

# 1. 합리식과 우수관거

## 1. 합리식의 기본이론

합리식은 소유역의 강우-유출해석에 가장 널리 사용되는 방법으로 강우를 유출로 변환하는 선형변환기로 강우-유출 관계의 가장 간단하고 보편적인 선형 black Box 모형이다. 합리식의 기본이론은 시간과 공간적으로 균일하고 무한히 지속되는 강우에 대하여 유역의 모든 부분이 유역의 출구에서의 유출에 기여하는 시간인 도달시간에 이르기까지 증가하여 평형상태가 된다. 이 평형상태의 유출이 첨두유출이 된다.

합리식은 1889년 미국에서 Kuichling에 의하여 제안된 이래 소유역의 배수구조물과 도시우수관거의 설계유량 산정의 도구로 널리 사용되고 있다. 일반적으로 합리식은 첨두유량만을 제공하나 제한된 형태의 유출수문곡선의 유도도 가능하다. 첨두유량은 유출계수, 강우강도 및 유역면적의 곱이다. 강우강도는 강우지속기간과 빈도에 관한 정보를 포함한다. 강우지속기간은 유역의 유집특성인 도달시간과 관련된다. 유출계수는 수문학적손실과 저류영향(runoff diffusion)을 그리고 빈도의 영향도 포함가능하다.

첨두유출을 계산하는 합리식은 다음과 같다.

$$Q_p = 0.278C_f C_i A \quad (1)$$

여기서

$Q_p$  = 첨두유량( $m^3/s$ )

$C_f$  = 빈도보정계수

$C$  = 유출계수

$i$  = 도달시간  $t_c$  동안 지속되는 재현기간  $T$ 년 강우강도( $mm/hr$ )

$A$  = 유역면적( $km^2$ )

0.278 = 환산계수

합리식이 근거한 가정은 다음과 같다.

1. 도달시간에 해당하는 강우지속기간동안 강우강도는 일정하다.
2. 동일한 강우지속기간동안 강우강도는 전유역에 걸쳐 균일하다.
3. 동일한 강우지속기간동안 유출계수는 일정하다.

4. 동일한 강우지속기간동안 A와 C가 일정하므로 침투유량은 강우강도의 선형함수이다.
5. 침투유량의 빈도는 강우강도의 빈도와 같다.
6. 주어진 재현기간에 대하여 C는 일정하므로 유출빈도곡선은 강우빈도곡선에 평행하다.

이러한 가정을 만족하기 위해서는 유역면적이 작아야 한다.

## 2. 빈도보정계수, $C_f$

표 2의 유출계수는 재현기간 또는 빈도가 2-10년인 호우에 적용되도록 책정된 값들이다. 일반적으로 높은 재현기간의 호우는 많은 강우량을 의미한다. 따라서 많은 강우량 하에서는 침투와 그외 다른 손실이 상대적으로 작게 되므로 유출이 크게 되고 이는 유출계수의 증가를 나타낸다. 이 사실은 높은 재현기간의 호우에 대해서는 유출계수의 증가가 필요함을 시사한다. 따라서 재현기간 2-10년 범위에서는  $C_f=1.0$ 을 적용하나 재현기간이 증가하면 표 1에 따라  $C_f$ 를 증가시키거나 또는 그림 1에 따라 유출계수 C를 증가시킨다.

표 1. 재현기간에 대한 유출계수의 증가율

| 재현기간 | $C_f$ |
|------|-------|
| 2~10 | 1.0   |
| 25   | 1.1   |
| 50   | 1.2   |
| 100  | 1.25  |

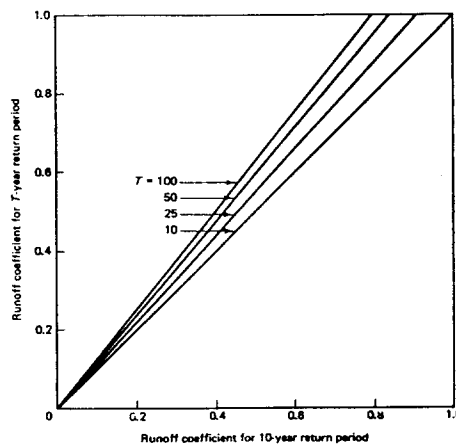


그림 1. 빈도에 대한 유출계수의 변화

미국 교통부는 상이한 불투수면의 비율에 대하여 빈도보정계수를 결정할 수 있는 곡선(그림 2)을 제안하였다.

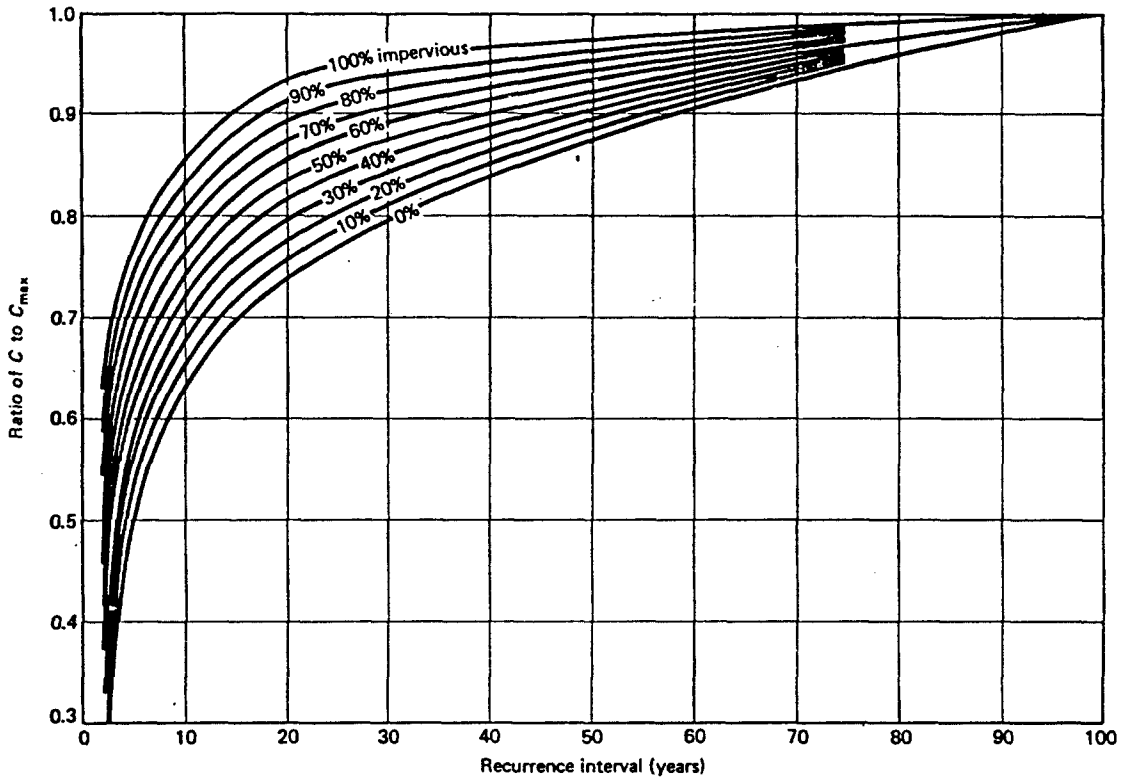


그림 2. 설계호우빈도에 의한 유출계수의 보정

예제 1. 포장지역( $C = 0.9$ )과 잔디지역( $C = 0.3$ )의 두지역에 대한 50년 빈도에 해당하는 유출계수를 결정한다.

해. 표 1로부터  $C_f = 1.2$

포장지역  $C \cdot C_f = 0.9(1.2) = 1.08$  이나  $C \cdot C_f$ 는 1.0보다 클 수 없으므로  $C \cdot C_f = 1.0$  을 사용한다.

잔디지역  $C \cdot C_f = 0.3(1.2) = 0.36$  이다. 따라서 50년빈도에 대한 유출계수는  $C = 0.3$ 에서 0.36으로 증가된다.

### 3. 유출계수, C

#### 3.1 유출계수에 영향을 주는 인자

유출계수는 주어진 재현기간을 갖는 강우강도를 동일한 빈도의 침투유출로 변환하는 요소이다. 따라서 유출계수는 유출과정의 많은 복잡한 현상을 반영한다. 유출계수의 크기는 지면경사, 피복상태, 요부저류, 유역의 모양, 지표류 속도, 침투, 토양함수조건, 선행강우조건, 강우강도등에 따라 영향을 받는다.

유역이 산지와 같이 급경사이면 유출계수는 크게 되고 평탄지역이면 작게 된다. 피복상태가 초지인 경우에서보다 포장상태에서 유출계수는 크게 되고 선행강우로 토양이 습윤상태이면 유출계수는 또한 크게 된다.

다른 조건이 일정하면 상이한 강우에 대해서는 상이한 유출계수의 적용이 타당함을 식 3 으로 부터 알 수 있다. 손실이 강우강도에 따라 영향을 받지 않는다면 유출계수는 이론적으로 강우강도에 따라 증가한다. 초기 강우량이 초기손실로 된다면 유출은 강우량의 일정한 비율로 나타나게 된다. 따라서 총강우량에 대한 유출의 비율은 강우량이 증가함에 따라 증가한다.

Rossmiller는 여러 인자의 향으로 유출계수를 산정하는 경험식을 제안하였다.

$$C = 7.7 \times 10^{-7} CN^3 T^{0.05} (0.01CN)^{-6S^{0.2}} (0.001CN)^{1.48(0.15-i)} \left(\frac{IM+1}{2}\right)^{0.7} \quad (2)$$

여기서 T는 재현기간(년), S는 유역의 경사(%), i는 강우강도(in/h), IM은 불투수지면의 비율, CN은 SCS의 유출곡선번호이다.

#### 3.2 유출계수의 물리적인 의미

유출계수는 강우입력을 유출출력으로 변환하는 변환계이므로 손실, 전이(transfer) 및 저류등의 유출과정을 반영한다. 따라서 유출계수는 (1)수문학적손실과 (2)저류(runoff diffusion)의 과정을 나타낸다.

수문학적 손실은 차단, 침투, 지면저류, 증발을 포함하고 저류는 유출의 침투를 감쇠시키는 유역의 능력을 나타내는 척도이다.

식 1을 강우지속기간  $t_d$ 를 고려하여 C에 관하여 정리하면

$$C = \frac{Q_p t_d}{0.278 C_f i A t_d} \quad (3)$$

이로부터 C는 강우량체적에 대한 유출체적의 비임을 알 수 있다. 식1에서  $C_f=1.0$ 을 고려하고 환산계수 0.278을 무시하고 C에 관하여 정리하면

$$C = \frac{Q_p}{iA} \quad (4)$$

이로부터 강우-유출계의 입력이  $iA$ 인 점을 고려하면 유출계수는 최대가능유출첨두( $C=1$ 인 경우  $Q=iA$ )에 대한 실제(계산)첨두유출의 비이다. 또한 유출계수는 무차원 첨두유량, 즉 단위강우강도에 대한 단위면적당 첨두유량이다.

저류영향을 고려하지 않은 유출

저류영향이 없는 경우 도달시간과 같은 강우기간에 이르면 유역의 출구에 유집된 흐름은 첨두유량(또는 평형유출)이 된다. 또한 증수부와 감수부의 시간이 도달시간과 같은 유출수문곡선이 얻어진다(그림3a). 유출계수는 단순히 총강우량에 대한 유효강우량의 비이다. 유효강우량의 체적과 유출의 체적을 고려하면

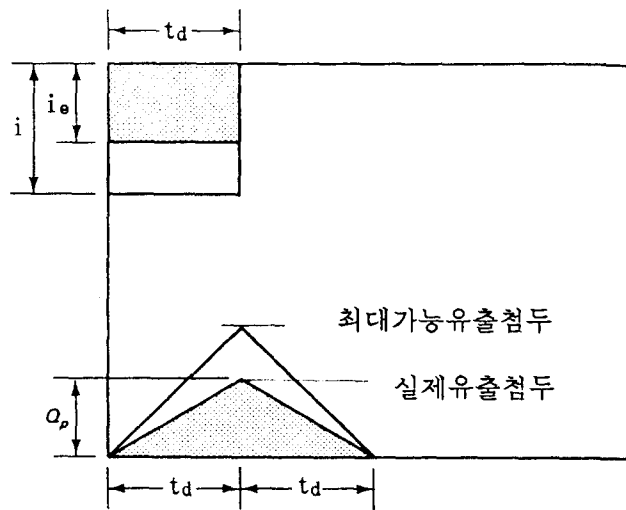
$$i_e t_d A = 0.278 C_i A t_d \quad (5)$$

여기서  $i_e$ 는 유효강우량,  $t_d$ 는 강우지속기간이다. 식 5로 부터

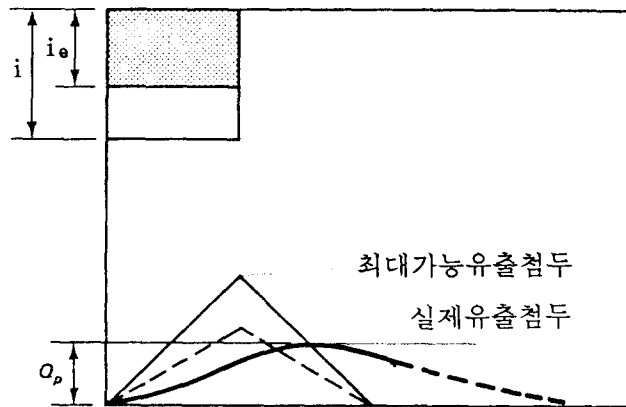
$$C = C_a = 0.278 \frac{i_e}{i} \quad (6)$$

여기서  $C_a$ 는 손실만에 의한 유출계수이다.

