

## 서울지역의 도시열섬현상과 대기오염도의 관계에 관한 연구

### A Study on the Relation of Urban Heat Island and Air Pollution in Seoul Area

장 영 기 · 김 정 옥<sup>1)</sup>

수원대학교 공과대학 환경공학과, <sup>1)</sup>서울대학교 환경대학원  
 (원고접수 : 1991. 3. 4)

Young-Kee Jang, Jung-Wk Kim<sup>1)</sup>

Dept. of Environmental Engineering, Suwon University  
<sup>1)</sup>Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University  
 (Received 4, March 1991)

#### Abstract

Relations of urban heat island and air pollution are analyzed by using SO<sub>2</sub> concentration data (winter season in 1985) from 10 sites of Seoul area and differences of wind speed and air temperature in urban and rural area. Urban heat island is developed when daily mean wind speed at urban site is lower than 1.5 m/sec or in the interval of 3.0~3.5 m/sec. When differences between urban and rural air temperature is greater than the overall average of those differences, SO<sub>2</sub> concentrations of those above-average differences are 1.3~1.8 times higher than those of below-average differences. The trends are shown obviously at north-eastern area of Seoul (Gilum Dong, Ssangmun Dong, Myeonmog Dong).

When intensity of Urban Heat Island is weak, SO<sub>2</sub> concentration was reduced in propotion to a rise of wind speed. But SO<sub>2</sub> concentration is on the partial increase in spite of a rise of wind speed when intensity of urban heat island is strong.

#### 1. 서 론

도시가 발달하고 팽창하면 인간활동의 증대를 가져와 도시특유의 기후가 형성된다. 도시는 도시화에 따라 기온이 상승하는 경향이 있으며 주변 교외지역과 비교하면 도심의 기온이 상대적으로 높아서 열섬 현상이 나타난다. 지금까지 서울지방의 도시기후 특성에 대하여는 노재식(1973), 이종범(1978, 1979), 이현영(1984), 박종탁 등(1986), 조하만 등(1988), 이용식(1990)에 의하여 서울지방의 기온상승 경향과 수평기온분포에 대한 연구가 수행된 바 있으며 이들 연구는 주로 기온분포에 대한 연구에 집중되어 있었다. 그러나 이러한 도시의 열섬현상(urban

heat island)은 기온분포 뿐만 아니라 도시의 대기 오염과도 관련이 있을 것으로 예상되어 본 연구에서는 서울지역의 열섬현상과 대기오염도와와의 관계를 분석하고자 한다.

#### 2. 자료 및 방법

이 연구에서 사용된 자료는 1985년 서울시내 대기 오염자동측정망에서 측정된 SO<sub>2</sub> 농도중 계절에 따른 배출량 변화의 영향을 배제하기 위하여 난방연료 사용량이 비슷한 1월, 2월, 12월의 90일중 2/3 이상의 측정이 이루어진 10개 지점(구의, 성수, 불광, 마포, 면목, 신설, 쌍문, 구로, 길음, 반포) SO<sub>2</sub> 농도의 일평균치를 이용하였다. 또한 도심과 교외의

기온 및 풍속자료는 기상청의 서울측후소와 김포 항공기상관측소의 자료를 이용하였다.

### 3. 분석결과

#### 3.1 도심과 교외의 기온, 풍속 비교

기상청의 서울측후소와 김포기상관측소를 서울 도심과 교외의 관측소로 간주하여 1985년 1월, 2월, 12월에 관측된 두 지점의 일평균 기온과 일평균 풍속을 각각 비교하였다. 이 기간중 서울측후소의 평균기온은  $-3.29^{\circ}\text{C}$  김포측후소의 평균기온은  $-3.97^{\circ}\text{C}$ 로 도심이  $0.68^{\circ}\text{C}$  높게 나타났으며 조사기간 중 69%(62일)의 도심기온,  $T_u$ 이 교외기온,  $T_r$ 보다 높았다. 이를 기온차이,  $\Delta T(T_u - T_r)$  구간별 발생빈도로 살펴보면 그림 1과 같다. 같은 기간중 풍속은 도시의 평균풍속이  $2.60\text{ m/sec}$ , 교외의 평균풍속이  $3.02\text{ m/sec}$ 로 도시의 풍속이  $0.42\text{ m/sec}$  작았으며 조사기간중 70%(63일)의 도심풍속,  $WS_u$ 이 교

외풍속,  $WS_r$ 보다 작았다. 이를 풍속차이,  $\Delta WS(WS_r - WS_u)$  구간별 발생빈도로 살펴보면 그림 2와 같다.

