

아라미드 스트립을 이용한 학교건축물의 내진성능 보강방안에 관한 실험적 연구

김혜진 · 박태원[†] · 조승호 · 이경구 · 노영숙* · 정 란

단국대학교 건축공학과 · *서울산업대학교 건축학부

(2010. 1. 20. 접수 / 2010. 5. 10. 채택)

Experimental Study on Seismic Retrofitting Methods for School Building using Aramid Strip

Hye-Jin Kim · Tae-Won Park[†] · Seung-Ho Cho · Kyung-Koo Lee · Young-Sook Roh* · Lan Chung

Department of Architecture Engineering, Dankook University

*Division of Architectural Engineering, Seoul National University of Technology

(Received January 20, 2010 / Accepted May 10, 2010)

Abstract : Most of the school buildings were built before the seismic code was established. To consider the sunlight and ventilation to the partition walls are built about 1m height beside columns at typical school buildings. For the reason, columns which is consisted school building occur brittle failure shape by the reduced effective depth. In this study, experimental test for retrofitting effect by Aramid Fiber Reinforced Polymers(AFRP) strips on masonry infilled reinforced concrete(RC) frames is performed. The test results were to ensured enough time to evacuate due to the enhancement of ductility and strength of school buildings to withstand earthquakes using AFRP strips.

Key Words : school buildings, masonry hanging walls, reinforced concrete(RC) frames

1. 서론

국내에 현존하는 초·중등학교 건축물은 대부분 5층 이하의 건축물로 2005년 국내건축구조물의 내진설계기준이 강화되기 이전에는 내진설계대상에서 제외된 채로 설계가 이루어져 내진성능이 부족한 것으로 나타났다. 이에 따라 유관단체 및 정부에서는 지방교육청을 중심으로 학교건축물의 내진성능 보강방안에 대한 관심이 매우 높아지고 있는 것이 현실이다. 더욱이 2008년에 중국에서 발생한 스촨성 지진의 피해현황¹⁾이 국내에 알려지면서 학교건축물에 대한 관심이 높아지게 되었다. 학교건축물의 평면현황을 분석하면 대부분이 편복도형의 골조형식의 구조물에 내부는 조적벽에 의한 칸막이벽으로 이루어져 있는 것으로 나타났다. 조적벽에 의한 칸막이벽은 그 자체로는 강성 및 강도가 매우 큰 것으로 알려져 있으나 면외방향으로 작용하는 횡력 및 반복하중에 매우 취약²⁾하여, 내진설계

시에는 사용을 지양하고 있는 건축재료이다. 또한 국내 주거건축물도 고층아파트로 지칭되는 공동주택 외에 대부분의 단독주택이나 다세대·다가구 주택이 이와 같은 형식으로 이루어져 내진성능이 없는 것으로 이루어져 있다.

특히, 학교에서의 조적벽은 채광을 위한 개구부를 설치하기 위해서 허리벽이 다수 설치되어 있는데 허리벽의 존재는 기둥의 강도를 높여줄 수도 있지만, 허리벽으로 인해 기둥의 순높이가 감소하여 기둥의 단주효과를 유발시킬 수도 있다. 이는 지진발생 시 기둥의 전단파괴를 야기할 수 있다. 그러나 국내 조적벽체에 대한 연구는 상당히 미비하여 FEMA(Federal Emergency Management Agency) 273³⁾, FEMA 306⁴⁾ 등에서 제안하는 비보강 조적벽체의 4가지 파괴 모드에 대한 설계기준을 두고 있을 뿐 국내에 적합한 설계기준이 없는 실정이다.

또한 학교건축물의 특성상 구조물의 보강공사는 40여일에 남짓 한 방학기간을 이용하여 공사가 수행되어야 하므로 조적벽을 제거하고 공사를 수행한다는 것은 현실적으로 불가능한 일이므로 조적벽을 효

[†] To whom correspondence should be addressed.
tw001@dankook.ac.kr

울적으로 이용하면서 적절한 보강을 수행하기 위한 방안이 강구되어야 할 필요성이 제기되고 있다.

