

# 볼트 장력을 이용한 철근콘크리트 기둥의 보강공법에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Modification Methods of Reinforced Concrete Columns Using Bolt Tension

김 성 배\*  
Kim, Sung-Bae

서 동 기\*\*  
Seo, Dong-Gee

김 상 모\*\*\*  
Kim, Sang-Mo

이 창 남\*\*\*\*  
Lee, Chang-Nam

### Abstract

As time goes up, structural capacity of members decreases in reinforced concrete structures. This deterioration is unavoidable, thus it is necessary to develop the method for repair & modification of structures in order to ensure structural safety of members. The purpose of this paper is to investigate the load-deflection, strength evaluation, 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 20×20×90cm 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 : 철근콘크리트 기둥, 보강 공법, 볼트 장력, 내력평가

Keywords : Reinforced Concrete Columns, Modification Method, Bolt Tension, Strength Evaluation

### 1. 서 론

최근 리모델링 되고 있는 건축 구조물은 대부분 1988년 내진설계기준이 제정되기 이전에 건설된 것으로 내진설계가 되어 있지 않고, 내진설계에 대한 인식부족으로 구조체의 보강을 통한 성능향상은 고려하지 않는 경우도 있다. 이미 미국과 일본에서는 두 차례 큰 지진 피해 후 구조물의 보수 보강에 대한 연구가 진행되어 평가방법과 법제정 등이 되고 있다<sup>(8)~(13)</sup>. 국내에서도 다수의 보수·보강에 관한 연구 결과가 발표되고 있으나<sup>(1)~(7)</sup> 보다 체계적이고 지속적인 연구가 필요하다.

철근콘크리트 구조는 노후화로 인한 콘크리트 강도 저하 및 균열, 변형 등에 대비한 유지관리가 요구된다. 철근콘크리트 구조물의 보수·보강공법은 단면증설법과 강관접착법, 복합신소재를 이용한 보강공법이 개발되어 사용되고 있다. 그러나 이러한 공법은 일반적으로 하중 증가와 기존콘크리트와의 일체성 결여, 화재 시 에폭시 발화에 따른 유독가스 배출 등의 문제점을 안고 있다.

이에 본 연구에서는 철근콘크리트 기둥 보강공법에 대한 대안으로 앵글과 볼트장력 등을 이용한 보강 방법을 제시하고 성능을 평가하여, 볼트장력에 의한 보강방법의 적용 가능성 등을 평가하고자 한다.

### 2. 실험계획 및 방법

#### 2.1 실험 계획

표 1은 시험체의 기호와 주요 변수이다. 실험변수는 앵글에 전달되는 하중과 볼트장력에 따른 보강효과를 파악하기 위해 단부 및 중앙부의 볼트 수와 볼트의 장력으로 하였다. 표에서 단부는 시험체 상, 하부의 1/4 지점 이고, 중앙부는 단부를 제외한 나머지 부분으로 규정하였다.

보강시험체의 경우 볼트 수는 3, 4, 5개 이고 볼트 개수에 도입된 장력은 3, 6톤이다. 도입장력의 선정 기준은 무보강 시험체를 기준으로 최대 30%가 되도록 하였다. 볼트 배치는 보강 볼트가 3개인 경우 단부와 중앙부에 각각 1개씩 설치하였고, 4개인 경우는 기둥 전 길이에 대해 균등 배치하였다. 보강 볼트가 5개인 시험체는 상하 단부 2개씩과 중앙부에 한 개를 추가 설치하였다.

#### 2.2 시험체 형상 및 제작방법

##### (1) 기준 시험체의 제작

시험체의 단면은 20×20cm의 정방형 기둥으로 높이는 90cm의 축소모델이다. 하중 가력점에서 시험체의 압괴가 발생하지 않도록 강관 캡을 부착하고, 후크로 단부 보강 후 강관 캡에 용접하였다. 또한 보강용 앵글과 가력점은 분리시켜 보강부분으로 직접적인 하중 전달이 발생하지 않게 하였다. 그림 1은 무보강 기준 시험체의 형상이다.

기둥의 주근은 4-HD13을 사용하였고, 철근비는 1.27%이다. 단부는 일체용 철근을 4-HD16으로 제작하였고, 보강용 후크는 6-D6, 콘크리트 설계 강도는 210kgf/cm<sup>2</sup> 이다.

