

태풍으로 인한 강풍 피해 추정을 위한 지상풍 산정 연구(I)

Estimation of Surface Wind Speed on the Strong Wind Damage

by Typhoon

박종길* · 정우식** · 최효진***

Jong-Kil Park · Woo-Sik Jung · Hyo-Jin Choi

Abstract

Damage from typhoon disaster can be mitigated by grasping and dealing with the damage promptly for the regions in typhoon track. What is this work, a technique to analyzed dangerousness of typhoon should be presupposed. This study estimated 10m level wind speed using 700hPa wind by typhoon, referring to GPS dropwindsonde study of Franklin(2003). For 700hPa wind, 30km resolution data of Regional Data Assimilation Prediction System(RDAPS) were used. For roughness length in estimating wind of 10m level, landuse data of USGS are employed. For 10m level wind speed of Typhoon Rusa in 2002, we sampled AWS point of 7.4~30km distant from typhoon center and compare them with observational data. The results show that the 10m level wind speed is the estimation of maximum wind speed which can appear in surface by typhoon and it cannot be compared with general hourly observational data. Wind load on domestic buildings relies on probability distributions of extreme wind speed. Hence, calculated 10m level wind speed is useful for estimating the damage structure from typhoon.

Key words : Typhoon damage, Risk model, Surface wind damage

1. 서 론

국내에서는 2002년 태풍 루사(Rusa)와 2003년 매미(Maemi) 이후 태풍뿐만 아니라 전반적인 자연재해를 예방하고자하는 연구가 점차 증가하고 있다. 그러나 우리나라의 방재정책은 예방위주의 정책기조로 전환하였음에도 불구하고 실제 현재 성과 위주의 내용을 보면 대응을 위한 사전 예비단계에 더 많은 비중을 두고 있음이 파악되고 있다(한영만, 2006).

반면에, 미국의 경우 허리케인에 의한 경제적 손실이 지난 30년간 꾸준히 증가하고 있어 허리케인에 의해 발생하는 직·간접적인 피해 가능성을 줄이기 위하여 효과적인 모델을 개발·적용하고 있으나(Axe, 2003), 현재 미국 재해예측모형의 약 90%를 차지하는 보험 자료에 근거한 산정방법은 바람에 의한 평균 손실만 예측할 뿐 건물의 종류를 고려하지 못하며, 과거에 피해가 없었던 건물에는 적용하기 어렵다는 문제점이 있다(국립방재연구소, 2006).

이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 최근에 개발된 여러 재해예측모델 중 미국 플로리다주의 Florida Department of Financial Services에서 개발한 The Public Hurricane Risk and Loss Model(PHRLM)은 허리케인 내습 시에 허리케인에 의한 바람이 지표의 각 건물 구성 요소별, 가옥의 형태에 따라 어떤 영향을 미치는지 시뮬레이션을 통하여 한 가구당 입는 물리적 피해를 산정할 수 있으며, 전문가에 부분별 교체비율, 외부의 물리적 피해를 바탕으로 비구조적인 피해 또한 예측가능하다.

그러나 현재 우리나라에는 재해예측모형이 없으므로, 국외에서 사용하고 있는 변수와 자료, 피해 산정 과

* 정회원 · 인제대학교 환경공학부 · 교수/대기환경정보연구센터 · 센터장

** 인제대학교 대학원 대기환경정보공학과 · 교수

*** 정회원 · 인제대학교 대기환경정보연구센터 · 연구원 · E-mail : space-chj@hanmail.net

정 등에 대하여 충분한 검토를 통하여 국내 현황에 맞는 모델을 하나씩 개발해 나가는 과정이 필요하다. 먼 저 재해예측모형 가운데 태풍에 의한 피해 산정 과정을 국내에 적용시키기 위해서는 태풍 영향 범위 내 지 상에 미칠 수 있는 강풍을 추정하는 연구가 필요하다. PHRLM에 대한 선행연구를 통하여 허리케인에 의한 지상풍을 산정하기 위하여 dropsonde를 이용하여 허리케인 중심의 연직프로파일을 관측한 Franklin의 연구 결과가 신뢰할 수 있는 자료라 할 수 있다. 그리고 지상의 건축물이 받는 피해를 예측하기 위해서 지표의 토 지이용도를 고려하는 고도 10m의 지상풍에 대한 정보가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 태풍의 접근 시 피해 규모 및 범위를 예측하기 위한 초기 단계로서 Franklin의 연 구와 PHRLM에 따라 태풍에 의한 바람을 이용하여 고도 10m의 지상풍을 추정하는 방법을 적용하였다.

