

콘크리트 재령에 따른 철근콘크리트 보의 부착응력에 관한 실험적 연구

Bond Characteristics of Reinforced Concrete Beams According to Material Age

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

Abstract

Reinforced concrete structure resist to external load caused by integration of steel bar and concrete and this integration is obtained from bond stress between steel bar and concrete. Researches of bond stress between steel bar and concrete have been performed by many researcher, but existent researches of bond stress are concerned with compression strength of well cured concrete and insufficient study of bond stress according to early material. The secure regular strength of concrete in early age is caused by rapid velocity of early hardening process, but questionable bond stress in early age is proportion to strength of that. So this study performed experiments to compare bond stress according to material age and compression strength. The result is showed that bonding strength in early material age compare the ratio of concrete compression strength with the ratio of maximum bond stress the later inferior on the former

keywords : Bond stress, Material age

1. 서론

철근콘크리트 구조에서 부착응력에 의해 철근과 콘크리트의 밀착성이 확보되며, 부착응력은 철근콘크리트 구조물의 역학적 성능을 결정하는데 중요한 요소가

된다.

따라서 철근 콘크리트 구조에서 부착응력에 관한 연구는 국내외에서 많은 연구가 이루어져 왔으며 대부분이 공시체상 적용한 인장실험에 의존한 연구이고, 구조물체에 적용된 실험 또한 여러 가지 변수를 가지고

* 성희원 충북의명대학교 건축학과 전임강사

** 성희원, 에우전건축구조연구소, 공학박사

*** 성희원, 에우전건축구조연구소, 공학박사

E-mail : ryu129@ayu.ac.kr 019-511-2074

• 본 논문에 대한 토론회를 2002년 3월 31일까지 학회료 1000 주시면 2002년 7월호에 토론권리를 지체하겠습니다.

수행되어 왔으나, 이는 주로 충분히 양생된 콘크리트에서 압축강도와 부착용력의 관계에 초점을 맞추어 왔다.

그러나 양생중인 콘크리트는 그 특성상 초기 경화속도가 매우 빨라 초기에 일정한 강도 이상을 확보할 수 있으나 초기재령에서 철근의 부착용력이 콘크리트의 강도에 비례하여 증가하는지에 대해서는 의문시 된다.²⁾

따라서 본 연구는 철근콘크리트 보형 실험체를 제작하여 콘크리트 초기재령(3일, 7일)에 따른 철근의 부착용력을 재령 28일에서의 부착용력과 비교하고, 괴링뎀 콘크리트 압축강도와 부착용력이 보이는 상관관계를 고찰하고자 하며, 이를 통하여 초기재령에 따른 부착강도 특성을 파악하여 구조설계 지침의 기초 자료를 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 실험

2.1 시용재료

본 연구에서 사용한 콘크리트는 설계기준강도 210, 400kgf/cm²의 2종류이며, 이들의 사용재료 및 비율비는 Table 1과 같다. 철근의 기계적 성질을 파악하기 위하여 KS B 0801에 준하여 시험편을 각각 3개씩 제작하였고, KS B 0802에 의거하여 시험하였으며, 그 결과는 Table 2에 같다. 또한 압축강도를 측정하기 위하여 지지10cm, 높이 20cm인 원수형공시

Table 1 콘크리트의 사용재료 및 레오비

설계 기준강도 (kgf/cm ²)	W/C (%)	슬럼프 (cm)	단위중량(kg/m ³)			
			장	시멘트	모래	자갈
210	50	9	150	300	6126	1053
400	40	8	148	450	7226	1020

Table 2 강재의 인장강도 시험결과

철근의 종류	σ_y (kgf/cm ²)	σ_t (kgf/cm ²)	σ_y/σ_t (%)	ϵ_y	E (Hord/cm ²)	Elo (%)
D19	4530	6970	64.9	2000	2265	20.2
#6	4050	6330	63.9	2162	1856	12.2

σ_s : 항복강도, σ_t : 인장강도, ϵ_y : 항복변형률, E : 탄성계수, Elo : 연신률

체와 강도편, 괴링뎀코 각 3개씩 18개씩 제작하여 시험을 실시하였으며, Table 3에 그 결과를 나타내었다.

