

## 제 4 장 설계강우 및 홍수량



## 제 4 장 설계강우 및 홍수량

### 제 1 절 개설

#### 1.1 기준과 범위

- 1.1.1 이 장은 소하천내에 설치되는 수공구조물에 대한 수문학적 설계의 기본이 되는 설계강우, 유효우량, 그리고 설계홍수량을 결정하는 일반적인 절차를 기술하고 설계 과정에 이용할 수 있는 적절한 방법의 기준과 범위를 제시한 것이다.
- 1.1.2 수문학적 설계는 수문사상이 특정 수자원 시스템에 미치는 영향을 평가하고, 대상 시스템이 적절히 운영될 수 있도록 시스템을 지배하는 주요 변수들의 기준치를 선택하는 과정이라고 할 수 있다.
- 1.1.3 소하천 유역에 포함되는 수공구조물의 종류는 제 7장에 기술되어 있으며, 이 장에서는 이와 같은 수공구조물의 규모를 결정하는데 기본이 되는 설계홍수량을 산정하기 위해 적용할 수 있는 일반적인 절차의 기준과 범위를 제시한다.

#### 1.2 소하천 유역의 특성과 설계홍수량 산정 절차

- 1.2.1 소하천은 제 1장에서 기술한 바와 같이 산지하천의 경우와 평지하천의 경우를 포함하여 유역면적이 최대 약 10km<sup>2</sup>이하의 작은 유역이다. 따라서 하도에 의한 저류 및 지체효과를 무시할 수 있으며, 결과적으로 홍수유출계산에서 하도추적 절차를 도입할 필요성이 없다는 점에서 설계홍수량의 산정 방법의 선정에 있어서 중·대하천과 구별될 수 있다.
- 1.2.2 소하천 유역내에는 관측된 우량 및 수위 자료가 없는 것이 보통이므로 강우-유출 실측 자료에 의한 단위도의 유도가 불가능하며, 설계홍수량 산정 방법이 경험적 홍수량 공식 또는 합성단위도법 등으로 제한된다.
- 1.2.3 설계우량의 산정에 있어서도 강우의 공간적 변동성을 무시할 수 있으며, 대부분 유역 내에서 실측된 자료가 없으므로 기존에 제시된 확률강우량도 또는 인근 지역에서 관측된 자료를 인용하여 분석할 수밖에 없다.

## 48 제 4 장 설계강우 및 홍수량

- 1.2.4 대부분의 경우 유역내에 홍수저류용 구조물을 설치하는 경우가 드물므로 설계홍수량의 결정 변수가 첨두홍수량으로 국한되는 경우가 대부분이며, 또한 대규모 수공구조물 설계시 요구되는 극한적인 빈도조건에 대한 설계의 필요성은 없다.

## 제 2 절 설계홍수량의 추정 개념

### 2.1 설계홍수량의 정의

- 2.1.1 설계홍수량은 수공구조물의 설계 기준으로 채택되는 홍수량으로서, 대상 구조물의 특성에 따라 첨두홍수량이나 첨두홍수위, 또는 설계강우에 의한 완전한 홍수수문곡선으로 주어져야 한다.
- 2.1.2 수문 기술자들은 수문학적 해석에 의하여 수공구조물이 소통해야 할 설계 빈도에 해당하는 첨두홍수량 또는 첨두홍수위를 예측하거나 설계강우를 사용하여 홍수수문곡선을 합성하여 제공해야 한다.
- 2.1.3 설계홍수량은 일률적으로 정해지는 것이 아니며, 홍수 특성, 홍수 빈도, 그리고 홍수 피해 가능성과 사회·경제적 요인을 고려하여 결정해야 한다.

### 2.2 수문 설계 빈도의 결정

- 2.2.1 소하천 시설물을 설계할 경우에는 구조물이 설계목적에 부응하는 기능을 제대로 발휘할 수 있도록 해야함은 물론이고, 최적 수문설계 규모 또는 설계빈도는 구조물에 소요되는 비용과 안전이 균형을 이루도록 선정하고 수공구조물의 파괴로 인한 피해를 함께 고려하여 구조물의 중요도, 구조물의 내용년한, 경제성 등에 따라 결정하되 다음과 같은 수공구조물 별 설계 빈도 기준을 참고하여 결정한다.
1. 수공구조물의 설계빈도는 주로 구조물의 위치 및 여건, 경제적 상황에 따라 다양하게 변하므로 일률적으로 결정할 수 없으나 지금까지 국내외에서 경험과 판단에 의해 일반적으로 사용되는 수공구조물의 설계 빈도 범위는 표 4.1과 같다. 실제로 수공구조물의 설계 빈도를 결정할 때 전적으로 이 표에 의존하여 결정하는 것은 합리적이지 못하므로 어디까지나 참고로 이용하여야 할 것이다.

2. 표 4.1에서 고속도로 배수시설의 경우를 보면 설계 빈도 5년에서 100년까지 넓은 범위를 가지고 있다. 이것은 중요한 고속도로가 호우로 인하여 파손될 경우 도로 파손 자체에 의한 피해 뿐만 아니라 교통 두절에 따른 여러 가지 불편 및 수송 차단 등에서 오는 경제적 피해가 막대해질 수 있기 때문에 이러한 경제적 영향을 고려한 것이다.

표 4.1 소하천 수공구조물의 설계 빈도

구조물 종류	설계빈도(년)	설계확률
고속도로 배수용 암거		
교통량이 적은 도로	5~10	0.20~0.10
교통량이 중간인 도로	10~25	0.10~0.04
교통량이 많은 도로	50~100	0.02~0.01
고속도로 교량		
소교량(경간 L < 100m)	10~50	0.10~0.02
장대교(경간 L > 100m)	50~100	0.02~0.01
농업용 배수시설		
암거	5~50	0.20~0.02
배수구	5~50	0.20~0.02
하천제방		
농경지 하천	2~25	0.50~0.04
도시 하천	50~200	0.02~0.005
홍수방어(조절)용		
저수지	50~SPF	0.02이하~SPF
여수로	PMF	
제방	10~SPF	0.10이하~SPF
하도	5~SPF	0.20이하~SPF
배수 시설	2~50	0.50~0.02
생활 및 공업용수 공급시설	20~200	0.05~0.005

참고문헌 : 「하천시설기준」(건설부, 1993. 12)

## 제 3 절 설계강우

### 3.1 정의

3.1.1 수공구조물의 설계를 위한 설계홍수량을 산정하는 방법에는 여러가지가 있으며, 방법에 따라 필요로 하는 설계강우의 형태에 차이가 있다. 합리

식과 같이 강우강도를 입력으로 요구하는 경우가 있는 반면, 강우기간동안의 우량주상도를 필요로 하는 경우도 있다. 전자는 주로 첨두홍수량만을 구하는 것을 목적으로 하며 비교적 짧은 기간동안 강우강도가 일정하게 유지된다고 가정하는 방법이며, 후자는 강우의 지속기간동안 강우강도가 시간에 따라 달라지는 것을 고려하여 총강우량을 시간에 따라 분포시킴으로써 우량주상도를 구하여 사용하는 방법이다.

- 3.1.2 총강우량 또는 강우강도는 강우의 지속기간에 따라 달라지며, 설계강우는 강우의 지속기간, 총강우량 또는 강우강도, 그리고 시간분포 등 세가지 기본 요소를 결합함으로써 정의할 수 있다.**

## 3.2 확률강우량의 산정

- 3.2.1** 소하천의 확률강우량은 지점 확률강우량으로 나타낼 수 있으며, 지점 확률강우량은 설계 대상 지점의 강우 특성을 충분히 반영할 수 있는 관측된 강우 자료를 빈도 분석하여 산정하거나 확률강우량도를 이용하여 산정할 수 있다. 비교적 단시간의 확률강우량은 강우강도-지속기간-빈도곡선 또는 강우강도식을 이용한다.

### 3.2.2 지점 강우자료의 빈도 분석에 의한 확률강우량의 산정

1. 대부분의 소하천 유역내에는 강우 관측지점이 없으나 소하천 유역의 강우 특성을 대표할 수 있는 인근 관측소가 있을 경우에는 이 관측지점의 강우 자료를 이용하여 확률강우량을 산정할 수 있다. 인근 지점의 강우자료를 이용하는 방법은 관측지점의 강우 특성이 설계 대상 지역의 강우특성과 거의 동일하다는 전제 조건이 만족되어야 한다. 따라서 강우의 공간적 변동 특성이 두드러지게 나타나는 산악 또는 해안 지역에 대해서는 주의를 기울여야 한다.
2. 지점 확률강우량을 산정하기 위해 일반적으로 적용되는 절차는 다음과 같다.
  - 1) 자료 추출
    - ① 관측소의 일관성 검사  
해당 관측소의 위치, 우량계의 종류와 노출 상태, 관측 방법과 주위 환경의 변화 등을 관측소 대장에 기재된 관측역사를 조사하여 검토하고, 과거 관측된 연강수량 자료를 이중누가우량 분석을 통해 관측소의 일관성을 검사하고 필요할 경우 보정한다.
    - ② 강우사상의 독립성 유지

매년 발생하는 일최대 강우사상을 충분히 선정하여 자기기록지에서 지속기간 24시간 강우량이 최대가 되도록 강우사상을 분리하여 독립성이 유지되게 한다. 극치 강우자료는 통계학적으로 독립성이 유지되는 강우사상으로부터 추출해야 한다.

### ③ 극치 자료 계열의 추출 및 선정

충분히 선정된 강우사상별로 필요한 지속기간별 최대치를 추출하여 연최대치 계열 또는 연초과치 계열을 구성한다. 일반적으로 설계 빈도가 10년 이하일 경우에는 연초과치 계열에 의해 확률강우량을 산정하는 것이 안전하고 합리적이다(건설부, 1988a). 따라서 연초과치 계열을 추출하기가 어려워 연최대치 계열을 이용하여 확률강우량을 산정하였을 경우에는 산정된 확률강우량에 표 4.2에 나타낸 환산계수를 곱하여 이용한다.

표 4.2 연초과치 계열 대 연최대치 계열의 환산계수

지속기간	재현기간(년)			비고
	2	5	10	
60분	1.157 (1.136)	1.033 (1.042)	1.008 (1.010)	( ) 안에 주어진 수치는 미국에서 이용되고 있는 환산계수임.
24시간	1.107 (1.136)	1.029 (1.042)	1.012 (1.010)	

### ④ 자료 기록기간

자료의 기록년수는 원칙적으로 필요한 설계 빈도보다 커야 한다. 그러나 현재 관측된 강우 자료는 이 조건을 만족시켜주지 못하는 경우가 많으므로 통계학적으로 기록년수 30년 이상의 자료를 이용하도록 하고 이 보다 짧은 경우는 연초과치 계열을 이용하여 자료 수를 늘려 빈도해석할 수 있다.

### 2) 최적 확률분포형에 따른 빈도해석

지속기간 및 재현기간별 지점 확률강우량을 산정하기 위한 일반적인 빈도해석에 대한 내용은 「하천시설기준」(1993. 12. 건설부) '조사편제 12 장 수문통계' 등을 참고한다. 현재 실무에서 최적 확률분포형을 선정하지 않고 여러 분포형을 이용하여 계산된 확률강우량을 평균하거나 특별한 기준없이 주관적 판단에 따라 결정하는 것은 바람직하지 않으며 가능한 최적 확률분포형을 선정하여 지점 확률강우량을 산정하는 것이 바람직하다.

