

타설 전과 후에 부식시킨 슬래브 시험체의 철근 부착특성에 관한 실험적 연구

Experimental Study of Bond Characteristics on Slab Reinforcement Corroded Before and After Casting

김 대 일^{*} 조 승 호^{**} 정 란^{***}
Kim, Dae Il Cho, Seung Ho Chung, Lan

ABSTRACT

Recently, Sea-sand containing high levels of chloride is being applied to on reinforced concrete structures due to the exhaustion of river-sand and environmental problems, which affects directly corrosion of rebar in the RC structures. In this paper, characteristics of corroded rebar before and after casting were studied. Test results showed that bond strength of rebar corroded after casting was decreased with increase of corrosion level more rapidly than that of rebar corroded before casting.

1. 서론

최근 골재의 수요와 공급에서 불균형으로 인해 건설현장에서 사용되고 있는 골재의 상당량이 염분이 포함된 해사를 사용하고 있다. 그로 인해 구조물에 미치는 염해의 피해가 속출하고 있는 실정이다. 염해의 피해로 철근에 부식이 발생하고, 이는 철근 단면적의 감소와 철근과 콘크리트와의 부착력 저하, 부식팽창에 의한 균열 발생 등 구조물에 미치는 영향은 매우 크다. 또한 철근의 반입 및 현장에서의 보관 등의 문제로 인한 노출철근의 부식을 들 수 있다. 이러한 철근은 부식환경에 노출되어 있으며, 이러한 부식된 철근의 사용성에 대한 문제가 철근공급자, 시공자, 감리 및 감독관 등의 이해관계가 얽혀 매우 민감한 문제임에도 불구하고 육안에 의해 사용 여부가 결정되는 실정이다. 이는 사용성에 문제가 없는 철근들이 불합격 판정을 받는 등 국가적으로도 큰 손실이 아닐 수 없다.

이에 본 연구자는 기초 실험(2000년도 가을 학술발표대회 논문집)에서 뽑힘 시험체를 제작하여 부식된 철근의 부착강도에 관한 연구를 발표한바 있으며, 그 결과를 토대로 타설 전과 타설 후에 부식된 철근으로 슬래브 시험체를 제작하여 부재 내에서의 부식도에 따른 부착강도와 구조적 특성에 관하여 연구하였다.

* 정회원, 단국대학교 건축공학과 석사과정

** 정회원, 단국대학교 건축공학과 박사과정

*** 정회원, 단국대학교 건축학부 건축공학전공 교수

2. 실험

2.1. 시험체 계획

본 실험에서는 부재내의 부착특성을 알아보고자 타설 전에 철근을 부식시켜 타설한 시험체와 타설 후에 철근을 부식시킨 시험체로서 슬래브 시험체를 제작하여 실험을 진행하였다. 시험체의 변수 설정은 기초 실험 결과 및 기존 연구 결과를 토대로 부착길이를 설정하였다. 실험 변수 및 시험체 형상은 다음의 표 1 및 그림 1과 같다.

표 1 슬래브 시험체의 실험 변수

시험체 종류	철근의 종류	부식시기	예상부식 (%)	부착길이	SA0-11-20 평균 실제 부식도 (%) 부착길이 부식단계 (0, 1, 2, 3, 4, 7, 10%) 부식시기 (A : 타설 후 철근의 부식, B : 타설 전 철근의 부식) 슬래브 시험체
슬래브 시험체	HD13	타설 전 철근의 부식	0, 2, 4, 7, 10	부식도별 설정	
		타설 후 철근의 부식	0, 1, 2, 3, 4, 7, 10		

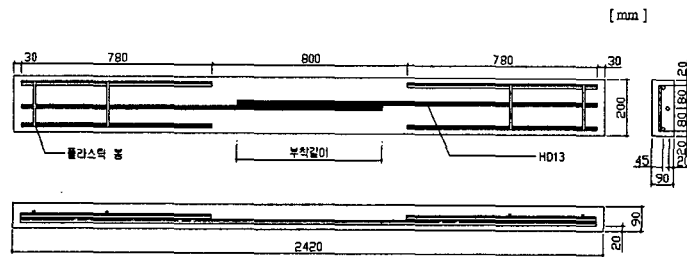


그림 1 시험체 형상 및 배근도

2.2. 시험체 제작 및 사용재료

타설 전에 철근을 부식시켜 제작한 시험체는 부식 단계에 따라 각각 5개의 시험체를 제작하였고, 타설 후에 철근을 부식시킨 시험체는 부식 단계에 따라 각각 3개의 시험체와 예비 시험체를 제작하여 실험을 진행하였다. 콘크리트의 배합강도는 270kgf/cm^2 로 실내에서 타설하여 온도를 15°C 내외로 유지시켜 주었다.

