

# 방재조절지의 설계에 필요한 강우의 시간분포모형 결정

Determination of Rainfall Distribution Model for the Design of Flood Storage Reservoir

○박 종 영\*, 이 정 식\*\*, 이 재 준\*\*\*, 심 재 현\*\*\*\*

## 1. 서 론

개발사업에 따른 유출량의 증가로 하류부 피해를 사전에 경감시키기 위해 필요한 방재조절지와 같은 수공 구조물의 설계는 설계강우와 홍수유출량의 재현기간이 동일하다는 가정하에 강우-유출 관계를 통하여 도출된 첨두유출량이나 유출용적을 통하여 이루어지고 있다. 유역의 유출수문곡선과 첨두유출량을 결정하기 위해서는 설계강우량의 결정은 필수적이며 결정된 설계강우량을 통해 설계홍수량을 결정하기 위해서는 설계우량 주상도, 즉 강우의 시간적 분포가 결정되어야 한다. 설계강우의 시간적 분포를 결정하는 방법으로는 Mononobe 방법, Yen과 Chow(1980)의 방법, Huff(1967)의 4분위법과 Keifer와 Chu(1957)의 순간강우강도법 등이 있으며, 국내에서는 우리나라 강우특성이 반영된 강우 시간분포가 특정 지점을 제외하고 전국적으로 적절히 제시되지 못한 상태에서 단순히 Mononobe 방법을 이용하여 시간구간별로 배분하거나 어떤 강우사상을 가지고 무차원화하여 실무에서 이용되고 있다. 그리고 한국건설기술연구원(1989)은 지역별 설계강우의 시간적 분포라는 보고서에서 Yen과 Chow, Huff, Keifer와 Chu, 그리고 Pilgrim과 Cordery 방법을 이용하여 해석하고 그 이용 방법과 각 방법에 따른 기준치를 제시한 바 있다.

그러나 방재조절지를 설계하기 위한 수문해석시 설계강우의 시간분포를 어느 것으로 할 것인가 하는 문제는 여전히 불분명하게 남아 있으며, 따라서 본 연구에서는 기존의 강우의 시간분포모형인 Mononobe 방법, Yen과 Chow 방법, Huff 분포법, Keifer와 Chu 분포법을 대상으로 방재조절지의 설계시에 적합한 시간분포모형을 검토하기로 한다. 이를 위하여 SCS 방법, Nakayasu 방법, RRL 방법과 Clark 방법 등의 강우-유출모형을 이용하며, 홍수도달시간을 지속기간으로 하는 설계강우량을 구한다. 그리고 IHP 대표시험유역을 대상으로 13가지 시간적 분포형을 적용하여 유출수문곡선을 구한 후 강우특성과 유출특성간의 비교분석을 통해 주어진 재현기간에 대하여 설계강우 분포가 유출량의 크기에 얼마나 영향을 미치는가를 분석하여 설계강우 분포 결정의 중요성을 제시하고자 한다.

## 2. 적용 대상유역의 선정 및 기본자료 분석

본 연구에서는 국제수문개발계획 대표시험유역인 평창강유역의 이목정지점, 보청천유역의 산성지점, 위천유역의 동곡지점을 대상유역으로 선정하였다. 적용 대상유역의 강우, 유출자료를 선정하기 위하여 IHP보고서(건설부, 1983년~1996년)에 수록된 자료의 신뢰성을 인정하고 사용하였으며, 평창강유역은 6개 호우사상, 보청천유역은 8개 호우사상, 위천유역은 9개의 단순호우사상을 채택하였다.

본 연구에서는 설계강우의 지속기간으로 유역에서의 홍수도달시간을 사용하였으며, 홍수도달시간은 채택된 총 23개 호우사상에 대하여 유효수량의 종점에서 직접유출수문곡선의 변곡점 사이의 시간으로 정의되는 홍수도달시간 개념을 적용하여 산정하였다.

유출량 분석에서 요구되는 설계강우량은 1989년도 IHP보고서에 수록되어있는 재현기간 50년의 확률강우강도식 중 편차가 가장 적은 Sherman형을 이용하여 산정하였으며, 본 연구에서 적용한 확률강우강도식은 표 1과 같다.

