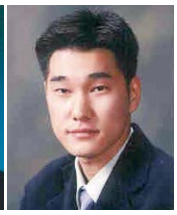
성덕다목적댐 건설공사



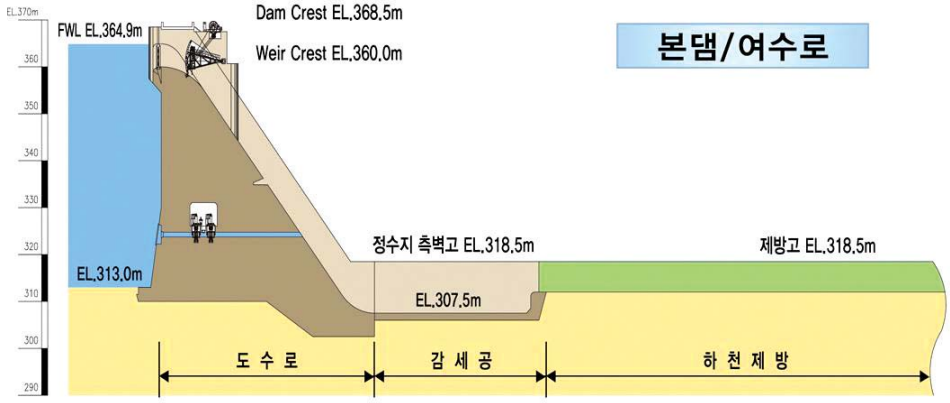
이영태
현대건설(주)
토목환경사업본부 상무
kigok@hdec.co.kr

최 훈
현대건설(주)
토목환경사업본부 부장
ch0725@hdec.co.kr

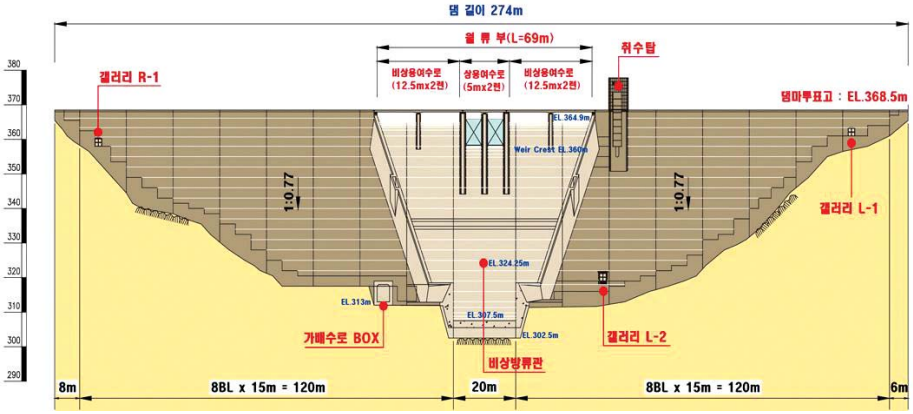
1. 성덕다목적댐 건설공사 개요

1.1 개요

성덕다목적댐은 기존 성덕저수지를 재개발하는 사업으로 수자원의 활용도 제고 및 환경적으로 건전하고 지속가능한 수자원개발과 함께, 최근 기상이변에 따른 국지적인 호우, 태풍 등으로 인해 우리나라 전역에 엄청난 홍수재해가 빈번히 발생함에 따라 저수지에 충분한 홍수조절용량을 확보하여 댐 하류 낙동강 길안천 유역의 홍수피해 방지와 경북 내륙지역(청송, 경산, 영천)의 안정적인 용수공급을 하는데 목적이 있다.



본댐 횡단면도



본댐 하류부 입면도

성덕다목적댐은 총저수용량 2,790만㎥ 규모로 댐높이 58.5m, 댐길이 274m, 총체적 22만7천㎥의 콘크리트 중력댐(C.G.D)이며 2련의 상용 여수로(Radial gate)와 4련의 비상 여수로 형식을 취한다. 댐하류 지역에 필요한 농업 및 생공용수 공급을 위하여 용도에 맞는 수심의 물을 선택 취수할 수 있도록 「측벽 원형 다단식 실린더 게이트 형식」의 취수설비를 도입하였으며 소수력 발전소를 병행 설치하여 연간 1.409GWh의 발전이 가능토록 하였다. 현재 본댐 축조는 99%의 공정이 진행중이며, 댐하류호안공, 부대건축공사 등이 진행중이다.

