

## 한반도 태풍강우 추출기법 비교 평가 Comparative Assessment of a Method for Extraction of TC-induced Rainfall Affecting the Korean Peninsula

손 찬 영\* / 권 현 한\*\* / 김 종 석\*\*\* / 문 영 일\*\*\*\*

Son, Chan-Young / Kwon, Hyun-Han / Kim, Jong-Suk / Moon, Young-Il

### Abstract

Strong winds and heavy rainfall from tropical cyclones (TCs) that occur in the Northwestern Pacific cause significant human and material damage to the Korean peninsula and East Asia. Hence, it is important to establish early warning systems and conduct preparedness activities in advance of a TC. This study suggests a technique to extract the value of uniform TC-induced rainfall considering the TC track and TC size. To validate our technique, we compare it to existing TC rainfall techniques using the spatial domain. To determine the TC size required for extracting TC-induced rainfall, this research analyzed the mean of TC-induced rainfall by TC size (1973-2012). As a result of this analysis, the maximum amount of mean of TC-induced rainfall was found for a TC with a radius of 700 km. Other techniques have limitations which this new technique addresses; it can extract TC-induced rainfall in each administrative area and minimize systematic biases of other extraction methods. The result of this study can be utilized in the preparation of rainfall forecasts, designing hydraulic structures, and predicting landslide and debris flows using TC-induced rainfall and downpours.

**keywords** : TC rainfall extraction, tropical cyclone, TC-induced rainfall, Korean peninsula

### 요 지

서북태평양에서 발생하는 태풍은 돌풍 및 강우를 동반하여 한반도뿐만 아니라 동아시아에 상당한 인적 및 물질피해를 야기함에 따라 이에 대한 수방대책 및 치수정책 수립이 시급한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 태풍의 경로 및 규모를 고려한 태풍강우량 추출기법을 제안하고 과거 태풍 감시구역을 이용한 태풍강우 추출기법과 비교하여 적용성을 검토하였다. 태풍규모를 결정하기 위해 본 연구에서는 평균 태풍강우량을 산정하였으며, 산정결과 태풍 규모가 반경 700km일 때 평균 태풍강우량이 최대로 나타났다. 또한, 본 연구에서 제안하는 태풍의 경로 및 규모를 이용한 태풍강우량 추출기법은 과거 태풍 감시구역을 이용한 강우량 추출기법의 한계를 보완할 수 있을 것으로 판단되며, 구역별, 행정구역별로 태풍이 야기한 직접적인 강우를 추출할 수 있으며 주관적인 판단에 의해 발생할 수 있는 태풍강우의 과대 및 과소평가의 위험성을 최소화 할 수 있다. 본 연구의 결과는 향후 태풍과 집중호우의 특성분석과 기상인자를 활용한 강우예측, 수공구조물 설계, 산사태, 토석류에 대한 사전 대비책 등에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어** : 태풍강우 추출, 태풍, 태풍강우량, 한반도

\* 서울시립대학교 토목공학과 박사과정 (e-mail: cyson@uos.ac.kr)

Ph.D. Course, Department of Civil Engineering, The University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

\*\* 전북대학교 토목공학과 부교수 (e-mail: hkwon@jbu.ac.kr)

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

\*\*\* 서울시립대학교 토목공학과 연구교수 (e-mail: jongsuk@uos.ac.kr)

Research Professor, Department of Civil Engineering, The University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

\*\*\*\* 교신저자, 서울시립대학교 토목공학과 교수 (e-mail: ymoon@uos.ac.kr, Tel: 82-2-2210-2764)

Corresponding Author, Professor, Department of Civil Engineering, The University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

## 1. 서 론

한반도는 세력이 강한 태풍(루사(2002년), 매미(2003년), 불라벤(2012년), 산비(2012년) 등)이 상륙함에 따라 강한 돌풍과 폭우를 동반시켜 반복적인 인명 및 재산 피해가 발생되고 있다(Kim and Jain, 2011; Oh et al., 2011; Son et al., 2013). 또한, 최근 2013년 11월에 발생한 태풍등급을 넘어서는 강력한 태풍 하이옌이 필리핀에 상륙하면서 사망자 6,100여명, 실종자 약 1,780명, 100만 가구의 피해가 발생하였다. 이처럼 서북태평양에서 발생하는 태풍은 동아시아 지역에 막대한 손실을 초래하는 재해로 이에 대한 관심과 대비책 마련이 시급한 실정이다(Choi et al., 2010; Choi and Moon, 2012).

태풍의 발생빈도 및 강도와 관련하여 Wu et al. (2005)은 과거 태풍자료를 이용하여 서북태평양에서 생성되는 태풍의 진로를 분석하여 동아시아 지역에 태풍 상륙 증가 가능성을 분석하였으며, 남중국해로 이동하는 태풍은 감소하는 반면 한반도, 일본으로 이동하는 태풍은 증가할 것으로 전망하였다. 또한, Knutson et al. (2010)은 7가지 기후모델을 이용하여 태풍발생지역(대서양, 동태평양, 서태평양, 북인도양, 남반구)에 대하여 미래 태풍의 강도를 전망하였는데, 서태평양지역을 제외한 모든 태풍발생지역은 기후모델별로 상이한 결과가 나타난 반면, 한반도를 포함한 동아시아지역에 영향을 미치는 서태평양지역의 경우 모든 기후모델에서 태풍강도가 증가할 것으로 전망하였다. 이처럼 서북태평양지역에서 발생하는 태풍의 강도와 한반도에 미치는 태풍빈도 및 강도 등이 증가할 것으로 전망되고 있음에도 불구하고 유역별, 행정구역별 태풍 및 태풍강우에 대한 정량적인 분석이 부족하여 치수 및 방재 대책, 정책수립 등의 활용이 어려운 것이 현실이다.

한반도 영향 태풍 추출기법과 관련하여 기상청(KMA, 1996)에서는 한반도 감시구역(120°-138°E, 32°-40°N)을 제시하여 한반도 영향 태풍을 분류하여 태풍통계자료를 만들고자 하였다. 그러나 태풍 감시구역과 관련된 연구는 한반도 태풍강우의 추출보다는 기상학적으로 한반도 태풍의 활동을 감시하는 목적으로 적용되고 있기 때문에 태풍이 한반도에 유발한 강우를 시간별, 유역별, 행정구역별 등 지역적인 태풍강우를 추출하는 데는 한계가 있다.

