

풍향패턴에 따른 굴벨 모델 시뮬레이션에 의한 풍향풍속성의 적용을 평가에 관한 연구

A Study on the Application ratio of Directional wind speeds Characteristics by Gumbel Model Simulation Using Directional wind Patterns

정 영 배¹⁾
Chung, Yung Bea

요약 : 본 연구는 바람에 민감한 영향을 받는 건축물 또는 구조물에 있어서 풍향풍속을 고려하여 평가하는 방법을 제안하며 지역별 년 최대풍속에 따른 풍향풍속 특성에 대한 기초적인 결과를 정리한 것이다. 본 풍향풍속성 평가방법에서는 년최대풍속의 기상청 데이터를 기초로 하여 극치분포를 통해 적합성을 확인하였으며 풍향성을 고려하기 위하여 풍향풍속별 풍향패턴을 4그룹으로 구분하여 풍향풍속성 평가방법을 시도하여 제안하였다. 연구결과는 서울, 통영, 인천지역의 년최대풍속 기상데이터를 사용하여 전풍향풍속이 Gumbel분포에 의한 적합성을 확인하였으며, 이 전풍향풍속의 Gumbel model은 패턴별 4그룹 풍향풍속 Gumbel mode을 지배하는 독립된 확률특성을 가지므로 풍향패턴 4그룹 풍향풍속성의 평가를 통하여 적용율을 제안하였다. 연구결과는 년최대풍속에 의한 Gumbel분포의 적합성에 따른 서울, 통영, 인천 지역의 풍향패턴 4그룹 풍향풍속성을 고려한 새로운 적용율을 제안하였다.

ABSTRACT : In this study, an assessment method that considers the effects of directional wind speeds on buildings or structures that are sensitive to wind is proposed. Also, the basic characteristics of directional wind speeds were assessed by means of local annual maximum wind speeds. From the method of assessment of the characteristics of directional wind speeds, their goodness-of-fit was verified by applying extreme value distribution to the data on annual maximum wind speeds from the Korea Meteorological Administration. To consider the characteristics of directional winds, an assessment method is suggested that divides the directional wind pattern of each directional wind speed into four groups. From the study results, all the data on directional wind speeds based on the Gumbel distribution were examined using data on annual maximum wind speeds from Seoul, Tongyung, and Incheon. Since the Gumbel model of all directional wind speeds has independent probability characteristics that govern the 4 directional wind pattern groups, the application ratio proposed was based on the assessment of these four groups. According to the goodness-of-fit of the data on the annual maximum wind speeds based on the Gumbel distribution, new application ratios were proposed that consider the directional wind speeds in Seoul, Tongyung, and Incheon.

핵심용어 : 년최대풍속, 굴벨모델시뮬레이션, 적용율, 풍향패턴

KEYWORDS : annual maximum wind speeds, gumbel model simulation, application ratio, directional wind pattern

1. 서론

고층건축물, 대공간 구조물 등 바람에 민감한 영향을 받는 구조물이 증가 일로에 있다. 각 지역별 극값에 의한 풍향풍속에

대한 평가와 하중에 대한 설계 측면에서 고층건축물, 대공간 구조물 등에 대한 풍향풍속 자료를 정리하고 분석 평가하여 설계 시 사용할 수 있는 형태로 제공할 필요가 있다고 사료된다. 조효남 등(1989)은 장기기록 지역의 계절풍 연 최대 풍속자료

1) 교신저자. 한국국제대학교, 공학박사
(Tel: 055-751-8224, Fax: 055-751-8224, E-mail: restus@hanmail.net)

본 논문에 대한 토의를 2011년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

와 단기기록 지역의 계절풍 월 최대 풍속자료의 극치 Type I 분포 모형에 대한 적합성을 검토하였고 풍속 확률모형의 적합도를 Reduced chi-square 및 Kolmogorov-Smirnov 검정을 분석하여 적합성을 고찰하고 있다. 또한 태풍과 계절풍에 대한 기본 설계풍속을 2개의 분포의 적(product)으로 된 혼합모형으로 구하여 기본 설계풍속을 제안하고 있다. 이는 기본 설계풍속을 활용함에 있어서 태풍과 계절풍에 의한 특성을 일부분 반영하여 제안한 것으로 사료되지만, 풍향풍속성을 고려하여 보다 합리적인 기본 설계풍속 및 기본 설계풍속지도의 제안이 필요하다.

