

다. 댐의 내진설계방법은 정역학적 방법과 동역학적 방법으로 구분되어 있으며 본 연구에서는 입력지진파의 동적특성, 즉 표준설계응답스펙트럼 강화에 대한 영향을 검토하고자 동역학적 방법을 적용하고 FLAC v7.0을 이용하여 댐체의 지진 시 거동을 분석하였다.

금번 내진설계기준 공통적용사항 제정으로 인하여 각 시설물의 내진설계기준이 통일성 있게 정비되었으며, 댐설계기준 또한 타 시설물 설계기준과 상이했던 성능수준별 재현주기 등을 공통적용사항을 기준으로 통일되었다. 하지만 이전의 댐설계기준(2011)에 의하여 동역학적 설계방법 사용 시에는 재현주기 2,400년을 적용하였으며 이번 댐설계기준 개정(안)과의 차이점은 지반분류 및 표준설계응답스펙트럼의 강화이다. 본 연구에서는 주파수 성분을 제외한 강진지속시간, 최대가속도는 동일하게 적용하여 순수하게 주파수 성분 강화에 대한 영향을 검토하였으며, 댐체 정상부 침하량에 미치는 영향은 미비한 것으로 나타났다.

K-water에서 관리하는 댐 시설물은 주기적으로 정밀안전진단 등을 통하여 내진성능평가를 수행하고 있다. 이번 내진설계기준 공통적용사항 제정과 댐설계기준 개정에 따른 댐 내진안정성에는 문제가 없을 것으로 판단되나 추후 다른 댐에 대해서도 새로운 설계기준에 대한 영향을 평가할 필요가 있다.

 참고문헌

Vucetic, M., & Dobry, R. (1991). Effect of soil plasticity on cyclic response. *Journal of geotechnical engineering*, 117(1), 89-107.

Rollins, K. M., Evans, M. D., Diehl, N. B., & Ill, W. D. D. (1998). Shear modulus and damping relationships for gravels. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 124(5), 396-405.

Sawada, Y. (1975). Study on the material properties and the earthquake behaviors of rockfill dams. 第 4 回 日本地震工?シンポジウム論文集, 1975, 695-702.

행정안전부(舊 국민안전처) (2017). 내진설계기준 공통적용사항.

한국수자원학회 (2011). 댐설계기준, 국토해양부.

II. 학술 · 기술기사 (6편)

- 수질-수량 연계 강화를 위한 댐-보 운영 고도화 방안 (김현식 차장, K-water)
- 불확실성 증가에 따른 댐 · 저수지 위험도 평가 (임정열 수석연구원, K-water)
- 콜롬비아 이투앙고 댐 건설 중 수재해 위험 사례 (김남룡 책임연구원, K-water)
- 「내진설계기준 공통적용사항」 제정에 따른 「댐 내진설계기준」 개정 (유진권 선임연구원, 김선욱 차장, 오병동 차장, 양승인 차장, K-water)
- 내진설계기준 강화에 따른 댐 내진안정성 평가 (조성배 선임연구원, 김태민 선임연구원, 김남룡 책임연구원, K-water)
- 파키스탄 Patrind 수력발전사업 소개 (임경희 차장, K-water)

파키스탄 Patrind 수력발전댐



임경희 차장
(K-water)

1. 머리말

파키스탄은 계속되는 정치적 혼란과 테러 등으로 인해 인구 대비 턱없이 미흡한 전력설비 투자로 전력부족이 심각하여 일평균 4~6시간씩 정전이 발생하고 있다. 이에 파키스탄 정부에서는 만성적인 전력난을 해소하기 위해 히말라야(Himalayas) 산맥 인더스(Indus) 강 상류의 풍부한 수량을 바탕으로 다수의 수력발전 프로젝트를 추진 중에 있으며, 'Patrind 수력발전사업'은 민간 부문의 전력투자사업 일환으로 국제 경쟁입찰을 통해 발주되었다.

파키스탄 Patrind 수력발전사업은 K-water 최초 해외 투자사업이며, 사업 순 과정(설계 · 건설 · 운영관리 · 금융조달)에 여러 국내기업이 참여하여 성공한 사업으로 국내 기업간의 동반성장을 기반으로 한 해외사업의 선례로서 중요한 의미를 지니고 있다.

