

## 북서태평양 태풍의 여름과 가을철 예측시스템 개발과 한반도 영향 태풍 예측에 활용

최우석<sup>1)</sup> · 허창희<sup>1),\*</sup> · 강기룡<sup>2)</sup> · 윤원태<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>서울대학교 지구환경과학부, <sup>2)</sup>기상청 국가태풍센터

(접수일: 2014년 11월 14일, 게재확정일: 2014년 12월 11일)

### Seasonal Prediction of Tropical Cyclone Activity in Summer and Autumn over the Western North Pacific and Its Application to Influencing Tropical Cyclones to the Korean Peninsula

Woosuk Choi<sup>1)</sup>, Chang-Hoi Ho<sup>1),\*</sup>, KiRyong Kang<sup>2)</sup>, and Won-Tae Yun<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea

<sup>2)</sup>National Typhoon Center, Korea Meteorological Administration, Jeju-do, Korea

(Manuscript received 14 November 2014; accepted 11 December 2014)

**Abstract** A long-range prediction system of tropical cyclone (TC) activity over the western North Pacific (WNP) has been operated in the National Typhoon Center of the Korea Meteorological Administration since 2012. The model forecasts the spatial distribution of TC tracks averaged over the period June–October. In this study, we separately developed TC prediction models for summer (June–August) and autumn (September–November) period based on the current operating system. To perform the three-month WNP TC activity prediction procedure readily, we modified the shell script calling in environmental variables automatically. The user can apply the model by changing these environmental variables of namelist parameter in consideration of their objective. The validations for the two seasons demonstrate the great performance of predictions showing high pattern correlations between hindcast and observed TC activity. In addition, we developed a post-processing script for deducing TC activity in the Korea emergency zone from final forecasting map and its skill is discussed.

**Key words:** Tropical cyclone, operational system, shell script, the Korea emergency zone

## 1. 서 론

국가태풍센터에서는 2012년부터 계절 시간 규모에서 북서태평양지역의 태풍활동을 공간적으로 예측하는 모델을 현업예보에 활용하고 있다(Ho et al., 2013; Jin et al., 2014). 이 모델은 통계-역학 하이브리드 방법에 기반한 것으로서, 매년 5월 중순에 6월부터 10

월까지 5개월 평균한 북서태평양 태풍 진로밀도를 확률적 정보로 산출해서 예측자료를 생산한다(Kim et al., 2012, Ho et al., 2013). 태풍 진로 예측을 위해 먼저 퍼지 군집 분류 방법(Fuzzy clustering method)을 사용해서 북서태평양의 태풍 진로를 대표적인 여러 개의 유형으로 구분한다(Kim et al., 2011). 분류된 태풍 진로 유형별로 전구 역학모델에서 모의한 대기/해양 순환장의 동시상관 관계성을 이용해서 통계 회귀 모델을 구성하고 예측인자를 계산한 후 예측을 수행한다. 마지막으로 모든 군집의 예측결과를 종합하여 공간으로 표출되는 태풍 진로 밀도의 예측 결과를 산출한다. 이 시스템의 예측 성능은 기후적 관점에서 우

\*Corresponding Author: Chang-Hoi Ho, School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 151-747, Korea.  
Phone : +82-2-880-5705, Fax : +82-2-876-6795  
E-mail : hoch@cpl.snu.ac.kr

수하며, 현업 활용의 용이함을 위해 조기 예측성의 검증 및 자동화 작업이 이루어졌다(Jin et al., 2014). 모델 구동은 리눅스 기반 시스템 상에서 유사실시간(quasi real-time)으로 이루어지도록 자동화 작업이 수행되었지만, 현업에서의 다양한 목적에 따라 유연하게 모델을 사용하기 위해서 모델 스크립트 수정이 필요한 상황이다.

기상청은 계절 기후 장기예보에서 여름철을 6월부터 8월까지로, 가을철을 9월부터 11월까지로 정의하고, 각각 5월 하순, 8월 하순에 예보전망을 배포한다. 하지만 본 통계-역학 하이브리드 모델은 개발 단계에서 그 예측기간을 6월부터 10월까지로 고정하였기 때문에 기상청 장기예보기간과 다른 단점을 갖고 있다. 즉, 본 모델에서 산출된 태풍 예측결과를 기상청 장기예보전망 자료에 포함시킬 수 없는 문제점이 있다. 사용자가 인위적으로 예측 대상기간을 수정하고자 한다면, 6~10월을 기준으로 개발된 모델이기 때문에 잘못된 회귀분석이 이루어 지고 비현실적인 예측결과를 얻을 수도 있다. 따라서 기상청 장기예보 일정에 맞춘 일관성 있는 태풍 예측자료 생산을 위해서 기존 5개월 예측 모듈을 수정하여 3개월 태풍활동을 예측할 수 있도록 재개발해야 한다.

