

팽창줄눈의 이론적 산정

Theoretical Evaluation on Spacings of Expansion Joint

이 홍 재* 이 차 돈**
Hongjae Lee Chadon Lee

ABSTRACT

It has been known that buildings having inappropriate expansion joints in their spacings may be subject to exterior damages due to extensive cracks on the outer walls under service loads, and structural damages due to excessive moment induced by temperature changes at ultimate load conditions. Rather inconsistent code provisions are available regarding spacings of expansion joints from different foreign structural codes and even worse, no quantitative measure on spacings is given in our codes for building structures.

In order to establish a rational measure on the spacing of expansion joints, theoretical approaches are taken in this study. The developed theoretical formula is, then, converted to design chart for structural designers' convenience in its use. The chart considers both service and ultimate load stages.

1. 서론

구조물은 준공 후 기온의 변화, 건조수축 등에 의해 끊임없이 수축·팽창을 하며 이에 따라 발생하는 응력은 구조물에 손상을 입히게 된다. 따라서, 기능의 연속성을 방해하지 않으며 부재의 상대적인 움직임을 가능하게 해주기 위해서는 적절한 팽창줄눈을 설정하여야 한다. 그러나, 팽창줄눈 간격에 대한 명확한 국내 구조설계 지침이 없으며 외국의 경우도 서로 다른 값을 제시하고 있어, 구조설계 과정에서 설계 실무자의 경험에 의존하여 설계되는 경우가 많다. 그 결과 부적절한 팽창줄눈 간격을 두어 구조물의 사용성과 안전성을 해치는 경우가 발생하곤 한다.

본 연구에서는 팽창줄눈의 간격을 이론적으로 유도하고 그 결과를 디자인을 위한 그림으로 나타냄으로써 비교적 단순한 구조물을 컴퓨터 해석 없이 실무에 직접 사용할 수 있도록 하고자 하였다.

2. 팽창줄눈 간격 이론식 유도

2.1 강도측면에서 팽창줄눈

콘크리트 구조설계기준⁽¹⁾에서는 고정하중, 활하중, 건조수축, 온도변화 등이 작용하는 경우 $U = 0.75(1.4D + 1.7L + 1.5T)$ 의 하중조합에 대해 검토되어야 한다. 만약, 온도와 건조수축 등의

* 중앙대학교 건설대학원 건축공학과 건축구조 석사과정

** 정회원, 중앙대학교 건축공학과 교수

영향을 무시할 수 있는 적절한 팽창준보 간격을 주는 경우 $U = 1.4D + 1.7L$ 하중조합으로 검토할 수 있으므로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$1.4D + 1.7L \geq 0.75(1.4D + 1.7L + 1.5T) \quad (1)$$

$$T \leq 0,311D + 0,378L \quad (2)$$

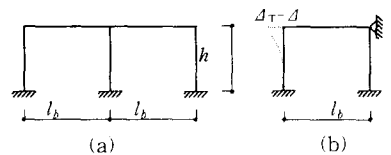
T : 온도변화와 건조수축에 의해 발생하는 단면력

콘크리트는 시간이 지남에 따라 건조수축을 하게 되는데 이와 같이 습기가 증발함에 따라 콘크리트가 수축하는 현상을 건조수축이라 한다. 대개 콘크리트의 건조수축 변형률은 0.0002~0.0007까지 변한다. 우리나라 콘크리트 시방서⁽²⁾에서는 부정정 골조 구조물설계에 건조수축 변형률을 0.00015을 표준으로 하고 있으므로 본 연구에서는 이의 값을 기준으로 하였다. 콘크리트의 선팽창계수(α)는 약 $1.0 \times 10^{-5}(1/^\circ\text{C})$ 이기 때문에 콘크리트 구조물의 건조수축은 15°C 의 온도변화와 같다고 할 수 있다.

