

콘크리트 타설 전과 후에 부식된 이형철근의 부착강도에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on Bond Strength of Corroded Bars Before and After Placement

김 대 일* 정 란**
Kim, Dae Il Chung, Lan

ABSTRACT

Recently, use of sea-sand as fine aggregates in reinforced concrete structures is increasing because of lacking of supply due to destructive of environment caused by obtaining and exhausting of resource. It rise up issue, some field reconstructing, interrupted construction works occurring to the trouble on the site because sometimes engineer does not agree to use of corroded bar, even slightly corroded.

This study investigates the properties of bond strength and the structural behavior of corroded bars before and after placement. The purpose of the study is to present the database estimating degree of damaged bond strength according to corrosion level and deciding on whether using corroded bars or not.

1. 서론

현재 철근콘크리트 구조물에 사용되고 있는 잔골재는 환경문제와 공급의 어려움으로 인해 해사가 많이 사용되고 있다. 그러나 해사의 사용과 구조물의 미세한 균열 등 여러 가지 요인으로 염해물(알칼리)이 콘크리트 내부로 침투하게 되고 그 결과 철근이 부식되게 된다. 이러한 원인에 의하여 발생된 철근의 부식은 철근의 단면적의 감소를 초래하여 철근과 콘크리트와의 부착력 저하, 부식 팽창에 의한 균열 발생 등 구조물에 미치는 영향은 매우 크다. 또한, IMF 등으로 인해 공사가 일시 중단되었다가 재개된 일부 현장에서 부식된 철근의 사용성에 대한 문제가 발생하고 있다. 이에 부식된 철근을 사용했을 때의 역학적 특성과 이에 대한 내구성 평가 및 보수·보강 기법에 대한 연구를 수행할 필요가 제기되었다.

본 연구의 목적은 기존의 철근콘크리트 구조물에서 타설 전에 부식된 철근을 사용했을 때와 타설 후에 철근이 부식되었을 때, 부재의 내력에 미치는 영향을 각각 규명하여 부식된 철근의 사용성 판단과 부식에 따른 부재의 내력저하를 예측할 수 있는 기초적인 자료를 제시하는데 있다.

* 정희원, 단국대학교 대학원 건축공학과 석사과정

** 정희원, 단국대학교 공학부 건축공학전공 교수, 공학박사

2. 실험계획 및 방법

2.1. 시험체 계획

철근이 부식되었을 때의 부착 내력저하 정도를 알아보고자 콘크리트에 매입된 철근을 전위차 부식 촉진법에 의해 유도 부식량만큼 부식시킨 시험체와 철근을 부식시킨 후 매입한 시험체로 나누어 계획하였다. 실험에 대한 변수 및 시험체 형상은 다음의 표 1 및 그림 1과 같다.

표 1 실험변수

부식시기	철근의 종류	부식단계(%)
타설 전 철근의 부식	HD13, HD19	0, 2, 3, 4, 5,
타설 후 철근의 부식		7, 10%

A 13-3-I

- 일련번호(I, II, III), 실제 부식도
- 예상 부식단계(0, 2, 3, 4, 5, 7, 10%)
- 철근의 종류(13 : HD13, 16 : HD16)
- 부식시기(S : 기준 시험체
A : 타설 후 철근의 부식,
B : 타설 전 철근의 부식)

