

# LiNAC실 벽체 구조물의 온도 균열 제어

## Thermal Crack Control of Wall Elements in LiNAC Structure

손 명 식\*      도 울 호\*\*      나 운\*\*\*      박 찬 규\*\*\*\*      이 회 근\*\*\*\*\*  
Son, Myong-Sik      Do, Yool-Ho      La, Woon      Park, Chan-Kyu      Lee, Hoi-Keun

### ABSTRACT

This paper presents the analytical results on the heat of hydration and induced thermal cracking of the wall elements in LiNAC that is a radioactive shield concrete structure. This wall elements measuring 1.2 m in thickness and 32 m in length tend to exhibit thermal cracking due to heat of hydration and high constraint effects caused by slab element located in the lower part of structure. In this analysis, four different construction stages were considered to find out the most effective concrete casting method in terms of thermal stress. Among the construction methods adopted in this analysis, the method of installation of construction connection measuring 1.2 m at the both side of wall elements was very effective way to control the thermal stress, resulting in increase thermal cracking index of wall elements in LiNAC structure. Finally, the wall elements in LiNAC structure was cast successfully according to the proposed construction method.

### 1. 서론

수화열에 의한 온도 균열 발생 가능성이 높은 구조물의 온도 균열을 제어하는 방법으로는 구조물 설계 단계에서는 사용되는 콘크리트의 강도를 조정하거나 온도 철근을 배근 또는 추가하는 방법이 고려될 수 있으며 실 시공 단계에서는 콘크리트의 결합재 종류 및 사용량을 조절하거나 콘크리트 타설 방법 변경 등이 고려될 수 있다.

방사능을 이용한 치료실로 이용되는 방사능 차폐 구조물인 LiNAC실은 벽체 두께가 1.2 m이고 길이가 32 m로 콘크리트의 수화열과 구조 특성상 슬래브의 구속에 의한 외부 구속의 영향으로 벽체에 균열 발생 가능성이 매우 높은 구조물이다. 따라서 본 연구에서는 LiNAC실의 실제 시공에 앞서 여러 가지 타설 방법과 콘크리트 강도 변화에 따른 수화열 및 온도 응력에 의한 온도 균열을 검토하여 LiNAC실 벽체 구조물의 온도 균열에 의한 균열 발생 가능성을 최소화하고자 수화열 해석을 사전에 실시하여 균열 제어 측면과 시공성에서 유리한 타설 방법 등의 온도 균열 제어 대책을 강구하고자 하였다.

\* 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 삼성암센터 현장소장

\*\* 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 삼성암센터 공무차장

\*\*\* 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술본부 건축구조팀 차장

\*\*\*\* 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 수석연구원

\*\*\*\*\* 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 선임연구원

## 2. 해석 조건 및 재료 특성

### 2.1 해석 대상 구조물

LiNAC실은 두께가 1.1m인 바닥슬래브 (콘크리트 슬래브 0.45m + 방사능 차폐용 철판 0.50m + 상부 토핑 콘크리트 0.25m)위에 두께 1.2m의 장변 벽체와 두께 1.2m의 단변 벽체 (콘크리트 0.4m + 방사능 차폐용 철판 0.4m + 콘크리트 0.4m)의 복합 벽체)로 구성되어 있으며, 그림 1은 본 해석 대상인 LiNAC실(실선으로 표시)의 평면도를 나타낸다.

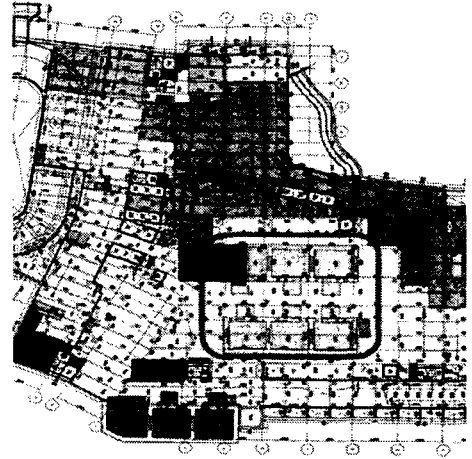


그림 1. LiNAC실 평면도

### 2.2 재료 열특성 및 해석 조건

LiNAC실 벽체 수화열 해석을 위한 재료 열특성 값 및 매스콘크리트 수화열 해석에 적용된 온도 및 콘크리트 강도 발현의 해석 조건은 콘크리트 표준시방서<sup>1)</sup>에 제시된 값을 이용하였다.

