

해안지역 교량 설계풍속 산정 가이드라인

이 승 수¹ · 김 준 영^{2*} · 김 영 민³

¹충북대학교 토목공학부, ²충북대학교 토목시스템공학과, ³대우건설 기술연구원

Guideline for Bridge Design Wind Speed in Coastal Region

Sungsu Lee¹, Junyeong Kim^{2*} and Young-Min Kim¹

¹School of Civil Eng., Chungbuk National Univ., Cheongju, 28644, Korea

²Department of Civil System Eng., Chungbuk National Univ., Cheongju, 28644, Korea

³DAEWOO Institute of Construction Technology, Suwon, 16297, Korea

Abstract

Estimation of wind load on bridges is one of the most important aspects in designing bridges in coastal region. Various design codes and researches have suggested the procedure to estimate design wind speed; however, they do not match one another due to many reasons such as incomplete data set, ignorance of wind environment and so on. For this reason, the necessity of guideline for estimation procedure of basic wind speed which reflect the roughness of surface and the topographical effect have been increasing. In this study, we have analysed limitations of the basic wind speed of nationwide suggested by Korea Building code(AIK, 2009) and Highway bridge design code(MOLTMA, 2010). In additional, we set forth guidelines considering the roughness of land surface and the topographical effect. Using the procedure, the basic wind speed were estimated for 15 coastal regions in Korea and compared with those listed in the existing codes.

Keywords : design wind speed, speed correction, wind-resistant design guideline, topographical factor

1. 서 론

최근 교량의 장대화됨에 따라 교량 설계 시 풍하중의 영향의 중요도가 증가하고 있다. 이에 따라 풍하중에 지배적인 영향을 끼치는 풍속에 대한 관심도 함께 증가하고 있다. 바람은 지표면의 거칠기(이하 지표조도)에 따라 고도별 풍속의 분포가 상이하며, 경사지나 언덕을 지날 경우 풍속이 증가한다(Simiu and Scanlan, 1996). 이러한 이유로 도로교 설계기준(MOLTMA, 2010)에서는 풍하중 산정 시 설계풍속을 사용하며, 설계풍속은 기본풍속, 지표조도의 영향을 고려하고 있다. 또한 건축구조기준(AIK, 2009)에서는 기본풍속과 지표조도와 더불어 지형에 의한 영향(지형계수, K_{zt})을 반영하여 설계풍속을 산정한다. 기본풍속이란 재현기간 100년에 해당하는 평지, 개활지에서의 지상 10m의 10분 평균 풍속을 의미하며, 대상지역의 최근인 기상관측소로부터 장기

풍속기록과 지역적 지표조도 및 지형에 의한 풍속 할증을 동시에 고려하여 극치분포로부터 추정하거나 태풍자료의 시뮬레이션 등의 합리적인 방법으로 추정한다. 만약 데이터가 가용치 못할 경우 도로교설계기준에서 제공하고 있는 기본 풍속을 이용하도록 하고 있다. 하지만 현재 국내 기준에서 제시하는 기본풍속은 앞서 언급한 풍속의 영향을 미치는 인자나 고려해야 하는 사항이 합리적으로 반영되지 않았으며, 이로 인해 보완해야 할 사항이 존재한다. 관측풍속을 활용하는 경우 설계 풍속 산정을 위해 고려되어야 하는 사항은 첫째로 사용 풍속계높이의 변경이력과 기상대의 위치 변경 이력을 포함한다. 둘째로는 풍속에 영향을 미치는 주요 인자인 지표면조도와 지형의 할증영향의 반영이다.

Simiu와 Scanlan(1996)은 관측풍속을 이용한 극치분석 시 20개 이상의 표본일 경우 유효한 것으로 제시하고 있으며, 현 건축구조기준(2009)에서 제시하고 있는 기본풍속의 경우

* Corresponding author:

Tel: +82-10-2949-0082; E-mail: wind.jykim@gmail.com

Received October 12 2015; Revised October 25 2015;

Accepted October 26 2015

©2015 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

20년 치 이상의 데이터가 존재하는 지역에 대해서 분석한 결과이다. 하지만 과거 1951~1995 기간의 연최대풍속을 사용하였으며, 이후 일부 지역에 대해서만 2002년까지의 데이터를 사용하여 최신 데이터가 반영되지 않았다. 또한 도로교설계기준(2010) 경우 사용한 데이터의 기간이나 범위가 불명확한 실정이다(Lee *et al.*, 2014).

Park 등(2013)은 과거 데이터를 활용한 건축구조기준의 풍속에 대해 최신 데이터를 활용한 기본풍속과의 비교를 통해 일부지역의 경우 건축구조기준의 풍속과 다소 차이가 있음을 들어 보완의 필요성을 제시하였으며, Jeong 등(2014)은 1973~2012기간의 연최대 10분 평균 풍속데이터를 활용하여 건축구조기준의 기본풍속과 비교하고, 두 기본풍속 간 차이가 나타남을 통해 최신풍속 데이터를 반영한 기본풍속 보완의 필요성을 제시한바 있다. 도로교설계기준의 경우 제시하고 있는 지역별 기본풍속의 산정에 사용된 데이터의 기간과 범위가 명확하지 않음에 따라 건축구조기준의 기본풍속과 더불어 보완되어야 한다.

