

## 하수관거의 최저유속 Minimum Velocity of Sewerage Pipes

유 동 훈\* / 이 정 영\*\*  
Yoo, Dong Hoon / Lee, Jung Young

---

### Abstract

Explicit equations of minimum velocity, energy slope and pipe diameter are developed to ensure the cleaning of sewerage pipes. The equations of power form are employed for the estimation of critical shear stress of sediment particles and the friction factor of commercial pipes. They are all based on the existing laboratory data. Several cases are tested to check the values suggested in the manual, using the equations developed in the present study.

*Keywords:* sewerage pipes, minimum velocity, energy slope, pipe diameter, critical shear stress, friction factor of commercial pipes

---

### 요 지

하수관내 침전물의 퇴적을 방지하기 위하여는 최저유속과 에너지경사, 관경을 산정하여 제시하여야 하는데 이들 수치를 바로 결정하는 양해법 산정식들을 개발하였다. 이를 위하여 토사의 임계전단력과 상용관 마찰계수 산정을 위하여 지수형 산정식들을 도입하였으며, 이들 지수형 산정식들은 기존 실험관측자료를 이용하여 개발되었다. 시방서에 제시된 수치들의 적합성을 판별하기 위하여 여러 예들을 본 연구에서 개발된 산정식들을 적용하여 검토하였다.

**핵심용어 :** 하수관거, 최저유속, 에너지 경사, 관경, 임계전단응력, 상용관 마찰계수

---

\* 아주대학교 환경도시공학부 부교수

Associate Prof., Division of Envir. and Urban Engrg., Ajou Univ., Suwon, Kyonggi 442-749, Korea

\*\* 아주대학교 건설교통공학과 석사과정

Graduate Student, Dept. of Civil and Traffic Engrg., Ajou Univ., Suwon, Kyonggi 442-749, Korea

## 1. 서 론

하수관로계통의 계획 및 설계에 있어서 가장 중요한 것 중의 하나가 토사 및 침전물의 퇴적을 방지하고 하수구의 침식을 방지하기 위한 최적 유속의 선택이다. 하수가 관거내를 유하할 때 유속이 느리면 관거바닥에 침전물이 많이 퇴적되어 준설작업 등으로 유지관리비가 증가하고, 반대로 유속이 너무 빠르면 관내에 유입된 모래와 자갈 등으로 관마찰로 인한 마모 및 손상이 격심해져 관거의 내용년수를 줄인다.

하수관거내를 유하하는 하수의 최저유속이란 하수중에 포함된 무무기성 부유물이 관거의 저부에 침전됨이 없이 지속될 수 있는 유속을 말하며 자체 청소유속을 일컫는다. 하수중의 오물이 차례로 관거에 침전되는 것을 막기 위하여 경사는 하류로 갈수록 감소되어도 유하함에 따라 유속이 점증되도록 해야 한다. 그러나 하류로 갈수록 하수량은 증가되어 관거가 커지므로 경사가 감소되어도 유속을 크게 할 수 있다. 또한 유속을 크게 형성하고자 경사를 급하게 만들면 매설깊이가 점차 깊게 되므로 시공이 곤란하고 공비가 증대된다.

하수관로는 유량변동이 있더라도 오물이 침전되지 않는 정도의 유속을 갖도록 해야 하는데 설계하수량에 대해 일반시방서에는 표 1에 제시된 바와 같이 최소유속이 0.6 m/s가 되도록 추천하고 있다(한국수도협회, 1998). 우수관거 및 합류관거에서 우수관거보다 최소유속이 더 큰 이유는 토사류의 유입에 따른 침전물의 크기가 우수관거보다 크기 때문이다. 그러나 관로의 최소유속이 유지되지 않으면 오물이 침전되고 관거내 유하시간이 길어져 관거내 침전물의 부패로 인한 황화물질 및 악취 등이 발생할 수 있다. 반면 유속이 지나치게 크면 관거를 손상시키고 유하시간 단축으로 인하여 하류지점에서 하수량을 크게 하는 요인이므로 최대유속을 3.0 m/s로 제한하고 있다.

한편 상기한 하수관거의 최적유속에 대한 기준을 실제의 하수관거 계획에 적용하는데 있어 염병대(1998)는 다음과 같은 문제점들을 제시하였다.

첫째로, 우수관거에서 계획유량에 대하여 최저유속을

최소 0.6 m/s 이상으로 제시하고 있다. 실제 저유량시에는 어느 정도 부유물의 침전을 허용하고 있으며 또한 계획유량이라는 것은 일반적으로 하수관거 계획기간인 10~20년 이후에 발생할 수 있는 유량으로 계획 초기에는 이보다 더 작은 유량이 흐르므로 시설계된 최소유속보다 작아진다는 것이다.

둘째로, 하수관거의 자체청소유속(최저유속)을 결정하는 데 있어서 고형물의 크기, 비중, 지형경사 그리고 관의 종류 및 관의 크기에 따라 유속이 달라질 수 있다는 것이다. 그러므로 일률적으로 최저유속을 결정하는 것은 합리적이지 않다.

