

원자로건물 외벽 타설 높이 산정을 위한 수화열 해석

Analysis on Heat of Hydration for Height of Shell Concrete Pouring in Reactor Containment Building

김좌영* 박종혁** 이한우* 방창준***
 Kim, Jwa-Young Park, Jong-Hyok Lee, Han-Woo Bang, Chang-Joon

Abstract

A thermal stresses by heat of hydration was analyzed according to a change of a pour height in reactor containment building. In case of more than 3.6m pouring height a crack index by heat of hydration analysis resulted in less than 1 because there is not a construction joint of vertical direction and for a self-restraint effect of circumferential section shape. Therefore detailed consideration on a mixture proportion of binder type, quantity in concrete and selection of a form in seasonal air temperature is needed for a control of tensile stress by heat of hydration.

키워드 : 수화열, 원자로건물, 타설높이
 Keywords : Heat of hydration, Reactor containment building, Pouring height

1. 서론

매스콘크리트 수화열에 의한 온도응력 및 균열 검토는 벽체의 경우 0.5m 이상으로 규정되어 있으며, 배합, 사전냉각, 사후냉각, 양생방법 등으로 목표 성능에 맞추어 제어되어야 한다.¹⁾²⁾ 원자로건물의 경우 1.2m이상의 대단면 벽체구조물로서 1단 타설높이를 증가할수록 시공성이 향상되지만 이에 따른 수화열 영향을 검토하여야 한다. 본 연구에서는 이러한 타설높이 증가가 온도응력에 미치는 영향을 분석하고 적정 제어 방안을 논의하고자 한다.

2. 수화열해석 모델링 및 변수

수화열 해석 모델은 그림 1과 같이 기타설된 기초에 3.0~4.5m의 1단 타설높이를 갖는 1.37m 두께의 벽체를 3개의 시공단계로 구분하여 설정하였다. 원자로건물 외벽은 원통 쉘구조이므로 1/4모델을 이용하였으며 각각의 시공단계에 소요되는 공기는 14일 기준으로 적용하였다. 사용된 콘크리트 재료 물성 및 열특성은 표 1과 같이 나타내었다.

이와 같은 조건으로 타설높이 변화에 따른 각 시공단계 별 상하단 내부, 접합부 내외측의 온도와 응력변화를 분석하였다.

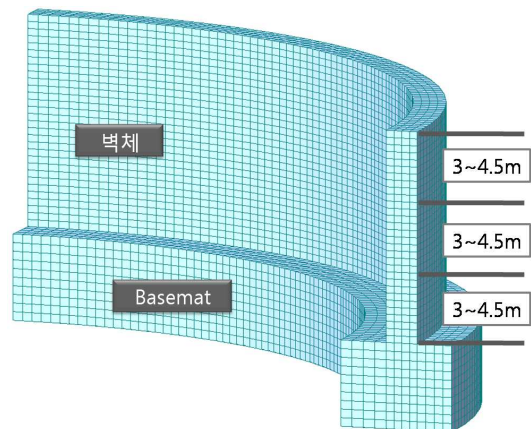


그림 1. 해석모델 제원

표 1. 재료 물성 및 열특성 입력값

물성	구조부위	벽체 (Shell)	기초 (Basemat)
비열(kcal/N°C)		106	106
비중(N/m³)		9627	9627
열전도율(J/m · hr°C)		23500	23500
대류계수(J/m² · hr°C)		58604	58604
외기온도(°C)		27	27
타설온도(°C)		21	21
91일 압축강도(MPa)		42	28
단위시멘트량(kg/m³)		411	-
해석변수 1단 타설높이(m)		3.0m 3.6m 3.9m 4.5m	기타설 구조물

* (주)한국수력원자력, 차장
 ** (주)한국수력원자력, 주임. 교신저자(mgibson@khnp.co.kr)
 *** (주)한국수력원자력, 부장

3. 해석결과

수화열 발생에 따른 벽체의 온도와 응력분포 특성을 파악하기 위해 그림 2와 같이 타설높이 3.0m의 해석결과를 나타내었다. 타설 후 약 2일에서 중심부 최대 온도는 65℃까지 상승하였으며 7일 후 약 30℃ 수준으로 하강하였다. 이에 따라 타설 2일에는 내외부 온도차로 인한 표면부 인장응력이 발생하며 타설 7일 이후는 온도 감소로 인한 수축으로 중심부 인장응력이 발생되었다. 즉 타설 초기는 내부구속, 7일 이후는 외부구속이 지배적임을 확인하였다.

