

파키스탄 Gulpur 수력발전 현장의 Best Practices 소개

Introduction of the Best Practices in the Pakistan Gulpur HEPP

장옥재*, 홍원표**, 채희문***

Ock Jae JANG, Won Pyo HONG, Hee Moon CHAE

요 지

Gulpur 수력발전 프로젝트는 전력난을 겪고 있는 파키스탄에 102 MW 규모의 수력발전소를 건설하여 30년 동안 운영 관리한 후 파키스탄 정부로 양도하는 IPP(Independent Power Producing) 형식의 투자사업이다. 남동발전과 DL E&C, 롯데건설이 Sponsor로서 출자한 자본금과, ADB, IFC, K-EXIM 등의 대주단로부터의 차입금을 재원으로 하여 소요 사업비를 조달하고 사업을 개발하였다. DL E&C와 롯데건설이 EPC(Engineering, Procurement, Construction)를 수행하였고, 이산이 Design consultant의 역할을 수행하였다. Gulpur 수력발전 프로젝트의 발전형식은 수로식(run-of-river)으로 201 m³/s의 발전유량과 102 MW의 발전 시설용량을 이용하여 연평균에 상발전량은 398 GWh이다. 주요 구조물로는 설계 재현빈도 1년의 유수전환시설(가물막이댐 & 가배수터널)과 콘크리트 중력식댐(H 67 m, L 205 m), 도수터널(D 6.7 m, L 215 m, 2기), 옥외형 발전소 (H 51 m, W 60 m, L 38 m, Kaplan 2기)가 있으며, 2015년 10월 착공하여 2020년 3월 상업발전을 시작하였다.

본 프로젝트는 DL E&C의 첫 번째 EPC 해외수력발전 프로젝트이다. 따라서 프로젝트의 성공적 수행을 위한 경제적 설계, 시공의 효율성 및 안정성 확보 등을 위하여 많은 연구를 수행하는 과정에서 다양한 기술 개선을 이룰 수 있었다. 본고에서는 Gulpur 프로젝트를 통하여 도출된 성공 사례들을 소개 및 공유하고자 한다.

첫 번째로 콘크리트 중력식댐 시공을 위한 유수전환시설의 최적 설계빈도를 산정하였다. 일반적으로 유수전환시설의 규모는 설계기준에 제시된 설계 재현빈도를 이용하는데, 해외 설계기준에서는 10년, 국내 설계기준에서는 1~2년으로 다르게 제시되어 있는 문제점이 있다. 유수전환시설의 규모는 프로젝트의 경제성에 큰 영향을 미치기 때문에 최적 설계빈도의 결정이 필요하며, 위험도 분석기법(Risk Analysis)과 기대화폐가치법(Expected Monetary Value)을 이용하여 유수전환시설의 최적 설계 재현빈도와 이에 영향을 미치는 인자를 분석하였다. 위험도는 몬테카를로 시뮬레이션으로 산정된 가물막이댐 파괴확률과 재현빈도를 이용하여 산정된 가물막이댐 월류확률을 고려하였으며, 비용 및 피해액으로는 유수전환시설의 공사비, 가물막이댐 파괴시의 재건설비용과 지체보상금, 가물막이댐 월류시의 복구비용을 고려하였다. 이에 대한 연구결과로, 유수전환시설의 사용기간과 월류시의 복구비용이 유수전환시설의 설계 재현기간 결정에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났고, 특히 월류시의 복구비용이 작을수록 낮은 설계 재현빈도를 선택하는 것이 타당한 것으로 나타났다. 예를 들어, 유수전환시설의 사용기간이 3 ~ 5년, 복구비용이 0.5 ~ 1.0 mil USD 이하인 조건에서 가물막이시설의 최적 설계빈도는 1년 ~ 2년인 것으로 나타났다. 또한, 유수전환시

* 정회원 · DL E&C 토목해외수력팀 부장 · E-mail : 10trials@dlenc.co.kr

** 정회원 · DL E&C 네팔수력발전사업팀 부장 · E-mail : hwp@dlenc.co.kr

*** 비회원 · DL E&C 토목해외수력팀 팀장 · E-mail : hmchae@dlenc.co.kr

설의 사용기간은 본댐의 규모와 시공기간 등을 고려하여 결정되는 사항으로 설계자가 임의 조정할 수 없지만, 복구비용은 시공 관리자에 따라 결정되는 부분으로, 적극적 홍수 피해 저감 및 복구방안을 마련하는 것이 프로젝트의 경제성을 향상시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다.

두 번째로 프로젝트의 경제성 향상, 홍수기 댐 시공시의 안전성 확보를 위하여 홍수 조기경보시스템(Early Warning System)을 개발 및 활용하였다. 수로식(Run-of-river) 수력발전댐은 대부분 산악지역에 위치하기 때문에 국지성 강우 및 급한 지형 경사로 인하여 돌발홍수(flash flood)의 발생 가능성이 높다. 따라서 시공 중 홍수(월류) 발생을 미리 감지하고 현장에 전파할 수 있는, 수로식(Run-of-river) 수력발전댐 현장을 위한 홍수 조기경보시스템이 필요하며, 이를 리스크 인식, 모니터링 및 경보, 전파 및 연락, 반응 능력 향상의 4가지 부분으로 나누어 구축하였다. 리스크 인식 부분에서는 가물막이댐 월류 발생 상황에 대한 위험도, 취약성, 리스크를 제시하였으며, 모니터링 및 경보 부분에서는 상류 측정수위에서 유도된 현장 예상수위와 실제 현장 측정 수위를 대상으로 경보홍수위와 위험홍수위로 나누어 관리하였다. 전파 및 연락 부분에서는 현장 시공 조직을 활용하여 홍수시를 대비한 비상연락체계도(Emergency communication flow chart)를 운영하였으며, 반응 능력 향상을 위해 비상연락체계도의 팀별 Action plan을 상세화 하였다.

세 번째로 현장의 지질특성과 50여 차례 발파시험으로 현장 고유의 발파진동감쇄곡선을 도출하였으며, 이를 통해 현장의 시공성과 콘크리트 품질 확보를 동시에 달성할 수 있는 방안을 제시하였다. 콘크리트댐 공사에서는 제한된 공기 내에 공사를 완료하기 위해 사면부 굴착과 콘크리트 타설이 동시에 수행될 수밖에 없는 문제점을 가지고 있다. 그러나 신규 콘크리트 타설면 근처에서 발파를 수행하는 경우 발파로 발생하는 탄성파가 일정 수준을 초과하게 되면, 콘크리트 양생에 영향을 주게 된다. 따라서 다수의 현장 발파시험을 통해 발파거리와 최대진동속도의 상관관계 즉, 발파진동감쇄곡선을 도출함으로써 현장의 발파진동특성을 도출할 수 있었다. 또한, 기존 연구 논문들을 통해 콘크리트 재령기간 별 안전진동속도를 선정하고, 해당 안전진동속도를 초과하지 않는 범위에서 콘크리트 타설면과 발파위치의 거리에 따라 1회 발파 가능한 장약량을 산정하여 적용하였다. 이와 같은 체계적인 접근을 통해 콘크리트 타설과 발파 작업 동시 수행에 대한 논란을 해소할 수 있었다.

핵심용어 : 위험도 분석, 가물막이시설 최적 설계빈도, 홍수 조기경보시스템, 발파진동감쇄곡선