원형 암거의 간편설계

유 동 훈[1] / 엄 호 식[2]

1. 서론

암거 수리설계에서는 상류부의 수위를 과다하게 상승시키지 않는 상태에서 안전하게 계획용수를 하류로 소통시킬 수 있도록 최적단면적, 암거경사, 입·출구부의 형상선택 등을 설계한다. 현재 국내 암거설계는 한국도로공사(1991)에서 발표한 "도로배수계획"을 이용하고 있으며, 이는 미국 도로성(FHWA, 1985)에서 발표한 설계기법을 그대로 인용한 것이다. 이 기법은 설계항목에 관련되는 설계유량, 암거의 길이, 경사, 상류부 수심, 입구부 모양을 결정한 다음, 경험적인 방법을 통하여 초기 단면을 가정하고, 지배단면(입구부, 출구부)을 결정하여 시행오차적인 방법으로 계획 상류부 수심을 산정하는 순서로 진행된다.

미국 도로교통국(ASSHTO, 1991)의 "Model Drainage Manual", 윤용남(1995)의 "수리학-기초와 응용" 에서는 암거에 관하여 수리학적으로 깊이 있게 다루고 있으며, 시행오차적인 방법을 통하여 암거를 설계하도록 권장하고 있다. 본 연구에는 이러한 시행오차적인 설계방식에서 탈피하여 수리학적으로 명확한 수식유도를 통하여 암거설계를 하도록 하였으며, 기존의 설계방식에 대한 상세한 설명은 유동훈과 엄호식(2000)의 "사각형 암거 간편설계"에 기술되어 있다.

표 1. 암거흐름 분류

Class		Type	조건	조건식 (h_H)	지배단면	비고
I	$\frac{h_H}{D} \le \alpha$	1	$i_b<i_c$ $h_T<h_c$	$K_{nf}\frac{V_n^2}{2g}+\frac{3}{2}h_c-i_bL$	출구	완경사 전구간 개수로
		2	$i_b<i_c$ $h_c<h_T$	$K_{nf}\frac{V_n^2}{2g}+K_x\frac{V_x^2}{2g}+h_T-i_bL$	하류	
		3	$i_c<i_b$ $h_T<h_c$	$K_n\frac{V_n^2}{2g}+\frac{3}{2}h_c$	입구	급경사
		4	$i_c<i_b$ $D<h_T$	$K_n\frac{V_n^2}{2g}+\frac{3}{2}h_c$	입구	
II	$\frac{h_H}{D} \ge \alpha$	1	$D<h_0$ $h_T<D$	$(K_{nf}+1)\frac{V^2}{2g}+\frac{D}{2}-i_bL$	출구	입구:관수로 출구:개수로
		2	$i_b<i_c$ $D<h_T$	$(K_{nf}+1)\frac{V^2}{2g}+h_T-i_bL$	하류	전구간 관수로
		3	$h_0<D$ $h_T<D$	$(K_n+1)\frac{V^2}{2g}+\frac{D}{2}$	입구	
		4	$i_c<i_b$ $D<h_T$	$(K_n+1)\frac{V^2}{2g}+\frac{D}{2}$	입구	

V_n : 입구부 유속, V_x : 출구부 유속, Claass II의 경우 전구간 관수로 이므로 $V_n=V_x=V$

h_H : 상류부 수심, h_T : 하류부 수심, D : 관경, $K_{nf}=K_n+K_f$, $\frac{V_c^2}{2g}=\frac{h_c}{2}$, V_c : 임계유속, i_c : 임계경사.

h_{Ln} : 입구부 손실수두, h_f : 암거내 마찰손실, h_{Lx} : 출구부 손실수두, $1.1 \le \alpha \le 1.4$(통상적으로 1.2를 주로 적용)

