



## 섬유보강재를 이용한 RC 기둥의 보강 효과

이현호<sup>1)\*</sup> · 김진호<sup>2)</sup> · 노광근<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>동양대학교 건축소방행정학과 <sup>2)</sup>한국철도기술연구원 <sup>3)</sup>희상리인포스

## Strengthening Effects of RC Column using Fiber Reinforced Polymer

Hyun-Ho Lee,<sup>1)\*</sup> Jin-Ho Kim,<sup>2)</sup> and Kwang-Geun Rho<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Architecture and Fire Service Administration, Dongyang Univ., Yeongju 750-711, Korea

<sup>2)</sup>Korea Railroad Research Institute, Uiwang 437-757, Korea

<sup>3)</sup>Heesang Reinforce, Seoul 135-884, Korea

**ABSTRACT** In order to develop an effective seismic strengthening method for existing concrete structure, structural tests of aramid FRP reinforced RC columns are performed. The test variables were strengthening methods of aramid sheet and strip. The test results were evaluated by comparing strength and energy dissipation capacities of non-reinforced and reinforced specimens. The test result comparison showed that aramid sheet reinforcement on RC column was evaluated as the most efficient way to increase strength and energy dissipation capacity.

**Keywords** : aramid, sheet, strip, shear strengthening, column

### 1. 서 론

2011년 3월의 일본의 동북대지진, 2008년 중국의 쓰촨성 지진 등 한반도와 인접한 국가의 지진 발생 및 인명손실은 대한민국을 지진 위험국으로 인식하는 중요한 계기가 되었다. 역사적으로 1995년 고베 지진 시 약 30%의 학교가 피해를 보았으며, 2005년 파키스탄 지진 시에는 수많은 학교 건물이 붕괴하여 1만 7,000여명의 어린이가 사망하였다. 최근의 2008년 중국 쓰촨성 지진 시에는 학교 건물이 붕괴하여 수백명의 어린 학생이 사망하였다. 국내의 경우, 15,000개 교에 해당하는 학교 건물 중 내진설계가 적용된 경우는 전체의 14%에 해당하고, 나머지 86%는 내진설계가 되어 있지 않은 실정이다. 또한 지하철의 경우 전국 23개 노선 가운데 서울 지하철 7, 9호선 등 10개 노선만 내진 기준(규모 6.0)으로 설계됐거나 내진 성능을 가진 것으로 분석되며, 서울 지하철 1~8호선 등 13개 노선에는 내진 설계가 반영되지 않은 것으로 판단할 수 있다. 이는 지하철 1~4호선은 74년부터 94년 사이에, 5~8호선은 95년부터 2000년 사이에 각각 개통되었으나, 지하철 시설물에 대한 내진설계는 2005년에서야 의무화되었기 때문이다. 따라서 중국 쓰촨성에서 발생한 규모 7.8의 강진

이 한국에 발생할 경우 지하철의 붕괴 및 수많은 인명이 매몰될 위험에 노출될 가능성이 높다고 판단할 수 있다.

따라서 기존 공공구조물의 내진 성능을 향상시킬 수 있는 내진공법의 개발 및 적용이 필요한 실정이며, 이러한 공법중 기둥의 전단파괴를 예방하고 연성적인 거동을 확보하는 내진보강공법이 매우 유용한 공법으로 판단된다. 기둥의 전단보강방법으로는 단면증설방법 및 철판보강공법이 사용되고 있으며, 최근에는 고탄성고강도인 연속섬유시트에 의한 보강공법이 사용성의 편리로 인하여 널리 사용되고 있다. 이중 아라미드 FRP(fiber reinforced polymer) 시트(sheet) 및 스트립(strip)을 이용한 내진보강공법은 강도와 변형 및 에너지능력의 증진이라는 효과를 도모할 수 있는 매우 우수한 내진공법으로 보고<sup>1)</sup>되고 있으나 다양한 측면에서 검토가 필요한 실정이다.

이 연구에서는 전단내력 및 에너지 소산능력 등의 내진성능 증진이 필요하다고 판단되는 서울 도시철도 역사 기둥을 대상으로 아라미드 FRP 보강효과에 대한 실험 성능실험을 수행하여, 아라미드 FRP에 의한 전단보강 및 에너지 소산능력 등의 내진보강효과를 평가하고자 한다.