따라서 본 연구에서는 프레임면내 조적벽체가 있는 철근콘크리트 구조물의 거동특성과 단기간내에 보강공사를 수행할 수 있는 방안을 제시하고 이에 대한 보강효과를 비교하여 프레임면내 조적벽체의 효율성을 평가하고자 한다. 더불어 추후 대피시설로서 이용할 수 있는지에 대한 평가를 병행하여 수행하였다.

2. 학교건물현황

우리나라 건축물의 구조설계기준에 내진설계의 개념이 도입된 것은 1988년이지만, 5층 이하의 구조물은 내진설계 대상에서 제외되어 있어 우리나라 학교건축물의 대부분은 이 규정에 의하여 내진설계 대상에서 제외되었다. 이후 2005년 건축구조설계기준이 개정되면서 모든 건물에 대한 내진성능을 검토하게 되었으며, 학교건축물에 대한 중요도 계수를 내진 I등급으로 향상하여 구조설계를 수행하도록 하였다. 또한 2009년에 개정된 구조설계기준에는 학교건물이 피난시설로 지정될 경우 더욱 강화된 기준을 적용하게 되어 있다.

교육과학기술부 자료에 따르면 우리나라에는 17,734동(Table 1 참조)의 학교 시설물이 있으며, 그 중 전체 학교 건물의 86.3%가 내진설계 대상에서 제외되어 있는 것으로 나타났다. 유한국³⁾은 이러한 건물들에 대한 내진성능을 조사한 결과 3층 이하의 건물은 지진하중이 고려되지 않아도 어느 정도 내진성능을 확보하였으나 4층 이상의 건물은 반드시 내진성능보강이 수행되어야 함을 발표한 바 있어 4층 이상의 학교건물에 대한 내진성능보강공사가 시급히 수행되어야 할 것으로 판단된다. 또한 학교 건물의 구조형식을 살펴보면 Fig. 1과 같이 약 96%

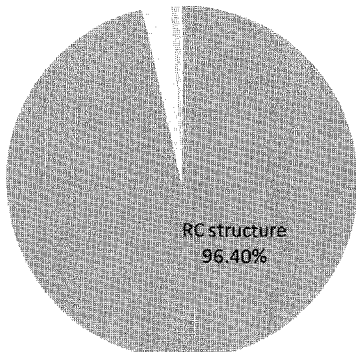


Fig. 1. The proportion of school building structure.

Table 1. Seismic design status of school building

the number of buildings		total area	
seismic design	nonseismic design	seismic design	nonseismic design
2,482	15,305	16,334,960(m ²)	52,511,650(m ²)
13.7%	86.3%	23.7%	76.3%
total	17,734	total	68,846,610m ²

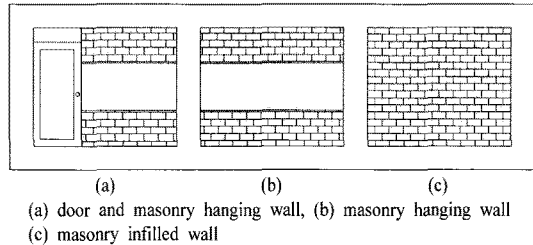


Fig. 2. Masonry infilled wall type in RC frame structure.

이상의 학교건물이 철근콘크리트 골조식구조물이었으며 2.5%의 건물은 철골조로, 약 1%의 건물은 철근-철골콘크리트 골조구조형식을 나타내고 있어 철근콘크리트 골조형식의 학교건물에 대한 보강방안이 시급히 강구되어야 할 것으로 판단된다. 학교 건물의 골조내부의 칸막이벽은 Fig. 2와 같은 전면 조적채움식과 환기 및 채광을 위한 일부 조적채움형식의 조적벽으로 이루어져 있다. 이중 모두 조적조 내부채움형식을 가지고 있었다.

이중 Fig. 2(a)와 같은 채움벽은 출입문의 크기를 조절하여 기존 RC기둥을 보강할 수 있으나 (b)와 (c)와 같은 조적벽은 벽체를 허물지 않고는 보강할 수 있는 방안이 적절치 않으며 조적벽체를 허물고 보강을 수행한 후 새로이 칸막이벽을 설치할 경우 경제적인 낭비와 학교건물의 특성상 약 40일 내외의 공기 내에 내진성능 보강공사를 수행하는 것은 현실적으로 매우 어렵다.

