Atmosphere. Korean Meteorological Society
Vol. 24, No. 1 (2014) pp. 123-130
http://dx.doi.org/10.14191/Atmos.2014.24.1.123
pISSN 1598-3560 eISSN 2288-3266

기 술 노 트
(Technical Note)

북서태평양 태풍 진로의 계절예측시스템 자동화 구축 및 조기 예측성의 검증

진천실[1)] · 허창회[1),*] · 박두선[1)] · 최우석[1)] · 김다솔[1)] · 이종호[2)] · 장기호[2)] · 강기룡[2)]
[1)]서울대학교 지구환경과학부, [2)]기상청 국가태풍센터

(접수일: 2013년 11월 22일, 수정일: 2013년 12월 23일, 게재확정일: 2013년 12월 23일)

Development of the Atomated Prediction System for Seasonal Tropical Cyclone Activity over the Western North Pacific and its Evaluation for Early Predictability

Chun-Sil Jin[1)], Chang-Hoi Ho[1),*], Doo-Sun R. Park[1)], Woosuk Choi[1)], Dasol Kim[1)], Jong-Ho Lee[2)], Ki-Ho Chang[2)], and Ki-Ryong Kang[2)]
[1)]School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea
[2)]National Typhoon Center, Korea Meteorological Administration, Jeju, Korea

(Manuscript received 22 November 2013; accepted 23 December 2013)

Abstract The automated prediction system for seasonal tropical cyclone (TC) activity is established at the National Typhoon Center of the Korea Meteorological Administration (KMA) to provide effective operation and control of the system for user who lacks knowledge of the system. For automation of the system, two procedures which include subjective decisions by user are performed in advance, and their output data are provided as input data. To provide the capability to understand the operational processes for operational user, the input and output data are summarized with each process, and the directory structure is reconstructed following KMA's standard. We introduce a user interface using namelist input parameters to effectively control operational conditions which is fixed or should be manually set in the previous version of the prediction system. To operationally use early prediction which become available through the automation, its performances are evaluated according to initial condition dates. As a result, high correlations between the observed and predicted TC counts are kept for all track clusters even though advancing the initial condition date from May to January.

Key words: Tropical cyclone, track-pattern-based model, seasonal prediction, automated system

1. 서 론

태풍은 한반도에 영향을 끼치는 극한 기상현상의 하나로서 이것이 동반하는 강풍과 집중호우로 인해 국가에서는 매년 막대한 인명피해와 재산피해를 입고 있다. 이들 직접적인 피해 외에도 산업활동 중단 및 피해복구에 따른 간접적인 영향까지 고려하면 태풍의 사회경제적 영향은 막대하다. 태풍에 의한 피해를 저감하기 위해 기상청에서는 태풍의 발생 이후 추이를 예측하는 단기진로예보성능의 향상을 위해 꾸준히 노력해왔다(e.g., Kim, 2000; Kim and Lee, 2007; Lee and Cha, 2007). 그러나 계획적인 방재대책 수립을 위해 태풍 계절예측에 대한 필요성이 점차 증가하고 있다. 기상청 국가태풍센터에서는 지난 수년간 서울대학교와 공동 연구를 통해 태풍 진로유형에 기반한 계절

*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 : +2-876-6795
E-mail : hoch@cpl.snu.ac.kr

태풍진로예측 통계-역학 융합모델을 개발하였고, 현재 현업화되어 예보업무에 활용되고 있다(Ho *et al.*, 2013, hereafter H13). 이 모델은 미국 환경예측센터(National Centers for Environmental Prediction)의 CFSv2 (Climate Forecast System version 2) 역학모델의 예측자료를 통계적으로 이용해서 6월부터 10월까지의 태풍진로밀도 예측결과를 5월 초에 제공한다. 이 모델의 예측성능은 기존의 과거예측(retrospective forecast) 및 사례 연구와 지난 2년간 현업에서의 활용을 통해서 충분히 검증되었다(Kim *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2012). 모델의 기본적인 구조와 설계는 H13에 상세히 기술되어 있다.

