

파이프쿨링을 적용한 양평대교 직접기초의 수화열 제어대책에 관한 시공사례

Construction Example of the Hydration Heat Control for Foundation of Yang Pyeong Bridge with Pipe Cooling

오세호* 경제운* 박진태* 신동훈* 이명성** 이용학***
Oh, Se Ho Kyung, Je Woon Park, Jin Tea Shin, dong hun Lee, Myung Sung Lee, Yong Hak

ABSTRACT

The Yang Pyeong bridge is high the occurred possibility of temperature crack by means of hydration Heat when the foundation of is constructed. Therefore, a pipe-cooling method was applied for reducing the temperature crack. Using the measured temperature curve when construction was carried out, the measured value and different facts were analyzed. In this paper, cause and analysis with respect to a mentioned above is to discuss firstly, and thermal characteristics of concrete and construction method hereafter is also discussed.

1. 서론

최근 교량의 구조 및 기초 구조물 등과 같은 매스콘크리트 구조물을 많이 시공함에 따라 초기 재령 콘크리트의 온도균열 발생 사례가 자주 발생하고 있으며, 이로 인해 이 분야의 관심이 증가하고 있다. 콘크리트의 경우 초기 재령에서의 균열 발생원인은 매우 다양하지만, 일반적인 매스콘크리트 구조물일 경우에는 수화열에 의한 것이 가장 큰 원인이다. 온도 균열은 보통 그 폭이 크고 구조물을 관통하는 경우가 많으며, 구조물의 시공초기에 발생하여 구조물의 내력, 수밀성 및 특히 장기적인 내구성능의 저하를 초래하므로 설계, 시공 및 관리 단계에서의 면밀이 검토가 이루어져야 한다.

본문의 검토 대상인 양평대교는 중부내륙 고속도로 여주-양평(3공구) 구간의 남한강을 횡단하는 광폭 PSC Box Girder교로 연장 915m, 폭 24.3m이고, 최대 경간장 150m의 FCM 가설방법을 채택하고 있다. 주경간부의 기초는 강재 가물막이를 이용하여 직접기초로 계획되었다.

양평대교 기초는 그 규모가 20x17x5m로 시공시 수화열에 의한 온도균열 발생 가능성이 높아, 온도균열의 저감을 위하여 파이프쿨링 공법을 계획하였으며, 적용결과를 분석하여 타 기초에 사용될 콘크리트의 열특성 및 향후 시공방안에 대하여 고찰해 보기로 한다.

2. 검토방법

파이프쿨링에 의한 수화열 해석은 구조물이 건설되는 지역의 환경조건과 콘크리트의 치기온도, 양생조건, 유입출수의 온도 등을 고려하여 실시하였다. 아래와 같은 방법으로 온도계측결과와 해

* 정회원, GS건설 기술본부 토목구조팀 과장
* 정회원, (주) 이제이텍 기술연구소 공학박사, 연구원, 공학박사
** 정회원, GS건설 여주-양평간 고속도로 3공구 현장소장
*** 정회원, 건국대학교 토목공학과 부교수

석 결과를 비교/검토하여, 온도균열지수에 따른 온도균열 발생 여부 등을 검토하였다.

- 1) 해석결과와 측정결과와의 그래프 분석
- 2) 시공계획과 실시공시의 상이점 분석
- 3) 해석시와 시공시의 외기조건의 상이점 분석
- 4) 균열지수에 의한 구조물의 균열발생여부 파악

