

한반도 주변 해상에서의 태풍최대풍에 대한 경험적 관계식 Empirical Relation for Maximum Typhoon Wind in the Adjacent Sea of Korea

강시환¹ · 전기천¹ · 방경훈² · 박광순¹

See Whan Kang¹, Ki Cheon Jun¹, Gyeong Hun Bang², and Kwang Soon Park¹

1. 서 론

폭풍해일이나 파랑에 대한 보다 정확한 예측을 위해서는 해상에서의 바람장에 대한 정확한 추산이 선행되어야 하며, 특히 해상·연안재해를 유발시키는 최대풍이 주로 태풍상황에서 발생되기 때문에 이에 대한 정확한 예측이 매우 중요하다. 태풍은 일반적인 온대성 저기압이나 고기압과는 달리 그 중심부근에서 기압과 바람의 시·공간적 변화가 크고 태풍의 중심이 빠른 속도로 이동되기 때문에 일반적인 기상자료 분석에 의해 산출된 바람장은 해양모델에서 요구되는 상세한 변화를 나타내지 못하고, 특히 실제 관측된 기상자료가 전무한 해상으로 태풍이 이동했을 경우에는 일기도 격자점 상의 기압으로 해상풍을 구하는 것은 큰 오차를 유발한다(해양수산부, 2001).

태풍 통과시의 해상풍 산출은 주로 중심기압, 최대풍 반경, 주변기압 분포등의 태풍 파라미터로부터 경험적 함수 관계를 도출하여 사용하고 있다(과학기술부, 2000). Schloemer(1954)는 태풍 영향권내의 등압선을 동심원으로 가정한 Rankine vortex 이론과 실제 관측된 자료에 근거하여 태풍의 기압분포 형태를 제시한 바 있으며, 이를 근거로 Myers(1954), Dvorak(1975), Atkinson et al(1977), Holland(1980)등 여러 연구자에 의해 태풍시 실제 관측된 자료로부터 최대풍속과 태풍파라미터의 경험적 관계식들을 제안한 바 있다. 그러나, 이러한 관계식들은 대서양(주로 미국 동남부해상), 서태평양의 섬들과, 남위도의 호주 해상에서 관측된 자료가 사용되었으며, 한반도를 포함한 동북아시아 해상에 대해서는 아직도 최대풍속과 태풍파라

미터의 상관관계에 대해 구체적으로 연구된 바가 없었다.

본 논문에서는 한반도와 그 주변해상을 최근 20년 동안에 통과했던 64개의 주요 태풍들에 대해 동지나해, 남해(일본 규슈해역) 그리고 동해에서 관측된 해상풍과 태풍파라미터 자료를 분석하여 최대풍속의 관측자료로 판단되는 39개의 태풍을 선별하여 태풍 중심기압과 최대풍속의 경험식을 도출하여, 그 동안 제안되었던 사전 연구결과들과 비교하였다.

2. 태풍시의 최대풍과 중심기압 관계식

태풍 영향권내의 기압분포는 중심기압, 최대풍 반경, 주변기압의 태풍 파라미터로부터 다음과 같은 지수형태의 분포식으로 나타낼 수 있다 (Schloemer(1954), Holland(1980)).

$$P_{(r)} = P_0 + (P_\infty - P_0)e^{-A/r^B} \quad (1)$$

여기서, $P_{(r)}$ 은 태풍중심에서 거리 r 인 지점의 해면기압, P_0 는 태풍 중심 ($r = 0$)에서의 해면기압, P_∞ 은 태풍영향권 밖($r = \infty$)에서의 주변기압이며, A, B 는 관측된 태풍 기압분포 자료에서 구해지는 경험적 상수이다.

태풍중심권에서의 기압 분포를 동심원으로 가정하고, 원심력과 전향력, 기압경도력만을 고려하면, 경도풍(gradient wind)의 관계식은 식(2)와 같으며, 식(3)에 의해서 경도풍(V_g)을 구할 수 있다.

¹ 한국해양연구소 연안·항만공학연구센터 (Coastal and Harbor Engineering Research Center, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan, Seoul 425-600, Korea)

² 건국대학교 토목공학과(Department of Civil Engineering, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea)

$$\frac{V_g^2}{r} + fV_g = \frac{1}{\rho} \frac{\partial P(r)}{\partial r} \quad (2)$$

$$V_g = -\frac{fr}{2} + \sqrt{\left(\frac{fr}{2}\right)^2 + \frac{r}{\rho} \frac{\partial P(r)}{\partial r}} \quad (3)$$

여기서, V_g 는 태풍의 중심으로부터 거리 r 인 지점에서의 경도풍의 풍속이며, ρ 는 공기밀도 ($\rho = 1.15 \text{ kg/m}^3$), f 는 Coriolis 파라미터이다. 식

