

연구논문

## 초고층건물 탁월풍 방향의 바람 특성에 관한 연구

김재철\* · 이규석\*\*

성균관대학교 대학원 조경학과\*, 성균관대학교 조경학과 교수\*

(2007년 10월 17일 접수, 2007년 11월 13일 승인)

## A Study on the Wind Characteristics of Skyscraper Prevailing Wind Direction

Kim, Jae-cheol\* · Lee, Kyoo-seock\*\*

Graduate Student, Department of Landscape Architecture, Sungkyunkwan University\*

Professor, Department. of Landscape Architecture, Sungkyunkwan University\*\*

(Manuscript received 17 October 2007; accepted 13 November 2007)

### Abstract

Since 1990s many skyscrapers have been built in Seoul. However, gusty winds occur among tall buildings by descending turbulences due to the upper air blocking. This study aims to investigate the wind characteristics of skyscraper prevailing wind direction. In order to evaluate the building wind in this area, The wind speed and the wind direction were measured using propeller type RM-Young wind monitor in this study. The maximum wind speed was recorded by 15.1 m/sec and the main wind direction is WNW and NW. The ultimate purpose of this study is to figure out the phenomena of building wind impact and also to provide essential basic data for establishing proper guidelines in building wind impact assessment for skyscrapers in Korea.

Key words : Skyscraper, building wind, Beaufort scale, wind speed

### 1. 서론

1960년대 이후 한국의 산업화, 도시화는 도시로의 인구 집중을 유발하였고 1990년대 이후 도시 건물의 고밀화로 100 m 이상 초고층건물이 세워지면서 건물 주변의 미기상에 많은 변화를 가져 왔다. 이 중에서도 건물주변에서 발생하는 바람 환경은

상공의 강한 바람이 건물이 없을 때는 그냥 지나치던 것이 고층건물에 막혀 지상으로 하강해 건축물 주변에 강한 3차원 난류장을 형성하여 순간 돌풍인 빌딩바람이 발생되곤 한다(김영덕, 1998). 도시에서의 바람은 저층건물에 막히면 마찰력의 증가로 풍속이 약해지나 초고층건물의 경우는 건물주변의 빌딩바람은 상공 못지않게 강한 바람이 부는 경우가

관측된다. 종래에는 고층건물의 경우 강한 상공풍에 의한 건물 외벽의 풍압에 대한 안전성이 주 관심사였으나 부산의 해안가에 건립된 고층건물들이 태풍에 의해 유리창이 파손되는 등 국내에서도 피해 사례가 발생하고 있어 빌딩이 초고층화하면서 부는 바람에 의한 보행자 및 주변 시설의 환경영향에도 관심을 가져야 할 필요성이 대두되었다. 외국에서는 홍콩의 초고층건물 Central Plaza (374 m) 주변에 프로펠러형 풍속계와 accelerometer를 설치하여 실측하였으며 (Li *et al.*, 2003), 유럽 도시의 거리협곡을 실측하고자 3차원 초음파 풍속계를 설치하여 풍향·풍속 및 온도 등을 관측하였다(Eliasson *et al.*, 2006, Rotach *et al.*, 1995, Nielsen *et al.*, 2000, Christen, 2003). 국내에서는 속초시 설악 그레이스 및 아남플라자를 중심으로 7개의 자동기상관측장치(Automatic Weather Station, AWS)를 설치하여 1년간 관측을 하였으며, 관측된 자료를 Beaufort 등급으로 분류한 연구 등이 있다 (김영덕, 2000).

초고층 건물 계획 환경영향평가 시 빌딩주변 풍환경을 고려해 건물 계획, 설계가 이루어져야 하나 서울시 환경영향평가보고서에서는 3일간 측정된 자료를 바탕으로 바람환경평가가 이루어지고 있어 고층건물에 의한 주변 미기상 환경 변화에 대한 정확한 평가가 이루어지고 있지 않다(서울시, 2006a, 2006b, 2007). 따라서 본 연구는 초고층건물 주변의 바람을 1년간 관측하여 그에 관한 특성을 분석하여 초고층건물 계획 시 환경영향평가 미기상 항목에서 바람 환경 기준 수립에 필요한 기초 자료 및 정보를 제공하는 데에 목적이 있다.

