

改善된 Monte-Carlo 시뮬레이션 方法에 의한 韓國의 颱風危險度 分析

An Improved Monte-Carlo Simulation Method for
Typhoon Risk Assessment in Korea

| | | |
|--------|-------|------|
| 趙 | 孝 | 男* |
| Cho, | Hyo | Nam |
| 張 | 東 | —** |
| Chang, | Dong | Il |
| 車 | 哲 | 俊*** |
| Cha, | Cheol | Jun |

Abstract

This study proposes an operational method of typhoon risk assessments in Korea, using Statistical analysis and probabilistic description of typhoon at a site. Two alternative simulation and fitting methods are discussed to predict the probabilistic typhoon wind speeds by indirect methods. A Commonly used indirect method is Russell's procedure, which generates about 1,000 Simulation data for typhoon winds, statistically evaluate the base-line distribution, and then fits the results to the Weibull distribution based on probabilistic description of climatological Characteristics and Wind field model of typhoon at a site. However, an alternative procedure proposed in this Paper simulates extreme typhoon wind data of about 150~200 years and directly fits the generated data to the Weibull distribution.

The computational results show that the proposed simulation method is more economical and reasonable for typhoon risk-assessment based on the indirect method. And using the proposed indirect method, the probabilistic design wind speed for transmission towers in typhoon-prone region along the South-Western coast is investigated.

要 旨

本 研究에서는 특정지역에서 颱風의 統計的 分析 및 確率的 記述方法을 이용하여 韓國의 颱風危險度分析에 관한 合理的 方法을 提示하였다.

間接的 方法으로 颱風의 確率風速을 예측하기 위해 두가지 시뮬레이션 過程 및 fitting 方法에 대해 論하였다. 一般적으로 間接的 方法으로는 Russell의 方法이 사용되고 있는데 이 方法은 특

* 正會員·陸軍士官學校 教授, 土木工學科

** 正會員·漢陽大學校 工科大學 教授, 土木工學科

*** 正會員·漢陽大學校 大學院 碩士過程

정지역에서 颱風의 確率의 예측을 위한 氣象學의 特性과 風速場모형(Wind field Model)에 기초를 두고 시뮬레이션 方法에 의해 약 1,000 개의 颱風을 발생시켜 統計的으로 基底確率分布를 구한 다음, 그 결과를 Weibull 分布에 fitting 하도록 하고 있다. 그러나, 本 研究에서는 150 年 내지 200 年間의 年最大風速을 발생시켜 그 data 를 이용하여 Weibull 分布에 직접 fitting 하는 方法을 提案하였다.

數值解析결과, 本 研究에서 提案한 方法이 보다 效率的이고 合理的인 颱風의 危險度評價方法임을 알 수 있었다. 아울러, 提案된 確率風速 豫測方法을 이용하여 颱風취약지역인 남서海岸 일대에서 送電塔의 設計風速에 대해 검토, 분석하였다.

1. 序 論

매년, 韓國은 여러 颱風에 의해 영향을 받아 왔으며 그림 1에서 보는 바와 같이 특히 여름철에 집중하여 대소의 颱風영향권에 있게 되고, 거의 매년 颱風으로 인한 큰 인명 및 재산피해를 입고 있다. 颱風의 발생 및 크기는 예측하기 어려운 자연현상인 바, 統計的 모형을 이용한 颱風의 確率의 예측은 耐颱風 設計를 위한 合理的 方法을 提示할 것이며 이는 또한 颱風피해를 줄일 수 있는 方法이 될 것이다. 과거 오랜기간 동안 颱風에 대한 氣象學的 統計值를 얻을 수 있다면 향후 颱風의 발생 및 크기에 대한 確率의 記述은 가능하며, 颱風危險度의 豫測은 超過確率에 의해 계산된 N -年 在現期間 風速으로 나타낼 수 있다. 颱風에 대한 기록치가 없는 지역에서는 시뮬레이션을 이용한 間接的 推定方法이 颱風의 발생 및 크기를 豫測하는데 일반적으로

사용되어 왔다. 本 研究의 目的은 일반적으로 사용되어 온 間接的 方法을 改善하여 韓國의 颱風危險度 分析을 위한 보다 合理的이고 效率的인 시뮬레이션 方法을 提示하는 데 있다.