### 2. 실험 계획

#### 2.1 아라미드 FRP 개요

이 연구에서 적용하는 아라미드 FRP는 시트와 스트립

\*Corresponding author E-mail : hhlee@dyu.ac.kr

Received April 4, 2012, Revised May 15, 2012,

Accepted May 16, 2012

©2012 by Korea Concrete Institute

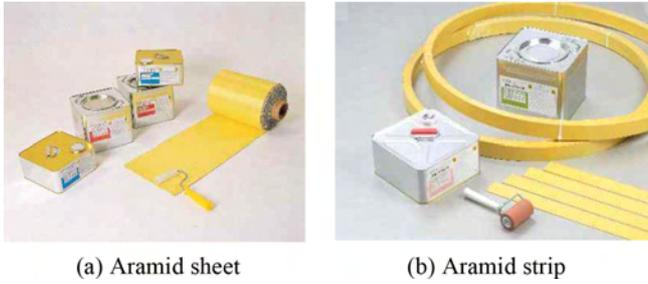


Fig. 1 Aramid FRP

의 2종류이며, 시트는 아라미드 섬유를 직조하여 현장에서 에폭시에 함침하여 적용하는 자재이다(Fig. 1 참조). 또한 아라미드 스트립은 폭 50 mm 전후의 판상형의 자재인데, 스트립 표면에 필플라이(peel ply)를 붙여, 이를 제거시 스트립 표면에 자연스런 요철이 생겨, 모재와의 부착력을 향상시킨 제품이다. 보강재인 아라미드 섬유는 화학저항성이 우수하며, 신율이 2~5%로 매우 우수한 보강자재이다. 또한 탄성계수가 강재의 2/3~1/3 정도이며, 전도성이 없는 내진보강재로 전기가 항상 공급되는 도시철도 구조물에 적용하기 적절한 비도체성 보강재이다.

이러한 아라미드 시트는 보 및 기둥의 휨 및 전단보강재로 많이 사용되고 있으며, 최근 교각의 휨 및 전단보강사례가 증가하고 있다. 또한 아라미드 스트립은 보 및 기둥 길이방향으로 보강이 유리한 재료이다. 이 연구에 적용된 아라미드 시트 및 스트립의 물성은 Table 1과 같다.

## 2.2 실험 계획

이 연구에 적용하기 위한 대상 구조물은 서울 소재 지하철 역사의 지상 2층을 선정하였으며, 실 구조물 수준으로 실험체를 Table 2와 같이 계획하였다. 주요 변수<sup>2,3)</sup>로는 아라미드 스트립 휨보강 및 시트의 횡구속효과이며, 실험체의 전간경간비는 2.5이다. 대상실험체는 기준 실험체인 비보강 RC 실험체, 폭 40 mm의 아라미드 스트립으로 각 단면당 3개소씩 전체 12개소를 기둥 길이방향으로 보강한 뒤, 기둥 상하 단부에서 폭 300 mm인 아라미드 시트로 단부 구속한 STFSHE 실험체, 폭 40 mm의 아라미드 스트립으로 각 단면당 3개소씩 전체 12개소를 기둥 길이방향으로 보강한 뒤 다시 전체를 아라미드 시트로 구속한 STFSHA 실험체이다. 그리고 스트립 보강 없이 기

Table 1 Materials properties of aramid FRP

Type	Thk. (mm)	Width (mm)	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elastic modulus (N/mm <sup>2</sup> )
Strip SK-AP 1014	1.40	40	1,400	6.00×10 <sup>4</sup>
Sheet SK-A280 280 g/m <sup>2</sup>	0.194	200	2,100	1.2×10 <sup>5</sup>

Table 2 Specimen list

Name	Strengthening method	Detail
RC	Not used	
STFSHE	Aramid strip + sheet end strengthening	
SHA	Aramid sheet full strengthening	
STFSHA	Aramid strip + sheet full strengthening	

둥 전체를 아라미드 시트로 횡구속한 SHA 실험체의 총 4개 실험체를 계획하였다. 실험체 기둥 크기는 600×600 mm, 높이는 3,000 mm, 주근은 D19-20이며, 스트립은 D13 @300이다. 사용된 콘크리트의 압축강도는 24 MPa, 철근의 항복강도는 400 MPa이다. 지진하중에 대한 수평저항 성능을 평가하기 위하여 복곡률(double curvature) 거동이 구현되도록 Fig. 2와 같이 실험장치를 계획하였다. 실험체 가력은 축력에 의한 구속효과를 구현하고자 기둥 단면 10%에 해당하는 약 100 kN의 하중을 기둥 상부에서 일정하게 재하하였으며, 변위이력에 해당하는 수평하중 로딩 사이클을 Fig. 3과 같이 적용하였다.

## 3. 성능 실험

### 3.1 재료 시험 결과

이 연구에 적용한 콘크리트의 압축강도는 26.3 MPa로 시험되어, 배합설계가 적절히 이루어진 것으로 평가되었으며, 탄성계수는 18.8 GPa로 산정되었다. 기둥 주근인 D19의 항복강도는 431 MPa, 락철근 D13의 항복강도는 474 MPa로 시험되었다. D10 철근의 인장강도, 탄성계수는 640 MPa, 194 MPa로 평가되었으며, D19 철근의 인

