

볼트장력으로 보강된 철근 콘크리트 기둥의 실험적 연구

An Experimental Study of Reinforced Concrete Columns Strengthened with Bolt Tension.

○ 김도훈* 원학재* 김성배** 김상모*** 이창남**** 김상섭*****
Kim, Do-Hoon Won, Hak-Jae Kim, Sung-Bae Kim, Sang-Mo Lee, Chang-Nam Kim, Sang-Seup

Abstract

As time goes up, structural capacity of members decreases in reinforced concrete structures. The deterioration of the capacity is mainly due to the corrosion of materials, poor construction and environmental pollution, etc. This deterioration is unavoidable, thus it is necessary to develop the method for repair and retrofit of structures in order to ensure structural safety of members.

The purpose of this paper is to investigate the load-deflection, ultimate strength, failure mode, and energy absorption capacity of reinforced concrete columns strengthened with angle and bolt tension, and evaluate the degree of their strengthening effect. For the test, the specimen size of column is 20cm×20cm×90cm reinforced with 4 number of main bars of 13 mm diameter, tied bars of 6 mm diameter. The test results show that the increasement of bolt and bolt tension's quantity improve the ultimate strength and energy absorption capacity.

키워드 : 보수, 보강, 볼트장력, 최대내력, 파괴양상

Keywords : Repair, Retrofit, Bolt Tension, Ultimate Strength, Failure Mode

1. 서론

철근콘크리트 구조물은 시공 상의 결함, 재료적인 문제, 노후화 등의 원인으로 강도가 저하되거나 균열이나 변형 등이 발생한다. 또한 증축이나 설계변경으로 인해 내력증대가 요구되기도 한다. 따라서 구조물에 내력증진이 필요하거나 성능저하의 가능성이 있는 부분에 대해서는 적절한 보수·보강대책을 세워야 한다.

지금까지 콘크리트 구조물의 보강에는 단면증설법과 강판접착법이 많이 이용되었으나 이러한 방법은 건물의 중량이 증대되고, 작업공간 확보와 이용공간이 제한되며, 내구성, 공기, 숙련공의 부족 등 많은 문제점을 안고 있다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 복합신소재(탄소, 아라미드, 유리섬유시트)를 이용한 보강이 개발되었다. 그러나 이런 재료들 역시 에폭시 수지로 접착하여야 하므로 기존콘크리트와의 일체성 문제와 화재시 에폭시 발화에 따른 유독가스 배출 등의 문제점을 가지고 있다.

이에 본 연구에서는 기존의 보강방법과는 달리 지압판을 사용하지 않고, 앵글과 볼트장력 만을 사용하여 보강된 철근콘크리트 기둥의 내력증대를 시도하여 보강성능을 평가하고자 한다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험체 계획

실험체는 지압판이 없이 앵글과 볼트장력 만을 이용하여 보강한 기둥의 보강효과를 파악하기 위하여 제작되었다. 이를 위해 보강부분으로 직접적인 하중 전달이 발생하지 않도록 보강부분이 상부의 가력점과 맞닿지 않게 하였다. 표1은 보강볼트의 개수, 장력 그리고 보강위치를 실험변수로 하여 계획한 실험체 일람표이다. 일람표에서 단부는 실험체 상, 하부의 1/4 지점까지 해당하는 부분이며, 중앙부는 단부를 제외한 나머지 부분으로 하였다.

표1. 실험체 일람표

실험체 분류	NO.	실험체명	보강볼트수	장력 (tf)	비고
기준 실험체	1	CO-B0P00	-	-	2EA
보강 실험체	2	CR-B3P03	3(단부, 중앙부1개씩)	3	1EA
	3	CR-B4P03	4(단부1개, 중앙부2개)	3	1EA
	4	CR-B5P03	5(단부2개, 중앙부1개)	3	1EA
	5	CR-B3P06	3(단부, 중앙부1개씩)	6	1EA
	6	CR-B4P06	4(단부1개, 중앙부2개)	6	1EA
	7	CR-B5P06	5(단부2개, 중앙부1개)	6	1EA

실험체명에 대한 설명은 다음과 같다.

