

# 철근이 부식된 콘크리트 슬래브의 구조성능 평가에 대한 실험적 연구

## Reinforced Concrete Slabs with Corroded Bars

정은철\*  
Jung, Eun Chul

이경언\*\*  
Lee, Kyoung Un

정란\*\*\*  
Chung, Lan

### ABSTRACT

Corrosion is a world wide problem effecting a large number of structure. Cost of repair and rehabilitation on reinforcement structure damaged by steel corrosion is expensive. But structural capacity on low level corrosion is increased. So this experimental study was performed to know structural performance on reinforced concrete slabs with low level corroded bars. As in the case of test samples, bond stress and structural capacity increases up to 2% corrosion level.

#### 1. 서론

부식은 구조체의 성능을 저하시키는 가장 큰 요인중의 하나이다. 이는 부식이 일정한도를 넘어서 철근과 콘크리트의 부착력이 저하되고, 철근의 단면적이 내력에 영향을 줄 정도로 감소되었을 경우에 해당 하는 것이다. 본 실험은 낮은 부식도에서 구조물의 내력이 어느 정도 높아진다는 여러 실험을 검토하고 내력을 증진시키는 부식도의 범위를 찾아내어 부식이 많이 진행된 구조물과 내력증진 범위내의 부식도의 보수·보강법의 차별화를 제시하기 위한 기초자료를 제공하고자 하는데 그 목적이 있다. 먼저 낮은 부식도의 범위를 찾아내고 이후 계속된 실험을 통해 높은 부식도에서의 철근콘크리트 구조체 거동을 파악하여 부식도별로 보수·보강 시 타당한 시공법을 적용함으로써 시공범위를 구획하여 경제적인 효과를 거두는데 그 최종 목적이 있다.

#### 2. 실험계획 및 방법

##### 2.1 실험계획 및 재료물성

시험체는 배합강도  $210\text{kgf/cm}^2$ 로 래미콘 타설하였다. 공시체는 KS F 2405에 따라서 지름 10cm, 높이 20cm의 원주형 공시체를 시험체 타설과 동시에 제작하였으며, 타설 후 12시간 경과 후 물-시멘트비 29%인 시멘트 플로 채핑하였고 24시간 후 탈형하여 시험체와 동일한 조건으로 양생하였다. 시험체는 28일 강도  $192\text{kg/cm}^2$ 인 콘크리트와 인장강도  $4310\text{kg/cm}^2$ 인 HD 10철근을 사용하여 제작하였다.

\* 정희원, 단국대학교 대학원 석사과정  
\*\* 정희원, 단국대학교 대학원 박사과정  
\*\*\* 정희원, 단국대학교 건축공학과 교수

각 부식도별로 부착 파괴를 유도하기 위한 부착길이는 다음의 표와 같으며 각 철근을 고정시키기 위한 부근은 철근 대신 플라스틱 봉을 이용하였다. 이는 시험체 내의 철근을 부식시킬 때 주변에 배근된 철근과의 통전을 최대한 방지하기 위한 것이다.

