

# 저류지 암거방류시설의 설계기법에 관한 연구

## A Study on Design Method of Culvert Outlet Facilities for Detention Pond

장주영\*, 이재준\*\*, 곽창재\*\*\*

Jae Joon Lee, Chang Jae Kwak, Joo Young Jang

### 요 지

본 연구는 암거흐름 8형식 중 Class-II군 즉, 암거 유입부가 잠수된 조건하에서 저류지 방류암거의 흐름 특성을 분석한 것으로서 유입부 수위가 저류지의 제방고를 넘지 않는 범위에서 저류지 방류암거 설계인자들의 관계를 분석하여 설계 범위를 결정해 본 결과 암거의 직경과 유출부 초기수위의 변동은 유입부 수위의 변동에 큰 영향을 주었으며, 상대적으로 암거의 경사와 연장은 그 영향이 미미하였다. 또한 암거 흐름분류가 Class-II군 Type-2에 속하는 경우에는 암거 직경이 일정하여도 유입부의 수위가 변동되지 않으면서 적정 유출량을 방류시킬 수 있었으며, 암거 흐름분류가 Class-II군 Type-3에 속하는 경우에는 유출부 수위변화에 따라 암거직경변화가 크게 나타났다.

**핵심용어** : 저류지 방류암거, 유입부 수위, 유출부 수위, 암거직경, 암거경사, 암거연장

## 1. 서론

근래 이상기후에 의한 강수량 증대와 도시화에 따른 침투유출량의 증대 및 도달시간의 단축은 기존의 우수지만으로 도시홍수를 대처하는데 그 한계점에 다다르게 되었다. 1990년대에 들어 각종 우수유출 저감시설의 활용으로 이상의 문제를 해결하고자 하는 노력들이 시작되었으며, 현재 신규개발지에 저류지와 같은 우수유출저감시설 설치를 법제도적으로 의무화 하고 있어, 전국적으로 천여개소의 저류지가 시설되어 있거나 계획 중에 있다. 저류지는 개발로 인해 증가된 침투 유출량을 개발전의 상태로 저감시키기 위하여 임시 또는 상시 저류하거나 저류능력 이상의 유출량에 대해서는 방류시설을 통해 하류부의 하천 또는 하도로 방류시키는 역할을 수행하는 수공구조물로서 일반적으로 저류지 계획 및 설계는 침투유출량 증가분에 대해 초점을 맞추고 있을 뿐 방류시설에 대한 구체적인 설계는 이루어지지 않고 있는 실정이다. 또한 현재 국내에는 저류지 방류시설로 주로 사용되는 암거에 관한 설계규정이나 기법은 미미한 상태로, 암거에 관한 설계는 미국 연방도로국(FHWA, 1985)에서 발표한 설계기법을 그대로 인용하고 있다. 즉, 지형 또는 현장 여건에 따라 암거 흐름의 8형식 중 하나의 형식으로 결정하고, 그 형식에 따라 도표를 이용한 반복시산법 또는 도식해법을 적용하여 유입부 상류수위를 산정함으로써 암거 설계가 이루어진다. 하지만 이러한 암거설계 방식은 도로 배수암거에 적합한 것으로 저류지 배수암거에 적용하기에는 무리가 있다고 본다. 따라서 본 연구에서는 암거흐름 8형식 중 저류지 배수암거에서 나타날 수 있는 4가지(유입부 잠수)형태의 흐름에 대해 암거 수리학적 해석프로그램을 이용하여 암거설계 매개변수인 설계유량, 암거직경, 암거경사, 하류단 수위 등의 변화에 따른 암거의 흐름 특성을 분석하고 저류지 방류암거 설계기법에 대한 방향을 제시 하고자 한다.

## 2. 암거 흐름해석

### 2.1 암거 흐름의 분류

\* 정회원 · 국립금오공과대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail: te100san@kumoh.ac.kr

\*\* 정회원 · 국립금오공과대학교 토목환경공학부 교수 · E-mail: jhb365@kumoh.ac.kr

\*\*\* 정회원 · 국립금오공과대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail: water@kumoh.ac.kr

암거 흐름은 암거 유입부 수위(HW)와 암거직경 D의 상대적인 크기에 따라 크게 두 가지로 분류되며, 이는 다시 암거의 경사, 유출부 수심 등에 따라 표 1과 같이 8가지 흐름으로 소분류 된다.

