

〈論 文〉

小規模流域에서 設計降雨의 分布形態에 따른 尖頭流量的 變化研究

Peak Discharge Change by Different Design Rainfall on Small Watershed

金 炳 浩*, 張 碩 桓**
 Jun, Byong Ho Jang, Suk Hwan

Abstract

To design the minor structures in the small watersheds, it is required to calculate the peak discharge. For these calculations the simple peak flow prediction equations, the unit hydrograph method, the synthetic unit hydrograph methods or the runoff simulation models are adopted. To use these methods it is generally required to know the amount and the distributions, which are the uniform distribution, the triangular distribution, the trapezoidal distribution, or the Huff type distribution, of the design rainfall. In this study, the peak discharges are calculated by the different rainfall distribution and the values are compared.

要 旨

小規模流域에서 水工構造物의 設計를 위하여는 尖頭洪水量을 알아야 하며, 尖頭洪水量을 계산하기 위하여는 單純 尖頭洪水量 算定公式을 이용하거나 流出模擬模型등을 이용하게된다. 이때에 해당 유역에 적용될 設計降雨의 決定이 필요하며, 設計 降雨分布形으로는 等分布 降雨, 三角形分布 降雨, 사다리꼴分布 降雨와 Huff 分布形 降雨등의 單純降雨分布形이 고려된다. 본 연구에서는 이들 설계 강우분포형에 따라 變化하는 尖頭洪水量을 비교 분석하고자 한다.

1. 序 論

小規模 水工構造物의 水文學的 設計가 문제될 때에는 우선적으로 그 수공구조물이 위치할 지점에서의 尖頭流量을 決定하는 것이 요구된다. 첨두유량을 결정하기 위해서는 고려지점에 영향을 주는 유역의

표면유출이나 수로유출을 Saint Venant 공식을 이용하여 수학적으로 해석함으로써 구할 수 있으나 이것은 통상 복잡하고 어렵기 때문에, 유역으로부터의 강우유출을 예측하기 위한 단순방법이 고려되는 경우가 많다.

아주 간단하면서도 실무에 많이 쓰이는 첨두홍수량 산정방법으로는 합리식을 비롯한 첨두홍수량 산정공식들이 있으며, Saint Venant 공식을 단순화하여 만드는 모의모형들을 비롯한 다양한 방법들이 사용되고 있다.

첨두홍수량을 산정하기 위하여는 설계강우의 결정이 필요하게 되는데, 설계강우는 수공구조물의 수명년한을 고려한 설계재현기간에 따라 달라지며, 지역에 따라 변하는 강우분포 형태는 첨두홍수량의 크기에 영향을 주게된다.

이와같은 관점에서, 본 연구에서는 주어진 재현기간에 대하여 설계강우분포를 변화시켜 봄으로서 이들 변화가 첨두유량의 크기에 얼마나 영향을 미치는가를 분석하여 설계 강우분포 결정의 중요성을 검토해 보는 데 있다.

아울러 이들간의 변화를 통하여 우리나라에서도 등분포 강우만을 고려하는 기법에서 탈피하여 이들 각 경우를 고려해 볼 필요성을 제시하고자 한다.

2. 설계강우의 분포형태

고려대상인 유역에서의 첨두유량을 결정하기 위하여는 설계재현기간, 강우지속기간과 강우분포형태를 알아야 한다. 그러나 실제로 강우는 무작위하게 내리게되므로 설계목적을 위해서는 그 유역에 장기간에내린 강우에 확률개념을 도입하여 설계강우를 결정하게 된다. 설계재현기간은 대상 수공구조물의 종류에 따라 결정되어진다. 강우지속기간은 유역특성에 따라 일차적으로 결정후 지속시간을 가감 변경시켜가면서, 변화되는 유출수문곡선으로 부터 첨두유량을 결정할 수 있다. 이와같은 지속시간 변경방법은 모의모형에서 가능하며, 합리식과 같은 단순첨두홍수량 산정공식에서는 일차적으로 구한 강우지속기간을 그대로 사용하게 된다. 무작위하게 내리는 강우는 해석의 단순화를 위하여 등분포 강우, 삼각형 분포 강우, 사다리꼴 분포 강우, Huff 분포 강우와 기타의 특수 분포 강우등으로 가정하여 사용하는 것이 일반적이다. 이들 강우분포형은 그림 1에 표시되어 있으며 그림 1에서 i_0 는 주어진 재현기간과 지속기간에서의 강우량을 등분포 강우로 표시했을 때

의 강우강도를 표시하고, t_0 는 설계강우지속기간이다.