### 3) 지점 확률강우강도식 및 이용

## ① 강우강도-지속기간-빈도 공식(IDF Formula)

산정된 재현기간별 지속기간에 따른 확률강우량을 이용하여 특정 지속기간(주로 120분에서 180분)이하의 확률강우량을 확률강우강도식으로 유도하여 표시할 수 있다. 재현기간별 강우강도식은 적절한 형태(주로 Sherman형, Talbot형, 일본에서 많이 쓰는 속칭 Japanese형)를 가정하여 회귀분석에 의해 구할 수 있다. 대표적인 공식에는 다음과 같은 것이 있다.

$$\text{Talbot 형} : I = \frac{b}{t + a} \quad (4.1)$$

$$\text{Sherman 형} : I = \frac{c}{t^n} \quad (4.2)$$

$$\text{Japanese 형} : I = \frac{e}{\sqrt{t+d}} \quad (4.3)$$

(石黒 형)

여기서  $I$ 는 강우강도(mm/hr),  $t$ 는 강우 지속기간(min)이고  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $e$  및  $n$ 은 지점별로 최소자승법에 의해 결정되는 상수이다.

표 4.3은 서울 지점에 대하여 유도된 재현기간별, 확률강우강도식과 자료 출처를 수록한 것이다.



표 4.3 서울 지점의 확률강우강도식

발표기관	이원환(1967)	한국건설기술연구원(1988.10)	
자료년수	50년(1915~1964) 결측치 보완	일최대 강우사상	
재현 기간	2년	$\frac{310.0}{t^{1/2} + 0.09}$	$\frac{382.4}{t^{1/2} + 0.973}$
	3년	$\frac{380.0}{t^{1/2} + 0.08}$	$\frac{458.9}{t^{1/2} + 0.988}$
	5년	$\frac{460.0}{t^{1/2} + 0.09}$	$\frac{544.3}{t^{1/2} + 1.003}$
	10년	$\frac{560.0}{t^{1/2} + 0.09}$	$\frac{651.1}{t^{1/2} + 1.014}$
	20년	$\frac{655.0}{t^{1/2} + 0.09}$	$\frac{753.8}{t^{1/2} + 1.023}$
	30년	$\frac{710.0}{t^{1/2} + 0.09}$	$\frac{811.8}{t^{1/2} + 1.016}$
	50년	$\frac{790.0}{t^{1/2} + 0.08}$	$\frac{885.0}{t^{1/2} + 1.014}$
	100년	$\frac{840.0}{t^{0.49}}$	$\frac{983.8}{t^{1/2} + 1.016}$
발표문헌	대한토목학회지 제15권 제3호	‘한국확률강우량도’ (한국건설기술연구원)	
발표자	이 원 환	한국건설기술연구원	
비고	1988년 이전에 서울특별시 사용	1988년 이후에 서울특별시 잠정 사용	

## ② 강우강도-지속기간-빈도 곡선(IDF Curve)

산정된 지속기간 및 재현기간별 확률강우량을 전대수지(全對數紙) 상에 지속기간별로 도시하여 연결한 곡선을 말하며 해당 지점에 대한 최적의 확률강우량을 얻을 수 있다. 건설부(1988a)는 「한국 확률강우량도의 작성」이라는 보고서에서 전국적으로 주요 도시에 위치한 기상청 산하 24개 측후소에 대해 재현기간 2, 5, 10, 20, 50, 100년, 200년, 그리고 지속시간 30분, 1, 2, 3, 6, 12, 24시간에 대하여 전대수지에 도시하여 이 곡선을 제시하고 쉽게 이용할 수 있게 하였다. 그림 4.1은 이 중에서 서울 지점에서 측정된 연최대치 계열을 이용하여 작성한 강우강도-지속기간-빈도 곡선(rainfall intensity-duration-frequency curves)을 나타낸 것이다.

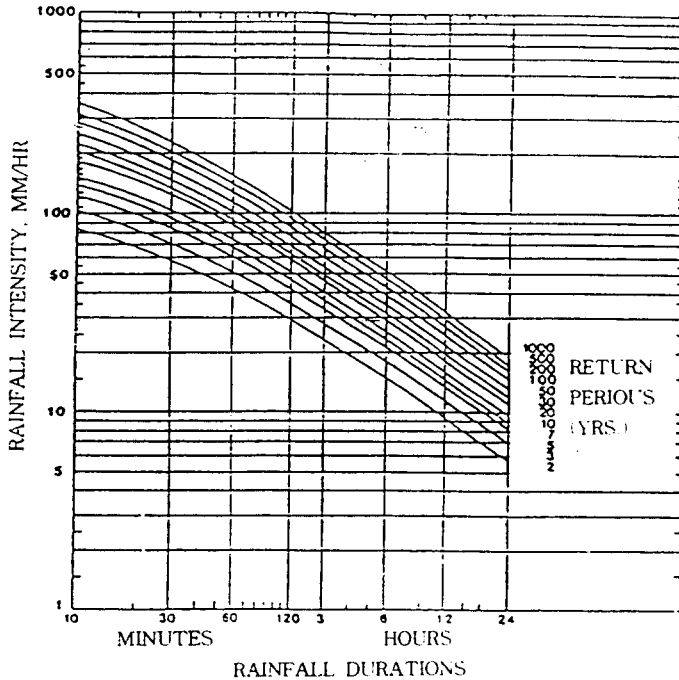


그림 4.1 서울지점의 강우강도-지속기간-빈도 곡선(건설부,1988a)

### 3.2.3 확률강우량도에 의한 지점 확률강우량의 산정

1. 확률강우량도(rainfall frequency atlas)는 어떤 유역이나 전국적으로 산정된 지점별 확률강우량값을 지도상에 등우선으로 나타낸 것으로서 수공구조물 설계에 많이 이용되는 재현기간과 지속기간별로 표시하는 것이 일반적이다. 이렇게 작성된 확률강우량도를 이용하면 미세측 지역의 설계강우량을 쉽게 결정할 수 있을 뿐만 아니라 전국적으로 일관성있게 수공구조물을 설계할 수 있고 실용적인 면에서 편리를 도모할 수 있다.
2. 건설부(1988a)는 「한국확률강우량도의 작성」이라는 보고서에서 도서 지방을 포함하여 전국적으로 관측된 건설부 산하 188개와 기상청 66개의 우량관측소 자료를 이용하여 지속기간 30분, 1, 2, 3, 6, 12, 24시간과 재현기간 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200년의 총 49매의 확률강우량도(축척 1:1,000,000, 시군 행정단위 표시)를 작성하여 실무에서 직접 이용할 수 있도록 제시하였다.

3. 이 확률강우량도를 이용할 때에는 우선 각 지점 확률강우량이 연최대치 계열을 이용하여 산정한 것이므로 재현기간 10년 이하의 확률강우량을 채택할 때는 표 4.2에서 제시한 연초과치 계열로 환산하는 계수를 곱하여야 하고 또한, 휴전선 인근 지역과 일부 도서지방(제주도와 울릉도를 제외)은 실질적으로 지점 확률강우량을 얻을 수가 없어서 외삽된 것이므로 이 지역에서 확률강우량을 채택할 때는 주의할 필요가 있다.
4. 지점 확률강우량은 실제로 해당 지점과 인근 유역 면적(주로 25.9 km<sup>2</sup> 이내)에서만 정확한 값을 얻을 수 있다. 그러나 계획 대상 지역에서 그 동안 관측된 강우 자료가 부족하여 강우강도-지속기간-빈도 공식 또는 곡선이 개발되어 있지 않거나 기존에 개발된 지점이 지나치게 떨어져 있어 직접 이용하기가 어려운 지역은 사업 계획에 따라 이 공식 또는 곡선이 필요하다고 판단되면 앞에서 설명한 확률강우량도를 이용하여 다음과 같은 절차에 의해 유도한다.

#### 1) 확률강우량 읽기

확률강우량도에서 계획 대상 지점을 찾아 지속기간(30분에서 24시간) 및 재현기간(2년에서 200년)에 따른 확률강우량을 직접 읽는다. 이때 등우선 간격이 크거나 그 지점을 지나가는 등우선이 없으면 인접한 두 개의 등우선에서 읽은 값을 사용하여 보간한다.

#### 2) 강우강도 도시 및 강우강도-지속기간-빈도 곡선 작성

강우강도-지속기간-빈도 곡선이 필요하면, 지속기간 및 재현기간별로 읽은 확률강우량(mm단위)을 각각 지속기간으로 나누어 강우강도(mm/hr)를 구하고 이것을 전대수지에 도시한다. 도시된 지속기간별 강우강도를 매끈하게 연결하여 재현기간별로 강우강도-지속기간-빈도 곡선을 그리고 필요한 지속기간과 재현기간의 강우강도를 이 곡선에서 읽는다.

#### 3) 강우강도-지속기간-빈도 공식 유도

강우강도-지속기간-빈도 공식이 필요하면, 특정 지속기간(주로 120에서 180분) 이하의 강우강도를 적절한 공식(주로 Sherman형, Talbot형, Japanese형(石黒형))을 이용하여 재현기간별로 최소자승법 등에 의해 최적 강우강도-지속기간-빈도 공식을 구한다. 그리고 유도된 공식에 필요한 지속기간을 대입하여 재현기간별 강우강도를 계산한다.

#### 4) 강우강도의 보정

재현기간 10년 이하의 강우강도를 이용할 때는 유도된 곡선이나 공식에서 구한 값에 표 4.2에 제시된 연초과치 계열 환산계수를 곱하여 그 지점의 확률강우강도를 얻는다.

### 3.3 설계강우의 지속기간 결정

**3.3.1** 설계강우의 지속기간은 대상유역 크기, 강우 지속기간 특성, 홍수유출 형태, 그리고 계획대상 시설의 종류들을 명확히 고려하여 결정하는 것이 원칙이다. 그러나 설계하고자 하는 수공구조물의 주된 기능이 홍수소통용인지, 아니면 홍수저류용인지에 따라 구분하여 설계강우 지속기간을 책정할 필요가 있다.

#### 3.3.2 홍수소통용 구조물의 지속기간

1. 해당 유역에서 설계하고자 하는 수공구조물이 하류의 제방이나 도시 우수관거 등과 같이 홍수소통용인 경우에는 해당유역의 홍수도달시간 또는 집중시간을 설계강우의 지속기간으로 채택한다.

#### 3.3.3 홍수저류용 구조물의 지속기간

1. 해당 유역에서 홍수저류용 수공구조물을 설계하거나 도달시간이 큰 유역(주로 자연하천유역)에 수공구조물을 계획할 때에는 침투홍수량 뿐만 아니라 홍수용적까지도 고려해야 하며, 통상 임계 강우지속기간(critical rainfall duration)을 결정하여 이를 설계강우의 지속기간으로 채택한다.
2. 임계지속기간이란 동일한 확률강우량 조건하에서 유역의 침투홍수량이 최대가 되게 하는 강우의 지속기간을 의미한다. 따라서, 강우강도식이나 기타 방법에 의해 확률강우량이 결정되면 이를 여러 가지 지속기간으로 가정하고 시간분포시켜 강우-유출모형으로 홍수유출을 계산한 후 제일 큰 침투홍수량을 발생시키는 강우지속기간을 선정하게 되며, 이에 상응하는 홍수수문곡선을 저류구조물의 용량 결정에 사용하게 된다.
3. 현재 국내에서는 대상유역의 설계강우량의 임계지속기간에 대한 검토없이 단순히 1일 최대우량 또는 일확률강우량을 모노노베 공식에 적용하여 시간강우량으로 환산한 다음, 크기 순서대로 중앙집중 형태로 분포시켜 설계우량주상도를 작성하는 방법이 널리 이용되고 있으나 이는 일본에서 유수지를 설계할 때 사용하는 기준으로서 국내에서 1일이나 24시간에 대한 명확한 해석이나 연구가 없었던 점을 고려할 때, 이것을 설계강우 지속기간으로 하는 것은 부적절하며, 임계지속기간 개념의 도입이 요망된다. 특히 설계강우의 시간분포형을 모노노베의 중앙집중형으로 분배하여 결정하는 것은 주의할 필요가 있다.

