

에너지 대전환 시대의 중심 양수발전소

-친환경 댐건설로 완성하다-

Pumped Storage Power Plants at the Center of the Energy Transition Era
- Achieving Completeness Trough Eco-Friendly Dam Construction -



김광섭 한국수력원자력
양수건설처 실장
seopseop55@khnp.co.kr

요약 (Abstract)

탄소중립 이행을 위한 재생에너지 확대는 전력망의 간헐성과 변동성이라는 심각한 불안정성을 야기하고 있다. 이에 한국수력원자력은 전력계통의 안정성을 확보하고 신속한 피크 대응이 가능한 핵심열쇠로 양수발전 건설사업을 적극 추진 중이다. 현재 국내 양수발전 설비용량은 4.7 GW 수준에서 2038년 까지 10.4 GW로 확대하는 계획 아래, 영동(500 MW), 홍천(600 MW), 포천(700 MW)에 신규 양수발전소를 성공적으로 착공하여 건설을 진행하고 있다.

본 사업은 지형 및 지질조건에 맞춰 콘크리트 차수벽형 석괴댐(CFRD)과 콘크리트 중력식댐(CGD) 형식을 최적 채택하였으며, ELCM 등 선진 댐 타설공법을 검토·적용했다. 또한, 선행호기 및 해외사례 조사를 통해 취수구 이중수문설비, 댐체 내 무문식 여수로 및 갤러리를 설계에 반영하였다. 나아가 생태자연도 1등급 훼손 최소화를 위한 상부댐 순환도로 노선 최적화와 임목폐기물의 산림바이오매스 자원화 등 친환경 설계를 적극 도입했다.

본 고를 통해 재생에너지 한계를 극복하고 지역사회와 상생하는 친환경 양수발전소의 모델과 시공현황을 공유하고자 한다.

키워드: 양수발전소 건설, 취수구 이중수문설비, 친환경 설계

Keywords: Pumped Storage Power Plant Construction, CFRD, CGD, ELCM, Intake Double Gate Facility, Eco-friendly Design

1. 에너지 전환 시대의 양수발전

최근 정부는 탄소중립 실현을 위한 ‘에너지 대전환’에 전력을 다하고 있다. 전 세계적인 기후위기 대응과 무역장벽으로 다가온 RE100(재생에너지 100%) 이행을 위해 태양광, 풍력 등 재생에너지 설비 보급속도는 그 어느때보다 가속화되는 중이다. 그러나 빛이 강할수록 그림자도 짙어지는 법이듯, 재생에너지 비중이 늘어날수록 우리의 전력망이 마주하는 불안정성이라는 숙제도 급격히 커지고 있다.

재생에너지는 자연환경에 의존하기 때문에 기후와 시간에 따라 발전량이 출렁이는 ‘간헐성’과 ‘변동성’을 지닌다. 해가 질 무렵 태양광 발전량이 급감할 때 전력공급이 부족해지는 ‘덕 커브(Duck Curve)’ 현상이나, 반대로 낮시간 전력이 과잉생산되어 타 발전설비를 강제로 조절하는 ‘출력제어’ 사태는 이미 제주와 호남지역을 넘어 전국적인 현상으로 확산되고 있다.

이러한 거대한 전환의 기로에서 전력계통의 안정성을 확보하고 나아가 성공적 에너지 전환 완수를 위한 핵심열쇠가 바로 ‘양수발전’이다.

정부는 전력수요 변동에 대응해 잉여전력을 저장(펌핑)하고 피크시 신속한 발전을 통한 안정적 전력공급망 유지를 위해 국내 양수발전 설비용량을 현재 4.7 GW 수준에서 2038년까지 10.4 GW로 대폭 확대 추진하고 있으며, 그 출발점에 한국수력원자력(이하한수원)에서 건설중인 영동, 홍천, 포천 양수발전소 건설사업이 있다.

