

ORIGINAL ARTICLE

## 북서태평양에서 여름철 태풍활동에 대한 북태평양 진동의 영향

최기선\* · 이경미 · 김정윤 · 박철홍

국립기상과학원 연구기획운영과

### Possible effect of North Pacific Oscillation on Summer Tropical Cyclone Activity over the Western North Pacific

Choi Ki-Seon\*, Kyungmi Lee, Jeoung-Yun Kim, Cheol-Hong Park

Planning and General Affairs Division, National Institute of Meteorological Research, Jeju 697-845, Korea

#### Abstract

This study analyzed the change in tropical cyclone (TC) activity according to the fluctuation in July-to-September average North Pacific Oscillation index (NPOI) and its underlying large-scale environment during the last 37 years from 1977 to 2013. For this purpose, seven years with highest index NPOI value (positive NPOI phase) and another seven years with lowest NPOI index value (negative NPOI phase) among the 37 years were selected as sample after excluding the ENSO years.

During the positive NPOI phase, TCs were created in the east of tropical and subtropical western North Pacific and moved to the west from the Philippines toward the southern region in China or toward far eastern sea of Japan. Meanwhile, during the negative NPOI phase, TCs tended to proceed to the north toward Korea or Japan passing East China Sea from the eastern sea of the Philippines. As a result, also in the TC recurvature, TCs in positive NPOI phase showed a tendency of recurving toward more eastern direction compared to TCs in negative NPOI phase. Hence, TC intensity was stronger in negative NPOI phase which allowed more time for obtaining energy from the ocean.

**Key words** : Tropical cyclone, North Pacific Oscillation, ENSO

#### 1. 서론

동아시아 지역은 열대 및 아열대 서태평양에서 발생하는 태풍으로 인해 매년 수많은 재산과 인명피해를 입고 있다. 일본에서는 2004년 10개의 태풍이 상륙하였으며, 지금까지 그 높은 상륙빈도의 기록은 깨어지지 않고 있고(Kim et al., 2005), 한국에서는 2002년 태풍 '루사'가 상륙하여 지금까지의 최고 기록인 870.5 mm의 24시간 최대 누적 강수량을 강릉에서 기록하였다(Park and

Lee, 2007). 타이완에서는 2009년 태풍 '모라꼿'이 상륙하여 남부지역에 1년 누적 강수량에 해당하는 양이 단 하루만에 기록되었으며(Pan et al., 2010), 필리핀에서는 동아시아에서 가장 높은 태풍의 매년 영향빈도인 약 10개의 태풍들로부터 매년 영향을 받고 있다(Lyon and Camargo, 2008).

따라서 북서태평양의 각 지역에서 발생하는 이러한 비 이상적인 태풍의 활동에 대한 원인을 기후인자로부터 찾고자 하는 노력이 활발히 이루어져왔다. Elsner and

Received 2 February, 2015; Revised 3 March, 2015;

Accepted 4 March, 2015

\*Corresponding author : Choi Ki-Seon, Planning and General Affairs Division, National Institute of Meteorological Research, Jeju 697-845, Korea  
Phone: +82-64-780-6537  
E-mail: choiks@kma.go.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Kocher(2000)은 요인 분석 모형을 이용하여 세계 주요 태풍 발생 해역으로부터 전지구 태풍활동도 지수의 추출을 시도하였으며, 추출된 지수는 엘니뇨-남방진동(El Niño-southern oscillation, ENSO)의 변동보다는 북대서양 진동(North Atlantic Oscillation, NAO)의 변동과 좀 더 깊은 관계가 있음을 제시하였다. 또한 Wang et al. (2007)은 6-9월 동안 북태평양 진동(North Pacific Oscillation, NPO)과 열대 및 아열대 서태평양 및 아열대 대서양에서의 태풍 발생빈도와와의 관계를 조사하였다. 결과로서, 그들은 전자와 후자의 태풍 발생 해역에서의 태풍 발생빈도가 각각 북태평양 진동과 양의 상관 및 음의 상관을 나타내며, 두 태풍 발생 해역 사이에 태풍 발생빈도의 변동은 대규모 대기원격 패턴을 통해 이루어짐을 제안하였다. 가장 최근의 연구로서 Choi et al.(2010)은 태평양-일본 원격 패턴(Pacific-Japan teleconnection pattern, PJ pattern)에 따른 북서태평양에서 태풍활동의 변화를 분석하였다. 이들은 양의 태평양-일본 원격 패턴에는 동아시아 저·중위도에 각각 저기압 아노말리와 고기압 아노말리가 발달함으로 인해 중위도에서 강화된 남풍 아노말리가 이 지역으로 태풍들을 쉽게 이동시키는 지향류 아노말리의 역할을 함을 보인바 있다.

한편, Ho et al.(2005)은 북서태평양에서 태풍 활동의 변화에 대한 원인을 남반구에서의 대규모 대기순환과 연관시키고자 하였다. 그들은 남반구에서 양의 남극진동(Antarctic Oscillation, AAO) 해 동안 동아시아 중위도 지역에 발달한 고기압 아노말리로 인해 이 지역에서의 태풍 발생빈도는 증가하나 남중국해 부근지역에서는 감소함을 보였다. 또한, Wang and Fan (2007)은 6-9월 동안 남극진동과 열대 및 아열대 서태평양에서의 태풍 발생빈도사이에는 음의 상관관계가 있음을 발견하였다. 그들은 이 연구에서 양의 남극진동 해에 열대 및 아열대 서태평양에서는 연직바람시어가 증가하고, 하층 고기압-상층 저기압의 연직 구조가 발달하며, 해수면 온도는 낮아져 태풍이 발생하는데 비우호적인 환경이 조성됨을 보였다.

북서태평양 태풍활동과의 상관분석이 가장 많이 이루어진 기후인자는 준 2년 진동(quasi-biennial oscillation, QBO)와 엘니뇨-남방진동이다(Chan, 1985, 1995; Lander, 1994; Saunders et al., 2000; Wang and Chan, 2002; Camargo and Sobel, 2005; Ho et al., 2009).

Lander (1994)는 열대 및 아열대 서태평양에서의 태풍 발생빈도와 엘니뇨-남방진동 사이에는 통계적으로 유의한 상관을 보이지 않는 반면, 태풍 발생위치에서는 엘니뇨-남방진동의 변화에 따라 뚜렷한 차이가 있음을 제안하였다. 이후 Wang and Chan (2002)과 Camargo and Sobel (2005)은 엘니뇨-남방진동 온난 사례시 태풍들은 열대 및 아열대 서태평양의 남동지역에서 주로 발생하며, 좀 더 긴 일생을 갖는 경향이 있음을 보였다.