현 국내기준에서 제시하고 있는 기본풍속은 앞서 언급한 사용 데이터뿐만 아니라 풍속보정에 대해서도 개선이 필요하다. 기본풍속을 산정하기 위해서는 지표면조도에 의한 풍속의 고도분포와 지형에 의한 할증효과를 고려하여야 한다. 하지만 도로교설계기준의 경우 활용된 데이터와 마찬가지로 사용한 보정방법이 불명확한 실정이며, 건축구조기준은 지표면 조도구분의 평가 시 풍향과 무관하게 적용하였으며, 지형에 의한 영향을 보정하지 않았다(Ha *et al.*, 1998).

Lee 등(2009)은 해상구조물의 내풍 설계 기준 풍속을 분석하기 위해 1971~2007년간의 풍속 데이터를 이용하여 고도보정을 수행하고 빈도분석과 태풍시물레이션의 결과를 비

교하여 기본풍속을 추정하였다. 또한 내륙과 해안의 풍속 비를 통해 설계풍속을 산정하였다. 하지만 앞서 언급한 바와 같이 관측풍속에 대한 지형보정은 반영하지 않았다.

이처럼 현 기준에서 제시하는 기본풍속은 보완되어야 할 필요가 있으며, 본 연구에서는 최신의 풍속 데이터를 활용하고, 합리적인 기본풍속 절차를 통해 기본풍속을 산정하여, 도로교설계기준에서 제시하는 기본풍속과 비교하고, 기본풍속의 산정 절차에 대한 가이드라인을 제시한다.

2. 국내 설계기준의 기본풍속 비교

앞서 언급한바와 같이 도로교설계기준에서 제공하고 있는

Table 1 Basic wind speeds of 14 regions suggested in various guidelines

Station	KBC 2009 (m/s)	Highway bridge design code 2010 (m/s)	DCRC-A WDP 2010 (m/s)	NEMA 2008 (m/s)
Sokcho	40	45	38	30
Chuncheon	25	30	24	25
Gangneung	40	45	32	30
Incheon	30	35	30	25
Ulleungdo	40	50	50	35
Seosan	35	35	28	25
Pohang	40	40	32	25
Gunsan	40	40	34	30
Ulsan	35	40	34	25
Busan	40	40	34	25
Mokpo	35	45	34	30
Yeosu	35	40	36	30
Jeju	40	45	42	35
Seogwipo	40	45	42	30

Table 2 Comparison of data and methods for estimation of basic wind speed in various guidelines

	Method	Data
Highway bridge design code 2010	<ul style="list-style-type: none"> • Unclearness 	<ul style="list-style-type: none"> • Unclearness
KBC 2009	<ul style="list-style-type: none"> • Extreme value analysis using the annual maximum wind speed of each weather station • Calibration using the effective height • (Not related to the wind direction) Calibration of effect of roughness 	<ul style="list-style-type: none"> • 1951~1995 (Except for some areas), 1996~2002(18 region)
DCRC-AWDP 2010	<ul style="list-style-type: none"> • Monte carlo simulation(MCS) using the Statistical distribution if daily maximum wind speed of each weather station • Extreme value analysis using the time series of annual maximum wind speed generated by the MCS • Calibration of effect of roughness of each wind direction and period 	<ul style="list-style-type: none"> • 1976~2005 over 30 years (56 Regions) • under 30 years (4 Regions)
NEMA 2008	<ul style="list-style-type: none"> • Extreme value analysis using the annual maximum wind speed of each weather station • Calibration of effect of topography and roughness of each wind direction and period • Extreme value analysis using annual maximum wind speed generated by the MCS of typhoon 	<ul style="list-style-type: none"> • 1971~2008(38 Years)

지역별 기본풍속은 산정절차와 사용된 데이터가 명확치 않다. 이러한 지역별 기본풍속은 도로교설계기준뿐만 아니라 국내의 건축구조기준, 이상기후사업단(DCRC-AWDP, 2010), 소방방재청(NEMA, 2008)에서도 제공하고 있으며, 소방방재청의 결과가 가장 낮은 풍속을 제시하고 있다(Table 1).

Table 2는 각 기준별 사용된 데이터와 산정과정을 나타내며 제시된 기본풍속의 차이는 표에서 알 수 있듯이 사용된 데이터의 산정과정의 차이가 가장 클 것으로 판단되며, 최종 산정된 기본풍속을 표출하는 방법에도 차이를 나타낸다. 활용 데이터의 경우 도로교설계기준의 경우 활용된 데이터가 불분명하며, 소방방재청의 기본풍속이 가장 최근까지의 기상자료를 활용한 것으로 파악된다. 산정과정의 경우에서도 도로교설계 기준에서는 불분명하며, 건축구조기준의 경우 연최대풍속을 이용한 극치분석을 이용하여 기본풍속을 산정하였다. 이때 지표조도의 영향을 풍향과 무관하게 반영하였으며, 지형에 의한 영향은 포함되지 않았다. 이상기후사업단의 결과는 일 최대풍속을 확률분포로 표현하고, 이를 이용한 MCS (Monte Carlo Simulation)을 이용하여 연최대풍속을 생성하는 방법을 이용하였는데, 풍향별 조도변화를 고려하였으나 건축구조기준과 마찬가지로 지형의 영향은 고려되지 않았다. 마지막으로 소방방재청의 경우 연최대풍속을 이용한 극치분석과 MCS를 이용한 극치분석의 결과를 이용하였으며, 지형 및 조도의 영향을 풍향과 시기별 변화까지 고려하였다. 국내의 기본풍속의 비교를 통해 본 연구에서는 연 최대풍속(10분 평균풍속)의 시계열을 이용한 극치분석을 수행하고 이를 이용하여 기본풍속을 산정하는 방법을 제시하고자 한다. 이때 관측풍속의 보정은 도로교설계기준을 따라 수행하였으며, 지형할증 영향의 보정은 건축구조기준에서 제시한 지형계수를 적용하였다.

