

동절기 도심지 야간 기온역전에 관한 연구

정해연¹⁾ · 이규석²⁾

¹⁾ 성균관대학교 조경학과 대학원 · ²⁾ 성균관대학교 조경학과 교수

A Study on Nocturnal Inversion at Urban Area in Winter

Zheng, Hai-Yan¹⁾ and Lee, Kyoo-seock²⁾

¹⁾ Graduate Student, Department of Landscape Architecture, Sungkyunkwan University, Korea,

²⁾ Professor, Department of Landscape Architecture, Sungkyunkwan University, Korea.

ABSTRACT

In urban area, inversion layer prevents air pollutants from being dispersed. To determine nocturnal inversion characteristics at SookMyung Girls' High School near high-rise residential commercial complex buildings in Seoul, air temperature and humidity data were observed at 10minute interval from December 1st, 2007 to May 2nd, 2008. Temperature-Humidity (T-H) sensors were installed at SMG (SookMyung_Ground) and SMR (SookMyung_Roof), and then these two data were compared, analyzed and examined to illustrate air temperature differences of SMG and SMR. After the analysis, the maximum nocturnal inversion was observed by 3.3℃ at 18 : 10 on December 26th 2007, at that time the weather condition was clear and weak wind. Nocturnal inversions began 2-3 hours before sunset and it reached maximum inversion just after sunset and continued through nighttime until sunrise or 1-2 hours after sunrise. In terms of seasonal variation nocturnal inversions occurred dominantly in March and April rather than winter season.

Key Words : *Nocturnal inversion, Urban area, Winter.*

I. 서 론

현대도시에서 인구 증가에 따른 산업 활동으로

대기오염도가 크게 증가하면서 대기 중 복사냉각에 의한 기온역전층의 형성으로 오염물질의 확산이 억제되며(이지연 등, 1997; Landsberg, 1981)

Corresponding author : Lee, Kyoo-seock, professor, Department. of Landscape Architecture, Sungkyunkwan University,
Tel : +82-31-290-7845, E-mail : leeks@skku.edu

Received : 28 December, 2009. Accepted : 2 February, 2010.

특히 야간에 기온 역전현상이 뚜렷하게 발생하여 오염물질 확산이 억제 되어 도시민의 건강을 위협하고 있으며 1952년 영국 런던, 1973년 Los Angeles 대규모 스모그 현상은 대표적 피해 사건으로 기록되고 있다. 현대 도시에서 특히 동아시아의 한국, 중국 등은 도심지내 초고층건물이 건립되 도시 내 인공 지형에 의한 분지가 형성되 야간역전 현상이 심화될 가능성이 높으며 이는 도시민의 쾌적한 삶과 건강에 바람직하지 못한 도시미기후를 형성하므로 이를 규명할 필요가 있다.

기온역전에 관한 연구로는 이부용 등(1994)이 일본 쓰쿠바에서의 한후기 동안의 기온의 수직적 분포를 시각별, 월별로 분석하여 기온역전의 특성을 파악하였고 정유란 등(2003)은 동일한 집수역내에서의 고도에 따른 기온 변화 연구를 통하여 일몰 시점부터 기온 역전현상이 시작되어 다음날 일출시점까지 지속되었으며 맑은 날의 역전강도는 겨울보다 봄, 가을철에 더 컸다는 결과를 보여주었다.

Whiteman 등(1999)은 겨울철 콜로라도 분지의 고도에 따른 기온역전에 관한 연구에서 늦겨울과 봄에 단파복사의 영향으로 인해 야간 기온역전이 자주 발생하였다는 결과를 보여주었다. Serreze 등(1992)은 유라시아 북극과 소련의 불안정(표류) 지대의 저층 기온역전의 비교 연구를 통하여 모두 겨울철에 약한 순복사의 영향으로 기온역전이 가장 크게 나타난다고 하였다. 도심지와 비 도심지의 야간 기온역전층에 관한 연구에서는 도심지의 야간 기온역전은 일몰 2.5h전부터 시작되지만 비 도심지는 일몰 1h전부터 시작된다고 하였다(Godowitch, 1985). Ologson (2009)등은 도심지 겨울철 기온역전으로 인한 에어로솔 입자의 형성에 관한 연구에서 기온역전은 주로 출고 안정한 상태의 저녁과 밤에 자주 발생한다고 하였고 Demarrais(1960)도 도심지의 수직 기온의 차이에 관한 연구에서 안정한 대기상태의 밤에 많이 나타난다고 하였다. 이상에서 보듯이 외국에

