

# 한반도 상륙 태풍의 강도변화 예측을 위한 단순회귀모형 개발

최기선<sup>1,\*</sup> · 김백조<sup>1</sup> · 이지윤<sup>2</sup>

<sup>1</sup>국립기상연구소 정책연구팀

<sup>2</sup>국립기상연구소 태풍·황사연구팀

(2007년 4월 12일 접수; 2007년 5월 19일 승인)

## A Simple Regression Model for Predicting the TC Intensity Change after Landfall over the Korean Peninsula

Ki-Seon Choi<sup>1,\*</sup>, Baek-Jo Kim<sup>1</sup> and Ji-Yun Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Policy Research Lab., National Institute of Meteorological Research

<sup>2</sup>Typhoon and Asian Dust Research Lab., National Institute of Meteorological Research

(Manuscript received 12 April 2007; in final form 19 May 2007)

### Abstract

We developed a simple regression model for predicting the intensity change (central pressure) of major tropical cyclones (TCs) for 24 hours after landfall using 51 TC cases which landed over the Korean Peninsula for 1951-2004. Clusters 1 and 4 with a relatively strong intensity of TC after landfall classified by Choi and Kim (2007) are used to develop a statistical model for the prediction of TC intensity change. Predicting parameters (falling constants) in the regression models ( $P_t = P_0 + a \ln t$ ) are 6.46 and 10.11 for clusters 1 and 4, respectively. It might be mentioned that there is some feasibility in employing a simple regression model developed in this study for TC intensity change after landfall for operational purpose of TC forecasting compared with RSMC-Tokyo best-track in both TC cases of Clusters 1 and 4 and Ewiniar (0603) case, but the room for improvement of model still remains for further study.

**Key words:** intensity change, regression model, tropical cyclone, Korean peninsula

### 1. 서 론

우리나라는 거의 매년 태풍에 의한 강풍과 집중호우로 수많은 인명 및 재산피해를 입고 있어 태풍의 진로 및 강도 변화 예측이 태풍 연구 중 가장 중요한 부분이 되어왔다. 특히 태풍 상륙 시 강도변화에 대한 예측은 육상의 주택, 교통 등 인간생활에 직접적인 영향을 미치기에 중요함이 더욱 크다. 따라서 Tropical Cyclone (TC)의 상륙시 강도변화 예측에 대한 몇몇 연구들이

TC에 의한 피해가 많은 나라들에서 주로 이루어졌다. 먼저 Kaplan and DeMaria (1995; 이후 K&D라고 함)는 미국 남동부해안에 상륙한 67개의 허리케인을 대상으로 상륙강도 및 상륙지역에 따라 각 세 그룹으로 분류한 후 각각의 그룹에 대한 Inland Wind Decay Model (IWDM)을 개발하였다. 그러나 이 연구에서 개발된 모형은 예측값을 생산하는데 수치모형보다 빠르다는 장점이 있지만, 중위도 기압계의 영향을 받는 지역(37.5°N 이상의 지역)은 제외되었다는 한계를 지니고 있었다. 이러한 한계를 극복하기 위해 K&D (2001)는 37.5°N이상의 미국 동부 해안지역에 상륙한 허리케인을 대상으로 유사한 IWDM을 개발하였다. 이 지역에서는 특히 높은 지형과 연직바람시어에 의해 37.5°N이하의 지역보다 태풍 상륙 후의 바람감소율이 훨씬 크게 나타났으며, 이러한 특징이 모형개발에 큰

\*Corresponding Author: Ki-Seon Choi, Policy Research Lab./National Institute of Meteorological Research, Seoul, Korea.  
Phone : +82-2-847-2496, Fax : +82-2-849-0688  
E-mail: choiks@kma.go.kr

어려움이 되었다. 또한 이 연구는 모형을 만들기 위해 다소적은 44개의 태풍 사례를 적용하여 모형정확도에 의문이 있음을 지적하였다. 이후 Roy Bhowmik *et al.* (2005)은 K&D의 모형을 인도에 상륙한 열대성저기압에 적용하였다. 이 연구에서의 상륙 후 바람 감소율은 미국 허리케인에 비해 다소 작았지만 상륙 후 12시간 동안의 감소율이 가장 급격하다는 공통점을 보였다. 따라서 이 연구는 K&D의 모형을 상륙 후 12시간 동안의 바람 감소 계수와 그 이후 시간에서의 바람 감소 계수로 구분하여 완성하였다. 그 결과 감소계수로 구분된 모형이 그렇지 않은 경우의 K&D 모형보다 예측 성능이 훨씬 뛰어났다. 그러나 이 연구에서도 경험모형을 만들기 위해 단지 19개의 적은 수의 열대성저기압 사례들이 적용되었다.

한편, 이들 연구들은 모두 상륙 후 바람의 강도를 예측하기 위한 모형에 초점을 두고 있다. 그러나 태풍 중심기압의 상륙 후 강도 변화를 예측하기 위한 통계적 경험모형(회귀모형)의 연구는 찾아보기 드문 실정이다. 대부분 중심기압 증가율의 예측에 중점을 두고 있다. Vickery (2005)는 미국 동부해안에 상륙한 태풍을 대상으로 시간에 따른 태풍 중심기압 증가율의 경험식을 구하였다. 하지만 이 식은 단지 중심기압의 증가율만 제공할 뿐 정확한 예측값을 제공하지 못하였다. 이외에도 Shloemer (1954), Holland (1980), Hurbert *et al.* (1991), Fujii and Mitsuta (1995) 등도 상륙 후 TC 중심기압의 증가율을 예측하기 위한 회귀모형을 개발하였다. 이 모형들의 예측성능은 다른 연구들에 비해 우수하지만 입력되는 변수의 복잡함으로 인해 실제 현업에서 사용되기 어렵다는 문제점이 남아있다. 이러한 외국의 연구들에 비해 국내에서는 상륙 후 태풍의 강도변화를 예측하기 위한 경험모형이 전혀 이루어지지 않았다. 다만, 태풍의 일생동안 중심기압의 변화를 예측하기 위한 다중회귀모형인 STIPS (박중숙 등, 2005; Statistical Typhoon Intensity Prediction Scheme)가 개발되어 기상청 현업에서 사용되고 있을 뿐이다.