대기오염이 열섬효과로부터 받는 영향은 기온차이에 의한 직접적인 영향보다는 이로 인한 바람의 영향이라고 할 수 있다. 따라서 도심과 교외 두 지점의 풍속과 기온차이의 관계를 그림 3과 같이 살펴보았다. 이 결과 도심과 교외에서 일평균 풍속이  $1.5\text{ m/sec}$  이하일 때는 기온차이,  $\Delta T$ 가  $1.6^{\circ}\text{C}$ ,  $1.9^{\circ}\text{C}$ 로 열섬이 매우 뚜렷하였다. 그러나 풍속이 그 이상이 되면 교외풍속으로 분석한 경우에는 풍속이 커짐에 따라 기온차이는 계속 감소하여 열섬이 약해지고 있으나 도시의 풍속으로 분석하면 풍속이  $2.5\sim 3.0\text{ m/sec}$ 가 될 때까지는 기온차이,  $\Delta T$ 가 감소하였으나  $3.0\sim 3.5\text{ m/sec}$ 가 되면 기온차이는  $1.4^{\circ}\text{C}$ 로 커졌다가 다시 풍속증가에 따라 급격히 감소함을 보이고 있다. 이와같이 도시의 경우 일평균 풍속이  $1.5\text{ m/sec}$  이하일때 뿐만 아니라  $3.0\sim 3.5\text{ m/sec}$ 일 때에도 열섬효과가 크게 나타나는 것에 대하여는 추후 좀더 연구가 수행되어야 판단할 수 있겠으나 도시의 열섬이 발달하게 되면 더워진 열섬중심부의 공기가 상승하고 외부에서 그 중심부로 향하는 전원풍(country breeze)이 불게 되는데 이로 인한 영향이 아닐까 예상된다.

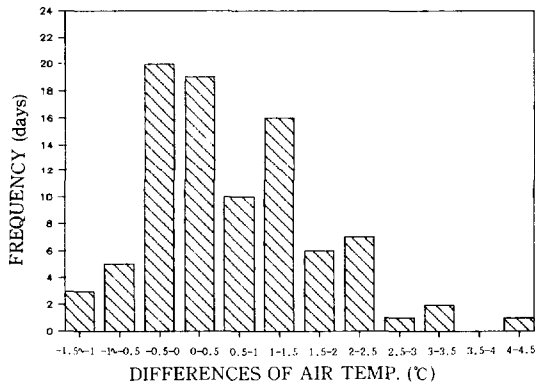


Fig. 1. Frequency distribution of differences between urban and rural air temperature.

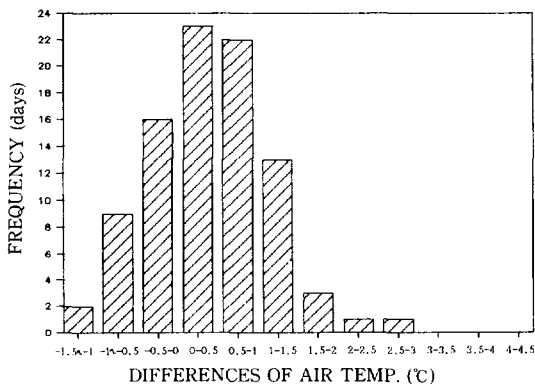


Fig. 2. Frequency distribution of difference between urban and rural wind speed.

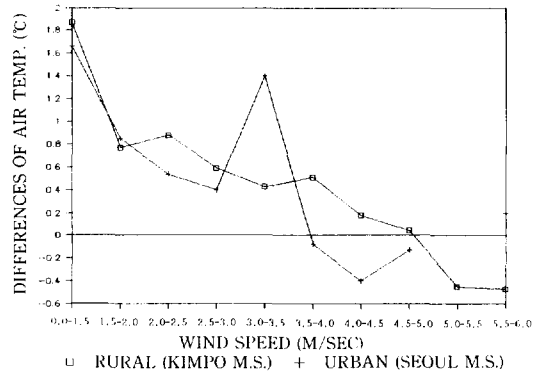


Fig. 3. Differences between urban and rural air temperature by wind speed variations.

