

# 복합소재패널을 이용한 반강접 중저층 강골조의 내진성능평가

장준호<sup>1\*</sup>, 이택우<sup>2</sup>

<sup>1</sup>계명대학교 토목공학과, <sup>2</sup>계명대학교 토목공학과 강사

## Evaluation of Earthquake Resistance capacity of Semi-rigid Mid/Low-rise Steel Frame using Composite Panel

Chunho Chang<sup>1\*</sup> and Tackwoo Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Keimyung University

<sup>2</sup>Department of Civil Engineering, Keimyung University

**요약** 본 연구의 목적은 복합소재패널 즉 FRP 내력패널을 이용한 반강접 강골조의 내진성능평가이다. 강골조의 최적내진보강을 제안하기 위하여 중약지진 규모의 지진자료를 이용하여 모멘트골조에 복합소재패널의 보강위치를 바뀌어가며 해석을 수행하였다. 복합소재패널이 보강된 강골조의 지진해석은 시간이력해석을 이용하여 수행하였으며, 활용된 지반운동자료는 미국 NEHRP 프로젝트의 모멘트저항 골조에 활용한 자료 중, 50년 동안 지진이 일어날 가능성 10%, 50%의 확률을 가진 지진 20개씩을 활용하였다. 접합부는 현장에 많이 쓰이고 있는 반강접 접합부를 고려하였으며, 복합소재패널 연결부는 비선형 연결요소는 GAP을 사용하였다. 복합소재패널을 이용한 강골조가 패널을 보강하지 않은 무보강에 비해 보강패널에 따라 보강효과를 검증해 보았으며, 보강 후 구조물응답에 대하여 고찰하였다.

**Abstract** This paper presented regarding an parametric study to investigate seismic capacity evaluation of semi-rigid steel frame infilled with composit panel. In order to propose the optimum retrofit of the steel frame, we analysed the various pattern of retrofitted steel frame subjected to weak/medium earthquake. Steel frame with composit panel was analysed by Time history analyses analysis. The model were analysed using the suites of ground motion developed by NEHRP project on steel moment resisting frame. These earthquakes consist of 20 horizontal ground acceleration record each, i.e., a 10%, 50% probability of accidence in a 50 year period. We considered the semi-rigid connection which are commonly used in field, and modeled the nonlinear connection element (GAP) between panel and frame. It was shown that how is the steel frame with composit panel effected. We also examined the response of retrofitted frame.

**Key Words** : Seismic Retrofit, Composite Panel, Steel Frame, Time History Analysis, Seismic Capacity Evaluation

### 1. 서론

최근 전 세계적으로 발생하는 지진은 구조물에 큰 피해를 입히는 자연재해중 하나이다. 이러한 지진은 물적 피해뿐만 아니라 심적인 공포감 또한 무시할 수 없는 자연재해라고 할 수 있으며, 전 세계적으로 볼 때 지진에 의해서 인류가 입는 피해는 엄청나다고 할 수 있다. 우리나라에서도 과거 활발한 지진 활동시기가 존재 하였고, 20

세기 이후에 발생한 지리산, 황성, 포항 등지의 지진은 결코 한반도가 지진의 안전대가 될 수 없음을 보여준다. 우리나라에서는 1970년부터 지진에 대한 계기 관측을 시작한 이래, 1978년 9월 규모 5.2의 속리산 지진, 같은 해 10월 규모 5.0의 홍성지진, 1996년 12월13일 규모 4.5의 영월지진 기록되었고, 2005년 3월20일에도 일본 후쿠오카 북서쪽 해역에서 발생한 규모 7.0의 지진의 여파로 동해안, 남해안, 제주도지역에 규모 4.0의 지진이 관측되었다.

본 논문은 계명대학교 교내연구비로 수행되었음.

\*교신저자 : 장준호(chunho@kmu.ac.kr)

접수일 10년 02월 26일

수정일 (1차 10년 03월 23일, 2차 10년 04월 23일)

게재확정일 10년 05월 13일

이에 대한 대안으로 구조물의 내진성능을 향상시키기 위한 방법으로 감쇄효과를 증가시킬 수 있는 전단벽, 댐퍼 및 브레이싱보강법이 이용되고 있다. 최근 복합 신소재가 건설 분야에 활용되기 시작했고, 그 중 하나인 FRP(Fiber Reinforced Polymer-섬유 복합체와 폴리머 수지의 복합체)를 이용한 설계 및 보수보강 법이 꾸준히 연구되어 지고 있다. 전 세계적으로 교량과 건물은 이미 FRP 재료에 의해 건설되고 있으며 기존 구조물의 보수보강에 다양한 형태로 사용되고 있다. 높은 강도와 부식저항성 및 낮은 열전도율과 같은 명확한 재료특성을 고려하면 이 재료는 교량과 구조공학에서 광범위한 혁신을 가져올 수 있는 잠재력에 의심할 여지가 없다. 그러나 아직까지 FRP를 활용한 패널에 대한 구조물에 보강에 대한 연구가 충분히 이루어지지 않았을 뿐만 아니라 해석적 연구도 제한적으로만 이루어져 왔다. 또한 기존연구에서는 내진거동에측에 특정 지진 데이터를 사용하여 과거 지진데이터를 몇 개 활용하여 해석을 수행하였다.

본 논문에서는 성능을 기반으로 한 설계개념에 의거한 확률론적인 방법으로 지진규모를 조정한 미국 NEHRP 프로젝트에서 활용한 지진데이터 중에서 우리나라 지진 규모에 적합한 중소규모의 지진 데이터들을 사용하여 강골조 구조물의 보강 위치에 따른 최적 내진 보강 모델을 연구하고자 한다.