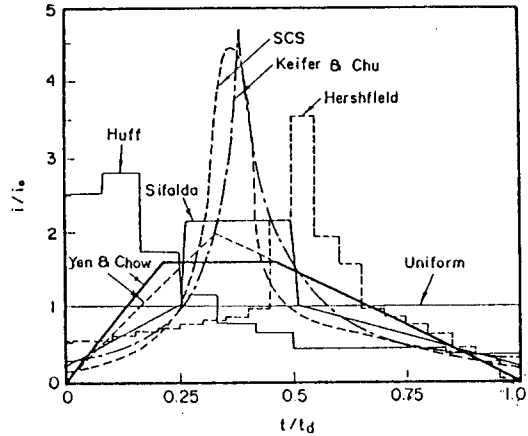


그림 1 각종설계 강우분포형

설계강우를 등분포 우량추상도로 가정하는 방법은 고려대상 유역에 강우지속기간동안 일정하게 강우가 내린다는 가정으로 실제 호우현상과는 거리가 멀지만, 그 단순성 때문에 널리사용되고 있다. 이 분포형은 특히 합리식에서 사용되고 있는 강우분포형이며, 공식자체가 첨두유량만에 관심을 두고 있고, 변화하는 강우현상은 유출계수 C로서 조정할 수도 있으므로 작은 유역에서는 별 문제가 없이 사용되고

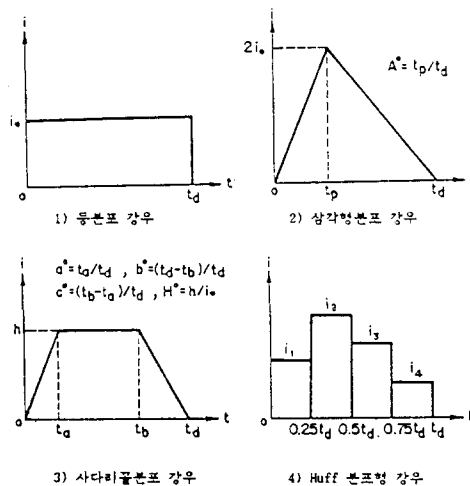


그림 2 분석에 사용된 단순설계강우 분포형

있다. 그러나 유역유출을 모의하는 모형에서는 이와 같은 강우분포형의 사용은 곤란하며 보다 실제현상에 가까운 분포형을 고려하게 된다.

삼각형 우량주상도나 사다리꼴 우량주상도는 해당 유역에서 발생한 장기간의 호우에 모멘트 기법을 이용하여 표시하는 방법으로 최근에 그 사용이 증가되고 있고, 모의모형에서 단순 강우형태로 널리 사용된다. 우리나라의 경우 삼각형 우량주상도의 A° 값은 지역에 따라 다르나 대체로 0.42 - 0.48 정도의 값을 나타내고 있고, 사다리꼴 우량주상도의 a° 값은 0.17 - 0.23, b° 값은 0.25 - 0.32, c° 값은 0.49 - 0.57이고 H° 값은 1.31 - 1.41 정도가 된다. (그림 2 참조)

우량주상도의 Huff 분포형은 강우지속기간을 4개의 등시간대로 나누어 각각에 몇 %씩의 강우가 내리는가 하는 것을 표시하는 것으로 장기간의 호우를 통계분석하여 결정하며 우리나라에서는 중호우의 경우에 제 1 시간대 (1st quartile) 21.7 %, 제 2 시간대 38.1 %, 제 3 시간대 27.5 %, 제 4 시간대 12.7 %의 분포를 나타낸다. 경우에 따라서는 Huff 방법을 변형하여 강우지속기간을 4개의 등시간 구분이 아닌 10개의 등시간 구분대로 나누어 실제강우를 표시하기도 한다.

유역에 내리는 실제호우는 매우 다양하여 위에서 언급한 바와 같은 단순화시킨 강우분포형을 고려하여 유역유출을 해석하므로써 설계 침투홍수량을 결정하는 것이 일반적이다.

