



---

# PREFACE

It is our pleasure to present this report on the APEC Climate Center (APCC)'s research activities in 2013, which has been a very productive year for our Center.

APCC has expanded its research scope, in response to regional societal and scientific needs. While building expertise in climate prediction remains a priority, we are extending our reach to include policy-relevant climate applications and value-added climate information products.

APCC has accelerated efforts to better our service to the region. As one of the main services provided by APCC, the MME 3-month prediction information has been productively applied by scientists in developing countries that are unable to produce their own prediction information. Furthermore, in order to better prepare for climate-related hazards in a timely manner, APCC launched its 6-month MME prediction service in September 2013. We also began to release forecasts of the Boreal Summer Intraseasonal Oscillation (BSISO), starting from July 2013, as the world's first operational BSISO forecast service. Our researchers also achieved great success in publishing their papers in noted academic journals. Dr. Ok-Yeon Kim, for example, published a paper in *Climate Dynamics* and her research was later selected as one of the Research Highlights by another distinguished journal, *Nature Climate Change*. The following research report provides more information about our research outcomes from 2013.

We will continue to promote the best use of our research outcomes in various scientific and application areas. Our successes and achievements would not have been possible without the support of our valued partners. In this regard, I extend my thanks to you and I hope you enjoy this 2013 Research Report.

Chin-Seung Chung  
Director, APEC Climate Center

# CONTENTS

---

## APCC MME 자료를 이용한 북서태평양 태풍 진로 경향 분석 연구

■ 오상명 | 기후예측팀

1. 서론	66
2. 연구 자료 및 방법	69
2.1 연구자료	69
2.2 분석방법	71
3. 연구내용	74
3.1 태풍 진로의 시공간적 변동성 분석	74
3.2 태풍 진로와 관측 자료의 해양·대기 변동성 분석	76
3.3 태풍 진로와 MME 자료의 해양·대기 변동성 분석	79
3.4 태풍 진로 계절 예측을 위한 지수 개발	83
4. 결론 및 토론	85



**APCC**  
**RESEARCH REPORT** 2013-03

---

# APCC MME 자료를 이용한 북서태평양 태풍 진로 경향 분석 연구

---

오상명 | 기후예측팀

**ABSTRACT**

The western North Pacific is the basin with the most frequent tropical cyclone activity in the world. Tropical cyclone activity, including heavy rainfall, is one of the natural phenomena that occurs in the East Asia. There are many institutes and/or organizations that work toward predicting seasonal tropical cyclone activity over the western North Pacific. Most of these institutes and/or organizations predict the number of tropical cyclones and Accumulated Cyclone Energy (ACE) but do not cover seasonal tropical cyclone forecast tracking. Studying the variability of tropical cyclone tracks associated with large circulation is very important for predicting tropical cyclone activity. This study analyzes the characteristics of tropical cyclone activity to predict tropical cyclone track variability over the western North Pacific during the boreal summer (June to August, JJA season).

The observed oceanic, atmospheric, and tropical cyclone best track from the National Center for Environmental Prediction (NCEP), the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), the Regional Specialized Meteorological Center – Tokyo (RSMC) and the Asia-Pacific Economic Cooperation Climate Center (APCC) Multi Model Ensemble (MME) from 1983-2005 were used as hindcast data. APCC collects dynamical ensemble seasonal production data from national meteorological and hydrological services in the APEC member economies, and produces and disseminates one-month lead three month mean climate forecasts every month, with four deterministic and one probabilistic forecasts. For this study, the Simple Composite Method (SCM) ensemble method was adopted, which is a simple arithmetic mean of bias corrected prediction, giving equal weight to the predictions from each individual model. The performance skill of the MME is generally higher than that of the constituent models individually. To define the dominant modes of variation associated with the tropical cyclone track, Empirical Orthogonal Function (EOF) analysis was applied. For the significance test, the Student's t-test statistical method was chosen for this study.

The first EOF mode of the tropical cyclone track pattern explains 13.2% of the total variance and shows positive loading over the tropical western North Pacific. This suggests an above normal frequency in the occurrence of north-westward tracks toward the East China, Korean peninsula, and Japan during the positive phase of this mode. Negative loading was found over the South China Sea and the Philippine Sea. The first mode spatial distribution is very similar to the tropical cyclone track density during El Niño Modoki years from previous studies. The El Niño Modoki Index (EMI), calculated from observations, and the MME are highly correlated with the first EOF mode Principal Component (PC) of the tropical cyclone track, with correlation coefficients of 0.49 and 0.41, respectively. The East Asia Summer Monsoon (EASM) has been considered as one of the important factors affecting atmospheric circulation over the western North Pacific and it is significantly correlated with the EOF first mode PC of the tropical cyclone track. Both the observations and the MME are correlated with the EOF first mode PC, with correlation coefficients of 0.53 and 0.48, respectively.

According to the characteristics of the tropical cyclone track using EOF analysis, in the first mode normalized PC of the tropical cyclone track, the above normal year should be selected



when the standard deviation is more than 1 sigma and the below normal year for less than 1 sigma. In an above normal year, the Sea Surface Temperature (SST) anomaly is warmer than the climatology over the Kuroshio extension and Central Pacific ocean, but the SST over the China and Philippine Seas is cooler than the climatology. Cyclonic wind circulation in the low levels is developed near the Philippine Sea. On the other hand, the SST anomaly is warmer than the climatology over the Western Pacific ocean and cooler than the climatology over the Central Pacific ocean. Anticyclonic circulation in the low levels is developed near the Philippine Sea during the below normal year. 5880-gpm can be defined as the boundary line for the Western North Pacific High (WNPH) for two phases. The WNPH during the above normal year is located more toward the east than the climatology. In contrast, the WNPH during a below normal year extends westward. For a below normal year, a tropical cyclone can not move northward due to the extended WNPH over the east China sea. However, tropical cyclones can move northward in the above normal years.

This study developed a new index, the Tropical Cyclone Track Index (TCTI), which uses multiple linear regression to predict the seasonal tropical cyclone track. TCTI is composed of EMI and EASMI. TCTI indicates a 0.58 correlation coefficient with the first EOF mode PC of the tropical cyclone track. The TCTI shows good performance in reproducing the first EOF mode PC time series for tropical cyclone track analysis.

## 1. 서론

극지역과 적도 사이의 열적 불균형을 해소하기 위하여 매년 북서태평양에서 강한 바람과 폭우, 폭풍해일을 동반한 태풍 및 열대저기압이 발생한다. 1981년 이후로 매년 약 26개의 태풍이 북서태평양에서 발생하며 이 중 약 77%가 6월에서 10월 사이에 활동한다. 국가 태풍센터에 따르면 한해 평균 3개의 태풍이 한반도에 직접 혹은 간접적으로 영향을 주고 있다. 태풍을 비롯한 열대저기압의 발생 및 활동은 해수면 온도 변화와 더불어 대규모 대기 순환장 등에 좌우되며, 기후변화뿐만 아니라 대기-해양 시스템 내부의 주된 자연 변동 모드에 큰 영향을 받는다. 특히 ENSO (El Niño and Southern Oscillation)는 비선형적이기는 하지만 북서태평양 태풍의 발생, 진로, 지속기간, 그리고 강도에 상당한 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며 이는 해수면 온도의 지역적 변화, 연직 바람 쉬어, 몬순 기압골, 그리고 하층 바람장의 변화를 동반한다 (Chan, 2000; Wang and Chan, 2002; Carmago and Sobel, 2005; Camargo et al., 2007). 최근 많은 연구에서 동아시아 지역에 영향을

주는 태풍의 활동이 El Niño 특징에 따라 큰 차이가 있음이 밝혀졌다 (Kim et al., 2009; Zhang et al., 2012; Wang and Wang, 2013). 또한 이러한 태풍 및 열대저기압의 활동은 10년 이상의 장주기 기후 변동과도 높은 상관성이 있는 것으로 나타났다(Kossin and Vimont, 2007). 북서태평양에서 태풍 및 열대저기압의 활동을 분석하고 더 나아가 예측하기 위해서는 과거 태풍 및 열대저기압의 활동과 관련된 대규모 해양·대기 변동성 분석이 필요하며, 이를 바탕으로 다양한 시·공간 규모의 통계적 또는 역학적 분석이 필요하다.

