

# 신보강재로 보수 보강한 기둥의 구조 성능 개선

## Structural Performance Enhancement of Seismic Retrofitted Column Using New Reinforcing Materials

오 창 학\*                      한 상 환\*\*                      이 리 형\*\*\*  
Oh, Chang-Hak              Han, Sang-Whan              Lee, Li-Hyung

### Abstract

Reinforced concrete frame buildings in regions of low to moderate seismicity are typically designed only for gravity loads with non-seismic detailing provisions of the code. These buildings possess strong beam-weak column, which brings about the brittle structural performance like the column sidesway failure mechanism during the strong lateral load. The objective of this paper is to enhance the column strength and deformation capacity for reconfiguring the structural failure mode by averting a column soft-story collapse and moving to a more ductile beam-sides way mechanism using new reinforcing materials. Aramid fiber sheet and reinforcing rod-composite materials was used for this purpose.

The column was modeled by the 2/3 scale experimental specimen retested. According to the concept of the capacity design, the damaged column was strengthened by the column jacketing using new reinforcing materials such as rod-composite materials.

In conclusion, the improvement of the flexural strength is observed and the capacity of the energy dissipation and the ductility is enhanced, too.

**keywords** : Seismic Detailing, Reinforcing Rod, Aramid Fiber Sheet, Column Sidesway, Beam-sides Way, Capacity Design

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경

콘크리트 구조물이 사용 년한 중 효율적으로 사용되고, 그 기능을 충분히 발휘하기 위해서는 구조물의 안정성 검토와 아울러 적절한 보수 및 보강을 실시하여야 한다.

\* 한양대학교 박사과정

\*\* 한양대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

\*\*\* 한양대학교 건축공학과 교수, 공학박사

● 본 논문에 대한 토의를 2001년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 2001년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

구조물의 보수보강을 위한 요인으로는 관련법규의 강화, 부실시공, 사용하중의 증가, 구조물의 용도변경 및 자연재해 등을 들 수 있으며, 최근에는 지진발생의 우려와 함께 중·약진 지역의 내진설계에 대한 관심이 높아지면서 내진 설계기준의 정비와 아울러 구조물의 내진 성능향상을 위한 보수 보강 방법에 대한 연구가 많이 진행되고 있는 실정이다.

특히, 기존에 존재하는 대부분의 모멘트 골조건물들의 특성은 지진과 같은 횡하중이 아닌 중력하중에 의해서 설계되어져 왔기 때문에 지진에 취약한 강함보-약한기둥 형식의 시스템을 지니고 있다. 이러한 건물들은 외국의 강진 피해 사례를 통해서도 확인 할 수 있듯이 강한 횡하중 작용시 기둥의 소성힌지 발생이 진행되는 취성적인 기둥붕괴형 파괴모드를 지니고 있으며, 이는 구조물의 갑작스런 붕괴와 같은 심각한 피해상황을 일으키게 된다. 따라서, 구조물의 내진성능향상을 위한 기둥의 내력 증가는 약기둥-강보형식의 구조물을 강기둥-약보형식의 구조물로로의 전환을 의미하며, 이는 내진설계에서 지향하고 있는 바람직한 파괴모드인 구조물의 보붕괴형 파괴의 발생을 목적으로 한다.

## 1.2 연구내용 및 목적

기존 건물의 보수보강에 있어 내진성능의 향상은 현재의 내진설계 기준에 맞추어 재 설계하기보다는 기존 건물의 내진 성능향상을 통하여 지진에 의한 붕괴형태를 바람직하게 바꿈으로써 인명보호라는 기존의 내진설계 이념을 만족시키는 것이다. 이러한 보수보강의 한 방법으로 기존의 철근콘크리트나 강재골 이용한 단면 증설법과 조적벽 삽입이나 추가적인 전단벽, 가새 골조를 이용하여 보강하는 방법이 있다.

최근에는 신재료를 사용한 많은 보수·보강 방법들이 소개되고 있으며, 이들은 시공성, 경량성, 경제성 등의 장점으로 인해 기존의 건축재료를 점차 대체하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 손상된 철근콘크리트 기둥의 보수·보강 방법이 있어서 신재료를 적용함으로써 신재료의 보강효과와 보수·보강된 실험체의 구조 성능 향상을 평가하고자 하였다.

