

부착형 복합소재를 이용한 교육시설의 내진보강

Seismic Retrofit in Educational Facilities Using Attaching Composite Material

박 춘 욱*
Park, Choon-Wook

송 건 수**
Song, Geon-Su

박 익 현**
Park, Ik-Hyun

김 동 휘**
Kim, Dong-Hwi

Abstract

In paper after the strong earthquake of recently the Korea neighborhood, the Korean government survey show that the 86% of school buildings in Korea are in potential damage risk and only 14% of them are designed as earthquake-resistance buildings. Earthquake Reinforcing projects of school have been a leading by the ministry of education, however their reinforcing methods done by not proved a engineering by experiment which results in uneconomical and ineffective rehabilitation for the future earthquake. An experimental and analytical study have been conducted for the shear reinforcing method of column by axis and horizontal axis load using attaching composite beam. Based on the previous research, in this study, Design examples are given to show the performance evaluation for the column reinforcing of old school buildings using nonlinear analysis is going to be conducted and strengthening method is going to be on the market after their performance is proved by the test.

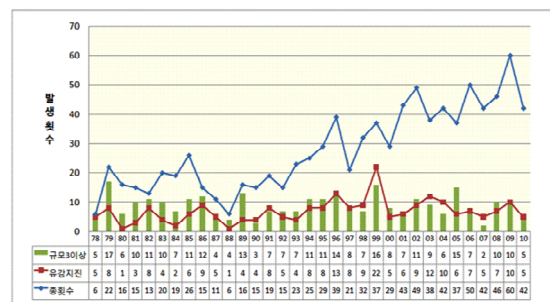
Keywords : Educational Facilities, Attaching Composite Material beam, Column Seismic Retrofit, Improvement of structural performance

1. 서 론

지진은 그 특성상 재해 발생을 인위적으로 억제할 수 없고 그 발생시간이나 장소를 알 수 없어 가장 무섭고 인간을 압도하는 자연재해이다. <Fig. 1>에 보이는 바와 같이 국내의 지진 발생량은 해마다 증가하고 있을 뿐만 아니라 최근 10년 동안의 유감횟수가 전체의 50%이상을 차지하고 있을 정도로 그 강도도 증가하고 있다.¹⁾

또한 최근 대만, 그리스 터키 등 리히터 규모 6.0 이상의 강진이 자주 발생하였고 최근 우리나라 인근에 발생한 대만 지진의 경우에는 지리적으로 가까운 관계로 인하여 국가적으로 입은 엄청난 피해

를 피부로 느끼고 있다. 따라서 지진으로부터 시설물의 안전을 확보하기 위한 노력으로 많은 국가에서 내진 설계기준을 정립하고 있다.



<Fig. 1> Domestic earthquake occurrence change

그 동안 지진의 안전지대로 여긴 국내는 1988년 이전 건물은 비내진 상제로 설계되어 약한 지진에도 많은 건물들이 피해를 입을 것으로 예상된다. 일본 건축학회의 조사에 의하면 일본 효고현 남부지진으로 피해를 입은 대부분의 구조물들은 일본내진규준이 제정되기 이전에 설계된 구조물이 많은 것

* 교신저자, 경북대학교 건축안전기술연구소 초빙교수
Kyungpook National Univ. Building Construction Safety
R&D Institute
Fax: 053-943-5345
E-mail : pcw2379@knu.ac.kr

** 경북대학교 건축공학부 박사과정
Kyungpook National Univ. School of Architecture and
Civil Engineering

으로 나타났다. 철근 콘크리트 구조물만을 대상으로 통계를 낸 자료를 살펴보면, 1970년 이전에 건축된 건물의 경우 70%정도가 피해를, 1971년 ~ 1981년 사이에 설계된 건물은 35%정도, 1982년 이후에 설계된 건물은 약 15%만이 피해를 입은 것으로 나타나, 그 피해의 정도는 다르지만 새로운 내진규정을 적용한 81년 이후의 피해가 가장 적은 것으로 나타났다. 또한 저층의 일본 전통가옥들은 거의가 피해를 입었던 것으로 보아, 우리나라 저층건물에 주로 쓰이는 구법인 단순골조구조 및 조적조 건물 또한 지진에 대한 위험성을 갖고 있을 것으로 판단된다. 따라서 우리나라에서도 내진에 대한 규정이 도입되기 전에 설계 및 시공된 교육시설 등 구조물과 내진설계가 의무화되지 않은 구조시스템에 대해서는 이와 같은 지진이 발생할 경우 가공할 만한 피해가 우려된다.^{1,2,7)}

