

CFRD 표면차수벽의 손상 사례와 대책



조 성 은
한국수자원공사 K-water연구원
댐안전연구소 선임연구원
(drsecho@hanamil.net)



신 동 훈
한국수자원공사 K-water연구원
댐안전연구소 수석연구원
(uwshin@yahoo.com)



박 한 규
한국수자원공사 K-water연구원
댐안전연구소 연구위원
(hgpark@kowaco.or.kr)

1. 서론

콘크리트 표면차수벽형 석괴댐 (Concrete Faced Rockfill Dam, 이하 CFRD)은 콘크리트 차수벽 및 차수벽 지지층의 차수효과로 인해 댐체 내부에 간극수압이 발생하지 않아 시공이 용이하며, 지진 시에도 매우 안정한 댐 형식으로 알려져 있다. CFRD 단면의 거의 전체를 이루고 있는 락필재료 (rockfill material)의 기본적인 필요조건은 수하중이 작용할 때 체체의 침하와 완공 후 장기간의 크리프 효과가 차수벽과 지수판에 손상을 주어서는 안된다는 점에 있다. 락필은 자유 배수가 가능해야 하며, 시공 중 포설 공정에 지장을 주는 간극수압의 축적을 방지해야 하고 차수벽을 통한 누수 발생 시 댐 하류부 표면이 포화되어서는 안된다. 그러나 상시 또는 지진 시 댐체의 변형거동에 의하여 차수벽 이음부가 벌어지거나 균열이 발생하여 누수가 발생할 때 차수벽 지지층을 포함한 락필 부분에서 적절한 배수 또는 침투수의 조절이 이루어지지 않을 경우에는 누수량이 과다하게 발생하여 댐체의 안정에 심각한 문

제가 발생할 수 있다. 특히, 축조재료로 빈입도의 하상 사력재료를 사용하는 경우 배수영역의 설치는 댐체의 안전에 매우 크게 영향을 미칠 수 있다.

CFRD 축조 기술은 세계적으로 널리 활용되어 왔으며 특히 1980년대와 1990년대에 널리 활용되어 높이 140m 이상의 높은 댐들에 많이 적용되었다. 이들 예로는 Foz do Areia (브라질, 160m), Xingó (브라질, 145m), Aguamilpa (멕시코, 187m), Segredo (브라질, 145m) 댐 등이 있다. 이러한 경향은 이후에도 지속되어 TSQ-1 (중국, 178m), Sanbanxi (중국, 186m), Hongjiadu (중국, 192m), Barra Grande (브라질, 185m), El Cajón (멕시코, 188m), Kárahnjúkar (아이슬란드, 190m), Bakun (말레이시아, 205m), Campos Novos (브라질, 202m), Shuibuya (중국, 233m, 현존하는 최고 높이의 CFRD) 댐 등이 축조되었다. 우리나라에서도 마찬가지로 근래에 CFRD 형식의 댐이 유행하고 있어 대형댐의 대부분이 CFRD형식으로 축조되고 있는 상황이다. 그러나 90년대 들어 몇몇 CFRD에서 차수벽 균열이 발생되었다 (Xingó

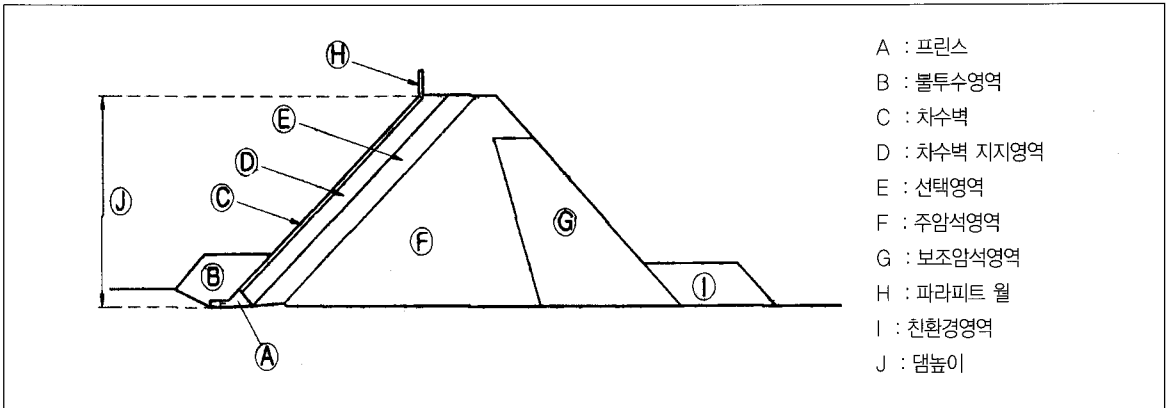


그림 1. CFRD의 대표적 단면 구성

댐, Aguamilpa 댐, Itá 댐, Itapebi 댐; 브라질), Itapebi 댐과 Ita 댐에서는 누수량이 1000에서 1800 l/s에 달하였으나 차수벽에 대한 보강 조치 후에 누수량이 200 l/s 이하로 떨어졌다. 최근에도 예상치 못했던 차수벽의 손상이 TSQ-1 댐 (2003, 2004년, 중국)에서 운영 중에 발생하였고, 2005년에 Campos Novos 댐과 Barra Grande 댐 (브라질)에서, 2006년에는 Mohale 댐 (레소토)에서 초기 담수시에 발생하였다. 본 기사에서는 CFRD의 단면설계에 대하여 살펴보고 축조 및 운영 중 발생하는 표면차수벽의 손상 사례와 더불어 원인과 대책에 대하여 살펴보고자 한다.

