

# 콘크리트 바닥부재 설계를 위한 최소두께 산정식 제안

## Span-to-Depth Ratio Equation for Reinforced Concrete Floor Members

이영학\*                      정광량\*\*                      최봉섭\*\*\*  
Lee, Young Hak    Chung, Kwang Ryang    Choi, Bong Seob

### ABSTRACT

A single span-to-depth ratio function is proposed for control of deflection in one-way concrete construction. The equation can be applied to one-way slabs, beams, and flat plates. Effects of cracking, time-dependent deformation, boundary conditions, applied loading, and target deflection-to-span ratio are taken into account.

#### 1. 서론

우리나라에서도 강도설계법 (Strength design method)이 1990년도 후반기에 확정 고시되어 본격적으로 활용화되고, 또한 시공재료들의 고강도화로 말미암아 구조물의 단면을 줄일 수가 있었지만 이로 인한 사용성의 문제들, 즉 과도한 처짐, 균열 및 진동 등의 부정적인 요소들을 일으킬 수 있는 소지가 상대적으로 높아지게 되었다. 따라서 미국 ACI 빌딩코드<sup>1</sup> (ACI 318-05)와 마찬가지로 우리나라의 콘크리트 구조 설계기준<sup>2</sup>에서도 구조설계자들이 간편하게 철근 콘크리트 일방향 슬래브나 보 그리고 이 방향 슬래브의 처짐들을 제한하기 위한 간접적인 방법으로서 최소 두께 (Minimum thickness) 값들을 제시하여 처짐 계산에 의하여 더 작은 두께를 사용하여도 유해하지 않는다는 검토를 한 경우를 제외하고는 주어진 두께 값보다 작지 않게 설계하도록 규정하고 있다.

그러나 이런 방법은 구조 설계자들이 간편하게 처짐을 조절할 수 있도록 과거의 현장 경험을 통하여 얻어진 경험식을 사용하여 단순히 일정한 부재 깊이에 대한 스패의 길이 비로 제시하므로써, 처짐 계산시 고려되어야 할 하중, 재료들의 특성 등을 고려하지 못하였다. 따라서 다양한 구조물의 조건에 따라 과도하게 처짐을 제한하거나 또는 처짐을 제한하지 못하는 경우가 발생할 수 있으므로, 경제성과 사용성의 균형을 이루면서 합리적으로 처짐을 제어할 수 있는 보다 발전된 제안식을 살펴볼 필요성이 제기된다. 이에 본 연구에서는 설계 기준에 규정된 허용 처짐 규준을 만족하는 일방향 철근 콘크리트 부재의 최소두께를 산정할 수 있는 식을 개발하고자 한다. 본 연구는 기존 연구<sup>3, 4</sup>를 바탕으로 일방향 슬래브, 보 그리고 플랫 플레이트에 통합 적용 가능한 식을 제안함으로써, 구조 설계자들이 처짐을 제

정희원, 건축구조기술사, (주)동양구조안전기술 구조공학시스템 연구소 실장, 공학박사  
정희원, 건축구조기술사, (주)동양구조안전기술 대표이사, 공학박사  
정희원, 청운대학교 건축공학과 교수, 공학박사

어하는데 있어서, 보다 합리적이면서 쉽게 실무에 적용할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

## 2. 설계식의 제안

콘크리트 구조설계 기준에서는 계산한 처짐량이 기준에서 제시된 최대 허용 처짐값보다 작아야 한다고 규정하고 있다. 이 기준에서는 과도한 처짐에 의해 손상되기 쉬운 비구조 요소를 지지 또는 부착하지 않는 구조체에 대해 고려해야 할 처짐은 활하중에 의한 즉시처짐에 그 기준을 두고 있다. 그리고 과도한 처짐에 의해 손상되기 쉬운 비구조 요소를 지지 또는 부착한 구조체는 제한 처짐의 기준을 전체 처짐 (Total deflection)을 구성하는 처짐요소 중 하나인 증분 처짐 (Incremental deflection)에 두고 있다. 여기서, 증분 처짐이란 비구조 요소가 구조체에 부착된 후 발생하는 처짐이다. 즉, 모든 지속 하중에 의한 장기처짐과 더불어 변동성 적재하중에 의한 즉시 처짐을 합친 처짐을 의미한다. 이러한 증분 처짐은 톰슨과 스캔런<sup>3</sup>의 연구에서 볼 수 있듯이, 적재하중에 의한 즉시 처짐보다 구조물의 사용성에 더 큰 영향을 끼칠 수 있기 때문에, 본 연구에서는 이에 대한 허용 처짐 값을 고려한다. 따라서 증분 처짐의 허용 처짐값은 비구조 요소가 과도한 처짐에 의해 손상될 염려가 없는 경우에는  $\frac{\ell}{240}$ 을, 손상될 염려가 있는 경우에는  $\frac{\ell}{480}$ 을 사용한다.

