

설계강우의 시간분포형이 첨두유량에 미치는 영향 검토

○박종영*, 이정식**, 손광익***

1. 서론

수문학적 설계에 있어 가장 중요한 사항은 수문학적 관심 대상유역에 대한 설계수문량을 결정하는 것이다. 국내의 경우 대상유역의 수문량은 하천규모에 따른 적정 설계강우의 빈도를 채택하고, 채택된 설계강우의 빈도와 동일한 설계홍수량을 설계 수문량으로 결정하여 사용하고 있다. 또한, 설계강우의 지속기간과 설계수문량의 관계는 해당유역의 도달시간을 지속기간으로 간주하여 수문량을 결정하거나 혹은 설계강우 지속기간별로 가장 큰 첨두유량을 나타내는 첨두유량 등을 통하여 해당 지역의 수문량을 결정하고 있다. 특히 현재 시행되고 있는 재해영향평가, 하천정비나 수해 복구 등의 경우에는 대부분 지속기간별로 가장 첨두유량이 큰 경우를 해당지역의 실제 수문량으로 결정하고 있다.

그러나 해당지역의 설계수문량은 해당유역으로부터 직접 유도된 단위도의 형상이나 크기, 단위도의 지속기간, 재현기간에 의해서 상이한 결과를 보이며, 설계강우의 시간적 분포 양상, 유효우량의 선정방법, 기저유출 등에 의해서도 상당한 차이를 보이게 된다. 또한, 강우지속기간과 강우강도는 비선형적인 반비례 관계를 보이므로 지속기간의 증가에 따른 확률강우량의 변화 양상 또한 지속기간별 첨두유량에 큰 영향을 미치게 된다.

국내의 경우에 강우지속기간의 변화에 따른 첨두유량의 변화양상에 대한 연구는 주어진 유역의 배수계통에 최대 부하를 발생시키는 설계강우의 지속기간으로 정의되는 임계지속기간을 통한 연구가 지속기간별 최대 첨두유량의 결정과 지속기간별 최대 유수지 용량 결정 등의 두가지의 방향으로 연구가 진행되어 왔다. 그러나, 현재까지 국내의 경우에는 설계강우의 시간분포형의 변화에 따른 설계수문량의 변화만을 제시하였을 뿐, 실제 강우분포와의 비교를 통한 지속기간별 첨두유량의 변화는 검토되어 제시된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 IHP 시험 유역인 위천유역을 통하여 실제강우분포와 설계강우분포를 통한 지속기간별 첨두유량의 변화양상을 검토하였다. 동시에 특정 재현기간에 대한 첨두유량을 계산하기 위하여 다양한 설계강우의 시간분포형을 이용하여 다양한 지속기간에 대한 첨두유량의 변화를 계산하고 실제강우를 통하여 얻어진 첨두유량과 비교하였다.

2. 대상유역 및 기본자료

본 연구에서는 국제수문개발계획 대표시험유역인 위천유역의 동곡지점을 대상유역으로 선정하였으며, 대상유역의 유역특성인자는 표 1과 같다.

표 1. 대상유역의 유역특성

유역명	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	유로경사 (m/m)	유로중심장 (km)
위 천(동곡)	33.63	8.00	0.04057	4.00

대상유역에서 입력자료로 이용되는 확률강우강도식의 형태는 식 (1)과 같고, 대상유역의 빈도별 계수값과 확률강우강도는 표 2와 같다.

$$I = \frac{c}{t^{d+e}} \tag{1}$$

여기서 I 는 강우강도(mm/hr), t 는 강우지속기간(min), c, d, e 는 특성을 나타내는 회귀계수이다. 계획홍수량 결정에 필요한 대상유역의 대표단위도는 한국건설기술연구원(2000)에서 제시한 위천의 동곡지점의 1hr 단위도를 이용하였으며, 동곡지점의 대표단위도는 그림 1과 같다. 설계빈도는 50년 빈도를 이용하였으며, 상기의 자료를 바탕으로 하여 50년 빈도 설계강우량을 이용하여 첨두유량을 결정하였다.