강도측면에서의 팽창준보의 간격은 다음과 같이 전형적인 단순화된 모델을 이용하여 이론적으로 산정하고자 하였다.

i) 1층 2경간 건물

그림 1의 (b)는 온도변화로부터 발생된 변형도이며 이것을 다시 (c)와 같이 자유물체도로 나타내었다. (c)의 자유물체도에서 $P_1 = F_1$ 이 성립되며 다음과 같이 정리하였다.



$$\text{여기서 } X = \frac{3EI_c}{h^3}, \quad Y = \frac{EA_b}{l_b}, \quad Z = \frac{3EI_c}{h^2}$$

$$\Delta_T = \frac{\alpha TL_j}{2n}, \quad f_{(n)} = \text{경간에 대한 함수라고 하면}$$

$$P_1 = \frac{EA_b}{l} (\Delta_T - \Delta), \quad F_1 = \frac{3EI_c}{h^3} \Delta$$

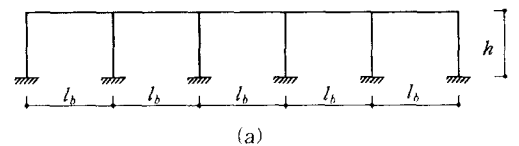
그림 1 1층 2경간 건물

$$\text{최대 수평변위 } (\Delta) = \frac{Y\Delta_T}{X+Y} \quad (3)$$

$$\text{외단 기동 모멘트 } (M_c) = \frac{V\Delta_T}{\frac{X}{Y} + 1} \quad (4)$$

ii) 1층 5경간 건물

그림 2의 (c) 자유물체도에서 $P_1 = F_1 + P_2$, $P_2 = F_2 + P_3$, $P_3 = F_3$ 이 성립되며 다음과 같이 정리하였다.



$$P_1 = \frac{2EA_b}{l} (\Delta_T/2 - \Delta_1)$$

$$P_2 = \frac{EA_b}{l} (\Delta_T - (\Delta_2 - \Delta_1))$$

$$P_3 = \frac{EA_b}{l} (\Delta_T - (\Delta_3 - \Delta_2))$$

$$F_1 = \frac{3EI_c}{h^3} \Delta_1, \quad F_2 = \frac{3EI_c}{h^3} \Delta_2$$

그림 2 1층 5경간 건물

$$F_3 = \frac{3EI_c}{h^3} \Delta_3$$

$$\text{최대 수평변위}(\Delta) = \frac{Y\Delta_T}{X+Y} \left[1 + \frac{\frac{X}{Y} + 3}{\left(\frac{X}{Y}\right)^3 + 6\left(\frac{X}{Y}\right)^2 + 9\frac{X}{Y} + 2} \right] \quad (5)$$

$$\text{외단 기둥 모멘트} (M_c) = \frac{V\Delta_T}{\frac{X}{Y} + 1} \left[1 + \frac{\frac{X}{Y} + 3}{\left(\frac{X}{Y}\right)^3 + 6\left(\frac{X}{Y}\right)^2 + 9\frac{X}{Y} + 2} \right] \quad (6)$$

1층 n경간 건물의 경우 다음과 같은 일반식의 형태를 찾을 수 있다.

$$\text{최대 수평변위}(\Delta) = \frac{Y\Delta_T}{X+Y} \left[1 + \frac{1}{f(n)} \right] \quad (7)$$

$$\text{외단 기둥 모멘트} (M_c) = \frac{V\Delta_T}{\frac{X}{Y} + 1} \left[1 + \frac{1}{f(n)} \right] \quad (8)$$

경간 수에 대한 함수 $f(n)$ 를 그림 3과 같이 회귀분석을 통하여 구한 후 이의 최소값을 취하였다.

$$f(n) = 0.0083n^2 - 0.1632n - 0.907 \quad (9)$$

$$f(n) \text{의 최소치} : f(n) = 0.1048, \quad n = 8.83$$

값을 (7), (8)에 대입하여 정리하면

$$\Delta = 0.597L_j \frac{\alpha TY}{(X+Y)} \quad (10)$$

$$M_c = 0.597L_j \frac{\alpha TYZ}{(X+Y)} \quad (11)$$

위의 (11)는 온도하중 (L_T)에 의해 기둥에 발생된 모멘트 보다 적으면 안전한 설계가 되므로 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$0.597L_j \frac{\alpha TYZ}{(X+Y)} \leq M_T \quad (12)$$

$$L_j = 1.675 \frac{KM_T}{\alpha ET} \quad (m) \quad (13)$$

$$\text{여기서 } K = \frac{h^2}{3I_c} + \frac{l_b}{A_b h}$$

M_T = 온도하중 (L_T)에 의해 외단 기둥에 발생되는 모멘트(tf·m)

α = 콘크리트 선팽창계수 ($1.0 \times 10^{-5}(1/^\circ\text{C})$), E = 콘크리트 탄성계수(kg/cm^2)

$T = T_c + T_{sh}$

T_c = 온도변화량($^\circ\text{C}$), T_{sh} = 건조수축을 고려한 온도 변화량($^\circ\text{C}$)

h = 기둥높이(cm), l_b = 보의 길이(cm)