셋째로, 기존의 관거경사 결정은 토립자의 비중, 입경 등을 고려하지 않고 우수관과 합류관 모두 일률적으로 관경에 대해서만 고려하였기 때문에 과대 또는 과소 유속이 발생할 가능성이 있다.

본 연구에서는 상기 지적사항들 중 주로 둘째 항과 셋째항의 개선책으로 유동훈과 강찬수(1998)의 지수형 상용관 마찰계수 산정식을 도입하고 토사세굴 입계속도도 지수형 산정식을 도입하여 관경과 관의 종류, 토사 입경에 따른 최적유속 산정식을 개발하고 관경, 토립자의 비중, 입경 등에 따라 관로경사를 결정하는 산정식을 개발하였다.

## 2. 최저유속

소류사나 부유사 이동량 산정에 사용되는 임계마찰 Froude number를 사용하여 최저유속을 유도하는데 임계마찰 Froude number의 정의는 다음과 같다.

$$F_{*c} = \frac{u_{*c}}{\sqrt{(s-1)g\phi}} \quad (1)$$

여기서  $F_{*c}$ 는 임계마찰후루드수이고 Shields number  $\phi = F_{*c}^2$ 이며  $u_{*c}$ 는 임계마찰속도,  $s$ 는 토사의 상대밀도,  $g$ 는 중력가속도,  $\phi$ 는 토사입경이다.

van Rijn(1984)은 Shields number를 바로 구할 수 있는 양해법 산정식을 개발하였으며 임계마찰후루드수를 사용하면 다음과 같다.

표 1. 하수도 시설기준에서 제시한 하수관거의 유속

하수관거	우수관거	합류관거 및 우수관거
최소유속	0.6 m/s	0.8 m/s
최대유속	3.0 m/s	3.0 m/s
이상적인 유속	1.0~1.8 m/s	

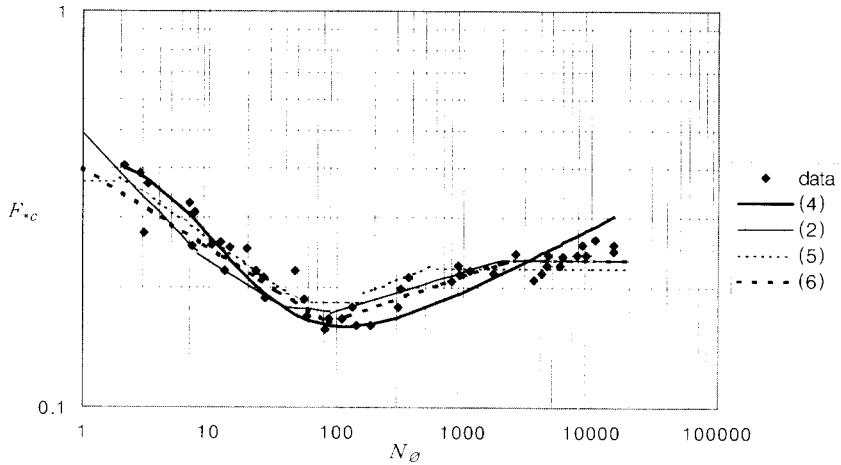


그림 1. Critical friction Froude number ( $F_{*c}$ ) against Reynolds-Froude number ( $N_{\phi}$ )

$$\begin{aligned}
 F_{*c} &= 0.49 N_{\phi}^{-0.33} & N_{\phi} &\leq 8 \\
 F_{*c} &= 0.37 N_{\phi}^{-0.2} & 8 < N_{\phi} &\leq 40 \\
 F_{*c} &= 0.20 N_{\phi}^{-0.03} & 40 < N_{\phi} &\leq 90 \quad (2) \\
 F_{*c} &= 0.11 N_{\phi}^{0.1} & 90 < N_{\phi} &\leq 1980 \\
 F_{*c} &= 0.235 & 1980 < N_{\phi} &
 \end{aligned}$$

또한 이들 식 (2) 또는 식 (5)를 간편하게 나타내기 위해 그림 1의 관측자료를 3개 구간으로 나누어 지수형 산정식으로 회귀 분석하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 F_{*c} &= 0.4 N_{\phi}^{-0.2} & 1 < N_{\phi} &\leq 88 \\
 F_{*c} &= 0.1 N_{\phi}^{0.11} & 88 < N_{\phi} &\leq 2362 \quad (6) \\
 F_{*c} &= 0.235 & 2362 < N_{\phi} &
 \end{aligned}$$

여기서 R-F Number 인  $N_{\phi}$ 는 다음과 같다.

$$N_{\phi} = \frac{\phi \sqrt{(s-1)g\phi}}{\nu} \quad (3)$$

$\nu$ 는 동점성계수이다.

