

## 연최대치 계열과 연최대치 독립 호우사상 계열의 비교

### Comparison of Annual Maximum Rainfall Series and Annual Maximum Independent Rainfall Event Series

유철상\* / 박철순\*\*

Yoo, Chulsang / Park, Cheolsoo

#### Abstract

This study investigated the differences between annual maximum series and annual maximum independent rainfall event series with relatively short and long rainfall durations. Annual maximum independent rainfall events were selected by applying various IETDs and thresholds to the hourly rainfall data in Seoul for the duration from 1961 to 2010. Annual maximum independent rainfall event series decided were then compared with the conventional annual maximum series. Summarizing the results is as follows. First, the effect of IETD and threshold was not beyond the expected level. For example, as the IETD increases, the frequencies of independent rainfall events decreased similarly in their rate for both with short and long durations. However, as the threshold increases, the frequency of those with rather long durations decreased much higher. Second, The mean rainfall intensity of the independent rainfall events was found to remain constant regardless of their duration. This indicates that the annual maximum rainfall intensity could be found in a rainfall event with longer durations. Lastly, the difference between the annual maximum rainfall series and the annual maximum independent rainfall event series with rather short rainfall durations was found significantly large, which decreases with longer durations. This result indicates that the conventional data analysis method, especially for small basins with short concentration time, could lead an unrealistic design rainfall with little possibility of occurrence.

**Keywords** : rainfall duration, annual maximum series, annual maximum independent rainfall event series, IETD, threshold

#### 요 지

본 연구에서는 강우 지속기간이 짧은 경우와 긴 경우에 대한 연최대치 계열과 연최대치 독립 호우사상 계열의 차이를 살펴보았다. 연최대치 독립호우사상은 1961년부터 2010년까지의 서울지점 시강우 자료에 다양한 IETD와 절단값을 적용하여 추출하였다. 결정된 연최대치 독립호우사상 계열은 기존의 연최대치 계열과 비교하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, IETD와 절단값의 영향은 예상할 수 있는 수준을 벗어나지 않았다. 예를 들어, IETD의 증가에 따라 짧은 지속기간 및 긴 지속기간을 갖는 독립 호우사상의 발생 빈도는 유사한 감소비율을 갖으나, 절단값의 증가에 따라서는 특히 지속기간이 긴 호우사상의 발생 빈도가 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 둘째, 추출된 독립 호우사상의 평균 강우강도는 강우 지속기간에 관계없이 거의 일정한 것으로 나타났다. 이는 연 최대치 강우강도가 주로 지속기간이 긴 호우사상에서 결정될 가능성이 크다는 것을 의미한다. 마지막으로, 강우 지속기간이 짧은 경우, 연 최대치 계열과 연 최대치 독립 호우사상

\* 교신저자, 고려대학교 공과대학 건축사회환경공학부 교수, 공학박사 (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

\*\* 고려대학교 공과대학 건축사회환경공학부 석사과정 (e-mail: impromn@empal.com)

School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, College of Engineering, Korea University

계열의 차이가 매우 큰 것으로 확인되었다. 그러나 이러한 차이는 강우 지속기간이 증가함에 따라 현저히 줄어들었다. 이러한 결과는 특히 매우 짧은 집중시간을 고려하는 작은 유역의 경우, 전통적인 자료분석 방법을 통해 결정된 설계강우가 실제 발생 가능성이 없는 비현실적인 경우가 될 가능성이 매우 큼을 의미한다.

**핵심용어** : 강우 지속기간, 연최대치 계열, 연최대치 독립 호우사상 계열, IETD, 절단값

## 1. 서론

설계홍수량의 결정 방법에는 과거에 발생한 홍수량 기록을 기초로 하는 홍수량 기준방법(flow-based method)과, 강우-유출 관계 모형(rainfall-runoff model)을 이용하는 강수량 기준방법(precipitation-based method)이 있다(윤용남, 2009). 그러나 국내의 경우, 다년간의 연 최대홍수량 기록을 보유하고 있는 수위관측소의 수가 매우 제한적이며(국토해양부, 2010), 대부분 연최대치 강우자료의 빈도분석을 통해 결정된 확률강우량을 강우-유출 모형에 입력하여 설계홍수량을 결정하고 있는 실정이다.

그러나 강우-유출 관계 모형을 통해 설계홍수량을 결정하는 과정은 실제로 여러 문제점을 갖고 있다(국토해양부, 2010). 그 중 하나가 대상 유역에 대한 설계강우의 지속기간으로 어떤 값을 사용해야 하는지의 문제이다. 현재 국내에서는 임계지속기간의 개념을 도입하여 홍수량을 최대치 하거나 저수지의 수위를 최대치 하는 지속기간을 설계 강우 지속기간으로 결정하고, 지속기간 동안의 연 최대 강우기록을 연 최대치로 결정하여 사용하고 있다(정중호와 윤용남, 2009). 그러나 이러한 방법은 강우의 시간 분포를 고려했을 때 비현실적인 설계 호우사상을 만들게 되는 문제를 발생시킬 가능성이 있다. 즉, 강우의 시간 분포는 주어진 지속기간 동안 강우가 시간적으로 어떻게 분포되는지를 결정하는 것이며, 가장 자연적인 것이 되도록 강우를 분포시키는 것이 핵심이다. 그러나 현재와 같은 방법을 적용하면, 도시유역과 같이 유역면적이 비교적 작은 경우에 고려되는 강우 지속기간은 유역면적이 큰 경우에 비해서 매우 짧아지게 된다(양희성, 2003; 박상우 등, 2005; 이정식 등, 2008). 이 경우, 몇 시간의 짧은 지속기간이 자연적인 호우사상 전체를 포함하지 못할 가능성은 커지게 되며, 이는 실제 발생 가능한 호우사상의 분포 특성을 적절히 반영하지 못하게 됨을 의미한다. 많은 연구들에서도 이와 같은 기존 방법의 문제점이 계속해서 언급되고 있다(Levy and McCuen, 1999; Yue, 2000; Yue and Rasussen 2002; Koa and Govindaraju, 2007; Lee et al., 2010).

현재와 같이 홍수 도달시간 또는 집중시간과 같은 지속기간을 고려하여 설계 호우사상을 결정하게 되면 실제 가능한 호우사상이 아닌 가상의 호우사상을 고려하게 될 가능성을 포함하게 된다. 특히 임계지속기간의 결정을 위해서는 특정 해에 발생한 하나의 커다란 호우사상의 일부분만을 고려하여 유출해석에 적용하게 될 가능성을 배제할 수 없다. 따라서 저류지나 우수지와 같은 홍수조절 시설의 규모를 산정하는 경우에 의미 있는 설계호우는, 특히 호우의 시점에서 종점까지의 총강우량을 고려한 것이어야 한다. 이러한 이유로 저류지 등의 설계호우로서 특정 재현기간을 가지는 독립 호우사상을 사용하고자 하는 연구가 지속적으로 이루어지고 있다(EPA, 1986; Adams and Papa, 2000).

본 연구에서는 독립 호우사상 자체를 고려하여 결정된 연최대치 강우 계열과 기존의 방법을 통해 결정된 연최대치 강우 계열이 어느 정도의 차이를 갖는지를 살펴보고자 한다. 이러한 검토는 강우 지속기간이 짧은 경우와 비교적 긴 경우에 대해 각각 적용되어, 그 차이가 비교되도록 하였다. 본 연구에서는 1961년부터 2010년까지 우기의 서울지점 강우 자료를 대상으로 하였다. 독립 호우사상의 결정을 위해 몇 가지 경우의 무강우 간격 및 절단값을 적용하여 그 결과의 차이를 검토하였다. 마지막으로, 각각의 경우에 대해 작성된 연최대치 독립 호우사상 계열과 기존 방법에 의한 연최대치 계열을 빈도해석하고 그 결과를 비교하였다.

