

확률에 기초한 한국의 기본 설계풍속 추정

Probability-Based Estimates of Basic Design Wind Speeds in Korea

조	효	남*
Cho,	Hyo	Nam
차	철	준**
Cha	Cheol	Jun
백	현	식***
Baik	Hyeon	Shik

요 약

본 연구는 확률에 기초한 한국의 기본 설계풍속 추정을 위한 합리적인 방법을 제시하고 위험도에 기초한 전국의 설계풍속지도를 제안한다.

본 논문에서는 장기기록 지역의 계절풍 연 최대 풍속자료와 단기기록 지역의 계절풍 월 최대 풍속자료의 극치 Type I 분포 모형에 대한 적합성을 검토하였고 극치 태풍 풍속 분포 추정에서는 Monte-Carlo 시뮬레이션을 이용한 간접적인 해석방법이 적용되었다. 태풍과 계절풍에 대한 기본 설계풍속은 두개 분포의 積(product)으로 된 혼합모형에서 구한다.

본 연구 결과로부터 제안된 모형과 방법은 현재 한국에서 가용한 단기기록 풍속자료를 이용한 위험도에 기초한 기본설계풍속과 기본 설계풍속지도의 개발에 실용적인 도구로 활용 가능하다고 본다.

Abstract

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

The paper examines the fittings of the extreme Type I model to largest yearly non-typhoon wind data from long-term records, and to largest monthly non-typhoon wind data from short-term records. For the estimation of the extreme typhoon wind speed distrib-

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

□ 이 논문에 대한 토론을 1989년 9월 30일까지 본학회에 보내주시면 1990년 3월호에 게재하겠습니다.

ution, an indirect analytical method based on a Monte-Carlo simulation is applied to typhoon-prone regions. The basic design wind speeds for typhoon and non-typhoon winds at the sites of concern are made to be obtained from the mixed model given as a product of the two distributions.

The results of this study show that the proposed models and methods provide a practicable tool for the development of the risk-based basic design wind speed and the design wind map from short-term station records currently available in Korea.

1. 서 론

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 재래적인 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[4].

Thom[11]은 비열대성 및 열대성 폭풍에 대하여 Type II 극치 분포로 모형화하여 풍속을 추정하였으나, Simiu[8,9] 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 추정방법을 제안하였고, 그 후 다시 Grigoriu[6]는 3~5년 정도의 단기 기록만 있는 경우 월 최대풍속을 독립, 정상(stationary) 풍속으로 가정하여 Type I 극치 분포로 적합시켜 추정하는

방법을 제안하고 있다. 한편, 태풍이나 허리케인의 경우 Russell과 Batts[2] 등은 단기기록만 있는 지역에 대해 그 지역 인근에서의 태풍의 발생과 진행 특성에 관한 기록의 통계적 기술과 풍속장 모형을 이용한 Monte-Carlo Simulation에 의해 태풍의 설계 풍속을 추정하는 방법을 제안하였다. 또한 Cheng과 Chieu[3]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 재현기간별 풍속 지도(Wind Map)가 작성된 바 없다. 다만, 부분적으로 재래적인 통계적 방법에 의해 추정된 설계 풍속을 일부 지방에서 채택하고 있는 실정이다. 그러나 태풍의 경우에는 최근에 본 연구자[4]에 의해 태풍의 확률 위험도와 설계풍속의 추정방법으로 태풍의 관측 기록을 이용하는 직접적인 적합 방법과 Russell의 시뮬레이션 방법을 수정 발전시킨 Monte-Carlo 시뮬레이션 방법을 제안한 바 있다. 본 연구에서는 열대성 태풍과 비열대성 계절풍(wind in well-behaved climate ; seasonal wind)을 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 분석에 연구의 중점을 두고 있다. 한편, 본 연구에서는 제안된 기본설계풍속 추정방법을 바탕으로 설계풍속지도의 개발방법도 제안하였다.

현재 우리나라의 풍속 기록은 30개의 측후소와 80개의 관측소에 장기 또는 단기 풍속기록이 있지만, 18개 주요 도시의 측후소의 경우에는 20년 이상의 풍속 기록이 있으나 그의 지역에서는 짧게는 4년 길게는 10여년 정도의 기록밖에 없다. 고로, 단기 기록 지역에 대해서는 G-rigoriu의 월 최대풍속에 의한 추정 방법의 적용 가능성을 검토하고 20년 이상의 장기 기록이 있는 지역에 대해서는 년 최대풍속에 의한 추정 방법을 사용하였다. 대부분의 지역에서 태풍이 설계풍속을 지배하지 않는 우리나라의 경우에는 혼합 풍속기록을 이용한 추정 방법의 적용 가능성에 대해서도 고찰하였다.

