



## 피해규모를 고려한 태풍등급 개발

# Development of New Typhoon Rating to Predict Magnitude of Damage

김태균\*

Kim, Taegyun\*

### Abstract

For preparing damage from typhoons, the new typhoon rating system was developed that can predict the magnitude of damage by using the maximum wind speed and rainfall for duration 3 hrs at a specific location along the track. Existing forecasts predict typhoon's characteristic values such as tack, minimum pressure, maximum wind speed and radiis, and issue typhoon advisories and typhoon warnings when danger or damage is expected. However, as it is difficult to prepare a response using this information alone, I developed new typhoon ratings that took the typhoon damage scale into account to aid disaster preparation. I divided typhoon grades into four classes based on the magnitude of damage. The grades were determined based on the maximum wind speed at a point near the 33° north latitude and rainfall for duration 3 hrs from the time at that point.

**Key words :** Typhoon Rating, Maximum Wind Speed, Typhoon Damage, Rainfall for Duration 3 hrs

### 요 지

본 연구에서는 태풍 피해에 대비하기 위하여, 이동경로상의 특정 위치에서의 최대풍속과 지속기간 3시간 강우량을 이용하여 피해규모를 예상할 수 새로운 태풍등급을 개발하였다. 기존 예보는 이동경로, 중심기압, 최대풍속 등의 특성치를 예보하고, 피해나 위험이 예상될 때, 태풍주의보, 태풍경보를 발령하고 있다. 그러나 이러한 정보만으로 태풍으로 인한 위험과 피해에 대응하기 어려우므로, 피해규모를 고려한 태풍등급을 개발하여 재해에 대비하고자 한다. 태풍등급은 피해액 기준으로 4개 등급으로 구분하였고, 태풍이 위도 33° 인근 지점을 통과할 때의 최대풍속과 통과시간을 기준으로 지속기간 3시간 예측강우량을 이용하여 등급을 결정할 수 있도록 하였다.

**핵심용어 :** 태풍등급, 최대풍속, 지속기간 3시간 강우량, 태풍피해

## 1. 서 론

저위도 지방의 따뜻한 공기가 바다로부터 수증기를 공급 받으면서 강한 바람과 많은 비를 동반하며 고위도로 이동하는데, 태풍은 북태평양 서부에서 발생하는 열대저기압 중에서 중심 부근의 최대풍속이 17 m/s 이상의 강한 폭풍우를 동반하고 있는 것을 말한다(Lee, 2012). 태풍강도는 최대풍속의 세기에 따라 매우 강, 강, 중, -(특별한 명칭없음) 등 4가지로 구분되고, 크기에 따라 소형(반경 300 km 미만), 중형(반경 500 km 미만), 대형(반경 800 km 미만), 초대형(반

경 800 km 이상)으로 구분하며, 우리나라에 피해를 주는 정도는 태풍의 진로와 우리나라 인근 또는 상륙할 당시의 세기와 크기가 동시에 영향을 미친다.

태풍내습시 호우에 의한 피해는 장마전선에 의한 호우와 비교하여, 영향범위가 수백 km 반경에 달하여 넓은 지역에 걸쳐 발생한다. 태풍 내습 시에는 한반도 동서지역 전체를 포괄하는 지역에 저기압 수렴대가 형성되어 해양으로부터 수증기들이 유입된다. 이때 한반도에 유입된 수증기가 복잡한 산악지형을 타고 상승하면서 국지적으로 집중호우를 유발하고, 산사태가 발생하여 많은 인명피해를 초래하기도

\*교신저자, 정회원, 경상국립대학교 조경학과 교수(Tel: +82-55-772-3306, Fax: +82-55-772-3309, E-mail: tgkim@gnu.ac.kr)  
Corresponding Author, Member, Professor, Dept. of Landscape Architecture, Gyeongsang National University

한다(Lee and Choi, 2013).

열대저기압에 의한 재산 및 인명 피해는 지속적으로 발생하고 있으며, 그 피해는 지구 온난화로 인해 해수면과 수온이 상승하면서 점점 더 증가하고 있다(J. Lee et al., 2016). 또 지구 온난화로 태풍의 발생 수는 감소하고 태풍 강도는 강해지고 있으며, 우리나라에 영향을 미치는 진로를 가진 저위도에 발생하여 대만, 오키나와 해협을 거쳐 중국, 한반도, 일본을 관통하는 태풍이 증가하고 있다(Seol, 2010).

우리나라에서 발생하는 자연재해 중에서 태풍은 적은 빈도에도 불구하고 한번 발생하면 다른 자연재해보다 큰 피해를 야기한다(Park et al., 2013). 또 2002년 발생한 태풍 ‘루사(피해액 6조 8,977억원)’, 2003년 발생한 태풍 ‘매미(피해액 5조 5,369억원)은 역대 자연재해중 최대 피해액을 나타내며, 특히 태풍 ‘루사’ 내습시 강원도 강릉시의 피해는 1조 800억원(2015년 생산자물가 기준)을 기록하기도 하였다(MOIS, 1994-2018).

태풍피해를 추정하는 것은 방재측면에서 중요한 일이라 할 수 있는데, 태풍의 진로, 강도, 크기에 따라 결정된다. Park et al. (2006) 등은 태풍진로는 태풍피해와 관련하여 분류되기 보다는 한반도와 주변 지형학적 위치에 따라 구분되는데 3-8가지 유형으로 구분되며, 우리나라에 영향을 미치는 진로는 중국을 거쳐 서해안으로 진출한 경우와 일본을 거쳐 영향을 미치는 경우가 가장 많으나, 피해액 측면에서는 남해안 상륙형과 일본을 거쳐 영향을 미치는 경우가 가장 많은 것으로 조사되었다.

S. Lee et al. (2016)은 태풍피해(액)과 태풍강도(세기)의 관계를 태풍진로에 따라 구분하여 분석하였다. 태풍진로는 황해북상형, 남부지역 상륙형, 동해북상형 등 3가지로 유형으로 구분하고, 전국 149개 시군구를 대상으로 태풍의 평균 극한기후현상(1시간 최대강수량, 10분 최대풍속)을 분석하여, 피해액과 극한기후현상과의 관계를 선형회귀분석을 이용하여 나타내었다. 또 진로유형별 피해원인별(호우, 강풍) 강도를 작성하고, 평균태풍피해 표준화 지수를 개발하였다. Yang et al. (2016)은 태풍경로를 7개로 구분하고, 태풍 특성치, 지리정보, 건설환경요인 등을 고려하여 건축물에 대한 피해를 산정하는 식을 개발하였다.

태풍은 호우, 강풍과 더불어 해안지역의 경우는 풍랑에 의한 피해가 복합적으로 발생한다. 태풍내습시 호우와 강풍에 의한 피해원인 분석에 대하여 Ahn et al. (2008)은 서해통과형과 동해통과형을 태풍에 대하여 피해분석한 결과, 서해통과형 태풍은 강도가 상대적으로 약하고 주로 바람에 의한 피해가 크게 나타나는 것으로, 동해통과형 태풍은 집중호우에 의한 침수면적과 농경지피해가 크게 나타났다.

