

강우분포형태에 따른 임계지속기간의 변화 연구: 산본유역을 중심으로

A Study on the Effects of the Type of Rainfall Distribution upon the Variation of the Critical Storm Duration: Sanbon Watershed

윤 여 진* / 정 순 우** / 전 병 호*** / 김 재 한****

Yoon, Yeo Jin / Joung, Soon Woo / Jun, Byong Ho / Kim, Jae Han

Abstract

In determining design runoff for the design of drainage systems, the concept of critical storm duration is applied. However, rainfall distribution is usually determined without well-defined standards. In this paper, through the application of ILLUDAS model to Sanbon basin, which is a small urbanized watershed, effects of various rainfall distributing types upon the determination of critical storm duration are thoroughly analyzed. As a result, it is revealed that peak discharge rates as well as critical storm duration are greatly influenced by the applied of rainfall distributions such as uniform, triangular, trapezoid, huff, central type using IDF curve.

Keywords : critical storm duration, rainfall distribution, urban runoff, design storm, ILLUDAS

요 지

최근 배수시스템의 설계시 임계지속기간의 개념을 도입하여 설계홍수량을 산정하고 있다. 그러나, 임계지속기간 산정시 설계강우분포의 선정은 명확한 기준없이 임의로 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 중소규모의 도시화된 산본유역에 ILLUDAS모형을 이용하여 다양한 강우분포형태가 임계지속기간에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 모형결과와 분석으로부터 강우분포형태(등분포, 삼각형분포, 사다리꼴분포, Huff 분포, IDF를 이용한 중앙집중분포)는 임계지속기간 뿐만 아니라 침투유량에도 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 임계지속기간, 강우분포, 도시유출, 설계홍수량, ILLUDAS

* 대한주택공사 환경연구부 연구원
** 두산엔지니어링 수자원부 과장
*** 육군사관학교 토목공학과 교수
**** 충남대학교 토목공학과 교수

1. 서론

최근 재해영향평가제도가 시행된 이후 재해영향평가서에서는 홍수량 산정 및 개발로 인해 증가된 유출량에 대한 대처방안으로 유수지 용량을 산정할 때 임계지속기간의 개념을 도입하여 각종 수문량을 산정하고 있다.

이때 사용 가능한 설계강우분포형태는 다양하며, 임계지속기간의 결정은 강우분포형태와 깊은 연관을 가지고 있어 설계홍수량 결정시 강우분포형태에 따른 임계지속기간이 다르게 결정될 수 있으므로 강우분포 선정시 세심한 주의가 필요하다.

그러나 기존 대부분의 연구 및 재해영향평가서에서는 임계지속기간의 결정시 사용되는 강우분포형태를 명확한 근거없이 특정분포를 선정 및 적용하고 있는 실정이다. 또한 임계지속기간에 영향을 미치는 인자들에 대한 연구는 있었으나, 각 설계 강우분포형이 임계지속기간에 미치는 영향에 대해서는 연구된 바가 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 산본대상유역에 대하여 도시유출모형인 ILLUDAS 모형을 이용하여 다양한 강우분포형태에 따른 임계지속기간 및 첨두유량의 변화를 살펴보았다.

1.1 연구동향

주어진 유역에서 강우의 지속기간이 변환에 따라 첨두홍수량은 변하기 때문에 설계홍수량을 산정하는 데 있어서의 설계강우 지속시간은 매우 중요하며, 도시유출 해석 및 배수시설 시스템의 설계에 있어 매우 중요한 변수로 작용된다(Wenzel과 Voorhees, 1978).

과거에는 임의로 강우지속시간을 결정하거나 유역에서의 도달시간 즉 유역의 출구로부터 가장 먼 지점으로부터 떨어진 강우가 유역의 출구까지 도달하는데 걸리는 시간을 설계강우의 지속시간으로 사용하였다. 그러나 최근 재해영향평가제의 도입 이후 실무에서는 홍수량 산정시 설계강우지속시간으로 임계지속기간에 대한 적용성에 대한 관심이 높아지고 있다.

일반적으로 임계지속기간이란 주어진 유역의 배수계통에 최대의 부하를 발생시키는 설계강우의 지속시간으로 정의할 수 있다. 도시유역의 경우 포장지역으로부터의 유출량이 비포장지역으로부터의 유출량보다 훨씬 큰 경우 임계지속기간을 산정할 때 비포장지역에서의 도달시간을 포함시켜야 하는가는 의문의 여지가 있다.

Terstriep과 Stall(1974)은 만약 포장지역으로부터의 유출량이 비포장지역으로부터의 유출량보다 훨씬 크

다면, 전체유역으로부터의 도달시간보다 작은 강우지속시간에서 임계지속기간이 발생한다고 제안하였으며, 다양한 유역에 대해 ILLUDAS 모형을 적용하여 임계지속기간을 결정할 바 있다.

임계지속기간에 영향을 미치는 요인들에 관한 연구로 Burke와 Gray(1980)는 지형학적 인자와 강우특성이 임계지속기간에 영향을 미친다는 것을 밝힌 바 있으며, Lemmer와 Rao(1983)는 도시배수시스템의 설계에서 강우분포가 임계지속기간에 미치는 영향과 설계강우지속시간을 결정하는 지침을 제안하였다. 또한 이론적인 연구로 순간단위유량도(IUH)를 사용할 때 적절한 강우지속기간을 추정하기 위한 해석적 기법도 제안되었다(Meynink와 Cordery, 1976).

한편 국내 연구로서는 우수관거설계를 위한 계획강우의 임계지속기간에 대한 연구(이재준 등, 1993)와 유수지 배수펌프장 설계시의 계획강우의 임계지속기간으로 일정한 배수펌프 토출능력을 가진 상황에서 총유출용적에 대한 저류용적의 비(저류비)를 기준으로 이 값이 최대가 되는 지속기간을 임계지속기간으로 한 연구가 있다(이종태 등, 1993).

