

# 제방붕괴 위험평가 기술의 개발

## Development of Risk Estimation Technique for Levee Break

김상호\*, 황신범\*\*, 민상기\*\*\*, 이종태\*\*\*\*

Sang Ho Kim, Shin Bum Hwang, Sang Ki Min, Jong Tae Lee

### 요 지

하천제방은 홍수의 위험 방지에 중요한 역할을 하며 하천의 범람으로부터 제내지의 인명, 가옥, 재산, 각종 시설물 등을 보호하기 위하여 설치되는 시설물로서 침수피해 방지와 같은 중요 기능을 가지고 있다. 이러한 하천제방의 적정규모를 결정하기 위해서는 대상지역의 수리·수문학적 특성, 지형조건에 관한 조사 및 연구 이외에 경제적인 검토가 수반되어야 하며, 제대로 검토되지 않을 경우 제방이 누수 또는 침하, 붕괴되어 범람방지 기능을 상실하는 현상이 일어나게 된다. 국내 하천유역에서도 과거 전국에 걸쳐 제방 붕괴현상이 일어나 많은 범람침수 피해가 발생하였다.

본 연구에서는 제방붕괴의 일반적인 원인으로 지적되고 있는 월류, 제체의 불안정, 과도한 변위, 급격한 수위의 감소 등으로 발생할 수 있는 현상 및 문제점들을 검토하였다. 이로부터 기하학적 인자, 수리학적 인자, 수공구조물 인자, 정성적 인자 등 4가지 분류로 구분하였으며, 총 12가지 세부인자를 제시하였다. 제시된 인자를 토대로 시험 대상유역인 감천과 남강에 적용하여 인자별 영향을 산정하였으며, 이로부터 위험도를 평가하였다.

**핵심용어 : 제방붕괴, 위험평가, 위험도**

### 1. 서론

최근 기상의 이변에 따른 대규모 호우로 약 10억 인구가 홍수의 위협을 안고 살아가고 있다. 이러한 홍수의 위협으로부터 발생가능성을 감소시키는 동시에, 홍수가 발생하였을 경우 빠른 복구가 이루어질 수 있도록 하는 정책을 홍수 경감대책이라고 한다. 홍수 경감대책은 홍수의 주기 및 재해특성과 관련이 있고, 인간과 사회에 대한 잠재적인 피해를 줄이기 위해 필요하며, 재산·사회기반시설의 가치상승으로 인하여 더욱 중요해졌다. 하천제방은 하천의 범람으로부터 제내지의 인명, 가옥, 재산, 각종 시설 등을 보호하기 위하여 설치되는 시설물로서 침수피해 방지가 가장 중요한 기능이다. 하천제방의 적정규모를 결정하기 위해서는 대상지역의 수리·수문학적 특성, 지형조건에 관한 조사 및 연구 이외에 경제적인 검토가 수반되어야 한다. 만약 적절한 검토가 이루어지지 않을 경우 제방이 누수, 침하 또는 붕괴되는 현상이 발생할 수 있으며, 범람방지라는 제방 고유의 기능을 상실하는 현상이 일어나게 된다. 본 연구에서는 하천의 형상과 흐름으로 인해 홍수시 발생가능한 제방의 취약성 평가를 실시하기 위한 정량적 그리고 정성적 인자를 도출하였다. 이러한 인자들은 기하학적 인자, 수리학적 인자, 수공구조물 인자, 정성적 인자 등 4가지로 분류하였다. 이와 같은 제방의 위험평가 기술을 실제 하천에 적용하기 위해 낙동강 유역의 감천과 남강을 시험 대상유역으로 선정하여 제시된 인자를 실제 하천에 적용하였다.

\* 정회원 · 상지대학교 건설시스템공학과 부교수 · E-mail : kimsh@sangji.ac.kr  
\*\* 비회원 · 상지대학교 건설시스템공학과 석사과정 · E-mail : drifftls@nate.com  
\*\*\* 비회원 · 상지대학교 건설시스템공학과 석사과정 · E-mail : msk8411@nate.com  
\*\*\*\* 정회원 · 경기대학교 토목공학과 교수 · E-mail : jtlee@kyonggi.ac.kr

