

# 격자형 유닛 상세를 가진 단면증설공법으로 보강된 철근콘크리트 기둥의 하중가력패턴에 따른 구조성능평가

## An Evaluation of Structural Performance of Reinforced Concrete Column Retrofitted with Grid Type Unit Details of Jacketing Method under Loading Patterns

문 홍 비\*  
Moon Hong Bi

노 경 민\*\*  
Ro Kyong Min

이 영 학\*\*\*  
Lee Young Hak

### Abstract

The collapse of reinforced concrete (RC) frame buildings is mainly caused by the failure of columns. To prevent brittle failure of RC column, numerous studies have been conducted on the seismic performance of strengthened RC columns. Concrete jacketing method, which is one of the retrofitting method of RC members, can enhance strength and stiffness of original RC column with enlarged section and provide uniformly distributed lateral load capacity throughout the structure. The experimental studies have been conducted by many researchers to analyze seismic performance of seismic strengthened RC column. However, structures which have plan and vertical irregularities shows torsional behavior, and therefore it causes large deformation on RC column when subjected to seismic load. Thus, test results from concentric cyclic loading can be overestimated comparing to eccentric cyclic test results. In this paper, two kinds of eccentric loading pattern was suggested to analyze structural performance of RC columns, which are strengthened by concrete jacketing method with new details in jacketed section. Based on the results, it is concluded that specimens strengthened with new concrete jacketing method increased 830% of maximum load, 150% of maximum displacement and changed the failure modes of non-strengthened RC columns.

*Keywords : Concrete jacketing, Seismic strengthening, Torsion, Uni eccentric loading, Bi eccentric loading*

## 1. 서론

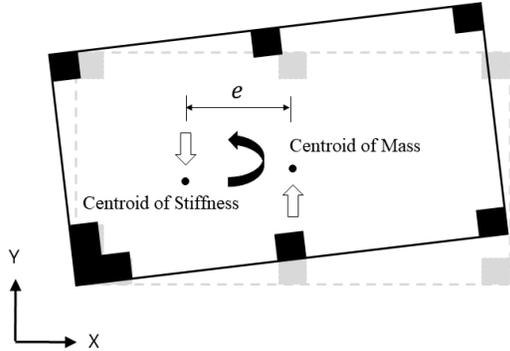
지진 발생 시 철근콘크리트(Reinforced Concrete, RC) 구조물에 과도한 횡력이 작용할 경우 RC 기둥의 취성적인 파괴가 야기될 수 있으며, 이는 곧 전체 구조물 이어진다. 특히 <Fig. 1>과 같이 강성중심과 질량중심이 다르거나, 연층이 존재하는 등과 같이 비정형성을 띠는 구조물은 지진하중으로 인해 압축, 휨, 전단뿐만 아니라 비틀림이 복합적으로 작용하게 된다. 이러한 경우, <Fig. 1(b)>와 같이 구조물에 과도한 변형이 발생하게

되어 기둥의 전단파괴를 유발하기 때문에 RC 기둥의 내진보강 시 비틀림에 대한 저항성능을 필수적으로 고려해야 한다.<sup>1)</sup>

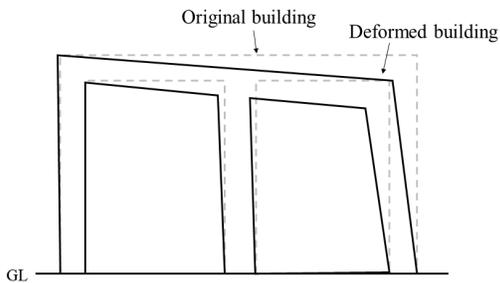
선행 연구자들은 기존 RC 기둥의 취성적인 파괴를 방지하기 위한 내진보강법을 제시해왔다<sup>1-6)</sup>. 그 중 단면증설공법은 기존 건축물의 기둥이나 보와 같은 RC 부재의 단면을 증설시켜 내진성능을 확보하는 공법으로, 부재 자체의 강도와 강성을 효과적으로 증진시킬 수 있어 가장 보편적으로 사용되고 있다. 따라서 본 연구의 선행 연구에서는 단면증설공법에 주목하여 기존 단면증설공법 대비 시공이 용이하고 비틀림에 효과적으로 저항할 수 있는 배근상세와 섬유보강모르타르를 이용한 새로운 공법을 제시하고 이에 대한 구조성능을 검증하였다. 이때 횡력으로 인해 발생하는 비틀림의 영향을 고려하기 위해 편심이 있는 횡력을 도입한 반복가력실험을 수행하였다<sup>2)</sup>. 본 연구의 선행연구에서는 한가지의 하중가력

\* 학생회원, 경희대학교 건축공학과, 석사과정  
Dept. of Architecture engineering, Kyung Hee University  
\*\* 학생회원, 경희대학교 건축공학과, 박사과정  
Dept. of Architecture engineering, Kyung Hee University  
\*\*\* 교신저자, 정회원, 경희대학교 건축공학과 교수, 공학박사  
Dept. of Architecture engineering, Kyung Hee University  
Tel: 031-201-3815 Fax: 031-204-3815  
E-mail: leeyh@khu.ac.kr

패턴만으로 제안상세의 거동을 평가하였으나, 하중가력 패턴에 따라 RC기둥의 거동은 매우 상이하다<sup>3,4)</sup>.



