

장애물이 없는 평탄지형 제내지에서의 범람홍수파 선단 전파거리 실험식 산정

Empirical Formula for Propagation Distance of Flood Wave-front in Flat Inundation Area without Obstacle due to Levee Breach

윤 광 석* / 이 정 규**

Yoon, Kwang Seok / Lee, Jong-kyu

Abstract

The experimental study was carried out to investigate propagation distance of flood wave due to levee breach in a flat inundation area without obstacle. Ritter solution was considered to formulate the experimental results and a representative form was written referring to existing researches. As a result of experiments, it was found that the propagation velocity of the wave front in inundation area was significantly influenced by the initial water level in a channel, which was similar to flow in a channel due to dam break. An empirical formula was also suggested using the experimental results. The dimensionless propagation distance L can be written as the power function of dimensionless time T . Coefficients k and m were varied with the dimensionless time T whereas k and m in Ritter solution were 2 and 0, respectively. The variation of coefficients in the relationship between L and T was influenced by the water depth in the inundation area and the fact proved that the changing points of L in the slope of relationship between L and T are the same to those of relationship between the dimensionless maximum water depth in the inundation area, h_{max} and L .

keywords : Levee Breach, Flood Inundation, Flood Wave-front, Propagation Distance

요 지

본 연구에서는 장애물이 없는 평탄지형의 제내지에서 제방붕괴에 의한 범람홍수파 선단의 전파 특성을 규명하기 위하여 제내지와 하도로 이루어진 실험수조에서 실험을 수행하여 전파 거리를 산정하였다. 실험에 의해 측정된 전파 거리를 시간에 대한 상관식으로 나타내기 위하여 댐붕괴에 의한 수로에서의 홍수파의 1차원 흐름 해석해인 Ritter의 해를 검토하고, 제내지 범람홍수파의 특성을 표현할 수 있도록 확장하여 실험식의 일반형을 제시하였다. 범람홍수파의 전파속도는 댐붕괴에 의한 흐름과 마찬가지로 초기수위가 지배적인 영향을 준다는 사실을 실험을 통해 밝혔으며, 실험결과를 무차원 시간 T 와 무차원 전파거리 L 로 나타내어 실험식을 도출하였다. 무차원 전파거리 L 을 산정하기 위한 상수로서 k 와 m 이 도입되었는데, Ritter의 해에서는 k 가 2이고, m 이 0인 반면에 본 실험에서는 k 와 m 이 무차원 시간 T 의 구간에 따라 달라지는 상수임을 알 수 있었다. 이는 전파속도가 제내지에서의 범람홍수심에 영향을 받기 때문이며, 전파거리와 최대수심의 포락선의 기울기가 변하는 L 값이 일치한다는 사실로 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 제방붕괴, 제내지범람, 홍수파 선단, 전파거리

* 한양대학교 공과대학 토목공학과 박사과정(한국건설기술연구원 하천·해안연구실 책임연구원)
Ph.D. Student, Hanyang University, Seoul(Research fellow, KICT, Gyeonggi-Do, 411-712, Korea)
(e-mail: ksyoon@kict.re.kr)

** 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수
Professor, Hanyang University, Seoul, 133-791, Korea

1. 서론

하천제방이 붕괴되어 최초 범람홍수파가 제내지로 전파될 때 홍수파 선단(flood wave-front)의 이동속도를 추정하는 것은 제방 주위 거주자에 대한 위협성을 예측하고 대피계획을 수립하는데 매우 유용한 자료로 사용될 수 있다. 제내지 범람홍수파의 전파속도에 대한 정확한 추정을 위해서는 대상지역의 지형특성, 토지이용현황 뿐만 아니라 하천의 하도특성, 수리특성 및 제방붕괴특성 등을 조사하여 수리모형실험이나 수치모의를 수행해야 하는 것이 일반적이다. 그러나, 수리모형실험은 모든 대상 지역에 대해 수리 및 제내지 조건을 축소·재현하여 매번 실험을 수행해야 하므로 많은 시간과 비용이 소요되어 그 효율성이 떨어진다. 이에 비해 수치모의는 비용과 시간 측면에서 효율적일 수 있으나, 범람홍수파 선단의 이동속도를 구하기 위해서는 현장계측 자료나 실험자료를 이용한 검증이 선행되어야 하는 제약이 있다. 제방붕괴는 예측이 불가능한 현상이기 때문에 하천수위나 유량을 측정하듯이 현장 계측을 통해 범람양상을 파악한다는 것은 실현성이 없다. 결국, 수리실험 결과와 수치모의 결과를 비교하여 수치모형의 적합성을 검증한 후 대상지역에 대한 범람홍수파의 거동을 예측하는 것이 합리적인 방안이 될 것이다.

