

철근부식에 의한 콘크리트의 표면변형률과 내부팽창압에 대한 실험 및 해석연구

Experimental and Analytical Study on the Surface Strain and Internal Pressure Due to Corrosion of Reinforcement

오 병 환^{*} 김 기 현^{**} 강 의 영^{***} 장승엽^{***} 김 지 상^{****} 서 정 문^{*****}
Oh Byung-Hwan Kim Ki-Hyun Jiang Yi-Rong Jang Seung-Yeop Kim Ji-Sang Seo Jung-Mun

ABSTRACT

Corrosion products of reinforcement in the concrete exerts pressure to the adjacent concrete that the concrete is subject to tensile stress. If the tensile strength exceeds the tensile strength, cracks are initiated around steel and propagates through concrete cover. Cracking of the cover means that the lifetime of the structure is ended. So the amount of corrosion which introduces crack in the concrete cover is a crucial factor in the reinforcement corrosion problem.

In this study, relation between internal pressure and amount of corrosion are pursued by way of corrosion experiment and finite element analysis.

1. 서론

일반적으로 콘크리트는 내부의 철근의 부식을 방지하는데 아주 효과적이다. 강한 알칼리 환경은 철근 주위에 부동태막을 형성하게 하여 철근을 부식으로부터 보호한다. 또한 콘크리트의 낮은 투수성은 부식을 일으키는 물질의 침투를 어렵게 하며 콘크리트의 전기저항성을 크게 하여 전기화학적 부식전류의 흐름을 방해한다. 이러한 이유로 대부분의 콘크리트에서는 철근의 부식이 일어나지 않는다. 그러나 콘크리트의 질이 낮거나 가혹한 환경하의 콘크리트 구조물에 대한 설계가 적당하지 않을 경우, 또는 콘크리트의 사용수명 이내에 주위의 환경이 가혹한 상태로 변하였을 경우에는 철근의 부식이 발생할 수 있다. 철근부식은 해양구조물이나 화학약품 제조 공장 등에서 발견되기 시작하여 최근에는 교량의 바닥판, 주차장 등 염소이온에 노출된 다양한 구조물에서 발견되고 있다. 따라서 철근부식의 원인에 대한 많은 연구가 수행되었고 특히 부식에서 주요한 인자로서 염소이온의 영향과 중성화에 대한

- * 정회원, 서울대학교 토목공학과 교수
- ** 정회원, 서울대학교 토목공학과 석사과정
- *** 정회원, 서울대학교 토목공학과 박사수료
- **** 정회원, 서경대학교 토목공학과 교수
- ***** 정회원, 한국원자력연구소, 공학박사

연구가 많이 수행되었다. 이러한 이유로 콘크리트 내에 존재하는 철근의 부식이 발생하면 철근단면의 손실에 의한 구조물의 내하력 감소, 철근 리브의 손상에 의한 부착력 감소 등의 문제를 일으키게 되어 구조물의 내구수명을 줄인다. 또한 콘크리트 내의 철근에 부식이 발생하게 되면 철근은 부피 팽창을 일으키게 되는데, 이는 부식에 소모된 철근의 양에 비하여 부식생성물의 양이 적게는 1~2 배에서 6~7 배까지 증가되기 때문이다. 철근의 부식이 진행되어 철근의 부피가 증가함에 따라 철근은 주위의 콘크리트에 팽창압을 가하게 되고 팽창압이 커짐에 따라 콘크리트에는 인장응력이 생기게 되고 이 응력이 콘크리트의 인장강도를 넘어서면 균열을 일으키게 된다. 부식이 더 진행됨에 따라 균열이 전파되어 결국 콘크리트 덮개까지 이르러 완전한 균열을 일으키게 된다.

철근부식에 의한 콘크리트 덮개의 균열발생은 구조물의 수명이 다했음을 의미하는 것이므로 덮개의 균열을 일으키는 팽창압의 결정은 매우 중요한 문제이다. 그러나 현재로는 철근 부식이 어느 정도 진행되면 콘크리트 덮개에 균열이 발생하는지에 대하여 정량적으로 분석한 연구가 미흡한 실정이다. 이번 연구에서는 부식의 진행도에 따른 콘크리트 덮개의 인장변형률을 측정하였다. 또 유한요소 해석을 통하여 팽창압과 표면변형률의 관계를 구하여 부식정도와 팽창압의 상호관계를 조사하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료 및 배합

본 연구에서 사용한 재료로서 시멘트는 제1종 보통 포틀랜드 시멘트(비중 : 3.15)를 사용하였고 잔골재는 강사(비중 : 2.55, 조립률 : 2.6)를 사용하였으며 굵은 골재는 안성산 쇄석(비중 : 2.6)을 사용하였다. 슬럼프는 15cm, 목표공기량은 4.5%이며 그 배합사항은 표 1과 같다. 재료에 대한 전반적인 강도 특성은 표 2와 같다.

