

# 철골 끼움가새골조로 보강된 학교건물의 내진성능평가를 위한 비선형 해석 모델에 관한 연구

유석형<sup>1</sup>, 고관욱<sup>2\*</sup>

## Study on the Nonlinear Analysis Model for Seismic Performance Evaluation of School Buildings Retrofitted with Infilled Steel Frame with Brace

Suk-Hyeong Yoo<sup>1</sup>, Kwan-Wook Ko<sup>2\*</sup>

**Abstract:** Recently, damage to buildings due to earthquakes in Korea occurred mainly in school buildings and Piloti-type multi-family houses, highlighting the need for seismic retrofit for buildings of the same type. In the early days of the seismic retrofit project for school facilities, various patented methods using dampers as a ductile seismic retrofit method were applied without sufficient verification procedures. However, in 「School Facility Seismic Performance Evaluation and Retrofit Manual, 2021」, when the patented method is applied, it must be applied through a separate strict verification procedure, and instead, the strength/stiffness retrofit method was induced as a general method. In practice, when evaluating seismic performance for retrofit by infilled steel frame with brace, the analysis model is constructed by directly connecting only the steel brace to the existing RC member. However, if the frame is removed from the analysis model of the infilled steel frame with brace, the force reduction occurring on the existing RC member near the retrofit is considered to be very large, and this is judged to affect the review of whether to retrofit the foundation or not. Therefore, in this study, preliminary analysis with variables such as whether or not steel frame is taken into account and frame link method for the analysis model of RC school building retrofitted by infilled steel frame with brace and nonlinear analysis for actual 3-story school building was performed, and basic data for rational analysis model setting were presented by comparing preliminary analysis and pushover analysis results for each variable.

**Keywords:** Infilled steel frame with brace, Seismic performance evaluation, Nonlinear static analysis, Stiffness strengthening

### 1. 서론

2017년 포항 지진으로 인한 건축물의 피해는 주로 학교건물과 필로티형 다가구 주택에서 발생함으로써 이 지역뿐 아니라 전국의 동일한 형식의 건물에 대한 내진보강 필요성을 부각시켰다. 기존 필로티형 다가구 주택은 대부분 민간소유로서 내진보강 시 다양한 지원정책에도 불구하고 제대로 진행되지 않고 있다. 그러나 학교건물에 대한 내진보강 사업은 공공시설로서 교육부의 「학교시설 내진설계기준 2020」 및 「학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼, 2021」(이하 매뉴얼)이 고시되면서 체계적으로 활발하게 진행되고 있다.

학교시설 내진보강사업은 초기에 연성보강방법으로서 댐퍼를 활용한 다양한 제진장치를 추가하거나 섬유보강 폴리머

를 기존 부재에 부착하는 공법들을 특허공법으로써 개발하여 사용하였다. 그러나 이들은 시공이 매우 복잡하고 고가이며 특허공법에 대한 내진성능 및 신뢰성에 대한 충분한 검증 절차 없이 적용되었다. Jung and Lee(2018)의 연구에서 2016년 경주지진에서 지진피해를 받은 저층 RC 학교건물에 대한 비선형 동적해석을 수행하여 이들 건물에서 전단파괴가 지배적으로 발생함을 고찰하였으며, Kim et al.(2020)은 비내진상세를 갖는 국내 중저층 RC건물의 내진보강을위하여 연성보강보다는 강성/강도 보강이 적합하다고 보고하였다.

「매뉴얼, 2021」에서는 댐퍼 등을 활용한 특허공법 적용 시 별도의 엄격한 검증 절차를 통하여 적용토록 하고 대신 일반공법으로서 강도/강성 보강공법의 활성화를 유도하였다. 학교건물의 내진보강을 위한 일반공법으로서 벽체신설, 기둥단면 증가, 철골 가새골조(외부부착), 철골 끼움골조(내부부착) 및 철골 끼움가새(내부부착) 공법 등이 주로 활용되고 있으며, 최근에는 기존 조적벽에 대한 단부커팅 공법도 부분적으로 적용되고 있다.

