

콘크리트 구조물의 균열에 대하여

윤 우 현*

I. 머릿말

콘크리트 구조물에서 균열 발생은 피할 수 없는 것이다. 이런 사실로서 철근 콘크리트 구조물의 설계시 부재의 인장축은 균열이 형성된다고 가정하고 모든 인장력을 철근이 부담하도록 계산한다. PS-콘크리트 구조물에서는 인장축을 최대로 긴장하면서 균열 발생을 예방할 수 있다고 생각하나, 여러가지 복잡한 이유 등으로 인하여 균열을 완전히 막지는 못한다. 최근에는 균열로 인해 콘크리트 구조물이 손상되는 경우가 많아서 전문가들에 의해 균열 발생이론에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

- 부적절한 구조 설계 및 용도 변경에 따른 과도 하중의 작용, 지지, 부동침하
 - 콘크리트의 건조 수축, 수화열, 외기의 온도변화
 - 지보공 등의 불완전, 부적절한 양생 등 시공상의 원인
 - 철근 부식 및 동결 융해 작용
 - 화재 및 가스 폭발, 차량 충돌 등
- 본 고에서는 균열의 발생 현상을 온도·습도 변화와 철근 부식의 관점에서 분석하였다.

II. 龜裂의 意味

완벽한 균열 예방은 불가능한 것이지만 균열발생으로 인해 다음과 같은 구조물의 성능이 저하되는 문제가 생기며, 이것은 균열 폭과 밀접한 관계가 있다.

- 구조물의 외관(美觀性)
- 균열은 그 폭이 어느 일정한 크기(약 0.3MM) 이상이

면 보는 사람에 따라 불쾌감을 느끼게 된다. 그러나 그 이하의 균열 폭이라도 습윤후 건조 상태에서는 보기가 좋지 않을 수 있다.

- 구조물의 계속적인 이용 가능성(構造物의 性能)

균열은 구조물의 이용 가능성을 감소시킬 수 있으며, 가스나 유류 저장 탱크의 관통된 균열은 특히 큰 문제가 될 수 있다. 피복·도장된 콘크리트에서는 아주 작은 폭의 균열이라도 피복층의 손상을 초래한다. 지나친 균열의 발생은 구조물의 강성을 감소시키고 과도한 변형을 초래한다.

- 철근 부식보호(耐久性)

이것은 균열 폭이 제한되어야 하는 이유중 가장 자주 거론되는 것이다. 지금까지 문헌들에 보고된 바에 의하면, 철근 부식은 시멘트 경화체가 중성화되거나, 염화물의 침입으로 부식 보호층이 파괴됨으로써 시작한다. 철근의 부식 속도는 주로 콘크리트 피복 두께나 투수성에 좌우된다. 피복층이 충분한 철근 콘크리트 구조물에서는 균열폭이 0.4MM까지는 철근 부식에 큰 영향을 주지 않는다.

PS 콘크리트 구조물에서는 강선이 부식에 아주 민감하기 때문에 구조물의 사용 기간동안 방청 보호가 완벽해야 한다. PS 콘크리트 구조물에서는 균열폭이 0.25MM 이하이고, 피복두께가 50MM 이상이면 안전하다고 가정한다. 그러나 염화물의 침투가 예상되는 곳에서는 추가적으로 대책이 필요한데, 즉, 내구성과 수밀성이 높은 SHEATH 또는 강선의 특수 방청 처리 등이다. 구조물의 안전성은 일반적으로 균열이 발생했다고 해서 감소한다고 보지 않는다. 그것보다 균열 발생은 구조물의 파괴를 미리 알려 주계됨으로써 바람직하기도하다. 부정정 구조물에서는 균열이 소성 변형

*대전대학교 토목공학과 조교수

을 가능케 하여 부재의 능력을 최대한 이용 가능 할 수 있게도 하며, 구속력이 작용하는 곳에서는 그 응력을 감소 시키는 효과도 있다. 건물에서의 균열은 외관, 방수, 철근 부식의 문제를 초래하게 되므로 주의깊게 다루어져야 한다.

III. 龜裂 發生 原因

본 고에서는 콘크리트를 선형·탄성 재료라고 가정하여, 균열 발생 시기를 콘크리트의 인장응력이 그의 인장강도를 넘어설 때라고 가정한다.

콘크리트의 인장응력은 외력이나 자유로운 변형이 억제된 상태에서 발생한다. 외력에 의한 인장 응력은 대체로 콘크리트의 경화가 완료되었을 때 발생한다. 인장 응력의 크기는 비교적 간단히 계산할 수 있고, 이것은 설계 작업의 기초가 된다. 이런 인장 응력때문에 구조물은 외부 하중 상태에서는 미세한 균열 발생을 감안해야 하나, 균열이 큰 폭으로 발생할 때에는 설계 또는 시공상 결함이 있는 것을 의미한다. 콘크리트의 자유로운 변형이 억제된 상태에서 나타나는 콘크리트 구조물 내의 응력은 "구속 응력"과 "고유 응력"으로 구분 할 수 있다. 구속 응력은 부정정 구조물에서 지점 변형이나, 전부재의 균등한 온도 변화에서 발생한다. 만일 한 단면에서의 온도 분포가 불균등하거나 또는 부재 습도 변화에 의한 건조 수축 상태에 있으면 추가적으로 고유 응력이 발생한다. 한 단면의 고유 응력의 합은 "0"이 되므로 지점에서의 반력은 없다.