앞서 언급했듯이 본 모델은 최종 예측 결과로써 북서태평양 지역 전체의 태풍 진로 밀도를 산출한다. 대양 전체 태풍활동성을 예측하기 때문에 최종 결과에서 한반도 지역의 결과만을 집중 계산하는 후처리 작업을 통해 한반도 태풍활동 예측결과를 도출할 수 있다. 국가태풍센터에서는 이 예측 시스템을 현업으로 사용한 이후 지난 3년여간 위도 28°N보다 북쪽, 경도 132°E보다 서쪽으로 정의된 한반도 비상구역 지역들 중 가장 최대 값을 나타내는 태풍 진로 밀도 값을 본 모델의 한반도 태풍 예측결과로 산정하였다. 이는 기상청에서 ‘한반도 영향 태풍’이라고 정의한 기준이며 태풍의 중심이 한반도 비상구역으로 진입할 경우, 우리나라가 태풍의 직접적인 영향권에 속한다고 평가할 수 있기 때문이다(Korea Meteorological Administration, 1996; Moon and Choi, 2011). 그러나 이로 인해 유발되는 별도의 2차적 작업은 신속함을 요구하는 현업 예보 업무에서 불필요한 시간 소모로 이어져 왔고, 예보자의 주관성에 의지하기 때문에 예측결과의 불확실성이 크다.

현업화 이후 본 모델을 국가태풍센터에서 활용하면서 대두된 여러 문제점을 해결하고 기상청 장기예보 업무에 직접적인 도움이 되기 위해서 본 연구에서는 북서태평양 태풍 진로 계절예측 모델의 예측 대상 기간을 3개월 단위로 조정할 수 있도록 모델 셀 스크립트를 개발하였다. 이 조정 작업은 본 모델의 사용자가 기존의 6월부터 10월까지 고정된 예측 대상 기간

을 변경해 여름철과 가을철 기간으로 나누어 3개월 단위 예측을 쉽게 수행할 수 있게 한다. 또한 개발된 모델의 예측 성능을 확인함으로써 현업에서의 활용 가능성을 검증하였다. 마지막으로 현업 사용자가 본 모델을 통해서 한반도 영향태풍 예측 결과를 산출하고자 할 때 사용자 편의를 위해 한반도 비상구역 태풍활동 예측 모듈을 개발하고 그 성능을 관측과 비교하였다.

본 기술노트의 2절에서 모델 구동에 필요한 자료에 대해 설명하고, 3절에서 예측모델의 개관적 내용과 시스템 운영 기반을 설명한다. 4절에서 3개월 단위 태풍 예측 성능에 대해 평가하고 5절에서 한반도 지역의 예측 성능에 대해 검증한다. 6절에서는 본 기술노트의 내용을 요약한다.

## 2. 진로 유형 기반 태풍 계절예측 모델

### 2.1 자료

이 모델의 기반이 되는 태풍 군집 분류를 위해 세계기상기구 산하의 일본 도쿄의 지역특별기상센터(Regional Specialized Meteorological Centers-Tokyo Typhoon Center)에서 제공하는 태풍 자료를 사용하였다. 이 자료는 1951년부터 북서태평양에서 발생한 태풍의 위치정보, 강도정보 등이 날짜에 따라 정리되어 있다. 이 중 중심 최대 풍속이  $17 \text{ m s}^{-1}$  이상의 강도를 가지는 시스템을 태풍이라고 정의하고, 본 예측모델 개발 연구에서 활용하였다. 태풍과 대기/해양 순환장 사이 관련성을 조사하기 위해서 대기 자료로 미국 환경예측센터의 재분석 자료(Reanalysis 2, Kanamitsu et al., 2002)에서 산출되는 상층 동서바람(U200), 하층 동서바람(U850), 하층 상대와도(VOR850), 연직 바람시어(VWS) 등의 변수를 이용하였고, 해양 자료로 미국 해양대기부처(National Oceanic and Atmospheric Administration)에서 생산하는 해수면 온도 자료(SST; Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 3, Smith et al., 2008)를 이용하였다. 각 자료의 수평 해상도는 재분석 자료가 위-경도 2.5° 간격이고, 해수면 온도 자료가 위-경도 2° 간격이다. 이 관련성을 바탕으로 예측인자를 구성하기 위해 미국 환경예측센터(National Centers for Environmental Prediction)에서 배포하는 Climate Forecast System version 2 (CFSv2) 계절예측 자료를 이용한다(Saha et al., 2014). CFSv2 공간 격자 해상도는 위-경도 1° 간격이며 앞서 언급된 태풍활동 분석에 필요한 다양한 대기/해양의 변수를 제공한다. 이 자료의 여러 종류 중에서 예측모델 개발 및 성능 평가를 위해 과거 재분석 자료를 초기장으로 활용하고 모델 적분을 수행한 과거 재모의 자료(retrospective data)를 본 연구에