## 2. 독립 호우사상의 결정

### 2.1 무강우 기간의 영향

독립 호우사상이란 하나의 호우사상으로 간주될 수 있는 특징을 가지는 호우사상을 의미한다. 통계학의 개념을 이용하여 좀 더 기술적으로 표현하면 시계열로 표현된 강우기록이 보여주는 상관시간(correlation time) 이상 무강우로 구분된 호우사상을 독립 호우사상이라 정의할 수 있다. 이 상관시간이 다름 아닌 호우사상을 적절히 구분할 수 있는 최소 무강우 기간이고, 이를 IETD (Interevent

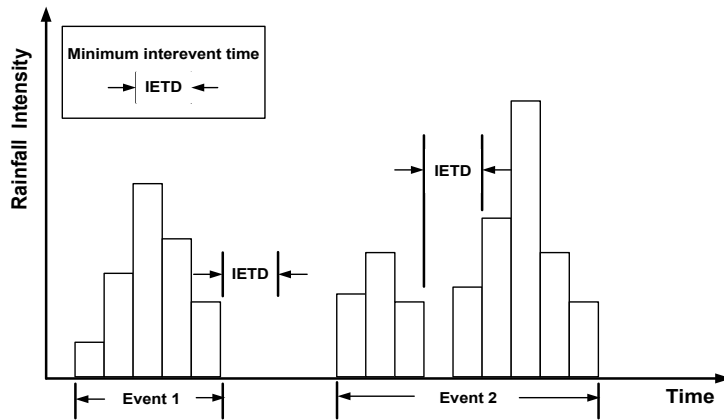


Fig. 1. Decision of Independent Rainfall Events by Applying the IETD

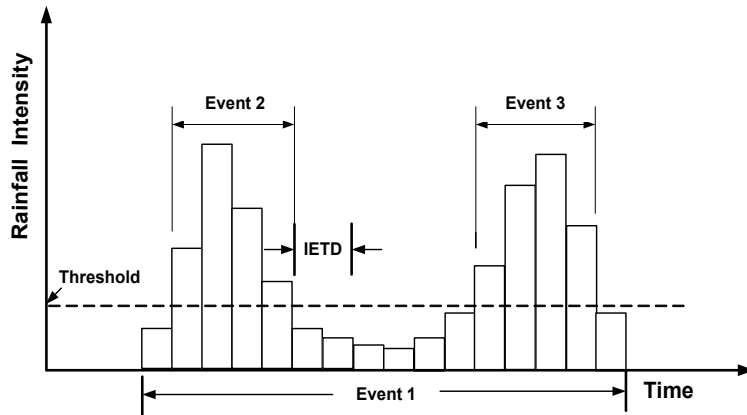


Fig. 2. Decision of Independent Rainfall Events by Applying the Threshold

Time Definition)라고 하기도 한다(Adams and Papa, 2000). 본 연구에서도 독립 호우사상을 구분하는 최소 무강우 기간을 IETD로 표현하기로 한다.

Fig. 1에서 살펴볼 수 있는 것처럼, 두 호우사상 사이의 무강우 기간이 IETD 보다 짧은 경우, 두 개의 호우사상은 하나의 독립 호우사상으로 간주되고, IETD보다 긴 경우에는 각각 독립된 호우사상으로 판단하게 된다. 우리나라의 경우, IETD는 대략 10시간 또는 12시간 정도가 된다 (이동률과 정상만, 1992; 김남원 1998; 권재호 등, 2004).

## 2.2 절단값의 영향

IETD뿐만 아니라, 절단값(threshold)도 독립 호우사상의 분리에 큰 영향을 미치게 된다. 예를 들어, 절단값을 5 mm로 설정한 경우에는 5 mm 미만의 강우는 발생되지 않은 것으로 간주되게 된다. 따라서 무강우 기간이 길어지는 효과를 가져오게 된다(Fig. 2). 즉, 절단값을 적용하지 않은 경우에는 Event 1이 하나의 독립 호우사상으로 간주되지만, 절단값을 적용한 경우에는 Event 1이 Event

2와 Event 3으로 분리되게 된다. 절단값의 크기에 따라 하나의 호우사상으로 분류되었던 호우사상이 각각 다른 2개의 또는 그 이상의 독립 호우사상으로 분리되는 것이다.

이상과 같이 IETD 및 절단값의 적용을 통해서 독립 호우사상계열의 구성이 가능하다. 각 독립 호우사상은 총강우량, 강우 지속기간, 평균강우강도 등의 특성을 이용하여 분석될 수 있다.

## 3. 대상 자료

### 3.1 원자료의 특성

본 연구에서는 기상청에서 제공하는 1961년부터 2010까지 서울지점 우기(6~9월)의 시강우 자료를 대상으로 분석을 수행하였다(Fig. 3). 구축된 자료의 기본 통계특성은 Table 1과 같다.

Table 1에 나타난 것과 같이 분석기간 동안 발생한 시강우량 자료의 최댓값은 116 mm/hr이고, 평균값은 0.3

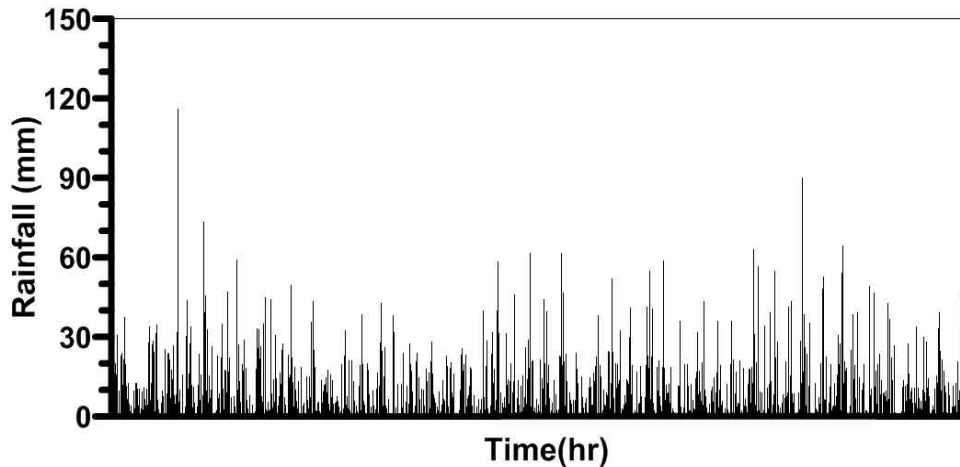


Fig. 3. Hourly Rainfall Time Series in Seoul from 1961 to 2010 (rainy season)

Table 1. Basic Statistics of Hourly Rainfall in Seoul from 1961 to 2010 (rainy season)

Average (mm/hr)	Standard deviation (mm/hr)	Coefficient of skewness	Coefficient of kurtosis	Maximum value (mm/hr)
0.3	2.1	13.4	283.6	116

mm/hr, 자료의 표준편차는 2.1 mm/hr로 산정되었다. 본 연구에서 사용한 강우자료의 왜곡도(coefficient of skewness)를 살펴보면, 그 값이 13.4로 산정되었으며, 이는 강우자료의 분포가 왼쪽으로 치우친 형태라는 것을 의미한다. 첨예도(coefficient of kurtosis)의 경우는 그 값이 283.6으로 산정되었으며, 이를 통해 본 연구에서 사용한 강우자료는 중앙에 매우 몰려있다는 것을 대략적으로 짐작할 수 있다.

### 3.2 IETD와 절단값을 고려한 독립 호우사상 자료 구축

본 연구에서는 먼저 독립 호우사상을 결정하기 위한 기준으로 6시간, 9시간, 12시간의 IETD를 적용하였으며, 절단값으로는 0, 0.5, 1~10 mm (1 mm 간격)의 값을 적용하였다. IETD로서 6시간은 조금 짧은 경향이 있으나 비교를 위해 고려하였다. 절단값의 경우 0.5 또는 1 mm가 현실적인 값일 것으로 판단되나 역시 비교를 목적으로 10 mm까지를 고려하였다. 따라서 본 연구에서는 총 36가지의 기준에 따라 독립 호우사상이 달리 결정되게 된다.