2. 사업 현황 및 추진경위

가. 개요

Patrind 수력발전사업은 2005년 PPIB(파키스탄 전력인프라위원회)에서 총 16개의 수력발전댐을 건설하기 위한 'Policy for Power Generation Projects Year 2002' 정책에 의거 민간 개발사업으로 발주하였다. 2012년에 댐 건설을 시작하여 2017년 11월에 공식적으로 상업발전을 개시하였다.

Patrind 수력발전댐은 파키스탄 AJ&K주 무자파라바드 Kunhar(쿤하르)강 유역에 위치하고 있으며, 높이 44m, 길이 168m 로 저수용량은 약 6.1백만m³ 으로 국내 달방댐 규모이며, 시설용량은 150MW 이다. 그 외에도 자연형 침사지와 배사터널, 여수로 등을 갖추고 있다.

표 1.
Patrind 댐의 주요 제원

건설목적	수력발전댐(전력생산 및 공급)
건설기간	2012 ~ 2017
소유자	SHPL(Star Hydro Power Limited) - K-water 손자회사
위치	파키스탄 AJ&K주 무자파라바드
댐 형식	콘크리트 중력식댐(C.G.D)
댐 규모	높이 44m, 길이 168m
저수용량	6.1백만m ³ (국내 달방댐 규모)
유역면적	2,429km ² (국내 소양강댐 규모)
발전설비	지상식 발전소 - 발전용량 150MW(50MW×3기), 연간 발전량 641GWh - 수차형식 중축 프란시스, 정격낙차 107.5m

그림 1.
Patrind 댐 위치도



그림 2.
Patrind 댐 조감도



그림 3.
Patrind 댐 전경



나. 추진경위

Patrind 수력발전사업은 2007년 5월에 한국전력공사(KEPCO)에서 파키스탄 수력발전시장에 대해 공동조사를 제안하면서 시작되었다. 이후 파키스탄 내 시공경험과 수력발전에 대한 경험을 동시에 갖고 있는 삼부토건과 대우건설과 공동으로 사업 타당성 확인을 위한 현장조사를 실시하였다.

동 사업은 대규모 자금을 필요로 하는 해외 건설사업으로, 사업주의 투자금 이외에도 금융기관으로부터 사업비 일부를 PF(Project Finance)로 조달한다. 이와 같이 한국수출입은행(Export-Import Bank of Korea : K-EXIM), 아시아 개발은행(Asian Development Bank : ADB), 국제금융공사(International Finance Corporation : IFC), 이슬람 개발은행(Islamic Development Bank : IsDB) 등 총 4곳의 국제 금융기관이 대주단(Lenders)으로 참여하여, 2011년 12월에 금융협약을 체결하였으며 사업에 필요한 자금을 조달받았다.

댐 설계·건설공사(Engineering Procurement Construction : EPC)는 사업 공동 참여사인 대우건설이 담당하였고, 2009년부터 국내 기업들과 현장 답사를 시작으로 2010년 9월에 EPC 계약을 체결한 후 진입 교량 등 선행공사 착공과 함께 댐 설계에 착수하였다. 2012년 12월에 기본설계 보고서를 바탕으로 본 공사에 착공한 후 4년이 지난 2016년 12월에 댐 건설을 완공하였다.

표 2.
Patrind 수력발전사업
주요 추진경위

'09. 9	파키스탄 SPC(Star Hydro Power Ltd.) 지분 인수
'10. 6	사업보증서 발급(←PPIB, 파키스탄 민간전력인프라위원회)
'10. 9	EPC 계약 체결
'11. 12	금융협약 체결
'12. 3	양허계약 체결(실시협약, 전력구매계약, 물사용계약)
'12. 12	본댐 공사 착수
'16. 12	댐 및 발전소 건설완료
'17. 11	상업발전 개시(11.8)

