

강판 보강된 철근 콘크리트 기둥의 거동에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on Strengthened Behavior of Reinforced Concrete Columns with Steel Plate

박주현* 홍기섭** 홍영균** 신영수*** 최원철****
Park, Ju Hyun Hong, Gi Suop Hong, Young Kyun Shin, Young Soo Choi, Oan Chul

Abstract

This research is aimed to evaluate the effects of repair conditions, axial load intensities and the enlargement of cross sections after strengthening with steel plate and on the structural behavior of the reinforced concrete columns subjected to axial and lateral loadings. 6 columns were tested under uniform axial compression and concentrated load at the midspan until failure occurs. As test results, It has been found that the amount of grout bar and the condition of strengthening significantly affect the behavior of reinforced concrete columns. The ultimate moment capacities of strengthened enlarged reinforced concrete column with steel plate and grout 4 bar (C-G4S2 serise) and enlarged reinforced concrete column with steel plate and grout 8 bar (C-G8S2 serise) are increased to 1000% and 1200% in comparison of those of unstrengthened reinforced concrete columns, respectively.

1. 서 론

1.1 연구배경

철근 콘크리트 구조물은 여러가지 요인으로 인하여 손상을 입게되고, 구조적 보강을 필요로 하는 경우가 많다.

최근 우리나라에서도 구조물 보수·보강 부분의 연구가 이루어지고 있으나 보와 같은 휨부재에 한

* 정희원, 홍익대학교 건축학과 석사과정

** 정희원, 홍익대학교 건축학과 교수

*** 정희원, 이화여자대학교 건축학과 교수

**** 정희원, 숭실대학교 건축공학과 교수

정되고 있어 구조적 성능을 회복하기 위해서는 기둥 및 벽체에서도 연구가 필요하다. 또한 보강된 휨 부재의 경우 원 철근콘크리트 부재와 비교하여 다른 거동을 보인다.⁽¹⁾⁻⁽⁶⁾ 압축 부재에서도 보강된 부재의 경우에도 보강전과 비교하여 다른 거동이 예상 되므로 구조적 성능을 규명하여 체계적인 압축부재의 보강법의 개발이 절실히 요구된다.

현재 압축부재의 보강방법인 강판 접착공법과 단면증설후 강판 접착공법과 단면 증설후 보강주근을 사용하여 단면증설후 강판 보강공법 등이 있다.

본 저지들은 강판 접착공법과 보강 주철근을 사용하지 않은 단면 증설후 강판 접착공법을 기둥 보강 방법으로 실험하여 연구하였는데 보강되지 않은 기둥실험체에 비해 휨내력이 350%이상, 460%이상 각기 증가됨을 확인 할 수 있었다.⁽⁷⁾ 이 결과에 의거 단순히 주철근 없이 단면이 증가된 실험체에 보강주근을 사용 그 갯수와 보강강판의 두께를 변수로 하여 새로운 실험수행, 지난 실험과 비교 검토하여 우리 실정에 적합한 구조물 보수·보강법을 연구하였다. 본 연구에서는 보강철근을 기둥의 주근으로 사용하고 강판을 이용하여 단면증설 후, 그라우트 강판 접착공법의 휨 및 압축에 관한 구조적 성능을 평가하여 보강후 거동에 대한 안전성을 검토하고, 구조적 성능을 파악하는데 있다.

본 연구에서는 축력과 횡하중을 받는 철근 콘크리트 기둥을 강판과 보강 주 철근으로 보강하여 모멘트 및 축력의 보강정도에 대해 연구하고자 한다.

2. 실험계획

2.1 실험 개요

철근 콘크리트 기둥(15×15×150cm)실험체를 만들고, 각 실험체를 2mm 강판을 사용하여 단면의 증설후 보강철근의 갯수를 변수로 하고 무수축 모르타르를 사춤하여 실험체를 보강하여 시험체 제작했다.