C R - B0 P00
콘크리트 보강 볼트개수 볼트장력

* 정희원, (주) 센구조 연구소, 공학석사
** 정희원, (주) 센구조 연구소, 공학박사
*** 정희원, (주) 센구조 연구소, 부장, 구조기술사
**** 정희원, (주) 센구조 연구소, 대표이사, 구조기술사
***** 정희원, 한국기술교육대학교 건축공학과 부교수, 공학박사

2.2 재료실험

실험체 제작에 사용된 콘크리트는 설계기준 압축강도 $f_{ck} = 210 \text{ kgf/cm}^2$ 이며, 철근은 HD13을 주근으로 D6을 후프근으로 사용하였다. 앵글은 SS400의 L-50×50×6을 사용하였으며, 볼트는 F10T급의 M20의 고력볼트를 사용하였다. 콘크리트의 압축강도 시험용 공시체는 KSF 2404에 따라 직경 10cm, 높이 20cm의 실린더형 몰드로 제작하였다. 최소한 3개의 공시체의 평균값으로 구한 콘크리트의 28일 압축강도는 260 kgf/cm^2 이며, 콘크리트의 탄성계수는 $2.43 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 이다.

HD13의 주근을 KSD 0801(금속재료 인장시험편 규정)의 라호 규정에 따라 시험편을 제작하여 인장강도시험을 실시한 결과는 표2와 같다.

표2. 강재의 인장강도 실험결과

종류	탄성계수 (10^6 kgf/cm^2)	항복강도 (kgf/cm^2)	인장강도 (kgf/cm^2)	연신율 (%)
D13	2.11	4464	6068	27.8

2.3 실험체 제작

(1) 기준실험체 제작

실험체의 단면은 $20 \times 20 \text{ cm}$ 의 정방형 기둥으로 높이는 90cm이다. 하중가력점에서 실험체의 압괴에 대한 보강으로 강관캡을 부착하고, 하중가력점 부근에서의 압괴를 방지하기 위하여 단부보강을 하였다. 배근사항은 주철근 4-HD13, 일체화 철근 4-HD16, 보강용 후프근은 6@25, 강관캡은 PL-19를 사용하였다. 그림1(a)는 기준실험체의 형상이다.

(2) 보강실험체 제작

보강실험체를 제작하기 전에 토크치에 따른 볼트의 축력도입을 알기 위해서 볼트축력측정기를 이용하였다. 축력측정기 시험결과 사용볼트의 토크계수는 0.19로 나타났다. 이러한 토크계수를 이용하여 볼트에 도입하고자 하는 장력하중을 확보하였다. 보강볼트 수는 3개, 4개, 5개이고, 볼트 장력은 3tf, 6tf으로 6개의 보강실험체를 제작하였다(그림1(b) 참조).

2.4 실험방법

(1) 실험기기

본 실험에서 사용된 가력장치는 만능 가력기(UTM)이며, 측정장치는 철근용과 콘크리트용 와이어 스트레인 게이지를 사용하였다. 데이터 입력장치로는 데이터로거(TDS601)와 UTM 제어용 컴퓨터를 사용하였다.

(2) 실험체 설치 및 가력방법

실험체의 설치사항은 그림2와 같다. 하중은 중력방향으로 단조가력하여 보강하지 않은 실험체는 최종파괴 될 때까지 실험을 실시하였으며, 보강 실험체는 최대하중의 70% 이하로 저하되거나, 내력이 저하되어 더 이상의 가력이 불가능할 때 까지 실험을 실시하였다.