철근콘크리트 구조물의 성능을 향상시켜 생애주기 동안 좀 더 경제적이고 안정적인 성능을 확보하기 위해 최근 FRP(Fiber-Reinforced Polymer)를 이용한 보수·보강방법의 연구가 많이 이루어지고 있다. 연구결과를 살펴보면 FRP를 이용한 다양한 방식의 보수·보강공법은 기존의 단면을 증설하는 공법의 단점인 중량증가 및 공간문제, 품질관리 등의 어려움을 극복할 수 있는 공법으로 연구되고 있다. 또한 철근콘크리트골조 구조물에 대하여 내진성능을 개선하고자 Steel Jacket보강에 의한 내진성능개선방법연구가 진행되었고 학교내진보강공법에 관한 연구는 댐퍼 등에 의한 시스템보강이 대부분이다.^{3,4,6)}

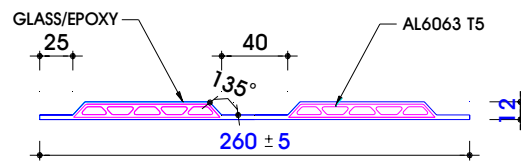
철근 콘크리트 구조물에 지진하중이 작용할 경우 구조물의 주요 부재인 기둥은 구조물 중량에 대한 축력 그리고 횡하중을 동시에 받게 된다. 기둥은 보통 축력에 대하여 안전할 수 있도록 설계된다. 그러나 내진설계가 반영되어있지 않은 기둥은 횡하중에 대한 저항능력이 크지 않기 때문에 횡하중에 의한 휨파괴 혹은 전단파괴가 일어날 수 있다. 특히 전단파괴는 구조물을 지탱하는 기둥의 급작스러운 파괴를 유도하기 때문에 구조물 및 인명의 피해를 볼 수 있다. 따라서 인명 피해를 방지 위해서는 지진이 발생 하였을때 전단파괴가 예상되는 기둥의 전단강도를 향상시켜 취성파괴가 아닌 연성파괴, 즉 휨파괴

를 유도할 수 있도록 해야 한다.^{5,8,9)}

따라서 본 연구는 지진시 노후화된 학교건물 기둥의 전단파괴가 예상되는 기둥 실험체를 가정하여 부착형 보강재를 적용하여 전단능력 향상과 에너지 소산능력을 평가하여 기존 연구에서 수행한바 없는 복합소재를 바탕으로 실제학교건물에 적용하여 검증하는 것에 목적이 있다. 이를 위해 부착형 보강재를 적용한 실험체의 전단보강 성능을 확인하기 위하여 축하중과 동시에 횡하중을 가력실험 수행하였다. 실험결과를 토대로 하중-변위 곡선을 작성하여 전단보강을 통한 기둥의 보강효과를 비교·분석하였다. 이에 내진보강설계 예를 들어 고찰하고자한다.^{10,11)}

2. 보강재

보강재는 사다리꼴 형상의 알루미늄 중공단면과 유리섬유복합체로 이루어진 부착형 보강재(B2)이다. <Fig. 2>에 보강재의 형상이 나타나있다.



<Fig. 2> Reinforced materials (B2)

위의 보강재는 Glass Prepreg UD로 제작되었다. Prepreg란 fiber에 수지를 미리 함침시켜 반경화시킨 소재로 제품 형상 금형에 적층하고 온도만 가하여 원하는 제품을 손쉽게 성형할 수 있는 소재이다. 그리고 B2에 삽입된 중공단면 알루미늄은 Al 6063 압출 제품이다. <Fig. 3>과 <Table 1>은 각각 B2 보강재의 재료시험 및 재료시험 결과를 나타낸다.



<Fig. 3> Reinforced component materials test (Left-Glass, Right-AL 6063 T6)

<Table 1> Result of reinforced component materials test

Material	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (MPa)	Ductility ratio (%)
Glass UD	1,200	47,400	2.7
AL 6063 T6	230	56,700	5.7

복합재료 구조체 설계 과정 중 가장 이상적인 섬유 배열은 힘에 저항하는 방향으로 섬유를 배열하는 단방향(UD, unidirectional)이다. 그러나 편심 등의 이유로 섬유배열 방향과 다른 방향으로 힘이 작용하게 되면 섬유배열이 흐트러져 복합재료의 구조 성능을 모두 발휘 할 수 없게 된다. 따라서 본 연구에 사용된 보강재의 섬유 배열은 주된 힘에 저항하는 방향과 이에 수직된 방향으로 배열하였으며, <Table 2>에 보강재 섬유 배열 패턴을 나타내었다.