2. CFRD 댐체 단면의 구분

CFRD의 설계는 확고한 이론에 근거하기 보다는 기 시공된 사례를 분석하여 설계 시 반영하여야 할 최소한의 내용을 규정하는 것으로 경험논리에 의해 발전되어 왔다. 현장에 따라 기초처리의 적용방안, 활용 가능한 재료, 그리고 각각의 설계 요소에 대한 다양한 조건이 고려되어야 하기 때문에 설계표준이 존재하지는 않는다. 그러나 기존의 경험으로부터 CFRD는 기반암상에 양호한 락필 조건일 때 전형적으로 쓰이는 단면이 그림 1과 같이 어느 정도 정해질 수 있다.

이는 가장 대표적이고 시공경험이 풍부한 단면이며, J.

B. Cooke이 제시한 표준을 일반적으로 따른다. 다짐공법으로 축조되는 CFRD 단면은 댐설계기준 (2005)에 기술된 바와 같이 기능별로 크게 5가지로 분류(zoning)된다.

2.1 차수벽 지지영역 (Bedding Zone, Fine fill Zone, Cushion Zone)

차수벽을 직접 지지하고 있는 차수벽 지지영역은 반투수성 벽을 만들어 차수벽의 균열이나 결합이 있는 지수판을 통한 누수를 댐체의 손상없이 안전하게 통과시키는 것을 목적으로 한다.

차수벽 지지영역은 수압에 따른 차수벽의 거동과 침하, 누수에 대한 안정적인 저항에 직접적으로 영향을 주므로 적합한 투수성 (투수계수 $1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$)을 유지해야 한다. 차수벽 지지영역의 입도 분포는 시공 경험이 축적됨에 따라 변화하였다. CFRD 초창기 설계 시에는 차수벽을 균일하고 단단하게 지지하기 위해 파쇄암으로 직경이 75~150mm 이하를 사용하는 것이 보편적이었으나, 현재에는 다짐이 잘되고 고른 지지층이 형성될 수 있는 소형석 채공법으로 전환되었으며, 균열이나 이음부의 누수문제에 대한 적합한 투수성 확보와 시공 시 재료분리 방지를 위해 현재 국내에서 건설된 대다수의 CFRD에서 차수벽 지지영역 재료의 입도는 최대입경 75mm 이하를 적용하였다. 평균적으로 재료는 최대치수가 75~38mm, 4.76mm (No. 4체) 이하 재료의 함유율은 35~55%, No. 200번체

통과율은 5~15% 수준을 유지하는 것이 좋다. 이 입도를 유지할 때 시공 시 조립체의 분리현상을 방지할 수 있고, 다짐한 재료의 투수계수를 $1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ 범위로 낮출 수 있다. 차수벽 지지영역의 경우 관건은 담수 시 제체 변위로 인한 차수벽의 거동이 최소로 될 수 있도록 재료의 입도 분포를 양호하게 유지하여야 한다는 점이다.

각 층은 보통 40~50cm 두께로 포설하고 수평면과 사면을 따라 양쪽으로 다짐한다. 최근에는 브라질 Ita 댐에서 filter(1.5인치 이하) 재료와 시멘트를 혼합한 재료를 도로 연석과 같이 사출기를 이용해 표면을 따라 폭 40cm로 연속 타설하는 curb element 공법이 사용된 이후 현재 국내에도 적용되고 있다.

2.2 선택영역 (Filter Zone, Transition Zone)

선택영역은 차수벽과 암석부 제체의 강성(stiffness) 차이로 응력이 차수벽이나 차수벽 지지영역에 과도하게 전달되는 것을 방지하고, 공극의 크기를 제한하여 차수벽 지지영역 재료가 암석재료의 큰 공극 속으로 씻겨 들어가지 않도록 하는데 목적이 있다. 중심코아형의 필터영역과 같은 역할을 하며, 최대치수는 일반적으로 150mm를 사용한다.

2.3 주암석영역 (Graded rockfill zone, main rockfill zone)

수압과 댐 자중에 대해 차수벽을 균등하게 지지하기 위한 층으로, 댐체에 작용하는 외력의 대부분을 담당하며, 침하나 변형을 가능한 한 최소로 하여야 하기 때문에 좋은 입도와 양질의 암석재로 축조된다.

댐체의 변형은 암석재료의 특성과 댐높이의 함수로써 차수벽의 표면에 직각방향의 변형률은 암석재의 탄성계수에 반비례한다. 다짐한 암석재의 장기변형은 지속적인 주응력에 의하여 암석접촉면이 파손되어 발생하므로 암석재의 입도는 양호할수록 좋다. 이 영역에 요구되는 암석재는 압축성이 적고 압축강도는 고강도($1,100 \text{ kg/cm}^2$)인 신선한 경암이 요구되지만 최근의 설계경향에 따르면 압축

강도가 $300 \sim 400 \text{ kg/cm}^2$ 정도의 사암, 이암, 석회암, 점판암과 같은 연질암 등도 댐사면 경사의 완화에 의해 성공적으로 활용되고 있다. 하지만 대기에 노출 시 풍화에 약한 혈암(shale) 계통의 암은 가급적 피하는 것이 좋다. 이 경우 다짐 작업 시 중량급 진동롤러에 의해 암이 부서져 재료의 세립화를 가져올 우려가 크므로 기초부에 배수층을 계획하여야 한다. 큰 입경의 암석을 진동다짐 시 다짐을 촉진하고 축조 완료후의 제체침하를 최소로 할 수 있도록 살수가 필요하며, 일반적으로 살수량은 축제량의 10~20% 범위를 기준으로 한다.