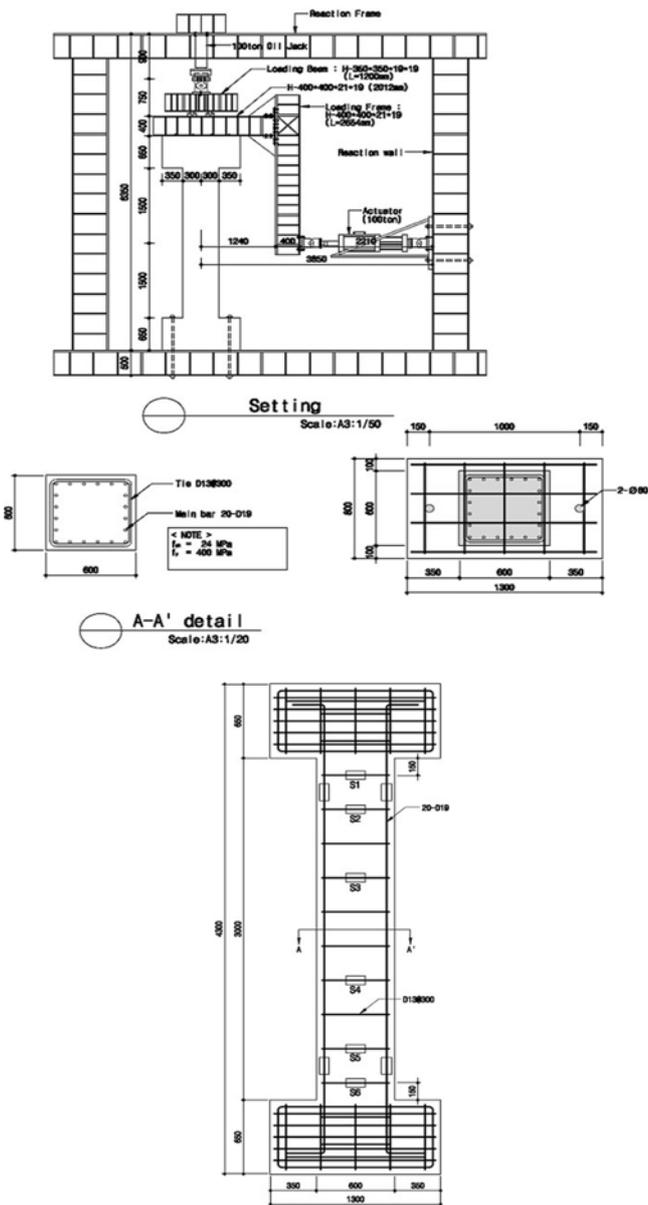


Fig. 2 Setting plan (unit: mm)

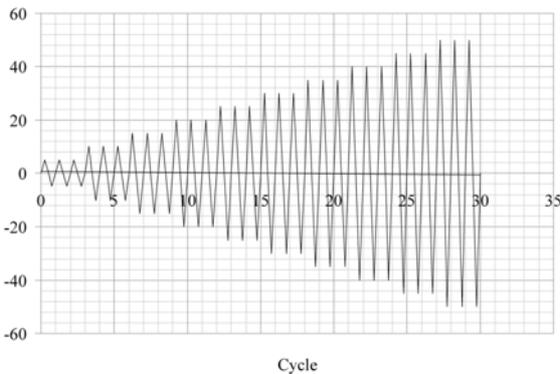


Fig. 3 Loading history

장강도, 탄성계수는 561 MPa, 194 MPa로 평가되었다. 아라미드 스트립 및 시트의 재료 시험 결과는 Table 1에 기술하였다.



Fig. 4 Final failure of RC

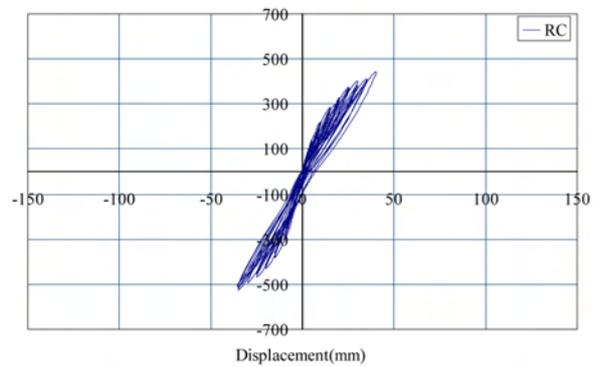


Fig. 5 Load-displacement curve of RC

### 3.2 실험 결과 및 하중-변위 곡선

#### 3.2.1 RC 실험체

무보강 실험체인 RC 실험체는 실험초기 정가력 5 mm 변형(116.6 kN)에서 실험체 상부에 초기균열이 발생하였다. 그 후 실험이 진행되면서 실험체의 상하 양단부에 전단균열이 추가 발생하였다. 수평변위 40 mm 정가력 이후 부가력 첫 번째 사이클에서 기둥 상단부의 갑작스런 전단균열 발생과 함께 최종파괴에 도달하였다(Fig. 4 참조). Fig. 5에 RC 실험체의 하중-변위 곡선을 나타내었는데, 기둥 상하 양단부의 갑작스런 전단 및 부착파괴로 최대하중 이후 충분한 연성거동을 보이지 못하고, 매우 취성적인 거동을 나타내었으며, 에너지 소산능력 또한 취약한 거동을 나타내었다.

