

평탄지형 제내지에서의 제방붕괴속도에 따른 범람홍수와 선단 거동에 관한 연구

윤광석

한국건설기술연구원 수자원·하천연구소

Study on Behaviour of Flood Wave-front Varied with Levee Breach Speed in Flat Inundation Area

Kwang Seok Yoon

Hydro Science and Engineering Research Institute,
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약 본 연구에서는 평탄지형의 제내지에서 제방붕괴속도에 따른 범람홍수와 선단의 전파 특성을 규명하기 위하여 제내지와 하도로 이루어진 실험수조에서 실험을 수행하여 전파 거리를 산정하였다. 실험에 의해 측정된 전파거리를 시간에 대한 상관식으로 나타내기 위하여 댐붕괴에 의한 수로에서의 홍수파의 1차원 흐름 해석해인 Ritter의 해에 3차원 거동특성을 반영할 수 있는 상수 k 와 m 을 도입한 일반식에 실험결과를 적용하여 실험식을 도출하였다. 기존 연구에서 하도내의 초기수위가 범람홍수파의 전파속도에 지배적인 영향을 준다는 사실은 알려져 있으나, 본 실험연구를 통해 제방붕괴속도도 범람홍수파의 전파속도에 영향을 주며, k 와 m 이 상수가 아닌 제방붕괴속도와 선형관계를 갖는 변수임을 밝혔다. 실험결과를 이용하여 범람홍수파 선단의 전파거리를 산정할 수 실험식을 제시했으며, 범람홍수파의 전파속도 산정시 하도내의 초기수위뿐만 아니라 제방붕괴속도도 고려해야 함을 본 연구를 통해 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 대규모 제내지 범람실험을 수행하여 범람양상을 관찰하고 수리학적 관점에서 해석하였으며, 실험결과를 토대로 제방붕괴속도에 대한 홍수파 전파속도의 상관관계도 제시하였다. 본 연구결과는 홍수위험지도 작성이나 긴급대피계획 수립시 기본적인 판단 자료로 사용할 수 있으며, 2차원 범람 수치모형 검증시 유용한 자료로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract An experimental study was carried out to investigate the characteristics of the propagation distance of a flood wave considering the levee failure speed in a flat inundation area. The Ritter solution for one dimensional flow was considered to formulate the experimental results and a representative form with coefficients of k and m , which consider the three dimensional flow characteristics, was applied. The experiments showed that the propagation velocity of the wave front in the inundation area was influenced by the levee breach speed as well as the initial water level, which is a significant variable representing the flood wave behavior. In addition, coefficients k and m are not constants, but variables that vary with levee breach speed. An empirical formula was also suggested using the experimental results in the form of the relationships between k and m . In this study, a large-scale experiment for flood inundation was carried out to examine the behavior of flooding in the inundated area and the relationships between the levee breach speed and wave-front propagation velocity were suggested based on the experimental results. These research results are expected to be used as the baseline data to draw a flow inundation map, establish an emergency action plan, and verify the two-dimensional numerical model.

Keywords : Empirical formula, Flood inundation, Flood wave-front, Levee breach, Propagation distance

*Corresponding Author : Kwang Seok Yoon(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

Tel: +82-31-910-0270 email: ksyoon@kict.re.kr

Received November 15, 2016

Revised (1st December 9, 2016, 2nd December 12, 2016)

Accepted January 6, 2017

Published January 31, 2017

1. 서론

하천제방이 붕괴되어 최초 범람홍수과가 제내지로 전파될 때 홍수와 선단(flood wave-front)의 이동속도를 추정하는 것은 제방 주위 거주자에 대한 위험성을 예측하고 대피계획을 수립하는데 매우 유용한 자료로 사용될 수 있다. 제내지 범람홍수과의 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, 범람홍수과 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 범람홍수과의 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[1]는 제내지 범람양상을 모의하기 위한 2차원 수치모형을 개발한 바 있으며, 수치모형 검증을 위하여 제내지에 구조물이 있는 경우와 없는 경우의 2가지 조건에 대해 수리실험을 실시하고 홍수과 선단의 이동속도, 수심 및 표면유속을 측정하는 바 있다. Fukuoka and Kawashima[2]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 홍수과 선단의 전파양상에 대한 실험은 수행되지 않았다. 국내에서는 Lee et al.[3]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 수행하