\* 금오공과대학교 대학원 토목공학과 박사과정  
\*\* 금오공과대학교 공간·사회환경공학부 교수  
\*\*\* 금오공과대학교 공간·사회환경공학부 부교수  
\*\*\*\* 국립방재연구소 연구관

표 1. 재현기간 50년의 확률강우강도식

유역명	평창강	보청천	위천
확률강우강도식	$\frac{346.8}{t^{0.45}}$	$\frac{407.7}{t^{0.412}}$	$\frac{402.0}{t^{0.417}}$

### 3. 설계강우의 시간분포모형과 강우-유출모형

본 연구에서는 방재설지의 설계시에 적합한 시간분포모형을 검토하고자 Mononobe 방법, Yen과 Chow 방법, Huff 분포법, Keifer와 Chu 분포법 등을 사용하였다. Mononobe 분포법의 경우 I-D-F 식에 의해 강우량을 구한 후 전방집중형, 중앙집중형, 후방집중형으로 배열하여 사용하였으며, Yen과 Chow 분포법과 Keifer와 Chu 분포법은 무차원 특성변수  $a^0$  값과 호우진행계수  $r$  값을 강우지속기간의 중앙과 25%씩 가감한 위치에서 침투강우를 발생시켰다. 또한 Huff 분포법은 지역의 통계학적 특성치로부터 선정되어야 하나 Huff 분포의 특성상 발생 침투위치는 4분위중 어느 한 분위에 속하게되는 점을 감안하고 평창강유역은 원주, 보청천유역은 청주, 위천유역은 대구지방의 Huff 무차원곡선식의 50% 확률 곡선을 이용하여 침투강우 위치를 선정하였다.

강우-유출해석을 위한 수문모형으로 그동안 국내의 실무에서 널리 사용되어 오고 있으며, 최근 시행된 재해영향평가서 작성시에 널리 사용되고 있는 SCS 방법, Nakayasu 방법, RRL 방법과 Clark 방법의 4가지 강우-유출해석 방법을 사용하였다.

### 4. 설계강우의 시간분포형에 따른 유출변화 분석

#### 4.1 강우-유출 모형별 각종 시간분포형에 따른 유출변화 분석

본 연구에서는 대상유역에서 설계강우의 시간분포 방법별로 유출해석결과가 어떠한 변화를 보이는가를 분석하기 위하여 먼저, 총강우량 우량주상도를 입력강우로 하여 SCS 방법, Nakayasu 방법, RRL 방법, Clark 방법에 의거하여 유출수문곡선을 구하였다. 이 때 설계강우의 시간분포가 유출량에 미치는 영향을 파악하기 위한 인자로는 침투유출량과 침투유출량 변화율, 침투도달시간 변화율 등을 선정하였으며, 기준값으로는 각 강우-유출모형에 균등강우강도 적용시의 결과를 사용하였다. 즉, 침투유출량 변화율은 4가지 강우-유출해석 방법에 의한 침투유출량의 균등강우강도 적용시의 유출량에 대한 변화율을 나타내고, 침투도달시간 변화율은 유출수문곡선에서의 침투도달시간의 균등강우강도 적용시의 침투도달시간에 대한 변화율을 나타낸다. 이상의 변화율을 각각 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\Delta Q_{pk} (\%) = \frac{(Q_{pk} - Q_{pr})}{Q_{pr}} \times 100 \quad (1)$$

여기서  $\Delta Q_{pk}$ 는 방법 k의 침투유출량 변화율,  $Q_{pk}$ 는 방법 k의 침투유출량,  $Q_{pr}$ 은 균등강우강도 적용시의 침투유출량이다.

$$\Delta t_{pk} (\%) = \frac{(t_{pk} - t_{pr})}{t_{pr}} \times 100 \quad (2)$$

여기서  $\Delta t_{pk}$ 는 방법 k의 침투도달시간 변화율,  $t_{pk}$ 는 방법 k의 침투도달시간,  $t_{pr}$ 은 균등강우강도 적용시의 침투도달시간이다.