본 연구에서는 현실적인 제약이 있는 학교건물에 적합한 보강방법인 슈트부착법 및 매립이 가능한 스트립을 이용한 보강방법을 이용하여 내진성능보강실험을 수행하였다. 본 보강법은 Fig. 3과 같이 휨 및 압축부재, 전단부재에 모두 적용할 수 있으며, 섬유부착공법의 단점인 취성적인 파괴를 방지할 수 있다. 특히 아라미드 스트립을 이용한 공법은 섬유를 함침시켜 이를 기존 부재에 매립하는 공법으로 기존부재와 일체거동을 할 수 있고, 제품이 공장에서 제작되므로 품질균일도가 우수하다. 또한 경량제품으로 운반과 시공작업이 편리하여 시공작업자들의 숙련도에 영향을 받지 않아 간단한

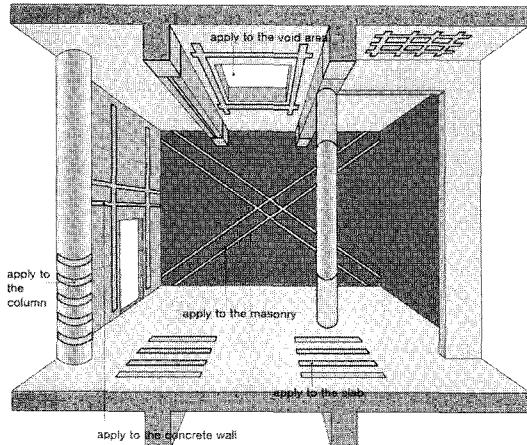


Fig. 3. An example of AFRP reinforcement.

공정으로 공사를 마칠 수 있으며 이밖에 내식성 및 작업성이 우수하여 학교건물처럼 공간과 시공 기간의 제약이 큰 건물의 보강에 특히 적합하다는 장점이 있다.

3. 학교건물의 내진성능 향상방안 실험

3.1. 실험개요

본 연구에서는 실제 학교의 내진성능향상을 알아보기 위해, 국내 학교건물 중 실제 학교 건물을 대상으로 표준모델을 선정하였으며, 이러한 표준모델 중 경기도 소재 A학교의 설계도서에 근거하여 Fig. 4와 같이 외측 허리벽이 있는 부위를 선정하여 실험체를 설계 및 제작하였다.

실험체는 프레임내 조적 허리벽이 있는 골조를 기준 실험체로 선정하였고, 보강방안을 적용한 실험체 2개 등 총 3개의 실험체를 제작하였다. 보강 대상 위치에 있는 부재의 크기 및 배근 상세는 Fig. 5와 같다.

실험체는 실험실 여건과 운반 등의 사정을 고려하여 1/2 축소모델로 제작하였으며, 상사법칙에 의

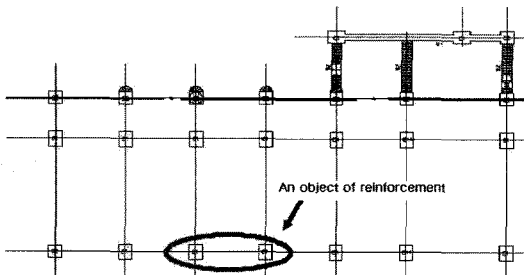


Fig. 4. Prototype of school building.

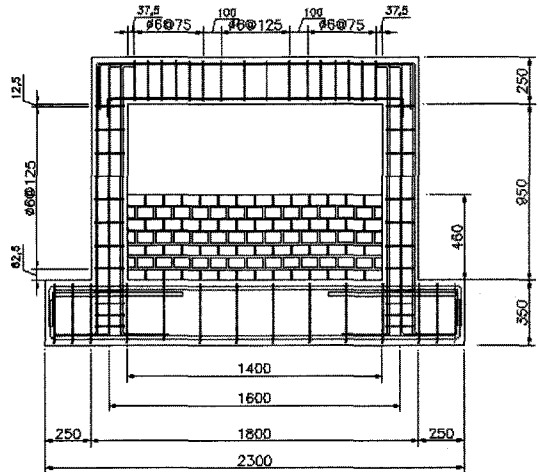


Fig. 5. Dimensions and reinforced details of test frames(1/2 scale).