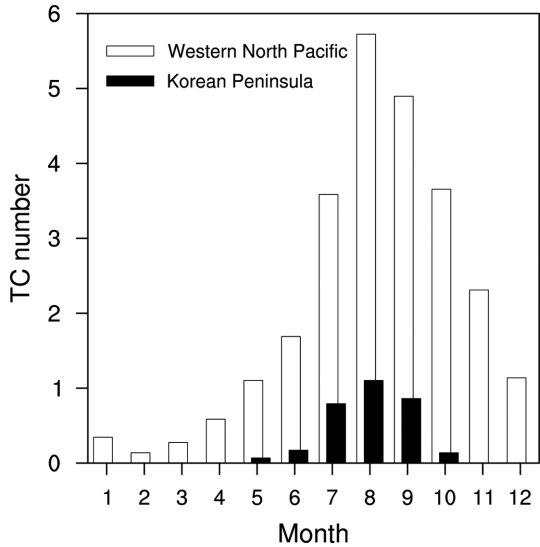


Fig. 1. Climatological monthly distribution of the number TCs over the western North Pacific and affecting the Korea.

활용하였다. 과거 재모의 자료는 각 해의 1월 1일부터 5일 간격으로 배포되며 9개월 예측 정보가 포함되어 있다. 본 연구에서는 예측 대상기간보다 1개월여 앞선 5월 11일, 8월 4일을 각각의 예측시점으로 선정하고, 예측시점일과 앞선 2개일의 자료들을 종합하여 총 12개 CFSv2 앙상블 멤버를 활용해 3개월 단위(6~8월, 9~11월) 태풍활동 예측모델을 개발하였다. 모델 개발 및 예측에 활용되는 자료들의 사용 기간은 태풍과 CFSv2 과거 재모의 자료의 예측 대기/해양 순환장의 공통 기간인 1982년부터 2010년까지 기간으로 설정하였다.

### 2.2 시스템 운영 기반 및 구동 체계

북서태평양 태풍 진로 계절예측 모델은 리눅스 기반 시스템에서 구동되며, 그 프로그램들(즉, 셸 스크립트들)은 역할에 따라 기상청 디렉토리 기준인 PREP, MODL, POST, LOGO 폴더들에 나뉘어 저장되어 있다(Jin et al., 2014의 Fig. 1과 Table 1). 사용자 입장에서 본 모델의 쉬운 구동을 위해 초기 조건들을 일괄적으로 네임리스트 입력 파라미터(namelist input parameter)에 선언한다. 이 네임리스트는 본 모델을 통해 예측을 수행할 때 필요한 변수들을 예측과정이 끝날 때까지 시스템 메모리 상에 일시적으로 저장시키고, 이 정보들이 필요한 스크립트가 실행될 때 불러들여 활성화 시킨다. 따라서 본 모델의 사용자는 3개월 단위 예측을 수행하기 위해 변경해야 하는 조건들을 단지 네임리스트 입력 파라미터의 수정을 통해 설정할 수 있다. 전처리를 수행하는 PREP 폴더에서는

본 모델의 구동에 필요한 자료들이 저장되어 있다. 본 모델의 기반이 되는 북서태평양 근집 유형들과 연도별 개수, CFSv2의 예측 일시 정보, CFSv2 과거 예측 자료와 실제 예측 자료들이 저장되어 있다. MODL 폴더에서는 앞서 준비된 자료들을 이용해 예측 모델을 실제로 구동하고 예측 결과를 예측 날짜 별로 생산하는 소스 코드들이 저장되어 있다. 후처리를 수행하는 POST 폴더에서는 이 결과들을 종합해 최종 예측 지도를 생산하며 본 모델의 구동을 마무리한다.

PREP 폴더에서 본 모델의 구동을 위해 역학 예측 모델 NCEP CFSv2를 자동으로 다운받는 프로그램으로써 Ruby를 이용한다. Ruby를 이용해 CFSv2 웹 페이지에서 파일 리스트를 불러오고, 그 파일을 신속히 받기 위해 리눅스 시스템에서의 다운로드 프로그램을 사용한다. 본 모델 사용자가 운영하는 시스템 상의 다운로드 프로그램을 자유롭게 이용할 수 있지만, 매일 배포되는 CFSv2 현업 자료가 약 1.5 GB 이상의 용량을 가지기 때문에 가속 다운로드 프로그램인 AXEL (A light download accelerator for linux) 프로그램의 이용을 권장한다. 다운로드 이후 WGRIB2 프로그램을 이용해 grib2 형태인 자료의 압축을 풀고 원하는 변수만 binary 형식으로 변환한다. CFSv2의 과거 재모의 자료는 한 번 파일 형식을 변환하면 더 이상 반복적으로 할 필요가 없으나, 현업 예측자료는 매일 배포되기 때문에 항상 변환해야 한다. 전처리를 수행하는 이 과정은 본 모델을 통한 3개월 단위 세부기간 예측에서도 같은 방식으로 이루어진다.

