

철근 부식에 의한 콘크리트의 균열발생에 관한 연구

Effect of Rebar Corrosion on the Onset of Cracks in Cover Concrete

이 한 승*

Lee, Han Seung

ABSTRACT

This study was carried out to quantitatively investigate the amount of corrosion at the time of onset of cracks in cover concrete due to rebar corrosion. In this experiment, the accelerated galvanostatic corrosion method was carried out. FEM analyses were also conducted to investigate the expansive behaviors due to rebar corrosion and the mechanical properties of corrosion products. As a result, it was concluded that the corrosion ratio at the time of onset of cracks in cover concrete was 3% by weight. The onset of cracks in cover concrete due to rebar corrosion could be analyzed by the finite element method.

1. 서론

철근부식에 의한 RC조 건축물의 열화과정에 있어서 콘크리트의 균열발생은 매우 중요한 한계상태이므로 균열발생시의 철근 부식량을 정량적으로 산정한다면 철근의 부식속도를 이용하여 균열발생 시기를 파악하는 것이 가능하다. 그러나, 철근부식에 의한 균열발생은 콘크리트 강도, 피복두께, 보강철근 양, 철근부식 발생부분 등의 영향을 받기 때문에 균열발생을 실험적으로 파악하는 것은 매우 어렵다. 따라서, 철근 부식 생성물의 물리적 성질을 명확히 파악한다면 부식팽창거동을 모델화하여 여러 가지 환경하에서의 콘크리트의 균열발생을 유한요소법에 의해 해석적으로 구하는 것이 가능하다.

본 연구에서는 철근부식에 의한 피복 콘크리트의 균열발생성상의 파악 및 균열발생시에 필요한 철근의 부식량을 정량적으로 구하기 위하여 철근부식을 전식방법에 의해 촉진시켜 피복콘크리트의 균열발생성상을 실험적으로 파악하였다. 또한, 실험결과에 기초하여 철근 부식에 의한 피복 콘크리트의 균열발생성상을 유한요소법에 의하여 해석적으로 규명하여, 콘크리트 강도, 피복두께, 부식생성물의 물성 등이 콘크리트의 균열발생성상 및 균열발생시의 철근 부식량에 미치는 영향을 검토하였다.

2. 실험 개요

2.1 실험계획 및 사용재료의 물성

본 실험은 철근부식이 피복 콘크리트의 균열성상에 미치는 영향을 파악하기 위하여 실시한 것으로서 표 1에 실험인자에 따른 실험체 계획을, 표 2에 사용재료의 물성을 나타낸다.

* 정희원, 한양대학교 초대형구조시스템 연구센터 연구 조교수

표 1 실험인자 및 실험계획

번호	W/C (%)	피복두께	보강
1	65	3.5D	무
2	65	2.5D	무
3	65	1.5D	무
4	65	3.5D	황보강
5	55	3.5D	무
6	45	3.5D	무

표 2 사용재료의 물성

재료	W/C (%)	F_c (MPa)	F_t (MPa)	E_c (GPa)	ν
콘크리트	45	42.1	3.6	25.5	0.19
	55	33.0	3.2	23.5	0.17
	65	24.7	2.7	22.6	0.17
철근	Type	σ_y (N/mm^2)	E_s (N/mm^2)	Elongation (%)	ν
	D13	315.6	183384	21.0	0.3

