

제내지 구조물 설치에 따른 제방붕괴 범람홍수파 특성 분석

Characteristics of Flood Wave Propagation in Inundation Area with Structures

윤광석*

Kwang Seok Yoon

요 지

도시 지역에서는 범람류에 의한 인명 피해 가능성성이 크기 때문에 범람류 특성과 침수특성을 파악하는 하는 것이 매우 중요하다. 인명 피해를 야기시킬 수 위험요소로는 홍수파의 전파속도와 범람류의 유속 및 수심을 들 수 있다. 본 연구에서의 도시 지역의 특성이라 할 수 있는 구조물의 영향에 의한 범람홍수파의 거동에 대해서 추가적인 실험을 수행하여 기초적인 현상을 규명하고자 하였다. 실험결과, 홍수파의 전파속도는 제방붕괴시 하도 초기수위의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 즉, 제내지에 구조물 설치 유무가 범람홍수파 전파속도에 지배적인 영향을 미치는 초기 월류수위 효과를 감소시키지는 못하였다. 제내지에 구조물이 있음으로써 없는 경우에 비해 제방붕괴부 주위의 최대수심은 증가하였다. 이는 구조물에 의한 배수영향이 있음을 보이는 것이다. 이러한 현상은 구조물 설치밀도가 높은 군집구조물의 경우에 확실하게 나타났다. 실험결과를 이용하여 범람홍수파의 전파속도와 최대수심을 산정하는 식을 무차원변수를 이용하여 제시하였다.

핵심용어 : 제내지 구조물, 제내지범람, 범람홍수파, 수리실험, 무차원전파거리

1. 서 론

최근 자주 발생하는 홍수로 인해 하천제방 붕괴가 빈발하고 이로 인한 제내지 침수피해가 가중되고 있다. 특히, 도시 지역에서의 홍수범람은 인구와 재산이 집중되어 있어 이에 대한 구조적·비구조적 대책이 시급한 실정이다. 농촌지역과는 달리 도시 지역에서는 범람류에 의한 인명 피해 가능성성이 크기 때문에 범람류 특성과 침수특성을 파악하는 하는 것이 매우 중요하다. 인명 피해를 야기시킬 수 위험요소로는 홍수파의 전파속도와 범람류의 유속 및 수심을 들 수 있다. 윤광석 등(2006)에 의해 구조물이 없는 평坦지형에 대한 홍수파 전파속도와 최대수심에 대한 실험결과가 제시된 바 있으며, 본 연구에서의 도시 지역의 특성이라 할 수 있는 구조물의 영향에 의한 범람홍수파의 거동에 대해서 추가적인 실험을 수행하여 기초적인 현상을 규명하고자 하였다. 실험결과의 용이한 분석을 위하여 단순화된 구조물 모형을 제작하여 실험을 수행하였으며, 기초적인 거동특성을 분석하여 제시하였다.

2. 수리실험 개요

2.1 실험장치 및 측정

제방붕괴에 의한 범람홍수파의 거동을 규명하기 위하여 가로 30m, 세로 30m인 수조내부에 제내지와 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 최대붕괴 폭 4m, 높이 0.6m가 되도록 하였으며, 하도의 중간지점에 설치하였다. 하도에서의 초기수심은 h_0 이며, 제내