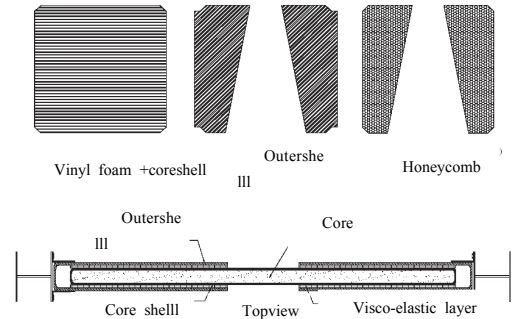
## 2. 복합소재패널의 개념 및 설계

### 2.1 복합소재패널의 소개

복합재료를 사용한 FRP내력패널은 토목 및 건축현장에서 구조물의 내진 성능에 대한 보강재로서 사용이 점점 늘어나는 추세이다. 본 논문에서 사용된 FRP내력패널은 미국 버팔로 대학에서 기존 구조물의 내진성능향상을 위해 개발되었다[18].

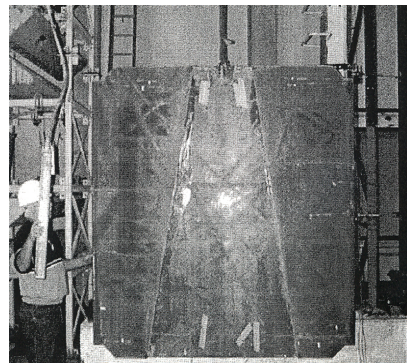
항공-우주, 해양, 토목 건설분야에서 많이 사용되는 전형적인 내력패널구조는 샌드위치구조이다. 샌드위치 구조물은 3개의 층으로 만들어지는데, 2개는 표면층이 얇은 셀처럼 외부의 층을 구성하며 코어의 역할을 하는 두꺼운 FRP 중간층으로 구성되어 있다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 다층 FRP내력패널 구조의 개념상의 설계는 전체 벽의 두께를 형성하는 3개의 패널 즉, 코어의 재료와 코어의 셀을 구성하는 내부패널과 내부의 패널과 양 바깥쪽의 외부 셀을 구성하는 외부 패널, 내부층과 외부층 사이의 벌집형 폴리머 층으로 구성된다. 내측 패널의 기능은 중량과 소음, 진동을 감소시키고, 전체복합패널에 대

한 구조적 강성을 증가시키는 것이다. 효율적인 샌드위치 패널제작을 위한 저비용 고효율을 달성하기 위해 얇은 공간을 차지하는 중간층은 휨강성을 지지토록 설계되었으며, 박판사이의 공간은 비닐시트로 채워져 있다. 외부 패널들의 등골게 처리된 모서리는 발생 가능한 심각한 하중 집중을 피하면서, 바람직한 거동을 할 수 있도록 설계되었다.



[그림 1] 복합패널의 구성요소

본 논문에서 수치해석모델로 사용된 복합소재패널은 버팔로 대학에서 제작하였고, 완성된 모습은 그림 2와 같다.



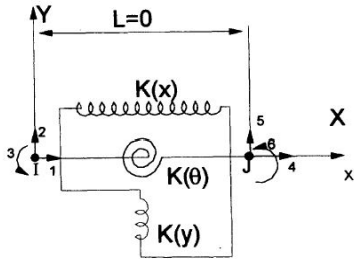
[그림 2] 완성된 복합소재패널 모형

## 3. 복합소재패널의 수치해석 모델 소개

본 장에서는 복합소재패널의 연결부와 골조사이의 연결요소 모델링에 대한 설명을 하고자 한다. 또한 요소를 사용하여 해석결과와 실험치와의 결과를 비교함으로써 본 연구에서 제시한 해석결과를 검증코져 한다.

### 3.1 반강접 연결을 사용한 강골조 구조물의 수치해석 모델

강골구조물의 접합부는 강접과 핀연결사이의 모멘트-회전각관계를 가지는 반강접 연결부가 실제로 시공상에 많이 활용되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 실무적인 부분을 고려하여 반강접 연결부를 그림 3과 같이 모델링하여 해석을 수행하였다. 모델링은 수평재인 보와 수직재인 기둥과의 연결요소와 부재간의 회전변형에 대한 요소로 구분하여 구성되었다.



[그림 3] 반강접 연결의 단순화된 모델

반강접효과를 나타내기 위하여  $K_x$ ,  $K_y$ ,  $K_\theta$ 의 요소는 각각 스프링의 횡방향 거동, 축방향 거동, 축방향 스프링의 전단효과와 거동을 나타내기 위하여 도입되었다. 본 연구에서는 강골구조물의 반강접연결은 상하앵글연결부를 사용하였다. Frye와 Morris가 제안한 식은 (1)과 같다[10].

$$\theta_r = C_1(kM)^1 + C_2(kM)^3 + C_3(kM)^5 \quad (1)$$

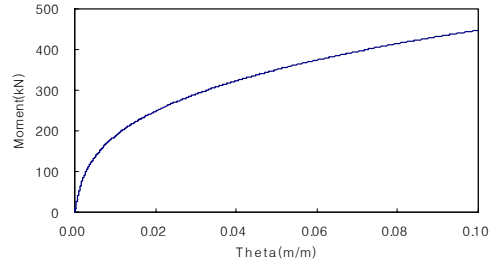
여기서,  $k$  = 연결의 형태와 치수에 따른 표준화 상수,  $C_1, C_2, C_3$  = 곡선의 보정 상수이다.

