

2007년 북서태평양에서의 열대저기압 발생 특징

최기선 · 김백조 · 이성로* · 김호경* · 박종길** · 이지선***

기상청, *국립목포대학교 토목공학과,

인제대학교 대기환경정보공학과, *부경대학교 환경대기과학과

(2008년 12월 8일 접수; 2009년 2월 5일 수정; 2009년 4월 27일 채택)

Characteristics of Tropical Cyclogenesis over the Western North Pacific in 2007

Ki-Seon Choi, Baek-Jo Kim, Seong-Lo Lee*, Ho-Kyung Kim*,
Jong-Kil Park** and Ji-Sun Lee***

National Institute of Meteorological Research, Korea Meteorological Administration, Seoul 156-720, Korea

*Department of Civil Engineering, Mokpo National University, Jeonnam 534-729, Korea

**School of Environmental Sciences Engineering, Atmospheric Environment Information Research Center,
Inje University, Gimhae 6214-79, Korea

***Department of Environmental Atmospheric Sciences, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

(Manuscript received 8 December, 2008; revised 5 February, 2009; accepted 27 April, 2009)

Abstract

This study found that tropical cyclones (TCs) formed for fall in 2007 over the western North Pacific were distributed in high-latitudes comparing to 56-year (1951-2006) climatological mean. The frequency and latitude of TC genesis became higher than 56-year climatological mean from September onward in 2007 and all the TCs that formed to the north of 20°N was also distributed after September in 2007. These characteristics of TC genesis for fall in 2007 could be confirmed through analyzing various variables, such as a large-scale atmospheric circulation, outgoing longwave radiation (OLR), vertical zonal wind shear, and sea surface temperature (SST). On the other hand, a frequency of the TC that occurred to the north of 20°N showed a clear interdecadal variation and its decreasing trend was distinctive in recent years. Its intensity was also weaker than TCs that did to the south of 20°N. However, a latitude of TC genesis showed an increasing trend until recent years, whose variation was consistent with trend that through a SST analysis, warm SST went north in recent years.

Key Words : Tropical cyclone, Genesis location, Interdecadal variation, Sea surface temperature

1. 서 론

태풍의 발생에 관하여 Gray¹⁾는 다음과 같은 6가지의 환경요소들이 부합되는 곳이면 서태평양에서 태풍이 발생할 수 있음을 제시하였다: 1) 충분한 깊이에서의 온난한 SST, 2) 지표-500hPa 사이의 상당온위의 높은 연직경도, 3) 대류권 중층에서의 높은 상대습도, 4) 태풍 중심에서의 약한 연직바람시어, 5) 대류권 하층에서의 높은 상대와도, 6) 적도로부터

Corresponding Author : Ki-Seon Choi, National Institute of Meteorological Research, Korea Meteorological Administration, Seoul 156-720, Korea
Phone: +82-2-2181-0795
E-mail: choiks@kma.go.kr

터의 적당히 떨어진 위치. 먼저 태풍발생위치에 관하여, McBride²⁾는 SST가 26.5°C 이상이 되어야 함과 동시에 몬순기압골의 위치가 태풍 발생위치에 있어서 중요함을 지적하였다. 그러나 Chen 등³⁾은 장기간 National Centers of Environmental Prediction(NCEP)의 SST자료를 분석한 후 SST 보다는 몬순기압골 또는 Intertropical Convergence Zone(ITCZ)의 남북 및 동서의 이동위치 변화가 태풍 발생위치에 결정적인 역할을 함을 제시하였다. 또한 이러한 몬순기압골의 위치를 제어하는 아열대서태평양고기압과 보르네오-뉴기니 고기압이 여름과 가을 동안 발생하는 태풍의 위치에 있어 중요한 역할을 함을 보이기도 하였다³⁾. 한편 Chan⁴⁾, Lander⁵⁾와 Chen 등³⁾은 태풍발생위치는 동서 방향의 Walker 순환 발달의 정도에 달려있다고 제안하였으며, Wu와 Lau⁶⁾는 ENSO 현상에 의한 태평양에서의 동서순환이 태풍 발생위치에 결정적인 역할을 함을 수치모의실험으로 증명하였다.

태풍의 발생 빈도 변동에 대한 연구들에 있어서, Chan⁴⁾, Dong⁷⁾, Wu와 Lau⁶⁾와 Lander⁵⁾는 엘니뇨 해 동안 160°E의 서쪽 지역에서는 태풍의 발생빈도가 줄어드는 반면, 20°N의 남쪽과 160°E의 동쪽지역에서는 증가하고, 라니냐 해 동안에는 반대현상이 발생함을 보였다. 하지만 Ramage와 Hori⁸⁾와 Wang와 Chan⁹⁾은 관측된 태풍발생빈도 및 위치와 ENSO 사이에 명확한 상관관계가 존재하지 않음을 언급하였다. 따라서 지금까지 태풍 발생에 대한 원인은 여전히 논쟁의 대상이 되고 있으며, 태풍의 사례연구마다 다른 발생 원인이 제시되고 있는 상황이다.

태풍발생에 대한 대표적인 사례연구자로서 Nakazawa¹⁰⁾가 있다. 그는 1998년 태풍의 발생빈도(16개)가 기후학적 평균(1961-1990년) 발생빈도(27개)보다 약 10개가 적으며, 7월이 되어서야 발생하기 시작한 원인에 대해 분석하였다. 가장 큰 원인은 1998년 동안 열대 서태평양에서 비정상적으로 강화된 하강기류 때문이었다.

2007년의 경우, Fig. 1과 Table 1에서 볼 수 있듯이, 비록 56년(1951-2006년) 기후학적 평균 태풍발생빈도(27개)보다 3개 적게 발생하였지만(24개), 2007년 9, 10, 11월에는 56년 평균보다 많았으며

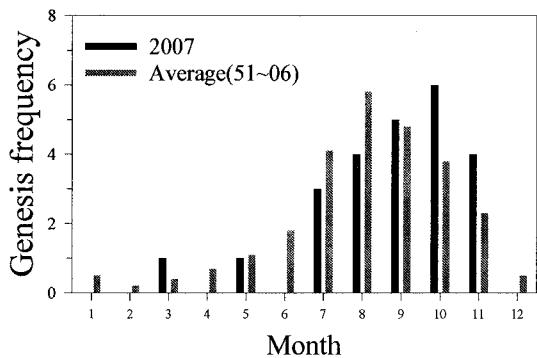


Fig. 1. A bar graph of the TC genesis frequencies of a climatological mean averaged for 1951-2006 (gray) and the year 2007 (black) at each month.

