

## 집중호우 사상을 고려한 Huff의 4분위법 개선방안 Improvement of Huff's Method Considering Severe Rainstorm Events

최 소 영\* / 주 경 원\*\* / 신 홍 준\*\*\* / 허 준 행\*\*\*\*

Choi, Soyung / Joo, Kyungwon / Shin, Hongjoon / Heo, Jun-Haeng

### Abstract

When designing hydraulic structures, the chosen method of time distribution in a hyetograph is highly significant. There are several methods used for measuring time distribution. In the case of Huff (1967), which is widely used in Korea, the Ministry of Construction and Transportation (MOCT, 2000), and the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MOLTMA, 2011) have long been increasing their use of this method. The MOLTMA uses the conventional Huff method's measurement of 1 inch (25.4 mm) as the threshold. Many researchers have pointed out that this method often leads to underestimation, because of the excessive flatness. Therefore, for this study, a new time distribution method was developed to analyze only extreme rainfall events—those over the standard of severe rainstorms (that is, more than 30 mm per hour or 80 mm per day)—and that was verified using a rainfall-runoff model and applying it to a real basin.

**keywords** : Huff's method, time distribution, rainfall-runoff, severe rain storm, objective function

### 요 지

수공구조물을 설계함에 있어 설계우량주상도를 결정하기 위해 설계강우량을 시간분포시키는 방법은 매우 중요하다. 우리나라에서 널리 쓰이는 Huff 방법의 경우 MOCT (2000), MOLTMA (2011)에서 적용성을 높여왔으나, 기존 Huff (1967) 방법과 똑같은 기각기준으로 강우총량 1 inch (25.4 mm)를 제시하고 있다. 따라서 본 연구에서는 Huff 방법 적용시 자료 기각기준을 집중호우기준에 따라 극치사상만을 분석하는 시간분포방법을 제안하였고, 이를 실제 유역에 적용시켜 강우-유출모형을 통한 검증을 실시하였으며 목적함수 비교를 통해 실제유역의 적용성을 확인하였다. 그 결과 침투유출량의 과소산정 문제를 보완하여 실제 침투유출량에 더 가까운 유출수문곡선을 제시함으로써 수공구조물 설계의 안정성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어** : Huff의 4분위법, 시간분포, 강우-유출, 집중호우, 목적함수

\* 연세대학교 산업기술연구소 연구원 (e-mail: choisoyung@yonsei.ac.kr)  
Researcher, Institution of Industrial Technology, Yonsei University

\*\* 연세대학교 토목환경공학과 대학원 통합과정 (e-mail: kwjy1@yonsei.ac.kr)  
M. S. & Ph. D. Integrated Course, School of Civil and Environmental School, Yonsei University

\*\*\* 연세대학교 토목환경공학과 대학원 박사후과정 (e-mail: sinong@yonsei.ac.kr)  
Post-Ph. D., School of Civil and Environmental School, Yonsei University

\*\*\*\* 교신저자, 연세대학교 공과대학 사회환경시스템공학부 교수 (e-mail: jhheo@yonsei.ac.kr, Tel: 82-2-2123-2805)  
Corresponding Author, Professor, School of Civil and Environmental School, Yonsei University

## 1. 서 론

수공구조물의 설계에 있어 강우의 시간분포방법은 매우 중요하다. 시간분포란 설계대상유역에 대한 확률강우량을 산정하고 설계하고자 하는 수공구조물의 설계빈도를 설정하여 설계강우량을 결정한 후에 그 설계강우량을 설계지속시간에 따라 적절하게 분포시켜 설계우량주상도(design hyetograph)를 얻는 방법이다. 내수배제시설과 저수지 등에서도 유출체적 뿐만 아니라 유출수문곡선이 필요하므로, 단위도법이나 강우-유출모형이 많이 사용되는 현재 상황을 비추어 볼 때 시간분포의 필요성은 날로 증대되고 있다. 또한 설계호우의 시간분포는 침투유출량, 임계지속시간, 유출수문곡선 등 홍수를 판단하는 주요한 인자들에 직접적인 영향을 끼치고 동일한 강우량을 가진 사상이라도 시간에 따라 어떻게 분포시키느냐에 따라 유출양상이 달라지므로 중요하다고 볼 수 있다.

시간분포방법에 대한 국내외의 연구는 지속적으로 진행되어 왔다. 시간분포방법은 크게 네 가지로 분류할 수 있다. 첫째, 강우의 시간분포를 임의로 배열하는 형태로서 현재 국내에서는 거의 사용되지 않고 있지만 Mononobe 식을 통해 강우를 임의로 세 가지 패턴(전진형, 중앙집중형, 지연형)에 따라 배열하여 우량주상도를 얻는 방법이다. 둘째는 강우강도-지속시간-빈도 곡선의 관계를 이용해 시간분포를 시키는 방법으로 교호블럭방법(alternative block method)과 Keifer and Chu (1957)가 제안한 Chicago 방법이 있다. 셋째로는 기왕의 강우 사상을 선정하여 시간대별 누가곡선을 활용하는 형태로 현재 가장 많이 사용되고 있는 Huff (1967) 방법이 있다. 마지막 방법은 평균이동법을 이용하여 시간분포를 시키는 방법으로 Pilgrim and Cordery (1975)이 제안한 Sydney법이 있고 Yen and Chow (1980)의 삼각형 우량주상도법, 사다리꼴 우량주상도법이 있다 (MOLTMA, 2011).

우리나라의 경우 강우의 시간분포 결정시 Huff 방법을 사용하도록 하천정비기본계획수립 및 하천대장작성지침(MOCT, 2004)에서 권장하고 있다. 이에 따라 국토해양부에서는 기상청 69개 지점의 Huff 시간분포값을 확률강우량도 개선 및 보완 연구(MOLTMA, 2011)에서 제시하고 있다. 하지만 국내의 많은 연구에서 과거의 강우사상을 토대로 누가곡선을 그려 분석을 하는 Huff 방법의 특성상 과도한 평탄화로 인해 침투유출량이 과소산정되는 문제를 지적하고 있다(Yoon et al., 2004; Jang et al., 2006a, 2006b). 이는 Huff의 논문(Huff, 1986)에서도 지적되는 문제이기도 하며, Knapp and Terstriep (1981)은 SCS Type-II와

비교하여 Huff 방법의 침투유출량이 재현기간 100년에 해당하는 강우에 있어 약 20% 과소산정 된다고 지적하였다. 이렇게 침투유출량이 과소산정되는 이유는 Huff 방법이 기왕의 강우사상을 통계적으로 접근하는 방법이기 때문인데, 이러한 Huff 방법의 특성상 강우 사상을 선정하는 기준이 무엇보다 중요하다. MOLTMA (2011)에서는 Huff (1967)와 동일하게 지속시간에 상관없이 지점우량 강우총량 1 inch (24.5 mm)의 기각기준만을 사용하고 있다. Huff (1967) 방법은 미국 Illinois 지방의 한 유역을 분석한 방법으로 기상청 강우관측소의 지점우량을 분석하는 우리나라의 경우와 다름에도 불구하고, 국내 적용시 강우사상의 기각기준을 동일하게 1 inch로 한정하여 분석을 하고 있다. 따라서 본 연구에서는 기상청에서 정의하는 집중호우기준(시간당 30 mm 이상의 강우나 일강우량 80 mm 이상의 강우를 포함하는 사상)에 따라 강우 사상을 선정하여, 보다 극치사상에 가까운 강우의 패턴만을 분석하여 강우-유출 모형을 통해 검증함으로써 Huff (1967) 방법이 가지는 침투유출량의 과소산정 문제를 보완하고자 한다.

