

# 하천제방 붕괴폭과 붕괴지속시간이 제내지 범람홍수파 거동에 미치는 영향 검토 실험

## Experimental Study on Effects of Levee Breach Width and Duration Time on Floodwave Behavior in Floodplain

윤광석\*

Kwang Seok Yoon

### 요 지

하천제방 붕괴시 홍수파가 제내지에서 거동하는 양상을 파악하는 것은 홍수피해를 저감하는 데 있어서 매우 중요하다. 실제 제내지에서의 범람형태에 크고, 작은 영향을 미치는 인자들은 제내지 지형 및 구조물과 초기 제내지범람상태, 하도형태, 홍수수문곡선, 제방붕괴시 붕괴면 경사 및 붕괴시간 등 많이 있으나, 본 연구에서는 제방붕괴폭과 붕괴지속시간에 따른 홍수파의 형태, 유속, 수심, 방향 등의 일반적인 법칙성을 찾고자 한다.

본 연구에서 사용된 실험수조의 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 최대붕괴폭 4m, 높이 0.6m가 되도록 하였으며, 하도의 중간지점에 설치하였다. 하도에서의 초기수심은  $h_0$ 이며, 제내지는 건조상태이다. 제방붕괴장치의 개방속도는 0 ~ 18cm/sec범위에서 조정이 가능하다.

실험결과, 제방붕괴폭과 제방붕괴지속시간은 제내지에서의 홍수파 전면(wave-front)의 이동속도와 제내지에서의 시간별 수심변화에 영향을 주는 것으로 나타났으며, 제내지에서의 최대수심은 제방붕괴폭과 제방붕괴지속시간에 의한 영향이 거의 없는 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 제내지 범람, 제방붕괴폭, 제방붕괴지속시간, 수리실험

### 1. 서 론

하천제방이 붕괴시 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. 지금까지 외국에서는 이 분야 연구가 실험을 통하여 어느 정도 이루어져 왔으나, 국내에서는 실험실증 연구가 매우 미흡한 실정이다. 따라서, 제방붕괴에 의한 제내지 홍수파 거동 해석의 일환으로 제방붕괴시 제방붕괴폭 및 제방의 붕괴속도에 따른 제내지에서의 홍수파의 거동 양상을 수리실험을 통하여 고찰하였다. 제내지에서의 거동은 범람홍수파의 전파속도, 시간별 수심 등을 측정하여 분석하였다.

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

## 2. 수리실험 개요

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 최대붕괴폭 4m, 높이 0.6m가 되도록 하였으며, 하도의 중간지점에 설치하였다. 하도에서의 초기수심은  $h_0$ 이며, 제내지는 건조상태이다. 제방붕괴에 의한 범람홍수파는 하도와 홍수터를 나누는 제방붕괴장치의 횡방향 개방을 통해 모의된다. 제방붕괴장치의 개방속도는 최대 18cm/sec이며, 모터의 회전수를 조정함으로써 제방붕괴속도 또는 제방붕괴지속시간을 조절할 수 있다. 제내지에서의 범람심은 측정지점에 파고계를 설치하여 연속적으로 측정하였다.

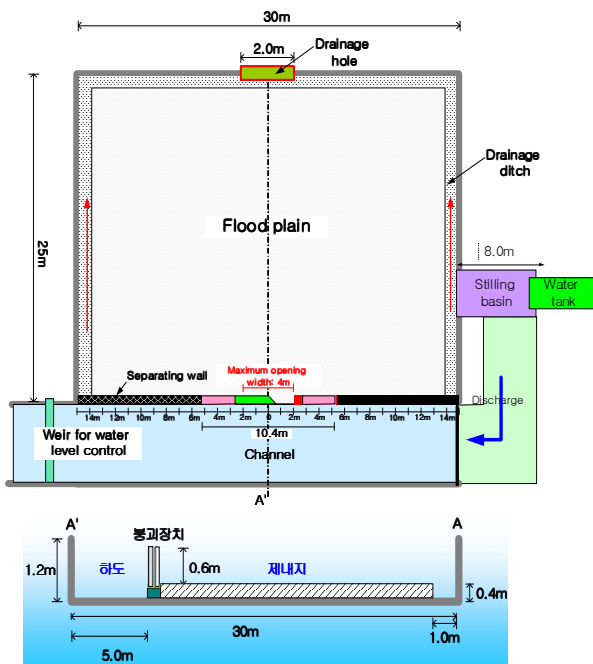
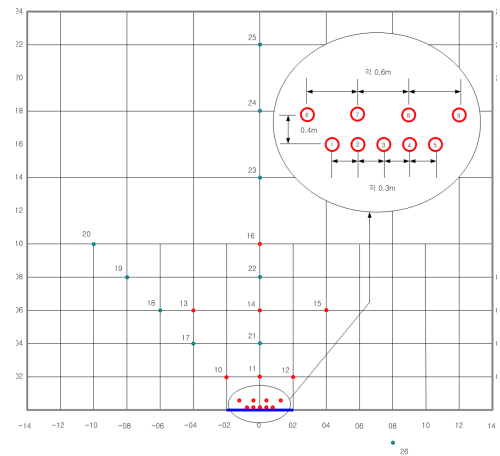