일반공법으로서 철골 끼움가새 공법은 Fig. 1과 같이 기존 RC골조내부에 철골가새프레임을 부착하여 일체화 시킨 공

<sup>1</sup>정회원, 경상국립대학교 건축공학과 교수

<sup>2</sup>정회원, 경상국립대학교 건축공학과 석사과정

\*Corresponding author: piter31@gnu.ac.kr

Department of Architectural Engineering, Gyeongsang National University, 33, Dongjin-ro, Jinju-si, Gyeongsangnam-do, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2022년 9월 30일까지 학회로 보내주시면 2022년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

법으로서 강성과 강도증진에 효율적인 공법으로 자주 사용되고 있다. 그러나 철골 기둥 보강재가 수직적으로 연속되지 않아 「매뉴얼, 2021」에서는 “끼움골조에 의하여 기둥에 발생하는 인장력은 기존기둥에 의하여 저항되어야 한다.”라고 함으로써 보강기둥의 저항능력을 배제할 수 있도록 하고 있다. 또한 구조설계 실무에서는 철골 끼움가새골조보강을 위한 내진 성능평가 시 실용적 목적과 일부 조건에서 안전측의 내진성능평가 결과를 도출할 것으로 판단하여 기존 RC부재에 철골 가새만을 직접연결하여 해석모델을 구성하고 있다.

기존 RC부재와 철골보강재 사이를 앵커로 일체화한 보강된 부재에 대한 내진성능평가를 위하여 SRC 부재의 힌지속성이 필요하지만 아직 국내·외적으로 정립되어 있지 않고 있으므로 현재로서는 기존 RC부재와 철골 보강재에 대한 성능평가를 별도로 수행할 수밖에 없다. (따라서 기존 RC기둥에서 인장력을 전부 저항하도록 할 수 있다.) 하지만 철골 끼움가새골조 보강과 같은 강성보강공법의 해석모델에서 프레임을 제거할 경우 강성감소로 인한 보강 부근의 기존 부재에 발생하는 하중감소는 매우 클 것으로 사료되며 이는 보강부위 기초보강 유무 검토에도 영향을 미칠 것으로 판단된다. Oh and Lee (2020)의 연구에서 기존 RC골조에 철골 가새만으로 보강한 실험체와 철골 프레임만으로 보강한 실험체에 대한 반복가력 실험을 통하여 철골 가새만으로 보강한 실험체보다 철골 프레임만으로 보강한 실험체의 강성증진효과가 더 크게 나타나는 것으로 보고하면서 강성/강도 증진에 의한 내진보강공법 설계 시 보강주변 부재의 파괴에 주의하여야 하며 특히 이로 인한 기초보강 유무 검토에도 영향이 미칠 수 있다고 하였다.

따라서 본 연구에서는 철골 끼움가새골조를 이용하여 저층 RC 학교건물 내진보강 시 성능평가를 위한 해석모델에 대하여 철골 프레임 고려 유무, 프레임 링크방식 등을 변수로 한 예비해석과 실제 3층 학교 건물에 대한 비선형 정적해석에 따른 내진성능평가를 수행하였으며, 변수별 예비해석 및 푸쉬오

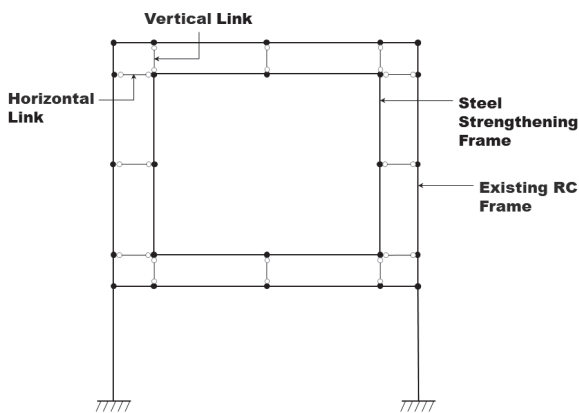


Fig. 2 Example Analysis Model of Infilled Frame

버 해석결과를 비교함으로써 합리적인 해석모델 설정을 위한 기초자료를 제시하였다.