제방붕괴에 의한 제내지 범람양상을 재현하거나 예측하기 위한 연구는 주로 수치모의를 통해 수행되었다. 관련된 최근 연구로서, Shige-eda and Akiyama(2003)는 제내지 범람양상을 모의하기 위한 2차원 수치모형을 개발한 바 있으며, 수치모형 검증을 위하여 제내지에 구조물이 있는 경우와 없는 경우의 2가지 조건에 대해 수리실험을 실시하고 홍수파 선단의 이동속도, 수심 및 표면유속을 측정하는 바 있다. Fukuoka and Kawashima(1999)는 2차원 수치모의를 통하여 도시 지역에서의 홍수범람에 의한 흐름특성을 모의하였으며, 수치모형 검증을 위하여 정상류 흐름조건에서 구조물이 설치된 제내지에서의 유속 및 수심을 측정하였다. 그러나, 이 연구에서는 제방붕괴 직후에 발생하는 홍수파 선단의 전파양상에 대한 실험은 수행되지 않았다. 이에 앞서 有賀世治(1977)는 수리실험을 통해 범람홍수의 거동을 규명하고자 하는 기초연구를 수행한 바 있다. 국내에서는 이종태 등(1995)이 1990년 9월 일산제 붕괴로 인한 제내지 범람양상을 2차원 수치해석을 통하여 추정하고 그 결과를 시간대별 유속분포와 범람수심을 계산하여 현장조사에 의한 홍수흔적자료 및 당시의 실측치와 비교하여 적용성을 검토한 연구를 수행하였다. 한건연과 박제홍(1995)은 도시하천에서의 홍수범람도 작

성을 위한 2차원 모형을 개발하였으며, 이 연구에서는 개발된 수치모형을 1차원 댐 붕괴의 문제에 적용하여 동역학적 해석결과와 비교검토하고 질량보존의 오차를 계산하여 검정을 수행하였다. 최근에도 전민우 등(2005)이 2차원 수치모형을 2002년 9월 낙동강 유역 실제 제방붕괴의 경우에 적용하여 제내지에서의 2차원 범람양상을 유속분포와 범람수심에 대해서 주요 시간대별로 계산한 후 그 결과를 당시의 실측자료와 비교하여 적용성을 검증하였다.

이상과 같이 기존 연구는 2차원 수치모의에 의한 범람해석이 주를 이루고 있으며, 수치모형의 검증을 위해 제한된 현장 실측자료를 이용하거나, 극히 제한된 조건에서 단순화된 수리실험결과와 비교하여 모형의 적용성을 검증한 정도이다. 따라서, 본 연구에서는 제방붕괴에 의한 제내지 범람홍수파의 동역학적 거동 현상을 검토하기 위하여 다양한 하도수위 및 제방붕괴폭 조건에 대해 수리실험을 수행하고, 실험조건에 따른 제내지 범람홍수파 선단의 전파속도를 측정하여 주어진 제내지 특성조건에 대해 실험식을 제시하고자 한다.

2. 범람홍수파 선단 이동거리

2.1 영향 인자

범람홍수파 선단의 이동속도에 영향을 미칠 수 있는 인자는 크게 하도특성, 하천수리특성, 제방붕괴특성 및 제내지특성 등으로 구분할 수 있다. 범람홍수파 거동에 영향을 미치는 인자로서 하도특성은 만곡도를 들 수 있다. 제방붕괴지점이 직선하도구간인지 또는 만곡부인지에 따라 범람홍수파의 양상이 달라질 수 있기 때문이다. 대표적인 하천수리특성으로는 제방붕괴 시 하도 내 수위와 유속 등이 해당될 수 있다. 제방붕괴특성은 제방붕괴원인에 따라 결정되는 인자로서 월류, 침투, 세굴 및 관공현상(貫孔現象)에 따라 제방붕괴시간과 붕괴형상이 달라진다. 마지막으로 제내지특성도 범람홍수파 선단의 이동속도에 큰 영향을 미치며, 지형조건 및 토지이용상태에 따라 달라질 수 있다. 이러한 특성들을 변수화하면 Eq. (1)과 같은 함수식으로 정리될 수 있다.

$$\ell = f(B, R_b, h_o, \bar{V}, L_b, s_b, h_b, t_b, n_f, F, S_n) \quad (1)$$

여기서, ℓ 은 범람홍수파 선단의 이동거리, B 는 하폭, R_b 는 하천의 곡률반경, h_o 는 제방붕괴시 하도 초기수위, \bar{V} 는 하도 평균유속, L_b 는 제방붕괴폭, s_b 는 제방붕괴경사, h_b 는 제방붕괴고, t_b 는 제방붕괴지속시간, n_f 는 제내지에서의 조도계수, F 는 제내지의 장애물 점유율,

S_n 은 제내지 경사이다.