3. 기본풍속 추정방법

3.1 기상자료

본 연구에서 사용한 풍속자료는 기상청에서 제공하고 있는 1971-2013기간의 연최대풍속을 사용하였다. 대상 지역으로 는 도로교설계기준 2010에서 국내 해안지역으로 제시하고 있는 속초, 강릉, 인천, 서산, 포항, 군산, 울산, 부산, 통영, 목포, 여수, 제주, 서귀포지역과 해안가 인근에 위치한 기상 관측점인 부안과 완도를 추가적으로 포함하여 15개 지점에 대해 수행하였다(Fig. 1).

Table 3은 예시로서 속초에 대한 풍속계 높이정보를 나타내며, 기상청에서 발행하고 있는 기상 연보에 제시되어 있는 풍속계 높이를 사용하였다. 또한 속초지역의 관측풍속 시계열

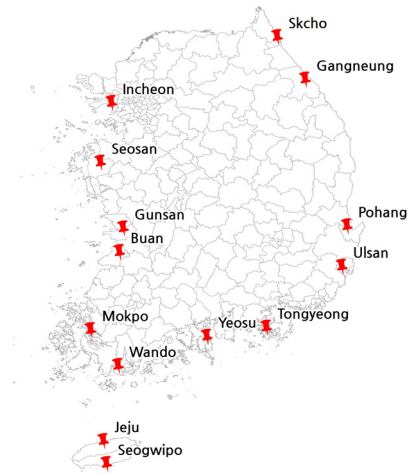


Fig. 1 Analysis target region of the study

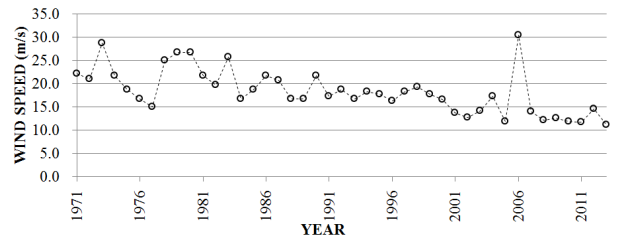


Fig. 2 Time series of observed wind speed of Sokcho during 1971~2013

Table 3 History of anemometer height in Sokcho weather station

Station	Period	Observation height from ground (m)
Sokcho	1971~1984	14.4
	1985~1988	8.9
	1989~	10

은 Fig. 2와 같다. Table 4는 속초에 대한 1971-2013기간의 연 최대풍속, 풍향을 나타내는데 이 관측 기록에는 Table 3에 나타난 관측점의 변화와 Table 4에 나타난 풍향변화에 따른 지형 및 지표조도의 변화가 포함되어 있어, 그대로 기본풍속이나 설계풍속의 산정에 활용하는 것은 타당하지 않다.

3.2 지표조도에 따른 고도보정

통계적인 분석을 함에 있어서 가장 기본적인 전제 조건은 동일한 조건에서의 자료를 사용하는 것이다. 즉, 풍속의 경우 동일한 조건에서 관측된 데이터를 사용하여야 한다. 이러한 조건을 충족시키기 위한 첫 번째는 풍속의 영향을 주는 지표조도를 동일한 조도조건으로 보정해야 한다. 도로교설계기준에서는 지표조도에 대해 Table 5와 같이 4단계로 구분하고 있으며(이하 지표조도구분) 지표조도구분은 관측지점 기준

Table 4 Observed wind speed and direction of Sokcho during 1971~2013

Year	Annual maximum of mean wind speed(m/s)	Wind direction
1971	22.2	SW
1972	21.0	WSW
1973	28.7	SW
1974	21.7	WSW
1975	18.7	W
1976	16.7	W
1977	15.0	WSW
1978	25.0	WSW
1979	26.7	WSW
1980	26.7	SSW
1981	21.7	WSW
1982	19.7	W
1983	25.7	SW
1984	16.7	WSW
1985	18.7	WSW
1986	21.7	E
1987	20.7	ENE
1988	16.7	WSW
1989	16.7	N
1990	21.8	WNW
1991	17.3	W
1992	18.7	W
1993	16.7	N
1994	18.3	NNW
1995	17.8	WNW
1996	16.3	N
1997	18.3	NW
1998	19.3	WNW
1999	17.7	NW
2000	16.6	WNW
2001	13.8	NNW
2002	12.7	NNW
2003	14.2	NNW
2004	17.3	WNW
2005	11.9	NE
2006	30.5	NNW
2007	14.0	W
2008	12.2	WNW
2009	12.6	N
2010	11.9	WNW
2011	11.8	WNW
2012	14.6	SE
2013	11.1	W

풍향에 따라 서로 상이하고 지표조도의 영향은 고도별 풍속 분포를 통해 나타난다. 이러한 지표조도의 대한 모든 영향을 반영하기 위해 기상대의 위치변화, 풍속계의 높이변화, 연 최대풍속의 풍향을 모두 고려하여 풍속 시계열을 기상학적 동질성을 갖는 시계열로 보정한다.

