

# OCHP를 이용한 매스콘크리트 수화열 제어의 현장적용에 관한 연구

## A Study on Field Applications of Hydration Heat Control in the Mass Concrete Using Oscillating Capillary Tube Heat Pipe

염치선\*      배원만\*\*      김명식\*\*\*      백동일\*\*\*\*      김강민\*\*\*\*\*  
Yum, Chi Sun    Bae, Won Mahn    Kim, Myung Sik    Beak, Dong Il    Kim, Kang Min

### ABSTRACT

In process of the mass concrete structure, the heat of hydration may cause serious thermal cracking. In order to eliminate hydration heat of mass concrete, this paper reports results of hydration heat control of mass concrete using the Oscillating Capillary tube Heat Pipe(OCHP).

There were the several RC box molds which shows a difference as compared with each other. One was not equipped with OCHP. The others were equipped with OCHP. All of them were cooled with natural air convection. The OCHP was composed of copper pipe with 11 turns(outer diameter : 4mm, inner diameter : 2.8mm) and heat type was non-looped type. The working fluid was R-22 and its charging ratio was 40% by volume. The core of the concrete temperature was approximately 55℃ in the winter without OCHP. But the concrete temperature with OCHP was reduced its difference in temperature with the outdoor temperature to 12℃. Finally we saw the index figure of the thermal crack of the structures were varied from 0.75 to 1.47

### 1. 서론

최근 기초부, 교각, 원자로 격납구조물 및 LNG 탱크 등의 대형 콘크리트 구조물이 건설됨에 따라 매스콘크리트에서 수화열에 의한 온도균열이 발생한다. 이러한 매스콘크리트에서의 온도응력은 많은 영향 요인에 의해 결정되는 복합적인 결과이며, 과도한 온도응력의 발생은 구조물에 균열을 야기시키거나 잔류응력으로 존재함으로써 매스콘크리트 구조물의 안정성, 내구성 및 방수성 등의 문제를 발생시키는 원인이 된다.

이러한 매스콘크리트의 수화열을 제거하기 위한 종래의 시공방법(프리쿨링, 파이프쿨링 등)은 시공성과 경제성 그리고 시공관리 측면에서 많은 시간과 고가의 공사비 투입 등으로 인한 어려움을 겪고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 매스콘크리트 시공 시 수화열을 제어하기 위해 진동세관형 히트파이프(OCHP)를 이용하여 피치간격과 응축부의 길이 변화를 주어 수화열의 저감여부를 관찰, 측정하고

\* 정회원, 보성종합건설(주) 이사

\*\* 정회원, 보성종합건설(주) 기술개발팀장

\*\*\* 정회원, 부경대학교 건설공학부 교수

\*\*\*\* 정회원, 부경대학교 토목공학과 박사수료

\*\*\*\*\* 정회원, 부경대학교 토목공학과 석사과정

그에 따른 균열지수를 산출하여 OCHP의 매스콘크리트 균열제어성능을 평가하고 현장적용에 대해 검토하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 실험장치

본 연구에서 사용된 모의 시험체의 전체 개략도는 그림 1과 같다. OCHP의 설치조건은 효율적인 수화열 제거성능을 알아보기 위해 OCHP의 피치간격(10, 20cm)의 변화와 OCHP의 응축부와 증발부의 길이비 변화로 크게 2가지로 나누어 수행하였다. 피치간격의 변화에 사용된 모의 시험체의 크기는 1.2×1.2×3.6m로 제작하여 실험하였으며, 그 형태는 그림 2, 3과 같다. 또한 응축부와 증발부의 길이비 변화에 사용된 모의 시험체의 크기는 1.2×1.8×2.4m로 제작, 실험하였으며 그 형태는 그림 4, 5와 같다. 거푸집면의 바닥과 측면은 모두 5cm 두께의 스티로폼으로 단열하였다. OCHP는 외경 4mm, 내경 0.28mm인 길이동관을 사용하였다. 작동유체는 작동온도범위를 고려하여 R-22를 사용하였으며, 내체적비 40%를 충전하였다. 각각의 온도계측은 데이터로그(DR-230, Yokogawa사)의 단자에 연결하여 RS-232C통신을 통해 컴퓨터로 데이터 값을 받아들이도록 하였고 T-type의 열전대를 사용하여 온도를 계측하였다. 수화열 측정을 위한 열전대 설치위치는 그림 6과 같이 설치하여 측정하였다.