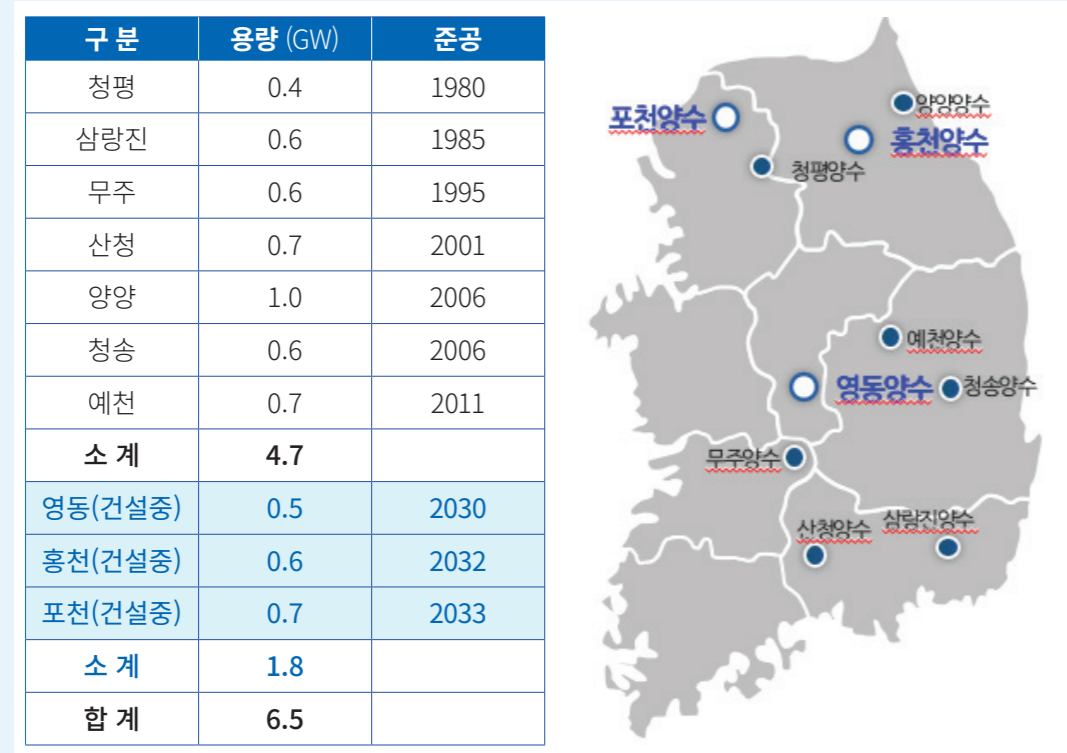
2. 신규양수 건설사업

2.1 영동·홍천·포천 사업개요

제8차 전력수급기본계획(산업통상자원부, 2017), 제9차 전력수급기본계획(산업통상자원부, 2020)에서 신재생에너지 확대 등 발전원 구성의 변화와 함께 2034년까지 신규로 필요한 2.8 GW의 발전설비 확대 계획 중 1.8 GW의 발전원으로 양수발전을 계획하여 지자체 자율유치를 통해 본 사업인 영동, 홍천, 포천양수 사업이 추진되었다.

[표 1] 신규양수 사업개요

지점	설비용량 (MW)	사업일정 (본공사 기준)	위치
영동	500(250x2기)	'24. 9 ~ '30. 12	충북 영동군 상촌/양강면 일원
홍천	600(300x2기)	'26. 1 ~ '32. 12	강원 홍천군 화촌면 일원
포천	700(350x2기)	'26. 6 ~ '33. 12	경기 포천시 이동면 일원



[그림 1] 국내 양수 설비 현황('26. 6 기준)

2.2 신규양수발전소 상·하부댐 설계

2.2.1 양수댐 위치 및 형식결정

양수발전소 상·하부댐의 위치 결정시에 검토되는 제반조건을 요약하면 아래와 같다.

- '생태자연도 1등급' 편입면적이 최소화되는 지점
- 발전 및 양수를 위한 유효저수용량을 확보할 수 있는 지점
- 댐의 기초로서 양호한 기초 암반조건을 확보할 수 있는 지점

- 경제적인 측면을 감안하여 협곡의 폭이 좁아 댐 규모를 최소화 할 수 있는 지점
- 발전수로 연장을 최소화 할 수 있는 지점
- 유수전환시설의 양호한 시공여건을 확보할 수 있는 지점

