

# 지속 하중하에서 철근콘크리트 부재의 염화물 침투특성에 따른 철근부식에 관한 연구

## A Study on the Reinforcing Bar Corrosion Caused by Permeation of Chloride Ion Under Sustained Load

최 일 호<sup>\*</sup>                      김 형 래<sup>\*\*</sup>                      윤 상 천<sup>\*\*\*</sup>                      지 남 용<sup>\*\*\*\*</sup>  
Choi, Il Ho                      Kim, Hyung Rae                      Yoon, Sang Chun                      Jee, Nam Yong

### ABSTRACT

This study was carried out to estimate the effects of the loading conditions on the corrosion of reinforcing bars and permeation of chloride ion.

The permeation of chlorides depends not only on the transfer properties in concrete but also on the load applied in the case of reinforced concrete structures. Recent studies reported that the loading conditions affected the corrosion rate of the reinforcing bars under existence of an external current supply. But it was not reported that loading conditions affected corrosion of reinforcing bar caused by the characteristics of permeation and the process of cracking.

In this experiment, it was shown that the corrosion of reinforcing bars and the characteristics of permeation were greatly affected by the loading conditions.

### 1. 서론

철근콘크리트 구조물에는 항시 외력이 작용하고 있어 콘크리트에 미세균열이 발생하는 등으로 인한 콘크리트 내부로의 염화물, 수분, 산소 등의 침투가 용이해져 철근부식에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 즉 콘크리트 내부로의 염화물의 침투는 단지 콘크리트 품질의 차이뿐만 아니라, 하중 및 변형에 의한 미세균열의 발생 등 내부구조의 변화에 영향을 받는다. 이와 관련하여 최근 지속 하중하에서 외부전원에 의한 철근부식 촉진시험시 하중의 크기와 조건에 따라 철근부식속도가 크게 달라진다는 연구결과<sup>1)</sup>가 보고되고 있으나, 철근콘크리트 부재의 균열진전, 염화물 침투특성의 경시변화 및 이러한 변화에 따른 철근부식 메카니즘을 규명하기 위한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 지속 하중하에서 철근콘크리트 부재의 균열의 유무 및 진전여부에 따른 염화물 침투특성을 파악하여, 철근부식과의 상관관계를 검토함으로써 철근콘크리트 내부의 철근부식에 미치는 하중조건의 영향을 평가하고자 한다.

\* 정회원, 한양대학교 대학원 건축공학과 석사과정  
\*\* 정회원, 대한주택공사 주택연구소 연구원  
\*\*\* 정회원, 대한주택공사 주택연구소 선임연구원  
\*\*\*\* 정회원, 한양대학교 건축공학부 교수

## 2. 실험 개요

### 2.1 실험인자 및 수준

본 실험은 하중조건을 실험인자로 하여 철근콘크리트 부재의 염화물 침투특성과 철근부식에 미치는 하중조건의 영향을 파악하고자 하였다. 그에 따른 실험인자 및 수준은 표 1과 같다.

표 1 실험인자 및 수준

실험인자	실험수준	비 고
하중조건	0	기준시험체(REF시험체)
	PL-120	1.2M <sub>cr</sub> 에 상응하는 사전하중
	SL-80	0.8M <sub>cr</sub> 에 상응하는 지속하중
	SL-100	1.0M <sub>cr</sub> 에 상응하는 지속하중
	SL-120	1.2M <sub>cr</sub> 에 상응하는 지속하중

### 2.2 시험체

시험체는 물-시멘트비 0.53, 잔골재율 51%로서 표 2와 같이 배합한 콘크리트를 사용하여 제작하였으며, 실온에서 48시간 경과 후 탈형하여 26일 동안 수중양생하였다. 콘크리트의 슬럼프와 공기량은 각각 15cm, 4.5%였으며, 재령 28일의 콘크리트 압축강도는 306kgf/cm<sup>2</sup>였다.

표 2 콘크리트 배합표

시멘트 (kg/m <sup>3</sup> )	물 (kg/m <sup>3</sup> )	잔골재 (kg/m <sup>3</sup> )	굵은 골재 (kg/m <sup>3</sup> )	A.E제 (g)	감수제 (g)
329	146	912	864	0.905	36.18

시험체는 그림 1과 같이 폭 80mm, 길이 120mm, 길이 1000mm의 단근보이며, 철근피복두께는 30mm로 제작하였다. 각 시험체에는 항복강도 3000kgf/cm<sup>2</sup>인 D10 철근을 인장축에 배근하였고, 동(銅)메쉬를 압축축에 매입하여 갈바닉전류를 측정하기 위한 부식셀을 구성하였다. 또한, 시험체의 상·하면을 제외한 측면은 염수 침투량 측정시 측면으로의 수분증발을 막기 위해 실리콘을 사용하여 코팅하였다. 제작된 시험체의 최대 휨하중은 1659kgf로 측정되었다.

