

# 철근의 부식도가 콘크리트의 부착강도에 미치는 영향

- 콘크리트 강도와 철근매입 조건을 인자로 하여 -

## Effect of the Rebar Corrosion Rate on Bond Strength in Reinforced Concrete

- Factors caused by compressive strength and embedded rebar condition -

김현욱\*                      지남용\*\*                      윤상천\*\*\*  
Hyun-Uk Kim                Nam-Yong Jee                Sang-Chun Yoon

### ABSTRACT

The social trouble to the durability of concrete rises recently because the embedded rebar corrosion influences concrete structures to deteriorate structural capacity. And also, the rebar corrosion causes crack of concrete, decrease of steel section and separation of covering concrete. In the result, the bond strength of concrete and embedded rebar decreases, which causes deterioration of the structure behavior in reinforced concrete.

In this study, the relation of bond strength and bond-slip was understood to evaluate capacity deterioration of reinforced concrete, and experiments were carried out by compressive strength and embedded rebar condition in the rebar corrosion rate.

### 1. 서론

최근에 들어 여러 가지 환경적, 물리적 및 화학적 요인에 의해 콘크리트 속에 묻힌 철근이 부식되고 있다. 철근부식은 콘크리트 구조물에 영향을 주어 구조물의 성능저하를 유발시킴으로써 콘크리트 내구성에 대한 문제가 사회적으로 대두되고 있다.<sup>1)</sup>

한편, 철근콘크리트 구조물의 철근과 콘크리트가 일체거동을 하기 위해서는 철근과 콘크리트간의 부착력이 완벽히 발휘되어야 한다. 그러나 철근부식현상으로 철근을 감싼 콘크리트의 균열발생, 철근단면의 감소 및 피복콘크리트의 박리나 탈락등의 현상을 가져오며, 결국 콘크리트와 철근의 부착력 저하를 유발하여 철근콘크리트 구조물에서 철근과 콘크리트의 일체거동을 저하시킨다.<sup>2)</sup>

본 연구에서는, 철근의 부식도에 따른 철근콘크리트 부재의 성능저하를 평가하기 위해, 콘크리트강도와 매립된 철근의 조건을 달리하여 부착응력과 부착슬립의 관계를 파악함으로써 철근콘크리트 부재의 구조성능을 예측할 수 있는 기초적 자료를 제공하고자 한다.

\* 한양대학교 대학원 건축공학과 석사과정  
\*\* 한양대학교 건축공학부 교수, 공학박사  
\*\*\* 경주대학교 건설환경시스템공학부 교수, 공학박사

## 2. 실험개요

### 2.1 실험인자 및 수준

본 실험에서의 실험인자는 콘크리트 강도, 매립된 철근의 조건과 철근부식도이며 실험수준은 표 1과 같다.

표 1 실험인자 및 수준

실험인자	수준	수준수	비고
콘크리트 강도	23, 30, 39 MPa	3	실험체 표기에 : S2a1 * S2, S3, S4 : 압축강도 23, 30, 39 MPa * type a : 하부, 측면피복두께 : 30, 43.5mm * type b : 하부, 측면피복두께 : 30, 30mm * 1 : 실험체번호
매립된 철근조건	type a, b	2	
철근 부식도	0, 1, 2, 4 %	4	

### 2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 KS L 5201에 규정된 H사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 철근은 KS D 3504에 규정된 D13인 SD400철근을 사용하였다. 잔골재는 세척사이며, 굵은 골재는 화강암계 부순돌로서 최대크기를 19mm이하로 조정하였다. KS F 2511~2531의 시험방법에 따른 잔골재와 굵은 골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 3 골재의 물리적 특성

골재	비중	흡수율(%)	단위용적중량(kg/m <sup>3</sup> )	실적율(%)	최대치수(mm)	조립율
잔골재	2.58	0.97	1677.4	65.1	5	2.53
굵은골재	2.66	1.01	1445.1	54.4	19	6.88

### 2.3 실험체

실험체 제작에 사용한 콘크리트의 배합표는 표 3과 같다. 실온에서 48시간 경과 후 탈형하여 26일동안 기건양생하였다. 실험체의 형상은 그림 1과 같다.

