

# 단시간강우의 수문학적 특성에 따른 시간분포 분석

## An Analysis of the Temporal Pattern according to Hydrologic Characteristics of Short-Duration Rainfall

이 정 식\* / 신 창 동\*\* / 장 진 욱\*\*\*  
Lee, Jung Sik / Shin, Chang Dong / Chang, Jin Wook

### Abstract

The objective of this study is to analyze the temporal pattern characteristic of short-duration rainfall defined as a rainfall durations of 6 hours or less by the Huff's 4th quartile distribution. To analyze the temporal pattern characteristic of short-duration rainfall, the rainfall data are classified by rainfall duration and rainfall type(Changma, Typhoon, Severe rain storm, Frontal storm) and change of rainfall segment. Also, the results of this study compared with result of research work of Korea Institute of Construction Technology(1989) and Ministry of Construction & Transportation(2000). The conclusions of this study are as follows; (1) Short-duration rainfall with duration of 6 hours or less is found to be most prevalent first-quartile storms. (2) In the case of rainfall type, Changma and Severe rain storms and Frontal storm is found second-quartile storms, and Typhoon is found third-quartile storms. (3) In the result by change of sixth segment storms, the type of temporal pattern of rainfall is found to be most prevalent two sixth parts, (4) Comparative analysis of the results shows that shapes of the dimensionless cumulative curves and values are different from those of existing researches.

**key words** : temporal pattern of rainfall, short-duration rainfall, hydrologic characteristics, Huff's 4th quartile distribution

### 요 지

본 연구에서는 강우의 수문학적 특성을 고려하여 단시간강우의 시간분포를 분석하고, Huff의 무차원 누가곡선을 제시하였으며, 강우의 수문학적 특성은 지속기간, 강우의 발생원인(장마, 태풍, 집중호우, 전선형강우), 구간변화 등으로 분류하였다. 본 연구의 수행으로 인해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 국내 도시지역의 단시간 강우의 최대강우강도는 전방위구간에서 발생할 확률이 가장 높게 나타났으며, 둘째, 강우발생원인별 분류에서도 전반적으로 전방위구간에서 최대강우강도가 발생하였으나 태풍의 경우에는 후방위구간에서 최대강우강도가 발생하였다. 셋째, Huff의 6구간 분석에서는 동일한 위치에 해당되는 제2구간에서 우세하였다. 넷째, 전기간 강우 자료를 이용한 기존 연구들의 무차원 누가곡선 및 특성변수와의 비교를 실시하여, 수문학적 특성에 따라 무차원 누가곡선의 위치 및 특성변수의 값에서 차이가 발생한다는 것을 알 수 있었다.

**핵심용어** : 강우의 시간분포형, 단시간강우, 강우의 수문학적 특성, Huff의 시간분포방법

\* 정희원 · 금오공과대학교 토목환경공학부 교수 (e-mail : jungsik@kumoh.ac.kr)

\*\* 금오공과대학교 토목공학과 박사과정

\*\*\* 정희원 · 금오공과대학교 토목공학과 박사과정

## 1. 서론

온난화 현상으로 인한 지구의 기온상승은 전 세계적으로 기상이변 현상을 유발하고 있으며, 이러한 기상이변 현상은 이전의 기상현상과는 다른 국지성 호우 발생과 강우량의 증가현상으로 나타나고 있다. 국내에서는 1997년 이후부터 국지성 호우로 인한 피해가 빈번하게 발생하고 있으며, 국지성 호우로 인해 발생한 홍수량의 규모 또한 기존의 시설물들을 위협할 수준에 이르게 되었다. 전 세계적으로 기상이변 등의 영향으로 인한 홍수피해의 증대는 자연유역뿐만 아니라 도시유역도 예외는 아니어서 최근 수년간 도시하천 연안의 저지대에 국지성 호우로 인한 홍수피해가 발생하고 있다. 특히 도시유역에서 발생하는 각종 피해는 다른 지역에 비해 개발정도와 인구집중 등으로 피해액과 피해 규모 등이 상대적으로 증가하므로 도시유역을 대상으로 한 적합한 홍수피해 경감대책의 수립이 시급한 실정이다.

국내에서는 홍수피해 경감을 위하여 전국의 주요 하천에 홍수예경보 시스템을 구축하여 운영하고 있으나 도시유역을 대상으로 한 홍수예경보 시스템은 전무한 실정이다. 따라서 도시유역의 홍수피해의 효율적인 대응을 위하여 홍수예경보 시스템을 구축, 운영하여야 하며, 이를 위해서는 홍수를 실시간으로 예보할 수 있는 강우의 예측이 선행되어야 한다. 홍수예경보 시스템에서의 강우예측은 강우의 시간분포방법을 이용하여 실시하고 있으나 기존에 개발된 강우 시간분포방법들은 도시유역의 수문특성이 반영되어 있지 않아 시간분포방법의 적용에 여러 가지 문제점들이 제기되고 있다.

또한 도시유역의 특성은 도시개발에 따른 불투수면의 증가와 지표면 저류지의 감소, 하수관거를 통한 신속한 배수로 인한 침투유량과 유출용적이 증대될 뿐만 아니라 침투시간이 빨라지게 된다. 따라서 도시유역의 도달시간은 자연유역에 비해 상당히 짧아지게 되어 도시유역에서 강우지속기간은 비교적 단시간의 지속기간이 적용되어야 하며, 도시유역의 홍수 피해특성은 단시간에 집중하는 호우에 의한 피해가 대부분이나 국내에서 개발된 강우의 시간분포는 장시간이나 단시간 호우의 구분 없이 전기간 강우량자료를 대상으로 개발되고 적용되고 있어 단시간의 호우에 지배를 받고 있는 도시유역의 수문량 결정에는 적합하지 않으므로, 단시간의 강우시간분포에 관한 연구의 필요성이 제기되고 있다.

국내에서 도시유역의 홍수량 예측을 위해 적용하고

있는 강우의 시간분포방법은 한국건설기술연구원(1989)과 건설교통부(2000)의 연구결과를 주로 이용하고 있으며, 대표적인 시간분포방법으로 Huff의 방법을 적용하고 있다. 기존 강우기록의 통계학적 분석을 통하여 제시되는 Huff의 방법은 국내의 경우 전체 강우지속기간에 대하여 동일한 하나의 무차원 누가곡선을 이용하고 있어 강우의 지속기간 및 특성에 따른 시간분포 특성을 고려하지 못하고 있으며, 또한 최근의 기상현상은 시·공간적으로 다양하게 변화하기에 기존의 Huff의 4구간으로 강우를 분석하기에는 한계가 있다고 할 수 있다. 또한 도시유역과 같이 단시간 호우에 의한 홍수피해를 예측하기 위해 필요한 단시간의 강우 시간분포를 적절하게 표현하지 못하는 문제점을 니포하고 있다.

