

확률에 기초한 한국의 기본 설계풍속 추정

Probability-Based Estimates of Basic Design Wind Speeds in Korea

오 조 요 남 * 백 헌 식 ** 차 철 준 ***
Hyo Nam Cho Hyeon Shik Baik Cheol Jun Cha

ABSTRACT

This study presents rational methods for probability-based estimates of basic design wind speeds in Korea and develops a risk-based nation-wide map of design wind speeds.

The paper examines the fitting of the Type-I extreme model to maximum yearly non-typhoon wind data from long-term records based on the conventional method and to maximum monthly non-typhoon wind data from short-term records following Grigoriu's approach. The paper also reviews the applicability of the method using short records of about 5 years. The results shows that the method is stable and thus applicable in Korea. The basic design wind speeds for typhoon and non-typhoon wind at a station are made to be obtained from a mixed model which is given as a product of typhoon and non-typhoon extreme wind distributions. A practical method which is based on the fitting of the Type I model to records of typhoon and non-typhoon mixed wind data at a station is also proposed in this study.

1. 서론

장대교, 송전탑, 고층 건물 등과 같이 풍하중이 설계를 지배하는 구조물에서는 안전하며 경제적인 구조설계를 위하여 합리적인 방법에 의해 도출된 설계 기본 풍속(지상 10m 10분 평균 풍속)의 적용이 매우 중요하다. 종래에는 통계적인 방법에 의한 설계 기본 풍속의 결정을 위하여 비열대성 계절풍의 경우, 각 지역 관측소의 장기 관측기록을 토대로 년 최대풍속을 Gumbel선으로 적합시켜 추정하는 방법을 사용하고 있다. 그러나, 관측기록이 10여년 또는 3-5년 정도밖에 안되는 경우에는 년 최대풍속에 의한 객관적인 추정방법은 적용이 불가능하다. 한편, 폭풍의 발생 특성이나 풍속장이 계절풍과는 근본적으로 다른 태풍의 경우에는 관측기록이 최소한 80년 정도는 되어야만 Stochastic 모형에 의한 실관측 기록을 이용한 통계적 추정이 가능하다.

Thom⁽⁶⁾은 비열대성 및 열대성 폭풍에 대하여 Type II 극치 분포도 모형화하여 풍속을 추정하였으나, Simiu⁽⁹⁾ 등은 최소한 20년 이상의 관측기록이 있는 비열대성 풍속의 경우 Type I 극치 분포에 더 잘 적합시킬 수 있음을 보여주었다. 또한 Simiu⁽⁹⁾는 3-10년 정도의 단기 기록만 있는 지역에 대해서는 일, 주, 월 최대풍속을 이용하여 설계 풍속을 추정하였다. 반면에, Grigoriu⁽⁵⁾는 1-5년 정도의 시간 평균 풍속 데이터를 이용한 설계 풍속의 추정 방법을 제안하였고, 그후 다시 Grigoriu⁽⁵⁾는 3-5년 정도의 단기 기록만 있는 경우 월 최대풍속을 독립, 정상(stationary) 풍속으로 가정하여 Type I 극치 분포로 적합시켜 추정하는 방법을 제안하고 있다. 반면에 태풍이나 허리케인의 경우 Russell과 Batts⁽⁷⁾ 등은 단기기록만 있는 지역에 대해 그 지역 인근에서의 태풍의 발생과

행 특성에 관한 기록의 통계적 기법과 풍속장 모형을 이용한 Monte-Carlo Simulation에 의해 태풍의 설계 풍속을 추정하는 방법을 제안하였다. 또한 Cheng과 Chieu⁽⁸⁾는 열대성 태풍이나 비열대성 바람의 단기기록을 연장시켜 Markov 모형을 사용한 시간 시계열 풍속의 Stochastic 시뮬레이션에 의해 설계풍속을 추정하는 방법을 제안하였다. 우리나라의 경우에는 아직도 엄밀한 확률 통계적 기법에 의한 전국 각 지역의 설계 풍속 추정에 관한 체계적이며 종합적인 연구 사례는 찾아볼 수 없고, 더구나 확률 위험도에 기초한 제한기간별 풍속지도(Wind Map)가 작성된 바 없다. 다만, 부분적으로 객관적인 통계적 방법에 의해 추정된 설계 풍속을 일부 시방서에서 채택하고 있는 실정이다. 그러나 태풍의 경우에는 최근에 본 연구자⁽¹⁾에 의해 태풍의 확률 위험도와 설계 풍속의 추정 방법으로 태풍의 관측 기록을 이용하는 직접적인 적합 방법과 Russell의 시뮬레이션 방법을 수정 발전시킨 Monte-Carlo 시뮬레이션 방법을 제안한 바 있다.

