

# 일본의 배수공을 이용한 제방의 침투조절 기술



**강 태 욱** |  
부경대학교 토목공학과 박사 후 과정  
ktw62@hanmail.net



**류 권 규** |  
동덕대학교 토목공학과 교수  
pururumi@deu.ac.kr



**이 상 호** |  
부경대학교 토목공학과 교수  
peterlee@pknu.ac.kr



**이 남 주** |  
경성대학교 토목공학과 교수  
njlee@ks.ac.kr

## 1. 머리말

하천 제방은 유수를 원활하게 소통시키고 제내지를 보호하기 위하여 하천을 따라 흙으로 축조한 공작물이다(한국수자원학회, 2009). 하천 제방은 국

민의 재산과 생명의 보호를 목적으로 건설되므로 충분히 안전해야 하지만, 붕괴로 인한 피해는 빈번하게 발생하고 있다.

하천 제방의 주요 붕괴 유형은 크게 네 가지로 구분되는데, 이는 월류, 침투, 침식, 배수구조물 주위의 공동 현상이다. 본 고에서는 이 가운데 침투에 의한 제방 붕괴 방지 기술의 하나를 소개하고 있다. 제방의 침투는 크게 제체의 침투와 기초 지반의 침투로 구분된다. 한국수자원학회(2009)는 제체의 침투 방지 기술로서 단면 확대, 불투수 재료를 이용한 제내지 사면의 피복을 제시하고 있고, 기초 지반의 침투 방지 기술로서 차수벽 설치와 고수부 피복에 대하여 기술하고 있다. 하지만 이러한 단면 확대, 피복 공법, 차수벽 설치 등은 시공이 어려울 뿐만 아니라 많은 공사비용이 소요된다.

미국, 일본, 네덜란드, 독일 등에서는 배수공을 제방의 침투조절에 활용하고 있다. 배수공을 이용한 침투조절 방법은 미국의 경우, U.S. Army Corps of Engineers(2000)에서 기술하고 있고, 일본에서는 국토개발기술연구센터의 문헌(國土開發技術研究センター, 1998)을 통해 관련 정보를 확인할 수 있다. 문헌으로만 확인된 배수공을 이용한 제방의 침투조절 방법에 대하여 구체적인 설계 기술과 실제 시공 사례를 파악하기 위해 일본을 직접 방문하였다. 본 고는 2012년 10월 31일부터 11월 3일까지 일본의 국토개발기술연구센터의 방문과 진

행 중인 제방 공사현장의 답사를 통해 습득한 일본의 배수공을 이용한 제방의 침투조절 방법에 관한 내용을 기술하고 있다.

## 2. 배수공의 설계 방법

### 2.1 배수공을 이용한 제방의 침투조절 방법과 효과

일반적으로 홍수 시 하천의 수위가 장기간 고(高)수위를 유지할 때, 하천수는 제방의 제체와 기초지반을 통과하여 침윤선(seepage line)을 형성한다. 그리고 침투된 하천수는 제내지층 사면에 포화 표면(saturated surface)을 형성하고, 이러한 침투가 장기간 지속될 경우 제방은 붕괴된다.

배수공을 이용한 제방의 침투조절 방법은 제방 내부의 침투수를 신속하게 배수시켜 제방의 안전성을 확보하는데 목적이 있다. 그림 1은 배수공을 이용한 제방의 침투조절에 관한 모식도를 나타낸다. 배수공은 제내지층 비탈면 끝에 쇠석 등 투수성이 큰 배수 재료를 이용하여 설치되고, 배수된 물은 제각수로(堤脚水路)를 통해 흘러간다. 그리고 배수공은 제방을 구성하는 토립자에 의해 폐쇄되지 않도록 필터재료를 제체의 재료와 분리된다.

국토개발기술연구센터의 나카야마 오사무 부국장은 이러한 배수공의 효과를 침윤선의 강하 이외에도 두 가지를 더 제시하였다. 첫 번째로 제체 내부의 침윤선을 강하시킴에 따라 포화도 상승에 의한 제체의 강도 저하 문제를 개선할 수 있다. 두 번

째는 사면 비탈끝 부분에 배수공을 설치함에 따라 해당 부분의 강도를 증가시키는 것이다.