현재 한반도는 수방대책의 설계 기준이 되는 확률강우량을 산정할 때 평균과 분산이 변하지 않고 동일하다는 정상성을 가정하여 강우관측소의 연최대치 강우량을 산정하여 빈도해석을 수행하고 있다(Stedinger et al., 1993; Jain and Lall, 2000, 2001; Kwon and Moon, 2007; Lee et

al., 2010). 그러나 최근 기후변화로 인해 강우계열의 평균과 분산 등과 같은 통계 특성이 증가하고 있어 강우량의 증가를 반영할 수 있는 비정상성 빈도해석방법이 요구되고 있으며 비정상성 빈도해석에 관한 연구가 진행되고 있다. 비정상성 빈도해석을 수행하기 위해서는 강우와 밀접한 관련이 있는 수문 및 기상인자와의 관계 규명이 요구되며 호우원인별 대기 및 기상시스템과의 연관성에 대한 세부적인 분석이 필요하다. 또한, 사실상 현실화가 된 기후변화가 한반도 태풍강우 및 집중호우에 공간적으로 미치는 영향이 다를 수 있기 때문에 호우분리를 통해 각 호우원인별 강우량의 정량적인 분석이 이루어져야 한다. 추가적으로, 호우원인과 경향성이 상이한 집중호우와 태풍강우를 분리하지 않은 상태에서 수문기상인자를 통한 비정상성 빈도해석을 수행할 경우 수문기상인자와의 상관관계 규명의 어려움으로 실제강우량의 과대 및 과소 산정을 초래할 수 있으므로 보다 정확한 호우의 분리를 통한 수문기상인자와의 상관관계 규명을 바탕으로 한 비정상성 빈도해석이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 태풍활동 및 규모를 고려하여 한반도에 유발한 태풍강우량을 추출할 수 있는 기법을 제안하고 과거 한반도 태풍 감시구역 기반의 태풍강우 추출기법과 비교하였으며, 수직통합수분플럭스(vertically integrated moisture flux)를 분석하여 태풍강우를 검증하여 적용성을 평가하였다. 본 연구에서 제안하는 태풍강우 추출기법은 향후, 비정상성 빈도해석을 통한 지역별 호우특성을 고려한 수방대책 및 정책수립, 과거 발생한 태풍 및 태풍강우에 국한된 복구적인 수방대책이 아닌 예측관점에서 수재해의 사전 대비 및 대응대책 수립 등에 활용도가 높을 것으로 기대된다.

## 2. 분석자료 및 방법

본 연구에서는 한반도 영향 태풍 강우를 추출하기 위해 비교적 결측 및 이상치가 없는 기상청에서 관할하는 강우 관측소 자료를 사용하였으며, 강우관측소의 객관성과 지역적인 위치 등을 고려하여 동일한 관측년수(1973~2012년)를 보유하고 있는 총 60개의 관측지점을 대상으로 분석을 실시하였다(Table 1).

태풍자료는 태풍연구센터(<http://www.typhoon.or.kr>)와 일본 기상청([www.jma.go.jp](http://www.jma.go.jp))에서 6시간 단위로 관측되는 자료로서 태풍의 경로(태풍 중심의 위도 및 경도), 태풍중심기압, 태풍 풍속 등이 관측되고 있는데, 태풍경로자료는 태풍중심에 대한 위·경도만이 관측 및 제공됨에 따

Table 1. 60 Weather Stations in Korea Used in This Study

No	ID	Name	Latitude (°N)	Longitude (°E)	No	ID	Name	Latitude (°N)	Longitude (°E)
1	90	Sokcho	38.25	128.57	31	201	Ganghwa	37.70	126.45
2	100	Daegwallyeong	37.68	128.77	32	202	Yangpyeong	37.48	127.5
3	101	Chuncheon	37.90	127.73	33	203	Icheon	37.27	127.48
4	105	Gangneung	37.75	128.90	34	211	Inje	38.05	128.17
5	108	Seoul	37.57	126.97	35	212	Hongcheon	37.68	127.88
6	112	Incheon	37.47	126.63	36	221	Jecheon	37.15	128.20
7	114	Wonju	37.33	127.95	37	226	Boeun	36.48	127.73
8	115	Ulleungdo	37.48	130.90	38	232	Cheonan	36.78	127.12
9	119	Suwon	37.27	126.98	39	235	Boryeong	36.32	126.57
10	127	Chungju	36.97	127.95	40	236	Buyeo	36.27	126.92
11	129	Seosan	36.77	126.50	41	238	Geumsan	36.10	127.48
12	130	Ulsan	36.98	129.42	42	243	Buan	35.73	126.72
13	131	Cheongju	36.63	127.45	43	244	Imsil	35.62	127.28
14	133	Daejeon	36.37	127.37	44	245	Jeongeup	35.57	126.87
15	135	Chupungnyeong	36.22	128.00	45	247	Namwon	35.40	127.33
16	138	Pohang	36.03	129.38	46	260	Jangheung	34.68	126.92
17	140	Gunsan	36.00	126.75	47	261	Haenam	34.55	126.57
18	143	Daegu	35.88	128.62	48	262	Goheung	34.62	127.28
19	146	Jeonju	35.82	127.15	49	272	Yeongju	36.87	128.52
20	152	Ulsan	35.55	129.32	50	273	Mungyeong	36.62	128.15
21	156	Gwangju	35.17	126.90	51	277	Yeongdeok	36.53	129.42
22	159	Busan	35.10	129.03	52	278	Uiseong	36.35	128.68
23	162	Tongyeong	34.85	128.43	53	279	Gumi	36.13	128.32
24	165	Mokpo	34.82	126.38	54	281	Yeongcheon	35.97	128.95
25	168	Yeosu	34.73	127.75	55	284	Geochang	35.67	127.92
26	170	Wando	34.40	126.70	56	285	Hapcheon	35.57	128.17
27	184	Jeju	33.52	126.53	57	288	Miryang	35.48	128.75
28	188	Seongsan	33.38	126.88	58	289	Sancheong	35.42	127.88
29	189	Seogwipo	33.25	126.57	59	294	Geoje	34.88	128.60
30	192	Jinju	35.20	128.12	60	295	Namhae	34.82	127.93

라 정확한 태풍규모를 알 수 없다. 이와 같은 이유로 현재 까지 태풍감시구역내로 진입한 태풍을 기준으로 감시구역 내에서 태풍의 지속시간을 감안하여 강우관측소의 강우를 태풍강우로 추출하고 적용되어 왔다. 그러나 실제 태풍은 공간적인 규모를 가짐에 따라 한반도 태풍 감시구역을 이용하는 기법은 태풍이 한반도에 유발한 태풍강우를 정량적으로 추출하는 데 한계가 있다. Fig. 1은 과거 태풍강우량을 추출하기 위해 적용되어 온 태풍 감시구역을 이용하는 기법의 한계 및 본 연구의 목적을 설명하고자 1980년(①)과 1977년(②)에 발생한 태풍의 경로를 한반도

태풍 감시구역과 함께 도시하였다. 두 태풍 모두 서북태평양에서 발달하여 북태평양고기압의 가장자리를 따라 한반도로 북상함을 확인할 수 있다. 첫째, 태풍 ①의 경우 태풍의 중심이 한반도 태풍 감시구역에 들어왔으나, 한반도보다 일본에 직접적인 영향을 미치고 있다. 둘째, 태풍 ②의 경우 태풍의 영향이 제주도를 포함하여 한반도 서남 지역에 직접적인 영향을 미치고 있으나 태풍의 중심이 한반도 태풍 감시구역에 포함되지 않아 이 기간에 발생한 강우는 태풍강우에서 제외되는 문제점이 존재한다. 태풍 영향 반경은 시공간적 변동성이 매우 크며, 특히 태풍의