MODL 폴더의 자동화 실행파일은 변환된 CFSv2를 이용해 본 모델의 예측인자를 산출하고 각 진로 유형별 예측모델을 구동시켜 예측결과를 생산한다. 예측인자 계산은 각 진로 유형의 태풍활동과 대규모 순환장 사이 관련성을 바탕으로 이루어진다. 이 관련성이 재분석 자료와 CFSv2 과거 재모의 자료에서 동일하게 나타나고 통계적으로 90% 신뢰수준에서 유의미하다고 판단될 경우를 예측인자로 선정하였으며, 이 과정은 포트란 프로그램으로 구성되어 있다. 예측인자가 산출되면 푸아송 회귀분석 모델(Poisson regression model)을 이용해 각 진로 유형별로 예측을 수행한다. 이때 통계 패키지 R의 내장함수를 이용해 사용자 입장에서 편리하게 이용할 수 있다. 통계 패키지 R은 배열 계산이 간단하고 통계 분석에 필요한 여러 함수를 제공하고 있어 모델 개발 및 이용에 편리하다. 실제 예측을 수행하는 본 과정은 앞서 선언한 네임리스트 입력 파라미터를 불러들여 예측 대상기간(예, 6~8월, 9~11월)이나 예측시점들을 예보자의 목적에 맞게 변경해가며 실행시킬 수 있다.

POST 폴더의 예측결과 산출 실행파일은 앞서 수행된 각 진로 유형별 예측 결과를 종합해 최종 예측지

도를 생산한다. 본 모델의 기반이며 바이너리(binary) 형태의 파일로 구성되어 있는 북서태평양 태풍 진로 유형에 앞서 얻어진 태풍 예측 결과를 곱하고 모델 예측 결과의 평균과 표준편차를 관측 태풍 활동과 부합하게 하는 편향보정(bias correction) 과정을 거친다. 최종 예측결과도 바이너리 형태로 저장되며 예측장 가지화 코드에서 Grid Analysis and Display System(GrADS) 프로그램을 이용해 결과를 예측지도로써 생산한다. 최종 예측지도에는 격자별 실제 태풍 확률 값과 기후평년과 비교한 편차가 동시에 표현된다.

### 3. 계절 별 북서태평양 태풍 활동 예측모델 개발

북서태평양에서 태풍은 겨울철에도 발생하지만 여름~가을철인 6월부터 11월까지 가장 활발하게 발달한다(Fig. 1). 기후적으로 대양 전체에서 연간 25.3개의 태풍이 발생하며, 이 중에서 3.2개가 한반도에 영향을 끼친다. 북서태평양에서 6월부터 11월까지 발생하는 태풍이 1년간 발생하는 태풍 중 86%를 차지하고, 한반도에 영향을 끼치는 태풍의 97%를 차지하기 때문에, 이 기간 동안의 태풍활동 예측이 매우 중요하다. 기상청은 장기예보 전망에서 여름철을 6월부터 8월까지로, 가을철을 9월부터 11월까지로 정의하여 예측 정보를 제공하고 있다. 따라서 현업 예보일정에 부합하고 계절별로 정확한 예측결과 전망을 위해 여름철과 가을철 태풍활동을 구분하여 예측모델을 개발할 수 있도록 기존 모델의 예측 대상기간을 세부적으로 조정할 필요가 있다.

이 연구에서는 여름철 태풍 진로 예측을 위해 퍼지 군집분류 방법을 이용해 여름철 태풍 진로 유형을 분류하고 그 예측인자들을 선정하였다(Fig. 2). 앞서 언급했듯이 예측인자 선정과정은 재분석 자료와 CFSv2 과거 재모의 자료의 상관계수 분석을 바탕으로 진행되지만 편의상 본 기술노트에서는 실제 예측 모델 구동에 활용되는 CFSv2 과거 재모의 자료의 상관계수만을 나타냈다(Fig. 2). 총 6개의 진로 유형으로 분류되었으며 각 유형마다 2개의 변수를 예측인자로 활용해 모델을 개발하였다. 첫 번째 유형(C1)은 남중국해에서 발달하고 소멸하는 태풍들이 분류되었다(Fig. 2a). 상관성 분석을 통해 아열대 지역의 해수면 온도와 상층 동서바람이 적절한 예측인자로 선정되었다. 두 번째 유형(C2)은 저위도의 해수면 온도와 중위도의 하층 동서바람을 예측인자로 가지며 북서태평양 태풍 주 발생 구역인 필리핀 해에서 발생해 대만, 홍콩, 중국 남동부 평야지대로 이동하는 태풍들이 분류되었다(Fig. 2b). 세 번째 유형(C3)은 동중국해에서 한국과 일본으로 북상하는 태풍들이 분류