## 2. 기존 RC부재와 철골 보강재의 연결요소

기존 RC부재와 철골 보강재의 연결은 Fig. 1과 같이 후설치 앵커에 의한 직접접합과 간접접합에 의하여 일체성을 확보하도록 하고 있다. 「콘크리트용 앵커 설계기준」(KDS 14 20 54) 및 「매뉴얼, 2021」에서는 후설치 앵커에 대한 구조적 성능으로서 인장강도와 전단강도를 확보하도록 요구하면서 지진 시 항복이 발생하지 않는 하중지배형으로 설계하도록 하고 있으므로 해석 시 변위강성만을 갖는 Elastic Link로서 기존부재와 보강재를 연결할 수 있다. 또한 「매뉴얼, 2021」에서는 Fig. 2와 같이 끼움골조의 해석모델 시 모서리에서 수직, 수평링크를 통하여 연결하도록 예시를 보여주고 있다.

따라서 실무에서 철골 끼움골조보강을 위한 해석모델 시 Fig. 3과 같이 기존 RC부재와 철골 보강재를 모서리에서 연결하는 수직, 수평 링크를 사용하고 있다. 「매뉴얼, 2021」에서 수직성분의 힘은 전부 기존 RC기둥에서 전달하도록 하였으므로 수직 링크의 dx 성분은 제외 시키고, dy 성분은 앵커가 설치되는 기존 RC보의 폭이 충분하지 못하므로 해석에서 제외 시켰고, 부재축방향 전단성분 dz 만 고려하였다. 수평링크에

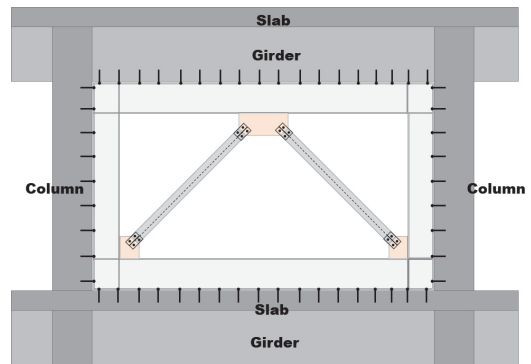


Fig. 1 Infilled Steel Frame with Brace

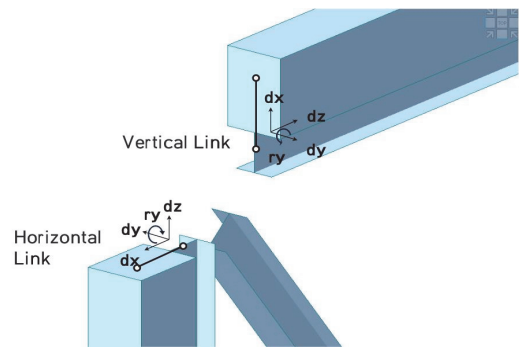


Fig. 3 Example of Vertical and Horizontal Link

서는 앵커의 인장성분  $dx$ 와 전단성분  $dz$ 를 고려하였으며,  $dy$  전단성분은 수직링크와 동일한 이유로 고려하지 않았다.

Park and Byun (2018)은 “기존건축물 내진보강해석의 링크 방식에 대한 고찰”에서 부재 단부에 집중된 모서리 링크보다 부재 길이에 걸쳐 링크를 분산한 경우 기존 부재에 하중을 적게 분배 시킨다고 보고 하였다.