본 연구에서는 열대성 태풍과 비열대성 계절풍을 망라하여 우리나라 전국 각 지역의 단기 또는 장기 관측기록을 토대로 한반도의 극치 풍속에 적합한 확률 모형과 통계적 방법에 의해 기본 설계 풍속을 추정하는 방법을 제안하고, 그 타당성에 대한 통계적 분석과 나아가 한반도의 설계 풍속지도의 개발에 연구의 중점을 두고 있다. 현재 우리나라의 풍속 기록은 30개의 측후소와 80개의 관측소에 장기 또는 단기 풍속 기록이 있지만, 18개 주요 도시의 측후소의 경우에는 20년 이상의 풍속 기록이 있으나 그 지역에서는 짧게는 4년 길게는 10여년 정도의 기록밖에 없다. 고로, 단기 기록 지역에 대해서는 Grigoriu의 월 최대풍속에 의한 추정 방법의 적용 가능성을 검토하고 20년 이상의 비교적 장기 기록이 있는 지역에 대해서는 년 최대풍속에 의한 추정방법을 사용하였다. 대부분의 지역에서 태풍이 설계풍속을 지배하지 않는 우리나라의 경우에는 혼합 풍속기록을 이용한 추정 방법의 적용 가능성에 대해서도 고찰하였다.

* 정회원 한양대학교 토목공학과 교수
** 한양대학교 토목공학과 석사과정
*** 한양대학교 토목공학과 석사과정 졸업

2. 풍속 추정 모형

2.1 비태풍 일반 풍속 모형

년 최대 또는 월 최대 풍속에 대한 Type I 극치 분포는 다음과 같은 일반형으로 기술된다.

$$F(z) = \exp\{-\exp[-(z-\lambda)/\delta]\} \quad \text{----- (1)}$$

여기서 λ 및 δ 는 위치 및 스케일 모수이다. 이들 모수와 평균 및 분산과의 관계는

$$\mu = \lambda + \gamma \delta \quad \text{----- (2a)}$$

$$\sigma^2 = \pi^2 \delta^2 / 6 \quad \text{----- (2b)}$$

이때 $\gamma = 0.577216$ (EULER 상수). 충분한 풍속기록이 있는 경우 재래적인 방법에서의 평균 재현기간 R년에 대한 R년 재현 설계 풍속 y_R 은

$$y_R = \lambda_y + q_{R,y} \delta_y \quad \text{----- (3)}$$

$$\text{여기서 } q_{R,y} = -\ln(-\ln(1-1/R)) \quad \text{----- (4)}$$

이고, 이때 $R = 1/(1-F(y_R))$.

실제 λ_y 와 δ_y 는 미지수이고, 년 최대풍속기록 $\{y_1, \dots, y_n\}$ 이 있는 경우 모멘트 방법 (method of moment), 최우방법 (maximum likelihood method)이나 확률가중 모멘트 (probability weighted moment) 등에 의해 구한 추정치 $\hat{\lambda}_y$ 와 $\hat{\delta}_y$ 를 사용한다

$$\hat{y}_R = \hat{\lambda}_y + q_{R,y} \hat{\delta}_y \quad \text{----- (5)}$$

반면에, 단기기록만 있는 지역에 대해서는 Grigoriu의 월 최대풍속의 Type I 극치분포 모형을 사용하면, R년 재현설계풍속 x_R 은

$$x_R = \lambda_m + q_{R,m} \delta_m \quad \text{----- (6)}$$

$$\text{여기서 } q_{R,m} = -\ln(-\ln(1-1/(12R))) \quad \text{----- (7)}$$

x_R 에 대응하는 추정량 (estimator) x_R 은

$$\hat{x}_R = \hat{\lambda}_m + q_{R,m} \hat{\delta}_m \quad \text{----- (8)}$$

위에서 년 최대풍속 y 나 월 최대풍속 x 는 모두 독립이며 정상 (stationary) 분포를 갖는다는 가정하에 유도된 것이다. 그리고 y_R, x_R 모두

Type I 극치 확률치에 데이터 $\{y_i\}, \{x_i\}$ 를 Gumbel 선에 적합시켜 구한 것과 같음을 알 수 있다.