[표 1] Frye-Morris식의 상수

| 연결 형태            | 곡선보정 상수                                     |
|------------------|---|
| 복부앵글 없는 상하앵글연결부  | $C_1 = 8.46 \times 10^{-4}$                 |
|                  | $C_2 = 1.01 \times 10^{-4}$                 |
|                  | $C_3 = 1.24 \times 10^{-8}$                 |
| 표준화 상수           | $k = d^{-1.5} t^{-0.5} l_a^{0.7} d_b^{1.5}$ |
| 반강접 연결부의 형태 및 계수 |   |

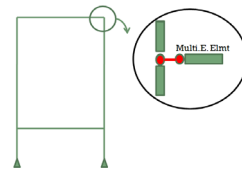
표 1은 복부앵글이 없는 상하 앵글연결부의 곡선보정

상수 및 표준화 상수에 대한 방정식을 보여주고 있다. 여기서,  $d, t_c, l_a$ 는 반강접 연결부의 부재치수 계수들이다. 그림 4는 Frye와 Morris식을 사용한 모형의 회전강성을 나타내고 있다.



[그림 4] Frye와 Morris식을 사용한 모형의 회전강성

본 연구에서 사용한 반강접구조물의 모델링에서는 보와 기둥이 연결된 절점사이에 다선형 탄성요소 (multi-linear elastic element)를 사용하여,  $K_x, K_y, K_\theta$ 의 강성 및 감쇄계수를 입력하였다. 그림 5는 다선형 탄성요소를 사용한 수치해석 모델을 나타내고 있다.



[그림 5] 다선형 탄성요소를 고려한 해석모델

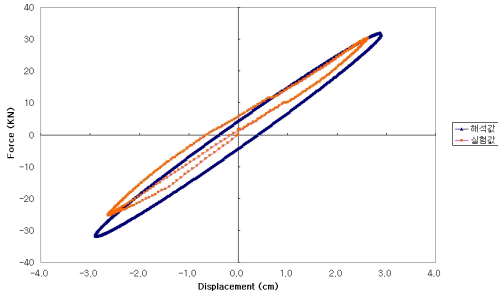
[표 2] 힙과 연결부 강성비교

|                             | S.U.N.Y at Buffalo Eqn | Frye-Morris Eqn       |
|-----------------------------|------------------------|-----------------------|
| Force(kN)                   | 34.70                  | 31.80                 |
| Kx(kN/m)                    | $8.76534 \times 10^8$  | $8.76534 \times 10^8$ |
| Ky(kN/m)                    | $8.76534 \times 10^8$  | $8.76534 \times 10^8$ |
| $K\theta$ (kN-m/ $\theta$ ) | 3277.9                 | 2900.6                |

실제 실험모델의 에너지소산에 수렴하는 적합한 수치 해석모형을 위해 반복 주기 하중을 재하하여 이력곡선을 구한 후 실험모델의 해석결과와 비교하였다. 반복되는 주기 하중을 적용한 후 선형 시간이력해석을 수행하여 구조물의 감쇠계수를 실험치[20]과 비교하는 과정을 통하여 감쇠계수를 채택하였다.

그림 6에서 볼 수 있듯이 본 연구에서 수행한 해석결과와 실험값이 대부분 잘 일치하고 있는 것으로 나타났

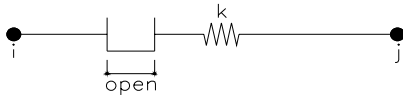
으며, 해석값이 실험값보다 다소 크게 나타났는데, 이는 실제 시험에 사용된 강재가 반복 사용되어 실험체내의 볼트체결에서의 미끌림 현상 등과 같은 요소에서 차이가 생긴 것으로 판단되었다. 결과를 토대로 본 연구에서 고려한 반강접연결을 가진 강골조구조물의 수치해석모델로 결정하였다.



[그림 6] 반강접 연결 강골조구조물의 이력곡선

### 3.2 복합소재구조의 동적 수치해석 모델

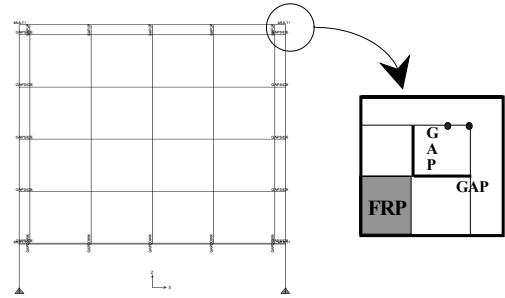
벽식 내력구조가 서서히 일체화되어 움직이는 거동을 표현하기 위하여 비선형 연결요소 중 Gap 요소로 모델링하였으며, 기본구성은 그림 7과 같다. Gap요소는 압축력에만 작용하며 open(개폐시간)에 입력되는 값 이상으로 변위가 발생하였을 때 Gap이 폐합되어 하중을 다른 연결점으로 전달하는 것을 의미한다.



