

도시 생태공원의 풍환경 평가 적용에 관한 고찰

김원술[†]·정일원·권지혜^{*}

한국시설안전공단 시설성능연구원
^{*}한국시설안전공단 시설관리본부 시설성능관리실

Consideration for Application of Wind Environment Assessment on Ecological Parks in Cities

Wonsul Kim[†]·Il Won Jung·Ji-Hye Kwon^{*}

Research Institute for Infrastructure Performance, Korea Infrastructure Safety Corporation, Korea
^{*}Infrastructure Performance Management Department, National Facility Control Division, Korea Infrastructure Safety Corporation, Korea

(Received : 09 October 2019, Revised: 04 December 2019, Accepted: 09 December 2019)

요약

도시공원은 지구온난화와 대기오염을 줄여주고 열섬현상을 완화시켜주는 중추적인 역할을 하고 있다. 그러나 도시공원 일몰제에 따른 2020년 7월 이후 도시공원 제한이 일부 해제될 예정이다. 이에 따라 정부와 지자체는 공원부지 확보와 더불어 생태공원 조성 등 공원 활성화를 위한 노력을 기울이고 있다. 그러나 도시공원 주변에 건설되고 있는 고층건축물에 의해 발생하는 빌딩풍은 보행자에게 불편감을 유발할 수 있고, 생태공원에 서식하고 있는 동·식물의 생태계를 위협할 수 있다. 우리나라의 풍환경 평가에 대한 기준은 명확하게 제안된 바가 없으며, 관련 연구 또한 찾아보기 힘들다. 따라서 본 논문에서는 국외 풍환경 평가기준 및 관련 연구를 검토하여, 풍환경 평가 기준의 중요 인자를 도출하고, 국내 기상관측자료를 이용한 풍환경 평가에 적용 가능성을 검토하였다.

핵심용어 : 생태공원, 바람의 영향, 풍환경, 빌딩풍, 풍기후 해석

Abstract

City parks play an important role in reducing the air pollution and mitigating the city heat island effect caused by global warming. However, from July 2020, restricted parks over 20-year will be partially lifted due to sunset regulation on parks. As a result, the government and local governments have been making efforts to revitalize parks, such as creating ecological parks and securing park sites. However, building winds generated by high-rise buildings constructed around ecological parks in the city may cause discomfort to pedestrians and threaten the ecosystems of plants and animal that live in ecological parks. There are no clearly proposed as standards for wind environment assessment in Korea, but also it has been rarely studied on pedestrian wind environment. In this study, wind environment studies have been reviewed to find the important parameters related to wind environment assessment. Further, wind climate analysis using wind data obtained by Seoul meteorological station was performed to examine the possibility of applicability of the wind environment assessment on the city ecological parks.

Key words : Ecological park, wind effect, wind environment, building wind, wind climate analysis

[†] To whom correspondence should be addressed.

Research Institute for Infrastructure Performance, Korea Infrastructure Safety Corporation, Korea
E-mail: wskim@kistec.or.kr

• **Kim, Wonsul** Research Institute for Infrastructure Performance, Korea Infrastructure Safety Corporation / Senior Researcher (wskim@kistec.or.kr)
• **Jung, Il Won** Research Institute for Infrastructure Performance, Korea Infrastructure Safety Corporation / Principal Researcher (bobilwon@kistec.or.kr)
• **Kwon, Ji Hye** National Facility Control Division, Korea Infrastructure Safety Corporation / Chief Researcher (wisdom@kistec.or.kr)