(Fig. 1), 좀 더 북쪽에서 발생하였음을 알 수 있다 (Table 1). 게다가, 2007년 동안 한반도에 상륙 및 영향을 준 다섯 태풍들 중 MAN-YI(0704; 5.6°N)를 제외하고 나머지 네 태풍들은, 즉 USAGI(0705; 19.0°N), PABUK(0706; 18.4°N), NARI(0711; 18.6°N), KROSA(0715; 17.6°N)는 18°N이상의 고위도에서 발생하였다. 특히, 9월에 한반도에 상륙한 NARI(0711)는 한반도를 통과하는 동안 많은 양의 강수를 내려 1973년 이후 가장 많은 월강수량을 기록하였다¹¹⁾. 따라서 태풍이 특정한 시기에 평균적으로 북쪽에서 발생하였을 때의 기후학적·종관적 특성을 분석하는 것도 태풍발생의 메커니즘을 이해하는데 조금이나마 도움이 될 것이다. 따라서 이 연구에서는 먼저 1951-2007년 동안 발생한 태풍의 빈도 및 위치 변화를 분석하고, 이로부터 2007년에 발생한 태풍의 사례와 비교해 보았다. 또한 2007년 태풍의 발생빈도 및 위치변화를 야기하게 된 대기장을 분석하였다.

2. 자료 및 방법

2.1. 자료

본 연구에서 사용된 태풍자료는 Regional Specialized Meteorological Center (RSMC)-Tokyo에서 제공하는 태풍의 best track이다. 이 자료는 6시간 간격의 태풍 중심기압(central pressure; hPa), 중심최대풍속(Maximum Sustained Wind(MSW); kt) 및 이동경로(위도·경도) 등을 포함한다. 또한 이 자료로부터 분석된 결과와의 비교를 위하여 Joint Typhoon Warning Center

Table 1. TC list and its genesis location in 2007 from RSMC. A heavy character denote the TC occurred north 20°N

Month	TY No.	Lat. (°N)		Lon. (°E)		Clim. mean (51°—06°)	
		2007 Year	Mean	2007 Year	Mean	Lat (°N)	Lon (°E)
3	0701	05.8	-	158.2	-	06.4	152.4
5	0702	08.1	-	146.6	-	10.3	134.4
7	0703	15.4	13.3	111.7	138.6	15.4	139.7
	0704	05.6		148.9			
	0705	19.0		155.3			
8	0706	18.4	16.9	137.5	139.0	16.9	142.3
	0707	15.0		130.0			
	0708	17.6		135.8			
	0709	16.7		152.5			
9	0710	23.6	19.7	161.3	136.1	15.8	143.1
	0711	18.6		138.8			
	0712	19.4		133.6			
	0713	19.5		122.0			
	0714	17.3		125.0			
10	0715	17.6	20.4	130.6	151.0	12.5	143.9
	0716	27.8		172.9			
	0717	19.7		146.7			
	0718	21.1		175.7			
	0719	17.6		145.8			
	0720	18.8		134.4			
11	0721	18.1	14.4	132.5	135.0	09.6	143.3
	0722	20.5		140.5			
	0723	10.0		140.0			
	0724	08.9		127.0			

(JTWC)에서 제공하는 best track 자료를 이용하였다. 한편 2007년 월별 태풍 발생의 대기순환 특성은 NCEP-NCAR (National Center for Environmental Prediction-the National Center for Atmospheric Research; Kalnay 등¹²⁾) 재분석 자료 중 바람($m s^{-1}$), 지위고도 (gpm), omega(vertical velocity; pascal s^{-1})의 변수를 사용하여 분석하였다. 이 자료는 6시간 간격이고, 위·경도는 2.5° 간격이며, 18개의 표준 연직층으로 구성되어져 있다. 그리고 Climate Diagnostics Center (CDC)에서 제공하는 NOAA Interpolated Outgoing Longwave Radiation(OLR)과 NOAA Optimum Interpolation Sea Surface Temperature(SST) 자료가 사용되었다. OLR 역시 위·경도 2.5° 간격이며, 1974년~현재까지 월 간격(1978년 3~12월 동안은 누락됨)으로 구성된 자료이다. SST 자료는 위·경

도 1° 간격으로 1981~현재까지 월 간격으로 구성되어 있다.

2.2. 분석방법

이 연구는 먼저 RSMC-Tokyo와 JTWC 자료를 이용하여 1951~2007년(57년)동안 북서태평양에서 $20^{\circ}N$ 이상에서 발생한 태풍을 선정하였다. 여기서 ' $20^{\circ}N$ 이상에서 발생한 태풍'은 '고위도에서 발생한 태풍'으로 정의하였다. 이는 57년 동안 발생한 태풍의 평균위도가 $15.5^{\circ}N$ 인 점을 감안할 때 비교적 고위도에 해당하기 때문이다. 이후 57년 동안 북서태평양에서 $20^{\circ}N$ 이상, 10° ~ $20^{\circ}N$ 사이, $10^{\circ}N$ 미만과 같이 위도에 따라 태풍의 발생위치를 크게 세 영역으로 나누어 세 영역에서의 태풍발생빈도 변화를 비교·분석하였다. 특히, 2007년 평균 태풍 발생위치

가 기후학적 평균 발생위치보다 실제로 고위도에서 이루어졌는가를 조사하고, 이와 같이 고위도에서 발생한 태풍의 빈도가 과거와 비교하여 어떠한 변화추세에 있는지를 알아보았다. 또한 대기장, OLR 및 SST의 분석을 통해 태풍이 고위도 발생하게 된 배경장을 진단하였다. 이 연구에서 분석된 아노말리는 2007년 각 월로부터 이에 해당하는 월의 56년 기후학적 평균값을 뺀 것이다. 그리고 OLR 및 SST 아노말리장들은 2007년 각 월에서 각각 1974~2006년(1978년은 제외하여 32년)과 1981~2006년(26년) 동안 각 월의 기후학적 평균값을 뺀 것이다.

3. 고위도에서 발생한 태풍의 기후학적 특성

Fig. 2는 57년 동안 RSMC-Tokyo 및 JTWC의 best track 자료를 이용하여 북서태평양에서 20°N 이상, $10^{\circ}\text{-}20^{\circ}\text{N}$ 사이, 10°N 미만의 세 지역에서 발생한 태풍의 빈도변화를 보여준다. 먼저 두 자료의 분석결과로부터 고위도에서 발생한 태풍의 빈도는 높은 상관을 나타내지만($\text{corr} = 0.76$), Figures 2b 와 2c에서 볼 수 있듯이, 발생위치의 위도가 낮아질수록 두 자료사이의 상관 역시 급격하게 낮아진다($10^{\circ}\text{-}20^{\circ}\text{N}$: $\text{corr} = 0.55$, 10°N 미만: $\text{corr} = 0.33$). 그러나 두 자료 사이의 전체적인 변동경향은 10°N 미만의 영역을 제외하고 비슷하다. 즉, 20°N 이상, $10^{\circ}\text{-}20^{\circ}\text{N}$ 의 영역에서 두 자료에서는 빈도의 기간은 다르지만 크게 네 기간으로 구분되어진다.

