

# 시트양생 및 파이프 쿨링에 의한 매스콘크리트 구조물의 온도제어

## Temperature Control of Mass-Concrete Structure with Pipe Cooling or Sheet Curing.

車興潤\*

金銀謙\*\*

金來鉉\*\*\*

愼治範\*\*\*\*

Hung Youn Cha, Eun Kyum Kim, Lae Hyun Kim, Chee Burm Shin

### ABSTRACT

The usual methods for the temperature control of mass-concrete structures include the use of low-heat cement, pre-cooling, post-cooling, or sheet curing. In order to control the heat of hydration during the construction of mass-concrete structures, the combination of the above methods is commonly employed. For the construction of mass-concrete structures such as massive pier or anchor, it is necessary to control the curing temperature with pipe cooling. In this study, the method of analysis on the effect of pipe cooling was proposed to prevent the thermal cracking due to heat of hydration. In addition, the effect of covering the concrete surface with blanket insulation was investigated. The results of the present study may be useful for the prediction of curing temperature of mass-concrete structures and the reasonable construction management.

### 1. 서론

매스콘크리트의 수화열에 의한 온도균열은 콘크리트 타설 초기의 단계에서 발생하는 내부구속에 의한 표면 균열과 재령이 어느 정도 경과한 후에 발생하는 외부구속에 의한 관통 균열의 두가지 형태로 발생한다. 이들 균열은 매스콘크리트 구조물에 요구되는 기능 및 품질에 손상을 주게 되므로, 온도균열을 제어하기 위해서는 적절한 콘크리트의 품질 및 시공

방법의 선정, 균열제어 철근의 배치 등에 대한 적절한 조치를 강구해야 한다.<sup>(1~5)</sup>

매스콘크리트 구조물의 온도를 제어하는 방법으로는 저발열 시멘트를 사용하는 방법, Pre-Cooling 방법, Post-Cooling 방법 및 시트양생 방법 등이 널리 사용되고 있으며, 실제의 시공에서 수화열을 효율적으로 제어하기 위해서는 이들의 방법을 조합하여 병용하는 것이 일반적이다.<sup>(9~10)</sup>

일본의 경우, 南北備讚瀬戸大橋<sup>(9~10)</sup>의 앵커기초 및 主塔기초 시공에는 콘크리트 타설 전의 조치로서 저발열 시멘트를 사용하였으며, 배합수에는 냉각수(약5℃)나 얼음을 혼입하여 콘크리트의 온도를 낮춤으로서 콘크리트 내부의 최고 온도를 제어하였다. 또한 콘크리트 타설 후의 온도

\*서울산업대학교대학원 토목공학과 석사과정 (한국수자원공사)

\*\*서울산업대학교 토목공학과 교수

\*\*\*서울산업대학교 화학공학과 교수

\*\*\*\*아주대학교 화학공학과 조교수

제어에는 파이프 쿨링 방법을 채택하였으며 海水를 사용하여 Post-Cooling을 실시함으로써 큰 성과를 거두었다. 또한 현재 시공중에 있는 明石大橋 (중앙 지간 1,990m)에 있어서도 세또大橋의 경우와 같이 앵커기초의 Post-Cooling에 파이프 쿨링 방법을 도입하여 온도제어를 실시함으로써 효율적인 시공관리가 가능하였다.

이와 같이 대규모 콘크리트 구조물에서 콘크리트 타설 후 온도균열 발생을 저감시키는 방법으로서 파이프 쿨링에 의한 온도제어가 필수적이며, 또한 유효수단임을 알 수 있다. 파이프 쿨링은 콘크리트 構造體내에 配管을 실시하여 그 속에 냉수를 통과시킴으로서 콘크리트 타설후의 수화열을 흡수시키는 방식이다. 이 방식은 콘크리트의 온도강하의 차이를 줄일 수 있으며, 또한 단기 재령에서의 외부 구속응력을 저감시키는 데 큰 효과가 있다. 따라서, 이상과 같은 초대형 매스콘크리트 구조물을 시공하는 데 있어서 파이프 쿨링에 의한 온도제어 수법은 필수적이다.

