

# RC 빔 부재에서 크리프 계수 추정

## Estimation of creep coefficient in reinforced concrete beam

박 종 범\*      조 재 열\*\*      박 봉 식\*\*\*  
Park, Jong Bum    Cho, Jae Yeol    Park, Bong Sik

### ABSTRACT

Concrete structures show time-dependent behavior due to creep and shrinkage of concrete and the uncertainties of creep and shrinkage are very huge. To reduce uncertainties of creep and shrinkage, it is substantially necessary to perform the long-term creep and shrinkage tests, but actual construction process doesn't allow it due to the limited time. Even though the tests are performed in laboratory, the values obtained from the tests could be different from the actual values in construction site because of the different environment between the laboratory and construction site and the model uncertainty itself. It is difficult to predict the long-term behaviors of concrete structures properly if the assumed creep coefficient obtained from Codes or the results of experiments is different from the real characteristics of concrete creep.

In this study, for predicting the long-term behavior, the creep coefficients in reinforced concrete beams are estimated using creep sensitivity analysis from the measured deflections with time. And estimated creep coefficients using creep models of ACI Committee 209 and CEB-FIP MC90 are compared.

### 요 약

콘크리트 구조물은 콘크리트의 크리프와 건조수축 등의 영향으로 시간의존거동을 한다. 그리고 크리프와 건조수축의 불확실성은 매우 크다. 크리프의 불확실성을 줄이기 위해서 실험을 통하여 크리프 특성을 얻는 것이 필요하다. 연구실에서의 실험을 통한 결과를 언더라도 환경 요인과 모델 자체의 불확실성 등에 의해서 실제 구조물에서는 크리프 특성이 다를 수 있다. 코드식이나 실험에 의해서 얻은 크리프 계수와 실제 구조물에서의 크리프 계수의 실제 물성 차이가 있다면, 구조물의 장기 거동을 적절히 예측하지 못하게 된다.

본 논문에서는 장기거동을 잘 예측하기 위해 시간에 따라 측정된 처짐으로부터 크리프 계수를 추정하였다. RC 빔 부재의 시간에 따른 처짐을 측정된 자료로부터 크리프 계수 민감도 해석을 이용하여 크리프 계수를 추정하고 ACI Committee 209와 CEB-FIP MC90에서 제시하는 크리프 모델에 따른 크리프 계수의 차이를 살펴보았다.

\* 정회원, 서울대학교 에너지자원신기술연구소 연구원

\*\* 정회원, 서울대학교 건설환경공학부 교수

\*\*\* 정회원, 서울대학교 건설환경공학부 석사과정

## 1. 서론

콘크리트 구조물은 콘크리트의 크리프와 건조수축 등의 영향으로 시간의존거동을 한다. 크리프와 건조수축의 불확실성은 크기 때문에 특히, 장기간 콘크리트 구조물에서는 크리프의 산정이 매우 중요하다. 따라서 현장에서 콘크리트 실험을 통하여 크리프 특성을 얻는 것이 필요하나 환경 요인 등에 의해서 실제 구조물에서는 다를 수 있다. 코드식이나 실험에 의해서 얻은 크리프 계수와 실제 구조물에서의 크리프 계수의 실제 물성 차이가 있다면, 구조물의 장기 거동을 정확히 예측하지 못하게 된다.

본 논문에서는 장기처짐을 잘 예측할 수 있도록 구조물에서 시간에 따라 측정된 처짐으로부터 크리프 계수를 추정하였다. RC 빔 부재의 시간에 따른 처짐을 측정한 자료로부터 크리프 계수 민감도 해석을 이용하여 크리프 계수를 추정하고 이 때 ACI Committee 209와 CEB-FIP MC90에서 제시하는 크리프 모델에 따른 차이를 살펴보았다.

## 2. 크리프 모델식의 비교

ACI Committee 209와 CEB-FIP Model Code 1990에서 제시하는 콘크리트의 크리프 계수는 다른 형태를 갖지만 모두 하중 재하 시점의 재령( $\tau$ )과 하중 지속 시간( $t-\tau$ )의 함수들과 콘크리트 배합 및 환경조건에 따른 값들로 각각 식(1)과 (2)와 같이 표현된다.