연질암 등을 사용하여 제체를 축조하는 경우 사면안정 해석을 위한 강도를 결정하는데 기초자료로 활용될 수 있도록 가능한 한 대형삼축압축시험을 실시하여 내부마찰각과 다짐밀도와의 관계를 확인하여야 한다. 부득이한 경우 대형직접전단시험에 의해 확인할 수도 있다. 입도는 최대치수 800mm 이하를 일반적인 시공 기준으로 갖는다.

2.4 보조암석영역 (Sub rockfill zone)

보조암석영역은 댐의 최하류 부분으로 다소의 침하나 변형이 발생하여도 댐전체의 안정성에 크게 영향을 미치지 않으며, 주암석영역의 인접지역에 위치한 영역으로 직접적인 외력을 받지 아니하므로 재료의 선택에 다소 여유가 있어 비교적 조립의 석괴재로 구성되며, 큰 투수성을 가진다. 또한 하루사면에 대한 표면부 마감은 미관상 특별한 요구가 없을 경우, 인력에 의해 반드시 매끈한 경사면으로 마감할 필요는 없다.

일반적으로 보조암석영역의 입도는 최대치수 1,500mm를 기준으로 하며, 댐 기초부와 접속하는 상부 구간은 주암석영역과 유사하게 입도범위를 조정하며, 댐하류의 환경친화층과 맞닿은 부분의 일정구간은 큰 입도에서부터 작은 입도로 분포되도록 하여 환경친화층의 토립자가 흘러들지 않게 하여야 한다.

2.5 불투수영역 (Upstream Blanket Zone)

불투수영역은 주변이음(perimetric joint)이 변형, 확

대되거나 차수벽에 균열이 생겨 누수가 발생할 경우 유입되는 물이 세립분을 함유토록 함으로써 누수 차단 효과를 높이는 역할을 하는 일종의 보조적 목적으로 두는 층이다. 이 영역은 또한 담수 이전에 지하수위가 높아져서 댐축조 기초부가 포화되었을 때 차수벽을 들어 올리려는 힘을 상쇄하고, 담수 후에는 침윤선을 연장함으로써 부가적인 안전을 확보하는 역할도 한다.

2.6 친환경영역 (Eco-friendly Zone)

상기 영역 외에 최근에는 댐체의 자연환경적인 조화를 고려하여 댐체 하류 비탈면부에 조경식재 등을 위한 환경친화영역을 설치하고 있으며, 점점 증가하는 추세이다. 환경친화영역의 사면은 가급적 완만한 경사를 이루도록 하며 토질은 조경식재가 가능한 토양으로 하여야 한다.

친환경영역의 사면경사는 구조물의 안정여부와 직접적인 관련이 없으나, 환경친화적인 측면과 안전측면을 고려하여 일반적인 성토단면을 기준으로 통상 1:1.8~1:2.5 정도로 설계한다. 성토높이는 댐높이와 시공성을 고려하여 적절히 결정한다.

3. 차수벽의 손상사례

3.1 Fortuna 댐 (파나마)

표면 차수벽의 중앙부에서 발생하는 수평 압축응력의 유해한 효과가 1995년에 파나마의 Fortuna 댐에서 관찰되었는데 이 댐은 높이 63m에서 100m로 증고된 댐이었다. 연직 이음부를 따라서 발생한 차수벽의 좌굴이 초기 담수 시 수위가 최고 높이의 91%에 도달했을 때에 관찰되었다. 상부의 콘크리트 차수벽의 두께는 0.13m 이었으며 양방향으로 0.25%의 철근이 보강되어 있었다. 좌굴은 상부 15m에 제한적으로 발생하였다. 이 사고는 중대한 정도는 아니어서 차수벽의 보강 후 댐은 정상적으로 운영되었다.

3.2 TSQ-1 댐 (중국)

가. 축조 중 손상발생

CFRD의 축조 및 운영중 댐체와 콘크리트 페이스의 변형량의 차이로 인한 분리 (separation)로 인하여 콘크리트 차수벽에 균열이 발생할 수 있고 침투파괴에 대한 안전율이 떨어지게 되는 경우가 있다. 이러한 분리현상은 두 재료의 변형특성의 차이로 인하여 필연적으로 발생할 수밖에 없지만, 응력수준이 작은 경우에는 두드러지게 그 효과가 나타나지는 않는다. 그러나, 최근들어 댐의 축조 높이가 높아지면서 응력수준이 커지고 따라서 축조재료의 거동이 비선형성과 시간의존적인 경향을 보이게 된다. 이러한 비선형적이고 시간의존적인 댐체의 거동으로 인해 발생하는 댐체와 콘크리트 차수벽의 분리현상에 대한 이해를 위하여 댐체와 콘크리트 페이스 사이의 접촉면 거동을 고려한 유한요소해석이 TSQ-1 댐에 대하여 수행된 바 있다. TSQ-1 댐은 높이가 178m에 길이가 1104m에 달하는 CFRD이다. 축조는 유수전환 및 재료수급 등의 상황에 따라 그림 2와 같이 단계적으로 축조되었으며 차수벽은 3단계에 걸쳐 시공되었다.

