

GMS 기상위성 영상자료를 이용한 태풍강도 분석

서애숙 · 김동호 · 박경선*

기상연구소 원격탐사연구실, 한국전력기술주식회사 환경기술부*

Typhoon Intensity Analysis using GMS Meteorological Satellite Image Data

Ae-Sook SUH · Dong-Ho KIM · Kyung-Sun PARK*

Remote Sensing Research Lab., Meteorological Research Institute
Environmental Technology Dept., Korea Power Engineering Company, Inc.*

Abstract

One of the world widely used methods in determining the intensity of a typhoon is Dvorak's technique. By applying the Dvorak's method to the typhoons which affected our country in various degrees and extents without regard to their individual severity, we estimated their intensity for six different cases of typhoons. We have derived a regression equation of estimating the central pressures and maximum wind speeds for the six selected typhoons. Their intensity was estimated from the Dvorak's method using GMS satellite image data. The derived equation has tested to typhoon ORCHID and the computed values have been compared with the direct observations in its central pressure and maximum wind speed. The computed values on the Dvorak's method are smaller in their magnitudes than the observed corresponding values. But their relative magnitudes do not change so much at each different time step. But our results are significantly different from those of NOAA and JMA. The cause of differences are not investigated in depth in this analysis.

요 약

현재 전세계적으로 널리 사용되고 있는 드보라크 방법에 의한 태풍강도 분석법을 1991년 우리나라에 영향을 준 6개 태풍사례에 대해 실제 적용하여 강도분석을 하였다. 또한 분석된 태풍 강도를 이용하여 태풍의 중심기압과 최대풍속을 산출하는 상관 관계식을 계산하여 제시하였다. ORCHID 태풍에 이 관계식을 실제 적용하여 관측값과 비교하여 그 정확도를 평가하였다. 그 결과 중심기압(MSLP : Minimum Sea Level Pressure)과 최대풍속(MWS : Maximum Wind Speed)이 관측값보다 약간 낮은 값을 보였지만 전체적인 패턴은 비슷하게 나타났다. 그러나 미국 국립 해양 대기청(NOAA) 및 일본 기상청(JMA)에 의해 작성된 상관 관계표로 산출된 값은 관측값과는 많은 차이를 보여 주었다.

I. 서 론

광범위한 영역의 실시간적 연속적인 자료획득이 가능한 기상위성 자료는 종관 관측망으로 탐지가 어려운 기상현상인 태풍분석 업무에 많이 활용되고 있다(기상연구소, 1994; 서애숙등, 1992). 지금까지 기상위성 자료를 이용한 태풍분석 방법으로 가장 많이 알려진 것은 미국의 드보라크에 의해 개발된 드보라크 방법(Dvorak, 1972)이다. 이 방법은 열대저기압 또는 태풍에 동반된 구름패턴의 특징변화를 모델화하여 분석하고자 하는 구름패턴과 비교하여 강도를 추정하는 것이다(Arnold, 1977).

Kurihara와 Tuleya(1981)에 의하면 태풍은 주위대기의 종관적인 환경조건 해수면 온도, 상·하층 요란의 유무, 층후 온도(500-200hPa)차, 기층의 대류 불안정성 등에 의해 태풍에 동반된 유형을 특징지을 수 있으며, 하층과 상층의 요란의 존재 유무에 따라 구름 패턴을 분류했다. 그러므로 구름 패턴은 종관장을 반영한 것으로 구름영상으로부터 태풍의 눈, 호의 모양, 나선형 구름 분포 형태에 따라 태풍을 정량적으로 분석할 수 있다. 드보라크는 가시 영상을 이용하여 태풍 주위의 소용돌이 모양, 태풍 눈의 유무에 따라 태풍에 동반된 구름의 형태를 분류하여 통계적인 방법으로 태풍의 강도를 추정하는 방법을 개발하였다.

