

새로운 댐 형식, 아스팔트 표면차수벽형 석괴댐(AFRD)



K-water연구원 기반시설연구소
소장 공학박사 **신 동 훈**



K-water연구원 기반시설연구소
책임연구원 공학박사 **박 동 순**

한국수자원공사(K-water)는 지난 2015년 9월 16일 조지아의 스와네티 지역에서 이라클리 카리바쉬 빌리 조지아 총리를 비롯한 정부관계자를 비롯한 정·재계의 주요 인사들과 최계운 사장이 참석한 가운데 '넨스크라 수력개발사업'착공식을 개최함으로써 K-water뿐만 아니라 우리나라 해외 댐건설 사업의 새로운 발걸음을 내딛었다. 이 프로젝트는 조지아 수도 트빌리시에서 북서쪽으로 약 260km 떨어진 넨스크라 강 유역에 연평균 발전량 1196GWh급 대규모 수력 발전 댐을 건설하는 사업으로 조지아 국민 약 60만 명이 사용할 수 있는 전력을 생산할 수 있게 되어 조지아 경제발전에 기여할 것으로 전망된다.

한편, 넨스크라 수력발전 사업에서 매우 흥미로운 것 중의 하나는 본댐의 형식이 우리에게 매우 생소한 아스팔트 표면차수벽형 석괴댐(Asphalt Concrete Faced Rockfill Dam, 이하 'AFRD')이라는 것이다. 우리나라에서는 1980년대에 동북댐을 시작으로 최근의 영주댐에 이르기까지 다수의 콘크리트 표면차수벽형 석괴댐(CFRD)을 설계, 시공 및 운영 관리해왔으나 아직까지 아스팔트표면차수벽을 이용한 댐형식은 적용된 바 없다.

〈그림 1〉 Nenskra수력개발사업 위치



〈표 1〉 Nenskra 수력개발사업의 주요시설

주요시설	주요제원
저수지	Nenskra 유역면적 222km ² , 저수면적 3km ²
본 댐	아스팔트표면차수벽형 석괴댐(AFRD) (높이 135m, 길이 820m, 저수용량 1.8억m ³)
취수 Weir	Nakra 유역면적 87km ² 높이 9m, 길이 50m
도수터널	길이 12.5km, 직경 4.5m
수압터널	길이 15.1km, 직경 4.5m
발전소	280MW (70MW × 4기(Pelton)), 설계유량 12 cms/unit, 정격낙차 679m
발전량	1,196GWh/년, 가동률 50%

〈그림 2〉 Nenskra수력개발사업 개요도



이에 본 고에서는 AFRD의 유래, 세계 각국의 AFRD댐 건설 및 운영현황, AFRD댐의 설계, 시공 및 운영관리상의 특징, 장단점 등을 살펴보고, 향후 이와 같은 댐형식을 적용할 경우에 착안해야 하는 사항들을 간략히 정리해보고자 한다.

1. AFRD(Asphalt Concrete Faced Rockfill Dam)의 역사

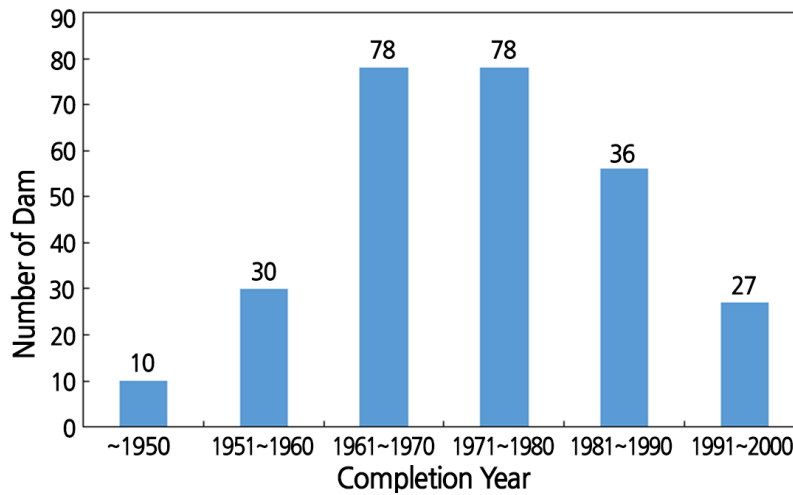
Baron Van Asbeck에 따르면 BC 1300년경에 메소포타미아의 앓수르(Assur)에 원시적이지만 역청재료를 혼합한 콘크리트 페이스를 사용하여 댐을 축조한 바 있다고 한다.(JSCE, 2012)

현대적인 공법으로 축조된 것은(이에 대해서는 이견이 있으나 여기서는 ICOLD의 보고서(Bulletin 114)를 따르기로 함) 1910년에 미국의 Central댐으로 알려져 있다. 이 댐은 고속도로 포장기술을 접목시켜 건설된 것으로 골재를 마카담(macadam)층으로 하고, 그 위에 침투성 입도의 역청재료를 분사하여 결합층(binder)으로 만들어졌다.