[그림 7] Gap요소의 기본적 메커니즘

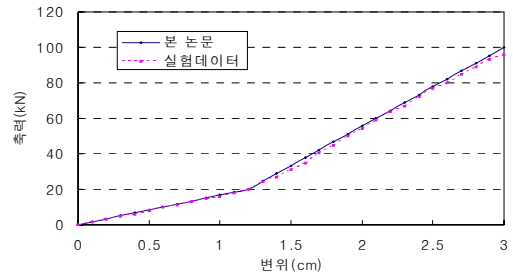
패널과 골조 사이의 연결부의 모델링은 그림 8과 같이 강골조구조물에 복합소재패널을 solid 요소로 모델링하고 구조물의 4방향 모두에 대해 각 5개소의 Gap요소를 사용하였다.

복합소재샌드위치 패널의 중심셀에 사용된 재료의 강도는 outshell에 비해 미약하므로 솔리드 두께는 패널의 외부에 해당하는 2cm를 사용하였고 좌, 우측의 Gap요소는 서로 동일한 특성치와 개폐시간을 이용하였다. 하단보는 복합소재패널과 밀착되어 있기 때문에 이를 모델링하기 위하여, 패널과 골조 사이에 1.27cm의 간격을 두고, 개폐시간을 0으로 입력하여 해석을 수행할 때 복합소재패널이 강골조구조물에 밀착되어 마찰을 일으키도록 모델링하였다.



[그림 8] 비선형 연결요소 Gap과 Solid를 사용한 모델

수치해석모형을 이용한 해석결과와 실제 실험값[20]의 비교를 그림 9에 나타내었으며, 본 연구의 해석결과와 실제 실험결과와 잘 일치하고 있어 본 연구에서 제안하고 있는 모델요소를 활용하다면 복합소재패널 해석을 보다 용이하면서도 정확하게 수행할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 요소를 활용하여 실제 보강된 골조해석에 활용하고자 한다.

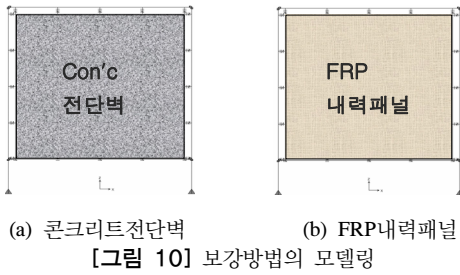


[그림 9] 비선형 연결요소 gap과 solid를 사용한 모델

## 4. 복합소재패널이 보강된 강골조 구조물의 내진거동

### 4.1 복합소재패널로 보강된 구조물의 내진거동

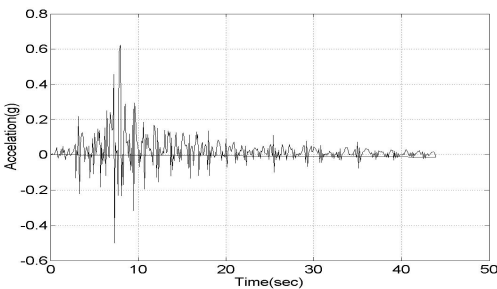
FRP내력패널의 보강효과를 알아보기 위하여 기존의 콘크리트 전단벽의 보강효과와 비교하였다. 보강효과 검증을 위해 브레이싱 또는 댐퍼로 보강된 구조물을 고려하였으나 벽구조를 가진 구조물이 비교에 용이할 것으로 판단되어 콘크리트전단벽으로 보강된 단층단경간구조물을 비교분석하였다. 해석모델은 층고 2.394m, 폭 2.56m의 수치해석 모형이며 그림10과 표 3은 각각 보강 요소의 모델과 재원을 나타내고 있다.



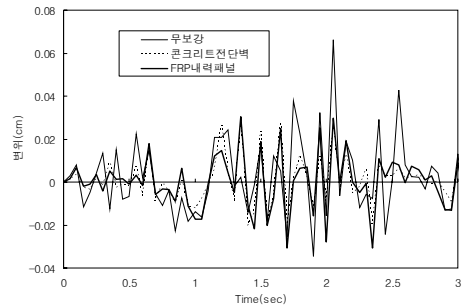
[표 3] 보강재료의 재원

| 구 분      | 밀도 (N/m <sup>3</sup> ) | 탄성계수 (N/m <sup>2</sup> ) | Poisson's Ratio |
|----------|------------------------|--------------------------|-----------------|
| 콘크리트 전단벽 | 2,402                  | 2.482×10 <sup>10</sup>   | 0.2             |
| FRP 내력패널 | 313.8                  | 1.59×10 <sup>10</sup>    | 0.15            |

그림 11은 해석에 사용된 50년동안 발생확률 50%지진데이터 중 Parkfield지진하중의 시간-가속도 그래프이다. 그림 12는 구조물 최상층 좌측절점의 시간이력곡선을 나타내고 있다. 50년동안 발생확률 50% 지진데이터 중 Parkfield지진의 응답결과를 분석해 보면 무보강시의 변위 0.066cm, FRP내력패널로 보강시 0.027cm, 콘크리트 전단벽보강시 0.031cm으로 변위가 발생되었다. 또한 50년동안 발생가능확률 50%의 지진데이터 20개를 이용하여 모두 해석한 결과 평균 변위는 무보강시 0.072cm, FRP내력패널로 보강시 0.021cm, 콘크리트 전단벽보강시 0.036cm로 각각 변위가 발생되었다. 위 결과로 미루어 볼 때 FRP내력패널의 보강효과는 콘크리트 전단벽에 비해 평균 20%이상 내진성능을 향상됨을 알 수 있었다. 그래서 위의 결과를 토대로 하여 중저층의 구조물로 확장시켜 내진효과를 평가하고자 한다.