가력방법은 기둥 시험체를 가력 프레임에서 축력을 가하여 일정하게 고정시키고, 부재 중앙부에 집중하중을 가하는 방법으로 휨에 의해 시험체가 파괴될때 까지 재하하였다. 실험결과와 측정은 각 하중 단계별로, 하중 - 변위를 측정하고 인장 및 압축철근, 콘크리트와 보강재의 변형을 측정하였다.

2.2 실험계획

본 연구의 주 실험 변수는 축력의 크기, 보강기둥의 단면의 확대 여부와 보강근 갯수로 선정하였다. 각 보강 계열별로 2개씩 총 6개의 시험체를 제작하였고, 시험체 분류는 표 1에 정리하였다.

표 1 시험체 분류

시험체명	축력 (ton)	주근	띠철근	보강 주근	보강 띠철근	단면(cm)		보강방법
						보강전	보강후	
C-G4S2-20	20	4-D10	D6@100	4-D13	D6@90	15×15	25×25	두께 2mm 강판과 4개의 D13철근에 무수축 모르타르 그라우트
C-G4S2-40	40	4-D10	D6@100	4-D13	D6@90			
C-G8S2-20	20	4-D10	D6@100	8-D13	D6@90	15×15	25×25	
C-G8S2-40	40	4-D10	D6@100	8-D13	D6@90			
control-20	20	4-D10	D6@100	-	-	15×15	-	-
control-40	40	4-D10	D6@100	-	-			

기둥 실험의 주요 실험변수는 다음과 같다.

- 가력한 축력 : 축하중은 설계강도($P_n = 56.72\text{ton}$)의 약 35%, 70%인 각각 20ton, 40ton을 시험

체의 재축방향으로 압축력을 가력하였다.

■ 보강근의 갯수 : 단면 확대후 추가한 철근 수

가. CONTROL 계열 : 기존 기둥 시험체(15×15×150cm)를 그대로 사용하여 실험 변수에 따라 보강된 시험체를 비교 분석할 목적으로 제작된 시험체

나. C-G4S2-계열 : 기존 기둥 시험체에 2mm강판으로 감싸고(Jacking) 보강근 4개 추가 보강한 시험체

다. C-G8S2-계열 : 기존 기둥 시험체에 2mm강판으로 감싸고(Jacking) 보강근 8개 추가 보강한 시험체

2.3 실험재료

본 실험에 사용한 콘크리트 배합 재료는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트와 최대 직경 25mm인 쉐석 골재를 사용하고 공기량이 4.6%인 레미콘을 이용하였다. 시험체 제작에 사용한 콘크리트 강도는 28일 기준 240kg/cm²이며, 슬럼프치가 평균15.1cm였다. 기둥 주근과 보강근(SD40)은 항복강도 4,000kg/cm²인 각기 국내산 D10 과 D13 철근2종을 사용하였다. 본 실험에서 강판 및 콘크리트 접착에 사용한 에폭시는 보강업체 T회사에서 공급하는 표준 제품을 사용하였다.

3. 시험체 제작

3.1 철근콘크리트 기둥제작

철근 콘크리트 기둥은 길이 150cm에 단면치수 15×15cm로 하였다. 철근비는 1.26%이며 전단파괴가 발생하지 않도록 D6을 10cm 간격으로 띠철근을 배근했고, 4-D10을 주근으로 배근하고 시험체 중앙부에 인장축과 압축축 기둥 주근에 각기 1개씩 변형 게이지를 설치하고 시험체를 수평으로 설치 후 레미콘을 타설하여 제작하였다.

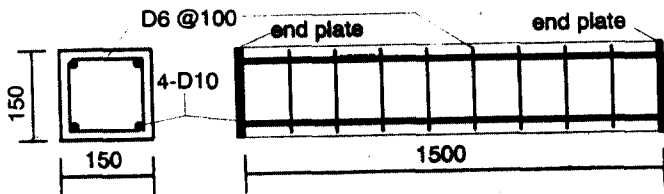


그림 1 무보강 기둥 시험체

3.2 보강 시험체 제작

시험체의 보강은 보강 공사의 질을 확보하기 위하여 국내 보강 전문업체인 T사와 본 연구원들과 공동으로 실무에서 실제로 수행하고 있는 방법으로 보강작업을 수행하였다.