### 3.4 설계강우의 시간분포 결정

- 3.4.1 수공구조물을 설계하고자 하는 유역에서 채택된 설계강우량으로부터 설계홍수량을 계산하기 위해서는 강우의 시간분포를 표시하는 설계 우량 주상도를 결정하여야 한다.
- 3.4.2 설계강우의 시간분포를 결정할 수 있는 방법에는 Mononobe, Keifer—Chu, Huff, Pilgrim—Cordery 및 Yen—Chow 방법 등(한국건설기술연구원, 1989)이 있다.
- 3.4.3 그 동안 국내에서는 우리 나라 강우특성이 반영된 강우 시간분포가 특정 지점을 제외하고 전국적으로 적절히 제시되지 못한 상태에서 단순히 모노노베 공식을 이용하여 시간구간별로 배분하거나 어떤 강우사상을 가지고 무차원화하여 실무에서 이용하여 왔으나 한국건설기술연구원(1989)은 「지역별 설계강우의 시간적 분포」라는 보고서에서 기상청 산하 69개 관측소의 자기우량기록지에서 읽은 10분 단위 우량자료를 가지고 전술한 바 5개 방법을 사용하여 해석하였으며, 그 이용 방법과 각 방법에 따른 기준치를 제시한 바 있다.
- 3.4.4 상기 5개 방법중 Huff의 4분위법이 최근의 국내 실무에서 많이 사용되고 있다.

## 제 4 절 손실우량과 유효우량

### 4.1 개설

- 4.1.1 대부분의 강우—유출관계 모형은 총강우량중의 유효우량과 이로 인한 유역 출구에서의 직접 유출량간의 관계를 계산하는 모형이며 총 홍수량은 모형으로 계산된 직접 유출량에 적절히 추산된 기저유량을 합하여 계산된다. 따라서, 홍수유출계산을 위해서는 모형의 입력이 되는 유효우량의 시간적 분포를 표시하는 유효우량주상도를 총우량주상도로부터 작성하여야 한다.
- 4.1.2 여기서는 총우량주상도로부터 시간구간별 손실우량을 제외시켜 유효우량주상도를 작성하는 절차에 국한하여 언급하기로 한다.

## 4.2 유효우량 산정 방법의 분류 및 선택

### 4.2.1 산정 방법의 분류

1. 일정비법(constant fraction method)은 그림 4.2.a에서 볼 수 있는 바와 같이 시간구간별 강우량의 일정비가 손실되고 나머지가 유효우량이 된다고 가정하여 유효우량을 계산하는 방법이다. 이 방법에서는 과도한 선행 강우를 가정하므로 유역의 지표면이 거의 포화되어 있을 경우에는 비교적 정확한 결과를 주는 것으로 알려져 있다.
2. 일정 손실률법(constant loss rate method)은 그림 4.2.b에서와 같이 강우 기간 동안의 손실률 또는 침투능이 일정하다고 가정하는 방법으로  $\phi$ -index방법과 동일한 개념을 가진다. 이 방법은 유역의 선행 토양함수량이 많고 큰 호우를 대상으로 하는 설계 입장에 적절한 방법이다.
3. 초기 손실-일정 손실률법(initial loss-constant loss rate method)은 그림 4.2.c에서와 같이 유역의 토양수분 미흡량이 초기 침투량으로 충족될 때까지는 유출이 발생하지 않으며 초기 손실이 발생한 이후에는 일정율로 손실된다고 가정하는 방법으로 유역이 비교적 건조한 상태에 있을 경우 적절한 방법이다.
4. 침투능 곡선법(infiltration curve method)은 그림 4.2.d에서와 같이 강우가 계속됨에 따라 토양의 침투율이 감소하는 특성을 표시하는 Horton, Holtan, Phillips 등의 침투능 곡선으로 시간구간별 손실량을 계산하는 방법이며, 이론적으로는 가장 합리적인 방법이나 유역의 상태에 맞는 침투능 곡선의 계산이 어렵다.
5. 표준형 강우-유출관계 곡선법(standard rainfall-runoff relation curve method)은 그림 4.2.e에서와 같이 광범위한 수문관측자료의 분석으로 유역의 유출 특성 조건에 따른 강우량과 유효우량의 관계를 설정해 둬으로써 특정 강우량이 발생했을 경우의 유효우량을 산정하는 방법이다. 이 방법에 속하는 가장 대표적인 방법은 미국 토양보존국(U.S. Soil Conservation Service, SCS)의 유효우량 산정법으로 유역의 토양형, 식생 피복형 및 처리 상태 등의 유출 특성과 선행 토양함수 조건등을 고려하는 객관성이 높은 것으로 알려져 있으며 미국내 유역에서는 광범위한 검정이 이루어졌으나 다른 지역 하천유역에서의 신뢰도는 추가적인 검정이 필요하다.

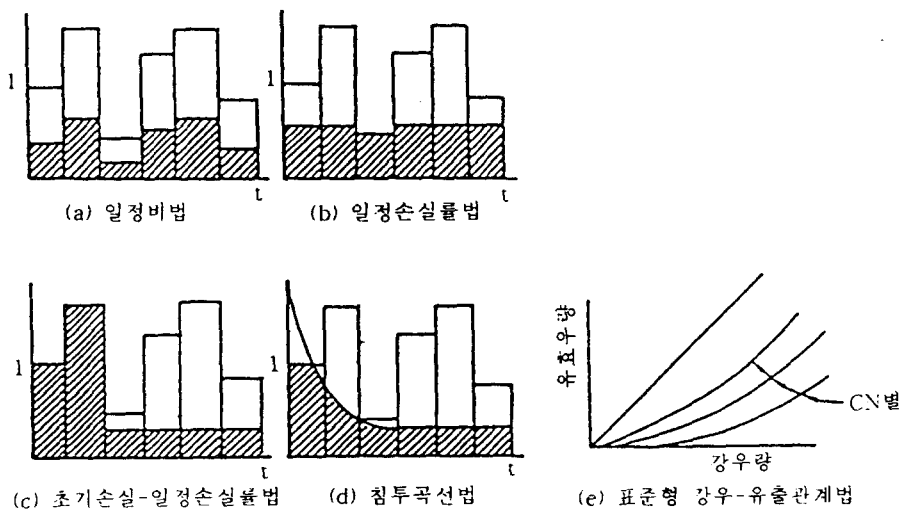


그림 4.2 유효우량 산정 방법의 분류

#### 4.2.2 산정 방법 선택

1. 강우손실량의 계산에 의한 유효우량의 산정을 위한 4.2.1절의 5가지 방법의 검정은 대상 유역에서 이미 발생한 호우의 강우-유출자료를 정밀 분석하여 이루어져야 하며 그 결과로 얻어지는 손실우량 분리법이 실무에 사용되어야 하나 국내 실무의 경우는 우리나라 중소유역에 대한 유출량의 실측 자료가 부족하여 강우 손실량의 계산을 위한 위의 각종 방법이 설정되어 있지 않아 유효우량의 계산에 어려움이 많으나 비교적 객관성이 높고 유역의 지상인자의 결정에 의해 계산이 가능한 미국 토양보존국(SCS)의 유효우량 산정법이 가장 많이 사용되고 있다.
2. SCS 방법은 우리나라 유역에 대하여 실측자료로 검정된 방법이 아니므로 사용에 세심한 주의가 필요하다.

#### 4.2.3 유출계수 사용법

1. 유출계수의 사용법은 유효우량 산정법의 분류 가운데 일정비법에 해당하는 방법이다. 일반적으로 합리식에 의해 홍수량을 계산할 때 사용하는 방법이므로 다양한 유역 상태에 대한 유출계수 값이 제시되어 있으므로 유효우량의 범위를 결정하는데 참고할 수 있다. 유출계수는 유역의 형

60 제 4 장 설계강우 및 홍수량

상, 지표면 피복상태, 식생 피복상태 및 개발상황 등을 감안하여 결정하여야 하며, 표 4.4는 각종 문헌에서 추천하고 있는 유역상태별 평균 유출계수값을 표시하고 있다.

표 4.4 평균 유출계수

1) 5~10년 빈도 홍수량에 대한 도시 지역의 평균 유출계수(미국토목학회, ASCE)

매(사질토)	0.05~0.20	공업지역	0.50~0.90
경사 0~2%	0.05~0.10	비밀집 구역	0.50~0.80
경사 2~7%	0.10~0.15	밀집 구역	0.60~0.90
경사 7%이상	0.15~0.20	녹지, 기타	0.10~0.25
매(세립토)	0.13~0.35	공원, 묘지	0.10~0.25
경사 0~2%	0.13~0.17	경기장	0.20~0.35
경사 2~7%	0.18~0.22	철도 조차장	0.20~0.40
경사 7%이상	0.25~0.35	미개발 구역	0.10~0.30
상업지역	0.50~0.95	도로	0.70~0.95
도심지역	0.70~0.95	아스팔트	0.70~0.95
도심근접지역	0.50~0.70	콘크리트	0.80~0.95
주거지역	0.25~0.75	벽돌	0.70~0.85
호당 1가족인 구역	0.30~0.50	보도, 주차장	0.75~0.85
호당 다수가족인 건물이 떨어진 구역	0.40~0.60	지붕	0.75~0.95
호당 다수가족인 건물이 인접해 있는 구역	0.60~0.75		
아파트구역	0.50~0.70		
교외 주거 지역	0.25~0.40		

2) 자연하천 유역의 유출계수(Rouse, H.)

유역 상태	평균유출계수, C
급경사 산지	0.75~0.90
기복이 있는 토지와 수림	0.50~0.75
평탄한 전지	0.45~0.60
관개중인 답	0.70~0.80
산지 하천	0.75~0.85
평지 하천	0.45~0.75
유역의 반 이상이 평지인 큰 하천	0.50~0.75



## 3) 비도시지역 평균 유출계수(Schwab, R. J.)

지형과 식생	토 양 구 조		
	사질토	점토실트토	조밀점토
삼림			
평탄(falt)	0.10	0.30	0.40
완만기복(rolling)	0.25	0.35	0.50
가파른(hilly)	0.30	0.50	0.60
목초지			
평탄	0.10	0.30	0.40
완만기복	0.16	0.36	0.55
가파른	0.22	0.42	0.60
경작지			
평탄	0.30	0.50	0.60
완만기복	0.40	0.60	0.70
가파른	0.52	0.72	0.82

주) 평탄(경사 0~5%), 완만기복(경사 5~10%), 가파른(경사 10~30%)

## 4) 유역 상태에 따른 유출계수(한국도로공사 도로설계요령)

포장면 및 비탈면	0.9	도시지역	0.7
가파른 산지	0.8	잡지	0.6
가파른 계곡 경작지	0.8	경작하는 평탄지	0.5
논	0.8	경작하는 계곡	0.6
완만한 산지	0.7	수림	0.3
완만한 경작지	0.7	밀림수림과 덩불숲	0.2

## 4.3 미국 토양보존국의 유효우량 산정법

## 4.3.1 총우량—유효우량 관계식

1. SCS 유효우량 산정법의 기본이 되는 총우량—유효우량 관계식은 다음과 같이 표시된다.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad (4.4)$$

여기서,  $F$ 는 강우지속기간동안의 총우량(또는 누가우량, mm)이며  $S$ 는 유역의 최대 잠재보유수량(mm)이고,  $Q$ 는 총우량  $F$ 로 인한 직접유출량(mm)으로서 유효우량에 해당한다.

2. 식 (4.4)는 강우 시점으로부터 어떤 시간까지 내린 누가우량  $F$ 로 인한 직접 유출량(또는 유효우량),  $Q$ 는  $F$ 와  $S$ 의 함수이며  $F$ 가 커짐에 따라 커지고  $S$ 가 커짐에 따라 작아짐을 표시하고 있다. 어떤 유역의 최대 잠재보유수량(potential maximum retention)  $S$ 는 유역이 최대로 보유할 수 있는 수분량을 표시하는 것으로서 침투 및 저류능력을 대표하며 유역의 직접 유출능력을 지배한다.

SCS에 의하면 직접 유출능력을 표시하는 유출곡선지수(runoff curve number)  $CN$ 은  $S$ 와 다음과 같은 관계를 가진다.