타설 전에 미리 철근을 부식시킨 시험체와 양생이 완료된 타설 후 철근을 부식시킨 시험체들은 3% 염화나트륨 수용액에 침지시켜 직류전원공급장치에 연결하여 전위차 부식 촉진법에 의해 부식시켰다.

KS F 2405에 따른 공시체의 압축강도 실험결과, 타설 전에 철근을 부식시킨 시험체의 압축강도는 평균 259.3kgf/cm^2 이었고, 타설 후에 철근을 부식시킨 시험체의 압축강도는 평균 251.0kgf/cm^2 이었다. KS B 0801에 따른 3개의 D13 철근의 인장강도의 평균값은 4362.0kgf/cm^2 이었다.

2.3. 실험방법

가력 실험 방법은 그림 2에서 보는 바와 같이 2점 가력하였으며, 하중조절 방식으로 약 10kgf/sec 의

속도로 시험체가 파괴에 이르기까지 가력하여 각각의 단계별 하중과 변위를 동시에 취득하였다.

3. 실험결과 및 분석

실험종료 후 시험체를 파쇄하여 철근을 추출한 후 철브러쉬로 철근에 남아있는 콘크리트 파쇄물과 부식층을 제거한 다음 철근의 무게를 측정하여 실제 부식량을 측정, 분석에 반영하였다. 실험결과는 다음 표 2, 3과 그림 3, 4에 나타내었다.

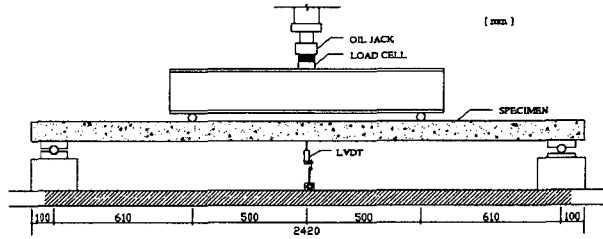


그림 2 슬래브 시험체 설치 상황(TEST SET-UP)