수화열 해석은 시공 단계 및 동일한 시공 조건에서 벽체 콘크리트의 강도를 변화시켜 수화열 해석을 수행하였다. 우선 시공 단계별 해석은 설계 강도가 35 MPa (총결합재량 430 kg/m<sup>3</sup>, 플라이애쉬 20% 사용)인 콘크리트로 타설하는 경우에 대해 총 4가지의 경우로 나누어서 하였는데, LiNAC실 벽체 전체를 일시에 타설하는 방법(시공 조건 I)과 벽체 전체를 1/2로 분할하여 1, 2차로 나누어 타설하는 방법(시공 조건 II), 3개의 LiNAC실 벽체 중 좌,우를 먼저 1차 타설하고 중앙의 LiNAC 벽체(길이 8.8m)를 2차로 타설하는 방법(시공 조건 III), 그리고 시공 조건 III과 유사하나 LiNAC실의 좌우 벽체와 중앙 벽체의 일부(길이 6.4m)를 먼저 타설 한 후 나머지 부분(길이 1.2m×2개소)을 타설 하는 방법으로 일종의 시공 조인트를 두고 타설 하는 방법(시공 조건 IV) 등을 고려하여 시공 조건에 따른 LiNAC실 벽체의 수화열에 의한 온도 응력을 검토하였다. 콘크리트 강도 변화에 따른 검토는 시공 조건 IV에 대해 각각 설계 강도가 35 MPa와 27 MPa인 경우에 대해 검토하였다. 참고로, 타설된 바닥 슬래브의 콘크리트 강도는 27MPa이었다. 1, 2차로 나누어서 콘크리트를 타설한 경우(시공 조건 II, III, IV)에서의 2차 타설은 1차 타설 후 7일 후에 이루어졌다. 벽체의 측면은 목재 거푸집을 사용하였으며 상부는 노출시켰다. 콘크리트의 타설 온도 및 외기 온도는 각각 28℃와 25℃로 정하여 해석하였으며, 수화열 해석은 유한요소해석프로그램인 MIDAS를 이용하였다.

### 2.3 해석 모델 및 검토 위치

그림 2는 해석 대상인 LiNAC실의 전체를 모델링한 것으로, 시공 조건 I, III, IV의 경우에는 대칭성을 고려하여 1/2 모델링을, 시공 조건 II의 경우에는 Full 모델링을 하였다.

수화열 및 온도 응력은 그림 2의 A와 B 지점에서의 중심과 표면에서 각각 검토하였다.

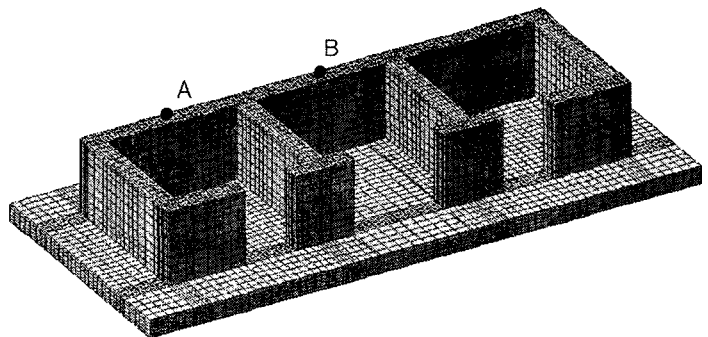


그림 2. LiNAC실 모델링

### 3. 해석 결과 및 분석

표 1은 동일한 콘크리트(설계 강도 35 MPa)에 대해 시공 조건을 달리하여 LINAC실 벽체 타설한 경우와 동일 시공 조건에서의 콘크리트 강도 변화에 대한 검토 위치별 수화열 및 온도 응력 변화를 나타낸다.

표 1. 시공 조건 및 콘크리트 강도 변화에 따른 수화열 및 온도 응력 해석 결과 비교

시공 조건	수화열		온도 응력		균열지수	
	A	B	A	B	A	B
I 일체타설 (35MPa)					0.67	0.54
II 분할타설 (35MPa)					0.59	0.91
III 끊어치기 (35MPa)					0.88	0.72
IV 조인트 (35MPa)					0.92	0.96
IV 조인트 (27MPa)					0.97	1.00