태풍 및 열대저기압의 발생 빈도와 진로 등에 대한 계절 예측은 통계적 기법을 이용한 Statistical method, 수치모델을 이용한 역학적인 Dynamical method가 널리 사용되고 있다. 과거에는 슈퍼컴퓨터의 연산 성능 및 제원의 한계로 인하여 역학적 기법보다는 통계적 기법이 보편적으로 사용되었으나, 최근 많은 연구 기관에서 이러한 한계를 극복하며 다양한 수치모델을 이용한 역학적 접근이 많이 시도되고 있다. 또한 위 두 가지 기존 예측 방법과 더불어 최근 수치 모델 자료를 통계적으로 이용한 통계-역학적 Hybrid Statistical-Dynamical method에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 (Wang et al., 2009; Kim and Webster, 2010).

Zhan et al. (2012)은 전 세계 현업 기관에서 제공하고 있는 태풍 및 열대저기압 예측에 대한 정보를 조사하였다 (Table 1). 대부분의 연구기관들이 제공하는 예측 결과는 폭풍 누적 에너지 (Accumulated Cyclone Energy, ACE), 태풍 및 열대저기압 발생 개수 등에 지나지 않으며, 진로 경향을 예측하는 기관은 많지 않다. 최근 해양 및 대기 환경이 태풍 활동에 큰 영향을 준다는 연구가 많이 발표되면서 태풍 진로에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다. Kim et al. (2005)은 경험직교함수 (Empirical Orthogonal Function, EOF)를 이용한 분석을 통하여 태풍의 진로 특성을 파악하고 관련된 해양·대기 변동성을 분석하였다. Kim et al. (2010, 2011b, 2012)는 클러스터 기법을 사용하여 북서태평양에서 발생한 태풍의 진행 패턴을 해양 및 대기 상태에 따라 분류하고 기후 모델 예측자료를 이용하여 다가올 여름철의 태풍 진로 패턴을 예측하는 연구하였다. Kim et al. (2011a)과 Jin et al. (2013)은 July–October 기간 동안 동태평양 및 중태평양의 상태에 따라 EPW (East Pacific Warming), EPC (East Pacific Cooling), CPW (Central Pacific Warming) 해로 나누고 각 해의 태풍 진로를 관측 자료와 수치모델을 이용하여 분석하였다. 그 결과 CPW 해에는 태풍이 동중국해를 거쳐 대만과 일본 사이로 많이 지나가는 것으로 나타났다. 위



연구들은 분석 기간과 동시 상관인 여름철 ENSO의 상태를 이용하여 태풍 진로 경향을 연구한 반면, Wang et al. (2012)은 ENSO가 강하게 나타나는 이전 겨울을 기준으로 하여 EWP, EPC, CPW, CPC (Central Pacific Cooling) 해를 정의하였고 다음해의 여름철 태풍 진로를 분석한 결과 CPW 해가 다른 해보다 동중국해를 거쳐 한반도 및 일본으로 북상하는 태풍의 진로가 많이 나타나는 것을 밝혔다. 이전 겨울철 ENSO 환경을 사용하였을 때와 동시상관의 ENSO를 사용하였을 때를 비교하였을 때 큰 차이는 나타나지 않았다.

현재 현업에서 태풍 진로 예측을 위해 운영 중인 역학 모델들은 열악한 해상도와 태풍 감지 기술의 한계로 인하여 태풍의 계절 진로 예측에 많은 어려움을 가지고 있다. 또한 태풍 진로에 대해서 다양한 통계적인 기법을 이용하여 최근 많이 연구되는 추세이지만 아직 현업에 사용될 만큼 큰 성과를 이루고 있지는 않다. 통계적 기법을 이용한 태풍 진로 예측을 위해서는 정확도가 높은 기후 예측 자료를 필요로 한다. 따라서 본 연구에서는 과거 관측 자료를 이용하여 태풍과 해양·대기 변동의 상관성을 밝히고, 예측 성능이 뛰어난 APCC (APEC Climate Center)의 MME (Multi Model Ensemble) 계절 예측 자료를 이용하여 다가올 여름철 태풍 진로의 특징을 예측 할 수 있는 지수를 개발하였다. 다음 장에서는 연구에 사용된 관측 및 모델 자료와 연구방법에 대하여 설명하였다. 제 3장에서는 본 연구의 결과를 나타내었으며, 마지막 장에서는 결론 및 토론을 서술하였다.

**Table 1** Information of seasonal tropical cyclone forecasts over the western North Pacific: agencies that issue the forecasts, forecast models, forecast issuing times and forecast products (Zhan et al., 2012).

Agencies	Models	Issuing times	Forecast products
City University of Hong Kong (CUHK)	• Statistical	Apr, Jun	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Number of tropical cyclones (NTCS), Tropical storms (NTS), and typhoons (NTY)</li> <li>• NTCS making landfall in South China, and in the Korea and Japan regions (KJ)</li> </ul>
National Climate Center(NCC), China	• Statistical • Dynamical	Mar, Jun	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NTS</li> <li>• NTS making landfall in china</li> </ul>
Shanghai Typhoon Institute(STI) of China Meteorological Administration(CMA)	• Statistical • Dynamical • Hybrid-Statistical -Dynamical	Mar, Jun	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NTS</li> <li>• Tercile probabilities of TC</li> <li>• NTS making landfall in China</li> <li>• NTCS affecting china, East China, South China and Shanghai</li> </ul>

Agencies	Models	Issuing times	Forecast products
Tropical storm Risk(TSR)	• Statistical	Monthly from Mar to Aug	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NTS, NTY, and number of intense TYs</li> <li>• Accumulated Cyclone Energy (ACE)</li> </ul>
European Centre for MediumRange Weather Forecasts (ECMWF)	• Dynamical	Monthly from Mar to Aug	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NTS</li> <li>• NTY</li> <li>• ACE</li> <li>• Mean genesis location</li> </ul>
International Research Institute for Climate and Society in USA (IRI)	• Dynamical	Monthly from Apr to Jul	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tercile probabilities of TS, and ACE</li> </ul>
National Typhoon Center (NTC) of Korea Meteorological Administration(KMA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Statistical</li> <li>• dynamical</li> <li>• Hybrid-Statistical -Dynamical</li> </ul>	One month prior to targeted season (May for summer (JJA), August for fall (SON) season)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NTCS</li> <li>• NTCS which may impact on Korean peninsula</li> <li>• TS total track density and anomaly</li> </ul>

## 2. 연구 자료 및 방법

### 2.1 연구자료

#### 2.1.1 관측 자료

본 연구에서는 National Center for Environmental Prediction (NCEP) - Department of Energy (DOE) reanalysis version 2 자료를 사용하여 과거 1983-2005년 북반구 여름철(June-August, JJA Season) 대기 조건을 분석하였다. 대기 변수는 500 hPa 지위고도와 850 hPa 수평 바람을 사용하였으며, 수평 격자는  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 이다 (Kanamitsu et al., 2002). SST (Sea Surface Temperature)는  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  수평 격자의 National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Optimum interpolation version 2 (OISSTv2, Reynolds et al., 2002)를 사용하였으며, 대기 변수와 같은 기간 동안 해수면 변동을 분석하였다.

태풍의 주요 변동 특성을 분석하기 위하여, 태풍의 발생 (Genesis)과 태풍의 진로 (Track) 변동 분석에 초점을 맞추었다. 태풍 기간은 본 연구 기간과 동일하게 정의하였으



며, TS (Tropical Storm) 이상으로 발생된 시점을 기준으로 하였다. 태풍 활동에 대한 정보는 일본 동경에 위치한 지역특별기상센터 (Regional Specialized Meteorological Centers - Tokyo Typhoon Center, RSMC)로부터 최적 진로 자료 (Best track)를 제공받았으며, 이 자료는 태풍의 이름, 위·경도 위치, 최소 중심기압, 중심 최대풍속 (Maximum Sustained Wind Speed; MSWS) 등의 변수로 구성되어 있으며 6시간 간격으로 구성되어 있다(<http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/trackarchives.html>). 태풍의 강도는 일반적으로 중심 최대 풍속을 기준으로 Table. 2과 같이 네 단계로 분류된다. 일부 연구에서는 네 단계의 태풍과 태풍에서 약화된 온대저기압 (Extratropical Cyclone)의 활동까지 고려하지만, 본 연구에서는 순수한 태풍의 영향만을 고려하기 위하여 열대저압부와 온대저기압을 제외한 열대저기압만을 태풍으로 정의하였다. 태풍의 위치 정보는 3시간 단위로 내삽 되어  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 의 격자 나누어졌다. 각 격자점에서 태풍의 이동을 감지할 때는 태풍이 같은 격자를 두 번 이상 통과하였더라도 한번 지나간 것으로 간주하였다. 태풍 진로의 편차 (anomaly)는 본 연구에 사용된 기간 동안 태풍 진로의 기후 값 (climatology)을 사용하였다.

