

# 최근 20년간 도시열섬과 대기오염물질의 장기변동 및 상관관계 분석

## Long-term variation analysis of urban heat island and air pollutants and their correlation in Seoul Metropolitan Area in the recent 20 years

김진승<sup>1)</sup> · 송상근<sup>1), 2)</sup> · 이성빈<sup>1)</sup>

2023년 한국대기환경학회 제66회 정기학술대회  
부산항국제전시컨벤션센터 (2023. 10. 25~27)

<sup>1)</sup>제주대학교 지구해양융합학부 지구해양전공, <sup>2)</sup>제주대학교 지구해양과학과

### 1. Introduction

- 도시화는 인구의 도시 집중에 따른 지역, 사회적으로 변화하는 것을 뜻한다. 도시화가 진행됨에 따라 도시지역의 토지피복은 초지에서 아스팔트, 건물과 같은 시가지로 변화하였으며, 1980년에서 2010년 까지 30년간 전국의 농경지와 산림의 비율이 각각 3.5% 가량 감소하였고, 시가지·건조 지역은 약 5% 가량 증가하였다. 이러한 도시화는 도시 특유의 기후를 만들고 도시의 기온을 상승시켜 도시열섬 현상을 발생시킨다.
- 수도권은 서울을 중심으로 인천, 경기도와 함께 대도시권을 형성하고 있으며, 2022년 기준 전국 인구의 약 50%를 차지하는 2,605만 명이 집중되어 있는 지역이다. 특히 서울은 우리나라의 수도이자 가장 큰 도시 중 하나이며, 주변 다른 도시에 비해 도시화가 더 많이 이루어진 곳이다.
- 도시화와 도시열섬의 관한 연구는 과거부터 많이 수행되어왔으나, 최근 관련 연구는 주로 단기간(5~10년)에 대해서만 연구를 진행하여, 장기간(10년 이상)에 대한 도시열섬관련 연구는 부족한 실정이다.
- 이에 본 연구에서는 서울 지역에서의 최근 20년(2001~2020)간의 도시열섬강도와 대기오염물질의 장기 변화를 살펴보고, 도시열섬과 오염물질 간의 상관계수를 구하여 이들의 상관성을 분석하였다.

### 2. Materials and Methods

#### Study area, data and methods

##### 관측지점 (Fig. 1)

- 기상관측지점(10지점): 양천(YC), 동대문(DDM), 중랑(JN), 기상청(KMA), 금천(GC), 성동(SD), 청평(CP), 용인(YI), 고양(GY), 서울 종관기상관측소 (Seoul ASOS)
- 도시 대기질 관측지점(6지점): 영등포구(YDP\_AQ), 동대문구(DDM\_AQ), 중랑구(JN\_AQ), 관악구(GA\_AQ), 금천구(GC\_AQ), 성동구(SD\_AQ)
- 도로변 대기질 관측지점(6지점): 도산대로(DSR), 흥릉로(HRR), 청계천로(CGRR), 영등포로(YDPR), 신촌로(SCR), 한강대로(HGR)

##### 관측지점 선정 기준

- 기상관측지점: 기상관측지점을 중심으로 2.8km의 유효범위 지정(Kim et al., 2016) 후 해당 범위의 토지피복자료를 이용하여 시가지화 면적의 비율을 계산 (Table 1)
- 도심(YC, DDM, JN, KMA, GC, SD): 시가지화 면적 비율 50% 이상
- 교외(CP, YI, GY): 시가지화 면적 비율 30% 미만
- 도시 대기질 관측지점: 기상관측지점과 가장 인접한 지점으로 선정
- 도로변 대기질 관측지점: 연구기간 동안 관측이 수행된 관측지점

Table 1. Buffer area, urbanized area and urbanization ratio of meteorological sites.