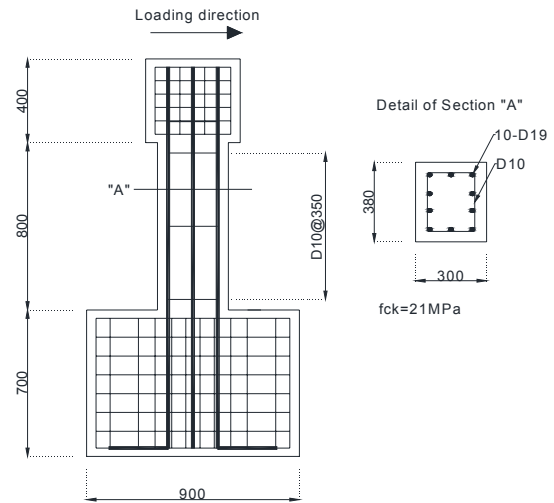
<Table 2> Reinforced materials fiber arrangement pattern

Reinforced materials	Fiber arrangement pattern	0° Direction
B2	[0/90/+45/-45/90/0]	Reinforced materials length direction

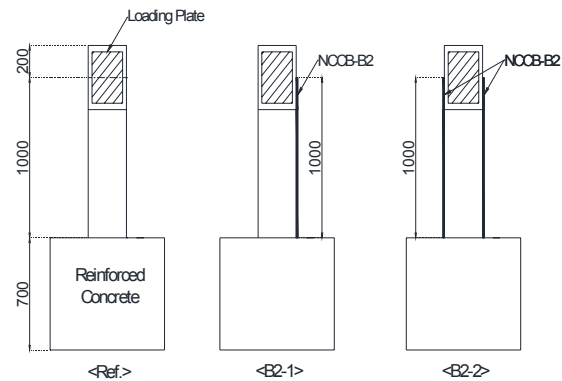
3. 실험

3.1 실험체 계획

복합재료빔(B2)으로 보강된 기둥의 전단보강효과를 확인하기 위하여 기준 실험체를 포함하여 총 3개의 실험체를 제작하였으며, 실험체 크기 및 철근 배근 상세를 <Fig. 4>에 나타내었다. 콘크리트 기둥 부 단면은 설계기둥크기의 3/4 크기로 축소된 300×380mm의 단면크기로 제작되었으며, 콘크리트 강도는 21MPa, 철근항복강도는 400MPa로 설계되었다. 주철근과 전단철근은 각각 10-D19와 D10@350으로 배근되었다.^{15,16,17)}



<Fig. 4> Experiment frame size and steel bar detailed drawing (a unit:mm)



<Fig. 5> Experimental variable

본 실험에서 변수는 보강량(1EA, 2EA)이며, <Fig. 5>에 실험 변수를 나타내었다. 실험체 Ref.는 기준 실험체로 보강되지 않았으며, B2-1 및 B2-2 실험체는 B2 보강재가 실험체 측면에 각각 1EA 및 2EA 보강된 실험체이다.

3.2 실험체 보강

실험체 보강은 콘크리트 타설 28일 이후 진행되었으며, <Fig. 6>는 실험체 보강 과정 모습을 나타내었으며, (1)~(4) 순서로 진행되었다.^{18,19,20)}



(1) Surface treatment



(2) Reinforced materials attaching



(3) Power pin installation

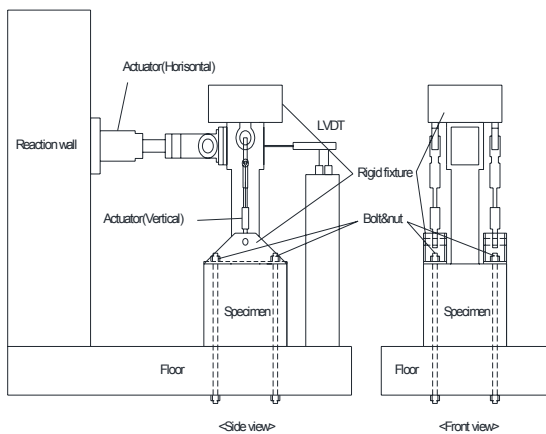


(4) Complete

〈Fig. 6〉 Experimental Reinforcement (B2)

3.3 실험 방법

〈Fig. 7〉은 실험체 가력 장치 및 실험체 설치 모습을 나타낸다. 실험 시작과 동시에 2개의 수직 하중 가력장치를 이용하여 실험체에 수직하중 392kN을 가력하였으며, 이어서 수평하중 가력장치로 5mm/min의 변위제어로 횡하중을 가력하였다. 실험체의 거동을 분석하기 위하여 수평하중과 나란히 LVDT를 설치하였으며, 로드셀과 LVDT에 의해 측정된 수평하중과 변위는 데이터로거를 통하여 기록되었다.^{12,13,14)}



〈Fig. 7〉 Test setup of specimen

4. 실험 결과

4.1 파괴형상

〈Fig. 8〉은 기준 실험체의 최종 파괴 형상을 나타낸다. 하중 가력 초기에는 기둥 인장부 아래에서 휨에 의한 균열이 발생하기 시작하였으며, 휨 균열은 더 이상 진행 되지 않고 전단균열이 발생하였다. 항복하중 내력 이후 전단균열이 급격히 확산되었으며, 전단균열의 폭이 크게 증가하면서 최종파괴가 나타났다.