2.2 해석해에 근거한 기본형

제내지 범람홍수와 선단 거동에 미치는 영향인자를 고려한 대표적인 연구로는 有賀世治(1977)의 연구가 있으며, 1차원 댐붕괴 흐름에 대한 Ritter의 해석해를 변형하여 실험공식을 제안한 바 있다. Saint-Venant (1871)가 마찰경사와 하상경사가 같다는 가정 ($S_o - S_f = 0$)하에 수립한 방정식을 Ritter는 1892년에 처음으로 댐 하류 사각형 수로의 수심이 0인 경우에 대해 임의 시간 t 일 때의 수면형을 구하였다(Vischer and Hager, 1998). 이러한 해석방법은 Su and Barnes(1970)에 의해서 수로 단면이 삼각형과 포물선형인 경우로 확장되어 제안되기도 했다. Ritter의 해석해는 Eqs. (2) and (3)과 같다.

$$h = \frac{1}{9g} (2\sqrt{gh_o} - \frac{x}{t})^2 \quad (2)$$

$$v = \frac{2}{3} (\sqrt{gh_o} + \frac{x}{t}) \quad (3)$$

여기서, x 는 붕괴부로부터 하류측 종단거리, h 는 임의 시각과 위치에서의 수심, g 는 중력가속도, v 는 임의 시각 t 일 때 임의 위치 x 에서의 유속이다. 댐붕괴부 위치에서의 수심과 유속은 Eqs. (2) and (3)에서 $x=0$ 을 대입하여 얻을 수 있으며, Eq. (4)와 같다.

$$h = \frac{4}{9}h_o, \quad v = \frac{2}{3}\sqrt{gh_o} \quad (4)$$

有賀世治(1977)는 제방붕괴로 인한 제내지에서의 홍수와 이동에 대한 실험식을 도출하기 위해 Ritter의 해석해인 Eq. (2)를 $x/t\sqrt{gh_o}$ 항으로 정리하여 Eq. (5)와 같이 변형시켰다.

$$\frac{x}{t\sqrt{gh_o}} = 2 - 3\sqrt{\frac{h}{h_o}} \quad (5)$$

홍수와 선단에서는 수심이 0이므로 Eq. (5) 우변의 h 에 0을 대입하고, 임의거리 x 에 홍수와 선단 이동거리 ℓ 을 대입하여 무차원수 $\ell/h_o (=L)$ 항으로 정리하면 Eq. (6)과 같은 무차원화된 홍수와 선단 이동거리 산정식으로 나타낼 수 있다.

$$L = 2T \quad (6)$$

여기서, $L = \ell/h_o$ 이고, $T = t\sqrt{g/h_o}$ 이다. 有賀世治(1977)는 Eq. (6)이 댐붕괴에 의한 1차원 흐름을 나타내는 식이므로 제방붕괴에 의한 제내지에서의 3차원 흐름 양상을 반영할 수 있도록 상수 k 와 m 을 도입하여 Eq. (7)과 같은 일반형을 제안하였다. 여기서, k 와 m 은 제내지 범람특성에 대한 물리적인 의미를 갖는 상수로서 Ritter의 해석해를 실용적 의미에서 확대 해석한 것이라고 의미를 부여하였다. 이는 제방붕괴부 주위의 수심변화특성이나 제내지에서의 수면형이 1차원 댐붕괴 흐름과는 다르기 때문에 1차원 해석해를 변형시켜 실험결과에 적합한 기본식을 도출하기 위한 것으로 볼 수 있다. Eq. (7)에서 상수 k 가 2이고, m 이 1인 경우, 사각형 수로에서 댐붕괴에 의한 홍수파의 이동거리를 구할 수 있는 Ritter의 해석해가 된다.

$$L = kT^m \quad (7)$$

Eq. (7)에 나타낸 것처럼 본 연구에서는 제방붕괴에 의한 홍수와 선단 이동거리 산정 시 3차원 거동에 대한 영향을 나타내기 위하여 상수 k, m 을 도입하고자 한다. 또한, 有賀世治(1977)의 연구가 제내지 범람 현상을 1차원으로 가정하고 실험을 수행하여 3차원 현상을 표현하지 못하는 한계를 가지고 있으므로 본 연구에서는 이러한 한계를 보완할 수 있도록 완전한 3차원 실험을 수행하여 상수 k, m 을 산정하고자 한다.

3. 실험장치 및 조건

3.1 실험수조 및 계측기기

실험 수조의 전체 크기는 가로 30m, 세로 30m이며, 수조 내부에 제내지, 제방 및 하도를 제작하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 하도는 폭 5m, 길이 30m이며, 제내지는 폭 28m, 길이 24m이다. 하도와 제내지의 하상은 수평이며, 시멘트 모르타르로 표면을 처리하였다. 제내지로 유입된 범람수를 배수시키기 위하여 제내지 주위로 폭 1m, 깊이 0.4m인 배수로를 설치하였다. 그리고, 수로 하류단에 위어를 설치하여 제방붕괴 시 하도내 수위를 조절할 수 있도록 하였다. 제내지와 하도를 분리하는 벽은 직벽 형태로서 제내지 바닥으로부터 높이가 0.6m이다. Fig. 2는 본 실험에서의 사용되는 주요 수리량의 정의를 나타낸 것이다.

