

진동세관형 히트파이프(OCHP)를 이용한 매스콘크리트의 수화열 제어에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Hydration Heat Control in The Mass Concrete Using Oscillating Capillary Tube Heat Pipe

백동일* 김명식** 이문식*** 김강민**** 염치선*****
Beak, Dong Il Kim, Myung Sik Lee, Moon Sik Kim, Kang Min Yum, Chi Sun

ABSTRACT

In process of reinforced concrete(RC) box structure, the heat of hydration may cause serious thermal cracking problems. In order to eliminate hydration heat of mass concrete, this paper reports results of hydration heat control in mass concrete using the OCHP(Oscillating Capillary tube Heat Pipe). Recently OCHP is drawn special attention from these points of low cost as well as short construction schedule for the manufacturing of heat exchanger, flexibility, simplification and high performance. There were three RC box molds(1.2×1.2×1.2m) which shows a difference as compared with each other. One was not equipped with OCHP. While others were equipped with OCHP and these were cooled with air natural convection and spraying water respectively. The OCHP was composed of copper pipe with 12 turns(O.D : 4mm, I.D : 2.8mm). The working fluid was R-22 and its charging ratio was 30(Vol. %). In order to analyze the distribution of temperature and index figure of thermal crack in sequential placement of mass concrete, we used HYCON of computer program. As a result of the experiment, the peak temperature decreased about 15.6~23.4°C than the general specimen and the probability of thermal crack generated in mass concrete decreased up to 0%.

1. 서론

최근 콘크리트 구조물의 경우 대형화 및 고강도화에 따라 사용 시멘트량이 증가하고 있다. 이러한 다량의 시멘트를 사용한 구조물로는 콘크리트 기초부, 교각, 원자로 격납구조물, LNG탱크 등이 있는데 이런 대형구조물은 시공 시에 시멘트 수화열로 인한 구조물의 온도변화로 인해 구조물에 균열을 발생시키거나 큰 피해를 주는 사례 등이 일어나고 있는 실정이다. 이러한 수화열에 의한 온도증가를 억제하기 위하여 현장에서 주로 사용하는 방법들로는 배합수나 사용콜레를 냉각시키는 사전냉각 공법, 파이프에 냉각수를 통과시키는 파이프쿨링과 같은 사후냉각법, 그리고 근본적으로 콘크리트 자체의 발열량을 저감시키는 저발열시멘트의 사용 등이 현재 주종을 이루고 있다. 그러나 이러한 공법들은 시공

* 정회원, 부경대학교 토목공학과 박사수료

** 정회원, 부경대학교 건설공학부 교수

*** 정회원, 부경대학교 토목공학과 석사과정

**** 정회원, 부경대학교 토목공학과 석사과정

***** 정회원, 보성종합건설(주) 이사

의 번거로움과 공사기간, 고비용으로 인하여 항상 문제가 되어 온 것이 사실이다.

따라서, 본 연구에서는 기존 수화열 제어에 관한 문제점을 극복하기 위하여 진동세관형 히트파이프 (이하 OCHP)를 사용한 수화열 제어 공법을 개발하였으며, 이를 통해 시공관리가 간편하고 저비용으로 수화열을 제어할 수 있는 효과적인 활용방안을 제시하고자 한다.

2. 기존의 대표적 수화열 제어공법과의 비교

매스콘크리트의 수화열을 제어하는 대표적인 공법의 장단점을 간단하게 비교하면 표 1과 같다.

표 1 대표 공법 비교

공법	저발열시멘트	분할타설	파이프몰형	OCHP
시공방법	-기존레미콘 저발열시멘트 사용	-콘크리트를 2~3회로 분할타설	-구조물에 파이프를 배관	-히트파이프를 구조체에 삽입
장점	-별도의 시설장치 없이 1회성 타설로 시공속도 빠름	-타설만으로 조절가능하므로 시공이 간편	-가시공사제 결과 수화열 저감에 효과적	-히트파이프 삽입형태 시공간단 -주공정에 영향을 거의 주지 않아 공기 단축 -구조물의 내외부온도차를 줄임 -타공법에 비하여 재료비 및 시공비 저렴 -시공관리 간단
단점	-품질관리 곤란 -콘크리트의 배합이 변경되어 별도의 품질시험 및 장기적 내구성에 대한 검증 필요 -재료비 상승	-타설온도 조절을 위한 배합수 관리가 어려움 -계측을 통한 타설고 결정으로 외부환경에 대한 영향이 큼 -시공이음부의 정밀 시공관리 요구 -분할타설로 인한 공기 지연	-파이프설치, 유입수저장시설, 수온조절 장치 등 별도의 시설 필요 -계측 및 수온제어장치 등 품질관리가 어려움 -시공비 고비용 -별도시설의 설치 등으로 인한 공기지연	

