

## 베타분포를 이용한 서울 지점 연 최대치 독립 호우사상의 대표 시간분포 특성 분석

### Analysis on the Characteristics about Representative Temporal-distribution of Rainfall in the Annual Maximum Independent Rainfall Events at Seoul using Beta Distribution

전 창 현\* / 유 철 상\*\*

Jun, Chang Hyun / Yoo, Chulsang

---

#### Abstract

This study used the beta distribution to analyze the independent annual maximum rainfall events from 1961 to 2010 and decided the representative rainfall event for Seoul. In detail, the annual maximum rainfall events were divided into two groups, the upper 50% and the lower 50%. For each group, a beta distribution was derived to pass the mean location of the rainfall peaks. Finally, the representative rainfall event was decided as the rainfall histogram of the arithmetic average of the two beta distributions derived. The representative rainfall event derived has a realistic shape very similar to those observed annual maximum rainfall events, especially with the higher rainfall peak compared to that of the Huff distribution. Comparison with other rainfall distribution models shows that the temporal distribution of the representative rainfall event derived in this study is most similar to the Keifer & Chu model.

**Keywords** : temporal distribution of rainfall, beta distribution, annual maximum independent rainfall event, hyetograph

---

#### 요 지

본 연구에서는 1961~2010년 사이의 서울 지점 연 최대치 독립 호우사상들을 베타분포로 분석하여 서울지점의 대표 호우사상을 결정하였다. 구체적으로 살펴보면, 먼저, 침투강우량을 기준으로 연최대치 호우사상들을 상위 50%와 하위 50%로 구분한다. 각각의 경우에 대해 침투강우량의 평균을 지나는 베타분포를 유도한다. 마지막으로, 유도된 두 베타분포의 산술평균을 우량주상도로 나타내어 대표 호우사상을 결정한다. 이렇게 유도된 대표 호우사상은 실제 호우사상과 유사한 모양을 갖는 것으로 확인되었으며, 특히 Huff 분포에 비해 큰 침투 강우량을 갖는 것으로 확인되었다. 여러 강우시간분포 모형들과 비교해 본 결과 Keifer & Chu 모형이 본 연구의 결과와 가장 유사한 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 강우 시간분포, 베타분포, 연 최대치 독립 호우사상, 우량주상도

---

\* 고려대학교 공과대학 건축사회환경공학부 박사과정(e-mail: luckys286@naver.com, Tel: 02-3290-3912)  
Ph.D. Candidate., School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, College of Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Korea

\*\* 교신저자, 고려대학교 공과대학 건축사회환경공학부 정교수(e-mail: envchul@korea.ac.kr)  
*Corresponding Author*, Prof., School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, College of Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Korea

## 1. 서론

강우의 시간분포 특성은 강우-유출 모형의 적용 결과에 큰 영향을 미치므로 수공구조물의 설계에 절대적으로 필요한 정보가 된다(Jun and Yoo, 2012). 그러나 국내·외에서 관측된 강우의 시간분포는 지역, 기후 및 호우사상의 특성에 따라 매우 다양하게 나타나게 된다. 따라서 강우의 시간분포를 고려하기 위해서는 원칙적으로 해당지역의 과거 강우자료로부터 강우 지속기간 동안에 총 강우량이 어떻게 분포되었는지를 파악할 필요가 있다. 이를 통계학적으로 분석하여 정량화한 것이 그 지역의 대표 시간분포가 된다.

그러나 국내의 경우에는 기존에 제시된 시간분포 모형을 적용하여 관측된 강우 자료의 시간분포 특성을 정의하고 있다(MOCT, 2000). 국내·외에서 사용하는 강우 시간분포 방법들은 강우의 시간분포를 임의로 배열하는 방법, 실측한 강우자료를 이용하여 지속기간별로 누가곡선을 작성하여 이용하는 방법, 강우강도-지속기간-재현기간(IDF) 곡선을 이용하여 수학적으로 모형화하는 방법, 통계학적인 분석방법을 이용하여 우량주상도를 기하학적인 형태로 단순화하여 표현한 방법 등으로 구분될 수 있다(MOCT, 2009). 국내의 경우, 하천정비기본계획수립 및 하천대장작성 지침(MOCT, 2004)에서는 강우 시간분포 방법으로 Huff (1967)의 4분위법을 권장하고 있다.

이러한 방법들은 그 분포의 유도과정이 실제 관측된 강우 시간분포를 구체적으로 고려하지 못하고, 임의적으로 단순화하여 표현했다는 점에 문제가 있다. 즉, 어떤 호우사상을 이용하여 강우의 시간분포 특성을 살펴보는 것이 적절하지에 대한 판단과 이를 정량화하기 위해서는 어떤 방법론이 적용되어야 하는지에 대한 적절한 기준이 마련되어 있지 않다는 것이다. 국내에서 권장되고 있는 Huff 방법에 대한 문제점들은 이미 많은 연구자들에 의해 검토된 바 있으며, 그 외 Mononobe 방법, 교호블록 방법, Keifer & Chu 방법(Keifer and Chu, 1957)의 경우에도 IDF 곡선을 이용하여 강우의 시간분포 특성을 고려한다는 특징이 있지만 침투 강우의 발생 위치와 그 크기를 임의로 배열한다는 문제가 있는 것이다.

이와 같은 기존 강우분석 방법의 한계를 극복하기 위한 대안이 실제 발생된 독립 호우사상 자체의 특성을 분석하는 것이다. 이미 국내·외에서는 이와 관련하여 다양한 연구가 진행되었으며, 그에 대한 많은 연구사례들을 찾아볼 수 있다(Yue, 2000; Yue and Rasmussen, 2002; Koa and Govindaraju, 2007; Kwon and Kim, 2009; Lee et al.,

2010; Park et al., 2010; Park and Yoo, 2011; Yoo and Park, 2012). 이들 연구들에서는 임계 지속기간에 따라 임의로 구분된 강우의 시간분포 특성을 반영한 기존 방법들과 달리 각각의 독립 호우사상이 갖는 지속기간, 총 강우량 또는 평균 강우강도 등을 고려한다는 특징이 있다.

본 연구에서는 1961~2010년 사이의 서울 지점 연 최대치 독립 호우사상들을 대상으로 실제 호우사상에서 나타난 강우 시간분포의 특성들을 살펴보고자 한다. 먼저, 각각의 호우사상들에 베타분포(beta distribution)를 적용하여 강우의 시간분포 특성을 이론적으로 모형화하였다. 또한 이론적으로 모형화된 호우사상의 특성들로부터 연 최대치 독립 호우사상들의 대표 호우사상을 결정하고, 강우 시간분포 특성을 검토하였다. 이로부터 본 연구에서는 베타분포를 이용한 강우 시간분포 모형을 제안하였다. 추가로 제안된 시간분포는 기존 시간분포 모형들과 비교함으로써 적용성이 평가될 수 있도록 하였다.

## 2. 연 최대치 독립 호우사상

### 2.1 서울 지점 연 최대치 독립 호우사상

본 연구에서는 Park and Yoo (2012)에서 제안한 연 최대치 독립 호우사상 결정방법과 Yoo and Park (2012)의 연구를 참고하여 서울지점 우기의 시 강우 자료로부터 결정된 연 최대치 독립 호우사상들의 특성을 살펴보았다. 본 연구에서 고려한 서울관측소는 1907년부터 기상청에서 관리하는 우량관측소로서 서울시 종로구 송월동에 위치하고 있으며 위도와 경도는 각각  $37.57^{\circ}$ ,  $126.97^{\circ}$ 이다. 먼저, Yoo and Park (2012)의 연구를 요약하면 다음과 같다.