## II. 자료 및 방법

### 1. 연구대상지

본 연구대상지는 서울시 강남구 도곡동에 위치한 초고층 주상복합단지이다(Figure 1). 지형학적으로 대상지는 북으로 매봉산(90 m)과 남으로는 도곡동과 개포동사이 양재천이 흐르고 있으며 남부순환도

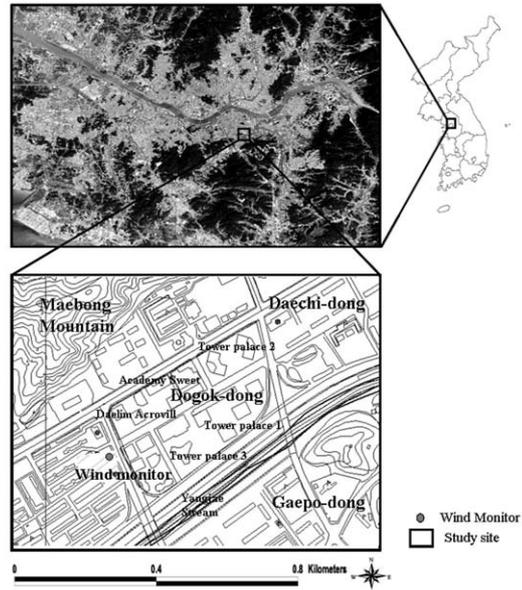


Figure 1. Study site

로 남쪽에 대모산(293 m), 구룡산(283 m) 등이 위치하고 있다(Figure 2). 양재천은 북쪽으로 매봉산, 우면산, 관악산으로 이어지는 능선과 남쪽으로 대모산, 구룡산, 청계산으로 이어지는 능선사이의 계곡을 흐르는 도시하천으로서 하루 중 산풍과 곡풍이 교대로 불고 겨울철 주풍인 북서풍이 매봉산을 거쳐 대상지로 유입되며 자연형 하천 복원사업의 결과 현재 강남구의 중요한 오픈스페이스로서 도시민의 쉼터로 이용되고 있다. 양재천 천변은 주택가이며 주로 15층 내외 아파트로 구성돼 있으며 대상

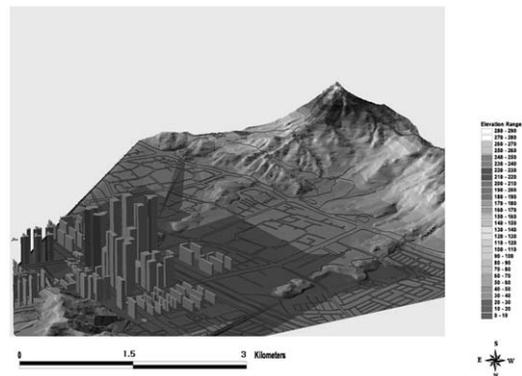


Figure 2. 3D GIS of Study site

Table 1. Highest Building in Korea

Number	Buildings	Height(m)	Use
1	<b>*Tower palace Three. Tower G</b>	264	Residential
2	Mok-dong Hyperion I. Tower A	256	Residential
3	KLI63 Building	249	Business
4	Mok-dong Hyperion I. Tower B	239	Residential
5	<b>*Tower palace One. Tower B</b>	234	Residential
6	Trade Tower	228	Business
7	<b>*Tower palace One. Tower A</b>	209	Residential
8	<b>*Tower palace One. Tower C</b>	209	Residential
9	Star Tower	204	Residential
10	Mok-dong Hyperion I. Tower C	201	Business
11	The Sharp Star City, Tower A	196	Residential
12	<b>*Tower palace Two. Tower E</b>	191	Residential
13	<b>*Tower palace Two. Tower F</b>	191	Residential
14	Techono Mart 21	189	Business
15	SK HUB Sky 1	182	Residential
16	SK HUB Sky 2	182	Residential
17	ASEM Tower	176	Business
18	Boramae Cherville	174	Residential
19	LG Gangnam Tower	173	Business
20	Lotte Hotel Busan	173	Business
21	Hyundai 41 Tower	168	Residential
22	<b>*Academy Sweet</b>	167	Residential
23	SBS Broadcasting Center	167	Business
24	<b>*Daelim Acrovill One</b>	163	Residential
25	<b>*Daelim Acrovill Two</b>	163	Residential

