

## 제 2 장 수리·수문

### 2.1 설계빈도

#### 2.1.1 설계빈도의 선정

(1) 설계빈도는 배수시설의 중요도, 설계홍수량 이상의 유출량이 발생하였을 때의 위험도, 경제성 등을 고려하여 정한다.

(2) 구조물별 설계빈도의 적용

구 분	설계빈도
교 량	하천정비기본계획상의 계획빈도를 따른다. 단, 하천정비기본계획이 미수립된 경우에는 하천 관련기관과 협의하여 결정하거나 하천설계기준에 따라 적용한다.
암거 및 배수관 (도심지, 집단가옥 등)	25년 (50년)
노면 및 쌓기부·깎기부 비탈면 배수시설	10년
측도 및 도로 인접지 배수시설	10년
집수정 등 배수구조물간 접속부	접속하는 시설물 중 빈도가 큰 값 적용

※ 산지, 계곡부 등 집중호우 발생 예상지역은 필요에 따라 설계빈도를 발주처와 협의하여 결정할 수 있다.

(3) 단, 중요 배수시설은 관계기관 및 감독관과 협의하여 설계빈도를 결정한다.

(4) 하천 중요도에 따른 설계빈도

하천중요도	적용하천 범위	설계빈도	관리자
A	국가하천의 중요구간	200년 빈도 이상	국토해양부
B	국가하천	100~200년 빈도	국토해양부
C	지방 1급 하천	80~200년 빈도	광역단체
D	지방 2급 하천	50~200년 빈도	광역단체
E	소하천 <sup>1)</sup>	30~200년 빈도	기초단체

주) 소하천은 행정안전부의 소하천 정비법의 적용을 받는 하천

(5) 설계빈도의 특성<sup>1)</sup>

- ① 설계 발생빈도를 상향시에 강우강도(I) 및 설계강우량( $Q_d$ )이 각 단계별로 13~18%정도 증가 된다.

1) 배수설계 발생빈도 검토(설계일 13201-6, 2001.1.15)