본 연구에서는 각 기준에 따라 추정된 독립 호우사상의 빈도수, 강우지속기간, 평균 강우강도를 결정하였으며, 6시간, 9시간, 12시간의 IETD 및 0, 0.5, 2, 5, 10 mm의 절단값을 적용한 결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2에서 살펴볼 수 있는 것은 크게 두 가지이다. 먼저, IETD의 증가에 따라 독립 호우사상의 수는 감소하고, 호우사상의 지속기간은 증가하며, 반대로 호우사상별 평균 강우강도는 감소한다. 이는 강우자료가 일정한 군집특성을 가지며, 아울러 호우사상 내에서 강우강도의 변화가 일반적으로 증가했다 감소하는 형태(삼각형과 같이)를 띠는 점을 고려하면 당연한 결과이다. 절단값에 따른 독립 호우사상의 수, 독립 호우사상의 평균 지속기간 및 평균 강우강도의 변화도 동일하게 예측 가능하다. 즉, 절단값의 증가에 따라 독립 호우사상의 수는 감소하고, 평균 지속기간은 감소하며, 따라서 평균 강우강도는 증가하게 된다.

그러나 IETD나 절단값의 변화와 독립 호우사상의 특성 변화가 비례적으로 연결되는 것은 아니다. 예를 들어 IETD가 두 배로 된다고 하더라도(예를 들어 절단값이 0 mm인 경우, IETD가 6시간에서 12시간으로 증가한다면), 호우사상의 수가 반으로 주는 것은 아니다. 실제 호우사상의 수는 훨씬 작게 감소하는 것으로 나타난다(약 25%). 평균 지속기간의 경우에도 약 50% 증가 정도가 나타나고, 평균 강우강도에는 약 10%의 감소가 나타나는 것으로 보인다. 즉, 전체적으로 증감의 경향은 쉽게 파악할 수 있는 것이나, 그 정도가 어떤지는 간단히 예상하기 쉬운 것은 아니다. 절단값의 변화에 따른 독립 호우사상의 특성도

Table 2. Statistics of all Independent Rainfall Events Decided with Different IETD and Threshold

IETD (hr)	Threshold (mm)	Number of independent rainfall	Rainfall duration (hr)	Average rainfall intensity (mm/hr)
6	0	2,108	10.3	2.3
	0.5	1,833	8.6	3.2
	2	1,474	5.5	5.5
	5	1,017	3.9	9.2
	10	615	2.6	15.5
9	0	1,816	13.0	2.2
	0.5	1,599	10.9	2.9
	2	1,322	6.9	5.0
	5	935	4.8	8.2
	10	577	3.2	13.7
12	0	1,622	15.7	2.0
	0.5	1,459	12.8	2.7
	2	1,218	8.3	4.5
	5	877	5.8	7.4
	10	556	3.7	12.4

물론 선형적이지 않다. 실제 독립 호우사상의 어떤 특성이 이러한 변화 경향성을 결정하게 되는지는 추후에 다시 한 번 검토하기로 한다.

### 3.3 IETD 및 절단값에 따른 독립 호우사상의 발생 빈도 특성

본 연구에서는 전체 독립 호우사상의 발생빈도 및 평균 강우강도를 독립 호우사상의 지속시간에 따라서 살펴 보았다. 먼저, 지속시간별 독립 호우사상의 발생빈도를 IETD 및 절단값의 증가에 따라서 나타내었다(Fig. 4). 아래의 그림은 절단값으로 0, 0.5, 2, 5, 10mm를 적용한 경우의 결과를 나타낸 것이다.

Fig. 4의 결과를 살펴보면, 먼저, IETD의 증가에 의한 변화는 전체적으로 반영되는 것으로 나타난다. 즉, 지속시간이 짧은 독립 호우사상의 감소비율과 긴 호우사상의 감소비율이 유사해 보인다. 즉, 지속시간이 짧은 호우사상의 수가 상대적으로 많이 감소하고 반대로 긴 호우사상의 수는 적게 감소하는 것으로 나타난다.

그러나 절단값의 증가에 따른 경향은 IETD의 증가에 따른 경향과는 상반되게 나타난다. 즉, 긴 지속시간을 갖는 독립 호우사상의 빈도수가 급격하게 감소하는 경향성을 확인할 수 있다. 이는 물론 절단값의 증가에 따라 지속시간이 긴 하나의 호우사상이 지속시간이 짧은 두 개의 호우사상으로 나뉘게 되어 나타나는 결과이다. 추가로 지

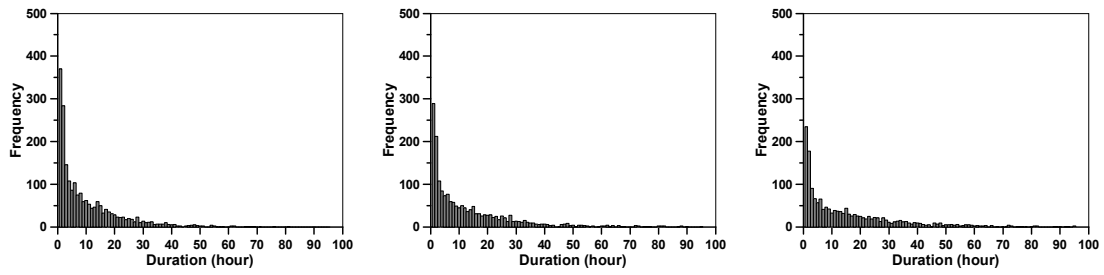
속시간이 짧은 호우사상의 경우 절단값의 증가에도 불구하고 여전히 동일한 지속시간의 호우사상으로 남아 있을 가능성이 상대적으로 크다는 점도 이러한 결과를 유도하는데 영향을 미쳤을 것이다.

### 3.4 IETD 및 절단값에 따른 독립 호우사상의 평균 강우강도 특성

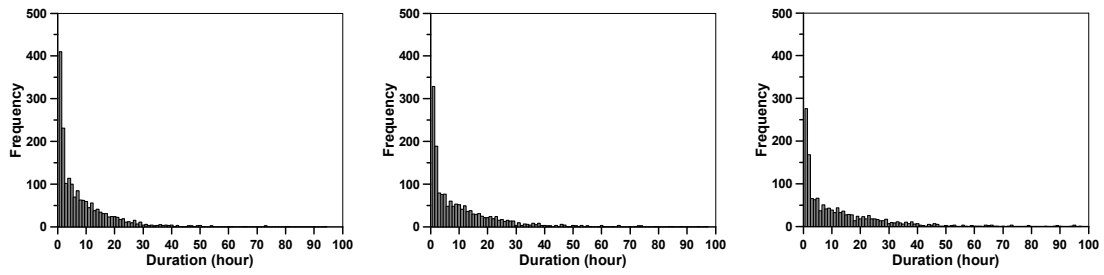
IETD 및 절단값에 따라 결정된 독립 호우사상을 지속시간별로 구분하고 그 평균 강우강도를 정리하였다. Fig. 5는 절단값으로 0, 0.5, 2, 5, 10mm를 적용한 경우의 결과를 나타낸 것이다.

Fig. 5에서 살펴볼 수 있는 가장 큰 특징은 독립 호우사상의 지속시간에 관계없이 평균 강우강도가 일정하다는 점이다. 이러한 특징은 절단값이 작은 경우(0~2mm)에 특히 매우 뚜렷하게 나타난다. 절단값이 큰 경우에는(5~10mm) 지속시간의 증가에 따라 평균 강우강도가 작아지는 경향을 나타내고 있으나 이는 고려되는 호우사상의 수가 제한되어 나타나는 영향으로 파악된다. 즉, 큰 절단값에 대해 24시간 이상의 지속시간을 갖는 호우사상을 찾기 어렵고, 아울러 그러한 경우에도 강우가 불연속적으로 발생하게 되어 평균 강우강도의 상대적인 크기를 작게 만드는 것이다.

