

연구논문

동절기 고층건물 풍하면의 기온역전에 관한 연구

정해연 · 김문성 · 오성남 · 이규석

성균관대학교 조경학과

(2010년 9월 23일 접수, 2010년 12월 13일 승인)

A Study on Inversion at Leeward Side of High-rise Building in Winter

Zheng, Hai-Yan · Jin, Wen-Cheng · Oh, Sung-nam · Lee, Kyoo-seock

Department of Landscape Architecture, Sungkyunkwan University, Korea

(Manuscript received 23 September 2010; accepted 13 December 2010)

Abstract

To determine nocturnal inversion characteristics at the leeward side of high-rise building, air temperature data were observed at 10 minute interval from February 22, 2010 to April 15, 2010. The observed data were compared, analyzed and examined to illustrate air temperature differences between the roof (XAR) and surface (XAG) of X apartment. The wind speed, wind direction and precipitation data were also observed at XAR and YJL (Yangjae Stream) sites at the same time. After the analysis, the maximum nocturnal inversion was observed by 4.0°C at 3:40, 3:50, 4:10 on February 24th 2010, at that time the weather condition was clear and weak wind. Air temperature inversions at the leeward side of high-rise building were observed on whole day in wintertime and air temperature inversion intensity was also higher than other nearby area (SMG).

Keywords : air temperature inversion, high-rise building, leeward, winter

1. 서론

기온은 고도가 상승함에 따라 감소되는 것이 일반적인 현상이나 맑은 날 야간의 복사(輻射)현상은 지면을 냉각시켜 지표층의 기온이 상공보다 낮아져서 기온 역전이 발생하는데 이를 복사역전 또는 야간역전 (夜間逆轉)이라고 한다(Ahrens: 2008, Andre and Mahrt: 1982). 야간의 지속 시간이 길

수록 복사냉각 시간이 길어진다. 따라서 기온역전 현상은 계절적으로는 가을부터 겨울, 특히 기온이 낮은 동절기에 뚜렷하게 나타나며 일몰 후부터 일출 전에 발생하여 해가 뜨면 역전현상이 해소되거나 혹은 날씨가 맑은 고기압 일기상태에서 수일간 또는 수주일간 지속되는 경향이 있다 (Landsberg, 1981; 김연옥, 1987, Oke, 1987; 김종규, 2006).

기온 역전현상은 대기의 수직운동을 억제하고 미

기상학적 대류운동이 감소하여 대기의 오염물질이 대기층으로 확산되지 못해 지표부근의 오염농도를 높인다. 대표적인 예로 1952년 영국 런던의 대기 침강 현상에 의하여 발생한 기온 역전층의 형성은 석탄 사용으로부터 발생한 아황산가스 오염물질의 확산을 억제하여 수천 명의 사상자가 발생하였다 (Bonacica, 1953). 국내에서는 임윤규 등(2005)은 울산지역 야간 역전에 따른 대기오염도 변화와의 관계를 분석하였고 각 대기오염 물질별 농도분포 특성이 역전강도에 따라서 다르게 나타난다고 하였다.

기온 역전층 발생과 관련하여 도시의 고층건물 주변은 기존 기류 패턴이 변화하여 바람의 세기와 방향이 다르게 나타나고 있다(김영덕 1998; 신지웅, 2005; 김재철·이규석, 2009). 또한 빌딩바람에 의한 열 환경 변화가 발생하는 등 미기상 특성을 초래하고 있어 그 정확한 특성을 파악할 필요가 있다. 도시 내 역전층에 관한 연구로는 동절기 도심지 야간역전에 관한 연구(정해연·이규석, 2010), 도심지와 비 도심지의 야간 역전층의 전개에 관한 연구(Godowitch *et al.*, 1985), 도심지 수직기온의 차이에 관한 연구(Demarrais, 1960) 등이 있지만 고

층건물을 대상으로 한 풍하층의 기온역전 발생에 관한 연구는 지금까지 수행된 바 없다. 따라서 본 연구에서는 도시의 초고층빌딩이 기온역전에 미치는 영향을 파악하기 위하여 빌딩의 풍하면에서의 기온역전 현상을 관측하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구 대상지