강판 보강 시험체는 실험변수에 따라 아래와 같이 제작하였다.

가. C-G4S2 계열

기존 기둥 시험체(15×15×150cm)의 둘레를 두께 2mm 강판을 사용하여 간격 50mm를 유지하면서 단면을 증설하여 기둥시험체(25×25×150cm)로 만들고 보강근 4개를 추가하여 하여 무수축 모르타르를 사춤하여 보강한 시험체 2개

나. C-G8S2 계열

기존 기둥 시험체(15×15×150cm)의 둘레를 두께 2mm 강판을 사용하여 간격 50mm를 유지하

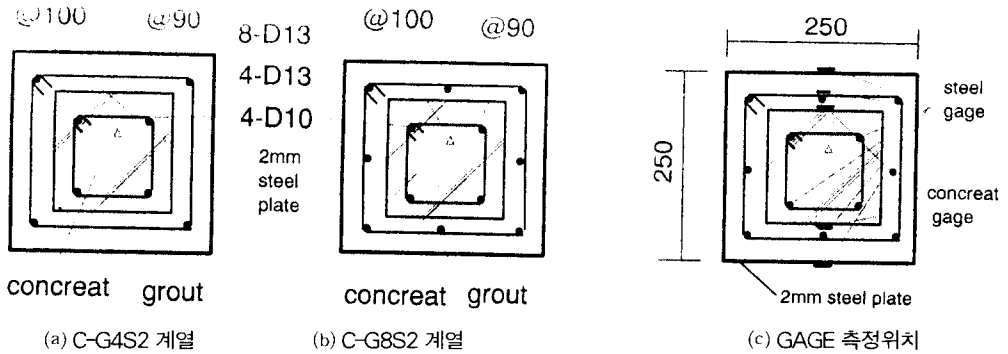


그림 2 보강 실험체

면서 단면을 증설하여 기둥시험체(25×25×150cm)로 만들고 보강근 8개를 추가하여 무수축 그라우트제를 사출하여 보강한 시험체 2개

4. 재하 및 측정방법

일정한 축력 상태에서 휨모멘트 내력을 평가하기 위해 기둥 시험체를 수평으로 설치하였다. 기둥의 양 단부에 실험변수로 설정한 일정한 축력을 재하한 후 최대 모멘트가 기둥의 중앙에 발생하도록 셋팅한 후 시험체가 파괴시 까지 횡력(모멘트)을 재하하였으며 시험체의 내력평가를 위하여 각 하중 단계별로 하중 - 중앙점 처짐량을 측정하였다. 중앙점 변위 측정에는 LVDT를 사용하고 하중의 측정은 200ton 용량의 로드셀을 사용하였으며, 기존 기둥 실험체와 무수축 모르타르 사이의 일체성을 확인하기 위해 콘크리트 strain gauge(60mm)를 압축부와 인장측 원래 기둥 실험체 중앙의 콘크리트 단면의 하중 재하점에 설치하였고, 두께 2mm 보강 강판과 인장 및 압축철근의 변형은 strain gauge(3mm)를 실험체 중앙에 부착하여 중앙부 처짐과 동일한 하중 단계에 따라 측정하였다.

5. 실험결과 및 분석

각각의 시험체의 최대하중 및 파괴형상은 표 2와 같다.

또한 하중-변위 곡선과 각 재료의 보강전·후의 하중-변형도를 그림 3-그림 9에서 비교하여 나타냈다.

