

# 도시하천에서의 침투보강기법 적용성 분석: 단면확대기법

Investigative Study on Application of Seepage Control  
in an Urban River: Levee Enlargement

임동균\*, 김규호\*\*, 여홍구\*\*\*

Dongkyun Im, Kyu-Ho Kim, Hongkoo Yeo

## 요지

제방은 제내지에 거주하는 인간의 재산과 삶을 방어하고, 홍수를 제어하는 가장 기본적인 수공구조물이다. 제방파괴 원인은 월류, 활동, 침식, 그리고 침투 등으로 분류되어 질 수 있다. 특히 간극수압에 의해 발생하는 침투는 제방 내부침식(internal erosion) 및 파이핑(piping) 등을 야기함으로서 제방파괴를 유도한다. 침투에 의한 제방파괴는 월류나 침식에 의한 제방파괴 유형보다 상대적으로 적으나, 다른 제방파괴 원인을 더욱 활성화 시키는 인자로 작용한다. 도시하천의 경우 높은 치수안전도를 적용하여 제방을 축조함에 따라 월류에 의한 붕괴보다 강우와 하천수의 복합요인에 의한 침투파괴가 중요한 문제로 대두되고 있다. 본 연구에서는 침투와 활동에 대한 안전성을 확보할 수 있는 침투보강기법인 단면확대기법에 대한 적용성 및 유의사항을 수치모의를 통해 검토했다. 제방 비탈면 경사를 1:2 확대할 경우, 침투유속이 70 %정도 감소되는 것을 확인하였다. 그러나 단면확대기법은 홍수시 통수능과 제내지의 부지 확보 문제 등을 고려하여 적용하여야 하며, 도시하천에서 단면확대기법을 적용하는 데는 일정부분 한계를 가질 것으로 판단된다.

핵심용어 : 침투, 침투보강기법, 단면확대

## 1. 서론

제방은 제내지에 거주하는 인간의 재산과 삶을 방어하고, 홍수를 제어하는 가장 기본적인 수공구조물이다. 국지성 및 돌발 호우와 같은 기상여건과 도시화로 인하여 하천내 유출량 및 홍수위 지속시간은 급격히 증가하고 있다. 또한, 연질 또는 토수층(과거 하천 및 하천부지 등)을 수반하는 지반에 제방을 건설하여야 하는 경우가 발생하고 있다. 이러한 수리 및 지반조건의 악화는 제방 안정성을 저해하는 원인으로 작용하고 있다. 제방파괴 원인은 월류, 활동, 침식, 그리고 침투 등으로 분류되어 질 수 있다. 특히 간극수압에 의해 발생하는 침투는 제방 내부침식(internal erosion) 및 파이핑(piping) 등을 야기함으로서 제방파괴를 유도한다. 침투에 의한 제방파괴는 월류나 침식에 의한 제방파괴 유형보다 상대적으로 적으나, 다른 제방파괴 원인을 더욱 활성화 시키는 인자로 작용한다. 도시하천의 경우 높은 치수안전도를 적용하여 제방을 축조함에 따라 월류에 의한 붕괴보다 강우와 하천수의 복합요인에 의한 침투파괴가 중요한 문제로 대두되고 있다. 최근에 발생한 양평교 부근의 안양천 제방붕괴의 경우는 계획홍수량 및 홍수위를 하회하였으나, 침투에 대한 대

\* 한국건설기술연구원 연구원 031-910-0516(E-mail : himdk@kict.re.kr)

\*\* 한국건설기술연구원 수자원연구부장 031-910-0257(E-mail : khkim1@kict.re.kr)

\*\*\* 한국건설기술연구원 선임연구원 031-910-0549(E-mail : yeo917@kict.re.kr)

책을 수립하지 않아 재방파괴가 발생한 것으로 파악 된다. 본 연구에서는 침투와 활동에 대한 안전성을 확보할 수 있는 침투보강기법인 단면확대기법에 대한 적용성 및 유의사항을 수치모의를 통해 검토하였다.