1.2 연구방법 및 내용

본 연구에서의 임계지속기간은 배수계통(관거설계)에 최대의 부하(첨두유량)를 발생시키는 지속시간으로 적용하였다. 임계지속기간에 영향을 미치는 인자는 크게 유역특성인자와 강우특성인자로 나눌 수 있으며, 여기서 유역특성인자로서는 유역 크기, 토양상태, 전체유역에 대한 비포장 면적비 등을 들 수 있고, 강우특성인자로서는 강우량, 지속기간, 재현기간, 지역적인 강우분포 등을 들 수 있다. 대부분의 경우 대상유역을 선정하면 유역특성인자는 결정되어지므로, 본 연구에서는 주로 강우특성인자에 따른 영향을 검토하는 것으로 한다.

이를 위해 본 연구에서는 중소규모의 도시화 유역인 산본지역을 연구대상 유역으로 설정하여, 이 지역에 대한 유출량을 산정하기 위한 각종 인자들을 구하였다. 필요한 인자로 유역특성인자 및 관로특성인자를 기존의 보고서(대한주택공사, 1989) 및 각종 설계도면으로부터 구하고, 강우요소로 빈도별 지속시간에 따른 강우량은 산본유역과 가장 인접한 수원지역의 자기우량기록지(1964~1996)로부터 강우기록을 독취하여 빈도 해석하였고 이로부터 강우강도식을 유도하였다.

강우의 분포특성에 따른 영향을 파악하기 위해 등분포, 사다리꼴 분포, 삼각형 분포, Huff 분포 및 강우강

도식을 이용한 중앙집중분포를 적용하여 강우분포형태별 특성을 파악하였으며, 최대강우강도가 발생하는 시간에 따른 영향을 파악하기 위하여 삼각형분포는 강우 지속시간의 20%, 40%, 60%, 80%지점에서 최대강우강도가 발생하는 경우와 Huff 분포는 각 분위의 경우를 각각 적용하였다.

유출량 산정시 적용된 도시유출모형은 국내에서 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 ILLUDAS 모형을 적용하였다. 이 모형은 Terstriep과 Stall(1974)에 의해 처음 개발되어 1984년, 1986년 개정된 모형으로 BRRL 모형의 기본개념을 받아들이면서, 투수지역에 내리는 강우로 인한 유출량을 고려한 모형이다.

이러한 일련의 과정을 통하여 각 강우분포형태별, 빈도별 입계지속기간 및 첨두유량을 산정해봄으로써 강우분포의 특성에 따른 정량적인 변화를 파악하고자 하였다.

2. 강우분포형의 특성

치수와 관련된 시설물의 설계를 위해서는 적정규모의 홍수량을 산정하여 해당 시설물 설계의 기준으로 사용하는 것이 일반적이다. 설계홍수량의 산정을 위해서는 시설물의 용도와 중요성에 부합되는 적절한 설계빈도를 설정한 후, 그 지점의 홍수량 자료를 빈도 해석하는 것이 가장 합리적인 방법이다. 그러나, 통상 해당 지점이 홍수량 자료를 보유하고 있지 않은 경우가 대부분이므로 상대적으로 관측자료가 풍부한 강우량 자료를 빈도 해석한 후, 강우-유출모형에 의해 홍수량을 산정하는 간접적인 방법을 사용한다. 따라서 적정규모의 강우량 산정은 설계기준치(설계홍수량 및 설계홍수위 등)의 산정에 결정적인 영향을 미친다고 할 수 있다.

설계강우량의 산정을 위해서는 우선적으로 빈도별 강우량을 산정한 후, 이를 적정 시간분포에 따라 분포시켜 최종 설계강우량추상도를 작성하는 과정을 거친다.

설계강우의 시간적 분포 양상은 대상지역의 과거 강우자료로부터 강우 지속기간동안에 총강우량이 시간이 경과함에 따라 어떻게 분포되었는지를 통계학적으로 분석하여 그 지역에 적합한 시간분포 모형을 만들면 수공구조물의 설계조건에 따라 결정할 수 있다. 설계강우의 시간분포를 결정할 수 있는 방법은 여러 가지가 있으나 국내에서 비교적 알려진 것으로는 다음과 같은 여섯 가지가 있으며 각 강우분포형태에 대한 일반 모식도는 그림 1과 같다.

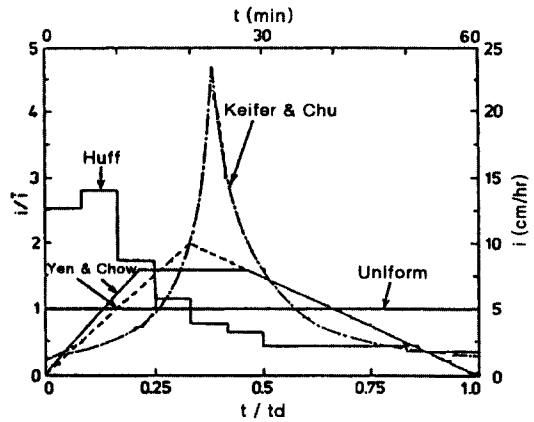


그림 1. 강우분포형태 모식도

2.1 등분포

설계강우를 등분포로 가정하는 방법은 고려대상 유역에 강우지속기간동안 일정하게 강우가 내린다는 가정으로 실제 호우현상과는 거리가 멀지만, 그 단순성 때문에 널리 사용되고 있다. 이 분포형은 특히 합리식에서 사용되고 있는 강우분포형이며, 공식 자체가 첨두유량만에 관심을 두고 있고 변화하는 강우현상은 유출계수로서 조정할 수도 있으므로 작은 유역에서는 별 문제가 없이 사용되고 있다. 그러나 유역유출을 모의하는 모형에서는 이와 같은 강우분포형의 사용은 곤란하며 보다 실제 현상에 가까운 분포형을 고려하게 된다.