	Station name	Buffer area	Urbanized area	Urbanization ratio
Urban Meteorology Monitoring Station	Yangcheon	0.00251	0.00186	74.21283
	Dongdaemun	0.00251	0.00197	78.33533
	Jungnang	0.00251	0.00147	58.54241
	KMA	0.00251	0.00207	82.65550
	Geumcheon	0.00251	0.00170	67.65058
	Seongdong	0.00251	0.00168	66.85259
Rural Meteorology Monitoring Station	Cheongpyeong	0.00252	0.00010	3.81710
	Yongin	0.00250	0.00049	19.63215
	Goyang	0.00251	0.00070	27.73599

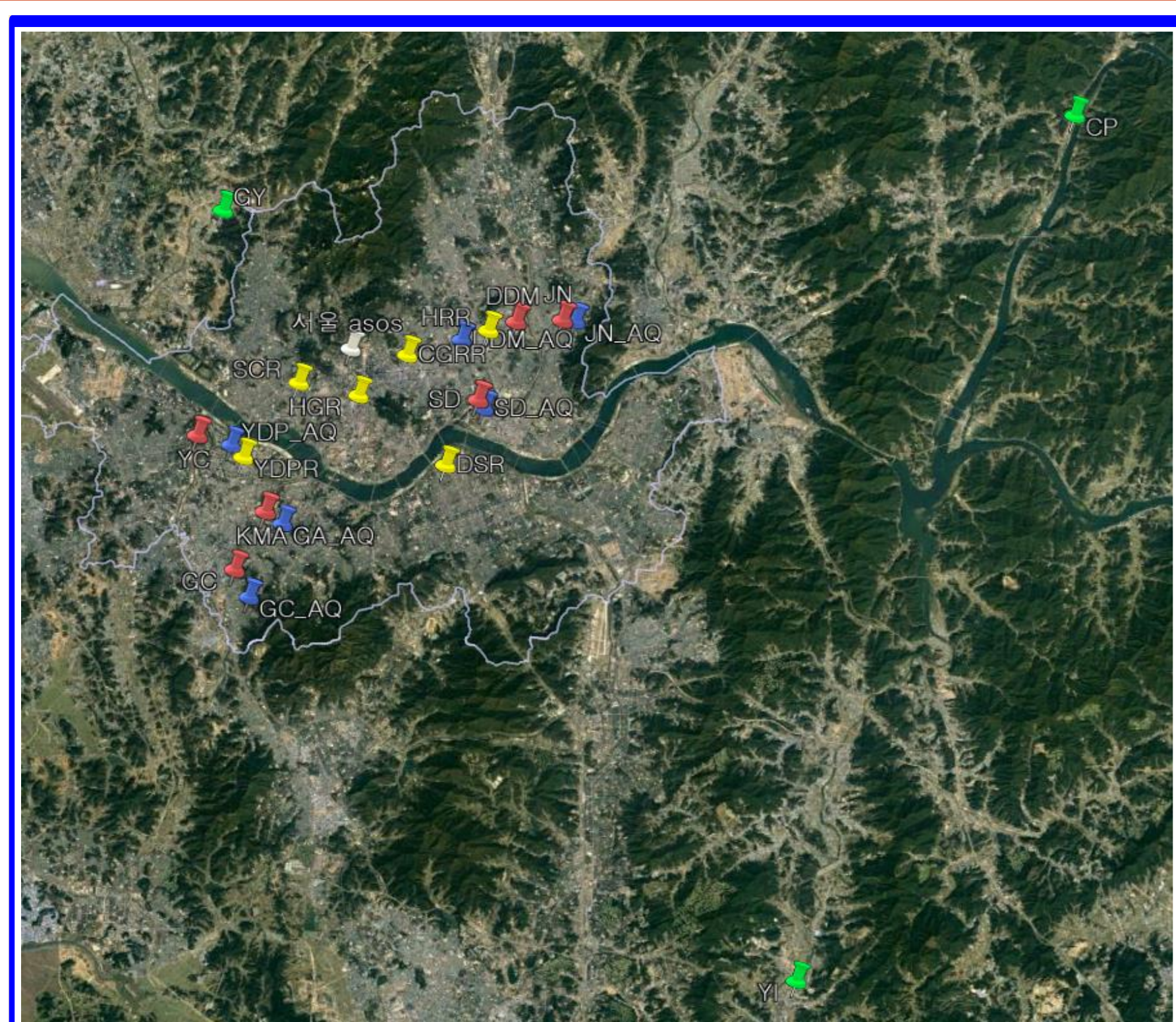


Fig. 1. Location of meteorological and air pollutants monitoring sites in the Seoul metropolitan area. The red point is urban area meteorological monitoring sites (YC, DDM, JN, KMA, GC, SD). The green point is rural area meteorological monitoring sites (CP, YI, GY). The blue point is urban air quality monitoring sites (YDP\_AQ, DDM\_AQ, JN\_AQ, GA\_AQ, GC\_AQ, SD\_AQ). The yellow point is road side air quality monitoring sites (DSR, HRR, CGRR, YDPR, SCR, HGR). The white point is Seoul ASOS site, which was used to collect information on weather factors, respectively.

##### 열섬강도 산출

- 도심 지역(6지점) 기온의 평균과 교외 지역(3지점) 기온의 평균의 차이를 이용하여 산출

$$UHI\ intensity = T_{urban} - T_{rural}$$

- $T_{urban}$ : 도심지역 지점들의 기온 평균
- $T_{rural}$ : 교외지역 지점들의 기온 평균

##### 사용자료

- 기상 자료: 기상자료개방포털에서 제공하는 시계열(년, 월, 시간) 자료 사용
- 대기질 자료: 에어코리아에서 제공하는 연간 최종확정자료 중 CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> 자료 사용