표 2 최대하중과 파괴 양상

시험체명	축력 (ton)	최대 횡회중 (ton)	최대 모멘트 (tm)	단면(cm)	보 강	비고
CONTROL-2	20	3.65	1.46	15×15	무 보강	
CONTROL-4	40	2.05	0.82	15×15	무 보강	취성파괴
C-G4S2-20	20	44.8	15.68	15×15	보강근 4개와 강판 보강	
C-G4S2-40	40	46.3	16.72	15×15	보강근 4개와 강판 보강	
C-G8S2-20	20	52.8	18.5	15×15	보강근 8개와 강판 보강	
C-G8S2-40	40	58.1	20.32	15×15	보강근 8개와 강판 보강	

5.1 최대하중 및 파괴양상

기둥 시험체를 가력한 결과, 파괴 형상은 무보강 철근 콘크리트 기둥 (Control 계열)에서는 인장철근의 항복후 압축 측 콘크리트의 파괴로 이어지는 전형적인 휨파괴를 보여주었으며, 반면 강판으로 보강된 시험체(C-G4S2계열과 C-G8S2계열)에서는 인장 주철근의 항복이후 압축 측 강판에서 국부좌굴이 발생, 인장측 강판의 파단으로 이어지는 휨파괴 양상이 나타났다.

가. 무 보강된 철근 콘크리트 기둥(Control계열)은 처짐이 계속 증가하였다.

축력-모멘트 상관에서 P_n 값이 증가할 수록, M_n 값이 증가하는 인장 영역을 띤다. 특히 축력이 40ton인 경우는 취성 파괴가 발생했다

나. 강판으로 보강된 철근 콘크리트 기둥은 인장 철근의 항복이후에 압축측 강판의 국부좌굴에 의한 휨 파괴 양상을 띠는 것으로 나타났고, C-G4S2-계열은 가력한 P_n 값이 같을 때 무보강 시험체 보다 M_n 값이 약 1,000% 이상 내력이 증가했고, C-G8S2-계열은, 가력한 P_n 값이 같을 때 무보강 시험체 보다 M_n 값이 약 1,200 % 이상 내력이 증가했다.

5.2 하중-변위 곡선

설계 변수로 계획된 일정한 축력이 작용할 때 하중-변위곡선을 그림 3와 그림4로 나타내어 비교했다.

그림 3(a)에서 모멘트가 10 ton·m으로 이하에서는 C-G8S2-203와 C-G4S2-20은 인장철근이 항복하기 전까지는 비슷한 기울기의 곡선으로 나타나며, 최대하중과 휨강성은 보강정도가 큰 순서인 CONTROL2, C-G4S2-20, C-G8S2-20 순으로 증가한다.

그림 4(b)에서 모멘트 9t·m 까지는 휨강성이 거의 일치하고 인장철근이 항복한 이후의 거동에서는 최대하중에서는 차이가 나지만, 보강정도가 클수록 휨강성이 증가하는 경향을 나타내고 있다.

5.3 재료의 변형도

강판보강 기둥 시험체의 인장철근과 보강근과 콘크리트의 변형을 하중단계별로 그림 5부터 그림 9에서 나타냈다.

그림 5에서 축력이 20ton 일때의 주철근의 변형을 나타내는데 인장측에서는 보강근과 단면상에서 같은 위치의 강판은 보강근이 항복하기 전까지는 비슷한 탄성계수를 갖고, 보강근의 항복함에 다소 강