미국과 인도의 경우, 열대성저기압이 상륙한 후 육지에서 지속적으로 쇠퇴함으로써 강도 변화가 일정하여 경험모형의 개발이 다소 용이하다. 하지만 한반도에 상륙한 태풍은 몇 시간 이내에 통과 할 뿐만 아니라 통과 후에도 해양을 접하게 되어 다시 강도가 강해질 수 있는 가능성이 있어 경험모형을 개발하는데 다소의 어려움이 있을 수 있다. 따라서 본 연구는 이 연구 이후로 유사한 연구가 지속적으로 이루어지길 기

대하는 의미에서 한반도에 상륙한 태풍에 대해 상륙 후의 강도변화를 예측하기 위한 경험모형을 우선 개발하는데 우선적인 목적을 둔다. 향후 이와 관련된 추가적인 연구로 완성도를 높여 현업태풍예보에 적합한 한반도 상륙 후 태풍강도변화 예측모형을 개발하고자 한다.

## 2. 자료 및 분석방법

### 2.1 자료

한반도 상륙 태풍 사례를 선정하기 위해 Regional Specialized Meteorological Center (RSMC)-Tokyo에서 제공하는 태풍의 best-track 자료를 사용하였다. 이 자료는 6시간 간격의 태풍 중심기압 (Central Pressure; hPa), 중심최대풍속 (Maximum Sustained Wind (MSW); kt) 및 이동위치 (위도 · 경도) 등을 포함한다. 또한 한반도 상륙태풍의 군집별 대기순환의 특성분석은 NCEP-NCAR (National Center for Environmental Prediction-the National Center for Atmospheric Research; Kalnay *et al.*, 1996) 재분석 자료 중 바람 ( $ms^{-1}$ )과 지위고도 (gpm)를 사용하였다. 이 자료는 6시간 간격이며, 위 · 경도는  $2.5^{\circ}$ 이고, 18개의 연직층으로 구성되어 있다.

### 2.2 분석방법

한반도 상륙태풍사례의 선정 및 한반도 상륙 전 · 후의 정의는 Choi and Kim (2007; 이후 C&K라 함)의 방법을 따랐다. 선정된 한반도 상륙태풍은 총 51사례이며, 이 사례들을 대상으로 Fuzzy Clustering Method (FCM)를 이용하여 군집 분류한 (C&K 참조) 상륙 패턴에 대해 먼저 대기순환의 특성을 분석하였다. 이를 기초로 상륙강도변화에 대한 회귀(경험)모형이 개발되었다. 대기순환의 특징을 850-200-hPa deep-layer mean flow에 대해 분석하였으며, 이는 Kim (2005)가 북서태평양에서의 태풍 경로에 대해 군집분류한 뒤 각 군집에서 태풍의 지향류의 원인이 되는 기압계의 특성을 조사하기 위해 사용된 바 있다. 마지막으로 2006년에 한반도에 상륙한 태풍 사례 및 cross-validation 분석을 이용하여 회귀모형의 예측성을 비교 · 검증하였다.

### 3. 한반도 상륙 태풍의 특성

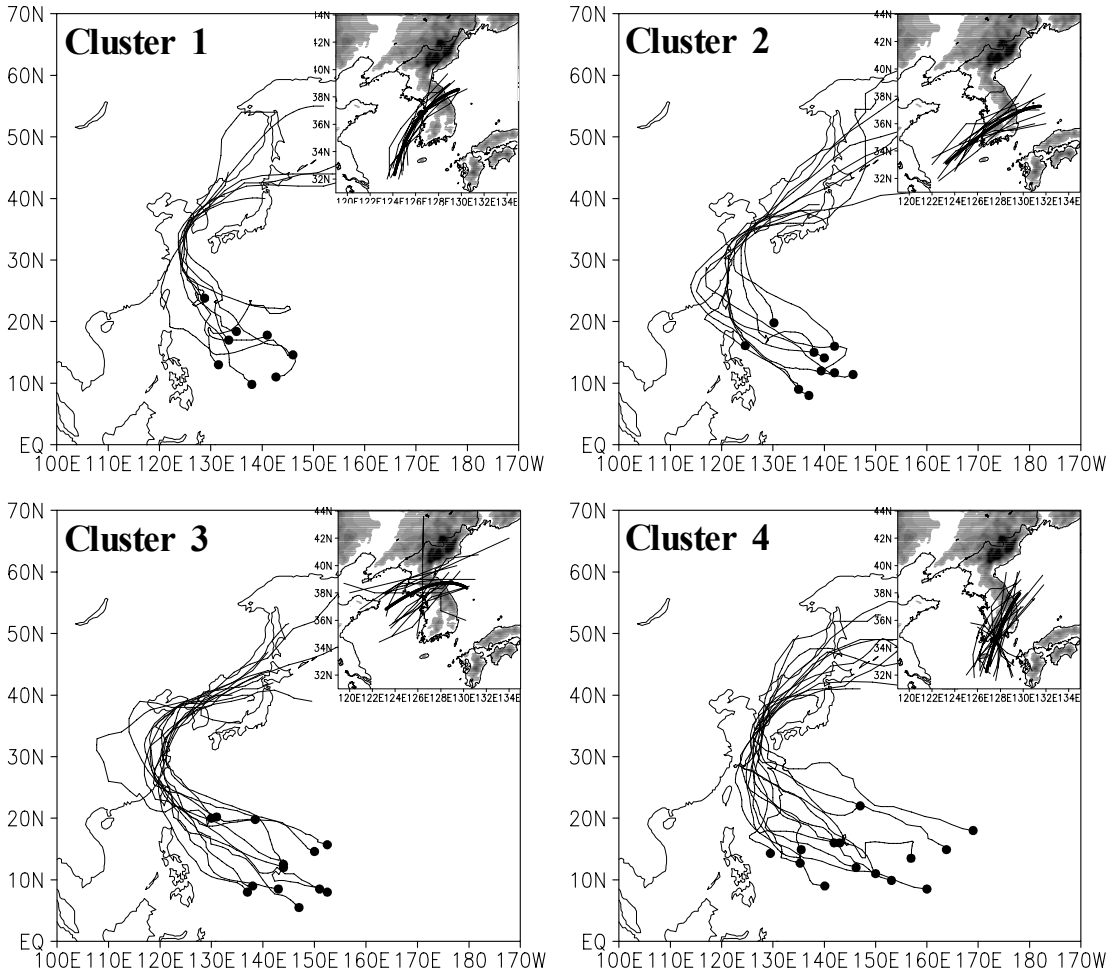
#### 3.1 태풍상륙 진로의 군집분류

이 연구는 한반도 상륙태풍의 강도변화 회귀모형을 개발하기 위해 먼저 C&K에 의해 분류된 태풍 상륙 진로의 군집을 선택하였다 (Fig. 1). 각 군집의 자세한 진로 특성은 위의 연구에 제시되어 있으며, 여기서 간략하게 서술하고자 한다.

