

도시지역에서 강우의 수문학적 특성에 따른 시간분포 분석

An Analysis of the Temporal Pattern according to Hydrologic Characteristics of Rainfall in Urban Area

이정식*, 신창동**, 김영욱***

Jung Sik Lee, Chang Dong Shin, Young Wook Kim

요 지

본 연구에서는 강우의 수문학적 특성을 고려하여 도시지역에서의 시간분포를 분석하고, Huff의 무차원 누가곡선 및 Yen과 Chow의 무차원 특성변수를 제시하였으며, 강우의 수문학적 특성은 지속기간, 강우의 발생원인(장마, 태풍, 집중호우, 전선형 강우), 강우강도 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, 태풍의 경우에는 후방위구간에서 최대강우강도가 발생하였다. 셋째, 평균강우강도이하의 경호우와 평균강우강도이상의 중호우에서는 전방위구간에서 최대강우강도가 발생하였다. 넷째, 전기간 강우자료를 이용한 기존 연구들의 무차원 누가곡선 및 특성변수와와의 비교를 실시하여, 수문학적 특성에 따라 무차원 누가곡선의 위치 및 특성변수의 값에서 차이가 발생한다는 것을 알 수 있었다.

핵심용어 : 도시강우의 시간분포형, 강우의 수문학적 특성, Huff 및 Yen과 Chow의 시간분포방법

1. 서 론

최근의 도시지역은 무분별한 토지이용과 시가지의 확산, 주택과 도로의 건설 등 각종 사회기반시설의 개발 등으로 인해 도시화 이전의 지표면이 갖고 있던 보수 및 유수기능 등이 현저하게 줄어들었다. 따라서 도시지역의 치수안전도는 상당히 악화되어 있으며, 이때 발생하는 홍수피해는 다른 지역에 비해 개발정도와 인구집중 등으로 피해액과 피해규모 등이 상대적으로 증가하므로 도시지역을 대상으로 한 적합한 홍수피해 경감대책의 수립이 시급한 실정이다. 그 중에서 도시홍수에 큰 영향을 끼치는 도시지역의 강우-유출 모형 입력 자료의 분석에 대한 필요성이 제기되고 있으며, 특히 강우-유출모형의 입력자료의 하나인 강우의 시간분포는 강우-유출모형의 입력자료 뿐만 아니라 홍수예경보 시스템의 구축, 운영에서도 중요한 정보를 제공한다. 현재 국내 수자원 실무의 경우 강우의 예측을 위하여 다양한 강우분석기법이 활용되고 있으나 국내 도시지역에 대해서는 적절한 기준이 없는 실정이며, 최근에 이정식(2005)이 도시지역에서 강우의 시간분포분석을 실시한 바 있다.

본 연구에서는 강우의 수문학적 특성을 고려하여 도시지역에서의 시간분포를 분석하고, Huff의 무차원 누가곡선 및 Yen과 Chow의 무차원 특성변수를 제시하였으며, 기 발표된 연구결과인 한국건설기술연구원(1989)과 건설교통부(2000)의 결과와 본 연구에서 유도한 도시강우의 시간분포를 비교하므로써 도시 치수구조물 설계 및 재난방지계획에 보다 합리적인 기준을 제시하고자 한다.

* 금오공과대학교 토목환경공학부 교수·E-mail : jungsik@kumoh.ac.kr

** 금오공과대학교 토목공학과 박사과정·E-mail : sichado88@hanmail.net

*** 금오공과대학교 토목공학과 석사과정·E-mail : newsun10@nate.com

2. 대상지역 및 기본자료

본 연구에서 선정한 대상지역으로는 국내의 대표적인 도시지역인 서울, 부산, 대구, 대전 등의 4개 지역이며, 대상호우는 무강우가 6시간 이하로 연속되면 하나의 호우로 정의하였다. 강우량 자료는 호우사상을 위주로 최근 1961년부터 2004년까지 44년간의 연속된 자료의 기상청 및 우량관측소의 자기우량지를 이용하여 수집하였다. 도시강우의 특성을 분석하기 위하여 최대지속시간을 6시간으로 하였으며, 최소지속시간은 1시간으로 하였다.