이들 산정식들을 하나의 약산식으로 표현할 경우 유동훈과 김창식(1995)은 다음과 같이 제시하였다.

$$F_{*c} = \exp\left(-2.83 + 0.17 \ln N_{\phi} + \frac{5.3}{2.5 + 0.22 N_{\phi}}\right) \quad (4)$$

岩垣雄一(1956)도 Shields Curve를 양해법 산정식으로 표기하였는데 그의 산정식을 본고의 무차원수를 도입하여 표기하면 다음과 같다

$$\begin{aligned}
 F_{*c} &= 0.373 & N_{\phi} &\leq 2 \\
 F_{*c} &= 0.443 N_{\phi}^{-0.22} & 2 < N_{\phi} &\leq 54 \\
 F_{*c} &= 0.184 & 54 < N_{\phi} &\leq 162 \quad (5) \\
 F_{*c} &= 0.1 N_{\phi}^{0.13} & 162 < N_{\phi} &\leq 660 \\
 F_{*c} &= 0.224 & 660 < N_{\phi} &
 \end{aligned}$$

한편 최저유속 산정에 있어 토립자의 입경에 따라  $N_{\phi}$  값을 정해 구간별로 산정식을 적용하나 하수관거의 설계에서 토립자의 입경을 평균 2.5 mm 이상으로 규정하므로  $N_{\phi}$  값을 500 이상으로 볼 수 있다. 그리고 van Rijn식 (2), Yoo-Kim식 (4), 岩垣식 (5), Yoo식 (6)을 비교해 본 결과 그림 1에서와 같이  $N_{\phi}$  값이 100~2000사이에서 岩垣식 (5), van Rijn식 (2), Yoo식 (6), Yoo-Kim식 (4)의 순으로 임계마찰력의 크기가 작아지며, 岩垣식 (5)과 Yoo식 (6)은 거의 유사한 수치를 제공함을 알 수 있다.

이상과 같이 임계마찰속도를 구하는 산정식을 지수형으로 다음과 같이 표기한다.

$$F_{*c} = a N_{\phi}^b \quad (7)$$

하수관 설계에 있어 대개  $500 < N_{\phi}$  이므로 식 (5)에 따라  $a=0.1$ ,  $b=0.13$ , 또는 식 (6)에 따라  $a=0.1$ ,  $b=0.11$ 로 고정할 수 있다.

또한 단면평균 마찰응력은 다음과 같다.

$$\tau = \rho g H i = \frac{1}{4} \rho g D i = \rho C V^2 \quad (8)$$

여기서  $\rho$  는 물의 밀도,  $i$  는 수리경사,  $V$  는 단면평균 유속,  $H$  는 동수반경,  $C$  는 마찰계수,  $D$  는 관경이다. 식 (1)과 식 (8)을 식 (7)에 대입시키면 다음과 같다.

$$F_\phi = a N_\phi^b \frac{1}{\sqrt{C}} \quad (9)$$

여기서

$$F_\phi = \frac{V}{\sqrt{(s-1)g\phi}} \quad (10)$$

로 정의된다.

상용관 마찰계수  $f$  를 레이놀즈수에 대한 지수함수 식으로 취했을 때 각 계수치들은 관의 종류와 크기의 함수이며 다음과 같이 표기된다.

$$f = \alpha R_D^\beta \quad (11)$$

$f = 8C$  이므로

$$C = \frac{1}{8} \alpha R_D^\beta \quad (12)$$

식 (12)를 식 (9)에 대입하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$F_\phi = \sqrt{8} a N_\phi^b \alpha^{-1/2} R_D^{-\beta/2} \quad (13)$$

한편  $R_D$  는 관경 레이놀즈수이며 입경후루드수  $F_\phi$  와는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$R_D = N_{D\phi} F_\phi \quad (14)$$

여기서

$$N_{D\phi} = \frac{R_D}{F_\phi} = \frac{D\sqrt{(s-1)g\phi}}{\nu} \quad (15)$$

로 정의되며  $N_{D\phi}$  는 조건치로서 바로 구해지는 무차원 수이다.

식 (15)로 도출된  $R_D = N_{D\phi} F_\phi$  를 식 (13)에 대입하면

$$F_\phi = \sqrt{8} a N_\phi^b \alpha^{-1/2} (N_{D\phi} F_\phi)^{-\beta/2} \quad (16)$$

식 (16)을  $F_\phi$  에 관하여 정리하면

$$F_\phi = \left[ \frac{8a^2}{\alpha} N_\phi^{2b} N_{D\phi}^{-\beta} \right]^{\frac{1}{2+\beta}} \quad (17)$$

따라서 관저의 최저유속은 다음과 같이 산정된다.

$$V = \left[ \frac{8a^2}{\alpha} N_\phi^{2b} N_{D\phi}^{-\beta} \right]^{\frac{1}{2+\beta}} \sqrt{(s-1)g\phi} \quad (18)$$

여기서  $\alpha$  와  $\beta$  는 관의 종류와 크기에 따라 변이할 수 있는 계수로서 Colebrook수집자료를 분석한 결과 두 수치 모두 관경  $D$  와 밀접히 연관되어 있는 것으로 확인되었다.