총 시험체 수 = 78개

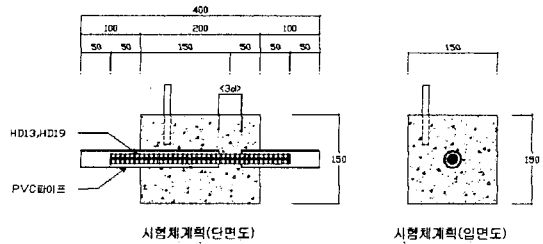


그림 1 시험체 형상

2.2. 시험체 제작 및 사용재료

13 계열 시험체는 HD13 철근을 사용하였으며, 신성우 등의 연구결과에 근거를 두어 철근의 항복을 피하고 콘크리트의 부착파괴를 유도하기 위하여 부착길이를 38.1 ± 2.1 mm (3d)로, 19 계열은 HD19 철근을 사용하여 부착길이를 57.3 ± 1.9 mm (3d)로 유지하였으며, 부착길이에 포함된 마디의 개수는 각각 5개와 4개씩으로 동일한 조건을 부여 하였다. 예상 부식도 0, 2, 3, 4, 5, 7, 10%에 따라 각각 3개씩의 시험체를 제작하였으며, 철근의 부식시기에 따라 기준시험체(S)와 타설 전(B), 타설 후(A) 부식시킨 시험체로 나누어 제작하였다.

철근은 KS D 3504에 규정된 SD 40을 사용하였으며, 철근의 부식도에 따른 인장강도를 측정하기 위하여 KS B 0801 규정에 따라 HD13 철근을 각 부식단계별(0, 2, 3, 4, 5, 7, 10%)로 3개의 시편을 제작하여 인장강도실험을 실시하였다. 표 2와 그림 2는 3개의 시편의 평균값을 나타내고 있다.

표 2 부식도에 따른 철근의 재료 성질

철근의 종류	부식도단계 (%)	항복하중 (kgf)	최대하중 (kgf)
HD13	0	4980	6820
	2	4867	6660
	3	4590	6360
	4	4480	6160
	5	4413	6087
	7	4320	5967
	10	4187	5793

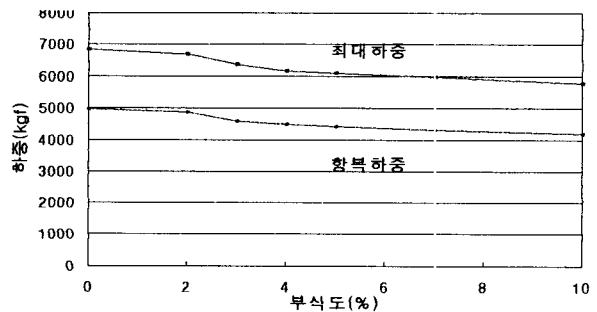


그림 2 부식도에 따른 HD13철근의 항복하중과 최대하중

콘크리트는 배합강도 240kgf/cm^2 로 레미콘회사에 주문 의뢰하여 제작하였고, 타설과 동시에 KS F

2405에 따라 공시체를 제작하였으며, 양생은 시험체와 동일조건으로서 대기양생과 수중양생을 하였다. 배합 및 공시체의 28일 압축강도는 표 3과 같다.

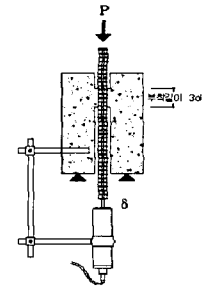
표 3 콘크리트 배합

배합강도 (kgf/cm ²)	물·시멘트비 (%)	배합중량(kg/cm ³)				혼화제 (kg/cm ³)	슬럼프 (cm)	평균압축강도 (kgf/cm ²)
		물	시멘트	모래	자갈			
240	58	185	319	690	991	1.6	15	288.3

2.3. 실험방법

본 실험에서는 철근의 부식이 전기 화학적 반응이라는 점에서 착안하여 반응에 사용되는 총 전하량이 보존된다는 페러데이법칙에 근거하였으며, 철분자량을 이용하여 유도 부식량을 몰수로 환산하고, 1몰당 소요 전하량을 구한 다음, 일정 시간마다 전류값을 측정하여 철근의 부식량을 계산하였다.

부착-슬립 실험방법은 시험체를 가력 프레임에 설치하고 최대용량 50tf인 유압잭을 10tf 용량의 로드셀에 연결하여 시험체의 철근 중앙부를 가력하였다. 가력시 철근과 로드셀의 접합부를 헨지 처리하여 편심을 방지하였다. 변위는 콘크리트 면으로부터 철근의 하단부에 5mm 용량의 선형변위측정기(LVDT)를 설치하여 측정하였다<그림 3>.