$$\phi(t, \tau) = K_1 f(\tau) g(t-\tau) \text{ for ACI Committee 209} \quad (1)$$

$$f(\tau) = \tau^{-0.118}, \text{ for moist cured concrete } \tau > 7 \text{ days}$$

$$= \tau^{-0.094}, \text{ for steam cured concrete } \tau > 3 \text{ days}$$

$$g(t-\tau) = \frac{(t-\tau)^{0.6}}{10 + (t-\tau)^{0.6}}$$

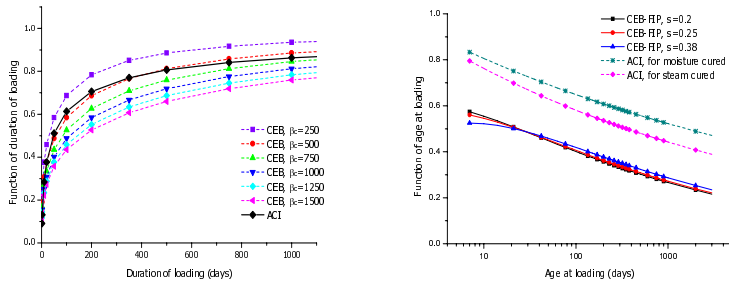
$$\phi(t, \tau) = \phi_{CEB} \frac{E(28)}{E(\tau)} = K_2 h(\tau) \beta_c(t-\tau) \text{ for CEB-FIP MC90}$$

(2)

$$h(\tau) = \frac{e^{-\frac{s}{2}(1-\sqrt{\frac{28}{\tau}})}}{0.1 + \tau^{0.2}}$$

$$\beta_c(t-\tau) = \left[ \frac{(t-\tau)}{\beta_H(RH, h) + (t-\tau)} \right]^{0.3}$$

여기서,  $K_1$ 과  $K_2$ 는 명목 크리프 계수(notional creep coefficient)이고, 극한 크리프 계수(ultimate creep coefficient)는 ACI 모델에서  $K_1 f(\tau)$ , CEB 모델에서  $K_2 h(\tau)$ 이다. 그림 1은 각각 ACI Model 과 CEB-FIP MC90의 크리프 계수 식에서 하중 지속시간에 따른 함수와 하중 재하 시점의 재령에 따른 함수를 나타낸다.



(a) 하중 지속 시간(  $t - \tau$  )의 함수 (b) 하중 재하 시점의 재령(  $\tau$  )의 함수

그림 1. 크리프 모델의 비교

### 3. 콘크리트 빔 부재의 크리프 계수 추정

명목 크리프 계수(  $K_1, K_2$  )에 대한 각 시간에서 변위의 영향행렬은 식 (1)과 (2)에서 각각  $K_1$  과  $K_2$  로 편미분하여 시간 단계별로 중첩하여 구한다(박종범<sup>1)</sup> 참조).

해석 대상은 Paulson<sup>2)</sup>이 실험한 3가지 인장 철근비를 갖는 길이 5.48m의 콘크리트 빔 부재들이다. 단면은 그림 2와 같으며 인장 철근은 모두  $4\text{cm}^2$ 이고 압축 철근이 각각 0, 2,  $4\text{cm}^2$ 인 경우이다. 콘크리트 압축강도와 탄성계수는 각각  $f_c = 37.2\text{MPa}$ ,  $E_c = 4730\sqrt{f_c} = 28.8\text{GPa}$  이고 철근의 항복 강도와 탄성계수는 각각  $f_y = 423.7\text{MPa}$ ,  $E_s = 200\text{GPa}$ 이다. 하중은  $3.85\text{KN/m}$ 이고 재령 46 일에 재하하였다. Paulson의 콘크리트 실린더 실험 결과로 주어진 극한 크리프 계수와 극한 건조수축량은 각각 2.6과  $800 \times 10^{-6}$ 이다.

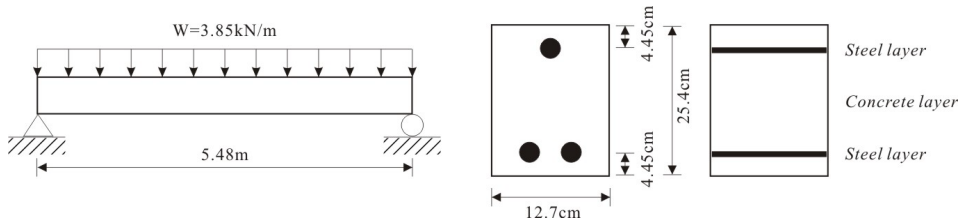
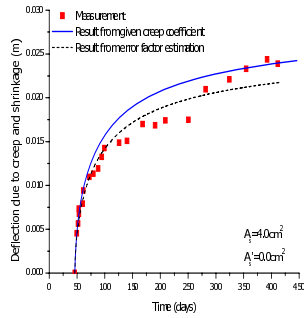