표 2 SB 계열 시험체의 실험결과

표 3 SB 계열 시험체의 실험결과

시험체명	실제부식도(%)		최대하중시 변위 (mm)	최대하중 (tf)	최대부착 강도 (kgf/cm ²)	비고	시험체명	실제부식도(%)		최대하중시 변위 (mm)	최대하중 (tf)	최대부착 강도 (kgf/cm ²)	비고
	좌측	우측						좌측	우측				
SB0-10	0.00	0.00	9.34	0.42	109.8		SA0-13	0.00	0.00	14.50	0.35	71.6	*
SB0-13	0.00	0.00	12.94	0.42	84.9		SA0-16	0.00	0.00	15.63	0.50	82.3	
SB0-16	0.00	0.00	16.18	0.61	99.8		SA0-19	0.00	0.00	21.55	0.66	91.0	
SB0-19	0.00	0.00	17.39	0.63	86.6		SA0-22	0.00	0.00	21.26	0.66	79.6	
SB0-22	0.00	0.00	22.73	0.78	93.7		SA1-11-0.5	0.46	0.46	13.61	0.50	119.4	
SB2-11-3.7	4.00	3.43	6.51	0.35	82.6	*	SA1-14-0.5	0.43	0.55	15.19	0.56	104.5	
SB2-14-3.7	4.05	3.33	14.31	0.52	98.6		SA1-17-0.5	0.51	0.41	17.84	0.66	101.7	
SB2-16-3.6	3.90	3.22				*	SA2-13-0.8	0.84	0.86	9.74	0.37	74.2	
SB2-19-3.5	3.68	3.32	19.71	0.64	89.3		SA2-16-0.8	0.78	0.77	15.93	0.51	83.1	
SB2-22-3.6	3.71	3.46	20.26	0.73	87.7		SA2-19-0.7	0.71	0.74	17.51	0.62	85.8	
SB4-11-6.2	6.70	5.73	10.81	0.40	96.8		SA2-22-0.9	0.94	0.86	17.28	0.67	80.1	
SB4-14-6.0	6.31	5.72	13.64	0.42	78.4		SA3-16-1.3	1.39	1.14	10.52	0.45	74.2	
SB4-17-6.1	6.52	5.59	17.39	0.53	82.2		SA3-20-1.0	1.37	0.58	11.07	0.40	53.2	*
SB4-21-6.8	6.76	6.80	20.37	0.61	76.8		SA3-20-1.2	1.49	0.89	9.41	0.37	49.1	*
SB4-24-5.5	6.30	4.78				*	SA3-24-1.3	1.44	1.11	18.31	0.66	72.8	
SB7-13-10.1	10.22	9.98	10.22	0.31	61.8		SA4-21-1.5	1.54	1.44	15.15	0.45	57.0	*
SB7-17-10.5	10.30	10.74	15.15	0.56	86.1		SA4-27-2.0	1.93	2.03	16.66	0.63	61.6	
SB7-20-9.4	10.40	8.44	17.32	0.52	69.0		SA4-27-1.9	1.76	1.96	13.90	0.66	64.5	
SB7-24-9.7	10.21	9.19	21.33	0.64	70.7		SA4-32-1.8	1.80	1.76	16.47	0.69	56.4	*
SB7-39-9.7	8.73	10.71	32.49	0.86	58.4		SA7-39-3.1	3.29	3.00	20.38	0.83	55.9	
SB10-14-13.9	14.47	13.42	9.89	0.34	63.7		SA7-48-3.8	3.22	4.38	16.95	0.66	36.4	*
SB10-17-12.9	13.78	12.06	18.65	0.47	73.4		SA7-54-3.7	3.07	4.41	39.20	1.02	49.6	
SB10-20-14.9	14.21	15.62	20.00	0.40	53.2		SA10-53-5.8	4.70	6.86	23.10	0.76	38.0	
SB10-24-13.5	13.49	13.42	30.23	0.56	61.0		SA2-66-5.5	5.56	5.47	26.92	0.86	34.3	
SB10-53-12.9	14.09	11.78	49.42	1.00	49.7		SA2-80-5.9	6.46	5.37	22.69	0.91	29.9	

* : 예비 시험체, 시험체 손상, 자료 취득 시 오류 등으로 인하여 분석에서 제외하였음.

부식 단계에 따른 타설 전에 부식시킨 철근과 타설 후에 부식시킨 철근이 매입된 시험체의 부착길이별 부착강도를 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

3.1 SB 계열 시험체(타설 전 철근을 부식시킨 시험체)

SB 계열 시험체의 노출 철근을 부식시킴에 있어 예상 부식도보다 실제 부식도가 높아지는 양상을 보였다. 또한 부착길이의 증가에 따라 상대적으로 최대하중과 최대하중 발생 시 변위가 함께 증가하는

