

전식녹을 제거한 철근과 콘크리트의 부착응력에 관한 실험적 연구

Bond Stress of the Bar Removed Rust with Concrete

최효석* 이주일* 류수현** 유호현*** 김진무****
Choi, Hyo-Seok Lee, Joo-Il Ryu, Soo-Hyun Yu, Ho-Hyun Kim, Jin-Mu

Abstract

A reinforced concrete structure is complex structure that works as one body with bonding role of steel bar and concrete. The bonding action between steel bar and concrete makes possible the compound structure. The transmission of mutual strength of the steel bar with concrete in structure is determined by the bonding characteristic of steel bar and concrete surface. But the efficiency of bonding characteristic of steel bar is questionable by the corrosion cause by the delay construction term, the wrong management, etc. So this study investigate bonding characteristic of reinforced concrete using pull-out test method which steel bar removed rust and the principal variables of this study are concrete compression strength and the degree of corrosion. The result showed that bonding strength tend to increase when removed rust of steel bar whereas it tend to decrease when not removed rust.

Keywords : Bond stress, corrosion steel bar, removed rust

1. 서론

철근콘크리트구조는 철근과 콘크리트가 결합하여 두 재료간의 미끄러짐이 없이 일체가 되어 거동을 하는 복합구조로 철근과 콘크리트간의 부착작용을 통해 서로 다른 성질을 가진 철근과 콘크리트를 결합시켜 하나의 부재로 합성함으로써 일체성이 확보

된다. 철근콘크리트구조에서 상호간의 응력전달은 철근과 콘크리트와의 경계면인 철근표면의 부착특성에 의해서 결정되는데 일부 건설현장에서의 상황은 반입된 철근의 관리소홀 및 공기지연 등의 이유로 인해 녹이 발생한 철근을 사용함에 따라 부착응력에 많은 의구심이 제기되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 콘크리트 강도와 철근의 부식성

* 정회원, 이우건축구조연구소, 공학석사

** 정회원, 삼육의명대 건축설계과 전임강사

*** 정회원, 이우건축구조연구소 소장, 공학석사

**** 정회원, 이우건축구조연구소 소장, 공학박사

• 본 논문에 대한 토의를 2001년 5월 31일까지 학회로 보내주시면 2001년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

도를 변수로 하여 부식속을 제거한 철근의 콘크리트 강도에 따른 부착응력 변화를 인발실험(Pull out Test)을 통하여 연구하고자 하였다.

2. 실험계획

2.1 재료

철근과 콘크리트의 역학적 성질에 대한 실험 결과는 Table 1, Table 2와 같다.

Table 1 강재의 기계적 성질

시험편 종류		공칭 직경 (cm)	공칭 단면적 (cm ²)	항복 강도 (kgf/cm ²)	인장 강도 (kgf/cm ²)	탄성 계수 (kgf/cm ²) × 10 ⁶	연신율 (%)
부식도 (%)	번호						
0	D19-1	1.91	2.865	3737	5514	2.34	25.83
1.9	D19-2			3954	5418	2.11	23.90
2.6	D19-3			3919	5191	2.24	14.47
4.3	D19-4			3763	5365	2.25	16.12
6.6	D19-5			3751	5401	2.11	14.80

Table 2 콘크리트 압축강도 실험 결과

공시체 종류	W/C (%)	S/A (%)	Slump (cm)	공기량 (%)	단위중량(kg/m ³)				압축 강도 (kgf/cm ²)
					C	W	S	G	
P1	53.3	44.3	19.0	5.5	358	191	778	997	240
P2	40.6	42.0	14.5	5.4	407	165	735	1038	334

2.2 철근의 부식실험

철근은 KS D 3504에 규정된 D19 이형철근이며 콘크리트에 타설하기 전에 미리 부식시키고 와이어 브러쉬로 녹을 제거한 철근을 사용하였다. 철근의 부식방법은 진기를 이용한 정전류부식방법을 사용하였고 전기부식장치도는 Fig. 1과 같다. 철근부식도 측정은 실험체용 철근과 함께 부식도측정용 시편을 4개씩 제작하여 동시에 부식시키고, 부식중량을 측정, 중량비 평균값을 택하였다.