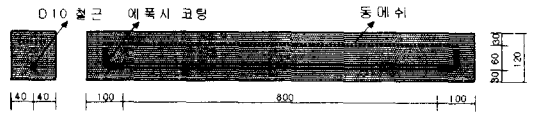


그림 1 시험체의 형상(단위:mm)

### 2.3 실험장치

실험장치는 철근부식 촉진환경을 설정하기 위한 폰딩장치와 지속하중을 적용하기 위한 재하장치로 구성된다. 폰딩장치를 시험체의 인장축 면에 설치하여 5% 염화나트륨용액(이하 염수라 함)이 침투되도록 하였으며, 염수의 침투량을 측정하기 위해 그림 2와 같이 20ml의 메스피펫(1ml 눈금)을 설치하였다. 재하장치는 지렛대의 원리를 이용하여 그림 3과 같이 제작하였으며, 시험체에는 계산상의 휨균열 모멘트에 해당하는 하중의 80%, 100%, 120%인 358kgf, 448kgf, 538kgf의 하중을 4점재하로 가하였다. 또한, 시험체의 중앙부에 다이얼 게이지를 설치하여 시간경과에 따른 시험체의 처짐값을 측정하였다.

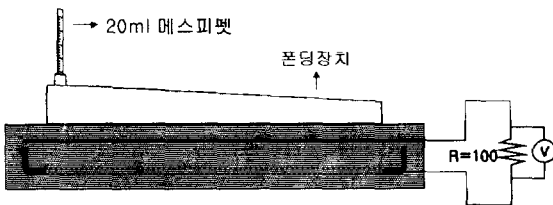


그림 2 염수폰딩장치

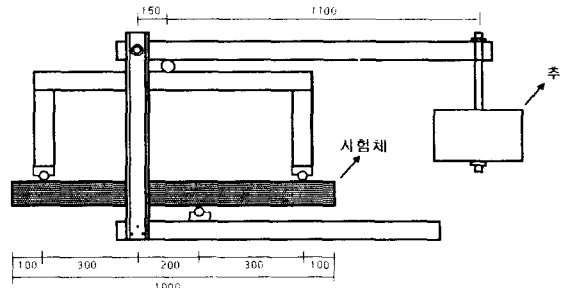


그림 3 재하장치(단위:mm)

## 2.4 실험내용 및 방법

하중조건에 따른 처짐으로 인한 균열진전 및 콘크리트 조직내부의 미세균열발생에 따른 염수 침투량을 경과시간별로 측정하였다. 경과시간에 따른 염수 침투량으로부터 침투속도를 산출하여 하중수준별 시험체의 침투특성을 평가하였으며, 동시에 그림 2와 같이 철근과 동메쉬로 구성된 갈바넉셀에 100 Ω의 저항을 연결하고, 그 저항에 걸리는 전압을 측정함으로써 부식전류값을 산출하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 철근콘크리트 부재의 균열 및 처짐

지속하중의 크기별 시험체의 처짐값 경시변화는 그림 4와 같다. SL-80, SL-100, SL-120 시험체의 초기처짐값은 각각 0.202mm, 0.333mm, 0.487mm이었고, 측정재령 23일까지의 처짐값(크리프에 의한 처짐 포함)은 각각 0.552mm, 0.687mm, 0.860mm로 나타났다. 한편, 재하직후 발생된 최대균열폭은 SL-100 및 SL-120 시험체의 경우, 각각 0.02mm와 0.04mm였으며, SL-80 시험체는 초기균열이 발생하지 않았다. 사전하중을 가하여 미리 균열을 발생시킨 PL-120 시험체의 경우, 재하직후 발생된 최대균열폭이 0.04mm이었으나, 하중 제거후의 균열폭은 0.02mm였다.

### 3.2 철근콘크리트의 염수침투특성

하중조건별 시험체의 총침투량 및 침투속도의 경시변화는 그림 5와 같다. 염분침투실험 개시직후 시험체의 초기조건, 즉 초기균열, 처짐의 급격한 진전에 따른 균열진전 및 건조된 시험체의 초기흡수 등에 의해 침투량이 급격히 증가하였지만, 1일 경과후의 침투속도는 거의 일정하게 유지되었다.

### 3.3 콘크리트내부의 철근부식

하중조건별 시간경과에 따른 콘크리트 내부철근의 부식전류는 그림 6과 같다. 한편, 기존 연구<sup>4)</sup>에 의하면 철근의 부식개시시점이 되는 부식전류밀도는  $0.3\mu\text{A}/\text{cm}^2$  이상이라고 보고되어 있다. 본 실험에서 이 부식전류밀도에 해당하는 부식전류는 0.075mA로, SL-120 시험체의 경우 염수침투후 4시간 이후에 부식전류가 급격히 증가하여 0.12~0.20mA의 값을 유지하고 있는 것으로 나타나 부식이 개시된 것을 알 수 있으며, PL-120 시험체는 약 13일이 경과된