였다. Han and Park[4]은 도시하천에서의 홍수범람도 작성을 위한 2차원 모형을 개발하였으며, 이 연구에서는 개발된 수치모형을 1차원 댐 붕괴의 문제에 적용하여 동역학적 해석결과와 비교검토하고 질량보존의 오차를 계산하여 검정을 수행하였다. 최근에도 Jeon et al.[5]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 범람홍수과의 동역학적 거동 현상을 검토하기 위하여 다양한 하도수위 및 제방붕괴폭 조건에 대해 수리실험을 수행하고, 실험조건에 따른 제내지 범람홍수과 선단의 전파속도를 측정하여 주어진 제내지 특성조건에 대해 실험식을 제시하고자 한다.

2. 범람홍수과 선단 이동거리

2.1 영향 인자

Yoon and Lee[6]는 제방붕괴시 발생하는 범람홍수과 선단의 이동속도에 영향을 미칠 수 있는 인자는 크게 하도특성, 하천수리특성, 제방붕괴특성 및 제내지특성 등으로 구분하고, 이와 관련된 수리학적 변수를 정리하여 Eq. (1)과 같이 나타내었다. 하도특성으로는 직선하도와 만곡하도가 있으며, 하천수리특성으로는 제방붕괴시 하도내 수위와 유속 등을 변수로 제시했다. 또한, 제방붕괴 특성으로는 월류, 침투, 세굴 및 관공현상(貫孔現象) 등 붕괴원인에 따라 제방붕괴시간과 붕괴형상이 달라지고, 제내지특성으로는 제내지 지형조건 및 토지이용상태에 따라 달라질 수 있는 것으로 설명하였다.

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

여기서, ℓ 은 범람홍수과 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

Yoon and Lee[6]의 연구에서 보인 바와 같이, 제방붕괴에 의한 범람홍수과의 해석해는 1982년에 Ritter가 댐 하류 사각형 수로에 대해서 제안한 식으로부터 시작된다. Ritter의 해석해는 마찰경사와 하상경사가 같다는 Saint-Venant[7]의 가정($S_o - S_f = 0$)을 적용하여 댐 하류 사각형 수로의 수심이 0일 때 임의 시간 t 에서의 수면형을 구하는 방정식이다[8]. 이러한 해석방법은 Su and Barnes[9]에 의해서 수로 단면이 삼각형과 포물선형인 경우로 확장되어 제안되기도 했다. Ritter의 해석해는 Eq. (2) 및 Eq. (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 Eq. (2)와 Eq. (3)에서 $x = 0$ 을 대입하여 얻을 수 있으며, 그 결과는 Eq. (4)와 같다.

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

Ritter의 해석해인 Eq. (2)를 $x/t\sqrt{gh_o}$ 항으로 정리하면 Eq. (5)로 변형되며, 댐에서의 초기수심과 시간에 따른 수심변화에 대한 관계식이 만들어진다.

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

홍수와 선단에서는 수심이 0이 된다는 특성을 이용하여 Eq. (5)의 우변의 수심 h 에 0을 대입하고, 임의 위치 x 에 홍수와 선단 이동거리 ℓ 을 대입하여 무차원수 $\ell/h_o (= L)$ 항으로 정리하여 Eq. (6)과 같은 무차원화된 홍수와 선단 이동거리 산정식이 도출된다.

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

여기서, $L = \ell/h_o$ 이고, $T = t\sqrt{g/h_o}$ 이다.