2. 풍속 추정 모형

2. 1 비태풍 일반 풍속 모형

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

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

여기서 λ 및 δ 는 위치 및 스케일 모수(parameter)이다. 이들 모수와 평균 및 분산과의 관계는

$$m = \lambda + \gamma\delta \quad (2a)$$

$$\sigma^2 = \pi^2 \delta^2 / 6 \quad (2b)$$

이때 $\gamma = 0.577216$ (EULER 상수).

충분한 풍속기록이 있는 경우 재래적인 방법에서의 평균 재현 기간 R년에 대한 R년 재현설계풍속 y_R 은

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

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

이고, 이때 $R = 1/(1-F(y_R))$

실제로 λ_y 와 δ_y 는 미지수이고, 년 최대풍속 기록 $\{y_1, \dots, y_n\}$ 이 있는 경우 모멘트 방법(method of moment), ML 방법(maximum likelihood method)이나 OS방법(method of order statistics) 등에 의해 구한 추정치 $\hat{\lambda}_y$ 와 $\hat{\delta}_y$ 를 사용하면

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

반면에, 단기기록만 있는 지역에 대해서는 G-rigoriu의 월 최대풍속의 Type I 극치분포 모형을 사용하면, R년 재현 설계풍속 x_R 은

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

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

x_R 에 대응하는 추정량(estimator) \hat{x}_R 은

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

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 확률지에 데이터 $\{y_i\}$, $\{x_i\}$ 를 Gumbel 선에 적합시켜 구한 것과 같음을 알 수 있다.

2. 2 태풍의 풍속모형

태풍의 풍속모형은 문헌 4에 상술되어 있으므로 여기에는 결과식만 제시한다. 태풍발생을 Poisson Process로 보고, 태풍 풍속의 기저분포를 $F_v(v)$ 라 하면 년 최대풍속은 다음과 같이 유도된다.

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

여기서

ν : 태풍의 발생률

$F_v(v)$: 태풍 풍속의 확률분포

기저분포 $F_v(v)$ 는 미지이지만 통상 Lognormal이나 Weibull 분포로 적합시키는데, 우리나라의 경우 4.2절에서 기술한 바와 같이 Weibull 분포로 더 잘 적합됨을 알 수가 있었다. $F_v(v)$ 가 Weibull 분포인 경우 R년 재현 태풍 설계 풍속은

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

여기서 σ 와 γ 는 2모수 Weibull 분포의 모수이다.

100~150년 정도의 충분한 태풍관측기록이나 시뮬레이션 데이터가 있는 경우에는 3모수 Weibull 분포에 년 최대 태풍을 직접 적합시키는

방법을 사용할 수 있다. Weibull 분포는

$$F(v) = 1 - \exp[-((v - \mu_w) / \sigma_w)^\gamma] \quad (11)$$

따라서 R년 재현 설계풍속 v_R 은

$$v_R = \mu_w + \sigma_w (\ln R)^{1/\gamma} \quad (12)$$

여기서 μ_w, σ_w, γ 는 3모수 Weibull 분포의 모수이다.

태풍의 Monte - Carlo Simulation 방법은 문헌 4에 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(10).

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

여기서 $F_T(V \leq v)$ 는 태풍의 년 최대풍속분포이며 식(9) 또는 (11)이 된다.

$F_{NT}(V \leq v)$ 는 계절풍의 년 최대풍속 분포이며 식(1)의 Type I 극치분포가 된다.

그러나 우리나라의 경우 일부 서남해 및 동남해안 지역을 제외하고는 태풍의 영향이 그리 심하지 않고 중부지역에서는 오히려 계절풍이 년 최대풍속을 지배하고 있으므로 본 연구에서는 태풍 및 비태풍의 혼합 관측기록을 Type I 또는 Weibull 분포에 직접 적합시켜 년 최대 풍속을 추정하는 방법에 대해서도 고찰하였다.

3. 통계적 추정

3. 1 모수추정

통계적 자료 $\{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ 으로부터 확률분포의 모수를 추정하는 방법에는 여러가지 방법이 있다. 이 중에서 모멘트 방법이 가장 간편하고 보편적으로 사용되는데, 데이터의 크기가 너무 작지 않으면, 즉 $n > 10$ 이면 상당히 좋은 추

정치를 준다. OS 방법(1)이나 ML 방법 같은 우수하지만 상대적으로 복잡한 방법들이 모멘트 방법에 의한 추정치의 유용성을 검토하기 위하여 적용되었다.

표본 평균 \hat{m} 과 분산 $\hat{\sigma}^2$ 이 추정되었다면 Type I 극치분포의 모수 $\hat{\lambda}, \hat{\delta}$ 는 모멘트 방법으로 부터 다음과 같이 추정될 수 있다.