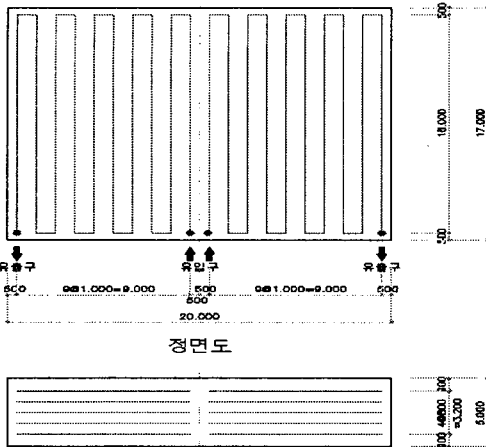


그림1 냉각관 배치현황

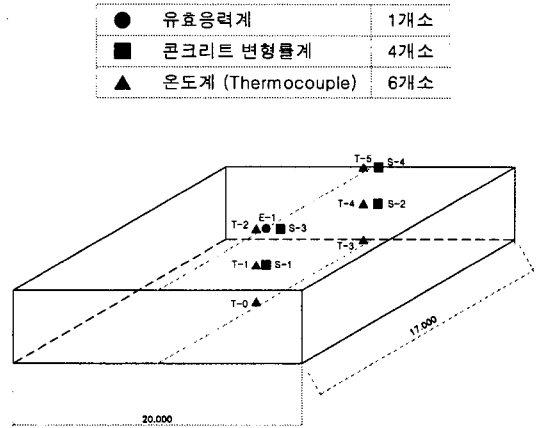


그림2 계측기기 설치현황

3. 검토내용 (해석결과와 측정결과와의 그래프 분석)

양평대교 기초의 시공시 측정된 온도측정결과(T-0, T-1, T-2, T-3, T-4, T-5)와 시공전 프로그램(MIDAS)에 의한 예측결과(T-0A, T-1A, T-2A, T-3A, T-4A, T-5A)를 비교하면 다음의 그림과 같다.

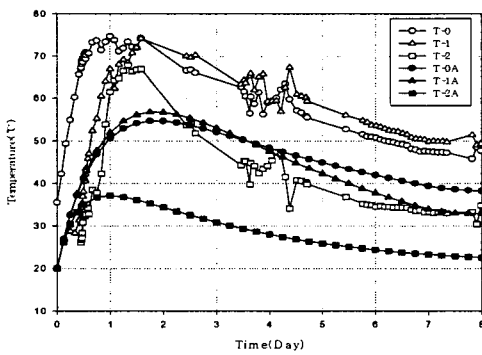


그림3 중앙부 온도예측 및 측정결과 비교

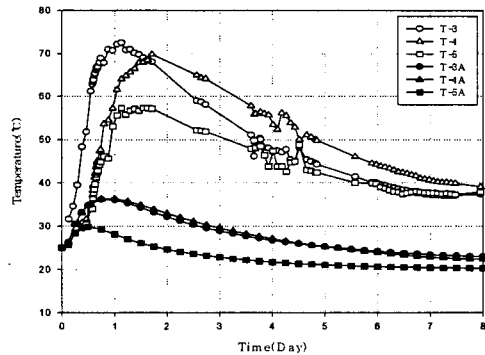


그림4 외측부 온도예측 및 측정결과 비교

그림과 같이 중앙부의 최고온도가 측정값은 75℃이고 해석시의 값은 58.0℃로 약 17℃정도의 차이를 보이고 있으며, 최고온도의 도달시점은 측정결과와 콘크리트 타설 완료 후 1~1.5일 후에 발생한 것으로 판단되며, 해석결과는 콘크리트 타설완료 후 1.5일에 발생하는 것으로 해석되었다. 외측부에서의 최고온도는 현장 측정값은 72℃이고, 해석시 예측값은 37.4℃로 약 34.6℃의 큰 차이를 보이고 있으며, 최고온도의 도달시기도 측정값은 콘크리트 타설 후 약 1.0~1.5일 후에 발생한 것으로 측정되었으나 해석결과는 콘크리트 타설 후 약 1.0일 후에 발생하는 것으로 해석되었다. 이상과 같이 그래프에 의한 해석치와 측정치에 대하여 정리하면 다음과 같다.