\* 정희원, (주) 센구조 연구소, 연구개발팀장, 공학박사

\*\* 정희원, (주) 센구조 연구소, 연구개발팀 과장, 공학석사

\*\*\* 정희원, (주) 센구조 연구소, 부장, 구조기술사

\*\*\*\* 정희원, (주) 센구조 연구소, 대표이사, 구조기술사

(2) 보강 시험체 제작

그림 2는 보강 시험체의 형상이다. 보강 시험체 제작은 모래 시험체의 모서리에 앵글을 설치하기 위해 모서리를 면처리한 후 무수축 모르터를 이용하여 앵글을 부착하였다. 무수축 모르터가 양생된 후 축력 도입용 소켓을 사용하여 볼트 가조립을 하였다.

앵글은 SS400의 L-50×50×6을 사용하였다. 볼트는 F10T M20을 사용하였고, 토크렌치를 이용하여 실험에 필요한 장력을 도입하였다. 볼트의 토크치에 따른 축력도입은 볼트 축력측정기를 이용하였다. 볼트 축력은 당일 실험실에서 축력측정기로 시험하여 사용볼트의 토크계수를 구했고, 토크계수는 0.19이다.

표 1. 시험체 기호

구분	시험체명	보강 볼트 수	장력 (tf)	시험체수
기준 시험체	CO-B0-P00	-	-	2 EA
	CR-B3-P03	3개(상하 단부1개, 중앙부1개)	3	1 EA
보강 시험체	CR-B4-P03	4개(상하 단부1개, 중앙부2개)	3	1 EA
	CR-B5-P03	5개(상하 단부2개, 중앙부1개)	3	1 EA
	CR-B3-P06	3개(상하 단부1개, 중앙부1개)	6	1 EA
	CR-B4-P06	4개(상하 단부1개, 중앙부2개)	6	1 EA
	CR-B5-P06	5개(상하 단부2개, 중앙부1개)	6	1 EA

C                    R                    B0                    P00  
콘크리트            보강                볼트개수            볼트장력

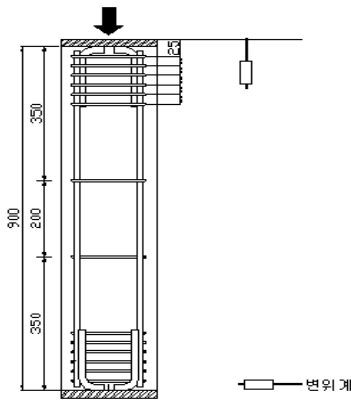


그림 1. 기준 시험체 형상 및 가력방법

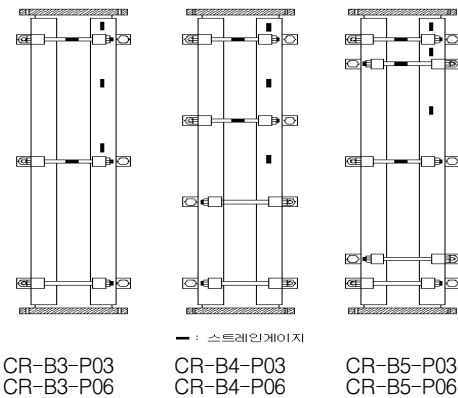


그림 2. 보강 시험체 형상과 게이지 부착위치

볼트 축력의 산정은 고력볼트 체결 시 토크관리법에 의한 조임력과 볼트축력과의 관계를 이용하여 식 1로 산정하였다.

$$N_r = k \cdot d_l \cdot N \dots\dots\dots (1)$$

여기서,  $N_r$  : 조임력  
 $k$  : 토크계수  
 $d_l$  : 볼트 나사 바깥지름 기준치수  
 $N$  : 볼트 축력

2.3 실험방법

가력은 200tf 용량의 만능시험기(UTM)에 시험체를 설치한 후 단조가력 했다. 가력은 기준 시험체의 경우 과단 시까지 가력 하여 파괴양상을 관찰하였다. 보강 시험체는 내력이 저하되어 더 이상의 가력이 불가능하거나, 최대하중의 70% 이하로 저하될 때 까지 하였다.