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

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

Type I 극치분포의 경우 ML 방법이 모멘트 방법보다 더 좋은 결과를 보여준다고 알려져 있는데, ML 추정치(maximum likelihood estimate)는 다음과 같이 유도된다.

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

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

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

한편, 태풍 극치 풍속자료의 적합을 위한 Weibull 분포의 경우에도, 3모수 μ_w, σ_w, γ 는 모멘트방법에 의해 추정될 수 있다. 세개의 모수가 다 표본자료로부터 추정되어야 한다면, 표본평균 \hat{m} 과 표본분산 $\hat{\sigma}^2$ 뿐만 아니라 왜곡도(skewness) 즉, 3차 모멘트 $\hat{\theta}$ 도 계산되어야 한다(1).

이때 표본의 왜곡도는 다음과 같이 추정될 수 있다.

$$\hat{\theta} = 1/(n\hat{\sigma}^3) \sum (v_i - \hat{m})^3 \quad (16)$$

Weibull 분포의 모수 γ, μ_w, σ_w 는 추정치 $\hat{m}, \hat{\sigma}, \hat{\theta}$ 를 이용하여 다음의 관계로부터 유도될 수 있다.

$$C(\hat{\gamma}) = \frac{\Gamma(1+3/\hat{\gamma}) + 2\Gamma^2(1+1/\hat{\gamma}) - 3\Gamma(1+2/\hat{\gamma})}{[\Gamma(1+2/\hat{\gamma}) - \Gamma^2(1+1/\hat{\gamma})]^{3/2}}$$

$$\frac{\Gamma(1+1/\hat{\gamma})}{\Gamma(1+2/\hat{\gamma})} = \hat{\theta} \quad (17a)$$

$$B(\hat{\gamma}) = [\Gamma(1+2/\hat{\gamma}) - \Gamma^2(1+1/\hat{\gamma})]^{-1/2} = \hat{\sigma}_w/\hat{\sigma} \quad (17b)$$

$$A(\hat{\gamma}) = \frac{[1 + \Gamma(1 + 1/\hat{\gamma})]}{[\Gamma(1 + 2/\hat{\gamma}) - \Gamma^2(1 + 1/\hat{\gamma})]^{1/2}}$$

$$= \frac{\hat{\sigma}_w + \hat{\mu}_w - \hat{m}}{\hat{\sigma}} \quad (17c)$$

식(17a)에서 $\hat{\theta}$ 로써 $\hat{\gamma}$ 가 수치적 계산이나 계산표를 이용하여 구해지면, $\hat{\sigma}_w$ 와 $\hat{\mu}_w$ 는식(17b)와 식(17c)에서 얻을 수 있다.

$$\hat{\sigma}_w = \hat{\sigma}B(\hat{\gamma}) \quad (18a)$$

$$\hat{\mu}_w = \hat{\sigma}[A(\hat{\gamma}) - B(\hat{\gamma})] + \hat{m} \quad (18b)$$

3. 2 설계풍속의 신뢰한계

데이터 $\{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ 이 Type I 극치 분포로부터의 n개 독립 표본인 경우 식(3), (6)의 설계풍속 z_R 은 $(1-\alpha)$ 의 확률수준에서 두 확률변수 S_1 과 S_2 에 의해 상하한 값을 갖는다. 즉,

$$P(S_1 < z_R < S_2) = 1 - \alpha \quad (19)$$

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 $\hat{z}_R = \hat{\lambda} + q_{R,z} \hat{\delta}$ 이 정규분포를 갖는다는 가정하에 유도할 수 있다. 즉,

$$S_1 = \hat{z}_R + \hat{S}_1 \text{Std}[\hat{z}_R] \quad (20a)$$

$$S_2 = \hat{z}_R + \hat{S}_2 \text{Std}[\hat{z}_R] \quad (20b)$$

여기서, \hat{z}_R 은 불편 추정치, (\hat{S}_1, \hat{S}_2) 는 신뢰계수 $(1-\alpha)$ 가 0.68, 0.95, 0.997일때 각각 $(-1, 1)$, $(-2, 2)$, $(-3, 3)$ 이다. 그리고,

$$\text{Std}[\hat{z}_R] = \left[\frac{\pi^2}{6} + 1.1396(q_{R,y} - 0.577216)\pi / \sqrt{6} + 1.1(q_{R,y} - 0.577216)^2 \right]^{1/2} \frac{(\sqrt{6}/\pi)\hat{\delta}_y/\sqrt{n}}{\quad} \quad (21)$$

반면에 ML 추정치 $\hat{\lambda}, \hat{\delta}$ 를 사용하는 경우 $\text{Std}(\hat{z}_R)$ 은 다음과 같이 유도된다. 즉,

$$\text{Std}[\hat{z}_R] = [1 + 6/\pi^2 (1 - \gamma + q_R)^2]^{1/2} \hat{\delta}/\sqrt{n} \quad (22)$$

4. 분석 및 응용

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.

