한국지진공학회 논문집 | 제14권 제1호 (통권 제71호) | 2010년 2월, pp. 63~70
DOI 10.5000/EESK.2010.14.1.063

CFRP Sheet를 이용한 철근콘크리트 프레임면내 조적벽체의 전단내력 평가에 관한 실험적 연구

Experimental Investigation of The Shear Strengthening of Unreinforced Masonry Infilled RC Frames Using CFRP Sheet

이영학[1] · 김민숙[2] · 변은혁[3] · 김희철[4]
Lee, Young Hak · Kim, Min Sook · Byon, Eunhyuk · Kim, Heecheul

국문 요약 >> 본 연구는 반복 횡하중 하에서 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Polymer) Sheet로 보강된 철근콘크리트 프레임면내 조적벽체의 전단내력을 평가하여 국내 조적벽체 학교 건축물에 적합한 CFRP Sheet 보강 방안을 제안하는 것에 그 목적이 있다. 조적 허리벽이 있는 1층, 1경간, 1/2 스케일의 시험체를 4개 제작하여 CFRP Sheet의 보강량을 변수로 실험을 수행하였으며 이를 통하여 보강량에 따른 강도와 강성의 변화를 분석하였다. 실험 결과 CFRP Sheet는 시험체의 내력과 강성을 향상시켰으며 특히 기둥과 조적벽을 모두 보강하는 방법을 통한 보강방법에 있어 그 적용성을 확인할 수 있었다.

주요어 탄소섬유시트, 횡방향 거동, 반복 횡하중, 비보강 조적벽

ABSTRACT >> The purpose of this study is to investigate experimentally the behavior of unreinforced masonry RC frames strengthened by CFRP sheet under cyclic lateral loading. Four test specimens were constructed as one-story, one-bay, 1/2 scale unreinforced masonry infilled RC frames and differences in strength and stiffness were evaluated in specimens on which had been applied different retrofitting methods. Test results indicated that the CFRP sheets significantly increased the strength and stiffness of the specimens, and the specimens retrofitted in columns and masonry indicated the most adequate retrofitting methods.

Key words CFRP sheet, Lateral drift, Cyclic load, Unreinforced masonry infilled

1. 서 론

국내의 내진규정이 처음으로 제정된 1988년 이전에 지어진 건축물에는 적합한 내진 설계가 되지 않았으며 2000년까지 국내 내진규정은 6층 이상 건축물에 대하여 내진 설계를 적용하도록 하였다. 그러나 1980년대 후반까지 건설된 학교 건축물은 비내진 철근콘크리트 조적조로 되어있어 지진에 매우 취약하며 대부분 5층 이하이기 때문에 내진 대상에서 제외되었다.(1) 또한 이에 대한 연구가 미흡하여 국내 실정에 적합한 규정이 없는 상황이다. 따라서 비내진 철근콘크리트 조적조 건축물의 보강방법에 대한 연구가 필요하다고 판단된다. 높은 인장강도와 경량성, 적용의 용이성, 비부식성 등의 장점을 가지고 있는 탄소섬유시트(이하 CFRP Sheet)는 최근 국내외 연구자들에 의해 활발하게 연구되고 있으며(2),(3), 특히 CFRP Sheet를 이용한 보강방법은 비보강 조적벽체 건축물의 강도와 강성, 변형성을 효과적으로 향상시켜 주는 것으로 연구되었다.(4) 또한 CFRP Sheet 보강공법은 공사 기간이 45일 내외로 짧기 때문에 보강 대상이 학교시설이라는 점을 고려할 때, 방학 중에 공사가 마무리 될 수 있다는 장점을 가지고 있다. 따라서 CFRP Sheet를 이용한 보강방법이 효과적인 대안 중 하나인 것으로 사료된다.

본 연구에서는 지진, 풍하중 등 수평하중에 대한 노후화된 학교건물의 안정성 확보를 위해 철근콘크리트 프레임면내 조적벽체의 거동특성과 CFRP Sheet 보강에 따른 전단

[1] 정회원·경희대학교 건축공학과 조교수
[2] 정회원·경희대학교 건축공학과 대학원 박사과정
(교신저자: kimminsook@khu.ac.kr)
[3] 경희대학교 건축공학과 대학원 석사과정
[4] 정회원·경희대학교 건축공학과 교수

본 논문에 대한 토의를 2010년 4월 30일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.
(논문접수일 : 2009. 10. 26 / 수정일 1차: 2009. 12. 31, 2차: 2010. 1. 4 / 게재확정일 : 2010. 1. 4)

내력을 비교하였다. 또한 CFRP Sheet로 보강된 철근콘크리트 프레임 면내 조적벽체의 효율성을 평가하고 더불어 국내 비보강 학교 건축물의 조적벽체에 적합한 CFRP Sheet 보강방안을 제안하고자 한다.