경험적 반복과정에 의한 암거설계의 불편함을 해소하고자 Dasika(1995)는 원형암거 흐름을 개수로 흐름과 압력관로 흐름 두가지 Class로 구분하여 각각에 대하여 실험자료를 바탕으로 단일회귀식을 제시하였다. 또한 Hager(1998)는 암거 입구부에서의 흐름상태가 사류이며, 사류가 발생한 다음 바로 도수가 발생한다는 것을 실험에 의하여 관찰하였다. 본 연구에서는 입구부에서의 흐름상태가 암거내 흐름상태와는 무관하게 단면 급축소에 의하여 사류가 발생한다는 것을 수식전개를 통하여 증명하였다. 암거흐름 단면도는 그림 1에 제시되어 있다. 암거흐름은 상류부 수심과 단면의 높이에 따라 크게 두가지(Class I 과 Class II)로 분류할 수 있으며, 임계경사·수심, 등류수심, 상·하류부 수심 등의 조건에 따라 다시 각각 네가지로 소분류할 수 있다. 본 연구에서는 암거흐름 상태 분류를 미국 도로성의 분류와는 상이하게 표 1과 같이 분류하였다. 이는 Class I 과 Calss II의 상대적인 비교가 가능하다는 판단에서 분류된 것이다. 즉, 미국 도로성에서는 본 연구의 Type II-3을 Type II-1으로, Type II-1을 Type II-2로, Type II-2를 Type II-3으로 분류하고 있으나 본고에서는 표 1과 같이 분류하여 I-1과 II-1, I-3과 II-3이 서로 유사한 조건으로 대응하도록 분류하였다. 따라서 I-1과 II-1, I-2와 II-2, I-3과 II-3, I-4와 II-4의 지배방정식들은 서로 유사하게 구성된다.

---

1) 아주대학교 환경도시공학부 교수
2) 아주대학교 건설교통공학과 석사과정

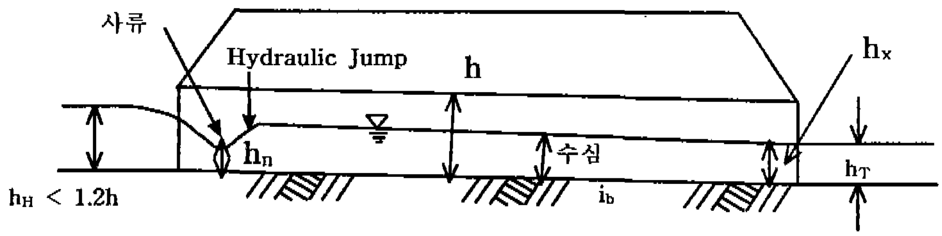

그림 1. 암거흐름 단면도

2. 원형수로 임계수심 산정식

원형수로의 반경을 r이라 하고 수면과 단면의 중심이 이루는 각을 θ(단위: radian)라 하면, 단면적 A, 수면폭 T, 수심 h는 다음과 같다.

$$A = \frac{r^2}{2}(\theta - \sin\theta), \quad T = 2r\sin\frac{\theta}{2}, \quad h = r - r\cos\frac{\theta}{2} \tag{.1}$$

식 (1)의 관계를 이용하여 단면계수 $Z_c(=\sqrt{A_c^3/T_c})$를 표현하면 다음과 같다.

$$Z_c^2 = r^6(\theta - \sin\theta)^3/16r\sin\frac{\theta}{2} = 2^{-9}D^5(\theta - \sin\theta)^3/\sin\frac{\theta}{2} \tag{2}$$

여기서 D는 관경이다.

한편 원형단면에서는 무차원수 F_{DD}를 도입하여 임계수심을 구하며, 단면계수 Z_c와 무차원수 $F_{DD}(=Q/D^2\sqrt{gD})$는 다음과 같은 관계가 있다.

$$Z_c^2 = Q^2/g = D^5F_{DD}^2 \tag{3}$$

각각의 변수들의 상호관계는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} &h = \frac{D}{2}\left(1 - \cos\frac{\theta}{2}\right), \; t = \frac{h_c}{D}, \; 0 < t < 1, \; \cos\frac{\theta}{2} = 1 - 2t, \; \theta = 2\cos^{-1}(1-2t) \\ &\sin\frac{\theta}{2} = \sqrt{1-(1-2t)^2} = 2\sqrt{t(1-t)}, \; \sin\theta = 2\sin\frac{\theta}{2}\cos\frac{\theta}{2} = 2^2(1-2t)\sqrt{t(1-t)} \end{aligned} \tag{4}$$