2.3 실험변수

본 연구에서는 배합설계에 의한 콘크리트의 압축 강도는 2종류(240, 334 kgf/cm²)로 구분하였고, 철근은 D19철근을 사용하였다. 철근의 부식정도는 중량비를 측정하여 5종류(0%, 1.9%, 2.6%, 4.3%, 6.6%)로 하여 각 종류별로 3개씩 총30개의 실험체를 제작하여 실험을 수행하였다.

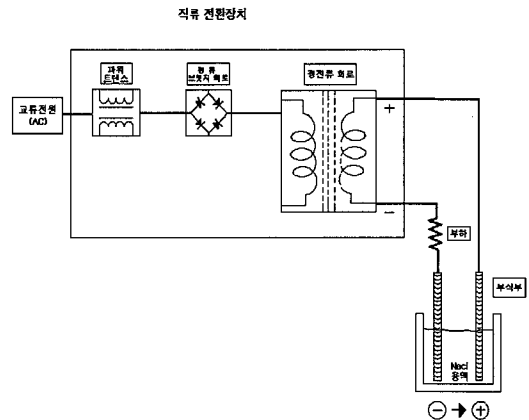


Fig. 1 철근의 전기부식장치도

실험체명에서 첫번째는 철근의 부식정도를, 둘째는 콘크리트의 압축강도를 표시하였다.

E□□

콘크리트 강도 - C:240 kgf/cm², F:334 kgf/cm²
 부식정도 - E0:0.0%, E1:1.9%, E2:2.6%,
 E3:4.3%, E4:6.6%

2.4 실험체의 제작 및 실험방법

실험체는 KS F 2441과 ASTM C 234-9A를 참고로 제작하였으며, 크기는 15cm×15cm×19cm의 식육년체 모양으로 하였고, 실험체에 접하는 재하단 철근길이의 일부(9.5cm)는 콘크리트의 쉐기형 파괴(재하단의 응력집중에 의한 국부파괴)를 방지하기 위해 파이프로 피복하여 부착응력이 발생하지 않도록 하였다. 실험방법은 U.T.M을 사용하여 편심이

15cmX15cmX19cm 큐빅형 (단위 : cm)

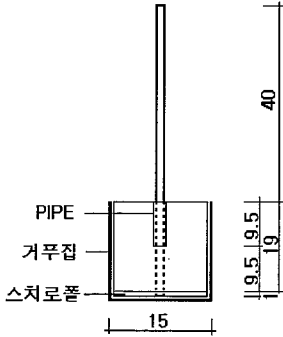


Fig. 2 실험체 제작도

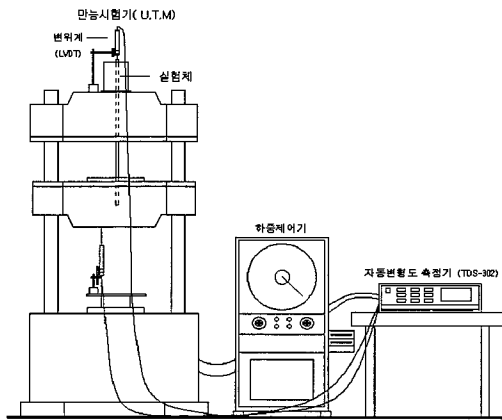


Fig. 3 실험장치도

발생하지 않도록 철근에 직접 인발력을 가하였으며, 철근의 자유단 및 재하단에 변위계(LVDT)를 설치하여 콘크리트의 슬립량을 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 파괴양상

초기에 이형철근의 경우에는 모르타르 페이스트와 철근표면사이의 화학적 접착력만이 슬립에 저항하며 이것에 의해서 철근과 콘크리트는 변형이 일치하고 슬립 현상이 거의 없게 되나 인발응력이 증가하면

화학적 접착은 철근마디의 썩기작용의 결과로 파괴되는데, 이때 작용하는 부착은 철근과 콘크리트의 기계적 상호작용으로 마디가 콘크리트를 밀어 철근으로부터 콘크리트를 분리시킨다. 이 지압력의 방사 성분(radial component)이 철근 주위의 콘크리트에 원형 인장력(ring tension)을 발생시켜 쪼갬균열을 발생시킨다. 실험결과 파괴양상은 슬립량 0.25mm 이상에서 콘크리트의 강도와 부식정도에 관계없이 대부분이 쪼갬파괴를 일으켰다.

