

## 태풍 연직프로파일과 gust factor를 이용한 지상의 최대풍속 추정

\*정 우식<sup>1)</sup>, \*\*박 종길<sup>2)</sup>, \*최 효진<sup>3)</sup>

### Estimation of the Maximum Wind to Surface Using Wind Profile in Typhoon and Gust Factor

\*Woosik Jung, \*\*Jongkil Park, \*Hyojin Choi

**Key words** : Surface wind damage(지상 바람피해), 700hPa wind(700hPa 바람), Gust factor Typhoon damage(태풍피해)

**Abstract** : we applied Wind Field Module of PHRLM so that disaster prevention agency concerned can effectively estimate the possible strong wind damages by typhoon. In this study, therefore, we estimated wind speed at 300m level using 700hPa wind according to the research method by Franklin(2003), PHRLM(2003), and Vickery and Skerlj(2005). Then we calculated wind speed at 10m level using the estimated wind speed at 300m level, and finally, peak 3-second gust on surface. The case period is from 18LST August 31 to 03LST September 1, 2002, when the typhoon Rusa in 2002 was the most intense. Among disaster prediction models in the US, Wind Field Module of PHRLM in Florida was used for the 2002 typhoon Rusa case. As a result, peak 3-second gust on the surface increased 10~20% in the typhoon's 700hPa wind speed.

#### Nomenclature

ws:wind speed, m/s  
Z<sub>0</sub>:roughness length, m  
V<sub>a</sub>:actual terrain wind speed at 10m, m/s  
V<sub>3</sub>:peak 3s gust, m/s  
σ<sub>w</sub>(z):the standard deviation of the wind speed, m/s  
T<sub>ii</sub>:the longitudinal turbulent intensity  
P<sub>f</sub>(3):the peak factors for the max 3 second wins

#### subscrip

PHRLM:The Public Hurricane Risk and Loss Model  
RMW:Radius of Maximum Wind  
Adj:Adjustment Function  
RDAPS:Regional Data Assimilation Prediction System  
RSMC:The Regional Specialized Meteorological Center  
AWS:Automatic Weather System

### 1. 서론

최근 한반도에서 발생하고 있는 자연재해의 피해 규모는 점점 대형화되고 있으며, 미국의 경우 허리케인에 의한 손실이 지난 30년간 꾸준히

증가하고 있어 허리케인에 의한 피해를 줄이기 위한 모델을 개발·적용하고 있다. 그러나 현재 국내에서는 재해예측모형이 없으므로 미국의 PHRLM을<sup>1)</sup> 이용하여 한반도에 상륙하는 태풍이 지상의 건축물에 영향을 줄 수 있는 강풍을 예측하는 모델을 적용하였다. 허리케인의 지상풍을 선장하기 위해서는 비행고도에서 관측한 허리케인 중심연직프로파일 자료가 필요하며, 허리케인 연직프로파일 관측에 관한 선행연구 가운데 Franklin의<sup>2)</sup> 연구가 허리케인 중심에 가장 근접한 관측을 하였으므로 가장 신뢰할 수 있는 자료라 할 수 있다. 태풍 영향권 내의 700hPa 바람을 이용하여 300m 고도 풍속과 10m 고도의 지상풍을 산정할 수 있으며, 이 과정에서 3가지 RMW 산정식<sup>3-5)</sup>에 대한 Adj를 계산하였다. 700hPa의 바람을

1) 인제대학교 대기환경정보공학과/대기환경정보연구센터

E-mail : wsjung1@inje.ac.kr

Tel : (055)320-3932 Fax : (055)321-3252

2) 인제대학교 환경공학부/대기환경정보연구센터

E-mail : envpjk@inje.ac.kr

Tel : (055)320-3250 Fax : (055)321-3252

3) 인제대학교 대기환경정보공학과/대기환경정보연구센터

E-mail : space-chj@hanmail.net

Tel : (055)320-3250 Fax : (055)321-3252

이용하여 300m 고도 풍속 산정 시에 RMW와 Adj가 얼마나 영향을 미치는지를 비교하였다. 그리고 해당지역의 토지이용도를 고려한 10m 고도의 풍속을 이용하여 gust factor를 이용한 peak 3s gust를 추정하였다.

## 2. 자료 및 방법

본 연구에서는 태풍의 700hPa 풍속을 이용하여 지상의 강풍을 추정하기 위한 과정으로 Franklin과 PHRLM의 연구 결과를 이용하여 10m 고도의 강풍을 추정하였다. 사례 기간은 태풍 루사(Rusa)가 한반도에 영향을 미친 2002년 8월 31일 18LST~9월 1일 03LST를 대상으로 하였으며, 이 과정에서 초기 자료로 사용되는 700hPa 바람은 RDAPS 30km 자료를 사용하였다. 300m 고도 풍속 산정시 필요한 RMW는 선행연구를 통하여 3가지 산정식과 RSMC Tokyo-Typhoon Center의 Best track<sup>6)</sup> 자료를 사용하여 산정하였다. 300m 고도 풍속으로 10m 고도 풍속을 계산할 때 Powell<sup>7)</sup>의 식을, Vickery와 Skerlj<sup>8)</sup>의 gust factor 산정 과정을 적용시켜 지상의 peak 3s gust를 추정하였다. 그리고 태풍 중심에서 7.4~30km 거리에 위치한 AWS 지점을 대상으로 비교·분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 허리케인의 평균풍속 연직프로파일