(a) Torsional deformation of irregular plane

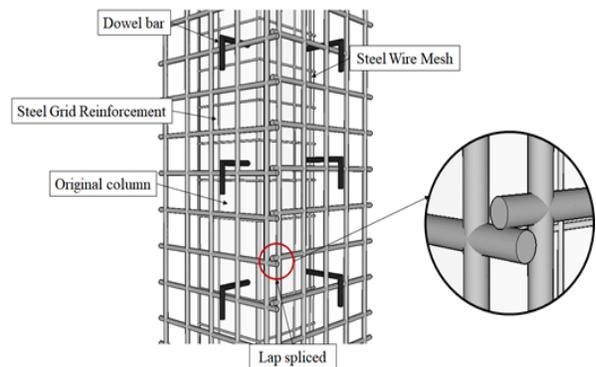


(b) Vertical deformation at torsional behavior  
 〈Fig. 1〉 Torsional behavior of irregular buildings

Rodrigues et al.(2015)는 하중가력패턴에 따른 기둥의 거동 및 손상 정도를 분석하기 위해 횡력이 작용하는 방향을 변수로 하여 반복가력실험을 수행하였다<sup>3)</sup>. 실험 결과, 하중경로가 기둥의 손상 발생 시점과 내력에 영향을 미치는 것을 확인하였다. Sadeghian et al.(2010)는 축력에 편심 거리를 설정하여 이축 힘을 받는 CFRP로 보강된 기둥의 실험적 연구를 수행하였다<sup>4)</sup>. 편심거리가 증가할수록 2차 효과로 인해 보강 기둥의 내력과 연성능력이 크게 저하되었다. 이는 복합적인 하중이 작용하는 기둥부재의 구조성능을 기존의 편심이 없는 하중가력패턴으로 수행된 반복가력실험 결과를 바탕으로 예측할 경우 구조성능이 과대평가 될 수 있음을 뜻한다. 따라서 본 연구에서는 비틀림이 발생하는 하중경로를 변수로 하여 선행연구에서 제안된 새로운 단면증설공법의 구조적 성능을 분석하였다. 이를 위해 축력 및 횡력에 편심거리를 설정하여 반복가력실험을 수행하였다.

## 2. 증설 단면의 보강 상세

선행연구<sup>2)</sup>에서 제안된 격자형 유닛 상세를 가진 단면 증설공법의 상세는 〈Fig. 2〉와 같다. 보강 기술의 주요 특징은 격자형 유닛인 Steel Grid Reinforcement(SGR)와 Steel Wire Mesh(SWM)로 구성되어 기존 단면증설공법의 복잡한 공정과 추가적인 배근의 어려움을 개선하고, 부착성능을 확보할 수 있다는 점이다. SGR은 주철근과 외부 띠철근 역할을 수행하며, SWM은 기존 기둥과 증설 단면간의 부착을 위해 사용된다. 다월 철근은 기존 기둥과 증설 기둥의 일체화 거동을 위해 사용되며, 증설단면은 보강 기둥의 균열 제어 및 변형 능력 증진을 위해 강섬유를 혼입된 무수축 모르타르인 Steel Fiber Non shrinkage Mortar(SFNM)으로 증설된다. SGR은 촘촘한 배열의 이형철근들로 이루어져 전단 및 비틀림에 저항할 수 있게 설계되었으며, SFNM은 과도한 비틀림 저항력에 의한 콘크리트 압축파괴를 방지하고 균열을 제어한다.



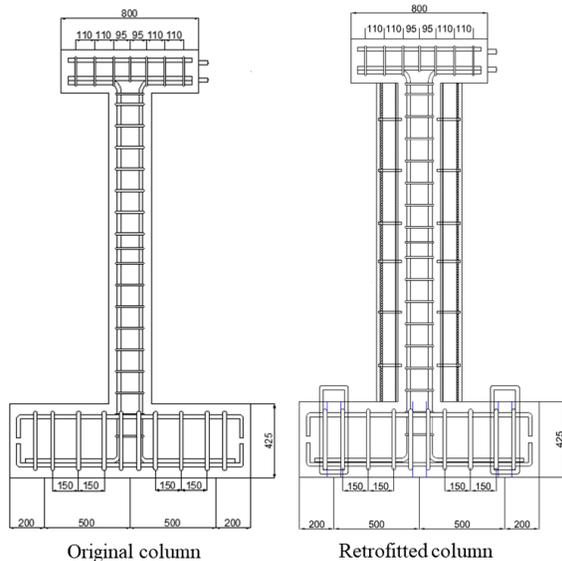
〈Fig. 2〉 Retrofitting technique

## 3. 반복가력실험 개요

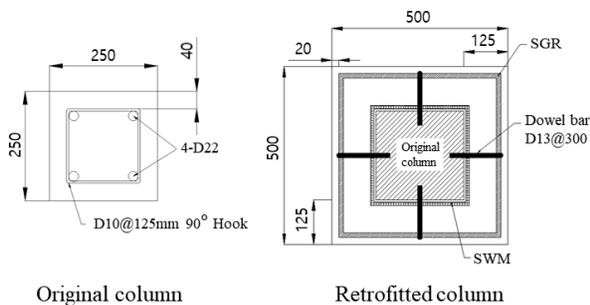
### 3.1 시험체 상세

격자형 유닛 상세가 적용된 단면증설공법의 내진성을 평가하고 하중의 경로에 따른 거동을 분석하고자 비내진 설계를 갖는 철근콘크리트 기둥 시험체 2개와 격자형 유닛상세가 적용된 기둥 시험체 2개를 제작하였다. 이때 비틀림이 발생하는 하중의 경로는 축력과 횡력의 편심 유무를 통해 비틀림이 발생하는 축을 변화시킴으로써 고려되었다. 횡력에만 편심이 있는 하중가력패턴은

Uni eccentric loading, 축력과 횡력 모두 편심이 있는 하중가력패턴은 Bi eccentric loading으로 명명하였다. 무보강 기둥 시험체와 보강 기둥 시험체는 하중가력패턴에 따라 각각 CU, CB와 CJU, CJB로 명명하였다. <Fig. 3, 4>에는 무보강 시험체와 보강 시험체의 상세도면을 나타내었으며, <Table 1>에는 시험체 별 상세를 정리하였다.