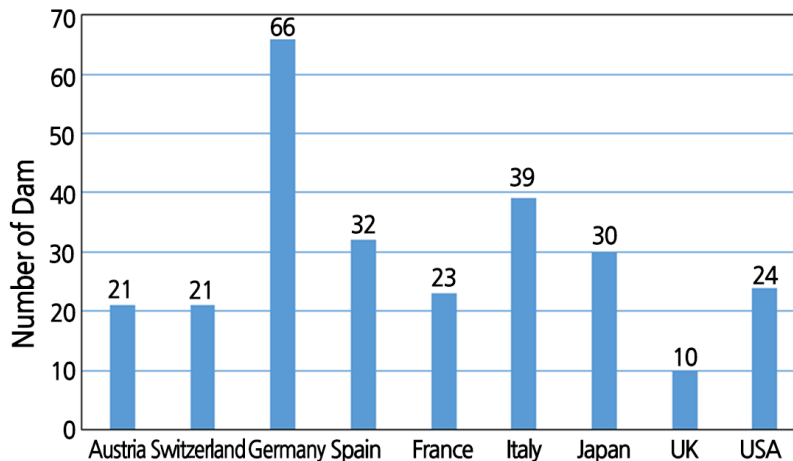
그후, 1930년대에 독일에서 아스팔트 콘크리트 차수벽이 개발되어 아메케(Amecke)댐(1934년 완공)에 설치되었으며, 이 댐은 현재까지 80년 동안 운영되어 오고 있다.

AFRD는 지금까지 주로 유럽(독일, 오스트리아, 프랑스, 이태리, 스페인)에서 많이 건설되었으며, 그 외에 미국, 일본, 홍콩 등지에서도 건설되어 전세계적으로 약 300개소 이상에 이르고 있다. 그림-3과 4는 각각 AFRD댐의 건설추이와 국가별 AFRD댐의 수를 나타낸 것이고, 그림-5는 해발고도별 AFRD 댐의 건설현황을 나타낸 것으로 대부분 해발고도 1000m 이하에 건설되고 있는 것을 알 수 있다.

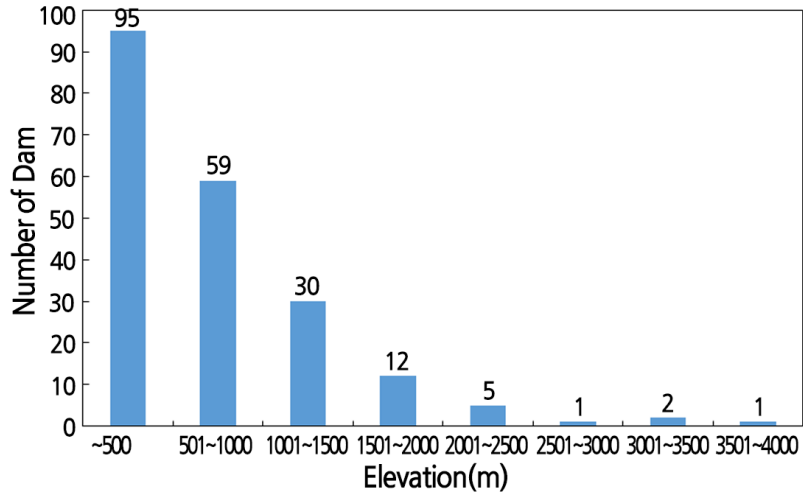
〈그림 3〉 AFRD댐의 건설추이 (ICOLD, 1999)



〈그림 4〉 10개 이상의 AFRD댐을 건설 및 운영관리하고 있는 국가들 (ICOLD, 1999)

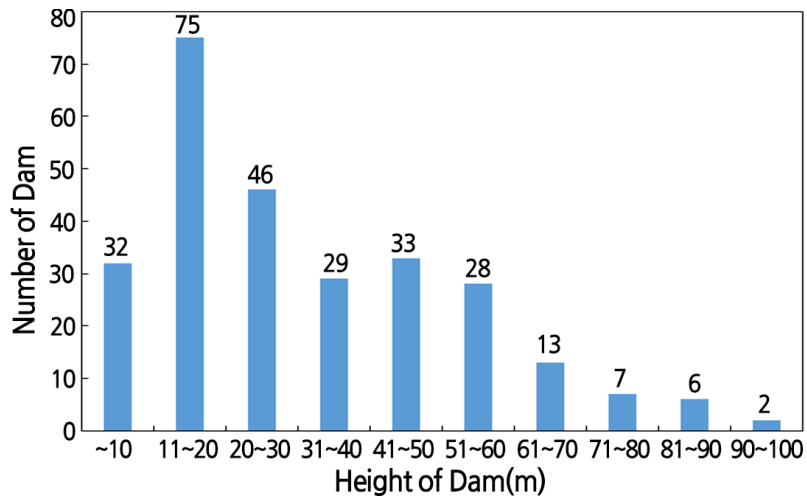


〈그림 5〉 해발고도별 AFRD댐 건설 현황 (ICOLD, 1999)



한편, AFRD댐은 높이 70m 이상의 댐은 세계적으로 그리 많지 않으며, 특히 100m 이상은 건설된 바 없는 것으로 알려져 있다.(그림-6 참조)

〈그림 6〉 높이별 댐의 수 (ICOLD, 1999)



2. AFRD 형식을 채택하는 사유 (최형식 2006; 2013; 2014)

① 강우량과 높은 습도

AFRD는 댐 지점에 강우량이 많거나, 또는 높은 산악지대에 습도가 높아 점토를 잘 다질 수 없어 공사 기간이 길어질 때 CFRD와 같이 많이 선택되는 댐형식이다. 오스트리아의 알프스 산정에는 점토코어 재료가 없고 비가 많이 내리고 습도가 높아 오쎬닉댐(높이 81m) 등 많은 AFRD가 축조되었다.

