

도시지역에서 단시간강우의 시간분포형에 따른 첨두유량의 변화에 관한 연구

A Study on the Variation of the Peak Discharge
according to Temporal Patterns of Short-Duration Rainfall in Urban Area

이정식* · 신창동** · 김영욱***
Lee, Jung Sik · Shin, Chang Dong · Kim, Young Wook

요 지

본 연구에서는 국내 도시지역의 특성을 고려한 설계강우의 시간분포형에 따른 첨두유량의 변화를 규명하고자 Huff 및 Yen과 Chow의 시간분포방법을 이용하여 단시간 강우특성을 분석하였으며, 또한, 기왕의 연구인 건설교통부의 전기간 강우에 의한 시간분포와의 비교를 실시하고, 실제 도시지역에 적용하여 첨두유량의 변화를 분석하였다. 한다. 본 연구에서 선정한 대상지역은 서울, 부산과 대구지점이며, 강우자료는 1961년부터 2004년까지 44년간의 연속된 자료로서 기상청의 자기우량지 및 AWS자료를 이용하여 수집하였다. 첨두유량분석을 위한 대상유역으로는 서울특별시 일원의 성내와 반포배수구역과 부산광역시 일원의 동의대 시험유역, 경북 구미시 일원의 광평배수구역을 선정하였다. 본 연구의 수행으로 인해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, Huff의 시간분포방법의 경우에는 단시간 강우자료의 지속기간에 따른 최대강우강도는 제1구간에서 발생할 확률이 가장 높게 나타났고, 제3구간에서 가장 낮게 발생하였으며, 기왕의 연구들과 차이가 발생하였다. 둘째, Yen과 Chow의 시간분포방법에서는 기왕의 연구와 본 연구의 결과에서 전반적으로 큰 차이가 발생하지 않았으며, 셋째, 첨두유량의 비교에서는 시간분포방법에 따라 변화가 발생함을 알 수 있었다.

핵심용어 : 도시지역, 단시간강우, Huff의 시간분포방법, Yen과 Chow의 시간분포방법

1. 서 론

오늘날의 도시지역은 고도의 성장을 거치며, 지속적으로 진행된 도시화 및 산업화로 인하여 도시화되기 이전의 지표면이 갖고 있었던 보수 및 유수기능이 인공구조물 등으로 폐복되면서 현저하게 감소되고 있다. 더욱이 인구의 급격한 도시집중에 따라 주거 및 생활공간의 부족으로 과거의 홍수범람구역이나 저지대까지 주택 및 건물 등이 건설되므로써 치수면에서의 안전도가 악화되고 있는 실정이다.

도시지역에서의 종합적인 치수대책을 수립할 경우 도시지역의 수문학적 특성을 고려한 홍수방어대책을 강구하여야 한다. 도시지역의 홍수피해 특성은 단시간에 집중하는 호우에 의한 피해가 대부분이나 국내에서 개발된 강우의 시간분포는 장·단시간 호우의 구분없이 전기간 강우자료를 대상으로 개발되어 적용되고 있어 단시간 호우의 차례를 받고 있는 도시지역의 수문량 결정에는 적합하지 않으므로, 단시간 강우의 강우시간분포에 관한 연구의 필요성이 제기되고 있다.

따라서 본 연구에서는 국내 도시지역의 특성을 고려한 강우의 시간분포형에 따른 첨두유량의 변화를 규명하고자 단시간 강우에 의한 특성을 Huff 및 Yen과 Chow의 시간분포방법을 이용하여 분석한다. 또한, 기왕의 연구인 건설교통부의 전기간 강우에 의한 시간분포와의 비교를 실시하고, 실제 도시지역인 서울, 부산 구미지역에 도시유출모형인 ILLUDAS모형을 적용하여 강우의 시간분포방법에 따른 첨두유량의 변화를 비교하므로써 본 연구결과의 타당성을 검토한다.

