

## 1.1 단위도

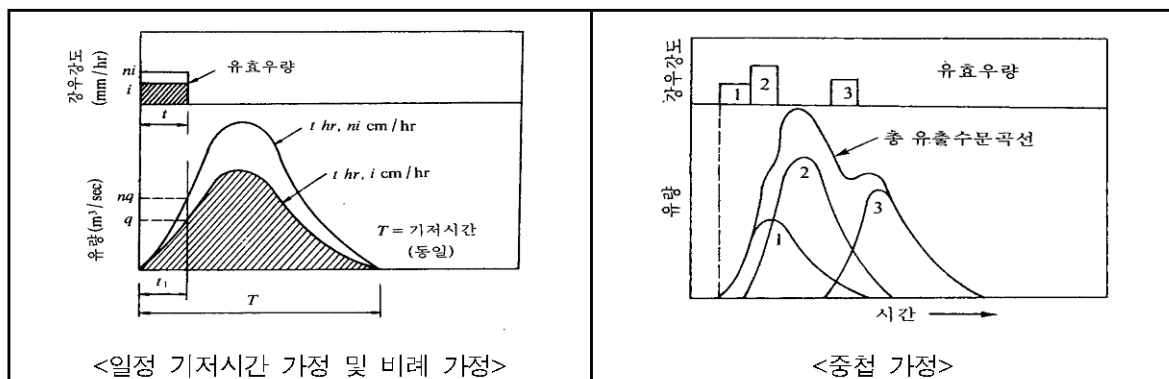
### 1.1.1 단위도의 기본이론

#### 가. 단위도의 정의

- 단위도 또는 단위유량도는 「특정 단위시간 동안 균일강도로 유역 전반에 걸쳐 균등하게 내리는 단위 유효우량(unit effective rainfall)으로 인하여 발생하는 직접유출수문곡선」으로 정의
  - 특정 단위시간 : 강우의 전체지속기간을 일정한 간격으로 구성하는 시간, 검토대상 유역의 크기나 강우의 지속기간에 따라 다양한 단위시간을 설정할 수 있으며 일반적으로 소유역에서는 5분, 10분 등을 대규모유역에서는 30분, 1시간 등을 이용한다.

#### 나. 단위도의 3대 가정

- 일정 기저시간 가정 : 동일유역에 균일한 강도로 비가 내릴 경우 지속시간은 같으나 강도가 다른 각종 강우로 인한 유출량은 그 크기는 다를지라도 유하기간(직접유출의 시간적 분포를 나타내는 수문곡선은 기저시간)은 동일
- 비례 가정 : 동일한 유역에 균일한 강도로 비가 내릴 경우 지속시간은 같으나 강도가 다른 각종 강우로 인한 직접유출수문곡선의 종거는 임의 시간에 있어서 강우강도에 직접 비례. 즉, 단위도의 단위기간동안 단위 유효우량보다  $n$ 배 큰 강도로 비가 내리면 이로 인한 수문곡선의 종거는 단위도의 종거보다  $n$ 배 커짐
- 중첩 가정 : 일정 기간동안 균일한 강도를 가진 일련의 유효우량에 의한 총 유량은 각 기간의 유효우량에 의한 개개 유출량을 산술적으로 합하여 산출



< 단위도의 3대 가정 >

#### 다. 단위 유효우량의 개념

- 단위 유효우량으로는 통상 1cm(또는 1mm)를 사용하며, 이때 단위도는 단위 유효우량으로 인한 유역 출구에서의 유출수문곡선의 시간적 분포를 표현
- 단위도 아래의 면적은 유량에 시간을 곱한 차원 즉, 용적의 차원을 가지며, 단위도 아래의 전체 면적은 유출량으로 1cm(또는 1mm)에 유역면적을 곱한 용적

## 라. 단위도의 적용 방법

• 어떤 유역에 적합한 단위도와 그 단위도 작성에 사용된 강우의 지속기간만 알면 동일한 지속기간을 가진 어떠한 유효우량에 대한 직접유출수문곡선은 비례 가정(일정 기저시간 가정 포함)에 의해 예측 가능하며, 일반적인 경우와 같이 호우의 지속기간별 유효우량이 우량주상도 형태로 나타나면 중첩 가정을 이용하여 호우에 대한 직접유출 수문곡선의 예측이 가능