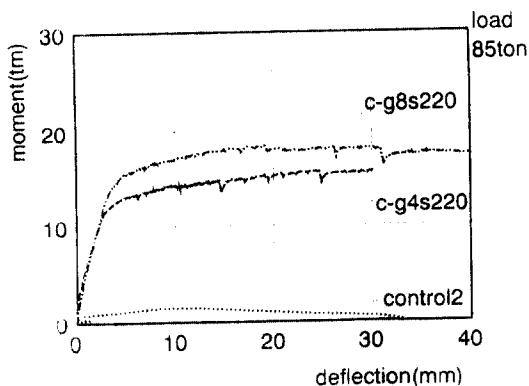


그림 3(a) 축력 20ton일 때 모멘트-변위관계

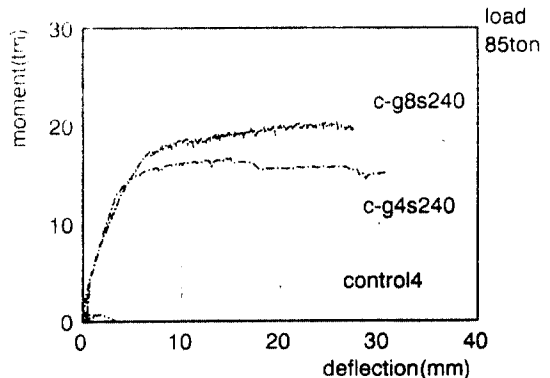


그림 3(b) 축력 40ton일 때 모멘트-변위관계

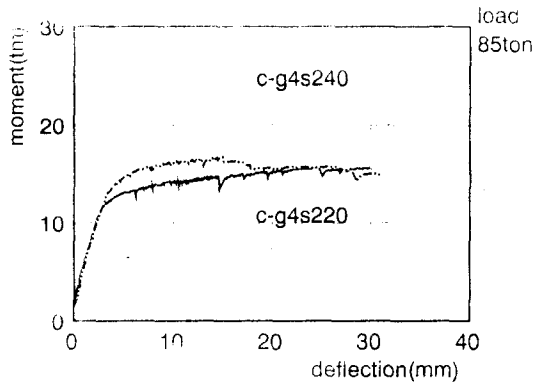


그림 4(a) C-G4S2-계열의 모멘트-변위관계

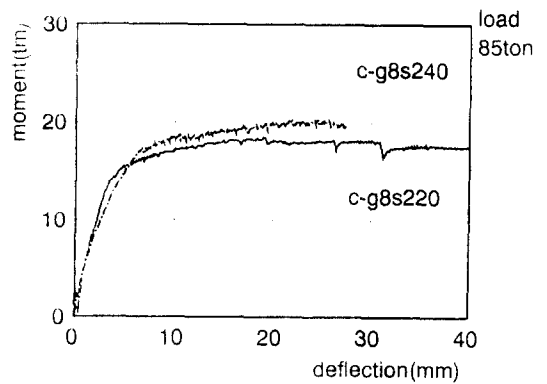


그림 4(b) C-G8S2-계열의 모멘트-변위관계

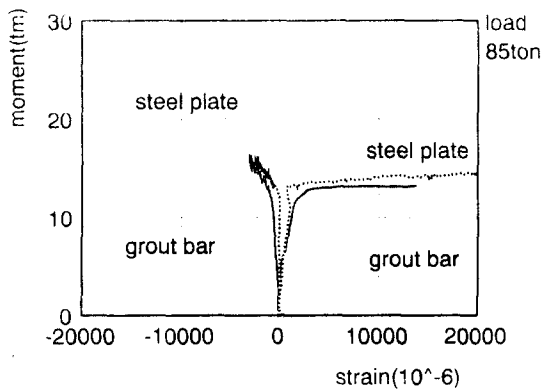


그림 5 축력이 20ton 일 때 보강근과 강판의 변형 관계

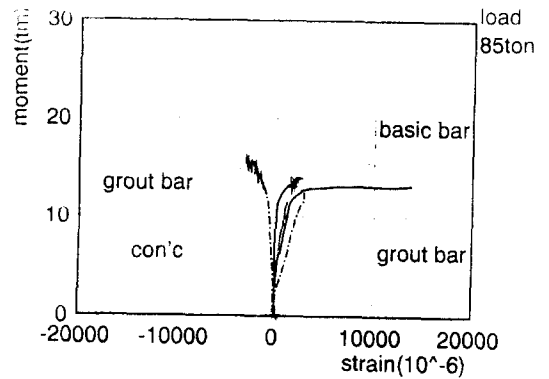


그림 6 축력이 20ton 일 때 주근과 보강근과 강판의 변형 관계

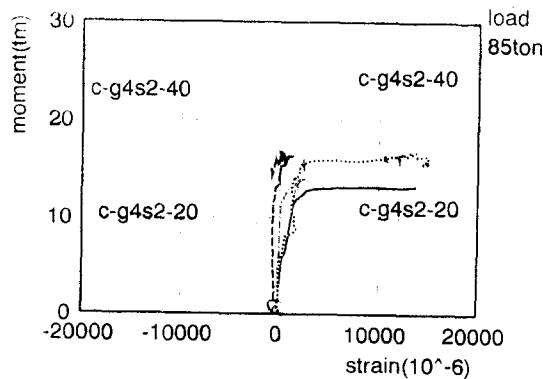


그림 7 C-G4S2-계열의 주기본 주근의 변형

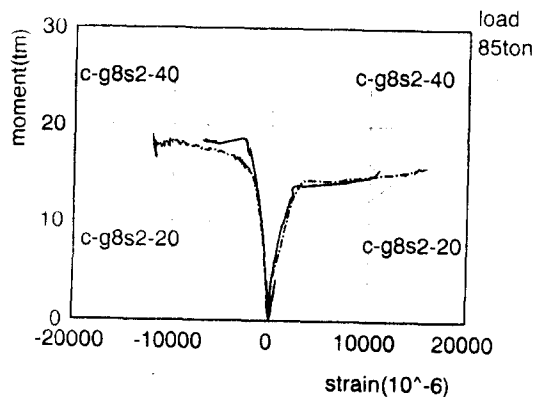


그림 8 C-G8S2-계열의 보강근의 변형

판으로 변형이 증가한다.