이 연구에서는 우리나라에 직·간접적으로 영향을 준 태풍에 대해 드보라크 방법을 이용하여 태풍강도를 분석하였다. 그리고 분석된 강도를 이용하여 중심기압 및 최대풍속을 추정하는 관계식을 제시하고, 지금까지 사용해 온 미국 NOAA 및 일본 기상청의 관계식과 상호 비교를 하여 그 정확도를 평가하고자 한다.

II. 자 료

이 연구에 사용된 자료는 1991년 우리나라에 직 간접으로 영향을 준 6개 태풍자료이며, 각각의 태풍기간 동안 일 4회의 GMS 적외영상 분석 사진 자료이다(Table 1). 그리고 분석된 태풍의 정확도를 살펴보고 검증하기 위하여 일본 태풍 센터에서 발표한 태풍 best track data (JMA, 1992)를 사용하였다.

Table 1. The selected Typhoon.

TYPHOON No.	NAME	DURATION	CLOUD PATTERN TYPE
9109	CATLIN	1991. 7. 27 - 7. 30	Eye Pattern
9112	GLADYS	1991. 8. 16 - 8. 23	Curved Band Pattern
9113	TS13	1991. 8. 26 - 8. 28	Curved Band Pattern
9117	KINNA	1991. 9. 11 - 9. 13	CDO Pattern
9119	MIREILLE	1991. 9. 24 - 9. 27	Eye Pattern
9121	ORCHID	1991. 10. 3 - 10. 12	Eye Pattern

III. 분석 결과

1. 태풍강도 분석

드보라크 방법(Dvorak, 1984)을 이용하여 6개 태풍에 대한 태풍강도를 분석하였다. 분석에 이용된 드보라크 방법을 간단하게 기술하면 다음과 같다.

드보라크에 의한 태풍강도는 T 수(T-number)로 나타내며 이는 구름패턴의 발달정도를 나타내는 지수로서 1에서 8까지 0.5 단위 16 단계로 구분되어 있다. T 수를 기준으로 태풍의 현재 강도를 나타내는 것이 CI 수(Current Intensity number)이다. CI 수로부터 태풍의 중심기압 및 최대풍속을 추정 계산할 수 있다. 강도분석 방법에는 적외(EIR)와 가시(VIS) 분석의 2 종류가 있으며 분석절차는 다음과 같이 10 단계로 되어 있다(Fig 1).

1 단계에서는 분석하고자 하는 열대저기압 또는 태풍에 동반된 구름의 중심위치(CSC : Cloud System Center)를 찾고(Sheets and Grieman, 1975), 2 단계에서는 이 구름이 만곡된 구름대, 쉬어, 태풍눈, CDO(Central Dense Overcast), 중심점 매몰 패턴 중 어느 구름패턴에 속하는가를 결정한 다음, 그 패턴별에 따라 산출방법에 의해 T 수를 산출한다. 이 때 이 T 수를 자료 T 수(DT : Data T-number)라 한다. 4, 5 단계에서는 24시간 전의 구름패턴을 태풍강도 변화 모델과 비교하여 T 수를 산출한다. 이 때 이 T 수를 모델 T 수(MET : Model Expected T-