실제 부식도 측정시 짧은 부착길이에서는 철근 한 마디의 비율이 부식도에 많은 영향을 줄 것으로 예상되어 정확한 부식도를 측정하기 위해서 철근의 마디간격에 비례하여 부식 부위를 같은 길이로 절단하였다.

그림 3 가력점 및 변위 측정위치

3. 실험결과 및 분석

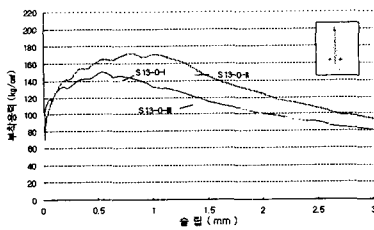
실험결과 13 계열 시험체의 실험결과는 표 4와 같으며, 부착응력-슬립 곡선은 그림 4와 같다.

표 4 13 계열 시험체와 19 계열 시험체의 실험결과

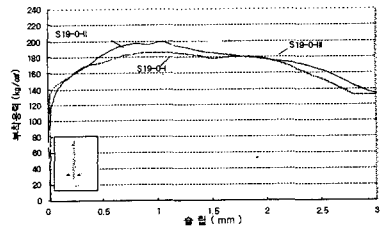
시험체명	최대 부착응력 (kgf/cm ²)	최대부착 응력시 슬립 (mm)	비고	시험체명	최대 부착응력 (kgf/cm ²)	최대부착 응력시 슬립 (mm)	비고	시험체명	최대 부착응력 (kgf/cm ²)	최대부착 응력시 슬립 (mm)	비고	시험체명	최대 부착응력 (kgf/cm ²)	최대부착 응력시 슬립 (mm)	비고
SI3-0-I	150	0.53		SI3-0-I	150	0.53		SI9-0-I	188	1.01		SI9-0-I	188	1.01	
SI3-0-II	173	0.80		SI3-0-II	173	0.80		SI9-0-II	200	0.84		SI9-0-II	200	0.84	
SI3-0-III	143	0.58		SI3-0-III	143	0.58		SI9-0-III	201	1.37		SI9-0-III	201	1.37	
BI3-2-1.5	155	0.34		A13-2-0.1	205	0.18		BI9-2-1.8	177	0.67		A19-2-0.5	187	0.34	
BI3-2-1.6	169	0.80		A13-2-0.5	177	0.61		BI9-2-1.9	171	1.07		A19-2-0.6	187	0.86	
BI3-2-2.1	183	0.95	*	A13-2-1.0	204	0.08		BI9-2-2.3	155	0.72		A19-2-0.8	227	0.84	
BI3-3-2.2	159	0.94		A13-3-1.1	148	0.62	*	BI9-3-2.5	188	1.34		A19-3-0.7	194	0.35	**
BI3-3-2.3	170	1.06		A13-3-1.2	165	0.03		BI9-3-2.6	176	0.59		A19-3-1.0	148	0.01	**
BI3-3-2.4	157	0.57		A13-3-1.4	182	0.03		BI9-3-3.1	143	1.19	*	A19-3-1.1	162	0.00	**
BI3-4-2.4	155	0.48		A13-4-0.9	167	0.06		BI9-4-0.9	97	0.13	*	A19-4-0.8	198	0.01	
BI3-4-2.5	164	1.08		A13-4-2.5	210	0.05	*	BI9-4-1.9	183	1.39		A19-4-0.9	163	0.03	**
BI3-4-2.8	159	0.37		A13-4-0.2	162	0.55	*	BI9-4-3.2	159	1.08		A19-4-1.1	159	0.13	**
BI3-5-2.7	169	1.06		A13-5-0.8	189	0.06		BI9-5-3.4	177	1.20		A19-5-1.7	187	0.46	
BI3-5-3.1	147	0.49		A13-5-1.9	207	0.06		BI9-5-4.2	180	1.51		A19-5-1.0	175	0.05	**
BI3-5-3.2	158	0.71		A13-5-0.9	144	0.39	*	BI9-5-4.8	158	0.95		A19-5-1.5	130	0.28	**
BI3-7-3.4	126	0.95	*	A13-7-0.5	170	0.68	*	BI9-7-4.9	183	1.33		A19-7-1.0	171	0.03	**
BI3-7-4.1	142	0.92	*	A13-7-1.4	194	0.03	*	BI9-7-5.0	194	0.88		A19-7-1.5	117	0.10	**
BI3-7-8.8	96	1.31		A13-7-2.2	147	0.76		BI9-7-5.2	198	1.30		A19-7-2.2	93	0.03	**
BI3-10-4.6	107	1.25		A13-10-0.6	164	0.55	*	BI9-10-7.6	167	2.14		A19-10-0.3	204	1.11	
BI3-10-5.7	97	1.17		A13-10-0.7	157	0.49	*	BI9-10-7.7	172	1.52		A19-10-0.6	200	0.92	
BI3-10-6.3	130	1.39	*	A13-10-1.9	162	0.03		BI9-10-7.9	176	1.77		A19-10-2.1	104	0.04	**