#### 3.2.2 STFSHE 실험체

전간경간비 2.5인 실험체의 길이방향으로 아라미드 스트립을 휨보강하고, 기둥 상하단부를 각각 300 mm의 아라미드 시트로 횡구속한 STFSHE 실험체는 실험체 전단면에 보강된 보강재로 인하여 실험이 진행되는 동안 균열 관찰을 할 수 없었다. 거동에 있어 최대하중 전후 스트립의 탈락이 발생하였으나, 시트의 구속에 의하여 완전한 탈락은 발생하지 않았다. 50 mm 부가력 첫 번째 사



Fig. 6 Final failure of STFSHE



Fig. 8 Final failure of STFSHA

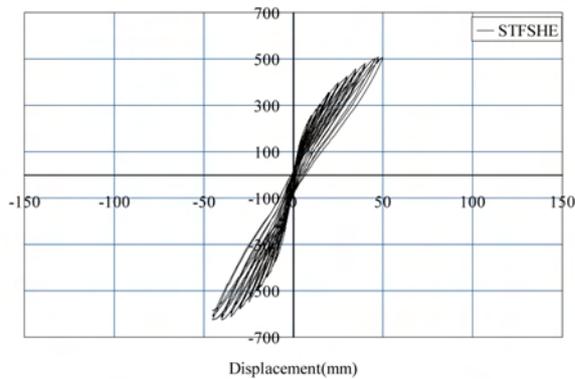


Fig. 7 Load-displacement curve of STFSHE

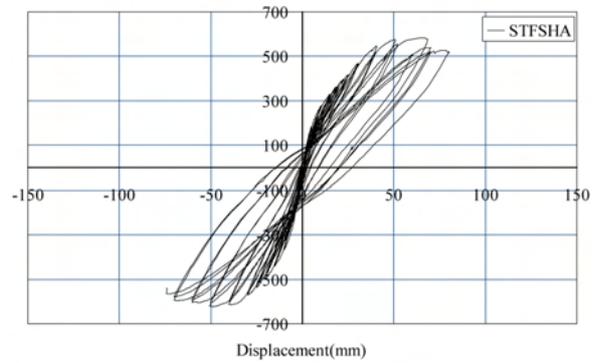


Fig. 9 Load-displacement curve of STFSHA

이클에서 콘크리트의 전단 및 단부보강 아라미드 시트의 파단으로 최종파괴에 도달하였다(Fig. 6 참조). Fig. 7에 STFSHE 실험체의 하중-변위 곡선을 나타내었는데, 기둥 상하 양단부의 전단 및 부착파괴로 최대하중 이후 충분한 연성거동을 보이지 못했으나, 비보강 대비 강도능력 및 변형능력이 증진됨을 확인할 수 있었다.

### 3.2.3 STFSHA 실험체

실험체의 길이방향으로 아라미드 스트립을 휨보강하고, 기둥 전단면을 아라미드 시트로 횡구속한 STFSHA 실험체는 실험체 전단면에 보강된 보강재로 인하여 실험이 진행되는 동안 균열관찰을 할 수 없었다. 스트립의 영향으로 아라미드 시트만으로 전단면 보강한 SHA 실험체보다 강도능력은 증가하였으나, 최대하중 이후 기둥 상부의 갑작스런 전단파괴로 인하여 충분한 연성능력을 나타내지는 못했다. STFSHA 실험체는 125 mm 정가력 첫 번째 사이클 이후 부가력이 진행되면서 콘크리트의 전단 및 단부상부 보강 아라미드 시트의 파단으로 최종파괴에 도달하였다(Fig. 8 참조). Fig. 9에 STFSHA 실험체의 하중-변위 곡선을 나타내었는데, 기둥 전단면을 구속한 시트의 영향으로 연성능력 및 에너지 소산능력이 증진됨을 확인할 수 있었다.

### 3.2.4 SHA 실험체

아라미드 시트로 기둥 전단면을 보강한 실험체인 SHA 실험체는 실험체 전단면에 보강된 보강재로 인하여 실험이 진행되는 동안 균열관찰을 할 수 없었다. 실험 내내 아라미드 시트가 기둥 단면을 구속하여 항복 전까지 매우 강한 강성을 보여주었다. 최대하중 이후 시트가 부분적으로 파단되었지만 연성적인 거동이 매우 우수한 것으로 평가되었다. SHA 실험체는 125 mm 정가력 첫 번째 사이클 이후 부가력 진행하면서 콘크리트의 전단 및 단부하부 보강 아라미드 시트의 파단으로 최종파괴에 도달하였다(Fig. 10 참조). Fig. 11에 SHA 실험체의 하중-변위 곡선을 나타내었는데, 기둥 전단면을 구속한 시트의 영향으로 연성능력 및 에너지 소산능력이 증진됨을 확인할 수 있었다. 특히 스트립 보강 후 시트로 보강한 STFSHA 실험체보다 좋은 연성거동을 보였는데, 이는 STFSHA 실험체에 부착한 스트립이 모재와 탈락하면서 시트의 구속력을 저하시킴에 의한 것으로 판단된다.