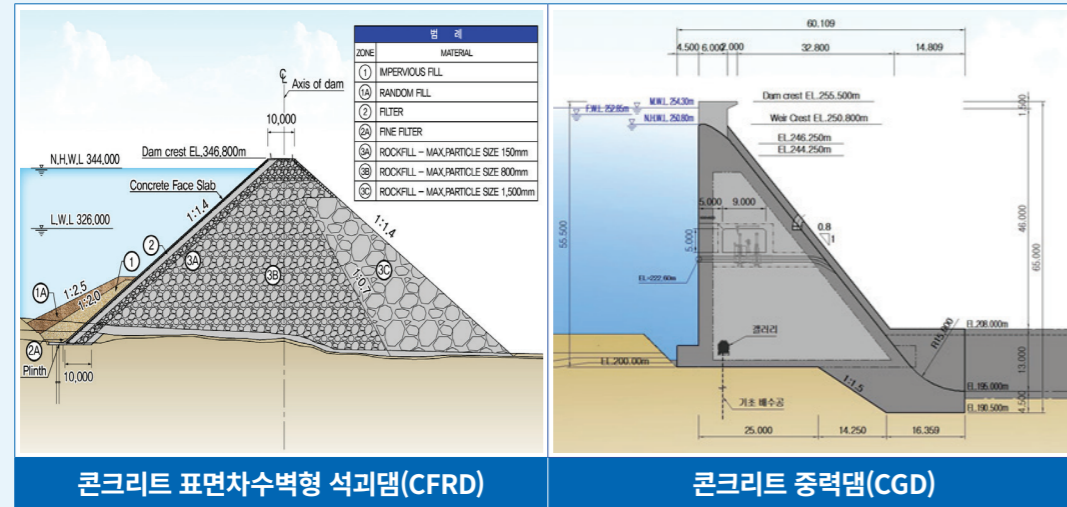
댐 형식을 결정함에 있어서는 계획지점의 지형 및 지질조건과 같은 물리적 특성뿐만 아니라 재료원, 시공성, 안전성, 유지관리성 및 환경성 측면 등 여러 가지 복합적 요소가 서로 영향을 미치므로 영향인자를 종합적으로 고려하여 최적의 형식을 결정하여야 한다.

국내에서 통상 많이 채택하는 댐 형식으로는 콘크리트 중력식댐(CGD)과 콘크리트 표면 차수벽형 석괴댐(CFRD)이 있으며, 신규양수 댐 또한 두 형식을 중심으로 검토되었다

[표 2] 댐 형식 비교

구분	콘크리트 표면차수벽형 석괴댐 (CFRD)	콘크리트 중력식댐 (CGD)
개요도		
기상조건	• 기상 및 수문조건에 의한 영향 작음	• 기상 및 수문조건에 의한 영향 작음
여수로	• 댐 제체 내에 여수로 설치 불가능하여 좌안 또는 우안에 설치	• 댐 제체 내에 여수로 설치 가능
댐 기초	• 댐 기초가 풍화암급(CL급) 이상이면 시공 가능하여 평면상 굴착 범위 축소	• 단위면적당 기초지반에 작용하는 하중이 크므로 타 공법에 비해 신선한 암반 위에 시공하여 평면상 굴착범위 증가
댐 규모	• 댐 체적 큼 • 상·하류 사면경사(1:1.3~1:1.6)	• 댐 체적 작음 • 상류 사면경사(수직) 하류 사면경사(1:0.7~1:0.8)
축조재	• 굴착재료 이용 및 석산개발	• 대규모 세골재 구입 필요
시공설비	• 차수벽 콘크리트 타설을 위한 slip form 및 부대설비 필요	• 콘크리트 타설공정에 따라 혼합·골재생산·타설·냉각설비 필요
댐제체 시공	• 제체가 석괴로 구성되어 축조 시 기상 영향을 가장 적게 받는 형식으로서 기초 처리 공사와 댐 축조 공사의 병행 시공으로 공사 기간이 짧고 시공관리 유리 • 댐체의 부등침하를 고려하여 축조 시 시공에 유의	• 혼합설비에서 생산된 콘크리트를 크레인 타설설비로 리프트 계획에 맞추어 시공하며 별도 타설설비 등의 구매 필요

안전성	<ul style="list-style-type: none"> • 월류, 누수에 대한 안전성 및 댐 파괴에 대한 내구성 보통 	<ul style="list-style-type: none"> • 월류, 누수에 대한 안전성 및 댐 파괴에 대한 내구성 우수
사례	<ul style="list-style-type: none"> • 남강, 밀양, 군위, 김천부항, 용담, 부안 • 산청, 양양(상), 청송, 예천 	<ul style="list-style-type: none"> • 충주, 합천, 섬진강, 보현산, 성덕 • 양양(하)



[그림 2] 댐 형식별 표준단면도

2.2.2 신규양수 지점별 댐 형식

지점별 지질조건, 유수전환, 여수로, 시공성, 환경성 및 경제성 등을 종합적으로 검토하여 각 지점에 맞는 최적의 하부댐 형식을 채택하였다.