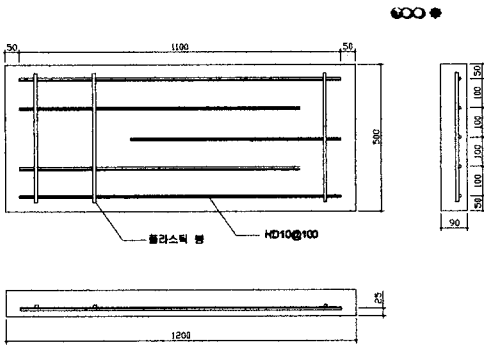


그림 1. 시험체 계획

표 1. 시험체명

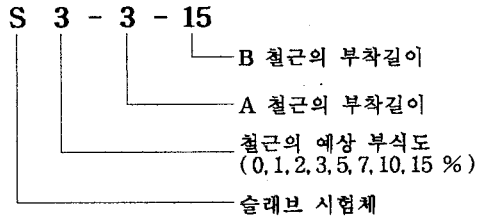


표 2. 변수별 시험체 상세

계열	예상 부식도 (%)	부착길이 A (cm)	부착길이 B (cm)	계열	예상 부식도 (%)	부착길이 A (cm)	부착길이 B (cm)
I	0, 1, 2	1	5	II	0, 3	3	15
		2	7			6	21
		3	9			9	27
		5	11			15	33
		7	1			21	3
		9	2			27	6
	11	3	33	9			

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 전위차 부식촉진법을 이용한 부식실험

철근의 부식이 전기 화학적 반응이라는 점을 이용하여 자연 상태에서 많은 기간이 소요되는 부식시간을 단축하기 위하여 철근의 부식, 즉 산화반응에 소요되는 총 전하량은 보존된다는 페러데이 법칙 중의 한 이론을 적용한 부식량 추정방법을 이용한 전위차 부식촉진법을 사용하였다. 시험체의 부식은 페러데이 법칙을 이용한 전위차 부식촉진법을 사용하였다. 직류전원 공급장치는 최대 30V, 10A로 실험시 전압값은 25V로 일정하게 유지하였다. 부식실험값을 간단히 표현하면 다음 순서도와 같다.

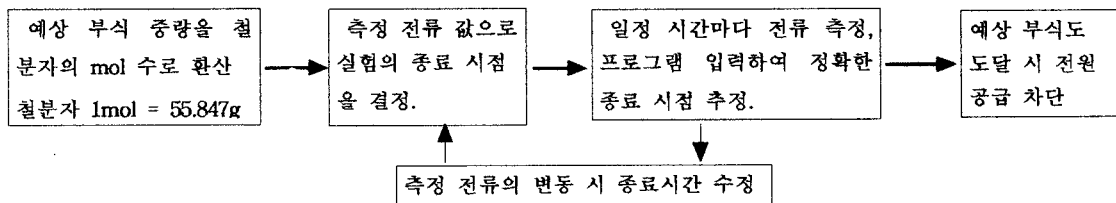


그림 2. 부식 순서도

### 2.2.2 시험체 가력 시험

철근이 부식된 철근콘크리트 슬래브 시험체의 설치 및 가력은 최대용량 50tf인 유압잭에 설치하여 가력하였으며 시험체와 가력판 사이에 용량 50tf인 로드셀, 중앙부에 최대측정변위 50mm인 LVDT를 설치하여 각각에 데이터 취득장비를 연결하여 측정하였다. 시험체는 2소점으로 가력하였으며 부착길이의 시작부위에서 가력하여 부착길이를 예상길이와 최대한 유사한 파괴를 유도하였다.