2.2 태풍의 풍속모형

태풍의 풍속모형은 문헌 3에 상술되어 있으며

로 여기에는 결과식만 제시한다. 태풍 발생을 Poisson Process로 보고, 태풍 풍속의 기저분포를 $F_V(v)$ 라 하면 년 최대풍속은 다음과 같이 유도된다.

$$F(v) = \exp\{-\nu[1-F_V(v)]\} \quad \text{----- (9)}$$

여기서

$$\nu : \text{태풍의 발생률}$$

$$F_V(v) : \text{태풍의 풍속의 확률분포}$$

기저분포 $F_V(v)$ 는 미지이지만 통상 Lognormal이나 Weibull로 적합시키는데, 우리나라의 경우 Weibull로 더 잘 적합됨을 알 수가 있었다. $F_V(v)$ 가 Weibull인 경우 R년 재현 태풍 설계풍속은

$$v_R = \sigma \{-\ln[-1/\nu \ln(1-1/R)]\}^{1/\gamma} \quad \text{----- (10)}$$

여기서 σ 와 γ 는 2 모수 Weibull의 모수이다. 100~150년 정도의 충분한 태풍관측기록이나 시뮬레이션 데이터가 있는 경우에는 3 모수 Weibull 분포에 년 최대 태풍을 직접 적합시키는 방법을 사용할 수 있다. Weibull 분포는

$$F(v) = 1 - \exp[-((v - \mu_\#) / \sigma_\#)^\gamma] \quad \text{----- (11)}$$

따라서 R년 재현 설계풍속 v_R 은

$$v_R = \mu_\# + \sigma_\# (\ln R)^{1/\gamma} \quad \text{----- (12)}$$

태풍의 Monte-Carlo Simulation 방법은 문헌 3에 상술되어 있으므로 여기서는 생략한다.

2.3 년 최대풍속의 혼합모형 (Mixed Model)

정도의 차이는 있으나 태풍과 계절풍의 영향을 모두 받고 있는 한반도에서의 설계풍속의 추정은 이론적으로 태풍과 계절풍을 모두 고려한 혼합분포로부터 구해야 한다. 태풍과 계절풍의 발생이 독립 사상임을 고려하면, 년 최대풍속의 혼합분포모형 $F(V \leq v)$ 는 다음과 같이 기술할 수 있다.

$$F(V \leq v) = F_T(V \leq v) \cdot F_{NT}(V \leq v) \quad \text{----- (13)}$$

여기서 $F_T(V \leq v)$ 는 태풍의 년 최대풍속분포이며

식(9) 또는 (11)이 된다.

$F_{NT}(V \leq v)$ 는 계절풍의 년 최대풍속분포이며

식(1)의 Type I 극치 분포가 된다. 그러나 우리나라의 경우 일부 서남해 및 동남해안 지역을 제외하고는 태풍의 영향이 그리 심하지 않고 중부지역에서는 오히려 계절풍이 년 최대 풍속을 지배하고 있으므로 본 연구에서는 태풍 및 비태풍의 혼합 관측 기록을 Type I 또는 Weibull 분포에 직접 적합시켜 년 최대 풍속을 측정하는 방법에 대해서도 고찰하였다.

2.4 모수 및 신뢰한계 추정

1) 모수추정

확률분포의 모수를 추정하는 방법에는 여러가지가 있지만 본 연구에서는 가장 보편적으로 사용되는 방법인 모멘트 방법과 최우방법만 사용하였다. 식(1)의 Type I 극치 분포에서는 미지 모수 λ, δ 의 추정치 $\hat{\lambda}, \hat{\delta}$ 는 모멘트방법에서 1차 및 2차 모멘트 추정치($m = 1/n \sum z_i, \sigma^2 = 1/(n-1) \sum (z_i - m)^2$)로부터 다음과 같이 추정된다.

$$\hat{\lambda} = \hat{m} - 0.577216 \hat{\delta} \text{ -----(14a)}$$

$$\hat{\delta} = (\sqrt{6}/\pi) \hat{\sigma} = 0.779697 \hat{\sigma} \text{ -----(14b)}$$

Type I 극치분포의 경우 최우방법이 모멘트방법보다 더 좋은 결과를 보여준다고 알려져 있는데, 최우추정치는 다음과 같이 유도된다.

$$\sum z_i \exp(-z_i/\hat{\delta}) = (\hat{m} - \hat{\delta}) \sum \exp(-z_i/\hat{\delta}) \text{ (15a)}$$

$$\hat{\lambda} = -\hat{\delta} \ln((1/n) \sum \exp(-z_i/\hat{\delta})) \text{ (15b)}$$

그러나 데이터가 매우 적은(n=3) 경우를 제외하고는 두 방법 모두 만족할 만한 결과를 주며 여러 가지 면에서 모멘트방법이 유리하다.