그림 1) 에는 부재의 한단면에서 온도 강하에 따른 응력 분포 상태를 나타냈다. 일반적으로 구속응력은 축력이나 모멘트를 형성하지만, 고유 응력은 단지 부재단면에서만 활동적이다. 구속된 변형 상태의 응력을 정확히 계산하기는 어렵기 때문에 이들의 설계 반영이 자주 기피되어 진다. 특히 주의할 것은 굳지 않은 콘크리트에서의 균열발생이다. 즉 콘크리트 타설 후 약 40시간 동안에 발생하는 수화열에 의한 콘크리트 내부의 온도 상승과 거푸집 제거 후의 낮은 외부 기온 때문에 인장 응력이 발생되어 인장 균열이 발생할 수 있다. 고유 응력에 의한 균열은 콘크리트표면에서 나타나고 콘크리트 부재의 온도가 아주 균등하게 되면 없어지거나 결국 인장 단면의 축소를 초래한다.

1. 定常的, 非定常的 DIFFUSION

만일 두 물체가 서로 다른 농도(온도, 습도값)를 가지고 접해 있으면 높은 농도를 가진 물체로 부터 낮은 농도의 물체로 질량이 이동(온도, 습도 이동)하고 이것은 두 물체의 농도가 동일할 때까지 지속된다. 이러한 질량의 이동을 DIFFUSION이라 정의한다.

FICK은 1차원에서 정상적인 DIFFUSION의 법칙을 다음과 같이 나타냈다.

$$J = -k \cdot \frac{d\Psi}{dx} \quad (1)$$

J = 온도, 습도의 이동량

k = 온도, 습도의 전도율

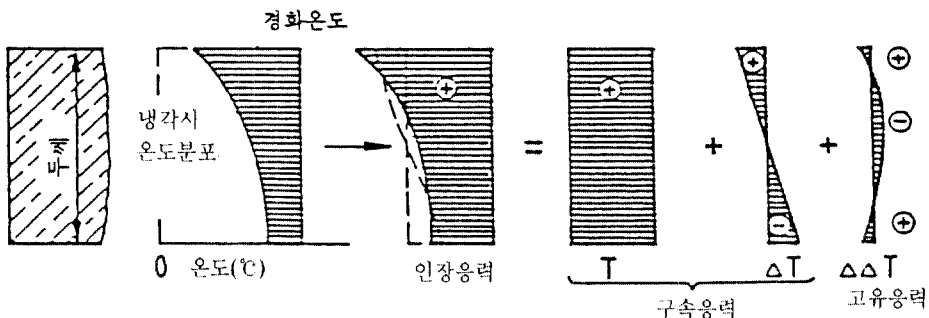


그림 1. 온도 강하에 따른 부재 단면의 응력 분포(변형이 구속된 상태)

Ψ = 온도, 습도

만일 변길이가 dx, dy, dz인 물체내에서 온도, 습도 변화를 시간에 따라 분석하려면 FICK의 제2법칙인 다음과 같은 미분 방정식을 적용해야 한다.

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} = D \cdot \left[\frac{\partial^2 \Psi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial Z^2} \right] \quad (2)$$

D = DIFFUSION 계수

$$= k/C$$

C = 물체의 온도 습도 용량 = (비용량 c) · (밀도 ρ)

여기에서 보는 바와 같이 정상적인 상태에서는 물체내의 온도나 습도 분포는 전달 계수 k와 초기값에 좌우되나, 비정상적인 상태에서는 전달계수 k와 초기값 외에도 용량 C와 시간 t에 좌우된다.

그림 2) 에는 DIFFUSION이 가능한 물체가 양쪽에 기후층 climate 1과 climate 2에 접해있다. 초기(t=0)에는 물체층(layer)의 농도가 모두 $\Psi = \Psi_1$ 이어서 서로 균형 관계를 유지하고 있다(정상적인 분포).

만일 climate 1의 농도가 Ψ_1 에서 Ψ_2 로 갑자기 상승하면 이러한 초기의 균형 관계는 깨지게 되고, 시간이 지남에 따라서 물체층 농도 분포는 변하게 된다. 예를 들면 시간 t=t*에서 물체의 농도분포는 그림에서 보는 바와 같이 곡선상태이다. 그러나 충분한 시간이 지나면 t=∞에서 물체내에는 climate 1의 Ψ_2 와 climate 2의 Ψ_1 을 직선으로 연결하는 농도 분포를 형성하게 된다. 다시 말해서 t=0에서와 t=∞에서는 정상적인 분포라하고 t=0에서 t=∞사이에서는 시간에 따라 변하는 비정상적인 분포라 한다.