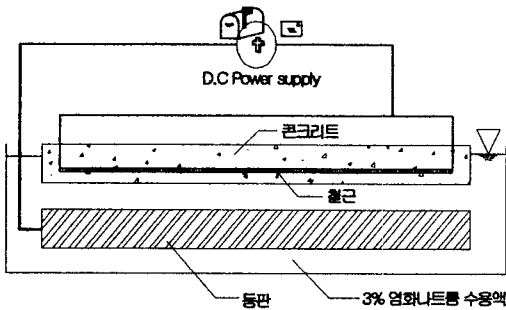


그림 3. 시험체 부식상황도

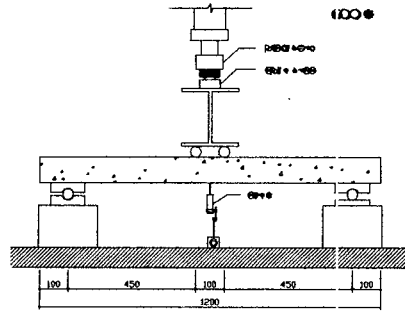


그림 4. 시험체 가력상황도

### 3. 실험결과 및 분석

실험 결과 부착길이가 충분하지 못한 철근은 최대 내력에 도달하기 이전에 슬립을 일으키며 부착탈락이 되었다. 최대내력까지 저항하던 철근은 일정 구간 연성을 보이다가 슬립을 일으키며 부착탈락되는 양상과 급작스런 부착파괴를 보이는 시험체도 있었다. 실험 종료 후 균열위치로부터 실제 부착길이 및 시험체를 파단하여 실제 부식도를 측정한 결과 당초 예상했던 부착길이와 부식도는 약간의 차이를 보였다. 이는 부착길이가 짧아 균열의 범위내에 철근이 배근된 영향으로 판단되며, 최종분석에서는 이 철근이 외력에 저항하지 못하는 것으로 간주하여 분석하였다. 부착길이와 파괴양상이 비슷한 부착길이 별로 실험결과를 비교·분석하였다.

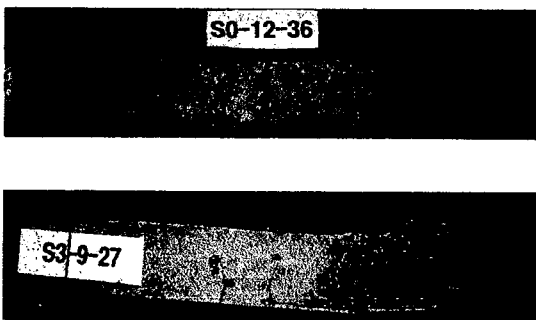


그림 5. 시험체 파괴양상

부착길이는 시험체의 균열 거리를 측정하여 실제 부착길이를 결과에 적용하였다. 파괴양상은 부식이 진행되지 않은 기준 시험체에 비해 미소한 부식이 진행된 시험체의 균열의 범위가 넓고 균열수도 역시 많았다. 균열양상으로 미소 부식된 철근의 부착강도가 부식되지 않은 시험체보다 더 높음을 유관으로 파악할 수 있었다.

실제 부착길이는 주요 균열단면 바깥쪽에 남은 철근길이를 측정한 길이이다. 각 표에서 보는 실제 부식도는 실험 완료 후 콘크리트를 제거하고 약품(클라크용액)으로 처리하여 남은 중량을 측정

하여 감소중량과 부식전 총 중량의 비율 백분율로 나타낸 것이다.

계열 I 시험체의 경우 S0-2-7, S1-2-7 시험체는 실제 부착길이가 확보되지 못하였고 1.30tf 부근에서 균열로 인해 강성이 변화되었다. S2-2-7 시험체의 경우에는 1.7tf 부근에서 강성변화 후 일정구간의 연성을 보이다가 외력에 저항하던 철근 B가 급격한 부착파괴가 일어나 최종적으로는 타 시험체와

유사한 하중값을 보였다. 0% 시험체에서 부착길이 5cm도 충분한 부착길이 되지 못한다는 것을 알 수 있었다. S1-2-7 시험체는 0% 시험체보다 전체적인 부착길이 짧음에도 불구하고 높은 항복하중을 보이고 있다. 이는 각각 1%, 1.5% 부식된 부착길이 2cm, 4cm의 철근이 부식되지 않은 시험체내의 철근보다 높은 부착성능을 갖기 때문으로 판단된다.