Franklin은 1997~1999년 대서양 연안 부근에서 Hurricane-Hunter Aircraft를 이용하여 630개의 허리케인을 대상으로 눈벽 근처의 700hPa에서 dropsonde를 투하하여 허리케인 풍속의 연직 프로파일을 관측하였다. 그 결과 630개의 허리케인이 대부분 같은 경향을 보여 이들 허리케인을 대상으로 각각이 자료를 보간하기 위하여 700hPa 풍속을 기준으로 Fig. 1과 같이 표준화시켰다. Fig. 1을 보면 300m 고도 이하에서는 풍속이 급격히 감소하므로, 700hPa의 바람을 이용하여 지상의 강풍을 산정하기 위해서는 300m 고도 풍속을 추정하는 과정이 필요하다.

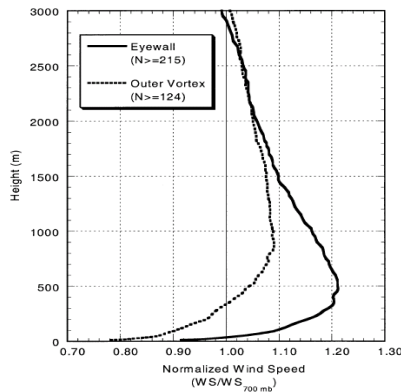


Fig. 1 Mean hurricane wind speed profiles for the eyewall and outer-vortex regions<sup>2)</sup>.

### 3.2 최대풍속반경 및 조정계수 산정

700hPa 바람을 300m 고도 풍속으로 추정하기 위하여 먼저 태풍의 중심과 RMW를 산정하고 이에 따른 거리를 구분하여 거리에 따라 풍속의 증가율을 다르게 적용하기 위한 Adj를 산정해야 한다. 현재 한반도에 적합한 RMW 산정식이 없으므로 우리나라에 적합할 것으로 사료되는 Powell<sup>3)</sup>, Vickery 과 Twisdale<sup>4)</sup>, FEMA<sup>5)</sup>의 3가지 선행연구를 적용시켰다.

본 연구에서는 Franklin과 Axe<sup>9)</sup>의 연구를 이용하여 RMW를 기준으로 거리에 따른 Adj의 대표값을 정하였으며 태풍의 중심, RMW, 원하는 지점의 위치 정보를 이용하여 더 정확한 Adj를 산정하였다. 그 결과 Table 1과 같이 RMW 산정식 (1)과 (3)이 비슷한 값을 보이며 식 (2)가 조금 낮은 값을 보였다. 그러나 Adj의 경우 식에 따른 값의 차이가 0.1~0.2 정도로 나타나 300m 고도의 풍속을 산정하는데 큰 영향을 미치지 않으나, 지상의 강풍 추정 시 더 정확한 값을 얻기 위해서는 차후에 한반도에 적합한 RMW 산정식이 개발되어야 한다.

Table 1 The process of estimation for Adj.

Site	AWS ws	700hPa ws	RMW			Adj		
			(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
748	8.3	28.51	49.45	40.35	50.34	1.11	1.10	1.11
765	1.7	28.51	49.45	40.35	50.34	1.11	1.10	1.11
912	8.2	20.17	52.90	40.86	53.91	1.11	1.09	1.11
703	5.5	21.84	52.90	40.86	53.91	1.11	1.09	1.12
821	0.3	24.14	56.68	40.50	57.89	1.11	1.09	1.11
818	1.1	21.73	56.68	40.50	57.89	1.11	1.08	1.11

### 3.3 Gust Factor를 이용한 강풍 추정

Powell<sup>7)</sup>에 의하면 1min 최대풍속 산정 시 10min 평균을 사용하며, 공학적인 접근을 위해서는 peak 3s wind는 1min 평균을 사용하는 것이 안정적이라고 하므로 gust factor는 10min 평균을 사용하여 산정하였다. Gust factor를 산정하는 과정에서 300m 고도 풍속은 먼저 지상의 개방 지형 마찰속도와 실제지형 마찰속도를 고려한  $V_a$ 로 계산한다(식 (1)).

$$V_a = (U^* a / 0.4) (Ln(10/Zoa)) \quad (1)$$

그 다음 과정으로 gust factor를 산정하기 위하여 식 (2)와 같이  $\bar{O}_u(z)$ 를 계산한다.

$$\bar{O}_u(z) = \frac{7.5\eta u^* \left(0.09 Ln\left(\frac{10}{Zoa}\right) + 0.538\right)^{0.18}}{\left(1 + 0.156 Ln\left(\frac{u^*}{f \cdot Zoa}\right)\right)} \quad (2)$$