## 2 실험체 계획

### 2.1 대상건물 선정

본 연구에서는 ACI-318에 의해 배근된 RC 기둥에 대해 1차 실험하여 기둥의 성능을 파악하고, 손상된 기둥을 보수·보강하여 재실험하였다. 보수·보강의 목표는 보에서 소성힌지가 발생하는 보붕괴형으로 하였다. 이를 위해 연구대상 건물을 전형적인 3층 사무실 건물로 선정하여 원실험체 기둥을 설계하였으며, 보수·보강시 대상 건물의 보부재의 내력을 검토하여 보강량을 산정하였다. 대상건물에 대한 개요는 아래 Fig. 1과 같다.

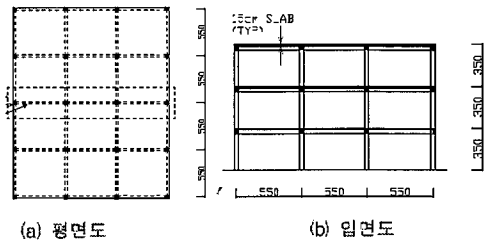


Fig. 1 대상건물 (unit : mm)

### 2.2 기둥 설계

본 연구의 비교 실험대상인 원실험체의 기둥은 대상 건물의 내부 허부 기둥으로 선정하였으며, 2/3 축소모델을 고려하여 단면적을 적용하였으며, 단면에 배근될 주철근에 대해서는 ACI 기준에 의해 최소 철근비인 1%에 근접시켜 설계하였다.

기둥의 보수·보강은 원실험체 기둥의 휨내력 및 연성의 증진에 그 주안점을 두었으며, 이는 기둥의 휨내력의 증가로 인해 보에서 소성 힌지의 발생을 유도하려는 것이다. 기둥의 휨내력의 증진을 위해서 신 보강재를 이용하여 기둥을 단면을 증설하였으며, 내력설계법(capacity design)의 기본개념에 입각하여 계획하였다. 능력설계법은 뉴질랜드의 콘크리트 기준에서 처음 제시되었으며, ACI 318 기준(1999) 또한 내력설계의 원리를 다음 식을 통하여 제시하고 있다.

$$\sum M_e \geq (6/5) \sum M_g \quad (1)$$

여기서,

$\sum M_e$ : 보 기둥 접합부에서 기둥에 생기는 모멘트들의 합

$\sum M_g$ : 보 기둥 접합부에서 보에 생기는 모멘트들의 합

따라서, (1) 식에 따라 손상된 원실험체 기둥의 휨내력이 보의 전체 휨내력의 1.2배 이상이 되도록 보수·보강을 계획되었다.

## 2.3 기둥의 보수·보강

### 2.3.1 보수보강

손상된 콘크리트 기둥의 보수, 강도 증진, 연성능력의 향상을 위한 단면증설의 한 방법인 기둥 자켓팅(jacketing) 방법을 적용하였다. 일반적으로 철근 콘크리트를 이용한 기둥의 자켓팅은 기둥 주위에 추가적인 주근을 배근하고 좁은 간격의 횡보강근을 시공한 후 콘크리트를 사용하여 보강하는 방법이다. 하지만, 본 연구에서는 철근 콘크리트를 이용한 기둥 자켓팅 대신에 탄소섬유를 이용해 만든 복합섬유 봉을 주철근 대용으로 사용하였고, 콘크리트의 구속과 전단보강을 위한 횡보강근에 대해서는 아라미드 섬유를 사용하였다.

1차실험에 의해 손상된 원실험체 기둥의 크레부위는 부분적인 에폭시 주입을 통하여 보수되었으며, 소성 변형이 일어난 기둥 하부의 콘크리트는 모두 제거된 후에, 기둥 주위에 복합섬유 봉을 주근에 정착시켜 시공하였다. 복합섬유 봉(rod) 시공 후 고강도 모르타르를 사용하여 자켓팅을 실시함에 따라, 기둥의 단면은 22x22(cm)에서 28x28(cm)로 증설되었다. 단면증설 이후 아라미드섬유를 기둥 전체 높이에 걸쳐 1겹으로 감아 시공하였다.

원실험체와 보수·보강 실험체 일람 및 배근 상세는 각각 Table 1과 그림 Fig. 2에 나타내었다.