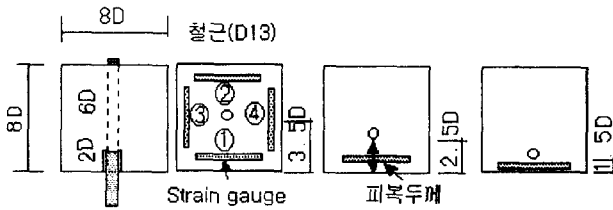


그림 1 실험체의 형상

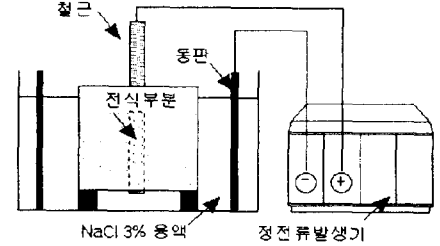


그림 2 정전류 발생기 및 전식방법

2.2 실험체의 형상 및 실험방법

그림 1에 실험체의 형상을 나타낸다. 피복두께는 철근직경(D=13mm)에 비례하도록 1.5D, 2.5D 및 3.5D로 하여 철근을 1개 배치하였다. 철근 부식구간은 6D(78mm)이고 철근의 부식팽창압에 의한 피복 콘크리트의 변형을 변화를 측정하기 위하여 실험체의 상부에 Strain gauge를 붙였다. 철근 부식속진은 그림 2에 나타낸 바와 같이 정전류 발생기를 사용하여 1A의 정전류를 소정기간(균열발생시, 균열폭이 0.1mm, 0.5mm, 1.0mm)까지 통전하였다. 또한, 균열발생은 목시, 현미경 관찰 및 피복콘크리트의 변형을 변화에 의해 측정했다. 실험종료 후, 철근을 꺼내어 10% 구연산 암모늄 용액으로 녹을 제거한 후 부식전후의 중량차로부터 균열발생시의 부식감량율을 구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 균열발생시의 부식감량율

적산 전류량과 부식감량율에는 비례의 관계가 있으며, 적산 전류량의 증가에 따라 철근이 부식하여 팽창하기 때문에 피복 콘크리트의 변형율은 증가하며 약 200 μ 에서 피복콘크리트의 표면에 균열이 발생하였다(균열폭: 약 0.05mm). 또한, 콘크리트 강도 및 피복두께가 증가하면 균열발생 부식량은 증가하였으며, 본 실험에서 균열발생시의 부식량은 W/C 65%, 55%, 45%에서 각각 2.8%, 3.0%, 3.2%(단위 면적당 부식량 : 66, 71, 77mg/cm²)이었다. 그림 3에 콘크리트의 균열발생에 미치는 피복두께비(t/D) 및 콘크리트강도 (σ_B)의 영향을 나타낸다. 균열발생시의 부식량(ΔW_c)은 식(1)에서 산정 할 수 있다.

$$\Delta W_c(\%) = 1.81 \eta^{0.3751} \quad (\eta = t/D \times (\sigma_B/30)) \quad (1)$$

여기서, t : 피복두께, σ_B : 콘크리트 강도, D : 철근직경, 30: 기준 콘크리트 강도 (MPa)

3.2 부식감량율과 균열폭과의 관계

그림 4는 콘크리트 강도가 부식감량율과 균열폭과의 관계에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 부식감

량이 증가하면 균열폭은 거의 선형적으로 커지게 되고 동일 부식감량율에서 콘크리트 강도가 커지면 균열폭은 약간 커지는 경향을 나타냈다. 한편, 그림 5는 피복콘크리트가 부식감량율과 균열폭과의 관계에 미치는 영향을 나타낸 것으로, 동일 부식감량율에서 피복두께가 커지면 균열폭은 약간 커지는 경향이 있다. 이들 실험결과에서 균열폭과 철근 부식량의 관계에는 비교적 높은 상관관계가 있고, 여러 가지 상황에서의 균열폭과 철근의 부식량과의 관계를 구하면 균열폭에서 철근의 부식정도를 추정하는 것이 가능하다고 생각된다.

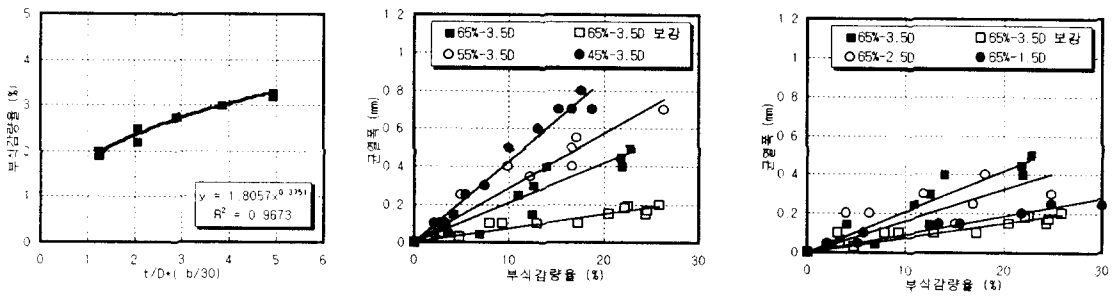


그림 3 $(t/D + b/30)$ 와 부식감량율 그림 4 부식감량율과 균열폭(W/C영향) 그림 5 부식감량율과 균열폭(피복영향)

