

ORIGINAL ARTICLE

## 한반도에 영향을 미친 태풍 경로별 재해평가모형의 활용도 분석

박종길<sup>1)</sup> · 이보람<sup>1)</sup> · 정우식<sup>2)\*</sup>

인제대학교 환경공학과/대기환경정보연구센터, <sup>1)</sup>한국기상산업진흥원

<sup>2)</sup>인제대학교 대기환경정보공학과/대기환경정보연구센터

### Analysis of the Availability of Risk Assessment Model for Typhoon Path which Affected Korean Peninsula

Jong-Kil Park, Bo-Ram Lee<sup>1)</sup>, Woo-Sik Jung<sup>2)\*</sup>

*Department of Civil and Environmental Engineering/Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University, Gimhae 50834, Korea*

<sup>1)</sup>*Korea Meteorological Industry Promotion Agency, Seoul 03735, Korea*

<sup>2)</sup>*Department of Atmospheric Environment Information Engineering/Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University, Gimhae 50834, Korea*

#### Abstract

As a result of dividing typhoon that affected Korean Peninsular between 1999 and 2012 into 7 types of path and entering forecast field and analysis field of RDAPS, until 36 hours from the time of forecast, it is reliable to use the forecast field of RDAPS to predict typhoon and for each typhoon path, the difference between the forecast and the analysis shows normal distribution, which is usable for weather forecast until the 36<sup>th</sup> hour. In the 48<sup>th</sup> hour from the time of forecast, the difference of result depending on each typhoon path increased, which was analyzed to be due to errors in the forecast.

It was expected that relatively reasonable results should be shown if the 36<sup>th</sup> hour forecast is used to predict the strength and distribution of strong wind. As a result of using Korean RAM and observing the difference of the maximum damage, reliability was secured up to 36 hours and after 48hours, it was expected that the fluctuation of results may become more severe.

**Key words** : RAM, Typhoon type, Forecast field, Analysis field

#### 1. 서론

금세기 들어 기후변화와 이로 인한 지구온난화는 많은 것에 대한 고민과 우려를 낳고 있다. 최근으로 올수록 폭염과 한파, 그리고 가뭄, 홍수 등, 전 세계적으

로 이상 기상현상이라 불리울만한 크고 작은 문제점은 거의 상시적으로 빈번히 발생하고 있다. 이처럼 기후변화로 야기되는 기상현상 중에서도 크고 심각한 인적, 물적 피해를 가져오는 것은 주로 태풍에 의한 것이 대부분이다. 2002년 우리나라에 약 6만 여명의

Received 9 September, 2016; Revised 19 October, 2016;

Accepted 20 October, 2016

\*Corresponding author : Woo-Sik Jung, Department of Atmospheric Environment Information Engineering/Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University, Gimhae 50834, Korea  
Phone : +82-55-320-3932  
E-mail : wsjung1@inje.ac.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.

이재민과 약 5조원의 물적 피해를 가져온 태풍 Rusa를 비롯해서 2003년 약 500여명의 사상자를 유발한 태풍 Maemi 등은 대표적인 태풍의 피해사례로 볼 수 있다. 최근 10년간 기상재해(태풍, 호우, 대설, 폭풍설, 강풍, 풍랑)로 인한 피해액은 약 22조원 정도인데, 이 중에서 태풍에 의한 피해만 약 13조원으로 6대 기상재해 전체 피해액의 약 60%에 이른다(NEMA, 2010). 따라서 태풍은 사회 전반에 걸쳐 다른 무엇보다 큰 피해와 손실을 가져온다.

그러나 더 큰 문제는 최근으로 올수록 이러한 태풍에 의한 피해 가능성이 점차적으로 높아지고 있다는 점이다. 즉, 2007년 IPCC 보고서에 따르면, 점차적으로 강력한 열대성 저기압의 활동이 증가할 것으로 예측하고 있고, 지구온난화가 진행되면서 태풍의 강도는 점차적으로 강력해질 것으로 예상하는 여러 연구 결과들이 발표되고 있다(Broccoli and Manabe, 1990; Sugi et al., 1997, 2002; Oouchi et al., 2006). 또한 우리나라 국립기상과학원(NIMS, 2009)에서는 A1B 시나리오에 따라 한반도 주변해역의 해수면 상승으로 21세기말(2079~2100)이 되면 동아시아 지역에서의 태풍강도가 지금보다 강력해질 것으로 내다본 바 있다.

이와 함께 한반도에 영향을 미치는 태풍의 진로유형의 변화도 중요한 요인으로 인식하여야 한다. Jung(2014)에 따르면 과거 1954년~2000년까지 한반도에 영향을 미친 태풍 166개를 대상으로 경로를 분석한 결과 서해에 영향을 미친 태풍은 전체의 44.6%, 동남권에 영향을 미친 태풍은 45.8%로 비슷한 빈도를 보였으나, 최근의 2001년~2010년까지 발생한 태풍 28개의 경로를 보면 서해에 영향을 미친 태풍은 21.4%에 불과하고 동남권에 영향을 미친 태풍은 20개로 전체 대비 71.5%의 발생 비율을 보였다. 즉, 최근으로 올수록 동남권에 영향을 미친 태풍의 발생 비율이 점차적으로 늘어나고 있다. 이처럼 최근 들어 태풍이 자주 통과하는 우리나라 동남권은 우리나라 6대 광역시 중에서 3개(부산광역시, 대구광역시, 울산광역시)가 위치하고 있고, 부산, 창원, 울산 등 연안에 대규모 공단이 밀집된 권역으로 경제, 산업적 중요성이 매우 높은 지역이라 할 수 있다. 따라서 향후 현재보다 강도가 더욱 강력해진 태풍이 인구밀집지역이자 경제

산업의 거점지역인 동남권에 큰 피해를 미칠 수 있다는 점도 앞으로의 주요 정책적 고려사항이 되어야 한다.