#### 4-2-2 | 제4편 배수공

##### ② 서울지역의 경우

- 가. 50년시의 강우강도 : 25년시의 강우강도의 1.18배
- 나. 100년시의 강우강도 : 50년시의 강우강도의 1.11배

##### ③ 부산지역의 경우

- 가. 50년시의 강우강도 : 25년시의 강우강도의 1.16배
- 나. 100년시의 강우강도 : 50년시의 강우강도의 1.13배

### 2.1.2 산지부의 설계빈도 선정<sup>2)</sup>

- (1) 비탈면 유실, 하천 범람 등의 피해를 예방하기위해 산지부의 설계강우 발생빈도를 상향 조정한다.
- (2) 산지부 설계강우 발생빈도

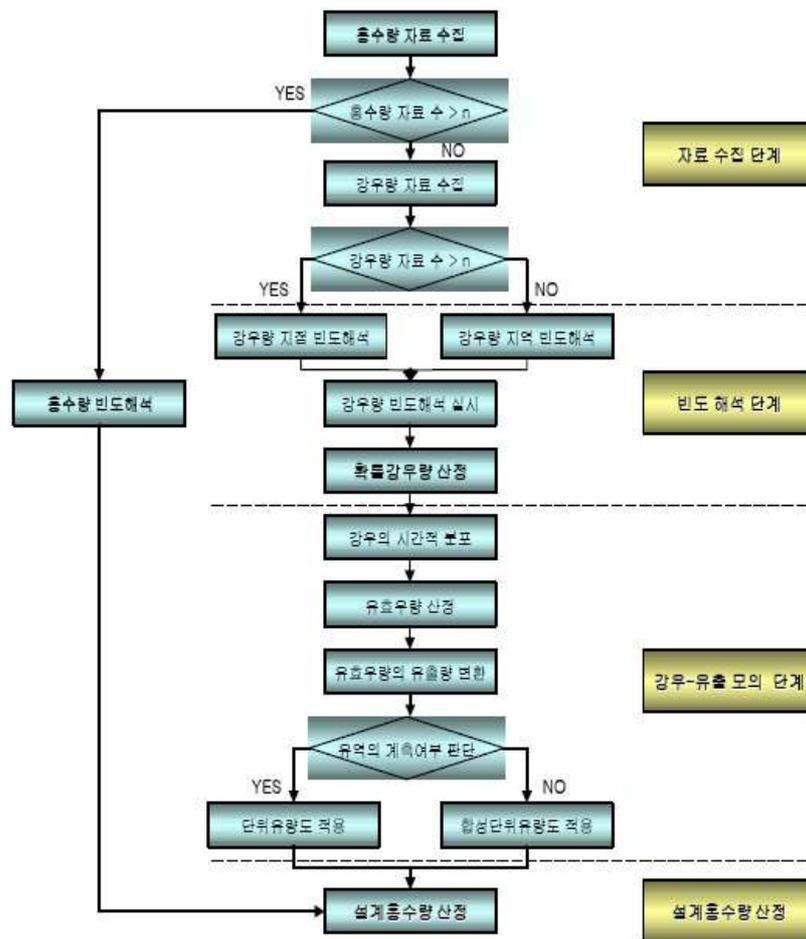
[표 2.1.1] 설계강우 발생빈도

구 분		빈도
산지	암거 및 배수관	100년
	노면 및 비탈면 배수시설	20년
	측도 및 도로인접지 배수시설	20년
평지	암거 및 배수관 (도심지, 집단가옥 등)	25년 (50년)
	노면 및 비탈면 배수시설	10년
	측도 및 도로 인접지 배수시설	10년

## 2.2 설계홍수량

- (1) 유역크기에 따라 소규모, 중규모, 대규모 유역으로 분류하고 각각의 유출 특성에 맞는 설계홍수량 산정방법을 적용한다.
- (2) 충분한 관측 유출량 자료가 있는 경우는 빈도해석을 이용하여 직접 산정한다.
- (3) 자료가 불충분한 경우에 유역면적이 4km<sup>2</sup> 이하이거나 유역 또는 하도의 저류효과를 기대할 수 없는 경우 합리식을 적용한다.
- (4) 40km<sup>2</sup> 이하인 중규모인 경우는 지표면 유출결과를 바탕으로 하천유출량을 산정하는 방식을 사용하며, 이 때 하천설계기준의 설계홍수량 산정방법을 적용한다.

2) 수해예방을 위한 산지부 도로설계기준 개선(설계처-3394, 2007.11.28)



<그림 2.2.1> 설계 홍수량 산정 흐름도

### 2.2.1 유역크기에 따른 분류

#### (1) 소규모 유역(small watershed)

##### ① 정의

가. 설계강우 지속시간동안 강우강도가 비교적 일정하고 강우의 공간분포도 균일한 유역을 말한다.

나. 지표면 유출이 지배적인 유역 또는 하도의 저류효과를 무시할 수 있는 유역 등의 기준을 만족시키는 유역이다.

다. 유역면적 : 4km<sup>2</sup> 이하

##### ② 설계홍수량 산정 : 합리식을 적용하여 산정한다.

#### (2) 중규모 유역(mid-size watershed)

##### ① 정의

가. 설계강우 지속시간동안 강우강도가 시간에 따라 변화하나 강우의 공간 분포가 비교적 균일한 유역을 말한다.

나. 유출이 지표면 유출과 하도 유출로 구성되는 유역 또는 하도의 저류효과를 무시할 수 있는 유역 등의 기준을 만족하는 유역이다.

#### 4-2-4 | 제4편 배수공

다. 유역면적 : 4~250km<sup>2</sup> 이하

② 설계홍수량 산정 : 합성단위도 방법을 적용하여 산정한다.

#### (3) 대규모 유역(large watershed)

##### ① 정의

가. 설계강우 지속기간동안 강우강도가 시간에 따라 변화하며, 강우의 공간적 변화가 심한 유역을 말한다.

나. 하도의 저류효과가 커서 유출계산에서 이를 무시할 수 없는 유역 등의 기준을 만족하는 유역이다.

다. 유역면적 : 250km<sup>2</sup> 보다 큰 경우

② 설계홍수량 산정 : 중규모 유역에 대한 유출 계산과 하도홍수 추적 및 합성 등으로 설계홍수량을 산정한다.