## 마. 단위도 유도를 위한 호우사상 선별시 고려사항

- 가급적 단순 독립호우(isolated rainfall) 사상을 선택
- 강우 계속기간 동안 강우강도가 시간적으로 가급적 균일하게 분포
- 유역 전반에 걸쳐 강우가 공간적으로 가급적 균일하게 분포
- 강우 지속기간이 유역 지체시간의 약 10~30% 정도
- 호우로 인한 직접유출량(혹은 유효우량)이 약 13~44mm 정도

## 바. 호우사상별 단위도 유도 절차

- 총 유출에서 기저유출을 분리한 직접유출 수문곡선과 우량주상도를 표시
- 직접유출 수문곡선 아래의 면적을 적분하여 총 직접유출용적( $m^3$ )을 구한 후, 유역면적으로 나눈 크기(cm)는 우량주상도에서 손실우량을 뺀 유효우량과 동일하여야 하므로 침투능 곡선법,  $\phi$ -지표법, W-지표법 및 SCS 방법 등에 의해 유효우량이 직접유출량(cm)과 같도록 손실곡선을 그려서 유효우량의 지속기간을 산출
- 직접유출 수문곡선을 cm로 표시되는 총 직접유출량으로 나누어 단위도의 종거를 산출함으로써 유효우량의 지속기간과 동일한 지속기간을 가지는 단위도를 유도

## 사. 대표단위도 유도 절차

- 단위도 유도 후에는 후술되는 S-Curve 방법 등으로 단위도 지속기간을 통일한 여러 개의 단위도를 작성
- 대표단위도는 여러 단위도의 종거평균이 아닌 침투유량 발생시간 및 값의 평균으로 침투유량점을 결정한 후에는 단위도의 기본정의를 지키면서 여러 단위도의 모양과 비슷하게 스케치