한편 최근 기간을 중심으로 살펴보면, $10^{\circ}\text{-}20^{\circ}\text{N}$ 에서의 RSMC-Tokyo의 best track 자료에서는 1990년대 이후 감소추세를 보이지만, JTWC의 best track 자료에서는 일정하게 유지된다. 10°N 미만의 영역의 경우에는 RSMC-Tokyo의 best track 자료에서는 지속적인 감소 추세를 보이나, JTWC의 best track 자료에서는 1991년 이후에 급격하게 감소한다. 하지만, 주목해야 할 점은 최근에 고위도에서 발생하는 태풍의 빈도는 두 자료에서 공통적으로 감소하고 있다는 것이다. 그러나 최근 지구온난화에 의한 중위도 지역에서의 SST 증가가 두드러진다는 연구결과를 고려할 때^{13,14)}, 고위도에서의 태풍 발생빈도의 최근 감소는 태풍의 발생이 SST의 조건 외에 다른 발생요소가 필요함을 제안한 McBride²⁾와 Chen 등³⁾의 결과와 일치한다. 따라서 이를 알아보기 위해,

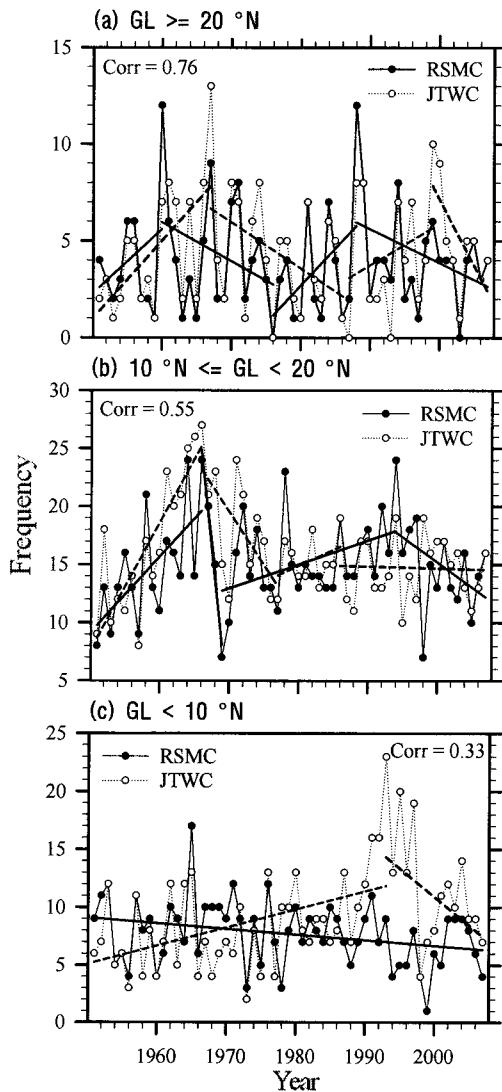


Fig. 2. Time-series of TCs occurred (a) north of 20°N , (b) between 10°N and 20°N , and (c) south of 10°N for the period 1951-2007. GL indicates the genesis location. Thick solid (dashed) line denotes the trend of TC genesis location provided in RSMC-Tokyo (JTWC).

이후의 분석은 RSMC-Tokyo의 best track 자료를 이용하여 고위도에서 발생하는 태풍을 중심으로 이루어진다. 이는 Fig. 2a에서처럼 이 영역에서 발생하는 태풍의 빈도 변화 및 추세가 다른 영역과는 달리 JTWC의 best track 자료와 큰 차이를 보이지 않기

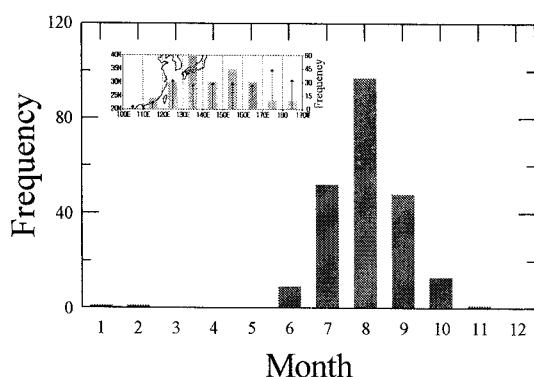


Fig. 3. Monthly frequency of TCs occurred north of 20°N and the longitudinal frequency of TCs occurred north of 20°N (gray bar) and the maximum latitude location (arrow) of TC (embedded figure) for the period 1951-2007.

때문이다.

먼저, 고위도에서 발생하는 태풍의 월별빈도를 살펴보았다 (Fig. 3). 그 빈도는 8월에 가장 많으며 (43.7%), 다음은 7월(23.4%), 9월(21.6%) 순이다. 경도별 발생빈도는 130°-140°E에서 59개로 가장 많이 발생하였으며, 다음으로는 150°-160°E로 나타났다 (19.8%). 각 경도별 최고위도의 발생위치에서는 1955년 8월 10일에 발생한 5517호(무명)가 170°-180°E에

서 34.6°N에 발생하여 가장 높은 위도를 기록하였다.

고위도에서 발생하는 태풍(A라 함)의 강도를 20°N미만의 지역에서 발생하는 태풍(B라 함)의 강도와 비교해 보았다 (Fig. 4). 비교를 위한 강도는 각 태풍의 일생동안에 관측된 최저중심기압 (Fig. 4a)과 각 태풍의 수명 (Fig. 4b)이다. 여기서 태풍의 수명은 태풍이 RSMC-Tokyo best-track 자료에서 관측된 기간이다. 평균적으로 A의 태풍은 B의 태풍보다 최저중심기압이 약 15 hPa 정도 높고, 수명에서는 약 4일 정도 빨리 소멸한 것으로 분석되었다. 실제로 2007년에 20°N이상의 지역에서 발생한 네 태풍은 모두 최저중심기압이 990~996 hPa이며, 수명은 1~5일로서 20°N이상의 지역에서 발생한 태풍의 평균 최저중심기압 및 수명에도 미치지 못하였다 (DANAS(0710): 990 hPa, 4일; HAIYAN(0716): 994 hPa, 3.25일; LINGLING(0718): 994 hPa, 5일; TAPAH(0722): 996 hPa, 1.5일). 따라서 20°N이상의 지역에서 발생하는 태풍은 그 이하의 지역에서 발생한 태풍보다 강도가 약함을 알 수 있다. 이는 서태평양의 남동쪽에서 발생한 태풍일수록 (즉, 적도에서 가깝게 발생한 태풍일수록) 중위도 부근에서의 강도는 강하며, 태풍의 수명도 길어짐을 보여준 Wang과 Chan⁹의 결과와 일치한다. 이것은 고위도에서 발생한 태풍에 비