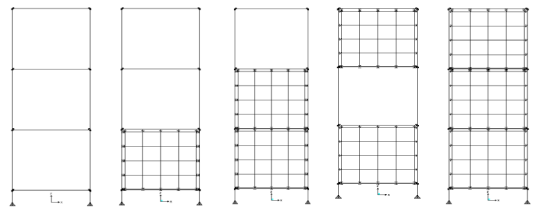
[그림 11] Parkfield,28 Jun 66지진데이터(50%/50년)



[그림 12] 보강방법에 따른 시간이력곡선 그래프

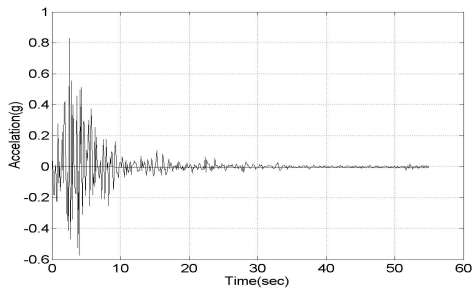
#### 4.2 복합소재패널로 보강된 중저층 구조물의 보강효과

복합소재패널이 보강된 강골조의 내진 성능향상을 확인하기 위하여 층고 2.394m, 폭 2.56m, 총질량 20ton, 층강성 2440kN의 3층 수치해석모델을 완성하였다. 대상 구조물의 1차고유진동수는 0.5Hz, 1차모드감쇠비는 1.98%이다. 그림 13은 보강개소에 따른 수치해석 모형을 나타내고 있다.

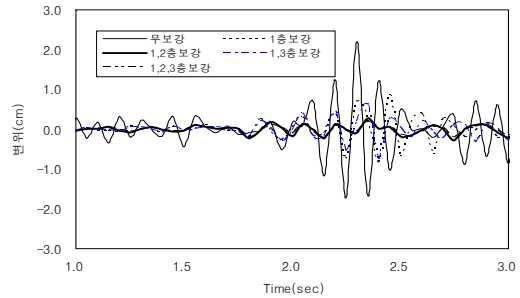


[그림 13] FRP내력패널로 보강된 중저층 구조물

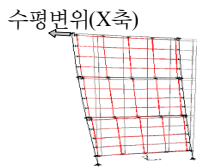
구조물에 작용하는 지진하중은 미국 지진경감을 위한 연구 프로젝트인 NEHRP (National Earth-quake Hazards Reduction Program) Project[11]에 활용하였던 데이터로, 50년동안 발생가능확률 10%와 50년동안 발생확률 50%의 지진하중 각각 20개를 보강개소에 따른 모델의 시간이력해석을 통해 최상단부 절점의 최대변위, 층간변위등을 비교·검토해 보았다. 각각 20개의 지진하중 중 최대 변위를 발생시킨 대표지진의 시간 가속도 그래프를 선택하여 앞절의 그림 11와 그림 14에 나타내었으며, 3개소보강 모델의 지진하중 작용 후 변형도는 그림 15와 같다.



[그림 14] North Palm Springs, 8 Jul 86(10%/50년) 지진의 시간 가속도 그래프



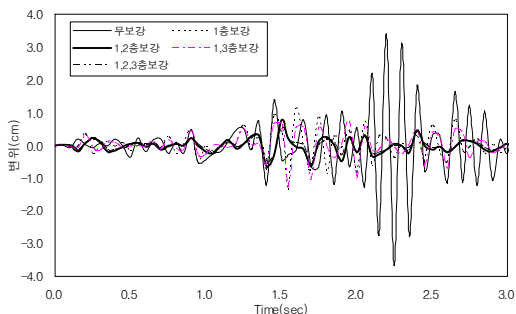
(b) Parkfield 지진하중의 시간이력곡선(50%/50년)  
[그림 16] 지진하중의 시간이력곡선



[그림 15] 지진하중 재하 후 변형도

앞서 소개한 지진데이터를 이용하여 시간이력해석결과 수평 최대 변위는 10%/50년 지진 중 North Palm 지진하중, 50%/50년 지진중 Parkfield 지진하중 재하시 수평 최대 변위가 각각 발생되었다. 그림 16은 각각 수평 최대 변위 발생 시 시간이력곡선을 나타내고 있다.

최상위층의 수평 최대 변위는 North Palm (10%/50년) 지진하중 재하 시, 무보강시 최대 변위 3.68 cm, 1개소(1층)보강시 1.49cm, 2개소(1,2층)보강시 0.77 cm, 2개소(1,3층)보강시 1.27cm, 3개소(1,2,3층)보강시 0.59cm가 발생되었고, Parkfield (50%/50년) 지진하중 재하 시 무보강시 2.19cm, 1개소(1층) 보강시 0.84cm, 2개소(1,2층)보강시 0.38cm, 2개소(1,3층) 보강시 0.73cm, 3개소(1,2,3층)보강시 0.35cm가 각각 발생되었고, 전층보강시 최대 80% 이상의 보강효과를 보였다.