2. 자료 및 방법

본 연구에서는 Franklin과 Axe의 연구에 따라 태풍에 의한 바람을 이용하여 지상 10m 고도의 바람을 추 정하는 방법을 국내에 적용시켜 보았다. 한반도에 영향을 미친 태풍에 대하여 태풍 영향권 내에서의 700hPa 바람을 이용하여 해발고도 300m의 풍속을 산출하고, 다시 Powell(1996)의 식을 이용하여 고도 10m에서의 풍 속을 추정하였다. 700hPa 바람은 Regional Data Assimilation Prediction System(RDAPS) 30km 자료를 사용 하였으며, 고도 300m 풍속 산출 과정에 필요한 태풍의 최대풍속반경(RMW)은 3개의 관계식을 적용하였고, 고도 10m에서의 풍속 추정에 필요한 거칠기 길이는 USGS의 토지이용도 자료를 사용하였다.

본 연구의 사례로는 2002년 태풍 루사를 대상으로 하였으며, 태풍 루사의 영향이 가장 컸던 2002년 8월 31일 15LST~9월 1일 03LST 기간을 대상으로 하였다. 태풍의 중심기압과 위도는 The Regional Specialized Meteorological Center(RSMC) Tokyo-Typhoon Center의 Best Track 자료를 사용하였으며, 추정한 10m 고 도의 풍속은 태풍 루사의 중심에서 일정 거리에 위치한 AWS 지점을 추출하여 관측치와 비교·분석하였다.

3. 분석 결과

3.1 허리케인의 평균풍속 연직프로파일

Franklin(2003)은 1997년~1999년 동안 대서양 연안 부근에서 630개의 허리케인을 대상으로 허리케인 눈벽 근처의 700hPa에서 dropsonde를 투하 하여 허리케인 중심의 연직프로파일을 관측하였다. 그 결과, Fig. 1과 같 이 경계층의 상부인 500m 고도까지는 풍속이 증가하나 300m 고도이하에서는 풍속이 급격히 감소하여, 700hPa 에서 지표까지의 풍속 변화가 고도 300m에서 가장 크다고 할 수 있다. 그리고 Fig. 2와 같이 허리케인 RMW에 서의 거리에 따라 풍속의 증감율이 다르므로, 고도에 따른 풍속 추정 시 해당 지역의 거리도 고려해야 한다.

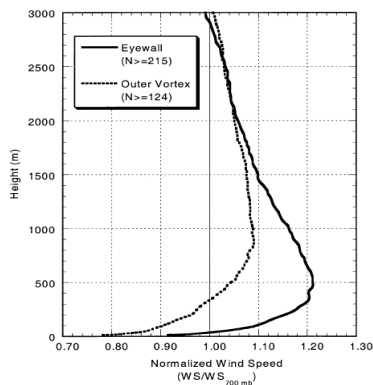


그림 1. 허리케인 위치에 따른 평균풍속 연직프로파일(Vickery and Twisdale, 2000).

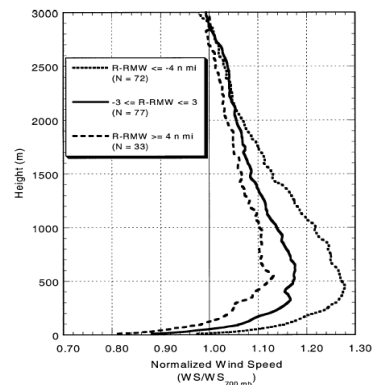


그림 2. 허리케인 눈벽에서의 위치에 따른 평균풍속 연직프로파일(Vickery and Twisdale, 2000).

따라서 Franklin의 연구 결과에 의하면 태풍 영향권 내의 700hPa에서의 바람을 이용하여 지상풍을 도출하기 위해서는 고도 300m의 풍속으로 추정된 뒤, 고도 10m의 풍속으로 재추정하는 방법이 보다 정확하다고 할 수 있다.