본 연구의 대상지는 서울시 강남구 도곡동에 위치한 고층 주상복합아파트 단지로서 높이는 191m ~ 264m의 주상복합아파트와 업무용 빌딩으로 이루어진 고밀도상업업무지구의 풍하면에 위치한 아파트이다. 고밀도 상업업무지구는 길이 500m, 너비 300m의 작은 블록에 한국 초고층건물 상위 25 곳 중 6개의 건물이 집중되어 있고 도로 폭이 좁고 빌딩이 높기 때문에 연구대상지의 sky view factor (SVF)가 작은 도로협곡(urban street canyon)이 형성되고 있다(Figure 1). 연구대상지에서 초고층건물 건물이 집중되어 있는 곳으로서 초고층건물에 의

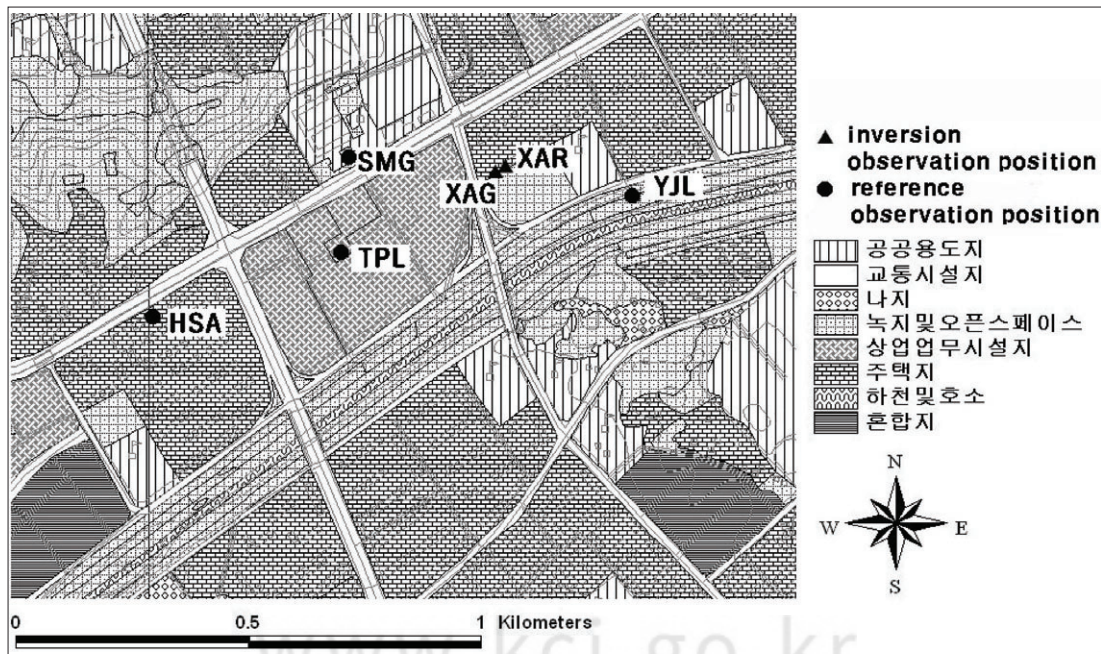


Figure 1. Study site (XAR: X 아파트 옥상; XAG: X 아파트 지상; TPL: 타워펠리스 빌딩; SMG: 숙명여고; HSA: H 아파트; YJL: 양재천)

한 순간돌풍이 자주 발생하며 겨울에 오토바이가 전도되거나 공사용 유니폼이 바람에 날려 가는 등 빌딩바람이 강하게 부는 곳이다(김재철 · 이규석, 2007). 그리고 토지피복은 알베도가 낮은 아스팔트와 주차간 복사효과가 높은 콘크리트 등 불투수 포장률이 90% 이상을 점유하고 있다.

연구대상지는 지리적으로 중위도 온대성 기후대에 위치하여 사계절이 뚜렷하고 겨울에는 대륙성 고기압의 영향으로 춥고 건조하며, 여름에는 고온다습한 북태평양 고기압의 영향으로 무더운 날씨를 보이고 봄과 가을에는 이동성 고기압의 영향으로 맑고 건조한 날씨이다. 지형학적으로 대상지는 북으로 매봉산(90m)과 남으로는 도곡동과 개포동사이 양재천이 흐르고 있으며 남쪽에 대모산(293m), 구룡산(283m)등이 위치하고 있고 겨울철은 북서풍이 탁월풍으로서 매봉산을 거쳐 대상지로 유입되어(김재철 · 이규석, 2007) 본 연구에서는 고층건물 동쪽을 풍하면으로 정의하였다.