따라서 본 연구에서는 단시간 강우자료가 충분히 확보되어 있는 국내 도시유역을 대상으로 하여 단시간의 강우특성 분석을 실시하고 이를 바탕으로 도시강우 특성을 고려한 단시간 Huff의 무차원 누가곡선을 제시하고자 한다. 또한 강우 지속기간, 강우발생원인, 강우강도의 크기와 최근에 발생하는 다양한 기상현상의 분석을 위하여 강우구간의 변화에 관한 시간분포 특성 분석을 실시하며, 국내에서 기 발표된 강우의 시간분포에 대한 연구결과인 한국건설기술연구원(1989) 및 건설교통부(2000)의 결과와 본 연구에서 유도한 도시지역의 단시간 강우 시간분포를 비교함으로써 본 연구 결과의 타당성을 검토한다.

## 2. 대상지역 및 기본자료

본 연구에서 선정한 대상지역으로는 국내의 대표적 인 도시지역인 서울, 부산, 대구, 대전 등의 4개 지역이며, 각 지점의 관측된 강우기록중 임의 강우의 전·후에 6시간 이상의 무강우 기간을 갖는 연속강우로서 총강우량이 5mm이상의 것만을 선별하여 이를 단일호우로 정의하고 이들을 분석대상으로 하였다. 각 지점별 강우자료는 서울, 부산, 대구의 경우는 1961~2004년까지의 44년간 자료, 대전의 경우는 1969~2004년까지의 36년간의 자료를 기상청 및 우량관측소의 10분 자기우량지를 이용하여 수집하였다. 도시강우의 특성을 분석하기 위하여 최대지속시간을 6시간으로 하였으며, 10분 자기우량지의 사용으로 상대적으로 지속기간이 세부적으로 분류되어 지속기간을 1시간단위로 구분하여 설정하였다. 대상지점인 서울, 부산, 대구와 대전지점의 지속기간별 강우자료는 표 1과 같다.

표 1. 대상지점별 강우자료

지속기간 \ 대상지점	서울	부산	대구	대전	강우수
≤ 1hr	98	48	53	50	249
1 ~ 2hr	89	79	67	63	298
2 ~ 3hr	31	62	63	49	205
3 ~ 4hr	53	62	57	71	243
4 ~ 5hr	63	73	69	87	292
5 ~ 6hr	71	87	72	78	308
계	405	411	381	398	1595

### 3. Huff의 시간분포방법

본 연구에서 적용한 시간분포방법은 실측강우를 자료로 하여 무차원 누가곡선을 작성하는 방법으로 강우분포특성의 표현에 있어 우수한 평가를 받고 있는 Huff의 시간분포방법을 대상으로 하여 국내 도시강우의 시간분포특성을 분석하고자 한다.

Huff(1967)는 미국 북부 중앙 Illinois주에 위치한 지역에서 강우기록을 통계학적으로 분석하여 강우량의 시간분포를 나타내는 무차원 시간분포곡선을 제시하였다. 총강우량의 침투강우 부분이 강우지속기간, 유역평균 강우량, 호우기간내의 집중적 강우발생빈도수에 관여하지 않고 총강우시간의 임의구간에서 발생한다는 것을 발견하고 강우량의 침투위치에 따라 총강우지속기간의 4곳을 기준으로 하여 호우사상을 구분하였다. 즉, 전 지속기간을 4등분하여 1/4구간을 제 1구간 호우, 다음 2/4구간에 있으면 제 2구간 호우, 다음 3/4구간에 있으면 제 3구간호우, 그리고 마지막 구간일 경우는 제 4구간호우라 칭하고 각 분류된 구간의 강우량의 최대 부위가 어느부분에 나타나는지 조사하였다.

본 연구에서는 총 강우시간을 4개 구간으로 나누어 최대강우강도가 발생한 구간에 따라 강우사상을 구분하였으며, 각 구간별로 강우지속기간을 100으로 보았을 때, 구간간격을 10%단위로 구분하여 최대강우강도 발생구간을 선별하였다. 선별된 강우사상에 대하여 강우지속기간을 시간단위로 나누어 강우지속기간에 대한 각 구간별 발생도수 및 빈도를 구한 다음, 구간별 무차원 강우량에 대하여 강우의 시간분포를 작성하여, 시간의 경과에 따른 강우의 진행정도를 나타내었으며, 이때 각 구간별로 강우사상에 대하여 강우진행시간을 10%별로 구분하여 강우강도 진행정도를 작성하였다. 작성된 강우진행정도를 강우진행시간 정도에 따라 10~90%까지 강우의 크기순으로 재배열하여

구간별 무차원강우량-강우시간 분포표를 작성하였으며, 이 정렬된 순위대로 식 (1)과 같은 Weibull 공식을 이용하여 초과확률을 구하였다.

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

여기서  $n$ 은 자료수이며,  $m$ 은 제일 큰 자료부터 내림차순으로 나열했을 때의 순위이다.

### 4. Huff의 방법에 의한 시간분포특성 분석

도시강우의 특성을 분석하기 위하여 최대지속기간을 6시간으로 하고, 호우사상의 분류는 Huff가 제안한 바와 같이 무강우시간은 6시간으로 한다. 따라서 도시유역에서 단시간 강우의 시간분포를 산정하기 위하여 6시간이하의 강우사상만을 도시홍수에 영향을 미치는 지속기간으로 간주하여 분석에 이용하며, 다음과 같은 과정을 통하여 시간분포를 결정한다.

우리나라 도시유역의 자기우량지로부터 지속기간 6시간이하의 단독 강우사상을 수집하여 이를 다시 지속기간을 1시간단위로 구분하여 정리하였으며, 강우원인(장마, 태풍, 집중호우, 전선형)에 따른 자료는 발생강우들의 특성이 일반적으로 장시간 영향을 미치는 관계로 전기간의 자료를 사용하였다. 또한 세밀한 강우분석을 위하여 지속기간을 처음 Huff가 제안한 4구간에서 6구간으로 변화시켜 분석하였다. 6구간 이상으로 분류를 할 수도 있지만, 한정된 단기간 자료수를 고려하여 안정된 무차원 시간분포곡선을 제시하기 위하여 6구간으로 선정하였다.

#### 4.1 지속기간별 시간분포특성 분석

서울, 부산, 대구와 대전지점의 전체 10분 강우자료 중 총강우량이 5mm이상의 강우사상을 분석한 결과 자료기간은 서울, 부산, 대구지점은 44년, 대전지점은

36년간으로 총강우수는 지점별로 381~411개가 선정되었으며, 단시간강우에 대해 지속시간을 4개 구간으로 구분하여 최대강우강도 발생구간을 분석하였다. 또한 각 지점에 대한 보다 세밀한 분석을 위해 지속기간별 무차원 누가곡선을 3시간이하의 지속기간과 단시간 전체의 지속기간으로 구분하여 각 지점에 대한 초과확률분포의 무차원 누가곡선을 작도하였다.

