Mass Concrete 구조물 양생시의 온도 해석 및 제어

강창훈, 신치범, 김래현*,김은겸**
아주대학교 화학공학과
*서울산업대학교 화학공학과
**서울산업대학교 토목공학과

Temperature Analysis and Control of Mass-Concrete Structures in the Process of Curing

Chang Hoon Kang, Chee Burm Shin, Lae Hyun Kim*, Eun-Kyum Kim**
Dept. of Chem. Eng., Ajou University
*Dept. of Chem. Eng., SNPU
**Dept. of Civil Eng., SNPU

서 론

최근 콘크리트 구조물은 세계적으로 대형화 및 시공방법의 진보에 의한 대량 급속시공이 계속적으로 증가하고 있다. 따라서 시멘트의 수화열에 의한 콘크리트 구조물의 온도변화에 의해 생기는 온도응력이 구조물에 균열을 발생시키거나 혹은 구조물의 설계에 있어서 무시할 수 없는 영향을 주는 경우가 빈번히 일어나고 있다[1,2]. 한국에서도 교량의 장대화에 의한 교각 및 앵커 구조물의 대형화, 고속 전철의 건설 및 대형 빌딩의 기초를 비롯하여 대형 취수지, 정수지 등의 축조 등에서 수화열에 의한 온도균열의 문제가 설계 및 시공시 콘크리트 구조물의 기능 및 내구성을 확보하는 과정에서 매우 중요한 과제로서 부각되고 있다.

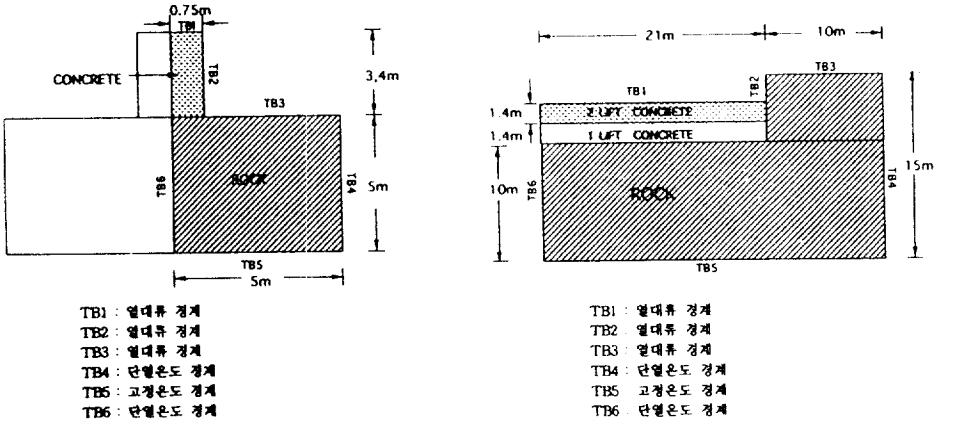
온도응력에 의한 균열은 콘크리트 타설 초기의 단계에 발생하는 내부구속에 의한 표면 균열과 재령이 어느 정도 경과한 후에 발생하는 외부구속에 의한 관통 균열의 두가지 형태로 발생한다. 이들 균열은 매스콘크리트 구조물에 요구되는 기능 및 품질에 손상을 주게 되므로, 온도균열을 제어하기 위해서는 적절한 콘크리트의 품질 및 시공방법의 선정, 균열제어 철근의 배치 등에 대한 적절한 조치를 강구해야 한다[3-5]. 이 가운데 콘크리트의 양생중에 실시할 수 있는 방법으로 양생온도를 적절히 제어함으로써 콘크리트의 구속작용을 줄이기 위하여 노출된 콘크리트면을 시트를 사용하여 단열양생시키는 방법과 콘크리트에 파이프를 매설하고 냉각수를 흘려 수화열을 강제적으로 제거하는 파이프 쿨링(pipe

cooling)등이 있다. 이들의 조치를 합리적으로 취하기 위해서는 온도응력에 대한 정확한 해석이 이루어져야 하며, 정확한 온도응력의 평가는 콘크리트 구조체의 온도해석이 선결되어야만 가능하다.

