

## 고층건물 콘크리트 슬래브에서 분리대의 효과

### Effect of Separation Strip on the Concrete Slabs in High Rise Building

김한수\*                      조석희\*\*  
Kim, Han-Soo                Cho, Seok-Hee

---

#### ABSTRACT

Separation strips are temporary joints to prevent crack due to stress induced by shrinkage. In this study, an analysis procedure considering separation strip is proposed to decide proper casting time of separation strip and cracking stresses of the example building slabs are calculated using this procedure.

The result of the example high rise building shows that the percentage of cracking stress to the modulus of fracture is 43.4% when closing of separation strip are 30 days after placing the slab, so it is enough time for the separation strip in each floor to absorb the effects of shrinkage.

---

#### 1. 서 론

일반적으로 부피가 큰 매트기초나 긴 평면형상을 갖는 철근콘크리트 고층건물에서는 건조수축의 영향으로 인해 발생하는 균열에 대한 고려가 설계 및 시공 시 필요하다. 분리대(separation strip)는 이러한 건조수축으로 인한 균열을 방지하기 위한 임시 조인트라 할 수 있으며 평면상에서 적절한 간격으로 배치되어 건조수축의 영향을 분리대로 분할된 부분 내에서만 생기게 함으로써 건조수축으로 인한 균열을 감소시키기 위한 목적으로 사용된다. 초기의 건조수축이 일정량 일어났다고 판단되는 시점에서 분리대를 메우게 되는데, 분리대를 지나치게 빨리 메우면 분리대의 건조수축에 의한 균열 응력 감소 효과가 떨어지고 반대로 너무 늦게 메우게 되면 후속 작업 공정에서의 방해가 주거나 또는 구조적 안정성에 영향을 주게 되는 결과를 초래하기도 한다. 분리대가 적용된 대부분의 경우는 분리대의 메움 시기에 대한 적절한 해석 없이 경험적으로 인접한 부분의 콘크리트 타설 후 일률적으로 일정한 시간이 지난 다음 메우도록 규정하고 있는 실정이다. 따라서 분리대의 메움 시기에 따른 균열 응력의 평가가 필요하며 이 결과를 분석하여 적절한 메움 시기를 결정하여야 한다.

본 논문에서는 고층건물의 철근콘크리트 슬래브에 분리대를 적용할 경우 분리대의 메움 시기에 따른 건조수축으로 인한 균열 응력의 감소 효과를 알아보기 위하여 콘크리트의 유효건조수축 영향을 등가의 온도변화 하중으로 치환하고 분리대의 영향을 고려한 시공단계 해석을 수행하는 절차를 제시한다. 그리고 이를 분리대가 사용된 고층 호텔 건물에 적용하여 슬래브 타설 이후 분리대의 메움 시간의 변화에 따른 균열 응력을 검토한 경우를 적용 사례로 제시하였다.

---

\* 현대건설 기술연구소 책임연구원, 공학박사

\*\* 현대건설 기술연구소 주임연구원

## 2. 건조수축에 의한 콘크리트의 균열

콘크리트의 균열은 단면에 작용하는 인장응력이 단면의 인장강도보다 크거나 인장력에 의한 변형이 콘크리트의 변형능력을 초과할 경우에 발생하게 된다. 그러나 부재의 구속조건이 변형방향에 대해 자유단인 경우에는 건조수축, 크립(creep), 온도변화로 인한 변형이 부재에 응력을 유발하지는 않는다. 건물의 경우, 슬래브의 체적변화에 대한 구속은 기둥이나 벽체에 의한 외부구속효과와 건조수축 및 크립 변형을 제어하는 효과를 갖는 철근에 의한 내부구속효과, 슬래브가 지면에 놓인 경우 지반의 역할에 의한 구속효과 등으로 볼 수 있다.

균열이 발생하는 실제 메커니즘은 매우 복잡하지만 이를 고층건물의 슬래브에서는 다음과 같이 간략화 할 수 있다. 만일 슬래브나 보의 구속조건이 모두 자유단이면 모든 부분에서의 체적변화는 일정한 비율로 발생하여 균열이 발생하지 않는다. 그러나 실제 고층건물의 저층부 보나 슬래브는 강성이 큰 기둥이나 기초에 의해 구속되므로 이 부분에서의 체적변화가 최소화되어 균열이 발생한다. 고층부의 경우에는 이러한 구속효과가 감소되어 균열이 줄어들게 된다. 이러한 인장 응력은 주로 건조수축과 온도저하(temperature drop)에 의해 발생하며 크립의 회복효과는 이러한 수축에 따른 인장 응력을 어느 정도 줄여주는 것으로 알려져 있다.

