

모멘트 분포 형상에 따른 철근콘크리트 단순보의 유효 단면2차모멘트에 대한 실험적 연구

Experimental Study on the Influence of Moment Distribution Shape on the Effective Moment of Inertia of Simply Supported Reinforced Concrete Beams

박 미 영* 이 승 배** 김 강 수*** 김 상 식****
Park Mi Young Lee Seung Bae Kim Kang Su Kim Sang Sik

ABSTRACT

The member deflection is one of the most important considerations for the serviceability evaluation of reinforced concrete structures, and the concept of the effective moment of inertia has been generally used for the estimation of beam deflections. The KCI design code adopted Branson's equation for the calculation of the effective moment of inertia, which was formulated based on the results of beam tests subjected to uniformly distributed loads. Therefore, it is worthwhile to check the applicability of the code approach on the estimation of the effective moment of inertia for the cases of beams under different loading conditions. In this study, an experimental investigation has been conducted on six beams, where primary variables were concrete compressive strengths and loading distances from supports. The test results were compared with various approaches proposed by Branson and others as well. The test results indicated that the effective moment of inertia was somewhat influenced by the moment distribution shape. Despite the different moment distribution shapes for specimens, however, the effective moment of inertia of all test beams were closely predicted by the existing methods considered in this study.

요 약

철근콘크리트 구조물의 사용성을 검토할 때 처짐은 가장 중요한 사항 중 하나이며, 철근콘크리트 휨 부재의 처짐은 일반적으로 유효 단면2차모멘트의 개념을 적용하여 구해진다. 기준에서 유효 단면2차모멘트는 Branson이 제안한 식을 사용하고 있지만, 이 식은 등분포하중을 전제로 제안된 식이므로 다른 하중상태에서 기준식의 정확성에 대해 검증할 필요가 있다. 따라서, 이 연구에서는 콘크리트 강도와 지점에서부터 가력점까지의 거리를 주요변수로 하여 총 6개의 철근콘크리트 보 실험체를 제작하여 구조실험을 수행하고, 실험결과를 기준식 및 다른 연구자들이 제안한 식과 비교·분석하였다. 실험결과, 보의 유효 단면2차모멘트는 모멘트 분포 형상에 따라 다소 차이가 있었으며, 일반강도 실험체보다 고강도 실험체에서 차이가 더 크게 나타났다. 그럼에도 불구하고, 모든 실험체에 대하여 이론값들이 실험으로부터 구한 유효 단면2차모멘트를 근사하게 예측할 수 있는 것으로 나타났다.

*정회원, 인하대학교 대학원 석사과정

**정회원, 인하대학교 대학원 박사과정

***정회원, 서울시립대학교 건축학부 교수

****정회원, 인하대학교 건축학부 교수

1. 서론

균열이 발생한 이후 철근콘크리트 보의 처짐을 결정하기 위해서는 유효 단면2차모멘트 I_e 를 구해야 한다. 기준에서 유효 단면2차모멘트는 전 단면2차모멘트 I_g 와 균열 단면2차모멘트 I_{cr} 사이 값을 취하고 있지만, 이 감소 비율은 등분포하중을 전제로 제안된 식¹⁾이므로 다른 하중상태에서도 기준식의 정확성에 대해 검증할 필요가 있다.

이 연구에서는 콘크리트 강도와 모멘트 분포 형상을 주요변수로 하여 구조실험을 수행하고, 실험을 통하여 구한 유효 단면2차모멘트 I_e 값과 설계 기준에 의한 값 및 다른 연구자들이 제안한 유효 단면2차모멘트 I_e 값 등을 비교·분석하여 그 적용성을 검토하였다.

2. 실험체 계획 및 실험 방법

2.1 실험체 계획

연구에 사용된 실험체는 표 1과 같이 모두 6개로, 콘크리트의 압축강도와 지점에서 가력점까지의 거리를 주요변수로 하여 실험체를 제작하였다. 주인장 철근으로 3-D22 철근을 사용하였으며, 실험체 지점간 거리는 4400 mm이고, 단면의 크기는 그림 1과 같다.