##### 상관관계 분석

- 상관성 분석은 SPSS 24를 이용하였으며, 그 중 Pearson 상관분석을 사용하여 계산함
- 입력자료: 시간별 기온, 대기오염물질 농도

### 3.2 Correlation between Urban Heat Island intensity and air pollutants

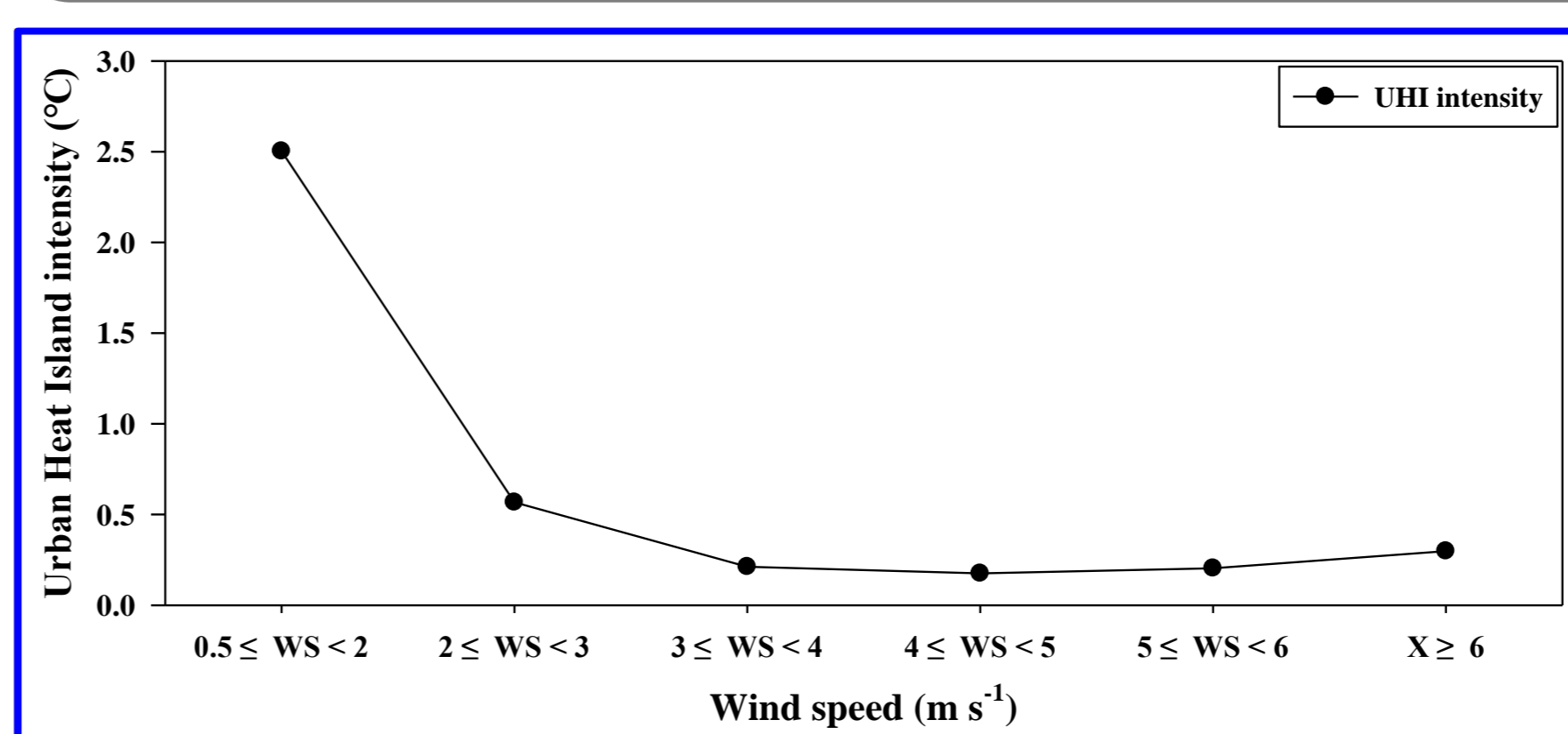


Fig. 3. Mean UHI values about wind speed divided six categories during the study periods

- Fig. 3은 연구기간 동안 풍속 조건에 따른 도시열섬강도(UHI intensity)의 평균을 나타낸다. 대체로 바람이 4m/s 이하로 불 때 상대적으로 UHI 강도가 크게 나타남
- 보다 정확한 상관분석을 위해, PM<sub>10</sub>의 경우는 중국 등 외부 장거리 수송 영향이 큰 황사와 연무(고농도)가 발생한 날을 제외시켰으며, 평균 풍속이 4 m/s 초과하는 경우를 제거하여 상관분석을 수행함

Table 2. Correlation between Urban Heat Island intensity and air pollutants.

		CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>
Urban Air Quality	Pearson Correlation	0.354**	0.415**	-0.450**	0.088**	0.118**
	N (Data set)	169906	169906	169906	169906	118410
Road side Air Quality	Pearson Correlation	0.183**	0.132**	-0.373**	0.027**	0.070**
	N (Data set)	169821	169821	169821	169821	144313

Statistically significant results are marked with double asterisk (\*\*). Statistical significance is determined at P < 0.001.

- Table 2는 분석기간 동안 도시열섬강도와 대기오염물질의 Pearson 상관계수를 오염물질 별로 나타냄
- SO<sub>2</sub>와 PM<sub>10</sub>은 다른 오염물질에 비해 상관계수가 0.088과 0.118로 낮게 나와 다른 요소의 영향을 많이 받는 것으로 사료됨
- 도시 대기질과 도로변 대기질 모두 1차 오염물질(CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>)은 양의 상관계수가 나타났으며, 2차오염물질인 O<sub>3</sub>은 음의 상관계수가 나타남
- 도시 대기질이 도로변 대기질보다 도시열섬강도와 상관성이 더 높게 나타났으며, 오염물질 별 상관계수 차이는 0.03 ~ 0.283로 나타남
- 도로변 대기질은 차량 배출의 영향을 받아 열섬강도와 상관성이 낮게 나타난 것으로 추정됨

