

고층건물 도로협곡의 바람특성

정해연 · 김문성 · 이성희 · 이규석

성균관대학교 조경학과

Wind Characteristics of Urban Street Canyon at High Rise Building Area

Zheng, Hai-Yan · Jin, Wen-Cheng · Lee, Sung-hee and Lee, Kyoo-seock

Department of Landscape Architecture, Sungkyunkwan University, Korea.

ABSTRACT

The street canyon forms the geometric unit of the built environment. The geometry makes up urban canyons and it influences the urban climate. In order to investigate the wind characteristics of urban street canyon at Dogok-dong, Gangnam-gu in Seoul, the wind direction and wind speed data were observed and analyzed by using 2-D ultra sonic and propeller wind monitor from May 5, 2010 to May 4, 2011. The results show that the prevailing wind direction was west at Station A(Military Mutual Aid Association Building), southwest at Station B(Sookmyung Girls' High School) and the wind speed of Station B was higher than Station A.

There were diurnal differences about prevailing wind direction between two stations : it was westerly wind at Station A for a whole day, but at Station B only from 22 : 00 to 04 : 00. However, Station B is different from Station A at other time. At Station B, it was easterly wind from 04 : 00 to 12 : 00, southwesterly wind from 12 : 00 to 22 : 00. In terms of seasonal(except winter) frequency, the spring shows the highest frequency and fall was the next.

Key Words : *Site planning, urban climate, wind direction, wind speed.*

First author : Zheng, Hai-Yan, Department of Landscape Architecture, Sungkyunkwan University, Korea,
Tel : +82-31-290-7857, E-mail : haiyan0206@hotmail.com

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

Received : 30 November, 2011. **Revised** : 17 February, 2012. **Accepted** : 12 March, 2012.

I. 서 론

최근 서울을 비롯한 한국의 대도시에서 초고층건물이 많이 건립되고 있다. 초고층 건물은 주변 도시미기후에 많은 영향을 끼치고 있으며 이 중에서도 바람에 의한 영향이 가장 심각하다(Oke, 1987). 고층건물에 의한 빌딩바람은 고층건물 옆을 스쳐 지나가는 박리류, 골짜기바람, 역류 등이 있다(풍공학연구소, 1995). 한국에서의 고층건물의 주변 환경에 관한 미기후 변화 연구는 고층건물에 의한 일조권의 영향(이상화와 이규석, 2009), 풍하면에서의 기온역전 현상(정해연 등, 2010), 초고층건물 탁월풍방향의 바람 특성(김재철과 이규석, 2007)에 관한 연구가 수행되었다.

고층건물이 도로 양옆으로 배열돼 형성된 도로협곡(Street canyon)에서는 도로협곡풍(Street canyon wind)이 발생한다. 이러한 도로협곡풍은 지형 뿐만 아니라 건물의 형태와 크기, 거리, 교통 및 기타 지역적 특성의 영향을 받는다(Georgakis et al., 2008). 외국에서는 도로협곡풍의 바람 특성 측정에 관한 연구(Depaul and Sheih, 1986; Nakamura, 1988, Eliasson et al., 2006)와 전산유체역학(Computation Fluid Dynamics, CFD) 모델을 이용한 예측 및 풍동 연구가 진행되었다(Pavageau and Schatzmann, 1999; Salizzoni et al., 2009). 한국에서는 CFD 모형을 이용한 도시협곡에서 공기 흐름체계나 오염물질 분산에 관한 연구(Kim and Baik, 2003; 김성후와 박성규, 2004; 김재진과 백종진, 2005; 박승부와 백종진, 2007)들이 있으며 도로협곡풍을 실측한 연구는 거의 없는 실정이다. 김재철과 이규석(2008)은 초고층 건물 주변 겨울철 탁월풍이 도로협곡풍보다 강도와 빈도가 훨씬 높다고 하였다. 그러므로 본 연구에서는 동절기가 아닌 다른 계절의 자료를 대상으로 도로협곡풍의 일중, 계절별 풍향, 풍속의 변화를 파악하여 도심지 고층건물 계획 시 단지 계획에 도움이 되는 정보를 도출하는 데에 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상지