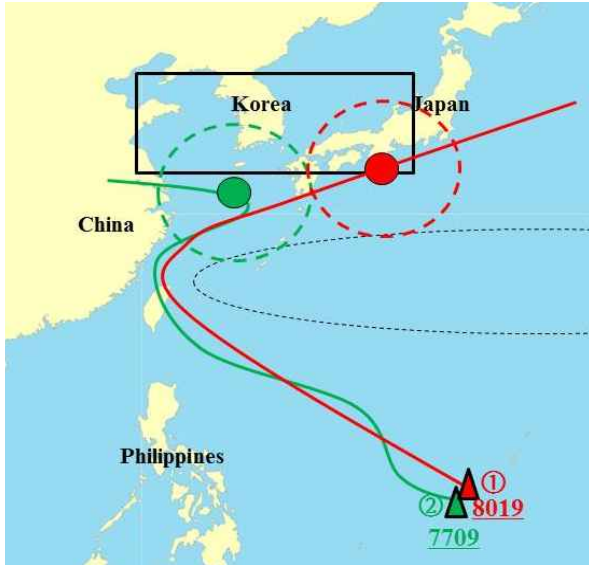


Fig. 1. Example of TC Tracks Affecting the Korean Peninsula

규모가 비교적 큰 경우 태풍의 중심이 태풍 감시구역에 진입하였을 때는 이미 태풍이 한반도에 상당한 영향을 미치고 있을 가능성이 있다. 더불어 태풍의 중심이 태풍 감시구역을 벗어나더라도 한반도에 여전히 영향을 주고 있을 가능성 또한 크다. 추가적으로 ②와 같은 태풍이 발생하였을 경우, 한반도에서 직접적인 영향을 받고 있는 지역은 제주도와 한반도 서남지역과 같이 한반도 일부지역이지만, 기존의 태풍 감시구역을 이용하는 기법의 특성상 직접적으로 태풍이 영향을 미치는 지역만을 고려하여 태풍강우를 추출할 수 없는 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 한반도 영향 태풍의 직접적인 태풍 강우량을 추출하고자 여름철 태풍(June–September, JJAS)을 중심으로 한반도 태풍 감시구역이 아닌 태풍의 공간적인 규모를 설정하고 태풍으로 인한 강우량을 추출하였으며, 이를 기존의 태풍 감시구역을 이용하는 기법과 비교하고 수직통합수분플럭스(vertically integrated moisture flux, VIMF: 1000 mb–850 mb)를 이용하여 태풍강우 추출기법의 적용성을 검증하였다. 본 연구에서는 수직통합수분플럭스를 계산하기 위해서 NOAA에서 제공하는  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  NCEP 자료 중 X방향 바람벡터(uwind), Y방향 바람벡터(vwind) 자료와 비습도(SH)의 세 가지 기상인자 자료를 이용하였다. 즉, 경도방향에 따른 수증기의 이동양을 나타내기 위하여 경도방향의 바람벡터  $U_{i,j}$ 에 수증기양을 곱하여 표현해 주었다. 마찬가지로 위도방향의 바람벡터  $V_{i,j}$ 와 수증기양을 곱하여 위도방향에 따른 수증기의 이동량을 나타내었으며, 강수장의 강도를 표현해 주기 위해

경도방향의 습도 이동량과 위도방향의 습도 이동량을 제곱하여 더해준 값에 제곱근을 사용하여 이동방향에 대한 수증기 강도 VIMF를 정의하였다. NCEP 재해석 자료 중 대류권의 강수장의 발생 현상을 종합적으로 평가하기 위해서 지상에 해당하는 고도 1,000 mb에서 대부분의 수증기가 밀집되어 있는 고도 850 mb(약 1.5 km에 상당)까지의 대기의 수분량을 수직적으로 누적(integration)하여 사용하였다. 최종적으로, 태풍강우 추출방법의 검증을 위해 상위 10% 이상의 수분량을 가지는 격자만을 지도상에 표시하여 태풍 및 태풍강우가 한반도에 실제 영향을 주었는지 확인하였다(Yoo et al., 2012).

$$VIMF_{(i,j)} = \sqrt{(U_{(i,j)} \times SH_{(i,j)})^2 + (V_{(i,j)} \times SH_{(i,j)})^2} \quad (1)$$

$$\begin{cases} 1 \leq i \leq 144 \\ 1 \leq j \leq 73 \end{cases}$$

태풍의 경로자료는 6시간 간격으로 태풍의 중심이 이동하는 지점에 대한 위·경도를 관측하고 있어 한반도에 짧은 시간 영향을 미치고 벗어난 태풍은 무시될 우려가 있다. 따라서 본 연구에서는 6시간 간격의 태풍 중심에 대한 위·경도를 1시간 등간격으로 내삽하여 태풍의 경로를 구축하였다.

태풍이 가지는 이동성 및 규모를 고려하고자 시간대별 태풍경로의 중심위치를 기준으로 태풍의 공간적인 규모를 반경 100~1,000 km까지 100 km 단위로 변화하면서 반경에 따른 민감도를 평가하였다. 즉, 설정된 태풍의 범위 내에 한반도에 설치된 강우관측소가 포함될 경우 한반도 영향 태풍으로 분류하였고, 태풍 범위 내에 강우관측소가 위치하는 시간동안 관측된 강우를 추출하여 태풍강우로 분류하였다. 마지막으로 태풍 및 태풍강우량 추출의 객관성 및 일관성을 확보하기 위해 태풍 범위별로 추출된 영향 태풍 수와 태풍강우의 비율을 통해 최종적으로 태풍의 최적 영향 범위를 결정하였다. 본 연구의 세부적인 분석 절차는 Fig. 2에서 확인할 수 있다.

### 3. 분석결과

#### 3.1 태풍 영향 범위 설정 및 태풍강우량 추출

본 연구에서는 한반도에 영향을 미친 태풍과 태풍강우량을 추출하기 위하여 태풍의 공간적인 규모를 100~1,000 km까지 설정하였으며, 설정된 공간적인 규모 내에 강우 관측소가 포함될 경우 한반도 영향 태풍으로 구분하고 강우 관측소가 설정된 태풍규모 내에 최초로 포함된 시점에