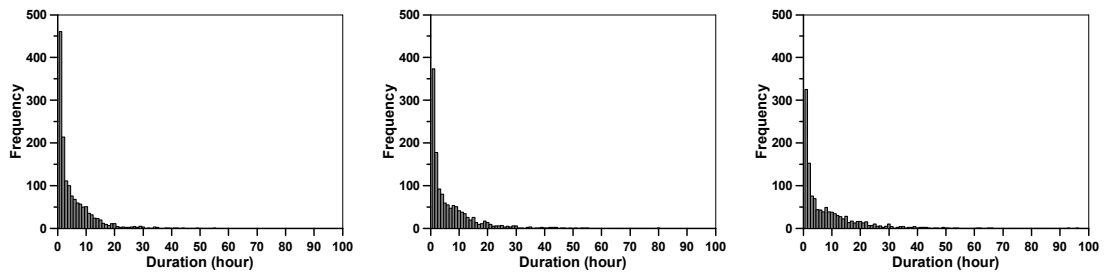
위와 같은 결과는 독립 호우사상의 특성을 살펴보는 데 매우 중요하다. 독립 호우사상 내 강우의 시간분포를 어



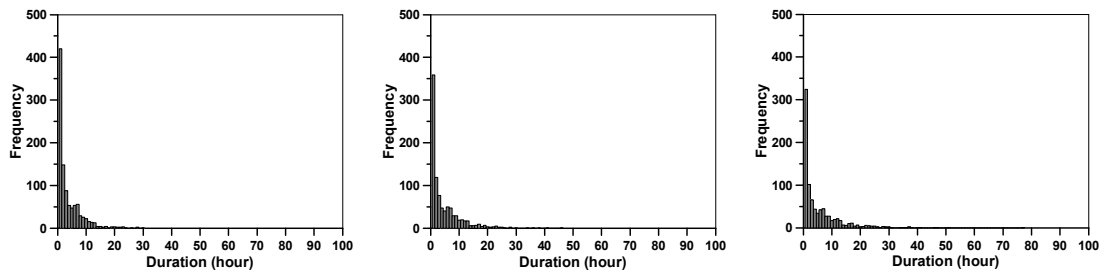
(a) Threshold: 0 mm (left: IETD 6 hour, center: IETD 9 hour, right: IETD 12 hour)



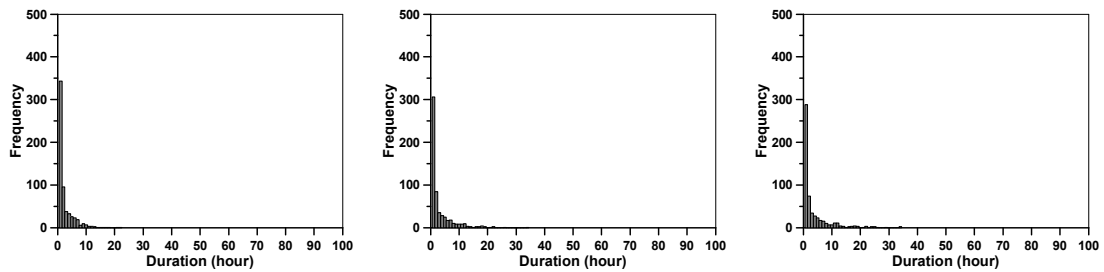
(b) Threshold: 0.5 mm (left: IETD 6 hour, center: IETD 9 hour, right: IETD 12 hour)



(c) Threshold: 2 mm (left: IETD 6 hour, center: IETD 9 hour, right: IETD 12 hour)

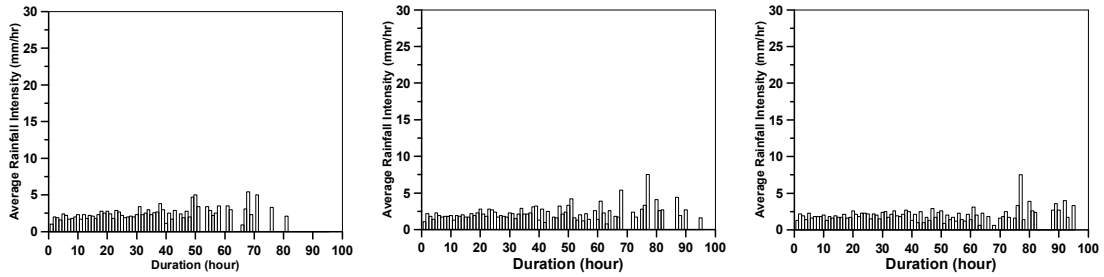


(d) Threshold: 5 mm (left: IETD 6 hour, center: IETD 9 hour, right: IETD 12 hour)

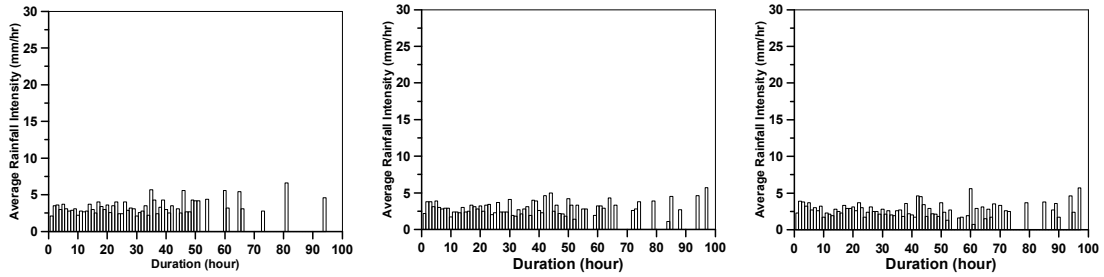


(e) Threshold: 10 mm (left: IETD 6 hour, center: IETD 9 hour, right: IETD 12 hour)

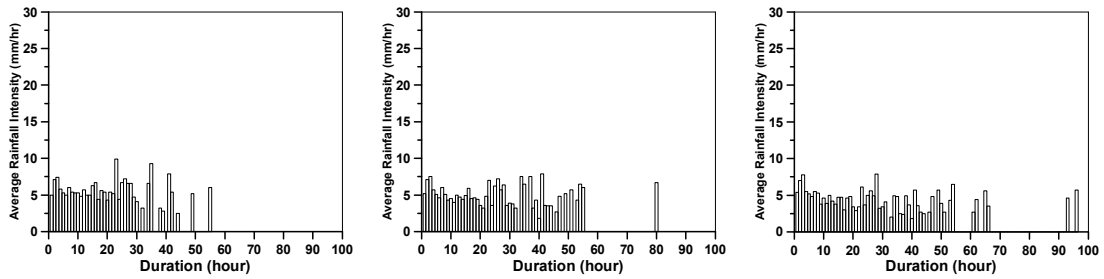
Fig. 4. Change of Frequency of Independent Rainfall Events to the Duration as IETD and Threshold Increase



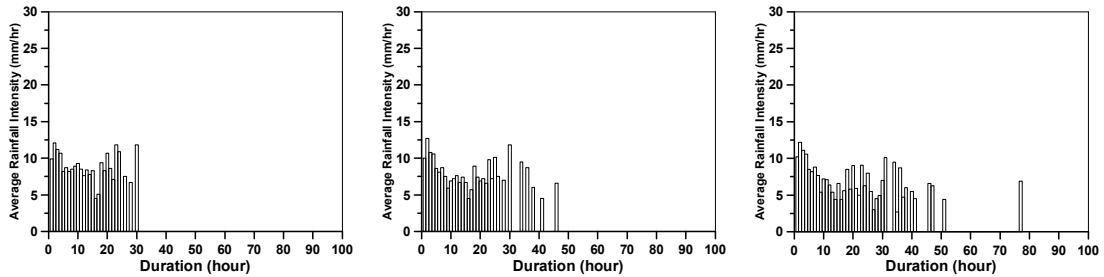
(a) Threshold: 0 mm (left: IETD 6 hour, center: IETD 9 hour, right: IETD 12 hour)



