

# 3개 저수지 유입시 정상상태 만관흐름해석

서용원\*, 최채복\*\*

Seo Yong Won, Choi Chae Bok

## 요 지

최근 제방개수 혹은 하폭확장과 같은 기왕의 제방대책을 적용하기 힘든 도시지역의 홍수피해 저감방안의 일환으로 개수로 혹은 지하터널 형식의 방수로와 같은 구조적 대안이 제시되고 있다. 현재 국내에서 검토되고 있는 방수로의 형식은 주로 유입부와 유출부의 양 지점 수두차에 의한 만관 상태의 흐름형식이다. 본 연구에서는 수두차에 의한 만관 상태의 흐름을 가지고 있으며, 3개 지점이상의 유입부를 가진 지하터널 형식의 방수로 계획시 마찰손실, 유입손실, 만곡부손실 등을 고려하여 유입부, 유출부 지점 계획에 따른 터널의 연장, 직경 등 제원 결정을 위하여 기존에 제시되어 있는 2개 저수지 유입시 정상상태 만관 흐름해석방법을 확장하여 3개 이상 저수지 유입시 정상상태 만관 흐름해석을 할 수 있도록 하였다.

**핵심용어 : 방수로, 만관상태, 정상흐름해석**

## 1. 서 론

최근 제방개수 혹은 하폭확장과 같은 기왕의 제방대책을 적용하기 힘든 도시지역의 홍수피해를 저감하기 위한 홍수대책방안의 일환으로 개수로 혹은 지하터널 형식의 방수로와 같은 구조적 대안이 제시되고 있다. 이러한 구조적 대안을 통해 가장 확실하고도 즉각적인 홍수저감을 기대할 수 있을 것으로 예상되며 향후 반면 이러한 대안에 대한 체계적인 설계기준과 설계절차에 대한 논의가 필요할 것으로 판단된다. 이러한 논의의 하나로서 단편적이거나 지하 방수로의 제원결정에 대한 하나의 사례로서 본 고를 제시하고자 한다.

## 2. 개요

본 고에서는 방수로 제원 결정의 대안으로서 최근 논의가 활발해지고 있는 중랑천 유역을 대상으로 하였다. 중랑천은 경기도 양주시 불국산에서 그 수원을 발하여 의정부시의 중심부를 지나 남류하고 하류부인 성동구 송정동에서 서류하여 사근동에 이르러서 유역의 최대지류인 청계천이 합류하고 한강본류의 성수대교 직하류 우안측으로 한강본류에 유입한다.

중랑천 유역은 면적 296.87 km<sup>2</sup>, 유로연장 34.80 km, 유역평균폭 8.51 km로서 서울특별시와 의정부시가 전체유역의 3/4 이상을 점하고 있는 고밀도의 도심지 및 인구밀집지역이다. 전체 유역 면적중 도시지역이 44.4 %를 점유하고 있으며, 유역의 평균경사는 11.3 %로 비교적 완만한 유역이며, 유역의 평균고도는 EL.103.7 m이고 중·하류부에 50m 이하의 저지대가 다수 분포하고 있다.

\* 정회원 · 한국종합기술 수자원부 · E-mail : [seoyw@kecc.co.kr](mailto:seoyw@kecc.co.kr)

\*\* 정회원 · 한국종합기술 수자원부 · E-mail : [portall@kecc.co.kr](mailto:portall@kecc.co.kr)

