

상습침수지역의 침수/배수 Simulation기법

Inundation/Drainage Simulation Technique on Frequently Flooded Area

최은혁*, 안선복**, 고진석***, 지흥기****, 이순탁*****
Eun Hyuk Choi, Shanfu An, Jin Seok Ko, Hong Kee Jee, Soontak Lee

요 지

본 연구는 하천연안에 위치한 소지류 하구부의 제방파괴로 인하여 외수위의 영향을 받는 제내지가 분류하도의 배수(back water)영향과 내수유입으로 침수역이 발생하게 되며, 이때에 홍수범람역의 범위와 배수시간을 분석·검토하여 침수피해를 저감시키는 방법을 모색하고자 하였다.

소하천유역의 침수상태해석을 위해 제내지측 침수역을 지류하도로 취급하여 두 개의 하천이 합류하는 조건으로 분석을 실시하였다. 이때 HEC-RAS를 이용하여 침수구역의 부정류 해석을 실시하였으며, 제내지의 침수 및 배수특성을 파악하기 위하여 분류하도의 홍수규모 즉, 홍수량(위)에 따른 제내지 침수역의 배수영향 범위를 추정하였고 파제부의 내수배제 시간을 해석하여 침수피해를 경감시킬 수 있는 파제부의 구조적인 개선방안을 분석·검토하였다.

그 결과 파제로 인하여 제내지가 분류하도의 외수위에 영향을 받으면서 제내지에 침수가 발생하는 소하천유역에서는 파제부의 범위에 따라 내수배제 능력과 배수영향을 동시에 분석하여 제내지에서 효과적인 내수배제능력을 가지면서 배수영향을 최소화하는 최적의 조건을 얻을 수 있었다.

핵심용어 : 내수배제, 침수, 배수

1. 서 론

급속한 산업화와 도시화의 진전으로 기상이변의 발생빈도가 높아지고 기후가 불안정하여 우리나라의 경우 예년보다 많은 집중호우가 발생하여 홍수범람피해가 급증하고 있다. 특히 최근에는 홍수의 규모와 발생빈도가 증가하면서 홍수로 인한 인명피해와 재산상의 손실이 반복되고 있으며, 재난 방지차원에서 자연하천에는 댐, 제방, 관계용수로, 암거 등의 수공구조물들이 정비·건설되고 있는 실정이다. 이와 더불어 하천의 홍수범람구역에 대한 정확한 추정이 필요하게 되었고 중요한 과제로 부각되고 있는 실정이다.

홍수범람해석에 대한 연구가 본격적으로 시도되기 시작한 것은 1980년대 초반으로서, Hromadka & De Vries에 의해 유한차분모형을 이용한 홍수범람해석을 실시한 이후로, 1990년대에 들어서면서 Syme & Paudyal, Estrela & Quintas, Tate 등에 의하여 활발하게 연구가 진행된 바 있다. 최근에는 Maidment 등에 의해 지형공간특성자료를 결합하는 범람지역 연구가 활발히 진행 중에 있다. GIS와 홍수범람에 관한 연구에서 Tate 등(1999)은 HEC-RAS를 통해 지형인자를 GIS로 전환하고 수치정사영상과 같은 기본도를 이용하여 홍수터의 평면적인 분석에 대하여 연구하였고, Eric Tate와 Francisco Olivera(1999)가 공동으로 HEC-RAS를 통한 지형인자의 GIS로의 전환에 대해 연구하였다. 최근에는 국립방재연구소를 중심으로 홍수정보관리시

* 정회원 · 영남대학교 토목공학과 박사과정·E-mail : hyuk1102@ynu.ac.kr
** 정회원 · 영남대학교 토목공학과 석사과정·E-mail : asf0290@hanmail.net
*** 정회원 · 영남대학교 토목공학과 박사과정·E-mail : springtime@ynu.ac.kr
**** 정회원 · 영남대학교 토목공학과 교수·E-mail : hkjee@yu.ac.kr
***** 정회원 · 영남대학교 토목공학과 교수·E-mail : leest@yu.ac.kr

스탬 구축에 관한 연구가 진행 중에 있다. 따라서 본 연구에서는 홍수침수 발생 예상지역에 대한 흐름특성을 보다 정확히 파악하여 홍수범람피해를 줄이는데 그 목적을 두었다.