2) 설계풍속의 신뢰한계

데이터 $\{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ 이 Type I 극치 분

포로부터의 n개 독립 표본인 경우 식(3), (6)의 설계 풍속 z_R 은 $(1-\alpha)$ 의 확률수준에서 두 확률 변수 S_1 과 S_2 에 의해 상하한 값을 갖는다. 즉,

$$P(S_1 < z_R < S_2) = 1-\alpha \text{ -----(16)}$$

구간 (S_1, S_2) 를 $100(1-\alpha)\%$ 신뢰구간이라 일컫고 S_1, S_2 를 신뢰한계, $1-\alpha$ 를 신뢰계수라 한다.

z_R 에 대한 근사적인 신뢰한계는 추정량 $\hat{z}_R = \hat{\lambda} + q_R \hat{\delta}$ 이 정규분포를 갖는다는 가정하에 유도할 수 있다. 즉,

$$S_1 = \hat{z}_R + \tilde{S}_1 \text{ Std}[\hat{z}_R] \text{ -----(17a)}$$

$$S_2 = \hat{z}_R + \tilde{S}_2 \text{ Std}[\hat{z}_R] \text{ -----(17b)}$$

여기서, z_R 은 불편 추정치, $(\tilde{S}_1, \tilde{S}_2)$ 는 신뢰계수

$(1-\alpha)$ 가 0.68, 0.95, 0.997 일때 각각 $(-1, 1), (-2, 2), (-3, 3)$ 이다. 그리고,

$$\text{Std}[\hat{z}_R] = [\pi^2 / 6 + 1.1396(q_R, y - 0.577216) \pi / \sqrt{6} + 1.1(q_R, y - 0.577216)^2]^{1/2} (\sqrt{6}/\pi) \hat{\delta} / \sqrt{n} \text{ -----(18)}$$

반면에 최우추정치 $\hat{\lambda}, \hat{\delta}$ 를 사용하는 경우 $\text{Std}(z_R)$ 은 다음과 같이 유도된다. 즉,

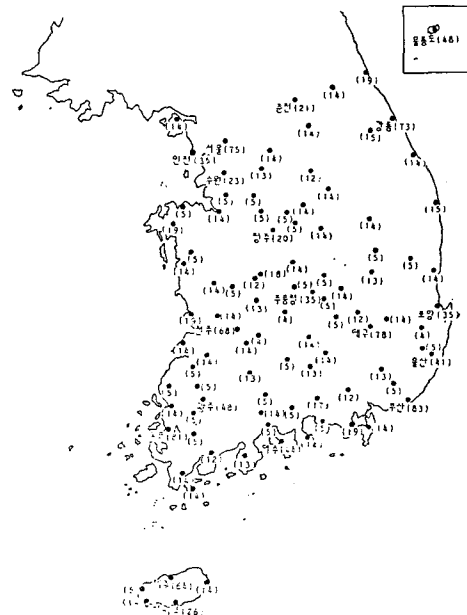
$$\text{Std}[\hat{z}_R] = [1 + 6/\pi^2 (1 - q_R)^2]^{1/2} \delta / \sqrt{n} \text{ (19)}$$

3. 통계적 분석

설계풍속의 추정과 데이터의 통계적 처리 및 분석을 위하여 전절에서 기술한 확률 모형과 통계적 방법을 FORTRAN으로 코딩한 프로그램에 의해 전국의 측후소 및 관측소의 풍속 기록을 통계적으로 처리 분석한 결과 중 일부를 아래에 요약하였다.

3.1 풍속 확률모형의 적합도

그림 1과 같이 우리나라에는 총 110여개의 측후소 및 관측소가 있지만 20년 이상의 비교적 장기 풍속기록을 보유하고 있는 곳은 18개소에 불과하며 나머지 대부분은 4-19년 정도의 기록 밖에 없다. 따라서 우리나라에서 설계풍속의 추정은 단기기록의 월 풍속을 이용한 추정이 불가피하다. 우리나라의 장기(20년 이상) 및 단기(4-19년) 풍속의 제대적인 년 최대풍속기록 및 월 최대풍속 기록은 각각 Type I, II, III 극치분포 및 Weibull에 적합시켜 비교하는 예비 통계적 분석 결과, 외국의 경우와 마찬가지로 비배풍의 경우 Type I분포에 가장 잘 적합시킬 수 있으며, 배풍의 경우는 문헌 3에서 고찰한 바와 같이 최소한 50년 이상의 풍속기록이 있는 지역에서 식(9)의 기저 분포를 Weibull에 적합시킬 수 있었다.