## 2. 기존의 시간분포방법

### 2.1 Huff (1967)의 시간분포

Huff (1967)는 도시유역의 홍수 하수도 시스템 설계와 같은 수공학적 문제를 해결하기 위하여 큰 호우에 대한 시간분포방법을 개발하였다. 미국 Illinois 주 중부에 위치한 400 mi<sup>2</sup>의 유역에 49개의 강우 우량관측소를 설치하여 12년간의 강우자료를 구축하여 큰 호우를 분석한 강우의 시간분포방법을 제시하였으며, 이 방법은 후에 미국전역에서 유용하게 쓰이는 실무적인 방법으로 사용되었다. 하지만 Huff (1986)의 논문에서 기존의 Huff (1967) 방법은 미국 Illinois 주 만을 대상으로 하고 있기 때문에 다른 지역에 적용을 할 시에는 다양한 인자들을 고려하여야 한다고 지적하고 있으며, Knapp and Terstriep (1981)은 대체가능한 시간분포방법을 조사하고 SCS Type-II 시간분포와, HEC (Hydrology Engineering Center)의 시간분포, Huff의 방법을 비교해본 결과 재현기간 100년 강우의 경우 Huff (1967) 방법이 SCS Type-II 방법에 비해 침투유출량이 약 20% 정도 과소산정된다고 주장하였다. 따라서 Huff (1967) 방법의 경우 모든 지역에 광범위하게 절대적인 기준으로 사용할 수 있는 것은 아니고, 대상 지역에 적용을 할 때는 그 지역의 특성에 맞게 적절하게 개선을 하여야 할 것으로 판단된다.

### 2.1.1 Huff (1967)의 대상자료

Huff (1967)는 미국 Illinois 주 중부지역의 400 mi<sup>2</sup> (1,036 km<sup>2</sup>)의 유역을 선정하여 시간분포방법을 개발하였다. 대상자료는 12년 자료이며(1955~1966년) 대상유역에 강우관측소는 49개가 있다. 무강우지속시간(IETD, Inter-Event Time Definition)을 6시간으로 설정하여 강우사상을 분리하였고, 기각기준으로는 유역면적평균강우량 0.5 inch (12.7 mm) 이상이거나 지점우량 기준 1 inch (25.4 mm) 이상을 사용하였다. 이러한 기각기준으로 선정된 강우의 사상수는 261개이며, 선정된 강우지속시간은 3시간에서 48시간으로 나타났다. 261개의 강우사상을 분위별로 구분하고 분포값을 무차원화하여 4개의 분위로 강우사상을 분류하였고, 분류한 강우사상수 및 백분율은 Table 1과 같다.

### 2.1.2 Huff (1967)의 분석결과

Huff (1967)의 분석결과는 세 가지로 요약이 된다. 첫 번째는 1분위와 2분위 호우가 가장 빈번하였으며 4분위 호우 사상 수가 가장 적었다. 지속시간이 긴 경우(24시간 이상)에서는 4분위가 지배적이었으며, 중간정도의 지속시간에서는(12~24시간) 3분위 호우가 지배적이었고, 그보다 짧은 지속시간의 경우 1분위와 2분위 호우가 많았다. 두 번째로는 Huff (1967)의 경우 분위별로 Weibull의 확률도 시위치공식(Eq. (1))을 이용하여 누가우량곡선을 만들어 냈다.

$$P(X > x) = \frac{m}{n+1} = \frac{1}{T} = 1 - P(X \leq x) \quad (1)$$

여기서,  $n$ 은 연최대치 자료 계열을 구성하고 있는 자료의 총 개수,  $m$ 은 전 자료를 내림차순으로 나열했을 때의 순위,  $T$ 는 평균재현기간으로 초과확률의 역수,  $P(X \leq x)$ 는 비초과확률 혹은 누가발생확률을 뜻한다.

따라서 확률도시위치공식을 이용했을 때 초과확률 50%의 값이 가장 대표성을 띠므로 통계적으로 가장 적절한 값이라고 제시하고 있으며, 10%, 90%일 때도 유출량을 고려해 볼 필요가 있다고 하였다. 세 번째로 Huff (1967)는 12개년의 자료들 중 기각기준을 만족시키는 강우사상이 261개로 많은 강우사상을 분석하고 있지 못하므로 불확실

성을 가지는 결과 값이 나올 수도 있음을 지적하고 있다. 따라서 이후에 연구된 논문에 따르면 Huff (1990)는 Huff (1967) 방법이 미국 Illinois 주의 강우패턴이나 기후와 비슷한 지역에서는 유용하게 쓰일 수 있으나 다른 지역의 지점우량 관측소 혹은 유역에 적용할 때는 절대적인 기준이 될 수 없음을 지적하고 있다.

### 2.2 Mononobe 시간분포

MOLTMA (2009)에 따르면 Mononobe 방법은 일강우량을 시강우자료로 만들기 위해 개발된 방법이나, Huff 분포와 침투유출량 및 유출수문곡선을 비교 검토하기 위한 경우에 주로 사용한다고 서술하고 있다. 따라서 본 연구에서도 강우-유출 모형을 통해 각각의 시간분포방법을 검증할 때 Mononobe 방법을 통한 유출수문곡선 또한 비교의 대상으로 제시하고자 한다. Mononobe 방법은 현재 국내에서 설계시 거의 사용되지 않고 있으며, 다음 Eq. (2)와 같다.

$$R_t = \frac{R_T}{T} \left( \frac{T}{t} \right)^n \cdot t \quad (2)$$

여기서,  $T$ 는 설계지속시간,  $t$ 는 시간구간을 나타내며,  $R_T$ 는 설계지속시간( $T$ ) 동안의 설계강우량,  $R_t$ 는 시간간격( $t$ ) 동안의 누가 강우량,  $n$ 은 지역상수로 통상 2/3 (=0.6777)를 사용한다. 지점별로 지역상수  $n$  값을 적절하게 선정하여 사용한다면 시간분포의 지역적 특성도 파악할 수 있다.

시간간격( $t$ ) 동안의 누가 강우량( $R_t$ )을 산정하여 시간구간 당 강우량을 산정한 후 임의로 전진형, 중앙집중형, 지연형으로 배열하여 시간분포를 사용하는데, 본 연구에서는 가장 널리 쓰이는 중앙집중형으로 배열하여 설계우량추상도를 산정하였다.