식 (3)과 식 (4)의 관계식과 이용하여 식 (2.2)를 정리하면 다음과 같은 원형관 임계수심 산정식을 도출할 수 있다.

$$2^7\sqrt{t(1-t)}\cdot F_{DD}^2 - [\cos^{-1}(1-2t) - 2(1-2t)\sqrt{t(1-t)}]^3 = 0 \tag{5}$$

식 (5)를 F_{DD}에 관하여 정리하면 다음과 같다.

$$F_{DD} = 2^{-7}[\cos^{-1}(1-2t) - 2\sqrt{t(1-t)}\,(1-2t)]^{3/2}/[t(1-t)]^{1/4} \tag{6}$$

식 (6)에서 임계수심 산정을 위한 미지수 t는 전적으로 무차원수 F_{DD}의 함수이고, 양해적으로 임계수심을 산정할 수 없는 형태로 산정식이 제시되어 있다. 임계수심을 양해적으로 산정할 경우 원형 암거 수리해석에서 수식 유도과정의 간결성이 보장된다.

원형관 임계수심 양해법 산정식은 임의의 t($0 < t < 1$)를 대입하여 무차원수 F_{DD}를 산정한 다음, 그림 2와 같이 $t - F_{DD}$의 관계 그래프를 회귀분석하여 개발되었으며, 산정식은 다음과 같다.

$$t = -0.961F_{DD}^2 + 1.685F_{DD} + 0.135 \tag{7.a}$$

$$t = 1.3F_{DD}^3 - 2.48F_{DD}^2 + 2.14F_{DD} + 0.11 \tag{7.b}$$

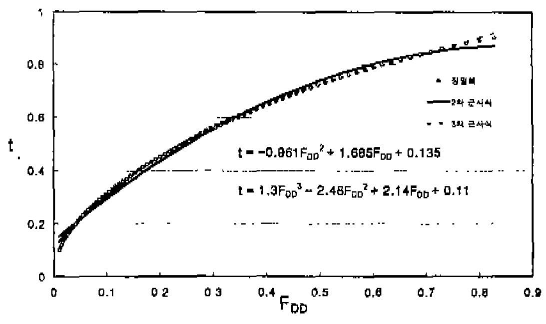

그림 2. 원형관 임계수심 산정식

식 (7.a)와 식(7.b)는 각각 2차식과 3차식으로 회귀분석한 결과이며, 관경과 유량이 주어지면 원형관 임계수심을 양해적으로 산정할 수 있다. 임계수심 산정식을 F_{DD}의 3차식으로 표현할 경우 후술할 설계유형별 산정에서 수식의 복잡성으로 인하여 양해법 산정식의 도출에 어려움이 따른다. 그러므로 다소의 오차를 포함하더라도 2차식의 적용이 필요하다. 그림 2에서도 볼 수 있듯이 2차 회귀분석식의 오차율은 전구간에 걸쳐 ±5% 이내로 상당한 정확도를 보이고 있다. 원형암거 수리해석에서는 임계수심 산정식으로 식 (7.a)를 적용하였으나, 보다 정확한 임계수심 산정이 필요한 경우 식 (7.b)를 적용하여야 한다.

3. 원형암거 입구부수심 산정식

압력관로 흐름(Class Ⅱ)인 경우 암거의 높이가 직경 D와 동일하지만, 개수로 흐름 (Class Ⅰ)인 경우 입구부에서의 수심은 직경 D와 동일하지 않다. 원형 암거 Class Ⅰ의 경우 만수가 되지 않은 상태이므로 흐름 단면적 산정은 간단치 않은 문제이다. 유동훈과 오윤창(1999)은 원형단면 형상비 관계수치를 이용하여 흐름 단면적을 산정할 수 있는 식을 다음과 같이 제시하였으며, a, b는 표 2의 수치이다.

