

# 하천제방 안전도 평가기법의 적용성 검토 Application of Safety Evaluation in Levee

○ 윤 광 석 · 차 준 호 · 이 성 준 · 김 규 호 ○

## 1. 서론

제방 안전도 평가는 홍수특성과 토질조사를 통해 선정된 제방 대표단면에 대해서 수리영향인자에 의한 외력에 대해 제방 붕괴 가능성을 판단하여 평가 항목별 안전율을 만족하지 못할 경우 보강법을 결정, 소요의 안전율을 만족하도록 하기 위한 것이다. 따라서 평가방법은 명확하여 설계자로 하여금 평가의 일관성을 유지할 수 있도록 해야 한다. 국내 하천설계기준에서는 안전도 평가 항목으로 활동, 누수 및 침하를, 미국의 경우 하천 수위 상황에 따른 검토를 하도록 하고 있다. 일본의 경우 내력과 외력을 구분, 비교하여 제방 안전성을 평가하며 침투, 침식, 월류 그리고 구조물 접합부에 대한 안전도 평가를 수행하도록 하고 있다. 그러나 국내 하천설계기준의 활동, 누수 및 침하에 대한 안전도 평가는 항목의 제시만이 언급되어 있을 뿐 적용방법이 모호하여 실제 하천제방설계 시 안전도를 평가하는데 있어서 여러 기준들이 혼용되고 있고 더욱이 안전율의 적용 또한 일정한 기준이 없어 설계자에 따라 일관성이 유지되지 못하고 있다.

국내 하천제방의 안정조건은 월류와 세굴을 허용하지 않도록 하고 있으나 실제로 일본의 경우 파제의 75%가 월류에 의한 것이며(하천제방설계지침, 2000) 국내 제방붕괴 원인의 경우 월류가 39.7%, 세굴이 41%를 차지한다. 하천제방의 경우 계획홍수량 이하의 홍수위에 대해서는 월류를 허용하지 않도록 설계된다. 그러나 최근 하천환경의 불확실성이 증가되고 하도굴삭이 지연되거나 홍수조절시설이 미착수되는 등의 하도 및 제방정비가 진행 중인 하천에 있어서 하도 특성상 계획홍수량이하에서도 계획홍수위를 웃돌게 되고 경우에 따라서는 월류 구간이 존재하게 되어 월류 가능성을 배제시키는 것은 불가능하게 되었다. 이와 같은 구간에 대해서는 제내지 토지 이용 현황 등을 종합적으로 감안해 월류에 대해서도 일정한 안전성을 가지도록 정비할 필요가 있다. 본 연구에서는 국내 하천제방 안전도 평가기법의 개선을 위해서 먼저 국내의 하천제방 안전도 평가기법이 조사·비교되었다. 평가기법의 항목별 개선을 위해서 기존 제방 설계보고서를 토대로 항목별로 외국기법의 국내 적용성이 검토되었다.

## 2. 국내외 하천제방 안전도 평가항목의 비교

표 1은 국내외 하천제방 안전도 평가기법에 대해서 요약 비교한 것이다. 국내 특성상 하천제방의 설계 시에 홍수특성조사의 수리영향인자와 제방 법선 결정만이 수리기술자에 의해 이루어지고 있다. 특히 하천설계기준에서는 안전도 평가에 대해서는 단지 활동, 누수 그리고 침식에 대한 항목의 제시만이 있을 뿐 구체적인 평가방법은 정의되어 있지 않다. 설계 시에 적용되는 수리학적 안전도 평가항목은 침투해석만이 이루어지고 있으며 안전도 평가의 기본이 되는 기준 안전율의 경우 일정한 기준이 없이 설계자의 판단에 따라 외국의 여러 가지 기준이 혼용되고 있다. 이에 비해 일본의 하천제방설계지침은 국내 하천설계기준에서의 침투 뿐 아니라 침식, 월류, 구조물 접합부 등의 항목의 제시와 함께 구체적인 적용방법을 다루고 있다. 미국의 경우, 제방 활동과 침투에 대해 안전도를 평가하고 있는데, 최근 하천제방의 안전도평가가 하천설계기준에 상관없이 하천수위에 따라 검토되고 있는 상황을 감안할 때 세부적인 수위상황이 제시되어 있는 점을 제외하고 국내기준과 동일하다. 따라서 하천제방 안전도 평가기법의 적용성 검토는 일본의 하천제방설계지침의 적용성을

· 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원  
\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원  
\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 수석연구원

검토해 보기로 한다.