한편 유동훈과 강찬수(1998)의 지수형 마찰계수 산정식에서는  $\alpha$  값을 관경의 함수로 유추하고  $\beta$  를 관의 종류와 관의 크기에 따라 고정하였으며  $\alpha$  를 다음과 같이 산정하였다.

$$\alpha = \omega \left( \frac{D}{D_0} \right)^\zeta \quad (19)$$

여기서  $\omega$  와  $\zeta$  는 관의 크기와 관의 종류에 따라 변이하는 계수이며  $D_0$  는 기준관경으로서 1 m이다.  $\omega$ ,  $\zeta$ ,  $\beta$  의 수치는 표 2에 제시된 바와 같다.

식 (19)를 식 (17)에 대입시키면

$$F_\phi = \left[ \frac{8a^2}{\omega} N_\phi^{2b} N_{D\phi}^{-\beta} \left( \frac{D}{D_0} \right)^{-\zeta} \right]^{\frac{1}{2+\beta}} \quad (20)$$

따라서 최저유속은 다음과 같이 산정된다.

$$V = \left[ \frac{8a^2}{\omega} N_\phi^{2b} N_{D\phi}^{-\beta} \left( \frac{D}{D_0} \right)^{-\zeta} \right]^{\frac{1}{2+\beta}} \sqrt{(s-1)g\phi} \quad (21)$$

이상과 같이 임계마찰 Froude number를 사용하여 하수관저의 최소유속을 산정하는 식을 개발하였으며 개발된 최종식에는 관경, 관중, 입경, 비중 등의 주어진 인자들만을 포함하고 있다.

표 2.  $\alpha$ 산정식의 계수  $\omega$ 와  $\xi$  그리고 지수  $\beta$

관의 종류		$\omega$	$\xi$	$\beta$
인발관	소형관	0.022	-0.803	-0.10
	중형관	0.065	-0.282	-0.08
역청 주철관	중형관	0.127	-0.255	-0.13
	대형관	0.098	-0.366	-0.08
연철관	소형관	0.126	-0.096	-0.15
	중형관	0.091	-0.135	-0.12

### 3. 관로경사와 관경

일반적으로 하수의 수송은 중력에 의한 자연 유하에 의존하고 있으며 이 경우 하수관거의 경사를 지표의 구배와 거의 동일하게 계획하는 것이 경제적이다. 그러나 지형이 평탄하거나 급경사일 경우에는 기술적인 문제점이 발생한다. 즉 평탄한 경우 하수관거의 구배를 지표면구배에 따라 계획하면 관거내 유속이 지나치게 느리게 되어 하수중의 부유물이 침전하여 빈번한 관거 준설이 필요할 뿐 아니라 침전된 유기물이 부패하여 유해가스를 발생시키므로 악취 및 폭발의 원인이 될 수 있다. 한편 급경사일 경우는 관거내의 유속이 지나치게 크게 발생하여 하수관거의 마모 및 파손에 의한 도로의 함몰 등 재해로 연결될 수 있다.

이와 같이 관로 설계에 있어서 경사 결정은 하류로 갈수록 유량이 점차적으로 증가하므로 경사는 점차 작아지도록 설계하는 것이 원칙이며 관거 경사를 지표면의 경사에 준하여 설계하도록 해야 한다. 그러나 기존의 경사 결정은 관경(mm)의 역수로 취하여 토립자의 비중과 크기를 고려하지 않은 상태로 오수관과 합류관 모두 일률적으로 결정하였기 때문에 과대 또는 과소 설계가 되어 비경제적일 수 있다. 따라서 본고에서는 관경, 토립자의 비중, 크기 등을 고려하여 최소경사와 관경을 산정하는 식을 유도하였다.

식 (8)로부터 관로경사는 다음과 같이 나타난다.

$$u_{*c} = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} = \frac{1}{2} \sqrt{gDi} \quad (22)$$

식 (22)를 식 (7)에 대입하면 다음과 같다.

$$\frac{\frac{1}{2} \sqrt{gDi}}{\sqrt{(s-1)g\phi}} = a N_{\phi}^b \quad (23)$$

좌변을  $i$ 에 관하여 정리하면 자연관로의 경사는 관경

과 토사입경이 주어질 경우 다음과 같이 표기된다.

$$i = 4(s-1)a^2 N_{\phi}^{2b} \frac{\phi}{D} \quad (24)$$

한편 관로경사가 주어지고 매물 방지를 위한 최저유속을 유지하기 위한 관경을 구하려면 식 (24)로부터 다음과 같이 유도된다.

$$D = 4(s-1)a^2 N_{\phi}^{2b} \frac{\phi}{i} \quad (25)$$

또한 유량이 주어질 때는 식 (21)로부터 다음과 같이 유도된다.

$$\frac{D}{D_0} = \left[ \frac{\omega}{8a^2} N_{\phi}^{(-2b+\beta)} F_{0\phi}^{(2+\beta)} \left( \frac{\phi}{D_0} \right)^{-\beta} \right]^{\frac{1}{4+\beta-\xi}} \quad (26)$$

여기서

$$F_{0\phi} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D_0^2 \sqrt{(s-1)g\phi}} \quad (27)$$

이며  $D_0$ 는 기준관경으로서 마찬가지로  $D_0 = 1$  m 이다.