### 3.2.5 실험 결과 일람

이상의 실험 결과를 정리하여 Table 3에 정리하였는데, 항복강도 및 변위는 RC 실험체의 실험 특성상 산정이 어려워, Park 등이 제안한 방법에 의거 최대강도의 75%에 해당하는 부분으로 산정하였다. 전체적으로 아라미드

시트로 충분히 횡보강한 실험체가 풍부한 에너지 소산 능력을 나타내었다. 기둥 길이방향으로 아라미드 스트립을 휨 보강한 실험체는 보강효과가 다소 떨어지는 것으로 평가되었다.



Fig. 10 Final failure of SHA

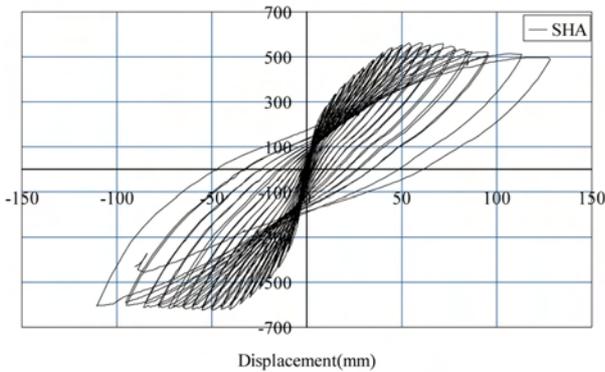


Fig. 11 Load-displacement curve of SHA

Table 3 Test results

Loading direction	Name	Yield strength (kN)	Yield disp. (mm)	Max. strength (kN)	Max. disp. (mm)
+	RC	332.3	21.00	443.1	40.20
	STFSHE	380.1	22.92	506.8	50.04
	STFSHA	437.0	26.76	582.6	66.72
	SHA	422.0	26.43	562.6	60.54
-	RC	385.4	16.05	513.8	35.19
	STFSHE	469.1	17.31	625.4	39.66
	STFSHA	467.3	17.55	623.1	48.96
	SHA	467.3	18.72	623.1	49.95

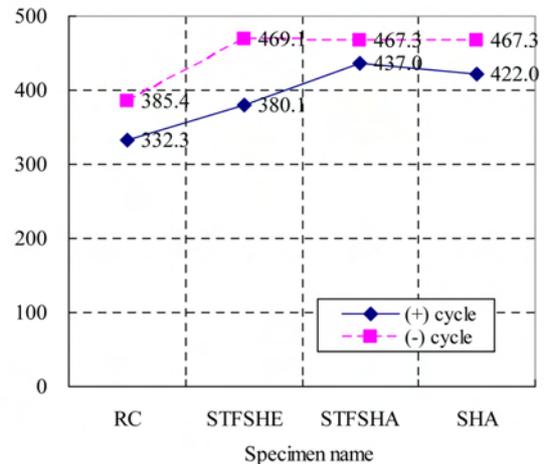
## 4. 실험 결과 분석

### 4.1 강도 특성

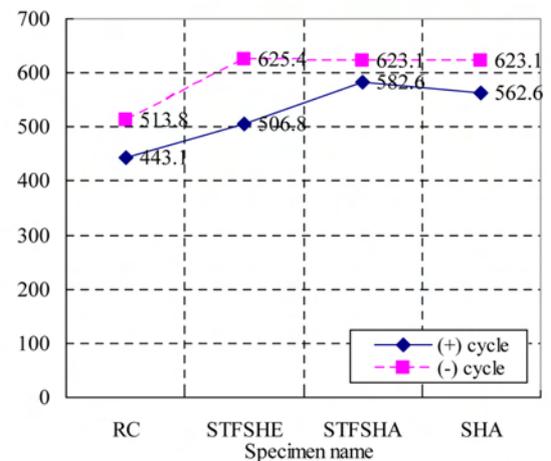
Fig. 12에 실험체의 항복강도 및 최대강도를 나타내었는데, 아라미드 스트립 보강 후 단부를 300 mm 보강한 STFSHA 실험체는 비보강 실험체인 RC 대비 정, 부 사이클 평균 1.18배 증가하였으며, 스트립 보강 후 전단면 시트로 보강한 STFSHA 실험체는 1.26배 강도가 증가하였다. 또한 전단면을 시트로 횡보강한 SHA 실험체는 1.25배 증가하는 것으로 평가되었다. 강도 특성에 있어 아라미드 보강효과는 실험체 전체 평균 약 1.2배 이상 증진되는 것으로 평가할 수 있으며, 전단면을 시트로 횡구속한 경우의 강도 증진 효과가 우수함을 확인할 수 있었다. 이에 비하여 스트립 보강효과는 그리 크지 않음이 확인되었다.