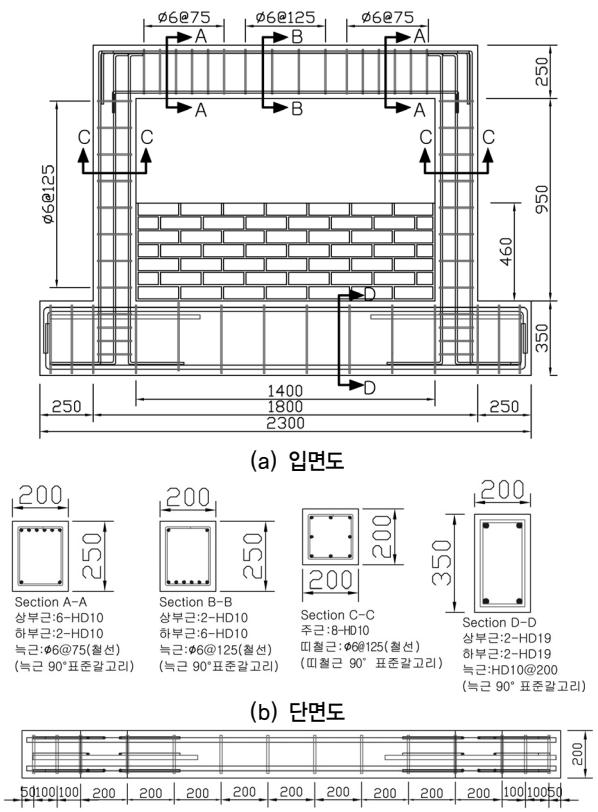
2. 실험 계획 및 방법

2.1 시험체 설계

국내 학교의 상황을 파악하기 위해 학교설계 표준도서에 준하여 실제 학교 내부의 1경간을 선정하여 1/2 축소한 비보강 철근콘크리트 프레임을 제작하였다. 그림 1과 같이 기둥의 길이 950mm, 단면치수 200mm×200mm, 상부 보의 길이 1800mm, 단면치수 200mm×250mm, 하부 보의 길이 2300mm, 단면치수 200mm×350mm으로 형상과 철근 배근이 모두 동일한 보-기둥 철근콘크리트 시험체를 총 4개 제작하였다. 시험체는 철근콘크리트 프레임(RNN), 조적 허리벽이 있는 철근콘크리트 프레임(RMN), 기둥을 CFRP Sheet로 보강한 조적 허리벽이 있는 철근콘크리트 프레임(RMC-CF), 기둥과 조적 허리벽을 모두 CFRP Sheet로 보강한 철근콘크리트 프레임(RMF-CF)으로 각각 다른 보강방법을 적용하였다.

〈표 1〉 시험체 종류와 변수

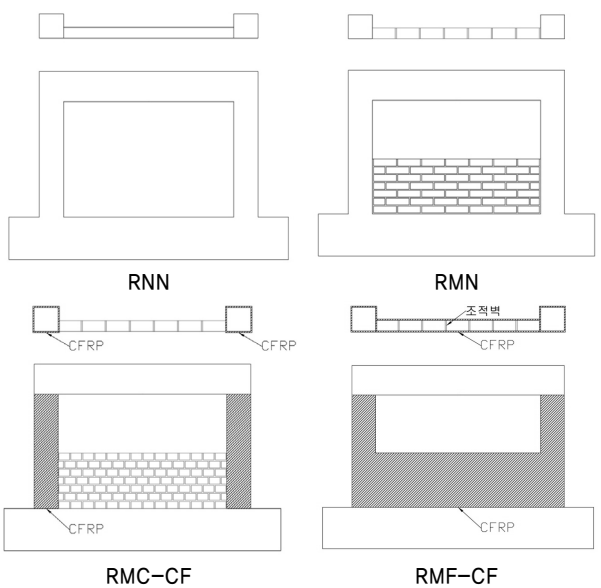
보강방법 / 시험체명	조적 유무	CFRP 유무	보강 위치
RNN	무	무	-
RMN	유	무	-
RMC-CF	유	유	기둥
RMF-CF	유	유	기둥 + 조적



〈그림 1〉 시험체 단면도 및 배근도

시험체는 설계기준강도 21MPa의 콘크리트를 사용하였다. 상부 보와 기둥에 D10의 주철근을 사용하였으며 하부 보에는 D19를 사용하였다. 또한 ∅6의 철선을 기둥의 띠철근으로 사용하였다. 콘크리트 압축강도 실험을 위하여 ∅150mm×300mm의 공시체를 총 10개를 제작하여 7일과 28일 기준으로 각각 5개씩 실험을 실시하였다. 실험결과 28일 기준으로 평균 18.24MPa의 압축강도를 확인하였다.

기준 시험체인 RNN을 제외한 RMN, RMC-CF, RMF-CF 시험체의 내측에 460mm 높이의 조적 허리벽을 설치하였다. 압축강도 8MPa, 흡수율 10 이하의 C급 2종 일반 시멘트 벽돌을 사용하였으며 내측으로 0.5B 쌓기를 하였다. RMC-CF 시험체는 기둥에 CFRP Sheet를 길이방향으로 수평방향과 좌우 60°씩 3장을 Wrapping 공법으로 보강하였다. 또한 RMF-CF 시험체는 RMC-CF 시험체와 동일하게 기둥을 보강하였으며 조적벽은 좌우 60°씩 2장을 보강하였다. 사용재료의 물성치는 표 2 ~ 4와 같다.