따라서 이처럼 다가오는 미래에 발생 가능한 강력한 태풍이 동남권역 등 주요거점 지역에서 유발할 수 있는 대규모 피해를 미리 예측하고 대비를 할 수 있는 시스템의 구성은 매우 중요하다.

이에 본 연구에서는 한반도에 영향을 미친 태풍을 대상으로 한반도를 통과한 경로별로 분류하고, 이들 경로별로 재해평가모형에서 도출되는 3-second gust와 피해액을 산정하여 재해평가모형의 활용도를 분석하고자 한다.

## 2. 자료 및 연구방법

본 연구에서는 최근(1999년~2012년) 한반도에 영향을 미친 태풍을 진행경로별로 구분하고, 각 경로별로 재해평가모형을 이용한 3-second gust를 도출하는데 있어 초기입력자료로 RDAPS 분석장과 RDAPS 예보장을 적용하여 이들 자료의 적합성을 살펴보고자 하였다. 이와 더불어 이들 자료에 있어 예보적 측면에서 활용이 가능한 선행시간이 어느 정도인지 파악해 보고자 하였다.

먼저, 본 연구의 대상으로 선정한 태풍은 한반도에 가장 많은 피해를 나타낸 태풍 Rusa로 하였다. 태풍 Rusa를 대상으로 한국형 RAM으로 예측한 3-second gust와 행정구역별 최대피해액 분포에 대해서는 선행 연구(Park et al., 2015)에서 상세히 분석하여 제시하였으므로 여기서는 간단히 결과만 소개하고자 한다. 이 연구에 따르면, 태풍 Rusa의 경우, RDAPS 예보장과 분석장을 초기 입력 자료로 사용하여 각각 비교 분석한 결과, 남한 전역에 걸쳐 대부분의 영역에서 두 가지 사례의 수치모의 결과가 비교적 유사한 분포와 범위를 나타내었고, 서로 높은 '양의 상관'을 나타내었다. 또한 이들 비교 결과가 통계적으로 유의성을 만족하여 적합하다고 평가한 바 있다. 그러나 48시간 이후의 예측결과부터는 전남 일부지역에서 분석장 결과에 비해 예보장을 이용한 3-second gust와 피해 규모가 다소 과대평가가 됨을 알 수 있었으며, 그 이유에 대해서도 태풍의 진로와 건물(주택)수가 깊은 관련이 있다고

**Table 1.** Classification of typhoon tracks affecting the Korean Peninsula from 1999 to 2012

Type	Track of a typhoon	Typhoon name (Typhoon number)		frequency
1	Move to northward in the Yellow Sea and landing the west coast	Neil(9905)	Rammasun(0205)	7
		Olga(9907)	Kompasu(1007)	
		Ann(9917)	Khanun(1207)	
		Prapiroon(0012)		
2	The typhoon go on the shore of southern coast	Saomai(0014)	Ewiniar(0603)	8
		Nakri(0208)	Nari(0711)	
		Rusa(0215)	Dianmu(1009)	
3	Move to northward in the Yellow Sea and lading the China or Bo Hai	Maemi(0314)	Sanba(1216)	7
		Paul(9908)	Muifa(1109)	
		Kai-tak(0004)	Damrey(1210)	
		Fengshen(0209)	Bolaven(1215)	
4	Pass along the Straits of Korea and go through a northern east sea	Meari(1105)		5
		Bolaven(0006)	Malou(1009)	
		Soudelor(0306)	Tembin(1214)	
5	Pass along the Japan and move to northward in the East Sea	Megi(0415)		3
		Namtheun(0410)	Talas(1112)	
6	Pass along the China and affecting the Korean Peninsula	Wukong(0610)		6
		Sam(9910)	Chebi(0102)	
		Dan(9920)	Mindulle(0407)	
7	Pass along the Japan and affecting the Korean Peninsula	Bilis(0010)	Kalmaegi(0807)	10
		Bart(9918)	Songda(0418)	
		Pabuk(0111)	Nabi(0514)	
		Linfa(0304)	Shanshan(0613)	
		Etau(0310)	Usagi(0705)	
Chaba(0416)	Man-yi(0704)			

분석하여 제시한 바 있다.