4. 철근 부식에 의한 피복 콘크리트 균열발생거동의 유한요소 해석

4.1 해석개요 및 균열의 발생상황

그림 6에 해석 시험체의 요소분할을 나타낸다. 철근 부식팽창거동 모델화는 실험결과에서 구한 균열 발생시 단위면적당 부식량에서 부식층 두께를 계산하고(부식층 두께 $(H) = \Delta w / \rho, \Delta w$: 균열 발생시의 단위면적당 부식량(mg/cm^2), ρ : 강재의 밀도($7.85g/cm^3$)) 부식층에 팽창 변형율을 부여하여 팽창현상을 표현하였다. 또한, 해석에서는 기존 연구를 참고로 하여 철근 부식 팽창율은 3배로 하고 부식 팽창율이 3배가 된 시점에서 콘크리트 표면에 균열이 발생하도록 부식층의 물성(탄성계수 E_{cor} , 포아송비 ν_{cor})을 변수로 실시하였다. 하중조건은, 부식 팽창율(V)이 3배로 될 때까지 팽창 변형율 Δt 를 순차 증가시켰으며, 2차원 탄소성 유한요소법에 의하여 해석을 실시하였다.

4.2 균열발생시의 유한요소해석 결과

그림 7에 팽창 변형율이 0.5 및 1.0일 때의 균열상황을 나타낸다. 팽창 변형율 0.5일 경우 부식층 주위에 인장응력이 발생하고 있으며 콘크리트에 균열이 발생한 것을 알 수 있다(a). 또한, 팽창 변형율 1.0일 경우에는 시험체 표면에 균열이 도달하고 있음을 알 수 있다(b).

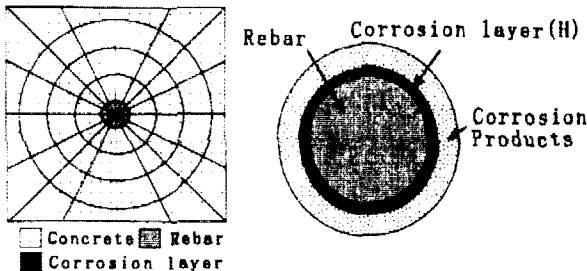
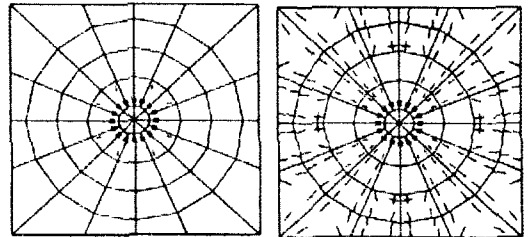


그림 6 유한요소 분할 및 부식층의 모델



(a) $\Delta t = 0.5$

(b) $\Delta t = 1.0$

그림 7 각 팽창변형율에서 균열성상 (FEM 해석)