<Fig. 3> Details of unstrengthened and strengthened specimens



<Fig. 4> Section details of unstrengthened and strengthened specimens

<Table 1> Specimen details

Specimen	Loading method	b×h×l (mm)	Strengthening
CU	Uni	250×250×1800	Un-strengthened
CB	Bi	250×250×1800	Un-strengthened
CJU	Uni	500×500×1800	Strengthened
CJB	Bi	500×500×1800	Strengthened

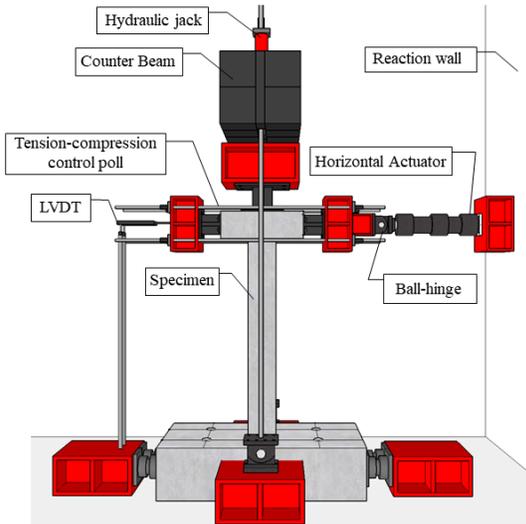
무보강 기둥 시험체는 ACI 318-19<sup>7)</sup>에서 규정하고 있는 콘크리트 피복 두께 규정 및 철근배근 규정을 고려하기 위해 250mm×250mm의 단면과 높이 1800mm를 갖는 기둥에 4개의 D22의 주근과 D10의 90도 폐쇄형 외부 띠철근을 125mm 간격으로 배근하였다. 주근과 외부 띠철근의 항복강도는 400MPa이며, 기둥과 상부 보에는 압축강도 24MPa, 기초에는 27MPa의 콘크리트를 사용하였다. 시험체의 기초와 상부 보의 시험체의 고정과 축력 및 횡력 가력을 위해 제작되었다.

격자형 유닛 상세를 갖는 단면증설공법이 적용된 철근콘크리트 기둥 CJU와 CJB의 경우, 격자형 유닛 상세 및 다월 철근 배근을 고려하여 증설 두께를 125mm로 설정하였다. 따라서 CJU와 CJB는 500mm×500mm의 단면과 높이 1800mm를 갖는다. 증설 단면에 타설된 SFNM은 압축강도 40.1MPa의 무수축 모르타르에 1.5%의 혼입물로 강섬유를 첨가하였다. 강섬유는 더블 아치 형으로 최대 인장강도는 1250MPa이며, 길이 18mm, 지름 0.34, 형상비 0.019를 갖는다. 증설된 단면에 배근된 SGR은 D13의 종방향 및 횡방향 철근이 100mm×100mm의 격자로 이루어져 종방향 철근은 주근의 역할을 수행하며, 횡방향 철근은 전단철근 역할과 동시에 비틀림에 저항하여 콘크리트의 압축 파괴를 방지한다.

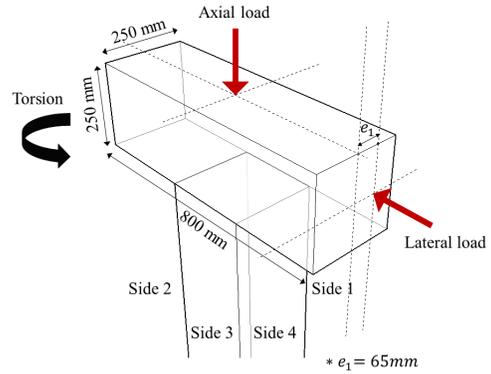
### 3.2 실험 방법 및 가력 상세

반복가력실험을 수행하기 위한 시험체 세팅도와 비틀림회전각을 측정하기 위한 변위 측정계(Linear Variable Displacement Transducer, LVDT)의 위치를 <Fig. 5>에 나타내었다. 횡력 가력을 위한 액츄에이터를 상부 보에 설치하였으며, 상부 보 윗면에는 유압잭을 사용하여 축력비 17%인 255kN을 지속적으로 도입하였다. 횡력 가력에 도입된 하중 프로토콜은 ACI 374.1-05<sup>8)</sup>에 따라 층간변위비 0.2%부터 점진적으로 증가하는 방식으로 <Fig. 6>에 나타내었다. 본 연구에서는 <Fig. 7>과 같이 축력과 횡력의 편심 유무를 통해 기둥에 작용하는 비틀림의 영향을 변화시켰다. Uni eccentric loading은 횡력에만 편심이 작용하여 비틀림이 발생하며, Bi eccentric loading은 비틀림과 함께 축력에 작용하는 편심으로 인해 Uni eccentric loading에 비해 추가적인 휨모멘트가 발생하게 된다. 축력과 횡력의 편심 거리는 65mm로, 무

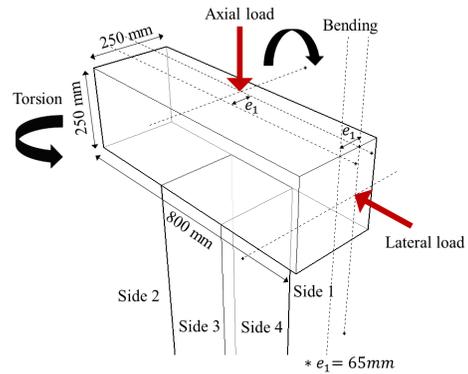
보강 기둥 시험체의 단면을 기준으로 인장력을 발생시키는 핵반경을 초과하는 거리로 설정하였다. <Fig. 7>에 나타난 Side 1~Side 4는 식별의 편의를 위하여 횡력 가력을 위한 액츄에이터가 설치된 단면이 Side 1이며, 시계 반대 방향을 따라 명명하였다.