1.2 시공 요약

먼저 댐 부지 정지작업과 동시에 유수전환을 위한 가배수로 박스를 시공하였고 상류 가물막이(콘크리트) 및 하류 가물막이(토사)를 설치하였다. 본댐 콘크리트 타설을 위한 준비작업으로 Batch Plant, Crusher Plant, 골재 폐수처리시설, 레미콘 폐수처리시설 등 제반 공사를 수행하였으며, 하상굴착과 좌·우안 굴착이 완료된 후 본댐과 정수지를 동시에 축조하였다. 또한 압밀 및 차수 그라우팅 등의 기초처리 공법을 본댐 콘크리트 타설과 병행하여 댐기초 전면(全面)에 대한 수밀성, 지지력 및 균질성을 향상시켰다.

이밖에 댐관리동 건축물이 관리동 본연의 기능뿐만 아니라 지역 주민들의 쉼터가 될 수 있도록 하였고, 댐 상류 지역에는 돌보(石洑)를 축조하고 습지를 조성하여 생태 동식물의 보금자리를 만들어 갈 것이다. 더욱이 댐 주변에 다양한 테마의 공원을 조성하여 댐 수변공간을 지역 주민과 국민들에게 새로운 휴식처로 제공하고 건강증진과 건전한 놀이문화를 즐길 수 있는 다양한 시설물을 계획하여 성덕다목적댐이 지역명소로 자리매김 할 수 있도록 하였다.

가배수로 박스

상류 가물막이(coffer dam)

Crusher Plant

우안 굴착

하상부 그라우팅

정수지 콘크리트타설

본댐 축조(2009년)

본댐 축조(2011년)

본댐 축조(2013년)

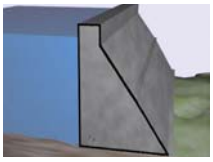
2. 성덕다목적댐을 통한 콘크리트 중력댐의 기술축적

2.1 콘크리트 중력댐 (Concrete Gravity Dam, C.G.D)

댐은 축조재료에 따라 필댐과 콘크리트댐으로 대별하며 콘크리트댐은 구조형식에 따라 중력식, 아치식, 부벽식, 중공중력식 등으로 구분된다. 이 중 콘크리트 중력댐은 여수토, 도수로 등을 댐 제체내에 설치함으로써 자연훼손이 가장 적은 형식으로, 최근 이상기후를 고려했을 때 저수지가 월류하더라도 안정성을 확보할 수 있는 매우 효과적인 댐이며, 수압하중을 제체자중에 의해 하부기초암반으로 전달하고 제체자중과 기초암반의 전단저항에 의해 지지하는 형식이다.

충주다목댐(C.G.D) – 1985년 준공

합천댐(C.G.D) – 1989년 준공



콘크리트 중력식 댐 모식도

2.2 콘크리트 중력댐 타설에 관한 고찰

성덕다목적댐은 충주다목적댐, 합천댐 이후 약 25년만에 국내에서 시공되는 콘크리트 중력댐으로 한국수자원공사와 당사가 협력하여 건설한 충주다목적댐에 대비하여 새롭게 적용한 기술을 살펴보았다.

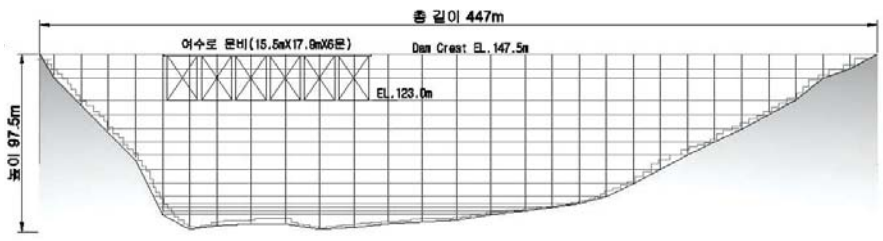
가. 충주다목적댐

충주다목적댐은 한강수계인 남한강 상류 충주시 북동쪽 약 9㎞ 지점에 위치하며 댐의 좌안은 충주시, 우안은 중원군과 접하고 댐 높이 97.5m, 댐 길이 447m, 댐 체적 90만 2천㎥로 저수용량 27억5천만㎥의 국내 최대 콘크리트 중력댐이다.