표 1. 암거흐름 분류

Class	Type	수리조건	조건식(HW)	특징		
				지배단면	흐름상태	
I	HW ≤ 1.2D	1	$S_o < S_c, TW < d_c$	$h_e + h_f + (d_c + \frac{V_c^2}{2g}) - S_0L$	유출부	상류
		2	$S_o < S_c, d_c \leq TW < D$	$h_e + h_f + (d_{tw} + \frac{V_{tw}^2}{2g}) - S_0L$	유출부	상류
		3	$S_o \geq S_c, TWd \leq d_c < D$	$C_e \frac{V_e^2}{2g} + (d_c + \frac{V_c^2}{2g})$	유입부	사류
		4	$S_o \geq S_c, TW \geq d_c$	$C_e \frac{V_e^2}{2g} + (d_c + \frac{V_c^2}{2g})$	유입부	사류→상류
II	HW ≥ 1.2D	1	$TW < d_c, d_n < d_c$	$\frac{D}{2} + \frac{V_D^2}{2g}(1 + C_e)$	유입부	사류
		2	$TW < D, d_n > D$	$h_e + h_f + h_v + h_0 - S_0L$	유출부	관수로
		3	$TW > D$	$h_e + h_f + h_v + TW - S_0L$	하류수면	관수로
		4	$TW > D$	$\frac{D}{2} + \frac{V_D^2}{2g}(1 + C_e)$	유입부	사류→상류

So : 암거의 경사, Sc : 암거의 한계경사, dc : 한계수심, dn : 등류수심, dtw : 유출부 수심  
 Vc : 한계유속, Vtw : 유출부 평균유속, Ve : 등류수심에서 유속, VD : D깊이에서 평균유속  
 Ce : 유입부 손실계수, HW : 유입부 수위, TW : 유출부 수위

Class-I에서의 암거 흐름은 HW(유입부 수위)와 TW(유출부 수위)가 잠수되지 않은 상태로 개수로 흐름의 특징을 보이며, Class-II는 HW는 잠수되어 있으며, TW의 잠수 여부에 따라 개수로 흐름과 관수로 흐름특성이 모두 나타날 수 있다. 또한 암거해석은 흐름을 지배하는 단면에 따라 유입부 통제(inlet control)와 유출부 통제(outlet control)로 나눌 수가 있다. 유입부 통제를 받는 흐름은 얇고 빠른 유속을 가진 사류를 형성하게 되며, 암거의 유입부 수위는 암거의 경사나 조도 계수 및 길이에는 전혀 무관하고, 단지 유량과 암거의 단면 크기에 의해서만 결정된다. 반면에 유출부 통제를 받는 흐름은 비교적 수심이 깊고 느린 유속을 가진 상류가 형성되며 통제 단면은 암거의 하단부인 출구가 되고, 암거의 유입부 수위는 유량과 단면크기 뿐만 아니라 경사, 조도 및 길이 등에 의해 결정 된다.

## 2.2. 암거 흐름해석의 적용

본 연구에서는 저류지 배수암거의 흐름 특성을 분석하기 위하여 전술한 암거흐름 분류 중 평상시 일정수위 이상을 유지하고 있는 저류지의 조건과 부합되는 Class-II군 즉, 암거 유입부가 잠수된 조건으로 설계유량(Q), 암거직경(D), 암거경사(S), 암거연장(L), 유출부 초기수위(TW)의 변화를 주어 암거흐름을 모의 하고, 그 결과를 분석하였다.

## 3. 저류지 배수암거 흐름해석

### 3.1 초기 가정사항

본 연구의 초기 가정사항은 저류지의 방류량을 원활히 소통할 수 있는 암거의 설계를 위하여 유입부 수위를 넘어서게 되면 월류가 발생하는 것으로 보고 재설계하도록 한다. 표 2는 본 연구의 초기 가정사항을 요약한 것이다.