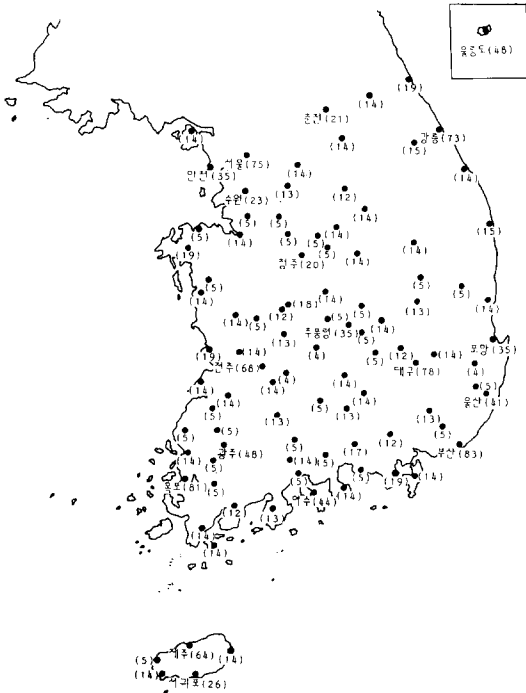
4. 1 관측 자료

그림 1과 같이 우리나라에는 총 110 여개의 측후소 및 관측소가 있지만 20년 이상의 비교적 장기 풍속 기록을 보유하고 있는 곳은 18개소에 불과하며 나머지 대부분은 4~19년 정도의 기록밖에 없다. 더우기, 우리나라의 기본 풍속은 지상 10m 10분 평균 풍속으로 되어있지만 많은 측후소에서 풍속계의 높이가 수시로 변하였고 또 각 측후소 별로 풍속계의 높이와 노출 환경이 심한 변동을 보이고 있다. 따라서, 합리적인 설계풍속 추정을 위해서는 각 측후소의 관측자료를 기준 높이(지상 10m) 및 동일한 노출 조건(개활지, open terrain)으로 보정을 하여야 한다. 풍속계 높이의 보정은 풍속을 1/7제곱 법칙(1/7 power law)으로 기술할 수 있다는 가정하에 행하여 질 수 있다[10].

4. 2 풍속 확률모형의 적합도

우리나라의 장기(20년 이상) 및 단기(4~19년) 풍속의 재래적인 년 최대풍속기록 및 월 최대풍속 기록은 각각 Type I, II, III 극치분포 및 Weibull 분포에 적합시켜 비교하는 χ^2 검정과 Kolmogorov-Smirnov 검정과 같은 예비 통계적 분석 결과, 외국의 경우와 마찬가지로 비태풍의 경우 Type I 분포에 가장 잘 적합시킬 수 있으며, 태풍의 경우는 문헌 4에서 고찰한 바와 같이 최소한 50년 이상의 풍속기록이 있는 지역에서 식(9)의 기저 분포를 Weibull 분포에 적합시킬 수 있었다.

표 1에는 비태풍에 대한 장기기록이 있는 전국주요 측후소를 대상으로 년 최대 풍속에 대한 Type I 모델의 K-S 적합도를 검정한 결과와 2회의 연속적인 5년 단기기록을 취하여 이들의 월 최대 풍속에 대한 K-S 적합도를 검정한 결과가 주어져 있다. 표 1에서 년 최대풍속의



(그림 1) 전국의 측후소 및 관측소 분포

경우는 부산지역만 K-S 검정에 크게 벗어나지만 나머지는 모두 만족되는 결과를 보여줌을 알 수가 있다. 부산의 경우만 K-S 검정이 크게 벗어나는 것은 풍속기록상의 문제가 있는 것으로 추측된다. 월 최대풍속을 이용한 5년 단기 기록의 Type I 적합도 검정 결과는 모두 K-S 검정을 만족시키므로 Type I 모델에의 적합이 타당함을 알 수 있다. 한편, 태풍의 영향이 적은 중부 내륙지방에 대한 설계풍속을 구하는데 있어 태풍 및 계절풍을 구분하지 않고 혼합 기록에 의한 추정가능성을 검토하기 위하여 혼합 기록을 이용한 단기 및 장기 풍속자료에 대한 K-S 적합도를 검정한 결과, 여기에 수록하지는 않았지만 표 1의 비태풍자료에 대한 것과 유사하며, 이는 우리나라의 경우는 태풍 및 비태풍을 구분하지 않고 혼합기록에 의한 설계풍속의 추정시 Type I 극치분포 모형을 사용할 수 있다는 것을 시사한다고 볼 수 있다.

