

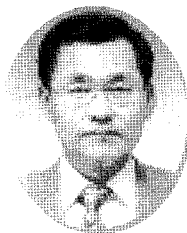
소양강댐 선택취수설비 건설공사 가물막이 공법 변경 및 버력 반출 공정 개선에 관한 고찰



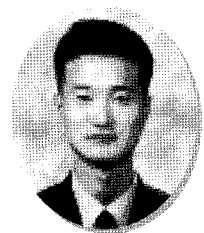
염경택
한국수자원공사
수자원사업본부장
(yumkt@kwater.or.kr)



고양수
한국수자원공사
소양강댐관리단장
(ysko@kwater.or.kr)



이필진
한국수자원공사
소양강댐관리단 사업팀장
(piljin@kwater.or.kr)



김한섭
한국수자원공사
소양강댐관리단
(deepfall@kwater.or.kr)

1. 서론

북한강 수계의 소양강다목적댐은 1973년 10월에 홍수 조절과 용수공급 및 전력생산을 목적으로 준공되어 최근 까지 그 역할과 목적을 충실히 수행해왔다. 그러나 댐 상류의 고랭지 채소밭과 건설현장 등 무분별한 개발 사업으로 인해 2006년 7월 국지성 집중호우시 다량의 토사가 댐 내로 유입되어 고탁수가 장기화되는 현상이 발생하였다. 상류로부터 유입되는 탁수는 소양호와 댐 하류하천의 생태환경을 악화시키는 것은 물론 하류 생·공용수 공급에 차질을 주고 있으며 용수수요와 전력수요가 많은 여름철에 발생하여 국가적 손실이 크다고 할 수 있다. 이에 K-water가 참여한 “국정현안정책조정회의”에서 총 사업비 3,839억원을 투자하여 유역 및 댐내 대책을 수립하였고,

그 중 본 공사는 댐내 대책의 일환으로, 탁수방류 일수 저감을 위해 취수탑 및 연결터널을 신규로 축조함으로써 임의종의 용수를 선택적으로 취수할 수 있도록 하기 위한 “소양강댐 선택취수설비 건설공사(이하 선택취수설비 건

표 1. 선택취수설비 건설공사 개요

목 적	소양강댐 탁수방류기간 단축으로 댐의 부정적 이미지 불식 및 하류영향 최소화
공사기간	2009. 11 ~ 2014. 5
공사비	426억원
시설개요	· 취수탑 : B16m×L22.2m×H89.2m · 취수문비 : B10m×H4.8m×3문(직선다단식 Roller Gate) · 연결터널 : D=7.3m, L=70.1m(원형) · 가물막이, 수직터널 굴착 및 보강 등

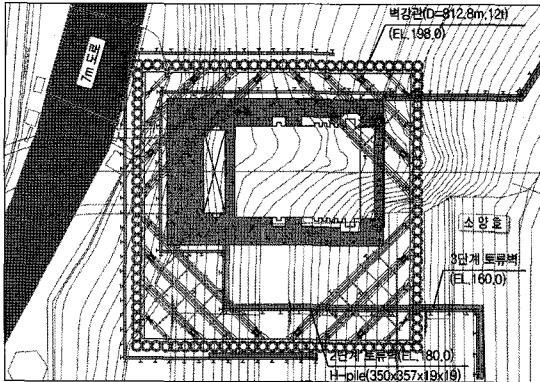


그림 1. 선택취수설비 건설공사 가물막이 가물막이 평면도 및 단면도

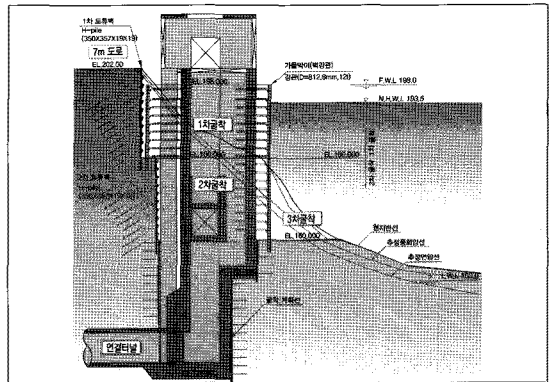


표 2. 선택취수설비 건설공사 가물막이 설계개요

가물막이 설계개요	설계개요
가물막이 설계개요	· 1차 굴착 : H-Pile 설치 + 토류판 + Ground Anchor (EL.202m~EL.180m)
	· 가물막이 : - 벽강널말뚝 + 지보재 + Grouting - 시공면적 : 30.7m × 30.7m - 규격 : D812.8mm, T12mm, 116개소
	· 2차 굴착 : H-Pile 설치 + 토류판 + Ground Anchor (EL.180m~EL.150.6m)
	· 3차 굴착 : Rock Bolt 설치 + 토류벽 (EL.150.6m~EL.126m)

설공사"이며 2009년 11월 착수하여 2011년 10월말 공정률은 42.8%를 보이고 있다.