2. HEC-RAS 부정류 해석의 기본이론

홍수류 흐름의 수리학적 모형은 흐름이 연속적으로 변화하는 경우에 대한 1차원 부정류 흐름해석의 지배 방정식은 다음 식 (2.1) 및 식 (2.2)와 같은 연속방정식 및 운동량방정식으로 구성된다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gA \frac{Q|Q|}{K^2} = 0 \quad (2.2)$$

여기서, $Q = Q(x, t)$ 및 $y = y(x, t)$ 는 각각 유량과 수위를 나타내며, A 와 K 는 흐름면적과 통수능으로서 각각 y 의 함수이다. a 는 운동량 보정계수, g 는 중력가속도이며, x 와 t 는 각각 공간 및 시간좌표를 나타낸다.

Preissmann의 4점 음해법을 이용하여 지배방정식 식 (2.1) 및 식 (2.2)에 관한 차분식은 각각 식 (2.3) 및 식 (2.4)와 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$F_1(y_i^{n+1}, y_{i+1}^{n+1}, Q_i^{n+1}, Q_{i+1}^{n+1}) = 0 \quad (2.3)$$

$$F_2(y_i^{n+1}, y_{i+1}^{n+1}, Q_i^{n+1}, Q_{i+1}^{n+1}) = 0 \quad (2.4)$$

운동량방정식에 대한 차분식 식 (2.4)는 이들 미지수에 대한 비선형방정식이 되어, 이 연립방정식의 해는 Newton-Raphson 반복계산법에 의하여 구할 수 있으며, 다음과 같은 근사식이 성립된다.

$${}^{m+1}F_1 = {}^mF_1 + \frac{\partial F_1}{\partial y_i} \Big|_m \Delta y_i + \frac{\partial F_1}{\partial y_{i+1}} \Big|_m \Delta y_{i+1} + \frac{\partial F_1}{\partial Q_i} \Big|_m \Delta Q_i + \frac{\partial F_1}{\partial Q_{i+1}} \Big|_m \Delta Q_{i+1} \quad (2.5)$$

여기서, Δy_i , Δy_{i+1} , ΔQ_{i+1} 은 반복계산 단계 $(m+1)$ 에서의 보정치이다. 위 식의 ${}^{m+1}F_1$ 을 0으로 놓으면 식 (2.3) 및 식 (2.4)에 관한 다음과 같은 형태의 선형 보정량방정식을 얻는다.

$$A\Delta y_{i+1} + B\Delta Q_{i+1} = C\Delta y_i + D\Delta Q_i + G \quad (2.6)$$

$$A'\Delta y_{i+1} + B'\Delta Q_{i+1} = C'\Delta y_i + D'\Delta Q_i + G' \quad (2.7)$$

여기서 A, B, C, D, G 및 A', B', C', D', G' 는 각각 반복단계 m 에서 구한 변수값 및 그 미분값들로부터 주어지는 계수이다. 전체 계산구간의 수를 N , 즉 계산격자의 수를 $(N+1)$ 이라하면, $(2N)$ 개의 보정량방정식이 식 (2.6) 및 식 (2.7)과 같이 주어지며, 여기에 두 개의 경계조건식으로부터 유도되는 보정량방정식들을 추가하면 총 $(2N+2)$ 개의 선형 보정량방정식이 구성되어, 이 연립방정식의 해로서 각각 $(N+1)$ 개의 수위 및 유량 보정치들을 구할 수 있다.

3. 대상구역의 홍수범람 모의

3.1 지형특성

본 연구에서 선정된 대상구역은 총 유역면적이 $A=8.64km^2$ 인 농지로서, 주변 산지구역의 유출량에 영향을 받는 동시에 제방의 파제로 인하여 해당구역이 본류 홍수위의 영향을 받아 On-line 및 Off-line저류지의 역할을 동시에 하는 특수한 지역이다.

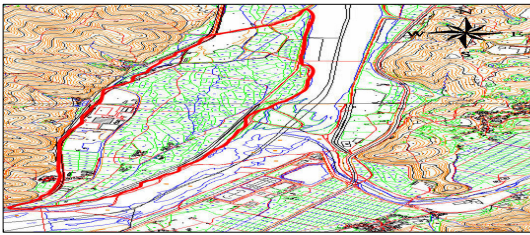


그림 3.1 분석구역의 선정

3.2 대상구역의 홍수수문곡선

하천구역의 홍수유출량 분석을 위한 수계탐의 구성은 유역의 출구에 대한 첨두홍수량에 큰 영향을 미치므로 시스템 구성시 소유역의 분할 및 하도의 분할은 홍수유출 산정시 대단히 중요한 문제이다. 본 분석 대상구역은 산지의 미계측 소하천 유역에 해당되므로 적합한 해석방법을 찾기가 어려우나 일반적으로 홍수유출해석에 널리 사용되고 있는 HEC-HMS모형의 SCS 모델을 대상으로 분석에 이용토록 하였다.