4.3 장기 년풍속 이용 추정과 단기 월풍속 이용 추정의 비교

4~19년사이의 단기기록을 가진 지역의 설계 풍속 추정을 위하여 Grigoriu가 사용한 월 최대 풍속의 Type I 분포모형으로부터 추정하는 방법의 타당성을 고찰하기 위하여 비태풍에 대해 장기 기록을 가진 주요 지역에 대한 5년 단기 기록을 이용하여 추정한 50년 재현 설계풍속 \hat{x}_{50} 과 그 지역의 년 최대 풍속기록을 이용하여 추정한 설계풍속 \hat{v}_{50} 을 비교한 결과를 표 1에 수록하였다.

표 1의 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. 장기기록을 이용하여 추정한 \hat{v}_{50} 과 비교해 보면 \hat{x}_{50} 의 90% 가까운 추정치가 \hat{v}_{50} 보다 낮은 값이고, \hat{v}_{50} 에 대한 오차는 10개 지역 20개 추정에서 최고 30%정도 오차가 있는 지역이 두 곳 있으나 추정치의 65%정도가 20%미만의 오차를 갖고 있고, 55%가까이가 12%미만의 오차를 갖고 있음을 보면, 5년 내외의 단기기록으로도 설계풍속의 추정이 가능할 뿐 아니라 기록이 10년만 넘어서면 그 오차가 상당히 줄어들 수 있음을 예측할 수 있다. 그리고 \hat{x}_{50} 이 \hat{v}_{50} 에 비하여 90% 가까운 경우가 낮은 추정값을 주므로, 표 2에서 보는 바와 같이 \hat{x}_{50} 보다는 95% 또는 99% 상한 신뢰한계 \hat{x}_{UC1} 을 사용하면 오차가 표에서 보는 바와 같이 대개의 경우 절반이상 크게 줄어들고 99% 신뢰한계의 경우 오차가 거의 20%미만이며, 추정치의 50%이상이 10%미만임을 알 수 있다. 따라서 신뢰성 설계기준에서 설계속도는 단기기록 지역에서는 99% 상한 신뢰한계 \hat{x}_{UC1} 을 사용함이 바람직하다고 본다. 반면에, 혼합기록을 이용한 단기 및 장기 설계풍속 추정결과를 비교한 결과 표 1과 비슷한 양상의 결과를 주고 있음을 알 수 있었다.

4.4 설계풍속 추정방법의 비교 전술한 바와 같이 태풍과 계절풍의 영향을 같

表 1. 단기 월풍속 이용 추정과 장기 년풍속 추정의 결과 비교

관측소	5년 단기 월풍속 추정 (월 최대 풍속)							장기 년풍속 추정 (년 최대 풍속)							
	관측 기간	K-S 검정		평균 m_x	표준 편차 σ_x	$\hat{x}_{5.0}$	Std($\hat{x}_{5.0}$)	관측 기간	K-S 검정		평균 m_y	표준 편차 σ_y	$\hat{y}_{5.0}$	Std($\hat{y}_{5.0}$)	$\hat{x}_{5.0} - \hat{y}_{5.0}$
		결과	D_n^α						결과	D_n^α					
목포	77-81	0.14	0.18	14.917	2.462	26.088	1.331	1906 - 1986	0.11	0.15	24.154	6.007	39.727	1.754	0.343
	82-86	0.06	0.18	13.913	2.877	26.968	1.555								- 0.321
서울	77-81	0.09	0.18	10.973	2.585	22.702	1.397	1912 - 1986	0.08	0.16	14.285	2.835	21.634	0.860	0.049
	82-86	0.07	0.18	9.845	1.770	17.875	0.957								- 0.174
춘천	77-81	0.08	0.18	10.143	2.898	23.293	1.567	1966 - 1986	0.17	0.30	14.452	3.026	22.296	1.735	0.045
	82-86	0.10	0.18	8.862	1.746	16.782	0.944								- 0.247
울릉도	77-81	0.08	0.18	19.827	4.362	39.618	2.358	1939 - 1986	0.06	0.20	27.500	6.078	43.257	2.305	- 0.084
	82-86	0.10	0.18	16.990	3.367	32.267	1.820								- 0.254
대구	77-81	0.08	0.18	11.488	1.800	19.656	0.973	1909 - 1986	0.09	0.15	14.701	2.462	21.083	0.732	- 0.068
	82-86	0.09	0.18	10.447	2.283	20.804	1.234								- 0.013
전주	77-81	0.14	0.18	7.205	2.712	19.508	1.466	1919 - 1986	0.09	0.16	12.143	2.680	19.090	0.854	0.022
	82-86	0.09	0.18	8.258	2.150	18.014	1.162								- 0.056
부산	77-81	0.11	0.18	14.963	2.477	26.203	1.339	1904 - 1986	0.20	0.15	20.452	3.543	29.636	1.022	- 0.116
	82-86	0.10	0.18	13.025	2.904	26.200	1.570								- 0.166
제주	77-81	0.13	0.18	14.920	2.828	27.751	1.529	1923 - 1986	0.07	0.17	21.978	3.593	31.292	1.180	- 0.113
	82-86	0.13	0.18	14.517	2.456	26.660	1.328								- 0.180
강릉	77-81	0.14	0.18	10.848	2.669	22.959	1.443	1912 - 1986	0.11	0.16	19.349	5.402	23.354	1.661	- 0.312
	82-86	0.07	0.18	10.240	2.817	23.020	1.523								- 0.310
청주	77-81	0.11	0.18	9.470	2.248	19.667	1.215	1967 - 1986	0.09	0.30	14.565	2.894	22.067	1.700	- 0.109
	82-86	0.10	0.18	8.738	1.892	17.322	1.023								- 0.215