2. 颱風에 대한 確率모형

2-1. 颱風 발생모형

颱風이나 hurricane 발생에 대한 推計的 모형으로 Poisson 過程이 널리 사용되고 있으며 七年 동안 n 개의 颱風이 발생할 確率은 다음 식으로 쓸 수 있다⁽³⁾.

$$P(n, t) = \exp(-\nu t) (\nu t)^n / n! \quad (1)$$

여기서, ν 는 평균발생률을 의미한다.

2-2. 颱風 風速모형

어떤 지역에서 颱風이 발생했을 때 그 風速은 基底確率分布(base-line distribution) $F_V(v)$ 에 따른다 하자. 여기서 $F_V(v)$ 는 어느 한 颱風의 風速이 v 보다 작을 確率을 의미하며 n 개의 颱風이 발생했을 때 그 중 最大風速 V 가 v 보다 작을 確率은 다음 식으로 쓸 수 있다.

$$P(V < v | n) = [F_V(v)]^n \quad (2)$$

1 年에 n 개의 颱風이 발생했을 때 그 중 最大風速 V 가 v 보다 작을 確率을 $P_r(V < v, 1)$ 이라 하면,

$$P_r(V < v, 1) = \sum_{n=0}^{\infty} P(V < v | n) p(n, 1) \quad (3)$$

(1)식과 (2)식을 (3)식에 대입하여 정리하면 다음 식으로 된다.⁽⁵⁾

$$P_r(V < v, 1) = \exp\{-\nu[1 - F_V(v)]\} \quad (4)$$

어느 해에 颱風의 危險度는 超過確率 $p=1 - P_r(V < v, 1)$ 과 N 年의 在現期間을 갖는 風速 V_N 으로 쓸 수 있으며 (4)식의 $F_V(v)$ 를 Weibull 分布로 가정하면 V_N 은 다음과 같다.

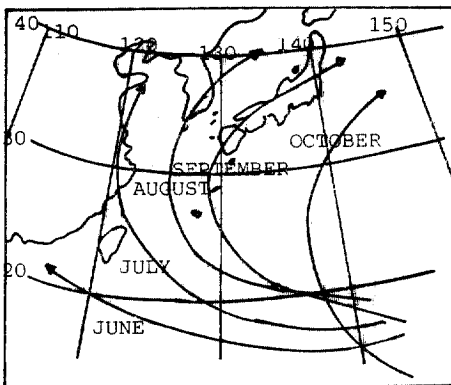


그림 1. Monthly mean track of typhoon in Korea.

$$V_N = \sigma \left\{ \ln \left[-\frac{1}{\nu} \ln \left(1 - \frac{1}{N} \right) \right] \right\}^{1/\nu} \quad (5)$$

여기서, σ , ν 는 Weibull 分布의 母數이다.

3. 間接的 시뮬레이션 方法

3-1. 基礎 概念

과거 風速의 기록치가 없거나 충분치 못한 지역에서 颱風 風速을 推定하기 위해 시뮬레이션을 이용한 間接的 方法이 널리 사용된다. 이 방법은 특정지역에서 氣象 data를 통하여 구한 颱風의 特性(Typhoon Characteristics)과 風速場모형(Wind field Model)을 이용하여 颱風 風速을 발생시킨다^(2,6,7).

3-2. 颱風 特性모형⁽²⁾

颱風의 氣象學的 特性의 記述에는 다음과 같은 내용이 포함되어야 한다.

- 1) 특정지역에서 颱風의 발생률
- 2) 颱風中心과 주변과의 最大氣壓差
- 3) 最大風速時의 颱風半徑
- 4) 颱風의 移動速度
- 5) 颱風이 海岸 또는 그에 수직한 假想海岸을 통과하는 위치 및 진행방향

남서海岸에서 국내의 颱風 data에 의거, 산출된 이들 特性의 確率分布는 경계치 및 측정된 母數와 함께 表 1에 요약되어 있다^(8,9).