표 2~4는 이상에서 언급된 강우-유출 모형 중 SCS 방법을 통하여 설계강우의 분포형별로 유출해석을 한 결과이다. 침투유출량 변화율은 유역별로 복잡한 상황을 보이고 있으며, 증가율은 평창강유역의 경우에는 Yen과 Chow 분포법(27.6~31.6%), Huff 분포법(13.2~28.2%), Mononobe 분포법(10.3~22.6%), Keifer와 Chu 분포법(16.1~22.0%)의 순으로 감소하고 있고, Mononobe 분포법에서는 중앙집중형이 가장 컸으며, Yen과 Chow 분포법과 Keifer와 Chu 분포법에서는 후방집중형이 가장 크게 나타났고 Huff 분포법에서는 2분위법이 가장 크게 나타났다. 보청천유역의 경우에는 Yen과 Chow 분포법(9.6~11.6%), Huff 분포법(-2.9~9.2%), Mononobe 분포법(-5.2~3.6%), Keifer와 Chu 분포법(-2.6~2.2%)의 순으로 감소하고 있고, Mononobe 분포법과 Yen과 Chow 분포법 및 Keifer와 Chu 분포법에서는 중앙집중형이 가장 크게 나타났고 Huff 분포법에서는 2분위법이 가장 크게 나타났다. 위천유역의 경우에는 Yen과 Chow 분포법(32.0~35.5%), Huff 분포법(21.8~35.1%), Mononobe 분포법(19.3~

26.9%), Keifer와 Chu 분포법(23.2~27.0%)의 순으로 감소하고 있고, Mononobe 분포법과 Keifer와 Chu 분포법에서는 중앙집중형이 가장 컸으며, Yen과 Chow 분포법에서는 후방집중형이 가장 크게 나타났고 Huff 분포법에서는 2분위법이 가장 크게 나타났다.

또한 균등강우강도 적용시보다 침투유출량이 감소하는 경우에는 보청천유역에서 Mononobe 분포법의 전방집중형과 후방집중형, Huff 분포법의 4분위법, Keifer와 Chu 분포법의 전방집중형을 들 수 있으며, 보청천유역에서의 이들 시간분포법은 균등강우강도 적용시 보다 오히려 침투유출량을 감소시키므로써 설계강우를 배분시키는 방법으로는 부적합한 것으로 나타났다.

침투도달시간은 전반적으로 균등강우강도 적용시 보다 짧아지고 있으며, 침투도달시간 변화율을 보면 전방집중형에서 후방집중형으로 감에 따라 침투도달시간이 길어지고 있음을 알 수 있다.

표 2. 설계강우의 시간분포 방법별 유출해석결과(평창강 유역, SCS 방법)

분포법	항 목	침투유출량		침투도달시간		균등강우강도 적용시	
		$Q_p$ ( $m^3/s$ )	$\Delta Q_p/Q_{pr}$ (%)	$t_p$ (hr)	$\Delta t_p/t_{pr}$ (%)	$t_{pr}$ (hr)	$Q_{pr}$ ( $m^3/s$ )
Mononobe	전	229.1	10.3	6	-25.0	8	207.8
	중	254.8	22.6	8	0.0	8	207.8
	후	241.7	16.3	10	25.0	8	207.8
Yen 과 Chow	전	265.2	27.6	7	-12.5	8	207.8
	중	271.7	30.8	7	-12.5	8	207.8
	후	273.4	31.6	8	0.0	8	207.8
Huff	1	263.4	26.8	5	-37.5	8	207.8
	2	266.4	28.2	6	-25.0	8	207.8
	3	260.5	25.4	8	0.0	8	207.8
	4	235.2	13.2	9	12.5	8	207.8
Keifer 와 Chu	전	241.2	16.1	6	-25.0	8	207.8
	중	250.6	20.6	7	-12.5	8	207.8
	후	253.6	22.0	8	0.0	8	207.8

( )의 값은 변화율이 (-)값임.

