

# 경상남도 해안 지역에서의 태풍에 의한 극한 풍속 추정

## Estimation of Typhoon-induced Extreme Wind Speeds over Coastal region of Gyeongsangnam-do Province

이영규\* · 이승수\*\* · 김학선\*\*\*

Lee, Young Kyu · Lee, Sungsu · Kim, Hak Sun

### Abstract

Data of the typhoon affecting Korean peninsula from 1951 to 2005 are obtained from the RSMC best track and six climatological characteristics of the typhoons are examined. Local wind speeds are obtained by the physical model for wind fields. Typhoons are generated by the Monte Carlo simulation and their wind speeds are distributed using Weibull CDF. Simulated typhoon wind speeds are used to obtain different wind speeds corresponding their mean recurrence intervals.

**key words** : Typhoon, Monte Carlo, Wind Speed

### 1. 서론

경상남도 해안지역은 태풍이 빈번히 발생하는 지역이다. Simiu (1996)는 태풍이 발생하지 않는 지역에서는 연 최고 풍속 자료가 극한풍 확률 거동을 잘 묘사하지만, 태풍이 빈번한 지역에서는 연 최고 풍속 자료가 극한풍 확률 거동을 잘 묘사하지 않아, Monte Carlo 시뮬레이션과 같은 간접적인 방법으로 극한 풍속을 결정해야 한다고 지적하고 있다. 본 연구에서는 태풍이 빈번히 발생하고 있는 경상남도 해안지역을 대상으로 Monte Carlo 시뮬레이션을 이용하여 태풍의 극한 풍속을 추정하였다.

2 장에서는 Monte Carlo 시뮬레이션을 위한 확률 모델과 물리적 모델에 대해서 설명하였으며, 3장에서는 Monte Carlo 시뮬레이션의 결과에 대해서 살펴보았고, 4장에서는 고찰 및 추후 연구에서 대해서 언급하였다.

### 2. 모델링

태풍이 빈번히 발생하는 지역에서는 연 최대 풍속의 통계 해석으로 극한 풍속을 추정할 수 없다. 일반적으로 이런 지역에서는 태풍의 기후학적 특성들에 대한 통계 분포 모델과 태풍 바람 구조의 물리적 모델을 구성하여 간접적 방법을 통해서 태풍의 극한 풍속을 추정한다.

#### 2.1 태풍 기후학적 특성들의 확률 분포 모델

1951-2005년 동안의 RSMC Best Track 자료를 이용하였다. 경상남도 해안 지역에 영향을 미치는 태풍을 크게 세 가지로 분류하였다. 첫 번째 부류는 (37.5°N, 125.5°E)점과 (34°N, 125.5°E)점 사이의 자오선을 관통하여 내륙에 도착하는 태풍이고 (이후부터는 서해 연안 태풍으로 명칭), 두 번째 부류는 (34°N, 125°E)점과 (34°N, 129.5°N)점 사이의 위도선을 관통하여 내륙에 상륙하는 태풍 (이후부터는 남해 연안 태풍으로 명칭), 마지막으로 세 번째 부류는 (37.5°N, 130°E)점과 (34°N, 130°E)점 사이의 자오선을 관통하여 내륙에 상륙하는 태풍 (이후부터는 동해 연안 태풍으로 명칭)이다. 그림 1은 각각 서해 연안 태풍, 남해 연안 태풍, 동해 연안 태풍을 보여주고 있다. 55년 동안 서해 연안 태풍의 누적 개수는 36개, 남해 연안 태풍의 누적 개수는 61개,

\* 충북대학교 구조시스템공학과 · 박사과정 · E-mail: youngkyulee@cbnu.ac.kr  
\*\* 충북대학교 구조시스템공학과 · 교수  
\*\*\* 충북대학교 구조시스템공학과 · 박사과정

동해 연안 태풍의 누적 개수는 3개로 나타났다.