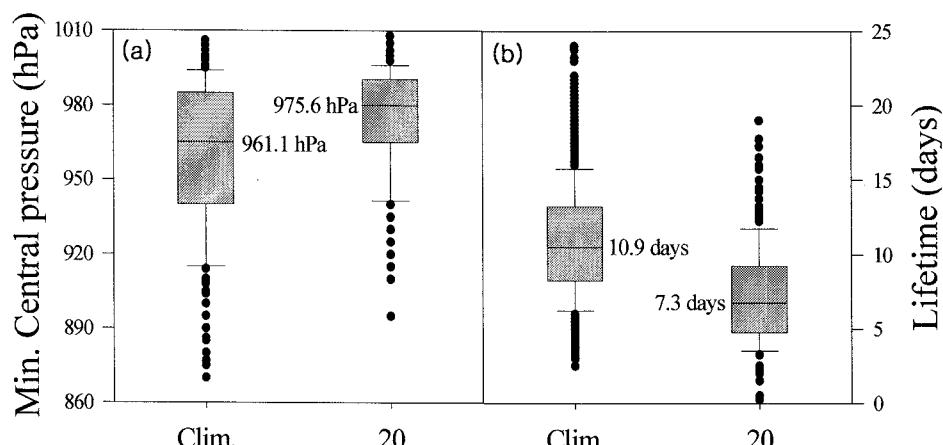


Fig. 4. Distributions of (a) the minimum central pressure of TC excluding TC occurred north of 20°N (left at a left panel) and TC occurred north of 20° and (b) the lifetime of TC excluding TC occurred north of 20°N (left at a right panel) and TC occurred north of 20°N (right at a right panel) for the period 1951-2007. The boxes show the 25th and 75th percentiles, the lines in the boxes (figures) mark the mean and the circles the values below (above) the 25th (75th) percentiles of the distributions.

해 적도 가까이에서 발생한 태풍은 중위도로 북상하면서 따뜻한 해수면으로부터 태풍의 강도를 유지할 수 있는 에너지를 공급받는 기간이 길어지기 때문이다.

4. 2007년 태풍 발생의 특징

4.1. 빈도 및 발생위치

2007년 태풍의 발생은 24개로 56년 평균 발생빈도(27개)보다 3개가 적었다. 월별 발생빈도에서는 8월까지 2007년 동안의 발생빈도가 56년 평균 발생빈도보다 낮다가 9-11월 동안에는 더 높은 빈도를 나타낸다(Fig. 1).

한편, 월별 평균 발생위치에서는 위도의 경우, 56년 평균에서는 8월까지 발생위도가 증가하다가 그 이후로 다시 감소하는 경향을 보인다(Fig. 5a). 하지만 2007년에는 10월까지 증가한다. 또한 2007년의 경우 8월까지는 56년 평균 발생위도보다 낮거나 큰 차이를 나타내지 않지만, 9월부터는 56년 평균 발생위도보다 훨씬 더 높아진다. 2007년에 20°N 이상의 지역에서 발생한 네 태풍 역시 9~11월에 모두 분포되어 있다(Table 1). 경도의 경우에는 56년 평균에서는 10월까지 약하게 동쪽으로 이동하는 경향이 있으나 큰 차이를 보이진 않는다(Fig. 5b). 하지만 2007년의 경우 10월을 제외하고 56년 평균 발생경도보

다 더 서쪽에 위치해 있다. 그러나 20°N 이상의 지역에서 발생한 네 태풍들 중 TAPAH(0722)를 제외한 세 태풍은 160°E보다 동쪽에서 발생하였다. 여기서, 고위도에서 발생한 태풍일수록 더 동쪽에서 발생할 것이라는 의문을 가질 수 있다. 따라서 1951-2007년 동안 20°N 이상의 지역에서 발생한 태풍들에 대해 발생 위도-경도사이의 관계를 구해봤으나 95%의 신뢰수준에서 0.17의 낮은 관계가 분석되었다.

요약하여, 2007년 가을(9, 10, 11월)에 발생한 태풍은 56년 평균위치보다 더 고위도에서 발생하였음을 알 수 있다. 따라서 이후분석에서는 이의 원인을 제공하는 2007년 가을의 배경장 및 해수면 온도분석이 이루어진다.

4.2. 대기순환 특징

4.2.1. 수평 단면도

Fig. 6은 2007년 월별 850hPa 고도장의 아노말리를 보여준다. 9, 10, 11월 및 세 달의 평균 모두에서 필리핀 동쪽해상에 몬순기압골이 발달되어 있다. 그리고 10월을 제외한 태풍의 대부분은 이 몬순기압골 주변에서 형성되었으며, 전체적으로는 10°-20°N, 120°-140°E에서 발생하였다. 또한 이 태풍들은 각 달의 56년 평균 발생위도(SEP: 15.8°N, OCT: 12.5°N, NOV: 9.6°N, SON: 12.6°N)보다 북쪽에 형성되어 있으며, Fig. 5b에서처럼 10월을 제외하고 각 달의 56

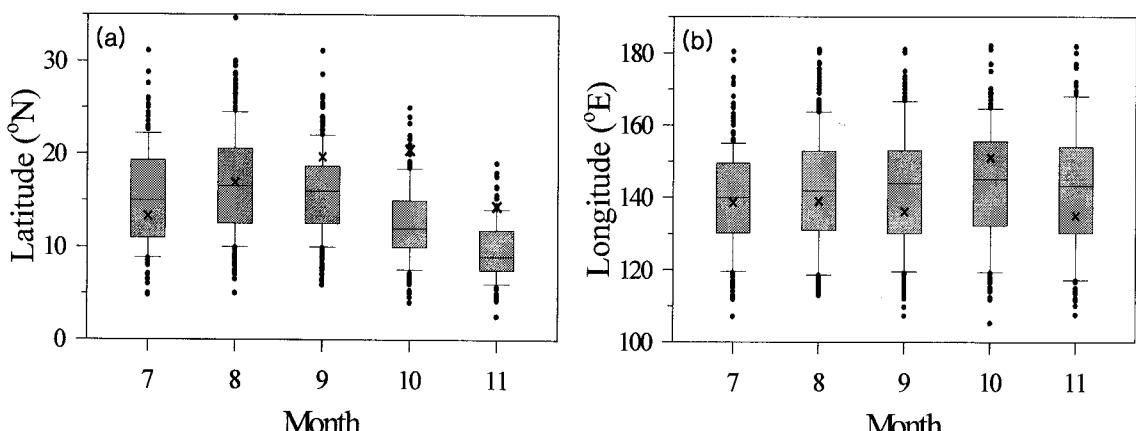


Fig. 5. Distributions of (a) the latitude and (b) longitude locations of TC occurrence with latitude for the period 1951-2006 and latitude and longitude locations in 2007 (x mark). Boxes show the 25th and 75th percentiles, the lines in the boxes (figures) mark the mean and the circles the values below (above) the 25th (75th) percentiles of the distributions.