## 3. 분리대

분리대는 콘크리트의 체적 변화에 따른 추가적인 응력이 발생하지 않도록 시공 중에 일정기간 동안 타설을 미뤄놓은 임시 조인트를 의미한다. 분리대는 부피가 큰 콘크리트 구조물과 벽체, 슬래브 등에서 건조수축으로 인해 발생하는 응력을 저감시키고 균열을 최소화하기 위하여 사용되어진다. 이 분리대는 콘크리트 구조물을 몇 개의 부분으로 분리하여 각 부분에서 건조수축이 독립적으로 발생되도록 하고, 그 이후에 분리대에 콘크리트를 타설하여 각 부분들이 구조적으로 일체가 되도록 연결한다.

Mark Fintel<sup>1)</sup>은 고층건물에서의 분리대는 약 30미터에서 45미터 간격으로 설치하는 것이 효과적이며, 슬래브가 강성이 큰 기둥이나 벽체로 연결되어 있는 경우에는 이보다 작은 간격으로 분리대를 설치하도록 권장하고 있다. 또한 분리대로 나누어지는 부분들이 일체성을 확보할 수 있도록 하기 위하여 건조수축 분리대의 연결이 주변 콘크리트 타설 후 약 2~4주 이후에 이루어지도록 하였다. 이의 근거로 총 건조수축량의 약 40%가 첫 한달 동안에 발생하며 이 시기가 지나면 건조수축에 저항할 수 있는 인장 강도가 확보된다는 사실을 들고 있다.

## 4. 건조수축의 해석

### 4.1 등가온도변화(Equivalent Temperature Gradient)

건조수축에 의한 인장 응력을 해석하기 위하여 건조수축의 영향을 다음 식과 같이 등가온도변화로 치환하여 계산할 수 있다.

$$\epsilon_{sh} = \epsilon_T = \alpha \cdot \Delta T \quad (1)$$

$$\Delta T = \frac{\epsilon_{sh}}{\alpha} \quad (2)$$

여기서,  $\epsilon_{sh}$  : 건조수축에 의한 변형

$\epsilon_T$  : 온도저하에 의한 변형

$\Delta T$  : 온도변화

$\alpha$  : 콘크리트의 열팽창 계수( $5 \times 10^{-6} m/m/C$ )

ACI Committee 209<sup>2)</sup>에 의하면 7일 동안 습윤 양생된 보통 콘크리트의 시간에 따른 건조수축 변형량은 다음과 같다. 여기서 t는 콘크리트 타설 후 경과 일수에서 양생기간 7일을 제외한 일수이다.

$$(\epsilon_{sh})_t = \frac{t}{35+t} (\epsilon_{sh})_u \quad (3)$$

$$(\epsilon_{sh})_u = 780 \times 10^{-6} m/m \quad (4)$$

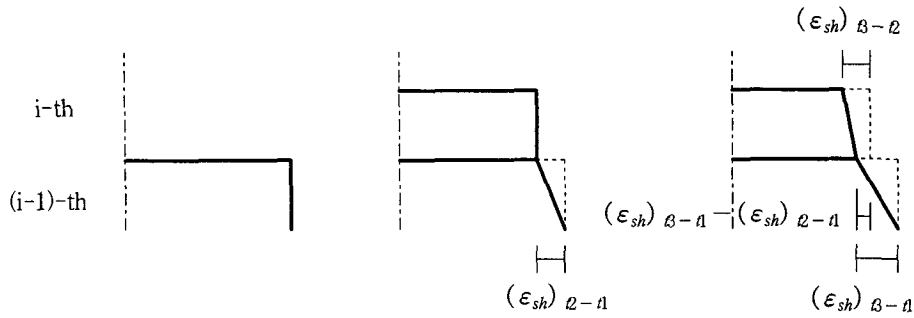
식 (2)와 (3)으로부터 등가온도변화는 식 (5)로 계산된다.

$$\Delta T_t = \frac{t}{35+t} \cdot \frac{(\epsilon_{sh})_u}{\alpha} = \frac{156t}{35+t} \quad (5)$$

#### 4.2 유효건조수축(Effective Shrinkage)

건조수축에 의해 유발되는 응력은 기둥 또는 벽체로 된 지점과 건조수축으로 인한 슬래브의 상대적인 변형량에 의해 발생하며, 이 지점도 또한 아래층 슬래브의 건조수축에 의해 이동하게 된다. 그러므로 특정 층에서 발생하는 건조수축에 의한 균열응력은 그 층에서 발생한 건조수축량과 하부층의 건조수축량의 차이에 의해 유발되는 응력임을 알 수 있다. 이와 같이 인장 응력을 유발하는 건조수축량의 차이를 유효건조수축이라고 부르기로 한다.