표 4 콘크리트 배합표

실험체	S/a (%)	W/C (%)	감수제 (C×0.1%)	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )				슬럼프 (cm)	공기량 (%)	재령 28일 압축강도(MPa)
				W	C	S	G			
S2	52.0	0.58	297g	174	297	916	855	18	5.1	23.62
S3	50.0	0.49	358g	174	358	855	865	17.5	5.2	31.16
S4	46.6	0.39	451g	174	451	761	882	16	4.8	39.20

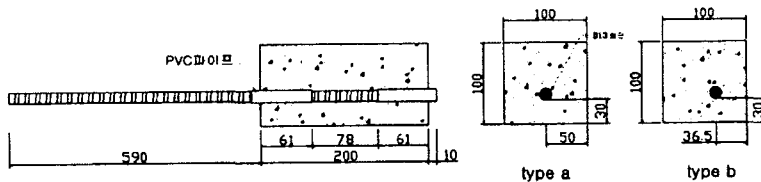


그림 3 실험체의 형상

## 2.4 실험내용 및 방법

### 2.4.1 철근부식방법

철근부식방법은 5%의 염화나트륨 수용액에 실험체를 침지하여 직류전원의 (+)극은 철근에, (-)극은 동판에 연결하여 직류회로를 그림 2와 같이 구성하였다.

철근부식은 패러데이 법칙을 이용하여 식 1과 같이 시간에 대한 전류량의 적분값으로 부식도를 산출하였다.<sup>2)</sup>

$$\text{부식도(몰)} = \frac{1}{n \times F} \int q dt \quad (1)$$

여기서, n은 분자당 전자의 수(2), F는 패러데이 상수(96500 Coulomb/mol)이며, q는 전류(A)이다.

철 분자 1몰의 질량이 55.847g이므로 이것을 식 1에 대입하면 다음과 같은 식 2가 된다.

$$\text{부식량(g)} = \frac{\text{시간(sec)} \times \text{전류(A)} \times 55.847}{2 \times 96500} \quad (2)$$

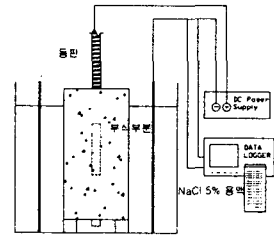


그림 2 실험체의 철근부식

### 2.4.2 부식량 측정 및 녹제거 방법

철근의 부식량은 중량비로 계산하였으며, 부식으로 손실된 양을 부식전 중량의 무게비로 식 3으로 계산하였다.<sup>3)</sup>

$$\text{부식중량감소율(\%)} = \frac{(\text{부식 전 중량} - \text{부식 후 중량})}{\text{부식 전 중량}} \times 100 \quad (3)$$

철근의 녹을 제거하는 방법은 실험체를 파쇄하여 ASTM G1-81 규준에 의한 방법으로  $(\text{NH}_4)_2\text{HC}_6\text{H}_5\text{O}$  용액에 침수시켜 부식생성물을 용해 제거하였다.

### 2.4.3 부착실험

부착강도 시험은 ASTM C 234의 인발시험(Pull Out Test)방법에 따라 실시하였다. 그림 3처럼 실험체의 철근을 그림 상단에서 잡아당겼으며 콘크리트와 철근사이의 슬립량은 그림과 같이 설치한 변위측정계로 측정하였다.

최대부착강도  $\sigma_{\max}$ 는 실험체의 최대하중을 사용하여 산정하였고, 실제 부착응력은 균등하게 분배되지 않으나, 본 실험에서는 매립된 철근을 따라 부착응력이 일정하게 분배된다고 가정하여 다음의 식 4에 의해 산정하였다.<sup>4)</sup>

$$\sigma = \frac{P_{\max}}{\pi D L} \quad (4)$$

여기서,  $P_{\max}$ 는 최대하중(N), D는 철근의 공칭지름(mm), L은 철근의 묻힌길이(mm)이다.