<Fig. 5> Test setup

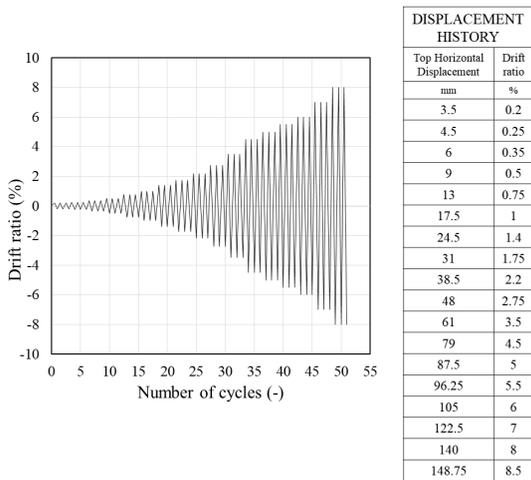


(a) Uni eccentric loading



(b) Bi eccentric loading

<Fig. 7> Eccentric loading pattern



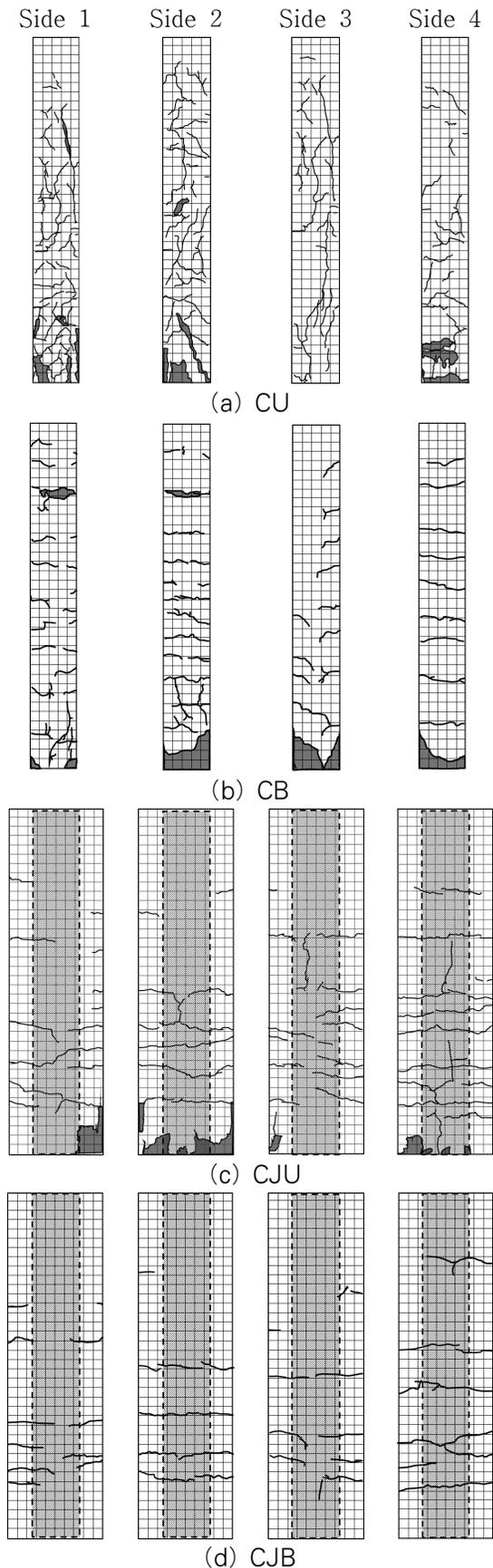
<Fig. 6> Loading protocol

## 4. 실험 결과 및 고찰

### 4.1 균열 및 파괴양상

반복가력실험에 따른 각 시험체별 최대층간변위비에 서의 최종 파괴 양상과 균열들을 <Fig. 8>에 나타내었다. 보강 시험체 CJU와 CJB의 균열도에는 기존 기둥의 위치를 점선으로 표시하였다.

Uni eccentric loading을 가력한 무보강 시험체 CU는 층간변위비 1%에서 기둥 하단에 초기균열이 발생하였다. 이후 층간변위비 2.2%에서 기둥 중앙부에 첫 전단 균열이 발생하였으며, 층간변위비가 증가함에 따라 휨균열들의 폭이 넓어지고 기존 균열들 사이로 전단균열의 개수 및 폭이 증가하였다. 최대하중 발생 지점인 층간변위비 2.75%에서는 기둥 하단부에서 콘크리트가 박리되었다. 최종적으로 층간변위비 4.5%에 도달했을 때, 급격한 하중 감소와 함께 실험을 종료하였다. Bi eccentric 하중을 가력한 무보강 시험체 CB의 경우, 층간변위비 0.75%에서 초기균열이 발생하였고, 층간변위비 1.4%에