2.2 실험 방법

실험체는 구조실험실에 설치된 휨 실험용 프레임에 설치하였으며 그림 2와 같이 주인장철근의 중앙부 및 가력점에 부착된 스트레인게이지를 통해 철근의 변형률을 측정하였다. 또한 하중 재하에 따른 실험체의 처짐을 측정하기 위해 그림 3과 같이 자동변위계를 설치하였다. 재하 실험은 그림 3과 같이 실험체의 상부에 2점 집중하중 및 중앙 집중하중으로 분당 5 kN의 가력속도로 단조가력 하였으며, 이 때 사용된 오일잭 및 로드셀의 용량은 1000 kN 이다. 매 초당 하중, 부재의 변위 및 철근의 변형률 등을 데이터로거를 통해 수집하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 유효 단면2차모멘트에 대한 이론적 고찰

현행 국내 콘크리트 구조설계기준의 보 처짐 계산에 있어서는 균열로 인한 단면손실을 고려하기 위하여 Branson¹⁾이 제안한 유효 단면2차모멘트 I_e 를 사용하고 있으며, 다음과 같이 정의되고 있다.

$$I_e = I_{cr} + (I_g - I_{cr}) \left(\frac{M_a}{M_{cr}} \right)^3 \quad (1)$$

하지만, 위의 식은 등분포 하중을 전제로 제안된 식이므로 실험값과의 비교를 위해 다른 연구자들의 제안식도 검토하였다. Rajeh Z. Al-Zaid²⁾ 등은 하중조건에 따라 달라지는 균열발생길이를 고려하여 다음의 식을 제안하였다.

$$I_e = I_g + (I_{cr} - I_g) \left(\frac{L_{cr}}{L} \right)^{m'}, \quad m' = \frac{M_{cr}}{M_a} \quad (2)$$

여기서, L_{cr} 은 균열발생길이이며, m' 는 실험을 통해 결정된 값이다.

표 1 실험체의 제원

실험체 분류	실험체 배합강도 (MPa)	공시체 압축강도 (MPa)	가력거리 (mm)
SN-0	24	41	0
SN-1			1600
SN-2			2400
SH-0	70	74	0
SH-1			1600
SH-2			2400

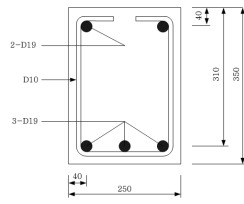


그림 1 실험체의 단면

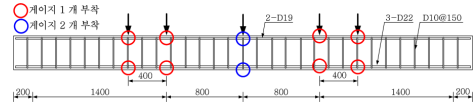


그림 2 실험체의 배근 상세 및 게이지 위치

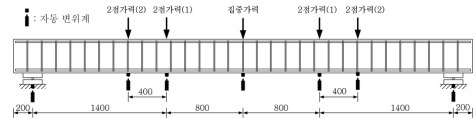
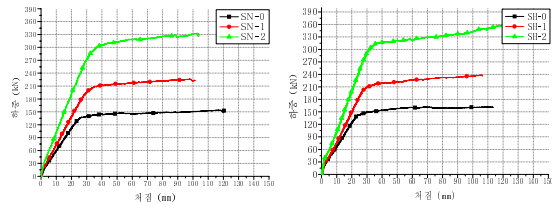
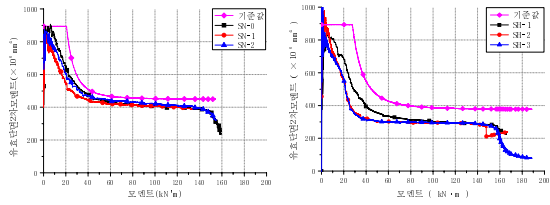


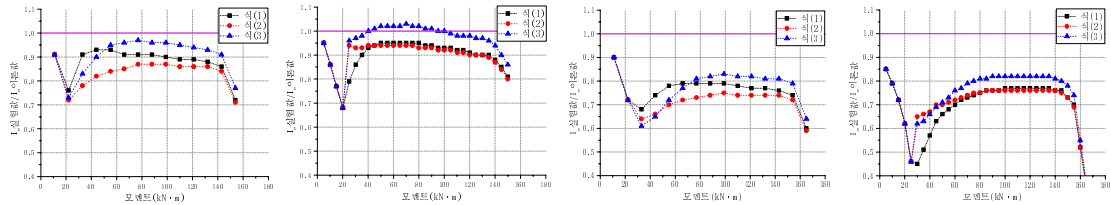
그림 3 가력 상황 및 자동 변위계 위치



(a) 일반강도 실험체 (b) 고강도 실험체
그림 4 하중-처짐 관계



(a) 일반강도 실험체 (b) 고강도 실험체
그림 5 유효 단면2차모멘트의 실험값과 기준값 비교



(a) 일반강도 실험체 (중양 집중 가력, SN-0) (b) 일반강도 실험체 (2점 집중 가력, SN-2) (c) 고강도 실험체 (중양 집중 가력, SH-0) (d) 고강도 실험체 (2점 집중 가력, SH-2)
그림 6 유효 단면2차모멘트 실험값과 이론값의 비율