### 2.2 배수공의 설계

일본의 토목연구소(Public Works Research Institute: PWRI)에서는 실험을 통해 제체의 침윤선에 대한 평균 동수경사(H/D)가 0.3 이하일 때 관공을 일으키지 않는 것으로 제시하였다(그림 2). 이에 따라 國土開發技術研究センター(1998)은 배수공의 폭을 해당 기준이 만족되도록 설치되어야 함을 기술하였고, 이는 배수공의 최대 폭에 대한 기준이 된다. 그리고 배수공의 최소 폭 기준으로서, 배수공의 폭이 제방 부지폭(B)의 1/10 이상 되도록 설치되도록 제시하였다. 배수공의 높이는 이론적으로는 배수량과 배수부의 투수성에 따라 결정되지만, 일반적으로 시공의 확실성이나 설치 후의 변형 및 침하에 의한 기능의 저하를 고려하여, 0.5 m 이상의 높이가 요구된다.

국토개발기술연구센터의 나카야마 오사무 부국장은 일반적으로 일본에서는 배수공의 설계를 수리 실험을 통해 결정하고, 2배의 안전성을 확보할 수 있도록 계획하는 것으로 설명하였다(그림 3의 (a)). 실험은 실물대(實物大) 실험으로 진행되고, 다양한 실험 경험이 풍부한 토목연구소에서 주로 수행된다. 그리고 배수공의 투수계수(필터부 포함)는 제체의 투수계수보다 약 100배 코도록 계획하는 것이 적절한 것으로 제시하였고, 배수공의 필터 재료로서 그림 3의 (b)와 같은 부직포가 사용되고 있음을 설명하였다. 한편, 배수공을 통해 배수된 물은 제각

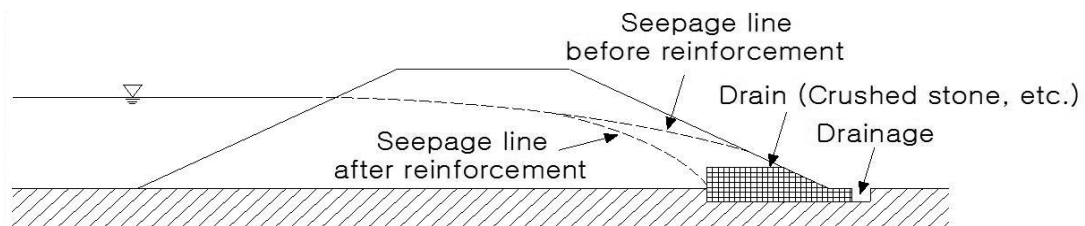


그림 1. 배수공을 이용한 제방의 침투조절

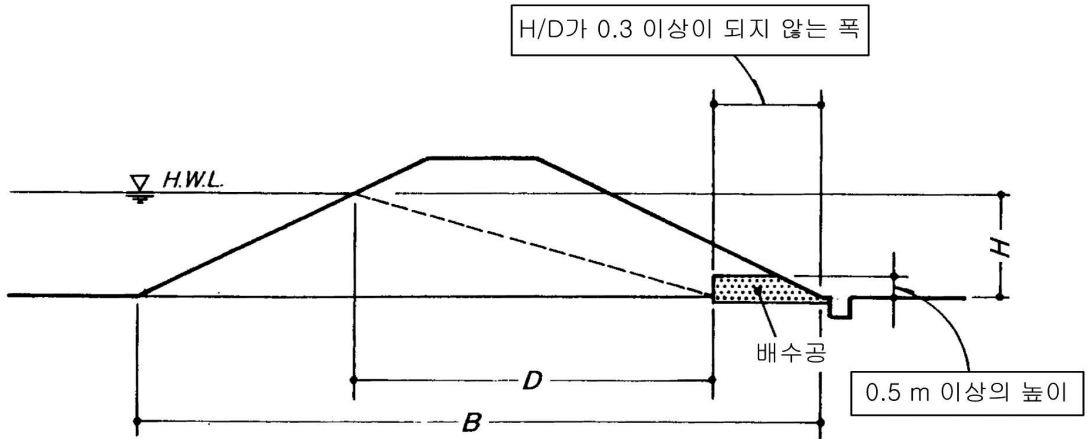
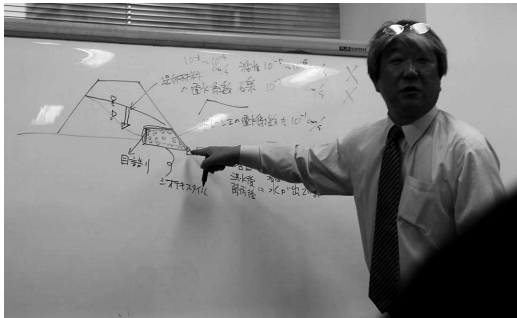