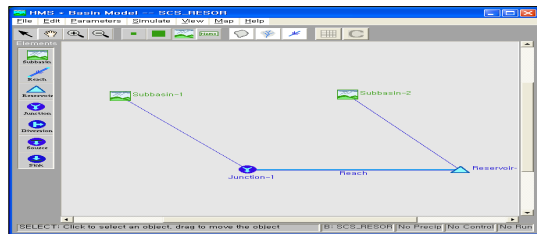
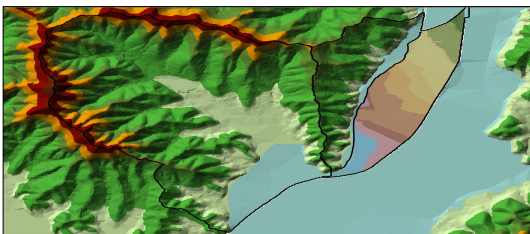


그림 3.2 대상구역의 TIN구성도 및 HEC-HMS 유역구성

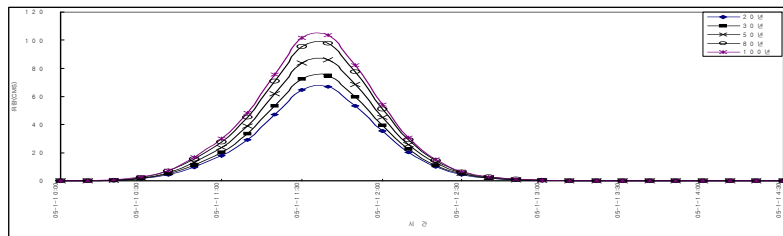


그림 3.3 대상구역의 재현기간별 홍수유출량 및 홍수수문곡선

4. 침수역의 HEC-RAS 부정류해석

4.1 대상구역의 수리해석 결과

(1) 상류단 경계조건

상류단 경계조건으로 저류지 최상단부에 재현기간 T=100년에 대한 유량수문곡선을 입력하였다.

(2) 하류단 경계조건

하류단의 경계조건으로는 저류지 하단부가 본류하천의 배수위 영향이 크게 작용한다고 가정하여 재현기간 T=100년에 해당하는 본류하천의 수위수문곡선을 대상구역 최하단부에 경계조건으로 입력하였다.

(3) 하도의 중·횡단면

본 분석에서는 국립지리원발행 1:5000 수치지도를 기본도로 이용하였으며, 하천에서는 종단측량의 구간거리는 본류하천을 기준으로 200m로 하였다.

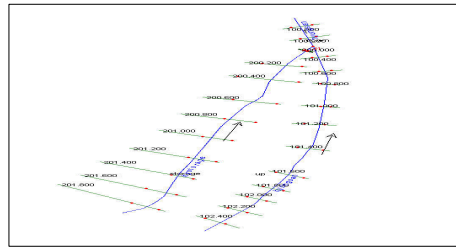
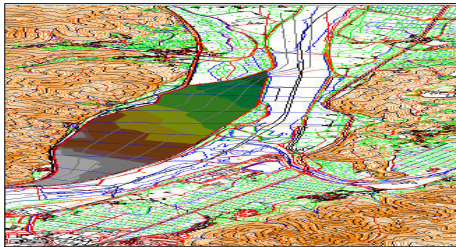


그림 4.2 분석하도구역의 측점 위치도

표 4.1 침수역의 부정류 해석결과 (T=100년)