태풍 피해 추정과 관련된 연구로, Lee (2012)은 1991~2009년까지 영향을 미친 31개 태풍에 대하여 전국 전체평균 강우량, 전체평균 일최대 강우량 및 전국 9개권역(강원도, 수도권, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남, 제주)의 전체

강우량, 일최대 강우량 등 4개의 호우관련변수와 이동경로, 태풍중심의 최대풍속, 태풍 중심의 최저기압, 피해지역의 최대풍속, 피해지역의 최대순간풍속 등 강풍관련 4개의 변수를 사용하여 태풍 피해액과 호우, 태풍 피해액과 강풍 및 태풍 피해액과 호우+강풍의 관계를 유도하였으며 상당히 높은 상관계수를 나타내었다.

Kim et al. (2017)은 부산시 강서구를 대상으로 일반화 선형회귀분석모형을 이용하여 30개 호우관련 변수(지속기간 1-24시간 최대강우량, 총강우량, 1-5일 선행강우량)와 3개 강풍 관련 변수(평균풍속, 최대풍속, 최대순간풍속)중 태풍피해액과 관계가 높은 변수를 선별하여 피해예측모형을 개발하였다. J. Kim et al. (2019)는 호우, 강풍, 풍랑에 의한 피해가 동시에 발생하는, 동해안지역에 위치한 시군구를 대상으로 피해액 기준으로 작은 로지스틱회귀분석을 이용한 시군구별 피해예측함수를 개발하였다. 로지스틱회귀분석은 비상적으로 큰 피해를 나타내는, 예를 들면 전술한 바와 있는 태풍 ‘루사’, ‘매미’와 같은 피해를 예측하기 위한 것이다.

태풍피해와 관련된 다른 형태의 연구로는 시군구별 태풍 피해관련 자료, 즉 피해회수, 강우 및 강풍관련 자료를 이용하여 태풍위험지수를 개발하였으며, 남해안지역과 동해안 지역이 상대적으로 태풍위험지수가 높은 것으로 나타났다(Y. Kim et al., 2019).

태풍으로 인한 피해가 발생할 우려가 있을 때, 기상청에서는 태풍의 예상 이동경로와 태풍특성치를 제공하고 태풍주의보 또는 태풍경보를 발령하여 재난에 대비할 수 있는 정보를 제공하고 있으나, 태풍으로 인한 피해규모를 예상하기는 어렵다. 본 연구에서는 과거 피해를 야기한 태풍을 대상으로, 태풍특성치인 이동경로, 최대풍속, 강우량자료를 이용하여 피해규모를 고려한 태풍등급체계를 개발하고자 한다.

## 2. 자료수집 및 태풍 피해 분석

### 2.1 대상 태풍 선정

태풍으로 인한 피해는 호우, 강풍, 풍랑에 의하여 발생하는데, 행정안전부에서 매년 발표하는 재해연보(MOIS, 1994-2018)에는 태풍과 관련된 피해원인으로 태풍, 태풍+호우, 호우+태풍 등이 있으나, 태풍에 의한 피해 규모를 정확히 규정하기 위하여서는 재해원인으로 단일 태풍사상에 의한 피해를 대상으로 하였다.

본 연구에서는 1994년부터 2018년까지 재해연보에서 재해원인으로 태풍 단일 사상으로 발생한 피해로 표기된 37개 태풍 중, 태풍 내습 전후의 강우량을 조사하여 호우 영향이 있는 ‘ANN (1999)’, ‘SAOMI (2000)’, ‘BOLAVEN (2012)’, ‘NEOGURI (2014)’를 제외한 33개 단일 태풍 피해 사상을 선정하였다. 33개 태풍의 진로, 중심기압, 최대풍속(KMA1)

과 태풍이 우리나라에 영향을 미치는 동안의 시강우량을 ASOS, AWS 관측소에 대하여 수집하였으며(KMA2), Table 1에 나타나 있다.

## 2.2 태풍 예보, 강우량 및 태풍 피해 자료 수집

우리나라에 영향을 미칠 것으로 예상되는 태풍이 진행하면 기상청에서는 Fig. 1에 나타나 있는 바와 같이 위경도로 나타나는 진로와 중심압, 중심부의 최대풍속, 태풍반경에

의한 크기를 예보한다. 예보 간격은 6시간 간격으로 매일 3시, 9시 15시, 21시에 이루어지며, 우리나라에 근접하여 직접적인 영향을 미치는 경우에는 0시, 6시, 12시, 18시를 추가하여 3시간 간격으로 이루어지기도 한다.

33개 태풍의 강우량 자료는 우리나라에 영향을 미치기 시작하는 시점으로부터 태풍이 종료되어 열대성저기압으로 변질되거나 우리나라에 영향을 미치지 않는 범위 밖으로 벗어날 때까지 수집하였다. 강우량 자료는 ASOS에 의한

**Table 1.** Typhoon List Affecting the Korean Peninsula (1994-2018)

No.	Name	Year	Latitude 33°			Track	Damage (10 <sup>8</sup> won)	Eamaged districts
			Min. pressure	Max. wind speed	Radius (size)			
1	BRENDAN	1994	992	21.8 (-)	200 (small)	landfall	112	30
2	DOUG	1994	985	23.0 (-)	210 (small)	yellow sea passing	63	32
3	ELLIE	1994	983	27.0 (middle)	240 (small)	yellow sea passing	4	1
4	SETH	1994	976	27.5 (middle)	300 (midium)	landfall	161	41
5	FAYE	1995	953	37.1 (strong)	280 (small)	landfall	1,465	69
6	TINA	1997	979	28.4 (middle)	290 (small)	landfall	76	20
7	OLIWA	1997	980	27.7 (middle)	480 (midium)	east sea passing	84	21
8	YANNI	1998	975	28.0 (middle)	340 (midium)	landfall	4,689	108
9	PRAPIROON	2000	965	36.0 (strong)	370 (midium)	yellow sea passing	3,040	162
10	RAMMASUN	2002	977	29.3 (middle)	430 (midium)	landfall	502	52
11	RUSA	2002	960	36.0 (strong)	500 (large)	landfall	68,967	195
12	SOUDELOR	2003	975	31.6 (middle)	440 (midium)	east sea passing	145	17
13	MAEMI	2003	950	41.0 (strong)	440 (midium)	landfall	54,582	145
14	MEGI	2004	33	32.1 (middle)	480 (midium)	landfall	3,390	97
15	NABI	2005	960	37.0 (strong)	550 (large)	east sea passing	1,919	75
16	WUKONG	2006	985	21.0 (-)	230 (small)	east sea passing	24	9
17	SHANSHAN	2006	950	40.8 (strong)	300 (midium)	east sea passing	336	22
18	MAN-YI	2007	963	37.8 (strong)	500 (large)	east sea passing	4	1
19	NARI	2007	960	42.5 (strong)	180 (small)	landfall	972	63
20	KALMAEGI	2008	997	18.0 (-)	220 (small)	yellow sea passing	9	14
21	DIANMU	2010	980	31.0 (middle)	300 (midium)	landfall	23	29
22	KOMPASU	2010	965	38.0 (strong)	260 (small)	landfall	1,760	92
23	MALOU	2010	990	24.0 (-)	160 (small)	east sea passing	1	6
24	MUIFA	2011	970	36.0 (strong)	410 (midium)	east sea passing	2,103	83
25	KAHNUN	2012	990	24.0 (-)	230 (small)	landfall	14	39
26	SANBA	2012	949	43.2 (strong)	380 (midium)	landfall	3,560	133
27	DANAS	2013	972	35.1 (strong)	230 (small)	east sea passing	13	9
28	NEOGURI	2014	985	24.0 (-)	150 (small)	yellow sea passing	49	28
29	NAKRI	2014	981	25.0 (middle)	310 (midium)	east sea passing	0	3
30	GONI	2015	951	42.6 (strong)	320 (midium)	east sea passing	86	16
31	CHABA	2016	956	39.8 (strong)	280 (small)	landfall	2,106	48
32	SOULIK	2018	958	39.3 (strong)	340 (midium)	landfall	93	26
33	KONG-REY	2018	975	32.0 (middle)	340 (midium)	landfall	544	74