Eq. (6)은 댐붕괴에 의한 1차원 흐름을 나타내는 식이므로 제방붕괴에 의한 제내지에서의 3차원 흐름양상을 반영할 수 있도록 상수 k 와 m 을 도입하여 Eq. (7)과 같은 일반식으로 표현할 수 있다. 여기서, k 와 m 은 제내지 범람특성에 대한 물리적인 의미를 갖는 상수로서 Ritter의 해석해를 실용적 의미에서 확대 해석한 것이라고 할 수 있다. 즉, 제방붕괴부 주위의 수심변화특성이나 제내지에서의 수면형이 1차원 댐붕괴 흐름과는 다르기 때문에 1차원 해석해를 변형시켜 실험결과에 적합한 기본식을 도출한 것이다. Eq. (7)에서 상수 k 가 2이고, m 이 1인 경우, 사각형 수로에서 댐붕괴에 의한 홍수과의 이동거리를 구할 수 있는 Ritter의 해석해가 된다.

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

Eq. (7)에 나타난 것처럼 본 연구에서는 제방붕괴에 의한 홍수와 선단 이동거리 산정시 3차원 거동에 대한 영향을 나타내기 위하여 상수 k, m 을 도입하였다. 또한, 본 연구에서는 댐 붕괴에 의한 하도에서의 1차원 흐름의 한계를 보완할 수 있도록 완전한 3차원 실험을 수행하여 상수 k, m 을 도출하였다.

3. 수리실험 장치 및 조건

3.1 실험수조 및 계측기기

실험 수조의 전체 크기는 가로 30m, 세로 30m이며, 수조 내부에 제내지, 제방 및 하도를 제작하였다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 하도는 폭 5m, 길이 30m이며, 제내지는 폭 28m, 길이 24m로서 제내지에서 범람류 확산거동이 충분히 나타날 수 있도록 규모를 설정하였고, 하도보다 0.4m 높게 하여 배수로 등의 설치가 원활하도록 하였다. 제내지와 하도는 분리벽으로 구분시켰으며, 분리벽의 높이는 0.6m이고, 모의가능한 최대 월류심은 0.55m이다. 분리벽 중앙에는 제방붕괴를 모의할 수 있는 수문을 설치하였으며, 개방가능한 붕괴 최대폭은 4m이고, 동력에 의해서 개폐가 가능하도록 하였다. 하도에서 유입된 범람류가 원활히 배수될 수 있도록 폭 1m, 깊이 0.4m 규격의 배수로를 제내지 3면에 설치하여 확산

형 범람이 유지되도록 설계하였다. 하도와 제내지의 하상은 수평이며, 시멘트 모르타르로 표면을 처리하였다. 또한, 수로 하류단에 위어를 설치하여 제방붕괴시 하도내 수위를 조절할 수 있도록 하였다. Fig. 2는 본 실험에서 사용되는 주요 수리량의 정의를 나타낸 것이다.