댐체와 콘크리트 차수벽의 분리를 관측하기 위한 매설 계기가 설치되었으며 그림 3과 같이 분리현상이 계측되었

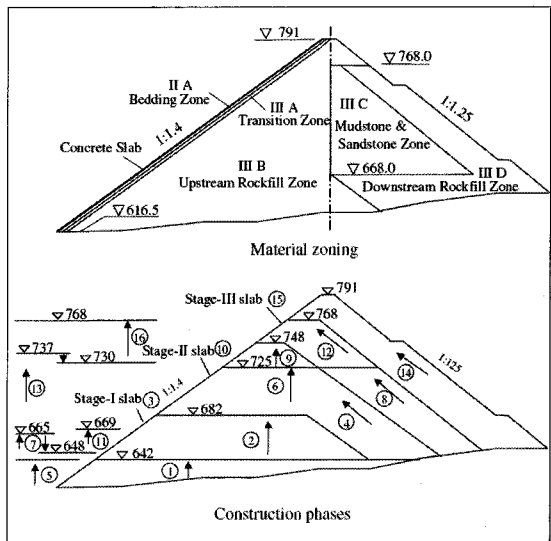


그림 2. TSQ-1 댐의 재료 영역과 축조단계

다. 분리의 주된 원인은 콘크리트 차수벽 상부 주변에 축조되는 댐체의 자중이다. 담수가 진행되면 수압에 의해 수면 아래의 분리된 부분은 닫히게 되고 상부부분만 분리된 채로 남는다.

Stage I과 Stage II 차수벽의 경우 댐의 축조가 수평으로 이루어지지 않고 단계별로 고도차를 두고 이루어져 댐체와 콘크리트 차수벽의 분리현상이 발생하였으나 Stage III 차수벽의 경우 축조가 완료된 후에 크립에 의해 발생하는 장기변형에 의하여 그림 3과 같이 분리현상이 발생하였다. 이러한 현상으로 분리영역의 바닥부분에서 균열이 발생하였다(Zhang 등, 2004).

이러한 단계축조에 따른 차수벽의 손상에 대해서는 국내에서도 연구가 수행된 바 있다(신동훈 등, 2007).

나. 운영중 손상 발생

댐의 운영을 시작한지 3년이 지난 2003년 9월에 상부

차수벽에서 폭 1m, 깊이 0.24m의 콘크리트가 박락되었다. 이 댐은 2000년에 NWL 780m에 수위가 위치하였으나 사고는 이 보다 낮은 EL. 753m의 수위에서 발생하였다. 박락은 수면 아래 수 미터까지 확장되어 있었다. 콘크리트를 원래 설계대로 채워 보수하였으나 2004년에 EL. 710m까지 확장되어 박락이 다시 발생하였다. 기존의 보수된 부분은 파쇄되고 차수벽의 바닥부까지 박락이 전파되었다. 2cm의 고무판을 이음부 부위에 삽입하여 움직임을 허용함으로써 보수작업이 수행되었고 이후 수위상승에도 문제가 발생하지 않았다.

파나마의 Fortuna 댐과 중국의 TSQ-1 댐의 경우 댐체의 변형에 따라 차수벽에 발생하는 수평 압축응력으로부터 손상이 발생하였지만 이음부를 따라 차수벽의 상부에만 발생하여 댐체에 누수를 야기하지는 않았다.

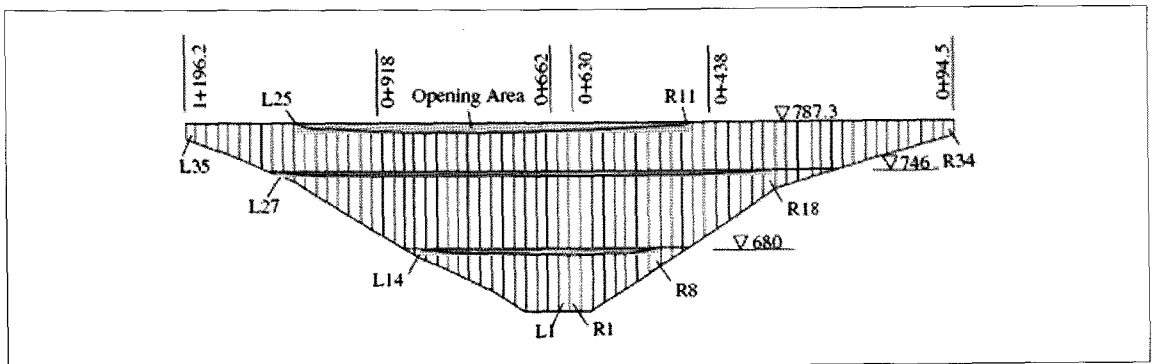
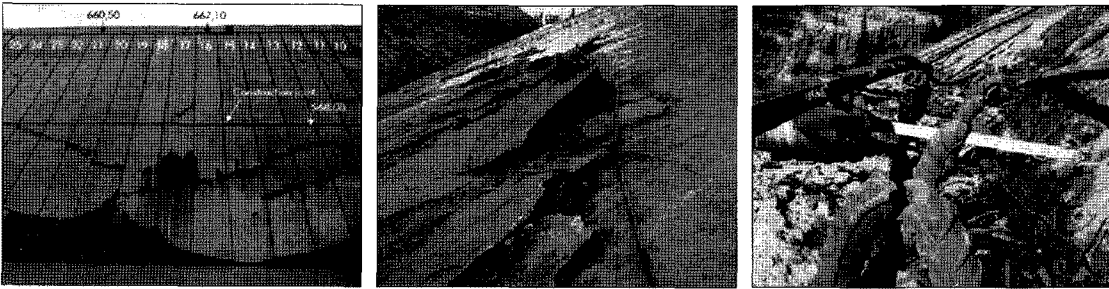