따라서 철골 끼움가새골조 보강구조물의 내진성능평가를 위한 합리적인 모델을 구성하기 위하여 가새만을 고려한 경우와 프레임을 포함한 경우 그리고 프레임 포함 시 기존 RC부재와의 링크방식에 관한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

### 3. 예비해석

#### 3.1 해석모델

철골 끼움가새골조의 기본적인 거동을 이해하기 위한 예비 해석으로서 탄성해석을 수행하였다. 대상 구조물은 Fig. 4와 같이 기존 RC골조에 철골 브레이스만 설치 (Brace), 철골 프레임 포함 모서리에서 핀접합 (Frame Pin Corner), 철골 프레임 포함 모서리에서 강접합 (Frame Rigid Corner) 및 철골 프레임 포함 핀 분산 (Frame Pin Dispersion)을 변수로 하였다.

RC부재의 단면은 기둥과 보 동일하게  $400 \times 300\text{mm}$  재질  $f_{ck} = 27\text{Mpa}$ 인 콘크리트를 사용하였으며, 철골부재 단면은

Table 1 General Link Element

	Vertical Link	Horizontal Link
FPC	$dy, dz$	$dx, dy, dz$
FRC	$dy, dz, ry$	$dx, dy, dz, ry$
FPD	$dx, dy, dz$	$dx, dy, dz$

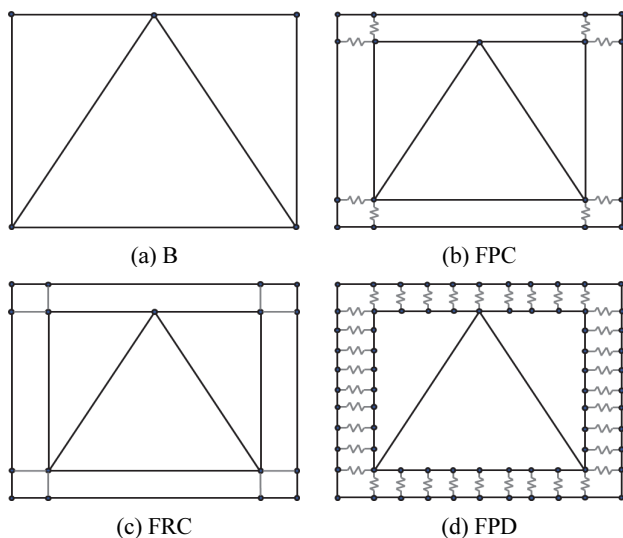


Fig. 4 Preliminary Analysis Model

프레임과 가새 동일하게  $200 \times 200 \times 8/12$ , 재질 SS410을 사용하였다. 하중은 모든 모델에서 동일하게 좌측기둥 상부에  $10\text{kN}$ 을 재하 하였다.

Table 1은 프레임포함 모델의 보강재와 기존 RC부재 사이의 접합방식을 나타내고 있다. 접합은 모두 General Link로서 강성 값은 충분한 탄성거동을 할수 있도록  $10,000\text{kN/mm}$ 를 입력하였다.

FPC의 수직 수평 링크는 기존 RC보와 기둥의 길이방향 전단강성  $dz$  뿐 만 아니라 폭방향 전단강도를 고려하기 위하여  $dy$ 도 고려하였고, 수직 링크에서  $dx$ 성분은 끼움골조에서는 수직보강재가 상부층과 연결되지 않으므로 「매뉴얼, 2021」에 따라 고려하지 않았다.

FRC는 미세하지만 앵커 자체의 모멘트 저항 성능을 고려해 보고자 FPC링크에서  $ry$ 성분을 추가하였다.

FPD는 기존 RC부재와 철골 보강재 사이에 앵커를 일정한 간격으로 분산 배치하는 실 구조물과 같이 핀접합 링크요소를 분산배치하였으며 이때, 앵커 인장강도와 부재 폭방향 전단강도를 각각 고려할 수 있도록  $dx, dy$  성분을 포함하였다.