2. 자료 관측 및 분석

고층건물 풍하면의 야간 기온역전 효과를 파악하고자 고층건물 풍하면에 위치한 X아파트의 옥상(XAR)과 지상(XAG)에서 관측하였다. 또한 주변의 기온을 관측하기 위해 고층건물 풍상면에 위치한 H아파트(HSA)와 고층건물 단지 내 도로협곡에 위치한 주상복합단지(TPL), 고층건물 북쪽에 위치한 S여고(SMG), 고층건물 남쪽의 도심지 하천인 Y천(YJL) 등 5곳을 포함하여 모두 6지점에서 2010년 2월 22일부터 2010년 4월 15일까지 10분 간격으로 기온을 관측하였다(Figure 1). 측정 온도계는 Hioki-3632-20 Digital Thermal Data Logger이고 태양 복사에너지가 직접 전달되는 것을 차단하기 위하여 온도계를 공기순환계로 보호하였다. 지상 관측지점은 지면에서 2 ~ 2.5m 높이에 설치하였고 옥상관측 지점은 옥상에서 2.5m 높이에 설치하였으며 옥상 관측지점을 제외한 지상에서 관측한 5개 지점의 고도는 차이가 없어 고도보정을 하지 않았다(Table 1). 관측 지점 중 XAR과 YJL 두 곳

Table 1. Observation position

No.	Initial	Observation position	Elevation(m)
1	XAR	X Apartment_Roof	65
2	XAG	X Apartment_Ground	20
3	SMG	S High School_Ground	17
4	HSA	H Apartment	17
5	TPL	High rise residential-complex building	17
6	YJL	Yangjae Stream Left Dike	12

은 자동기상관측장비(Automatic Weather Station, AWS)가 설치되었으며 풍속은 XAR의 3차원 초음파 풍향풍속계로 관측한 자료를 사용하였고 강수량은 YJL의 AWS에서 관측된 것을 사용하였으며 운량은 기상청 자료를, 일출 일몰 시각은 한국천문연구원의 자료를 이용하였다.

자료 분석은 6개 관측지점에서 관측한 전체 자료를 이용하여 관측기간 중 평균기온, 최고 기온, 최저 기온을 먼저 파악하였다. 이후 기온역전을 파악하기 위해서 XAR과 XAG의 최대 기온역전 값과 역방향 최대 기온차이를 추출하고 이 시각 기상특성을 파악하고자 동아시아 일기도 및 관련 AWS 자료를 조사하였다. 다음으로 동절기 월별 야간역전 특성은 3월은 15일 간격으로 전, 후로 구분하여 야간역전의 지속시간, 기온역전 강도를 파악하고 풍속과 기온 역전의 관계를 파악하고자 관측된 풍속 자료를 이용하여 풍속이 3m/s 이하일 때와 8m/s 이상일 때를 구분하여 고층빌딩 풍하면에서의 기온역전 미기상환경을 분석, 고찰하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 기온 역전

관측 기간 중 최고기온은 2010년 04월 11일 14:50에 SMG에서 관측된 20.1°C이었으며 최저기온은 2010년 03월 11일 06:10에 YJL에서 -4.3°C로 관측되었다. 관측기간 중 최고기온이 고층주상복합지점인 TPL에서 관측되지 않은 것은 고층건물에 가려서 낮에 햇빛이 TPL에 도달하지 못했기 때문으로 판단된다. 평균기온은 TPL과 SMG가 7.1°C로

Table 2. The average, maximum and minimum temperature for the observation period (Unit: °C)

	XAR	XAG	SMG	YJL	HSA	TPL
AVE(°C)	7.0	6.7	7.1	6.5	7.0	7.1
MAX(°C)	19.8	19.6	20.1	19.8	19.2	19.2
MIN(°C)	-3	-3.2	-2.8	-4.3	-3	-3.1

가장 높게 나타났고 그 다음으로 HSA와 XAR가 7.0°C, XAG 6.7°C, YJL 6.5°C 순으로 관측돼 도시 하천의 연평균 기온이 가장 낮게 나타났고, 고밀도 토지이용에 의한 인공폐열이 많은 곳일수록 기온이 높게 나타났다(Table 2).