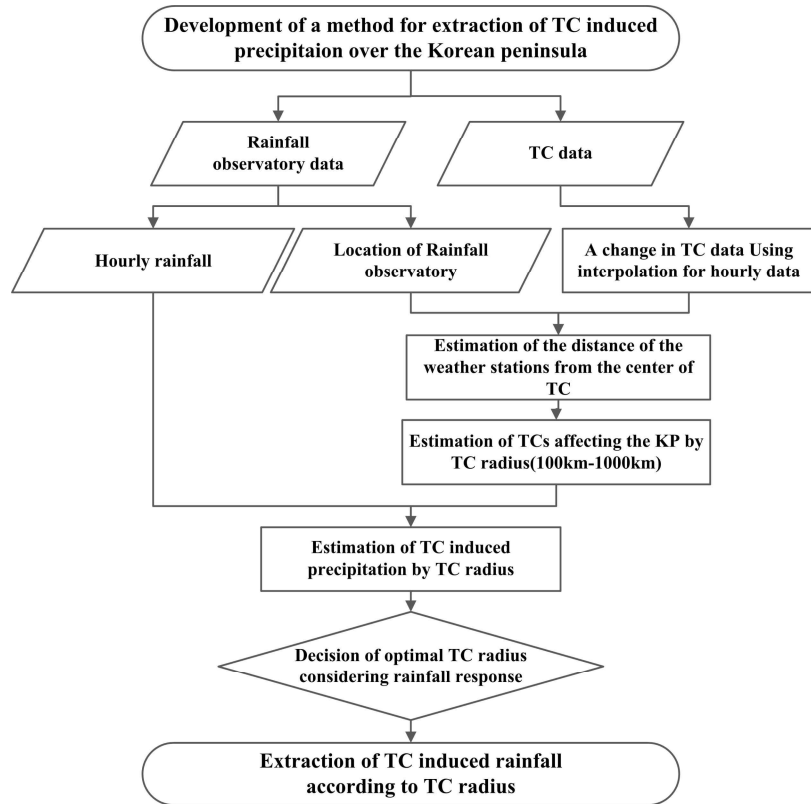


Fig. 2. A Flowchart of Extraction of TC-induced Rainfall

서 태풍이 이동하면서 강우관측소가 태풍의 범위를 벗어 나기 전까지의 강우를 태풍강우로 구분하고 추출하였다. 태풍과 강우관측소와의 거리는 다음 Eqs. (2) and (3)으로 부터 산정하였다.

$$s = \sin^2\left(\frac{y_2 - y_1}{2}\right)^2 + \cos(y_1) \times \cos(y_2) \times \sin^2\left(\frac{x_2 - x_1}{2}\right) \quad (2)$$

$$d = 2 \times \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{s}}{\sqrt{1-s}}\right) \times R \quad (3)$$

여기서,  $y_1$ ,  $y_2$ 는 태풍중심위치와 기상관측소의 위도(latitude),  $x_1$ ,  $x_2$ 는 경도(longitude),  $R$ 은 지구의 반지름(km),  $d$ 는 태풍중심위치와 기상관측소의 거리를 의미한다.

한반도에 유발된 태풍강우를 추출할 때 가장 주의해야 하는 부분은 국지성 집중호우 등 태풍으로 인해 유발되지 않은 강우가 포함되는 것을 최소화하여야 한다. 하지만, 정확한 태풍의 규모를 알 수 없고 태풍강우를 추출하는 명확한 기준이 없어 연구자의 주관적인 판단이 개입되어 일관된 태풍강우량을 도출하지 못하는 실정이다. 일관된 태풍강우량 추출과 태풍이 한반도에 유발한 강우의 지속 시간을 고려하기 위해서는 태풍의 영향범위를 결정하여야 한다. 여기서, 태풍의 영향범위는 한반도에 영향을 미

친 태풍의 규모가 아닌 한반도에 영향을 미친 태풍과 동반되는 태풍강우량의 총량을 추출하기 위한 범위를 의미한다.

본 연구에서는 일관성 있는 태풍강우량 추출을 위한 태풍의 영향범위를 결정하고자 설정된 태풍범위별 태풍강우량과 태풍 수의 비율을 통해 평균 태풍강우량을 산정하였다(Eq. (4)).

$$TR_{mean} = \frac{\sum_{i=1}^n TR_i}{\sum_{i=1}^n N_i} \quad (4)$$

여기서,  $TR_{mean}$ 은 한반도 평균 태풍 강우량,  $TR_i$ 는 각 강우관측소에서 추출된 태풍강우량,  $N_i$ 는 각 강우관측소에 영향을 미친 태풍의 수,  $n$ 은 한반도의 강우관측소의 수를 의미한다. 평균 태풍강우량을 산정하여 태풍의 영향범위를 결정하고자 한 것은 집중호우나 동시시간에 상륙한 태풍에 의한 강우와 한반도에 영향을 미치지 않은 태풍이 포함되는 것을 최소화하고 일관된 태풍강우량을 추출하고자 함이다. 다시 말해 평균 태풍강우량이 상대적으로 산정된 것은 태풍의 영향범위를 과소추정함에 따라 태풍이 한반도에 영향을 미친 시간이 짧아져 태풍이 유발

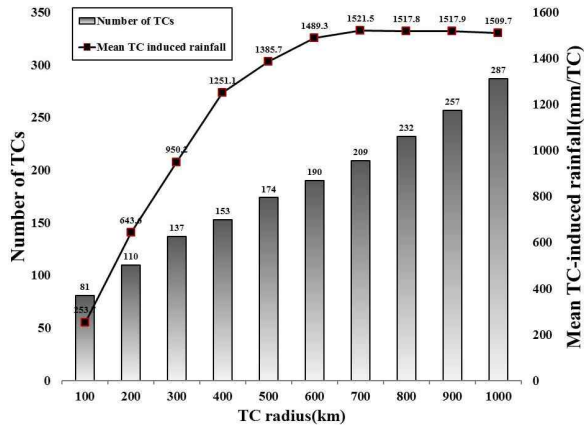


Fig. 3. Number of TCs Affecting the Korean Peninsula during the Period 1973–2012 and the Mean TC-induced Rainfall Given the Radius of the TC

한 태풍강우량의 최대치 및 총량을 추출하지 못했거나 태풍의 영향범위를 과다추정함에 따라 태풍이 한반도에 영향을 미친 시간이 길어져 태풍강우량의 최대치 및 총량을 추출하였으나 한반도에 미미한 영향을 주었거나 영향이 없는 태풍이 포함된 것을 의미한다. 또한, 태풍의 영향범위가 커짐에 따라 적은 샘플일 수 있으나 집중호우가 포함될 가능성이 많아지나 모든 강우관측소 및 태풍을 고려하여 평균 태풍강우량을 산정함에 따라 적은 샘플이 태풍 영향범위에 영향을 주는 것을 방지하였다. 즉, 평균 태풍강우량이 크게 산정된 영향범위는 한반도에 직접적으로 영향을 미친 태풍을 추출하며, 태풍강우량의 최대치 및 총량을 반영한 결과로 판단할 수 있다.

Fig. 3은 태풍의 규모별로 한반도에 영향을 준 태풍의 개수와 평균 태풍 강우량을 나타낸다. 한반도 영향 태풍 개수 분석결과, 태풍 영향 반경을 증가시킴에 따라 평균적으로 23개의 태풍이 새로이 포함되는 것을 확인할 수 있었으며 평균 태풍강우량 분석결과, 태풍의 영향 반경을 증가시킴에 따라 평균 강우량이 증가를 보이다가 태풍규모 700 km (1,521.5 mm/TC)를 기준으로 평균 태풍강우량이 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 평균 태풍강우량이 최대가 되는 규모인 반경 700 km로 결정하여 한반도 영향 태풍 및 태풍강우량을 추출하였다. 일반적으로 대형 태풍의 규모를 풍속 15 m/s 이상의 풍속과 반경 500~799 km로 규정한다는 점에서 한반도에 전반적인 강수특성에 영향을 미치는 범위는 700 km가 적합할 것으로 사료된다.