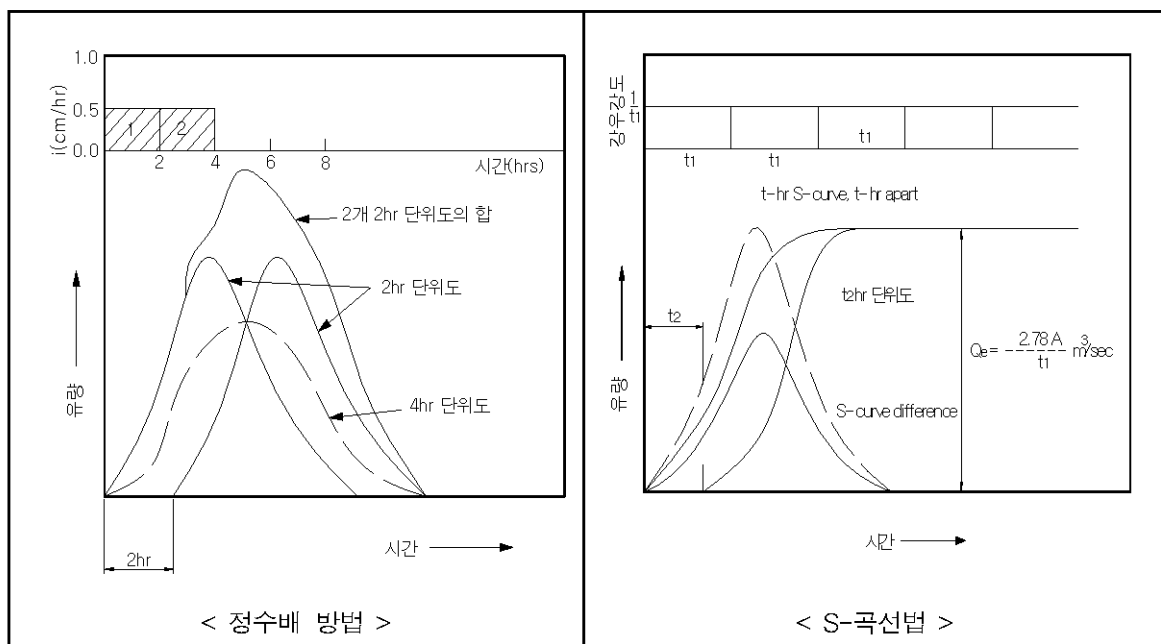
## 아. 단위도의 문제점 및 적용한계

- 실제 유역에서는 유량이 증가함에 따라 유속이 증가하게 되므로 강우-유출은 선형이 아닌 비선형 관계를 가지게 되는 모순이 발생하며, 따라서 어떤 유역에 발생하는 모든 호우에 적용할 수 있는 단위도란 있을 수 없음
- 매우 작은 유역( $2.5km^2$  이하)이나 매우 큰 유역( $1,000km^2$  이상)에는 단위도가 갖는 한계 때문에 적용 곤란
- 기 작성된 임의의 지속기간의 단위도로부터 다른 지속기간의 단위도를 유도가 필요

## 1.1.2 단위도의 지속기간 변환

### 가. 정수배 방법에 의한 변환

- 짧은 지속기간을 가진 단위도로부터 정수배(2, 3, 4, ..., n배)로 긴 지속기간을 가진 단위도를 유도하는 방법으로 정수배로만 변환할 수 있는 한계를 지님
- 정수배 방법의 절차
  - 동일 지속기간의 단위 유효우량을 연속해서 추가하면 지속시간만큼 순차적으로 지연된 n개의 단위도가 생성
  - 이를 중첩 원리에 의해 종거를 합하면 n·cm 유효우량에 의해 발생된 단위도가 되므로 1cm 유효우량에 의한 단위도는 종거를 n으로 나누어 n·t 지속기간을 가지는 단위도 작성



### 나. S-곡선법에 의한 변환

- 지속기간이 정수배가 아닌 경우나 보다 짧은 지속기간을 가진 단위도를 유도하기 위해서 S-곡선(summation curve) 방법을 사용
- S-곡선 : 어떤 유역에 균일한 강도로 단위 유효우량 크기의 강우가 연속적으로 내릴 때 발생하는 직접유출 수문곡선으로, 유역으로부터 유출되는 유량은 일정시간 이후에는 강우강도와 같아져서 일정하게 유지되는 평형상태(equilibrium condition)에 도달하게 되며 각 유역마다 지속기간에 따라 각각 고유의 S-곡선을 가짐
- S-곡선을 도상에서  $t_1$  시간만큼 오른쪽으로 이동시켜 두 S-곡선간의 종거차를 구하면 이는  $(1/t_1 \text{ cm})/\text{hr}$  강우강도로  $t_1$  시간 동안 강우에 의한 직접유출 수문곡선이므로 지속기간이  $t_1$  시간인 단위도가 작성되며 단위도의 지속기간 변환에 이 원리를 이용

- S-곡선 작성시 유의 사항

- 자연상태의 강우는 강우분포가 균일하지 않아 유효강우의 지속기간을 잘못 선택하면 S-곡선의 최종값 부분이 광범위하게 진동하게 될 경우도 발생

- S-곡선에서 총 유출량이 일정하게 유지되는 것이 평형유출량(equilibrium outflow)

$$Q_e = \frac{1\text{cm}}{t_1\text{hr}} \times A \text{ km}^2 = \frac{2.778A}{t_1} \text{ m}^3/\text{sec}$$

여기서  $Q_e$ 는 평형유출량( $\text{m}^3/\text{sec}$ ),  $t_1$ 은 지속기간(hr), A는 유역면적( $\text{km}^2$ )

- S-곡선의 최종값과 평형유출량값과 비교하여 S-곡선 적정성 여부를 필히 검토

## 다. S-곡선법에 의한 순간 단위도의 유도

- 순간 단위도(instantaneous unit hydrograph, IUH)란 어떤 유역에 단위 유효우량이 순간적으로 내릴 때 유역출구를 통과하는 유량의 변화를 나타내는 수문곡선