연구대상지는 서울시 강남구 도곡동 남부순환도로 양편에 위치한 군인공제회관 앞(Station A)과 숙명여고 앞(Station B)이며 교통량이 많고 출퇴근 시 인구 이동이 많은 곳이다(Figure 1, <http://www.google.com>). 연구대상지는 타워팰리스 2차(264m), 군인공제회관(102m), 아카데미스위트(153m), 대림아크로빌(138m) 등 고층건물로 인하여 서남-동북 방향의 도로협곡(Urban street canyon)을 형성하고 있다(Figure 2). 본 연구대상지는 강남 테헤란로와 같이 도로 양변에 비슷한 높이의 고층건물이 배열한 도로라기보다는 남쪽은 200m 이상의 고층건물이 배열되고 북쪽은 서



Figure 1. Study site.

(Station A : 군인공제회관; Station B : 숙명여고)



Figure 2. Street canyon at the study site.

쪽으로 7~80m의 아파트 단지과 동쪽은 숙명여고가 위치한 남과 북의 건물 높이가 차이가 나는 지역으로서 빌딩바람 중 박리류의 특성을 보이는 곳이다. 연구 대상지의 도로 포장율은 100%이고 도로 폭은 30m + 양쪽 보도폭 5m, 포장자재는 아스팔트와 보도블록으로 구성되었다.

대상지가 위치한 서울지방의 기후특성은 온대성 계절풍의 영향을 받고 사계절이 뚜렷하며 겨울에는 한랭 건조한 대륙성 고기압의 영향을 받아 춥고 건조하며, 여름에는 고온 다습한 북태평양의 고기압의 영향으로 무더운 날씨를 보이고 봄에는 이동성 고기압과 저기압이 교차하여 일기 변화가 심하여 바람이 강한 특성이 있다.

2. 자료 관측 및 분석

바람관측을 위해 도로협곡 내 마주 보는 곳에

두 개의 관측 Station을 설치하였으며, Station A는 타워팰리스 2차(264m), 군인공제회관(102m), 아카데미스위트(153m), 대림아크로빌(138m)등 초고층건물단지 바로 앞 도로변에 위치하였고 Station B는 Station A 앞 차도 반대편인 숙명여고 앞 보도에 위치하고 있으며 차도 폭은 30m이다. Station A는 2-D ultrasonic wind monitor를, Station B는 RM-Young propeller wind monitor (Model 05103)를 6m 높이 타워의 상단에 설치하여 2010년 5월 5일부터 2010년 10월 23일, 2011년 1월 28일부터 2011년 5월 4일까지 총 269일간 10분 간격으로 평균풍향과 순간풍속을 관측하였다(Figure 3; Table 1).

풍속은 Beaufort scale(http://en.wikipedia.org/wiki/Beaufort_scale)에 따라 0~9등급으로 분류하고 풍향 및 등급별 발생빈도를 바람장미를 이

Table 1. Data Observation.

	Observing instrument	Observing Period
Station A	2-D ultra sonic wind monitor (WindSonic Model)	2010.05.05~2010.10.23
Station B	RM-Young propeller wind monitor (Model 05103)	& 2011.01.28~2011.05.04



Figure 3. Picture of Station A and Station B.

용해 분석하였으며 Station A와 Station B의 최대 순간풍속이 관측되었을 때의 종관기상상태는 기상청의 일기도를 참조하였다. 풍향과 풍속의 일중, 계절별(겨울철 제외) 변화를 분석하였고 Station A와 B의 5등급 이상 강풍의 빈도와 발생 시간을 비교분석하였다. 또한 주변 바람과의 비교는 도로협곡의 영향을 받지 않는 연구대상지에서 약 800m 떨어진 양재천 Station(Yangjae Left Dike, YJL)과 약 300m 떨어진 15층 아파트옥상 Station(Woosung Apt, WSA)에서 관측한 풍향, 풍속을 참고하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 풍향별 및 등급별 발생 빈도

Station A는 서풍이 10,458회(27.0%)로 가장 많이 관측되었고 다음으로는 남서풍 5,724회(14.8%), 동풍 4,792회(12.4%)순으로 관측돼 탁월풍이 서풍임을 알 수 있었다. Station B는 남서풍이 11,124회(28.7%)로 가장 빈도가 높았고 동풍 9,566회(24.7%), 서풍 7,576회(19.6%) 관측돼 Station B의 탁월풍은 남서풍이었다(Figure 4). 관측기간 중 Station A의 평균풍속은 3.1m/sec이었고 Station B(2.6m/sec)보다 약 0.5m/sec가 높은 것을 알 수 있었다.