선택취수설비 건설공사는 홍수조절, 용수공급 등 기존의 댐이 가지고 있는 고유기능의 훼손없이 공사를 진행하여야 하며 기존 취수탑 인근에 설치하기 때문에 불가피하게 저수지내 급경사지에 공사부지가 위치한다. 또한, 연간 100만 명이상이 찾는 춘천의 주요 관광지로 관광객의 불편 최소화와 안전 확보를 위해 중장비의 운행시간, 수직터널의 굴착이 제한 받는 특수한 여건으로 안정적인 가물막이 축조와 굴착 버력의 효율적인 반출, 터널굴착 시공이 본 공사의 성패를 좌우하는 중요한 공종이라 할 수 있다.

특히, 본 고에서 살펴볼 선택취수설비 건설공사의 가물막이는 저수지 내에 위치하며 관광지에 인접한 불리한 시공여건을 극복하기 위해 충분한 검토를 통해 그 공법이 결정되어야 한다.

수직터널 굴착은 지표에서 76m(EL.202m~126m)를

대단면(17.55m × 16.35m)으로 굴착하는 위험한 공종이자 주(主)공정으로 사이클타임 단축 여부가 전체 공사기간을 좌우하는 결정적 요소이다.

이 같은 중요성을 감안하여 선택취수설비 건설공사에 적용된 가물막이 및 버력 반출(타워크레인과 버켓 조합) 설계현황 등 예상되는 문제점 등을 사전에 발굴하여 현장 여건에 맞는 최적 공법선정을 선정하기 위한 방안을 모색해보고자 한다.

본 공사의 가물막이는 강관널말뚝 공법으로 널말뚝으로 형성된 벽체 이음부를 지수처리하여 치수기능을 확보하고, 부재의 단면강성이 유리하여 수평저항력이 크고 지지층까지 매설하는 공법으로 설계되어 있으며 높이는 저수지 계획홍수위인 EL.198.0m까지 계획하였다. 시공순서는 가이드파일 설치 ⇒ 강관널말뚝 매입 ⇒ 지보재 설치 ⇒ 이음부 지수처리의 순으로 진행된다.

인양 및 반출 장비는 타워크레인 20ton + 버켓 3m³의 조합으로 구성되어, 발파 ⇒ 버력 적재(백호우 0.8m³, 버켓 3m³) ⇒ 인양 및 반출(타워크레인 20ton) ⇒ 적지 ⇒ 발파(타워크레인 인양에 의한 백호우 이동 · 대피)의 순서로 진행된다.

2. 예상문제점 도출

선택취수설비 건설공사의 가물막이 설계현황을 검토해 본 결과 예상되는 문제점은 다음과 같이 세단계로 분

소양강댐 선택취수설비 건설공사 가물막이 공법 변경 및 버력 반출 공정 개선에 관한 고찰

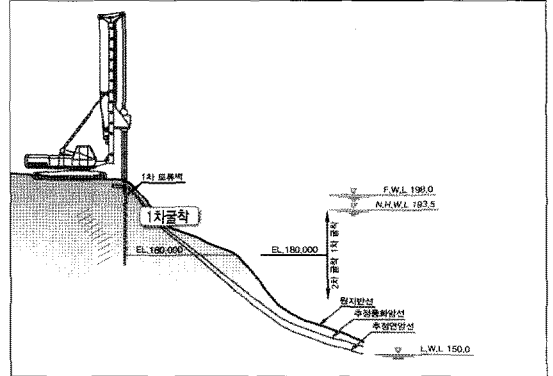
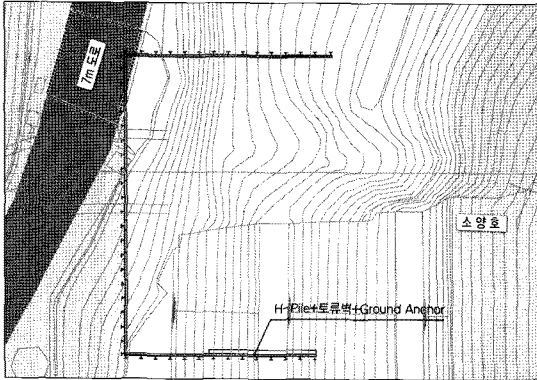