3.2.1 지표조도구분 평가

지표조도구분의 평가는 위성사진을 통해 목안식별방법을 통해 판단하는 것이 일반적이다. 이러한 경우 주관적 판단이 크게 작용하기 때문에 판단하는 사람에 따라 조도구분이 달라질 수 있다. 지표조도구분 평가에 있어서 보다 객관적으로 평가하는 방법에 대해 Lee(2011)는 과거의 지표조도에 대해 5년 간격의 지표조도를 각 5년 단위의 대분류 토지피복지도를 활용하여 평가하였다. 이를 통해 과거의 지표조도구분에 대해 보다 합리적으로 적용하고, 주관적인 판단을 최소화하여 객관적인 평가를 수행한바 있다. 본 연구에서는 조도구분의 객관적 평가를 위해 토지피복지도(Land Cover Map, LCM)을 활용하여 선행연구와 동일한 방법으로 지표조도를 평가하였다. 토지피복지도는 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)을 통해 대분류 토지피복지도 1975, 1980, 1985, 1990, 1995, 2000을 확보하였다. 대분류 토지피복지도는 시가지, 건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역 등 지표면의 조도 요소에 대한 정보를 포함하고 있다. 국내의 경우 지표조도구분 IV의 환경이 거의 존재하지 않으며, 보수적인 관점에서 지표조도구분 III, II, I 3단계로 평가하였다. 평가 범위로는 풍향별 풍속계 기준 설치 높이 및 기본풍속 기준인 10m의 100배인 1km 반경 45° 부채꼴 내의 조도 요소에 대해 가중치를 부여하고, 가중평균을 통해 풍향별 조도구분을 평가하였다. 본 연구에서는 5년 단위 토지피복지도를 이용하여 연 최대풍속 관측 당시의 지표조도구분을 수행하였으며, 2000 이후의 연 최고최대풍속 관측 당시 지표조도구분은 최근 위성사진을 바탕으로 풍상측을 고려한 목안식별방법으로 판단하였다.

3.2.2 고도보정

관측된 풍속을 지표조도구분 II, 지상 10m에서의 풍속으로 보정하기 위하여 도로교설계기준(2010)의 파워법칙(power

Table 5 Classification of roughness and power law exponent(α), height of boundary layer(Z_b), roughness length(Z_0)

Class	Landscape description	α	Z_c (m)	Z_b (m)	Z_0 (m)
I	open sea, coast	0.12	500	5	0.01
II	open terrain with scattered obstructions	0.16	600	10	0.05
III	Suburban area, Low-rise structure, Gentle hill	0.22	700	15	0.3
IV	Urban area, Rolling hill	0.29	700	30	1.0

law)의 풍속 연직 프로파일을 사용하였다. 임의의 지표조도구분의 풍속분포계수, α , 지상 높이 Z_α 에서의 풍속을 $U(Z_\alpha)$ 라고 하면, 경도풍 높이, Z_G 에서의 경도풍속, U_G 는 식 (1)과 같이 표현 된다.

$$U_G = U(Z_\alpha) / \left(\frac{Z_\alpha}{Z_{G_\alpha}} \right)^{\alpha_\alpha} \quad (1)$$

여기서, α , Z_G , Z_0 은 도로교설계기준(2010)에서 지표조도구분별로 제시하고 있는 값을 사용하였다. 다음을 통해 산정된 경도풍속을 이용하여 지표조도구분 II, 지상높이 10m에서의 풍속, U_{10} 을 식 (2)를 통해 구할 수 있다.

$$U_{10} = U(Z_\alpha) \left(\frac{10}{600} \right)^{0.16} / \left(\frac{Z_\alpha}{Z_{G_\alpha}} \right)^{\alpha_\alpha} \quad (2)$$

위 식을 통해 연 최대풍속의 풍향에 따라 10m 개활지에서의 풍속으로 보정하였다.

3.3 지형계수 평가

통계학적 분석을 위한 관측데이터 보정의 두 번째 고려할 사항은 지형에 의한 풍속할증 영향이다. 도로교설계기준에서는 지형에 의한 영향을 고려하지 않고 있지만, 바람은 지형에 의해 최대 2배까지 할증 영향을 받는다. 따라서 지형에 의한 풍속할증 영향의 보정은 필수적이다. 지표조도와 마찬가지로 기상관측지점 기준으로 풍향에 따라 지형의 형상이 상이하여, 지형에 의한 영향 평가 시 풍향을 고려하여 산정해야 한다. 본 연구에서는 지형에 의한 풍속 할증 영향을 보정하기 위해 건축구조기준의 식 (3)을 이용하여 지형계수 (K_{zt})를 적용하였다.

$$K_{zt} = 1 + \frac{k_t s \phi'}{(1 + 3.7 I_z)} \quad (3)$$

k_t 는 형상계수로 언덕이나 경사지의 형상에 따른 영향을 반영하며, s 대상지점과 정점과의 거리에 따른 영향을 반영한다. 또한 I_z 는 난류강도로 지표조도에 따른 영향을 반영한다. 각 계수에 대한 산정 방법은 건축구조기준에 제시되어 있으며 Table 6과 같다.

