

지하방수로 설치에 따른 도시하천의 홍수저감효과 분석

Study on Flood Mitigation Effect in Urban Stream Basin with Underground drain

허성철* / 이종태* / 김효기** / 임택선*
Hur, Sungchul / Lee, Jongtae / Kim, Hyoki / Lim, Taeksun

요 지

도시하천인 중랑천을 대상으로 EAP 수립을 위한 한 방안으로서 계획규모를 초과하는 200년 빈도(현재 설계빈도는 100년 빈도임) 홍수에 대하여 한강홍수위 변화에 따른 월류부 위치(시경계, 당현천 합류점, 월계1교, 목동천 합류점)와 방수로 설계조건인 횡월류부 폭(30, 50, 70 m), 월류고(계획, 위험, 경계홍수위) 및 하류단 경계조건(평수위, 100년 빈도, 200년 빈도)에 따른 하류부 수위 저감효과를 분석하는 기술적 판단 과정을 제시하였다. 부정류 해석을 통하여 각 조건에 따른 저감효과를 분석하였다. 방수로 설치위치에 따른 홍수위 저감효과는 동일규모 방수로일 때 시경계부근에 설치한 경우에서 가장 큰 효과를 나타내고 있어 최적의 지점으로 분석되었다. 또한, 가장 취약지구인 당현천 부근의 홍수위는 당현천 합류지점에 방수로를 설치한 경우에 가장 낮아지는 것으로 분석되었다. 횡월류부의 폭과 월류고에 따라 중하류부 일정구간에서 홍수위가 100년 빈도로 저감되는 효과를 나타내었으며, 월류부 폭 및 월류고가 클수록 그 영향이 크게 나타났으나, 한강의 배수위 영향구간인 목동천 합류점 하류구간에서는 그 영향이 감소하였다. 또한, 전반적으로 한강홍수위 변화에 따라 하류부에서의 영향은 컸으나, 당현천 상류구간에는 그 영향이 작았다.

핵심용어 : 도시하천, 지하방수로, HEC-RAS

1. 지하 방수로의 유입부 위치, 규모와 홍수위 저감효과 분석

이상강우와 도시화로 인한 홍수량 증대에 대처하기 위하여 하도의 통수능 확충에 어려움이 많은 도시하천에서는 이상홍수에 대응하기 위한 EAP 수립에서 지하방수로를 활용한 홍수량저감방안의 필요성이 점차 증대되고 있다.

이 연구에서는 중랑천을 대상으로 설계빈도인 100년 빈도를 초과하는 강우에 대하여 방수로의 위치, 횡월류부의 규모, 하류단의 경계조건에 따른 홍수저감효과를 분석하는 기술적 판단 과정을 제시함으로써 방수로에 의한 홍수저감계획수립기술 향상에 기여코자 하였다.

연구 대상유역인 중랑천은 의정부시, 서울시를 관류하여 한강 본류의 우안으로 유입되는 한강의 제1지류로서 도심지가 전체 유역의 3/4를 점하는 도시하천으로 유역면적 약 298.70 km², 유로연장 약 34.80 km이다. 서울시구간의 평균 하폭은 약 180 m, 평균 하상경사는 약 1/1,150이다.

중랑천의 2002년 측량성과를 활용하여 서울시구간의 지점별 하폭 및 최심하상고, 좌우안제방고를 조사하였는데 최심하상고는 EL. 1.81 ~ 26.5m이며, 시설제방고는 계획홍수위(100년 빈도홍수위)보다 약 1 ~ 6 m의 여유고를 갖고 있으나 계획규모를 초과하는 홍수시 월계1교에서 당현천 합류부 구간은 범람위험이 클 것으로 예상되어 이에 대한 지하방수로 등 별도의 수위저감방안이 필요하다.