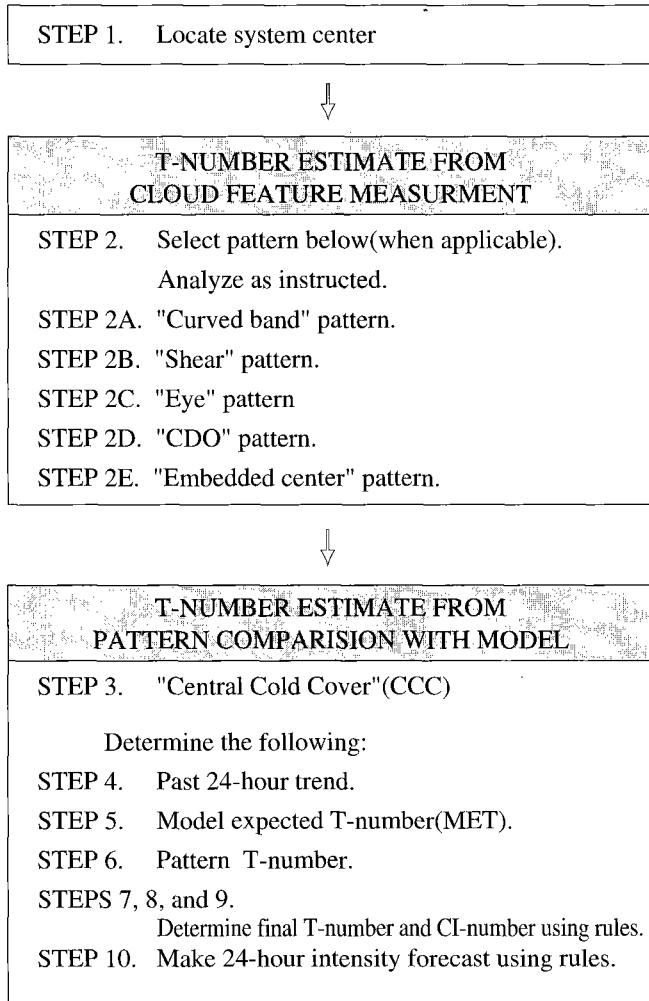


Fig. 1. Prodedures of Dvorak's typhoon intensity analysis.

number)라 한다. 6 단계에서는 이미 정한 구름패턴 모델과 비교하여 패턴 T 수(PT : Pattern T-number)를 산출한다. 7, 8, 9 단계에서는 DT 수, MET 수, PT 수 중 최종 T 수 및 CI 수를 결정하고, 마지막 10단계에서 24 시간 후 강도예측(FI : Forecast Intensity)을 한다.

상기 기술된 방법에 따라 6개 태풍의 강도를 분석하였다. Fig. 2는 태풍에서 곡률 밴드, 구름 열, 태풍 눈의 구역 등을 명확히 구분하기위하여 구름영상에서 휘도 온도를 등급별로 색상 처리한 9월 24일 00 UTC MIRELLE 태풍의 GMS 적외 강조 영상이다. Fig. 3은 위성 현업에서 6 시간 간격으로 분석한 실제 분석야장으로 MIREILLE 태풍은 구름패턴이 2 단계 2C의 Eye 패