〈그림 2〉 시험체 보강 형상

〈표 2〉 콘크리트 배합설계

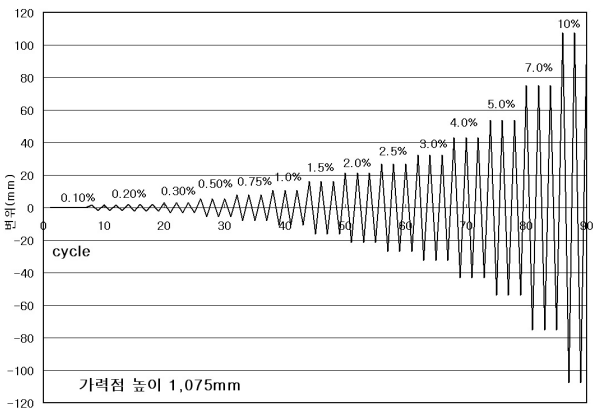
굵은 골재(mm)	슬럼프(mm)	공칭강도(MPa)	시멘트 종류
25	120	21	보통

〈표 3〉 접착제 물성치

	인장강도(MPa)	압축강도(MPa)
에폭시 프라이머	57.6	58.5
에폭시 레진	61.6	81.1

〈표 4〉 CFRP Sheet의 물성치

	두께(mm)	폭(mm)	인장강도(MPa)	탄성계수(MPa)
CFRP	0.165	500	3,480	2.35×10^5



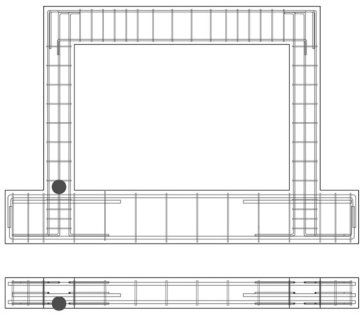
〈그림 3〉 가력 패턴

2.2 계측 및 가력 계획

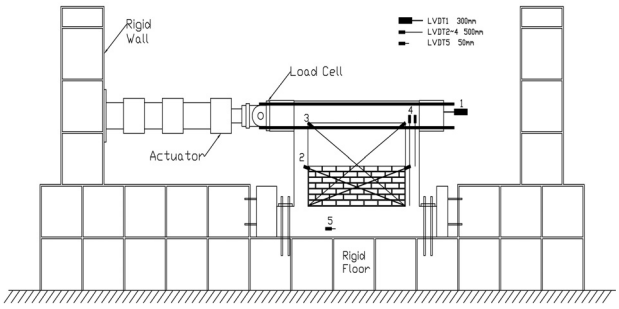
시험체는 하부를 고장력 볼트를 이용하여 실험실의 강구조 프레임과 고정하였으며 양 측면을 블록으로 고정하여 전체 시험체의 변위를 방지하였다. 1000kN 용량의 동적 Actuator를 강구조 프레임에 부착하여 변위제어 방법으로 초당 0.5mm 속도의 반복 횡하중을 시험체 상부 보의 중심 부분에 가력하였으며 1000kN 용량의 로드셀을 이용하여 하중을 계측하였다. 가력 패턴은 그림 3과 같이 각 변위별로 3 Cycle씩 반복되어 총 45번의 Cycle을 이루고 있으며 Drift Ratio 10%인 107.5mm 까지 변위를 주는 것으로 계획하였다. Drift Ratio는 기둥 높이에 대한 횡변위 비로 식 (1)과 같이 표현된다.

$$Drift\,Ratio,\ \% = \frac{\Delta_l}{h_0} \times 100 \qquad (1)$$

여기에서 Δ_l은 횡변위이며 h_0은 기둥 하부에서부터 횡하중이 가해지는 지점까지의 높이를 나타낸다. Drift Ratio 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3.0%, 4.0%, 5.0%의 비교구간을 적용하여 각 변위와 Cycle에서의 하중변화 및 강도 감소 등을 비교하였으며 최대하중의 60% 이하로 하중이 감소하였을 때 실험을 종료하였다. 시험체의 변위계측을 위하여 LVDT(Linear Variable Differential Transducer)를 설치하였다. 300mm 길이의 LVDT를 이용하여 Actuator에 의한 시험체 전체의 변위를 측정하였으며 보강방법에 따른



〈그림 4〉 strain gauge 부착 계획



〈그림 5〉 시험체 설치 및 계측 계획

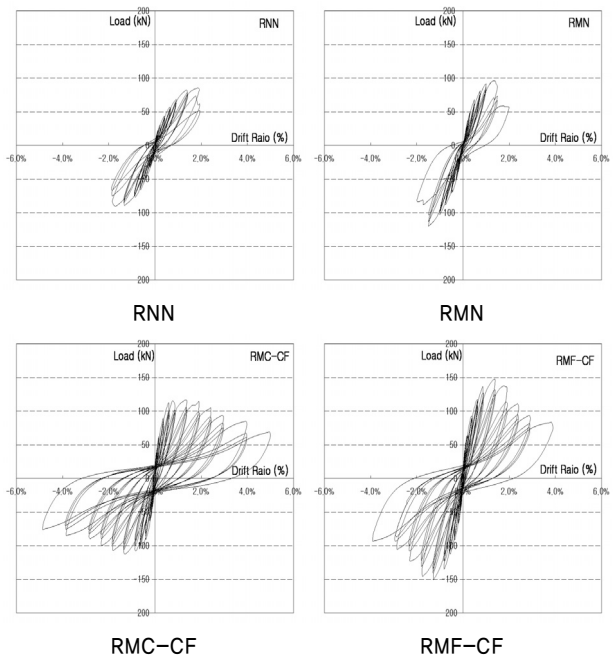
내부 프레임의 변위를 측정하기 위하여 500mm 길이의 LVDT를 시험체 기둥의 조적벽 높이에 설치하였다. 또한 기둥에서 가장 큰 변위가 발생할 것으로 예상되는 지점의 철근에 Strain Gauge를 부착하였다. 실험실의 강구조 프레임에 시험체를 설치한 모습과 LVDT, Strain Gauge 부착 계획은 그림 4와 그림 5에 나타나있다.