1. 서 론

지난 2000년 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 따라 20년이 넘도록 공원 조성을 하지 않았을 경우 도시공원에서 해제하는 규정이 제정되었다. 이 규정을 도시공원 일몰제라고 하며, 도시공원 일몰제는 내년(2020년) 7월 1일이 되면 공공 부분으로 매입되지 않은 채 묶여 있던 도시공원이 일제히 공원에서 해제될 예정이다. 만약 본 제도가 시행이 되면, 무분별한 난개발이 발생할 수 있으며, 서울의 경우, 서울시 면적의 절반이 넘는 면적을 공원으로 이용할 수 없게 된다. 도시공원은 지구온난화와 대기오염을 줄여주고 열섬현상을 완화시켜주는 중요한 역할을 할뿐만 아니라, 시민들의 여가와 휴식의 공간으로 이용될 수 있고, 정서적 안정에도 도움을 줄 수 있다. 더욱이 도시공원 중 생태공원은 자연 자원의 지속 가능한 이용을 활성화하고 환경 교육을 위한 장소로서 활용될 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 정부와 지자체는 도시공원 일몰제의 시행에 앞서 공원 부지 확보를 위한 다각도의 노력을 기울이고 있다. 도시공원 및 생태공원의 확보도 중요하지만, 시민들의 쾌적한 이용을 위한 도시공원 및 생태공원의 활성화도 매우 중요하다. 실제 도시공원 주변에 건설되고 있는 고층건축물에 의해 발생하는 빌딩풍은 주변 공원을 산책하는 시민이나 보행자에게 불쾌감을 유발할 수 있다. 이러한 영향을 보행자 풍환경(이하, 풍환경)이라 한다. 특히 부산 해운대에서 고층건축물에 의한 빌딩풍의 영향으로 보행자 불쾌감뿐만 아니라 주변건축물의 피해가 빈번히 발생하고 있으며, 이와 관련된 연구가 진행되고 있다(http://imnews.imbc.com/replay/2019/nwdesk/article/5591734_24634.html). 빌딩풍은 보행자의 풍환경 뿐만 아니라, 고층건축물이 많이 있는 도심 주변 생태공원의 생태계에도 영향을 미칠 수 있다. 우리나라의 풍환경 평가에 대한 기준은 현재까지는 명확하게 제안된 바가 없으며, 주로 미국 또는 일본의 연구결과를 토대로 제안된 풍환경 평가 기준을 준용하여 사용되고 있는 실정이다.

풍환경 평가 방법에는 제안자가 거주하는 국가의 경제성, 사회성, 기후특성 및 신체구조의 차이에 따른 풍속에 대한 느낌의 정도, 풍속에 대한 발생빈도, 풍속의 평가시간 등 다양한 변수를 포함하고 있기 때문에 유사한 풍속을 대상으로 할지라도 풍환경의 허용 척도는 조금씩 다르게 나타날 수 있다.

본 연구의 목적은 도심지에 있는 생태공원의 보호 및 보행자의 쾌적한 생태공원의 이용을 위하여 풍환경 평가 기준을 제시하는데 있다. 따라서 본 논문에서는 국외 풍환경 평가기준 및 관련 연구를 검토하여, 풍환경 평가 기준의 중요 인자를 도출하고, 국내 기상관측자료를 이용한 풍환경 평가에 적용 가능성을 검토하고자 한다.

2. 풍환경의 평가 방법

사람에게 영향을 미치는 바람은 쾌적함과 불쾌감을 동시에 내포하고 있다. Bottema(2000)는 바람의 영향에 의한 불쾌감을 다음과 같이 정의하였다.

“보행자 불쾌감은 바람의 영향이 강하고, 너무 자주 발생(예를 들어 시간이 최대 1 시간까지) 할 때, 이러한 바람의 영향을 경험하는 사람들은 불쾌감을 느끼기 시작하고, 결국 이러한 영향을 피하기 위해 행동한다.”

풍환경 평가 기준은 위에서 정의된 보행자의 불쾌감, 즉 불편함을 느끼는 시점에 대한 풍속의 초과확률로 표현하고, 풍속의 크기에 따른 초과확률을 평가 기준으로 제시하고 있다. 즉, 불쾌감을 느끼는 시점을 Eq. (1)과 같이 평균풍속과 변동풍속으로 구분하여 나타낼 수 있다. 이때의 임계풍속(U_{THR})에 대한 초과확률을 구하고, 이 초과확률을 토대로 몇 단계로 구분하여 풍환경의 평가기준으로 제시할 수 있다.

$$U_c = \bar{U} + k\sigma_u > U_{THR} \quad (1)$$

여기서, U_c 는 등가풍속, \bar{U} 는 평균풍속, k 는 피크팩터(peak factor), σ_u 는 변동성분의 표준편차, 그리고 U_{THR} 은 임계풍속(threshold value)이다.