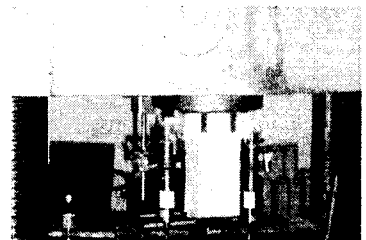


그림 3 부착실험장치

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 실험결과

부식도에 따른 최대부착강도 및 슬립량은 다음 표 4와 같다.

표 5 부식도에 따른 최대부착강도 및 슬립량

실험체	부식도 (%)	최대부착강도 (MPa)	슬립량 (mm)
기준실험체	0	11.32	0.975
S2a4	0.88	12.68	0.590
S2a5	0.94	13.09	0.638
S2a6	2.11	11.74	0.602
S2a7	2.32	11.09	0.551
S2a8	4.41	9.70	0.578
S2a9	4.62	9.58	0.534

실험체	부식도 (%)	최대부착강도 (MPa)	슬립량 (mm)
기준실험체	0	11.21	0.966
S2b4	0.90	12.80	0.634
S2b5	1.20	11.80	0.593
S2b6	2.20	10.77	0.582
S2b7	2.40	10.46	0.534
S2b8	3.63	9.78	0.516
S2b9	4.20	9.57	0.521

기준실험체	0	14.60	1.004
S3a4	0.70	15.30	0.659
S3a5	1.05	15.47	0.718
S3a6	2.10	11.94	0.507
S3a7	2.40	11.13	0.501
S3a8	3.93	10.05	0.495
S3a9	4.14	9.99	0.505

기준실험체	0	14.55	0.995
S3b4	0.89	15.44	0.749
S3b5	0.98	15.72	0.768
S3b6	2.22	11.29	0.560
S3b7	2.37	11.02	0.546
S3b8	4.05	9.75	0.511
S3b9	4.37	9.62	0.501

기준실험체	0	17.56	1.151
S4a4	1.10	17.98	0.834
S4a5	1.27	18.09	0.838
S4a6	2.15	12.60	0.650
S4a7	2.38	11.62	0.619
S4a8	3.87	10.56	0.538
S4a9	4.15	10.35	0.541

기준실험체	0	17.55	1.102
S4b4	0.98	17.85	0.834
S4b5	1.00	18.36	0.857
S4b6	1.95	12.56	0.635
S4b7	2.16	11.72	0.624
S4b8	4.16	10.11	0.538
S4b9	4.40	10.07	0.515

\* 기준실험체 : 실험체 3개의 평균 값

### 3.2 부식도에 따른 콘크리트 강도와 최대부착강도의 관계

부식도에 따른 콘크리트 강도와 부착강도의 관계는 다음 그림 4, 5에서처럼, 부식도 0%일 때 S2a, b의 기준실험체 최대부착강도는 각각 11.32, 11.21MPa이고 S3a, b는 각각 14.60, 14.55MPa이며, S4a, b는 각각 17.56, 17.55MPa로 콘크리트강도가 커질수록 최대부착강도는 커졌다.

또한, 동일한 콘크리트 강도를 갖는 실험체에서 부식도가 증가할수록 S2a에서는 0.94%, S2b는 0.90%, S3a는 1.05%, S3b는 0.98%, S4a는 1.27%, S4b는 1.00%까지 최대부착강도가 점차적으로 증가하는 경향을 보였는데, 이는 철근부식으로 인한 팽창압이 증가와 철근 표면 거칠기가 증가하여 부착강도가 증가한 것으로 판단된다. 모든 실험체에서 일정 부식도 이후부터는 부식도가 커지면서 부착강도가 감소하였는데, 이는 철근의 팽창압이 커지면서 콘크리트에 균열을 유발시켰기 때문이라 판단된다