(3) 실험체의 변위 및 변형 측정

실험체의 변형률을 알아보기 위해 모재인 콘크리트부분과 앵글 그리고 볼트에 스트레인 게이지를 부착하여, 각 하중 단계별 변형률을 조사하여 하중의 분포를 알 수 있도록 하였다. 변형률 측정은 콘크리트용 스트레인 게이지와 데이터로거(TDS601)를 이용하였다.

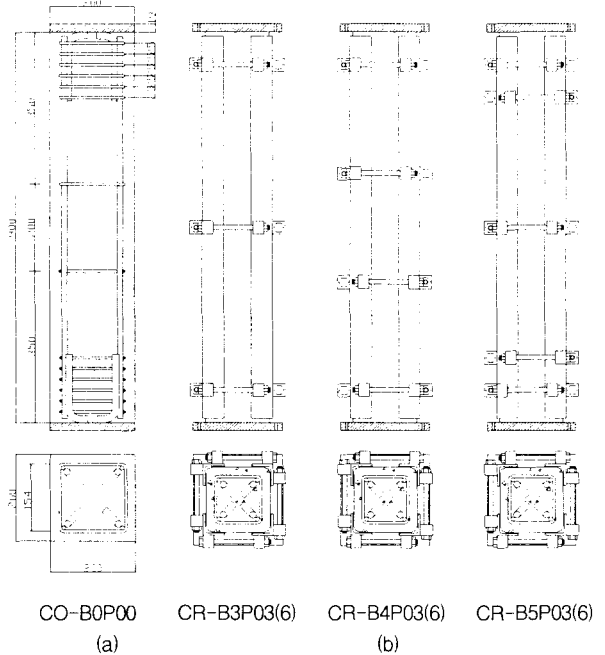


그림1. 실험체 형상

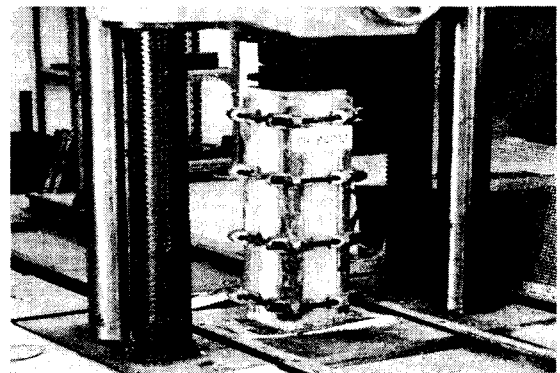


그림2. 실험체 설치 상황

3. 실험결과

3.1 실험체 파괴양상

(1) 기준실험체 파괴양상

그림3은 기준실험체의 파괴양상으로 하중의 증가와 함께 하부에서 수직균열이 발생하였고, 109.2와 112.1tf에서 수직균열이 급격하게 진전되어 파단되었다.

(2) 보강실험체 파괴양상

① CR-B3P03, CR-B3P06 실험체

본 실험체는 단부와 중앙부에 각 1개의 볼트로 보강하고, 볼트의 장력은 3tf와 6tf를 도입한 실험체이다. 각 실험체는 하중이 항복되면서 상부측에서 수직균열이 발생하였다. 그러나 기준실험체와 달리 균열이 급격하게 진행되지 않았으며, 지속적인 하중의 증가를 보였다. 주근의 좌굴 이후 내력이 급격하게 감소하였으나 앵글의 좌굴 이후에도 연성적인 거동을 보였다.

② CR-B4P03 실험체

본 실험체는 장력 3tf를 도입하여 단부에 1개 중앙부에 2개의 볼트로 보강한 실험체이다. 하부에서 수직균열이 발생하여 상부쪽으로 균열이 진행되는 경향을 보여주고 있으며, 주근의 좌굴로 인한 콘크리트의 탈락 후에 앵글의 좌굴현상이 일어났다.