〈Fig. 8〉 Crack patterns (Ref. Experimental reinforcement)

〈Fig. 9〉는 B2 보강재를 기둥 측면에 한쪽으로 부착한 B2-1 보강실험체의 최종 파괴 형상을 나타낸다. 실험 초기에 기둥 인장부에 휨균열이 발생하기 시작하여 변위가 증가함에 따라 균열이 진전되고 균열의 수가 증가하였다. 곧 기초와 기둥 접합부에 균열이 발생하였고, 수평 휨 균열이 측면의 전단철근으로 이어졌다. 이후 인장면에 수직 균열이 발생하기 시작하였으며, 전단균열의 폭과 수가 증가하였다. 최대하중 전에 철근(주근)이 항복하였으며, 최대하중 이후 급격한 전단파괴가 일어났다. 실험 종료

시까지 보강재의 파괴나 기둥과의 분리는 발생하지 않았다.



〈Fig. 9〉 Crack patterns (B2-1)

〈Fig. 10〉은 B2 보강재를 기둥 측면에 양쪽으로 부착한 B2-2 보강실험체의 최종 파괴 형상을 나타낸다. 실험 초기에 하중이 재하되면서 기둥 인장부에 휨 균열이 나타났으며, 하중이 증가해도 균열의 큰 변화는 나타나지 않았다. 이후 실험체가 항복내력에 도달하면서 기둥 양측 콘크리트 피복을 따라 균열이 나타났으며, 하중이 증가되면서 점차 균열폭이 크게 증가하였다. 콘크리트 피복을 따라 발생한 균열로 인하여 보강재와 기둥 사이의 구조적 매개체가 사라지면서 더 이상 하중의 증가 없이 최종 파괴가 나타났다. 콘크리트 피복이 주철근의 방향에 따라 탈락현상이 발생한 것으로 보아 실험체 최종 파괴의 주원인은 주철근과 콘크리트 사이의 슬립으로 인한 균열이라 판단되며, 보강재와 콘크리트 사이의 부착력은 충분한 것으로 판단된다.



〈Fig. 10〉 Crack patterns(B2-2.)

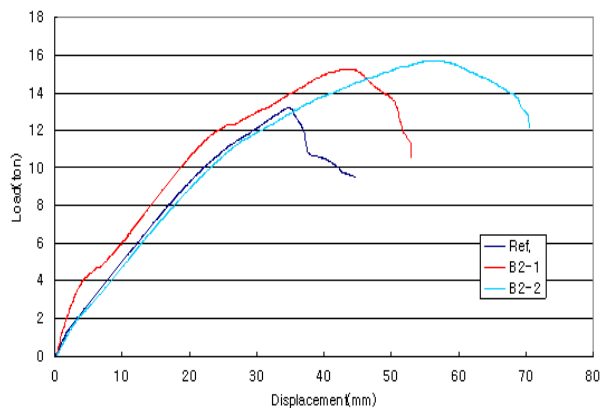
4.2 하중-변위 관계

〈Table 3〉은 각 실험체의 최대하중 및 최대하중시 변위를 나타내며, 〈Fig. 11〉는 하중-변위 관계를 나

타낸다. 복합재료빔 B2로 보강된 실험체는 기준실험체 Ref.와 비교하여 강도와 연성이 모두 증가한 것으로 나타났다. Ref. 기준 실험체는 최대변위 32.6mm에서 최대강도 13.2ton으로 나타났으며, 보강실험체 B2-1은 43.7mm에서 15.2ton, B2-2는 56.5mm에서 16.0ton으로 나타났다.

〈Table 3〉 Result of tested specimen

Specimen	Max. load (ton)	Max. load ratio (%)	Displ. (mm)	Displ. ratio (%)	Energy (ton·mm)	Energy ratio (%)
Ref.	13.2	-	34.9	-	299.9	-
B2-1	15.2	115.2	43.7	125.2	539.9	180
B2-2	15.7	118.7	56.5	161.9	760.1	253



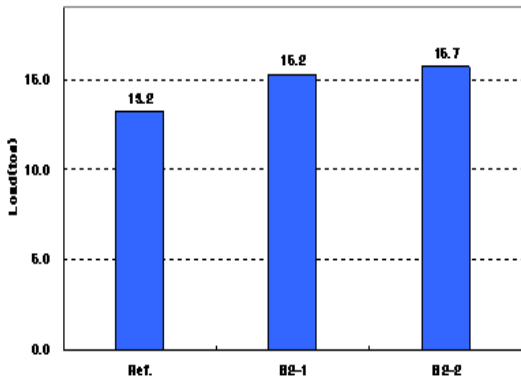
〈Fig. 11〉 Curve of load-displacement

하중-변위 관계에서 Ref. 기준 실험체는 변위가 발생되면서 하중이 증가하다가 최대하중에 도달하는 순간 하중이 급격하게 감소하는 취성파괴가 나타났다. B2-1 및 B2-2 실험체 순으로 연성구간이 크게 발생하는 것을 볼 수 있다. 여기서 전단보강에 따른 휨파괴 유도 현상을 확인할 수 있으며, B2-1보다 B2-2 부착형 보강재가 전단보강에 더욱 효과적인 것을 알 수 있다.