### 4. 비교·분석

하수관거 설계에는 표 3에 제시된 바와 같이 세가지 유형으로 구분되는데 설계유형 A는 자연관로의 경사를 결정하는 경우이며 설계유형 B는 최저유속을 산정하는 경우이고 설계유형 C는 관경을 결정하는 경우이다.

본 연구에서 개발된 산정식과 기존의 경험식을 설계유형 A, B, C로 나누어 관거 퇴적물에 대한 축적된 분석자료가 없을 경우 합류관의 경우에는 하수중에 토사류 등 비중이 오수관에 비해 더 큰 고형물이 포함되어 유하할 수 있다는 점을 고려하여 토사입경  $\phi$ 를 오

표 3. 하수관로의 설계유형별 산정식

설계유형	산정요구치	주어진 조건	산정식
A	i	D, s, $\phi, \nu$	$i = 4(s-1)a^2 N_\phi^{2b} \frac{\phi}{D}$
B	V	D, s, $\phi, \nu$	$V = \left[ \frac{8a^2}{\omega} N_\phi^{2b} N_{D\phi}^{-\beta} \left(\frac{D}{D_0}\right)^{-\xi} \right]^{\frac{1}{2+\beta}} \sqrt{(s-1)g\phi}$
C	D	i, s, $\phi, \nu$	$D = 4(s-1)a^2 N_\phi^{2b} \frac{\phi}{i}$
		Q, s, $\phi, \nu$	$\frac{D}{D_0} = \left[ \frac{\omega}{8a^2} N_\phi^{(-2b+\beta)} F_{0\phi}^{(2+\beta)} \left(\frac{\phi}{D_0}\right)^{-\beta} \right]^{\frac{1}{4+\beta-\xi}}$

표 4. 하수관로의 설계유형별 간편식

설계유형	산정요구치	주어진 조건	산정식	
			오수관 ( $\phi=2.5$ mm)	합류관 ( $\phi=4$ mm)
A	i	D, s, $\phi, \nu$	$i = 0.648 \frac{1}{D}$	$i = 1.21 \frac{1}{D}$
B	V	D, s, $\phi, \nu$	$V = 0.707 D^{0.206}$	$V = 1.066 D^{0.206}$
C	D	i, s, $\phi, \nu$	$D = 0.648 \frac{1}{i}$	$D = 1.21 \frac{1}{i}$
		Q, s, $\phi, \nu$	$D = 1.261 Q^{0.453}$	$D = 1.084 Q^{0.453}$

단위 : D(m), i(%), V(m/s), Q(m<sup>3</sup>/s)

수관일 때 2.5 mm와 합류관일 때 4 mm로 가정한 후 식 (7)의 임계마찰후루두수 산정에 있어 a=0.1, b=0.11를 사용하고 관종은 중형관인 주철관일 경우  $\omega = 0.127$ ,  $\xi = -0.255$ ,  $\beta = -0.13$ 를 사용해 간편식을 개발하였으며, 그 결과는 표 4에 제시된 바와 같다.

설계유형 A의 자연관로의 경사결정에 있어 식 (24)와 같이 관경, 토립자의 비중, 크기 등을 고려한 경우와 기존의 관경의 역수로서 경사를 결정한 값과 비교하여 표 5에 제시하였다. 자연관로의 경사를 결정하는데 있어 관경 뿐 아니라 토립자의 비중과 크기 또한 상당한 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 오수관의 경우는 기존의 경사결정 방식보다 경사가 작은 반면에 합류관의 경우는 반대로 크다는 것을 표 5에 제시한 수치로부터 알 수 있다. 오수관과 합류관을 설계하는데 있어 입경 및 관경의 영향을 고려하지 않고 기존의 경사 결정방식인 관경의 역수로 일률적으로 처리할 경우 오수관의 경우는 매설깊이의 상당한 증가로 인하여 공사비가 증가하고 합류관의 경우는 경사 부족으로 인하여 관거내 토사의 퇴적을 야기시키므로 비경제적이고

많은 환경문제를 야기시킨다.

설계유형 B의 최저유속을 산정하는데 있어 식 (2)를 식 (21)에 대입시켜 관경에 따라 최저유속을 구하면 표 6에 제시된 바와 같다. 오수관거의 경우는 관경이 250 mm 이상, 합류관거의 경우는 300 mm 이상의 조건에서 표 6에서 제시한 바와 같이 관경이 증가함에 따라 최저유속이 증가하는 것을 알 수 있다. 기존의 하수관로설계에서는 오수관거의 경우는 최저유속을 0.6 m/s, 합류관거의 경우는 0.8 m/s 이상으로 규정하였다. 이와 같은 규정은 토사입경과 관경의 크기를 충분히 고려하지 않았으므로 관거내 토사의 퇴적을 야기시킬 가능성이 높다. 한편 Camp(1946)는 Manning 식을 하수관로 흐름에 적용하여 최저유속 산정식을 개발하였는데 다음과 같다.