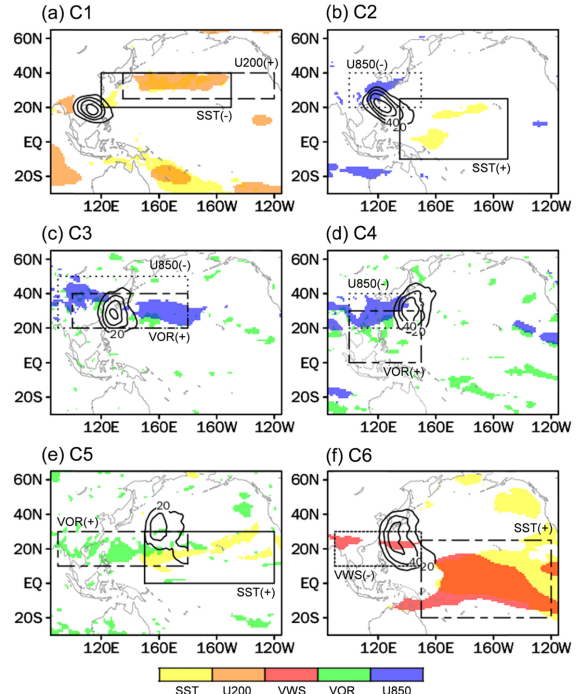


Fig. 2. (a)~(f) Representative six TC track patterns over the western North Pacific during the June through August. Statistically significant grid points ( $p < 0.10$ ) are shaded according to each CFSv2 variable. The rectangular boxes indicate predictor domain of corresponding TC track patterns. Parenthesis shows the sign of correlation coefficient to construct predictor.

되었으며 아열대 지역 하층 상대와도, 중위도 하층 동서바람과 관련성이 높게 나타나 예측인자로 채택하였다(Fig. 2c). 네 번째 유형(C4)은 일본 남동부에 영향을 주는 태풍들로서 북서태평양 열대지역의 하층 상대와도와 중위도 동서바람이 예측인자로 선정되었다(Fig. 2d). 다섯 번째 유형(C5)은 북서태평양에서 동쪽 경계에서 활동하는 태풍들이 분류되었고, 북서태평양 아열대 지역의 하층 상대와도, 중태평양 지역의 해수면 온도와 높은 관련성이 나타나 예측인자로 채택하였다(Fig. 2e). 여섯 번째 유형(C6)은 태풍 주 발생 구역의 남동쪽에서 주로 발생하며 동중국해를 지나 한국과 일본에까지 북상하는 태풍들이 분류되었다(Fig. 2f). 이 유형의 태풍들과 중태평양의 해수면 온도와 북서태평양 저위도 지역의 낮은 연직 바람시어가 높은 상관성을 보이는 것으로 나타나 이들을 예측인자로 활용하였다.

Figure 3은 가을철 태풍 진로 예측모델의 기반인 북서태평양 가을철 태풍 진로 유형과 각 예측인자들을

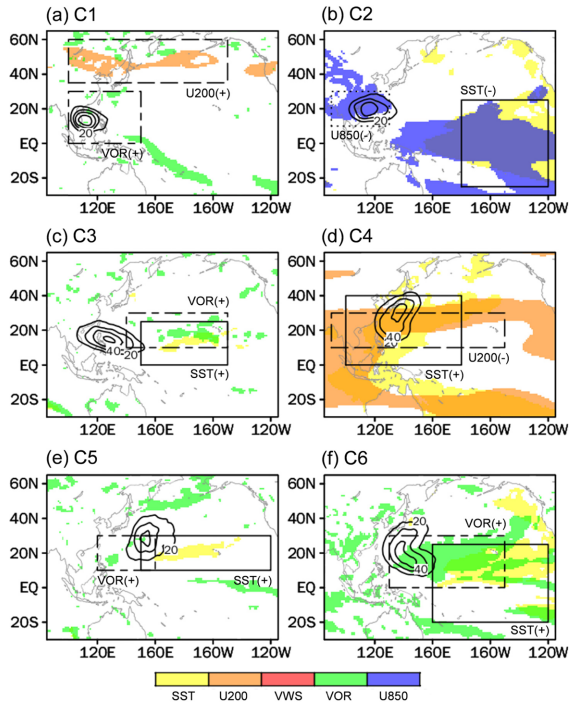


Fig. 3. The same as Fig. 2, except for during the October through November.