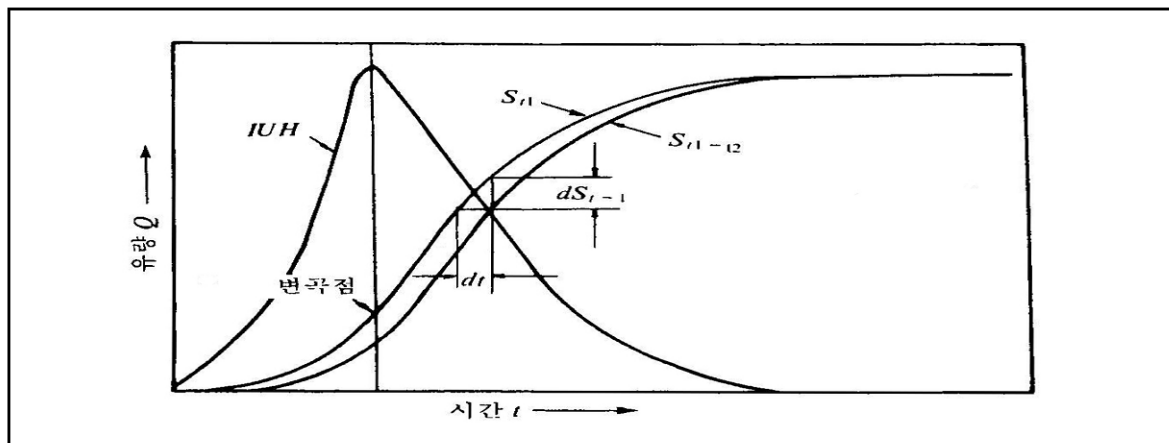
- 단위도는 단위 유효우량의 지속기간과 동일한 지속기간을 가지지만 IUH는 지속기간이 0에 가까운 단위 유효우량에 의한 것으로 생각하기 때문에 지속기간을 가지지 않는다고 가정

- S-곡선으로부터 IUH를 유도하는 Chow의 간략법

임의시각  $t$ 에서 IUH의 종거는 시각  $t$ 에 있어서의 S-곡선의 접선경사에 S-곡선을 유도한 단위도의 지속시간  $t_1$ 을 곱하여 산출하며, IUH의 첨두유량은 S-곡선의 변곡점에서 발생

- 순간 단위유량도로부터 단위도의 유도

순간단위도의 지속기간은 거의 영이므로 IUH를  $n$ 시간만큼 오른쪽으로 지체시켜 2개의 IUH의 종거를 평균하는 정수배 방법으로 지속기간  $n$ 시간의 단위도를 유도



### 1.1.3 단위유량 분포도

- 단위유량 분포도(distribution graph)는 Bernard에 의해 소개된 것으로 단위도의 기저시간을 여러 개의 등구간으로 나누어 각 구간의 유출용적을 총유출용적으로 나눈 백분율로 표시한 주상도(histogram)

### 1.1.4 미계측유역의 수문곡선 합성법

- 지금까지 단위도 작성 방법은 우량 및 유량 자료가 있는 조건하에서 가능한 방법이며 실제로 있어서는 유량자료가 없는 지역이 많으므로 다른 방법의 도입이 필요
- 이와 같은 미계측유역의 단위도는 다른 유역에서 얻은 과거의 경험을 토대로 단위도를 합성하는 합성단위도법(synthetic unit hydrograph)을 사용

#### 가. Snyder 방법

- Snyder는 미국 Appalachian 산맥 지역에서 유역면적이 30~30,000 km<sup>2</sup>인 유역을 대상으로 단위도를 유역 지체시간  $T_L$ , 첨두유량  $Q_P$ , 강우지속기간  $t_r$ 에 대해 정의

$$T_L = C_t (L L_{cb})^{0.3}, \quad Q_P = C_P \frac{A}{T_L}, \quad t_r = \frac{T_L}{5.5}$$

