

콘크리트 구조 설계기준과 Eurocode 2의 처짐 산정에 관한 실험적 고찰

Experimental Study on Deflection Evaluation of KCI specification and Eurocode 2

이인주* 김태완** 오석민* 김준원* 박선규***
Lee, In-Ju* Kim, Taewan** Oh, Seok Min* Kim, Junwon* Park, Sun Kyu***

ABSTRACT

Deflection in terms of serviceability of reinforced concrete structures is considered as one of significant factor. Domestic concrete specification offers a procedure to evaluate deflection using effective moment of inertia at cracked section, which has been known as Branson's equation in ACI. Branson's equation was derived from statistical analysis of maximum deflection of flexural members, but is somewhat weak in no reflection of bond characteristics between reinforced bars and concrete, such as tension stiffening effect. Therefore, present code creates difference from actual deflection. In this study, experiments about deflection of RC beams was completed to compare domestic standard and Eurocode 2, which calculates deflection considering tension stiffening effect. Four RC beams were built and tested, and initial modulus of elasticity and tensile strength of concrete used in the test was calculated by each design standard.

요 약

철근 콘크리트 구조물의 사용성 검토에서 처짐은 가장 중요하게 고려된다. 국내 콘크리트 구조 설계 기준은 ACI 코드와 같이 Branson이 제시한 균열 단면에서의 유효 단면2차모멘트를 이용하여 처짐을 계산하고 있다. Branson식은 일반적인 휨 부재의 최대 처짐값을 통계적으로 분석하여 유도된 식으로 인장증강 효과와 같은 철근과 콘크리트의 부착특성을 직접 반영할 수 없는 단점을 가진다. 따라서 현 콘크리트 구조 설계기준식을 철근 콘크리트 구조물에 반영하면 실제 처짐과 많은 차이가 생길 수 있다. 이에 대해 본 연구에서는 구조설계기준과 Eurocode 2로부터 산정된 처짐값을 실험에 의한 처짐값과 비교하였다. Eurocode 2에서는 인장증강효과를 고려한 철근의 평균 변형률로 곡률을 계산한 후 적분을 통해 처짐을 계산하기 때문에 콘크리트 구조 설계식보다 실제 처짐을 좀 더 정확하게 예측할 것으로 기대된다. 강도설계법으로 설계된 4개의 실험체가 고려되었으며, 처짐 계산 시 사용되는 콘크리트의 탄성계수나 인장강도 등은 각각의 설계기준에 따라 계산하였다.

*정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과, 석사과정

**정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과, 연구 조교수

***정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과, 교수

1. 서론

철근 콘크리트 구조물은 안전성과 사용성을 만족해야 한다. 현재 철근 콘크리트 구조물은 강도설계법으로 설계하는 것이 일반적인 경우이다. 강도설계법으로 설계된 경우 구조물의 안전성은 극한 하중 하에서 그리고 사용성은 사용하중 상태에서 검토한다. 사용성의 주요한 인자로는 처짐, 균열, 진동 등이 있는데 사용성 검토시에 일반적으로 처짐이 가장 우선시 되는 것이 보통이다. 처짐 산정식은 크게 부재의 유효휨강성을 이용하는 방법(강도설계법 USD)과 철근의 평균 변형률로 곡률을 계산하는 방법(한계상태설계법, LSD)이 있다. 부재의 유효휨강성을 이용하는 방법은 국내 콘크리트 구조설계기준에서 채택하고 있는 방법으로 미국의 ACI 코드가 대표적이다. 철근의 평균 변형률을 이용하여 계산한 방법은 Eurocode 2 등에서 채택되고 있다. 본 연구에서는 이 두 가지의 처짐 산정식을 실제 처짐 값과 비교 분석하고자 한다.

2. 철근 콘크리트 부재의 처짐식

2.1 콘크리트 구조설계기준

국내 콘크리트 구조설계기준의 처짐 산정식은 ACI에서 사용하고 있는 식을 차용하여 철근 콘크리트 부재의 유효 휨강성을 다음과 같이 표현하고 있다.