윤재욱(2003)은 풍속의 풍향성을 고려하여 내륙과 해안도시의 평균풍속과 거리와의 상관관계 및 월별 평균풍속을 제시하고 있으며, 여름철과 겨울철의 지역별 풍배도 자료를 제시하고 있다. 기본 설계풍속 평가에 있어서 풍향풍속성을 고려한 연구가 필요하다고 사료된다. 윤재욱(1992)은 1981년 1월부터 1990년 12월까지의 서울지역의 평균풍향풍속 기상청 데이터를 활용하여 시간별 4풍향별 빈도율을 제시하고 있으며, 시간별 풍향풍속 데이터에 의한 정규분포와 Weibull 분포에 의한 분석을 시도하고 있다.

김동우 등(2004, 2008), 하영철 등(2004), 이석종 등(2004)은 건축물 설계용 기본풍속분포도에 관한 연구에 있어서 전풍향풍속과 풍향빈도를 고려하여 설계용 기본풍속과 재현기대풍속을 제시하고 있다. 풍향풍속성의 영향을 고려할 경우, 년최대풍속에 대한 풍향풍속성에 대한 분석이 필요할 수 있다. 이러한 점을 생각할 때, 바람에 대한 영향을 보다 효율적으로 평가하는 방법 중 하나가 풍향풍속에 대해 고려하는 것이라고 본다. 각 지역에 대한 재현기대 풍속에 대한 근거 자료 또한 각 지역별 극값 풍향풍속 통계자료를 활용하고 있다.

따라서 본 연구에서는 기본적인 자료가 될 서울, 통영 그리고 인천지역에 대한 극값 풍향풍속 값을 제시하고 극치분포(Extreme value distribution)를 적용하여 fitting에 따른 각 극치분포별 파라미터를 정리하였다. 특히 풍향에 따른 건축물과 구조물의 피해에 대한 적절하고 합리적인 평가방법에 대해서 연구와 평가방법을 제안할 필요가 있다.

본 연구에서는 풍향패턴에 따른 풍향풍속성을 Gumbel Model Simulation(이하 'GMS'이라 함)에 의하여 평가하고 그 평가방법을 제안하며 서울, 통영 그리고 인천지역의 적용을 제안하였다.

2. 연구방법

2.1 기상통계자료 사용

본 연구에서 사용된 기상청 통계데이터는 1971년부터 2009년까지의 39년간의 기상청 발표 통계자료 중 년최대풍향풍속에 대하여 검토하였다. 통계데이터의 보정은 본 연구에서는 행하지 않았으며 통계데이터 그대로 사용하도록 하였다. 이에 대해서는 보정 등의 필요성이 있으나 통계데이터의 사용으로 그 추이를 살펴보고자 했으며 추후 보정에 의한 결과와의 비교를 할 수 있을 것이다.

본 연구에 사용한 년최대풍속 통계자료를 [부록 표 1]에 나타내며 년최대풍속 값은 [부록 표1]의 값에 0.1를 곱하여 사용하였다. 풍향은 16방위의 풍향에 대해서 표시하였다.

2.2 극치분포

Gumbel의 분포는 다음 식(1)과 같이 주어진다.

$$F_I = \exp[-e^{-y}], \quad -\infty < x < \infty \quad (1)$$

$$y = a(x - v) \quad (2)$$

여기서, F_I : 누적분포함수(비초과확률)

y : 기준화변수

를 나타낸다.

분포의 형상을 결정짓는 특성치 a , v 는 시뮬레이션을 통하여 특성치를 결정하였다. 일반적으로 Gumbel분포에 가장 잘 부합되는 것이 다음 식으로 주어지는 Hazen Plot라는 연구결과가 잘 알려져 있어 널리 쓰인다.

$$p_i = \frac{i - \frac{1}{2}}{N} \quad (3)$$

여기서, N : 표본의 갯수

i : 년최대풍속을 큰 풍속순으로 나열한 경우의 순위

이상과 같이 Hazen Plot에 의해 관측치를 도시한 값과 Gumbel 적률법에 의하여 얻어진 누적분포함수에 의한 값에 대한 적합성은 normalized error를 통하여 확인할 수 있다.