3. 실험 결과

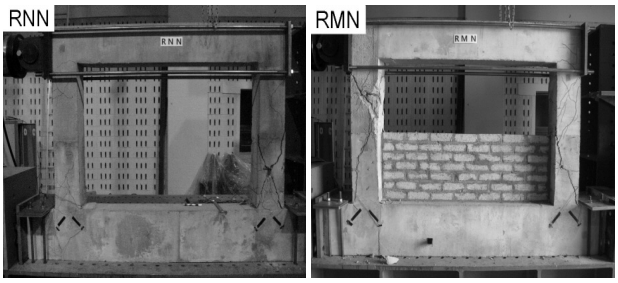
3.1 시험체의 거동

시험체의 하중-변위 이력곡선은 그림 6과 같으며 CFRP Sheet가 시험체의 강도와 강성을 현저하게 증대시킨다는 것을 확인할 수 있다. 그림 7과 같이 기준 시험체 RNN은 Drift Ratio 2.0%에서 최대하중에 도달하여 우측 기둥에서 사인장 균열이 진행됨에 따라 기둥의 콘크리트가 박리, 파괴되었으며 순간적으로 내력이 저하되어 하중의 17%가 감소하였다. RNN 시험체를 제외한 모든 시험체는 Drift Ratio 1.5%의 첫번째 Cycle에서 최대하중에 도달하였다. RMN 시험체는 좌측 상부 기둥에서 사인장 균열에 의한 콘크리트의 박리가 발생하였지만 조적벽의 파괴 현상은 발생하지 않았으며 이는 조적벽이 최대하중에 도달하기 전에 콘크리트 기둥의 파괴가 먼저 일어났기 때문인 것으로 판단된다.

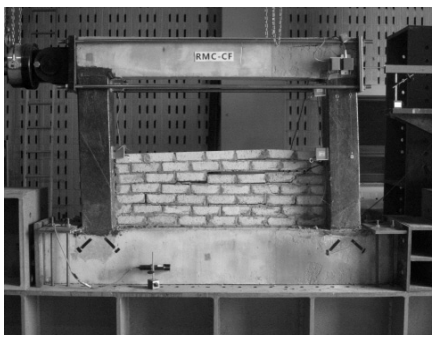
기둥에만 보강을 한 RMC-CF 시험체와 기둥과 조적벽에 모두 보강을 한 RMF-CF 시험체는 각각 다른 거동을 보였



〈그림 6〉 시험체의 하중-변위 이력곡선

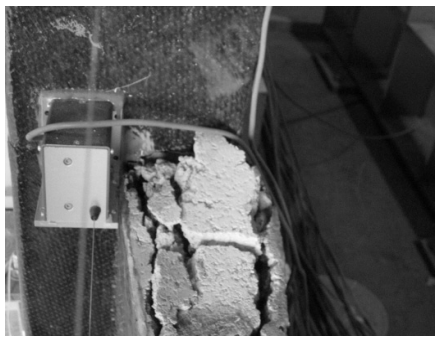


〈그림 7〉 비보강 시험체의 파괴 형상



〈그림 8〉 RMC-CF 시험체의 슬라이딩 파괴 형상

다. RMC-CF 시험체는 Drift Ratio 1.0%의 두번째 Cycle에서 조적벽의 줄눈에 슬라이딩 균열이 발생하였으며 실험이 진행됨에 따라 그림 8과 같은 균열 폭의 진전으로 균열 상부의 조적이 들뜨는 현상이 관찰되었으나 시험체의 기둥에서는 균열과 박리가 관찰되지 않았다. 또한 시험체의 하중-변위 이력곡선에서 하중이 급격하게 감소하는 구간이 발생하지 않았으며 Drift Ratio 5.0%에서 실험 종료 기준인 최대하중의 60%에 도달하였다. RMF-CF 시험체는 기둥의

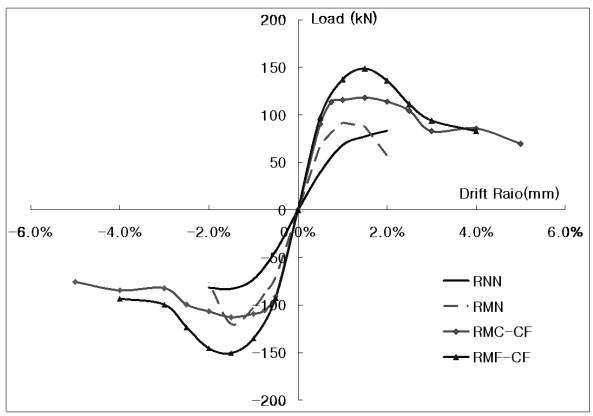


〈그림 9〉 RMF-CF 시험체의 Toe Crushing 파괴 형상

〈표 5〉 시험체에 따른 최대하중 비교

시험체명	최대하중(kN)		Ratio*	Drift ratio(%)
	Push	Pull		
RNN	85.95	-89.87	1.00	2.0%
RMN	96.43	-120.05	1.12	1.5%
RMC-CF	116.82	-112.31	1.36	1.5%
RMF-CF	146.90	-150.14	1.71	1.5%

