

광양 - 묘도 지역의 통계학적인 풍속 추정

Statistical Estimation of Wind Speed in the Gwangyang-Myodo Region

배용귀* · 한관문** · 이성로***

Bae, Yong Gwi · Han, Gwan Mun · Lee, Seong Lo

Abstract

In order to estimate mean wind speed in the Gwangyang-Myodo Region, the probability distribution model of extreme values has been used in the statistical analysis of joint distribution probability of daily maximum wind speed and corresponding direction in this paper. For this purpose frequency of daily maximum records at respective stations is inquired into and sample of largest yearly wind speed of sixteen compass direction and non-direction is extracted from daily data of maximum wind speed and appropriate direction of the meteorological observing stations nearby the bridge construction site. These extreme speed records are applied to Gumbel and Weibull distribution model and parameters are estimated through method of moment and method of least squares etc. And also, distribution and parameters are inquired into whether it is fitted through the probability plot correlation coefficient examination. From fitted parameters the largest yearly wind speed of sixteen compass direction and non-direction is extrapolated taking into account factors regarding sample size of data and distance from the bridge construction site according to the appropriate stations.

Keywords : wind speed, wind direction, estimate, joint distribution probability

요 지

본 연구에서는 광양·묘도 지역의 평균풍속을 추정하기 위하여, 일별 최대 풍속과 해당 방향에 대한 결합분포확률의 통계학적 해석에 극한값 확률분포 모델이 사용되었다. 이를 위하여, 교량 가설지점 인근의 기상관측소에 대한 일별 최대풍속 및 해당방향의 데이터로부터 각각의 관측소에 대한 일별 최대기록의 빈도를 조사하였으며, 16방위 및 전방위에 대한 년 최대풍속의 표본을 추출하였다. 이러한 풍속기록은 Gumbel 및 Weibull 분포모델에 적용하였으며, 모멘트방법 및 최소제곱법 등을 통해 모수를 추정하였다. 또한, PPCC 검사를 통해 분포모델 및 모수의 적합 여부를 검사하였다. 적합 여부가 판단된 모수로부터, 해당 관측소별로 데이터의 표본 크기 및 교량 가설지점으로부터의 거리에 대한 요소를 고려하여 16방위 및 전방위에 대한 년 최대풍속을 추정하였다.

핵심용어 : 풍속, 풍향, 추정, 결합분포확률

1. 서 론

장기간의 현수교나 사장교는 풍하중에 의한 영향이 다른 하중보다 상대적으로 크다. 이러한 구조물의 내풍설계는 매우 중요하고 특히 동적 내풍설계가 필요한 장대교량의 경우에는 정확한 설계풍속을 결정하는 것이 매우 중요하다. 풍속은 지역성이 강하여 장기간의 해당부지 풍속자료를 고려하여 합리적으로 추정할 필요가 있으나, 교량의 가설지점에 대한 장기간의 풍속자료를 얻는다는 것은 현실적으로 어렵다. 따라서 도로교설계기준(2005)에서 기본풍속산정은 기상관측소의 장기풍속기록(태풍 또는 계절풍)과 지역적 위치를 동시에 고려하여 극치분포로부터 추정하거나 태풍자료의 시뮬레이션 등의 합리적인 방법으로 추정하도록 정하고 있다.

전라남도에서 추진 중인 여수국가산단 진입도로 개설공사(2007~2012)는 여수 월내동~묘도~광양 금호동을 연결하는 총 연장 8.5(해상교량 5.2 km), 총 공사비 8,800억원이 소요되는 대규모 사업이다. 이 사업에는 현수교와 사장교 등 해상 장대교량이 설계, 시공될 예정으로 있으며, 따라서 장대교량의 내풍안정성 및 시공 중 안전성 확보에 만전을 기하기 위하여 전라남도는 목포대학교 내풍기술연구단과 함께 교량건설 인접 지역에 풍향풍속 관측시스템을 설치 운영하는 계획을 수립하여 추진 중에 있다. 이와 관련하여 본 연구는 장기 기상관측자료의 통계학적 추정을 통해 교량건설 지역의 단기 관측자료를 주변 관측소 관측자료 및 CFD에 의한 풍향풍속 자료와 비교·분석하고 그 결과를 장대교량의 내풍안정성 및 시공중 안전성 확보에 이용하고자 한다. 따라서

*교신저자 · 목포대학교 건설공학부 건설협동과정 박사과정 (E-mail : baeyg@mokpo.ac.kr)

**정회원 · 목포대학교 대학원 토목공학전공 석사과정 (E-mail : hangm@mokpo.ac.kr)

***정회원 · 목포대학교 건설공학부 토목공학전공 교수 (E-mail : sllee@mokpo.ac.kr)

본 논문에서는 풍향·풍속의 결합효과를 고려하여 특정 지역에 대한 기본풍속을 통계학적으로 추정하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여, 교량 가설지점 인근의 기상관측소에 대한 일별 최대풍속 및 해당풍향의 데이터로부터 각각의 관측소에 대한 일별 최대기록의 빈도를 조사하였으며, 전방위 및 16방위에 대한 년 최대풍속의 표본을 추출하였다. 년 최대 풍속기록에 대한 극치분포의 적용 및 모수추정은 Gumbel 분포모델에서 모멘트방법(Method of moment)과 ML방법(Maximum likelihood method) 그리고 OS방법(Method of order statistics)을 통해 모수를 추정하고, Weibull 분포모델에서는 최소제곱법(method of least squares)을 통하여 모수를 추정하였다. 분포모델 및 모수는 PPCC(Probability plot correlation coefficient) 검사를 통해 그 적합성을 검사하였으며, Gumbel 분포모델에서는 ML방법을 사용하고, Weibull 분포모델에서는 최소제곱법을 사용하여 년 최대풍속을 추정하였다. 이로부터, 해당 관측소별로 데이터의 표본 크기 및 교량 가설지점으로부터의 거리에 대한 요소를 고려하여 전방위 및 16방위에 대한 년 최대풍속을 추정하였다.

