

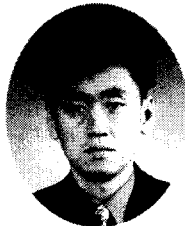
## 철근부식상태에 따른 철근콘크리트 보의 슬립특성

### Slip Characteristics of Reinforced Concrete Beams to Corroded Steel State



권영웅\*

Kwon, Young-Wung



최봉섭 \*\*

Choi, Bong-Seob



정용식\*\*\*

Chung, Yong-Sik

#### ABSTRACT

Reinforced concrete structures are constructed under the basic assumption of perfect bonding between steel and concrete. The corrosion of steel in the reinforced concrete beams results in the excessive cracks and gradual deterioration of concrete. This paper are concerned about the slip characteristics of reinforced concrete between steel and concrete. The accelerated test by external power supply was conducted with the three corrosion rates in the laboratory.

As a result, it was obtained as follows: (1) the yield strength of steel was reduced according to corrosion states. (2) the equivalent steel area should be considered for detailed analysis. (3) According to the use of corroded steel or not, slip amounts between concrete and steel in test beams increased as the corrosion rate increased. These results can be explained from the bond loss between concrete and steel in test beams.

**Keywords** : bonding, corrosion, corroded steel, slip, bond loss, accelerated corrosion

\* 정회원, 인천대학교 건축공학과 교수, 공학박사  
\*\* 정회원, (주)합건설방재기술단, 인천대·중앙대 강사  
\*\*\* (주)한진중공업 부장

• 본 논문에 대한 토의를 2000년 4월 30일까지 학회로 보내 주시면 2000년 6월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

철근콘크리트 구조물은 반영구적인 구조물로 여겨지고 있으나 설계나 시공상의 오류 및 유지관리의 소홀로 말미암아 콘크리트의 중성화나 균열 등으로 인하여 철근부식으로 인한 성능저하가 일어난다.

현재 IMF체제 하에서 공사가 재개되는 많은 건설현장에서 부식 철근의 사용성을 놓고 시공초기 단계에서부터 많은 고민에 빠져있다. 이는 철근의 부식정도에 있어서 한국공업규격(KS)에서 제시되고 있는 철근에 대한 품질상의 반입허용치와 현재 건설현장에서 기초립 되어있거나 산적된 부식 철근을 어느 정도 허용하느냐 하는 문제이다. 이와 같이 건설현장에서는 이 분야의 연구를 매우 시급히 요구하고 있다.

균열(cracking)이나 박락(spalling) 및 철근의 부식(corrosion)은 내구성 문제에서 중요하다. 기존의 연구결과<sup>(1,2)</sup>에 따르면 철근의 부식은 철근의 지름, 표면상태 그리고 콘크리트의 피복두께, 보강철근의 형상이나 철근량, 주근의 배치방향, 부재단면력의 조합 등에 문제가 되고있는 것으로 알려져 있다. 이러한 철근의 부식현상은 철근 주위의 균열에 의한 철근의 횡구속력이 감소되고, 철근의 표면조건 변화에 따른 철근과 콘크리트면의 변화를 유발하여 부착강도를 감소시킨다. 부식으로 인한 철근과 콘크리트의 표면조건의 변화는 초기에 표면의 거칠기(roughness)가 형성되고, 그 후에 철근과 콘크리트간의 부식생성물로 인해 부착성능이 감소하고, 종국적으로 철근리브(rib)의 점식(pitting)과 성능저하(degradation)의 진행에 의한 국부적인 손상을 초래하게 된다.<sup>(3)</sup> 따라서 RC구조물의 역학적 거동에 위해를 가져오지 않는 철근의 허용 부식정도를 얻을 수만 있다면 이는 콘크리트 공사에 직·간접적 측면에서 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

본 연구에서는 철근과 콘크리트의 부착거동 측면에서 철근의 부식도에 따른 철근과 콘크리트간의 슬립(slip)특성에 관해 알아보고, 그 정도를 공학적으로 확인하여 부식철근의 사용에 따른 문제점에 대한 공학적 지식을 제공하고자 한다. 또

한 철근콘크리트 구조물의 부식, 열, 부착특성과 극한강도들의 역학적 특성을 구함으로서 부식철근의 사용가능성 정도를 규명하고자 한다.