- 군집 1: 한반도 남쪽에서 북상하여 서해안에 상륙하는 경우 (10사례)
- 군집 2: 한반도 서쪽으로부터 접근하여 서해안의 중

- 북부지역에 상륙하는 경우 (10사례)
- 군집 3: 한반도 서쪽으로부터 접근하여 서해안의 남부지역에 상륙하는 경우 (14사례)
- 군집 4: 한반도 남쪽에서 북상하여 남해안에 상륙하는 경우 (17사례)

각 군집의 전체진로는 태풍의 한반도 상륙전 중국 대륙 경유 유·무의 특성으로 나눌 수 있다. 이러한 특성은 C&K에서도 지적하였듯이 한반도 상륙시의 강도 변화에 중대한 영향을 미친다. 실제로 군집 1과 군집 4의 태풍은 한반도 상륙시 뿐만 아니라 통과 후에도 대부분 TS ( $34kt \leq MSW \leq 47kt$ )이상의 강도를 유지하였지만 (군집 1의 경우, 10사례 중 9사례, 군집 4의



**Fig. 1.** Clusters of tropical cyclone (TC) tracks made landfall over Korean Peninsula for 1951-2005 (Choi and Kim 2007). Dots in the large maps indicate the positions of TC genesis and the embedded maps are the tracks after and before landfall. Bold lines in the embedded maps denote regression mean tracks.

경우, 17사례 중 16사례), 군집 2와 군집 3은 대부분 온대성 저기압으로 약화된 상태로 상륙하여 동해상으로 벗어났다(군집 2의 경우 10사례 중 6사례, 군집 3의 경우 14사례 중 9사례). 이러한 한반도 상륙태풍의 군집특성은 육지를 통과하면서 태풍강도변화를 예상할 수 있다는 점에서 태풍예보를 수행하는데 유용하게 사용될 수 있을 것이다. 한편, 태풍 평균발생의 위치는 네 군집 중 군집 4가 다른 군집에 비해 가장 동쪽에 위치하였다(13.8°N, 148.0°E).

### 3.2 태풍진로 군집별 대기순환 특성

본 연구에서는 한반도 상륙태풍 군집의 대기순환 특성을 살펴보기 위해 각 군집에 속하는 태풍의 일생 동안 평균된 deep-layer mean flow를 분석하였다

(Fig. 2). 한반도 상륙전 중국대륙 경유의 유·무에 따라 대기순환 특성이 분명하게 구분되어진다. 태풍이 중국대륙을 경유한 후 한반도에 상륙하는 군집 2와 군집 3은 중위도 경압대가 30°N까지 남하하였으며, 북태평양 고기압(6960gpm)은 화남내륙까지 발달하여 태풍이 대부분 중국내륙에서 전향하는 것을 볼 수 있다. 이는 이들 군집에 속하는 태풍들이 중국대륙의 경우 후 약화된 상태로 한반도에 상륙하게 되는 원인이 된다. 그러나 태풍이 중국대륙을 경유하지 않는 군집 1과 군집 4는 중위도 경압대가 좀 더 북쪽에, 그리고 북태평양 고기압의 중심이 군집 2와 군집 3보다 더 동쪽에 위치해 있어 태풍은 대부분 동중국해나 황해에서 전향하는 특징을 보이고 있다. 특히, 가장 강한 태풍강도로 한반도에 상륙하는 군집 4에서는 중국내륙에 기압골이 강하게 발달해 있음을 볼 수 있는데, 이는 중위

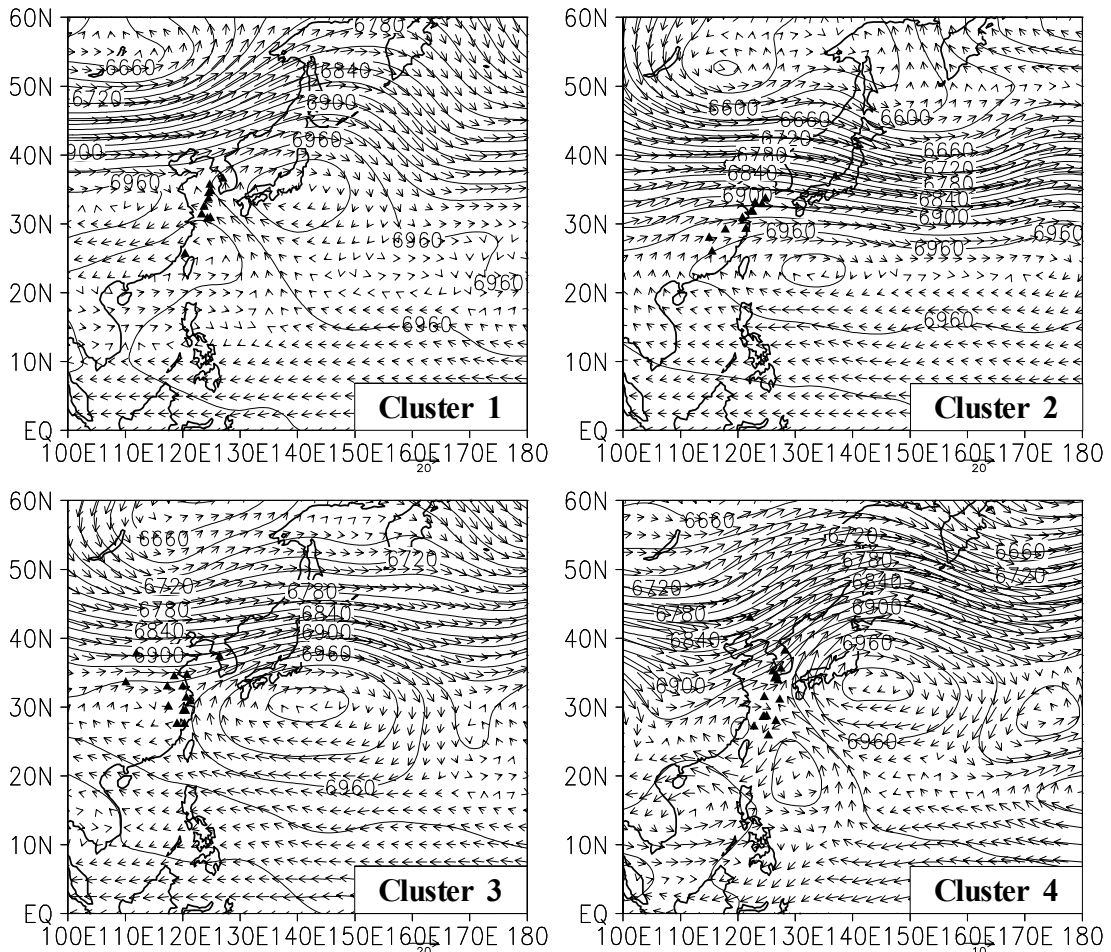


Fig. 2. Deep-layer (850~200-hPa) mean flows of each cluster. Triangles indicate TC recurring position.