### 2.2.2 유역특성에 따른 분류

#### (1) 자연유역

##### ① 유역 특성

가. 식생피복에 따른 증발산, 침투가 활발한 유역이다.

나. 자연유역은 지표면을 따라 흐르는 유출 유속을 저감시켜 도달시간을 지연시키는 효과가 있다.

다. 하상의 자갈, 모래 등으로 인해 하천의 유속도 느리므로 도시하천에 비해 통수능이 낮다.

##### ② 설계홍수량 산정

가. 소규모 유역은 합리식을 사용한다.

나. 중규모 유역은 유출량 자료가 존재하는 경우와 존재하지 않는 경우를 구분하여 유역특성에 적합한 방법을 적용한다.

#### (2) 도시유역

##### ① 유역 특성

가. 도시화로 인한 불투수면의 증가, 토양 침투량이 감소되어 유출량과 유출율이 증가된다.

나. 증가된 유량과 정비된 우수관거로 인해 유출속도도 빨라진다.

다. 호우의 경우 자연유역에 비해 더 많은 양, 더 빠른 속도로 하류로 집결된다.

② 설계홍수량 산정 : 자연구역과 동일한 방법을 적용하여 산정한다.

### 2.2.3 설계홍수량 산정방법

#### (1) 강우량과 유출량 자료가 충분할 경우

① 빈도해석을 이용하여 직접 산정

#### (2) 강우량과 유출량 자료 활용이 어렵고 간접적인 방법으로 산정할 경우

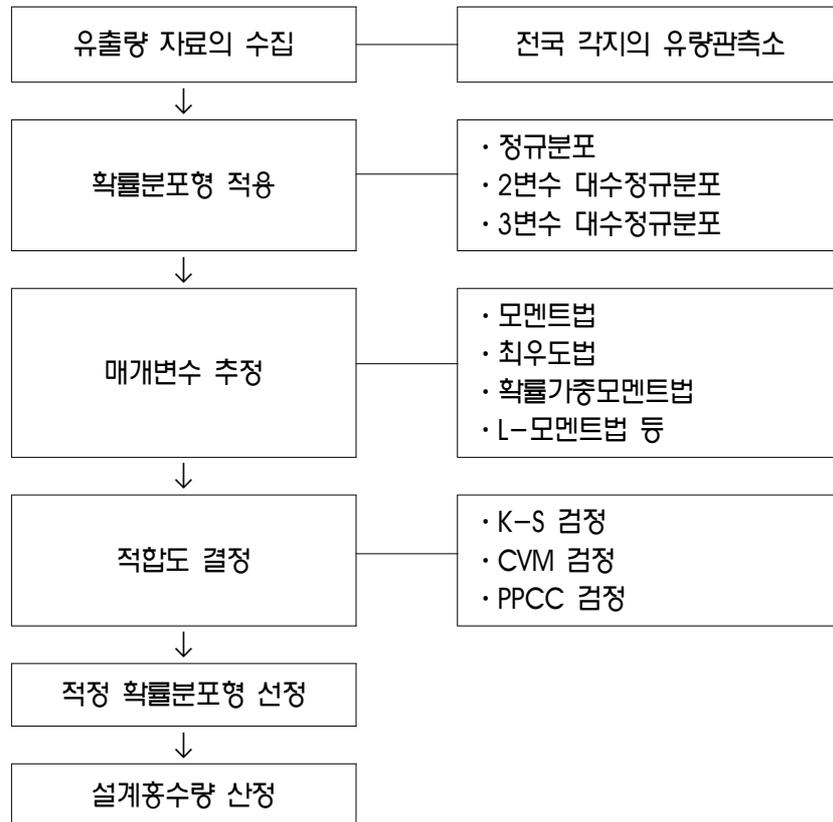
① 소규모 유역(유역면적 4km<sup>2</sup> 이하) : 합리식을 사용