다. 사업 적용기술

댐 건설지역은 지형적·지질적 특성으로 토사가 하천으로 많이 유입됨에 따라 유사로 인한 수차 손상을 방지하기 위해 침사지 설치 필수적이다. 일반적인 침사지는 수조 형식의 콘크리트 구조물로 설치하는데, 댐 건설지역은 사면 경사가 매우 급하고 지반여건 및 지질 상태가 열악하여, 일반적인 형태의 침사지를 적용할 경우 시공·운영상 큰 문제가 발생할 것으로 우려되어 새로운 기술이 필요하였다. 이에 Sultan Alam 박사(캐나다), Palmi Johannesson 박사(미국), Wynfrith Riemer 박사(독일) 등 국제 전문가들을 현장으로 초빙하여 유사 처리방안에 대해 자문을 받아, 파키스탄 유역 및 환경여건으로 고려한 새로운 컨셉의 유사 처리방식을 도입하였다.

이는 건설 중에 설치한 상류 가물막이를 임시가 아닌 영구 구조물(Coffer Dam)로 변경하고 가물막이와 댐 사이에 형성되는 저수지(Modified Pool)를 자연 침전지로 활용하는 방안이다. 또한 입자가 큰 유사들은 상류 가물막이 앞에 퇴적될 것으로 예측, 가물막이 앞 측면에 배사터널(Bypass Tunnel)을 설치하여 댐 하류로 배사함으로써 퇴사를 처리하는 방식이다.

이에 대해, 국제 유수기관인 영국 HR Wallingford 에서 수치모형실험을, 스위스 취리히 공과대학에서 수리모형실험을 실시하여 파키스탄 내 신규 유사 처리방식의 효율성을 검증하였다. 이 결과 0.2mm 이상의 유사는 대부분 저수지 내에 침전되고 가물막이 앞의 퇴사도 모두 배사되는 등 기존 설계의 지하형 콘크리트 침사지 성능보다 훨씬 효율적임이 입증되었다.

