

제방붕괴깊이 조건에 따른 제내지 범람홍수파 거동 실험

Experimental Study on Influence of Levee Breach Depth on Flood Wave Propagation in Inundation Area

윤광석*

Kwang Seok Yoon

요 지

본 연구에서는 제방붕괴에 의한 제내지 홍수파 거동 해석의 일환으로 제방붕괴시 제방의 봉괴깊이에 따른 제내지에서의 홍수파의 거동 양상을 수리실험을 통하여 고찰하였다. 다양한 제방붕괴폭과 초기하도수위 및 제방붕괴고 조건에 대해 범람홍수파의 전파속도와 제내지에서의 최대수심의 변화를 실험을 통하여 관찰하였다. 범람홍수파 선단(wave-front)의 이동속도는 동일한 하도수위조건에서는 봉괴고가 높을수록 감소하는 것으로 나타나 제방붕괴시 윌류수심 H_w 가 범람홍수파 전파속도에 영향을 준다는 것을 알 수 있었다. 모든 실험조건에서 최대수심은 일정한 경향을 띠고 있음을 알 수 있었다. 제방인근 지점에서 최대수심이 가장 크게 나타났고, 봉괴부로부터 일정 지점이 지나면 수위가 급격히 감소하여 거리에 관계없이 일정한 최대수심을 유지하는 것을 알 수 있었다. 동일 수위조건이라면 제방붕괴고가 낮을수록 제내지로 유입되는 유량이 증가하여 초기에 제방붕괴부 주위에서 수심이 높아지는 것으로 분석할 수 있다. 실험결과를 이용하여 범람홍수파의 전파속도와 최대수심을 산정하는 식을 무차원변수를 이용하여 제시하였다.

핵심용어 : 제방붕괴깊이, 제내지범람, 범람홍수파, 수리실험, 무차원전파거리

1. 서 론

하천제방이 봉괴시 발생하는 제내지 범람은 적지 않은 인명 및 재산피해를 유발하고 있다. 따라서 홍수범람에 의한 피해를 경감시키기 위해서는 범람홍수파의 거동을 명확히 밝히는 것이 우선 수행되어야 한다. 이러한 연구결과는 홍수시에 신속한 대피를 유도할 수 있고, 긴급한 복구활동에도 유용한 자료가 될 수 있을 뿐만 아니라, 홍수전에는 치수사업 계획시 좀 더 정확한 타당성 분석을 하는데 필요한 입력자료와 그 범위를 결정하는 중요한 역할을 할 수 있다. 제방붕괴에 의한 범람홍수파 거동과 관련하여 국내외에서 수치모형 연구는 활발하게 수행되었으나, 수리실험을 통한 연구는 미흡한 실정이며, 지속적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 윤광석 등(2006)의 실험 연구를 기초로 하여 제방붕괴깊이가 범람홍수파의 거동에 미치는 영향을 실험을 통해 고찰하였다.

2. 수리실험 개요

2.1 실험장치 및 측정

실험실의 최대공급가능유량, 실험장의 공간여건 등을 고려하여 계획된 실험 수조의 전체 크기는 가로 30m, 세로 30m이며, 수조 내부에 제내지, 제방, 하도를 제작하였다. 그림 1에서 보는 바와 같이 하도는 폭 5m, 길이 30m이며, 제내지는 폭 28m, 길이 24m이다. 하도와 제내지의 하상은 수평이며, 시멘트 모르타르로 표면을 처리하였다. 제방붕괴 재현장치는 최대봉괴폭 4m, 높이 0.6m가 되도록 하였으며, 하도의 중간지점에

* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원 ·E-mail : ksyoon@kict.re.kr

설치하였다. 하도에서의 초기수심은 h_o 이며, 제내지는 건조상태이다. 제방봉괴에 의한 범람홍수파는 하도와 홍수터를 나누는 제방봉괴장치의 횡방향 개방을 통해 모이된다. 제방봉괴장치의 개방속도는 18cm/sec이다. 제내지에서의 범람심은 측정지점에 파고계를 설치하여 연속적으로 계측하였다.