한편, 풍환경 평가는 여러 연구자(Hunt et al. 1976; Jackson 1978; Isyumov and Davenport 1975; Lawson and Penwarden 1975; Murakami et al. 1980; Melbourne 1978; Penwarden 1973; Penwarden et al. 1978, Penwarden and Wise 1975; Wise 1970)에 의해 제안된 바 있다. 최근 풍환경 평가 방법과 관련된 연구논문(Blocken et al., 2016)은 1970년~1980년에 보고된 관련 기준의 개선보다는 건축물의 형상 및 배치에 따른 풍속의 변화 또는 관련 매카니즘 분석을 위해 풍동실험과 전산유체해석 방법에 관한 연구가 주로 수행되고 있다. 본 논문에서는 국외 풍환경 평가 기준 정립의 토대가 되었던 연구문헌을 고찰하여, 풍환경 평가와 관련된 중요한 변수가 무엇인지 분석하였다.

2.1 풍환경 평가관련 연구문헌 고찰

2.1.1 Wise(1970), Penwarden(1973)

Wise(1970)와 Penwarden(1973)는 Table 1과 같이 평균풍속과 허용범위의 관계로 풍환경 평가 기준을 제안하였다. 즉, 불쾌감을 느끼는 시점을 기준으로 평균풍속을 불쾌감의 시작, 명확히 불쾌 및 위험의 범위로 나누어 풍속의 크기로 제안하였다. 그러나 그들의 연구에는 풍속의 발생빈도에 대해서는 고려하지 않았다.

Table 1. Criterion of Wind environment (Penwarden 1973)

평균풍속(m/s)	허용
5	불쾌감의 시작
10	명확히 불쾌
20	위험

2.1.2 Isyumov and Davenport(1975)

Isyumov and Davenport(1975)는 풍속을 뷰포트(beaufort)의 풍력계수로 정의하고, 그 쾌적성의 기준을 각각의 장소에서의

Table 2. Beaufort scale with types of activities(Isyumov and Davenport(1975))

활동	장소	쾌적의 정도			
		감지	허용	불쾌	위험
빠른 걸음	인도	5	6	7	8
산책	공원, 출입구 등	4	5	6	8
짧은 시간 동안 서 있거나, 앉아 있는 경우	공원, 광장	3	4	5	8
장시간 서 있거나, 앉아 있는 경우	실외 레스토랑, 야외 스테이지 등	2	3	4	8
대표적인 활동의 척도			< 1/주	< 1/월	< 1/년

Table 3. Relationship of beaufort scale and mean wind speed (Isyumov and Davenport(1975))

뷰포트 수	0	1	2	3	4	5	6	7	8
평균풍속(m/s)	0	0.9	2.4	4.4	6.7	9.3	12.4	15.5	18.9

Table 4. Extended land beaufort scale with showing wind effects on pedestrian (Lawson and Penwarden(1975))

뷰포트 수	구분	풍속@1.7m높이 (m/s)	영향
0	Calm	0.0~0.1	-
1	Light air	0.2~1.0	No noticeable wind
2	Light breeze	1.1~2.3	Wind felt on face
3	Gentle breeze	2.4~3.8	Hair disturbed, clothing flaps, newspaper difficult to read
4	Moderate breeze	3.9~5.5	Raises dust and loose paper, hair disarranged
5	Fresh breeze	5.6~7.5	Force of wind felt on body, danger of stumbling when entering a windy zone,
6	Strong breeze	7.6~9.7	Umbrellas used with difficulty, hair blown straight, difficult to walk steadily, sideways wind force about equal to forwards waking force, wind noise on ears unpleasant
7	Near gale	9.8~12.0	Inconvenience felt when walking
8	Gale	12.1~14.5	Generally impedes progress great difficulty with balance in gusts
9	Strong gale	14.6~17.1	People blown over

활동의 종류(휴식, 걷기, 산책 등)로 구분하여, 풍속의 발생빈도를 평가척도로 제안하였다. Table 2는 풍환경의 평가척도를 나타낸 것이다. Table 2의 뷰포트 스케일(beaufort scale)은 기온 10°C 이상에서 20°C 범위 내에서 그 계급을 한단계씩 내려가는 방식으로 표현한 것이며, 주 1회, 월 1회, 년 1회의 빈도는 약 1.5%, 0.3%, 0.02%의 확률에 해당된다. 뷰포트의 계급은 Table 3과 같이 평균풍속으로 표현할 수 있으며, 이 뷰포트 스케일은 개활지(open terrain)의 10m 높이에서의 평균풍속을 의미하기 때문에, 지표면조도(terrain roughness)가 다른 경우에는 지표면의 상태에 따른 풍속의 연직분포 등을 적절히 보정해야 한다.