Ratio*: 기준시험체의 하중에 대한 각 시험체의 하중 비



〈그림 10〉 보강방법에 따른 시험체의 하중 비교

균열이 관찰되지 않았으며 조적벽의 슬라이딩 균열이 발생하지 않았다. 그러나 그림 9와 같이 조적벽과 기둥이 만나는 양쪽의 코너 부분에서 Toe Crushing이 발생하였으며 그로 인한 조적의 잔해 때문에 CFRP Sheet가 부풀어 오르는 현상이 관찰되었다. 실험 종료 후 기둥에서 CFRP Sheet를 제거하여 균열이 발생하지 않았음을 확인하였다.

3.2 강도와 강성

보강방법에 따른 시험체의 최대하중 비교는 표 5와 같으며 그림 10에 나타난 포락선은 하중-변위 곡선의 각 최대점을 연결하여 나타낸 것으로 각 시험체의 강성과 강도, 일반적인 거동을 파악하는데 사용된다.[5] 조적 허리벽으로 보강한 RMN 시험체는 기준 시험체인 RNN보다 1.12배 높은 최대하중을 나타내었으며 기둥에 CFRP Sheet가 보강된

RMC-CF 시험체와 기둥과 조적벽을 모두 보강한 RMF-CF 시험체는 RNN 시험체보다 각각 1.36배, 1.71배 높은 최대하중을 나타냈다. 기둥에만 CFRP Sheet로 보강한 시험체보다 기둥과 조적벽을 모두 보강한 시험체의 최대하중이 1.26배 높게 나타나는 것을 통해 기둥에만 보강을 하는 것보다 기둥과 조적벽을 모두 보강하는 방법에서 더 높은 강도를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다. 보강방법에 따른 시험체의 하중 비교는 그림 10과 같다. RMF-CF 시험체는 가장 높은 최대하중을 갖지만 최대하중 이후 가파른 하강 곡선을 그리는 반면 RMC-CF 시험체는 최대하중 이후 완만한 하강 곡선을 나타낸다. 따라서 연성능력은 RMF-CF 시험체보다 RMC-CF 시험체가 더 우수한 것으로 판단된다.

초기강성은 하중-변위 곡선의 초기 기울기로 정의하며 극한강성은 최대하중과 양의 하중, 음의 하중에서의 변위를 이은 기울기의 평균값으로 정의한다.[6] 표 6과 같이 기준 시험체 RNN에 대한 초기강성 비는 RMN, RMC-CF, RMF-CF 시험체가 각각 1.4, 1.88, 2.21을 나타냈으며 RNN 시험체에 대한 극한강성 비는 RMN, RMC-CF, RMF-CF가 각각 1.59, 1.76, 2.29로 나타났다.

유효강성은 그림 11과 같이 각 Cycle의 양의 방향 최대하중과 변위 지점, 음의 방향의 최대하중과 변위 지점을 연결한 직선의 기울기로 정의한다.[7]

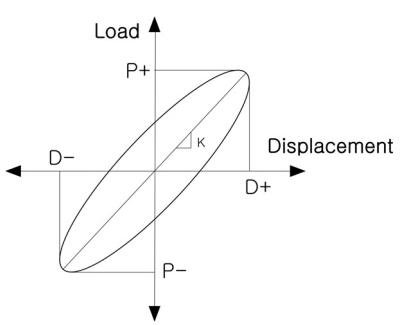
$$K=\frac{(P^{+}-P^{-})}{(D^{+}-D^{-})} \quad (2)$$

P^{+}: 양의 방향 최대하중　　P^{-}: 음의 방향 최대하중
D^{+}: 양의 방향 최대변위　　D^{-}: 음의 방향 최대변위

〈표 6〉 초기강성과 극한강성 (kN/mm)

시험체명	초기강성	Ratio*	극한강성	Ratio**
RNN	9.21	1.00	4.31	1.00
RMN	12.94	1.40	6.76	1.59
RMC-CF	17.35	1.88	8.33	1.76
RMF-CF	20.38	2.21	10.39	2.29

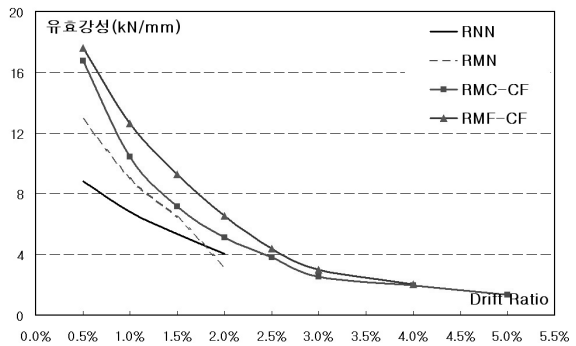
Ratio*: 기준시험체의 초기강성에 대한 각 시험체의 초기강성 비
Ratio**: 기준시험체의 초기강성에 대한 각 시험체의 극한강성 비



〈그림 11〉 유효강성 산출

그림 12와 같이 Drift Ratio 0.5%에서의 유효강성은 RNN 시험체가 8.87인 것에 비해 RMN, RMC-CF, RMF-CF 시험체가 각각 12.89, 16.77, 17.6으로 측정되어 보강량이 증가할수록 유효강성이 증가한다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 유효강성은 핀칭 효과에 의해서 동일한 Drift Ratio에서 Cycle이 진행됨에 따라 점차적으로 감소하는 경향을 보인다. 표 7과 같이, RNN 시험체의 경우 Drift Ratio 0.5% 구간은 각 Cycle에 대하여 각각 8.87, 8.53, 8.44의 강성을 보였으며, Drift Ratio 1.5% 구간에서는 5.31, 5.06, 4.92의 강성을 나타내고 있어 Cycle이 진행됨에 따라 유효강성이 감소하는 것을 확인 할 수 있다.