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

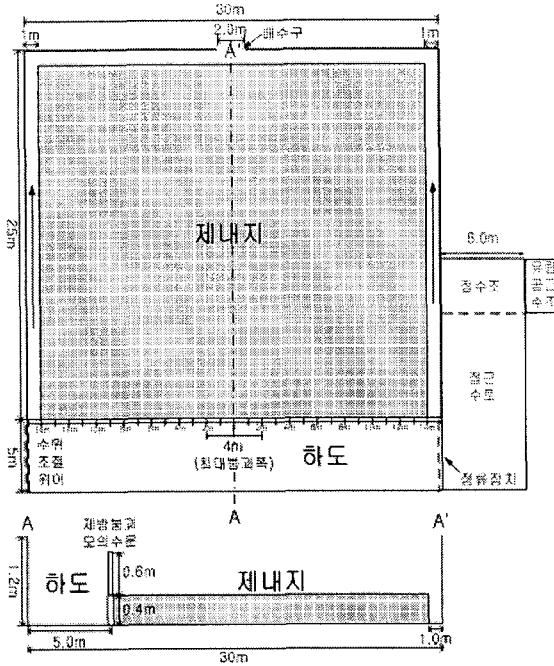


그림 1. 실험수로 및 수조 설치 개념도

지는 건조상태이다. 제방붕괴에 의한 범람홍수파는 하도와 홍수터를 나누는 제방붕괴장치의 횡방향 개방을 통해 모의된다.

그림 2는 제내지 구조물 설치조건에 따른 제내지 범람 실험장치 개략도를 나타낸 것이다. 초기월류수위는 H_0 이고, 구조물의 직경은 d 이다. 구조물은 아크릴로 제작했으며 형태는 정사각형 기둥이다. 그림 3은 본 실험에서의 제내지 구조물 배치도이다.

그림 3(a)는 정사각형 구조물이 단독으로 설치된 경우로서 구조물 중심으로부터 제방붕괴부까지의 거리는 1m이다. 그림 3(b)는 구조물이 6개 설치한 경우로서 구조물간 거리는 중심부를 기준으로 하여 $2d$ 이다.

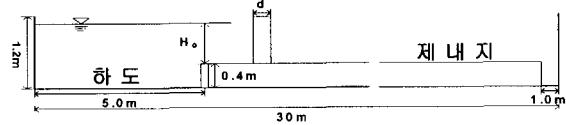
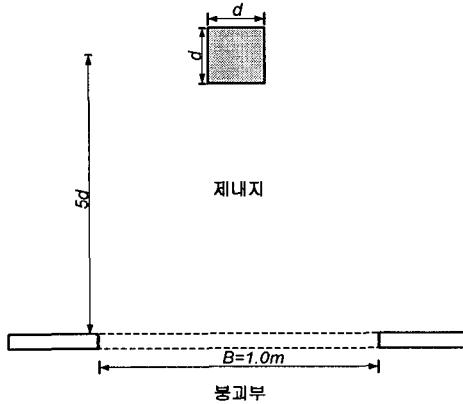
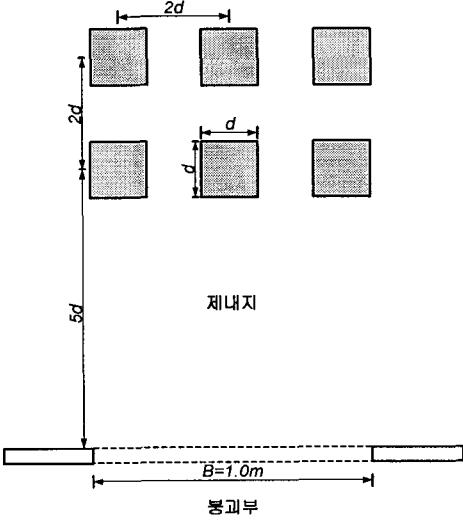


그림 2. 제내지 구조물 설치 개략도



(a) 단독 구조물($d=0.2m$)



(b) 군집 구조물 배열($d=0.2m$, $l = 2d$, $n = 6$)

그림 3. 제내지 구조물 배치도

수위측정위치는 그림 4에 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

구조물배치 조건에 따른 범람홍수파 실험을 위한 실험 조건은 표 1에 나타낸 바와 같다. 하도내 유입유량은 0이고, 제방붕괴폭은 1.0m이며 총 10개 조건에 대해서 실험이 수행되었다.