〈Fig. 8〉 Crack patterns of specimens

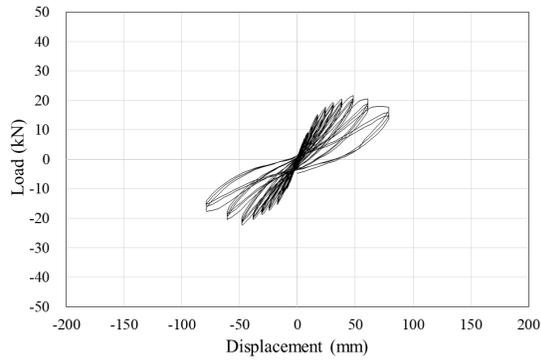
서 첫 전단균열이 발생하였다. 층간변위비 3.5%에서 최대하중에 도달하면서 기둥 하단부의 콘크리트의 박리가 시작되었다. 최종적으로 층간변위비 5.5%에서 콘크리트 박리의 심화로 인한 기둥-기초 접합부 파괴가 진행되어 실험을 종료하였다. CB는 CU 대비 많은 수의 전단균열이 발생하지 않았지만, 기둥 하단의 콘크리트 박리 면적이 넓음을 확인하였다.

Uni eccentric loading을 가력한 보강 시험체 CJU와 Bi eccentric loading을 가력한 보강 시험체 CJB는 층간변위비 0.25%에서 기둥 하단에 초기 휨균열이 발생하였으며, 각각 층간변위비 1%, 0.75%에서 첫 전단균열이 발생하였다. 이후 최대 층간변위비 까지 CJU와 CJB 모두 CU와 CB에 비하여 급격한 균열진전양상은 관찰되지 않았다. 이는 SGR의 횡방향 철근이 비틀림에 저항하였으며, SFNM 내의 강섬유가 전단균열 발생을 억제하였기 때문이다. CJU는 층간변위비 8%에서 기둥 하부에 SFNM의 박리와 압괴가 관찰된 반면, CJB는 SFNM의 박리와 압괴는 관찰되지 않았다. 하지만, CJB는 층간변위비 2.75%, CJU는 층간변위비 3.5%에서 기초 상부면의 균열 발생을 확인하였다. 이는 층간변위비가 증가함에 따라 기초 상부면이 편심이 있는 횡력과 축력으로 인해 발생하는 비틀림과 휨으로 인해 기둥-기초 접합부에 집중된 응력이 CJU 대비 CJB가 더 컸기 때문이라고 판단하였다. 이후 CJU는 층간변위비 8.5%, CJB는 6%에서 급격한 하중 저하로 인해 실험을 종료하였다.

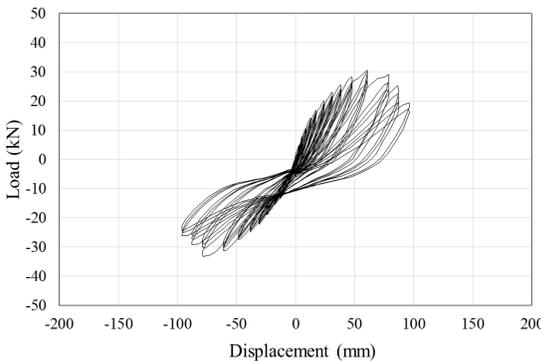
하중가력패턴에 따른 시험체의 균열양상을 분석한 결과, 하중가력패턴에 따른 복합하중이 균열 발생 시점 및 시험체의 파괴모드를 변화시킴을 알 수 있었다. 이는 Uni eccentric loading의 경우, 축력과 횡력의 축이 일치하지 않는 반면, Bi eccentric loading은 편심이 있는 축력과 횡력의 가력 축이 일치하여 기둥에 작용하는 비틀림의 영향이 감소하였다고 판단하였다.

#### 4.2 하중-변위 관계

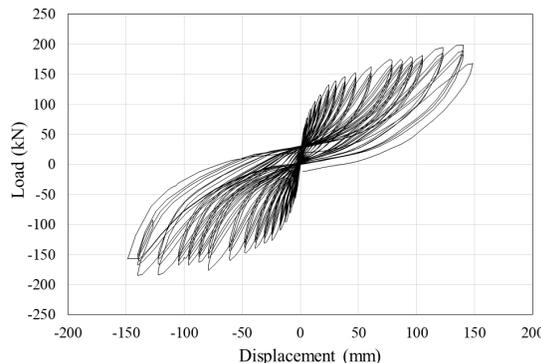
시험체의 하중-변위 이력곡선과 정, 부방향 최대 하중 및 최대변위를 각각 〈Fig. 9〉과 〈Table 2〉에 나타내었다. CU의 경우, 층간변위비 2.75%에서 최대 하중 22.26kN에 도달하였으며, 층간변위비 4.5%에서 최대하중의 85% 이하로 하중이 감소하면서 기둥이



