

저발열 콘크리트 배합에 따른 매스콘크리트 온도 제어

Temperature Control of Mass Concrete with low heat concrete mixtures

박 찬 규* 장 정 기** 정 재 흥*** 이 승 훈* 김 성 수****
Park, Chan Kyu Jang, Jeong Gi Jeong, Jae Hong Lee, Seung Hoon Kim, Seong Su

ABSTRACT

In this study, temperature increase and strength development of concretes with different types of cement were investigated to construct dam drop spillway. For this purpose, boxes of 1×1×1m size with 4 different concrete mixtures were made. The types of concrete were Type I cement concrete, fly ash cement concrete and two type concrete with ternary cement, respectively. The temperature at each point were monitored in these boxes. Based on the Box test, hydration analysis of slab of 2.0m thickness was carried out.

This paper presents these experimental and analytical results.

요 약

본 연구에서는 댐 보조 여수로 낙차공의 매스콘크리트 시공을 위하여 저발열 콘크리트 배합과 1m×1m×1m box 시험을 통하여 수화열에 의한 온도 상승 정도 및 압축강도 발전 특성을 비교 분석 하였다. 이를 위하여 콘크리트 배합은 총 4개의 배합을 실시하였다. 각 배합에 사용된 콘크리트는 제 1종 시멘트 콘크리트, 플라이애쉬 시멘트 콘크리트 그리고 삼성분계 시멘트 콘크리트 2종류이다. 각 box의 지정위치에서 수화열이 계측되었고, 온도 측정 결과를 바탕으로 두께 2.0m인 댐 보조 여수로 낙차공에 대한 수화열 해석을 실시하였다.

본 논문에서는 이러한 일련의 실험 결과와 분석결과를 제시하였다.

* 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 수석연구원
** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 토목사업본부 차장
*** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 선임연구원
**** 정회원, 아세아시멘트(주) 기술본부 연구개발팀장

1. 서론

낙차공은 수로 노선 중에 급경사 부분이 있을 때, 수로가 자연 상태로는 세굴 또는 침식을 받기 쉬울 때, 기타 급수(給水)의 목적으로 물을 막을 필요가 있을 때, 또는 수온(水溫)을 상승시킬 목적으로 설치한다. 본 논문의 대상 낙차공은 그림 1, 그림 2와 같다. 본 논문 대상 낙차공 구조물은 30m×40m 크기에 2m 두께의 매스 콘크리트로 구성되어 있고 현장에서 시공시에는 10m×10m로 잘라서 지그재그로 시공할 계획이다.

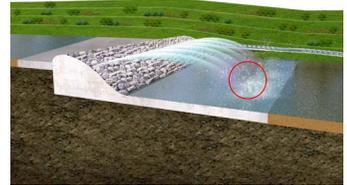


그림 1 낙차공 (○ 해석대상부위)

이에 본 연구에서는 저발열 배합을 이용한 매스콘크리트의 수화열 해석을 통하여 수화열을 저감하고 균열 제어를 하고자 한다. 수화열 해석의 신뢰성을 위하여 현장에서 4가지 배합에 대해 Box 모형부재를 제작 실험하고, 그 결과를 이용하여 본 구조물의 수화열 해석을 수행하도록 하였다.

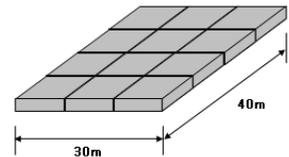


그림 2 해석대상 매스콘크리트

2. 현장 Box 실험계획 및 내용

현장 낙차공 매스콘크리트 적용을 위한 저발열 배합에 대한 검토를 위하여 표 1과 같이 4개의 배합에 대하여 Box 모형부재 실험을 하였다. Mix A는 1종시멘트를 사용한

표 1 적용배합표

배합명	시멘트	플라이애쉬	슬래그	비고	온도 센서
Mix A	308	0	0	1종시멘트	0,1,2,3
Mix B	246	62	0	플라이애쉬 20%	4,5,6,7
Mix C	217	30	61	3성분계 (7:1:2)	8,9,10,11
Mix D	120	60	120	3성분계 (4:2:4)	12,13,14,15

배합이고, Mix B는 플라이애쉬를 20% 치환한 배합이며, Mix C는 3성분계로 시멘트:슬래그:플라이애쉬=7:2:1 이며, Mix D는 3성분계로 시멘트:슬래그:플라이애쉬=4:4:2 이다.

그림 3은 모형부재 형상이다. 모형부재에는 총 17개의 온도센서를 설치하여 콘크리트의 수화열을 측정 하였다. A 위치에 모형부재별로 센서 0, 4, 8, 12를, B 위치에 센서 1, 5, 9, 13을, C 위치에 센서 2, 6, 10, 14를, D 위치에 센서 3, 7, 11, 15를 설치하였다.