표 3. 설계강우의 시간분포 방법별 유출해석결과(보청천 유역, SCS 방법)

분포법	항 목	침투유출량		침투도달시간		균등강우강도 적용시	
		$Q_p$ ( $m^3/s$ )	$\Delta Q_p/Q_{pr}$ (%)	$t_p$ (hr)	$\Delta t_p/t_{pr}$ (%)	$t_{pr}$ (hr)	$Q_{pr}$ ( $m^3/s$ )
Mononobe	전	325.5	-5.2	6	-25.0	8	343.2
	중	355.6	3.6	8	0.0	8	343.2
	후	334.6	-2.5	10	25.0	8	343.2
Yen 과 Chow	전	376.2	9.6	7	-12.5	8	343.2
	중	383.0	11.6	7	-12.5	8	343.2
	후	382.6	11.5	8	0.0	8	343.2
Huff	1	369.8	7.8	5	-37.5	8	343.2
	2	374.8	9.2	6	-25.0	8	343.2
	3	366.8	6.9	8	0.0	8	343.2
	4	333.2	-2.9	9	12.5	8	343.2
Keifer 와 Chu	전	334.2	-2.6	7	-12.5	8	343.2
	중	350.6	2.2	7	-12.5	8	343.2
	후	349.3	1.8	8	0.0	8	343.2

( )의 값은 변화율이 (-)값임

표 4. 설계강우의 시간분포 방법별 유출해석결과(위천 유역, SCS 방법)

분포법	항 목	첨두유출량		첨두도달시간		균등강우강도 적용시	
		$Q_p$ ( $m^3/s$ )	$\Delta Q_p/Q_{pr}$ (%)	$t_p$ (hr)	$\Delta t_p/t_{pr}$ (%)	$t_{pr}$ (hr)	$Q_{pr}$ ( $m^3/s$ )
Mononobe	전	262.8	19.3	4	-33.3	6	220.3
	중	279.4	26.9	5	-16.7	6	220.3
	후	271.6	23.3	6	0.0	6	220.3
Yen 과	전	293.7	33.3	4	-33.3	6	220.3
	중	290.7	32.0	5	-16.7	6	220.3
Chow	후	298.4	35.5	5	-16.7	6	220.3
	1	277.5	26.0	4	-33.3	6	220.3
Huff	2	297.5	35.1	4	-33.3	6	220.3
	3	294.8	33.8	5	-16.7	6	220.3
	4	268.3	21.8	5	-16.7	6	220.3
Keifer 와	전	271.3	23.2	4	-33.3	6	220.3
	중	279.8	27.0	5	-16.7	6	220.3
Chu	후	276.7	25.6	5	-16.7	6	220.3

(-)의 값은 변화율이 (-)값임

#### 4.2 적정 시간분포형 설정

강우-유출모형별 적정 시간분포형을 결정하기 위하여 4.1절에서 분석한 내용을 바탕으로 첨두유출량과 첨두도달시간의 변화율을 그림을 통해 비교 분석하였으며 이들을 그림 1~4에 나타내었다. 본 연구에서는 최대 부하를 발생시키는 설계강우의 시간분포법을 결정하고자 하므로 판단기준으로는 첨두유출량 변화율이 (+) 최대를 보이는 시간분포법을 적정 시간분포형으로 선정하였다.

SCS 방법에 의해 산출된 첨두유출량 변화율은 평창강유역과 위천유역의 경우에는 Yen과 Chow 분포법의 후방집중형이 가장 큰 값을 보였고, 보청천유역의 경우에는 Yen과 Chow 분포법의 중앙집중형이 가장 큰 값을 보였으며, 전반적으로 Yen과 Chow 분포법의 후방집중형이 가장 큰 유출량을 산출하고 있음을 알 수 있다.

Nakayasu 방법에 의해 산출된 첨두유출량 변화율은 평창강유역과 보청천유역의 경우에는 Mononobe 분포법의 후방집중형이 가장 큰 값을 보였고, 위천유역의 경우에는 Yen과 Chow 분포법의 후방집중형과 Huff 분포법의 1분위법이 가장 큰 값을 보였으며, 전반적으로 Mononobe 분포법의 후방집중형이 가장 큰 유출량을 산출하고 있음을 알 수 있다.