3-3. 風速場 모형(Wind Field Model)

10m 海上에서 10분간의 最大 平均速度, $V(Z=10, R)$ 은 Batts에 의해 提案된 實驗式⁽²⁾을 이용하여 구했으며 그 實驗式은 다음과 같다.

$$V(Z=10, R) = 0.865 V_{sx} + 0.5S \quad (6)$$

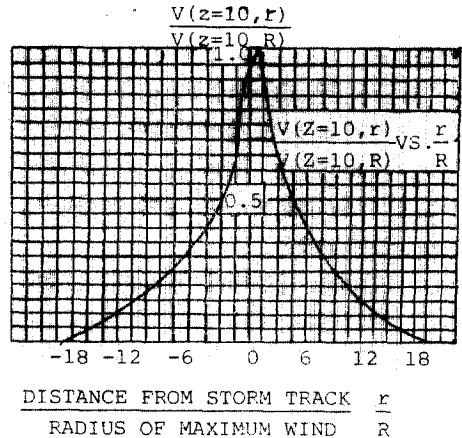


그림 2. Wind field model.

여기서 $V_{sx} = K \sqrt{\Delta P_{\max}} - \frac{Rf}{2}$ 이며 緯度 35° 에서의 $K = 6.96 \text{ m/s/mm}^{1/2}$, $f = 0.8365 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ 이다. 또한 $V(Z=10, r)$ 을 颱風의 中心에서 거리 r 인 지역에서 관측된 風速이라 할 때 氣象 data를 이용하여 계산된 $V(Z=10, r)/V(Z=10, R)$ 과 $\frac{r}{R}$ 의 관계가 그림 2에 圖示되었다.

4. 시뮬레이션 및 Fitting 過程

특정지역에서 颱風의 기록에 기초한 颱風特性모형과 風速場모형을 이용한 Monte-Carlo 시뮬레이션을 행하여 颱風風速을 발생시켰으며 이들 결과치를 이용하여 Weibull 分布에 fitting 하였다. 本 研究에서는 두가지 시뮬레이션 方法 및 Fitting 過程을 비교하여 論하였다.

表 1. Typhoon Description Models

| | Distribution | Parameters | Bound |
|--|--------------|---|--|
| Real coast crossing | Uniform | $F(x H) = 0.0021x + 0.223$ | $-100 \leq x < 350 \text{ km}$ |
| North-west pseudo crossing | Uniform | $F(x H) = 0.003x - 0.05$ | $50 \leq x < 350 \text{ km}$ |
| South-east Pseudo crossing | Uniform | $F(x H) = 0.004x - 0.03$ | $25 \leq x < 250 \text{ km}$ |
| Real coast heading : $\theta - \phi(x)$ ($\phi(x)$: mean) | Normal | $\mu = 0, \sigma = 16$ $\phi(x) = 57.74^\circ - 0.0535x^\circ / \text{km}$ | $-32 \leq \theta - \phi(x) < 35^\circ$ |
| North-west heading θ | Uniform | $F(\theta x, H) = 0.018\theta + 0.14$ | $-5 \leq \theta < 50^\circ$ |
| South-east heading θ | Normal | $\mu = 44, \sigma = 20$ | $-3 \leq \theta < 82^\circ$ |
| Pressure difference : ΔP_{\max} | Normal | $\mu = 55.5, \sigma = 23$ | $\Delta P_{\max} < 135.5 \text{ mb}$ |
| Radius of V_{\max} : R | Lognormal | $\lambda = 3.4, \zeta = 0.637$ | $8 < R < 100 \text{ km}$ |
| Storm Translation : S | Normal | $\mu = 24, \sigma = 10.5$ | $2 < S < 65 \text{ km/ Hr}$ |