### 2.3.2 보강량 산정

탄소 섬유계 복합섬유 봉의 산정은 식(1)에 의해 내부 접합부의 하부 기둥에 필요한 내력을 산출하여 철근 콘크리트 기둥으로 설계한 후 필요한 철근량을 인장력으로 환산하여 결정하였다. 복합섬유 봉의 인장강도는 보통 철근의 인장강도에 비해 4배 이상의 강도를 발휘함을 고려하여 인장력 환산시 8개의 D6못드가 산정되었다. 아라미드 섬유의 보강량은 원실험체 hoop 철근에 대한 전단 보강비로 환산하여 결정하였다. 사용재료의 특성 및 설계강도를 Table 2, 3, 4에 나타내었다.

Table 1 실험체 일람

실험체	단면	구분	시험체 배근	
			OC	22*22
OC-R	28*28	보강	Longitudinal	8-D6 못드사용
			Transvers	아라미드 1겹 사용

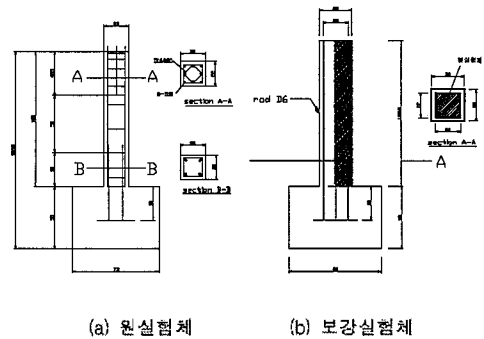


Fig. 2 실험체 배근상세

Table 2 사용재료의 특성

종류	인장강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	탄성계수 (×10 <sup>6</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	두께/시류 (mm)
복합섬유봉	19,000	0.949	6.0
아라미드섬유	22,250	1.13	0.307(두께) 17.5(너비)
D13	4,046	2.17	-
D6	3,614	1.82	-

Table 3 실험체의 휨강도비

specimen	배근	공칭강도(tf-m)	Ratio
OC-R	8-D6(rod)	8.41	2.24211
OC	4-D13	3.75	-

1 : 보강실험체 / 원실험체

Table 4 실험체의 전단보강비

Specimen	$p_w$ (%)	$f_p p_w$ (%)	$\sum p_w(1)$
OC-R	-	0.219	1.2
OC	0.75	-	0.75

$$\sum p_w(1) = p_w + \frac{f_{\sigma_u}}{w \sigma_y} \times f_p p_w$$

$p_w$  : shear reinforcement ratio of hoops

$f_p p_w$  : shear reinforcement ratio of sheets

$f_{\sigma_u}$  : tensile strength of sheets

$w \sigma_y$  : yield strength of hoops

$fE$  : young's modulus of sheets

$wE$  : young's modulus of hoops

### 2.3 가력 계획 및 실험체 설치

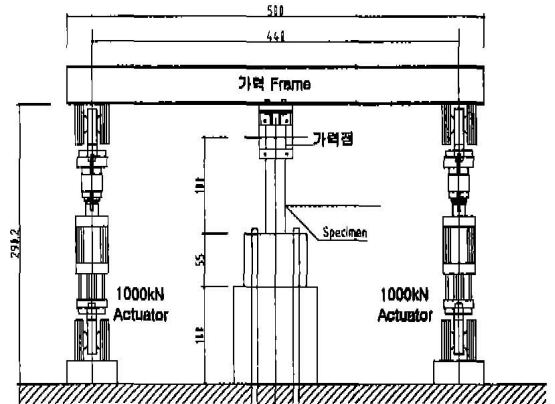
#### 2.3.1 가력계획 및 실험체 설치

기둥 실험체를 위한 개략적인 가력 장치도는 Fig. 3 과 같다. 축력을 위한 actuator 와의 높이 조정을 위해 기둥 실험체 하부에 100cm×100cm×100cm 의 콘크리트 블록을 설치하고 기둥에 가할 축력을 위해 가력프레임 H-400×400×19×21을 설치하였다. 가력프레임과 기둥실험체의 간격을 위해 두께 60mm의 길판을 기둥의 주근과 체결한 후 가력프레임과 연결하였다. 횡력을 위해 actuator를 사용하였으며 기둥실험체의 기초판에서 100cm 높이에서 두께 60mm의 길판을 사이에 두고 연결되었다. Actuator는 반력벽과 연결하여 고정하였으며 기초 바닥판과 실험실 바닥 (strong floor)의 슬림을 보강해 주기 위해 기둥실험체의 기초판에 변위 측정계를 설치하여 실험 결과에 이용하도록 하였다.