< 그림 1 > 전국의 측후소 및 관측소 분포

표 1에는 비배풍에 대한 장기기록이 있는 전국 주요 측후소를 대상으로 년 최대 풍속에 대한 Type I 모델의 χ^2 적합도를 검정한 결과와 2회의 연속적인 5년 단기 기록을 취하여 이들의 월 최대 풍속에 대한 χ^2 적합도를 검정한 결과가 주어져 있다. 표 1에서 년 최대 풍속의 경우는 부산지역만 χ^2 검정에 크게 벗어나지만 나머지는 모두 만족되는 결과를 보여줌을 알 수가 있다. 부산의 경우만 χ^2 검정이 크게 벗어나는 것은 풍속기록상의 문제가 있는 것으로 추측된다. 월 최대 풍속을 이용한 5년 단기 기록의 Type I 적합도 검정 결과는 대개의 경우 만족스러우나, 추정치의 20% 정도는 약간 벗어나음을 알 수 있다. 그러나 크게 벗어나지 않으므로 Type I 에의 적합이 타당한 것으로 보인다. 한편, 배풍의 영향이 적은 중부내륙지방에 대한 설계 풍속을 구하는 데 있어 배풍 및 계절풍을 구분하지 않고 혼합 기록에 의한 추정가능성을 검토하기 위하여 혼합 기록을 이용한 단기 및 장기 풍속자료에 대한 적합도를 검정한 결과 여기에 수록하지는 않았지만 표 1의 비배풍자료에 대한 것과 유사하며, 이는 우리나라의 경우는 배풍 및 비배풍을 구분하지 않고 혼합 기록에 의한 설계 풍속의 추정시 Type I 극치분포 모형을 사용할 수 있다는 것을 시사한다고 볼 수 있다.

표 2. 상단 한계 풍속 \bar{x}_{ec1}

Station	Period of Record	\bar{x}_{ec1}			\bar{v}_{50}	$(\bar{x}_{ec1} - \bar{v}_{50}) / \bar{v}_{50}$		
		90 %	95 %	99 %		90 %	95 %	99 %
목포	77-81	30.317	30.842	31.856	36.100	-0.160	-0.146	-0.117
	81-86	30.952	31.543	32.685				
서울	77-81	24.686	25.184	26.146	22.034	0.120	0.143	0.187
	81-86	19.220	19.560	20.218				
순천	77-81	25.331	25.888	26.965	22.296	0.141	0.166	0.215
	81-86	18.010	18.346	18.994				
울릉도	77-81	41.560	42.382	43.970	41.640	-0.002	0.018	0.056
	81-86	24.913	35.565	36.826				
대구	77-81	23.432	23.820	24.569	23.591	-0.0068	-0.0097	0.0415
	81-86	25.086	25.557	26.526				
전주	77-81	21.107	21.621	22.615	18.799	0.123	0.150	0.203
	81-86	19.194	19.601	20.385				
부산	77-81	30.622	31.149	32.165	32.177	-0.048	-0.032	-0.020373
	81-86	30.673	31.285	32.450				
서주	77-81	30.230	30.786	31.860	31.523	-0.041	-0.023	0.011
	81-86	28.632	29.139	30.120				
강릉	77-81	24.837	25.350	26.342	23.207	-0.250	-0.237	-0.206
	81-86	24.966	25.507	26.551				
경주	77-81	21.525	21.963	22.810	22.327	-0.036	-0.016	0.022
	81-86	18.890	19.259	19.971				