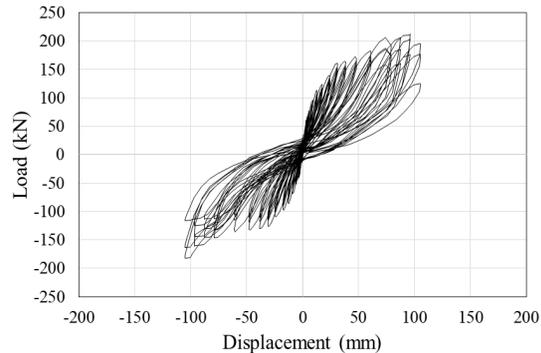
(a) CU



(b) CB



(c) CJU



(d) CJB

〈Fig. 9〉 Load-displacement curve of specimens

취성적으로 파괴되었다. 이는 층간변위비가 증가함에 따라 비틀림의 영향이 커져 강성이 급격하게 저하되었기 때문이다. CB의 경우, 층간변위비 4.5%에서 최대하중 33.32kN에 도달하였고, 이후 층간변위비가 증가함에 따라 하중이 점진적으로 감소하다가 층간변위비 5.5%에서 하중이 최대하중의 85%이하로 감소하며 실험을 종료하였다. CJU는 층간변위비 8%에서 최대하중 198.32kN에 도달하였으며, 이후 층간변위비 8.5%에서 하중이 168.57kN까지 감소하여 실험을 종료하였다. CJB는 층간변위비 4.5%에서 최대하중 212.45kN에 도달하였으며, 층간변위비 6%에서 190.67kN까지 감소하여 실험을 종료하였다. 모든 시험체에서 Uni eccentric loading 대비 Bi eccentric loading에서 동일 층간변위비에서 CJU 대비 저항한 하중이 증가하였음을 확인하였다. 이는 기둥에 축력이 있는 편심이 작용하여 발생 되는 추가적인 휨모멘트로 인해, 동일 층간변위비 발생을 위한 하중이 증가된 것으로 판단된다.

〈Table 2〉 Maximum load and displacement from test result

Specimen	Maximum load (kN)		Maximum displacement (mm)	
	+ P	- P	+ Δ	- Δ
CU	21.61	-22.26	79.08	-79.08
CB	30.66	-33.32	96.35	-96.28
CJU	198.32	-184.75	148.76	-148.75
CJB	212.45	-182.29	105.06	-105.03

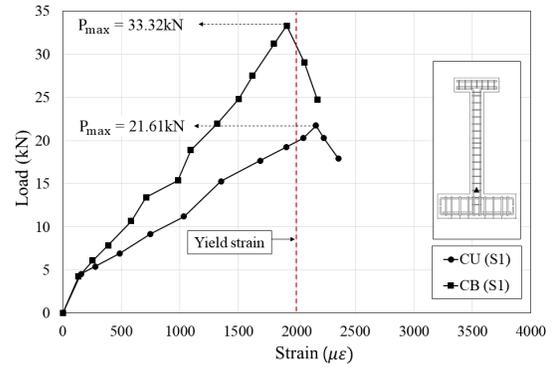
### 4.3 변형률 양상

Side 1에 배치된 종방향, 횡방향 철근의 하중 증가에 따른 변형률 양상을 각각 〈Fig. 10〉과 〈Fig. 11〉에 나타내었다. 〈Fig. 10(a)〉에 따르면 CU의 주철근은 최대하중 도달 시점에서, CB는 최대하중에 도달하기 직전인 층간변위비 3.5%에서 항복하였다. 〈Fig. 10(b)〉에서 R1-1은 기존 기둥의 주철근, RM-1은 증설단면에 배근된 SGR의 종방향 철근에 부착된 게이지를 의미한다. CJU의 경우, R1-1과 RM1-1 R1-1 모두 최대하중 시점인 층간변위비 8%에서 항복하였으나, CJB의 경우 모두 최대하중에 도달하기 이전인 층간변위비 3.5%에서 항복함을 확인하였다. 모든 시험체에서 Bi eccentric loading은

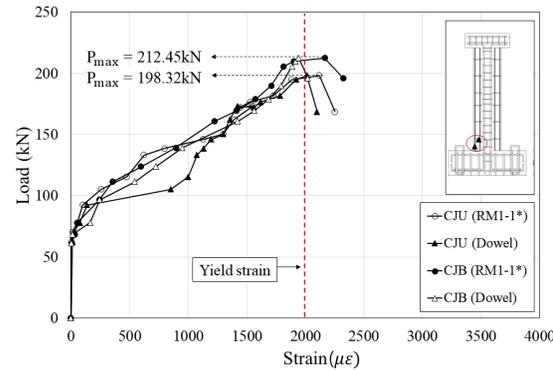
기둥의 주철근과 증설단면에 배근된 SGR 횡방향 철근의 항복 시점을 가속화 시킴을 확인하였다.

〈Fig. 11(a)〉에서 기둥 하부 띠철근에 부착된 게이지 S1에 따르면, CU의 띠철근은 최대하중 시점 이전에 항복한 반면에 CB는 점진적으로 증가하는 양상을 보이다가 최대하중 시점 이후에 항복하였다. 〈Fig. 11(b)〉에서는 CJU와 CJB의 SGR 횡방향 철근과 다월 철근의 변형률 증가 양상을 나타내었다. CJU의 경우, SGR 횡방향 철근이 최대하중 시점까지 항복하지 않았지만, 보강 상세의 다월 철근이 최대하중 시점에서 항복했음을 확인하였다. CJB의 경우, SGR 횡방향 철근과 다월 철근 모두 변형률이 증간변위비 증가에 따라 점진적으로 증가하는 양상을 보이다가 최대하중 시점에서 항복하였다.

