

## 우리나라에 발생한 태풍의 시간 강우량 특성에 관한 연구

## A Study on Special Quality of Hourly Precipitation of Typhoon happened in Korea

오 태 석\* / 문 영 일\*\* / 안 재 현\*\*\*

Oh, Tae-suk / Moon, Young-Il / Ahn, Jae Hyun

## Abstract

The floods of Korea happens periodically during summer. The cause of heavy rain that provokes floods can be classified into typhoon and localized downpour. The typhoon happens in the tropical region. It causes one of the worst damage to Korea by extreme rainfall and strong wind. Usually, it is known that the flood damage by the typhoon is larger than that by the localized downpour. Therefore, this study classified rainfall events into typhoon events and localized downpour events based on the cause. Through statistical analyses of the rainfall data, this study investigated special quality of the rainfall during the time of typhoon. In analysis results, probability precipitation calculated by the typhoon events were exposed bigger than that calculated by all rainfall events.

**keywords** : Typhoon, Local downpour, Frequency analysis, Probability Precipitation

## 요 지

우리나라는 여름철의 큰 호우로 인해 주기적인 홍수피해가 발생하며, 이러한 호우의 원인은 태풍과 집중호우로 구분 할 수 있다. 태풍은 열대 지방에서 발생하여 주기적으로 우리나라를 내습하여 극심한 강우와 강풍으로 인해 큰 피해를 발생시키고 있으며, 일반적으로 태풍에 의한 피해가 집중호우보다 큰 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 우리나라에 발생하는 강우 사상을 태풍과 집중호우로 구분하여 호우 원인별로 지속시간별 연 최대 강우량을 구축하였다. 따라서 발생 원인별로 구축된 시간강우자료의 통계분석을 통해 기본적인 특성을 파악하고 빈도해석을 통해 강우의 발생 원인별로 확률강우량을 산정하여 비교·분석하였다. 분석 결과에서 태풍에 의해 산정된 확률강우량은 지속시간과 재현기간이 커질수록 확률강우량의 증가가 전호우에 의한 확률강우량 보다 큰 지점이 있는 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 태풍, 집중호우, 빈도해석, 확률강우량

\* 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

The University of Seoul, Siripdae-gil 13(Jeonong-dong 90), Dongdaemun-gu, Seoul 130-743 Korea  
(e-mail: waterboy@uos.ac.kr)

\*\* 교신저자 · 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 교수

The University of Seoul, Siripdae-gil 13(Jeonong-dong 90), Dongdaemun-gu, Seoul 130-743 Korea  
(e-mail: ymoon@uos.ac.kr)

\*\*\* 서경대학교 이공대학 토목공학과 조교수

Seokyeong University, 16-1 Jungneung-dong, Sungbuk-gu, Seoul 136-704 Korea  
(e-mail: wrr@skuniv.ac.kr)

## 1. 서론

태풍은 북태평양 서부에서 발생하는 열대저기압 중에서 중심 부근의 최대풍속이 17m/s 이상의 강한 폭풍우를 동반하고 있는 것을 말하는데, 폭풍우는 반드시 태풍에만 동반되는 것이 아니고 온대저기압에서도 발생하는 경우가 많다. 그러나 그 발생 원인과 양상이 다르기 때문에 열대저기압과 온대저기압은 구별되고 있다. 열대 저기압은 지구상 여러 곳에서 연간 평균 80개 정도가 발생하고 있으며, 그 발생 장소에 따라 명칭을 각각 달리하고 있다. 북태평양 서부에서 발생하는 것을 태풍(Typhoon), 북대서양·카리브해·멕시코만 및 북태평양 동부에서 발생하는 것을 허리케인(Hurricane), 인도양·아리비아해 그리고 벥골만에서 발생하는 것을 사이클론(Cyclone)이라고 부른다.

적도 지방에서 태풍은 연평균 27개 정도가 발생하며, 우리나라에 영향을 많이 주는 6월부터 9월 사이에 평균 16개 정도가 발생하게 된다. 6월의 태풍은 계속 서진하여 남지나해 쪽으로 향하는 경우가 많고, 7월의 태풍은 대만 부근에서 중국 연안을 따라 북상하여 서해를 거쳐 우리나라 쪽으로 진행한다. 8월의 태풍은 동지나해로부터 우리나라를 가로질러 동해로 진행하며, 9월의 태풍은 남쪽 해상으로부터 오기나와 동쪽 해상을 지나 일본 열도 쪽으로 진행하고, 10월의 태풍은 일본 남쪽 해상 멀리 지나간다. 따라서 8월 중순부터 9월 초까지의 태풍 경로는 북태평양고기압의 확장 상태와 깊은 관계가 있다. 이 고기압이 확장하고 있으면 태풍은 중국 대륙 쪽으로 진행하지만, 8월 중순 이후부터 9월초가 되면 북태평양 고기압의 세력이 조금씩 약화되어 일본 열도 부근까지 움츠러 들게 되므로 우리나라 쪽으로 진행해 오는 일이 많다(기상청, 1996).

태풍 백서(기상청, 1996)에 따르면 1904년부터 1995년까지의 92년 동안 우리나라에 영향을 미친 태풍의 수는 모두 282개이며, 이는 태풍이 적도전선 부근에서 발생하여 점차 북상한 후 우리나라에 영향을 미칠 수 있는 영역 즉 북위 32°~40°, 동경 120°~138°의 범위 내에 도달한 총수이다. 우리나라에는 한해 평균 3개 정도의 태풍이 영향을 주고, 태풍 내습의 최다 월은 8월, 7월, 9월의 순이고, 7월과 8월 두 달 동안에 내습한 태풍 수는 전체의 67%이며, 아주 드물게 6월 또는 10월에도 내습하는 경우가 있는 것으로 나타났다. 우리나라 주변의 태풍 진로를 월별로 살펴보면 7월은 서해안을 따라 북상하여 중북부지방을 통과하며, 8월은 7월보다 남하여서 군산, 청주, 강릉지방을 연결하는 중부지방을 대각선 방향으로 통과한다. 9월은 주로 남해안 지방을 거쳐

통과한다. 또한 우리나라에 영향을 미친 태풍과 저기압을 비교해 보면 1986년부터 1995년까지 태풍은 31개, 저기압은 235개가 발생하였다. 그러나 태풍과 저기압 중에서 200억원 이상의 피해를 발생시킨 경우는 태풍은 3개중 1개, 저기압은 12개 중 1개꼴로 피해를 야기시킨 것으로 나타났다.

백희정 등(1999)은 1945년부터 1999년까지의 53개년의 자료를 이용하여 한반도 여름철 강우량 중에서 태풍에 의해 발생한 강우량을 비교분석하였다. 또한 최대풍속이 50m/s를 상회하는 태풍이 8월말에서 9월초에 많이 발생한다고 밝혔으며, 이러한 태풍에 대해서 해수면 온도 변동의 영향을 분석하여, 1973년 이후에 발생하고 있는 강력한 태풍은 태평양 해수면 온도와 밀접한 관련이 있는 것으로 분석하였다. 또한, 임기석 등(2002)은 낙동강 유역 주변에서 발생하는 전선형 강우와 태풍/저기압형 집중호우에 대한 기왕의 자료를 수집 정리하고 이로부터 이 유역에서 발생하는 강우의 발생 패턴과 국지형 강우의 특성을 규명하였다. 홍일표(2003)는 UN/ESCAP(United Nations Economic and Social Commission for Asia and Pacific)의 태풍 위원회(Typhoon Committee)를 소개하고, 여기에 소속된 각 국가별로 수행하고 있는 태풍 관련 프로젝트에 대해 조사하였다. 김남원과 원유승(2004)은 기존의 DAD 분석 결과를 이용하여 호우를 수분최대화 시킨 다음, 전국적으로 일반화된 PMP도를 작성하였으며, 1969년부터 1999년까지의 분석된 주요호우에 대하여 2000년 이후 우리나라에 발생한 주요 호우의 규모와 크기를 정량적으로 평가하였다. 이미선 등(2005)은 태풍 피해로 인한 토지피복변화가 수문변화에 미치는 영향을 분석하였는데, 태풍 후의 토지피복상태에서 피해지역의 지표피복이 나지로 변함에 따라서 홍수량이 증가하는 것으로 분석되었다.

이와 같이 태풍은 우리나라를 주기적으로 내습하여 큰 피해를 발생시키는 것으로 알려져 있다. 그러나 태풍 사상에 대한 기존의 연구는 태풍이 갖고 있는 물리적 특성과 태풍의 영향을 평가하는 내용이 주를 이루고 있는 것으로 나타났다. 따라서 태풍에 의해 발생하는 시간강우량이 갖는 특성을 분석하여 이를 수공구조물에 반영한다면, 태풍에 의해 발생하는 홍수피해를 저감시킬 수 있는 것으로 생각 된다.

따라서 본 연구에서는 우리나라의 강우 관측 자료와 태풍 발생 자료를 조사분석하여 8개의 대상 지점을 선정하고, 대상 지점에서 태풍과 집중호우 사상으로 구분된 연최대치 시간 강우량 자료를 추출하여 매개변수적 빈도해석을 통해 확률강우량을 산정하고 비매

개변수적 빈도해석 기법을 통해 이를 비교 분석하였다. 또한, 태풍과 집중호우에 기인한 확률강우량의 비교 검토를 위해 수공 구조물의 설계시에 사용되고 있는 연최대치 시간강우량 자료를 추출해 빈도해석 결과를 비교분석하였다.