2. 풍속추정모형

2.1 결합분포확률

구조물에 대한 바람의 효과는 풍속과 풍향에 관계되어 있으며 장대교량과 같이 특정한 공기 동력학적인 하중에 노출된 구조물의 반응은 풍향과 직접적인 관계가 있다. 그러므로 바람에 의해 유발되는 구조물의 응답에서 풍속과 풍향의 결합작용에 대한 연구는 필수적이다. 이러한 결합효과는 일반적으로 정상임의처리(Steady Random Process), 최대상수방법(Maximum Coefficient Method) 그리고 결합분포확률(Joint Distribution Probability)로 나타낼 수 있으며, 본 연구에서는 결합분포확률을 이용하여 바람과 관련한 통계적 데이터를 처리하고 분포모델의 검사 및 변수추정을 수행하였다. 이를 위하여, 동일한 장소에서 여러 방향에 대한 평균풍속은 동일한 분포모델에 따르며 특정장소의 전 방향 풍속기록의 모든 표본에 적합한 것으로 가정하였다. 또한, 동일한 장소의 여러 방향에 대한 최적 모델의 평균풍속은 서로 독립적이며, 해당 방향에 대한 풍속기록의 표본에 의해서만 최적으로 추정될 수 있는 것으로 가정하였다.

2.2 극한분포모델

바람과 관련한 통계적 데이터들은 대부분 극한의 속도기록이며, 주어진 통계주기 안에서 최대속도를 결정하기 위한 것이므로 Gumbel 등에 의해 제안된 극한분포모델을 사용하는 것이 바람직하다. Simiu 등은 몬테-카를로 시뮬레이션을 통하여 비태풍권 기후에서의 극한풍속은 Gumbel 분포에 더 잘 적합시킬 수 있음을 보여주었으며 후속연구에서 미국내 대부분의 기상관측소에서 극한 풍속기록은 Gumbel 분포에 상당히 적합했으며, 이로부터 Gumbel 분포는 일반적인 기본 풍속의 산정이나 구조신뢰성 계산에 대부분 적합한 것으로 판명되었다.

우리나라의 경우 장기간의 풍속기록을 이용하여 통계적 분

석을 할 경우 년 최대풍속이 태풍에 의해 지배된 경우가 적으므로 Gumbel 분포를 사용하는 것은 비교적 타당하다. 그러나 서남해안 지역은 태풍의 영향권으로 판단할 수 있으므로 태풍 자료 혹은 몬테-카를로 시뮬레이션에 의한 풍속 산정하거나 동일 기간에 대한 극한 풍속 자료를 Weibull 분포에 적용할 필요가 있다. 본 연구에서는 해당지역의 일별 최대 풍속 및 해당풍향 데이터를 Gumbel 및 Weibull 분포에 적용하여 분포특성을 파악하고 재현주기에 따른 극한 풍속을 산정하였다. 각각의 분포는 다음 식과 같이 나타낼 수 있으며, 각각의 계수는 분포모델이 놓이는 위치와 크기 및 형상에 관한 계수이다.

$$\text{Gumbel} : F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-b}{a}\right)\right] \quad (1)$$

$$\text{Weibull} : F(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{C}\right)^K\right) \quad (2)$$

3. 통계적 추정 및 검사

3.1 모수 추정

3.1.1 Gumbel 분포모델

모멘트 방법(Method of moment)에 의한 변수 추정은 표본 데이터로부터 적절한 표본 모멘트를 추정하는 것을 필요로 하며, 변수와 표본 모멘트 사이의 적절한 관계를 사용하여 산정된다. 표본모멘트는 일반적으로 표본평균 μ , 표본분산 σ^2 으로 나타내며, 제3모멘트 혹은 왜곡도가 사용되기도 한다. Type I 분포의 최대값에 대하여, 모멘트 방법에 의한 추정치 a , b 와 표본 모멘트 μ 와 σ 의 관계는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mu = \hat{b} + 0.5772\hat{a} \quad (3a)$$

$$\sigma = \frac{\pi}{\sqrt{6}}\hat{a} \quad (3b)$$

ML 방법(Maximum likelihood method)은 모집단으로부터 무작위로 추출된 표본의 대응함수에서 모집단의 어떤 변수에 대한 근사값을 구하는 점추정 방법으로써 변수들로부터 직접 추정치를 이끌어낸다는 점에서 모멘트 방법과 차이가 나며, 비교적 큰 표본데이터의 경우에 최소 분산을 가지는 등의 장점을 가지고 있다. ML방법에 의해 \hat{a} , \hat{b} 를 추정하는 방법은 식 (4)와 같다.

$$\sum_{i=1}^n x_i \exp\left(-\frac{x_i}{\hat{a}}\right) - (\bar{x} - \hat{a}) \exp\left(-\frac{\bar{x}}{\hat{a}}\right) = 0 \quad (4a)$$

$$\hat{b} = -\hat{a} \ln\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{x_i}{\hat{a}}\right)\right] \quad (4b)$$

OS 방법(Method of order statistics)은 Order Statistics 이론에 근거하여 특히 Gumbel 분포의 극한 변수를 추정하기 위해 Lieblein(1957)에 의해 개발된 것으로 적용이 비교적 간단하며 불편향성의 추정량과 최소 분산을 가지는 장점이 있다. OS 방법은 일련의 표본 데이터(x_1, x_2, \dots, x_i)에 대하여 식 (5)와 같은 선형 함수에 근거하고 있으며 가중치 w_i 는 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다. 이로부터, 추정치 L 은

표 1. OS 방법의 가중치 a_i 및 b_i ($p \leq 0.90$)

n	Weights a_i and b_i for $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$						
	i=	1	2	3	4	5	6
2	a_i	0.91637	0.08363				
	b_i	-0.72135	0.72135				
3	a_i	0.65632	0.25571	0.08797			
	b_i	-0.63054	0.25582	0.37473			
4	a_i	0.51100	0.26394	0.15368	0.07138		
	b_i	-0.55862	0.08590	0.22392	0.24880		
5	a_i	0.41893	0.24628	0.16761	0.10882	0.05835	
	b_i	-0.50313	0.00653	0.13045	0.18166	0.18448	
6	a_i	0.35545	0.22549	0.16562	0.12105	0.08352	0.04887
	b_i	-0.45928	-0.03599	0.07319	0.12673	0.14953	0.14581

