

# 성덕 다목적댐 콘크리트의 배합설계 및 역학적 특성

## Mix Design and Physical Properties of Concrete Used in Seongdeok Multi-purpose Dam

김진근\* 장봉석\*\* 하재담\*\*\* 류종현\*\*\*\* 고석우\*\*\*\*\* 김정수\*\*\*\*\*  
Kim, Jin Keun Jang, Bong Seok Ha, Jae Dam Ruy, Jong Hyun Go, Suk Woo Kim, Jeong Soo

### ABSTRACT

Gravity dam use self weight to stand external force like hydraulic pressure. In general, gravity dam concrete is divided into internal and external concrete.

Seongdeok dam is gravity dam which is being constructed in Cheongsong-gun, Gyeongsangbuk-do. And upstream cofferdam was constructed to examine the temperature crack due to hydration heat and to decide the height of placement.

In this study, we examined the mix design of internal/external concrete and physical properties(compressive strength, adiabatic temperature rise). And we also performed laboratory tests to verify exothermic properties. Lastly, we measured the hydration heat and thermal stress of upstream cofferdam.

### 요약

중력식 콘크리트 댐은 댐의 자중에 의해 수압 등의 외력에 저항하여 역학적인 안정을 유지하는 댐으로 크게 내부콘크리트와 외부콘크리트로 분류되어 시공된다.

성덕 다목적댐은 경북북쪽지역의 안정적 용수공급 및 보현천, 길안천유역의 홍수피해 경감을 위해 경상북도 청송군에 건설 중인 댐으로, 댐길이 274m 댐높이 58.5m 총 저수용량  $27.9 \times 10^6 \text{ m}^3$  규모의 중력식 다목적 댐이다. 본 댐의 분할 타설고 설정 및 수화열에 의한 온도 균열 유무 조사 등의 목적으로 상류 가물막이댐에 대한 시험시공을 실시하였다.

본 연구에서는 성덕 다목적댐의 내부 및 외부콘크리트의 배합, 강도 특성 및 단열온도 등의 역학적 특성과 발열 특성을 실내실험을 통하여 확인하고, 상류 가물막이댐의 시험시공시 온도 및 응력 계측을 통한 현장에서의 수화열과 온도응력 특성을 검토하였다.

\*정회원, 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 교수

\*\*정회원, 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원

\*\*\*정회원, 쌍용양회 기술연구소 수석연구원

\*\*\*\*한국수자원공사 성덕댐건설단 차장

\*\*\*\*\*현대건설 성덕댐건설현장 부장

\*\*\*\*\*한국수자원공사 성덕댐건설단 단장

## 1. 서론

성덕 다목적댐은 경북내륙지역의 안정적 용수공급 및 보현천, 길안천유역의 홍수피해 경감을 위해 경상북도 청송군에 건설 중인 댐으로, 댐길이가 274m 댐높이 58.5m 총 저수용량  $27.9 \times 10^6 \text{ m}^3$  규모의 중력식 다목적 댐이다.

중력식 콘크리트댐의 콘크리트 재료는 크게 내부 및 외부콘크리트로 분류되며, 댐과 같은 수밀성을 요하는 구조물은 수화열에 의한 온도균열이 매우 중요한 사항이다.

따라서 본 연구는 성덕 다목적댐의 내부 및 외부콘크리트 배합설계, 역학적 특성 및 가물막이댐의 시험 계측을 통한 수화열 발생과 온도 응력 특성을 확인하고자 한다.



그림 1 성덕댐 전경

## 2. 사용재료 및 콘크리트의 배합

### 2.1 사용재료

시멘트는 수화열 및 수축특성이 우수한 저열 포틀랜드(4종) 시멘트를 사용하였으며 화학적, 물리적 특성은 다음 표 1 및 표 2와 같다.

표 1 시멘트 및 혼화재 종류별 화학성분 및 광물조성

항 목	화학성분(%)						광물조성(%)			
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
4종시멘트	25.3	3.1	3.6	62.5	2.3	0.5	31	48	3	11

표 2 시멘트 종류별 물리성능 및 수화열

항목 시멘트	비중	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	응결(h:m)		압축강도(MPa)				수화열(cal/g)		
			초결	종결	3일	7일	28일	91일	7일	28일	91일
			4종시멘트	3.20	3,500	5:50	9:20	12.6	17.5	33.5	50.2

또한 본 실험에 사용된 잔골재는 밀도가 2.60이며, 굵은 골재는 밀도가 2.61, 최대치수는 150mm인 현장 쇄석을 사용하였으며 물리적 특성을 다음 표에 나타내었다.