초기강성, 극한강성, 유효강성을 모두 비교한 결과, 각 항



〈그림 12〉 시험체의 유효강성 변화

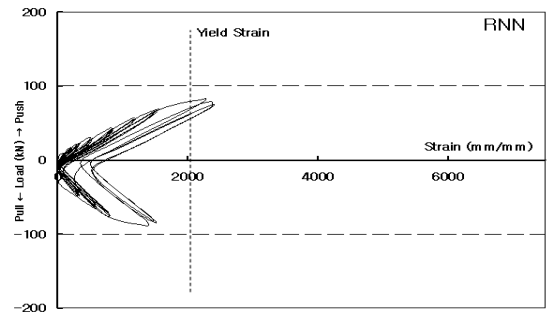
〈표 7〉 시험체의 Cycle에 따른 유효강성(kN/mm)

Drift Ratio	Cycle	RNN	RMN	RMC-CF	RMF-CF
0.5%	1	8.87	12.89	16.77	17.60
	2	8.53	12.01	16.22	17.00
	3	8.44	11.68	15.93	16.70
1.0%	1	6.87	9.10	10.51	12.73
	2	6.63	8.70	9.65	11.99
	3	6.50	8.47	9.31	11.38
1.5%	1	5.31	6.42	7.10	9.23
	2	5.06	5.77	6.55	8.48
	3	4.92	5.26	6.29	8.12
2.0%	1	4.03	3.25	5.14	6.55
	2	3.18	-	4.62	5.73
	3	2.76	-	4.40	5.27
2.5%	1	-	-	3.81	4.38
	2	-	-	3.41	3.81
	3	-	-	3.19	3.53
3.0%	1	-	-	2.86	3.09
	2	-	-	2.57	2.73
	3	-	-	2.37	2.53
4.0%	1	-	-	1.97	2.05
	2	-	-	1.66	-
	3	-	-	1.52	-
5.0%	1	-	-	1.35	-
	2	-	-	-	-
	3	-	-	-	-

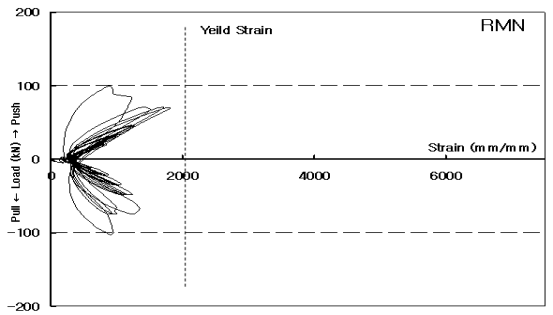
목에서 기준 시험체 RNN에 대한 강성 비는 달랐지만 일반적으로 CFRP Sheet의 보강량이 증가할수록 강성이 증가한다는 것을 알 수 있다. 가장 높은 강성을 나타낸 RMF-CF 시험체의 경우 RNN 시험체보다 초기강성과 극한강성, 유효강성에서 각각 2.21배, 2.29배, 2배 큰 값을 나타냈다.