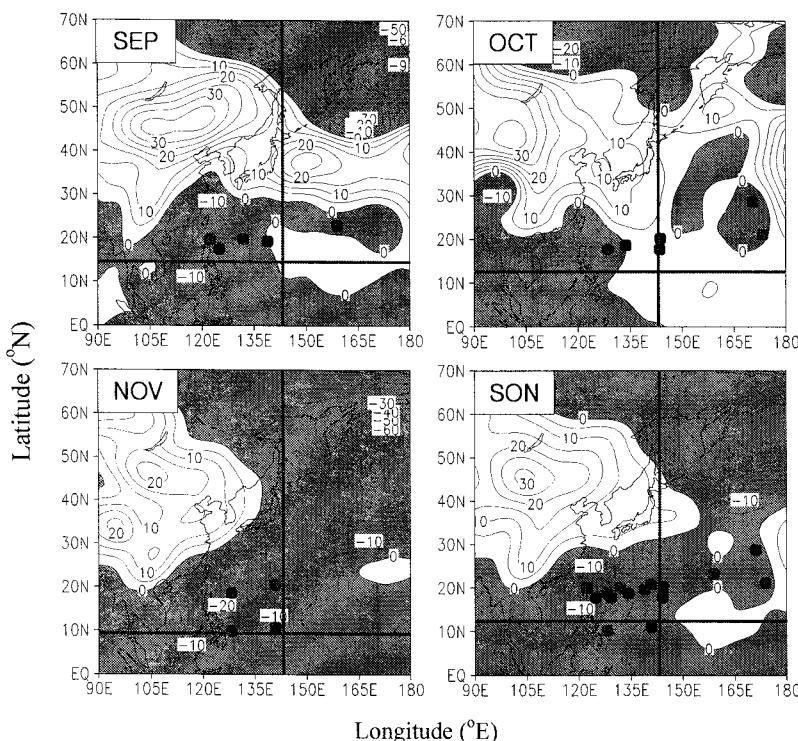


Fig. 6. Maps of 850-hPa geopotential anomaly for September, October, November, and the mean of three months in 2007. Dots denote the TC genesis locations. Horizontal and vertical lines indicate the climatological mean TC genesis latitude and longitude points for the period 1951-2006, respectively. Shaded area denotes a negative anomaly. Units of X and Y axes are $^{\circ}\text{E}$ and $^{\circ}\text{N}$.

년 평균 경도(SEP: 143.1°E , OCT: 143.9°E , NOV: 143.2°E , SON: 143.4°E)보다 대부분 서쪽에서 형성되었다. 따라서 2007년 가을 동안 발생한 태풍은 몬순기압골의 발달에 따라 대부분 기후평균 발생위도보다 북쪽에서 형성되었음을 볼 수 있다. 또한 태풍의 발생에 있어서 높은 SST 외에 다른 대기환경요인이 필요하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 2007년 월별 200-hPa과 850-hPa 사이에 동서방향의 연직바람시어 아노말리를 나타낸다. 동서방향의 연직바람시어는 값이 작을수록 (즉, 이 그림에서는 음의 값일 때) 대기가 안정하여 태풍의 발생에 좋은 환경임을 의미한다. 네 그림에서 모두 동아시아의 아열대에서는 대부분 음의 연직바람시어를 보인다. 이는 2007년 가을이 평균보다 동아시아의 아열대 서태평양 지역에서의 대기가 더 안정함을 의미한다. 따라서 2007년 가을 동안에 태풍의 발생은 좀 더 고위도에서 이루어질 수 있는 좋은 환경

임을 알 수 있다.

4.2.2. 연직 단면도

Fig. 8은 2007년 가을 동안 태풍의 대부분이 발생한 경도대인 $120^{\circ}\text{-}140^{\circ}\text{E}$ 를 중심으로 평균한 위도별 연직기류·연직상승속도 아노말리이다. 네 그림 모두에서 각 달의 56년 평균 태풍의 발생위도보다 북쪽에 상승기류가 발달되어 있다. 따라서 2007년 가을 동안에 발생한 태풍은 기후학적 평균 발생위도보다 더 높은 위도에서 형성될 수 있는 환경임을 알 수 있다.

Fig. 9는 2007년 가을 동안 태풍의 대부분이 발생한 위도대인 $10^{\circ}\text{-}20^{\circ}\text{N}$ 을 평균한 경도별 연직기류·연직상승속도 아노말리이다. 이 그림으로부터 10월을 제외한 나머지 달에서 56년 평균 태풍의 발생경도보다 더 서쪽에 상승기류가 발달되어 있음을 볼 수 있다. 이는 2007년 10월을 제외한 나머지 세 달에서 56년 평균 태풍의 발생경도보다 더 서쪽에

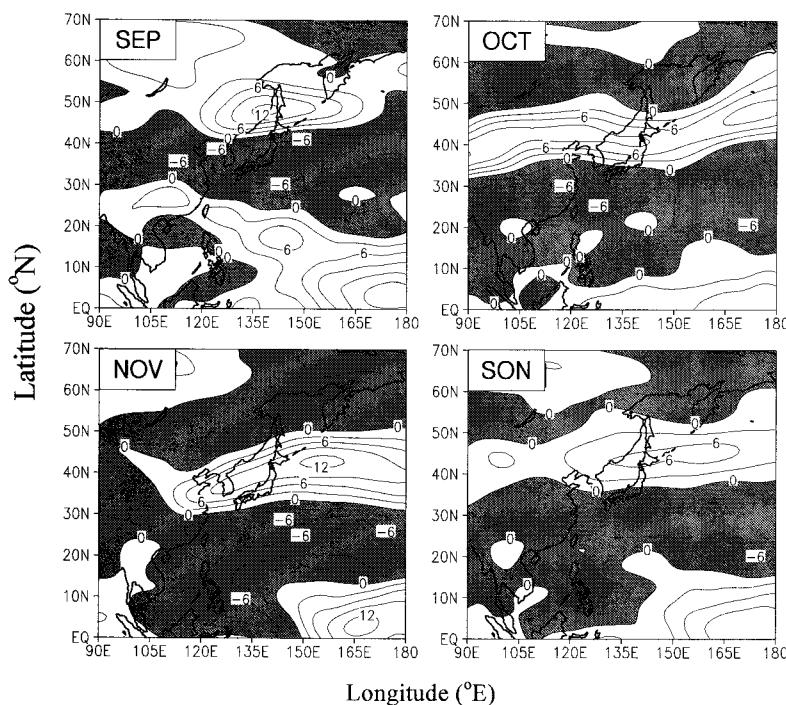


Fig. 7. Same as Fig. 6 but for zonal vertical wind shear between 200-hPa and 850-hPa. Units of X and Y axes are $^{\circ}\text{E}$ and $^{\circ}\text{N}$.