한편, Walker and Bliss (1932)는 태평양 영역에서 북대서양 진동(North Atlantic Oscillation, NAO)과 같이 동 시베리아로부터 서 캐나다로 이어지는 고위도와 40°N까지의 아열대 저위도 사이에 해면기온의 남북 시소현상이 있음을 발견하였다. 이 선행 연구 이후 많은 연구에서 북태평양 진동의 발생 메커니즘 및 여러 지역에 대한 북태평양 진동의 영향 등이 조사되어 왔다(Rogers, 1981; Wallace and Gutzler, 1981; Hameed and Pittalwala, 1991; Li and Li, 1999; Pierce, 2002; Guo and Sun, 2004; Yeh and Kirtman, 2004. D'Arrigo et al., 2005; Li et al, 2007; Wang et al., 2007; Linkin and Nigam, 2008). 하지만 이 연구들의 대부분은 한랭 시즌 북태평양 진동에 중점을 두고 있으며, 게다가 북태평양 진동에 의한 기후변동의 영향은 주로 북아메리카지역을 중심으로 다루어지고 있다. 따라서 북서태평양에 인접해 있는 동아시아 지역의 기후에 대한 북태평양 진동 영향의 연구는 깊게 이루어지지 않은 것이 현실이다. Wang et al.(2007)은 여름 북태평양 진동과 북서태평양에서의 태풍 발생빈도와와의 상관을 조사하였다. Chen et al.(2014)은 봄 북태평양 진동이 여름철 북서태평양 태풍 발생빈도와 높은 양의 상관을 나타내어 봄 북태평양 진동이 여름철 여름철 북서태평양 태풍 발생빈도를 예측하는데 중요한 예측인자가 될 수 있음을 제안하였다. 그러나 여름철 북태평양 진동이 같은 계절에 태풍활동의 변동에 미치는 영향에 대한 연구는 더욱 찾기 힘들다.

따라서 본 연구는 여름철 북태평양 진동이 같은 계절에 태풍활동의 변동에 미치는 영향에 대해 조사해 본다.

## 2. 자료 및 분석방법

### 2.1. 자료

태풍 자료는 지역특별기상센터-동경태풍센터에서 제

공하는 태풍의 최적경로 자료로부터 얻어졌다. 이 자료는 1977-2013년(37년)동안 매 6시간 간격으로 관측된 태풍 이름, 위경도 위치, 중심기압, 중심최대풍속의 정보로 구성된다. 태풍은 일반적으로 중심최대풍속을 기준으로 네 등급으로 나뉘어진다: 열대저압부(Tropical Depression, TD, 중심최대풍속 < 17ms-1), 열대폭풍(Tropical Storm, TS, 17 m s-1 ≤ 중심최대풍속 ≤ 24 m s-1), 강한 열대폭풍(Severe Tropical Storm, STS, 25 m s-1 ≤ 중심최대풍속 ≤ 32 m s-1), 태풍(Typhoon, TY, 중심최대풍속 ≥ 33 m s-1). 위의 네 등급에 더하여 이 연구에서는 태풍으로부터 변형된 온대성 저기압도 분석에 포함시켰다. 이는 이러한 온대성 저기압도 동아시아 중위도 지역에서 많은 재산과 인명피해를 입히기 때문이다. 이 연구에서 태풍은 이 다섯 등급을 포함한 것으로 정의된다.

한편 이 연구는 1977-2013년 동안의 미국 국립환경예측센터-국립대기연구센터(National Centers for Environmental Prediction-National Center for Atmospheric Research, NCEP-NCAR)에서 제공하는 재분석 자료의 지위고도(gpm, 기온(°C), 비습(g kg-1), 동서 및 남북류(m s-1)의 변수를 사용하였다(Kalnay et al., 1996; Kistler et al., 2001), 이 NCEP-NCAR 재분석 자료는 위경도 2.5°×2.5° 및 17개의 연직층(비습은 16 연직층)과 같은 공간 해상도로 이루어져 있다.

또한 미국 국립대기해양청(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 월평균 해수면 온도(Sea Surface Temperature, SST) (Reynolds et al., 2002)자료가 사용되었다. 이 자료는 위경도 2.0°×2.0° 수평 공간해상도로 구성되어 있고, 1854년부터 현재까지 이용 가능하다.

## 2.2. 분석방법

태풍 이동빈도를 계산하기 위해서 각 태풍은 5°×5° 격자내에 위치시킨 후 계산되었으며, 태풍이 같은 격자내에 여러 번 이동하여도 한번 이동한 것으로 간주하였다. 태풍의 발생빈도 역시 이와 같은 방법으로 계산되었다.

두 평균 사이의 유의성 비교는 독립표본 t-검정(independent two-sample t-test)을 사용하였다. 두 독립변수의 시계열이 t-분포를 따르고, 표본의 평균이 각각

$\bar{X}_1$ ,  $\bar{X}_2$  로 정의될 경우, t-검정의 식은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{s_{x_1x_2} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

여기서  $S_1$ ,  $S_2$ 는 표준편차이고  $n_1$ ,  $n_2$ 는 두 시계열에서 총 개수이다. 만약 위의 식으로부터 t의 절대값이 유의수준의 문턱값보다 크게 산출되면, 귀무가설(null hypothesis)은  $\alpha(\times 100)\%$ 의 신뢰수준에서 기각된다(Wilks, 1995).

## 2.3. 북태평양 진동 지수

북태평양 진동 지수를 정의하는 방법은 여러 개가 있다. Wallace and Gutzler (1981)와 Wang et al. (2007)는 베링해 근처의 지점(65°N, 170°E)과 아열대 북태평양의 한 지점(25°N, 165°E) 사이에 노말라이즈 된 해면기압의 차로 정의하였다. Guo and Sun (2004)은 비슷한 방법으로 지수를 정의하였지만, 두 지점이 아니라 두 영역의 평균 값의 차로 정의하였다. 다른 정의로 북태평양 지역에서 SLP를 대상으로 경험적 직교 함수 분석의 결과를 사용하였고(Yeh and Kirtman, 2004), 이 결과도 위의 연구들의 결과와 매우 비슷한 결과를 보였다. 본 연구에서도 Wallace and Gutzler (1981) and Wang et al. (2007)의 정의에 따라 아래의 식과 같이 37년 동안 7-9월 평균 NPOI를 구하였다.

$$NPOI = SLP_{P(65N,170E)} - SLP_{P(25N,165E)}$$

## 3. 시계열 분석

Figure 1은 최근 37년(2013-1977년)동안 북태평양 진동 지수의 시계열을 나타낸다. 전체적으로 뚜렷한 경년 및 십년간 변동이 존재함을 볼 수 있다. 특히 1990년대 중반 이후로 음의 지수가 강화되고 있다. 그리고 최근까지 감소하는 경향을 보인다(두꺼운 실선). 하지만 감소 경향은 통계적으로 유의하지 않다.

본 연구는 이러한 북태평양 진동 지수의 변동에 따른 태풍활동의 차이와 이 차이를 야기하는 종관규모 환경의

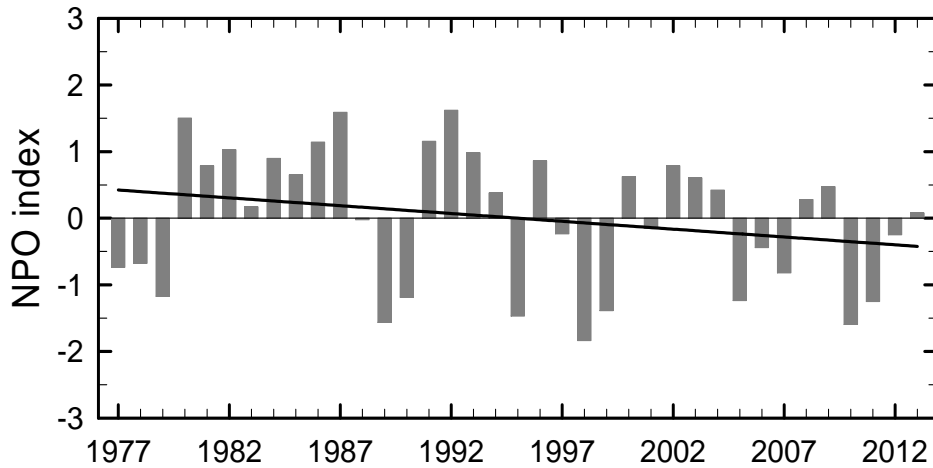


Fig. 1. Time series of North Pacific Oscillation (NPO) index averaged for July - September and its trend (thick solid line).