이 세 가지 부류의 태풍 중 누적 태풍 개수가 3개인 동해 연안 태풍에 대해서는 기후학적 특성 분포를 결정하기 어려워 본 연구에서는 제외하였다. 태풍의 기후학적 특성은 RSMC best track과 본 논문에서 설정한 서해 연안 경계와, 남해 연안 경계와 교차하는 지점에서 정의하였다. 서해 연안 태풍과 남해 연안 태풍에 대해서 중심 기압과 주변 기압의 차, 최대 풍속 반경, 태풍이동 속도, 경계와 태풍경로의 교차점(위도 혹은 경도), 태풍이동방향에 대한 기후학적 특성을 조사하여 다음과 같은 통계적 모델을 가정하였다.

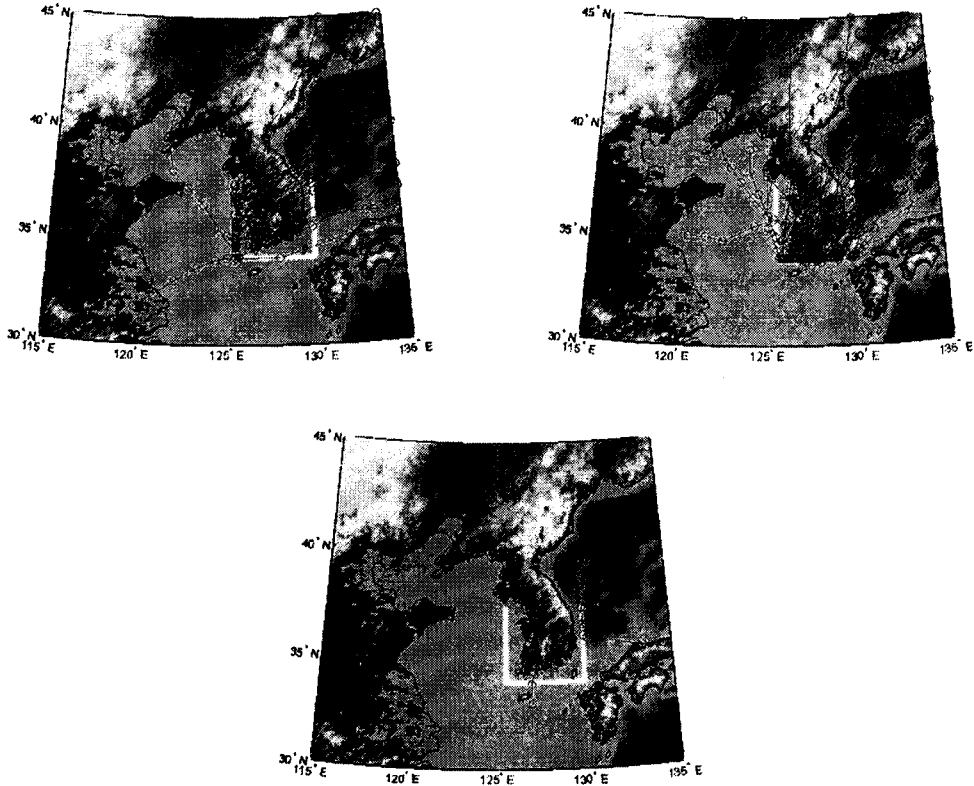


그림 1. 태풍의 세 가지 부류; 왼쪽부터 서해 연안 태풍, 남해 연안 태풍, 동해 연안 태풍.

- 1) 태풍 발생율은 Constant Rate Poisson Process로 가정한다.
- 2) 중심기압과 주변기압의 차이,  $\Delta p$ (단위: hPa)는 Weibull 분포로 가정한다. 주변기압은 1013hPa로 가정하여 기압차를 산정하였다. 또한 Batts et al (1980)과 같이  $\Delta p < 135$ hPa 제약 조건을 부가하였다.

$$\text{Weibull pdf; } y = f(x|a, b) = ba^{-b}x^{b-1}\exp\left(-\left(\frac{x}{a}\right)^b\right)$$

서해 연안 태풍:  $a = 24.9907, b = 1.90758$ , 남해 연안 태풍:  $a = 35.4199, b = 1.5359$

- 3) 태풍이동속도,  $s$ (단위: m/s)는 Weibull 분포로 가정한다.