서는 도심지 야간 기온역전에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔으나 한국에서는 아직 미흡한 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 도심지 야간 기온역전 현상을 관찰하여 그 특성을 파악하여 향후 단지 및 도시계획의 기초 정보를 제공하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 연구 대상지

본 연구는 서울특별시 강남구 도곡동 남부순환로 2807에 위치한 S여고의 지상과 정보과학관(3층) 건물 옥상에서 관측되었으며 연구대상지는 지리적으로 동경 127°03'13", 북위 37°29'25"에 위치하고 있다(<http://www.google.com>). 연구대상지 남쪽은 서울의 대표적 고층건물 밀집주거지로서 초고층 주상복합초고층 빌딩군이 있고 서쪽과 동쪽, 북쪽에는 25층 아파트 단지가 위치하고 있으며 서북쪽에는 매봉산이 있는 도심지의 분지와 같은 지형이 형성되어 있고 대상지 앞에 남부순환도로가 있어 도시 내 가로협곡(Urban street canyon)을 형성하고 있으며 불투수 포장률이 높고 차량의 배기가스로 인한 대기오염도가 높고 고층건물 밀집 지역이므로 인공폐열의 영향을 많이 받는 지역이다(그림 1). 초고층 건물로 막혀있어 타 지역에 비해 동절기 일조시간이 매우 짧으며 지상의 연평균 결빙기간이 일찍 시작하고 늦게 끝나는 도시 미기후 특성이 있다. 본 연구 대상지는 UCZ 1(urban climate zone 1)으로서 초고층빌딩으로 둘러싸여 불투수 포장률이 90% 이상인 도시에서 기온이 가장 높은 도시기후구역에 속하는 곳이다(Oke,2004).

대상지는 지리적으로 중위도 온대성 기후대에 위치하여 사계절이 뚜렷하고 겨울에는 시베리아 대륙성 고기압의 영향을 받아 춥고 건조하며, 여름에는 고온 다습한 북태평양 고기압의 영향으로 무더운 날씨를 보이고 봄과 가을에는 이동성 고기압의 영향으로 맑고 건조한 날씨이다(

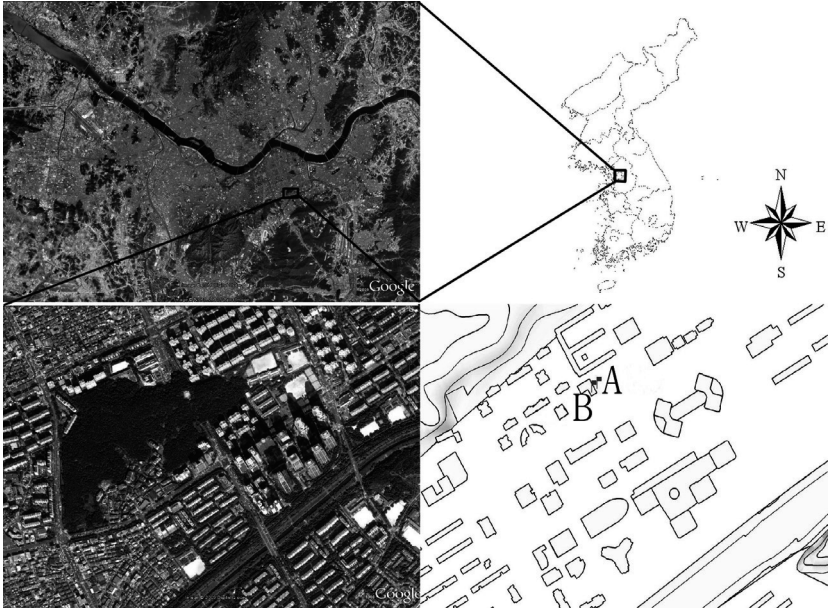


Figure 1. Study site (source : Google Earth) A : SMG; B : SMR.

www.kma.go.kr/sfc/sfc_03_05.jsp).