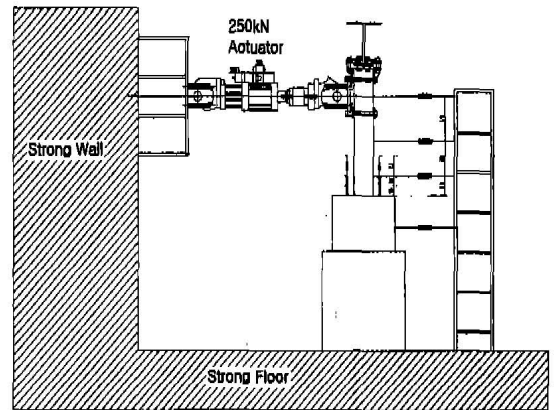
#### 2.3.2 가력계획

기둥 실험체는 연약층(soft story)에서 변곡점이 발생한다고 여겨지는 기둥 순 경간의 1/2인 가력 기초

상부에서 1m 높이에서 가력 되어지며, 최하부층의 기둥이 받는 일정한 중력하중 즉 P(Axial force)=34tonf를 작용하였다. 횡력 가력방식은 실험체의 횡변위를 가력점의 높이로 나누어준 부재각(1/400, 1/200, 1/100, 1/50, 1/33, 1/25, 1/20)으로 제어되며, 각각의 부재각 별로 2회의 변위 cycle이 진행되도록 제어되었다. 변위이력은 Fig. 4와 같다.



(a) 정면도



(b) 측면도

Fig. 3 기둥 실험체 가력 상황도

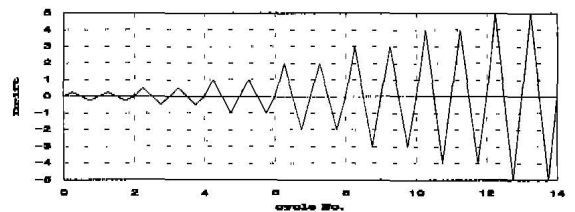


Fig. 4 실험체에 적용된 변위이력

### 3. 실험 결과 및 분석

#### 3.1 균열 및 파괴 상황

##### 3.1.1 원 실험체(Proto type) (OC)

부재각 1/200 까지는 탄성구간이며 균열이 발생하지 않았으나 부재각 1/100 부근에서 초기균열이 발생하였다. 초기균열이 생긴 부위는 기초면에서 10cm 높이이며 이후 부재각이 커질수록 균열의 높이와 크기는 증가하였다. 부재각 1/50에서 철근의 항복이 나타났고 이 부재각에서 모든 균열은 관통되었다. 부재각 1/25가 될 때 압축력에 의한 수직균열이 발생하였고 수직균열이 발생한 후 휨 균열은 거의 나타나지 않았으며 기존의 균열 폭이 커지는 현상이 일어났다. 부재각 1/25 (4%)에서 압축력에 의한 콘크리트의 박리현상이 일어났다. 콘크리트의 압괴와 탈락현상으로 소성한 지라 여겨지는 기초면에서 10cm 높이를 중심으로 부재가 회전(rotation)하는 현상이 두드러졌다. 부재각 1/20에서 압축력에 의한 콘크리트 압괴현상이 심화되고 주근 및 90°의 후프철근이 벌어지는 현상이 육안 관측되었으며 하중 또한 최대하중의 75%정도 저하되어 실험을 종료하였다.

##### 3.1.2 보강실험체 (OC-R)

###### 1) 1단계 실험 :

부재각 1/200 까지는 탄성적인 거동을 보이며 변위 증가와 함께 내력이 일정하게 상승하였다. 그러나 1/100의 부재각에서 기초판과 아라미드 섬유가 끝나는 부분에서 균열이 발생하였다. 균열발생과 함께 미세한 파괴음이 생겨나기 시작하였다.

부재각 1/50에서 보강된 기둥면과 기초면의 벌어짐이 육안으로 관측되기 시작하였고 이는 정·부가력 동시에 발생하였다. 부재각 1/33에서 똑 하는 소리와 함께 기초면과 기둥면의 벌어짐이 심하게 발생하였으며 기둥면 10cm에서 아라미드의 미세한 파단이 관측되었다. 이 부재각에서 부가력시 큰소리와 함께 하중 저하가 일어났다. 즉 정가력 7.8tonf에서 6.8tonf, 부가력 8tonf에서 6.5tonf 하중저하가 발생했다. 그 이후 추가적인 하중의 상승은 일어나지 않았다.