### 2.3 ABM 시간분포

ABM (Alternative Blocking Method)는 강우강도-지속시간-빈도(IDF) 관계로부터 수학적으로 확률강우량을 유도하여 시간분포시킨 후에 설계우량추상도를 작성하는 방법이다. ABM 방법은 IDF 곡선으로부터 작성되기 때문에 지속시간과 재현기간이 결정되면 얻어지는 시간별 강우강도로부터 설계강우량을 시간분포시킬 수 있다. 하지만 전체 지속시간에 각각의 시간구간을 누가했을 때, 전

Table 1. Numbers and Percentages of Selected Rainfall Events by Huff's (1967) Method

Index	1st	2nd	3rd	4th	Total
Number	82	91	65	23	261
Percentage	30%	36%	19%	15%	100%

지속시간에 동일한 재현기간으로 강우가 발생한다고 가정을 하고 있어 실제 호우사상에 비해 첨두유출량이 과대산정되는 경향을 보인다고 알려져 있다(MOLTMA, 2011). MOLTMA (2011)에 따르면 기본적인 작성 절차는 다음과 같다.

- 1) 총 강우지속시간을 임의의 시간구간으로 나눔
- 2) 설계재현기간을 선택한 후 강우강도식에 의해 누가 지속시간에 대한 설계강우강도 계산
- 3) 설계강우강도에 지속시간을 곱하여 지속시간별 누가 설계강우량 산정
- 4) 누가 설계강우량에서 각 구간의 설계강우량 산정
- 5) 지속시간의 중앙에 최대 임의의 시간구간의 설계강우량을 배치하고 그 다음 오른쪽, 그 다음은 왼쪽 순으로 번갈아 배치(Mononobe 중앙집중형과 같은 방법)

### 2.4 NRCS 시간분포

현재 미국에서 널리 사용되고 있는 NRCS (Nature Resources Conservation Service, 1986) 시간분포 방법은 각각의 권역에 따라 크게 4가지 타입으로 분류되어있다. Type I, IA, II, III로 분류되며 각각의 권역과 24시간 누가 시간분포방법은 Figs. 1~2와 같다. 각각의 타입은 지역의 특성을 반영하며 미국 대다수의 내륙지방은 Type II를 사용하고 있다.

## 3. Huff 방법의 개선 방안

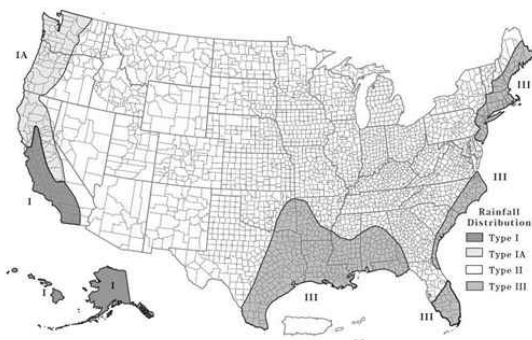


Fig. 1. Approximate Geographic Boundaries NRCS Rainfall Distributions

## 3.1 MOLTMA (2011)의 Huff 시간분포

### 3.1.1 MOLTMA (2011)의 대상자료 선정

MOLTMA (2011)는 기상청 산하 측후소 및 관측소 69개 지점의 시강우자료를 이용하여 Huff 시간분포값을 도출하였다. 기존의 시간분포 연구인 MOCT (2000) 자료와 비교를 하면 대상자료 선정에 큰 차이가 있는데, MOCT (2000)의 경우 대상자료를 6~9월까지의 홍수기 시자료를 이용하였으며, 강우사상의 분리는 최소 무강우시간을 6시간으로 채택하여 기존의 Huff (1967) 방법과 동일하게 하였고 강우사상의 총량에 대한 기각기준은 없었으며 강우 지속시간 2시간 이하의 강우는 강우사상으로 선정하지 않았다. MOLTMA (2011)의 경우는 연중 전 기간의 강우 시자료를 사용했으며, 지속시간에 상관없이 총강우량 1 inch (25.4mm) 이상의 사상만을 분석하였다. 최소 무강우시간은 6시간으로 하였으며 지속시간 3시간 이하의 강우는 강우사상으로 선정하지 않았다.

### 3.1.2 MOLTMA (2011)의 시간분포 결과

MOCT (2000)와 MOLTMA (2011)의 비교 결과 최빈분위에서 큰 차이를 보였으며, 각 기상청지점의 지배 최빈분위 및 백분율은 Table 2와 같다. MOCT (2000)은 1분위가 거의 모든 지점에서 지배적이었다면, MOLTMA (2011)에서는 2분위와 3분위가 지배분위로 나타났다. MOLTMA (2011)는 이 원인으로 기존 연구에서는 강우 사상 선정시 기각기준을 설정하지 않고 모든 강우사상을

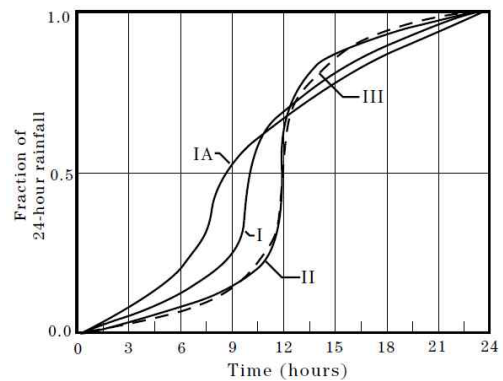


Fig. 2. NRCS 24-hour Rainfall Distributions

Table 2. Numbers and Percentages of Selected Rainfall Events by MOCT (2000) and MOLTMA (2011)

Index	1st	2nd	3rd	4th	Total
MOCT (2000)	64 (92.8%)	1 (1.4%)	0 (0%)	4 (5.8%)	69 (100%)
MOLTMA (2011)	0 (0%)	40 (58%)	29 (42%)	0 (0%)	69 (100%)

MOCT; Ministry of Construction and Transportation, MOLTMA; Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs.

이용하여 지속시간이 짧은 경호우 성격의 강우 사상이 다량 포함되다 보니 최빈분위가 1분위로 나타났지만, 후속 연구에서는 강우로 선정되는 기준이 지속시간이 2시간에서 3시간으로 변하면서 최빈분위가 1분위 보다는 2분위와 3분위가 더 지배적으로 나타났다고 기술했다. 또한 MOLTMA (2011)는 MOCT (2000)보다 강우총량이 더 큰 극한 사상 호우를 더 많이 포함하고 있으며, 지속시간이 짧은 사상이 많이 기각되었다. 따라서 1분위의 경우 MOLTMA (2011)의 무차원누가우량곡선이 좀 더 기울기가 급하지만 2, 3분위의 경우 큰 차이를 보이지 않고 있어 극치 사상을 표현하기에는 한계가 있는 것으로 판단된다.