전체 대상지역의 지속기간에 따른 각 분위별 빈도는 표 2와 같으며, 대전지점에서 3시간이하의 지속기간과 단시간 전체에 대한 제1구간 무차원 누가곡선은 각각 그림 1과 2와 같다. 표 2를 살펴보면 강우수는 지속기간이 커질수록 증가하였으며, 5~6시간의 강우가 308개로서 가장 높은 비율을 차지하였다. 각 구간별 빈도를 보면 전체적으로 제1구간이 32.9%, 제2구간이 29.8%, 제3구간이 17.1%, 제4구간이 20.1%로 나타났으며, 최대강우강도는 제1구간에서 32.9%로

가장 높았으며, 제3구간에서 17.1%로 가장 낮은 것으로 나타나 전체적으로 호우의 전반부에 최대강우강도가 발생함을 알 수 있었다.

#### 4.2 강우발생원인별 시간분포특성 분석

본 연구는 국내 도시지역의 강우유형별 시간분포특성을 파악하기 위하여 강우를 발생원인별로 분류하여 시간분포특성을 분석하였다. 강우의 발생원인별 분류는 기상청에서 제공하는 기상정보자료를 이용하여 구분하였다. 강우발생원인은 크게 장마, 태풍, 집중호우, 전선형강우로 분류하였으며, 각각의 강우발생원인이 따라 강우사상을 분류하여 시간분포특성을 분석하였다.

장마의 경우에는 매년 기상청에서 고시하고 있는 장마기간을 근거로 하여 기간 내에 발생하는 모든 강우를 장마전선의 영향으로 인하여 발생하는 강우로

표 2. 지속기간에 대한 각 분위별 빈도

지속기간 \ 발생분위	제1분위	제2분위	제3분위	제4분위	강우수
≤ 1hr	76 (30.5%)	92 (36.9%)	29 (11.6%)	52 (20.9%)	249
1 ~ 2hr	87 (29.2%)	88 (29.5%)	53 (17.8%)	70 (23.5%)	298
2 ~ 3hr	64 (31.2%)	87 (42.4%)	24 (11.7%)	30 (14.6%)	205
3 ~ 4hr	93 (38.3%)	62 (25.5%)	46 (18.9%)	42 (17.3%)	243
4 ~ 5hr	98 (33.6%)	70 (24.0%)	52 (17.8%)	72 (24.7%)	292
5 ~ 6hr	107 (34.7%)	77 (25.0%)	69 (22.4%)	55 (17.9%)	308
전체	525 (32.9%)	476 (29.8%)	273 (17.1%)	321 (20.1%)	1595

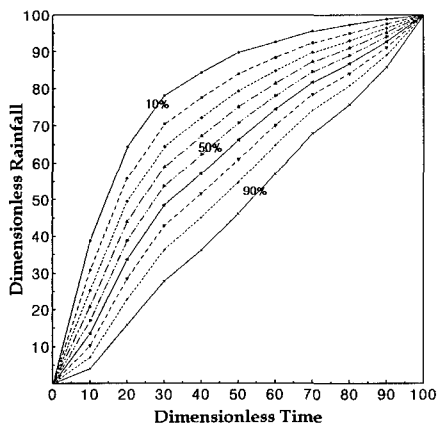


그림 1. 제1구간 무차원누가곡선 (대전지점)-3시간이하

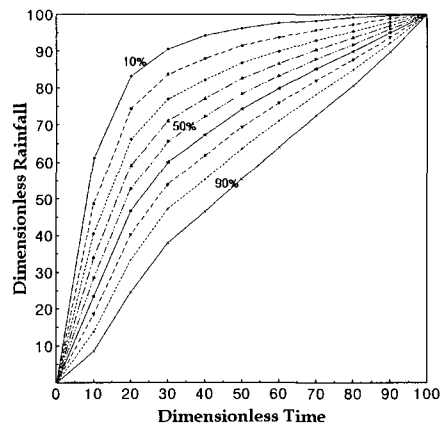


그림 2. 제1구간 무차원누가곡선 (대전지점)-단시간 전체

선정하였다. 태풍의 경우에서도 태풍의 활동기간과 태풍의 특성상 우리나라 전역이 영향범위에 놓이거나 또는, 일부 국지적인 영향만을 받은 경우도 있으므로 태풍의 영향범위 등을 기상청의 태풍백서를 참고로 하여 해당 지점의 대상강우를 선정하였다. 또한 근래에 들어와서 주로 장마 후에 발생하여 도시유역에 큰 피해를 주고 있는 집중호우의 경우, 명확한 집중호우의 정의 없이 일반적으로 1시간에 30mm 이상이나 하루에 100mm 이상의 강우사상, 연강수량의 10%에 상당하는 강우사상을 일컫는 용어로 사용하고 있어, 본 연구에서는 집중호우를 1시간에 30mm 이상의 강우 혹은 기상청의 호우주의보 발령기준이 되는 24시간 강우량이 80mm 이상일 경우로 하여 강우를 선정하였다. 대상지점의 전체 강우에서 상기의 분류에서 제외된 강우들을 일반적인 전선형에 의한 강우로 분류하였다.

#### 4.2.1 장마에 따른 시간분포특성

본 절에서는 도시지역의 유형별 단기간 강우의 분석을 위하여 장마기간 동안에 발생한 강우를 대상으로 하였다. 장마기간의 선정은 매년 기상청에서 고시하고 있는 장마기간을 참조하였으며, 기간 내의 강우를 장마의 영향에 의한 강우로 분류하였다.

대상지점의 장마기간에 발생한 강우의 각 구간별 빈도는 표 3과 같으며, 대전지점에서 전기간 강우에 대한 장마에 따른 제1구간 무차원 누가곡선을 나타내면 그림 3과 같다. 표 3을 살펴보면, 각 지점별 최대강우강도가 발생할 확률은 서울지점의 경우 제2구간에서 36.9%, 부산지점의 경우 제3구간에서 29.9%, 대구지점의 경우 제1구간에서 31.7%, 대전지점의 경우 제1구간에서 29.2%로 나타났으며, 전반적으로 제1구간과 2구간의 강우가 지배적인 경향을 나타내고 있다.