## 2. 제방 붕괴의 위험인자

### 2.1 기하학적 인자

기하학적 인자는 하천의 지형학적인 특성을 고려하기 위한 것으로 하천의 사행정도를 나타내는 만곡도와 곡률비가 있다. 만곡도는 유로중심부의 길이에 대한 사행과장( $M_L$ )의 비를 의미하며(국립방재연구소, 2003), 곡률비는 곡률반경( $R$ )에 대한 하폭( $W$ )간의 비를 나타낸다(Hickin & Nanson, 1975). 그림 1에는 만곡부의 각 요소에 대한 기하학적 특성을 나타내고 있다. 만곡도와 곡률비는 만곡에서의 유속변화와 편수위상승에 직접적인 영향을 미치는 요소들이다. 단면축소비는 하천 단면 폭의 변화정도를 나타내는 것으로 단면 축소비가 클 경우 통수능 감소로 인한 제방의 침식이나 월류에 의한 제방 붕괴 가능성을 검토하기 위한 인자이다. 합류부의 경우 지류가 합류되는 구간에서 홍수량의 급격한 증가, 유목이나 부유물 등의 유입에 의한 통수능 감소, 흐름의 정체 등으로 인해 발생하는 수위 증가로 인한 제방의 월류를 고려하기 위한 인자이다.

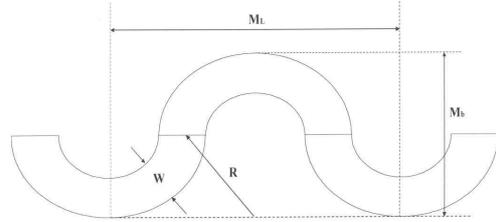


그림 1. 기하학적 인자 구성요소

### 2.2 수리학적 인자

하천에 대한 수리학적인 특성을 나타내는 인자들로 편수위상승고, 여유고, 소류력을 고려하였다. 편수위상승고는 만곡부에서 발생하는 수위상승을 의미하며, 만곡부의 내측보다 외측의 수위가 상승되어 제방의 월류 현상을 검토하기 위한 인자이다. 본 연구에서는  $\Delta h = \frac{V^2}{2g} \frac{2B}{r_c} \left[ \frac{1}{1 + \frac{B^2}{12r_c}} \right]$  (Ippen과 Drinker, 1962)와 같은 식

을 이용하였는데, 여기서  $\Delta h$ 는 편수위상승고,  $B$ 는 하폭,  $V$ 는 유속 그리고  $r_c$ 는 곡률반경을 의미한다. 여유고는 제방에서 제방고와 설계홍수위를 비교하여 월류의 영향을 검토하는 인자로 제방이 가지는 여유높이를 의미한다. 표 1은 하천설계기준(2005)에서 제시한 계획 홍수량별 여유고를 나타낸 것으로 실제 하천에서는 제방의 중요도, 제내지 상황 등을 고려하여 여유고의 높이가 결정된다. 소류력은 강바닥의 토사와 자갈과 같은 하상재료를 이동시키는 힘으로 하천 하상의 재료 변화 및 형상 변화 등의 현상으로 제방의 세굴 및 붕괴에 매우 중요한 인자로  $\tau_o = \gamma R S_f$ 을 사용하여 검토하였다. 여기서  $\tau_o$ 는 소류력,  $\gamma$ 는 물의 단위중량,  $R$ 은 동수반경,  $S_f$ 는 에너지 경사를 의미한다.

표 1. 계획홍수량 기준 여유고(하천설계기준, 2005)

| 계획 홍수량 (m <sup>3</sup> /sec) | 여유고 (m) |
|------------------------------|---------|
| 200 미만                       | 0.6 이상  |
| 200 이상 ~ 500 미만              | 0.8 이상  |
| 500 이상 ~ 2,000 미만            | 1.0 이상  |
| 2,000 이상 ~ 5,000 미만          | 1.2 이상  |
| 5,000 이상 ~ 10,000 미만         | 1.5 이상  |
| 10,000 이상                    | 2.0 이상  |

### 2.3 수공구조물 인자

수공구조물 인자는 하천에 설치되어진 구조물의 접합부, 교량 등과 같은 하천 구조물로 인해 발생 가능한 제방 붕괴 위험을 고려하기 위한 것으로 독마루폭, 형하고와 경간장과 같은 3가지 인자로 구성된다. 독마루폭은 제방의 최상단 넓이를 의미하며 여유고와 마찬가지로 제방의 중요도, 제방의 활용법과 제내지 상황 등