[표 3] 영동·홍천·포천 상·하부댐 제원

구분	영동양수		홍천양수		포천양수	
	상부댐	하부댐	상부댐	하부댐	상부댐	하부댐
댐 형식	CFRD	CFRD	CFRD	CGD	CFRD	CGD
댐 길이	451.3 m	277.3 m	564.2 m	320 m	432.5 m	445.0 m
댐 높이	87.4 m	55.2 m	92.4 m	66.5 m	86.5 m	58.5 m
댐 마루폭	10.0 m	10.0 m	10.0 m	8.0 m	10.0 m	8.0 m
상·하류면 경사	1:1.4	1:1.4	1:1.5	수직/1:0.8	1:1.4	1:0.8
최고수위	EL.783.2 m	EL.346.4 m	EL.654.2 m	EL.379.35 m	EL.604.3 m	EL.254.30 m
계획홍수위	EL.781.7 m	EL.345.1 m	EL.652.6 m	EL.377.93 m	EL.603.0 m	EL.252.85 m
상시만수위	EL.781.5 m	EL.344.0 m	EL.652.0 m	EL.376.30 m	EL.602.7 m	EL.250.80 m
저수위	EL.732.0 m	EL.326.0 m	EL.594.0 m	EL.348.20 m	EL.556.0 m	EL.238.30 m
사수위	EL.719.1 m	EL.311.6 m	EL.574.3 m	EL.330.00 m	EL.539.7 m	EL.221.58 m

2.2.3 콘크리트중력댐 타설공법 선정

홍천양수와 포천양수 하부댐 형식으로 채택한 콘크리트중력댐(CGD) 타설을 위한 공법으로 주상공법인 재래식공법과 면상공법인 RCC(Roller Compacted Concrete), RCD(Roller Compacted Dam-concrete), ELCM(Extended Layer Construction Method)을 비교하였다.([표 4])

[표 4] 댐 타설공법별 특징

구분	댐 타설공법		
	ELCM(면상공법) (Extended Layer Construction Method)	RCC(면상공법) (Rollor Compacted Concrete)	RCD(면상공법) (Roller Compacted Dam-concrete)
개요	<ul style="list-style-type: none"> • 유슬럼프 콘크리트를 블록 확장하여 • 타설콘크리트 덩프 운반, 다짐은 바이백 사용 	<ul style="list-style-type: none"> • 무슬럼프 콘크리트를 블록 확장하여 타설 • 콘크리트 덩프운반, 다짐은 진동롤러 사용 	<ul style="list-style-type: none"> • 무슬럼프 콘크리트를 블록 확장하여 타설 • 콘크리트 덩프운반, 다짐은 진동롤러 사용
시공사진			
배합	<ul style="list-style-type: none"> • 골재 최대치수 150 mm • 단위결합재량 130~150 kg/m³ 	<ul style="list-style-type: none"> • 골재 최대치수는 75 mm (3in.)로 RCD와 유사 • 단위결합재량 100~150 kg/m³ 	<ul style="list-style-type: none"> • 골재 최대치수는 일반적으로 80 mm • 단위결합재량 100~130 kg/m³
슬럼프	• 3 cm~4 cm	• 0 cm(무슬럼프)	• 0 cm(무슬럼프)
수평 이음부 처리	• 레이턴스제거 작업 후 몰탈부설 실시	• 일반적으로 수평이음부 미처리(최근 누수문제로 처리)	• 레이턴스 제거 • Green Cut 작업 후 몰탈 부설 실시
리프트 높이	• 75 cm, 150 cm	• 대부분 댐에 30 cm 채택	• 75 cm, 100 cm
횡이음 조성	• 15 m~60 m 간격 • 진동절단기를 사용	• 15 m~60 m 간격	• 15 m 간격 • 진동절단기를 사용
안전성	• 동일면상 콘크리트 타설로 작업원 안전	• 동일면상 콘크리트 타설로 작업원 안전	• 동일면상 콘크리트 타설로 작업원 안전

주요특징	<ul style="list-style-type: none"> • 타설, 다짐방법은 재래식공법과 유사 • Pipe cooling 미실시 • 수화열관리 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 연속 시공 시 타설속도가 빠르며, 타형식에 비해 다소 경제적 • Pipe cooling 미실시 • 수화열관리 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 주상블록공법과 유사한 품질(강도, 밀도, 수밀성) • RCC에 비해 타설속도 느리고 고가 • Pipe cooling 미실시 • 수화열관리 필요
국내실적	<ul style="list-style-type: none"> • 충주댐, 합천댐, 양양양수 하부댐 	<ul style="list-style-type: none"> • 시공실적 없음 	<ul style="list-style-type: none"> • 한탄강댐
해외실적	<ul style="list-style-type: none"> • Hoover Dam, 삽협댐 	<ul style="list-style-type: none"> • Asanabe Dam, Aonodaishi Dam 	<ul style="list-style-type: none"> • Miyagase Dam, Origawa Dam, Kasegawa Dam