2.2 실험체의 제작

실험체는 ACI 208-58에 준하여 제작하였으며 Fig. 1에서와 같이 하중단에 50mm와 장편을 배설 하중단이 국부용력을 받아 파괴되지 않도록 수정하였다. 실험체의 길이는 97.5cm(38inch)이고, 지원간 거리는 82.5cm(32inch)로 하였으며, 부착깊이는 제

Table 3 실험체의 종류 및 압축강도시험 결과

실험체명	콘크리트재령 (일)	재령별 압축강도(kgf/cm ²)
B261-3	3	187
B261-7	7	234
B261-28	28	261
B416-3	3	324
B416-7	7	391
B416-28	28	416

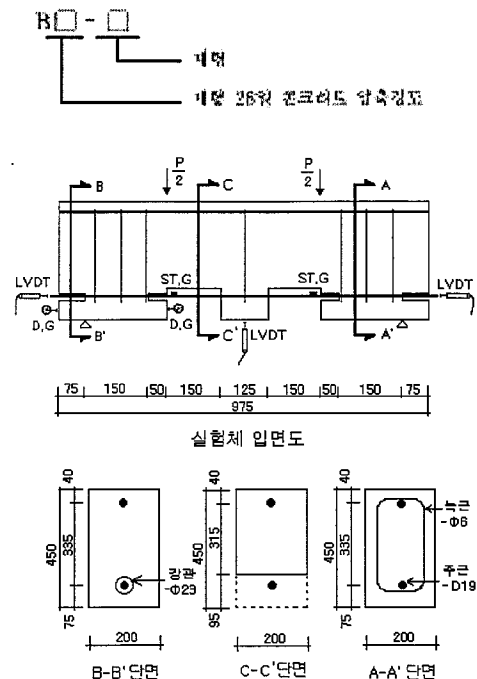


Fig. 1 시험체 제작도 및 축철위치

압된 BD-15D중에서 무착용력이 일어나도록 하기 위해서 가장 최소값인 BD(Ginch)를 택해 실험을 수행하였다. 철근은 상단근과 하단근에 각각 1-D1D를 배치하였고, 스테리움은 $\phi 6$ 으로 보강하였다.¹¹⁾

하단근의 자유단과 하중단에는 인방에 의한 제기형 파괴를 방지하기 위해 강관을 자유단에 7.5cm, 하중단에 5cm씩 비입하였고, 외부두께에 의한 함몰파괴를 방지하기 위하여 살형제 하부에서 인장철근 중심까지 시리는 7.5cm로 하였다.

콘크리트는 압축강도약 2층짜, 자령을 3단계로 분쇄하여 총 6개의 보 실험체를 Table 3과 같이 제작, 시험양성 하였다.

2.3 기력 및 측정

실험은 H형강을 사용하여 100ton 하중에 압축하도록 설계된 기구에서 실시하였다. 하중강력은 50ton 용량의 오일 석유 실험기구 상부에 장착시켜 가력하였고, 오일 석의 헤드에 로드셀을 설치하여 하중을 측정하였다. 가력지점은 각 지점에서 20cm 떨어진 위치에서 2점 집중하중이 되도록 하였다.

가력속도는 50kg/sec로 하였으며, 측정위치는 Fig.

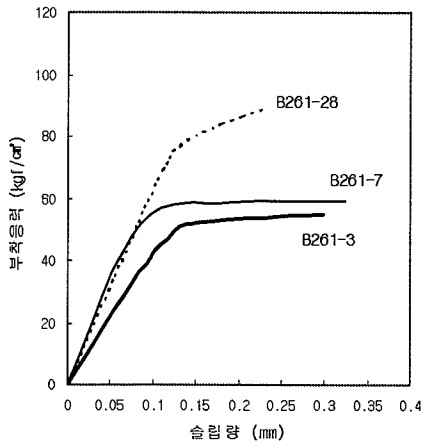


Fig. 2. B261계열의 부하용력-슬립 곡선
(인속강도 261kg/cm²)

1에서 보는 바와 같이 슬립량을 측정하기 위해 철근의 양단과, 수직지침을 측정하기 위해 보 중앙부에 변위계(LVDT)를 설치하였다. 또 콘크리트의 강도를 측정하기 위하여 다이알 게이지를 2곳에 설치하였고 변형도 값을 얻기 위하여 스트레인 게이지를 인장철근에 2개소 설치하였다. 각각의 게이지 값은 자동변형도 측정기(Data Logger-TDS302)를 이용하여 컴퓨터로 저장되도록 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실험결과

Fig. 2, Fig. 3은 B261계열과 B416계열에서 기력5일과 7일, 28일에서의 무착용력-슬립 곡선을 나타낸 것으로, 계열에 따른 무착용력은 슬립량 0.1mm 이전은 7일과 28일이 유사한 양상을 나타내고 있으며, 슬립량 0.1mm를 넘어선 이후는 3일과 7일이 유사한 양상을 나타냈다.