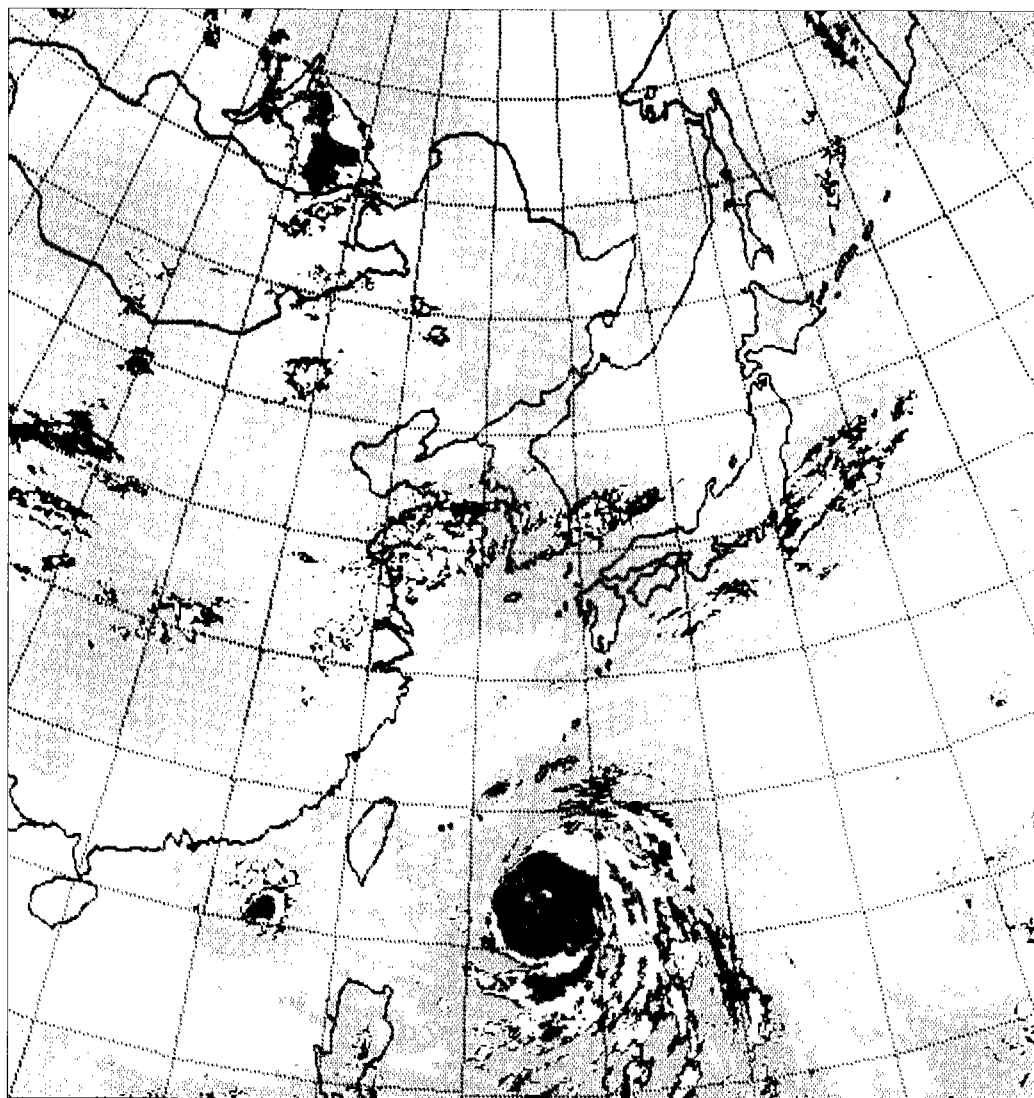


Fig. 2. GMS Enhanced IR image of typhoon MIREILLE.

TROPICAL CYCLONE ANALYSIS WORKSHEET

T-NUMBER ESTIMATE FROM MEASUREMENTS
FOR DATA T-NUMBER (DT) COMPUTATION

T-NUMBER ESTIMATE FROM MODEL
(AND DT CONSTRAINTS)