관측 기간 중 순간최대풍속은 Station A는 서

울 지방에 태풍 곤파스가 분 2010년 09월 02일 06 : 20에 12.5m/sec, 남풍이 관측되었고 같은 시각 Station B는 13.3m/sec 남풍이 관측되었다. 같은 시각 WSA는 풍속이 27.1m/sec 남서풍이 관측되었으며 YJL은 13.9m/sec로 남동풍이 불었다. Station B는 같은 날 8 : 50에 13.5m/sec 서풍이 순간 최대 풍속을 기록하였고 이때 Station A는 9.4m/sec 남서풍이 관측되었다. WSA는 태풍으로 인해 기상관측타워가 넘어지면서 풍향풍속이 기록되지 않았고 YJL은 10m/sec인 남서풍이 불었다. 관측 결과 WSA는 고층건물의 풍하면으로서 연구 대상지의 도로협곡풍인 Station A와 B보다 풍속이 훨씬 강함을 알 수 있었다.

태풍 곤파스가 분 날을 제외한 자료 중 순간 최대풍속은 Station A에서는 12.4m/sec로 2011년 03월 15일 12 : 40에 관측 되었고 이 시각 Station B의 풍속은 7.2m/sec로 두 지점 모두 남서풍이었다. 이 시각 종관기상상태를 보면 한반도는 중국 대륙에 자리 잡은 고기압과 일본 동쪽에 자리 잡은 저기압과의 기압차가 많아 강한 바람이 불고 북태평양에 형성된 저기압의 영향을 받아 흐린 날씨인 것을 알 수 있다(Figure 5). Station B에서는 순간 최대풍속은 12.6m/sec로 2011년 03월 08일 15 : 00에 관측 되었고 이 시각 Station A의 풍속은 9.7m/sec로 두 지점 모두 서풍이었다. Figure 6은 홋카이도 동쪽 태평양에 형성된 저기

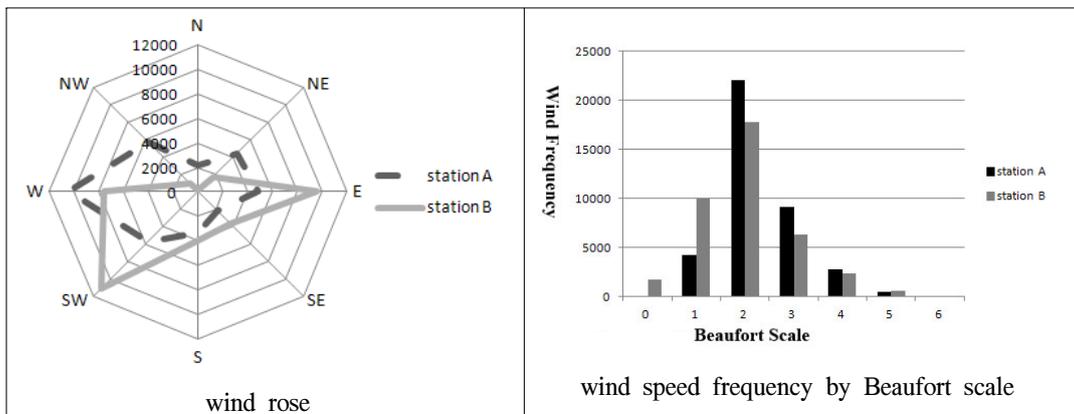


Figure 4. Wind rose and wind speed frequency.