3. 유출 모의모형에 의한 침투유량 변화

앞에서 살펴본 단순화된 설계강우 분포형태중 본 연구에서는 특히 등분포 강우와 삼각형 분포 강우 가정에 의하여 침투유량을 계산하고 그 차이를 비교분석하고자 한다. 보다 타당성 있는 분석을 위해서는 실측된 침투유량과의 관계를 조사하는 것이 바람직하나 우리나라에는 분석에 사용할 만한 도시유역에서의 유출측정 기록이 없어 유출모의 모형에 의한 결과들을 비교하였다. 침투유량을 모의하기 위한 모형으로는 ILLUDAS model 을 선택하였으며 기존의 연구보고서들에서^{1,2)} 사용하였던 유역들의 자료를

표 1. ILLUDAS 모형으로 계산한 침투유량(m²/sec) 과 비율

재현기간 강우분포 유역	5년		10년		20년	
	삼각형/ 등분포	비율	삼각형/ 등분포	비율	삼각형/ 등분포	비율
W-1-1(도시화 70%, 16.7 ac)	2.59/ 2.23	1.16	3.17/ 2.72	1.17	3.71/ 3.19	1.16
W-1-2(도시화 50%, 16.7 ac)	1.98/ 1.71	1.16	2.43/ 2.10	1.16	2.85/ 2.48	1.15
W-1-3(도시화 30%, 16.7 ac)	1.29/ 1.10	1.17	1.58/ 1.36	1.16	1.87/ 1.61	1.16
Fourth Street (31.5 ac)	4.38/ 3.55	1.23	5.38/ 4.37	1.23	6.33/ 5.17	1.22
인 천 계 양 (9.13 ha)	1.22/ 1.05	1.16	1.55/ 1.36	1.14	1.84/ 1.63	1.13
논 산 동 흥 (44.6 ha)	6.39/ 5.66	1.13	7.59/ 6.72	1.13	10.19/ 8.93	1.14
부 천 작 동 (59.1 ha)	6.97/ 5.64	1.24	9.01/ 7.53	1.20	10.81/ 9.21	1.17
인 천 승 의 (124 ha)	29.23/ 23.57	1.24	35.13/ 28.59	1.23	40.85/ 33.62	1.22

그대로 사용하였다. W-1 유역에서 도시화 70 % 라는 것은 유역의 70 % 정도가 불투수유역으로 구성되어 있음을 의미하며, 도시화 정도에 따른 변화를 알아보기 위하여 50 % 와 30 % 의 값도 검토하였다. 표 1에서 알 수 있듯이 삼각형 분포 설계강우에 의한 침투유량이 등분포 설계강우에 의한 침투유량보다 13 - 24 % 더 큰 값을 나타낸다. 유역의 특성이라든가 삼각형 분포 강우의 침투치가 어디에서 발생되는가에 따라 이 비율은 약간 변할 수 있겠으나 삼각형 분포 설계강우에 의한 침투유량이 등분포 설계강우에 의한 침투유량보다 큰 값을 나타낸다는 것은 수문학적인 지식에 근거해서 뿐만아니라 표 1의 결과로 부터도 알 수 있다. 그러므로 유출모형을 이용한 해석에서는 등분포 설계강우를 사용하기보다는 그 유역에서 분석되어진 설계강우 분포형을 사용하는 것이 바람직하다.

4. 침투홍수량 산정공식에 의한 침투유량 변화

침투홍수량을 산정하기 위한 공식은 여러가지가 있으나 일반 침투량 공식은 강우의 분포형태에 따라 침투유량이 변화되는 것이 아니므로 여기에서는 강우분포 형태에 따른 침투유량 변화를 검토해 볼 수 있는 가중강우량 기법을⁶⁾ 이용하여 계산하는 공식을

사용하고자 한다. 침투유량과 강우량간의 상관관계 해석에서 우리나라 소하천 유역의 침투유량은 강우량을 1.5승한 값에 대하여 높은 상관관계를 나타내고 있다. '본 연구에서는 최근 이 기법을 사용하여 구한 IHP 연구 (1990) 결과 공식을 소개하고, 이 공식에 의한 결과들을 비교하여 보았다.