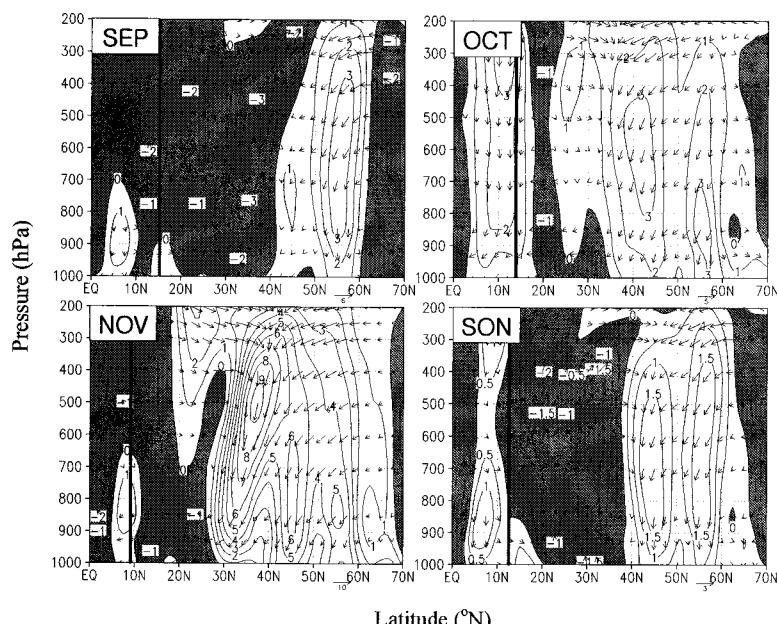


Fig. 8. Vertical cross-section of a vertical wind and an omega anomaly. Vertical line denotes the climatological mean TC genesis latitude point for the period 1951-2006. Shaded area indicates the negative omega anomaly. Omega is multiplied by 100. Units of X and Y axes are $^{\circ}\text{E}$ and $^{\circ}\text{N}$.

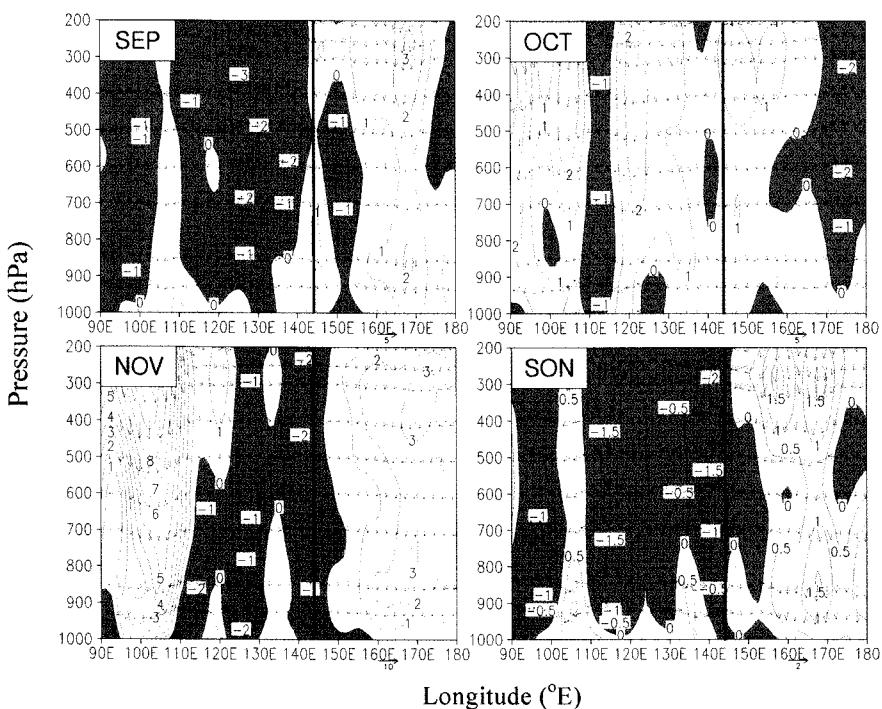


Fig. 9. Same as Fig. 8 but for longitude. Units of X and Y axes are $^{\circ}\text{E}$ and $^{\circ}\text{N}$.

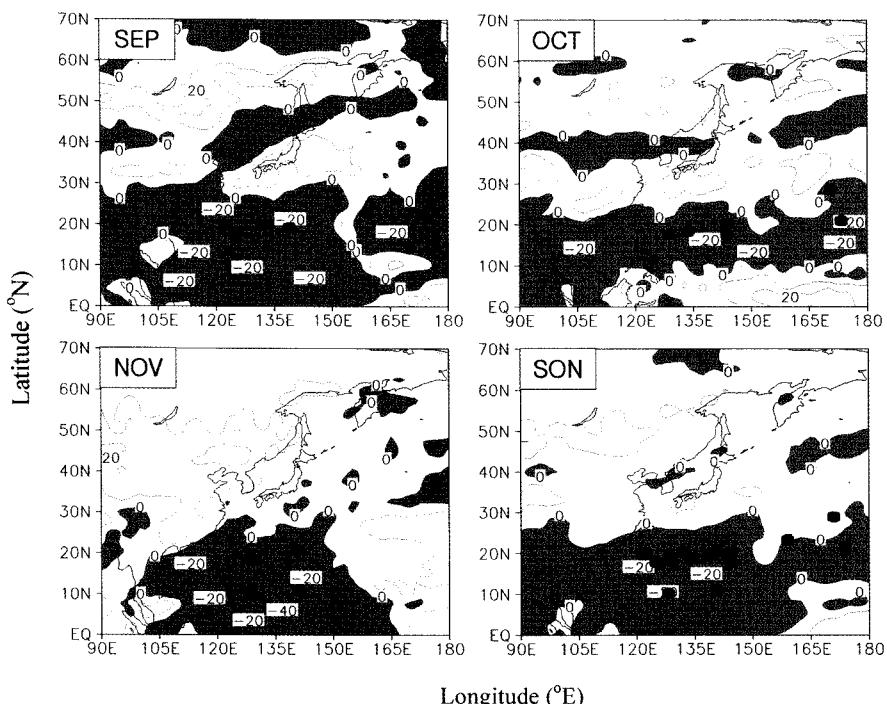


Fig. 10. Same as Fig. 6 but for OLR. Units of X and Y axes are $^{\circ}\text{E}$ and $^{\circ}\text{N}$.

서 형성됨을 보인 Fig. 5b의 결과와 일치한다.

4.2.3. OLR과 SST

Fig. 10은 2007년 9, 10, 11월 및 세 달 평균에서의 OLR 아노말리를 보여준다. 네 그림 모두 30°N 이하의 서태평양 대부분의 지역에서 음의 아노말리를 나타내어 2007년 가을 동안 대류가 발달했음을 알 수 있다. 특히 필리핀 동쪽해상에 위치한 대류의 중심은 태풍의 발생위치와 거의 일치한다.