표 2. 형상비 지수형관계식의 제상수

구간	h/D	a	b
Ⅰ	0.00 ~ 0.30	1.11	1.41
Ⅱ	0.30 ~ 0.70	0.95	1.28
Ⅲ	0.70 ~ 0.90	0.80	0.83

$$\frac{A}{D^2} = a\left(\frac{h}{D}\right)^b \tag{8}$$

암거 상류부 임의점과 암거 입구부 사이에 베르누이 방정식을 적용하면 다음과 같은 입구부 수심 산정을 위한 기본식을 도출할 수 있다.

$$\frac{1}{2}(1+K_n)\frac{V_n^2}{gh_H}+\frac{h_n}{h_H}-1=0 \tag{9}$$

원형 암거 입구부 수심 산정식을 무차원수 $F_D\left(=Q/D\sqrt{gh_H^3}\right)$로 표현할 경우 후술할 설계유형별 산정식 개발이 용이하다. 식 (9)의 $V_n/\sqrt{gh_H}$항을 무차원수 $D_H=D/h_H$를 도입하여, F_D의 관계로 표현할 경우 $V_n/\sqrt{gh_H}=a^{-1}D_H^{b-1}N^{-b}F_D$ 같으며, 이 관계를 이용하여 식 (9)를 정리하면 다음과 같다.

$$N^{1+2b}-N^{2b}+1/2\,a^2(1+K_n)D_H^{2(b-1)}F_D^2=0 \tag{10}$$

식 (10)은 원형 암거 입구부 수심 산정식이다. 식 (10)에는 관경 D와 상류부 수심 h_H의 함수인 D_H가 포함되어 있다. K_n과 D_H에 따른 F_D와 N의 관계그래프가 그림 3에 도시되어 있다. 그림에서도 볼 수 있듯이 입구부 손실계수 K_n에 따라 F_b의 한계값이 존재하며, N=0.64를 기준으로 F_b의 증가에 따라 N이 증가하는 구간과 감소하는 구간으로 나누어 지며, N > 0.64인 경우 常流흐름, N < 0.64인 경우 射流 흐름이 된다.

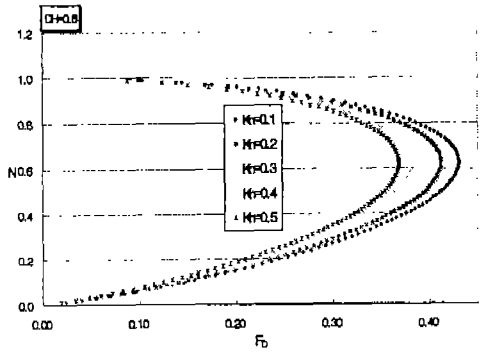

그림 3. 원형암거 입구부수심 산정

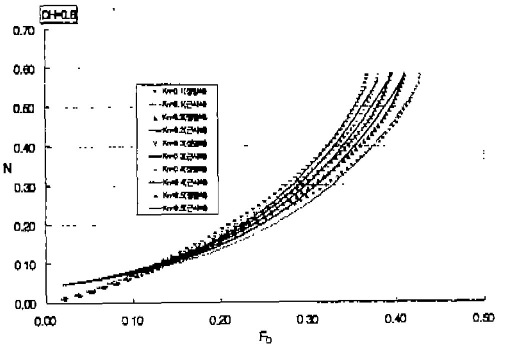

그림 4. 입구부수심 산정식의 정밀해와 근사해

암거 입구부에서의 흐름상태는 사류이며, 사류구간 $N < 0.64$에 대하여 양해법 산정식을 개발하였다. 또한 원형 암거 입구부 수심 정밀해와 근사해를 그림 4에 도시하였다. 원형 암거 입구부 수심 양해법 산정식은 사각형 암거와는 상이하게 D_H의 항이 포함되어 있으며, 산정식을 제시하면 다음과 같다.

$$N = \exp[a F_D - 3.22], \quad a = \ln[1500 D_H^{-1.252} K_n + 225.8 D_H^{-0.816}] \tag{11}$$

4. 원형 암거 설계

4.1 경사산정(설계유형 A)