표 2. 확률강우강도식의 계수값

재현기간 (년)		2	5	10	20	30	50	100	200
강우강도식 계수	c	404.752	517.285	585.496	638.713	670.374	708.758	759.541	807.947
	d	0.619	0.601	0.592	0.585	0.582	0.579	0.575	0.573
	e	0.972	1.173	1.245	1.304	1.336	1.375	1.43	1.478
강우강도 (mm/hr)		29.8	40.1	46.7	52.0	55.1	58.7	63.5	67.8

* 금오공과대학교 대학원 토목공학과 박사과정

** 금오공과대학교 토목환경공학부 교수

*** 영남대학교 토목도시환경공학부 부교수

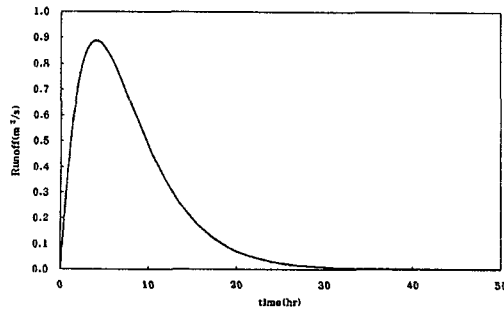


그림 1. 위천 동곡지점의 대표단위도

3. 설계강우분포를 이용한 침투유량의 변화성

현재 국내에서 수문량 결정에 주로 이용되고 있는 설계강우의 시간적 분포방법으로는 IDF관계를 이용한 Mononobe 방법, Yen과 Chow 방법, Huff 방법, Keifer와 Chu 방법 등이 있다. 본 연구에서는 상기의 설계강우 시간분포법과 동곡지점의 단위도를 이용하여 지속기간별 침투유량을 결정하였으며, 그 결과는 표 3에 나타내었다.

표 3에서 보면 Mononobe 전방위를 제외하고는 지속기간이 늘어감에 따라서 침투유량은 증가하는 형상을 보이는 것을 알 수 있다.

표 3. 설계강우의 지속기간별 침투유량

(단위 : m³/s)

방법		지속기간(분)											
		60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720
Mononobe	전	52.1	71.7	85.4	95.3	102.2	107.0	109.9	110.1	110.1	110.1	110.1	110.1
	중	52.1	71.9	86.2	97.3	105.7	113.6	118.7	123.5	127.2	130.1	130.7	132.9
	후	52.1	71.9	85.4	96.0	104.6	111.4	116.7	120.9	124.3	126.9	128.9	130.6
Yen 과 Chow	전	52.1	71.6	85.9	96.5	105.6	111.8	118.0	121.6	125.1	127.1	128.4	129.5
	중	52.1	71.5	86.1	96.9	105.9	113.5	118.7	124.2	128.0	130.1	132.9	134.4
	후	52.1	71.8	85.7	97.2	105.9	113.0	119.7	124.7	128.2	131.7	134.8	136.8
Huff	1	52.1	71.9	85.4	95.9	102.6	108.5	111.2	112.8	115.2	117.5	119.2	120.3
	2	52.1	71.4	86.1	96.6	106.1	112.6	119.5	123.8	127.8	130.8	132.0	134.3
	3	52.1	71.7	85.4	97.2	105.6	112.9	118.9	123.3	126.3	129.8	131.9	133.0
	4	52.1	71.9	85.4	96.0	104.6	111.2	116.4	120.4	123.5	125.8	128.1	130.0
Keifer 와 Chu	전	53.2	72.2	85.8	95.9	104.5	109.3	114.1	117.5	118.4	119.0	119.8	121.6
	중	52.7	71.7	86.0	96.5	105.2	112.4	117.5	122.3	126.1	128.0	129.8	131.1
	후	52.3	71.6	84.6	96.1	105.0	111.5	117.8	123.3	127.5	130.5	133.4	136.7

4. 실제강우분포와 설계강우분포를 통한 침투유량의 변화

전절에서 검토한 설계강우의 시간분포모형에 의한 지속기간별 침투유량과 실제강우의 시간분포를 통하여 계산된 지속기간별 침투유량을 비교, 검토하기 위하여 두가지 방법을 이용하였다.