표 1. 구조물 배치 실험 조건

| 구조물 배치 방법 | 초기 하도 수위 H_o (m) | 비고 |
|-------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 단독 배열 ($d=0.2m$, $n=1$) | 0.35 ~ 0.55 | -수위간격 : 0.05m -제방봉괴폭 : 1m |
| 군집 배열 ($d=0.2m$, $n=6$) | 0.35 ~ 0.55 | -하도유입유량 : 0 -봉괴면 경사는 90° |

3. 실험 결과

3.1 홍수파 전파속도

제방봉괴에 의한 범람홍수파 선단의 이동속도를 보기 위하여 이동거리를 도달시간으로 나눈 전파속도로 나타내었으며, 그림 5와 6에 보인 바와 같다. 홍수파의 전파속도는 제방봉괴시 하도 초기수위의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 하도 초기수위가 클수록 전파속도는 증가하는데, 이는 구조물이 없는 경우에 대한 경향과 동일하다. 즉, 제내지에 구조물 설치 유무가 범람홍수파 전파속도에 지배적인 영향을 미치는 초기 월류수위 효과를 감소시키지는 못하는 것으로 나타났다.

봉괴부로부터 거리가 0.5m까지는 초기 월류수위에 관계없이 전파속도가 거의 비슷하나, 그 이후부터는 월류수위에 따라 전파속도에서 점점 차이가 발생한다. 전파속도는 봉괴부로부터 멀어질수록 감소하게 되는데, 제내지에 구조물이 없는 경우에서의 실험결과에서 볼 수 있었던 특성중에 하나이다. 단독구조물일 때의 전파속도보다 군집구조물일 때의 전파속도가 빠른 것으로 나타났는데, 구조물 설치위치에서 멀어질수록 감소 속도는 증가하는 것으로 나타났다.

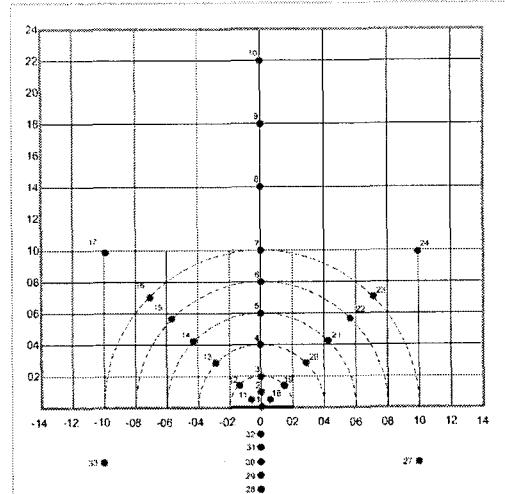


그림 4. 수위측정 위치

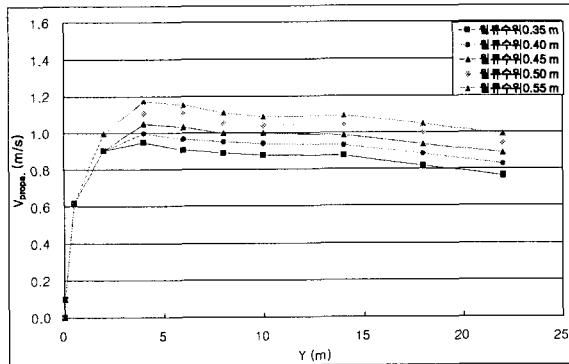


그림 5. 전파속도(단독구조물, $d=0.2m$)

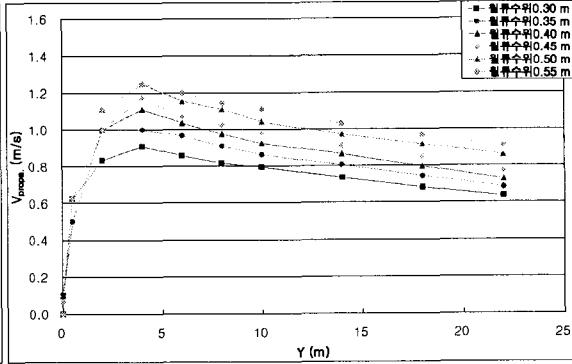


그림 6. 전파속도(군집구조물, $d=0.2m$, $n=6$)

3.2 제내지에서의 최대수심

제방봉괴시 제내지에서의 하도 각각방향의 최대 홍수심의 변화는 그림 6.10과 6.11>에 보인 바와 같다. 최대 홍수심은 전체적으로 제방봉괴지점으로부터 멀수록 낮아지고, 봉괴지점으로부터 가까운 지점에서 급속히 감소하며, 거리가 멀어짐에 따라 거의 일정하게 된다.