표 3. 장마에 따른 각 구간별 빈도

호우원인	지점	구 간				강우수
		제1구간	제2구간	제3구간	제4구간	
장마	서울	58 (26.7%)	<b>80 (36.9%)</b>	52 (24.0%)	27 (12.4%)	217
	부산	57 (22.4%)	67 (26.4%)	<b>76 (29.9%)</b>	54 (21.3%)	254
	대구	<b>83 (31.7%)</b>	69 (26.3%)	68 (26.0)	42 (16.0)	262
	대전	<b>90 (29.2%)</b>	89 (28.9%)	69 (22.4%)	60 (19.5%)	308
계	288 (27.7%)	<b>305 (29.3%)</b>	265 (25.5)	183 (17.5%)	1041	

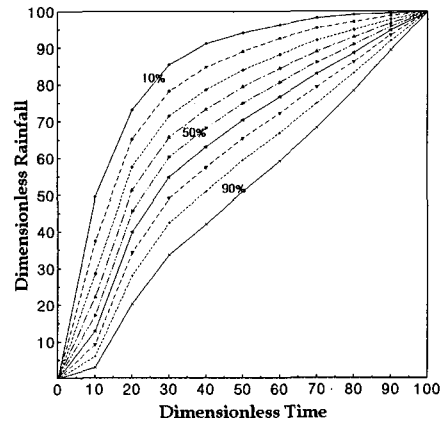


그림 3. 장마에 따른 제1구간 무차원 누가곡선(대전지점)

따라서 우리나라 도시지역에서 총강우량이 5mm 이상의 전기간 강우를 대상으로 장마기간 동안의 강우분석 결과, 각 대상지점의 지형적인 요소에 따라 차이가 있었으나 전체적으로 최대강우강도가 발생할 확률은 제2구간에서 29.3%로 가장 크게 나타났으며, 제4구간에서 17.5%로 가장 작게 나타났으며, 전체적으로 강우의 전반부에 최대강우강도가 발생함을 알 수 있다.

#### 4.2.2 태풍에 따른 시간분포특성

본 절에서는 도시지역의 유형별 강우분석을 위하여 태풍의 영향을 받은 강우를 대상으로 선정하였다. 우리나라에 내습한 태풍의 개수와 경로, 그리고 영향을 미친 지점 등의 기상정보는 기상청의 태풍백서를 참조하였으며, 지속기간은 전기간 강우를 적용하였다.

대상지점의 태풍기간 동안의 전기간 강우에 대한 각 구간별 빈도는 표 4와 같으며, 대전지점에서 전기간 강우에 대한 태풍에 따른 제1구간 무차원 누가곡선을 나타내면 그림 4와 같다. 표 4를 살펴보면 이와 같은 태풍의 특성이 잘 나타나 있어 전반적으로 후반부라고 할 수 있는 제3구간에서 최대강우강도가 발생할 확률이 우세하다는 것을 알 수 있다. 서울지점의 경우 제2구간에서 32.7%, 부산지점의 경우 제3구간에서 36.5%, 대구지점의 경우 제3구간에서 36.2%, 대전지점의 경우 제2구간과 제3구간에서 27.1%로 최대강우강도가 발생할 확률이 가장 크게 나타났다. 따라서 우리나라 도시지역에서 총강우량이 5mm 이상의 전기간 강우를 대상으로 태풍기간 동안의 강우분석결과, 전체적으로 최대강우강도가 발생할 확률은 제3구간에서 32.2%로 가장 높았으며 제1구간에서 17.5%로 가장 낮게 산출되었으므로, 전체적으로 강우의 후반부에서 최대강우강도가 발생함을 알 수 있었다.

표 4. 태풍에 따른 각 구간별 빈도

호우 원인	지점	구 간				계
		제1구간	제2구간	제3구간	제4구간	
태풍	서울	17 (15.5%)	<b>36</b> <b>(32.7%)</b>	34 (30.9%)	23 (20.9%)	110
	부산	11 (10.6%)	33 (31.7%)	<b>38</b> <b>(36.5%)</b>	22 (21.2%)	104
	대구	21 (20.0%)	21 (20.0%)	<b>38</b> <b>(36.2%)</b>	25 (23.8%)	105
	대전	32 (22.2%)	<b>39</b> <b>(27.1%)</b>	<b>39</b> <b>(27.1%)</b>	34 (23.6%)	144
계	81 (17.5%)	129 (27.9%)	<b>149</b> <b>(32.2%)</b>	104 (22.4%)	463	

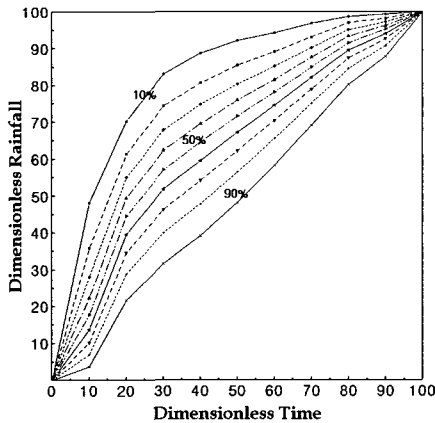


그림 4. 태풍에 따른 제1구간 무차원 누가곡선(대전지점)

#### 4.2.3 집중호우에 따른 시간분포특성

본 절에서는 도시지역에서 강우발생원인 중의 하나로서 최근에 들어와서는 장마기간 후에 발생하여 많은 피해를 주고 있는 집중호우를 대상으로 강우의 시간분포 특성을 분석하였다. 집중호우의 정의로서는 1시간 강우량 30mm이상, 일강우량 80mm이상의 강우사상으로 선정하였으며, 전술한 태풍기간을 제외한 자료에서 정의에 부합되는 강우로 적용하였다.

대상지점의 집중호우에 대한 각 구간별 빈도를 나타내면 표 5와 같으며, 대전지점에서 전기간 강우에 대한 집중호우에 따른 제1구간 무차원 누가곡선을 나타내면 그림 5와 같다. 표 5를 살펴보면 대상지점의 도시화 정도 및 지형적 요인 등의 차이에도 불구하고 전체적으로 강우의 전반부에 최대강우강도가 발생하였으며, 전체적으로 제2구간에서 31.8%로 가장 크게 나타났으며 제4구간에서 17.7%로 가장 작게 나타났다. 세부적으로, 서울지점의 경우 제2구간에서 37.4%, 부산지점의 경우 제2구간에서 35.3%, 대구지점의 경우 제1구간에서 31.9%, 대전지점의 경우 제1

표 5. 집중호우에 대한 각 구간별 빈도

호우 원인	지점	구 간				계
		제1구간	제2구간	제3구간	제4구간	
집중호우	서울	28 (17.2%)	<b>61</b> <b>(37.4%)</b>	48 (29.4%)	26 (16.0%)	163
	부산	14 (16.5%)	<b>30</b> <b>(35.3%)</b>	27 (31.8%)	14 (16.5%)	85
	대구	<b>29</b> <b>(31.9%)</b>	27 (29.7%)	19 (20.9%)	16 (17.6%)	91
	대전	<b>49</b> <b>(27.2%)</b>	47 (26.1%)	48 (26.7%)	36 (20.0%)	180
계	120 (23.1%)	<b>165</b> <b>(31.8%)</b>	142 (27.4%)	92 (17.7%)	519	