그림 4. 설계변경 이전 침사지 도면

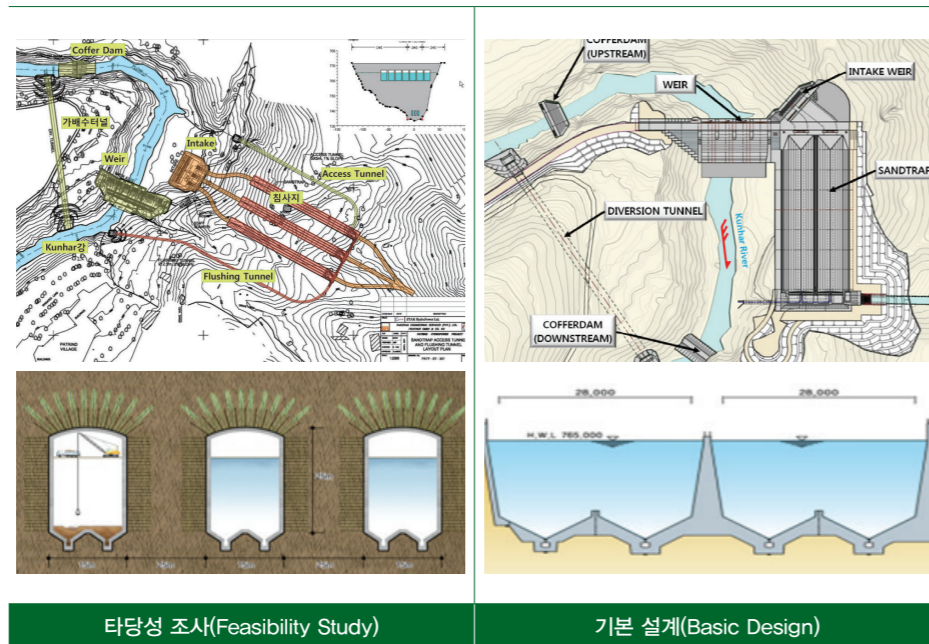


그림 5. 신규 자연형 침사지 도면

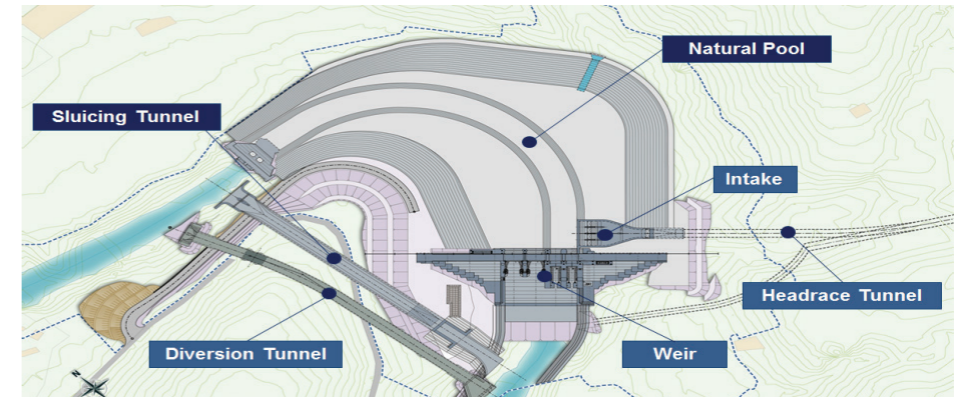
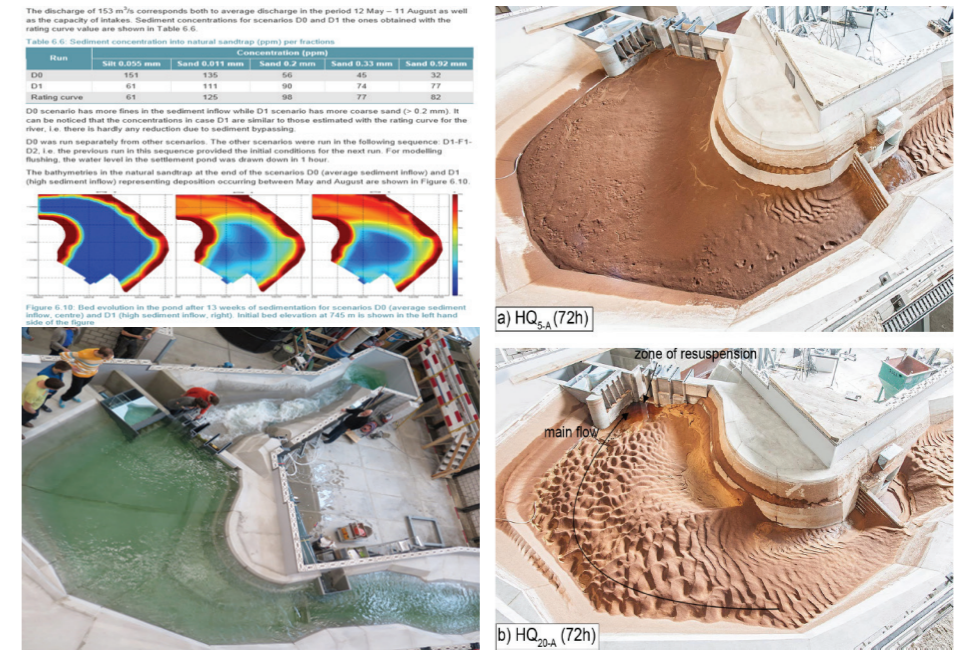


그림 6. 수치모형실험 및 수리모형실험



3. 맺은말

Patind 수력발전댐은 2017년 11월 8일 파키스탄 총리가 참석한 가운데 역사적인 상업발전을 개시하였다. 현재 파키스탄 정부와 사업 개발부터 시설 준공까지 소요된 총 사업비에 대한 검증 및 협의를 진행하고 있으며, 이러한 결과를 바탕으로 최종 발전단가를 결정할 예정이다.

상업발전 개시 이후 현재까지 이상 없이 전력을 생산하고 있으며, 운영단계에서의 침사지 성능을 검증하기 위해 주기적인 퇴사량 조사 및 침사지 내 모래 입자를 측정하는 등 다각적 분석을 실시하고 있다. 이 뿐만 아니라 설비 개대체, 수문·수량 유역 조사 등 댐 및 발전시설 운영에 지장이 없도록 철저한 유지관리를 수행할 예정이며, 운영기간이 만료되는 2047년 11월에 파키스탄 정부에 시설물 전체를 인계할 계획이다.