제방붕괴현상을 재현하기 위하여 Fig. 3과 같이 강재를 이용해 제방붕괴 재현장치를 제작하였다. 제방붕괴 재현장치는 최대개방폭 4m, 높이 0.6m이고, 수로 중앙부에 위치하며 전동모터에 의해서 미닫이식으로 개폐가

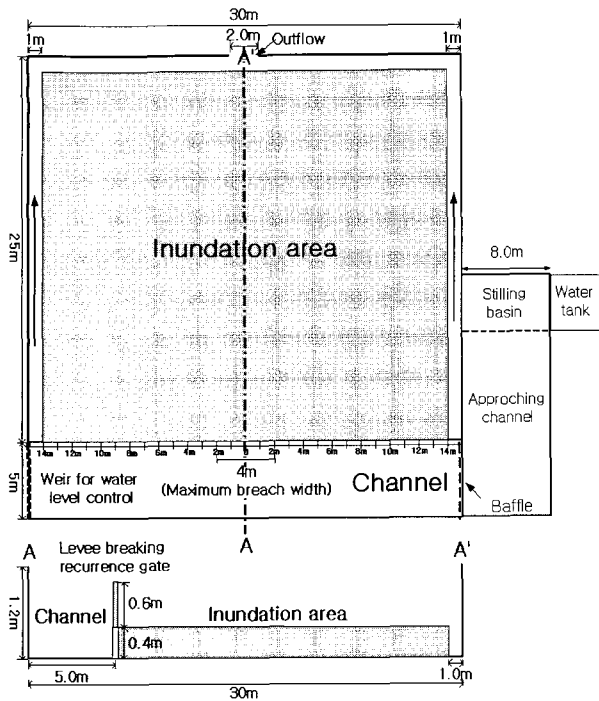


Fig. 1. Experimental Setup

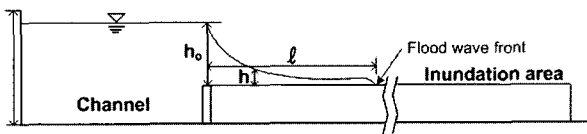


Fig. 2. Schematic Definition of Notation

가능하다. 자연현상에서 제방붕괴는 제방붕괴지속시간 t_b 를 가지며 점차적으로 붕괴가 발달한다는 점을 반영할 수 있도록 제방붕괴 수문은 변속모터에 의해서 개방 속도가 조절되며, 최대 개방속도는 0.18m/s이다.

제내지에서 범람홍수와 선단이 측정지점에 도달하는 시간과 수심을 측정하기 위하여 용량식파고계를 이용하였다. 파고계는 일반적으로 항만실험에서 파고를 측정하기 위해 사용되는데 정밀도가 높고, 매우 짧은 간격

으로 수위를 측정할 수 있다는 장점이 있다. 본 실험의 특성상 홍수파의 선단의 이동속도가 빠르므로 하천실험에서 사용되는 일반적인 수위계로는 파가 도달하는 시간을 측정하지 못하는 한계 때문에 파고계를 사용하였다. 파고계는 일본 KENEK사 제품인 CHT4-60을 사용하였는데, 수심측정 범위는 60cm이고 최대 측정주파수는 20Hz로서 최대 0.05sec 간격으로 측정이 가능하다. 본 실험에서는 측정간격으로서 5Hz(0.2sec 간격)를 사용하였는데 범람홍수파 선단이 도달하는 시간과 수위를 측정하는데 충분하다고 판단되었다. Fig. 4는 용량식 파고계를 설치한 장면이며, 파고계의 영점을 쉽게 잡기 위해서 바닥에 홈을 파서 물을 채울 수 있도록 설치했다. Fig. 5는 제내지에서의 수위측정지점과 방향을 나타내는데, $\theta = 45^\circ$ 와 90° 방향으로 파고계를 배치하여 범람홍수파 선단이 도달하는 시간을 측정하였다.

3.2 실험조건

하천범람으로 인하여 제내지에 홍수파가 전파되는 형태는 크게 저류형과 확산형으로 구분할 수 있다. 저류형은 범람홍수가 한정된 지역안에 저류되는 형태로서 시간이 경과하면 범람수위가 점차 상승하다가 하천수위와 같아지는 시점이 되면 수위상승이 중지되고 하천수위가 감소함에 따라 하천으로 역류하면서 범람수위도 감소하게 된다. 확산형은 범람수가 저류되지 않고 확산되어 다른 지역으로 유하하는 형태로서 하천수위가 감소하더라도 하천으로의 복귀하는 많지 않다(有賀世治, 1977). 본 연구의 목적이 제내지에서 범람홍수파 선단이 이동하는 속도를 측정하기 위한 것이므로 제내지의 경계조건은 확산형으로 설정하여 실험을 수행하였다.