또한 정점을 기준으로 풍속이 할증되는 범위에 대한 기준을 제시하고 있다(Table 7). 건축구조기준에서 제시하고 있

Table 6 Parameters used when calculating topography factor

Parameter	definition and method
H	height of the apical spot(m)
Shape factor(k_t)	1.4 : escarpment 1.4 + 3.6($\phi_d - 0.05$) ≤ 3.2 : Hill
Location factor(s)	$(1 - \frac{ x }{1.5L^*})(1 - \frac{z}{L_u})$: $\phi \leq 0.3$ $(1 - \frac{ x }{1.5L^*})(1 - \frac{0.6z}{H})$: $\phi > 0.3$
Upwind slope(ϕ)	$= \frac{H}{2L_u}$
Turbulence intensity(I_z)	$= -0.1 \left(\frac{z}{Z_g} \right)^{-\alpha - 0.05}$

는 지형계수는 최고고도와 최저고도의 차이(H)의 정의를 풍상측 최저점으로부터 정점까지의 높이로 하고 있다. 하지만 건축구조기준에서 제시하고 있는 H의 결정방법은 단순한 지형 형상을 대상으로 하고 있다(Fig. 3).

Table 7 Boundaries reflecting the wind speed up factor for topography

Slope type	range of increasing wind speed	range of application	
		upwind	downwind
Hill	Horizontal distance (from the top)	The greater of 1.5 L_u and 1.6 H	
escarpment	Horizontal distance (from the top)	The greater of 1.5 L_u and 1.6 H	The greater of 3.5 L_u and 4 H

건축구조기준 제시하고 있는 H의 결정방법은 실제의 복잡한 지형에 적용하기 쉽지 않다(Fig. 4). 지형의 변화가 심할

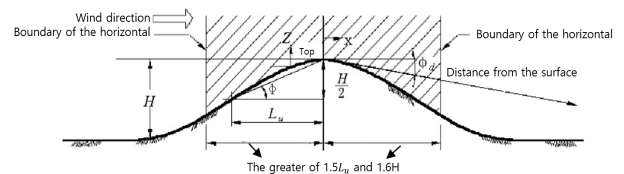


Fig. 3 Shape of topography by KBC 2009

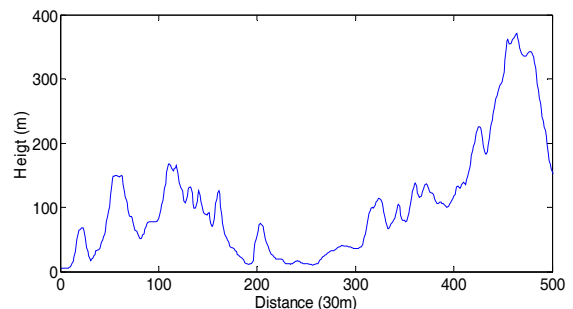


Fig. 4 A Example of actual topography features

Table 8 The class of roughness, topography factor and corrected wind speed of Sokcho during 1971~2013

Year	observed wind speed (m/s)	class of roughness	topography factor	observed height (m)	corrected wind speed (m/s)
1971	22.2	II	1.04	14.4	20.1
1972	21.0	II	1.04	14.4	19.0
1973	28.7	II	1.04	14.4	25.9
1974	21.7	II	1.04	14.4	19.6
1975	18.7	II	1.03	14.4	17.2
1976	16.7	II	1.03	14.4	15.4
1977	15.0	II	1.04	14.4	13.5
1978	25.0	II	1.04	14.4	22.6
1979	26.7	II	1.04	14.4	24.1
1980	26.7	II	1.08	14.4	23.3
1981	21.7	II	1.04	14.4	19.6
1982	19.7	II	1.03	14.4	18.1
1983	25.7	II	1.04	14.4	23.2
1984	16.7	II	1.04	14.4	15.1
1985	18.7	II	1.04	8.9	17.9
1986	21.7	II	1.04	8.9	20.8
1987	20.7	II	1.03	8.9	20.1
1988	16.7	III	1.04	8.9	19.3
1989	16.7	II	1.01	10.0	16.6
1990	21.8	III	1.00	10.0	26.4
1991	17.3	III	1.00	10.0	20.9
1992	18.7	III	1.00	10.0	22.6
1993	16.7	II	1.01	10.0	16.6
1994	18.3	III	1.05	10.0	21.0
1995	17.8	III	1.00	10.0	21.5
1996	16.3	II	1.01	10.0	16.2
1997	18.3	III	1.05	10.0	21.0
1998	19.3	III	1.00	10.0	23.3
1999	17.7	III	1.05	10.0	20.3
2000	16.6	III	1.00	10.0	20.1
2001	13.8	III	1.05	10.0	15.9
2002	12.7	III	1.05	10.0	14.6
2003	14.2	III	1.05	10.0	16.3
2004	17.3	III	1.00	10.0	20.9
2005	11.9	II	1.03	10.0	11.5
2006	30.5	III	1.05	10.0	35.0
2007	14.0	III	1.00	10.0	16.9
2008	12.2	III	1.00	10.0	14.8
2009	12.6	II	1.01	10.0	12.5
2010	11.9	III	1.00	10.0	14.4
2011	11.8	III	1.00	10.0	14.3
2012	14.6	II	1.03	10.0	14.2
2013	11.1	III	1.00	10.0	13.4