* 정회원-경기대학교 토목환경공학부jtlee@kyonggi.ac.kr/drhydro@kyonggi.ac.kr/limts1004@nate.com
** 정회원-(주)하존이엔씨 수자원부k072902@freechal.com

1.1 홍수규모에 따른 제방범람위험도와 가상 방수로 위치

가상 방수로 설치 후보지점을 선정하기 위하여 먼저 중랑천의 계획빈도를 상회하는 200년, 300년, 500년 빈도 홍수위에 의한 제방 월류 유무를 계산하였다. 분석결과 200년 빈도 홍수위일 때 당현천 합류점 제방 우안부에서 월류를 시작하여 300년 홍수위시에는 서울시 경계와 월계1교 지점에서 추가로 제방을 월류하였으며, 500년 빈도 홍수위시에는 중랑천 유역의 좌·우안 제방이 대부분 월류하는 것을 알 수 있었다. 따라서 제방 범람 위험성이 가장 큰 당현천 합류부, 월계1교 지점, 서울시 경계, 목동천 합류부를 가상방수로 유입부의 설치 대상지점으로 선정하고 횡월류량 및 이에 따른 홍수위 변동을 계산하였다(표 1, 그림 1).

표 1. 홍수규모 및 제방 범람지점

제방 범람 위치	범람유무					
	200년 빈도		300년 빈도		500년 빈도	
	좌안	우안	좌안	우안	좌안	우안
서울시경계			○	○	○	○
방학천합류점						○
당현천합류점		○	○	○	○	○
월계1교지점			○		○	○
목동천합류점				○	○	○

<주> ○ 표는 월류발생

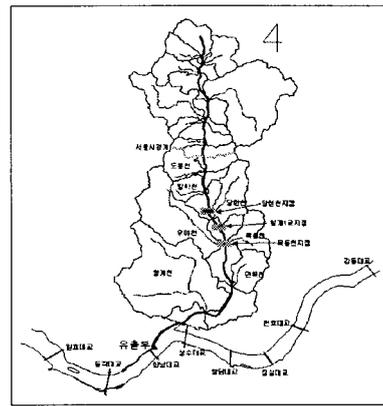


그림 1. 가상 방수로 설치지점

1.2 횡월류량 산정공식

방수로의 유입부는 횡월류의 형식으로써 일정수위를 초과하면 월류하여 연결 지하방수로를 통하여 한강으로 방류되는 시스템을 설정하였다. 이때 방수로 유입부의 위치와 월류 형식 및 크기는 홍수량 분담량 산정에서 우선적으로 중요한 요소이다.

지하방수로의 유입유량산정을 위하여 British 식(1999), Dominguez 식(1945), FFC 실험식(김창완, 2005)을 적용하여 횡월류량을 비교 분석하였다. 횡월류 위의 바닥표고는 위험홍수위를 적용하여 월류부 폭을 10 m에서 100 m까지 10 m씩 증가시켜 산정한 결과 같은 조건에서 British 식이 가장 큰 횡월류량을 나타냈으며, Dominguez 식이 중간값, FFC 실험식이 가장 작은 값을 나타내어 각 실험식의 개발배경 및 제약조건에 따라 상당한 차이를 보여 주었다. 이 연구에서는 다른 식에 비해 하천 및 위의 물리적 특성치를 보다 많이 고려한 British 식을 채택하였다. 한편 FFC 산정식은 예연위에 대한 것으로서 현재 광정 횡월류에 대한 실험연구가 진행중이며 실용적인 결과가 기대된다.

각 횡월류량 산정식은 다음과 같다.

(1) British 식

$$Q_s = \eta \sqrt{g} L h^{1.5} [J - K(\frac{L}{B}) Fr] \quad (1)$$

여기서, Q_s ; 월류량(cms), n ; 위어의 형상계수, g ; 중력가속도, L ; 위어 폭(m), h ; 월류고(m), J ; h/L 과 h/p 에 의해서 결정되는 계수, K ; h/p 에 의해서 결정되는 계수, p ; 본류 하상에 대한 위어 마루부의 높이, B ; 본류의 평균 하폭, F_r ; 위어 하류단에서의 Froude 수이다.

(2) Dominaguez 식

$$Q_s = Cbh^{1.5} \quad (2)$$

여기서, Q_s ; 월류량(cms), C ; 유량계수, b ; 위어 폭(m), h ; 월류고(m)이다.