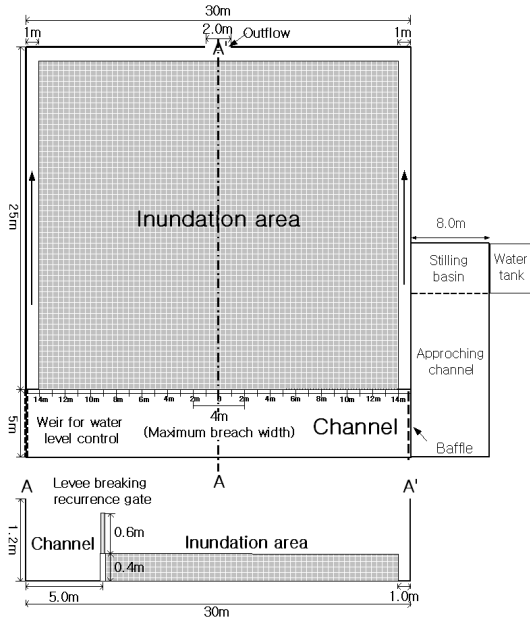


Fig. 1. Experimental setup

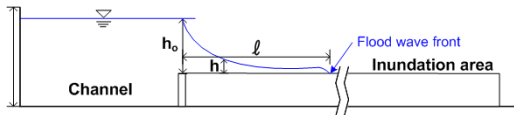


Fig. 2. Schematic definition of notation

제방붕괴현상을 재현하기 위하여 Fig. 3과 같이 강재를 이용해 제방붕괴 재현장치를 제작하였다. 제방붕괴 재현장치는 최대개방폭 4m, 높이가 0.6m이고, 수로 중앙부에 위치하며 전동모터에 의해서 미닫이식으로 개폐가 가능하다. 자연현상에서 제방붕괴는 제방붕괴지속시간 t_b 를 가지며 점차적으로 붕괴가 발달한다는 점을 반영할 수 있도록 제방붕괴 수문은 변속모터에 의해서 개방속도가 조절되며, 최대 개방속도는 0.18m/s이다.

제내지에서 범람홍수와 선단이 측정지점에 도달하는 시간과 수심을 측정하기 위하여 용량식파고계를 이용하였다. 파고계는 일반적으로 해안 실험에서 파고를 측정

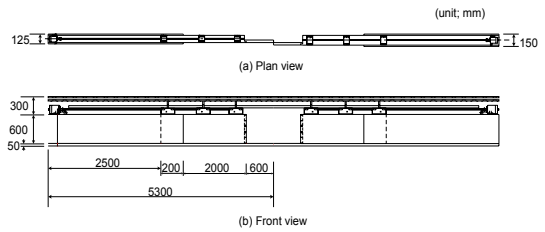


Fig. 3. Dimension of sliding door imitating levee breach

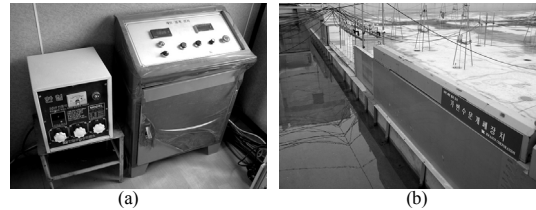


Fig. 4. Photos of apparatus for imitation levee breach
(a) Control panel (b) Sliding door

하기 위해 사용되며, 정밀도가 높고, 매우 짧은 간격으로 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. 측정에 사용된 파고계는 일본 KENEK사의 CHT4-60이며, 수심 측정 범위는 60cm이고 최대 측정주파수는 20Hz로서 최대 0.05sec 간격으로 측정이 가능하다. 본 실험에서는 측정간격으로서 5Hz(0.2sec 간격)를 설정하였으며, 범람홍수파 선단이 도달하는 시간과 수위를 측정하는데 충분하다고 판단되었다. Fig. 5는 용량식 파고계를 설치한 장면이며, 파고계의 영점을 쉽게 잡기 위해서 바닥에 흡을 파서 물을 채울 수 있도록 설치했다. Fig. 6은 제내지에서의 수심측정지점과 방향을 나타내는데, $\theta = 0^\circ$ 와 $\theta = 45^\circ$ 방향으로 파고계를 배치하여 범람홍수파 선단이 도달하는 시간을 측정할 수 있도록 하였다.