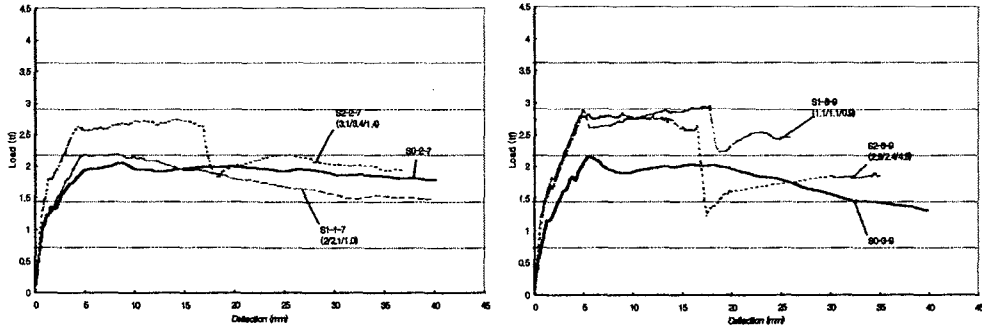


그림 6. 계열 I 시험체 하중변위곡선

표3. 계열 I 시험체 실험결과표

시험체	중심철근(A)		양쪽철근(B-1)		양쪽철근(B-2)		양단 부식도 (%)	최대 내력 (tf)
	부식도 (%)	부착길이 (cm)	부식도 (%)	부착길이 (cm)	부식도 (%)	부착길이 (cm)		
S0-2-7	0%	2	0%	3.5	0%	5	0%	2.05
S1-2-7	2.0	2	2.1	4	1.0	0	0.5	2.19
S2-2-7	3.1	1	3.4	5	1.4	7	2.7	2.73
S0-3-9	0%	3	0%	6	0%	2	0%	2.15
S1-3-9	1.1	3	1.1	6	0.9	9	1.2	2.94
S2-3-9	2.9	3	2.4	2	4.9	9	2.6	2.83

S2-2-7 시험체는 부착길이가 다른 시험체보다 어느 정도 확보되어 항복하중이 높게 나타났다. 항복하중까지 3.1% 부식이 된 부착길이 2cm의 철근과 2.4% 부식이 된 부착길이 5cm의 철근이 어느 정도 부착성능을 가지다가 항복이후 갑작스런 미끄러짐 현상이 일어난 것은 2.4% 부식이 된 부착길이 7cm 철근의 슬립때문으로 판단된다. 그러나 항복하중이나 강성면에 있어서 0% 시험체보다 부착성능이 높다고 할 수 있다. 전체적으로 1~2%까지 부식이 진행된 시험체는 부식이 되지 않은 시험체보다 높은 부착성능을 가진 것으로 판단된다. S0-3-9 시험체의 경우 1.2tf 정도에서 강성이 변화하기 시작하였으며, S1-3-9, S2-3-9 시험체는 1.7tf에서 미끄러짐 현상을 나타내었다. S0-3-9 시험체가 다른 시험체에 비해 낮은 항복하중을 나타낸 것은 부착길이가 충분히 확보되지 못한 때문으로 판단되며 이후 강도가 2단계로 저하되는 것은 철근이 하나씩 서서히 뽑혀갔기 때문으로 사료된다.

부착길이와 항복하중을 대비하여 볼 때 0% 시험체에 비해 구조성능이 우수하다고 판단된다.

S2-3-9 시험체는 항복시 3.7% 부식된 부착길이 9cm 철근과 2.9% 부식이 된 부착길이 3cm 철근이 의력에 저항하는 것으로 보이며 이는 변위 16mm에서 철근 2개에 미끄러짐이 나타난 것으로 판단된다.