#### 3.2 열섬효과와 대기오염도의 관계

열섬효과로 인한 대기오염도의 영향을 살펴보기 위하여 도심과 교외의 기온차이,  $\Delta T$ 가 조사기간 동안의 기온차이의 평균치( $\Delta T_{ave}$ )  $0.68^{\circ}\text{C}$ 보다 클 때와 작을 때의  $\text{SO}_2$  농도를 표 1과 같이 비교하였다.

이 결과 구의동을 제외한 지역들은 모두 열섬효과가 클 때( $\Delta T > \Delta T_{ave}$ )의  $\text{SO}_2$  평균농도가 열섬효과

가 작을 때 ( $\Delta T < \Delta T_{ave}$ )의 평균농도보다 1.31~1.78배 높아 43.3~116.0 ppb의 차이를 보이고 있었다. 이것을 지점별로 살펴보면 신설동, 성수동, 마포 지역에서는 열섬효과가 클 때의 SO<sub>2</sub> 농도가 작을 때의 농도보다 1.31~1.39배였으나, 길음동, 반포동, 쌍문동, 불광동 지역에서는 열섬효과가 클 때의 SO<sub>2</sub> 농도가 작을 때의 농도보다 1.68~1.78배 높은 것으로 나타났다. 특히 길음동, 면목동, 쌍문동 등 서울의 동북부 지역은 열섬효과가 작을 때의 SO<sub>2</sub> 평균농도는 148.6 ppb, 202.7 ppb, 99.0 ppb였으나 열섬효과가 클 때의 평균농도는 264.6 ppb, 304.0 ppb, 172.1 ppb로 큰 차이를 보이고 있었다.

**Table 1.** Comparison of SO<sub>2</sub> concentrations by urban heat island intensity.

Site	SO <sub>2</sub> mean value (ppb)		A-B	A/B
	A*	B*		
Guie	101.6	97.0	4.6	1.05
Seongsu	195.4	149.2	46.2	1.31
Bulkuang	161.1	95.7	65.4	1.68
Mapo	154.6	111.3	43.3	1.39
Myeonmog	304.0	202.7	101.3	1.50
Sinseol	215.9	163.8	52.1	1.32
Ssangmun	172.1	99.0	73.1	1.74
Guro	173.0	116.9	56.1	1.48
Gilum	264.6	148.6	116.0	1.78
Banpo	144.1	81.7	62.4	1.76

\*A) When intensity of urban heat island is strong ( $\Delta T > \Delta T_{ave}$ )

B) When intensity of urban heat island is weak ( $\Delta T < \Delta T_{ave}$ )

이는 이들 지역이 북한산, 도봉산, 수락산, 불암산, 아차산으로 둘러싸여 있어 대기가 정체되는 지형적인 영향에 열섬효과가 가중되기 때문인 것으로 생각된다.

### 3.3 열섬효과와 풍속과 대기오염도의 관계

대기오염도는 풍속과의 관계가 중요하기 때문에 열섬현상과의 관계를 분석하기 위해서는 풍속변화에 따른 영향도 고려되어야 한다. 따라서 대기오염도와 풍속, 대기오염도와 열섬효과와의 관계를 살펴보기 위하여 표 2와 같이 상관분석을 하였다.

이 결과 각 지점의 SO<sub>2</sub> 농도는 불광동과 쌍문동을

제외하고는 각 지점에서 측정된 풍속보다 서울측후소에서 측정된 풍속과의 상관계수가 더 높았으며 풍속보다는 풍속의 역수와의 상관계수가 더 높게 나타났다. 즉 구의동을 제외한 지점의 SO<sub>2</sub> 농도와 서울측후소에서 측정된 풍속의 역수와의 상관계수는 0.58~0.82로 특히 면목동은 0.77, 신설동은 0.73, 반포동은 0.82로 높은 상관관계를 보이고 있었다.