우선, 수화열에 의한 최대 온도는 72.6°C로 25°C의 외기 온도와 28°C의 타설 온도 조건에서 44.6°C의 온도 상승을 나타내었다. 표 1에서 볼 수 있듯이, 수화열에 의한 최대 온도는 시공 조건과 상관없이 동일하게 나타났으나 시공 조건별로 온도 응력 및 이에 따른 온도 균열 지수는 큰 차이를 보였다. 일체로 타설한 시공 조건 I의 경우에는 온도 균열 지수가 0.67이하로 매우 낮게 나타나 온도 균열 발생 확률이 매우 크게 나타났다. 1/2씩 나누어서 타설한 시공 조건 II의 경우에는 B지점에서의 온도 균열 지수가 0.91로 시공 조건 I에 비해 크게 향상되었으나 A지점에서는 오히려 온도 균열 지수가 다소 감소하였다. 이에 반해, 3개의 LiNAC실 벽체 중 좌우를 먼저 1차 타설하고 중앙의 LiNAC 벽체(길이 8.8m)를 2차로 타설하는 방법인 시공 조건 III의 경우에는 온도 응력이 크게 감소하여 온도 균열 지수가 높아졌으나 여전히 B지점에서는 낮은 온도 균열 지수(0.72)나타내었다. 한편, 일종의 시공 조인트를 두고 타설 하는 방법인 시공 조건 IV의 경우에는 검토 지점인 A와 B에서의 온도 균열 지수가 각각 0.92, 0.96으로 시공 조건 I, II, III에 비해 상대적으로 온도 균열 지수가 높게 나타났다. 따라서 본 해석에서 고려한 4가지의 시공 조건 중에서 시공 조인트를 사용하여 설계 강도가 35 MPa인 콘크리트로 LiNAC실 벽체를 시공할 경우 다른 시공 방법에 비해 수화열에 의한 온도 균열 제어 효과가 가장 크게 나타났다.

동일한 시공 조건 IV의 경우에 대해 콘크리트 강도를 35 MPa에서 27 MPa로 변화시킨 경우, 최대 온도가 67.5°C로 약 5°C의 온도가 감소하였으며, 온도 균열 지수는 35 MPa 콘크리트를 사용했을 때와 비교하여 동일한 검토 지점에서 약간 향상하는 경향을 보였다.

그림 3은 LiNAC실 벽체의 실제 시공 장면을 나타낸 것으로, 본 해석 결과를 바탕으로 시공 조건 IV의 방법으로 시공한 결과, 벽체 단면 방향의 중앙 1개소와 출입문 부위 등 일부분에 온도 폭 0.1 mm 미만의 미세 균열만이 발견되었으며, 재령 경과에 따른 추가적인 온도 발생이나 온도 폭의 진전은 거의 없는 것으로 나타났다.

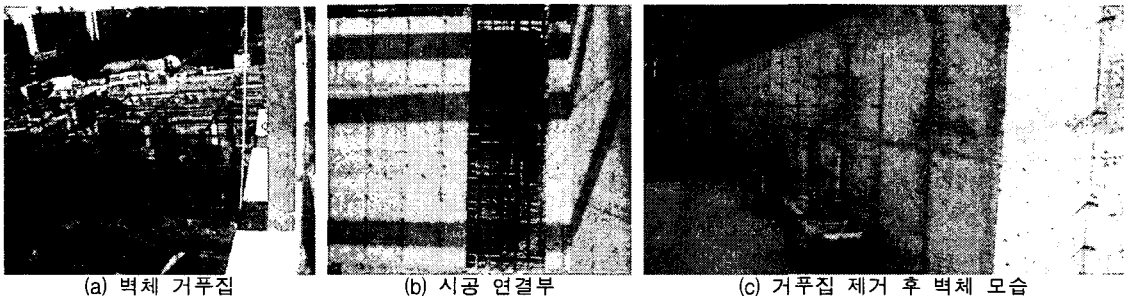


그림 3. 시공 연결부를 이용한 LiNAC실 벽체 구조물 시공 사진

#### 4. 결론

두께가 1.2 m인 LiNAC실 벽체 구조물은 기 타설 바닥 슬래브 위에 시공되므로 콘크리트 타설 후 외부 구속에 의한 온도 발생이 예상되어 수화열에 의한 온도 균열 제어를 위해 4가지의 시공 조건에 대해 수화열 해석을 수행한 결과, 중간 벽체의 양단에 일정 거리의 시공 연결부를 두고 벽체를 시공하는 것이 온도 균열 제어에 가장 유리한 것으로 나타났으며, 실 시공 결과 전체 벽체의 1개소에만 미세 균열이 발생하여 벽체 구조물 시공 시 시공 연결부의 사용이 온도 균열 제어에 매우 효과적이었다.

#### 참고 문헌

- 1) 한국콘크리트학회, 콘크리트표준시방서, 기문당, 2004.