4-1. Russell의 방법⁽⁶⁾

일반적으로 Monte-Carlo 시뮬레이션을 하기 위해 사용되는 방법은 표 2에 요약된 Russell의過程으로 이것은 (4)식의 $F_V(v)$ 를 구하기 위해 약 1,000 개의 颱風을 발생시킨다. 주어진 颱風 v 에 대한 $F_V(v_i)$ 는 Sorting시켜 排列한 颱風 data 값을 이용하여 다음과 같이 계산하며,

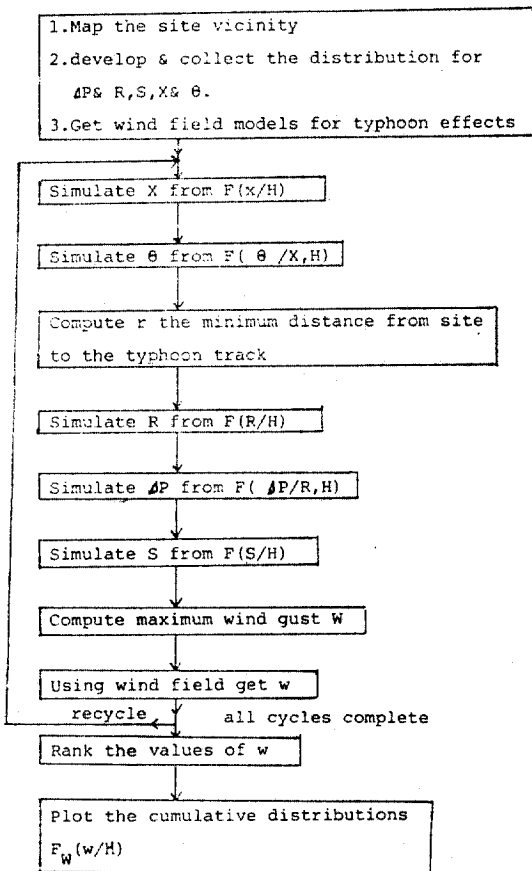
$$F_V(v) = i/m + 1 \quad (7)$$

(4)식과 (7)식을 이용하여 Weibull 分布에 fitting시킬 수 있다.

4-2. 提案된 시뮬레이션方法

本 研究에서 提案된 方法은 약 150年 내지 200年間의 年 最大颱風 風速을 발생시켜 Weibull 分布에 직접 fitting 하는 것으로 표 3에 요약되어 있다. 세계의 母數를 갖는 Weibull 分布의 P_r ,

表 2. The Russell's procedure.