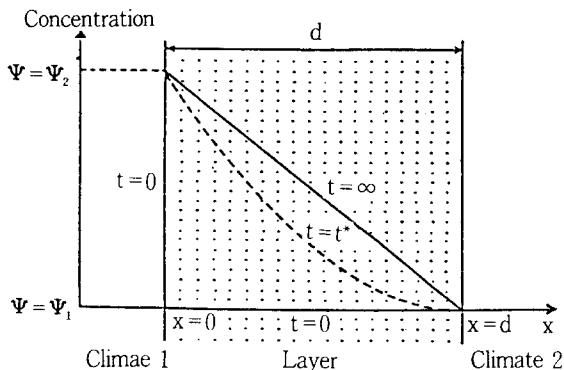


그림 2. 정상적 및 비정상적 DIFFUSION 과정

2. 溫度 變化

대부분의 건물에서 발생하는 균열은 슬래브 지붕이나 외벽에서 온도 하중(변형, 온도 응력)을 충분히 고려하지 않고 설계를 한데서 기인한다. 이러한 균열은 일반적으로 태양열이나 수화열에 의해 상승된 콘크리트 내부의 온도 분포가 외기 온도의 강하에 의해, 콘크리트가 수축되면서 나타나고, 또한 층상 구조물에서는 층별로 상이한 온도 변형 계수 α_T 에 의하여 발생되기도 한다. 외기의 온도 변화는 일교차 및 연교차 그리고 뇌우와 같은 급격한 온도 변화로 나눌수 있는데, 뇌우에 의하여 발생하는 균열의 형태는 대체로 그물 형태이다. 콘크리트내의 온도가 상승될 때 발생하는 건물의 균열은 다음과 같이 설명할 수 있다.

지붕 슬래브는 태양열에 의한 온도 변화가 가장 큰 곳이다. 이를 받치고 있는 기둥이나 벽체의 온도 변화는 지붕 슬래브보다는 작기 때문에 이곳에서는 비록 온도 팽창 상태이지만 그 팽창량이 지붕보다도 작아서 인장 응력 및 전단 응력이 발생한다. 지붕과 벽체의 온도 팽창량의 차이가 클수록 벽체의 인장 응력과 전단 응력이 커져서 인장 및 전단 강도값에 도달하게 되면 벽체와 슬래브 접착 부위에 균열이 발생한다.

반대로 외기의 온도가 하강할 때는 콘크리트의 온도가 감소되면서 수축되기 때문에 구조물의 구속 조건에 따라 균열이 발생한다.

물체를 가열하면 물체의 체적이 증가하고 그에 따라 단면치수도 증가한다. 지속적인 가열로 인해 물체내의 어느 점에서나 온도가 균등하다면, 물체의 크기는 온도에 비례하여 증가한다. 길이의 증가 ΔL 은 이 상태에서는 시간에 관계없이 온도 변화 ΔT 에 비례하게 된다(그림 4). 그러나 실제에서는 균등온도 분포는 물체가 아주 얇거나, 아주 높은 열전도율($k \sim \infty$)을 가졌을 때나 나타나고 그 이외에서는 불균등 비정상적인 온도분포를 나타낸다(그림 3). 만일 평면체를 일정한 시간함수를 가지고 가열시킨다면 열접촉면은 열에 차단된 면보다 높은 온도를 가지고 팽창될려고 하나, 낮은 온도의 벽체 내부의 구속 작용으로 압축 응력이 발생되기 시작한다. 반대로 가열되었던 표면이 냉각되기 시작하면 수축이 구속되면서

인장 응력이 발생된다. 이때 표면에서의 변형은 온도 변화에 의한 값($\alpha_T \cdot \Delta T$) 보다 크다. 그림 4)에서 보는 바와 같이 불균등 가열 상태에서는 최대 온도 변화값을 갖는 시기는 최대 변형량과 일치되지 않는다. 이러한 시간차는 각기 최대값의 차이가 클수록 크다.

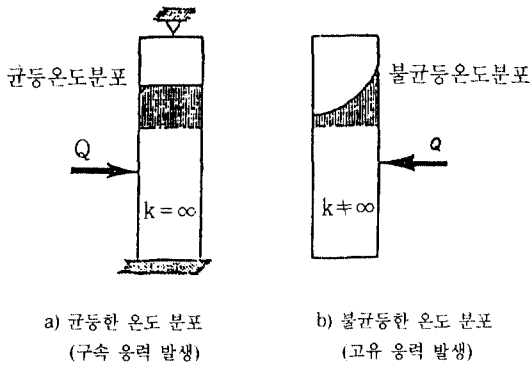


그림 3.