*정회원·금오공과대학교 토목환경공학부 교수·공학박사 E-mail : jungsik@kumoh.ac.kr – 발표자
**정회원·금오공과대학교 토목환경공학부 토목공학과 박사과정 E-mail : sichado88@hanmail.net
***정회원·금오공과대학교 토목환경공학부 토목공학과 석사과정 E-mail : newsun10@nate.com

2. 대상지역 및 기본자료

본 연구에서 선정한 대상지역은 국내의 대표적인 도시지역인 서울, 부산과 대구 등의 3개 지점이며, 강우자료는 1961년부터 2004년까지 44년간의 연속된 자료로서 기상청의 자기우량지 및 AWS자료를 이용하였다. 대상지역의 전체 10분 강우자료 중 5mm이상의 강우사상을 수집하였고 최대지속기간을 6시간, 최소지속기간은 1시간으로 하였으며, 대상호우는 무강우가 6시간 이하로 연속되면 하나의 호우로 정의하였다.

또한 수문특성분석을 위한 대상유역으로는 도시화 정도 및 유역특성을 종합적으로 분석하여, 서울특별시 일원의 성내와 반포배수구역과 부산광역시 일원의 동의대 시험유역, 경북 구미시의 광평배수구역을 선정하였다. 강우강도식으로는 서울지역은 서울시 수해백서(2002), 부산지역의 경우에는 건설교통부(2000a)의 결과를 이용하였다. 구미지역의 경우에는 구미시(2002)의 결과를 이용하였으며, 장·단기간 분리자료가 없어 전기간의 식을 이용하였다.

3. 기본이론

3.1 Huff의 시간분포방법

Huff(1967)는 미국 북부 중앙 Illinois주에 위치한 지역에서 강우기록을 통계학적으로 분석하여 강우량의 시간분포를 나타내는 무차원 시간분포곡선을 제시하였다. 총강우량의 첨두강우 부분이 강우지속기간, 유역평균 강우량, 호우기간내의 집중적 강우발생빈도수에 관여하지 않고 총강우시간의 임의구간에서 발생한다는 것을 발견하고 강우량의 첨두위치에 따라 총강우지속기간의 4곳을 기준으로 하여 호우사상을 구분하였다.

3.2 Yen과 Chow의 시간분포방법

Yen과 Chow(1980)는 모멘트를 이용한 통계학적인 분석방법으로 강우주상도를 삼각형과 사다리꼴의 기하학적 형태로 단순화하여 표현하였다. 본 연구에서는 6시간 이내의 단시간의 자료이므로 단시간의 자료에 적합한 삼각형 우량주상도만 고려하여 1차 모멘트에 의한 Yen과 Chow의 방법의 시간분포특성을 분석하였다.

3.3 ILLUDAS 모형

ILLUDAS 모형은 Terstriep와 Stall(1974)에 의해 개발된 모형으로 도시지역에서 호우에 따른 배수시스템의 수문학적 설계에 활용할 수 있다. ILLUDAS 모형을 적용하기 위하여 해당유역을 소유역 구분한 후 하나의 배수구역내에서의 유출은 대체적으로 하나의 유입구를 통하여 배수로로 연결되는 과정이 같다고 보았으며, 각각의 소구역에 강우를 적용시키므로써 유출에 기여하는 면적을 통하여 포장지역 및 비포장지역의 수문곡선을 얻게 된다. 이 수문곡선들을 유역 출구지점에 이르기까지 하나의 지점으로부터 다음 지점 즉, 하류방향으로 합성 및 추적하여 유역말단부에서 총 유출수문곡선을 구하게 된다.

4. 적용 및 분석

도시지역 단시간 강우의 시간분포를 산정하기 위하여 최대지속기간을 6시간으로 하고, 지속시간을 1, 2, 3, 4, 5, 6시간으로 구분하여 분석을 실시하였으며, 국내 실무에서 널리 적용되는 Huff의 시간분포방법과 Yen과 Chow의 시간분포방법을 이용하여 시간분포특성을 분석하였다.