저류영향이 없는 경우는 급경사유역에 해당하고 완만한 유역에서는 저류영향이 크게 작용한다.



(a)



(b)

그림 3. 합리식의 손실과 저류의 과정. (a)저류영향이 고려되지 않은 경우, (b)저류영향이 고려된 경우

#### 저류영향이 고려된 유출

저류영향이 포함되면 유출계수는 손실뿐만 아니라 저류영향을 모형화 하는데 사용된다. 저류는 유역응답을 수정해서 감수부의 시간을 증가시키고 첨두를 감소시킨다. 이 경우 유출계수의 감소는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C = C_d C_a$$

(7)

여기서  $C_a$ 는 저류만을 고려한 유출계수의 성분이다.

유출계수의 두 성분의 구분은 개념적이고 정량적인 구분은 되지 않는다. 그러나 유출의 저류영향은 유출계수에 의하여 반영된다. 예를 들면 이 사실은 표 2에서 지면경사에 따라 유출계수의 뚜렷한 변화에서 주목된다. 즉 변화폭은 저류영향에 기인한다. 높은 C 값은 급경사 유역을, 낮은 C 값은 완경사 유역과 연관된다.

### 3.3 평균유출계수

유출계수는 이론적으로 0.0 - 1.0의 범위이나 실제로는 0.05 - 0.95의 범위가 채택된다. 표 2는 미국토목학회에 의한 여러가지 지표형태인 용도별(description of area)평균유출계수, 한 유역이 상이한 지표특성으로 구성되어 가중평균유출계수 또는 합성유출계수(composite runoff coefficient)의 산정에 필요한 공종별(character of surface)기초 유출계수이다.

표 2. 도시지역 평균유출계수 (5-10년 빈도)

| 유역의 용도별 평균유출계수 |           | 공종별 기초 유출계수 |           |
|----------------|-----------|-------------|-----------|
| 상업지역           | 0.50-0.95 | 도 로         | 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 |
| 1호 1가족인구역      | 0.30-0.50 |             |           |
| 1호다수가족으로       | 0.40-0.60 | 보도, 주차장     | 0.75-0.85 |
| 건물이 떨어진 구역     |           | 지 붕         | 0.75-0.95 |
| 1호다수가족으로 건물이   | 0.60-0.75 |             |           |
| 근접해 있는 구역      |           | 때 (사질토)     | 0.05-0.20 |
| 아파트 구역         | 0.50-0.70 | 경사 0-2%     | 0.05-0.10 |
| 교외 주거 지역       | 0.25-0.40 | 경사 2-7%     | 0.10-0.15 |
| 공업지역           | 0.50-0.90 | 경사 7%이상     | 0.15-0.20 |
| 그리 밀집하지 않은     | 0.50-0.80 | 때 (새립토)     | 0.13-0.35 |
| 구역             |           | 경사 0-2%     | 0.13-0.17 |
| 밀집하고 있는 구역     | 0.60-0.90 | 경사 2-7%     | 0.18-0.22 |
| 녹지, 기타         | 0.10-0.25 | 경사 7%이상     | 0.25-0.35 |
| 공원, 묘지         | 0.10-0.25 |             |           |
| 경기장            | 0.20-0.35 |             |           |
| 철도 조차장         | 0.20-0.40 |             |           |
| 미개량 구역         | 0.10-0.30 |             |           |

표 3. 비도시지역 평균유출계수

| 지형과 식생        | 토양구조 |       |      |
|---------------|------|-------|------|
|               | 사질토  | 점토실트토 | 조밀점토 |
| 삼림            |      |       |      |
| 평탄(flat)      | 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(경사0~5%), 완만기복(경사5~10%), 가파른(경사10~30%)

자료: Schwab, R. J.

표 2의 유출계수는 평균선행함수조건을 나타내고 연속된 호우나 장기간의 호우에 대한 값은 아니다. 따라서 유역의 습윤한 선행토양함수조건을 모의하기 위해서는 높은 유출계수의 적용이 요구된다.

강우량의 손실은 유출계수에 의하여 유출에 반영되므로 C는 토지이용의 함수로 주어진다. 한 유역이 상이한 토지이용의 피복상태로 구성되는 복합토지이용인 경우에는 상이한 피복상태의 면적을 가중인자로 한 가중평균유출계수를 사용한다.

$$C = \frac{\sum a_i C_i}{\sum a_i} \quad (8)$$

여기서 C = 가중평균 유출계수

$a_i$  = 상이한 피복상태의 면적

$C_i$  = 상이한 피복상태의 유출계수

A =  $\sum a_i$ 를 고려하여 식 8을 식 1에 대입하면



$$Q = 0.278Cfi \sum a_i C_i \quad (9)$$

상이한 토지이용과 피복상태를 갖는 유역의 우수관거의 설계의 경우에는 식1과 8을 사용하는 것보다 식9를 사용하는 것이 편리하다.

### 3.4 강우지속기간과 강우강도에 대한 유출계수의 변화

합리식에서 유출계수는 도달시간에 해당하는 강우지속기간동안 일정한 것으로 가정된다. 그러나 실제호우는 도달시간보다 오래 지속되고 많은 수의 호우에 관한 해석에 의하면 침투강우 부분은 강우초기를 지나서 발생한다. 따라서 도달시간에 해당하는 기간의 강우가 시작되기 이전에 상당한 기간의 강우가 존재한다. 그러므로 도달시간에 해당하는 강우의 시작은 강우초기에서부터 적정시간 후에 취해져 선행강우가 고려되도록 해야한다. 이 과정에 따른다면 강우가 계속됨에 따라 유출계수는 약간 증가경향을 나타낸다. Horner에 의하면 강우가 장기간 지속됨에 따라 유출계수가 증가한다(그림 4). 그림 4에서 지속기간이 20분인 강우의 시작이전에 30분 강우가 선행되었다면 투수성지면의 경우 유출계수는 20분의 지속기간동안 0.4에서 0.47로 증가한다.

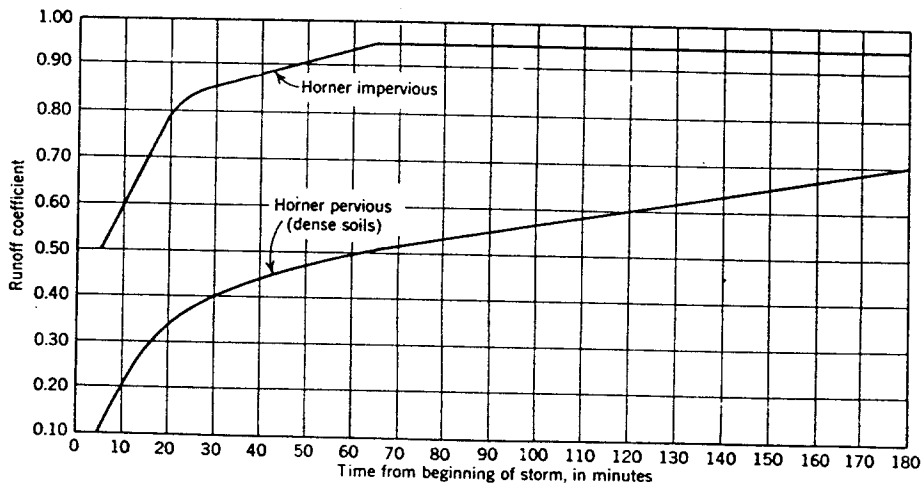


그림 4. 강우지속기간에 대한 유출계수의 변화

Mitci는 선행강우로 인하여 도달시간의 강우지속기간동안 침투가 감소하여 유출이 증가하는 점을 고려하여 다음과 같은 유출계수 보정식을 제안하였다.

$$C = \frac{0.98t}{4.54 + t} + \frac{0.78t}{31.17 + t} (1-P) \quad (10)$$

여기서 C = 선행강우조건에 따라 보정된 유출계수

t = 강우시작부터 설계지속기간의 강우강도가 발생하는 시간까지의 시간(min)

P = 불투수면의 비율(%)

일반적으로 장기강우에서 단기설계호우(도달시간에 해당하는 지속기간을 갖는)는 장기호우기간의 중앙에 위치시킨다. 호우의 지속기간동안 유출계수는 변하지 않는 것으로 가정된다.

예제 2. 한 배수구역이 60%의 포장지역(C = 0.9)과 40%의 잔디(C = 0.3)로 구성된다. 설계지점에서 도달시간이 20분이고 2시간동안 비가 내렸다. 선행강우조건을 고려한 유출계수를 결정한다.

해.

$$\text{가중유출계수 } C = \frac{0.4(0.3) + 0.6(0.9)}{0.4 + 0.6} = 0.66$$

2시간 호우의 중앙점 = 1.0 hr 또는 60 min

2시간 호우초기에서부터 20분 지속강우가 시작하는 시간과 끝나는 시간

시작시간 t = 60 - 1/2(20) = 50 min

종료시간 t = 60 + 1/2(20) = 70 min

시작시간 t = 50분에서 C

$$C = \frac{0.98(50)}{4.54 + 50} (0.66) + \frac{0.78(50)}{31.17 + 50} (1 - 0.66) = 0.76$$

종료시간 t = 70분에서 C

$$C = \frac{0.98(70)}{4.54 + 70} (0.66) + \frac{0.78(70)}{31.17 + 70} (1 - 0.66) = 0.79$$

따라서 평균유출계수는  $C = 0.78$

상이한 강우사상에 따라 유출계수는 다르게 된다. 강우강도에 따라 손실이 영향을 받지 않는다면 유출계수는 이론적으로 강우강도에 따라 증가한다. 이 사실은 그림 5와 6으로부터 설명된다.

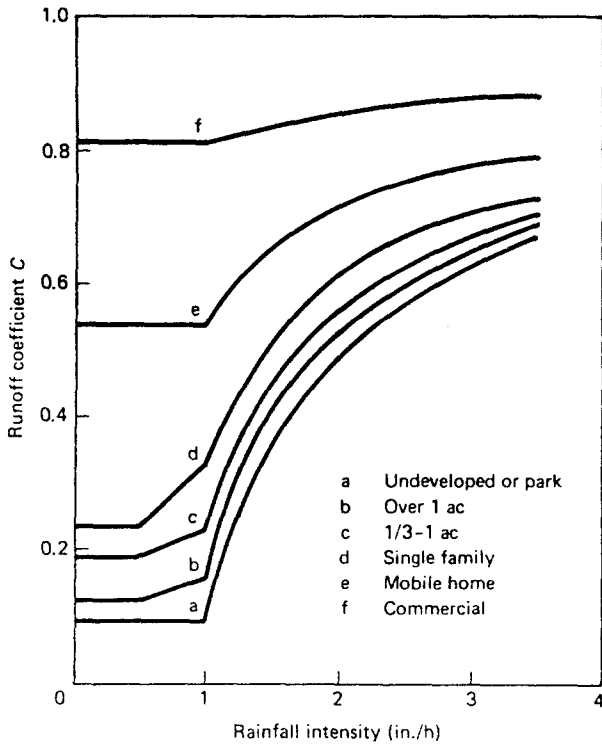


그림 5. 강우강도에 대한 유출계수의 변화

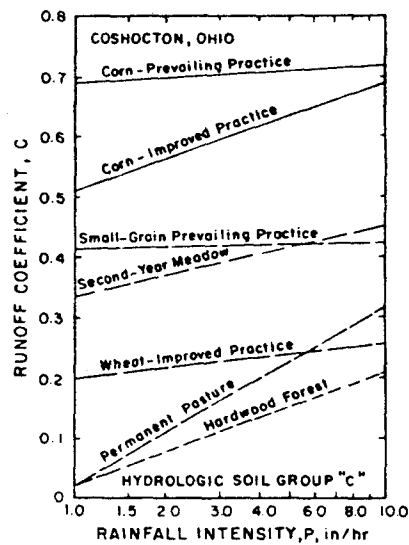


그림 6. 농경지에서 강우강도에 대한 유출계수의 변화

결론적으로 유출계수의 합리적인 선정에는 지표상태외에 강우강도, 빈도 및 선행 강우조건이 추가적으로 고려되어야 한다.

#### 4. 면적, A

면적 A는 비도시지역에서는 유역면적이, 도시지역에서는 배수면적이, 우수관거에서는 유입지점(inlet)에 대한 면적이 된다. 면적 A는 지도상에서나 현지측량을 통해서 결정되고 합리식에서 유일하게 정확히 결정될수 있는 요소이다. 면적 A는 다음 사항을 포함해야 한다.

토지이용 : 현재와 장래의 토지이용  
불투수지면의 비율  
토양특성과 피복상태 : 유출계수에 주요인자  
지면경사 : 도달시간에 주요인자

#### 5. 강우강도

강우강도결정에는 강우발생빈도, 선정된 빈도에 대한 강우강도-지속기간의 관계 및 도달시간이 고려된다.