식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$L = \sum_{i=1}^n w_i x_i \quad (5)$$

$$w_i = a_i + b_i s_p \quad (6)$$

$$L = \sum_{i=1}^n [a_i x_i + (b_i x_i) s_p] \quad (7)$$

OS방법에 의한 추정치는 불편향성과 최소 분산을 고려하도록 가정되어 있으며, 가중치 a_i 와 b_i 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다. 또한, 해당 표본의 크기 $n=2-6$, 그리고 $p \geq 0.90$ 을 만족하는 가중치 a_i 와 b_i 는 표 1을 참조하여 사용할 수 있다.

$$\hat{a} = \sum_{i=1}^n a_i x_i \quad (8a)$$

$$\hat{b} = \sum_{i=1}^n b_i x_i \quad (8b)$$

3.1.2 Weibull 분포모델

최소제곱법은 풍속 데이터로부터 오차의 제곱합을 최소화시키는 $y=ax+b$ 형태의 표본회귀직선을 선택하는 방법으로써 여기서 구해진 a, b 로부터 모수를 추정하는 방법이다. 따라서 n 개의 (x_i, y_i) 자료쌍에 대해 최소제곱법을 이용하여 a, b 는 식 (9)와 같이 유도될 수 있다.

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n}} \quad (9a)$$

$$b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - \frac{a}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (9b)$$

Weibull 분포에 최소제곱법을 적용시켜 모수를 추정하기

위하여 식 (2)와 같은 누적분포함수에 자연대수를 두 번 취하면 식 (10)과 같은 형태로 정리할 수 있으며, 이는 $y=ax+b$ 와 같은 형태로 정리할 수 있다.

$$\ln(1-F(x)) = K \ln(k) - K \ln(C) \quad (10)$$

식 (10)으로부터 형상계수 K 는 $\ln[\ln(1-F(x))]$ 와 $\ln(x)$ 에 의해 도시되는 1차함수의 기울기임을 알 수 있으며, y 축 절편값이 $K \ln(C)$ 임을 이용하여 식 (11)과 같이 표현할 수 있다.

$$K=A \quad (11a)$$

$$C = \exp\left(-\frac{B}{K}\right) \quad (11b)$$

3.2 적합도 검사

분포모델의 검사는 풍속기록의 데이터가 확률분포모델에 적합한지를 검사하기 위해 수행된다. 검사에는 주로 χ^2 검사, K-S 검사, likelihood ratio 검사 등이 있다. 그러나 풍속 등의 분포를 검사하는 경우 PPCC(probability plot correlation coefficient) 방법이 가장 널리 사용된다. PPCC는 식 (12), (13)과 같이 정의할 수 있다.

$$\gamma_D = \frac{\sum(X_i - \bar{X})[M_i(D) - \overline{M(D)}]}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum[M_i(D) - \overline{M(D)}]^2}} \quad (12)$$

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum X_i \quad (13a)$$

$$\overline{M(D)} = \frac{1}{n} \sum M_i(D) \quad (13b)$$

여기서, n 은 표본의 크기, D 는 검사되는 확률분포를 나타내며, X 는 표본의 종류로써 가장 작은 표본을 1로 하여 i 까지 나타내었다. 확률분포 D 를 따르는 확률변수 X 는 1부터 i 까지 정의 되며 각 분포의 평균값은 $M_i(D)$ 로 가정한다. 만약 표본데이터가 위치와 크기의 요소를 벗어나 분포 D 에 의해 유도 된다면 X_i 는 모든 i 값에서 $M_i(D)$ 의 이론적인 값과 대체로 일치할 것이다. 확률평면도에서 $X_i \sim M_i(D)$ 는 대체로 선형을 따르며 이러한 특성으로 인해 표본데이터가 해당 확률분포 D 에 가까워질수록 γ_D 는 1.0에 가까워진다.

3.3 재현주기를 고려한 극한 풍속 산정

3.3.1 Gumbel 분포모델

Gumbel 분포의 누적분포함수는 식 (1)과 같으며, 특정풍속 V_0 이상의 바람이 발생할 확률은 식 (14)와 같이 나타낼 수 있다. 그리고 재현기간 T 와 초과확률 G_x 는 식 (15)와 같은 관계식이 성립한다.

$$G_x(F(x)) = 1 - \exp\left\{-\exp\left[-\frac{x-b}{a}\right]\right\} \quad (14)$$

$$1 - \exp\left\{-\exp\left[-\frac{x-b}{a}\right]\right\} = \frac{1}{T} \quad (15)$$

따라서 식 (15)을 x 에 관하여 정리하면 식 (16)과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\exp\left\{-\exp\left[-\frac{x-b}{a}\right]\right\}=1-\frac{1}{T}$$

$$\exp\left[-\frac{x-b}{a}\right]=-\ln\left(1-\frac{1}{T}\right)$$

$$\frac{x-b}{a}=-\ln\left\{-\ln\left(1-\frac{1}{T}\right)\right\} \quad (16)$$

식 (16)에서 우항은 Taylor급수에 의해 식 (17)과 같이 정리될 수 있다.

$$-\ln\left(-\ln\left(1-\frac{1}{T}\right)\right)=-\ln\left(1-\frac{1}{T}\right)=-\ln(1-\ln T)\cong \ln T \quad (17)$$

식 (16)과 (17)을 이용하여 x 에 관하여 정리하면 재현주기를 고려한 극한 풍속을 산정할 수 있다.

$$x=b+a \cdot \ln T \quad (18)$$

3.3.2 Weibull 분포모델

Weibull 분포의 누적분포함수는 식 (2)와 같으며, 특정풍속 V_0 이상의 바람이 발생할 확률은 식 (19)과 같이 나타낼 수 있다.

