

건조수축 및 온도영향에 대한 건조수축대의 효과 연구

A Study on the Effect of the Shrinkage Strip on Shrinkage and Thermal Change of Concrete

김 록 배^{*} 김 옥 종^{**} 이 도 범^{***} 이 운 세^{****}
Kim, Loc Bae Kim, Ook Jong Lee, Do Bum Lee, Woon Se

ABSTRACT

Shrinkage during the curing and drying of concrete is unavoidable and results in many cracks. Shrinkage strips reduce effectively shrinkage stresses and minimize shrinkage cracks by being left open for a certain time during construction allow a significant part of the shrinkage to occur without inducing stresses. This study verifies the effectiveness of shrinkage strips and provides the guide for construction of such strips.

1. 서론

구조물이 대형화, 복잡화되면서 건조수축이나 온도변형에 의한 균열 발생 빈도가 높아져 익스펜션 수축대나 건조수축대와 같은 수축대의 설계 요구가 증가하고 있다.

건조수축대는 시공기간 중 구조물의 건조수축이 응력 유발 없이 발생하도록 구조물을 끊어주는 일시적인 수축대로 수축대에 콘크리트를 타설하기 전까지 수축대에 의해 나뉜 구조물들은 각각 독립적으로 건조수축이 발생한다. 일반적으로 고층주택 지하주차장과 같이 구조물이 대형화 되거나 복잡할 경우 구조물의 응력취약 부위에서 균열, 누수 등의 문제가 발생할 확률이 크다. 이에 대한 대책으로 설계자들이 가장 선호하여 적용하는 것이 신축줄눈이다. 그러나 신축줄눈은 구속도 완화에 매우 유용한 방법이긴 하나 시공이 어려울 뿐만 아니라 사용중에 신축줄눈 부위에서의 누수 등으로 인한 하자 발생빈도가 매우 높다. 이 때문에 근래에 들어 대형건물을 1 단위로 처리하고 철근으로 보강하려는 경향이 있으나 구속도의 차이에 따라 균열 발생 등의 문제가 여전히 발생하고 있다. 이를 해결하기 위하여 수축대(Shrinkage Strip)를 설치하여 초기 수축량을 줄눈에서 흡수하고 일정요구량의 수축량이 발생한 이후 수축대의 부위에 콘크리트를 메워 일체화시킴으로써 초기수축에 의한 균열을 상당부분 방지할 수 있다.

본 연구에서는 건조수축대의 효율성을 확인하기 위하여 건조수축 및 온도 변화에 대한 이론적인 연구를 토대로 공동주택 지하주차장 구조물에서 실측을 통하여 건조수축 및 온도에 의한 지하구조물의 거동을 확인하고 건조수축대를 이용하여 향후 대형 구조물에서의 균열저감에 대한 가이드 라인을 제시하고자 한다.

* 정회원, 대림산업(주) 연구개발부 연구원
** 정회원, 대림산업(주) 연구개발부 과장
*** 정회원, 대림산업(주) 연구개발부 부장
**** 정회원, 대림산업(주) 한국타이어아파트 현장 소장

2. 연구방법

2.1 이론적 연구

2.1.1 ACI-209

ACI는 식 (1)과 같이 건조수축량을 제시하고 있으며, γ_{sh} 는 초기 습윤 양생 기간, 상대 습도, 부재의 평균 두께 및 체적/표면적 비, 슬럼프, 잔골재량, 단위 시멘트량, 공기량 등의 콘크리트 구성에 따른 변수이다.

$$\begin{aligned} (\epsilon_{sh})_t &= \frac{t}{35+t} (\epsilon_{sh})_u \\ (\epsilon_{sh})_u &= 780 \gamma_{sh} \times 10^{-6} \end{aligned} \quad (1)$$

2.1.2 CEB-FIP

CEB-FIP는 다음과 같이 예상 건조수축량을 제시하고 있는데 ACI의 제안식에 비해 보다 합리적인 방법으로 부재 크기의 영향을 반영하고 있다.

$$\epsilon_{cs}(t, t_s) = \epsilon_{cs0} \cdot \beta_s(t - t_s) = \epsilon_{cs0} \cdot \sqrt{\frac{t - t_s}{0.035(2A_c/u)^2 + t - t_s}} \quad (2)$$

건조수축량의 이론치 계산을 위해서 당현장의 설계안 및 콘크리트 배합설계에 기준하여 부재 두께 300mm, 슬럼프 120mm, 잔골재를 47%, 단위 시멘트량 357kg/m³, 공기량 4.5%의 값을 적용하였다.