(source; <http://www.emporis.com/en/bu/sk/st/tp/co/?id=100160>)

지만은 초고층 주거단지로서 구성돼 있다. 이곳 연구 대상지는 현재 국내에서 제일 높은 타워팰리스 3차 (264 m) 를 비롯하여 대림아크로빌, 아카데미 스위트, 타워팰리스 1, 2차 아파트 등이 동일 블록 안에 건설된 초고층 주상복합단지로서 2007년 가을 현재 국내 초고층건물 상위 25 곳 중 연구대상지 내에 9개의 건물이 집중되어 있는 곳으로서 초고층건물에 의한 순간돌풍이 자주 발생하며 겨울에 오토바이가 전도되거나 공사용 유니폼이 바람에 날려 가는 등 빌딩바람이 강하게 부는 곳이다. Table 1에서 \*표시는 본 연구대상지 내 위치한 고층건물을 나타낸다.

## 2. 연구방법

본 연구는 연구대상지의 풍상면 방향 주변 건물 옥상에 RM-Young 프로펠러형 풍향풍속계와 CR1000 자료기록장치를 설치하여 1초마다 순간최대풍속 및 풍향을 관측한 후 2006년 11월 27일부터 2007년 11월 26일까지 1년간 관측된 자료를 30분 단위로 순간최대풍속 자료를 추출하였으며 분석에 이용된 관측 회수는  $24 \times 2 \times 365 = 17,520$  회이다. 관측 자료를 Beaufort 풍력 등급 (0~12단계)에 의거하여 풍속 5등급이상 자료를 대상으로 풍향별, 시간대별, 월별로 분류, 분석하였고 이들 간의 상관관계를 파악하였다. 주 풍향은 바람장미로 표현하였다. Table 2에서 보듯이 Beaufort 풍력 5등급 (8.0~10.7 m/s)부터는 보행자가 몸에 바람의 힘을 강하게 느끼게 되며 6등급부터는 우산을 제대로 펴지 못하거나 바로 걸기가 곤란하게 된다([http://en.wikipedia.org/wiki/Beaufort\\_scale](http://en.wikipedia.org/wiki/Beaufort_scale)). 본 연구에서는 보행자가 보행에 지장을 초래하는 등급인 5등급 이상을 대상으로 바람 특성을 분석하였다.

Table 2. Beaufort scale and condition

Beaufort scale	Wind Speed (m/s)	Condition
0	0-0.2	Calm. smoke rises vertically.
1	1.3-1.5	Wind motion visible in smoke.
2	1.6-3.3	Wind felt on exposed skin. Leaves rustle.
3	3.4-5.4	Leaves and smaller twigs in constant motion.
4	5.5-7.9	Dust and loose paper raised. Small branches begin to move.
5	8.0-10.7	Smaller trees sway.
6	10.8-13.8	Large branches in motion. Whistling heard in overhead wires. Umbrella use becomes difficult.
7	13.9-17.1	Whole trees in motion. Effort needed to walk against the wind.
8	17.2-20.7	Twigs broken from trees. Cars veer on road.
9	20.8-24.4	Light structure damage.
10	24.5-28.4	Trees uprooted. Considerable structural damage.
11	28.5-32.6	Widespread structural damage.
12	32.7-40.8	Considerable and widespread damage to structures.

(source :[http://en.wikipedia.org/wiki/Beaufort\\_scale](http://en.wikipedia.org/wiki/Beaufort_scale))

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 풍향별 및 등급별 발생빈도

연구대상지내 관측 자료 중 Beaufort 5등급이상을 대상으로 분석하였다. 풍향별 분포를 보면 서북서풍 131회(22.6%), 북서풍 121회(20.9%), 북북서풍 72회(12.4%), 북풍 56회(10.2%) 총 383회로서 전체의 66.1%가 북풍 또는 북서풍에서 강풍이 발생하였다(Figure 3과 Table 3). 5등급 이상 전체