1961년부터 2010년까지의 서울지점 시 강우 자료에 대해 최소 무강우기간(Inter-Event Time Definition, IETD)과 절단 값(threshold)으로 각각 12시간, 1 mm를 적용하여 독립 호우사상을 추출하였다. 참고로 Park and Yoo (2012)는 IETD 및 절단값의 증가에 따른 독립 호우사상의 빈도수 변화를 살펴보았으며 이를 통해 추정된 IETD 및 절단값의 범위로부터 각각 12시간 및 1 mm를 최종적인 값으로 결정하였다. 연 최대치 독립 호우사상을 결정하기 위해 사용되는 Freund 이변량 지수분포의 매개변수는 최우도법을 이용하여 추정하였으며, 이를 통해 결정된 매개변수를 이용하여 연도별로 발생된 독립 호우사상들의 재현기간을 산정하였다. 각 연도별로 재현기간이 가장 긴 호우사상을 그 해의 연 최대치 독립 호우사상으로 결정하였으며, 이러한 과정으로부터 결정된 연 최대치 독립 호우사상 계열과 그 특성들을 나타내면 다음 Fig. 1과 Table 1

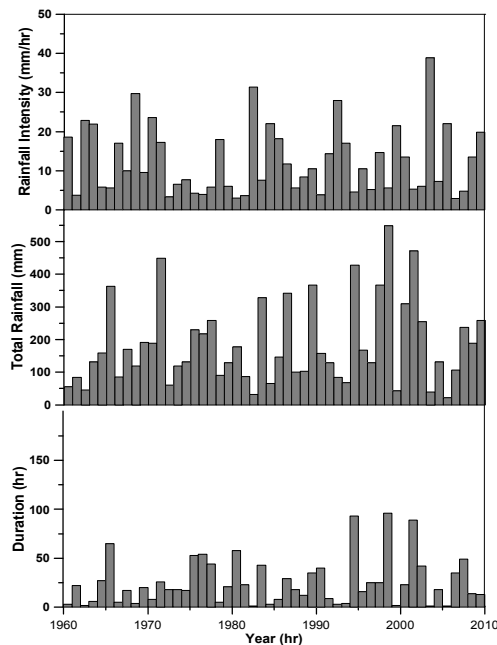


Fig. 1. Annual Maximum Independent Rainfall Event Series (Park and Yoo, 2012)

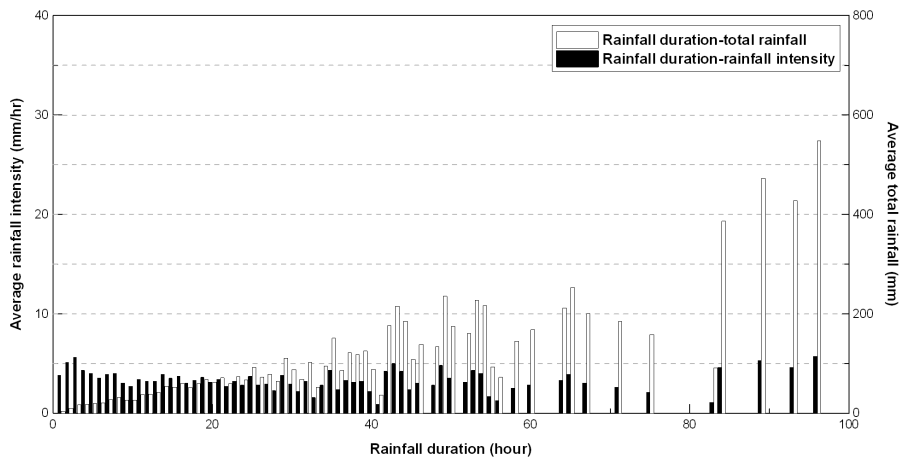
과 같다.

위 결과를 살펴보면, 먼저 연 최대치 독립 호우사상의 지속기간이 1~96시간까지 매우 다양하게 분포되어 나타남을 확인할 수 있다. 또한 유도된 연 최대치 독립 호우사상의 지속기간, 총 강우량, 강우강도의 평균은 각각 25.3 hr, 183.4 mm, 12.5 mm/hr로 나타난다(Jun and Yoo, 2012). 추가로 1961년부터 2010년까지의 서울지점 강우 자료로부터 결정된 전체 독립 호우사상과 연 최대치 독립 호우사상에 대해 강우 지속기간과 총 강우량 및 강우강도간의 관계를 비교하여 나타내었으며, 그 결과는 다음 Fig. 2와 같다.

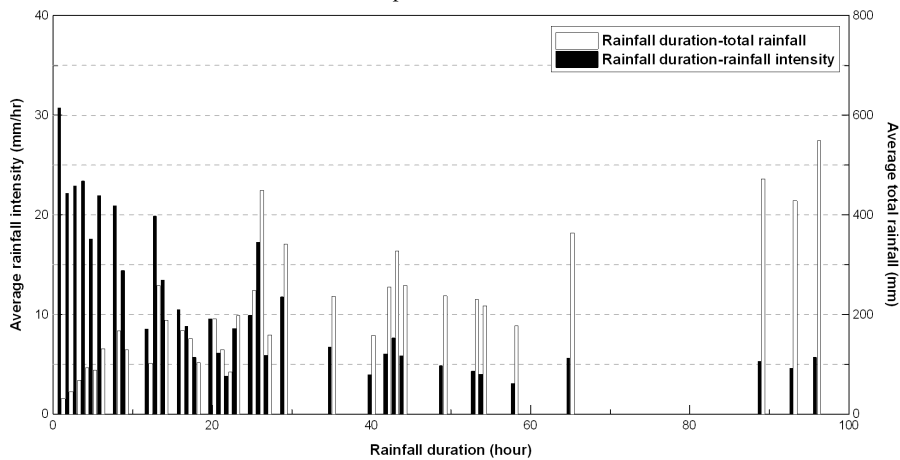
위 그림에서 전체 독립 호우사상을 고려한 경우, 강우 지속기간에 따른 강우강도가 거의 일정하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 강우 지속기간이 짧은 독립 호우사상들은 대부분 총 강우량이 작아 평균 강우강도 역시 작게 나타나기 때문이다. 반면 연 최대치 독립 호우사상을 고려한 경우, 강우 지속기간이 증가함에 따라 강우강도가 지속적으로 감소하는 형태를 보임을 알 수 있다. 이

Table 1. Annual Maximum Independent Rainfall Events At Seoul (Jun and Yoo, 2012)

