이용하였다. 인지온도 계산에 사용된 자료는 청계천 주변의 집중 관측 자료와 장기 관측 자료이다. 집중 관측 자료는 2005년 9월 22일부터 9월 30일까지 동대문 인근 청계천 내부의 수면 위 1.5 m의 높이(S0 지점)에서 관측된 기온, 습도, 풍속, 복사량 등의 자료이다. 표 1은 집중 관측 기간에 사용된 기기에 관한 정보를 보여 준다. 장기 관측자료는 청계천 주변에 있는 성동기계공업고등학교(S1 지점) 자동기상관측시스템(Automatic Weather System, AWS)과 송신초등학교(S2 지점)의 AWS 자료이다. 성동기계공업고등학교의 AWS는 2004년 11월부터 2006년 8월까지, 송신초등학교의 AWS는 2003년 11월부터 2007년 3월까지

지 운영되었으며 관측된 기상요소와 관측 기기에 관한 정보는 표 2에 제시되어 있다. 성동기계공업고등학교 AWS는 청계천으로부터 66m 거리에 위치해 있고, 송신초등학교 AWS는 청계천과 173m 떨어져 있다. 성동기계공업고등학교와 송신초등학교는 모두 주변지역이 건물과 도로로 밀집되어 있는 도시 환경에 속하는 장소이다(그림 1).

인지온도 계산을 위한 KMM은 입력 자료로 운량 자료 또는 복사량 자료를 이용할 수 있다. 이 중 복사량을 사용하는 모델이 지형인덱스, 토지이용도, 알베도, 방사율, 거칠기 등 연구 대상지역의 지면조건 차이를 고려하기 때문에 주변 환경이 서로 다른 지역의 열 환경 변화 분석에 유용할 것으로 판단되어 본 연구에서는 복사량 자료를 사용하는 모델로 인지온도를 산출하였다.

집중 관측 자료의 공간적 비교분석을 위해 청계

Table 1. List of the meteorological observation instruments during the intensive observation period (Sept. 22 - 30, 2005) at Cheonggye Stream (S0)

Instruments	Observation Elements	Scan Interval	Manufacturing Company
HMP45AC	Temperature, Humidity	30 min	Vaisala
CSAT3	3D Components of Velocity	30 min	Campbell
CNR1	Net Radiation	1 min	Kipp & Zonen
05103	Wind Speed, Wind Direction	30 min	R.M Young
FAS64	Wind Profile	Continuous	Scintec
SLS20-A	Sensible Heat	1 min	Scintec
9680-50 Humidity Sensor	Temperature, Humidity	15 min	HIOKI
CR23x	Data Logger	-	Campbell

Table 2. List of the meteorological observation instruments for long-term monitoring at Seongdong (S1) and Sungshin (S2)

Site	Instruments	Observation Elements	Scan Interval	Manufacturing Company
Seongdong AWS (S1)	JY-100829	Air Temperature	1 min	JINYANG
	HMP45D	Humidity	1 min	Vaisala
	WM-IV-WD	Wind Speed, Wind Dircection	1 min	JINYANG
	JY-100097-2	Amount of Precipitation	-	JINYANG
	JY-100097-3	Sensing of Precipitation	-	JINYANG
	JY-710	Data Logger	-	JINYANG
Sungshin AWS (S2)	HMP45AC	Temperature, Humidity	10 min	Vaisala
	05103	Wind Speed, Wind Direction	10 min	R.M. Young
	CS105	Pressure	10 min	Vaisala
	CNR1	Net Radiation	10 min	Kipp & Zonen
	BYL-S01-R250	Evaporation	10 min	A&D Korea

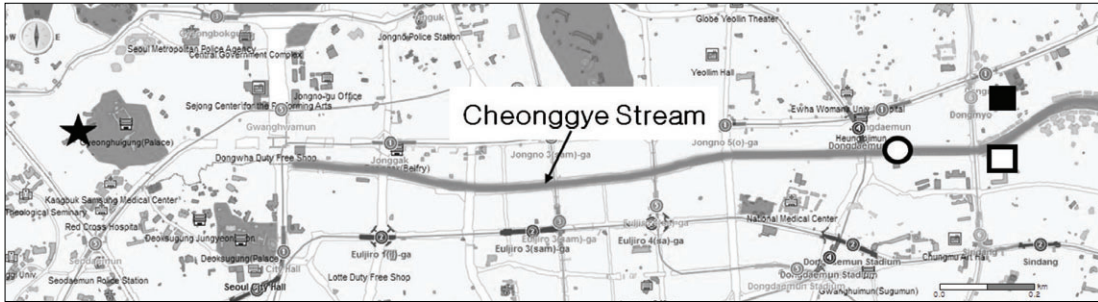


Figure 1. Meteorological observation sites near the Cheonggye stream area. The intensive observation site (○), the Seongdong AWS (□), the Sungshin AWS (■) and the Seoul Weather Station(★)