표1 해석값 과 측정값 비교

위 치	해 석 치	측 정 치	차 이	
중앙부	최고온도	58.0℃	75.0℃	17.0℃
	도달시기	1.5일	1~1.5일	0.5일
외측부	최고온도	37.4℃	72.0℃	34.6℃
	도달시기	1.0일	1.0~1.5일	0.5일

4. 시공계획과 실시공사의 상이점 분석

1) 생콘크리트의 온도

해석시 20.0℃로 예측하였으나, 현장의 계측값을 조사하여 본결과 생콘크리트의 온도가 25.0~30.0℃로 해석시 사용할 결과값과 비교하여 최고 10.0℃ 정도의 차이를 보이고 있다. 이에 따라 해석값과 실험값의 수화온도의 차이는 약 10.0℃ 정도의 차이가 발생한 것으로 판단된다.

2) 외기온도

해석당시의 외기온도를 20℃의 경우로 예측을 하였으나, 외기온도 측정결과 28.83℃로 예측시 사용된 온도조건보다 약 8.83℃ 높으며, 이는 콘크리트의 최고온도 및 최고온도 도달시기(약 0.5일)에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

3) 냉각수의 온도 및 속도

파이프쿨링에 사용된 냉각수의 온도는 프로그램 해석시 약 18.0℃로 계획하였으나, 본 구조물에 사용된 냉각수의 온도는 평균적으로 23.81℃로 예측값 보다 5.0℃ 정도 높은 것으로 확인되었다. 또한 냉각수의 속도를 1.7m/sec, 유입유량은 3.1m³/hr로 예측하였으나, 실제 시공시 유입유량 및 유속이 차이가 있었던 것으로 조사되었다. 유입출수의 계측결과는 유입수 최저온도는 22℃였으며, 유출수 최대온도는 35.7℃로 파이프쿨링에 의한 유입출수의 온도변화차는 13.7℃로 계측되었다.

4) 외기 대류조건

해석시 외기조건을 공기중에서 양생되는 것으로 예측하였으나, 현장의 시공시 콘크리트의 건조수축규율의 예방을 위하여 담수를 채운상태에서 양생을 수행하였으며, 이로 인하여 콘크리트 외부의 온도의 대류가 원활하지 않아, 외측의 온도상승 및 저감이 예측값과 큰 차이를 보이고 있는 것으로 확인되었다.

표2 기초부재의 파이프쿨링 계획과 실시공사의 차이점 요약

	계 획	시 공	비 고
생 콘크리트 온도	20.0℃	25.0℃~30.0℃	온도상승요인발생
외기온도	20.0℃	28.83℃	온도상승요인발생 반응속도상승요인
냉각수의 온도	18.0℃	23.81℃	온도상승요인발생
냉각수의 속도	1.7m/sec	1.7m/sec 이하	온도상승요인발생
외기대류 조건	대기중 양생	수중양생	구체내부온도 기울기변화

5. 온도응력 측정결과 분석

온도에 따른 응력 측정을 위하여 1기의 유효응력계와 4기의 변형률계를 이용하여 측정을 수행하였다. 응력의 경우 계측값이 변형률로 측정되기 때문에, 본 구조물과 같이 양생과정에서 탄성계수가 변화되는 경우에는 정확한 응력값을 얻어내기가 곤란하기 때문에 유효응력계를 사용하여 직접적인 응력값을 측정하고, 이 데이터를 이용하여 구조물의 탄성계수를 회귀분석하여 구하였으며, 이 값을 이용하여 구조물에서 발생한 변형률을 Hook의 법칙을 이용하여 응력으로 변환하였다.