3.2 부착응력의 계산

콘크리트 속에 묻힌 철근에 평균 부착응력 u 가 철근 길이를 따라 균등히 분포한다고 가정하면 다음 식이 성립한다.

$$T = n f_s = u \sum o l \quad (1)$$

여기서 at : 철근의 단면적
 f_s : 철근의 응력
 u : 부착응력도
 $\sum o$: 철근의 주장
 l : 정착길이

$$u = \frac{n f_s}{\sum o l} \quad (2)$$

3.3 부착응력-슬립 관계

영국의 철근콘크리트 규준중 부착응력시험법에 의하면 자유단 슬립 0.025 mm의 응력을 초기슬립의 부착응력으로 하고, 0.25 mm를 부착응력 판정의 기준치로 규정하고 있으며, 그 외 자유단 슬립량이 0.05 mm이거나 하중단 슬립량이 0.25 mm일 때의 응력을 평균부착응력으로 간주하는 학설과 자유단 슬립량이 0.2~0.3 mm가 되면 최대부착응력에 이른다는 연구도 있다.⁽¹²⁾ 본 실험에서는 자유단 슬립 0.25 mm일 때와 종국파괴시의 부착응력을 기준

Table 3 슬림량에 따른 부착응력
단위 : (kgf/cm²)

압축강도 (kgf/cm ²)	철근 부식 도 (%)	종류	슬림량(mm)에 따른 부착응력						
			0.025	0.050	0.100	0.150	0.200	0.250	커다
240	0.0	E0-C	101.3	123.7	135.3	141.7	157.4	159.3	163.1
	1.9	E1-C	121.2	162.4	183.3	187.2	193.8	196.5	197.4
	2.6	E2-C	136.0	165.4	186.7	198.9	207.0	211.9	216.6
	4.3	E3-C	112.0	129.9	140.3	168.4	179.8	191.8	191.9
	6.6	E4-C	161.6	171.2	186.8	198.8	201.2	207.4	213.2
330	0.0	E0-F	88.5	96.1	153.4	198.7	212.4	213.8	213.8
	1.9	E1-F	141.9	155.9	174.0	188.6	197.9	205.2	209.8
	2.6	E2-F	150.5	158.6	186.8	196.6	211.1	226.1	228.4
	4.3	E3-F	131.1	147.4	155.1	187.2	198.3	207.9	217.5
	6.6	E4-F	94.5	119.7	168.9	214.1	219.7	239.3	246.8

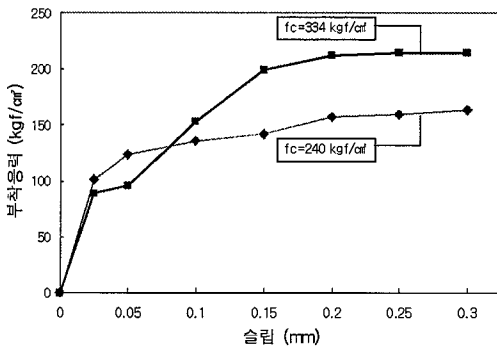


Fig. 4 E0계열의 부착응력도(0.0%부식)

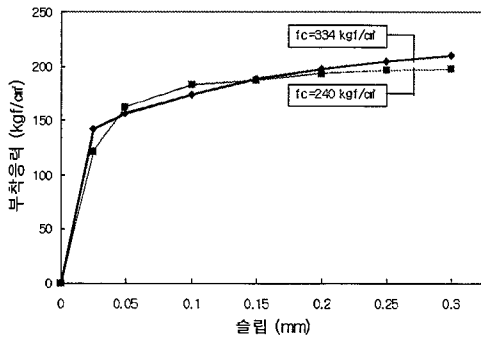


Fig. 5 E1계열의 부착응력도(1.9%부식)

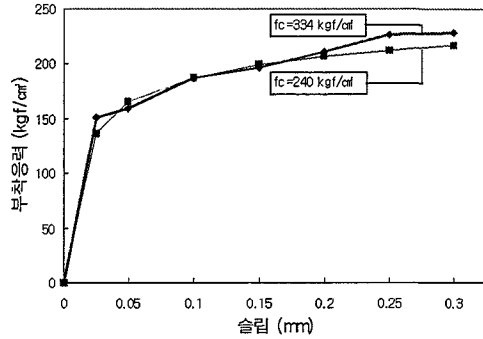


Fig. 6 E2계열의 부착응력도(2.6%부식)

