

# SRC 구조가 콘크리트 온도응답에 미치는 영향

손영현 · 채원규\*

현대건설(주) 기술연구소 · \*신구대학 토목과

## 1. 서론

중력식 댐과 같은 대형구조체의 콘크리트에만 적용되는 것으로 인식되어 왔던 매스콘크리트의 개념적용은 최근 콘크리트 구조물이 대형화, 특수화되어 유동성이 충분히 확보된 콘크리트의 대량 급속 시공이 증가하고 있어 그 특별한 범주를 규정하기 힘든 실정이다. 이러한 현실 뿐만 아니라 과거보다는 상대적으로 고강도화된 콘크리트가 요구되고 있기 때문에 빈번히 관찰되고 있는 매스콘크리트 구조물의 균열발생원인 및 발생 시기의 예측이 어려워지고 있다.

이러한 구조물의 가장 중요한 특징은 열적 거동으로서, 매스콘크리트에 대한 설계는 열응력에 의해 발생된 온도균열의 폭과 간격을 감소시키고 제어하는데 그 목적이 있다. 따라서, 대상구조물의 타설이후에 있어서 온도이력이나 온도응력을 적절한 방법을 이용하여 정확히 예측할 수 있다면, 보다 효과적으로 온도균열을 제어할 수 있을 것이다.

한편, 최근 강재와 철근의 특성을 이용하여 합성시 구조적으로 장점을 최대한 이용하는 것을 목적으로 하는 합성구조는 토목구조물의 교각 기둥 및 코핑부에 그 적용이 증가하고 있다. 이와같은 합성구조는 강재구조만으로는 강성이 부족하고, RC구조만으로는 단면이 크게 증대될 필요가 있는 곳에 대체 사용되고 있으나, 설계방법에 대한 구체적인 정립이 미비할 뿐만 아니라 설계가 상대적으로 복잡하여 국외규준이나 기술자의 경험적 견해에 의존하고 있다. 이러한 측면을 고려하여 국내 여러 연구자들에 의해 그 설계기법에 대한 실험적 · 해석적 연구가 활발히 진행되고 있다.

그러나, 콘크리트의 단면을 감소시킬 수 있다는 측면에서 강박스형의 구조물을 교각 기둥 혹은 코핑부의 중심부에 매립하였을 경우 발생하는 열적거동 변화에 대해서는 검토된 사례가 전무한 실정으로 본 연구에서는 범용 구조해석프로그램을 이용한 해석적 검토를 수행하여 합성구조물의 열적응답을 예측하고 발생가능한 문제점을 고찰함으로써 향후 합성형구조 실시공시 기초적 자료를 제공 토록하였다.

## 2. 대상 SRC 구조물 형상

본 연구의 대상구조물은 직경 18m, 높이 3m인 우물통기초 상부에 시공된 "Y" 형상의 교각구조물로서, 타원형 형상의 구조를 이루고 있다. 구조물의 중심부는 2m x 2m의 Steel Box 구조물이 거치되어 콘크리트와 Steel Box의 합성형 구조를 이루고 있다.

한편, 본 연구에서 검토된 구조부위는 교각하부영역으로 장변의 길이가 약 22m, 단변의 길이가 약 8m인 콘크리트 단면 중 장변의 양단부 일부가 절단된 형상을 갖추고 있다.

본 구조물의 시공단계에서는 내부 steel Box를 거치 후 최초 2.2m를 타설 한 후 추가로 2.2m를 타설하여 총 4.4m를 구축하는 단계가 1단계로 설정되어있다.

따라서, 본 연구에서도 이러한 시공단계를 고려하여 2.2m를 시공한 경우와 전체 4.4m를 1회에 시공했을 경우를 Steel Box에 의한 합성구조 설정 유무의 영향을 검토하였다.

