

제내지 구조물 영향에 따른 홍수위험분석

Flood Risk Analysis by Structure Effects in Interior Floodplain

김 종 석*, 윤 선 권**, 문 영 일***, 권 현 한****
Jong Suk Kim, Sun Kwon Yoon, Young-II Moon, Hyun Han Kwon

요 지

홍수 범람에 의한 피해를 경감시키기 위해서는 하천관리에 필요한 제방 수리·수문 자료를 지속적으로 축적함으로써 하천관리의 과학화를 도모해야 하며 효율적인 홍수피해 경감을 위한 체계를 구축해야 한다. 이를 위한 기초 자료로써 범람 홍수의 거동특성을 파악하는 것은 무엇보다도 우선되어야 한다. 본 연구에서는 극한 홍수의 발생으로 제방의 붕괴위험이 증가되는 상황을 고려하여 과거범람 지역 조사 및 분석, 제방마루 높이와 여유고 평가, 무차원 소류력에 의한 취약지점 분석 및 제방의 월류위험도 분석을 통해 홍수재해에 대한 취약지점 선정 및 제내외지의 홍수특성 분석 방법을 제안하여 현실적인 하천방재계획 수립에 기여하고자 하였다.

핵심용어 : 홍수위험분석, 제내지 구조물, Flow-3D Model

1. 서 론

최근의 자연재해의 형태는 점차로 대형화, 다양화되고 있는 추세이며 그 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 것이 홍수에 의한 제방의 붕괴와 하천범람이다. 이와 같은 피해를 경감시키기 위해서는 범람홍수의 거동 특성을 명확히 밝히는 것이 우선 수행되어야 한다.

제방 붕괴 및 월류에 따른 홍수와 해석은 주로 댐 붕괴의 문제와 연관되어 왔는데 Schoklitsch(1917), Stoker(1957) 등에 의하여 급격한 붕괴로부터 발생하는 부정류의 근사해를 단순한 하도에 대하여 유도한 바 있다. 국내에서는 이홍래 등(1998a; 1998b)이 제방월류 및 붕괴에 따른 하도 및 제내지에서의 범람해석을 실시하였으며 김종해(2003)는 홍수위 계산에 있어서 도입되는 불확실성의 원인을 분석하고 정량화하여 확률적인 홍수위 계산을 실시함으로써 제방월류에 대한 제내지 범람 특성을 해석하였다. 또한, 한건연 등(2007)은 하천에서의 EAP 구축을 위한 범람위험도 평가기법을 적용하여 홍수위험지도를 분석한 바 있다. 본 연구에서는 도시하천인 우이천 유역을 대상으로 과거 범람 지역 조사 및 분석, 제방 마루 높이와 여유고 평가, 무차원 소류력에 의한 취약지점 분석 및 제방의 월류위험도 분석을 통하여 대상 지역의 제방 붕괴 지점을 선정하고 제내지 구조물에 따른 홍수거동특성을 분석하여 홍수시 홍수피해 예측 및 위험시설물에 대한 대책 수립 등 하천관리 및 응급대책안 수립에 기여하고자 한다.

2. 홍수재해 취약지점 선정 및 제방 붕괴 가정

본 연구에서는 극한 홍수의 발생으로 제방의 붕괴위험이 증가되는 상황을 고려하여 홍수재해에 대한 취약지점 선정 방법을 제안하고자 하며 대상지역의 제방 붕괴에 따른 홍수특성을 분석하고자 한다. 특히 제내지의 구조물 영향에 따른 홍수위험분석을 실시하여 홍수피해 예측 및 위험시설물에 대한 대책 수립 등 효율적

* 정회원·서울시립대학교 토목공학과 공학박사 jongsuk@uos.ac.kr

** 정회원·서울시립대학교 토목공학과 박사과정 skyoon@uos.ac.kr

*** 정회원·서울시립대학교 토목공학과 교수 ymoon@uos.ac.kr

**** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원·공학박사 hkwon@kict.re.kr

이고 현실적인 하천방재계획 수립에 기여하고자 한다. 그림 1은 취약지점 선정 및 홍수거동특성 분석을 위한 절차를 나타내고 있다.

그림 1. 홍수위험분석 절차

2.1 홍수재해 취약지점 선정

본 연구에서는 과거범람 지역 조사 및 분석, 제방마루 높이와 여유고 평가, 무차원 소류력에 의한 취약지점 분석 및 제방의 월류위험도 분석을 통해 홍수재해에 대한 취약지점을 선정하였다.