## 2. 단면확대기법

단면확대기법은 기존 제방단면 형상에 제외지 또는 제내지측에 보강 성토를 실시하여 침투길이 연장을 도모하고, 평균 동수경사를 저감시키는 것과 함께 비탈면 경사를 완만하게 유지하여 활동파괴에 대한 안전성을 향상시키는 기법이다. 단면형상은 기본적으로 그림 1에 나타낸 바와 같이 (a) 제외지측 보강, (b) 제내지측 보강, 그리고 (c) 제내·외지측 보강 유형으로 나눌 수 있다. 그림 1(a)에 제시되어 있는 제외지측 보강 유형은 새로운 하천부지를 필요로 하지 않고 하천구역 내에서 적용가능하나, 홍수소통을 저해할 수 있으므로 수리계산을 통해 통수능에 영향을 주지 않는 범위에서 시행하도록 한다. 그림 1(b)의 제내지 보강 유형은 제외지측 보강 유형과 반대로 통수능에 영향을 주지 않지만, 제내지측에 새로운 하천부지 확보를 필요로 한다. 그림 1(c)의 제내·외지측 보강 유형은 전술한 두가지 유형을 병용한 것으로 통수능 저하와 용지확보라는 두가지 문제점을 보완하여 적용하는 것이다.

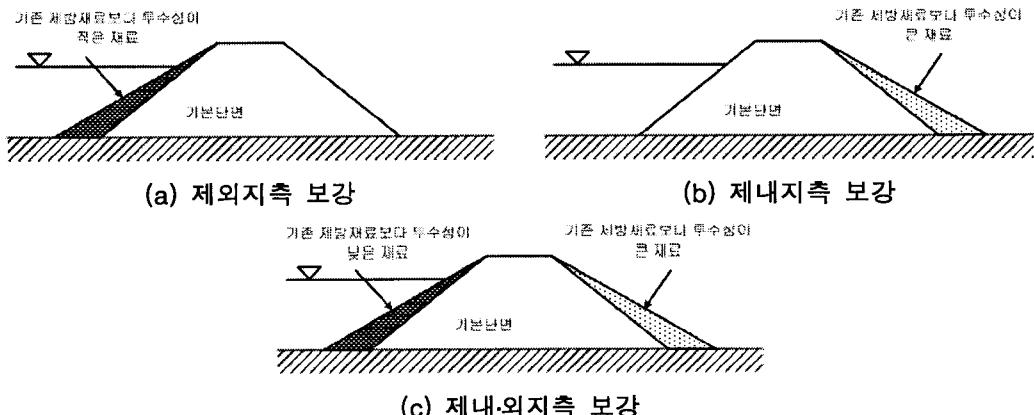


그림 1. 단면확대기법 구조

## 3. 효과 분석

수치모의를 통해 단면확대기법이 가지는 침투 안전성 증대 효과를 검토해 보았다. 모의 대상 제방은 중규모 제방으로 제내지 고수부지로부터 5 m 높이를 가지도록 설정하였으며, 모의 제방의 단면형상은 그림 2에 제시하였다. 그림 2의 왼쪽 단면은 침투 보강기법을 적용하기 전의 단면이며, 오른쪽 단면은 단면 확대기법을 적용했을 때의 단면이다. 수치모의에 기준 제방, 제외지측, 제내지측에 적용한 포화투수계수는 각각  $2.15 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$ ,  $3.0 \times 10^{-8} \text{ m/sec}$ , 그리고  $1.0 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$  이다. 침투 안전성 평가를 위해서는 포화투수계수 뿐만 아니라, 간근수압에 따른 투수계수, 체적함수비 등 각 토질재료의 정확한 물성치가 필요하다. 본 연구에 적용한 물성치는 도시홍수재해관리기술연구사업단 (2006)에 제시하였다. 또한 침투 안전성 평가를 위해서는 외

력조건이 설정되어야 하며, 일반적으로 침투해석에 있어 외력은 강우파형과 수위파형이다. 본 연구에서는 강우조건은 없는 것으로 가정하였으며, 평수위 0.5 m가 지속한 후 그림 3에 제시한 수위파형이 발생하는 것으로 설정하였다.