원형 암거 설계 기준식은 무차원수 $F_D(=Q/D\sqrt{gh_H^3})$를 이용하여 개발하였으며, 전술한 원형 단면 임계수심 산정식 (7.a)의 무차원수 F_{DD}와 F_D는 $F_{DD} = D_H^{2/3} F_D$의 관계가 있다. 식 (7.a)에 무차원수 $D_H = D/h_H$를 도입하고, F_D로 표현할 경우 다음과 같다.

$$t_c = -0.961 D_H^{-3} F_D^2 + 1.685 D_H^{-2/3} F_D + 0.135 \tag{12}$$

식 (12)를 적용하여 Type Ⅰ-1의 지배방정식을 암거 경사 산정식 i_b에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$i_b = \left[\frac{K_{nf}}{2} a^{-2} D_H^{2(b-1)} N^{-2b} H_L - \frac{1.442}{D_H^2} H_L\right] F_D^2 + \left[\frac{2.528}{D_H^{0.5}} H_L\right] F_D - H_L + \frac{0.203D}{L} \tag{13}$$

표 3. 원형암거 경사 산정(설계유형 A)

		α	β	γ
원형암거	Ⅰ-1	$\frac{K_{nf}}{2} a^{-2} D_H^{2(b-1)} N^{-2b} H_L - \frac{1.442}{D_H^2} H$	$\frac{2.528}{D_H^{0.5}} H_L$	$H_L - \frac{0.203D}{L}$
	Ⅰ-2	$\frac{K_{nf} N^{-2b} + T^{-2b}}{2 a^2 D_H^{2(1-b)}}$	0	$H_L - T_L$
	Ⅰ-3	무관		
	Ⅰ-4	무관		
	Ⅱ-1	$(K_{nf}+1)/1.234 D_H^2$	0	$H_L - D/(2L)$
	Ⅱ-2	$K_{nfx}/1.234 D_H^2$	0	$H_L - T_L$
	Ⅱ-3	무관		
	Ⅱ-4	무관		
$i = \alpha F_D^2 + \beta F_D - \gamma$, $N^{1+2b} - N^{2b} + 1/2(1+K_n) a^{-2} D_H^{2(b-1)} F_D^2 = 0$ $F_D = Q/D\sqrt{gh_H^3}$, $N = h_n/h_H$, $H_L = h_H/L$, $T_L = h_T/L$, $D_H = D/h_H$				

여기서 $H_L = h_H/L$, $T_L = h_T/L$이다. 또한 a, b는 표 2의 수치중 a=0.83, b=0.80이다. 이는 암거 설계시 암거내 수심이 암거높이의 70% 이하로 설계하는 것은 과대설계의 문제가 발생하기 때문이다.

원형 암거 경사 산정식은 식 (13)과 같이 F_D의 2차함수 형태로 표기되며, 이는 양해법 산정식이다. 원형 암거 경사 산정식의 기본형태를 $i = \alpha F_D^2 + \beta F_D - \gamma$로 취하였을 때, 각각의 산정식을 표 3에 제시하였다.

4.2 유량산정(설계유형 B)

원형 암거 유량산정식의 개발은 유량 Q를 포함하는 F_D를 산정하여 유량 Q로 환산하도록 하였다. 사각형 암거와 동일하게 수식전개의 간편성을 위하여 입구부 손실계수와 마찰손실계수의 합을 K_{nf}라 하고, 원형 단면 임계수심 산정식 (4.1)을 적용하여 Type Ⅰ-1의 지배방정식을 F_D의 함수로 표현하면 다음과 같다.

$$\left[a^{-2} D_H^{2(b-1)} N^{-2b} - \frac{2.883}{K_{nf} D_H^2}\right] F_D^2 + \frac{5.055}{K_{nf} D_H^{0.5}} F_D + \frac{0.405 D_H - 2(1+Z)}{K_{nf}} = 0 \tag{14}$$

여기서 계수 a, b는 전술한 바와같이 각각 0.80, 0.83이다.