이에서 무착용력은 무착구간에 동일한 용력이 분포한다는 가정하에 산정하였으며, 축방향으로 미소길이 dx의 단면에서 용력은 Fig. 4와 같은 분포를 보이고, 필립축용력의 합력과 철근 인장용력의 합력 사이의

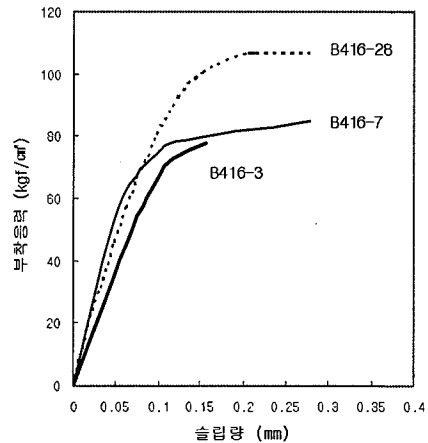


Fig. 3. B416계열의 부하용력-슬립 곡선
(인속강도 416kg/cm²)

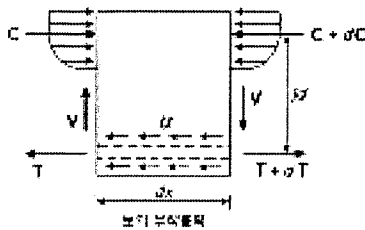


Fig. 4 보의 부속길이에 관한 자유분해도

용력응력비율을 \bar{u} 로 나타내면 보의 평균부속응력은 식 (1)과 같다.

$$\bar{u} = \frac{V}{\sum C \Delta x} \quad (1)$$

여기서, $\sum C$: 철근의 수평($\pi \cdot D$).

부속응력에 관한 규준으로는 ASTM에서 철근이 인장력을 받을 때 제1단 철근의 슬립이 0.25mm 발생하였을 때 자유단의 마끄러짐이 0.05mm 발생하였을 때를 임계슬립으로 보고 그때의 응력을 임계부속응력으로 설정하는데, 본 연구에서는 임계부속응력을 설정하는 시점을 자유단에서의 철근의 변위가 0.05mm 발생시점으로 정하였다. 제1단에서는 철근의 슬립에 의한 변위와 철근자체의 늘어남에 의한 변위를 구분하여 측정하기가 어려우므로 자유단에서 보다 정확한 부속응력을 설정할 수 있기 때문이며 자유단 슬립량 0.05mm 뿐 아니라 0.10mm에서의 부속응력과 최대 부속응력의 양상도 살펴보았다. 이를 정리하여 Table 4에 나타내었으며, 각 실험체별로 슬립량 0.05~0.25mm범위에서 0.05mm마다 측정된 부속응력 값을 나타내었다.

부속응력 산정은 식 (1)에 의해 각각의 슬립량에 따라 구해졌고, 최대부속응력은 실험체의 좌변사의 부속응력으로 하였다.

3.2 분석 및 고찰

3.2.1 재령에 따른 분석

Table 4 실험체별 부속응리

(단위 : kgf/cm²)

실험체명	f _{cu}	u					u _{max}
		0.05 (mm)	0.1 (mm)	0.15 (mm)	0.2 (mm)	0.25 (mm)	
B210-3	187	22	43	51	59	56	58
B210-7	234	37	57	59	60	60	62
B210-28	261	36	66	60	64	90	90
B400-3	324	38	63	76	77	79	79
B400-7	391	55	76	79	60	83	87
B400-28	416	90	79	100	105	105	105

f_{cu} : 콘크리트압축강도 u : 부속응력 u_{max} : 최대부속응력

임계슬립(자유단 0.05mm슬립)에서 7일과 28일에서의 부속응력은 각 재령 모두 유사하며 3일인 경우 28일 부속응력과 비교하면, B261재령은 0.61, B416재령은 0.76으로 작게 나타났다. 재령 7일에서 측정된 부속응력을 발췌한 것으로 판단되며, 슬립량 0.15mm에서 측정 7일인 경우와 28일 부속응력과 비교하면 B261재령은 0.74, B416재령은 0.79로 나타났다.