그림 2. 가물막이 1단계 (H-pile + 토류판 + Ground Anchor)

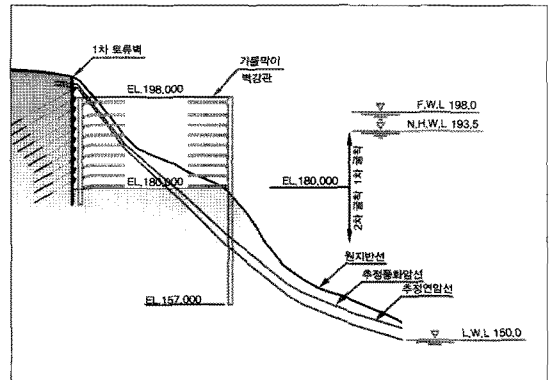
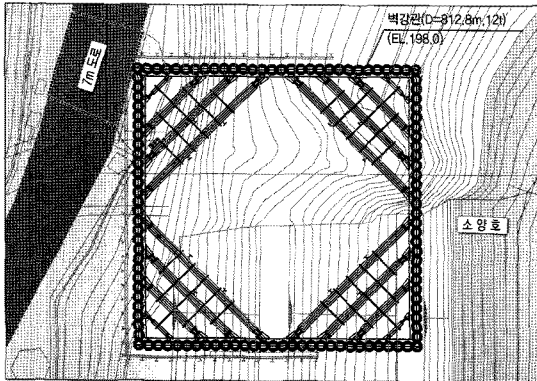


그림 3. 가물막이 2단계 (벽강관파일 + 지보재 + 그라우팅)

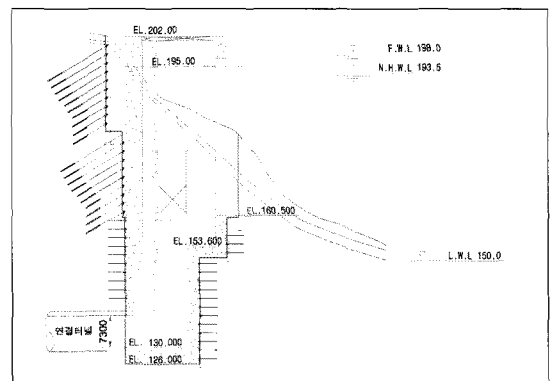
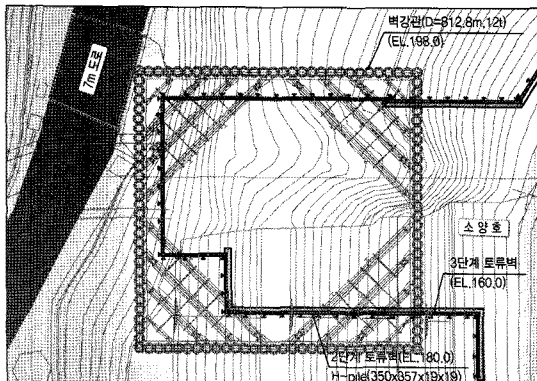


그림 4. 가물막이 3단계 (H-pile + 토류판 + Ground Anchor)

류하였다.

첫 번째로(그림.2), 시공성 측면으로 기존도로에 대형 천공장비가 위치하게 되어 관광객의 통행이 차단되며 급경사 사면인 저수지내 대부분의 구간에 대형 항타장비 접근이 불가능하므로, 관광객 통행 확보와 시공성 확보를

위한 대안이 필요하다는 점이다.

두 번째는(그림.3) 안전성 측면으로 벽강관 이음부와 기초부가 동결과 해동을 반복하여 차수능력의 확보가 어렵고, 편토압이 작용하는 지반조건에 Corner Strut으로 지보하는 시스템은 좌굴되는 사례가 빈번하여 차수기능