그림 2. 과거 침수 구역

그림 3. 단면별 제방안전도 평가 결과

그림 4. 무차원소류력

그림 5. 제방의 월류 위험도

대상 유역은 1998년과 2001년 홍수피해가 심했던 곳으로 재해관리상 지속적인 모니터링이 필요한 유역이다. 주로 중랑천의 수위상승과 배수체계의 불량으로 인하여 저지대부분의 침수피해가 많이 발생하였으며 만곡부 및 하천의 합류 전·후에서 일부 침수 피해가 발생하는 것으로 나타났다(그림 2). 빈도별 확률홍수량에 의해 산정되어진 빈도별 홍수위에 따른 제방 마루 높이와 여유고를 평가 분석한 결과(그림 3) 빈도 증가에 따라 위험단면의 증가폭이 작게 나타났으며 대부분 제1구간과 제2구간에서 위험단면과 관리단면이 많이 발

생하는 것으로 나타났다. 하상변동, 하도의 안정성을 정성적으로 판단하기 위해 무차원소류력을 산정하였으며(그림 4) 중·하류부분을 제외한 제4구간과 제5구간에서 에너지 경사 및 마찰속도, 무차원소류력이 크게 나타났으므로 큰 소류력을 견딜 수 있는 호안공법 및 낙차공 개선을 통한 유속저감이 필요한 것으로 판단된다. 특히 No. 134지점의 경우 만곡부이면서 소류력이 가장 크게 나타나 호안 및 제방에 대한 침식 및 붕괴의 위험성이 높은 것으로 나타났다. 제방의 월류 위험도(그림 5)는 제3구간~제5구간사이에는 거의 발생하지 않는 것으로 분석되었으며 대부분이 제1구간과 제2구간에서 발생하는 것으로 나타났다. 월류 확률은 우안제방이 최대 4.9E-02로 제1구간에서 주로 발생하는 데 반하여 좌안제방은 제1구간과 제2구간에서 모두에서 크게 발생하는 것으로 분석되었다. 특히 제2구간에서는 최대 1.8E-01로 비교적 큰 수리·수문학적 파괴확률을 가지는 것으로 나타났다.

2.2 대상 지역의 제방붕괴 가정

대상 하천을 5개의 구간으로 나누어 취약지점을 선정하고 비교적 큰 수리·수문학적 파괴확률을 가지는 지점을 선정하여 제방 붕괴에 따른 수리학적 홍수특성을 분석하였다.

표 1. 제방 붕괴폭의 산정식

구분	제방 붕괴폭	비고
Singh(1982)	$2H \leq B \leq 5H$	
Mac Donald(1984)	$H \leq B \leq 5H$	
Fread(1977)	$H \leq B \leq 3H$	

제방의 붕괴 폭을 결정하기 위한 산정근거 식은 표 1과 같다. 여기서, B는 붕괴폭을, H는 제방고를 나타내고 있으며 붕괴폭은 깊이에 비례하는 것으로 나타나고 있다. 본 연구에서는 제방붕괴조건에 따른 홍수특성분석을 위하여 붕괴폭(B)은 3H와 5H를 적용하였다. 또한, 붕괴깊이는 홍수파가 제내지로 유입될 대의 유량에 영향을 미치므로 붕괴지점의 특성을 고려하여 0.2H를 고려하였다. 제방의 붕괴시간은 5분, 10분, 15분, 20분, 25분, 30분을 적용하였으며 제방붕괴전의 홍수위와 유속을 기준으로 상류부, 붕괴부, 하류부의 횡단적 홍수특성을 분석하였으며 붕괴지점의 하폭에의 길이만큼 상·하류부의 좌안부, 중앙부, 우안부의 종단적 홍수특성을 분석하였다. 이를 위하여 SMS-RMA2에 의한 2차원 수리해석을 실시하였으며 FLOW 3D를 통한 3차원 수리해석 결과와 비교 검토하였다.

3. 제내지 구조물 영향에 따른 홍수위험분석

3.1 대상 영역의 3차원 형상화

3차원 CAD프로그램인 solid edge를 이용하여 가상제방붕괴 지점의 하도와 유역의 형상을 구현하였으며, 1×1 m grid metrics를 구성하여 각 지점별 x, y, z 자료를 추출한 후 FLOW-3D에서 불러들여 topograph 3차원 형상을 구현하였다. 그림 5는 solid edge를 이용한 3차원형상을 나타낸 것이다. 본 연구에서 사용된 격자망의 형태는 직사각형 모양의 직각격자(cartesian coordinates: x, y, z)를 사용하였으며, 해석영역별 격자망의 수는 x축 85, y축 200, z 축 16개를 적용하여 총 272,000개를 구성하였다.

그림 5. 3차원 Solid 형상

3.2 경계조건 및 초기조건

본 연구에서 사용된 대상영역별 경계조건과 초기조건의 입력화면은 그림 6과 같으며, 대상구간에 대한 지점별 직육면체 상의 6개 경계면의 각각의 경계조건은 표 3에 나타난 바와 같다.