특징을 조사하기 위해 37년 중 가장 큰 북태평양 진동 지수를 가지는 7해(1980, 1981, 1984, 1992, 1993, 1996, 2003) (이후, 양의 북태평양 진동 해라 함)와 가장 작은 북태평양 진동 지수를 가지는 7해(1977, 1979, 1989, 1990, 1995, 2005, 2011) (이후, 음의 북태평양 진동 해라 함)를 선정하였다. 여기서 각 7개 해는 7-9월 평균 엘니뇨 해(1982, 1986, 1987, 1991, 1997, 2002, 2004, 2009)와 라니냐 해(1985, 1988, 1998, 1999, 2000, 2007, 2010)를 제외한 다음 선택되었다. 선정된 14개 해는 엘니뇨-남방진동 해를 제외한 전체 분석기간의 60%이상을 차지한다. 따라서 이후의 장에서는 양의 북태평양 진동 지수평균과 음의 북태평양 진동 지수 해 평균 사이에 차가 분석된다.

#### 4. 양의 북태평양 진동 지수 해와 음의 북태평양 진동 지수 해 사이의 차

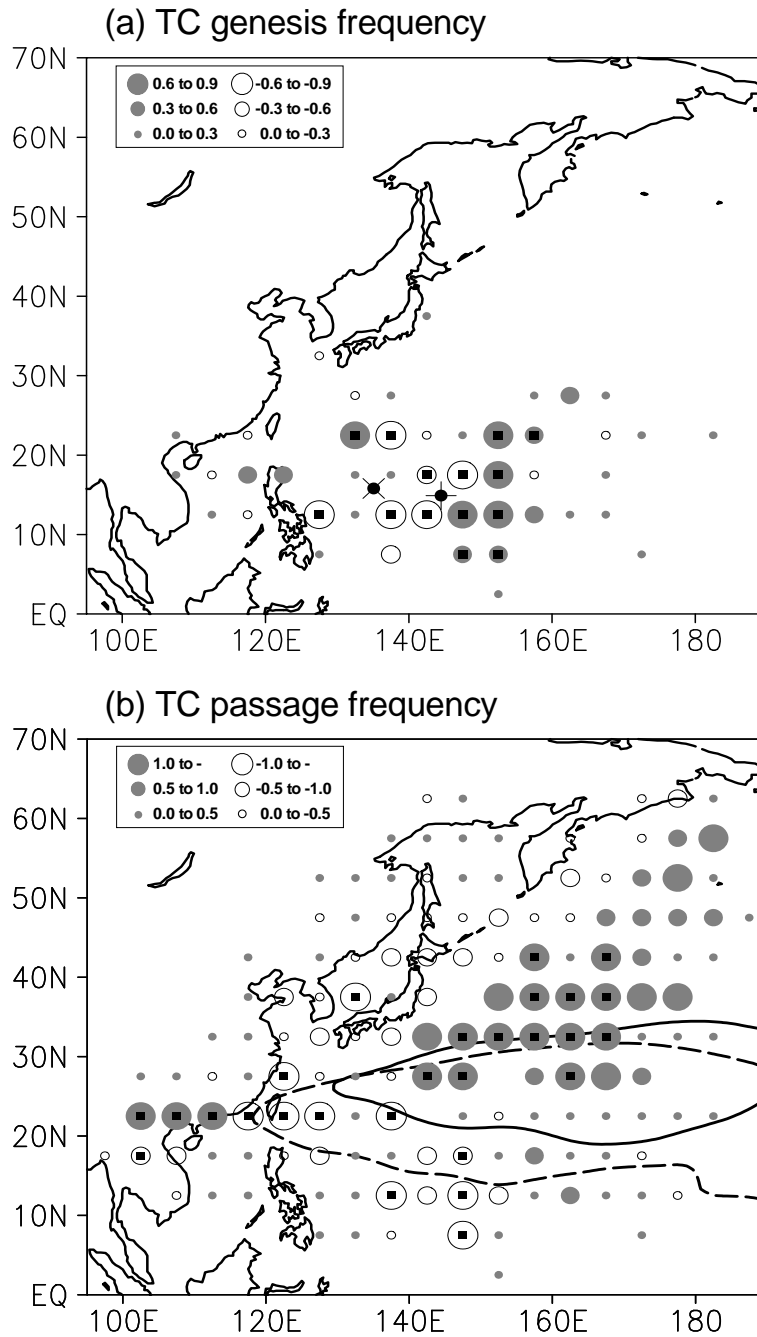
##### 4.1. 태풍활동

이 연구는 먼저 북태평양 진동 지수의 변동에 따른 태풍활동의 차를 분석하였다. 여기서 태풍활동은 태풍 발생빈도, 태풍 이동빈도, 태풍 전향, 태풍강도로 정의된다. 먼저 두 그룹 사이에 태풍 발생빈도 차에서는 전체적으로 양의 북태평양 진동 지수 해에는 태풍들이 열대 및 아열대 서태평양의 동쪽에서, 음의 북태평양 진동 지수 해에는 태풍들이 서쪽에서 발생하는 경향이 강하다 (Fig.

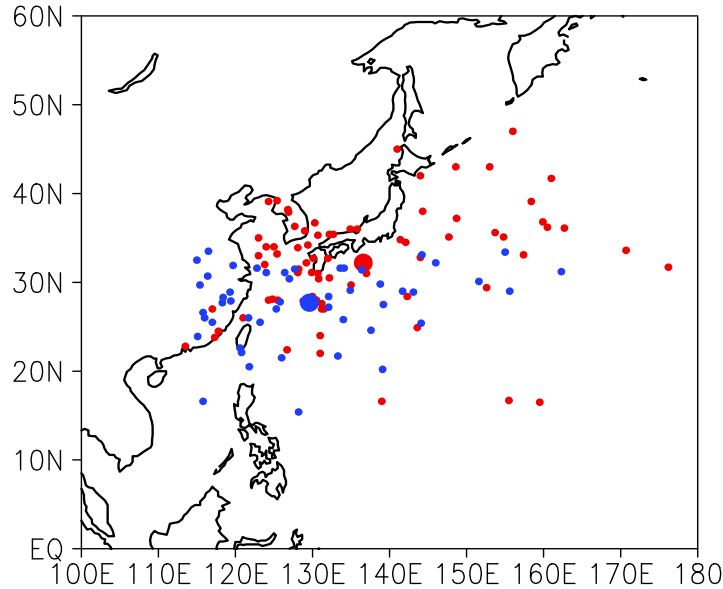
2a). 이는 두 그룹에 대한 평균 발생위치를 살펴봄으로써 확인할 수 있다. 양의 북태평양 진동 지수 해에 평균 발생 위치는 14.9°N, 144.5°E인 반면, 음의 북태평양 진동 지수 해에는 15.3°N, 135.1°E로서 양의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들이 음의 북태평양 진동 지수 해의 태풍들보다 열대 및 아열대 서태평양의 동쪽에서 발생함을 알 수 있다. 여기서 두 그룹 사이에 태풍의 발생 위도차는 통계적으로 의미가 없지만, 경도차는 95% 신뢰수준에서 유의하다.