그림 1은 균열응력을 유발하는 유효건조수축을 나타낸 것이다. (i-1)층이  $t_1$ 시점에 타설되고 i층은  $t_2$ 에 타설되었다고 하면,  $t_2$ 시점에서 (i-1)층은 이미  $(\epsilon_{sh})_{t_2-t_1}$ 만큼의 건조수축이 발생하게 된다. 마찬가지로  $t_3$ 시점에서는 i층에  $(\epsilon_{sh})_{t_3-t_2}$ 의 건조수축이 발생하며, (i-1)층에는  $(\epsilon_{sh})_{t_3-t_1} - (\epsilon_{sh})_{t_2-t_1}$ 의 추가적인 건조수축이 발생한다. 따라서 균열응력을 유발하는 유효건조수축변형은 (i-1)층과 i층 사이의 건조수축량의 차이인  $(\epsilon_{sh})_{t_3-t_2} - [(\epsilon_{sh})_{t_3-t_1} - (\epsilon_{sh})_{t_2-t_1}]$ 가 된다.



(a)  $t_1$ 시점에서의 슬래브타설 (b)  $t_2$ 시점에서 발생한 건조수축 (c)  $t_3$ 시점에서의 유효건조수축

[그림 1] 균열응력을 유발하는 유효건조수축량

본 논문에서 적용한 예제건물의 시공일정에 따르면, 기본층(Typical Floor)의 콘크리트 타설은 13일 간격으로 되어있다. 따라서,  $t$ 일 경과 시  $i$ 층의 유효건조수축량은 식 (6)과 같다.

$$(\epsilon_{eff})_t = (\epsilon_{sh})_t - (\epsilon_{sh})_{t+13} + (\epsilon_{sh})_{13} \quad (6)$$

위 식에서  $t$ 는 건조수축이 고려되어지는 시간으로, 초기 습윤 양생이 끝난 이후부터의 경과 일수를 의미한다. 식 (3)과 식 (6)으로부터 유효건조수축을 증가온도변화로 치환하면 식 (7)로 나타낼 수 있다.

$$(\Delta T_{eff})_t = \left\{ \frac{t}{35+t} - \frac{t+13}{35+t+13} + \frac{13}{35+13} \right\} \frac{(\epsilon_{sh})_u}{\alpha} \quad (7)$$

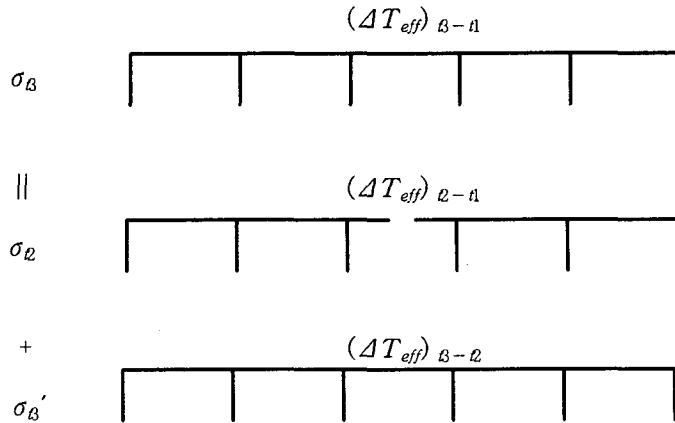
표 1은 건조수축 기간의 변화에 따라 유효건조수축을 증가온도변화로 치환한 값을 나타낸다.

[표 1] 유효건조수축의 증가온도변화로의 치환값

	슬래브 타설이후의 시간 (7일 양생 이후의 일수)					
	21 (t=14)	30 (t=23)	60 (t=53)	90 (t=83)	365 (t=358)	5년 이후
증가온도변화 ( $\Delta T_{eff}$ )	18.9	25.0	34.3	37.7	41.8	42.2

#### 4.3 분리대의 영향을 고려한 해석절차

분리대를 매운 이후에 발생하는 건조수축에 의한 균열응력은 그림 2의 절차에 따라 계산할 수 있다.