$$G_x(F(x))=\exp\left\{-\frac{x}{C}\right\}^K \quad (19)$$

재현기간 T 와 초과확률 G_x 는 식 (20)과 같은 관계식이 성립한다.

$$\exp\left\{-\frac{x}{C}\right\}^K=\frac{1}{T} \quad (20)$$

식 (20)을 x 에 관하여 정리하면 식 (21)과 같이 재현주기를 고려한 극한 풍속을 산정할 수 있다.

$$\left\{-\frac{x}{C}\right\}^K=\ln\frac{1}{T}$$

$$-\frac{x}{C}=\{\ln T^{-1}\}^{1/K}$$

$$x=C \cdot (\ln T)^{1/K} \quad (21)$$

4. 풍속기록의 수집 및 처리

4.1 통계학적인 위치선정

평균풍속은 공간적인 위치와 시간의 경과에 따라 불규칙적으로 변한다. 따라서 일반적인 평균풍속의 통계학적 해석모델은 시간과 공간의 임의성을 반영해야 한다. 본 연구에서는 표본평균방법을 채택하여 바람의 시간과 공간의 임의성을 반영하였다. 해당지역에서 평균풍속의 특성은 측정위치로부터 수집된 원본 풍속 데이터의 가중치평균에 의해 대략적으로 표현할 수 있으며, 이로부터 교량 가설지점의 일반적인 풍환경을 고려할 수 있다. 그림 1에서 알 수 있듯이 교량이 가설되는 광양-묘도 지역은 내륙과 해안의 풍환경 특성을 복합적으로 고려할 필요가 있는 것으로 판단된다. 그러므로 본 연구에서는 여수, 남해, 진주, 순천의 기상관측소를 선정하여 교량 가설지점의 풍속을 추정하고자 한다. 해당 기상관측소

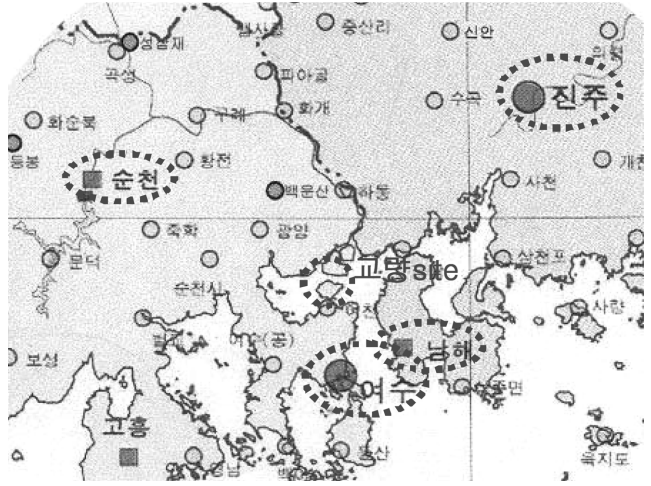


그림 1. 광양-묘도 지역의 Layout

표 2. 서남해안 지상관측소의 지형정보

관측소	관측년도	조도구분	관측높이
여수	1971~2005	II (~1971)	10.5m(~1997)
		III (1972~)	20.8m(1998~)
남해	~2005	II	16.0m(~1990) 6.0m(1991) 10.0m(1992~)
진주	1969~2005	II	6.0m(~1980) 10.0m(1981~)
순천	1973~2005	II	10.0m(~1998) 14.0m(1999~)

의 지형 및 관측 정보는 기상연보와 건축물 하중기준 및 해설(2000)을 참조하여 표 2와 같이 사용하였다.

4.2 관측 데이터의 풍속보정

도로교설계기준(2005)에 의하면, 기본풍속(V_0)은 개활지(조도구분 II)에서의 지상 10m의 10분간 평균풍속을 사용하도록 하고 있다. 따라서 서남해안의 기본풍속 산정을 위해서는 해당 기상관측소의 조도구분과 풍속측정높이를 조사하여, 설계기준에 적합하도록 보정해야 한다. 풍속보정은 그림 2와 같이 Davenport가 제안한 Power law model을 사용하였다. 모델에서는 기준경도풍 높이(Z_G) 이상에서의 풍속이 조도구분에 상관없이 동일한 값을 가지는 것으로 가정한다. 따라서

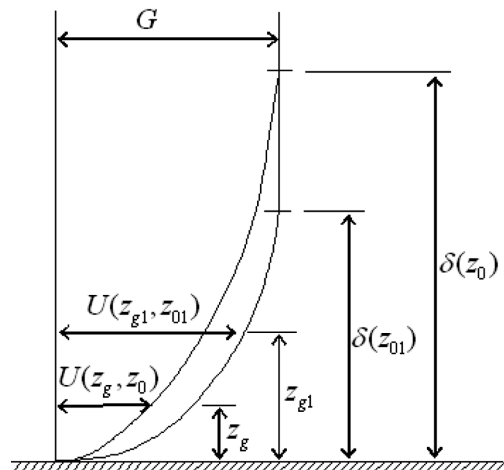


그림 2. 풍속 연직 분포도

기본풍속과 측정풍속은 해당높이와 조도구분에 따라 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$U(z_g, z_0) = \left(\frac{z_g}{z_0} \right)^{\alpha(z_0)} \left(\frac{\alpha(z_{01})}{z_{g1}} \right)^{\alpha(z_{01})} U(z_{g1}, z_{01}) \quad (22)$$

4.3 각 지역별 일 최대풍속의 빈도

네 개의 지역에 대하여 16 방위로 각각의 일별 최대풍속 기록이 수집되었다. 여수 기상관측소에서는 1952년 8월 16일부터 2006년 5월 31일까지 19,647일의 풍향이 포함된 풍속

기록이 수집되었다(1일의 풍향관측 기록이 누락). 남해 기상관측소에서는 1973년 1월 1일부터 2006년 5월 31일까지 19,647일의 풍향이 포함된 풍속 기록이 수집되었다(7일의 관측기록이 누락). 진주 기상관측소에서는 1969년 3월 1일부터 2006년 5월 31일까지 13,606일의 풍향을 포함한 풍속기록이 수집되었다(12일의 관측기록이 누락). 순천 기상관측소에서는 1973년 1월 1일부터 2006년 5월 31일까지 12,204일의 풍향을 포함한 풍속 기록이 수집되었다(288일의 관측기록이 누락). 수집된 모든 풍속 데이터는 지상 10m의 높이에서