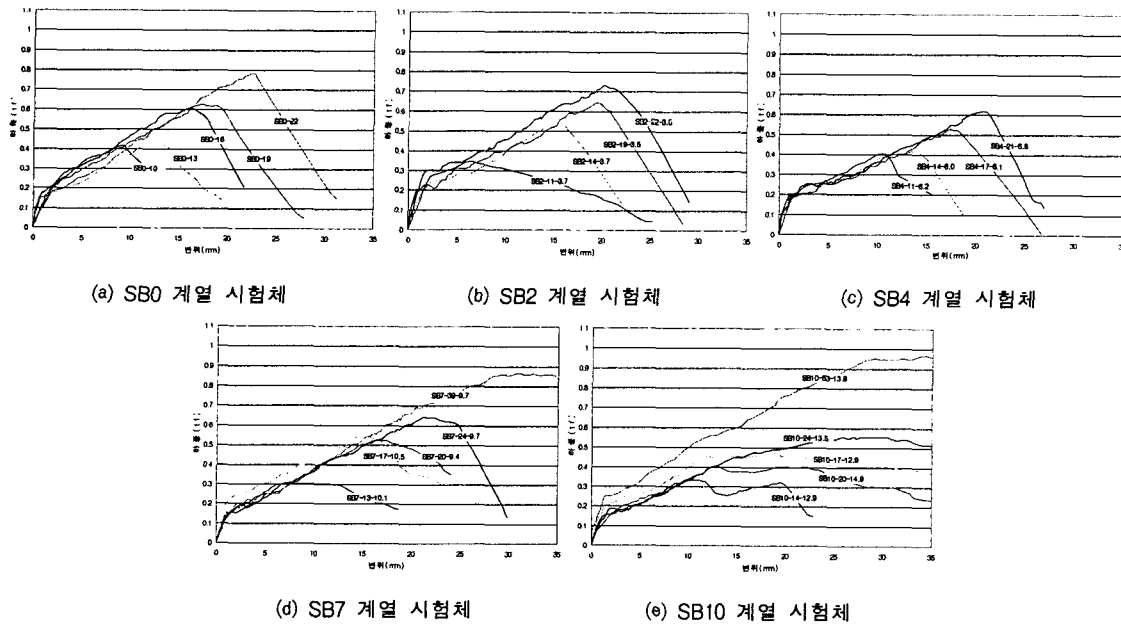


그림 3 실제 부식도에 따른 타설 전 부식시킨 SB 계열 시험체의 부식도별 하중 - 변위 곡선

양상을 보였으며, 반면 부착강도는 감소하는 경향을 보였다. 시험체가 최대하중에 도달했을 때 부착길이가 짧은 시험체, 즉 예상 부식도 0, 2, 4%의 모든 시험체와 7%의 일부 시험체에서 급격한 파괴로 인해 시험체가 파단되는 현상을 나타내었다. 부착길이가 16 혹은 17cm의 시험체를 비교해 보면 실제 부식도 3.6%까지는 최대 부착강도에 큰 차이가 없으며, 실제 부식도 6.1%에서 17.7% 정도 감소하는 경향이 나타났다. 그리고 실제 부식도 12.9%에서는 26.5% 정도 감소하였다. 타설 전의 부식물이 콘크리트와의 경계면에서 파쇄되면서 일어나는 역기능보다 부착강도를 증대시키는 순기능이 더 큰 영향을 주기 때문과 철근의 표면 거칠기의 심화로 인한 순기능의 영향으로 판단된다. 예상 부식도 7%의 부착길이가 긴 시험체와 10%의 시험체는 최대하중에 도달한 이후 변위가 급격히 증가함을 보였다. 이는 타설 전 생성된 부식물들이 콘크리트와 철근사이에서 윤택 작용을 하여 미끄러지는 현상으로 판단된다. 초기 균열은 부식도와 부착길이에 상관없이 0.2tf 부근에서 발생하였다(그림 5).

3.2 SA 계열 시험체(타설 후 철근을 부식시킨 시험체)

SA 계열 시험체의 철근을 부식시킴에 있어 예상 부식도보다 실제 부식도가 낮아지는 양상을 보였다. 또한 전반적으로 부착길이가 증가에 따라 상대적으로 최대하중과 최대하중 발생시 변위가 함께 증가하는 양상을 보였으나, 부착강도의 감소현상은 뚜렷하지 않았다. 그리고, 시험체가 최대하중에 도달했을 때 거의 모든 시험체에서 피복이 탈락하면서 급격한 파괴되는 양상을 보였다. 부착길이가 16cm 혹은 17cm의 시험체의 예상 부식도 0.1, 2, 3%의 시험체를 비교해 보면 실제 부식도 0.5%까지는 오히려 부착강도가 증가하다가 0.8%를 넘어서면서 급격히 감소하는 양상을 나타내고 있다. 또한 인접 부식 단계별 유사한 부착길이에 따른 부착강도를 비교해본 결과 이와 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 이는 예상부식도 2%부터 부식균열이 발생하여 콘크리트의 구속력을 급격히 저하시킴으로 인해 철근이 콘크리트 피복이 탈락되면서 부착력을 잃고 파괴되는 현상에서 기인된다고 판단된다. 가력실험 시