Fig. 4는 태풍의 규모를 반경 700 km로 설정하여 한반도에 영향을 준 태풍의 수를 지역별로 도시한 것으로, 지역적인 편차가 크게 나타나고 있으며 제주도 및 남부지역

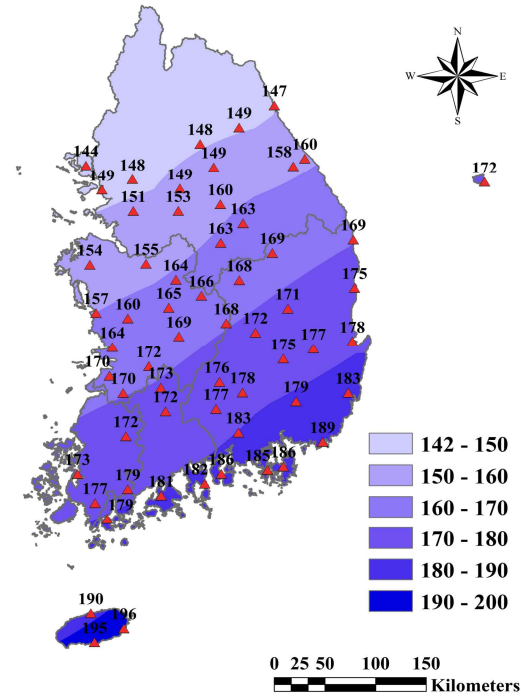


Fig. 4. Number of Summer TCs by 60 Weather Stations in Korea during the Period 1973–2012

에 상대적으로 많은 태풍이 상륙하였음을 확인할 수 있다. 제주지역에 최대 196개(성산 강우관측소)의 태풍이 영향을 미쳤으며 지역에 따라 최대 52개의 태풍 개수 차이를 보이는 것으로 나타났다. 특히, 한반도 감시구역을 이용하여 한반도 영향 태풍을 추출할 경우, 한반도에 영향을 준 태풍을 지역별로 추출 및 분류할 수 없는 반면, 본 연구에서 제안하는 방법은 한반도의 행정구역, 대권역 등 지역적으로 태풍이 미치는 영향을 보다 구체적으로 분류할 수 있는 장점이 있다. Fig. 5는 한반도에 영향을 미친 태풍에 따른 태풍강우를 Kriging 기법을 이용하여 지점별 지속시간 1시간, 24시간에 대한 최대 태풍강우량을 나타낸다. 분석결과, 제주도를 포함한 한반도 남부 및 동부지역에 태풍강우가 상대적으로 크게 발생하였으며, 한강 및 금강유역을 포함한 중부지역의 경우 태풍강우가 상대적으로 적게 나타났음을 확인할 수 있다.

### 3.2 한반도 태풍 및 태풍강우량 추출기법 비교 및 적용성 검토

본 연구에서 제안하는 태풍추출기법(Case 2)이 한반도에 영향을 미치는 태풍강우량을 합리적으로 추출하는지 검토하고자 태풍 감시구역을 이용한 기법(Case 1)과 비교 분석을 실시하였다. 한반도 영향 태풍별 태풍강우량이 상대적으로 많이 발생한 5개의 강우관측소를 추출하고, 상위



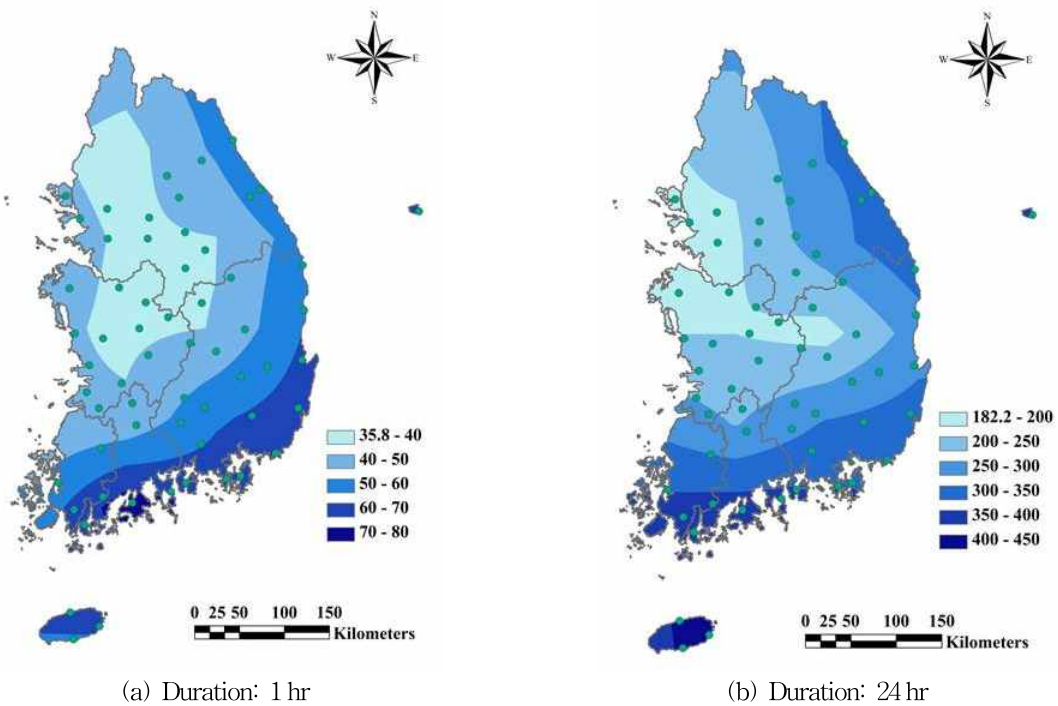
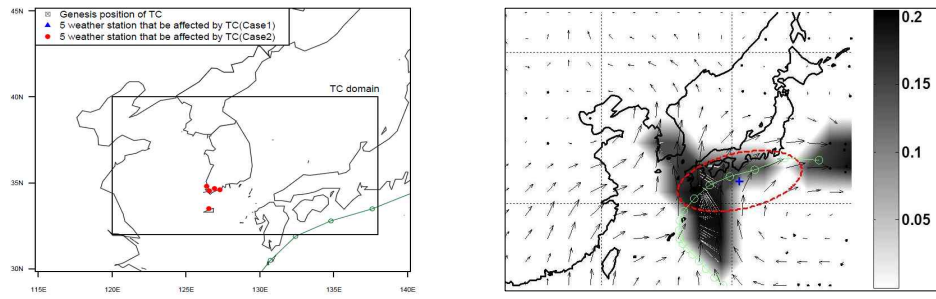


Fig. 5. TC-induced Annual Maximum Rainfall (mm) by Durations (TC radius: 700 km); (a) Rainfall Duration (1 hr), (b) Rainfall Duration (24 hr)