Abdullah M. Fikry³⁾ 등은 균열 단면2차모멘트의 근사식($I_{cre} = (\alpha + \beta n \rho_e)(b' d^3 / 12)$)을 이용한 유효 단면2차모멘트 식을 제안하였으며 다음과 같다.

$$I_e = I_{cre} + (I_g - I_{cre})e^\phi, \quad \phi = -(M_o/M_{cr})(L_{cr}/L)\rho \quad (3)$$

여기서, ϕ 는 실험값들을 통해 결정된 값이다.

3.2 실험 결과 및 분석

각 실험체의 하중-처짐 관계는 그림 4와 같이 나타났으며, 일반강도 실험체와 고강도 실험체 모두 일반적인 휨부재의 거동을 보였다. 초기 균열이 발생하기 전까지는 선형 탄성 거동을 보였으며, 균열

이 발생한 이후에는 모멘트 분포 형상에 따라 확연한 차이를 보였으며 항복강도에 이르러서는 하중의 증가가 거의 없이 변위만 증가하였다.

유효 단면2차모멘트 실험값을 처짐으로부터 구하여 식(1)의 기준값과 비교한 그림 5를 보면 모멘트 분포형상이 다른 모든 실험체에 대하여 유효 단면2차모멘트 I_e 값을 대체적으로 근사하게 예측할 수 있는 것으로 나타났다.

모멘트 분포에 따른 유효단면2차모멘트의 차이는 일반강도 실험체에서는 모멘트 분포에 대한 영향이 10 퍼센트 이하로 거의 없는 것으로 나타났다. 고강도 실험체에서는 $0.4M_{cr} < M_a < 3M_{cr}$ 인 구간에서 중앙 집중 가력 실험체와 2점 가력 실험체가 20~30 퍼센트 차이를 보였으며 $M_a > 3M_{cr}$ 이후에는 모멘트 분포에 대한 영향이 10 퍼센트 이하로 거의 없는 것으로 나타났다.

유효 단면2차모멘트의 실험값과 이론값의 비율을 나타낸 그림6을 보면 식(1)~(3) 모두 고강도 실험체보다 일반강도 실험체가 이론값에 더 가깝게 나타났으며 전체적으로 유효 단면2차모멘트의 실험값이 이론값보다 작게 측정되어 중앙 집중 하중 및 2점 집중 하중 상태에 적용 가능한 수정된 제안식이 필요한 것으로 나타났다.

4. 결론

이 연구에서는 철근콘크리트 단순보에서 콘크리트의 압축강도와 지점에서 가력점까지의 거리에 따른 유효 단면2차모멘트의 기준값 및 이론값을 실험적으로 검증하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 모멘트 분포형상이 다른 모든 실험체에 대하여 이론값들이 실험으로부터 구한 유효 단면2차모멘트 I_e 값을 근사적으로 예측할 수 있는 것으로 나타났으며, 모멘트 분포에 따른 유효 단면2차모멘트의 차이는 일반강도 실험체에서는 10 퍼센트 이하였으며 고강도 실험체에서는 $0.4M_{cr} < M_a < 3M_{cr}$ 인 구간에서 중앙 집중 가력 실험체와 2점 가력 실험체가 20~30 퍼센트의 차이를 보였다.
- 2) 유효 단면2차모멘트의 실험값과 이론값을 비교해 본 결과 전체적으로 유효 단면2차모멘트 실험값이 이론값보다 작게 측정되었다. 따라서 중앙 집중 하중 및 2점 집중 하중 상태에 적용 가능한 제안식이 필요하다고 판단된다.

감사의 글

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2004년도 건설핵심기술연구개발사업(과제번호: 04핵심기술C02-02)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Branson Dan E., "Design Procedures for Computing Deflection", ACI Journal, Vol.65, No.9, Sept. 1968, pp. 736~742.
2. Rajeh Z. Alzaid, Abdulrahman H. Al-Shaikh, and Mustafa M. Abu-Hussein, "Effect of Loading Type on the Effective Moment of Inertia of Reinforced Concrete Beams", ACI Structural Journal, Vol.65, No.9, Mar. 1993, 144~149.
3. Abdullah M. F. and Cledwyn T., "Development of a Model for the Effective Moment of Inertia of One-Way Reinforced Concrete Elements", ACI Structural Journal, Vol.95, No.4, Mar. 1998, 444~455.