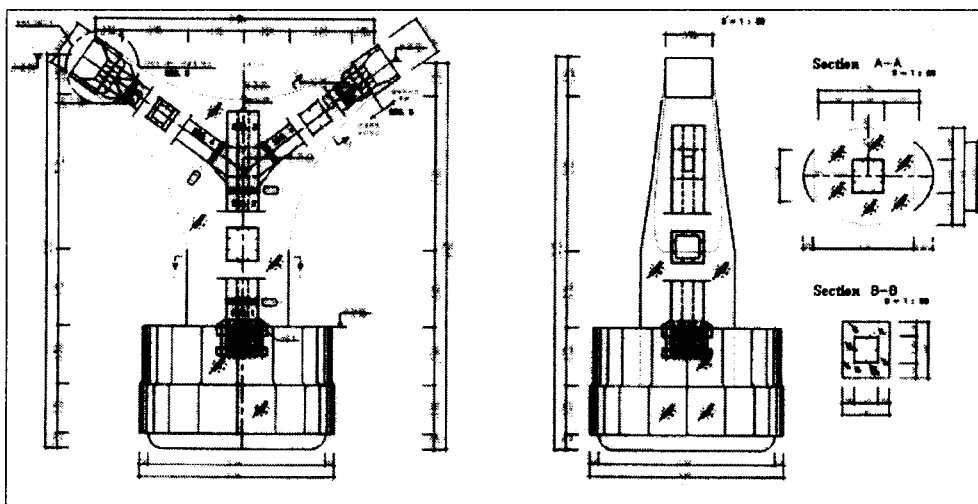


그림 1. 대상구조물의 형상 및 제원

### 3. 온도해석

#### 3.1 온도해석 조건

상부와 측면의 열전달경계와 직접 관련되는 외기온도는 열발산 및 콘크리트 표면의 균열 등에 큰 영향을 미치게 된다. 이러한 외기온도는 시간에 따른 sine함수로 표현될 수 있으며, 본 연구에서는 최대 대기온도 35℃와 최소 대기온도 20℃일 때를 대상으로 하였다.

한편, 콘크리트의 열특성값 및 목재거푸집 그리고 Steel Box와 맞닿는 콘크리트 부위의 열전달율은 콘크리트 표준시방서를 참조하여 정하였으며, 양생기간은 7일(168hr)으로 일정하게 하였다.

또한, 매스콘크리트에 있어서 시멘트 수화작용에 의해 발생하는 수화열은 매스콘크리트의 온도분포와 열응력 발생에 가장 큰 영향을 미치는 요인이다. 이러한 수화작용으로 발생한 열은 단열온도상승곡선으로 표현되며, 이는 온도분포와 열응력을 산정하는데 반

드시 필요한 기초자료이다.

본 연구에서는 콘크리트 타설온도가 25℃ 일 때의 단열온도특성값을 콘크리트 표준시방서에서 제시하고 있는 추천값에 준하여 적용하였으며, 다음 식 1과 같이 단위시간당, 단위체적당 내부발열량( $q_c$ )을 구하여 해석시 입력값으로 활용하였다. 이때 단위시멘트량은 300kg/m<sup>3</sup>로 일정하게 하였다.

$$q_c = C_c * \rho * 45.5 * \frac{1.321}{24} * e^{(-\frac{1.321}{24} t)}$$

여기서, t는 재령(일),  $C_c$ 는 콘크리트의 비열(kcal/kg °C),  $\rho$ 는 밀도(kg/m<sup>3</sup>)이다.

표 1. 온도해석 Case

온도해석 Case	타설높이	Steel Box 적용여부	검토사항
Case 1	2.2	비 적용	온도 및 응력이력
Case 2	2.2	적 용	온도 및 응력이력
Case 3	4.4	비적용	온도 및 응력이력
Case 4	4.4	적 용	온도 및 응력이력

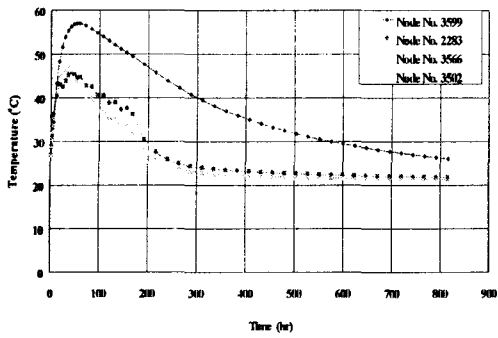
### 3.2 온도이력해석 결과

다음 그림 1은 해석 Case 별 단면중앙부, 단면중앙부 표면 및 측면부의 온도이력을 나타낸 것이다.