그림 2는 제방봉괴깊이 조건에 따른 제내지 범람 실험장치 개략도를 나타낸 것이다. 제방봉괴고조절장치는 제방봉괴지점에 설치되었으며, 제방봉괴고는 제내지 바닥으로부터는 높이를 나타내는데 그림에서 H_B 와 같다. 초기월류수위는 H_o 와 같고, 월류심은 H_w 이다.

수위측정위치는 그림 3에 나타낸 바와 같다. 그림에 나타낸 바와 같이 용량식 파고계를 이용하여 하도내에서는 7개 지점을 측정하였으며, 제내지에서는 24개 지점을 측정하였다. 제내지 측정은 범람홍수파가 진행되는 과정을 3방향으로 측정하였는데, 각각 하도직각방향, 상류 대각방향, 하류 대각방향이다.

2.2 실험조건

제방봉괴깊이 조건에 따른 범람홍수파 실험을 위한 실험 조건은 표 1에 나타낸 바와 같다. 하도내 유입유량은 0이고, 제방봉괴폭은 0.5 ~ 3.0 m이며, 제방봉괴고는 제내지 바닥면을 기준으로 하고, 0.25 ~ 0.45 m 범위로서 총 36개 조건에 대해서 실험이 수행되었다.

표 1. 제방봉괴고 실험 조건

제방봉괴고 H_B (m)	봉괴폭 B (m)	초기하도수위 H_o (m)	비고
0.25	1.0	0.30 ~ 0.55	- 수위간격 : 0.05m - 하도유입유량 : 0 - 봉괴면 경사는 90°
	2.0	0.30 ~ 0.55	
	3.0	0.30 ~ 0.55	
0.35	1.0	0.40 ~ 0.55	- 수위간격 : 0.05m - 하도유입유량 : 0 - 봉괴면 경사는 90°
	2.0	0.40 ~ 0.55	
	3.0	0.40 ~ 0.55	
0.45	1.0	0.50 ~ 0.55	- 수위간격 : 0.05m - 하도유입유량 : 0 - 봉괴면 경사는 90°
	2.0	0.50 ~ 0.55	
	3.0	0.50 ~ 0.55	