3. 풍향풍속별 특성

3.1 풍향풍속 빈도

Gumbel 분포는 식(1)과 같이 표현되며, 각각의 기준화변수 y , 식(2)를 이용하여 전풍향풍속에 대한 데이터로 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션 iteration은 초기값의 설정에 따라서 try error를 시도하였고 수렴에는 10~500회 정도 반복 계산하였다. Gumbel 분포에 대한 Fitting의 적합성을 확인하기 위하여 Reduced Chi-Square, Residual sum of Square, 그리고 Adj. R-Square 등의 통계값을 구하여 판단하였다. 또한 normalized error(E)에 대한 값의 예를 표 1에 포함하여 나타내었다. E값은 Gumbel 분포에 의해 fitting한 결과의 특성치를 이용하여 계산하였으며, 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$E = \frac{[\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (\bar{x}_i - x_i)^2]^{\frac{1}{2}}}{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N x_i} \quad (4)$$

여기서, \bar{x}_i : Gumbel에 의한 누적분포함수 값

x_i : Hazen방법에 의한 값

N : 표본 수

를 의미한다.

서울, 통영 그리고 인천지역의 년최대풍속에 대한 Hazen plot방법에 의한 GMS 결과를 각각 그림 1, 2, 그리고 그림 3에 나타내었다. Gumbel 분포에 의한 시뮬레이션 결과에 따른 적합성을 표 1에 각각 통계값을 제시하였다. 표 1, 표 4 그리고 표 5에 나타낸 a 와 v 값은 굼벨분포의 특성파라미터를 의미한다. standard error값은 통계모집단데이터와 시뮬레이션에 의한 데이터와의 적합성을 나타내며 적으면 적을수록 시뮬레이션이 유효함을 의미한다. 또한 Reduced chi-square에 의한 적합성을 위해서 일반적인 chi-square(식(5))에 관측에러에 의한 적합성을 높이기 위하여 가중개념(weighted based concept)을 고려하여 제시하였으며 이 때 사용된 Q_i 는 관측 값을 나타내며 E_i 는 식(6)과 같이 정의하였다. Reduced chi-square에 대해 식 (7)과 같이 정의하였다.

$$\chi_n^2 = \sum_{i=1}^k (Q_i - E_i)^2 / E_i \quad (5)$$

$$E_i = N(F(Y_v) - F(Y_i)) \quad (6)$$

여기서 F 는 누적확률함수이고 Y_v 와 Y_i 는 각각 i 번 째의 상한 및 하한 값을 나타낸다.

표 1. Parameters for each simulation for all data

| | a | | v | |
|----------|---------|----------------|----------|----------------|
| | Value | Standard Error | Value | Standard Error |
| Seoul | 17.9877 | 0.65458 | -6.67726 | 0.26757 |
| Tongyung | 32.8543 | 0.8849 | -5.5223 | 0.16747 |
| Incheon | 24.3731 | 0.42307 | -6.45869 | 0.12389 |