천(S0)의 집중 관측 자료와 동일 관측기간의 성동기 계공업고등학교 AWS(S1), 송신초등학교 AWS(S2)의 자료를 사용하였다. 서울 기상관측소(SWS)를 비교지점으로(그림 1) 선택하고 서울관측소의 기온과 인지온도를 기준 값으로 하여 청계천, 성동기계공업고등학교, 송신초등학교의 자료들과 비교하였다. 집중 관측 기간 동안의 청계천, 성동기계공업고등학교, 송신초등학교의 인지온도 산출을 위해 청계천에서 관측한 복사량 자료를 동일하게 성동기계공업고등학교와 송신초등학교에 적용하였으며 서울관측소의 인지온도 산출에는 서울관측소에서 관측한 일사량을 사용하였다. 기온, 습도, 풍속은 각 지점별 관측 자료를 사용하였으며 청계천, 성동기계공업고등학교, 송신초등학교 지점들의 기압은 서울관측소의 관측 자료로 대체하였다. 모델 입력 자료로는 매시간 관측 자료에서 3시간 간격 자료를 추출하여 사용하였다. 청계천, 성동기계공업고등학교, 송신초등학교의 인지온도 계산을 위한 KMM 변수 설정은 표 3에 제시하였다.

장기 관측 자료의 인지온도 비교분석을 위하여 서울관측소에서 관측한 일사량과 대기압을 성동기계

공업고등학교와 송신초등학교의 KMM 입력 자료로 사용하였다. 서울관측소의 3시간 간격 기압자료로부터 선형보간법을 통하여 매시간 기압 자료를 생산하고 분석에 사용하였다. 기온, 습도, 풍속은 성동기계공업고등학교와 송신초등학교의 각 지점별 자료를 사용하였다. 성동기계공업고등학교와 송신초등학교의 매 시간 기온과 인지온도에서 서울관측소의 매 시간 기온과 인지온도를 각각 빼 줌으로써 인지온도 편차와 기온 편차를 계산하고 이 편차들을 분석함으로써 관측 분석결과의 분석기간 선택에 따른 의존성을 최소화하였다. 또한 서울관측소에 대한 성동기계공업고등학교와 송신초등학교의 편차를 구할 경우 계산에 사용되는 두 지점의 시간별 자료의 수와 관측 시각을 일치시켰다. 장기 관측 자료의 공간적 비교분석으로 2006년 여름철동안의 성동기계공업고등학교와 송신초등학교의 인지온도 편차와 기온 편차를 각각 비교하였다. 시간 경과에 따른 비교 분석으로는 겨울철 인지온도 편차와 기온편차를 청계천 복원 전과 후로 비교하고 시간별 평균을 계산하여 분석하였다. 청계천 복원 전후의 구분은 통수 일인 2005년 6월 1일을 기준으로 사용하였다.

Table 3. Selected KMM model parameters for the PT calculation

Distance from the Stream (m)	0 (S0)	66 (S1)	173 (S2)	1120 (SWS)
Terrain Height (m)	10	26	24	86
Anemometer Height (m)	3	6	6	10
Emissivity	0.98	0.88	0.88	0.92
Albedo	0.08	0.18	0.18	0.2
Regional Characteristics	Water	Commercial	Commercial	Residential

### III. 결과

그림 2는 2005년 9월 23일부터 29일까지 청계천(S0), 성동기계공업고등학교(S1), 송신초등학교(S2), 서울관측소(SWS)의 인지온도와 기온을 나타낸 것이다. 청계천과 성동기계공업고등학교, 서울관측소는 자료수가 모두 동일하며 송신초등학교에서는 9월 23 ~ 26일 자료가 결측 되었다. 네 지점의 기온은 모두 비슷한 경향을 보이며 청계천, 성동기계공업고등학교, 송신초등학교의 기온은 서울관측소보다 높은 것으로 나타나고 있다. 인지온도에서도 전체적인 경향은 비슷하지만 서울관측소의 인지온도가 다른 세 지점의 인지온도에 비하여 -7.4℃에서 +7℃만큼 더 큰 변이를 보였다. 청계천과 성동기계공업고등학교, 송신초등학교를 비교하는 경우 집중 관측 기간 동안의 최고 인지온도는 세 지

