

성덕 다목적댐 가물막이댐의 수화열 해석

Hydration Heat Analysis of Seongdeok Cofferdam

김진근* 추인엽** 장봉석*** 하재담**** 박병국***** 김정수*****
Kim, Jin Keun Chu, In Yeop Jang, Bong Seok Ha, Jae Dam Park, Byung Kook Kim, Jeong Soo

ABSTRACT

The temperature crack of concrete structure is caused by the phenomenon which the concrete volume is restricted in the inside or outside part due to the temperature variations induced by the hydration heat of cement. And mass concrete structures are weak in temperature crack.

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

Therefore this study performed the hydration heat analysis of Seongdeok upstream coffer dam to analyze the hydration heat according to different height of placement and to compare with measured results.

요약

콘크리트 구조물의 온도균열은 타설 초기 시멘트의 수화열에 의한 온도상승 및 강하에 따라 생기는 체적변화가 내부 또는 외부적으로 구속을 받아 발생하는 것으로, 댐과 같은 매스콘크리트 구조물일수록 온도균열 발생가능성은 높아진다.

성덕 다목적댐은 경상북도 청송군에 건설 중인 중력식 다목적 댐으로, 분할 타설고 설정 및 수화열 계측을 통한 균열유무 조사 등의 목적으로 가물막이댐 시험시공이 이루어졌다.

본 연구는 성덕 다목적댐 가물막이댐의 수화열 해석을 수행하여 분할 타설고에 따른 수화열 비교, 수화열에 의한 온도균열 발생 유무, 현장 계측 결과 값과의 비교 분석을 하고자 한다. 열 비교, 수화열에 의한 온도균열 발생 유무, 현장 계측 결과 값과의 비교 분석을 하고자 한다.

*정회원, 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 교수

**정회원, 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 박사과정

***정회원, 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원

****정회원, 쌍용양회 기술연구소 수석연구원

*****한국수자원공사 성덕댐건설단 차장

*****한국수자원공사 성덕댐건설단 단장

1. 서론

성덕 다목적댐은 저열 포틀랜드 시멘트를 사용한 저발열형 콘크리트 중력식 댐으로 2011년 완공 예정에 있다. 본댐 시공에 앞서 분할타설고 설정, 수화열 계측을 통한 온도관리 및 균열유무 조사 등의 목적으로 가물막이댐 시험시공이 이루어 졌다. 이 연구는 성덕댐 가물막이댐의 수화열 해석 수행을 통해 온도균열 발생 유무, 현장 계측 결과 값과의 비교 분석을 하고자 한다.

2. 콘크리트의 수화열 및 강도발현

2.1 단열온도상승

단열온도상승 식은 실험식으로 단열온도상승량을 재령의 함수로 표시하는 몇 개의 방법이 있다. 일반적으로 콘크리트 단열온도상승은 2, 3변수의 지수형태 함수로 나타지지만, 저발열형 콘크리트의 단열온도상승량을 보다 정확히 묘사하기 위해 (1)과 같은 4변수 지수식을 채택하였다. 가물막이댐에 사용된 콘크리트 배합의 단열온도상승 실험 결과 및 회귀분석 결과는 그림 1과 같다.

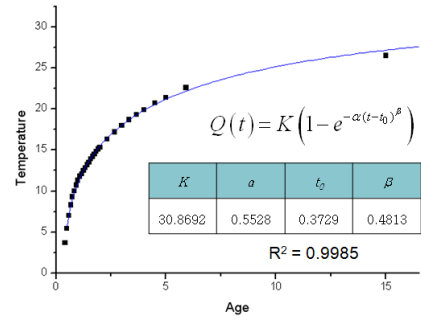


그림 1 단열온도상승 곡선

$$Q(t) = Q_{\infty} [1 - e^{-r(t-t_0)^{\beta}}] \quad (1)$$

여기서, $Q(t)$ = 시간 t 에서 단열온도상승값(°C)

Q_{∞} = 최대 단열온도상승값(°C)

r, β = 반응속도 관련 변수

t = 재령 (day), t_0 = 반응지연재령 (day)

2.2 강도발현양상

저발열형 콘크리트의 압축강도 및 인장강도는 식 (2), (3)와 같이 설계기준강도에 바탕을 둔 이론식에 의해 근사적으로 구할 수 있다.