표 3. 여수 지역에서 일별 최대기록의 빈도

방위	0~2 (m/s)	2~4 (m/s)	4~6 (m/s)	6~8 (m/s)	8~10(m/s)	10~12 (m/s)	12~14 (m/s)	14~16 (m/s)	16~18 (m/s)	18~20 (m/s)	20~22 (m/s)	22~24 (m/s)	24~26 (m/s)	26~36 (m/s)	Σ (%)
N	0.005	0.091	0.499	0.967	1.239	0.786	0.433	0.206	0.086	0.025	0.010	0.015	-	0.005	4.413
NNE	-	0.277	1.697	2.513	2.372	1.284	0.685	0.262	0.126	0.045	0.020	0.010	0.010	-	9.401
NE	0.005	0.473	2.704	3.792	2.805	1.435	0.750	0.247	0.136	0.060	0.045	0.040	0.015	0.015	12.481
ENE	0.005	0.363	1.556	1.737	1.410	0.564	0.327	0.111	0.050	0.035	0.020	0.010	0.005	0.010	6.006
E	-	0.478	0.921	0.811	0.660	0.302	0.156	0.076	0.025	0.025	0.010	0.010	-	-	3.451
ESE	-	0.473	1.173	0.549	0.287	0.126	0.111	0.015	-	-	0.005	-	-	-	2.754
SE	0.005	0.544	1.470	0.791	0.393	0.166	0.106	0.015	0.005	0.005	-	0.005	-	-	3.543
SSE	-	0.277	0.478	0.342	0.146	0.070	0.050	0.015	0.005	-	-	0.005	0.005	-	1.410
S	0.005	0.388	1.274	0.720	0.398	0.201	0.116	0.045	0.010	0.015	0.010	0.015	0.005	0.010	3.232
SSW	-	0.846	2.513	1.808	0.775	0.337	0.176	0.096	0.025	0.015	-	-	-	-	6.653
SW	0.005	0.846	3.026	1.989	0.967	0.413	0.217	0.076	0.045	0.015	0.015	0.005	0.005	-	7.549
WSW	-	0.242	0.831	0.962	0.584	0.282	0.151	0.050	0.015	0.010	-	-	-	-	3.029
W	0.005	0.121	0.695	0.997	1.193	0.690	0.378	0.116	0.045	0.015	0.010	-	-	-	4.301
WNW	-	0.086	0.700	1.793	2.971	1.994	0.962	0.257	0.076	0.010	-	-	-	-	8.897
NW	-	0.116	1.022	3.238	4.713	3.832	1.818	0.579	0.171	0.081	0.015	0.005	0.005	0.005	15.616
NNW	-	0.070	0.534	1.546	2.211	1.707	0.791	0.242	0.081	0.020	0.015	0.005	-	0.005	7.264
Σ(%)	0.035	5.690	21.094	24.553	23.123	14.190	7.226	2.407	0.901	0.378	0.176	0.126	0.050	0.050	100.0

표 4. 남해 지역에서 일별 최대기록의 빈도

방위	0~2 (m/s)	2~4 (m/s)	4~6 (m/s)	6~8 (m/s)	8~10 (m/s)	10~12 (m/s)	12~14 (m/s)	14~16 (m/s)	16~18 (m/s)	18~20 (m/s)	20~22 (m/s)	Σ (%)
N	0.137	3.312	1.241	0.387	0.113	0.040	0.024	0.016	-	-	0.008	5.285
NNE	0.218	1.893	0.902	0.338	0.121	0.024	0.032	0.008	-	-	-	3.537
NE	0.306	3.183	1.571	0.427	0.105	0.048	0.024	0.024	-	-	-	5.688
ENE	0.355	2.562	1.281	0.411	0.064	0.024	0.032	-	-	-	-	4.729
E	0.451	3.400	1.241	0.363	0.161	0.040	-	0.008	-	-	-	5.664
ESE	0.491	4.029	1.483	0.516	0.064	0.048	0.016	0.008	-	-	-	6.655
SE	0.258	1.765	0.741	0.282	0.105	0.032	0.032	-	0.008	-	-	3.223
SSE	0.097	1.072	0.588	0.169	0.040	0.016	0.016	-	0.008	-	-	2.006
S	0.048	1.958	1.056	0.403	0.105	0.056	0.024	0.016	0.008	-	-	3.674
SSW	0.081	2.506	1.603	0.814	0.177	0.073	0.024	0.016	-	-	-	5.293
SW	0.379	6.244	2.731	0.661	0.218	0.024	0.024	-	0.016	-	-	10.296
WSW	0.306	6.696	3.142	0.983	0.234	0.089	0.032	-	-	-	-	11.481
W	0.322	4.834	4.158	1.611	0.185	0.040	0.024	-	-	-	-	11.175
WNW	0.153	2.538	2.965	2.361	0.685	0.443	0.161	0.048	-	-	-	9.354
NW	0.137	2.111	2.627	1.950	0.427	0.048	0.040	-	-	-	-	7.340
NNW	0.250	2.659	1.088	0.451	0.121	0.016	-	-	0.008	0.008	-	4.600
Σ(%)	3.988	50.761	28.418	12.126	2.925	1.064	0.508	0.145	0.048	0.008	0.008	100.00