시험체의 변형률 확인을 위해 그림 2와 같이 콘크리트와 앵글, 볼트에 스트레인 게이지를 부착하였다.

2.4 소재 시험

콘크리트의 압축강도 시험용 공시체는 KSF 2404로 제작하였고, 본 시험체와 동일한 조건으로 양생하여 28일 압축강도시험을 하였다. 측정된 콘크리트 강도는 3개 공시체의 평균값으로 하였다. 공시체의 28일 압축강도는 260kgf/cm<sup>2</sup>이다.

주근으로 사용된 HD13은 KSD 0801에 따라 시험편을 제작하여, 인장시험을 실시하였다. 철근과 콘크리트의 시험결과는 표 2, 3과 같다.

표 2. 콘크리트 시험 결과

설계기준강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	탄성계수 (10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	28일 압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )
210	2.43	260

표 3. 철근 시험 결과

시험편	탄성계수 (10 <sup>6</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	항복강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	인장강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )
HD 13	2.11	4,464	6,068

표 4. 실험 결과

시험체명	항복내력 (tf)	항복내력 시변위 (mm)	최대내력 (tf)	최대내력 시변위 (mm)	최대내력/항복내력 (%)	보강시험체의 최대 내력비(%)
CO-B0-P00-1	107.6	3.17	112.1	3.51	104.2	100.0
CO-B0-P00-2	106.4	3.82	109.2	3.71	102.6	
CR-B3-P03	133.7	4.12	140.1	4.96	104.8	126.6
CR-B4-P03	132.8	4.63	147.9	7.33	111.4	133.7
CR-B5-P03	149.4	4.69	161.8	5.33	108.3	146.2
CR-B3-P06	129.8	3.62	147.9	5.25	113.9	133.7
CR-B4-P06	155.2	4.48	170.2	6.35	109.7	153.8
CR-B5-P06	159.0	4.79	171.1	6.65	107.6	154.6

### 3. 실험 결과

#### 3.1 실험 결과

표 4는 실험결과이다. 실험결과에는 내력과 변위, 내력 비등에 대해 나타내었다.

항복내력과 변위의 산정은 그림 3의 방법을 적용하였다<sup>(4)</sup>. 항복내력은 최대내력과 최대내력의 60%인 강성을 연결하여 만나는 점을 항복변위로 선정하고 이 때의 내력을 항복내력으로 정의하였다. 이것은 기존의 방법과 비교 시 큰 차이가 없는 것으로 확인되었다<sup>(14)</sup>.

실험결과 최대내력은 보강 시험체의 경우 볼트와 앵글 등을 이용한 도입장력에 비례하여 무보강 시험체 보다 20~50% 이상 증가하였다. 또한 최대내력에 대한 항복내력 비도 무보강 시험체는 큰 차이 없이 항복 후 최대내력에 도달하여 급작스런 파괴양상을 보이고 있으나, 보강 시험체는 항복 후 최대내력 까지 약 10% 정도의 증가를 보여 안정적인 거동을 보인다.

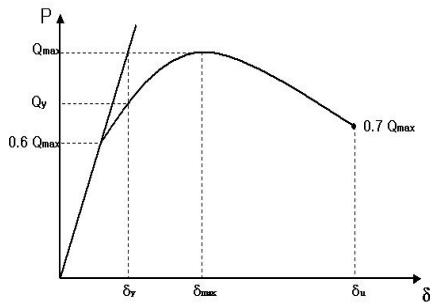


그림3. 항복내력의 산정

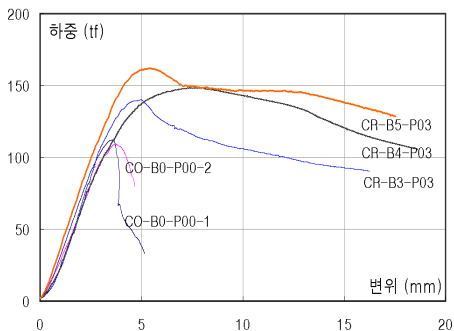


그림 4. 도입장력이 3톤인 시험체의 하중-변위곡선

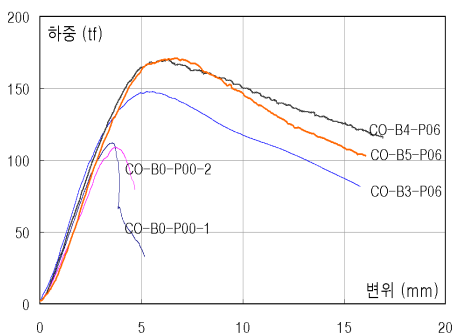


그림 5. 도입장력이 6톤인 시험체의 하중-변위곡선

그림 4, 5는 각 시험체의 하중-변위곡선이다.