을 고려하여 결정하게 된다. 독마루폭의 경우 최소 4.0m 이상을 확보하여야 하며 표 2는 계획홍수량에 따른 독마루폭의 최소폭을 나타내고 있다. 교량의 계획고는 교각이나 교대에서 교량상부구조를 받치고 있는 교좌 장치 하단부의 높이를 말하며 이러한 계획고와의 사이 공간을 형하고라고 하며 교량의 형하고 또한 제방고와 마찬가지로 계획홍수위에 제방 여유고를 더한 높이로 설계하여 일시적인 수위상승, 불안요소로 인한 문제점 등을 종합적으로 검토하여 결정하여야 한다. 경간장은 교대와 교대, 교대와 교각, 교각과 교각의 사이를 말하며 하천의 상황등에 따라 치수상 지장이 없다고 인정되는 경우를 제외하고는 다음 식을 이용하여 나온 값 이상으로 경간장 거리를 유지시키며 그 값이 70m 이상인 경우 70m로 한다. 일반적으로  $L=20+0.005Q$  식을 이용하는데, 여기서 L은 경간장(m)이고 Q는 계획홍수량( $m^3/sec$ )이다. 표 3은 하천 관리상 큰 지장이 없다고 인정되는 경우 식에 관계없이 제시되어지는 값이다.

표 2. 계획홍수량에 따른 독마루폭(하천설계기준, 2005)

| 계획홍수량( $m^3/sec$ )   | 독마루폭(m) |
|----------------------|---------|
| 200 미만               | 4.0 이상  |
| 200 이상 ~ 5,000 미만    | 5.0 이상  |
| 5,000 이상 ~ 10,000 미만 | 6.0 이상  |
| 10,000 이상            | 7.0 이상  |

표 3. 경간장의 길이(하천설계기준, 2005)

| 구 분                                       | 경간장      |
|---|----------|
| 계획홍수량 $500m^3/sec$ 미만, 하폭 30m 미만          | 12.5m 이상 |
| 계획홍수량 $500m^3/sec$ 미만, 하폭 30m 이상          | 15.0m 이상 |
| 계획홍수량 $500m^3/sec$ 이상 ~ $2,000m^3/sec$ 미만 | 20.0m 이상 |

## 2.4 정성적 인자

하천에서 제체의 불안정과 구조물에 의한 파괴를 고려하기 위해 파이핑과 구조물 안정성을 고려하였다. 제방을 구성하는 재료가 안정적이지 않을 경우 하천수의 침투에 의한 누수가 발생하며, 이로 인해 제방에서는 파이핑 현상이 발생하고 이는 하천 제방 붕괴의 중요 원인이 될 수 있다. 파이핑은 하천의 제방에 일어나는 침식의 일종으로 관모양의 구멍이 생기는 것으로 작은 관모양의 세굴에서 침식과 침전 과정이 복합적으로 이루어지며 결국은 제방의 붕괴까지 이르게 하는 침식 종류이다(Hagerty, 1991). 하천에 설치되어 있는 노후화된 구조물은 제방과의 접합부에서 누수로 인한 제방유실이 발생할 수 있으며, 과거 기준에 의해 설계·시공됨으로서 최근 발생하는 홍수량을 소통시키는데 문제가 될 수 있다. 하천의 교량이나 배수시설이 이에 해당되며, 이러한 구조물의 노후화에 따른 파괴는 제방의 안정성에 크게 영향을 미칠 수 있다.

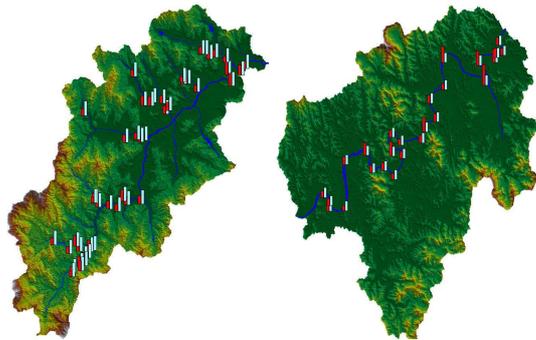
## 3. 실제 하천 적용

### 3.1 인자특성 분석

시범 대상유역으로 선정된 감천과 남강의 수치지도를 이용하여 만곡도와 곡률비를 산정하였으며, 대상 하천에 대한 하천정비기본계획서에서 제시된 여유고, 독마루폭, 형하고, 경간장, 구조물 인자에 대해 만족하지 못하는 지점을 선정하였다. 1차원 수리해석에서 범용으로 사용되는 HEC-RAS 모형을 대상구간에 대해 적용하여 얻은 수리학적 특성으로부터 단면축소, 수위상승고, 여유고, 소류력 인자 등을 산정하였다.