### 3.2 금회 연구의 Huff 시간분포

본 연구는 국내 기상청 강우관측소의 지점우량을 토대로 기각기준을 집중호우의 기준에 맞게 설정하여 보다 큰 극한 사상의 호우에 대해서만 분석하였다. 이는 기존의 Huff (1967) 방법이 가지는 과소산정의 문제를 보완하고자 극한 사상에 해당하는 강우사상만을 분석하는데 의의가 있다. 기상청 기상백과에 따르면 집중호우는 시간과 공간적 집중성이 매우 강한 비를 의미하며, 일반적으로 시간당 30 mm 이상의 강우, 하루에 80 mm 이상의 비가 내릴 때 또는 연강수량의 10%에 해당하는 비가 하루에 내리는 현상을 의미한다. 그러나 우리나라 모든 지점의 경우 연강수량이 800 mm를 초과하므로 앞의 두 가지 기준만을 적용하였으며, 일강우량에 국한하지 않고 이동지속시간 24시간 동안 80 mm가 넘는 강우를 대상으로 하여 적용성을 좀 더 높였다. 또한 최소 무강우시간은 기존의 Huff (1967) 방법과 동일하게 6시간으로 선정하였으며 지속시간 3시간 이하의 강우사상은 분위결정의 문제점을 발생하므로 본 연구에서는 기각하였다.

## 4. 대상 유역의 적용 및 분석

### 4.1 대상유역 및 대상사상의 선정

본 연구에서 제시된 시간분포방법과 MOLTMA (2011)의 시간분포방법을 검증하기 위해 선택한 유역과 강우사상을 Table 3에 나타내었으며 본 연구에서는 대표적인 유역으로 섬진/영산강 권역의 춘양 수위관측소 유역과 또 같은 섬진/영산강 권역의 오수 수위관측소 유역을 대상으로 하였다. 춘양 유역의 경우 유역면적은 143.10 km<sup>2</sup>, 유로연장은 16.74 km이며 표고차는 197 m로 비교적 평평한 지역이며 유역의 강우관측소와 수위관측소는 Fig. 3에 나

타냈다. 근처 기상청 지점으로는 영주가 있으며 유역의 시간분포방법으로는 영주 지점의 시간우자료를 이용하였다. 오수 유역의 유역면적은 350.09 km<sup>2</sup>, 유로연장은 35.1 km, 표고차는 376 m로 평탄한 지역은 아니며 유역의 강우관측소와 수위관측소는 Fig. 4에 나타났다. 근처 기상청 지점은 임실지점이며 시간분포방법은 임실지점의 시간우자료를 이용하였다.

### 4.2 대상지점의 Huff 분포 비교

본 연구의 대표적인 대상지점인 기상청 영주지점과 임실지점을 살펴보면, 두 지점의 시간우자료로 이용된 것은 1960년부터 2010년까지의 50년 자료이며 영주의 경우 50년 동안 집중호우가 113회 있었으며, 임실지점은 50년 동안 집중호우가 106회 있었다. 각 지점의 집중호우로 선정된 분위별 사상수와 백분율은 Table 4와 같고, 두 지점의



Fig. 3. Choonyang Basin (A=143.10 [km<sup>2</sup>])

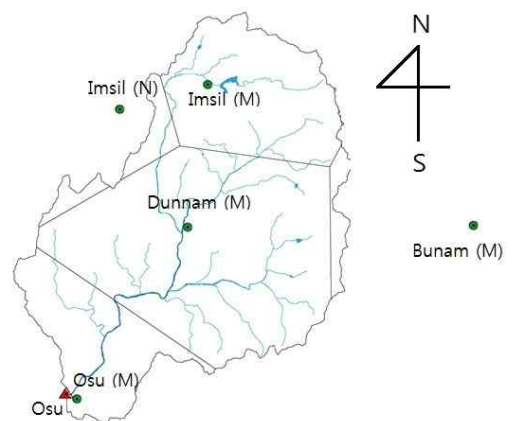


Fig. 4. Osu Basin (A=350.09 [km<sup>2</sup>])

**Table 3. Target Basins and Target Events**

No	Basin	Area [km <sup>2</sup> ]	Length [km]	Altitude Difference [m]	Date	Duration [hr]	Depth [mm]
1	Boksu	161.90	36.31	343	2009.07.14_17:00	11.0	149.7
2	Choonyang	143.10	16.74	197	2011.08.09_06:30	12.0	126.3
3					2006.05.06_02:30	11.5	155.3
4					2006.05.18_22:30	17.5	74.0
5					2006.06.25_05:00	13.0	84.4
6					2006.07.10_02:00	11.0	114.0
7					2006.07.11_11:00	9.5	70.0
8					2007.09.16_07:30	14.5	75.9
9					Chungju	161.44	32.84
10	2007.09.16_18:30	25.0	89.0				
11	2008.07.24_21:30	13.5	81.7				
12	2008.08.13_14:00	6.5	60.3				
13	2010.09.11_04:00	7.5	77.7				
14	Chungmi	514.66	45.16	142	2011.08.07_22:00	4.5	52.9
15					2006.06.14_13:30	16.0	52.8
16					2007.07.04_03:30	12.5	52.7
17					2007.08.27_10:00	18.0	77.6
18					2008.09.20_13:30	12.0	63.4
19					2009.07.14_11:00	14.0	88.4
20					2011.05.10_12:00	23.0	88.1
21					2011.07.03_02:00	21.0	93.1
22	Gapyung	305.12	39.36	721	2011.07.08_20:00	15.0	56.6
23					2008.07.26_03:00	14.5	91.5
24	Heoduck	609.15	45.95	288	2005.08.19_21:00	12.5	88.3
25					2007.08.28_17:30	22.0	115.9
26					2007.09.01_07:30	26.0	126.6
27	Heungcheon	294.44	28.42	136	2009.07.09_05:00	14.0	107.7
28					2010.09.21_14:30	9.5	147.8
29					2011.06.30_03:30	6.5	69.1
30	Joongrang	208.41	27.26	219	2007.07.11_15:30	6.5	59.8
31					2010.08.29_06:00	9.0	90.0
32					2011.07.31_13:30	9.0	69.2
33	Osu	350.09	35.10	376	2006.07.10_03:00	15.0	64.0
34					2006.07.11_14:00	15.0	78.8
35					2007.09.01_02:30	26.5	95.2
36					2007.09.14_18:00	18.5	147.2
37					2009.07.16_01:30	10.5	82.8
38					2011.08.09_05:30	16.0	177.4
39	Yulgeuck	179.95	31.61	113	2009.07.14_12:30	12.5	67.5
40					2010.09.12_00:30	7.5	106.4
41	Kooryong	199.74	50.51	244	2006.07.12_00:00	6.5	48.3
42					2007.09.14_15:00	15.0	120.6
43					2008.06.17_23:30	18.5	76.9
44					2008.07.20_12:00	16.0	50.6
45					2009.07.20_23:00	11.0	69.6
46					2010.08.15_02:30	7.5	57.5
47					2010.09.01_20:00	13.5	41.7
48	Yoosung	250.50	42.02	349	2007.08.29_17:30	16.5	116.0

Huff 분포 결과값을 비교하면 다음과 같다. 집중호우 사상으로 선정된 수가 적으므로 각 분위별 Weibull의 도시확률 위치공식에 의해 초과확률 50%를 대푯값으로 제시하였다. 영주지점의 MOLTMA (2011) Huff 분포와 본 연구의 Huff 분포는 Table 5와 같고 임실지점의 MOLTMA (2011) Huff 분포와 본 연구의 Huff 분포는 Table 6과 같다.