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad (4.5)$$

따라서, 유역의 직접 유출능력을 표시하는 유역평균  $CN$  값이 결정되면 식 (4.5)에 의해  $S$ 가 계산되고 이를 식 (4.4)에  $F$ 와 함께 대입함으로써 누가 유효우량  $Q$ 를 계산할 수 있다.

#### 4.3.2 유출곡선지수의 결정

1. 유출곡선지수  $CN$ 은 일반적으로 수문학적 토양형과 식생 피복 및 처리 상태하에서는 선행 토양함수 조건에 따라 일정한 값을 가지며 SCS는 이를 도표화하여 사용하고 있다.

##### 1) 수문학적 토양형의 분류

SCS는 미국 전역에 분포된 토양 종류와 그 특성을 조사하여 토양의 유출률의 크기 역순으로 A, B, C, D형의 4가지 유형으로 분류하였으며 미국내 분포되어 있는 수많은 명칭의 토양 종류를 이들 4개형중 하나로 분류하여 유출률의 정도를 표시하도록 하였다. 우리 나라의 경우에도 전국에 걸쳐 토양도(1:25,000 및 1:50,000도)가 작성되어 있고 토양 명칭별로 총유출의 정도에 따라 A, B, C, D형으로 분류할 수 있도록 토양도에 그 특성이 서술되어 있다.

##### 2) 식생피복 및 처리상태

유역의 토양이용형태에 따른 식생피복과 그의 처리 상태는 유출률에 영향을 미치므로 대상 유역이 도시화된 유역인지 또는 경작지를 포함하는 자연하천유역인지를 토지이용도 등을 사용하여 파악하여야 한다.

##### 3) 유역의 선행 토양함수 조건

유역의 유출능력은 선행 강수량으로 인한 선행 토양함수 정도에 크게 영향을 받는다. SCS는 유역의 선행 토양함수 조건(Antecedent Soil Moisture Condition; AMC)을 5일 선행강수량의 크기에 따라 표 4.5와 같이 AMC—I, AMC—II, AMC—III의 세가지로 분류하였다.

표 4.5에서 우리나라의 경우 비성수기는 대략 10월~5월, 성수기는 6월~9월로 간주할 수 있으며 AMC—I, II, III의 순으로 토양의 수분 함유량이 크므로 유역의 유출률은 높을 것임을 알 수 있다.

표 4.5 선행 토양함수 조건의 분류

AMC	5일 선행강수량(mm)	
	비성수기	성수기
I	< 13	< 36
II	13~28	36~53
III	> 28	> 53

4) AMC—II 조건하의 토양형-식생피복형별 유출곡선지수

유역의 식생 피복형 및 처리 상태, 처리 상태별 침투 조건, 그리고 토양형 등에 따라 SCS는 장기간 동안의 조사 분석에 의하여 유출곡선지수를 결정할 바 있으며 표 4.6과 4.7은 각각 농경 지역 및 삼림 지역과 도시 지역에 대한 CN 값을 표시하고 있다.

5) AMC—II 조건으로부터 다른 AMC 조건으로의 유출곡선지수 변환

표 4.6와 표 4.7은 AMC—II 조건하에서의 토양형-식생 피복형 유출곡선지수를 표시하며 유역의 선행 토양함수 조건이 AMC—I 또는 AMC—III일 경우는 유출곡선지수를 변경시켜 주어야 한다. AMC—I은 AMC—III의 경우보다 5일 선행강수량이 적으므로 유역의 침투능이 커서 유출률은 작아질 것이며 AMC—III는 반대로 유출률이 커지는 경우가 된다. SCS는 이를 감안하여 표 4.8과 같이 CN 값의 환산표를 작성하였으며 이를 식으로 표시하면 다음과 같다.

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 + 0.058CN(II)} \quad (4.6)$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)} \quad (4.7)$$

여기서 CN(I), CN(II), CN(III)는 각각 AMC—I, II, III 조건하에서의 유출곡선지수이다.

표 4.6 농경 지역 및 삼림 지역의 유출곡선지수(AMC-II 조건하)

식생 피복 및 토지이용상태	피복처리상태	토양의 수문학적 조건	토양형			
			A	B	C	D
휴경지(fallow) 이랑 경작지(row crops)	경사경작(straight row)	-	77	86	91	94
	경사경작	배수나쁨	72	81	88	91
	경사경작	배수 좋음	67	78	85	89
	등고선경작(contoured)	배수나쁨	70	79	84	88
	등고선 경작	배수 좋음	65	75	82	86
	등고선, 테라스 경작	배수나쁨	66	74	80	82
	등고선, 테라스 경작	배수 좋음	62	71	78	81
조밀 경작지 (small grains)	경사 경작	배수나쁨	65	76	84	88
	경사 경작	배수 좋음	63	75	83	87
	등고선 경작	배수나쁨	63	74	82	85
	등고선 경작	배수 좋음	61	73	81	84
	등고선, 테라스 경작	배수나쁨	61	72	79	82
	등고선, 테라스 경작	배수 좋음	59	70	78	81
콩과식물(close- seeded legumes) 또는 윤번초지 (rotation meadow)	경사 경작	배수나쁨	66	77	85	89
	경사 경작	배수 좋음	58	72	81	85
	등고선 경작	배수나쁨	64	75	83	85
	등고선 경작	배수 좋음	55	69	78	83
	등고선, 테라스 경작	배수나쁨	63	73	80	83
	등고선, 테라스 경작	배수 좋음	51	67	76	80
목초지(pasture) 또는 목장(range)		배수나쁨	68	79	86	89
		배수 보통	49	69	79	84
		배수 좋음	39	61	74	80
	등고선 경작	배수나쁨	47	67	81	88
	등고선 경작	배수 보통	25	59	75	83
	등고선 경작	배수 좋음	6	35	70	79
초지(meadow)		배수 좋음	30	58	71	78
삼림(woods)		배수나쁨	45	66	77	83
		배수 보통	36	60	73	79
		배수 좋음	25	55	70	77
관목숲(forests)	매우 듕성 듕성	-	56	75	86	91
농가(farm steads)		-	59	74	82	86

표 4.7 도시 지역의 유출곡선지수(AMC-II 조건하)

피복상태	평균 불투 수율 (%)	토양형			
		A	B	C	D
개발된 도시 지역(식생처리됨)					
개활지(잔디, 공원, 골프장, 묘지 등)					
나쁜 상태(초지 피복률이 50% 이하)		68	79	86	89
보통 상태(초지 피복률이 50~75%)		49	69	79	84
양호한 상태(초지 피복률이 75% 이상)		39	61	74	80
불투수 지역					
포장된 주차장, 지붕, 접근로 (도로경계선을 포함하지 않음)		98	98	98	98
도로와 길					
포장된 곡선길과 우수거 (도로경계선을 포함하지 않음)		98	98	98	98
포장길;배수로(도로경계선을 포함)		83	89	92	93
자갈길(도로경계선을 포함)		76	85	89	91
흙길(도로경계선을 포함)		72	82	87	89
도시 지역					
상업 및 사무실 지역	85	89	92	94	95
공업 지역	72	81	88	91	93
주거 지역(구획지 크기에 따라)					
150평 이하	65	77	85	90	92
300평	38	61	75	83	87
400평	30	57	72	81	86
600평	25	54	70	80	85
1,220평	20	51	68	79	84
1,440평	12	46	65	77	82
개발중인 도시 지역		77	86	91	94

표 4.8 AMC별 유출곡선지수간의 관계

AMC I	AMC II	AMC III	AMC I	AMC II	AMC III	AMC I	AMC II	AMC III	AMC I	AMC II	AMC III
100	100	100	80	63	91	60	40	78	40	22	60
99	97	100	79	62	91	59	39	77	39	21	59
98	94	99	78	60	90	58	38	76	38	21	58
97	91	99	77	59	89	57	37	75	37	20	57
96	89	99	76	58	89	56	36	75	36	19	56
95	87	98	75	57	88	55	35	74	35	18	55
94	85	98	74	55	88	54	34	73	34	18	54
93	83	98	73	54	87	53	33	72	33	17	53
92	81	97	72	53	86	52	32	71	32	16	52
91	80	97	71	52	86	51	31	70	31	16	51
90	78	96	70	51	85	50	31	70	30	15	50
89	76	96	69	50	84	49	30	69			
88	75	95	68	48	84	48	29	68	25	12	43
87	73	95	67	47	83	47	28	67	20	9	37
86	72	94	66	46	82	46	27	66	15	6	30
85	70	94	65	45	82	45	26	65	10	4	22
84	68	93	64	44	81	44	25	64	5	2	13
83	67	93	63	43	80	43	25	63	0	0	0
82	66	92	62	42	79	42	24	62			
81	64	92	61	41	78	41	23	61			

#### 4.3.3 SCS 유효우량 산정법의 적용 절차

1. 유역에 대한 총우량으로부터 유효우량을 계산하기 위해서는 유역의 토양형, 식생 피복 및 처리 상태 등을 고려한 국지별 CN 값을 결정한 후, 이를 면적 가중평균하여 유역평균 유출곡선지수 CN을 계산한 후, AMC 조건에 따라 CN 값을 환산하여 식 (4.5)로 S를 구하고, 이를 식 (4.4)에 대입하여 구한다.
2. 대상 유역에 대한 총우량주상도로부터 유효우량주상도를 작성하는 절차를 요약하면 다음과 같다.
  - 1) 대상 유역의 축척 1:25,000인 정밀토양도(농촌진흥청 농업기술연구소, 1984) 또는 정밀토양해설도(1991)에 나와 있는 토양 종류를 고려하여

전유역을 SCS의 유효우량 산정법에서처럼 토양형을 A, B, C, D로 분류하여 구분하다(그림 4.3 참조)

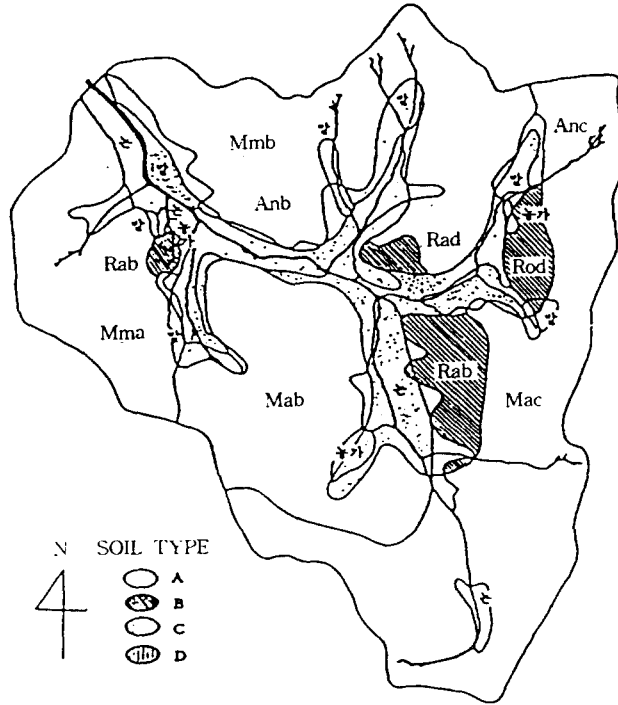


그림 4.3 경안천 대표시험유역의 토양형-토지이용별 분포도

- 2) 유역의 토지이용 및 식생 피복 상태를 표 4.6 또는 표 4.7의 분류에 따라 토지이용도 또는 지형도상에 구분하여 1)항에서 이미 구분된 토양도와 겹친다(그림 4.3 참조).
- 3) 유역의 토양형-식생 피복형별 분포 면적을 2)항에서 작성된 도면상에서 구격기로 구하고 이들 면적을 가중인자로 하여 표 4.6 또는 표 4.7을 사용하여 결정한 CN 값을 유역 평균함으로써 대상 유역의 평균 유출곡선지수(AMC-II 조건하)를 계산한다.
- 4) 실제 호우 분석의 경우는 분석 대상 강우 이전의 5일 선행강우량을 계산하여 표 4.5의 기준에 의거 AMC를 결정하고 이에 따라 3)항에서 결정된 CN을 그대로 사용하거나 AMC-I 또는 AMC-II의 경우는

표 4.8 또는 식 (4.6), (4.7) 등에 의해  $CN$ 을 환산한다. 설계호우의 경우는  $AMC-III$  또는  $AMC-II$ 로 가정하는 것이 안전 측이다.