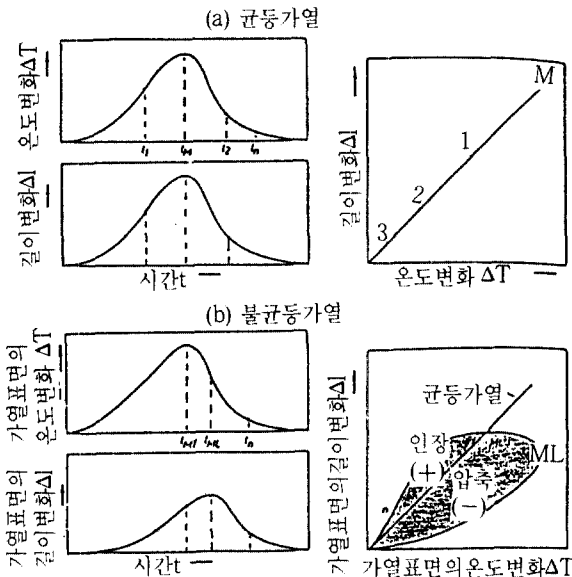
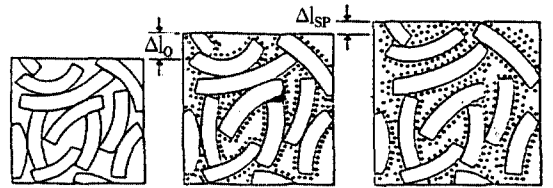


그림 4. 균등 가열과 불균등 가열에서의 벽체의 변형량과 온도 차이의 관계

3. 濕度 變化

콘크리트의 습도가 변하면 변형이 형성된다. 이것은

온도 변화에 의한 변형 $\epsilon_T(\alpha_T \cdot \Delta T)$ 와 마찬가지로 습도 변형계수 α_H 와 습도변화 ΔH 의 곱의 값이다.



(a) 건조상태(수분은 단지 시멘트와 결합된 양임)
 (b) 수분이 흡수되어 표면 에너지가 감소한 상태(겔입자는 Δl_0 만큼 팽창)
 (c) 수분의 증가로 인한 겔조직이 이완(Δl_{sp} 만큼 변형)

그림 5. 시멘트 겔의 습도 변형

콘크리트가 습도 변형을 일으키는 원인은 매트릭스 형성요소인 시멘트 겔의 표면 에너지의 변화이다. 아주 높은 표면적을 가진 시멘트 겔의 표면에서는 겔 입자들이 수축하면서 에너지가 낮은 상태로 되려고 한다.

만일 겔 입자 표면에 수분 함량이 증가 하면 시멘트 겔입자 사이의 공간이 포화상태가 되어 표면에너지가 감소하고 결국은 조직이 이루어져 콘크리트가 팽창한다. 시멘트 겔을 결합하고 있는 Van Der Waals 힘은 습도가 40-45% 일때까지만 효력이 있다. 그 이상의 습도에서는 시멘트 겔 사이에서 형성되는 분리력 때문에 겔입자는 분리되고 공간량이 커져서 겔조직의 혼란이 초래된다. 이에 따라 콘크리트는 팽창되고 강도가 저하된다. 콘크리트의 건조 수축은 이와 반대이며, 건조 수축량은 콘크리트의 함수량의 감소에 비례한다고 볼 수 있는 데 이것은 콘크리트가 중성화되지 않은 경우에 한한다. 콘크리트의 습도 변화(shrinkage)는 다음과 같이 구분할 수 있다.

- PLASTIC SHRINKAGE
- CHEMICAL SHRINKAGE
- CARBONATION SHRINKAGE
- DRYING SHRINKAGE

이중에서 콘크리트의 균열 발생의 주요 원인으로서 PLASTIC SHRINKAGE와 DRYING SHRINKAGE이다.

가. PLASTIC SHRINKAGE

PLASTIC SHRINKAGE는 콘크리트 타설후 초기에 나타나는 것으로 EARLY SHRINKAGE라고도 한다. 이는 모세관 현상에 의해 공극수가 콘크리트 표면에서 건조됨으로써 나타나며, 시멘트 풀이 바로 수화 작용이 시작되었을 때 나타난다. 콘크리트는 아직 소성 상태이고, 이에 따라 변형성이 아주 크므로 정상적인 건조 수축보다 수축량이 훨씬 크다. 만일 구조물이 거푸집이나 지반 기층 및 철근 등에 의해서 자유로운 변형이 억제되어 있다면 균열이 발생될 수 있다. PLASTIC SHRINKAGE에서는 시멘트 풀과 콘크리트의 높은 변형성 때문에 처음에 소수의 균열이 발생되어 균열 폭이 커지면서 결국은 수 CM까지 균열이 발생한다.