Fig. 5. Installation of wave height meter

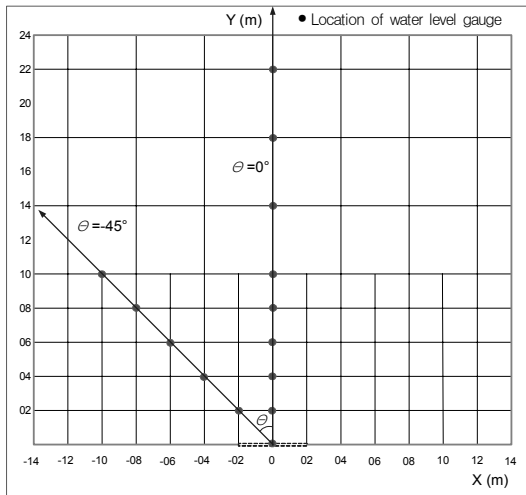


Fig. 6. Location of water level gauge

3.2 실험조건

Yoon and Lee[6]의 연구에 따르면 하천범람으로 인하여 제내지에 홍수파가 전파되는 형태는 크게 저류형과 확산형으로 구분된다. 저류형은 범람홍수가 한정된 지역 안에 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 형태로써 하천수위가 감소하더라도 하천으로 재유입되는 경우는 많지 않다. 본 연구의 목적이 제내지에서 범람홍수와 선단이 이동하는 속도를 측정하기 위한 것이므로 제내지의 경계조건을 확산형으로 설정하여 실험을 수행하였다.

제방붕괴속도에 따른 범람홍수파의 전파양상에 미치는 영향만을 규명하기 위하여 다른 수리학적 영향인자는 고정시켰다. 이를 위하여 제방붕괴 당시 하도에 유입되는 유량은 0으로 설정했으며, 월류수심은 0.5m, 제방붕괴폭은 1.0m의 조건으로 고정시켰으며, 제방붕괴속도 v_b 는 제방붕괴폭 L_b 에 제방붕괴지속시간 t_b 를 나눈 값이며, 수문의 개방속도를 조절하는 방법으로 0.03m/s부터 0.18m/s까지 0.03m/s 간격으로 총 6개의 조건이 되도록 하였다. 모든 실험조건에 대해서 제내지에서의 초기 수위는 0으로 하여 바닥이 마른상태에서 범람홍수파가 전파되도록 하였다. Table 1은 본 연구에서 수행한 실험 조건을 나타낸 것이다.

Table 1. Experimental conditions

Classification	Experimental conditions
Inflow discharge to channel (m ³ /sec)	0
Initial water level in channel (m)	0.50
Initial water level in inundation area (m)	0
Length of breach (m)	1.0
Speed of breach (m/s)	0.03, 0.06, 0.09, 0.12, 0.15, 0.18

4. 실험결과 분석

4.1 범람홍수파 전파속도 변화 특성

범람홍수파 선단의 이동속도가 하도내 초기수위의 영향을 받는다는 것은 댐붕괴에 의한 홍수파의 1차원 거동 현상에서 주요 지배인자로 제시된 바 있다[8]. 또한 Yoon and Lee[6]도 수리실험을 통해 초기 하천수위가 클수록 제방 붕괴시 홍수파 선단의 이동속도가 증가한다는 것을 보였다. 이와 같이 제방붕괴시 하천수위와 홍수파의 전파속도에 대한 연구는 수행된 바 있으나, 제방붕괴속도에 따른 홍수파 선단의 이동속도에 대한 연구는 그 동안 시도되지 않았던 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구에서는 제방붕괴 속도에 따라 제내지에서 홍수파 선단의 이동속도의 변화를 분석하기 위하여 수리실험을 수행하고 결과를 분석하였다.

제방은 붕괴가 발생한 후, 제내지 유입류에 의해 세굴이 진행되면서 붕괴폭이 넓어진 후 최종 붕괴폭에 이르게 된다. 유입흐름과 제체 특성에 따라 달라지는 제방붕괴지속시간 t_b 는 범람홍수파의 거동 특성을 변화시킨다. 제방붕괴지속시간에 따른 범람홍수파 선단의 전파특성을 검토하기 위해 수문의 개방속도를 조절하면서 제내지에 홍수파가 전파되도록 하였다.