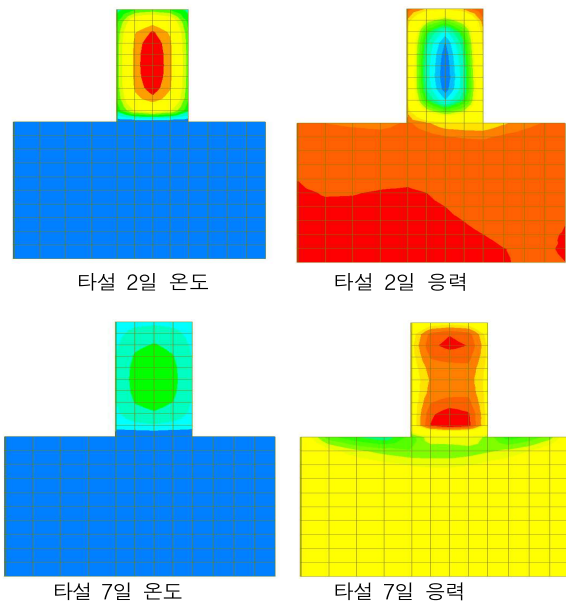


그림 2. 온도 및 응력 분포(H=3.0m)

벽체 내부 응력분포를 파악하기 위해 그림 3을 살펴보면 인장응력은 타설 2일 이후 온도하강에 의한 외부구속과 상단 타설 후 상단 팽창에 의해 합성작용으로 발생하는 것으로 판단된다. 이러한 합성작용에 의한 내부 인장응력은 벽체 타설단수가 높아질수록 증가하였으며 3.6m를 초과할 경우 인장강도를 넘어섰다.

벽체 접합부 표면의 응력분포는 그림 4와 같이 타설 2일 후 내외부 온도차에 의한 내부구속 인장응력이 발생하며, 이후 상단 타설 후 팽창에 의한 합성작용 인장응력이 발생하는 것으로 나타났다. 표면 인장응력의 경우도 내부인장응력과 유사하게 합성작용으로 벽체 높이가 증가할수록 발생 인장응력이 커지는 것으로 판단된다.

일반적으로 시공이음이 있는 벽체의 경우 타설단수가 높아질수록 외부구속효과가 작아져 발생하는 인장응력의 크기가 감소할 수 있지만, 원통형 셀 형상의 원자로건물 벽체의 경우 시공이음이 없어 수평방향 변형 구속에 의한 인장응력 크기는 타설단수가 높아질수록 증가하는 것으로 판단된다.

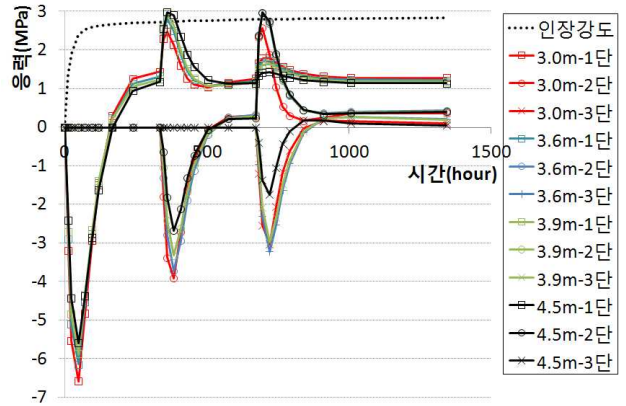


그림 3. 벽체 내부 응력분포

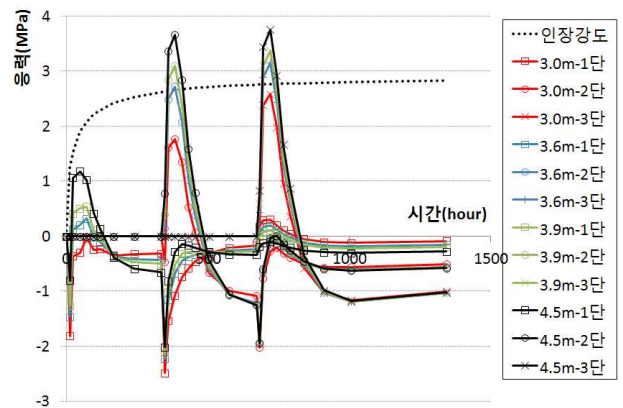


그림 4. 벽체 접합부 표면 응력분포

4. 결론

원자로건물 콘크리트 1단 타설높이는 3.6m를 초과할 경우 시공이음이 없는 원환 자체구속으로 인해 수화열에 의한 인장강도와 인장응력의 비인 균열지수가 1이하인 것으로 나타났다. 따라서 이를 제어하기 위해서는 향후 결합재 종류와 양 등의 콘크리트 배합설계, 계절 별 외기온도에 따른 거푸집 선정 등 균열제어를 위한 상세 검토가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행되었으므로 이에 감사드립니다. (No.2011T100200162)

참고 문헌

1. 한국콘크리트학회, 콘크리트표준시방서 해설, 2009
2. ACI 207.2R-02, Effect of Restraint, Volume Change and Reinforcement on Cracking of Mass Concrete, 2002