제내지에 구조물이 있음으로써 없는 경우에 비해 제방봉괴부 주위의 최대수심은 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 구조물에 의한 배수영향이 있음을 보이는 것이다. 이러한 현상은 구조물 설치밀도가 높은 군집구조물의 경우에 확실하게 나타난다.

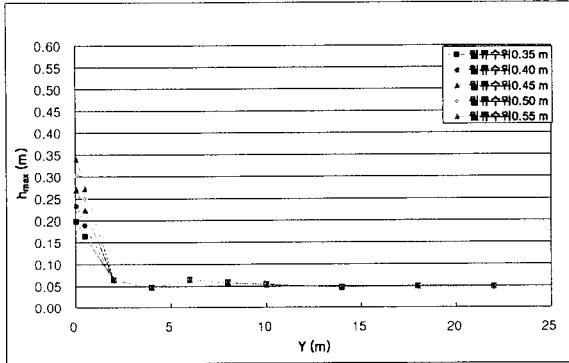


그림 7. 최대수심(단독구조물)

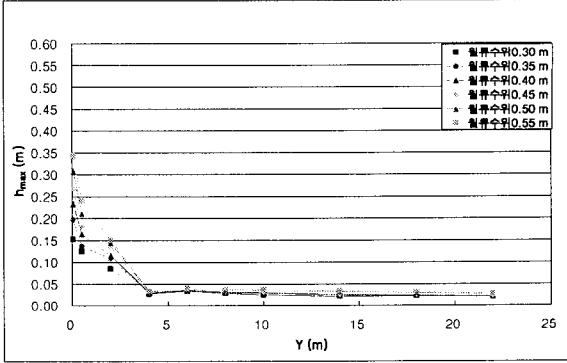


그림 8. 최대수심(군집구조물)

4. 결과분석

그림 9는 하도 직각방향에 대해서 무차원 시간 T 에 대한 무차원 전파거리 Y/H_o 의 관계를 나타낸 것이다. T 가 24보다 큰 구간에서 구조물이 없는 경우와 비교하여 기울기가 감소했음을 알 수 있다. 따라서 제내지에 구조물을 설치된 경우에 대한 무차원시간에 따른 무차원 전파거리 관계식은 T 의 범위에 따라 달라지며, 표 2에 나타낸 바와 같다. 위 결과와 같이 구조물이 설치된 경우에는 구조물 후면을 따라 전파속도가 늦어지게 된다. 그 경계가 $T=24$ 이고, 그 이후는 기울기만 감소하여 구조물에 의한 영향이 범람홍수파 전면의 전파속도를 감소시킨다는 것을 명확히 보여 주고 있다. 그림 10은 상·하류 대각방향에 대한 무차원변수의 상관관계이다.

그림 11은 무차원전파거리와 무차원최대수심간의 관계를 도시한 것이다. 사용된 변수는 최대수심 h_{max} , 하도초기수위 H_o , 전파거리 Y 등이다. 각각의 무차원변수를 이용하여 적합식을 구해본 결과 역함수 관계로 나타났으나, 제방붕괴부 주위에서는 산포도가 커서 결정계수가 높지 않은 것으로 나타났다.

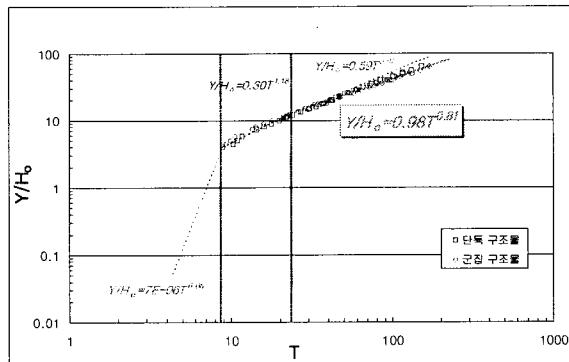


그림 9. 무차원 시간 T 와 무차원 전파거리 Y/H_o 의 관계(하도 직각 방향)