## 2. 태풍에 의한 강우 특성 분석

본 연구에서는 한반도를 내습하여 막대한 피해를 유발시키는 태풍의 시간 강우 특성에 대해 분석하였다. 분석 방법은 우리나라를 내습한 태풍 자료를 조사하여 태풍 발생현황에 대한 자료를 구축하고 태풍으로 인해 발생하는 시간최대강우량을 추출하여 빈도해석을 수행하고자 한다. 태풍자료는 기상청에서 발행한 태풍백서와 기상연보의 자료를 활용하며, 시간 최대 강우량은 기상청 관할 강우관측소의 강우량 자료를 이용해 한반도에 영향을 주는 태풍의 특성에 대해서 분석하였다. 따라서 태풍에 의해 발생한 강우와 집중호우로 인해 발생한 강우 및 전체 강우 자료에서 지속시간별 연최대강우량을 추출하여 산정한 확률강우량을 비교분석하고자 한다.

### 2.1 연구의 이론

본 연구에서는 우리나라를 주기적으로 내습하여 피해를 유발시키는 태풍의 강우 특성을 파악하기 위해 빈도해석을 수행하였다. 지점빈도해석을 통한 확률강우량을 산정하는 방법에는 크게 매개변수적 기법과 비매개변수적 기법으로 구분할 수 있다.

본 연구에서는 매개변수적 빈도해석 기법과 비매개변수적 기법을 이용하여 확률강우량을 산정하여 태풍이 내습하였을 때, 발생한 시간최대강우량과 집중호우로 발생한 시간최대강우량 및 전 호우를 대상으로 추출한 시간최대강우량 자료의 빈도해석을 수행하였다. 매개변수적 기법의 이론은 많은 문헌에서 언급되었으므로 생략하였으며, 비매개변수적 빈도해석의 이론은 다음과 같다.

Breiman 등(1977)은 고정 핵밀도함수 추정법(Rosenblatt, 1956)의 특성과 자료의 지역적인 밀도를 고려하는 k Nearest Neighbor방법을 결합한 변동 핵밀도함수 추정법을 제안하였다. 변동 핵밀도함수 추정법은 고정 핵밀도함수 추정법과 유사한 방식으로 자료가 발생된 위치에 놓여지는 핵함수의 폭이 자료의 밀도에 따라 변한다.

$K(x)$ 를 핵함수라 하고  $k$ 를 양의 정수로 놓고,  $d_{j,k}$ 를 한 개의 자료  $x_j$ 에서 그 나머지 자료  $(n-1)$ 개 중에서

$k$ 번째로 가까운 지점에 있는 자료까지의 거리라 하자. 그러면, 변동 핵밀도함수 추정법은 다음 Eq. (1)과 같이 정의된다.

$$f(x) = \frac{1}{nh} \int \frac{1}{d_{j,k}} K\left(\frac{x - X_j}{hd_{j,k}}\right) dx \quad (1)$$

여기서  $hd_{j,k}$ 는 양의 변동 광역폭이다. 자료의 분포가 적은 낮은 밀도지역에서  $d_{j,k}$ 의 값은 커지고 변동핵함수의 모양은 넓게 퍼지게 되며, 자료의 분포가 많은 높은 밀도지역에서는 그 반대현상이 일어나 변동 핵함수는 좁게 밀착된 형태를 가지게 된다. Bowman(1985), Moon and Lall(1994)은 변동 핵밀도함수 추정법이 밀도함수의 꼬리 부분과 같은 최빈값 추정이나 자료가 비대칭 분포일 때 장점이 많다는 것을 보여 주었다. 변동 핵밀도함수 추정법의 일관성과 수렴성은 Devroye and Györfi(1985)에 의해 평가되었다. 본 연구에서는 변동핵밀도함수인 Modified Cauchy 핵함수(차영일 등, 2006)를 이용하여 지점빈도해석을 수행하였다. 다음 Eqs. (2) and (3)은 각각 Modified Cauchy 핵함수의 확률밀도함수와 누가확률밀도함수이다.

$$f(x) = \frac{8}{3\sqrt{5}\pi(1+x^2/5)^3} \quad (2)$$

$$F(x) = \frac{1}{2} + \frac{5x + \frac{3x^2}{5}}{3\sqrt{5}\pi\left(1 + \frac{x^2}{5}\right)^2} + \frac{1}{\pi} \tan^{-1}\left(\frac{x}{\sqrt{5}}\right) \quad (3)$$

비매개변수적 핵밀도함수 방법에서 광역폭  $h$ 의 선택은 매우 중요한 문제로 다루어져 왔다. 지금까지의 광역폭을 선택하는 방법은 Maximum Likelihood, Least Squares Cross Validation 또는 Adamowski Criterion, Breiman Method(Adamowski, 1985; Lall 등, 1993; Moon 등, 1994), Plug-In 등이 있다. 본 연구에서 핵밀도함수의 광역폭을 결정하는 방법은 Plug In의 개념으로 Woodroffe(1970)에 의해 많은 연구가 진행되어 왔다. 이 이론의 가장 난해한 점은 기준이 되는 추정 광역폭을 결정하는 것이며 이러한 문제를 해결하기 방법은 Sheather(1986)가 제안하였고, Sheather and Jones (1991)에 의해 다음과 같은 Eq. (4)로 수정제시 되었다.

$$h = \left[ \frac{R(K)}{nR(\hat{f}_{g(h)}) \left( \int x^2 K(x) dx \right)^2} \right] \quad (4)$$

여기서,  $R(\phi) = \int \phi^2(x) dx$ 를 의미하며 즉,  $\int x^2 K = \int x^2 K(x) dx$ 를 뜻한다.

## 2.2 연구 대상 자료

태풍은 주기적으로 우리나라를 내습하여 큰 피해를 유발시키고 있다. 다음 Fig. 1은 1951년부터 2004년까지의 연도별로 적도지방에서 발생한 태풍의 개수를 실선으로 도시하고, 우리나라를 내습한 태풍은 막대그래프로 표시하였다. 특이할 점은 태풍의 발생수와 우리나라에 내습한 태풍의 개수는 꼭 일치하고 있지는 않는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 태풍백서(기상청, 1996)과 기상연보(기상청, 1997~2004)를 참고하여 우리나라에 상륙한 태풍의 빈도를 도시별로 분석하였다. 1904년

부터 2004년까지 101년 동안에 우리나라를 내습하여 피해를 유발시킨 태풍의 개수는 총 311개로 조사되었다. 여기서, 우리나라에 영향을 준 태풍의 정의는 기상청의 태풍백서(기상청, 1996)에서 제시하고 있는 북위 32°~40°, 동경 120°~138°의 범위 내에 든 태풍을 의미하며, 북위 40°, 동경 110°~150°밖으로 벗어난 경우에는 사멸한 것으로 간주하였다. 따라서 본 연구에서는 Table 1에서 나타난 강우관측지점을 선정하여 분석 대상 지점으로 결정하였다. 따라서 대상 지점은 기상청에서 관측하는 강릉, 서울, 인천, 대구, 광주, 부산, 목포, 제주 지점을 선정하여 다음 Fig. 2에 나타내었다. 선정된 대상 지점의 시간 강우량은 1961년 1월 1일부터 2004년 12월 31일까지의 자료를 활용하였다.

선정된 대상 지점들의 시간강우량을 기상청으로부터 확보하였다. 확보한 강우자료를 대상으로 지속시간 1, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 24, 36, 48시간의 연최대 강우 자료를 추출하였다. 또한, 태풍이 우리나라에 영향을 끼쳤을

Table 1. The description of rainfall observatory

Station	Latitude(N)	Longitude(E)	Altitude (m)
1 Gangneung	37° 45'	128° 54'	26.5
2 Seoul	37° 34'	126° 58'	86.0
3 Incheon	37° 28'	126° 38'	68.9
4 Daegu	35° 53'	128° 37'	57.6
5 Gwangju	35° 10'	126° 54'	70.5
6 Busan	35° 06'	129° 02'	69.2
7 Mokpo	34° 49'	126° 23'	37.4
8 Jeju	33° 31'	126° 32'	20.0