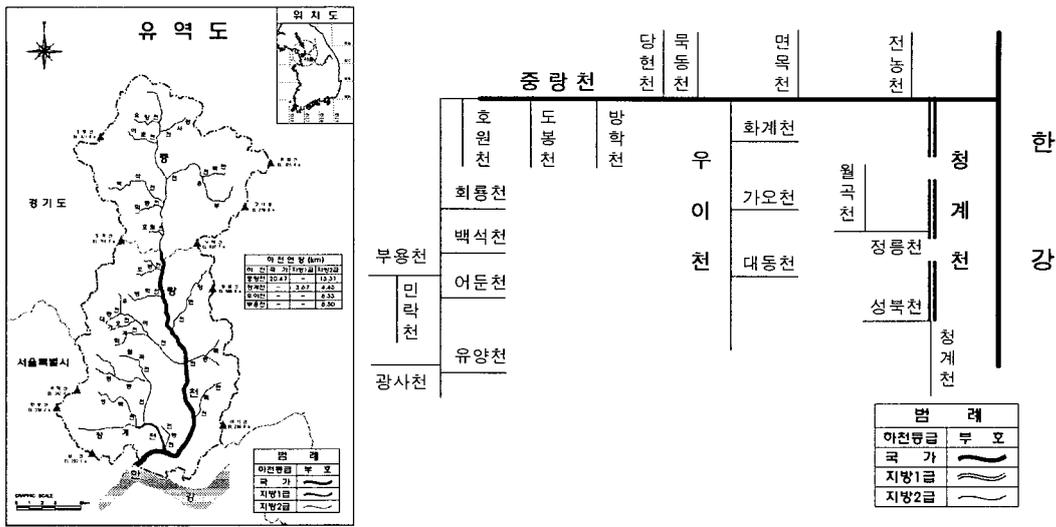


그림 1. 중랑천 유역 및 하천망

## 2.1 유·출입부의 선정

중랑천 유역의 유역분담 홍수량 처리를 위해 방수로 유입부를 우이천 합류점에 설치하여 190 m<sup>3</sup>/s의 전환유량을 유입하도록 하였으며 면목천 증류부 지점에서 50 m<sup>3</sup>/s의 전환유량을 다시 유입하여 최대 240 m<sup>3</sup>/s의 유량을 한강에 방류하도록 계획하였다. 이를 위하여 유량전환을 위한 유입부의 부지확보가 가능한 곳을 선정하고 이들 지점의 수위차와 전환가능 유량을 검토하여 최종적으로 유·출입부 및 전환지점의 위치를 선정하고 이들 지점을 연결하는 선형을 결정하도록 하였다.

표 1. 유입부 안별 비교표

안 별	계획홍수위 (EL.m)	수두차* (m)	용지확보	거리* (m)	유역분담* (m <sup>3</sup> /s)	최대유량 (m <sup>3</sup> /s)	중간유입부 (개소)	비고
유입1안	17.75	0.70	불리	11,300	190	240	1	안별검토
유입2안	21.46	4.41	불리	14,200	190	240	1	
유입3안	32.00	14.95	유리	20,400	77	240	2	

주) 1. \*수두차 : 중랑천 하구의 계획홍수위(EL.17.05 m)와의 수두차를 이용

2. \*거리 : 중랑천 하구로부터의 거리

3. \*유역분담 : 최상류 유입부 지점에서의 유역분담량

## 2.2 방수로 규모결정

### 2.2.1 자연배제방식의 방수로 규모결정

자연배제방식에는 만관상태에서의 압력관 흐름, 자유수면을 갖는 개수로 흐름 등으로 나눌 수 있으며 본 검토 대상의 지하방수로에서는 만관상태에서 수두차에 의해 방류하는 방식이다.

### 2.2.2 만관상태 자연배제시 흐름해석

만관상태(유입부 2개소)의 경우 다음과 같은 정상상태 합류관 방정식을 이용하여 소요단면의 제원을 계산하도록 하였다.

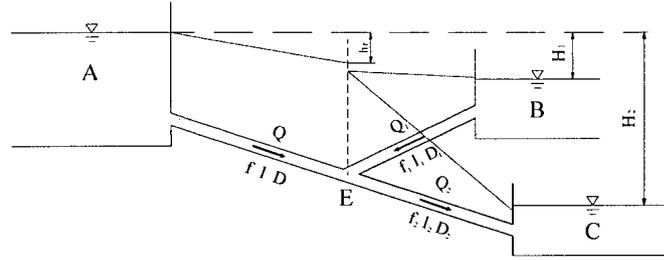


그림 2. 유입부 2개소의 자유배제해석

$$h_E = (f_b + f_c + f \frac{l}{d}) \frac{V^2}{2g} = kQ^2 \quad (1)$$

$$h_E - H_1 = (f_{c1} + f_{br'} + f_1 \frac{l_1}{D_1}) \frac{V_1^2}{2g} = k_1 Q_1^2 \quad (2)$$

$$H_2 - h_E = (f_b + 1 + f_{br'} + f_2 \frac{l_2}{D_2}) \frac{V_2^2}{2g} = k_2 Q_2^2 \quad (3)$$