그런데 모델의 초기버전에서는 사용자가 구동조건을 소스코드 내에서 직접 설정해야 하고, 전처리, 예측모듈, 후처리 과정을 수동으로 수행해야 하는 불편을 겪고 있었다. 사용자가 모델을 쉽게 제어할 수 있는 시스템 환경을 충분히 구축하지 못해서 개발자가 지속적으로 사후관리를 해줘야 하는 문제도 있었다. 현업의 다양한 수요에 맞춰 예측을 수행하기 위해 개발자 수준의 기술적 배경이 필요하기 때문에 사용자에 의한 유연한 모델 구동이 불가능했다. 이에 국가태풍센터와 서울대학교의 본 연구 팀은 모델에 대한 이해가 부족한 사용자라도 쉽게 모델의 구동조건을 조절할 수 있도록 사용자 인터페이스와 쉘 스크립트에 의한 자동화 시스템을 구축했다. 개선된 예측시스템을 사용자가 효율적으로 이해하고 운영하는 데 도움을 주기 위해, H13에서 설명된 기존의 예측시스템을 기반으로 자동화 구축을 위해 추가되거나 최적화된 과정을 설명한다. 그리고 자동화 시스템 구축을 통해 부수적으로 현업의 다양한 수요 중에서 예측시점(initial condition date) 선행화가 효과적으로 구현될 수 있어 예측시스템의 조기 예측성을 검증한다.

본 논문의 2절에서 자동화를 위해 최적화된 예측시스템의 운영 기반을 소개하고, 3절에서 그 운영 체계를 소개한다. 4절에서는 예측시점 선행화에 따른 예측성능을 분석하였다.

2. 예측시스템 운영 기반

2.1 시스템 구성

먼저 예측시스템의 전처리, 예측모듈, 후처리 과정에서 필요한 Ruby, Axel (A light download accelerator for linux), WGRIB2, PGI (Portland Group, Inc.) 포트란 컴파일러, R, GrADS (Grid Analysis and Display System)가 리눅스 기반 컴퓨터에 설치되어 있어야 한다. 병렬연산을 하지 않기 때문에 고사양의 컴퓨터 자원이 필요하지 않지만, 장기간의 입력자료를 보관하고 있어야 하므로 100 GB 이상의 저장공간 확보를 권장한다. 포트란 컴파일러를 제외한 모든 소프트웨어가 공개되어 있을 뿐만 아니라, 개인용 컴퓨터 수준의 컴퓨팅 자원으로도 충분히 구동시킬 수 있기 때문에 예측시스템을 처음 접하는 사용자도 비교적 쉽고 간편하게 시스템을 구축할 수 있다.

다음으로 예측시스템의 자동화 구축에 제약을 주는 전처리 과정의 군집분류(pattern classification)와 예측

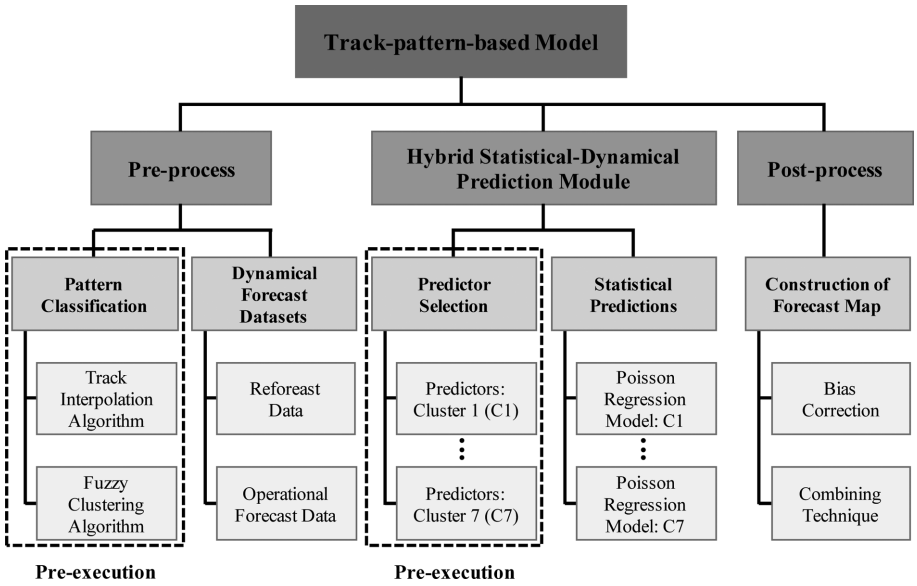

Fig. 1. The hierarchical structure of the track-pattern-based model for automatic system. Reproduced from Ho *et al*. (2013).