표 2. 초기 가정사항

저류지 제방고	조도계수	유입부 손실계수	암거갯수	단면형상
6m	0.013	0.7	4	원형

### 3.2 설계 모의조건의 결정

#### 3.2.1 방류관 직경

그림 1은 초기 가정사항과 암거연장 10m, 암거경사 0.005, 유출부 초기수위 0m에 대한 방류구 직경과 유입부 수위(HW)의 관계를 저류지 설계 방류량에 따라 도시한 것으로서, 암거직경 2,000mm 이상에서는 제방고를 넘지 않고 홍수량을 소통시킬 수 있으나 그 이하에서는 홍수량이 커짐에 따라 월류가 발생하게 됨을 알 수 있다. 따라서, 암거직경의 설계조건은 2,000mm이하에서는 암거의 개수를 조정하여 모의토록 하며, 그 이상에서는 초기 가정된 암거의 개수인 4개를 유지해도 무방하다는 것을 알 수 있었다.

#### 3.2.2 유출부 초기수위

그림 2는 초기 가정사항과 암거연장 10m, 암거경사 0.005에서 비교적 모든 설계유량에 대해 원활한 소통을 보이고 있는 직경 2,000mm에 대해 유출부 초기수위와 유입부 수위의 관계를 저류지 설계 방류량에 따라 도시한 것이다. 저류지 설계 방류량이 10m<sup>3</sup>/s ~ 30m<sup>3</sup>/s에서는 유출부의 초기수위가 0 ~ 1m에서 유입부 수위에 영향이 없었으며, 그 이상의 유출부 초기수위에 대해서는 유입부의 수위가 일정 기울기로 증가하는 경향을 보였다. 저류지 설계 방류량 40m<sup>3</sup>/s ~ 50m<sup>3</sup>/s의 경우는 유출부 초기수위 2m이상에서 전술한 것과 유사한 결과가 나타났으며, 60m<sup>3</sup>/s의 경우는 2.5m이상에서 이러한 결과가 도출되었다.

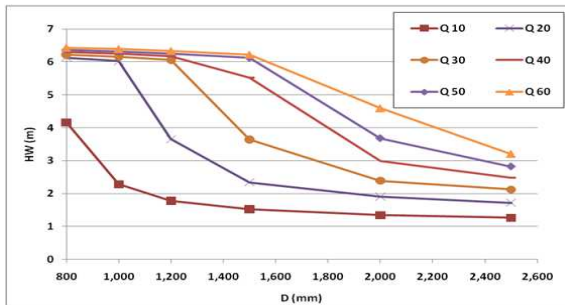


그림 1 유입부 수위와 암거 직경의 관계

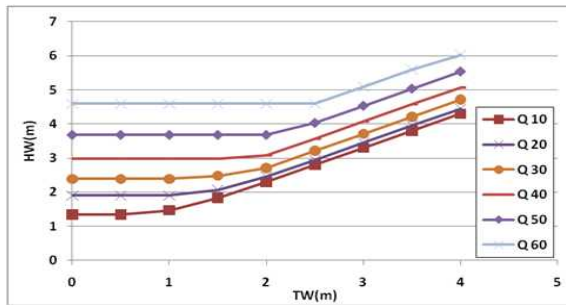


그림 2 유입부 수위와 유출부 초기수위의 관계

#### 3.2.3 암거경사

그림 3은 초기 가정사항과 직경 2,000mm, 유출부 초기수위 0m, 암거연장 10m의 조건에서 암거의 경사와 유입부 수위의 관계를 저류지 설계 방류량에 따라 도시한 것이다. 암거경사에 대한 유입부의 수위는 변화가 발생하기는 하나 저류지 방류 설계유량에 따른 경향도 일정하게 나타나며, 암거의 경사를 0.005의 경우에서 0.20으로 40배 증가하였음에 불구하고 1.2배 정도의 유입부 수위 상승 결과를 보였다.

#### 3.2.3 암거연장

그림 4는 초기 가정사항과 직경 2,000mm, 유출부 초기수위 0m, 암거경사 0.005의 조건에서 암거연장과 유입부 수위의 관계를 저류지 설계 방류량에 따라 도시한 것이다. 암거연장의 경우 유입부 수위에 전혀 영향이 없었으며, 저류지 방류 설계유량별로 보아도 영향이 없다는 것을 알 수 있다.