두 그룹 사이에 태풍 이동빈도 차에서 양의 북태평양 진동 지수 해에서는 필리핀 동쪽 해상으로부터 남중국해를 지나 중국 남부지역에 상륙하거나, 일본 동쪽 먼 해상으로 이동하는 경향이 강하다(Fig. 2b). 반면, 음의 북태평양 진동 지수 해에는 필리핀 먼 동쪽 해상으로부터 동중국해를 지나 전향한 뒤 한국 및 일본을 향해 북진하는 경향이 강하다. 따라서 양의 북태평양 진동 지수 해에는 동아시아 저위도 지역에서, 음의 북태평양 진동 지수 해에는 동아시아 중고위도 지역에서 태풍에 대한 대비를 해야 할 것으로 판단된다.

두 그룹에 대한 태풍 전향에서 전체적으로 양의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들이 음의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들보다 좀 더 북동쪽에서 전향한 경향이 보인다(Fig. 3). 이는 두 그룹에 대한 평균 전향위치를 살펴봄으로써 알 수 있다. 양의 북태평양 진동 지수 해에 평



**Fig. 2.** Differences in the (a) mean TC genesis frequencies and (b) mean TC passage frequencies between the positive NPI phase and negative NPI phase for JAS within each  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$  latitude-longitude grid box. Solid and dashed lines denote 5,875-gpm contours for positive NPOI phase and negative NPOI phase, respectively. Small solid circles indicate that the differences are significant at the 95% confidence level.



**Fig. 3.** TC recurvature locations in positive NPOI phase (red) and negative NPOI phase (blue). Big red and blue circles denote average recurvature locations for positive NPOI phase and negative NPOI phase, respectively.

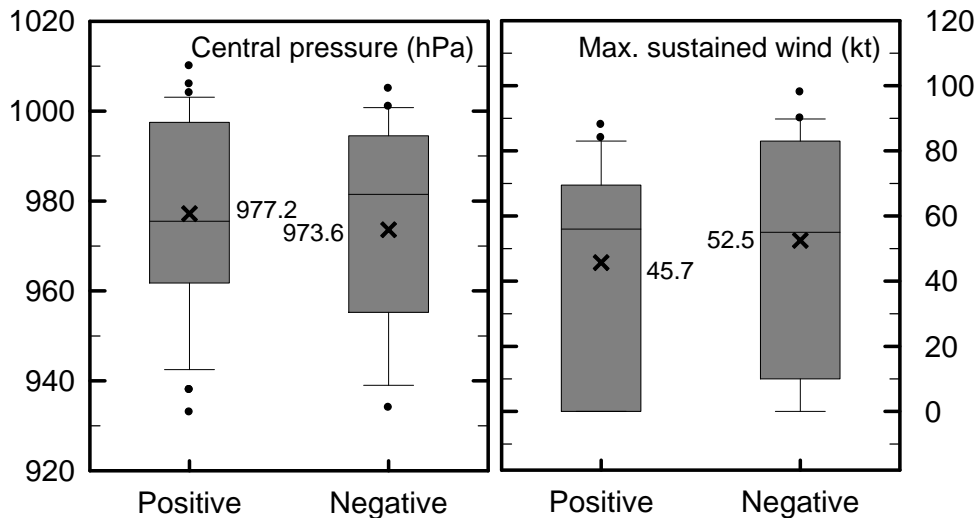
균 전향 위치는  $32.5^{\circ}\text{N}$ ,  $137.8^{\circ}\text{E}$ 인 반면, 음의 북태평양 진동 지수 해에 평균 전향 위치는  $27.8^{\circ}\text{N}$ ,  $129.4^{\circ}\text{E}$ 로서 양의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들이 음의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들보다 좀 더 북동쪽에서 전향한 것을 알 수 있다. 여기서 두 그룹 사이에 평균 전향 위치의 위도차는 90% 신뢰수준에서, 경도차는 95% 신뢰수준에서 유의하다.

두 그룹 사이에 태풍 강도의 차를 분석하였다(Fig. 4). 여기서 태풍 강도는 태풍 중심 최저 기압과 태풍 중심 최대 풍속으로 정의된다. 전체적으로 태풍 강도는 양의 북태평양 진동 지수 해보다 음의 북태평양 진동 지수 해에 더 강해 보인다. 두 그룹에 대한 평균 태풍 중심 최저 기압과 평균 태풍 중심 최대 풍속을 살펴보면 모두 음의 북태평양 진동 지수 해에 태풍 강도가 더 강함을 볼 수 있다. 여기서 두 변수에 대해 두 그룹 사이에 평균 태풍 강도의 차는 95% 신뢰수준에서 유의하다. 이렇게 양의 북태평양 진동 지수 해보다 음의 북태평양 진동 지수 해에 태풍 강도가 더 강한 이유는 앞서 분석되었듯이 두 그룹 사이에 태풍 진로의 차에서 살펴볼 수 있다(Fig. 2b). 음의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들은 필리핀 먼 동쪽해상으로부터 동중국해를 지나 한국 및 일본을 향해 북상

하는 동안 태풍들이 더 강해질 수 있도록 바다로부터 에너지를 얻을 수 있는 시간이 충분히 있었다. 반면, 양의 북태평양 진동 지수 해에는 태풍들이 필리핀 동쪽해상으로부터 남중국해를 지나 중국 남부지역에 상륙하자마자 열대 저압부로 약해지거나 소멸되었으며, 또한 중고위도인 일본 먼 동쪽해상에서 짧은 거리를 이동하였기 때문에 음의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들보다 강도가 약했다.

#### 4.2. 종관환경

앞서 살펴본 바와 같이 두 그룹 사이에 태풍활동의 차의 원인을 알아 보기 위해 먼저 두 그룹 사이에 850 hPa 유선에 대해 분석하였다(Fig. 5a). 북서태평양에는 거대한 저기압성 순환 아노말리가, 북서태평양의 중고위도 지역에서는 거대한 고기압성 순환 아노말리가 강화되어 있다. 이렇게 북서태평양에서 남저북고의 기압계 패턴 아노말리는 Wallace and Gutzler(1981)에서 보여진 양의 북태평양 진동 지수 위상의 전형적인 공간분포이다. 타이완 남쪽을 중심으로 남중국해로부터 필리핀 북동해상에는 고기압 순환 아노말리가 강화되어 있다. 거대한 저기압성 순환 아노말리는 이 고기압 순환 아노말리의



**Fig. 4.** TC (a) lowest central pressure and (b) maximum sustained wind speed. The boxes show the 25th and 75th percentiles, the lines in the boxes mark the median and the circles are values below (above) the 25th (75th) percentiles of distribution. The numbers to the left and right sides of the figure represent average values (cross marks) for the positive NPOI and negative NPOI phases, respectively.