2.2 Yen-Chow 분포

Yen과 Chow(1977)는 모멘트를 이용한 통계학적 분석방법으로 호우의 시간적 분포를 삼각형과 사다리꼴 우량추상도로 단순화하여 표현하였으며, 또한 호우는 무강우가 없는 연속강우로 정의하였다. 삼각형이나 사다리꼴 분포는 해당 유역에서 발생한 장기간의 호우에 모멘트 기법을 이용하여 표시하는 방법이다.

2.3 Huff 분포

Huff(1967)는 미국 일리노이주의 강우기록을 통계학적으로 분석하여 강우량의 시간적 분포를 나타내는 무차원 시간분포곡선을 제시하였다. 이는 강우의 누가곡선을 이용하여, 전 지속기간을 4분위로 구분하였을 때 각 분위별 우량의 합이 나타나는 형태를 비교하여 최대 우량이 나타나는 분위에 따라 호우를 분류하는 방법이다. 즉, 강우지속기간을 4등분하였을 때 강우초기에 해당하는 처음 1/4구간을 제 1구간 호우

(First-quartile storm), 다음 2/4구간에 있으면 제 2구간 호우(Second-quartile storm), 다음 3/4구간에 있으면 제 3구간 호우(Third-quartile storm), 그리고 마지막 구간일 경우는 제 4구간 호우(Fourth-quartile storm)로 구분한 것으로 재해영향평가에서 많이 적용하고 있는 강우분포형태이다.

2.4 Keifer-Chu 분포

Chicago 방법이라고도 부르는 이 방법은 Keifer와 Chu(1957)에 의해 처음 제안되었으며, IDF의 평균강우강도와 지속기간의 관계식을 이용하여 시간구간별 강우강도를 구하는 방법으로 침투강우의 발생위치에 따라 총강우량이 달라지는 특성이 있다.

2.5 모노노베(物部) 분포

일최대우량을 가지고 모노노베 강우강도 공식에 대입하여 총강우량을 최대강우강도가 발생하는 위치에 따라 전방위형, 중앙집중형, 그리고 후방위형으로 나누어 시간별로 분포시키는 방법이다. 본 방법은 소규모 유역에서는 다른 방법에 비해 홍수량이 과다하게 산정되는 것으로 알려져 있다.

2.6 IDF를 이용한 중앙집중 분포

이 방법은 IDF곡선으로부터 지속기간별로 강우강도를 구한 후, 이를 시간강우량으로 환산, 시간구간별 강우량을 구하여 이를 중앙집중형태로 분포시킴으로써 설계우량추상도를 작성하는 방법이다. 이 방법은 강우의 지속기간에 관계없이 동일한 침투강우강도를 갖는 특성이 있다.

3. 대상유역 특성 및 적용 분석

3.1 대상유역의 특성

산본유역은 주택공사가 1989년 택지 개발한 지구로서 배수구역의 유역면적은 8.111 km²이며 하천길이는 3.687 km 이다. 유역내 최고표고는 EL.485m이며, 최저표고는 EL.45m이지만 표고 EL.100m이상인 지역이 전 유역면적의 40% 정도인 산지지역으로 중·하류지역은 개발이 완료된 지구이다. 배수구역 전체유역 구분은 그림 2와 같으며 주요 간선 관거 현황은 그림 3과 같다.

3.2 유역특성인자

ILLUDAS 모형의 적용을 위해 필요한 관거의 입력

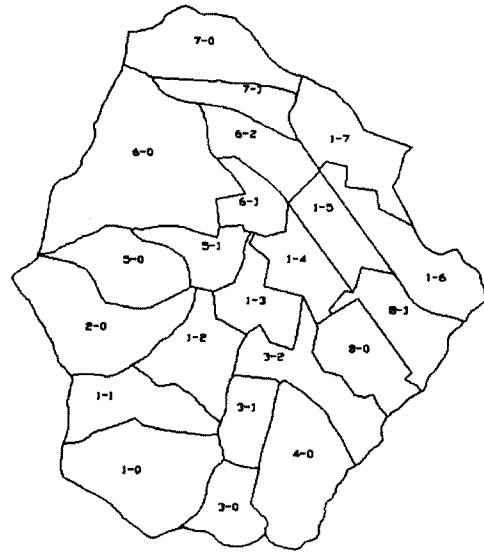


그림 2. 산본유역 소유역 구분도



그림 3. 산본유역 주요 간선관거 현황

자료는 관 길이 및 관경사, 관 규격 그리고 관 조도계수 등을 들 수 있으며 이들 관거제원은 산본지구 택지 개발사업 실시설계에서 결정된 우수관망도와 수리계산서(대한주택공사, 1989)를 이용하여 결정하였다. 관의 조도계수는 0.013으로 설정하였으며, 또한 소유역별 입력자료는 소유역의 면적과 직접연결 불투수지역 및 직접연결 투수지역의 면적, 도달시간(혹은 유로 연장 및