Table 1. Directory structure, input, output files, and descriptions. Dollar sign ($) means the basic substitution operator when it is used as the prefix for a variable name in the shell script.

Directory		Sub directory or *source code (shell script)*	Output file	Description	*Source code (shell script)*
PREP/	DABA/		calendar_cfs.txt grid_tc.gdat n_ftc.txt grid_fuzzytc.gdat	CFSv2 retrospective calendar historical TC passages number of the TC for each cluster TC cluster passages	pre-excution
	DAIN/	cfsv2_re/oceansst/ cfsv2_re/wnd200/ cfsv2_re/wnd850/	oceansst.$em.$im.cfsv2.$period.grb2 wnd850.$em.$im.cfsv2.$period.grb2 wnd200.$em.$im.cfsv2.$period.grb2	CFSv2 retrospective grib2 data (SST, 200- and 850-hPa wind)	*(autodown.csh)*
		cfsv2_op/$ic[123]/	pgbf.01.$ic[123].$target.avrg.grib.grb2 ocnf.01.$ic[123].$target.avrg.grib.grb2	CFSv2 operational grib2 data (pressure level, ocean)	*(autodown.csh)*
	EXEC/	*(run_prep.csh)*		PREP process control script	
	DAOU/	cfsv2_re/oceansst/ cfsv2_re/wnd200/ cfsv2_re/wnd850/	oceansst.$em.$im.cfsv2.$period.gdat wnd850.$em.$im.cfsv2.$period.gdat wnd200.$em.$im.cfsv2.$period.gdat	CFSv2 retrospective binary data (SST, 200- and 850-hPa wind)	*(run_prep.csh)*
		cfsv2_op/$ic[123]/	oceansst.01.$ic[123].$target.gdat wnd850.01.$ic[123].$target.gdat wnd200.01.$ic[123].$target.gdat	CFSv2 operational binary data (SST, 200- and 850-hPa wind)	*(run_prep.csh)*
MODL/	.SRC/	*get.$c.f* *modelop.R* *reconst_fcst.f*		getting predictor Poisson regression code reconstructing forecasts for each cluster	
	EXEC/	*(run_modl.csh)*		MODL process control script	
	DAIN/	$ic1/	fort.$c$em$im	predictor sets	*get.$c.f* *(run_modl.csh)*
	DAOU/	$ic1/	eemop.txt eemall.txt	prediction results for each cluster reforecast results for each cluster	*modelop.R* *(run_modl.csh)*
			reconst_fcst.gdat	TC passage reforecast	*reconst_fcst.f90* *(run_modl.csh)*
POST/	.SRC/	*plot_fcst.gs*		plotting reconstructed forecast	
	EXEC/	*(run_post.csh)*		POST process control script	
	DAGR/	$ic1/	fcstmap_tot.eps fcstmap_tot_ano.eps	forecast result by number forecast result by anomaly	*plot_fcst.gs* *(run_post.csh)*
LOGO/			run.$ic1.log	system operating log	

* $ic[123]: $ic1, $ic2, and $ic3
$ic1: main initial condition date
$ic2: 5 days before $ic1
$ic3: 10 days before $ic1
$em: ensemble member in CFSv2 retrospective
$im: issue month in CFSv2 retrospective
$period: CFSv2 period used
$target: target year and month
$c: each cluster

모듈의 예측인자 선정(predictor selection) 과정을 시스템 구동 과정에서 제외하였다(Fig. 1). 군집분류 과정에 의한 기후적인 태풍 진로유형들(H13의 Fig. 4)은 시간에 따라 크게 변하지 않을 뿐만 아니라(Kim *et al*., 2011), 최적군집수 결정과 예측인자 영역 선정 과정에서 객관적 지표가 사용되지만 최종적으로 분석자의 주관이 포함되어야 하기 때문에 자동화 시스템에 적합하지 않다. 즉, 현업화를 위한 자동화 시스템에서 고정될 수 있는 입력자료의 생산과 주관적인 판단이 필요한 과정은 사전에 준비하여 입력자료로 제공된다. 사전 준비가 필요한 입력자료를 포함한 입출력 자료와 디렉토리 구조에 대한 설명을 2.2절에서 기술한다.