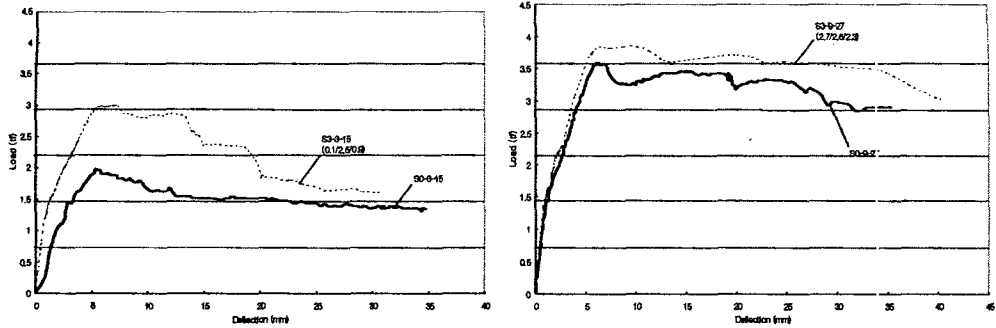


그림 7. 계열 II 시험체 하중-변위곡선

표 4. 계열 II 시험체 실험결과표

시험체명	중심철근(A)		양쪽철근(B-1)		양쪽철근(B-2)		양단 부식도 (%)	최대 내력 (tf)
	부식도 (%)	부착길이 (cm)	부식도 (%)	부착길이 (cm)	부식도 (%)	부착길이 (cm)		
S0-3-15	0	3	0	7.8	0	4.2	0	1.98
S3-3-15	0.1	3	2.5	7.8	1.0	6.3	2.9	3.00
S0-9-27	0	7.5	0	27	0	27	0	3.59
S3-9-27	2.7	7.7	2.6	27	2.3	26	2.9	3.89

계열 II의 S3-3-15 시험체의 부식된 2개의 철근이 더 큰 부착력을 발현하는 것으로 나타났다. 부착길이 6.3cm의 철근과 6.5cm 철근이 외력에 저항하고 있는 것으로 판단되어 진다. 최종에는 부착길이 6.5cm, 6.3cm의 철근도 부착력을 잃어 최외측 2개의 철근만이 버티는 양상을 나타내고 있다. S0-3-15 시험체는 중앙 철근 3개가 충분한 부착길이를 확보하지 못하여 실험초기부터 부착력을 잃는 양상을 보여주고 있다. S3-3-15 시험체는 양쪽철근이 1.7% 정도 부식되어 높아진 부착강도로 인하여 실험초기 하중을 저항하고 있다. 부식도 1.7% 정도의 철근은 6.5cm이상의 부착길이를 확보하여야 할 것으로 사료된다. S0-9-27 시험체의 경우 27cm 확보된 양쪽철근은 충분한 부착력으로 저항하고 있으나 7.5cm의 중심철근은 항복하중이후 부착 탈락양상을 보였다. S3-9-27 시험체 역시 부식도 2.5%의 양쪽철근이 충분한 부착길이를 유지되고 있으므로 탈락되지 않고 부식도 2.1%의 중심철근도 부착길이를 항복 시까지 저항하고 있으나 실험이 진행되면서 최종에 탈락되는 양상을 보였다. 2.1%의 부식도에 있어서 7.7cm는 최대하중까지 도달할 수는 있으나 변위가 증가하면서 부착탈락이 일어나 것으로 판단된다. 두 시험체의 부착길이 차는 미소하나 중심철근의 길이와 부식의 영향으로 S3-9-27 시험체가 다소 높은 항복하중과 긴 연성 구간을 유지한 것으로 사료된다.

이상과 같은 실험결과에서 나타났듯이 1~2% 정도의 부식에서 부착성능이 개선됨을 알수 있다. 실험 결과에서 부식도별 부착파괴가 일어난 부착길이의 최대값과 부착파괴가 일어나지 않은 철근의 최소길이를 나열하여 그림으로 분석하면 그 관계가 명확해진다.

표 5. 부착파괴되지 않은 부착길이 최소값

부식도 (%)	0	0.4	0.9	1.0	1.5	1.7	2.1	2.4	2.6	2.9
부착길이 (cm)	12	5	6.8	6.8	4	6.5	7.7	7.8	5	8.5

표 6. 부착파괴된 부착길이 최대값

부식도 (%)	0	0.4	0.9	1	1.4	1.9	1.7	2.1	2.5	3.1
부착길이 (cm)	12	5	6.8	9	8	7.7	6.5	9.9	11	15