3. OCHP에 관한 메커니즘

OCHP는 기본적으로 그림 1과 같이 진동세관형 히트파이프 내에 작동유체(냉매)를 봉입 후 진공 처리시킨 다음 그림 2와 같이 콘크리트 구조물 속에 매입하여 수화열이 높게 발생하는 중심부의 온도를 상대적으로 낮게 발열되는 표면부 및 측면부로 수화열을 전달함으로써 급격한 온도차를 저감시켜 열의 평형을 이루는데 있다.

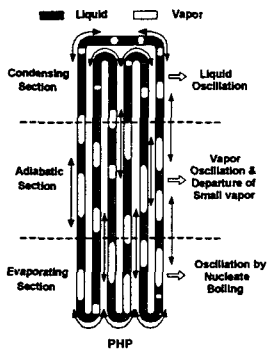


그림 1 진동세관형 히트파이프 개요도

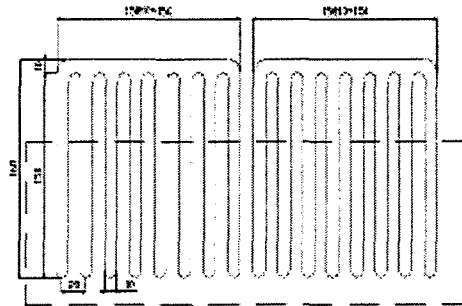


그림 2 설치개요도

4. 성능 평가 시험

4.1 실험장치

본 연구에서 사용된 실험장치는 그림 3과 같이 3가지 형태로 분류하여 열전달 효과를 검토하였다.

첫 번째 방법 (a)는 OCHP를 사용하지 않은 일반시험체이고, 두 번째 방법 (b)는 OCHP를 사용한 시험체이며, 세 번째 방법 (c)는 OCHP를 설치한 후 응축부 표면에 물은 분사하는 방법이다. 각각의 온도는 T형 열전대와 연결된 데이터기록기(DR-230, Yokogawa사)로 측정하였다. 거푸집은 120cm×120cm×120cm 크기로 합판으로 제작하였다. 시험체의 상부와 하부 그리고 측면은 50mm 스티로폼 판으로 외부와 단열시켰다. 진동세관형 히트파이프(OCHP)는 외경 4mm, 내경 2.8mm인 12회철의 구리관으로 되어 있으며, 3열로 시험편에 설치하였다. OCHP의 전체길이는 190cm로 증발부 120cm는 콘크리트 구조물 내에 가로로 설치하였고, 응축부 70cm는 구조물의 외부에 노출시켜 중심부의 열을 발산시켰다. OCHP내의 작동유체는 R-22이며, 봉입량은 30(Vol.%)이다.

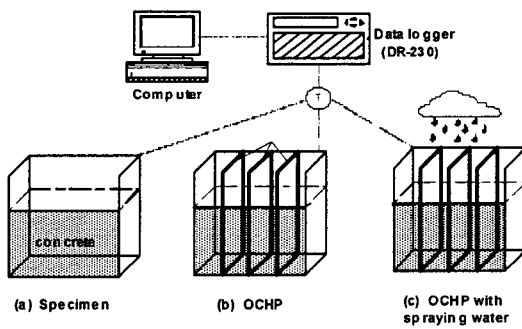


그림 3 실험장치 모식도

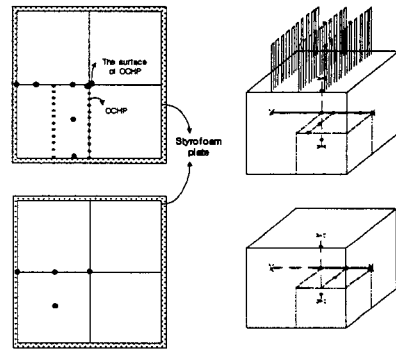


그림 4 콘크리트 내부 열전대 배치도

4.2 실험방법

콘크리트 내부에 OCHP를 매입하고 콘크리트 구조물 내부의 온도증가와 분포상태를 측정하기 위하여 콘크리트 최종양부를 중심에서 표면부 양방향으로 열전대를 설치하였다.