서해 연안 태풍:  $a = 11.2528, b = 2.95688$ , 남해 연안 태풍:  $a = 10.0325, b = 1.74192$

- 4) 태풍이동방향(단위: 도)은 극치 분포로 가정한다. 태풍이동방향은 남극에서 경계-교차 직선까지의 시계 방향 각으로 정의된다.

$$\text{Extreme value pdf; } y = f(x|\mu, \sigma) = \sigma^{-1}\exp\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\exp\left(-\exp\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right)$$

서해 연안 태풍:  $\mu = 235.928, \sigma = 23.4407$ , 남해 연안 태풍:  $\mu = 216.636, \sigma = 26.5942$

- 5) 태풍교차점(단위: 도)은 균일 분포로 가정한다. 서해 연안 태풍의 경우에는, 서해 연안 경계와 만나는 지점의 위도로, 남해 연안 태풍의 경우에는, 남해 연안 경계와 만나는 지점의 경도가 태풍 교차점을 정의한다.
- 6) 최대풍속반경(단위 km)에 대한 기후학적 특성은 HAZUS<sup>(R)MH</sup>MR1 Technical Manual(2003)의 최대풍속 반경  $R_{max}$  과 중심기압차  $\Delta p$ , 위도  $\psi$ 의 관계식으로 결정하였다.

$$\ln R_{max} = 2.556 - 0.000050255 \Delta p^2 + 0.042243032 \psi; \quad r^2 = 0.3249$$

## 2.2 태풍 바람장의 물리적 모델

본 논문에서 Batts et al (1980)이 사용한 바람장 모델을 사용하였다. Batts et al의 바람장 모델을 간략히 살펴보면, 최대 경도 풍속,  $V_{gx}$ , (maximum gradient wind speed)을 다음과 같이 결정한다.

$$V_{gx} = K \sqrt{\Delta p} - \frac{R_{max} f}{2} \quad (1)$$

여기서,  $R_{max}$ 는 최대풍속반경,  $f$ 는 Coriolis parameter이다.  $K = [R_{max} \alpha / \rho]^{1/2}$ 로 정의되는 값으로,  $\alpha$ 는  $dp/dn = \alpha \Delta p$  관계식의 계수이고,  $\rho$ 는 공기 밀도이다.  $K$ 의 값은 북위 23°에서의 6.04m/s/hPa<sup>1/2</sup>에서 북위 45°에서 6.00m/s/hPa<sup>1/2</sup> 사이에서 변한다.

최대 풍속 반경에서의 해수면 10m에서의 10분 평균 풍속과 최대 경도 풍속의 관계는 다음 경험식 (NOAA, 1972)으로 가정하였다.

$$V(z=10, r=R_{max}) = 0.865 V_{gx} + 0.5s \quad (2)$$

여기서,  $s$ 는 태풍이동속도이다.

태풍 중심  $O$ 로부터 태풍이동방향과 시계방향으로 115° 각을 이루는 직선을  $OM$ 이라고 정의하면  $OM$  직선 상에서 거리  $r$  만큼 떨어진 곳에서의 해수면 10m 높이에서의 10분 평균 풍속을  $V(z=10, r)$ 로 표기하고,  $V(z=10, r)/V(z=10, R_{max})$  비율을 그림 2. (NOAA, 1972)에서와 같이  $r$ 에 종속하는 것으로 가정하였다. 태풍 중심으로부터 직선  $OM$ 과  $\theta$  각을 이루는 직선을  $ON$ 이라고 하면, 직선  $ON$  상에서 태풍 중심에서 거리  $r$  만큼 떨어진 곳에서의 해수면 높이 10m에서의 10분 평균 풍속을  $V(z=10, r, \theta)$ 로 표기하면,  $V(z=10, r, \theta)$ 는  $V(z=10, r)$ 과 태풍이동속도,  $s$ 와 다음 식(NOAA, 1972)으로 관계를 맺는 것으로 가정하였다.

$$V(z=10, r, \theta) = V(z=10, r) - 0.5s(1 - \cos \theta) \quad (3)$$

또한 해수면 상의 풍속,  $V^w$ 을 육상면 상의 풍속,  $V^l$ 으로 저감시키기 위한 계수로, 본 논문에서는 Batts et al (1980)이 가정한  $V^l(z=10)/V^w(z=10) = 0.85$  계수를 사용하였다.