$$V = \frac{1}{n} \left(\frac{D}{4}\right)^{1/6} \sqrt{\xi(s-1)\phi} \quad (28)$$

여기서 n은 Manning 계수이나 Camp는 하수관인 경우 0.014로 고정하였으며, 상수  $\xi$ 는 토사의 특성에

표 5. 관경에 따른 관로경사

구분 관경(mm)	Yoo식 (24)에 의한 경사(‰)		기준방식에 의한 경사(‰) $i = \frac{1}{D}$ , D: m
	오수관( $\phi=2.5$ mm)	합류관( $\phi=4$ mm)	
250	2.6	4.8	4.0
300	2.2	4.0	3.3
400	1.62	3.0	2.5
500	1.3	2.4	2.0
600	1.1	2.0	1.67
700		1.73	1.4
800		1.5	1.25
900		1.35	1.1
1000		1.2	1

주) 단, 토립자의 비중: 2.65, 하수의 동점성계수:  $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

중력 가속도( $g$ )=  $9.8 \text{ m}^2/\text{s}$

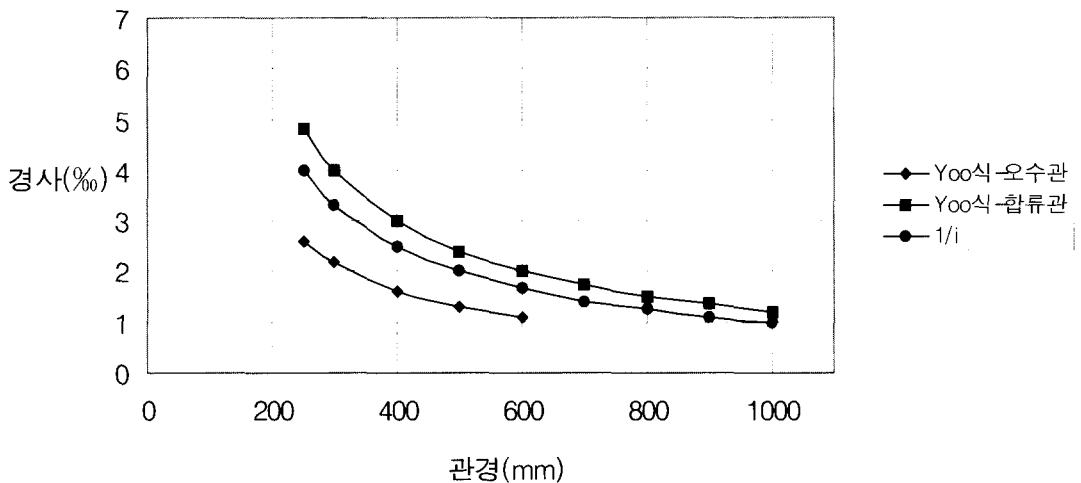


그림 2. 관경에 따른 관로경사의 산정분포

따라 0.03 - 0.06로 추천하였다. 또한 관경 D와 토사의 입경  $\phi$ 의 단위는 m 이고 유속 V의 단위는 m/s 이다. 표 6에는 Camp식으로 추정된 최저유속도 제시되어 있는데  $\xi=0.05$ 로 가정하여 구한 결과 오수관의 경우는 본 연구에서 개발된식 보다 약간 증가하는 반면에 합류관은 거의 일치함을 볼 수 있다. 사실상 오수관의 경우는 직경 600mm 미만의 소구경 관거로서 표 6과 8에서 제시한 직경 600mm 이상의 값은 비교 차원에서 제시하였을 뿐 실적용의 의미는 없다.

마지막으로 관경을 결정하는 설계유형 C는 식 (24)

를 D에 대하여 정리한 산정식 식 (25)와 식 (21)을 D에 대하여 정리한 산정식 식 (26)이다. 한편 하수도 시설기준에 제시된 관경 결정방식은 경사만을 고려한 방식으로 다음과 같다.

$$D = \frac{1}{i} \quad (D : \text{m}, i : \text{‰}) \quad (28)$$

표 7에는 지형 경사가 주어졌을 경우 기존의 관경 결정방식인 식 (28)과 식 (25)를 통해서 오수관( $\phi=2.5$  mm)과 합류관( $\phi=4$  mm)에서의 관경 결정방식을 비

표 6. 관경에 따른 최저유속

(최저유속 단위 : m/s)

관경(mm)	구분	오수관(D≥250 mm), φ=2.5 mm		합류관(D≥300 mm), φ=4 mm	
		Yoo식 (21)	Camp식 (28)	Yoo식 (21)	Camp식 (28)
250		0.573	0.646		
300		0.595	0.666	0.832	0.843
400		0.632	0.699	0.883	0.884
500		0.661	0.725	0.924	0.918
600		0.687	0.748	0.96	0.946
700		0.709	0.767	0.990	0.970
800		0.729	0.784	1.02	0.992
900				1.043	1.01
1000				1.066	1.03

주) 단, 토립자의 비중: 2.65, 하수의 동점성계수:  $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ , 관중: 주철관  
 $\xi = 0.05$ ,  $n = 0.014$ , 중력 가속도( $g$ ) =  $9.8 \text{ m}^2/\text{s}$