RRL 방법에 의해 산출된 첨두유출량 변화율은 평창강유역의 경우에는 Mononobe 분포법의 전방집중형, 그리고 보청천유역의 경우에는 Yen과 Chow 분포법의 중앙집중형이 가장 큰 값을 보였고, 위천유역의 경우에는 Huff 분포법의 1분위법이 가장 큰 값을 보이고 있다. 따라서 RRL 방법으로 강우-유출해석을 할 경우 대상유역에서는 특정한 시간분포법을 정할 수가 없음을 알 수 있다.

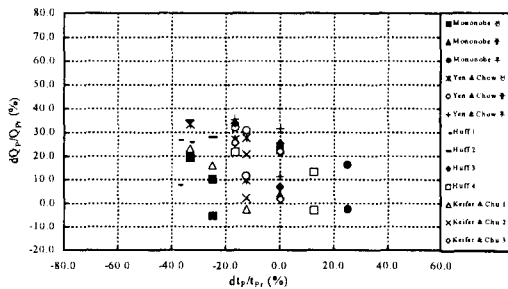


그림 1. 첨두유출량 변화율과 첨두도달시간 변화율간의 관계도(SCS 방법)

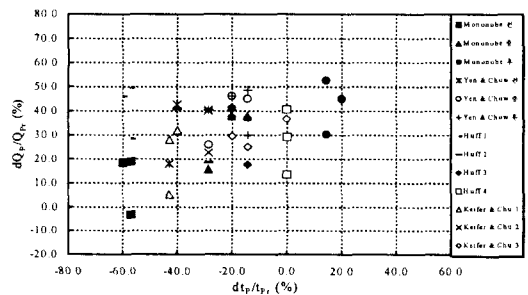


그림 2. 첨두유출량 변화율과 첨두도달시간 변화율간의 관계도(Nakayasu 방법)

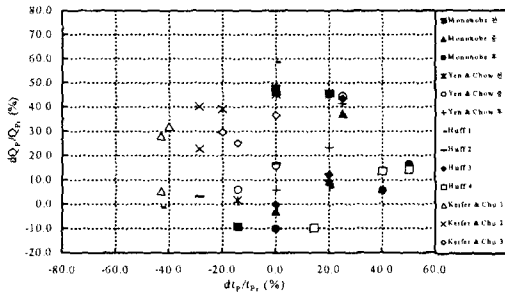


그림 3. 침투유출량 변화율과 침투도달시간 변화율간의 관계도(RRL 방법)

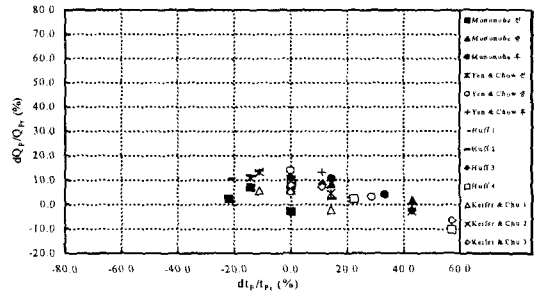


그림 4. 침투유출량 변화율과 침투도달시간 변화율간의 관계도(Clark 방법)

Clark 방법에 의해 산출된 침투유출량 변화율은 평창강유역의 경우에는 Yen과 Chow분포법의 중앙집중형과 Huff 분포법의 2분위법, 그리고 보청천유역의 경우에는 Huff 분포법의 1분위법이 가장 큰 값을 보였고 위천 유역의 경우에는 Huff 분포법의 2분위법이 가장 큰 값을 보였으며, 전반적으로 Huff 분포법의 2분위법 가장 큰 유출량을 산출하고 있음을 알 수 있다.