본 연구에서는 시멘트의 수화열에 의한 온도균열을 제어하기 위하여 파이프 쿨링 효과를 해석할 수 있는 방법을 제시하고자 한다. 아울러 콘크리트 양생 중에 대기와 접하는 콘크리트 표면을 시트로 덮는 단열양생에 대한 효과에 대하여도 검토한다. 본 연구의 결과는 향후 매스콘크리트 구조물을 건설하는 데 있어서 그의 온도균열 예측은 물론 합리적인 시공관리를 하는 데 매우 유효한 수단으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 온도 해석 모델

온도해석에서는 내부구속의 영향이 큰 기초매트 구조와 외부구속의 영향이 큰 벽상구조를 해석모델로 사용하였다. 그림 1 (a)는 JCI 매스콘크리트 온도응력 연

구 위원회가 발행한 「매스콘크리트 공사의 온도응력 제어연습」에서 실시한 온도해석용 벽상 구조물의 모델이다.<sup>(6)</sup>

또,그림1(b)는 일본(재) 전력중앙연구소에서 향후 화력발전소 RAFT형 기초매트의 설계수법의 합리화를 위한 온도 및 응

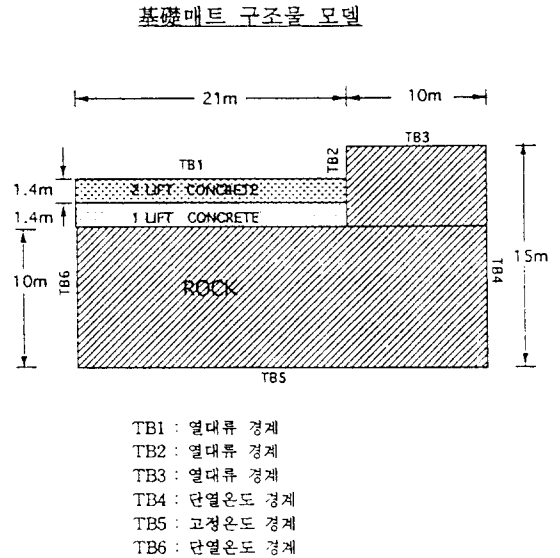


그림 1. (a) 온도해석 모델 (벽상구조물)

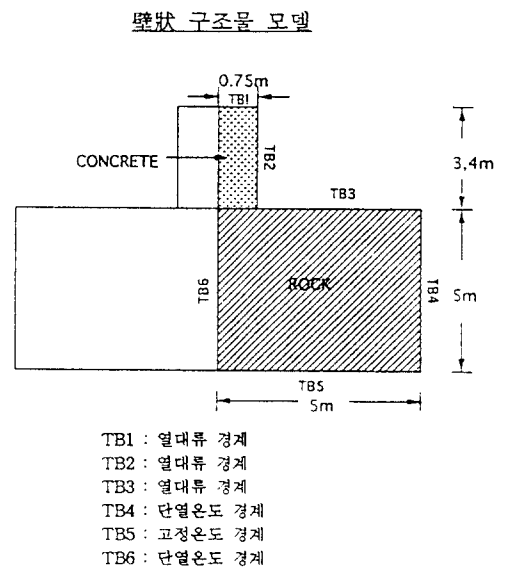


그림 1. (b) 온도해석 모델 (기초매트 구조물)

력 계측용 원자로 격납시설 기초매트의 모델이다.<sup>(7)</sup> 또한 기초매트는 파이프 쿨링에 의하여 Post-Cooling을 실시함으로써 온도균열을 제어하는 경우가 일반적이므로, 이들의 효과를 검증하는 데 매우 유효한 해석 모델로 판단된다.

### 3. 결과 및 비교 · 검토

#### 3.1 시트 양생 효과

본 연구에서는 해당 경계조건과 초기 조건을 만족하는 비정상 열전도 방정식의 해를 유한요소법 (finite element method) 을 이용하여 구하였다.

그림 2는 벽상 구조물의 표면과 중심 및 두 지점의 온도차에 대한 이력곡선을 도시한 것이다. 그림(a)는 구조물이 대기 중에 그대로 노출된 것이고, 그림(b)는 5일간 시트를 이용하여 단열양생을 실시한 경우이다. 그림(a)의 경우 콘크리트 표면의 온도와 내부의 최고온도와의 차이는 21℃ 정도이며, 콘크리트 타설후 10여일이 경과한 후에야 비로서 콘크리트의 내부온도와 대기온도가 평형상태를 이루고 있음을 알 수 있다. 이 때 콘크리트 표면 및

