

고강도콘크리트에 사용된 이형철근의 부착거동

A Study on the Bond Behavior of Used Deformed Bars in High-Strength Concrete

박 경 호* 이 두 영**
Park, Koung Ho Lee, Doo Young

ABSTRACT

The purpose of this study is to find the bond properties of deformed bars in high-strength concrete by experimental and analytical method.

In this study the following variables were adopted, i. e.

- (1) the compressive strength of concrete : 270, 400 and 600 kg/cm²
- (2) the corrosion the bars : corroded and normal bars
- (3) the mixing ratio of natural and smashed fine aggregate : 7:3 and 5:5(natural sand : smashed sand)

For analytical method, the finite element analysis is performed. And the Pull-out test is performed as the experimental method.

1. 서론

철근콘크리트 구조는 시멘트, 모래, 자갈, 혹은 다른 골재 등의 일정한 비율의 배합 등으로 구성되어 있는 콘크리트에 철근을 배근하여 두 재료가 각각의 특성에 따라 외력에 저항하는 복합구조이다.

철근콘크리트구조를 구성하는 데 가장 기본적 조건인 콘크리트와 철근 사이의 부착은 철근으로부터 콘크리트로의 응력의 전달과 균열의 전파현상이라는 문제를 담고 있어 연구과제로서의 필요성을 지적 받고 있다.

특히, 고강도 콘크리트에 고강도 철근을 사용할 때 사용되는 보강철근의 단면적은 보통 콘크리트에 비하여 상대적으로 감소되기 때문에 이 두 재료 사이의 부착강도에 관한 연구는 활발히 이루어지고 있는 실정이다.

따라서 철근의 부착거동을 보다 정확하게 규명하기 위해서 각 영향인자간의 관계를 평가할 필요가 있다.

본 연구는 철근의 부착거동을 실험을 통하여 보다 정확하게 규명하고 각 영향인자(변수)에 의한 부착특성을 분석함으로써 철근콘크리트 부재의 부착설계를 위한 유용한 자료를 마련하는데 그 목적을 두고 있다.

* 김희원, 강원대학교 건축공학과 교수

** 김희원, 강원대학교 건축공학과 대학원

2. 실험 개요

철근콘크리트부재가 하중에 대해 충분한 강도와 강성을 가지기 위해서는 콘크리트와 철근의 충분한 강도가 필요할 뿐만 아니라, 두 재료사이의 부착강도가 충분해야 하고, 인장축 콘크리트에 균열이 발생된 상태에서도 철근이 콘크리트와 항상 일체적으로 거동할 수 있어야 한다. 이러한 거동을 하는 실제 구조물에서 부착현상을 찾아 그 특성을 분석하는 데는 많은 어려움이 있기 때문에 부착특성만을 나타낼 수 있도록 변형된 구조부재의 제작을 통해 연구되고 있다.

부착거동을 연구하는 방법은 휨부재를 통한 보시험과 직접인발을 통한 인발시험, 인장시험 등 다양하다. 본 실험에서는 철근콘크리트부재의 부착강도에 영향을 주는 요소 중에서 고강도콘크리트를 포함한 잔골재 배합비와 철근의 부식을 선별하여 인발시험을 시행하였다.

2.1 시험체 계획

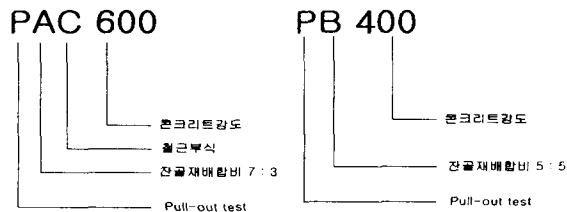
시험체들은 다음의 주요 실험변수를 고려하여 총 24개의 시험체를 제작하였다.

- ① 콘크리트 압축강도 : 270kg/cm^2 , 400kg/cm^2 , 600kg/cm^2
- ② 잔골재 배합비(강모래 : 부순모래) : 7 : 3, 5 : 5
- ③ 철근의 부식유무 : 부식철근은 부식하기 전의 시편과 부식된 후의 시편에서 녹을 제거하여 중량의 차이를 측정하였다. 여기서 철근의 단위중량 (g/cm)은 약 1% 만큼 감소하였다.