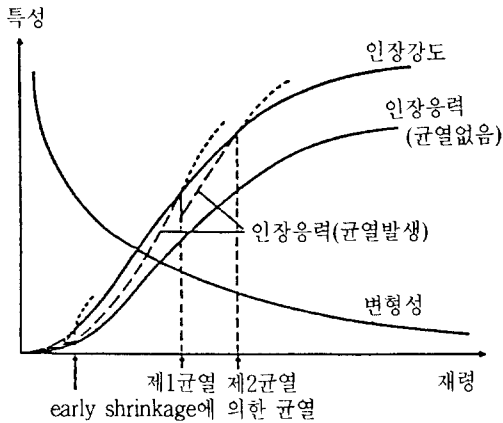


그림 6. CEMENT PASTE와 콘크리트의 균열 발생

그림 6)에서는 CEMENT PASTE와 콘크리트의 재령에 따른 균열 발생 상태를 나타낸 것이다. PLASTIC SHRINKAGE에 의한 균열은 그림에서 보는 바와 같이 재령이 낮은 콘크리트 및 시멘트 풀에서, 즉 인장 강도가 충분치 못할 때 발생한다. 재령이 증가함에 따라 변형성이 감소한다. 다시 말해서 E-MODULUS가 커지고 RELAXATION 이 감소한다. 따라서 억제된 변형이 증가하면서 인장 응력이 증가한다. 만일 인장 응력이 인장 강도보다 낮으면 균열이 발생되지 않으나 양생방법이 적합하지 못하여 SHRINKAGE량이 급격히 증가하면 인장 응력이 인장 강도보다 커지면서 균열이 발생되는

것이다.

나. DRYING SHRINKAGE (건조수축)

건조 수축은 콘크리트의 수분이 DIFFUSION에 의하여 외부에 증발됨으로써 발생된다. Klopfer에 의하면 콘크리트 내의 습도는 대체로 50%에서 100%사이에 있으므로 수분 증발은 증기 DIFFUSION과 표면 DIFFUSION에 의해 이루어진다. 그림 7)은 증기 DIFFUSION과 표면 DIFFUSION의 의미를 알기 쉽게 나타내었다.

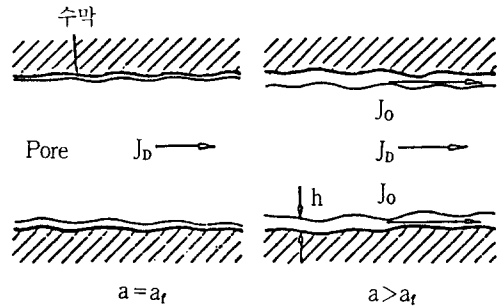


그림 7. 증기 DIFFUSION J_b 과 표면 DIFFUSION J_o

콘크리트는 주변 기후가 건조한 상태에서는 공극 벽면에 비교적 얇은 수막이 형성된다. 이것은 콘크리트 입자와 물리 화학적으로 결합했기 때문에 고착 상태라고 간주할 수 있다.

이렇게 얇은 수막이 콘크리트와 고착된 상태에서는 단지 증기 DIFFUSION만 존재하고 또한 이것은 수막이 공극을 폐쇄할 정도의 두께까지 이루어지며, 만일 공극의 상대 습도가 상승하면 표면 DIFFUSION J_o 가 이루어진다. 이와같이 건조 기후에서는 콘크리트 공극의 수분이 DIFFUSION에 의해 외기에 증발됨으로써 수분 감소에 의한 건조 수축이 된다.

지금까지 건조수축에 의한 응력 계산은 간략 계산에 의해서 다루어져 왔다. 즉, $\sigma_s = -E \cdot \epsilon_s$

그러나 이식에서의 ϵ_s (건조 수축량)는 한 부재에 대해 일정한 값이 사용되었으나 실제로는 건조 수축은 시간에 따라 그 값이 변화하고 부재 단면내에서도 일정하지 않다. 따라서 부재내의 한점에서의 건조수축에 의한 응력은 $\sigma_s(t) = -E(t) \cdot \epsilon_s(t)$ 로 나타내진다. 콘크리트의 건조 수축

은 장시간에 걸쳐서 나타나는 데, 이것의 습도의 DIFFUSION 계수는 $D_H \sim 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ 로서 온도의 DIFFUSION 계수 $D_T \sim 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ 의 1/10000로서 아주 작은 값이기 때문이다. 따라서 건조수축에 의해 발생하는 응력 계산에서는 CREEP를 고려해야 한다. 이때의 CREEP는 건조 수축에서는 주로 인장 응력이 발생되기 때문에 인장 CREEP를 적용해야 한다. 시간에 따라서 변화하는 건조 수축에 의한 응력 상태는 유한 요소법을 이용하여 구할 수 있다.