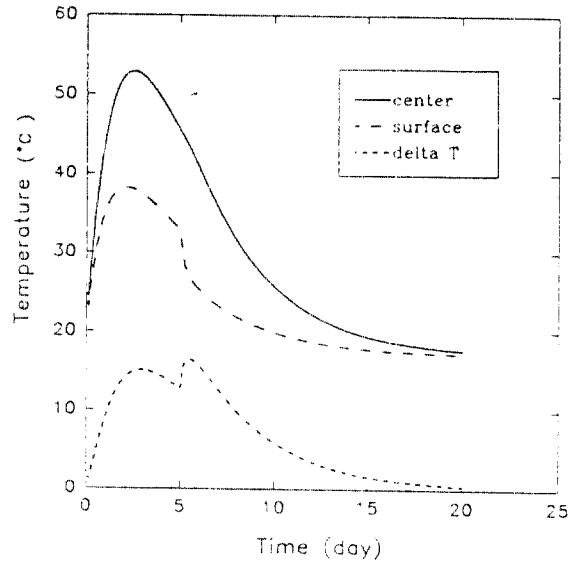


그림 2. (b) 벽상구조물의 온도이력  
5일간 시트양생한 경우

내부온도의 차이가 커지면 온도 강하시 내부구속에 의하여 콘크리트 표면에 균열이 발생할 염려가 있으며, 최고 온도와 평형상태시의 온도차이가 커지면 지반에 의한 구속 즉 외부구속에 의해 벽체에 관통 균열이 발생할 가능성이 높다. 그림(b)의 경우 5일이 경과한 후 시트를 제거한 시점에서의 온도차는 대략 16℃정도이며, 또한 어떠한 재령하에서도 이 값을 초과하는 경우는 없다. 따라서, 이 경우 5일간 시트양생을 실시하면 내부구속에 의한 균열발생의 위험성은 매우 줄어든다.

#### 3.2 파이프 쿨링 효과

그림 3은 매트기초 모델의 제1 lift에 대한 온도 해석결과를 보인 것이다. 제2 lift 콘크리트는 제1 lift의 콘크리트를 타설하고 17일이 경과한 후에 타설하였다. 그 이유는 제1 lift의 수화열에 의한 영향이 제2 lift 콘크리트의 온도상승에 큰 영향이 미치지 않도록 하기 위해서 이다. 그림(a)는 파이프 쿨링을 실시하지 않은 경우이고, 그림(b)는 1 inch 강관을 1m 간격