고도별로 바람을 추정하기 위하여 먼저 태풍의 중심과 RMW에 따른 거리를 구분해야 하므로, 본 연구에서는 700hPa와 고도 300m 사이에서 태풍의 중심과 태풍눈벽에서의 거리에 따른 풍속의 증가율을 Franklin(2003)과 Axe(2003)의 연구를 이용하여 그림 3과 같이 나타내었다. 조정계수(Adj)는 RMW를 기준으로 태풍의 중심으로부터 해당 지역의 거리에 따라 대표치를 이용할 수 있으나, RMW와 radial distance에 대한 자료를 이용하면 Adj가 1.00~1.25 사이의 거리는 원하는 위치에서의 더 정확한 Adj를 계산할 수 있다.

		RMW			
Eye	30~7.4km	7.4km~	~7.4km	7.4~30km	30km~300km
Adj	1.25	1.15		1.05	1.00

그림 3. 고도 300m에서 RMW와의 거리에 따른 조정계수(Adj).

3.2 최대풍속반경(RMW) 산정과 고도 300m의 풍속 추정

700hPa의 바람을 이용하여 고도 300m의 풍속을 추정하기 위하여 RMW를 산정해야 한다. RMW는 주변 기압에 대한 태풍 중심기압의 차와 위도에 의해 결정되는 값으로 현재 한반도를 대상으로 한 RMW 산정식이 없으므로, 우리나라에 적합할 것으로 사료되는 3가지 선행연구를 이용하였다. Δp^2 는 주변기압과 태풍 중심기압의 차로 주변기압은 선행연구에 따라 1013hPa로 가정하였으며 Lat^2 와 ψ 는 위도를 나타낸다. 식 (1)은 Poewll et al.,(2005), 식 (2)는 Vickery at al.,(2000), 식 (3)은 FEMA에서 사용하고 있는 식이다. 3개의 관계식 중 한반도에 적합한 식을 알고자 표 1과 같이 2002년 태풍 루사가 한반도에 가장 큰 영향을 미친 특정 시간대에 RDAPS 자료의 700hPa 바람 자료를 추출하고 RSMC-Tokyo Best Track의 태풍 중심기압과 위도 자료를 이용하여 3개 관계식에 대한 RMW를 산정하였다. RMW를 이용하여 Adj를 구한 결과, 0.1~0.2 정도의 차이를 보였으며 고도 300m의 풍속차와 고도 10m의 풍속차가 1m/s도 되지 않음을 알 수 있다. 이처럼 고도 10m의 풍속을 추정하는데 있어 RMW가 큰 영향을 미치지 않는 않지만, 어떤 RMW가 한반도에 적합한지는 차후에 다른 연구를 통하여 선정되어야 한다고 사료된다.

$$\ln R_{max} = 2.0633 - 0.0001900\Delta p^2 + 0.0007336Lat^2 + \epsilon \quad \dots (1)$$

$$\ln R_{max} = 2.636 - 0.00005086\Delta p^2 + 0.0394899\psi \quad \dots (2)$$

$$\ln R_{max} = 2.556 - 0.000050255\Delta p^2 + 0.042243032\psi \quad \dots (3)$$

700hPa의 풍속에 Adj 값을 곱하여 고도 300m에서의 풍속을 추정한 결과는 표 1과 같으며, Franklin의 결과와 같이 고도 300m의 풍속이 700hPa의 풍속보다 10% 가량 증가하였음을 알 수 있다.

3.3 고도 10m의 풍속 추정

추정한 고도 300m의 풍속은 Powell((1996)이 제시한 관계식 (4)를 통하여 고도 10m 풍속으로 재추정할 수 있다. $(Z-Z_D)$ 는 유효고도로 10m 고도의 풍속 산정 시에 Z_D 는 보통 0.0을 사용하며, Z_0 는 거칠기 길이이다. 따라서 식 (4)를 본 연구에서 사용하고자 하는 식 (5)으로 수정할 수 있으며, Z_0 는 USGS의 토지이용도 자료를 이용하여 해당 지역의 지형을 고려한 고도 10m의 풍속을 추정하였다(표 1). 그 결과 태풍의 RMW에서의 거리에 따라 발생할 수 있는 지상의 풍속이 약 1m/s 정도로 나타났으며 동시간대 AWS의 풍속과 많은 차이를 보였다. 이는 300m 고도의 풍속을 10m 고도의 풍속으로 재추정하는 과정에서 토지이용도에 따라 10m 고도의 풍속 값이 크게 차이가 나는 것으로 지표의 거칠기에 따라 풍속의 감소율의 차가 확연히 다름을 알 수 있으며, 추정된 고도 10m의 풍속은 태풍 내습 시에 항상 발생하는 풍속이 아닌 최대풍속이라 할 수 있다.

$$\frac{U_{10}}{U_z} = \frac{\ln[(10 - Z_D)/Z_0]}{\ln[(Z - Z_D)/Z_0]} \dots (4), \quad U_{10} = U_{300} \frac{\ln(10/Z_0)}{\ln(300/Z_0)} \dots (5)$$

표 1. 고도 10m 풍속 산출 과정 결과.