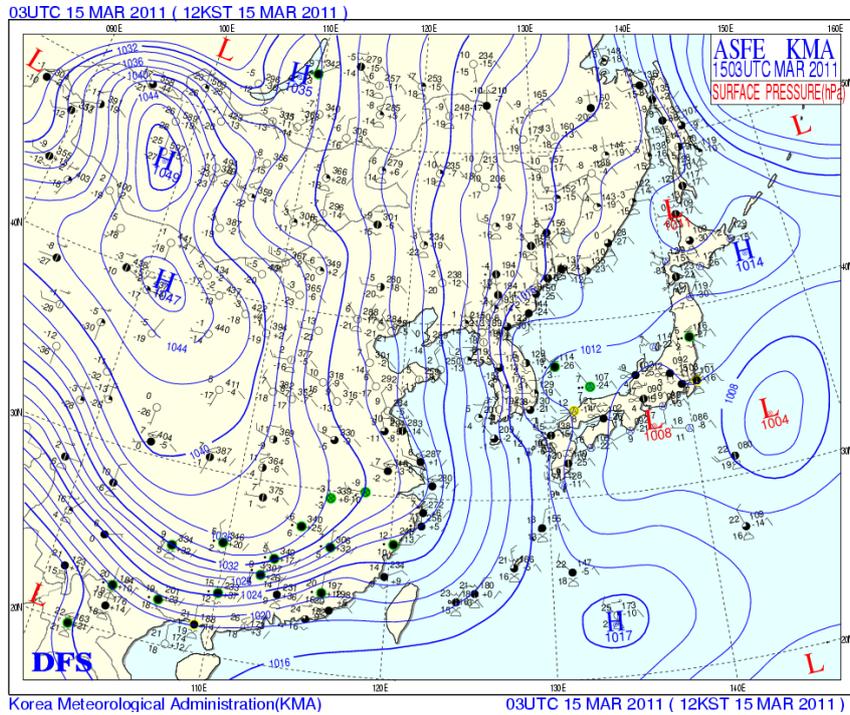


Figure 5. Weather map when the max. instantaneous wind speed occurred at station A.

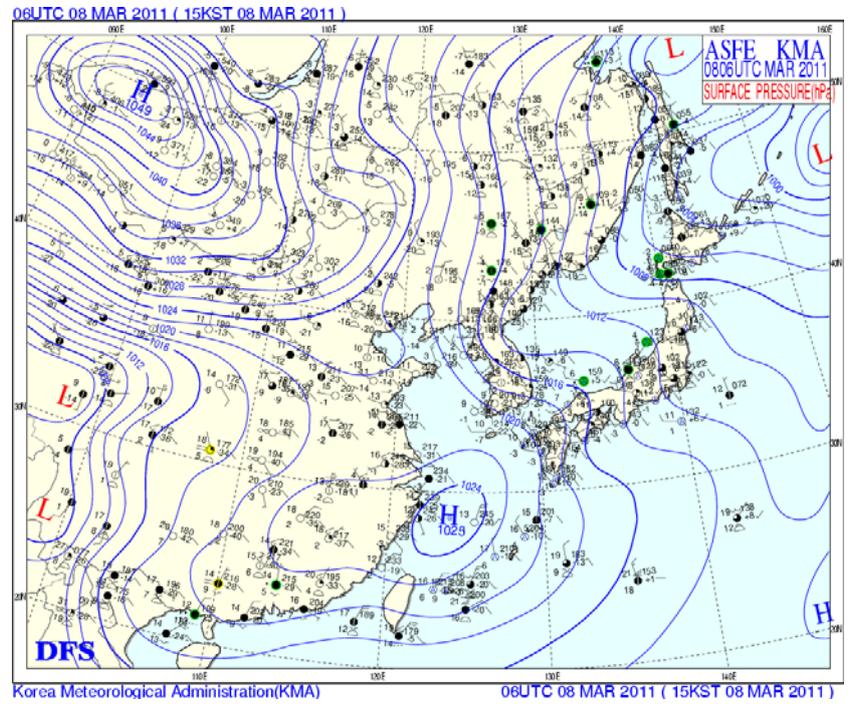


Figure 6. Weather map when the max. instantaneous wind speed occurred at station B.

압의 영향을 받고 기압 경도가 심하여 구름이 조금 있고 바람이 강한 기상 상태를 보여주고 있다.

2. 일중 풍향, 풍속 분석

일 중 풍향을 보면 Station A는 모두 서풍으로 일정하다(Table 2). 이는 빌딩바람의 박리류가 고층건물에 인접한 곳에 국한해 불고 있음을 의미하며 보도 5m + 차도 30m 떨어져 위치한 Station B는 일 중 풍향이 시각에 따라 변화하여 22 : 00 ~ 04 : 00만 박리류와 같은 풍향인 서풍이고 4시부터 12시는 동풍, 12시부터 22시까지는 남서풍으로 일 중 풍향이 일정하지 않아 다른 시각에는 박리류의 영향을 크게 받지 않는 것으로 나타났다.