표 1. 주요 간선관거 제원

관선번호		관길이 (m)	관경사 (%)	관거제원			
관거 번호	구간 번호			원형관 직경 (mm)	구형관거		
					폭 (m)	높이 (m)	갯수
1	0	292.00	0.30	450		1	
1	1	650.90	0.35	900		1	
1	2	398.20	0.25		6.0	2.0	1
2	0	182.40	0.26		6.0	2.0	1
1	3	508.90	0.21		14.0	3.0	1
3	0	690.90	0.35		2.0	2.0	1
3	1	290.40	0.35		2.0	2.0	1
4	0	222.30	0.35		2.0	2.0	1
3	2	525.80	0.25		6.0	2.5	1
5	0	402.60	0.35		2.0	2.0	1
5	1	239.70	0.30		3.5	3.0	1
1	4	318.20	0.17		14.0	3.0	1
1	5	196.20	0.18		17.5	3.0	1
6	0	661.40	0.30		2.0	2.0	1
6	1	308.70	0.35		5.0	2.0	1
6	2	542.80	0.16		6.0	2.5	1
7	0	377.90	0.32		2.0	2.0	1
7	1	247.70	0.50		2.0	2.0	1
8	0	297.50	0.30		2.0	2.0	1
8	1	445.40	0.26		3.0	2.0	1
1	6	393.10	0.18		17.5	3.0	1
1	7	50.00	0.18		17.5	3.0	1

경사) 등이며 이들 제원은 상기 단면자료와 토지이용계획도면으로부터 결정하였다. 주요 간선관거 및 소유역별 제원은 표 1, 표 2와 같다.

3.3 강우분석

일반적으로 유역면적이 대규모일 경우에는 1일 강우량 혹은 2~3일 연속강우량을 기준으로 총강우량을 산정한다. 이를 위해서는 일강우량 자료를 수집하여 연최대치 혹은 연 초과치 우량계열을 작성한 후, 빈도해석에 의하여 기준 지속일수에 대한 총 강우량을 산정한다. 그러나 도시유역과 같이 유역면적이 소규모인 유역의 경우에는 장기간의 강우보다는 단기간의 강우에 의한 홍수가 문제가 되므로, 일반적으로 유역의 도달시간과 같은 지속기간을 가지는 강우를 설계강우로 설정한다. 단기간의 강우량을 산정하기 위해서는 강우량 자료를 분석하고 강우강도-지속시간-생기빈도관계를 분석한 IDF곡선으로부터 해당 빈도 및 지속기간에 따른 강우강도를 구한 후 여기에 지속기간을 적용하여 총 강우량을 산정한다.

강우자료는 본 연구의 대상지역인 산본유역과 가장

표 2. 소유역별 제원

소유역 번호		총면적 (ha)	불투수지역			투수지역		
관거 번호	구간 번호		면적 비율 (%)	길이 (m)	경사 (%)	면적 비율 (%)	길이 (m)	경사 (%)
1	1	36.111	5	13.41	0.20	95	960.5	0.18
2	0	57.018	12	311	0.20	88	947.1	0.38
1	2	34.649	13	149	0.07	87	659.9	0.05
3	0	21.430	18	357	0.25	82	316.7	0.27
3	1	20.614	39	766	0.25	61	170.3	0.29
4	0	52.470	31	1081	0.20	69	432.9	0.18
3	2	38.743	36	632	0.21	64	394.7	0.20
5	0	34.441	17	403	0.25	83	870.1	0.45
5	1	21.052	54	609	0.20	46	324.2	0.27
1	3	25.146	52	516	0.20	48	140.3	0.21
1	4	26.023	62	687	0.15	38	73.3	0.10
6	0	102.632	10	265	0.17	90	979.1	0.30
6	1	17.544	65	618	0.15	35	175.4	0.15
7	0	45.029	7	178	0.20	93	1104.9	0.27
7	1	19.833	12	367	0.30	88	905.8	0.60
6	2	27.339	44	697	0.20	56	433.4	0.39
8	0	32.895	56	947	0.25	44	145.2	0.45
8	1	30.562	46	1013	0.25	54	85.4	0.41
1	5	24.561	75	545	0.14	25	98.0	0.15
1	6	41.228	68	1158	0.18	32	132.4	0.20
1	7	38.158	53	1047	0.18	47	151.0	0.20

가까운 수원기상대의 1964년부터 1996년까지의 36년간 자기우량기록지로 부터 지속기간별, 재현기간별 확률강우량을 산정하기 위하여 지속기간별 연최대치 강우자료(10분, 20분, 30분, 60분, 120분, 180분, 360분, 720분, 1440분)를 대상으로 빈도해석을 실시하였다. 확률분포형으로는 Normal, Lognormal-2, Lognormal-3, Gamma-2, Gamma-3, Log Pearson-type III, Extremal 1, Extremal 3분포 등 8가지 분포형을 적용하였다. 적합도 검증은 Kolmogorov-Smirnov 검정과 χ^2 방법으로 검증한 결과 지속기간별 강우량 자료계열은 Log-Pearson type III분포가 가장 적합한 것으로 판정되었다. 따라서, Log-Pearson type III 분포에 의해 산정된 강우량을 빈도강우량으로 결정하였으며 그 결과는 표 3과 같다.

확률강우강도식은 강우강도-지속시간-재현기간 관계를 나타내는 식으로서 앞에서 산정된 빈도별 지속시간별 확률강우량을 강우강도로 변환시킨 후 최소사승법을 이용하여 확률년별 강우강도-지속시간 관계식을 구한다. 이때 최적화시킨 다양한 형태의 강우강도공식으로

표 3. 지속시간별 강우강도(mm/hr)

빈도 지속 시간(min)	20년	30년	50년	100년
10	151.8	159.0	168.6	180.0
20	105.6	110.4	116.1	123.3
30	84.8	88.4	92.6	98.0
40	75.9	79.5	83.7	89.1
50	71.0	75.0	79.8	86.0
60	69.8	73.2	77.1	82.1
180	47.4	51.3	56.1	62.4
360	31.9	34.3	37.1	40.9
720	21.9	23.9	26.4	29.8
1440	14.5	16.0	17.9	20.5

부터 구하여진 값과 원래 자료치와의 편차를 계산하여 편차가 최소가 되는 식을 그 지점의 확률강우강도식으로 정하고 가장 편차가 적은 결과를 나타낸 Sherman 형을 채택하였다. 산정된 지속시간별 강우강도공식은 표 4와 같다.