#### 3.2 최대하중

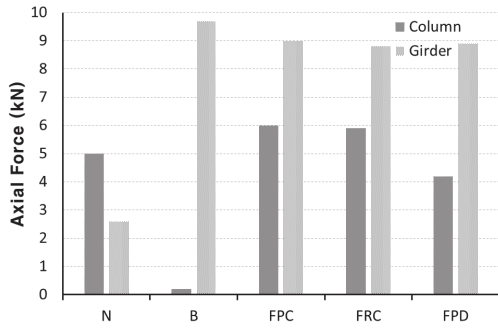
보강된 부재의 성능평가는 합성단면(SRC) 부재의 비선형 거동특성을 이용하여 수행될수 있으나 아직 국내·외적으로 관련 자료가 정립되지 않아 기존 RC부재와 철골 보강재를 분리하여 성능평가를 진행하고 있다. 따라서 보강 모델링 기법에 따른 내진성능평가 결과를 비교하기 위하여 보강부재와 접합된 기존 RC부재의 최대하중을 관찰하였다. 대상부재는 각각 2개의 기존 RC부재 기둥과 보 중에서 더 큰 하중이 발생하는 부재를 선택하여 Fig. 5와 같이 해석변수별로 비교하였다. Fig. 5에서 N은 무보강 구조를 의미한다.

전체적으로 보강에 의하여 주변 RC부재에 전단력과 휨 모멘트는 감소시켰으나 축력은 증가시키는 것으로 나타났다. 그러나 브레이스만 모델링한 B의 경우 보강 전보다 기둥의 축력을 매우 적게 발생시키는 것으로 나타났다. 이는 가새를 통하여 축력이 전달되었기 때문인 것으로 기초에 작용하는 하중을 과소평가함으로써 기초보강 유무검토에 불안전축 결과를 유도할 것으로 사료된다.

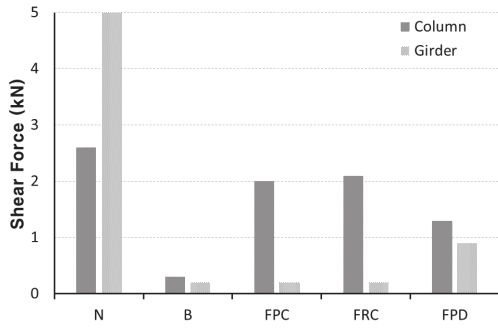
Fig. 5에서와 같이 FPD는 FPC 및 FRC와 비교하여 축력을 작게 산출하고 있으며, 전단력은 기둥과 보가 상이한 거동을 나타내었다. 기둥에서는 작게 보에서는 크게 산출하였고, 모멘트는 크게 차이하지 않았다.

#### 3.3 하중분배율

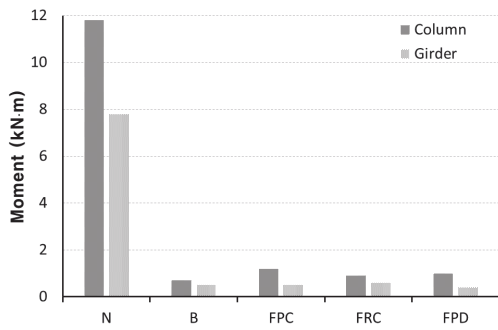
하중분배율은 보강 후 합성부재에 발생한 하중 중에서 기존 RC부재에 발생한 하중의 비율로 정의하고 식 (1)과 같이