표 1. 단기 월풍속 이용 추정과 장기 년풍속 추정의 결과 비교

Station	5년 단기 월풍속 추정 (월 최대 풍속)								장기 년풍속 추정 (년 최대 풍속)							
	Period of Record	χ^2 Test		MEAN	Std(x)	\bar{x}_{50}	Std(\bar{x}_{50})	Period of Record	χ^2 Test		MEAN	Std(y)	\bar{v}_{50}	Std(\bar{v}_{50})	$\frac{\bar{x}_{50} - \bar{v}_{50}}{\bar{v}_{50}}$	
		Result	$C_{1-\alpha, f}$						Result	$C_{1-\alpha, f}$						
목포	77-81	6.16	7.81	15.928	2.630	27.861	1.422	1906	5.25	9.49	23.102	5.014	36.100	1.464	-0.228	
	82-86	3.13	9.49	14.855	3.072	28.792	1.660	-1986							-0.202	
서울	77-81	3.60	11.10	11.113	2.590	22.864	1.400	1912	3.60	9.49	14.552	2.886	22.034	0.876	0.038	
	82-86	2.16	11.10	9.945	1.770	17.975	0.957	-1986							-0.184	
순천	77-81	8.90	9.49	10.143	2.898	23.293	1.567	1966	9.51	3.84	14.452	3.026	22.296	1.735	0.045	
	82-86	9.59	5.99	8.862	1.746	16.782	0.944	-1986							-0.247	
울릉도	77-81	8.41	11.10	19.098	4.207	38.183	2.274	1939	2.16	3.84	26.615	5.796	41.640	2.198	-0.083	
	82-86	1.44	7.81	17.083	3.380	32.419	1.827	-1986							-0.221	
대구	77-81	0.50	5.99	12.868	2.016	22.014	1.090	1909	9.59	11.10	16.454	2.753	23.591	0.819	-0.067	
	82-86	3.21	7.81	11.703	2.554	23.290	1.380	-1986							-0.013	
전주	77-81	10.03	7.81	7.092	2.675	19.226	1.446	1919	3.07	3.84	11.944	2.644	18.799	0.843	0.023	
	82-86	7.87	9.49	8.127	2.112	17.709	1.142	-1986							-0.058	
부산	77-81	5.89	7.81	16.243	2.680	28.404	1.449	1904	29.65	11.10	22.202	3.948	32.177	1.110	-0.117	
	82-86	4.65	11.10	14.142	3.156	28.459	1.706	-1986							-0.116	
서주	77-81	8.86	5.99	15.023	2.838	27.899	1.534	1923	5.92	11.10	22.142	3.619	31.523	1.188	-0.115	
	82-86	9.14	9.49	14.700	2.497	26.028	1.350	-1986							-0.174	
강릉	77-81	6.75	5.99	10.848	2.669	22.959	1.443	1912	8.38	9.49	19.297	5.366	33.207	1.650	-0.309	
	82-86	6.69	9.49	10.238	2.810	22.989	1.519	-1986							-0.308	
경주	77-81	9.98	7.81	9.588	2.278	19.923	1.231	1967	1.03	3.84	14.765	2.917	22.327	1.714	-0.108	
	82-86	8.00	11.10	8.850	1.916	17.543	1.036	-1986							-0.214	

3.2 장기 년풍속 이용 추정과 단기 월풍속 이용 추정의 비교

4-19년사이의 단기기록을 가진 지역의 설계풍속 추정을 위하여 Grigoriu가 사용한 월 최대풍속의 Type I 분포모형으로부터 추정하는 방법의 타당성을 고찰하기 위하여 비태풍에 대해 장기 기록을 가진 주요지역에 대한 5년 단기기록을 이용하여 측정한 50년 재현 설계풍속 x_{50} 과 그 지역의 년 최대 풍속 기록을 이용하여 추정한 설계풍속 v_{50} 의 추정을 비교한 결과를 표1에 수록하였다.

표1의 결과를 보면, 단기 5년 기록에 대한 설계풍속의 추정이 서울, 춘천, 울릉도를 제외하고는 한 지역에서의 상이한 5년 기록에 의한 추정결과가 비슷하다. 이는 월 최대풍속이 대개의 지역에서 정상(stationary)이며 월 최대풍속에 의한 추정이 일관성있는 결과를 준다는 것을 알 수 있다. 장기 기록을 이용하여 추정한 v_{50} 과 비교해 보면 x_{50} 의 90% 가까운 추정치가 v_{50} 보다 낮은 값이고, v_{50} 에 대한 오차는 10개 지역 20개 추정에서 최고 30%정도 오차가 있는 지역이 한 곳 있으나 추정치의 65%정도가 20%미만의 오차를 갖고 있고, 40%가까이가 10%미만의 오차를 갖고 있음을 보면, 5년내의 단기기록으로도 설계풍속의 추정이 가능할 뿐 아니라 기록이 10년만 넘어서면 그 오차가 상당히 줄어들 수 있음을 예측할 수 있다. 그리고 x_{50} 이 v_{50} 에 비하여 90%가까운 추정이 낮은 값을 주므로, 표2에서 보는 바와 같이 x_{50} 보다는 95% 또는 99% 상단 신뢰한계 x_{95} 을 사용하면 오차가 표에서 보는 바와 같이 대개의 경우 절반이상 크게 줄어 들고 99% 신뢰한계의 경우 오차가 거의 20%미만이며, 추정치의 60%이상 10%미만임을 알 수 있다. 따라서 신뢰성 설계기준에서 설계속도는 단기기록 지역에서는 상한 신뢰한계 x_{95} 을 사용함이 바람직하다고 본다. 반면에, 혼합기록을 이용한 단기 및 장기 설계풍속 추정결과를 비교한 결과 표1과 비슷한 양상의 결과를 주고 있음을 알 수 있었다.