### 4.3 유출수문곡선 및 침투유출량 비교

각각의 대상지점에서 구한 Huff 분포의 무차원곡선에 대한 검증을 위해 강우-유출모형(HEC-HMS)을 통해 각 구역에서 선정된 실측사상의 유출수문곡선을 비교하여 적절한 시간분포를 검증해 보았다. 먼저 춘양 구역의 경우 2006년 7월 10일 02:00에 발생한 강우지속시간 11시간, 총강우량 114.0 mm 강우사상의 유출수문곡선을

Fig. 5에 나타냈다. 유출수문곡선에서 우량주상도는 본 연구 시간분포방법의 강우분포, MOLTMA (2011) 시간분포방법의 강우분포, 실제 강우사상의 강우분포와 비교를 위해 Mononobe 시간분포방법의 강우분포로 나타냈다. 또한 비교를 위하여 ABM 방법과 NRCS Type II 방법을 함께 비교하였다. 본 연구의 목적이 시간분포방법에 따른 실제유출사상과 비교하는데 있으므로, 실제 강우량을 실제 사상의 분위에 적합하게 시간분포시켜 유출수문곡선을 비교하였다. Fig. 5에서 “Actual R”은 실제강우사상을 표현한 우량주상도이며, “Mononobe R”은 실제강우량을 Mononobe 방법으로 시간분포시킨 우량주상도, “ABM R”은 ABM 방법으로 실제강우량을 시간분포시킨 우량주상도이며, “NRCS Type\_2 R”은 NRCS Type II 방법으로 실제강우량을 시간분포시킨 우량주상도이다. 본 연구의

**Table 4. Numbers and Percentages of Selected Rainfall Events with Each Quartile in This Study**

Site	1st	2nd	3rd	4th	Total
Youngju	18 (15.9%)	40 (35.5%)	37 (32.7%)	18 (15.9%)	113 (100%)
Imsil	25 (23.6%)	32 (30.2%)	30 (28.3%)	19 (17.9%)	106 (100%)

**Table 5. Results of Nondimensional Huff Distributions of Youngju (Exceedance Probability : 50%)**

Youngju		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1st	MOLTMA (2011)	0.000	0.167	0.384	0.533	0.641	0.730	0.816	0.887	0.943	0.976	1.000
	This Study	0.000	0.151	0.352	0.545	0.628	0.717	0.837	0.936	0.965	0.987	1.000
2nd	MOLTMA (2011)	0.000	0.055	0.141	0.141	0.505	0.693	0.798	0.881	0.938	0.973	1.000
	This Study	0.000	0.033	0.116	0.229	0.491	0.692	0.839	0.926	0.961	0.988	1.000
3rd	MOLTMA (2011)	0.000	0.033	0.088	0.161	0.269	0.412	0.627	0.796	0.909	0.971	1.000
	This Study	0.020	0.054	0.123	0.216	0.379	0.572	0.777	0.931	0.986	1.000	1.000
4th	MOLTMA (2011)	0.000	0.039	0.081	0.143	0.225	0.314	0.399	0.495	0.687	0.897	1.000
	This Study	0.000	0.046	0.081	0.188	0.313	0.333	0.400	0.482	0.672	0.883	1.000

MOLTMA; Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs.

**Table 6. Results of Nondimensional Huff Distributions of Imsil (Exceedance Probability : 50%)**

Imsil		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1st	MOLTMA (2011)	0.000	0.167	0.418	0.601	0.705	0.791	0.841	0.890	0.943	0.978	1.000
	This Study	0.000	0.135	0.440	0.585	0.671	0.727	0.815	0.893	0.954	0.987	1.000
2nd	MOLTMA (2011)	0.000	0.044	0.138	0.311	0.538	0.699	0.824	0.908	0.947	0.976	1.000
	This Study	0.000	0.032	0.132	0.252	0.508	0.757	0.867	0.931	0.949	0.988	1.000
3rd	MOLTMA (2011)	0.000	0.039	0.094	0.185	0.270	0.403	0.599	0.809	0.919	0.974	1.000
	This Study	0.000	0.038	0.066	0.140	0.188	0.343	0.565	0.820	0.946	0.986	1.000
4th	MOLTMA (2011)	0.000	0.033	0.078	0.127	0.206	0.288	0.402	0.504	0.672	0.887	1.000
	This Study	0.000	0.029	0.070	0.112	0.139	0.212	0.286	0.442	0.582	0.902	1.000

MOLTMA; Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs.

목적인 MOLTMA (2011)의 Huff 시간분포방법을 이용한 값과 본 연구의 시간분포방법으로 시간분포시킨 우량주 상도는 각각 “MOLTMA R”, “This Study R”로 비교하고자 한다. 또한 유출수문곡선의 “Actual Q”는 실제 관측된 유량이며, “SIMULATED Q”는 실제강우사상으로 강우-유출모형을 통해 산정된 유출수문곡선이며 나머지 곡선은 각각의 강우 시간분포에 의한 유출수문곡선이다.

춘양지점에서 선정된 강우사상의 경우 3분위에 해당하므로 총강우량을 3분위 강우로 시간분포시켜 유출수문곡선을 비교한 결과, 본 연구의 시간분포를 통해 산정된 유출수문곡선이 실제 유출수문곡선과 가장 유사함을 알 수 있다. 춘양 유역의 또 다른 사상인 2007년 9월 16일 07:30에 발생한 사상의 경우 강우지속시간 14시간 30분 동안 75.9mm의 비가 내렸는데, 이 사상도 발생분위가 2분위였다. 이 사상의 유출수문곡선은 Fig. 6에 나타나있으며, 본 연구에서 제시한 방법이 MOLTMA (2011)보다 실제 유출수문곡선에 더 가까운 결과를 나타냈다.