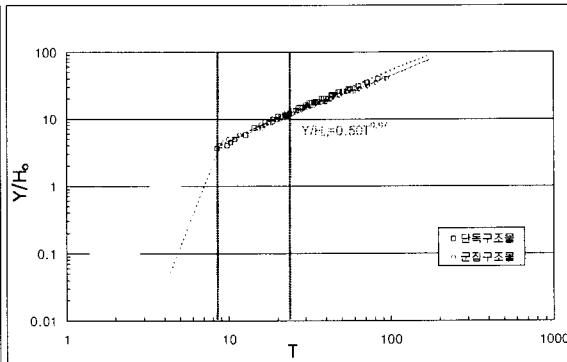


그림 10. 무차원 시간 T 와 무차원 전파거리 Y/H_o 의 관계(상·하류 대각방향)

표 2. 실험 결과에 따른 k 와 m 값 산정

| 제내지조건 | T 의 범위 | k | m |
|-----------------|-----------------|----------|------|
| 단독구조물, 군집구조물 | $T < 8.86$ | 0.000007 | 2.08 |
| | $8.86 < T < 24$ | 0.30 | 1.18 |
| | $24 < T$ | 0.98 | 0.81 |

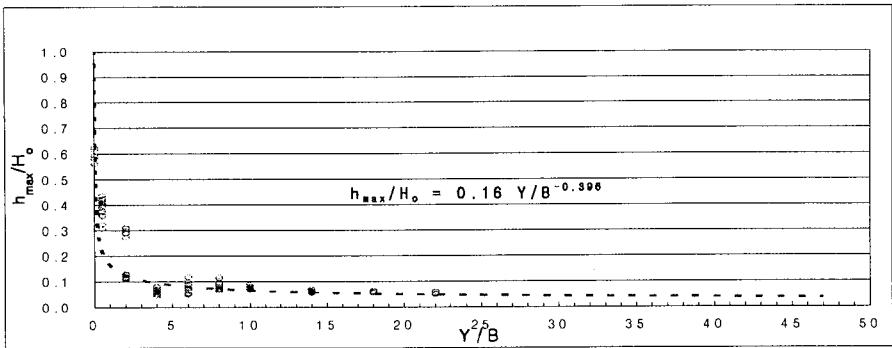


그림 11. 무차원전파거리 Y/B 와 무차원최대수심 h_{\max}/H_o 의 관계

4. 결 론

본 연구에서는 도시 지역의 특성을 반영한 제내지에서의 범람홍수파 거동을 규명하기 위하여 단순화된 구조물 모형을 설치하여 실험을 수행하였다. 제내지에서의 거동은 범람홍수파의 전파속도, 시간별 수심 등을 측정하여 분석하였으며, 실험을 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

홍수파의 전파속도는 제방붕괴시 하도 초기수위의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 하도 초기수위가 클수록 전파속도는 증가하는데, 이는 구조물이 없는 경우에 대한 경향과 동일하다. 즉, 제내지에 구조물 설치 유무가 범람홍수파 전파속도에 지배적인 영향을 미치는 초기 월류수위 효과를 감소시키지는 못하는 것으로 나타났다.

제내지에 구조물이 있음으로써 없는 경우에 비해 제방붕괴부 주위의 최대수심은 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 구조물에 의한 배수영향이 있음을 보이는 것이다. 이러한 현상은 구조물 설치밀도가 높은 군집구조물의 경우에 확실하게 나타났다.

실험결과를 이용하여 범람홍수파의 전파속도와 최대수심을 산정하는식을 무차원변수를 이용하여 제시하였다. 본 연구는 도시지역의 복잡한 형상을 모의하기 위한 기초실험으로서 향후 도시지역 수리실험결과의 분석을 위한 기초적인 자료를 제공할 것으로 기대된다.

감 사 의 글

본 연구는 건설교통부 한국건설교통기술평가원의 도시홍수재해관리사업단에 의해 수행되는 2003 건설핵심기술개발사업(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.