Vernon F. Dvorak
June 1983

STEP -	1	2A,B					2C			2D	2E	Data T-Number Computation		3	4	5	6	7,8	9	10	INITIALS				
DESCRIPTION -	Location	Curved Band or Shear					Eye			$E_{int}+E_{adj}=CF$	CD	CF+BF DT	Use Rules	Trend	MET	PAT	FT	CI	24-Hr. Fcsl						
RULES -	Locate Cloud System Center at focal point of cloud curvature	Use Spiral Arc Length					E _{int}			E _{adj}	Site	CF	BF	DT	Use Rules	24-Hr. Change	Model	Priority	Foot	Current	Use Rules	24-Hr. Fcsl	Adj. Model Fcsl. If nec.		
DATE/TIME	LAT	LONG	DT1	DT2	DT3	DT4	DT5	DT6	DT7	DT8	DT9	DT10	DT11	DT12	DT13	DT14	DT15	DT16	DT17	DT18	DT19	DT20	DT21	DT22	
9. 24. 00Z	19.3	129.7								6.0	6.0	0.5			6.5	0.0	6.5						6.5	6.5	
24. 06	19.9	129.2								5.5	5.5	0.5			6.0	0.5	6.5		D				6.5	6.5	
24. 12	20.4	128.8								6.0	6.0	0.5			6.5	0.0	6.5		S				6.5	6.5	6.5
24. 18	20.9	128.2								6.0	6.0	0.0			6.0	0.5	6.5		W	6.0			6.5	6.5	6.0
25. 00	21.4	127.6								5.5	5.5	0.5			6.0	0.0	6.0		W	5.5			6.0	6.0	5.5
25. 06	22.2	127.2								5.0	5.0	0.5			5.5	0.0	5.5		W	5.0			5.5	5.5	5.0
25. 12	22.0	126.8								5.0	5.0	0.5			5.5	0.0	5.5		S	5.5	5.5		5.5	5.5	5.5
25. 18	23.7	126.1								5.0	5.0	0.5			5.5	0.0	5.5		S	5.5	5.5		5.5	5.5	5.5
26. 00	24.4	125.8								5.0	5.0	0.5			5.5	0.0	5.5		D	6.0			5.5	5.5	6.0
26. 06	25.4	125.7								5.5	5.5	0.5			6.0	0.0	6.0		D	6.0			6.0	6.0	6.0
26. 12	26.5	126.0								5.0	5.0	0.5			6.5	0.0	5.5		W	5.5			5.5	5.5	5.5
26. 18	28.1	126.4								5.0	5.0	0.5			5.5	0.0	5.5		S	5.5			5.5	5.5	5.5
27. 00	29.1	127.6								5.0	5.0	0.0			5.0	0.5	5.5		S	5.5			5.5	5.5	5.5
27. 06	32.5	129.3								5.0	5.0	0.5			5.5	0.5	6.0		D	6.0			6.0	6.0	6.0
27. 12	35.5	132.3													4.5	4.5	0.0	4.5		W	3.0		4.5	4.5	3.0

Fig. 3. Analysis worksheet of typhoon MIREILLE.

턴이며 24일 00 UTC의 자료 T 수 및 패턴 T 수는 각각 6.5 로 분석되었다. 이들 T 수로부터 태풍 강도 CI 수는 6.5가 되며 시간이 경과함에 따라 태풍의 세력이 약화되면서 강도수 도 낮게 나타남을 알 수 있다. 정확도 평가에 이용된 ORCHID 태풍의 경우도 MIREILLE 태풍과 마찬가지로 Eye 패턴이며 강도도 비슷하게 나타났다.

2. 태풍강도로부터 중심기압 및 최대풍속 추정회귀식 산출

태풍강도로부터 중심기압 및 최대풍속을 산출하기 위해 총 6 개 태풍에 대해 분석된 104 개의 태풍강도 수 (CI)와 태풍 best track data의 중심기압 및 최대풍속값을 이용하여 2 차 회귀분석을 하였다. 분석에 사용된 CI 수별 자료수는 Table 2와 같다.

그 결과, 태풍강도로부터 중심기압(MSLP) 및 최대풍속(MWS)의 추정 회귀식이 다음과 같이 산출되었다.

Talbe 2. The frequency of CI for regression analysis.

CI	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	TOTAL
No. of data	1	5	8	10	8	12	17	12	4	12	8	7	0	0	0	104

$$MSLP = 1029 - 20.387 \times CI + 1.189 \times (CI^2) \dots\dots\dots (1)$$

$$MWS = -0.226 + 11.177 \times CI - 0.730 \times (CI^2) \dots\dots\dots (2)$$

따라서 태풍강도 CI 수가 결정되면 (1)식에 의해 태풍의 중심기압과 (2)식에 의해 최대풍속을 계산할 수 있다. (1)식과 (2)식에 CI 수 1 부터 8 까지 0.5 단계로 대입하여 태풍의 중심기압과 최대 풍속의 새로운 상관 관계표를 구한 것이 Table 3이다. 이 표에 의하여 태풍의 강도 CI 수만 구해지면 현업에서 쉽게 태풍의 중심기압과 최대풍속을 구할 수 있다.