그림 1. 실험수로 및 수조 설치 개념도



하도 직각방향(중앙방향) : 3,11,21,14,22,16,23,25번 측정점  
하도 45° 방향(대각방향) : 3,17,19,20번 측정점

그림 2. 실험수조내 수위측정 위치도

## 3. 실험결과

실험은 제방붕괴시 제방붕괴속도가 제내지에서의 범람홍수파의 전파속도와 침수심에 미치는 영향을 검토하기 위하여 수행되었다. 전술한 바와 같이 제방붕괴속도는 제방붕괴장치의 개폐를 통제할 수 있는 모터속도에 의해 조절되었으며, 본 실험에서 사용된 모터속도는 10, 20, 30, 40, 50, 60Hz이고, 이에 따른 개방속도는 각각 0.03, 0.05, 0.09, 0.12, 0.15, 0.18 m/s이다. 이때 제방붕괴폭 범위는 0.5 ~ 3m까지이고 0.5m 간격으로 실험을 수행하였다. 하도내의 유량은 0 m<sup>3</sup>/s으로서 하도내 흐름이 없는 상태이다. 제방붕괴시 초기유훈심은 0.45 m이다. 수심은 그림 2에 보인 바와 같이 제방선에 직각 방향(중앙방향)과 하류 45° 방향(대각방향)으로 파고계를 설치하여 측정하였다.

### 3.1 홍수파 전파속도

그림 3과 4는 제방붕괴가 발생한 후 제방붕괴속도에 따른 구간별 홍수파 전면의 전파시간과 거리의 관계를 보여준다. 그림에 나타난 바와 같이 제방붕괴폭과 관계없이 제방붕괴지속시간이 짧을수록 동일시간에 범

람홍수와 전면이 이동거리는 길어짐을 알 수 있다. 이는 제방붕괴폭이 커질수록 붕괴속도간의 차이가 확연해진다. 제방붕괴지점으로부터 거리에 따른 변화는 제방붕괴부에서 가까울때는 붕괴속도와 관계없이 거의 유사한 이동거리를 나타내는 반면, 제방붕괴지점으로부터 멀어질 수록 붕괴지속시간에 따른 이동거리의 차이가 커짐을 알 수 있다. 이는 하도에서 제내지로 유입되는 홍수파의 규모에 따라 전파거리에서 차이가 난다는 것을 보여준다. 초기에 형성된 홍수파의 규모는 댐붕괴에서의 경우처럼 단순히 초기 저수위 문제뿐만 아니라 붕괴폭과도 관련이 있으며, 제방붕괴에 의한 범람홍수파 해석시 붕괴폭의 형성과정을 고려하는 것이 해석의 정확도를 높일 수 있다는 것을 알 수 있다.