관측기간 중 XAG와 XAR의 평균 기온차이는 -0.3°C이었고 최대기온역전현상은 2010년 02월 24일 3:40, 3:50, 4:10에 관측된 -4.0°C이었다. 이 시각의 기상상태는 강수량이 없고 풍속이 0.7m/s이며 운량이 0이었다. 이 시각 동아시아 일기도를 보면 중국 대륙에 강한 저기압이 형성되었지만 한반도 상공은 일본 열도에서 형성된 고기압대의 가장자리에 분포되어 있어 대기가 비교적 안정된 날

씨였다(Figure 2). 최대 기온역전 현상은 안정한 대기상태의 밤에 뚜렷이 나타났고 (Demarrais, 1960; 김연옥, 1987; Oke, 1987; Ologson, 2009) 바람이 없을 때 기온역전이 심한 (Ahrens, 2008) 것을 확인할 수 있었다. 기온역전이 발생하지 않고 지상이 옥상의 기온보다 가장 크게 높았던 시각은 2010년 4월 13일 11:10, 11:50, 12:20, 13:20에 0.6°C이었고 이때 강수량이 2mm이고 풍속이 7m/s였으며 운량이 6이었다(Table 3). 이 시각 일

Table 3. Synoptic weather conditions of maximum and minimum air temperature difference between XAG and XAR. (DT_{MAX}: Difference Maximum Temperature, DT_{MIN}: Difference Minimum Temperature, Temp: Temperature, PCP: Precipitation, C.C: Cloud Cover, Source: www.kma.go.kr)

	Obs. time	Temp. (°C)	PCP (mm)	W. S (m/sec)	C.C
DT _{MAX}	2010-02-24 3:40/3:50/4:10	-4.0	0	0.7	0
DT _{MIN}	2010-04-13 11:10/11:50/ 12:20/13:20	0.6	2	7	6

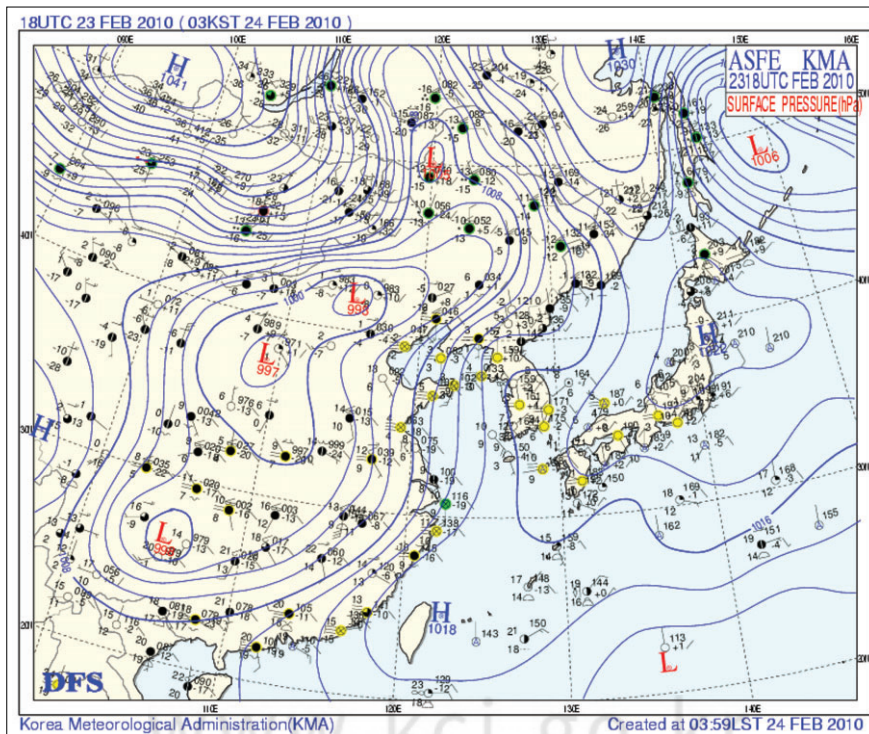


Figure 2. Weather map of maximum air temperature difference between XAR and XAG at 03:00 24th February 2010

기도를 보면 한반도는 기압경도가 심해 바람이 강하고 구름이 많은 날씨였다(Figure 3). S역고 지상이 옥상보다 기온이 높았을 때도 구름이 많고 바람이 부는 강수가 있는 기상상태였으며(정해연 · 이규석, 2010), 바람이 강하게 불면 지면의 찬 공기와 상공의 더운 공기가 섞이게 되기 때문에 역전현상은 해소되므로 (Ahrens, 2008) 바람이 강한 기상상태에서 역전 현상은 관측되지 않았다.