(3) FFC 월류량 산정식

$$Q_s = 1.38(y-h)^{1.3} \quad (3)$$

여기서, Q_s ; 월류량(cms), y ; 본류수심(m), h ; 하상으로부터 월류부까지의 높이(m), $y-h$; 월류고(m)이다.

2. 설계조건별 홍수위 저감효과분석

2.1 설계조건

방수로 설치에 따른 하류부의 수위저감효과 분석을 위하여 상류단 경계조건으로는 중랑천의 계획빈도를 상회하는 200년 빈도 홍수량, 하류단 경계조건은 한강 합류부 평수위, 100년, 200년 빈도 홍수위를 채택하였다. 월류부 위치는 서울시 시경계 등 4개지점, 월류고는 경계홍수위, 위험홍수위, 계획홍수위 등을 설정하였으며, 월류부 폭은 30~70 m까지 20 m 간격을 기준조건으로 하여 다음의 13가지 CASE를 구성하였다(표 2, 3). 각 조건에 따른 월류량 및 하류부의 수위저감효과를 HEC-RAS(UNET) 모형으로 산정하였다.

표 2. 가상 방수로 설치지점별 월류부 마루표고(EL.m)

지 점	월류부 마루표고		
	계획홍수위	위험홍수위	경계홍수위
서울시 경계	31.09	30.56	30.02
당현천합류점	19.60	18.45	17.61
월계1교	18.85	17.84	16.93
묵동천지점	17.66	16.14	15.27

2.2 홍수량 저감효과

방수로 설치조건 조건에 따른 중랑천 주요지점별 홍수위 저감효과를 분석한 결과는 <표 4>와 같다.

CASE A의 경우에는 중랑천의 취약지구로 분석된 당현천합류부에서 월계1교 구간의 홍수위가 100년 빈도 홍수위보다 낮게 나타나고 있으며 월류부 위치가 당현천 합류점일 경우(A2)에 최대 약 1.19 m로 수위저감 효과가 가장 크게 나타나 최적의 방수로 설치구간으로 분석되었다.

표 3. 횡월류부 설계조건 및 하류단 경계조건

구분	CASE	적용조건	
횡월류부 설계조건	월류부 위치	A-1 시경계	유입홍수량 : 200년 빈도 홍수량 하류경계조건 : 200년 빈도 홍수위 월류부 폭 : 70 m 월류고 : 위험홍수위
		A-2 당현천 합류지점	
		A-3 월계1교	
		A-4 목동천 합류지점	
	월류고(EL.m)	B-1 31.09 (계획홍수위)	유입홍수량 : 200년 빈도 홍수량 하류경계조건 : 200년 빈도 홍수위 월류부 폭 : 70 m 월류부 위치 : 시경계하류200 m지점
		B-2 30.56 (위험홍수위)	
		B-3 30.02 (경계홍수위)	
	월류부 폭(m)	C-1 30	유입홍수량 : 200년 빈도 홍수량 하류경계조건 : 200년 빈도 홍수위 월류고 : 위험홍수위 월류부 위치 : 시경계하류200 m지점
		C-2 50	
C-3 70			
하류단 경계조건(EL.m)	D-1 4.01 (평수위)	유입홍수량 : 200년 빈도 홍수량 월류부 폭 : 70 m 월류고 : 위험홍수위 월류부 위치 : 시경계하류200 m지점	
	D-2 15.48 (100년 빈도)		
	D-3 16.64 (200년 빈도)		

CASE B와 CASE C의 경우에는 위어 폭이 크고, 위어 바닥고가 낮을수록 횡월류부에 의한 월류량이 증가하게 되어 수위저감효과가 큰 것으로 분석되었으며, CASE B3와 CASE C3에서는 각각 최대 0.18, 0.49 m의 수위저감효과를 나타내었으나, 100년 빈도 홍수위보다는 다소 높은 수위를 나타내고 있어 설치규모에 따른 수위저감효과는 미미하였다.