**Table 2** Tropical cyclone category classification and definition.

Maximum Wind Speed	WMO	Korea, Japan	
less than 17 m/s (less than 34 knots)	TD: Tropical Depression		
17 m/s - 24 m/s (34 - 47 knots)	TS: Tropical Storm	TS	Typhoon
25 m/s - 32 m/s (48 - 63 knots)	STS: Severe Tropical Storm	STS	
more than 33 m/s (more than 64 knots)	TY: Typhoon	TY	

### 2.1.2 APCC MME 예측 자료

APCC는 매일 9개국 17개 우수 기관의 기후예측 모델 자료를 수집하고 계통적 오차를 보정하기 위하여, 4개의 결정론적 예측과 1개의 확률적 예측을 포함한 5가지 모델 간 앙상블 기법 (Multi-Model Ensemble)을 통하여 전지구 계절예측 자료를 APEC 회원국에 제공하

고 있다. 본 연구에서는 태풍 진로 예측을 위하여 1983–2005년 동안 과거 관측 자료의 해양·대기 변동성 분석과 병행하여 MME 자료의 해양·대기 변동성도 분석하였다. MME 자료는 6–8월 3개월 계절 예측 자료이며, 개별모델은 6개의 해양·대기 결합모델로 구성되어 있다. 개별모델에 대한 공간 해상도 및 구성된 수치모델의 구체적인 설명은 Table. 3에 있다. 본 연구에 사용된 MME 자료는 5가지 앙상블 방법 중 가장 우수한 기법 중 하나로 평가받고 있으며 현재 현업에서 가장 유용하게 사용되고 있는 SCM (Simple Composite Method) 기법을 사용하였다 (Lee et al., 2011). APCC에서 사용하고 있는 앙상블 기법에 대한 전반적인 소개는 APCC 홈페이지에 자세히 나와 있으며 ([http://www.apcc21.org/attach/ser/Forecast\\_Procedure.pdf](http://www.apcc21.org/attach/ser/Forecast_Procedure.pdf)), 본 연구에 사용된 SCM에 대한 설명은 다음과 같다 (식 1).

$$S_i = \bar{O} + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_{i,t} - \bar{F}_i) \quad (1)$$

여기서  $S_i$ 는 최종 계산된 결과,  $F_{i,t}$ 는  $t$ 시간일 때  $i^{th}$  모델의 예측값이며, 그리고  $\bar{F}_i$ 와  $\bar{O}$ 는 각각  $i^{th}$ 의 예측과 관측 평균 기후 값이다.  $N$ 은 예측 모델 개수를 나타낸다.

**Table 3** Description of the APCC MME models used for JJA season.

Institutes	Model Name	AGCM	Resolution	OGCM	Resolution	Ens. Member
APCC	CCSM3	CAM3	T85 L26	POP1.3	gxlv3 L40	10
MSC	MSC_CANCM3	AGCM3	T63 L31	OGCM4	0.94°lat x 1.41°lon L40	10
MSC	MSC_CANCM4	AGCM4	T63 L35	OGCM4	0.94°lat x 1.41°lon L40	10
NCEP	NCEP [CFSv2]	GFS	T126 L64	MOM4	0.25° at the tropic, 0.5° northwards and southwards of 10N and 10S, L40	20
PNU	PNU	CCM3	T42 L18	MOM3	0.7°-2.8°lat x 2.8125°lon L29	10
BOM	POAMA (v2.4)	BAM v3.0d	T47 L17	ACOM2	0.5-1.5°lat x 2°lon L25	10

## 2.2 분석방법

태풍 진로의 시공간적 변동성은 경험직교 함수 (Empirical Orthogonal Function,



EOF) 분석을 이용하였다. EOF 분석은 시·공간적으로 존재하는 자료의 변동성 중에서 함께 변화하는 변동성이 통계적으로 공간적인 크기 분포 특성을 띄는 모드로 나누고, 각 공간적 분포 특성의 시간적인 변동을 찾아내는 방법이다. EOF 분석을 이용한 태풍 진로 고유벡터 (Eigen vector)의 시간적 변동 (principal component, PC)과 해양·대기 변수의 변동의 상관성을 찾기 위하여 상관성 (correlation) 분석을 실시하였다. 본 연구에서는 해양·대기 변수의 공간 변동성 분석과 더불어 ENSO 변동성을 대표하는 NINO Index와 EMI (El Niño Modoki Index, Ashock et al., 2007)의 상관성 분석을 하였다. EMI는 전형적인 ENSO 사상과의 구별을 위해 만들어졌으며, 전형적인 El niño는 동태평양 표층 수온 상승을 의미하는 반면, El niño Modoki는 중태평양의 표층 수온 상승을 나타낸다. 이러한 현상은 60년대 이전에는 관측된 적이 없으나 90년대 들어 많이 발생하고 있다. 최근 많은 연구들은 지구온난화의 원인이 이러한 중태평양 표층 수온 상승을 유발시켰을 것으로 분석하고 있다. 본 연구에서는 최근 나타나고 있는 동태평양 표층 수온 상승의 지표가 되는 EMI를 계산하기 위하여 Ashock et al. (2007)이 정의한 식을 적용하였다(식 2).

$$EMI = [SSTA]_C - 0.5[SSTA]_E - 0.5[SSTA]_W \quad (2)$$

여기서  $SSTA_C$ 는 [160E-140W, 10S-10N],  $SSTA_E$ 는 [125E-145E, 10S-20N], 그리고  $SSTA_W$ 는 [110W-70W, 15S-5N]의 영역의 해수면 온도 편차를 평균한 값을 나타낸다.

동아시아 지역은 전 세계적으로 유명한 몬순 기후 지역 중 하나이다. 태풍의 진로 역시 동아시아 여름 몬순 (East Asia Summer Monsoon, EASM)과 서로 영향을 주고 있다. 여름철 EASM 지역의 대기 순환은 열대지역으로부터 남풍과 중위도 지역으로부터의 북풍에 의한 하층 수렴의 특징을 보인다. 본 연구에서는 EASM의 지표로 Wang and Fan (1999)이 정의한 EASMI (East Asia Summer Monsoon Index)를 사용하였다. EASMI는 [90°E-130°E, 5°N-15°N]과 [110E-140E, 22.5N-32.5N]의 영역의 850 hPa zonal wind 편차의 차로 나타낼 수 있다 (Wang and Fan, 1999) (식 3).

$$EASMI = U850[E90 - 130, N5 - 15] - U850[E110 - 140, N22.5 - 32.5] \quad (3)$$

북서태평양에서 태풍은 저위도의 Main Development Region (MDR)에서 발생하여 중위도로 북상하는데 이때 태풍의 전향과 진로에 가장 큰 영향을 미치는 외부 요인이 지향류 (Steering Flow)이다 (chan, 2005). 지상 3-5 km 상공에서 부는 강한 바람을 지향류라고 하는데 북태평양 고기압의 가장자리를 따라 불기 때문에 태풍의 진로를 예측하는데 매우 중요하다. 이러한 여름철 북태평양 고기압의 변동성을 분석하기 위하여 Sui et al. (2007)가 정의한 WNPSHI (Western North Pacific Subtropical High Index)의 정의를 이용하였다. WNPSHI는 [120E-140E, 10N-30N] 영역 평균의 500 hPa 지위고도 편차를 이용하였다(식 4).

$$WNPSHI = Z500[E120 - 140, N10 - 30] \quad (4)$$

태풍 진로에 대한 EOF 분석의 시·공간적 변동과 해양·대기 변수의 상관관계 결과에 대한 신뢰성 테스트를 위하여, Student's *t*-test의 통계방법이 적용되었다. Student's *t*-test는 독립변수의 시계열이 *t* 분포를 따르고, 그들의 평균이 각각  $\bar{x}_1$ ,  $\bar{x}_2$ 로 정의될 경우 다음과 같이 표현될 수 있다(식 5).

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{(S_1^2/n_1 + S_2^2/n_2)^{1/2}} \quad (5)$$

여기서  $S_1$ 과  $S_2$ , 그리고  $n_1$ 과  $n_2$ 는 각각 두 독립변수의 표준편차와 시간규모를 나타낸다.