(1)로부터 $\frac{\partial P(r)}{\partial r}$ 를 구하면,

$$\frac{\partial P(r)}{\partial r} = \frac{AB}{r^{(\beta-1)}} (P_\infty - P_0) e^{-A/r^\beta} \quad (4)$$

태풍시의 경도풍 관계식은 식(4)를 (3)에 대입하면,

$$V_g = -\frac{fr}{2} + \sqrt{\left(\frac{fr}{2}\right)^2 + \frac{AB}{r^\beta \rho} (P_\infty - P_0) e^{-A/r^\beta}} \quad (5)$$

풍속이 강한 태풍영향권에서는 식(5)의 Coriolis 항은 상대적으로 작기때문에 경도풍관계식은 식(6)과 같이 간략화 된다 (Holland, 1980).

$$V_g = \sqrt{\frac{AB}{r^\beta \rho} (P_\infty - P_0) e^{-A/r^\beta}} \quad (6)$$

태풍시의 최대풍 반경 R_{\max} 는, $\frac{dV}{dr} = 0$ 조건에서 식(7)이 되며,

$$R_{\max} = A^{\frac{1}{\beta}} \quad (7)$$

식 (7)을 (6)에 다시 대입하여 최대 경도풍의 풍속 (V_{\max})에 대한 관계식 (8)을 구할 수 있다.

$$V_{\max} = C(P_\infty - P_0)^\gamma \quad (8)$$

여기서, $C = \left(\frac{B}{\rho e}\right)^{0.5}$, $\gamma = 0.5$ 이고 ρ 는 공기밀도, e 는 자연로그의 밑수이다.

태풍시 최대풍속을 추정하기 위해, 앞서 기술했던

여러 연구자들은 관측자료로부터 식(8)의 상수 C 와 γ 의 값을 결정하여 제안한 바 있다. 특히 Atkinson et al(1977)의 경우에는 서북태평양에서 관측된 자료로부터 경도풍의 이론적 관계식에서 결정되는 $\gamma = 0.5$ 대신에 $\gamma = 0.644$ 로 제안한 바 있다. B 값의 범위는 태풍의 특성에 따라 1에서 2.5 사이에 있다고 Holland(1980)는 제안하였다, 특히 $B = 1$ 인 경우에는 Schloemer(1954)가 제안했던 태풍시의 최대풍속에 대한 이론적 관계식이 되며, 상수 C 는 5.66이 된다.

3. 태풍시의 해상풍 관측자료

1979년 태풍 Irving에서 1999년 Ann까지 64개의 태풍을 대상으로 동중국해상과 동해상에 위치한 일본 기상청(JMA)의 해양관측 부이와 큐슈타워에서 관측된 해상풍 자료중 최대풍역을 통과한 자료 39개를 선별하였다. 관측위치는 Fig. 1 에 도시하였다. 이들 세 관측소의 위치는 우리나라와 일본에 영향을 미친 태풍의 주요 진로상에 위치하고 있다. 일본 기상청(JMA)의 해상 관측부이에서는 3겹 타입의 풍속계를 사용해서 세 시간마다 10분 평균 풍속이 관측 기록되며, 풍속 18m/s 이상일 때는 매시간 관측된다(JMA, 1984).

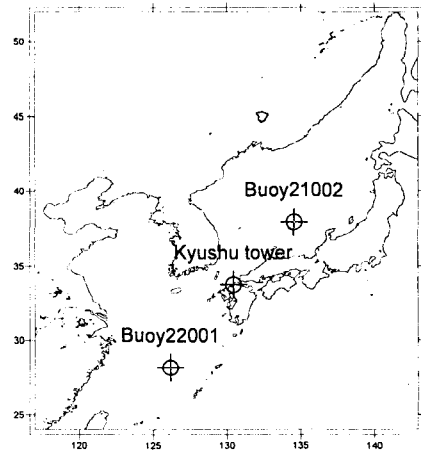


Fig. 11. Locations of JMA ocean buoy station and Kyushu ocean tower.

64개의 태풍 시에 관측된 해상풍 자료에서 최대풍속인지를 판별하기 위해 두 가지 방법을 사용하였다. 첫째 방법은 태풍중심과 관측지점과의 거리가 200km 이내이거나, 또는 관측지점으로부터 최대풍반경, 의

2배정도 거리 이내로 통과했던 태풍의 경우는 최대풍 반경 R_{max} 부근에서 관측된 자료로 간주하였으며, 두 번째 방법은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 태풍의 중심위치와 관측지점과의 거리에 대한 풍속의 변화를 도시하여 최대풍 반경부근에서 최대풍속이 나타난 후에 태풍중심권에서는 약해진 후 풍속이 다시 강해지는 양상을 보이는 자료를 선별하였다. 후자의 방법으로 해 선별된 태풍중 Buoy22001 에서 관측한 경우의 진로를 Fig. 3 에 나타내었다.