### 4.2 강성비 및 강성 저하 평가

항복강도시 원점과의 항복강도를 연결한 항복강성, 최



(a) Yield strength



(b) Max. strength

Fig. 12 Strength comparison

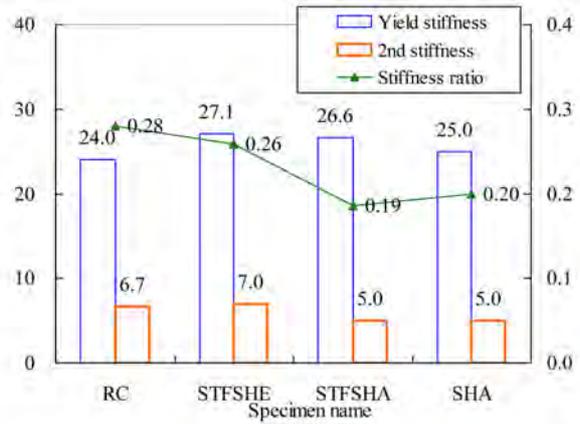


Fig. 13 Stiffness comparison

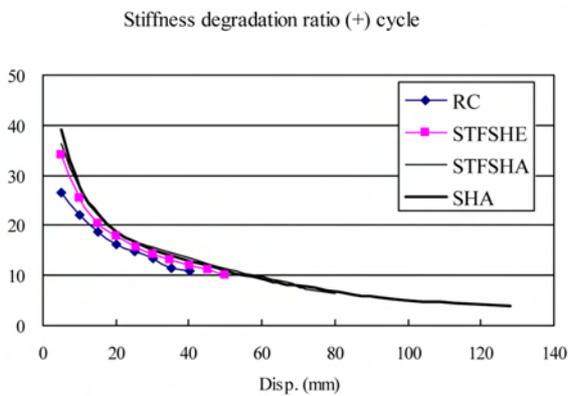


Fig. 14 Stiffness degradation comparison

대강도와 항복강도 사이의 2차강성, 그리고 항복강성에 대한 2차강성의 비를(-) 싸이클의 강성비로 정리하여 Fig. 13에 나타내었다. 이에 의하면 항복강성은 RC 대비 보강실험체가 다소 높게 나타났으며, 항복하중 후 바로 파괴된 RC 및 STFSHE 실험체가 높은 다소 높은 2차강성비를 나타내었다. Fig. 13에서 강성비가 낮을수록 연성적인 거동을 의미하는데, STFSHE 및 SHA 실험체가 낮게 평가되어 연성거동이 명확함을 확인할 수 있었다. Fig. 14에 (+) 싸이클에 대한 실험체의 강성 저하를 나타내었는데, 전반적으로 강성저하율은 유사한 것으로 평가되었다. 연성적인 거동을 보인 STFSHA 및 SHA 실험체는 최대하중 이후 완만한 강성저하를 나타내었다. 이에 비해 RC 실험체는 급격히 파괴하는 강성저하를 보였다. 또한 스트립 보강한 STFSHE는 RC 대비 약간 상승된 강성 저하를 나타내어, 보강효과가 미비한 것으로 판단된다.

#### 4.3 에너지 소산능력 평가

매 하중가력 싸이클별 면적으로 평가한 단계별 에너지 소산면적을 Fig. 15에 나타내었는데, 스트립 보강 후 전단면 시트 보강한 STFSHA 실험체 및 SHA의 에너지 소산능력이 우수한 것으로 평가되었다. 그렇지만 스트립만

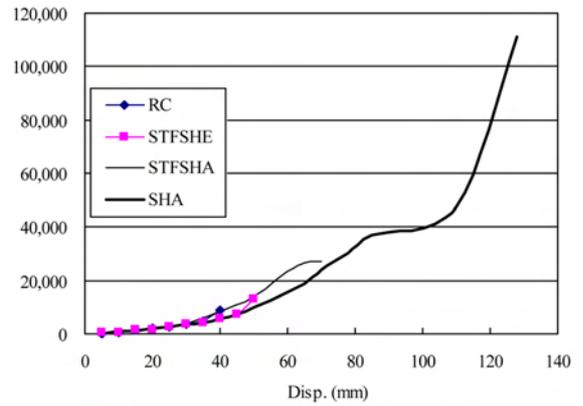


Fig. 15 Energy dissipation area comparison

보강한 STFSHE 실험체는 SHA보다 매우 부족한 에너지 소산능력을 보였는데, 이는 최대하중 이후 급격한 파괴에 기인한 것으로 파괴된다. 즉 스트립 보강만으로 적절한 연성보강이 어렵다는 것으로 판단된다.

### 5. 최대 내력 예측

이 연구의 진행과 아울러 실험전 실험체의 최대 내력을 예측하고자 기존 연구 결과를 참조하여 일본건축학회의 連續纖維補強 콘크리트系 構造設計施工指針案<sup>3)</sup>에 의거 아래 내력식으로 아라미드 보강 내력을 예측하였다. 이 제안식에서 아라미드 FRP로 보강된 RC 기둥의 내력은 전단강도 및 부착할렬강도 중 낮은 것으로 결정된다.