2.2 디렉토리 구조 및 입출력 자료

현업 사용자가 시스템을 이해하고 운용하는 데 도움을 주기 위해 기상청 규격에 따라 디렉토리 구조를 재구성하고, 해당 디렉토리에 포함되어 있는 입력자료와 소스코드를 이용해 산출되는 출력자료를 정리하였다(Table 1). 전처리, 예측모듈, 후처리 과정을 각각 PREP/, MODL/, POST/로 지정하고, 이들 주요 과정에서 필요한 디렉토리를 DABA/(기본자료), DAIN/(입력자료), DAOU/(출력자료), .SRC/(소스코드), EXEC/(실행코드), DAGR/(그래픽자료)로 분류하여 그 하위 디렉토리로 구성하였다.

2.1절에서 언급한 입력자료는 CFSv2 예측자료 산출달력(calendar_cfs.txt)과 1982-2010년 기간 동안의 태풍을 군집분석하여 산출된 연도별 군집분류자료(n_ftc.txt), 군집격자자료(grid_fuzzytc.gdat), 연도별 태풍격자자료(grid_tc.gdat)이고, 이들은 PREP/DABA/에 저장되어 있다. CFSv2 과거예측자료(PREP/DAIN/cfsv2_re/)와 현업예측자료(PREP/DAIN/cfsv2_op/)는 PREP/EXEC/의 전처리 구동 스크립트(run_prep.csh)에 의해 바이너리(binary) 형태로 변환되어 PREP/DAOU/cfsv2_re/와 PREP/DAOU/cfsv2_op/에 각각 저장된다. 진로유형별 예측인자와 그 영역 정보(H13의 Figs. 5와 6)가 포함된 예측인자 추출코드(get.$c.f)는 변환된 CFSv2 과거 및 현업 예측자료와 사전 준비된 연도별 태풍 군집분류자료를 이용해 해당 진로유형과 상관관계가 유의한 영역에서 예측인자(fort.$c$em$im)를 추출하고 MODL/DAIN/에 저장한다. 이 예측인자들은 푸아송 회귀 분석 방법에 근거한 예측모듈(modelop.R)을 통해 진로유형별 태풍 빈도수(eemall.txt, eemop.txt) 형태로 산출한다. 이후, 예측된 태풍 빈도수가 예측복원코드(reconst_fcst.f)에 의해 최종 진로 예측장(reconst_fcst.gdat)으로 합성되어 MODL/DAOU/에 저장된다. 마지막으로 예측장 가시화코드(plot_fcst.gs)에 의해 예측장(fcstmap_tot.eps)과 기후값에 대한 편차(anomaly)가 포함된 예측장(fcstmap_tot_ano.eps)이 생산되어 POST/DAGR/에 저장된다.

Table 2. Example of namelist input parameters for initial condition (6 May 2013).

Environment variable name		Description
TOPDIR	[*working directory*]	top level directory in the system
LOGO	$TOPDIR/LOGO	directory containing the log files
PREP	$TOPDIR/PREP	pre-process directory
MODL	$TOPDIR/MODL	model directory
POST	$TOPDIR/POST	post-process directory
basin	wnp	target basin
num_clst	7	optimal cluster number
ic1	20130506	main initial condition date
ic2	20130501	2nd initial condition date
ic3	20130426	3rd initial condition date
run_date	$ic1	run date (same as ic1)
season	jjaso	target season
smo	6	start month of target season
emo	10	end month of target season
syr_cfs	1982	start year of CFS retrospective forecast
eyr_cfs	2010	end year of CFS retrospective forecast
deg	1	grid resolution in degree
slat	0	start latitude
elat	60	end latitude
slon	100	start longitude
elon	180	end longitude

2.3 사용자 인터페이스 구축

기존 예측시스템은 예측 기간과 영역 등의 모델 구동 조건이 고정된 상태로 여러 소스코드에 산재해 있어 사용자가 수정하기 위해서는 상당한 시간과 노력이 필요했다. 이 문제를 해결하기 위해 모델 구동 조건을 네임리스트 입력 파라미터(namelist input parameter, Table 2)로 대체하여 예측시스템의 사용자 인터페이스를 구축하였다. 일반적으로 사용자 인터페이스는 사용자가 컴퓨터 프로그램에서 동작을 제어하기 위해 사용하는 기법으로서, 주 목적은 사용자가 프로그램과 의사소통을 간편하게 할 수 있도록 하는 것이다. 따라서 사용자 인터페이스 구축을 통해 시스템에 대한 이해가 부족한 사용자도 비교적 쉽게 모델 구동 조건을 변경할 수 있도록 했다. 이는 추후 예측 기간 세분화(여름 및 가을 개별 예측)와 예측영역 확장(대서양) 등의 시스템 개선이 필요할 때 작업 시간을 단축시킬 수 있다.