2.1.3 Lawson and Penwarden (1975), Penwarden and Wise (1975)

Lawson and Penwarden(1975)이 제안한 풍환경 평가 척도는 Table 4와 같다. Table 4는 보행자의 높이(1.75m)에서 뷰포트 스케일과 풍속의 관계를 나타낸 것이다. 여기서 계측 풍속은 개활지(z0=0.03m)의 1.75m 높이에서의 10분 또는 1시간 평균풍속을 의미한다. 한편, Penwarden and Wise(1975)의 연구결과, 평균풍속 5m/s를 초과하는 바람이 20%의 확률을 초과하는 경우에는 풍속을 저감시킬 수 있는 방풍대책이 필요하다고 보고하였다. 더욱이 Lawson and Penwarden(1975)의

연구 결과를 개선하여 미국 ASCE(2003) 풍환경 평가 기준으로 사용되고 있다.

2.2.4 Melbourne (1978)

Melbourne(1978)은 Table 5와 같이 최대풍속이 년 1회 이상 초과하지 않는다는 가정으로 풍환경 평가 척도를 제안하였다. Table 5의 최대풍속(\hat{U})은 “평균풍속+변동풍속의 표준편차×3.5”로 산출하였으며, 여기서 3.5는 피크팩터를 의미한다.

Table 5. Criterion of Wind environment (Melbourne(1978))

활동	\bar{U} (m/s)	\hat{U} (m/s)	확률(>U)
장시간 머무름	5	10	1회 / 년
단시간 머무름	6.5	13	1회 / 년
보행	8	16	1회 / 년
허용할 수 없는 범위	11.5	23	1회 / 년

- 1) 일최대순간풍속 : 평가시간 2~3초의 풍속
 - 밀집한 시가지(변동성분은 강하지만 평균풍속이 높지 않은 지역)의 거스트 팩터(gust factor) : 2.5 ~ 3.0
 - 보통 시가지의 거스트 팩터 : 2.0 ~ 2.5
 - 특히 풍속이 큰 장소 (고층빌딩 부근의 속도증가지역 등) 거스트 팩터 : 1.5 ~ 2.0

2) 일최대평균풍속 : 10분간 평균풍속

Melbourne(1978)은 풍속의 발생빈도분포를 와이불 분포(weibull distribution)라고 가정하고, 1년에 한번 발생하는 확률을 상시(전일)와 주간(낮)으로 구분하여 Table 6과 같이 제안하였다.

Table 6. Exceedance probability (Melbourne(1978))

1년 중 평균풍속이 초과할 강풍의 수	1년 중 평균풍속의 초과확률	
	전시간	주간
1, 평균적으로 년에 한번	0.02%~0.05%	0.05%~0.1%
12, 평균적으로 월에 한번	0.3%~0.6%	0.6%~1.2%
52, 평균적으로 주에 한번	1.5%~3.0%	3.0%~6.0%

2.1.5 Wind Engineering Institute, 1989

일본의 풍공학연구소(Wind Engineering Institute)에서 제안한 평가척도는 누적빈도와 평균풍속의 관계로 표현하였다. 그리고 실제 도쿄 내의 4개의 영역에 해당하는 장소(저층건축물이 밀집한 장소부터 고층건축물이 밀집한 장소까지)에서 풍속을 관측하였고, 풍동실험의 예측결과와 관측결과를 비교·분석하여 4개의 영역에 대해 누적빈도와 평균풍속의 관계 그래프를 제안하였다.

2.1.6 Murakami et al., 1979

Murakami(1979)는 일최대순간풍속을 토대로 풍환경 평가 척도를 제안하였다. 그들의 연구에서는 2000명의 설문조사를 통해 불쾌감을 느끼는 풍속을 정량화하였고, 순간풍속의 빈도

를 토대로 Table 7과 같이 제안하였다. 순간풍속을 토대로 평가하는 방법은 일최대순간풍속을 지표로 이용하기 때문에 일최대풍속의 관측데이터가 필요하다. 그러나 지역에 따라서 관측데이터 수집이 어려운 경우, 위의 평가 척도를 적용하기 어렵다. 또한 평가 척도(3가지)에 따라 거스트 팩터를 적용해야 하지만, 평가 범위가 넓어, 어떤 값을 적용하느냐에 따라 결과가 큰 차이를 보일 수 있다.