② 부족한 점토코어 재료

높은 산악지대, 그리고 비가 적게 오는 아열대지방에서는 암석이 깊이 풍화하지 않아 표토가 없는 지대가 많다. 이탈리아의 몬테 꼬투노댐(높이 70m)을 건설할 때, 댐 주위에 코어재료가 없어 아스팔트 표면차수벽형 석괴댐을 선택하게 되었다.

③ 과잉간극수압

양수발전소에서 몇 시간 동안 양수 발전할 때, 상·하류 댐의 저수지의 수위가 20~40m 급강하하면 필댐의 상류제체에 큰 과잉간극수압이 생기므로 사면이 불안정 하게 된다. 이러한 현상을 방지하기 위해서 투수성의 석괴재료를 제체에 축조한 아스팔트 표면차수벽형 석괴댐을 선택하는 사례가 많다. 룩셈부르크의 비안텐댐(높이 19m), 독일의 골디스탈댐(높이 40m), 미국의 러딩턴댐(높이 52m), 중국의 첸황핑댐(높이 72m) 등을 들 수 있다. 중국의 첸황핑 양수발전소의 상류 댐(높이 72m)의 저수지에서 아스팔트 차수벽의 표면적은 29만m²로 양수발전 시 저수지의 수위가 42m 급강하한다. 독일의 골디스탈댐(높이 40m)에서는 상류 저수지의 아스팔트 차수벽의 표면적이 60만m²로 양수발전 시에 저수지의 수위가 24.7m 급강하한다.

④ 경제적인 계단식 공사

AFRD에서는 경제적인 계단식 공사가 가능하다. AFRD에서 계단식 공사를 하면 낮은 1단계 댐에서는 체적이 적으므로 공사비가 적게 들고 지불해야하는 이자도 미소하다. 제일 마지막으로 댐의 상부를 건설할 때 제일 많은 체적을 축조해야 하므로 공사비가 제일 많이 필요하다. 그러므로 마지막 계단식 공사의 이자지불기간도 훨씬 짧아 AFRD의 경제성이 높다. 오쎬닉댐을 4단계로 공사할 때 전체 공사기간이 8년 걸렸는데, 이러한 방식으로 공사할 때 빌린 돈의 전체이자 는 댐을 한꺼번에 공사할 때보다 약 20%를 절약할 수 있었다.

3. AFRD에서 고려할 사항들 (최형식 2006; 2013; 2014)

① 동결융해작용

날씨가 춥고 동기가 긴 한지, 그리고 태양이 강하게 쬐이는 높은 산악지대에 건설된 AFRD에서는 해빙기의 동결융해와 태양의 직사광선으로 인해 아스팔트 차수벽에 기포가 생겨 쉽게 파손되므로 자주 보수가 필요하다. 알프스산정의 해발 2,391m의 고지에 건설된 오쾨닉댐 등 다수의 오스트리아 댐의 아스팔트 표면차수벽에는 동결융해의 피해가 커서 보수해야만 했다

그 외에 1965년에 건설된 체코의 모라브카댐(높이 39m, 1964년 준공)에서도 겨울에 기온이 영하 30℃ 이하로 내려가고 눈이 1m 이상 내려 아스팔트 표면차수벽 위에 두께가 50cm 이상의 얼음이 형성되어 해빙기에 얼음덩어리가 굴러 내려가면 차수벽이 찢어지거나 크게 파손되어 지난 30년 동안 아스팔트 표면차수벽의 보수비가 크게 증가했다. 그래서 1999년에 2만6천㎡의 넓은 아스팔트 표면차수벽을 geomembrane을 이용한 표면차수벽으로 완전히 보수했다. 그리고 영국의 윈스카댐(높이 53m, 1974년 준공)에서도 아스팔트 표면차수벽이 파손되어 2만5천㎡의 넓은 차수벽을 geomembrane으로 교체한 사례가 있다.

② 직사광선

검정색의 아스팔트 표면차수벽이 여름에 장기간 태양의 직사광선을 받게 되면 과열되어 기포가 생기고 변질되어 균열(예: 프랑스의 사라구댐)이 생겨 누수가 증가한다. 그래서 이를 방지하기 위해 물을 분무해서 과열된 아스팔트 표면차수벽을 식혀야 하는 경우가 허다하다. 룩셈부르크의 비안텐댐, 스페인의 구아하라스댐 등을 들 수 있다. 특히, 해발 1,000m 이상의 유럽의 높은 산악지대에 건설된 검정색의 아스팔트 표면차수벽은 여름에 강한 태양열을 받아 과열되고 겨울에는 혹한으로 항상 눈과 얼음이 수 미터씩 쌓여 동결융해의 피해가 심한 사례의 분무시설이 설치되지 않은 AFRD에서 볼 수 있다.