I_c = 기둥 단면 2차 모멘트(cm^4), A_b = 보의 단면적(cm^2)

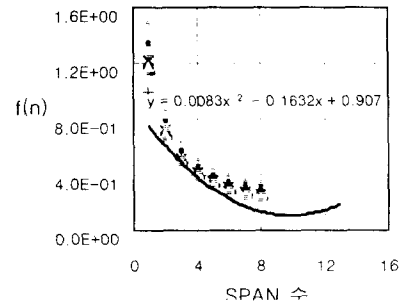


그림 3 경간에 대한 함수 회귀분석

2.2 사용성 측면에서 팽창줄눈

온도변화로부터 발생된 최대 수평변위는 비구조체 균열을 방지하기 위해서 허용 수평변위 기준 (BJERRUM⁽²⁾)중에서 칸막이벽체에 첫 균열이 예상되는 한계인 $h/300$ 을 초과하지 않도록 정하여 다음과 같이 정리하였다.

$$\Delta = 0.597L_j \frac{\alpha TY}{(X+Y)} \leq \frac{h}{300} \quad (14)$$

$$L_j = \frac{5.07K'}{T} \quad (m) \quad (15)$$

$$\text{여기서 } K' = \frac{3I_c l_b}{h^2 A_b} + h$$

3. 팽창줄눈 간격 이론식의 도표화

강도와 사용성 측면에서 팽창줄눈 간격 이론식을 간략하게 이용할 수 있도록 그림 4와 같이 그래프로 나타내었다. 이 그래프는 우리나라 기후 특성을 고려하여 30℃ 온도변화와 콘크리트 강도 300kgf/cm²를 기준으로 작성하였다.

4. 결론

팽창줄눈의 간격을 강도와 사용성 측면에서 이론적으로 유도하여 비교적 단순한 구조물을 컴퓨터 해석없이 실무에 직접 사용할 수 있도록 그림 4와 같이 그래프로 작성하였다.

- (1) 본 연구에서 제안한 팽창줄눈 간격의 이론식은 온도변화, 건조수축, 경간수, 구조물높이, 건물층수 등을 고려하였으며 개발된 실용식은 컴퓨터 해석치와 비교·검증하여 그 타당성을 입증하였다.
- (2) 본 연구에서 개발된 이론식은 실무자들이 편리하게 적용할 수 있도록 디자인 도구를 위한 그림으로써 표현하였다.
- (3) 강도측면에서 팽창줄눈 간격은 온도변화와 기둥 휨강성에 반비례하고 온도하중에 의해 외단 기둥에 발생된 모멘트에 비례한다. 사용성 측면에서 팽창줄눈 간격은 온도변화와 보의 휨강성에 반비례하며 기둥 휨강성에 비례한다.
- (4) 온도변화에 의해 야기된 변형은 대부분 구조물의 최저층에서 점차 발생되어 그 위의 모든 층에서 최대가 되기 때문에 구조물의 층수에 따른 별도의 팽창줄눈 간격 보정은 필요치 않는다.

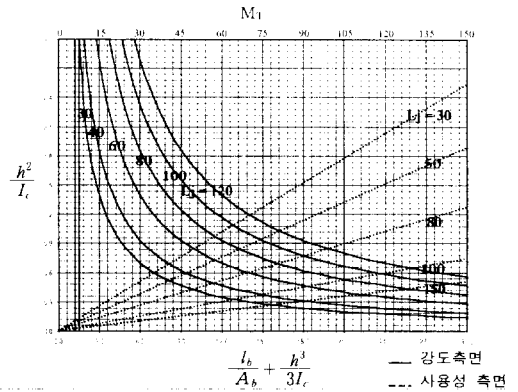


그림 4 강도와 사용성 측면에서 팽창줄눈 간격 그래프

참 고 문 헌

- 1) 한국콘크리트학회, 「콘크리트구조설계기준」, 1999.
- 2) 한국콘크리트학회, 「콘크리트표준시방서」, 1996.
- 3) 건교부, 「구조물기초설계기준」, 1997
- 4) Martin, Ignacio, and Acosta, Jose, "Effect of Thermal Variations and Shrinkage on One Story Reinforced Concrete Buildings," Designing for the Effect of Creep, Shrinkage, and Temperature in Concrete Institute, Detroit, 1970, pp.229~240
- 5) "Expansion Joints in Buildings." Technical Report No. 65, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1974, 43pp.