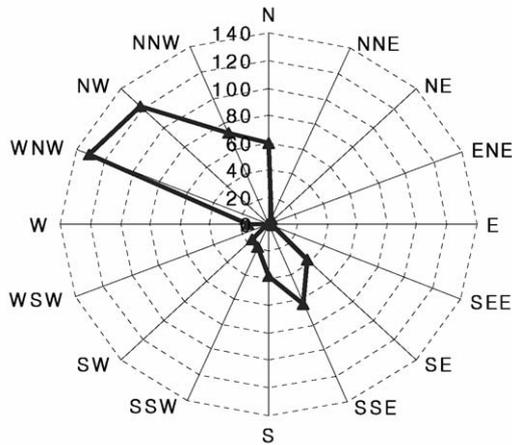


Figure 3. Wind rose

Table 3. Wind frequency by wind direction

Direction	Level 7	6	5	Total(%)
N	3	12	44	59(10.2)
NNE			4	4(0.7)
NE				0(0)
ENE			1	1(0.2)
E			1	1(0.2)
SEE			3	3(0.5)
SE		10	26	36(6.2)
SSE	2	10	51	63(10.9)
S		2	36	38(6.6)
SSW		1	18	19(3.3)
SW		2	14	16(2.8)
WSW			1	1(0.2)
W		1	13	14(2.4)
WNW		15	116	131(22.6)
NW	1	17	103	121(20.9)
NNW	1	11	60	72(12.4)
Average	7	81	491	579(100)

바람의 2/3가 매봉산에서 초고층주상복합단지로 부는 북서풍계열이므로 본 논문에서는 이방향을 탁월풍으로 정하였다.

등급별 풍향분포는 7등급 7회중 북풍 3회(42.9%), 북서풍 및 북북서풍에서 각각 1회(14.3%)였고 6등급 81회중 북풍 17회(21.0%), 서북서풍 15회(18.5%), 북풍 12회(14.8%), 북북서풍 11회(13.6%)로서 총 55회(67.9%)를 기록하였고 5등급은 491회중 서북서풍 116회(23.6%), 북서풍 103회(21.0%), 북북서풍 60회(12.2%), 북풍 44회(9.0%) 순으로 나타나 323회(65.8%), 전체적으로는 서북서풍~북풍이 383회(66.1%)를 차지해 모든 등급에서 서북서~북풍계열이 주풍향임을 확인할 수 있었다(Table 3).

30분 단위 연간 등급별 발생빈도를 보면 5등급 491회, 6등급 81회, 7등급 7회 총 579회로서 5등급은  $491/17,520 = 2.80\%$ , 6등급은  $81/17,520 = 0.46\%$ , 7등급은  $7/17,520 = 0.04\%$ 로서 전체적으로는  $579/17,520 = 3.30\%$ 의 발생빈도를 보여주고 있으며 최고 순간풍속은 2007년 3월 4일 오후 6시 남남동풍 15.1 m/sec를 기록하였다(Table 4). 최고 순간풍속이 기록된 2007년 3월 4일 오후 가장 가까운 기상청 강남지역 자료에 의하면 강남지역에 시간당 2~8 mm의 강우량과 이날 오후 30.5 mm의 강우량을 기록하여 바람을 동반한 강수현상을 보여주고 있다(<http://www.kma.go.kr>). 오후 6시부터 6시30분 분당 평균속도는 0.6~3.5 m/sec

Table 4. Wind frequency by Beaufort scale which is 5 or more than that

Beaufort scale	Description	(m/sec)	(m/sec)	Frequency
7	Near gale	13.9~17.1	>15	1
			>14	5
			>13.8	1
6	Strong breeze	10.8~13.8	>13	13
			>12	16
			>11	45
			>10.8	7
5	Fresh breeze	8.0~10.7	>10	81
			>9	147
			>8	263
			Total	579

를 기록하고 있어 대상지의 최고 순간풍속은 이를 훨씬 상회하고 있다.

**2. 시간별 발생빈도 및 풍속**

시간대 별 발생빈도는 총 579회중 15시 49회(8.5%), 16시 47회(8.1%), 14시 41회(7.1%), 12시 40회(6.9%), 13시 38회(6.6%) 순으로 나타났고 오전 11시부터 오후 6시까지(오전11시간대~오후5시간대)도합 283회(48.9%)로 낮에 강풍이 주로 발생하며 가장 적게 발생한 시간대는 오전 5시로 8회(1.4%)였다. 이와 같이 발생빈도는 야간보다 보행자가 많은 주간에 바람이 많이 불고 있는 것으로 확인되었다(Figure 4).