### 3. 연구내용

#### 3.1 태풍 진로의 시공간적 변동성 분석

태풍 진로에 대한 시·공간적 변동성 분석을 위해 EOF 분석을 이용하였다. EOF 분석에 사용된 태풍 진로는 1983-2005년이며 그 해 발생한 6-8월 태풍 진로가 평균 기후값을 제거한 진로 편차로 입력되었다. EOF 분석 결과 태풍 진로 전체 변동성의 13.2%를 나타내는 첫 번째 모드는 대만 동부 해역부터 일본 연안까지 한반도와 일본, 동중국해를 포함하는 서태평양 대부분의 지역에서 양의 편차를, 필리핀 연안과 남중국해 부근에서 음의 편차를 나타냈다. 전체 변동성의 9.1%를 차지하고 있는 두 번째 모드의 공간 패턴은 북위 20도 아래 저위도에서 음의 편차를 나타내고, 일본 남부와 서해에서 양의 편차를 보였다. 전체 변동성의 8.0%를 설명하는 세 번째 모드는 남중국해에서 강한 음의 편차를 보이는 것을 제외하면, 대부분의 지역에서는 특별한 경향은 나타나지 않았다. 두 번째와 세 번째 모드의 변동성도 태풍의 진로 변동성을 밝히는데 중요하지만, 공간분포를 설명하는데 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 태풍 진로의 첫 번째 주요 모드의 공간 및 시간 변동성에 집중적으로 분석을 실시하였고 이를 태풍 진로를 대표하는 모드로 정의하였다 (Figure 1).

태풍 진로 첫 번째 모드에서 큰 특징을 대표하는 해의 태풍 진로와 발생 위치를 분석하기 위하여 Normalized PC의 표준편차가 1 이상인 해 (1985, 2002, 2004)와 이하인 해 (1983, 1995, 1998, 2001)를 각각 above year, below year로 구분하였다. above year인 해 평균 태풍의 발생위치는 15.6N, 140.1E, below year인 해는 16N, 130.2E로 나타났다. above year인 해에는 태풍이 below year 해보다 10° 정도 동쪽에서 발생하여 동중국해를 지나 한반도와 일본으로 북상하는 반면, below year 해에는 above year 해보다 10° 정도 서쪽에서 발생하여 필리핀 연안과 남중국해를 거쳐 중국으로 북상하는 태풍이 많은 것으로 분석되었다 (Figure 2). 이는 한반도에 상륙한 태풍의 수에서도 확연한 차이를 보인다. 여름철 (6-8월) 두 대표 해에 전체 북서태평양에서의 태풍 발생 수는 13.6개와 11.6개로 큰 차이를 보이지 않지만, 한반도 상륙 태풍 개수는 4개와 0.75개로 큰 차이를 보였다 (Table 4).

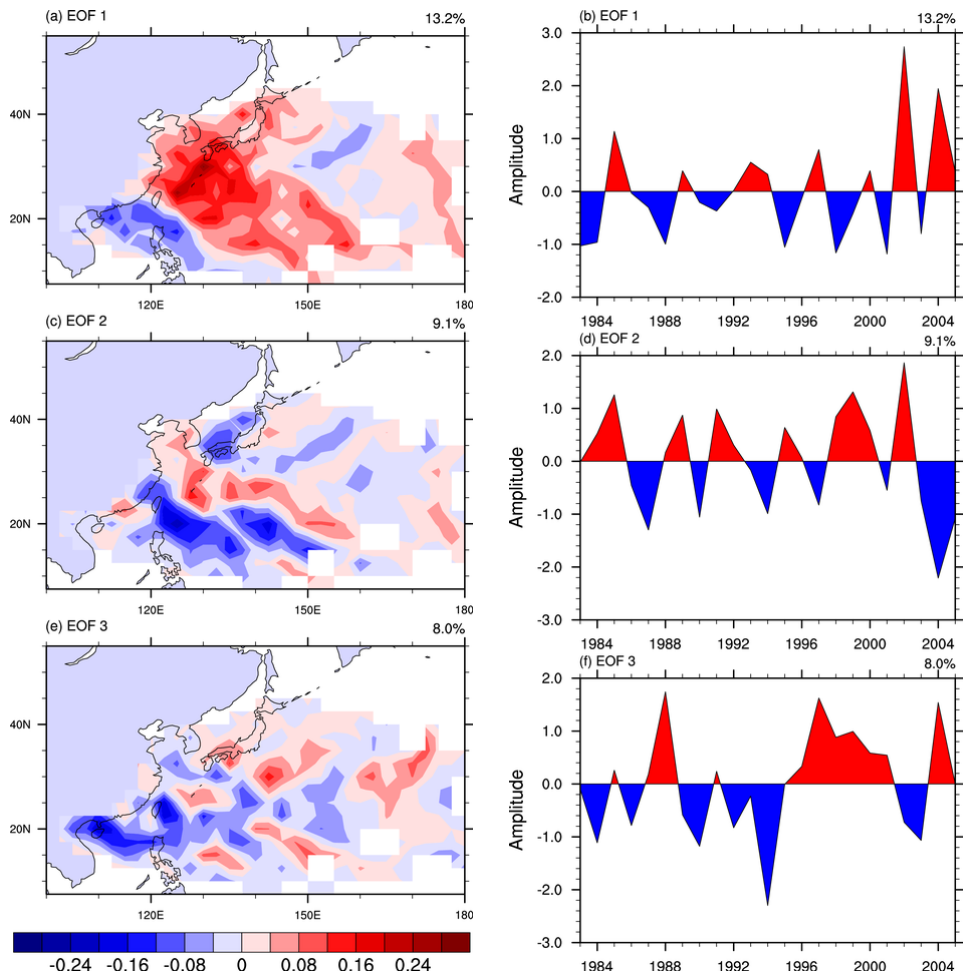
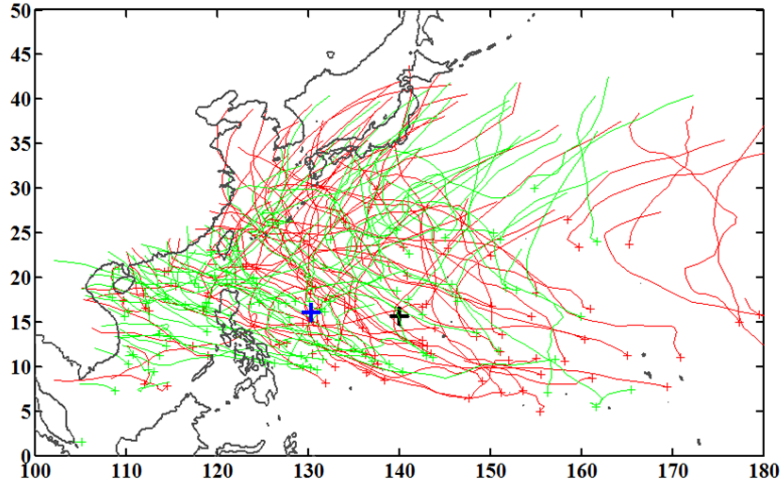


Figure 1 The distributions of the spatial pattern of the EOF modes (a, c, e) and normalized PC time series (b, d, f) for tropical cyclone track density.



**Figure 2** Map of TC tracks for above years (red) and below years (green). Black and blue crosses denote mean genesis position of composed above years and below years, respectively.

**Table 4** Genesis and KP (Korean Peninsula)-landfall frequency of the tropical cyclones over the western North Pacific during boreal summer (JJA season) for above year and below year, respectively.

Above year	Number of TC genesis	Number of KP landfall TC	Below year	Number of TC genesis	Number of KP landfall TC
1985	12	4	1983	9	0
2002	14	4	1995	9	2
2004	15	4	1998	4	0
			2001	13	1
Total/mean	41 / 13.6	12 / 4	Total/mean	35 / 11.6	3 / 0.75
Clim. mean	11.2	2.3	Clim. mean	11.2	2.3

### 3.2 태풍 진로와 관측 자료의 해양·대기 변동성 분석

EOF 분석을 통한 태풍 진로와 해양·대기 변수 간 관계를 찾기 위해, 태풍 진로 첫 번째 모드 PC와 해양 및 대기 변수의 공간적인 상관성 분석을 실시하였다. 상관성 분석은 SST, 500 hPa 지위고도, 그리고 850 hPa zonal, meridional wind에 대해서 이루어 졌다. 또한 위 상관성 분석에는 Student's *t*-test가 사용되었다. 태풍 진로 분석 첫 번째 모드와