그림 2. 빔 부재의 단면

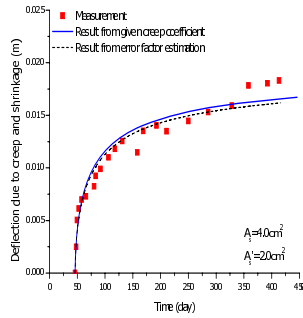
Paulson<sup>2)</sup>의 실험결과를 이용하여 빔 부재에서 시간에 따라 측정된 처짐값들로부터 명목 크리프 계수를 민감도 해석을 통하여 구하였고 하중재하시점인 46일에서의 극한 크리프 계수는 표 1에 나타내었다. 그림 3은 부재 중앙에서 시간에 따른 크리프와 건조수축에 의한 추가 처짐을 나타내며, 각 그래프는 빔 부재에서 측정된 처짐, 콘크리트 실린더로부터 구한 크리프 계수로 해석한 처짐, 추정된 크리프 계수로 구한 처짐을 나타낸다. (a) ~ (c)는 ACI Committee 209를, (d) ~ (f)는 CEB-FIP MC90을 이용하였을 때의 결과이다.

표 1. 측정된 처짐값으로부터 추정된 극한 크리프 계수

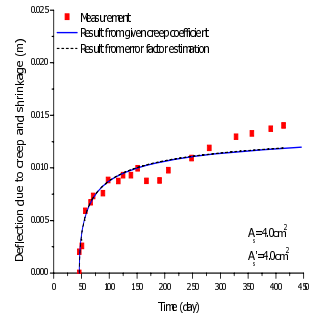
	Given ultimate creep coefficient	Estimated ultimate creep coefficient		
		$A_s' = 0.0\text{cm}^2$	$A_s' = 2.0\text{cm}^2$	$A_s' = 4.0\text{cm}^2$
ACI Model	2.60	2.27	2.51	2.61
CEB-FIP MC90	2.60	2.15	2.35	2.47



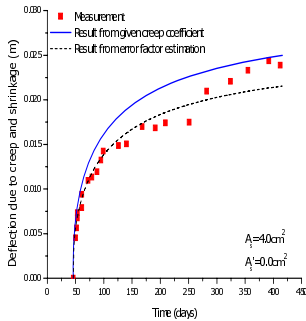
(a) ACI Model,  $A_s' = 0.0 \text{ cm}^2$



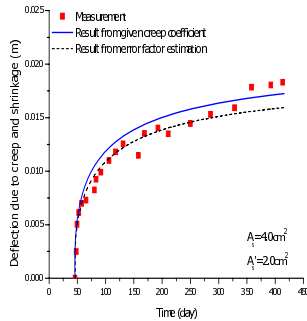
(b) ACI Model,  $A_s' = 2.0 \text{ cm}^2$



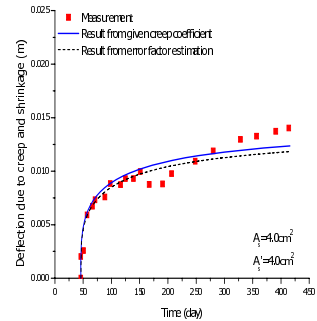
(c) ACI Model,  $A_s' = 4.0 \text{ cm}^2$



(d) CEB Model,  $A_s' = 0.0 \text{ cm}^2$



(e) CEB Model,  $A_s' = 2.0 \text{ cm}^2$



(f) CEB Model,  $A_s' = 4.0 \text{ cm}^2$

그림 3. 추정된 크리프 계수에 의한 처짐

#### 4. 결론

본 연구에서는 빔 부재 중앙에서 시간에 따라 측정된 처짐값을 이용하여 ACI Model과 CEB-FIP MC90의 크리프 모델을 적용하여 각각 극한 크리프 계수를 추정하였다. CEB-FIP MC90로 추정된 극한 크리프 계수가 ACI 모델로 추정된 값보다 작고 이는 모델 자체의 차이에 기인한 것으로 사료된다. 모델별로 결과의 차이는 있지만 실제 부재의 측정된 처짐과 오차를 줄일 수 있는 크리프 계수를 얻을 수 있었다. 이 방법은 크리프에 의한 장기처짐이 중요한 장기간의 PC교량과 콘크리트 사장교 등에 적용하여 시공오차보정과 장기거동예측에 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. 박종범, 박봉식, 장승필 (2008), “민감도 해석을 통한 크리프 계수 오차 보정”, 한국콘크리트학회 2008년도 봄 학술발표회 논문집, pp. 293-296
2. Paulson et al. (1991), “Long-term deflection of high strength concrete beams”, ACI material journal, Vol 88, pp.197-206