Table 4는 미국 NOAA와 일본 기상청에서 작성한 태풍강도 CI 수에 대한 중심기압 및 최대 풍속에 대한 상관 관계표로서 이 연구와 비교하기 위해 나타내었다. 일본 기상청과 콤팩트 합동 태풍 경보센터에서 세계 기상 통신망(GTS; Global Telecommunication System)으로 보고하는

Table 3. The empirical relationship between the Current Intensity number(CI), Maximun Wind Speed(MWS) and Minimum Sea Level Pressure(MSLP) over Korea.

CI No.	MWS(Konts)	MSLP(hPa)
1.0	10.2	1010
1.5	14.9	1001
2.0	19.2	993
2.5	23.2	986
3.0	26.7	979
3.5	30.0	972
4.0	32.8	967
4.5	35.3	962
5.0	37.4	957
5.5	39.2	953
6.0	40.5	950
6.5	41.6	947
7.0	42.3	945
7.5	42.6	943
8.0	42.5	942

Table 4. The empirical relationship between the Current Intensity number(CI), Maximum Wind Speed(MWS) and Minimum Sea Level Pressure(MSLP) over NOAA/ U.S.A and JMA/Japan.

CI No.	MWS(Knots)	MSLP(hPa) for Atlantic	MSLP(hPa) for NW. Pacific	MWS(Knots)	MSLP(hPa) for Japan
1.0	25				
1.5	25			29	1002
2.0	30	1009	1000	36	998
2.5	35	1005	997	43	993
3.0	45	1000	991	50	987
3.5	55	994	984	57	981
4.0	65	987	976	64	973
4.5	77	979	966	71	965
5.0	90	970	954	78	956
5.5	102	960	941	85	947
6.0	115	948	927	93	937
6.5	127	935	914	100	926
7.0	140	921	898	107	914
7.5	155	906	879	115	901
8.0	170	890	858	122	888

태풍정보들은 이 Table을 기초로하여 발표되고 있다. Table 3과 4를 비교해 보면 최대풍속의 경우 이 연구에서 산출된 값이 미국 NOAA 및 일본 기상청에서 사용하고 있는 값보다 훨씬 낮게 나타났다. 반면 태풍 중심기압의 경우는 큰 차이를 보이지않고 있다.

3. 실제적용 및 정확도 평가

태풍강도 수와 태풍의 중심기압과 최대풍속의 회귀식에 대한 정확도를 평가하기 위하여 1991. 10. 8 - 12 일 발생한 ORCHID 태풍에 대해 실제 적용하였다. Fig. 4는 6시간 단위로 태풍강도 CI 수로 구한 태풍의 중심기압과 관측값의 비교이다. 여기서 검은 둥근점(●)은 best track data이고 검은 사각점(■)은 이 연구에서 새로 작성된 상관 관계식에서 산출된 값이다. 또 사각점(□)은 미국 NOAA의 상관 관계표중 북 태평양에 위치한 태풍에 적용되는 관계식으로 구한 것이고, 둥근점(○)은 일본 기상청에서 사용하는 상관 관계표로 구한 것이다. Fig. 5는 최대풍속과의 비교이다.