보강 시험체의 경우 각 볼트에 도입된 장력과 볼트 수에 비례하여 최대내력 시 변위도 증가하여 무보강 시험체 보다 연성적인 거동을 하고 있고, 최대하중 이후 내력 저하율도 낮다. 그러나 강성의 변화는 적다.

#### 3.2 파괴 양상

사진 1, 2는 기준 시험체와 보강 시험체의 가력상황이다. 파괴양상은 무보강 시험체의 경우 하중의 증가와 함께 하부에서 수직균열이 발생하였고, 하중 증가로 균열이 급격하게 진전되어 파단되었다.

보강 시험체는 대부분 상부 측에서 수직균열이 발생하였으나 기준 시험체와 달리 균열의 진전은 급격하게 이루어지지 않고 지속적인 하중의 증가를 보였다. 또한 주근의 좌굴로 콘크리트가 탈락하였으나, 앵글의 좌굴과 함께 연성적인 거동을 보였다.



사진 1. 기준 시험체의 가력상황

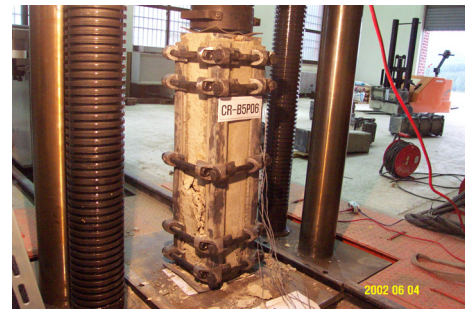


사진 2. 보강 시험체의 가력상황

표 5. 실험 결과 분석

시험체명	계산내력 (tf)-식(3)	최대내력 (tf)	최대내력/ 계산내력	에너지 (tf·mm)	보강시험체 의에너지비
CO-B0-P00-1	103.2	112.1	1.09	209.99	1.00
CO-B0-P00-2		109.2	1.06	212.12	
CR-B3-P03	116.7	140.1	1.20	391.53	1.86
CR-B4-P03	121.2	147.9	1.22	703.91	3.34
CR-B5-P03	125.7	161.8	1.29	517.88	2.45
CR-B3-P06	130.2	147.9	1.14	483.74	2.29
CR-B4-P06	139.2	170.2	1.22	674.72	3.20
CR-B5-P06	148.2	171.1	1.15	698.40	3.31

4. 분석 및 고찰

4.1 각 시험체의 인성평가

표 5는 보강 유무에 따른 각 시험체의 분석결과이다.

각 시험체의 인성평가는 에너지로 평가하였고, 그림 6은 에너지와 총 도입장력의 관계이다. 에너지 산출은 하중 변위곡선에서 최대하중 시 변위의 내부 면적 전체로 하였고, 총 도입장력은 도입장력을 볼트 수로 곱하여 산정하였다.

에너지는 다소 오차가 있으나 총 도입장력이 증가할수록 비례적으로 상승하며 정의 상관관계를 나타내고 있고, 무보강 시험체와 비교 시 약 두 배 이상의 증가를 보이고 있다. 이것은 앵글과 볼트를 이용한 장력도입으로 콘크리트 기둥이 앵글에 의해 부분적으로 합성 거동을 하기 때문으로 판단된다.

4.2 보강방법과 위치의 영향

(1) 도입장력의 영향

그림 7은 도입장력이 3톤과 6톤으로 각각 동일한 경우, 보강 위치에 따른 최대내력 및 에너지의 변화를 나타낸 것이다. 보강 볼트 수가 3개인 시험체를 기준으로 4개와 5개인 시험체의 비로 나타내었다. 보강 볼트가 5개인 시험체는 단부의 보강 볼트가 두 개에서 4개로 증가하였으므로 내력 및 에너지의 증가량을 볼트 한 개당 변화량으로 평가하여 중앙부 보강 시험체와 동일한 조건으로 상대평가 하였다.