Year	Date (month, day)	Rainfall duration (hr)	Total rainfall (mm)	Year	Date (month, day)	Rainfall duration (hr)	Total rainfall (mm)
1961	7. 14	3	55.9	1986	7. 24	8	145.8
1962	9. 6 - 9. 7	22	84.4	1987	7. 26 - 7. 27	29	341.8
1963	7. 21	2	45.8	1988	7. 9	18	100.6
1964	9. 12 - 9. 13	6	131.4	1989	7. 25	12	102.5
1965	7. 20 - 7. 21	27	159.0	1990	9. 10 - 9. 11	35	366.6
1966	7. 23 - 7. 26	65	363.5	1991	7. 24 - 7. 25	40	157.8
1967	8. 25	5	85.7	1992	8. 7	9	129.5
1968	8. 22 - 8. 23	17	170.2	1993	7. 11	3	84.0
1969	9. 19	4	118.8	1994	7. 5	4	68.4
1970	9. 16 - 9. 17	20	191.8	1995	8. 23 - 8. 27	93	428.1
1971	7. 17	8	188.6	1996	7. 26	16	167.8
1972	8. 18 - 8. 19	26	448.6	1997	7. 1 - 7. 2	25	129.1
1973	8. 17 - 8. 18	18	60.4	1998	8. 7 - 8. 8	25	366.9
1974	8. 2 - 8. 3	18	119.4	1999	7. 30 - 8. 3	96	548.3
1975	7. 24 - 7. 25	17	131.0	2000	8. 7	2	42.9
1976	8. 12 - 8. 14	53	229.9	2001	7. 14 - 7. 15	23	310.0
1977	7. 7 - 7. 9	54	217.5	2002	8. 4 - 8. 7	89	471.5
1978	6. 25 - 6. 27	44	257.8	2003	8. 23 - 8. 25	42	255.0
1979	8. 2	5	90.0	2004	8. 4	1	38.9
1980	8. 13	21	128.8	2005	6. 26 - 6. 27	18	132.0
1981	6. 30 - 7. 3	58	177.8	2006	8. 7	1	22.0
1982	8. 20 - 8. 21	23	86.1	2007	7. 1 - 7. 2	35	106.5
1983	9. 14	1	31.4	2008	7. 19 - 7. 21	49	237.0
1984	8. 31 - 9. 2	43	328.1	2009	7. 9	14	188.5
1985	8. 16	3	66.0	2010	9. 21	13	258.5



(a) All independent rainfall events



(b) Annual maximum independent rainfall events

Fig. 2. Change of Rainfall Intensity and Total Rainfall with Respect to the Rainfall Duration for the all Independent Rainfall Events and Annual Maximum Rainfall Events

는 연 최대치 독립 호우사상을 결정하는데 있어 지속기간이 짧은 경우, 강우강도가 큰 호우사상이 선정되었기 때문이다. 즉, 지속기간이 증가함에 따라 총 강우량은 증가하는 경향을 보이지만, 강우강도는 확연히 감소하는 특성을 보여준다.

### 3. 베타분포를 이용한 강우 시간분포 특성 분석

#### 3.1 베타분포 적용 결과

베타분포는 Pearson (1934)이 유도한 것으로 알려져 있으며 상하 한계가 명확하게 나타나는 다양한 자연현상을 설명하는데 적용된 바 있다(Hafley and Schreuder, 1977; Maltamo et al., 1995). Jun and Yoo (2012)의 연구를 참고하면, 수문학 분야에서도 토양이나 대수층의 특성 및 강설 면적을 정량화하거나(Beran and Sutcliffe, 1972; Brubaker and Menoes, 2001; Cooke et al., 1995; Ricciardi et al.,

2005) 단위유량도의 모형으로 이용되어 왔다(Bhunya et al., 2004; 2007). 본 연구의 대상인 호우사상의 시간적 특성 정량화 문제도 시점 및 종점이 명확하다는 특성을 가지고 있으므로 다양하게 나타나는 호우사상의 시간분포 형태를 살펴보는 데 있어 베타분포가 큰 적용성을 보일 것으로 판단된다. 베타분포의 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$f(x) = x^{\nu-1}(1-x)^{\omega-1}/B(\nu, \omega) \quad (1)$$

위 식에서,

$$B(\nu, \omega) = \int_0^1 u^{\nu-1}(1-u)^{\omega-1} du \quad (2)$$

위 확률밀도함수의 경우,  $0 \leq x \leq 1$  이고, 또한 두 형상 매개변수(shape parameter)는 모두 양이다( $\nu > 0, \omega > 0$ ). 또한  $B(\nu, \omega)$ 는 임의의 변량,  $u$ 에 대한 베타함수를 의미한다. Jun and Yoo (2012)는 실제 강우의 시간분포 특성

을 정량화하기 위해 서울지점 2010년 독립 호우사상과 연 최대치 독립 호우사상들에 대해 베타분포를 적용하고, 그 특성을 살펴보았다. 그 과정을 정리하면 다음과 같다. 먼저, 독립 호우사상마다 매우 다르게 나타나는 강우 지속기간의 시점 및 종점을 0과 1로 고정하여 실제 강우의 시간분포를 나타냈다. 다음으로, 실제 독립 호우사상이 단일 첨두를 갖는다고 가정하였다. 마지막으로 매개변수 추정 은 첨두치에 대한 추가적인 고려가 없는 경우(Case 1)와 있는 경우(Case 2)로 구분하여 수행하였다.

$$\text{Case 1 : Minimize } \sqrt{\sum [r(x) - f(x)]^2} \quad (3)$$

$$\text{Case 2 : Minimize } \sqrt{\sum [r(x) - f(x)]^2 + \sum [r_{\max}(x) - f_{\max}(x)]^2} \quad (4)$$

여기서,  $r(x)$ 는 특정 지점  $x$ 에서의 환산된 실제 강우량으로 정의되고,  $f(x)$ 는 특정 지점  $x$ 에서의 베타분포 확률 밀도함수로 정의된다. 또한  $r_{\max}(x)$ ,  $f_{\max}(x)$ 는 각각 주어진 강우 지속기간 내에 발생한  $r(x)$ ,  $f(x)$ 의 최대값을 의미한다. 추가로 실제 우량주상도에서 최대 강우가 발생

한 시점을 고정하고, 이를 기준으로 차순위 강우량을 좌측과 우측에 순차적으로 배열함으로써 수정 우량주상도를 작성하였다. 이러한 방법으로 재구성된 우량주상도를 대상으로 목적함수로 Case 2를 사용하여 베타분포의 매개변수를 추정하였다.

그 결과, 베타분포를 이용하여 실제 호우사상의 우량주상도 형태를 유사하게 표현하기 위해서는 첨두에 대한 추가적인 고려(Case 2)가 필요한 것으로 확인되었다. 또한 첨두를 중심으로 시간강우를 좌우 순차적으로 재배열한 수정 우량주상도를 이용하는 경우가 보다 실제적인 베타분포를 유도하는 것으로 확인되었다. 앞선 연구에서 제시한 결과들 중 2개의 연 최대치 독립호우사상을 고려한 결과는 다음 Fig. 3과 같다. 여기서 좌측 그림은 위에서 설명한 수정 우량주상도에 대해 첨두에 대한 추가적인 고려를 통해 적용된 베타분포이며, 우측 그림은 추정된 매개변수로부터 결정된 베타분포가 실제 우량주상도의 형태를 적절히 반영하고 있는지를 판단하기 위해 나타낸 것을 의미한다.