경우 평가 범위에 따라 최저점 및 최고점이 달라지기 때문에 고도 H에 대한 객관적 평가가 어렵다. 본 연구에서는 H의 정량적 평가를 위해 고도의 기울기가 변함에 따라 발생하는 변곡점과 변곡점 사이에 존재하는 언덕에 대해 개별 언덕으로 분류하여, 건축구조기준의 지형할증계수를 산정한다. 이때

고도에 대한 정보는 수치지도를 통해 구축한 수치고도모형(Digital Elevation Model, DEM)을 사용하였다.

Fig. 5는 Fig. 4의 실제 지형에 대해 앞서 언급한 방법으로 개별 언덕을 구분하고, 개별 언덕별 최고 고도와외의 거리에 따라 평가된 지형할증계수를 나타낸다. Fig. 5에 나타난

바와 같이 개별 언덕에 대한 지형할증계수의 적용 범위는 인접한 언덕의 적용범위와 겹치는 경우가 발생한다.

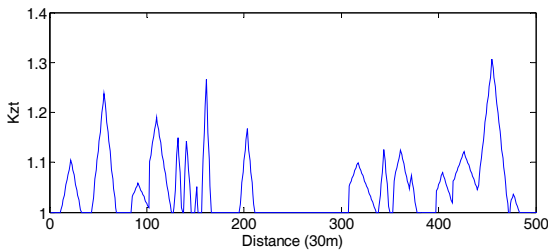


Fig. 5 Topography factor for range of each hill

이러한 경우 중첩된 범위에 해당되는 지형할증계수 중 안전측을 고려하여 최댓값을 해당 지점의 지형할증계수로 결정한다. 또한 풍향에 따라 지형의 형상이 상이하므로 8방향을 고려하여 산정한다. 이와 같은 방법으로 각 기상지점이 포함된 개별언덕을 분류하고, 정점으로부터 기상관측지점까지의 거리를 반영하여 풍향별 지형계수를 산정하여, 지형의 풍속할증 영향을 보정한다. Fig. 6은 이와 같은 방법을 통해 산정된 지형계수와 적용범위를 나타낸다.

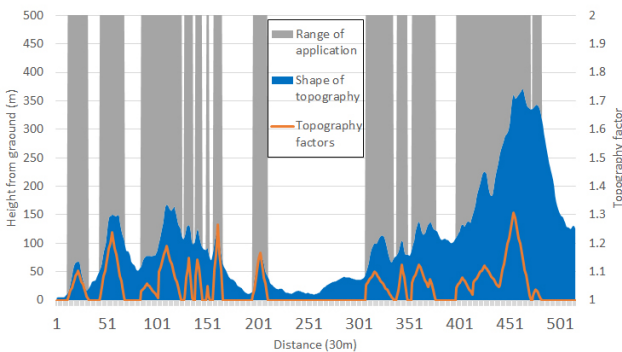


Fig. 6 Topography factors and range of application for actual topography

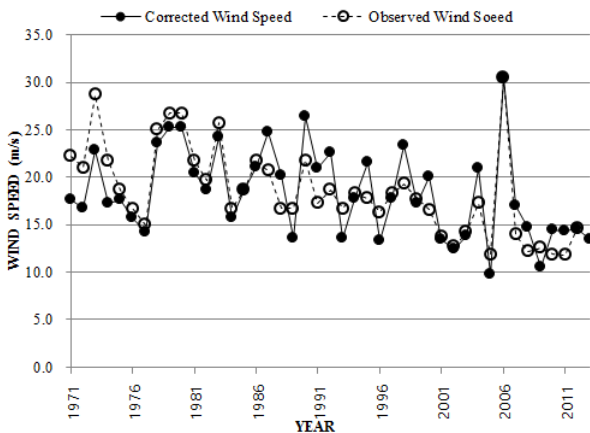


Fig. 7 Time-series of corrected wind speed and observed wind speed of Sokcho

Fig. 6에서 각 개별 언덕의 정점에서 지형계수가 최대가 되며, 적용범위의 경계로 갈수록 지형계수가 작아진다. 또한 앞서 언급한대로 각 개별 언덕의 적용범위가 중첩되는 경우 중첩영역의 지형계수 중 최댓값을 적용하였다. Table 8은 각 연도별 지형계수와 지표조도구분에 따른 보정 풍속을 나타내며, Fig. 7은 지형 및 지표조도의 영향을 보정한 속초의 연 최고최대 풍속의 시계열을 보여준다.