최대내력은 보강 위치에 대해 큰 차이가 없으나 최대내력 시 까지 흡수한 에너지는 중앙부 보강이 더 효과적이다. 이것은 중앙부 보강이 단부 보강 보다 좌굴길이 감소 등에 의한 구속효과가 크기 때문이다.

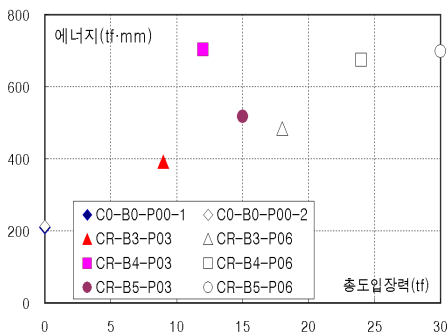


그림 6. 에너지와 총 도입장력

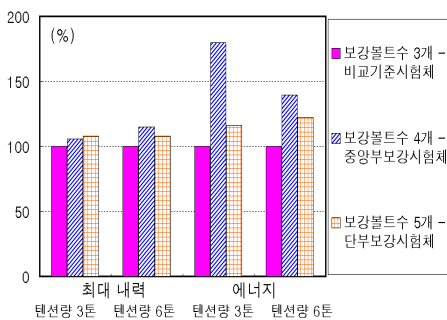


그림 7. 보강 위치에 따른 최대내력 및 에너지 변화 - 도입장력이 동일한 경우

(2) 보강위치(볼트 수)의 영향

그림 8은 볼트 수와 도입장력에 대한 영향이다. 왼쪽의 볼트 개수는 볼트가 3개에서 5개로 증가하고 도입장력이 동일한 경우이고, 오른쪽의 도입장력은 보강 볼트 수가 동일하고 도입장력이 3톤에서 6톤으로 두 배 증가한 경우이다.

도입장력이 같고 보강 볼트 수가 3개에서 5개로 증가하면 내력은 15% 상승하고, 볼트 수는 같고 도입장력이 두 배 증가하면 최대내력은 5% 상승한다. 그러므로 단부에 볼트를 증가시켜 보강하는 것이 도입장력의 증가 보다 내력 상승효과가 다소 높은데, 이는 단부 구속으로 하중전이가 용이하게 되기 때문으로 판단된다.

4.3 변형률 분포

그림 9는 CR-B3-P03 시험체의 변형률 분포이다. 종축은 가력부터 파단까지의 하중이고, 횡축은 앵글과 볼트에 부착된 스트레인 게이지의 변형률이다. 앵글은 최상층 가력점에서부터 중앙부 까지 순차적으로 부착한 것이다.

가력점의 앵글과 볼트는 하중증가에 따른 변형률 변화가 거의 없으나, 중앙부 앵글은 하중증가에 따라 변형률이 증가하고 있다. 이것은 4.2의 보강방법과 위치의 영향에서 분석한 결과와 같이, 중앙부 앵글은 구속으로 변형이 크게 발생하기 때문이다.

4.4 최대 내력의 평가방법

그림 10은 볼트 수와 내력 증가량의 관계이다. 내력 증가량은 무보강 시험체의 평균치를 기준으로 산정하였다.

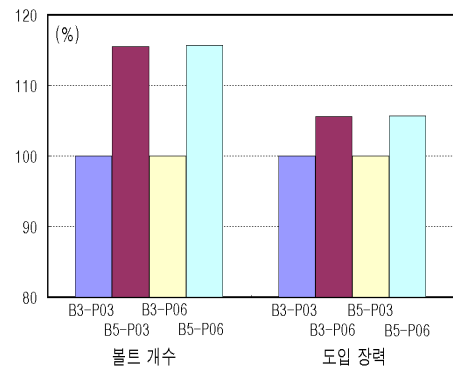


그림 8. 볼트 수와 도입장력

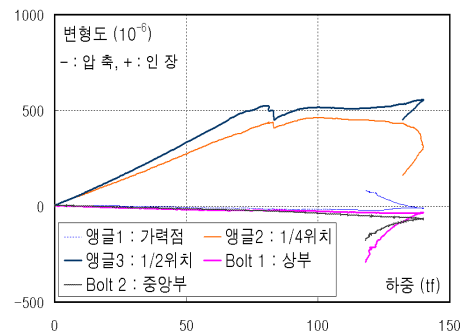


그림 9. CR-B3-P03 시험체의 변형률 분포

보강위치와 도입장력에 의해 최대내력이 다소 차이가 있으나 최대내력은 도입된 볼트의 장력과 볼트 개수에 비례하여 증가하고 있어 볼트 개수와 도입된 장력의 곱으로 평가할 수 있다고 판단된다.