표 1 콘크리트 배합

W/C (%)	단위수량 (kg/m ³)	단위시멘트량 (kg/m ³)	잔골재량 (kg/m ³)	굵은골재량 (kg/m ³)	고성능AE 감수제 (g)
45	170	378	712	1003	756

표 2 철근 및 콘크리트의 재료특성

콘크리트	W/C (%)	45
	압축강도, f_{ck}	40.28 MPa
	인장강도, f_{sp}	3.93 MPa
	탄성계수, E_c	30019 MPa
	포아송비, ν	0.18
원형철근	인장강도, f_y	329.3 MPa
	항복강도, f_u	480.2 MPa

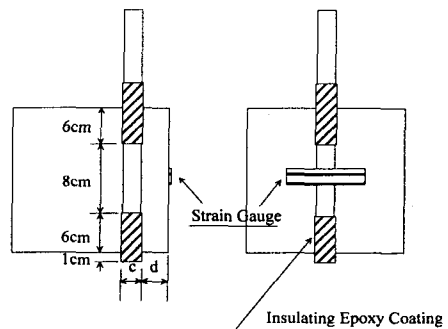


그림 1 시험체의 모양

2.2 실험변수 및 측정사항

시험체의 모양을 그림 1에 나타내었고, 순뿔개는 3cm이며 덮개지름비(c/d)는 1.5로 하였다. 시험체는 20cm×20cm×20cm의 정방형으로 실험에서 목표한 덮개를 가지도록 지름 19mm의 원형철근을 삽입하였다. 부식방법으로는 전위차 촉진부식방법을 이용하였으며 부식이 이루어지는 시편길이를 확보하기 위하여 시험체의 상부와 하부에 절연 및 방수작업을 실시하였다. 부식이 진행됨에 따라 부식회로를 흐르는 부식전류의 크기와 콘크리트 덮개의 변형률을 측정하였다.

3. 실험결과 및 해석

3.1 부식량에 따른 부식전류 및 표면변형률

이번 연구에서 철근을 부식시키기 위하여 전위차 촉진부식실험을 수행하였다. 부식회로에 흐르는 부식전류를 철근의 부식량에 대하여 나타내면 그림 2와 같다. 부식량에 따른 콘크리트 덮개의 표면변형률은 그림 3에 나타내었다.

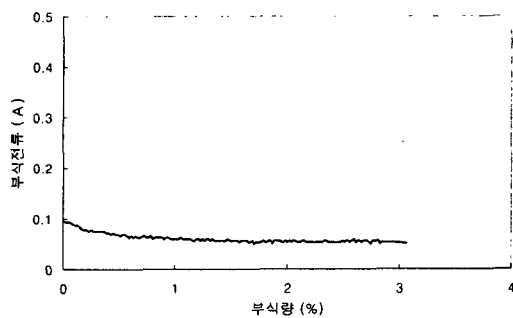


그림 2 철근 부식정도에 따른 부식전류

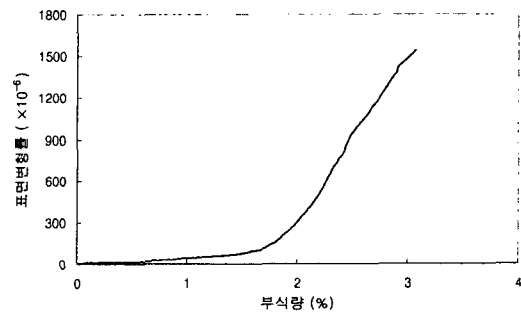


그림 3 철근부식정도에 따른 표면변형률

부식량이 증가함에 따라 부식회로를 흐르는 전류의 크기는 점차 줄어들어 결국 거의 수평의 상태로 된다. 초기에 부식량이 증가함에 따라 전류의 크기가 점차 감소하는 이유는 철근의 부식으로 인한 부식생성물이 철근의 표면에 축적되면서 부식회로의 저항을 점점 크게 하기 때문으로 생각된다. 철근부식량이 증가함에 따라 콘크리트 덮개의 표면변형률은 초기에는 서서히 증가하다가 어떠한 부식량을 지나면서부터 급격히 증가하기 시작한다. 표면변형률이 약 300 μ 에 해당하는 부식량에서 그래프의 경사가 크게 변하는데 이러한 변형률은 콘크리트 표면에 균열을 발생하게 하는 변형률로 생각된다.