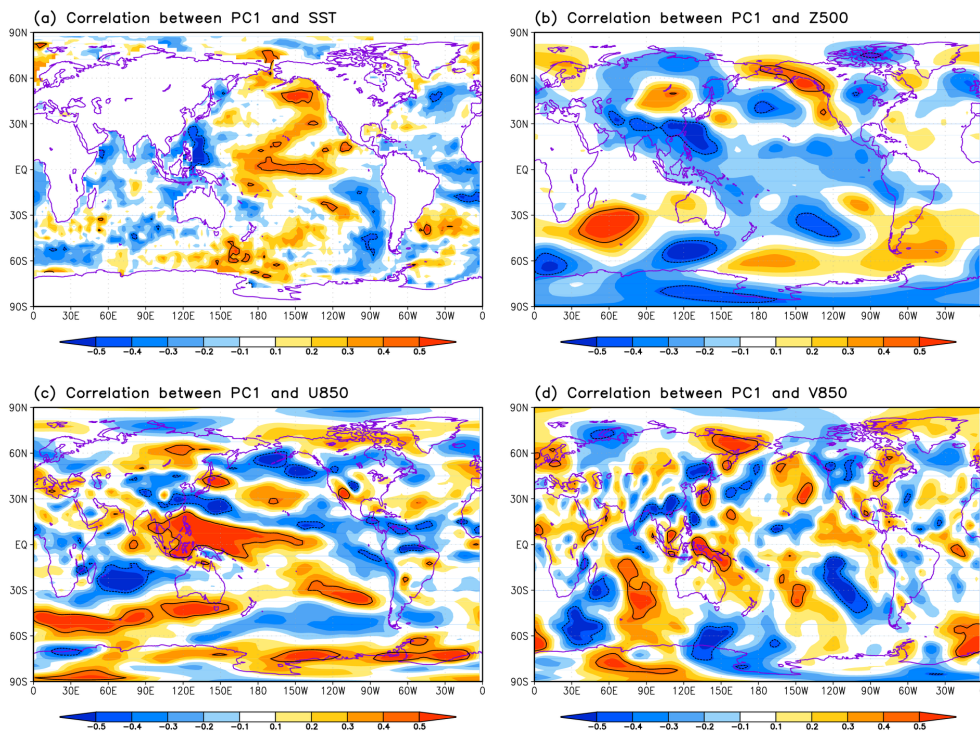
SST는 적도 중태평양과 알래스카 만에서 높은 양의 상관성을 나타냈으며, 필리핀 해와 북대서양에서 강한 음의 상관성을 나타냈다 (Figure 3a). 500 hPa 지위고도와는 동중국해를 포함한 서태평양 대부분의 지역에서 유의수준 90% 이상의 음의 상관관계가 나타났다. 그리고 일본 동부에서 약한 양의 상관, 북태평양에서 음의 상관, 알래스카 만에서 양의 상관이 나타나는 wavelike pattern의 형태가 나타났다 (Figure 3b). 850 hPa 바람장은 zonal과 meridional wind로 바람장을 분해하여 분석하였다. 우선 zonal wind는 동중국해와 일본 남부 연안에서 음의 상관이 나타나고, 필리핀 해역에서 강한 양의 상관이 나타났다 (Figure 3c). meridional wind에서는 필리핀 동쪽 연안에서 음의 상관, 일본 남부 연안에서 양의 상관이 좁은 범위에서 나타났다 (Figure 3d).

태풍 진로와 ENSO 변동성을 분석한 많은 연구들(Kim et al., 2011a; Wang et al., 2012; Jin et al., 2013)에서 CPW (Central Pacific Warming) 해의 태풍 진로 경향과 본 연구에서의 EOF를 이용한 태풍 진로 첫 번째 모드가 매우 유사한 패턴을 나타냈다 (Figure 4). 본 연구에서는 EOF를 이용해 태풍 진로를 분석한 첫 번째 모드의 PC와 ENSO 변동성을 대표하는 NINO Index, EMI 간의 상관성을 분석하였다. 그 결과 태풍 진로 경향 첫 번째 모드는 EMI와 0.49, NINO3와 0.21, NINO4와 0.40, 그리고 NINO3.4와 0.41의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 기존 연구에서는 El Niño 시그널에 따른 대표 해를 정하여 그에 따른 태풍 진로 경향을 분석한 반면, 본 연구에서는 EOF 분석을 통하여 태풍 진로가 EMI와 가장 관련이 높게 나타나는 것을 밝혔다.

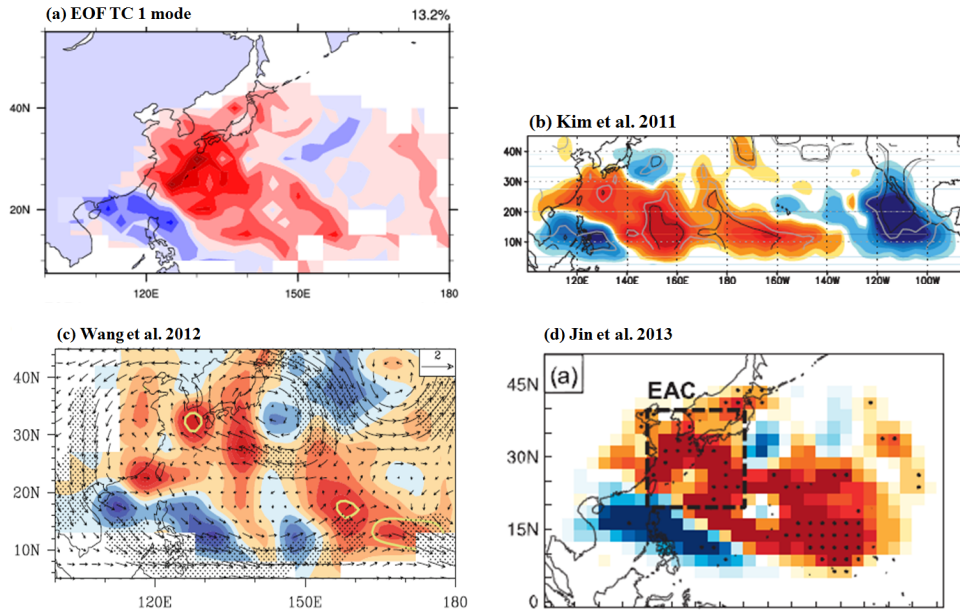
동아시아의 대기 순환과 태풍 진로와의 상관성은 EASMI와 WNPSHI를 이용하였다. EASMI가 양의 값을 나타낼 때, 저위도의 수평 바람이 양의 편차를 띄고 중위도의 수평 바람이 음의 편차를 나타낸다. 이때 필리핀 해 부근에서는 저기압성 순환이 나타나게 된다. 이러한 저기압성 순환은 태풍이 남중국해로 진출하지 못하고 동중국해로 북상시키는 역할을 하는 것으로 나타났다. 반대로 EASMI가 음의 값을 가질 때, 고기압성 순환이 발생하여 태풍이 동중국해로 북상하지 못하고 남중국해로 진출하게 된다. 이러한 하층 바람장의 영향을 고려한 EASMI는 태풍 진로와 0.53의 높은 상관성을 가졌다. 일반적으로 태풍이 중위도로 상륙할 때, 북태평양 고기압의 가장자리를 따라 흐르는 지향류 (steering flow)를 따라 이동하는데 [120E-140E, 10N-30N] 지역에서 음의 상관을 가질 때 북서태평양 고기압이 동중국해로 장출하지 못하여 태풍이 한반도 및 일본으로 북상하기 좋은 조건을

제시한다. 반대로 WNPSHI가 양의 값을 가질 땐, 북서태평양 고기압이 동중국해까지 진출하여 태풍이 북서태평양 고기압에 가로막혀 북상하지 못하고 남중국해로 빠지게 된다. 태풍 진로는 북서태평양 고기압의 지표가 되는 WNPSHI와 0.55의 음의 상관성을 나타냈다.

태풍 진로와 해양·대기 변동과의 상관성을 분석하기 위하여 EMI, EASMI, WNPSHI를 사용하였다. 동일한 현상에 대한 재분석을 배제하기 위하여 각 Index 간에 상관도를 조사하였다. 그 결과 EMI는 다른 Index들과 -0.38의 상관성을 가진 반면, EASMI와 WNPSHI는 -0.83으로 아주 높은 관련이 있는 것으로 나타났다 (Table 5).



**Figure 3** Temporal correlation coefficients between the observed and normalized EOF first mode PC time series at (a) SST, (b) 500 hPa geopotential height, (c) 850 hPa zonal wind, (d) 850 hPa meridional wind. The black contour line depicts the region of significant correlation at the 90% confidence level from Student's *t*-test.



**Figure 4** Composed TC track density anomalies from (b) Kim et al., 2011, (c) Wang et al., 2012, (d) Jin et al., 2013. (a) the spatial pattern of the EOF first mode of TC track density in this study.