## 2. 실 험

### 2.1 실험 계획

본 연구에서는 철근의 허용 부식정도를 정량화하기 위해 인공 전위차 부식촉진법을 도입하여 철근을 부식시켰다. 또한 부식철근과 녹제거 여부에 따른 철근콘크리트 보를 제작·시험하여 슬립(slip)특성을 알아보았다. 이 때의 철근의 부식도는 3%, 6%, 12%이며, 콘크리트 강도는 240kg/cm<sup>2</sup>로 동일하게 사용하였으며, 그 내용은 Table 1과 같다.

Table 1 Test variables for the effect of slip

Test Specimen	Reinforcement Condition	Corrosion Rate (%)	Concrete Strength (kg/cm <sup>2</sup> )
GC-C3-30	Corroded Steel	3	240
GC-C6-30		6	240
GC-C12-30		12	240
GC-R3-30	Corrosion Removed Steel	3	240
GC-R6-30		6	240
GC-R12-30		12	240

### 2.2 사용 재료

#### 2.2.1 콘크리트

본 연구에서 사용된 콘크리트 강도는 240kg/cm<sup>2</sup>을 사용하였다. 콘크리트 배합은 회전식 믹서(rotary drum mixer)를 사용하여 비빔하였으며, 잔골재, 시멘트와 굵은 골재의 순으로 투입하여 약 1분간 건비빔한 후, 물을 첨가하여 3분간 비빔하여 공시체를 제작하였다. 본 실험에서 사용한 콘크리트 배합내용은 Table 2와 같다.

#### 2.2.2 철근

본 실험에서 사용된 철근은 D6, D10, D16

Table 2 Mix proportioning of concrete

Concrete Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Maximum Aggregate (mm)	Slump (mm)	W/C (%)	S/A (%)	Unit Weight(kg/m <sup>3</sup> )			
					C	S	A	W
240	19	170	54	41	370	716	1026	200

Table 3 Test results of tension specimen

Classification	Specimen							
	Accelerated Corroded Steel(%)							
	D10				D16			
	0	3	6	12	0	3	6	12
Yield Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	4870	4732	4725	4022	4628	4196	4164	3995
Tensile Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	6354	6108	5846	5402	6900	5946	6068	5828
Displacement at Yielding(mm)	1.56	1.65	1.7	1.8	2.45	2.4	2.6	2.05

(각각 SD40)이다. D10, D16철근은 인공 전위차 부식 촉진방법을 이용하여 인위적으로 부식시켰으며, KS B 0801과 KS B 0802에 따라 인장시험을 수행하였다.

부식도에 따른 철근의 인장시험결과는 Table 3과 같다. 이 때 부식철근의 기계적 항복강도와 인장강도가 부식도에 따라 달리 나타나고 있는데, 이는 부식으로 인한 단면적 감소를 고려하지 않은 결과때문이다.

### 2.3 철근의 촉진 부식

철근 부식과정에서 가장 중요한 특징은 전기-화학적(electrochemical) 기구를 형성하는 것이다.<sup>(4)</sup> 철근 부식의 직접적인 원인은 콘크리트의 중성화, 염화물의 함유량, 산소의 존재 여부와 간접적인 원인으로 콘크리트의 피복두께, 균열발생 여부, 온도·습도의 영향, 철근의 작용응력 등이 대표적이라 할 수 있다.<sup>(5,6)</sup> 본 연구에서는 철근을 인위적인 부식으로 정량화하기 위해 페라데이(faraday)의 전기분해법칙을 사용하였다.

이러한 페라데이의 전기분해 법칙<sup>(7)</sup>에 의해 철근을 인위적으로 부식시키는데 있어서 가장 중요

한 부분은 일정시간동안, 일정전류를 흘려줄 수 있는 정전류 회로를 구성하는 것이다. 부식량은 철근의 중량비로 계산하였고, 부식에 사용된 철근은 3%, 6%, 12%의 부식도를 갖도록 설정하였다. 또한 요구되는 부식도를 얻기 위해 부식도에 맞추어 일정전류와 시간을 걸어주었다. Table 4는 각 철근에 대한 예상 부식량, 시간, 전류값을 나타내고있다.