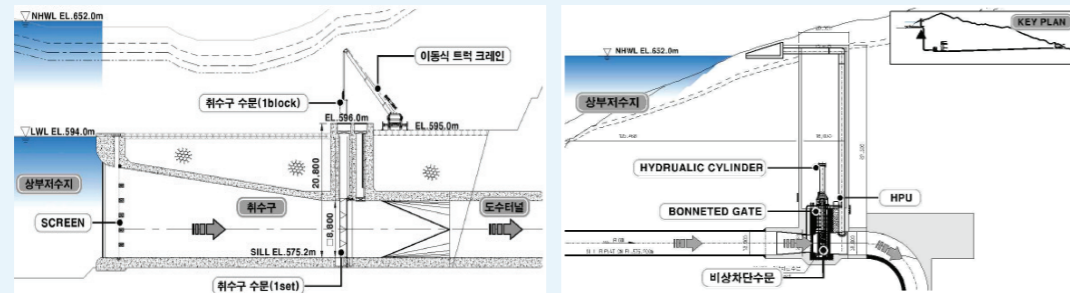
댐 시공방법 검토결과 품질확보, 범용장비 활용, 단차발생 최소화에 따른 안전성 확보 가능성, 하부댐의 규모, 특성, 경제성, 시공성을 고려하여 최근 보현산댐 건설시 적용된 ELCM 공법을 홍천양수 및 포천양수의 하부댐 콘크리트 타설공법으로 채택하였다.

2.2.4 주요 설계 개선사항

신규 양수발전소를 설계함에 있어 한수원이 운영중인 기존 양수발전소 및 해외사례를 검토하여 취수구 수문시스템 개선, 댐체 내 여수로 및 갤러리 설치 등을 반영하였다.

1) 취수구 이중 수문설비

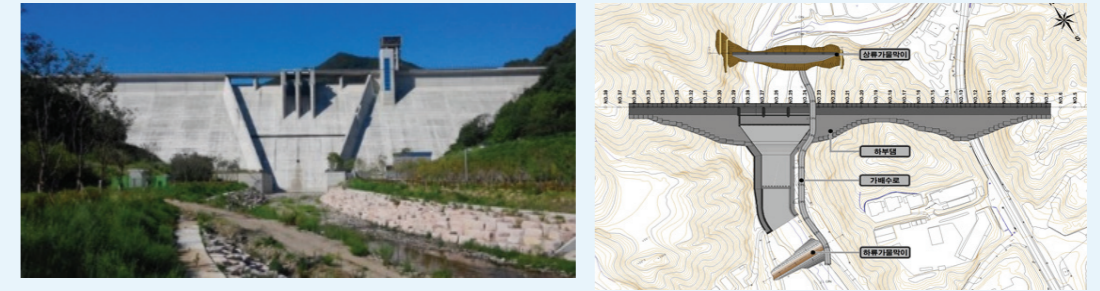
도수터널 유지관리 등 상부저수유량 유입 차단 필요시를 대비해 취수구 수문시스템을 Stop Log식 예비수문과 본네티드 게이트식 비상차단수문의 2중 차단구조로 설계하여 신속성과 안전성을 확보하였다.