네임리스트는 시스템 구동 스크립트(main_run.csh)를 실행할 때 1회만 실행되어 setenv 명령어로 지정된 파라미터를 스크립트 실행이 종료될 때까지 메모리에 상주시킨다. 예측시스템의 주요경로를 비롯하여 예측 기간(예측시점, 예측 목표 월 등)과 영역 등 주로 예측시스템 소스코드에서 반복적으로 사용되는 파라미터를 설정했다. 사용자 인터페이스의 개발로 인해 예측시스템에서 예측 기간과 영역을 쉽고 간편하게 변경할 수 있을 뿐만 아니라, 소스코드별 중복되거나 추가되는 파라미터, 파일, 디렉토리 등을 일괄적으로 적용할 수 있게 되었다. 이 중에서 예측 기간 파라미터는 시스템 구동 스크립트에 의해서 변경될 수 있고, 크론 스크립트 (cron_run.csh)에 의해 주기적으로 수행될 수도 있다. 즉, 사용자의 목적 또는 정해진 일정에 따라 예측 기간 파라미터를 변경하여 시스템을 구동할 수 있는 자동화 시스템을 구축하였다. 시스템 구동 스크립트에 포함된 예측시스템의 주요 과정에 대한 설명은 3절에서 기술한다.

3. 예측시스템 운영 체계

3.1 전처리 과정(Pre-process)

예측시스템의 전처리 과정은 CFSv2 예측자료를 인터넷 웹사이트로부터 내려 받는 자료수집 과정과 바이너리 형태로 변환하는 과정으로 구성되어 있다. 먼저 주기적으로 배포되는 CFSv2 예측자료를 내려 받기 위해 Ruby 프로그램으로 CFSv2 데이터베이스 웹사이트에 게시되어있는 자료들의 URL(Uniform Resource Locator) 정보를 추출하고, Axel프로그램을 이용하여 해당 파일들을 내려 받는다. 여기서 Ruby는 객체 지향 스크립트 프로그래밍 언어이고, Axel은 웹에 게시되어 있는 자료를 여러 개로 나누어 내려 받아 다시 조합하는 방식의 다운로드 가속 프로그램이다. 이렇게 내려 받은 CFSv2 예측자료는 GRIB2(GRIdded Binary version 2) 형태로서 WGRIB2 프로그램을 이용한 자료 형태 변환 과정을 통해 리눅스 기반 컴퓨터에서 자료처리가 용이한 Little-endian 방식의 바이너리 형태로 변환된다.

3.2 예측모듈(Hybrid Statistical-Dynamical Prediction Module)

예측시스템의 예측모듈 과정에서는 CFSv2 예측자료와 푸아송 회귀분석 모델(Poisson regression model)을 결합하여 각 진로유형별 태풍과 대기/해양 대규모 순환장 사이의 상관성을 이용해 예측을 수행한다. 기존 예측시스템에서 사용된 주요 프로그램은 MATLAB®이었지만 라이센스 제약을 피하기 위해 공개 통계 패키지인 R로 대체했다. R은 배열 계산이 비교적 간단하고, MATLAB®과 유사한 문법 체계를 가지면서 예측모듈의 주요 함수인 일반선형모델(generalized Linear Model)을 제공하고 있어 대체 작업이 상대적으로 용이하다. R로 작성된 프로그램의 기본적인 구조는 기존 MATLAB®과 동일하고, 주 프로그램(modelop.R)에 일반선형모델 함수를 내장하여 작성되었다.