(a) Axial Force at RC Column and Girder

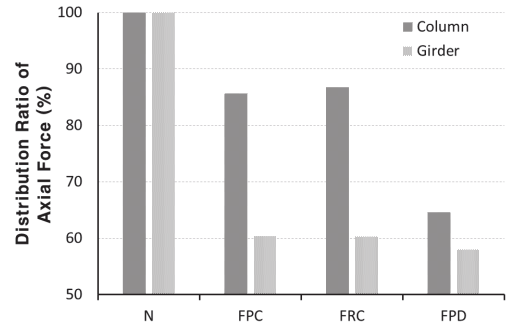


(b) Shear Force at RC Column and Girder

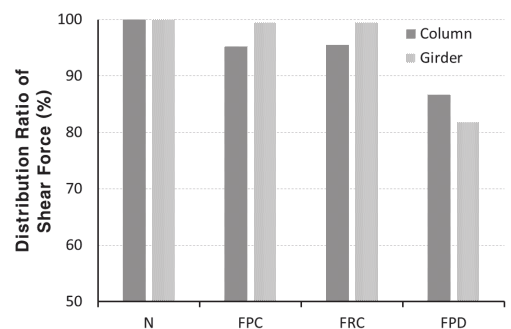


(c) Moment at RC Column and Girder

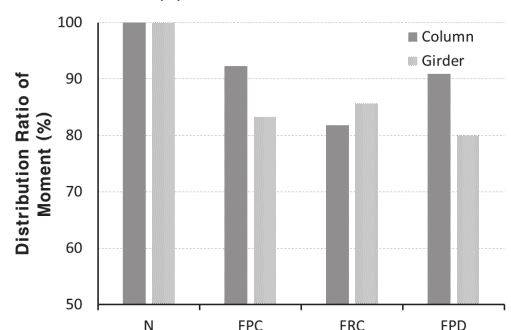
**Fig. 5** Maximum Forces at Existing RC Members



(a) Axial Force Ratio



(b) Shear Force Ratio



(c) Moment Ratio

**Fig. 6** Ratio of Force Distribution

구하였다. B는 기존 RC부재와 접합되는 보강재가 없으므로 분배율을 구하지 않았다.

$$\text{하중분배율} = \frac{\text{RC부재하중}}{(\text{RC부재하중} + \text{철골보강재하중})} \quad (1)$$

Fig. 6에서와 같이 FPD는 FPC 및 FRC와 비교하여 기둥과 보에서 축력과 전단력을 적게 산출하였으나 모멘트는 기둥과 보에서 상이한 경향을 나타내었다. 이는 모델이 부재간 링크 요소를 통하여 전단과 축력에 대한 하중분배 효과를 증가시켰기 때문인 것으로 사료된다.

**Table 2** Horizontal Deformation

	N	B	FPC	FRC	FPD
Deformation (mm)	0.9	0.056	0.065	0.063	0.051

### 3.4 최대변위

최대변위는 Table 2와 같이 모든 보강모델에서 횡변위가 크게 감소하였고, FPD의 횡변위가 가장 작게 나타났으며 이후 B, FRC 및 FPC 순으로 횡변위가 작게 나타났다. 이는 FPD 링크요소가 강성을 가장 크게 고려했기 때문인 것으로 사료된다.

## 4. 내진성능평가

### 4.1 대상구조물

철골 끼움가새골조의 해석모델링 기법에 따른 내진성능평가 결과를 비교·분석하기 위하여 Fig. 7과 같이 일반적인 학교건물을 대상으로 비선형 정적해석(Pushover Analysis)을 수행하였다. 대상 건물은 1990년 준공된 것으로 가정하고, 3층

철근콘크리트 구조로서 장변방향 (X방향)은 ‘내진설계 반영되지 않은 허리벽이 있는 RC모멘트 골조’로 단변방향 (Y방향)은 ‘내진설계되지 않은 모멘트골조와 전단벽 구조가 혼합된 구조’로 가정하였으며, 저차모드가 지배적인 것으로 판정되어 m계수법과 동적해석은 수행하지 않았다.

내진성능평가의 수행은 「학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼, 2021」을 적용하였으며, 내진 1등급, 중요도 1.2, 유효지반가속도 0.18g, 지반분류 S2,로서 목표성능수준은 재현주기 2,400년에 대하여 CP(붕괴방지)로 하였다. 보강전 건물에 대한 비선형정적해석을 통한 내진성능평가 결과 장변 방향에 대하여 층간변위는 만족하였으나, 성능수준별 중력하중저항능력(이하 중력하중저항능력)을 만족하지 못하는 것으로 평가되었고, 단변방향에 대하여는 모두 만족하는 것으로 평가되어 장변방향 보강이 필요한 것으로 평가되었다. 개별부재 성능평가에서는 장변방향 푸쉬오버해석(PO\_X) 시 성능점에서 전면부 중앙 환관 1, 2층 기둥(Fig. 7 참조, 한쪽에서 허리벽과 접함)의 소성힌지 회전각이 목표성능 수준을 만족하지 못하였다.