본 연구에서는 시멘트의 수화열에 의한 온도균열을 제어하기 위하여 적용되는 단열 양생과 파이프 쿨링 효과를 해석할 수 있는 방법을 제시하고자 한다. 본 연구는 온도균열 예측은 물론 매스 콘크리트 구조물의 합리적인 시공방법의 개발에 유효한 수단으로 활용될 수 있을 것이다.

온도 해석 모델

온도해석에는 내부구속의 영향이 큰 기초매트 구조와 외부구속의 영향이 큰 벽상 구조를 해석모델로 사용하였다. 그림1 (a)는 JCI 매스콘크리트 온도응력연구위원회가 발행한 『매스콘크리트 공사의 온도응력 제어 연습』에서 실시한 온도해석용 벽상 구조물의 모델이다[6]. 또, 그림1 (b)는 일본 (재)전력중앙연구소에서 향후 화력발전소 RAFT형 기초매트의 설계수법의 합리화를 위한 온도 및 응력 계측용 원자로 격납시설 기초매트의 모델이다[7].



(a) (b)

그림 1. 온도 해석 모델 ; (a) 벽상 구조물, (b) 기초매트 구조물

결과 및 토의

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

그림2는 벽상 구조물의 표면과 중심 및 두지점의 온도차에 대한 이력곡선을 도시한 것이다. (a)는 구조물이 공기에 그대로 노출된 것이고, (b)는 5일간 시트를 이용한 단열 양생을 실시한 경우이다. (a)의 경우 콘크리트 표면의 온도와 내부의 최고온도와의 차이는 21℃ 정도이며, 콘크리트 타설 후 10여일이 경과한 후

에야 비로소 콘크리트의 내부온도와 대기온도가 평형상태를 이루고 있음을 알 수 있다. 이 때 콘크리트 표면 및 내부온도의 차이가 커지면 온도 강하시 내부구속에 의하여 콘크리트 표면에 균열이 발생할 염려가 있으며, 최고온도와 평형상태시의 온도차이가 커지면 지반에 의한 구속 즉 외부구속에 의해 벽체에 관통균열이 발생할 가능성이 높다. (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 균열 발생의 위험성은 매우 줄어든다.

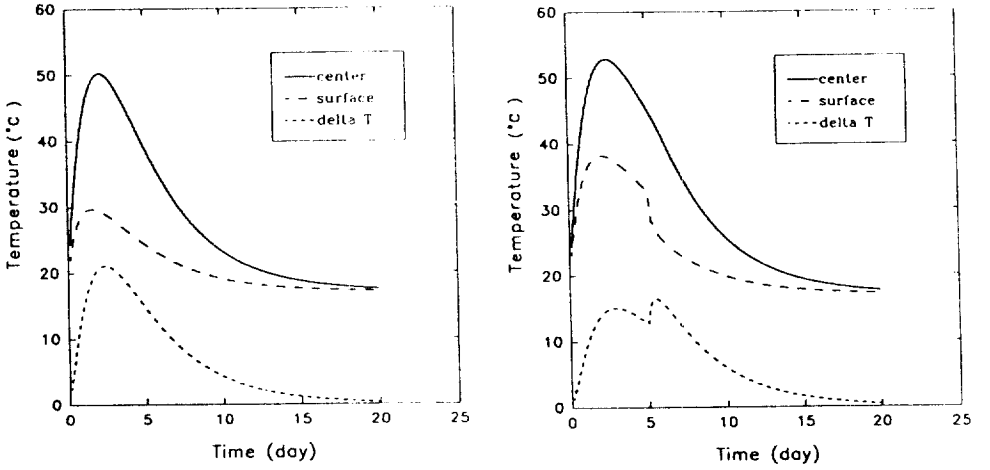


그림2. 벽상구조물의 온도이력 ; (a) 시트양생을 실시하지 않은 경우, (b) 5일간 시트양생을 실시한 경우

그림3은 매트 기초 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 콘크리트에 온도상승의 영향이 크게 미치지 않도록 하기 위해서이다. (a)는 파이프쿨링을 실시하지 않은 경우이고, (b)는 1in. 강관을 1m 간격으로 매설한 경우이다. 이때 냉각수의 유속은 17 ℓ/min이고 수온은 15℃이다.