여기서 실선은 앞서 언급한 방법들로부터 결정된 베타

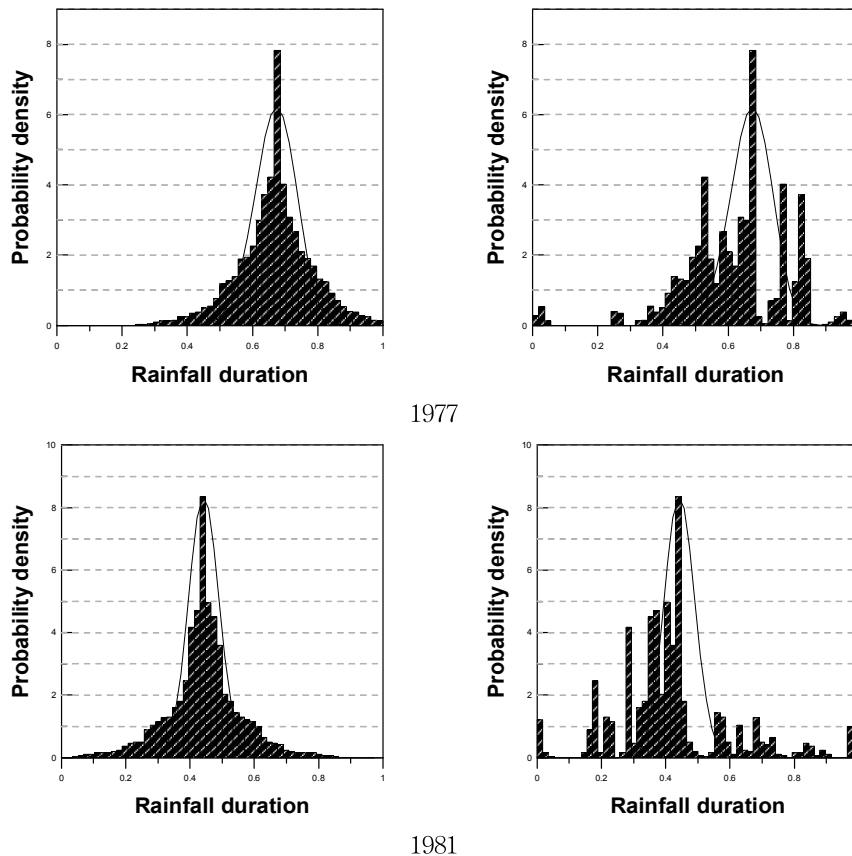


Fig. 3. Application Results of the Beta Distribution for the Hyetograph of Annual Maximum Independent Rainfall Events at Seoul

분포의 확률밀도함수를 의미한다. Fig. 3의 좌측 그림에서 살펴볼 수 있는 것처럼 Jun and Yoo (2012)가 제시한 방법으로부터 유도된 베타분포는 실제 우량주상도로부터 시각적으로 추측되는 가장 그럴듯한 호우사상 형태를 반영하는 것으로 판단된다. 이로부터 추정된 베타분포의 매개변수  $\nu$ 와  $\omega$ 는 1977년의 경우 각각 36.00, 17.87이며 1981년의 경우에는 각각 48.26, 60.62로 나타났다.

### 3.2 대표 호우사상의 결정

본 연구에서는 총 50개의 연 최대치 독립 호우사상들에 베타분포를 적용하여 그 시간분포 특성을 살펴보았다. 먼저, 연 최대치 독립 호우사상들은 각각의 강우 지속기간과 총 강우량을 가지고 있으므로 최대 강우를 발생시키는 시점과 그 크기 또한 다양하게 나타난다. 따라서 이들 시간분포 중 어떤 것을 대푯값으로 선정해야 되는지는 아직 명확하지 않다. 먼저, 0에서 1로 표준화된 베타분포를 적용한 연 최대치 독립 호우사상들 중 강우 지속기간이 6시간 이상인 호우사상들과 12시간 이상인 호우사상들의 강우 시간분포 특성을 살펴보면 Fig. 4와 같다. 아울러 그림에서의 굵은 실선은 0에서 1로 표준화된 전체 강우 지속기간에 대해 대상 호우사상들의 확률밀도함수를 단순히 산술평균하여 구한 결과이다.

이 그림에서 살펴볼 수 있는 것은 먼저, 각각의 호우사상이 특히 그 침투 발생시간이 거의 무작위하게 분포되어 있어 그들의 단순 산술평균은 실제 호우사상에 비해 강우 강도를 크게 낮추고 있다는 점이다. 즉, 이는 가용한 호우

사상의 시간분포 전체를 산술평균하여 호우사상의 대표 특성을 파악할 수 없다는 것을 나타낸다. Huff 방법에서와 같이 침투시간을 분위별로 구분하여 산술평균하면, 침투의 위치를 그 분위 안에 넣을 수 있을지는 몰라도 역시 침투 강우강도가 작아지는 것을 막을 수는 없다.

이에 본 연구에서는 각각의 호우사상에 나타난 강우의 침투 크기와 시점에 대한 평균값을 고려하여 대표 호우사상을 결정하는 방법을 고려하였다(Fig. 5). 본 연구에서 고려한 연 최대치 독립 호우사상들에 대한 침투의 크기 및 시점의 평균은 각각 4.30, 0.46이다. 이를 근거로 평균적인 침투의 크기 및 시점을 적절히 모의하는 베타분포의 매개변수를 선정하였다. 그러나 Fig. 5에서 살펴볼 수 있는 것처럼, 유도된 베타분포는 비록 침투 값이 크기는 하지만 확률밀도함수가 침투 주변에 지나치게 집중되어 있는 한계를 보이고 있다. 결과적으로 전체 호우사상의 침투에 대한 평균적인 특성만을 이용하는 것도 대표 호우사상을 결정하는 적절한 방법이 되지 못함을 판단할 수 있었다.

마지막으로 본 연구에서는 앞서 파악된 문제점을 보완하고자 전체 호우사상을 침투 강우량의 크기를 기준으로 상위 50% 및 하위 50%로 구분하였다. 실제로 호우사상을 구분하는 기준에 따라 대표 호우사상의 특성이 다양하게 나타나지만 본 연구에서는 전체 호우사상에 대한 침투 강우의 평균적인 특성은 그대로 유지하면서 꼬리 부분에 대한 추가적인 고려가 가능한 방법을 적용하였다. 이는 실제 발생한 강우의 시간분포 특성을 반영하기 위한 것으로

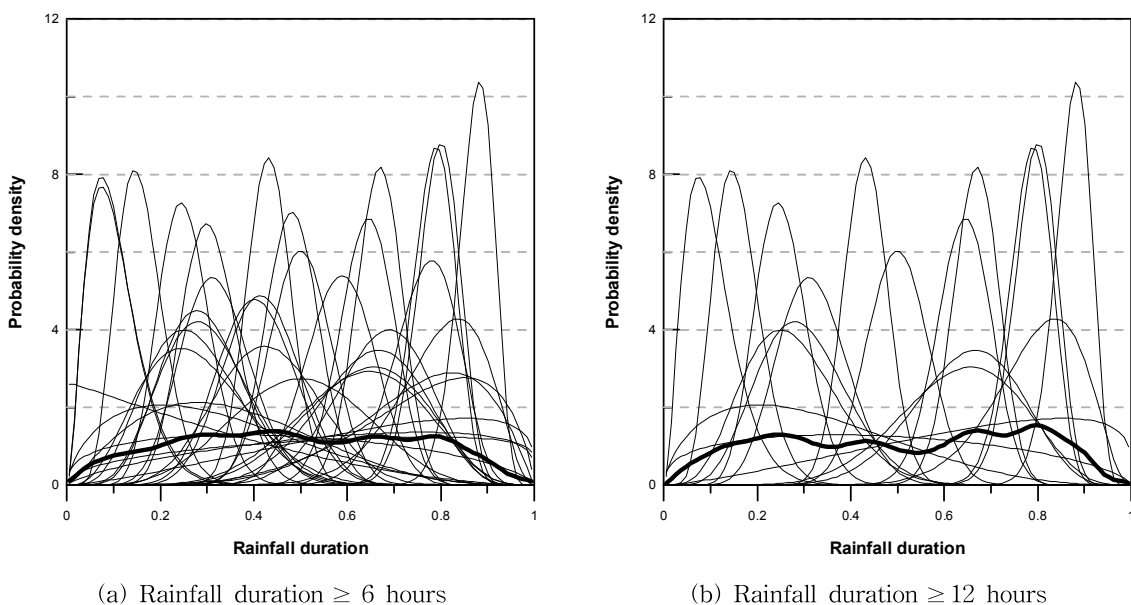


Fig. 4. Application Results of the Beta Distribution to Annual Maximum Independent Rainfall Events