4.1 IHP 연구에서 제안된 소하천 유역의 침투홍수량

산정기법 '1

가. 도달시간 (time of concentration) t_c (hr) 결정
 $S_c > 1/200$ 일 때 Rizha 공식 사용

$$t_c = 0.833 L / (60 \times S^{0.6}) \quad (1)$$

여기서 L은 유로연장 (km)이고 S는 유로경사 (무차원)이다.

$S_c < 1/200$ 일 때 Kraven 공식 사용

$$t_c = 0.444 L / (60 S^{0.515}) \quad (2)$$

나. 가중강우량 $P_{1.5}$ 결정

(1) 도달시간이 결정되면 도달시간에 해당하는 지속기간의 강우강도 (mm/hr)나, 기간중 내린 총강우량 D (mm) 또는 1일 최대 강우량 R_{24} (mm)중 하나를 결정해 주어야 한다.

(2) 총강우량 D나, 1일 최대강우량 R_{24} 가 주어진 때는 이 들 값으로부터 강우강도 i (mm/hr)를 계산한다.

(3) 설계강우를 일반적인 분포 형태로 가정하면 $P_{1.5}$ 는 다음 식으로 계산된다.

$$P_{1.5} = \int i(t)^{1.5} dt \quad (3)$$

(4) 설계강우가 등분포로 가정될 때에는 다음 간략식이 사용된다.

$$P_{1.5} = (i^{1.5}) \times t_c \quad (4)$$

다. 침투홍수량 Q_p (m^3/sec) 결정

$$Q_p = 0.0453 A^{0.996} P_{1.5}^{0.86} L^{0.04} S^{0.15} \times AF \times SF \quad (5)$$

표 2. 유역면적계수 AF

유역면적 (km^2) 범위	AF	유역면적 (km^2) 범위	AF
$A \leq 3$	1.50	$10 < A \leq 30$	1.00
$3 < A \leq 5$	1.35	$30 < A \leq 55$	0.90
$5 < A \leq 10$	1.10	-	-

표 3. 유로경사계수 SF

유로경사범위	SF	유로경사범위	SF
$S \leq 0.005$	1.50	$0.005 < S$	1.00
$0.005 < S \leq 0.05$	1.20	-	-

여기서 유역면적계수 AF (Area Factor)와 유로경사계수 SF (Slope Factor)의 값은 표 2와 표 3에 주어져 있다.

4.2 설계 강우형태에 따른 침투유량 변화

침투 홍수량 산정을 위해 공식 (5)가 사용될 때에 유역특성에 관계없이 하나의 유역에서는 면적 A, 유로연장 L, 유로경사 S, 유역 면적계수 AF와 유로경사계수 SF는 같게 되므로 가중강우량 ($R = P_{1.5}^{0.86}$)을 어떻게 계산하는가에 따라 침투홍수량의 값이 변화하게 된다. 이와같은 점을 고려하여 그림 2에 표시된 등분포 강우, 삼각형분포 강우, 사다리꼴분포 강우와 Huff 분포형 강우에 따라 침투유량이 어떻게 변하는가를 살펴보고자 한다.

가. 등분포 설계강우

$$P_{1.5} = \int_0^{t_d} i(t)^{1.5} dt = i_0^{1.5} t_d \quad (6)$$

$$R_{uniform} = P_{1.5}^{0.86} = (i_0^{1.5} t_d)^{0.86} \quad (7)$$

나. 삼각형분포 설계강우

$$P_{1.5} = \int_0^{t_p} (2i_0 t / t_p)^{1.5} dt + \int_{t_p}^{t_d} \{2i_0 (t_d - t) / (t_d - t_p)\}^{1.5} dt$$

$$= 1.131 i_0^{1.5} t_d \quad (8)$$

$$R_{triangular} = 1.112 R_{uniform} \quad (9)$$

다. 사다리꼴분포 설계강우

$$\begin{aligned}
 P_{1.5} &= \int_0^{t_a} (4i_o t/3t_a)^{1.5} dt + \int_{t_a}^{t_b} (4i_o/3)^{1.5} dt \\
 &\quad + \int_{t_b}^{t_d} \{4i_o(t_d-t)/3(t_d-t_b)\}^{1.5} dt \\
 &= (4i_o/3)^{1.5} (-3t_a/5 + 3t_b/5 + 2t_d/5)(10)
 \end{aligned}$$