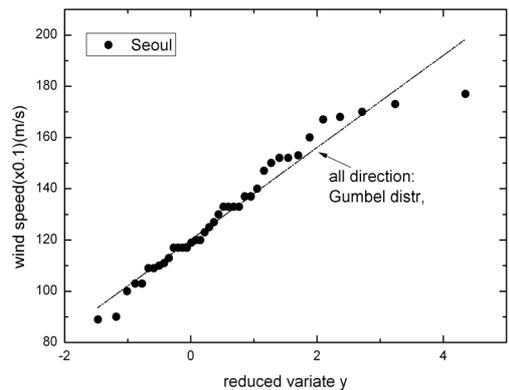


그림 1. Assessing Extreme distribution for Seoul

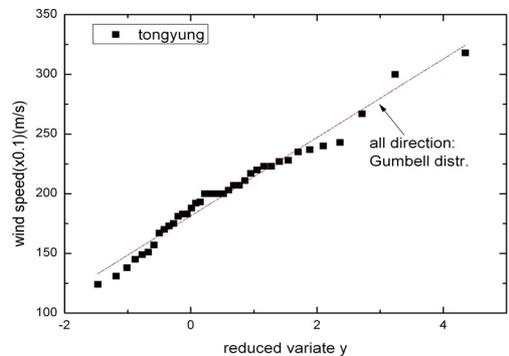


그림 2. Assessing Extreme distribution for Tongyung

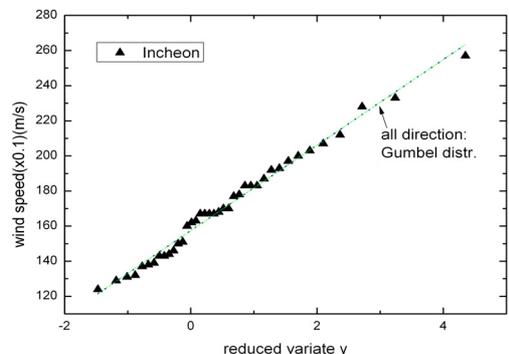


그림 3. Assessing Extreme distribution for Incheon

$$\chi^2_{reduced} = \sum_{i=1}^k (Q_i - E_i)^2 / \sigma_i^2 \quad (7)$$

또 σ_i^2 는 관측 확률 집단의 분산을 나타낸다.

표 1. (계속)

| | Statistics | | | |
|----------|--------------------|------------------------|---------------|--------|
| | Reduced Chi-Square | Residual Sum of Square | Adj. R-Square | E |
| Seoul | 25.79991 | 954.597 | 0.95203 | 0.0380 |
| Tongyung | 47.1509 | 1744.586 | 0.97315 | 0.0334 |
| Incheon | 10.77757 | 398.7702 | 0.98868 | 0.0187 |

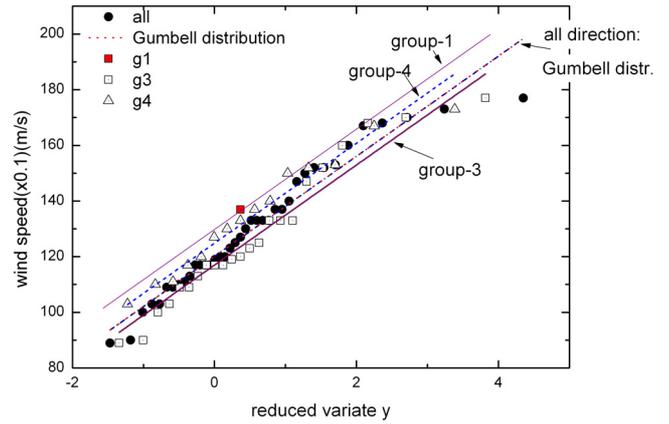


그림 4. Compare all direction with each grouping direction from Gumbell distribution case (Seoul)

3.2 전풍향풍속과 풍향패턴의 정의

풍향풍속의 풍향패턴은 다음과 같이 그룹화하여 정의하였다. 전풍향은 16방위로 정의하였고 기초적인 연구로써 표 2와 같이 그룹을 정의하여 통계 처리하였다.

표 2. pattern for wind direction

| pattern | direction | no. | pattern | direction | no. |
|------------------|-----------|-----|------------------|-----------|-----|
| 그룹 1 (group1) | NNW | 15 | 그룹 3 (group3) | SSE | 7 |
| | N | 16 | | S | 8 |
| | NNE | 1 | | SSW | 9 |
| | NE | 2 | | SW | 10 |
| 그룹 2 (group2) | ENE | 3 | 그룹 4 (group4) | WSW | 11 |
| | E | 4 | | W | 12 |
| | ESE | 5 | | WNW | 13 |
| | SE | 6 | | NW | 14 |

풍향패턴에 따라, 서울지역의 경우 그룹1, 2, 3 그리고 그룹 4에 대하여 GMS 결과를 그림 4와 풍향풍속 빈도분포를 그림 5에 나타낸다. 또한 서울지역의 풍향패턴에 의한 시뮬레이션 결과 값과 적합성에 대한 통계값을 표 3에 나타내었다.