Table 2. Test specimens

no.	Specimen	Reinforced positions
1	MN	-
2	MC	column
3	MF	column+hanging wall

MN
 L Retrofitting locations
 N:Non-retrofitting
 C:Retrofit to Column
 F:Retrofit to Column and masonry wall
 M:Masonry

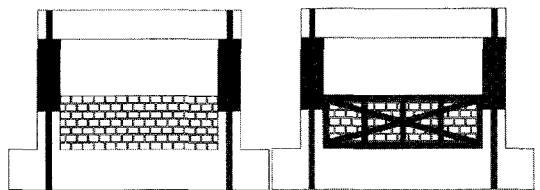


Fig. 6. Details of AFRP retrofitting on structures.

하여 축소모델의 배근과 치수를 정하였다. 기준 실험체 및 보강실험체에 들어가는 조적벽체는 시멘트 벽돌로 제작되었으며, 일반모르타르를 사용하여 0.5B 쌓기 하였다. 실험체에 대한 변수에 관한 사항은 Table 2와 같으며, 각각의 실험체의 보강 상세에 관한 계획도는 Fig. 6과 같다.

3.2. 실험재료

실험체에 사용한 아라미드섬유스트립의 물성치는 다음 Table 3과 같다.

Table 3. The mechanical properties of AFRP material

thickness (mm)	width (mm)	area (mm ²)	elastic modulus (GPa)	ultimate tensile strength (MPa)
1.4	50	70	61.2	1,600

3.3. 실험계획

보강은 표면 그라인딩(아라미드섬유 시트의 충분한 접착력을 확보하기 위한 공정으로 시공할 콘크리트 표면의 도장, 오염, 열화층 등을 그라인더 등을 사용하여 제거) → 프라이머 도포 → 에폭시 퍼티 처리 → 아라미드섬유 스트립 부착 → 양생 및 마감도장 순서로 진행되었다.

Fig. 8은 실험체의 설치 상황을 나타낸 것이다. 실험체는 실험실 내의 Strong Frame에 고정되어 설치되었으며, 실험체에 가해지는 압축력이 최소가 되도록 하기 위해 가력보 양단부에 철물을 설치하고 강봉(∅24)으로 액추에이터(actuator)와 실험체를 일체화하였으며, 액추에이터는 가력프레임 왼쪽 기둥의 중앙부에 실험체의 보의 위치와 맞추어 설치하였다.

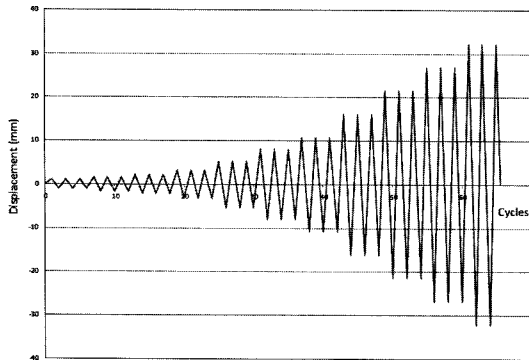


Fig. 7. Loading history.

가력은 변위제어방식으로 수행되었으며, 수평하중을 재하할 때 액추에이터 자체의 로드셀(load cell)로 하중을 측정하였다. 또한, 가력 프레임 단부에 설치한 변위계(LVDT: Linear Vertical Displacement Transducer)로 수평 변위를 측정하면서 미리 계획한 변위 이력 에 따라 하중을 제어하였다.

정적 반복가력을 원칙으로 최대하중 시 층간변위각 R_p (=수평변위 / 기둥 순높이)가 각각 0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.5, 0.75, 1.0, 2.0, 2.5, 3.0%를 각각 3 사이클씩 재하하였다. 실험의 종료 시기는 실험체의 파괴상황에 따라 결정하였다. Fig. 7은 본 실험에 적용된 가력이력을 나타낸 그림이다.