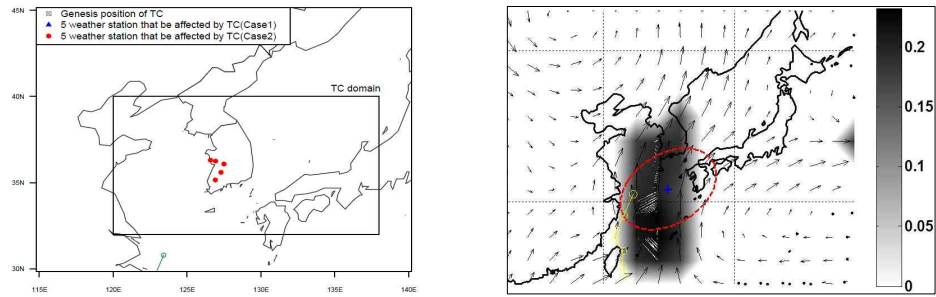
10%의 수직통합수분플럭스(vertically integrated moisture flux, VIMF)만을 도시하여 호우원인을 검토하였다(Fig. 6). 태풍 ROGER (8608)의 경우, 한반도 전역에 강한 VIMF가 존재하나 태풍 감시구역을 단시간에 빠져나감에 따라 기존 기법은 태풍강우량을 추출하지 못한 반면, 태풍 규모를 이용하여 태풍강우량을 추출한 경우, 제주도 및 한반도 남부지역에 태풍강우량이 추출되었다(Fig. 6(a)). 태풍 VERNON (8706)의 경우, 태풍중심이 태풍 감시구역을 통과하지 않았으나, 한반도 서·남쪽에 태풍강우량이 발생함을 확인하였다(Fig. 6(b)). 태풍 ROSIE (9709)의 경우, 태풍의 중심이 태풍 감시구역 내에 들어오기 이전에 한반도 동남쪽에 영향을 미침에 따라 태풍 감시구역을 이용한 기법은 동남쪽에 발생한 태풍강우량이 무시된 반면, 태풍규모를 이용한 기법의 경우 동남쪽의 태풍강우량을 추출함에 따라 비교적 신뢰할 수 있는 결과를 보여주었다(Fig. 6(c)). 태풍 BANYAN (0507)은 한반도에 미친 영향이 상대적으로 미미하나, 태풍 감시구역을 이용한 기법의 경우 한반도 북부지역에서 태풍강우량이 추출되었는데, 이는 집중호우가 동시에 발생함에 따라 나타난 강우량으로 판단된다(Fig. 6(d)). 마지막으로 태풍 ETAU (0909)은 한반도에 직접적인 영향을 미치지 않았으나, 한반도로 이동하는 MORAKOT (0908)과 동시간에 한반도 인근에 영향을

미침에 따라 태풍 MORAKOT (0908)로 인해 유발된 태풍강우량이 태풍 ETAU (0909)에 포함됨에 따라 제주도 및 한반도 남부에 태풍강우량이 추출되는 것으로 나타났다(Fig. 6(e)). 이처럼, 태풍 감시구역을 이용하여 태풍강우를 추출하는 기법은 태풍 감시구역내을 태풍의 중심이 통과하기 전에 유발되는 강우를 추출하지 못하고 집중호우나 태풍이 동시에 발생할 경우 이를 태풍강우로 간주될 수 있는 한계가 있다. 그러나 본 연구에서 제안하는 태풍의 규모를 고려하여 태풍의 강우를 추출하는 기법은 태풍의 규모를 고려하여 태풍의 경로를 추적하여 태풍강우를 추출함에 따라 태풍 감시구역 기법을 이용하여 태풍강우를 추출하는 기법의 한계를 보완할 수 있는 것으로 분석되었다.

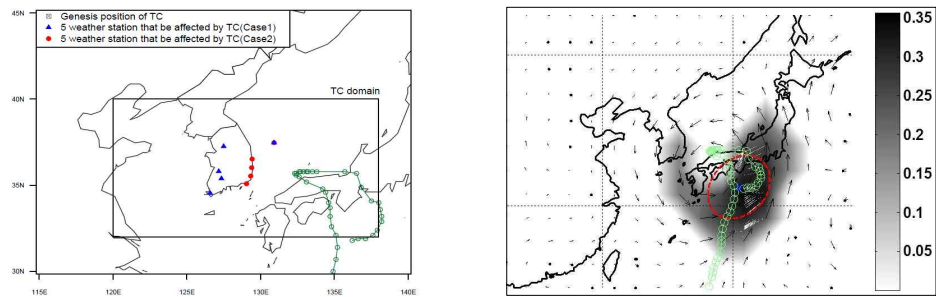
태풍강우량 추출기법별 태풍강우량의 정량적인 비교를 위해 태풍백서(KMA, 2011)에서 제시한 태풍강우량을 많이 발생시킨 태풍 5개 사상(RUSA, AGNES, YANNI, GLADYS, NARI)을 대상으로 태풍강우가 많이 유발된 지점의 정량적인 차이를 확인하였다(Table 2). 태풍 RUSA (0215)의 경우, 대관령(ID:100), 성산지점(188)에 각각 95.5 mm, 72 mm의 차이를 보였으며, 태풍 AGNES (8118)는 제주지점(184)에 279.9 mm, 태풍 YANNI (9809)는 산청(289), 고흥지점 (262)에 각각 122 mm, 121 mm, 태풍 GLADYS



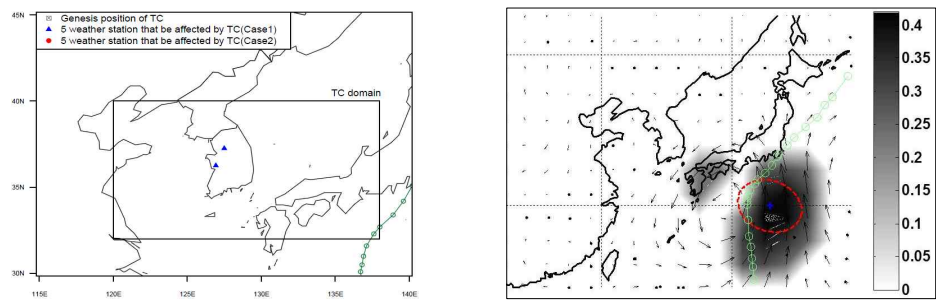
(a) ROGER (8608)



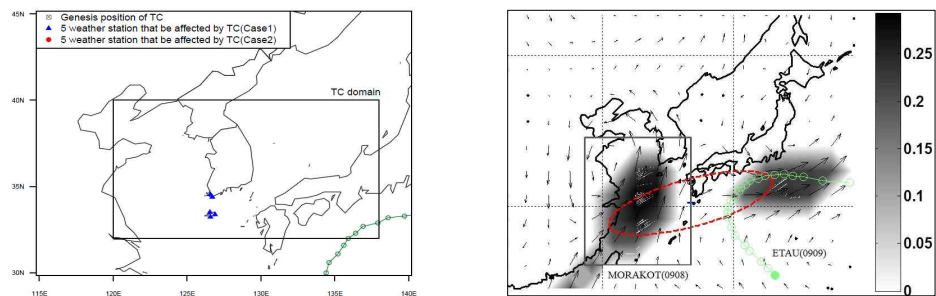
(b) VERNON (8706)



(c) ROSIE (9709)



(d) BANYAN (0507)



(e) ETAU (0909)