점 모두 2005년 9월 27일 1200 LST에 나타났는데, 청계천, 성동기계공업고등학교, 송신초등학교의 순서대로 각각 29℃, 30.4℃, 33.4℃였다. 이것은 송신초등학교의 9월 23일에서 9월 26일까지의 결측 자료에 상관없이, 청계천에 의한 최고 인지온도 저하 효과가 청계천 내부에서 가장 크며 거리에 따라 효과가 약해진다는 것을 추정할 수 있게 해준다. 즉, 청계천 주변지역과 서울관측소의 단순한 기온 비교와는 달리, 주변 환경의 열 환경적인 정보가 인지온도에 포함되어 있어 청계천 주변지역(S0, S1, S2)과 서울관측소(SWS)의 미묘한 열 환경의 차이를 인지온도가 보여주는 것이라고 할 수 있다. 표 4는 열 스트레스 단계에 따른 열적 인지도(Thermal Perception)를 인지온도의 범위로 분류한 것으로 (Friedrich *et al*, 2001), 집중 관측 기간 동안의 네 지점의 인지온도에 대해 열 스트레스 단계에 해당

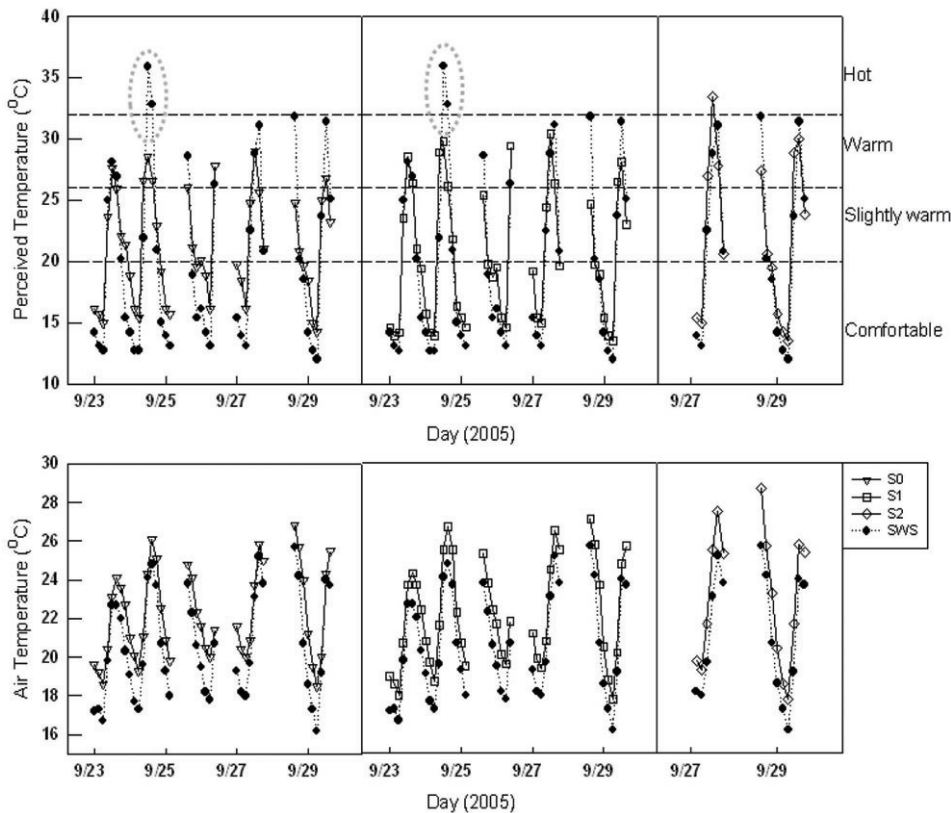


Figure 2. Perceived temperature and air temperature at Seoul Weather Station (SWS, 1120m from the stream), Cheonggye stream (S0, 0m), Seongdong (S1, 66m), and Sungshin (S2, 173m) sites in 2005. The dashed lines divide the levels of thermal stress (comfortable: 0-20C; slightly warm: 20-26C; warm: 26-32C; and hot: 32-38C)