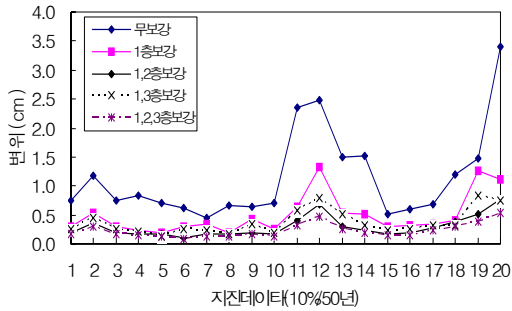
(a) North Palm 지진하중의 시간이력 곡선(10%/50년)

각각의 지진하중별 최대 변위 및 변위곡선그래프의 차이가 있고, 특정지진하중의 유형이 아닌 지진의 발생기간, 파형, 가속도의 크기에 따른 중저층 구조물에 발생가능한 모든 경우의 지진하중으로 확장시켜 해석할 필요가 있다. 따라서 앞선 결과의 지진해석결과의 패턴을 분석하기 위해 10%/50년 지진하중과 50%/50년 지진하중 각각 20개의 지진을 이용하여 FRP내력패널로 보강된 중저층 철골구조물의 내진성능평가를 도식화하기 위하여 그림 17~18과 같이 나타내었다. 그림의 횡축은 적용한 지진의 종류(20개의 지진)이며 종축은 지진하중에 의한 +X, -X 방향의 수평방향의 최대변위이다.

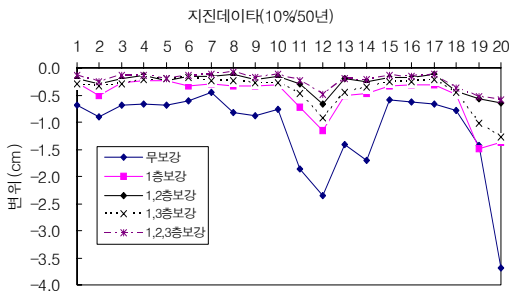
각각의 지진하중을 사용하여 FRP내력패널로 보강된 중저층 구조물의 내진 성능 향상을 시험하고, 상위층에 대한 시간-변위곡선의 해석결과, 10%/50년 지진하중에서는 North Palm 지진하중의 -X축 수평변위가 무보강시 -3.681cm, 1개소(1층)보강시 -1.378cm, 2개소보강시(1층, 2층) -1.378cm, 2개소보강시(1층, 3층) -0.646cm, 3개소(1층, 2층, 3층) 보강시 -0.591cm로 최대 변위가 발생되었고, 최소변위는 Northridge 지진하중에서 X축 수평변위가 무보강시 0.515cm, 1개소(1층)보강시 0.293cm, 2개소보강시(1층, 2층) 0.171cm, 2개소 보강시(1층, 3층) 0.266cm, 3개소(1층, 2층, 3층) 보강시 0.142cm 발생되었다. 20개의 10%/50년 지진하중에서 무보강시에 비해 1개소보강시 평균 50%, 2개소(1층, 2층)보강시 평균 70% 내진성능이 향상되었다.

50%/50년 지진하중에서는 Parkfield 지진하중의 X축 수평변위가 무보강시 2.194cm, 1개소(1층)보강시 0.847cm, 2개소보강시(1층, 2층) 0.274cm, 2개소보강시(1층, 3층) 0.604cm, 3개소(1층, 2층, 3층) 보강시 0.214cm로 최대 변위가 발생되었고, 최소변위는 Kern County Eqk 지진하중에서 X축수평변위가 무보강시 0.202cm, 1개소(1층)보강시 0.131cm, 2개소보강시(1층, 2층) 0.062cm, 2개소 보강시(1층, 3층) 0.085cm, 3개소(1층, 2층, 3층) 보강시



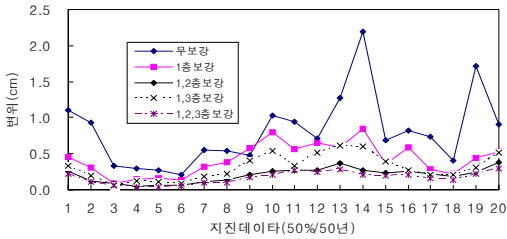


(a) 패널의 보강 개소에 따른 수평방향변위(+X)

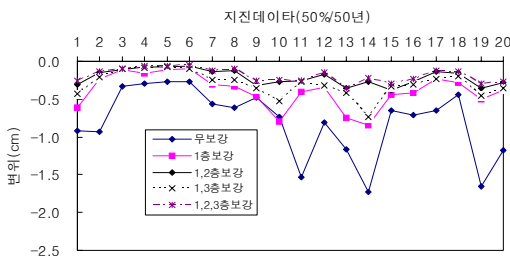


(b) 패널의 보강 개소에 따른 수평방향(-X) 변위

[그림 17] 지진하중 재하 후 수평방향(±X) 변위(10%/50년)



(c) 패널의 보강 개소에 따른 수평방향변위(+X)



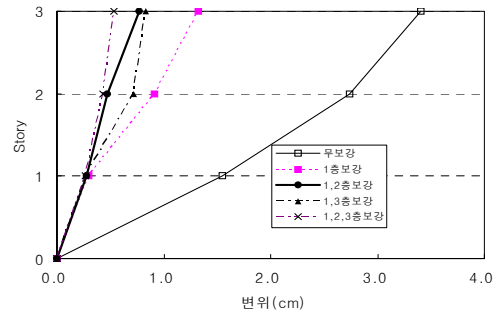
(d) 패널의 보강 개소에 따른 수평방향(-X) 변위

[그림 18] 지진하중 재하 후 수평방향(±X) 변위(50%/50년)

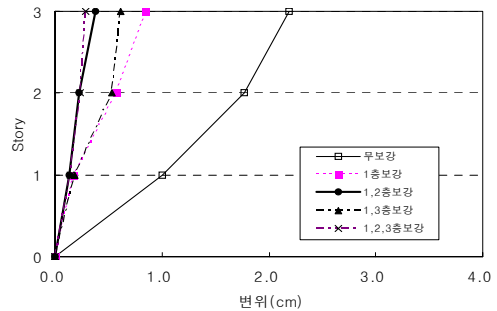
0.049cm 발생되었다. 20개의 50%/50년 지진하중에서 무보강시에 비해 1개소보강시 평균45%, 2개소(1층,2층)보강시 평균 70% 내진성능이 향상되었다.