표 3. 설계 풍속 추정 결과 비교

Station	Period of Record	비태풍 지역 확률	비태풍 v_{50}	태풍 v_{50}	혼합분포 v_{50}	혼합기록 v_{50}
목포	81	0.333	36.1	37.5	39.3	39.2
서울	75	0.000	22.0	14.9	22.0	22.0
대구	78	0.090	23.6	21.1	24.2	24.2
전주	68	0.074	18.8	14.6	19.1	18.9
부산	83	0.265	32.2	30.7	33.2	34.6
제주	64	0.297	31.5	31.9	33.4	35.7
강릉	73	0.041	33.2	22.8	33.3	33.8
광주	48	0.167	20.8	24.8	25.1	24.7
여수	44	0.455	29.3	31.4	32.2	33.3
울산	41	0.146	27.1	27.3	29.1	30.0
울릉도	48	0.167	41.6	38.0	42.4	45.1
청주	20	0.000	22.3	14.9	22.3	22.3

3.3 설계풍속 추정방법의 비교

전습한 바와 같이 태풍과 계절풍의 영향을 같이 받는 지역이나 특히 태풍의 영향이 더 지배적인 지역에서는 식 (13)의 혼합모형분포를 사용하여 설계풍속을 추정해야 한다. 그러나 태풍의 영향이 적은 우리나라에서, 특히 중부 및 내륙지방에서는 계절풍이 90%이상 년 최대풍속을 지배하므로 혼합모형에 의한 추정보다는 혼합기록을 이용한 직접 추정이 비슷한 결과를 줄 경우에는 혼합기록에 의한 직접 추정이 더 실용적이다. 표 3은 장기 기록이 있는 전국 주요지역에 대한 비태풍 설계풍속, 태풍 설계풍속, 혼합분포 설계풍속, 혼합기록 설계풍속에 대한 추정결과가 수록되어 있다. 표 3에서 제주, 울릉도와 같은 도서지방을 제외한 전 지역에서 혼합모형 설계풍속과 혼합기록 설계풍속이 거의 유사함을 알 수 있다. 그러나 표 4에서 보는 바와 같이 태풍의 영향이 심한 지역에서 단기 풍속기록에 없는 지역에서는 혼합기록에 의한 설계 풍속 추정이 인근 장기기록을 가진 지역의 설계풍속과 크게 차이 나며 낮은 설계풍속으로 나타나므로, 인근 지역의 태풍의 극치풍속 분포를 이용한 혼합모형에 의한 추정이 합리적인 결과를 얻을 수 있다. 이는 단기기록을 가진 지역에서는 태풍의 풍속분포를 시뮬레이션이나 인근 지역의 기록을 이용하여 추정함으로써 혼합모형에 의해 설계풍속의 추정이 가능하다고 본다.

4. 설계풍속 지도

상습한 통계적 분석결과에 기초하여 전국 각 지역에 단기 및 장기 풍속기록을 이용하여 태풍의 영향이 비교적 큰 서남해 호남지역과 동남해 경남 지역에서는 혼합기록 또는 혼합모형에 의해 풍속을 추정하고, 태풍의 영향을 무시할 수 있는 정도인 중부내륙 지역에서는 혼합기록을

표 4. 단기기록 지역의 혼합모형 설계풍속 추정

Station	Period of Record	혼합분포 v_{50}	혼합기록 v_{50}
목포	81	39.3	39.2
한경	14	37.5	18.0
서울	75	22.0	22.0
이천	13	14.9	11.8
대구	78	24.2	24.2
칠곡	12	21.1	15.8
전주	68	19.1	18.9
임실	14	14.6	11.5
부산	83	33.2	34.6
김해	5	30.7	20.0
제주	64	33.4	35.7
한림	5	31.9	24.3
강릉	73	33.3	33.8
삼척	14	22.8	15.1