Fig. 4의 경우, 새로운 관계식에서 계산된 태풍 중심기압값은 태풍의 발달기에는 관측값보다

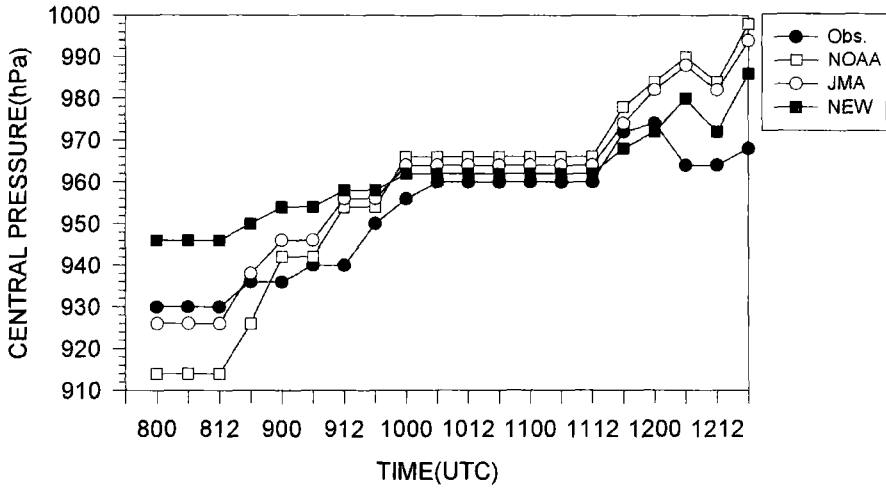


Fig. 4. Comparisons of observed and estimated central pressure of typhoon ORCHID.

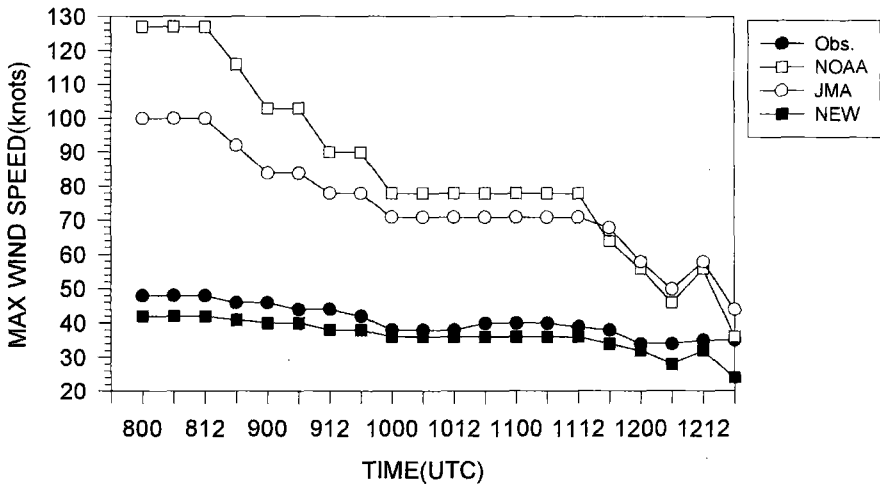


Fig. 5. Comparisons of observed and estimated max. wind speed of typhoon ORCHID.

약 20hPa정도 높게 나타났고 태풍이 우리나라 부근에 위치할 때는 약간 낮게 나타났지만 비슷한 패턴을 보여주고있다. 그러나 미국 NOAA 및 일본 기상청의 값은 관측값과 큰 차이를 보이고 있다. 특히 태풍의 발생기와 우리나라를 지나는 쇠퇴기에는 더욱 많은 차이를 보이고 있다. 이것은 미국 NOAA의 상관 관계표는 북서 태평양지역의 태풍을 분석하여 작성한 것이고, 일본 기상청의 경우는 주로 일본 열도와 우리나라 동해상을 지나는 태풍을 대상으로 분석하여 작성

했기 때문에 생각된다. 또한 영상분석에서 구름패턴을 분류할때 나라마다 그 분류 기준차이도 클 것으로 생각된다.

Fig. 5의 최대풍속의 경우, 새로운 관계식에서 계산된 값은 관측값보다 약 8 knots 정도 낮게 나타났으나 전체적인 패턴은 비슷한 형태를 보여 주고 있다. 그러나 미국 NOAA와 일본 기상청의 상관관계표에서 계산된 최대풍속은 관측값보다 약 50 - 80 knots 정도 큰 값을 나타내고 있다. 따라서 본 연구에서 제시된 새로운 상관 관계식에 의해 계산된 중심기압 및 최대풍속값이 미국 NOAA 및 일본 기상청에 의해 추정된 값보다 관측값에 보다 근사함을 알 수 있다.