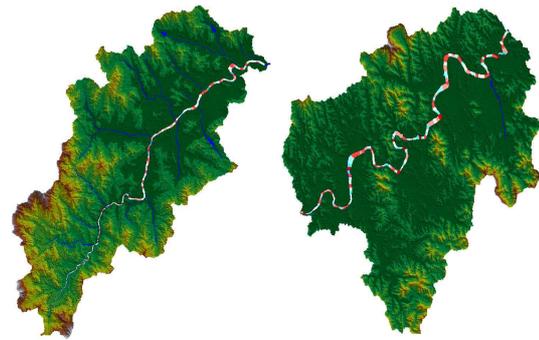
### 3.2 현장답사 분석

감천의 수치지도, 하천정비기본계획서나 수치모형 분석에서는 알 수 없는 하천의 현장특성을 살펴보기 위해 대상하천에 대한 현장 답사를 통하여 인자별 분석을 실시하였다.



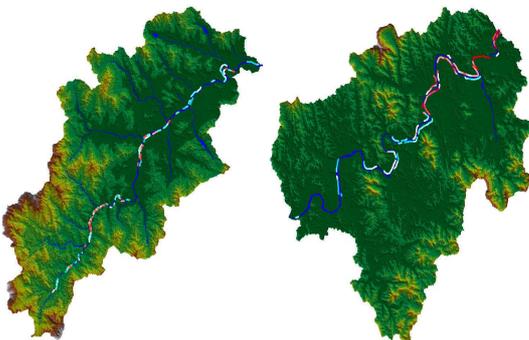
(a) 감천 (b) 남강

그림 2. 만곡도 & 곡률비



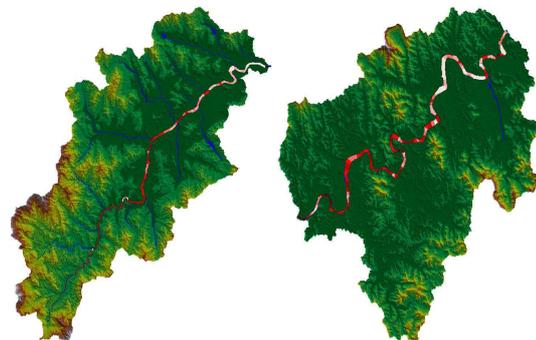
(a) 감천 (b) 남강

그림 3. 단면축소



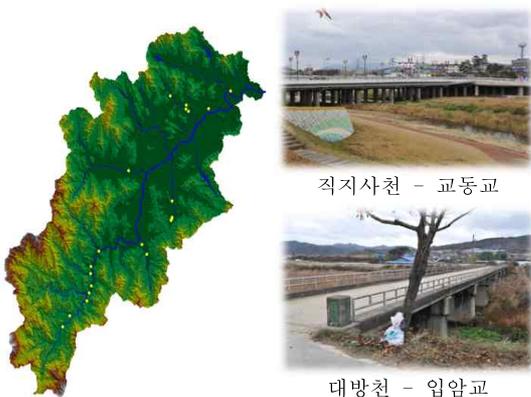
(a) 감천 (b) 남강

그림 4. 여유고



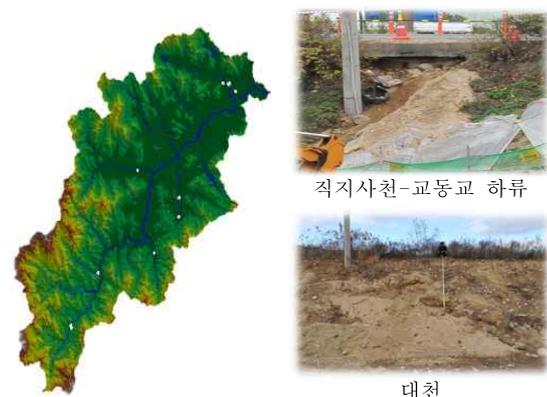
(a) 감천 (b) 남강

그림 5. 소류력



(a) 유역 내 위치도 (b) 현장답사 사진

그림 6. 경간장



(a) 유역 내 위치도 (b) 현장답사 사진

그림 7. 파이핑

### 3.3 시범하천 평가

본 연구에서 제시한 인자들에 대하여 인자별 가중치를 부여하여 감천과 남강에 대한 위험순위를 결정하

였다. 감천의 경우 본류의 국가하천과 지방하천, 지류와 같은 3가지 하천으로 분류하여 위험도를 결정하였으며, 남강의 경우 국가하천에 대해 위험도를 분석하여 순위를 결정 하였다.