하루 중 시간에 따른 풍속의 차이를 파악하기 위하여 분산분석법을 이용한 통계 검정을 실시하였으며 유의수준 0.05에서 F-값이 212.82로서 기각치 3.85를 초과하여 시간별 발생빈도는 차이가 있음을 확인하였다(Table 5). 이는 최대순간풍속을 관측하기 위해서는 낮 시간 동안의 관측이 필요함을 말해주고 있다.

고층건물에 의한 풍속 영향을 파악하기 위하여 고층건물의 영향을 받지 않는 기상청 강남 AWS관측소의 1년간 시간별 30분 평균 풍속 자료와 비교

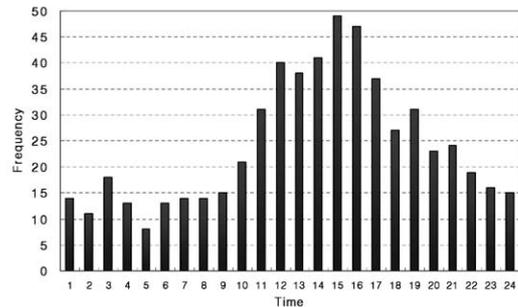


Figure 4. Wind frequency by time

하였다. Table 6에서 보듯이 낮 시간 (11시 ~ 18시)의 평균풍속이 일반지역에서도 높게 나타났으며 본 대상지의 평균최대순간 풍속이 9.5 m/sec인 반면 고층건물이 없는 지역의 평균풍속은 1.7 m/sec로서 7.8 m/sec의 차이를 보여주고 있다. 허나, 전자는 평균최대순간풍속이고 후자는 평균풍속이므로 정확한 비교를 위해서는 평균풍속 또는 평균최대순간풍속을 비교하는 것이 더 정확하다고 판단된다.

Table 6. Comparison of hourly wind speed between KMA AWS site and study site

Time	KMA-Gahngnam (m/sec)	Study site (m/sec)	Difference (m/sec)
1	1.4	9.7	8.3
2	1.4	9.5	8.1
3	1.3	9.1	7.8
4	1.3	9.4	8.1
5	1.3	9.2	7.9
6	1.3	9.7	8.4
7	1.4	9.3	7.9
8	1.5	9.5	8.0
9	1.6	9.6	8.0
10	1.7	9.6	7.9
11	1.8	9.3	7.5
12	1.9	9.5	7.6
13	2.0	9.5	7.5
14	2.1	9.5	7.4
15	2.1	9.9	7.8
16	2.1	9.5	7.4
17	2.1	9.4	7.3
18	2.0	9.6	7.6
19	1.9	9.4	7.5
20	1.7	9.7	8.0
21	1.6	9.7	8.1
22	1.5	9.5	8.0
23	1.5	9.4	7.9
24	1.4	9.8	8.4
Average	1.7	9.5	7.8

Table 5. ANOVA-test results for wind speed and time

Source of Variation	SS*	DF**	MS***	F	P-value	F critical value
Treatment	3908.67	1	3908.67	212.82	2.26E-44	3.85
Error	21231.66	1156	18.37			
Total	25140.33	1157				

\*SS : Sum of Squares, \*\*DF : Degrees of Freedom, \*\*\*MS : Mean Squares

### 3. 월별 발생 빈도 및 풍속

Beaufort 5등급이상 월별 발생빈도로는 3월 142회(24.5%), 4월과 2월 각 58회(10.0%), 12월 57회(9.8%), 8월 56회(12.8%)순으로 나타났으며 계절별로는 봄 238회(41.1%), 겨울 155회(26.8%), 가을 113회(19.5%), 여름 73회(12.6%) 순으로 나타나 봄이 가장 심하고 겨울, 가을 순이었으며 여름은 적게 발생하였다(Figure 5).