Figure 4는 관측 기간 중 매 10분 단위로 측정된 기온자료의 XAR와 XAG 그리고 SMG의 일중 변화를 보여주고 있다. SMG와 XAG는 야간에 복사냉각에 의한 기온역전으로 XAR보다 낮은 기온을 보여주고 있다. 세 관측 지점 모두 일출후 기온이 상승하고 오전에 SMG의 기온이 XAR의 기온보다 높아 역전현상이 해소되는 반면 XAG는 주간에도 XAR보다 기온이 낮아 하루 종일 기온역전 현상이 관측되고 있다. 이는 고층건물 풍하면은 하루종일 기온역전현상이 관측되 독특한 도시미기후 현상이 발생하는 것을 나타내고 있다. XAG에서의 기온역

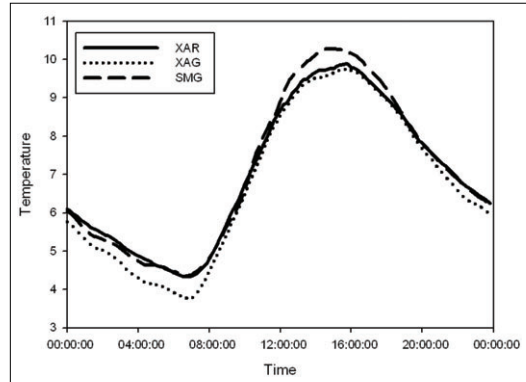


Figure 4. Diurnal variation of air temperature at XAR, XAG and SMG

전은 일출 전후에 더 심하게 나타났고 바람이 강한 곳에서는 열의 손실이 많아 체감온도는 기온이 같은 곳보다 더 낮으므로(신지웅, 2005; Ahrens, 2008) 초고층빌딩 풍하면에서의 체감온도는 다른 곳보다 낮다고 판단된다.

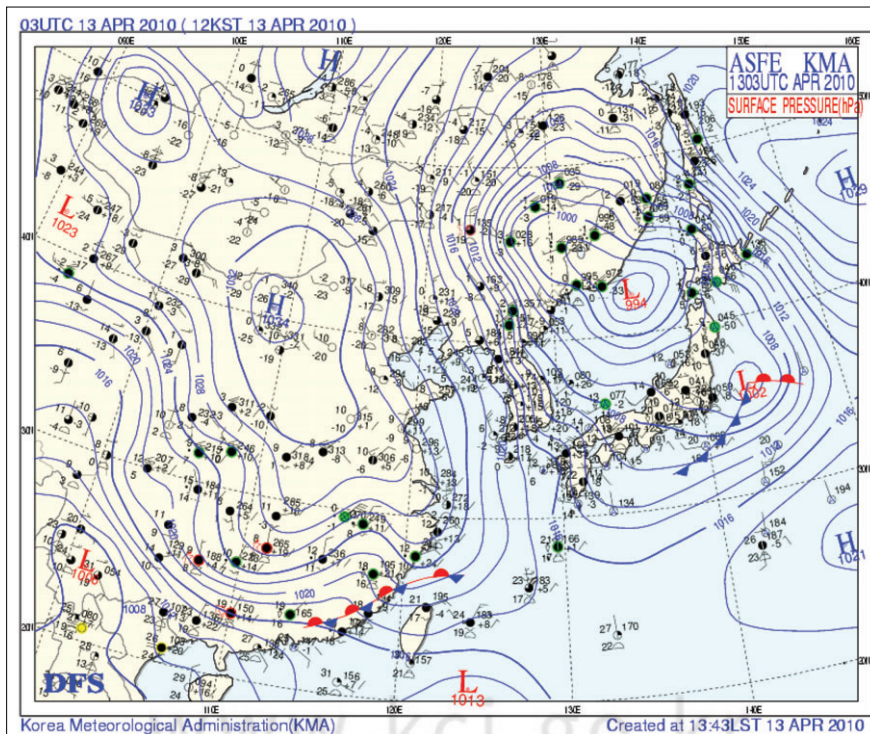


Figure 3. Weather map of minimum air temperature difference between XAR and XAG at 12:00 13th April 2010