이 받는 지역이나 특히 태풍의 영향이 더 지배적인 지역에서는 식(13)의 혼합분포모형을 사용하여 설계풍속을 추정해야 한다. 그러나 태풍의 영향이 적은 우리나라에서, 특히 중부 및 내륙지방에서는 계절풍이 90%이상 년 최대풍속을 지배하므로 혼합기록을 이용한 직접 추정이 비슷한 결과를 줄 경우에는 혼합모형에 의한 추정보다 혼합기록에 의한 직접 추정이 더 실용적이다. 표 3은 장기기록이 있는 전국 주요 지역에 대한 비태풍 설계풍속, 태풍 설계풍속, 혼합분포 설계풍속, 혼합기록 설계풍속에 대한 추정 결과가 수록되어 있다. 표 3에서 제주, 울릉도와 같은 도서지방을 제외한 전 지역에서 혼합모형 설계풍속과 혼합기록 설계풍속이 거의 유사함을 알 수 있다. 그러나 표 4에서 보는 바

와 같이 태풍의 영향이 심한 지역에서 단기 풍속기록밖에 없는 지역에서는 혼합기록에 의한 설계 풍속추정이 인근 장기기록을 가진 지역의 설계풍속과 크게 차이나며 낮은 설계풍속으로 나타나므로, 인근 지역의 태풍의 극치 풍속분포를 이용한 혼합모형에 의한 추정이 합리적인 결과를 줄 수 있다. 이는 단기기록을 가진 지역에서는 태풍의 풍속분포를 시뮬레이션이나 인근 지역의 기록을 이용하여 추정함으로써 혼합모형에 의해 설계풍속의 추정이 가능하다고 본다.

4. 5 설계풍속 지도

상술한 통계적 분석결과에 기초하여 전국 각 지역에 단기 및 장기 풍속기록을 이용하여 태

表 2. 상한한계풍속 \hat{v}_{uc1}

관측소	관측 기간	\hat{v}_{uc1}			\hat{v}_{50}	$(\hat{v}_{uc1} - \hat{v}_{50}) / \hat{v}_{50}$		
		90 #	95 #	99 #		90 #	95 #	99 #
목포	77-81	27.820	28.293	29.208	39.727	-0.300	-0.288	-0.265
	82-86	28.991	29.545	30.614		0.270	-0.256	0.229
서울	77-81	24.520	25.017	25.978	21.634	0.133	0.156	0.201
	82-86	19.120	19.460	20.118		0.116	0.100	0.070
순천	77-81	25.331	25.888	26.965	22.296	0.136	0.161	0.209
	82-86	18.010	18.346	18.994		-0.192	-0.177	-0.148
음릉도	77-81	42.687	43.526	45.147	43.257	-0.013	0.006	-0.044
	82-86	34.635	35.283	36.534		0.199	-0.184	-0.155
대구	77-81	20.922	21.268	21.937	21.083	-0.008	0.009	-0.041
	82-86	22.410	22.849	23.697		0.063	0.084	0.124
전주	77-81	21.146	21.937	22.945	19.090	0.122	0.149	0.202
	82-86	19.527	19.941	20.740		0.023	0.045	0.086
부산	77-81	27.946	28.422	29.343	29.636	-0.057	-0.041	-0.010
	82-86	28.242	28.801	29.880		-0.047	-0.028	0.008
제주	77-81	29.740	30.284	31.335	31.292	-0.050	-0.032	0.001
	82-86	27.388	27.860	28.773		-0.125	-0.110	-0.080
강릉	77-81	24.837	25.350	26.342	33.354	-0.255	-0.240	-0.210
	82-86	25.001	25.543	26.590		-0.250	-0.234	-0.203
청주	77-81	21.248	21.680	22.515	22.067	-0.037	-0.018	0.020
	82-86	18.653	19.017	19.720		-0.155	-0.138	-0.106

