

설계기준과 AEMM에 의해 추정된 장기처짐량의 비교

Comparative Study of Long-Term Deflection Estimated by KCI Code Multiplier and Age-adjusted Effective Modulus Method

최 재 근* 김 수 만**
Choi, Jae Keun Kim, Su Man

ABSTRACT

It is specified in KCI code that long-term deflection shall be determined by multiplying the immediate deflection by KCI code multiplier, unless it is obtained by a more comprehensive analysis. Therefore, in this study, the estimation method of long-term deflection by KCI code multiplier is known reasonable by comparing analysis results using KCI code multiplier and AEMM.

1. 서론

콘크리트는 양생환경, 하중조건 및 시간에 따른 크리프와 건조수축의 영향으로 비탄성적인 변형과 곡률, 그리고 응력과 내력의 재분배를 일으키고, 이로 인해 사용하중하에서 과도한 처짐을 일으킬 수 있다. 따라서 탄성처짐 뿐만 아니라 시간에 따른 장기처짐에 대한 검토도 매우 중요하다. 콘크리트 구조설계기준에서는 '종합적인 해석에 의하지 않는 한, 일반 또는 경량콘크리트 휨부재의 크리프와 건조수축에 의한 추가 장기처짐은 해당 지속하중에 의해 생긴 순간처짐에 장기 추가처짐에 대한 계수를 곱하여 구할 수 있다.'고 규정되어 있다. 본 연구에서는 CEB-FIP(90) 모델에 의해 시간에 따른 크리프와 건조수축계수를 구하고, 이 값을 Bazant가 제시한 재령-보정된 유효탄성계수법(AEMM)에 적용하여 보다 엄밀하게 장기처짐량을 추정하고, 이결과를 설계기준에 따라 추정한 장기처짐량과 비교 검토하여 설계기준에서 제시된 장기처짐 추정방법의 적정성을 조사하였다.

2. 장기처짐 추정

2.1 콘크리트 설계기준에 의한 처짐량 산정

콘크리트 설계기준에서 처짐량을 제한하는 방법에는 보 또는 1방향 슬래브의 경우, 부재의 최소두께

* 정회원, 수원대학교 토목공학과 석사과정

** 정회원, 수원대학교 토목공학과 교수

및 높이를 규정한다. 이때, 부재의 깊이가 경간에 대한 비보다 크게 되면 처짐에 대해 검토하지 않아도 된다. 또한, 설계기준의 최소두께보다 작게 설계한 경우, 순간처짐 및 장기처짐을 포함한 처짐량이 허용 처짐 내에 들어야 한다. 이때, 콘크리트의 크리프 및 건조수축에 의한 추가 장기처짐은 해당 지속하중에 의해 생긴 순간처짐에 다음 계수를 곱하여 구할 수 있다.

$$\lambda = \frac{\xi}{1+50\rho'} \dots\dots\dots (1)$$

여기서, λ : 장기 추가처짐에 대한 계수,
 ξ : 지속하중에 대한 시간경과계수
 ρ' : 압축철근비

2.2. AEMM(Age-adjusted Effective Modulus Method)에 의한 처짐량 산정

임의시간 간격동안 변형률의 상태는 일정하게 유지된다고 가정한다. 전체변형률이 일정하게 유지되고 크리프와 건조수축에 의해 순간탄성변형률이 변하게 되어, 응력은 릴랙세이션으로 인해 자유로이 변한다. 그 결과 내력은 변하고 평형이 유지되지 못한다. 평형을 유지하기 위해 크리프와 건조수축에 의한 변형은 인위적인 구속력 $-\Delta N$ 과 $-\Delta M$ 을 적용시켜 평형상태로 만든다. 이때, $-\Delta N$ 과 $-\Delta M$ 는 다음식과 같다.

$$-\Delta N = -\overline{E}_e [\phi(A_c \varepsilon_{\alpha} - B_c \kappa_i) + \varepsilon_{sh} A_c] \dots\dots\dots (2)$$

$$-\Delta M = -\overline{E}_e [\phi(-B_c \varepsilon_{\alpha} + I_c \kappa_i) - \varepsilon_{sh} B_c] \dots\dots\dots (3)$$