2007년 가을 동안의 SST 아노말리장에서도 네 그림 모두 서태평양 대부분의 지역에서 양의 아노말리를 나타내어 태풍의 발생에 유리한 환경임을 알 수 있다(Fig. 11). 또한 각 월마다 매 5년 평균된 SST 등치선으로부터 1990년 후반 이후로 상대적으로 높

은 SST가 고위도로 북상함을 볼 수 있어 최근 태풍 발생의 고위도 경향을 뒷받침해준다.

5. 발생위치의 위·경도별 변화추세

Fig. 12는 매년 9, 10, 11월 및 세 달 동안 발생한 태풍들의 평균 발생 위·경도의 시계열(실선), 추세(점선) 및 56년 평균(파선)을 나타낸다. 발생위도의 경우 9, 10, 11월 및 세 달의 평균 모두 최근 들어 높아지는 추세를 보이고 있다. 이는 Fig. 11의 결과에서처럼 최근 높은 SST의 북상도 원인이 될 수 있다. 특히, 발생위도 변화의 폭은 10월이 가장 크다. 반면, 발생경도는 발생위도 만큼의 변화폭을 보이지는 않지만, 최근에 약하게 서쪽으로 이동하는 추

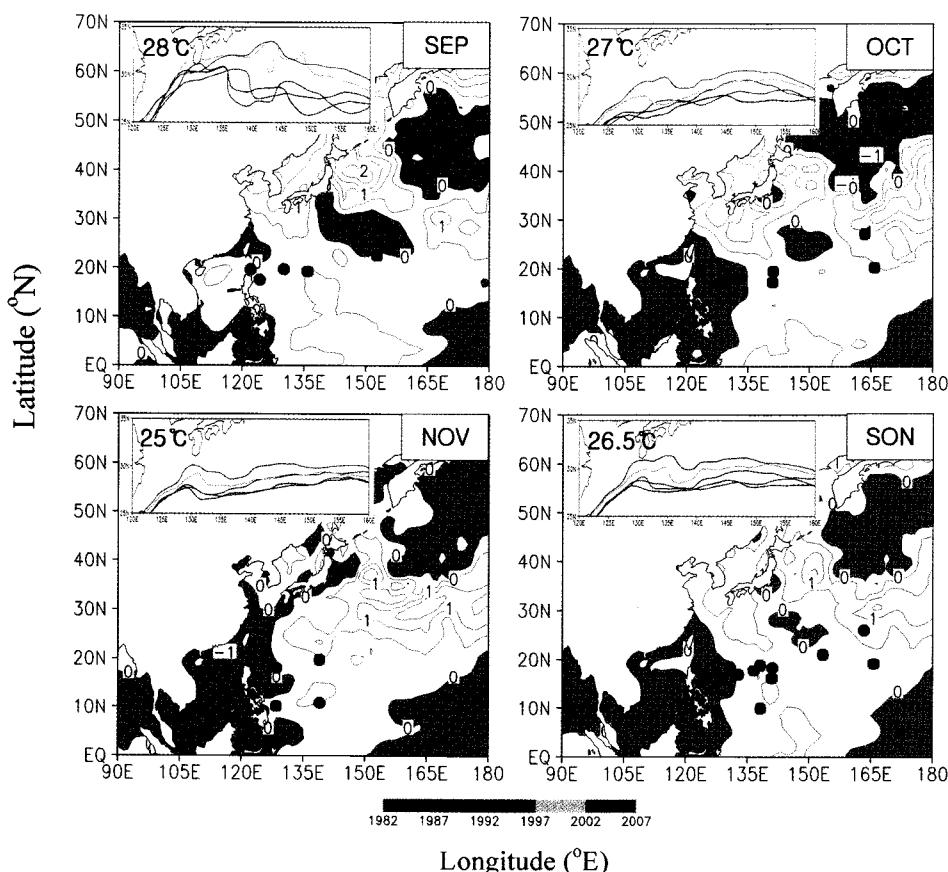


Fig. 11. Same as Fig. 6 but for SST. Upper-left panels in each month denote 28°C , 27°C , 25°C , and 26.5°C SST contours averaged for every 5-year interval from the year 1982, respectively, but the SST from the year 2002 averaged for 6 years. Units of X and Y axes are $^{\circ}\text{E}$ and $^{\circ}\text{N}$.

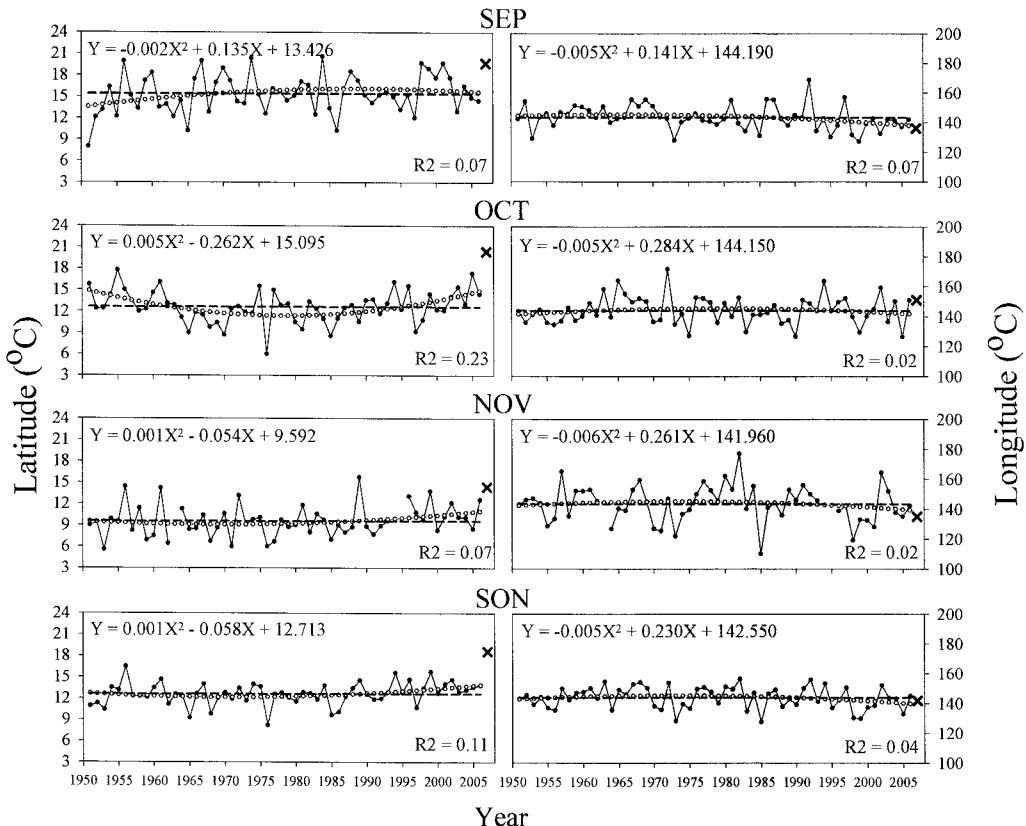


Fig. 12. Time-series of TC latitude (left panel) and longitude (right panel) locations averaged for each year for the period 1951-2007 (solid line with closed circle) and trend (line with open circle). x mark indicates the TC latitude and longitude locations in 2007.