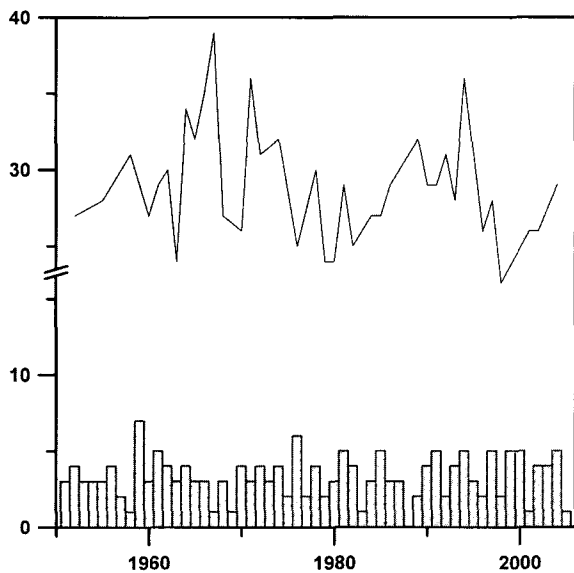


Fig. 1. Occurrence of Typhoons

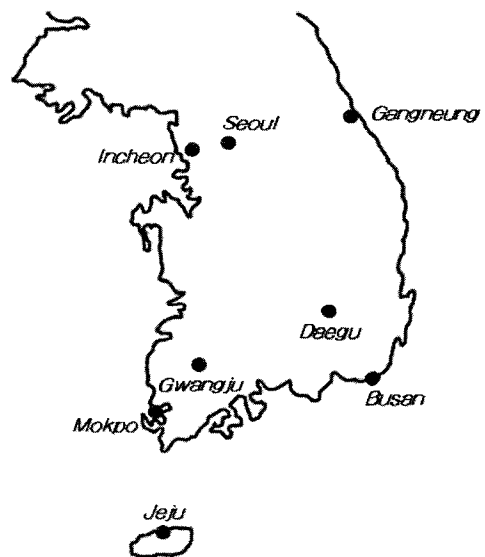


Fig. 2. Location of the meteorological observatory

때, 발생한 시간 강우자료를 분석하여 지속시간별로 연 최대 강우자료를 구성하였다. 태풍으로 인한 강우 자료의 분석을 위해 시간최대 강우량을 구성할 때의 강우량이 꼭 태풍으로 인해 발생한 강우인지에 대한 결정을 내리기가 매우 난해하여, 태풍으로 온 기간에 발생한 강우와 태풍의 중심 위치 및 다른 태풍에 의해 발생한 강우량과의 관계 등을 고려하여 시간 강우량을 추출하였다. 마지막으로 태풍으로 인해 발생한 시간 강우량을 제외하고 장마 등에 의한 집중호우로 인하여 발생한 연 최대 시간 강우량을 추출하였다.

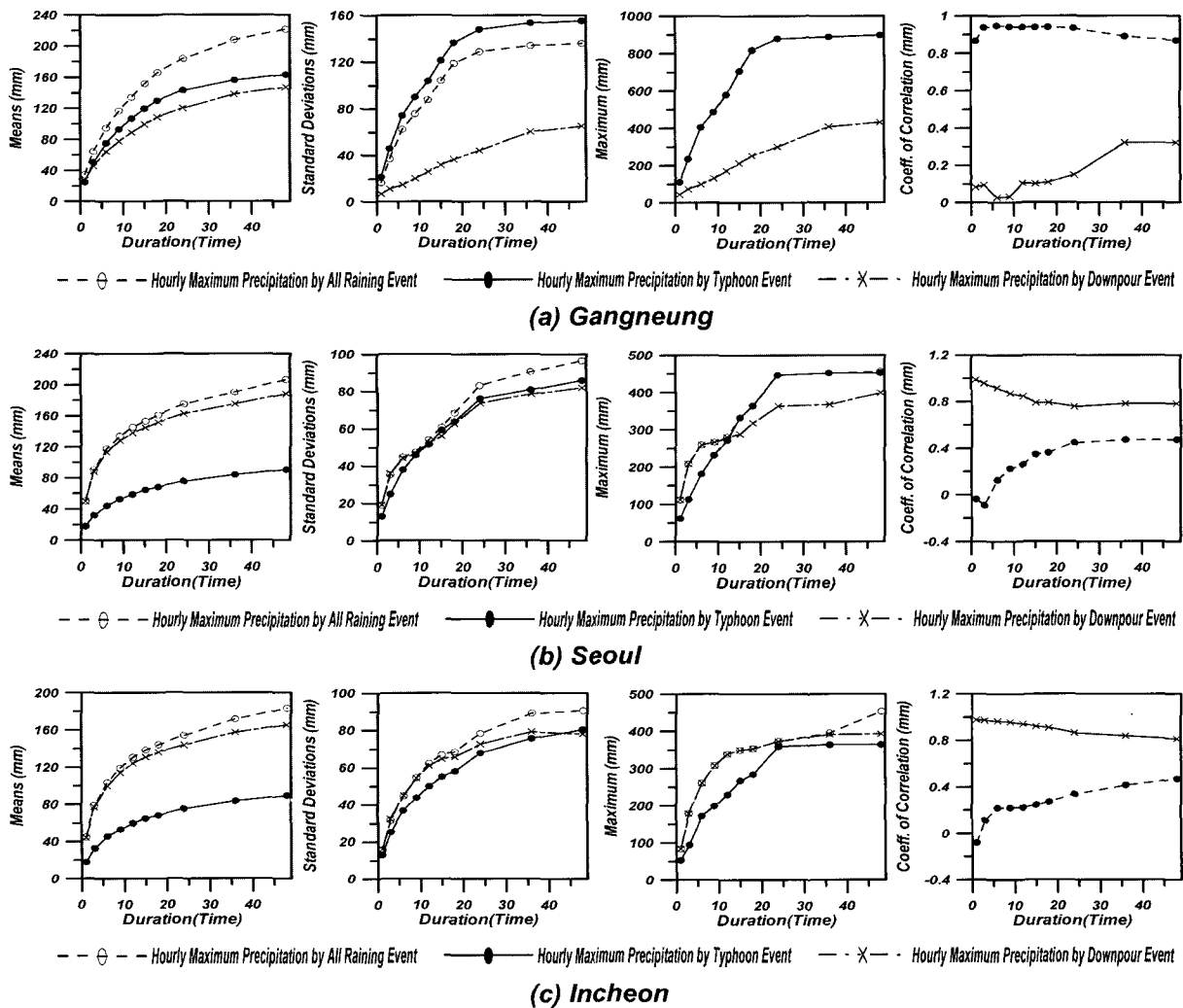
### 2.3 분석 결과

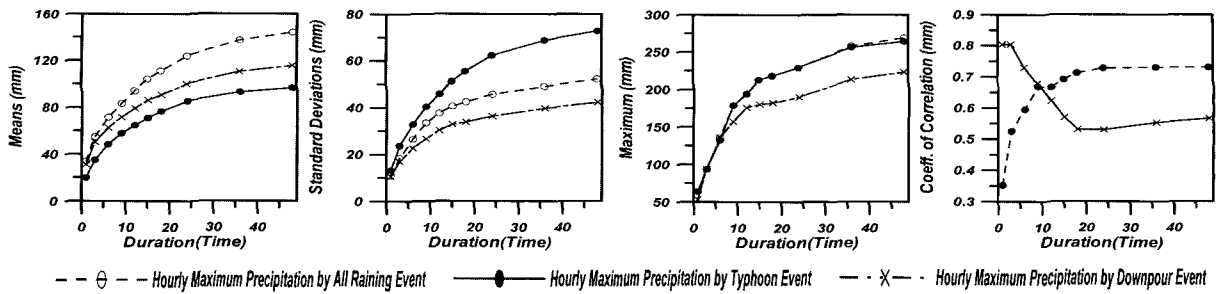
태풍에 의해 발생하는 피해 규모를 평가하기 위해서는 지속시간별 강우량의 빈도해석을 통해 확률강우량을 산정할 필요성이 있다. 따라서 본 연구에서는 전체호우과 태풍시에 발생한 호우 및 집중호우에 의해 발생한 호우의 지속시간별 연 최대 강우 자료를 사용하여 빈도 해석을 수행하였다.

#### 2.3.1 기초 통계량 분석

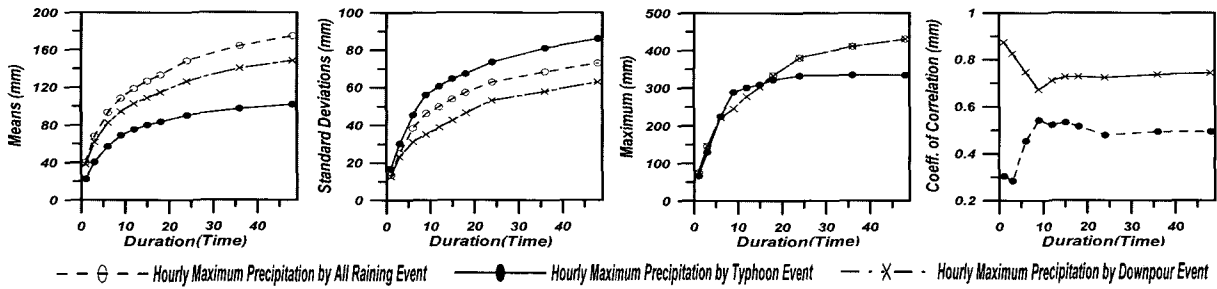
대상 지점인 강릉, 서울, 인천, 대구, 광주, 부산, 목포, 제주의 8개 지점의 매년최대 시간강우계열을 구성하였다. 대상 지점들의 관측기간은 1961년부터 2004년까지 총 44년의 시간강우 관측기록을 기상청에서 확보하여 분석을 수행하였다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 3과 같이 대상 자료들의 연 최대 강우자료의 평균, 표준편차, 최대값을 산정하고, 태풍시와 집중호우시에 발생한 지속시간별 연 최대 강우량과 전체호우의 지속시간별 연 최대 강우량과의 상관계수를 산정하여 비교하였다.