표 5. 진주 지역에서 일별 최대기록의 빈도

방위	0~2 (m/s)	2~4 (m/s)	4~6 (m/s)	6~8 (m/s)	8~10 (m/s)	10~12 (m/s)	12~14 (m/s)	14~16 (m/s)	16~18 (m/s)	18~20 (m/s)	Σ (%)
N	0.250	2.906	2.575	1.015	0.360	0.110	0.007	-	-	-	7.224
NNE	0.522	4.568	3.766	1.317	0.294	0.059	0.007	-	-	0.007	10.541
NE	0.566	4.509	2.575	0.397	0.029	-	-	-	-	-	8.077
ENE	0.243	2.523	1.052	0.081	-	-	-	-	-	-	3.899
E	0.294	1.802	0.677	0.081	0.015	0.007	-	-	-	-	2.876
ESE	0.147	0.831	0.272	0.029	-	-	-	-	-	-	1.280
SE	0.213	1.052	0.669	0.125	0.007	0.007	-	-	-	-	2.074
SSE	0.235	1.810	1.810	0.471	0.037	0.007	0.015	-	0.007	-	4.392
S	0.287	3.597	4.561	2.030	0.736	0.059	0.015	0.007	0.015	-	11.306
SSW	0.235	3.538	6.098	2.987	0.780	0.191	0.029	0.007	-	-	13.866
SW	0.140	3.590	5.524	1.582	0.338	0.059	0.007	-	-	-	11.240
WSW	0.088	1.471	1.905	0.721	0.257	0.059	0.044	-	0.007	-	4.553
W	0.103	0.728	0.471	0.287	0.221	0.059	0.022	-	-	-	1.891
WNW	0.103	0.669	0.522	0.243	0.206	0.015	0.015	-	-	-	1.773
NW	0.154	1.111	1.677	1.059	0.463	0.118	0.015	-	-	-	4.598
NNW	0.118	2.067	3.538	2.942	1.317	0.353	0.066	0.007	-	-	10.409
Σ(%)	3.700	36.774	37.693	15.367	5.061	1.103	0.243	0.022	0.029	0.007	100.0

표 6. 순천 지역에서 일별 최대기록의 빈도

방위	0~2 (m/s)	2~4 (m/s)	4~6 (m/s)	6~8 (m/s)	8~10 (m/s)	10~12 (m/s)	12~14 (m/s)	14~16 (m/s)	Σ (%)
N	0.864	3.206	3.516	0.722	0.050	0.008	-	-	8.367
NNE	0.621	2.283	1.553	0.143	0.008	-	0.008	-	4.616
NE	0.839	4.003	2.165	0.159	-	-	-	-	7.167
ENE	0.403	1.469	0.495	0.008	-	-	-	-	2.375
E	0.587	1.762	0.428	0.059	-	-	-	-	2.837
ESE	0.470	1.418	0.394	0.042	-	-	-	-	2.325
SE	0.764	3.743	0.705	0.059	-	0.025	-	-	5.295
SSE	0.629	2.904	0.629	0.017	0.025	-	-	-	4.204
S	1.208	6.907	1.704	0.076	0.017	-	0.008	-	9.919
SSW	1.091	5.774	1.871	0.067	0.017	-	-	-	8.820
SW	1.099	4.884	2.115	0.336	0.059	-	-	-	8.493
WSW	0.311	2.031	1.309	0.294	0.034	-	-	-	3.978
W	0.403	3.466	3.416	0.973	0.151	0.017	-	-	8.426
WNW	0.227	3.197	3.449	1.091	0.168	-	-	-	8.132
NW	0.470	3.265	4.154	1.527	0.210	0.008	0.008	0.008	9.651
NNW	0.386	1.788	2.476	0.655	0.092	-	-	-	5.396
Σ(%)	10.373	52.098	30.379	6.227	0.831	0.059	0.025	0.008	100.0

10분 동안의 평균값으로 적절하게 수정되었다. 표 3~6은 각 지역 최대 풍속의 일별 최대 기록 빈도를 풍향별로 구분하여 나타낸 것이다.

4.4 분포모델의 검사 및 변수 추정

PPCC 검사를 수행하기 위하여 각 지역의 일별기록으로부터 하나의 최대 표본을 독립적으로 생성하였다. 이 표본은 1년, 6개월, 3개월, 1개월, 15일, 8일의 기간에 대하여 주기 극한값 방법으로 각각 수집되었다. 표 7은 Gumbel 및

Weibull 분포모델에서 해당 분포모델의 모수추정 방법에 의해 산정된 각각의 변수를 수집된 여섯 개의 최대 표본에 대입하여 PPCC 검사를 수행한 결과를 나타낸 것이다. 검사결과에 따르면, 풍속데이터는 Weibull 분포모델에 상대적으로 높은 적합도를 나타냈으며, Gumbel 분포모델에서는 ML 방법에 의한 추정치를 사용하는 것이 가장 적합한 것으로 조사되었다.

4.5 특정 위치에서의 통계학적 풍속 추정

표 7. 주기 극한값 방법에 의한 PPCC 값

	분포모델	모수추정	1년	6개월	3개월	1개월	15일	8일
여수	Gumbel	모멘트 방법	0.954	0.951	0.942	0.929	0.929	0.931
		OS방법	0.943	0.938	0.933	0.895	0.915	0.920
		ML방법	0.958	0.956	0.946	0.932	0.936	0.938
	Weibull	최소자승법	0.976	0.965	0.962	0.952	0.948	0.949
남해	Gumbel	모멘트 방법	0.976	0.967	0.954	0.939	0.933	0.927
		OS방법	0.977	0.957	0.941	0.920	0.914	0.905
		ML방법	0.978	0.966	0.953	0.935	0.930	0.924
	Weibull	최소자승법	0.990	0.985	0.979	0.965	0.961	0.958
진주	Gumbel	모멘트 방법	0.955	0.940	0.942	0.948	0.952	0.950
		OS방법	0.957	0.931	0.947	0.943	0.938	0.938
		ML방법	0.955	0.946	0.950	0.952	0.957	0.953
	Weibull	최소자승법	0.988	0.974	0.968	0.966	0.966	0.965
순천	Gumbel	모멘트 방법	0.946	0.935	0.940	0.951	0.955	0.955
		OS방법	0.949	0.936	0.942	0.952	0.945	0.941
		ML방법	0.946	0.938	0.957	0.960	0.963	0.960
	Weibull	최소자승법	0.983	0.965	0.953	0.962	0.965	0.968

풍속은 지역성이 강하여 장기간의 해당부지 풍속자료를 고려하여 합리적으로 추정할 필요가 있으나, 교량의 가설지점에 대한 장기간의 풍속자료를 얻는다는 것은 현실적으로 어렵다. 따라서 설계시에는 교량 가설지점 인근의 기상관측소 자료를 비교·검토하여 풍환경 특성이 유사한 관측소의 풍속 자료를 사용하는 것이 일반적이다.