2. 자료 관측

도심지 야간 기온역전 효과를 파악하고자 S여고 잔디밭(SMG, SookMyung Ground)과 정보과학관 옥상(SMR, SookMyung Roof)에 온습도계(Hioki-3632-20 Digital Thermal Humidity Data Logger)를 설치하여 관측하였다. 측정기기는 지면에서 2-2.5m 높이에 설치하였으며 태양 복사 에너지가 직접 전달되는 것을 막기 위하여 온습도계를 공기순환계로 보호하여 관측하였고 관측 지점의 해발 고도는 표 1과 같다. 자료 관측은 2007년 12월1일부터 2008년 4월30일까지 10분 단위로 관측하였다. 관측 시점의 기상상태 등 관

련 자료는 강남자동기상관측소(GWS, Gangnam Weather Station)의 기상자료를 참조하였다.

3. 자료 분석

관측 값은 두 관측지점의 일중 기온변화와 SMG와 SMR의 기온차이를 비교 분석하여 야간 기온역전을 파악하였다. 일 중 변화는 관측기간 내 10분 단위별 평균값의 일중 변화를 파악하였다. 관측 자료들 중에서 대기와 대지사이의 자유 대류가 영향을 받지 않는 기상 상태의(Oke, 1987) 날을 추출하고자 GWS의 운량 3 이상인 날, 강수량이 기록 된 날, 풍속이 3.4m/s 이상인 날 관측된 자료들을 제외하여 분석하였다. 필요한 자료는 GWS 자료를 활용하였으며 표 2는 월별 추출

Table 1. Observation position.

No.	Initial	Observation position	Elevation (m)
1	SMG	SookMyung_Ground	17
2	SMR	SookMyung_Roof	30
3	GWS	Gangnam Weather Station	61

Table 2. Number of daily observations used in each month.

Month	Days
December	14
January	12
February	17
March	11
April	9
Total	63

된 날자수를 보여주고 있다.

관측기간 중 야간 기온역전 현상이 최대인 시각 및 그 시각 기상상태를 파악하였으며 월별 야간역전 발생, 종료시각 및 지속시간 및 월별 기온역전강도를 파악하였으며 아울러 야간 기온역전이 활발한 시간대의 월별 냉각률 차이를 비교, 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 기온역전

그림 2는 관측 기간 중 매 10분 단위로 측정된 자료를 바탕으로 표시한 일중 온도변화이다. 15 : 40부터 다음날 08 : 10까지 야간 역전현상이 관측되었으며 주간인 08 : 10 ~ 15 : 40에는 지상 기온이 높게 관측되었다. 지표면과 대기는 적외선 에너지를 방사함으로써 기온이 냉각되나 지표면의 복사가 더 활발하므로 지표가 대기보다 빨리 냉각된다. 지표위 대기는 지표면만큼 열전도

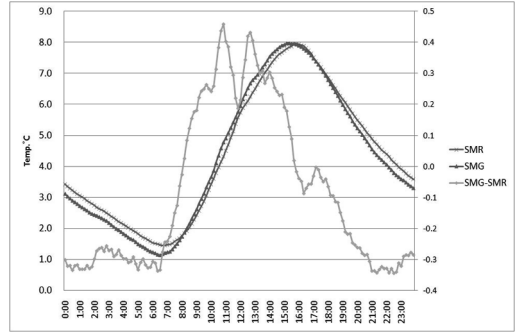


Figure 2. Diurnal variation of air temperature.

도가 높지 않아 이른 아침까지 지표면부근의 기온이 낮은 야간 기온역전 현상이(Ahrens, 2008) 대상지에서 확인되었다.