또한 Fig. 2, 3을 보면 슬립량 0.1mm 이전에서는 7일과 28일에서 유사한 양상을 나타내고 있으며, 슬립량 0.1mm를 넘어선 이후부터는 3일과 7일이 유사한 양상을 나타냈다. 이는 콘크리트의 특성상 재령 7일 경우 28일 정도의 90%이상과 강도가 발휘되어 초기슬립시 28일과 유사한 부속응력상태를 나타내나 임계슬립을 지나면서 부속응력의 저하로 인해 재령 3일과 비슷한 양상을 보인 것으로 사료된다.

Table 5는 재령 28일에 대한 초기재령(3, 7일)의 콘크리트 압축강도비($f_{cu}/28f_{cu}$)와 부속응력비($u/28u$) 그리고 콘크리트 압축강도비에 대한 부속응력비($\frac{u/28u}{f_{cu}/28f_{cu}}$)를 나타낸 것이다.

재령 3일일 때 슬립량 0.05mm와 0.1mm에서 B261재령의 부속응력비가 0.61과 0.65로 콘크리트 압축강도비 0.72에 비해 작게 나타났다. B416재령의 부속응력비는 0.76과 0.80으로 압축강도비인 0.78과 비슷하게 나타났다.

각 재령의 콘크리트 압축강도비에 대한 부속응력비

Table 5 압축강도의 부차율비

시험재명	f_c (kgf/cm ²)	$u/28u$					$u_{max}/28u_{max}$
		0.05 mm	0.10 mm	0.15 mm	0.20 mm	0.25 mm	
B261-3	187	0.61	0.65	0.64	0.63	0.62	0.64
B261-7	234	1.03	0.86	0.74	0.71	0.67	0.69
B261-28	261	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
B416-3	324	0.76	0.80	0.76	0.73	0.75	0.75
B416-7	391	1.10	0.96	0.79	0.76	0.79	0.83
B416-28	416	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

시험재명	f_c 28 u_c	$u/28u_c$					$u_{max}/28u_{max}$
		0.05 mm	0.10 mm	0.15 mm	0.20 mm	0.25 mm	
B261-3	0.72	0.85	0.90	0.89	0.88	0.86	0.89
B261-7	0.91	1.13	0.95	0.81	0.78	0.74	0.76
B261-28	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
B416-3	0.78	0.97	1.03	0.97	0.94	0.96	0.96
B416-7	0.94	1.17	1.02	0.84	0.81	0.84	0.88
B416-28	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

여기서, 28 u_c , 28 u : 재령28일의 압축강도와 무차율비

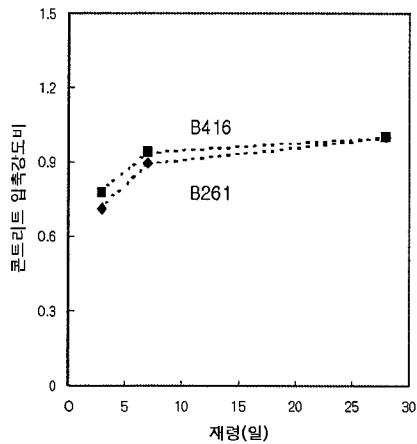


Fig. 5 재령별 콘크리트 압축강도비

$(\frac{u}{28u} - 1)$ 를 부차하면 B261재령은 재령 3일은 0.89에서 재령 7일은 0.76으로, B416재령은 재령 3일은 0.96에서 재령 7일은 0.88로 각각 저해되는 것으로 나타나 무차율비가 압축강도의 증가에 비례하여 증가하지 않았으며 압축강도가 증가할수록 약하게 감소하였다.

Fig. 5와 Fig. 6은 재령별 콘크리트 압축강도비와 최대무차율비를 나타낸 것이다. 재령 7일에서 콘크리트 압축강도비가 높게 평가된 만큼 최대무차율비는 이에 비례하지 못하는 것으로 나타났다.

3.2.2 압축강도에 따른 분석

Fig. 7-9에 나타난 막와 같이 초기재령(3일, 7일)과 재령 28일을 비교하였을 때 콘크리트 압축강도에 따른 무차율비의 차이는 초기재령(3일, 7일)에서 더 큰 것으로 나타났다. 이는 콘크리트의 초기 재령에서 고강도 콘크리트와 강도발현이 더 빠르기 때문인 것으로 사료된다.