4.1 지속기간별 시간분포특성 분석

대상지점에서 6시간이하인 단시간 강우에 대한 Huff의 방법의 구간별 발생도수 및 빈도는 표 1과 같다. 표 1을 살펴보면 강우수는 지속기간이 커질수록 증가하였으며, 5~6시간의 강우가 230개로서 가장 높은 비율을 차지하였다. 각 구간별 발생도수 및 빈도를 보면 제1구간에서 34.4%로 가장 높았으며, 제3구간에서 16.2%로 가장 낮은 것으로 나타나 전체적으로 호우의 전반부에 최대강우강도가 발생함을 알 수 있었다.

각 지점별 Yen과 Chow의 방법에 의한 삼각형 우량주상도의 무차원 특성변수는 표 2와 같다. 표 2를 보면 각 지점에서 지속기간별 무차원 특성변수가 차이가 나타나지만, 전체적으로 전방위 형태의 안정적인 모습을 보이고 있다.

표 1. 지속기간에 대한 각 구간별 발생도수 및 빈도

| 지속기간 | 발생구간 | 제1구간 | 제2구간 | 제3구간 | 제4구간 | 강우수 |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|------|-----|
| $\leq 1\text{hr}$ | 69(34.7%) | 75(37.7%) | 18(9.0%) | 37(18.6%) | 199 | |
| 1 ~ 2hr | 71(30.2%) | 63(26.8%) | 45(19.2%) | 56(23.8%) | 235 | |
| 2 ~ 3hr | 46(29.5%) | 71(45.5%) | 14(9.0%) | 25(16.0%) | 156 | |
| 3 ~ 4hr | 66(38.4%) | 45(26.2%) | 27(15.7%) | 34(19.7%) | 172 | |
| 4 ~ 5hr | 72(35.1%) | 52(25.4%) | 38(18.5%) | 43(21.0%) | 205 | |
| 5 ~ 6hr | 88(38.3%) | 53(23.0%) | 52(22.6%) | 37(16.1%) | 230 | |
| 6hr이하 합계 | 412(34.4%) | 359(30.0%) | 194(16.2%) | 232(19.4%) | 1197 | |

표 2. 삼각형 우량주상도의 무차원 특성변수

| 지속기간 | 무차원 특성변수(a°) | | |
|--------------------|-----------------------|------|------|
| | 서울 | 부산 | 대구 |
| $\leq 1\text{ hr}$ | 0.48 | 0.31 | 0.33 |
| 1 ~ 2 hr | 0.39 | 0.47 | 0.23 |
| 2 ~ 3 hr | 0.43 | 0.27 | 0.23 |
| 3 ~ 4 hr | 0.47 | 0.44 | 0.38 |
| 4 ~ 5 hr | 0.33 | 0.42 | 0.38 |
| 5 ~ 6 hr | 0.46 | 0.41 | 0.37 |
| 전체 | 0.42 | 0.41 | 0.36 |

4.2 시간분포특성의 비교분석

본 절에서는 단시간 지속기간 강우자료로부터 유도한 시간분포와 전기간 강우사상을 근거한 한국건설기술연구원(1989)과 건설교통부(2000)의 결과를 비교하였다.

그림 1~2는 서울지점에서 유도한 Huff 시간분포방법의 초과확률 50%의 무차원 누가곡선을 비교한 것으로, 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.