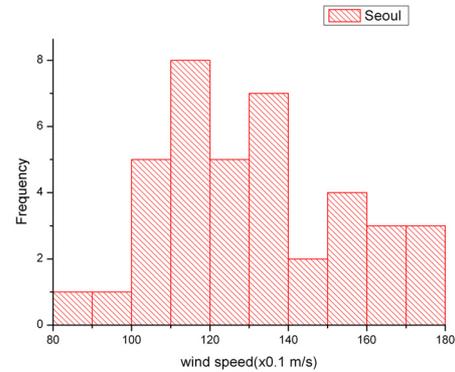


그림 5. Frequency of Wind speeds

표 3. Parameters for each simulation using Gumbell distribution (Seoul)

| | v | | Statistics | | |
|------|---------|----------------|--------------------|------------------------|---------------|
| | Value | Standard Error | Reduced Chi-Square | Residual Sum of Square | Adj. R-Square |
| 그룹 1 | - | - | - | - | - |
| 그룹 2 | - | - | - | - | - |
| 그룹 3 | -6.5026 | 0.0622 | 28.838 | 634.456 | 0.9535 |
| 그룹 4 | -6.938 | 0.0614 | 18.3053 | 256.2745 | 0.9586 |

표 1, 3, 4 그리고 표 5에서 standard error 값은 모집단에 대해 통계적 추정 시의 추정량으로서 평균의 정확성 정도를 의미하는 값이며 standard error 값으로 모집단의 변동성을 판단할 수 있다. standard error 값을 구하는 방법을 식 (8)에 나타낸다.

$$s.e = \frac{s.d}{\sqrt{n}} \tag{8}$$

여기서 $s.e$ 는 standard error 값을 나타내며, $s.d$ 는 표준편차를 n 은 통계데이터 수를 나타낸다. 예를 들어 standard error 값이 크면 클수록 변동성이 커짐을 의미한다. 본 논문에서의 standard error 값은 년최대풍향풍속 통계량으로부터 구하였으며 각 파라미터 값에 대한 값을 나타낸다.

통영지역에 대한 Gumbel 분포에 따른 전풍향풍속에 대한 결과와 풍향패턴에 의한 GMS 결과에 대하여 그림 6에 나타난다. 통영지역의 년최대풍속에 대한 통계데이터에 풍향풍속의 빈도분포는 그림 7에 나타내며, 시뮬레이션 적합성 결과의 통계값을 표 4에 나타낸다.

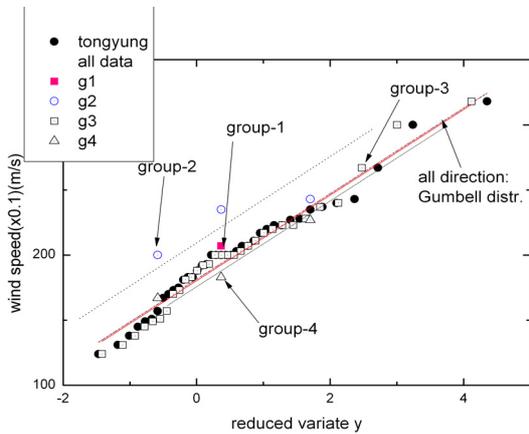


그림 6. Compare all direction with each grouping direction from Gumbel distribution case (Tongyung)

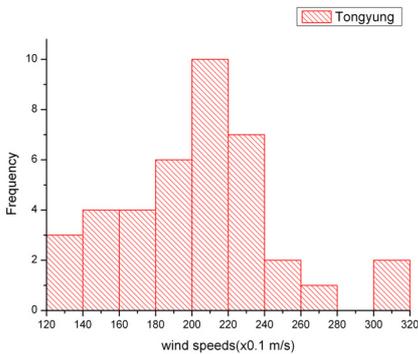


그림 7. Frequency of Wind speeds

표 4. Parameters for each simulation using Gumbel distribution (Tongyung)

| | v | | Statistics | | |
|------|---------|----------------|--------------------|------------------------|---------------|
| | Value | Standard Error | Reduced Chi-Square | Residual Sum of Square | Adj. R-Square |
| 그룹 1 | - | - | - | - | - |
| 그룹 2 | -6.3837 | 0.3463 | 388.418 | 776.836 | 0.25733 |
| 그룹 3 | -5.489 | 0.0436 | 63.606 | 1908.203 | 0.9686 |
| 그룹 4 | -5.359 | 0.1538 | 76.411 | 152.822 | 0.9208 |

인천지역의 풍향패턴 그룹 1, 2, 3 그리고 그룹 4에 대한 GMS 결과를 그림 8에 나타낸다. 그림 9에 년최대풍속의 빈도분포를 나타내며, 표 5에 인천지역의 GMS 결과 적합성에 대한 통계값을 나타낸다.