3.4 적용결과 및 분석

3.4.1 강우분포형태별 임계지속시간 및 침투유량 변화

개발 완료된 산본유역에 대하여 강우분포형태별 임계지속시간 및 침투유량의 변화를 파악하기 위해 20년 빈도에 대해서 등분포, 삼각형분포, 사다리꼴분포, Huff 분포, IDF곡선을 이용한 중앙집중분포를 ILLUDAS 모형에 적용하여 임계지속시간 및 침투유량을 산정하였다.

임계지속시간 및 침투유량은 침투강우 발생위치에 따라 다르므로 강우분포형태별(삼각형분포, 사다리꼴분포, Huff 분포)로 대표강우분포를 선정하기 위하여 산본유역과 가장 인접한 수원지역의 기존 연구결과를 이용하였으며, 기존의 연구 결과에 의하면 수원지역의 지

배적인 강우분포형태는 삼각형분포의 경우는 a=0.4, b=0.6, 사다리꼴분포의 경우는 a=0.19, b=0.35, c=0.46, Huff 분포의 경우는 2분위인 것으로 나타났다.(한국건설기술연구원, 1988)

앞절의 수원지역의 강우분석 결과로부터 얻어진 지속시간별 총강우량을 강우분포형태별로 수원지역의 대표유량추상도를 산정후 이를 이용하여 얻어진 강우지속시간에 따른 강우분포형태별 침투유량 결과는 표 5, 표 6, 그림 4와 같이 나타났다.

강우분포형태에 따른 임계지속시간 및 침투유량의 크기순서는 Huff 분포 2분위, 삼각형분포(a=0.4, b=0.6), 사다리꼴분포(a=0.19, b=0.35, c=0.46), 등분포의 순으로 나타났으며, 등분포와 임계지속시간 및 침투유량이 가장 크게 나타난 Huff 분포 2분위와 차이를 비교해보면, 임계지속시간은 Huff 분포가 등분포보다 40 min 늦게 나타났으며 침투유량의 차이는 약 19 m³/sec인 것으로 나타났다.

이상으로부터 임계지속시간 및 침투유량은 강우분포형태에 따라 많은 차이가 있음을 알 수 있다.

3.4.2 침투강우 발생위치별 임계지속시간 및 침투유량 변화

침투강우 발생위치에 따른 임계지속시간과 침투유량의 변화를 알아보기 위해 20년빈도에 대해서 삼각형분포의 침투강우 발생위치별 4가지 경우와 Huff 분포의 4가지 분위에 대하여 각각 산정하였다. 그 결과는 표 7, 표 8과 그림 5, 그림 6에 나타내었다.

강우분포형태별, 침투강우 발생위치별 임계지속시간에서의 침투홍수량은 차이가 많음을 알 수 있으며 또한 삼각형분포보다 Huff 분포가 임계지속시간 및 침투유량이 전부 크게 산정되었다. 따라서, 임계지속시간 및 설계홍수량을 산정할 때에는 강우의 분포형 뿐만

표 4. 지속시간별 강우강도 공식

빈도(yr)	강우강도 공식			채택
	Talbot형	Sherman형	Japanese형	
20	$I = \frac{16,511.08}{t + 135.63}$	$I = \frac{415.33}{t^{0.45}}$	$I = \frac{603.85}{\sqrt{t+1.07}}$	Sherman
30	$I = \frac{18,179.13}{t + 143.73}$	$I = \frac{418.55}{t^{0.43}}$	$I = \frac{659.99}{\sqrt{t+1.31}}$	"
50	$I = \frac{20,187.13}{t + 152.08}$	$I = \frac{423.17}{t^{0.42}}$	$I = \frac{727.96}{\sqrt{t+1.57}}$	"
100	$I = \frac{23,109.65}{t + 164.10}$	$I = \frac{427.32}{t^{0.41}}$	$I = \frac{822.26}{\sqrt{t+1.93}}$	"

표 5. 강우지속기간에 따른 침두유량
(20년 빈도, m³/sec)

강우분포 형태 지속 기간(min)	등분포	삼각형	사다리꼴분포	Huff 분포 2분위	IDF 중앙집중 분포
		분포 a=0.4, b=0.6	a=0.19 b=0.35 c=0.46		
10	35.52	35.52	35.52	35.52	35.53
20	52.49	52.62	52.58	52.74	52.72
30	60.19	61.89	60.26	62.36	64.18
40	61.02	71.71	69.10	69.68	68.91
50	62.30	72.17	69.96	75.95	74.10
60	62.34	77.67	72.03	76.25	74.10
70	61.60	76.41	72.00	79.46	76.49
80	60.17	77.87	70.81	80.75	76.49
90	59.23	76.63	70.98	79.86	78.11
100	58.38	76.73	70.08	81.22	78.11
110	57.81	75.58	68.66	79.50	79.00
120	57.27	75.32	67.92	80.59	79.00
130	56.92	74.28	66.95	79.46	79.82
140	56.56	73.86	65.80	79.65	79.82
150	56.29	73.04	65.48	78.95	80.80
160	56.00	72.36	64.98	78.34	80.80
170	55.69	71.63	64.20	78.07	81.67
180	55.35	70.86	63.89	76.90	81.67
190	54.97	70.21	63.68	76.87	82.34
200	54.54	69.52	63.29	75.88	82.34
210	54.00	68.99	62.92	75.66	82.89
220	53.40	68.40	62.76	74.96	82.89
230	52.75	67.90	62.51	74.49	83.41
240	52.06	67.40	62.11	74.02	83.41
250	51.27	66.92	62.05	73.46	83.96
260	50.42	66.48	61.80	73.12	83.96
270	49.53	66.06	61.46	72.51	84.44
280	48.64	65.69	61.40	72.28	84.44
290	47.76	65.28	61.10	71.64	84.85
300	46.88	64.96	60.78	71.48	84.85
310	46.05	64.54	60.61	70.97	85.26
320	45.25	64.30	60.28	70.76	85.26
330	44.47	63.94	59.99	70.34	85.64
340	43.73	63.74	59.70	70.13	85.64
350	43.01	63.42	59.22	69.78	85.98
360	42.31	63.17	58.99	69.52	85.98