관측기간 중 야간의 기온역전이 2007년 12월 26일 18 : 10에 가장 크게 관측되었으며 이때 SMR과 SMG의 기온차이는 3.3°C이었다. 이 시각의 기상상태는 강수량이 없고 풍속이 0.7m/s이며 운량이 0.4였다. 기온역전이 발생하지 않고 지상이 옥상의 기온보다 가장 높았던 시각은 2008년 4월 6일 21 : 20에 -0.7°C이었고 강수량이 없고 풍속이 4.3m/s였으며 운량이 5.4이었다(표 3). 즉 기온역전 현상이 나타는 날은 안정한 대기상태의 밤이었고 (Ologson, 2009; Demarrais, 1960) 바람이 없을 때 상공의 밀도가 작은 따뜻한 공기와 지면의 밀도가 큰 차가운 공기와 잘 섞이지 않아 강한 복사역전이 발생하게 된다. SMG가 SMR보다 기온이 높았던 날은 구름이 많고 바람이 부는 날씨여서 바람이 강하게 불면 지면의 찬공기와 상공의 더운 공기가 섞이기 때문이다 (Ahrens, 2008).

Table 3. Weather conditions of maximum and minimum air temperature difference between SMR and SMG. (O. P : Observation position, Temp : Temperature, Pre : Precipitation, C. C : Cloud Cover, Source : www.kma.go.kr)

O. P	Temp. (°C)	Time	Pre. (mm)	W. S (m/sec)	C. C (1/10)
MAX.	3.3	2007-12-26 18 : 10	0	0.7	0.4
MIN.	-0.7	2008-04-06 21 : 20	0	4.3	5.4

Table 4. Time of sunset, sunrise, inversion beginning, ending, duration and intensity of each month.

	December	January	February	March	April
Sunset time	17 : 16	17 : 38	18 : 10	18 : 40	19 : 07
Sunrise time	07 : 38	07 : 44	07 : 22	06 : 41	05 : 57
Inversion beginning	15 : 30	15 : 40	15 : 30	15 : 00	16 : 10
Inversion ending	07 : 20	08 : 40	09 : 10	07 : 40	07 : 50
duration	15 : 50	17 : 00	17 : 40	16 : 40	15 : 40
Inversion effect	-1.3 °C/day	-1.0 °C/day	-0.9 °C/day	-1.5 °C/day	-1.4 °C/day

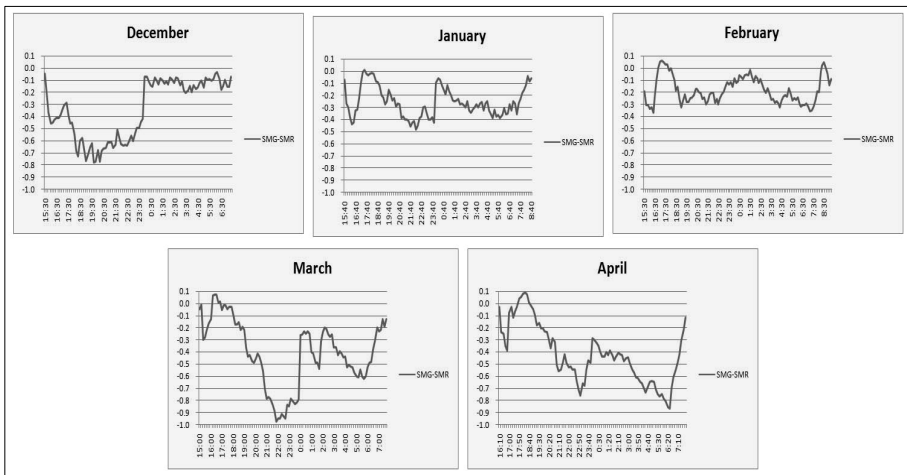
2. 월별 야간 역전 발생 및 종료 시각

월별 일출, 일몰, 역전시작, 역전종료 시간 및 지속시간과 일 기온역전 효과를 분석한 결과 월별 역전 발생시간은 3월에 15 : 00에 가장 빨리 그리고 4월에 16 : 10에 가장 늦게 나타났으며 월별 역전종료 시간은 2월이 9 : 10으로서 가장 늦게 종료되었고 12월이 07 : 20에 가장 일찍 종료되었다. 월별 총 역전지속 시간은 2월이 17 : 40으로 가장 오래 지속되었으며 4월에 15 : 40 동안 가장 짧은 시간동안 지속되었다(표 4). 기온역전은 일몰 2-3시간 전부터 시작해 일출 1-2시간 후까지 지속되어 이는 기존의 연구와 일치하였다(Godowitch, 1985). 월별 기온역전 현상을 분석한 결과 3월에 기온역전 현상이 가장 일찍