비구조 요소들이 부착된 후의 증분 처짐을 계산하기 위해서는 먼저 시공순서에 따른 하중과 시간과의 관계를 고려해야 한다. 하중-시간 상관도에 의해 일방향 부재의 증분 처짐은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\Delta_{inc} = \frac{\lambda \kappa W_s \ell^4}{384 E_c I_e} + \frac{\kappa W_L(Add) \ell^4}{384 E_c I_e} \quad (1)$$

여기서,

$W_L(Add)$  = 변동성 적재하중

$W_s$  = 지속하중 (=  $W_d + W_{sd} + \gamma W_\ell$ )

$W_d$  = 고정하중 (자중)

$W_{sd}$  = 추가적인 고정하중     $\gamma W_\ell$  = 지속성 적재하중

$\lambda$  = 장기처짐계수

$\kappa$  = 지지조건에 따른 처짐계수 (=5 : 단순지지; =1.4 : 양단연속; =2 : 일단연속; =48 : 캔틸레버)

$I_e$  = 부재의 유효단면 2차 모멘트     $\ell$  = 부재의 스패 길이

위의 식에서, 일방향 슬래브 설계에 대해서는 단위폭 스트립 설계법 (Unit width strip method)가 사용되며, 보 부재에 대해서는 하중 작용 폭 (Tributary width)를 적용한다. 아울러, “슬래브 시스템 요소<sup>5</sup>”(Slab system factor)를 활용하므로써, 이방향 부재의 설계에도 적용가능하다. 본 논문에서는 이방향 부재 중 플랫 플레이트의 설계까지 확장한 제안식을 제시하도록 한다.

플랫 플레이트의 처짐은 ACI318의 13장에 규정된 설계 모멘트를 이용하여, 스캔런과 머레이 등<sup>6, 7, 8</sup>에 의해서 제안된 Crossing beam method에 의해서 구할 수 있다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 처짐은 직교하는 기둥의 단위 폭 스트립의 처짐과 중앙부 스트립의 처짐을 더하므로써, 중앙 판넬의 처짐을 구할 수 있다. 이 계산법은 유한요소법을 사용한 전산해석의 결과값들과 상당한 일치율을 보이고 있음이 많은 연구자들에 의해 확인되어졌다. 위의 식(1)에 의한 기둥 스트립의 처짐을 계산하기 위해서는, 실질적인 유효하중의 증가를 고려하기 위해서 ACI318의 13장에서 제시한 것과 유사한 가중계수를 고려

해야 한다. 따라서, 기둥 스트립에 가중·적용되는 계수, 즉 확대 계수를 1.35를 사용하였다.  $k_{s,s}=1.35$ 를 식(1)의 하중항에 적용하여, 플랫 플레이트의 기둥 스트립에서의 유효하중을 고려하였다.

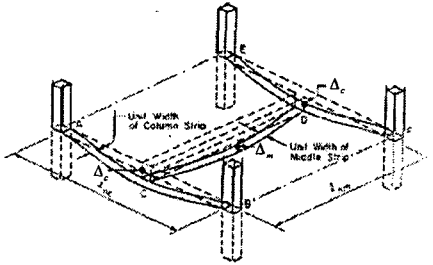


그림 1. Crossing beam arrangement for calculating deflections in orthogonal column and middle strips (ACI 435R-95).

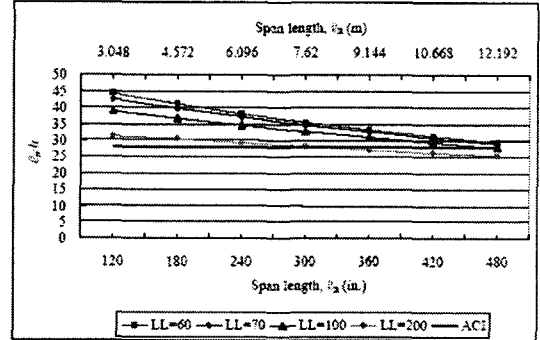


그림 2 Span-to-depth ratio as a function of span length: one-way slabs (both ends continuous,  $l/480$ )

### 3. 통합 설계식의 제안

통합 설계식을 제안하기 위해서, 전술한 사항을 고려하고 유효 단면 모멘트,  $I_e$ 를  $\alpha I_g$ 로 치환하였고, 또한  $I_g = \frac{bh^3}{12}$ 로 표현하였다. 또한 일방향 및 이방향 부재의 스트립의 폭을 본 연구에서는 0.3 m로 하여 이를  $L_{trib}$  상수에 반영하였다. 구조설계자들이 최초 단면가정 시에 유효 단면2차 모멘트와 관련된 단면 특성, 즉, 단면 깊이, 사용 모멘트, 철근비를 알 수 없으므로,  $\alpha$ 값은 많은 경우에 대해서 스패ん길 이 대 처집 비 해석 (Span-to-deflection ratio analysis)을 시행한 결과, 0.52가 가장 좋은 연관성 (Correlation)을 보였기에, 본 식에서는 0.52의 상수로 사용하였다. 식(1)을  $\frac{l_n}{h}$ 에 대해 재구성하면 다음과 같다:

$$\frac{l_n}{h} = \left[ \left( \frac{\Delta_{inc}}{\ell} \right)_{allow} \frac{0.0167 E_c b}{\kappa k_{s,s} L_{trib} (\lambda W_s + W_L(odd))} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