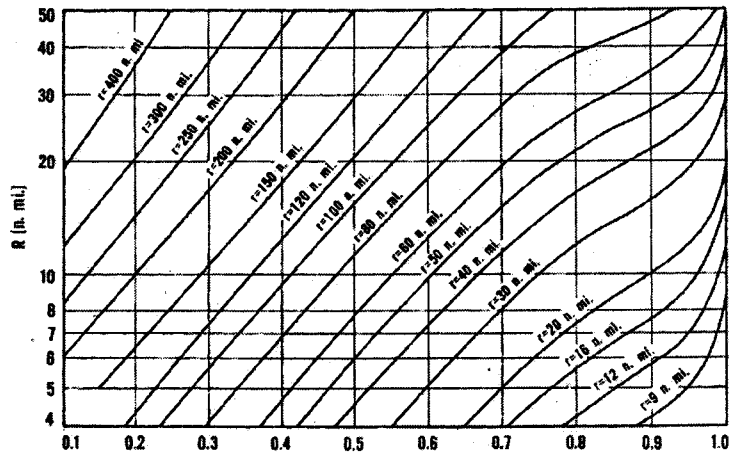


그림 2.  $V(z=10, r)/V(z=10, R_{\max})$ 의 비율

### 3. Monte Carlo 시뮬레이션 및 결과

태풍의 기후학적 특성에 대한 확률 분포 모델로부터 Monte Carlo Simulation (임의 추출)을 이용하여 1000 개의 태풍을 시뮬레이션 하였다. 태풍은 서해 연안 경계과 남해 연안 경계선으로부터 이동하기 시작하며, 태풍은 직선으로 움직인다고 가정하였다. 매 2 시간 단위로 시뮬레이션 태풍 풍속을 경상남도 해안 지역 5 곳 - 삼천포(N34°56', E128°04'), 거제도(N34°54', E128°42'), 진해(N35°06', E128°46'), 부산(N35°09', E129°03'), 울산(N35°33', E129°19') -에서 측정하였다. 태풍이 육지에 상륙하면, 중심기압이 점점 높아지면서 쇠약해지는 현상을 묘사하는 필링(Filling) 모델을 본 연구에서 채용하지 않았으며, 중심 기압은 일정하게 유지되는 것으로 가정하였다.

그림 3은 경상남도 해안 지역 5 곳에 대한 풍속 분포이다. 5 곳 모두 Weibull 분포가 가장 잘 맞는 것으로 보여졌다.