**Table 5** Correlation between EMI, EASMI, and WNPSHI.

Corr.	EMI	EASMI	WNPSHI
EMI	1	-0.38	-0.38
EASMI		1	-0.83
WNPSHI			1

### 3.3 태풍 진로와 MME 자료의 해양·대기 변동성 분석

MME 예측 자료를 이용한 태풍 진로 분석을 실시하기 위하여, 앞 장에서 태풍 진로와 관련이 있는 관측 자료의 해양·대기 변동에 대하여 MME 자료를 이용하여 변동성 모의 성능을 점검하였다. 그 결과 관측 자료와 MME 사이에 EMI는 0.88, EASMI는 0.72, 그리고 WNPSHI는 0.79의 매우 높은 상관도를 나타내며 대체로 관측 자료에서 나타난 기후 Index를 잘 모의하는 것으로 평가된다 (Figure 5, 6). MME를 이용하여 계산된 해양·대기 변동을 대표하는 Index들과 EOF 분석을 통해 계산된 태풍 진로 1 모드의 PC와 상관성



분석을 하였다 (Table 6). 그 결과 1 mode PC는 EMI와 0.41, EASMI와 0.48, 그리고 WNPSHI와 -0.27의 상관성을 나타냈다. 관측 자료에서는 1 mode PC가 WNPSHI와 가장 높은 상관도를 보인 반면, MME 자료에서는 가장 낮은 상관성을 보였다. 관측 자료에서는 북서태평양 고기압의 변동성이 태풍의 진로에 큰 영향을 미치지만, MME 자료에서는 그렇지 못한 것으로 나타났다.

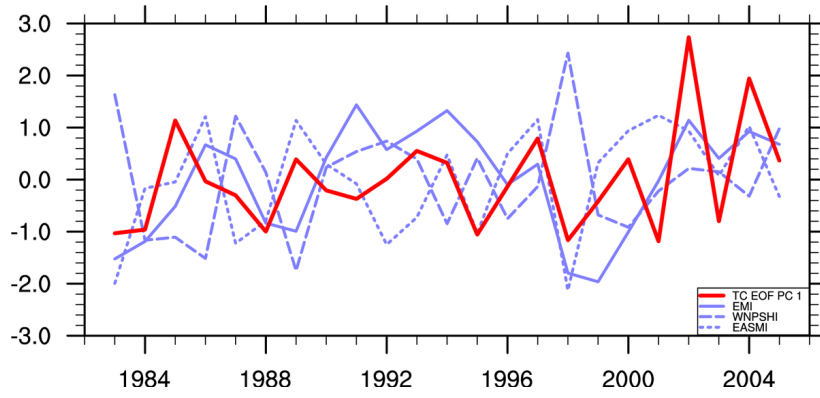
태풍 진로 분석을 하는데 있어 해양·대기 Index의 시간적인 변동성 외에 공간적인 변동성도 매우 중요하다. 따라서 앞에 정의된 대표해 above year, below year 해에 대한 공간적인 메커니즘 분석이 필요하다. Figure 7은 above year, Figure 8은 below year 해의 관측장, MME 그리고 MME에 사용된 개별모델의 편차 장 (anomaly field)이다. SST는 above year 해에 필리핀 해역에서 음의 편차를 나타내며, 일본 동부 쿠로시오 확장역에서는 양의 편차를 보인다 (Figure 7a). below year 해에는 동중국해를 비롯한 서태평양 대부분의 지역에서 양의 편차를 나타내며, 중태평양과 쿠로시오 확장역에서 음의 편차를 나타낸다 (Figure 8a). below year에는 필리핀 해까지 난기풀 (warm pool)이 형성되어 태풍이 above year보다 서쪽에서 많이 발생한 것으로 분석 된다. 또한 북태평양 고기압의 판단 척도가 되는 5880 gpm이 above year에는 평년보다 동쪽으로, below year에는 서쪽으로 장출하였다. below year처럼 북태평양 고기압의 서쪽으로 장출하면 저위도에서 발생한 태풍이 한반도 및 일본으로 북상하기 어려운 조건을 형성한다. 하층 바람장은 above year에는 북서태평양에서 태풍이 북상하기 용이하도록 저기압성 흐름을 띄는 반면, below year에는 고기압성 흐름을 만들어 태풍이 남중국해로 빠지기 쉬운 환경을 조성한다. MME는 관측 자료보다 편차가 작기는 하나 대체로 비슷한 경향을 나타내고 있다. 개별모델 중에서는 PNU가 above year에는 필리핀 해역에서 양의 편차를 띄고, below year에는 음의 편차를 띄는 반대 형상이 나타났다. 그리고 NCEP과 POAMA가 관측 자료와 가장 유사한 환경을 나타내었다.

**Table 6** Correlation with TC EOF PC1 and observed and MME forecasted indices (EMI, EASMI, WNPSHI).

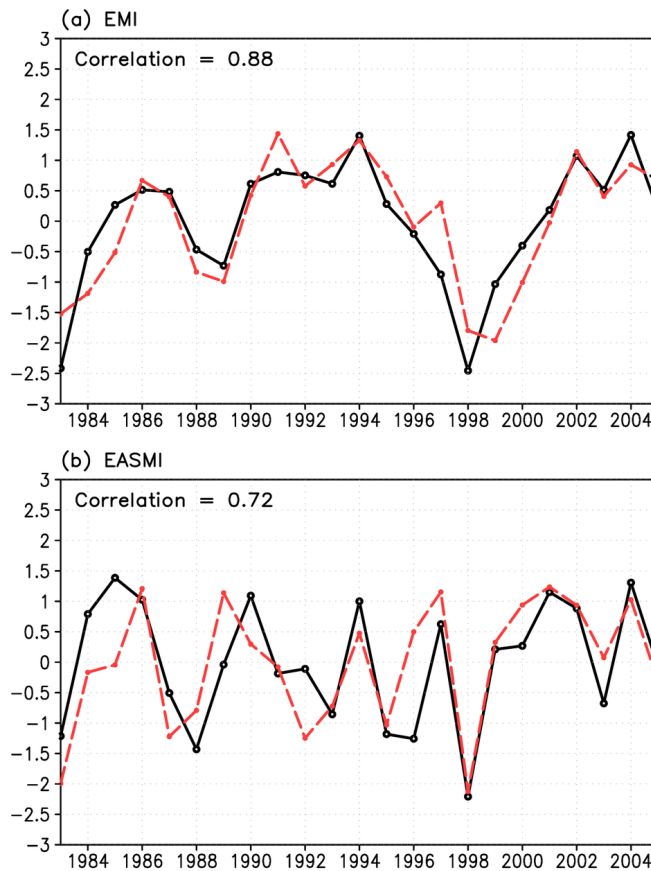
Corr.	EMI	EASMI	WNPSHI
Observed	0.49*	0.53**	-0.55**
MME	0.41*	0.48*	-0.27