재령 3일의 무차율비 곡선은 슬립량 0.05mm에서부터 다소 차이를 나타내기 시작하다가 슬립량 0.1mm에서 차이가 크게 나타났으며 슬립량이 커질수록 무차율비의 차이의 폭도 커지는 것으로 나타났다. 재령 7일의 무차율비도 곡선은 재령 3일에 비해서는 다소 그

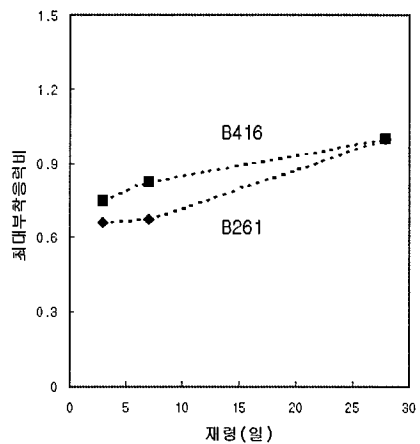


Fig. 6 재령별 최대부차율비

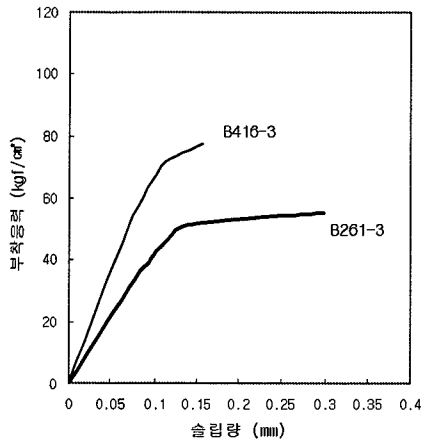


Fig. 7 제형3일의 부식응력

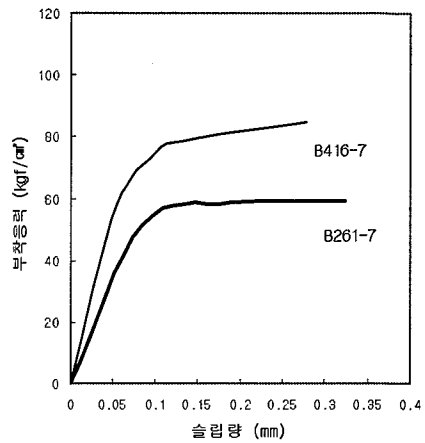


Fig. 8 제형7일의 부식응력

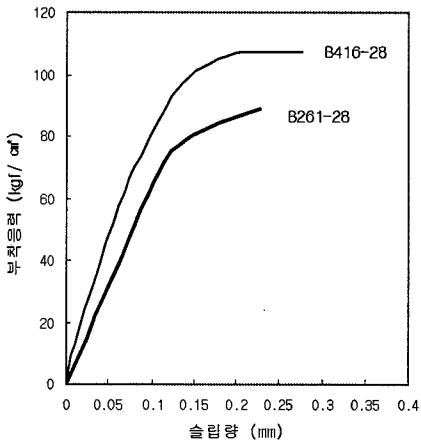


Fig. 9 제형28일의 부식응력

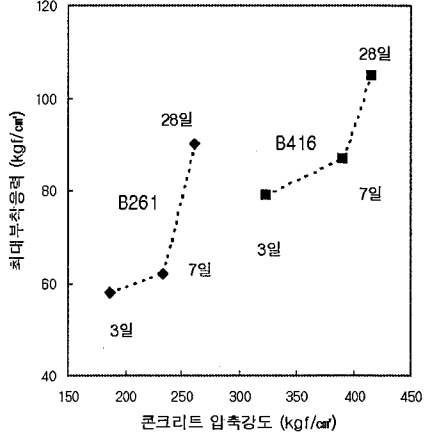


Fig. 10 압축강도의 최대부식응력의 상관관계

차이가 작았지만 0.1mm에서부터 부차응력의 차이가 크게 나타났다. 제형28일에서는 흡입량이 0.1mm를 넘어서 부차응력의 차이가 나타났다.

3.3.3 콘크리트의 제형과 강도에 따른 상관관계

Fig. 10은 제형별 콘크리트 압축강도와 최대부차응력의 상관관계를 비교해 나타낸 것이다. H261-28일형의 콘크리트 압축강도가 261 kgf/cm²일때 최대 부차응력이 90kgf/cm²으로 나타났고, B416-3 일형

의 콘크리트 압축강도가 324 kgf/cm²일때 최대부차응력이 70kgf/cm²로 나타나 B416제형의 초기제형 3일의 압축강도가 B261제형의 제형28일와 압축강도보다 크게 나타났음에도 불구하고 최대부차응력이 작게 나타났다. 이는 콘크리트제형의 차이로 인해 생기는 콘크리트내부의 수분함량, 수화작용등 제요적인 요소가 영향을 미쳤을 것으로 사료된다.