Fig. 3에서 대상 지점별로 기초 통계량을 살펴보면, 평균은 강릉과 제주 지점에서 태풍시에 발생한 강우량이 집중호우에 비해 더 큰 것으로 분석되었다. 이는 표준편차를 산정한 결과와 비교해 볼 때, 태풍이 발생하지 않은 연도가 존재함에도 불구하고 강릉과 제주 지점은 태풍으로 인한 발생하는 강우가 홍수 피해를 야기하는데 집중호우보다 지배적이라는 가설을 세울 수 있는 증거가 된다. 또한, 지속시간별로 40여 년간 발생한 강

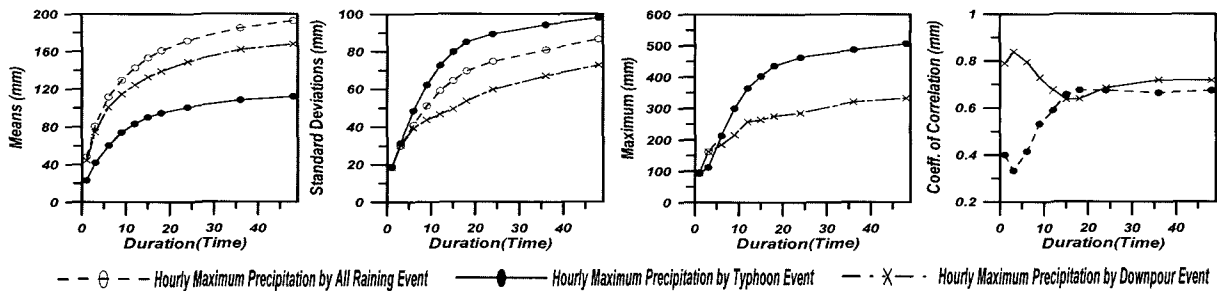




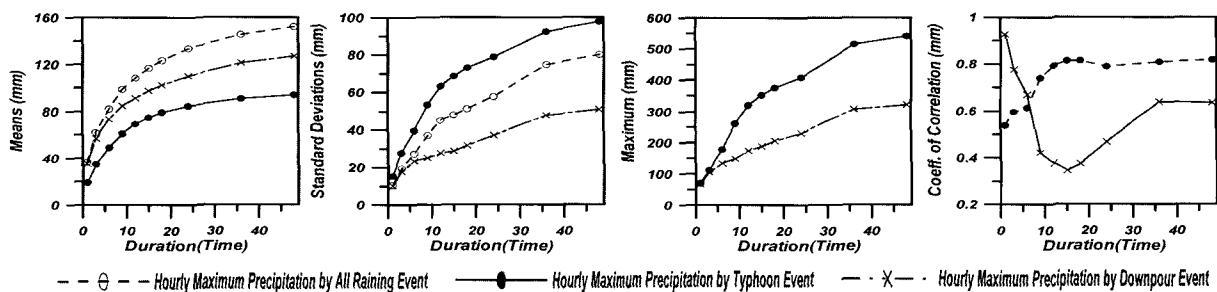
(d) Daegu



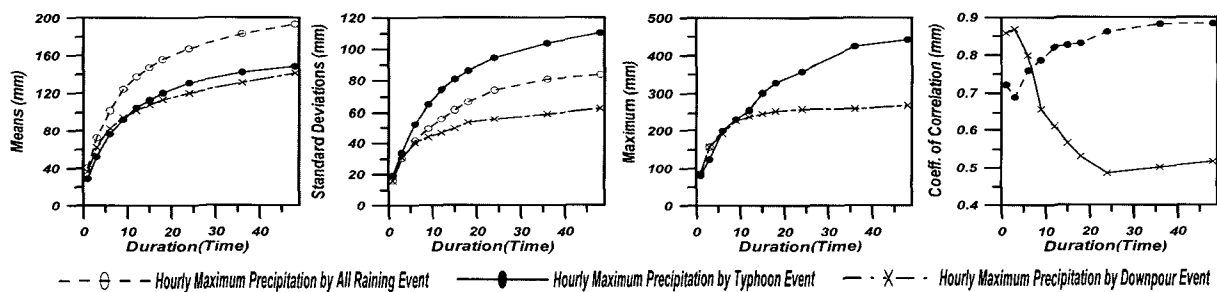
(e) Gwangju



(f) Busan



(g) Mokpo



(h) Jeju

Fig. 3. The basic statistical analysis of hourly maximum precipitation

우량의 최대값에서 광주와 인천 지점을 제외하고 태풍에 의해 발생한 강우가 지배적임을 알 수 있다. 특이할

점은 지속시간이 증가할수록 이러한 경향이 뚜렷하다는 점이다. 이는 국지성 집중호우 등은 짧은 시간에 많은

강우를 발생시키지만, 하나의 태풍이 우리나라에 영향을 주는 시간은 일반적으로 하루 이상의 시간동안 지속적으로 영향을 주며 많은 강우를 발생시키기 때문인 것으로 생각 되므로 대상 지점들에서 극한 홍수의 발생 가능성은 태풍과 밀접한 관련이 있음을 의미한다고 사료 된다. 마지막으로 전체호우를 대상으로 지속시간별 연최대 강우량을 추출하여 작성한 계열과 태풍과 집중호우에 의해 발생한 강우량들과의 상관 분석을 수행하였다. 여기서 강릉은 전지속시간에 걸쳐 태풍에 의해 발생한 강우가 전체호우에서 발생한 강우와 상관계수가 크게 산정되었다. 대구, 목포, 제주 지점은 지속시간이 10시간을 초과할 때, 태풍에 의해 발생한 강우의 상관계수가 더 큰 것으로 분석 되었다. 또한, 부산 지점은 지속시간이 10시간 이상일 때, 태풍과 비태풍기에 발생한 강우의 상관계수가 비슷한 것으로 분석 되었다.

### 2.3.2 매개변수적 빈도해석의 결과 비교

전 호우와 태풍시에 발생한 호우 및 장마 등과 같은 집중호우를 대상으로 추출한 지속시간별 매년 최대 강우량 자료를 이용하여 빈도해석을 수행하였다. 본 연구의 대상 지점인 강릉, 서울, 인천, 대구, 광주, 부산, 목포, 제주의 8개 지점에서 추출한 매년 최대 시간 강우량을 대상으로 빈도해석의 필수 조건인 무작위성 분석을 수행하였다. 분석 방법은 Anderson Correlogram Test, Run Test, Spearman Rank Correlation Coefficient Test, Turning Point Test 기법을 적용하였으며, 확률분포형은 정규분포, 2변수 대수정규분포, 3변수 대수정규분포, 2변수 Gamma분포, Pearson TypeIII분포, Log-Pearson TypeIII분포, Gumbel분포, Generalized Extreme Value분포, Weibull분포형 등을 이용하였다. 마지막으로 최적확률 분포형을 결정하기 위해서 적합도 검정은  $\chi^2$ (Chi-square) 검정,  $K-S$  (Kolmogorov-Smirnov)검정,  $CVM$ (Cramer Von Mises) 검정,  $PPCC$ (Probability Plot Correlation Coefficient)

검정 기법을 적용하였다.

구성된 지속시간별 연최대치 자료 중에서 태풍으로 인하여 매년 강우가 발생하는 것이 아니므로 태풍의 영향이 미비하거나 발생하지 않은 경우에는 빈도해석에서 제외하였다. 제외 기준은 태풍으로 발생한 강우량이 없거나, 평균에서 표준편차를 뺀 값보다 작은 강우량이 발생하였을 때의 연최대치 강우자료를 제외하였다. 다음의 Table 2는 태풍의 영향이 미미하여 태풍 사상에 의해 구성된 연최대치 시간 강우량 자료에서 제외한 연도를 나타내며, 집중호우나 전호우에 의해 발생한 연최대치 시간 강우량 자료는 제외시키지 아니하였다. 빈도해석을 수행하기 위해 연초과치 계열을 구성하지 아니하고, 연최대치 계열을 구성한 이유는 본 연구에서 태풍으로 인한 시간 강우 특성을 고찰하기 위해서 연차별로 발생한 강우를 구성할 필요성이 있으며, 또한 큰 태풍이나 집중호우가 발생하였을 때에 연초과치 계열을 구성하면, 짧은 지속시간에서 다소 지배적인 특성을 나타낼 가능성을 배제할 수 없기 때문이다.

전 호우 사상을 이용한 지속시간별 연최대치 자료와 태풍시 및 태풍 이외의 호우 사상에서 추출한 지속시간별 연최대치 자료를 적용한 빈도해석에는 동일한 확률분포형을 적용하였다. 매개변수의 추정 방법은 확률가중모멘트법이 가장 적합한 것으로 분석되었으며, 확률분포형은 GEV와 Gumbel 분포형의 적합도 검정 결과에서 대체로 적합한 것으로 분석 되었다. 따라서 본 연구에서는 기존의 대상 지점들의 확률강우량을 산정한 연구 결과와 본 연구에서의 적합도 검정 결과를 바탕으로 최적분포형을 결정하였다. 또한 빈도해석을 수행하는데 있어서 강우 자료의 무작위성 검정 결과와 최적분포형을 결정하기 위한 적합도 검정 결과는 따로 본문에 수록하지 아니하였다. 다음은 각 지점별로 산정한 확률강우량을 비교한 결과이다. Fig. 4에서 Fig. 12까지에 제시된 확률강우량에서 가운데가 빈 원(Probability

Table 2. The years of weak influence for Typhoon

Station	Year
1 Gangneung	1967, 1983, 1988, 1996, 2001 5 years
2 Seoul	1969, 1975, 1983, 1988, 2001 5 years
3 Incheon	1963, 1967, 1969, 1977, 1983, 1988, 1997, 2001, 2003 9 years
4 Daegu	1967, 1969, 1975, 1988, 1997, 2001 6 years
5 Gwangju	1965, 1967, 1975, 1977, 1983, 1988, 1989, 2001 8 years
6 Busan	1965, 1967, 1988, 2001 4 years
7 Mokpo	1965, 1967, 1969, 1977, 1988, 1989, 1996, 2001 8 years
8 Jeju	1965, 1969, 1975, 1988, 1996, 2001 6 years

Precipitation by all Raining event)은 전호우 사상을 대상으로 추출한 시간 강우량을 통해 산정한 확률강우량이며, 가운데가 채워진 원(Probability Precipitation by Typhoon event)은 태풍 사상에 의해 발생한 시간 강우자료를 통해 산정된 확률강우량이다. 또한, 가위표(Probability Precipitation by Downpour event)는 집중호우에 의해 발생한 시간 강우량 자료를 통해 산정된 확률강우량을 도시한 것이다.