3.3 후처리 과정(Post-process)

예측시스템의 후처리 과정은 각 진로유형별로 예측된 결과를 결합해 태풍진로밀도 예측결과를 생산하는 단계와 예측모델의 평균값과 표준편차를 태풍 활동의 관측값과 일치하도록 편향보정(bias correction)하는 단계로 구성되어 있다. 이 과정은 지구과학 분야에서 주로 사용하는 계산 및 가시화 프로그램 중의 하나인 GrADS를 이용한다. GrADS를 기반으로 한 진로 유형들의 합성 및 편향도 보정 스크립트를 통해 시스템의 최종 결과물인 태풍 진로밀도 예측과 기후값에 대한 편차를 생산한다.

4. 조기예측 가능성 검증

사용자 인터페이스에 의한 자동화 시스템 구축으로 인해 고정되어 있던 예측시점을 사용자 목적에 따라 유연하게 조절할 수 있게 되었다. 하지만 예측시점을 앞당겨 현업에서 활용하기 위해서는 그에 대한 예측 성능 검증이 선행되어야 한다. CFSv2 예측자료는 예측시점으로부터 9개월까지의 예측결과를 배포하므로 예측시점을 최대 1월까지 앞당겨 태풍진로 계절예측(6~10월)이 가능하다. 여기서는 예측시점을 매해 1월 1일, 2월 5일, 3월 2일, 4월 1일, 5월 1일을 기준으로 하여 예측월(issue month)에 대해 분석하였다. 진로유

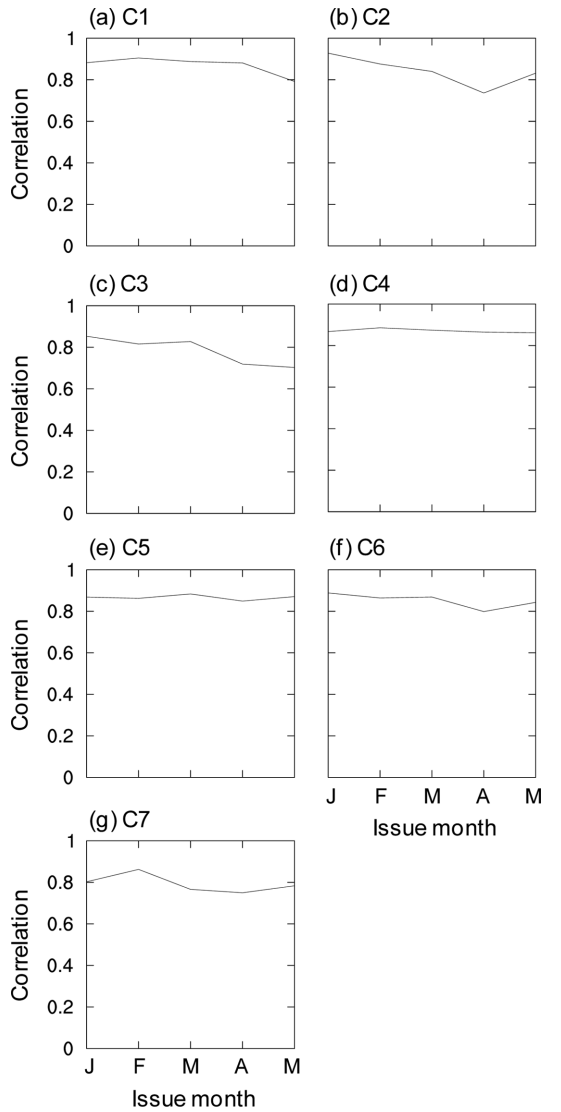

Fig. 2. Temporal correlation between observed and predicted TC counts (1982-2010) with issue months (January through May). (a)~(g) show C1~C7, respectively.