하중은 부재각이 커짐에도 뚜렷한 저하는 일어나지 않고 거의 일정한 하중을 유지하였다. 그러나 부재각이 커질수록 기둥면과 기초면의 벌어짐은 심해졌으며 균열면의 개·폐시 마찰음이 들렸는데 이는 10cm의 깊이로 정착된 복합섬유 봉의 부착 상실 (bond slip)로 콘크리트 면과의 마찰음으로 추측된다.

###### 2) 2단계 실험 :

1단계 실험에서 아라미드로 보강된 기둥의 뚜렷한 파괴양상과 내력저하가 발생하지 않아 변위각 6%에서 종료된 실험체에 대해 대변형에서의 파괴양상을 파악하고자 재가력 하였다. 축력은 1단계 실험과 동일하게 가력하였고 변위각은 3%에서 출발하여 동일 변위에 대해 2회씩 가력하였다.

3%에서 6% 까지는 하중이 집중적으로 증가하다 6% 이후 하중은 6tonf에서 5.17tonf으로 감소하였다.

그러나 하중의 저하는 조금씩 이루어졌고 부재각이 증가할수록 기초면과 기둥면의 벌어짐은 심해졌으며 육안으로 복합섬유 봉의 거동이 관측되었다.

이후 25 tonf Actuator의 Stroke 제한에 의해 실험을 종료하였으며 실험 종료후 이리미드 섬유 내부의 콘크리트 상태를 파악하기 위해 아라미드 섬유를 제거하였다. 관측한 결과 기초면과 기둥면의 단면에서의 손상이 심하였으나 그 손상면은 기초면과 일치하여 아라미드 섬유로 보강된 기둥의 경우 소성한지의 높이는 단면의 크기가 증가하였음에도 작아지는 결과가 초래된 것을 알 수 있었다.

기둥 실험체의 균열 및 파괴상황에 대한 요약은 Table 5 와 같다.

#### 3.2 하중 - 변형 곡선

대실험체에 작용한 하중과 변위의 관계를 하중-변형 (%)의 형식으로 Fig. 5, 6에 나타내었다. Table 6은 최대강도의 80%에 해당하는 강도에서 평가한 최대변위와 재료실험으로 얻어진 자료를 통해 하중-모멘트 상관도에 의한 기둥의 공칭강도(nominal strength)와 항복변위를 산정하여 구한 변위 연성비 (displacement ductility ratio)와 변형각(drift)을 보여준다.

Table 5 변위각 별 균열 및 파괴상황

DRIFT	원 실험체 (OC)	보강 실험체 (OC-R)
(0.5%)	10cm 높이에서 초기균열 발생	기초면과 기둥의 인계면에서 초기균열 발생
(1%)		파열음 발생
(2%)	철근의 함복, 대부분의 균열은 관통균열	기초면과 기둥면의 벌어짐 심화
(3%)	수직균열 발생	복합섬유봉의 파단으로 추측되는 소리 발생, 최대내력에서 15% 저하
(4%)	수직균열 심화, 콘크리트 박리	일정한 내력 유지
(5%)	콘크리트 압괴 심화, 후프철근의 벌어짐 관측, 4.45%에서 실험 종료	5.7%에서 실험 종료, 1단계 실험 종료 2단계 실험 실시

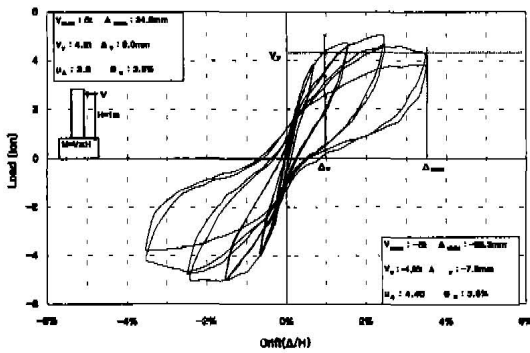


Fig. 5 하중 변형 곡선(OC)