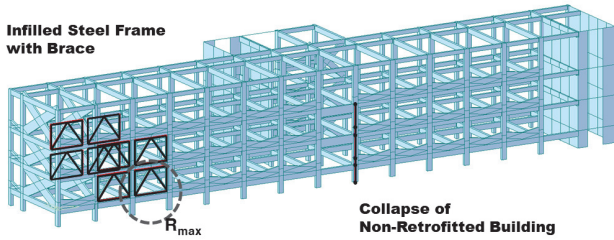


Fig. 7 School Building for the Seismic Performance Evaluation

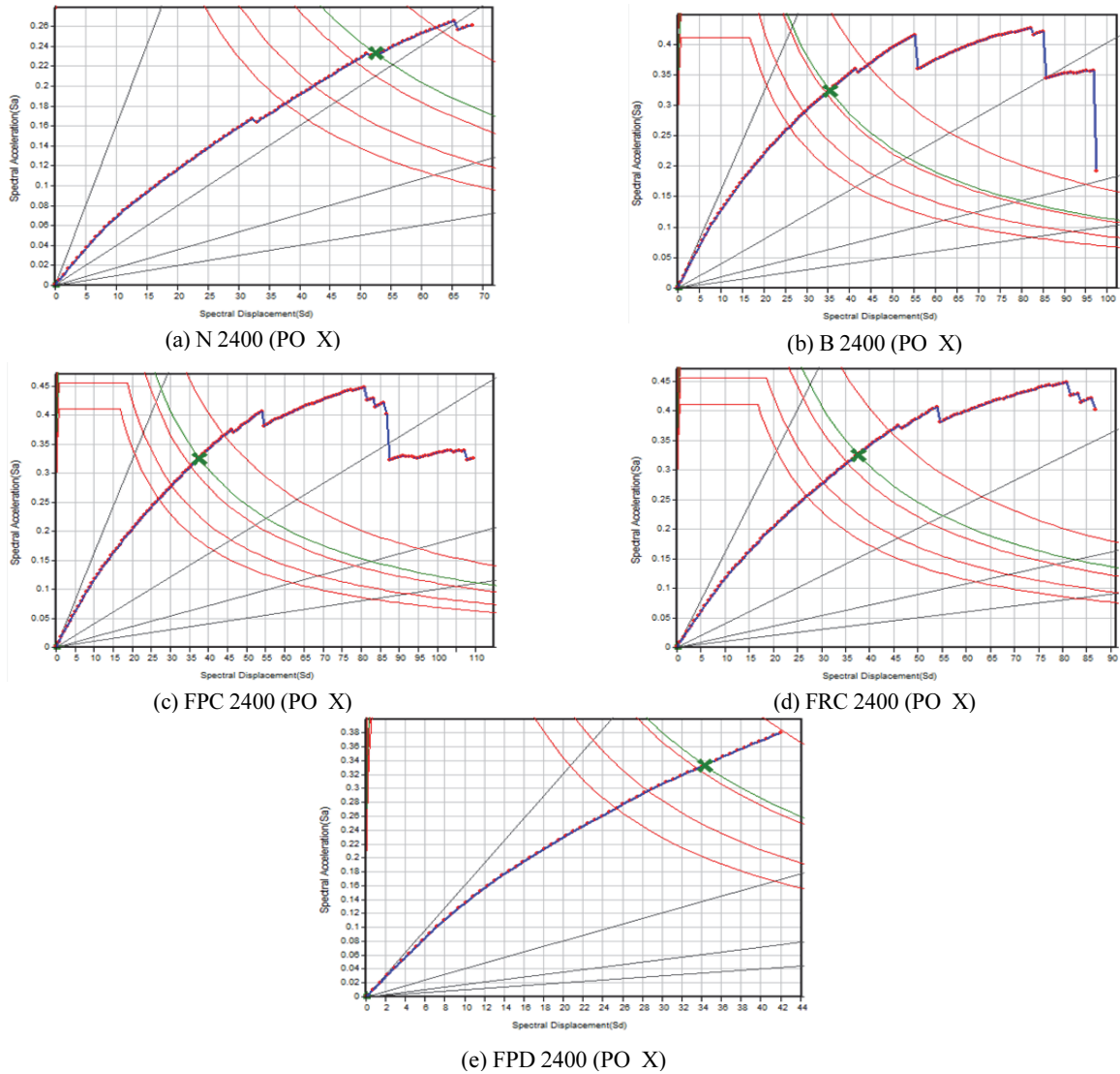


Fig. 8 Capacity vs Demand Spectrum

## 4.2 보강구조물 비선형 정적해석

### 4.2.1 성능점 산출

보강은 Fig. 7과 같이 철골 끼움가새골조를 장변방향에 대하여 8개소에 설치하였다. 3장의 예비해석에서 해석모델로서 고려한 4가지 모델 (B, FPC, FRC 및 FPD)과 무보강 건물(N)에 대한 비선형 정적해석결과에 따른 성능곡선은 Fig. 8과 같다. 모든 모델에서 성능점 이전에 불연속적인 능력곡선을 나타내지 않고 안정적으로 성능점을 산출하였다.

보강구조물의 저차모드 지배 유무 검토결과 저차모드가 지배적인 것으로 판정되었습니다.

### 4.2.2 중력하중저항능력과 층간변위 검토

성능점에서의 건물의 중력하중저항능력과 층간변위 검토 결과는 Table 3과 같다. 프레임을 제외하고 가새만 고려한 B의 경우 양방향에서 중력하중저항능력과 층간변위에서 성능수준을 만족하는 것으로 평가하였으나 프레임을 포함한 FPC, FRC 및 FPD에서는 성능수준을 만족하지 못하는 것으로 평가하였으며, 특히 FPD의 경우 양방향에서 