구분	단면 번호	누기 거리 (km)	좌안 제방고	우안 제방고	Unsteady flow											
					첨두유량 (CMS)			최고수심 (m)			최고홍수위 (EL.m)			최고홍수위 도달시간 (hr)		
					Box	30m	90m	Box	30m	90m	Box	30m	90m	Box	30m	90m
저류지	200.00	0.02	16.40	16.40	69.97	170.41	116.20	4.69	4.08	4.07	15.19	14.58	14.57	04.26	03.50	03.50
	200.20	0.35	17.23	16.98	79.60	130.20	97.88	1.18	0.95	0.59	15.20	14.97	14.61	04.26	03.34	03.51
	200.40	0.58	18.03	17.54	97.20	97.21	97.21	0.39	0.39	0.39	15.37	15.37	15.37	04.05	04.05	04.05
	200.60	0.97	18.88	18.58	98.40	98.39	98.40	0.70	0.70	0.70	16.18	16.18	16.18	03.59	03.59	03.59
	200.80	1.27	19.75	19.51	99.63	99.63	99.63	0.57	0.57	0.57	16.77	16.77	16.77	03.54	03.54	03.54
	201.00	1.56	22.36	20.63	101.30	101.30	101.30	0.78	0.78	0.78	17.18	17.18	17.18	03.50	03.50	03.50
	201.20	1.86	21.38	20.93	102.34	102.34	102.34	0.74	0.74	0.74	17.93	17.93	17.93	03.46	03.46	03.46
	201.40	2.16	21.27	21.19	103.16	103.16	103.16	0.99	0.99	0.99	18.50	18.50	18.50	03.43	03.43	03.43
	201.60	2.43	21.58	23.55	103.52	103.52	103.52	0.76	0.76	0.76	19.71	19.71	19.71	03.41	03.41	03.41
201.80	2.68	23.52	22.46	103.79	103.79	103.79	0.96	0.96	0.96	21.26	21.26	21.26	03.40	03.40	03.40	

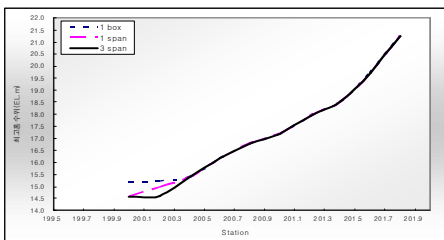


그림 4.3 출구부 조건에 따른 최고홍수위 비교

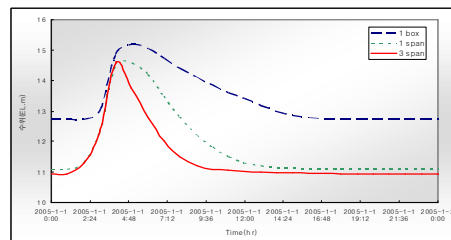


그림 4.4 출구부 조건에 따른 배수시간 비교

4.2 대상구역의 침수심 및 침수도

본 연구의 수리해석결과를 토대로 재현기간 T=100년에 대해서 각각의 구조물설치에 따른 저류지구역의 침수심 및 침수역의 범위는 그림 4.5와 같으며, 동일한 조건에서 RMA2를 이용한 2차원수리해석을 실시한 결과 그림 4.6과 같이 침수심 및 침수역의 범위가 HEC-RAS분석결과와 유사함을 알 수 있다.

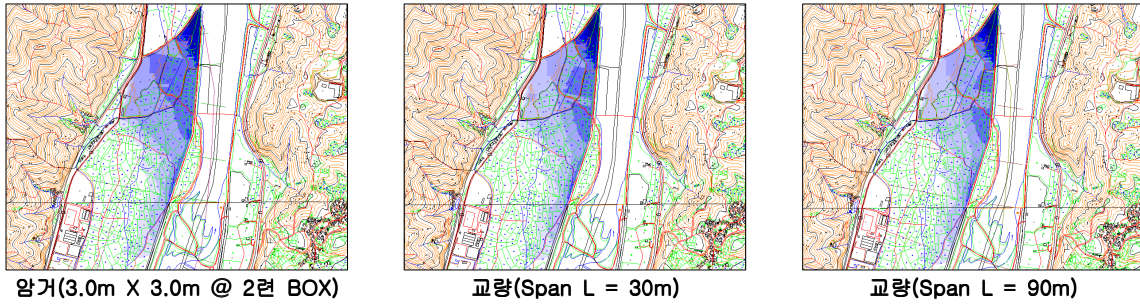


그림 4.5 구조물설치에 따른 침수심 및 침수역 (a)