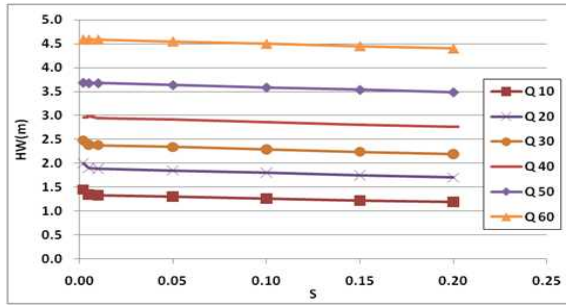


그림 3 유입부 수위와 암거경사와의 관계

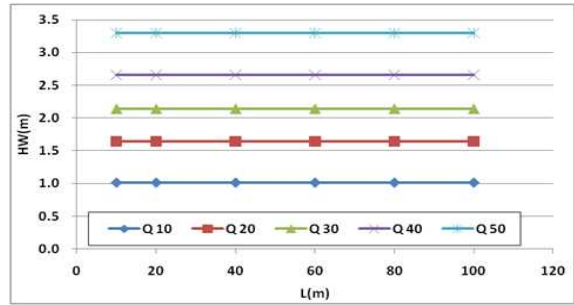


그림 4 유입부 수위와 암거연장과의 관계

이상의 모의결과를 보면 저류지 유입부 수위는 저류지 설계 방류량에 따라 암거의 직경, 유출부 초기수위에 큰 차이를 보이고 있으며, 상대적으로 암거의 경사와 연장에 대해서는 그 영향이 적게 나타났다. 따라서, 본 연구에서는 유입부 수위에 영향을 미치는 암거의 직경과 유출부 초기수위, 암거경사를 저류지 방류 암거 설계모의 조건으로 결정 하였다.

### 3.3. 저류지 방류암거 설계인자들의 상관관계

본 연구에서는 강우발생시 일정 방류량과 일정 저류량을 유지하여 유역의 홍수방어의 역할과 자연습지의 역할을 수행하는 저류지의 특성을 고려하여 유입부 수위가 상승되지 않으며, 적정 수위이하로 떨어지지 않는 조건으로 저류지 방류 암거를 설계하고자 설계인자들 간의 상관관계 분석을 시행하였다.

그림 5~8은 유입부 수위 5m를 유지하면서 유출부 수위와 암거 직경의 관계를 암거경사에 따라 도시한 것으로서 저류지 방류 설계유량에 따라 차이를 보이지만 암거의 경사가 커짐에 따라 적절히 방류관의 직경만 고려해 준다면 유출부의 초기수위에 큰 영향 없이 방류량을 원활히 소통시킬 수 있음을 알 수 있다. 유량조건 15m³/s와 30m³/s는 유출부 초기수위 2m 까지, 45m³/s와 60 m³/s는 유출부 초기수위 2.5m 까지 암거 직경이 일정하여도 유입부의 수위가 변동되지 않으면서 적정 유출량이 방류되고 있음을 알 수 있다. 이것은 Class-II군 Type-2에 속하는 경우로 암거 유입부는 잠수되어 있고 유출부는 잠수가 되지 않은 상태의 흐름이다. 유출부 초기수위 2.5m이상에서는 설정된 직경에 대해 원활한 배수가 일어나지 않고 유입부 수위가 증가되어 월류되는 현상을 보임에 따라 방류구 직경이 그림 5~8과 같이 급격한 경사로 증가시켜야 함을 알 수 있었으며, 방류구의 경사에 대해서도 영향이 발생하는 것을 알 수 있었다. 이러한 경우 Class-II군 Type-3에 속하며 유출구 통제상태의 흐름이 발생하였다.

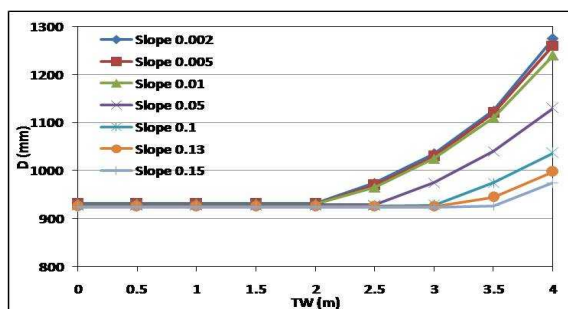


그림 5. 암거 직경과 유출부 초기수위의 관계(저류지 방류 설계유량 15m³/s의 경우)

