콘크리트구조설계기준과 Eurocode 2의 고강도 콘크리트 처짐 산정에 관한 연구

Study on Deflection Evaluation for High-strength Concrete of KCI Specification and Eurocode 2

이 인 주' 김 태 완" 김 성 후 손 창 두 박 선 규" Lee, In-Ju Kim, Taewan Kim, Sung-hu Son, Chang-du Park, Sun-Kyu

ABSTRACT

Recently, high-strength concrete has been frequently used for long-span bridges and high-rise buildings. Deflection of reinforced concrete structures is uncertain, so that many researchers have proposed various equations in order to predict deflection through experiments. Domestic concrete specification offers a procedure to evaluate deflection using effective moment of inertia which was proposed by Branson. However, it is inaccurate for high strength concrete compared to the method suggested in Eurocode 2 in that Eurocode 2 predicts deflection by using curvature integration of effective moment of inertia. In this study, experimental data about deflection of reinforced concrete beams were analyzed to compare domestic standard and Eurocode 2.

요 약

최근 교량 구조물의 장지간화와 건물의 초고층화에 따라 고강도 콘크리트가 많이 적용되고 있다. 철근 콘크리트 구조물의 처짐은 균열의 발생으로 그 거동이 불확실하여 많은 연구자들은 실험을 통하여 처짐을 예측하는 식을 제안하였다. 현재 국내 콘크리트구조설계기준에서는 Branson이 제시한 유효 휨강성을 이용한 처짐 산정식을 제안하고 있다. 하지만 이 식은 보통강도 콘크리트를 대상으로 등분포 하중상태에서 실시한 실험결과를 토대로 도출한 처짐 산정식이므로 다른 하중상대나 고강도 콘크리트 부재에서는 잘 맞지 않는다. 유효 휨강성을 이용하여 처짐을 구하는 방법과는 달리 Eurocode 2에서는 곡률을 적분하여 처짐을 산정하는 방법을 제안하고 있다. 본 연구에서는 고강도 콘크리트 보의 실험데이터를 이용하여 콘크리트구조설계기준과 Eurocode 2의 처짐산정식에 의하여 계산된 처짐값과 비교・분석하고자 한다.

^{*} 정회원, 성균관대학교, 건설환경시스템공학과, 석사과정

^{**} 정회원, 성균관대학교, 건설환경시스템공학과, 연구조교수

^{***} 정회원, 성균관대학교, 건설환경시스템공학과, 교수

1. 서 론

철근 콘크리트구조물의 처짐은 균열의 발생으로 인하여 그 거동을 예측하기 힘들다. 이에 연구자들은 많은 실험을 통하여 처짐 산정식을 제안하였다. 국내 콘크리트구조설계기준과 ACI에서는 Branson이 제시한 유효 휨강성을 이용한 처짐산정식을 제안하고 있다. 유효 휨강성은 탄성계수와 유효 단면2차모멘트의 곱이며, 대부분의 경우에 유효 휨강성은 비균열 단면2차모멘트와 균열 단면2차모멘트 사이의 값을 가지게 된다. 이에 반해 Eurocode 2에서는 부재의 곡률을 적분하여 처짐을 산정하는 방법을 제안하고 있다. 균열 단면에서의 부재의 곡률은 비균열 단면일 때의 곡률과 완전균열 단면일 때의 곡률 사이의 값을 가진다.

2. 처짐 산정식에 대한 이론적 고찰

2.1 콘크리트구조설계기준

콘크리트구조설계기준에서는 철근콘크리트 구조물의 처짐을 구하기 위해서 유효 휨강성을 이용한다. 철근콘크리트 구조물은 하중에 의하여 균열이 발생하게 되는데 부재의 축방향을 따라 균열의 폭과 균열의 정도가 달라서 부재의 축방향을 따라 단면의 강성이 달라지게 된다. 콘크리트구조설계기준에서는 부재의 축방향을 따라 강성이 일정하다고 가정하고 처짐을 계산한다. 유효 휨강성은 콘크리트의 탄성계수와 유효 단면2차모멘트의 곱 (E_cI_e) 으로 구하며 유효 단면2차모멘트는 다음의 식으로 표현된다.

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

여기서, I_e , I_g , I_{cr} 는 유효 단면2차모멘트와 비균열 단면2차모멘트, 그리고 균열단면 2차모멘트이고, M_{cr} 와 M_a 은 균열 모멘트와 부재에 작용하는 모멘트를 나타낸다. M_a 는 집중하중이나 등분포하중같은 하중 상태에 상관없이 부재에 작용하는 최대 모멘트로서 콘크리트구조설계기준에 의해 처짐을 산정할 경우 하중 형태에 따른 영향을 고려하지 못하는 단점이 있다.

2.2 Eurocode 2

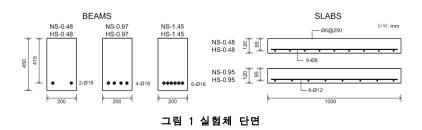
Eurocode 2의 처짐 산정식은 곡률을 적분하여 처짐을 산정하게 된다. 사용하중 상태에서 철근콘 크리트구조물의 단면은 균열이 발생한 상태와 그렇지 않은 상태가 동시에 존재한다. Eurocode 2에 서는 균열이 발생한 단면의 상태를 다음과 같은 식으로 표현한다.