③ CR-B4P06 실험체

본 실험체는 CR-B4P03에서 장력을 3tf에서 6tf으로 증가시킨 실험체로 처음 상부에서 균열이 발생하였으나 이후 하부에서 균열 발생 후 상부의 균열은 진전이 없었으며, 하부의 균열이 진전되어 주근의 좌굴 이후 내력저하를 보였다. 그러나 앵글의 좌굴 이후에도 급격한 내력저하 현상은 보이지 않았다.

④ CR-B5P03 실험체

본 실험체는 장력 3tf를 도입하여 단부에 2개 중앙부에 1개의 볼트로 보강한 실험체이다. 이 실험체는 상부에서 균열발생 후 주근의 좌굴 이후 내력의 저하를 보였다.

⑤ CR-B5P06 실험체

본 실험체는 장력 6tf를 도입하여 단부에 2개 중앙부에 1개의 볼트로 보강한 실험체이다. 이 실험체는 하부에서 급격하게 수평 및 수직 균열이 발생하였으며, 상부의 균열은 거의 발생하지 않았다. 그리고 하부의 균열이 계속 진행되었으며, 하부에서 기둥주근의 좌굴 및 앵글의 좌굴 현상을 보였다.

3.2 실험내력 및 하중-변위 곡선

(1) 실험체의 항복내력 및 최대내력

실험결과에 따른 실험체의 항복내력, 최대내력 그리고 각 시점에서의 변위를 표3에 나타내었다. 기준실험체는 두 실험체의 평균 최대내력인 110.7tf를 최대내력으로 하였다. 항복내력의 산정방법은 그림4에 나타내었다.

(2) 하중-변위 곡선

기준실험체인 CO-B0P00#1은 수직변위 3.51mm에서 최대내력 112.1tf를 나타내며, CO-B0P00#2 실험체는 수직변위 3.71mm에서 최대내력 109.2tf를 나타낸다. 기준실험체는 최대내력을 보인 후 연성적인 거동이 없이 내력저하를 보이고 있다. 볼트장력이 3tf와 6tf일 경우의 보강볼트개수에 따른 하중 변위곡선을 살펴보면 기준실험체에 비해 보강실험체의 최대내력이 상승하였다. 그리고 최대내력 발휘 후에 연성적인 거동을 보이고 있다. 그러나 보강에 의한 초기강성의 변화는 없는 것으로 나타났다(그림 5 참조).

3.3 에너지 능력

에너지 능력에 대한 평가는 변위 하중 곡선에서 최대 하중에 대한 면적으로 정의하여 평가하였다. 표3에서 처럼 실험체의 에너지 흡수능력은 볼트의 장력과 보강볼트의 개수가 증가함에 따라 향상되는 것을 알 수 있다.

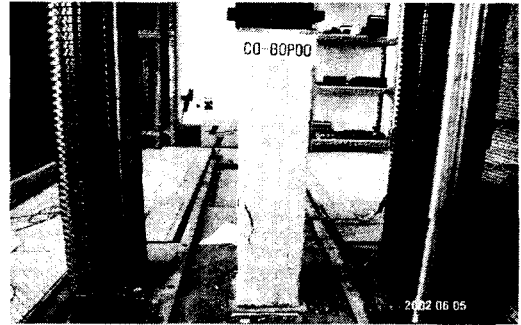


그림3. 기준시험체의 수직균열

표3. 실험결과에 따른 내력값과 에너지 흡수능력

실험체 명	항복내력 (tf)	항복변위 (mm)	최대내력 (tf)	최대변위 (mm)	에너지 흡수능력 (tf · mm)
CO-B0P00	107.0	3.50	110.7	3.61	211.06
CR-B3P03	133.7	4.12	140.1	4.96	391.53
CR-B4P03	132.8	4.63	147.9	7.33	703.91
CR-B5P03	149.4	4.69	161.8	5.33	517.88
CR-B3P06	129.8	3.62	147.9	5.25	483.74
CR-B4P06	155.2	4.48	170.2	6.35	674.72
CR-B5P06	159.0	4.79	171.1	6.65	698.40