상기한 방법에 의해 최대풍속의 관측자료로 유효하다고 판단되는 39개의 태풍(Table 1) 통과 시에 관측된 최대풍 자료를 선별 분석하여 최소 해면기압에 대한 최대풍속을 Fig. 4 에 나타내었다.

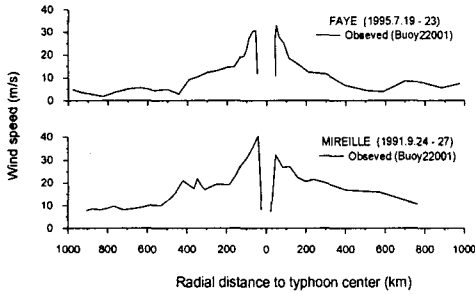


Fig. 12. Wind profiles observed at JMA ocean buoy station.

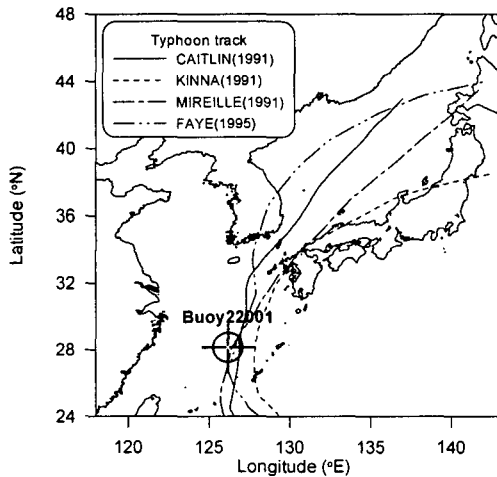


Fig. 13. Typhoon tracks selected for the estimation of the maximum winds at JMA ocean buoy station.

본 연구의 태풍 시 최대풍속 분포는 Atkinson et al(1977)의 결과와는 확연한 차이가 있음을 보여주고 있다. 특히 해면기압이 낮아질수록, 즉 태풍의 강도가 클수록 본 연구에서 얻어진 최대풍속이 Atkinson et al의 결과에 비해 작다. 이는 북서태평양상에서 관측된 태풍과 한반도 주변의 해상에서 관측된 태풍의 특성에 대한 차이에서 기인될 수도 있으며, Atkinson et al 자료의 경우 Guam Wake, Marcus, Iwojima 섬의 육상에서 관측된 자료를 해면 10m의 해상풍으로 변환하는 과정에서 야기되는 불확실성에서도 기인될 수 있다. Fig 4 에 나타난 관측자료를 토대로 최적곡선식을 다음 식(9)를 구하였으며, 여기서, $C = 5.02$, $\gamma = 0.5$, 최대풍속의 단위는 m/s이다. 그리고 원 자료와의 상관계수는 0.92로 비교적 높았으며, 오차의 표준변차는 ± 3.9 m/s 이다.

$$V_{max} = 5.02(1010 - P_0)^{0.5} \quad (9)$$

본 연구에서 도출된 태풍시의 최대풍 관계식(9)을 그동안 관련 연구에서 제안되었던 관계식들과 비교하기 위해 Table 2에서 정리하였다.

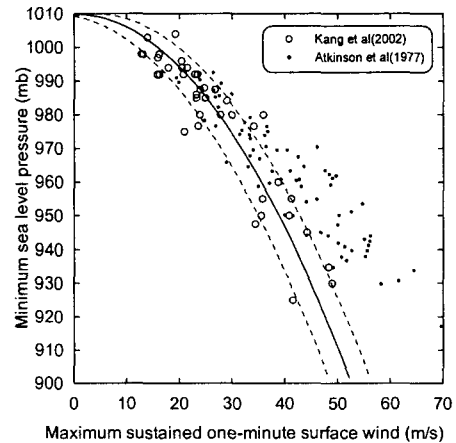


Fig. 4. Sustained surface wind speed versus minimum sea level pressure observed in North East Asian seas during typhoons. Dashed lines show standard deviations of ± 3.9 m/s from the regression line.