Table 4. Thermal stress levels at each site based on the perceived temperature during the intensive observation period

PT (°C)	0 = PT < 20	20 = PT < 26	26 = PT < 32	32 = PT = 38
Thermal Perception	Comfortable	Slightly Warm	Warm	Hot
Cheonggye Stream (S0, %)	46.3	34.2	19.5	0.0
Seongdong AWS (S1, %)	58.5	17.1	24.4	0.0
Sungshin AWS (S2, %)	40.0	20.0	33.3	6.7
Seoul Station (SWS, %)	53.7	21.9	19.5	4.9

하는 비율을 퍼센트로 나타낸 것이다. 청계천과 성동기계공업고등학교는 서울관측소에 비해 열 스트레스 완화 효과가 나타나고 있는데, 밤 시간(1800 LST ~ 0600 LST) 동안 네 지점이 모두 Comfortable 하기 때문에 청계천과 성동기계공업고등학교의 열 스트레스 완화 효과는 주로 낮 시간에 나타나는 것임을 알 수 있다. 집중 관측 기간 동안의 가장 높은 열 스트레스 수준이었던 'Hot' 은 청계천과 성동기계공업고등학교에서는 관측되지 않았고 청계천에서 가장 먼 거리에 있는 송신초등학교와 기준 지점인 서울관측소에만 나타났다.

열 환경 비교분석에서 신뢰성 있는 결과를 얻기 위해서는 단기간 인지온도자료의 공간적 비교분석

만으로는 부족하며 시간 경과에 따른 장기간의 비교분석도 필요하다. 이런 필요성에 의해 2006년 여름철과 청계천 복원 전후의 겨울철에 대한 분석을 수행 하였다. 2006년 여름철의 성동기계공업고등학교와 송신초등학교의 기온 편차(그림 3의 (a))는 모두 0보다 크게 나타나 성동기계공업고등학교와 송신초등학교의 여름철 기온이 서울관측소의 여름철 기온보다 높은 것을 보여주고 있다. 기온 편차에서는 성동기계공업고등학교와 송신초등학교의 주목할 만한 차이점을 찾기 힘들지만 인지온도의 편차(그림 3의 (b))는 송신초등학교가 성동기계공업고등학교보다 높으며, 성동기계공업고등학교에서는 서울관측소보다 인지온도가 낮은 경우도 나타나고