시험체의 치수는 $200 \times 200 \times 200(\text{mm})$ 이고 철근부식의 유무에 따라 각각 2개씩 제작하여 1개의 시리즈로 하였다. 따라서 콘크리트의 압축강도에 따라서 3개의 시리즈가 되어 총 실험체는 24개로 하였다. 시험체 명은 아래의 예로 설명한다 (표 1).

표 1 각 시험체별 일람표

콘크리트강도 모래비율	270		400		600	
	철근부식 유	무	유	무	유	무
7 : 3 (강모래 : 부순모래)	PAC270	PA270	PAC400	PA400	PAC600	PA600
5 : 5 (강모래 : 부순모래)	PBC270	PB270	PBC400	PB400	PBC600	PB600
비 고	총 시험체 수 = 12개 × 2 = 24 개					



2.2 실험방법

본 실험은 그림 1 과 같이 실험체의 하중단부는 가압철판으로 고정되었고 만능시험기로서 가력하였다.

변형을 측정 계이는 철근의 부착부분과 노출부분에 설치되어 하중재하시 발생되는 변형율과 노출부분의 변형을 측정하여 그 관계를 고려하였다. 실험체의 자체하중을 고려하여 실험전에 20 kg의 하중을 가한 후 본 실험을 수행하였으며, 만능시험기의 재하속도는 변위제어로서 분당 2mm로 하였다.

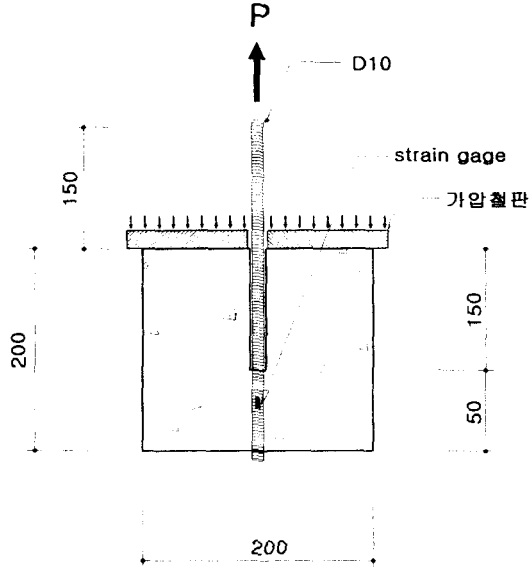


그림 1 실험체 가력장치

3. 결과 및 고찰

3.1 콘크리트강도

본 실험에서 콘크리트 강도의 변화에 따른 부착응력을 관찰하기 위하여 설계콘크리트압축강도 270, 400, 600 kg/cm^2 를 목표로 배합·제작하였으나, 공시체 압축강도시험의 결과에서 각각 300, 354, 447 kg/cm^2 (강모래와 부순모래의 배합비 7:3)과 327, 337, 419 kg/cm^2 (강모래와 부순모래의 배합비 5:5)로 평균하여 측정되었다.

이와같은 콘크리트강도로 인발시험한 결과, 시험체명 PA270의 공시체압축강도(300 kg/cm^2)를 기준으로 시험체명 PA400과 PA600의 콘크리트강도가 각각 17.94%, 49.07%로 증가할 때 평균극한부착응력은 각각 19.23%, 157.90%만큼 증가하였다. 또한, PB270을 기준으로 시험체명 PB400과 PB600의 콘크리트강도가 2.94%, 28.02% 증가할 때 평균극한부착응력은 각각 29.55%, 138.80%로 증가하였다.

하중-슬립관계에서 콘크리트 설계강도 270 kg/cm^2 과 400 kg/cm^2 의 최대하중은 슬립 4~8mm 범위에서 발생하였으며 콘크리트 설계강도 600 kg/cm^2 은 17.3mm와 17.8mm의 슬립에서 측정되었다.

3.2 잔골재 배합비

잔골재 배합비에 대한 인발시험은 강모래와 부순모래의 비를 7:3과 5:5로 나누어 실험하였다. 실험한 결과, 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 배합비 7:3의 콘크리트강도는 배합비 5:5보다 5~10% 정도 높은데 비해, 극한부착응력에서는 오히려 최고 30% 정도 낮아지는 경향을 나타내고 있다.