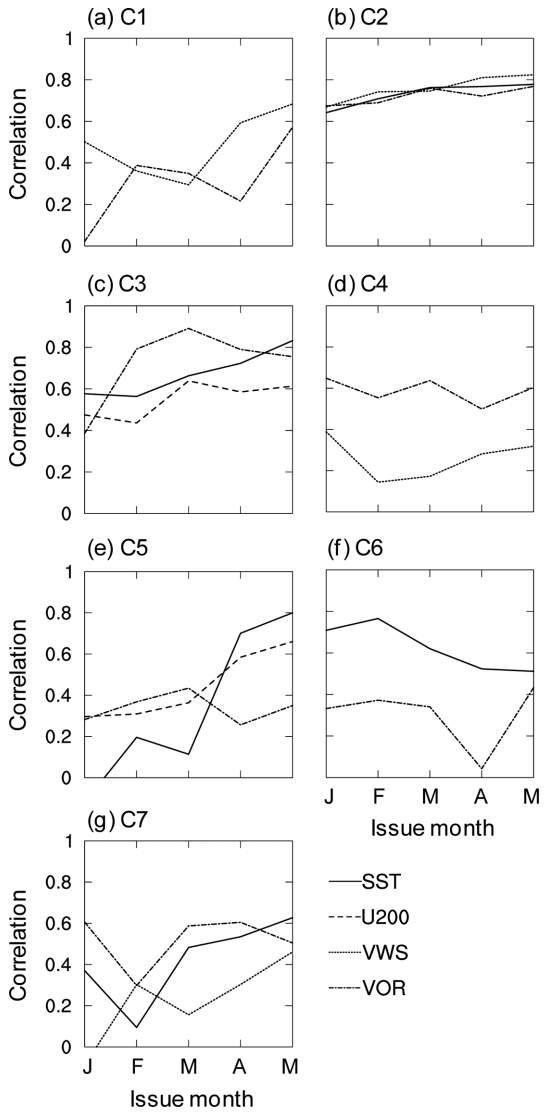

Fig. 3. Temporal correlation between reanalysis and forecast for each predictor with issue months. (a)~(g) show C1~C7, respectively.

형별 태풍개수와 예측시점에 따른 CFSv2 대규모 순환장 과거예측결과의 상관지도가 서로 유사한 형태를 띄기 때문에, 예측시점에 상관없이 기존의 5월 1일 예측시점과 동일한 예측인자 영역을 사용하여 해당 영역 내에서 각각 유의한 격자만 예측인자로 추출하였다. 앙상블은 29년간(1982~2010년) CFSv2 과거예측자료의 예측시점을 포함한 이전 12개 자료를 사용하였다. 이 앙상블들을 평균하여 예측을 수행하고 교차타당화(cross validation) 방법을 이용하여 연도별 예측성능을 평가하였다. Figure 2는 예측시점에 따른 진로유형별 예측결과와 관측의 상관성 변화를 나타낸 것으로서, 모든 진로유형에서 예측시점에 상관없이 0.7 이상의 높은 상관성을 보인다. 일반적으로 역학모델 기반의 예측시스템은 예측시점의 선행화에 따라 예측성능이 떨어지는 경향이 있지만, 본 예측시스템의 경우 예측시점에 상관없이 안정적인 예측성능을 보이는데, 그 원인에 대해 시스템 외적 요인과 내적 요인으로 나누어 살펴보았다.

먼저 시스템 외적 요인으로 진로유형별 예측인자에 대한 CFSv2 예측결과와 재분석 자료의 상관성을 예

측시점에 따라 조사하였다(Fig. 3). 예측인자에 저위도 해수면 온도나 상층제트가 포함된 C2와 C3의 경우 예측시점이 앞당겨지더라도 높은 상관성이 유지되는 반면, 중위도의 해수면온도와 연직바람시어가 포함된 C5와 C7의 경우 예측시점이 앞당겨짐에 따라 상관성이 낮아져 1~2월에 최저값이 나타난다. 예측인자의 영역은 H13의 Figs. 5와 6에 제시되어 있다. Saha *et al.* (2013)에 따르면 저위도 태평양 지역에 대한 CFSv2의 예측성능이 중위도 지역보다 상대적으로 높기 때문에, 예측성능이 우수한 저위도 예측인자를 주로 보유한 진로유형(C2와 C3)에서 우수한 태풍발생 예측성능이 유지된다. 하지만 예측성능이 떨어지는 중위도 예측인자를 주로 보유한 진로유형(C5와 C7)에서도 안정적인 태풍발생 예측성능이 나타나는 것은 시스템 외적 요인으로 설명하기 힘들다.