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

여기서 M_{cr} , M_a 는 균열 모멘트 및 작용 모멘트를 나타내고 I_g , I_{cr} 은 비균열 단면 2차모멘트 및 균열 단면 2차모멘트를 나타낸다. 콘크리트의 탄성계수는 30 MPa을 기준으로 다음과 식과 같이 제시하고 있다.

$$E_c = 0.043w_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}} \quad (f_{ck} \leq 30 \text{ MPa}) \quad (2)$$

$$E_c = 0.030w_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}} + 7,700 \quad (f_{ck} > 30 \text{ MPa})$$

콘크리트 인장강도는 다음과 같이 제시하고 있다.

$$f_r = 0.63 \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{MPa}) \quad (3)$$

2.2 Eurocode 2

철근 콘크리트 부재의 처짐은 균열이 예상되는 경우 부재는 비균열 조건과 균열 조건 사이의 상태로 거동할 것이고, 휨에 지배되는 경우의 거동은 다음과 같이 표현하고 있다.

$$\alpha = \zeta \alpha_{II} + (1 - \zeta) \alpha_I, \quad \zeta = 1 - \beta \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \quad (4)$$

α 는 변형률이나 곡률, 회전등으로 고려될 수 있는 매개 변수로 α 를 곡률로 취하여 적분하면 부재의 처짐을 계산할 수 있다. α_I , α_{II} 는 각각 비균열 단면 및 균열 단면 상태를 나타낸다. ζ 는 인장증강 효과를 고려한 분배계수로서, 축력이 작용하지 않는 휨부재의 경우 σ_{sr}/σ_s 는 M_{cr}/M 으로 나타낼 수 있다. β 는 단기 하중의 경우 1.0, 지속하중이나 반복하중에 대해 0.5를 취한다. 콘크리트의 탄성계수는 아래의 식과 같이 제시하고 있다.

$$E_{cm} = 22 [f_{cm}/10]^{0.3} \quad (\text{MPa}) \quad (5)$$

콘크리트의 평균 인장강도는 다음과 같이 제시하고 있다.

$$f_{ctm} = 0.30f_{ck}^{(2/3)} \quad (f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}) \quad (6)$$

$$f_{ctm} = 2.12\ln(1 + (f_{cm}/10)) \quad (f_{ck} \geq 50 \text{ MPa})$$

3. 실험체 제원 및 하중 재하 방법

실험체는 단순보 4개이며 위의 그림 1과 같이 단면 폭 b , 높이 h , 압축철근량 A'_s , 인장철근량 A_s , 부재총길이 L , 지점간 거리 L_n , 콘크리트 압축강도 f_{ck} , 철근항복응력 f_y , 유효깊이 d' , 압축연단에서 압축철근 도심까지의 거리 d' 으로 나타내었다. 표 1에서 보여지듯 실험체는 인장과 압축 철근은 모두 동일한 항복강도를 가지는 철근을 배치하였고 콘크리트 강도 24~30 MPa를 사용하였다. 전단 철근은 1번 실험체는 항복강도 400 MPa인 10mm 철근을 15cm 간격으로 배치하였고 나머지 실험체는 동일한 항복강도를 가지는 10mm 철근을 10cm 간격으로 배치하였다. 1번 실험체는 하중 재하점 간 거리 40cm, 2번 실험체는 20cm로 4점 재하를 실시하였고 3,4번 실험체는 3점 재하를 실시하였다.