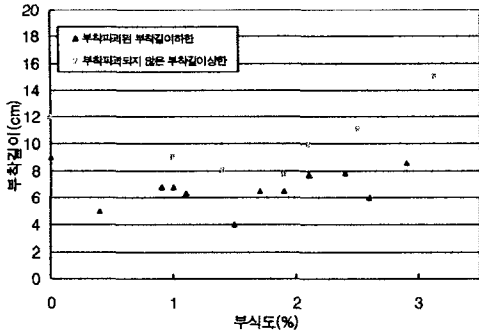


그림 8. 부착파괴 유무에 따른 상·하한 부착길이

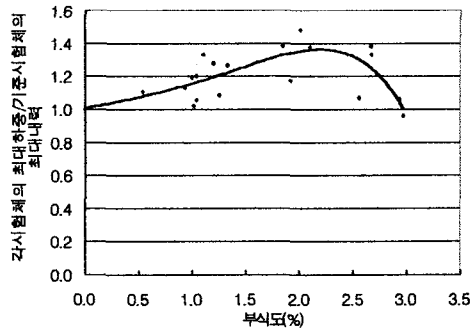


그림 9. 부식도별 최대하중비

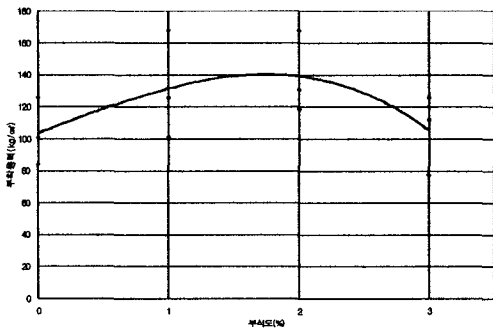


그림 10. 부식도별 부착응력

부식이 진행되지 않은 시험체의 경우 파착파괴의 영역은 9cm~12cm 정도로 추정할 수 있으며, 2%에서는 그 범위가 더욱 좁아져 7.7cm 부근에서 부착파괴의 경계가 이루어지고 있다. 그러나 2%를 정점으로 하여 파괴 부착길이는 길어져 3%에 이르면 부식되지 않은 건전 시험체와 유사한 부착파괴 영역을 나타내고 있다. 부착파괴의 영역을 추정하여 부착강도를 추정하면 <그림10>과 같고, 시험체내 철근의 평균부식도를 적용하여 최대내력과의 비율을 비교하면 <그림 9>와 같다. 최대내력도 2%에서 가장 높은 양상을 나타냈다.

#### 4. 결 론

- (1) 부착길이와 연성구간, 최대하중을 분석해 본 결과, 2% 내외의 부식이 진행된 시험체의 동일한 부착길이에서 부식되지 않은 건전 시험체에 비해 부착성능이 향상되었다.
- (2) 3% 부식이 진행된 시험체는 기준 시험체와 유사한 값까지 부착성능 및 최대하중이 저하되어 부식도 3%가 내력저하의 시점으로 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 1997년 건설교통부지원에 의한 “철근이 부식된 구조물의 구조성능 평가기법연구”의 일환으로 수행되었으며 많은 도움을 주신 건설교통부 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

1. 윤환구 외 3인, “철근의 부식정도와 부착강도에 대한 연구”, 한국콘크리트 학회지 1998년 봄 학술발표회 논문집
2. 이한승 “引張主筋이 腐蝕한 RC梁의 耐力性能 平價에 관한 研究”. 한국콘크리트 학회 1998년 봄 학술발표회 논문집
3. Bilal S. Hamad “Bond Strength Improvement of Reinforcing Bars with Specially Designed Rib Geometries” ACI Structure Journal, January-February 1995, pp3-13
4. Wisam A. K. Altowaiji, David Darwin, Rex C. Donahey “Bond of Reinforcement to Revibrated Concrete”, ACI structure Journal, November-December 1986, pp1035-1042