③ 차수벽의 열화

댐 지점의 고도와 기상조건에 따라 아스팔트 표면차수벽은 보통 20~50년 사이에 열화되므로, 표면차수벽을 국부적으로 보수하거나 또는 새로 차수벽을 완전히 갱신해야 한다. 피레네산의 해발 1,770m에 건설된 스페인의 사엔떼댐(높이89m)은 준공된 지 20년 후에 매스틱(mastic)을 새로 표면에 입혀 보수해야만 했다

④ 차수벽의 연성

아스팔트 표면차수벽은 연성이므로 댐의 마루에서 자동차가 또는 안벽에서 큰 돌이 굴러 떨어지면 크게 파손될 위험이 있다. 그리고 전쟁과 테러 활동에 의해 댐 주위에서 폭탄이 터지면 아스팔트 표면차수벽은 쉽게 파손되어 댐에 누수가 생기므로 댐의 안전에 큰 문제점이 될 수 있다. 겨울에 춥고 눈이 많이 내리는 산악지대에서는 댐의 사면과 저수지에 얼은 얼음판의 두께가, 오스트리아의 알프스산지대에서 1.0~1.5m 그리고 노르웨이의 북극지방에서는 2m 이상이나 된다. 부서진 얼음덩어리는 지역에 따라 7~8월 달까지 저수지에 떠돌아다니는 것을 볼 수 있다. 이런 한지에 건설된 양수발전소의 상류 댐에서 발전 시 저수위가 몇 시간 내에 20~30m 내려갈 때, 두껍게 얼은 얼음판이 해빙기에 부서져 삐죽한 얼음덩어리가 수십 미터 미끄러져 내려가면 얇은 아스팔트 표면이 쉽게 몇 cm씩 찢어진다. 그리고 산정에서 강한 바람이 불 때 또는 양수발전 시 저수지 수위가 상하로 이동할 때, 저수지 내에서 부유하고 있는 얼음덩어리가 아스팔트 표면차수벽에 자주 부딪치므로 차수벽이 점차 파손되어 누수가 크게 생길 수 있으므로 유지관리비가 상당히 많이 든다.

⑤ 결빙방지대책

알프스산의 해발 2,400m의 고지에는 동기가 길고 눈이 많이 내리므로 저수지의 수면과 댐의 사면에 보통 두께가 1.5m 이상의 얼음이 얼게 된다. 그래서 AFRD의 상류사면에 유공관(perforated pipe)을 설치한 후 압축공기를 저수지의 수면 아래쪽에 주입, 물에 난류를 조성해서 결빙하는 것을 방지하는 대책을 세운 사례를 오슈닉댐에서 볼 수 있다. 이 유공관은 직경이 19mm(3/4 인치), 뚫린 구멍의 직경은 1mm, 구멍의 간격은 1m이며 최대 0.6MPa의 압력을 저항할 수 있는 플라스틱 관으로 설계되었다. 주입하는 압축공기의 압력은 보통 0.4~0.5MPa이었다. 예컨대, 동기에 저수지 내 수심 20m 아래쪽의 수온이 약 +3℃ 내지 +4℃이므로 압축공기와 같이 기포가 상승하면, 추운 겨울에도 저수지 수면의 온도를 약 +2℃ 내지 +3℃로 올릴 수 있으므로 아스팔트 표면차수벽의 5m 전방에 저수지물이 결빙하는 것을 방지할 수 있었다.

⑥ 최근의 경향

점토코어재료가 부족하고 강우량이 많고 습도가 높은 고산지대에는 지금까지 아스팔트 표면차수벽형 석괴댐이 많이 건설되었다. 그러나 위의 약점을 보완하기 위해서 1950년대 중반부터는 댐 지점의 조건이 불리할 때에는 독일, 오스트리아, 노르웨이 등지에서는 아스팔트 표면차수벽 대신에 아스팔트 코어차수벽을 설치하는 경우도 있다. 특히 노르웨이에서는 20 여 년 전부터 북극지방의 동결융해 때문에 표면차수벽 대신에 아스팔트 코어차수벽이 더 많이 설치되고 있는 경향이다.

⑦ 댐의 체적

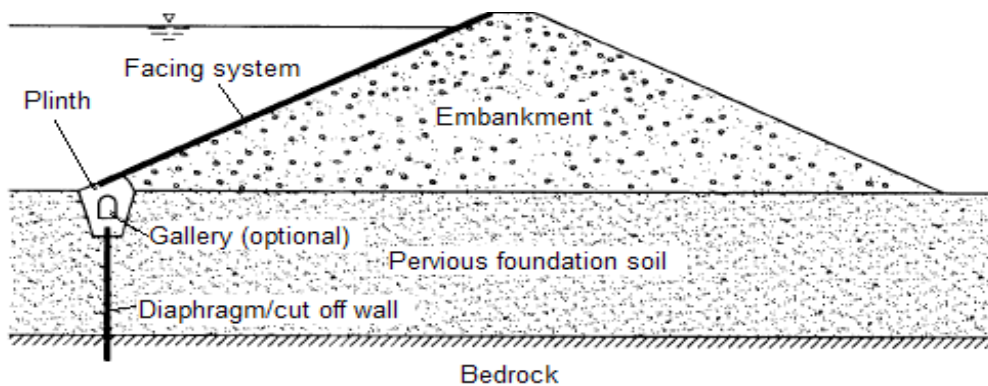
사면경사가 1:1.3~1:1.4로 급한 CFRD에 비해 아스팔트 표면차수벽형 석괴댐의 체적이 약 10~15% 이상 더 증가한다. 아스팔트 표면차수벽의 경사는 보통 1:1.7 보다 더 완만하게 만드는데, 그 이유는 아스팔트 표면차수벽의 시공을 용이하게 위해서(사면경사가 급할 경우 아스팔트 콘크리트 포설 및 다짐장비의 사용이 곤란함), 그리고 시공한 아스팔트 차수벽이 creep변형(아스팔트 차수벽 분야에서는 Slope Flow현상이라 함)하는 것을 방지하기 위해서이다.