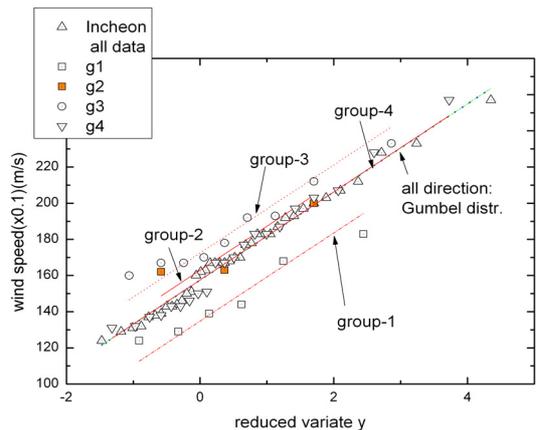


그림 8 Compare all direction with each grouping direction from Gumbel distribution case (Incheon)

표 5. Parameters for each simulation using Gumbel distribution (Incheon)

| | v | | Statistics | | |
|------|---------|----------------|--------------------|------------------------|---------------|
| | Value | Standard Error | Reduced Chi-Square | Residual Sum of Square | Adj. R-Square |
| 그룹 1 | -5.5318 | 0.13095 | 61.1173 | 305.586 | 0.88507 |
| 그룹 2 | -6.6849 | 0.2775 | 137.249 | 274.498 | 0.70736 |
| 그룹 3 | -7.0748 | 0.09951 | 52.940 | 423.5219 | 0.90965 |
| 그룹 4 | -6.4637 | 0.04687 | 27.409 | 548.181 | 0.9758 |

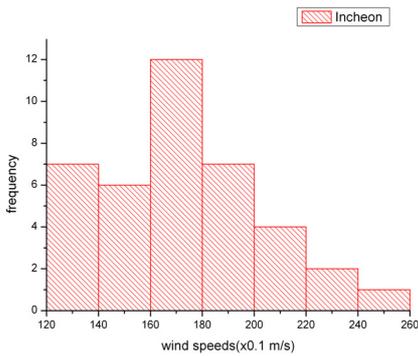


그림 9. Frequency of Wind speeds

표 3에서 그룹 1과 그룹 2는 통계데이터가 1개 또는 존재하지 않는 관계로 시뮬레이션에 의한 파라미터 값이 주어지지 않았으며, 표 4에서 그룹 1의 경우에도 마찬가지이다.

한편, 정규성에 대한 검증은 콜모로고로프 스미노프 검증(Kolmogorov-Smirnov검증(이하 K-S로 표시함))에 의한 결과를 표 6에 나타낸다.

Kolmogorov-Smirnov statistic은 식 (9)과 같이 정의할 수 있다. 즉,

$$F_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k I_{X_i \leq x} \quad (9)$$

여기서 F_n 는 관측값 X_i 에 대한 경험적 확률분포함수를 나타내며, $I_{X_i \leq x}$ 는 특정함수를 나타낸다.

또 관측값으로 주어진 $F(x)$ 에 대한 Kolmogorov-Smirnov error는 식 (10)과 같다.

$$D_n = \max_{x_i} |F_n(x_i) - F(x)| \quad (10)$$

여기서 \max_{x_i} 는 Glivenko-Cantelli이론에 의한 상한값을 나타낸다.

표 6. Parameters for the distributed Normality

| | K-S | Prob>D | mean | standard deviation |
|----------|---------|---------|--------|--------------------|
| Seoul | 0.10835 | 0.74684 | 13.035 | 0.2319 |
| Tongyung | 0.07638 | 1 | 20.015 | 0.4191 |
| Incheon | 0.10665 | 0.76927 | 17.131 | 0.3085 |

표 6. (계속)

| | skewness | kurtosis | Lower 95% of Mean Value | Upper 95% of Mean Value |
|----------|----------|----------|-------------------------|-------------------------|
| Seoul | 0.3465 | -0.63436 | 12.284 | 13.787 |
| Tongyung | 0.6073 | 0.9792 | 18.657 | 21.374 |
| Incheon | 0.69683 | 0.3319 | 16.131 | 18.131 |