모든 시험체에서 하중가력패턴에 따른 종방향과 횡방향 철근의 항복 시점에 차이가 발생하였는데, 이는 Bi eccentric loading의 축력에 편심 거리가 고려되어 띠철근이 압축력에 저항하는 면적이 작아짐에 따라 구속효과



(a) CU, CB



(b) CJU, CJB

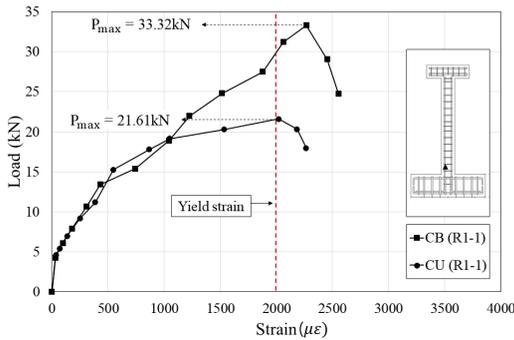
〈Fig. 11〉 Strains of Transverse reinforcement

가 감소하였기 때문인 것으로 판단된다. 한편, 보강 시험체들간의 변형률 증가 양상이 유사하였고, 다월 철근과 SGR 횡방향 철근이 최대하중 발생 사이클에서 항복한 것을 미루어 보아 제안된 상세가 비틀림에 효과적으로 저항한 것으로 판단하였다.

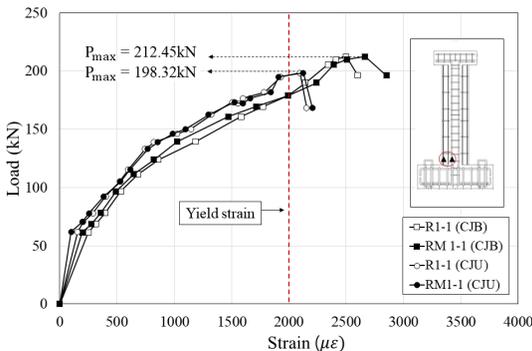
#### 4.4 비틀림모멘트-비틀림회전각 관계

RC 기둥에 작용하는 비틀림에 대한 거동양상 및 제안공법의 비틀림 저항성능을 분석하고자 하였다. 이를 위해 각 시험체의 비틀림 모멘트와 비틀림회전각의 관계를 확인하였다. 이때 비틀림 모멘트와 비틀림회전각은 각각 식(1)과 식(2)와 같이 산정되었다. 비틀림회전각 산정을 위해 〈Fig. 12〉와 같이 기둥 상단에 설치된 LVDT 1, 2의 변위인  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$ 와 LVDT 간의 수평 간격이 사용되었다.

$$M_T = P \times e_L \times \cos\theta_T \quad (1)$$



(a) CU, CB

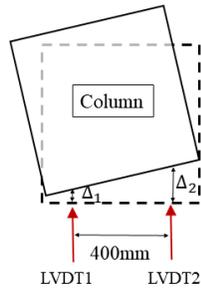


(b) CJU, CJB

〈Fig. 10〉 Strains of Longitudinal reinforcement

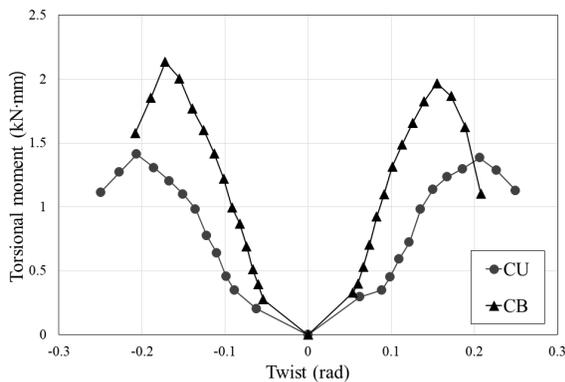
$$\theta_T = \tan^{-1} \left\{ \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{d} \right\} \quad (2)$$

이때,  $M_T$ 는 비틀림모멘트,  $P$ 는 시험체에 가력된 횡력,  $e_L$ 은 횡력의 편심 거리,  $\theta_T$ 는 비틀림회전각이다.

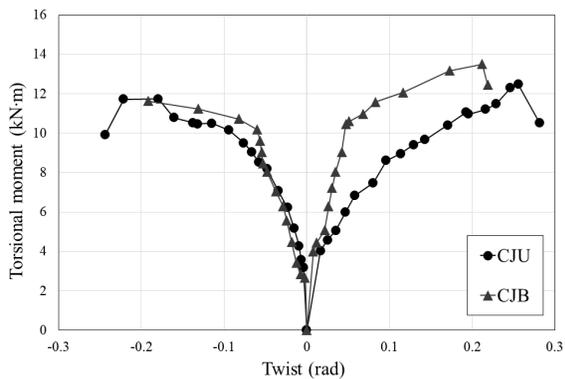


〈Fig. 12〉 Torsional moment of specimens

시험체별 비틀림회전각에 따른 비틀림 모멘트를 〈Fig. 13〉에 나타내었으며, 〈Table 3〉에 시험체 별 최대 비틀림모멘트와 최대 비틀림회전각을 정리하였다. 최대 비틀림모멘트의 경우 CB가 CU 대비 29% 증가하였지만 최대 비틀림회전각은 CU가 17% 증가하였음을 확인하였



(a) CU, CB



(b) CJU, CJB

〈Fig. 13〉 Torsional moment-twist relation of specimens

다. CJB 또한 CJU 대비 최대 비틀림모멘트가 8% 증가하였으며, 최대 비틀림회전각은 CJU이 32% 증가하였다. 이는 Bi eccentric loading의 횡력과 축력의 축이 일치함에 따라 기둥에 작용하는 비틀림의 영향이 감소하여 Uni eccentric loading을 가력한 시험체와 동일한 회전각을 유발하기 위해서는 비틀림 모멘트가 증가하여야하기 때문이다. 〈Table 3〉에 나타난 하중패턴별 무보강 시험체 대비 증진된 보강 시험체의 성능을 비교했을 때, 보강 시험체들은 격자형 유닛 상세의 SGR과 다월 철근을 통해 같은 비틀림회전각을 가질 때 무보강 시험체 대비 큰 비틀림에 저항했다고 판단하였다.