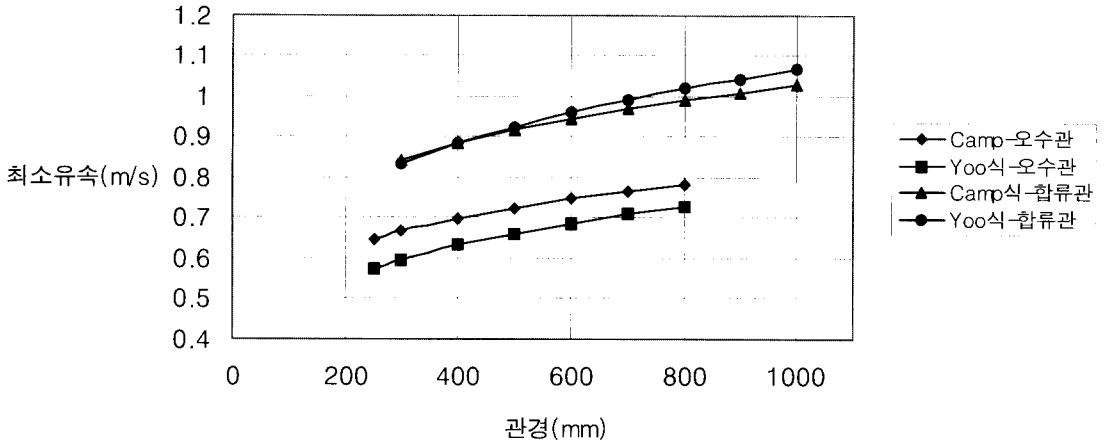


그림 3. 관경에 따른 유속의 산정분포

표 7. 지형경사에 따른 관경

경사(‰)	구분	Yoo식 (25)에 의한 관경(mm)		기준방식에 의한 관경(mm) $D = \frac{1}{i}$ (i: 무차원)
		오수관(φ=2.5 mm)	합류관(φ=4 mm)	
1		648	1211	1000
1.5		432	808	666
2		324	606	500
2.5		259	485	400
3		216	404	333
3.5		185	346	285

주) 단, 토립자의 비중: 2.65, 하수의 동점성계수:  $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$   
 중력 가속도( $g$ ) =  $9.8 \text{ m}^2/\text{s}$



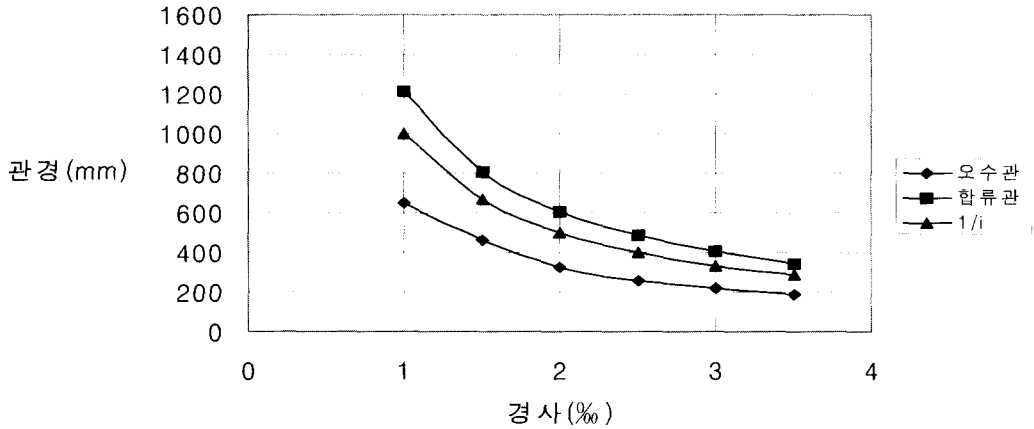


그림 4. 지형경사에 따른 관경의 산정분포

표 8. 유량에 따른 관경

유량( m <sup>3</sup> /s )	Y00식 (26)에 의한 관경(mm)	
	오수관( φ=2.5 mm)	합류관( φ=4 mm)
0.1	445	382
0.2	609	523
0.3	732	629
0.4	834	716
0.5	922	793

주) 단, 토립자의 비중: 2.65, 하수의 동점성계수:  
관중: 주철관, 중력 가속도(g)= 9.8 m<sup>2</sup>/s

교해 보았고 표 8에서는 유량이 주어졌을 때 식 (26) 을 통해 관경을 결정하였다. 지형경사가 주어졌을 경우 관경 결정에 있어 기존의 관경 결정방식에 의한 수치

는 본 연구에서 개발된 산정식의 산정결과와 많은 차 이를 보여줄 뿐 아니라 오수관과 합류관에 있어서도 많은 차이를 나타낸다. 또한 표 8에 제시된 바와 같이