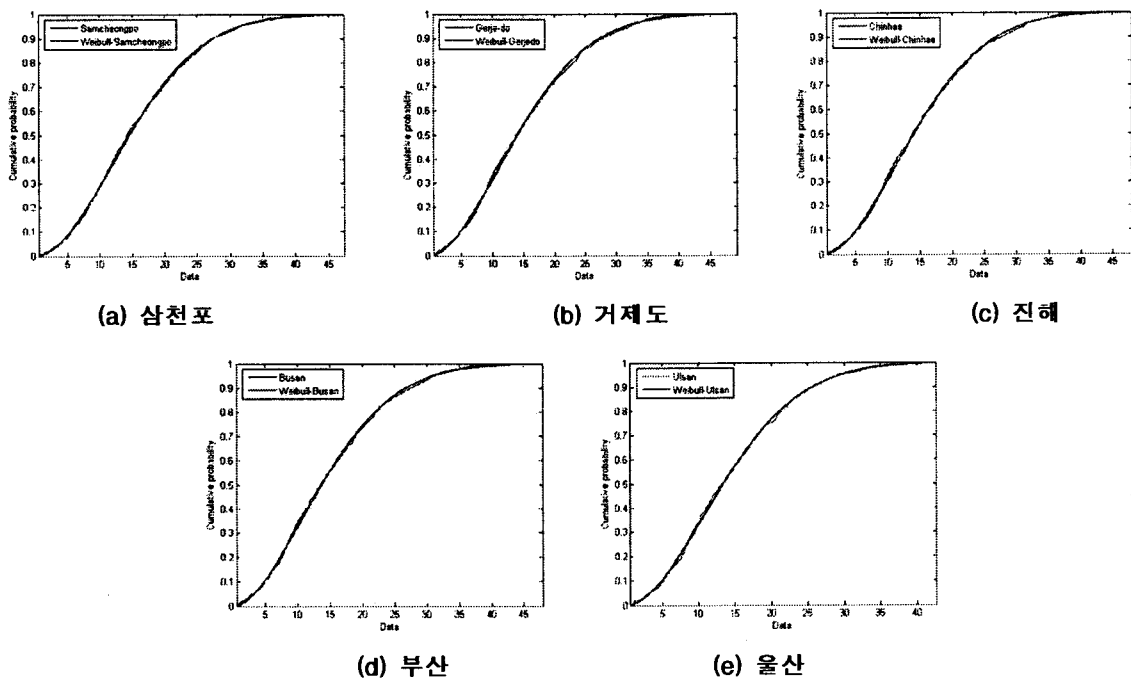


그림 3. 경상남도 해안 지역의 풍속 분포

태풍의 발생율을 Poisson Process로 가정하면 전체 표본 풍속,  $m$  개 중에서 풍속,  $v_i$ 의 평균 재현 주기,  $N$ 은 다음과 같이 구할 수 있다(Batts et al, 1980).

$$N = \frac{1}{1 - \exp\left(-\lambda\left(1 - \frac{i}{m+1}\right)\right)} \quad (4)$$

여기서  $\lambda$ 는 태풍의 연간 발생율로, 본 연구에서는  $\lambda = 1.76364$ 이다.

#### 4. 고찰 및 추후연구

경상남도 해안지역 삼천포, 거제도, 진해, 부산, 울산의 50, 100, 150, 200년 평균 재현 주기 풍속을 표 1. 에 보여주고 있다. 표 1. 에서 괄호 안의 수치는 건축물 하중 기준(대한건축학회, 2000)의 기본 풍속을 의미하며, 연 최고 풍속의 통계 분석으로 얻어진 10분 평균 풍속이다. 전체적으로, 건축물 하중 기준의 기본 풍속은 본 연구의 평균 재현 주기 풍속보다 작으며, 울산과 거제도에서 많은 차이를 보이고 있다.

표 1. 평균 재현 주기별 경상남도 해안지역의 풍속; 괄호 안의 수치는 건축물 하중기준 기본 풍속  
(단위: m/s)

지역	평균재현주기	50년	100년	150년	200년
삼천포		38.4	40.1	41.0	41.2
거제도		37.8(29.5)	38.3(31.8)	39.7	40.3(34.0)
진해		36.6	38.2	40.1	40.4
부산		36.7(34.4)	38.8(36.5)	40.7	40.8(38.6)
울산		37.0(29.9)	38.2(32.2)	39.7	39.9(34.6)

본 연구에서는 많은 태풍의 특성을 단순화 하였다. 즉 태풍은 직선으로 움직인다고 가정하였고, 태풍의 소멸을 묘사하는 필링(filling) 모델을 고려하지 않고 있다. 추후 연구로 태풍의 이동 경로 모델과 태풍 중심 기압의 필링 모델을 고려한다면 보다 합리적인 태풍에 의한 풍속 기준을 제시할 수 있을 것이다.

#### 감사의 글

이 논문은 2005년도 정부 (교육인적 자원부) 의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2005-042-D00306).

#### 참고문헌

- Simiu, Emil and Scanlan, Robert H. (1996), Wind Effects on Structures, John Wiley & Sons, New York
- Federal Emergency Management Agency (2003), 'Multi-hazard Loss Estimation Methodology Hurricane Model HAZUS(R)MHMR1 Technical Manual, FEMA, Mitigation Division, Washington, D.C.
- Batts, M.E., M.R. Cordes, C.R. Russell, J.R. Shaver, and E. Simiu (1980). "Hurricane Windspeeds in The United States," National Bureau of Standards Report Number BSS-124, U.S. Dept. of Commerce, Washington, DC.
- Revised Standard Project Hurricane Criteria for the Atlantic and Gulf Coasts of the United States, Memorandum HUR7-120, U.S. Dept. of Commerce, NOAA, June 1972
- 대한건축학회 (2000), 건축물 하중기준 및 해석 Standard Design Loads for Buildings, 사단법인 대한건축학회