제방붕괴 당시 하도에 유입되는 유량은 0으로서 하도가 저수지 기능을 하도록 하였다. 하천수위와 제방붕괴폭이 범람홍수파의 전파양상에 미치는 영향을 규명하기 위해 초기 하도수위는 0.35~0.55m 범위에서 0.05m

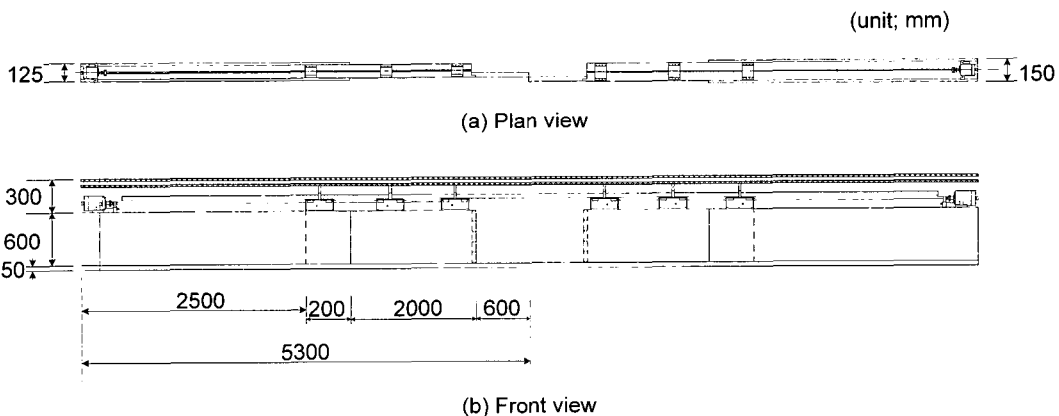


Fig. 3. Sliding Door Imitating Levee Breach

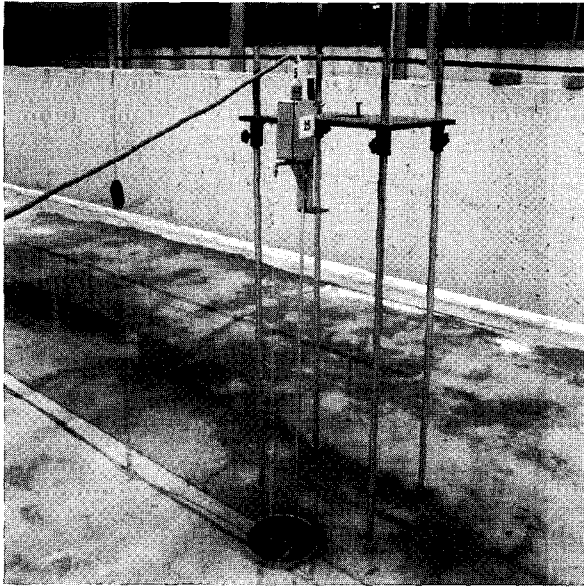


Fig. 4. Installation of Wave Height Meter

간격으로 변화시켰으며, 제방붕괴폭은 각각의 하도 초기수위조건에 대해 0.5~3.0m까지 0.5m 간격으로 변화시키면서 실험을 수행하였고, 이때 제방붕괴를 재현하는 수문의 개방속도는 0.18m/s이다. 모든 실험조건에 대해서 제내지에서 초기수위는 0으로 하여 마른상태에서의 범람홍수와 거동을 관찰하였다. Table 1은 본 연구에서 수행한 실험조건을 나타낸 것이다.

4. 실험결과 분석

4.1 하도 초기수위조건에 따른 홍수파 이동거리 특성

범람홍수와 선단의 이동속도가 하도 내 초기수위의 영향을 받는다는 것은 有賀世治(1977)의 실험 연구를 통해 제시된 바 있다. 또한 초기 수위는 댐붕괴에 의한 홍수파의 1차원 거동현상에서도 주요 지배인자로 제시된 바 있다(Vishcer and Hager, 1998). 본 연구에서는 하도 내 초기수위를 변화시키면서 제내지에서의 범람홍수파의 이동 특성을 검토하였으며, Fig. 6은 제방붕괴가 발생한 후 제방붕괴폭이 각각 1.0, 2.0, 3.0m일 때 하도 내 초기수위에 따른 범람홍수파 선단의 이동거리와 시간의 관계를 나타낸 것이다. 제방붕괴부로부터 멀어질