오수유역의 경우 2006년 7월 10일에 강우지속시간 15시간 동안 총강우량 64.0mm가 내린 사상의 실제 발생분위는 3분위호우에 해당하는 사상이었다. 이 사상의 유출수문곡선은 Fig. 7에 나타냈으며, 이는 앞서 언급한 사상

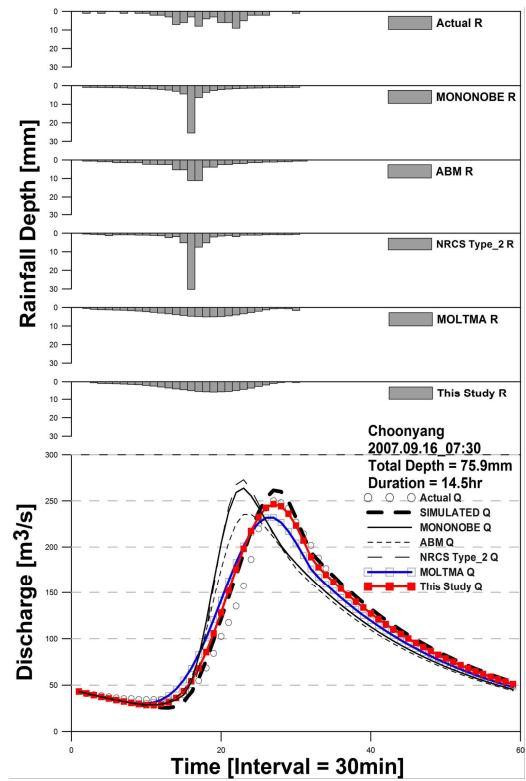


Fig. 6. Hydrograph of Choonyang Basin (2007.09.16)

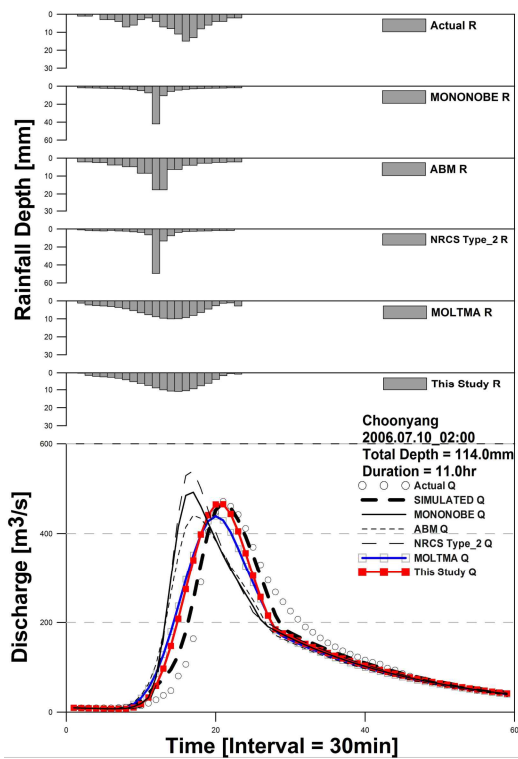


Fig. 5. Hydrograph of Choonyang Basin (2006.07.10)

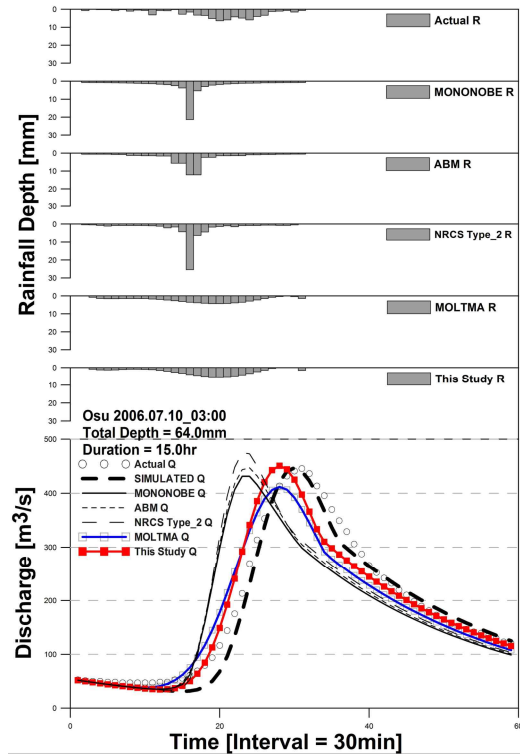


Fig. 7. Hydrograph of Osu Basin (2006.07.10)



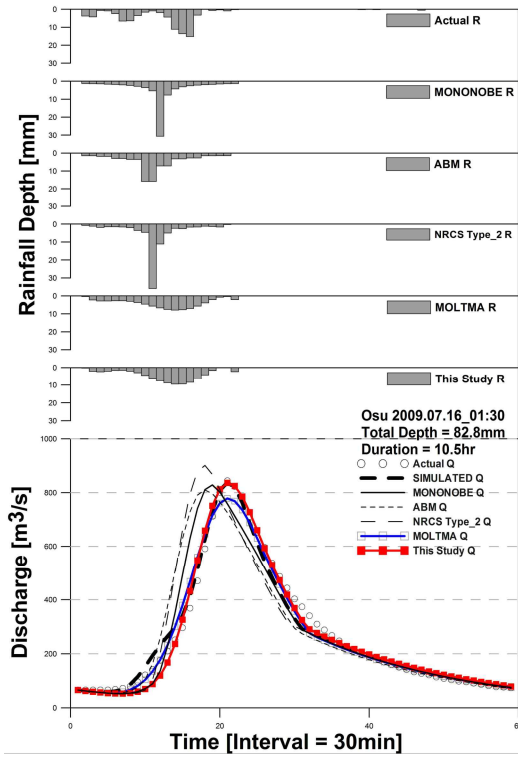


Fig. 8. Hydrograph of Osu Basin (2009.07.16)

과 마찬가지로 실제발생분위의 경우 본 연구의 유출수문곡선이 실제 유출수문곡선과 더 유사하며, 첨두유출량의 경우도 MOLTMA (2011)의 유출수문곡선이 과소산정되는 결과를 보여주고 있어, 본 연구의 집중호우를 대상으로 한 시간분포방법이 기존의 방법이 가지고 있는 과소산정의 문제를 보완하고 있음을 알 수 있다. 오수유역의 또 다른 사상인 2009년 7월 16일에 발생한 강우지속시간 10시간 30분, 총강우량 82.8mm의 강우사상의 유출수문곡선은 Fig. 8에 나타내었으며, 3분위 강우이다. MOLTMA (2011)의 경우 본 연구에 비해 과소산정이 되어 실제 유출수문곡선과의 차이가 있음을 알 수 있다.

또한 첨두유출량 산정이 합리적인지를 따져볼 수 있게 비교의 대상으로 Mononobe 방법을 통한 유출수문곡선도 산정하였으며, 각 지점의 지역상수  $n$  값은 MOLTMA (2011)의 결과에 따라 영주지점은  $n=0.676$ , 임실지점은  $n=0.677$ 로 하여 중앙집중형 시간분포로 배열하였다. Mononobe의 시간분포가 임의적으로 중앙으로 배열을 한 우량주상도를 가지고 우량주상도에서 중앙에 과도하게 집중되는 경향을 보여 첨두유출량이 발생하는 시점이 실제 유출수문곡선과 잘 맞지 않고 있다. ABM방법과 NRCS Type II의 경우에도 중앙으로 임의 배열하는 형태이므로 실제 유출수문곡선에서 첨두유출량이 발생하는 시점을 재현해내지

못하고 있다.