이를 위해서는 콘크리트내의 습도 분포를 계산하고 시간에 따른 습도 경사의 변화를 검토하여 응력을 계산한다. 즉,

$$H = f(x,t)$$

$$\Delta H = f(x,t)$$

$$\epsilon_{x,t} = \alpha_H \cdot \Delta H_{x,t}$$

$$\sigma_{x,t} = -E \cdot \epsilon_{x,t} \text{ (여기서 E값은 CREEP를 고려한 것임)}$$

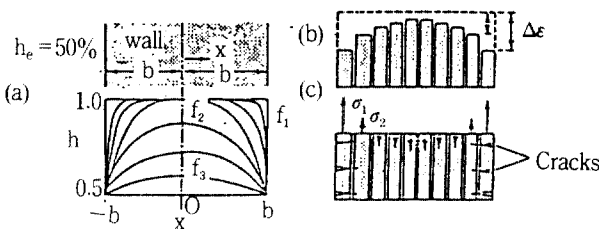


그림 8. (a) 건조 상태에서 부재의 습도 분포
(b) 습도 변화에 의한 변형
(c) 응력 상태

그림 8)에서는 이상의 과정을 그림으로 알기 쉽게 나타내었다. 벽(WALL)의 길이에 비해 두께가 아주 작은 콘크리트 벽에서(1/2b ~ ∞)의 기의 상대습도 $h_e = 50\%$ 일때 콘크리트 건조에 의해 균열이 발생하는 과정을 보여준다.

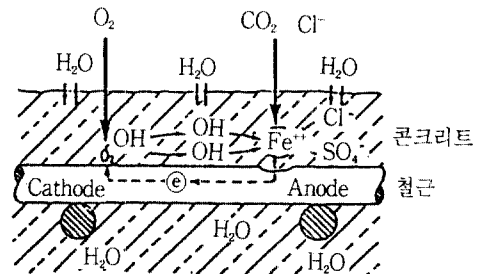
4. 鐵筋 腐蝕

가. 개요

콘크리트는 다공질 흡습성의 재료로서 그 공극 구조는 정상적인 기후 조건하에서는 쉘 또는 습윤상태로서 “전해

질 물질” 역할을 하고 콘크리트 내의 철근을 에워 싸고 있다. 이 공극 전해 물질은 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 로 포화되어 있고 소량의 NaOH, KOH를 함유하고 있다. 따라서 공극전해 물질의 pH는 12.6에서 13.9 사이의 값을 유지하여 철근을 감싸고 있으므로 철근은 사실상 부식에 대하여 보호되어 있다. 콘크리트 내의 철근이 부식되기 위한 주요 조건은 철근 표면의 보호층의 파괴이다. 즉, 보호층의 용해나 불안정 상태를 유발하는 것이다. 이런 것은 실제로 공극 전해 물질의 pH값이 하강하거나 또는 염화물에 의한 보호층의 국부적인 파괴에 의해 이루어진다. pH값의 하강은 CO_2 의 작용 (CARBONATION)이 주원인이다. 철근부식이 촉진되기 시작하는 콘크리트의 습도는 50-60% 사이이고 공극을 통해 철근 표면으로 공급된 산소는 공극수에 용해됨으로써(음극 작용: $2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$) 초기의 부식 속도를 억제하게 된다. 산소 공급(이동)은 “FICK”의 법칙에 따르며 이때의 DIFFUSION 계수는 $10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$ (건조 상태) ~ $10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ (습윤 상태) 사이의 값으로서 콘크리트내의 습도에 좌우된다.

철근 부식이 계속적으로 진행되기 위해서는 지속적인 산소 공급을 요하며 산소 공급은 콘크리트의 공극률, 철근 피복 두께에 좌우된다. 콘크리트가 건조된 상태(상대습도 30% 이하)이거나 완전한 습윤상태(상대습도 100%)에서는 철근 부식이 일어나지 않으며, 습윤 건조 상태가 교차되는 경우에 가장 심하게 나타난다.

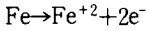


	REACTION	조건
ANODE	$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$	중성화, 염화물
CATHODE	$1/2 \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{OH}^-$	철근으로 산소 공급, 수분
A-K	$\text{Fe}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2$	콘크리트의 전도성
A-K	$\text{Fe}(\text{OH})_2 + \dots \text{O}_2 \rightarrow \dots \text{FeOOH}$	산소공급

그림 9. 철근 부식 과정 및 조건

이상에서 언급한 철근 부식 조건을 종합하면 다음과 같다(그림 9 참조).

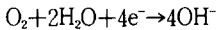
1) 철근의 지속적인 용해(양극)



이를 위한 조건은 CARBONATION 과정에서 콘크리트 속의 수산화물이 CARBONATE로 변하거나 자유염화물이 일정한 값 이상으로 철근에 도달해야 된다. 이 두 과정의 필수 요건인 CO₂, Cl⁻는 DIFFUSION에 의하여 콘크리트 안으로 공급된다.

2) 산소 공급(음극)

산소는 음극에서 다음 반응에 의해 소비되기 때문에 외기로부터 철근 피복 두께의 거리까지 지속적으로 공급되어야 한다.



산소 공급량은 피복 두께와 DIFFUSION 저항도에 의하여 좌우되고, 콘크리트 품질이 양호하고 습도 함량이 증가함에 따라서 산소의 공급은 방해받게 된다.