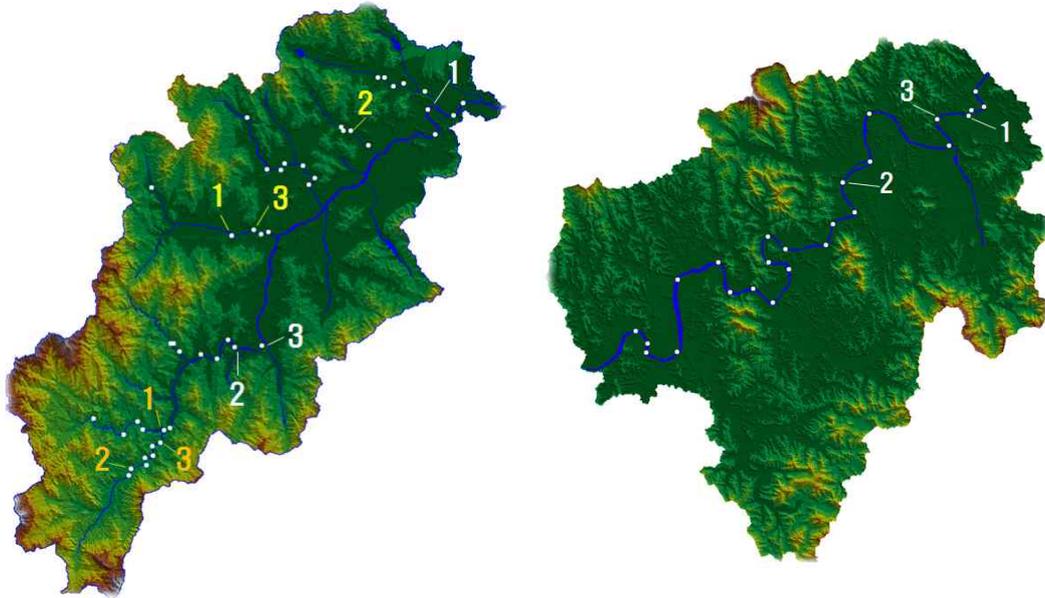


그림 8. 제방 위험도 산정 결과

#### 4. 결론

본 연구에서는 하천 제방의 위험도를 검토하기 위하여 일반적인 제방 붕괴의 원인으로 꼽히는 월류, 제체의 불안정, 세굴, 침하 등의 위험 요인들을 바탕으로 제방붕괴의 유형, 유형별 원인, 하천등급별 유형을 분석하여 크게 기하학적, 수리학적, 수공구조물, 정성적 인자와 같은 4가지로 분류하고 12가지의 세부인자를 선정하여 제시하였다. 제시된 인자들은 낙동강 감천의 국가하천, 지방하천 구간 그리고 지류에 대해 검토하였으며, 남강의 국가하천구간에 대해 분석하였다. 지형자료와 하천정비기본계획서 그리고 수치모형 분석결과를 이용하고 현장답사를 통해 인자별 기준치를 결정하여 대상구간에 대한 위험평가 순위를 산정하였다.

#### 감 사 의 글

본 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(NEMA-09-01, 제방붕괴에 따른 피해 및 경제적 손실에 축소형 개발)의 연구비 지원에 의해 수행되었기에 사의를 표합니다.

#### 참 고 문 헌

1. 국립방재연구소 (2003). 하천만곡부의 적정설계를 위한 유로특성 분석, 연구보고서 2003. 12.
2. 건설교통부 (2005). 하천설계기준
3. Hickin & Nanson (1975). "The character of channel Migration on the Beutton River, Northwest British Columbia." Geological Society of American Bulletin, No. 86. No. 4.
4. Ippen A.T. & Drinker P.A. (1962) Boundary Shear Stresses in Curved Trapezoidal Channels, ASCE, J. of Hydraulic Division, Vol. 88. No. 5. pp.288-301.
5. Hargerty (1991). "Piping / Sapping Erosion. I : Basic Considerations." J. of Hydraulic Eng. 117 (8)