실제 태풍에 의해 발생하는 피해는 태풍의 강도와 규모에 1차적으로 크게 영향을 받으나, 내습하는 태풍의 진행 경로에 따라라도 바람의 강도와 피해 규모가 크게 달라질 수 있으므로 연구 대상으로 선정한 태풍을 대상으로 태풍 경로별 입력 자료의 적합성을 각각 평가해 볼 필요가 있다. 아울러 태풍이 한반도에 영향을 주는 시점에서 예측한 3-second gust와 최대피해액이 어느 정도 정확하며, 어느 시간대까지 예측에 활용이 가능한지는 매우 중요하다. 즉, 태풍이 한반도에 영향을 미치기 시작하는 시점에 기상청에서 제공되는

RDAPS 예보자료를 활용하여 한국형 RAM에 적용할 경우, 태풍에 의해 피해가 발생하기 최소 24시간 전부터 최대 피해지역과 피해액을 예측하여 사전에 미리 상세한 정보를 제공할 수 있기 때문에 사전예측 측면에서 이 정보를 도출하는 것은 매우 중요하다. 이러한 결과는 우리나라의 재해관리 4단계 중 ‘예방’ 및 ‘대비’와 관련된 사전 방재활동이 가능한 시간을 확보하는데 결정적 정보를 제공할 수 있으므로 현장적용 측면에서 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 1999년부터 2012년 사이에 한반도에 영향을 준 태풍을 Park et al.(2006)에 따라

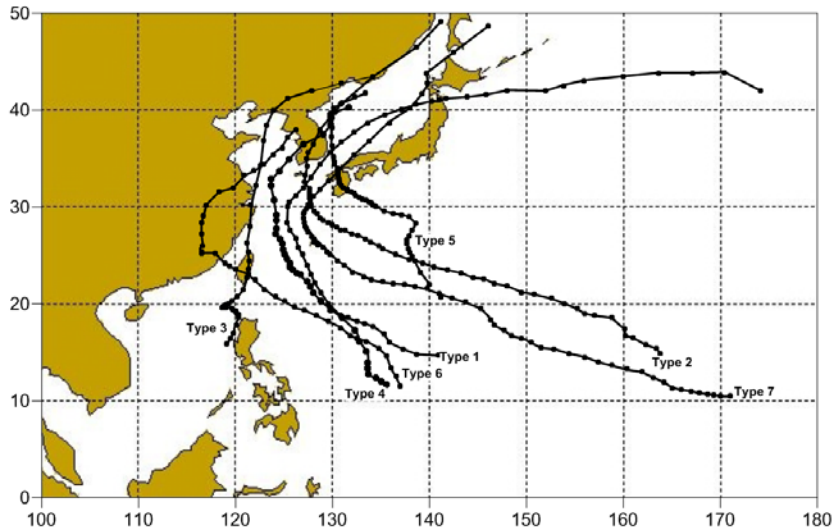


Fig. 1. Types of typhoon track affecting the Korean Peninsula(Kim, 2013).

7가지 진로 유형으로 분류하였고(Table 1), RDAPS 자료의 예보장과 분석장을 각각 RAM에 입력하여 예측한 3-second gust와 피해액에 대한 각각의 예측 오차를 분석하여 태풍의 진로에 따른 입력 자료의 적합성을 평가하고, 사전방재활동을 위한 예보 선행 시간을 살펴보았다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 3-second gust 예측에 있어 입력 자료의 적합성

연구 대상기간 동안 한반도에 영향을 미친 태풍을 7가지 유형으로 구분하고 각 유형별로 RDAPS 예보장과 분석장 자료를 초기입력자료로 적용하여 RAM 모형을 통해 도출된 3-second gust 풍속의 차이를 비교해 보았다. 이 두 수치모의 결과값의 차이가 적을수록(즉, 0에 가까울수록) 예보장과 분석장을 이용한 수치모의 결과의 일치도가 높은 것이므로, 한국형 RAM을 통한 3-second gust 풍속의 예측 정확도가 높아 RDAPS 예보장을 초기 입력자료로 활용하는데 타당성이 있다고 판단할 수 있다.

또한, 예보장과 분석장을 이용한 결과의 차이가 양의 값을 나타낼 경우에는 예보장에 의한 예측결과가 분석장에 의한 예측결과보다 과대 모의되는 것을 의

미하고, 음의 값을 나타낼 경우 과소 모의 되는 것을 나타내지만, 이들의 차이가 일정 범위 내에 분포하는 경향을 보이게 되면, 분석적 측면에서 예보장을 이용한 결과와 분석장을 이용한 결과의 유사성을 설명할 수 있게 되고, 이러한 결과는 태풍시기 한국형 재해평가모형을 이용하는데 있어 RDAPS 기상예보장을 이용하여 재해를 평가하고 예보하는데 적합하다는 것으로 평가할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 예보장과 분석장에 의한 예측 차이 분포를 파악하기 위하여 상자 수염 그림(Box and Whisker Plot)을 사용하였다(Fig. 1).

이 방법은 상자, 상자 안의 선(중앙값), 수염의 길이를 이용하여 분포의 형태를 짐작할 수 있는 것으로, 상자에 50% 자료가 있고, 상자 위에 25%, 상자 아래 부분에 25%가 분포한다. 상자 내에서도 중앙선 위 부분이 25%, 아래 부분에 25%가 있으므로 어느 쪽으로 치우쳐 있는지 분포 형태를 알 수 있으며, 이를 통해 자료 관측치의 중앙 위치, 그리고 관측값들이 어디에 모여 있는지(군집) 등의 흩어진 정도를 파악할 수 있어 집단 간 자료의 분포 차이를 비교하거나, 모평균 차이를 비교, 검증 할 때 매우 유용한 방법이다.