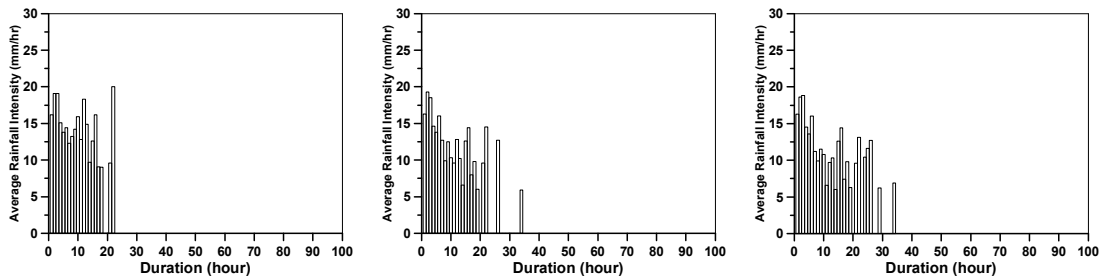
(b) Threshold: 0.5 mm (left: IETD 6 hour, center: IETD 9 hour, right: IETD 12 hour)



(c) Threshold: 2 mm (left: IETD 6 hour, center: IETD 9 hour, right: IETD 12 hour)



(d) Threshold: 5 mm (left: IETD 6 hour, center: IETD 9 hour, right: IETD 12 hour)



(e) Threshold: 10 mm (left: IETD 6 hour, center: IETD 9 hour, right: IETD 12 hour)

Fig. 5. Mean Rainfall Intensity of Independent Rainfall Events with Respect to the Duration Decided by Applying the IETD and Threshold

떻게 보느냐에 따라 그 해석이 달라질 수 있지만, 간단히 삼각형의 형태로 가정하면, 짧은 지속기간을 갖는 호우사상의 최대 강우강도는 긴 지속기간을 갖는 호우사상의 최대 강우강도에 비해 매우 작을 수밖에 없다. 예외적인 경우가 물론 있을 수 있겠지만, 동일한 발생확률을 갖는 호우사상을 비교하는 경우라면, 24시간의 지속기간을 갖는 독립 호우사상의 최대강도를 두 세 시간의 지속기간을 갖는 호우사상에서는 기대하기 어렵다는 의미가 된다.

위와 같은 결과는 현재 우리나라에서 사용하고 있는 설계홍수량의 결정과정에도 큰 문제가 있음을 의미하는 것이기도 하다. 예를 들어, 단지 수 시간 정도의 집중시간을 갖는 유역에 대한 설계홍수량의 결정과정을 보면, 일단 분석 대상이 되는 강우자료는 대부분 지속기간이 대상 유역의 집중시간보다 훨씬 긴 호우사상에서 나오게 되어 있다. 따라서 확률 강우량의 크기는 동일한 집중시간 만큼의 지속기간을 갖는 독립 호우사상의 크기와 큰 차이를 보일 수밖에 없다. 이를 시간 분포시킨다고 하더라도 여전히 동일 지속기간을 갖는 독립 호우사상의 특성을 나타내지는 못한다. 아울러 당초 이 강우자료의 출처가 되는 긴 지속기간의 호우사상의 특성을 반영하지도 못한다. 이 긴 호우사상의 최대 강우강도 보다는 작고, 반대로 집중시간과 동일한 지속기간을 갖는 호우사상의 최대 강우강도 보다는 크게 되는 애매한 결과가 나타나게 되는 것이다. 이렇게 되면 유출량 자료의 빈도해석 결과와 강우량 자료의 빈도해석 결과를 직접 연결시키는 것은 불가능해진다. 이러한 문제는 물론 강우 지속기간을 길게 고려하는 경우에 완화된다.

만일 지속기간이 긴 호우사상이 복합호우사상의 형태처럼 두개 또는 3개의 피크를 갖는다면 위에서 제기한 문제는 다소 완화될 수 있다. 그러나 24시간 정도의 지속기간까지는 대체로 하나의 피크를 갖는 것이 일반적인 것으로 보이며, 이러한 특징은 대부분의 강우 시간분포 모형들에도 반영되어 있다. 본 연구에서 조사한 24시간의 지속기간을 갖는 독립호우사상들의 경우에도 하나의 첨두를 갖는 경우가 전체의 75% 정도로 확인되었다.

## 4. 동일 지속기간에 대한 연최대치 계열과 연최대치 독립 호우사상 계열

### 4.1 연최대치 시계열 작성

본 연구에서는 여러 지속기간을 갖는 독립 호우사상 중에서 지속기간이 짧은 경우(1시간)와 비교적 긴 경우(24시간 이하)에 대한 연최대치 계열(1시간 및 24시간 연최

대치 독립호우사상 계열)을 작성하였다. 참고로, 24시간 연 최대치 독립 호우사상 계열의 구축 과정에서는 실제 발생된 지속기간이 24시간인 호우사상 수가 매우 제한적이며 24시간 및 그 이하의 지속기간을 갖는 호우사상 중 총 강우량이 최대인 호우사상을 연 최대치 호우사상으로 고려하였다. 추가로, 현재 보편적으로 강우해석에 이용되는 자료인 1시간 및 24시간 지속기간의 연최대치 계열(1시간 및 24시간 연최대치 계열)을 작성하여 서로 비교될 수 있도록 하였다. 기존의 연최대치 계열은 특정 지속기간동안 발생한 총강우량 중에서 연도별 최대치만으로 구성된 강우계열을 의미한다. 연최대치 독립 호우사상 계열의 경우에는 절단값으로 0, 0.5, 2, 5, 10 mm를 적용하여 산정된 계열을 고려하였다. 먼저, 이들 계열을 비교하면 Fig. 6과 같다. 추가적으로 각 계열의 장기적인 추세를 비교하기 위해서 이동평균(5년)한 자료를 함께 제시하였다.

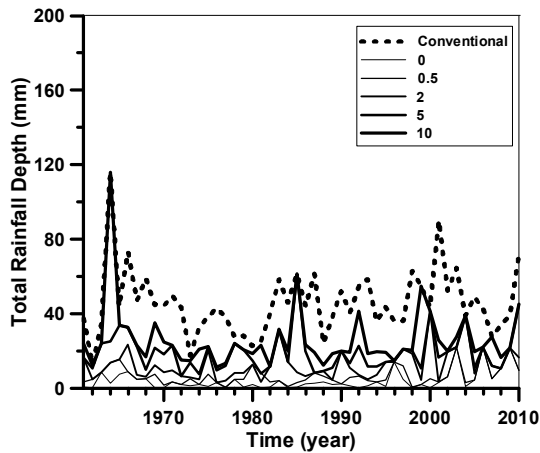
먼저, 1시간 지속기간에 대한 결과로 Fig. 6(a)를 살펴보면, 전체적으로 연최대치 계열과 연최대치 독립 호우사상 계열의 차이가 매우 큰 것을 확인할 수 있다. 이러한 차이는 절단값을 작게 적용하여 결정된 연최대치 독립 호우사상 계열 일수록 더욱 커지는 것으로 나타났다. 그러나 절단값으로 10mm를 적용한 경우에도 연최대치 계열과 연 최대치 독립 호우사상 계열의 차이는 매우 뚜렷하게 나타난다.