### 3. 하천제방 안전도 평가항목의 적용성 검토

하천제방의 안전도 검사는 외력에 대해 설계된 제방의 대표단면의 안전율을 계산하여 소요의 안전율과 비교하여 소요의 안전율을 만족하지 않을 경우 보강공법을 강구하게 된다. 따라서 안전도 평가에서 중요한 사항은 검토사항과 각 검토사항에 대한 안전율의 기준치 계산방법이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 국내에서 적용되고 있는 기준안전율은 설계보고서에 따라 기준 안전율이 다르게 적용되고 있어 일관성이 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 적용되고 있는 안전율과 일본의 하천제방설계지침에서의 기준안전율에 대해서 적용성이 검토되었다. 지진에 대한 적용성 검토는 제외되었다.

#### 3.1. 침투에 대한 안전도 평가

##### 3.1.1 활동에 대한 안전도

제방의 활동에 대한 안전성 검토 시 적용되는 사면안정해석법은 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 대한 토체의 안정을 해석하는 한계평형이론에 의해 안전율이 계산되어 기준안전율과 비교된다. 현재 국내 하천제방설계 시 이용되고 있는 기준안전율은 표 2와 같으며 표 3은 일본의 하천제방설계지침에서 이용되고 있는 기준안전율이다. 일본의 경우 제내지측과 제외지측 경사면을 나누어 활동에 대한 안전율을 나누어 계산하고 있다. 경사면을 나누어 계산하는 것은 국내의 경우 일정한 기준이 없기 때문에 설계서마다 차이를 보이고 있는 실정이며 표 2의 음영부분의 1.3이 현재 국내에서 가장 많이 적용되고 있는 기준안전율이다. 일본기준을 국내 하천제방에 적용해보면 수해복구공사 제방의 경우 피제이력과 축제이력이 복잡하기 때문에 할증계수를 적용한 기준안전율은 1.584로 국내기준보다 기준안전율이 높게 산정됨을 알 수 있다.

##### 3.1.2 파이핑에 대한 안전도

국내의 파이핑에 대한 안전성 검토는 먼저 침투해석이 이루어져 침윤선이 결정되어야 한다. 국내 하천설계기준(2002)의 경우 1) 한계동수 경사, 2) 한계유속, 3) 크리프비에 의한 판정에 의해 안전성 검토가 이루어지도록 규정하고 있다. 국내의 경우 침윤선 검토에 대한 일정기준이 없어 Mononobe 식이 가장 많이 이용되어 왔으며 최근 부정류 침투해석이 이루어지고 있다. 또한 파이핑에 대한 안전율 기준이 없어 외국의 제안치가 이용되고 있는 실정이다. 표 4는 국내에서 이용되고 있는 파이핑에 대한 기준안전율을 나타내고 있으며 음영부분은 주로 이용되는 기준안전율을 나타낸다. 표 5는 파이핑에 대한 일본 하천제방 설계지침의 기준안전율을 나타낸다.