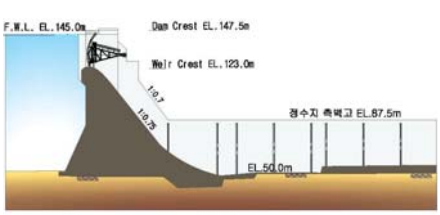
충주다목적댐 건설사업의 주요시설물은 본댐과 조정지댐, 여수로 등과 수력발전설비로 본댐에 설치된 국내 최대 40만㎾의 제1수력발전소, 조정지댐에 설치된 1만2천㎾의 제2수력발전소를 비롯하여 연장 7㎞의 154㎸ 송전선로 등이다.

본 사업은 1978년 6월 진입도로 공사착공 후 8년 6개월 동안 공사하여 1985년 12월에 준공되었으며 사업비는 총 5,550억원이 투입되었다. 충주다목적댐의 사업효과는 홍수조절용량 6억㎥, 연간 각종 용수 33억8천만㎥을 수도권에 공급하며, 연간 8억4천4백㎾의 전력을 생산 공급하고 있다.

충주다목적댐의 본댐은 약 90만2천㎥의 콘크리트를 타설하기 위해 케이블 크레인(20톤) 2기를 사용하여 1982년 3월에 착수하여 1984년 11월에 완료하였는데 본댐 축조시 공정관리 및 품질관리를 위한 특기사항으로 첫째, 수화열처리를 위하여 중용열 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 둘째, 표면처리가 깨끗하고 설치가 용이한 강재거푸집을 사용하였으며, 셋째, 주혼합장에 자동계량장치인 Computer System을 도입하여 신속, 정확한 계량을 할



충주댐 입면도



충주댐 횡단면도

수 있었으며, 넷째, 충주다목적댐 축조 당시 대청댐이 준공됨에 따라 콘크리트 댐을 건설한 숙련된 기능공의 확보가 용이했다는 점이다.

본댐의 콘크리트 타설에 대해 구체적으로 살펴보면 콘크리트는 주로 골재 150㎜의 "A", "B" Type이 사용되었고 다짐장비는 7.8톤의 Vi-Back과 Portable Vibrator를 병행 사용하였으며, 콘크리트 타설 후 10시간 이내에 실시되는 레이탄스 제거(Green Cut)는 High Washer 4대(200kg/㎠ : 3대, 400kg/㎠ : 1대)를 사용하고 양생을 위해 콘크리트 타설 후 각 Block에 2~3개의 Sprinkler를 설치하여 항상 습윤상태를 유지토록 하였다. 또한, 내부 수화열을 냉각시키기 위해 Lift마다 직경 25㎜의 Steel Pipe를 1.0~1.5m 간격으로 설치하여 16ℓ /분의 물을 보통 2~4주간 통수시켜 콘크리트를 냉각시켰으며, 자연수 온도가 높은 5~9월은 용량 600JRT의 Cooling Plant 3기를 설치하여 냉각수를 공급하였다.

2.3 성덕다목적댐 축조기술 개선

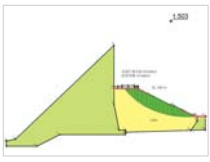
성덕다목적댐은 충주다목적댐 등 기존 콘크리트 중력댐 축조시 얻어진 다양한 경험을 바탕으로 매스 콘크리트 관리기술이 축적된 1종 시멘트 대신 91일 강도를 목표로 하는 4종 시멘트(저열시멘트)로 설계하여 콘크리트 중력댐 설계능력을 한 단계 발전시켰으며, 착공 초기에 시공 및 품질에 대한 다양한 실험과 분석으로 발전된 기술을 완벽하게 현장에 적용하였다.

가. 본댐 콘크리트 타설방법(속도) 개선

본댐 콘크리트 타설방법은 당초 기존 콘크리트 중력댐 축조시 이용되었던 타워 크레인(3기)을 이용하여 타설 속도는 타설 위치마다 다소 차이가 있으나 평균 45m3/hr로 설계되었다. 그러나 현장에서 타워 크레인을 이용한 콘크리트 타설시험(4회) 결과, 콘크리트 타설 작업속도가 설계대비 50%정도로 분석되어 콘크리트의 품질관리와 고공작업에 따른 작업장 안전관리 문제가 예상되어 공사용 가도 축조 후 덤프트럭을 이용한 콘크리트 운반 및 타설방법으로 변경하였다(덤프 트럭 타설속도 72m3/hr). 타설방법 변경과 더불어 덤프트럭의 운반로가 되는 공사용가도의 사면안정성 검토를 수행함으로서 안전성 확보에도 유의하였다.