풍속의 일 중 변화는 Station A는 Station B보다 하루 종일 풍속이 높고(Figure 7) 이 중 14 : 00 ~ 15 : 00 오후 시각의 풍속이 제일 강했으며 이는 태양 복사에너지가 알베도의 차이에 의해

발생하는 대기 불안정으로 바람의 세기가 큰 것으로 판단된다. 01 : 00 ~ 06 : 00까지 풍속이 비교적 낮게 나타났는데 이는 야간 대기가 안정하기 때문인 것으로 판단되며 이 결과는 Eliasson et. al(2006)과 Depaul and Sheih(1986)의 야간과 이른 아침에 풍속이 비교적 약하다는 연구결과와 일치한다.

도로협곡풍 중 박리류가 맞은 편 30m 거리의 도로 협곡풍보다 풍속이 강함을 통계 검정하고자 쌍체 비교분석을 사용하였으며 그 결과 유의수준 0.05에서 Station A의 풍속이 Station B 풍속보다 높지 않다는 귀무가설은 t-값이 133.495026으로서 단측 검정 임계값 1.64489297을 훨씬 초과하여 기각됨으로써 고층건물 인접한 Station A의 박리류가 30m 떨어진 Station B 도로협곡풍보다 풍속이 높음을 알 수 있었다(Table 3).

Table 2. Daily variation of wind direction.

		0~2	2~4	4~6	6~8	8~10	10~12	12~14	14~16	16~18	18~20	20~22	22~24
S T a t i o n A	N	171	126	144	169	203	217	184	177	180	201	175	16
	NE	339	342	404	450	509	502	452	337	269	253	289	127
	E	334	449	532	550	511	591	435	379	289	221	218	556
	SE	172	171	170	206	201	243	221	214	202	121	117	248
	S	312	242	259	272	276	283	300	292	278	241	222	309
	SW	440	406	390	391	382	366	515	566	563	593	589	892
	W	963	965	805	741	704	621	706	823	991	1080	1101	906
NW	497	527	524	449	442	405	415	439	456	518	517	174	
S T a t i o n B	N	17	15	11	5	5	2	5	1	13	33	14	173
	NE	122	106	163	230	254	248	122	82	90	103	102	274
	E	696	834	986	1201	1266	1025	759	691	579	481	492	283
	SE	256	237	314	396	354	437	424	343	267	198	176	163
	S	254	234	260	353	332	427	491	457	340	255	251	374
	SW	789	748	679	650	706	850	1080	1222	1252	1174	1082	523
	W	970	969	752	383	276	217	327	410	637	841	888	957
NW	124	85	63	10	35	22	20	22	50	143	223	174	

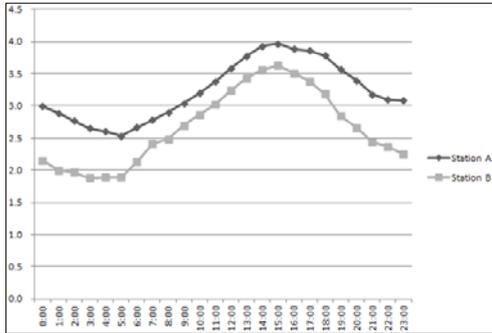


Figure 7. Daily variation of wind speed.

Table 3. T-test : paired comparison for wind speed between Station A and Station B.

	Station A	Station B
평균	3.13716174	2.5764567
분산	2.37024282	3.1750635
관측수	38736	38736
피어슨 상관 계수	0.88614946	
자유도	38735	
t 통계량	133.495026	
t 기각치 단측 검정	1.64489297	
t 기각치 양측 검정	1.96002517	

3. 계절별 풍향 및 풍속 비교

계절별 풍속은 봄에 강풍이 가장 많이 관측되었고 가을, 여름 순으로 관측되었다. 서울 지방의 바람특성을 보면 봄(특히 3월과 4월)에는 이동성 고기압과 저기압이 교차하여 풍속이 비교적 강하고 가을과 여름은 풍속이 상대적으로 낮아 본 연구 대상지에서도 봄, 가을, 여름 순으로 나타났다 (http://www.kma.go.kr/weather/climate/average_regional.jsp). 두 지점의 계절별 풍향은 다르게 관측되었고 Station A는 봄, 여름, 가을 모두 탁월풍이 서풍이었고 station B는 봄은 남서풍이고 여름과 가을은 동풍이 관측 되었다(Figure 8). 연구 대상지 내 풍향은 Station A는 박리류의 영향을 받고 Station B는 주변 지역의 탁월풍 영향을 받은 것으로 파악된다.