Fig. 4에서 제시한 강릉 지점은 Gumbel 분포형을 최적분포형으로 결정하였으며, 태풍시에 발생한 확률강우량이 집중호우에 의해 발생하는 확률강우량보다 크게 산정 되었다. 빈도해석 결과에서 지속시간 36, 48시간에서 재현기간 10년을 제외하고는 태풍시에 발생한 강우의 확률강우량이 전체호우를 분석한 확률강우량보다 더 크게 산정 되었다. 집중호우시에 발생한 확률강우량은 모두 전체호우의 확률강우량보다 작게 산정 되었다.

Fig. 5에서 제시한 서울 지점은 GEV 분포형이 최적

분포형으로 선정되었으며, 집중호우로 인한 강우의 확률강우량이 태풍으로 인한 강우의 확률강우량보다 큰 것으로 분석 되었다. 서울 지점은 일반적으로 전체호우를 대상으로 지속시간을 추출하여 빈도해석을 수행한 결과가 가장 크게 산정되었으며, 지속시간 1, 3시간에서 재현기간 50년 이상일 때에는 집중호우로 인한 강우의 확률강우량이 가장 크게 산정 되었다.

Fig. 6에서 제시한 인천 지점은 GEV 분포형이 최적 분포형으로 선정 되었으며, 집중호우에 의한 확률강우량이 태풍에 의한 확률강우량보다 더 크게 산정 되었다. 또한 지속시간 1, 3시간에서는 재현기간 50년 이상에서, 지속시간 9, 15시간에서는 재현기간 150년 이상에서, 지속시간 12시간에서는 재현기간 100년 이상에서 집중호우로 인한 확률강우량이 전체호우를 분석하여 산정된 확률강우량보다 더 크게 산정 되었다. 또한, 인천은 서울 지점과 시간 강우의 특성이 매우 비슷한 것으로 나타났다.

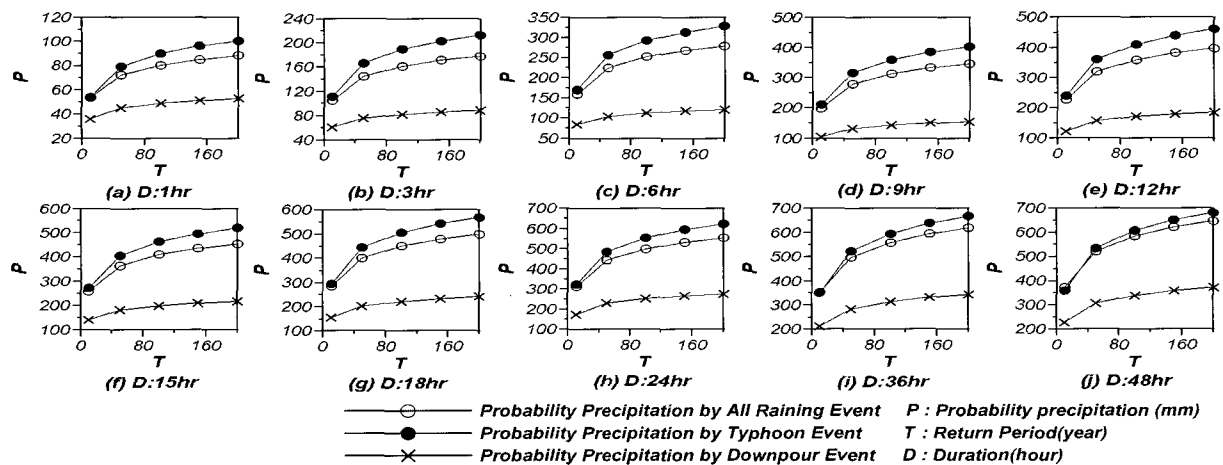


Fig. 4. Probability Precipitation of Gangneung by Parametric Frequency Analysis

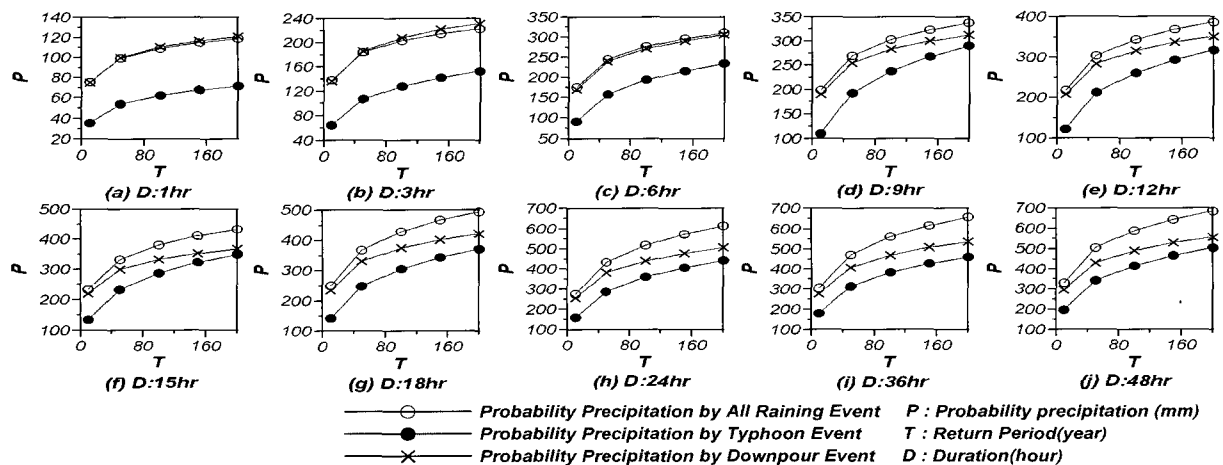


Fig. 5. Probability Precipitation of Seoul by Parametric Frequency Analysis



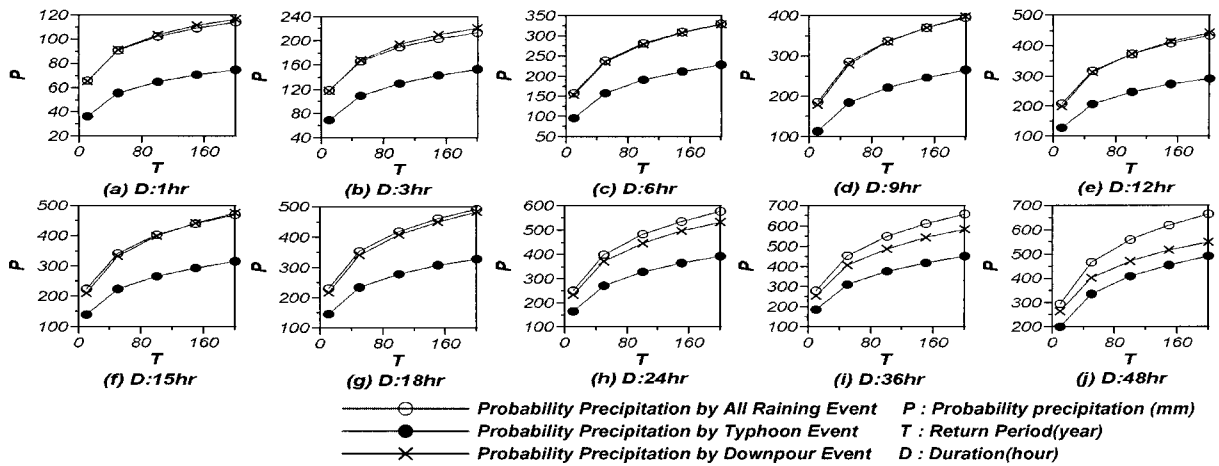


Fig. 6. Probability Precipitation of Incheon by Parametric Frequency Analysis

Fig. 7에서 제시한 대구 지점은 GEV 분포형이 최적 분포형으로 선정 되었으며, 태풍에 의한 확률강우량이 집중호우에 의한 확률강우량보다 더 크게 산정 되었다. 또한 지속시간 1시간을 제외하고 모든 지속시간에서 재현기간이 커질수록 태풍에 의한 확률강우량이 전체호우를 분석한 확률강우량보다 더 크게 산정 되었다.

Fig. 8에서 제시한 광주 지점은 GEV 분포형을 최적 분포형으로 선정하였으며, 태풍으로 인한 확률강우량이 집중호우에 의한 확률강우량보다 더 크게 산정 되었다. 태풍으로 인한 확률강우량이 지속시간 3, 12, 18, 24시간을 제외하고는 재현기간이 100년 이상일 때에는 전체호우로 인한 확률강우량보다 더 큰 것으로 분석 되었다.