② 중규모 유역(유역면적 250km<sup>2</sup> 이하) : 합성단위유량도법을 사용

#### (3) 중규모이면서 강우량과 유출량 자료가 다수 존재하는 경우

① 단위유량도법을 사용

## 2.2.4 직접적 빈도해석방법을 이용한 홍수량 산정방법



&lt;그림 2.2.2&gt; 직접 빈도해석 절차

## 2.2.5 소규모 유역의 설계홍수량 산정

- (1) 유출량 자료의 활용이 어려워 간접적인 방법으로 설계홍수량 산정시 합리식을 이용하여 산정한다.
- (2) 합리식 : 일정 강우강도를 가지는 유역의 설계홍수량 산정시 널리 이용된다.

$$\textcircled{1} Q_d = 0.2778 C \cdot I \cdot A \quad \text{[식 2.2.1]}$$

여기서,  $Q_d$  : 유역출구에서의 첨두 유량( $\text{m}^3/\text{sec}$ )  
 $C$  : 유출계수  
 $I$  : 지속시간이  $t$ 인 강우강도( $\text{mm}/\text{hr}$ )  
 $A$  : 유역면적( $\text{km}^2$ )

## ② 합리식의 전제조건

- 가. 강우강도  $I$ 의 강우에 의한 홍수량  $Q_d$ 는 그 강도의 강우가 유역의 도달시간과 같거나 더 큰 시간동안 계속될 때 최대치에 도달한다.
- 나. 강우의 지속시간이 유역의 도달시간과 같거나 길 때 강우강도  $I$ 인 강우에 의한 첨두홍수량  $Q_d$ 는 강우강도  $I$ 와 직선적 관계를 가진다.
- 다. 첨두홍수량의 발생확률은 주어진 도달시간에 대응하는 강우강도의 발생확률과 동일하다.

4-2-6 | 제4편 배수공

라. 유출계수 C는 각각 다른 발생확률을 가지는 강우유출사상(rainfall event)에 관계없이 동일하다.

(3) 합리식에 이용되는 매개변수

① 유출계수

가. 유출계수는 토지이용의 함수로 주어진다.

나. 상이한 피복상태로 구성되는 복합 토지이용인 경우 가중평균 유출계수를 구한다.

다. 가중평균 유출계수(C)

$$C = \frac{\sum A_i C_i}{\sum A_i} \quad \text{[식 2.2.2]}$$

여기서, C : 가중평균 유출계수

A<sub>i</sub> : 상이한 피복상태의 면적

C<sub>i</sub> : 상이한 피복상태의 유출계수

라. 일반적으로 사용되는 유출계수의 값

구 분	유출계수(C)	구 분	유출계수(C)
포장면	0.9	도시지역	0.7
가파른산지 및 비탈면	0.8	잡지	0.6
가파른계속 경작지	0.8	경작하는 평계속	0.6
논	0.8	경작하는 평작지	0.5
완만한 산지	0.7	수림	0.3
완만한 경작지	0.7	밀림수림과 덩불숲	0.2

마. 지표 상황에 따른 유출계수의 보정

지표상황	보정치(가감량)
나 지	경사 < 5% : - 0.05
초 지	경사 > 10% : + 0.05
경작지	재현기간 < 20년 : - 0.05
삼 림	재현기간 > 50년 : + 0.05
	연평균강수량 < 600mm : - 0.03
	연평균강수량 > 900mm : + 0.03

주) 하천설계기준(한국수자원학회, 2005)