유도된 베타분포의 확률밀도함수가 첨두 주변이 아닌 꼬리부분에 해당하는 적은 양의 강우를 적절히 표현하지 못하는 한계를 보완하기 위함이다. 구분된 호우사상들에 대한 첨두 크기 및 시점의 평균값을 고려하여 이를 적절히 모의하는 베타분포의 매개변수를 결정하였다. 이렇게 유도된 두 베타분포는 Fig. 6의 얇은 실선과 같으며, 그들의 산술평균은 굵은 실선과 같다. 그림에서 살펴볼 수 있는 것과 같이 굵은 실선으로 표현된 강우 시간분포는 어느

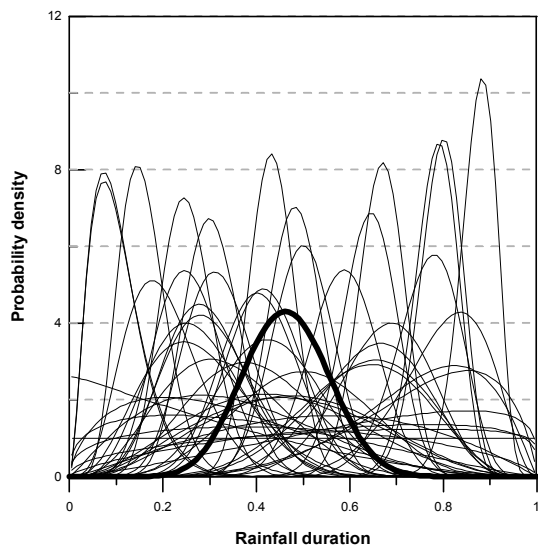


Fig. 5. Application Results of the Beta Distribution to the Average Peak Value and Time of the Annual Maximum Independent Rainfall Events

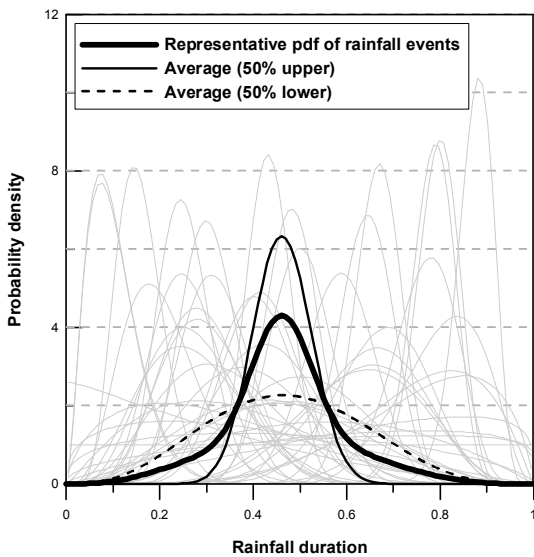


Fig. 6. Representative PDF of Beta Distribution for the Hyetograph of Annual Maximum Independent Rainfall Events

정도 크기의 첨두 강우량을 갖고, 아울러 꼬리 부분도 상당히 두꺼운 형태로 향상된 모습을 보이고 있음을 확인할 수 있다.

즉, Fig. 6에 나타난 대표 호우사상의 시간분포 형태는 전체 호우사상에 대한 첨두의 크기 및 시점의 평균적인 특성과 강우 지속기간 내에 넓게 분포되어 있는 실제 호우사상의 시간분포 특성을 모두 반영하고 있음을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 베타분포의 확률밀도함수를 이용하여 Fig. 6에 제시된 방법으로 결정된 시간분포 모형을 서울지점 연 최대치 독립 호우사상의 대표 호우사상으로 결정하였다.

### 3.3 대표 호우사상의 신뢰구간 결정

본 연구에서 결정한 대표 호우사상의 시간분포는 호우사상의 첨두 강우량에 대한 산술평균적 특성과 그 시간분포를 베타분포를 사용하여 나타낸다는 특성을 가지고 있다. 따라서 유도된 대표 호우사상의 시간분포도 그러한 측면에서 불확실성을 갖는다. 본 연구에서는 크기 50인 연 최대치 독립호우사상들의 첨두 강우량 및 첨두 발생시간 표본으로부터 각각의 평균에 대한 95% 신뢰구간을 유도하였으며, 그 결과를 정리하면 다음 Fig. 7 및 Table 2와 같다.

위에 제시된 결과는 대표 호우사상 첨두와 첨두시간에 대한 95% 신뢰구간을 의미한다. 첨두 이외의 부분에 대한 신뢰구간은 첨두를 기준으로 한 베타분포의 적용을 통해 유도할 수 있으나 첨두를 기준으로 쉽게 판단할 수 있으

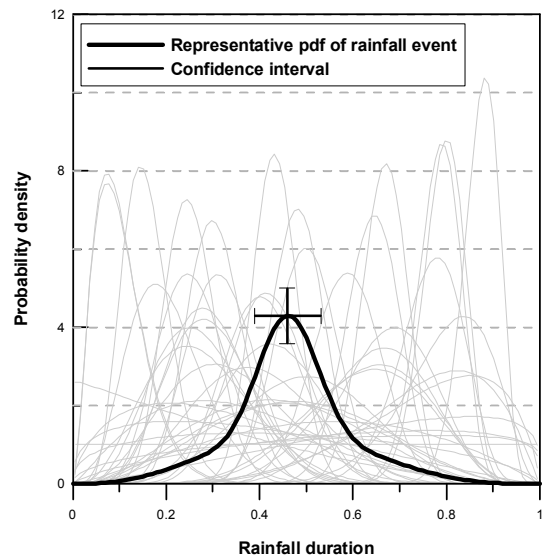


Fig. 7. Representative Rainfall Event with the Confidence Interval

Table 2. Confidence Intervals on the Parameters of Representative Rainfall Event

Parameter	Average	95% bounds	
		Lower	Upper
Peak value	4.30	3.61	5.00
Peak time	0.46	0.39	0.53

므로 본 연구에서는 생략하기로 한다.

본 연구에서 제안한 강우 시간분포 및 첨두에 대한 신뢰구간은 현재 설계 실무에서 많이 사용하는 Huff 분포 등 여러 모형의 유의성을 판단하는데도 도움이 된다. 특히, Huff 분포의 경우, 유도된 분포가 관측 자료의 평균적인 특성이라고 하더라도 실제 관측 자료를 대표할 수 있는 것인지는 또 다른 문제이기 때문이다. Huff 분포의 최빈 분위 결정문제도 똑같은 맥락에서 검토될 수 있다.

### 3.4 대표 호우사상의 우량주상도 결정

본 연구에서 결정된 대표 호우사상은 연속형 확률밀도 함수로 나타나기 때문에 강우-유출 모형의 입력자료로 그대로 적용하기가 어렵다. 따라서 대표 호우사상의 확률밀도함수는 임의의 강우 지속기간 및 총 강우량을 만족시키기 위해 시 단위 또는 분 단위의 우량주상도로 나타낼 수 있어야 한다. 본 연구에서는 24개 구간으로 구분한 경우에 대해 시간분포 특성을 반영한 우량주상도를 결정하는 방법을 제안하고자 한다.