위의 자료들을 ACI의 제안식과 CEB-FIP의 제안식에 적용한 결과는 그림5에 나타내었다.

그러나 이와 같은 이론치는 국내 실정에 적합한지에 대해 검증된 바 없고, 특히 실험실 조건하에서 공시체를 기준으로 제안된 식이기에 실제 구조물의 변형에 대한 계측과 분석이 필요하다.

2.2 균열 평가

슬래브의 양 단부가 강성이 강한 구조물에 의해 구속되어 있을 경우 슬래브 수축 시 그림 1과 같이 슬래브에 균열이 발생하며, 코어 벽체에도 45° 경사 균열이 발생한다.

슬래브의 균열 평가를 위해 균열발생에 대한 안정성의 척도인 온도균열지수를 적용할 수 있다.

온도균열 지수는 식 (3)과 같이 구할 수 있으며, 이렇게 산정된 온도균열지수로부터 그림 2와 같이 구조물의 철근비에 따른 최대균열폭을 예상할 수 있다.

$$I_{crack}(t) = \frac{f_t(t)}{\sigma_t(t)} \quad (3)$$

여기서,

- $I_{crack}(t)$: 제령에 따른 온도균열지수
- $f_t(t)$: 콘크리트의 인장강도(kgf/cm²)
- $\sigma_t(t)$: 인장응력(kgf/cm²)

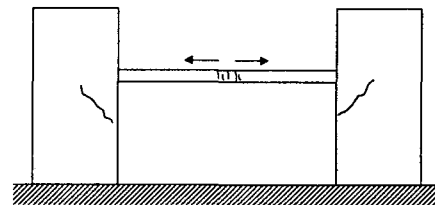


그림 1 건조수축에 의한 슬래브 균열 양상

균열폭은 내구성을 고려한 경우 0.3mm, 기능성을 고려한 누수위험 방지를 위해서는 0.15~0.2mm 이 내로 한다.

2.3 계측 방법

실제 구조물에서 발생하는 건조수축과 온도팽창을 알아보기 위해 표 1과 같은 계측 장치들을 설치하였다.

계측은 신도림동 아파트 현장 E구간 지상층 슬래브에서 타설 시점인 2001년 4월 20일부터 수축대 부위 충전 시점인 9월 3일까지 136일간 수행하였으며 타설 후 3일간은 각 값들의 초기치를 설정하기 위해 10분 간격으로 측정하였고 이후에는 4시간 간격으로 측정하였다.