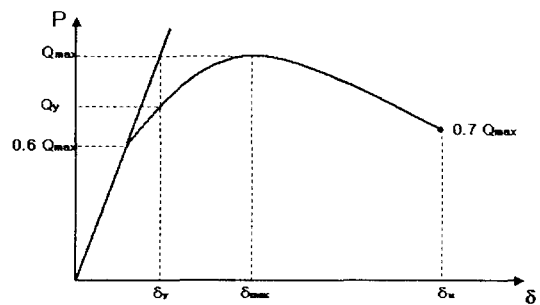


그림4. 항복내력 산정

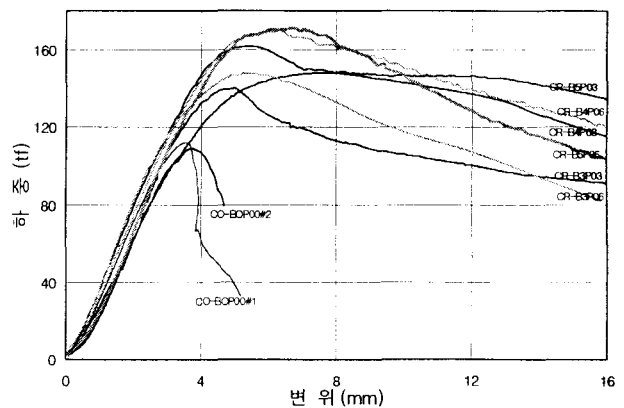


그림5. 실험체의 하중 변위 곡선

4. 볼트텐션을 이용한 기동보강실험의 성능평가

4.1 볼트보강 개수 및 볼트장력에 따른 보강효과

보강볼트의 개수가 3, 4, 5개일 때 장력을 3tf에서 6tf로 증가시키면 내력은 26.3%, 59.1%, 18% 증가하였으며, 볼트의 장력이 3tf와 6tf일 때 보강볼트의 개수를 증가시킨 경우, 보강볼트가 4개 일때가 3개일 때보다 26.9%, 59.8%의 증가를 보였으며, 보강볼트가 5개일 때는 4개일 때보다 36.9%, 1.7% 내력이 증가하였다. 내력증가비율을 구하는데 사용된 식은 다음과 같다.

① 기준실험체에 대한 보강실험체의 내력증가율(%)

$$= \frac{(\text{보강실험체내력} - \text{기준실험체내력})}{\text{기준실험체내력}} \times 100$$

② 실험체 간의 내력증가율(%)

$$= \frac{(\text{보강실험체내력증가량2} - \text{보강실험체내력증가량1})}{\text{보강실험체내력증가량1}} \times 100$$

4.2 보강위치에 따른 보강효과

단부보강의 결과분석은 4가지 실험체(CR-B3(5)P03(6))에 대해 이루어졌다. 그림6에서 보는 것과 같이 볼트장력을 이용한 기동의 단부보강에서는 동일한 조건에서 단부보강볼트의 개수를 증가시키는 것이 장력을 증가시키는 것보다 보강효과가 더 좋은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 표4에서 내력증가량(A)과 도입장력 증가량에 대한 내력증가량(C)에서도 잘 나타나고 있다.

중앙부보강 역시 총 4가지 실험체(CR-B3(4)P03(6))에 대해 분석이 이루어졌다. 중앙부보강에서도 단부보강과 마찬가지로 볼트의 장력을 높이는 것 보다는 보강볼트의 개수를 증가시키는 것이 더 효과적인 것으로 나타났다. 이러한 결과는 표4의 도입장력 증가량에 대한 내력증가량(C)에서 잘 나타나고 있다. 이는 중앙부 보강볼트의 증가에 따라 좌굴길이 감소 등에 의한 구속효과가 원인으로 사료된다.