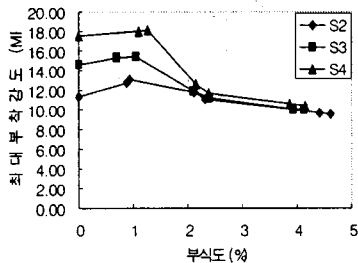


그림 4 부식도에 따른 압축강도와 최대부착강도곡선 (type a)

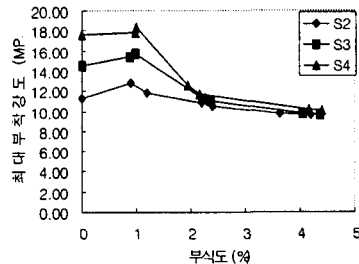


그림 5 부식도에 따른 압축강도와 최대부착강도곡선 (type b)

### 3.3 부식도에 따른 철근위치와 최대부착강도의 관계

부식도에 따른 매립된 철근의 위치와 부착강도의 관계는 그림 6, 7, 8에서와 같다.

S2, S3, S4에서 부식도가 0%일 때는 type a와 b의 최대부착강도는 비슷하거나 type a가 다소 컸으며, 부식도가 커지면서 S2, S3와 S4실험체에서 type a가 b보다 다소 증가하였다. 이는 부식도가 0%일 때, type a 경우에는 하부피복두께와 측면피복두께가 각각 30, 43.5mm이고 type b 경우는 각각 30, 30mm로서 피복두께의 영향을 받은 것으로 판단되며, 부식도가 증가하면서 type a가 b보다 부착강도가 큰 것 또한 피복두께의 영향으로 type b가 하부와 측면 모두에서 균열이 발생했기 때문이라 판단된다.

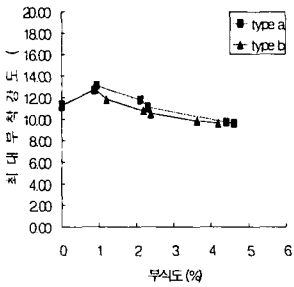


그림 6 부식도에 따른 철근위치와 최대부착강도곡선 (S2)

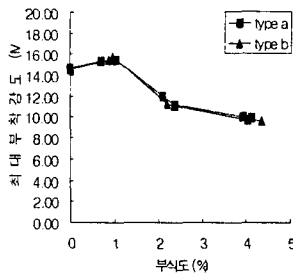


그림 7 부식도에 따른 철근위치와 최대부착강도곡선 (S3)

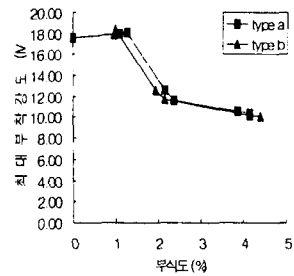


그림 8 부식도에 따른 철근위치와 최대부착강도곡선 (S4)

### 3.4 부식도에 따른 부착강도와 슬립량의 변화

부식된 실험체의 부착강도-슬립곡선은 그림 9~14에서 보는 바와 같다. 부식도가 0%일 때 콘크리트 강도가 커짐에 따라 슬립량이 증가하는 것을 알 수 있었고, 부식초기 단계에서는 S2, S3, S4 실험체에서 부식도가 0%일 때 보다 부착력은 증가했으나 파괴시 슬립량은 감소하였고 부식이 진행될수록 파괴시 슬립량은 점차 감소함을 알 수 있었다.