교량가설지역 인근의 기상관측소 자료를 합리적으로 고려하기 위한 방법으로는 교량 가설지점과 인근 기상관측소에 대한 거리요소를 고려하거나 CFD 기술을 활용한 시뮬레이션 혹은 교량 가설지점의 단기 관측 자료로부터 인근 기상관측소의 풍속 요소에 대한 상관관계 등을 통해 산정될 수 있다. 본 연구에서는 교량 가설지점과 인근 기상관측소에 대한 거리요소를 고려하여 교량 가설지점의 전방위 및 16방위에 대한 기본풍속을 산정하였다.

인근 기상관측소의 전방위 및 16방위의 변수 a, b 가 얻어진 후 가중된 평균 변수와 표본 크기는 거리 S 에 반비례하여 식 (23)과 같이 나타낼 수 있으며, 가중치에 의한 추정치 \hat{a}, \hat{b} 는 식 (24)와 같이 나타낼 수 있다. 또한 Weibull 분포의 파라미터도 같은 방법에 의해 보정한다.

$$w_1 \cdot w_2 \cdot w_3 \cdot w_4 = \frac{1}{S_1} \cdot \frac{1}{S_2} \cdot \frac{1}{S_3} \cdot \frac{1}{S_4} \quad (23)$$

$$\hat{a} = a_1 w_1 + a_2 w_2 + a_3 w_3 + a_4 w_4 \quad (24a)$$

$$\hat{b} = b_1 w_1 + b_2 w_2 + b_3 w_3 + b_4 w_4 \quad (24b)$$

여기서, $\sum w_i = 1$

이로부터 16방위 및 전방위 최대풍속의 특정 재현주기에 대한 기본풍속을 표 8과 같이 구할 수 있다. 표에서 Gumbel 분포에 대한 모수는 4.4절에서 언급한 바와 같이 ML방법에 의하여 추정하였다. 16방위별 기본풍속은 ESE, SSE, E 방위에서 비교적 작았으며, S, N, NNE 방위에서 비교적 크게 나타났다. 이때, 전방위 풍속에 대한 최소값과

표 8. 분포모델에 따른 특정 위치의 극한 풍속

재현주기	Gumbel		Weibull	
	U_{100}	U_{200}	U_{100}	U_{200}
N	23.3	25.4	20.6	21.3
NNE	22.3	24.1	19.6	20.3
NE	21.4	23.1	19.7	20.3
ENE	19.7	21.4	16.8	17.4
E	19.3	21.1	16.9	17.5
ESE	17.3	18.8	15.4	16.0
SE	19.3	21.1	17.0	17.7
SSE	18.7	20.6	18.3	19.2
S	23.4	25.7	22.2	23.3
SSW	21.2	23.1	18.2	18.9
SW	21.6	23.5	18.6	19.2
WSW	19.7	21.3	17.4	17.9
W	19.2	20.6	15.9	16.3
WNW	22.2	24.0	18.4	18.9
NW	21.7	23.2	18.8	19.3
NNW	21.1	22.8	18.0	18.6
Non	29.7	31.9	25.6	26.3

최대값의 기대치는 각각 1.72와 1.16이다.

도로교설계기준(2004)에서는 기본풍속을 재현기간 100년에 대한 최대풍속의 비초과확률 60%에 해당하는 개활지에서의 지상 10m의 10분간 평균풍속으로 정의하고 있지만 케이블 강교량설계지침(2006)에서는 기본풍속을 지표조도구분 II인 개활지에서 지상 10m 높이에서의 재현기간 200년(내용년수 100년, 비초과확률 60%)에 해당하는 10분 평균풍속으로 정의하고 있다. 본 연구에서 산정된 광양-묘도 구간의 설계풍속은 재현기간 100년의 기본풍속을 기준으로 할 때, 재현기간 200년의 기본풍속이 7% 정도 높게 산정되었다.