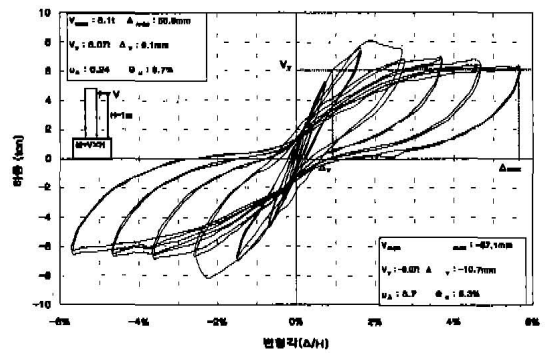


Fig. 6 하중-변형 곡선 (OC-R)-1 단계

Table 6 기둥실험체의 변형지수

실험체명	단면크기 (cm×cm)	종류	항복하중 Vy(tonf)	최대하중 Vmax	항복변위 Δy(mm)	최대변위 Δmax(mm)	변형능력 θu(%)	변위 연성 μΔ
OC	22×22	원실험체	3.75	5.0	9.0	34.9	3.9	3.5
			-3.75	-5.0	-7.9	-35.3	4.46	3.5
OC-R	28×28	보강실험체	6.07	8.1	9.1	56.8	5.7	6.24
			-6.07	-8.1	-10.7	-57.1	5.7	5.7

### 3.2.1 원 실험체 (OC)

원실험체인 OC는 변형 0.9%에서 항복하고 이후 연성적인 거동을 하다 2.2%의 변형에서 최대내력 4.2tonf을 나타내었다. 이후 14 사이클에서 3.49%의 변형을 보이다 내력이 저하되어 실험을 종료시켰다. 원실험체 OC는 변형능력 3.49%와 최대변위에 대한 항복 변위로 나타낸 변위연성비는 3.9의 양상을 보였다.

### 3.2.2 보강 실험체 (OC-R)

#### 1) 1단계 실험 :

1단계 실험에서 보강 실험체는 6.07 tonf을 부재의 항복 하중으로 판단하였고 정·부가력 8.1tonf의 최대내력을 보였다. 최대내력 이후 아라미드 섬유는 구속 효과로 인해 부재는 연성적인 거동을 보였으며, 보강 실험체에 대해 실시한 2단계 실험에 대해서도 변형 6%이후 내력은 거의 동일한 값을 가지며 거동하는 것

을 알 수 있었다. 보강 실험체는 정·부가력시 변형능력 5.7% 이상, 변위연성비는 정가력시 6.24, 부가력시 5.7이상의 결과를 보였다.

#### 2) 2단계 실험 :

보강된 기둥에 대해 실시한 단계 실험에서 내력은 변형 9%까지 5tonf를 상회하는 결과를 보였다. 1단계 실험 결과에 의해 최대내력의 80%이하로 저하되었지만 대변형 시에도 원 실험체의 내력이상을 보여 보강 실험체의 연성이 우수하다고 판단되며 2단계 실험의 결과에 비추어 볼 때 실제 변형능력 및 연성비는 Table 6의 결과를 상회할 것이라 판단된다.

#### 3.3.3 에너지 소산 능력의 평가

실험체의 하중-변위 곡선의 면적으로부터 구한 소산 에너지를 Fig. 7에 나타내었다. 각 실험체의 에너지 소산능력은 8 사이클 즉 변형 2%까지는 비슷하다고 볼 수 있다. 그러나, 2% 이후의 에너지 소산능력을 보면 단면이 보강되고 아라미드 섬유로 콘크리트를 구속시킨 OC1-R 실험체가 더 우수한 결과를 보임을 알 수 있다. 즉 2%의 변형에서는 50%, 3%에서는 48%, 4%에서는 46%로 보강 실험체의 에너지 소산능력이 원실험체에 비해 더 증가하였음을 알 수 있다.

각 실험체의 최대 변형에서 비교한 에너지 소산능력은 보강 실험체가 원 실험체의 2.3배 우수한 결과를 보였다. (단면증가효과 및 콘크리트 구속 효과)

이는 단면의 증가로 인한 휨 능력의 상승과 아라미드 섬유의 콘크리트의 구속효과로 인하여 보강 실험체의 연성능력의 증가가 변위가 증가하여도 내력의 저하

를 억제시킨 결과에 기인한다고 할 수 있다. 따라서 내진보강개념에 의해 기둥을 보수·보강할 때 연성능력과 휨내력의 증가를 기대할 수 있는 아라미드 섬유의 사용은 적절한 보강법이라고 판단된다.