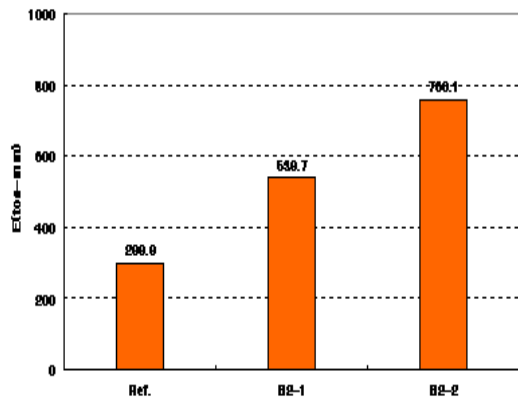
4.3 최대하중 및 에너지 소산능력

〈Fig. 12〉는 실험체별 최대하중 증가량을 나타낸다. 보강된 실험체는 기준 실험과 비교하여 15~19%

하중증가율을 나타냈었다. <Fig. 13>은 각 실험체별 에너지소산능력을 비교하여 나타낸 도표이다. 에너지소산능력은 하중-변위 그래프의 면적을 구하여 수치로 나타내었다. 보강된 실험체의 에너지 소산능력은 기준실험체 Ref.와 비교하여 80~153% 증가하였으며, 전단보강이 되지 않은 기준 실험체의 경우 보강된 실험체보다 1.5배 이상의 차이를 나타내고 있다.



<Fig. 12> The rate of increase maximum load



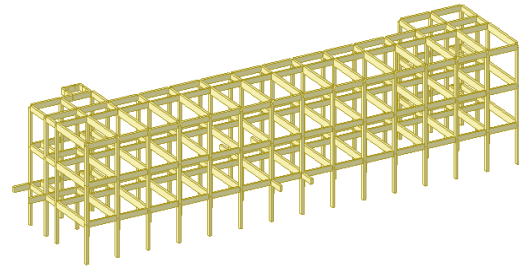
<Fig. 13> The rate of increase product energy performance

5. 설계 예 및 고찰

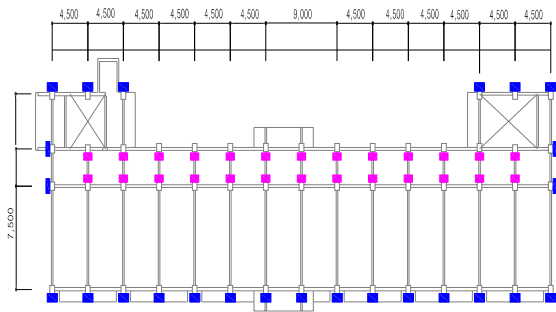
본 장에서는 기존 학교구조물의 내진보강설계에 제를 통하여 본 연구에서 제시한 복합재료빔에 의한 내진보강성능 평가를 상용프로그램(MIDAS)로 수행하여 그 결과를 비교, 고찰하고자한다.

<Fig. 14>은 복합 재료빔을 적용한 내진보강 설계를 하기위한 대상구조물이다.

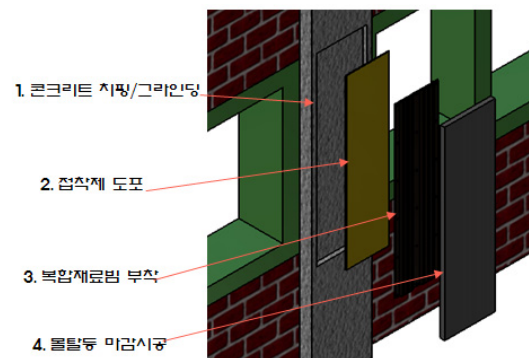
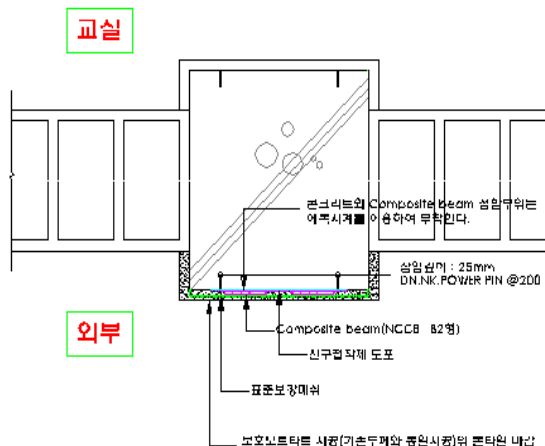
<Fig. 15>, <Fig. 16>,<Fig. 17>은 복합 재료 빔으로 적용한 1, 2층 기둥보강위치도 및 보강 단면 상세를 각각 나타내었다.