다음으로 시스템 내적 요인을 검토하였다. 예측시점에 상관없이 안정적인 예측성능은 주로 태풍과 대규모 순환장의 통계적으로 높은 상관성을 기반으로 한 회귀분석의 특성으로부터 기인하는 것으로 보인다. 예측시점을 앞당겨 예측인자 영역의 평균적인 예측성능 떨어지더라도 이 상관성이 높은 격자들만 사용하기 때문에 안정적인 예측성능이 유지되는 것이다. 그리고 태풍 활동 예측에 뛰어난 성능을 보이는 것으로 알려져 있는 푸아송 회귀분석 방법을 이용함으로써 우수한 예측성능이 유지된다(Elsner and Schmertmann, 1993; Chu and Zhao, 2007; Kim *et al.*, 2010). 따라서 예측시점의 선행화에도 불구하고 태풍과 대규모 순환장의 통계적으로 높은 관련성을 유지하며 회귀분석의 최적화 작업이 항상 이루어지기 때문에 안정적인 예측성능이 나타나는 것으로 사료된다. 이는 태풍 활동 예측을 조기에 활용할 수 있다는 측면에서 상당히 고무적이다.

5. 요 약

태풍진로 계절예측시스템의 배경 지식이 부족한 사용자가 시스템을 효율적으로 구동하고 조절할 수 있도록 자동화에 최적화된 시스템을 기상청 국가태풍센터에 구축하였다. 기존 예측시스템에서 사용자의 주관이 포함되어 자동화 구축에 제약을 주는 군집분류와 예측인자 선정 과정은 미리 수행되고, 그 출력자료는 입력자료로서 제공된다. 시스템을 이해하고 운용하는데 도움을 주기 위해 기상청 규격에 따라 디렉토리 구조를 재구성하고, 해당 디렉토리에 포함되어 있는 입력자료와 소스코드를 이용해 산출되는 출력자료를 정리하였다. 또한 기존 예측시스템에서 고정되어 있거나 수동으로 설정해야 하는 구동조건을 효과적으로 조절하기 위해 네임리스트를 이용한 사용자 인터페이스를 추가하여 자동화 시스템을 최적화하였다. 이러한 자동화 시스템에 의해 기술적으로 가능해진 조기예측의 성능을 검증한 결과, 예측시점을 5월에서 1월까지 앞당겨도 모든 진로유형에서 높은 예측성능이 유지되었다. 이처럼, 조기예측이 가능해진 태풍진로 계절예측시스템은 국가태풍센터의 현업예보뿐만 아니라 태풍계절예측 분야의 연구자에게도 매우 유익할 것으로 기대되고, 본 기술노트는 효율적인 예측시스템 운영을 위한 기술적 지침서로 활용될 것이다.

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. 연구내용 중 CFSv2 예측자료의 자동 다운로드와 MATLAB®의 R 대체 관련 연구는 '통계-역학 하이브리드 모델을 이용한 태풍진로 계절예측시스템 구축' 연구용역과제에서 수행되었습니다.

REFERENCES

Chu, P.-S., and X. Zhao, 2007: A Bayesian regression approach for predicting seasonal tropical cyclone activity over the central North Pacific. *J. Climate*, **20**, 4002-4013.

Elsner, J. B., and C. P. Schmertmann, 1993: Improving extended-range seasonal predictions of intense Atlantic hurricane activity. *Wea. Forecasting*, **8**, 345-351.

Ho, C.-H., W. Choi, H.-S. Kim, J.-H. Kim, 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 cyclone activity over the western North Pacific. *Adv. Atmos. Sci.*, **30**, 1260-1274.

Kim, H.-D., 2000: A case study on the forecasting and judging technique of typhoon track and lifetime using GMS-5 image data. environmental science. *Collected Papers Environmental Science*, **5**, 79-92.

Kim, H.-S., C.-H. Ho, P.-S. Chu, and J.-H. Kim, 2010: Seasonal prediction of summertime tropical cyclone activity over the East China Sea using the least absolute deviation regression and the Poisson regression. *Int. J. Climatol.*, **30**, 210-219.

_____, 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. Cli-*

mate, **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 track-pattern-based model. *Wea. Forecasting*, **27**, 730-743.

Kim, J.-w., and J.-G. Lee, 2007: A qualitative analysis of WRF simulation results of typhoon 'Rusa' case. *Atmosphere*, **17**, 393-405.

Lee, K. H., and E.-J. Cha, 2007:Current status of typhoon forecast from Korea Meteorological Administration and the role of National Typhoon Center. *J. KOSHAM*, **7**, 53-61.

Saha, S., and Coauthors, 2013: The NCEP Climate Forecast System Version 2. *J. Climate*. doi:10.1175/JCLI-D-12-00823.1, in press.