반대로, 지속기간이 긴 경우(Fig. 6(b))의 결과에서는 지속기간이 짧은 경우에 비해서 연최대치 계열과 연최대치 독립 호우사상 계열의 차이가 상대적으로 작은 것으로 나타났다. 절단값을 크게 적용한 경우일수록 그 차이는 더욱 줄어드는 것으로 나타난다. 즉, 절단값이 비교적 큰 경우(5~10 mm)에, 연최대치 계열과 연최대치 독립 호우사상 계열이 매우 유사하게 나타난다. 이와 같은 경향성은 각각의 계열에 대한 이동평균을 나타낸 결과(Fig. 6(c) and (d))에서 보다 명확하게 확인할 수 있다.

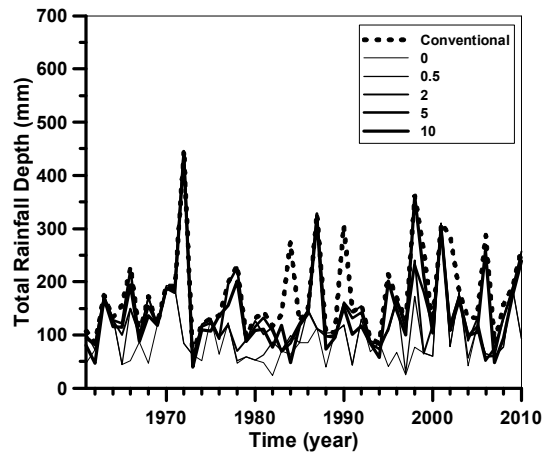
이상과 같은 결과는 짧은 지속기간의 연 최대치 계열이 갖는 문제점을 대변해 주는 것이기도 하다. 즉, 짧은 지속기간의 연 최대치 계열은 동일한 지속기간의 실제 독립 호우사상에서 만들어 지지 않는다. 반대로 긴 지속기간의 연최대치 계열은 같은 지속기간의 실제 독립 호우사상에서 만들어질 가능성이 매우 큰 것이다. 이러한 결과는 Fig. 7에 나타난 연최대치 계열과 연최대치 독립 호우사상 계열의 1:1 비교에서 더욱 자세히 살펴볼 수 있다.

Fig. 7에서는 먼저, 지속기간이 짧은 경우, 연최대치 계열에 비해서 연최대치 독립호우사상 계열의 총 강우량이 매우 작은 것으로 나타났다. 두 경우가 일치하는 경우도

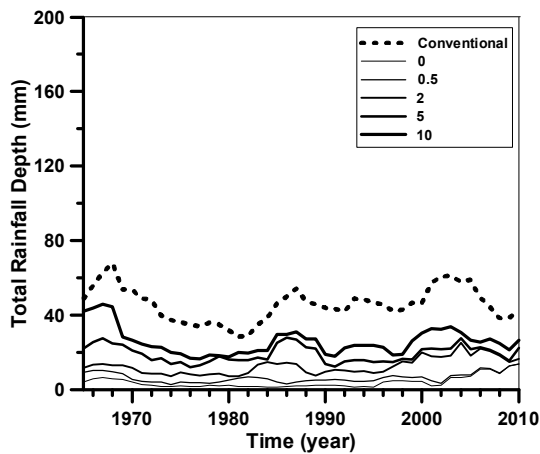




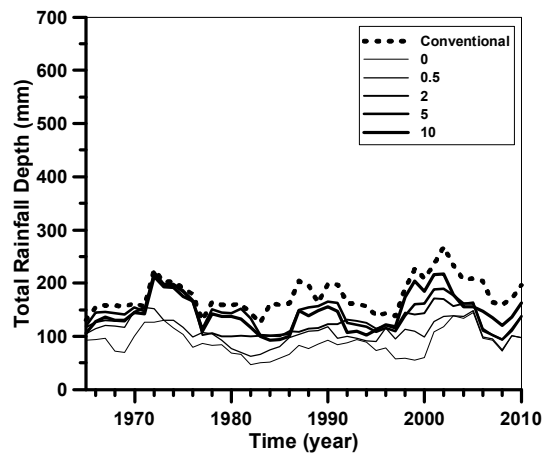
(a) Duration 1 hour (raw data)



(b) Duration 24 hour (raw data)



(c) Duration 1 hour (moving average 5 year)



(d) Duration 24 hour (moving average 5 year)

Fig. 6. Comparison of Annual Maximum Rainfall Series and Annual Maximum Independent Rainfall Event Series (IETD: 12 hour)

거의 찾아볼 수 없다. 두 경우가 일치한다는 것은(1:1 직선 위에 나타나는 경우) 독립 호우사상이 연 최대치 계열로 선택된 경우를 의미한다. 절단값을 매우 크게 적용한 경우에도 10% 이내의 경우만이 두 경우가 일치하는 것으로 파악되었다. 그러나 지속기간이 긴 경우에는 절단값이 작은 경우에도 두 계열이 일치하는 경우가 많이 발생하고 있으며, 두 계열이 일치하지 않는 경우에도 두 계열의 차이는 1시간의 지속기간을 고려하는 경우보다 현저히 작다는 것을 파악할 수 있다. 절단값을 크게 적용할수록 두 계열이 일치하는 경우가 점점 늘어나고, 절단값이 5mm인 경우에는 전체 계열 중 70% 이상이 일치하는 결과를 보이고 있다. 절단값이 10mm인 경우에는 공교롭게도 두 계열이 일치하는 빈도는 약간 줄어들었으나, 둘 사이의 유사성은 5mm인 경우보다 더욱 커진 것으로 파악되었다.

이와 같은 결과를 살펴보면, 기본적으로 지속기간이 긴 경우에 있어서는 전통적으로 작성하는 연최대치 계열이 소위 연최대치 독립 호우사상 계열과 매우 유사함을 파악할 수 있다. 그러나 지속기간이 짧은 경우에 두 계열 사이의 상관관계는 매우 미약하며, 두 계열이 일치하는 경우를 또한 쉽게 찾을 수 없다. 즉, 짧은 지속기간에 대해 작성하는 연최대치 계열은 근본적으로 가공의 수치일 뿐이며, 실제 발생 가능한 호우사상은 아닌 것이다. 이러한 차이가 설계 강수량 및 설계 홍수량의 결정에 큰 오류를 유발함은 자명한 사실이며, 실제 발생가능하지 않은 가공의 상황에 대한 해석 결과를 설계 기준으로 사용하게 되는 문제점을 유발하는 것이다. 도시지역에서와 같이 매우 짧은 집중시간을 갖는 유역의 배수구조물 설계에 특히 이러한 문제점이 집중되어 있을 가능성이 크다.