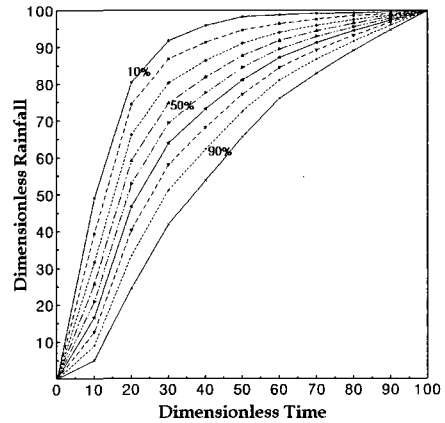


그림 5. 집중호우에 따른 제1구간 무차원 누가곡선(대전지점)

구간에서 27.2%로 최대강우강도가 발생할 확률이 가장 크게 나타났으며, 전반적으로 발생강우의 절반 이상이 전반부에 집중되어 있음을 알 수 있었다. 따라서 대상지점에서 총강우량이 5mm이상인 강우자료에서 집중호우에 대한 분석결과, 전기간의 도시강우상황은 전반적으로 제2구간 강우가 지배적임을 알 수 있었으며, 다른 강우발생 원인별 분석에 비하여 전 구간별로 비교적 고른 분포를 보이고 있다.

#### 4.2.4 전선형강우에 따른 시간분포특성

본 절에서는 도시지역의 강우발생원인별 시간분포 특성 분석을 위하여 일반적인 강우생성요인인 전선형 강우를 대상으로 하였다. 전선형강우는 가장 일반적인 형태의 강우로서 상승속도가 비교적 느린 온난 전선형강우와 소나기와 같은 성질을 갖는 한냉 전선형강우로 분류된다.

대상지역의 전기간 강우에서 전선형강우에 대한 각 구간별 빈도는 표 6과 같으며, 대전지점에서 전기간 강우에 대한 전선형강우에 따른 제1구간 무차원 누가

표 6. 전선형강우에 대한 각 구간별 빈도

호우 원인	지점	구 간				계
		제1구간	제2구간	제3구간	제4구간	
전선 형강 우	서울	<b>123</b> (29.7%)	103 (24.9%)	95 (22.9%)	93 (22.5%)	414
	부산	70 (21.0%)	<b>116</b> (34.8%)	89 (26.7%)	58 (17.4%)	333
	대구	<b>105</b> (29.9%)	90 (25.6%)	92 (26.2%)	64 (18.2%)	351
	대전	<b>76</b> (26.4%)	75 (26.0%)	64 (22.2%)	73 (25.3%)	288
계	374 (27.0%)	<b>384</b> (27.7%)	340 (24.5%)	288 (20.8%)	1386	

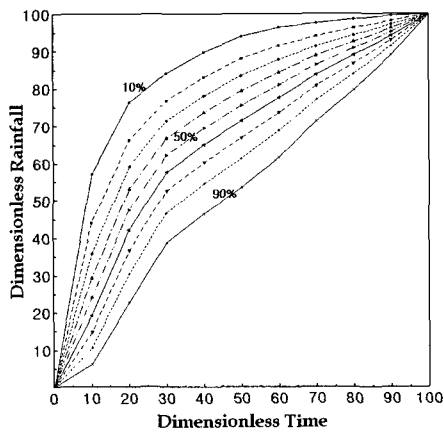


그림 6. 전선형강우에 따른 제1구간 무차원 누가곡선(대전지점)

곡선을 나타내면 그림 6과 같다. 표 6을 살펴보면 전체적으로 강우의 전반부에 최대강우강도가 발생하였으며, 제2구간에서 27.7%로 가장 높은 확률, 그리고 제4구간에서 20.8%로 가장 낮은 확률이 나타났다. 서울지점의 경우 제1구간에서 29.7%, 부산지점의 경우 제2구간에서 34.8%, 대구지점의 경우 제1구간에서 29.9%, 대전지점의 경우 제1구간에서 26.4%로

최대강우강도가 발생할 확률이 가장 크게 나타났으며, 전반적으로 발생강우의 절반 이상이 전반부에 집중되어 있음을 알 수 있었다. 따라서 대상지점에서 5mm이상의 전선형강우의 분석결과, 전기간의 도시강우상황은 전반적으로 제1, 2구간 강우가 지배적임을 알 수 있었으며, 다른 강우발생 원인별 분석에 비하여 전 구간별로 차이가 비교적 고른 분포를 보이고 있다.

### 4.3 구간변화에 따른 시간분포특성 분석

본 절에서는 다양한 변화를 나타내는 기상현상으로 인한 도시강우의 변화를 보다 세밀하게 분석하기 위하여 기존 Huff의 시간분포방법의 4구간 분류를 변화시켜 분석하였으며, 이에 따른 최빈구간 및 무차원 누가곡선을 제시하였다.

구간변화에 따른 시간분포특성 분석을 위한 강우자료는 지속기간별 분석에서 사용한 동일한 자료인 대상지점의 전체 10분 강우자료 중 총강우량이 5mm이상의 자료를 사용하였다. 본 연구에서는 강우자료를 6시간 이내의 단시간 강우자료로 한정하였기 때문에 무차원 누가곡선의 작성의 효율성을 위하여 Huff의 시간분포방법의 4구간을 6구간으로 채택하였으며, Huff의 시간분포방법과 용어사용에 있어 구별하기 위하여 본 연구에서는 수정 Huff의 시간분포방법이라 칭하기로 하였다(이정식, 2005).

대상지점에 대한 수정 Huff의 시간분포방법의 6개 구간에 따른 각 구간별 빈도는 표 7과 같으며, 대전지점에서 수정 Huff의 시간분포방법의 6개 구간에 따른 제1구간과 제6구간의 무차원 누가곡선은 각각 그림 7과 8과 같다. 표 7을 살펴보면 서울, 부산, 대구와 대전지점에서는 모두 제2구간에서 각각 26.7%, 21.7%, 26.0%, 24.6%로 최대강우강도가 발생할 확률이 가장 크게 나타났으며, 가장 낮은 확률이 나타난 구간은 제6구간으로 각각 10.9%, 10.9%, 7.9%, 11.3%로 나타났다.