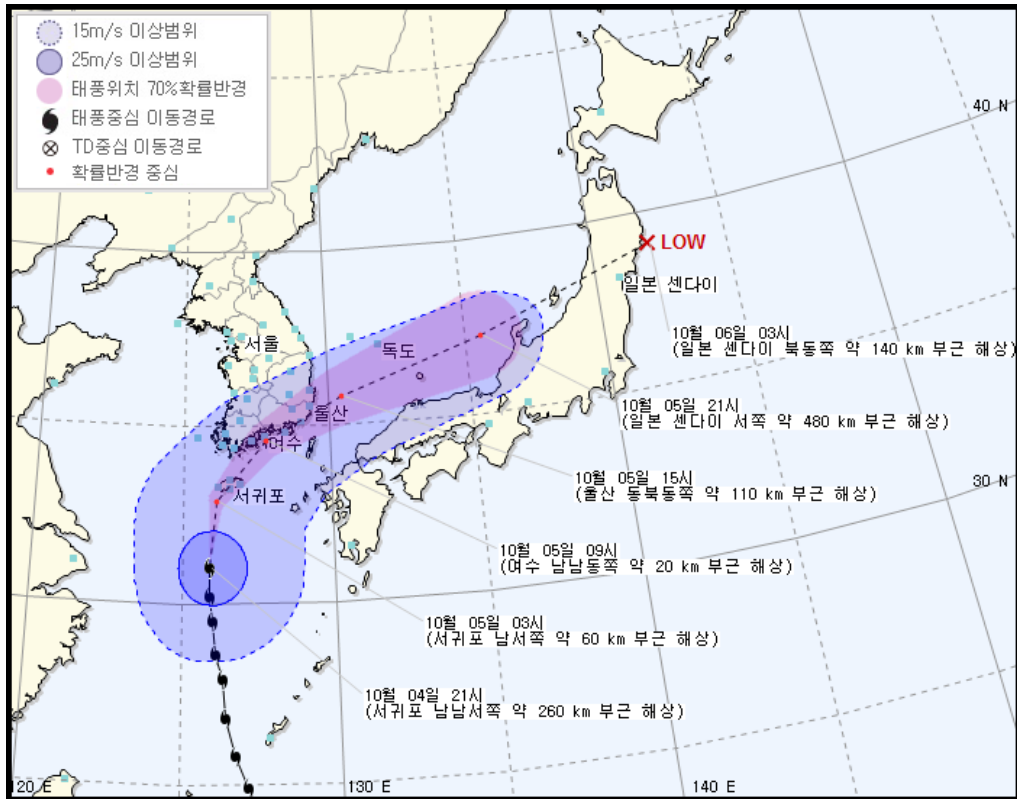


Fig. 1. Forecasting Typhoon 'CHABA' (2016/10/4 21:00)

시강우량 자료와 2004년부터는 AWS 시강우량 자료를 수집하였고, 시군구별 평균면적강우량은 Thiessen 가중법에 의하여 산정하였다.

33개 태풍으로 인한 피해자료는 재해연보로부터 시군구 단위로 수집하였고, 2015년 기준 생산자 물가지수(BOK)를 이용하여 현재 가치로 환산하였으며, 총피해액, 피해 시군구 수 등이 Table 1에 나타나 있다.

### 3. 피해규모를 고려한 태풍 등급 개발

태풍으로 인한 피해는 호우, 강풍 및 해안지역의 경우는 풍랑에 의한 복합 피해이며, 호우가 중심이 되거나 바람이 우세한 경우 등 각 태풍의 특성에 따라 차이는 있으나 3가지 재해 원인은 태풍의 이동경로와 관계가 있다(Ahn et al., 2008). 즉 태풍의 이동경로, 최대풍속, 반경 등이 한반도에 영향을 많이 미칠수록 강우량과 최대풍속은 증가하고, 저기압에 의한 해수면 상승량 및 강풍에 의한 파고가 증가하게 된다. 따라서 태풍 내습시 강우량과 최대풍속을 분석하면 피해규모를 어느 정도 예측할 수 있고, 이를 고려한 태풍등급 체계를 수립할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 3.1 태풍진로와 피해

태풍이 우리나라를 중심으로 어떤 방향으로 이동하는

지에 따라 Lee (2012) 등이 구분한 동해진출형, 내륙상륙형, 서해진출형 등 3가지 유형으로 33개 태풍을 구분하였으며 Table 1에 나타나 있다. 일반적으로 태풍피해 지역은 태풍의 이동경로에 영향을 받을 것으로 예상할 수 있으나, 시군구별로 조사된 재해연보의 자료를 이용하여 태풍 이동경로와 피해 시군구의 분포를 살펴보면 다른 형태를 보이기도 한다.

Fig. 2에는 4개 태풍을 내륙상륙형 태풍 진로와 피해 시군구의 피해 규모를 나타내었으며, 피해 정도는 짙은 색일수록 크다. Fig. 2에서 태풍 'FAYE', 'RUSA'는 태풍의 이동경로를 중심으로 피해가 발생한 것을 볼 수 있으나, 태풍 'RUSA'의 피해지역중 태풍경로에 인접한 경북 북서부, 충북, 강원 남서부 지역은 피해가 거의 발생하지 않은 것을 알 수 있다. 이러한 이유로는 이들 지역의 대부분이 태풍의 왼편에 위치하여 피해가 작을 것으로 추정할 수는 있으나, 피해액이 거의 없다는 것은 설명하기 어렵다. 한편 태풍 'RAMMASUN', 'SANBA'는 태풍진로와 피해 시군구의 관계를 설명하기 쉽지 않다.

#### 3.2 복합 재해 원인과 피해 시설물

매년 작성되는 재해연보의 자연재해로 인한 피해조사항목은 크게 공공시설물과 사유재산으로 구분할 수 있으며, Table 2에 조사항목이 나타나 있다.

Kim and Kim (2019)는 내륙 시군구와 해안 시군구를

분리하고, 재해연보에 분류되어 있는 재해 원인인 태풍, 호우, 강풍, 풍랑 등 4가지 원인에 대하여 시설물별 피해액 비율을 산정하였으며, Fig. 3에 나타나 있다. Fig. 3은 Kim and Kim (2019)의 자료에 2018년도 태풍 ‘SOLIC’과 ‘KONG-REY’를 추가하였다.