이상의 분석결과를 바탕으로 각 강우-유출방법별 및 시간분포법별로 적정 시간분포형 발췌하여 수록하면 표 5와 같다. 표 5에서 보면, 대체로 Mononobe 분포법에서는 중앙집중형과 후방집중형, Yen과 Chow 분포법에서는 후방집중형, Huff 분포법에서는 2분위법과 1분위법, Keifer와 Chu 분포법에서는 후방집중형과 중앙집중형이 가장 최악의 유출상황을 유발시키는 시간분포형으로 나타나고 있다.

표 5. 강우-유출모형 및 시간분포 방법별 적정 시간분포형

강우-유출모형	시간분포법	평창강	보청천	위천
SCS 방법	Mononobe	M 중	M 중	M 중
	Yen과 Chow	Y-C 후	Y-C 중/후	Y-C 후
	Huff	H 2	H 2	H 2
	Keifer와 Chu	K-C 후	K-C 중	K-C 중
Nakayasu 방법	Mononobe	M 후	M 후	M 중
	Yen과 Chow	Y-C 후	Y-C 후	Y-C 중/후
	Huff	H 1	H 1	H 1
	Keifer와 Chu	K-C 중	K-C 후	K-C 중
RRL 방법	Mononobe	M 전	(M 중)	M 전
	Yen과 Chow	Y-C 후	Y-C 중/후	Y-C 전
	Huff	H 2	H 2	H 1
	Keifer와 Chu	K-C 후	K-C 중	K-C 전
Clark 방법	Mononobe	M 중	M 중	M 후
	Yen과 Chow	Y-C 중	Y-C 전	Y-C 후
	Huff	H 2	H 1	H 2
	Keifer와 Chu	K-C 후	(K-C 전)	K-C 후/중

대상 유역에 적용한 강우-유출방법의 결과를 분석하여 유역별 및 강우-유출모형별로 최악의 유출상황을 야기시키는 설계강우의 시간분포법을 정리하면 표 6과 같으며, 전체적으로 Yen과 Chow 후방집중형이 최대 홍수량을 발생시키는 것으로 나타나고 있다.

표 6. 강우-유출모형별 및 종합적 시간분포형

강우-유출 모형	평 창 강	보 정 천	위 천	추천 분포
SCS 방법	Y-C 후	Y-C 중/후	Y-C 후	Y-C 후
Nakayasu 방법	M 후	M 후	Y-C 중/후/H 1	M 후
RRL 방법	M 전	Y-C 중/후	H 1	-
Clark 방법	H 2/Y-C 중	H 1	Y-C 후/H 2	H 2
추천 분포	Y-C 중/후	Y-C 중/후	Y-C 후	Y-C 후

## 5. 결 론

- 1) 설계강우의 시간분포 방법별 유출해석결과 대체로 Mononobe 분포법에서는 중앙집중형과 후방집중형, Yen과 Chow 분포법에서는 후방집중형, Huff 분포법에서는 2분위법과 1분위법, Keifer와 Chu 분포법에서는 후방집중형과 중앙집중형이 가장 최악의 유출상황을 유발시키는 시간분포형으로 나타나고 있다.
- 2) SCS 방법에 의해 산출된 침투유출량 변화율은 전반적으로 Yen과 Chow 분포법의 후방집중형, Nakayasu 방법은 Mononobe 분포법의 후방집중형, Clark 방법은 Huff 분포법의 2분위법이 가장 큰 침투유출량 변화율을 보였으며, RRL 방법에 의해 산출된 침투유출량 변화율은 특정한 시간분포형을 정할 수 없음을 알 수 있다.
- 3) 유역별 및 강우-유출모형별로 최악의 유출상황을 야기시키는 설계강우의 시간분포형은 전체적으로 Yen과 Chow 분포법의 후방집중형으로 나타나고 있다.

## 참 고 문 헌

- 건설부 (1983~1996). 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서.
- 한국건설기술연구원 (1989). 지역별 설계강우의 시간적 분포. 건기연 89-WR-111.
- 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.
- Pilgrim, D. H. (1987). *Australian Rainfall and Runoff*. The Institution of Engineers, Australia.
- Pilgrim, D. H., and Cordery, I. (1975). "Rainfall Temporal Patterns for Design Floods." *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, Vol. 101, No. HY1, pp. 81~95.
- 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.