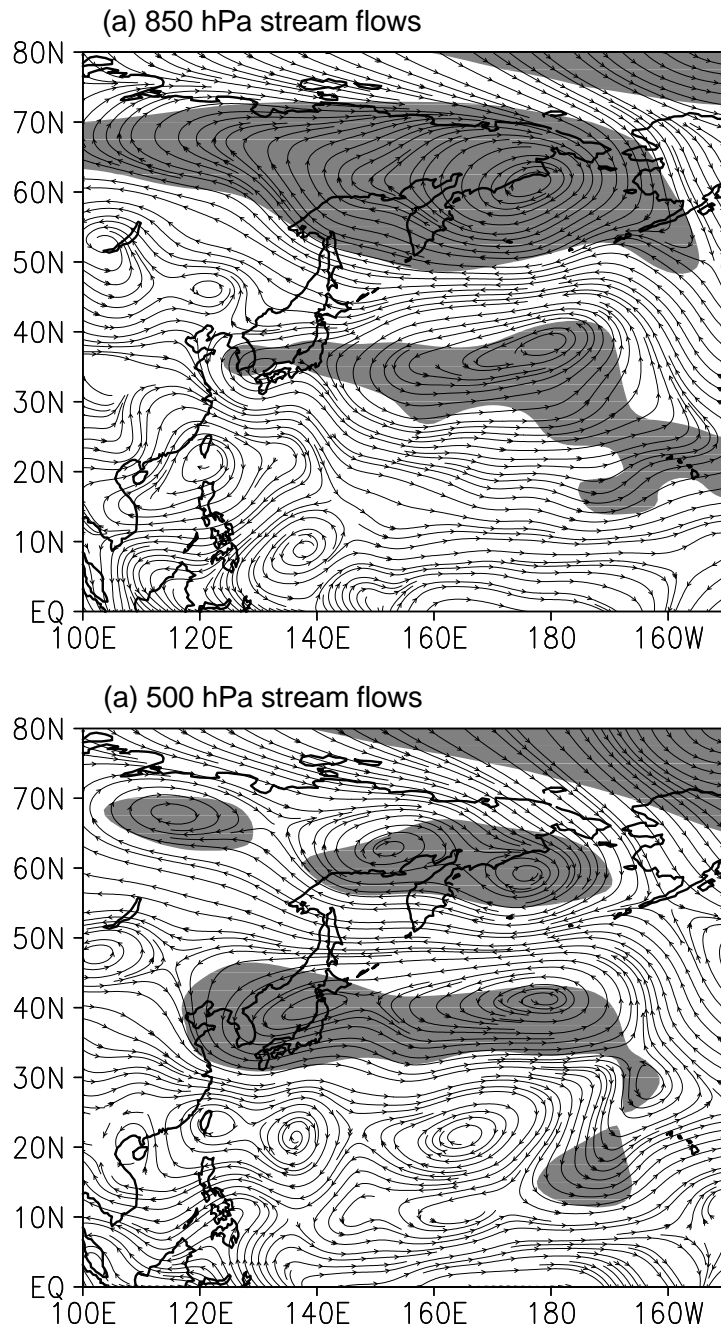
동쪽에 위치해 있다. 따라서 이러한 기압계 패턴 아노말리는 양의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들이 열대 및 아열대 서태평양의 동쪽에서 주로 발생하는 원인이 된다.

한편, 한국으로부터 아열대 서태평양까지의 지역에는 북서풍 아노말리가 강화되어 있다. 따라서 이 지향류 아노말리에 의해 앞서 분석되었듯이 양의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들은 동아시아 중위도 지역으로 북상하기 어려운 대기조건임을 알 수 있다. 한편 필리핀으로부터 인도차이나 반도에는 동풍 아노말리가, 일본 동쪽 먼 해상에는 남풍 아노말리가 강화되어 있다. 따라서 양의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들은 필리핀으로부터 중국 남부지역으로 향하거나, 일본 먼 동쪽해상을 이동할 수 있는 좋은 환경이 형성되어 있음을 알 수 있다.

두 그룹 사이에 500 hPa 유선에 대한 차에서는 역시 남저북고의 기압계 패턴 아노말리가 강화되어 있다(Fig. 5b). 즉, 30°-50°N에는 저기압 순환 아노말리가, 50°-70°N에서는 고기압 순환 아노말리가 형성되어 있다. 이는 양의 북태평양 진동 지수 해에 북태평양 고기압이 음의 북태평양 진동 지수 해에 보다 좀 더 북동쪽으로 이동했음을 의미할 수도 있다. 따라서 두 그룹에 대해 북태평양 고기압의 발달 정도를 살펴보았다(Fig. 2b). 여기서 북태평양

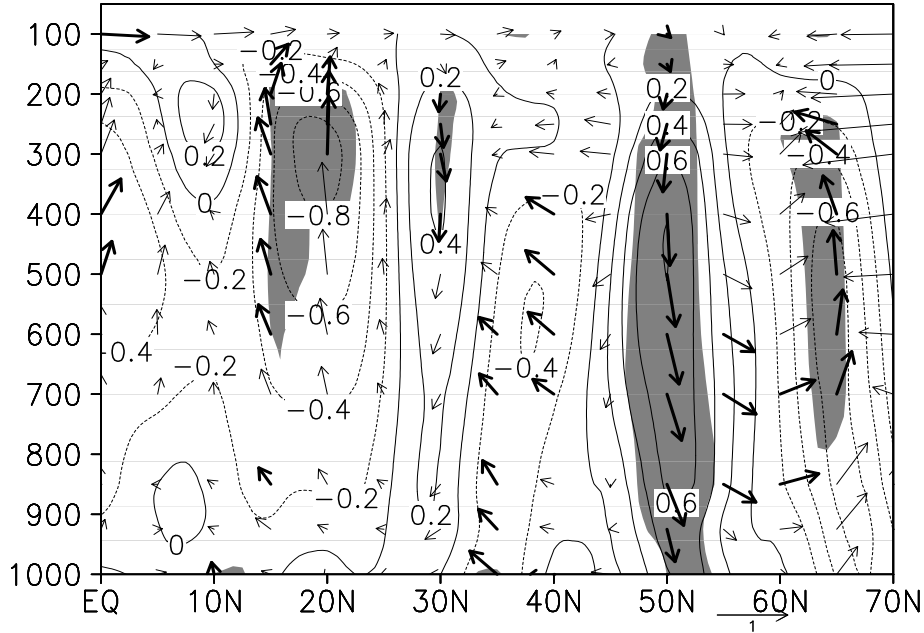
고기압은 5,875 gpm보다 큰 값을 갖는 영역으로 정의된다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 양의 북태평양 진동 지수 해에 북태평양 고기압이 음의 북태평양 진동 지수 해에 그것보다 좀 더 북동쪽에 위치해 있는 반면, 음의 북태평양 진동 지수 해에 북태평양 고기압은 중국 남동해안까지 서쪽으로 확장되어 있다. 일반적으로 태풍들은 북태평양 고기압의 서쪽 연변을 따라서 이동하는 경향이 있다(Wang and Chan, 2002). 본 연구에서도 두 그룹에 북태평양 고기압의 서쪽으로의 발달 정도와 태풍 진로가 일치함을 볼 수 있다. 즉, 서쪽으로 좀 더 확장된 음의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들이 필리핀으로부터 중국 남부지역을 향해 서쪽으로 이동할 수 있는 반면, 북태평양 고기압이 좀 더 북동쪽에 위치한 양의 북태평양 진동 지수 해에는 동아시아 중위도를 향해 북상할 수 있었다. 또한 양의 북태평양 진동 지수 해에 북태평양 고기압이 음의 북태평양 진동 지수 해에 그것보다 좀 더 북동쪽에 위치해 있기 때문에 태풍 전향 위치에서는 양의 북태평양 진동 지수 해에 태풍 전향이 좀 더 북동쪽에서 이루어졌음을 알 수 있다.