3.4 극한 분포 추정

Cho 등(1989)은 국내 10개의 관측소의 관측풍속에 대해 Gumbel 분포가 적합함을 보였으며, 국내 도로교설계기준에서는 지점별 극한 풍속을 추정하는 방법으로 Gumbel분포를 사용하고 있다. Gumbel분포에 의한 극치 분석은 모집단의 평균과 표준편차와 표준의 평균과 표준편차를 이용하여 Gumbel 누적분포함수(Cumulative Distribution Function)의 파라미터를 결정하는 방법이다. Gumbel을 이용한 극한 풍속을 추정하는 절차를 간략히 살펴본다. 식 (4)는 Gumbel의 누적분포함수, $F(x)$ 를 나타낸다.

$$F(x) = \exp(-\exp(-a(x-b))) \quad (4)$$

Gumbel분포를 추정하는데 사용되는 관계식은 식 (5)와 같다.

$$a \approx \frac{1}{0.78\sigma}, \quad b = \mu - 0.45\sigma \quad (5)$$

여기서, μ 는 모집단의 평균이고 σ 는 모집단의 편차를 나타낸다. 모집단의 평균과 표준편차를 표준의 평균, m 과 표준편차, s 로부터 추정하며 식 (6)과 같다.

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2} \quad (6)$$

위 식 (5)과 (6)의 관계를 통해 Gumbel 분포의 특성값 a 와 b 는 식 (7)과 같이 추정한다.

$$a \approx \frac{1}{0.78s}, \quad b = m - 0.45s \text{ Eq.} \quad (7)$$

비초과확률 F 와 평균재현기간 T 는 식 (8)과 같은 관계가 성립한다.

$$F = 1 - 1/T \quad (8)$$

추정된 Gumbel의 추정값과 관측값과의 적합도를 판단하기 위해 관측값에 대한 비초과확률을 결정하는 도시위치식이 필요하며, Hazen Plot이 Gumbel분포와 가장 잘 부합하는 것으로 알려져 있다. n 개의 표본을 내림차순으로 정렬하였을 경우 i 번째 해당하는 x_i 에 대해 도시위치식에 의한 비초과확률은 식 (9)를 통해 결정된다.

$$F(x_i) = 1 - \frac{i-0.5}{n} \tag{9}$$

Hazen 도시위치식을 통해 관측치와 Gumbel분포의 추정된 특성값과의 적합성은 식 (10)을 통해 산정되며, E 가 5% 전후 일 때 적합한 것으로 판단한다.

$$E = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 \right)^{1/2} / \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \right) \tag{10}$$

4. 결과 및 고찰

Table 9는 위의 절차를 통해 산정한 15개 지점의 재현기간 50년, 100년, 200년, 400년에 해당하는 풍속을 나타낸다.

a 와 b 는 Gumbel의 특성값을 의미하며, Hazen 도시위치식을 이용한 적합도를 나타내는 E 는 5% 전후로 적합하다.

본 연구에서 산정된 풍속은 도로교설계기준(2010)에서 제시하고 있는 풍속과 다소 차이를 보인다. 도로교설계기준에서 제시하고 있는 풍속에 비해 평균적으로 약 10m/s 낮은 풍속을 보이며, 강릉의 경우 21m/s의 차이를 보였다. 이러

Table 9 Wind speed for return period and E in 15 regions

Station	a	b	Wind Speed for Return Period(m/s)				E
			50	100	200	400	
Sokcho	0.29	16.97	30.5	33.0	35.4	37.8	4%
Gangneung	0.48	13.72	21.9	23.3	24.8	26.2	3%
Incheon	0.40	16.79	26.6	28.3	30.1	31.8	1%
Seosan	0.36	13.63	24.6	26.5	28.5	30.4	7%
Pohang	0.37	12.66	23.3	25.2	27.1	29.0	4%
Gunsan	0.33	16.27	28.2	30.3	32.4	34.5	3%
Ulsan	0.40	12.85	22.5	24.2	25.9	27.7	3%
Busan	0.37	17.00	27.6	29.5	31.4	33.3	5%
Tongyeong	0.36	15.18	26.1	28.1	30.0	32.0	3%
Buan	0.69	10.64	16.3	17.3	18.3	19.3	2%
Mokpo	0.32	16.93	29.0	31.2	33.3	35.5	5%
Yeosu	0.25	18.52	33.9	36.7	39.5	42.2	3%
Wando	0.22	13.39	31.5	34.8	38.0	41.2	6%
Jeju	0.26	18.57	33.9	36.6	39.3	42.0	4%
Seogwipo	0.26	14.86	29.8	32.5	35.2	37.8	5%

한 차이는 국내 설계풍속비교 분석에서 언급한바와 같이 바람의 영향을 주는 요인 즉, 지형에 의한 할증효과 및 지표조도로 인한 풍속변화 영향에 대한 보정 유무와 사용된 풍속 데이터에 기인한다.

실제 강릉지역의 기상관측소는 경사지에 위치해 있어 풍향에 따라 최대 8%의 풍속이 할증되고, 풍속계의 높이에 따른 고도보정을 수행할 경우 풍속계의 높이에 따라 관측풍속이 낮아진다. 본 연구의 결과는 관측풍속을 이용한 빈도분석의 결과로서 실제 기본풍속은 결정시 태풍시물레이션에 의한 결과도 반영하여 결정해야 한다.

5. 결 론

본 연구는 설계풍속 산정시 활용데이터 및 지표조도의 영향, 지형할증의 영향을 반영하여 관측풍속을 보정하고, 보정된 관측풍속을 이용하여 기본풍속을 산정하는 절차에 대한 가이드라인을 제시하였다.