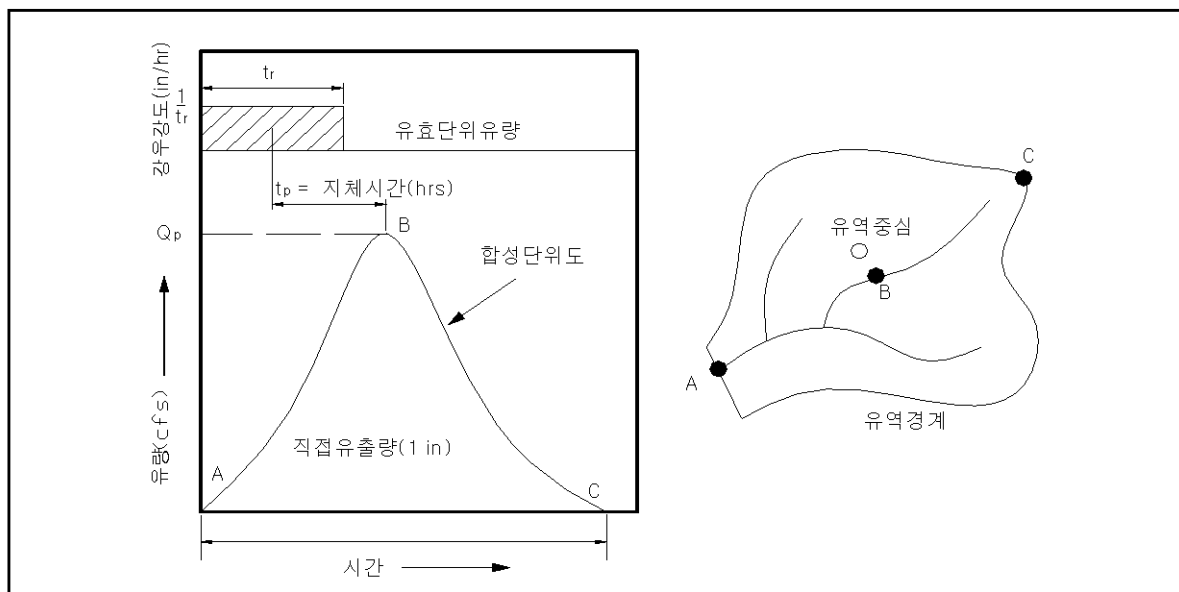
여기서  $T_L$ 은 지체시간(hr),  $C_t$ 는 유역경사에 따른 상수로 작을수록 급경사를 의미, 일반적 범위는 1.35~1.65,  $L$ 은 유역의 본류연장(km),  $L_{cb}$ 는 유역출구와 유역중심에서 본류에 내린 수선의 교차점까지 거리(km),  $Q_P$ 는 첨두유량(m<sup>3</sup>/s),  $C_P$ 는 유역저류용량에 따른 상수로서 유효강우가 1cm인 경우 1.5~1.9의 범위이며  $C_t$  값에 반비례,  $A$ 는 유역면적(km<sup>2</sup>),  $t_r$ 은 강우지속기간(hr)

- 기저시간  $t_b$ :  $t_b = 72 + 3 T_{LR}, \quad t_b = \frac{5.56 A}{Q_{PR}}$

여기서  $t_b$ 는 단위도의 기저시간(hr),  $T_{LR}$ 은 조정된 지체시간(hr)이다.

- 결정된 3개 좌표 (0, 0), ( $T_{LR} + 0.5 t_r$ ,  $Q_{PR}$ ) 및 ( $t_b$ , 0)을 매끈하게 연결하되 스케치 된 단위도 아래의 면적이 1cm(1mm)의 직접 유출고가 되도록 작도

- Snyder 방법은 유역특성에 따른 상수  $C_P$ 와 조정된 지체시간  $T_{LR}$ 을 입력인자로 하는 2매개변수 합성단위도 방법



## 나. Nakayasu 종합단위도법

• 中安(Nakayasu) 종합단위도법은 무차원단위도의 특성치를 일련의 경험공식으로 결정하여 단위도를 합성하는 방법

• 中安(Nakayasu)는 일본 여러 유역에서 유도된 단위도의 특성변수와 유역의 특성변수간의 관계를 조사하여 합성단위도를 작성할 수 있는 단위도 특성치를 아래와 같이 결정. 작도방법은 아래 그림과 같으며 일본과 우리나라의 지형특성이 유사할 것이라는 가정하에 과거 국내에서 널리 사용되어 온 방법