Fig. 7(a) and 7(b)는 각각 제방붕괴폭 1.0m 조건에서 $\theta = 0^\circ$ 와 $\theta = -45^\circ$ 방향에 대한 범람홍수파의 선단이동거리와 시간과의 관계를 도시한 것이다. 전체적으로 제방붕괴속도가 증가하면 홍수파 선단의 이동속도도 빨라지며, $\theta = -45^\circ$ 방향의 전파속도는 $\theta = 0^\circ$ 방향의 전파속도보다 느림을 알 수 있다. 여기서, 제방붕괴부로부터 멀어질수록 기울기가 감소하는데, 이동거리가 길어질수록 범람홍수파 선단의 이동속도가 감소하는 것을 의미한다. 이는 제방붕괴부 인근에서는 수심이 커져 제내지 바

다 마찰력의 영향을 적게 받지만, 거리가 멀어짐에 따라 수심이 작아져 바닥 마찰력의 영향이 커져서 홍수와 전면의 속도가 감소하는 것으로 분석된다.

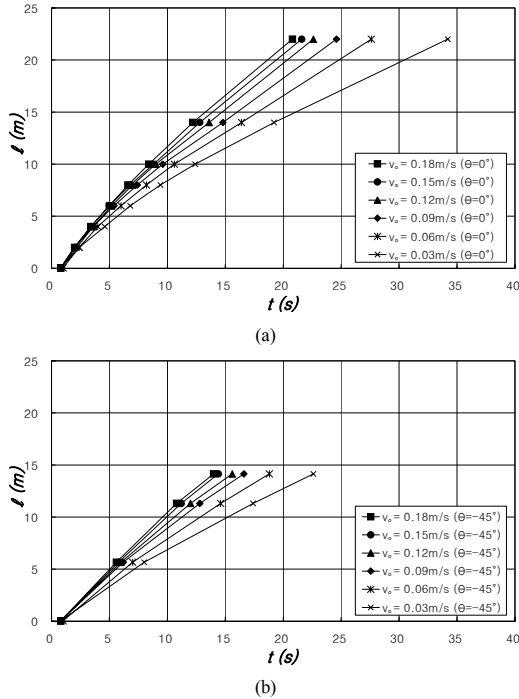


Fig. 7. The effects of initial water level in channel on wave front propagation distances with time (a) $\theta=0^\circ$ (b) $\theta=-45^\circ$

4.2 범람홍수와 선단 이동거리 실험식 산정

제방붕괴속도에 따른 범람홍수와 선단의 이동거리에 대한 실험식을 도출하기 위하여 Eq. (7)을 적용하였다. 앞서 설명한 바와 같이 Eq. (7)은 3차원 제내지 범람 특성 때문에 발생하는 무차원시간 T 와 무차원 이동거리 L 의 비선형적 관계를 반영할 수 있도록 상수 k 와 m 을 도입한 일반식이다.

Eq. (7)에 나타난 일반식의 형태에 따라 $\theta=0^\circ$ 와 $\theta=-45^\circ$ 방향에 대한 제내지 범람홍수와 선단의 이동속도에 대한 실험식을 도출하기 위하여 실험결과를 무차원 시간 T 와 무차원 이동거리 L 을 대수지상에 도시하였으며, 그 결과는 Fig. 8과 같다. 전체적으로 제방붕괴속도가 증가하면 홍수와 선단의 이동속도도 빨라지며, $\theta=-45^\circ$ 방향의 전파속도는 $\theta=0^\circ$ 방향의 전파속도보다 느릴 것을 알 수 있다.