이상의 방법을 적용하여, 각 경로별로 RDAPS 자료의 예보장과 분석장을 활용하여 도출된 3-second

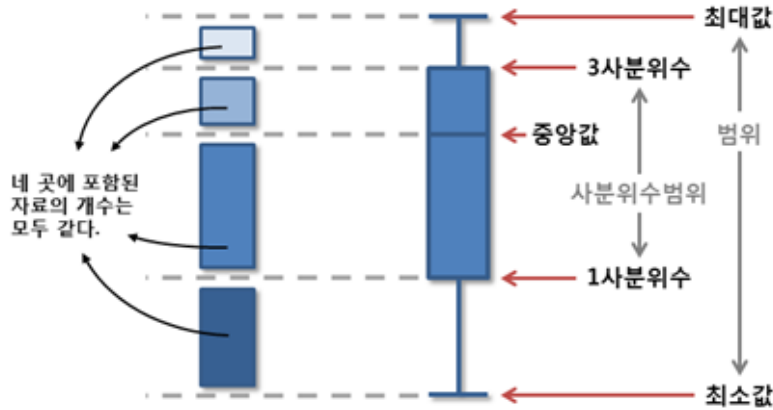


Fig. 2. Explanation example of box and Whisker plot results(source: <http://dermabae.tistory.com/148>).

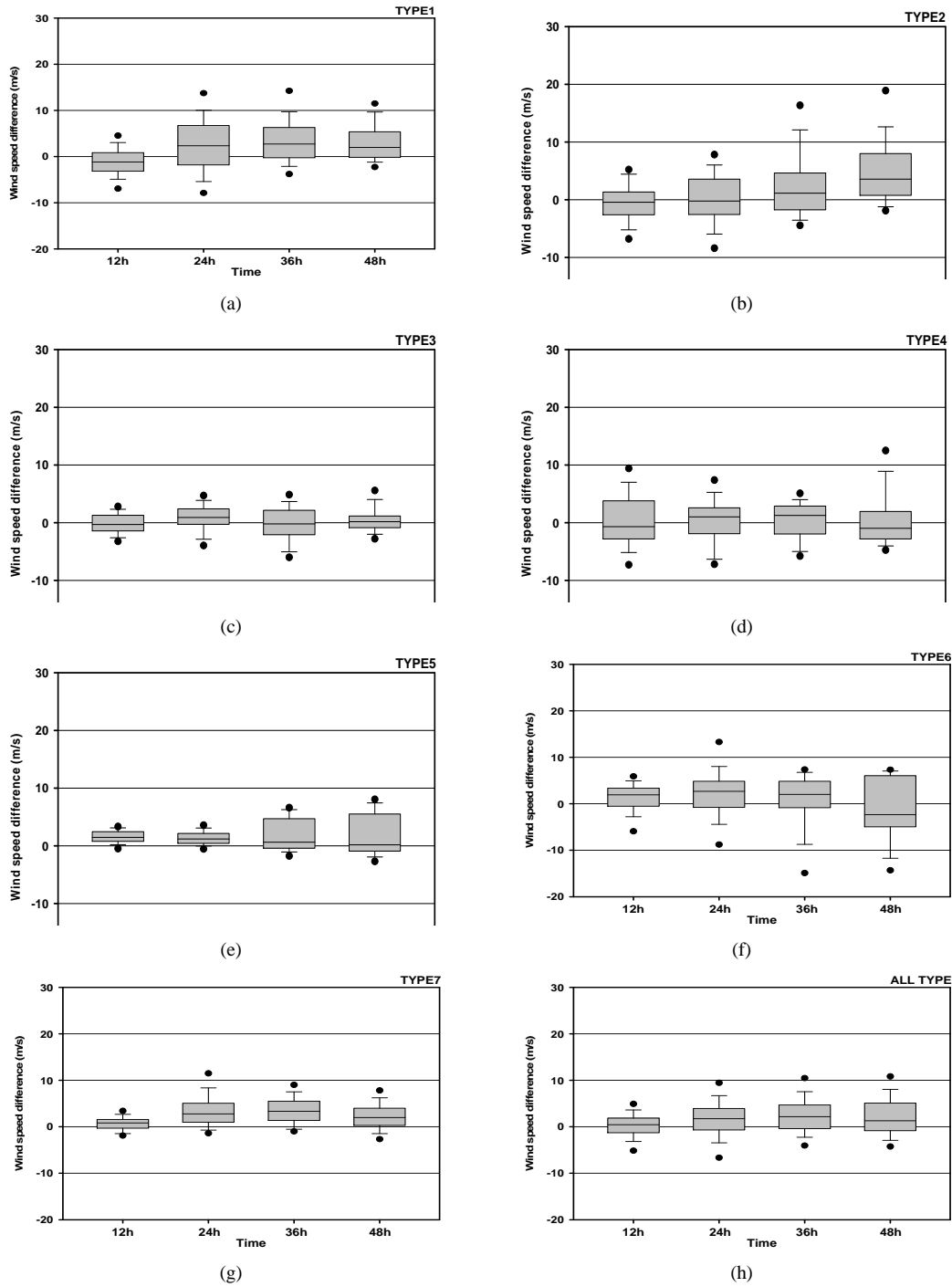
gust를 각각 예측하였다. 즉, RDAPS 자료에 제공되는 분석장은 예측하고자 하는 시점의 기상상태를 대표하는 참값으로 설정하고, 이 분석장으로 도출된 3-second gust를 RDAPS 자료의 예보장에 의한 예측된 3-second gust와 비교(이후, ‘예보장과 분석장의 차이’라 기술)하였다(Fig. 3).