4.5 통계 분석

최대내력의 평가가 볼트 수와 도입장력의 곱으로 나타낼 수 있음이 그림 10으로 확인 되었다. 그러므로 내력평가 산정에 앞서 실험변수로 선정할 도입장력과 볼트 수가 실험결과와 유의한 관계가 있는지 통계적으로 분석하기 위해 분산분석과 회귀분석으로 실험에 대한 오차와 상관관계 등을 평가하였다.

(1) 분산분석

주요 실험변수인 총 도입장력과 볼트 수가 실험결과에 미치는 영향에 대해 분산분석을 하였다. 실험결과의 분석은 항복내력과 최대내력, 에너지 등으로 평가하였으나 항복내력은 최대내력을 기준으로 산출하였고, 에너지도 내력과 변위의 관계로 산정되었으므로 실험결과 중 최대내력에 대해 분석하였다.

분산분석은 특성 값의 변동을 제곱합으로 나타내고, 이 제곱합을 실험에 관련된 요인별로 분해하여, 오차에 비해 큰 영향을 주는 요인이 무엇인가를 찾아내는 방법이다. 또한 분산분석은 일원배치법과 이원배치법으로 나누는데 본 연구에서는 각 실험변수와 실험결과 중 최대내력의 관계에 대해 알아보기 위해 일원배치법으로 하였다.

표 6은 최대내력과 총 도입장력에 대해 유의확률 5%의 분산분석결과이고, 표 7은 최대내력과 볼트 수에 관한 것이다. 표에서 잔차는 실험에서 본질적인 불확실성을 나타내는 오차를 의미하며,  $F$  비는 잔차의 제곱 평균에 대한 처리의 제곱 평균 비이다.  $F$  값이 커질수록 처리효과가 유의하다는 증거이고,  $P$  값은 유의확률이다.

두 가지 모두 유의확률이 0 으로 나타나 총 도입장력과 볼트 수는 최대내력에 통계적으로 유의하다. 그러므로 실험에 의한 오차의 영향은 없는 것으로 평가할 수 있다.

(2) 회귀분석

실험결과 중 최대내력과 에너지에 대해 총 도입장력과 볼트 수의 상호 관계성을 회귀분석으로 검토하였다. 회귀분석은 두 변수 사이의 함수관계에 대한 통계적 분석을 하는 방법으로 두 변수 사이의 관계에 대해 상관계수로 추론하였다. 이 때 독립변수는 볼트 수와 총 도입장력이다.

표 8은 실험결과와 각 인자간의  $t$  분포 검정결과이다. 상관계수는 절대값 1에 가까울수록 회귀직선에 산포가 가깝게 모여 있고 특성치 간의 관계가 깊다고 할 수 있다. 그러나 상관계수가 0에 가깝다고 두 변수사이의 관계가 없는 것을 시사하는 것은 아니고, 두 변수 사이의 직선관계가 약함을 의미한다. 또한,  $t$  통계량은 모표준편차가 미지일 때 표본표준편차를 이용하여 모평균을 추론한 결과로 이것을  $t$  분포라 한다.

분석결과 실험변수와 실험결과치 간의 상관관계는 모두 0.8 이상으로 상당히 높은 관계를 보이고 있다. 또한 유의확률 5%에 대한 검정 결과도 볼트 수와 에너지간의 관계가 0.076으로 다소 높으나 대부분 만족하여 각 인자간의 관계가 유의함을 알 수 있다.