첫 번째 방법은 지속기간별로 크기순으로 순위 20위까지의 시간분포백분율을 고려하여 침투유량을 결정하였으며, 이 값들의 평균적인 침투유량을 실제 침투유량으로 결정하여 비교하였다. 이 경우에 평균적인 침투유량은 Wilcoxon의 순위합 검정을 통하여 결정하였다. 두 번째 방법은 재현기간 규모와 동일한 강우를 채택한 후 이 강우의 시간분포백분율을 통하여 결정된 침투유량을 실제 강우에 의해 산정된 침투유량으로 결정하여 비교하였다.

4.1 Wilcoxon 검정을 통한 평균침투유량과의 비교(Case I)

설계강우의 시간분포와 실제강우의 시간분포를 통하여 결정된 침투유량을 비교하기 위하여 각 지속기간별로 실제 강우량의 20위까지의 순위를 결정하고, 결정된 순위를 바탕으로 하여 각 지속기간별 평균 침투유량을 결정하였다. 침투유량의 평균값을 결정하기 위하여 순위 1-10위의 값과 순위 11-20위의 값의 평균치가 상이한 결과를 보여 기준값으로 이용될 평균침투유량을 결정하기 위하여 Wilcoxon 순위합 검정을 실시하였다. Wilcoxon 순위합 검정을 실시한 결과, 유의수준 5%에서 각 지속기간별로 귀무가설이 채택되었으며, 평균 침투유량으로는 순위 1-10위의 평균값을 결정하였다.

4.2 동일재현기간 규모를 통한 침투유량과의 비교(Case II)

동곡지점의 지속기간별 크기순으로 결정된 강우백분율을 검토하여 50년 설계빈도와 규모가 유사한 실제 강우의 백분율을 실제강우의 분포양상으로 보고 지속기간별 침투유량을 결정하였다. 표 4는 6시간 강우량에 대한 순위별 실제강우량의 지속기간별 강우백분율을 나타내고 있다. 표 4에서 50년 빈도의 강우량의 규모로 인정되는 순위는 순위3에 해당하는 강우 값이다.

표 4. 6시간강우에 대한 지속시간별 강우백분율

순위	강우량 (mm)	지속시간별 강우 백분율(%)						합계 (%)
		1	2	3	4	5	6	
1	146	14.4	7.5	30.1	26.7	14.4	6.8	100
2	145	6.2	14.5	7.6	30.3	26.9	14.5	100
3	130	8.5	33.8	30.0	16.2	7.7	3.8	100
4	125	0.8	7.2	16.8	8.8	35.2	31.2	100

4.3 실제강우 분포와 설계강우분포를 이용한 경우의 첨두유량의 변화 비교

Case I과 Case II의 첨두유량은 표 5와 그림 2에 나타난 바와 같이 지속시간이 660분인 경우 7%정도의 차이를 보이는 경우를 제외하고는 대체적으로 유사한 값을 보이고 있음을 알 수 있다.

표 5. 실제강우의 지속시간별 첨두유량

(단위 : m³/s)

구분 \ 지속시간(분)	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720
실제강우(Case I)	52.1	71.7	85.7	96.3	104.7	112.2	117.3	121.8	124.0	127.8	131.2	130.9
실제강우(Case II)	52.1	71.4	85.7	96.2	105.2	112.9	119.6	123.3	130.5	131.2	122.8	131.8

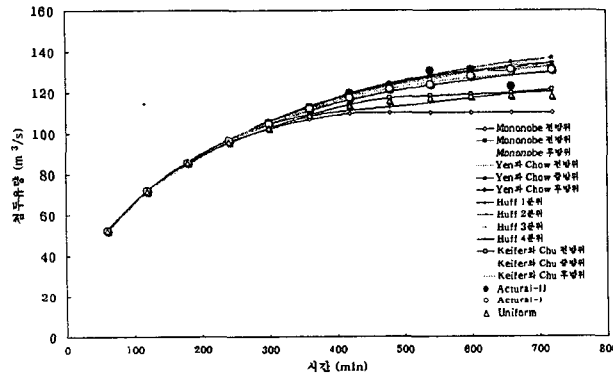


그림 2. 설계강우와 실제강우의 지속시간별 첨두유량

표 6. Case I의 평균 첨두유량과 설계강우분포를 적용한 경우의 첨두유량간의 오차(%)