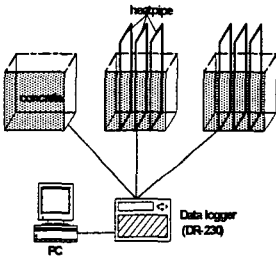


그림 1 모의 시험체 개략도

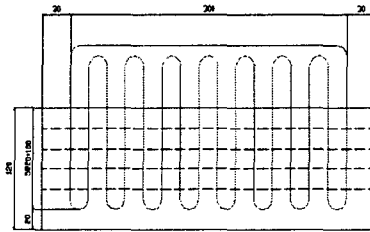


그림 2 피치 20cm인 시험체

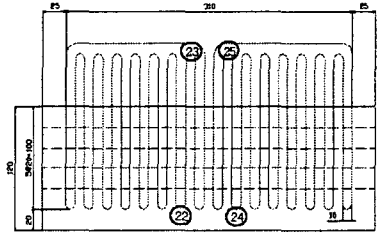


그림 3 피치 10 cm인 시험체

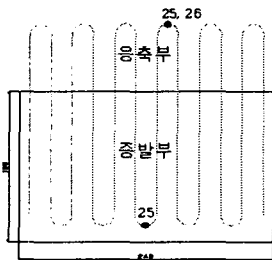


그림 4 길이비 1:0.5인 시험체

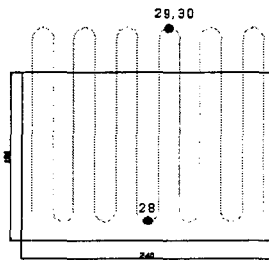


그림 5 길이비 1:0.3인 시험체

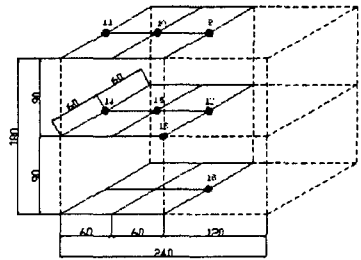


그림 6 열전대 설치위치

### 2.2 실험방법

본 실험은 모의 시험체내 온도상승과 온도분포라는 두 가지 중점사항을 고려해 두고 수행하였으며 특히 내부구속의 영향에 의한 온도균열을 해석하고자 하였다. 일반적으로 열전대는 시험체의 중심부와 표면부의 온도를 알아보고자 온도측정은 타설 완료직후 매 10분 간격으로 약 110시간을 측정하였다. 온도균열지수의 평가방법은 온도해석에 의한 간이적 방법을 사용하였다. 모의 시험체의 설계기준강도

는 21MPa, 단위시멘트량은 313kg/m<sup>3</sup>으로 하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 OCHP의 피치간격 변화에 따른 수화열 제거성능

그림 7, 8, 9에서 나타난 바와 같이 피치간격 10cm인 모의 시험체는 OCHP 미설치 시험체에 비해 최고온도 도달시간을 약 4시간 정도 단축시켰으며 최고온도를 약 8℃ 가량 저감시켰고 중심부와 표면부의 온도차를 약 13℃ 가량 저감시켰으므로 OCHP 미설치 시험체의 균열지수인 0.52보다 안전한 균열지수 1.00을 얻었다. 피치간격 20cm인 모의 시험체는 최고온도 도달시간을 약 2시간 정도 단축시켰으며 최고온도는 약 6℃가량 저감시켰고 온도차는 약 5℃ 가량 저감시켰으므로 균열지수 0.71을 얻을 수 있었다.

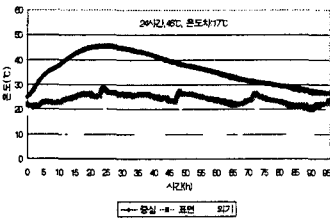


그림 7 OCHP 피치간격 10cm인 시험체 중심, 표면온도 비교

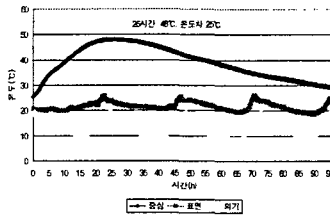


그림 8 OCHP 피치간격 20cm인 시험체 중심, 표면온도 비교

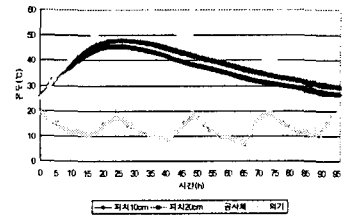


그림 9 피치간격별 시험체 중심온도 비교

#### 3.2 OCHP의 응축부와 증발부 길이비 변화에 따른 수화열 제거성능

OCHP의 응축부와 증발부의 길이비가 1:0.5인 모의 시험체에서는 OCHP 미설치 시험체에 비해 최고 온도 도달시간을 약 8시간 단축시켰고, 최고온도를 약 12℃가량 저감시켰으며 길이비 1:0.3인 모의 시험체에서는 최고온도 도달시간을 약 7시간 단축시켰고, 최고온도는 약 10℃가량 저감시켰다. 따라서 그림 10에 나타난 바와 같이 길이비 1:0.5인 시험체의 균열지수는 1.47을 길이비 1:0.3인 시험체의 균열지수는 1.38을 얻을 수 있었다. 표 1은 콘크리트 표준시방서에 제시된 일반구조물의 표준적인 온도 균열지수이며 그림 11은 온도균열지수에 따른 균열발생확률을 나타내고 있다.