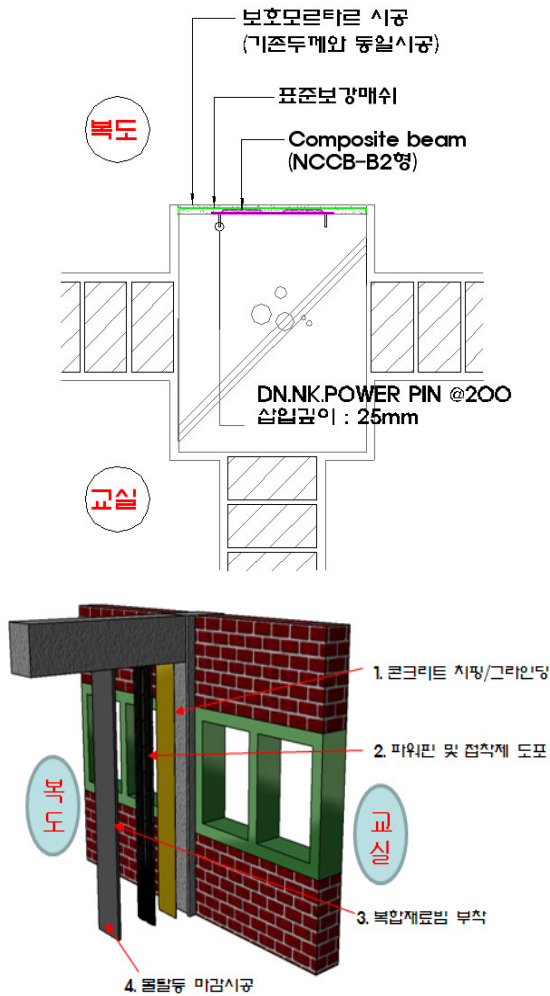
<Fig. 14> Design example school structure



<Fig. 15> Reinforced place drawings of the first and second story



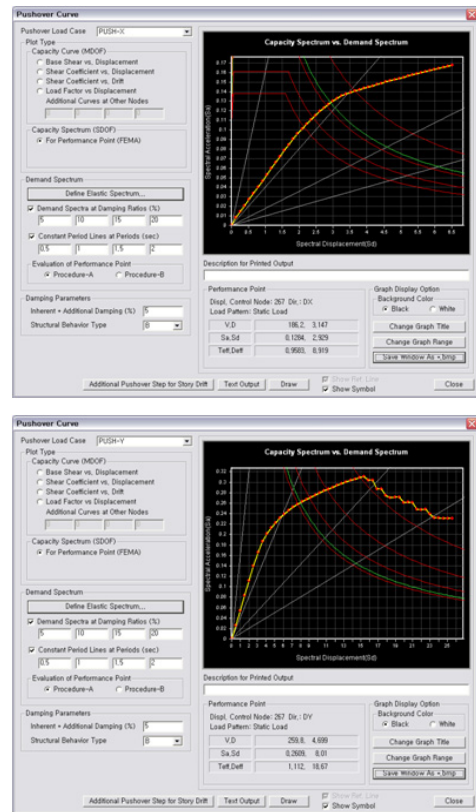
<Fig. 16> Reinforced section detailed drawings (a classroom - the outside)



<Fig. 17> Reinforced section detailed drawings (a classroom -a corridor)

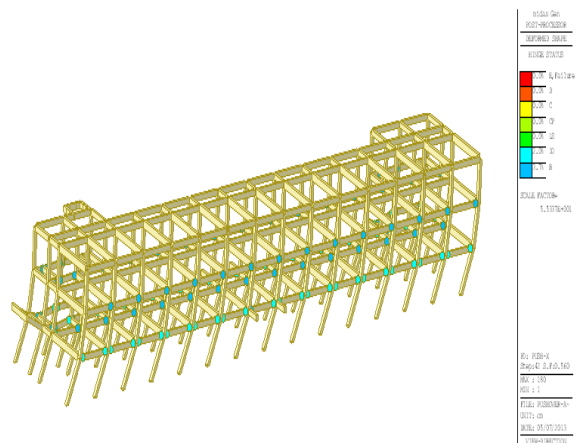
본 연구에서 구조보강설계는 <Table 3>, <Fig. 11>~<Fig. 13>의 기둥내진보강 실험결과를 바탕으로 내진성능 1차 평가 결과에 따라 단면성능이 부족한 각각의 기둥에 대하여 main-bar로 치환하여 단면성능보강을 통해 상용프로그램인 Midas를 이용하여 보강 후 단면성능평가를 수행하였다.

X, Y 방향에 대해서 복합빔 내진보강공법을 적용한 후 PUSHOVER 해석을 수행한 결과 <Fig. 18>과 같이 각각의 방향에 대해서 성능점이 형성되었으며, 각각의 성능곡선에서의 최대 밀면전단력은 X 방향은 1,575kN으로, Y방향은 2,548kN으로 나타났으며, 그때의 변위는 각각 25.2mm 및 46.9mm로 검토되었다.