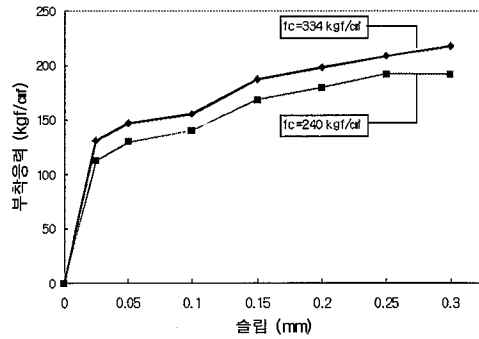


Fig. 7 E3계열의 부착응력도(4.3%부식)

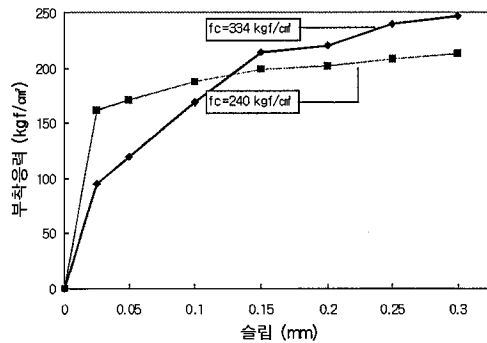


Fig. 8 E4계열의 부착응력도(6.6%부식)

으로 비교분석 하였다. 부착응력-슬립 곡선은 콘크리트 압축강도와 부식정도에 따라 (Fig. 4~8)로 나타났다.

실험결과 Fig. 4~8에서와 같이 최대부착응력은 동일 부식량에서 콘크리트 압축강도 334 kgf/cm² 일 때가 240 kgf/cm² 일 때보다 E0계열은 50.7 kgf/cm², E1계열은 12.4 kgf/cm², E2계열은 11.8 kgf/cm², E3계열은 25.6 kgf/cm², E4계열은 33.6 kgf/cm² 크게 나타났고 부식을 시키지 않은 경우의 부착응력 차가 가장 크게 나타났다.

3.4 변수에 따른 부착응력 비교

3.4.1 압축강도에 따른 부착응력

실험체중 부식을 시키지 않은 E0계열(부식도0%-중량비)의 실험결과를 기존의 연구와 비교하여 보면 Table 4와 같다.

Table 4 압축강도에 따른 부착응력 실험결과
(단위 : kgf/cm²)

f _c	test	권오현	Zsutty	Choi-Shin
	EO시험체			
240	163.1	139.10	122.71	147.38
	EO/E0	EO/권오현	EO/Zsutty	EO/Choi-Shin
	1.00	1.17	1.33	1.11
f _c	test	권오현	Zsutty	Choi-Shin
	EO시험체			
330	213.80	174.3	136.45	172.81
	EO/E0	EO/권오현	EO/Zsutty	EO/Choi-Shin
	1.00	1.23	1.57	1.24

ACI규준에서는 부착강도를 1960년대까지 규정하여 사용하였지만 1980년대에 들어 이를 근거로 정착길이만을 산정하고 있다. ACI 318-95 규준에서도 부착응력을 따로 정의하지 않고 정착길이 산정을 위한 식을 제안하고 있다.

기존의 연구에서 권오현²⁾에 의해 제안된 부착응력식은 $12.8\sqrt{f_c} - 59.19$ 과 같으며 Zsutty¹²⁾에 의해 제안된 식은 보통중량 보통강도 콘크리트에 대한 것으로 다음식 (3)과 같다.

$$\nu = 23.79 \times \sqrt[3]{f_c} \times \sqrt{\frac{d_b}{l_d}} \times \sqrt{\frac{C}{d_b}} \quad (3)$$

Choi-Shin¹²⁾제안식은 보통중량 고강도 콘크리트를 대상으로 하며 다음식 (4)와 같다.

$$\nu = 6.31 \times \sqrt{f_c} \times \sqrt[3]{\frac{C}{d_b}} \quad (4)$$

f_c = 240 kgf/cm²과 334 kgf/cm²에서 비교한 결과 권오현의 실험결과 보다는 1.17~1.23 배 크게, Choi-Shin의 실험결과보다는 1.11~1.24 배 크게 나타나 최근의 국내 실험결과에 의한 최귀식과 비슷한 결과를 나타냈으나 Zsutty의 실험결과보다는 1.33~1.57 배 크게 나타났으며 C계열의 실험결과가 비교적 크게 나타났다.