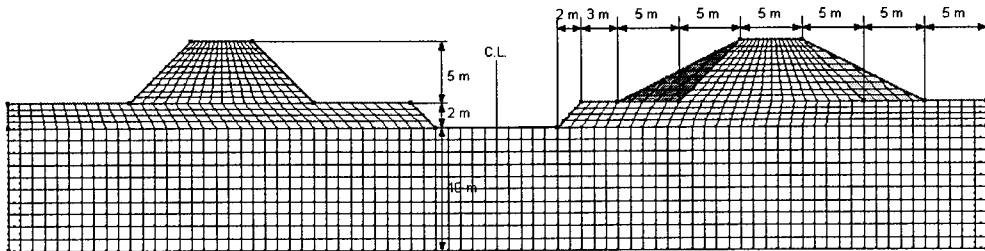


그림 2. 단면확대기법 적용 단면

그림 4는 시간에 따른 침윤면 변화를 도시한 것이다. 단면확대를 통해서 침윤면이 낮아진 것을 확인할 수 있으며, 이러한 침윤면의 하강은 침투에 대한 제방 안전성이 증대된 것을 나타낸다. 그림 5는 제방 안전성이 가장 취약한 모의시간( $t = 100$  hour)에서의 단면확대기법 적용 전후의 침투해석 결과이다. 단면확대기법을 적용하지 않은 단면의 침윤선이 단면확대기법 적용 단면의 침윤선 보다 높은 것을 알 수 있으며, 등수두선 역시 왼쪽 단면이 높이 형성된 것을 확인할 수 있다. 또한 제내지 비탈끝 부근의 침투유속 역시 단면확대기법을 적용하지 않은 단면에서 대략 3배 정도 큰 값을 나타내고 있다.

그림 6은 각 단면의 제내지 비탈끝 부근의 동수경사와 침투유속을 시간에 따라 도시한 것이다. 각 단면의 최대 동수경사는 0.63과 0.23으로 산정되었으며, 최대 침투유속은  $2.1 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$ 과  $4.8 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$ 로 산정되었다. 하천설계기준(한국수자원학회, 2005)에 의하면, “침투 해석에 의하여 산출한 동수경사는 한계동수경사의 1/2이하, 침투유속은 각 입경에 대한 한계 유속의 1/100 이하가 되어야 한다.”라고 되어 있으며, 일반적으로 점착력이 없는 세립자의 한계 동수경사는 0.5~0.8로 설정하며, 가장 세립자의 경우 한계유속을  $2.0 \times 10^{-2} \text{ m/sec}$ 로 규정하고 있다. 따라서 침투 보강기법을 적용하지 않은 단면은 동수경사측면의 침투 안전성을 확보하지 못하고 있다. 따라서 적절한 침투 보강기법을 적용하여야 하며, 본 모의조건에서 적용한 단면확대기법을 적용하면 침투 안전성을 확보하게 된다.

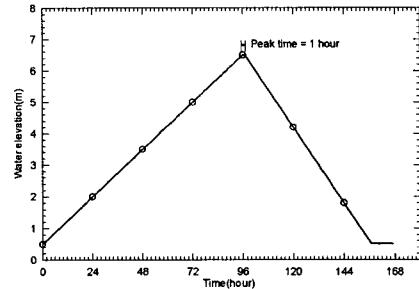


그림 3. 적용한 수위파형



그림 4. 시간에 따른 침윤면 변화(단면확대기법)

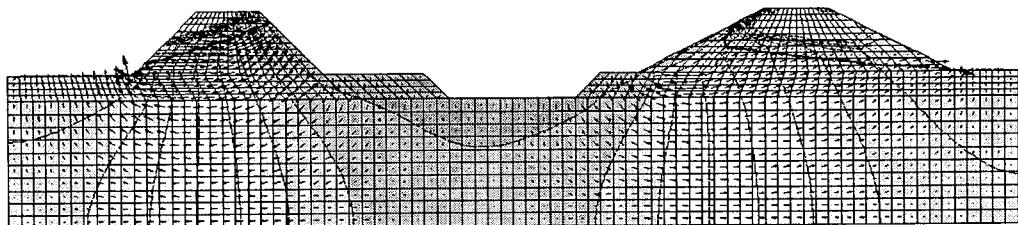


그림 5. 단면확대기법 적용 전후의 침투 해석 결과( $t=100\text{hour}$ )