3.3 철근의 항복변형률 도달 시 재하 횡하중

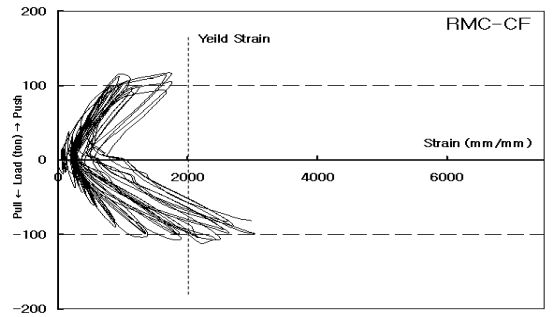
그림 13과 표 8은 각 시험체의 기둥에서 횡하중 가력 시



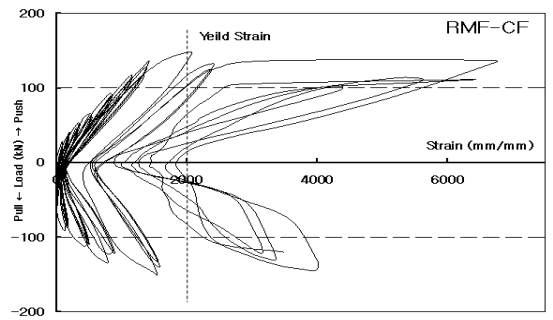
(a) RNN 시험체의 철근 변형률



(b) RMN 시험체의 철근 변형률



(c) RMC-CF 시험체의 철근 변형률

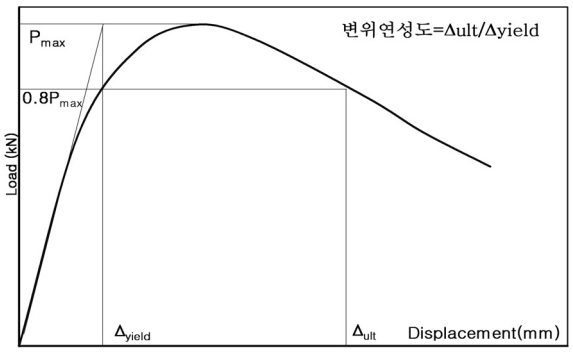


(d) RMF-CF 시험체의 철근 변형률

〈그림 13〉 각 시험체의 철근 변형률

〈표 8〉 항복 변형률 (0.002) 도달 시 재하 횡하중

시험체	RNN	RMN	RMC-CF	RMF-CF
하중(kN)	79.18	N/A	-95.26	146.90
변위(mm)	13.2	N/A	-9.66	14.10



〈그림 14〉 변위연성도 산출 방법

〈표 9〉 변위연성도

	P_{max} (kN)	Δ_y (mm) (항복변위)	Δ_u (mm) (극한변위)	Δ_u/Δ_y	Ratio
RNN	83.69	9.10	23.80	2.62	1.00
RMN	91.83	7.10	18.80	2.65	1.01
RMC-CF	118.19	6.80	28.80	4.24	1.62
RMF-CF	148.67	7.30	29.80	4.08	1.56

가장 큰 변형을 나타낸 좌측 하부의 보-기둥 접합부 Strain Gauge의 변형률을 비교하여 나타낸 것이다. 기준 시험체인 RNN의 철근이 79.18kN에서 항복한 것에 비해 RMC-CF 시험체와 RMF-CF 시험체는 각각 -95.26kN과 146.9kN에서 철근이 항복하였다. 따라서 항복 변형률에 도달하기 전에 콘크리트 파괴가 일어나 실험이 종료된 RMN 시험체를 제외하면 CFRP Sheet의 보강량이 증가 할수록 높은 횡하중에서 철근의 항복 변형률에 도달 한다는 것을 확인하였다.

3.4 변위연성도

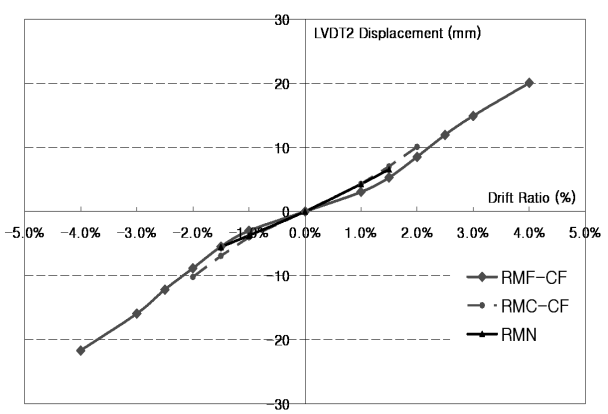
형상에 따른 구조물의 연성 능력을 나타내는 변위연성도는 항복 변위(Δ_y)에 대한 극한 변위(Δ_u)의 비로 정의된다. 그러나 하중-변위의 관계에서 항복점이 뚜렷하게 나타나지 않기 때문에 Sheikh가 제안한 방법을 사용하였다. Sheikh는 초기강성이 최대하중에 도달하였을 때의 변위를 항복변위, 최대하중을 지나 하중이 최대하중의 80%에 도달하였을 때의 변위를 극한변위로 정의하였다.[8]

시험체의 변위연성도는 표 9와 같다. CFRP Sheet로 보강된 두 시험체 모두 기준 시험체 RNN보다 우수한 연성능력을 보였다. RMC-CF, RMF-CF 시험체는 RNN 시험체에 비해 각각 1.62배, 1.56배 큰 변위연성도를 보였으며 RMN

시험체는 RNN 시험체의 1.01배의 변위연성도를 나타내 연성능력의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. RMN 시험체는 조적벽의 내력에 의한 초기강성의 증가로 작은 항복 변위를 나타냈다. 그러나 최대하중 이후 기둥의 사인장 균열에 의한 파괴로 내력이 급격하게 감소하여 작은 극한 변위를 나타냈기 때문에 RNN 시험체와 변위연성도의 차이가 없는 것으로 판단된다. RMC-CF 시험체와 RMF-CF 시험체는 각각 4.24, 4.08의 변위연성도를 나타내어 RMC-CF 시험체의 연성능력이 더 우수한 것으로 나타났다. RMC-CF 시험체는 Drift Ratio가 증가함에 따라 조적벽에서 슬라이딩 균열이 발생하였지만 파괴되지 않기 때문에 내력이 유지되었다. 그러나 RMF-CF 시험체는 비록 시험체 중 가장 높은 최대하중을 나타냈지만 Toe Crushing에 의한 조적벽 코너 부분의 파괴로 시험체의 내력이 빠르게 감소하여 RMC-CF 시험체보다 낮은 변위연성도를 나타냈다고 판단된다. 따라서 기둥과 조적벽을 모두 보강하는 방법보다 기둥에만 보강을 하는 방법이 더 우수한 연성능력을 발휘한다는 것을 확인하였다.