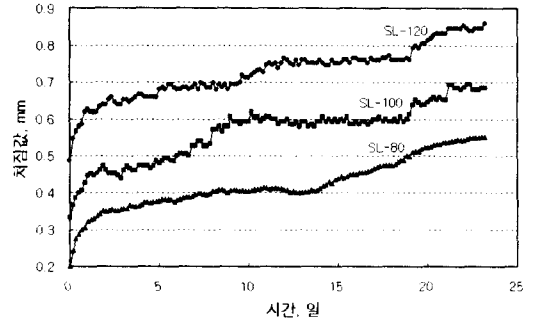


그림 4 처짐값 경시변화

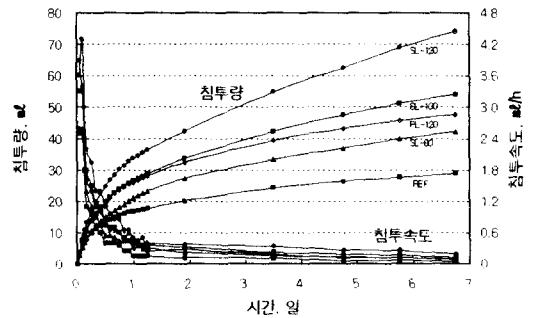


그림 5 침투량 및 침투속도 경시변화

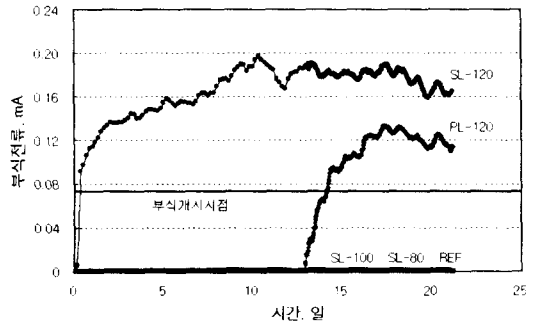


그림 6 부식전류 경시변화

후 부식전류가 급격히 증가하여 실험재령 14일에 0.075mA를 초과하여 부식이 개시되었음을 알 수 있다. 또한, 하중을 가하지 않은 REF, SL-80 및 SL-100 시험체는 부식전류의 변화가 거의 없어 아직 부식이 개시되지 않은 것으로 판단된다.

#### 3.4 하중조건별 염분침투 및 철근부식

하중조건 및 수준에 따른 철근콘크리트 부재의 염수침투속도는 SL-80, SL-100 및 SL-120 시험체는 각각 2.60ml/h에서 0.09ml/h로, 3.30ml/h에서 0.13ml/h로, 4.30ml/h에서 0.19ml/h로 감소하고, REF와 PL-120 시험체는 각각 2.50ml/h에서 0.05ml/h로, 3.90ml/h에서 0.08ml/h로 감소하고 있다. 한편, 실험재령 1일 이전의 염수 침투량의 크기는 SL-120, PL-120, SL-100, SL-80, REF 시험체의 순서였으며, 그 이후에는 SL-100 시험체의 침투량이 PL-120 시험체의 침투량보다 크게 나타났다. 이는 PL-120 시험체의 경우 균열이 진전되지 않는 반면, SL-100 시험체는 지속하중으로 인한 처짐값의 증가로 균열이 계속해서 진전되기 때문이라고 판단된다.

콘크리트내부 철근부식의 개시시점은 동일한 하중수준에서의 하중조건에 따라, 즉 사전하중 및 지속하중에 따른 초기균열폭의 차이에 의해 크게 영향을 받으며, 지속하중의 크기에 따른 차이 또한 동일한 경향을 나타내는 것으로 판단된다. 또한 적용하중의 조건 및 크기에 의해 좌우되는 초기균열폭 및 처짐의 진전여부에 의해 콘크리트 내부로의 염화물 침투특성이 크게 달라지게 되며, 이로 인해 철근부식경향도 크게 달라지는 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 실험결과 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) 하중조건에서 지속하중이 클수록 염수의 침투량 및 침투속도가 크게 나타나므로, 지속하중이 철근콘크리트 부재의 침투특성에 큰 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다.
- (2) 콘크리트 내부철근의 부식개시시점은 PL-120과 SL-120의 경우 4시간 이내와 14일로 나타나 부식개시시점은 동일한 하중의 경우 사전하중보다는 지속하중에 큰 영향을 받으며, 지속하중의 경우 크기가 클수록 빨라지는 것으로 나타났다.

▣ 본 연구는 한양대학교 부설 초대형구조시스템연구센터의 연구비 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 1) R. Francois, G. Arliguie, "Effect of microcracking and cracking on the development of corrosion in reinforced concrete members", Magazine of Concrete Research, Apr., 1999.
- 2) 大野義照, 鈴木計夫, 田村博, "ひび割れの生じたコンクリート中の鉄筋腐食", セメント・コンクリート論文集 No. 47, 1993.
- 3) 米倉亜州夫, 田沢栄一, 黒沢功, 井上英司, "一軸圧縮応力を受けるコンクリートの透気性および吸水特性", 콘크리트工学年次論文報告集 12-1, 1990.
- 4) 지남용, 윤상천, 김형래, "철근콘크리트 보의 철근부식에 미치는 하중의 영향에 관한 연구", 콘크리트학회 논문집, 제11권 3호, 1999. 6.
- 5) 대한주택공사 주택연구소, "환경조건별 공동주택의 수명예측에 관한 연구", 1998. 10.