그림3 (a)에 의하면 제1 Lift는 재령 2일에서 최대 온도는 58℃ 정도이며, 콘크리트 표면온도와 비교해 볼 때 22℃ 큰 값이다. 또한, 재령 17일 후에는 콘크리트 내부 온도는 31℃로서 27℃정도 온도 강하를 나타내고 있지만, 이 시점에서 제2 LIft의 타설로 인하여 내부온도 다소 상승한 데 비하여 표면온도는 24℃에서 46℃로 무려 22℃의 온도상승을 보이고 있다. 이것은 1 Lift 위에 이어서 2 Lift의 콘크리트를 타설함으로써 일어난 당연한 결과이다. 한편 그림3 (b)에서 파이프쿨링을 실시한 경우 표면온도와 내부온도의 차이는 대략 15℃이하로 유지되고 있으며, 내부의 최고온도는 57℃에서 50℃로 줄어든다. 따라서 온도균열 발생 위험성이 대폭 감소됨을 확인할 수 있다. 그러나 파이프쿨링에 의한 냉각효과는 파

이프의 재질과 지름, 냉각수의 수온 및 유속, 배관망의 layout 등에 따라 달라지므로 파이프 쿨링 방법을 최적화하기 위하여는 본 연구와 같은 온도해석 방법의 개발이 필수적임을 알 수 있다.

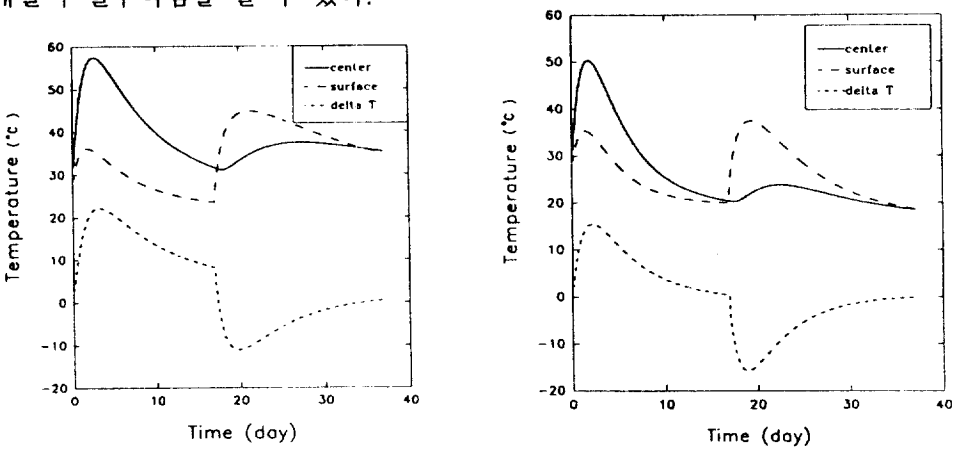


그림3 기초 매트 구조물의 온도 이력 ; (a) 파이프 쿨링을 하지 않은 경우 (b) 파이프 쿨링을 실시한 경우

참 고 문 헌

1. 日本土木學會 : *매스콘크리트 기술의 현상과 동향*, 콘크리트기술 시리즈 8, 1994. 10.
2. Proceeding of the International RILEM Symposium, "*Thermal Cracking in Concrete at Earely Ages*", E & FN SPON, 1994. 10.
3. 小野 定, 輸田泰仁 등, "*매스콘크리트의 온도 균열 제어*", 시멘트 · 콘크리트(日本), No.442, pp33-pp39, 1983, 12.
4. 長龍重義, 左藤良一, "*콘크리트의 균열과 대책*", 시멘트 · 콘크리트(日本), No.370, pp52-pp59, 1982, 10.
5. 田邊忠顯, "*매스콘크리트의 온도응력 제어기술의 현상*", 土木學會論文集(日本), No.372/V-5, pp1-pp16, 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 논문집, pp45-pp48, 1982, 10.