Fig. 3의 호우, 강풍, 풍랑에 의한 피해를 살펴보면 재해원 인별 피해시설물을 분류할 수 있는데, 호우로 인한 피해 시설물은 도로, 하천, 소하천, 상하수도, 학교, 철도, 사방임도, 통신(2018년 신설), 군사시설 등의 공공시설물과 축대, 담장, 잠사, 축사 등이다. 강풍으로 인한 피해는 비닐하우스

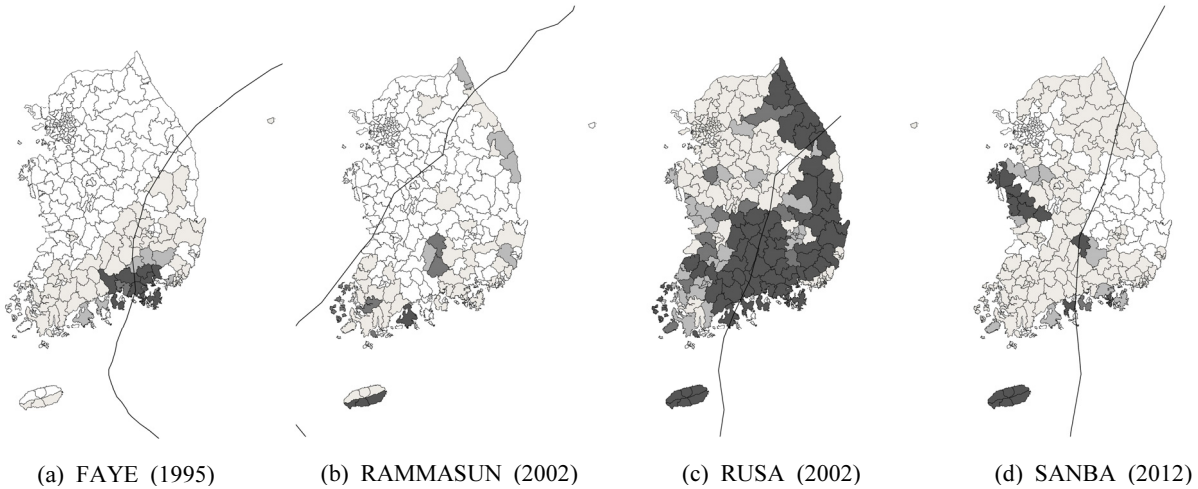


Fig. 2. Magnitude of Damage and Typhoon Track

Table 2. List of Damaged Facilities of Annual Natural Disaster Report

Damaged	Items
Public facility	road & bridge, stream, creek, water supply & sewer system, harbor, port, school, railroad, irrigation facilities & seawall, erosion control & forest road, military facilities, small facilities, Public Etc.
Private property	building, ship (boat), farmland, retaining wall & fence, livestock, barn, aquacultural facilities, fishnet & fishing facilities, plastic house, Etc.

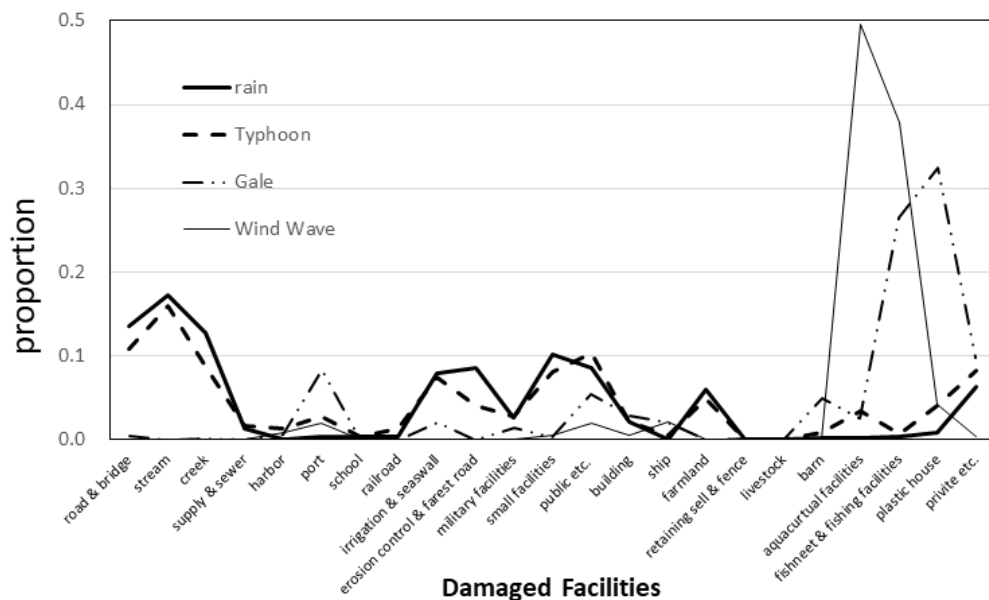


Fig. 3. Damage Proportion of Facilities by Cause of Disaster

와 수산증양식, 어망, 어구통이 대부분을 차지하는데, 이중 해안지역에서 발생하는 시설물 피해는 강풍으로 인한 풍랑의 발생 때문으로 추정된다. 풍랑은 해안지역에서 발생하는 데 항만시설, 어항시설, 수산증양식, 어망, 어구 등임을 알 수 있다. 강풍 피해로 내륙지역은 비닐하우스, 해안지역은 비닐하우스 및 수산 관련 시설들이다. 또 Table 3에는 1994년부터 2018년까지의 태풍, 호우, 강풍, 풍랑에 의한 피해건수와 총피해액 및 평균 피해액이 나타나 있다. Table 3의 결과를 보면 태풍 피해액이 가장 크고, 호우, 풍랑, 강풍 순으로 평균피해액이 나타나며, 풍랑과 강풍의 평균피해액은 태풍이나 호우에 비하여 현저히 작은 것을 알 수 있다.

태풍으로 인한 피해를 태풍에 동반된 호우와 강풍(풍랑 포함) 피해로 구분할 수 있으며, 본 연구에 이용된 33개 태풍의 호우와 강풍에 의한 피해 시설물의 피해액과 비율을 산정하여 Table 4에 나타내었다. 태풍으로 인한 피해는 해안지역이 내륙지역보다 크게 발생하는 데, 이는 풍랑으로 인한 피해가 추가되기 때문으로 판단되고, 재해원인별로는 호우 피해가 풍랑을 포함한 강풍피해보다 최대 4배 이상 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

태풍 이동경로별로 호우관련 시설물과 강풍관련 시설물

의 피해정도를 살펴보면, 서해관통형 태풍은 호우:강풍 피해 비율이 2:8로 강풍 관련 시설물의 피해가 더 많이 발생한데 반하여, 동해관통형 태풍은 6:4, 내륙상륙형 태풍은 8:2 정도로 호우 관련 시설물의 피해가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 동해관통형 태풍의 강풍(풍랑) 피해가 작은 이유는 서남해안에 비하여 양식업이 활발하지 않기 때문으로 추정된다.