Table 4 Expected corrosion weight and time(4±0.2A)

Classification	Diameter of Steel	Corrosion Rate		
		3%	6%	12%
Corrosion Weight(g)	D10	15.96	31.94	63.84
	D16	44.46	88.92	177.84
Corrosion Time(sec)	D10	13,788	27,576	55,153
	D16	38,410	76,819	153,639

### 2.4 부식철근의 녹제거

부식철근과 현장에서 녹슨 철근의 녹을 제거하기 위하여 G사의 녹제거 용액을 사용하였다. 녹

제거 용액은 저압스프레이를 이용하여 분사하는 방법으로 시공하였다. 녹제거 용액의 반응시간은 실내 온도에서 3~4시간이 필요하며 완전히 마르는데는 20~25℃의 온도에서 24시간 정도가 걸린다. 완전히 마르기 전에 물에 닿거나 비를 맞는 경우에는 재 시공을 해야하는 단점이 있다. 그러나 녹제거 용액을 사용하여 부식철근을 녹을 제거할 경우 녹 제거로 인한 모체 표면의 손상이 없고, 콘크리트의 부착력에 일체 영향을 주지 않는다는 시험 결과가 나와있으며, 특히 내염성이 강하기 때문에 만약 염수가 약간 섞인 해사가 사용될 경우나 콘크리트속에 염수가 스며들었을 경우에 상당한 방청효과를 가지는 것으로 밝혀졌다.<sup>(8,9)</sup> Table 5는 녹 제거용액의 재료적 특성을 나타내고 있다.

Table 5 Material properties of steel and solution

Classification	Properties of Material	
Composition	Phosphoric-acid, zeolite, special softening admixture, Inactive composition, Water	
Properties of Physical and Chemical	Color	Light brown
	Smell	Ureal
	Dissolution	Water
	Freezing Point	0℃
	Not explosive and Inflammable	

## 2.5 슬립시험

### 2.5.1 시험체 제작

시험체의 단면과 형상은 Fig. 1과 같이 150×150×1000mm로 하였으며, 인장철근과 압축철근은 각각 D16과 D10철근을 사용하였다. 또한 전단보강근은 50mm 간격으로 D6 철근을 배근하였다. 콘크리트의 피복두께는 인장철근의 중심으로부터 25mm로 하였다. 인장철근의 변형율을 측정하기 위하여 시험체의 중앙에 변형계이지(strain gauge)를 설치하였다.

부식도에 따른 철근과 콘크리트간의 슬립량을

측정하기 위해 시험체 단부의 인장철근에 스티로폼(styroform)을 홈(hole)을 내어 설치하였다. 콘크리트 타설시 진동에 의한 영향을 방지하기 위해 거푸집 표면에 밀착하였다.

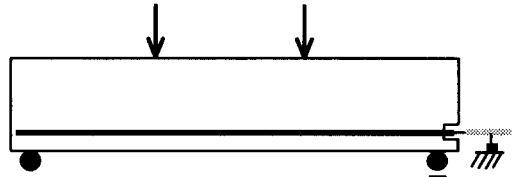


Fig.1 Test set-up

### 2.5.2 실험장치 및 재하방법

철근의 부식도에 따른 철근콘크리트 보에 가력을 위해서 최대 스트로크(stroke)이 250mm이고, 최대하중 25ton 용량의 액추에이터(INSTRON 8800)에 연결하여 사용하였다.

가력면은 평활정도에 따른 응력집중을 방지하고 실험체에 균일한 하중이 작용할 수 있도록 구면좌(spherical sheet)를 사용하였으며, 보의 중앙부 처짐과 단부의 슬립을 측정하기 위해 변위계(LVDT : linear variable displacement transducer)를 설치하였다.

시험체의 파괴는 반력프레임(strong frame)에서 가력용 강재를 이용하여 3점 재하 휨 시험(third point loading)을 실시 하였다. 또한 시험체의 급작스러운 사인장, 파괴보다는 휨 파괴를 유도하기 위해 가력속도는 0.5ton/min으로 시험체에 하중을 가력하였다. 시험체의 단부에는 강재 로울러(roller)를 설치하여 수평방향 변위와 회전 에 대한 구속이 없도록 하였다.