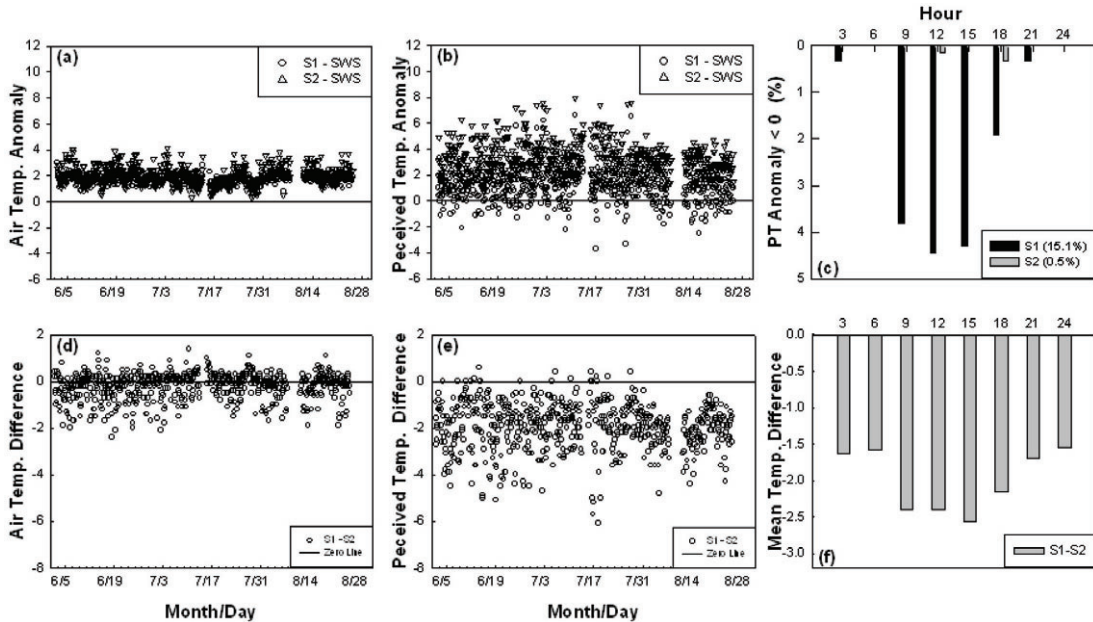


Figure 3. Hourly anomaly of (a) air temperature and (b) perceived temperature from Seoul Weather Station(SWS) during June 2008 to August 2008. (c) Percentage of negative anomaly of the perceived temperature in 3 hourly classification. Hourly differences of (d) air temperature and (e) perceived temperature between S1 and S2. (f) Hourly mean difference of the perceived temperature at S1 and S2

있다. 그림 3의 (c)는 인지온도 편차 중 0보다 작은 값들에 대하여 시간별 비율을 그린 것이다. 2006년 여름철(78일), 성동기계공업고등학교에서 관측된 인지온도의 15%가 서울관측소보다 낮았으며 이런 경우는 주로 낮 시간 동안에 나타났다. 그림 3의 (d)와 (e)는 성동기계공업고등학교와 송신초등학교의 기온과 인지온도 편차를 그린 것이다. 성동기계공업고등학교의 인지온도는 송신초등학교의 인지온도 보다 낮은 것을 볼 수 있다. 그림 3의 (f)는 성동기계공업고등학교와 송신초등학교의 인지온도 편차 중 0보다 작은 값들에 대하여 시간별 평균을 낸 것으로 주로 낮 시간대에 성동기계공업고등학교의 인지온도가 송신초등학교보다 낮은 것으로 나타나고 있다. 집중 관측 자료의 분석에서와 마찬가지로 2006년 여름철 성동기계공업고등학교와 송신초등학교의 기온이 서울관측소보다 높는데 성동기계공업고등학교의 인지온도는 서울관측소 보다 낮은 사

례가 있으며 낮 시간 동안의 열 스트레스 완화가 성동기계공업고등학교에서 보이고 있다. 집중 관측기간의 공간적 비교분석 결과를 고려해 볼 때 열 스트레스 완화의 원인은 청계천의 영향에 의한 것으로 추정된다.

그림 4는 성동기계공업고등학교와 송신초등학교의 겨울철 기온 편차, 인지온도 편차, 풍속 편차, 습도 편차들의 평균값과 KMM에서 산출된 인지온도의 습도와 풍속에 대한 민감도를 나타낸 것이다. 성동기계공업고등학교의 겨울철 자료는 2004년 12월 ~ 2005년 2월과 2005년 12월 ~ 2006년 2월의 자료를 사용하였다. 송신초등학교의 청계천 복원 전 겨울철 자료로는 2003년 12월 ~ 2004년 2월과 2004년 12월 ~ 2005년 2월, 복원 후 겨울철은 2005년 12월 ~ 2006년 2월과 2006년 12월 ~ 2007년 2월의 자료를 사용하였다. Pre와 Post는 청계천 복원 전과 후를 의미하며 Difference (dT)