제안하는 방법은 Fig. 3의 좌측 그림에 제시된 시간분포 형태를 적극 반영한 것으로 수정 우량주상도로부터 베타 분포의 확률밀도함수가 결정되는 특성을 반영하는 것이다. 즉, 첨두 강우가 발생하는 시점 주변과 그 외의 지속기간에 해당하는 부분을 구분하여 우량주상도를 결정하는 것이다. 이는 첨두 강우가 발생하는 시점 주변은 확률밀도함수의 안쪽에 주상도를 배치하고, 그 외의 다른 부분들은 주로 확률밀도함수의 바깥쪽에 배치하는 것을 의미한다.

## 4. 기존 강우 시간분포 모형들과의 비교

### 4.1 강우 시간분포 특성 분석

실제 강우의 시간분포 특성은 Huff 방법, Mononobe 방법, Yen-Chow 방법(Yen and Chow, 1980), 교호블록 방법, Keifer & Chu 방법 등과 같은 기존의 강우 시간분포 모형들에서와 같이 단순하게 정량화되어 나타나는 않는다. 따라서 강우 지속기간과 더불어 실제 강우의 형태 자체를 적절히 반영하는 강우 시간분포 모형에 대한 고려

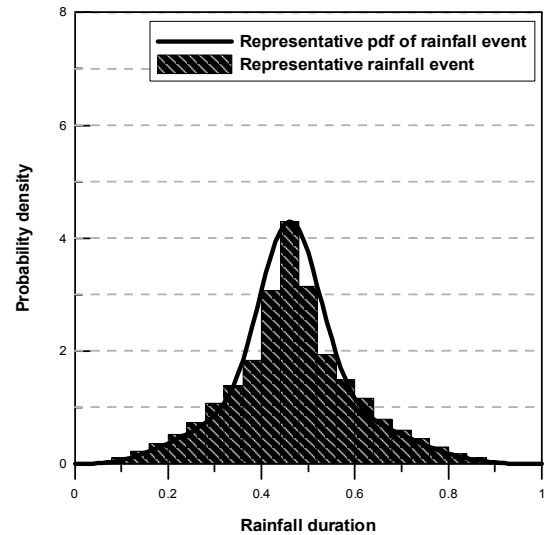


Fig. 8. Representative Rainfall Event of Beta Distribution for the Hyetograph of Annual Maximum Independent Rainfall Events

가 필요하다. 이와 관련하여 본 연구에서는 기존 강우 시간분포 모형들로부터 결정된 독립 호우사상의 시간분포 특성을 대표 호우사상의 우량주상도와 비교하고, 각각의 방법들에 대한 유의성을 검토해보았다. 참고로 본 연구에서는 대표적인 예로 강우 지속기간 24시간, 총 강우량 400 mm인 임의의 호우사상을 고려하여 각각의 방법에 따른 강우 시간분포 특성이 나타날 수 있게 하였다.

Huff 방법의 경우, 본 연구에서 제안한 강우 시간분포 모형과 Huff 방법을 비교하기 위하여 Huff (1967)가 제안한 4분위법을 본 연구에서 고려한 연 최대치 독립 호우사상에 그대로 적용하여 그 특성을 살펴보았다. 3.2절에서 언급한 대표 호우사상 결정 방법과 같이 분위 별로 구분되어 나타나는 연 최대치 독립 호우사상들에 대해 각각의 대표 호우사상을 결정한 결과는 다음 Fig. 9와 같다. 본 연구에서는 이러한 결과들을 근거로 Huff 방법으로부터 결정된 시간분포 특성 중 2분위 호우에 대한 분포형태를 고려하였다.

또한 본 연구에서는 Mononobe 방법과 교호블록 방법을 적용하기 위한 강우강도식으로 MOCT (2000)에서 제안한 통합형 확률 강우강도식을 이용하였다. Yen-Chow 방법의 경우, 서울 지점 우량관측소의 호우전진계수 0.472를 적용하여 시간분포 특성을 대표 호우사상의 우량주상도와 비교하였다. 마지막으로 Lee and Park (1992)이 제시한 확률강우강도식을 이용하여 Keifer & Chu 방법의 강우 시간분포 특성을 살펴보았으며 이를 본 연구에서 고려한 시간분포 모형과 비교하였다.

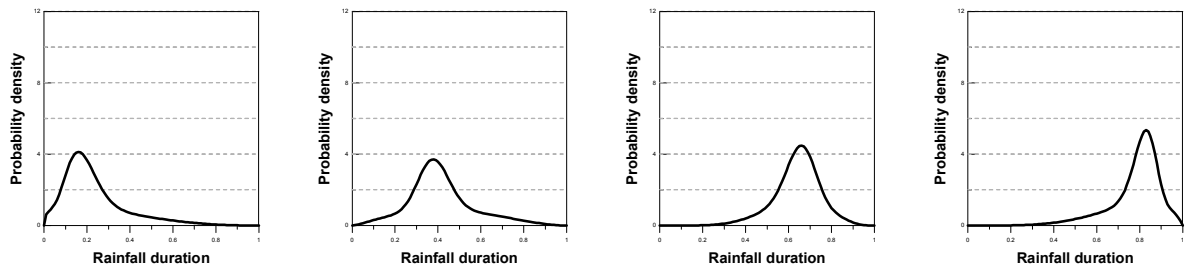


## 4.2 적용 결과

본 연구에서는 서울 지점 연 최대치 독립 호우사상들의 대표 호우사상에 대한 95% 신뢰구간으로부터 각각의 강우 시간분포 모형들에 대한 침투의 위치와 크기가 갖는 유의성을 판단해 보았다. 또한 Yoo and Jun (2011)이 제안한 수정 Weiss 모형을 적용하여 본 연구에서 고려한 모형들로부터 결정된 우량주상도에 대한 이론적인 임의시간 환산계수(Conversion Factor, CF)를 산정하였다. 여기서 임의시간 환산계수는 바로 임의시간 연 최대치 강우량 자료의 확보가 어려운 강우 관측의 한계를 보완하기 위한

개념으로, 고정시간 연 최대치 강우자료에 대한 임의시간 연 최대치 강우량의 비율을 정의하는 용어이다(Yoo and Jun, 2011). 이러한 특성들을 비교하기 위해 앞서 살펴본 우량주상도의 형태를 정리해 보았으며 그 결과는 다음 Fig. 10과 같다.

본 연구에서 제안한 강우 시간분포 모형으로부터 결정된 대표 호우사상의 형태의 경우, 교호블록 방법과 Keifer & Chu 방법의 결과와 그 형태가 상대적으로 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 일반적으로 Mononobe 방법은 지역별로 다를 수 있는 강우 특성의 차이를 반영하지 못하는 상수  $n$  값을 적용하여 강우를 임의로 재배열하는



(a) First quartile storm (b) Second quartile storm (c) Third quartile storm (d) Fourth quartile storm

Fig. 9. Representative PDF of Beta Distribution Followed by the 4-quartiles Method in Huff (1967)