3.2.1 적용율, r_{ap} . 의 제안

전풍향에 의한 Gumbel model은 식 (11)과 같이 정의할 수 있고, 풍향풍속별 패턴 또는 상한 값 95%에 의한 Gumbel model은 식 (12)와 같이 정의할 수 있다. 즉,

$$F_{X_i}(x) = \exp(-\exp(-a_i(x-b_i))) \quad (11)$$

$$F_{X_u}(x) = \exp(-\exp(-a_u(x-b_u))) \quad (12)$$

모집단이 극치분포에 의하여 지배를 받는 독립된 확률특성을 가지므로 전풍향에 의한 Gumbel model은 풍향풍속 패턴별 또는 상한 값 5%에 의한 Gumbel model를 갖는다고 할 수 있다.

따라서 전풍향에 의한 Gumbel model에 의한 결과에 의거 풍향풍속 패턴별에 의한 값과 상한 값 95%에 해당하는 풍향풍속 값은 탁월하는 풍향풍속을 파악할 수 있으며, 전풍향에 의한 Gumbel model과 풍향풍속별 패턴에 의한 경우 및 상한 값 95%에 해당되는 경우에 대하여 다음 식 (13)과 같이 정의할 수 있다. 즉,

$$\text{Prob}[X_i < x \cap X_u < x] = \exp(-\exp(-a_i(x-b_i)) - \exp(-a_u(x-b_u))) \quad (13)$$

여기서 풍향풍속에 의한 Gumbel model의 a 값은 a_i 또는 a_u 와 같은 값으로 생각할 수 있다.

따라서 본 연구에서 제안하는 적용율에 대해서는, 전풍향풍속에 대한 풍향풍속별 패턴 또는 상한 값 95%에 해당하는 풍향풍속에 의한 적용율(r_{ap} , application ratio)과 같이 검토할 수 있을 것이다. 이를 위하여 식 (11), (12) 그리고 (13)에 의하여 다음 식 (14)와 같은 적용율을 제안할 수 있다. 즉,

$$r_{ap, \text{application ratio}} = \frac{F_{X, \text{group}-1,2,3,4} \text{ 또는 } F_{X,u}}{F_{X, \text{all}}} \quad (14)$$

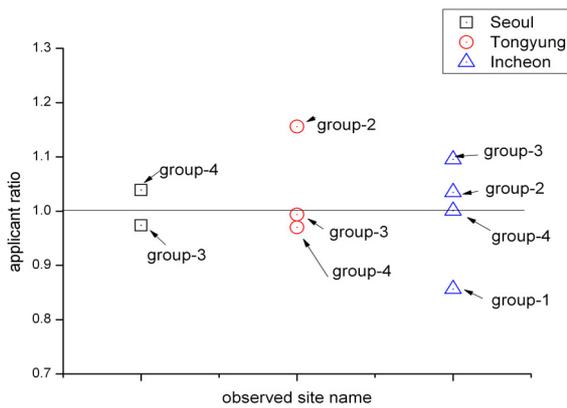


그림 10. Comparison of all directional wind speed and each group directional wind speed for application ratio

제안된 적용율, r_{ap} .에 의한 각 지역별 풍향패턴 그룹 1, 2, 3 그리고 그룹 4에 대하여 평가한 결과를 그림 10과 같이 얻을 수 있었다. 표 6에 제안된 적용율, r_{ap} .에 대한 평가 결과값을 정리하여 나타내었다.

그림 10에서 각 풍향풍속에 의한 풍향패턴 그룹별 결과, 통계 데이터가 1개인 경우에는 제외하여 나타낸 것이다.

적용율에 대한 결과를 나타낸 그림10에서 알 수 있듯이 탁월하는 풍향풍속의 경우를 고찰할 때, 서울의 경우 그룹 4의 풍향풍속에서 적용율 정도를 알 수 있으며, 통영의 경우에는 그룹 2에서, 그리고 인천의 경우에는 그룹 2, 3에서 적용율을 알 수 있다.