T형 보의 경우에는 설계 초기 가정단면 단계에서 웹을  $b$ 에 대입하도록 하므로써, 안전측의 범위내에 들어가도록 하였다. 일반적인 T형 보의 경우, 유효단면2차 모멘트는 대개의 경우 플랜지 폭의 영향을 크게 받지 않는 cracked transformed moment of inertia에 의해서 지배 받기 때문이다. 하지만, 랭간 (Rangan, 1981)에 의해서 제안된 T형 보 적용 보정계수를 사용할 수도 있다.

그림 2, 3, 4는 제안된 식과 기존의 ACI318에서 규정된 최소두께 기준을 비교한 것이다.

### 4. 결론

본 논문에서 제안된 식은 콘크리트 부재 설계 시에 처짐 제한을 위한 부재의 단면크기의 합리적인 결

정을 위한 것이다. 본 제안식은 일반 실무자들의 초기 단면 결정시에 간편하게 사용할 수 있도록 만들어졌다. 또한 스펠 대 두께 비, 하중, 지지조건, 장기처짐, 그리고 탄성계수 등 처짐에 영향을 미치는 주된 요소들을 직접적으로 망라한 식이라고 할 수 있다. 또한 목표 처짐값의 간단한 변경이 가능하고 장기처짐 계수를 조정함으로써, 적재하중만의 영향을 고려한 처짐제한이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 향후 연구를 통하여, 본 식을 확장·발전시켜서, 일방향을 비롯한, 이방향 철근 콘크리트 수평부재의 처짐 제한 (Deflection control)을 위한 통합설계식에 관한 연구와 제안식의 신뢰성을 확인하는 것이 추후 과제로 남는다.

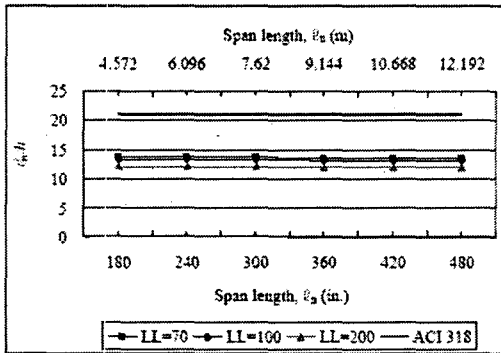


그림 3 Span-to-depth ratio as a function of span length: beams ( $b_w=16$  in. (406.4 mm)):  $l/480$ .

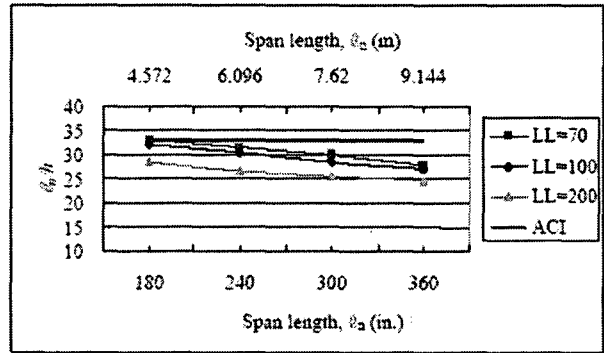


그림 4 Span-to-depth ratio as a function of span length: flat plates:  $l/480$ .

#### 참고문헌

1. ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2005, pp.
2. 대한건축학회, *건축구조설계기준*, 기문당, 2005, 597pp.
3. Thompson, D. P. and Scanlon, A., "Minimum Thickness Requirements for Control of Two-Way Slab Deflections", *ACI Structural Journal*, Vol. 85, No. 1, Jan.-Feb. 1988, pp.12-22.
4. Scanlon, A. and Choi, B.-S., "Evaluation of ACI 318 Minimum Thickness Requirements for One-Way Slabs", *ACI Structural Journal*, Vol. 96, No. 4, 1999, pp.616-621.
5. Gilbert, R. I., "Deflection Control of Slabs Using Allowable Span to Depth Ratios", *ACI Structural Journal*, Vol. 82, No. 1, 1985, pp.67-72.
6. Scanlon, A. and Murray, D. W., "Practical Calculation of Two-Way Slab Deflections", *Concrete International*, Vol. 4, No. 11, 1982, pp.43-50.
7. ACI Committee 435, *Control of Deflection in Concrete Structures (ACI 435R-95)*, ACI Manual of Concrete Practice, ACI, 1995, 77pp.
8. Macgregor, J. G., and Wight, J., *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*, Fourth Edition, Pearson Prentice Hall, 2005, 1132 pp.