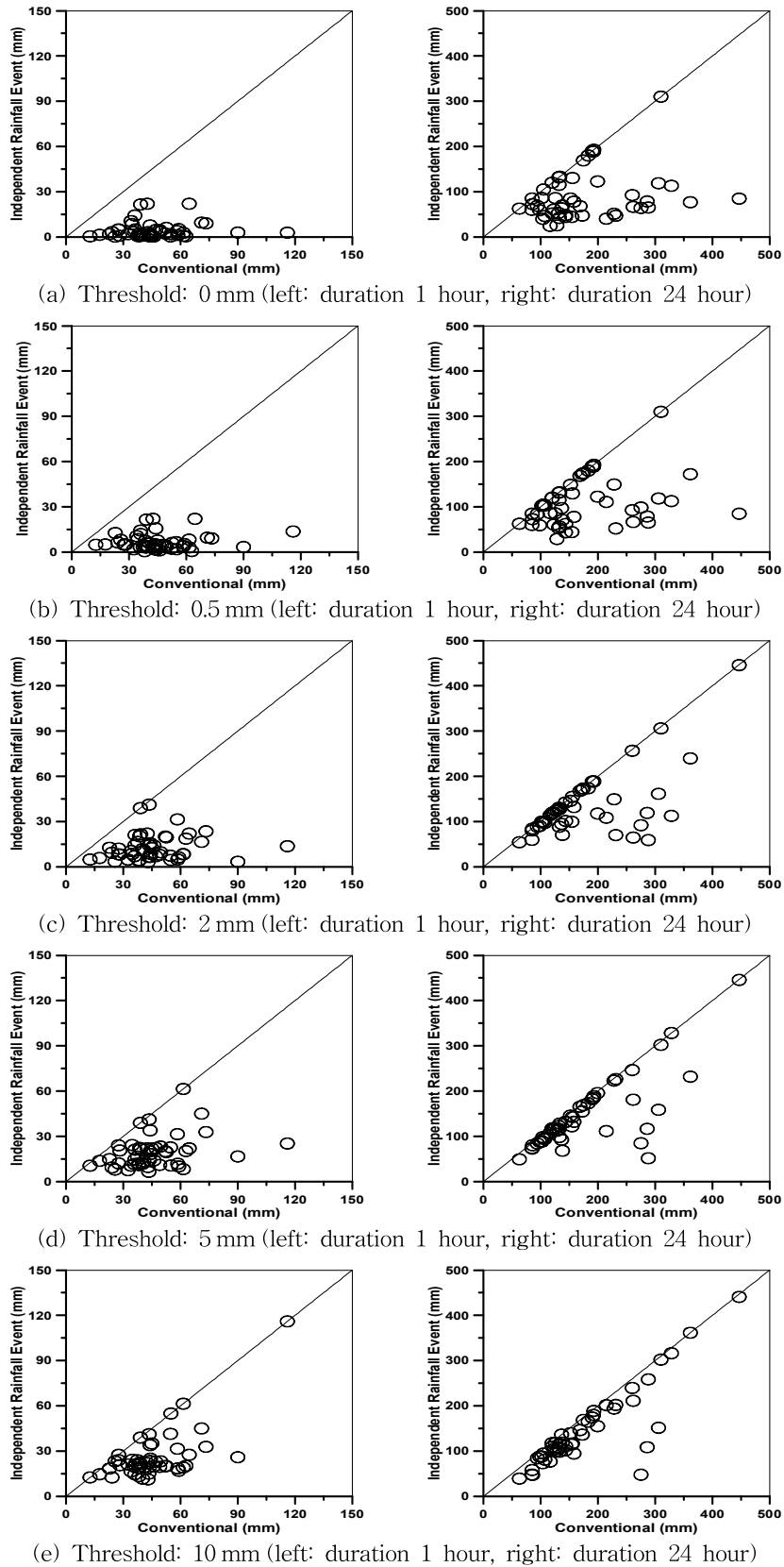


Fig. 7. Comparison of Annual Maximum Rainfall Series and Annual Maximum Independent Rainfall Event Series with 1 Hour and 24 Hour Duration (IETD: 12 hour)

#### 4.2 두 계열 자료의 빈도해석

본 연구에서는 연최대치 계열과 연최대치 독립 호우사상 계열에 대한 빈도해석을 수행하여 그 결과를 비교하였다. 강우 지속기간이 짧은 경우(1시간)와 비교적 긴 경우(24시간)에 대한 분석을 통해 지속기간의 영향이 판단될 수 있도록 하였다.

먼저, 지속기간이 짧은 경우(1시간)와 긴 경우(24시간)에, 연최대치 및 연최대치 독립 호우사상 계열에 대한 기본적인 통계량은 Table 3과 같다. 그 결과를 살펴보면, 강우 지속기간이 짧은 경우와 긴 경우에, 두 자료 계열의 왜곡도는 1보다 크게 결정되었으며, 첨예도의 경우도 0보다 매우 크게 산정되었다. 이는 두 계열에 대한 자료가 모두 왼쪽으로 치우치고 중앙부분에 관측치가 몰려있는 상당히 뾰족한 분포라는 것을 의미하는 결과이다. 연최대치 독립 호우사상 계열에 대한 첨예도는 지속기간이 짧을수록, 반대로 절단값이 클수록 점차 커지는 경향성을 나타내었다.

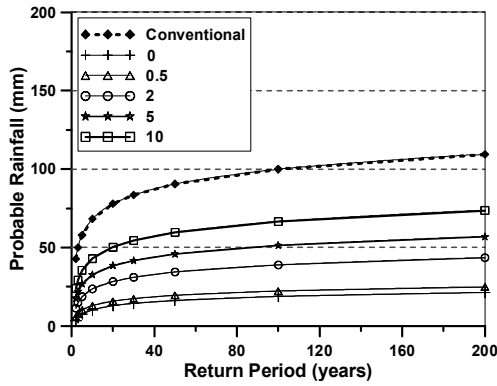
본 연구에서는 여러 확률분포형 중 건설교통부(2000)에서 최적분포형으로 채택한 바 있는 Type-I 극치분포(Gumbel 분포)를 선정하였다. Kolmogorov-Smirnov 검

정 및  $\chi^2$  검정을 통해 이 분포형이 본 연구에서의 자료 분석에 적합함을 확인하였다. 본 연구에서는 확률분포형의 매개변수 추정방법으로 확률 가중 모멘트법(method of probability of weighted moments)을 사용하였다. 본 연구의 대상 자료에 대한 빈도해석 결과는 Table 4와 같다. 아울러 Fig. 8은 이 결과를 시각적으로 비교하기 위해 추가한 것이다.

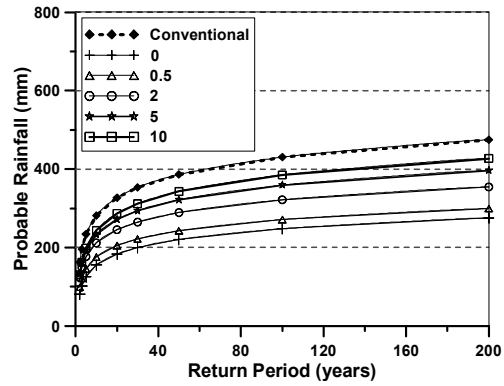
Table 4에 나타난 결과를 살펴보면, 강우 지속기간이 짧은 경우(1시간)와 긴 경우(24시간)에 대한 빈도해석 결과가 매우 다르다는 것을 확인할 수 있다. 즉, 지속기간이 짧은 경우에, 연 최대치 계열과 연최대치 독립 호우사상 계열에 대한 확률강우량의 차이가 매우 큰 것으로 나타났다. 반대로 지속기간이 긴 경우, 두 계열에 대한 빈도해석 결과의 차이는 상대적으로 작은 것으로 확인된다. 이를 자세히 살펴보면(Table 4), 1시간 지속기간의 경우, 재현기간 100년에 대한 확률강우량은 약 100 mm를 적용한 독립 호우사상 계열의 그것에 비해 약 5배 정도 큰 값으로 나타난다. 절단값으로 10 mm를 적용한 경우에도 약 50% 정도의 큰 값으로 나타난다. 그러나 24시간 지속기간의 경우에는, 재현기간 100년에 대한 확률강우량은 약 430.4 mm로 절단값 0 mm를 적용한 독립 호

Table 3. Statistics of Annual Maximum Rainfall Series and Annual Maximum Independent Rainfall Event Series

Annual maximum rainfall series						
	Rainfall duration (hr)	Average (mm)	Standard deviation	Coefficient of variation	Coefficient of skewness	Coefficient of kurtosis
	1	45.6	17.9	0.392	1.440	7.275
	24	175.4	81.9	0.467	1.257	4.503
Annual maximum independent rainfall event series						
Threshold (mm)	Rainfall duration (hr)	Average (mm)	Standard deviation	Coefficient of variation	Coefficient of skewness	Coefficient of kurtosis
0	1	4.2	5.4	1.28	2.25	7.93
	24	89.2	53.9	0.60	1.87	7.78
0.5	1	6.6	5.3	0.79	1.62	5.48
	24	107.9	52.3	0.48	1.36	6.18
2	1	12.7	8.6	0.67	1.51	5.67
	24	133.3	67.7	0.50	2.49	11.85
5	1	19.3	10.8	0.55	1.74	7.13
	24	143.6	73.6	0.51	1.95	8.26
10	1	26.0	16.7	0.64	3.62	19.99
	24	142.9	81.5	0.57	1.69	6.44