그림 2. 평균 동수경사를 고려한 배수공의 설계



(a) 배수공의 설계에 관한 설명



(b) 배수공의 필터 재료

그림 3. 국토개발기술연구센터의 방문

수로를 통해 자연 배수되도록 설계하고 있었다.

### 2.3 배수공의 모니터링

배수공은 필터의 막힘 또는 필터의 손상에 의해 폐색이 우려된다. 이에 따라 국토개발기술연구센터에서도 오래된 배수공은 문제가 발생할 수 있을 것으로 예상하였다. 하지만 1995년에 처음 배수공이 시공된 이후 현재까지 배수공의 기능이 저하된 경우나 문제가 발생한 경우는 없었다고 한다.

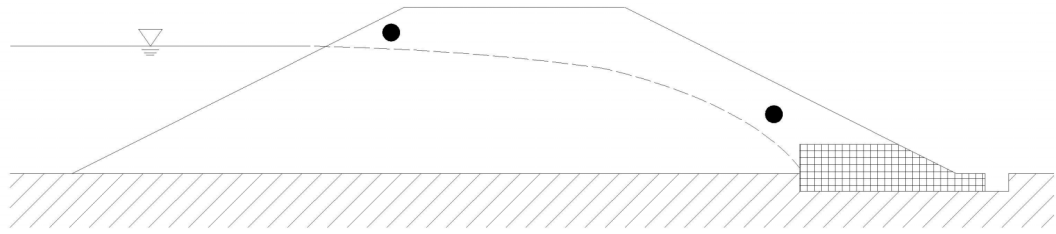
일본에서는 기 설치된 배수공에 대하여 별도의 유지관리를 수행하고 있지는 않았다. 다만, 모니터링 결과를 반영하여 문제가 생긴 배수공을 전면 교체하는 것으로 계획하고 있음을 언급하였다. 배수공

을 이용한 제방의 침투조절에 관한 모니터링은 수위계를 이용한다(그림 4). 수위계는 제외지측 사면과 제내지측 사면에 각각 설치하여 침윤선의 변화를 확인할 수 있도록 설치된다. 즉, 수위계를 통해 홍수 시 침윤선의 변화를 검토하여 배수공에 의한 침투조절이 적절히 수행되는지를 확인하는 것이다.

## 3. 배수공의 시공 현장

### 3.1 배수공의 시공 절차

그림 5는 일본의 지바 현 마쓰도 시 몬토신덴(主水新田)에 위치한 제방에 배수공을 설치하는 과정



Seepage line

● Stage gauge

그림 4. 배수공을 이용한 제방 침투조절의 모니터링

을 나타낸 그림이다. 해당 자료는 국토개발기술연구센터에서 수집되었다.