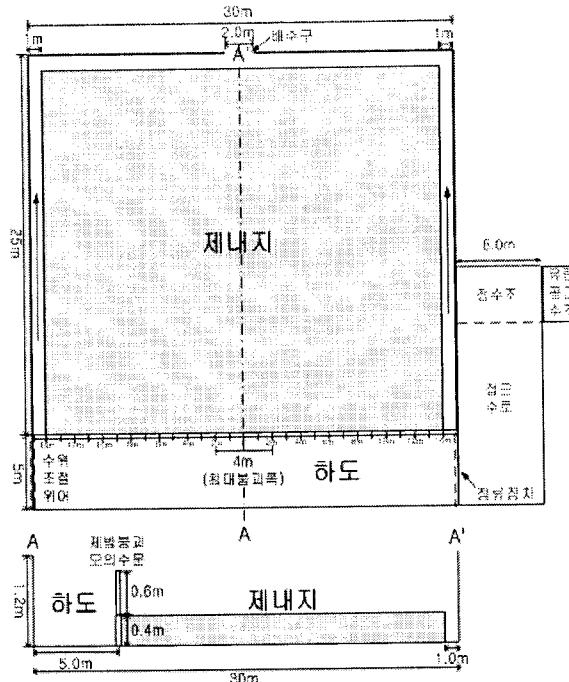


그림 1. 실험수로 및 수조 설치 개념도

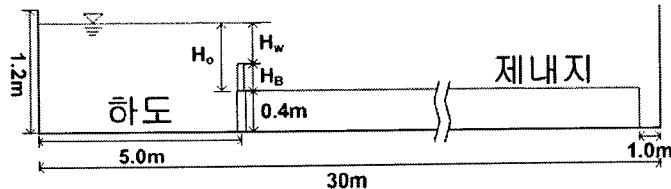


그림 2. 봉괴고 설치 개략도

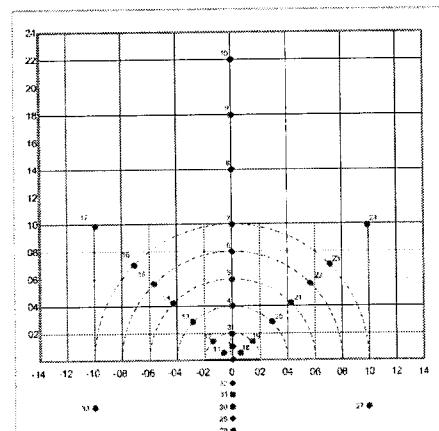


그림 3. 수위측정 위치

3. 실험결과

3.1 홍수파 전파속도

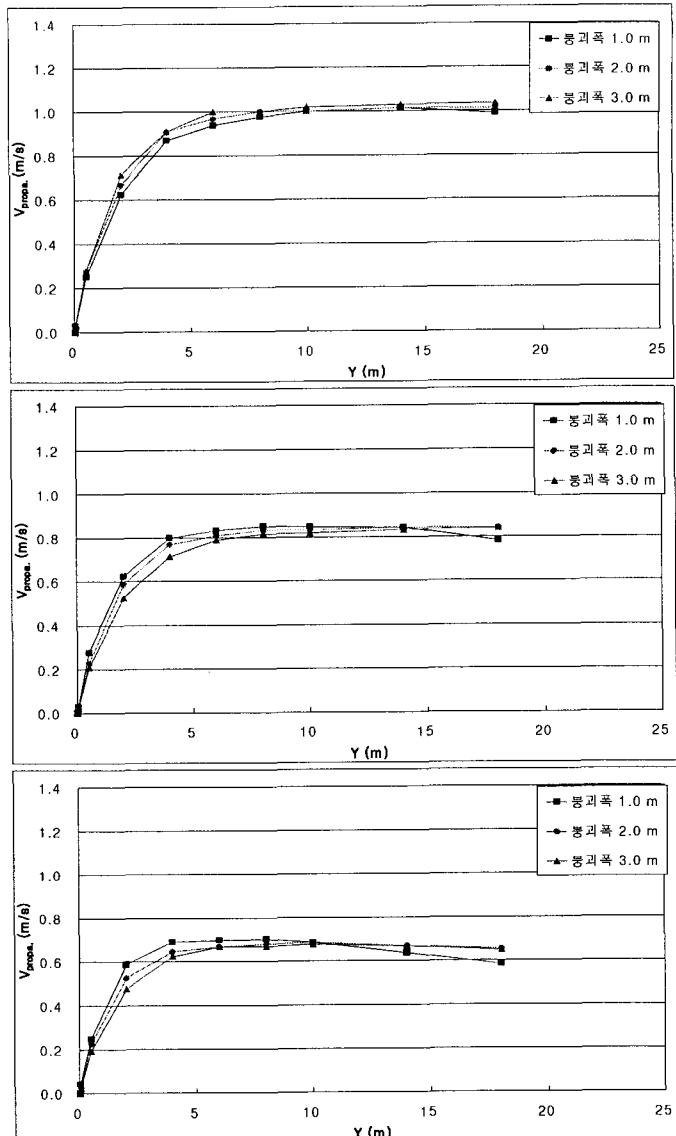
그림 4는 제방붕괴고 0.25, 0.35, 0.45 m 각각에 대해서 하도 초기수위 H_o 가 최대일 때와 최소일 때에 대해 홍수파 전파속도를 나타낸 것이다. 제내지서의 홍수파 전파 양상을 측정하기 위해 하도 직각방향, 하류 대각방향 및 상류 대각방향으로 수위계를 배치하여 파가 도달하는 시간을 측정한 결과를 거리로 나누어 전파속도를 계산하였다. 홍수파의 전파속도는 앞서 홍수파 이동 거리에서 분석된 바와 같이 제방붕괴고에 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 제방붕괴고가 낮을수록 전파속도는 증가하여, 초기월류수위가 높을수록 전파속도가 증가하는데 이는 앞서 하도초기수위 조건에 따른 실험결과에서 분석된 바 있다.