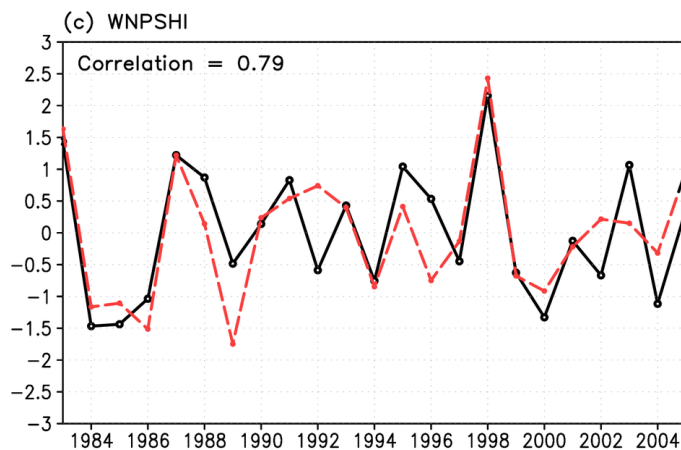
\* 95% confidence level

\*\* 99% confidence level

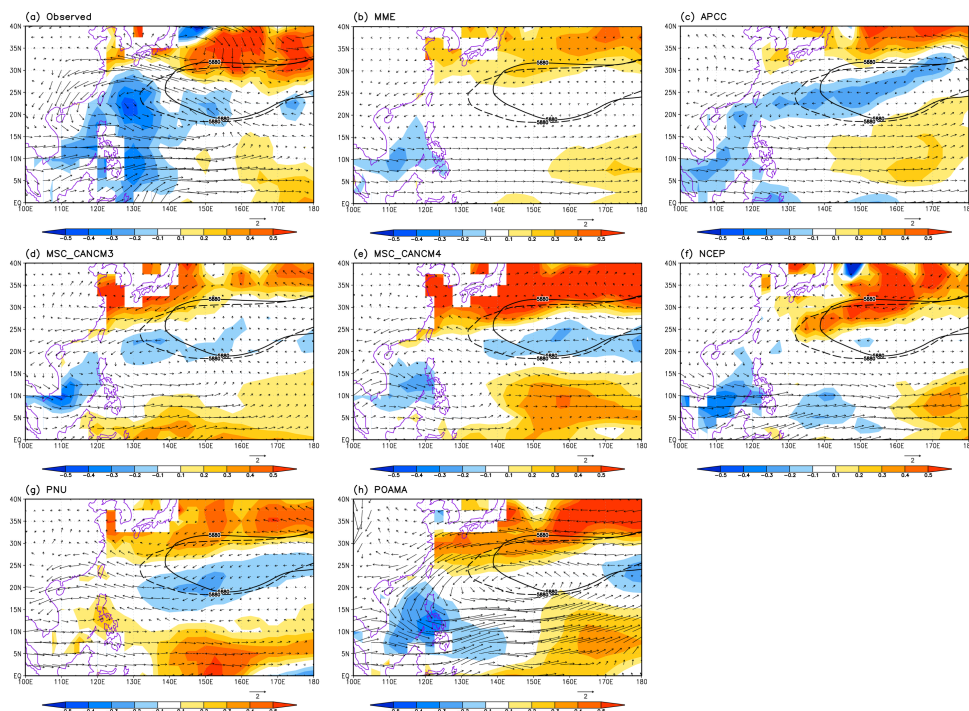


**Figure 5** Normalized time series of EASMI, EMI, WNPSHI and the first mode PC time series of TC track density for 1983-2005.





**Figure 6** Normalized time series of (a) EMI, (b) EASMI, and (c) WNPSHI for 1983-2005. Black and red lines denote observed and MME, respectively. The numbers indicate the correlation coefficient between observed and MME.



**Figure 7** Composite anomaly map of (a) Observed, (b) MME, (c)-(h) individual models during above year. Shading and vector in each Figure indicate SST and 850 hPa wind anomaly, respectively. In each Figure, dashed and solid lines represent observed climatology and above year 5880 gpm, respectively.

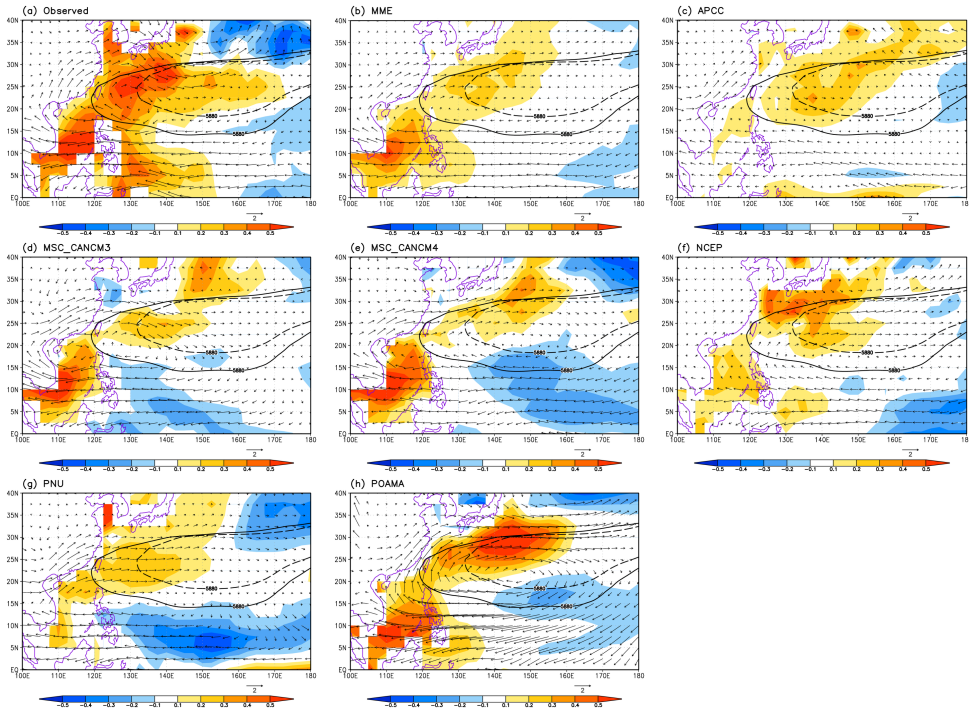


Figure 8 Same as Figure 7, but below year.

### 3.4 태풍 진로 계절 예측을 위한 지수 개발

본 연구에서는 해양·대기 변동에 따른 태풍 진로 특징을 가지고 있는 EOF 1 모드를 예측하기 위하여 예측 지수 (Tropical Cyclone Track Index, TCTI)를 개발하였다. 예측 지수 개발은 다중 선형 회귀 방법 (Multiple Linear Regression)을 이용하였다. 다중 선형 회귀 방법은 여러 개의 독립변수들을 가지고 하나의 종속변수를 예측하기 위한 회귀 모형이다. TCTI 지수 개발을 위하여 관측 자료뿐만 아니라 APCC MME 자료에서도 태풍 진로 첫 번째 모드와 높은 상관성을 나타내는 EMI와 EASMI 지수를 이용하였다. 또한 이 두 지수는 서로간에 관련성이 낮아 회귀식을 구하는 각각의 인자로 사용하기에 적합하다고 판단되었다. 다중 선형 회귀 방법을 이용하여 구한 TCTI의 관계식은 식 (6)과 같다.



$$TCTI = 0.317 \times EMI + 0.396 \times EASMI + 0.007 \quad (6)$$

위 TCTI는 추후 APCC MME 예측자료를 이용한 TCTI 지수 생산을 위하여 APCC MME Hindcast 자료를 이용하여 구하였다. 그 결과 APCC MME 자료를 이용한 TCTI는 EOF 분석을 통한 태풍 진로의 첫 번째 모드의 PC와는 0.58 이상의 높은 상관성을 나타냈으며 이는 99% 유의수준 안에 포함됐다. 이는 태풍 진로 1모드와 관련이 있는 단일 변수만을 이용하였을 때 보다 높은 상관성을 나타냈다 (Figure 10). TCTI는 여름철 APCC MME 예측자료를 이용하여 구할 수 있다. MME를 이용한 TCTI가 높으면 태풍 진로를 EOF 분석한 1 모드가 높음을 나타내므로 태풍이 동중국해를 거쳐 한반도 및 일본으로 진출 할 가능성이 크다. 반대로 TCTI가 작으면, 태풍이 남중국해를 거쳐 필리핀, 베트남 등으로 상륙 할 가능성이 큼을 의미한다.

### Regressed Hindcast TC track forecast

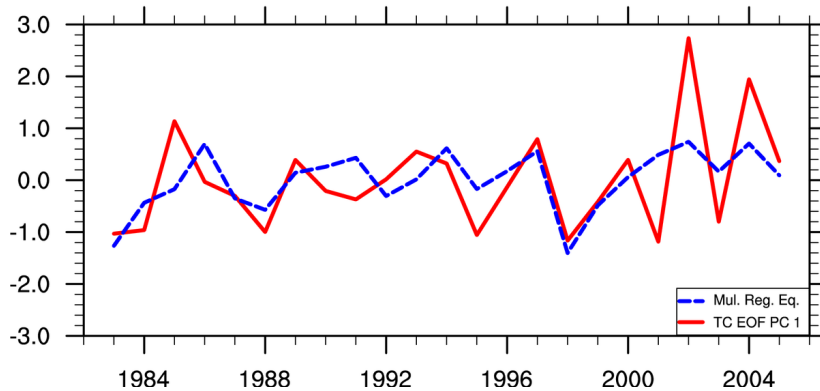


Figure 10 Normalized EOF first mode PC and TCTI time series from 1983 to 2005.

#### 4. 결론 및 토론

본 연구에서는 여름철 북서태평양에서 발생하여 이동하는 태풍의 진로를 예측하기 위하여, 1983년부터 2005년까지 관측 자료와 MME 계절 예측 자료를 이용하여 태풍 진로와의 상관성을 분석하고 이를 예측하기 위한 관계식을 만들었다. 태풍 진로의 변동성은 EOF 분석을 통하여 이루어졌다. 태풍 진로를 변동성을 대표하는 첫 번째 모드의 공간 분포는 기존 연구에서 밝혀진 El Niño Modoki 해의 태풍 진로와 매우 유사하게 나타났다. 이를 토대로 EMI를 포함한 ENSO Index과의 관련성을 조사한 결과 태풍의 진로 첫 번째 모드는 EMI와 관련이 가장 높게 나타났다. 태풍 진로의 첫 번째 모드 PC는 관측 자료 중 대기 변동성을 나타내는 Index 중에서 EASMI, WNPSHI와도 높은 관련성을 나타냈다. 그러나 MME 예측자료가 WNPSHI를 제대로 모의하지 못하였으며, WNPSHI는 EASMI와 높은 관련이 있는 것으로 나타나 TCTI를 구성하는 요소로는 제외되었다.