##### 5.1 강우강도-지속기간-빈도(IDF)곡선

소유역 특히 도시배수설계와 같은 수문학적인 설계에서는 강우강도(또는 깊이), 지속기간, 빈도(또는 재현기간)간의 관계를 포함한 강우사상의 결정이 필요하다. 즉 수공구조물 설계에 사용되는 설계강우량은 시설과 위치에 알맞는 강우강도(또는 깊이), 지속기간 및 빈도(또는 재현기간)의 관계인 강우깊이-지속기간-빈도(intensity-duration-frequency, IDF)곡선이 필요하다. 그 중요성 때문에 대부분의 지역에 IDF곡선은 작성되어 있으며 그림 7을 서울지역의 IDF곡선이다. IDF곡선은 주어진 빈도와 지속기간에 대한 강우강도를 구하는데 이용된다. 강우강도는 강우의 지속기간이 길어질수록 감소하고 짧을수록 증가한다. 따라서 강우강도  $i$ 는 지속기간  $t_d$ 에 역비례하는  $i = a/f(t_d)$ 의 관계를 갖는다. 우리나라에서 많이 적용되는 강우강도-지속기간의 관계인 경험식은 다음과 같다.

$$\text{Tallbot 형} \quad i = \frac{a}{t_d + b} \quad (11a)$$

$$\text{Sherman 형} \quad i = \frac{c}{t_d^n} \quad (11b)$$

$$\text{Japanese 형} \quad i = \frac{d}{\sqrt{t_d} + e} \quad (11c)$$

상이한 빈도 또는 재현기간의 각각에 대해서 강우강도-지속기간의 관계를 해석하고 이들 3요소를 종합한 것이 그림 7이다. 그림 7과 같은 IDF곡선으로부터 주어진 빈도와 지속기간에 대한 강우강도를 얻을수 있으며 또는 주어진 빈도에 대한 강우강도-지속기간의 식으로부터 결정된다. 표 4는 서울지역의 강우강도-지속기간의 식을 나타낸다.

표 4. 서울지역의 강우강도식

| 재현기간<br>yr | 지속기간<br>t, min | 건설연구원            |         | 하천연안보고서, 서울시     |         |
|------------|----------------|------------------|---------|------------------|---------|
|            |                | 공식               | 강우량, mm | 공식               | 강우량, mm |
| 5          | 10             | 544.3            | 130.7   | 511.9            | 128.7   |
|            | 20             |                  | 99.4    |                  | 96.8    |
|            | 30             | $\sqrt{t+1.003}$ | 84.0    | $\sqrt{t+0.815}$ | 81.4    |
|            | 40             |                  | 74.3    |                  | 71.7    |
|            | 60             |                  | 62.2    |                  | 59.8    |
|            | 120            |                  | 45.5    |                  | 43.5    |
| 10         | 10             | 651.1            | 155.9   | 595.5            | 154.5   |
|            | 20             |                  | 118.7   |                  | 115.3   |
|            | 30             | $\sqrt{t+1.014}$ | 100.3   | $\sqrt{t+0.693}$ | 96.5    |
|            | 40             |                  | 88.7    |                  | 84.9    |
|            | 60             |                  | 74.3    |                  | 70.6    |
|            | 120            |                  | 54.4    |                  | 51.1    |
| 20         | 10             | 753.8            | 180.1   | 669.0            | 180.6   |
|            | 20             |                  | 137.2   |                  | 133.4   |
|            | 30             | $\sqrt{t+1.023}$ | 116.0   | $\sqrt{t+0.542}$ | 111.1   |
|            | 40             |                  | 102.6   |                  | 97.4    |
|            | 60             |                  | 86.0    |                  | 80.7    |
|            | 120            |                  | 62.9    |                  | 58.2    |
| 30         | 10             | 811.8            | 194.3   | 708.7            | 196.2   |
|            | 20             |                  | 147.9   |                  | 144.0   |
|            | 30             | $\sqrt{t+1.016}$ | 125.0   | $\sqrt{t+0.449}$ | 119.6   |
|            | 40             |                  | 110.6   |                  | 104.6   |
|            | 60             |                  | 92.7    |                  | 86.5    |
|            | 120            |                  | 67.8    |                  | 62.1    |

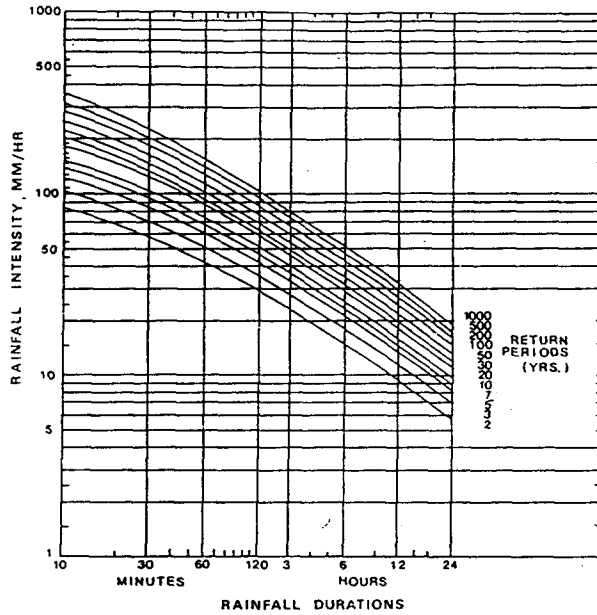


그림 7. 서울지역 강우강도-지속기간-빈도곡선

### 5.2 빈도

빈도 또는 재현기간이 클수록 강우강도와 그에 따르는 침투유량은 크게된다. 강우강도의 설계빈도(또는 재현기간)는 구조물의 종류와 보호의 정도에 따라 다르게 된다. 일반적으로 적용되는 빈도는 다음과 같다.

1. 주거지역 : 5~10년
2. 상업지역 또는 고가자산지역 : 10~50년
3. 홍수보호공 : 50년 또는 그이상

우수관거에 적용되는 빈도의 외국의 예는 표 5와 같다.

표 5. 외국의 적용빈도

| 국명         | 구분                               | 계획빈도                  | 비고                                   |
|------------|----------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| 한국         | 서울시 우수하수관거                       | 간선 10년<br>지선 5년       |                                      |
| 미국         | 주거지역<br>상업지역과 고도개발지역<br>홍수보호시설지역 | 5년<br>10-50년<br>50년이상 | ASCE<br>Manual<br>No. 37             |
|            | 소도시 우수배수관거<br>대도시 우수배수관거         | 2-25년<br>25-50년       |                                      |
| 영국         | 도시중심지역                           | 10-25년                | Surface<br>Water<br>Sewerage         |
|            | 큰 피해예상지역                         | 5년                    |                                      |
| 오스트<br>라리아 | 고도의 상공지역, 큰<br>재산피해지역            | 25-100년               | Australian<br>Rainfall<br>and Runoff |
|            | 상공지역, 고도주거지역<br>산재한 주거지역, 공원     | 10-25년<br>1-10년       |                                      |
| 일본         | 동경                               | 5년                    | 하수도 기본계획<br>재정비 보고서<br>1991, 서울시     |
|            | 대판                               | 10년                   |                                      |
|            | 요코하마                             | 10년                   |                                      |

설계빈도 선정시에 고려되어야 할 사항을 열거하면 다음과 같다.

1. 구조물에 의하여 보호되어야 할 정도
2. 합류식의 경우 지하실의 침수는 큰 수해를 유발하므로 분류식보다 높은 빈도의 높은 강우강도
3. 용량의 초과로 인하여 중요한 시설의 기능이 상실되는 간선도로의 배수계통과 같은 특별한 구조물의 설계에는 높은 빈도의 높은 강우강도
4. 5년 빈도가 적용되는 작은 배수구역이라 하더라도 3항에 준하는 경우에는 50년 또는 그 이상의 빈도적용

### 5.3 적용강우계열

IDF곡선작성에 사용되는 강우자료에는 연최대치계열과 연초과치계열이 있다. 연최대치계열은 각해의 최대치로 구성되며 부분기간계열은 기준치이상(또는 이하)의 기록치로 구성된다. 부분기간계열을 구성하는 요소의 수를 기록년수와 같게 되도록 기준치를 정할 경우 부분기간계열은 연초과치 계열이 된다. 따라서 연최대치계열과 연초과치계열을 이용한 IDF곡선은 다르게 된다. 재현기간이 10년 이상이면 양자에 의한 차이는 무시할 만큼 작게 된다. 그러나 10년이하에서는 연초과치계열에 의한 결과가 연최대치계열에 의한 결과보다 크게 나타난다. 미국토목학회에서는 10년 이하의 경우 연초과치계열에 의한 IDF곡선이 권장되며 연최대치계열에 의한 결과를 연초과치로 바꾸는 환산계수(=  $\frac{\text{연초과치}}{\text{연최대치}}$ )는 표 6과 표 7은 서울지역의 연최대치를 연초과치로 변환시키는 환산계수이다.

표 6. 연최대치의 연초과치로의 변환(미국 토목학회)

| 재현기간, year | 환산계수 |
|------------|------|
| 2          | 1.14 |
| 5          | 1.04 |
| 10         | 1.01 |

표 7. 연최대치의 연초과치로의 변환(서울지역)

| 재현기간, yr | 지속기간, min |       |       |       |       |
|----------|-----------|-------|-------|-------|-------|
|          | 10        | 20    | 30    | 40    | 60    |
| 2        | 1.128     | 1.130 | 1.125 | 1.118 | 1.119 |
| 5        | 1.038     | 1.048 | 1.030 | 1.022 | 1.018 |
| 10       | 1.028     | 1.032 | 1.009 | 1.00  | 1.00  |

## 6. 도달시간, $t_c$

도달시간은 유역의 가장 먼 곳에 내린 빗물이 유역의 출구(outlet) 또는 문제의 지점에 도달하는데 소요되는 시간으로 정의된다. 도달시간은 유역의 모든 지점이 유출에 기여하기 시작하는 시간이 된다. 강우강도는 호우지속기간이 증가함에 따라 감소하므로 지속기간은 가능하면 짧아야 한다. 그러나 만약 지속기간이 도달시간  $t_c$  보다 짧으면 배수면적의 일부분만이 유출에 기여하게 된다. 배수면적 전체가 유출에 기여하기 위해서는 가장 짧은 지속기간이  $t_c$ 와 같아야 한다. 도달시간은 강우강도가 결정되는 단위지속기간으로 사용된다. 한 유역내에서 유출구에 도달하는 흐름경로는 여러개가 있을 수 있다. 이러한 경우 도달시간은 상이한 흐름경로의 시간중에서 가장 긴 시간을 도달시간으로 취한다.

우수관거의 설계에 따라서는 가장 먼 지점에 내린 빗물이 지면, 도로와 유역의 출구를 흘러 관거의 입구까지 도달하는데 소요되는 시간외에 우수관거내를 흐르는 유하시간도 중요하다. 합리식의 경우에는 지면과 관거유하시간이 합해지나 SCS-55방법에서는 분리된다.

우수암거설계에서의 도달시간은 최원점에서 암거 유입구까지 유입시간(inlet time) $t_0$  와 암거내의 유하시간  $t_p$  의 합으로 정의된다.

$$t_c = t_0 + t_p \quad (12)$$

유입시간은 5-30분으로 많이 발표되었으나 개발이 많이 되어 불투수지역인 경우 5분이 채택되기도 하나 대부분의 경우 최소 10-20분이 적용된다.

고도로 개발된 밀집지역 : 5분

고도개발지역(비교적 평탄한) : 10 - 15분

평탄한 주거지역(유입구사이의 간격이 큰) : 20 - 30분

유하시간  $t_p$ 는 다음식으로 계산된다.

$$t_p = \frac{L}{V} \quad \text{또는} \quad t_p = \sum \frac{L_k}{V_k} \quad (13)$$

여기서  $L$ 은 관거길이이고  $V$ 는 관거흐름의 유속이다.  $V$ 의 계산에 통상 사용되는 식은 다음과 같다.

(i)만수상태에 연속방정식의 적용

$$V = \frac{4Q}{\pi d_n^2} \quad (14)$$

여기서  $d_n$ 은 기성제품인 관의 직경(m)이다.



(ii) 정상만수상태에 마닝공식의 적용

$$V = \frac{0.63}{n} d_n^{2/3} S^{1/2} \quad (15)$$

여기서 S는 관거의 경사이다. Darcy-Weisbach식에 의하면

$$V = \left( \frac{2g}{F} d_n S \right)^{0.5} \quad (16)$$

(iii) 요구되는 직경  $d_r$ 을 적용하면

$$V = \frac{4Q}{\pi d_r^2} \quad (17)$$

식 14가 간단하고 자주 사용된다. 그러나 관거의 조도계수와 경사가 정확하게 주어지고 유량 Q의 신뢰도가 낮으면 식 15, 16이 권장된다.

$t_c$  산정방법에는 여러가지 방법이 있으며(표 8), 그중 어느 것은 주로 지표류에, 어느 것은 수로흐름에, 또는 지표류와 수로흐름에 대한 식이다. 표 8의 1-4는 주로 지표류에 대한 공식이다. Izzard 방법은 강우강도를 필요로 한다. Izzard방법에 의하여 도달시간 산정과정은 먼저 도달시간을 가정하여 강우강도를 IDF곡선 또는 표4와 같은 식으로 구하고 Izzard 식으로  $t_c$ 를 계산한다. 가정한  $t_c$ 와 계산된  $t_c$ 가 일치하지 않으면 과정을 반복한다. 운동파(Kinematic wave) 방법도 강우강도를 포함하므로 Izzard 방법에 준한다.

물이 유역을 흐르는 과정은 판상류(sheet flow) 또는 박류, 수심은 작으나 모여서 흐르는 淺集中流, 개수로 흐름의 3과정으로 구성된다. 이경우 도달시간은 3과정에 대한 유하시간의 합이다. 판상류는 처음 300ft 에 일어나고 판상류 유하시간은 Overton 에 의하면

$$t_s = \frac{0.007(nL)^{0.8}}{I_2^{0.5} S^{0.4}} \quad (18)$$

- $t_s$  = 판상류 유하시간(hr)
- $n$  = 마닝 조도계수
- $L$  = 흐름장, ft
- $I_2$  = 2년 24hr 강우량, in
- $S$  = 지면경사

淺集中流의 평균유속은 그림8로 부터 구해지고 유하시간은 거리를 평균유속으로 나누어 구해진다. 개수로 흐름의 유속과 유하시간은 마닝공식으로 부터 구해진다.