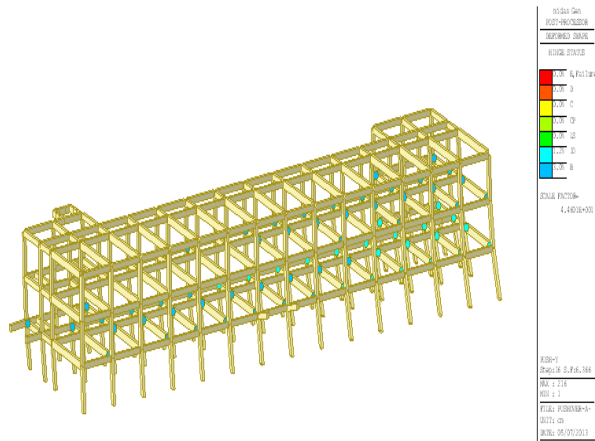


<Fig. 18> X-dir, Y-dir Performance point

<Fig. 19>, <Fig. 20>과같이 X, Y방향에 대해서 보강을 실시한 후 PUSHOVER해석을 실시한 결과 성능점이 각각 STEP 18~19, STEP 15~16단계에서 형성되는 것으로 나타났다. 이 성능점에서의 HINGE 분포상태는 2400년 재현주기 2/3의 성능목표인 LS (LIFE SAFETY)기준을 만족시키는 것으로 검토되었다.



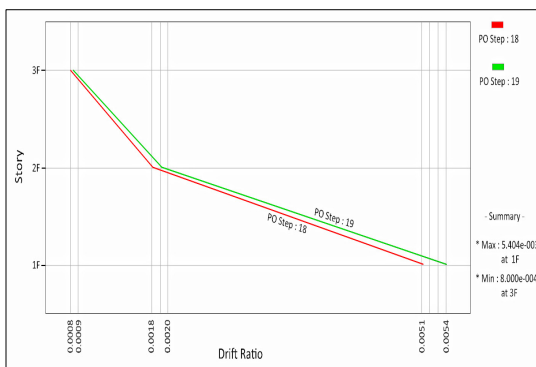
<Fig. 19> Distribution of X-dir plastic hinge



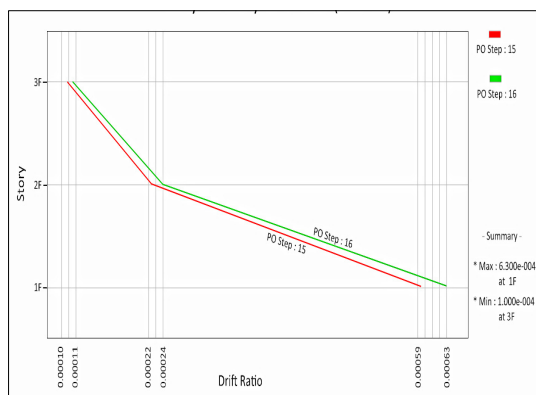
〈Fig. 20〉 Distribution of Y-dir plastic hinge

〈Table 4〉 Seismic performance of lateral loading support systems

	Dir.	Shear (kN)	Displ. (mm)	Teff (sec)	Deff
Composite beam	X	1,575	25.2	0.9248	7.765
	Y	2,548	46.9	1.1120	18.67



〈Fig. 21〉 Story Vs. Story drift ratio (X-dir.)



〈Fig. 22〉 Story Vs. Story drift ratio (Y-dir.)

〈Table 5〉 Story Drift Ratio

Dir.	IO	LS	CP
X	1%	2% less than	4%
Y	1%	2% less than	4%

〈Table 4〉, 〈Fig. 21〉, 〈Fig 22〉, 〈Table 5〉 와같이 X, Y방향에 대한 내진 보강 후 구조물의 안전성 검토결과 지진하중에 대해서 모든 부재가 목표성능 (LS)을 만족하며, 층간변위역시 허용기준치(2%)를 만족하는 것으로 검토되어 부착형 복합 재료빔에 의한 내진보강은 적절한 것으로 판단된다.

6. 결론

지진 발생시 전단파괴가 예상되는 기둥의 전단보강 효과를 확인하기 위하여 실험체를 제작하였으며, 부착형 보강재로 보강 후 축력 하에 횡하중 가력 실험을 수행하였다. 또한 설계 예를 들어 고찰 하였고 결론은 다음과 같다.

1. 기준 실험체는 급작스러운 전단파괴가 나타났으며, 보강된 실험체는 연성거동 이후에 최종파괴가 나타났다.

2. 전단 보강된 실험체는 보강되지 않은 기준실험체와 비교하여 최대하중과 최대 변위 모두 증가하였다. 최대 강도 증가율은 15~19%이며, 최대 강도시 변위 증가율은 25~62%로 나타났다.