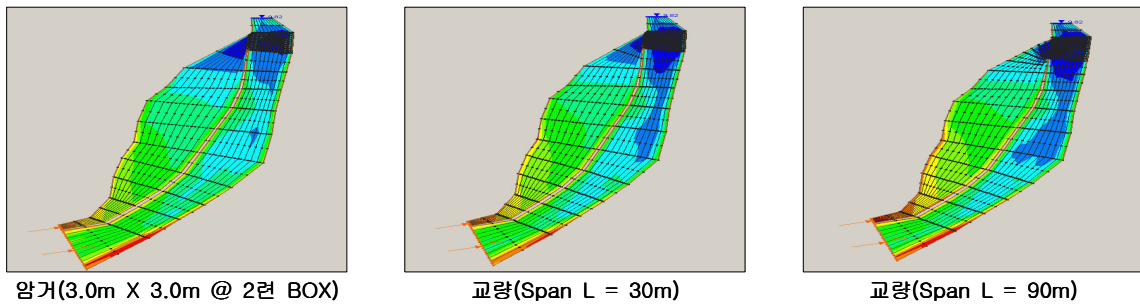


그림 4.6 구조물설치에 따른 침수심 및 침수역 (b)

그림 4.5 및 그림 4.6과 같이 출구부조건에 따라 침수심 및 침수역의 범위는 다르게 나타난다. 암거(3.0m×3.0m @ 2련 BOX) 설치 시 저류지구역의 내수배제가 불량하여 침수심 및 침수역의 범위가 교량(span L=30m, 90m) 설치 시에 비해 증가한다. 이와 달리 교량(span L=30m, 90m)을 설치한 경우 저류지 구역의 내수배제효과는 암거 설치 시에 비해 크게 나타나지만, 저류지 구역의 출구부에서 유입되는 흐름으로 인해 본류하도에서 배수(Back Water)현상이 발생하여 본류하도의 홍수위상승을 유발하고 있다.

5. 결 론

- 1) 대상구역의 배수조건은 저류지 상류구역의 홍수유출량이 유역출구 변경으로 인해서 매우 불리한 여건이 되었으며, 본류하도의 홍수위 상승에 따른 배수(Back Water) 현상과 내수배제 불량조건 등이 결합되고 있는 상습침수 위험지구임을 알 수 있었다.
- 2) 특히, 저류지의 배수를 위한 암거 설치에 따른 본류하도의 홍수위 상승에 따른 배수(Back Water)의 영향은 다소 감소되는 것으로 판단되지만 내수배제에는 매우 불리한 기능을 하는 것으로 나타난다.
- 3) 내수배제 출구부의 전기한 3개의 조건에 따라 배수(침수)심과 배수시간을 분석한 결과, 암거가 교량 설치 방안보다 내수배제 효과가 크게 떨어지고 있으며, 교량설치 방안 중에서 교량경간장이 길어짐에 따라 배수능력이 개선되고 있음을 알 수 있었다.
- 4) 교량설치 시 교량경간장이 길어짐에 따라 상습침수지역의 배수능력이 개선되고 있지만, 저류지 출구부

- 의 교량 경간장 확장으로 인하여 본류하도의 배수(Back Water)영향이 점차 증가함을 알 수 있었다.
- 5) 따라서 대상유역 및 형산강 본류하도의 범람 및 침수위험을 저감시키기 위해서는 적절한 배출구 구조의 선택과 더불어 저류지 홍수유출량의 원활한 배제를 위해 중·하류부의 제체를 절개하여 방류시키는 방안이나 본류 하도의 배수영향을 저감시킬 수 있는 가동보(본류 홍수의 역류 방지수문) 설치 등과 같이 조작과 유지관리가 용이한 구조의 설비를 복합적으로 검토해야할 필요가 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 안승섭, 이증석, 김종호, 2004, HEC-RAS/GIS를 이용한 홍수 범람지역 분석, 한국 환경과학회지 제 13권 1호
2. 고진석, 자연하도의 홍수과 범람해석, 영남대학교 대학원 석사학위논문(2004)
3. 전경수, 1996, 월류흐름을 포함한 부정류 계산모형에 관한 연구, 한국수자원학회 논문집 제 29권 2호.
4. Abbott, M.B, 1975, Method of Characteristics, Unsteady Flow in Open Channels, K.Mohmmmod and V. Yevjevich eds., Water Resour. Publications, Fort Collins, Colo., pp. 63-88
5. Ligget, J.A., and Cunge, J.A, 1975 Numerical Method of Solution of the Unsteady Flow Equations, Unsteady Flow in Open Channels, K. Mohmmmod and V. Yevjevicheds., Water Resour. Publications, Fort Collins, Colo., pp. 89-182
6. Cunge, J.A., Holly, F.M., Jr. and Verwey. A, 1980 Practical Aspects of Computational River Hydraulics. Pittman