3. 풍기후 해석

앞서, 언급한 것과 같이 풍환경 평가를 위해서는 풍속과 발생빈도가 중요한 파라미터이며, 풍속의 발생빈도를 구하기 위해서는 풍기후 해석이 필요하다. 도심지 생태공원의 위치에서의 풍환경 평가는 (1) 기상관측데이터, (2) 공기역학적 정보(풍속 및 지표면조도) 및 (3) 풍환경 평가 기준 등이 요구된다.

3.1 기상관측 데이터의 분석

기상관측 정보는 대상 지점에서 어느 정도의 비율로 바람이 불고 있는지가 평가의 판단 기준이기 때문에 통계 처리된 풍속의 데이터를 이용하여 각 측정점에서 풍속의 초과확률(발생빈도), 누적빈도(비초과확률, 누적확률)의 정보가 필요하다. 일반적으로 풍환경 평가를 위한 풍속의 발생빈도는 Eq. (2)와 같이 와이불 분포(weibull distribution)에 근사하기 때문에, 대상 지역의 바람의 상태를 기상데이터 또는 실측데이터에 의해 파악하고, 그 데이터를 토대로 풍향별 평균풍속의 와이불계수(weibull coefficient) 및 발생빈도를 구한다(Blocken and

Table 7. Criterion of Wind environment (Murakami, 1979)

척도	강풍에 의한 영향의 정도	대상으로 하는 공간용도의 예	평가하는 강풍의 레벨과 허용되는 초과빈도		
			일최대순간풍속1)(m/s)		
			10	15	20
			일최대평균풍속2)(m/s)		
			10/G.F.	15/G.F.	20/G.F.
1	가장 영향을 받기 쉬운 장소	주택지의 상점가 야외 레스토랑	10% (37일)	0.9% (3일)	0.08% (0.3일)
2	영향을 받기 쉬운 장소	주택가 공원	22% (80)	3.6% (13)	0.6% (2)
3	비교적 영향을 받지 않는 장소	사무소 거리	35% (128)	7% (26)	1.5% (5)

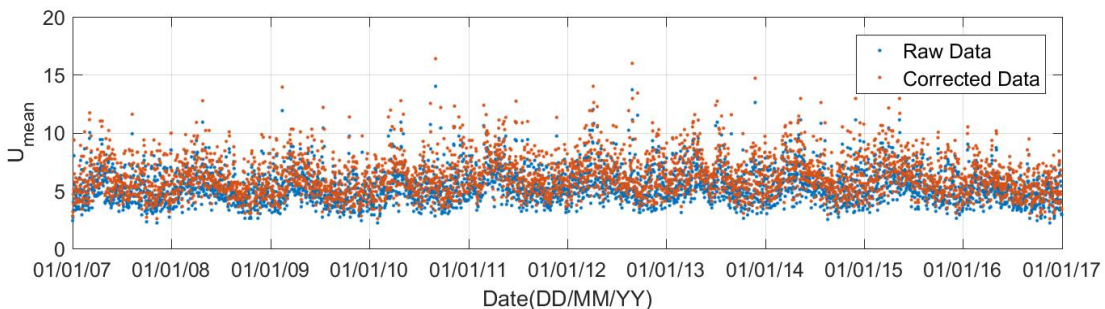


Fig. 1. Mean wind speeds obtained from Seoul Meteorological Agency (2007~2017)

Table 8. Occurrence frequency and Weibull coefficient obtained for Seoul meteorological data

풍향	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
$A(\theta)$	0.36	0.37	5.56	11.06	1.26	0.37	0.45	0.60
$C(\theta)$	6.60	6.09	5.67	6.06	5.75	5.40	5.46	5.36
$K(\theta)$	3.76	2.70	2.88	3.12	3.33	3.02	3.17	3.28
풍향	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
$A(\theta)$	0.52	3.23	12.02	11.75	25.70	19.82	5.41	1.53
$C(\theta)$	7.41	8.56	8.43	7.97	7.67	7.65	7.34	6.55
$K(\theta)$	2.12	2.84	3.33	3.37	3.37	3.29	3.43	3.23

Note: unit of $A(\theta)$ is percentage.