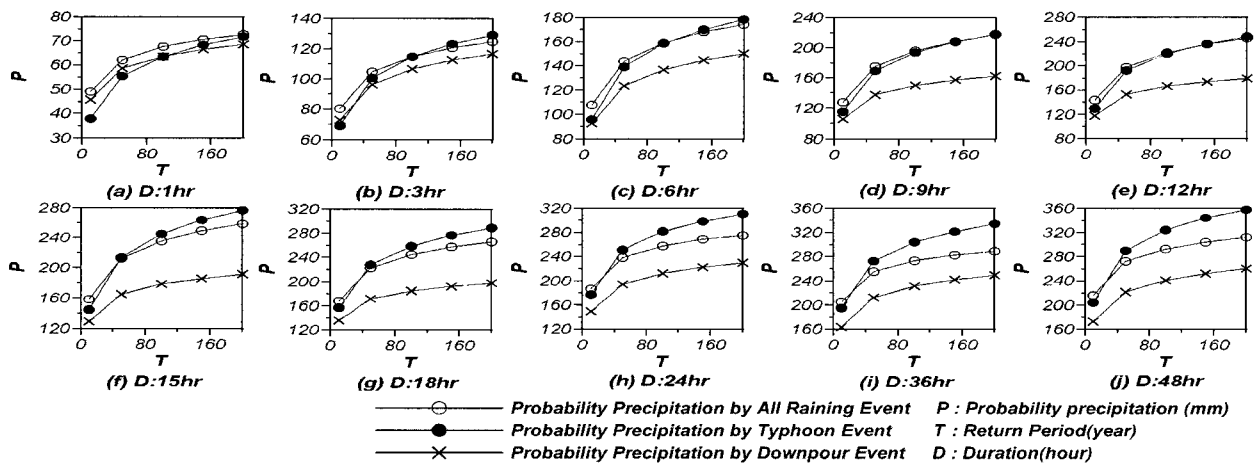


Fig. 7. Probability Precipitation of Daegu by Parametric Frequency Analysis

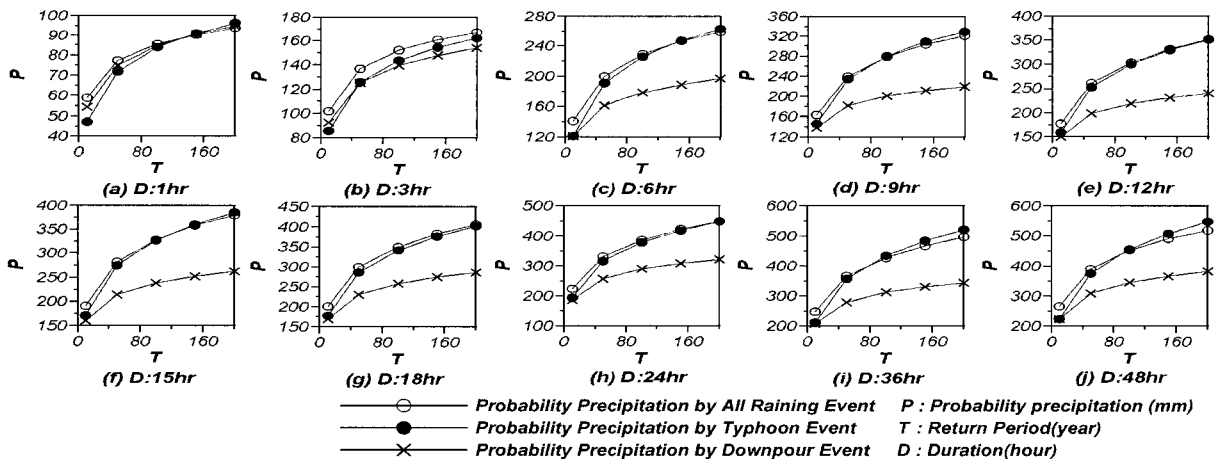


Fig. 8. Probability Precipitation of Gwangju by Parametric Frequency Analysis

Fig. 9에서 제시한 부산 지점은 GEV 분포형이 최적 분포형으로 선정 되었으며, 태풍에 의한 확률강우량이 집중호우에 의한 확률강우량보다 더 큰 것으로 산정 되었다. 지속시간 6시간 이상에서는 태풍으로 인한 확률 강우량이 전체호우에 의한 확률강우량보다 재현기간이 클수록 확률강우량이 더 크게 산정되는 경향이 있는 것으로 분석 되었다.

Fig. 10에서 제시한 목포 지점은 GEV 분포형이 최적 분포형으로 선정 되었으며, 태풍으로 인한 확률강우량이 집중호우에 의한 확률강우량보다 더 큰 것으로 나타났다. 집중호우로 인한 확률강우량은 지속시간 1시간에서 재현기간 100년 이상인 경우에 전체호우보다 더 큰 확률강우량이 산정 되었으며, 태풍에 의한 확률강우량은 모든 지속시간에서 재현기간이 50년 이상일 때에는 전체호우로 인한 확률강우량을 상회하는 것으로 분석 되었다.

Fig. 11에서 제시한 제주 지점은 Gumbel 분포형이

최적 분포형으로 선정되었으며, 태풍으로 인해 발생한 확률강우량이 집중호우에 의해 산정된 확률강우량보다 더 큰 것으로 산정 되었다. 집중호우에 의한 확률강우량은 전체호우를 분석한 확률강우량보다 더 작은 것으로 산정 되었으나, 태풍으로 인한 확률강우량은 지속시간 6시간 이상에서 전체호우로 인한 확률강우량보다 더 큰 값을 제시하고 있는 것으로 나타났다.

다음의 Table 3은 각각의 대상지점의 재현기간별로 태풍 및 집중호우를 분석하여 산정된 확률강우량이 전체호우의 확률강우량을 기준으로 하여 어느 정도 차이를 보이고 있는지에 대해 백분율(%)로 계산한 결과이다.

### 2.3.3 비매개변수적 빈도해석 결과의 검토

본 연구에서는 매개변수적 지점빈도해석에서 태풍에 의한 확률강우량이 더 크게 산정된 결과가 타당한가를 검증하기 위하여, 변동행밀도함수를 각각의 대상 지점