3. 강우의 시간분포방법

3.1 Huff의 시간분포방법

Huff(1967)는 미국 북부 중앙 Illinois주에 위치한 지역에서 강우기록을 통계학적으로 분석하여 강우량의 시간분포를 나타내는 무차원 시간분포곡선을 제시하였다. 강우량의 침투위치에 따라 총강우지속기간의 4곳을 기준으로 호우사상을 구분하여 전 지속기간을 4등분 하여 1/4구간을 제 1구간 호우, 다음 2/4구간에 있으면 제 2구간호우, 다음 3/4구간에 있으면 제 3구간호우, 그리고 마지막 구간일 경우는 제 4구간호우로 칭하고 각 분류된 구간의 강우량의 최대부위가 어느 부분에 나타나는지 조사하였다.

본 연구에서는 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.

3.2 Yen과 Chow의 시간분포방법

Yen과 Chow(1980)의 방법은 1차 및 2차 모멘트를 이용한 통계학적인 분석방법으로 강우주상도를 삼각형과 사다리꼴의 기하학적 형태로 단순화하여 표현하였으며, 강우주상도의 단순성으로 인해 강우를 시간적으로 분포시키는데 빈번히 이용되는 방법 중의 하나이다.

강우는 무강우가 없는 연속강우로 정의하였으며, 총강우량은 일반적으로 강우지속기간동안 각 시간분위의 강우량의 합과 동등한 강우깊이 $D(mm)$ 로 표현하였다. 또한 삼각형 우량주상도의 무차원 특성변수는 식 (2)~(4)와 같다.

$$a^\circ = a/t_d = 3t^\circ - 1 \quad (2)$$

$$b^\circ = b/t_d = 2 - 3t^\circ \quad (3)$$

$$h^\circ = h/(D/t_d) = 2 \quad (4)$$

4. 적용 및 분석

본 연구에서는 도시지역에서의 수문학적 특성에 따른 강우의 시간분포분석을 실시하고자 강우의 수문학적 특성을 지속기간, 강우의 발생원인(장마, 태풍, 집중호우, 전선형 강우), 강우강도 등으로 분류하였으며, 분류방법은 기상청에서 제시한 기상정보자료를 참조하였고, 도시지역에서 강우의 시간분포분석을 위하여 Huff 및 Yen과 Chow의 시간분포방법을 적용하였다.

4.1. 지속기간별 시간분포특성 분석

단시간 강우에 대한 지속기간을 4개 구간으로 구분하여 최대강우강도 발생구간을 분석하였으며, 전체 대상지역의 지속기간에 따른 각 분위별 빈도는 표 1과 같다. 표 1을 살펴보면 강우수는 지속기간이 커질수록 증가하였으며, 전체적으로 호우의 전반부에 최대강우강도가 발생함을 알 수 있다. 서울지점의 삼각형 우량주

상도의 무차원 1차모멘트와 무차원 특성변수는 표 2와 같다. 표 2를 살펴보면 Yen과 Chow의 시간분포방법에서 무차원 특성변수(a°)는 전반적으로 전방위 형태의 강우특성을 나타내며, 안정적인 형태를 보이고 있다.

표 1. 지속기간에 대한 각 분위별 빈도

발생분위 지속기간	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

표 2. 삼각형 우량주상도의 무차원 1차모멘트와 무차원 특성변수(서울)

지속기간	무차원 1차모멘트(t^0)	삼각형 우량주상도(a^0)
≤ 1 hr	0.49	0.48
1 ~ 2 hr	0.45	0.39
2 ~ 3 hr	0.47	0.43
3 ~ 4 hr	0.49	0.47
4 ~ 5 hr	0.43	0.33
5 ~ 6 hr	0.48	0.46
전체	0.47	0.42