나타났고 2월에 기온역전 현상이 가장 늦게까지 긴 시간동안 지속되었으며 3, 4월에 기온역전 현상이 크게 나타났다. 역전현상 발생 시간 동안 3월과 4월이 월별 일 역전효과가 각각 -1.5°C/day, -1.4°C/day로 높았고 다음으로 12월에 -1.3°C/day, 1월에 -1°C/day, 2월에 -0.9°C/day 순으로 나타났다(표 4).

3. 월별 기온역전 특성 및

그림 3은 야간 역전의 월별 변화를 보여주고 있다. 월별 최대 기온역전을 파악한 결과 3월의 21 : 50에 -0.97°C로 가장 뚜렷하게 나타났으며 다음으로 4월 06 : 20에 0.90°C, 12월 19 : 40에 0.78°C, 1월 22 : 10에 0.48°C, 2월 16 : 20에

**Figure 3.** Nocturnal inversion variation from December to April.

0.37°C로 가장 낮게 나타났다. 이는 일몰 3시간 후 지표의 장파복사가 활발히 진행되면서 지면의 기온이 옥상의 기온보다 낮았던 것으로 추정된다. 이와 같은 월별 야간 역전 특성만을 고려할 때는 대상지 내 대기오염물질은 봄철에 더 누적될 수 있으나 봄철에 바람이 강한 특성을 고려하면 반드시 오염물질이 더 누적된다고 하기에는 추가적인 대기오염 관측이 필요하다고 판단된다. 3월과 4월에 기온역전 효과가 다른 달에 비하여 높은 것은 주간에 단파복사 에너지가 증가하고 SMG의 냉각률이 SMR보다 크기 때문인데 이는 동절기 차가워진 지표면이 낮에는 태양에너지로 기온이 빨리 상승하나 지표는 아직 충분히 데워지지 않아 일몰 후 지표복사로 SMG가 SMR보다 온도가 빨리 냉각되기 때문으로 추정된다.

4. 월별 냉각률

그림 4는 일몰 시간으로부터 일몰 세 시간 후까지의 SMG와 SMR의 월별 냉각률을 보여주고 있다. 그림 4에서 보듯이 3월과 4월의 냉각률은 SMG 각각 1.18, 1.16으로서 겨울철인 12, 1, 2월에 비해 높은 것은 일조량의 증가로 주간에 기온이 상승하였지만 지면이 충분히 덥혀지지 않아서 일몰 후 바로 냉각되므로 상대적으로 겨울철에 비해 냉각률이 높은 것으로 판단되며 SMR도 같은 현상을 보여주고 있다.

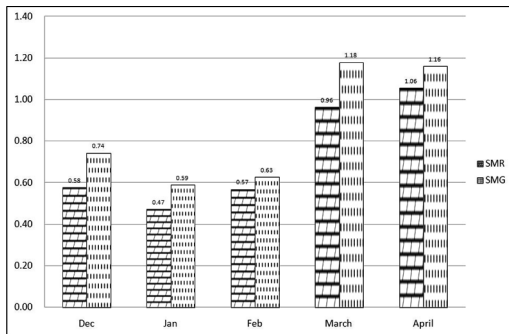


Figure 4. Cooling rate after sunset at SMR and SMG from December to April.