따라서 콘크리트 압축강도가 높아도 초기제형에서는 부차응력의 기대치가 그에 미치지 못하는 것으로 판단

되며 압축강도와 부착응력의 비례가 초기제령에서 정립되지 않는 것으로 판단된다.

4. 결 론

초기제령의 철근콘크리트 보에서 부착응력을 규명하기 위해 콘크리트 강도와 제령을 수요일수로 두어 실험을 수행하여 얻은 결과는 다음과 같다.

- 1) 제령에 따른 붓석결과 부착응력은 슬립량 0.1 mm 이진에서는 7일과 28일에서 유사한 양상을 나타내고 있으며, 슬립량 0.1mm를 넘어선 이후부터는 3일과 7일이 유사한 양상을 나타냈다.
- 2) 콘크리트 압축강도에 의한 부착응력의 차이는 28일에 비하여 초기제령(3일, 7일)에서 더 큰 것으로 나타났으며 이는 콘크리트의 초기 제령에서 고강도 콘크리트의 강도값이 더 빠르기에 따른 것으로 사료된다.
- 3) B261-28일형에서 압축강도가 261kg/cm²일 때 최대부착응력이 90kg/cm²로 나타났고, B116-3일형에서 압축강도가 324kg/cm²일 때 최대부착응력이 70kg/cm²로 나타나 초기제령에서는 콘크리트의 압축강도가 제령28일 압축강도보다 높아도 부착응력이 그에 미치지 못하는 것으로 평가되었다.

참 고 문 헌

1. 권오현, "고강도 콘크리트를 사용한 철근콘크리트부재의 부착성장에 관한 실험적 연구", 중앙대, 1996.
2. 박기철, 정현수, 김석재, "고강도 콘크리트를 사용한 R-C 보의 부착강도에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 학술발표 논문집 제6권 제1호, 1986, 4.

3. 시칠일, "철근콘크리트의 부착강도에 관한 연구", 전남대, 1996.
4. 김성우, 이광수, 단종문, 유석철, 최중수, "고강도 콘크리트에 적용된 철근의 부착특성", 한국콘크리트학회 기술학술발표회 논문집, 제15권2호.
5. 오병환, "철근콘크리트부재의 부착거동에 관한 해석 모델", 콘크리트학회 논문집 제3권2호, 1991, 6.
6. 오병환, "철근콘크리트 복합(3:1) 부착특성 연구", 콘크리트학회 논문집 제1권1호, 1992, 9.
7. 오병환, 강영진, 이철로, 박기철, "철근콘크리트부재의 부착특성에 관한 실험적 연구", 콘크리트학회 논문집 제2권4호, 1990, 12.
8. 오병환, 이철로, 박기철, "철근콘크리트부재의 부착거동에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 춘계 학술발표회 논문집 제2권1호, 1990, 5.
9. 유호원, "부식속을 저지른 철근의 부착응력에 관한 실험적 연구", 건국대, 1999.
10. 강문준, "이형철근을 사용한 R-C 보의 부착강도에 관한 실험적 연구", 중앙대, 1989.
11. 권영진, "철근콘크리트 부착강도에 관한 실험적 연구", 건국대, 1991.
12. ACI Committee 318M-95, Building Code Requirements for Reinforced Concrete Institute
13. ACI Committee 208-58 Test Procedure to Determine Relative Bond Value of Reinforcing Bars, ACI Journal, July 1956.
14. ACI Committee 408, A Guide for Determination of Bond Strength, ACI Journal, NO.2, 1964.
15. G.J.AI-Sulaimani, M.Kaleemullah, and Rash eeduzzafar, "Influence of Corrosion and Cracking on Bond Behavior and Strength of Reinforced Concrete Members", ACI Structural Journal, Vol.87, NO.2, March-April 1990.
16. Muthy, Robert G. and Watstein, David, "Investigation of Bond in Beam and Pull-out specimens with High-Yield-Strength Deformed Bars", ACI Journal, Vol.57, NO.9, Mar 1961.

(접수일자 : 2001년 4월 9일)