4.2 강우발생원인별 시간분포특성 분석

본 절에서는 국내 도시지역의 강우발생원인에 따른 강우의 시간분포분석을 실시하고자 강우의 발생원인을 장마, 태풍, 집중호우, 전선형강우로 분류하였으며, 분류방법은 기상청의 기상정보자료를 이용하였다. 강우발생원인에 따른 각 구간별 빈도는 표 3과 같으며, 삼각형 우량주상도의 무차원 1차모멘트와 무차원 특성변수는 표 4와 같다. 표 3을 살펴보면 전반적으로 최대강우강도는 Huff의 제2구간에서 나타났으나 태풍의 경우에는 제3구간에서 가장 높게 나타났다. 표 4를 살펴보면 무차원 특성변수(a°)값은 0.37 ~ 0.47의 범위에 분포하고 있어, 전반적으로 전방위 형태의 강우특성을 나타내어 Huff의 결과와 유사함을 알 수 있다.

표 3. 강우발생원인에 따른 각 구간별 빈도

강우발생원인	구 간				강우수
	제1구간	제2구간	제3구간	제4구간	
장마	288 (27.7%)	305 (29.3%)	265 (25.5)	183 (17.5%)	1041
태풍	81 (17.5%)	129 (27.9%)	149 (32.2%)	104 (22.4%)	463
집중호우	120 (23.1%)	165 (31.8%)	142 (27.4%)	92 (17.7%)	519
전선형강우	374 (27.0%)	384 (27.7%)	340 (24.5%)	288 (20.8%)	1386

표 4. 강우발생원인에 따른 무차원 1차모멘트와 무차원 특성변수

강우발생원인	서울		부산		대구		대전	
	무차원 1차모멘트	무차원 특성변수	무차원 1차모멘트	무차원 특성변수	무차원 1차모멘트	무차원 특성변수	무차원 1차모멘트	무차원 특성변수
	장마	0.45	0.39	0.48	0.45	0.45	0.38	0.46
태풍	0.48	0.43	0.49	0.47	0.48	0.46	0.48	0.47
집중호우	0.46	0.41	0.47	0.44	0.44	0.37	0.45	0.40
전선형	0.47	0.43	0.46	0.41	0.47	0.44	0.48	0.46

4.3 강우강도의 크기에 따른 시간분포특성 분석

본 절에서는 국내 도시지역에서 강우강도의 크기에 따른 시간분포특성의 영향을 조사하기 위하여 평균강우강도보다 큰 경우와 작은 경우를 나누어 분석하였으며, 평균강우강도 이상을 중호우, 이하를 경호우로 구분하였다. 서울지점에서 강우강도 크기에 따른 각 구간별 빈도는 표 5와 같으며, 무차원 1차모멘트와 무차원 특성변수는 표 6과 같다. 표 5를 살펴보면 Huff의 시간분포방법에서 경호우는 제1구간, 중호우는 제2구간에서 최대강우강도가 발생하였다. 표 6을 살펴보면 Yen과 Chow의 시간분포방법에서도 경호우의 경우 무차원 특성변수(a°)는 0.32 ~ 0.55, 중호우는 0.22 ~ 0.43의 분포를 보이고 이T으며, 전체적으로 발생강우의 절반 이상이 전반부에 집중되어 있음을 알 수 있었다. 각 지점별 지속기간의 분석과 동일한 결과가 산출되어 6시간 이하의 도시강우상황은 지역적으로 차이는 있지만 전반부 강우가 우세하다는 것을 알 수 있었다.

표 5. 강우강도의 크기에 따른 각 구간별 빈도

지점명	호우분류	구 간				강우수
		제1구간	제2구간	제3구간	제4구간	
서울	경호우	93 (46.0%)	66 (27.2%)	33 (13.6%)	51 (21.0%)	243
	중호우	64 (31.5%)	40 (24.7%)	26 (16.0%)	32 (19.8%)	162
부산	경호우	79 (31.5%)	62 (24.7%)	52 (20.7%)	58 (23.1%)	251
	중호우	46 (28.8%)	51 (31.9%)	27 (16.9%)	36 (22.5%)	160
대구	경호우	77 (35.6%)	74 (34.3%)	36 (16.7%)	29 (13.4%)	216
	중호우	53 (32.1%)	66 (40.0%)	20 (12.1%)	26 (15.8%)	165
대전	경호우	64 (27.9%)	60 (26.2%)	50 (21.8%)	55 (24.0%)	229
	중호우	49 (29.0%)	57 (33.7%)	29 (17.2%)	34 (20.1%)	169