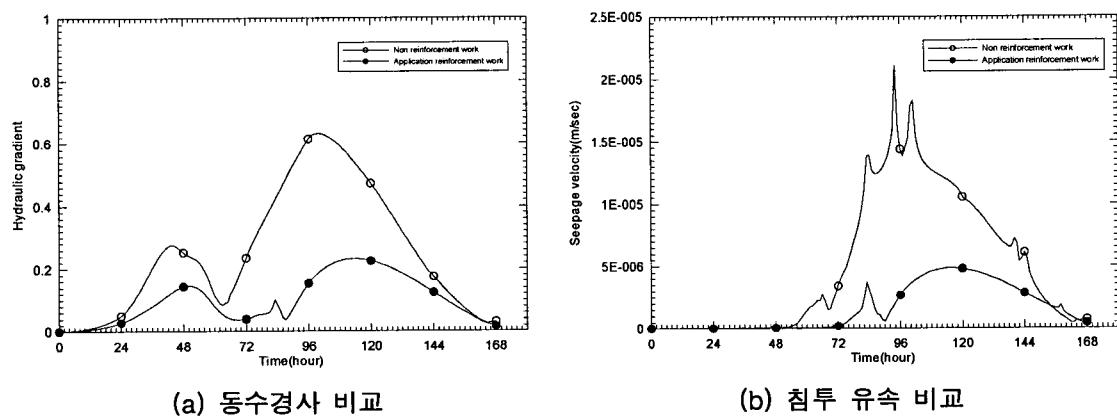


그림 6. 침투 안전성 검토

유사한 국외 연구로 일본 국토기술연구센터(2004)의 단면확대기법 적용에 따른 제방 안전도 향상 연구를 정리하면, 그림 7과 같다. 일본의 경우 단면확대 폭(경사가 완만할 수록 단면폭 확대)에 따른 제방 비탈면의 안전율을 제시하였다. 이러한 접근 방법은 침투에 대한 직접적 파괴 양상인 파이PING 및 누수를 검증하지 않고 침투에 의한 포화 및 간극수압에 따른 활동 안전도를 검토한 것으로, 단면확대에 따른 침투 안전성을 간접적으로 확인할 수 있는 방법이다. 그림에서 비탈면 경사가 증가할수록 비탈면 안전성이 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 즉, 단면확대기법은 침투에 대한 안전성 확보뿐만 아니라, 활동에 대한 안전성까지 확보할 수 있는 가장 기본이 되는 침투 보강기법으로 판단된다. 그러나 단면확대기법은 홍수시 통수능과 제내지의 부지 확보 문제 등을 고려하여 적용하여야 하며, 도시하천에서 단면확대기법을 적용하는 데는 일정부분 한계를 가질 것으로 판단된다.

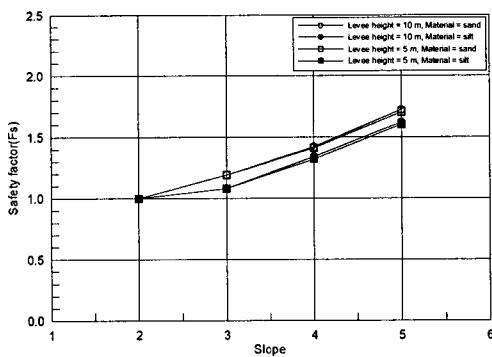


그림 7. 단면확대에 따른 안전도 검토

#### 4. 결 론

제방파괴 원인은 월류, 활동, 침식, 그리고 침투 등으로 분류되어 질 수 있다. 특히 간극수압에 의해 발생하는 침투는 제방 내부침식(internal erosion) 및 파이핑(piping) 등을 야기함으로서 제방 파괴를 유도한다. 특히, 도시하천의 경우 높은 치수안전도를 적용하여 제방을 축조함에 따라 월류에 의한 붕괴보다 강우와 하천수의 복합요인에 의한 침투파괴가 중요한 문제로 대두되고 있다.

본 연구에서는 침투와 활동에 대한 안전성을 확보할 수 있는 침투보강기법인 단면확대기법에 대한 적용성 및 유의사항을 수치모의를 통해 검토하였다. 제방 비탈면 경사를 1:2 확대할 경우, 침투유속이 70 %정도 감소되는 것을 확인하였다. 침투에 대한 제방 안정성을 평가하는 기준인 동수경사를 살펴보면, 단면확대기법을 적용하지 않은 수치모의 조건의 경우에는 하천설계기준에서 제시한 제방 안정성을 확보하지 못하였으나, 단면확대를 적용한 모의조건에서는 침투에 대한 제방 안정성을 확보한 것으로 나타났다. 또한 비탈면 경사 비(비탈면 경사가 완만할 수록 단면확대 폭 증가)에 따른 제방 비탈면 안전율 검토결과 비탈면 경사 비가 증가함에 따라 제방 안전성이 선형적으로 증가하는 것을 확인하였다. 그러나 단면확대기법은 홍수시 통수능과 제내지의 부지 확보 문제 등을 고려하여 적용하여야 하며, 도시하천에서 단면확대기법을 적용하는 데는 일정부분 한계를 가질 것으로 판단된다.

#### 감 사 의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2004년도 건설핵심기술연구개발사업 (03산학연C03-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

#### 참 고 문 헌

1. 도시홍수재해관리기술연구사업단 (2006). 제방 침투 보강기법 분석.
2. 한국수자원학회 (2005). 하천설계기준.
3. 국토기술연구센터 (2004), 중소하천에서의 제방점검 및 대책안내서.