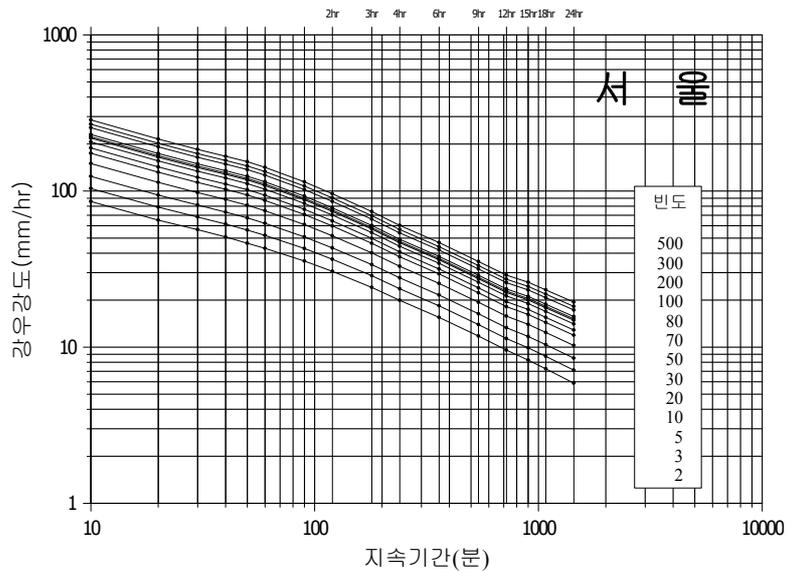
바. 토지이용도에 따른 유출계수 범위

토 지 이 용		C	토 지 이 용		C
상업 지역	도심지역	0.70~0.95	도 로	아스팔트	0.70~0.95
	근린지역	0.50~0.70		콘크리트 벽 들	0.80~0.95 0.70~0.85
주거 지역	단독주택	0.30~0.50		공원, 묘역	
	독립주택단지	0.40~0.60	운 동 장		0.20~0.35
	연립주택단지	0.60~0.75	철 로		0.20~0.40
	교외지역	0.25~0.40	미개발 지역		0.10~0.30
	아파트	0.50~0.70	차도 및 보도		0.75~0.85
산업 지역	산재지역	0.50~0.80			
	밀집지역	0.60~0.90			

주) 하천설계기준(한국수자원학회, 2005)

② 강우강도

- 가. 유역의 도달시간  $t_c$ 를 강우의 지속기간  $t$ 로 가정,
- 나. 설계하고자 하는 소규모 수공구조물의 목적과 중요도에 따라 강우의 설계 재현기간을 선택,
- 다. 강우강도-지속기간-재현기간 곡선(I.D.F 곡선) 또는 강우강도공식으로부터 결정한다.



<그림 2.2.3> 서울지점의 강우강도-지속기간-빈도 곡선

라. 따라서, 합리식의 홍수량  $Q_0$ 는 설계 강우강도 I와 동일한 재현기간을 가지도록 나타난다.  
 마. 공식(건설교통부, 2000, 중앙하천관리위원회 심의 의결)

$$I(T, t) = \frac{a + b \ln \frac{T}{t^n}}{c + d \ln \frac{\sqrt{T}}{t} + \sqrt{t}} \quad [\text{식 2.2.3}]$$

여기서, T : 재현기간(년)

t : 강우지속시간(분)

a, b, c, d : 지점별로 결정되는 지역상수

### ③ 도달시간

가. 배수(집수)구역의 가장 멀리 떨어진 지점에서부터 홍수량 산정지점까지 강우가 도달하는 시간을 의미한다.

나. 강우지속시간이라고도 한다.

다. 유입시간과 유하시간의 합으로 표시된다.

## 2.2.6 중규모 유역의 설계홍수량 산정

### (1) 단위유량도법

① 유역의 강우량 자료와 유출량 자료가 다수 존재해야 한다.

② 관측된 유출량 자료를 바탕으로 한 유역의 대표단위도가 존재하는 경우에 한하여 사용한다.

### (2) 합성단위유량도법

① 유출량 자료가 존재하지 않는 미계측 유역에서의 사용을 원칙으로 한다.

② 대표단위도 작성이 어려운 경우 합성단위유량도를 작성하여 사용한다.

③ 합성단위유량도 이용시 주의사항

가. 유출모형의 선정은 각각의 지역 특성과 유역의 수문학적 특성을 고려하여 선정되어야 한다.

나. 매개변수는 각 유역에 맞게 설정되어야 신뢰성 있는 유출량 산정결과를 얻을 수 있으므로 유역에 적합한 매개변수 추정식을 이용하여야 한다.

다. 특정 합성단위유량도를 이용한 유출량 산정 결과를 이용하기보다는 3개 이상의 유출량 산정결과를 토대로 하여 비교하여 보고 유역 특성에 맞는 최적의 유출량 산정을 선택하는 것이 바람직하다.

## 2.3 개수로

### (1) 홍수 흐름의 구분

① 관수로 흐름

가. 수로 단면에서의 흐름

나. 위치수두, 압력수두, 속도수두의 수두인자로 구성된다.