표 6. 강우강도 크기에 따른 무차원 1차모멘트와 무차원 특성변수

지점명	지속기간	경호우		중호우	
		무차원 1차모멘트	무차원 특성변수	무차원 1차모멘트	무차원 특성변수
서울	3 hr이하	0.52	0.55	0.42	0.32
	3 ~ 6 hr	0.48	0.46	0.39	0.28
	전체기간	0.49	0.47	0.41	0.30
부산	3 hr이하	0.46	0.37	0.44	0.34
	3 ~ 6 hr	0.46	0.41	0.47	0.43
	전체기간	0.46	0.41	0.46	0.40
대구	3 hr이하	0.43	0.32	0.39	0.28
	3 ~ 6 hr	0.47	0.43	0.38	0.22
	전체기간	0.46	0.42	0.38	0.25
대전	3 hr이하	0.49	0.49	0.42	0.32
	3 ~ 6 hr	0.46	0.44	0.42	0.33
	전체기간	0.47	0.45	0.42	0.33

4.4 시간분포의 비교분석

기존의 전시간 강우자료의 시간분포와 본 연구의 결과를 비교하여 어떠한 변화를 보이는가를 검토하기 위하여 무차원 누가곡선을 유도하였으며, 무차원 특성변수(a⁰)를 한국건설기술연구원(1989)과 건설교통부(2000)의 결과와 정량적으로 비교하였다. 대전지점에서 단기간 지속기간의 누가곡선과 건기원 및 건교부의 전기간 지속기간의 누가곡선을 비교하면 그림 1과 같으며, 강우발생원인별 누가곡선과 건기원과 건교부의 전기간 지속기간의 누가곡선을 비교하면 그림 2와 같다. 그림 1을 살펴보면 전기간의 강우자료를 이용한 기왕의 연구에서는 최대강우강도가 제2구간에서 발생하는 것으로 나타났으나 본 연구에서는 전반적으로 제1구간에서 최대강우강도가 발생하였다. 그림 2를 살펴보면 제1구간의 경우 제일 상단에 집중호우의 무차원 누가곡선이 위치하고 있으며, 제일 하단에는 태풍의 무차원 누가곡선이 위치하고 있다.

Yen과 Chow의 방법을 이용하여 각 지점별로 유도한 무차원 특성변수 a⁰값과 기왕의 연구결과인 한국건설기술연구원(1989)과 건설교통부(2000)의 2~6시간의 결과와, 전기간 연구결과와 정량적으로 비교한 결과는 표 7과 8과 같다. 표 7을 살펴보면, 기존의 연구결과와 큰 차이를 보이지 않았고, 전반적으로 보다 전방위 형태를 나타내고 있다. 표 8에서도 각 지점에서 장마와 집중호우에 따른 우량주상도의 첨두강우강도가 기존의 연구결과에 비하여 전반부에 위치하고 있으며, 태풍과 전선형 강우에 따른 삼각형우량주상도의 첨두강우강도는 기왕의 연구결과에 비하여 후반부에 위치하고 있음을 알 수 있었다. 전반적으로 강우발생원인별로 뚜렷한 차이를 나타내고 있었으며, 기존의 연구결과들과도 차이를 나타내고 있었다.