해양·대기 변동성 분석을 바탕으로 태풍의 진로에 영향을 주는 요소를 재구성해보면, 태풍 진로 첫 번째 모드가 양의 값을 나타낼 때, 중태평양의 SST는 양의 편차를 띄지만 필리핀 해역의 SST는 평년보다 낮게 나타났다. 또한 필리핀 해역에서 하층에 저기압성 순환이 나타나 태풍이 동중국해로 북상하기 좋은 조건을 제시하였고, 지향류의 척도가 되는 5880 gpm은 평년보다 동쪽으로 후퇴하여 태풍이 한반도 및 일본으로 상륙하기 좋은 환경을 구성하였다. 이때 태풍은 평년보다 동쪽에서 발생하였고, 동중국해를 거쳐 한반도 및 일본으로 많이 상륙하였다. 반대로 태풍 진로 첫 번째 모드가 음의 값을 가질 때는 중태평양의 SST가 평년보다 낮고 필리핀 해역의 SST가 높게 나타났다. 이때 필리핀 해역의 하층에서는 고기압성 순환이 나타나고, 5880 gpm이 평년보다 서쪽으로 넓게 장출하여 태풍이 동중국해로 북상하기 어려운 환경을 구성하였다.

태풍 진로에 대한 해양·대기 메커니즘 분석을 통하여 SST의 변동성을 대표하는 EMI와 동아시아 대기 순환을 대표하는 EASMI로 다중 선형 회귀 방법을 이용하여 태풍 진로 예측 지수 TCTI를 개발하였다. 개발된 TCTI는 EOF를 통한 태풍 진로 첫 번째 모드와 0.58의 높은 상관성을 보였다. 이는 EMI, EASMI 중 하나의 인자만을 사용했을 때 보다 높은 수치이다.



본 연구에서는 과거 태풍 기록과 해양·대기 관측자료, 그리고 APCC MME 자료를 이용하여 태풍 활동과 해양·대기 변동 사이에 관련성을 찾고, 이를 토대로 태풍 진로 예측에 도움이 될 수 있는 지수를 개발하였다. 해양·대기 변동성을 고려한 TCTI 지수를 바탕으로 태풍의 계절 진로를 예측하는데 도움이 될 것으로 기대한다. 하지만 실제 예보기관의 현업에 사용하기 위해서는 TCTI 지수에 대한 검증 (e.g. cross-validation), training 이후인 2006년부터 현재까지의 실제 예측성 검증이 필요하다. 본 연구에서 개발한 TCTI에 대한 성능 검증과 더불어 본 연구에서는 충분히 진행하지 못한 태풍 진로 EOF 2, 3 모드의 분석이 추가적으로 필요하다고 판단된다.

## REFERENCES

- Ashock, K., S. K. Behera, S. A. Rao, H. Weng, and T. Yamagata, 2007: El Niño Modoki and its possible teleconnection. *J. Geophys. Res.*, 112
- Camargo, S. J., A. H. Sobel, 2005: Western North Pacific tropical cyclone intensity and ENSO. *J. Climate*, 18, 2996-3006.
- Camargo, S. J., A. W. Robertson, S. J. Gaffney, P. Smyth, and M. Ghil, 2007: Cluster analysis of typhoon tracks. Part I : General properties. *J. Climate*, 20, 3635-3653.
- Chan, J. C. L., 2000: Tropical cyclone activity over the western North Pacific associated with El Niño and La Nina events. *J. Climate*, 13, 2960-2972.
- Chan, J. C. L., 2005: The physics of tropical cyclone motion, *Annu. Rev. Fluid Mech.*, 37, 99-128.
- Kanamitsu, M., W. Ebisuzaki, J. Woollen, S. K. Yang, J. J. Hnilo, M. Fiorino, G. L. Potter, 2002: NCEP-DOE AMIP- II reanalysis(R-2). *Bull Am Meteorol Soc*, 83, 647-664.
- Kim, H. M., P. J. Webster, J. A. Curry, 2009: Impact of shifting patterns of Pacific Ocean warming on North Atlantic tropical cyclones. *Science*, 325, 77-80.
- Kim, H. M. and P. J. Webster, 2010: Extended-range seasonal hurricane forecasts for the North Atlantic with a hybrid dynamical-statistical model. *Geophys. Res. Lett.* 37, L21705.
- Kim, H. M., P. J. Webster, and J. A. Curry, 2011a: Modulation of North Pacific tropical cyclone activity by three phases of ENSO. *J. Climate*, 24, 1839-1849.
- Kim, H. S., C. H. Ho, P. S. Chu, and J. H. Kim, 2010: Seasonal prediction of summertime tropical cyclone activity over the West China Sea using the least absolute deviation regression and the Poisson regression. *Int. J. Climatol.*, 30, 210-219.
- Kim, H. S., C. H. Ho, J. H. Kim, and P. S. Chu, 2011b: Pattern classification of typhoon tracks using the fuzzy c-means clustering methods. *J. Climate*, 24, 488-508.
- Kim, H. S., C. H. Ho, J. H. Kim, and P. S. Chu, 2012: Track-pattern-based model for predicting seasonal tropical cyclone activity in the western North Pacific. *J. Climate*, 25, 4660-4678.
- Kim, J. H., C. H. Ho, C. H. Sui, and S. K. Park, 2005: Dipole structure of interannual variations in summertime tropical cyclone activity over East Asia. *J. Climate*, 18, 5344-5356.
- Kossin, J. P. and D. J. Vimont, 2007: A more general framework for understanding Atlantic hurricane variability and trends. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 22, 1767-1781.
- Lee, D. Y., K. Ashock, and J. B. Ahn, 2011: Toward enhancement of prediction skills of multimodel ensemble seasonal prediction: A climate filter concept. *J. Geophys. Res.*, 116, D06116.
- Reynolds, R. W., N. A. Rayner, T. M. Smith, D. C. Stokes, and W. Wang, 2002: An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *J. Climate*, 15, 1609-1625.
- Sui, C. H., P. H. Chung, and T. Li, 2007: Interannual and interdecadal variability of the summertime western North Pacific subtropical high. *Geophys. Res. Lett.*, 24, L11701.
- Wang, B., J. C. L. Chan, 2002: How strong ENSO events affect tropical storm activity over the western North Pacific. *J. Climate*, 15, 1643-1658.



- Wang, B., Z. Fan, 1999: Choice of South Asian summer monsoon indices. *Bull. Amer. Meteo. Soc.*, 80, 629-638.
- Wang, C., X. Wang, 2013: Classifying El Niño Modoki I and II by different impacts on rainfall in the southern China and typhoon tracks. *J. Climate*, 26, 1322-1338.
- Wang, C. Z., C. X. Li, M. Mu, W. S. Duan, 2012: Seasonal modulations of different impacts of two types of ENSO events on tropical cyclone activity in the western North Pacific. *Clim Dyn.* doi:10.1007/s00382-007-0234-0.
- Wang, H., J. K. Schemm, A. Kumar, W. Wang, L. Long, M. Chelliah, G. D. Bell, and P. Peng, 2009: A statistical forecast model for Atlantic seasonal hurricane activity based on the NCEP dynamical seasonal forecast. *J. Climate*, 22, 4481-4500.
- Zhan, P. F., Y. Wang, and M. Ying, 2012: Seasonal forecasts of tropical cyclone activity over the western North Pacific: A review. *Trop. Cyclone. Res. Rev.*, 1, 307-324.
- Zhang, W., H.-F. Graf, Y. Leung, and M. Herzog, 2012: Different El Niño types and tropical cyclone landfall in East Asia. *J. Climate*, 25, 6510-6523.



## APCC RESEARCH REPORT 2013-03

- A study on the Prediction of East Asian Summer Rainfall in Relation to the Western Pacific Convection
- Seasonal Predictability of Arctic Oscillation and its Impact on the East Asian Winter Monsoon using a Multimodel Ensemble
- Seasonal Track Feature Analysis of the Western North Pacific Tropical Cyclones using APCC MME

### APEC Climate Center

12, Centum 7-ro, Haeundae-gu, Busan 612-020,  
Republic of Korea  
Tel: +82-51-745-3900 Fax: +82-51-745-3949  
[www.apcc21.org](http://www.apcc21.org)

비매품



94550



9 788897 333950

ISBN 978-89-97333-95-0  
ISBN 978-89-97333-92-9 (세트)