Fig. 3a는 태풍이 한반도 서해상으로 진입하여 서해안에 상륙하는 경로를 나타내는 유형 (TYPE 1)으로 연구 대상기간동안 7개의 태풍이 여기에 해당된다. TYPE 1에 해당하는 태풍의 주요 특징은 한반도 남서해안 및 그 내륙 지역에 강한 풍속이 나타나며 한반도에 상륙이후 풍속은 점차 감소하는 경향을 보인다 (Kim, 2013). 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 수치모의된 모든 시간에 걸쳐 상자 내 중앙선이 상자의 중앙부에 위치하고 있으며, 예보장과 분석장의 차이가 0값서 크게 벗어나지 않는 것을 볼 수 있고, 예측 24시간까지는 전체적으로 관측 값이 정규 분포를 잘 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한, 36시간과 48시간 시점에는 예보장으로 다소 치우치는 경향을 보여 상대적으로 과대평가하고 있는 것으로 보이지만, 상자내의 중앙값이 0에 근접하여 있고, 자료의 50%를 차지하는 상자가 전 시간대에 걸쳐 5 m/s 이하의 차이를 나타내고 있는 것으로 나타나서 예보장과 분석장의 차이는 크지 않다는 것으로 분석할 수 있다.

Fig. 3b의 경우는 태풍이 한반도 남해안에 상륙하

는 경로를 나타내는 유형(TYPE 2)으로 8개의 태풍이 이 유형에 해당된다. TYPE 2에 해당하는 태풍에서는 제주도를 포함한 남해연안과 남해상에 강풍영역이 나타나며 태풍이 한반도에 상륙하기 직전에 가장 강한 풍속이 나타나는 경향을 보인다(Kim, 2013). 그림에 나타난 바와 같이, 예보시작부터 24시간까지는 상자 내 중앙선이 0에 수렴하고 있어 예보장과 분석장의 차이는 거의 없는 것을 알 수 있으며, TYPE 1과 같이 두 경우의 풍속차는 대체로 정규분포를 나타내고 있다. 36시간과 48시간 시점에는 양의 차이가 나타나서 예보장의 결과가 과대 모의하는 경향이 있으나, 50%에 해당하는 상자 폭은 크게 변하지 않았으며, 36시간 예측값의 상자 내 중앙선은 0에 근접하여 예보장과 분석장의 차이는 크게 나타나지 않은 것으로 판단할 수 있다. 48시간의 경우에는 상자 내 중앙선 위 아래로 5 m/s이내에 분포하며 0에서 크게 떨어져 있지는 않지만 이전 시간대에 비해 상자안의 중앙값이 0에서 다소 멀어져서 두 값의 차이와 경향이 수렴되고 있지는 않는 경향을 나타내는 것을 볼 수 있다. 따라서 TYPE 2의 경우 예보시점부터 36시간까지는 입력 자료와 모형 결과가 적합한 것으로 분석된다.

Fig. 3c의 경우는 태풍이 서해로 북상한 후 발해만이나 중국으로 상륙하는 유형(TYPE 3)으로 7개의 태풍이 여기에 해당된다. TYPE 3에 해당하는 태풍에서 폭풍 영역은 주로 남서해안 및 서해상에 나타났으며,



**Fig. 3.** Comparison of 3-second gust wind speed difference between RDAPS's forecast field and analysis field according to (a) type 1, (b) type 2, (c) type 3, (d) type 4, (e) type 5, (f) type 6, (g) type 7, (h) all type track of a typhoon affecting the Korean peninsula from 1999 to 2012.

태풍이 접근함에 따라 폭풍 영역이 그 이외의 지역으로 확산되는 경향을 보이지만 육지에 상륙한 이후에는 급격히 약화되는 특징을 보인다(Kim, 2013). 그림을 보면, 예보시점부터 48시간까지 모든 시간대에 걸쳐 상자의 중앙값이 0에 근접하여 수렴하고 있으며, 두 값의 차이를 나타내는 상자의 폭이나 상단, 하단의 분포가 전 시간대에 걸쳐 균일하게 0 값에 수렴하는 경향을 보인다. 따라서 예보장과 분석장을 이용한 수치모의 결과에 있어 두 값의 차이가 작은 것을 알 수 있다. 따라서 TYPE 3의 경우 48시간까지 RAM 모형 결과가 적합한 것으로 판단할 수 있으며 7가지 태풍경로 중에서 가장 적합성이 높은 유형을 나타내고 있다.