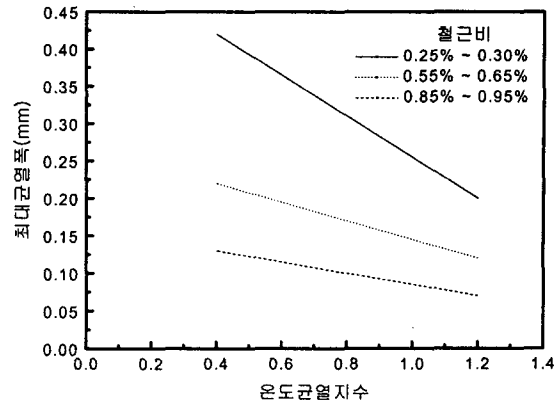


그림 2 온도균열 지수에 따른 최대 균열폭

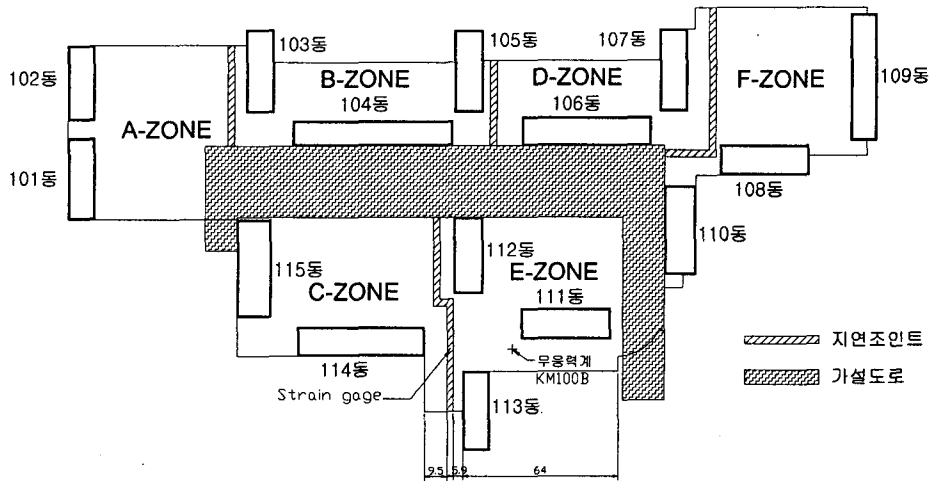


그림 3 측정 위치

표 1 계측 장비

계측 장치	설치 위치	측정 데이터
무용력계	슬래브 중앙	변형률(건조수축+온도변형)
KM100B	슬래브 중앙	변형률(건조수축+온도변형+구속응력)
steel strain gage	수축대	수축대 폭변화
LVDT	수축대	수축대 폭변화
온습도계	수축대	외부 및 내부 온습도

3. 계측결과 및 분석

3.1 변형률의 비교

그림 4는 무용력계의 계측값과 온도 변화에 의한 변형률을 나타낸 그래프이다.

무응력계 값(●)에서 온도변형(○)을 제한 값이 건조수축 값(×)이다. 건조수축률의 값은 꾸준히 증가하고 있으며 140일 경과 시점에서 약 $50\mu\text{strain}$ 정도 발생하는 것으로 나타났다. 타설 초기에 콘크리트가 급격히 팽창하는 것은 콘크리트 경화시 수화열에 의한 팽창이다.

Gunary 모델을 이용한 건조수축률의 회귀분석 결과 약 $60\mu\text{strain}$ 에 수렴하고 있는 것으로 나타났다.

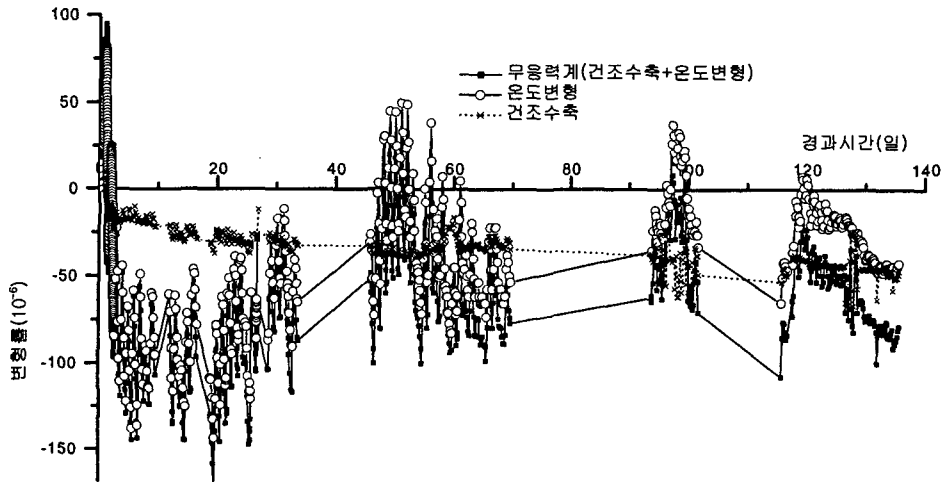


그림 4 슬래브 변형률 비교

ACI나 CEB-FIP의 제안식에 의한 예상량보다는 건조수축이 적게 발생했으나 발생 경향은 제안식과 유사하게 나타나고 있으며, CEB의 제안식에 보다 접근하는 것을 알 수 있다.