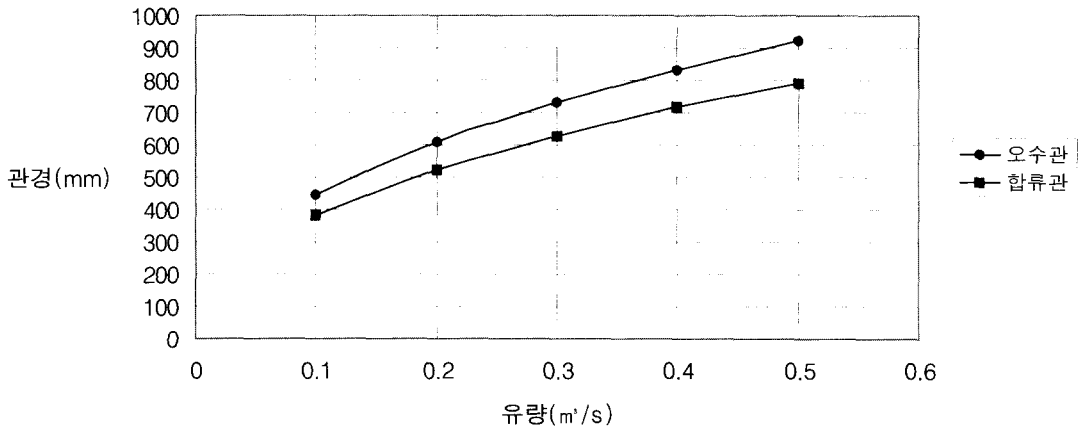


그림 5. 유량에 따른 관경이 산정분포

유량이 주어졌을 경우 토사입경이 큰 합류관이 최저유속을 유지하기 위해서 오수관보다 관경이 작다는 것을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 하수관 설계시 설계유형을 세가지로 분류하였다. 설계유형 A에서는 관경, 관중, 비중, 토사입경 등이 주어졌 있을 때 관로경사를 구하는 경우이고 설계유형 B는 관경, 관중, 토사입경 등이 주어졌 있을 때 유속을 산정하는 경우이며 마지막으로 설계유형 C는 관로경사가 주어졌을 때와 유량이 주어졌을 때 두가지로 구분하여 관경을 산정하는 경우이며, 이들 모든 경우에 대하여 양해법 산정식들을 개발하였다. 이상의 산정식들은 여러 종류의 하수관에 대한 상용관 마찰계수 산정식을 개발한 후 약간의 수정, 보완으로 실무설계에 직접 이용될 수 있을 것으로 기대한다. 또한 본 연구에서 도출된 기준식들을 하수관망 해석용 프로그램에 도입하여 하수관로 설계의 최적화에 일익을 더할 수 있을 것이다.

기존의 하수관 설계는 토사입경, 비중, 관중, 유량 등의 영향을 고려하지 않고 주로 관경만을 고려한 방식으로 관경에 따른 지형경사 및 지형경사에 따른 관경 결정에 있어 개발된 산정식과 표 5와 7에 제시된 바와 같이 오수관의 경우는 과대설계가 되고 합류관의 경우는 과소설계가 된다. 또한 최저유속 산정과 유량이 주어질 경우 관경산정에 있어 개발된 산정식을 적용하여 산정된 값과 기존의 하수도 설계기준(한국수도협회, 1998)에서 추천한 수치와 비교하여 많은 차이가 있음을 알 수 있다.

비합리적인 하수관 설계로 인해 많은 도시의 하수관로에서 과도한 퇴적이 발생하여 우수시 유수장에는 불

론 청천시 악취유발 등이 발생하며 관경의 증가로 인해 공비가 증가된다. 또한 토사의 입경이 증가함에 따라 최저유속, 관로경사, 관경이 증가하는 반면에 유량이 주어졌을 경우는 관경이 작아짐을 알 수 있다. 이러한 문제점들은 최저유속, 관로경사, 관경 등의 결정에 있어 토립자의 입경, 비중, 관경, 관중, 유량 등을 종합적으로 고려한 합리적인 설계와 지역적인 여건의 고려로 해결될 수 있다고 판단된다.

## 참 고 문 헌

- 염병대 (1998). “하수관거의 설계에 있어서 최저유속 계획에 대한 고찰.” 대한토목학회지, 대한토목학회, 제46권, 제5호, pp. 36~43.
- 유동훈, 강찬수 (1998). “단일 상용관로의 간편설계.” 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제31권, 제 5호, pp. 565~574.
- 유동훈, 김창식 (1995). “불규칙과에 의한 연안류.” 한국해양·해안공학학회, 한국해양·해양공학학회, 제7권, 제1호, pp. 12~23.
- 한국수도협회 (1998). 하수도 시설기준.
- 岩垣雄一(1956). “限界掃流力에 관한 基礎的研究.” 日本土木学会論文集, 제41호, pp. 1~21.
- Camp, T.R., (1946). “Sedimentation and design of settling tanks.” *Trans.*, ASCE, Vol. 111, pp. 895-936.
- van Rijn, L.C. (1984). “Sediment transport.” Part I (bedload transport), *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 110, NO. HY10, pp. 1431~1455.
- (논문번호:99-016/접수:1999.03.03/심사완료:1999.06.30)