IV. 결론 및 토의

이 연구에서는 현재 널리 사용되고 있는 드보라크 방법에 의한 태풍강도 분석법을 1991년 우리나라에 영향을 준 6개 태풍사례에 대해 실제 적용하여 자료강도 수 (DT), 모델강도 수 (MET) 및 패턴강도 수 (PT)를 구하고 이로부터 태풍강도 수 (CI)를 구하였다.

또한 태풍강도 수로부터 중심기압 및 최대풍속을 추정하는 상관 관계식을 각각 산출하였으며 이 관계식으로부터 태풍강도 CI 수만 분석되면 중심기압과 최대풍속을 쉽게 구할 수 있는 상관 관계표를 작성하여 제시하였다. 그리고 새로운 상관 관계식의 정확도를 평가하기 위하여 ORCHID 태풍에 대해 실제 적용하여 관측값과 비교하였다. 그 결과, 중심기압인 경우 태풍의 발달기에는 관측값보다 약 20hPa 높게 나타나나 태풍이 우리나라 부근을 지날때는 약간 낮게 나타났다. 최대풍속인 경우는 관측값보다 약 8 knots 정도 낮게 나타났다. 그러나 미국 NOAA와 일본 기상청의 상관 관계표로부터 계산된 값은 관측값과는 많은 차이를 보이며 최대풍속의 경우 약 50 - 80 knots 정도의 큰 차이를 나타냈다. 그러므로 이 연구에서 작성된 상관 관계표로 구한값이 관측값에 보다 근사하며 특히 풍속예측에 훨씬 우월하다는 것을 알 수 있었다.

이 연구는 드보라크 방법에 의한 태풍 강도분석법을 우리나라를 지나는 태풍에 대해 처음으로 적용한데 큰 의의가 있다. 앞으로 정확한 강도분석 및 상관 관계표를 작성하기 위해서는 많은 자료 축적과 지속적인 연구가 진행되어야 할 것이다. 또 영상분석에 있어서는 구름패턴의 객관적인 분류 방법에 대한 연구가 필요한 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Arnold, C.P., 1977 : Tropical cyclone cloud and intensity relationships. Atmospheric Science Paper No. 277, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, Co.
- Dvorak, V.F., 1972 : A technique for the analysis and forecasting of tropical cyclone intensities from satellite pictures. NOAA Technical Memorandum NESS 36, U. S. Department of

Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Nation Earth Satellite Service, Washington, D.C., 20233, 15pp.

_____, 1984 : Tropical cyclone intensity analysis using satellite data. NOAA Technical Report NESDIS 11, U.2. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Environmental Satellite Data Information Services, Washington, D.C., 20233.

Japan Meteorological Agency, 1992 : Annual report on activities of the RSMC Tokyo- Typhoon Center. 146pp.

Kurihara, Y. and R. E. Tuleya, 1981 : A numerical simulation study on the genesis of a tropical storm. Mon. Wea. Rev., 109, 1629-1653.

Sheets, R. C., and P. G. Grieman, 1975 : An evaluation of the accuracy of tropical cyclone intensities and locations determined from satellite pictures. NOAA Technical Memorandum ERL WMPO-20, Weather Modification Program Office, U. S. Department of Commerce, Environmental Research Laboratories, Boulder, CO, 80303, 36pp.

기상연구소, 1994 : 기상위성자료를 이용한 태풍중심 위치결정 방법. 기상연구소 연구보고서 MR94R-003, 157pp.

서애숙, 김금란, 이충기, 이미선, 1992 : 기상위성 영상에서의 태풍중심 위치 결정방법. 한국기상학회지, 28(3), 333-346.

서애숙, 1992 : 기상위성 자료를 이용한 태풍강도 분석법. 기상청 예보기술지 3권 2호 1-12