실제로 양의 북태평양 진동 지수 해에 북태평양 고기압이 좀 더 북쪽에 위치해 있는지 확인하기 위해 120°E



**Fig. 5.** Differences in (a) 850 hPa stream flows and (b) 500 hPa stream flows between positive NPOI phase and negative NPOI phase. Shaded areas are significant at the 95% confidence level.





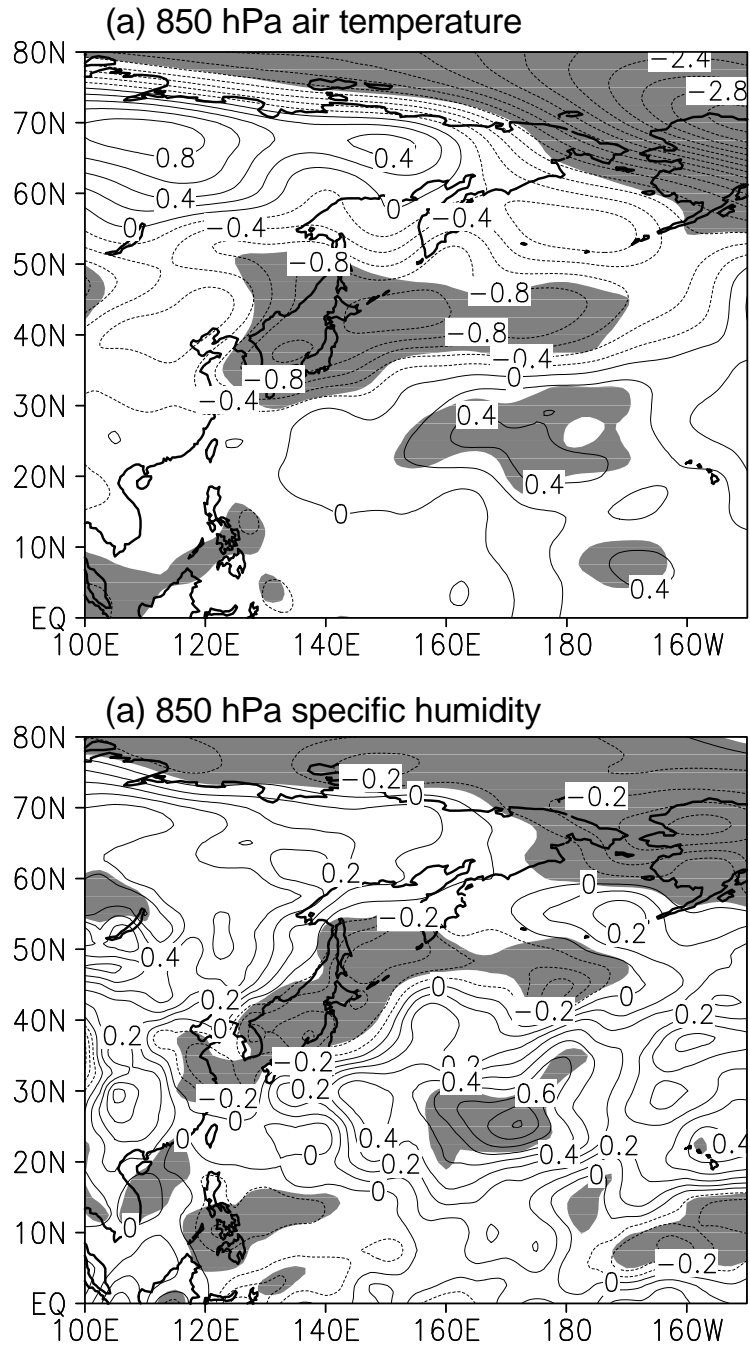
**Fig. 6.** Composite differences of latitude–pressure cross section of vertical velocity (contours) and meridional circulations (vectors) averaged along 120°E–160°W between positive and negative NPOI phases for JAS. The values of vertical velocity are multiplied by  $-100$ . Bold arrows and shaded areas are significant at the 95% confidence level. Contour interval is  $0.2^{-2}\text{hPa s}^{-1}$  for vertical velocity.

-160°W를 평균한 연직 남북 대기순환에 대해 두 그룹 사이에 차를 분석하였다(Fig. 6). 열대 및 아열대 서태평양에서 25°-30°N를 제외한 대부분의 위도(0°-40°N)에서 상승류의 아노말리가 강화되어 있다. 반면에 중위도 위도대(40°-60°N)에서는 하강류 아노말리가 강화되어 있다. 따라서 양의 북태평양 진동 지수 해에 북태평양 고기압이 좀 더 북쪽에 위치해 있음을 알 수 있다.

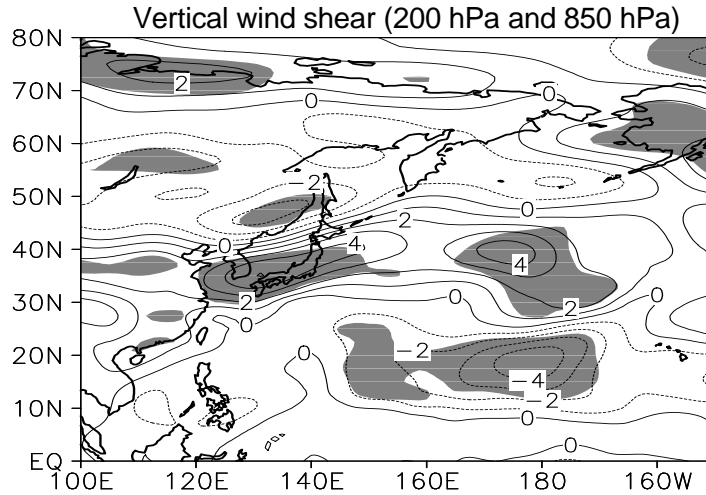
두 그룹 사이에 850 hPa 기온에 대한 차의 분석에서 30°N 이남의 열대 및 아열대 서태평양 지역에서는 서쪽은 한랭 아노말리를, 동쪽은 온난 아노말리를 나타낸다(Fig. 7a). 따라서 양(음)의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들은 열대 및 아열대 서태평양의 동(서)쪽 해역에서 발생할 수 있는 좋은 환경이 형성되어 있음을 알 수 있다. 한편 30°N의 북쪽 지역에서는 한랭 아노말리가 강화되어 있다. 따라서 양의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들이 동아시아 중위도 지역으로 북상하더라도 한랭 아노말리에 의해 태풍 강도가 약화될 수 있는 환경이 형성되어 있음을 알 수 있다.