그림 3. 계축된 댐체와 콘크리트 차수벽의 분리현상



그림 4. TSQ-1 댐의 차수벽에 발생한 콘크리트 박락과 철근의 휨 변형



(a) 파손 분포

(b) Abutment 부근의 파괴

(c) 전단된 철근

그림 5. Campos Novos 댐의 차수벽 손상 사례

3.3 Campos Novos 댐 (브라질)

Campos Novos 댐은 2005년에 준공된 댐으로 댐 높이는 202m, 댐 길이는 592m이며 저수용량은 12억m³에 달한다. 담수는 2005년 10월에 시작되었으며 2005년 10월 19일에 최고수위의 90%에 도달하였을 때 수면 위수 미터 위에서 균열이 발생하였다. 누수량은 균열이 발견되기 1 주 전에 30에서 450 l/s로 증가하였다. 차수벽의 균열과 박락은 파라피트 월의 바닥부까지 빠르게 전파되었고 누수량은 2주 동안 800 l/s로 증가하였다. 저수위는 일정하게 유지되었지만 누수량은 60일 동안 1200 l/s까지 증가하였다. 누수량을 감소시키기 위하여 점토질 실트의 흠을 댐마루에서 댐 중앙부의 연직이음부에 투하하여 누수량은 850로 감소하였다. 사고발생 후 8개월 후인 2005년 7월에 수위를 하강시켰을 때 그림 5(a)와 같은 손상현황이 드러났다. 균열을 보수하고 연성의 연직이음부를 설치하여 다시 담수를 하였다. 이 사고는 계곡형상, 댐 높이, 낮은 변형계수의 재료특성, 급격한 담수(20m/일) 등의 복합적 요인에 의하여 댐의 Abutment에서 중앙으로의 변형이 발생하면서 댐 길이방향의 압축응력이 발생하여 콘크리트 차수벽이 파손되었다.

- 높이 : 185m
- 사고발생일 : 2005년 9월 22일
- 2006년 9월 차수벽 손상
- Mohale 댐 (레소토, 남아프리카)
 - 누수량 : 600 l/s
 - 높이 : 145m
 - 사고발생일 : 2006년 2월 15일
 - 2000년 완공된 이 댐은 2006년 많은 비가 내리면서 수위가 올라가고 이로 인하여 하류방향 및 계곡을 따라 변형이 발생하였다. 이로 인해 댐 중앙부의 차수벽에 압축응력이 발생하여 파손되었다.

3.5 Zipingpu 댐 (중국)

2008년에 발생한 규모 8.0의 지진에 의해 진앙에서 10km 떨어진 Zipingpu 댐(높이 160m)에서 댐마루에서 2g의 수평가속도가 기록되었다. 이로 인해 댐마루에 40cm의 침하가 발생하고 그림 7과 같이 차수벽에 손상이 발생하였으나 그 정도는 경미하여 CFRD가 지진에 상대적으로 잘 저항함을 확인시켜주었다. 이때 댐체의 침투수량은 10 l/s에서 15 l/s로 증가하였을 뿐이었다.

3.4 Barra Grande 댐과 Mohale 댐

- Barra Grande 댐 (브라질)
 - 누수량 : 850 l/s

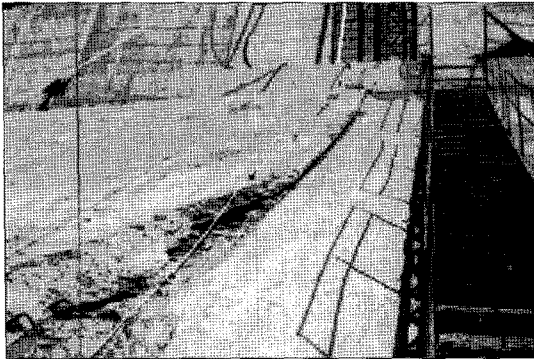
4. 차수벽 손상에 대한 대책

2005년 10월 Campos Novos 댐, 2006년 9월 Barra

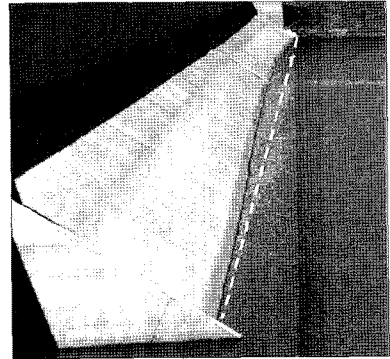
CFRD 표면차수벽의 손상 사례와 대책

Grande 댐, 2006년 2월 Mohale 댐 등에서 비슷한 시기에 비슷한 양상의 차수벽 손상이 관찰되면서 이러한 경험을 나누기 위한 심포지움이 2007년 브라질에서 개최되었다. 이들 손상은 모두 그림 8과 같이 댐체의 변형에 의한