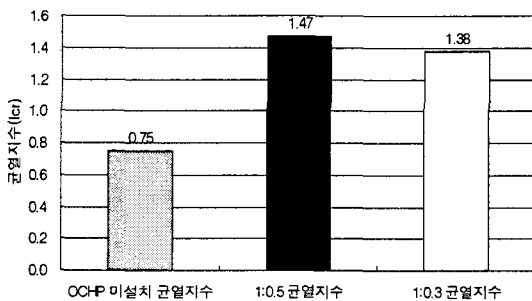


그림 10 OCHP의 응축부와 증발부의 길이비 별 균열지수

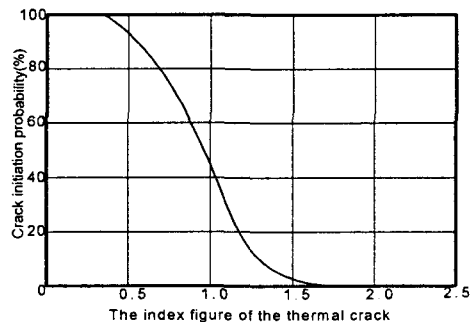


그림 11. 온도균열지수와 균열발생확률

표 1 일반 구조물의 표준적인 온도균열지수

균열발생조건	온도균열지수
균열발생을 방지하여야 할 경우	1.5 이상
균열발생을 제한할 경우	1.2 이상 ~ 1.5 미만
유해한 균열발생을 제한할 경우	0.7 이상 ~ 1.2 미만

#### 4. 결론

진동세관형 히트파이프(OCHP)의 매스콘크리트 수화열 제거성능을 알아보기 위한 실험결과는 다음과 같다.

- (1) OCHP를 루프형으로 하고 피치간격을 10cm와 20cm로 변화시켜 매스콘크리트의 수화열 제거성능을 검토한 결과 두 경우 모두 온도균열의 발생을 방지할 수 있는 것으로 나타났으나 시공성 및 재료비 절감 등을 비교해 보았을 때 피치간격 20cm가 더 효율적일 것으로 생각된다.
- (2) OCHP의 응축부와 증발부의 길이비를 변화시킨 결과 길이비가 1:0.5인 시험체에서는 최고온도 도달시간을 약 8시간 단축시켰고, 최고온도를 약 12℃가량 저감시켰으며 길이비 1:0.3인 시험체에서는 최고온도 도달시간을 약 7시간 단축시켰고, 최고온도는 약 10℃가량 저감시켰다. 이 결과를 토대로 균열발생확률을 살펴보면 길이비 1:0.5인 시험체는 균열발생확률이 약 0%, 1:0.3인 시험체는 약 6%로 나타났다. 따라서 시공성 및 재료비 절감 등을 비교해 보았을 때 균열발생을 제한할 수 있는 길이비 1:0.3이 더욱 효율적일 것으로 생각된다.
- (3) 본 연구 대상구조물의 계측 및 해석결과 온도균열발생을 방지할 수 있음을 알 수 있었고 매스콘크리트의 수화열 제거에 OCHP의 현장적용성이 충분한 것을 확인할 수 있었다.

#### 참고문헌

1. 김진근, “매스콘크리트의 수화열 및 온도응력에 대한 영향 요인”, 한국콘크리트학회지 제9권 3호, 1997. 6.
2. 정철희, 정영수, 전환석, “대형콘크리트 구조물의 타설 순서에 따른 수화열 해석”, 대한토목학회 제 18권 제 I-1호, 1998.
3. 오병환, 유성원, “철근콘크리트 지하박스구조물의 수화열 온도균열제어를 위한 해석 및 적정 시공기법연구”, 대한토목학회, 제19권 제I-4호, 1999.
4. 김광수, 차수원, “매스콘크리트 구조물의 수화열 및 응력해석의 민감도 분석”, 한국산업안전학회지 제16권 4호, 2001.
5. 한국콘크리트학회, “콘크리트 표준시방서”, 사단법인 한국콘크리트학회, 2004. 2.
6. Neville, A. M., “Properties of Concrete, 4rd Ed.”, Wiley, 1997.
7. 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.
8. Sidney Mindess, J. Francis Young, and David Darwin, “Concrete, 2rd Ed.”, Prentice Hall, 2003.