3. 부착형 보강재로 보강된 실험체의 에너지 소산 능력이 증가하였으며, 증가율은 80~153%로 나타났다.

4. 실험체의 강도, 변위 및 에너지소산능력 보강 효과를 고려 하였을때, B2-2 보강재의 보강효과가 가장 우수한 것으로 나타났다.

5. 내진 보강 후 구조물의 안전성검토결과 지진하중에 대해서 모든 부재가 목표성능(LS)을 만족하며, 층간변위역시 허용기준치(2%)를 만족하는 것으로 검토되어 부착형 복합 재료빔에 의한 내진보강은 학교시설내진보강의 한 방법이 될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2011년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2011-0009595)

참고문헌

1. 기상청, “지진 현황과 시설물 안전대책”, 2005.
2. 이강석, “학교시설 내진성능 평가 및 내진보강 가이드라인”, 한국교육개발원, 이강석, 2011, pp.22-37
3. 박종섭, 박영환, 유영준, 정우태, 강재운, “부착또는 비부착된 탄소판으로 긴장 보강된 RC보의 보강성능”, 콘크리트학회 논문집, 제17권, 1호, 2005, pp.279-282
4. 오홍섭, 심종성, 주민관, “탄소섬유 보강재로 표면 매립에 의한 보강된 철근콘크리트 보의 휨보강성능”, 구조물진단학회, 제12권, 3호, 2008, pp.84-94
5. 이용택, 나정민, 김승훈, 이리형, “탄소섬유시트로 전단보강된 철근콘크리트 기둥의 거동”, 대한건축학회논문집, 18권 4호, 2002, pp.19-26
6. 김준영, 정인규, 박순웅, “다자유도 철근콘크리트 모멘트 골조의 steel jacket보강 내진성능개선”, 한국공간구조학회 논문집, 제13권 제1호, 2013, pp. 69-77
7. 배규용외 3인, “지진피해를 받은 구조물의 보수·보강방법”, 한국건설기술연구원 연구보고서, 1993
8. J. B. Mander, B.Nair, K. Wojtkowski, J. Ma “An experimental study on the seismic performance of brick-infilled steel frames With and without retrofit” NCEER technical report(93-0001), 1993
9. Sakai, K., and Sheikh, S. A., “What Do We Know about Confinement in Reinforced Concrete Columns”, ACI Structural Journal, V.86, No.2, March-April,1989, pp.192-207
10. 박태원, “기존철근콘크리트 구조물의 내진성능 보강에 관한 실험적 연구”, 단국대학교 대학원 석사학위논문, 1999.
11. 송우영, “내진설계가 적용되지 않은 대학교 건축물의 내진성능 개선”, 부경대학교 대학원 석사학위논문, 2011
12. 정인규, 박문호, 권민호, 박희광, 김상백, “반복하중을 받는 강골조 보-기둥 현치 보강 연결부의 탄소성 유한요소모델”, 대한토목학회 학술대회, no.11,2001, pp.976-979
13. 권민호, 조창근, “구속응력을 받는 콘크리트 구조물 해석을 위한 콘크리트 구성모델”, 한국콘크리트 학회 논문집, Vol. 15, No.3,2010, pp433-442
14. 조창근, 권민호, “3차원 구성관계를 고려한 FRP-구속 콘크리트의 압축거동 예측 모델”, 한국콘크리트 학회 논문집, Vol.16, No.4, 2011, pp.501-509
15. 조창근, 박문호, 권민호, 장준호, “다축응력상태를 고려한 FRP콘크리트 부재의 충분할 단면해석모델”, 대한토목학회 학술대회, Vol.2002, No.22, p.967-970
16. Cho, Chang-Geun, Kwon, Minho, and Enri Spacone, “Analytical Model of Concrete-Filled Fiber-Reinforced Polymer Tubes based on Multiaxial Constitutive Laws”, Journal of Structural Engineering, vol. 131, no.9, 2009, pp.1426-1433
17. 권민호, 장준호, “철근콘크리트 기둥의 3차원 비선형 유한요소해석”, 한국콘크리트 학회 논문집, vol.16, no.3, 2004, pp.397-406
18. Minho Kwon, Enrico Spacone, A Hypoelastic model for Cyclic Response of Concrete Structures, ASCE Structural Congress Proceeding, 1999, pp.207-210
19. Minho Kwon, Moon Ho Park, Sang-Kwang See, A 3D Concrete Constitutive Model for Cyclic Analysis of Concrete Structures, KSCE Journal of Civil Engineering, vol 4(4), 2000, pp.165-173
20. T.A Balan, Enrico Spacone, Minho Kwon, A 3D hypoplastic model for cyclic analysis of concrete structures, Engineering Structures, vol. 23(4), 2001, pp.233-342

(접수일자 : 2013년 07월 25일)

(심사완료일자 : 2013년 08월 23일)

(게재확정일자 : 2013년 08월 30일)