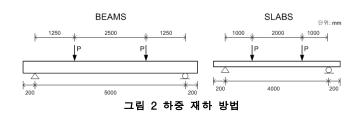
$$\alpha = \zeta \alpha_{11} + (1-\zeta)\alpha_1$$

여기서, α 는 변형률이나 곡률, 회전등으로 고려될 수 있는 변수이다. α 를 곡률로 취하여 적분하면 처짐을 구할 수 있다. α_1 , α_{11} 는 각각 비균열 및 완전 균열 단면일 때의 변수를 의미한다. ζ 는 인장증강효과를 고려한 분배계수이며 $\zeta=1-\beta\left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2$ 이다. σ_s , σ_{sr} 는 철근의 응력과 부재에 첫 균열이 발생했을 때의 철근의 응력이다. β 는 단기 하중이 작용했을 경우 1.0, 지속하중이나 반복하중이 작용하면 0.5를 사용한다. 부재에 축력이 작용하지 않으면 σ_{sr}/σ_s 는 M_{cr}/M_a 로 치환할 수 있다.

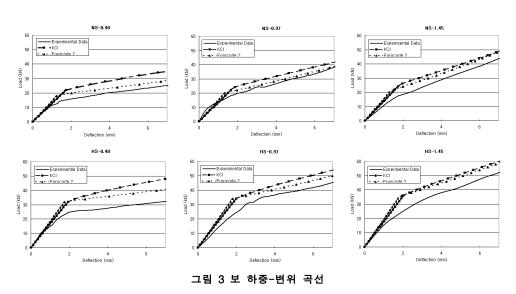
3. 고강도 콘크리트 처짐에 관한 해석

본 연구에서는 Lambotte & Taerwe (1990)가 수행한 6개의 보와 4개의 슬래브의 실험 데이터를 이용하여 처짐 산정식에 의한 처짐결과를 분석하였다. 실험에 사용한 콘크리트의 압축강도는 36 MPa, 83 MPa이다. 보 및 슬래브의 단면과 하중 재하 방법은 각각 그림 1과 그림 2에 나타내었다. 실험체명의 NS, HS는 보통강도 및 고강도 콘크리트를 의미하여 뒤의 숫자는 철근비를 나타낸다.





해석에 사용된 재료의 물성치는 각 설계기준에서 제시하는 기준에 따라 계산하였다. 콘크리트구조설계기준과 Eurocode 2에서 제안하는 처짐 산정식을 이용하여 각 하중단계별로 처짐을 예측하여 실제처짐과 비교하였고, 그 결과를 그림 3, 4와 같이 하중-처짐 곡선으로 도시하였다. 각 기준별 처짐 산정식의 정확성을 실험 결과와 비교·평가하기 위하여 사용 한계 처짐에서의 하중값을 비교하였다.



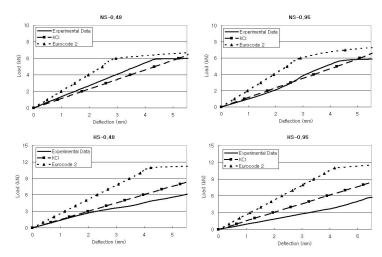


그림 4 슬래브 하중-변위 곡선

균열전 휨강성은 Eurocode 2가 콘크리트구조설계기준보다 높게 평가되었다. 보 실험체군에서 사용한계 처짐 6.25 ㎜에서 콘크리트구조설계기준의 처짐산정식에 의해 계산된 하중은 Eurocode 2에 비해 NS-0.48 실험체에서 22.79%, NS-0.97에서 8.31%, NS-1.45에서 2.47%, HS-0.48에서 16.96%, HS-0.97에서 7.77%, HS-1.45에서 2.53% 높은 값을 보였다. 슬래브 실험체군에서는 사용한계 처짐 5㎜에서 콘크리트구조설계기준의 처짐산정식에 의해 계산된 하중은 Eurocode 2에 비해 NS-0.48 실험체에서 11.65%, NS-0.95에서 17.13%, HS-0.48에서 31.74%, HS-0.95에서 32.14% 낮게 계산되었다. 이는 보실험체군에서 철근비가 높을수록 두 설계기준은 비슷한 경향을 나타내었다. 슬래브 실험체군에서는 보 실험체군에서의 결과와는 다르게 반대의 경향을 나타내었다.

4. 결 론

- 1. 대체로 콘크리트구조설계기준과 Eurocode 2 산정식은 실제 처짐을 과소평가하는 경향을 보이므로 처짐에 대해 안전측을 보장하지는 못하는 것으로 나타났다.
- 2. 보 실험체에서 콘크리트구조설계기준보다 Eurocode 2의 기준에 의한 처짐 예측은 실제 실험체의 처짐을 보다 정확하게 예측하였다.
- 3. 슬래브 실험체에서 콘크리트구조설계기준이 Eurocode 2의 기준보다 실제 처짐을 좀 더 정확하게 예측하는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 논문은 "건설교통R&D정책·인프라사업 성능중심의 건설기준 표준화과제(06기반구축A01)"의 지원을 받아 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1. 콘크리트 표준시방서 해설, 한국콘크리트학회, 2007
- 2. Eurocode 2, Design of Concrete Structures, 2004.
- 3. Lambotte, H. and Taerwe, L.R. (1990) Deflection and Cracking of High-Strength Concrete Beams and Slabs, *ACI special publication*, Vol.121, pp. 109-128.