$$f_{cu}(t) = \frac{t}{a+bt} d(i) f_{ck} \quad (2)$$

$$f_{sp}(t) = c \sqrt{f_{cu}(t)} \quad (3)$$

여기서, $f_{cu}(t)$: 재령 t 일의 콘크리트 압축강도 (kgf/cm^2)

$f_{sp}(t)$: 재령 t 일의 콘크리트 인장강도 (kgf/cm^2)

f_{ck} : 설계기준강도 (kgf/cm^2), t : 재령 (day), i : 설계기준강도의 설계재령 (day)

a, b : 시멘트 종류에 따른 계수값, c : 콘크리트 건조정도에 따른 계수값

d : 재령28일에 대한 재령 91일의 강도증가율, $d(91) = 1$ 의 값이다.

여기서 시멘트 종류에 따른 계수값 a, b 는 「수처리콘크리트 구조물의 균열저감을 위한 설계/시공 지침」(한국콘크리트학회, 2004년)에 제시되어 있는 표 1의 값을 사용하였다.

표 1 압축강도 발현 계수

결합제	a	b	$d(28)$
저열 포틀랜드 시멘트	16.2	0.82	1.40

3. 수화열 해석

3.1 수화열 해석 과정 및 모델링

수화열 해석 과정은 그림 2와 같은 흐름으로 수행되며, 타설 차수를 고려한 해석 모델은 그림 3과 같다. 타설순서는 Block 3과 5의 타설이 완료된 후 Block 4의 타설이 이루어 진다. 또한 Block 3와 Block 5 하단 Lift의 타설고는 1.5m인 반면 Block 4의 하단 Lift의 타설고는 2.0m 이다.

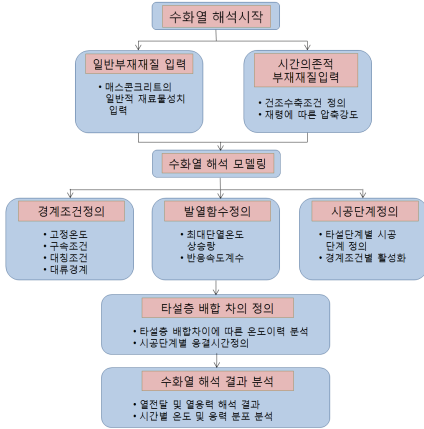


그림 2 수화열 해석 과정 흐름도

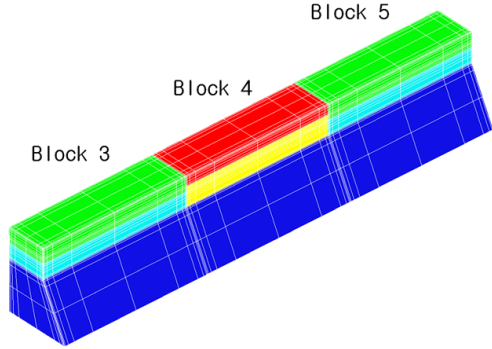


그림 3 구조물 모델링

3.2 재료 및 열 특성 입력값

수화열 해석에 사용한 재료 및 열 특성 입력값은 표 2와 같고, 외기온도는 현장에서 측정한 값을 입력하였다.

표 2 콘크리트의 열 특성값, 양생조건

항 목		입 렷 값	시방서 제안 값	
열전도율		kcal/m · hr · °C	2.3	2.2 ~ 2.4
비 열		kcal/kg · °C	0.25	0.25 ~ 0.30
밀 도		kg/m ³	2,400	
콘크리트 타설온도		°C	17.5 (1, 2차 타설) 20 (3, 4차 타설)	
양생조건 및 대류계수	상부	kcal/m ² · hr · °C	살수 양생 (12)	12
	측면	kcal/m ² · hr · °C	목재거푸집 양생 (7)	7
양생기간 (거푸집 존치기간)		일	5	
열팽창계수			10.3E ⁻⁶	

4. 수화열 해석결과 및 분석

수화열 및 열응력 해석결과값은 그림 4와 같이 각 Block의 중앙단면의 하단, 중단, 상단의 절점에서의 값을 그래프로 나타내었다.