Fig. 6. Weather Stations Were Affected by TC-induced Rainfall by Extraction Method of TC-induced Rainfall and a Vertically Integrated Moisture Flux that is above some Threshold (90 th percentile of the daily value)



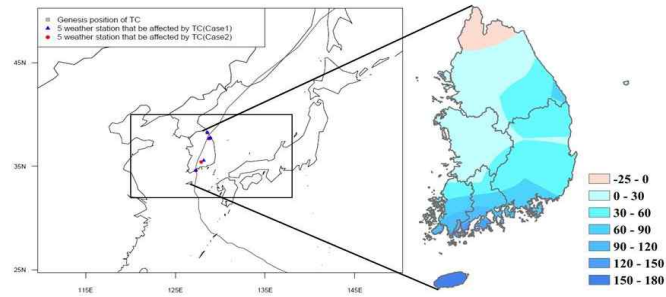
Table 2. Comparison of Extracted TC-induced Rainfall (mm)

TC	Station	ID	24 hr period		
			Case 1(①)	Case 2(②)	①-②
RUSA (0215)	Gangneung	105	795.0	856.0	-61.0
	Daegwallyeong	100	601.5	697.0	-95.5
	Goheung	262	353.0	409.5	-56.5
	Seongsan	188	64.5	136.5	-72.0
AGNES (8118)	Ulleungdo	115	259.7	258.7	1.0
	Uljin	130	176.5	176.5	0.0
	Mokpo	165	399.9	405.8	-5.9
	Jangheung	260	579.9	583.4	-3.5
	Jeju	184	75.9	355.8	-279.9
YANNI (9809)	Pohang	138	426.6	495.1	-68.5
	Seongsan	188	35.5	102.5	-67.0
	Yeosu	168	84.5	139.2	-54.7
	Sancheong	289	224.0	346.0	-122.0
	Goheung	262	172.0	293.0	-121.0
	Daegu	143	204.6	225.8	-21.2
GLADYS (9112)	Daegwallyeong	100	280.3	280.3	0.0
	Uljin	130	302.0	302.0	0.0
	Pohang	138	315.6	347.9	-32.3
	Ulsan	152	417.8	461.1	-43.3
	Busan	159	439.0	460.9	-21.9
NARI (0711)	Jeju	184	300.2	421.0	-120.8
	Seongsan	188	79.0	218.5	-139.5
	Goheung	262	238.5	239.0	-0.5
	Namhae	295	84.0	91.5	-7.5

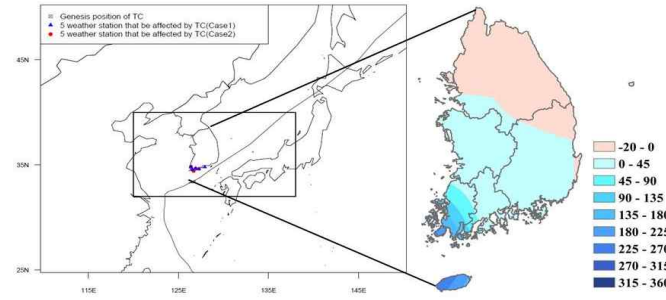
(9112)는 포항(138), 울산지점(152)에 각각 43.3 mm, 32.3 mm, 태풍 NARI (0711)는 성산(188), 제주지점(184)에 각각 139.5 mm, 120.8 mm의 차이를 보였다. 태풍강우량의 차이가 많이 발생하는 지점의 공통된 특징으로 앞에서 언급한 바와 같이 한반도의 해안가 인근에 위치함에 따라 태풍 감시구역 내에 태풍이 들어오기 전과 벗어난 후의 태풍강우량이 무시됨에 따라 태풍강우량의 과소 추정을 야기하여 태풍강우량의 총량에 차이를 보임을 확인하였다.

Fig. 7은 한반도에 많은 태풍강우를 유발한 5개 태풍을 대상으로 본 연구에서 제안한 태풍규모를 고려한 태풍강우 추출기법과 태풍 감시구역을 이용한 태풍강우 추출기법의 정량적인 차이를 도시하였다. RUSA (0215)의 경우 전체적으로 한반도 전역에서 Case 2로 산정한 태풍강우량이 큰 것으로 나타났고 특히, 한반도 남부 및 동부지역에 상대적으로 많은 차이를 보였다. 다른 태풍과는 달리

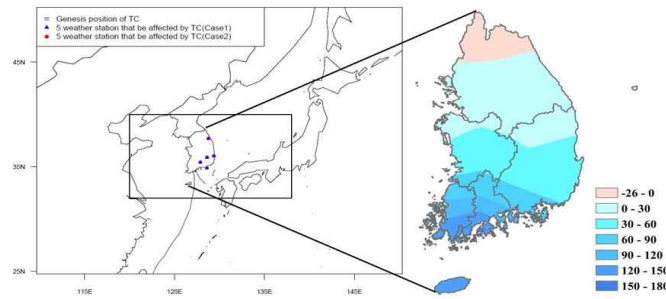
태풍 RUSA (0215)는 태풍이 한반도와 비교적 가까운 태풍감시구역의 북쪽으로 벗어남에 따라 태풍감시구역을 벗어났음에도 불구하고 한반도에 태풍강우를 유발하고 있어 한반도 동부지역에 두드러진 차이가 나타남을 확인하였다. 태풍 AGNES (8118)는 한반도 북부지역에 Case 1의 태풍강우량이 크게 산정되었는데, 이는 태풍의 경로를 고려해볼 때 한반도 태풍 감시구역 내에 태풍이 상대적으로 오래 머물러 있음에 따라 Case 1 기법의 특성상 태풍이 유발한 강우량이 아닌 호우원인이 다른 호우가 포함된 것으로 나타났다. 태풍 YANNI (9809)는 한반도 태풍 감시구역 내에서 태풍이 소멸함에 따라 태풍이 상륙한 제주도 및 한반도 남부지역에서 비교적 큰 태풍강우량의 차이를 보였다. 태풍 GLADYS (9112)는 한반도 전역에서 Case 2 기법으로 산정한 태풍강우량이 크게 나타났으며, 특히, 한반도 동남지역에서 상대적으로 많은 차이를 보였다. 마지막으로 태풍 NARI (0711)는 한반도 북부지역 일



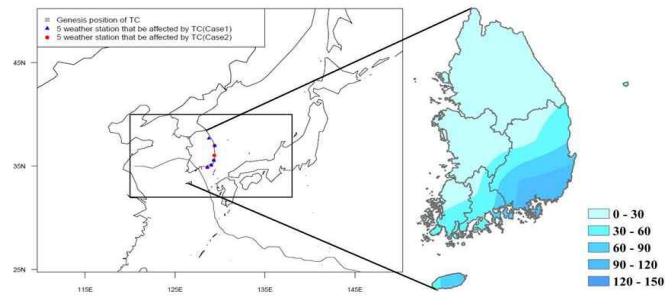
(a) RUSA (0215)