### 3.3 피해규모를 고려한 태풍등급 개발

기상청에서 제공하는 태풍관련 정보는 Fig. 1과 Table 5에 나타나 있는 바와 같이 태풍의 예상진로, 중심기압, 최대풍속, 반경 등의 정보를 제공한다. 태풍으로 인한 피해가 예상될 때, 기상청에서는 예상 이동경로와 태풍특성치를 예보하고, 필요에 따라 태풍주의보, 태풍경보를 발령하고 있다. 그러나 이들 정보만으로 피해규모를 평가하고 재해에 대비하기 위한 정보로는 부족한 점이 있다.

#### 3.3.1 태풍피해와 최대풍속, 강우량 관계

피해규모를 고려한 태풍등급체계를 개발하기 위하여서는 3.2절에서 살펴본 바와 같이 태풍발생시 피해를 야기하는

**Table 3.** Damages by Natural Disaster Cause (10<sup>8</sup> won, 1994-2018)

Natural disaster	Total damage	Number of occurrences	Mean damage
Rain	97,683	3,949	24.7
Typhoon	243,589	1571	155.1
Gale	449	249	1.8
Wind Wave	772	181	4.3

**Table 4.** Damages by Cause of Typhoon Types

Track	Location	Total damage amount (10 <sup>8</sup> won, 1994-2018)		
		Rainfall	Gale (wind wave) facilities	Sum
yellow sea passing	costal	439.7 (8.3)	4,867.4 (91.7)	5,307.1
	inland	968.1 (51.5)	910.5 (48.5)	1,878.6
	sum	1,407.8 (19.6)	5,778.0 (80.4)	7,185.8
landfall	costal	65,295.6 (79.1)	17,258.3 (20.9)	82,553.9
	inland	52,678.9 (85.1)	9,208.5 (14.9)	61,887.4
	sum	117,974.4 (81.7)	26,466.8 (18.3)	144,441.2
east sea passing	costal	1,087.1 (57.9)	790.9 (42.1)	1,878.0
	inland	273.5 (79.2)	71.7 (20.8)	345.2
	sum	1,360.6 (61.2)	862.6 (38.8)	2,223.2
total	costal	68,230.2 (70.4)	28,694.5 (29.6)	96,924.7
	inland	56,296.4 (76.9)	16,879.2 (23.1)	73,175.6
	sum	187,446.2 (77.0)	56,143.7 (23.0)	243,589.9

원인인 호우와 강풍과 태풍피해액의 관계를 도출하여야 한다.

Lee (2012)은 극한 기후현상으로 1시간 강우량과 최대풍속을 결정하고 극한 기후현상과 피해액의 관계를 태풍진로에 따라 유도하였다. J. Kim et al. (2019)는 로지스틱모형을 이용하였으며, 강우지속기간 1, 2시간 강우량, 최대풍속, 중심기압을 이용하여 태풍피해를 예측하였고, Lee (2012)는 일최대강우량과 최대순간풍속을 독립변수로, 태풍피해액을 종속변수로 하는 선형회귀분석을 시도하였다.

Kim et al. (2017)은 부산시 강서구를 대상으로 개발한 태풍피해예측함수에서 강우지속기간 5, 6, 17, 24시간 강우량과 최대풍속 및 조위를 태풍피해액 산정을 위한 식에 이용하였다. Ahn et al. (2008) 등은 서해와 동해를 통해 북상하는 태풍에 대하여 총강우량 80 mm와 최대풍속을 이용하여 태풍피해를 추정하였다. 호우와 피해액의 관계는 강우지속기간 1, 3, 6, 12, 24시간 최대강우량과 피해액의 관계를 수원, 이천, 양평 지역에 대하여 유도하였으나 상관계수( $R^2$ )가 최대 0.61이며 평균 0.33~0.51 정도를 나타내었다(S. Lee et al., 2016; Lim and Choi, 2020).

선행연구에 의하면, 시군구별 태풍피해와 지속기간별 최대강우량 또는 풍속과의 관계를 유도하기 위한 다양한 시도가 이루어졌으며, 강우지속기간은 1, 3, 6, 12, 24시간 등을 주로 채택하였고, 풍속의 경우는 최대풍속 또는 순간최대풍속을 이용하였다.

본 연구에서는 태풍이 한반도에 영향을 미치기 전에 태풍에 의한 피해를 대비하고, 재난에 대응하기 위한 태풍 등급을 개발하고자 하며, 태풍이 발생하면 위경도로 나타나는 태풍의 이동경로, 중심기압, 최대풍속, 반경 등이 예보되는 것과 한반도에 영향을 미치기 시작할 경우 NDMS 시스템에 시군구별 시강우량이 제공되는 것을 이용하여 시강우량과 최대풍속 및 태풍 이동경로 상의 위치를 고려하여 피해규모를 고려한 태풍등급체계를 제시하고자 한다.

태풍의 이동경로는 한반도 주변의 기상조건에 따라 변동이 심하나, 위도 32° 지점(마라도 남쪽 120 km 지점), 33°(마라도 지점), 34°(추자도와 보길도의 중간지점) 인근 지점에서의 최대풍속과 지속기간 3, 6, 12, 24시간 강우량을 이용하

여, 태풍 피해를 가장 잘 설명하는 위치와 피해규모를 고려한 태풍 등급을 가장 잘 표출하는 조건을 찾아 등급체계를 개발하고자 하며, 그 절차는 다음과 같다. 이때 지속기간별 강우량은 특정 위도 인근에 태풍이 도달한 시간부터 지속기간별 강우량을 산정한 값이다.

먼저 33개 대상 태풍에 대하여 위경도로 나타나는 이동경로와 최대풍속 등 태풍특성치를 시간단위로 획득하고, 각 태풍에 대하여 언급한 위도 32°, 33°, 34°에 가장 근접한 위치에서의 도착시간, 최대풍속을 수집한다. 다음으로 각 태풍의 위도별 최근접 도착시간을 기준으로 지속기간 3, 6, 12, 24시간 최대강우량을 구하고, 마지막으로 태풍별, 위도별 최대풍속과 지속기간 3, 6, 12, 24시간 강우량의 관계를 그래프에 표시하여, 태풍피해와 최대풍속과 지속기간별 강우량의 관계를 가장 잘 설명하는 조건을 찾고, 이로부터 태풍등급을 구분하는 체계를 작성한다. 예를 들면, Fig. 1에 나타나 있는 태풍 ‘차바’에서 2016/10/5 0:00에 32°에 가장 근접한 31.9° 지점을 통과하므로(Table 5 참조), 2016/10/5 0:00을 기준으로 지속기간 3, 6, 12, 24시간 강우량을 산정한다.