그림 6. 대상영역의 경계조건 입력화면

그림 7. 상류단 경계조건

표 3. 대상구간에 대한 경계조건

대상구간	X_{max}	X_{min}	Y_{max}	Y_{min}	Z_{max}	Z_{min}
제방 붕괴부	Wall	Wall	Specified Pressure	outflow	Specified Pressure	Wall

3.3 수치모의 결과

제내지 범람에 영향을 미치는 주요인자로는 붕괴부 유입수문곡선과 조도계수 그리고 제내지 구조물의 영향을 들 수 있다. 실제로 제내지의 피해를 일으키는 요인은 홍수파이기 때문에 제방붕괴에 따른 제내지로 유입되는 홍수파의 거동특성을 파악하는 것은 무엇보다도 중요하다. 따라서 정확한 예측을 통한 현실적인 홍수 대책을 제시하기 위해서는 반드시 고려되어야 할 사항이다. 또한, 그에 따른 홍수범람구역의 정확한 추정은 홍수피해를 저감시키는 데 있어서 매우 중요한 역할을 할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 제방이 붕괴되는 과정에서 제내지로 유입되는 범람홍수파의 특성을 분석하고 구조물의 존재유무에 따라 제내지의 침수심과 유속 등 홍수거동특성을 분석하였다.

그림 8. 3차원 유속분포 (구조물 미고려)

그림 9. 3차원 유속분포 (구조물 고려)

그림 10. X-Z Plain 유속분포 (구조물 미고려)

그림 11. X-Z Plain 유속분포 (구조물 고려)

그림 8과 그림 9는 구조물 고려 유무에 따른 3차원 유속 분포를 나타내고 있으며 그림 10과 그림 11은 하도 직각방향인 X-Z평면의 유속분포를 나타내고 있다. 제방 붕괴부의 수위는 초기에 급격히 증가한 후 완만하게 감소하는 경향을 보이며 시간의 변화에 따라 제내지 범람홍수의 하도 직각방향 도달거리가 길어지는 것으로 분석되었다. 침수심은 1m내외로 나타났으며 구조물 고려시 최대 유속은 1.48m/s로 고려전의 최대유속 1.05m/s보다 크게 나타났다. 특히 구조물의 영향으로 구조물 측면부에서 유속이 증가하였고 전면부의 침수심은 약간 증가하였으며 구조물 후면부에는 다소 감소하는 경향을 보였다. 또한 제내지에 구조물이 있는 경우 범람 홍수의 전파방향이 넓게 나타났다.

4. 결 론

극한 홍수의 발생으로 제방의 붕괴위험이 증가되는 상황을 고려하여 과거범람 지역 조사 및 분석, 제방마루 높이와 여유고 평가, 무차원 소류력에 의한 취약지점 분석 및 제방의 월류위험도 분석을 통해 홍수재해에 대한 취약지점 선정 방법을 제안하였다. 제방의 붕괴되는 과정에서 제내지로 유입되는 범람 홍수의 특성과 구조물의 존재유무에 따라 제내지의 침수심과 유속 등 홍수거동특성을 분석한 결과 제방 붕괴부의 수위는 초기에 급격히 증가한 후 완만하게 감소하는 경향을 보였으며 시간의 변화에 따라 제내지 범람 홍수의 하도 직각방향 도달거리가 길어지는 것으로 분석되었다. 특히 구조물의 영향으로 구조물 측면부에서 유속이 증가하였고 전면부의 침수심은 약간 증가하였으며 구조물 후면부에는 다소 감소하는 경향을 보였다. 또한 제내지에 구조물이 있는 경우 범람 홍수의 전파방향이 넓게 나타났다. 정확한 예측을 통한 현실적인 홍수대책을 제시하기 위해서는 구조물의 영향을 반드시 고려해야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(과제명 : 사면붕괴 예측 및 대응기술 개발) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 서울특별시(2006). 대학과 연계한 하천관리에 대한 연구 보고서(2단계2차)
2. 도시홍수재해관리기술단(2005), 하도 및 제방붕괴조건에 따른 제내지범람실험.
3. 권현환(2004). 비매개변수적 LHS-Monte Carlo Simulation을 이용한 댐위험도 분석, 박사학위논문, 서울시립대학교.
4. 윤광석(2003). “제방안전도 평가 적용성 검토”. 대한토목학회 학술발표논문집. pp. 2606-2611.
5. 한건연, 김극수, 최승용, 이용신(2007). “홍수정보지도 작성방법에 관한 연구”, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 1322-1326.
6. 이종태, 허성철, 김정희, 한건연(2006). “제방붕괴조건에 따른 도시하천의 홍수범람 특성 및 홍수지도”, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제 39권, 제 5호, pp. 383-394.
7. 김종해, 한건연, 서규우(2003). “하천 홍수범람모의를 위한 불확실도 해석기법의 적용” 한국수자원학회 논문집, 제36권4호, pp.661-671.
8. 이홍래, 한건연 (1998). “ 하천 홍수범람해석을 위한 수치모형의 개발(I);GIS와의 연계해석” 한국수자원학회 논문집. 한국수자원학회. 제31권. 제4호. pp.415-427.
9. 이홍래, 한건연, 김상호(1998). “ 하천 홍수범람해석을 위한 수치모형의 개발(II);불확실도 해석” 한국수자원학회 논문집. 한국수자원학회. 제31권4호. pp.429-437.
10. Schoklitsch, A., 1917. "Uber Dambruchwellen." Sitznings-brecht der Akademic der Wissenschaften, Vienna, Vol. 126, pp. 1489-1514.
11. Stoker, J.J. 1957. Water Waves., Inter-Science Publishers, pp. 333-341.