도 상층 기압골이 태풍의 강화에 긍정적인 역할을 한 것으로 해석된다 (Titley and Elsberry, 2000). 결국, 군집 2와 군집 3에 속하는 태풍들이 한반도의 서쪽으로부터 상륙하는 것은 중위도 경압대가 한반도까지 많이 남하하였기 때문인 것으로 분석될 수 있다.

#### 4. 군집별 태풍 강도변화 외귀모형 개발

C&K에서 제시한 태풍의 한반도 상륙태풍 상륙 전·후의 정의를 이용하여 태풍별 한반도 통과시간을 구하였다 (Fig. 3). 평균적으로 태풍이 한반도를 통과하는 데는 22시간이 소요되었으며, 80%이상이 24시간 이내에 통과하였다. 따라서 본 연구에서는 한반도 상륙태풍 강도변화 경험식을 상륙시부터 상륙 후 24시간 동안 RSMC best-track의 태풍 중심기압 자료를 사용하여 개발하였다. 군집별 태풍의 통과시간에서는 중국 대륙을 경유하여 상륙하는 군집 2와 군집 3이 평균 통과 시간보다 빨랐으며, 특히 중국대륙을 경유하지 않는 군집 1과 군집 4보다 최대 6시간 정도 빨리 통과하였다. 이는 군집 2와 군집 3과 같이 약화단계를 경험하고 있는 태풍은 중위도 상층 종관 시스템의 영향으로 그 이동속도가 상당히 빠르기 때문이다.

##### 4.1 평균중심기압 변화

Fig. 4a는 한반도 상륙태풍의 상륙시부터 상륙 후 24시간동안 총 51사례와 이들의 매 6시간 평균 중심기압을 나타낸 것이다. 한반도 상륙태풍의 중심기압은 평균적으로 상륙시부터 6시간 동안 급격히 증가하다가 완만해지는 로그함수의 형태를 보였다. 이러한 형태는 중심최대풍속을 대상으로 했지만 인도양 및 대서

양의 열대성 저기압에 대해 연구한 결과와 일치한다 (K&D, 1995; K&D, 2001; Roy Bhowmik *et al.*, 2005). 군집별 중심기압변화는 군집 4가 로그함수적으로 가장 급격하게 증가하는 특징을 나타내었다. 군집 2 역시 로그함수로 증가하지만, 그 정도는 군집 4보다 뚜렷하지 못하였다. 이러한 군집4의 급격한 강도 약화는 Fig. 1에서 찾을 수 있다. 군집 1의 태풍들은 서해상으로 계속 북상한 후 상륙하여 태백산맥만을 통과하는 반면, 군집 4의 태풍들은 대부분 상륙 후 소백산맥과 태백산맥을 모두 거치게 된다. 한편 군집 2와 군집 3은 한반도 상륙시부터 상륙 후 24시간동안 중심기압변화가 거의 나타나지 않았다 (그림생략). 이 결과들로부터 태풍의 상륙 강도가 강할수록 중심기압이 크게 증가하는 경향(태풍이 급격하게 약화하는 경향)이 있음을 알 수가 있었다.

##### 4.2 강도변화 외귀모형

이전연구들에서 태풍 상륙 후의 중심기압은 대부분 로그함수로 증가함을 보인바 있다 (Shloemer, 1954; Holland, 1980; Hurbert *et al.*, 1991; Fujii and Mitsuta, 1995). 특히, 이 연구들은 태풍이 중위도 상층 기압골의 영향을 받을 경우 이러한 경향은 더욱 뚜렷함을 언급하였다. 따라서 본 연구에서도 이전연구들에서처럼 아래의 식과 같이 로그함수에 대한 최소제곱법을 이용하여 한반도 상륙시부터 상륙 후 24시간동안 태풍의 중심기압변화를 예측하기 위한 회귀모형을 뚜렷한 강도변화를 보이는 군집 1과 군집 4에 대해 산출하였다 (Fig. 4b). 다만, 군집 1의 Marge (5111)는 만주 부근에서 소멸하였고, 군집 4의 Winnie (6615), Judy (8911) 및 Gladys (9112)는 군집의 평균진로와 비교하여 이상 진로로 간주되어 모형개발을 위한 사례들에서 제외하였다.

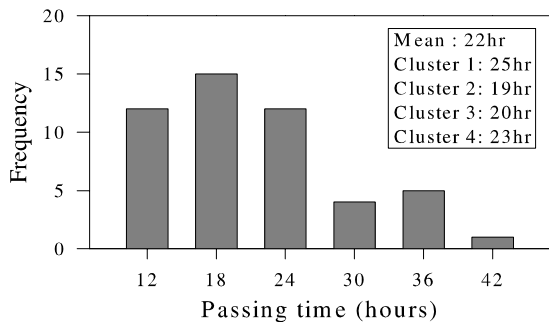


Fig. 3. Passage time of TCs over the Korean Peninsula of each cluster.

$$P_t = P_0 + a \ln t$$

여기서,  $t$ 는 태풍의 상륙 후 시간,  $P_0$ 는 상륙시 중심기압,  $a$ 는 중심기압의 증감계수를 의미한다. 앞서 살펴 보았듯이 군집 1과 군집 4는 중심기압이 로그함수로 증가하는 경향이 뚜렷한 반면, 군집 2와 군집 3은 중심기압 변화가 거의 없었다. 이는 각 군집별 중심기압의 증감계수에서 더욱 명확하게 확인할 수 있는데, 군집 2 (0.89)와 군집 3 (0.41)은 1이하의 값을 보였다.