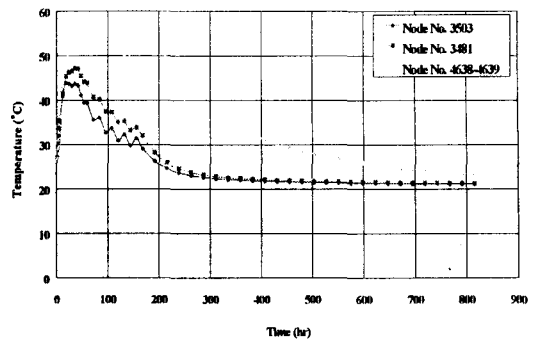
그림 1에서 SRC가 적용되기 전 단면내 최대온도상승량은 타설높이2.2m인 경우 약 57℃, 4.4m인 경우는 약 61℃ 정도 나타났으며, SRC를 적용하였는 때는 각각 56℃, 59℃로 나타났다. 이러한 결과에서 SRC 적용 전후의 콘크리트 단면내 최대온도발현량은 큰 차이를 보이지않고 있음을 알 수 있다. 또한, 표면부와 중앙부의 온도차에서는 타설높이에 따라 SRC를 적용하기 전에 20℃ ~ 30℃, SRC적용 후에는 약 19℃ ~ 24℃를 나타내고 있음을 알 수 있다.

이러한 결과로부터 알 수 있듯이 교각 등과 같은 대규모 콘크리트 구조물에 SRC의 적용에 의한 콘크리트 단면의 감소는 동일한 구성재료와 타설온도를 적용할 경우 최대온도의 발현량을 감소시키는 효과는 낮지만 표면부와 중앙부의 온도차는 크게 감소시킬 수 있는 것으로 판단된다. 특히, 이러한 효과는 타설높이가 증가할수록 높게 나타나는 것으로 판단된다.

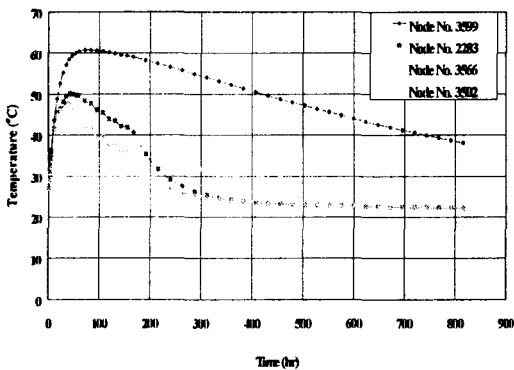
또한, SRC를 적용하지 않을 경우 표면부와 중앙부의 온도차가 타설높이에 따라 약 10℃ 정도의 차이를 보이는 반면 SRC를 적용한 경우, 약 5℃의 온도차를 보여 대규모콘크리트의 최대온도발현량을 감소시킬 수 있는 추가적인 방법이 도입될 경우 중앙부의 온도상승량감소에 따라 타설고를 4.4m로 하여 시공할 경우라도 온도균열지수를 0.8 수준이상(균열발생확률 약50% 이하)으로 제어하여 유해한 균열의 억제는 충분한 것으로 판단된다.



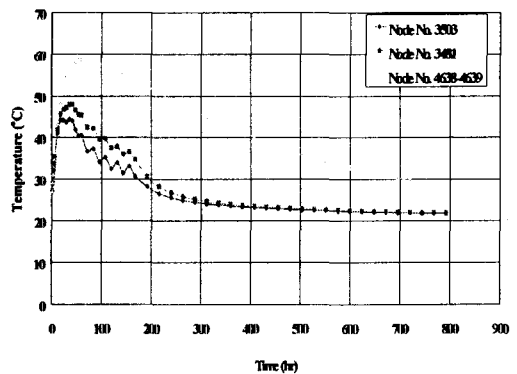
[ Case 1 온도이력 ]



[Case 2 온도이력]