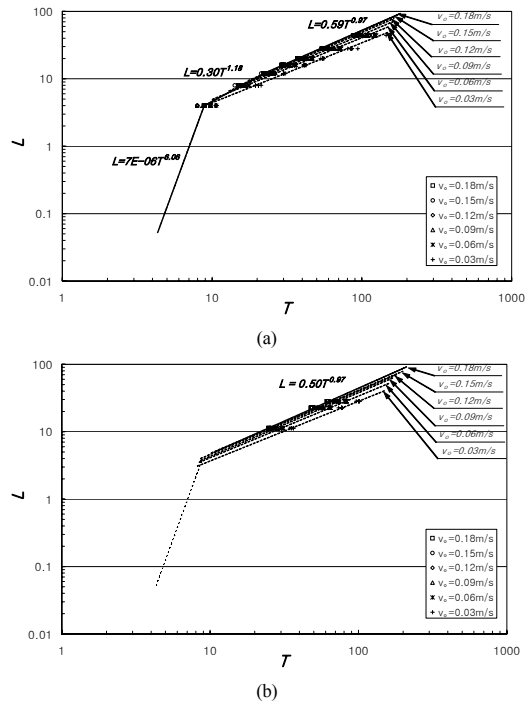


Fig. 8. Relationship between dimensionless time T and dimensionless distance L (a) $\theta=0^\circ$ (b) $\theta=-45^\circ$

$L-T$ 관계곡선에서 제방붕괴속도에 따른 k 와 m 을 산정하였으며, 무차원 제방붕괴속도 V_o 와의 관계를 Fig. 9에 도시하였다. 여기서, $V_o(=v_o/v_{max})$ 는 제방붕괴속도 v_o 를 최대붕괴속도($v_{max}=0.18m/s$)로 무차원화한 변수이다. Fig. 9에서 k 와 m 은 무차원변수 V_o 와 비례관계에 있으며, k 보다는 m 의 증가율이 크게 나타났다. 그리고, m 은 전파 방향에 따른 차이가 거의 없는 반면에, k 는 차이가 발생함을 알 수 있다.

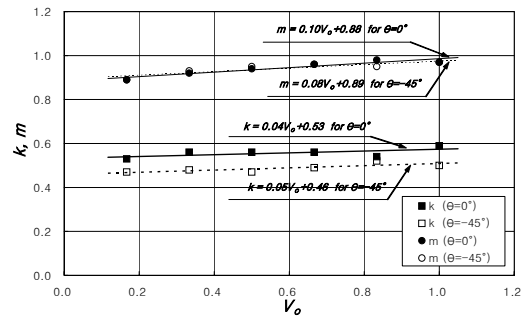


Fig. 9. Relationship between levee failure speed V_o and three dimensional constants k and m

V_o 에 대한 k 와 m 의 변화를 식으로 정리하면 각각 Eq. (8) 및 Eq. (9)와 같다.

$$k = 0.04 V_o + 0.53, \theta = 0^\circ \quad (8)$$

$$= 0.05 V_o + 0.46, \theta = -45^\circ$$

$$m = 0.10 V_o + 0.88, \theta = 0^\circ \quad (9)$$

$$= 0.08 V_o + 0.89, \theta = -45^\circ$$

Eq. (8)과 Eq. (9)에서 보인 바와 같이 k 와 m 이 상수가 아닌 무차원 제방붕괴속도 V_o 와 선형 관계를 갖는 변수이며, 제방붕괴속도가 증가하면 k 와 m 도 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서, 제방붕괴시 제내지로 유입되는 범람홍수와 선단의 전파속도 예측시 하도내의 초기수위뿐만 아니라, 제방붕괴지속시간도 고려해야 함을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 평탄지형의 제내지에서 제방붕괴지속 시간의 변화에 의한 범람홍수와 선단의 전파 특성을 규명하기 위하여 제내지와 하도로 이루어진 실험수조에서 실험을 수행하여 시간에 따른 범람홍수와 선단의 전파 거리를 산정하였다. 전파거리를 산정하기 위한 일반식은 댐붕괴에 의한 수로에서의 홍수파의 1차원 흐름 해석해인 Ritter의 해를 변형하여 도출하였으며, 시간에 따른 범람홍수와 선단의 이동거리를 일반식에 적용하여 실험식을 도출하였다.