#### 5.1 전단종극강도

섬유시트로 보강된 기둥 및 보의 전단종극강도는 아래와 같이 산정한다.

$$Q_{su} = b_j \Sigma(p_{\omega} \sigma_{\omega}) \cot \phi + \tan \theta (1 - \beta) b D v \cdot \sigma_B / 2 \quad (N)$$

여기서,

$$\Sigma(p_{\omega} \sigma_{\omega}) \geq v \cdot \sigma_B / 2, \text{ then } \Sigma(p_{\omega} \sigma_{\omega}) = v \cdot \sigma_B / 2$$

$$\Sigma(p_{\omega} \sigma_{\omega}) = p_{\omega s} \sigma_{\omega s} + p_{\omega f} E_{fd} \varepsilon_{fd} \quad (N/mm^2)$$

$p_{\omega s}, \sigma_{\omega s}$ : 횡보강근의 전단보강근비 및 항복강도  
 $p_{\omega f}, E_{fd}, \varepsilon_{fd}$ : 섬유보강재의 유효설계두께( $t_{of}$ )를 이용 치환한 전단보강근비( $p_{of} = 2t_{of}/b$ ), 탄성계수, 유효변형도

여기서,

$E_{fd} \times \varepsilon_{fd}$ 는 규격인장강도  $\sigma_f$ 의 2/3를 초과할 수 없다.

$$\varepsilon_{fd} = 0.009 - 0.0002 \frac{p_{of} E_{fd}}{\sigma_B}$$

$$\text{if } \frac{p_{of} E_{fd}}{\sigma_B} > 20 \text{ then } \varepsilon_{fd} = 0.005$$

$$\tan \theta = \sqrt{(L/D)^2 + 1} - L/D$$

$$\beta = (1 + \cot^2 \phi) \Sigma(p_\omega \sigma_\omega) / (\nu \sigma_B)$$

$\sigma_B$ : 콘크리트 압축강도(N/mm<sup>2</sup>)

$b, j_t, D, L$ : 부재폭(mm), 최외연의 주근간 거리(mm), 단면춤(mm), 순경간(mm)

$\nu = 0.7 - \frac{\sigma_B}{200}$ : 콘크리트 압축강도 유효계수

$\cot \phi$ 는 아래 중 작은 값을 쓴다.

$$\cot \phi = 2$$

$$\cot \phi = \frac{j_t}{D \tan \theta}$$

$$\cot \phi = \sqrt{\frac{\nu \sigma_B}{\Sigma(p_\omega \sigma_\omega)} - 1}$$

## 5.2 부착할렬강도시의 전단강도

섬유시트로 보강된 기둥 및 보의 부착할렬강도시의 전단강도는 아래와 같이 산정한다.

$$Q_{sub} = \tau_{bu} \Sigma \phi j_t + \tan \theta (1 - \beta_b) b D \nu \cdot \sigma_B / 2 \quad (\text{N})$$

여기서,

$$\tan \theta = \sqrt{(L/D)^2 + 1} - L/D$$

$$\beta = [\tau_{bu} \Sigma \phi / (b \sin \phi \cos \phi)] / (\nu \sigma_b)$$

$\sigma_B$ : 콘크리트 압축강도 (N/mm<sup>2</sup>)

$b, j_t, D, L$ : 부재폭(mm), 최외연의 주근간 거리(mm), 단면춤(mm), 순경간(mm)

$\Sigma \phi$ : 최외연 철근의 전체 주장

$\nu = 0.7 - \frac{\sigma_B}{200}$ : 콘크리트 압축강도 유효계수

$\phi$ : 트러스기구의 콘크리트 압축축 각도로 45°로 계산한다.

따라서  $\sin \phi \cos \phi = 0.5$

$$\tau_{bu} = \tau_{co} + \tau_{st} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\tau_{co} = (0.117 b_i + 0.163) \sqrt{\sigma_B} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\tau_{st} = 9.51 \frac{b p'_\omega}{N d_b} \sqrt{\sigma_B} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$b_i = \frac{b - \Sigma d_b}{\Sigma d_b}$$

$N$ : 일렬로 배근된 철근 갯수

$d_b$ : 철근지름 (mm)

$\Sigma d_b$ : 일렬로 배근된 철근지름의 합 (mm)

**Table 4** Shear strength estimation

Name	Test (kN)	AIJ Equation			Test / calculation
		Shear strength Qsu (kN)	Bonding & splitting shear strength Qsub (kN)	Selected shear strength Qsuo (kN)	
RC	513.8	554.7	887.6	554.7	0.93
STFSHE	625.4	558.5	836.6	558.5	1.12
STFSHA	623.1	592.5	892.4	592.5	1.05
SHA	623.1	592.5	892.4	592.5	1.05

$p'_\omega = p'_{\omega s} + \kappa \frac{E_{fd}}{E_s} p_{\omega f}$ : 횡보강근과 연속섬유보강재의 전단보강근비의 합

$$\kappa = 3 - 500 \frac{E_{fd}}{E_s} p_{\omega f}$$

if  $\frac{E_{fd}}{E_s} p_{\omega f} > 0.003$ , then  $\kappa = 1.5$

$p'_{\omega s}$ : 외주에 배근된 횡보강근의 전단보강근비

$p_{\omega f}$ : 연속섬유보강재의 전단보강근비

$E_s$ : 횡보강근의 탄성계수

$E_{fd}$ : 연속섬유보강재의 탄성계수

전단경간비 2.5인 이 실험 결과를 기존 제안식에 적용한 결과를 Table 4에 정리하였다. 이때 아라미드 스트립 보강효과는 미비하여, 이를 고려하지 않았으며 시트 횡보강만 고려하여 내력을 예측하였다. 이에 의하면 실험 결과 대 계산 결과의 비가 4개 실험체 평균 1.05로 나타나 거의 정확하게 아라미드 시트보강의 전단내력을 적절히 예측할 수 있는 것으로 평가되었다. 그렇지만 일본 건축학회 적용식이 매우 복잡하여 국내 적용에 어려움이 예상되므로 보다 많은 실험 결과 등을 보완한 적절한 제안식의 개발이 필요한 것으로 판단된다.