5. 회귀모형의 예측성능 검증 및 비교

이전 단락에서 서술하였듯이, 군집 2와 군집 3은 대

부분 온대성 저기압으로 약화되어 상륙하였다. 현재 기상청의 태풍예보 현업에서도 온대성 저기압으로 약화된 태풍의 경우 태풍정보를 생산하지 않는다. 따라

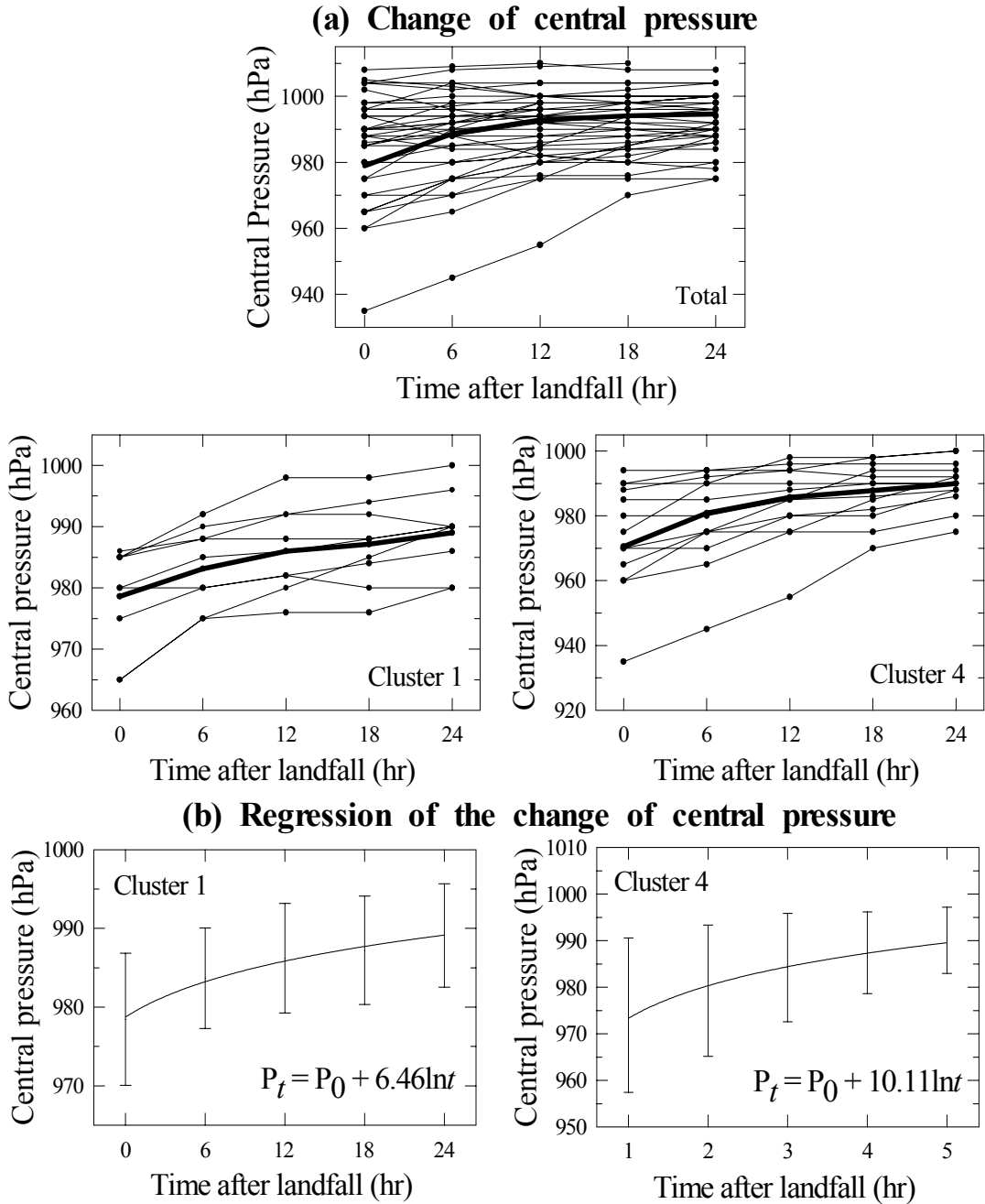


Fig. 4. (a) The change of central pressure for 24 hours after landfall for 51 Korean Peninsula -landfalling TCs, Cluster 1, and Cluster 4 and (b) regressions of the change of central pressure with error bars for Cluster 1 and Cluster 4. In (a), thick lines denote the mean change of central pressure.

서 태풍예보 현업에 필요한 태풍강도변화 경험식을 산출하기 위하여, 본 연구에서도 회귀식으로부터 산출된 예측값과 관측값의 비교는 군집 1과 군집 4에 대해 분석하였다 (Figs. 5 and 6). 여기서 관측값은 RSMC에서 제공하는 best-track을 의미한다. 회귀모형으로부터 예측된 값은 전체적으로 관측값의 변화경향을 잘 반영하지만, 상륙시 중심기압이 낮을수록 관측값과의 차이는 증가하는 경향을 보인다 (예를 들면 군집 1의 경우, Prapiroon (0012)와 군집 4의 경우, Faye (9503), Rusa (0215), Maemi (0314)들이다).

### 5.1 사례분석

2005년은 한반도에 태풍이 상륙하지 않은 해였고, 2006년에는 단지 Ewiniar (0603)의 1사례만이 상륙하였다. 따라서 이 연구는 회귀모형의 예측성능 검증 및 비교를 위한 사례로 Ewiniar (0603)를 선정하였다. 이 태풍은 2006년 6월 29일 06UTC에 필리핀 동쪽해상에서 발생하였다. 이후 7월 10일 00UTC에 STS (Severe Tropical Storm;  $48kt \leq MSW \leq 63kt$ )의 강도로 한반도 남서해안에 상륙하여 하루 뒤인 7월 11일 00UTC에 같은 강도를 유지하면서 한반도를 통과하였다 (Fig.