하중의 크기와 변위 및 변형율은 보조 데이터 로거(Kowya - UCAM 70A - sub-indicator)와 컴퓨터(main-indicator)를 통해 데이터를 자동으로 처리하여 얻을 수 있게 하였다.

## 3. 실험결과

본 연구에서는 전위차 인공부식 촉진방법을 이용하여 요구되는 철근의 부식량을 얻을 수 있었다. 철근부식도에 따른 콘크리트 보의 휨강도 특성이외에 콘크리트와 철근간의 부착특성에 의한 슬립현상을 알아보기 위해 동일한 콘크리트 강도

( $f_{ck}=240\text{kg/cm}^2$ )와 부식도가 3, 6, 12%인 철근을 이용하여 시험체를 제작하였고 파괴양상 및 강도와 슬립의 특성은 다음과 같다.

### 3.1 파괴양상

#### 3.1.1 부식철근을 사용한 시험체

부식철근을 사용하여 만든 시험체(GC-C-30 series)는 콘크리트 강도가  $240\text{kg/cm}^2$ 으로 동일하고 부식도가 3%, 6%, 12%인 철근을 보의 압축과 인장축에 배근한 시험체이다. 육안으로 볼 수 있을 정도의 슬립현상은 볼 수 없었지만, 최대 내력에 이르렀을 때 철근주변의 콘크리트면에 미세균열 현상을 볼 수 있었다.

Fig. 2는 부식도가 3%, 6%인 경우 최대하중이나 슬립량의 변화는 거의 없게 나타난다. 그러나 부식도가 12%일 경우에는 그 변화가 크게 나타나고 있다. 한편 Fig. 3에서는 부식도에 따라서 보의 내력강도가 거의 비례적으로 감소하고 있음을 보여주고 있다.

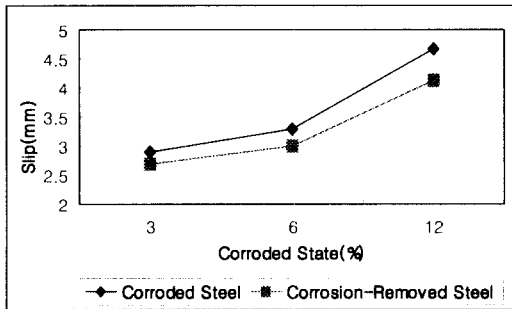


Fig. 2 Comparison of slips between corroded steel and corrosion-removed steel

#### 3.1.2 녹제거 철근을 사용한 시험체

부식철근의 녹을 제거한 후 만든 시험체(GC-R-30 series)는 부식철근을 사용하는 만든 시험체(GC-C-30 series)와 실험조건은 동일하며, 단지 부식된 철근의 녹을 제거한 것이 다른 시험체이다. 부식철근을 이용한 시험체와 비교해 볼 때 슬립량의 차이는 그리 크지 않지만, 부식도가 증가할수록 슬립성향이 커지는 것을 볼 수 있었다.

특히 Fig. 3에서 부식철근의 녹을 제거하여 사용하는 것이 역학적으로 유리함을 알 수 있다.

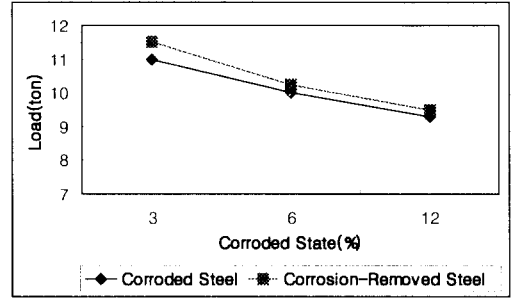


Fig. 3 Comparison of strength between corroded steel and corrosion-removed steel

### 3.2 슬립과 부재의 강도

Fig. 2와 3은 철근의 부식도에 따른 철근콘크리트 보의 단부 부분에서 철근과 콘크리트간의 슬립과 최대강도와의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서도 알 수 있듯이 철근의 부식도가 증가함에 따라 콘크리트와 철근간의 슬립량은 증가함을 알 수 있으며, Fig. 4과 Fig. 5에서는 이러한 하중-슬립 관계를 잘 나타내고 있다.