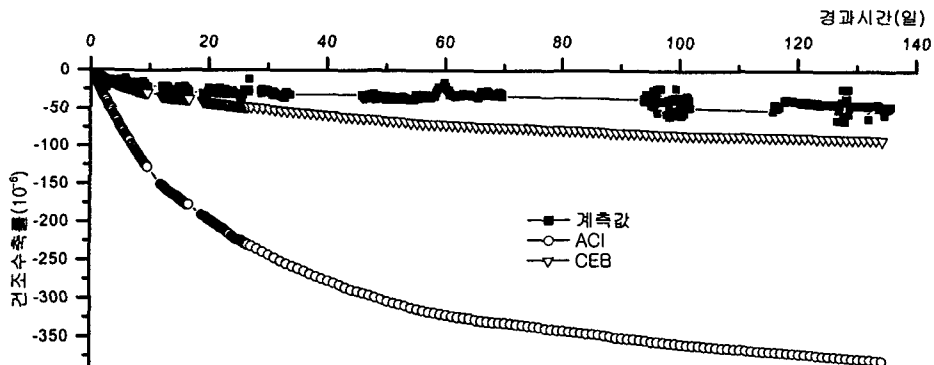


그림 5 건조수축률의 이론치와의 비교

그림 6은 수축대의 폭 변화를 나타낸다. '수축대 폭'(●)은 수축대에 설치한 철근의 변형률로부터 계산한 값이고 '무응력계 환산'(○)은 슬래브 중앙의 무응력계 값을 슬래브 길이로 환산하여 수축대의 폭 변화를 예상한 값이다. 슬래브 중앙의 변형률에 비해 변화폭이 적음을 알 수 있는데 이는 코어나 철근 등의 외부 구속에 의한 것으로 사료된다. 실제로 위의 자료로부터 열팽창 계수를 역계산한 결과 슬래브 전체의 열팽창 계수가 콘크리트 자체의 계수보다 약 50%정도 감소한 것으로 나타났다. 그러므로 수축대나 신축줄눈 등의 수축대는 온도변화에 의한 변형보다 건조수축에 의한 변형이 더 크음을 알 수 있고, 슬래브 균열 감소를 위해서는 건조수축대의 설치가 더 효과적임을 알 수 있다.

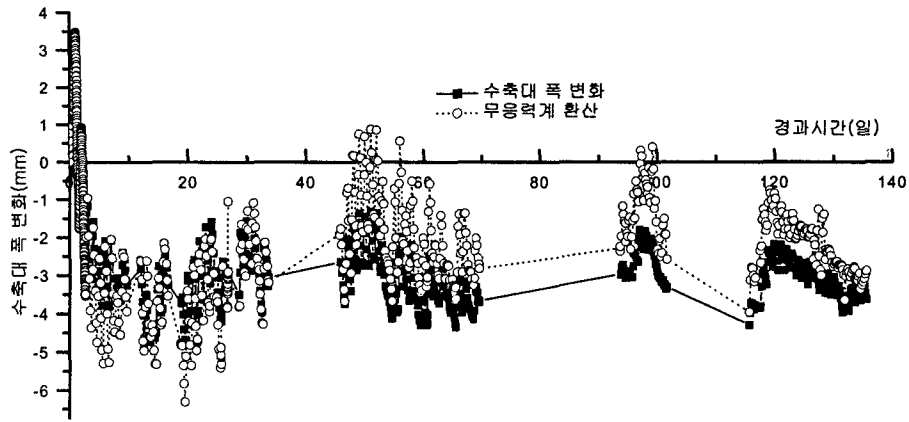


그림 6 수축대 폭 변화

4. 균열 제어

4.1 균열 예측

그림7은 수축대 부위 충전시기에 따른 건조수축과 온도변형에 의한 슬래브 변형률의 예상값을 나타낸다.

온도변형은 3년간 서울지역 월 평균 기온과 북도에 따른 온도변화 감소를 고려하여 열팽창방정식으로부터 산정하였다.

각 충전시기에 따른 최대 인장변형률과 이로부터 계산된 온도균열지수 및 최대 균열폭은 표 2와 같다.

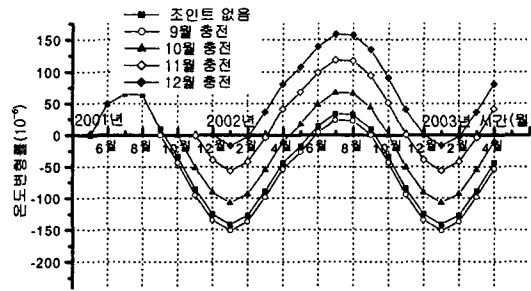


그림 7 수축대 충전시기별 온도변형률

표 2 수축대 충전 시기별 최대 균열폭 예상

수축대	최대 인장변형률 ($\times 10^{-6}$)	온도균열지수	최대 균열폭 (mm)	비고
설치 안함	141.4	0.66	0.18	누수위험 없음
수축대 설치 후 9월 충전	151.0	0.62	0.19	누수위험 없음
수축대 설치 후 10월 충전	107.5	0.87	0.16	누수위험 없음
수축대 설치 후 11월 충전	56.3	1.66	0.06	유해한 균열은 없음
수축대 설치 후 12월 충전	16.6	5.62	0.00	균열 거의 없음