〈Table 3〉 Maximum torsional moment and twist of all specimens

Specimen	$M_{T, Max}$ (kN · m)	$\theta_{T, Max}$ (rad)	Strengthened ratio compare to control	
			$M_{T, Max}$	$\theta_{T, Max}$
CU	1.41	0.2495	-	-
CB	1.82	0.2081	-	-
CJU	12.47	0.2815	8.84	1.13
CJB	13.50	0.2122	7.42	0.02

## 5. 결론

본 연구에서는 격자형 유닛 상세가 적용된 단면증설 공법으로 보강된 철근콘크리트 기둥의 하중가력패턴 별 거동 및 보강 효과를 분석하였다. 연구의 주요 결론은 다음과 같다.

1) 보강 시험체 CJU와 CJB의 무보강 시험체 CU, CB 대비 각각 평균 90%, 10% 이상 증가한 최대변위 발생 시점과 하중가력패턴에 따른 복합하중이 균열 발생 시점 및 시험체의 파괴모드를 변화시킴을 확인하였다. CU 시험체에서는 전단균열이 다수 분포되었었고, CB 시험체에서는 기둥 하단 콘크리트의 박리가 크게 발생하였다. CJU와 CJB의 경우, 각각 CU, CB 대비 균열과 그 폭이 감소 되었음을 확인하였다. 이에 따라, Uni eccentric loading의 경우, 축력과 횡력의 축이 일치하지 않는 반면, Bi eccentric loading은 편심이 있는 축력과 횡력의 가력 축이 일치하여 기둥에 작용하는 비틀림의 영향이 감소하였다고 판단하였다.

2) CJU의 최대하중과 변위는 CU 대비 각각 약

920%, 190% 증가하였으며, CJB의 최대하중과 변위는 CB 대비 약 740%, 110%로 증가하였다. 모든 시험체에 서 Uni eccentric loading 대비 Bi eccentric loading에 서 동일 층간변위비에서 CJU 대비 저항한 하중이 증가 하였음을 확인하였다. 이는 기둥에 축력이 있는 편심이 작용하여 발생 되는 추가적인 휨모멘트로 인해, 동일 층 간변위비 발생을 위한 하중이 증가된 것으로 판단된다.

3) 시험체별 종방향 철근과 횡방향 철근의 변형률 증 가 양상을 분석하였다. 하중가력패턴은 모든 시험체의 종방향 철근과 횡방향 철근의 항복 시점의 차이를 발생 시켰다. 따라서, 기둥 설계 시 하중경로에 따른 영향이 고려되어야 할 것으로 사료된다. 한편, 보강 시험체간의 변형률 증가 양상이 유사하였고, 다월 철근과 SGR 횡방 향 철근이 최대하중 발생 사이클에서 항복한 걸로 미루 어 보아 제안된 상세가 비틀림에 효과적으로 저항한 것 으로 판단하였다.

4) 비틀림모멘트와 비틀림회전각의 관계를 통해 Uni eccentric loading과 Bi eccentric loading이 기둥 시험 체에 미치는 비틀림의 영향을 분석하였다. 보강 시험체 들은 무보강 시험체들 대비 최대 비틀림 모멘트는 약 813% 증진되면서, 최대 비틀림회전각의 차이는 약 7.5%를 유지했기 때문에 보강 시험체들이 비틀림에 효 과적으로 저항하였다고 판단된다.

### 감사의 글

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2020R1A2C2009351).

### References

1. Yoo, S. H., & Kim, D. G., "Analytical study on the seismic retrofit method of irregular piloti building using knee-brace", Journal of the Korea institute for structural maintenance and inspection, Vol.24, No.1, pp.35~42, 2020, doi: 10.11112/jksmi.2020.24.1.35
2. Moon, H. B., Lee, J. I., & Lee, Y. H., "An evaluation of structural performance of reinforced concrete column retrofitted with

- grid type unit details of jacketing method", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.22, No.1 pp.41-49, 2022, doi: 10.9712/KASS.2022.22.1.41
3. Rodrigues, H., Furtado, A., & Arede, A., "Behavior of rectangular reinforced-concrete columns under biaxial cyclic loading and variable axial loads", Journal of Structural Engineering, Vol.142, No.1, 2016, doi: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001345
4. Sadeghian, P., Rahai, A. R., & Ehsani, M. R. , "Experimental study of rectangular RC columns strengthened with CFRP composites under eccentric loading", Journal of Composites for Construction, Vol.14, No.44, pp.443~450, 2010, doi: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000100
5. Thermou, G. E., Papanikolaou, V. K., & Kappos, A. J., "Flexural behaviour of reinforced concrete jacketed columns under reversed cyclic loading". Engineering Structures, Vol.76, pp.270~282, 2014, doi: 10.1016/j.engstruct.2014.07.013
6. Sakr, M. A., El Korany, T. M., & Osama, B., "Analysis of RC columns strengthened with ultra-high performance fiber reinforced concrete jackets under eccentric loading", Engineering Structures, vol.220, 2020, doi: 10.1016/j.engstruct.2020.111016
7. ACI committee, Building code requirements for structural concrete and commentary (ACI318-19), American Concrete Institute, 2019.
8. ACI committee, Acceptane criteria for moment frames based on structural testing and commentary(ACI374.1-05), American Concrete Institute, 2005.

- Received : May 15, 2022
- Revised : June 13, 2022
- Accepted : June 14, 2022