* : 편심, 철근 절단시의 오류, 자료 취득 실패 등으로 분석에서 제외 하였음.

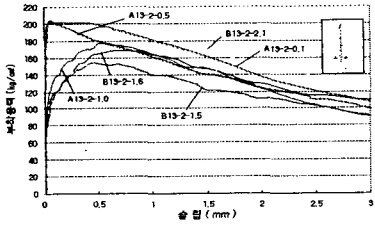
** : 부식균열 발생 시험체



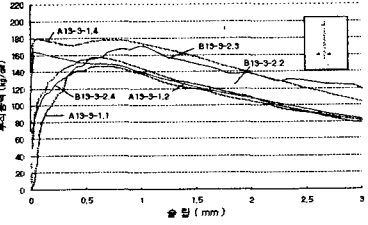
(a) S13 계열 시험체의 부착응력 - 슬립 곡선



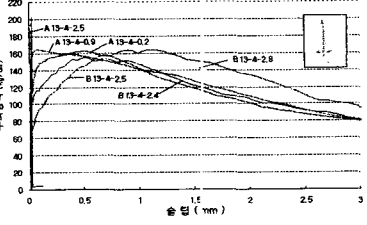
(b) S19 계열 시험체의 부착응력 - 슬립 곡선



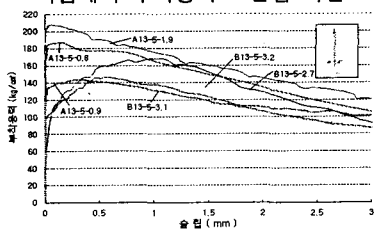
(c) B13-2 계열과 A13-2 계열 시험체의 부착응력 - 슬립 곡선



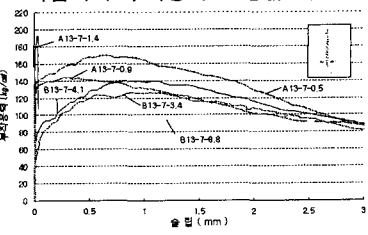
(d) B13-3 계열과 A13-3 계열 시험체의 부착응력 - 슬립 곡선



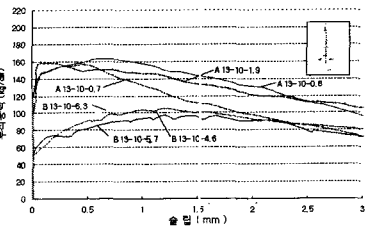
(e) B13-4 계열과 A13-4 계열 시험체의 부착응력 - 슬립 곡선