연중 월별에 따른 풍속의 차이 유무를 파악하기 위하여 분산분석법을 이용한 통계 검정을 실시하였으며 그 결과 유의수준 0.05에서 F-값이 510.54로서 기각치 3.85를 초과하여 월별 발생빈도는 차이가 있음을 확인하였다(Table 7). 본 연구 결과 현재 서울시 환경영향평가에서 고층빌딩의 바람환경평가시 3일 연속 관측 자료만으로 주변의 풍속과 건물 신설에 따른 영향을 평가하는 것은 정확성이 결여된다고 판단된다. 예를 들어 동일 장소 동일시각의 측정이란 계절에 따라 풍속 측정치에 많은 차이가 발생할 수 있으므로 바람영향평가에서 연중 며칠간의 관측은 의미 있는 결과를 도출하기 어렵다고 판단된다. 본 연구에서 나타난 계절에 의한 변화는 일반적인 것인지 미세 지형에 의한 대상지의 특

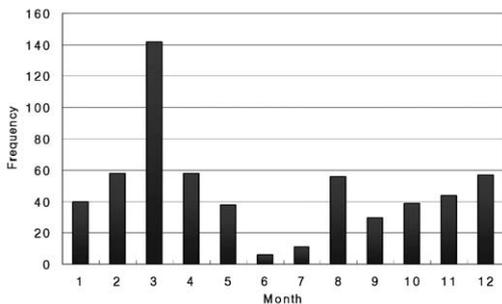


Figure 5. Wind frequency by month

성인지는 본연구대상지 주변의 다른 곳에서의 동일 시각 추가 관측이 필요하다고 판단된다.

또한 월별 풍향 빈도로는 3월 142회중 서북서풍 36회(25.4%), 북서풍 30회(21.1%), 북풍 20회(14.1%), 12월 57회중 서북서풍 16회(28.1%), 북서풍 14회(24.6%), 북풍 12회(21.1%) 순으로 나타났으며 12월부터 4월까지의 겨울철 시베리아기단의 영향으로 서북서풍~북풍이 주풍향이며 3월부터 5월까지의 시베리아기단이 약해지면서 이동성 고기압과 저기압이 교대로 지나가면서 날씨의 변화가 심해 남동풍~남서풍도 발생하나 6월부터는 북서풍 계열이 소멸되고 8월까지의 북태평양기단의 영향으로 남동풍~남풍이 주풍향을 보이고 있다. 가을철 북태평양기단의 약화되어 대륙 이동성 고기압의 통과로 청명한 날씨로 북북서풍~북풍이 주풍향을 보이고 있다.

고층건물의 영향을 받지 않는 기상청 강남 AWS

Table 8. Comparison of monthly wind speed between KMA AWS site and study site

Month	KMA-Gahngnam (m/sec)	Study site (m/sec)	Difference (m/sec)
1	1.5	9.7	8.2
2	1.6	9.5	7.9
3	1.9	9.9	8.0
4	2.0	8.9	6.9
5	1.8	9.1	7.3
6	1.7	9.1	7.4
7	1.7	9.3	7.6
8	1.8	10.1	8.3
9	1.7	9.5	7.8
10	1.4	9.2	7.8
11	1.5	9.0	7.5
12	1.4	9.6	8.2
Average	1.7	9.4	7.7

Table 7. ANOVA-test results for wind speed and month

Source of Variation	SS*	DF**	MS***	F	P-value	F crit
Treatment	3897.69	1	3897.68	510.54	6.4E-94	3.85
Error	8825.38	1156	7.63			
Total	12723.07	1157				

\*SS : Sum of Squares, \*\*DF : Degrees of Freedom, \*\*\*MS : Mean Squares

관측소의 1년간 월별 평균 풍속 자료와 비교한 결과는 본 대상지의 월별 평균최대순간 풍속이 9.4 m/sec인 반면 고층건물이 없는 지역의 평균풍속은 1.7 m/sec로서 7.7 m/sec의 차이를 보여주고 있다 (Table 8).

#### IV. 결론

연구대상지에서 2006년 11월 27일부터 2007년 11월 26일까지 관측한 자료 중 Beaufort 5등급이상 등급별, 시간대, 월별 및 풍향별 바람 특성을 분석하여 도출한 결과 고층건물 주변의 풍속은 시간대별, 계절별로 큰 차이가 있어 인명 및 재산에 피해를 줄 수 있는 최대순간풍속의 정확한 예측을 위해서는 관측 시간 및 관측 월의 적절한 선택이 중요하며 세부적인 결과는 다음과 같다.