Carmeliet 2004).

$$P_{\theta}(U_{pot} > U_{THR,pot}) = A(\theta)e^{-\left\{\frac{U_{THR,pot}}{C(\theta)}\right\}^{K(\theta)}} \quad (2)$$

여기서, $U_{THR,pot}$ 는 포텐셜 풍속에 대한 임계풍속, $P_{\theta}(U_{pot} > U_{THR,pot})$ 는 풍향 θ 에서 풍속 $U_{THR,pot}$ 의 초과확률(발생빈도), $A(\theta)$, $C(\theta)$, $K(\theta)$ 는 와이블 파라미터이며, 이 파라미터는 기상관측데이터를 이용하여 구할 수 있다.

Fig. 1은 서울 기상관측소에서 최근 10년간의 관측 데이터의 보정 전(raw data)과 보정 후(corrected data) 풍속을 나타낸 것이다. 관측 데이터의 보정은 기상관측높이, 해발고도 및 지형특성 등을 고려하여 산정하였다(Ha, 2018). 서울 기상관측소 주변은 고층건축물이 밀집한 곳으로, 풍속의 보정은 개활지($z_0=0.03m$)의 높이 10m로 보정하였다(Blocken and Carmeliet 2004). Table 8은 보정된 풍속에 Eq. (2)를 이용하여 구한 풍향별 와이블 계수를 나타낸 것이다.

3.2 공기역학적 정보

풍기후 해석을 통한 기상관측 지점에서의 풍향별 풍속은 대상 지점에서의 풍향별 풍속으로 변환하여야 하며, Eq. (3)과 같이 풍속비로 표현할 수 있다. 또한 풍속비는 설계풍속(U/U_0)과 지형에 따른 풍속(U_0/U_{pot})으로 나눌 수 있다.

$$\gamma(\theta) = \frac{U}{U_{pot}} = \frac{U}{U_0} \frac{U_0}{U_{pot}} = \frac{U}{U_0} \left(\frac{Z}{Z_0}\right)^m \quad (3)$$

여기서, U_0 는 접근류의 기준풍속이다. 설계풍속은 대상 지점에서의 풍속이며, 이 풍속은 풍동실험(wind tunnel test) 또는 CFD해석(computational fluid dynamic analysis)을 통해 얻을 수 있다.

또한 지형에 따른 풍속의 연직분포의 보정계수이며, 우리나라의 건축구조기준 및 해설(KBC 2016)에서는 4가지의 고도 분포지수(0.33, 0.22, 0.15, 0.1)로 제시하고 있다.

결론적으로 기상관측자료를 이용하여 대상지역의 기준풍속을 산정하고, 풍동실험 또는 전산유체해석 등을 이용하여 대상 지역의 풍속을 산정하여 풍속의 비를 산정하면, 풍환경 평가를 위한 초과확률 평가도 가능하다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 국외의 풍환경 평가 기준을 검토하고, 도시공원 및 생태공원 활성화를 위한 풍환경 평가의 적용 가능성을 검토하였다. 국외 풍환경 평가 방법을 검토한 결과, 사람의 활동과 대상 장소에 따라 풍속의 강도(평균풍속 또는 최대풍속)와 발생빈도의 허용치로써 풍환경 평가 방법을 제안되는 것으로 나타났다. 먼저, 풍속의 적용은 평가 제안자에 따라 평균풍속 또는 최대풍속을 이용하는 것으로 나타났다. 그러나 평균풍속을 이용하는 경우, 난류의 영향을 고려하지 못하는 문제가 있을 뿐만 아니라, 사람이 평균풍속에는 쉽게 적응하기 때문에 평균풍속만으로 풍환경 평가 척도로 제안하기에는 다소 어려울 것으로 판단된다. 반면, 최대풍속을 이용하는 경우, 기상관측데이터 확보 등의 문제로 거스트 팩터의 산정의 어려움이 있을 수 있지만, 주변 기상관측 자료의 합성 등을 통해 합리적인 거스트 팩터 산정이 가능할 것으로 판단된다. 그리고 평균풍속과 변동풍속의 결합을 통한 등가정적 풍속을 이용하여 풍환경 평가를 하는 것이 공학적으로도 합리적이라고 판단된다. 또한 풍기후 해석 결과에 언급한 바와 같이 대상지역의 풍환경 평가는 풍관측자료를 이용한 기준풍속, 발생빈도 및 관련 파라미터 등을 산정하고, 대상 지역의 풍속은 풍동실험 또는 전산유체해석 등을 이용하여 산정한다면, 풍환경 평가를 위한 초과확률 평가 또한 가능할 것으로 판단된다. 다만, 초과확률의 허용치는 국가의 경제성, 사회성, 기후특성 및 신체구조의 차이 및 풍속에 대한 허용 범위 등에 따라 평가 척도는 매우 다양하게 나타날 수 있다. 따라서 관련실험 및 설문조사 등 많은 연구를 통해 우리나라 실정에 맞는 풍환경 평가 척도를 마련하고, 도시공원 활성화 및 생태공원의 보존 등을 위한 다각적인 노력이 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 환경부/한국환경산업기술원의 지원으로 수행되었음(과제번호 83067).