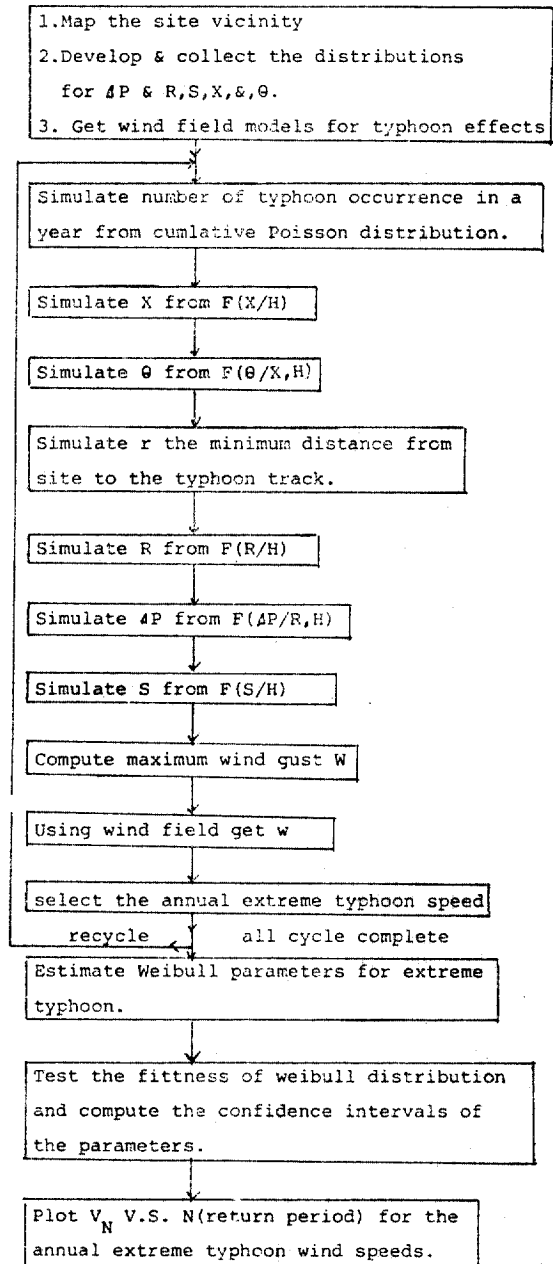
$(V < v, 1)$ 은 다음과 같고,

$$P_r(V < v, 1) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{V - \mu_w}{\sigma_w}\right)^r\right] \quad (8)$$

N -年風速 V_N 은 다음과 같다.

$$V_N = \mu_w + \sigma_w (\ln N)^{1/r} \quad (9)$$

表 3. Proposed procedure.



5. 適用例 및 考察

本 研究에서 間接的 方法에 의한 颱風危險度 評價의 適用性을 檢討하기 爲해 颱風의 主 영향 圈인 南서海岸에 위치하고 있으며 지난 82年間의 颱風風速이 기록된 木浦에서 두가지 시물레이션方法을 수행하여 比較하였다. 그림 3은 지난 82年間(1904~1985) 그림 4의 木浦인근을 통과한 B級($V_B=30m/sec$) 以上の 颱風발생을 나타내고 있다.

(1)식의 Poisson 모형에서 颱風의 平均 발생률 $\mu=1.94$ 이며 Poisson 分布의 結果值는 실제의 Histogram 과 함께 그림 5에 圖示되었다. χ^2 -檢定 結果, Poisson 分布는 年間 颱風발생회수 예측을 爲해 適當한 모형임을 알 수 있다.

木浦에서 間接的 시물레이션方法에 기초한 颱風을 推定하기 爲해 과거 颱風기록을 利用하여

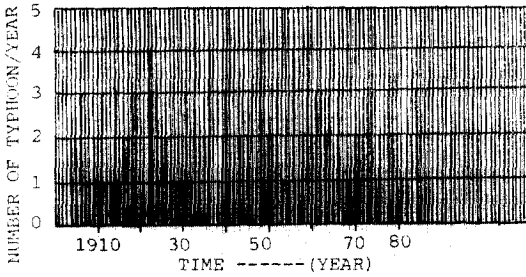


그림 3. Typhoon occurrences in the South-West Coast Vicinities(1904~1985).

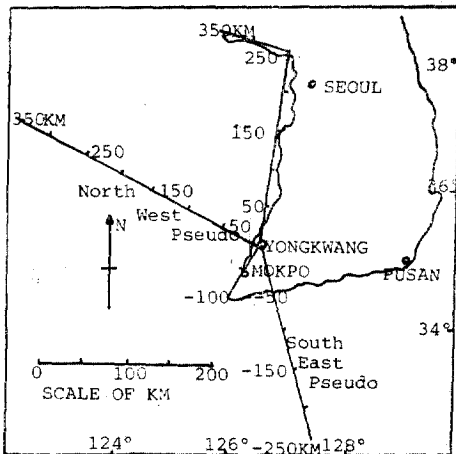


그림 4. The site map.

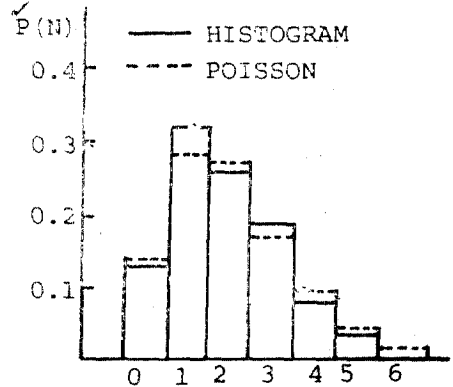


그림 5. Typhoon occurrence modelled by Poisson process.