#### 3.2 침식에 대한 안전도 평가

국내 하천제방설계에 있어서 침식에 대해 호안을 설치하고 있으나 확실한 설계기준은 없는 실정이다. 그러나 실제 설계에 있어서 식생호안 그리고 과도한 유속이 발생할 것으로 예상된 지역은 돌망태가 많이 사용되고 세굴 우려 구간에 대해서는 밀다짐공으로 콘크리트 블럭공, 사석공, 돌망태공 등이 이용되고 있다. 하천설계기준에서는 기초깊이에 대해 유속과 입경에 따른 홍수시 일시적 세굴깊이가 주어졌으며 밀다짐폭은 홍수시 단면평균유속에 따라 제시되어 있으나 본문에 급류 및 준급류 하천의 경우 4m이상, 완류 및 준완류 하천의 경우 4~12m로 되어 있어 기준이 모호하다. 실제로 설계시 4m가 많이 이용된다. 밀다짐폭이 결정되면 밀다짐공의 규모가 결정된다. 예를 들어 사석의 경우 사석규모가 결정된다. 일련의 설계과정을 거쳐 결정된 호안은 안전성 검사가 수행되지 않고 있다.

일본의 하천제방설계지침의 경우 안전성 검사를 침식에 대해서 보호공이 있는 경우와 없는 경우로 나누어 산정하도록 되어 있다. 대표유속을 결정하는 방법에 있어서 국내의 경우 수리영향검토의 단면평균유속을 이용하는 반면 만곡, 세굴, 흐름간섭 그리고 밀다짐공 등의 유무에 의해 보정하여 유속을 결정한다. 일본의

경우 비탈뒀기 보호공의 경우 파괴요인, 설치상태에 따라 세분하고 비탈뒀기공의 수중중량, 양력, 항력 등을 이용하여 안전성 조사를 행하도록 하고 있으나 기초공의 경우 역학적 안전성 및 부설폭을 조사하도록 하고 있다. 필요부설폭 다음 식에 의해서 산정된다.

$$B_c = L_n + \Delta Z / \sin \theta$$

윗 식에서  $B_c$ 는 필요부설폭,  $L_n$ 은 호안 전면의 평탄부,  $\Delta Z$ 은 세굴깊이,  $\theta$ 는 하상세굴구배이다. 하천설계기준에 대해 적용해보면 홍수시 일시적 세굴깊이  $\Delta Z$ 는 0.5~1.5m이고  $\theta$ 는 하상재료의 수중안식각이지만 안전을 생각하면 일반적으로 30° 정도로 알려져 있다.  $L_n$ 은 호안전면의 평탄부로 블록 1장 또는 2m정도 이상이므로 최소인 2m를 적용하면 필요부설폭은 최소  $B_c$ 는 3~5m정도임을 알 수 있다.

### 3.3 월류에 대한 안전도 평가

국내하천제방의 설계에서는 하천제방의 월류를 허용하지 않고 있으나 일본의 하천제방설계기준에 의하면 월류 위험성이 있는 제방을 난파제방이라 하여 월류에 대해서 일정한 안전도를 갖도록 하고 있다. 안전도 평가는 이러한 난파제방에 한하여 시행된다. 즉, 난파제방은 마루부와 제내지측 호안공이 되어있는 제방을 말한다. 안전도 평가를 위한 기본조사로는 다음과 같다.

- 1) 외력조사(월류수심)
- 2) 단위폭당월류량
- 3) 제내지측 사면 보호공의 안전도 평가: 차수시트의 안정성, 피복토의 안전성
- 4) 마루부 보호공의 안전도 평가: 월류에 대한 마루부 보호공, 차수시트의 전단력에 대한 견인내력
- 5) 사면 끝단의 밀다짐공: 월류에 대한 전도, 활동에 대한 안정

### 3.4 구조물 주변에 대한 안전도 평가

하천제방에 접해있는 배수구조물의 경우 국내 설계시에 용량에 대한 설계가 주를 이루고 안전도 평가는 없는 실정이며 차후 유지관리에 중점을 두고 있다. 그러나 구조물주변의 재료 이질감으로 인한 공동현상에 의한 제방붕괴 등을 고려할 때 구조물 주변의 안전도 평가는 매우 중요한 의미를 갖는다. 일본의 경우 제방 및 구조물의 제원, 피재이력, 외관, 함내상황, 연통시험과 전문가의 조언 등의 종합적인 방법을 제시하고 있다.