3) 높은 이온 전도성을 가진 전해 물질의 존재

이를 위해서는 콘크리트 공극에 자유수가 있어야 한다. 콘크리트 구조물은 일반적으로 공극내에 충분한 양의 비결합수가 존재하므로 이온 전도가 충분히 이루어질 수 있다.

철근 부식의 종류를 상기 1)에 따라서 다음과 같이 나눌 수 있다(표1 참조).

- 중성화된 콘크리트의 철근 부식
- 염화물에 의한 철근 부식

표1. 중성화와 염화물 부식 과정의 영향 인자

보호층 파괴원인	조	영	영
	조	영	영
CARBONATION	CARBONATION 깊이 > 피복 두께	CO ₂ 공급량	콘크리트의 품질 및 균열, 피복 두께 함수율, 시간
염화물	Cl ⁻ (용존) > Cl ⁻ (한계치) Cl ⁻ (한계치) = f(O ₂ , 함수량, pH 값)	Cl ⁻ 공급량	콘크리트의 품질 및 균열, 피복 두께 함수율, 시간

나. 중성화된 콘크리트에서의 철근 부식

철근이 부식되는 과정은 이미 4.가항 에서 기술 되었다. 여기서는 단지 부식의 첫째 조건인 보호층 파괴 즉, 콘크리트의 중성화에 대해 언급하기로 한다. 콘크리트의 중성화란 Calcium Oxide(CaO), Calcium Hydroxide [Ca(OH)₂]가 탄산 가스(CO₂)에 의해 Calcium Carbonate (CaCO₃)로 변화하면서 공극수의 pH 값이 9 이하로 감소하는 것을 의미한다. 시멘트가 수화 반응을 하면 CaO는 일부 화학 결합체인 Calcium-Silicate-Hydrate, Calcium-Aluminate-Hydrate로 일부는 자유상태의 Calcium Hydroxide [Ca(OH)₂] 상태로 존재한다. Ca(OH)₂의 일부는 공극수에 용해되어 있어서 유입된 공기중의 CO₂와 화학 반응하여 Calcium Carbonate(CaCO₃)로 변한다.

이 과정을 세분하면 다음과 같다.

- (1) 공기중의 CO₂가 콘크리트의 공극을 통해 유입
- (2) CO₂(가스) → CO₂(용해)
- (3) CO₂(용해) $\xrightarrow{H_2O}$ H₂CO₃
- (4) H₂CO₃ $\xrightarrow{H_2O}$ HCO₃⁻ + H₃O⁺
- (5) HCO₃⁻ $\xrightarrow{H_2O}$ CO₃²⁻ + 2H₃O⁺
- (6) Ca(OH)₂ + 2H₃O⁺ + CO₃²⁻ → CaCO₃ + 3H₂O

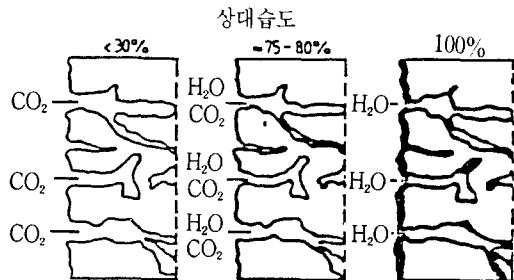


그림 10. 중성화 기구

그림 10)에 중성화 기구에 대해서 알기 쉽게 도시했다. 여기서 알 수 있는 바와 같이 완전한 건조상태의 콘크리트내에서는 중성화가 발생되지 않은 데 이것은 상기의 중성화 과정중(2)-(5)의 4단계가 습기 부족으로 이루어지지 않기 때문이다. 반대로 공극의 일부 또는 전체가 물로 채워졌을 때는 CO₂의 DIFFUSION이 제대

로 형성되지 않는다.

다. 鹽化物에 의한 鐵筋 腐蝕

콘크리트 구조물내의 염화물의 근원은 시멘트, 골재, 혼합수에 배합 시초부터 포함되어 있거나, 또는 용방·제설제 사용으로 인해 외부에서 침투하는 경우가 있다.

염화물(Cl⁻)에 의해 철근이 부식되는 과정을 간략하면 다음과 같다.

- (1) 염화물에 의한 철근 주위의 알칼리층 파괴
- (2) 염화물에 의한 철근의 용해(Fe⁺⁺+2Cl⁻)
- (3) pH값의 감소
- (4) 산소(O₂)의 침투로 인한 철근의 부식

염화물은 상기의 부식 과정에서 소모되는 것이 아니고, 철근의 계속적인 이온화 작용에 주역할을 한다. 염화물에 의한 철근의 용해는 국부적으로 나타나며 구멍과 같은 모양을 가진다. 이곳은 전기화학적인 반응에서 음극을 갖고 기타 부분은 양극을 갖는다. 지속적인 산소공급이 이루어지는 조건에서는 양극 면적이 음극 면적보다 작을수록 철근 부식의 속도가 크게 된다. 만일 콘크리트내의 염화물의 농도가 균등하게 분포되어 있다면 전체 철근 표면에서 부식이 활성화된다. 콘크리트

속의 염화물은 시멘트 경화제 성분인 알루미늄산염과 철산염과 반응하여 비용해성인 FRIEDEL염, 3CaO · (Al₂O₃, Fe₂O₃) · CaCl₂ · 10H₂O를 형성한다. 이때 소요되는 염화물을 시멘트 무게로 환산하면 대체로 0.4%~Cl 정도이고, 그 이상의 염화물은 철근 부식을 유발할 수 있다. FRIEDEL염의 생성 속도는 시멘트의 수화 정도, 시멘트의 종류 및 pH 값에 따라 다르다.