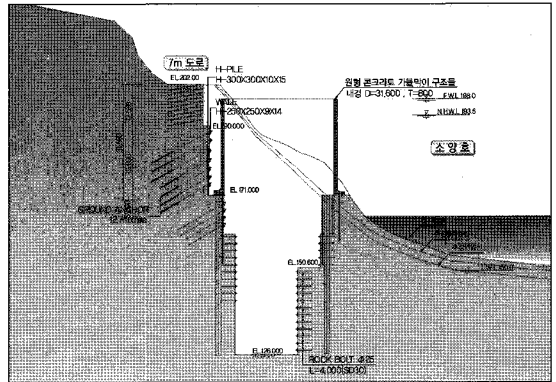
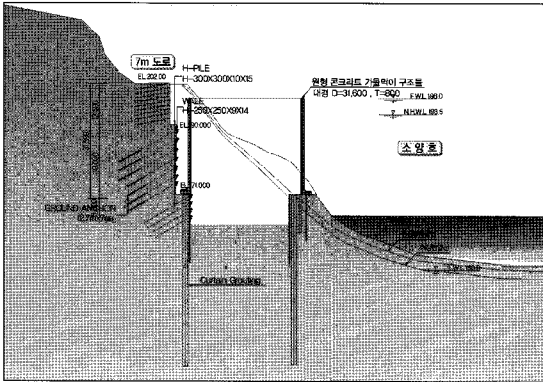
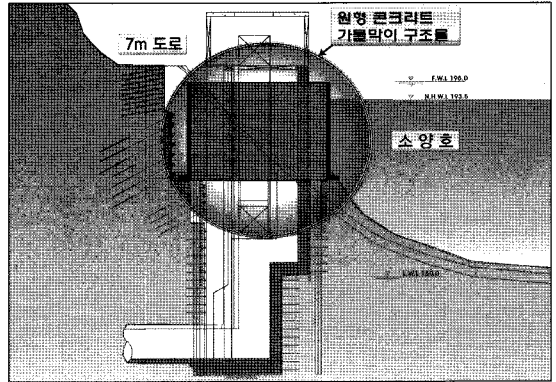
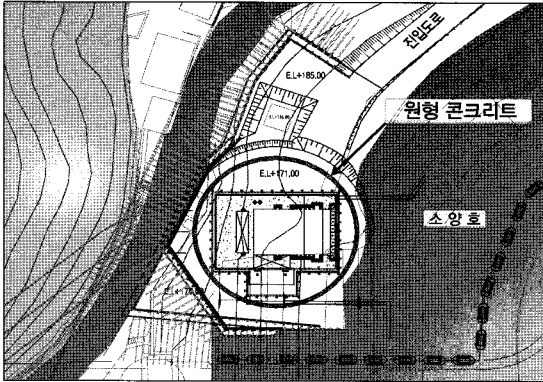


그림 5. 시공성·안전성·예측가능성을 확보한 공법 개선 (원형 콘크리트 공법)

표 3. 변경 가물막이 개요

형식	원형 콘크리트 구조물
구조	RC 콘크리트(27MPa)
직경	내경 31.6m
벽체 두께	0.6m~1.0m

과 지보의 안정성 확보를 위한 대안이 필요하다.

세 번째는 예측가능성 측면으로 심도 23.5m의 H-Pile + 토류관 가설 계획은 소양호 수위가 EL.160.0m 이하가 3개월 이상 유지시에 작업이 가능하므로, 변동하는 댐 수위에 무관하게 작업이 가능토록 불확실성 제거를 위한 대안이 필요하다.

인양 및 반출 장비는 타워크레인 20ton + 버켓 3m²의 조합으로 구성되어 있으나, 타워크레인은 수직터널 굴착

중 발파시 마다 굴착장비(백호우 0.8m)를 대피·이동시키는데 있어서 인양능력과 속도에 한계가 있으며, 버켓은 3m²로 적재용량이 작아 사이클타임이 많이 소요되는 문제점이 도출되었다.

3. 예상문제 해소를 위한 고찰

위에서 언급한 바와 같은 문제점으로 대안공법을 검토하게 되었으며, 검토방법은 기존 가물막이 공법은 전면 변경하여 신규 공법을 검토하였으며, 인양 및 반출장비는 용량증대를 통한 사이클타임 단축을 검토하였다.

우선 기존 가물막이의 현장적용 여건이 불리하여 시공성, 안전성, 예측가능성을 확보하도록 원형 콘크리트 가물막이를 검토하였다.