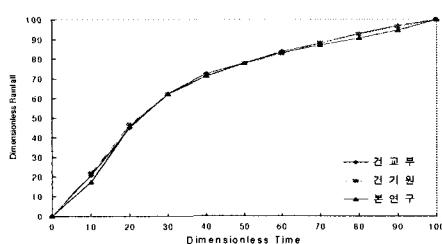


그림 1. 제1구간 초과확률 50% 누가곡선의 비교(서울지점)

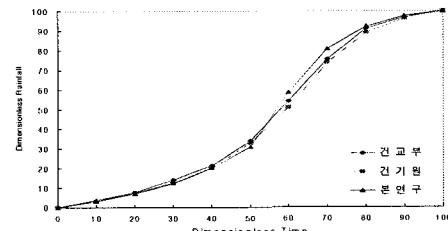


그림 2. 제3구간 초과확률 50% 누가곡선의 비교(서울지점)

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.

표 3에서는 Yen과 Chow의 방법을 이용한 본 연구의 무차원 특성변수(a°)값과 기왕의 연구결과인 한국건설기술연구원(1989)과 건설교통부(2000)의 결과와 비교하였다. 서울지점의 경우 기왕의 연구결과와 큰 차이를 보이지 않았고, 부산과 대구지점의 경우에는 무차원 특성변수(a°)의 값이 기왕의 연구결과와 각 지점별로 차이를 보이고 있다.

표 3. 무차원 특성변수의 비교

| 비교대상 | 무차원 특성변수(a°) | | |
|----------|-----------------------|------|------|
| | 서울 | 부산 | 대구 |
| 본연구(단시간) | 0.42 | 0.41 | 0.36 |
| 건기원 | 2 ~ 6hr | 0.42 | 0.43 |
| | 전기간 | 0.42 | 0.45 |
| 건교부 | 2 ~ 6hr | 0.41 | 0.42 |
| | 전기간 | 0.41 | 0.44 |

4.3 시간분포형에 따른 유출변화 분석

본 절에서는 단시간 강우의 시간분포와 기왕의 연구인 건설교통부(2000)의 결과를 실제 도시지역에 적용, 유출모형을 이용하여 첨두유량의 변화를 비교·분석하였다.

유출모형으로는 현재 실무에서 많이 사용하고 있는 ILLUDAS모형을 이용하였으며, 대상유역은 서울지역의 성내와 반포배수구역, 부산지역의 동의대 시험유역 및 구미지역의 광평동배수구역을 적용하였다.

확률강우량의 재현기간은 하수도 지선 및 관선관거의 설계빈도인 5년과 10년을 채택하였으며, 지속기간은 10분부터 360분까지 10분 간격으로 유출변화를 분석하였다. 또한 유효우량 산정방법은 NRCS 유출곡선지수법(AMC III)을 이용하였다.

표 4. 시간분포방법에 따른 수문특성의 변화

| 배수구역 | 시간분포방법 | 첨두발생시간(min) | | 첨두유량(m^3/s) | |
|------|--------|--------------|----------|-----------------|----------|
| | | 재현기간 5년 | 재현기간 10년 | 재현기간 5년 | 재현기간 10년 |
| 서울 | 성내 | Huff 방법 | 60 | 70 | 34.11 |
| | | Yen과 Chow 방법 | 60 | 60 | 34.75 |
| | 본 연구 | Huff 방법 | 50 | 50 | 33.37 |
| | | Yen과 Chow 방법 | 60 | 60 | 34.82 |
| | 반포 | Huff 방법 | 100 | 80 | 40.45 |
| | | Yen과 Chow 방법 | 100 | 80 | 40.94 |
| 부산 | 반포 | Huff 방법 | 90 | 70 | 40.21 |
| | | Yen과 Chow 방법 | 100 | 80 | 41.11 |
| | 동의대 | Huff 방법 | 30 | 30 | 4.52 |
| | | Yen과 Chow 방법 | 40 | 50 | 4.65 |
| | 본 연구 | Huff 방법 | 30 | 30 | 4.61 |
| | | Yen과 Chow 방법 | 50 | 50 | 4.64 |
| 구미 | 광평 | Huff 방법 | 40 | 40 | 0.22 |
| | | Yen과 Chow 방법 | 40 | 50 | 0.24 |
| | 본 연구 | Huff 방법 | 40 | 40 | 0.22 |
| | | Yen과 Chow 방법 | 40 | 40 | 0.23 |

시간분포방법에 따른 수문특성의 변화를 분석한 결과, 성내, 반포, 동의대배수구역에서의 첨두발생시간은 Huff의 방법이 Yen과 Chow 방법에 비해 빠르게 나타났으며, 첨두유량은 전 배수구역에 걸쳐 Yen과 Chow 방법이 Huff의 방법에 비해 크게 나타났다.