**Table 2.** Correlation coefficients between SO<sub>2</sub> concentrations and meteorological variables.

Site	Meteorological variables				Cases
	1/WS <sup>1)</sup>	WS <sup>1)</sup>	WS <sup>2)</sup>	$\Delta T$ <sup>3)</sup>	
Guie	0.24	-0.32	-0.34	0.06	77
Seongsu	0.69	-0.63	-0.59	0.50	90
Bulkuang	0.58	-0.58	-0.69	0.58	75
Mapo	0.61	-0.62	-0.48	0.35	69
Myeonmog	0.77	-0.77	-0.48	0.53	85
Sinseol	0.73	-0.67	-0.49	0.39	79
Ssangmun	0.59	-0.57	-0.75	0.47	76
Guro	0.68	-0.61	-0.28	0.45	83
Gilum	0.63	-0.62	-	0.56	81
Banpo	0.82	-0.72	-	0.52	77

1) WS : wind speed at Seoul meteorological station.

2) WS' : wind speed at air pollution monitoring network.

3)  $\Delta T$  : differences between urban and rural air temperature, ( $T_u - T_r$ ).

대기오염도와 열섬효과와의 관계는 상관계수가 0.35~0.58 범위로 풍속에 비하여 낮은 상관관계를 보이고 있었다. 그러나 대기오염도와 풍속과의 상관계수가 낮은 불광동, 길음동은 대기오염도와 열섬효과와의 상관계수가 다른 지역보다 높아 이들 지역의 대기오염도가 열섬효과로부터 받는 영향이 큼을 보여주고 있다. 즉 대기오염도는 풍속에 의하여 지배적인 영향을 받으나 열섬효과와의 영향도 상당히 큼을 알 수 있다. 따라서 이러한 풍속과 열섬효과와의 대기오염도에 대한 상호영향을 분석하기 위하여 SO<sub>2</sub> 농도와의 상관계수가 큰 서울측후소의 풍속자료를 이용하여 풍속에 따른 각 지점의 SO<sub>2</sub> 농도변화를 열섬효과가 클 때와 작을 때에 대하여 비교하였다.

먼저 열섬효과가 클 때 풍속에 따른 SO<sub>2</sub> 농도의 변화를 분석한 결과 지점에 따라 두 가지로 구분되는 형태를 보이고 있었다. 하나는 그림 4-a와 같이

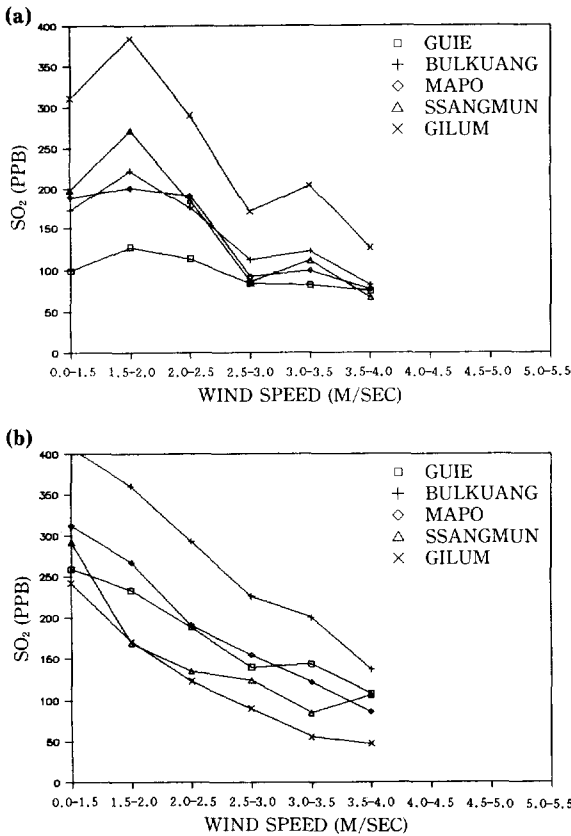


Fig. 4. Variations of SO<sub>2</sub> concentration when intensity of urban heat island is strong.