첫째, 30분 단위 등급별 발생빈도는 7등급 7회, 6등급 81회, 5등급 491회 총 579회로서 최고 순간풍속은 2007년 3월 4일 오후 6시에 관측된 남남서 방향 15.1 m/sec를 기록하여 고층건물 주변에 순간 돌풍인 빌딩바람이 불고 있는 것을 확인할 수 있었다.

둘째, 빌딩바람은 하루 중 야간보다 보행자가 많은 주간 오전11~오후 6시 사이에, 본 연구대상지 겨울철 풍상면에서는 겨울의 북풍~북서풍계열이 빈도, 강도가 가장 높게 나타나 계절에 따라 차이가 있는 것으로 확인되었다. 현재의 서울시 고층건물 환경영향평가에서 사용되는 연중 3일 관측 결과만으로 대상지 미기상 현황 파악과 이를 바탕으로 한 바람환경 변화를 예측한 결과는 정확성이 결여되므로 적절한 관측계절 및 관측 시각의 선택 및 이에 대한 기준이 필요하다고 판단된다.

본 연구의 제약 및 개선점으로는 측정된 풍상면 방향은 건물과의 사이에 왕복 10차선 도로로 떨어져 있어 보다 정확한 측정을 위해서는 건물에 바로 인접한 풍상면과 풍하면에서 측정할 필요가 있다. 초고층건물에 인접해 측정하면 보다 높은 풍속의 바람이 관측되리라 판단된다. 아울러 대상지의 고층건물에 의한 난류의 특성을 보다 더 명확히 파악하기 위

해서는 관측 수행된 반대 방향 - 풍하면 - 및 단지 내부 및 주변의 도로 협곡(street canyon)에서의 자료도 관측, 분석할 필요가 있다고 판단된다.

#### 사 사

본 연구는 기상지진사업연구(CATER-2006-3-3-2)의 지원으로 수행되었으며 저자들은 이에 사의를 표합니다. 아울러 자료 수집을 위해 현지답사에 참여했던 코베대학의 신동훈 박사, 히로시마대학 대학원의 이효진, 성균관대 조경학과 허남주, 박용민군에게도 감사를 전합니다.

#### 참고문헌

- 김영덕, 1998, 빌딩바람에 의한 환경장해와 그 대책, 한국풍공학회지, 2(1), 23-27.
- 김영덕, 김용근, 2000, 속초 지역 고층 건축물 주변의 바람환경에 관한 실측 연구, 한국풍공학회지, 4(2), 158-164.
- 서울특별시, 2006a, 신천동 7-13 주거복합 신축 환경영향평가보고서.
- 서울특별시, 2006b, 을지로 2가 구역 제 5지구 도시환경정비사업 환경영향평가보고서.
- 서울특별시, 2007, 답십리 제 16구역 주택재개발 정비 사업 환경영향평가보고서.
- Christen A., R. Vogt, M. W., Rotach, 2003, Profile measurements of selected turbulence parameters over different urban surfaces, Proceedings of the 4th International Conference on Urban Air Quality, *Prague March 25-27*, 1(1), 408-411.
- Eliasson, I., B. Offerle, C. S. B. Grimmond, S. Lindqvist, 2006, Wind fields and turbulence statistics in an urban street canyon, *Atmospheric Environment*, 40(1), 1-16.

- Li, Q. S., Y. Q. Xiao, C. K. Wong, A. P., Jeary, 2003, Field Measurements of Wind Effect on the Tallest Building in Hong Kong, *The structural Design of Tall and Special Buildings*, 12(1), 67-82.
- Nielsen, M., 2000, Turbulent Ventilation of a Street Canyon, *Environmental Monitoring and Assessment*, 65(1-2), 389-396.
- Rotach, M. W., 1995, Profiles of turbulence statistics in and above an urban street canyon, *Atmospheric Environment*, 29(13), 1473-1486.
- <http://www.kma.go.kr>
- <http://www.emporis.com/en/bu/sk/st/tp/co/?id=100160>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Beaufort\\_scale](http://en.wikipedia.org/wiki/Beaufort_scale)
- 최종원고채택 07. 11. 28