그림 7와 그림 8에서는 보강한 시험체의 기본 철근과 보강근의 변형을 나타냈는데 C-G4S2-2와4의 압축력을 받는 기본철근의 변형을 제외하면 비슷한 탄성계수를 갖는다. 인장부 철근의 변형에서 가력한 축력의 클수록 항복하중도 크며, 같은 계열에서는 인장철근이 항복하기전까지는 거의 일정한 탄성계수를 갖는다.

5.4 P_n-M_n 상관도

강도 설계법에 따라서 휨을 받는 압축 부재의 이론식을 구하고, P_n-M_n 상관도에 실험치와 비교하여 그림 9 나타냈다.

그림 9에서 무보강 시험체(control-계열)은 이론치와 비슷한 휨내력이 나타났고, 기둥 실험체의 둘레를 두께 2mm강판과 4개의 보강근을 추가한 보강시험체(C-G4S2-계열)과 기둥 실험체의 둘레를 두께 2mm강판과 8개의 보강근을 추가한 보강시험체(C-G8S2-계열)는 이론치와 무보강 시험체(control-계열)보다 각기 약 1.073%와 1.267% 이상의 휨내력 증가하였고, 축력 20ton일 경우 C-

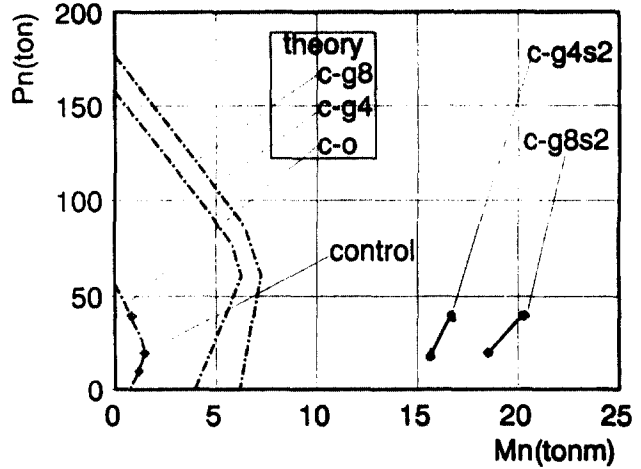


그림 9 P_n-M_n 상관도

G8S2-계열은 C-G4S2-계열보다 118% 정도 휨내력이 증가되어 추가된 보강근이 휨내력임을 알수 있다.