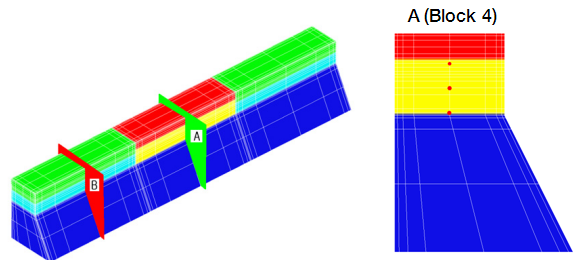


그림 4 결과값 출력 위치

4.1 수화열 해석결과

수화열 해석 결과는 그림 5에 나타내었다. 결과에서 확인 할 수 있듯이 해석값과 현장계측 온도 결과값이 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다. 또한 저발열배합 콘크리트의 사용으로 인해 내부(중단)와 외부(하단,상단)의 최고점 온도차가 10℃ 이내로 발생하는 것을 확인할 수 있다.

4.2 열응력 해석 결과

열응력 해석 결과는 그림 6에 나타내었다. Block 4의 경우 Block 3, 4에 의한 외부구속효과로 압축응력을 받다가 일정 시간 경과 후에 인장응력을 받는 것으로 확인되었다. 이와 반대로 Block 3의 상단(표면)부는 내부구속효과에 의해 인장응력을 받다가 일정 시간 경과 후에 압축응력을 받는 것으로 나타났다. Block 3 (타설고:1.5m) Block4 (타설고:2.0m) 모두 인장응력에 도달하지는 않아 열응력에 의한 균열은 발생하지 않을 것으로 판단된다.

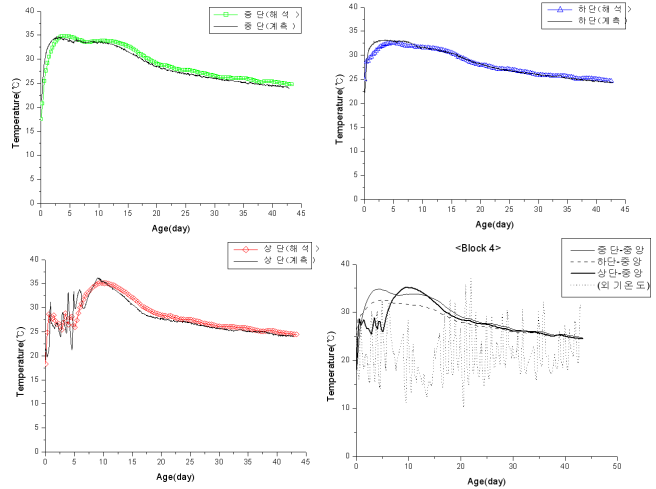


그림 5 수화열 해석 결과 (Block 4)

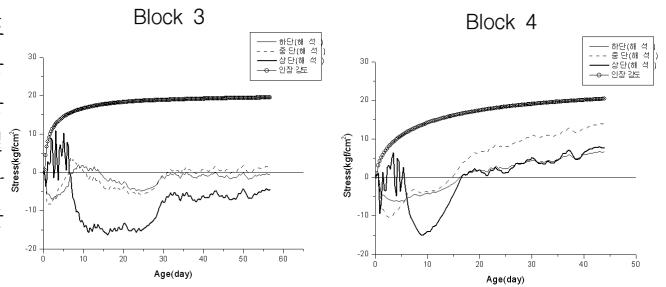


그림 6 열응력 해석 결과

5. 결론

성덕댐 가물막이댐의 수화열 해석 수행 결과 저발열 배합 콘크리트를 사용하였을 경우 타설고 1.5m와 타설고 2.0m 모두 내외부 온도차가 15℃ 이내이며 발생한 온도 응력이 인장응력에 도달하지 않는 것으로 나타났다. 이를 통해 성덕댐 상류 가물막이댐은 온도 균열이 발생하지 않는 것으로 결론지을 수 있으며, 실제에도 균열이 발생하지 않았다. 그러나 본 댐에서 온도균열 발생여부의 정확한 예측을 위해서는 타설온도, 외기온 등 다양한 현장 조건과 계측 정보가 필요하며, 특히 10일 이상의 장기적인 단열온도상승시험이 필요한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, “콘크리트 표준 시방서”, 2003
2. 한국콘크리트학회, “수처리콘크리트 구조물의 균열저감을 위한 설계/시공 지침”, 2004
3. 김진근, “매스 콘크리트의 수화열 및 온도응력에 대한 해석”, 한국콘크리트학회 연구소위원회 발표집, 1999
4. 양성철, “콘크리트재료의 열특성 및 수화열 해석”, 콘크리트학회 논문집, 9(2), pp. 121-132, 1997