② 개수로 흐름

가. 자유 수면을 갖는 흐름

나. 개수로 흐름은 자유 수면으로 압력수두가 없다.

(2) 도로 배수시설의 흐름

① 단면 형상에 관계없이 자유 수면이 존재하는 개수로의 상태가 일반적이다.

② 개수로의 수리조건과 도로 배수시설과의 관계를 파악하는 것이 중요하다.

2.3.1 개수로 흐름상태

(1) 정상류와 비정상류

① 정상류(steady flow) : 개수로 내에서 수심이 시간에 따라 변하지 않고 일정한 흐름

② 비정상류(부정류, unsteady flow) : 개수로 내에서 수심이 시시각각 변하는 흐름

③ 개수로의 흐름상태 분석

가. 일반적으로 정상류 상태로 분석

나. 홍수류와 같이 시간에 따라 급변하는 흐름은 비정상류 조건의 분석이 필요

다. 개수로 흐름이 정상류인 경우의 유량은 연속방정식으로부터 유도

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \cdots A_n V_n \quad \text{[식 2.3.1]}$$

여기서, Q : 개수로 내 유량(m<sup>3</sup>/sec)

A<sub>n</sub> : 임의 지점에서 수로 단면적(m<sup>2</sup>)

V<sub>n</sub> : 임의 지점에서 유속(m/sec)

(2) 등류와 비등류

① 등류(uniform flow) : 개수로내 모든 공간에서 수심이 동일한 흐름

② 비등류(varied flow) : 개수로내 수심이 변하는 흐름

(3) 상류와 사류

① 상류와 사류의 구분

가. 상류 : 한계수심 이하로 흐르는 흐름

나. 사류 : 한계수심 이상으로 흐르는 흐름

다. 한계수심(d<sub>c</sub>) : 비에너지가 최소가 되는 수심

라. 일반적으로 사류는 급류, 상류는 완속류 상태로 규정한다.

② 비에너지

가. 수로바닥을 기준으로 측정한 단위 무게의 물이 갖는 흐름의 에너지를 말한다.

나. 개소내의 임의의 한 점에서 물이 갖는 비에너지 식

$$E = d + \alpha \frac{V^2}{2g} \quad \text{[식 2.3.2]}$$

여기서, E : 비에너지(specific energy)

d : 수심(m),

α : 에너지 보정계수

V : 평균유속(m/sec)

g : 중력가속도(9.8m/sec<sup>2</sup>)

다. 비에너지가 최소가 되는 조건 :  $F_r$  (Froude수)가 1인 경우

$$\frac{Q^2 T_c}{g A_c^3} = \frac{V_c^2}{g d_c} = F_r^2 = 1 \quad [\text{식 2.3.3}]$$

여기서, Q : 유량

$T_c$  : 한계수심으로 흐를 때 개수로의 수면폭(m)

$A_c$  : 한계수심으로 흐를 때 유수의 단면적( $m^2$ )

$V_c$  : 한계유속(m/sec)

$g$  : 중력가속도( $9.8m/sec^2$ )

$F_r$  : Froude수(사류 :  $F_r > 1$ , 상류 :  $F_r < 1$ )

라. 비에너지 최소조건으로부터의 최소비에너지, 한계수심, 한계유속의 계산

$$E_{min} = \frac{3}{2} d_c \quad [\text{식 2.3.4}]$$

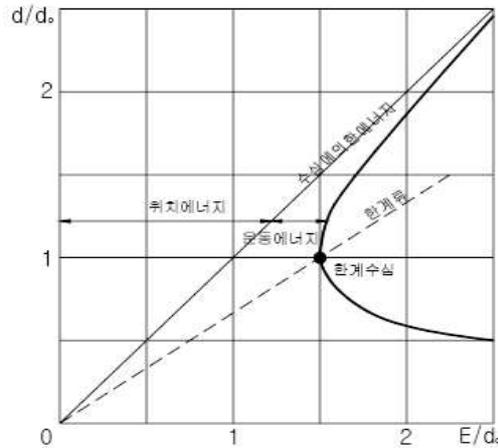
$$V_c = \sqrt{g \cdot d_c} \quad [\text{식 2.3.5}]$$

여기서,  $E_{min}$  : 최소 비에너지(m)

$d_c$  : 한계수심(m)

$g$  : 중력가속도( $m/sec^2$ )

$V_c$  : 한계유속(m/sec)



<그림 2.3.1> 비에너지와 수심의 관계

### 2.3.2 유량과 유속

(1) 개수로 유량은 Manning 공식을 사용하여 산정한다.