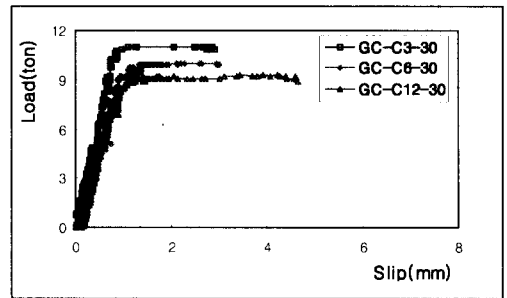


Fig. 4 Load-slip relationships for the effect of corrosion steel

## 4. 실험결과와 고찰

콘크리트와 철근간의 슬립은 여러 가지 요인에 의해 영향을 받는다. 즉 시험체의 파괴시

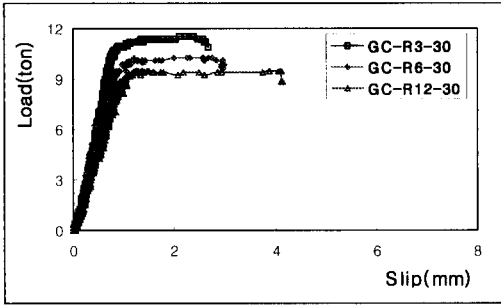


Fig. 5 Load-slip relationships for the effect of steel with removed corrosion

최대강도에서 발생하는 슬립의 크기나 최대강도와 슬립의 기울기 등은 철근의 직경, 철근의 부식도, 콘크리트 강도 등의 영향에 따라 각각 다르게 표현될 수 있다.

본 연구에서는 동일한 콘크리트강도( $f_{ck} = 240 \text{ kg/cm}^2$ )에서 철근의 부식도에 따른 슬립의 영향을 알아보았다. 또한 부식철근과 녹제거철근에 대한 슬립의 영향을 비교·검토하였다.

실험결과에서 알 수 있듯이 철근의 부식도가 증가할수록 슬립량이 증가됨을 알 수 있었으며, 특히 부식도가 12%인 경우는 3%의 부식도에 비해 50~60%의 슬립신장율을 나타내었다. 이는 초기단계에서 부식된 철근의 마디와 마디사이에서는 철근과 콘크리트 경계면의 마찰력에 의해 콘크리트 보 부재가 선형거동을 보여주지만, 그 후는 철근과 콘크리트의 기계적인 상호작용으로 인해 콘크리트 파쇄면이 거의 힘을 받지 못하는 상태에 이르러 슬립신장률이 갑자기 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

또한 하중-슬립의 곡선에서 부식도가 증가할수록 기울기가 감소하는 현상을 볼 수 있었다. 이것은 철근의 마디와 콘크리트간의 기계적 상호작용으로 발생하는 응력이 철근의 부식도에 따라 마디의 부식에 따른 마디와 마디사이의 간격이 넓어지게 되어 서로간의 맞물림(interlocking)작용이 감소하기 때문이라 생각된다.

따라서 철근의 부식으로 인한 콘크리트의 균열이나 박락(spalling)은 철근과 콘크리트와의 계면 상태(condition)와 부착특성, 그리고 철근의 부식도가 중요한 변수로 작용한 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구는 철근콘크리트 보에 있어서 부식된 철근을 사용하였을때 나타나는 역학적 특성을 일련의 실험을 통해 밝혀 내는 것이다.

이를 위해 철근의 부식도와 부식된 철근의 녹제거 여부를 가지고 부식을 전후한 철근과 콘크리트간의 슬립현상에 대한 성향을 알 수 있었다.