Fig. 3d의 경우는 태풍의 중심이 대한해협을 통과한 후 동해 북부로 이동하는 유형(TYPE 4)으로, 5개의 태풍이 이 유형에 해당된다. 이 유형에서는 강풍 및 폭풍 영역이 남해안과 동해안, 그리고 내륙 일부 지역에 나타나며, 태풍의 강도가 강하더라도 한반도 대부분 지역이 가항반원에 속해 상대적으로 피해가 적게 나타나는 유형이다(Kim, 2013). 그림에 보는 바와 같이, 상자 내 중앙값이 시간대에 따라 양의 값 또는 음의 값을 나타내고 있으나, 모든 시간대에 걸쳐 0값에 가까운 범위에서 변동을 보이고 있어 입력 자료와 모형의 결과가 적합한 것으로 판단된다.

Fig. 3e는 태풍이 일본 서부 큐슈를 거쳐 동해상으로 북상하는 진로를 가지는 것으로(TYPE 5) 연구 대상기간동안 가장 빈도가 적은 3개의 태풍에 해당하는 경로였다. TYPE 5에서는 부산을 포함한 동남권역 일부 내륙과 동해남부 연안으로 좁은 영역에 걸쳐 강풍이 발생하는 경향을 보였고 바람의 강도도 크지 않았다(Kim, 2013). 그림에 나타난 바와 같이, 상자 내 중앙값이 전 시간대에 걸쳐 변동이 거의 없이 0에 가까운 값을 나타내고 있으며, 24시간대까지는 50%에 해당하는 상자의 폭이 좁게 나타나서 입력자료와 모형의 결과가 적합한 것을 알 수 있다. 36시간과 48시간대에도 상자 내 중앙값은 거의 0에 수렴하여 예보장과 분석장의 차이가 거의 없는 결과를 나타내지만, 이전 시간대에 비해 상자의 폭이 다소 넓어져 과대 모의하는 경향을 나타내고 있다.

Fig. 3f는 태풍이 중국 내륙을 통과한 이후에도 태풍의 성질을 유지한 상태에서 한반도에 영향을 주는

경로를 나타낸 유형(TYPE 6)으로, 한반도 전체가 강풍 영역에 해당하는 경우가 많으며 강풍영역이 서해안에 인접한 서해상과 내륙 일부 지역에서 나타난 경우이다(Kim, 2013). 그림에 나타난 바와 같이 36시간까지는 상자 내 중앙값이 0에 가까운 양의 값을 나타내며 50%를 나타내는 상자의 폭이 넓게 분포하고 있지는 않아 입력자료와 모형의 결과가 적합한 것을 알 수 있으나, 48시간에서는 중앙값의 위치나 상자의 폭이 다소 벗어나고 확대되는 경향이 있다.

Fig. 4g는 태풍이 일본으로 향하면서 한반도에 영향을 주는 것으로 연구기간동안 가장 많은 10개의 태풍이 해당하는 유형(TYPE 7)이었다. TYPE 7은 기후변화와 함께 발생빈도가 증가하는 유형으로 한반도 남해와 동해 해상이 강풍 영역에 해당한다. 예보장과 분석장의 풍속차이는 그림에서 알 수 있듯이 전 시간대에 걸쳐 중앙값이 양의 값을 나타내 다소 과대 모의하는 것으로 보이지만, 두 입력장의 차이 분포는 이상치를 제거하면 10 m/s를 초과하는 경우는 없으며 50% 이내인 상자를 보면 차이가 5 m/s 이내로 나타나서 입력장과 모형의 결과는 대체로 적합하다고 볼 수 있다.

앞서 구분한 7개 경로별 태풍 모두에 나타난 결과를 보면(Fig. 3h), 상자 내 중앙값이 약한 양의 값을 보이지만 모두 0 값에 근접해 있는 것을 알 수 있으며, 대체로 정규분포를 나타내어 입력 자료와 모형의 결과가 대체로 적합하며 예보시작부터 48시간까지 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다.

따라서 한국형 RAM의 입력 자료의 적합성을 예보장과 분석장의 3-second gust 풍속차이를 boxplot로 나타낸 결과, 태풍의 진행 경로에 따라 다소간의 차이는 있었으나, 예보시점부터 36시간대까지는 상자 내 중앙값이 0 값에 비교적 잘 수렴하는 것을 알 수 있었으며, 이상치를 제거한 경우에도 예보장과 분석장의 차이는 정규분포를 나타내어 예보시점으로부터 36시간대까지는 예보 선행시간으로 활용할 수 있을 것으로 예상되었다.

### 3.2. 최대피해액 예측에 있어 입력 자료의 적합성

앞서, RDAPS 예보장과 분석장을 RAM 모형에 입력하여 예측된 3-second gust를 비교 분석한 결과, 전반적으로 한반도에 영향을 미치는 태풍의 경우, 예보

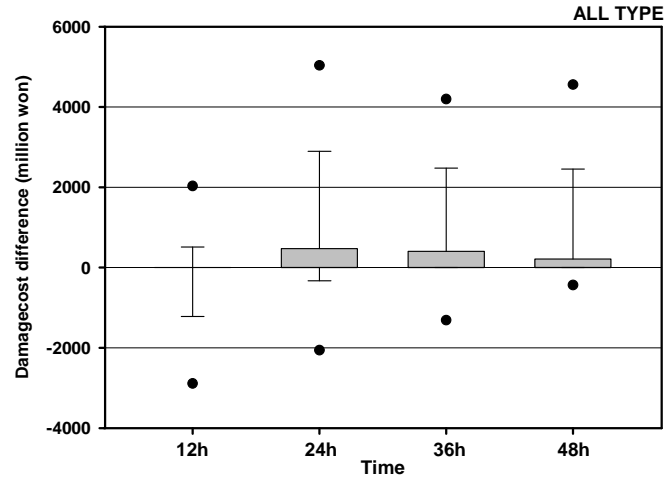


Fig. 4. Comparison of damage cost difference between RDAPS's forecast field and analysis field according to all type track of a typhoon affecting the Korean peninsula.