방법	지속시간(분)	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720
		Mononobe	전	0.00	0.00	-0.35	-1.04	-2.39	-4.63	-6.31	-9.61	-11.21	-13.85
	중	0.00	0.28	0.58	1.04	0.96	1.25	1.19	1.40	2.58	1.80	-0.38	1.53
	후	0.00	0.28	-0.35	-0.31	-0.10	-0.71	-0.51	-0.74	0.24	-0.70	-1.75	-0.23
Yen과 Chow	전	0.00	-0.14	0.23	0.21	0.86	-0.36	0.60	-0.16	0.89	-0.55	-2.13	-1.07
	중	0.00	-0.28	0.47	0.62	1.15	1.16	1.19	1.97	3.23	1.80	1.30	2.67
	후	0.00	0.14	0.00	0.93	1.15	0.71	2.05	2.38	3.39	3.05	2.74	4.51
Huff	1	0.00	0.28	-0.35	-0.42	-2.01	-3.30	-5.20	-7.39	-7.10	-8.06	-9.15	-8.10
	2	0.00	-0.42	0.47	0.31	1.34	0.36	1.88	1.64	3.06	2.35	0.61	2.60
	3	0.00	0.00	-0.35	0.93	0.86	0.62	1.36	1.23	1.85	1.56	0.53	1.60
	4	0.00	0.28	-0.35	-0.31	-0.10	-0.89	-0.77	-1.15	-0.40	-1.56	-2.36	-0.69
Keifer와 Chu	전	2.11	0.70	0.12	-0.42	-0.19	-2.58	-2.73	-3.53	-4.52	-6.89	-8.69	-7.10
	중	1.15	0.00	0.35	0.21	0.48	0.18	0.17	0.41	1.69	0.16	-1.07	0.15
	후	0.38	-0.14	-1.28	-0.21	0.29	-0.62	0.43	1.23	2.82	2.11	1.68	4.43

표 6~7과 그림 3~4를 살펴 보면, Case I의 경우에, Mononobe 전방위, Huff 1분위, Keifer와 Chu 전방위를 제외하고는 대체적으로 오차백분율의 범위가 ±5%범위내에 있어 전반적으로 평균첨두유량과 유사한 형상을 보이고 있다. 또한, 전체 지속시간에 대하여 (+)의 오차백분율을 보이는 시간분포모형은 Yen과 Chow의 후방위분포형로 나타났으며, Huff의 2분위와 3분위 또한 지속시간이 짧은 구간에서 (-)값을 한번씩 보일뿐 나머지 모든 구간에서 (+)의 오차백분율을 나타내었다.

표 7. Case II의 침투유량과 설계강우분포를 적용한 경우의 침투유량간의 오차(%)

방법	지속기간(분)												
	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	
Mononobe	전	0.00	0.42	-0.35	-0.94	-2.85	-5.23	-8.11	-10.71	-15.63	-16.08	-10.34	-16.46
	중	0.00	0.70	0.58	1.14	0.48	0.62	-0.75	0.16	-2.53	-0.84	6.43	0.83
	후	0.00	0.70	-0.35	-0.21	-0.57	-1.33	-2.42	-1.95	-4.75	-3.28	4.97	-0.91
Yen 과 Chow	전	0.00	0.28	0.23	0.31	0.38	-0.97	-1.34	-1.38	-4.14	-3.13	4.56	-1.75
	중	0.00	0.14	0.47	0.73	0.67	0.53	-0.75	0.73	-1.92	-0.84	8.22	1.97
	후	0.00	0.56	0.00	1.04	0.67	0.09	0.08	1.14	-1.76	0.38	9.77	3.79
Huff	1	0.00	0.70	-0.35	-0.31	-2.47	-3.90	-7.02	-8.52	-11.72	-10.44	-2.93	-8.73
	2	0.00	0.00	0.47	0.42	0.86	-0.27	-0.08	0.41	-2.07	-0.30	7.49	1.90
	3	0.00	0.42	-0.35	1.04	0.38	0.00	-0.59	0.00	-3.22	-1.07	7.41	0.91
	4	0.00	0.70	-0.35	-0.21	-0.57	-1.51	-2.68	-2.35	-5.36	-4.12	4.32	-1.37
Keifer 와 Chu	전	2.11	1.12	0.12	-0.31	-0.67	-3.19	-4.60	-4.70	-9.27	-9.30	-2.44	-7.74
	중	1.15	0.42	0.35	0.31	0.00	-0.44	-1.76	-0.81	-3.37	-2.44	5.70	-0.53
	후	0.38	0.28	-1.28	-0.10	-0.19	-1.24	-1.51	0.00	-2.30	-0.53	8.63	3.72