표 8. 도달시간의 산정공식

| 명칭                     | 도달시간공식  | 적요   |
|------------------------|---|--|
| 1. Kerby               | $3.03 \left( \frac{rL^{1.5}}{H} \right)^{0.467}$                    | L < 0.4 km   |
| 2. Izzard              | $\frac{(0.024i^{0.33} + 878k/i^{0.67})L^{0.67}}{(CH^{0.5})^{0.67}}$ | iL < 3.8   |
| 3. Bransby-Williams    | $\frac{0.96L^{1.2}}{H^{0.2}A^{0.1}}$                                |  |
| 4. Aviation Agency     | $\frac{3.64(1.1-C)L^{0.83}}{H^{0.33}}$                              | 공항배수   |
| 5. Kirpich             | $\frac{0.0663L^{0.77}}{S^{0.386}}$                                  | 미국의 농경지 급경사 (3-10%) 소유역 불투수성 포장지역에서는 계산 tc에 0.4를, 콘크리트 수로에서는 0.2를 곱한다. |
| 6. California          | $(0.87 \frac{L^3}{H})^{0.385}$                                      | 미국 California주의 작은 산간유역  |
| 7. Kinematic wave      | $\frac{0.007(nL)^{0.8}}{i^{0.5} S^{0.4}}$                           | L은 ft, i는 in/hr  |
| 8. Margali and Linsley | $0.0165 \frac{n^{0.605} L^{0.593}}{i^{0.388} S^{0.38}}$             | L은 ft, i는 in/hr  |
| 9. Rizha               | $0.0139 \frac{L}{S^{0.6}}$  | 자연하천 상류부 S ≥ 1/200   |
| 10. Kraven             | $0.0074 \frac{L}{S^{0.515}}$  | 자연하천 하류부 S < 1/200   |
| 11. SCS                | $0.278 \frac{L}{V}$   | 피복상태와 유역경사에 대한 유속은 그림에서 구한다.   |

A = 유역면적(km<sup>2</sup>), i = 강우강도(mm/hr), H = 표고차이(m)  
L = 유로장(km), tc = 도달시간(hr)

표 9. Kerby공식의 r값

| Surface   | r    |
|---|------|
| Smooth impervious surface   | 0.02 |
| Smooth bare packed soil   | 0.10 |
| Poor grass, cultivated row crops, or moderately rough bare surface              | 0.20 |
| Pasture or average grass  | 0.40 |
| Deciduous timberland  | 0.60 |
| Conifer timberland, deciduous timberland with deep frost litter, or dense grass | 0.80 |

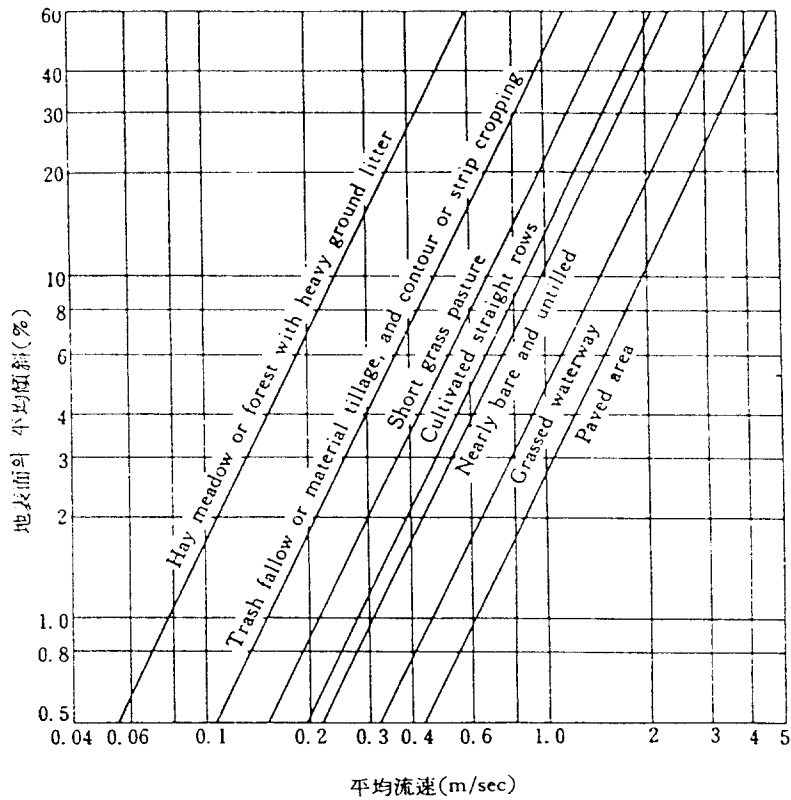


그림 8. 지표류의 유하시간 산정을 위한 평균유속

예제 3. 다음 그림의 C점에서의 도달시간을 산정한다. 우수거의 평균유속은 1 m/s 이다.

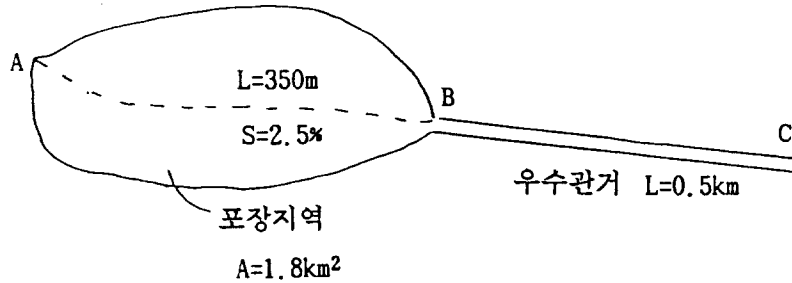


그림 9.

해. 먼저 최원점 A 에서 우수거의 유입구 B 점까지의 유입시간  $t_0$ 를 계산한다.

1. Kerby방법

$$\text{표 9로부터 } r = 0.02, H = (\text{경사} \times \text{거리}) = \frac{2.5}{100} \times 350 = 8.75 \text{ m}$$

$$t_0 = 3.03 \left( \frac{0.02(0.35)}{8.75} \right)^{0.467} = 0.108 \text{ hr 또는 } 6.5 \text{ min}$$

2. Kirpich

$$t_0 = \frac{0.0663(0.35)^{0.77}}{(0.025)^{0.386}} = 0.123 \text{ hr 또는 } 7.36 \text{ min}$$

3. Bransby-Williams

$$t_0 = \frac{0.96(0.35)^{1.2}}{8.75^{0.2} 1.8^{0.1}} = 1.66 \text{ hr 또는 } 9.98 \text{ min}$$

4. Izzard

도달시간을 15분으로 가정한다. 서울지역에 대해서 5년빈도에 대한 강우 강도는 그림 7로 부터  $i = 110 \text{ mm}$

$$iL = 110(0.35) = 38.5 > 3.8$$

따라서 Izzard공식은 적용되지 않는다.

5. 우수거 유하시간

$$t_p = \frac{\text{우수거길이}}{\text{유속}} = \frac{500}{1} = 50 \text{ sec 또는 } 8.3 \text{ min}$$

도달시간  $t_c = t_o + t_p$  는 적용방법에 따라 14.8 - 18.28 min 범위의 값을 갖는다.

7. 합리식의 적용

합리식을 이용하여 尖頭流量을 구하는 과정은 다음과 같다.

1. 문제의 지점에 대한 유역경계를 정하고 유역면적, 토지이용상태, 유역표고, 유로연장을 파악하고 암거가 처음 매설되는 지점인 유입점(Inlet point)을 정한다.
2. 표 2로부터 각 소유역에 대한 유출계수를 결정하고 필요하면 가중 평균유출계수를 구한다.
3. 도달시간을 구한다. 2개 이상의 소유역이 만나는 하류지점에서의 도달시간은 그 중에서 제일 큰값이 채택된다.
4. 재현기간 T 를 선정하고 T년 강우강도 i를 그림 7과 같은 강우강도-지속기간-빈도(intensity-duration-frequency, IDF)곡선으로 부터 도달시간과 같은 강우지속간에 대한 강우강도를 얻는다.
5. 식 1을 이용하여 첨두유량  $Q_p$ 를 계산한다.
6. 설계가 하류로 진행됨에 따라 주목되는 점은 면적이 증가하는 각 지점에서 설계는 합리식이 새로이 적용되는 것이다. 즉 면적이 증가함에 따라 유출계수, 도달시간, 강우강도가 달라지기 때문이다.

예제 4. 서울지역에 위치한 그림과 같은 지역에 합리식을 이용하여 재현기간 10년 설계유량을 결정한다.

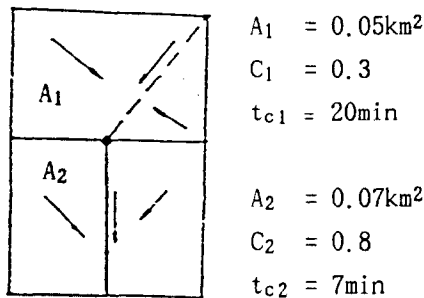


그림 10.

해. 도달시간=지표류 유입시간 + 암거유하시간

$$= 20 + 7 = 27 \text{ min}$$

$$\text{유출계수} = \frac{0.3 \times 0.05 + 0.8 \times 0.07}{0.05 + 0.07} = 0.6$$

강우강도 : 그림 7로부터 지속기간 27분과 재현기간 10년에 대한 강우강도는 112mm/hr

설계침투유량은 식 1로부터

$$Q = 0.278CIA = 0.278 \times 0.6 \times 112 \times 0.12 = 2.24 \text{ m}^3/\text{s}.$$

예제 5. 우수배수계통이 4개의 소구역으로 구성된다. 재현기간 5년에 대한 각우수거의 설계유량을 구한다. 우수거의 평균유속은 1.5 m/s 이고 유역이 서울지역으로 가정하여 그림 7을 이용한다.

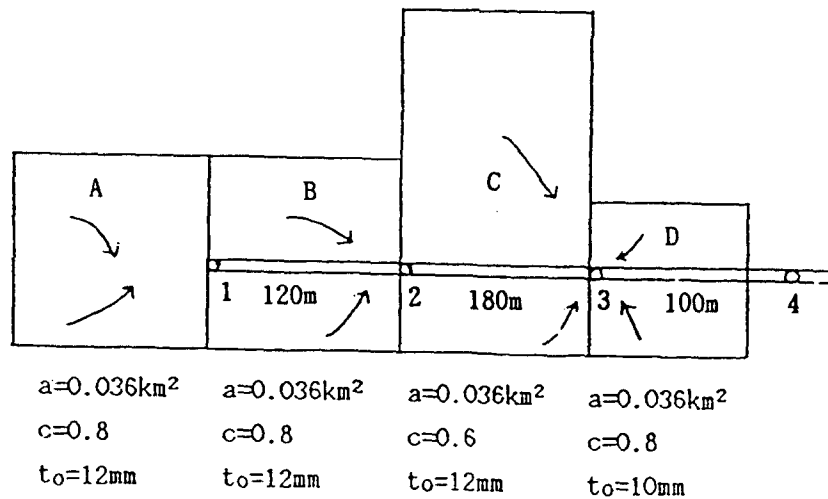


그림 11.

해.

우수거의 유하시간

$$\text{우수거 1-2} = \frac{120}{1.5} = 80 \text{ sec 또는 } 1.33 \text{ min}$$

$$\text{우수거 2-3} = \frac{180}{1.5} = 120 \text{ sec 또는 } 2.00 \text{ min}$$

$$\text{우수거 3-4} = \frac{100}{1.5} = 66.67 \text{ sec 또는 } 1.11 \text{ min}$$

계산과정은 표 10과 같다.

표10. 합리식 적용 계산예

| (1)<br>맨홀 | (2)<br>면적<br>a<br>km <sup>2</sup> | (3)<br>유출계수<br>C | (4)<br>aC | (5)<br>ΣaC | 유하시간 (min) |             |           | (9)<br>도달<br>시간<br>min | (10)<br>강우<br>강도<br>mm/hr | (11)<br>Q <sub>p</sub><br>m <sup>3</sup> /s |
|-----------|-----------------------------------|------------------|-----------|------------|------------|-------------|-----------|------------------------|---------------------------|---|
|           |                                   |                  |           |            | (6)<br>유로  | (7)<br>유입시간 | (8)<br>관거 |                        |                           |   |
| 1         | 0.036                             | 0.8              | 0.0288    | 0.0288     | 4-1        | 12          | —         | 12                     | 120                       | 0.96  |
| 2         | 0.036                             | 0.8              | 0.0288    | 0.0576     | B-2        | 12          | —         | 12                     | 119                       | 1.91  |
|           |                                   |                  |           |            | A-1-2      | 12          | 1.33      | 13.33                  |                           |   |
| 3         | 0.072                             | 0.6              | 0.0432    | 0.1008     | C-3        | 30          | —         | 30                     | 85                        | 2.95  |
|           | 0.030                             | 0.8              | 0.024     | 0.1248     | D-3        | 10          | —         | 10                     |                           |   |
|           |                                   |                  |           |            | A-1-2-3    | 13.33       | 2         | 15.33                  |                           |   |

맨홀 3에 대한 계산과정이 설명된다. 맨홀 3에는 소구역 A, B, C, D의 유출이 다 유입되므로 이 소구역에 대한 면적(a), 유출계수(C), 이들의 곱(aC)은 2, 3, 4란에 주어지고 4란은 Σac이다.

즉 0.1248은  $0.1008 + 0.024 = (0.0288 + 0.0288 + 0.0432) + 0.024 = 0.1248$ 이다.

