

# 조경 콘크리트 구조물의 사용성능 평가를 위한 균열폭 계산식 비교

이기열 · 김정인 · 최은서  
전남대학교 조경학과

## I. 서론

조경 콘크리트 구조물에서 균열의 제어는 미관을 중요시하는 조경 구조물에서 중요한 설계 요소일 뿐만 아니라, 장기적으로 철근의 부식을 유발시키는 수분이나 염분의 침투를 억제하는데도 중요한 역할을 한다. 그리고, 콘크리트 구조물의 균열은 사용성능의 저하와 함께 구조물의 내하력 및 구조성능을 저하시키거나 외관에 손상을 준다. 이와 함께 최근 콘크리트 구조설계 및 재료와 시공기술이 발전함에 따라 단면이 축소되고, 이에 따라서 인장철근에는 높은 인장력이 유발된다. 즉, 철근의 변형 또는 응력상태를 중요한 변수로 갖는 균열폭에 대해서 사용성능에 기반한 예측 및 평가의 중요성이 강조된다. 그러나, 최근 조경 콘크리트 구조물 설계 실무에서는 균열폭 계산을 직접적으로 수행하지 않고, 철근에 발생하는 응력수준 별 철근간격을 검토하는 간접균열제어만으로 사용성능 검증 또는 평가만을 수행하고 있으므로 구조물의 미관이나 장기 내구성 측면에서 문제가 발생할 수 있다. 이 연구는 조경 콘크리트 구조물의 설계를 위한 사용성능 평가의 중요한 요소인 균열폭 예측식에 대한 설계기준의 규정을 비교하여 설계실무에 활용하는 것을 목적으로 한다.

## II. 설계기준의 균열폭 계산식 규정

철근콘크리트 구조물에 발생하는 균열폭 계산식은 국내·외 설계기준들에서 각각 서로 다른 형태로 규정하고 있다. 대표적으로 국내는 콘크리트구조(설계)기준, 도로교설계기준 및 철도교설계기준에서, 국외는 미국 ACI-318, 유럽의 Eurocode 2와 CEB-FIP Model Code가 대표적이다. 이들 설계기준별 균열폭 계산식은 철근과 콘크리트의 부착특성을 고려한 이론식과 실험 결과로부터 균열폭에 영향을 주는 주요 변수들에 대한 통계분석을 이용한 경험식으로 구별되는데, 콘크리트구조기준, 도로교설계기준, CEB-FIP Model Code 1990(MC 90), Eurocode 2(EC 2)에서는 다음과 같은 이론식으로 규정한다.

$$w_k = l_{s,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} - \epsilon_{cs}) \quad (1a)$$

$$l_{s,max} = \frac{d_b}{3.6\rho_{ef}} \quad (1b)$$

$$l_{s,max} = 3.4c + 0.425k_1k_2 \frac{d_b}{\rho_{ef}} \quad (1c)$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \epsilon_{so} - \beta \frac{(1 + n\rho_{ef})f_d}{E_s\rho_{ef}} \quad (1d)$$

여기서,  $l_{s,max}$ 는 철근과 콘크리트 사이에 슬립이 발생한 길이(mm),  $\epsilon_{sm}$ 과  $\epsilon_{cm}$ 은 철근과 콘크리트의 평균변형률,  $\epsilon_{cs}$ 는 수축에 의한 콘크리트 변형률,  $\epsilon_{so}$ 는 균열면에서의 철근 변형률,  $d_b$ 는 철근 직경(mm),  $\rho_{ef}$ 는 유효인장단면적,  $c$ 는 피복두께(mm),  $n$ 은 탄성계수비( $=E_s/E_c$ ),  $E_s$ 와  $E_c$ 는 철근과 콘크리트의 탄성계수(MPa),  $f_d$ 는 콘크리트 인장강도(MPa),  $\beta$ 는  $l_{s,max}$  내에서 평균변형률을 평가하는 경험적인 계수이다.

이와는 다르게 콘크리트구조설계기준, 철도교설계기준 및 ACI-318에서는 다음과 같은 경험식으로 규정한다.

$$w = 1.08\beta_s f_s \sqrt[3]{d_c A} \times 10^{-5} \text{ (mm)} \quad (2)$$

여기서,  $\beta_s$ 는 중립축에서 인장연단까지의 거리를 중립축에서 인장철근의 도심까지의 거리로 나눈 값,  $d_c$ 는 인장연단에서 가장 가까이 있는 철근 중심까지의 거리(mm),  $A$ 는 인장철근을 둘러싸면서 철근과 같은 도심을 가진 인장면적을 철근의 개수로 나눈 콘크리트 유효인장면적(mm<sup>2</sup>)이다.

그런데, 식 (2)는 콘크리트구조기준, MC-90 및 EC 2의 규정과는 다르게 부착특성이나 철근의 변형률 계산 등의 직접적인 고려나 적절한 가정을 하지 않고, 단순하게 건조수축의 영향까지 포함하는 실험결과에 근거한 통계적 방법에 의해 변수들 간의 상관관계로만 유도되었다. 따라서 역학적 해석에 의한 이론적 근거를 갖는 모델로서는 적합하지 못하며, 단면형상이나 하중조건 등 변수들이 서로 달라질 경우에는 균열폭 예측 결과에 상당한 차이가 발생할 수도 있는 단점이 있다.