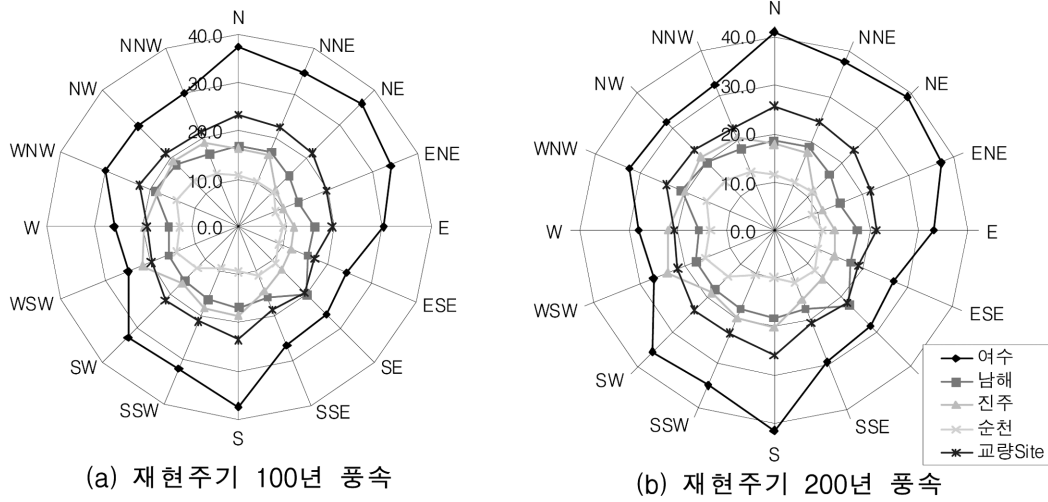


그림 3. Gumbel 분포모델에서 재현주기를 고려한 극한 풍속

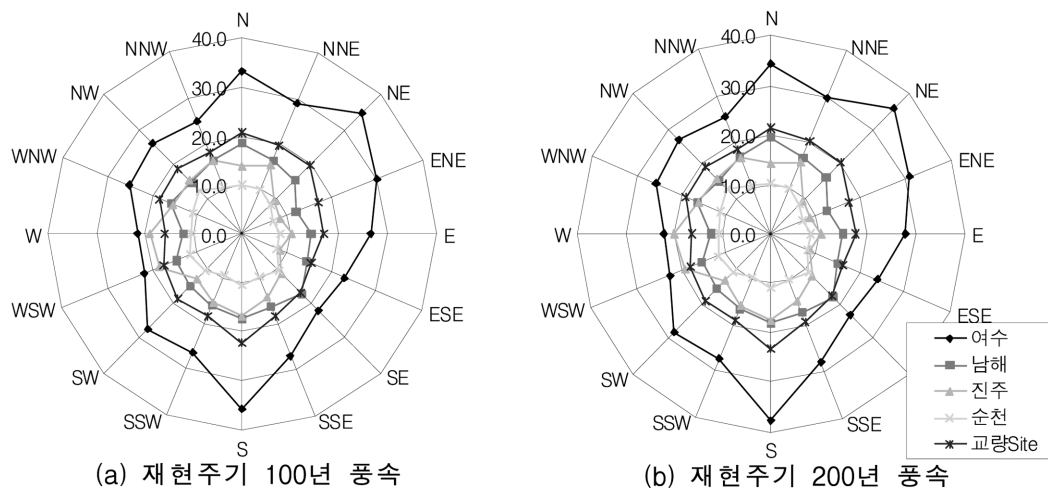


그림 4. Weibull 분포모델에서 재현주기를 고려한 극한 풍속

그림 3, 4는 교량 가설지점과 인근 기상관측소의 16방위별 재현주기 100년 및 200년 풍속을 나타낸 것으로 거리요소로 산정된 교량가설지점과 기상관측소의 기본풍속간의 관계를 나타내고 있다. 교량 가설지점의 전방위 풍속을 기준으로 할 때, 여수는 약 1.5배 크게 나타났으며, 남해와 진주, 순천의 풍속은 각각 78%, 70%, 50% 정도로 산정되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 일별 최대풍속 및 해당 풍향의 결합작용을 고려한 일별최대기록의 빈도를 산출하였으며, 최대값에 대한 극한값분포에 결합 분포 확률을 적용하여 광양-묘도 인근의 여수, 남해, 진주, 순천 기상관측소에 대한 통계학적인 풍속 추정을 수행하였다.

극한값 분포모델과 변수 추정방법을 PPCC(Probability plot correlation coefficient) 검사를 통해 비교·분석한 결과 Weibull 분포모델에서 상대적으로 높은 적합도를 나타냈으며, Gumbel 분포모델에서는 ML 방법(Maximum likelihood method)에 의한 추정치를 사용하는 것이 가장 적합한 것으로 나타났다.

평균풍속은 조도와 풍속계의 높이를 고려한 풍속 데이터의 표준화, 분포모델 및 변수 추정방법의 검사, 분포모델의 변

수 결정 및 풍속 추정의 절차를 거쳐 산정되었다. 평균풍속은 각각의 방향에 대하여 평균값과 표준편차가 다르게 나타났으며, 교축방향 혹은 교축직각 방향에 대한 풍하중 산정시 이를 고려해야 한다.

본 연구에서는 교량 가설지점과 인근 기상관측소에 대한 거리요소를 고려하여 해당부지의 풍속을 산정하였으나, 풍환경을 고려한 교량 가설지점의 풍속을 보다 합리적으로 산정하기 위하여 CFD 기술을 활용한 시뮬레이션 혹은 인근 지역을 통과한 태풍 기록과 태풍 모델을 바탕으로 하는 시뮬레이션 기법, 교량 가설지점의 단기 관측 자료로부터 인근 기상관측소의 풍속 요소에 대한 상관관계 등을 고려한 방법에 대한 추가적인 연구가 필요하며 이에 대한 연구를 수행하고 있다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 지역특성화연구개발사업의 연구비지원(05지역특성B05-01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

건설교통부(2005) 도로교설계기준.

- 건설교통부(2000) 건축물하중기준 및 해설.
- 대한토목학회(2006) 케이블강교량 설계지침.
- 박관순(1997) 년최대풍속을 이용한 설계기본풍속의 추정에 대한 연구, 석사학위논문, 건국대학교.
- 조효남, 차철준, 백현식(1989) 확률에 기초한 한국의 기본 설계 풍속 추정. 한국전산구조공학회 논문집, 한국전산구조공학회, 제2권 2호 pp. 63~72.
- Ang, Alfredo H-S. and Tang, Wilson H. (1975) *Probability Concepts in Engineering Planning and Design*, Vol., John Wiley and Sons, NY.
- Baynes, C.J. (1974) *The statistics of strong wind for engineering application*, Ph.D. Thesis, University of Western Ontario.
- Davenport, A.G. (1976) The dependence of wind loads on meteorological parameters, *Proceedings of the International Seminar of Wind Effects on Buildings and Structures*, Ottawa.
- Davenport, A.G., Isyumov, N. and Jandali, T. (1971) *A study of wind effects for the Sears Project*, University of Western Ontario, Engineering Science Research Report, BLWTL-5-71.
- Gumbel, E.J. (1958) *Statistics of Extremes*, Columbia University Press, New York.
- Mayne, J.R. (1979) The estimation of extreme winds, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 5, pp. 109-137.
- Simiu, E. and Scanlan, R. (1996) *Wind Effect on Structure 3rd edition*, Wiley, New York.
- Yaojun Ge, Haifan Xiang (2002) Statistical Study for Mean Wind Velocity in Shanghai area, *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 90, pp. 1585-1599.
- (접수일: 2007.7.16/심사일: 2007.9.10/심사완료일: 2007.10.24)