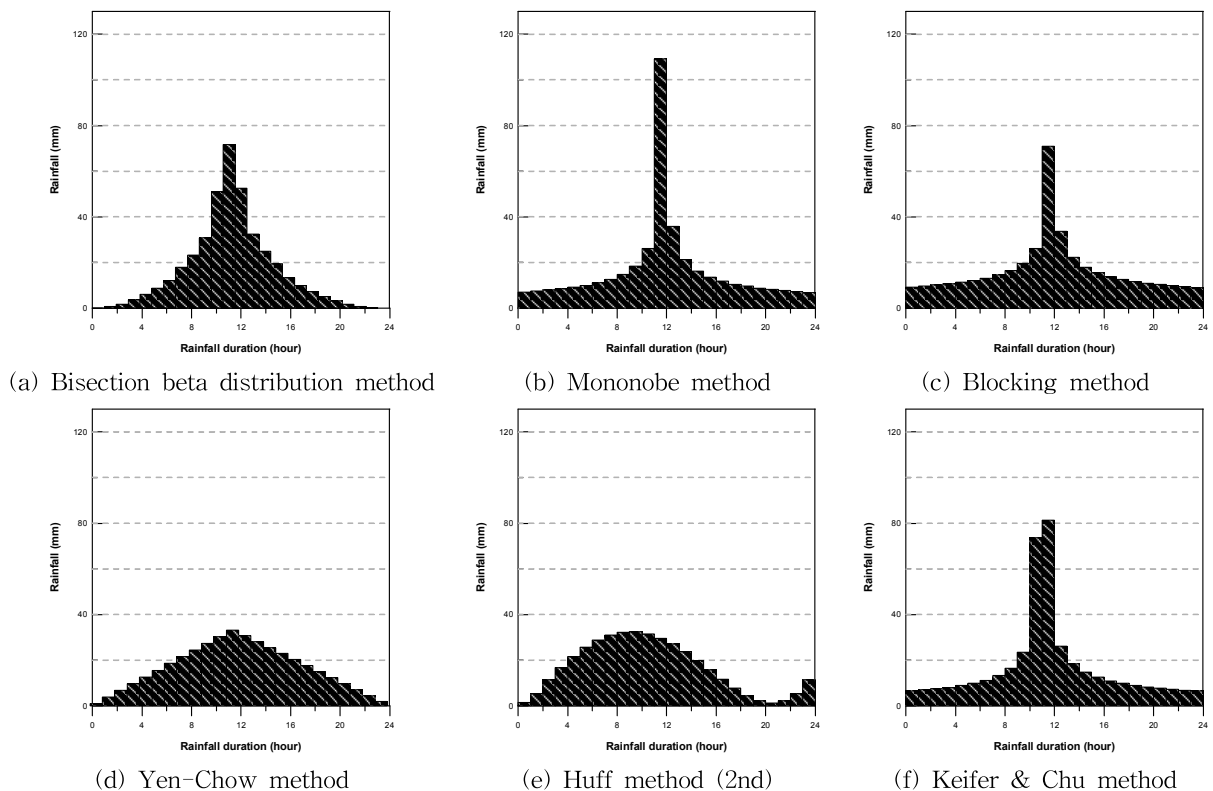


Fig. 10. Temporal Distribution of Rainfall for Different Methods

**Table 3. Peak Value and CF of Temporal Distribution Models**

Temporal distribution model	Peak value (mm)	Significance of peak value	CF	Significance of CF
Bisection beta distribution method	71.69	O	1.120	O
Mononobe method	109.27	X	1.172	O
Blocking method	70.91	O	1.213	X
Yen-Chow method	33.25	X	1.201	X
Huff method (2nd)	32.35	X	1.232	X
Keifer & Chu method	81.25	O	1.166	O

시간분포 방법으로서 침투 강우량을 과대 산정하는 문제점이 있다. 본 연구에서 고려한 임의의 독립 호우사상에 대한 경우도 마찬가지로 이러한 특성을 살펴볼 수 있었다. 교호블록 방법으로부터 결정된 독립 호우사상의 경우, 침투의 크기와 발생 시간이 본 연구에서 고려한 시간분포 모형으로부터 산정된 결과와 가장 유사하게 나타남을 확인하였다. Yen-Chow 방법으로부터 결정된 독립 호우사상은 침투의 크기가 Huff 방법으로 산정된 결과와 유사했으며, 침투의 발생 시간은 본 연구에서 고려한 시간분포 모형에 따른 대표 호우사상의 경우와 유사함을 확인하였다. 마지막으로 Keifer & Chu 방법의 경우, 침투 강우의 크기가 80 mm 정도로 나타났으며 Mononobe 방법과 교호블록 방법과 유사하게 강우 지속기간 내 침투 위치를 제외한 나머지 부분들에 대한 강우가 상대적으로 넓게 분포되고 있음을 확인하였다. 본 연구에서 고려한 각각의 강우 시간분포 모형들의 특성을 비교하기 위해 침투 강우량과 이론적인 CF값을 산정하였으며 그 결과를 정리하면 다음 Table 3과 같다.

먼저, 이러한 방법들로부터 결정된 호우사상에 대한 침투 강우의 크기는 앞서 제시한 대표 호우사상의 신뢰구간으로부터 그 특성이 평가될 수 있다. 이와 관련하여 앞서 4.1절에서 결정된 대표 호우사상의 95% 신뢰구간에 따르면, 본 연구에서와 같이 강우 지속기간 24시간, 총 강우량 400 mm인 독립 호우사상을 고려한 경우, 침투의 발생 위치는 9.36~12.72시간, 침투의 크기는 60.08~83.29 mm로 신뢰구간의 범위가 결정된다. 그 결과, 교호블록 방법과 Keifer & Chu 방법에 대한 시간분포의 침투 강우가 신뢰구간 내에서 발생하는 것을 확인할 수 있다.

또한 Table 3에 제시된 이론적인 CF값을 실제 사용하고 있는 CF값과 비교해보면, 그 결과가 해당 범위 내에서 적절한 값으로 결정되었는지를 판단함으로써 그 적용성을 평가할 수 있다. 이와 관련하여 Yoo and Jun (2010)은 국내·외에서 사용되고 있는 CF값을 제시하고, 그 특성을

비교하였으며 실제 관측된 자료로부터 산정된 CF값은 연구자들에 따라 1.105~1.184의 범위 안에서 결정될 수 있음을 확인한 바 있다. 그 결과, 본 연구에서 제안한 시간분포 모형에 대한 이론적인 CF값이 기존 연구자들이 제시한 CF값의 범위 내에서 가장 적절한 값으로 결정되었음을 확인할 수 있다. 그 외에 Mononobe 방법과 Keifer & Chu 방법에 대한 이론적인 CF값이 해당 범위 내에서 결정되고 있음을 확인하였다. 그러나 Mononobe 방법의 경우, 침투 강우가 과대하게 산정되어 침투 강우가 발생한 시점을 제외한 나머지 지속기간 내에서 발생 가능한 강우의 형태를 고려하지 못하게 되는 문제가 있다. 또한 Huff 방법과 Yen-Chow방법의 경우, 이론적인 CF값이 상대적으로 크게 나타나는데, 이는 강우가 주어진 지속기간 내에서 넓게 분포함으로써 침투 강우가 낮아지는 시간분포 특성과 관련이 있다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 1961~2010년 사이의 서울 지점 연 최대치 독립 호우사상들을 대상으로 대표 호우사상에 나타난 강우 시간분포 특성을 살펴보고, 이를 근거로 베타분포를 이용한 강우 시간분포 모형을 제안하였다. 본 연구에서 제안된 모형은 기존 시간분포 모형들과의 비교를 통해 그 적용성이 평가될 수 있도록 하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

먼저, 각각의 독립 호우사상에 대해 베타분포를 적용하고, 이론적으로 모형화된 호우사상의 특성들로부터 연 최대치 독립 호우사상들의 대표 호우사상을 결정하였다. 본 연구에서 결정한 대표 호우사상은 침투 강우량의 크기를 기준으로 상위 50%, 하위 50%에 해당하는 각각의 연 최대치 독립호우사상들을 고려한 결과이며 그 평균값으로부터 대표 호우사상의 확률밀도함수 형태를 정의하였다. 이러한 결과로부터 단순히 전체 호우사상에 대한 평균적

인 특성만을 고려하는 경우, 강우가 주어진 강우 지속기간 내에서 지나치게 넓게 분포되어 있거나 첨두 주변으로 많이 집중되어 있는 형태를 갖게 되는 한계를 보완할 수 있음을 확인하였다.