비결합(자유 상태) 염화물에 의해서 철근이 부식하려면 충분한 양의 산소공급이 필수 조건이므로 비록 염화물이 0.4% 이상이더라도 콘크리트의 밀도, 피복 두께, 수화 정도 등에 따라서 산소 공급이 영향을 받기 때문에 이 값은 단지 부식을 형성하기 위한 하나의 조건에 불과하다.

IV. 맺는말

본 고에서는 콘크리트 구조물의 균열 원인을 온도, 습도 및 철근부식의 측면에서 검토하였다. 콘크리트 구조물의 균열 발생 과정은 매우 복잡하여 이를 정확히 추정하는 것은 간단하지 않다. 균열 발생의 기초가 되는 온도 및 습도 응력 분포상태를 정확히 분석하기 위해서는 지금까지의 시간과 위치의 개념이 포함되지 않은 식 대신에 $\sigma_{x,t} = -E \cdot \epsilon_{x,t}$ 를 적용해야 할 것이다. 균열에 대한 대책은 무엇보다도 사전 예방 대책이 중요하다. 이것은 콘크리트의 재료, 시공 및 설계시 고려되어야 할 사항이다. 요즘 가장 피부에 와닿는 문제로는 혼합수 내지는 작업수의 과다 사용 및 잔골재 부족으로 인한 해사를 사용하는 것이다. 따라서 콘크리트 품질 저하로 인한 건조수축량의 증가, 강도 및 제반 내구성의 저하 그리고 철근 부식 가능성이 증가된다. 한편 도시 대기 가스 성분중 콘크리트 중성화를 초래하는 CO₂량이 현저히 증가하는 추세에서 철근 피복층의 콘크리트가 불량한 품질이라면 피복 두께 결정을 재고할 필요가 있다. 결론적으로 균열을 사전에 예방하기 위해서는 해당 공업 규격을 충실히 준수하여 구조물의 설계 및 시공해야 할 것이다.

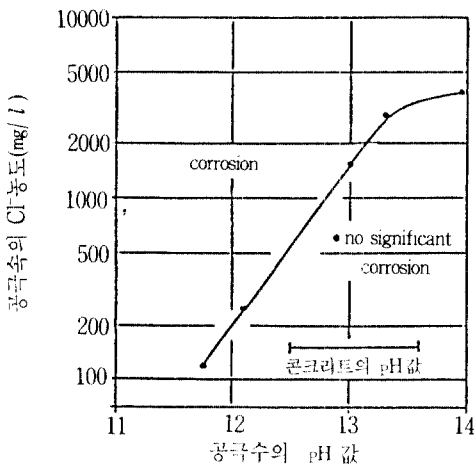


그림 11. 유해 Cl 농도 / pH 값

참 고 문 헌

- (1). Bazant, Z. P. : Mathematical Models for Creep and Shrinkage in Concrete. Creep and Shrinkage in Concrete Structures, ed. by Z. P. Bazant & F. H. Wittmann, John Wiley & Sons(1982)
- (2). Eligehausen, R.; Kreller, H. : Querschnittsbericht zur Ribildung in Stahl-und Spannbetonkonstruktionen. DAFStb Heft 393(1988)
- (3). Klopfer, H. : Wassertransport durch Diffusion in Feststoffen. Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin(1984)
- (4). Nürnberger, U.; Menzel, K.; Löhr, A.; Frey, R. : Korrosion von Stahl in Beton, DAFStb Heft 393(1988)
- (5). Wesche, K. : Baustoffe für tragende Bauteile 2 Beton. Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin (1981)
- (6). Wesche, K. : Baustoffe für tragende Bauteile 3 Stahl · Aluminium. Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin(1985)

會員諸位님에게 알리는 말씀

본 학회 회원으로서退職移動 또는 주소變更이 있으신 분은 곧 학회 사무국으로 通知하여 주시기 바랍니다. 連絡處 不明으로 會誌發送 및 其他連絡이 필요한 경우 사무상 지장이 많습니다.

또한 아직까지 會費를 未納하신 분은 우편대체를 이용하거나 밑에 기재된 은행계좌를 이용하여 송금하여 주시면 감사하겠습니다.

회비 납부계정

은행지로 : 한일은행 096-140239-13-001

국민은행 010-10-0522-106

제일은행 175-10-201288

(예금주 : 한국콘크리트학회)