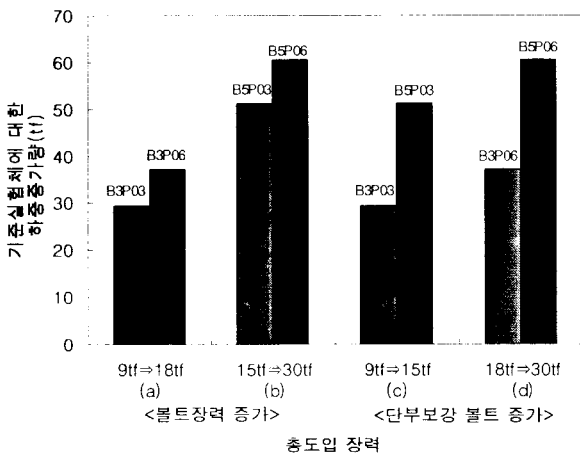


그림6. 볼트장력과 보강볼트 개수에 따른 단부 보강효과

표4. 보강위치에 따른 총 도입장력에 대한 내력증가비

보강 위치	단부 보강				중앙부 보강			
	볼트장력 증가		보강볼트 개수 증가		볼트장력 증가		보강볼트 개수 증가	
	(a)	(b)	(c)	(d)	(a)	(b)	(c)	(d)
(A)=내력 증가량(tf)	7.76	9.24	21.76	23.24	7.76	22.12	7.92	22.28
(B)=도입장력 증가량(tf)	9	15	6	12	9	12	3	6
(C)=(A)/(B)	0.86	0.62	3.63	1.94	0.86	1.84	2.64	3.71

보강방법의 (a), (b), (c), (d)는 다음과 같다.
 (a) B3P03와 B3P06 비교 (b) B4(5)P03와 B4(5)P06 비교
 (c) B3P03와 B4(5)P03 비교 (d) B3P06과 B4(5)P06 비교

5. 결론

앵글과 볼트장력으로 보강된 철근콘크리트 기동의 보강성능 실험에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 보강 실험체는 보강 볼트의 개수와 볼트장력이 증가함에 따라 기준실험체에 비해 내력이 26.6% ~ 54.7% 증가하였다. 이는 보강된 콘크리트 기동이 합성기동으로 거동하기 때문으로 판단된다. 그러나 보강량과 초기강성은 무관한 것으로 나타났다.
2. 보강된 실험체의 에너지 흡수능력은 볼트의 장력과 보강볼트의 개수가 증가함에 따라 기준실험체에 비해 평균적으로 2.7배 증가되는 것을 알 수 있다.
3. 기동의 단부보강은 동일한 조건에서 볼트의 보강개수를 증가시키는 것이 장력을 증가시키는 것보다 내력이 10%정도 더 증가하여 보강효과가 좋은 것으로 나타났다.
4. 기동의 중앙부보강 역시 볼트의 장력을 키우는 것보다 보강볼트의 개수를 증가시켜 좌굴길이를 감소시키는 것이 보강효과가 좋은 것으로 나타났다.

볼트장력 또는 보강볼트 개수와 실험체 내력증가의 정량적 관계를 보다 자세히 알기 위해서는 보완연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 이현호, 구은숙, "아라미드 섬유슈트로 전단보강한 RC기동의 성능평가에 관한 실험적 연구", 대한건축학회, Vol. 15, No. 6, 1996. 6
2. 이승엽 외 5인, "보강된 철근콘크리트 기동의 구조거동에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 가을 학술발표대회 논문집, 1997
3. 안재홍 외 3인, "강관으로 보강된 철근콘크리트 기동의 구조거동에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 춘계학술발표대회, 1999. 4
4. 권영웅, 정성철, "CFS로 횡보강된 철근콘크리트 기동의 역학적 특성에 관한 연구", 한국콘크리트학회 봄 학술발표대회 논문집, 1999
5. 이용택 외 3인, "탄소섬유시트로 전단보강된 철근 콘크리트 기동의 거동", 대한건축학회, Vol. 18, No. 4, 2002. 4