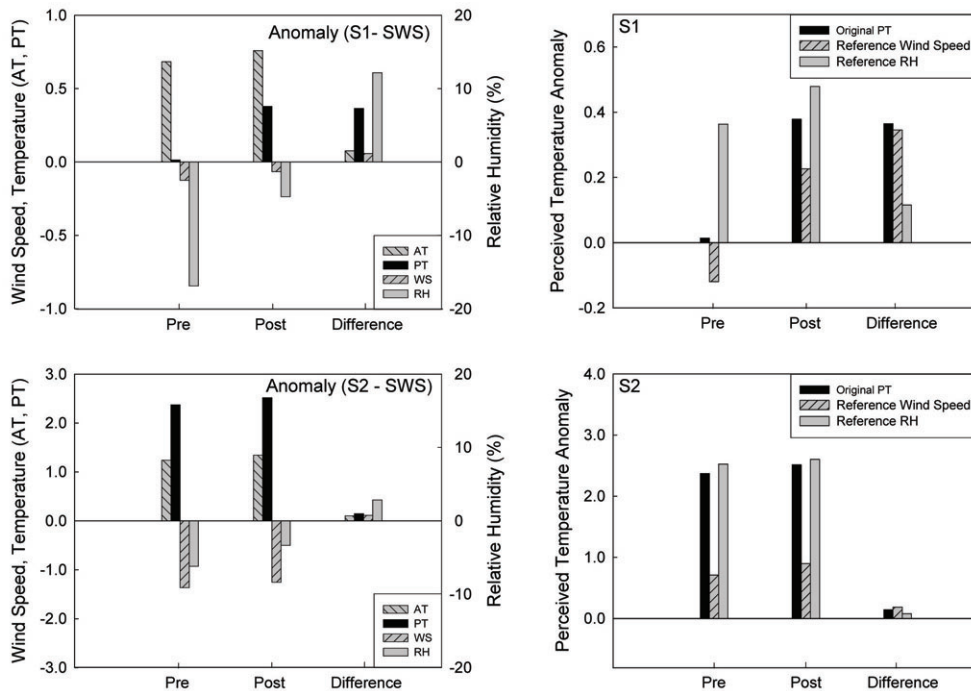


Figure 4. Anomaly of perceived temperature, air temperature, wind speed and relative humidity at Seongdong (S1) and Sungshin (S2) from Seoul weather station (SWS) during winter season (left) and sensitivity tests for relative humidity and wind speed (right). The winter season is from Dec. 2004 to Feb. 2005 and from Dec. 2005 to Feb. 2006 for pre- and post-restoration, respectively. S2 had additional winter seasons for the analysis: Dec. 2003 to Feb. 2004 and Dec. 2006 to Feb 2007

는 복원 후의 편차( $dT_{post}$ )에서 복원 전의 편차( $dT_{pre}$ )를 뺀 값이다. 성동기계공업고등학교와 송신초등학교의 매 시간 습도와 풍속에서 서울관측소의 매 시간 습도와 풍속을 각각 빼어 습도 편차와 풍속 편차를 계산하였다. 성동기계공업고등학교와 송신초등학교의 인지온도에 대한 습도와 풍속의 민감도 테스트를 위해 습도와 풍속 입력 자료를 기준 지점인 서울관측소의 습도와 풍속으로 바꾸어 계산한 인지온도와, 바꾸지 않고 산출한 인지온도를 비교하였다. 즉, 습도 민감도 테스트에서는 성동기계공업고등학교와 송신초등학교의 습도대신 서울관측소의 습도를 사용하고, 풍속의 민감도 테스트에서도 두 지점의 풍속 대신 서울관측소의 풍속을 입력 자료로 하였으며, KMM의 나머지 입력 자료들은 각각 성동기계공업고등학교와 송신초등학교의 관측 자료를 사용하였다. 성동기계공업고등학교의 평균 기온은 청계천 복원 전과 후 서울관측소의 평균 기온보다 높으며, 복원 전에 대한 복원 후 성동기계공업고등학교의 평균 기온 편차 상승은 약  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 였다. 청계천 복원 전에는 성동기계공업고등학교의 평균 인지온도가 서울관측소의 평균 인지온도보다  $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$  높아 성동기계공업고등학교와 서울관측소의 차이가 거의 없었다. 청계천 복원 후 성동기계공업고등학교의 평균 인지온도는 서울관측소의 평균 인지온도보다  $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  높아져, 복원 후 서울관측소에 비해 성동기계공업고등학교의 열 환경 변화가 있음

을 보여준다. 청계천 복원 후 성동기계공업고등학교의 평균 상대습도는 서울관측소보다  $12.2\%$ 가 증가 하였는데, 습도 증가는 청계천 복원에 의한 것으로 사료된다. 성동기계공업고등학교 인지온도의 민감도 테스트 결과 KMM에서 산출된 겨울철 인지온도는 풍속보다 습도에 의한 인지온도 변화가 더 크게 나타나, 성동기계공업고등학교의 인지온도 특성에 영향을 주는 주요 요인은 습도였던 것으로 판단된다. 송신초등학교의 인지온도와 기온의 Difference는 평균값이  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 씩 높아 복원 전후의 송신초등학교의 인지온도 변화와 기온 변화에 서로 다른 점을 찾기 어렵다. 습도와 풍속도 복원 전후의 변화량에 뚜렷한 특이점을 찾을 수 없다. 송신초등학교의 인지온도 민감도 테스트에서는 성동기계공업고등학교와 달리 풍속에 더 민감한데, 겨울철 풍속의 증가가 인지온도에 민감하게 작용한다는 결과(Kim *et al.*, 2009; 변재영등, 2008)는 알려져 있는 것이어서 청계천 복원에 의한 송신초등학교 인지온도의 특징적인 변화라고 보기는 어렵다.