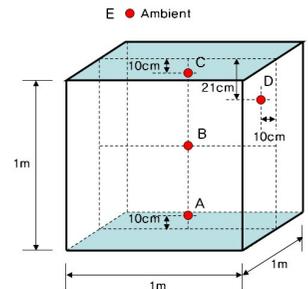


그림 3 Box 모형부재 형상

모형부재는 10cm 스티로폼을 이용하여 바닥과 옆면을 모두 보양하였고, 상부면은 수분증발을 막기 위해 비닐을 깔고 양생포 3장을 덮어서 보양하였다.

모형부재 타설 시 $\phi 100 \times 200$ mm 공시체를 제작하여 20℃에서 수중양생을 실시하였다. 그리고 재령 2일, 3일, 4일, 5일, 7일, 28일에 압축강도를 측정하였고, 재령 28일에는 코어를 뚫어 강도를 측정하였다.

3. 현장 Box 실험 결과 및 수화열 해석

3.1 Box 실험결과 분석

그림 5에 Box 모형부재의 수화열 측정결과가 나타나 있다. 4개의 측정결과



그림 4 Box 모형부재 타설 및 보양 모습

모두 24시간 내의 초기재령에서 표면부의 온도가 중심부의 온도보다 3~6°C 정도 높게 나타났다. 이는 여름철의 강한 태양복사열에 의해 부재의 표면부가 데워진 것으로 보이며, 이는 장기적으로 중심부 온도에도 영향을 미친 것으로 생각된다. Feedback 수화열 해석 시에는 이를 고려하여 태양복사열의 영향을 적게 받은 바닥부의 온도계측 결과를 기준으로 수화열 해석 결과와 비교하였다.

3.2 Feedback 수화열 해석

그림 3의 모형부재를 1/4 모델링을 하였고, 관련 재료의 열특성 데이터는 표 2와 같다. 열적 경계조건(열전달 계수)은 상부면은 양생포 3장으로 2.0kcal/m²hr°C으로 하였고, 열면과 하부면의 값은 스티로폼 10cm로써 0.6~0.9로 변화하게 하였다. 콘크리트의 비열은 0.25kcal/kg°C, 열전도율은 2.3kcal/m hr°C 값을 사용 하였다. 해석 프로그램은 MIDAS/GEN을 활용하였다.

해석을 위한 Mix A와 Mix B에 대한 Q_∞, γ는 콘크리트 표준시방서에 제시된 열특성 데이터를 이용하였고, 콘크리트의 강도는 표 3의 압축강도 측정결과를 회기분석하여 압축강도 발현계수 a, b값을 구하여 사용하였다.

우선 Mix A와 Mix B를 해석하여 열특성 데이터 및 다양한 조건들을 명확히 한 후에 Mix C와 Mix D의 열특성데이터(Q_∞, γ)를 찾아내는 방식으로 수화열 해석을 실시하였다.

표 4 및 그림 5에 feedback 해석결과가 나타나 있다. Mix A의 값은 중심부의 실측값과 해석값의 차이가 많이 발생하였는데 이는 태양복사열에 의한 영향으로 사료된다. 전체적으로 바닥부(센서 0)의 온도는 실측값과 해석값의 차이가 3°C 이내로 거의 유사했다. Mix B의 경우 실측값과 해석값이 거의 유사한 결과를 보여 주었으며, Mix C와 Mix D 해석을 위한 기준으로 정하였다.

Mix B의 해석조건을 고려하여 Mix C와 Mix D의 열특성 데이터(Q_∞, γ)를 추정하여 표 2와 같은 값을 이용하였다. 특히, Mix D의 3성분계 배합에 대한 Q_∞, γ 값은 콘크리트 표준시방서의 “고로슬래그1급 시멘트”에 대한 등가시멘트량을 trial and error 방법으로 구하였고, 그 등가 고로슬래그 시멘트량은 215kg/m³로 정하였다.

Mix C의 경우 Q_∞, γ값은 Mix A의 값과 유사하였고, 이로써 고로슬래그 20% 및 플라이애쉬 10% 치환에 따른 수화열 저감은 기대하기 어려운 것으로 보인다. Mix D의 경우 최고온도가 제일 낮았고, 해석값도 최저값을 나타내어 3성분계 저발열 배합으로써 본 구조물에 적용하기로 하였다.

표 2 재료의 열특성 데이터

배합명	타설온도	Q _∞	γ
Mix A	30°C	45.88	1.569
Mix B	29.7°C	42.5	1.4321
Mix C	30°C	45.77	1.565
Mix D	30°C	36.5	1.0845

표 3 압축강도 측정 결과 ($f_{cu}(t) = \frac{t}{a+bt} d(i)f_{ck}$)

재령	Mix A	Mix B	Mix C	Mix D
2일	9.1	5.8	7.3	4.2
3일	11.2	8.0	11.1	7.1
4일	14.1	10.0	12.0	8.4
5일	15.3	11.1	14.0	9.9
7일	16.4	10.8	15.4	12.3
28일	22.1	19.2	21.9	20.5
28일 현장코어	21.3	21.6	21.6	21.7
a	3.1052	4.8376	3.3212	6.4662
b	0.8686	0.8261	0.9145	0.7714