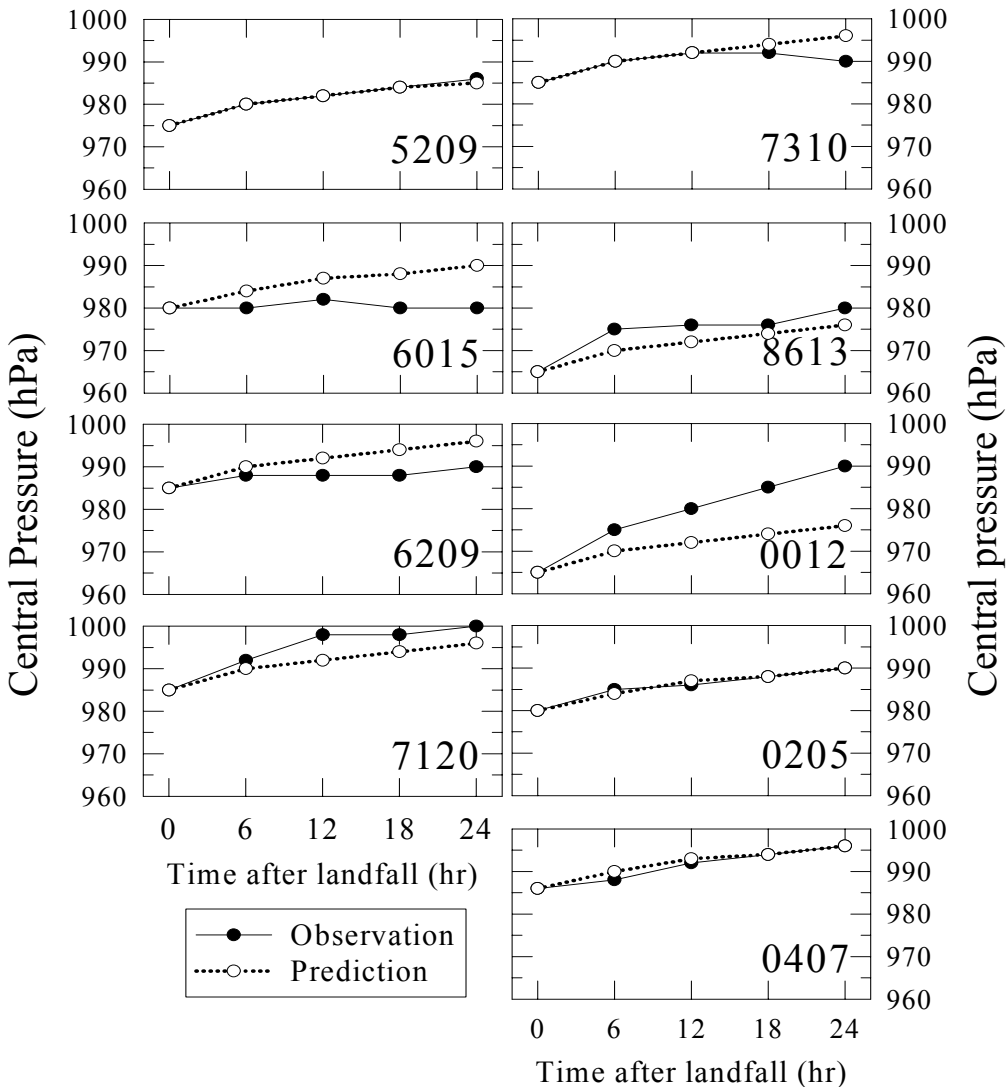


Fig. 5. Time-series of the central pressure of RSMC best-track and one predicted by simple regression model for Cluster 1.

7). Ewiniar의 진로는 앞서 분류된 4군집 중 전형적인 군집 4에 속하였다.

따라서 군집 4의 회귀모형에 초기값으로 7월 10일

00UTC의 상륙시 중심기압을 대입하여 상륙 후 6시간

부터 24시간까지의 예측값을 산출하였다 (Fig. 8). Ewiniar의 best-track은 상륙 후 12시간 동안 중심기압

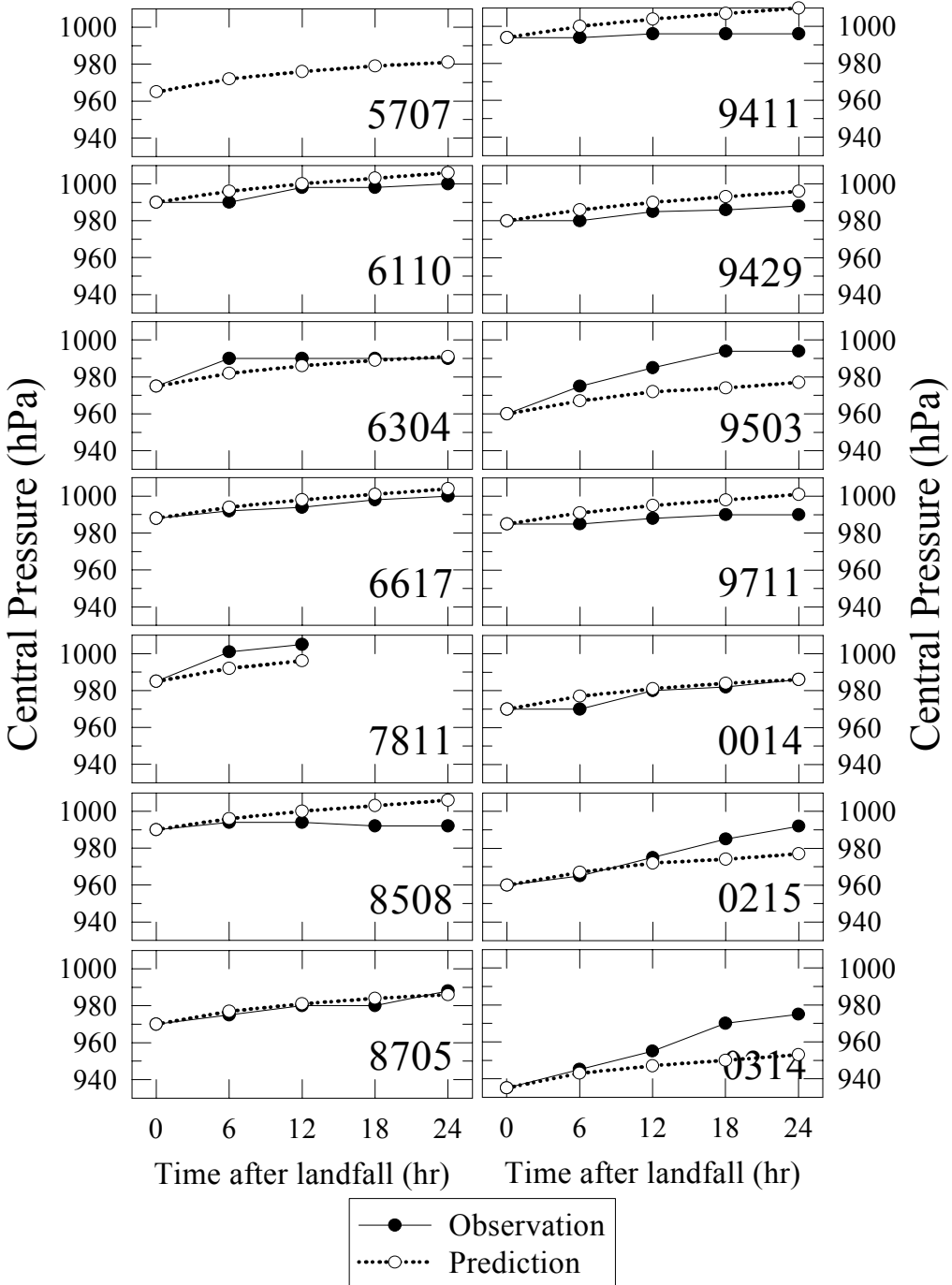


Fig. 6. As in Fig. 5 but for Cluster 4.