3.4.2 부식정도에 따른 부착응력

C계열은 Fig. 9에서 보는 바와 같이 부식된 시

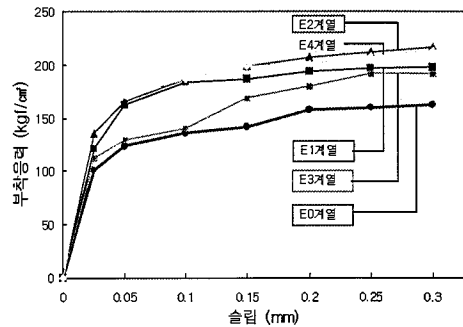


Fig. 9 부식정도에 따른 콘크리트 부착응력(f_c=240 kgf/cm²)

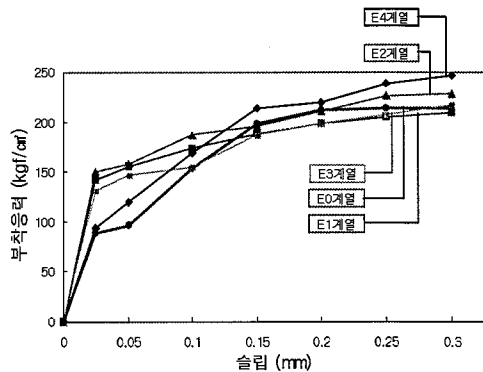


Fig. 10 부식정도에 따른 콘크리트 부착응력(f_c=334 kgf/cm²)

험체들의 부착응력이 부식시키지 않은 E0 시험체보다 전기간에서 크게 나타났고, F 계열은 Fig. 10에서 보는 바와 같이 부식된 시험체들의 부착응력이 E0 시험체보다 0.05 mm 에서는 크게 나타나고 있으나 0.1 mm를 넘어서면서부터는 큰 차이를 보이지 않고 있다.

3.4.3 녹을제거하지 않은 실험결과와의 비교

Fig. 11은 부식녹을 제거하지 않은 경우의 인발 실험(Pull out Test)연구결과¹⁷⁾와 비교하여 부식량에 따른 강도별 최대부착응력을 나타낸 것이며 Table 5는 부식녹을 제거하지 않은 경우의 실험결과이며 참고문헌17의 연구결과이다.

실험결과 부식도 0.65 % 이상에서 부식녹을 제거하지 않은 경우 최대부착응력이 감소하는 반면 부식녹을 제거한 경우 최대부착응력이 증가하는 양상이 나타나 부식녹을 제거할 경우 부착응력이 감소하지 않고 오히려 증가하는 것을 알 수 있었다. 기존 연구에 의하면 부식녹을 제거하지 않은 경우에 부식도 1.7%까지는 부식시키지 않은 경우보다 부착응력이 크게 나타났으나 부식도 1.7% 이상에서는 부착응력이 지속적으로 감소하는 경향을 나타냈다. 이러한 경향에서 볼 때 부착력의 초기증가는 부식에 의해

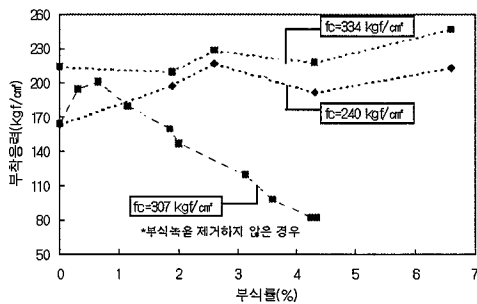


Fig. 11 콘크리트 강도별 부식률-최대부착응력도

Table 5 부식녹을 제거하지 않은 경우의 부착응력 실험결과

부식도(%)	0	0.3	0.65	1.16	1.86	2.0	3.13	3.6	4.35
부착응력 (kgf/cm ²)	164.2	194.8	200.9	179.5	160.1	146.9	119.3	97.9	81.6

생기는 녹증가에 의해 철근의 거칠기가 증가하는 것이며, 철근의 부식이 더 진전된 경우에는 철근 표면의 벗겨지기 쉬운 녹의 미끄러짐에 의한 영향을 많이 받아 부착응력이 감소하게 된다. 본 실험에서는 콘크리트 압축강도 240 kgf/cm², 334 kgf/cm²의 2가지 경우 모두 부식도 4.3% (E3계열)인 경우에 최대부착응력이 약간 감소하다가 녹을 제거하지 않은 기존 실험결과와는 다르게 부식도 6.6%(E4계열)인 경우에 증가한 것은 부식녹을 제거함에 따라 이형철근의 부착응력에 영향을 미치는 주요 요인인 철근마디와 표면의 부식작용에 의한 형상변화가 부착응력 증가에 영향을 미쳤다고 판단된다.