실험 시 계획계획으로 Fig. 8에서 보는 바와 같이 실험체의 수평 변위를 측정하기 위하여 보 중앙부분에 선형변위측정기(LVDT: 300mm)를 설치하고 전체 프레임의 전단 변위, 조적 허리벽의 전단 변위, 기둥의 축 변위를 측정하기 위하여 와이어 LVDT(500mm) 6개를 Fig. 8에서 보는 바와 같이 설치하였다. 또한 실험체의 미끄러짐(slip)을 측정하기 위하여 실험체 하단에 LVDT(50mm)를 설치하였다. 데이터 취득에는 컴퓨터와 Data Logger를 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 최대내력비교

철근콘크리트 프레임면내 조적벽체의 구축에 따른 구조물에 반복수평하중이 작용할 때 실험체의 실험결과를 Table 4에 나타내었다.

횡변위의 측정은 가력빔과 액추에이터 사이의 가력지점에서의 변위로 측정되었다. 기준실험체인 MN 실험체는 Drift ratio 1.5%에서 최대하중 98.69kN

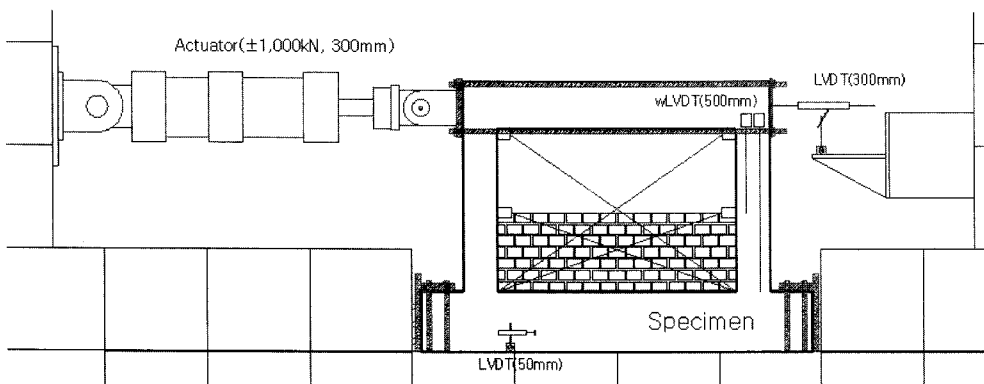


Fig. 8. Test setup.

Table 4. Summary of test results

specimen	initial crack		yielding point		maximum point	
	load(kN)	ratio(%)	load(kN)	ratio(%)	load(kN)	ratio(%)
MN	47.3	1.00	81.82	1.00	98.69	1.00
	-50.38	1.00	-87.37	1.00	-122.25	1.00
MC	51.96	1.09	105.75	1.29	118.98	1.2
	-87.73	1.74	-122.26	1.4	-126.0	1.03
MF	48.46	1.02	102.39	1.25	122.36	1.23
	-47.66	0.95	-119.16	1.36	-141.79	1.16

ratio* : load of specimen(MN) / load of specimen(MC,MF)

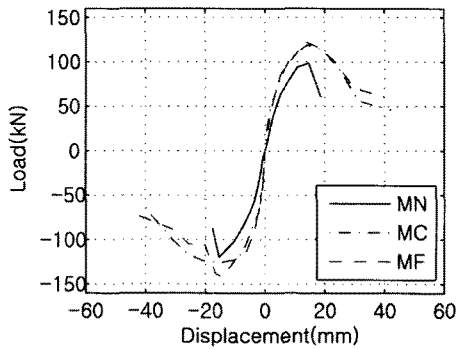


Fig. 9. Comparison of load-displacement relation curves.

을 나타내었다. 최대하중 이후 급격한 하중의 감소가 일어나는 것을 볼 수 있는데, 이는 조적벽에 의해 기둥에 단주효과가 발생하면서 급격한 하중의 감소를 가져온 것으로 판단된다.