表 3. 설계 풍속 추정 결과 비교

관측소	관측 기간	매 지 확 률	비 대 응 \hat{v}_{50}	대 응 \hat{v}_{50}	혼 합 포 \hat{v}_{50}	혼 합 록 \hat{v}_{50}
목포	81	0.333	39.7	37.5	41.2	43.0
서울	75	0.000	21.6	14.9	21.6	21.6
대구	78	0.090	21.1	21.1	22.6	22.3
전주	68	0.074	19.1	14.6	19.4	19.2
부산	83	0.265	29.6	30.7	31.9	31.9
제주	64	0.297	31.3	31.9	33.3	35.4
강릉	73	0.041	33.4	22.8	33.4	33.9
광주	48	0.167	19.8	24.8	25.0	23.6
여수	44	0.455	29.6	31.4	32.1	33.1
음산	41	0.146	26.8	27.3	28.9	29.7
음릉도	48	0.167	43.3	38.0	43.7	46.9
청주	20	0.000	22.1	14.9	22.1	22.1

表 4. 단기기록 지역의 혼합모형 설계 풍속 추정

관측소	관측 기간	혼 합 포 \hat{v}_{50}	혼 합 록 \hat{v}_{50}
목포	81	41.2	43.0
합평	14	37.5	19.4
서울	75	21.6	21.6
이천	13	14.9	12.8
대구	78	22.6	22.3
칠곡	12	21.1	17.3
전주	68	19.4	19.2
임실	14	14.7	12.4
부산	83	31.9	31.9
김해	5	30.7	21.5
제주	64	33.3	35.4
한림	5	31.9	26.1
강릉	73	33.4	33.9
삼척	14	22.8	16.5

풍의 영향이 비교적 큰 서남해 호남지역과 동남해 경남 지역에서는 혼합기록 또는 혼합모형에 의해 풍속을 추정하고, 태풍의 영향을 무시할 수 있는 정도인 중부내륙 지역에서는 혼합기록을 이용하여 설계풍속을 추정함으로써 50년 재현 설계풍속에 대한 contour 형 전국 풍속 지도를 작도한 결과는 그림 2와 같다. 중부내륙에서는 많은 지역이 25m/s미만의 설계풍속을 가지고 풍속지도에서 우리나라의 최소 설계풍속은 25m/s로 제한하였다. 풍속지도에서 태풍의 영향이 큰 서남해 및 동남해 일대가 중국내륙에 비하여 설계풍속이 높은 것을 알 수 있고 태풍영향이 적은 곳도 강릉과 같이 동해안 지역에서는 높은 설계풍속으로 나타남을 알 수 있다. 그림 2의 설계풍속지도에서 제안한 바와 같이 우리나라에서는 50년 재현 설계풍속을 도서지방을 제외하고는 25~45m/sec로 함이 타당하다고 본다. 또한 제안된 설계 풍속과 현 건축 기준의 설계풍속의 비교가 표 5에 나타나 있다. 표 5를 보면 현 설계 풍속과 제안된 설계

5. 결 론

본 연구에서는 전국의 주요 측후소를 제외하고는 4~19년 정도의 단기풍속 기록만을 갖고 있는 대부분의 지역에 대해 실용적이며 합리적인 풍속 확률모형과 통계적인 방법에 의한 기본 설계풍속의 추정 방법과 이에 대한 설계풍속지도의 개발방법을 제안하였다. 본 연구 결과, 다음과 같은 결론에 도달할 수 있었다.

- 1) 우리나라의 계절풍의 년 최대 풍속확률모형은 장기 및 단기기록 추정 모두 Type I 극치분포로 가장 잘 적합시킬 수 있다.
- 2) 풍속기록이 20년미만인 단기기록 지역에서 비태풍에 대해서는 Grigoriu가 제안한 월 최대풍속의 Type I 모형에 의한 설계 풍속추정이 대개의 경우 만족할 만한 결과를 준다.
- 3) 도서지방을 제외하고는 장기 풍속기록이 있는 지역에서는 혼합기록에 의한 설계풍속의 직접추정이 가능하다고 본다.
- 4) 대부분의 경우에 단기기록을 이용한 풍속추정은 설계풍속보다 낮은 값을 주므로 설계 기준풍속을 추정할 때는 95% 내지 99% 상한 신뢰 한계를 사용해야 한다.
- 5) 장대교, 송전탑, 고층건물 등 내풍설계가 중요한 구조물의 설계에서는 본 연구에서 제안한 확률에 기초한 설계풍속의 추정과 이에 따라 개발된 설계풍속지도에 의한 각 지역별 설계풍속의 결정이 바람직하다고 할 수 있다.