또 강판으로 보강 되지않은 같은 단면의 순수 철근 콘크리트 기둥의 각기 이론치에 비교하면 C-G4S2-계열은 약 340% 이상 휨내력이 증가하고, C-G4S2-계열은 약 260% 이상 휨내력이 증가함을 알 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서 철근 콘크리트 기둥의 내력과 강판 보강된 철근 콘크리트 기둥의 내력을 파악하고, 철근 콘크리트 기둥의 구조적 거동을 파악하기 위하여 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 축력-모멘트 관계에서 가력한 축력에 관계없이 기존 단면에 2mm 강판을 사용하여 단면증설 후 보강철근 4개를 추가하고 무수축 모르타르로 그라우팅 한 경우(C-G4S2계열)는 가력한 P_n 값이 같을 때 무보강 시험체 보다 M_n 값이 약 100% 이상 내력이 증가했다. 기존 단면에 2mm강판을 사용하여 단면증설 후 보강철근 8개를 추가하고 무수축 모르타르로 그라우팅 한 경우(C-G8S2계열)는 가력한 P_n 값이 같을 때 무보강 시험체 보다 M_n 값이 약 1,200 % 이상 휨내력이 증가했다.
- (2) 모멘트 - 처짐 관계에서, 각 계열 별로 비교하면 가력한 축력에 관계없이 CONTROL계열, C-G4S2-계열, C-G8S2-계열 순으로 휨 내력이 증가되었다.
- (3) 응력-변형도 곡선에서, 강판과 철근을 추가한 보강시험체(C-G4S2-계열, C-G8S2-계열)는 축력의 크기에 따라 유사한 탄성계수와 곡선으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 핵심 전문연구(1996)의 연구비 지원으로 이루어졌으며 시험체 제작은 (주) T.S. Bond의 협조를 받았다.

참 고 문 헌

1. "에폭시접착 강판보강 철근콘크리트보의 역학적 거동에 관한 연구", 숭실대학교 생산기술 연구소, 1994.10
2. 류해준, 홍기섭, 홍영균, 최완철, 신영수, "강판접착으로 인장보강된 철근콘크리트보의 거동", 대한건축학회 논문집 제11권8호, 통권82호, pp.219-227.
3. Oan Chul Choi, Gi Suop Hong, Young Kyun Hong, Young Soo Shin "Strengthening Design for Damaged Concrete Beams Using Epoxy-Bonded Steel Plate" EBSP), Proceedings of the Fifth East-Pacipic Conference on Structural Engineering and Construction, 1995, pp.2041-2046.
4. 홍영균, 최완철, 홍기섭, 신영수, 김유식, 류해준, "에폭시 접착 강판으로 보강된 철근콘크리트 보의 구조적 거동에 관한 연구", 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 1994, pp.25-29
5. 김병국, 신영수, 홍기섭, 이차돈, 최완철, 철근 콘크리트 구조물의 보수공법연구(II)-휨거동 비교-, 한국 콘크리트학회 학술발표회논문집 제7권 1호 (통권 12집), pp.219-224.
6. 류해준, 최완철, 홍기섭, 신영수, 홍영균, 정일영, "에폭시 보강된 콘크리트 접합계면의 접착 성능", 대한건축학회 학술발표논문집, 제14권, 제1호, 1994, pp.423-426
7. 박주현, 홍기섭, 홍영균, 신영수, 최완철 "압축 및 휨을 받는 철근 콘크리트 기둥의 강판 보강효과에 대한 실험적 연구", 대한건축학회 학술발표 논문집 제16권2호, 통권32집, 1996, pp.601-605
8. 건축물의 구조 기준에 관한 규칙, 건설부, 1988
9. 극한강도설계법에 의한 철근콘크리트 구조설계기준 및 해설, 건설부, 1990
10. Park, R., and Paulay, T., Reinforced Concrete Structures, John Willey and Sons, Inc., New York, N.Y., 1975
11. Park, R., Priestley, M. J., Nigel., and Gill, d., "ductility of Square-Confined Concrete Columns " Proceedings, ASCE, V.108, ST. Apr. 1982, pp.929-950
12. Aci Committee 318 "Building Code Requirement for Reinforced Concrete (Aci 318-83)", American Concrete Association, Detroit, 1983