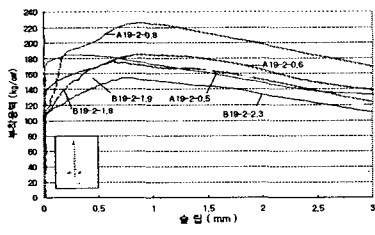
(f) B13-5 계열과 A13-5 계열 시험체의 부착응력 - 슬립 곡선



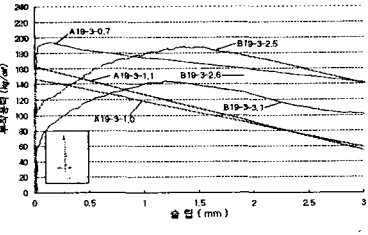
(g) B13-7 계열과 A13-7 계열 시험체의 부착응력 - 슬립 곡선



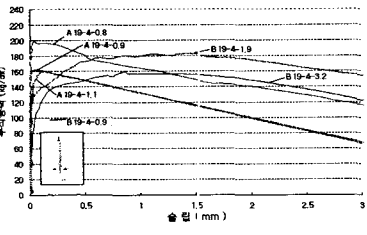
(h) B13-10 계열과 A13-10 계열 시험체의 부착응력 - 슬립 곡선



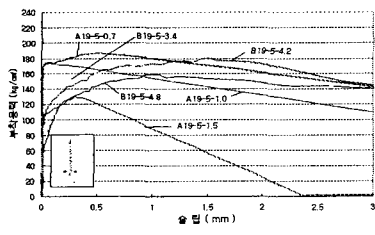
(i) B19-2 계열과 A19-2 계열 시험체의 부착응력 - 슬립 곡선



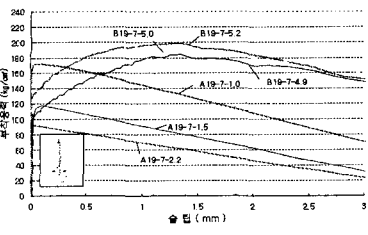
(j) B19-3 계열과 A19-3 계열 시험체의 부착응력 - 슬립 곡선



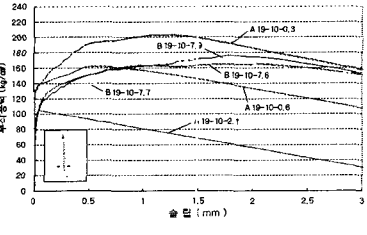
(k) B19-4 계열과 A19-4 계열 시험체의 부착응력 - 슬립 곡선



(l) B19-5 계열과 A19-5 계열 시험체의 부착응력 - 슬립 곡선



(m) B19-7 계열과 A19-7 계열 시험체의 부착응력 - 슬립 곡선



(n) B19-10 계열과 A19-10 계열 시험체의 부착응력 - 슬립 곡선

<그림 4> 13 계열 시험체와 19계열 시험체의 부식도별 부착응력 - 슬립 곡선

타설후 부식시킨 시험체에서 부식 부위가 균일하게 부식되었다고 가정하였으나 표 4에 나타난 것처럼 실제로는 콘크리트로 피복되어 있지 않은 철근의 주위에서 콘크리트와 철근사이에 염화나트륨 수용액이 존재하게 되고, 전류는 가장 흐르기 쉬운 곳을 통하여 많은 전류가 흐르는 전기적인 성질에 의하여 염화나트륨 수용액에 가장 가깝게 접해있는 부위, 즉 바깥쪽에 국부적인 부식이 일어남에 따라 실제 측정한 부식도와 예상 부식도가 차이를 보였다

3.1. B 계열 시험체

그림 5에서 보는 바와 같이 타설 전 부식시킨 B13 계열 시험체는 기준시험체의 평균 부착응력에 비해 실제 부식도 3%까지는 증가하나 3%를 넘어서는 범위에서는 감소하는 추세가 나타났다. 이는 부식이 일어남에 따라 철근의 표면 거칠기가 심화되어 부착응력을 증가시키는 순기능이, 부식물의 파쇄로 인한 역기능보다 더 큰 작용을 하는 것으로 판단된다. 그리고, B19 계열 시험체는 기준 시험체의 부착응력과 비교하면 실제 부식도 8% 선까지 부식도의 증가에도 불구하고 부착력에는 큰 영향이 없는 것으로 나타났으며, 평균 최대응력에서 최대 10% 내외의 심한 편차가 발생하였다.