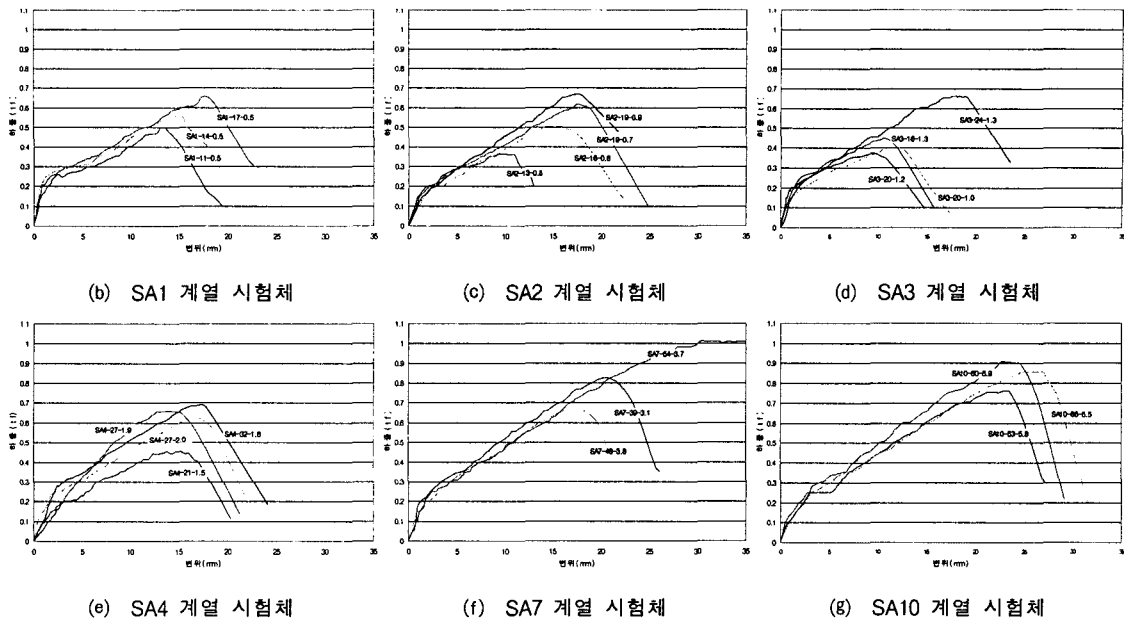
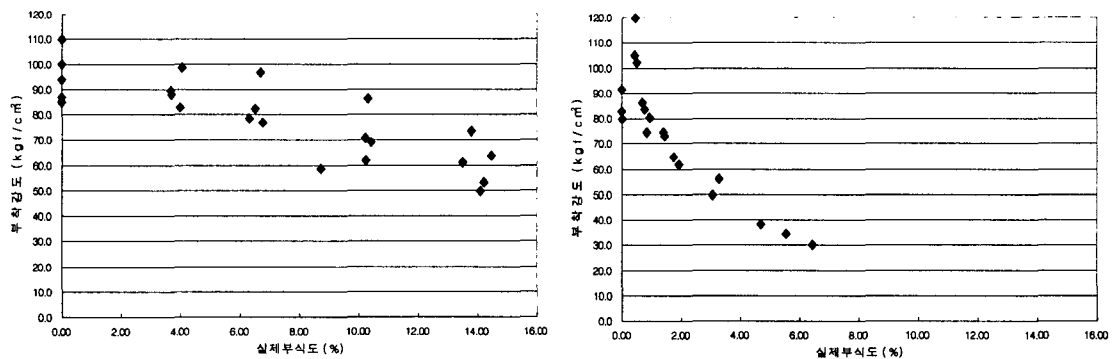


그림 4 실제 부식도에 따른 타설 후 부식시킨 SA 계열 시험체의 부식도별 하중 - 변위 곡선

초기 균열은 부식도와 부착길이에 상관없이 0.2tf 부근에서 발생하였다. (그림 5).