- 지체시간(  $t_g$  )

$$t_g = 0.21 L^{0.7} \quad (L < 15 \text{ km일 경우})$$

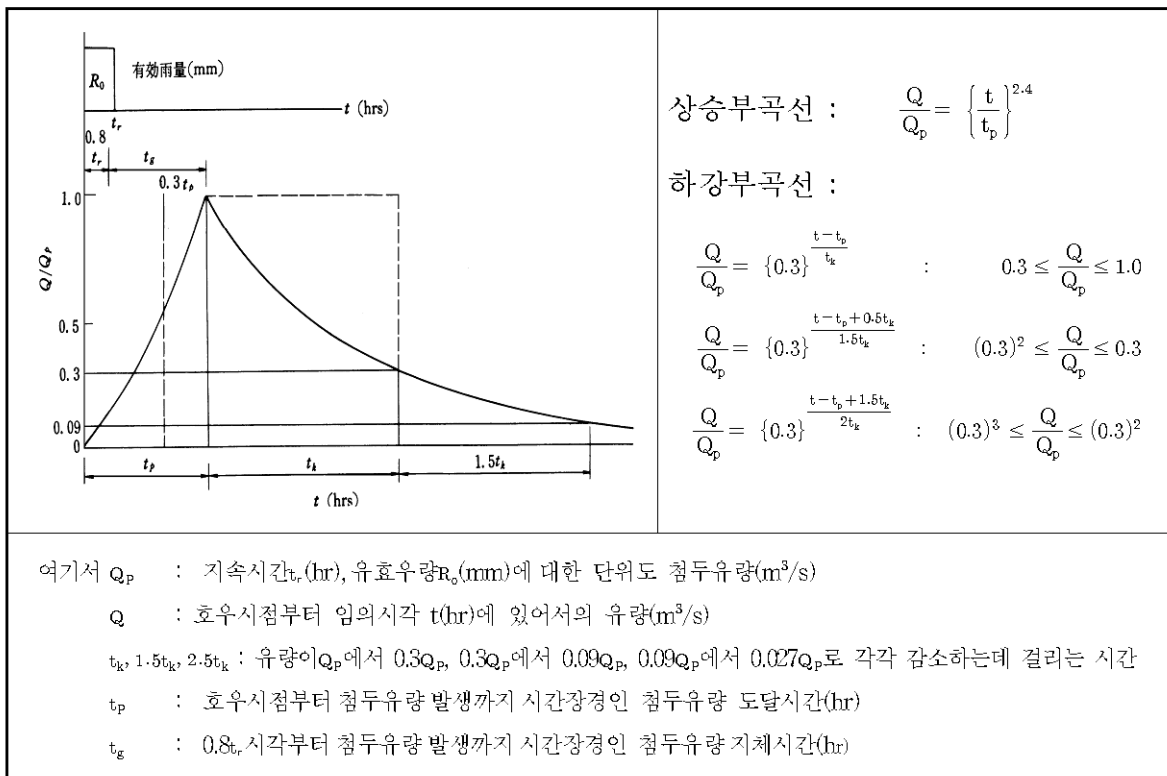
$$t_g = 0.4 + 0.058 L \quad (L > 15 \text{ km일 경우})$$