6란은 맨홀 3에 유입되는 유로를 나타내고 7란은 각 유로의 유입시간, 8란은 관거 유하시간이다. 9란은 유입시간과 관거 유하시간의 합으로 이중에서 가장 큰 값이 맨홀 3의 도달시간이 되고 이들 값에는 밑에 선이 그어져 있다. 10란은 도달시간에 해당하는 지속시간과 재현기간 5년에 대한 강우강도로서 그림 7의 IDF 곡선으로 부터 얻는다. 첨두유량은 식 9에 따라 5란과 10란의 곱에 0.278을 곱하여 얻어진다.

예제 6. 유역면적이 10.5 km<sup>2</sup>, 유로연장이 5.4 km, 유역경사가 S = 0.00136인 유역의 출구에서 관측된 유량의 빈도해석에 의한 빈도별 유량이 표와 같이 주어진다. 합리식에 의하여 첨두유량, 직접유출수문곡선 및 유출계수를 결정한다.

5, 10, 25, 50년 빈도별 강우강도는 다음과 같다.

$$i_5 = 30.5 \text{ mm/h}$$

$$i_{10} = 33.9 \text{ mm/h}$$

$$i_{25} = 40.6 \text{ mm/h}$$

$$i_{50} = 44.0 \text{ mm/h}$$

해. 도달시간은 Kirpich공식에 의하여 산정한다.

$$t_c = \frac{0.0663L^{0.77}}{S^{0.386}} = \frac{0.0667 \times 5.4^{0.77}}{0.00136^{0.386}} \approx 3 \text{ hr}$$

지형과 토지이용에 의하면 유출계수는 C = 0.5 - 0.7 범위로 추정된다. 따라서 C = 0.5, 0.6, 0.7에 대한 첨두유량을 합리식으로 구한 결과는 다음과 같다. 예로 C = 0.5에 대한 Q<sub>5</sub>는

$$Q_5 = 0.278 \times 0.5 \times 30.5 \times 10.5 = 44.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

| 첨두유량            | 합리식   |       |       | 단위: m <sup>3</sup> /s |
|-----------------|-------|-------|-------|-----------------------|
|                 | C=0.5 | C=0.6 | C=0.7 | 관측치의 빈도해석             |
| Q <sub>5</sub>  | 44.5  | 53.4  | 62.3  | 44.2                  |
| Q <sub>10</sub> | 49.5  | 59.4  | 69.3  | 50.4                  |
| Q <sub>25</sub> | 59.3  | 71.1  | 82.9  | 57.7                  |
| Q <sub>50</sub> | 64.2  | 77.1  | 89.9  | 63.0                  |

관측유량의 빈도해석 결과를 합리식의 결과와 비교하면 C = 0.5가 적정치로 판단된다. 수문곡선은 첨두까지 시간이 t<sub>p</sub>=3hr, 감수부의 시간이 t<sub>r</sub>=3h인 2등변 삼각형이 된다.



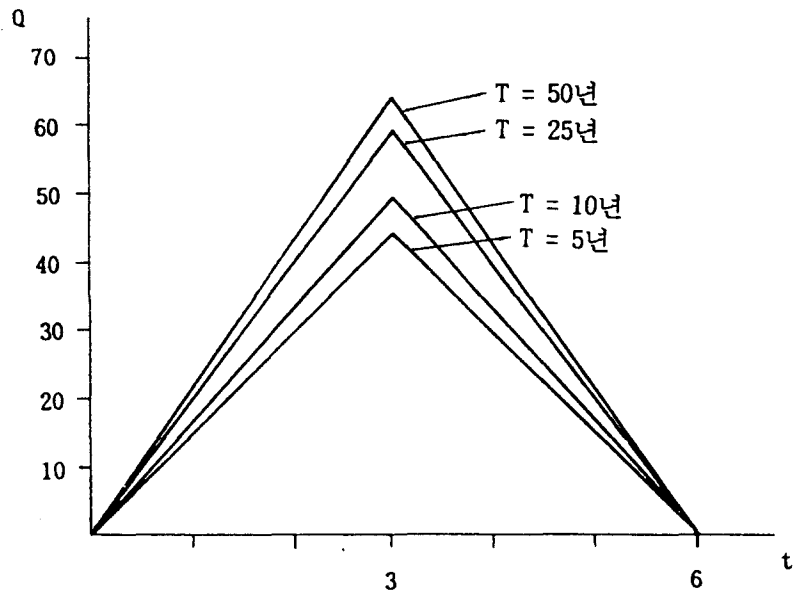


그림 12.  $C=0.5$ 에 대한 수문곡선

### 복합유역

복합유역은 현저하게 다른 특성을 갖는 2 이상의 소유역이 동일한 유출구로 유출되는 유역이다. 예를 들면 도달시간이  $t_A, t_B (t_A > t_B)$ 인 소유역 A, B로 구성된 유역(그림 13)을 들 수 있다.

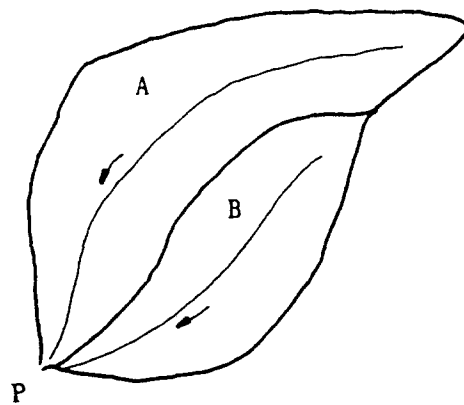


그림 13. 복합유역

이러한 복합유역에 합리식을 적용하기 위해서는  $t_B$  에서  $t_A$ 의 범위에 있는 몇개의 강우지속기간을 선정해서 유역의 출구 P에서 두 소유역의 유출의 합이 최대인 지속기간이 설계강우지속기간이 된다. 과정은 다음 예제로 설명된다.

예 7. 다음과 같은 특성을 갖는 면적이 1 km<sup>2</sup> 인 복합유역(그림 13참조)의 첨두유량을 합리식으로 구한다. 서울지역으로 재현기간은 10년이다.

|                      | 소유역 A | 소유역 B |
|----------------------|-------|-------|
| 면적(km <sup>2</sup> ) | 0.6   | 0.4   |
| 유출계수                 | 0.3   | 0.6   |
| 도달시간(min)            | 60    | 20    |

해. 흐름은 유출구에서 선형으로 유집되는 것으로 가정한다. 즉 유출구에서의 유출에 기여하는 면적의 증분은 시간증분에 따라 선형으로 비례한다. 강우지속기간은 20분에서 10분간격으로 60분까지 취한다. 각 강우지속기간에 대하여 표 4의 식을 이용해서 강우강도를 계산한다.

$$10\text{년 강우강도 } i = \frac{651.1}{\sqrt{t + 1.014}}$$

| 강우지속<br>기간 | 강우<br>강도 | 소유역 A                   |                           | 소유역 B                   |                           | 총첨두유량<br>m <sup>3</sup> /s |
|------------|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|
|            |          | 면적증분<br>km <sup>2</sup> | 첨두유량<br>m <sup>3</sup> /s | 면적증분<br>km <sup>2</sup> | 첨두유량<br>m <sup>3</sup> /s |                            |
| min        | mm/h     |                         |                           |                         |                           |                            |
| 20         | 142.01   | 0.2                     | 2.37                      | 0.4                     | 9.47                      | 11.84                      |
| 30         | 116.90   | 0.3                     | 2.92                      |                         | 7.80                      | 10.72                      |
| 40         | 101.65   | 0.4                     | 3.39                      |                         | 6.78                      | 10.17                      |
| 50         | 91.15    | 0.5                     | 3.80                      |                         | 6.08                      | 9.88                       |
| 60         | 83.34    | 0.6                     | 4.17                      |                         | 5.56                      | 9.73                       |

표로 부터 알 수 있는 바와 같이 첨두유량은 11.84m<sup>3</sup>/s이고 설계강우지속기간은 20min이다.

#### 8. 합리식의 장단점과 적용상의 유의사항

합리식의 장점은 적용이 간단하고 자료의 구득이 용이하다. 또한 강우강도-지속

기간-빈도(IDF)곡선이 일반적으로 작성되어 있는 점이다.

단점은 첨두유량만이 계산되고 유출체적이 결정되지 않을 뿐만 아니라 특정한 경우를 제외하고는 유출수문곡선이 제공되지 않는 점이다.

합리식이 근거한 가정들을 만족하기 위해서는 유역면적이 작아야 한다. 문헌에 따라서는 면적의 상한치를 2.5km<sup>2</sup>, 12.5km<sup>2</sup>, 25km<sup>2</sup> 등으로 다양하나 적정치의 제시는 어려운 문제이다. 유역면적이 크게 되면 유역의 저류효과는 유출수문곡선의 첨두의 감소와 감수부의 시간을 길게한다. 이점이 고려되지 않으면 합리식에 의한 유출은 과대하게 된다.

강우강도와 이로인한 첨두유량의 빈도는 동일한 것으로 가정되고 이에 관한 일부 연구결과(그림 14)도 있으나 선행토양함수조건, 수로손실의 변화 및 하안저류 등으로 다르게 되는 점이 주지되어야 한다.

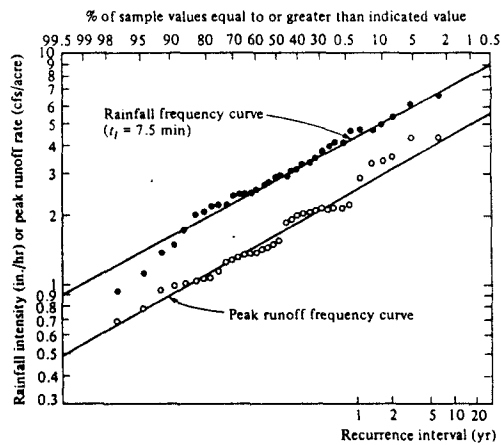


그림 14. 강우와 첨두유출기록의 분포

설계과정에서 주의할 사항은 첨두유량은 각 소유역에서 유발된 첨두유량의 합으로 주어지지 않는다. 왜냐하면 각 소유역의 첨두는 서로 다른 시간에 일어나기 때문이다. 평균강우강도  $i$ 는 총면적의 도달시간에 해당하는 강우강도이다. 설계가 하류로 진행함에 따라 유역면적과 유로연장 또는 흐름경로는 증가한다. 유로연장(또는 흐름경로)이 증가하면 도달시간이 증가하므로 강우강도  $i$ 는 감소한다. 강우강도  $i$ 는 감소하나 면적은 계속 증가하므로 첨두유량 또한 계속 증가한다. 이는 합리식은 유역의 면적이 유로연장에 따라 선형에 가까운 비율로 증가하는 유역에 적합하게 됨을 시사한다. 만약 이러한 경우가 아니면 첨두유량은 면적의 증가에 따라 증가하지 않기도 한다. 이를 설명하기 위해서 그림 15와 같은 유역을 고려한다. 유출계수는 A점까지의 유역과 B점까지 전 유역에 대해서 일정하다고 가정한다.

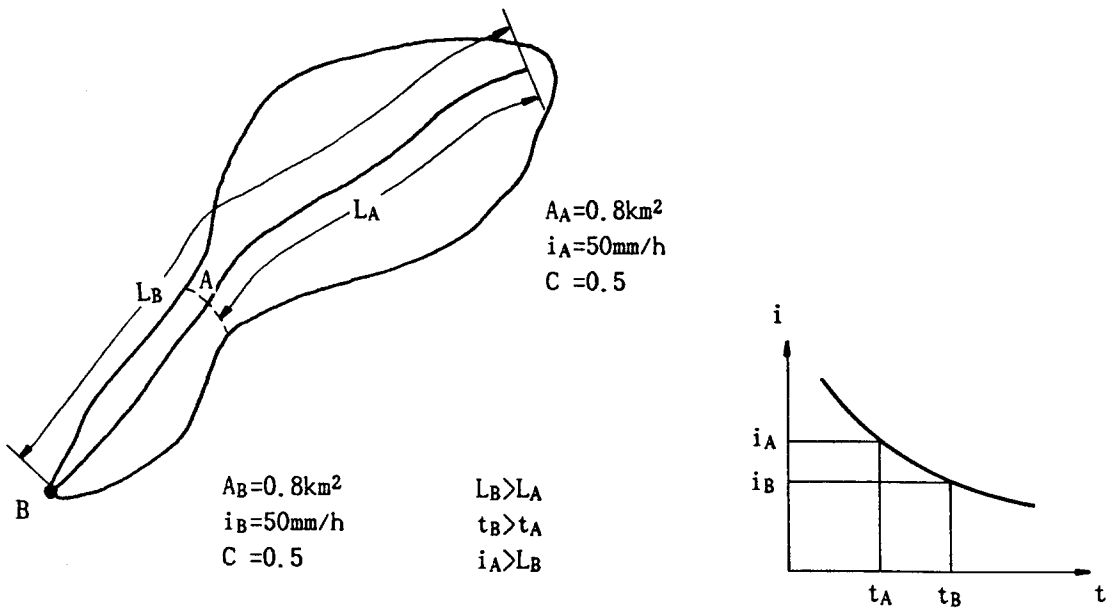


그림 15. 유역형상의 영향

A와 B점의 침투유량은 각각  $Q_A = 0.278 C i_A A_A$ ,  $Q_B = 0.278 C i_B A_B$ 이다.  $Q_B$ 가  $Q_A$ 보다 크게 되기 위해서는  $A_B/A_A$ 가  $i_A/i_B$ 보다 크게 되는 점이 필요하다. 즉 하루로 계산이 진행됨에 따라 유역면적의 증가율은 강우강도가 감소하는 비율보다 커야 한다. 그렇지 않으면 B점의 침투유량이 A점에서의 침투유량보다 작게 된다. 이러한 상황은 예로 기술된다.