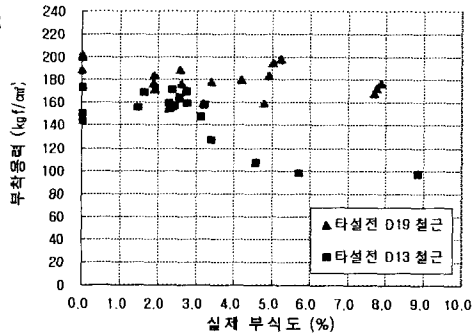


그림 5 B13 계열과 B19 계열 비교

B13 계열 시험체에서는 초기 슬립 발생시 부착응력은 부식도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으며, 최대 부착응력 발생시 슬립은 점차적으로 증가하는 경향을 보였다. B19 계열 시험체에서는 실제 부식도 5%까지는 초기 변위 발생시 부착응력이 전반적으로 일정하나 실제 부식도가 5%를 넘으면서 감소하는 경향을 보였으며, 최대 부착응력 발생시 슬립은 2.5% 정도까지는 감소하다가 점차적으로 증가하는 경향을 보였다<그림 5>. 이는 철근과 콘크리트의 사이에 존재하는 파쇄된 부식물의 양이 슬립에 큰 영향을 주는 것으로 판단된다. 따라서 타설 전 철근에 발생한 부식물의 탈락율이 부착강도에 주는 영향에 대하여 추후 연구가 더 필요할 것으로 판단된다.

3.2. A 계열 시험체

그림 6에서 보는 바와 같이 타설 후 부식시킨 시험체(A13, A19 계열)는 부분 부식으로 인하여 실제 부식도가 0~2% 내외에 모두 몰려 있는 양상이 나타났으나, A19 계열 시험체는 예상 부식도 3% 이상의 시험체에서 부식균열이 발생하여 실제 부식도 0~2%의 좁은 구간에서 전형적인 부식도에 따른 부착응력 곡선을 나타내고 있다. 그러나 A13 계열 시험체에서는 콘크리트와 접하지 않은 철근에 부식이 진행되어 유도한 부위의 부식이 거의 일어나지 않은 시험체들이 많이 발생했으며, 부식이 진행된 시험체에서도 부식균열이 발생하지 않아 내력저하가 거의 보이지 않는 경향을 나타냈다. 추후 연구에서는 이러한 점을 고려해야 할 것으로 판단된다.

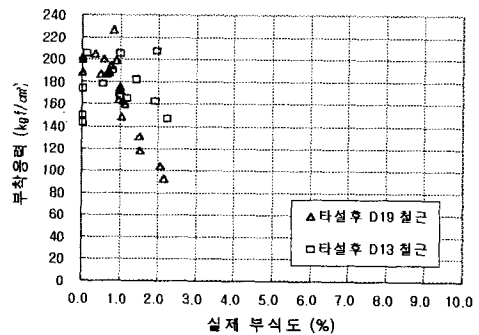


그림 6 A13 계열과 A19 계열 비교

A13 계열 시험체에서는 실제 부식도 2% 이하에서 부식도가 증가함에 따라 초기 슬립 발생시 부착응력은 증가하는 추세를 보였으며, 최대 부착응력 발생시 슬립은 실제 부식도가 1% 이하에서 감소하다가 1~2%에서는 슬립이 발생하지 않은 상태에서 파괴에 이르렀다. 이는 타설 후 부식된 철근이 팽창하여 그 압력으로 인해 부착력을 증가시킨 결과로 판단된다<그림 4>.