표 7. 구간변화에 따른 각 구간별 빈도

지점	구 간						계
	제1구간	제2구간	제3구간	제4구간	제5구간	제6구간	
서울	90 (22.2%)	<b>108</b> (26.7%)	65 (16.0%)	50 (12.3%)	48 (11.9%)	44 (10.9%)	405
부산	68 (16.5%)	<b>89</b> (21.7%)	77 (18.8%)	61 (14.8%)	71 (17.3%)	45 (10.9%)	411
대구	91 (23.9%)	<b>99</b> (26.0%)	75 (19.7%)	47 (12.3%)	39 (10.2%)	30 (7.9%)	381
대전	70 (17.6%)	<b>98</b> (24.6%)	60 (15.1%)	48 (12.1%)	77 (19.3%)	45 (11.3%)	398

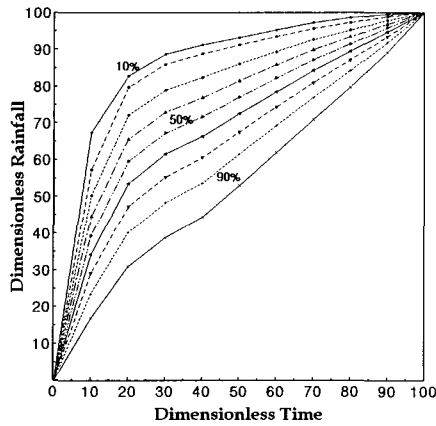


그림 7. 구간변화에 따른 제1구간 무차원 누가곡선(대전지점)

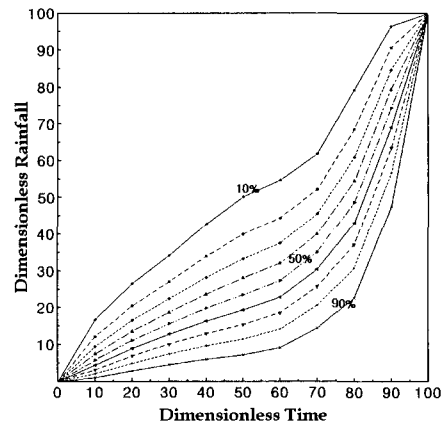


그림 8. 구간변화에 따른 제6구간 무차원 누가곡선(대전지점)

따라서 국내 도시지역에서의 수정 Huff의 시간분포 방법의 6개 구간에 따른 시간분포특성 분석 결과 기존의 Huff 4구간의 결과와 큰 차이를 발견할 수 없었으나 대체적으로 기존 Huff 4구간의 제1분위 후반부와 제2분위 전반부에 해당하는 수정 Huff 6구간의 제2분위에서 최대강우강도가 집중되어 있음을 알 수 있었다.

## 5. 시간분포특성의 비교분석

### 5.1 지속기간별 시간분포특성 비교

본 절에서는 단시간 지속기간 강우자료로부터 유도한 시간분포가 전기간 강우자료의 시간분포와 비교하여 어떠한 변화를 보이는가를 검토하기 위하여 Huff의 시간분포방법을 이용한 무차원 누가곡선을 전기간 강우사상을 근거한 한국건설기술연구원(1989)과 건

설교통부(2000)의 결과와 정성적으로 비교하였다.

대전지점에서 유도한 Huff의 시간분포방법의 각 구간별 초과확률 50%의 무차원 누가곡선을 한국건설기술연구원과 건설교통부의 연구결과와 비교하면 그림 9~12와 같다.

그림 9~12를 살펴보면 전기간과 단시간 강우량자료를 이용한 무차원 누가곡선들에 차이가 있음을 알 수 있었다. 전기간의 강우자료를 이용한 기왕의 연구에서는 최대강우강도가 제2구간에서 발생하는 것으로 나타났으나 본 연구에서는 전반적으로 제1구간에서 최대강우강도가 발생하였으며 상대적으로 후반부로 갈수록 최대강우강도의 발생확률이 낮아졌다.

따라서 동일한 지속기간이라 하더라도 6시간 이하의 단시간 강우에서는 최대강우강도가 1구간에서 발생하므로 전반부의 누가확률곡선이 기왕의 연구결과에 비하여 상단에 위치하고 있으며, 후반부의 누가확률곡선은 상대적으로 하단에 위치하고 있다.

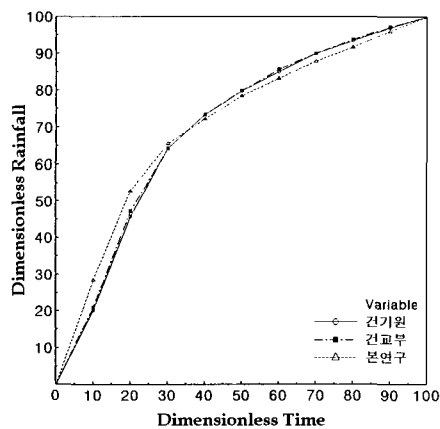


그림 9. 제1구간 초과확률50% 누가곡선비교(대전지점)

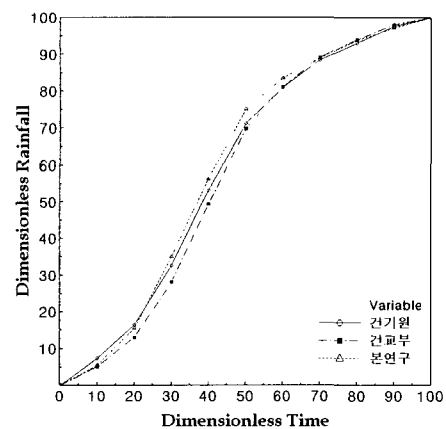


그림 10. 제2구간 초과확률50% 누가곡선비교(대전지점)



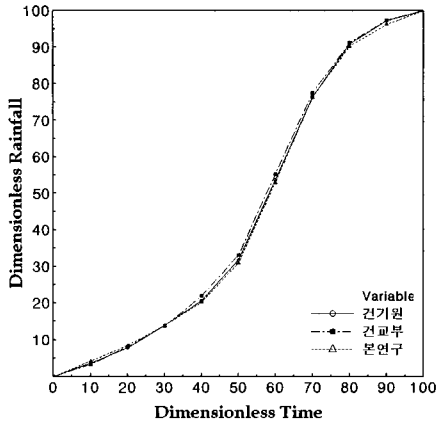


그림 11. 제3구간 초과확률50%  
누가곡선비교(대전지점)

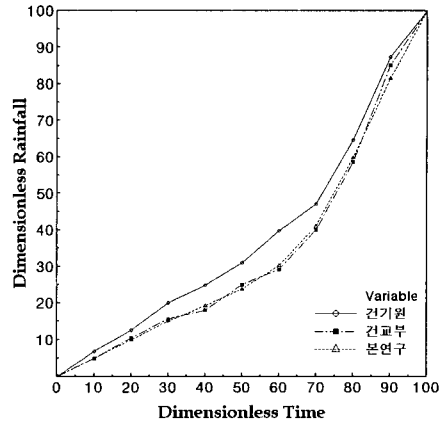


그림 12. 제4구간 초과확률50%  
누가곡선비교(대전지점)

### 5.2 강우발생원인별 시간분포특성 비교

본 절에서는 강우발생원인에 따른 시간분포와 전기간 강우자료를 근거한 한국건설기술연구원(1989)과 건설교통부(2000)의 결과와 정성적으로 비교하였다. 대전지점에서 유도한 강우발생 원인별 Huff의 시간분포방법의 각 구간별 초과확률 50%의 무차원 누가곡선을 기왕의 연구인 한국건설기술연구원(1989), 건설교통부(2000)의 연구결과와 비교하면 그림 13~16과 같다.