### 3. Results and Discussion

#### 3.1 Long-term variation of Urban Heat Island intensity and air pollutants

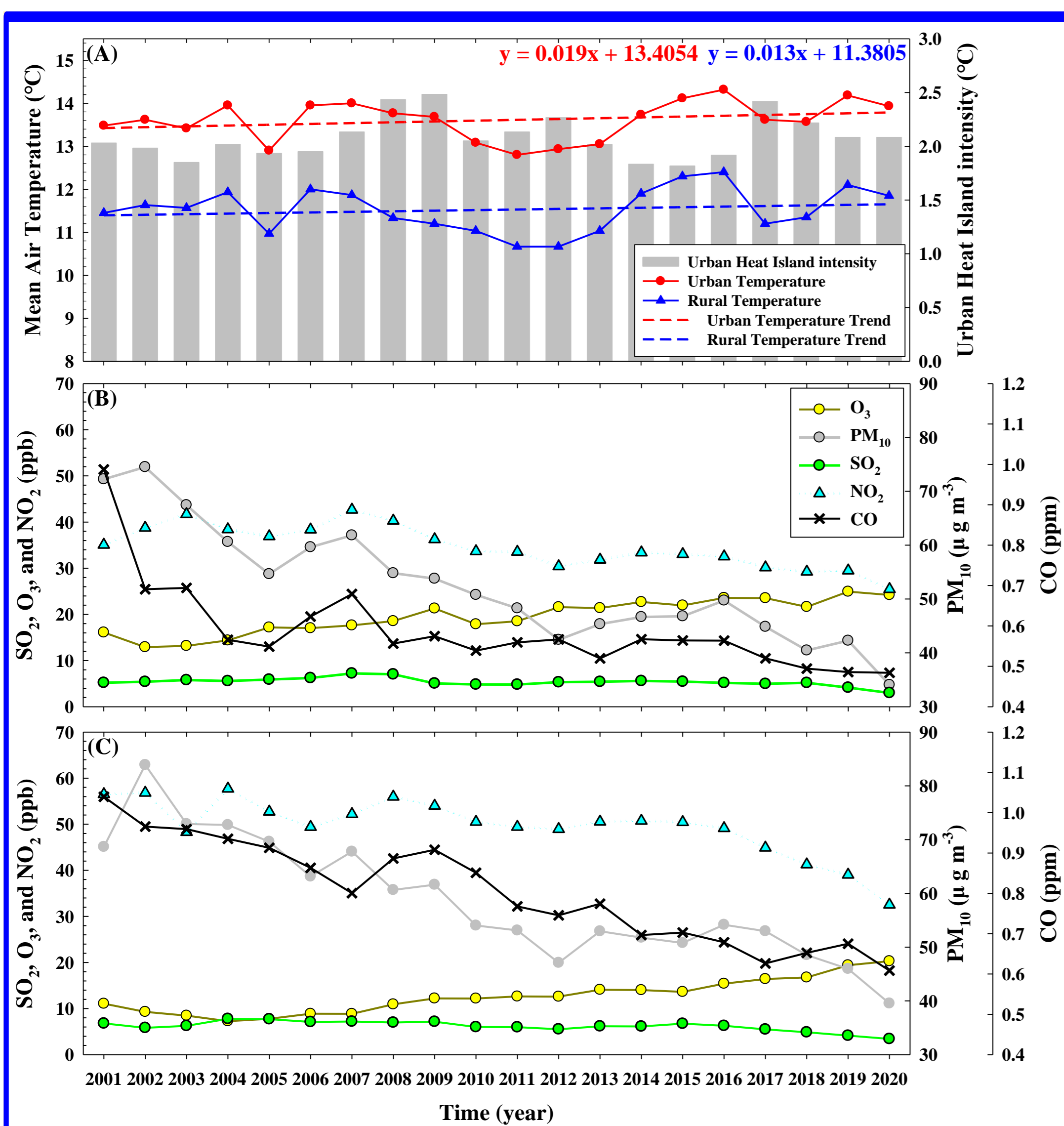


Fig. 2. Time series of air temperature, urban air pollutants and road side air pollutants during the study period. (A) shows air temperature, air temperature trend and urban heat island intensity. (B) shows the concentration of urban air pollutants. (C) shows the concentration of road side air pollutants.