[그림 3] 홍천양수 취수구 수문설비 계획

2) 콘크리트 댐 무문식 여수로

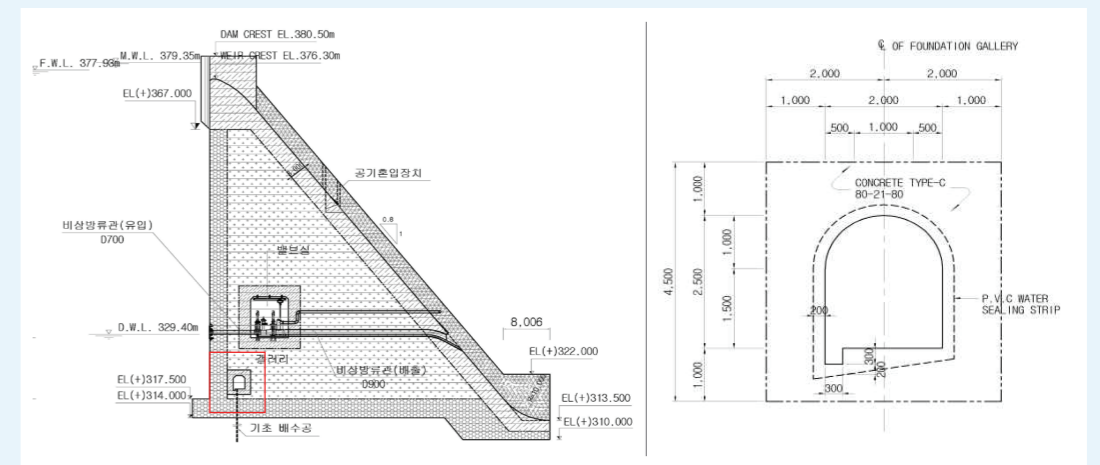
여수로의 형식은 양수발전을 위한 단일목적댐에서 유역면적이 비교적 작고, 하상경사가 급하여 홍수 도달시간이 짧을 경우 수문조작시간이 충분하지 못한 점, 운영 및 유지관리 용이성 등을 고려하여 무문식(비조절식)을 채택하였다.



[그림 4] 포천양수 하부댐 여수로 형식

3) 콘크리트 댐체 내 갤러리

콘크리트 댐체 내 공사중에는 시공품질관리를 위한 통로, 공사후에는 기초 배수공의 설치, 누수량 측정 및 제외배수, 댐체 점검 등의 통로로 이용할 목적으로 갤러리 (Gallery)를 설계에 반영하였다. 또한 향후 내방객 전시통로 등으로 활용될 계획이다.



[그림 5] 홍천양수 하부댐 갤러리 표준단면

2.2.5 친환경 설계

신규양수 발전소 설계시 환경훼손 최소화를 위한 상부댐 순환도로 노선 선정, 훼손수목 이식 및 임목폐기물 재활용 등 친환경 요소를 중시하였다.

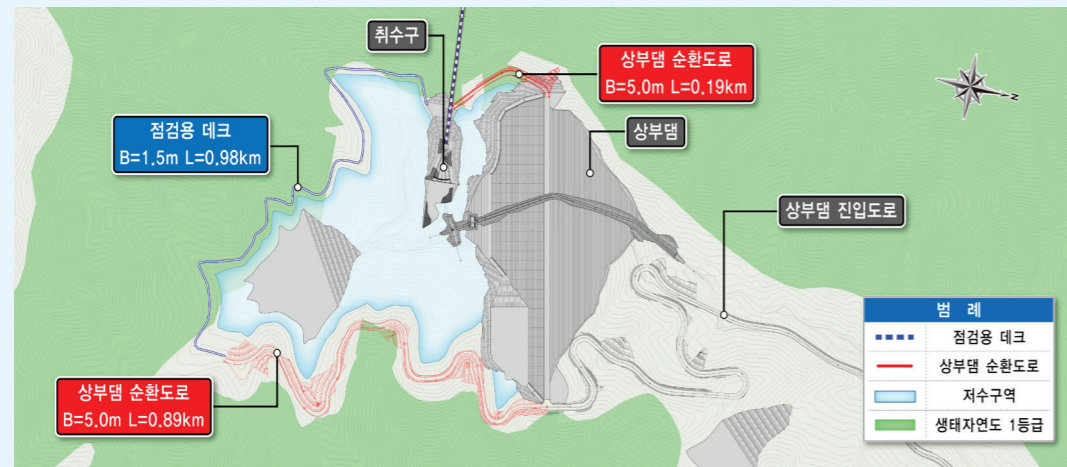
1) 생태자연도 1등급 훼손 최소화

댐 관리를 위하여 저수지를 따라 상부댐 우안에서 좌안을 연결하는 상부댐 순환도로 노선 계획시 생태자연도 1등급 편입면적을 최소화 하는 방안을 기본설계에 반영하였다.

- 생태자연도 1등급 지역이 주로 분포하는 댐 좌안부의 경우, 취수문비 설치 지점까지만 순환도로 노선 계획
- 댐 우안부는 생태자연도 1등급 지역이 분포하지 않은 저수지 물 꼬리 지점까지 도로 노선 계획(우안부 도로 노선 종점부 회차공간 확보)
- 좌·우안부 사이구간(순환도로→점검용 데크) 순환도로 노선 단축