제방붕괴폭의 영향은 거의 나타나지 않았으나, 제방붕괴고가 0.45m일 때는 제방붕괴폭이 3m인 경우, 전파속도가 증가하는 것으로 나타났다. 측정방향별 전파속도를 보면, 하도 직각방향이 상·하류 대각 방향보다 큰 것으로 나타났다.

본 실험결과에서 주목할 점은 제방붕괴부 인근에서 범람홍수파의 전파속도가 급속하게 증가한다는 점이다. 실험결과에서 보면, 봉괴부로부터 약 5m 지점까지는 급경사로 증가한 후 그 이후부터 점차 전파속도가 감소하게 된다. 이 결과는 도시화에 따른 하천 연안 지역의 개발로 인하여 인구가 집중되면서 인명피해 우려도 높아질 수 있음을 예측할 수 있게 한다. 따라서, 본 결과에 대해 무차원화된 일반적인 관계식이 작성된다면 극심하게 피해가 우려되는 지역에 대한 사전 대책 수립이 가능할 것으로 판단된다.

3.2 제내지에서의 최대수심

제방붕괴시 제내지에서의 하도 직각방향의 최대수심 변화는 그림 5에 보인 바와 같다. 최대수심은 전체적으로 제방붕괴지점으로부터 멀수록 낮아지고, 봉괴지점으로부터 가까운 지점에서 급속히 감소하며, 거리가 멀어짐에 따라 거의 일정하게 된다. 제내지에서의 최대수심은 제방붕괴깊이와 초기하도수위의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 본 실험에서는 제방붕괴부로부터 2 m까지의 구간에서 최대수심의 변화가 큰 것으로 나타났는데, 제방붕괴고가 낮을수록, 초기하도수위가 높을수록 최대수심이 커짐을 알 수 있다. 동일 수위조건이라면 제방붕괴고가 낮을수록 제내지로 유입되는 유량이 증가하여 초기에 제방붕괴부 주위에서 수심이 높아지는 것으로 분석할 수 있다.



(상) $H_B=0.25\text{m}$, (중) $H_B=0.35\text{m}$, (하) $H_B=0.45\text{m}$

그림 4. 범람홍수파 선단 전파속도($H_o=0.55\text{m}$)

4. 결과분석

그림 6은 무차원 시간 T_{H_o} 에 대한 무차원 전파거리 Y/H_o 의 관계를 나타낸 것이다. 그림에 보인 바와 같이 각 변수들을 이용하여 도시한 결과는 앞서 제방붕괴고가 0일 때 有賀世治(1977) 기본식에 따라 산정된 관계식과 일치하지 않음을 알 수 있다. 이는 제방붕괴고가 존재하는 경우, 범람홍수파의 거동특성이 변화한다는 것을 보여 준다. 앞서 제안된 식에서 나타낸 경향과 가장 근접하고 있는 것은 그림 7의 무차원 시간 T_{H_o} 와 무차원 전파거리 Y/H_o 의 관계로서, 제안된 곡선의 아래 쪽에 위치하고는 있으나, 결정계수가 가장 높게 나타나고 있다. 즉, 홍수파 이동거리에 대한 관계식을 결정할 때, 단순히 하도초기 수위가 아닌 월류심 H_w 를 반영해야 됨을 알 수 있다. 시간구간에 따라 Y/H_o 의 기울기가 달라지는데 특이한 점은 Y/H_o 가 낮은 구간에서는 곡선이 분리된다는 점이다. 이는 제방 월류고의 영향으로 볼 수 있으며, 이를 반영한 일반식의 개발이 필요함을 말하고 있다.