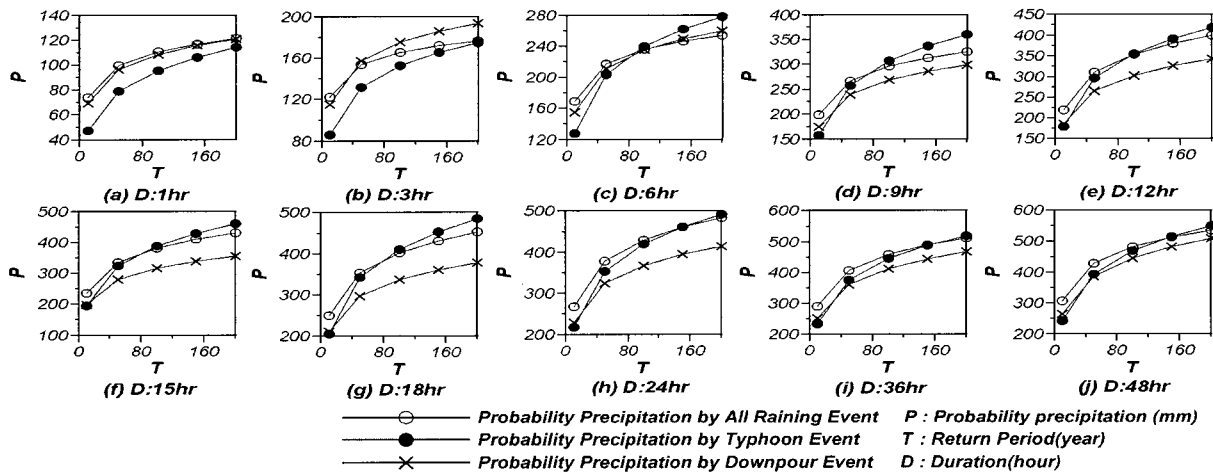


Fig. 9. Probability Precipitation of Busan by Parametric Frequency Analysis

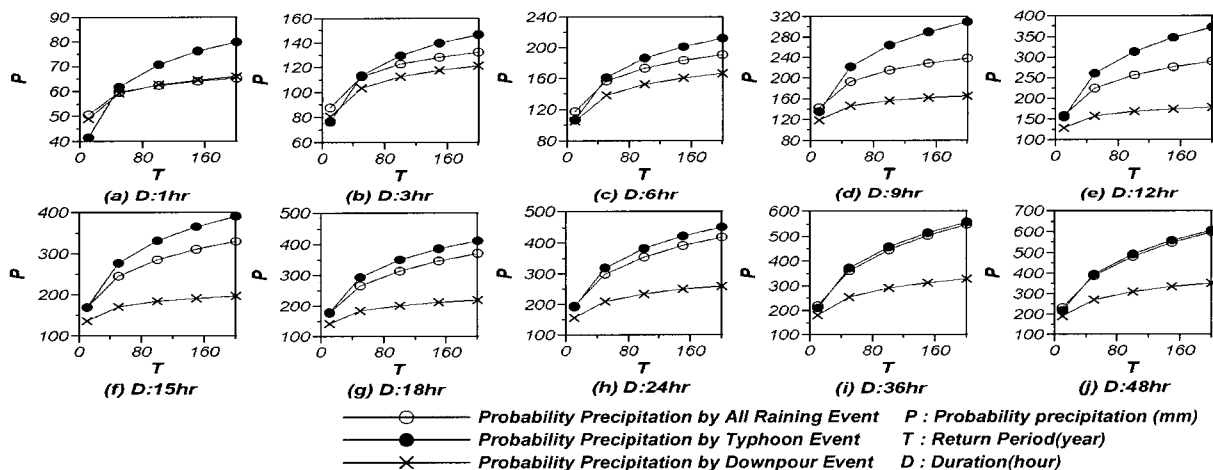


Fig. 10. Probability Precipitation of Mokpo by Parametric Frequency Analysis

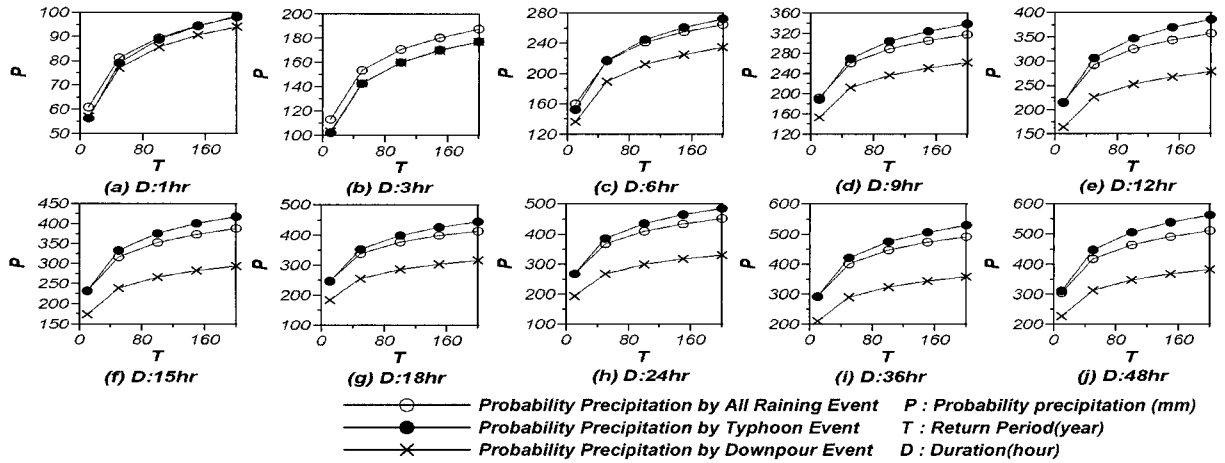


Fig. 11. Probability Precipitation of Jeju by Parametric Frequency Analysis

Table 3. The Comparison of Probability Precipitation

Station	Return Period(yr) Probability Distribution	Typhoon(%)					Downpour(%)				
		10	50	100	150	200	10	50	100	150	200
1	Gumbel	3.4	10.3	12.2	13.1	13.7	-42.9	-47.5	-48.7	-49.3	-49.7
2	GEV	-44.9	-34.4	-30.0	-27.4	-25.5	-5.0	-7.4	-8.5	-9.2	-9.8
3	GEV	-37.8	-33.7	-32.4	-31.7	-31.3	-5.1	-4.0	-3.4	-3.1	-2.8
4	GEV	-9.8	-0.2	3.3	5.1	6.5	-16.3	-17.1	-17.4	-17.6	-17.7
5	GEV	-13.6	-4.3	-1.2	0.4	1.5	-14.1	-19.3	-21.6	-23.0	-24.0
6	GEV	-22.4	-7.8	-2.0	1.4	3.8	-12.0	-9.7	-8.5	-7.8	-7.2
7	GEV	-6.0	7.3	11.2	13.1	14.3	-15.3	-22.4	-25.6	-27.5	-28.8
8	Gumbel	-2.3	2.7	4.1	4.8	5.2	-20.4	-19.3	-19.0	-18.8	-18.7

별로 적용하여 전체호우, 태풍 및 집중호우의 지속시간 별 재현기간별 확률강우량을 산정하여 비교·분석하였다. 변동 핵밀도함수를 대상지점의 강우 자료에 적용한 결과에서 태풍으로 인한 확률밀도함수는 전체호우에 비해 첨두는 낮고 양쪽 끝으로 넓게 퍼진 형태의 확률 밀도 함수가 구해졌으며, 집중호우로 인한 확률밀도함수는 첨두가 높고 양쪽 끝의 폭이 작은 형태의 확률밀도 함수가 계산 되었다. 따라서 실제 강우 자료의 발생 형태를 보여주는 변동핵밀도함수를 이용한 확률밀도함수를 산정한 결과에서도 매개변수적 빈도해석의 결과와 마찬가지로 태풍에 의해 큰 호우가 발생할 가능성이 더 클 것으로 판단할 수 있다.

강릉지점의 빈도해석 결과에서 전체호우와 태풍에 의한 확률강우량은 거의 일치하며, 태풍에 의한 확률강우량값이 전체호우를 분석한 확률강우량보다 약간 더 크게 산정 되었다. 서울 지점의 빈도해석 결과에서는 12시간 이내의 지속시간을 갖는 확률강우량은 전체호우

와 집중호우에 의한 확률강우량이 비슷한 값을 갖는 것으로 분석되었으며, 15시간 이상의 지속시간에서는 재현기간 10년에서는 태풍에 의한 확률강우량이 상당히 작았으나, 50년 이상의 재현기간에서는 태풍에 의한 확률강우량이 전체호우의 확률강우량과 비슷한 크기를 갖는 것으로 분석 되었다. 인천 지점의 확률강우량은 지속시간 18시간 이내에서는 집중호우와 전체호우에 의한 확률강우량이 비슷하게 산정되었으며 24시간 이후에서는 전체호우에 의한 확률강우량이 가장 크게 나타났다. 대구 지점도 지속시간 9시간 이상의 확률강우량은 태풍의 영향이 큰 것으로 분석되었다. 광주 지점의 빈도해석 결과에서는 지속시간 9시간에서 15시간 사이에는 태풍으로 인한 확률강우량이 가장 크게 산정 되었으며, 24시간 이상의 지속시간에서는 집중호우로 인한 확률강우량과 전체호우의 확률강우량이 비슷한 값을 갖는 것으로 분석 되었다. 부산 지점의 빈도해석 결과에서는 대부분 전체호우 자료로부터 추출한 시간최대 강우자료

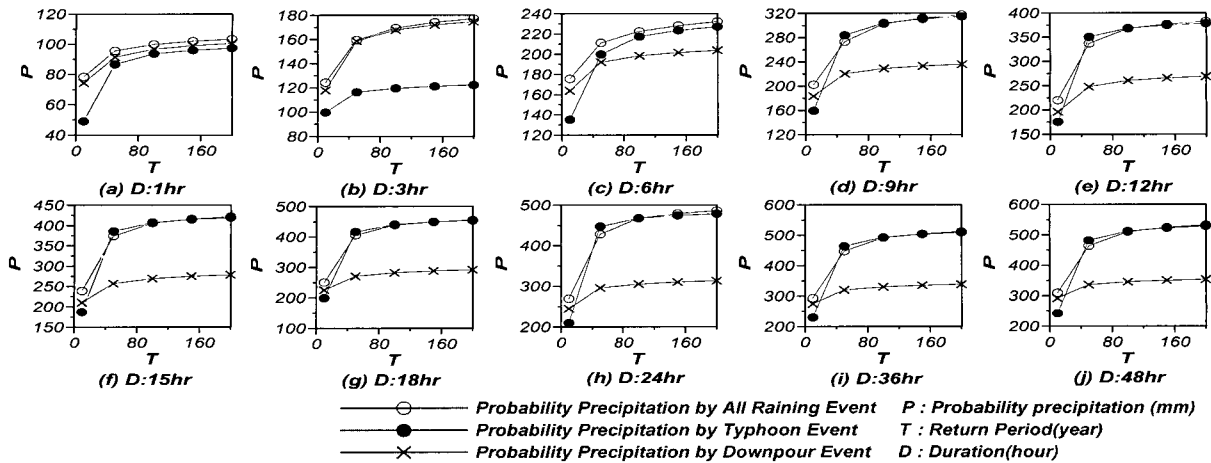


Fig. 12. Probability Precipitation of Busan by Nonparametric Frequency Analysis

의 해석을 통해 산정한 확률강우량이 가장 크게 산정되었으나, 지속시간 9시간 이상에서는 재현기간 50년과 100년의 확률강우량이 태풍에 의해 얻어지는 값이 더 크게 산정 되었다. 목포 지점의 비매개변수적 빈도분석 결과에서는 태풍에 의해 얻어지는 확률강우량이 전체호우에 의해 산정된 확률강우량보다 약간 더 큰 것으로 계산 되었다. 제주 지점의 빈도분석 결과 지속시간 1시간과 3시간은 전체호우를 분석한 확률강우량이 태풍보다 더 큰 것으로 산정되었으나 6시간 이상의 지속시간을 갖는 확률강우량은 태풍에 의한 결과가 전체호우에 의한 결과보다 더 크게 산정 되었다.