2.2절에서 설명한 바와 같이, 시우량은 시군구 단위로 산정하였으며, 지속기간별 평균강우량 산정시 호우로 인한 피해를 발생시킬 수 있는 강우량으로 최소강우량을 도입하였고, 5 mm로 결정하였다. 따라서 지속기간별 평균강우량 산정시 최소강우량 5 mm 이상인 시군구를 대상으로 지속기간별 평균강우량을 산정하였다. 이는 5 mm 이하의 강우량을 가진 시군구를 모두 고려하여 지속기간별 강우량을 산정하면, 한반도 일부분에만 피해를 일으킬 정도의 태풍에 대하여서는 강우량이 너무 작아 호우로 인한 피해를 제대로 설명하기 어렵고, Fig. 4에 나타나 있는 바와 같이 피해규모, 최대풍속, 지속기간 강우량의 관계도 도출할 수 없다. 본 연구에서는 최소강우량을 10 mm에 대하여서도 평가하였으나 5 mm가 가장 좋은 결과를 나타내었다. Figs. 4-8에서 ‘△’으로 표시된 태풍(Class 1)은 1조 이상, ‘□’으로 표시된 태풍(Class 2)은 1,000억~1조 미만, ‘○’으로 표시된 태풍(Class 3)은 100억~1,000억 미만, ‘+’으로 표시된 태풍(Class 4)은 100억 원 미만의 피해를 일으킨 태풍을 나타낸다.

앞에서 설명한 절차에 따라 총 12개(3개 위도 × 4개 강우지

**Table 5.** Track and Characteristics of Typhoon ‘CHABA (2016)’

Date	Lat.	Long.	Min. Pressure (hPa)	Max. wind speed (m/s)	Radius (km)	Strength	Size	Adapted
2016/10/04 21:00	31.0°	25.9°	945	45	300	very strong	midium	
2016/10/05 00:00	31.9°	26.0°	950	43	300	strong	midium	32°
2016/10/05 03:00	32.8°	26.4°	955	40	280	strong	small	33°
2016/10/05 06:00	33.7°	27.1°	960	39	280	strong	small	34°
2016/10/05 09:00	34.6°	128.1°	970	35	260	strong	small	
2016/10/05 12:00	35.2°	29.3°	975	32	230	strong	small	

속기간) 조건에 대한 그래프를 작성한 결과가 Figs. 5~7에 나타나 있다. 그림의 범례에 나타나 있는 바와 같이 피해액의 규모를 4단계로 구분하고 각각 다른 표식으로 나타나 있으며 삼각형으로 나타난 2개의 태풍이 'RUSA', 'MAEMI'이다.

### 3.3.2 피해규모를 고려한 태풍등급체계

태풍 이동경로, 태풍 특성치, 지속기간별 강우량과 태풍 피해를 이용한 관계를 그림으로 나타낸 결과 Fig. 6(a)에 나타나 있는 위도 33° 인근 지역에서의 최대풍속과 해당

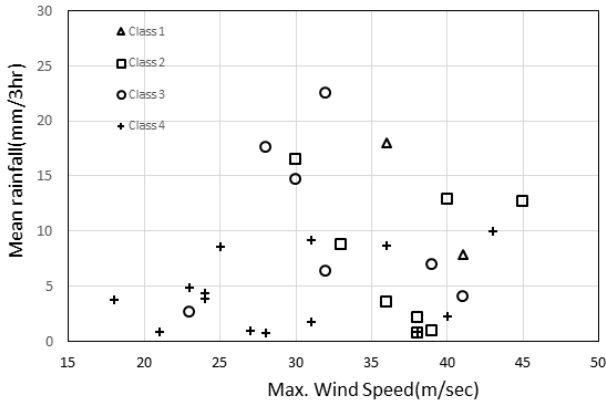
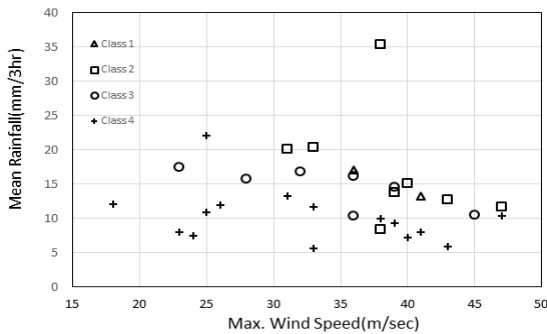


Fig. 4. Relationship Max. Wind Speed Near Lat. 33° and Duration 3 hrs Rainfall (Min. Rainfall '0 mm')

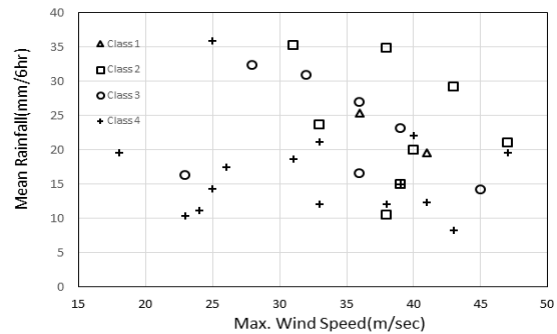
시간 이후 지속기간 3시간 강우량의 관계가 가장 높은 상관성을 나타내었으며, 이를 이용하여 태풍등급을 작성하였으며, 그 결과가 Fig. 8에 나타나 있다. Fig. 8에서 나타나 있는 직선 a, b, c는 피해액 기준 100억, 1,000억, 10,000억, 1조 (Table 6 참조)를 구분하는 선으로 각 직선의 방정식은 다음과 같다.

- a : Mean Rainfall for duration 3 hrs (mm/3hr) = -1.9 Max. Wind Speed (m/sec) + 90
- b : Mean Rainfall for duration 3 hrs (mm/3hr) = -1.9 Max. Wind Speed (m/sec) + 80
- c : Mean Rainfall for duration 3 hrs (mm/3hr) = -1.9 Max. Wind Speed (m/sec) + 70

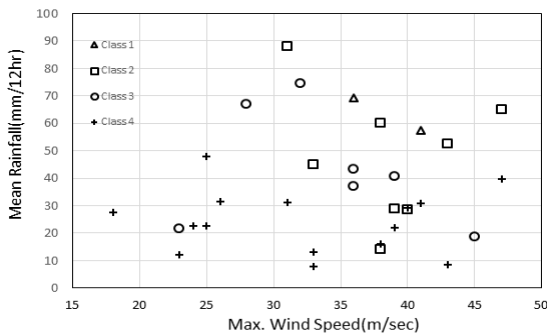
Fig. 8에서 기준이 되는 범위를 벗어나는 경우가 있는데, 원형 점선 안에 나타나 있는 태풍은 2012년에 발생한 태풍 'SANBA'로 33개 태풍 중 5번째로 큰 피해를 일으킨 태풍이다. 단순히 최대풍속과 지속기간 3시간 강우량만으로는 가장 큰 피해를 일으켜야 하나 Fig. 2에 나타나 있는 바와 같이 피해액과 강우량, 최대풍속이 항상 선형비례관계는 아니며, 더불어 재해영향평가, 사전재해영향 검토 등 다양한 방재정책에 따라 방재 관련 시설투자가 증가하여 피해에 대한 저항성이 커진 영향도 있을 것으로 판단된다.