상단기준선에 대해 점진적으로 작용한 축방향력 ΔN 과 ΔM 에 의해 발생된 상연변형률과 곡률의 증가량은 재령-보정된 유효탄성계수(\overline{E}_e)가 사용하여 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\Delta \varepsilon_0 = \frac{\overline{B}_e \Delta M + \overline{I}_e \Delta N}{\overline{E}_e (\overline{A}_e \overline{I}_e - \overline{B}_e^2)} \dots\dots\dots (4)$$

$$\Delta \kappa = \frac{\overline{A}_e \Delta M + \overline{B}_e \Delta N}{\overline{E}_e (\overline{A}_e \overline{I}_e - \overline{B}_e^2)} \dots\dots\dots (5)$$

여기서, \overline{A}_e 는 재령-보정된 단면의 면적, \overline{B}_e : 재령-보정된 환산단면의 면적 1차모멘트, \overline{I}_e : 재령-보정된 환산단면의 면적 2차모멘트이다.

단면의 균열 발생시 인장강성 효과를 포함한 평균균열단면으로 해석한다. 인장강재가 배치된 위치에 있는 콘크리트 면적이 강성을 제공하는데 효과적이라고 가정하고, 단기시험 결과를 기초하여 R.I Gilbert가 제시한 인장콘크리트 면적 (식 6)과 강재 배치위치에서 전체 등가콘크리트 면적 (식 7)을

사용한다. 여기서, n_m 은 $n + \frac{A_{\alpha}}{A_{st}}$ 로 인장철근에 대한 보정탄성계수비이다.

$$A_{\alpha} = \beta_1 \beta_2 [0.21 b_w d - n A_{st}] \left(\frac{M_c}{M} \right)^2 \dots\dots\dots (6)$$

$$n A_{st} + A_{\alpha} = A_{st} \left(n + \frac{A_{\alpha}}{A_{st}} \right) = n_m A_{st} \dots\dots\dots (7)$$

위 식을 적용하여 평균균열단면의 중립축의 깊이, 초기 변형률 및 곡률을 구하고 AEMM에 적용하

여 시간에 따른 변형률($\Delta\varepsilon_0$) 및 곡률($\Delta\kappa$)을 구한다. 하중재하시 발생하는 탄성변형률(ε_{0i})과 곡률(κ_i)에 크리프와 건조수축에 의해 발생하는 ΔN 과 ΔM 을 고려한 추가곡률($\Delta\kappa$)의 증분을 더한 최종곡률로써 구조물의 처짐을 구한다. 집중하중(식 8)과 등분포 하중(식 9)에 의한 처짐식은 다음과 같다.

$$\delta_C = \frac{L^2}{48}(\kappa_A + 4\kappa_C + \kappa_B) \dots\dots\dots (9)$$

$$\delta_C = \frac{L^2}{96}(\kappa_A + 10\kappa_C + \kappa_B) \dots\dots\dots (10)$$

여기서, κ_C 는 중앙단면에서의 곡률이고 κ_A 와 κ_B 는 각각 지점부 곡률이다.

3. 선택된 단면의 처짐량 추정

설계강도 $f_{ck} = 27Mpa$ 이고, 개념 부재치수 199mm, 외기의 상대습도 60%, 온도 20° 일 때, 경간이 10m이고, T형 단면(그림 3) 휨부재에 자중 3.3kN/m, 활하중 24kN/m를 재하하고, 활하중의 60%가 지속하중으로 작용한다고 볼 때, CEB-FIP(90) 모델에 의해 시간에 따른 크리프 및 건조수축을 재령 30년까지 산출하였다. 산출한 크리프 계수 및 건조수축률을 AEMM에 적용하여 시간에 따른 처짐을 구하여 설계기준에 따른 처짐량과 비교해 보았다. 복철근 직사각형 단면(그림 5)도 같은 방법으로 적용했다.