1) 월별 기온역전 특성

월별 기온역전의 지속시간과 기온역전 효과를 분석하기 위하여 관측기간을 15일 단위로 분류하였다 (Table 4). 기온역전 지속 시간은 4월을 제외하고는 2, 3월 모두 24시간 지속되었으며 4월도 21:10 시작돼 다음날 17:20에 끝나 21시간 이상 역전현상이 지속되었다. 일몰 2-3시간 전부터 시작하여 일출 1-2시간 후까지 지속되었던 기존 연구(정해연·이규석; 2009, Whiteman *et al.*; 2008, 이부용 등; 1994)와는 달리 고층건물 풍하면은 동절기 하루 종일 기온역전 현상이 발생하는 독특한 현상이 관측되었다. 대상지의 빌딩바람은 풍하면이 풍상면보다 강도 및 빈도가 훨씬 심하고(김재철·이규석; 2007) 빌딩바람의 냉각 기류가 하강하므로 풍하면 지상에 위치한 XAG에 냉기가 모여 낮은 기온이 관측된 것으로 판단된다.

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

	February	March 1-15	March 16-31	April
Sunset time	18:20	18:30	18:50	19:00
Sunrise time	7:10	6:50	6:30	6:10
Inversion beginning time	-	-	-	21:10
Inversion ending time	-	-	-	17:20
duration	24:00	24:00	24:00	20:10
Inversion effect	2.4°C/day	0.9°C/day	1.1°C/day	1.4°C/day

기온역전 효과는 일 최대 기온역전 값의 합을 날짜수로 나누어 파악하였으며 2월이 2.4°C/day로써 가장 컸고 3월 상순이 0.9°C/day, 3월 하순이 1.1°C/day, 4월이 1.4°C/day이었다. 기존 연구 결과와 같이 추운 겨울철에 기온역전 효과가 가장 큰 것으로 나타났다(Landsberg, 1981, 김연옥, 1987).

2) 야간 역전과 풍속과의 관계

풍하면에서의 바람과 기온 역전의 관계를 파악하고자 풍속이 3m/s 이하일 때와 8m/s 이상일 때를 구분하여 각각의 바람장미를 도출하였고(Figure 5) 풍속이 3m/s 이하일 때 탁월풍은 서풍계열로 나타났고(Figure 5-a) 풍속이 8m/s 이상일 때는 동풍으로 나타났다(Figure 5-b). 풍속이 3m/s 이하일 때의 기온역전 효과는 -0.8°C이었고 풍속이 8m/s 이상일 때에는 기온역전 현상이 발생하지 않고 지상이 옥상보다 0.2°C 더 높았다. 이와 같이 풍속이 강할 때 풍하면에서의 풍향이 역으로 변한 것은 풍하면 난류 소용돌이에 의한 것으로 판단된다(Oke, 1987).

이로부터 바람이 약할 때 기온역전이 심한 것을 확인할 수 있었으며 초고층빌딩 지역에서 풍속이 강할 때에는 비록 기온역전 현상은 발생하지 않았지만 이런 강풍은 하루 종일 지속적으로 부는 것이 아니라 일시적이기 때문에 초고층 건물 풍하면에서

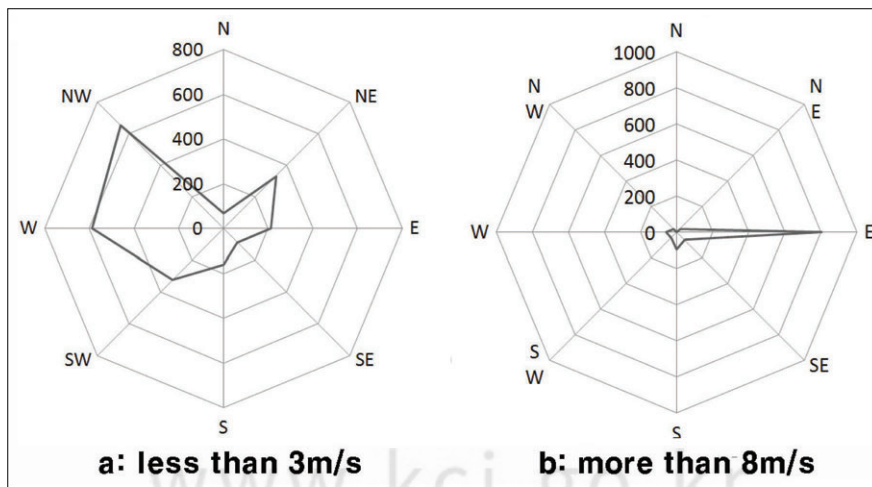


Figure 5. Wind rose at the study site

의 장기간의 기온역전 현상은 오염물질을 누적시킬 것으로 판단된다.