OCHP를 매입하지 않은 일반시험체는 열전대를 6개를 설치하였고, 그림 4와 같이 OCHP가 설치된 2개의 시험체에는 11개의 열전대를 각각 설치하였다. 콘크리트 타설 후 10분 간격으로 60분 동안 온도를 측정하였다. 물-시멘트비는 53%이고, 단위시멘트량은 313kg/m³이다.

5. 실험결과 및 고찰

5.1 평균온도 측정 결과

3가지 실험조건의 각 시간별 평균온도의 변화는 그림 5와 같다. (a)방법에서의 최고온도는 31시간에서 나타났고, (b)방법과 (c)방법에서는 18시간에 나타났다. 최고기온은 (b)방법에서는 (a)에 비해 대략 15.6℃ 정도 감소했고, (c)방법에서는 23.4℃나 감소하였다.

5.2 파이프쿨링과 진동세관형 히트파이프(OCHP)쿨링과의 비교

파이프쿨링의 온도감소효과는 일반적으로 평균적으로 9~12℃ 정도이지만, OCHP를 사용하였을 경우

최소 15.6℃에서 23.4℃로 온도감소효과를 보였다. 초기 균열확률 또한 파이프쿨링에 비해 좋은 효과를 나타냄을 알 수 있었다. 위와 같은 사항을 간략히 비교하여 표 2에 나타내었다.

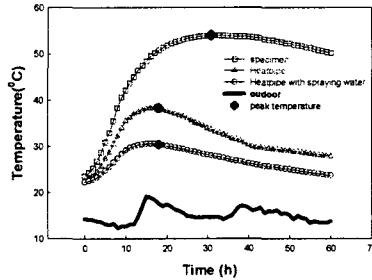


그림 5 콘크리트 평균온도의 변화
표 2 파이프쿨링과 OCHP의 비교

구분	파이프쿨링	OCHP	냉각수를 이용한 OCHP(분사)
온도감소효과	9~12℃	15.6℃	23.4℃
균열초기예측 (온도균열지수)	45%(0.95~0.97)	11%(1.351)	0%(2.27)
설치	충분한 양의 물공급 어려운 시공	물공급 없음 간단하고 쉬운 시공	적은 양의 물공급 간단하고 쉬운 시공

6. 결론

본 연구에서는 매스콘크리트에 진동세관형 히트파이프(OCHP)를 사용하여 수화열 제거와 적용가능성을 연구한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) OCHP를 사용한 매스콘크리트의 최고 온도는 일반시험체에 비해 15.6℃ 감소하였고, OCHP의 표면을 냉각수로 분사한 경우는 대략 23.4℃나 감소하였다. 이로서 콘크리트 중심부의 온도감소효과는 충분한 것으로 판단된다.
- (2) OCHP를 사용한 경우 온도균열에 대한 방지도 기존의 파이프쿨링보다 우수한 것으로 나타났다.
- (3) 종합적으로 판단할 때 OCHP를 사용할 경우 수화열 제거성과 적용가능성에 우수하고 온도균열방지가 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 정철희, 정영수, 전환석, “대형콘크리트 구조물의 타설 순서에 따른 수화열 해석”, 대한토목학회지 18권 제 I-1호, 1998.
2. 오병환, 유성원, “철근콘크리트 지하박스구조물의 수화열 온도균열제어를 위한 해석 및 적정 시공 기법연구”, 대한토목학회, 제19권 제I-4호, 1999.
3. 김광수, 차수원, “매스콘크리트 구조물의 수화열 및 응력해석의 민감도 분석”, 한국산업안전학회지 제16권 4호, 2001.
4. Park, C. Y, “A Study on Thermal stress by heat of hydration in mass concrete”, Journal of the Research Institute of Industrial Technology, Vol. 16, 1997.