- 1) 철근은 전위차에 의한 촉진시험에 의하여 양적으로 부식시킬 수 있다.
- 2) 철근의 부식도에 있어서 부식도가 증가할수록, 그리고 직경이 크면 클수록 더 많은 부식량이 발생된다. 이는 부식도의 증가에 따른 염화나트륨(NaCl)용액에서의 침수시간과 접촉 계면적의 증가 때문으로 판단된다.
- 3) 철근의 부식도는 약간의 항복강도의 저하를 가져온다. 이는 부식도에 따른 철근 직경의 감소에서 오는 결과이다. 그러므로 부식철근 사용시 부식도에 따라 공칭치수의 보정이 필요하다.
- 4) 부식도가 3%에서 12%로 바뀔때 철근콘크리트 보의 강도손실은 20%에 달한다. 이는 철근의 부식으로 인한 단면손실 보다는 부식철근과 콘크리트 간의 계면부착 손실에서 오는 결과로 판단된다.
- 5) 부식철근을 사용한 철근콘크리트 보에 있어서 콘크리트와 철근간의 슬립현상은 부식도가 클수록 그 정도가 커진다. 예컨대  $f_{ck} = 240 \text{ kg/cm}^2$ 일 경우, 부식도가 12%인 경우의 슬립은 부식도가 3%인 경우보다 1.5배 커진다.

## 참고문헌

1. M. Matsushima, T. Tsutsumi, H. Seki, K. Matsui., "Corrosion Rate of Reinforcement in Concrete due to Chloride Attack" Concrete Repair, Rehabilitation and Protection, Published in 1996.
2. G. J. Al-sulaimani, M. Kaleemullah, I. A.

- Basunbul, and Rasheeduzzafa., "Influence of Corrosion and Cracking on Bond Behavior and Strength of Reinforced Concrete Members", ACI Structural Journal, Technical Paper, pp. 220-231, March-April 1990.
3. ASTM, "Standard Test Method for Comparing Concretes on the Basis of the Bond Developed with Reinforcing Steel", ASTM, C 234-91a, pp.153-157, 1991.
  4. Abdul-Hamid J. Al-Tayyib and Mohammad Shamim Khan., "Corrosion Rate Measurements of Reinforcing Steel in Concrete by Electrochemical Techniques", ACI Materials Journal, Technical Paper, pp.172-177, May-June 1988.
  5. 문한영, 김성수, "염화물을 함유한 콘크리트중의 철근방식을 위한 방청제의 효과", 콘크리트 학회지 제 10권 6호, 1998. pp325-333.
  6. 오병환, 장승엽, 신용석, 차수원, 김광수, "콘크리트 내부염소이온에 의한 철근의 부식특성에 관한 연구", pp197-202.
  7. 유환구, 이병덕, 김국한, 안태송, "철근의 부식정도 와 부착강도에 대한 연구", 한국콘크리트학회 학술 발표 논문집, 1998. pp621-626.
  8. Bilal S. Hamad, "Comparative Bond Strength of Coated and Uncoated Bars with Different Rib Geometries", ACI Materials Journal, Technical Paper, pp.579-590, Nov-Dec 1995.
  9. ASTM, "Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens", ASTM G1-81, pp. 829-834, 1981.

## 요 약

철근콘크리트 구조물은 콘크리트와 철근이 일체거동을 한다는 전제로 성립되는 구조이다. 그러므로 철근콘크리트 구조물에 있어서 철근의 부식문제는 매우 중요한 의미를 갖는다. 본 연구에서는 철근과 콘크리트의 부착거동을 통해 슬립정도를 알아보기 위하여 이형철근의 부식도(3%, 6%, 12%)와 부식 철근의 녹제거를 변수로 하여 고찰하였다. 이때 철근의 부식은 전위차에 의한 부식촉진시험으로 하였다.

철근의 부식도는 약간의 항복강도의 저하를 가져온다. 이는 부식도에 따른 철근 직경의 감소에서 오는 결과이다. 그러므로 부식철근 사용시 부식도에 따라 공칭치수의 보정이 필요하다. 부식도가 3%~12%일 때 철근콘크리트 보의 강도손실은 20%에 달한다. 이는 철근의 부식으로 인한 단면손실 보다는 부식철근과 콘크리트 간의 계면부착력의 손실에서 오는 결과로 판단된다. 부식철근을 사용한 철근 콘크리트 보에 있어서 콘크리트와 철근간의 슬립현상은 부식도가 클수록 그 정도는 커지며  $f_{ck}=240\text{kg/cm}^2$ 일 경우 부식도가 12%인 경우 부식도가 3%인 경우보다 슬립이 1.5배 커짐을 알 수 있었다.

(접수일자 : 1999.10.14)