4. AFRD댐의 구조 및 특징

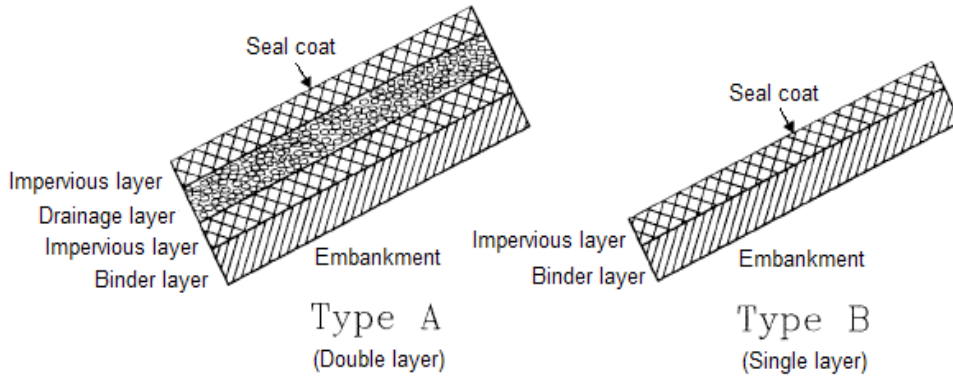
AFRD댐은 크게 그림-7에서 보는 바와 같이 아스팔트 차수벽(asphalt facing), 컷오프 구조물(cutoff concrete 또는 gallery structure), 컷오프월(cutoff wall), 파라펫 구조물 및 댐체(dam body) 등으로 구성된다.

이 중에서 아스팔트 차수벽은 댐이 목적인 양 만큼 저수할 수 있도록 충분한 차수성을 가져야 하며, 댐체의 변형에 대한 추종성, 다양한 하중 및 기상조건 등에 대한 내구성(특히, 온도응력에 대한 저항성과 동결융해에 대한 저항성)을 가져야 한다. 이러한 기능을 만족시키기 위해서 아스팔트 차수벽 재료는 균질하고 소요의 다짐도를 확보하여야 한다. 그림-8은 아스팔트 차수벽의 대표적인 구조형식으로 다층형(Type A; double lining system)과 단층형(Type B; single lining system)의 두 가지를 나타낸 것이다. 그림-8의 각층의 주요기능과 두께는 표-2와 같다.

〈그림 7〉 아스팔트 표면차수벽형 석괴댐의 구조



〈그림 8〉 아스팔트 콘크리트 차수벽의 구조(ICOLD, 1999)



〈표 2〉 표-2 아스팔트 차수벽 각층의 명칭과 주요기능 (JSCE, 2012)

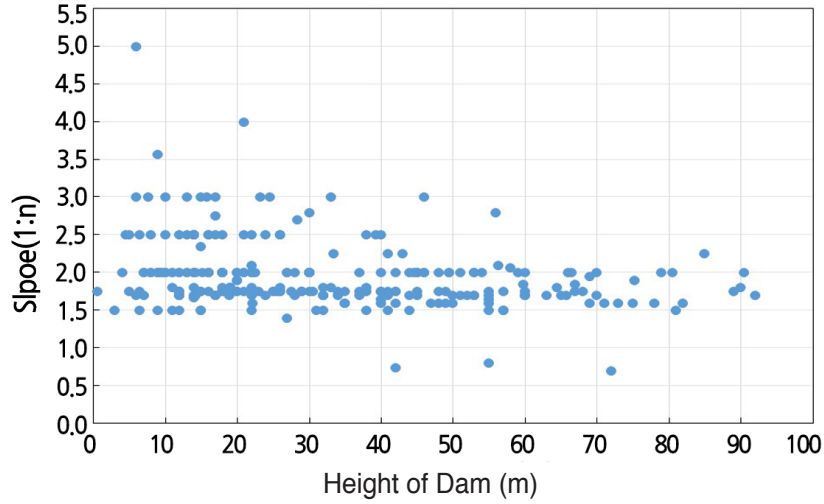
명칭	주요 기능	두께(mm) ¹⁾
표면보호층 (Mastic layer 또는 Seal Coat)	자외선으로부터 상부층의 열화 방지	1~3
상부차수층 (Upper Impervious Layer)	차수층	(50~60)X2
중간배수층 (Drainage Layer)	누수검지 및 배출	70~100
하부차수층 (Lower Impervious Layer)	누수와 山으로부터의 용수의 분리 제체로의 누수침투 방지(차수)	40~60
Binder층 ²⁾	Macadam 및 Leveling 양 층의 기능 변형성 및 차수성의 천이구간, 지지층	70~100
-Leveling층	차수층두께 확보를 위한 먼고르기층	40~50
-Macadam층	트랜지션과의 결합, 포설기반	40~60
Transition층	지지력, 배수성, 평탄성, 동결방지층	200~300이상

주1) 경우에 따라 Binder층 1개 층만 두는 경우도 있고, Binder층 대신에 Leveling층과 Macadam층의 2개 층을 두는 경우도 있음.