IV. 결 론

본 연구는 서울특별시 강남구 도곡동에 위치한 S여고의 지상과 3층 건물옥상에 설치한 온습도계를 이용하여 2007년 12월 1일부터 2008년 4월 30일까지 야간 역전현상의 특성을 파악하기 위하여 온습도를 관측하였으며 관측 자료 중 자유대류에 영향을 미치는 기상요소를 제외한 자료를 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 관측 기간 중 최대 야간역전은 2007년 12월 26일 18 : 10시에 기록된 3.3°C로서 이 시각 기상상태는 맑고 개인 날이었다.
2. 기온역전은 일몰 2-3시간 전부터 진행되어 일출 또는 1~2시간 후까지 지속되었다.
3. 계절별로는 겨울철인 12~2월 보다 봄철인 3, 4월에 기온역전 현상이 더 뚜렷하였다.

본 연구는 12월부터 4월 동절기에 한해 관측된 자료를 분석하였으나 향후 다른 계절에 관측된 자료를 추가 분석하고 초고층건물군인 대상지가 아닌 도시내 다른 토지이용상태에서도 추가로 관측하여 도시 내 야간 역전현상의 일중, 계절별 변화 및 토지이용 별 특성을 더 상세히 규명할 필요가 있다고 판단된다.

사 사

본 연구는 기상지진연구사업(CATER 2006-3302) 지원으로 수행되었으므로 저자들은 이에 사의를 표합니다. 아울러 본 논문을 정리할 때 도와준 대학원생 김문성군과 논문 초고를 봐주신 오성남 교수님께도 사의를 표합니다.

인 용 문 헌

이부용 · 김두석 · 문승의. 1994. 일본 쓰쿠바에 서의 한후기 동안 기온역전의 특성에 관한 연구. 한국환경과학회지 3(3) : 217-228.
 이지연 · 이동인 · 한영호 · 옥곡. 1997. 기온 역

- 전 발생에 따른 대기경계층에서의 O₃, NO₂ 농도의 연직분포에 관한 연구. 한국기상학회지 33(2) : 315-326.
- 정유란 · 서희철 · 윤진일. 2003. 구룡지 과원의 고도에 따른 기온변이. 한국농림기상학회지 5(1) : 43-47.
- Ahrens, D. C. 2008. Essentials of Meteorology. An Invitation to the Atmosphere 5th ed. Belmont. Thomson Learning Inc.
- Demarrais Gerard A. 1960. Vertical Temperature Difference Observed over an Urban Area. bulletin American Meteorological Society, 42(8) : 548-554
- Godowitch, J. M., Ching, J. K. S., and Clarke, J. F. 1985. Evolution of the Nocturnal Inversion Layer at an Urban and Nonurban Location. Journal of Applied Meteorology, 24(8) : 791-804.
- Landsberg, Helmut E. 1981. The urban climate. Academic Press. pp.20-21, p.54.
- Oke, T. R. 1987. Boundary Layer Climates, 2nd ed. Routledge. p.288.
- Oke, T. R. 2004. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. IOM Report NO.81, WMO/TD NO.1250, Geneva : World Meteorol Organization.
- Ologson, K., Frans G., Andersson Patrik U., Hallquist Mattias, Ljungstrom Evert, Lin tang, Deliang Chen, and Pettersson Jan B. C. 2009. Urban aerosol evolution and particle formation during wintertime temperature inversion. Atmospheric Environment, 43(2) : 340-346.
- Serreze, Mark C., Kahl, Jonathan D., and Schnell, Russell C. 1992. Low-level Temperature Inversions of the Eurasian Arctic and Comparisons with Soviet Drifting Station Data. American Meteorological Society, 5(6) : 615-629
- Whiteman, C. David, Xindi Bian and Shiyuan Zhong. 1999. Wintertime Evolution of the Temperature Inversion in the Colorado Plateau Basin. Journal of Applied Meteorology, 38(8) : 1103-1117.
- [http : //www.kma.go.kr/sfc/sfc_03_05.jsp](http://www.kma.go.kr/sfc/sfc_03_05.jsp) 기상청.
- [http : //www.kasi.re.kr/Knowledge/sunmoon_map.aspx](http://www.kasi.re.kr/Knowledge/sunmoon_map.aspx) 한국천문연구원.
- [http : //www.google.com](http://www.google.com) Google Earth.