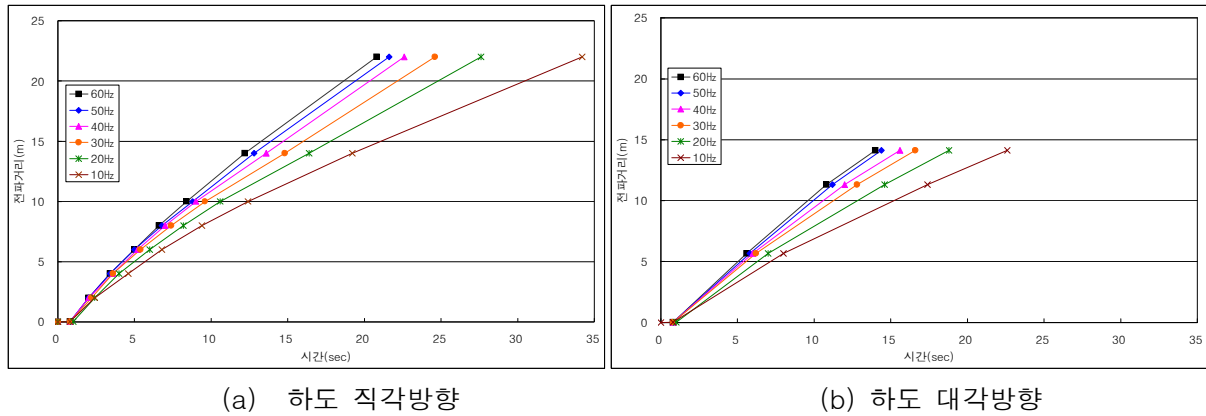


그림 3. 홍수파 전파거리

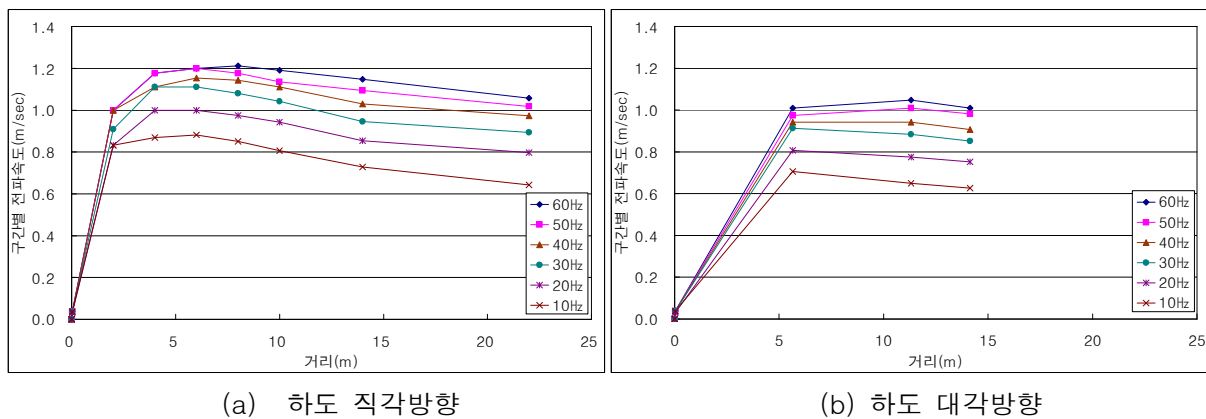


그림 4. 홍수파 전파속도

### 3.2 홍수터에서의 최대수심

하도 직각방향의 최대 홍수심의 변화는 그림 5에 보인 바와 같다. 그림에 보인 바와 같이 제방붕괴지속시간이 최대 홍수심에 미치는 영향은 미미한 것으로 관찰되었으며, 제방붕괴지점으로부터 멀수록 낮아지고, 붕괴지점으로부터 2m지점에서 급속하게 감소하며, 어느 순간 거리가 멀어짐에 따라 거의 일정하게 된다.

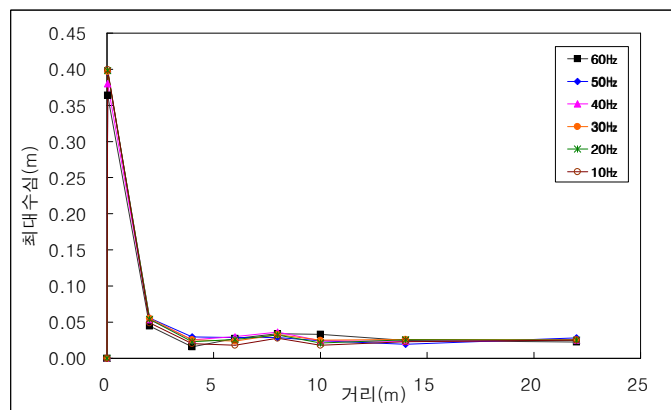


그림 5. 홍수터에서의 최대 홍수심 변화

### 3.3 시간별 수면곡선형

그림 6은 제방붕괴지속시간에 따른 제내지에서의 하도직각방향의 시간경과별 수면형을 나타낸 것이다. 이때 제방붕괴폭은 0.5m이다. 수면곡선은 시간  $t=0.4, 2.0, 4.0, 60, 180, 300, 420, 540$  sec에 대해서 그려졌으며, 설치된 수위계에 최초도달한 시간과 수위가 최대가 될 때의 수면곡선을 추가하였다.

그림에 보인 바와 같이 붕괴지속시간은 제내지에서의 수면곡선형에 영향을 주는 것으로 나타났다. 제방붕괴지속시간이 길어질수록 초기수위는 증가하는데, 초기에 제내지로 유입되는 범람홍수량의 차이에서 기인하는 것으로 판단된다. 제방이 붕괴되는 시간이 길어지면 그에 따라 하도에서 제내지로 유입되는 범람류의 흐름이 완만하게 되어 수위가 높아진다고 분석될 수 있다.