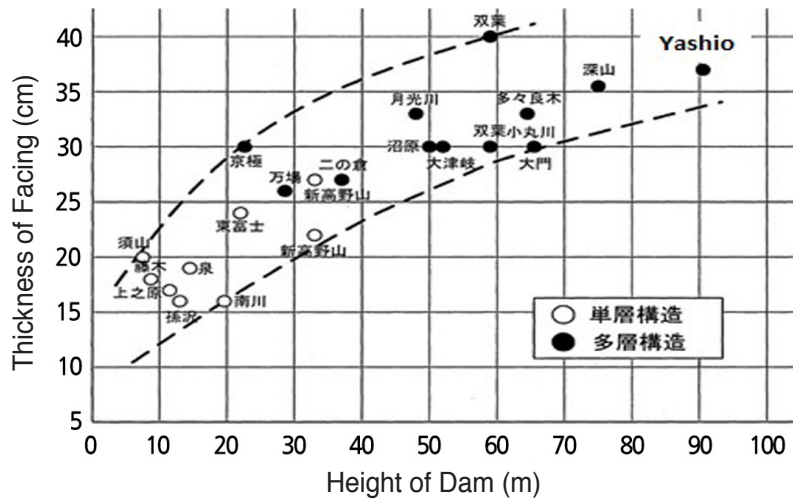
주2) 차수벽의 전체 두께 산정시 트랜지션층은 포함되지 않음.

아스팔트 차수벽댐의 사면경사는 그림-9에 나타낸 바와 같이 대부분 1:1.5 이상이고, 특히 높은 댐의 경우에는 1:1.7 이상으로 축조하는 것을 알 수 있으며, 차수벽의 두께는 댐의 높이가 높을 경우 단층 구조 보다는 다층구조로 시공되는 것으로 나타났다.(그림-10 및 11)

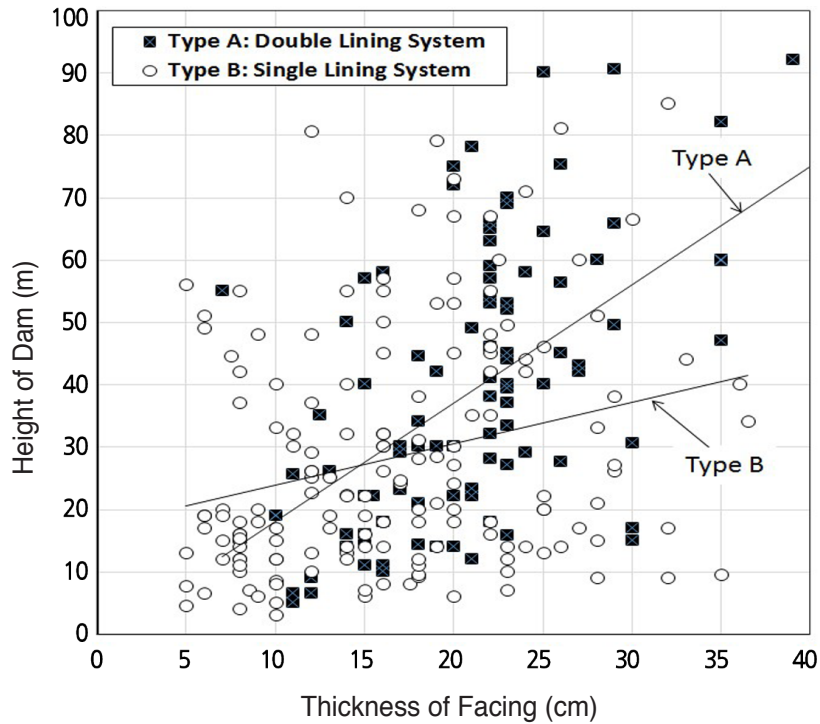
〈그림 9〉 댐의 높이와 사면경사의 관계(ICOLD, 1999, 필자 가필)



〈그림 10〉 댐의 높이와 차수벽의 구조 및 두께 (中村吉男, 2011)

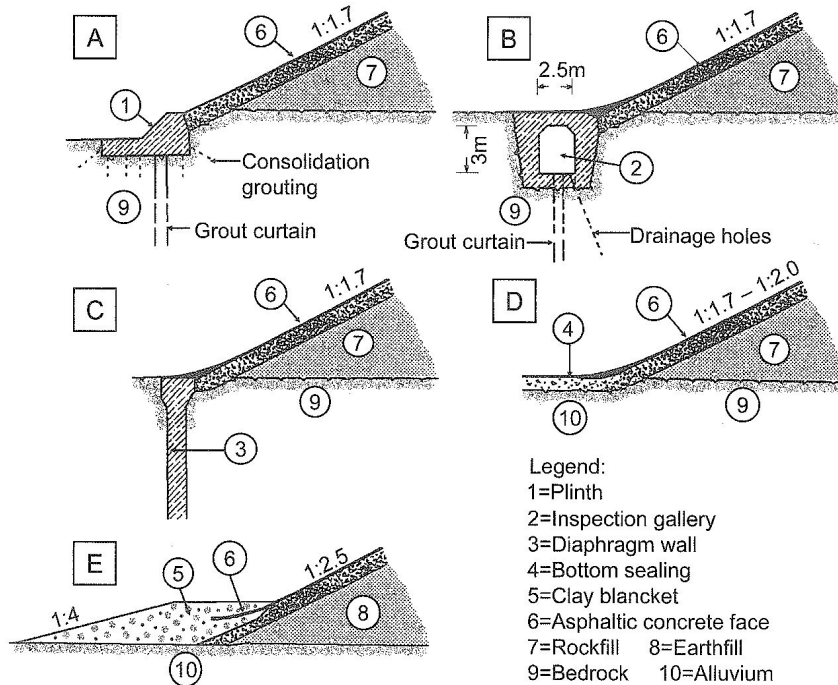


〈그림 11〉 댐의 높이와 차수벽의 구조 및 두께 (ICOLD, 1999, 필자 가필)