나타낸다. 여름철과 마찬가지로 가을철 태풍 진로도 총 6개의 진로 유형으로 분류되었으나, 그 특징이 조금 다르고 이에 따른 예측인자 변수 및 지역도 차이가 있다는 것을 확인할 수 있다. 첫 번째 유형(C1)은 남중국해 남단부에서 발생하고 소멸하는 태풍들이 분류되었고 예측인자로서는 서태평양의 하층 상대와도와 중위도 상층 동서바람이 채택되었다(Fig. 3a). 두 번째 유형(C2)은 남중국해 북단부에서 주로 발생했지만 여름철과 다르게 대만 방향으로 북상하지 못하고 주로 서진하여 중국 남부지역에 상륙하는 태풍들이 분류되었다(Fig. 3b). 이 유형은 남중국해 지역적인 하층 동서바람과 중태평양 해수면온도의 원격상관 영향을 받는 것으로 나타나 이들을 예측인자로 채택하였다. 세 번째 유형(C3)은 태풍 주 발생구역인 필리핀 해에서 발생하여 필리핀, 홍콩 등 남중국해 방향으로 나아가는 태풍들이 분류되었으며 중태평양의 해수면 온도와 하층 상대와도를 예측인자로 결정하였다(Fig. 3c). 네 번째 유형(C4)은 동중국해를 지나 일본 남동부 지역에 직접적인 영향을 주는 태풍들로서 북서태평양 대양 전체의 해수면 온도와 아열대 지역 상층 동서 바람을 예측인자로 가진다(Fig. 3d). 다섯 번째 유형(C5)은 분류된 진로 유형들 중 가장 동쪽에서 활동하는 태풍들이며, 아열대 지역의 서태평양 하층 상

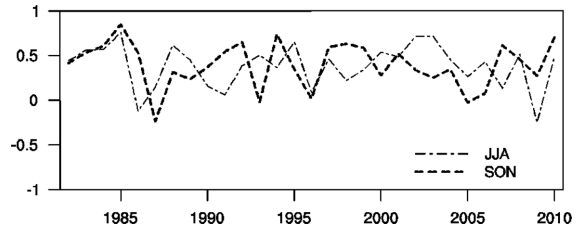


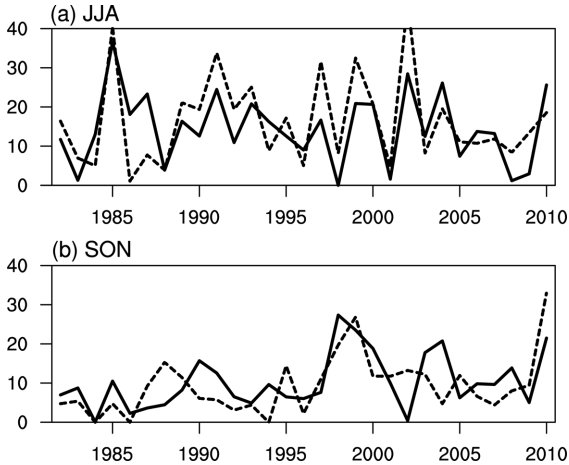
Fig. 4. Time series of pattern correlation coefficients between two anomalous TC passages; observed TC passages and ensemble average of hindcasts for the period 1982~2010.

대와도와 중태평양 해수면 온도를 예측인자로 채택하였다(Fig. 3e). 여섯 번째 유형(C6)은 상대적으로 먼바다에서 발생하며 중위도까지 전향하여 북상하는 태풍들이 분류되었고, 열대지역 하층 상대와도 및 해수면 온도와 높은 관련성을 보여 예측인자로 선정하였다. 같은 지역에서 활동하는 태풍 진로 유형들을 계절 별로 비교했을 때, 가을철 진로가 여름철 진로보다 대체로 저위도 지역에서 더 활발한 양상을 보이는 것으로 나타났다.