반면에 서울의 경우에는 그룹 3에서, 통영에서는 그룹 3, 4에서, 인천의 경우에는 그룹 1, 4에서 적용율이 감소하는 결과를 얻었다. 이들 적용율은 풍향패턴에 따른 기초적인 연구 결과로서, 지역적 풍향성을 있는 경우에 내풍설계시에 고려되어야 할 것으로 사료된다. 탁월 풍향패턴에 따라서는 설계용 기본풍속 평가에 풍향성을 반영하게 되기 때문이다.

4. 결론

본 연구에서는 서울, 통영, 인천지역의 기상 통계데이터를 이용하여 년최대풍속의 풍향패턴에 따른 그룹 1, 2, 3 그리고 그룹 4에 대한 풍향풍속성을 Gumbel Model Simulation으로 풍향패턴의 적용성 평가방법을 제안하였으며 제안된 평가방법에 의한 적용율 값을 제안하였다. 본 논문의 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 풍향패턴별 Gumbel Model Simulation(GMS)을 이용하여 적합성을 확인하였으며, 그 결과 유의성이 있는 것으로 나타났다.

- (2) 시뮬레이션 결과에 대한 적합성은 Normalized error(E), Reduced chi-square 그리고 K-S검증 등으로 고찰하였으며, 그 고찰결과 정규성을 갖는 것으로 나타났다.
- (3) 서울, 통영, 인천지역의 풍향패턴에 따른 Gumbel Model Simulation(GMS)에 의한 적용율값을 표 6과 같이 제안하였다.

표 6. Application ratio for tentative observed sites

| application ratio | r_{ap} . | | |
|-------------------|------------|----------|---------|
| | Seoul | Tongyung | Incheon |
| 그룹 1 | - | - | 0.856 |
| 그룹 2 | - | 1.156 | 1.035 |
| 그룹 3 | 0.973 | 0.993 | 1.095 |
| 그룹 4 | 1.039 | 0.970 | 1.000 |

- (4) 앞으로 관측지역 및 조건을 반영하여 적용성과 유의성을 전개할 필요가 있으며, 풍향패턴에 따른 지역 특성별 연구가 필요하다고 사료된다.

참고 문헌

기상청(1995) 기상연보.
 김동우, 변석용, 하영철(2004) 풍향빈도를 고려한 풍향별 재현기대풍속의 예측에 관한 연구, 한국풍공학회지, 한국풍공학회, pp.37-42.
 김동우, 유기철, 주석준, 김윤석(2008) 확률분포모델에 따른 재현기대풍속의 비교-주요 8개 도시를 중심으로-, 한국풍공학회학술대회, pp.32-41.
 윤재욱(2003) 한국 29개 주요 도시의 풍향, 풍속 및 바람특성 비교 연구, 대한건축학회논문집 계획계, 대한건축학회, 제19권, 제11호, pp.229-236.
 윤재욱(1992) 서울지역의 바람특성과 확률분포(와이블분포)를 이용한 풍향, 풍속 예측에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 대한건축학회, 제8권, 제4호, pp.145-152.
 이석중, 장한섭, 하영철 (2004) 태풍영향권역에 있어서 설계기대풍속의 합리적 평가방법에 관한 연구, 한국풍공학회지, 한국풍공학회, pp.43-48.
 조효남, 차철준, 백현식(1989) 확률에 기초한 한국의 기본 설계풍속 추정, 전산구조공학회논문집, 전산구조공학회, 제2권, 제2호, pp.63-72.
 하영철, 김종락, 김규석(2004) 건축물 설계용 기본풍속분포도, 한국풍공학회지, 한국풍공학회, pp.84-92.
 Chung, Y. and Kanda, J. (1997) Optimum design wind speed based on directional characteristics

of extreme value distribution, *Proc. the 4th Asia-Pacific Symposium on Wind Engineering*, pp.87-90.

Eadie, W.T.D. Drijard, F.E., James, M.R., and Sadoulet, B. (1971) *Statistical Methods in Experimental Physics*, North-Holland, Amsterdam, pp.269-271.

Prandtl (1932) *Meteorologische Anwendung der Störö mungslehre*, Beitr. Phys. Atmosph, Bd.19.

Stuart, A., Keith, O., and Steven, A. (1999) *Kendall's Advanced Theory of Statistics 2A*. London: Arnold, a member of the Hodder Headline Group, 25.37-25.43.

(접수일자 : 2010. 6. 13 / 심사일 2010. 7. 2 /
심사완료일 2010. 10. 29)