- 5) 4)에서 최종적으로 결정된  $CN$ 을 식 (4.5)에 대입하여  $S$ 를 계산하여 식 (4.4)에 대입한다.
- 6) 5)에서 설정된 총우량-유효우량 관계식에 강우시점으로부터 어떤 시각 까지의 누가우량  $F$ 를 대입하면 그 시각까지의 누가유효우량이 계산된다.
- 7) 주어진 총우량주상도를 시간구간별로 누가하여 계단형 누가우량곡선을 작성한 후 시각별 누가우량을  $P_t$ 로 하여 식 (4.4)에서  $Q_t$ 를 구하고 다음의 관계식에 의해 시간구간  $\Delta t$ 별 유효우량,  $\Delta Q$ 를 계산함으로써 유효우량주상도를 작성할 수 있다. 즉,

$$\Delta Q = Q_t - Q_{t-1} \quad (4.8)$$

여기서  $Q_t$ 와  $Q_{t-1}$ 은 각각 시각  $t$ 와 전 시각  $(t-1)$ 에 대하여 계산된 유효우량(mm)이다.

## 제 5 절 유역의 반응시간

### 5.1 정의 및 이용범위

5.1.1 유역에 내리는 강우에 의해 첨두유량이 발생하는 시간적 특성이나 수리학적으로 유역이 어떠한 반응을 일으키는지를 시간으로 나타낸 것을 유역 반응시간이라고 한다. 유역 반응시간중 소유역의 홍수량 계산을 위해 필요한 인자는 유역의 도달시간(time of concentration)과 지체시간(lag time)이며, 수문학적 모형화와 설계에서 중요한 부분 중의 하나는 유역이 갖는 이들 시간적 특성을 구하는 것이다.

5.1.2 예를 들어 합리식을 이용하여 도시 우수관망 등을 설계할 때는 설계호우의 지속기간을 결정하기 위해 유역 도달시간의 추정이 필요하며, 유역의 합성 단위도를 유도할 때는 지체시간을 추정하여야 한다.



## 5.2 도달시간 또는 집중시간의 결정

### 5.2.1 경험공식의 선택 기준

1. 도달시간 또는 집중시간을 정의하는 방법에는 두 가지가 있다. 첫째는 유역에서 수리학적으로 가장 먼 곳에 내린 물입자가 유역 출구점(또는 설계지점)까지 도달하는 데 걸리는 시간이다. 둘째는 어떤 유역에서 내린 강우와 유출수문곡선을 바탕으로 유효우량이 끝나는 점에서 직접유출 수문곡선 하강부 곡선의 변곡점까지를 취한 시간을 말한다.
2. 유역 도달시간을 산정할 수 있는 경험 공식이나 방법은 표 4.9와 같다. 이 경험 공식들은 해당 지역의 수리학적 특성에 따라 극히 제한된 범위에서 제한된 자료를 가지고 개발된 것들이지만 현재까지 국내 유역에 적용할 수 있도록 개발된 공식이 없으므로 계획하는 지역의 수리 수문특성을 파악하여 적절한 공식을 선정하여 이용하는 것이 바람직하다. 여기에서는 각 공식이 개발된 원래의 식과 단위를 수록하고 있으므로 필요할 경우에는 해당 지역의 실정에 맞게 단위를 환산하여 이용하여야 한다.

표 4.9 자연 하천 유역의 도달시간 공식

공식명 (발표년도)	공식( $T_c$ , min)	제한사항 또는 비고
Kirpich (1940)	$T_c = 0.0013L^{0.775}S^{-0.385}$ $L$ = 하도길이(ft) $S$ = 하도경사(H/L, ft/ft) $H$ = 유역출구점과 본류 최원점까지의 표고차	지표면 흐름이 지배적인 농경지 소유역, 하도경사가 3~5% 유역면적 0.453 km <sup>2</sup> 이하
Kraven	$T_c = 0.444LS - 0.515$ $L$ = 하도길이(km) $S$ = 하도경사(H/L, m/m)	지표면 흐름이 지배적인 중하류, 하도경사가 1/200 이하인 유역
Rziha	$T_c = 0.833LS^{0.6}$ $L$ = 하도길이(km) $S$ = 하도경사(H/L, m/m)	지표면 흐름이 지배적인 상류 하도경사 1/200 이상인 유역

### 5.2.2 도달시간 또는 집중시간의 결정 절차

1. 유역의 도달시간을 결정하기 위해서는 유역의 가장 먼 곳에서 출구까지 물의 흐름 과정을 분석하여야 한다. 도달시간은 하도 흐름과 지표면 흐름에서의 흐름 시간으로 구성되며 유역의 특성에 따라 다음과 같은 공식을

적용할 수 있다.

1) 하도 흐름이 지배적인 유역

하도 흐름이 주된 경우의 유역 도달시간은 일반 수리학에서 개수로 평균유속 공식을 이용하여 하도 길이를 유속으로 나눔으로써 쉽게 구할 수 있다. 이때 적용될 수 있는 평균유속 공식은 Manning 공식 또는 Chezy 공식 등을 사용하며, 주된 하도가 도시 우수관거일 때는 적절한 Hazen-Williams 공식과 같은 경험공식을 사용하여 유속을 계산한다.

2) 지표면 흐름이 지배적인 자연하천유역

지표면 흐름이 지배적인 유역에서 도달시간은 주로 지표면의 지형학적 요소(지표면 경사  $S$ , 지표면 흐름길이  $L$  등)와 저항계수(합리식의 유출계수  $C$ , Manning의 조도계수  $n$  등), 그리고 유역에 내리는 강우강도의 영향을 받는다. 이러한 흐름에 적용될 수 있는 도달공식은 주로 자연하천 유역에서 Kraven 공식, Rziha 공식 등이 이용된다.

3) 하도와 지표면 흐름이 복합된 유역

하도와 지표면 흐름이 중요한 역할을 하는 유역에 적용될 수 있는 대표적인 공식은 Kirpich 공식이다.

### 5.3 지체시간 결정

5.3.1 지체시간은 어떤 유효우량의 중심과 침투유량 또는 직접유출량의 중심이 발생하는 시점의 시간차로 정의되고, 흐름의 평균유속에 대한 흐름 길이의 비로 특성지을 수 있으며 유역의 형상, 본류의 하도 경사, 하도의 형상, 그리고 호우 형상에 의해 달라지는 특성을 가지고 있다.

유역 지체시간은 언급한 바와 같이 정의 방법에 따라 (1) 유효우량주상도의 중심과 직접유출용적 중심 사이의 시간차( $T_1$ ) 또는 (2) 유효우량주상도 중심과 직접유출량의 침투유량 발생시간 사이의 시간차( $T_F$ )로 정의할 수 있으며, 유역이나 하도의 수리·수문학적 특성에 따라 경험적으로 만들어진 유역 지체시간을 산정할 수 있는 공식을 선정하여 결정하여야 한다.

5.3.2 표 4.10은 자연하천 유역의 지체시간 결정을 위해 사용되는 대표적인 경험공식을 간추린 것이다.

표 4.10 자연 하천 유역에 대한 지체시간 공식

공식명 (발표년도)	공식( $T_I$ , $T_P$ , hr)	제한사항 또는 비고
Snyder (1938)	$T_P = C_t(L_{ca} \cdot L)^{0.3}$	$C_t$ 는 1.8에서 2.2, 유역 면적 10 mi <sup>2</sup> 에서 10,000 mi <sup>2</sup> 에 적용(미국 Appalachian 유역)
Linsley (1945)	$T_I = KL\sqrt{A/S_c}$ $T_P = C_t(L_{ca} \cdot L)^{0.3}$	$C_t$ 는 0.3에서 1.2를 가짐
Clark (1945)	$T_I = KL/\sqrt{S_c}$	$K$ 는 0.8에서 2.2를 가짐
SCS (1975)	$T_P = \{L_w^{0.8} (10,000/CN-9)^{0.7}\} /$ $(1,900\sqrt{S_o})$	SCS TR-55 참조

여기서  $A$ : 유역 면적(mi<sup>2</sup>),  $CN$ : SCS 유출곡선지수,  $K$ : 상수,  $L$ : 본류의 하도 길이(mi),  $L_{ca}$ : 하류 관측점에서 본류를 따라 유역 중심에 가장 가까운 본류상의 점까지 측정된 거리(mi),  $L_w$ : 유역의 수리학적 길이(ft),  $S_c$ : 유역 출구점과 최원점의 표고차를 본류 길이로 나눈 본류 평균 경사(H/L, ft/mi), 그리고  $S_o$ : 유역 평균 경사(%)를 각각 나타낸다.

## 제 6 절 설계홍수량의 추정

### 6.1 단순홍수량 공식

#### 6.1.1 합리식

- 합리식은 침투홍수량을 산정하기 위한 간편한 방법으로서 저류 효과를 고려할 필요가 없는 소규모의 하천유역에 국한하여 사용함이 원칙이다. 합리식에 의한 침투홍수량의 계산은 다음 식에 의한다.

$$Q_P = \frac{1}{3.6} CIA = 0.2778 CIA \quad (4.9)$$

또는

$$Q_P = \frac{1}{360} CIA^* \quad (4.10)$$

여기서  $Q_P$ 는 첨두홍수량( $m^3/sec$ ),  $C$ 는 무차원의 유출계수,  $I$ 는 유역의 도달시간을 강우 지속시간으로 하는 특정 발생 빈도의 강우강도 ( $mm/hr$ ),  $A$ 는 유역면적( $km^2$ ), 그리고  $A^*$ 는 유역면적( $ha$ )이다.

2. 합리식은 유역의 최원점에 내린 비가 유역 출구에 나타나기 까지의 시간인 유역의 도달시간을 지속시간으로 하는 특정 발생 빈도의 최대 강우강도에 유역의 물리적 상태를 나타내는 유출계수와 유역면적을 곱하여 첨두홍수량을 계산하게 된다.
3. 합리식은 다음과 같은 가정하에 제안된 공식이므로 이하의 가정에 가급적 가까운 유출 특성을 가지는 유역에 적용함이 바람직하다.
  - 1) 어떤 강우강도  $I$ 의 강우에 의한 홍수량  $Q$ 는 그 강도의 강우가 유역의 도달시간과 같거나 더 큰 시간동안 계속될 때 최대치에 도달한다.
  - 2) 강우의 지속시간이 유역의 도달시간과 같거나 길 때 강우강도  $I$ 인 강우에 의한 첨두홍수량  $Q_P$ 는 그 강우강도  $I$ 와 직선적 관계를 가진다.
  - 3) 첨두 홍수량의 발생 확률은 주어진 도달시간에 대응하는 강우강도의 발생 확률과 동일하다.
  - 4) 유출계수  $C$ 는 각각 다른 발생확률을 가지는 강우-유출 사상에 관계없이 동일하다.
  - 5) 유출계수  $C$ 는 어떤 유역에 내리는 모든 강우에 대하여 동일하다.
4. 지금까지의 연구 조사 결과에 따르면 상술한 합리식의 전제 조건들은 강우의 침투 및 요지 저류 효과가 적은 도시화된 유역 및 수원부 계류의 소유역에 잘 맞는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 유역 면적이 커지면 저류효과가 커지고 합리식의 선형 강우-유출 관계 가정등 각종 전제조건이 성립되지 않으므로 사용에 주의를 요하며 적용할 수 있는 유역 면적의 크기는 확정적으로 들수는 없으나 약  $2.5km^2$ (Ponce,1989) 이하로 제한하고 있으므로 소하천 유역의 경우에는 그 적용에 큰 무리가 없는 것으로 알려져 있다.