예제 8. 도달시간  $t_A$ 에 해당하는 강우강도가 50mm/h, B점의 도달시간  $t_B$ 가  $t_A$ 보다 크므로 B점의 강우강도는 감소하여 40mm/h가 된다고 가정한다(그림 15). 그림 15에 따라 A점의 침투유량은  $Q_A = 0.278 \times 0.5 \times 50 \times 0.8 = 5.56 \text{ m}^3/\text{s}$ , B점의 침투유량은  $Q_B = 0.278 \times 0.5 \times 35 \times 1.0 = 4.78 \text{ m}^3/\text{s}$ . 이 경우 침투유량은 B점에서 감소함을 알 수 있다. 이는 유역면적의 비  $1.0 / 0.8 = 1.25$ 가 강우강도의 비  $50 / 35 = 1.43$  보다 작기 때문이다.

### 9. 우수관거 설계

우수관거 단면의 설계과정은 다음과 같다.

1. 설계유량  $Q_d$  와 암거내에 퇴적을 억제하는 최소수로유속(0.9m/s)에 대한 우수거의 직경은 연속방정식  $Q=AV$  에 의하여 계산되며 이는 최대단면이 된다.
2. 설계유량  $Q_d$  와 지표면 경사에 대하여 마닝공식을 이용하여 우수거의 직경을 계산한다.
3. 단계2의 직경이 단계1에서의 직경보다 작으면 단계2의 직경을 취하되

실제관의 크기를 정할때에는 단계2의 직경보다 큰 표준크기를 채택한다.

4. 단계2의 직경이 단계1의 직경보다 크면 단계1의 우수거 직경을 적용하여 마닝공식에 의하여 경사를 다시 계산한다. 이경우 지면경사보다 급한 경사가 선택된다.

설계유량이 만수상태로 흐르는 암거의 용량보다 크게 되면 過剩 流量(surcharge)이 일어나고 결과적으로 맨홀이 물로 채워지게 된다. 이와같은 과잉유량을 피하기 위해서는 암거의 경사를 크게 하거나 암거의 단면을 증가시켜야 한다.

都市雨水 排水 설계의 대부분의 경우 합리식이 이용되나 면적이 약 3km<sup>2</sup>이상이면 흐름 追跡과 水路貯溜 영향을 포함하는 수문곡선기법을 사용하는 것이 타당하다. 그림 16은 합리식에 의한 우수관거설계의 과정을 나타낸다. 설계는 최상류 관거에서 시작하여 간선에 이르게 된다.

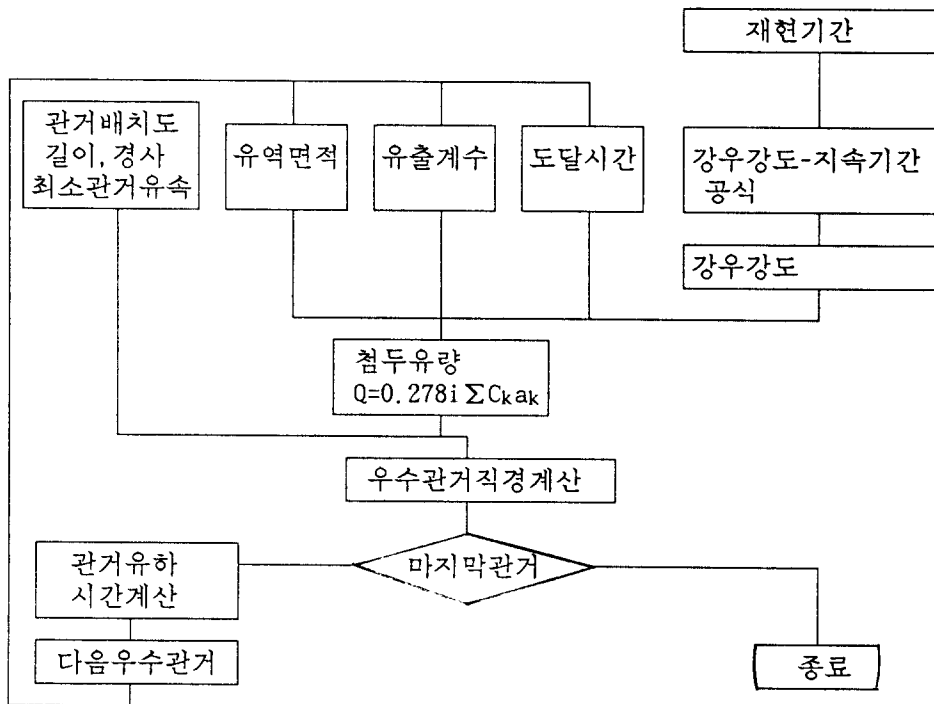


그림 16. 합리식에 의한 우수관거설계 과정

## 10. 雨水管渠設計例

그림 17에 나타난 지역의 우수관거를 설계한다. 주거지역과 상업지역의 유출계수는 각각 0.3과 0.6이고 10년 빈도 강우강도를 설계강우강도로 한다. 유입시간은 20분으로 가정한다. 관거 또는 암거의 크기와 표고는 암거내에 토사의 퇴적을 막을수 있도록 최소유속 0.9m/s 를 유지할 수 있도록 정한다. 암거의 경사는 지면경사와 부합되도록 하여 과대한 굴착을 피하도록 한다. 콘크리트관의 마닝조도계수는  $n = 0.014$ 로 한다.

해. 우수관거 설계의 계산내용은 표 11에 보인바와 같다. 지역을 서울지역으로 가정하여 강우강도를 그림 7에서 구한다.

표 11

| 입거 상하류<br>번호 | 침기 면적<br>길이 증분<br>면적 | 유역<br>면적 | 도입시간(min) |          | 가동평균<br>유출계수 | 강우<br>강도 | 설계<br>유량 | 유하<br>시간 | 유하<br>도도 | 최대작정<br>(최소유속<br>0.9m/s) | 설계경리     |      | 만홀 입거상<br>수위 하류표<br>사이 고차이 |       | 포고(m) |        |      |      |      |       |       |      |      |      |
|--------------|----------------------|----------|-----------|----------|--------------|----------|----------|----------|----------|--------------------------|----------|------|----------------------------|-------|-------|--------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|
|              |                      |          | 흐름<br>경로  | 수도유<br>계 |              |          |          |          |          |                          | 경로<br>시간 | 하시간  | 직경                         | 경사    | 유속    | 유속     | 상류   | 하류   | 유저면  | 유저면   |       |      |      |      |
| (1)          | (2)                  | (3)      | (4)       | (5)      | (6)          | (7)      | (8)      | (9)      | (10)     | (11)                     | (12)     | (13) | (14)                       | (15)  | (16)  | (17)   | (18) | (19) | (20) | (21)  | (22)  | (23) | (24) | (25) |
| 1.0          | 1-2                  | 130      | 0.011     | 0.011    | TA-1*        | 20       | —        | 20       | 0.3      | 120                      | 0.11     | 1.72 | 0.0085                     | 394   | 333   | 0.0085 | 1.26 | —    | 1.10 | 90.3  | 89.2  | 92.1 | 91.0 | 91.0 |
| 1.1          | 2-3                  | 130      | 0.015     | 0.026    | TA-2         | 20       | —        | 20       | —        | —                        | —        | —    | —                          | —     | 454   | 0.0092 | 1.61 | 0.15 | 0.98 | 89.05 | 88.07 | 91.0 | 89.8 | 89.8 |
| 1.2          | 3-6                  | 130      | 0.0169    | 0.0429   | TA-3         | 20       | —        | 20       | —        | —                        | —        | —    | —                          | —     | 661   | 0.0002 | 1.69 | 0.15 | 0.60 | 87.92 | 87.32 | 89.8 | 89.0 | 89.0 |
| 2.0          | 4-5                  | 130      | 0.0245    | 0.0245   | TA-4         | 20       | —        | 20       | 0.3      | 120                      | 0.245    | 1.33 | 0.01                       | 588   | 437   | 0.01   | 1.63 | —    | 1.30 | 89.62 | 88.32 | 91.5 | 90.2 | 90.2 |
| 2.1          | 5-6                  | 130      | 0.0269    | 0.0514   | TA-5         | 20       | —        | 20       | —        | —                        | —        | —    | —                          | —     | 585   | 0.0092 | 1.90 | 0.20 | 0.80 | 88.12 | 87.32 | 90.2 | 89.0 | 89.0 |
| 1.3          | 6-8                  | 130      | 0.0169    | 0.1112   | TA-6         | 20       | —        | 20       | —        | —                        | —        | —    | —                          | —     | 1,092 | 0.0023 | 1.44 | 0.20 | 0.50 | 87.12 | 86.62 | 89.0 | 88.7 | 88.7 |
| 3.0          | 7-8                  | 130      | 0.0112    | 0.0112   | TA-7         | 20       | —        | 20       | 0.3      | 120                      | 0.11     | 1.54 | 0.0115                     | 394   | 315   | 0.0115 | 1.41 | —    | 1.21 | 88.1  | 86.9  | 90.2 | 88.7 | 88.7 |
| 1.4          | 8-9                  | 130      | 0.0169    | 0.1393   | TA-8         | 20       | —        | 20       | —        | —                        | —        | —    | —                          | —     | 1,211 | 0.0023 | 1.54 | 0.15 | 0.31 | 86.47 | 88.16 | 88.7 | 88.4 | 88.4 |
| 1.5          | 9-10                 | 40       | 0.0223    | 0.1616   | TA-9         | 20       | —        | 20       | —        | —                        | —        | —    | —                          | —     | 1,286 | 0.0025 | 1.67 | 0.10 | 0.10 | 86.06 | 85.96 | 88.4 | 88.3 | 88.3 |
|              | (상류구)                |          |           |          | 8-9          | 25.71    | 1.41     | 27.12    | 0.44     | 110                      | 2.714    | 0.40 | 0.0025                     | 1.754 | 1.286 | 0.0025 | 1.67 | 0.10 | 0.10 | 86.06 | 85.96 | 88.4 | 88.3 | 88.3 |

\* TA-1 만홀1의 유역  
b D = (1.2740/V)<sup>0.5</sup>  
c D = (3.2114Q/48)<sup>0.375</sup>  
d V = 1.2740/D<sup>0.5</sup>

- (1) 암거번호
- (2) 암거의 상하류단에 있는 맨홀 번호
- (3) 암거길이, m
- (4) (1)에 표시된 암거에 직접 유입되는 소유역 면적, km<sup>2</sup>
- (5) (1)에 표시된 암거에 유입되는 총면적, km<sup>2</sup>
- (6) 맨홀번호 MH2의 경우 0.015km<sup>2</sup>의 소유역으로부터 직접유입되는 TA-2와 암거  
 ①을 통하여 유입되는 1-2의 두 흐름경로를 갖는다.
- (7), (8), (9) 맨홀번호 MH2의 경우 소유역 0.015km<sup>2</sup>으로 부터 유입시간은 20min이고 소유역 0.011km<sup>2</sup>에서 암거①을 통하여 맨홀 MH2에 도달하는 시간은 유입시간 + 유하시간 = 20 + 1.72 = 21.72 min이다. 따라서 맨홀 MH2에 대한 도달시간은 20min과 21.72min중에서 큰 값인 21.72min으로서 밑줄을 그어 표시하였다.
- (10) 가중 평균 유출계수는 식 8에 의하여 계산된다.
- (11) 강우강도는 9란의 도달시간과 10년 재현기간에 대하여 그림 7로부터 얻는다.
- (12) (1)에 표시된 암거를 통해서 유하시켜야 할 유량으로 암거번호 ①의 경우

$$0.278CiA=0.278 \times (10) \times (11) \times (5) = 0.278 \times 0.3 \times 120 \times 0.011 = 0.11 \text{ m}^3/\text{s}$$

- (13) 암거의 유하시간으로 암거의 길이를 만수상태의 유속으로 나누어 얻어진다.

$$\text{암거 ①의 경우 } (3)/(19)/60 = 130/1.26/60 = 1.72 \text{ min}$$

- (14) 도로경사는 암거 상, 하류단의 지반고의 차이를 거리로나누어 얻어진다.

$$\text{암거 ①의 경우 } \frac{(24) - (25)}{(3)} = \frac{92.1 - 91.0}{130} = 0.0085$$

- (15) 설계유량 Q<sub>d</sub>와 최소유속 0.9m/s에 대한 암거의 직경으로 연속방정식 Q = VA로 산정되고 최대크기가 된다. 암거번호 ①의 경우

$$D = \left( \frac{4}{\pi} \frac{Q}{V} \right)^{0.5} = \left( \frac{1.274Q}{V} \right)^{0.5} = \left( \frac{1.274 \times 0.11}{0.9} \right)^{0.5} = 0.394 \text{ m}$$

(16) 설계유량  $Q_d$ 와 도로경사에 대하여 Manning 또는 Darcy-Weisbach공식으로 계산되는 직경이다.

$$\text{Manning공식 } Q = 0.3115 \frac{D^{8/3} S^{1/2}}{n} \quad (19)$$

$$\text{또는 } D = \left( \frac{3.211nQ}{S^{1/2}} \right)^{0.375} \quad (20)$$

Darcy-weisbach공식

$$Q = \frac{3.48D^{5/2} S^{1/2}}{f^{1/2}} \quad (21)$$

$$f = \frac{124.6n^2}{D^{1/3}} \quad (22)$$

암거번호 ①의 경우 Manning공식에 의하면

$$D = \left( \frac{3.211 \times 0.014 \times 0.11}{0.0085^{0.5}} \right)^{0.375} = 0.333\text{m}$$

(17) 암거의 설계직경으로 (16)의 직경이 (15)의 직경보다 작으므로 (16)의 직경을 암거의 직경으로 채택한다. 그러나 실제로 크기결정에서는(16)의 직경보다 큰 표준크기의 관을 선정한다.