또한 본 연구에서 제안한 대표 호우사상의 확률밀도함수로부터 임의의 강우 지속기간 및 총 강우량에 대한 우량주상도를 결정하는 방법을 제시하였다. 즉, 첨두 강우가 발생하는 시점 주변과 그 외의 지속기간에 해당하는 강우를 고려함에 있어 확률밀도함수의 안쪽과 바깥쪽이 적절히 구분되어 나타날 수 있도록 우량주상도를 결정하였다. 이는 대표 호우사상을 선정하는 과정에서 수정 우량주상도로부터 베타분포의 확률밀도함수가 결정되는 특성을 반영한 결과이다.

본 연구에서 제안한 강우 시간분포 모형을 기존 시간분포 모형들과 비교해본 결과, Keifer & Chu 방법으로부터 결정된 호우사상에 대한 첨두 강우의 크기와 발생 시간이 본 연구에서 고려한 대표 호우사상에 대한 결과와 유사한 것으로 파악되었다. 이러한 결과는 연 최대치 독립 호우사상들의 대표 호우사상에 대한 신뢰구간과 각각의 시간분포 모형들에 대한 이론적인 CF값을 산정해 봄으로써 그 적용성이 평가될 수 있도록 하였다. 특히, 기존 시간분포 모형들 중 Mononobe 방법, Huff 방법, Yen-Chow 방법에 대한 결과는 첨두 강우의 크기가 과대 또는 과소 추정되어 실제 호우사상의 형태를 반영하지 못하는 비현실적인 우량주상도를 고려할 수 있음을 의미하기도 한다.

## 감사의 글

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것입니다(KRF-2008-313-D01083). 연구지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

- Beran, M.A., and Sutcliffe, J.V. (1972). "An index of flood-producing rainfall based on rainfall and soil moisture deficit." *Journal of Hydrology*, Vol. 17, pp. 229-236.
- Bhunya, P.K., Berndtsson, R., Ojha, C.S.P., and Mishra, S.K. (2007). "Suitability of Gamma, Chi-square, Weibull, and Beta distributions as synthetic unit hydrographs." *Journal of Hydrology*, Vol. 334, pp. 28-38.
- Bhunya, P.K., Mishra, S.K., Ojha, C.S.P., and Berndtsson, R. (2004). "Parameter estimation of beta distribution for unit hydrograph derivation." *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 9, Issue. 4, pp. 325-332.
- Brubaker, K.L., and Menoes, M. (2001). "A technique to estimate snow depletion curves from time-series data using the beta distribution." *Proceedings of the Eastern Snow Conference*, Vol. 58, pp. 343-346.
- Cooke, R.A., Mostaghimi, S., and Woeste, F. (1995). "Effect of hydraulic conductivity probability distribution function on simulated solute leaching." *Water Environment Research*, Vol. 67, No. 2, pp. 159-168.
- Hafley, W.L., and Schreuder, H.T. (1977). "Statistical distributions for fitting diameter and height data in even-aged stands." *Canadian Journal of Forest Research*, Vol. 4, pp. 481-487.
- Huff, F.A. (1967). "Time distribution of rainfall in heavy storms." *Water Resources Research*, Vol. 3, No. 4, pp. 1007-1019.
- Jun, C., and Yoo, C. (2012). "Application of the beta distribution for the temporal quantification of storm events." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 45, No. 6, pp. 531-544.
- Keifer, C.J., and Chu, H.H. (1957). "Synthetic storm pattern for drainage design." *Journal of Hydraulic Division*, ASCE, Vol. 83, No. 4, pp. 1-16.
- Koa, S-C., and Govindaraju, R.S. (2007). "A bivariate frequency analysis of extreme rainfall with implications for design." *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, Vol. 112, D13119, DOI: 10.1029/2007JD008522.
- Kwon, Y-M., and Kim, T-W. (2009). "Derived I-D-F curve in Seoul using bivariate precipitation frequency analysis." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 29, No. 2B, pp. 155-162.
- Lee, C.H., Kim, T-W., Chung, G., Choi, M., and Yoo, C. (2010). "Application of bivariate frequency analysis to the derivation of rainfall-frequency curves." *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, Vol. 24, pp. 389-397.
- Lee, W.H., and Park, S.D. (1992). "A unification of the probable rainfall intensity formula at Seoul." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 12, No. 4, pp. 135-143.

- Maltamo, M., Puumalainen, J., and Paivinen, R. (1995). "Comparison of beta and Weibull functions for modelling basal area diameter distribution in stands of Pinus sylvestris and Picea abies." *Scandinavian Journal of Forest Research*, Vol. 10, pp. 284-295.
- Ministry of Construction and Transportation, MOCT. (2000). *Rainfall Frequency Atlas in Korea*.
- Ministry of Construction and Transportation, MOCT. (2004). *Master Plan for Stream Improvement and Guidelines for Development of Stream Lists*.
- Ministry of Construction and Transportation, MOCT. (2009). *Standard of River Design Explanations*.
- Park, C., and Yoo, C. (2012). "Review of parameter estimation procedure of Freund bivariate exponential distribution." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 45, No. 2, pp. 179-189.
- Park, M., and Yoo, C. (2011). "Probabilistic analysis of independent storm events: 1. Construction of annual maximum storm event series." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, KOSHAM, Vol. 11, No. 2, pp. 127-136.
- Park, M., Yoo, C., and Kim, H.J. (2010). "Comparison of Chukwooki and modern data using annual maximum rainfall event series." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 30, No. 2B, pp. 137-147.
- Pearson, K. (1934). *Tables of the Incomplete Beta Function*. Biometrika Office, London.
- Ricciardi, K.L., Pinder, G.F., and Belitz, K. (2005). "Comparison of the log-normal and beta distribution functions to describe the uncertainty in permeability." *Journal of Hydrology*, Vol. 313, pp. 248-256.
- Yen, B.C., and Chow, V.T. (1980). "Design hyetographs for small drainage structures." *Journal of the Hydraulics Division*, Vol. 106, No. 6, pp. 1055-1076.
- Yoo, C., and Jun, C. (2010). "A short note on the conversion factor of fixed- to true-interval precipitation." *Magazine of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 43, No. 9, pp. 123-129.
- Yoo, C., and Jun, C. (2011). "Improvement of Weiss model on the conversion factor of fixed- to true-interval rainfall." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 31, No. 4, pp. 315-322.
- Yoo, C., and Park, C. (2012). "Comparison of annual maximum rainfall series and annual maximum independent rainfall event series." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 45, No. 5, pp. 431-444.
- Yue, S. (2000). "The Gumbel mixed model applied to storm frequency analysis." *Water Resources Management*, Vol. 14, pp. 377-389.
- Yue, S., and Rasmussen, P. (2002). "Bivariate frequency analysis: discussion of some useful concepts in hydrological application." *Hydrological Processes*, Vol. 16, pp. 2881-2898.

논문번호: 12-046	접수: 2012.05.02
수정일자: 2012.11.07/11.28/12.05	심사완료: 2012.12.05