여기서,

$$k = (f_c + f \frac{l}{D}) \frac{1}{2g} (\frac{4}{\pi D^2})^2$$

$$k_1 = (f_{c1} + f_{br'} + f_1 \frac{l_1}{D_1}) \frac{1}{2g} (\frac{4}{\pi D_1^2})^2$$

$$k_2 = (1 + f_{br'} + f_2 \frac{l_2}{D_2}) \frac{1}{2g} (\frac{4}{\pi D_2^2})^2$$

이며, 손실계수를 살펴보면 다음과 같다.

$f_c$  : 유입손실계수,  $f_b$  : 곡관손실계수,  $f_{br}$  : 합류손실계수,  $f$  : 마찰손실계수

곡관의 손실수두는

$$h_b = f_b \frac{V^2}{2g} \quad \text{로 정의하고 손실계수 } f_b \text{를 실험에서 결정한다.}$$

Weisbach는  $f_b$ 가 관의 반지름  $r$  과 곡률반경  $R$ , 굴절각  $\theta$  에 따라서 변화한다고 생각하고 다음과 같은 실험식을 제안하였다.

$$f_b = \left\{ 0.131 + 1.847 \left( \frac{r}{R} \right)^{3.5} \right\} \frac{\theta^\circ}{90^\circ}$$

본 과업에서는 만곡관의 경우  $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ 의 4가지 경우에 대하여 검토하도록 하였다.

합류관의 연속방정식은 다음과 같다.

$$Q + Q_1 = Q_2 \quad (4)$$

위 식(1)~(3)를 정리하면 다음과 같다.

$$H_1 = k(Q_2 - Q_1)^2 - k_1 Q_1^2 \quad (5)$$

$$H_2 = k(Q_2 - Q_1)^2 + k_2 Q_2^2 \quad (6)$$

위 두 식을  $Q_1/Q_2$ 에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$\{k(H_2 - H_1) + H_2 k_1\} \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2 - 2k(H_2 - H_1) \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right) + k(H_2 - H_1) - k_2 H_1 = 0 \quad (7)$$

위 식은  $Q_1/Q_2$ 에 대한 2차 방정식이므로 위 식과 연속방정식을 이용하여  $Q_1$ ,  $Q_2$ 를 구할 수 있다.

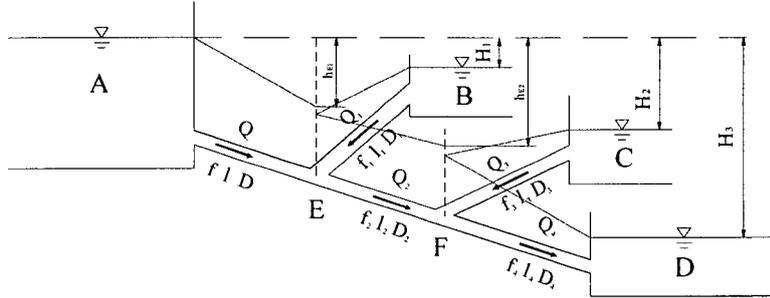


그림 3. 유입부 3개소의 자유배제해석

만관상태(유입부 3개소)의 경우 다음과 같은 정상류 상태의 합류관 방정식을 이용하여 소요단면의 제원을 계산하도록 한다.