원형 암거 Type Ⅰ-1의 유량산정식 (14)는 음해적으로 해를 구하여야 한다. 본 연구에서는 F_D를 양해적으로 산정할 수 있는 양해법 산정식을 개발하였다. 즉 임의의 $F_D(<0.64)$를 대입하여 무차원수 N을 산정하고, 각각의 변수들을 일반적인 암거가 취하는 범위로 단순화하여 $F_D - Z$의 그래프를 그림 5와 같이 도시한 다음 각각의 경우에 대하여 회귀분석 하였다. 개발된 양해법 근사식은 표 4에 제시되어 있다. 또한 Type Ⅰ-2의 경우 지배방정식에 임계수심항이 포함되어 있지 않으므로, 산정식은 F_D의 2차항과 상수항만의 존재하는 형태로 도출된다.

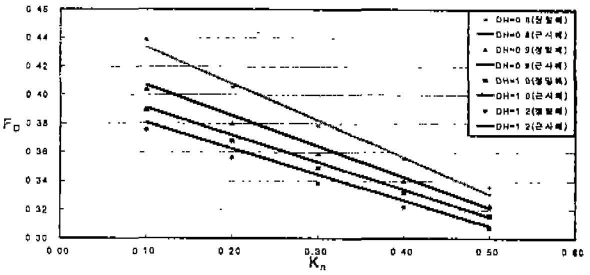

그림 5. Type Ⅰ-1의 유량 산정식 비교

Class Ⅱ의 모든 경우는 압력관로의 특성을 나타내고 있으므로, 입구부에서의 수심은 암거 직경과 동일하며, 암거내 전구간에 걸쳐 유속은 동일하다. 즉 Class Ⅱ 유량산정식은 양해적으로 산정치를 구할 수 있으며, 모두 동일한 형태의 산정식이 된다. 표 4에서 Type Ⅰ-2 유량산정식은 무차원수 N을 포함하고 있어 양해적으로 산정치를 구할 수 없으며, Type Ⅱ-1 유량산정식은 양해적으로 산정치를 구할 수 있다. 각각의 경우에 대한 유량산정 설계기준식은 표 4에 제시하였으며, 음해적인 방법으로 산정치를 구하여야 할 경우에는 양해적 근사식을 함께 개발하여 표 5에 제시하였다.

표 4. 원형암거 유량산정 (설계유형 B)

		α	β	γ
원형암거	Ⅰ-1	$a^{-2}D_H^{2(b-1)}N^{-2b} - 2.883/K_{nf}D_H^2$	$5.055/K_{nf}D_H^{0.5}$	$0.405D_H - 2(1+Z)/K_{nf}$
	Ⅰ-2	$F_D=\sqrt{2a^2D_H^{2(1-b)}(1-T+Z)/(K_{nf}N^{-2b}+T^{-2b})}$		
	Ⅰ-3	$0.961/D_H^3$	$-1.685/D_H^{2/3}$	$2/\{(3+K_n)D_H\}-0.135$
	Ⅰ-4	$0.961/D_H^3$	$-1.685/D_H^{2/3}$	$2/\{(3+K_n)D_H\}-0.135$
	Ⅱ-1	$F_D=\sqrt{1.234D_H^2(D_H/2+Z)/(K_{nf}+1)}$		
	Ⅱ-2	$F_D=\sqrt{1.234D_H^2(1-T+Z)/K_{nfx}}$		
	Ⅱ-3	$F_D=\sqrt{1.234D_H^2(1-D_H/2)/(K_n+1)}$		
	Ⅱ-4	$F_D=\sqrt{1.234D_H^2(1-D_H/2)/(K_n+1)}$		
$\alpha F_D^2+\beta F_D+\gamma=0,\quad N^{1+2b}-N^{2b}+1/2(1+K_n)a^{-2}D_H^{2(b-1)}F_D^2=0$ $F_D=Q/D\sqrt{gh_H^3},\quad N=h_n/h_H,\quad Z=\Delta z/h_H,\quad T=h_T/h_H,\quad D_H=D/h_H$				