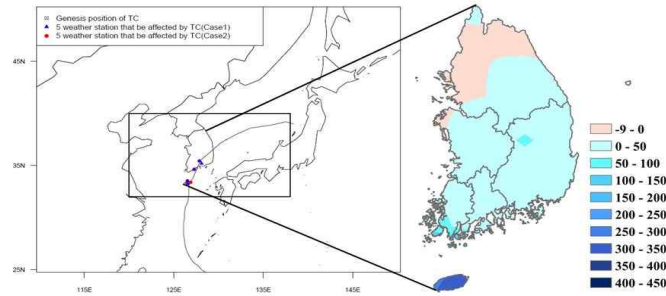
(b) AGNES (8118)



(c) YANNI (9809)



(d) GLADYS (9112)



(e) NARI (0711)

Fig. 7. The Differences in TC-induced Rainfall between the Existing and the Proposed Approach (mm)

부를 제외하고는 Case 2 기법으로 산정한 태풍강우량이 크게 나타났다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 서북태평양에서 발생한 여름철 태풍을 대상으로 태풍규모와 태풍경로를 고려한 태풍강우 추출 기법을 제안하고 기존의 한반도 태풍 감시구역(120°~138°E, 32°~40°N)을 이용하여 추출한 태풍강우를 비교하여 적용성을 검토하였다. 본 연구의 주요결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 서북태평양에서 발생하는 여름철 태풍(January-September, JJAS)을 대상으로 태풍의 규모별 평균 태풍강우량을 산정하였으며, 분석결과 태풍의 반경 700km에서 평균 태풍강우량이 최대(1521.5mm/TC)로 나타났다.
- 2) 태풍의 규모가 상대적으로 클 경우, 한반도 태풍 감시구역을 이용하여 태풍강우를 추출하는 기법은 태풍 감시구역 내에 태풍의 중심이 통과하기 전·후에 유발한 태풍강우량을 추출하지 못하며 집중호우나 태풍이 동시에 발생할 경우, 집중호우나 다른 태풍이 야기한 강우가 태풍강우로 간주될 수 있는 한계가 있는 것으로 나타난 반면, 본 연구에서 제안하는 태풍의 경로 및 규모를 고려하여 태풍강우를 추출함에 따라 태풍 감시구역을 이용한 태풍강우 추출 기법의 한계를 보완할 수 있는 것으로 분석되었다.
- 3) 태풍강우를 크게 유발한 5개 태풍을 대상으로 태풍강우 추출기법별 정량적인 차이를 분석한 결과, 한반도 태풍 감시구역을 이용한 태풍강우 추출기법은 상대적으로 태풍강우량을 과소 추정하는 반면, 태풍의 규모를 고려하여 태풍강우량을 추출하는 기법은 상대적으로 태풍강우량의 총량 및 최대치를 비교적 잘 추출하는 것으로 판단된다.

본 연구는 태풍의 규모를 이용하여 한반도에 유발된 태풍강우량을 추출하는 기법을 제안함으로써 실무 및 연구자들이 쉽게 활용하고 일관성있는 태풍강우량 추출을 가능하게 하는데 목적이 있으며, 향후 호우원인에 따른 한반도 강우의 변동성 및 경향성 등과 같은 강우특성을 보다 면밀히 분석할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 수공구조물 설계, 호우원인에 따른 비정상성 빈도해석과 호우원인별 기상인자와의 상관성 분석 등을 통해 향후, 미래 극치수문사상에 대한 대응방안 수립 및 치수정책 등에 활용 가능할 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(13AWMP-B066744-01)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### References

- Choi, K.S., and Moon, I.J. (2012). "Influence of the Western Pacific teleconnection pattern on Western North Pacific tropical cyclone activity." *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, Vol. 57, pp. 1-16.
- Choi, K.S., Wu, C.C., and Cha, E.J. (2010). "Change of tropical cyclone activity by Pacific-Japan teleconnection pattern in the western North Pacific." *Journal of Geophysical Research*, Vol. 115, D19114, doi:10.1029/2010JD013866.
- Jain, S., and Lall, U. (2000). "Magnitude and timing of annual maximum floods: Trends and large-scale climatic associations for the Blacksmith Fork River, Utah." *Water Resources Research*, Vol. 36, No. 12, pp. 3641-3651.
- Jain, S., and Lall, U. (2001). "Floods in a changing climate: Does the past represent the future?" *Water Resources Research*, Vol. 37, No. 12, pp. 3193-3205.
- JMA(Japan Meteorological Agency) (2014). [www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/trackarchives.html](http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/trackarchives.html), accessed 16 June 2014.
- Kim, J.S., and Jain, S. (2011). "Precipitation trends over the Korean peninsula: typhoon-induced changes and a typology for characterizing climate-related risk." *Environmental Research Letters*, Vol. 6, 034033, doi:10.1088/1748-9326/6/3/034033.
- KMA (Korean Meteorological Administration) (1996). "Typhoon white book."
- KMA (Korean Meteorological Administration) (2011). "Typhoon white book."
- Knutson, T.R., McBride, J.L., Chan, J., Emanuel, K., Holland, G., Landsea, C., Held, I., Kossin, J.P., Srivastava, A.K., and Sugi, M. (2010). "Tropical cyclones and climate change." *Nature Geoscience*, doi:10.1038/NGEO779.
- Kwon, H.H., and Moon, Y.I. (2007). "Development of Statistical Seasonal Rainfall Model Considering Climate

- Information and Typhoon Characteristics.” *Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 27, No. 1B, pp. 45-52.
- Lee, C.H., Ahn, J.H., and Kim, T.W. (2010). “Evaluation of Probability Rainfalls Estimated from Non-Stationary Rainfall Frequency Analysis.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 43, No. 2, pp. 187-199.
- Oh, J.H., Suh, K.D., and Kim, Y.O. (2011). “Trend Analyses of Intensity and Duration of Typhoons That Influenced the Korean Peninsula during Past 60 Years.” *Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 31, No. 2B, pp. 121-128.
- Son, C.Y., Kim, J.S., Moon, Y.I., and Lee, J.H. (2013). “Characteristics of tropical cyclone-induced precipitation over the Korean River basins according to three evolution patterns of the Central-Pacific El Nino.” *Stochastic Environmental Research Risk Assessment*, doi 10.1007/s00477-013-0804-0.
- Stedinger, J.R., Vogel, R.M., and Foufoula-Georgiou, E. (1993). “Handbook of Hydrology.” D. Maidment(ed.), *McGraw-Hill*, Inc., New York, USA.
- TRC(Typhoon Research Center) (2012). <http://www.typhoon.or.kr/>, accessed 1 April 2014.
- Wu, L., Wang, B., and Geng, S. (2005). “Growing typhoon influence on east Asia.” *Geophysical Research Letters*, Vol. 32, L18703, doi:10.1029/2005GL022937.
- Yoo, J.Y., So, B.J., Kim, T.W., and Kwon, H.H. (2012). “The Applicability of Analysis Scheme for Spatio-Temporal Droughts Using Mass Moment Concept.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 45, No. 10, pp. 1069-1079.

<p>paper number : 14-092</p> <p>Received : 19 September 2014</p> <p>Revised : 6 November 2014 / 13 November 2014</p> <p>Accepted : 13 November 2014</p>
---