위 표에서 볼 수 있듯이 온도 변형에 의한 문제는 크지 않을 것으로 기대되며, 더욱이 수축대 부위의 온도 변형은 실제 50%정도만 구현되므로 신축줄을 설치할 경우 그 효과가 크지 않을 것으로 사료된다. 그러나 기온이 낮을 때 충전할수록 구조물의 추가 수축분이 작아져 최대 인장변형률이 감소하므로 균열 감소를 위해서는 낮은 기온에서 수축대 부위를 충전하는 것이 유리할 것이다.

반면 온도변형에 건조수축으로 인한 변형 약 $50\mu\text{strain}$ 이 추가될 경우 균열로 인한 하자 발생이 우려되므로 약 2개월간 건조수축대를 설치하여 건조수축 변형률을 $40\mu\text{strain}$ 정도 감소시켜 균열 발생을

제어할 필요가 있다.

4.2 균열양상

지하주차장 슬래브의 균열 관찰 결과 건조수축대를 설치하지 않은 B-ZONE에서 가장 많은 균열이 발생하였으며, 시공 편의상 아파트 코어로부터 상대적으로 거리가 먼 곳에 수축대를 설치한 A-ZONE 102동, 101동 부근, D-ZONE 107동 부근, F-ZONE 109동 부근에도 균열이 발생하였다. 이는 코어 뿐 아니라 다른 수직 부재들도 슬래브의 구속에 영향을 미치고 있음을 보여주는데 건조수축대가 효과를 나타낼 수 있는 유효거리 이내에 건조수축대를 설치해야 함을 알 수 있다. 그러나 별도의 수축대가 없는 E-ZONE의 경우 슬래브 개구부 부근에만 주로 균열이 발생하였는데 이는 부분적으로 개구부가 건조수축대의 역할을 한 것으로 사료된다.

또한 수축대와 관계없이 외부 옹벽 주위의 슬래브에 벽면과 수직방향의 균열이 발생하였는데 이는 벽체와 슬래브의 건조수축률의 차이로 인해 슬래브에 생긴 인장응력 때문으로 사료된다. 이러한 균열은 지상층 슬래브의 복토 시기를 앞당겨 외부옹벽과 유사한 환경을 만들어 주거나 재료의 품질 개선, 철저한 콘크리트 양생 관리 등으로 방지 대책이 별도로 필요하다.

5. 결론

- (1) 슬래브 발생 균열을 관찰한 결과 건조수축대는 균열 방지에 효과적임을 알 수 있었다.
- (2) 강성이 강한 구조물 사이에 있는 슬래브나 슬래브 부위 개구부 주변에는 건조수축대를 설치하여 균열을 방지해야 한다.
- (3) 건조수축대를 설치한 경우에도 지연수축대간 간격이 길어지면 건조수축으로 인한 균열이 발생하였다. 그러므로 지연수축대가 효과를 발휘할 수 있는 유효거리를 고려해야 하며 적정 거리에 대한 추가적인 연구가 필요하다.
- (4) 외부 옹벽 부근의 슬래브에 발생하는 균열은 건조수축대 설치와 더불어 재료, 시공에 대한 대책이 병행되어야 한다.
- (5) 슬래브 변형에 온도 변화에 의한 영향이 크게 작용하므로 이를 고려하면 외부 기온이 낮아 구조물이 수축한 상태에 있을 때 수축대 부위를 충전하는 것이 균열 방지에 유리하다.
- (6) 실측된 건조수축량과 이론치를 비교하였을 때 ACI의 제안식보다 CEB의 제안식이 근접함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Mark Fintel, "Handbook of Concrete Engineering," Reinhold, 1985.
2. ACI Committee 209, "Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures," American Concrete Institute, 2000.
3. CEB-FIP, "Model Code 1990," Thomas Telford, 1990.