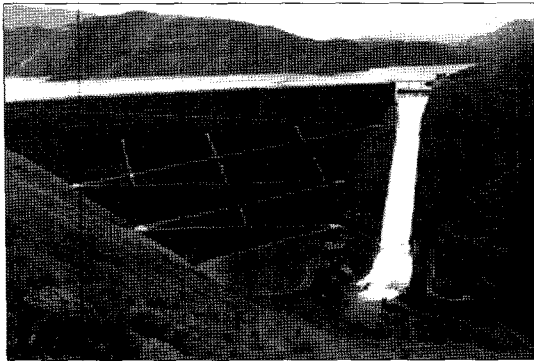
댐 중앙부 차수벽 콘크리트의 압축으로 인하여 연직 이음부의 파괴가 발생하고 이로 인해 차수벽이 약해지면서 수평 이음부의 파괴가 이어서 발생하였다. 이러한 문제를 개선하기 위해서는 다음과 같이 댐체 및 차수벽의 거동을 미



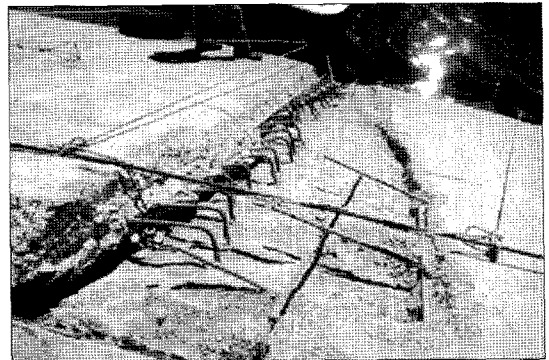
(a) Barra Grande 댐 차수벽의 손상



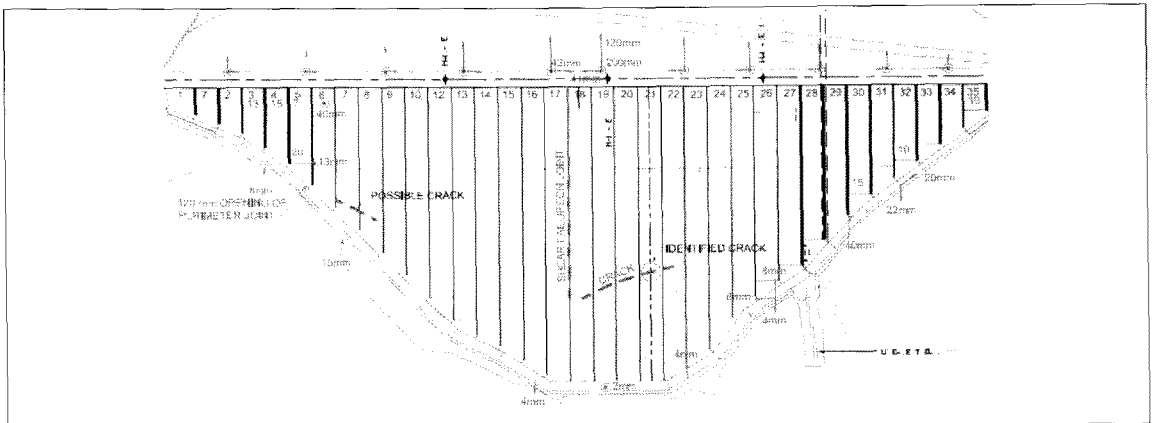
(b) Mohale 댐의 변형



(c) Mohale 댐 (레소토, 남아프리카)



(d) 전단된 콘크리트를 제거한 후의 Mohale 댐 차수벽 이음부

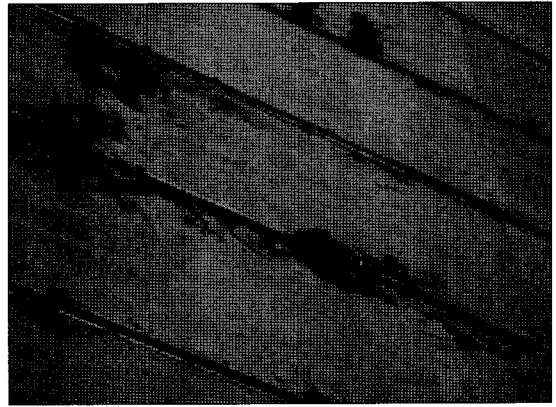


(e) 손상 분포(Mohale 댐)

그림 6. Barra Grande 댐과 Mohale 댐의 차수벽 손상 사례



(a) 2단계와 3단계 차수벽의 결합



(b) 연직 이음부 손상

그림 7. Zipingpu 댐의 지진에 의한 차수벽 손상

리 예측하여 적절한 대책을 수립해야 한다.