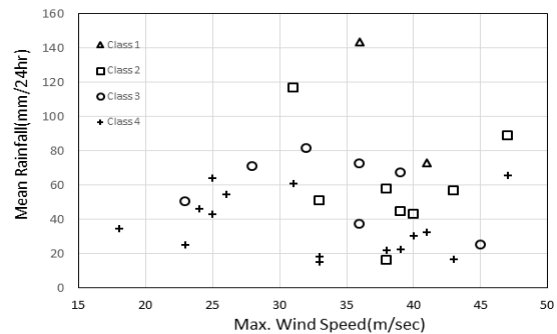
(a) Max. wind & duration 3 hrs rainfall



(b) Max. wind & duration 6 hrs rainfall



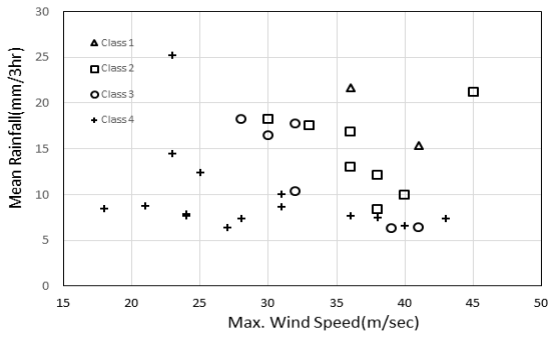
(c) Max. wind & duration 12 hrs rainfall



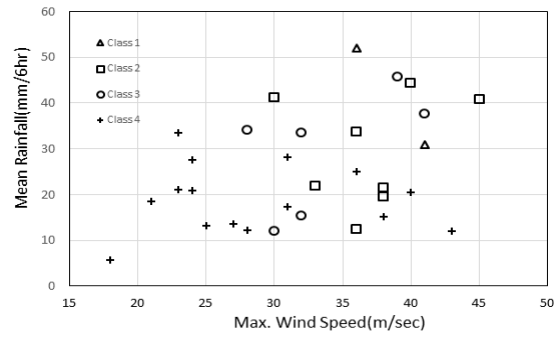
(d) Max. wind & duration 24 hrs rainfall

Fig. 5. Relationship of Max. Wind Speed Near Lat. 32° and Rainfall

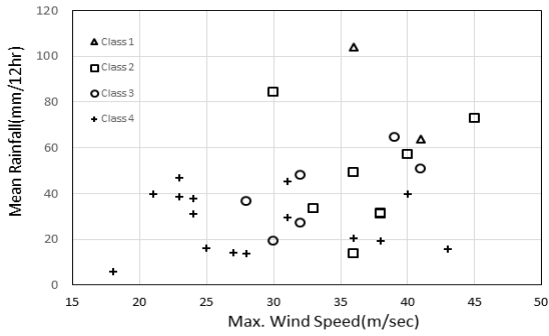




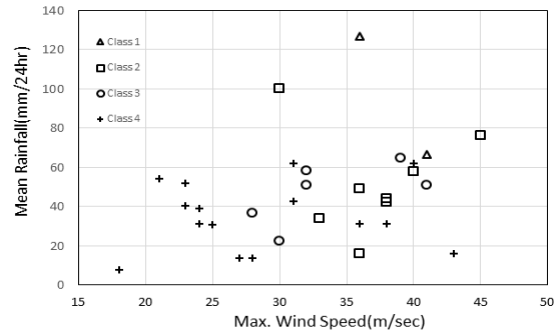
(a) Max. wind & duration 3 hrs rainfall



(b) Max. wind & duration 6 hrs rainfall

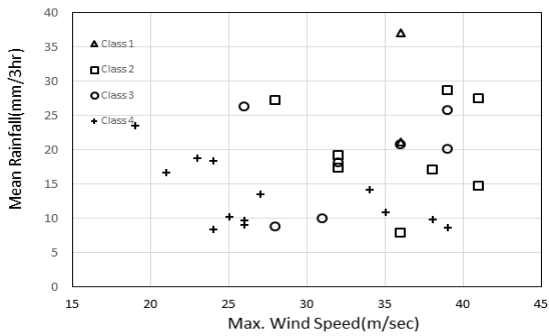


(c) Max. wind & duration 12 hrs rainfall

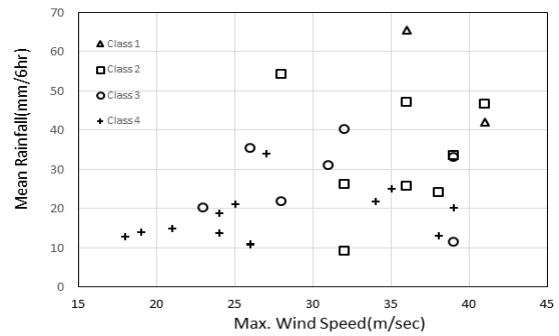


(d) Max. wind & duration 24 hrs rainfall

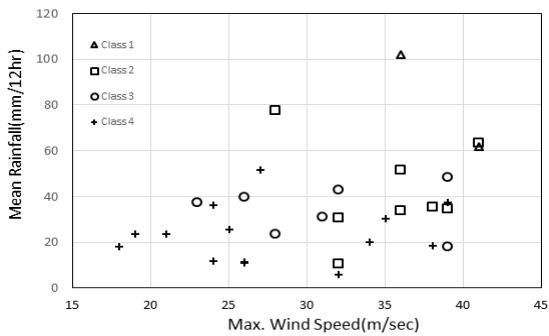
Fig. 6. Relationship of Max. Wind Speed Near Lat. 33° and Rainfall



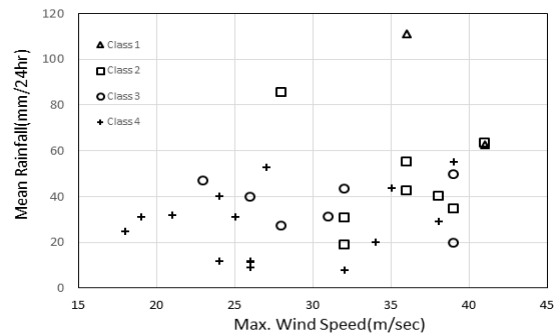
(a) Max. wind & duration 3 hrs rainfall



(b) Max. wind & duration 6 hrs rainfall



(c) Max. wind & duration 12 hrs rainfall



(d) Max. wind & duration 24 hrs rainfall

Fig. 7. Relationship of Max. Wind Speed Near Lat. 34° and Rainfall

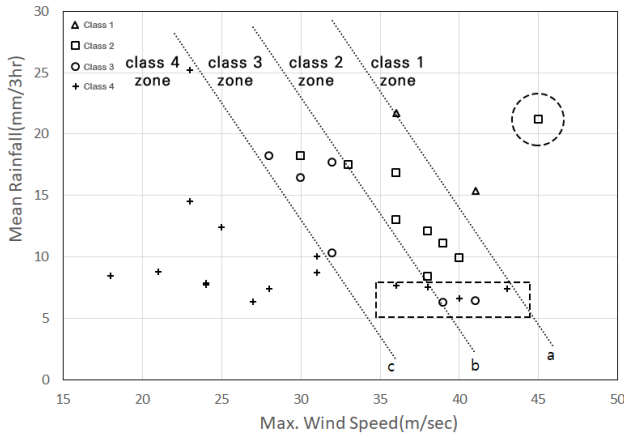


Fig. 8. New Typhoon Rating with Magnitude of Damage

Table 6. Typhoon Rating System

Rating	Damage Amount (billion)
Class 1	1,000 ≤ Damage
Class 2	100 ≤ Damage < 1,000
Class 3	10 ≤ Damage < 100
Class 4	Damage < 10