그림 4의 木浦인근에 영향을 미친 颱風의 特性을 구했으며 그들의 分布가 표 1에 나타났다. 표 1의 颱風 特性의 分布와 그림 2의 風速場모형을 利用하여 두가지 方法으로 Monte-Carlo 시물레이션을 行하였다. Russell의 方法을 利用한 시물레이션에 의해 約 1,000개의 颱風을 발생시켰으며 그 結果值를 (4)식과 (7)식을 利用하여 Weibull 分布에 fitting 하였다. 한편, 提案된 시물레이션方法에 의해 約 100~200年間의 年 最大風速을 발생시켜 Weibull 分布에 직접 fitting 하였다. 1,000개의 颱風 및 100, 150, 200 年間의 年 最大風速值에 對해 Weibull 分布의 適合性을 檢定하기 爲한 χ^2 -檢定 및 E-값 測定⁽⁴⁾의 結果值가 Weibull 分布의 母數와 함께 표 4에 요약되어 있다.

χ^2 -檢定 및 E-값 測定의 結果值로부터 100 年間의 風速 data를 제외한 다른 세가지는 Weibull 分布에 適當한 것으로 받아들여진다. 각 시물레이션 結果值들의 Weibull 分布에 對한 fitting이 그림 6에 圖示되었으며 이 중 100年間 颱風의 fitting 만이 다른 것과 相異함을 알 수 있다. 또한, 재현기간과 風速과의 關係를 통한 颱風危險度의 예측이 그림 7에 圖示되었으며 100年間의 시물레이션 data에 기초를 둔 風速의 예측은 재현기간이 길어짐에 따라 過大風速이 發生함을 알 수 있다. 위의 結果로 미루어 볼 때 100 年間의 年 最大颱風 data는 직접 fitting 하기에 適

表 4. Monte-Carlo Simulation for Mokpo

| | | Total Typhoons | | Annual Extreme Typhoons | | |
|------------------------|------------|----------------|---------------|-------------------------|---------------|--|
| | | 1000 data | 100-year data | 150-year data | 200-year data | |
| Estimated Parameter | μ_w | -14.6 | -7.44 | -17.854 | -21.31 | |
| | σ_w | 42.32 | 34.804 | 44.664 | 47.385 | |
| | γ | 5.02 | 3.94 | 5.56 | 6.15 | |
| χ^2 Test | | 6.1 | 9.7 | 4.7 | 4.2 | |
| E-Value Measure | | 0.0482 | 0.071 | 0.0474 | 0.0438 | |

※ Significance level ; 5%, d.o.f=4, $C_{0.95,4}=9.49$ Criteria of E ; 0.05

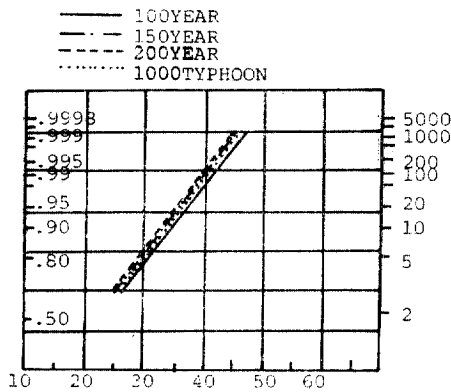


그림 6. Comparison of Weibull fitting based on the results of different simulations.

분치 못함을 알 수 있다.

한편, 그림 7에서 間接的 方法에 의한 颱風의 예측은 과거 颱風기록치를 이용한 直接的 方法의 颱風예측과 매우 近接함을 알 수 있다. 이로써, 本 研究에서 提案한 間接的 方法은 과거의 颱風風速이 기록되지 않은 지역에서도 向後 颱風을 推定하는데 合理的으로 이용할 수 있음을 알 수 있다. 提案된 間接的 simulation 方法을 이용하여 推定된 颱風 風速에 의해 남서해안에서 送電塔에 대한 設計風速은 $V=34.6\text{m/sec}$ 인데 반하여 木浦에서 재현기간 50년에 대한 風速은 $V=38\text{m/sec}$ 로 나타났다. 한편, $V=34.6\text{m/sec}$ 는 재현기간 17년에 해당하는 風速으로 이는 設計風速으로 너무 적은 값으로 解析된다. 이로 미루어 볼 때 送電塔에 대한 現行 設計風速은 統計的 方法에 의해 算出하지 않은 不合理