$$h_{E1} = (f_c + f \frac{l}{d}) \frac{V^2}{2g} = kQ^2 \quad (8)$$

$$h_{E1} - H_1 = (f_{c1} + f_{br}' + f_1 \frac{l_1}{D_1}) \frac{V_1^2}{2g} = k_1 Q_1^2 \quad (9)$$

$$h_{E2} - h_{E1} = (f_2 \frac{l_2}{D_2}) \frac{V_2^2}{2g} = k_2 Q_2^2 \quad (10)$$

$$h_{E2} - H_2 = (f_{c3} + f_{br}' + f_3 \frac{l_3}{D_3}) \frac{V_3^2}{2g} = k_3 Q_3^2 \quad (11)$$

$$H_3 - h_{E2} = (1 + f_{br}' + f_4 \frac{l_4}{D_4}) \frac{V_4^2}{2g} = k_4 Q_4^2 \quad (12)$$

미지수의 개수는  $h_{E1}, h_{E2}, V, V_1, V_2, V_3, V_4$  등 7개로서 위 5개의 방정식, 2개의 연속방정식 등 7개의 방정식을 이용, 직접해법, 도해법 등으로 해를 구할 수 있다.

연속방정식은 다음과 같다.

$$Q + Q_1 = Q_2 \quad (13)$$

$$Q_2 + Q_3 = Q_4 \quad (14)$$

위 (13)~(14)의 연속방정식을 이용, (8)~(12)의 5개 방정식을  $Q/Q_2$ ,  $Q_3/Q_2$ 를 독립변수로 하는 2개 방정식으로 정리하여 풀 수 있다. 해를 구하는 데에는 시산법을 이용하였다.

### 2.2.3 검토결과

검토결과 유입1안(우이천 하구~면목천 중류~중량천 하구)의 경우 가능한 방수로 직경의 범위를 살펴보면, 주관로(D, D2)는 9.0 ~ 12.0 m, 면목천 합류관로(D1(D1'))는 3.0 ~ 4.2 m의 범위로 검토되었으며, 이때 유속은 주관로에서 1.68 ~ 3.77 m/s의 범위에, 면목천 합류관로에서 3.76 ~ 7.47 m/s의 범위에 있는 것으로 나타났다. 유입2안(당현천 하구~면목천 중류~중량천 하구)의 경우 가능한 방수로 직경의 범위는 주관로(D, D2)에서 8.0 ~ 12.0 m로, 면목천 합류관로(D1(D1'))에서 2.9 ~ 4.6 m의 범위로 검토되었으며, 이때 유속은 주관로에서 1.68 ~ 3.77 m/s의 범위에, 면목천 합류관로에서 3.10 ~ 8.11 m/s의 범위에 있는 것으로 나타났다.

표 2. 유입부 안별 소요제원 검토결과

안 별	노 선 구 간	구 분	관경(D,m)		유속(V,m/s)		최대수두차 (m)
			최소	최대	최소	최대	
유입1안	우이천 하구~면목천 중류 ~중랑천 하구	주관로	9.0	12.0	1.68	3.77	(+)0.70
		합류관로	3.0	4.2	3.76	7.47	
유입2안	당현천 하구~면목천 중류 ~중랑천 하구	주관로	8.0	12.0	1.68	3.77	(+)4.41
		합류관로	2.9	4.6	3.10	8.11	
유입3안	도봉산역~우이천 하구 ~면목천 중류~중랑천 하구	주관로	12.0	14.0	1.50	2.90	(+)14.95
		합류관로	3.3	5.8	1.90	9.00	

### 3. 결 론

최근 지하방수로에 대하여 많은 관심이 집중되고 있음에도 불구하고 국내에 아직 지하방수로의 설계와 해석에 대한 설계지침과 안내서 등이 미비하고, 방수로의 소요제원에 대한 검토사례가 부족한바 간단한 사례로나마 다수의 유입구를 갖는 방수로 해석의 일례로 제시하고자 하였다. 당초 예상과는 달리 수두차가 커질수록 관내 마찰손실수두로 인하여 허용범위내의 관로직경이 더욱더 커지는 것으로 나타났다. 반면 관로의 만곡으로 인한 손실은 미미한 것으로 나타났다.

### 참 고 문 헌

1. 서울특별시(1992). 서울시 관내 하천제방안정도 검토 및 치수종합대책수립 기본계획보고서, 서울특별시.
2. 유역종합치수계획 수립지침작성(2001), 건설교통부.