세를 볼 수 있다. 2007년 태풍의 발생경도는 서쪽으로 이동하는 추세가 약하지만, 고위도로 이동하는 추세는 이전과 비교하여 눈에 띄게 뚜렷하다(x 표시). 특히, 10월과 9, 10, 11월 평균 발생위도는 57년 중 가장 고위도에 위치함을 알 수 있다. 따라서 비록 20°N 이상에서 발생하는 태풍의 빈도는 최근 들어 감소하고 있지만, 평균적인 발생위치는 고위도로 그리고 약하게 서쪽으로 이동하는 추세에 있음을 알 수 있다.

6. 결 론

RSMC-Tokyo와 JTWC의 best track 자료들을 이용하여 1951-2007년(57년)동안 북서태평양에서 발생한 태풍에 대한 위·경도별 평균발생위치의 추세변

화를 비교·분석되어졌다. 두 자료 모두에서 10°N 이상의 지역에서 발생한 태풍의 빈도는 크게 네 기간으로 구분되었으며 십년규모로 변동하였다. 특히, 두 자료사이에는 20°N 이상의 지역에서 발생한 태풍의 빈도 변화가 거의 비슷하여 이후 분석은 RSMC-Tokyo의 best track 자료를 이용하였다. 먼저 강도에 있어서는 20°N 이상에서 발생한 태풍이 그 이하의 지역에서 발생한 태풍에 비해 뚜렷하게 약한 강도를 가지고 있었다. 발생위도 및 발생경도에서는 2007년의 경우, 9월부터 1951-2006년(56년) 평균 발생위도보다 북쪽에 위치하였다. 발생경도에서는 10월을 제외하고 모두 56년 평균 발생경도보다 서쪽에 위치하였다. 따라서 2007년 가을(9, 10, 11월)을 대상으로 여러 변수들을 이용하여 태풍의 고위도 발생 원인에 대한 배경장을 진단하였다. 위도

별 연직단면 아노말리 분석에서는 2007년 가을 동안이 56년 평균 발생위도보다 상당히 고위도까지 상승류가 발달하였으며, 동서방향의 연직바람시어는 아열대 서태평양의 대부분에서 음의 아노말리를 나타내었다. OLR 및 SST 아노말리 분석 역시 태풍의 발생위치에서 음의 OLR 아노말리 중심이 위치했으며, 동시에 서태평양 대부분의 지역에서 양의 SST 아노말리를 나타내었다. 또한 1990년대 후반 이후로 높은 SST의 북상이 뚜렷하였다. 이러한 대기장, OLR 및 SST의 분석결과로부터 2007년 가을 동안의 태풍 발생이 고위도에서 이루어질 수 있는 좋은 환경을 뒷받침해주고 있음을 알 수 있었다.

57년간 매년 태풍의 위·경도별 발생위치의 시계열 분석에서 발생경도는 약하게 서쪽으로 이동하는 경향이 있었다. 하지만 위도에서는 경도보다 뚜렷하게 북쪽으로 이동하는 경향이 있었으며 특히, 2007년의 태풍이 가장 고위도에 발생하는 특성을 나타내었다.

이 연구는 단지 태풍 발생위치의 장기변화를 살펴보고 이를 바탕으로 2007년 태풍 발생위치의 추세를 진단한 수준에 머물렀다. 앞으로 ENSO 등과 같은 기후변화 지수와의 비교를 통하여 태풍이 고·저위도에서 발생하는 원인을 좀 더 심도 있게 분석할 예정이다.

감사의 글

이 연구는 국립기상연구소 주요사업 “기상기술 전략개발연구”와 목포대학교 내풍기술연구단을 통하여 지원된 국토해양부 지역특화연구개발사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) Gray W. M., 1968, Global view of the origin of tropical disturbances and storms, *Monthly Weather Review*, 96, 669-700.
- 2) McBride J. L., 1995, Tropical cyclone formation, *Global Perspectives on Tropical Cyclones*, WMO/

- TD-No. 693, World Meteorological Organization, 63-105.
- 3) Chen T. C., Weng S. P., Yamazaki N., Kiehne S., 1998, Interannual variation in the tropical cyclone formation over the western North Pacific, *Monthly Weather Review*, 126, 1080-1090.
 - 4) Chan J. C. L., 1985, Tropical cyclone activity in the northwest Pacific in relation to the El Niño/Southern Oscillation phenomenon, *Monthly Weather Review*, 113, 599-606.
 - 5) Landre M. A., 1994, An exploratory analysis of the relationship between tropical storm formation in the western North Pacific and ENSO, *Monthly Weather Review*, 122, 636-651.
 - 6) Wu G., Lau N. C., 1992, A GCM simulation of the relationship between tropical storm formation and ENSO, *Monthly Weather Review*, 120, 958-977.
 - 7) Dong K., 1988, El Niño and tropical cyclone frequency in the Australian region and the northwest Pacific, *Australian Meteorological Magazine*, 36, 219-255.
 - 8) Ramage C. S., Hori A. M., 1981, Meteorological aspects of El Niño, *Monthly Weather Review*, 109, 1827-1835.
 - 9) Wang B., Chan J. C. L., 2002, How Strong ENSO Events Affect Tropical Storm Activity over the Western North Pacific, *Journal of Climate*, 15, 1643-1658.
 - 10) Nakazawa T., 2001, Suppressed tropical cyclone formation over the western North Pacific in 1998, *Journal of the Meteorological society of Japan*, 79, 173-183.
 - 11) 신임철, 김은희, 이동일, 김태룡, 김영신, 김은숙, 이은정, 이희일, 2008, 각종 기록을 경진한 우리나라의 2007년 기후 및 장기 기후변화, 2008년 한국기상학회 봄 학술대회 논문집, 200-201.
 - 12) Kalnay E., Coauthors, 1996, The NCEP/NCAR 40-Year reanalysis project, *Bulletin of American Meteorological Society*, 77, 437-471.
 - 13) Cheung K. K. W., 2004, Large-scale environmental parameters associated with tropical cyclone formations in the western North Pacific, *Journal of Climate*, 17, 466-484.
 - 14) Webster P. J., Holland G. J., Curry J. A., Chang H. R., 2005, Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment, *Science*, 309, 1844-1846.