[표 5] 생태자연도 1등급 편입면적 비교

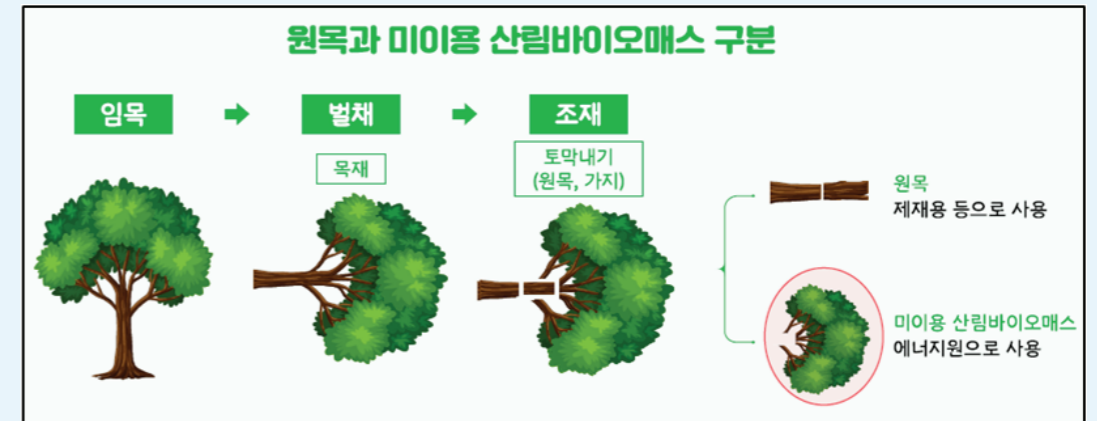
구분	생태자연도 1등급 편입면적		비고
	타당성조사	기본설계	
전체	62,444 m ² (44,037 m ²)	31,262 m ²	타당성조사 대비 ▼ 31,182 m ²



[그림 7] 영동양수 상부댐 순환도로 노선계획

2) 임목폐기물 재활용

건설시 발생하는 대규모 임목폐기물 재활용 방안을 이원화 하여 탄소중립 정책에 기여하고 있다.

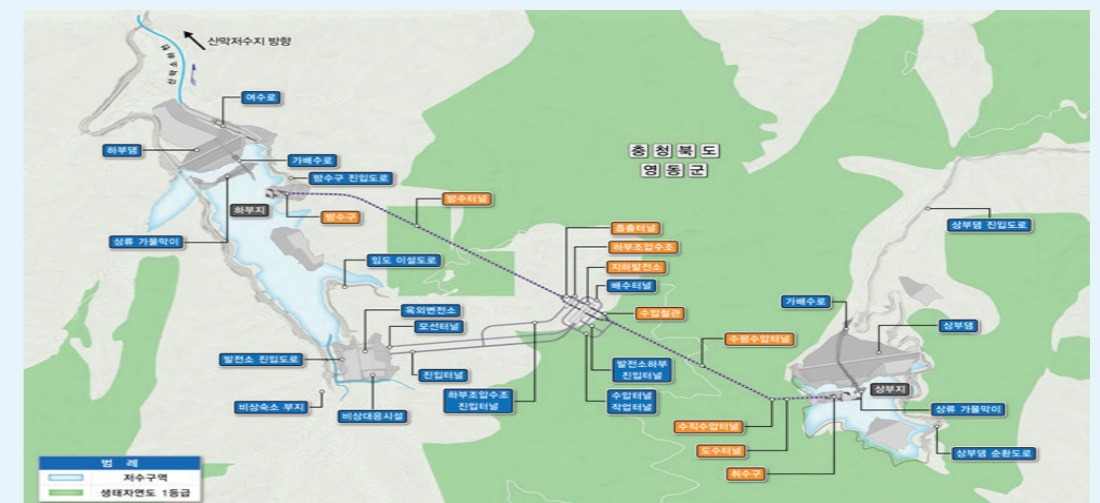


① [임목자원화] → 산업용재 / ② [산림바이오매스] → 재생에너지(목재펠릿·목재칩)