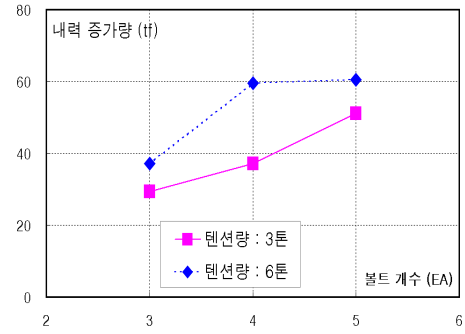


그림 10. 볼트 수에 따른 내력 증가량

표 6. 총 도입장력과 최대내력의 분산분석결과

변동 요인	제곱 합	제곱 평균	$F$ 비	$P$ 값
처리	60690.0	60690.0	141.9	0.000
잔차	5132.8	427.7	-	-
계	65822.8	-	-	-

표 7. 볼트 수와 최대내력의 분산분석결과

변동 요인	제곱 합	제곱 평균	$F$ 비	$P$ 값
처리	72255.2	72255.2	189.9	0.000
잔차	4566.8	380.6	-	-
계	76822.0	-	-	-

표 8.  $t$  분포 검정결과

구 분	상관계수 ( $r$ )	$t$ 통계량	$P$ 값	
총 도입장력	최대내력	0.92	12.51	0.000
	에너지	0.81	3.34	0.021
볼트 수	최대내력	0.95	11.44	0.000
	에너지	0.84	2.23	0.076

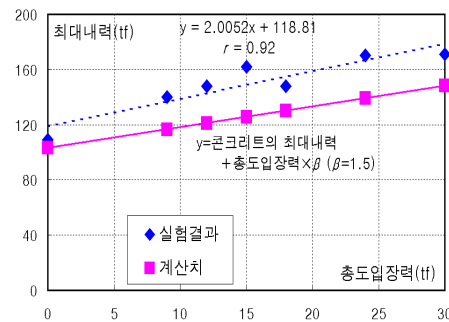


그림 11. 실험결과와 계산식

4.6 내력 평가

볼트의 위치 및 개수와 도입장력이 다소 상이하나 실험 결과에 의한 회귀식은 식 2의 일차함수로 나타낼 수 있다. 두 인자간의 상관관계는 정의 관계를 보이며, 상관계수 ( $r$ )도 0.9 이상으로 높다.

$$y = 2.0052x + 118.81 \quad (r = 0.92) \dots\dots\dots (2)$$

여기서,  $x$  : 총 도입장력                       $y$  : 최대 내력

식 3은 실험 결과를 근거로 산정한 실험식이다. 실험식을 이용한 각 시험체의 계산결과는 표5의 실험결과 분석에 나타내었다. 실험결과와 계산식과의 관계는 그림 11과 같다.

$$y = [f_{ck}(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] + T_t \times \beta \dots\dots\dots (3)$$

여기서,

$f_{ck}$  : 콘크리트의 설계강도       $A_g$  : 기둥의 전 단면적  
 $A_{st}$  : 철근의 전 단면적           $f_y$  : 철근의 기준항복강도  
 $T_t$  : 도입장력의 합               $\beta$  : 강도증가계수 ( $\beta = 1.5$ )

계산식은 콘크리트 기둥의 최대하중과 총 도입장력의 합으로 이루어진다. 총 도입장력은 볼트 수와 볼트에 도입된 장력에 비례하여 내력이 상승하므로 내력상승효과를 고려하여 강도증가 계수( $\beta$ )를 계산식에 적용하였다. 또한 앵글의 두께에 의해 보강내력이 증가할 것으로 판단되나 본 연구에서는 앵글 두께에 의한 영향은 변수에서 제외되어 계산식에서도 검토되지 않았다.

계산식은 강도증가 계수가 1.5 일 때 실험결과와 잘 일치한다. 또한 이 때 실험결과와 계산내력은 평균 15% 정도 실험치가 크게 나타나 안전 측의 값을 보이므로 계산식에 의한 평가는 적절하다고 판단된다. 단 총 도입장력은 콘크리트 기둥 최대 축 하중의 30% 이하인 경우이다.

5. 결론

철근콘크리트 기둥에 앵글과 볼트를 이용하여 장력을 도입하고 이를 통한 내력과 변형능력의 변화를 실험을 통해 검증하였다. 실험결과는 다음과 같다.