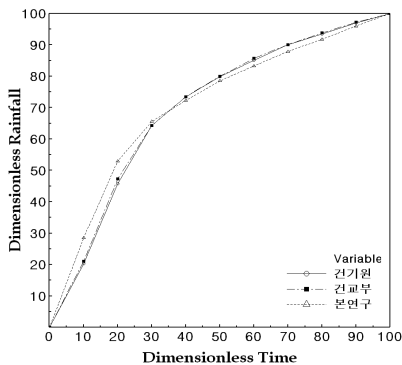


그림 1. 지속기간별 누가곡선비교(대전지점)

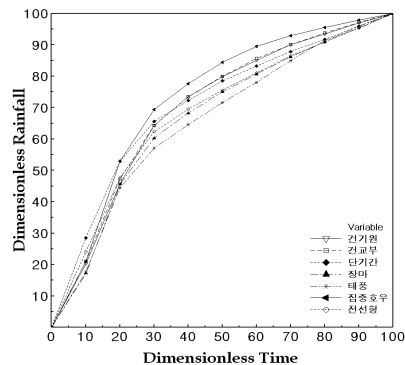


그림 2. 강우발생원인별 누가곡선비교(대전지점)

표 7. 지속기간에 따른 삼각형우량주상도의 비교

지속기간	무차원 특성변수(a^0)				
	서울	부산	대구	대전	
본연구(단시간)	0.42	0.41	0.36	0.41	
건기원	2~6hr	0.42	0.43	0.42	0.43
	전기간	0.42	0.45	0.43	0.44
건교부	2~6hr	0.41	0.42	0.41	0.42
	전기간	0.41	0.44	0.42	0.43

표 8. 강우발생원인에 따른 삼각형우량주상도의 비교

강우발생원인	무차원 특성변수(a^0)			
	서울	부산	대구	대전
장마	0.39	0.45	0.38	0.40
태풍	0.43	0.47	0.46	0.47
집중호우	0.41	0.44	0.37	0.40
전선형	0.43	0.41	0.44	0.46
건기원	0.42	0.45	0.43	0.44
건교부	0.41	0.44	0.42	0.43

5. 결론

본 연구에서는 국내 도시지역의 시간분포형을 결정하기 위하여 국내 도시지역인 서울, 부산, 대구, 대전 등의 4개 지점을 대상으로 수문학적 특성에 따른 강우의 시간분포특성을 분석하였다. 또한 이들 결과를 바탕으로 전기간 강우자료를 사용하여 유도된 한국건설기술연구원(1989)과 건설교통부(2000)의 연구결과와 비교하였으며, 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 나타났다. Yen과 Chow의 방법에서 무차원 특성변수 a^0 값은 분석대상 전 지점을 통하여 0.36~0.42의 범위에 분포하고 있으며, 전반적으로 전방위 형태의 강우특성을 나타내고 있다.
- (2) 강우발생원인별 분류에서 장마, 집중호우, 전선형 강우의 경우 최대강우강도는 Huff의 시간분포방법의 제2구간, 태풍의 경우 제3구간에서 가장 크게 나타났다. Yen과 Chow의 방법의 무차원 특성변수 a^0 값은 0.37~0.47의 범위에 분포하고 있으며, 전반적으로 전방위 형태의 강우특성을 나타내고 있어 Huff의 결과와 유사함을 알 수 있다.
- (3) 강우강도크기에 따른 시간분포특성 분석 결과 평균강우강도 이하의 경호우에서는 Huff의 시간분포방법의 제1구간이, 평균강우강도 이상의 중호우에서는 제2구간이 우세하였다. Yen과 Chow의 방법의 무차원 특성변수 a^0 값은 경호우의 경우 0.32~0.55, 중호우의 경우 0.22~0.43의 분포를 보여 전반적으로 전방위 형태의 강우특성을 보이고 있다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2003년도 건설핵심 기술연구개발사업(03산학연C03-01)에 의한 도시홍수 재해관리 기술연구사업단의 연구성과입니다.

참고문헌

1. 건설교통부(2000b), 지역적 설계강우의 시간적 분포, 수자원관리기법개발연구조사 보고서, 제2권
2. 이정식 (2005). 도시강우의 시공간적 분포 분석, 도시홍수 재해관리 기술연구사업단 연구보고서 FFC04-06
3. 한국건설기술연구원(1989), 지역별 설계강우의 시간적 분포
4. Huff, F.A. (1967). Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms, Water Resources Research, Vol. 3, No. 4, pp.1007-1019.
5. Yen, B. C., and Chow, V. T.(1980), Design hyetographs for small drainage structures, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol.106, No.HY6, pp.1055~1076.