### 6.1.2 가지야마(梶山) 극대홍수량 공식

1. 가지야마의 극대홍수량 공식은 유역면적( $A$ )의 크기에 따라 다음의 두 가지로 표시된다.

$$A < 42.91 \text{ km}^2 \text{ 일때}$$

$$Q = CA^{(1.016 - 0.1135 \log A)} \quad (4.11)$$

$A \geq 42.91 \text{ km}^2$  일 때

$$Q = 1.886CA^{(0.6784 - 0.0101 \log A)} \quad (4.12)$$

여기서  $Q$ 는 극대홍수량( $\text{m}^3/\text{sec}$ ),  $C = F(310 + R_{24})(4 + A/L^2)$ ,  $F$ 는 유역의 경사와 유출능을 표시하는 상수,  $A$ 는 유역면적( $\text{km}^2$ ),  $L$ 은 유로연장( $\text{km}$ ),  $R_{24}$ 는 유역의 과거 최대 24시간 강우량( $\text{mm}$ )이다.

2. 가지야마 공식은 1922년 가지야마(梶山)가 우리나라의 8개 대소하천의 12개 지점에서 발생한 과거 최대홍수량과 이에 상응하는 24시간 강우량을 사용하여 개발한 공식을 추가자료를 보완하여 수정한 단순홍수량 공식으로 유역의 유출특성을 대표하는 상수  $F$  값은 표 4.7과 같다. 참고로 소하천 유역은 유역면적이 작으므로 식 (4.11) 만을 이용하여 계산할 수 있다.
3. 가지야마 극대 홍수량 공식에서 홍수량  $Q$ 는  $F$ 에 직접 비례하며 표 4.11의  $F$  값이 0.0072~0.0104의 범위에 있으므로 사용자의 주관에 따라 31~41%의 오차가 생길 수 있다. 원래 가지야마 공식은 홍수의 발생 빈도 개념이 없었으나 국내에서는  $R_{24}$ 에 빈도별 일최대강우량을 적용하여 빈도 홍수량을 계산하고 있으며, 지금까지 국내 실무에서 적용해 본 결과 대체적으로 과대한 홍수량이 계산되는 것으로 알려져 있다. 따라서, 이 공식은 계획 홍수량의 결정을 위해 사용해서는 곤란하며 보다 나은 홍수량 계산 방법에 의한 결과와 비교할 목적으로 사용하는 것이 바람직하다.

표 4.11 유역의 유출 특성 상수( $F$ )

유역 상태	$F$ 값
임야가 적고 유출이 많은 급경사 유역	0.0104
비교적 유출이 많은 유역	0.0096
유출이 보통인 유역	0.0088
비교적 유출이 적은 유역	0.0080
유출이 대단히 적은 유역	0.0072

## 6.2 합성 단위유량도법

### 6.2.1 개설

1. 합성단위 유량도법은 단위도의 특성 변수인 침투유량점에서의 유량과 발생 시간, 유출 기저시간의 중점 시각등이 유역의 지상인자인 유역 면적, 유로연장 및 경사등과 높은 상관성을 가진다는 전제하에 이들 특성 변수들을 경험 공식으로 계산하여 단위도를 작도하는 방법이며, 작성시 단위도 아래의 면=적이 유역 전체에 걸친 단위 유효우량(1cm)과 같아야 한다는 점은 일반적인 단위유량곡선과 동일하다. 단위도의 특성 변수 결정을 위한 경험 공식은 광범위한 유역내 여러 중소유역에서 계측된 수문자료로부터 유도된 단위도의 특성변수를 해당 유역의 지형특성인자와 상관시켜 결정되는 것이므로 지역화된 공식이라 할 수 있으며, 소하천 유역에 적용이 가능하다.
2. 지금까지 제안된 합성 단위유량도법에는 여러 가지가 있으며 대표적인 방법에는 Snyder 방법, 미국 토양보존국(SCS) 방법, 일본의 나카야스(中安) 종합단위도법 등이며 우리나라의 경우 한강, 금강 및 낙동강 유역에 대하여 Snyder형의 합성 단위도법에 관한 연구를 수행한 바 있으나 연구 당시의 수문 자료 부족으로 신뢰도가 낮아 공인되지는 못하고 있는 실정이다.

### 6.2.2 Snyder의 합성 단위유량도법

1. 이 방법은 미국 Appalachian 산맥 지역의 여러 계측 유역에 대한 분석으로부터 개발되었으며 단위도의 침투홍수량의 크기 및 발생 시간과 단위도의 기저시간 길이를 유역의 지형 특성 인자와 상관시키는 경험 공식을 사용하여 3개점을 매끈하게 연결시킴으로써 단위도를 작성하는 방법이다.
2. Snyder의 합성 단위유량도법에서는 지속시간  $t_R$  시간인 단위도를 합성하기 위해 침투홍수량의 발생시각( $t_{PR}$ , hrs) 및 크기( $Q_{PR}$ ,  $ft^3 / sec$ )와 유출 기저시간의 길이( $T_R$ , day)를 각각 다음 식으로 계산하게 된다(그림 4.4 참조).

$$t_{PR} = t_P + \frac{1}{4}(t_R - t_r) \quad (4.13)$$

여기서  $t_P = C_t(L \cdot L_c)^{0.3}$ ,  $t_r = t_P/5.5$  이고,  $L, L_c$ 는 각각 유역의 본류 연장(mi) 및 유역 출구 지점으로부터 유역 중심에서 본류에 내린

수선의 교차점까지의 거리(mi)이고,  $C_1$ 는 유역 특성 상수로서 미국 Appalachian 산맥 지역에서는 1.8~2.2의 값을 가지는 것으로 알려져 있다.

한편,

$$Q_{PR} = C_P \frac{640A}{t_{PR}} \quad (4.14)$$

$$T_R = 3 + 3 \left( \frac{t_{PR}}{24} \right) \quad (4.15)$$

여기서  $A$ 는 유역 면적(mi<sup>2</sup>),  $C_P$ 는 유역 특성 변수로서 Appalachian 산맥 지역에서는 0.56~0.69의 값을 가지는 것으로 알려져 있다.

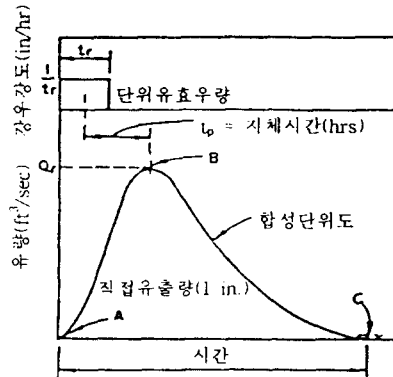


그림 4.4 Snyder의 합성단위유량도법

Snyder의 합성 단위유량도는 결국 좌표점  $(0, 0)$ ,  $(t_{PR} + 0.5t_r, Q_{PR})$  및  $(T_R, 0)$ 을 매끈하게 연결하되 스캐치가 된 단위도 아래의 면적이 1 inch의 직접 유출고가 되도록 하여야 하며 이 방법에서 사용되는 단위제도는 영국단위제이므로 SI 단위제로 계산코자 한다면 단위 환산이 필요하다.

- 미국 육군 공병단에서는 Snyder 방법에서 3점을 사용해서 단위도를 스캐치하는 데서 발생하는 주관적인 오차를 줄이기 위해 다음과 같은 경험식을 제안하여 4개점을 추가함으로써 보다 더 객관적인 스캐치가 가능하도록 하였다.

$$W_{50} = \frac{770}{q_p^{1.08}} \quad (4.16)$$

$$W_{75} = \frac{440}{q_p^{1.08}} \quad (4.17)$$

여기서  $W_{50}$ 와  $W_{75}$ 는 각각 침투홍수량의 50% 및 75%되는 유량에 해당하는 단위도의 시간폭(hrs)이며  $q_p$ 는 단위 유역 면적당 침투홍수량( $\text{ft}^3/\text{sec}/\text{mi}^2$ )이다.

### 6.2.3 US/SCS 합성 단위유량도법

1. 이 방법은 미국 토양보전국(US/SCS)이 미계측유역의 유량도를 작성하기 위해 미국내 여러 지역의 대소유역으로부터 유도한 단위도의 특성을 종합하여 만든 무차원 단위도를 이용하는 방법으로 그림 4.5에 표시된 바와 같은 무차원 수문곡선을 사용하며 이를 위해 침투홍수량  $Q_F(\text{ft}^3/\text{sec})$ 와 강우 시작 시간으로 부터 침투홍수량 발생 시각까지의 시간장경  $t_F(\text{hrs})$ 를 다음 식으로부터 구한다.

$$Q_P = \frac{484A}{t_P} \quad (4.18)$$

$$t_P = \frac{1}{2} t_r + t_g \quad (4.19)$$

여기서  $A$ 는 유역 면적( $\text{mi}^2$ )이고,  $t_g$ 는 유역의 지체시간(lag time, hrs)이며,  $t_r$ 은 유도되는 단위도의 지속시간(hrs)이다.

또한, SCS에 따르면 식 (4.19)의  $t_r$ 과  $t_g$ 는 각각 다음의 경험식을 이용하여 계산한다.

$$t_r = 0.133 t_c \quad (4.20)$$

$$t_g = 0.6 t_c \quad (4.21)$$

여기서  $t_c$ 는 해당 유역의 홍수 도달시간(hrs)을 표시한다.

따라서, 그림 4.5를 표의 형태로 표시한 표 4.8의 무차원 시간별 무차원 홍수량을  $t_F$ 와  $Q_F$ 를 차원화하면 유량-시간( $Q-t$ ) 관계를 얻게 되며 이것이 바로  $t_r$ 시간 합성단위도가 된다.



표 4.8 SCS 무차원 단위도의 시간별 종거

$t/t_F$	$Q/Q_F$	$t/t_F$	$Q/Q_F$	$t/t_F$	$Q/Q_F$	$t/t_F$	$Q/Q_F$
0.0	0.000	0.9	0.990	1.7	0.460	3.0	0.055
0.1	0.030	1.0	1.000	1.8	0.390	3.2	0.040
0.2	0.100	1.1	0.990	1.9	0.330	3.4	0.029
0.3	0.190	1.2	0.930	2.0	0.280	3.6	0.021
0.4	0.310	1.3	0.860	2.2	0.207	3.8	0.015
0.5	0.470	1.4	0.780	2.4	0.147	4.0	0.011
0.6	0.660	1.5	0.680	2.6	0.107	4.5	0.005
0.7	0.820	1.6	0.560	2.8	0.077	5.0	0.000
0.8	0.930						

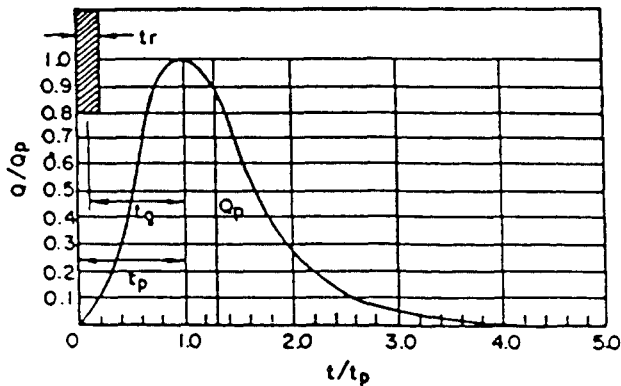


그림 4.5 SCS의 무차원 단위유량도

#### 6.2.4 나카야스(中安)의 종합 단위도법

1. 나카야스(中安)의 종합 단위도법은 US/SCS 방법과 같이 무차원 단위도의 특성치를 일련의 경험 공식으로 결정하여 단위도를 합성하는 방법으로 일본내 중소유역을 대상으로 개발되었으나 국내 수문 실무에 널리

사용되어 왔다.