아니라 침두강우 발생위치가 반드시 고려하여야 함을 알 수 있다. 삼각형분포의 경우 침두유량 발생위치별로 볼때 침두강우 발생위치가 뒤에 위치할수록 임계지속기

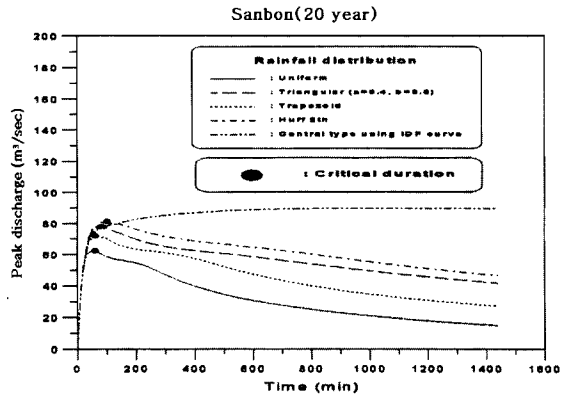


그림 4. 지속시간별 침두유량(20년 빈도)

간 뿐만 아니라 침두유량도 크게 나타났으나 Huff 분포의 경우 침두유량에 대해서는 같은 경향을 보였으나 임계지속기간은 일정한 경향을 발견할 수가 없었다. 따라서 침두강우가 뒤에 발생할수록 침두유량은 증가하는 경향을 보이고 있으나 이러한 결과가 일반적인 경향인지에 대해서는 분명하지 않다.

3.4.3 빈도별 임계지속기간 및 침두유량 변화

빈도별 임계지속기간과 침두유량 변화는 20년빈도를 포함하여 30년, 50년, 100년빈도에 대하여 강우분포형태별, 침두강우 발생위치별로 임계지속기간 및 침두유량을 산정하였다. 그 결과는 표 9, 표 10과 같으며 대표강우 분포인 삼각형분포(a=0.4, b=0.6)와 Huff 분포 2분위에 대한 빈도별 침두유량 변화는 그림 7과 그림 8에 나타내었다.

강우분포형태에 따른 빈도별 임계지속기간과 침두유량을 비교해 보면 빈도가 증가할수록 총강우량이 증가하므로 침두유량이 증가하는 것은 당연하나 임계지속기간은 빈도가 증가하여도 큰 차이가 없이 거의 일정한 것으로 나타나 빈도(총강우량)가 임계지속기간에 미치는 영향은 적은 것으로 나타났다. 또한 침두강우 발생위치별로도 같은 양상으로 나타났다.

강우분포형태별로 볼 때 등분포, 삼각형분포, 사다리꼴 분포는 비교적 임계지속기간이 일정한 반면 Huff

표 6. 강우분포형태별 임계지속기간 및 침두유량(20년 빈도)

빈도(yr)	강우분포형태	등분포	삼각형 분포 a=0.4, b=0.6	사다리꼴분포 a=0.19, b=0.35, c=0.46	Huff 분포 2분위
	20	임계지속기간(min)	60	80	60
침두유량(m³/sec)		62.34	77.87	72.03	81.22

표 7. 강우지속기간별 침투강우 발생위치별 침투유량(20년 빈도, m³/sec)

강우분포형태 지속 기간(min)	삼각형분포				Huff 분포			
	a=0.2 b=0.8	a=0.4 b=0.6	a=0.6 b=0.4	a=0.8 b=0.2	1분위	2분위	3분위	4분위
10	35.52	35.52	35.52	35.52	35.52	35.52	35.52	35.52
20	52.71	52.62	52.20	51.62	52.79	52.74	51.66	51.23
30	61.21	61.89	64.40	65.46	61.09	62.36	65.17	64.66
40	68.09	71.71	70.11	71.71	65.22	69.68	70.53	72.63
50	72.89	72.17	77.62	74.80	68.19	75.95	79.63	77.65
60	72.32	77.67	77.25	79.80	70.24	76.25	82.67	80.21
70	73.40	76.41	80.29	81.19	71.13	79.46	81.86	81.28
80	73.50	77.87	80.58	81.20	74.00	80.75	85.64	81.94
90	72.37	76.63	79.23	80.51	76.82	79.86	85.63	82.91
100	72.06	76.73	79.90	80.45	78.63	81.22	84.07	85.74
110	71.50	75.58	79.63	81.41	79.53	79.50	85.70	87.70
120	70.89	75.32	78.07	81.48	79.68	80.59	86.05	88.93
130	70.39	74.28	78.44	81.04	79.18	79.46	85.16	89.68
140	69.57	73.86	77.60	80.26	78.41	79.65	84.52	90.06
150	68.84	73.04	76.56	79.25	79.17	78.95	84.97	90.09
160	68.30	72.36	76.47	79.09	79.45	78.34	84.38	89.82
170	67.51	71.63	75.67	79.28	79.35	78.07	83.05	89.32
180	66.50	70.86	75.02	79.10	78.92	76.90	83.36	88.66
190	65.94	70.21	74.78	78.68	78.26	76.87	82.87	88.16
200	65.30	69.52	74.03	78.12	78.31	75.88	81.86	88.58
210	64.48	68.99	73.65	77.41	78.30	75.66	81.55	88.75
220	63.79	68.40	73.35	77.46	78.05	74.96	81.27	88.74
230	63.25	67.90	72.65	77.42	77.62	74.49	80.61	88.55
240	62.61	67.40	72.37	77.24	77.05	74.02	79.89	88.24
250	62.06	66.92	72.11	76.95	76.49	73.46	79.75	87.80
260	61.55	66.48	71.56	76.47	76.43	73.12	79.38	87.32
270	61.06	66.06	71.40	75.99	76.22	72.51	78.70	86.81
280	60.66	65.69	71.03	76.07	75.89	72.28	78.40	86.27
290	60.29	65.28	70.55	76.00	75.45	71.64	78.17	85.67
300	59.87	64.96	70.43	75.76	74.92	71.48	77.67	85.02
310	59.57	64.54	70.16	75.36	74.32	70.97	77.14	84.53
320	59.31	64.30	69.75	74.89	73.66	70.76	77.01	84.34
330	59.15	63.94	69.61	74.75	73.40	70.34	76.73	84.10
340	58.95	63.74	69.35	74.66	73.07	70.13	76.32	83.80
350	58.81	63.42	69.00	74.45	72.67	69.78	76.00	83.47
360	58.69	63.17	68.86	74.08	72.22	69.52	75.82	83.09