각각 20개의 10%/50년, 50%/50년 지진하중을 재하하여 분석한 결과 3개소(1층,2층,3층)보강 시 변위가 무보강시보다 평균 75%이상 감소되어 가장 우수하였다. 하지만 2개소 보강(1층,2층)시 무보강시에 비해 평균변위 70%의 감소하였으므로 1,2층 보강 만으로도 상당한 내진 성능효과를 보였다.

층간변위를 나타낸 그림 19를 보면 보강 개소에 따른 층간변위가 어느 한 층에서 급격히 변화하지 않는 형태로 변형하였다.



(a) 10%/50년 지진하중시 층간변위



(b) 50%/50년 지진하중시 층간변위

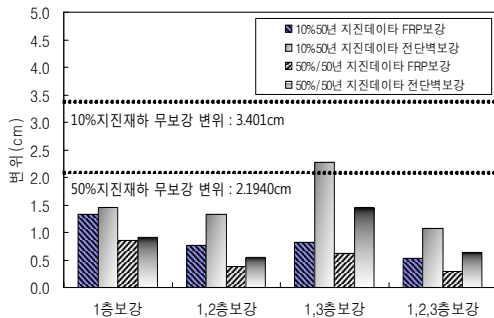
[그림 19] 지진하중 재하 후 층간변위

그러나 2개소 보강(1,3층) 보강시 내진성능 효과가 다소 미약함을 알 수 있었다. 2개소보강(1,3층) 보강 시 층간변위가 평균보다 크게 발생하였는데 이는 복합소재패널의 강성이 보강되지 않는 2층의 강성보다 보강된 2층의 강성 차와 자중으로 인해 층수가 많지 않은 저층층 구조물에서는 벽체가 분담하는 중력방형의 하중과 횡하중이 커짐에 따라 약층(weak story)발생으로 층간 변위 회

전각이 크게 발생된 것으로 사료 된다.

### 4.3 콘크리트 전단벽과 복합소재패널로 보강된 중저층 구조물 비교

중저층 골조 구조물 복합소재패널로 보강된 3층이하 중저층 구조물의 내진성능향상 효과를 콘크리트전단벽과 비교하여 효과적인 보강 방법을 제안하고자 한다. 표 4와 그림 20은 각각 대표지진하중시 상부절점의 수평최대변위를 나타내고 있다. 1개소(1층) 보강시 최대 변위는 10%/50년 지진하중 작용시 1개소보강(1층)시 FRP내력패널과 콘크리트 전단벽의 수평변위는 각각 1.378cm 1.426cm 무보강시 3.681cm에 비교하면 62~63% 비슷한 보강효과를 보였으나, 2개소 이상 보강을 하였을 경우 FRP내력패널로 보강한 경우 수평변위 0.591cm로 80%이상의 보강효과를 보였으며 콘크리트 전단벽보강시 수평변위 1.016cm로 70%중도의 보강 효과를 보였다. 또한 콘크리트 전단벽으로 2개소 보강(1,3층) 보강시 약충효과가 훨씬 나타났다.



[그림 20] 보강방법에 따른 최대변위 그래프

[표 4] 보강방법에 따른 구조물의 최대변위

| 구 분    |         | FRP내력패널 (cm) | Con`c전단벽 (cm) |
|--------|---------|--------------|---------------|
| 무보강    | 10%/50년 | 3.681        |               |
|        | 50%/50년 | 2.194        |               |
| 1개소 보강 | 10%/50년 | 1.378        | 1.426         |
|        | 50%/50년 | 0.847        | 0.911         |
| 2개소 보강 | 10%/50년 | 0.646        | 1.210         |
|        | 50%/50년 | 0.274        | 0.547         |

|        |         |       |       |
|--------|---------|-------|-------|
|        | 10%/50년 | 1.273 | 1.304 |
|        | 50%/50년 | 0.604 | 1.450 |
| 3개소 보강 | 10%/50년 | 0.591 | 1.016 |
|        | 50%/50년 | 0.214 | 0.630 |

표 5는 지진해석결과의 패턴을 분석하기 위해 10%/50년 지진하중과 50%/50년 지진하중 각각 20개의 지진을 이용하여 내진보강효과를 산술평균하

였다. 무보강시에 비하여 2개소(1층,2층)보강시 평균 73%이상 보강성능효과를 보였다.

[표 5] 지진하중에 대한 평균 내진보강효과

| 구 분    |         | FRP내력패널 | Con`c전단벽 |
|--------|---------|---------|----------|
| 1개소 보강 | 10%/50년 | 53%     | 51%      |
|        | 50%/50년 | 53%     | 52%      |
| 2개소 보강 | 10%/50년 | 73%     | 63%      |
|        | 50%/50년 | 72%     | 62%      |
|        | 10%/50년 | 64%     | 48%      |
|        | 50%/50년 | 60%     | 30%      |
| 3개소 보강 | 10%/50년 | 77%     | 59%      |
|        | 50%/50년 | 76%     | 55%      |

## 5. 결론

저중층구조물의 내진성능향상을 위한 보강으로 복합소재패널을 이용한 내진보강성능을 고찰한 결과, 복합소재패널의 기하학적 디자인 특성과 거동을 고려한 본 연구에서 제시한 비선형요소를 고려한 해석을 기존 행해진 실험과 비교하여 볼 때, 연구에서 수행한 결과와 매우 유사한 결과를 얻을 수 있어, 본 연구에서 제안한 실용적이며 정확한 해석을 수행할 수 있는 모델을 연구 및 실무에서도 많이 활용할 수 있다고 사료된다.