두 그룹 사이에 850 hPa 비습에 대한 차의 분석결과와 공간분포는 두 그룹 사이에 850 hPa 기온에 대한 차의 분석결과와 공간분포와 유사하다(Fig. 7b). 필리핀 동쪽 해상에는 음의 아노말리가, 열대 및 아열대 서태평양의 동쪽해상에는 음의 아노말리가 강화되어 있다. 따라서 양(음)의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들은 열대 및 아열대 서태평양의 동(서)쪽 해역에서 발생할 수 있는 좋은 환경이 형성되어 있음을 알 수 있다. 한편 동아시아 중위도 지역에서는 음의 아노말리가 강화되어 있다. 따라서 양의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들이 동아시아 중위도 지역으로 북상하더라도 음의 아노말리에 의해 태풍 강도가 약화될 수 있는 환경이 형성되어 있음을 알 수 있다.

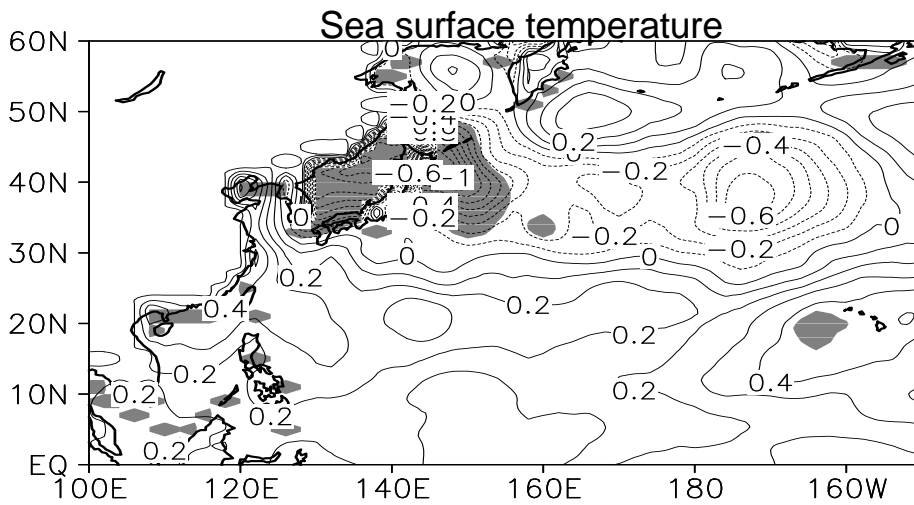
두 그룹 사이에 200-850 hPa 연직 바람 시어에 대한 차의 분석결과에서 30°N 이남의 열대 및 아열대 서태평양 지역에서는 음의 아노말리의 중심이 동쪽지역에 위치해 있다(Fig. 8). 따라서 양(음)의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들은 열대 및 아열대 서태평양의 동(서)쪽 해역에



**Fig. 7.** Same as in Fig. 5, but for (a) 850 hPa air temperature and (b) 850 hPa specific humidity. Shaded areas are significant at the 95% confidence level. Contour intervals are  $0.2^{\circ}\text{C}$  for 850 hPa air temperature and  $0.1 \text{ g kg}^{-1}$  for 850 hPa specific humidity.



**Fig. 8.** Same as in Fig. 5, but for vertical wind shear between 200 hPa and 850 hPa. Shaded areas are significant at the 95% confidence level. Contour interval is  $1 \text{ ms}^{-1}$ .



**Fig. 9.** Same as in Fig. 5, but for sea surface temperature (SST). Shaded areas are significant at the 95% confidence level. Contour interval is  $0.1^\circ\text{C}$ .

서 발생할 수 있는 좋은 환경이 형성되어 있음을 알 수 있다. 한편 동아시아 중위도 지역( $30^\circ\text{-}40^\circ\text{N}$ )에서는 양의 아노말리가 강화되어 있다. 따라서 양의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들이 동아시아 중위도 지역으로 북상하더라도 양의 아노말리에 의해 태풍 강도가 약화될 수 있는 환경이 형성되어 있음을 알 수 있다.

두 그룹 사이에 해수면 온도에 대한 차의 분석결과에서  $25^\circ\text{N}$  이남의 열대 및 아열대 서태평양 지역에서는 온난 아노말리를 나타내고 있다(Fig. 9). 특히 온난 아노말리의 중심은 열대 및 아열대 서태평양 지역의 동쪽에 위치해 있다. 따라서 양(음)의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들은 열대 및 아열대 서태평양의 동(서)쪽 해역에서

발생할 수 있는 좋은 환경이 형성되어 있음을 알 수 있다. 한편 동아시아 중위도 지역(25°-45°N)에서는 한랭가 강화되어 있다. 따라서 양의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들이 동아시아 중위도 지역으로 북상하더라도 한랭 아노말리에 의해 태풍 강도가 약화될 수 있는 환경이 형성되어 있음을 알 수 있다.

## 5. 요약 및 결론

이 연구는 최근 37년(2013-1977년) 동안 7-9월 평균 북태평양 진동 지수의 변동에 따른 태풍활동의 변화와 이 변화를 야기하는 중관환경을 분석하였다. 이의 분석을 위하여 37년의 북태평양 진동 지수 중 가장 높은 지수를 갖는 7개 해(양의 북태평양 진동 지수 해)와 가장 낮은 지수를 갖는 7개 해(음의 북태평양 진동 지수 해)를 엘니뇨-남방진동 해를 제외한 뒤 선택되었다. 이후 양의 북태평양 진동 지수 해와 음의 북태평양 진동 지수 해 사이에 평균차를 분석하였다.

태풍발생에서 양의 북태평양 진동 지수 해에는 열대 및 아열대 서태평양의 동쪽에서, 음의 북태평양 진동 지수 해에는 서쪽에서 발생하는 경향이 강하였다. 태풍 진로에서 양의 북태평양 진동 지수 해에는 필리핀에서 중국 남부지역을 향해 서쪽으로 이동하거나, 일본 먼 동쪽 해상을 이동하였다. 반면, 음의 북태평양 진동 지수 해에는 필리핀 동쪽해상에서부터 동중국해를 지나 한국 및 일본을 향해 북상하는 경향을 나타내었다. 이로 인해 태풍 전향에서도 양의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들이 음의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들보다 더 동쪽에서 전향하는 경향을 보였다. 따라서 바다로부터 에너지를 얻을 수 있는 시간이 더 길었던 음의 북태평양 진동 지수 해에 태풍 강도가 더 강하였다.

두 그룹 사이에 이러한 태풍활동의 차를 야기하는 원인을 알아보기 위해 두 그룹 사이에 850 hPa 유선에 대한 차를 분석하였다. 그 결과 열대 및 아열대 서태평양에서는 저기압성 순환 아노말리가, 북서태평양의 중고위도 지역에서는 고기압성 순환 아노말리가 강화되어 있었다. 이 남저북고의 기압계 패턴 아노말리는 Wallace and Gutzler(1981)에서 보여진 양의 북태평양 진동 지수 해에 전형적인 공간분포였다. 이러한 공간분포로 인해 열대 및 아열대 서태평양에서는 북서풍 아노말리가 강화되

어 양의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들이 동아시아 중위도 지역으로 향하기 어려운 환경이 형성되어 있었다.

한편 남저북고의 기압계 패턴 아노말리는 양의 북태평양 진동 지수 해에 북태평양 고기압의 북동쪽으로는 강화와 연관이 있었다. 반면 음의 북태평양 진동 지수 해에는 중국 남동부 해안을 향해 서쪽으로 확장되어 있었다. 따라서 양의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들은 동아시아 중위도를 향해 북상할 수 있었던 반면, 음의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들은 필리핀으로부터 남중국 지역을 향해 서진하는 패턴을 보였던 것이다.