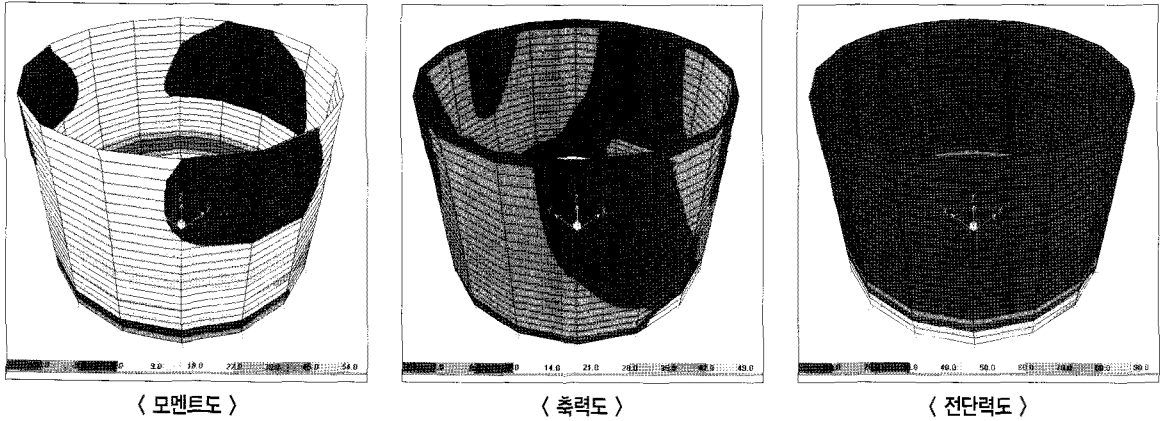


그림 6. 가물막이 구조해석 결과

3.1 가물막이 공법 변경 (강관널말뚝 공법 ⇒ 원형 콘크리트 공법)

우선, 원형 콘크리트 공법은 강성이 크게 확보되어 구조적으로 안전하며, 내부 작업공간이 충분하여 대형 건설 장비의 운용이 효과적이므로 시공성이 크게 증대될 것으로 판단되었다.

또한, 하자 발생시 보수·보강이 용이하고 존치기간(2.9년) 동안 유지관리가 유리하며, 원형단면이 차수성과 구조적 안전성이 확보되며 차수성이 우수한 것으로 검토되었다.

아울러, 기존 공법은 소양호 수위가 EL.160.0m 이하가 3개월 이상 유지시에 작업이 가능했으나, 댐 수위 EL.160m로 유지하는 조건은 재현빈도가 낮고 하류 용수 공급문제를 위해 현실적으로 곤란하여, 변경 공법은 댐 수위 EL.172m 정도에서 시공 가능하고 재현빈도가 높아 본 공법으로 적용하기로 하였다.

실제로, 2010년 6월 댐 수위 EL.170m시 변경 가물막이 공법을 착수하여 댐 수위에 지장받지 않고 순조롭게 진행, 저수지 계획홍수위인 EL.198.0m까지 축조를 완료하여 예측가능성 측면도 완전히 해소되었다.

변경 가물막이 공법에 대한 전산구조해석 결과 가물막이 높이가 22m 일때, 최대모멘트(M_{max}) 42.8tfm, 최대 축력(V_{max}) 82.0tf, 최대전단력(P_{max}) 32.7tf로 분석되었으

며, 수평철근 H25@150, 전단철근 H13@300, 콘크리트 강도 270kgf/cm²를 적용하여 검토한 결과 구조적으로 안정한 것으로 해석되었다.

3.2 인양 및 반출장비 변경 [타워크레인(20t) + 버켓(3m³) ⇒ [(타워크레인(40t) + 버켓(7m³)]

기존 타워크레인(20t)은 수직구 굴착에 사용되는 장비를 인양하기에 부족하고, 무리한 인양시 타워크레인 전도의 위험이 있으며, 버켓 또한 굴착시 발생하는 버력에 비해 규모가 작아 사이클타임이 지연되는 단점이 있어 공정 관리에 어려움이 있었다.

이에, 굴착장비 인양이 가능하며, 증대되는 버켓의 버력적재시 중량을 감당할 수 있는 타워크레인(20t→40t)하였고, 버켓은 적재용량을 증대(3m³→7m³)함과 동시에 버켓 개·폐시 발생하는 동하중의 충격이 타워

표 4. 크레인 마스트(500HC40) 및 버켓 안전성 검토 사항

- ① 타워크레인 Mast의 응력과 변위
- ② Bucket 구조물의 응력과 변위
- ③ 유압 유니트 및 Hydraulic Cylinder 검토
- ④ Sling Chain 강도 계산
- ⑤ 연결볼트 및 Bucket(Door) Hinge Pin 강도 계산
- ⑥ 안전도 계산