A19 계열 시험체는 실제 부식도 1% 미만에서는 기준 시험체의 부착응력보다 크게 나타났으나, 1% 이상에서는 급격히 떨어지는 양상을 나타냈다. 이는 A13 계열 시험체와 같이 국부적인 부식을 일으켜 기계적 절단 후 실제 부식도에서는 대부분의 시험체들이 2% 이하의 부식도로 측정되었기 때문인 것으로 판단된다<그림 4>.

A19 계열 시험체에서 예상 부식도 3% 이상인 시험체에서 부식균열이 그림 7에서 보는 바와 같이 발생하였다. 가력 실험시 부식균열의 영향으로 인하여 부식 균열 폭이 최대 부착응력에서 급격히 증가

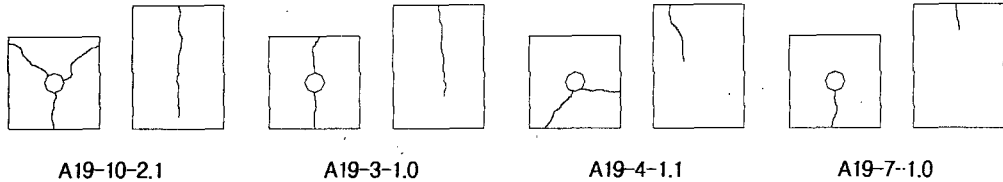


그림 7 A19 계열 시험체의 부식균열 양상

하여 취성적 쪼개짐 파괴가 일어났으며, 최대 부착응력에 도달한 후에 슬립이 급격히 증가하는 양상을 보였다(표 4 비교란 참조). 반면, 부식균열이 발생하지 않은 예상 부식도 3% 이상인 시험체는 큰 부착력을 유지하고 있었다. 초기슬립 발생시 부착응력은 실제 부식도가 1% 이하에서는 전반적으로 증가했고, 1% 이후에서는 감소하는 추세를 보였으며, 최대 부착응력 발생시 슬립은 급격히 감소하는 경향을 보였다. 부식균열에 의한 콘크리트의 내구성에 대한 추후 연구가 필요하다.

4. 결론

타설 전 부식된 철근과 타설 후 부식시킨 철근의 부착강도를 비교한 실험결과를 분석하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 부식도 1~2%의 초기 부식 상태에서 타설 후 부식된 철근의 부착강도는 타설 전 부식된 철근의 부착강도보다 다소 크게 나타났으나 부식이 보다 진행되면 부착강도가 급격히 저하된다.
- (2) 타설 전 부식된 철근을 사용한 시험체는 부식도 3%까지는 부착강도에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.
- (3) 같은 부식도일 지라도 부식균열이 발생한 시험체는 그렇지 않은 시험체에 비해 취성적 파괴를 일으키며, 부착응력이 급격히 떨어진다.

감사의 글

본 연구는 1998년 한국과학재단 특정기초연구(과제번호 : 98-0602-02-01-4)에 의한 “철근콘크리트 구조물의 철근 부식량 측정기법 개발과 구조성능 평가”의 일환으로 수행되었으며, 많은 도움을 주신 한국과학재단 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 유환구 외 3인, “철근의 부식정도와 부착강도에 대한 연구”, 한국콘크리트학회지 1998년 봄 학술발표회 논문집
2. 신성우 외 2인, “철근콘크리트의 부착특성에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 논문집 제7권 1호 1995.2.
3. 이창복, “철근콘크리트 구조물의 철근 부식에 따른 구조성능 평가에 관한 실험적 연구”, 단국대학교 대학원 석사학위논문 1999.
4. YuBun Auyeung, P.balaguru, and Lan Chung, “Bond Behavior of Corroded Reinforcement Bars”, ACI Materials Journal Mar-Apr, 2000