2. 나카야스(中安, Nakayasu)는 Horner와 Flynt가 소유역에서의 수문자료 분석으로 유도한 단위도를 일본 하천유역에 적용하여 단위도 특성치를 다음과 같이 결정하여 합성단위도를 작도할 수 있도록 하였다. 유효우량의 지속시간, 즉 단위도의 지속시간이  $t$ , (hrs)인 단위도는 그림 4.6에서와 같이 스케치할 수 있으며 이를 위한 단위도 특성치의 계산 공식은 다음과 같다.

$$Q_{\max} = \frac{1}{3.6} \frac{AR_0}{(0.3T_1 + T_{0.3})} \quad (4.22)$$

여기서  $A$ 는 대상 유역의 면적(km<sup>2</sup>),  $R_0$ 는 단위 유효우량(mm)으로 통상 1cm = 10mm가 사용되며,  $T_1$ 은 유출시점으로부터 최대유량  $Q_{\max}$ 까지의 시간(hr),  $T_{0.3}$ 은 유량이 최대 유량의 0.3배로 감소하기까지의 소요시간(hrs)이다.

그림 4.6과 같은 단위도의 상승부 곡선은 다음 식으로 표시된다. 즉,

$$0 < t < T_1 \text{ 일 때 } \frac{Q_t}{Q_{\max}} = \left(\frac{t}{T_1}\right)^{2.4} \quad (4.23)$$

또한 단위도의 하강부곡선은 다음과 같은 3개의 곡선으로 표시된다. 즉,

$$0.3 < \frac{Q_t}{Q_{\max}} < 1.0 \quad \frac{Q_t}{Q_{\max}} = 0.3^{(t-T_1)/T_{0.3}} \quad (4.24)$$

$$0.3^2 < \frac{Q_t}{Q_{\max}} < 0.3 \quad \frac{Q_t}{Q_{\max}} = 0.3^{(t-T_1+0.5T_{0.3})/1.5T_{0.3}} \quad (4.25)$$

$$\frac{Q_t}{Q_{\max}} < 0.3^2 \quad \frac{Q_t}{Q_{\max}} = 0.3^{(t-T_1+1.5T_{0.3})/2.0T_{0.3}} \quad (4.26)$$

식 (4.23)~(4.26)의  $T_1$ 과  $T_{0.3}$ 은 유역 특성 인자의 함수로 표시된다.

$$T_1 = t_g + 0.8t, \quad (4.27)$$

여기서  $t_g$ 는 유역의 지체시간(hrs)을 대표하며 유역의 유로 연장(L)의 크기에 따라 다음과 같이 표시된다.

$$L \leq 15\text{km} \text{ 일 때 } t_g = 0.21L^{0.7} \quad (4.28)$$

$$L > 15\text{km} \text{ 일 때 } t_g = 0.4 + 0.058L \quad (4.29)$$

한편,

$$T_{0.3} = 0.47(AL)^{0.25} \quad (4.30)$$

여기서 A는 유역 면적(km<sup>2</sup>)이다.

이상의 전개를 따르면 식 (4.22)에서  $R_o=10\text{mm}$ 로 하고  $T_1$ ,  $T_{0.3}$ 을 식 (4.27) 및 (4.30)으로부터 구하여  $Q_{\max}$ 를 구한 후 식 (4.23)~(4.26)를 이용하면 t, 시간 단위도의 종거  $Q_t$ 를 구할 수 있어 단위도의 합성이 가능하다.

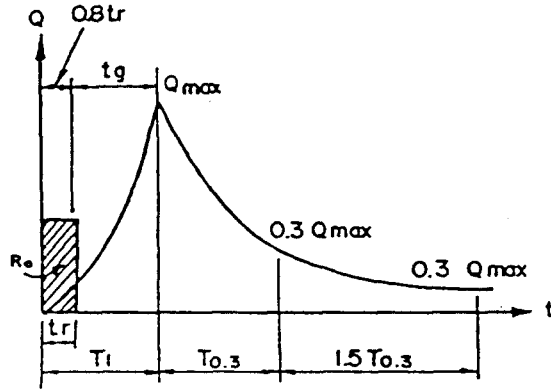


그림 4.6 나카야스(中安)의 종합 단위도

3. 이상에서 언급한 나카야스(中安)의 종합 단위도는 우리 나라 유역의 실측 자료를 사용하여 검증된 바는 없으나 일본의 하천 유역 특성이 우리 나라 하천 유역 특성과 비슷하리라는 가정과 국내 합성단위도법의 개발이 수문자료 부족으로 현재까지 진행되지 못한 이유 때문에 국내 실무에서 많이 사용되고 있으나 앞으로 검증 절차가 필요하며 사용시 주의를 요한다.

### 6.3 유역 홍수추적법

#### 6.3.1 개설

1. 유역 홍수추적법은 하천유역을 일련의 저수지 또는 일련의 저수지와 하도로 구성되었다고 가정하여 개개 저수지를 통해 다음과 같은 저류방정식을 풀이하는 수문학적 홍수추적 방법으로 순간 단위유량도를 유도한 후, 이를 적용하여 특정 호우로 인한 홍수 유출수문곡선을 계산하거나 또

는 저수지로의 유입량을 직접 계산하여 저류방정식에 입력하여 유출량을 구함으로써 홍수유출 수문곡선을 얻는 방법이다. 즉,

$$I - O = \frac{dS}{dt} \quad (4.31)$$

여기서  $I$ 와  $O$ 는 저수지로의 시간별 유입량( $m^3/sec$ ) 및 유출량( $m^3/sec$ )이고,  $S$ 는 저수지내 저류량( $m^3$ , 또는  $(m^3/sec \cdot day)$ )이다.

- 이들 추적 방법에는 저수지의 저류량( $S$ )과 유출량( $O$ ) 관계를 선형으로 가정하는 선형 모형과 이들 관계를 비선형으로 가정하는 비선형 모형이 있으며, 전자에 속하는 대표적인 모형에는 Nash모형과 Clark모형이 있고, 후자에 속하는 대표적인 모형은 우리 나라 홍수에정보 프로그램에 사용되고 있는 저류함수법이 있다.

### 6.3.2 Nash 모형

- Nash모형은 저수지의 저류량( $S$ )은 방류량( $O$ ) 직접 비례한다는  $S=KO$ 로 가정하는 선형 모형으로 유역이  $n$ 개의 선형저수지로 구성되어 있다고 가정하여 다음 식으로 유역의 순간단위유량도의 종거를 계산한다.

$$O_n(t) = \frac{1}{K(n-1)!} \left(\frac{t}{K}\right)^{n-1} e^{-t/K} \quad (4.32)$$

여기서  $O_n(t)$ 는 유역 출구 지점에서의 시간( $t$ )별 홍수량이고,  $K$ 는 저수지의 저류상수(storage constant)이다.

- 식 (4.32)는 유역 전반에 걸쳐 순간적으로 내린 단위 유효우량( $1cm=10mm$ )을 그림 4.7에서와 같이  $n$ 개의 가상 저수지를 통해 선형 추적하여 유역의 순간 단위유량도의 종거치( $cm/hr$ )를 계산하는 식으로서  $O_n(t)$ 에 유역 면적  $A(km^2)$ 를 곱한 후  $m^3/sec$  단위로 환산하면 시간별 홍수량으로 표시되는 유역 순간 단위도가 된다. 식 (4.32)에 의한 계산을 위해서는 가상 저수지의 수  $n$ 과 저류상수  $K$ 값의 결정이 필요하며, 이는  $K \cdot n =$  유역지체시간,  $t_g(\text{hrs})$  라는 가정하에 실측 자료에 의한 검증 과정에 의해  $K$ 와  $n$ 값을 적절히 결정함이 원칙이다. 수문자료가 없을 경우에는 다음과 같은 경험식으로  $K(\text{hrs})$  값을 결정하고  $n = t_g/K$ 로 정하여 식(4.32)에 의해 순간 단위도를 계산한다.

$$\text{Clark식} : K = C \frac{L}{\sqrt{S}} \quad (4.33)$$

$$\text{Linsley식} : K = bL \sqrt{\frac{A}{S}} \quad (4.34)$$

여기서  $L$ 은 유로 연장(km),  $A$ 는 유역 면적(km<sup>2</sup>),  $S$ 는 유로 경사(%)이며  $C$ 는 0.5~1.4,  $b$ 는 0.01~0.03의 값을 가지는 상수이다.

3. 이상과 같이  $O_n(t)$ 의 계산에 의해 순간 단위유량도가 계산되면 이를 정수배 방법으로  $t$ 시간 단위도로 변환한 후 설계 유효우량주상도에 이를 적용함으로써 완전한 형태의 직접 홍수유출수문곡선을 얻을 수 있다.
4. 본 방법은 국내 유역에 한정적으로 검정된 바 있으나,  $K$ 와  $n$ 값이 홍수사상별로 크게 변화할 뿐만 아니라 기저유량의 분리 방법에 따라서도 대단히 민감하며 첨두홍수량이 대체로 너무 크게 계산되는 것으로 알려져 있어 우리나라 유역에 대한 보다 폭 넓은 검정없이는 사용에 큰 무리가 있는 방법이라 생각된다.

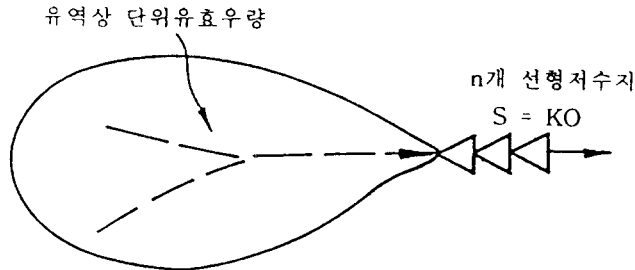


그림 4.7 Nash 모형

### 6.3.3 Clark 유역추적법

1. Clark의 유역추적법은 그림 4.8과 같이 해당유역의 출구에 1개의 저수지가 있다고 가정하여 유역 전반에 순간적으로 내린 단위 유효우량(1cm)으로 인한 유수가 단순 전이(pure translation)에 의해 저수지로 유입하여 저수지의 저류추적 과정을 거치는 것으로 가정하여 홍수추적함으로써 유역의 순간 단위유량도를 계산하게 된다. 유역의 순간 단위유량도가 일단 계산되면 원하는 지속기간 단위도로의 변환은 정수배 방법으로 쉽게 이루어지며 이를 설계우량 주상도에 적용함으로써 설계홍수 수문곡선을 계

산할 수 있다.

이 방법을 특정 호우사상에 국한하여 적용하고자 할 경우에는 순간 단위 유량도의 유도과정을 거치지 않고 시간-면적곡선에 우량주상도를 적용하여 출구저수지로의 유입수문곡선을 계산하여 홍수추적함으로써 직접 유역출구지점에 대한 설계홍수수문곡선을 계산할 수도 있다.

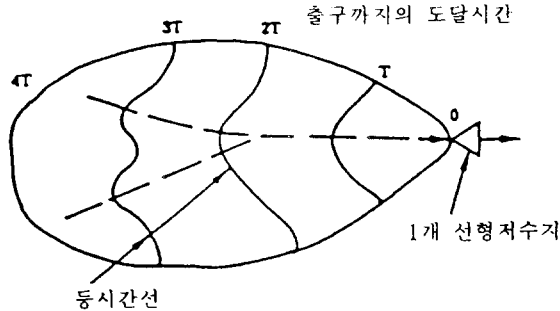


그림 4.8 유역추적법

## 2. 시간-면적곡선의 작성

- 1) 유역출구 지점의 유출량에 기여하는 시간 구간별 배수면적을 표시하는 주상도를 시간-면적 주상도(time-area histogram)라 하며, 이는 그림 4.9에서 처럼 동시 도달시간에 의한 소유역 구분으로 작성될 수 있다. 동시간선(等時間線)에 의한 소유역 구분을 위해서는 우선 전유역의 홍수 도달시간(또는 집중시간)  $t_c$ 를 결정하여야 하며 실측 유출 수문곡선이 있을 경우에는 그림 4.10에서와 같이 결정할 수 있지만 소하천 유역의 경우에는 대부분 실측 수문곡선이 없으므로 Kraven, Rziha 공식이나 다음과 같은 공식등에 의해 계산하게 된다. 즉,

$$\text{호주 동부 지역의 경우 } t_c = 0.19 \left( \frac{L}{S} \right)^{0.40} \quad (4.35)$$

여기서  $t_c$ 는 홍수 도달시간(hrs),  $L$ 은 유로 연장(km),  $S$ 는 유로의 평균경사이다.