4. Station A와 Station B의 강풍 비교

Beaufort scale 5등급 이상 강풍의 비교 결과 - 5등급(8.0~10.7m/sec)은 잎이 무성한 작은 나무

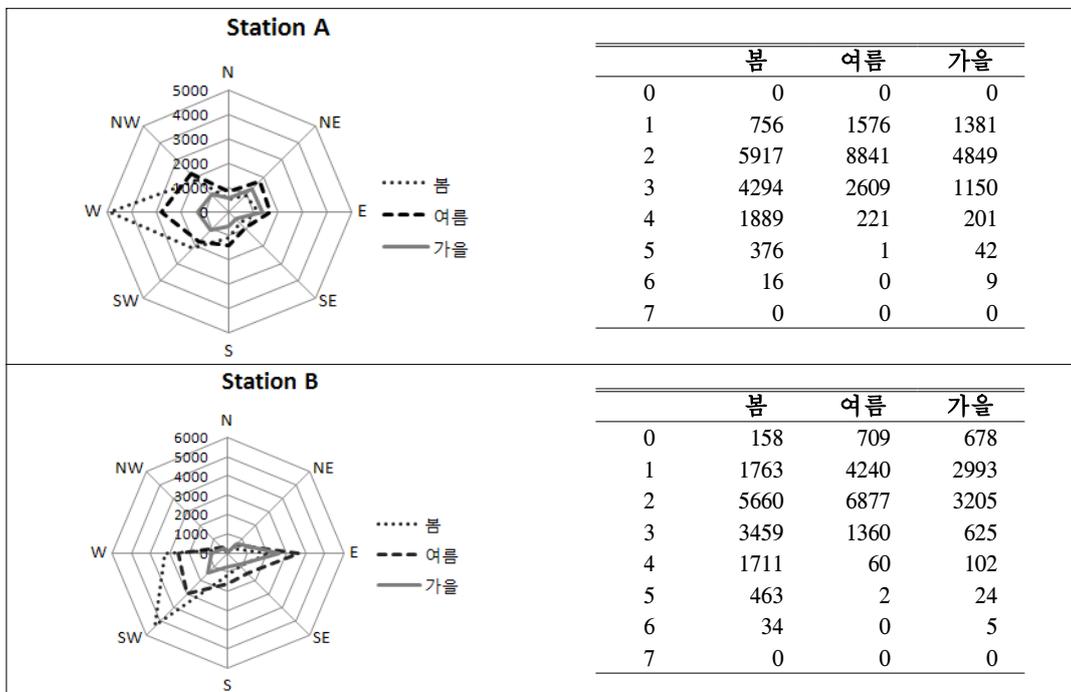


Figure 8. Seasonal wind rose and wind speed variation.