(1) 기둥 보강방법 중 본 연구에서 제안한 볼트를 이용한 장력 도입은 원 시험체 보다 내력 및 변형능력이 증가되어 보강에 의한 내력상승 효과가 있음이 확인되었다. 또한 보강 시험체는 보강하지 않은 기준 시험체에 비해 볼트의 개수와 장력의 증가에 따라 인성이 증가하였고, 최대내력 이후 하중 저감도 현저히 감소하여 내력저하율도 낮다.

(2) 실험결과는 강도증가 계수를 도입한 계산식으로 평가가 가능하고, 이 때 도입 장력으로 인한 강도증가 계수는 1.5가 적합하다.

(3) 볼트의 보강 위치와 최대내력의 관계는 큰 차이가 없으나, 도입장력의 증가 보다 보강 볼트 수 증가에 의한 단부보강의 영향이 다소 높다. 이것은 단부 구속으로 인해 하중전이가 용이하기 때문으로 판단된다. 부재가 흡수한 에너

지는 단부 보다 중앙부 보강에 의한 에너지 증가량이 크다. 이는 단부 보다 중앙부가 구속으로 인한 좌굴길이의 감소로 변형능력이 상승하기 때문이다.

본 연구에 적용한 시험체는 총 도입된 장력이 기둥 최대내력의 30% 이하인 축소모델이고, 단순 축 하중으로 보강에 의한 영향을 평가 확인하였다. 그러나 기둥에 작용하는 장력이 기둥 내력의 30% 이상으로 실물 크기 이거나, 휨과 압축을 동시에 받는 경우, 앵글의 크기에 의한 구속 효과 등은 본 연구에서 제외되었다. 이에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 김도훈, 원학재, 김성배, 김상모, 이창남, 김상섭, "볼트 장력으로 보강된 철근콘크리트 기둥의 실험적 연구", 대한건축학회 춘계학술발표대회, 2003. 4. pp149~152
2. 이현호, 구은숙, "아라미드 섬유쉬트로 전단보강한 RC기둥의 성능평가에 관한 실험적 연구", 대한건축학회, Vol. 15, No. 6, 1996. 6. pp29~36
3. 권영웅, 정성철, "CFS로 횡보강된 철근콘크리트 기둥의 역학적 특성에 관한 연구", 한국콘크리트학회 봄 학술발표대회, 1999. pp743~749
4. 이용택, 나정민, 김승훈, 이리형, "탄소섬유쉬트로 전단보강된 철근 콘크리트 기둥의 거동", 대한건축학회, Vol. 18, No. 4, 2002. 4. pp19~26
5. 안재홍, 김진배, 장화균, 조철호, "강관으로 보강된 철근콘크리트 기둥의 구조거동에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 춘계학술발표대회, 1999. 4. pp159~164
6. 김병국, 최완철, "탄소섬유보강 철근콘크리트 보의 인성에 관한 연구", 대한건축학회 춘계학술발표대회, 1999. 4. pp123~128
7. 김종락, 김성배, 김선명, "고강도강 기둥 보 용접접합부의 보강방안에 관한 연구", 대한건축학회, 17권 12호, 2001. 12. pp101~106
8. FEMA 267, "Interim Guidelines: Evaluation, Repair, Modification and Design of Steel Moment Frames", Report No. SAC-95-02, SAC Joint Venture, 1995. 2.
9. FEMA 289, "Connection Test Summaries", Report No. SAC-96-02, SAC Joint Venture, 1997. 6.
10. FEMA 267b, "Interim Guidelines Advisory No.2 Evaluation, Repair, Modification and Design of Steel Moment Frames", Report No. SAC-99-01, SAC Joint Venture, 1999. 6.
11. 日本建築防災協會, "耐災建築物等の被災判断定基準および夏旧技術指針", 1992. 2.
12. 日本鋼構造協會, 日本建築防災協會, "既存鉄骨造建築物の耐震改修施工マニュアル", 1996. 1.
13. 建築防災協會, "耐震改修促進法のための既存鉄骨造建築物の耐震診断および耐震改修指針・同解説", 1996. 8.
14. 建設省建築研究所, (社)鋼材倶楽部, "鋼構造物の耐震保有性能評価のための標準試験方法と評価基準の提案", 1996. 12.

(接受: 2003. 3. 31)