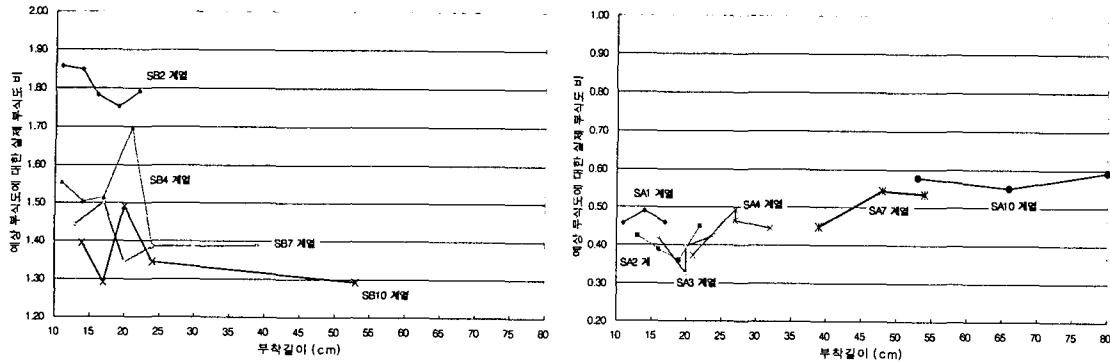
SA 계열과 SB 계열 시험체 모두 부식도가 증가함에 따라 최대하중과 최대하중 시 발생하는 변위량이 증가하는 경향을 나타내었고, 타설 전 부식된 철근을 매입한 시험체에서는 부식도가 증가할수록 철근의 부착력이 완만한 감소 추세를 보여주고 있으나, 타설 후 부식시킨 시험체에서는 부식도의 증가에 따라 급격한 부착강도 저하현상을 보여주었다. 이는 SA 계열 시험체와 SB 계열 시험체 모두 가력 실험 시 초기 균열 발생시점은 동일하게 0.2tf에서 발생한 것으로 보아 철근을 따라 발생한 초기 균열은 부식시점에는 그다지 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 부착길이가 길어질수록 최대 부착강도는 감소 추세를 나타내었다. 단부쪽으로 갈수록 실제 부착력이 감소하는 현상으로 인해 부착길이가 길어질수록 평균부착강도가 감소하는 것으로 판단된다.



(a) SB 계열 - 타설 전 부식 시험체 (b) SA 계열 - 타설 후 부식 시험체

그림 5 슬래브 실험체의 실제 부식도에 따른 부착강도

타설 전 노출 철근의 부식은 예상 부식도에 대한 실제 부식도의 비가 상대적으로 큰 것으로 나타났으며, 부식도가 증가함에 따라 실제 부식도가 예상 부식도에 접근하는 것으로 나타났다. 타설 후 콘크리트 속에 매입된 철근의 부은 예상 부식도에 대한 실제 부식도의 비가 0.5정도로 나타났으며, 부식도가 증가함에 따라 실제 부식도가 예상 부식도에 접근해 가고 있는 것으로 나타났다(그림 6).



(a) SB 계열 - 타설 전 부식 시험체 (b) SA 계열 - 타설 후 부식 시험체
 그림 6 슬래브 시험체의 부식도별 부착길이에 따른 예상 부식도에 대한 실제 부식도 비

4. 결론

타설 전과 타설 후 철근의 부식과 부식도에 따른 부착강도와의 상관관계를 파악하기 위한 슬래브 부재 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 타설 전 철근을 부식시킨 D13 철근을 사용한 슬래브 부재에서는 실제 부식도가 3.6%까지 증가 하여도 부착강도가 감소하지 않으며, 실제 부식도 6.1%부터 서서히 감소한다.
- (2) 타설 후 철근을 부식시킨 D13 철근을 사용한 슬래브 부재에서는 실제 부식도가 0.8%까지는 부착강도가 감소하지 않으며, 1.3%가 되면 급격히 감소하는 현상을 보여주고 있다. 대략 실제 부식도 2%에서 부착강도가 30%의 감소율을 보이고, 4%에서 50%의 감소율을 보여주었다. 이는 부식으로 생성된 부유물이 0.8% 정도까지는 철근의 부패가 팽창하므로 구속력을 증대시키는데 반해 1.3%에서는 부식균열이 발생함에 따라 콘크리트의 구속력이 급격히 저하되기 때문으로 판단된다.
- (3) 타설 전 부식시킨 철근의 부착강도는 부식도가 증가함에 따라 비교적 완만한 감소추세를 보여 주고 있으나 타설 후 부식시킨 시험체는 부식도가 증가함에 따라 급격한 부착강도 저하 현상을 보여 주었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(98-0602-02-01-4)지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. 정은철, "철근이 부식된 철근콘크리트 슬래브의 구조성능 평가에 대한 실험적 연구", 단국대학교 대학원 석사 학위논문, 2001.1.
2. 안태승의 3인, "철근의 부식정도와 부착강도에 대한 연구" 한국도로공사 도로연구소1997.12.
7. YuBin Auyeung, Piblaguru, Lan Chung, "Bond Behavior of Corroded Reinforcement Bars", ACI Materials Journal Mar-Apr, 2000