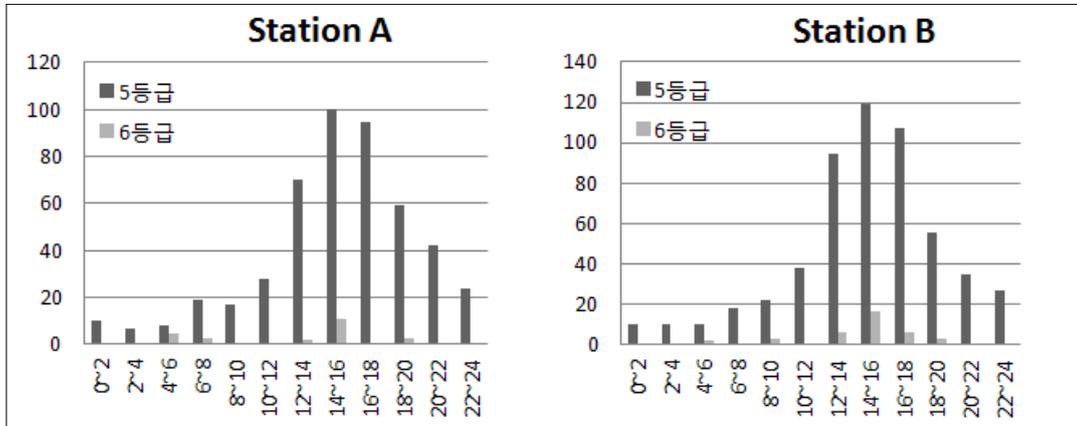


Figure 9. Hourly frequency of Beaufort 5 or more scale.

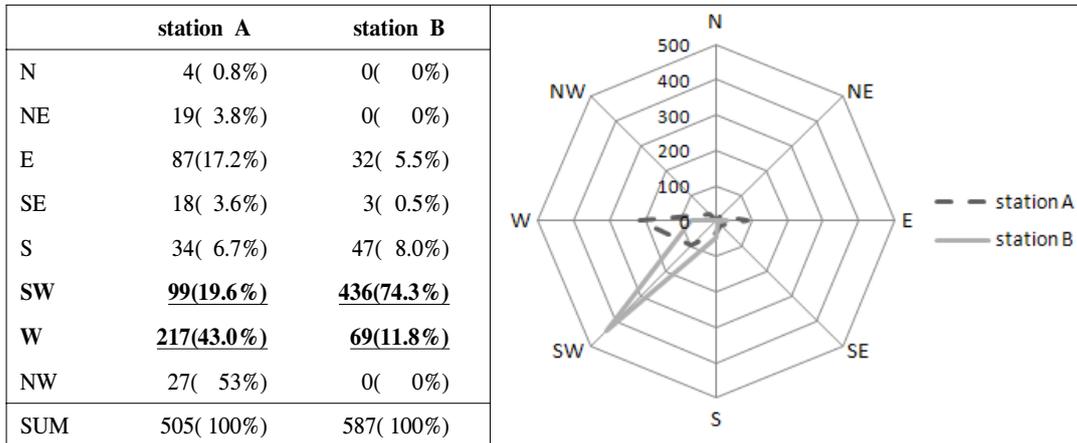


Figure 10. Wind rose for Beaufort 5 or more scale.

전체가 흔들리는 정도의 풍속 - Station A는 총 505회, Station B는 587회 관측되었다. 강풍의 일중 변화를 보면 Station A와 B 모두 낮 시간 동안 (11 : 00 ~ 18 : 00) 강풍이 많이 발생하였고 특히 14 : 00 ~ 18 : 00 사이에 강풍의 빈도가 높게 나타났다(Figure 9). 계절별 발생빈도는 봄에 station A는 391/505=77.4(%), station B는 497/587=84.7(%로 관측되 타 계절에 비해 월등히 높았다(Figure 8). 발생 빈도를 고층건물 주변 WSA 스테이션과 비교하면 Station A는 505/38736(총 관측회수)=1.3(%), Station B는 587/38736=1.5(%로써 고층건물 풍하면의 발생빈도 3.3%(김재철과 이규석, 2007)보다 낮게 나타났다. 이는 고층

건물의 풍상면과 풍하면보다는 박리류의 강풍 발생빈도 및 강도가 낮음을 나타내고 있으며 단지 계획 시 빌딩 바람 풍상면과 풍하면의 빌딩바람 피해 저감 대책이 우선 강구되어야 함을 보여주고 있다.

강풍의 풍향은 Station A는 서풍 217회(43.0%), 남서풍 99회(19.6%)로서 전체 바람자료의 풍향과 일치하며, Station B는 남서풍 436회(74.3%), 서풍 69회(11.8%)로서 남서풍의 빈도가 가장 높은 것은 일치하나 전체 바람자료는 동풍이 두번째로 높게 나타난 데 비해(Figure 4) 서풍이 높게 나타났다(Figure 10).

IV. 결 론

본 연구는 고층건물 주변 도로협곡에서의 바람 특성을 파악하기 위하여 고층건물 인접한 Station A와 도로 건너편 30m 떨어진 Station B에서 순간 최대풍속 풍향을 10분 간격으로 관측하여 일 중, 계절별(겨울철 제외) 변화를 파악하여 도출한 결과는 다음과 같다.