보강한 실험체(MC, MF)는 미보강 실험체(MN)에 비해 내력이 약 20% 증가하였음을 알 수 있었는데, MF 실험체는 조적벽과 프레임이 보강으로 인해 일체화 되어 있으므로, 최대하중이 MC 실험체보다 조금 더 증가한 것을 볼 수 있었다. 하지만 초기균열과 항복하중이 비슷한 하중에서 발생하는 것으로 확인되었다. 이는 항복하중에 도달할 때까지는 두 보강실험체 모두 기둥과 조적벽이 함께 거동하고 이후에 MC 실험체에 균열이 일어나면서 조적벽과 기둥이 함께 거동하지 않게 되기 때문인 것으로 판단된다.

4.2. 파괴양상

각 실험체의 파괴양상은 Fig. 10과 같다. MN 실험체의 경우 양쪽 상부 기둥이 사인장 균열이 발생했으며, 조적부 부분에는 줄눈을 따라 균열이 발생되었다. 기둥에서의 초기 균열은 가력이 계속됨에 따라 콘크리트 박리가 심화되며 파괴가 일어났다.

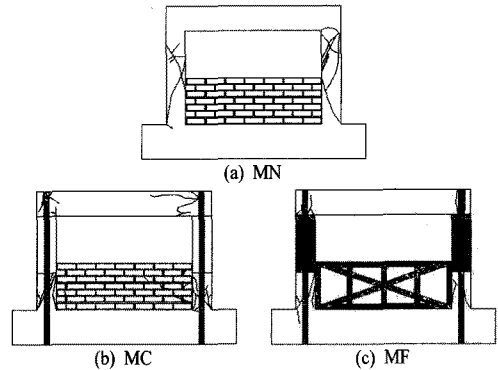


Fig. 10. Crack patterns of test specimens.

MC 실험체의 경우 아라미드섬유로 보강하지 않은 기둥하부에서 균열이 발생하기 시작했으며, drift ratio 1%에서 보강재 끝부분의 탈락이 일어나기 시작했다. 또한, 조적벽에 큰 균열이 발생하는 것이 관찰되었다. drift ratio 2.5%에서 좌측기둥에 큰 균열이 발생하기 시작했으며, 3%에서 콘크리트의 탈락이 심화되며, 파괴가 두드러지게 나타났다.

MF 실험체의 경우 초기에 큰 파열음이 들렸으나 균열은 육안으로 관찰되지 않았다. 기둥하부에서 사인장균열이 발생되었으며, 이는 가력이 계속됨에 따라 심화되어 좌측기둥에서는 drift ratio 2%에서 콘크리트 박리에 따라 철근이 육안으로 관찰되었다. 또한, 아라미드 섬유 스트립이 늘어나는 모습이 관찰되었다. drift ratio 3%에선 조적벽과 기둥 사이의 균열로 조적벽과 기둥이 각각 거동하는 것을 확인할 수 있었다.

4.3. 변위 연성도

변위 연성도(Displacement Ductility, μ_{Δ})는 구조 형식, 기둥 길이, 기둥의 구속조건에 따른 구조물의 연성을 나타내며, 다음 식과 같이 극한변위와 항복변위의 비율로 정의된다.

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (1)$$

항복변위는 최대 수평하중을 지나는 수평선과 원점에서 최대수평하중의 80%를 지나는 직선과의 교점에 대응하는 변위를 항복변위로 정의하였으며, 극한변위는 최대하중이 20% 감소되는 값에 대응하는 변위로 정의하였다.

각 실험체 별 연성은 Table 5와 같으며, 기준 실험체에 비해 모든 보강실험체들은 연성비가 85~

Table 5. Comparison of ductility

specimen	yielding point	ultimate point		ductility factor	ductility factor for MN
	displ. (mm)	load (kN)	displ. (mm)		
MN	9.85	78.8	16.68	1.69	1
MC	6.9	95.18	27.2	3.94	2.33
MF	7.62	97.9	23.88	3.13	1.85

133% 상승한 것을 확인 할 수 있다. 특히, 기둥과 조적벽을 동시에 보강한 경우 일체화 거동함으로써 기둥만 보강했을 때보다 연성이 적게 증가하였지만, 기준실험체보다 약 85% 연성이 증가한 것을 확인할 수 있었다. 여기서 기둥만 보강한 실험체가 기둥과 조적벽을 동시에 보강한 실험체보다 연성이 좋게 나타난 것은 MC 실험체는 하중이 증가함에 따른 균열로 기둥과 조적벽이 따로 거동하게 되었기 때문이라고 사료된다.