표 3 골재의 물리적 특성

항목 골재	밀도	흡수율 (%)	단위용적질량 (kg/m <sup>3</sup> )	조립률	씻기 손실량 (%)
잔 골재	2.60	1.04	1,533	2.82	1.8
굵은 골재 (150~40mm)	2.61	2.60	-	8.73	-
굵은 골재 (40~25mm)	2.61	2.70	1,468	8.38	0.3

### 2.2 콘크리트의 배합설계

중력식댐은 크게 내부 및 외부콘크리트로 분류되며 레미콘 규격은 각각 150-11.8-30, 150-17.6-30으로 설계기준재령은 91일이며 배합설계시 고려사항은 다음과 같다.

표 4 중력식댐 콘크리트 배합설계시 고려사항

항목	고려사항	근거									
배합강도	생산설비에서 압축강도 시험횟수 14회 이하: $f_{cr}=f_{ck}+7$ ( $f_{ck}<21\text{MPa}$ ) 30회 이상: $f_{cr}=f_{ck}+1.34s$ $f_{cr}=(f_{ck}-3.5)+2.33s$	콘크리트표준시방서 (2003년, 제2장 일반콘크리트)									
물-결합재비	내구성 및 수밀성 고려 60% 이하 (외부콘크리트)	콘크리트표준시방서 (2003년, 제10장 수밀콘크리트)									
단위수량	120kg/m <sup>3</sup> 이하에서 될 수 있는 한 적게 선정 $G_{\text{max}}=150\text{mm}$ 인 경우 90~105kg/m <sup>3</sup> 실적 많음	콘크리트표준시방서 (1996년, 댐콘크리트 부문)									
단위시멘트량	140 kg/m <sup>3</sup> 이상 (내부콘크리트)	콘크리트표준시방서 (1996년, 댐콘크리트 부문-해설)									
굵은골재 최대치수	150mm 이하	콘크리트표준시방서 (1996년, 댐콘크리트 부문)									
슬럼프	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>f_{ck}</math>(MPa)</th> <th><math>G_{\text{max}}</math>(mm)</th> <th>슬럼프(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12</td> <td>150</td> <td>2~4</td> </tr> <tr> <td>18</td> <td>150</td> <td>2~4</td> </tr> </tbody> </table>	$f_{ck}$ (MPa)	$G_{\text{max}}$ (mm)	슬럼프(mm)	12	150	2~4	18	150	2~4	한국수자원공사 (C10610 콘크리트 중력식댐 축조)
$f_{ck}$ (MPa)	$G_{\text{max}}$ (mm)	슬럼프(mm)									
12	150	2~4									
18	150	2~4									
잔골재율	$G_{\text{max}}=150\text{mm}$ 인 경우 23~28% 범위 실적 많음	콘크리트표준시방서 (1996년, 댐콘크리트 부문-해설)									
공기량	4~6%	콘크리트표준시방서 (1996년, 댐콘크리트 부문)									

또한 거푸집 탈형강도를 고려하여 재령 7일에서의 압축강도 요구조건은 7.75 MPa로 정하였다.

이 연구에서는 단위결합재량을 최소화하기 위하여 굵은 골재 최대치수를 150mm로 정하고, 혼화제는 나프탈렌계 고성능 AE감수제를 단위시멘트량의 1.0%를 사용하여 다음 표 6 과 같이, 배합시험을 통하여 최종적으로 시방배합을 선정하였다.

표 6 콘크리트 종류별 시방배합표

콘크리트 종류	W/B (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m <sup>3</sup> )					Slump (mm)	Air (%)	
			W	C	S	G				AD
						G1*	G2*			
150-11.8-30(내부)	66.0	31.1	99	150	650	607	839	1.50	35	4.5
150-17.6-30(외부)	54.8	29.8	100	182	614	611	843	1.82	35	4.8

G1\* : 150~40mm, G2\* : 40~250mm

### 3. 중력식댐 콘크리트의 특성

#### 3.1 압축강도 특성

콘크리트표준시방서에 의하여, 압축강도 시험횟수가 없기 때문에 배합강도는 설계기준강도에서 7.0MPa를 더하여 각각 18.8(11.8+7.0) 및 24.6(17.6+7.0)MPa로 선정하였으며 재령 7일에 거푸집 탈형강도인 7.75를 만족하는 배합으로 선정하였다. 압축강도 특성을 평가하기 위하여 사용된 공시체는  $\phi 150 \times 300\text{mm}$ 이며 시험실에서 제조하여 40mm체로 체가름한 후 40mm 이하 분으로 제작하였으며 재령별 콘크리트의 압축강도 측정결과를 다음 그림 2에 나타내었다. 저열 포틀랜드 시멘트의 특성상 재령 28일 대비 재령 91일에서의 압축강도 발현율은 1.33~1.43으로 나타나 댐콘크리