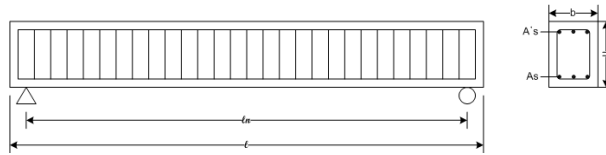


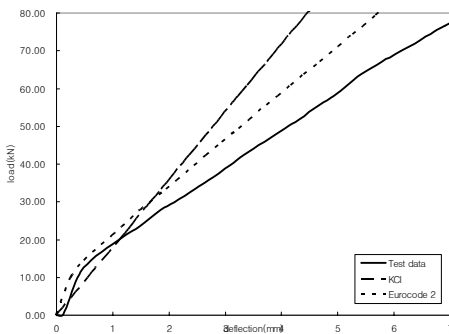
그림 1 실험체 정면도 및 단면도

표 1 실험체별 제원

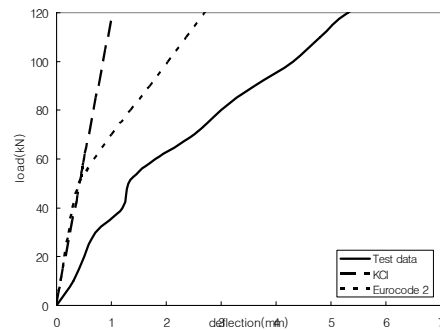
실험체	f_{ck} (MPa)	f_y (Mpa)	A'_s (cm ²)	A_s (cm ²)	b (cm)	h (cm)	d (cm)	d' (cm)	ℓ (cm)	ℓ_n (cm)
1	24	400	1.426	3.972	15	25	20.2	4.5	200	220
2	30	400	3.801	5.958	30	45	40.2	4.65	300	330
3	27	400	3.801	2.139	20	30	25.5	4.65	300	340
4	24	400	3.801	2.139	20	30	25.5	4.65	240	270

4. 결과

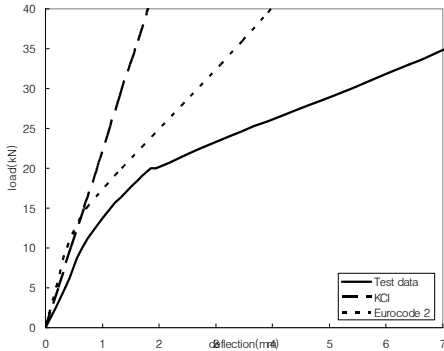
하중-처짐에 대한 실험결과는 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서 보여지듯, Eurocode 2의 처짐 산정은 콘크리트 구조 설계기준보다 실험에 의한 처짐에 근접한 결과를 보였으나, 두기준 모두 실제 처짐을 과소평가하였다. 또한 그림 2에서 4개의 실험체 모두 하중 재하 초기에는 콘크리트 구조 설계 기준, Eurocode 2, 실험치가 유사한 거동을 보이거나 하중재하가 진행됨에 따라 두 기준은 실제 거동과 큰 차이를 나타냈다.



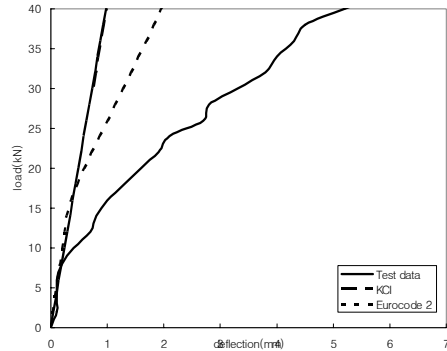
(a) 실험체 1의 실험결과



(b) 실험체 2의 실험결과



(c) 실험체 3의 실험결과



(d) 실험체 4의 실험결과

그림 2 하중-처짐 실험결과 비교

5. 결론

Eurocode 2의 기준이 콘크리트 구조 설계기준보다 실제 처짐을 정확하게 예측하였다. 통계적인 해석을 통한 부재의 유효휨강성을 이용하여 부재의 처짐을 구하는 방법보다 인장 철근 변형률로 곡률을 계산한 후 처짐을 구하는 방법은 집중하중이나 등분포 하중 등과 같은 하중 재하 상태를 반영할 수 있고 철근의 인장증강 효과를 고려하기 때문에 합리적으로 판단된다. 하지만, Eurocode 2의 기준 역시 하중이 증가하거나 인장 철근비가 낮은 실험체에서의 처짐 예측은 정확도가 낮아지는 것을 보인다. 이는 부재의 인장철근이 높은 응력을 받는 상태에서는 처짐을 효과적으로 예측하지 못함을 알 수 있다. 곡률을 이용하여 처짐을 구하는 방법은 인장증강 효과를 고려한 철근의 평균 변형률을 정확하게 예측하는 것이 중요하다. 따라서 다양한 변수를 고려한 실험적 연구를 통한 인장증강효과를 규명하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 산하 한국건설교통기술평가원의 「성능중심의 건설기준 표준화 연구단」에 의해 수행되는 2006 건설교통 R&D 정책 인프라 사업(06-기반구축-A-01)의 지원에 의하여 이루어졌음을 밝히며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, 콘크리트 구조설계기준, 2003.
2. 김지상, 이광명, 최연왕, 양은익, “각국 콘크리트 구조설계기준의 재료특성 규정 비교”, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집 제 19권 1호, 2007.
3. Eurocode 2, Design of Concrete Structures, 2002.
4. ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005.
5. fib(CEB-FIP), Structural Concrete-Textbook on Behaviour, Design and Performance Updated knowledge of the CEB/FIP Model Code 1990, 1999.