배수공을 설치하기 위해서 우선 제내지의 배수공

설치 부지를 확보하고, 제각수로를 설치한다. 그리고 바닥 부직포를 설치한 후 배수공 재료를 포설하는데, 배수공 설치 가장자리에는 철망태를 이용하



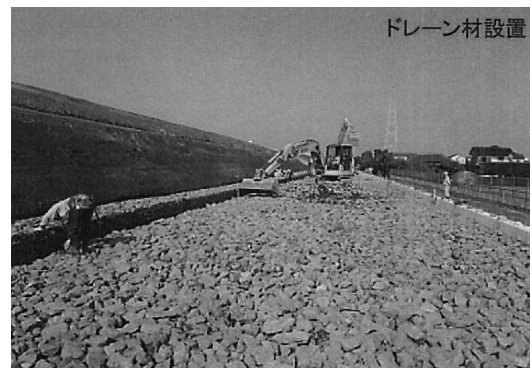
(a) 제내지측 사면의 절개와 제각수로의 설치



(b) 배수공 바닥의 부직포 포설

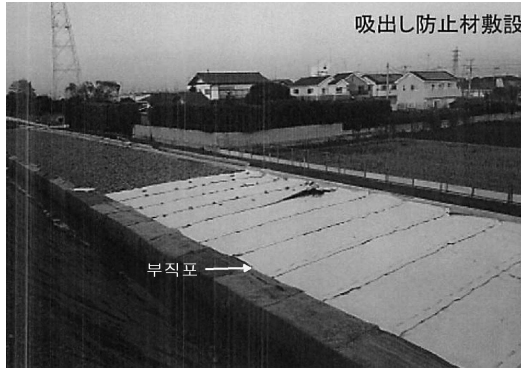


(c) 철망태를 이용한 배수공 재료의 고정



(d) 배수공 재료의 포설

그림 5. 배수공의 시공 과정



(e) 배수공 상단의 부직포 포설



(f) 제체 재료의 성토

그림 5. 배수공의 시공 과정(계속)

여 고정한다. 배수공을 설치한 이후에는 배수공을 다시 부직포로 덮어 배수공 내로 제체의 재료가 유입되지 않도록 하고, 최종적으로 성토하여 제방을 형성한다.

### 3.2 배수공의 실제 시공 사례 답사

국토개발기술연구센터의 소개로 국토교통성 관

동지방정비국 에도가와(江戸川) 하천사무소에서 현재 진행 중인 제방 공사 현장을 방문하였다. 에도가와 제방 공사는 수도권범람구역 제방강화대책(首都圏氾濫區域 堤防強化対策)의 일환으로 수행되고 있다. 에도가와는 도네가와(利根川)에서 갈라져 형성되어 동경만을 흐르는 하천으로서 동경도(東京都)의 동쪽에 위치한다(그림 6). 그리고 에도가와는 과거 제방이 붕괴되어 큰 홍수피해를 야기한 이력이



그림 6. 에도가와의 위치도

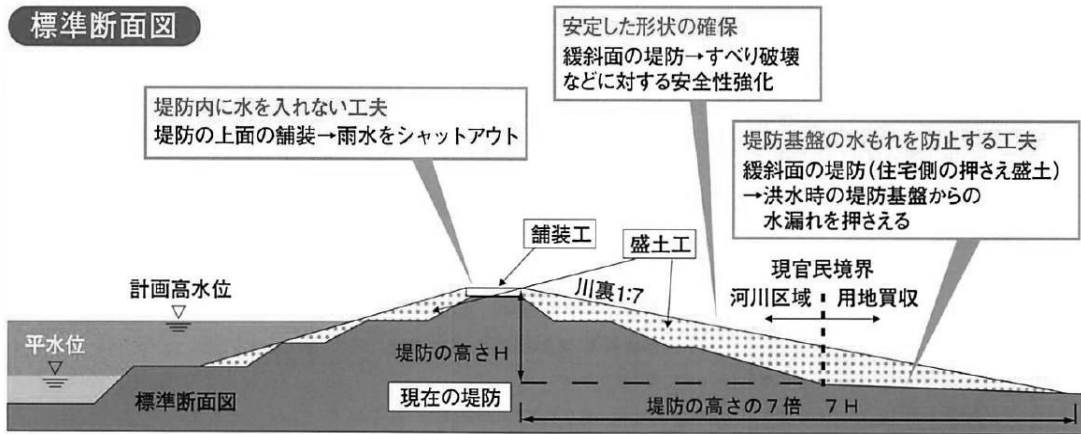


그림 7. 제내지측 사면경사가 1:7로 설계된 에도가와의 제방

있는 하천이다.