한편, 서론에서 언급한 바와 같이 콘크리트구조기준과 ACI-318에서는 균열폭을 직접 계산하지 않고 인장철근의 배치간격

을 제한하는 간접적인 방법으로 균열을 제어하도록 함께 규정하고 있다. 이 방법은 인장연단에서 가장 가깝게 위치한 철근의 응력  $f_s$  (MPa) 및 최소 피복두께  $c$  (mm)를 고려하고 균열폭 0.3mm만을 기준으로 하여 콘크리트 인장 연단에 배치되는 철근 중심 간격  $s$ 를 다음 두 식 중 작은값으로 제한함으로써 균열을 제어하는 것이다. 식 (3)과 같은 간접균열제어 방법은 식 (1) 또는 식 (2)와 같이 복잡하고 어려운 계산과정이 없이 균열 검토를 할 수 있는 편리함이 있지만, 도시저류조나 지하수가 접하는 조정시설물 또는 구조물에 적용하게 되면 누수 또는 균열에 의한 철근 부식 가능성을 직접 검토할 수 없는 단점이 있다.

$$s = 375 \left( \frac{210}{f_s} \right) - 2.5c_c \quad (3a)$$

$$s = 300 \left( \frac{210}{f_s} \right) \quad (3b)$$

### III. 균열폭 계산식의 비교 및 고찰

각 설계기준별 균열폭 계산식의 비교를 위하여 Bilal(2001), 강영진(1985), 고원준(2002) 등이 수행한 철근콘크리트 휨부재의 균열폭 실험자료와 비교하여 그림 1에 나타내었다. 이 그림을 살펴보면 국내 조정시설물 및 구조물 설계에 적용하는 콘크리트 구조설계기준(KCI)과 EC 2의 규정으로 계산한 균열폭은 실험 결과를 과대평가하고 있으며, 이와는 반대로 ACI-318과 MC 90의 균열폭 계산식은 실험결과를 대체적으로 과소평가하는 것으로 나타났다. 특히, 개정된 콘크리트구조기준에서 준용하고 있는 MC 90과 EC 2 균열폭 계산식 규정에 의한 계산 결과는 실험체에 따라 상당한 차이가 발생하는데, 이는 두 설계기준의 평균 변형률 차이에 대한 식은 동일하지만 균열폭 계산의 또 다른 중요 변수인 균열간격에 대한 규정이 서로 다르기 때문이라 판단된다. 따라서 조정시설물 및 구조물의 균열폭 검토를 위한 설계 기준 규정의 적용 시 각 계산식들이 갖는 특성과 설계조건을 충분히 검토하여 고려할 필요가 있다.

#### 참고문헌

1. ACI Committee 318 (2008) Building code requirements for structural concrete and commentary (ACI 318-08) ACI.
2. CEB-FIP (1991) CEB-FIP model code 1990, Comite Euro International Du Beton.
3. 한국콘크리트학회 (2003) 콘크리트구조설계기준, 한국콘크리트학회.

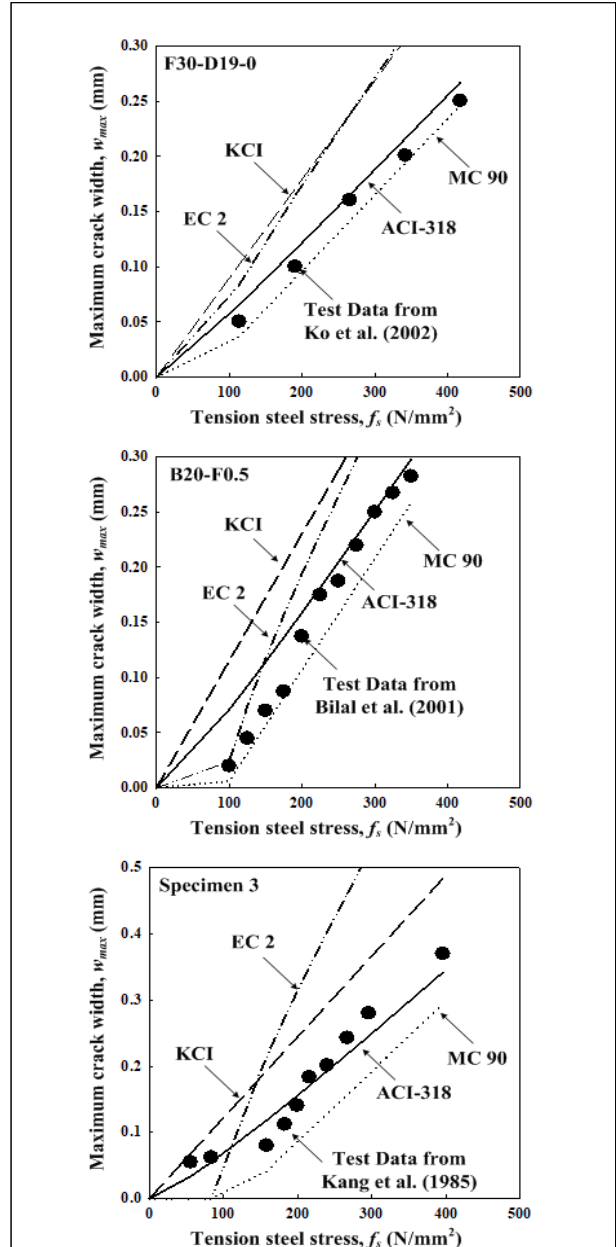


Figure 1. 설계기준 균열폭 계산식 비교

4. 한국콘크리트학회 (2012) 콘크리트구조기준, 한국콘크리트학회.
5. Bilal, S. H., and H. H. Mohamad(2001) Effect of fiber reinforcement on bond strength of tension lap splices in High-strength concrete, ACI Structural Journal 98(5).
6. 강영진, 오병환 (1985) 철근콘크리트 휨부재의 균열폭 및 균열간격의 결정, 대한토목학회 논문집 5(4).
7. 고원준, 박선규 (2002) 부착특성을 고려한 철근콘크리트 부재의 휨 균열폭 산정, 대한토목학회 논문집 22(4-A).