4.4. 에너지 소산능력

구조물의 손상을 평가하기 위해 부재가 파괴될 때까지 흡수 또는 소산할 수 있는 능력은 내진성능을 평가하는데 중요한 요소 중 하나이다. 구조물 또는 어떤 부재의 총 에너지량에 있어서 지진응답 해석에 의한 변위이력으로부터 실제로 흡수 및 소산되는 에너지를 계산하고 총 에너지량과 비교하여 구조물의 안전성 여부를 검토할 수 있다. 에너지 소산능력을 평가하기 위하여 누적 소산 에너지(Cumulative Dissipated Energy)를 분석하였다.

구조물이 한 Cycle 동안 소산되는 에너지는 하중변위 곡선의 내부면적으로 정의된다.

Fig. 11에는 각 실험체들의 에너지 소산능력을 각각의 사이클에 대하여 나타내었다. Fig. 11에서 보

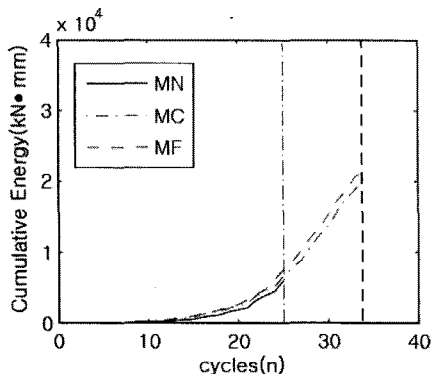


Fig. 11. Comparison of cumulative dissipated energy.

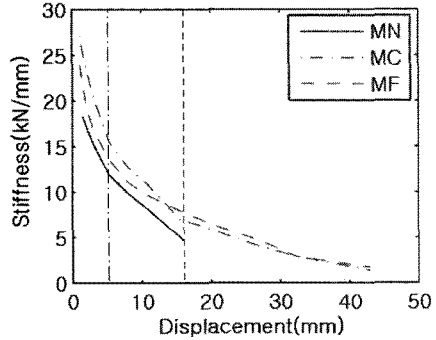


Fig. 12. Variation of stiffness for test.

는 바와 같이 비보강 실험체(MN)의 종료시점에서 본 에너지 소산 능력의 증가는 크지 않은 것으로 나타났다. 하지만 보강된 실험체(MC, MF)가 최종 파괴 된 때의 에너지 소산능력은 비보강 실험체의 약 350% 정도로 보강을 한 실험체 모두 비보강 실험체에 비하여 큰 에너지 소산 능력을 보였다.

4.5. 강성비교

Fig. 12는 실험체의 단계별 하중을 그 때의 변위로 나눈값을 보여주고 있다. 그림에서 나타난 바와 같이 각 실험체의 강성은 변위가 증가할수록 저하되는데, 초기강성은 실험체의 보강방법에 따라 기준실험체인 MN 실험체보다 약 25~40% 증가하였다.

하지만 기준실험체와 비교하여 초기강성이 약간 증가하였을 뿐, 큰 차이를 보이지는 않은 것으로 나타났다.

4.6. 보강우선순위 결정

내진성능을 결정하는 요소는 강도증진여부와 연성증진여부, 강성증가여부 및 에너지 소산능력 증가여부와 보강공사를 수행하기 위한 비용면을 고려해야 한다. 이를 위해서 본 연구에서는 RE factor를 다음과 같이 제안하고자 한다.

$$RE = (S \times D \times E \times T) / C \tag{2}$$

- 여기서, S = 강도 계수
- D = 연성도 계수
- E = 에너지소산능력 계수
- T = 강성 계수
- C = 보강비용 계수

각 변수의 계수는 본 연구에서 제안된 보강방법 중 기준실험체(MN)을 기준으로 하여 보강방법에

Table 6. Retrofitted effective

	MN	MC	MF
Strength(S)	1	1.2	1.24
Ductility(D)	1	2.33	1.85
Energy(E)	1	3.40	3.50
Stiffness(T)	1	1.4	1.25
RE	1	8.57	6.46