에도가와는 하상고가 제내지의 지반고보다 높은 천정천(天井川)으로서 에도가와에 위치한 제방은 침투에 취약할 수밖에 없는 구조를 가지고 있다. 이에 따라 에도가와에서는 부지 확보가 용이한 하천 구역에서는 제방의 사면경사를 1:7로 매우 완만하게 설치하여 시공하고 있고(그림 7), 부지 확보가 어려운 곳에서는 배수공을 적극 활용하고 있다. 실제로 해당 현장에 대하여 설명을 하여준 계획 과장(오부치 고쇼)에 의하면, 일본에서는 제방의 침투조절에 단면 확대, 차수벽 설치, 배수공 설치가 활용되고 있고(그림 8의 (a)), 이 가운데 배수공의 설치가 가장 경제적인 방법인 것으로 설명하였다. 또한,

국토개발기술연구센터의 나카야마 오사무 부국장은 차수벽의 경우 부식의 가능성과 지진 발생 시 제방 본체와 차수벽의 거동이 상이하어 제방의 안전을 위협할 수 있음을 언급하였다.

현재 에도가와 하천공사 현장에는 이미 배수공이 설치된 상태였기 때문에 제방 외부에 설치된 제각수로만을 확인할 수 있었다(그림 8의 (b)). 이색적인 모습은 제방과 바로 인접한 지역에 가옥과 경작지가 위치하고 있는 것이다. 따라서 해당 지역에서는 하천 부지 매입의 어려움으로 배수공을 설치하여 제방의 안전성을 확보하고자 한 것으로 판단되었다. 그림 8의 (c)는 제각수로 내부를 촬영한 것인데, 배수공에서 제각수로로 배수공 재료가 유실되



(a) 에도가와 하천공사 현장에 대한 설명



(b) 기 설치된 제각수로

그림 8. 에도가와 하천공사 현장



(c) 제각수로 내의 필터



(d) 제각수로와 농업용 배수로

그림 8. 에도가와 하천공사 현장(계속)

지 않도록 필터재료가 설치된 것을 확인할 수 있다. 그림 8의 (d)는 배수공을 통해 배수된 물이 제각수로로 흐르고, 제각수로 내의 물은 도로 옆 농수로로 통해 배수되는 구조를 가진 배수체계를 보여주는 사진이다.

#### 4. 맺음말

본 고에서는 우리나라에서 활용되지 않고 있는 배수공을 이용한 제방의 침투조절 방법에 대하여 國土開發技術研究センター(1998)과 일본 방문을 통해 수집한 자료 및 정보를 이용하여 기술하였다. 배수공을 이용한 침투조절 방법은 제방의 단면 확대, 차수벽 설치, 피복 방법 등에 비해 경제적이고 시공이 간단하므로 일본에서는 많은 제방 공사에 활용되고 있는 것으로 확인되었다.

우리나라에서는 제방의 침투를 억제하기 위해 제

방 재료에 대하여 다소 엄격한 기준을 제시하고 있고, 제방의 사면 경사도 1:3으로 상향 조정하여 개정되었다(한국수자원학회, 2009). 하지만 실제의 제방 재료는 많은 경우에 하상토를 활용하고 있어 해당 기준을 만족하기 어렵고, 기설 제방의 경우 사면 경사가 1:2로 시공된 경우가 대부분이다. 따라서 비교적 경제적이고 시공이 용이한 배수공을 이용한 침투 조절 방법은 기설 제방의 보강과 신규 제방 건설에 기술적 대안으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본고는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. ☺

#### 참고문헌

1. 한국수자원학회 (2009). 하천설계기준·해설.
2. U.S. Army Corps of Engineers (2000). *Design and Construction of Levees*. CECW-EG, EM 1110-2-1913.
3. 國土開發技術研究センター (1998). *ドレイン工設計マニュアル*.