그림 5는 그림 4에 사용된 겨울철 성동기계공업고등학교와 송신초등학교 자료에 대해 기온 편차와 인지온도 편차의 시간별 Difference ( $dT$ )를 나타낸 것이다. 그림 5에서 성동기계공업고등학교와 송신초등학교가 청계천 복원 전후에 서로 다른 관측 기간을 가지고 있어 두 지역을 서로 비교할 수는 없지만 그림 4에서 나타난 복원 전후에 대한 성동기계공

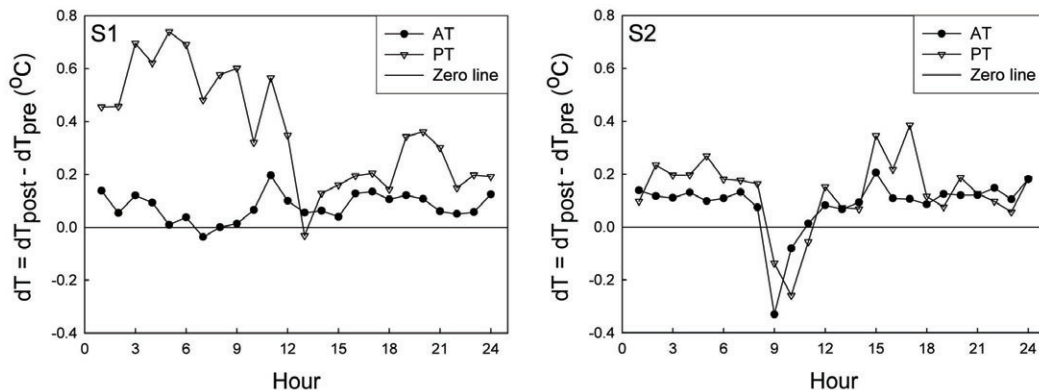


Figure 5. The hourly differences of the pre- and post-stream anomalies of air and perceived temperature between Seongdong (S1) and Sungshin (S2) sites and the Seoul weather station (SWS), respectively. The comparison period is the same as in Figure 4



업고등학교의 인지온도 편차의 시간별 특성을 잘 보여주고 있다. 청계천 복원 후의 성동기계공업고등학교 인지온도 편차는 1300 LST ( $-0.04$  °C)를 제외하고, 모든 시간대에 복원 전의 인지온도 편차보다 증가하였으며, 오후 보다 오전 및 야간의 인지온도 상승이 더 높았다(최고  $0.7$  °C). 이것은 청계천 복원 후 성동기계공업고등학교의 인지온도가 서울관측소 보다 더(복원 전과 비교하여) 높아진 것을 나타낸다. 청계천 복원 후의 성동기계공업고등학교 기온 편차는 복원 전의 기온 편차보다 최대  $0.2$  °C (1100 LST)까지 높아 인지온도 편차 상승과 비교할 때 기온 편차의 복원 전후 차는 뚜렷하지 않다. 청계천 복원 후 성동기계공업고등학교의 인지온도 편차 상승과 야간에 주로 나타난 서울관측소에 대한 성동기계공업고등학교의 인지온도 증가는 서울관측소의 겨울철 열 환경에 비해 성동기계공업고등학교의 겨울철 열 환경이 개선되었음을 의미한다. 송신초등학교 인지온도 편차의 청계천 복원 전후 차이는  $-0.3$  °C에서  $0.4$  °C까지 되며, 복원 후 인지온도 편차가 복원 전보다 낮은 경우는 0900 LST, 1000 LST, 1100 LST이고 나머지 시간대는 높다. 송신초등학교 기온 편차의 경우도 복원 후의 편차가 복원 전보다 낮은 경우가 0900 LST, 1000 LST에 나타나고 나머지 시간에는 복원 후 편차가 복원 전보다 높다. 겨울철 송신초등학교 기온 편차와 인지온도 편차는 경향도 비슷하고, 편차의 복원 전후 차이 값도 일정하지 않아 서울관측소와 비교하여 송신초등학교의 열 환경 변화를 찾기는 어렵다.

#### IV. 결론

열 환경 변화 분석을 위해 청계천 복원의 사례에 대해 인지온도와 기온의 시공간적 비교분석을 실시하였다. 청계천 주변의 집중 관측, 2006년 여름철, 청계천 복원 전후의 겨울철의 세 경우에서 모두 성동기계공업고등학교까지 청계천이 열 환경에 영향을 미친 것을 확인하였다.