한편, 각 방법에 따른 시간분포결과의 객관적인 검증을 위해 각 사상의 유출수문곡선을 비교해 보았으며, 이를 위해 HEC-HMS에서 사용되는 목적함수를 이용하여 비교해 보았다. 목적함수로는 Percent error in peak, Sum of absolute errors (Stephenson, 1979), Sum of squared residuals (Diskin and Simon, 1977)와 Peak-weighted root mean square error objective function (USACE, 1998)을 이용하였으며, 각각의 식은 Eqs. (3)~(6)과 같으며 편의를 위해 본 연구에서는 각각을  $Z_p$ ,  $Z_a$ ,  $Z_s$ ,  $Z_r$ 로 나타내었다.

$$Z_p = 100 \frac{q_s(\text{peak}) - q_o(\text{peak})}{q_o(\text{peak})} \quad (3)$$

$$Z_a = \sum_{i=1}^{NQ} |q_o(i) - q_s(i)| \quad (4)$$

$$Z_s = \sum_{i=1}^{NQ} [q_o(i) - q_s(i)]^2 \quad (5)$$

$$Z_r = \left\{ \frac{1}{NQ} \left[ \sum_{i=1}^{NQ} (q_o(i) - q_s(i))^2 \left( \frac{q_o(i) + q_o(\text{mean})}{2q_o(\text{mean})} \right) \right] \right\}^{1/2} \quad (6)$$

여기서,  $Z$ 는 목적함수,  $NQ$ 는 계산된 수문곡선 총거수,  $q_o(t)$ 는  $t$ 시간의 관측수문곡선,  $q_s(t)$ 는  $t$ 시간의 계산된 수문곡선,  $q_o(\text{mean})$ 는 관측수문곡선의 평균유량,  $q_o(\text{peak})$ 는 관측수문곡선의 첨두유출량,  $q_s(\text{peak})$ 는 계산된 수문곡선의 첨두유출량을 의미한다.

각 유역에서 선정된 사상 중 춘양유역의 첨두유출량과 목적함수값은 Table 7에 나타나있다. 춘양유역의 2006년 7월 10일의 사상의 경우, 기존 국토해양부의 방법은 첨두유출량이 과소산정되는 문제가 있었지만, 본 연구에서는 실제 첨두유출량에 더 근사한 값을 산정하였다. 전체적으로 실제 유출수문곡선과 비교하여 본 연구의 목적함수값이 작았다. 이는 본 연구에서 제시한 시간분포 방법에 의한 유출수문곡선이 다른 방법에 비해 실제유출수문곡선과 유사함을 확인할 수 있었다. 또한 2007년 9월 16일의 호우의 경우에도 본 연구의 방법이 기존의 방법보다 목적함수값들이 더 작게 나오는 것을 확인할 수 있었다. 오수유역의 첨두유출량 값과 목적함수값은 Table 8에 나타나있다. 두 사상을 보면 첨두유출량의 경우 기존의 방법보다 본 연구의 방법이 실제 첨두유출량과 더 가까우며 Percent error in peak 목적함수에서 확인이 가능하다. 하지만 2006년 7월 10일의 경우에는 ABM 방법으로 구한 첨두유출량이 실제 첨두유출량에 근사하나 비교적 작은 차이를 보이며, 다른 목적함수들의 값들까지 고려를 하면

Table 7. Comparison of Each Peak Discharges and Objective Functions in Choonyang Basin by Rainfall Events

Choonyang Basin (2006.07.10) Total Rainfall Depth=114.0 mm					
Index	Peak Q (cms)/time	$z_p$	$z_a$	$z_s$	$z_r$
Actual Discharge	471.8 / 10.5hr	-	-	-	-
Mononobe	492.1 / 7.5hr	4.30	3239.50	628168.53	107.44
ABM	440.9 / 8.5hr	-6.55	3191.50	486394.27	95.92
NRCS Type II	539.7 / 8.5hr	14.39	3297.70	726007.51	114.74
MOLTMA (2011)	438.8 / 10.0hr	-6.99	2158.70	204413.31	61.60
This Study	465.6 / 10.5hr	<b><u>-1.31</u></b>	<b><u>1711.50</u></b>	<b><u>147241.97</u></b>	<b><u>52.21</u></b>
Choonyang Basin (2007.09.16) Total Rainfall Depth=75.9 mm					
Index	Peak Q (cms)/time	$z_p$	$z_a$	$z_s$	$z_r$
Actual Discharge	250.1 / 14.0hr	-	-	-	-
Mononobe	263.9 / 12.0hr	5.52	1332.30	82081.53	39.53
ABM	235.4 / 12.0hr	-5.88	1263.40	56057.26	33.40
NRCS Type II	272.9 / 12.0hr	9.12	1376.80	87469.26	41.02
MOLTMA (2011)	231.8 / 14.0hr	-7.32	702.60	17875.36	18.30
This Study	246.5 / 14.0hr	<b><u>-1.44</u></b>	<b><u>404.10</u></b>	<b><u>8132.37</u></b>	<b><u>12.25</u></b>

Table 8. Comparison of Each Peak Discharges and Objective Functions in Osu Basin by Rainfall Events

Osu Basin (2006.07.10) Total Rainfall Depth=64.5 mm					
Index	Peak Q (cms)/time	$z_p$	$z_a$	$z_s$	$z_r$
Actual Discharge	445.7 / 16.0hr	-	-	-	-
Mononobe	431.3 / 12.0hr	-3.24	3456.20	419728.68	91.76
ABM	446.9 / 12.5hr	0.26	3419.10	432227.67	92.27
NRCS Type II	475.5 / 12.0hr	6.68	3464.20	480494.54	96.16
MOLTMA (2011)	411.8 / 14.5hr	-7.61	1811.60	105569.76	48.47
This Study	450.7 / 14.5hr	1.11	<b><u>1393.40</u></b>	<b><u>72694.56</u></b>	<b><u>40.70</u></b>
Osu Basin (209.07.16) Total Rainfall Depth=82.8 mm					
Index	Peak Q (cms)/time	$z_p$	$z_a$	$z_s$	$z_r$
Actual Discharge	844.3 / 11.0hr	-	-	-	-
Mononobe	828.8 / 10.0hr	-1.84	2713.90	353727.05	91.03
ABM	809.8 / 9.5hr	-4.09	3672.00	673035.36	121.72
NRCS Type II	901.2 / 9.5hr	6.73	3953.00	861783.64	139.07
MOLTMA (2011)	778.7 / 11.0hr	-7.78	1304.80	63050.40	37.75
This Study	836.6 / 11.0hr	-0.92	<b><u>1169.70</u></b>	<b><u>42839.39</u></b>	<b><u>28.52</u></b>