상술한 바와 같이 고층건물 주변에는 독특한 미기상현상이 관측되고 있고 그 가운데 풍하면에서의 기온역전현상은 야간에 국한되지 않고 동절기에 하루 종일 지속되고 있어 오염물질이 침적돼 대기환경을 악화시키게 되므로 현재의 대부분 고층빌딩 환경영향평가서에서 “국부적인 영향은 있으나 전면적인 기상 영향은 미미할 것으로 판단 됨”이라고 평가되어 있는 것은 고층빌딩 주변의 미기상 환경 변화를 제대로 반영한 것이 아니므로 보다 정확한 영향평가가 필요하다고 생각된다.

IV. 결론

본 연구는 서울의 대표적 고층 건물의 풍하측의 기온역전 현상을 파악하고자 2010년 2월 22일부터 4월 15일까지 X아파트의 지상 XAG와 45m 높이의 옥상 XAR에서 기온을 관측해 분석한 결과 동절기 고층건물 풍하면에서는 기온역전 현상이 24시간 지속되고 기온역전 강도도 고층건물 주변 다른 지점보다 높게 관측되어 역전층 하에서 오염물질의 침적이 예상되므로 고층건물단지 계획시 고려해야 할 사항으로 판단된다.

본 연구의 제약점은 2월부터 4월까지의 관측 자료로 고층빌딩 풍하면의 동절기 기온역전 현상을 분석하였으나 12월과 1월 자료도 관측하여 계절적 특성을 파악할 필요가 있다.

사 사

본 연구는 기상지진연구사업(CATER 2006-3302) 지원으로 수행되었으며 저자들은 이에 사의를 표합니다.

참고문헌

김연옥, 1987, 기후학 개론, 정익사, 118-119.

김재철, 이규석, 2007, 초고층건물 탁월풍 방향의 바람 특성에 관한 연구, 환경영향평가학회지, 16(6), 503-510.

김영덕, 1998, 빌딩바람에 의한 환경장해와 그 대책, 한국공공학회지, 2(1), 23-27.

김종규, 2006, 기후학, 시그마프레스, 194

신지웅, 이용준, 김태연, 이경희, 2005, 보행자 영역의 빌딩풍해 저감 방안에 관한 연구, 대한건축학회지, 25(1), 147-150.

이부용, 김두석, 문승의, 1994, 일본 쓰쿠바에서의 한후기 동안 기온역전의 특성에 관한 연구, 한국환경과학회지, 3(3), 217-228.

임윤규, 김유근, 오인보, 송상근, 2005, Tethersonde와 기상탑 관측 자료를 이용한 울산지역 야간 역전에 따른 대기오염도 변화와의 관계, 한국환경과학회지, 14(6), 555-563.

정해연, 이규석, 2010, 동절기 도심지 기온역전에 관한 연구, 환경복원논화, 13(1), 40-46.

Ahrens, D. C., 2008, Essentials of Meteorology. An Invitation to the Atmosphere 5th ed. Belmont. Thomson Learning Inc., 57, 70

Andre, J. C. and Mahrt, L., 1982, The nocturnal surface inversion and influence of clear-air radiative cooling, Journal of the Atmospheric Sciences, 39, 864-878.

Bonacica, L. C. W., 1953, An estimation of the great London fog of 5-8 December 1952, Weather, 8, 333-334.

De Marrais, G. 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, 54, 111.
- Oke, T. R., 1987, Boundary Layer Climates, 2nd ed. Routledge, 264, 310-313.
- Ologson, K. F. G., Andersson, P. U., Hallquist, M., Ljungstrom, E., Tang, L., Chen, D., and Pettersson, J. B. C., 2009, Urban aerosol evolution and particle formation during wintertime temperature inversion, Atmospheric Environment, 43(2), 340-346.
- Whiteman, C. D., Kring, D. A., and Hoch, S. W., 2008, Diurnal evolution of atmospheric structure within Meteor Crater, Arizona: implications for microniches on mars, Lunar and Planetary Science XXXIX.
- http://www.kma.go.kr/sfc/sfc_03_05.jsp
- http://www.kasi.re.kr/Knowledge/sunmoon_map.aspx

최종원고채택 10. 12. 14