[그림 8] 임목폐기물 재활용 방안

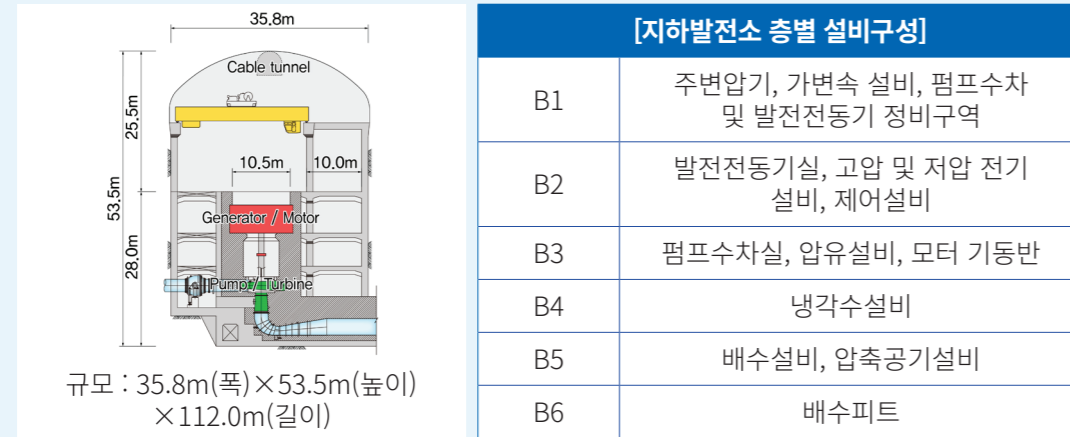
2.3 시공 추진현황

영동양수발전소 토건공사는 댐공사, 지하발전소 및 수로터널 공사, 옥외스위치야드 등 야드공사로 구성되고, 2024년 9월 옥외스위치야드 굴착공사 착수를 시작으로 현재 터널 및 지하발전소 굴착공사를 진행중에 있다.



[그림 9] 영동양수 시설물 배치도

지하발전소는 펌프수차 등 주요 발전설비가 배치되는 공간으로서 상·하부댐과 함께 양수발전소의 핵심 시설물중 하나인 대규모 지하공동시설이다.

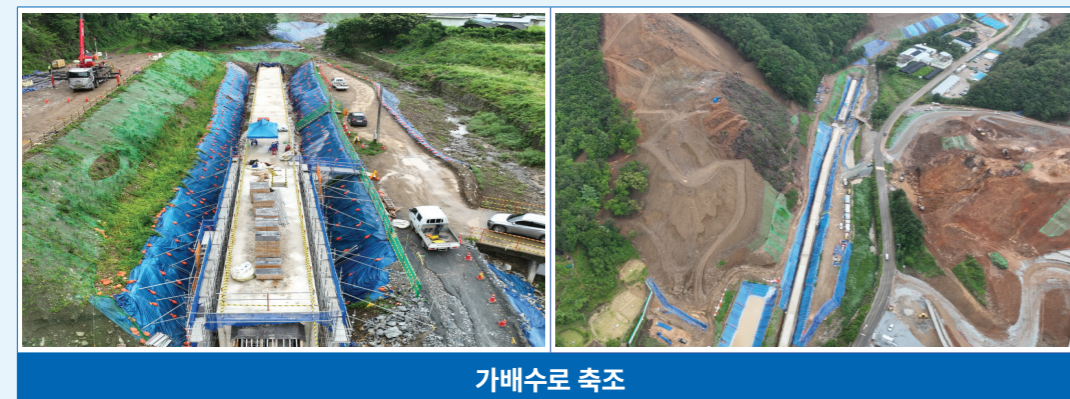


[그림 10] 영동양수 지하발전소 표준도



[그림 11] 영동양수 옥외스위치야드 및 모스터널 시공사진

댐공사의 경우 26년 9월 하부댐 기초굴착 적기 착수를 위해 유수전환시설인 가배수로 공사를 진행중에 있다.



[그림 12] 영동양수 하부지 가배수로 시공사진

영동양수발전소 후속으로 추진중인 흥천양수는 2026년 1월, 포천양수는 2026년 6월 토건공사를 착공하여 건설공사 초기업무에 매진하고 있다.

3. 맺음말

재생에너지의 변동성을 극복하고 친환경 에너지 강국으로 나아가기 위해 양수발전소 건설은 더 이상 미룰 수 없는 시대적 소명이다. 다만 이 과정에서 한가지 중요한 것은 ‘자연과의 조화’와 ‘지역사회와의 상생’이라는 것을 잊지 말아야 할 것이다.

우리가 건설하고자 하는 양수발전소 댐은 단순히 콘크리트 구조물에 그치지 않고, 주변 생태계를 보존하고 지역경제 활성화에 기여하는 ‘친환경 상생의 모델’이 되어야 한다. 철저한 환경영향평가 이행은 물론이고 주민들과의 긴밀한 소통을 바탕으로 자연을 닮은 친환경 양수발전소를 성공적으로 완수할 것이다. 탄소중립이라는 거대한 전환의 길목에서, 안전하고 풍요로운 에너지 미래를 열어가는 주춧돌이 되도록 끝까지 책임감을 갖고 노력해 나가겠다고 다짐해 본다.