[그림 2] 분리대의 영향을 고려한 해석절차

그림 2는 슬래브가  $t_1$ 시점에 타설되고 분리대가  $t_2$ 시점에 메워진 후, 얻고자 하는  $t_3$ 시점에서의 균열응력을 계산하기 위한 과정을 나타낸 것이다.  $t_2$ 시점에서 발생하는 응력  $\sigma_{t_2}$ 는 유효건조수축과 등가인 온도하중  $(\Delta T_{eff})_{t_2-t_1}$ 이 작용하는 분리모델을 해석하여 구할 수 있으며, 분리대가 메워진 이후에 발생하는 추가적인 응력  $\sigma_{t_3}'$ 은 등가온도하중  $(\Delta T_{eff})_{t_3-t_2}$ 가 작용하는 전체 모델로부터 구할 수 있다.  $t_3$ 시점에서의 균열응력  $\sigma_{t_3}$ 은 응력  $\sigma_{t_2}$ 와  $\sigma_{t_3}'$ 의 합으로 구할 수 있다. 분리모델이란 분리대가 메워지기 전의 응력 상태를 해석하기 위한 모델이며 전체모델은 분리대가 메워진 후의 상태를 나타내는 모델이다.

$$\sigma_{t_3} = \sigma_{t_2} + \sigma_{t_3}' \quad (8)$$

여기서,

$\sigma_{t_3}$  :  $t_3$ 시점에서 등가온도하중  $(\Delta T_{eff})_{t_3-t_1}$ 이 작용하는 전체모델로부터 얻어지는 응력

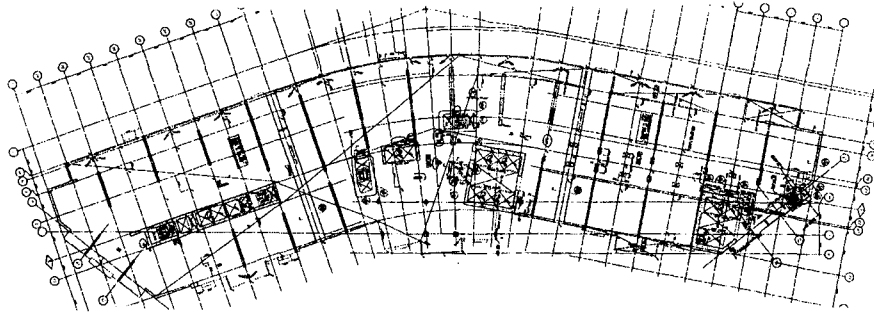
$\sigma_{t_2}$  :  $t_2$ 시점에서 등가온도하중  $(\Delta T_{eff})_{t_2-t_1}$ 이 작용하는 분리모델로부터 얻어지는 응력

$\sigma_{t_3}'$  :  $t_3$ 시점에서 등가온도하중  $(\Delta T_{eff})_{t_3-t_2}$ 이 작용하는 전체모델로부터 얻어지는 부가응력

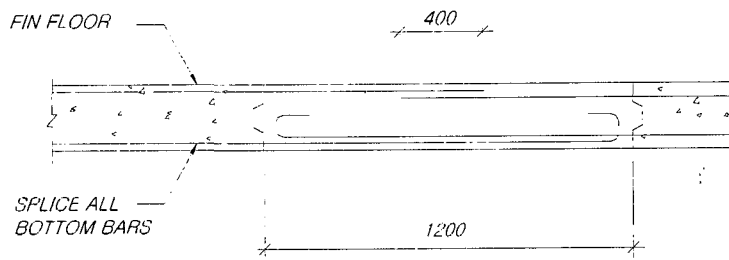
#### 4.4 해석예제

본 논문의 예제건물은 이집트에서 시공중인 29층 규모의 철근콘크리트 호텔건물을 대상으로 하였다. 해석 모델은 그림 3과 같은 평면을 갖는 호텔의 기준층으로 분리대를 설치하여 슬래브를 세 부분으로 나누어 시공하였다. 예제해석에는 범용 유한요소 해석프로그램인 SAP 2000을 사용하였으며, 기둥과 벽체는 프레임요소로 모델링하고 슬래브도 건조수축의 영향이 수평방향으로만 작용하는 것으로 가정하여 프레임요소로 모델링하였다. 예제건물은 경간폭이 9.2m, 층고가 3.1m인 15경간이며 슬래브는 두께 270mm, 폭 1m이고 벽체는

위치에 따라 두께 700mm와 300mm의 두가지 종류가 사용되었다. 그림 4에는 이 건물에 사용된 슬래브 분리대의 상세를 나타내었다.