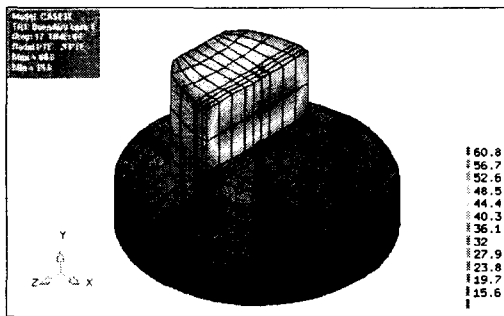
[ Case 3 온도이력 ]



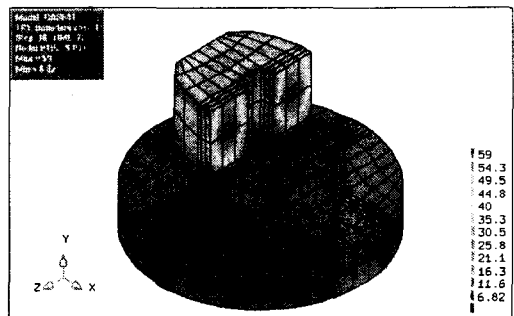
[ Case 4 온도이력 ]

그림 1. Case별 온도이력해석 결과

다음 그림 2는 온도이력해석에서 나타난 최대온도발현시점 부근에서의 단면내 온도분포를 나타낸 것이다.



[SRC를 적용하지 않은 경우 ]

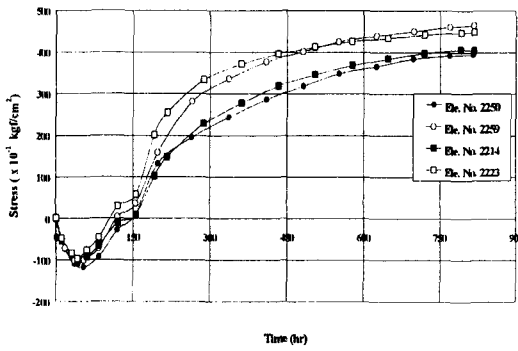


[ SRC를 적용한 경우 ]

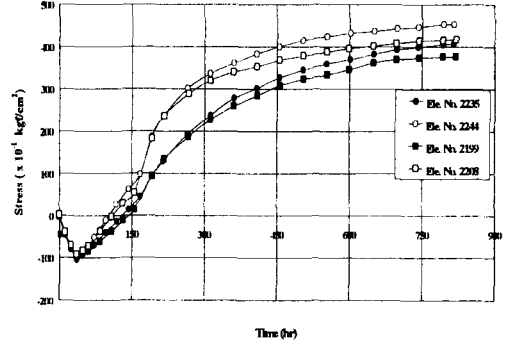
그림 2. 최대온도발현시점 부근에서의 단면내 온도분포

### 3.3 온도응력해석 결과

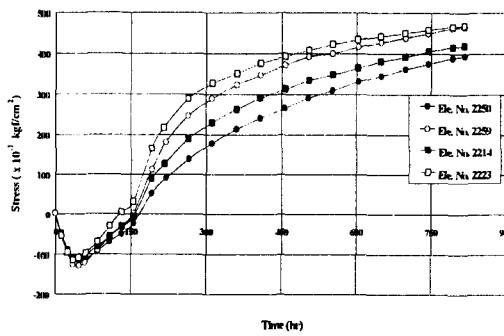
온도응력해석은 비정상열전도해석(Transient Thermal Analysis)으로 구해진 온도가력해석의 결과를 이용하여 재령에 따른 탄성계수의 변화를 고려하여 수행하였다.



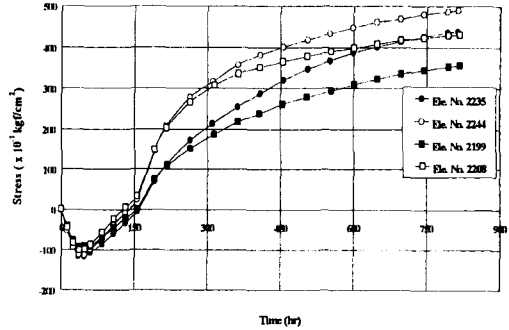
[ Case 1 응력이력 ]



[ Case 2 응력이력 ]



[ Case 3 응력이력 ]