시점부터 36시간대까지는 RAM 모형에 의해 도출되는 결과가 전반적으로 양호한 것으로 분석되었다. 따라서 이러한 과정을 통해 도출된 3-second gust를 이용하여 RAM 모형에서 도출되는 최대피해액에 대해서도 예보장과 분석장의 차이에 대한 적합성을 평가해 보았다. 앞서, 태풍 경로별 각각의 분석결과와 전체를 고려한 결과에 큰 차이가 없었으므로, 여기서는 전체 태풍을 대상으로 예측되어진 3-second gust로부터 도출된 최대피해액 boxplot을 제시하였다(Fig. 4).

Fig. 4를 보면, 예보시점 이후 12시간에서는 예보장과 분석장이 일치하고 있으며 24시간 이후에는 양의 값을 나타내어 다소 과대 모의하지만 전체적으로 이상치를 제외하면 적합한 결과를 나타내었다. 즉, 한국형 RAM에 사용하여 최대피해액 차이를 살펴본 결과, 3-second gust의 결과와 마찬가지로 태풍이 내습하는 경우, 예보시점부터 시간에 따른 사전예보에 활용이 상당부분 적합할 수 있음을 알 수 있었다. 다만, RAM을 통해 도출되는 피해금액 자체에 대하여 우리나라에 데이터베이스가 충분히 구축되어 있지 않아, 실제 피해액과 모형을 통해 도출되는 최대피해액에 있어서의 상관 및 일치도는 향후 정량적 분석을 통해 정확도를 조금 더 상세화 하는 것이 필요한 점은 향후의 과제라 하겠다.

### 3.3. 태풍시기 강풍에 의한 피해 규모 특성

본 연구에서는 한반도에 영향을 준 태풍에 대하여 수치 모의된 RDAPS 자료를 이용하여 Kim(2013)의 방법을 이용하여, 지점별로 10 m 고도에서 발생 가능한 최대 3-second gust를 추정하고 이를 이용하여 남한 지역 전체의 대표주택을 대상으로 최대피해액을 예측하였다.

RSMC-Tokyo Typhoon Center에서 제공하는 태풍의 정보는 3시간 또는 6시간마다 제공되므로 수치모의된 RDAPS 자료에 따라 최대피해액도 3시간 또는 6시간 간격으로 예측하였다. 이 피해액은 해당 시간에 예측된 3초 동안의 평균 풍속에 의해 발생 가능한 총 피해액을 나타내는 것으로, 각 시간대별로 예측된 피해액을 합쳐 태풍기간에 발생할 수 있는 총 피해액을 의미하는 것은 아니다. 즉, 특정 시간에 발생한 3-second gust에 의해 주택에서 발생할 수 있는 순간 피해액으로 태풍마다 예상 피해액은 달라진다.

Fig. 5에 제시한 태풍의 피해액은 각 태풍이 한반도에 가장 근접하여 영향을 가장 많이 주는 시점에 RAM을 통하여 일정 시간 간격으로 예측한 전국의 총 피해액 가운데 가장 피해액이 많았던 시기의 피해액을 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 한반도에 영향을 준 태풍 시기동안 강풍에 의해 발생 가능한 최대



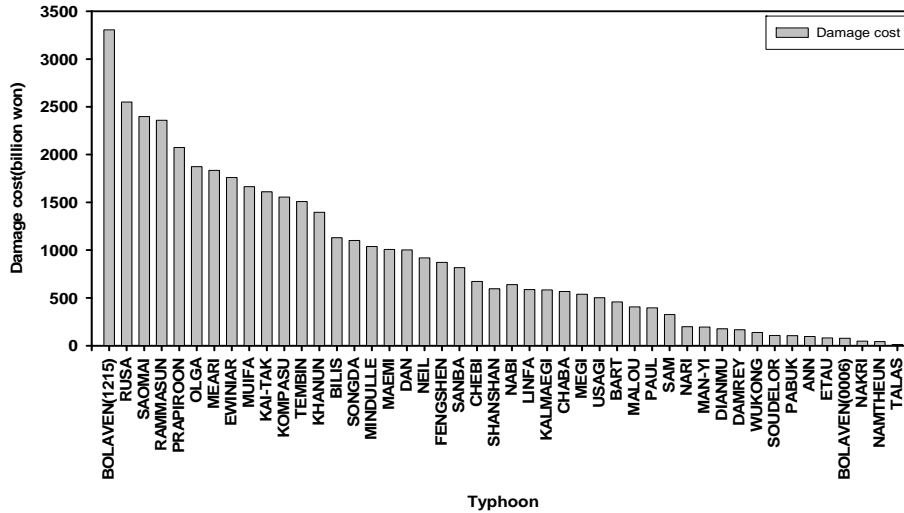


Fig. 5. Comparison of predicted damage cost each typhoon affecting Korean peninsula during from 1999 to 2012.