크레인 시험타설

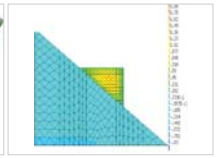
덤프 타설


공사용가도 안정성 검토

나. 콘크리트 Type 변경

당초 본댐 제체부의 주요 물량은 150mm 골재의 4종 시멘트 콘크리트였으나, 덤프트럭으로 콘크리트를 운반하기 어려운 좌 · 우안사면 암착부와 공사용가도 이상의 제체부는 블록 크기가 작아 다짐장비(B/H vibrator), 백호 등의 장비가 원활하게 작업하기 협소할 뿐만 아니라 안전상의 문제가 발생되어 콘크리트의 타입을 25mm 골재 4종 시멘트 콘크리트로 변경하고 타설방법도 덤프트럭 타설에서 펌프카 타설로 변경하였다. 콘크리트의 단위중

좌 · 우안사면 암착부 모델링 및 수화열해석


댐마루고 수화열 해석

펌프카 타설
(공사용가도 이상)

펌프카 타설
(좌안 사면)

펌프카 타설
(우안 사면)

량 변동에 따라 변경된 현장여건에 맞춰 댐 안정성 구조검토와 수화열 해석을 수행하여 댐의 구조적 안정성과 품질 향상에 노력하였다.

다. 콘크리트 포설 방법에 따른 입도분포 시험

콘크리트 포설시 콘크리트 배출구로부터 치기면까지의 높이는 1.5m이하로 관리하는 것이 재료분리를 막고 품질의 향상을 가져올 수 있다. 이와 관련하여 150mm 골재 콘크리트 포설시 타설 방법에 따라(크레인타설, 덤프타설 등) 콘크리트의 재료분리 발생 여부를 확인하기 위하여 품질시험을 실시하였다. 시험결과 모든 방법이 허용입도범위를 만족하는 것으로 나타났으나 다음 표 「콘크리트 포설방법 검토」에서 비교 4안(덤프트럭 포설 후 혼합)의 경우가 가장 우수한 품질을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 현장에서는 콘크리트 타설시 이동식 받침대를 설치하여 콘크리트의 낙하고를 줄이는 등 품질 향상을 위한 시공법 개선방법을 지속적으로 연구하였다.

라. 레이턴스 제거에 따른 폐기물 관리

본댐의 제체 콘크리트를 타설하기 전에 먼저 시공된 리프트 표면의 레이턴스를 고압살수 등의 방법으로 제거하여 신 · 구 콘크리트의 접착력을 높여주어야 한다. 4종 시멘트 콘크리트의 경우 1종 시멘트 콘크리트에 비해 강도발현시간이 길어 레이턴스 발생시간도 상대적으로 길게 된다. 하지만 너무 늦게 레이턴스를 제거할 경우 시공성이 현저히 낮아지는 문제점 개선을 위해 대기온도에 따라 12~24시간 후 1차 레이턴스 제거하고 후속 리프트 타설 직전 2차 레이턴스를 제거하였다.

이렇게 총 2차례의 레이턴스를 제거함으로써 발생하는 폐기물 중량 산정을 위해 단위면적당 발생하는 레이턴스 부피와 비중실험을 실시하여 효과적으로 콘크리트 폐기물을 관리하였다.