## 6. 결 론

이 연구에서는 아라미드 FRP 스트립 및 시트 보강효과를 평가하고자, 기존 RC 기둥의 보강효과를 성능실험으로 평가하였다.

- 1) 강도 능력의 평가 결과, 아라미드 보강효과는 약 1.2 배 이상 증진되는 것으로 평가할 수 있으며, 전단면을 시트로 횡구속한 경우의 강도 증진 효과가 우수함을 확인할 수 있었다. 이에 비하여 스트립 보강효과는 미비한 것으로 평가되었다.
- 2) 연성적인 거동을 보인 STFSHA 및 SHA 실험체는 최대하중 이후 완만한 강성저하를 나타내었다. 이에 비해 RC 실험체는 급격히 파괴한 강성저하를 보였다. 또한 스트립 보강한 STFSHE는 RC 대비 약 1.1 배 상승된 강성 저하를 나타내어, 보강효과가 미비

한 것으로 평가되었다.

- 3) 아라미드 스트립 보강후 전단면 시트 보강한 STFSHA 실험체 및 SHA의 에너지 소산능력이 우수한 것으로 평가되었다. 그렇지만 하중-변위 곡선 및 강도 평가에서 SHA 실험체와 유사한 거동을 보인 STFSHE 실험체는 SHA보다 떨어지는 에너지 소산능력을 보였는데, 이는 최대하중 이후 급격한 아라미드 스트립 부착파괴에 기인한 것으로 파괴된다.
- 4) 전단 및 부착할렬파괴가 나타내는 이 실험에 있어, 스트립의 보강효과는 미비한 것으로 평가되었다. 향후 휨거동이 지배되는 실험체의 응답 특성에 있어 스트립 보강효과 평가가 필요한 것으로 판단된다.
- 5) 일본 건축학회 제안식을 적용하여 내력을 예측한 결과, 실험 결과 대 계산 결과의 비가 평균 1.05로 나타나 거의 정확하게 아라미드 시트보강의 전단내력을 적절히 예측할 수 있는 것으로 평가되었다. 그렇지만 일본건축학회 적용식이 매우 복잡하여 국내 적용에 어려움이 예상되므로, 보다 많은 실험 결과 등을 보완한 적절한 제안식의 개발이 필요한 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 연구는 국토해양부 도시철도표준화 2단계 연구개발

**요 약** 아라미드 FRP로 보강된 RC 기둥의 전단보강효과를 평가하고자, 구조성능 실험을 수행하였다. 실험변수는 아라미드 시트 및 스트립 보강이며, 총 4개의 실험체를 대상으로 하였다. 실험 결과는 비보강 실험체를 기준으로 보강효과를 강도 및 에너지 능력 등을 평가하였다. 평가 결과 아라미드 시트보강이 강도증진과 아울러, 에너지 소산능력의 증진이라는 측면에서 매우 유효한 것으로 평가되었다.

**핵심용어** : 아라미드, 시트, 스트립, 전단보강, 기둥

사업의 연구비지원에 의해 수행되었고, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 이현호, 구은숙, “아라미드섬유쉬트로 전단보강한 RC 기둥의 성능평가에 관한 연구,” 대한건축학회 구조계 논문집, 15권, 6호, 1999, pp. 25~36.
2. 이현호, “아라미드 FRP 보강된 RC 기둥의 FE해석,” 한국콘크리트학회 봄학술대회 논문집, 23권, 2호, 2011, pp. 219~220.
3. 일본건축학회, 連續纖維補強 콘크리트系 構造設計施工指針案, 2001, pp. 288~301.
4. Priestley, M. J. N. and Park, R., “Strength and Ductility of Concrete Bridge Columns under Seismic Loading,” *ACI Structural Journal*, 1987, Vol. 84, No. 1, pp. 69~76.
5. 한상훈, 홍기남, 이재범, “아라미드 스트랩으로 프리스트레싱 횡구속된 RC 원형기둥의 일축압축거동에 관한 실험적 연구,” 콘크리트학회 논문집, 21권, 2호, 2009, pp. 159~168.
6. 박태만, 박성민, 홍혁준, 강경수, 윤정배, “복합판으로 보강된 철근콘크리트 기둥의 내진성능연구,” 콘크리트학회 논문집, 17권, 1호, 2005, pp. 113~120.
7. 이현호, “아라미드 섬유쉬트로 휨보강한 RC보의 강도성능 및 변형성능에 관한 고찰,” 콘크리트학회 논문집, 10권, 5호, 1998, pp. 151~158.