그림 13을 살펴보면 제1구간의 경우 제일 상단에 집중호우의 무차원 누가곡선이 위치하고 있으며, 제일 하단에는 태풍의 무차원 누가곡선이 위치하고 있다. 이는 강우발생기간 동안에 높은 강우강도를 보이는 집중호우의 특성과 태풍 중심의 접근정도에 따라 최대강우강도가 발생하는 태풍의 특성이 잘 나타난 결과라 할 수 있다.

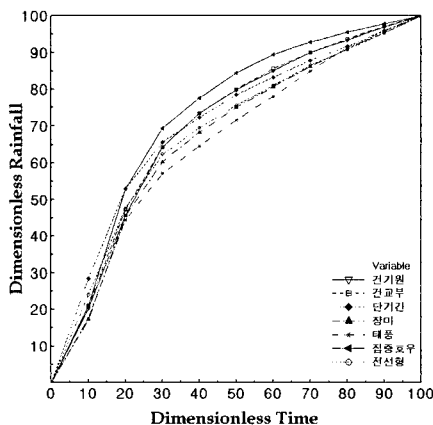


그림 13. 제1구간 초과확률50%  
누가곡선비교(대전지점)

그림 14를 살펴보면 제2구간의 경우 기왕의 연구결과와 강우사상들이 밀집되어 있어 많은 차이가 발생하고 있지 않으며, 제일 상단에는 집중호우 사상의 무차원 누가곡선, 그리고 제일 하단에는 건설교통부(2000)의 무차원 누가곡선이 위치하고 있다. 따라서 이는 집중호우의 강한 특성이 다른 강우사상들에 비하여 강우발생 전반부에 우세하게 나타남을 알 수 있었으며, 제일 하단에 위치한 건설교통부(2000)의 무차원 누가곡선은 자료년수에 의한 강우자료수의 차이에 기인된 것이라 할 수 있다.

그림 15를 살펴보면 제3구간의 경우 기왕의 연구결과와 강우사상들이 밀집되어 있어 많은 차이가 발생하고 있지 않으며, 태풍의 중심이 근접하는 후반부에 최대강우강도가 발생하는 태풍과 강우발생기간 동안에 고른 강우강도를 보이는 집중호우의 사상들이 우세하다고 할 수 있다.

그림 16을 살펴보면 제4구간에서는 시간분포의 무

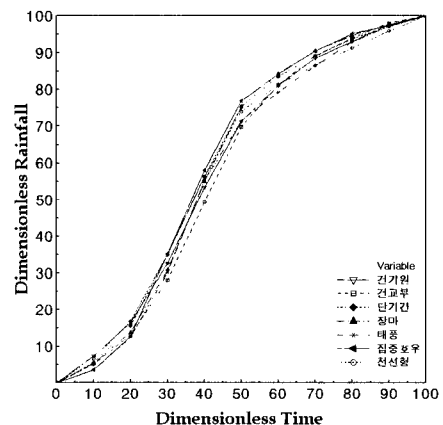


그림 14. 제2구간 초과확률50%  
누가곡선비교(대전지점)

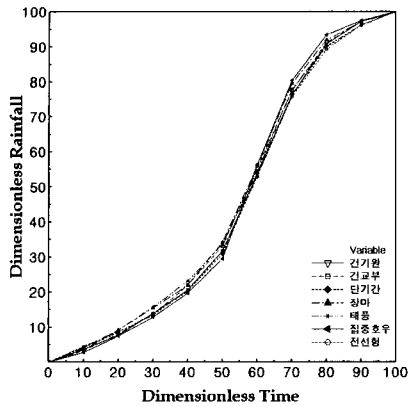


그림 15. 제3구간 초과확률50%  
누가곡선비교(대전지점)

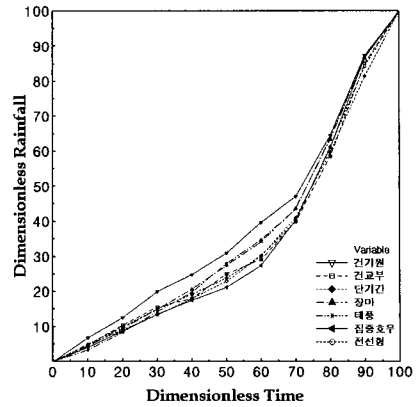


그림 16. 제4구간 초과확률50%  
누가곡선비교(대전지점)

차원 누가곡선이 제일 상단에 한국건설기술연구원 (1989)의 결과가 위치하고 있으며, 제일 하단에는 집중호우에 따른 결과가 위치하고 있다. 상단에 위치한 한국건설기술연구원의 결과의 경우에는 자료년수 차이에 의하여 현재의 기상현상이 고려되지 않은 것으로 판단되며, 제일 하단에 위치한 집중호우에 따른 결과는 강우 종료시점에 근접하여 급격히 소멸하는 집중호우의 특성이 반영된 것이라 할 수 있다.

### 5.3 구간변화에 따른 시간분포특성 비교

본 절에서는 다양한 변화를 나타내는 기상현상으로 인한 도시강우의 변화를 보다 세밀하게 분석하기 위하여 대상지점의 단시간 강우자료를 사용, 기존 Huff의 4구간 분류를 6구간으로 변화시켜 분석하였으며, 그 결과를 단시간 전체에 대한 Huff의 4구간 분류의 분석결과와 비교하였다.

서울, 부산과 대구지점에서 Huff의 4구간 분류일

대의 최빈구간인 제1구간과 수정 Huff의 6구간으로 변화시켰을 때 해당되는 제1구간과 제2구간의 초과확률 50%의 무차원 누가곡선을 비교하면 그림 17~19와 같다. 그리고 대전지점에서 Huff의 4구간 분류일대의 최빈구간인 제2구간과 이 구간을 수정 Huff의 6구간으로 변화시켰을 때 해당되는 제2구간과 제3구간 초과확률 50%의 무차원 누가곡선을 비교하면 그림 20과 같다.

그림 17~19를 살펴보면 서울, 부산과 대구지점의 경우 강우발생의 초기에는 1/6구간의 강우사상들이 1/4구간의 강우사상들보다 최대강우강도 발생 확률이 높아 무차원 누가곡선이 상단에 위치하고 있음을 알 수 있었다. 지속기간의 후반부로 갈수록 1/6구간의 사상이 약화되며 1/4구간의 후반부 호우와 동일한 구간에 해당되는 2/6구간의 무차원 누가곡선이 강우 종료시점까지 유사한 궤적을 그리게 된다.