우리나라의 경우에 대한 하나의 값으로 $a^\circ = 0.2$, $b^\circ = 0.3$ 과 $c^\circ = 0.5$ 를 사용한다면 다음과 같이 된다.

$$P_{1.5} = 1.078 i_o^{1.5} t_d \quad (11)$$

$$R_{\text{triangular}} = 1.067 R_{\text{uniform}} \quad (12)$$

라. Huff 분포 설계강우

$$\begin{aligned}
 P_{1.5} &= \int_0^{\frac{1}{4}t_d} i_1^{1.5} dt + \int_{\frac{1}{4}t_d}^{\frac{1}{2}t_d} i_2^{1.5} dt \\
 &\quad + \int_{\frac{1}{2}t_d}^{\frac{3}{4}t_d} i_3^{1.5} dt + \int_{\frac{3}{4}t_d}^{t_d} i_4^{1.5} dt \\
 &= (i_1^{1.5} + i_2^{1.5} + i_3^{1.5} + i_4^{1.5}) t_d / 4 \quad (13)
 \end{aligned}$$

우리나라 전국의 중호우에 대한 값''''으로 $i_1 = 21.7\%$ ($i_1/i_o = 0.868$), $i_2 = 38.1\%$ ($i_2/i_o = 1.524$), $i_3 = 27.5\%$ ($i_3/i_o = 1.10$) 과 $i_4 = 12.7\%$ ($i_4/i_o = 0.508$) 를 사용한다면 다음과 같이 된다.

$$P_{1.5} = 1.051 i_o^{1.5} t_d \quad (14)$$

$$R_{\text{triangular}} = 1.044 R_{\text{uniform}} \quad (15)$$

4.3 분석

가중강우량 기법을 이용한 단순침투홍수량 산정기법의 한 예를 통하여 삼각형 분포 강우에 의한 침투유량은 11.2%, 사다리꼴 분포 강우의 경우는 6.7% 그리고 Huff 분포형 강우의 경우는 4.4% 만큼 등 분포 강우에 의한 침투유량보다 큰 값을 보여주고 있다.

5. 결론

유출 모의모형인 ILLUDAS model로 계산한 침투유량이나 단순침투홍수량 산정기법중의 한 방법으로 계산한 침투유량 값을 통하여 설계강우 분포형태에 따라 그 크기가 달라지는 것을 확인할 수 있었다. 유역에 실제로 내리는 강우는 등분포 강우로 보기도 하는 비록 단순하지만 삼각형분포나 사다리꼴분포 또는 Huff 분포형 등으로 설계강우를 가정하는 것이 타당하다고 판단되며, 등분포 강우가 아닌 다른 형태의 강우분포를 고려할 때 대체로 작게는 4% 정도로 부터 크게는 24% 까지 더 큰 침투홍수량 값을 보여 주었다. 이들 차이는 유역특성이나 강우지속기간 등에도 영향을 받을 것으로 판단되므로, 그 차이를 단정적으로 말하기는 곤란할지라도 수공구조물의 설계를 위하여 설계강우 분포형을 신중히 고려하여야 한다는 필요성은 증명된다고 사료된다.

참고문헌

1. 전병호 (1988) 도시개발에 따른 수해가중영향 분석 및 대책연구. 한국건설기술연구원.
2. 전병호 (1989) 도시유출분석 및 모형화 연구. 한국건설기술연구원.
3. 전병호 (1990) "소하천 유역의 침투홍수량 산정기법", 국제 수문개발 계획 (IHP) 연구보고. 건설부.
4. 한국건설기술연구원 (1988) 지역별 설계강우의 시간적 분포특성.
5. Akan, A. O. and Yen, B. C. (1984) *Effect of Time Distribution of Rainfall on Overland Runoff, Analysis and Design of Stormwater Systems*, Proc. of the Third IAHR/IAWPRC Conference on Urban Storm Drainage, PP. 193-202, Goteborg, Sweden.
6. Bren, L. J., Farrell, R. W., and Leitch, C. J. (1987) *Use of Weighted Integral Variables to Determine the Relation between Rainfall Intensity and Storm Flow and Peak Flow Generation*, Water Resources Research, Vol. 23, No. 7, PP. 1320-1326.