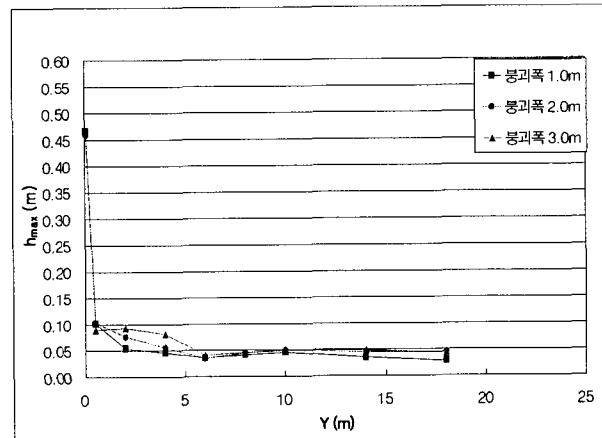


그림 5. 최대수심($H_B=0.25$ m, $H_o=0.55$ m)

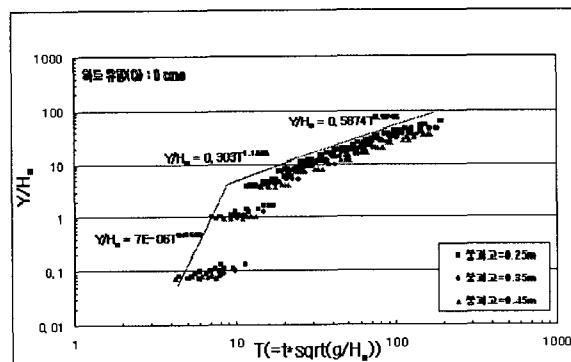


그림 6. 무차원 시간 T_{H_o} 와 무차원 전파거리 Y/H_o 의 관계(하도 직각 방향)

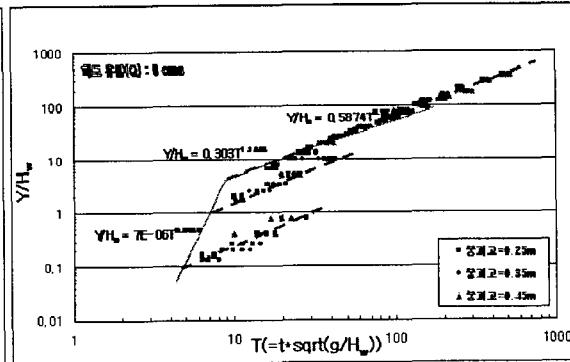


그림 7. 무차원 시간 T_{H_o} 와 무차원 전파거리 Y/H_o 의 관계(하도 직각 방향)

그림 8과 9는 무차원 전파거리와 무차원 최대수심간의 관계를 도시한 것이다. 사용된 변수는 최대수심 h_{max} , 하도초기수위 H_o , 전파거리 Y 그리고 월류심 H_w 등이다. 각각의 무차원 변수를 이용하여 적합식을 구해본 결과 역함수 관계로 표시할 수 있는 것으로 나타났으나, 제방붕괴부 주위에서는 산포도가 커서 결정계수가 높지 않은 것으로 나타났다. 제방붕괴부 주위에서 제방붕괴고에 따른 최대수심의 변화가 크기 때문인 것으로 유추할 수 있으며, 이 구간에 대해 여러 조건들을 반영한 변수 설정이 필요한 것으로 판단된다.

제시된 상관관계중에서 가장 결정계수가 높게 나타난 것은 그림 9의 무차원 전파거리 Y/H_o 와 무차원 최대수심 h_{max}/H_o 의 관계로서 월류심 H_w 의 영향을 반영시키는 것이 상관성을 높일 수 있는 분석방법임을 나타내고 있다.