$\bar{O}_u(z)$ 와  $V_a$ 를 이용하여 계산한  $T_{ij}$ 는  $P_f(3)$ 를 이용하여  $G_{10min,3}$ 를 얻을 수 있으며, 이 값을  $V_a$ 에 곱하면 최종 목표 값인 peak 3s gust가 계산된다

(식 (4)).

$$G_{10min,3} = 1 + T_{il} P_f \quad (3)$$

$$V3 = V_a \times G_{10min,3} \quad (4)$$

본 연구에서는 gust factor를 이용하여 peak 3s gust를 산정하는 과정을 300m 고도 풍속을 추정했던 앞선 연구 사례 가운데 RMW 산정 공식 (2)번을 대상으로 Table 2와 같이 적용시켰다. 그 결과 최종 목표인 V3는 Va와 gust factor 산정 과정에 들어가는 거칠기 길이에 민감하였으며, 300m 고도의 풍속에 대하여 AWS 지점에 따라 1~11m/s 정도 높은 풍속을 나타내었다.

**Table 2 The process of estimation for peak 3s gust at 10m level.**

AWS		Zo	Va	O <sub>a</sub> (z)	V3
Site	ws	(summer)	ws	ws	ws
748	8.3	0.2	20.23	4.844	31.9
765	1.7	0.2	2.225	4.899	32.36
912	8.2	0.2	14.18	3.495	22.7
703	5.5	0.15	16.568	3.838	26.21
821	0.3	0.15	18.16	4.188	28.69
818	1.1	0.15	16.27	3.777	25.74

#### 4. 결론

본 연구에서는 선행연구를 이용하여 국내 현황에 맞는 재해예측모형 구축의 필요성을 인식하여, 태풍 접근 시 사전 예방에 이용될 재해예측 모형 구축을 위한 초기 단계로서 태풍 권역 내 지상의 강풍을 산정하는 방안을 제시하였다.

700hPa의 바람을 이용하여 지상이 peak 3s gust를 구한 결과 AWS 지점에 따라 차이가 있지만, 700hPa의 풍속의 약 10~20% 정도의 증가한 풍속을 보였다. V3 값은 AWS 관측 자료와 많은 차이를 보였으나 본 연구에서 추정된 V3는 태풍에 의해 지표에 나타날 수 있는 최대풍속값을 추정한 것으로, 일반적인 시간별 관측값과 풍속의 강도를 비교할 수는 없다. 또한 AWS 경우 태풍 루사와 같은 강한 태풍이 내습할 경우 결측이 되는 경우도 있으며, 본 연구의 초기자료로 사용된 RDAPS는 30km 자료를 사용하였으므로 AWS 관측자료와 비교하는 과정 자체가 큰 의미가 없다.

추정된 V3 값은 차후 통계적인 시뮬레이션을 통하여 지상의 건축물에 미치는 피해를 산정하는데 이용될 수 있다.

또한 현재 우리나라에 영향을 미치는 태풍을 대상으로 한 RMW에 대한 산정식이 없어, 앞으로 태풍에 의한 피해를 보다 정확히 예측하기 위해서는 우리나라에 적합한 RMW 산정식을 개발해야 한다.

#### 후 기

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2006-3303)의 지원으로 수행되었습니다.

#### References

- [1] Florida Department of Financial Services, 2003, PHRLM Primary Document Binder.
- [2] Franklin J. L., Black M. L., Valde. K., 2003, "GPS Dropwindsonde Wind Profiles in Hurricanes and Their Operational Implications", Wea. Forecasting, Vol. 18, pp. 32-44.
- [3] Powell Mark. D, George Soukup, Steve Cocke, Sneh Gulati, Nirva Morisseau-Leroy, Shahid Hamid, Neal Dorst, Lizabeth Axe, 2005, "State of Florida Hurricane Loss Projection Model : Atmospheric science component", J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., Vol. 93, pp. 651-674.
- [4] Vickery P. J., Skerlj P. F., Twisdale L. A., 2000, "Simulation of Hurricane Risk In The U.S. Using Empirical Track Model", J. Struct. Eng., Oct, pp. 1222-1237.
- [5] Federal Emergency Management Agency, 2003, HAZUS-MH MR1 Technical Manual.
- [6] The Regional Specialized Meteorological Center Tokyo-Typhoon Center, 2002, Best Track data.
- [7] Powell Mark D., Samuel H. Houston, Timothy A. Reinhold, 1996, "Hurricane Andrew's Landfall in South Florida, Part I : Standardizing Measurements for Documentation of Surface Wind Fields", Wea. Forecasting, Vol. 11, pp. 304-328.
- [8] Vickery P. J. and Skerlj P. F., 2005, "Hurricane gust factors revisited", J. Struct. Eng., Vol. 131, No.5, pp. 825-832.
- [9] Axe, L. M., 2003, Hurricane Surface Wind Model For Risk Assessment, the Florida State University, A Master's Thesis.