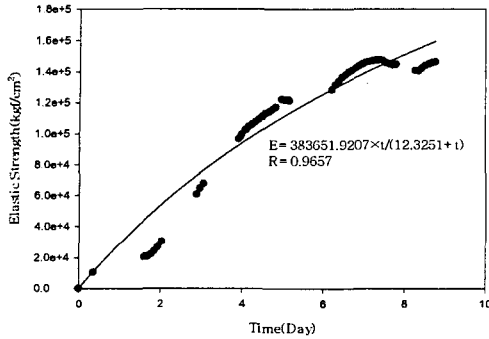


그림5 탄성계수 회귀분석

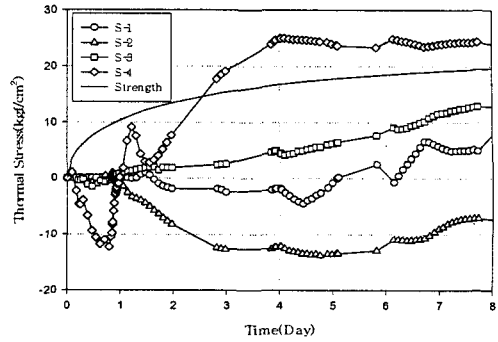


그림6 응력측정결과

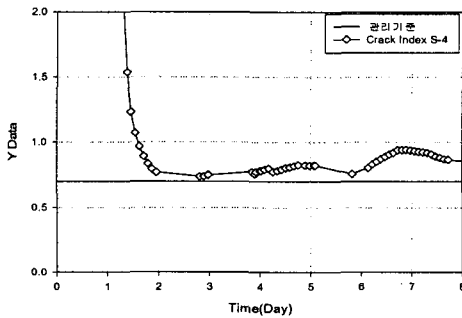


그림7 균열지수 분석결과

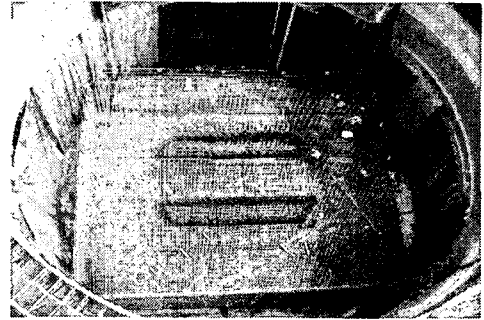


그림8 기초시공현황

응력측정 결과를 이용하여 구조물의 균열발생 여부를 콘크리트 시방서의 균열지수에 의한 평가 방법에 따라 수행하였다. 당초 시공계획상 구조물에 유해한 균열이 발생하지 않는 수준인 0.7을 기준으로 하였으며, 균열지수 평가 결과 측정된 모든 위치에서의 균열지수가 관리기준인 0.7을 상회하는 것으로 파악되어, 구조물의 내외부측에 유해한 균열은 발생하지 않은 것으로 판단된다. 현장 조사결과 28일 양생 후에도 특별한 균열이 발생하지 않은 것으로 조사되었다.

6. 검토결론

양평대교 기초의 수화열 및 온도응력 해석/계측결과를 분석한 결론은 다음과 같다.

- 1) 양평대교 기초에서 온도해석결과와 계측결과와의 차이점은 콘크리트의 초기온도 및 외기조건에 상이로 인하여 발생한 것으로 판단된다.
- 2) 온도응력 계측결과 구조물에 발생한 온도응력은 시공계획 당시의 기준인 구조물에 유해한 균열을 방지하는 수준인 0.7 이상으로 구조물에 유해한 균열은 발생하지 않은 것으로 판단된다.
- 3) 온도 측정결과 모든 측정점의 온도차가 최대 20℃정도로 파악되었으며, 추후 시공될 다른 기초의 경우도 본 연구에서 검토된 시공방법(냉각수 온도, 냉각수 유량, 양생방법 등)을 사용하면, 구조물에 유해한 균열은 발생하지 않을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. "Early-age thermal crack control in concrete (Revised edition)", CIRIA
2. "최신 콘크리트공학", 한국콘크리트학회
3. 건설교통부 제정, "콘크리트구조설계기준(2003)"