- 첨두시간(  $t_p$  ) :  $t_p = 0.8t_r + t_g$

-  $Q_p$ 에서 0.3  $Q_p$ 로 감소하는 데 걸리는 시간(  $t_k$  ) :  $t_k = 0.47(AL)^{0.25}$

- 첨두유량(  $Q_p$  ) :  $Q_p = \frac{0.2778 R_o A}{0.3t_p + t_k}$

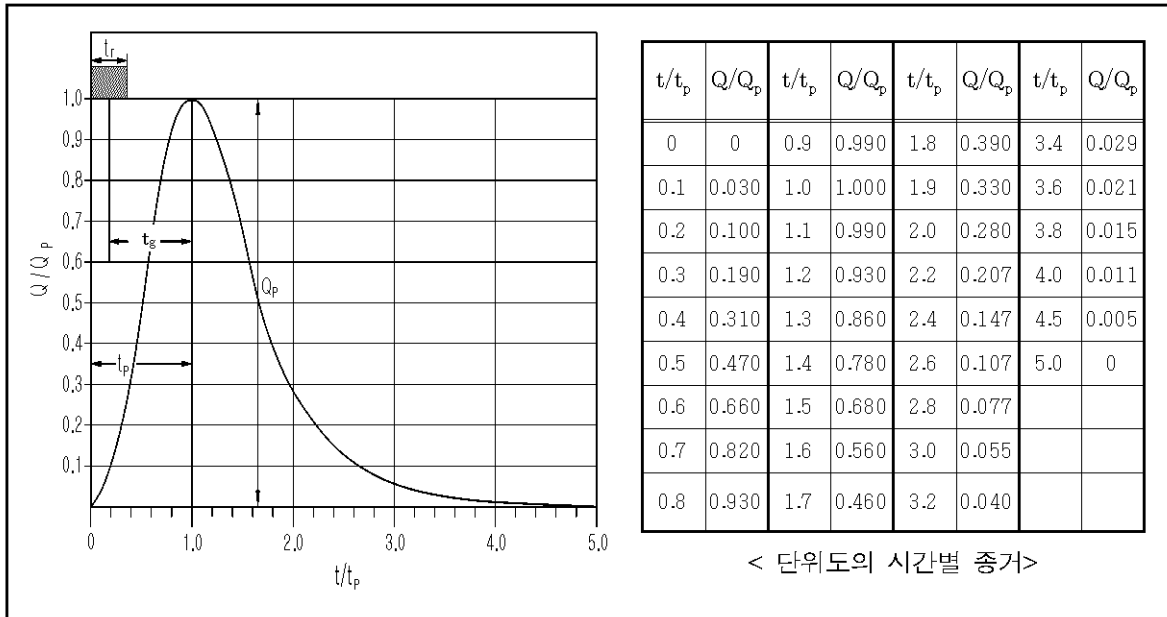
여기서  $L$ 은 유로연장(km),  $A$ 는 유역면적(km<sup>2</sup>),  $t_r$ 은 유효우량 지속시간(hr),  $R_o$ 는 유효우량(10mm), 0.2778은 단위환산계수



< Nakayasu 종합단위도 >

## 다. SCS 합성단위도법

- 미국 토양보존국(SCS, 이후 NRCS로 개칭)에 의해 합성단위도를 작성하기 위하여 고안된 방법으로 다음 그림과 같은 무차원단위도의 이용에 근거
- 이 무차원단위도는 미국내 여러 지방의 크고 작은 유역의 관측수문자료로부터 얻은 단위도를 해석한 결과이며, 유역특성에 관계없이 적용할 수 있는 장점이 있음



### < SCS 무차원단위도 >

- SCS 방법을 사용하여 단위도를 합성하기 위해서는 단위도의 첨두유량  $Q_p$ 와 그의 발생시간  $t_p$ 를 결정하여야 하며, 위 그림의  $Q/Q_p$ ,  $t/t_p$ 의 비율을 사용하여 단위도를 작성할 수 있다. SCS 합성단위도법에서는 단위도 매개변수  $Q_p$ 와  $t_p$ 를 산정하기 위해 다음과 같은 단위도의 구성인자에 관한 공식을 제시한 바 있다.

$$t_p = \frac{1}{2} t_r + t_g \quad Q_p = \frac{2.083 A}{t_p}$$

여기서  $t_p$ 는 강우시작부터 첨두유량점까지 시간(hr),  $t_r$ 은 강우지속기간(hr),  $t_g$ 는 우량질량중심으로부터 첨두유량점까지 지체시간(hr),  $Q_p$ 는 1 cm 유효우량시 첨두유량( $m^3/s$ ),  $A$ 는 유역면적( $km^2$ )

SCS 합성단위도법을 적용하기 위한 지체시간은 일반적으로 도달시간과  $t_g = 0.6 t_c$ 의 관계를 가진다고 알려져 있으며, 국내에서 널리 사용되는 지체시간 공식은 다음과 같다.

$$t_g = \frac{L^{0.8}(1000/CN - 9)^{0.7}}{1900 S^{0.5}} \quad : \text{SCS 공식}(8 \text{ km}^2 \text{ 이하에 적용})$$

여기서  $t_g$ 는 지체시간(hr),  $t_c$ 는 도달시간(hr),  $L$ 은 유로연장(ft),  $CN$ 은 유출곡선지수,  $S$ 는 무차원 유역평균경사이다.