본 연구의 방법이 더 큰 적용성을 가지는 것으로 확인이 되었다. 본 연구에서 선정된 48개의 강우사상(Table 3)의 목적함수값들의 평균값을 Table 9에 나타내었으며 종합적으로 기존의 방법보다 본 연구의 방법이 목적함수값들이 더 작게 나오는 것으로 보아 실제 유출수문곡선과 더

잘 맞으며  $z_p$  값의 비교를 통해 기존 Huff 방법이 가지는 침투유출량 과소산정의 문제를 보완하고 있음을 알 수 있다. 특히 NRCS Type II의 경우에는 본 연구에서 선정된 강우사상에서 모두 과대산정이 되는 것으로 결과가 나와 미국의 대다수 지역을 대표하는 Type II 방법의 경우 국내

**Table 9. Averages of Objective Functions of All Events**

Index	$z_p$	$z_a$	$z_s$	$z_r$
Mononobe	7.29	2797.94	568093.32	66.55
ABM	10.28	2887.28	577646.16	66.43
NRCS Type II	11.91	3100.72	737788.45	75.70
MOLTMA (2011)	7.58	2120.98	226219.43	49.26
This Study	1.72	2028.96	217875.53	48.25

Actual Discharge: Hydrograph from actual rainfall hyetograph  
 Mononobe: Hydrograph from Mononobe time distribution  
 ABM: Hydrograph from time distribution of ABM  
 NRCS Type II: Hydrograph from time distribution of NRCS Type II  
 MOLTMA (2011): Hydrograph from time distribution in MOLTMA (2011)  
 This Study: Hydrograph from time distribution in this study

적용성에 대해 더 많은 연구가 필요하다고 판단되었다.

을 근사하게 재현해 낼 수 있지만, 다른 방법들은 강우의 분포를 임의적으로 중앙배열하기 때문인 것으로 판단된다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 기존의 Huff (1967) 방법이 가지고 있는 침투유출량 과소산정의 문제를 보완하고자 집중호우의 패턴을 반영하는 시간분포방법을 제안하고 기존에 사용하고 있는 다양한 시간분포방법을 실제 자료에 적용하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 본 연구에서는 강우사상을 선택하는 기각기준을 기존 Huff방법에서 제시한 강우 총량 25.4mm와 달리 국내의 극한사상의 호우에 해당하는 집중호우의 기각기준인 시강우량 30mm이상, 일강우량 80mm이상을 포함하는 사상을 선택하여 극한사상의 호우패턴을 반영하는 시간분포방법을 제안하였다.
- 2) 기존에 사용하고 있는 Huff방법과 비교한 결과 본 연구에서 제안한 시간분포방법을 이용하여 산정된 유출수문곡선과 침투유출량이 실제 사상과 더 유사한 결과를 보여 기존의 Huff방법이 가지고 있는 침투유출량 과소산정의 문제를 보완할 수 있는 것으로 나타났다.
- 3) 다양한 시간분포 방법과의 비교를 위하여, 선정된 48개 강우사상에 대해 Mononobe, ABM, NRCS Type II, 기존의 Huff방법, 본 연구에서 제안한 Huff방법 등을 적용하여 산정된 유출수문곡선과 실제 관측된 유출량과의 목적함수값을 비교한 결과 본 연구에서 제안한 방법이 다른 방법들과 비교하여 가장 작은 오차를 가지는 것으로 확인되었다. Huff방법을 제외한 다른 방법들이 더 큰 오차를 가지는 원인으로 Huff방법은 4가지 분위를 토대로 실제 강우사상

### 감사의 글

본 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업인 '3차원 BIM 기술을 활용한 수방시설의 능동형 재난관리체계 구축' [NEMA-12-자연-57]과제의 일환으로 이루어졌습니다. 이에 감사드립니다.

### References

Diskin, M.H., and Simon, E. (1977). "A Procedure for the Selection of objective Functions for Hydrologic Simulation Models." *Journal of Hydrology*, Vol. 34, pp. 129-149.

Huff, F.A. (1967). "Time Distribution of Rainfall in Heavy Storm." *Water Resources Research*, Vol. 3, No. 4, pp. 1007-1019.

Huff, F.A. (1986). "Urban Hydrology Review." *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 67, No 6, pp. 703-712.

Huff, F.A. (1990). *Time Distribution of Heavy Rainstorms in Illinois*. Illinois State Water Survey, Circular 173, p. 19.

Jang, S.H., Yoon, J.H., and Yoon, Y.N. (2006a). "A Study on the Improvement of Huff's Method in Korea: I. Review of Applicability of Huff's Method in Korea." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol.

- 39, No. 9, pp. 767–777.
- Jang, S.H., Yoon, J.H., and Yoon, Y.N. (2006b). “A Study on the Improvement of Huff’s Method in Korea: II. Improvement of Huff’s Method.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 39, No. 9, pp. 779–786.
- Keifer, C.J., and Chu, H.H. (1957). “Synthetic Storm Patterns for Drainage Design.” *Journal of Hydraulics Division*, Vol. 83, No. HY4, pp. 1–25.
- Knapp, H.V., and Terstriep, M.L. (1981). *Effects of Basin Rainfall Estimates on Dam Safety Design in Illinois*. Illinois State Water Survey Contract Report 253, p 57.
- Ministry of Construction and Transportation (2000). 1999 Report on Water Resources Management Techniques Development : Design Rainfall Temporal Distribution of Regional.
- Ministry of Construction and Transportation (2004). River Maintenance Basic Plan and Instructions of River Maintenance Report.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2009). Design Rivers Criteria and Commentary.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2011). Improvement of Probability Rainfall Depth and Complementary Research.
- Natural Resources Conservation Service (1986). *Urban Hydrology for small Watershed*, W. S. Department of Agriculture, Washington, DC, 110p.
- Pilgrim, D.H., and Cordery, I. (1975). “Rainfall Temporal Patterns for Design Flood.” *Journal of Hydraulic Division*, ASCE, Vol. 101, No. HY1, pp. 81–95.
- Stephenson, D. (1979). “Direct Optimization of Muskingum Routing Coefficient.” *Journal of Hydrology*, Vol. 41, pp. 161–165.
- US Army Corps of Engineers, USACE (1998). HEC-1 Flood Hydrograph Package User’s Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
- Yen, B.C., and Chow, V.T. (1980). “Design Hyetographs for Small Drainage Structures.” *Proceedings, ASCE*, Vol. 106, No. HY 6, pp. 1055–1076.
- Yoon, Y.N., Jang, S.H., Kang, S.G., and Park, M.S. (2004). “Development of Rainfall Distribution for Design Floods.” *Journal of Korea Water Resources Association Conference*, pp. 54–55.

<p>paper number : 14-064  Received : 21 July 2014  Revised : 2 September 2014 / 23 September 2014  Accepted : 23 September 2014</p>
---