한편, AFRD의 상류사면에 설치한 아스팔트 표면차수벽은 지반에 잘 연결시켜 제체 내부로 크게 누수가 생기는 것을 방지해야 한다. 일반적으로 아스팔트 표면차수벽을 지반에 연결하는 방법은 그림-12와 같이 5종류가 있다. 즉,

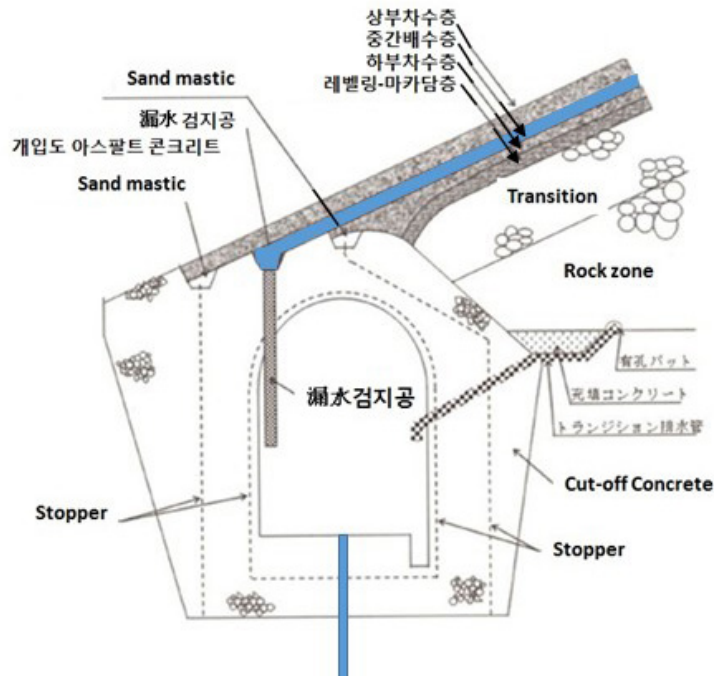
〈그림 12〉 아스팔트 차수벽과 갤러리 및 플린스와 연결하는 방법



- ① 기초지반에 그라우팅을 하기 위해서 기반암에 설치한 콘크리트 플린스(plinth) 또는 선단 블록(toe block)에 연결하는 방법
- ② 기초지반에 그라우팅을 할 뿐만 아니라 차수벽을 통해 흘러드는 누수의 량을 측정하고 댐의 안전을 주기 적으로 점검하기 위해서 기반암 위에 설치한 갤러리의 상부에 연결하는 방법
- ③ 그라우팅하기 어려운 지반을 차수하기 위해서 지중에 설치한 cutoff wall의 정부에 연결하는 방법
- ④ 인공저수지의 바닥에 수평 아스팔트 차수벽을 설치할 때 이 차수벽에 연결하는 방법
- ⑤ 불투성의 점토층을 아스팔트차수벽 위에 성토하는 방법

일반적으로 댐의 높이가 20~30m 이하로 낮은 AFRD에서는 아스팔트 표면차수벽을 CFRD와 비슷하게 콘크리트 플린스(plinth) 또는 저부 블록(toe block)에 연결한다(그림-12의 A). 높이가 50m 이상으로 높은 AFRD에서는 아스팔트 표면차수벽을 보통 갤러리의 상부에 연결한다. 이러한 형태의 갤러리는 주로 독일, 오스트리아 등의 유럽에서 많이 애용되고 있으나 미국, 영국, 호주 등 영어 사용 지역에서는 갤러리 대신에 플린스 또는 저부 블록에 아스팔트 표면차수벽을 연결한 경우가 더 많다. 아스팔트 차수벽과 갤러리를 연결하는 일반적인 방법은 그림-13과 같으며, 이 경우 주의할 점은 차수벽이 갤러리 구조물을 덮는 방식으로 연결하는 경우가 많다.

〈그림 13〉 갤러리와 다층 차수벽의 연결 예 (JSCE, 2012)



아스팔트 차수벽형 석괴담의 구성요소 중에서 가장 중요한 부분은 아스팔트 차수벽이며, 이 아스팔트 차수벽이 갖춰야 하는 물리적 및 역학적 성질은 표-3과 같이 투수성, 휨강도 및 휨강성, 사면에서의 안정성(slope flow에 대한 저항성), 온도변화에 대한 저항성 및 내구성 등이다. 특히, 투수성은 골재의 입도, 아스팔트의 혼합량, 배합된 아스팔트 복합재에 포함된 공기의 양 등이 매우 중요한 요소이다 (표-4).