표 5. 원형암거 유량 양해법 산정식

	F_D	제 계수	
Type Ⅰ-1	$aZ+b$	$a=x_aK_n+y_a$	$b=x_bK_n+y_b$
		$x_a=-0.104D_H^2+0.538D_H-0.046$ $y_a=0.852D_H^2-2.535D_H+2.611$	$x_b=-0.196D_H^2+0.463D_H-0619$ $y_b=0.069D_H^2-0.226D_H+0.550$
Type Ⅰ-2	$\dfrac{a+bZ}{1+cZ+dZ^2}$	$a=x_aT^2+y_aT+z_a$ $x_a=-2.738K_n^2+1.283K_n-1.13\quad y_a=1.766K_n^2-1.055K_n+1.577\quad z_a=-0.244K_n^2+0.048K_n-0.017$	
		$b=x_bT^2+y_bT+z_b$ $x_b=161.06K_n^2-47.923K_n+7.236\quad y_b=-104.18K_n^2+35.345K_n-3.037\quad z_b=15.126K_n^2-5.302K_n+0.515$	
		$c=x_cT^2+y_cT+z_c$ $x_c=241.7K_n^2-77.49K_n+8.826\quad y_c=-151.12K_n^2+53.367K_n-4.656\quad z_c=28.369K_n^2-10.914K_n+1.039$	
		$d=x_dT^2+y_dT+z_d$ $x_d=-90.839K_n^2+27.867K_n-3.374\quad y_d=57.403K_n^2-18.058K_n+1.971\quad z_d=-8.509K_n^2+2.7933K_n-0.3$	
Type Ⅰ-3,4	aK_n+b	$a=0.80D_H^3-3.11D_H^2+3.98D_H-1.86\quad b=-0.54D_H^3+2.09D_H^2-2.69D_H+1.55$	

4.3 규격산정(설계유형 C)

원형 암거 규격산정을 위하여 직경 D를 포함하는 무차원수 Y_D를 도입하였으며, Y_D는 원형 암거 유량산정을 위한 무차원수 F_D와는 역수의 관계에 있다.

Type Ⅰ-1의 유량 산정식 (4.2.5)의 양변에 Y_D를 곱하여 정리하면 다음과 같다.

$$\left[\frac{0.405\,D_H-2(1+Z)}{K_{nf}}\right] Y_D^2+\left[\frac{K_{nf}\,D_H^{0.5}}{5.055}\right]Y_D+a^{-2}D_H^{2(b-1)}N^{-2b}-\frac{2.883}{K_{nf}\,D_H^2}=0 \tag{15}$$

여기서 $Y_D= D\sqrt{gh_H^3}/Q$이며, 계수 a, b는 전술한 바와 같이 a=0.80, b=0.83이다.

원형 암거 규격산정식은 유량산정식의 양변에 각각 Y_D를 곱하여 정리함으로써 쉽게 산정식을 도출할 수 있으며, 양해법 근사식의 경우도 유량산정 양해법 근사식에 역수를 취함으로써 쉽게 도출할 수 있다. 이와같이 도출된 규격산정 설계기준식을 표 6에 제시하였으며, 양해법 근사식의 경우는 유량산정 양해법 근사식과 정확히 역수의 관계에 있어 제시하지 않고 생략한다.

표 6. 원형암거 규격산정 (설계유형 C)