풍속이 1.5 m/sec 이하 범위에서 1.5~2.0 m/sec로 증가하면 SO<sub>2</sub> 농도가 증가하며 그 이상 풍속이 증가함에 따라 오염도는 감소하나 풍속이 3.0~3.5 m/sec에서 다시 오염도가 증가하는 경향을 보이는 형태이고 다른 하나는 그림 4-b와 같이 풍속이 증가함에 따라 농도도 계속 감소하는 경향을 보이는 것이다.

전자는 불광동, 쌍문동, 길음동, 마포동, 구의동의 경우로 이는 그 지역에서 배출되는 오염물질의 영향보다 인근지역에서 배출되는 오염물질의 영향이 커서 풍속이 증가함에 따라 인근지역의 영향을 받기 때문인 것으로 생각된다. 즉 열섬효과로 인한 도시내 wind field의 변화는 오염물질이 도시상공 대기층내에서 순환하도록 하여 풍속의 증가에도 불구하고 확산희석보다는 다른 지역 오염물질을 이동시키는 결과를 초래하기 때문이라고 생각된다. 그러나 성수동, 면목동, 신설동, 구로동, 반포동의 경우(그림 4-b 참조)는 이러한 변화형태는 발견되지 않

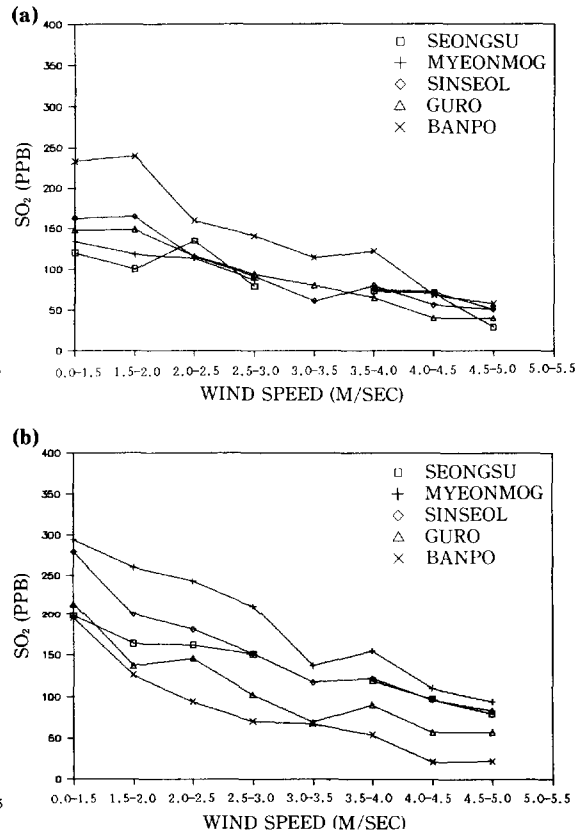


Fig. 5. Variations of SO<sub>2</sub> concentration when intensity of urban heat island is weak.

았으며 풍속이 증가함에 따라 농도는 계속 감소하는 경향을 보이고 있었다.

반면에 열섬효과가 작을 때는 앞의 열섬효과가 클 때와는 달리 그림 5-a, 그림 5-b에서 보는 바와 같이 전 지역에서 대체로 풍속이 증가함에 따라 농도가 선형으로 감소하는 경향을 보이고 있었다.

이상의 결과를 종합해 보면 같은 풍속이라도 열섬효과가 클 때 SO<sub>2</sub> 농도는 열섬효과가 작을 때보다 높게 나타나며, 열섬효과가 작을 때 SO<sub>2</sub> 농도는 풍속이 증가함에 따라 감소하나 열섬효과가 클 때는 풍속이 증가함에 따라 SO<sub>2</sub> 농도가 선형으로 감소하지 않고 특정 풍속범위에서는 오히려 오염농도가 높아지는 지점이 있었다.

이상의 연구결과를 통하여 볼 때 서울지역과 같이 열섬효과가 큰 지역의 대기오염현상 파악을 위해서는 풍향, 풍속 이외에도 열섬현상으로 인한 미기상적 변화와 이들의 상호 관계에 대한 보다 많은 연구가 보완되어야 할 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

도시열섬현상과 대기오염과의 관계를 분석하기 위하여 서울지역 10개 지점의 1985년 1, 2, 12월의 SO<sub>2</sub> 농도와 서울측후소와 김포기상관측소의 기온과 풍속자료를 이용하여 상호관계를 분석하였다. 그 결과 다음과 같은 분석결과를 얻었다.