## 4. 결론

하천제방설계에 있어서 안전도 평가기법의 적용성을 전반적으로 살펴보았다. 하천제방설계 시에 적용될 수 있는 평가항목이 미비하여 실제 제방설계에 여러 기준이 혼용되고 있으며 평가방법의 부재로 인해 현재 설계자들은 설계자에 따라서 방법의 차이를 보이고 있다. 평가의 일관성을 유지할 수 있도록 지침 마련이 시급한 상황이다.

### 참고 문헌

강릉시, 2003, 군선천 수해복구공사 실시설계 보고서  
 건설교통부, 1999, 낙동강 봉산제 수해복구공사 보고서  
 충청북도, 2003, 추풍령천 추풍령제 수해복구공사 실시설계 보고서  
 한국도로공사, 1996, 도로설계실무편람  
 한국수자원학회, 1999, 하천공사표준시방서  
 한국수자원학회, 2002, 하천설계기준  
 한국지반공학학회, 1994, 지반공학시리즈 5-사면안정  
 U. S. Army Corps of Engineers, 1978, Design and Construction of Levees  
 建設省, 2000, 河川堤防設計指針  
 日本河川協會/建設省, 1997, 建設省河川砂防技術基準(案)同解説-設計編[ I ], 山海堂

표 1. 국내외 하천제방 안전도 평가

구분	한국(하천설계기준)	일본(하천제방설계지침)	미국(제방설계 및 시공)
평가 항목	· 활동 · 누수 · 침하	· 침투 · 침식 · 월류 · 지진 · 구조물 접합부	· 활동 · 침투
특징	· 평가항목별 평가방법 부재	· 항목별 구체적인 제시 · 관찰과 실험의 세부화	· 수위에 따른 구체적인 검토

표 2. 국내 활동에 대한 기준안전율

구분	문헌명	기준안전율	비고
건설교통부	하천시설기준	1.3	상시 및 홍수위시
	하천설계기준	2.0	연직붕괴고려(간극수압불고려)
		1.4	연직붕괴고려(간극수압고려)
		1.8	연직붕괴불고려(간극수압불고려)
		1.3	연직붕괴불고려(간극수압고려)
한국도로공사	도로설계실무편람	1.5	평상시(건기, 절토사면)
		1.2	강우시(우기, 절토사면)
한국지반공학회	지반공학시리즈	1.2	수위급강하시

표 3. 일본 활동에 대한 기준안전율

구분	문헌명	기준안전율	비고
건설성	하천제방 설계지침	$1.2 \times a_1 \times a_2$ $a_1 = 1.2$ (단순) $a_1 = 1.1$ (복잡) $a_1 = 1.0$ (신설제방) $a_2 = 1.1$ (주의필요) $a_2 = 1.0$ (주의불필요)	제내지층 사면 $a_1$ : 축제이력 가중계수 $a_2$ : 기초지반, 피재이력 가중계수
		1.0	제외지층 사면

표 4. 국내 파이핑에 대한 기준안전율

구분	문헌명	기준안전율
	기준안전율	
NAVFAC	Design Manual 7.1	2.0
Roy E. Hunt	Geotechnical Engineering Analysis And Evaluation	3.0
Braja M. Das	Advanced Soil Mechanics	4.0

표 5. 일본 파이핑에 대한 기준안전율

구분	문헌명	기준안전율	비고
건설성	하천제방 설계지침	$i < 0.5$ i: 제내지층 사면 끝단부근 기초지반의 국소동수 구배의 최대치	투수성 지반인 제내지에 피복토층이 없는 경우
		$G > W$ G: 피복토층의 중량 W: 피복토층의 기저면에 작용하는 양압력 (피복토층의 두께가 3m이상인 경우 우나 점성토 지반인 경우 불필요)	투수성 지반인 제내지에 피복토층이 있는 경우