청계천 효과는 가을철 맑은 날 오후에 가장 크게

나타났으며, 가장 큰 경우에 인지온도차는  $7.4$ 도에 달하였다. 겨울철에는 효과가 가을철과 같이 크지는 않지만, 약간의 보온 효과를 보였다. 다만, 청계천의 폭이 매우 좁아서, 그 영향 또한 한정된 지역에서만 나타났다.

열 환경 변화 분석에서 인지온도는 복합적인 기상 요인과 지형조건을 고려하여 산출되어 인간이 느끼는 열 스트레스를 정량적으로 보여주는 지표이다. 도시 개발 등에 따른 열 환경 영향평가에서도 단순한 기온 분석보다 인지온도를 사용한다면 열 스트레스에 대한 유용한 분석이 가능할 것이다.

#### 사 사

이 연구는 국립기상연구소 “국지 기상 특성 진단 및 기상환경영향평가 기술 개발”과 “녹색성장 지원 기술 개발” 연구의 일환으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- 김상백, 엄향희, 권병혁, 오성남, 김연희, 2004, 도심지의 열환경 평가를 위한 열수지 모델의 검증, 한국기상학회지, 40, 2, 147-148.
- 변재영, 김정식, 김지영, 최병철, 최영진, Angelika Graetz, 2008, 한반도 2007년 여름철 인지온도 특성 연구, 대기, 18, 137-146.
- Baik, J.-J., Y.-H. Kim, and H.-Y. Chun, 2001, Dry and moist convection forced by an urban heat island, Amer. Meteor. Soc., 40, 1462-1475.
- Changnon, S. A., R. T. Shealy, and R. W. Scott, 1991, Precipitation changes in fall, winter, and spring cause by St. Louis, J. Appl. Meteor., 30, 126-134.
- Fanger, P. O., 1982, Thermal comfort. Analysis and application in environment engineering, Krieger, 1-244.
- Friedrich, M., A. Grätz, G. Jendritzky, 2001,

- Further development of the urban bioclimate model UBIKLIM, taking local wind systems into account, Meteorol. Zeitschrift, Vol 10, No. 4, 267-272.
- Gagge, A. P., A. P. Fobelets, and P. E. Berglund, 1986, A standard predictive index of human response to the thermal environment, ASHRAE Trans., 92, 709-731.
- Jendritzky, G., H. Staiger, K. Bucher, A. Graetz, and G. Laschewski, 2000, The perceived temperature: the method of the Deutscher Wetterdienst for the assessment of cold stress and heat load for the human body, Internet Workshop on Windchill, hosted by the Environment Canada, April 3-7.
- Jendritzky, G., A. Maarouf, and H. Staiger, 2001, Looking for a Universal Thermal Climate Index UTCI for outdoor applications, Windsor-Conference on Thermal Standards, Windsor, UK, April 5-8.
- Kim, J., K. R. Kim, B.-C. Choi, D. G. Lee, and J.-S. Kim, 2009, Regional distribution of perceived temperature estimated by the human heat budget model (the Klima-Michel model) in South Korea, Adv. Atmos. Sci (in press).
- Kim, Y.-H., S.-B. Ryoo, J.-J. Baik, I.-S. Park, H.-J. Koo, and J.-C. Nam, 2008, Does the restoration of an inner-city stream in Seoul affect local thermal environment, Theor. Appl. Climatol., 92, 239-248.
- Landsberg, H. E., 1981, The urban climates, Academic press, 1-275.
- Matzarakis, A., H. Mayer, 1997, Heat stress in Greece, Int J Biometeorol., 41, 34-39.
- Morris, C. J. G., I. Simmonds, and N. Plummer, 2001, Quantification of the Influences of wind and cloud on the nocturnal urban heat island of a large city, J. Appl. Meteor., 40, 169-182.
- Peterson, J. T. and T. L. Stoffel, 1980, Analysis of urban-rural solar radiation data from St. Louis, Missouri, J. Appl. Meteor., 19, 275-283.
- Synnefa, A., A. Dandou, M. Santamouris, M. Tombrou, and N. Soulakellis, 2008, On the use of cool materials as a heat island mitigation strategy, J. Appl. Meteor. Climatol., 47, 2846-2856.