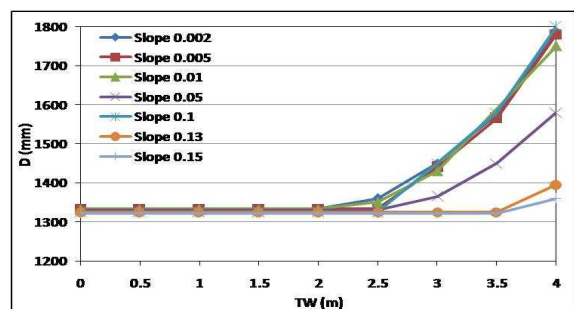


그림 6. 암거 직경과 유출부 초기수위의 관계(저류지 방류 설계유량 30m³/s의 경우)

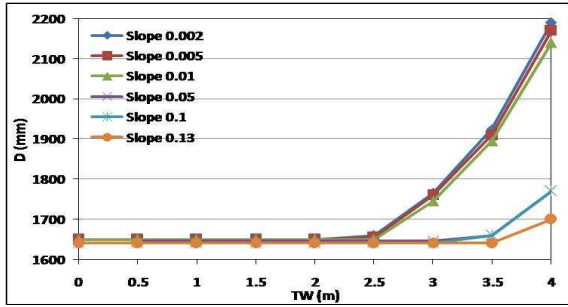


그림 7. 암거 직경과 유출부 초기수위의 관계(저류지 방류 설계유량 45 $\text{m}^3/\text{s}$ 의 경우)

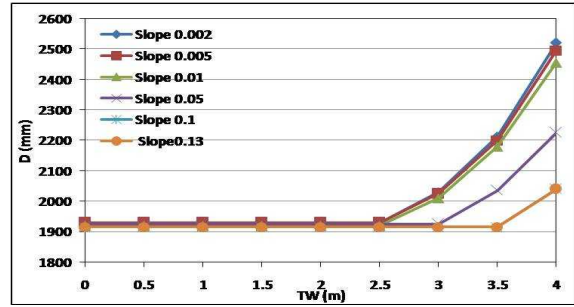


그림 8. 암거 직경과 유출부 초기수위의 관계(저류지 방류 설계유량 60 $\text{m}^3/\text{s}$ 의 경우)

#### 4. 결 과

본 연구는 저류지 방류암거의 설계를 위해 설계유량, 암거직경, 암거경사, 유출부 수위를 매개변수로 암거 해석프로그램을 통해 모의 하여 특성을 분석한 것으로서 그 결과는 다음과 같이 요약 할 수 있다.

첫째, 유입부 수위가 저류지의 제방고를 넘지 않는 범위에서 저류지 방류암거 설계인자들의 관계를 분석하여 설계범위를 결정해 본 결과 암거의 직경과 유출부 초기수위의 변동은 유입부 수위의 변동에 큰 영향을 주었으며, 암거의 경사와 연장은 상대적으로 그 영향이 미미하였다.

둘째, 저류지 방류 설계유량에 따라 차이를 보이지만 암거의 경사가 커짐에 따라 적절히 방류관의 직경만 고려해 준다면 유출부의 초기수위에 큰 영향 없이 방류량을 원활히 소통시킬 수 있음을 알 수 있었다.

향후 연구에서 저류지 방류 암거의 설계를 위해 본 연구에서 초기 가정사항으로 설정한 암거의 갯수, 저류지 제방고, 단면형상, 조도계수 등 보다 다양한 매개변수의 상관관계 분석을 통하여 간략화 된 저류지 방류 암거시설의 설계 기법을 제시할 것이다.

#### 감 사 의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신 F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행 되었습니다.

#### 참 고 문 헌

1. 건설교통부(2003). 도시배수시설 설계 및 유지관리 지침 연구.
2. 구혜진, 전경수(2008). 암거 설계 모형의 개발, 한국수자원학회 2008년도 학술발표회 논문집, pp.645~649.
2. 유동훈, 엄호식(2001). 원형 암거의 간편설계, 2001년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.685~690.
3. 유동훈, 엄호식(2003). 사각형 암거흐름의 양해적 해석, 한국수자원학회논문집, 제36권, 제3호, pp.481~494.
5. 윤용남(1999). 수리학-기초와 응용, 청문각, pp.524~538.
6. U.S Federal Highway Administration(2009). HY 8, Culvert Hydraulic Analysis Program, Version 7.2.
7. U.S Federal Highway Administration(2005). Hydraulic Design of Highway Cukverts, FHWA-NHI-01-020, HDS No.5.