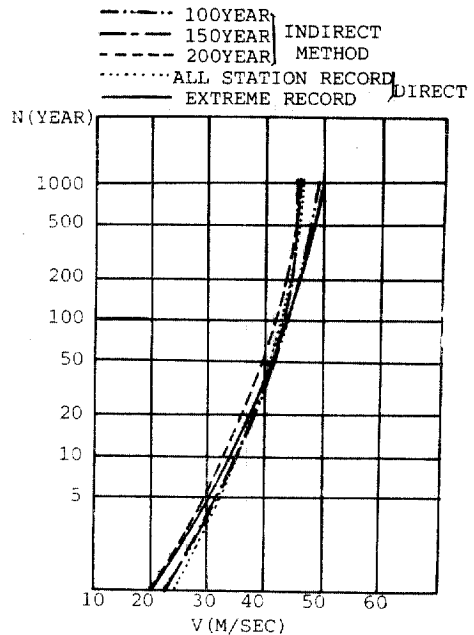


그림 7. Comparison of N-year Wind speed predictions (direct vs. indirect methods).

한 값을 알 수 있다. 따라서, 本 研究에서 提案한 確率的 方法에 기초한 颱風設計 風速地圖 (Wind Speed Map)의 개발 및 合理的인 設計風速規準의 도입이 시급하다고 본다.

6. 結 論

1) 颱風風速 기록치가 없거나 충분치 않은 경우, Russell의 simulation 및 fitting 방법보다는 本 研究에서 提案한 약 200年間の 年 最大風速을 발생시켜 Weibull 分布에 fitting시키는 方法이 보다 合理的이고 效率的인 結果를 주는 改善

된 방법임을 알 수 있다.

2) 送電塔에 대한 現行 設計風速은 合理的인 統計的 方法에 의해 設定되지 않은 값이며 現行 設計風速 대신 確率的 方法에 의해 求해진 設計風速을 사용해야 한다고 思料된다.

3) 提案된 間接的 시뮬레이션 方法은 國內 颱風地圖를 만드는데 合理的으로 직접 사용될 수 있는 方法이라고 思料된다.

參 考 文 獻

1. Ang, A.H-S, and Tang, W.H., "Probability Concepts in Engineering Planning and Design." Vol. I, II, 1984, John Wiley & Sons.
2. Batts, M.E., July "Probabilistic Description of Hurricane Wind Speeds," *Jour. of the Structural Div., ASCE*, Vol. 97, pp.139~154. 1982.
3. Cheng, E.D.H. and Chiu, A.N.L., Mar. "Stochastic Simulation of Tropical Cyclone Occurrences," *Proc. of the CHINA-AIT Joint Seminar on Research for Multiple Hazards Mitigation*, Nat'l. Cheng Kung Univ., Taiwan. pp.691~703, 1984.
4. Fujino, Y., Ito, M. and Sakai, T., Jan. "Probability Distributions of Yearly Maximum Wind Speeds in Japan," *Proc. of Int'l Conf. on Eng. for Protection from Natural Disasters*, AIT, Bang Kok, pp.219~229, 1980.
5. Mau, S.T. and Chow, T., Jan. "A Simple Model for Typhoon Risk Analysis of a Site," *Proc. of Int'l. Conf. on Eng. for Protection from Natural Disasters*, AIT, Bangkok, pp.247~258, 1980.
6. Russell, L.R., Feb. "Probability Distributions for Hurricane Effect," *Jour. of the Structural Div., ASCE*, Vol. 108, pp.1643~1647, 1971.
7. Simiu, E. and Scanlan, R.H., Aug. "Wind Effects on Structures," John Wiley & Sons. 1985.
8. 中央氣象臺, "韓國颱風 80 年報", 1984.
9. 中央氣象臺, "颱風白書", 1986.

(接受: 1987. 11. 2)