표 8. 침투강우 발생위치별 임계지속기간 및 침투유량

강우분포형태 빈도(yr)	임계지속기간(min)	삼각형분포				Huff 분포			
		a=0.2 b=0.8	a=0.4 b=0.6	a=0.6 b=0.4	a=0.8 b=0.2	1분위	2분위	3분위	4분위
20	임계지속기간(min)	80	80	80	120	120	100	120	150
	침투유량(m ³ /sec)	73.50	77.87	80.58	81.48	79.68	81.22	86.05	90.09

분포는 상대적으로 빈도별 영향이 큰 것으로 나타났고, 특히 Huff 분포의 4분위 경우는 그 변화폭이 크게 나타났다.

이러한 결과는 Huff 분포가 다른 강우분포보다 강우

지속기간에 따라 영향정도가 크기 때문에 인 것으로 판단된다. 삼각형분포와 Huff 분포의 경우 침투유량 발생위치별로 볼 때 침투강우 발생위치가 뒤에 위치할 수록 침투유량은 크게 나타났으나, Huff 분포의 경우

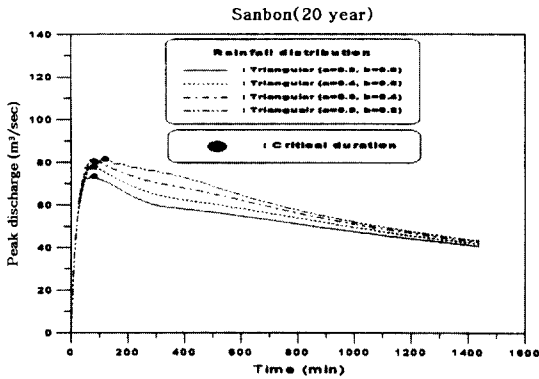


그림 5. 침투강우 발생위치별 침투유량(삼각형분포)

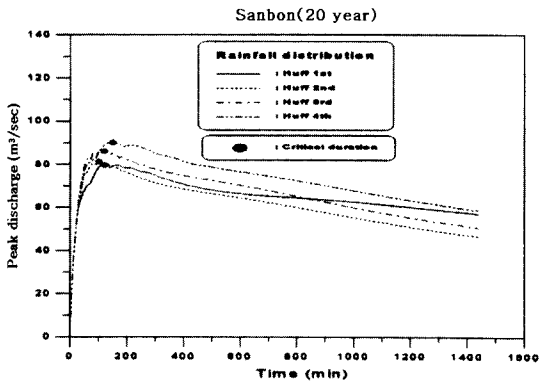


그림 6. 침투강우 발생위치별 침투유량(Huff 분포)

임계지속시간은 1분위가 2, 3분위에 비해 전반적으로 길게 산정되었다.

4. 결 론

이상에서 살펴본 바와 같이 강우분포형태에 따른 임계지속시간 및 침투유량의 변화를 파악하기 위해 빈도

표 9. 빈도별, 강우분포형태별 임계지속시간 및 침투유량

빈도 (yr)	강우분포형태	등분포	삼각형 분포	사다리꼴분포	Huff 분포 2분위
			a=0.4, b=0.6	a=0.19, b=0.35, c=0.46	
20	임계지속시간 (min)	60.0	80.0	60.0	100.0
	침투유량 (m³/sec)	62.3	77.9	72.0	81.2
30	임계지속시간 (min)	60.0	80.0	60.0	100.0
	침투유량 (m³/sec)	69.3	86.4	80.0	90.8
50	임계지속시간 (min)	60.0	80.0	70.0	120.0
	침투유량 (m³/sec)	73.6	92.1	85.0	97.0
100	임계지속시간 (min)	60.0	80.0	70.0	120.0
	침투유량 (m³/sec)	78.0	98.3	90.2	103.4

별, 강우분포별, 침투강우 발생위치별로 침투유량을 ILLUDAS 모형을 이용하여 산정하였다. 그 결과 강우분포형태에 따라서 임계지속시간 및 침투유량의 크기는 차이가 컸으며, 특정강우분포(삼각형분포, Huff 분포)에서 침투강우 발생위치에 따른 임계지속시간은 큰 차이가 없는 반면에 침투유량은 차이가 크게 나타남을 알 수 있다. 따라서, 임계지속시간 및 설계유량을 산정할 때에는 강우의 분포형뿐만 아니라 침투강우의 발생위치도 고려하여야 하며 중앙집중분포는 침투유량이 강우지속시간이 증가함에 따라 계속 증가하는 것으로 나타나 임계지속시간을 결정할 수가 없으므로 이에 대한