(18) 암거의 경사는 도로경사에 준한다.

(19) 만수흐름의 유속은 (12)의 설계유량과 (17)의 암거직경을 적용하여 연속방정식에 의하여 구한다. 암거번호 ①의 경우

$$\begin{aligned} V &= \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi D^2 / 4} = \frac{1.274Q}{D^2} \\ &= \frac{1.274 \times 0.11}{0.333^2} = 1.26\text{m/s} \end{aligned}$$

(20) 맨홀내에서의 유입과 유출되는 암거의 표고차이로서 맨홀내에서 흐름이 원활하도록 하기 위함이다.

(21) 암거 상, 하류단의 표고차이

(22) 암거 상류단의 표고이다. 노면에서 1.8m깊이로 굴착한 경우이고 맨홀에서의 표고조정으로 노면에서 길이는 약간 증가한다.



- (23) 암거 하류단의 표고
- (24) 암거 상류단의 지면 표고
- (25) 암거 하류단의 지면 표고

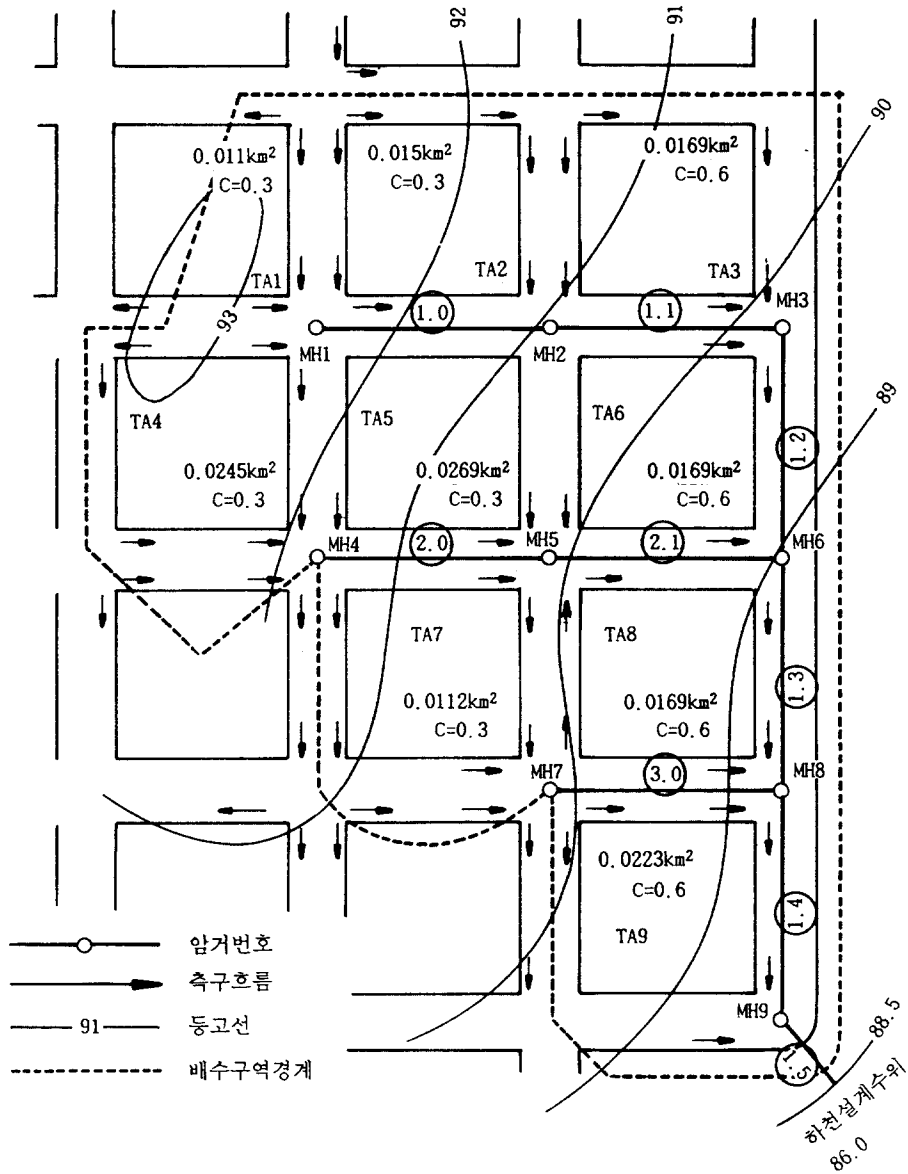


그림 17. 배수구역

## 11. 수정합리식

수정합리식(Modified Rational method)은 합리식을 이용하여 유출수문곡선을 유도하는 과정이다. 이는 선정된 재현기간과 방류율(discharge rate)에 대한 유수지(조정지)와 저류지의 설계에 사용된다.

수정합리식은 합리식의 가정에 근거한다. 유출수문곡선은 삼각형이나 사다리꼴로 근사되고 이들 모양은 도달시간과 강우지속기간의 크기에 따라 다르게 된다. 수문곡선은 전유역이 출구점에서의 유출에 기여할 때까지 즉 강우가 도달시간동안 지속될 때까지 계속 증가하여 첨두유출에 이르고 강우가 중단되면 유출은 감소한다. 이 경우 유출의 증가와 감소는 시간에 대하여 선형으로 변화한다.

수문곡선의 모양은 도달시간과 강우지속기간에 따라 3가지 유형이 가능하다. 유역면적이 A인 유역에 강우강도 i인 강우가 지속기간  $t_d$ 동안 내리는 강우로 인한 유출을 생각한다.

(i) 강우지속기간이 도달시간과 같은 경우( $t_d=t_c$ )

강우가  $t_d$ 동안 지속되므로 유출은 계속 선형으로 증가하여  $t=t_d$ 에서 첨두에 이르고 동시에 감소하여 삼각형 수문곡선을 형성한다. 지표면 흐름의 속도를 일정하다고 가정하면 증수부와 감수부의 시간폭은 같게 된다. 즉

$$t_p = t_d = t_c$$

여기서  $t_p$ 는 수문곡선의 시점에서 첨두까지 시간이다.

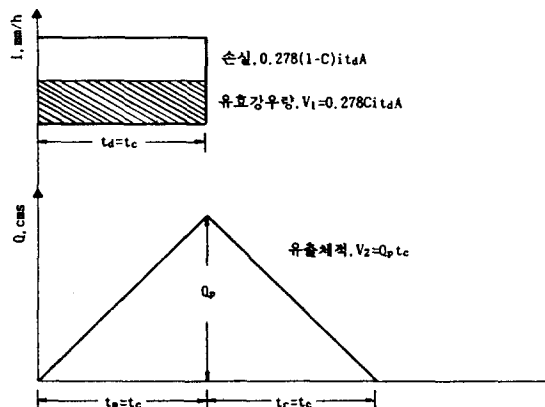


그림 18 합리식에 의한 수문곡선( $t_d=t_c$ )

강우주상도의 윗부분은 손실로서 유출로 나타나지 않는 강우부분으로 총강우량체적  $0.278it_dA$ 의  $(1-C)$ 배이다. 강우주상도의 아래부분은 유효강우량으로서 그 체적은  $V_1 = 0.278Cit_dA$ 이다. 삼각형 수문곡선의 체적은  $V_2 = Q_p t_c$ 이므로  $t_d = t_c, V_1 = V_2$ 을 고려하면

$$0.278Cit_dA = Q_p t_c$$

또는

$$Q_p = 0.278CiA$$

윗 식의  $Q_p$ 는 합리식에 의한 첨두와 같음을 알 수 있다. 즉 합리식으로 계산된  $Q_p$ 는 기저시간이  $2t_c$ 인 삼각형수문곡선의 높이와 같다.

(ii) 강우지속기간이 도달시간보다 큰 경우( $t_d > t_c$ )

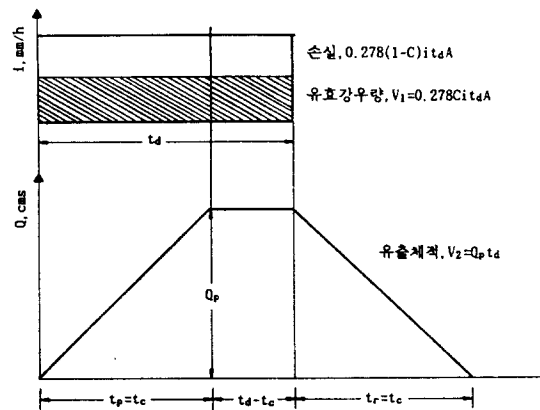


그림 19. 합리식에 의한 수문곡선( $t_d > t_c$ )

$V_1 = V_2$ 이므로

$$Q_p = 0.278CiA$$

$t_d > t_c$ 인 경우 유출수문곡선은 첨두가 합리식에 의한 첨두유량과 같고 기저시간이  $t_d + t_c$ 인 사다리꼴이 된다.

(iii) 강우지속시간이 도달시간보다 작은 경우( $t_d < t_c$ )

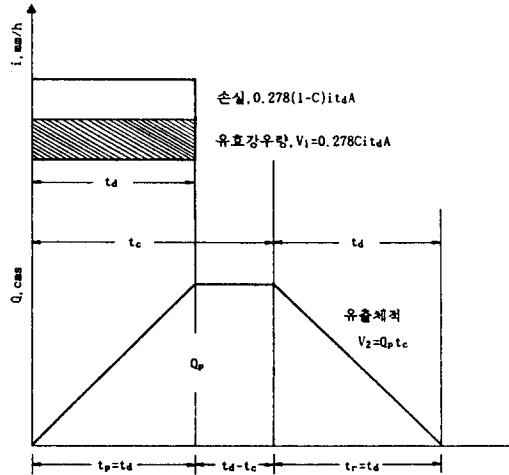


그림 20. 합리식에 의한 수문곡선( $t_d < t_c$ )

$V_1 = V_2$ 이므로

$$0.278Cit_dA = Q_p t_c$$

$Q_p$ 에 관하여 정리하면

$$Q_p = 0.278CiA \frac{t_d}{t_c}$$

$t_d < t_c$ 인 경우 유출수문곡선은 첨두가 합리식에 의한 첨두유출보다  $\frac{t_d}{t_c}$ 배로 작고 기저시간이  $t_d + t_c$ 인 사다리꼴이 된다.

## 12. 우수지용량결정

신도시와 같은 도시화는 유출의 첨두와 체적을 증가시켜 하류에 악영향을 준다. 따라서 개발된 지역에서 설정된 호우빈도에 대하여 개발후의 유출이 개발전의 유출을 초과 하지 않도록 즉 무초과유출(zero excess runoff)이 되도록 규정하고 있다. 우수지는 첨두유량을 조절하는 수단으로 이용된다. 우수지가 축조되면 수문곡선에 주는 영향을 평가하기 위하여 저수지 추적이 사용된다.

조정지 또는 우수지(detention basin, retarding basin, stormwater management

basin)는 저수지에 물을 잠정적으로 가둬 뒀다가 하류조건에 따라 서서히 방류하고, 저류지(retention storage)는 물을 항구적으로 가둬두고 방류하지 않으며 증발과 침투로 물이 감소된다.

조정지의 용량은 유입수문곡선과 유출수문곡선의 차이를 계산하므로써 결정된다(그림 21a).

$$V = \int_0^{t_0} (Q_i - Q_o) dt \quad (23)$$

여기서  $V$  = 소요 조정지용량  
 $t_0$  = 유출수문곡선이 유입수문곡선의 감수부와 교차하는 시간  
 $Q_i$  = 유입유량  
 $Q_o$  = 유출유량

저류할 수 있는 조정지의 용량보다 큰 유량의 유입수문곡선에 대해서는 여수로를 통해서 방류하거나 외수의 수위가 높아서 자연방류가 불가능한 경우에는 펌프를 통해서 배제한다(그림 21b).

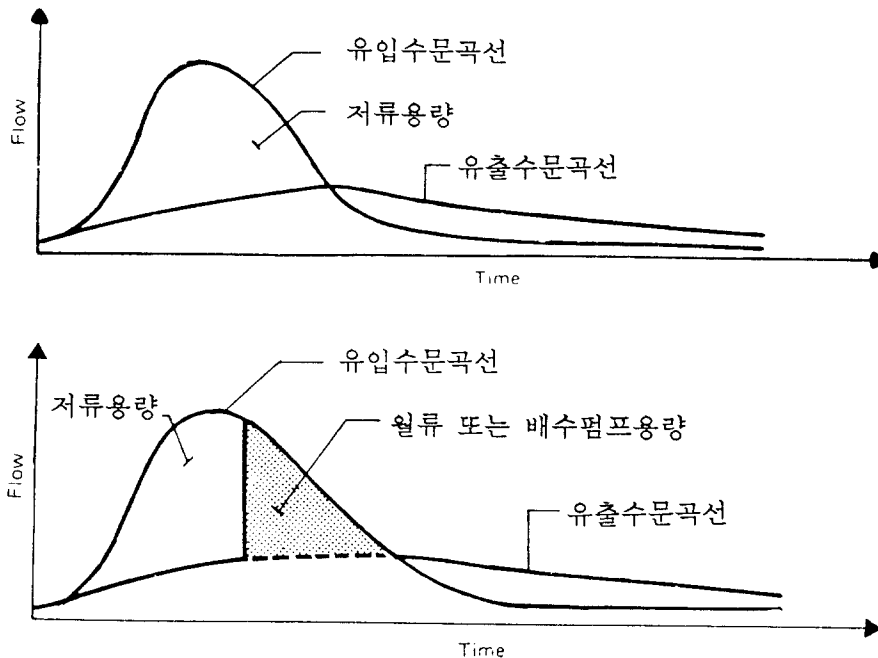


그림 21 조정지의 용량결정

1) 도달시간은 고려하지 않는 합리식에 의한 방법

이는 호우지속기간 동안의 총유출체적을 산정한다. 이는 합리식에 의한 첨두유량에 지속기간을 곱해서 결정된다.

$$\begin{aligned} V &= t_d \cdot Q \\ &= t_d (0.278CiA) \end{aligned} \quad (23)$$

여기서  $V$  = 유출체적,  $m^3$

$t_d$  = 호우지속기간, sec

각 지속기간에 대한 유출체적과 방류량을 도시한다. 소요용량은 그림 22에서 두 곡선의 최대 종거차이로 주어진다. 이 과정은 하나의 재현기간에 대한 것이므로 필요하다면 다른 재현기간에 대해서도 반복한다. 이 방법은 큰유역에서는 유출을 과도하게 산정해서 조정지 용량을 과대하게 하는 경향이 있다.