한편, CASE D 경우에는 하류단 경계 조건의 변화에 따른 홍수위 변화가 하구에서 당현천 합류점까지 영향을 미치고 있어 방수로의 설치에 따른 수위저감에는 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

방수로 설치조건에 따른 분석결과 월류부 규모가 커질수록 수위저감효과가 커지는 것을 알 수 있었으나, 설치규모에 비하여 그 효과가 크지 않아 방수로 설치시 경제성 등을 고려하여 적정 규모를 판단해야 할 것으로 보인다. 한편, 동일조건하에서는 방수로의 위치에 따라서 수위저감효과가 매우 크게 나타남으로써 적정규모의 유입부를 최적위치에 설치하는 것은 홍수위 저감에 핵심 과제임을 확인할 수 있었다.

표 4. 방수로 설계조건에 따른 주요지점별 저감 홍수위(m)

주요지점	홍수위		CASE A				CASE B			CASE C			CASE D		
	100년	200년	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	1	2	3
서울시경계	31.03	31.32	0.13	-	-	-	0.08	0.11	0.13	0.07	0.13	0.31	0.13	0.13	0.13
노원교	27.96	28.26	0.22	0.14	0.14	0.14	0.18	0.20	0.22	0.18	0.22	0.34	0.22	0.22	0.22
당현천합류점	21.01	21.55	0.06	1.19	0.32	0.14	0.03	0.04	0.06	0.02	0.06	0.18	0.22	0.15	0.06
월계1교	19.39	20.07	0.03	1.10	0.67	0.38	0.01	0.02	0.03	0.00	0.03	0.16	0.47	0.28	0.03
목동천합류점	17.88	18.64	0.04	0.51	0.35	0.77	0.03	0.03	0.04	0.02	0.04	0.10	1.00	0.48	0.04
청계천합류점	15.73	16.85	0.01	0.05	0.04	0.07	-	-	0.01	-	0.01	0.01	4.45	1.07	0.01
중랑천 하구	15.48	16.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.63	1.16	-

3. 결 론

본 연구에서는 HEC-RAS(UNET)모형의 부정류 모의를 통하여 중랑천 유역에 방수로를 설치하여 하류단 경계조건과 횡월류부 설계조건에 따라 하류부 수위 저감 효과를 분석하였고 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 당현천 합류지점에 방수로를 설치(CASE A2)한 경우에는 중랑천의 가장 취약지구인 당현천 합류점에서 월계1교 지점까지 중랑천 100년빈도 홍수위 보다 작게 나타났다.
- (2) 위어 폭 및 월류고가 증가할수록 수위저감효과가 큼을 알 수 있었으며, CASE B3와 CASE C3의 경우에는 방수로 설치지점에서 각각 최대 0.18, 0.49 m의 수위저감효과를 나타내었다.
- (3) 한강의 하류경계조건에 따른 영향은 당현천 합류점 부근까지 나타났으며 이로 인하여 방수로 설치에 따른 홍수위 영향은 작은 것으로 분석되었다.
- (4) 중랑천의 홍수위 저감효과를 가장 극대화하고 이상강우로부터 홍수범람을 최소화하기 위해서는 동일규모의 방수로 설치시 당현천 합류지점에 설치하는 것이 가장 적합한 것으로 잠정 분석되었으며, 이후 보다 구체적인 수문, 수리학적 연구가 수행되어야 할 것이다.

감 사 의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설핵심 기술연구개발사업(03산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과물로서 관계당국에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김창완(2005). 횡월류 위어 수리 실험, FFC 04-11, 도시홍수재해관리기술연구단
2. 김효기(2006). 방수로 설치에 따른 홍수위 저감효과분석-중랑천을 중심으로, 석사학위 논문, 경기대학교
3. 배덕효 등(2005). 시험유역의 선정 및 계측망의 구축, FFC 03-05, 도시홍수재해관리기술연구단
4. 배덕효 등(2006). 중랑천 시험유역 수문자료집 2005, FFC 04-05, 도시홍수재해관리기술연구단
5. 서울특별시(2005). 대학과 연계한 하천관리에 대한 연구(2단계 1차년도)
6. 서울특별시(2002). 중랑천 하천정비 기본계획
7. 허성철(1999). 중랑천유역의 홍수특성과 홍수방어능력 향상에 관한 연구, 석사학위 논문, 경기대학교
8. HEC(2002). HEC-RAS, River Analysis System User's Manual, US Army Corps of Engineers