피해액은 태풍 Bolaven(1215)이 가장 크게 예측되었고 그 다음이 태풍 Rusa(0215)로 나타났다. 또한 2012년에 발생한 태풍 Tembin과 Khanun이 2003년도에 많은 피해를 야기할 태풍 Maemi보다 피해액이 더 많이 예측된 것은 이들 태풍이 가장 큰 영향을 미친 시점에서의 풍속이 태풍 Maemi에서보다 더욱 강하게 나타났다기 때문이다.

이처럼 3-second gust가 높게 예측된 태풍의 경우 최대피해액이 더 많이 발생하는 것으로 예측되는데, 실제 한반도에 많은 피해를 입힌 태풍들을 보더라도 RAM을 통해 산정된 발생 가능한 예상 피해액이 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

태풍에 의해 발생하는 강풍과 이로 인한 피해규모는 태풍의 중심기압 등, 태풍 자체의 강도에 1차적으로 영향을 받지만, 태풍이 지나가는 경로에 따라서도 바람의 강도와 피해 규모가 달라질 수 있으므로 태풍의 진행 경로별로 입력 자료의 적합성을 평가해 볼 필요가 있다.

이를 위해 1999년부터 2012년 사이에 한반도에 영향을 준 태풍을 7가지 진로 유형으로 분류하고,

RDAPS의 예보장과 분석장을 RAM에 입력하여 예측한 3-second gust와 피해액에 대한 차이를 Box and Whisker plot로 나타내 보았다.

분석 결과, 태풍의 진행 경로에 따라 경향이나 값에 조금씩 차이가 있었지만, 예보시점부터 36시간대까지는 RDAPS 예보 기상장을 사용하여 예측하는 경우, 활용도에 신뢰성을 나타내는 것을 알 수 있었다. 또한 각각의 경로별 계산에서 이상치를 제거한 경우에도 예보장과 분석장의 차이는 정규분포를 나타내어 예보시점으로부터 36시간대까지는 예보 선행시간으로 활용할 수 있으며, 예보 시점으로부터 48시간대에는 태풍의 진로에 따라 결과값의 차이가 다소 증가하는 것을 알 수 있었는데, 이것은 예보 기상장이 가지는 시간에 따른 오차의 누적에 의한 것으로 본 연구에서 사용한 RAM이 가지는 오류에 의한 것은 아닌 것으로 판단되었다. 따라서 36시간까지의 예보장을 사용하여 강풍의 강도와 분포를 예측하는데는 비교적 타당한 결과를 나타낼 수 있을 것으로 예상된다.

또한 한국형 RAM에 사용한 입력 자료의 적합성을 바탕으로 예측된 최대피해액 차이를 살펴본 결과에서도 36시간대까지의 결과에 있어 타당성을 볼 수 있었으며 48시간대 이후에는 도출된 결과값의 변동성이 커질 것으로 예상되었다.

### 감사의 글

이 연구는 기상청 기상산업지원 및 활용기술 개발 사업(KMIPA2015-8070)의 지원으로 수행되었습니다.

### REFERENCES

- Broccoli, A. J., Manabe, S., 1990, Can existing climate models be used to study anthropogenic changes in tropical cyclone climate?, *Geophysical Research Letters*, 17(11), 1917-1920.
- IPCC, 2007, The physical science basis, summary for policymakers, contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1-21.
- Jung, W. S., 2014, Climate change, typhoon and extreme wind, *Symposium on Climate Change Adaptation Measures*.
- Kim, J. S., 2013, On the characteristics of damage scale and risk management system by strong wind speed of typhoon, Master's Thesis, Inje University, Gimhae.
- NEMA, 2010, Statistical yearbook of natural disaster, 888-898.
- NIMS, 2009, Understanding of climate change II, 46-49.
- Oouch, K., Yoshimura, J., Yoshimura, H., Mizuta, R., Kusunoki, S., Noda, A., 2006, Tropical cyclone climatology in a global-warming climate as simulated in a 20 km-mesh global atmospheric model: Frequency and wind intensity analyses, *Journal of Meteorological Society of Japan*, 84(2), 259-276.
- Park, J. K., Lee, B. R., Jung, W. S., 2015, Compatibility for the typhoon damages predicted by Korea risk assessment model input data, *Journal of Environmental Sciences International*, 24(7), 865-874.
- Park, J. K., Kim, B. S., Jung, W. S., 2006, Change in statistical characteristics of typhoon affecting the Korean peninsula, *Atmosphere*, 16(1), 1-17.
- Sugi, M., Noda, A., Sato, N., 1997, Influence of global warming on tropical cyclone climatology: An experiment with the JMA global model, *WMO/TD-No. 792*.
- Sugi, M., Noda, A., Sato, N., 2002, Influence of the global warming on tropical cyclone climatology: An experiment with the JMA global model, *Journal of Meteorological Society of Japan*, 80, 249-272.