이용하여 설계풍속을 추정함으로써 50년 재현 설계풍속에 대한 contour형 전국 풍속지도를 작성한 결과는 그림 2와 같다. 중부내륙에서는 많은 지역이 20 m/s미만의 설계풍속을 가지나 풍속지동에서 우리나라의 최소 설계풍속은 20 m/s로 제한하였다. 풍속지도에서 태풍의 영향이 큰 서남해 및 동남해 일대가 중부내륙에 비하여 설계풍속이 높은 것을 알 수 있고 태풍영향이 적은 곳도 강릉과 같이 동해안 지역에서는 높은 설계풍속으로 나타남을 알 수 있다. 그림 2의 설계풍속 지도에서 제안한 바와 같이 우리나라에서는 50년 재현 설계풍속을 도서지방을 제외하고는 40~20^{m/s}로 함이 타당하다고 본다. 또한 이는 우리나라의 경우 중요한 보목, 건축 구조물의 내풍설계시에 지역별로 그림 2와 같은 확률에 기초한 설계풍속의 적용이 바람직하다는 것을 입증한다고 볼 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 전국의 주요 측후소를 제외하고는 4~19년 정도의 단기풍속 기록만을 갖고 있는 대부분의 지역에 대해 실용적이며 합리적인 풍속 확률모형과 통계적인 방법에 의한 기본설계풍속의 추정방법과 이에 대한 설계풍속지도의 개발방법을 제안하였다. 본 연구결과 다음과 같은 결론에 도달할 수 있었다.

- 1) 우리나라의 계절풍의 년 최대 풍속확률 모형은 장기 및 단기기록 추정 모두 Type I 극치 분포로 가장 잘 적합시킬 수 있다.
- 2) 풍속기록이 20년미만인 단기기록 지역에서 비태풍에 대해서는 Grigoriu가 제안한 월 최대 풍속의 Type I 모형에 의한 설계 풍속추정이 대개의 경우 만족할 만한 결과를 준다.



<그림 2> 50년 재현 기본 설계 풍속 지도

3) 도서지방을 제외하고는 장기 풍속기록이 있는 지역에서는 혼합기록에 의한 설계풍속의 직접추정이 가능하다고 본다.

4) 단기기록만 있는 지역의 설계풍속은 시뮬레이션이나 인근 지역의 기록을 이용하여 태풍의 풍속분포를 추정함으로써 혼합모형에 의해 추정해야 한다.

5) 장대교, 송전탑, 고층건물 등 내풍설계가 중요한 구조물의 설계에서 본 연구에서 제안한 확률에 기초한 설계풍속의 측정과 이에 따른 설계 풍속지도의 개발에 의한 각 지역별 설계풍속의 결정이 바람직하다고 할 수 있다.

참고문헌

1. Batts, M. E., Russell, L. R. and Simiu, E., "Hurricane Wind Speeds in the United States", J. of the Structural Div., ASCE, Vol. 106, 1980, pp. 2001-2016
2. Cheng, E. D. and Chiew, A. N. L., "Extreme Winds Simulated from Short-Period Records", J. of Structural Engineering, ASCE, Vol. 111, 1985, pp. 77-94
3. Cho, Hyo-Nam, "Typhoon Risks and Typhoon-Resistant Design of Nuclear Power Plants in Korea", Proc. of the U. S.-Asia Conference on Eng. for Mitigating Natural Hazards Damage, Bangkok 1987, pp. A9-1~A9-15
4. Grigoriu, M., "Estimates of Design Wind from Short Records", J. of the Structural Div., ASCE, Vol. 108, 1982, pp. 1034-1048
5. Grigoriu, M., "Estimates of Extreme Winds from Short Records", J. of Structural Eng., Vol. 110, 1984, pp. 1467-1483
6. Russell, L. R., "Probability Distributions for Hurricane Effects", J. of the Waterways, Harbors and Coastal Eng. Div., ASCE, Vol. 97, 1971, pp. 139-154
7. Simiu, E. and Filliken, J. J., "Probability Distributions of Extreme Wind Speeds", J. of the Structural Div., ASCE, Vol. 102, 1976, pp. 1861-1876
8. Simiu, E., Filliken, J. J. and Shaver, J. R., "Short-Term Records and Extreme Wind Speeds", J. of the Structural Div., ASCE, Vol. 108, 1982, pp. 2571-1577
9. Simiu, E. and Scanlan, R. H., "Wind Effects on Structure : An Introduction to Wind Engineering", John Wiley & Sons, N. Y., 1986
10. Thom, H. C. S., "New Distributions of Extreme Winds in the United States", J. of the Str. Div., ASCE, Vol. 94, 1968, pp. 1787-1801