수동 감쇄효과를 보유한 복합소재패널의 수치해석형을 다양한 형태의 강골구조물에 내력구조로 보강, 지진하중에 대한 해석을 반복 수행하였다. 수행결과 3층 1경



간 건물에 내력 보강시 최대변위가 1개소(1층보강)시 50% 감소, 2개소(1,2층)보강시 70%이상 감소되는 내진 성능개선효과를 나타내었다. 이는 콘크리트 전단벽으로 보강된 구조물과 비교시 10~20%가량 내진성능이 우수하다고 판단된다. 콘크리트전단벽으로 2개소(1층,3층) 보강된 구조물의 경우 자중과 강성 차이로 약층이 발생하여, 내진성능에 비효율적으로 나타났으며, 비교적 자중이 가벼운 FRP내력패널로 보강시 약층문제는 크게 발생되지 않았다. 국내의 내진설계가 되어있지 않은 저중층구조물의 내진성능향상을 위한 보강으로 FRP내력패널을 사용할 경우 내진성능 향상 및 재료의 경량으로 현장에서도 용이하게 활용 될 수 있을 것으로 사료된다.

### 참고문헌

[1] 문창권 · 타카구 아끼라. “고분자 복합재료”, 시그마프레스, pp.1-10, pp.329-333, 2000.

[2] 정원석. “FRP내력패널로 보수보강된 반강접 강골조 구조물의 내진거동 예측”, 경북대학교, 2004.

[3] 최완철, 박진우, "콘크리트 구조물 보강용 FRP 시스템의 재료 특성", 구조보강 연구회, (주) 컨트라넷, 2000.

[4] 한국건설기술연구원, "내진설계연구(Ⅱ) 1권-내진설계성능 기준과 경제성평가", 한국지진공학회, 건설교통부, 1997.

[5] 한국건설기술연구원, "내진설계연구(Ⅱ) 1권-내진성능 향상", 한국지진공학회, 건설교통부, 1997.

[6] “강구조 편람.” 한국강구조학회, 2000.

[7] “Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings” Vol 1, ATC-40, 1996.

[8] “Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings”, Vol. 2, ATC-40, 1996.

[9] Atorod Aziznamini, Associate Member, ASCE, and James B. Radziminiski, Member, “Static and Cyclic Performance of Semirigid Steel Beam-to-Column Connections”, pp.2979-2986, 1989.

[10] Balaur S. Dhillon, Fellow, ASCE, and James W. O`Malley III, Associat Member, “Interactive Design of Semirigid Steel Frames”, Journal of Structural Engineering, pp.556-558, 1999.

[11] BSSC, "NEHRP Recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures," FEMA 450, Part 1, 2004.

[12] F.C. Rodrigues, A.C. Saldanha and M.S. Pfeil. . “Non-linear Analysis Steel Frames with Semi-rigid connections”, pp.94-97, 1998.

[13] J.C. Awkar and E.M. Lui. “Seismic Analysis and Response Multistory Semirigid Frames”, pp.425-426, 1997.

[14] Meier, J.G. “Reinforced concrete mechanics and design”, PRENTICE-HALL International, Inc, 1997.

[15] Menegotto and Pinto, “Steel Model used in SeismoStruct”, 1973.

[16] Moy, S.SJ. Editor, “FRP Composite-Life Extension and Stengthe Metallic Structure”, Thomas Telford Publishing, 2001.

[17] Raffaele Pucinotti., “Top-and-Seat and Web Angle Connections”, pp.661-662, 2001.

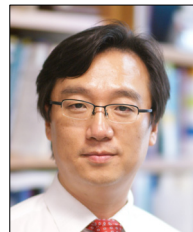
[18] The Concrete Society, “Design Guidance for Strengthening Constructures Using Fiber Composite Materials”, Technical Report No.55, Concrete Society, 2000.

[19] Wai-Fah Chen, Member, “Semirigid St Beam-to-Column Connections: Data Base and Modeling , pp.105-113. 1989.

[20] Wooyoung Jung, “Seismic Retrofitting of Semi-rigid Frames Using Polymer Matrix Composite Materials”, Ph.D. Dissertatio State University of New York at Buffalo, USA., 2003.

### 장 준 호(Chunho Jang)

[정회원]



- 1993년 2월 : 경북대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1999년 2월 : 경북대학교 토목공학과 (공학박사)
- 1999년 12월 ~ 2002년 2월 : (美)PEER(지진연구소), UC Berkeley 연구원
- 2002년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 토목공학과 조교수

<관심분야>

내진설계, 토목구조

### 이 택 우(Tackwoo Lee)

[정회원]



- 2006년 2월 : 계명대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2006년 2월 ~ 2008년 9월 : 동일기술공사 구조부 근무
- 2008년 9월 ~ 현재 : 경북대학교 건축토목공학부 박사과정
- 2009년 9월 ~ 현재 : 계명대학교 토목공학과 강사

<관심분야>

내진설계, 토목구조