두 그룹 사이에 850 hPa 기온, 850 hPa 비습, 200-850 hPa 연직 바람 시어, 해수면 온도에 대한 차의 분석에서 30°N 이남의 열대 및 아열대 서태평양 지역의 동쪽은 온난 다습한 대기조건 및 온난 해수면 온도 아노말리와 음의 연직 바람 시어가 강화되었다. 따라서 양(음)의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들은 열대 및 아열대 서태평양의 동(서)쪽해역에서 발생할 수 있는 좋은 환경이 형성되어 있음을 알 수 있다. 한편 30°N의 북쪽 지역에서는 한랭 건조한 대기조건 및 한랭 해수면 온도 아노말리와 양의 연직 바람 시어가 강화되어 있었다. 따라서 양의 북태평양 진동 지수 해에 태풍들이 동아시아 중위도 지역으로 북상하더라도 이러한 환경에 의해 태풍 강도가 약화될 수 있는 환경이 형성되어 있음을 알 수 있었다.

이 연구는 태풍이 가장 많이 발생하는 계절인 7-9월에 북태평양 진동 지수의 변동에 따른 태풍활동의 변화와 이 변화를 야기하는 중관환경을 분석하였다. 차후 연구에서는 여름철 북태평양 진동 지수가 같은 계절에 태풍활동의 변동을 예측하는 통계모델의 예측인자로서 활용 가능한지 알아볼 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 국립기상연구소 주요사업 “예보기술지원활용연구”의 지원으로 수행되었습니다.

## REFERENCE

- Camargo, S. J., Sobel, A. H., 2005, Western North Pacific tropical cyclone intensity and ENSO. *Journal of Climate*, 18(15), 2996-3006.
- Chan, J. C. L., 1985, Tropical cyclone activity in the

- northwest Pacific in relation to El Niño/Southern Oscillation phenomenon. *Monthly Weather Review*, 113, 599-606.
- Chen, D., Wang, H., Lin, J., Li, G., 2014, Why the spring North Pacific Oscillation is a predictor of typhoon activity over the western North Pacific. *International Journal of Climatology* (online published).
- Choi, K. S., Wu C. C., Cha E. J., 2010, Change of tropical cyclone activity by Pacific-Japan teleconnection pattern in the western North Pacific. *Journal of Geophysical Research*, 115, D19114, doi:10.1029/2010JD013866.
- D'Arrigo, R., Wilson E., Deser C., Wiles G., Cook E., Villalba E., Tudhope A., Cole J., Linsley, B., 2005, Tropical - North Pacific Climate Linkages over the Past Four Centuries. *J. Climate*, 18, 5253-5265.
- Elsner, J. B., Kocher B., 2000, Global tropical cyclone activity: A link to the North Atlantic Oscillation. *Geophysical Research Letters*, 27, 129-132.
- Guo, D., Sun, Z. B., 2004, Relationship of winter North Pacific oscillation anomalies with the East Asian winter monsoon and the weather and climate in China. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 27, 461-470.
- Hameed, S., Pittalwala I., 1991, The North Pacific Oscillation: observations compared with simulations in a general circulation model. *Climate Dynamics*, 6, 113-122.
- Ho, C. H., Kim J. H., Kim H. S., Sui, C. H., Gong, D. Y., 2005, Possible influence of the Antarctic Oscillation on tropical cyclone activity in the western North Pacific. *Journal of Geophysical Research*, 110, D19104, doi:10.1029/2005JD005766.
- Ho, C. H., Kim H. S., Jeong J. H., Son S. W., 2009, Influence of stratospheric Quasi-Biennial Oscillation on tropical cyclone tracks in western North Pacific. *Geophysical Research Letters*, 36, L06702, doi:10.1029/2009GL037163.
- Kalnay, E., et al., 1996, The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 437-472.
- Kim, J. H., Ho, C. H., Sui, C. H., 2005, Circulation features associated with the record-breaking typhoon landfall on Japan in 2004. *Geophysical Research Letters*, 32, L14713, doi:10.1029/2005GL022494.
- Kistler, R., et al., 2001, The NCEP/NCAR 50-year reanalysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82, 247-267.
- Lander, 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 - 51.
- Li, C., Li, G., 1999, Variation of the NAO and NPO associated with climate jump in the 1960s. *Chinese Science Bulletin*, 44, 1983-1987.
- Li, W., Chen W., Huang R., 2007, Changes in the variability of North Pacific Oscillation around 1975/1976 and its relationship with East Asian winter climate. *Journal of Geophysical Research*, 112, doi:10.1029/2006JD008054.
- Linkin, M. E., Nigam, S., 2008, The North Pacific Oscillation - West Pacific Teleconnection Pattern: Mature-Phase Structure and Winter Impacts. *Journal of Climate*, 21, 1979-1997.
- Lyon, B., Camargo, S. J., 2008, The seasonally-varying influence of ENSO on rainfall and tropical cyclone activity in the Philippines. *Climate Dynamics*, 32, 125-141.
- Pan, C. J., Reddy, K. K., Lai, H. C., Yang, S. S., 2010, Role of mixed precipitating cloud systems on the typhoon rainfall. *Annales Geophysicae*, 28, 11-16.
- Park, S. K., Lee, E. H., 2007, Synoptic features of orographically enhanced heavy rainfall on the east coast of Korea associated with Typhoon Rusa (2002). *Geophysical Research Letters*, 34, L02803, doi:10.1029/2006GL028592.
- Pierce, D. W., 2002, The role of sea surface temperatures in Interactions between ENSO and the North Pacific Oscillation. *Journal of Climate*, 15, 1295-1308.
- Reynolds, R. W., Rayner, N. A., Smith, T. M., Stokes, D. C., Wang, W., 2002, An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *Journal of Climate*, 15, 1609-1625.
- Rogers, J. C., 1981, The North Pacific oscillation. *International Journal of Climatology*, 1(1), 39-57.
- Saunders, M. A., Chandler, R. E., Merchant, C. J., Roberts, F. P., 2000, Atlantic hurricanes and NW Pacific typhoons: ENSO spatial impacts on occurrence and landfall. *Geophysical Research*

- Letters, 27, 1147 - 1150.
- Walker, G. T., Bliss, E. W., 1932, *World Weather V*, Memoirs of the Royal Meteorological Society, 4, 53-84.
- Wallace, J. M., Gutzler, D. S., 1981, Teleconnections in the geopotential height during the Northern Hemisphere winter. *Monthly Weather Review*, 126, 791-805.
- Wang, B., Chan, J. C. L., 2002, How strong ENSO events affect tropical storm activity over the western North Pacific. *Journal of Climate*, 15(13), 1643-1658.
- Wang, H. J., Fan, K., 2007, Relationship between the Antarctic Oscillation in the western North Pacific typhoon frequency. *Chinese Science Bulletin*, 52, 561 - 565.
- Wang, H. J., Sun, J. Q., Fan, K., 2007, Relationship between the North Pacific oscillation and typhoon and hurricane frequencies. *Sci. China. ser. D-Earth Sci.*, 50, 1409-1416.
- Wilks, D. S., 1995, *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press, 467 pp.
- Yeh, S. W., Kirtman, B. P., 2004, The North Pacific oscillation-ENSO and internal atmospheric variability. *Geophysical Research Letters*, 31, L13206, doi: 10.1029/2004GL019983.