제방붕괴시 제방붕괴속도가 범람홍수와 선단의 이동 거리에 미치는 영향을 검토한 결과, 일반식 도출시 범람홍수파의 3차원적 거동을 반영하기 위하여 도입했던 상수 k 와 m 은 무차원 제방붕괴속도 V_o 와 선형관계를 갖는 변수임이 밝혀졌다. 제방붕괴속도가 증가할수록 k 와 m 도 증가하며, 범람방향에 따라 θ 가 0° 일 때 k 및 m 에 대한 기울기는 각각 0.04 및 0.10, θ 가 -45° 의 경우 각각 0.05 및 0.08로 나타났다. 따라서, 제방붕괴에 의한 범람홍수파의 거동 예측시 하도내의 초기수위뿐만 아니라, 제방붕괴시 지속시간도 고려해 홍수와 선단의 전파속도를 산정해야 함을 보였다.

본 연구에서는 대규모 제내지 범람실험을 수행하여

범람양상을 관찰하고 수리학적 관점에서 해석하였다. 또한, 실험결과를 토대로 댐붕괴에 의한 1차원 흐름해석방법을 3차원으로 확장하여 해석할 수 있음을 보였으며, 제방붕괴속도에 대한 홍수와 전파속도의 상관관계도 제시하였다. 본 연구결과는 홍수위험지도 작성이나 긴급대피계획 수립시 기본적인 판단 자료로 사용할 수 있으며, 2차원 범람 수치모형 검증시 유용한 자료로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 실험실에서 수행할 수 있는 최대 규모의 실험을 수행하여 원형에 가까운 수리학적 현상을 재현하려고 하였으나, 실제 실험에서 나타나는 제방붕괴 및 범람을 완벽하게 표현하는 것은 한계가 있을 것으로 판단된다. 따라서, 향후 수리학적, 토질공학적인 사상조건 등의 제반조건을 만족시킬 수 있는 수리모형을 설계하고, 이에 따라 실험을 수행함으로써 상사법칙에 근거한 결과를 도출할 수 있는 후속 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] M. Shige-eda, J. Akyama, "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, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2003\)129:10\(817\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2003)129:10(817))
- [2] S. Fukuoka, M. Kawashima, "Prediction of flood-induced flows in urban residential areas and damage reduction", *Floodplain risk management*, The Committee of International Workshop on Floodplain Risk Management, A. A. Balkema, Rotterdam, the Netherlands, pp. 209-227, 1999.
- [3] J. T. Lee, K. Y. Han, S. E. Yoon, J. H. Park, "Floodwave Modeling in Inundated Area Resulting from Levee-Break", *Journal of Korea Water Resources Association*, vol. 28, no. 5, pp. 163-174, 1995.
- [4] K. Y. Han, J. H. Park, "Two-Dimensional Model for the Prediction of Inundation Area in Urbanized Rivers", *Journal of Korea Water Resources Association*, vol. 28, no. 6, pp. 119-131, 1995.
- [5] M. W. Jeon, K. Y. Han, K. H. Choi, "Flood Inundation Analysis from Levee Failure in Nakdong River", *Journal of Korea Water Resources Association*, vol. 38, no. 4, pp. 259-269, 2005. DOI: <https://doi.org/10.3741/JKWRA.2005.38.4.259>
- [6] K. S. Yoon, J. -K. Lee, "Empirical Formula for Propagation Distance of Flood Wave-front in Flat Inundation Area without Obstacle due to Levee Breach", *Journal of Korea Water Resources Association*, vol. 40, no. 10, pp. 833-840, 2007.

DOI: <https://doi.org/10.3741/JKWRA.2007.40.10.833>

- [7] B. Saint-Venant, "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, 1871. (in French).
- [8] D. L. Vischer, W. H. Hager, *Dam Hydraulics*. p. 281, John Wiley & Sons Ltd, Baffins Lane, Chichester, West Sussex, England, 1998.
- [9] S. -T. Su, A. H. Barnes, "Geometric and frictional effects on sudden releases", *Journal of Hydraulic Division, ASCE*, vol. 96, no. 11, pp. 2185-2200, 1970.

윤 광 석(Kwang Seok Yoon)

[정회원]



- 1996년 2월 : 한양대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2008년 8월 : 한양대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 1996년 8월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>

토목/건축, 수리학, 하천공학, 수리실험