기본풍속 산정시 필요한 데이터로는 다년간의 풍속데이터와 관측당시의 풍속계 높이, 관측지점의 위치정보, 관측시기의 주변 지표조도 상황 및 주변 지형에 대한 정보가 필요하다. 풍속계의 높이 및 기상관측소의 위치에 따라 관측된 풍속의 달라지기 때문에 과거의 풍속계높이 및 기상관측소의 위치에 대한 변경이력을 합리적으로 반영하여 분석을 수행해야 한다.

본 연구에서는 지표조도를 합리적이고 객관적으로 평가하기 위해 1975년부터 5년 단위의 토지피복지도를 활용하여, 과거의 지표상황에 대해 반영하였다. 이는 지표조도구분을 목안으로 관측함으로써 설계자에 따라 주관적 판단이 개입되는 것을 방지할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 지형에 의한 풍속 할증 영향을 보정하기 위해 포괄적으로 제시되어 있는 건축구조기준의 지형계수를 DEM의 고도정보를 반영함에 따라 실제 복잡한 지형환경에 대해서 객관적으로 평가하였다. 하지만 본 연구를 통해 산정된 풍속은 태풍시물레이션이 반영되지 않은 풍속으로, 기본풍속을 결정하기 위해선 태풍시물레이션에 의한 극치풍속을 반영하여 기본풍속을 결정해야 하며, 최신의 토지피복지도를 확보하여 지표조도를 분석해야 한다.

산정된 풍속은 비록 태풍시물레이션이 반영되지 않았지만, 도로교설계기준에서 제시하고 있는 기본풍속은 다소 과대평가가 돼있는 것으로 판단되며, 합리적인 평가를 통해 기본풍속을 조정할 필요가 있다.

감사의 글

이 연구는 초장대교량 사업단 제 1핵심과제를 통하여 지원

된 국토교통부 건설기술혁신사업(08기술혁신E01)에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

References

- Architectural Institute of Korea(AIK)** (2009) *Korea Building Code*, Kimoondang Publishing(in Korean).
- Cho, H.N., Cha, C.J., Baik, H.S.** (1989) Probability-Based Estimation of Basic Design Wind Speeds in Korea, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 2(2), pp.63~72.
- Ha, Y.C., Kim, J.R., Kim, K.S.** (1998) Basic Wind Speed of Korea for Resistant Design, *J. Archit. Inst. Korea*, 14, pp.75~83.
- Jeong, S.H., Kim, B.J., Ha, Y.C.** (2014) Revision of Basic Wind Speed Map of KBC 2009, *J. Archit. Inst. Korea*, 30(5), pp153~160.
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology** (2010) Design Criteria Research Center for Abnormal Weather-Disaster Prevention(DCRC-AWDP)-Improving and Developing of Wind Resistance Design Criteria of Structures for Abnormal Weather-Disaster Prevention(in Korean).
- Lee, S., Kim, J.J.** (2014) Estimation of Extreme Wind Speed in Coastal Region, *Proc. Korea Soc. of Civil Eng.*, 40, pp.113~114.
- Lee, Y.K., Lee, S., Ham, H.J., Bienkiewicz, B.** (2009) Estimation of Design Wind Speed for Offshore Structures, *J. Wind Eng. Inst. Korea*, 13(3), pp.129~135
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(MOLTMA)** (2010) Highway Bridge Design Code, *Korea Road & Transportation Association*(in Korean).
- National Emergency Management Agency** (2009) Development of the Assessment Technique to Wind and Snowfall Hazards(in Korean).
- Park, J.H., Kim, J.H., Jung, A.J., Park, H.J., Jeong, S.H., Ha, Y.C.** (2013) Basic Wind Speed Map for Wind Resistant Design in Daegu-Gyeongbuk Region, *Proc. Reg. Assoc. Archi. inst. Korea*, 01(2013-12), pp.299~302.
- Simiu, E., Scanlan, R.H.** (1996) *Wind Effects on Structures Third Edition*, John Wiley & Sons, New York, USA

요 지

최근 구조물이 장대화됨에 따라 풍하중의 중요성이 대두되고 있으며, 풍속에 영향을 미치는 지표조도 및 지형에 의한 할증효과를 합리적으로 반영한 기본풍속 산정절차에 대한 가이드라인의 필요성이 증대되고 있다. 국내의 많은 설계기준에서는 기본풍속 산정에 대한 절차를 제시하고 있으며, 전국의 기본풍속 지도 또는 표를 제공하여 이를 사용하도록 하고 있다. 하지만 제시된 기본풍속의 산정 방법 및 사용데이터는 풍속을 평가함에 있어 반영해야 하는 부분 중 일부만 반영하거나, 도로교설계기준(MOLTMA, 2010)의 경우 불분명한 실정이다. 본 연구에서는 국내의 설계기준에서 제시하고 있는 전국 기본풍속에 대해 한계점을 분석하였다. 또한 이러한 문제를 개선하기 위해 지표조도 및 지형할증의 영향을 반영한 기본풍속 산정절차에 대한 가이드라인을 제시하였으며, 이 절차에 따라 전국 15개 지점의 기본풍속을 산정하여, 도로교설계기준에서 제시하고 있는 기본풍속과 비교하였다.

핵심용어 : 설계풍속, 풍속보정, 내풍설계 가이드라인, 지형계수