- Fig. 2 (A)는 도심과 교외의 기온 및 추세, 도시열섬강도를 연별로 나타냄
- Fig. 2 (B)와 Fig. 2 (C)는 각각 도시 대기와 도로변대기의 CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>의 연 평균 농도를 나타냄
- 도심 기온과 교외 기온은 각각 0.019, 0.013의 기울기로 증가추세를 보이며, 2005년에 가장 낮은 기온인 12.9 °C, 10.9 °C, 2016년에 14.3 °C, 12.4 °C로 가장 높은 기온을 보임
- 2001년 대비 2020년의 기온은 도심지역에서 0.45 °C, 교외지역에서 0.4 °C 만큼 증가하였다.
- 도시열섬강도의 경우 0.006의 기울기를 가지며, 2015년에 1.82 °C로 가장 약한 열섬강도를 보였으며, 2009년에 2.48 °C로 가장 강한 열섬강도를 보임

- 대기오염물질은 O<sub>3</sub>을 제외한 도시 및 도로변 대기질 모두 감소하는 경향을 보임 (CO: -0.45 ppm, NO<sub>2</sub>: -16.8 ppb, SO<sub>2</sub>: -2.8 ppb, PM<sub>10</sub>: -33.65 µg/m<sup>3</sup>, O<sub>3</sub>: 8.6 ppb)
- O<sub>3</sub>을 제외하고 도시 대기질에서의 농도가 도로변 대기질 보다 더 낮게 나타남 (CO: 0.07 ppm, NO<sub>2</sub>: 11.04 ppb, SO<sub>2</sub>: 0.48 ppb, PM<sub>10</sub>: 7.43 µg/m<sup>3</sup>, O<sub>3</sub>: 5.15 ppb)

Table 3. Correlation with meteorological factors influencing air pollutants concentrations(SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>) in urban air quality.

		SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>
Temperature (°C)	Pearson Correlation	-0.254**	-0.149**
	N (Data set)	175263	122341
Wind speed (m/s)	Pearson Correlation	-0.029**	-0.102**
	N (Data set)	175214	122309
Vapor pressure (hPa)	Pearson Correlation	-0.314**	-0.242**
	N (Data set)	132565	87994
Air pressure (hPa)	Pearson Correlation	0.255**	-0.180**
	N (Data set)	132549	87985

Statistically significant results are marked with double asterisk (\*\*). Statistical significance is determined at P < 0.001.

- Table 3은 Table 2에서 상대적으로 상관성이 낮은 대기오염물질(SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>)에 대해 보다 자세하게 분석하기 위해 기상요소(기온, 풍속, 증기압, 기압)와의 상관성을 나타냄
- 두 물질 모두 증기압과의 관계가 기온 보다 높은 상관성을 보임(SO<sub>2</sub>: 0.06, PM<sub>10</sub>: 0.093)

### 4. Summary and Conclusions

- 본 연구에서는 최근 20년 동안 서울을 중심으로 기온의 장기 변화와 이에 따른 도시열섬강도의 변화 그리고 대기오염물질 농도의 장기 변화를 살펴보고 도시열섬의 강도와 대기오염물질의 농도 사이의 상관성을 분석하였다.
- 기온은 도심지역과 교외지역에서 연구기간인 20년 동안 꾸준히 증가하는 경향을 보였으며, 대기오염물질 농도는 도시 및 도로변 대기질 모두 1차 오염물질은 감소하는 경향, 2차 오염물질은 증가하는 경향을 보였다.
- 도시열섬강도와 대기오염물질 농도 간의 관계를 파악하기 위해 상관분석을 진행하였으며, 1차 오염물질은 양의 상관, 2차 오염물질은 음의 상관을 보였다.
- 추가적으로 상대적으로 상관성이 낮은 물질(SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>)에 대해 분석을 진행하였고, 두 물질 모두 기온보다 증기압과의 높은 상관성을 보였다.

Acknowledgments  
이 연구는 2020년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2020R1A2C2011081).