이 급격하게 증가하다가 이후 완만해지는 뚜렷한 로그 함수의 변동경향을 나타내었다. 그러나 예측값은 이러한 특징을 정확하게는 반영하지 못하였지만, 10 hPa

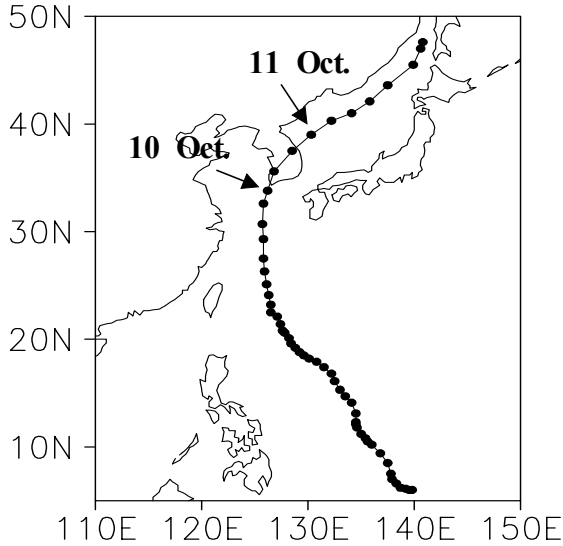


Fig. 7. The full track of Ewiniar (0603) case.

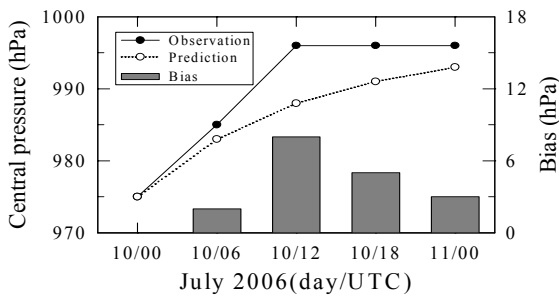


Fig. 8. Time-series of central pressure evaluating the predictability of the simple regression model of Cluster 4 for the Ewiniar (0603) case. The histogram indicates the difference (bias) between the observation and prediction from simple regression model.

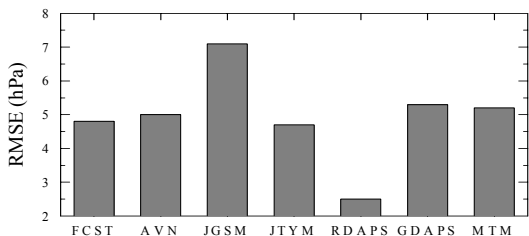


Fig. 9. The RMSE (Root Mean Squared Error) of each model of the operational typhoon for Ewiniar (0603) case.

이내의 편차를 가지면서 전반적으로 best-track을 잘 모사하고 있었다. 또한 편차는 시간이 지날수록 오히려 감소하는 특징을 보여주었다.

이 연구에서 개발된 회귀모형의 정확성을 알아보기 위하여 타 모형과의 예측성능을 비교하였다 (Fig. 9). 예측성능의 비교는 각 모형의 예측값들에 대한 RMSE (root mean square error)가 분석되었다 즉, 각 모형에서 7월 10일 00UTC에 발표한 최대 120시간 후의 예보 중 7월 10일 06UTC에서 7월 11일 00UTC까지 24시간의 예측값(6시간 간격으로 4개의 예측값)이 예측성능 비교에 사용되었다. 가장 큰 RMSE를 갖는 모형은 JGSM (Japan Global Spectral Model; 7.1 hPa)이며, 가장 좋은 예측성능은 RADPS (Regional Data Assimilation and Prediction System; 2.5 hPa)에서 나타났다.

### 5.2 Cross-validation 분석

Ewiniar의 한 태풍사례분석으로 위 군집 4에 대한 회귀모형의 예측성을 검증하는 것은 한계가 있으므로 본 연구에서는 cross-validation 분석을 실시하였다. 이 분석의 과정은 다음과 같다.

1. 14 태풍사례 중 한 사례를 제외하여 회귀모형을 구한 뒤, 이 모형에 대해 제외된 태풍 사례의 강도를 예측한다.
2. 역시 같은 사례를 4.2절에서 구한 회귀모형에 적용하여 예측 강도를 구한다.
3. 두 회귀모형으로 구해진 예측값으로 예측성능을 비교한다.
4. 위 세 과정을 14사례에 대해 모두 적용한다.

Cross-validation 분석 후 구해진 각 사례의 회귀모형의 증감계수는 초기 회귀모형의 증감계수와 크게 차이가 나지 않는다 (Table 1). 이로 인해 두 모형사이의 예측성능에서도 차이가 나지 않음을 볼 수 있다. 즉, 각 태풍사례에서 두 회귀모형으로부터 구해진 RMSE 차이가  $\pm 1$ 을 넘지 않는다. 이는 군집 1에서도 비슷하게 나타났다 (표 생략). 이 결과는 본 연구에서 구해진 회귀모형이 타당함을 의미하며, 앞으로 발생하는 태풍사례에 대해 적용 가능성을 알 수 있다.

### 6. 요약 및 결론

1951년부터 2004년 동안 한반도에 상륙한 51사례

**Table 1.** The comparison of original simple regression model with simple regression model after cross-validation.

TY No.	Simple regression model (A)		Simple regression model after cross-validation (B)		RMSE difference (A - B)
	Falling constant ( $a$ )	RMSE (hPa)	Falling constant ( $a$ )	RMSE (hPa)	
5707		2.6	10.26	2.7	-0.1
6110		5.8	10.35	6.1	-0.3
6304		4.5	10.18	4.5	0.0
6617		4.2	10.30	4.4	-0.2
7811		8.9	10.13	8.9	0.0
8508		10.1	10.83	11.0	-0.9
8705	10.11	2.5	10.09	2.5	0.0
9411		11.0	10.79	11.8	-0.8
9429		7.4	10.48	7.9	-0.5
9503		15.6	9.05	16.9	-1.3
9711		9.0	10.62	9.6	-0.6
0014		3.7	10.04	3.6	0.1
0215		9.8	9.25	10.8	-1.0
0314		16.5	8.79	16.2	0.3

의 태풍을 대상으로 상륙 후 강도변화를 예측하기 위한 회귀모형이 개발하였다. 회귀모형을 개발하기 전 먼저 Choi and Kim (2007)에서 분류된 한반도 상륙태풍의 군집에 대한 특성이 분석되었다. 군집분석결과, 한반도의 서쪽으로부터 상륙하는 두 군집 (군집 2와 군집 3)은 다른 두 군집 (군집 1과 군집 4)에 비해 중위도 경압대가 다소 남하하였고, 북태평양 고기압은 중국내륙까지 발달하였다. 따라서 군집 2와 군집 3에 속하는 태풍들은 대부분 중국내륙에서 전향하는 특징을 보였다. 이러한 원인으로 이 군집들에 속하는 많은 태풍들은 한반도 상륙시 온대성 저기압으로 약화되어 상륙하는 경향이 있었다. 그러나 군집 1과 군집 4의 태풍들은 상륙 전· 후에 대부분 TS (tropical storm)이상의 강한 강도를 유지하였다.