(2) Chezy의 공식

$$\textcircled{1} Q = A \cdot V \quad [\text{식 2.3.6}]$$

여기서, Q : 유량( $m^3$ ), A : 유수단면적( $m^2$ ), 흐름과 직각

V : 평균유속(m/sec)

$$\textcircled{2} V = C\sqrt{R \cdot S} \quad [\text{식 2.3.7}]$$

여기서, C : 수로의 표면특성에 따른 조도계수

R : 동수반경(m, 여기서  $R=A/P$ , P : 수로의 윤변)

### (3) Manning 공식

$$\textcircled{1} \text{ Chezy 공식에서 } C \text{ 값을 } C = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n} \text{로 제시}$$

$$\textcircled{2} V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \quad [\text{식 2.3.8}]$$

여기서, V : 평균속도(m/sec)

n : 조도계수

R : 동수반경(m)

S : 수로경사(m/m)

### ③ Manning 평균유속공식에서의 유량

$$Q = A \cdot V = A \cdot \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad [\text{식 2.3.9}]$$

[표 2.3.1] Manning 조도계수 n 값

수 로 상 태		n 값		
		양 호	보 통	
폐 수 로	콘크리트 파이프	0.013	0.015	
	강 관	0.011	-	
	콘크리트 수로	0.015	0.017	
개수로	콘크리트 수로	바닥에 자갈 산재	0.015	0.017
		양호한 단면	0.016	0.019
	아스팔트 수로	매 끈 함	0.013	-
		거 칠 음	0.016	-
고속도로 수로	콘크리트 수로	매끈한 표면처리	0.013	
		거친 표면처리	0.015	
	아스팔트 수로	매끈한 표면처리	0.013	
		거친 표면처리	0.016	
	콘크리트 포장 수로	미장 마감	0.014	

[자료 : 도로부대시설, 1998, 건설교통부]

### 2.3.3 경제적인 수로단면

#### (1) 통수능

- ① Manning의 유량공식은  $Q = K \cdot S^{\frac{1}{2}}$ 로 표현할 수 있다.
- ② K는 통수단면의 형상과 조도계수에만 관계되는 식으로 이를 수로의 통수능(conveyance)이라 한다.

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} = \frac{1}{n} \left( \frac{A^5}{P^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{[식 2.3.10]}$$

여기서, K : 수로의 통수능

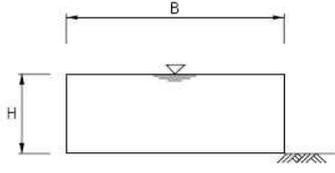
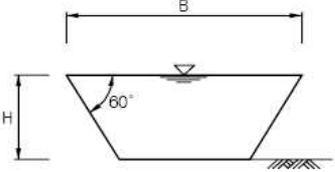
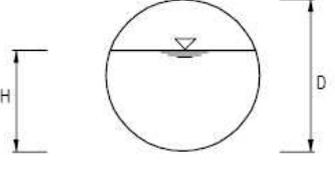
R : 통수반경(A/P, P=수로의 윤변)

n : 조도계수

- ③ 통수능(K)은 수로의 윤변이 작을수록 커지며
- ④ 통수능이 커질수록 처리할 수 있는 유량은 커지게 된다.
- ⑤ 수리적으로 유리한 단면 즉, 경제적인 수로단면이 된다.

#### (2) 대표 형상별 경제적인 수로 단면

[표 2.3.2] 경제적인 수로 단면

구 분	단면도	경제적인 단면의 조건
직사각형 수로		$B = 2H$
사다리형 수로		$\alpha = 60^\circ$ $B = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{3} \cdot H$
원형 수로		$H = 0.94D$