#### 4. 예측의 성능 평가

개발된 계절별 태풍 예측모델의 성능을 확인하기 위해 교차타당화(cross validation) 방법을 이용하여 모델 훈련기간(training period) 동안 과거예측 결과와 관측 태풍활동 사이의 진로 밀도 편차 공간상관도 시계열을 분석하였다(Fig. 4). 이 교차타당화는 통계모델의 성능을 검증하는 방안 중에 하나로써 널리 쓰이는 방법이다(Gray et al., 1992; Elsner and Schmertmann, 1993; Chu et al., 2007; Kim et al., 2012; Ho et al., 2013). 관측과 예측 사이 높은 공간상관도는 지역적인 태풍활동 예측이 관측의 태풍 진로 밀도와 유사해지며 예측성능이 우수하다고 할 수 있다. 연별 공간상관도의 변동이 있으나 기후적으로 여름철에 0.38, 가을철에 0.40의 값을 보이는 것으로 나타나 기후적인 관점에서 그 성능이 우수하다. 그러나 음의 공간상관도를 보이는 경우도 있어 본 모델을 통한 태풍 진로 공간분포 예측에도 여전히 문제점이 있음을 확인한다(여름철의 1986, 2009년, 가을철의 1987, 1993, 2005년). 여름철과 가을철 공간상관도 시계열의 상관성은 0.16으로써 여름철 태풍활동을 예측하는 모델과 가을철을 예측하는 모델은 서로 큰 관련이 없고 계절별로 최선의 예측성능 구현을 위해 독립적인 모델 개발이 잘 수행되었다는 것을 확인할 수 있다.

본 모델의 예측결과는 북서태평양지역 전체 태풍 활동을 대상으로 하기 때문에 예보자가 한반도 비상



**Fig. 5.** Time series of regional averaged probabilities for (solid line) observed TC passages and (dashed line) ensemble average of hindcasts in the Korea emergency zone for the period 1982~2010.

구역의 예보를 위해서는 최종 예측 결과를 이용한 별도의 후처리 작업이 필요하였다. 본 연구에서는 최종 태풍활동 예측 지도에서 한반도 비상구역의 예측결과 값만을 산출하게 하는 모듈을 개발하여 유저 친화적인 인터페이스 개발을 시도하였다. 이때, 한반도 비상구역은 기상청 정의를 따라 경도 122°E~132°E, 위도 28°N~40°N까지의 구역으로 정의하였다. 관측자료도 본 모델에서 산출하는 태풍 진로 밀도와 같이 확률 값으로 변환하여 모델 성능을 같은 기준에서 비교하였다.

Figure 5는 1982년부터 2010년까지 여름철과 가을철의 한반도 비상구역 평균된 태풍 진로 밀도를 나타낸 시계열이다. 매년 여름철에 발생한 태풍들 중 15~25%가 한반도 비상구역에 진입하는 것으로 나타났고, 가을철에는 5~15%가 진입하는 것으로 나타났다. 또한 우리나라에 가을철 태풍에 의한 영향이 점차 증가하고 있는 경향을 확인할 수 있다. 모델 예측결과에서도 관측에서 나타난 이러한 기후적 특징들을 편향도 없이 잘 모의하는 것으로 나타났으며, 가을철 태풍활동의 장주기 증가 경향도 모의하고 있다. 정량화된 수치로써 관측과 예측 사이 상관계수는 여름철에 0.70, 가을철에 0.55로써 두 계절 모두 관측(실선)에서 나타난 기후적 변동성을 통계적으로 99% 유의수준으로 예측(점선)이 잘 모의하는 것으로 나타났다. 따라서 개발된 한반도 비상구역 집중예측 모듈이 본 모델의 높은 예측성능에 기반해 본 모델의 사용자에게 신뢰성 있는 한반도 태풍 예측 정보를 제공할 수 있다고 평가할 수 있다. 그러나 피크 예측은 여름철 예측

모델이 가을철 예측모델보다 상대적으로 더 우수한 성능을 보이는 것으로 나타났다. 여름철 예측모델은 변동성을 포함한 대부분의 피크들을 상대적으로 잘 모의하였지만 가을철 예측모델은 1990, 2002, 2004년 피크 등을 관측과 다른 양상으로 예측하였다. 본 예측이 통계적 기법에 기반하기 때문에 우리나라에 태풍의 영향이 많고 적었던 피크 해 모의의 정확성에는 한계성이 존재할 수 있다. 이 한계성은 새로운 예측인자 개발 및 최적화나 다른 회귀분석 기법을 본 모델 예측에 이용한다면 부분적으로 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