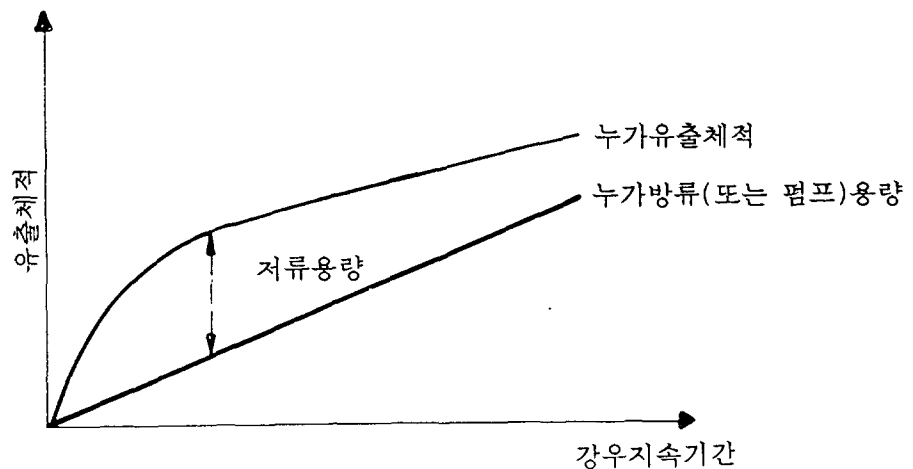


그림 22. 유수지 용량결정

예제 9. 배수구역의 면적이  $4.65 \text{ km}^2$ , 도달시간 40분, 유출계수가 0.6인 유역으로부터 하류로 방류되는 유량이  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 제한될 경우 20년 빈도에 해당하는 조정지의 용량을 결정한다. 여기에  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ 는 펌프의 배수용량 또는 개발이전의 유량으로 해석될 수 있다. 사용되는 강우강도식은  $753.8/(\sqrt{t}+1.023)$ 과 같다.

해. 조정지 용량결정은 다음표로 계산되며 조정지 용량은 각지속기간에 대한 유입량과 방류량의 최대 차이가 된다.

표 12. 합리식에 의한 조정지 용량결정 (도달시간 비고려)

| (1)<br>강우지속<br>기간<br>min | (2)<br>강우강도<br>mm/hr | (3)<br>첨두유출<br>m <sup>3</sup> /s | (4)<br>유출 체적<br>(1)×(3)×60<br>m <sup>3</sup> | (5)<br>방류량 체적<br>40×(1)×60<br>m <sup>3</sup> | (6)<br>저류용량<br>(4)-(5)<br>m <sup>3</sup> |
|--------------------------|----------------------|----------------------------------|--|--|--|
| 20                       | 137.2                | 106.4                            | 127,698                                      | 48,000                                       | 79,698                                   |
| 25                       | 125.2                | 97.1                             | 145,661                                      | 60,000                                       | 85,661                                   |
| 30                       | 116.0                | 90.0                             | 161,949                                      | 72,000                                       | 89,949                                   |
| 35                       | 108.6                | 84.2                             | 176,887                                      | 84,000                                       | 92,887                                   |
| 40                       | 102.6                | 79.6                             | 190,988                                      | 96,000                                       | 94,988                                   |
| 45                       | 97.5                 | 75.6                             | 204,181                                      | 108,000                                      | 96,181                                   |
| 50                       | 93.1                 | 72.2                             | 216,630                                      | 120,000                                      | 96,660                                   |
| 55                       | 89.3                 | 69.3                             | 228,567                                      | 132,000                                      | 96,567                                   |
| 60                       | 86.6                 | 66.7                             | 241,807                                      | 144,000                                      | 97,807                                   |
| 65                       | 83.0                 | 64.4                             | 251,068                                      | 156,000                                      | 95,068                                   |
| 70                       | 80.3                 | 62.3                             | 261,585                                      | 168,000                                      | 93,585                                   |
| 80                       | 75.6                 | 58.6                             | 281,456                                      | 192,000                                      | 89,456                                   |
| 90                       | 71.7                 | 55.6                             | 300,304                                      | 216,000                                      | 84,304                                   |
| 100                      | 68.4                 | 53.0                             | 318,314                                      | 240,000                                      | 78,314                                   |

(2)란 - 강우강도는 한국건설기술연구원에 의한 서울지역의 20년빈도 강우강도식  $I = 753.8 / (\sqrt{t} + 1.023)$ 에 의해 계산된다.

(3)란 - 합리식에 의한 첨두유출  $t_d=20$ 분인 경우  $0.278 \times 0.6 \times 137.2 \times 4.65 = 106.4$  m<sup>3</sup>/s

(4)란-유출체적은 식 23 또는 첨두유출에 지속기간을 곱해서 구해진다.  $t=20$ 분인 경우 유출체적은  $V=Qt_d=106.4 \times 20(60)=127,698$ m<sup>3</sup>

(5)란 - 방류량 40m<sup>3</sup>/s에 지속기간을 곱해서 계산된다. 조정지의 용량은 6란의 최대치로서 97.807m<sup>3</sup> 이 된다.

(2) 도달시간을 고려한 수정합리식에 의한 방법

이는 도달시간과 같은 호우지속기간에 대한 수문곡선을 작성하면 소요용량은 제형유입수문곡선과 방류유량  $Q_0$  사이의 면적중에서 최대치로 결정된다.

예제 10. 예제 9를 수정합리식을 이용해서 우수지의 용량을 결정한다.

표 13. 수정합리식에 의한 조정지용량결정(도달시간고려)

| (1)<br>강우지속<br>기간<br>min | (2)<br>강우강도<br>mm/hr | (3)<br>첨두유량<br>m <sup>3</sup> /s | (4)<br>저류용량<br>(4)-(5)<br>m <sup>3</sup> |
|--------------------------|----------------------|----------------------------------|--|
| 20                       | 137.2                | 53.2                             | 26.928                                   |
| 30                       | 116.0                | 62.5                             | 39.600                                   |
| 40                       | 102.6                | 79.6                             | 47.520                                   |
| 50                       | 93.1                 | 72.2                             | 54.096                                   |
| 60                       | 86.6                 | 66.7                             | 57.672                                   |
| 70                       | 80.3                 | 62.3                             | 58.872                                   |
| 80                       | 75.6                 | 58.6                             | 58.590                                   |
| 90                       | 71.7                 | 55.6                             | 57.096                                   |
| 100                      | 68.4                 | 53.0                             | 54.600                                   |

해. 1. 각지속기간에대한 수문곡선을 계산한다. 가장 짧은 지속기간으로 도달시간이 일반적으로 선정된다. 본예제에서  $t_c=40$ 분이다. 참고로  $D=20, 30$ 분도 포함된다.

$t_d=20$ 분의 수문곡선 - 도달시간도 20분일 경우 첨두유량은  $106.4\text{m}^3/\text{s}$ 로 계산되나 문제구역의 도달시간은 40분이므로 첨두는  $106.4 \times 20 / 40 = 53.2\text{m}^3/\text{s}$ 이다. 따라서 수문곡선은 높이가  $53.2\text{m}^3/\text{s}$ 인 사다리꼴이 된다.

$t_d=60$ 분인 경우 수문곡선-첨두는  $Q=0.278 \times 0.6 \times 86.6 \times 4.64 = 66.7\text{m}^3/\text{s}$  이므로 수문곡선은 높이가  $66.7\text{m}^3/\text{s}$ , 윗변이  $t_d - t_c = 60 - 40 = 20$ 분, 밑변이  $t_d + t_c = 60 + 40 = 100$ 분인 사다리꼴이 된다(그림 23).

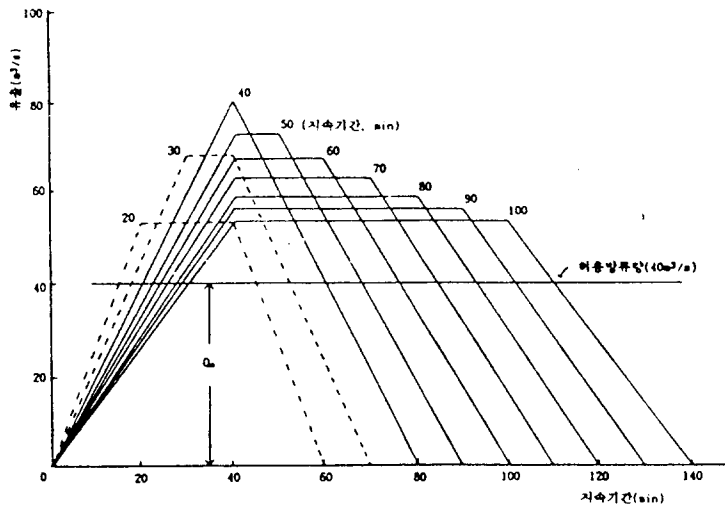


그림 23. 수정합리식에 의한 조정지 용량 결정



2. 허용 방류유량  $Q_0=40\text{m}^3/\text{s}$ 를 그림23에 나타낸다. 조정지의 소요용량은 수문 곡선과 허용방류량을 나타내는 선사이의 면적이 된다.

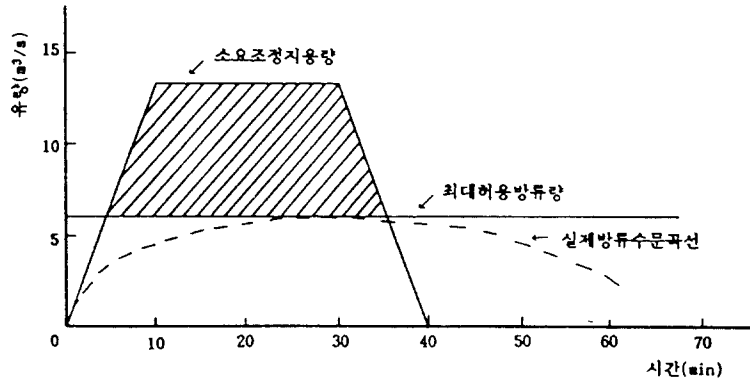


그림 24.

3. 표 13의 4란은 유입수문곡선과 허용방류량( $40\text{ m}^3/\text{s}$ )을 나타내는 직선으로 둘러싸인 면적(그림 24에서 사선부분의 면적)이고 각 지속기간에 대한 소요 조정지용량을 나타낸다. 소요용량은  $58,872\text{m}^3$ 이 됨을 알수 있고 이를 유발하는 지속기간은 70분이다.

수정합리식에 의하여 조정지 용량을 산정할 경우 다음 사항들에 관한 고려가 필요하다.

1. 적용의 간편성의 이점이 있으나 사용자가 간과하는 가장 중요한 사항은 도달 시간에 해당되는 강우지속기간이 호우의 지속기간과 같다고 보는 점이다. 도달시간은 단순히 IDF곡선상에서 평균강우강도를 결정하기 위한 시간이다. 일반적으로 호우지속기간은 도달시간보다 길다. 설계강우지속기간의 이전과 이후에 발생하는 강우에 의한 유출이 조정지 용량에 포함되지 않는 점이다. 이는 조정지 용량을 과소하게 산정하는 결과가 된다.
2. 그림 24에서 알 수 있는 바와 같이 방류량을 일정하게 취하는 것은 곡선형의 방류수문곡선의 근사이므로 실제 조정지 용량은 실제로 소요용량보다 작게 산정된다.
3. 일정방류로 인한 소요 저류 용량의 과소산정은 삼각형 또는 사다리꼴 수문곡선을 저수지추적기법으로 추적하여 제거가능하다.

## 참고문헌

1. '90 수해백서. 1992. 서울특별시
2. ASCE, 1970, Design and Construction of Sanitary and Storm Sewer, Manual No.37
3. Gupta, R.S., 1988, Hydrology and Hydraulic System, Prentice Hall
4. Horner, W.W., 1910, Modern Procedure in District Sewer Design, Eng. News 64.326
5. Overton, D.E and Meadows, M.E., 1976, Stormwater Modeling, academic Press.
6. Ponce, V.M., 1989, Engineering Hydrology, Prentice Hall
7. Rossmiller, R.L., 1980, The Rational Formular Revisited. Proc. Int. Sym. Urban Storm Runoff, Univ. of Kenturchy, Lexington, PP.1-12.
8. Schaake, J.C. and et. al., 1967, Experimetal Examination of the Rational Method, ASCE, Jour. Hyd. Div., No., Hy6.
9. Schwab. G. O., et. al., 1971, Soil and Water Conservation Engineering, N.Y. John Wiley
10. Singh, V. P., 1988, Hydrologic Systems. Prentice Hall
11. Walesh, S.G., 1989, Urban Surface Water Management, John Wiley
12. Yen, B. C., 1978, Storm Sewer System Design, Univ of Illinois
13. 송득범, 서울지역의 강우특성에 관한 연구, 한양대학교 산업대학원 석사학위 논문, 1990. 6.