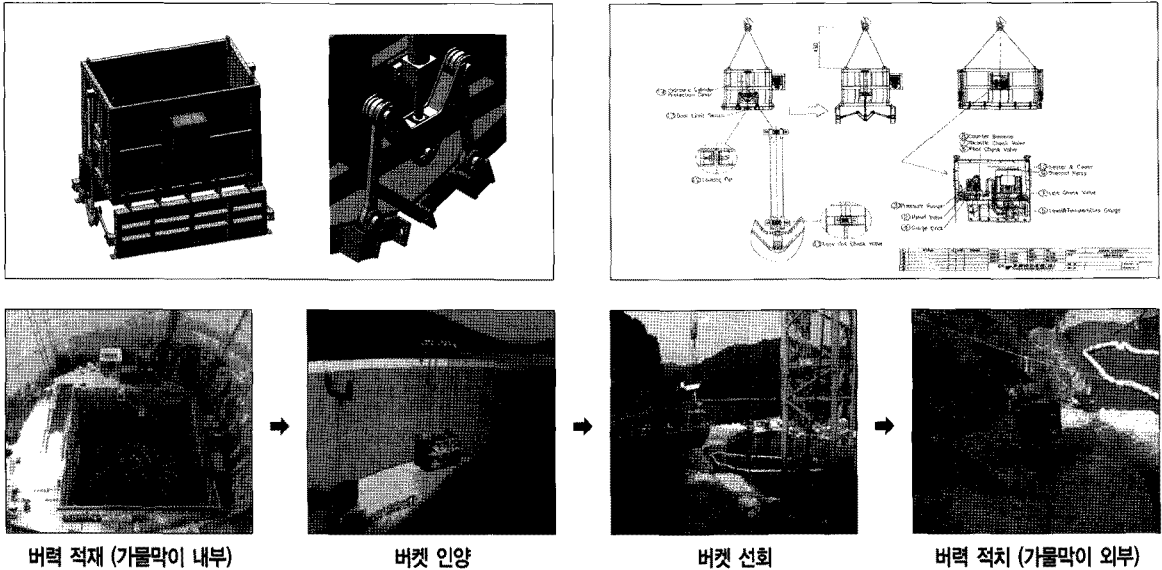


그림 7. 인양 및 반출장비 변경 [타워크레인(40t) + 버켓(7m³)]

크레인에 전달되는 하중을 최소화하기 위해 유압장치를 설치하여 안전성을 확보하였다.

4. 결론

이상과 같이 소양강댐 선택취수설비 건설공사의 핵심 요소인 가물막이와 굴착 및 버럭인양장비 등에 대해 검토한 결과, 기존의 강관널말뚝 형식의 가물막이는 시공성, 안전성 및 유지관리 측면에 있어 불리한 것으로 판단되며, 굴착 및 버럭인양을 위한 타워크레인과의 버켓의 경우, 크레인 용량 부족 및 반복하중 발생 등에 의해 타워크레인의 안전성이 우려되고, 버럭반출시 효율이 낮은 것으로 검토되었다.

따라서, 가물막이는 댐 저수위의 간섭이 적으며, 협소한 부지에서도 시공성, 구조적 안전성이 뛰어난 원형 콘크리트 공법을 적용하되, 수압 및 시공속도 등을 고려하여 벽체 두께를 하부 1.0m에서 상부 0.6m로 변경하여 적용하였다. 한편 시공이음부에는 차수성 증대를 위해 2열의 지수판을 설치하였고, 가물막이의 바닥면과 지반사이의 차수 및 지반보강을 위해 2열의 압밀그라우팅 및 호수

축 전면에 마이크로 파일을 시공하였다.

인양·반출장비는 타워크레인과 운반 버켓의 조합을 재검토하여 중하중의 굴착장비 인양이 가능하며 버켓 적재용량을 증대함과 동시에 개·폐시 발생하는 동하중의 충격이 타워크레인에 최소로 전달되도록 유압장치를 설치하여 인양·반출능력을 극대화하였다.

또한, 버켓의 유압장치 파손시 적재물 낙하에 따른 인명 피해 방지를 위해 개·폐부 안전핀을 이중 안전장치로 적용하였으며, 작업자의 감전 예방을 위해 절연 콘센트를 적용하였다.

향후, 시공된 가물막이에 관해 지속적인 계측을 병행하여 가물막이 및 수직사면에 대한 거동 추이를 모니터링하고, 인양·반출 공정의 사이클을 면밀히 feedback하면 안전성 및 시공성의 확보를 통해 공정 최적화를 할 수 있으리라 기대된다.

참고문헌

1. 소양강댐 선택취수설비 건설공사 기본 및 실시설계 보고서(한국수자원공사 2009.3)