(a) Duration 1 hour



(b) Duration 24 hour

Fig. 8. Comparison of Frequency Analysis Results for Annual Maximum Rainfall Series and Annual Maximum Independent Rainfall Event Series (IETD: 12 hour)

Table 4. Probable Rainfall (mm) Estimated with Respect to the Return Period and Duration

Return period (year)	Duration 1 hour					
	Conventional	Threshold (mm)				
		0	0.5	2	5	10
2	42.8	3.5	5.8	11.3	17.6	23.9
3	50.0	5.4	7.8	14.8	21.9	29.3
5	58.0	7.6	10.1	18.7	26.6	35.4
10	68.2	10.3	13.1	23.6	32.6	42.9
20	77.9	12.9	15.8	28.3	38.4	50.2
30	83.5	14.4	17.4	31.0	41.7	54.4
50	90.5	16.3	19.5	34.4	45.8	59.6
100	99.9	18.8	22.2	38.9	51.3	66.6
200	109.3	21.3	24.9	43.5	56.9	73.6
Return period (year)	Duration 24 hour					
	Conventional	Threshold (mm)				
		0	0.5	2	5	10
2	162.1	80.8	99.4	123.4	132.3	130.2
3	196.1	102.0	121.1	148.6	161.0	162.5
5	233.9	125.5	145.3	176.5	193.0	198.4
10	281.5	155.1	175.8	211.7	233.3	243.6
20	327.1	183.5	205.0	245.4	271.8	287.0
30	353.3	199.9	221.8	264.8	294.0	311.9
50	386.1	220.3	242.8	289.1	321.8	343.1
100	430.4	247.8	271.1	321.8	359.2	385.1
200	474.5	275.2	299.3	354.4	396.5	427.0

우사상 계열의 경우에도 그 차이가 50% 정도로 제한되고 있으며, 절단값으로 10 mm를 적용한 경우에는 그 차이가 단지 10% 정도로 크게 줄어들고 있음을 확인할 수 있다. 즉, 지속기간 24시간의 경우에는 전통적인 방법으로 구축한 연 최대치 계열과 독립 호우사상 계열의 차이가 거의 없어질 수 있음을 의미하는 결과이다.

## 5. 결론

본 연구에서는 강우 지속기간이 비교적 짧은 경우 및 긴 경우에 대한 연최대치 계열과 연최대치 독립 호우사상 계열을 비교하였다. 대상 자료로 1961년부터 2010년까지 서울지점 우기(6~9월) 시강우 자료를 사용하였고, 독립 호우사상의 추출을 위한 IETD로 6, 9, 12시간을 절단값으로 0, 0.5, 1~10 mm(1 mm간격)를 적용하였다. 추출된 독립 호우사상을 이용하여 IETD 및 절단값에 따라 그 발생 빈도, 평균 지속기간, 평균 강우강도 등이 어떻게 변화하는지를 분석하였다. 아울러, 추출된 독립호우사상의 발생 빈도 및 평균 강우강도가 지속기간과 어떤 관련성이 있는지를 파악하였다. 마지막으로, 연최대치 계열과 연최대치 독립 호우사상 계열에 대한 빈도해석을 수행하고, 그 결과를 비교하였다. 이상과 같은 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) IETD의 증가에 따라 독립호우사상의 발생 횟수는 감소하고, 독립 호우사상의 평균 강우강도는 감소하나, 반대로 평균 지속기간은 증가하는 것으로 나타났다. 절단값이 증가하는 경우에는 독립 호우사상의 발생 횟수는 감소하고, 독립 호우사상의 평균 강우강도는 증가하나, 반대로 평균 지속기간은 감소하는 것으로 나타났다.
- 2) IETD의 증가에 따른 짧은 지속기간 및 비교적 긴 지속기간을 갖는 독립 호우사상의 발생 빈도는 유사한 감소비율을 갖는 것으로 나타났다. 그러나 절단값의 증가에 따른 경향성은 IETD의 증가에 따른 경향성과는 상반되게, 지속기간이 긴 호우사상의 발생 빈도가 급격히 감소하는 것으로 나타났다.
- 3) 독립 호우사상의 평균 강우강도는 강우 지속기간에 관계없이 거의 일정한 것으로 나타났다. 이는, 동일한 발생 확률을 갖는 독립 호우사상의 경우, 짧은 지속기간을 갖는 독립 호우사상의 최대 강우강도가 지속기간이 긴 호우사상의 최대강우강도 비해서 상대적으로 작게 되는 것을 의미한다. 이를 통해 연 최대치 강우강도는 지속기간이 짧은 호우사상 보다는 긴

지속기간을 갖는 호우사상에서 결정될 가능성이 크다는 것을 알 수 있다.

- 4) 강우 지속기간이 짧게 고려되는 경우, 연 최대치 계열과 연 최대치 독립 호우사상 계열의 차이가 매우 크게 나타났다. 그러나 강우 지속기간을 비교적 길게 고려하는 경우, 두 계열 사이의 차이는 현저히 줄어들어는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 두 계열에 대한 빈도해석 결과에서도 동일하게 확인되었다. 이러한 결과는 특히 매우 짧은 집중시간을 고려하는 작은 유역의 경우, 전통적인 자료분석 방법을 통해 결정된 설계강우가 실제 발생 가능성이 없는 비현실적인 경우가 될 가능성이 매우 큼을 의미한다. 이러한 문제는 강우의 지속기간이 길어짐에 따라 크게 완화되게 된다. 이러한 문제점은 당연히 수공구조물의 설계 기준으로 사용되는 홍수량에 그대로 반영될 수밖에 없다. 이와 관련된 문제 및 가능한 해결방안 등은 다음 연구로 넘기기로 한다.

## 감사의 글

본 연구는 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No. KRF-2008-313-D01083).

본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No. 2010-0014566).

## 참고문헌

- 건설교통부 (2000). 한국 확률강우량도의 작성.
- 국토해양부 (2010). 설계홍수량 산정 선진화 기획 연구보고서.
- 권재호, 박무중, 김중훈 (2004). "비점오염원 산정을 위한 강우 분석." **한국수자원학회 2004 학술발표회**, 한국수자원학회, pp. 666-670.
- 김남원 (1998). 강우의 시·공간 분포특성 : 점 강우모형 매개 변수 추정. 한국건설기술연구원.
- 박상우, 전병호, 이신재, 박양래, 김명수 (2005). "설계강우의 임계지속기간 산정을 위한 수문요소의 영향분석." **한국수자원학회 2005년도 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 571-577.
- 양희성 (2003). 설계강우의 임계지속기간에 미치는 수문요소의 영향에 관한 연구. 석사학위논문, 한양대학교,

- pp. 46-47.
- 윤용남 (2009). 수문학. 청문각, pp. 1023.
- 이동률, 정상만 (1992). “한강유역 강우의 시·공간적 특성.” **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제25권, 제4호, pp. 75-85.
- 이정식, 신창동, 이봉석 (2008). “설계강우의 임계지속기간과 유역특성인자의 상관성 분석.” **한국방재학회 2008년도 학술발표회 논문집**, 한국방재학회, pp. 711-714.
- 정중호, 윤용남 (2009). 수자원설계실무, 구미서관, pp. 68.
- Adams, B.J., and Papa, F. (2000). *Urban Stormwater Management Planning with Analytical Probabilistic Models*. John Wiley & Sons, INC., pp. 55-68.
- EPA (1986). *Methodology for Analysis of Detention Basins for Control of Urban Runoff Quality*.
- Kao, 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.
- 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.
- Levy, B., and McCuen, R. (1999). “Assessment of storm duration for hydrologic design.” *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 4, No. 3, pp. 209-213.
- Yeu, 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: 11-055	접수: 2011.05.27
수정일자: 2011.10.27/2012.02.01	심사완료: 2012.02.01