비매개변수적 빈도분석을 통해 확률강우량을 산정하여 비교한 결과는 매개변수적 빈도분석에 비해 자료의 형태와 분포 특성에 더 큰 영향을 받으므로 매개변수적 빈도분석의 확률강우량 산정 결과와는 약간의 차이를 보이고 있으나, 빈도분석 결과에서 태풍으로 인해 발생한 강우 자료를 해석하여 얻은 확률강우량이 전체호우 자료로부터 산정된 확률강우량보다 더 큰 값을 갖는 경우가 종종 있는 것으로 분석 되었으므로 전술한 바와 같이, 태풍에 의한 호우로 인해 큰 피해가 발생할 가능성이 있는 지역은 태풍에 의한 강우 자료를 통한 빈도분석을 수행할 필요성이 있는 것으로 생각 된다. Fig. 12는 대상 지점 중에서 부산 지점에서 비매개변수적 지점빈도분석 기법에 의해 산정된 결과를 나타 낸 것이다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 우리나라에서 발생하는 호우를 원인별로 태풍과 집중호우로 구분하여 시간강우량을 구축하여 비교·분석하였다.

각각의 시간강우량의 평균, 표준편차, 최대값 및 상관계수를 분석한 결과에서 평균은 강릉과 제주 지점이 태풍으로 인해 발생한 시간강우량이 집중호우로 인해 발생한 시간 강우량보다 더 큰 것으로 나타났으며, 표준 편차는 인천을 제외한 강릉, 대구, 광주, 부산, 제주, 목포 지점이 태풍으로 인해 발생한 강우의 표준편차가 더 큰 것으로 분석되었다. 단, 서울 지점은 태풍과 집중호우로 인한 시간강우량의 표준 편차가 비슷한 것으로 나타났다. 관측된 시간 강우의 최대값은 강릉, 대구, 목포, 부산, 제주 지점은 태풍으로 인해 발생한 강우가 더 컸으며, 서울 지점은 지속시간 12시간 이전에는 집중호우가 12시간 이후에는 태풍으로 인한 시간 강우가 더 큰 것으로 나타났다. 전체호우를 분석하여 구성된 시간강우량과의 상관계수에서는 강릉은 태풍의 영향이 더 컸으며, 서울, 광주, 인천은 집중호우의 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 또한, 상관계수에서 대구, 목포, 제주, 부산에서 지속시간 12시간 이전에는 집중호우의 영향이 더 컸으며, 지속시간이 12시간 이상일 때에는 태풍과의 연관성이 더 큰 것으로 분석되었다.

대상 지점들의 매개변수적 빈도분석 결과에서 서울과 인천 지점은 집중호우로 인한 확률강우량이 태풍으로 인한 확률강우량보다 더 크게 산정되었으며, 이들 지점을 제외하고는 모두 태풍으로 인한 확률강우량이 집중호우로 인한 확률강우량보다 더 크게 산정 되었다. 또한 서울과 인천 지점은 집중호우로 인한 확률강우량이 6시간 이내의 지속 시간에서 가장 크게 산정 되는 경향이 있는 것으로 나타났으며, 강릉, 대구, 광주, 부산, 목포, 제주 지점에서는 태풍으로 인한 확률강우량이 지속시간이 길어지고 재현기간이 커질수록 가장 큰 확률강우량을 제시하고 있는 것으로 나타났다.

매개변수적 빈도분석 결과와의 비교·분석을 위해 비

매개변수적 빈도해석을 수행하여 변동핵밀도함수를 적용해 대상자료들의 확률밀도함수를 구해 비교하였다. 분석 결과에서 태풍에 의해 발생한 강우의 형태가 큰 재현기간에서 더 큰 호우가 발생할 가능성이 더 클 것으로 사료 된다.

또한, 비매개변수적 빈도해석을 통해 산정된 확률강우량을 비교한 결과는 서울, 인천, 대구(지속시간 9시간 이하), 광주(지속시간 9-15시간 제외), 부산, 제주(지속시간 3시간 이하)에서는 전체호우로 인한 확률강우량 값이 가장 컸으며, 강릉, 대구(지속시간 12시간 이상), 광주(지속시간 9-15시간), 부산(지속시간 9시간 이상에서 재현기간 50년과 100년), 목포, 제주(지속시간 6시간 이상)에서는 태풍으로 인해 발생하는 확률강우량이 가장 큰 것으로 분석 되었다. 또한, 서울(지속시간 12시간 이하), 인천, 광주(지속시간 1, 3시간 및 18시간 이상)에서는 집중호우로 인한 확률강우량이 태풍으로 인한 확률강우량보다 컸으며, 강릉, 서울(지속시간 15시간 이상), 대구, 광주(지속시간 6-15시간), 목포, 부산, 제주 지역의 확률강우량은 태풍으로 인해 발생한 확률강우량이 집중호우로 인한 확률강우량보다 더 크게 산정되었다.

현재 우리나라에서는 수공 구조물을 설계시에 강우의 원인을 구분하지 아니하고 구성된 연최대치 시간 강우량 자료의 빈도해석을 통해 확률강우량을 산정하고 있다. 그러나 우리나라에서 큰 호우의 원인은 장마 등과 같은 집중호우와 태풍의 내습으로 인한 호우로 구분할 수 있다. 특히, 태풍은 각각의 사상이 갖는 특성이 다르며, 태풍에 의해 발생하는 시간 강우량의 분산(variance)이 매우 큰 것으로 나타났다. 따라서 대상 지점별로 태풍으로 인한 피해가 자주 발생하는 지역의 확률강우량을 결정할 때에는 강우의 원인을 태풍과 집중호우로 구분하여 확률강우량을 산정하여 검토할 필요성이 있는 것으로 판단되며, 보다 합리적이고 객관적으로 태풍의 확률 강우량을 산정할 수 있는 기법을 개발하여 수공 구조물의 설계에 반영해야 할 것으로 사료 된다.

### 감사의 글

본 연구의 일부는 건설교통부 한국건설교통기술평가원의 이상기후대비시설기준강화 연구단에 의해 수행되는 2005 건설기술기반구축사업(05-기반구축-D03-01)에 의해 지원되었습니다.

### 참고 문헌

건설 교통부 (2000). 1999년도 수자원관리기법개발연

### 구조사 보고서 제 1 권 한국확률강우량도 작성.

기상청 (1996). 태풍백서.  
 기상청 (1997-2004). 기상연보.  
 김남원, 원유승 (2004). “최근의 기상변동과 PMP의 변화.” 한국수자원학회 학술발표회 초록집, 한국수자원학회, pp. 211.  
 백희정, 권원태, 오재호 (1999). “북서태평양에서 발생한 강력한 태풍의 기후학적 특성.” 한국수자원학회 학술대회지, 한국수자원학회, pp. 177-182.  
 이미선, 박근애, 김성준 (2005). “Landsat영상과 수문모형을 이용한 태풍 RUSA에 의한 수문영향 분석.” 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제38권, 제5호, pp. 391-399.  
 임기석, 최은호, 전무갑, 지홍기, 이순탁 (2002). “우리나라 태풍/전선의 이동과 호우 특성.” 한국수자원학회 학술대회지 논문집(III), 한국수자원학회, pp. 1161-1166.  
 차영일, 김범순, 문영일 (2006). “극치값 추정에 적합한 비매개변수적 핵함수 개발.” 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제39권, 제6호, pp.187-194.  
 홍일표 (2003). “UN/ESCAP·WMO 태풍위원회 수문분과 활동 및 지협협력 계획 소개.” 한국수자원학회 학술대회지 논문집(I), 한국수자원학회, pp. 451-454.  
 Adamowski, K. (1985). “Nonparametric kernel estimation of flood frequency”, *Water Resources Research*, Vol. 21, No. 11, pp.1585-1590.  
 Bowman, A. W. (1985). “A comparative study of some kernel-based nonparametric density estimators”, *Journal of Statistical Computing and Simulation*, Vol. 21, pp. 313-327.  
 Breiman, L., Meisel, W., and Purcell, E., (1977). “Variable kernel estimates of multivariate densities”, *Technometrics*, Vol. 19, No. 2, pp. 135-144.  
 Devroye, L. and Györfi, L. (1985). *Nonparametric density estimation: The L1 view*, John Wiley, New York.  
 Lall, U., Moon, Y. I., and Bosworth, K., (1993). “Kernel flood frequency estimators: bandwidth selection and kernel choice”, *Water Resources Research*, Vol. 29, No. 4, pp. 1003-1015.  
 Moon, Y. I., and Lall, U., (1994). “Kernel Quantile Function Estimator for Flood Frequency Analysis”, *Water Resources Research*, Vol. 30, No. 11, pp. 3095-3103.

- Moon, Y. I., and Lall, U., and Bosworth, K., (1993). "A comparison of tail probability estimators", *Journal of Hydrology*, Vol. 151, pp. 343-363.
- Rosenblatt, M. (1956). "Remarks on some non-parametric estimates of a density function", *Ann. Math. Statist.*, Vol. 27, pp. 832-837.
- Sheather, S. J. (1986). "An Improved Data-Based Algorithm for Choosing the Window Width when Estimating the Density at a Point", *Computational Statistics and Data Analysis*, Vol. 4, pp. 61-65.
- Sheather, S. F. and Jones, M. C. (1991). "A reliable data-based band-width selection method for kernel density estimation", *J. Roy. Statistical Soc., B.*, Vol. 53, pp. 683-690.
- Woodroffe, M., (1970). "On choosing a delta-sequence", *Ann. Math. Statist.*, Vol. 41, pp. 1665-1671.

(논문번호:07-18/접수:2007.03.02/심사완료:2007.08.17)