표 10. 빈도별, 침투강우 발생위치별 임계지속시간 및 침투유량

빈도 (yr)	강우분포형태	삼각형분포				Huff 분포			
		a=0.2, b=0.8	a=0.4, b=0.6	a=0.6, b=0.4	a=0.8, b=0.2	1분위	2분위	3분위	4분위
20	임계지속시간(min)	80.0	80.0	80.0	120.0	120.0	100.0	120.0	150.0
	침투유량(m³/sec)	73.5	77.9	80.6	81.5	79.7	81.2	86.0	90.1
30	임계지속시간(min)	80.0	80.0	80.0	120.0	170.0	100.0	120.0	150.0
	침투유량(m³/sec)	81.6	86.4	89.7	91.8	89.6	90.8	97.0	102.4
50	임계지속시간(min)	80.0	80.0	100.0	120.0	160.0	120.0	120.0	220.0
	침투유량(m³/sec)	86.7	92.1	95.5	98.1	96.0	97.0	103.6	110.4
100	임계지속시간(min)	70.0	80.0	100.0	120.0	160.0	120.0	120.0	230.0
	침투유량(m³/sec)	92.7	98.3	101.7	104.6	103.5	103.4	111.3	119.0

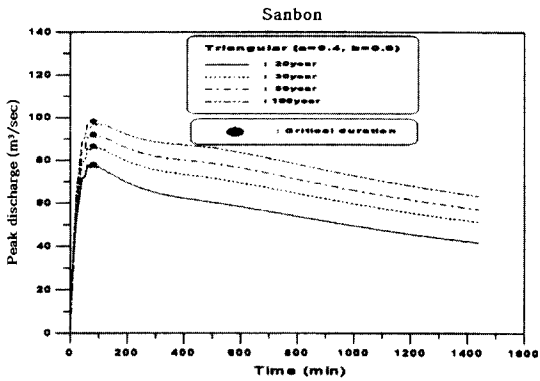


그림 7. 빈도별 첨두유량 (삼각형분포, $a=0.4, b=0.6$)

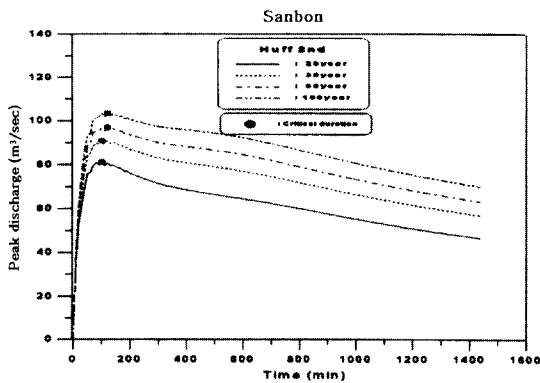


그림 8. 빈도별 첨두유량 (Huff 분포 2분위)

주의가 필요하다.

비교적 첨두강우 발생위치를 쉽게 고려할 수 있는 방법으로 Keifer-Chu 분포와 삼각형분포 및 Huff 분포를 들 수 있으나, Keifer-Chu 분포는 최대강우강도의 위치에 따라 총강우량이 변하기 때문에 부적절한 것으로 판단되며, 삼각형분포나 Huff 분포를 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 본 연구는 중소규모인 산본유역에 대하여 제한된 모형과 범위 내에서 얻어진 결과로서 각 유출모형과 유역 특성별로 임계지속기간 및 첨두유량의 변화는 다양하게 나타날 수 있다. 따라서, 추후 여러 가지 유출모형과 다양한 조건의 유역별로 그 적용성을 확대 적용해 보아야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

대한주택공사 (1989). 산본지구 실시설계보고서.
 이종태, 윤세의, 이재준, 윤희남 (1993). "유수시설계를 위한 계획강우의 임계지속기간 - 서울 지역

을 중심으로." 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제26권, 제1호, pp. 115-124.
 이재준, 이정식, 전병호, 이종태 (1993). "우수관거설계를 위한 계획강우의 임계지속기간." 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제26권, 제2호, pp. 49-57.
 한국건설기술연구원 (1989). 지역별 설계강우의 시간적 분포. 연구보고서, 건기연 89-WR-111
 Burke, C.B., and Gray, D.D. (1980). "Duration and temporal distribution of storms in urban drainage design." International Symposium on Urban Storm Runoff.

Huff, F.A. (1967). "Time distribution of rainfall in heavy storms." *Water Resource Research*, Vol. 3, No. 4, pp. 1007-1019.
 Keifer, C.J., and Chu, H.H. (1957). "Synthetic storm pattern for drainage design." *Journal of Hydraulics Division*, Proceedings of the ASCE, Vol. 83, No. HY4, pp. 1-25.
 Lemmer, H.R and Rao, R.A. (1983). *Critical duration analysis and parameter estimation in ILLUDAS*. Purdue University, Water Resource Research Center, West Lafayette, Indiana.
 Meynink, W.J.C., and Cordery, I. (1976). "Critical duration of rainfall for flood estimation." *Water Resource Research*, Vol. 12, No. 6, pp. 1209-1214.
 Terstriep, M.L., and Stall, J.B. (1974). *The Illinois urban drainage area simulator, ILLUDAS*. State Water Survey Division
 Wenzel, H.G., and Voorhees, M.L. (1978). "Evaluation of the design storm concept." Presented at the 1978 Fall Meeting of the A.G.U., San Francisco.
 Yen, B.C., and Chow, V.T. (1977) *Feasibility study on research of local design storms*. Report No. FHWA-RD-78-65, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, D.C.

(논문번호:98-012/접수:98.02.21/심사완료:98.05.27)