3.3 철근부식

철근의 부식유무를 갖고 실험한 결과에서, 공시체 평균압축강도 300 kg/cm²인 시험체명 PA270은 평균부착응력 116.69 kg/cm²에서 127.94 kg/cm²로, 공시체 평균압축강도 353.7 kg/cm²인 PA400은 평균부착응력 171.522 kg/cm²에서 204.174 kg/cm²로 각각 9.64%와 19.04%의 증가를 보였다. 그리고, PB270과 PB400 및 PA600(공시체 평균압축강도 447.05 kg/cm²)에서 평균부착응력은 오히려 각각 29.1%, 31.2%, 24.4%의 감소를 나타내었다.

PB600시리즈에서는 평균부착응력의 정도차이가 심하게 나타나고 있는데, 이는 실험상의 문제로 그 평가는 불가능하였다.

표 2 각 실험체별 평균극한부착응력

시험체명	뺨힘최대하중 (kg) P_u	유효부착면적 (cm ²)	평균극한부착응력 (kg/cm ²) $Ave. u_{max} = P_u / \sum o \cdot l$	평균
PA270	1798.28	12.5	143.86	116.69
	1119.03		89.52	
PAC270	1742.32		139.38	127.94
	1456.19		116.49	
PB270	2153.61		172.28	172.91
	2169.02		173.52	
PBC270	1822	145.76	133.93	
	1526.17	122.09		
PA400	1715.22	10	171.52	171.52
	-		-	
PAC400	2041.74		204.17	204.17
	-		-	
PB400	2247.93		224.79	215.96
	2071.28		207.13	
PBC400	1992.74	199.27	164.55	
	1298.33	129.83		
PA600	2782.61	7.5	371.01	365.32
	2697.21		359.63	
PAC600	2203.08		293.74	293.74
	-		-	
PB600	3107.82		414.38	374.92
	2515.94		335.46	
PBC600	1087.52	145.00	145.00	
	-	-		