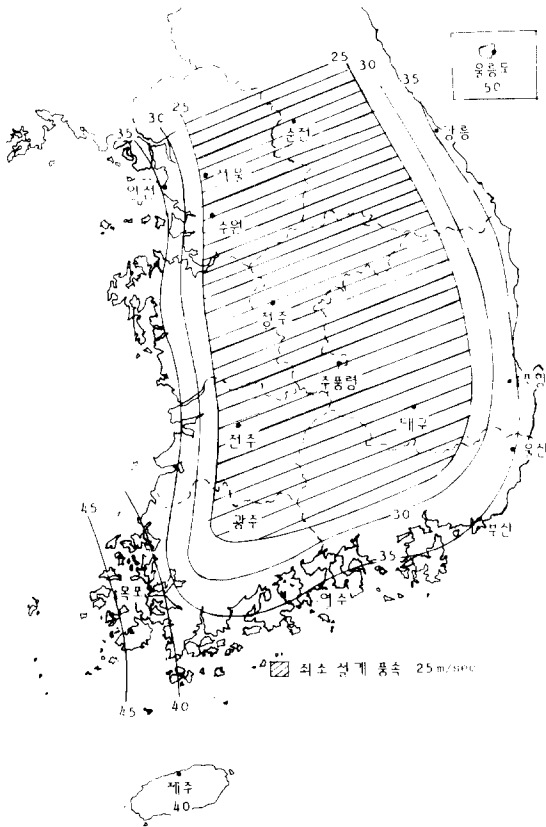


그림 2. 설계 풍속지도 (N=50 ; p=0.02)

표 5. 기본 설계 풍속 비교

건축 기준		풍 속 지 도	
지 명	설계풍속	지 명	설계풍속
서울, 대구, 대전, 춘천, 청주, 추풍령, 수원, 서산, 진주, 광주, 이리, 진주	35 m/s	서울, 대구, 대전, 춘천, 청주, 추풍령, 수원, 진주, 진주, 광주	25 m/s
인천, 군산, 부산, 울산, 울주	40 m/s	서산, 이리	30 m/s
속초, 강릉, 포항, 여수, 제주, 서귀포, 목포	45 m/s	인천, 부산, 울산, 포항, 여수	35 m/s
음릉도	50 m/s	군산, 속초, 강릉, 제주, 서귀포, 울주	40 m/s
		목포	45 m/s
		음릉도	50 m/s

풍속 사이에 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 우리나라의 경우 중요한 토목, 건축 구조물의 내풍설계에 지역별로 그림 2와 같은 확률에 기초한 설계풍속의 적용이 바람직 하다는 것을 보여주고 있다.

참 고 문 헌

1. Ang, A. H-S. and Tang, W. H., "Probability Concepts in Engineering Planning and Design", Vol. II, John Wiley & Sons, 1984.
2. Batts, M. E., Russell, L. R. and Simiu, E., "Hurricane Wind Speeds in the United States," J. of the Structural Div., ASCE, Vol. 106, pp. 2001-2016, 1980.
3. Cheng, E. D. and Chieu, A. N. L., "Extreme Winds Simulated from Short-Period Records," J. of Structural Eng., ASCE, Vol. 111, pp. 77-94, 1985.

4. Cho, H. N. , "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, pp. A9-1 ~A9-15, 1987.
5. Grigoriu, M. , "Estimates of Design Wind from Short Records,"J. of the Structural Div. , ASCE, Vol. 108, pp. 1034-1048, 1982.
6. Grigoriu, M. , "Estimates of Extreme Winds from Short Records,"J. of Structural Eng. , Vol. 110, pp. 1467-1483, 1984.
7. Russell, L. R. , "Probability Distributions for Hurricane Effects,"J. of the Waterways, Harbors and Coastal Eng. Div. , ASCE, Vol. 97, pp. 139-154, 1971.
8. Simiu, E. and Filliben, J. J. , "Probability Distributions of Extreme Wind Speeds,"J. of the Structural Div. , ASCE, Vol. 102, pp. 1861-1876, 1976.
9. Simiu, E. , Filliben, J. J. and Shaver, J. R. , "Short-Term Records and Extreme Wind Speeds," J. of the Structural Div. , ASCE, Vol. 108, pp. 2571-2577, 1982.
10. Simiu, E. and Scanlan, R. H. , "Wind Effects on Structures : An Introduction to Wind Engineering,"John Wiley & Sons, N. Y. , 1986.
11. Thom, H. C. S. , "New Distributions of Extreme Winds in the United States,"J. of the Structural Div. , ASCE, Vol. 94, pp. 1787-1801, 1968.

(접수일자, 1989. 3. 20)