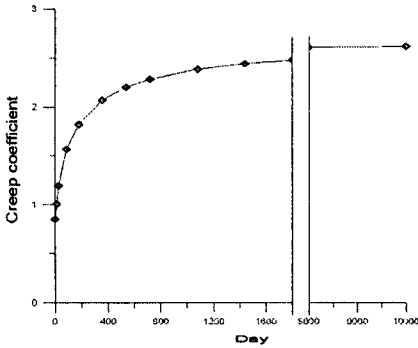


그림 1 시간에 따른 크리프 계수

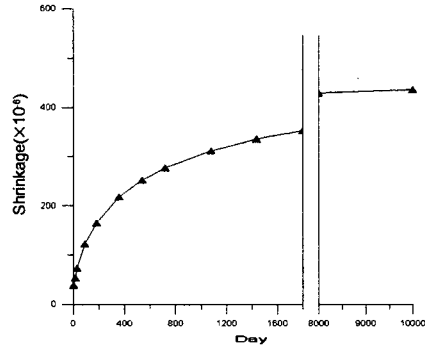


그림 2 시간에 따른 건조수축

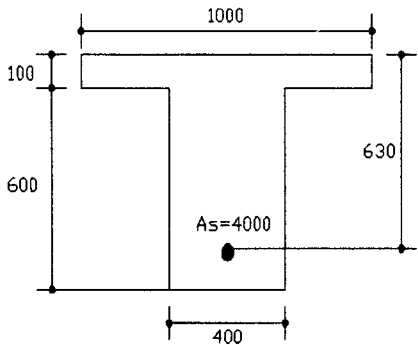


그림 3 T형 단면

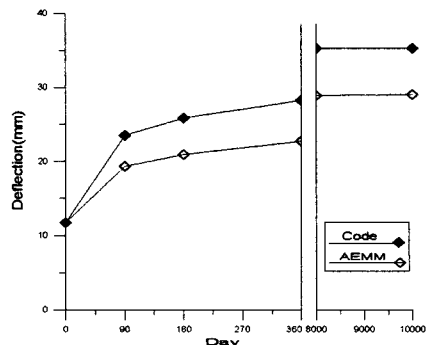


그림 4 AEMM과 Code의 처짐비교

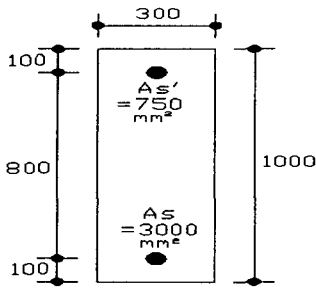


그림 5 복철근 직사각형단면

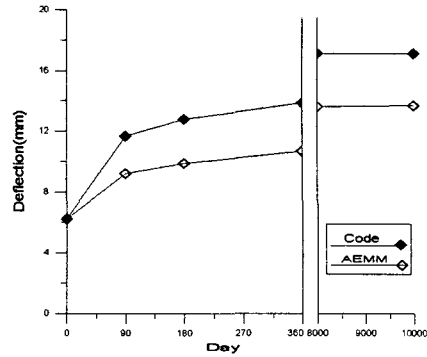


그림 6 AEMM과 Code의 처짐비교

	T형 단면		복철근 직사각형 단면	
	Code	AEMM	Code	AEMM
탄성처짐(mm)	11.75	11.75	6.22	6.22
재령 30년까지 추정된 추가 장기처짐(mm)	23.50	17.24	10.93	7.48

표 2 지속하중에 의한 T형 및 복철근 직사각형 단면의 처짐량

4. 결 론

- (1) 콘크리트구조설계기준에 규정된 장기처짐 추정방법에 의해 산정된 추가 장기처짐량은 AEMM에 의한 엄밀해석 결과에 비해 상당히 보수적임을 알 수 있었다.
- (2) 콘크리트구조설계기준에 규정된 추가 장기처짐 추정방법은 주위환경에 따른 영향을 고려하지 않고, 단면의 재원, 재하하중 및 시간에 따른 영향만을 고려하였다. 따라서 주위환경이 특이한 경우에는 크리프와 건조수축을 보다 엄밀하게 추정하여 이를 AEMM에 적용시켜 추가 장기처짐량을 추정하는 것이 바람직하다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, “콘크리트 구조설계기준 해설”, 2003
2. R.I. GILBERT, “Time Effects in Concrete Structures”, ELSEVIER, 1988
3. A.Ghali and R.Favre, “Concrete Structures: Stresses and Deformations” Chapman and Hall, 1986
4. ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318-02) and Commentary(ACI 318R-02)” American Concrete Institute, 2002
5. 송상용, “철근콘크리트 보의 장기처짐에 대한 연구” 한국구조물진단학회, 2002
6. 김진근, “철근콘크리트 균열단면의 장기거동 해석”, 대한토목학회, 1999