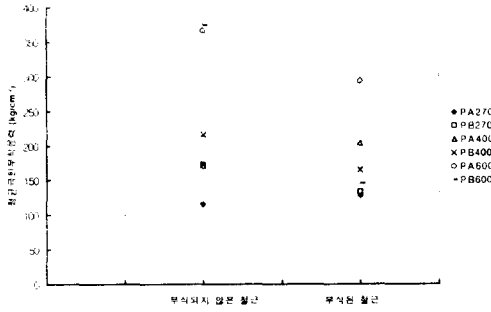


그림 2 각 실험체의 평균부착응력

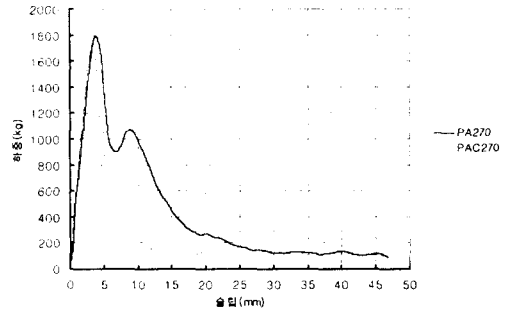


그림 3 PA270시리즈 하중-슬립 곡선

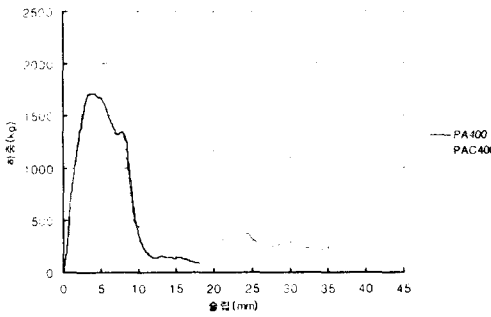


그림 4 PA400시리즈 하중-슬립곡선

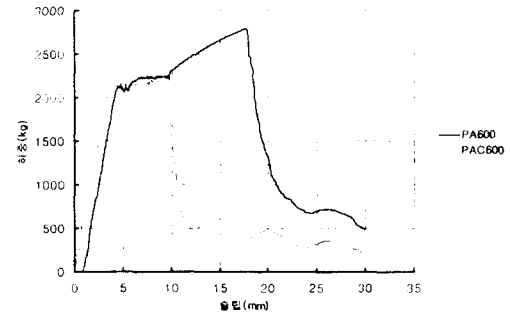


그림 5 PA600시리즈 하중-슬립 곡선

4. 결론

본 실험에서의 결과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

- (1) 콘크리트압축강도에 따른 평균극한부착응력은 시험체 270시리즈와 400시리즈에서 콘크리트압축강도의 45~67% 정도지만, 600시리즈에서는 그 정도가 99% 까지 커지는 결과가 나타났다. 이것은 부착길이와 짧은짐으로 해서 나타나는 하중단쪽 상대슬립에 대한 평균부착응력의 증가로 추정할 수 있다.
- (2) 콘크리트 강도변화에 따른 하중-슬립에서, 보통콘크리트강도에 속하는 시험체 270시리즈와 400시리즈는 최대하중이 4~8mm 슬립에서 발생되었으며, 고강도범위에 속하는 시험체 PA600와 PB600는 강재의 응력-변형도와 유사한 하중-슬립관계를 보이며, 최대하중이 17.3mm와 17.8mm 슬립에서 나타났다. 이와같은 결과로 고강도콘크리트는 극한상태이전까지 큰 슬립에도 불구하고 연성적으로 거동하며 그 이후에는 취성이 커진다는 것을 알 수 있다.
- (3) 강모래와 부순모래의 배합비 7:3과 5:5에 대한 실험결과를 살펴보면, 콘크리트의 압축강도는 배합비 7:3이 5~10% 정도 높았지만 부착응력은 배합비 5:5가 최고 30% 정도 높은 결과가 나왔다. 이러한 결과로 볼 때, 철근과 콘크리트사이의 부착거동은 콘크리트의 압축강도보다 골재의 작용이 더

큰 영향을 미친다고 사료된다.

(4) PA270시리즈와 PA400시리즈는 부식된 철근에서 각각 9.6%, 10% 만큼의 부착응력이 높게 측정되었고, 배합비 5 : 5에서는 부식된 철근이 약 30%정도 낮게 나타났다. 부식이 적은 철근은 부착응력을 증가시키며 부식이 심한 철근은 부착응력이 감소하는 것으로 알려져 있다. 따라서, 본 실험에서 사용된 부식 철근은 부식의 정도가 적으므로 부착응력이 거의 차이가 없거나 약간 높게 측정되는 것이 일반적이다. 그러나, 배합비 5 : 5의 시험체의 실험결과는 부식된 철근이 부착응력이 떨어지는 경향을 보이고 있으며 시험체 600시리즈에 대한 결과는 그 차이가 심하였는데, 이는 철근의 문힘길이, 시험체의 형상 및 실험상의 오류로 인한 결과로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 『고강도-고성능 콘크리트 제조·시공 및 설계』, 대한건축학회, 1996
2. 김 상 식, 『철근콘크리트구조설계』, 문운당, 1996, p.p. 146-155
3. 홍 건 호, 「고강도콘크리트의 부착강도특성을 고려한 이형철근의 정착에 관한 연구」, 대한건축학회 논문집, 1998
4. 서동수, 「부순모래 콘크리트에 관한 실험적연구」, 대한건축학회 논문집, 1996
5. 『프리캐브 철근 이용 부재의 구조성능 실험연구』, 대한주택공사, 1997, p.p. 77-120
6. 전영진, 주경재, 「철근 콘크리트 부착강도에 관한 실험적 연구」, 대한건축학회 논문집, 1990
7. 오병환, 강영진, 이성로, 방기성, 「철근 콘크리트 부재의 부착특성에 관한 실험적 연구」, 대한건축학회 논문집, 1990
8. 장일영, 「철근콘크리트 부재의 휨모멘트-곡률 관계에 관한 연구」, 대한건축학회 논문집, 1991
9. 오병환, 「철근콘크리트 부재의 뽐힘 부착특성 연구」, 대한건축학회 논문집, 1992
10. 장정수, 김영인, 김정섭, 조성찬, 「시멘트 모르타르-골재의 부착강도에 기초한 콘크리트 파괴와 강도분석에 관한 연구」, 대한건축학회 논문집, 1993
11. 김현식, 최명신, 안중문, 이광수, 신성우, 「고강도경량콘크리트에 매립된 이형철근의 부착특성」, 대한건축학회 논문집, 1998
12. 이한승, 「부식정도가 이형철근의 기계적 성질에 미치는 영향」, 대한건축학회 논문집, 1998
13. K.C.Rockey, H.R.Evans, D.W.Griffiths, D.A.Nethercot 者, 이 병 해 譯, 『유한요소법』, 기문당, 1996
14. A. M. Neville, 『Property of concrete』, London, Pitman, 1982, p.p. 1-2