3.5 프레임 내부의 변위

그림 15는 LVDT2를 이용하여 측정한 RMN 시험체와 CFRP Sheet로 보강된 시험체들의 프레임 내부의 변위를 비교한 것이다. RMC-CF 시험체는 큰 차이가 없는 반면 RMF-CF 시험체는 Drift Ratio 1.5%에서 23%의 변위 감소를 나타낸다. 이는 조적벽 자체는 횡하중에 대한 충분한 내력을 갖지 않기 때문에 기둥에만 CFRP Sheet 보강을 한 경우 슬라이딩을 일으키며 변형되지만, 기둥과 조적벽에 모두 CFRP Sheet로 보강을 했을 경우에는 횡하중에 대한 조적벽의 내력이 형성되어 변위가 감소한 것으로 판단된다.



〈그림 15〉 시험체 프레임 내부의 변위

4. 결 론

본 연구에서는 CFRP Sheet로 보강된 철근콘크리트 프레임면내 조적벽체의 전단내력을 평가하기 위해 CFRP sheet의 보강량을 변수로 1층, 1경간, 1/2스케일의 시험체를 4개 제작하여 반복 횡하중을 가하는 실험을 수행하였다. 실험을 통해 도출한 결론은 다음과 같다.

1. CFRP Sheet의 보강량이 증가할수록 시험체의 강도가 증가하며 이는 CFRP Sheet가 기둥과 조적벽의 횡하중에 대한 내력을 향상시켜 시험체의 강도를 증대시키기 때문으로 판단된다.
2. 시험체의 강성은 CFRP Sheet의 보강량이 증가할수록 높아지는 경향을 보였다. 기둥에만 보강을 한 시험체는 조적벽의 슬라이딩 균열에 의한 강성의 감소를 보이는 반면 기둥과 조적벽을 모두 보강한 시험체는 CFRP Sheet에 의해 조적벽의 내력이 증가하여 비교적 높은 하중에서 Toe Crushing에 의한 파괴가 발생함에 따라 강성이 증가한 것으로 사료된다.
3. 기둥과 조적벽을 모두 보강하는 것보다 기둥에만 보강한 시험체의 변위연성도가 더 우수한 것으로 나타났다. 이는 비록 조적벽에서 슬라이딩 균열이 발생하였지만 파괴는 일어나지 않기 때문에 Drift Ratio가 증가함에도 내력이 어느 정도 유지되었으며 이에 따라 높은 변위연성도가 측정 된 것으로 판단된다.
4. LVDT2를 이용하여 프레임 내부의 변위를 비교한 결과 기둥과 조적벽을 모두 CFRP Sheet로 보강한 RMF-CF 시험체에서만 프레임 내부의 변위감소가 나타났다. 이는 다른 시험체는 기둥이 먼저 파괴되거나 조적벽에서 슬라이딩 균열이 발생하여 횡하중에 대한 내력이 감소했지만 CFRP Sheet로 기둥과 조적벽을 모두 보강 했을 경우 횡하중에 대한 충분한 내력이 형성되었기 때문에 동일 변위의 RMN 시험체에 비해 23%의 변위감소가 나타난 것으로 판단된다.
5. 이상의 결과를 통해 강도와 강성의 측면에서 고려하였을 때 CFRP Sheet로 기둥과 조적벽을 모두 보강하는 것이 가장 효과적인 보강방법이라고 판단된다.

실제 건축물에는 1경간이 존재하지 않기 때문에 향후 2경간, 3경간의 비교연구가 필요하며 더불어 실제 학교 건물에 대한 CFRP Sheet 시공 방법의 적용성 평가에 대한 추가 연구가 요구된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 특정기초연구사업(R01-2007-000-20765-0)의 지원에 의해 수행된 것으로 이에 대해 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 부산광역시, “부산광역시 안전관리계획,” 2006.
2. 서상훈, 유연종, 이영학, 김희철, 이기학, 이한선, “탄소섬유시트와 비좌굴 가새를 이용한 저층 필로티 구조물의 보-기둥 연결부의 횡방향 보강효과에 관한 실험적 연구,” 한국지진공학회 제13권 1호, 45-52, 2009.
3. 김민숙, 윤소희, 이영학, 김희철, “FRP시트와 비좌굴가새를 적용한 저층 필로티 구조물의 보-기둥 연결부 거동 해석에 관한 연구,” 한국지진공학회 제13권 2호, 69-77, 2009.
4. Mohamed A. ElGawady, Pierino Lestuzzi, and Marc Badoux, “A seismic retrofitting of unreinforced masonry walls using FRP,” *Composites*: Part B Vol. 37, No, 2, 148-162, 2006.
5. Sinan Altin, Özgür Anil, M. Emin Kara, and Mustafa Kaya, “An experimental study on strengthening of masonry infilled RC frames using diagonal CFRP strips,” *Composites*: Part B Vol. 39, No. 4, 680-693, 2008.
6. Özgür Anil, and Sinan Altin, “An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames,” *Engineering Structures*, Vol. 29, No. 3, 449-460, 2007.
7. A. G. Tsonos, “Lateral Load Response of Strengthened Reinforced Concrete Beam-to-column Joints,” *ACI Structural Journal*, Vol. 96 No. 1, 421-431, 1999.
8. Sheikh, S.A., and Khoury, S.S. (1997), “A Performance-Based Approach for the Design of Confining in Tie Columns,” *ACI Structural Journal*, Vol. 49, No. 4, 421-431, 1997.