제방붕괴지점으로부터 0.03m 떨어진 지점의 수위는 시간이 경과함에 따라 큰 변화를 보이고 있으나, 붕괴지점에서 2m 이상 멀어지면 시간에 따른 수위변화가 상대적으로 거의 없는 것을 알 수 있다. 이는 일정거리 이상 떨어지게 되면 시간에 따른 수면형의 변화는 거의 없다고 볼 수 있으나, 본 실험이 제내지에서 흐름저항을 유발할 수 있는 장애물이나 조도가 거의 없는 조건이므로 향후 제내지에 건축물이나 도로 등 흐름저항요인이 설치되었을 때 수면형의 변화를 측정할 수 있는 추가적인 실험을 필요로 한다.

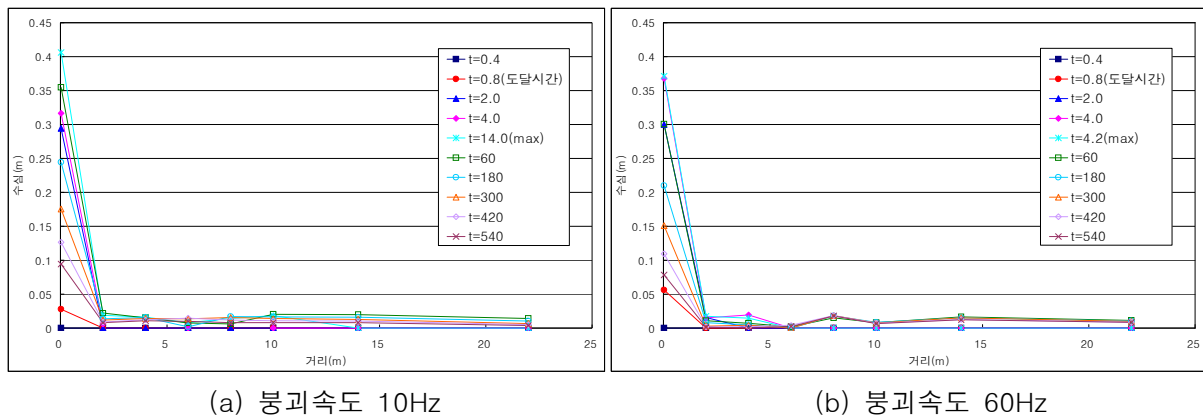


그림 6. 붕괴지속시간에 따른 수면곡선형 변화

### 3. 결 론

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

제방붕괴폭과 제방붕괴지속시간별 범람홍수파의 전파속도를 실험을 통하여 산정하였다. 범람홍수파 전면(wave-front)의 전파속도는 제방붕괴폭과 제방붕괴지속시간에 영향을 받는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 영향은 하도내 초기수위의 영향보다는 미소할 것으로 판단되며, 추후 하도수위조건별 제내지 범람양상실험을 통하여 그 영향을 검토할 수 있을 것으로 보인다.

제방붕괴에 의한 제내지에서의 최대수심을 산정하였다. 최대수심은 제방붕괴과정과 상관없이 피해정도를 예측할 수 있는 자료로 이용할 수 있다. 모든 실험조건에서 최대수심은 일정한 경향을 띠고 있음을 알 수 있었다. 제방인근 지점에서 최대수심이 가장 크게 나타났고, 붕괴부로부터 일정 지점이 지나면 수위가 급격히 감소하여 거리에 관계없이 일정한 최대수심을 유지하는 것을 알 수 있었다. 그러나, 제방붕괴폭과 제방붕괴지속시간에 따른 제내지에서의 최대수심의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

제방붕괴지점부터 제내지에 범람홍수파가 진행되어가는 과정을 분석하였다. 제내지에서의 시간에 따른 수면곡선형은 제방붕괴지속시간에 영향을 받는 것으로 나타났다. 제방붕괴지점 인근에서 시간별 수위변화가 가장 크며, 붕괴부로부터 멀어질수록 시간에 따른 제내지 수위변화는 미소한 것으로 나타났다. 즉, 제방에 인접한 지역이 제방붕괴에 의해 많은 피해를 입을 수 있으며, 상대적으로 제방과 멀어질수록 그 위험도는 급격히

감소될 것이라고 판단된다.

## 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. Fukuoka, S., Kawashima, M., 1996. Prediction of flood-induced flows in urban residential areas and damage reduction. Proc. of Int. Workshop on Floodplain Risk Management., Japan, pp. 209-227.
2. 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).
3. 윤광석, 2005. 제방붕괴와 체내지 범람 실험 및 해석. 건설교통부 한국건설교통기술평가원