		α	β	γ
원형암거	I-1	$\{0.405\,D_H-2(1+Z)\}/K_{nf}$	$K_{nf}\,D_H^{0.5}/5.055$	$a^{-2}D_H^{2(b-1)}N^{-2b}-2.883/K_{nf}\,D_H^2$
	I-2	$F_D=\sqrt{[K_{nf}N^{-2b}+T^{-2b}]/[2a^2D_H^{2(1-b)}(1-T+Z)]}$		
	I-3	$[0.405\,D_H-2]/K_{nf}$	$5.055/[K_{nf}\,D_H^{0.5}]$	$a^{-2}D_H^{2(b-1)}N^{-2b}-2.883/[K_{nf}\,D_H^2]$
	I-4	$[0.405\,D_H-2]/K_{nf}$	$5.055/[K_{nf}\,D_H^{0.5}]$	$a^{-2}D_H^{2(b-1)}N^{-2b}-2.883/[K_{nf}\,D_H^2]$
	II-1	$Y_D=\sqrt{[K_{nf}+1](D_H/2+Z)^{-1}/[1.234\,D_H^2]}$		
	II-2	$Y_D=\sqrt{K_{nfx}(1-T+Z)^{-1}/[1.234\,D_H^2]}$		
	II-3	$Y_D=\sqrt{[K_n+1](1-D_H/2)^{-1}/\{1.234\,D_H^2]}$		
	II-4	$Y_D=\sqrt{[K_n+1](1-D_H/2)^{-1}/\{1.234\,D_H^2]}$		
$\alpha Y_D^2+\beta Y_D+\gamma=0$, $Y_D^2[N^{1+2b}-N^{2b}]+1/2(1+K_n)a^{-2}D_H^{2(b-1)}=0$ $Y_D= D\sqrt{gh_H^3}/Q$, $N=h_n/h_H$, $Z=\Delta z/h_H$, $T=h_T/h_H$, $D_H=D/h_H$				

5. 결론

본 연구에서는 암거흐름을 8가지로 분류하였으며, 국내설계기준도 이와같이 8가지로 분류할 것을 권장하고 있다. 국내 설계기준은 미국 도로성의 분류체계를 따른 것이며, 본 연구에서는 미국 도로성의 분류체계를 수정하여 개수로 흐름(Class I)과 압력관로 흐름(Class II)의 상대적 비교가 가능하도록 분류체계를 재정립하였다. 또한 기존 암거 수리해석은 경험식을 바탕으로한 회귀식을 적용하였으나, 본 연구에서는 명확한 수식유도를 통하여 암거를 해석하였다. 암거 설계항목을 경사, 유량, 규격으로 구분하여 각각의 경우에 대하여 설계기준식을 명확한 수식유도를 통하여 개발하였다.

설계항목을 구분하여 기준식을 개발할 경우 암거 입구부 수심과 단면에 따른 임계수심 산정식이 필요하며, 원형 단면 입구부 수심 산정식 및 원형단면 임계수심 산정식을 개발하였다. 또한 상기 산정식은 음해적인 방법을 통하여 해를 구하여야 한다. 본 연구에서는 각 단면에 대한 입구부 수심 양해법 근사식과 원형단면 임계수심 양해법 근사식을 개발하였다. 개발된 근사식을 바탕으로 설계항목별 양해법 근사식도 함께 개발하였다. 또한 원형단면에 대한 임계수심 산정식을 F_D의 2차 및 3차 함수의 형태로 양해법 근사식을 개발하여 수식유도의 간편성을 기하였다. 또한 개발된 양해법 근사식의 오차율은 전술한 바와 같으며, 오차율이 무시되어질 수 없는 경우에는 양해법으로 산정된 근사해를 초기값으로 가정하고, 음해법을 통하여 정밀해를 산정하여야 한다.

본 연구에서 개발한 설계기준식은 암거설계프로그램(Culvert Analysis System : CULAS) 개발의 전과정으로 이루어진 것이다. CULAS는 수문해석 능력을 포함시켜 설계홍수량 산정하고, 산정된 설계홍수량을 통수시킬 수 있는 최적 암거설계를 목적으로 하고 있다. 또한 지표면 홍수유출 모형 [SIRG]와 연계하여 통합모형 [SIRG-CUL]을 구성할 예정이다.

6. 참고문헌

1. 한국도로공사, 도로배수계획, 1991.
2. 윤용남, 수리학-기초와 응용, 청문각, pp. 450-462, 1989.
3. 유동훈, 오윤창, "원형수로의 등류수심", 한국수자원학회, 학술발표회, 1999.
4. 유동훈, 엄호식, "사각형 암거의 간편설계", 대한토목학회 학술발표회, 2000.
5. American Association of State Highway and Transportation Officials, Model Drainage Manual, 1991.
6. Federal Highway Administration, Hydraulic Design of Highway Culvert, 1985.
7. Dasika, B., "New approach to design of culverts", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1995.
8. Hager, W. H., "Generalized culvert design diagram", Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 1998.