Table 2. Typhoon used for the maximum wind analysis from sea-surface wind measurements

Year	Observation station			
	Buoy22001	Kyushu tower	Buoy21002	
80	Ike		Ida	
81	Agnes	※The data measured at Kyushu Tower are available since 1989	Clara	
83	Forrest			
85	Mamie		Odessa, Pat, Brenda	
86	Vera		Nancy, Abby	
87	Thelma, Dinah		Alex, Dinah, Kelly	
89				
90	Robyn		Robyn	Robyn, Zola, Abe
91	Mireille		Caitlin, Kinna, Mireille	Caitlin, Kinna
92			Irbing, Janis, Ted	Janis
93			Percy	Percy, Robyn
94		Seth	Seth	
95	Faye		Janis	

Table 2. Empirical parameters obtained from previous studies

	C	γ
Kang et al(2002)	5.02	0.5
SPM(1984)	4.86	0.5
Atkinson et al(1977)	3.44	0.644
Dvorak(1975)	3.53	0.671
Fletcher(1955)	8.23	0.5
Schloemer(1954)	5.66	0.5

Fig. 5에서는 최대풍속과 최소해면기압에 대한 여러 관계식들의 결과와 본 연구에서 한반도 주변해상에서 관측된 자료를 토대로 제안한 관계식의 결과를 비교하였다. 본 연구의 결과는 미 육군 공병단의 SPM(1984)에서 제안했던 결과와는 매우 근접하였으나, Schloemer(1954)보다는 약간 낮게 나타났으며, Fletcher(1955), Dvorak(1975), Atkinson et al(1977)에 비해서는 동일한 해면기압에 대해서 최대풍속이 훨씬 작게 나타났다.

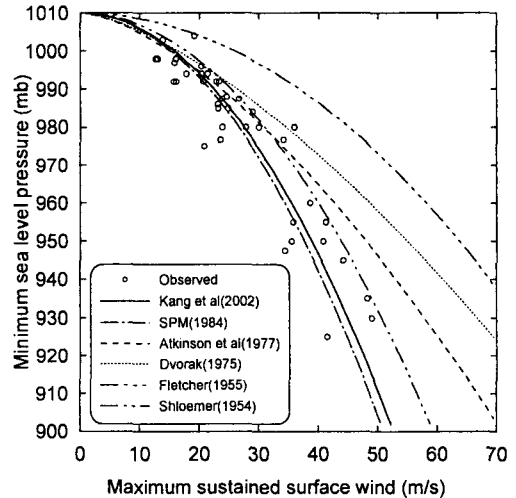


Fig. 5. Comparison of the maximum wind relations with typhoon wind observations.

4. 결 론

본 논문에서는 지난 20년(1979년-1999년)동안 한반도와 주변 해상을 통과했던 주요 태풍 발생기간에 동중국해, 남해와 동해에서 관측된 해상풍자료로부터

최대풍자료를 선별 분석하여 태풍중심권의 최소해면기압과 최대풍속에 대한 경험적 관계식을 유도하였다. 본 연구의 관계식을 그 동안 제안되었던 사전 연구의 관계식들과 비교한 결과 미 육군 공병단의 SPM(1984)에서 제안했던 결과와는 매우 근접하였으나, Schloemer(1954)보다는 약간 낮게 나타났으며, Fletcher (1955), Dvorak(1975), Atkinson et al(1977)에 비해서는 동일한 해면기압에 대해서 최대풍속이 훨씬 작게 나타났다. 이러한 큰 차이는 해면 10m의 해상풍을 해상관측소에서 직접 관측한 자료 대신에 육상관측소 자료와 인공위성 사진 자료로부터 해상풍을 간접적으로 추정하여 관계식을 유도한데에 기인될 수 있다고 판단된다.

Schloemer, R. W., 1954. *Analysis and synthesis of hurricane wind patterns over Lake Okeechobee*, Florida Hydrometeorol. Rep. No. 31, U.S. Weather Bureau.

SPM, 1984. *Shore Protection Manual*, Vol. 1, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C.

Japan Meteorological Agency(JMA), 1984. *Data from ocean data buoy stations*, No. 7, Tokyo, 91 p.

사 사

본 연구는 과학기술부의 자연재해방재기술개발 사업인 연안재해 대응기술개발 사업의 일환으로 수행되었다.

참고문헌

과학기술부, 2000. 해상·연안재해 대응기술 개발, N2-02-01-A-02, 676 p.

해양수산부, 2001. 해상파랑관측 및 조사, BSPM 00066-00-1331-2. 635 p.

Atkinson, G. D., and Holliday, C. R., 1977. Tropical cyclone minimum sea level pressure-maximum sustained wind relationship for western North Pacific, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 105, No. 2, pp. 421-427.

Dvorak, V. F., 1975. Tropical cyclone intensity analysis and forecasting from satellite imagery, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 103, pp. 420-430.

Fletcher, R. D., 1955. Computation of maximum surface winds in hurricanes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol. 36, pp. 246-250.

Harris, D. L., 1958, Meteorological aspect of storm surge generation, *J. of the Hydraulics Division*, ASCE, HY7, Paper, p. 25.

Holland, G. J., 1980. An analytical model of the wind and pressure profiles in hurricanes, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 108, pp. 1212-1218.

Myers, V. A., 1954, *Charateristics of United States hurricanes pertinent to levee design for Lake Okechobee*, FL. Hydromet. Rep., 126 p.