## 4. 결 론

본 연구는 손상된 기둥에 대해 복합섬유 봉과 아라미드 섬유등으로 보강하여 원 실험체와 연성 및 강도, 에너지 소산능력에 대해 비교하였으며 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 축력비가 상대적으로 큰 1층 내부기둥(하부)의 경우 손상된 기둥부재를 완전히 제거하지 않고 표면을 거칠게 한후, 신보강재료(아라미드 섬유와 복합 섬유 봉)를 통해 단면을 1.7배 증설한 결과 손상 전의 기둥보다 최대내력이 60% 상승하는 결과를 가져왔다.
- 2) 최대 하중의 80%를 최대변위로 평가한 변형능력에서 원실험체 및 보강실험체 모두 3.5%이상의 능력을 보여주었으며, 보강실험체의 경우 5.7%로 원실험체 보다 60% 상승하는 결과를 가져왔다.
- 3) 기존 모멘트 골조 기둥은 축력에 의한 기둥주근의 좌굴로 연성능력이 제한되지만 본 실험에서 아라미드 섬유와 복합섬유 봉으로 보강한 기둥실험체는 아라미드 섬유의 콘크리트 구속효과로 인해 손상된 기둥 주근이 철근의 최대연성을 발휘하도록 하여 기둥부재의 연성능력이 향상된 것으로 판단된다.
- 4) 기둥실험체의 에너지 소산능력은 보강된 실험체(OC1-R)가 원실험에 비해 2.3배 뛰어난 것으로 나타났다. 이는 단면의 증가로 인한 휨 능력의 상승과 아라미드 섬유의 콘크리트 구속효과로 인하여 보강 실험체의 연성능력의 증가가 변위가 증가하여도 내력의 저하를 억제시킨 결과에 기인한다고 판단된다
- 5) 기둥의 공칭강도와 최대강도의 비를 보면 원실험체의 경우 최대강도가 33%이상 증가하였지만, 보강 실험체의 경우 오히려 감소하였다. 따라서, 복합섬유 봉과 섬유시트의 보강량 산정에 대한 더 많은

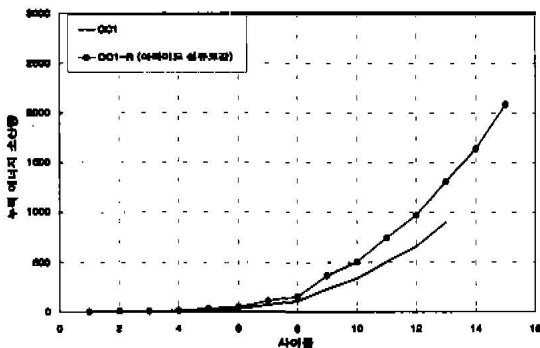


Fig. 7 에너지 소산능력 비교

연구가 선행되어야 한다고 판단된다.

- 6) 기둥의 내진 성능향상을 위하여 사용한 신소재를 이용한 보수·보강법은 기둥의 성능향상을 위한 바람직한 방법이라고 판단된다.

#### 감사의글

본 연구는 과학재단 지정 한양대학교 초대형구조시스템 연구센터의 연구비 지원에 의하여 수행 되었습니다.

#### 참 고 문 헌

1. ICBO. Uniform Building Code. International Conference on Building Officials. Whittier, California, 1988, 1994, 1997
2. Bracci, J.M., Reinhorn, A.M., and Mander, J.B., "Seismic Resistance of Reinforced Concrete Frame Structures Designed only for Gravity Loads: Part I-Design and Properties of a One-Third Scale Model Structure.", Technical Report NCEER-92-0027, 1992.
3. Aycardi, L.E., Mander, J.B., and Reinhorn, A.M., "Seismic Resistance of Reinforced Concrete Frame Structures Designed only for Gravity Loads in Low Seismicity Zones: Part II - Experimental Performance of Subassemblages", Technical Report
4. D. Choudhuri, J.B. Mander and A.M. Reinhorn, "Evaluation of seismic Retrofit of Reinforced Concrete Frame Structures : part I Experimental Performance of Retrofitted Subassemblage", Technical Report NCEER-92-0030, 1992.
5. ACI Committee 318, Building code requirements for reinforced concrete, ACI, 1999.
6. T.paulay, M.J.N Priestley, "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings". A Wiley Interscience Publication, 1991
7. 국한강도설계법에 의한 철근콘크리트 구조설계기준 및 해설, 건설교통부, 1990

(접수일자 : 2000년 10월 9일)