- 2) 일단 전유역의 도달시간( $t_c$ )이 결정되고 나면 유로 길이( $L$ )를  $t_c$ 로 나눔으로써 평균유속( $V$ )을 계산할 수 있으며 유로를 따른 홍수류의 평균유속이 전하도 구간에 걸쳐 대체로 일정하다고 가정하고(水源部

- 에서는 약간 빠르다고 가정할 수도 있음) 본류를 따라 등시간 구간으로 구분하며, 지표면을 통한 유하속도는 하도에서의 유하속도보다 느리고 경사가 대체로 큰 지류 하천에서의 유속은 본류 하도에서 보다는 빠른 점을 감안하여 적절한 판단으로 등시간선을 그리게 된다.
- 3) 이와 같이 등시간선으로 전유역을 여러 개의 소유역으로 구분하고 나면 등시간선간의 면적을 도상 측정하여 전시간폭이  $t_c$ 인 시간-면적주상도를 얻게 된다.

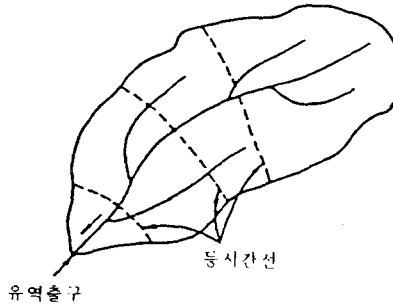


그림 4.9 (a) 등시간선에 의한 소유역 분할

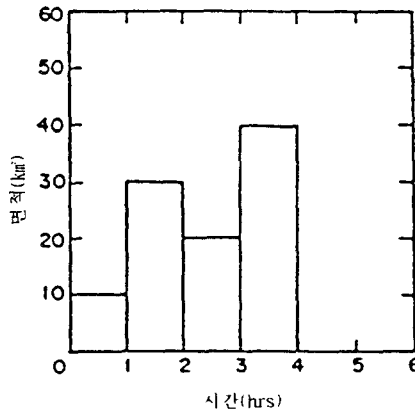


그림 4.9 (b) 시간-면적주상도의 작성

3. 유역추적에 의한 순간 단위유량도의 유도

- 1) Clark 방법에 의한 유역의 순간 단위유량도는 그림 4.9와 같은 유역

에 순간적으로 내리는 단위 유효우량(1cm)으로 인한 유역 출구점에서의 유입 홍수수문곡선을 계산하고, 이를 출구부에 가정한 1개의 선형 저수지를 통해 홍수추적하여 유도한다.

- 2) 그림 4.9와 같은 유역에 순간적으로 내리는 단위 유효우량으로 인해 유역 출구 지점의 가상 저수지로 등시간 구간  $\Delta t$  시간동안 유입하는 홍수량은 다음 식으로 표시된다.

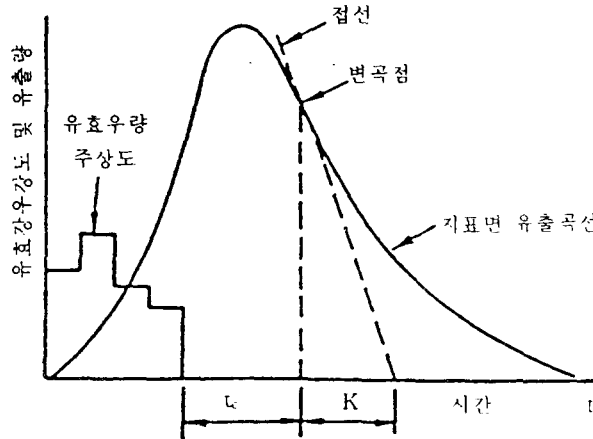


그림 4.10 K와 C의 정의

$$I_i = \frac{1}{0.36} \frac{A_i}{\Delta t} \quad (4.36)$$

여기서  $I_i$ 는 시간 구간  $i$ 에서 유입량( $\text{cm}^2/\text{sec}$ )이며,  $A_i$ 는  $i$ 번째 시간 구간에 포함되어 있는 소유역 면적( $\text{km}^2$ )이다.

선형 저수지 가정에 따르면

$$S = KO \quad (4.37)$$

여기서  $S$ 는 저수지의 저류량( $\text{m}^3/\text{sec} \cdot \text{hr}$ ),  $O$ 는 저수지로부터의 유출량이며,  $K$ 는 저수지의 저류상수( $\text{hrs}$ )이다. 식 (4.37)을 저류 방정식에 넣고 계산 시간 구간  $\Delta t$  단위별로 유출량을 계산하는 식으로 정리하면

$$O_2 = m_0 I_2 + m_1 I_1 + m_2 O_1 \quad (4.38)$$



여기서  $I_1, I_2$ 는 시간 구간  $\Delta t$ 의 시점 및 종점 시각에서의 유입량( $m^3/sec$ )이고  $O_1, O_2$ 는 각각 유출량( $m^3/sec$ )을 표시한다.

또한,

$$m_0 = \frac{0.5\Delta t}{K + 0.5\Delta t} \quad (4.39)$$

$$m_1 = \frac{0.5\Delta t}{K + 0.5\Delta t} \quad (4.40)$$

$$m_2 = \frac{K - 0.5\Delta t}{K + 0.5\Delta t} \quad (4.41)$$

3. 식 (4.38)에 의한 추적 계산을 위해서  $O_1 = 0$  으로 하여 계산을 시작하며  $m_0, m_1, m_2$ 는 식 (4.39)~(4.41)에 의해 계산하여야 하므로 저류상수  $K$  값의 결정이 필수적이다.

#### 4. 저류상수 $K$ 의 산정

1) Clark의 홍수추적에 필요한 저류상수  $K$ 는 유역 출구에 대한 홍수 수문곡선 실측 자료가 있을 경우와 없을 경우 각각 다른 방법으로 추정한다.

홍수수문곡선 자료가 있을 경우의 첫번째 방법은 그림 4.10에 표시한 바와 같이 수문곡선의 변곡점에서의 유량  $O_T$ 를 그 점에 그은 접선의 경사 ( $dO/dt$ )로 나누어주는 방법이다. 즉,

$$K = \frac{-O_T}{(dO/dt)_T} \quad (4.42)$$

두번째 방법은 그림 4.11에서와 같이 변곡점으로부터 미소시간  $\Delta T$ 만큼 떨어진 시간 구간의 수문곡선하 면적  $A(m^3/sec \cdot hr)$ 을  $\Delta T$ 의 시점 및 종점 시각 유량차 ( $O_1 - O_2$ ), ( $m^3/sec$ )로 나누어 계산하는 방법이다. 즉,

$$K = \frac{A}{(O_1 - O_2)} \quad (4.43)$$

2) 이상의 방법은 이론적으로는 타당하나 실제 자료로부터  $K$  값을 계산할 경우 수문자료나 분석자에 따라 너무 큰 편차를 보이므로 사용에

주의를 요하며, 또한 대부분의 경우 이들 수문 실측 자료가 없는 것이 보통이므로  $K$  값은 전술한 바 있는 식 (4.33), (4.34) 또는 다음과 같은 경험 공식으로 추정하는 경우가 많다.

$$\text{호주 동부지역 : } K = 0.70L^{0.57} \quad (4.44)$$

$$\text{호주 서부지역 : } K = 3.90L^{0.71} \quad (4.45)$$

$$\text{호주 Queensland 지역 : } K = 0.09L^{1.03} \quad (4.46)$$

여기서  $L$ 은 유로 연장(km),  $K$ 는 저류상수(hrs)이다.

식 (4.44)~(4.46)으로부터 알 수 있는 바와 같이 경험 공식에 의한  $K$  값의 추정은 사용하는 공식에 따라  $K$  값에 크게 차이가 생기므로 공식이 유도된 지역에 국한하여 사용하는 것이 원칙이며 다른 유역에 적용시 주의를 요한다.

- 3) 우리나라의 경우는 Clark의 유역추적법을 계획홍수량의 결정에 많이 사용하고 있으나  $K$  값이나 전술한 바 있는  $t_c$ 의 결정을 위한 지역 공식이 아직 개발되어 있지 못한 실정이므로 현명한 공학적 판단을 요한다

5. 순간 단위유량도를 사용한 설계 홍수수문곡선의 계산

- 1) Clark 방법으로 순간 단위유량도가 유도되면 설계 유효우량 주상도의 시간 구간을 지속시간으로 하는 단위도로 변환시킨 후 이를 적용함으로써 설계 홍수수문곡선을 계산할 수 있다.

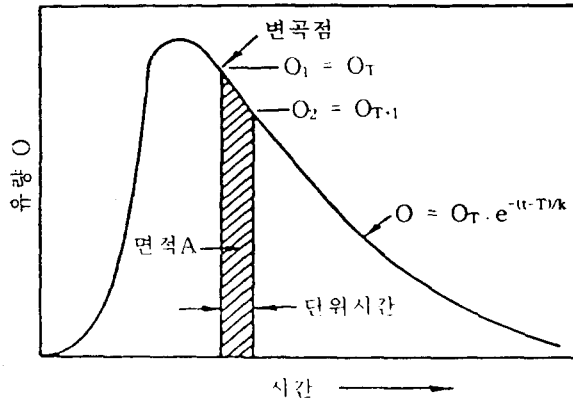


그림 4.11  $K$  값의 결정

- 2) 전술한 절차에 의해 유역의 순간 단위도가 유도되면 채택된 설계 유효우량 주상도의 시간 구간과 동일한 시간을 지속기간으로 하는 단위도로 정수배 방법으로 쉽게 변환할 수 있다.
  - 3) 이와 같이 단위도의 지속기간을 설계 유효우량 주상도의 시간 구간과 일치시키고 나면 단위도에 시간 구간별 유효우량을 적용하여 비례 가정으로 축차 계산하고 이를 중첩 가정으로 단순 합산함으로써 직접 홍수유출 수문곡선을 얻게 되며 여기에 기저유출 수문곡선을 적절히 합산하면 설계 홍수수문곡선을 작성할 수 있다.
6. Clark 방법에 의한 설계 홍수수문곡선의 직접 계산
- 1) Clark의 유역추적 방법에 의하면 유역의 순간 단위유량도를 유도하지 않고 시간-면적곡선에 설계 유효우량도를 적용하여 설계 직접유출 수문곡선을 직접 계산할 수도 있다.
  - 2) 어떤 특정 시간 구간의 단일 유효우량 주상도에 대한 홍수유출 계산만을 하고자 할 경우에는 다음의 절차에 의해 Clark 방법에 의한 직접 계산도 가능하다.  
 첫째로, 대상 유효우량 주상도의 시간 구간과 동일한 시간 구간을 사용하여 등시간선을 그려 시간-면적주상도를 작성한다.  
 둘째로, 단순 유수 전이를 가정하여 다음 식에 의해 저수지로의 유입 수문곡선의 종거  $I_i$ (m<sup>3</sup>/sec)를 계산한다.

$$I_j = \frac{1}{0.36} \sum_{i=1}^j R_i A_{j+1-i}, \quad (4.47)$$

여기서  $R_i$ 는 시간구간( $\Delta t$ )별 유효 강우강도(cm/hr)이며,  $A_{j+1-i}$ 는 등시간선도의 면적(km<sup>2</sup>)이다.

셋째로, 식 (4.47)로 계산된 유입 수문곡선을 식 (4.38)에 의해 저류추적하여 유출 수문곡선을 계산한다. 이 추적을 위해서는  $K$ 값의 추정과 식 (4.39)~(4.41)에 의한  $m_0$ ,  $m_1$ ,  $m_2$ 의 계산이 필요하다.