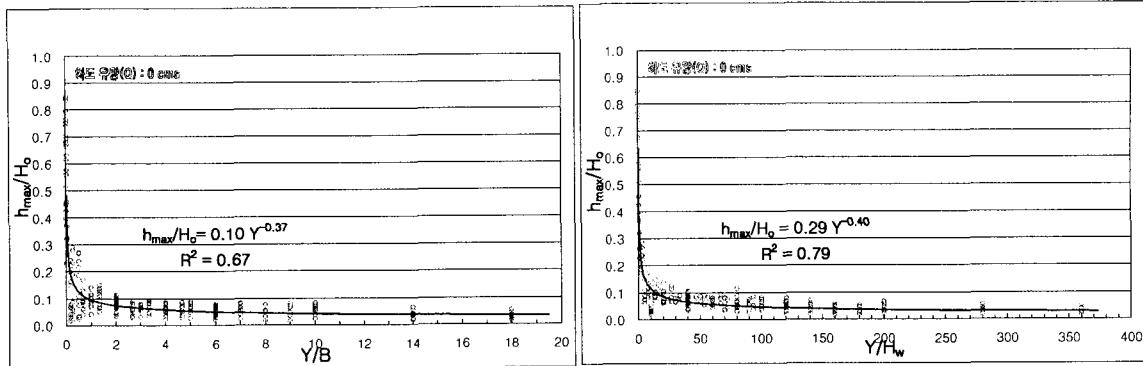


그림 8. 무차원전파거리 Y/B 와 무차원최대수심 h_{\max}/H_o 의 관계
그림 9. 무차원전파거리 Y/H_w 와 무차원최대수심 h_{\max}/H_o 의 관계

4. 결 론

본 연구에서는 제방붕괴에 의한 제내지 홍수파 거동 해석의 일환으로 제방붕괴시 제방의 봉괴깊이에 따른 제내지에서의 홍수파의 거동 양상을 수리실험을 통하여 고찰하였다. 제내지에서의 거동은 범람홍수파의 전파속도, 시간별 수심 등을 측정하여 분석하였으며, 실험을 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

다양한 제방붕괴폭과 초기하도수위 및 제방붕괴고 조건에 대해 범람홍수파의 전파속도와 제내지에서의 최대수심의 변화를 실험을 통하여 관찰하였다. 범람홍수파 선단(wave-front)의 이동속도는 동일한 하도수위 조건에서는 봉괴고가 높을수록 감소하는 것으로 나타나 제방붕괴시 월류수심 H_w 가 범람홍수파 전파속도에 영향을 준다는 것을 알 수 있었다.

모든 실험조건에서 최대수심은 일정한 경향을 띠고 있음을 알 수 있었다. 제방인근 지점에서 최대수심이 가장 크게 나타났고, 봉괴부로부터 일정 지점이 지나면 수위가 급격히 감소하여 거리에 관계없이 일정한 최대수심을 유지하는 것을 알 수 있었다. 동일 수위조건이라면 제방붕괴고가 낮을수록 제내지로 유입되는 유량이 증가하여 초기에 제방붕괴부 주위에서 수심이 높아지는 것으로 분석할 수 있다.

실험결과를 이용하여 범람홍수파의 전파속도와 최대수심을 산정하는식을 무차원변수를 이용하여 제시하였다. 향후, 추가적인 실험조건에 대해 수리실험을 수행함으로써 보다 일반화된 범람홍수파 거동양상을 규명 할 수 있으리라 기대된다.

감 사 의 글

본 연구는 건설교통부 한국건설교통기술평가원의 도시홍수재해관리사업단에 의해 수행되는 2003 건설핵심 기술개발사업(03-산학연-C03-01)에 의해 지원되었습니다.

참 고 문 헌

1. Toshiji Ariga, 1977. An Experiment Study on Presumption of Inundation Area Caused by Riverdyke Breaking (I) (A Proposal of an Inundation Model). Publication of Musashi Tech. College, Japan, pp. 133-178 (in Japanese).
2. 윤광석, 2006. 제방붕괴와 제내지 범람 실험 및 해석. 건설교통부 한국건설교통기술평가원/도시홍수재해관리기술사업단.
3. 윤광석, 이정규, 황보종구, 2006, “구조물이 없는 평탄지형의 제내지에서의 범람홍수파 이동거리 실험식 산정”, 2006년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회.