[그림 3] 해석예제인 고층건물의 기준층 평면



[그림 4] 슬래브 분리대 상세

#### 4.5 해석결과

앞선 절에서 언급한 조건과 방법에 의해 예제를 해석한 결과를 표 2에 나타내었다. 최대 균열응력은 ACI 규준의 식 (9)에 의한 콘크리트의 휨 파괴강도  $f_r$ 과 비교하였다.

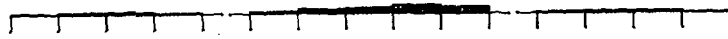
$$f_r(N/mm^2) = 0.623\sqrt{f_c'(N/mm^2)} = 0.623\sqrt{30} = 3.41(N/mm^2) \quad (9)$$

그림 5는 분리대를 주변 콘크리트 타설 후 30일 및 90일 이후에 메운 경우에 대한 슬래브에 생기는 인장응력을 보여 주는 것으로, 분리모델에서의 그림은 분리대가 메워지기 전까지의 인장응력( $\sigma_{t_2}$ )을 나타낸 것이며 전체모델에서는 분리대가 메워지고 난 이후에 추가적으로 생기는 인장응력( $\sigma_{t_3}'$ )을 나타낸 것이다.

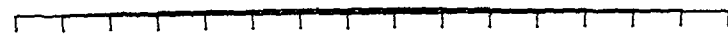
매움 시점이 90일 경우에는 매우기 전 응력은 30일 경우에 비하여 크지만 대신 추가응력은 작아 결국 총 응력은 30일인 경우에 비하여 작아지는 사실을 보여 주고 있다.

[표 2] 균열응력 및 콘크리트의 휨 파괴강도에 대한 비

	슬래브 타설 후 분리대를 매운 시점(일)					
	0	21	30	60	90	5년 이후
$\sigma_{t_2}$	0.00	0.39	0.52	0.72	0.79	0.88
$\sigma_{t_3}'$	2.35	1.29	0.96	0.44	0.25	0.00
$\sigma_{t_3}$	2.35	1.68	1.48	1.16	1.04	0.88
$\sigma_{t_3}/f_t(\%)$	68.9	49.3	43.4	34.0	30.5	25.8



(a) 매움 시점이 주변 콘크리트 타설후 30일인 경우



(b) 매움 시점이 주변 콘크리트 타설후 90일인 경우

[그림 5] 분리모델 및 전체모델에서의 유효건조수축에 의한 인장응력

## 5. 결론

본 논문에서는 건조수축으로 인한 균열을 방지할 목적으로 설치한 분리대의 적절한 매움 시점을 판단하기 위해 분리대의 영향을 고려한 시공단계 해석을 수행하는 절차를 제시하였다. 또한 이 해석방법을 분리대가 사용된 철근콘크리트 고층건물 슬래브에 적용하여 슬래브 타설 이후 분리대의 매움 시점에 따른 균열 응력을 알아보았다. 예제 해석결과 슬래브 타설 30일 후 분리대를 매울 때 발생하는 건조수축 균열응력의 휨 파괴강도에 대한 비는 43.4%로, 본 예제건물의 경우 기준층 분리대의 매움 시점은 슬래브 타설 이후 30일 정도면 충분한 것으로 판단된다.

본 논문에서 제시한 방법은 상당히 단순화한 것으로 실제 시공 조건, 건조수축 및 크립의 영향을 정확히 고려한 것은 아니다. 그러나 콘크리트의 비탄성 변형을 정확히 예측하는 것은 매우 어려우므로 제시된 방법을 통해 분리대의 효과를 평가하는 것은 충분한 의미가 있으리라 생각된다. 한편, 보다 정확한 해석을 위해서는 층별 시공단계 및 분리대 메움단계를 각각 고려한 반복해석이 필요할 것으로 판단되며 이에 대한 해석 절차가 좀 더 연구되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. Mark Fintel, *Handbook of Concrete Engineering-Chap 4 Joint in Buildings*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1985, p892.
2. ACI, *Building Code Requirements for Structural Concrete*, ACI 318-95, Detroit, Michigan 1999.
3. ACI committee report 209R-92, "Prediction of Creep, Shrinkage and Temperature Effects in Concrete Structures", ACI Manual of Concrete Practice, ACI international, 1999.
4. ACI committee report 207.2R-90, "Effect of Restraint, Volume Change and Reinforcement on Cracking of Mass Concrete", ACI Manual of Concrete Practice, ACI international, 1999.
5. ACI committee report 207.1R-96, "Mass Concrete", ACI Manual of Concrete Practice, ACI international, 1999.
6. Dan. E. Branson, *Handbook of Concrete Engineering-Chap 2 Deflections*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1985, p892.