Time (LST)			AWS		700hPa	RMW (km)			Adj			300m level WS			Landuse (Summer)	10m level WS		
M	D	H	Point	WS	WS	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	Z ₀ (m)	(1)	(2)	(3)
8	31	15	723	-	29.42	46.70	38.55	47.44	1.10	1.09	1.10	32.46	32.06	32.50	0.0001	25.06	24.75	25.09
			793	2.9	29.42	46.70	38.55	47.44	1.11	1.10	1.11	32.71	32.31	32.75	0.0001	25.25	24.94	25.28
		18	748	8.3	28.51	49.45	40.35	50.34	1.11	1.10	1.11	31.70	31.27	31.74	0.2	16.96	16.73	16.98
			765	1.7	28.51	49.45	40.35	50.34	1.11	1.10	1.11	31.67	31.24	31.71	0.2	16.94	16.71	16.96
9	1	21	912	8.2	20.17	52.90	40.86	53.91	1.11	1.09	1.11	22.36	21.95	22.39	0.2	11.96	11.74	11.98
			703	5.5	21.84	52.90	40.86	53.91	1.11	1.09	1.12	24.34	23.90	24.38	0.15	13.45	13.21	13.47
		03	821	0.3	24.14	56.68	40.50	57.89	1.11	1.09	1.11	26.84	26.19	26.89	0.15	14.83	14.47	14.86
			818	1.1	21.73	56.68	40.50	57.89	1.11	1.08	1.11	24.12	23.53	24.16	0.15	13.32	13.00	13.35

* (1) Powell(2005). (2) Vickery and Twisdale(2000). (3) FEMA(2003).

Wind Speed(unit) : m/s

4. 결 론

본 연구에서는 태풍에 대한 재해예측모형 구축을 위하여 그 초기 단계로서 태풍 권역 내의 고도 10m의 지상풍을 산정하는 방안을 제시하였다. 허리케인 중심의 평균풍속 연직프로파일에 대한 Franklin의 연구 결과를 적용하였으며, 2002년 태풍 루사를 대상으로 700hPa 바람을 이용하여 고도 300m와 고도 10m의 풍속을 추정하였다. 추정한 고도 10m에서의 풍속은 태풍에 의해 지표에 나타날 수 있는 최대풍속을 추정한 것으로 일반적인 1시간별 관측치와 풍속의 세기를 비교할 수는 없다. 향후에 과거 한반도에 영향을 미친 태풍에 대하여 고도 10m의 풍속을 추정하고 여러 번의 수치 모의실험을 수행하면 지상의 건축물과 구조물에 피해를 입힐 수 있는 최대풍속을 추정할 수 있다. 또한 현재 우리나라에 영향을 미치는 태풍을 대상으로 한 최대풍속반경에 대한 산정식이 없으므로, 앞으로 태풍에 의한 피해를 보다 정확히 예측하기 위해서는 우리나라에 적합한 최대풍속반경식을 개발해야 한다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 한영만 (2006). "Safe Korea 실현을 위한 토목인의 역할" 자연과 문명의 조화, 54(5), 118-120.
2. 국립방재연구소 (2006). 태풍위험도 추정을 위한 알고리즘 분석 연구.
3. Axe, L. M. (2003). Hurricane Surface Wind Model For Risk Assessment, the Florida State University, A Master's Thesis.
4. Franklin J. L., Black M. L., Valde. K. (2003). GPS Dropwindsonde Wind Profiles in Hurricanes and Their Operational Implications, *J. Weather and Forecasting*, 18, 32-44.
5. Powell Mark D., Samuel H. Houston, Timothy A. Reinhol (1996). Hurricane Andrew's Landfall in South Florida, Part I: Standardizing Measurements for Documentation of Surface Wind Fields, *J. Weather and Forecasting*, 11, 304-328.
6. 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 Engineering and Industrial Aerodynamics*, 93, 651-674.
7. Vickery P. J., Skerlj P. F., Twisdale L. A. (2000). Simulation of Hurricane Risk In The U.S. Using Empirical Track Model, *J. Structural Engineering*, Oct, 1222-1237.