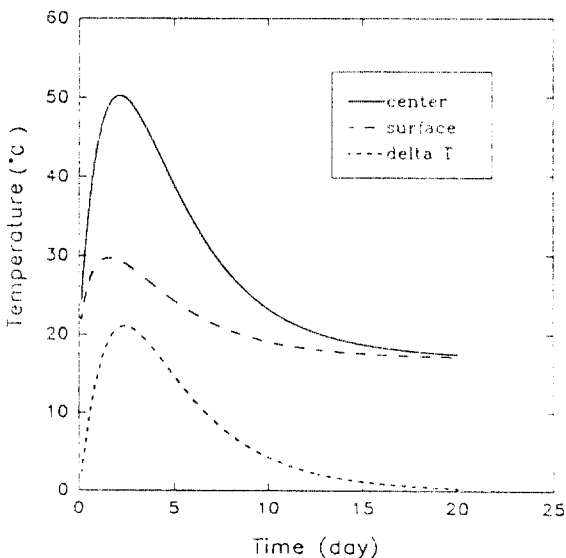


그림 2. (a) 벽상구조물의 온도이력  
시트양생 하지 않은 경우

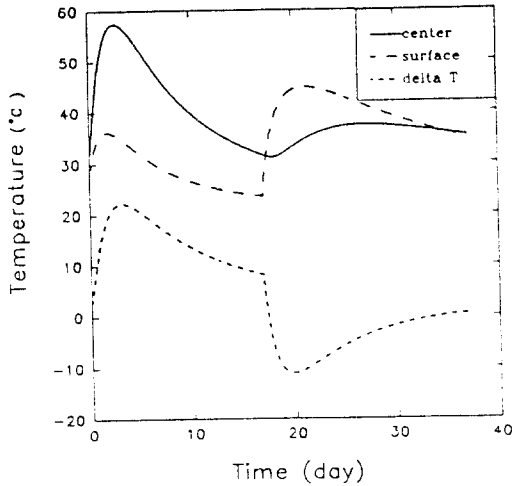


그림 3. (a) 기초매트 구조물의 온도이력  
파이프 쿨링을 실시하지 않은 경우

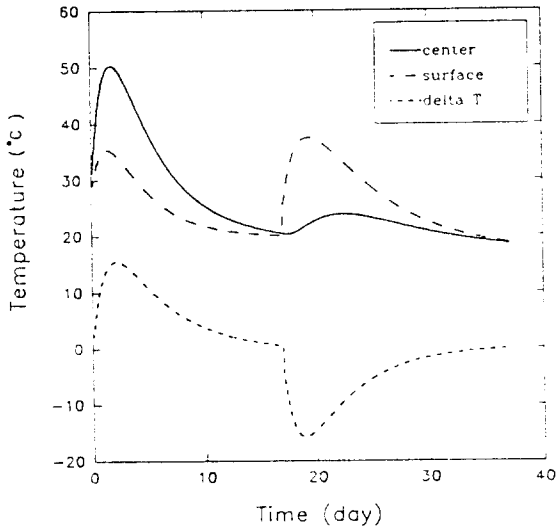


그림 3. (b) 기초매트 구조물의 온도이력  
파이프 쿨링을 실시한 경우

으로 배관한 경우이다. 이 때 냉각수의 유속은 17 l/min 이고 수온은 15°C이다.

그림3(a)에 의하면 제1 lift는 재령 2일에서 최대온도는 58°C 정도이며, 콘크리트 표면온도와 비교해 볼때 22°C 큰 값이

다. 또한, 재령 17일 후에는 콘크리트 내부온도는 31°C로서 27°C정도 온도강하를 나타내고 있지만, 이 시점에서 제2 lift의 타설로 인하여 내부온도가 다소 상승한데 비하여 표면온도는 24°C에서 46°C로 무려 22°C의 온도상승을 보이고 있다. 이것은 제 1 lift위에 이어서 2 lift의 콘크리트를 타설함으로써 일어난 당연한 결과이다. 한편 그림3(b)에서 파이프 쿨링을 실시한 경우 표면온도와 내부온도의 차이는 대략 15°C이하로 유지되고 있으며, 내부의 최고온도는 57°C에서 50°C로 줄어든다.

따라서 온도균열 발생 위험성이 대폭 감소됨을 알 수 있다. 그러나 파이프 쿨링에 의한 냉각효과는 파이프의 재질과 지름, 냉각수의 온도 및 유속, 배관망의 layout등에 따라 달라지므로 파이프 쿨링 방법을 최적화하기 위하여는 본 연구와 같은 온도해석 방법의 개발이 필수적임을 알 수 있다.

파이프 쿨링의 효과를 해석하는 데는 3차원 모델 내지는 의사 3차원 모델<sup>(10,11)</sup>의 개발이 필요하며, 또한, 이들의 해석 결과는 해법의 타당성을 검증하기 위하여 현장에서 파이프 쿨링을 실시한 매스콘크리트의 실험 결과와의 검토가 필수적이다. 이들에 대한 연구는 현재 진행되고 있으며 가까운 시일에 공표할 계획을 가지고 있다.

## 참고 문헌

1. 日本土木學會 : 매스콘크리트 기술의 현상과 동향, 콘크리트 기술 시리즈 8, 1994.10.
2. Proceeding of the International RILEM Symposium, "Thermal Cracking in Concrete at Early Ages", E & FN SPON, 1994.10.
3. 小野 定, 櫛田泰仁 등, "매스콘크리트의 온도균열제어", 일본시멘트·콘크리트,

- No.442, pp33~pp39, 1983.12.
4. 長龍重義, 佐藤良一, “콘크리트의 균열과 대책”, 시멘트·콘크리트, No.370, pp52~59, 1982. 10.
  5. 田邊忠顯, “매스콘크리트의 온도 응력 제어 기술의 현상”, 日本土木學會論文集, No.372/V-5, pp1~16, 1986. 8.
  6. JCI : 매스콘크리트 공사의 온도응력 제어 연습.
  7. 小野 定, 長田晴道, “기초매트 슬래브 콘크리트 온도의 실측과 해석”, JCI, 매스콘크리트의 온도응력발생 매카니즘에 관한 콜로쿰(論文集), pp45~48, 1982.10.
  8. 加島 聰, 藤田時男, “현수교 하부공 매스콘크리트의 쿨링에 의한 온도제어”, JCI, Vol.24, No 6, pp31~31, 1986. 6.
  9. 加島 聰, “매스콘크리트에 있어서의 프리 쿨링 공법”, JCI, Vol.26, No 5, pp13~20, 1988. 5.
  10. 田邊忠顯, 山川秀次, 渡邊 朗, “파이프 쿨링에 있어서의 管壁面의 열전달율의 결정 및 냉각효과의 해석”, 日本土木學會論文集, 제343호, pp171~179, 1984년 3월.
  11. 佐騰英明, 佐谷精郎, “매스콘크리트에 있어서의 파이프 쿨링 효과에 관한 연구”, 日本土木學會論文集, 제372호/V-5 pp111~120, 1986년 8월.