따라서 강한 강도를 가지고 한반도에 상륙하는 두 군집에 대해 태풍 상륙시부터 상륙 후 24시간 동안의 강도변화 회귀모형을 개발하였다. 이는 한반도에 상륙하는 대부분의 태풍이 24시간 이내에 한반도를 통과하는 특징이 있기 때문이다. 서론에서 언급하였듯이 이전 관련 연구들에서 태풍의 약화시 중심기압은 로그함수로 증가하는 경향이 있음을 보였으므로 본 연구에서도 회귀모형은 로그함수에 대한 최적내삽법이 적용되었다. 또한 약한 강도로 상륙하는 두 군집은 상륙시부터 24시간 동안 중심기압변화가 거의 없었으나, 강한 강도로 상륙하는 두 군집은 로그함수로 증가하는 경향

이 뚜렷하였다.

이후 2006년 Ewinar (0603)의 사례에 대해 이 연구에서 개발된 회귀모형과 타 모형과의 예측성에 대한 비교· 검증 결과, 이 회귀모형의 예측성능은 타 모형과 유사한 예측성을 보였으며, 현재 태풍예보 현업에서 사용되고 있는 일부모형 (Moving nest Typhoon Model, Statistical Typhoon Intensity System)보다 뛰어난 성능을 보이기도 하였다. 따라서 이 회귀모형을 태풍예보 현업에서 사용하기 위해서는 태풍의 한반도 상륙 전 타 모형에서 예측된 경로와 상륙시의 강도를 이용하여 4군집 중 한 경로를 선택한 후 해당 회귀모형에 상륙시의 강도를 대입하여 예측값을 구한다. 또한 각 사례에 대한 cross-validation 분석을 통하여 본 연구에서 개발된 회귀모형이 앞으로 발생하는 태풍의 사례에 대해 적용 가능함을 알 수 있었다. 하지만 단 하나의 사례에 대한 검증결과로부터 이 연구에서 개발된 회귀모형의 예측성능을 판단하는 것은 다소 무리가 있다. 그러나 유사한 다수의 이전연구에서 단순회귀모형에 부가적 효과 (예를 들어, 지형의 거칠기, 태풍주변의 해수온 등) 등을 적용할 경우 복잡한 수치모형보다 예측성능이 훨씬 뛰어난을 보인바 있다 (Kaplan and DeMaria, 1995; Kaplan and DeMaria, 2001; Roy Bhowmik *et al.*, 2005). 따라서 향후 이러한 효과 등을 고려한 상수를 개발하여 회귀모형을 개선할 경우 상륙시 태풍의 중심기압에 따라 그 이후의 예측값도 정해

지는 단순회귀모형의 단점도 개선되어질 것이다. 서론에서 언급하였지만, 다른 나라에서는 이미 상륙태풍의 강도변화를 예측하기 위한 경험(회귀)모형 개발의 연구가 상당히 진척되어 있다. 이는 태풍의 상륙시에 인간생활에 대한 태풍의 파괴적인 영향과 막대한 인명과 재산피해를 경감시키고자 하기 때문이다. 따라서 이 분야에 대한 지속적이고 체계적인 연구가 이루어져야 할 필요가 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 연구는 국립기상연구소의 주요사업인 “진보된 태풍분석 및 예측시스템 개발연구”의 일환으로 수행되었다.

## 참고문헌

- 박종숙, 권혁조, 신도식, 2005: 통계적 방법에 의한 북서태평양 태풍 강도 예측 모델 (STIPS) 개발, *기상기술*, **1**, 15-24.
- Choi, K. S. and B. J. Kim, 2007: Climatological characteristics of tropical cyclones making landfall over the Korean Peninsula. *J. Korean Meteor. Soc.*, **43**, 97-109.
- \_\_\_\_\_, and \_\_\_\_\_, 2007: Climatological characteristics of tropical cyclones making landfall over the Korean Peninsula: Cluster analysis. *submitting to Adv. Atmos. Sci.*
- Fujii, T. and Y. Mitsuta, 1995: On the radial pressure profiles of typhoons (in Japanese). *Ann. Disas. Prev. Res. Kyoto Univ.*, **38 B-1**, 101-116.
- Holland, G. J., 1980: An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes. *Mon. Wea. Rev.*, **108**, 1212-1218.
- Hubbert, G. D, G. J. Holland, L. M. Leslie, and M. J. Manton, 1991: A real-time system for forecasting tropical cyclone storm surges. *Wea. Forecasting*, **6**, 86-97.
- Kalnay, E., and Coauthors, 1996: The NCEP/NCAR 40-Year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-471.
- Kaplan, J., and M. DeMaria, 1995: A simple empirical model for predicting the decay of tropical cyclone wind speed after landfall. *J. Appl. Meteor.*, **34**, 2499-2512.
- \_\_\_\_\_, and \_\_\_\_\_, 2001: On the decay of tropical cyclone winds after landfall in the New England area. *J. Appl. Meteor.*, **40**, 280-286.
- Kim, J. -H. and C. -H. Ho, 2005: A study on the Seasonal Typhoon Activity using the Statistical Analysis and Dynamic Modeling. *Ph. D. dissertation, Seoul National University*. 240 pp.
- Roy Bhowmik, S. K., S. D. Kotal, and S. R. Kalsi, 2005: An empirical model for predicting the decay of tropical cyclone wind speed after landfall over the Indian region. *J. Appl. Meteor.*, **44**, 179-185.
- Schloemer, R. W., 1954: Analysis and synthesis of hurricane wind patterns over Lake Okeechobee, Florida. *Hydrometeor. Rep.*, **31**, 49 pp.
- Titley, D. W., and R. L. Elsberry, 2000: Large intensity changes in tropical cyclones: A case study of Supertyphoon Flo during TCM-90. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 3556-3573.
- Vickery, P. J., 2005: Simple empirical models for estimating the increase in the central pressure of tropical cyclones after landfall along the coastline of the United States. *J. Appl. Meteor.*, **44**, 1807-1826.