4. 결 론

- 1) 압축강도에 따른 실험결과를 기존의 연구와 비교해 보면 권오현의 실험결과 보다 1.17~1.23배 크게, Choi-Shin의 실험결과 보다 1.11~1.24배 크게 나타나 최근의 국내 실험결과에 의한 회귀식보다 높은 결과를 나타냈으며, 콘크리트 압축강도 334 kgf/cm²의 실험결과가 콘크리트 압축강도 240 kgf/cm²보다 크게 나타나 기존식들이 고강도 콘크리트에 대한 고리가 부족한 것으로 나타났다.
- 2) 콘크리트 압축강도 240 kgf/cm², 334 kgf/cm²의 2가지 경우 모두 부식도 4.3% (E3계열)인 경우에 최대부착응력이 감소하다가 부식도 6.6% (E4계열)인 경우에 증가한 것은 부식녹을 제거함에 따라 이형철근의 부착응력에 영향을 미치는 주요 요인인 철근마디와 표면의 부식작용에 의한 형상변화가 부착응력 증가에 영향을 미쳤다고 판단된다.
- 3) 부식녹을 제거하지 않은 경우¹⁷⁾와 부식녹을 제거한 경우 비교하여 본 결과 부식녹을 제거하지

않은 경우 부식도 0.65 % 까지 최대부착응력이 증가하다가 감소하는 반면 부식율을 제거한 경우 최대부착응력이 증가하는 양상이 나타났다.

결론적으로 부식율을 제거하면 부착응력의 저하는 없을 것으로 판단되고, 자연부식으로 생성된 녹과 전적으로 부식시킨 녹의 특성은 상이(相異)하므로 그 탈락율 및 부식정도에 의한 철근의 형상이 다를 것이다. 따라서 이와 같은 철근의 형상변화가 콘크리트 부착응력에 미치는 영향에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 고용득, "콘크리트 부착응력 시험방법의 개발에 관한 연구", 갑오공과대학교, 1997
2. 권오현, "고강도 콘크리트를 사용한 철근콘크리트부재의 부착성상에 관한 실험적 연구", 중앙대, 1994
3. 서천열, "철근콘크리트 부착응력에 관한 연구", 전남대, 1995
4. 오병환, "철근콘크리트부재의 뿔집 부착특성 연구", 콘크리트학회 논문집 제4권 3호, 1992
5. 유환구의 3인, "철근의 부식정도와 부착응력에 관한 연구", 콘크리트학회 논문집, 1998
6. 이종득, 철근부식집단, 1996
7. 이한승, "부식철근이 철근과 콘크리트의 부착성상에 미치는 영향에 관한 연구", 대한건축학회학술발표논문집, 제19권 제1호, 1999
8. 권영진, "철근콘크리트 부착응력에 관한 실험적 연구", 건국대, 1991
9. 정일영, 강도설계법에 의한 철근콘크리트 설계, 1992
10. 정일영, 한천구, 정상진, 건축재료실험, 1991
11. 정현수, 고강도 철근콘크리트 구조, 1994
12. 최종수, "고강도 콘크리트에 매립된 철근의 부착특성", 한양대, 1991
13. Rehm G, "Über die Grundlagen des Verbundes zwischen Stagl und Beton", Deutscher Ausschuss für Staglbeton, Heft 138, pp59 Berlin(1961)
14. Abrams, D.A, "Measurement of the Distribution of Tensile and Bond Stress along Reinforcing Bar", ACI Journal, NO48-17 Nov 1951
15. ASTM C 234-91a, Standard Test Method for Comparing Concretes on the Basis of the Bond Developed with Reinforcing Steel
16. G.J.Al-Sulaimani, M.Kaleemullah, I.A.Baeunbul, and Rasheeduzzafar, "Influence of Corrosion and Cracking on the Bond Behavior and Strength of Reinforced Concrete Members", ACI Structural 17, KS F 2441, 철근의 부착에 의한 콘크리트 비교 시험방법
18. KS F 2403, 실험실에서 콘크리트의 압축 및 휨강도 실험용 공시체를 제작하고 양생하는 방법 Journal, pp.220-231 March-April 1990.

(접수일자 : 2000년 7월 11일)