표 4 수화열 해석결과

구분	결과 출력위치	실측값		해석값		차이
		재령(시간)	최고온도(°C)	재령(시간)	최고온도(°C)	
Mix A	중심부(센서 1)	26.5	73.7	40	66.8	6.9
	바닥부(센서 0)	37.3	70.5	36	67.4	3.1
Mix B	중심부(센서 5)	38.3	65.6	40	63.8	1.8
	바닥부(센서 4)	43.5	63.2	40	63.2	0
Mix C	중심부(센서 9)	39	69.1	36	67.3	1.7
	바닥부(센서 8)	35	69.7	40	66.7	3
Mix D	중심부(센서 13)	45.5	59.1	52	55.8	3.3
	바닥부(센서 12)	47	57	56	55.9	1.1

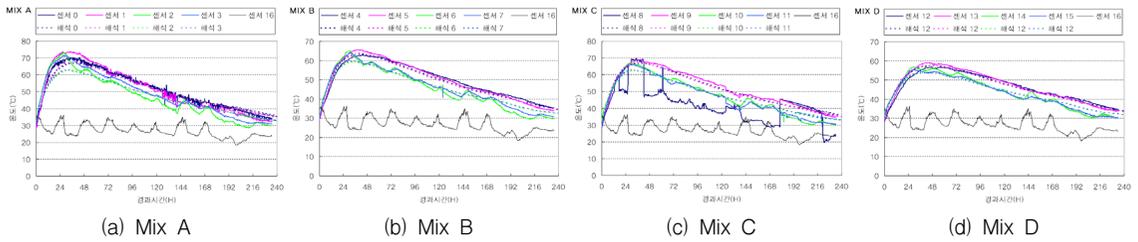


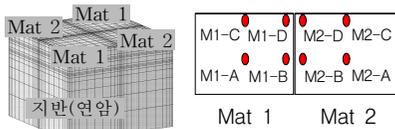
그림 5 Box 모형부재 실측값과 수화열 해석값 비교

4. 현장 본 구조물 적용 결과 및 분석

댐 보조여수로 낙차공 매스콘크리트에 대한 해석을 위해 그림 6과 같이 전체 구조물의 1/4 모델링을 하였다. Mat 1과 Mat 2는 7일 간격으로 지그재그로 타설되도록 계획되어 있다. Mat 1과 Mat 2는 타설 후 일체로 거동하지 않고 수축 시 틈이 생기는 것으로 가정하여 모델링에 반영하였다.

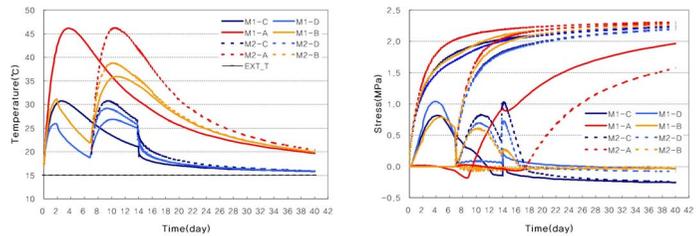
저발열 배합은 Mix D를 이용하였고, 재료의 열특성데이터는 표 2를, 압축강도는 표 3의 결과를 활용하였다. 외기온은 청주지역의 5개년 10월달 월평균기온인 15°C를 반영하였다. 콘크리트 타설온도는 17°C를 반영하였다. Mat 1은 타설 2일 후 거푸집을 탈형하였고, 상부 표면은 양생포 1장, 상부 표면 테두리부분(1.8m)은 양생포 3장을 14일간 보양하였다. Mat 1 타설 7일 후 Mat 2를 타설하였다. 상부 표면은 Mat 1과 동일하게 보양하였으며, 7일 후 Mat 1과 함께 보온양생을 종료하였다.

해석결과는 그림 7과 같다. 최고온도는 3.8일에 46.1°C이었고, 균열지수는 40일에 “M1-A”에서 약 1.2로 나타나 균열 발생을 제한할 수 있는 것으로 나타났다. 동일한 조건에서 플라이애쉬 20% 치환배합인 Mix B 해석결과, 최고온도는 3.1일에 53.8°C, 균열지수는 40일에 0.98로 나타났다.



(a) 1/4 모델링 (b) 온도센서

그림 6 낙차공 모델링 및 온도센서 위치



(a) 온도 (b) 응력

그림 7 수화열 해석 결과

5. 결론

본 연구결과 3성분계 저발열 배합(시멘트:슬래그:플라이애쉬=4:4:2)의 수화열저감효과가 탁월한 것으로 나타났으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) Box 실험을 통하여 3성분계 저발열 배합을 이용하는 경우 1종 시멘트 배합 보다 실측값에서 약 14°C 저감되는 것으로 확인되었고, 수화열 해석상으로도 11°C 정도의 저감효과를 나타내었다.
- 2) 실구조물 해석을 통하여 3성분계 저발열 배합이 플라이애쉬 20% 치환 배합보다 최고온도가 7.7°C 정도 저감되었고, 균열지수 또한 0.2 정도 높아진 것으로 확인되었다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, “콘크리트 표준 시방서”, 2003