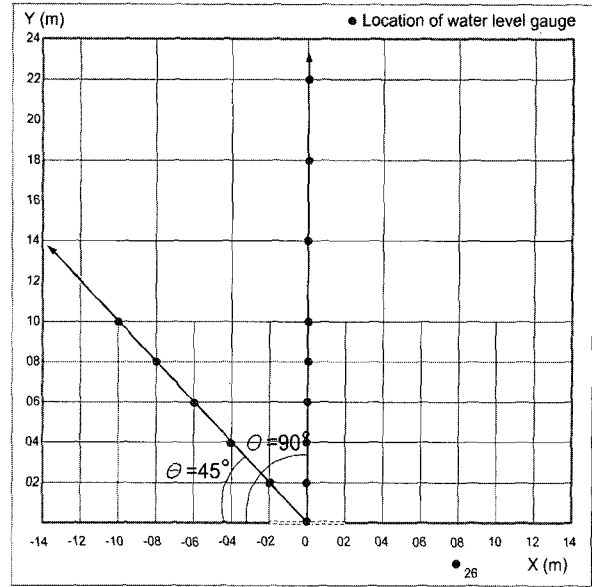


Fig. 5. Location of Gauge

수록 기울기가 감소하는데, 이동거리가 길어질수록 범람홍수파 선단의 이동속도가 감소하는 것을 의미한다. 이는 제방붕괴부 인근에서는 수심이 커서 제내지 바닥 마찰력의 영향을 적게 받지만, 거리가 멀어짐에 따라 수심이 작아 바닥 마찰력의 영향이 커져서 홍수파 전면의 속도가 감소하는 것으로 판단된다.

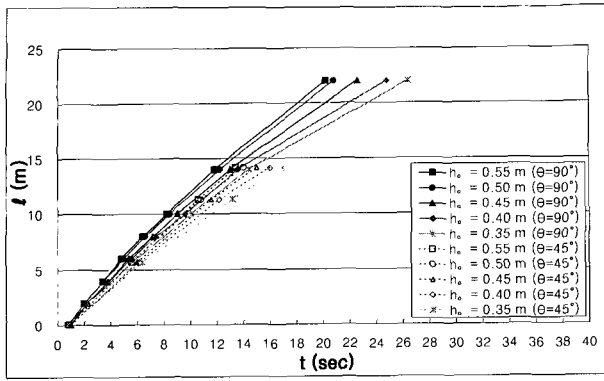
하도 내 초기수위별로 구분하여 홍수파의 이동거리 및 시간 관계를 보면, 제방붕괴 시점의 하도 수위가 클수록 동일 시간에 홍수파 선단이 이동한 거리가 증가하는 경향을 명확히 보이고 있으며, 붕괴부로부터 거리가 멀어질수록 홍수파가 도달하는 시간의 차이가 커지고 있음을 알 수 있다. 이러한 실험결과는 범람홍수파의 전파속도는 초기 하도수위에 지배적인 영향을 받는다는 것을 의미한다.

4.2 시간에 따른 홍수파 선단 이동거리 실험식 산정

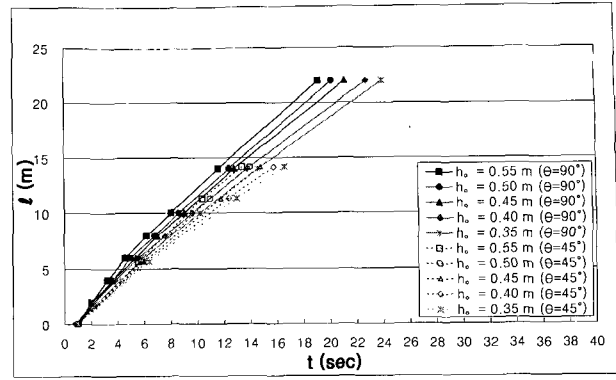
앞서 Eq. (7)에 나타낸 바와 같이 제방붕괴에 의한 3차원 제내지 범람 특성 때문에 발생하는 무차원시간 T 와 무차원 이동거리 L 의 비선형적 관계를 반영할 수 있도록 상수 k 와 m 을 도입하여 범람홍수파의 전파거리에 대한 실험식을 도출하고자 한다.

Table 1. Experimental Conditions

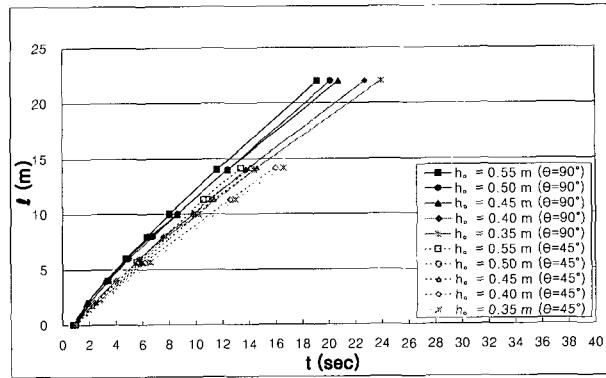
Classification	Experimental conditions
Inflow discharge to channel (m^3/s)	0
Initial water level in channel (m)	0.35, 0.40, 0.45, 0.50, 0.55
Initial water level in inundation area (m)	0
Length of breach (m)	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0
Speed of breach (m/s)	0.18