3.2 유한요소 해석에 의한 팽창압과 표면변형률

그림 4는 유한요소 해석 프로그램인 다이아나를 이용하여 비선형 유한요소 해석을 통하여 철근의 내부에 균일한 팽창압을 가하여 표면의 인장변형률을 구한 것이고 그림 5는 실험에서 얻어진 표면변형률과 해석에서 얻어진 표면변형률 사이의 관계로부터 부식량과 콘크리트 내부의 팽창압 사이의 관계를 나타낸 것이다.

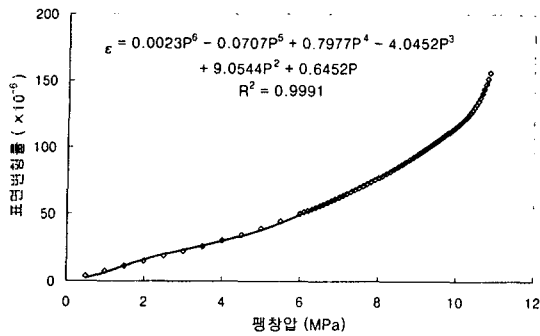


그림 4 내부팽창압과 표면변형률

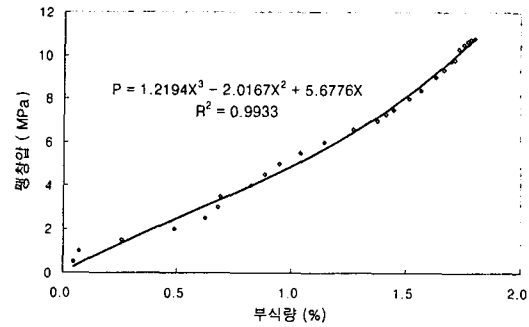


그림 5 부식량에 대한 내부팽창압

4. 결론

본 연구에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 실험에서 구한 부식량과 표면변형률 사이의 관계와 유한요소 해석으로부터 얻어진 표면변형률과 팽창압 사이의 관계로부터 주어진 시험체에 대하여 철근 부식량과 팽창압 사이의 관계를 다음의 식과 같이 얻었다.

$$\text{Internal Pressure, } P = 1.2194X^3 - 2.0167X^2 + 5.6779X$$

- 2) 다양한 실험과 해석을 통하여 일반적인 경우에 대하여 철근 부식량과 팽창압 사이의 관계를 나타낼 수 있다. 또 콘크리트 덮개 표면에 균열을 발생시키는 내부의 팽창압을 계산할 수 있다. 앞의 두 관계를 이용하면, 주어진 구조물에 대하여 해석을 통하여 콘크리트 덮개에 균열을 발생시키는 내부의 팽창압을 구하고 이 팽창압과 대응하는 철근의 부식량을 알 수 있을 것이다.

참고문헌

1. John P. Broomfield, Corrosion of Steel in Concrete, E & FN SPON, 1997.
2. Chen, W. F., Plasticity in Reinforced Concrete, McGraw-Hill Book Company, 1982.
3. H. J. Dagher, S. Kulendran, Finite Element Modeling of Corrosion Damage in Concrete Structures, ACI Structural Journal, V.89, No.6, 1992.
4. S. J. Pantazopoulou, K. D. Papoulia, Modeling Cover-Cracking Due To Reinforcement Corrosion In RC Structures, Journal of Engineering Mechanics, 2001.
5. C. Alonso, C. Andrade, J. Rodriguez, J. M. Diez, Factors controlling cracking of concrete affected by reinforcement corrosion, Materials and Structures, Vol.31, 1998, pp435-441.
6. Rasheduzzafar, S. S. Al-Saadoun, A. S. Al-Gahtani, Corrosion Cracking in Relation to Bar Diameter, Cover, and Concrete Quality, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol.4, No.4, 1992.