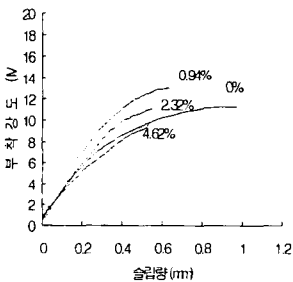


그림 9 부식도에 따른 슬립-부착강도곡선 (S2a)

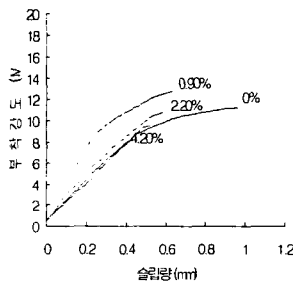


그림 10 부식도에 따른 슬립-부착강도곡선 (S2b)

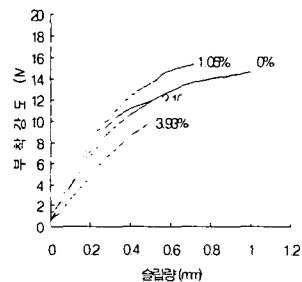


그림 11 부식도에 따른 슬립-부착강도곡선 (S3a)

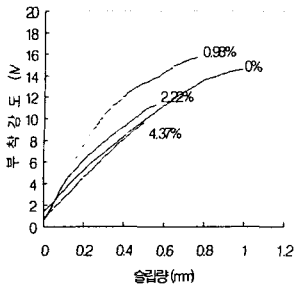


그림 12 부식도에 따른 슬립-부착강도곡선 (S3b)

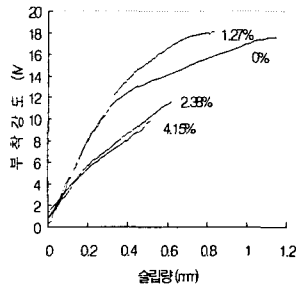


그림 13 부식도에 따른 슬립-부착강도곡선 (S4a)

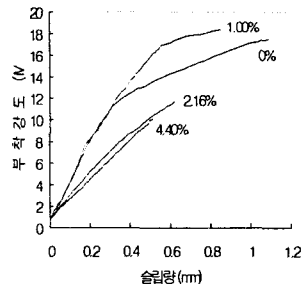


그림 14 부식도에 따른 슬립-부착강도곡선 (S4b)

#### 4. 결론

부식도에 따른 압축강도와 매립된 철근의 위치가 부착강도와 슬립량에 미치는 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 기준실험체에서 콘크리트의 강도가 증가할수록 부착강도와 슬립량은 증가하였다. 부식초기 단계에서는 부식도에 따른 부착강도가 증가하였고, 부식초기 단계 이후에서는 부착강도는 점차 감소하였으며 부착강도에 따른 슬립량도 감소하였다. 이는 부식초기 단계에서는 철근부식으로 인한 팽창압과 철근표면 거칠기가 증가하여 부착강도가 증가하였으며, 부식초기 단계 이후에서의 부착강도와 슬립량의 감소는 철근의 팽창압이 커지면서 콘크리트에 균열을 유발하였기 때문이라 판단된다.
- 2) 매립된 철근위치에 따른 S2, S3, S4의 기준실험체 경우 부착강도와 슬립량의 변화는 type a의 부착강도가 다소 컸고 그에 따른 슬립량도 type a가 컸으며, 부식초기 단계나 이후단계에서도 부착강도는 type a가 b보다 다소 컸다. 이는 type a 경우에는 하부피복두께와 측면피복두께가 각각 30, 43.5mm이고 type b 경우는 각각 30, 30mm로서 측면피복두께의 영향을 받은 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 한양대학교 부설 초대형구조시스템연구센터의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 오병환, "콘크리트 내구성 현황 분석 보고서," 한국콘크리트학회 연구소위원회 발표집, 2000. 11
2. YuBun Auyeung, P. Balaguru, and Lan Chung, "Bond Behavior of Corroded Reinforcement Bars," 2000. 3, ACI Materials Journal.
3. 李翰承, "腐食劣化した鉄筋コンクリート構造部材の耐力性能評価及び補強に関する研究," 1997.3, 東京大學 博士學位論文.
4. 김화중 외, "최신콘크리트공학," 사단법인한국콘크리트학회, 2001, p.410.
5. ASTM C 234, "Standard Test Method for Comparing Concrete on the basis of the Bond Developed with Reinforced Steel," ASTM, 1991.