References

American Society of Civil Engineers (2003). *Outdoor Human*

- Comfort and its Assessment(ASCE 2003)*
- Architectural Institute of Korea (2016). *Korean Building Code and Commentary(KBC 2016)*. [Korean Literature]
- Blocken, B and Carmeliet, J (2004). Pedestrian wind Environment around buildings: Literature review and practical examples, *J. of Thermal Env. & Bldg. Sci.*, 28(2), pp. 107–159. [DOI <https://doi.org/10.1177/1097196304044396>]
- Blocken, B, Stathopoulos, T and van Beek, JPAJ (2016). Pedestrian-level wind conditions around buildings: Review of wind-tunnel and CFD techniques and their accuracy for wind comfort assessment, *Building and Environment* 100(1), pp. 50–81. [DOI <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.02.004>]
- Bottema, M (1993). *Wind climate and urban geometry*, Ph.D. Dissertation, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, North Brabant, Netherlands.
- Ha, Y.C. (2018). Proposal of Return Period and Basic Wind Speed Map to Estimate Wind Loads for Strength Design in Korea, *J. of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction* 34(2), pp. 29–40. [DOI <https://doi.org/10.5659/JAIK.SC.2018.34.2.29>]
- Hunt, JCR, Poulton, EC and Mumford, JC (1976). The effects of wind on people: New criteria based upon wind tunnel experiments, *Building and Environment*, 11, pp. 15–28. [DOI [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(76\)90015-9](https://doi.org/10.1016/0360-1323(76)90015-9)]
- Isyumov, N and Davenport, AG (1975). The ground level wind environment in built-up areas, *Proceedings of the 4th International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures*, Cambridge University Press, Heathrow, pp. 403–422.
- Jackson, PS (1978). The evaluation of windy environments, *Building and Environment*, 13, pp. 251–260. [DOI [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(78\)90016-1](https://doi.org/10.1016/0360-1323(78)90016-1)]
- Lawson, TV and Penwarden, AD (1975). The effects of wind on people in the vicinity of building, *Proceedings of 4th International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures*, Cambridge University Press, Heathrow, pp. 605–622.
- Melbourne, WH (1978). Criteria for environmental wind condition, *J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics*, 3(2–3), pp 241–249. [DOI [https://doi.org/10.1016/0167-6105\(78\)90013-2](https://doi.org/10.1016/0167-6105(78)90013-2)]
- Murakami, S, Uehara, K and Deguchi, K (1979). Wind effects on pedestrians: New criteria based on outdoor observation of over 2000 persons, *Proceedings of the 5th International Conference on Wind Engineering*, Fort Collins, Colorado, pp. 277–288.
- Penwarden, AD (1973). Acceptable wind speeds in towns, *Building Science*, 8(3), pp. 259–267. [DOI [https://doi.org/10.1016/0007-3628\(73\)90008-X](https://doi.org/10.1016/0007-3628(73)90008-X)]
- Penwarden, AD, Grigg, PF and Rayment, R (1978). Measurements of wind drag on people standing in a wind tunnel, *Building and Environment*, 13(2), pp. 75–84. [DOI [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(78\)90026-4](https://doi.org/10.1016/0360-1323(78)90026-4)]
- Penwarden, AD and Wise, AFE (1975). *Wind environment around buildings*, Building Research Establishment Report, Department of Environment, BRE, HMSO, London, UK.
- Wind Engineering Institute (1989). *Knowledge of New-Building Wind*, Kajima Institute Publishing Co. Ltd., Chuo City, Tokyo [Japanese Literature]
- Wise, AFE (1970). Wind effects due to groups of buildings, *Proceedings of the Royal Society Symposium Architectural Aerodynamics*, London, 26–27 February.