(a) $L_b=1.0$ m



(b) $L_b=2.0$ m

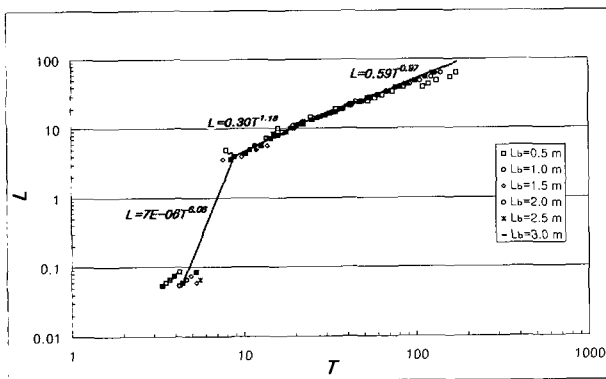


(c) $L_b=3.0$ m

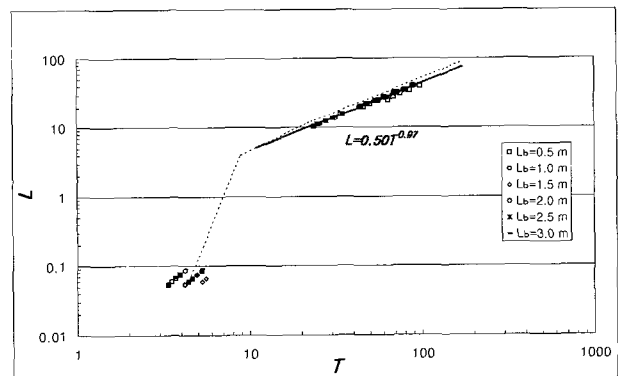
Fig. 6. The Effects of Initial Water Level in Channel on Wave Front Propagation Distances with Time

Eq. (7)에 나타난 일반식 형태에 따라 $\theta = 90^\circ$ 와 $\theta = 45^\circ$ 방향에 대한 제내지 범람홍수와 선단의 전파속도 실험식을 도출하기 위하여 실험결과를 무차원 시간 T 와 무차원 이동거리 L 을 대수지상에 도시한 결과는 Figs. 7(a) and 7(b)에 나타내었고, 적합식으로부터 산정된 상수 k 와 m 은 Table 2에 보인 바와 같다. 홍수와 전파속도를 의미하는 기울기는 T 의 범위에 따라 변하는데, T 가 8.86과 24이고 L 이 4와 13일 때 기울기가 감소하는 것으로 나타났다. Ritter의 해석 해인 Eq. (2)에서 알 수 있듯이 임의 지점의 수심 h 는 홍수와 선단의

이동거리와 시간에 영향을 주기 때문인 것으로 유추할 수 있다. 또한, Fig. 8의 L 과 최대수심비 h_{max}/h_o 의 관계에서 확인할 수 있는데, 최대수심비 h_{max}/h_o 의 포락선을 연결하면 L 이 증가함에 따라 기울기가 감소하게 되는데 기울기가 변하는 점에서의 L 이 4와 13으로서 Fig. 7의 기울기가 변화하는 점과 일치하고 있다. 즉, 댐붕괴에 의한 1차원 흐름특성과는 달리 3차원 흐름특성을 갖는 제내지 범람홍수와 고유의 특성 때문에 홍수와 선단의 거동이 달라진다고 분석할 수 있다.



(a) $\theta=90^\circ$



(b) $\theta=45^\circ$

Fig. 7. Relationship between Dimensionless Time T and Dimensionless Distance L

Table 2. Results of k , m in this Study

Direction	k	m	Range of T
$\theta = 90^\circ$	7×10^{-6}	8.08	$T < 8.86$
	0.30	1.18	$8.86 \leq T < 24$
	0.59	0.97	$24 \leq T$
$\theta = 45^\circ$	7×10^{-6}	8.08	$T < 8.86$
	0.50	0.97	$8.86 \leq T$

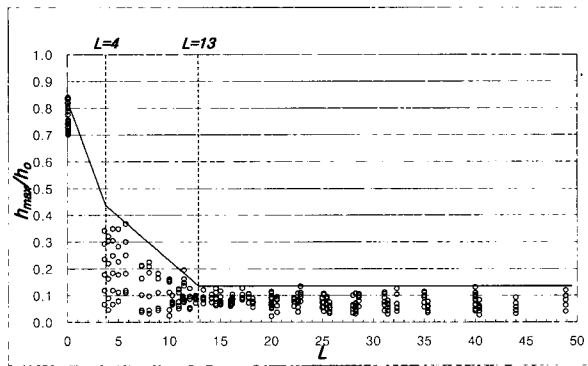


Fig. 8. Relationship between Dimensionless Distance T and Dimensionless Maximum Water Depth h_{max}/h_0

5. 결론

본 연구에서는 장애물이 없는 평탄지형의 제내지에서 제방붕괴에 의한 범람홍수파 선단의 전파 특성을 규명하기 위하여 제내지와 하도로 이루어진 실험수조에서 실험을 수행하여 전파 거리를 산정하였다. 전파거리를 산정하기 위한 기본식은 댐붕괴에 의한 수로에서의 홍수파의 1차원 흐름 해석체인 Ritter의 해를 이용하여 결과를 비교하였으며, 有賀世治(1977)의 실험연구에서 제시된 전파거리 산정을 위한 실험식의 일반형을 검토하여 본 연구에서 수행한 실험결과에 대한 실험식을 도출하였다.