본 연구와 기왕의 연구인 건설교통부(2000)의 시간분포방법에 따른 수문특성의 변화를 비교하면 성내, 반포배수구역에서는 Huff의 방법의 경우 본 연구의 첨두발생시간이 기왕의 연구보다 빠르게 나타났으며, 첨두유량은 감소하였다. 동의대 및 광평배수구역의 경우에는 첨두발생시간은 동일하였으며, 첨두유량의 비교에서도 본 연구와 기왕의 연구인 건설교통부 결과와의 차이가 거의 나타나지 않았다. Yen과 Chow 방법의 경우 전 유역에 걸쳐 첨두발생시간은 큰 차이가 없었으며, 첨두유량은 본 연구의 결과가 크게 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 국내 도시지역의 특성을 고려한 시간분포형에 따른 첨두유량의 변화를 규명하고자 단시간 강우의 시간분포를 분석하여 이를 바탕으로 전기간 강우자료를 사용하여 유도된 한국건설기술원(1989)과 건설교통부(2000)의 연구결과와 비교하였다. 또한 시간분포형에 따른 첨두유량의 변화분석을 위하여 본 연구와 기왕의 연구결과를 실제 도시지역에 적용하여 비교·분석하였다. 본 연구의 수행으로 인해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) Huff 시간분포방법의 경우에는 단시간 강우자료의 지속기간에 따른 최대강우강도는 제1구간에서 발생할 확률이 가장 높게 나타났으며, 제3구간에서 가장 낮게 발생하였다.
- (2) Yen과 Chow 방법의 무차원 특성변수 비교에서 서울지점의 단시간 강우는 0.42로서 기왕의 연구와 큰 차이가 없었으나, 부산지점에서는 0.41과 0.44, 대구지점에서는 0.36과 0.43으로 나타나 기왕의 연구와 차이가 발생하였다.
- (3) 단시간 강우의 Huff의 방법이 Yen과 Chow 방법에 비해 첨두발생시간은 빠르게 나타났으며, 첨두유량은 Yen과 Chow 방법이 Huff의 방법에 비해 크게 나타났다.
- (4) 단시간 강우의 Yen과 Chow 방법에 의한 첨두유량은 기왕의 방법에 의한 결과 보다 크게 나타났으며, 단시간 강우의 Huff의 방법에 의한 첨두유량은 기왕의 방법에 의한 결과 보다 작게 나타났다.

감 사 의 글

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

참 고 문 현

1. 건설교통부(2000a). 한국 확률강우량도 작성, 수자원관리기법개발연구조사 보고서, 제1권
2. 건설교통부(2000b). 지역적 설계강우의 시간적 분포, 수자원관리기법개발연구조사 보고서, 제2권
3. 구미시(2002). 구미시 하수관거정비 타당성조사 보고서
4. 기상청(1961~1999). 자기우량지
5. 기상청(2000~2004). AWS 자료
6. 서울시(2002). 수해백서
7. 이정식(2005). 도시강우의 시·공간적 분포 분석, 도시홍수 재해관리 기술연구사업단 연구보고서 FFC04-06
8. 한국건설기술연구원(1989). 지역별 설계강우의 시간적 분포
9. Huff, F.A. (1967). Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms, Water resources research, Vol. 3, No. 4, pp.1007-1019.
10. 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.