## 5. 요약

본 연구에서는 국가태풍센터에서 운영하는 북서태평양 태풍 진로 계절예측모델의 6월부터 10월까지의 고정된 예측시점을 현업 예보자가 목적에 따라 3개월 단위로 그 예측기간을 조정할 수 있도록 개선하였다. 여름철과 가을철 태풍 전망을 발표하는 기상청 장기 예보 일정에 부합해 예측결과를 산출하기 위해 계절별로 나누어 북서태평양의 대표적 태풍 진로 유형을 새로 분류하고 각 유형별 대규모 순환장과의 상관성을 분석해서 예측모델을 개발하였다. 이 모델들의 성능을 평가하고 현업에서의 활용 가능성을 확인하기 위해 교차타당화 방법을 이용해 1982년부터 2010년까지 과거기간 동안의 예측성능을 검증하였다. 태풍 진로 밀도의 예측에 있어 관측과 모델 값의 상관계수는 여름철에 0.70, 가을철에 0.55 정도를 보였으며, 이는 예측치가 관측에서 나타난 변동성의 99% 유의수준에서 모의되는 것으로 나타났다. 두 계절 모두 기후적인 관점에서 우수한 예측성능을 보였고, 또한 기존에 개발되었던 6월부터 10월까지 기간을 대상으로 하는 모델의 성능과 비슷한 수준인 것으로 나타났다. 이러한 예측 대상기간의 수정은 사용자가 본 모델의 초기 입력자료로 사용되는 네임리스트 입력 파라미터를 조정해 쉽게 조절할 수 있다. 또한 본 모델 예측결과에 한반도 비상구역의 결과를 집중해서 산출하는 후처리 모듈을 추가하여 현업 예보에서 신속하게 모델을 구동하고 정확한 한반도 태풍활동 예측결과를 산출할 수 있도록 하였다. 비록 가을철 한반도 비상구역 태풍활동의 피크 해 모의에 한계성이 일부 나타났으나 향후 새로운 예측인자 도입 및 최적화, 다른 회귀분석 방법 시험 등을 통해 극복할 수 있을 것이다. 이 연구를 통해 개발된 3개월 단위 예측 모듈, 유저 친화적 인터페이스, 그리고 후처리 스크립트 추가를 통한 한반도 지역 예측기능들은 기상청 국가태풍센터의 태풍 장기 예보 업무에 큰 도움이 될 것으로 기대된다.



## 감사의 글

본 기술노트의 개선을 위해 좋은 의견을 제시해 주신 두 분의 심사위원께 감사를 드립니다. 이 연구는 기상청 기상기술개발사업(CATER 2012-2040)의 지원으로 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Chu, P.-S., X. Zhao, C.-T. Lee, and M.-M. Lu, 2007: Climate prediction of tropical cyclone activity in the vicinity of Taiwan using the multivariate least absolute deviation regression method. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, **18**, 805-825.
- Elsner, J. B., and C. P. Schmertmann, 1993: Improving extended-range seasonal predictions of intense Atlantic hurricane activity. *Wea. Forecasting*, **8**, 345-351.
- Gray, W. M., C. W. Landsea, P. W. Mielke, and K. J. Berry, 1992: Predicting Atlantic seasonal hurricane activity 6~11 months in advance. *Wea. Forecasting*, **7**, 440-455.
- Ho, C.-H., J.-H. Kim, H.-S. Kim, W. Choi, M.-H. Lee, H.-D. Yoo, T.-R. Kim, and S. Park, 2013: Technical note on a track-pattern-based model for predicting seasonal tropical activity over the western North Pacific. *Adv. Atmos. Sci.*, **30**, 1260-1274.
- Jin, C.-S., C.-H. Ho, D.-S. R. Park, W. Choi, D. Kim, J.-H. Lee, K.-H. Chang, and K.-R. Kang, 2014: Development of the automated prediction system for seasonal tropical cyclone activity over the western North Pacific and its evaluation for early predictability. *Atmosphere*, **24**, 123-130.
- Kanamitsu, M., W. Ebisuzaki, J. Woollen, S.-K. Yang, J. J. Hnilo, M. Fiorino, and G. L. Potter, 2002: NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **83**, 1631-1643.
- Kim, H.-S., J.-H. Kim, C.-H. Ho, and P.-S. Chu, 2011: Pattern classification of typhoon tracks using the fuzzy c-means clustering method. *J. Climate*, **24**, 488-508.
- \_\_\_\_\_, 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, H.-S. Kim, and W. Choi, 2012: 2010 Western North Pacific typhoon season: Seasonal overview and forecast using a track-pattern-based model. *Wea. Forecasting*, **27**, 730-743.
- Korea Meteorological Administration, 1996: *Typhoon white book*, 262 pp.
- Moon, I.-J., and E.-S. Choi, 2011: A definition and criterion on typhoons approaching to the Korean peninsula for the objective statistical analysis. *Atmosphere*, **21**, 45-55.
- Saha, S., and Coauthors, 2014: The NCEP Climate Forecast System version 2. *J. Climate*, **27**, 2185-2208.
- Smith, T. M., R. W. Reynolds, T. C. Peterson, and J. Lawrimore, 2008: Improvements to NOAA's historical merged land-ocean surface temperature analysis (1880~2006). *J. Climate*, **21**, 2283-2296.