4.3 균열발생에 미치는 각 재료요소의 파라메타 해석

기존 연구에서 균열발생 부식량은 $2\sim 180\text{mg}/\text{cm}^2$, 부식생성물의 탄성계수 $2.0\times 10^2\sim 1.0\times 10^4\text{kgf}/\text{cm}^2$, 포아송비 0.1~0.4, 부식 팽창율 2~4배로 그 물성은 명확하지 않다. 따라서, 부식생성물의 포아송비, 부식 팽창율을 파라메타로 하여 표면에 균열이 도달할 때의 부식생성물의 탄성계수를 산정 하였다. 그림 8에서 알 수 있듯이 균열 발생시 부식량이 커지면 탄성계수는 작게 되고 특히, 균열 발생시 부식량이 $30\text{mg}/\text{cm}^2$ 이하에서는 탄성계수가 급격하게 저하하였다. 또한, 그림 9에서 알 수 있듯이 피복콘크리트의 강도가 커지면 탄성계수는 커지게 되고 같은 콘크리트 강도의 경우 포아송비가 작을수록 탄성계수는 커졌다. 따라서, 부식생성물의 탄성계수, 팽창율 및 포아송비가 서로 영향을 미치는 것이 확인되어, 유한요소법으로 균열발생상상을 해석하기 위하여는 실제 실험을 통한 부식생성물의 정확한 물성을 파악할 필요가 있다고 판단된다. 해석결과, 균열 발생시 부식량에서 부식생성물의 탄성계수는 $25\sim 200\text{kgf}/\text{cm}^2$ 로 추정되어 기존연구에 있어서 구속이 없는 경우의 $200\sim 500\text{kgf}/\text{cm}^2$ 보다 약간 작은 값을 나타내었다. 한편, 그림 10에 철근 하면 반(half part)과 1/4부분(quarter part)이 부식한 경우의 균열발생상상을 나타내나 균열의 진전이 부식 발생부분에 따라 변화하는 것을 알 수 있다.

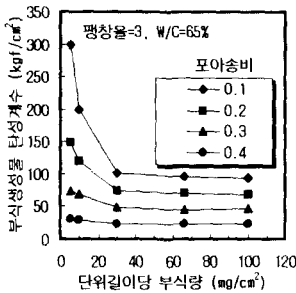


그림 8 부식량과 탄성계수

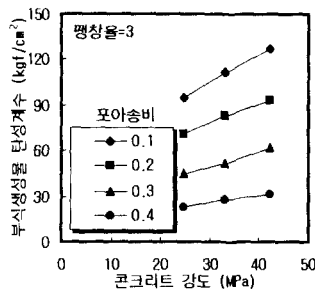


그림 9 콘크리트강도와 탄성계수

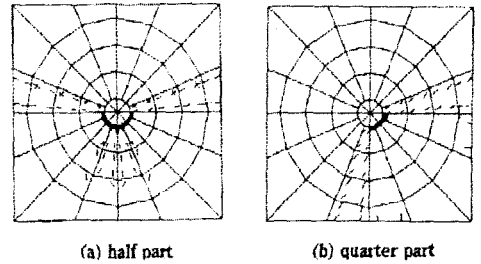


그림 10 균열발생상상

5. 결론

- (1) 콘크리트 강도와 피복두께가 커질수록 균열발생시의 부식중량 감소율은 증가하며, 본 실험의 범위에서 균열발생 부식량은 약 3%이었다. 또한, 콘크리트 표면에 균열이 도달한 때의 콘크리트 표면 변형율은 약 200μ 이고 균열발생 후에도 철근부식에 의해 피복콘크리트의 균열폭은 증가하였다.
- (2) 부식층에 팽창 변형율을 부여하는 것에 의해 철근 부식팽창에 의한 피복콘크리트의 균열발생거동을 유한요소법으로 시뮬레이션하는 것이 가능하였다. 또한, 해석결과 부식생성물의 탄성계수는 약 $25\sim 200\text{kgf}/\text{cm}^2$ 이고 균열발생상상에 가장 큰 영향을 미치는 부식생성물의 물성은 포아송비이다.
- (3) 철근부식부분에 따라 균열방향은 다르게 나타나며 부식부분이 적을수록 균열발생에 필요한 부식량이 커지기 때문에 국부적인 부식이 되기 쉽다고 판단된다.

참고문헌

- 1) 森永繁, “かぶりコンクリートにひびわれが発生する時の鉄筋の腐食量に関する研究(第5章)”, 東京大學學位論文, 1986. 2
- 2) C. ANDRADE, “Cover cracking as a function of bar corrosion - Part 1 Experimental test”, Materials and Structure, No. 26, pp453-464, 1993.
- 3) R.D. Browne, “Mechanisms of Corrosion of Steel in Concrete in Relation to Design, Inspection, and Repair of Offshore and Coastal Structures”, ACI SP-65, pp.169-204