사각 점선으로 나타나 있는 지역의 점들은 바람은 강하나 강우량은 작은, 바람이 우세한 태풍들로 6개 태풍중 4개의 태풍(‘DANAS’, ‘HALONE’, ‘GONI’, SHANSHAN’)이 동해관통형 태풍이며, ‘SOLIC’과 ‘NARI’는 내륙상륙형 태풍이다. 이중 ‘SOLIC’은 이틀 뒤 발생하여 일본 열도를 통과한 ‘CIMARON’과의 후지와라 효과에 의하여 부상하지 못하고 제주도와 목포 인근에서 장기간 멈춤에 따라 약화된 태풍으로, 위도 33°를 통과할 당시에는 상당한 세력을 유지(최대풍속 40 m/s)하였으나 세력이 약화된 후 내륙에 상륙하므로써 피해규모가 줄어든 것으로 추정된다. 또 4개의 동해관통형 태풍의 경우는 Tables 3과 4에 설명한 바와 같이 바람에 의한 피해는 호우에 의한 피해보다 작게 발생하므로, 바람이 강하더라도 강우량이 작아 피해가 작게 발생한 것이다.

#### 4. 결론

태풍은 자연재해 중 가장 큰 피해를 야기하는 원인으로 태풍이 우리나라에 미치는 영향을 미리 파악할 수 있다면 재해예방에 많은 도움이 될 것이다. 현재 사용하고 있는 태풍 등급은 최대풍속에 따라 세기를, 반경에 따라 크기를 나타낸다. 재해측면에서는 태풍주의보와 태풍경보가 호우, 바람, 풍랑의 기준에 따라 발령되나, 이를 통하여 피해규모를 추정하고 재난에 대비하는데 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 기왕의 태풍피해를 근거로 피해구

모를 예측할 수 있는 태풍등급을 개발하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 태풍 관련 재해는 태풍 또는 태풍과 호우의 결합으로 인한 재해가 있으나, 이중 태풍만으로 인한 피해 자료를 이용하여 태풍등급체계를 수립하였다
- 2) 태풍이 한반도에 영향을 미칠 것이 확실한 33° 인근 지점에서의 최대풍속과 해당 시간 이후 지속기간 3시간 강우량을 이용하여, 피해규모를 고려하여 4개 등급으로 분류하였고,
- 3) 각 등급의 경계는 최대풍속과 지속기간 3시간 강우량 관계를 이용하여 직선식으로 제시하였다.

본 연구에서 제시한 태풍피해를 고려한 태풍등급체계는 태풍으로 인한 피해가 예상될 때, 재해 대비, 대응에 이용될 수 있을 것이다. 한편 본 연구에 이용된 태풍자료는 33개로 충분하다고 할 수 없을 뿐 만 아니라, 2004년 전후로 ASOS 관측소와 AWS 관측소를 이용하였으므로, 강우자료의 일관성에도 문제가 있다. 또 실제 이 등급체계를 이용할 경우, 피해가 가장 큰 1등급에 속하는 ‘RUSA’와 ‘MAEMI’는 모두 ASOS 관측소 자료만을 이용하였으므로, 이 등급에 속하는 태풍에 대하여서는 조심스러운 적용이 필요하며, 지속적인 자료 수집과 보완이 필요하다.

#### 감사의 글

이 논문은 2020-2021년도 경상국립대학교 대학회계 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

#### References

- Ahn, S., Kim, B., Lee, S., and Kim, H. (2008). The characteristics of disaster by track of typhoon affecting the Korean peninsula. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 8, No. 3, pp. 29-36.
- Bank of Korea (BOK). *PPI*. Retrieved from <https://ecos.bok.or.kr/>
- Kim, J., Choi, C., and Kim, T. (2019). Development of typhoon damage prediction function using a logistic distribution. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 19, No. 6, pp. 105-113.
- Kim, J., Kim, T., and Lee, B. (2017). An analysis of typhoon damage pattern type and development of typhoon damage forecasting function. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 17, No. 2, pp. 339-347.
- Kim, Y., and Kim, T. (2019). Development of typhoon damage forecasting function of southern inland area by multivariate analysis technique. *Journal of Wetlands*

- Research*, Vol. 21, No. 4, pp. 281-289.
- Kim, Y., Lee, B., and Kim, T. (2019). Development of a typhoon risk index (TRI) based on records of typhoon damage. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 19, No. 7, pp. 501-509.
- Korea Meteorological Administration (KMA1). *Typhoon*. Retrieved from [https://www.weather.go.kr/plus/typ/typ\\_history.jsp](https://www.weather.go.kr/plus/typ/typ_history.jsp)
- Korea Meteorological Administration (KMA2). *Open MET Data Portal*. Retrieved from <https://data.kma.go.kr/cmnmn/main.do>
- Lee, J., Eo, G., Choi, C., Jung, J., and Kim, H. (2016). Development of rainfall-flood damage estimation function using nonlinear regression equation. *Journal of the Korea Society of Disaster Information*, Vol. 12, No. 1, pp. 74-88.
- Lee, S. (2012). *A study on damage scale prediction by rainfall and wind velocity with typhoon*. Master's thesis, Sunchon Univ.
- Lee, S., Ahn, S., Lim, B., and Choi, G. (2016). Relationships between intensity of extreme climate events and magnitude of damages for different typhoon tracks in the republic of Korea. *The Korean Association of Regional Geographers*, Vol. 22, No. 2, pp. 450-465.
- Lee, S., and Choi, G. (2013). Spatio-temporal patterns of extreme precipitation events by typhoons across the republic of Korea. *The Korean Association of Regional Geographers*, Vol. 19, No. 3, pp. 384-400.
- Lim, Y.T., and Choi, H.I. (2020). Regression models on flood damage records by rainfall characteristics for regional flood damage estimates. *Journal of Wetlands Research*, Vol. 22, No. 4, pp. 302-311.
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS). (1994-2018). *Annual Natural Disaster Report*. Ministry of Public Safety and Security.
- Park, J., Jung, W.S., Kim, E.B., and Kim, J.S. (2013). Characteristics of the state and distribution of damage by typhoon. *Korean Soc. of Hazard Mitig. Conference 2013*, pp. 40-40.
- Park, J., Kim, B., Jung, W., Kim, E., and Lee, D. (2006). Change in statistical characteristics of typhoon affecting the Korean peninsula. *Atmosphere*, Vol. 16, No. 1, pp. 1-17.
- Seol, D. (2010). Global warming and trends of typhoon variation. *J. of Navigation and Port Research*, Vol. 34, No. 6, pp. 453-458.
- Yang, S., Son, K., Lee, K., and Kim, J. (2016). Typhoon path and prediction model development for building damage ratio using multiple regression analysis. *J. Korea Inst. Build. Constr.*, Vol. 16, No. 5, pp. 437-445.

---

**Received** ■ August 13, 2021

**Revised** ■ August 13, 2021

**Accepted** ■ August 25, 2021