댐붕괴에 의한 1차원 하도흐름과는 달리 2차원 또는 3차원 흐름 거동 특성을 가진 제방붕괴에 의한 범람홍수파의 전파 양상은 다르게 나타남을 알 수 있었다. 이는 홍수파가 방사형으로 퍼져나가면서 제내지에서의 수심이 1차원 흐름에서의 수심보다는 작아지면서 나타나는 현상으로 볼 수 있으며, 홍수파가 수심의 지배적인 영향을 받는다고 표현된 Ritter의 해석해를 만족시키는 결과이기도 하다. 따라서, 제방붕괴에 의한 제내지에서의 범람홍수파의 전파양상을 Ritter의 해석해를 확장시켜 적용하는 것에 큰 문제를 없음을 알 수 있다.

제방붕괴 시 제방붕괴폭과 하도 내 초기수위가 범람홍수파의 전파거리에 미치는 영향을 검토한 결과, 댐붕괴

괴에 의한 1차원 흐름과 마찬가지로 하도 내 초기수위가 지배적인 영향을 주고 있음을 알 수 있었으며, 제방붕괴폭의 영향은 상대적으로 매우 작을 뿐 아니라 범람홍수파 선단의 전파속도와 상관계수가 약하다는 사실을 알 수 있었다. 따라서, 본 연구에서는 상관식 도출을 위해 초기 하도수위 h_0 를 이용하여 무차원화 하였다.

제내지에서의 범람홍수파 선단의 전파속도를 산정하기 위하여 실험결과를 무차원 시간 T 와 무차원 전파거리 L 로 나타내어 실험식을 도출하였다. 이 때 L 을 산정하기 위한 상수로서 k , m 이 도입되었는데, Ritter의 해에서는 k 가 2이고, m 이 0인 반면에 본 실험에서는 k 와 m 이 무차원 시간 T 의 구간에 따라 달라지는 상수임을 알 수 있었다.

본 연구에서는 대규모 제내지 범람실험을 수행하여 범람양상을 관찰하고 수리학적 관점에서 해석하였다. 또한, 실험결과를 토대로 댐붕괴에 의한 1차원 흐름해석방법을 3차원으로 확장하여 해석할 수 있음을 보였다. 본 연구결과는 홍수위험지도 작성이나 긴급대피계획 수립 시 기본적인 판단 자료로 사용할 수 있으며, 2차원 범람 수치모형 검증 시 유용한 자료로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설기술혁신사업(03산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

참고 문헌

이종태, 한건연, 윤세의, 박재홍 (1995). "제내지에서의 범람홍수파 해석을 위한 수치모형의 개발." **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제28권, 제5호, pp. 163-174.

전민우, 한건연, 최규현 (2005). "낙동강 제방 붕괴에 따른 범람홍수 해석." **한국수자원학회지**, 한국수자

- 원학회, 제38권, 제4호, pp. 259-269.
- 한건연, 박재홍 (1995). “도시하천에서의 홍수범람도 작성을 위한 2차원 모형의 개발.” *한국수자원학회지*, 한국수자원학회, 제28권, 제6호, pp. 119-131.
- 有賀世治 (1977). “有堤河川の破堤による氾濫區域の推定に關する実証的研究(第1報:氾濫モデル提案).” *東海大学 紀要*, pp. 133-178.
- Fukuoka, S. and Kawashima. M. (1999). “Prediction of flood-induced flows in urban residential areas and damage reduction.” *Floodplain risk management*, Edited by Fukuoka, S., The Committee of International Workshop on Floodplain Risk Management, A.A.Balkema, Rotterdam, the Netherlands, pp. 209-227.
- Saint-Venant, B. (1871). *Théorie du mouvement non permanent des eaux, avec application aux crues de rivières et à l'introduction des marées dans leur lits*(Theory of unsteady water flow, with application on floods in rivers and introduction of tides in their beds). *Comptes Rendues de l'Académie des Sciences, Paris, France*, Vol. 173, pp. 147-154, pp. 237-240 (in French).
- Shige-eda, M. and Akyama. J. (2003). “Numerical and Experimental Study on Two-Dimensional Flood Flows with and without Structures.” *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 129, No. 10, pp. 817-821.
- Su, S.-T. and Barnes, A.H. (1970). “Geometric and frictional effects on sudden releases.” *Journal of Hydraulic Division, ASCE*, Vol. 96, No. 11, pp. 2185-2200.
- Vischer, D. L. and Hager, W. H. (1998). *Dam Hydraulics*, John Wiley & Sons Ltd, Baffins Lane, Chichester, West Sussex, England, p. 281.

(논문번호:07-13/접수:2007.02.05/심사완료:2007.09.19)