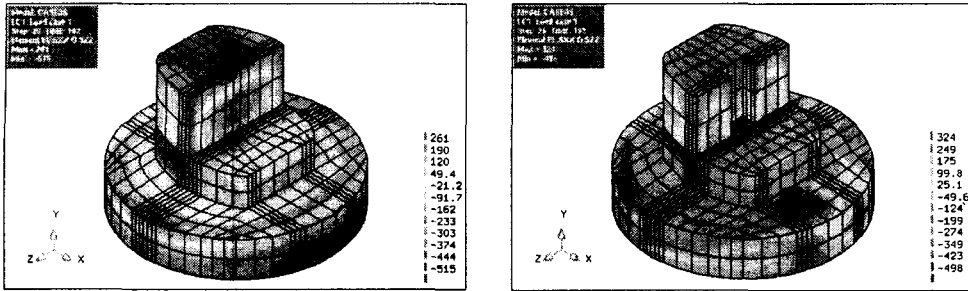
[ Case 4 응력이력 ]

그림 3. Case별 응력이력해석 결과

콘크리트 영역의 주요 요소에 대한 온도응력해석의 결과에서 알수 있듯이, 주요 단면에서 발생되는 인장응력은 SRC 비적용시 약 40~45 kg/cm<sup>2</sup>, SRC 적용시 약 35~49 kg/cm<sup>2</sup> 에서 수렴되는 것으로 나타났으며, SRC 적용시 타설높이가 높을수록 약간 상승하는 것을 알 수 있다.

이러한 결과를 콘크리트 표준시방서상의 추정식에 의해 추정된 인장강도와 비교할 경우, 균열지수가 약 0.7 미만으로 나타나는 경우를 보이는 것으로 유해균열의 발생 가능성이 높은 것으로 평가될 수 있다. 특히, 추가검토가 요구되는 Steel Box와 콘크리트 단면과의 접촉면 및 모서리부근에서는 다른 단면에 비해 높은 인장응력이 집중될 가능성이 있기 때문에 주의가 요망되는 것으로 사료되며, 이에 대해서는 엄밀한 검토가 선행되어야 할 것이다.

다음 그림 3은 온도응력해석에서 나타난 대표적인 단면내 응력분포를 나타낸 것이다.



[ SRC를 적용하지 않은 경우 ]

[ SRC를 적용한 경우 ]

그림 3. 대표적인 단면내 응력분포

#### 4. 결 론

본 연구에서는 합성구조물의 열적응답을 예측하고, 발생가능한 문제점을 고찰함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) SRC의 적용에 의한 콘크리트 단면의 감소는 동일한 구성재료와 타설온도를 적용할 경우 최대온도의 발현량을 감소시키는 효과는 낮지만 표면부와 중앙부의 온도차는 크게 감소시킬 수 있는 것으로 판단된다.
- 2) SRC의 적용과 온도발현량을 감소시킬 수 있는 추가적인 방법이 도입될 경우 타설고를 어느정도 높이더라도 유해균열의 억제가 가능한 것으로 판단된다.
- 3) 인장응력은 SRC 적용시 일부단면에서는 SRC 비적용시보다 높게 나타나고 있으며, 이러한 원인은 Steel Box와 콘크리트 단면과의 접촉면 및 모서리부근에서의 인장응력 집중현상의 영향으로 판단되며, 이에 대한 엄밀한 검토가 요구된다.

#### 참고문헌

1. 건설교통부, 콘크리트표준시방서, 1999.
2. 윤상문, 김원태, 최광호, "콘크리트 기둥과 철골 보로 이루어진 복합구조의 적용성에 관한 연구," 한국콘크리트학회 봄학술대회 논문집, pp. 508-514, 1997. 7.
3. 조병완, 김영진, 박성민, "매립형 합성보의 구조적 거동에 관한 실험적 연구," 한국콘크리트학회 가을학술대회논문집, pp. 549-552, 1999. 10.
4. Dong-II Chang, Won-Kyu Chai, Kwang-Hyun Jo, Young-Hyun Son & Kwang-II Kim, "Temperature and Crack Control for Massive Concrete Structure," 22nd Conference on OWICS, pp. 113~119, Aug. 1997.