- 댐 축조 사이트의 계곡이 깊은 경우에는 3차원 효과가 크게 나타나 2차원 해석에 의한 변형 해석으로는 댐의 거동을 적절하게 파악할 수 없다. 최근에 3차원 수치해석 기법이 댐체의 거동해석에도 도입되어 댐체의 변형과 차수벽의 거동을 예측할 수 있게 되었으나 댐의 경우 여러 재료와 복잡한 시공단계를 3차원으로 구현하기에는 많은 노력이 필요하므로 필요한 경우에 한하여 수행하는 것이 바람직하다.
- 가장 효율적인 대비책은 차수벽에 발생하는 압축변형을 줄이는 것이다. 즉, 락필 재료의 변형계수가 커지도록 다짐도를 향상시키고 잘다져진 상류측의 주암석영역이 댐단면의 2/3이상이 되도록 확대하는 것

이다. 높이가 낮은 댐에서는 경제적인 이유에서 하류의 보조암석영역에 변형이 많이 발생하는 저품질의 재료를 사용할 수 있지만, 높이가 높은 댐에서는 피해야 한다.

- 압축을 받는 콘크리트 차수벽 중앙부의 가장 기본적인 설계 원칙은 연직 이음부를 따라 응력이 집중되지 않거나 응력집중이 완화되도록 하는 것이다. 이음부 상부에 V 노치 설치, 모르타르 패드에 지지되는 동지수관을 차수벽의 바닥 부분에 설치, 이음부 콘크리트와 콘크리트의 접촉부에 목재필러 등 사용, 이음부 주변의 콘크리트 박락을 방지하기 위한 보강 추가 등의 방법이 사용될 수 있다.
- 댐의 중앙부의 차수벽 두께를 증가시킴으로써 압축에 대한 저항을 증가시키고 철근 보강을 위한 공간이

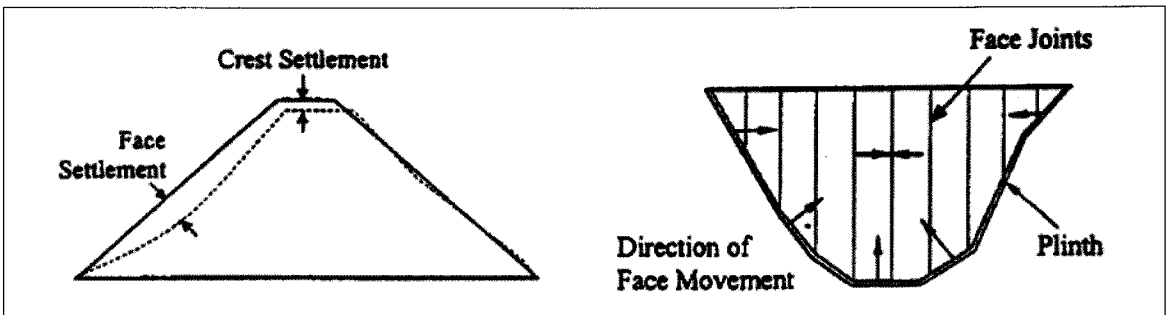


그림 8. 담수 후 제체의 변형과 차수벽 면의 거동

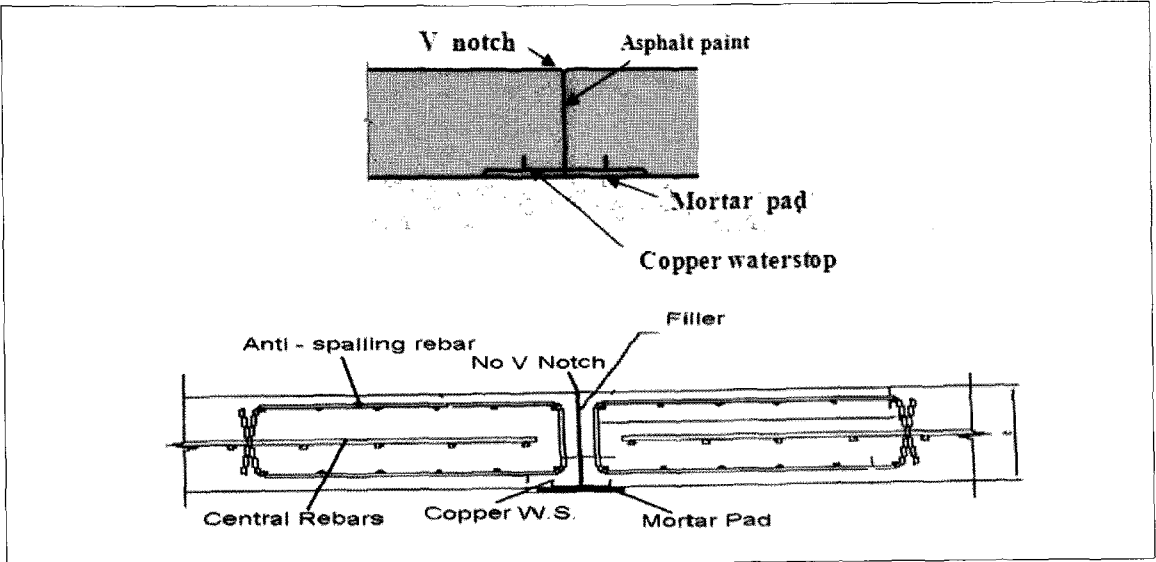


그림 9. 연직 이음부의 보강 개념들

- 마련된다.
- Curb element의 사용이 차수벽의 압축에 기여했을 수 있다는 가능성이 제기되었으나 결론은 내려지지 않았다. 즉, 차수벽과 curb 표면의 접촉면의 특성으로 인하여 전단력이 전달되지 않아 문제가 생기며 이러한 문제를 방지하기 위해 비닐, 아스팔트 제품 등의 물질을 사용하였다. 이러한 방법은 접착력을 감소시킬 수 있으나 마찰각은 감소시킬 수 없는 것으로 나타났다.
 - 차수벽의 중앙부의 연직 이음부에 수평변형의 일부를 흡수할 수 있는 섬유 보강 고무막 등의 연성 재료를 사용하여 연성의 연직이음 시스템을 설치하는 것이 효과적이다.