1) 조사기간중 서울도심은 교외에 비하여 일평균 기온이 0.68°C 높았으며 일평균풍속은 0.42 m/sec 작았다.

2) 도심과 교외의 기온차이와 풍속의 차이를 분석한 결과 도심과 교외에서 모두 일평균 풍속이 작을 때 열섬이 가장 발달하였으며 풍속이 커질수록 열섬이 약해졌다. 그러나 도심풍속으로 분석한 경우 열섬의 발달은 일평균 풍속이 1.5 m/sec 이하일 때 뿐만 아니라 3.0~3.5 m/sec일 때도 나타나고 있었다.

3) 열섬현상과 대기오염농도와의 관계를 분석하기 위하여 열섬효과가 클 때와 작을 때의 SO<sub>2</sub> 농도를 비교한 결과 신설동, 성수동, 마포 지역에서는 열섬효과가 클 때의 SO<sub>2</sub> 농도가 작을 때의 농도보다 1.31~1.39배 높았으나 길음동, 반포동, 쌍문동, 불광동 지역에서는 열섬효과가 클 때의 SO<sub>2</sub> 농도가 작을 때의 농도보다 1.68~1.78배 높았다. 특히 서울의 동북부 지역인 길음동, 쌍문동, 면목동은 이러한 경향이 매우 커서 열섬효과가 클 때 고농도 발생이 심한 것으로 나타났다.

4) SO<sub>2</sub> 농도에 대한 풍속과 열섬효과의 상호영향을 분석하기 위하여 열섬효과가 클 때와 작을 때 풍속에 따른 SO<sub>2</sub> 농도를 분석한 결과 열섬효과가 작을 때에는 풍속이 증가함에 따라 SO<sub>2</sub> 농도가 선형으로 감소하나, 열섬효과가 클 때는 풍속이 증가함에 따라 SO<sub>2</sub> 농도가 선형으로 감소하지 않고 풍속증가에 따라 부분적으로 증가하는 지점도 나타나고 있다.

## 참 고 문 헌

- 노재식(1973) 서울지방의 기온상승에 대하여, 한국기상학회지 Vol. 9, 49 - 58.
- 박종탁 등(1987) 난후기 서울지역 기온의 수평분포(1986), 기상연구논문집, 35 - 44.
- 이중범(1978) 서울지방의 기온경년변화와 그 요인에 관하여, 한국기상학회지 Vol. 14, 29 - 35.
- 이중범, 김문일(1979) 서울지방의 수평기온분포 특성, 기상연구소 연구논문집 Vol. 1, 57 - 62.
- 이현영(1986) 서울의 도시기온에 관한 연구, 이화여대 대학원 박사학위논문.
- 이용식(1990) 도시열섬 분석에 있어서 원격탐사기법의 적용에 관한 연구, 서울대 환경대학원 석사학위논문.
- 조하만 등(1988) 서울의 도시화에 따른 기온의 변화, 한국기상학회지 Vol. 24, 27 - 37.
- Draxler, R.R. (1986) Simulated and Observed Influence of the Nocturnal Urban Heat Island on the Local Wind Field, Journal of Applied Meteorology, Vol. 25, 1125 - 1133.
- Landsberg, H.E. (1981) The Urban Climate, Academic Press, 83 - 152.
- Shreffler, J.H. (1979) Urban-Rural Differences in Tower-Measured Winds, St. Louis, Journal of Applied Meteorology, Vol. 18, No. 7, 829 - 835.
- Vukovich, F.M. (1976) A Theoretical Study of the St. Louis Heat Island: The Wind and Temperature Distribution, Journal of Applied Meteorology, Vol. 15, No. 5, 417 - 440.
- Wanner, H. (1984) Studies of Urban Climates and Air Pollution in Switzerland, Journal of Applied Meteorology, Vol. 23, 1614 - 1625.