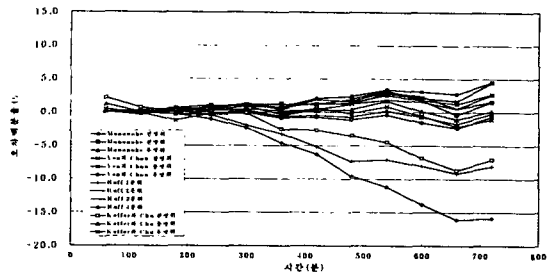


그림 3. 침투유량의 오차백분율(Case I)

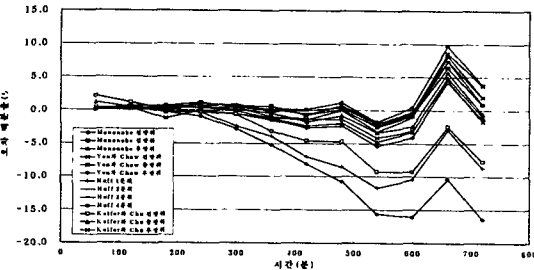


그림 4. 침투유량의 오차백분율(Case II)

Case II의 경우 그림 4에서 나타난 바와 같이 480분 이하에서는 대체적으로 오차백분율의 범위가 $\pm 5\%$ 범 위내에 있으나 Mononobe 전방위, Huff 1분위, Keifer와 Chu의 전방위는 대체적으로 지속기간에 따른 침투유 량의 오차가 매우 큰 값을 보이고 있음을 알 수 있다.

또한, 전체 지속기간에 대하여 한번 (-)값을 보일뿐 나머지 모든 구간에서 (+)의 오차백분율을 나타내는 분포형은 Yen과 Chow의 후방위 분포로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 실제강우분포와 설계강우분포를 통한 지속기간별 침투유량의 변화양상을 검토하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 해당지점에서 유도된 단위도와 1시간에서 12시간의 지속기간을 가지는 호우를 통하여 침투유량을 결정하 였으며, 침투유량은 강우지속기간이 증가할수록 증가하는 양상을 보였다.
- (2) Wilcoxon 순위합 검정을 통하여 순위 1-10의 침투유량과 순위 11-20의 침투유량은 통계학적으로 침투유 량값은 차이가 없는 것으로 나타났다.
- (3) 순위 1-10의 지속기간별 평균침투유량은 강우량이 전반부에 집중하는 분포형을 제외하고는 설계강우분포 를 통하여 결정된 침투유량과 $\pm 5\%$ 범위내의 침투유량 오차를 나타내었다.
- (4) 강우초기에 강우량이 집중되는 설계분포형은 지속기간이 길어짐에 따라 실제 침투유량과는 많은 오차를 보이는 것으로 나타났다.
- (5) 전체 지속기간에 대하여 전반적으로 모든 구간에서 (+)의 오차백분율을 나타내는 분포형은 Yen과 Chow 의 후방위 분포로 나타났다.

참고문헌

- 건설교통부(1983~2002). 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서.
 이재준, 이정식(1999). "우리나라 도시배수시스템 설계를 위한 확률강우강도식의 유도.", 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제32권, 제4호, PP. 403~415.
 한국건설기술연구원(2000). 시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구-합성단위도 개발을 중심으로-, 전기연 2000-092.
 Huff, F. A.(1967). "Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms." *Water Resources 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*, ASCE, Vol. 83, No. HY4, pp. 1~25.
 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.