〈표 3〉 아스팔트 차수벽의 일반적 요구성능 (JSCE, 2012)

요구성능 항목	요구성능
① 투수성	차수층($k < 10^{-9}$ m/sec, $n < 3\%$), 배수층($k > 10^{-4}$ m/sec, $n = 20 \sim 30\%$)
② 역학적 성질	휨강도 및 변형율 : 12MPa, $\epsilon = 10^{-3}$ 변형계수(Stiffness): 300~20,000 MPa (온도 및 재하속도에 의존)
③ 사면에서의 안정성	전단파괴에 대한 저항성 Slope Flow에 대한 안정성
④ 온도변화에의 저항성	저온시의 온도응력
⑤ 내구성	피로내구성, 내동결융해성, 내후성, 내마모성

〈표 4〉 아스팔트 콘크리트 차수벽의 차수성을 좌우하는 인자들

요구성능 항목	요구성능
① 골재입도	차수성($k=10^{-9}$ m/s이하) 확보를 위해 골재간 공극이 최소화될 수 있도록 양호한 입도분포를 가져야 하며, 입자간 공극을 Filler 및 Bitumen으로 충전하여야 함. - #200 이하: 10~15% - 2.35mm이하 : 55~65%
② 아스팔트량	밀입도 아스팔트 콘크리트: 7~9% 개입도 아스팔트 콘크리트: 3~5%
③ 공극률 및 단위중량	공극률: 3% 단위중량: 2.1~2.5 t/m ³

5. AFRD댐의 안정성 평가

AFRD댐의 안정성은 일반적인 필댐의 경우와 마찬가지로 사면안정성, 변형거동 및 내진안정성을 검토하며, 추가적으로 검토하는 것은 차수벽의 안정성인데, 이는 아스팔트 복합재의 역학적 성질에 기인한 것이다. 즉, 아스팔트 차수벽에 대하여 다음의 항목들을 검토한다.

- 상시 및 지진시 발생하는 변형율
- 침투 안정성
- 저온시 온도응력
- Slope Flow: 층내 또는 층간 미끌어짐
- 내구성: 열화, 자외선, 장기수침, 반복하중 등

6. 주의할 사항들

AFRD의 설계와 시공시 고려하고 주의하여야 할 사항은 주로 차수벽에 대한 것으로 다음과 같다. 즉,

- 댐의 수명동안 충분한 차수성을 유지할 것
- 차수벽과 갤러리, 차수벽과 댐마루 구조물, 갤러리와 cutoff wall 등 연결부의 수밀성(water tightness) 확보
- 충분한 유연성(sufficient flexibility)를 가져야 하며, 댐체의 변형에 추종성을 갖되 균열이 발생되거나 하지 않아야 하며, 연결부가 분리되지 않아야 함.
- 인장변형율에 대하여 충분한 성능을 갖고 있을 것. 특히 장기적 creep 변형에 대한 저항성이 클 것
- 아스팔트 재료와 골재간에 결합력이 좋을 것
- 댐체의 지지층(transition zone)과 차수벽의 결합이 잘 이루어질 것
- 차수벽을 관통한 파이핑 또는 내부침식에 대해 control이 가능할 것
- 차수벽 저면을 따라 누수가 될 때 양압력이 발생하지 않도록 원활한 배수계획을 수립할 것

- 차수벽 시공중 뿐만 아니라 서비스 기간에도 지지층은 충분한 안정성을 유지할 것
- 특별한 현지의 기상조건 및 기타 환경 하에서도 내구성을 확보하고 있을 것
- 얼음 등에 의해 차수벽이 벗겨지지 않도록 할 것
- 갤러리 또는 차수벽으로의 접근이 용이할 것

또한, 기록에 따르면 강진시 일부 AFRD댐에는 차수벽에 심각한 균열이 발생하여 댐체의 안정성이 심각하게 위협을 받은 사례가 다수 있다. 따라서, 상시 및 지진시 댐체 특히 차수벽의 균열발생 유무, 누수량의 급증 유무 등을 모니터링하고 현장을 확인할 수 있는 체계를 구축해둘 필요가 있다.

7. 맺는 글

2015년 9월에 시작된 조지아 Nenskra수력개발사업에서 본댐의 형식으로서 아스팔트표면차수벽형 석괴댐(AFRD) 형식을 채택함에 따라 수자원공사를 비롯한 한국의 댐기술자들은 새로운 댐형식을 접할 기회를 갖게 되었다. 게다가 Nenskra댐은 두터운 빙하퇴적토 지반에 건설될 뿐만 아니라 활성단층의 영향을 강하게 받는 지역에 위치하고 있어 기초처리와 내진안정성 확보도 중요한 이슈이다. 그야말로 설계-시공-유지관리의 전단계에 걸쳐 수많은 기술적 과제들이 내재되어 있는 고난이도의 초대형 프로젝트이다. 그러나 소양강댐을 비롯한 수많은 댐을 성공적으로 건설, 관리해온 우리 댐기술자들은 충분히 잘 해낼 수 있으리라 믿어 의심치 않는다.

모쪼록 AFRD댐에 대해 철저한 조사와 연구에 근거한 충분한 이해를 토대로 세계에서 가장 높은 AFRD댐이 될 Nenskra댐을 성공적으로 완공하여 조지아 정부는 물론 세계 각국에 우리의 기술력을 유감없이 각인시켜주는 기회가 되기를 기원한다. “무슨 일이든 할 수 있다고 생각하는 사람이 해내는 법이다” - 정주영 -

참고 문헌

ICOLD Bulletins 114(1999), Embankment Dams with Bituminous Concrete Facing

최형식 (2006) “필댐의 지반조사”기문당.

최형식 (2013) “필댐의 수치해석”기문당.

최형식 (2014) “필댐의 설계”기문당.

中村吉男(2011), アスファルト 表面遮水壁型ダムの耐震性向上に関する研究.

JSCE(2012), アスファルト 遮水壁工.