1. 관측 기간 중 Station A는 일 중 주풍향은 서풍으로 일정한 반면 Station B는 22 : 00~04 : 00만 서풍이 주 풍향인 것으로 관측되어 건물 박리류는 고층건물 인접한 곳에 국한됨을 보여주고 있다.
2. 연중 평균풍속은 Station A는 3.1m/sec로서 Station B보다 0.5m/sec 더 높았으며 강풍의 일 중 변화는 밤보다 낮에, 특히 14 : 00~18 : 00에 많이 관측되었다.
3. 겨울철을 제외한 계절별 강풍 빈도는 봄, 가을, 여름의 순이었으며 이는 종관기상 상태의 영향을 받은 것으로 판단된다.

박리류는 고층건물 바로 옆에서는 강한 영향을 받으나 30m 도로 건너편에서는 그 영향이 현저히 감소해 도로가 고층건물 주변 풍향, 풍속에 큰 영향을 미치고 있음을 확인하였다.

사 사

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

인 용 문 헌

김성후 · 박성규. 2004. 도시거리 협곡 내 대기오염물질 확산에 대한 풍동실험 연구(1) -도로와 풍향각의 영향을 중심으로-. 환경관리학회지 10(2) : 111-118.

김재진 · 백종진. 2005. CFD 모형을 이용한 도시 도로 협곡에서의 흐름 체계 분류. 한국대기환경학회지 21(5) : 525-535.

김재철 · 이규석. 2007. 초고층건물 탁월풍 방향의 바람 특성에 관한 연구. 환경영향평가 16(6) : 503-510.

김재철 · 이규석. 2008. 초고층건물 주변 겨울철 탁월풍과 도로협곡풍 특성에 관한 비교연구. 환경복원녹화 11(1) : 33-38.

박승부 · 백종진. 2007. CFD 모형을 이용한 3차원 비대칭 도로 협곡에서의 흐름 및 오염물질 분산연구. 한국대기환경학회지 23(2) : 214-224.

이상화 · 이규석. 2009. 상업지역내 고층건물의 인접주거 지역 일조권 영향에 관한 연구. 환경복원녹화 12(2) : 10-18.

정해연 · 이규석. 2010. 동절기 도심지 기온역전에 관한 연구. 환경복원녹화 13(1) : 40-46.

풍공학연구소 편 · 편집부 역. 1995. 국내최초로 소개되는 빌딩풍의 지식. 일광 p.66.

Depaul, F. T., Sheih C. H. 1986. Measurements of wind velocities in a street canyon. Atmospheric Environment 20(3) : 455-459.

Eliasson, I., Offerle B., Grimmond C.S.B., Lindqvist S. 2006. Wind fields and turbulence statistics in an urban street canyon. Atmospheric Environment 40 : 1-16.

Georgakis, C., Santamouris M. 2008. On the estimation of wind speed in urban canyons for ventilation purposes- Part 1 : Coupling between the undisturbed wind speed and the canyon wind. Building and Environment 43 : 1404-1410.

Kim, J. J., Baik J. J. 2003. Effects of inflow turbulence intensity on flow and pollutant dispersion in an urban street canyon. Journal of wind engineering and industrial aerodynamics 91 : 309-329.

- Nakamura, Y., Oke T. R. 1988. Wind, temperature and stability conditions in an east-west oriented urban canyon. *Atmospheric Environment* 22(12) : 2691-2700.
- Oke, T. R. 1987. *Boundary Layer Climates*, 2nd ed. Routledge 264.
- Pavageau, M. Schatzmann M.. 1999. Wind tunnel measurements of concentration fluctuations in an urban street canyon. *Atmospheric Environment* 33 : 3961-3971.
- Salizzoni, P., Soulhac L., Mejean P. 2009. Street canyon ventilation and atmospheric turbulence. *Atmospheric Environment* 43 : 5056-5067.
- [http : //en.wikipedia.org/wiki/Beaufort_scale](http://en.wikipedia.org/wiki/Beaufort_scale)
- [http : //www.kma.go.kr/weather/climate/average_regional.jsp](http://www.kma.go.kr/weather/climate/average_regional.jsp)
- [http : //www.google.com](http://www.google.com)