그림 20을 살펴보면 대전지점의 경우 강우 발생의

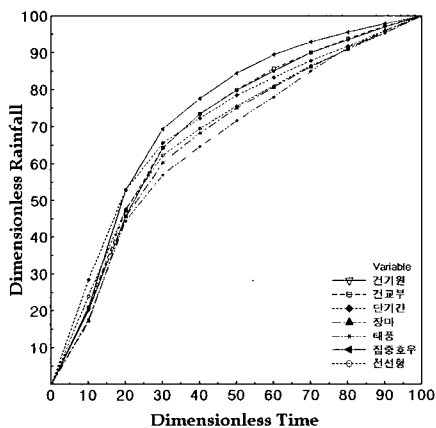


그림 17. 제1구간 초과확률50%  
누가곡선비교(대전지점)

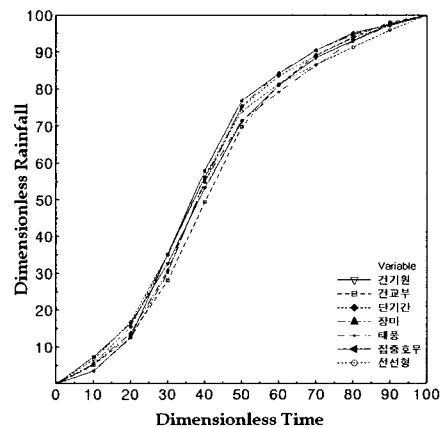


그림 18. 제2구간 초과확률50%  
누가곡선비교(대전지점)

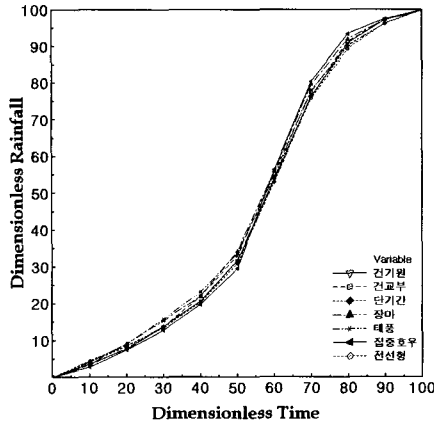


그림 19. 제3구간 초과확률50%  
누가곡선비교(대전지점)

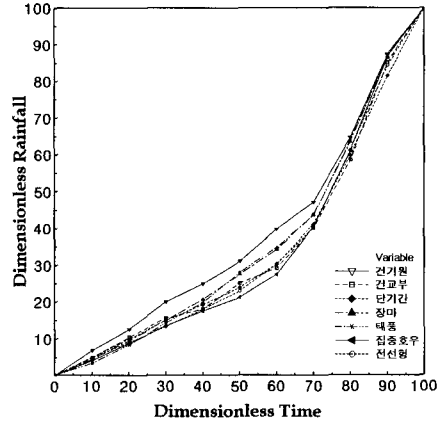


그림 20. 제4구간 초과확률50%  
누가곡선비교(대전지점)

초기에는 2/6구간의 강우사상들이 2/4구간의 강우사상들 보다 최대강우강도 발생확률이 높아 무차원 누가곡선이 상단에 위치하고 있음을 알 수 있었다. 지속기간의 후반부로 갈수록 1/6구간의 사상들이 약화되며 2/4구간의 후반부 호우와 동일한 구간에 해당되는 3/6구간의 무차원 누가곡선이 강우 종료시점까지 유사한 궤적을 그리게 된다.

## 6. 결론

본 연구에서는 국내 도시지역의 홍수피해 경감을 위한 홍수예경보 시스템을 구축할 때 필요한 도시강우의 시간분포형을 결정하기 위하여 기존 강우의 시간분포방법 중에서 Huff의 시간분포방법을 이용하였으며, 6시간 이하의 단시간 강우자료가 충분히 확보되어 있는 국내 도시지역인 서울, 부산, 대구, 대전 등의 4개 지점을 대상으로 하여 단시간 강우의 시간분포특성을 분석하였다. 이를 위하여 강우지속기간, 강우발생원인, 구간변화에 따른 시간분포분석을 실시하였다. 또한 이를 바탕으로 전기간 강우자료를 사용하여 유도된 한국건설기술연구원(1989)과 건설교통부(2000)의 연구결과와 비교하였다. 본 연구의 수행으로 인해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 서울, 부산, 대구, 대전지점의 경우 6시간 이하의 단시간 강우자료의 지속기간에 따른 최대강우강도는 전반적으로 Huff의 시간분포방법의 제1구간에서 발생할 확률이 가장 높게 나타났으며, 제4구간에서 가장 낮게 발생하였다.
- (2) 강우발생원인별 분류에서 장마, 집중호우, 전선형강우의 경우 최대강우강도는 Huff의 시간분

포방법의 제2구간, 태풍의 경우에는 제3구간에서 최대강우강도가 가장 높게 나타났다.

- (3) 강우강도크기에 따른 시간분포특성 분석 결과 평균강우강도 이하의 경호우에서는 Huff의 시간분포방법의 제1구간이, 평균강우강도 이상의 중호우에서는 제2구간이 우세하였다.
- (4) 기존 Huff의 4구간 분류를 6구간으로 변화시켜 단시간 강우를 분석한 결과, 기존 Huff의 4구간 분류에서 최대강우강도는 제1구간에서 발생할 확률이 가장 높았으며, 수정 Huff의 6구간 분석에서는 동일한 위치에 해당되는 제2구간에서 우세하였다.
- (5) 국내 도시지역에서 단시간 강우사상의 최대강우강도는 Huff의 시간분포방법의 제1구간에 위치하므로써 전반부 강우의 무차원 누가곡선의 비교에서는 본 연구의 무차원 누가곡선이 상단에 위치하였으며, 후반부의 강우는 기왕의 연구에 의한 무차원 누가곡선들에 비하여 하단에 위치하였다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2003년도 건설핵심 기술연구 개발사업(03산학연C03-01)에 의한 도시홍수재해관리 기술연구사업단의 연구성과입니다.

## 참고 문헌

건설교통부 (2000). 지역적 설계강우의 시간적 분포,

수자원관리기법개발연구조사 보고서, 제2권.  
기상청 (1961~1999). 자기우량지.  
기상청 (2000~2004). AWS 자료.  
이정식 (2005). 도시홍수를 위한 강우의 시·공간적 분포 분석, 도시홍수 재해관리 기술연구사업단 연구보고서 FFC04-06.  
한국건설기술연구원 (1989). 지역별 설계강우의 시간적 분포.

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

◎ 논문접수일 : 2006년 08월 14일

◎ 심사의뢰일 : 2006년 08월 18일

◎ 심사완료일 : 2006년 09월 12일