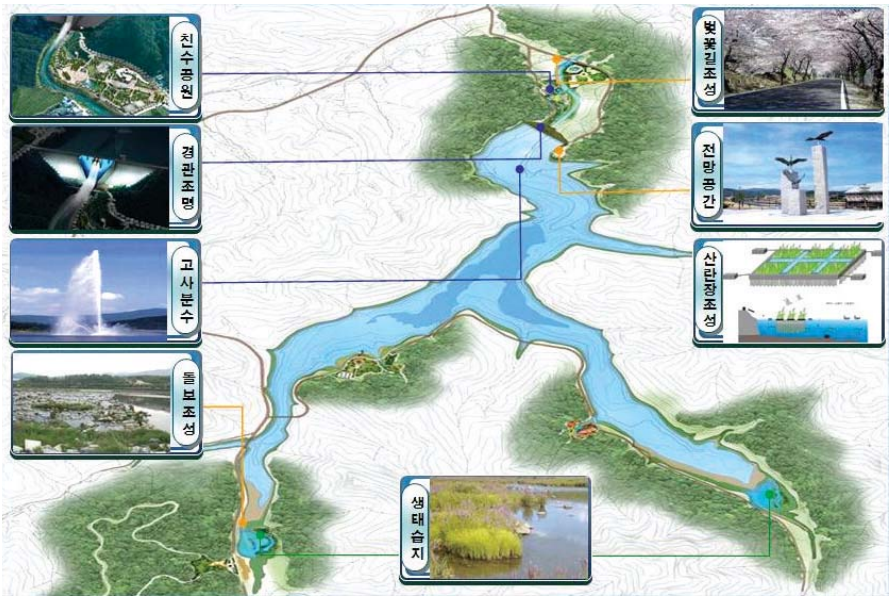
구분	콘크리트 포설 방법	시방규정 및 시험결과 (입경별 백분율)					비 고
		150~80mm (35~20%)	80~40mm (32~20%)	40~20mm (30~20%)	2010mm (20~12%)	10~5mm (15~8%)	
1안	타워크레인 + 버킷 포설	26.1	26.5	23.1	13.9	10.4	허용 입도 범위내 분포
2안	덤프트럭 포설	29.3	24.1	22.4	13.8	10.4	
3안	개조 덤프트럭 포설	23.8	24.1	25.5	15.2	11.4	
4안	덤프트럭 포설 후 혼합	26.0	24.6	24.1	14.9	10.4	

콘크리트 포설 방법에 따른 입도분포 시험

이동식 받침대 사용

3. 주민친화적, 자연친화적 성덕다목적댐 건설

성덕다목적댐은 현재 본댐 축조가 대부분 이루어진 상태이며 담수를 전후로 하여 성덕댐 상 · 하류에는 자연친화적이고 주민친화적인 댐이 될 수 있는 여러 가지 제반시설을 갖추게 된다. 댐 하류에 설치될 콘크리트 보를 이용한 강수욕장은 여름철 지역주민들의 물놀이터가 될 것이며, 하류공원과 축구장 그리고 캠프장 등은 지역 명소가 되어 관광객을 유치하고 방문객에게 좋은 추억을 줄 것이다. 또한, 양질의 수질 확보를 위해 4련의 비상여수로를 설치하여 댐의 수위가 일정수위 이상되면 월류하여 자연적으로 하류 하천으로 물이 흐르도록 하였으며, 저수지에 산소를 공급하고(산기식) 저수지 표층과 심층을 섞어(대류식) 성덕호의 물이 깨끗한 상태가 유지될 수 있도록 설계되었다. 이밖에 댐 상류지역에 2개소의 생태습지와 하수처리시설을 설치하여 친환경적으로 수질을 개선할 수 있도록 계획되어 있다.

4. 맺음말

성덕다목적댐 건설공사는 설계당시 크레인을 이용하여 콘크리트를 타설하는 재래식 공법으로 설계되어 있었지만 기계화 시공방법이 더욱 발전된 지금, 보다 효율적이고 안전하며 품질 향상을 도모할 수 있는 콘크리트 타설방법을 연구하고 실험함으로써 개선된 시공법을 개발하여 성공적으로 본댐 콘크리트 타설을 마칠 수 있었다. 이러한 성덕다목적댐의 노력은 현재 건설되고 있는 다른 댐에 크게 영향을 미쳐 본댐 콘크리트 타설방법을 설계단계에서부터 덤프트럭 타설로 반영(보현산댐)하거나, 당초 콘크리트 타설시 크레인을 이용토록 설계되었던 시공방법을 덤프트럭 타설과 콘크리트 규격변경 등을 통한 타설방법으로 변경, 시공하게 하였다.(영주댐, 한탄강댐) 타설방법 변경 이외에 공도교 거푸집 변경(H beam+브라켓 형식), 폐쇄콘크리트길이 재산정, 기초암반상태 분석을 통한 차수그라우팅의 최적화 등의 노력은 댐의 안전성과 품질을 기반으로 원가절감 등을 고려한 댐 시공기술은 콘크리트 중력댐의 해외 댐건설 시장에서의 글로벌 경쟁력 확보와 댐 건설 발전에 밑거름이 될 것이다.