대한 보강비(S, D, E, T)를 산정하여 계수화 하였으며, 보강비용은 본 연구에 적용된 보강법의 단가를 비교하여 산출하였다. 이와 같은 분석방법은 강도와 연성, 에너지 소산능력, 강성증진에 대한 보강효과가 모두 동일한 것으로 가정하여 산정한 것이므로 실제 내진성능을 보강하기 위한 공사에 적용 시, 내진성능평가결과에 따라 강성 및 강도를 보강할 것인지, 연성 및 에너지소산능력을 증진시킬 것인지에 따라 RE factor의 가중치를 조정하여 적용하여야 한다. 이를 본 연구의 결과에 적용하여 보면 Table 6에 나타난 바와 같이 보강방법을 결정하는데 사용할 수 있는 RE값은 기둥만 보강한 MC 실험체가 8.57, 기둥과 조적벽을 모두 보강한 MF 실험체가 6.46으로 나타나 기둥만 보강하는 경우 보강소요비용대비 보강효과가 우수하게 나타났다.

5. 결론

학교건축물의 전형적인 형태인 조적허리벽이 있는 골조에 대하여 아라미드섬유스트립을 이용한 횡변위제어형 보강을 수행한 후, 보강성능을 검토한 후 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 보강실험체는 기준실험체에 비해 최대 강도가 20% 증가되었으며 기둥만을 보강한 시험체와 기둥과 조적벽체를 보강한 시험체는 동일한 강도증가를 보여주고 있어 조적벽체에 보강을 수행한 것은 강도증진에는 효과가 없는 것으로 나타났다.
- 2) 시험체의 초기강성이 기둥과 조적벽체를 동시에 보강한 시험체는 40%, 기둥만 보강한 시험체는 약 25%의 보강효과가 나타나 서로 유사한 보강효과를 나타내고 있는 것으로 나타났다.
- 3) 기준실험체의 경우 최대 하중 이후 급격한 하중의 감소를 보였으나, 보강실험체의 경우 최대 하중 이후 완만한 하강을 보여줌으로써 연성의 증가를 확인할 수 있었으며, 변위연성비가 약 85~133% 증가하였다.

4) 강도 및 강성, 연성증진 및 보강비용면에서 내진성능 보강효과를 검증할 수 있는 RE factor을 적용할 경우 보강공법을 결정하기 위한 의사결정 수단으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 의사결정을 위한 강도 및 강성, 연성증진 및 보강비용의 계수값은 보강목적에 따라 다르게 적용되어야 하므로 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글 : 이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임[NRF-2009-353-D00057].

참고문헌

- 1) 김소구, “중국 쓰촨성 대지진: 우리는 지진으로부터 안전한가?”, 한국건설인, 통권 87호, pp. 32~35, 2008.
- 2) 유한국, 이상현, 정란, 박태원, “단주효과를 고려한 학교건축물의 내진성능평가”, 한국구조물진단유지관리공학회 기술학술발표 논문집, 제12권, 제2호, pp. 55~60, 2008.
- 3) Applied Technology Council (ATC-33 Project), “Nehrp Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 273”, Buildings Seismic Safety Council.
- 4) Applied Technology Council (ATC-43 Project), “Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall buildings, FEMA 306”, The Partnership for Response and Recovery.
- 5) 유한국, 박태원, 이상현, 정란, 조승호, “상세재해 지도를 고려한 경기지역 학교건축물의 내진성능평가”, 한국안전학회지, 제24권, 제4호, pp. 66~73, 2009.
- 6) 한국콘크리트학회, “콘크리트구조설계기준”, 2007.
- 7) 국토해양부, “건축구조설계기준”, 2009
- 8) Sinan Altin, Özgür Anil, M. Emin Kara, Mustafa Kaya, “An experimental study on strengthening of masonry infilled RC frames using diagonal CFRP strips”, Composites Part B: engineering, Vol. 39, No. 4, pp. 680~693, 2008.
- 9) Sheilth, S.A. and Khoury, S.S. “A Performance -Based Approach for the Design of Confining in Tie Columns”, ACI Structural Journal, pp. 421~431, 1997.