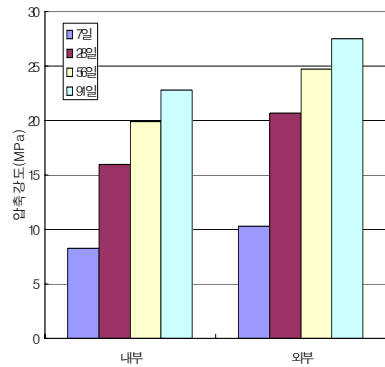


그림 2 콘크리트 종류에 따른 재령별 압축강도

트에 매우 적합한 시멘트인 것을 알 수 있다.

### 3.2 단열온도상승특성

내부 및 외부콘크리트에 대하여 초기온도를 10 및 20°C로 하여 단열온도상승시험을 수행하였으며 시험결과를 다음 그림에 나타내었다. 단열온도상승식은, 저열 포틀랜드 시멘트를 사용하고 단위시멘트량이 적기 때문에 초기수화 반응이 매우 지연되는 특성을 잘 고려할 수 있는 다음 식을 사용하였다.

$$Q(t) = Q_{\infty}(1 - e^{-t/\beta}) \quad (1)$$

표 7 단열온도상승특성

콘크리트 종류	초기 온도	
	10°C	20°C
150-11.8-30 (내부)	$Q_{\infty} = 23.1, r=0.392, \beta = 1.017$	$Q_{\infty} = 22.9, r=0.470, \beta = 0.908$
150-17.6-30 (외부)	$Q_{\infty} = 27.0, r=0.468, \beta = 0.890$	$Q_{\infty} = 23.4, r=0.573, \beta = 0.894$

### 4. 가물막이댐 수화열 계측

최적배합의 수화열 평가 및 1.5m 이상의 분할타설고 설정을 위해 가물막이댐 시험 시공시 온도센서와 변형률계 및 무응력계를 설치하였다. 센서 설치 위치는 Block 2, 3, 4의 Lift 5에 설치하였고, 각 Lift별로 하단, 중단, 상단으로 구분하여 설치하였다. 분할타설고의 증고 검토를 위하여 위해 Block 4의 Lift 5는 2.0m로 다른 Lift (1.5m)보다 0.5m 높게 타설하였다.

Block 3와 Block 4 중앙단면의 온도이력 측정 결과는 그림 3과 같다. 그림 3에서 확인할 수 있듯이 증가된 타설고로 인하여 Block 4의 최대온도 상승량이 Block 3 보다 다소 높게 나타났다. 하지만, 두 블록 모두 최고점에서의 내외부 최대 온도차가 10°C 정도로 발생하여 수화열에 의한 온도균열은 발생하지 않은 것으로 판단된다.

### 5. 결론

중력식댐 콘크리트의 최적배합을 선정하기 위하여 저열 포틀랜드 시멘트, 굵은골재 최대치수를 150mm를 사용하여 배합시험, 압축강도, 단열온도상승시험 및 현장계측을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 150mm 골재를 사용함으로써 인하여 단위수량을 99kg/m<sup>3</sup>까지 저감할 수 있었으며 장기재령 강도발현이 우수한 저열 포틀랜드 시멘트를 사용하여 물-시멘트비가 최소화된 배합을 선정할 수 있었다.
- 2) 배합강도 선정시 압축강도에 대한 시험횟수가 없기 때문에 설계기준강도에 7.0 MPa을 더하여 선정하며 또한 재령 7일에 거푸집 탈형강도인 7.75 MPa를 만족하는 배합으로 선정하였다. 여기에 외부콘크리트인 경우에는 수밀성을 고려하여 물-시멘트비를 55% 이하인 배합으로 선정하였다.
- 3) 단열온도상승특성을 평가한 결과, 최종단열온도상승량 및 상승속도가 매우 낮게 발휘되어 온도균열에 대한 저항성이 큰 중력식댐 콘크리트에 적합한 배합설계가 되었다.
- 4) 가물막이댐 수화열 계측 결과 타설고 1.5m 및 2.0m 모두 온도균열에 대하여 안전할 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

- 1) 건설교통부, 콘크리트표준시방서, 2003.
- 2) 쌍용양회공업(주) 기술연구소, 강원랜드 수자원개발공(제설연못) 최적 사용재료 검토 보고서, 2005.
- 3) 쌍용양회공업(주) 기술연구소, 댐콘크리트 기술개발 연구, 2007.