5. 맺음말

CFRD에서 차수벽의 손상은 댐의 안전에 치명적인 영향을 미치며, 실제로 1993년 중국의 Gouhou댐에서는 차수벽과 parapet wall 사이의 수평 조인트에 설치된 지수

판이 파손되어 유발된 심각한 침투로 인해 댐 하류 사면에 침식과 파이핑이 발생하여 댐이 붕괴되고 많은 사상자가 발생한 사건이 있었다.

CFRD에서 콘크리트 차수벽의 손상은 주로 댐체의 과도한 변형이나 부등침하 등이 발생하는 경우에 차수벽에 휨응력이나 압축응력 등이 발생하면서 일어나게 된다. 이러한 댐체의 변형은 댐축조 재료의 품질, 시공시의 다짐 관리, 축조되는 사이트의 계곡형상, 시공단계 등 다양한 요인에 영향을 받는다. 댐 축조 시에는 큰 변형이 발생하지 않지만 댐축조 재료의 특성에 따른 시간의존적 변형이 발생할 수도 있고 수위상승에 따른 물의 하중이나 지진과 같은 하중에 의하여 운영 중 변형이 발생할 수도 있다. 이러한 CFRD의 축조 중, 담수 시의 거동을 파악하는데 원심 모형실험과 같은 모형실험과 더불어 수치해석기법이 매우 유용한 것은 사실이지만 아직까지 수치해석이 CFRD의 완벽한 설계도구로 자리를 잡지는 못한 상태이며 경험적인 방법이 설계를 결정짓는 중요한 수단으로 여겨지고 있다. 따라서, 향후 CFRD의 관찰된 거동을 이론화하고 체계화하는 과학적 규명의 과정이 지속되어야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 댐설계기준(2005), 한국수자원학회.
2. 신동훈, 조성은, 전제성, 이종욱 (2007), "증고에 따른 기존 CFRD 댐체의 변형거동", 한국지반환경공학회 논문집, 8(6), 77-83.
3. Freitas, M. S. (2009), "Concepts on CFRDs Leakage Control - Cases and Current Experiences", ISSMGE Bulletin, 3(4), 11-18.
4. Pinto, N. L. S. (2008), "Very high CFRDs: behaviour and design features.", International Journal on Hydropower & Dams, 15(4), 43-49.
5. Zhang, B., Wang, J. G., and Shi, R. (2004), "Time-dependent deformation in high concrete-faced rockfill dam and separation between concrete face slab and cushion layer.", Computers and Geotechnics, 31, 559-573.
6. Zhang, L. M., Chen, Qun (2006), "Seepage failure mechanism of the Gouhou rockfill dam during reservoir water infiltration", Soils and Foundations, 46(5), 557-568.

2010 기초기술위원회 Workshop 개최 안내

-동재하시험의 적용 및 해석-

한국지반공학회 기초기술위원회 (위원장: 정상삼 교수)에서는 최근 국내외적으로 말뚝기초의 품질관리 방법으로 광범위하게 적용되고 있는 동재하시험의 기술향상을 위하여 다음과 같이 워크샵을 개최합니다. 관련기술자들과 회원 여러분의 많은 참여를 부탁드립니다.

- 날 짜 : 2010년 11월 3일 (08:00 ~ 18:00)
- 장 소 : 고려대학교 자연계 캠퍼스 하나스퀘어 (안암역 4번 출구, 고려대 이공계)
- 주 관 : 한국지반공학회 기초기술위원회
- 회 비 : 정회원 - 30,000원, 학생회원 - 10,000원, 비회원 - 40,000원 (중식제공/주차가능)

Program		사회: 이원제 박사
1부		
08:00 ~ 08:30	등록	
08:30 ~ 08:40	인사말	정상삼 교수 (연세대학교 교수, 한국지반공학회 기초기술위 위원장)
08:40 ~ 09:10	국내 동재하시험 현황	이우진 교수 (고려대학교 교수)
09:10 ~ 10:45	Dynamic Pile Testing Wave Mechanics, PDA Methods, Good PDA Practices	Garland Likins P.E (President of Pile Dynamics, Inc)
10:45 ~ 11:00	휴식	
11:00 ~ 12:30	Dynamic Pile Testing (cont.)	Garland Likins P.E (President of Pile Dynamics, Inc)
12:30 ~ 13:30	점심	
2부		
13:30 ~ 16:35	Dynamic Pile Testing PDA Applications, Drilled shaft testing, CAPWAP (background and example)	Garland Likins P.E (President of Pile Dynamics, Inc)
16:35 ~ 16:50	휴식	
16:50 ~ 17:20	사례발표	조찬환 박사 (삼성물산) / 김성희 사장 (파일테스트)
17:20 ~ 18:00	질의 / 응답	이원제 박사 (로드테스트코리아)

• 문 의 : 로드테스트코리아 이원제 박사 (011-899-9069), 지이엔씨 정훈준 사장 (011-399-8165)