중력하중저항능력을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 프레임을 포함한 모델들의 경우 보강이 불필요한 것으로 평가된 Y방향에서 중력하중저항능력이 목표수준을 만족하지 못하는 것으로 평가되었다. 이는 해석모델의 링크에서 부재의 폭방향 성분 dy의 강성을 고려함으로써 단변방향으로 하중의 분배를 추가적으로 유도하였기 때문인 것으로 사료된다. 또한 프레임을 포함한 모델들은 층간변위에서는 모두 성능수준을 만족하였으나 중력하중저항능력에서 목표수준을 만족하지 못하는 것으로 나타났으며, 이는 일반적으로 강성보강으로 인하여 전체 건물의 변위는 감소시켰으나 보강 부근의 기존 부재에 하중의 증가를 유도하였기 때문인 것으로 사료된다. Yoo (2018)의 연구에서 국내 중저층 필로티형 건물을 Knee Brace로 강성보강할 경우 기존 RC기둥에 큰 전단력을 유도하여 하중저항능력이 감소하는 것으로 보고하였다.

### 4.2.3 기초보강검토

해석모델링 기법에 따른 기초보강 유무검토 결과에 미치는 영향을 비교·분석하였다. 기초는 모두 직접기초로서 Fig. 9와 같이 F1 (1.8×1.8새골조의 기본적인 거동을 이해하기 위한

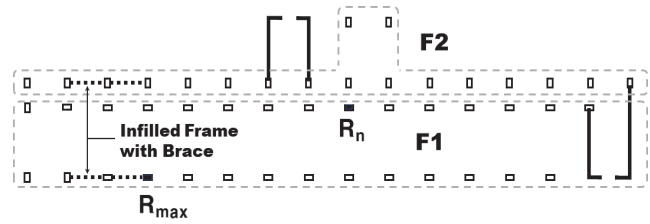


Fig. 9 Foundation Drawing

예0.6m)과 F2 (2.5×2.5×0.6)를 배치하였다. 보강 전 건물에서 수직하중 (1.0DL+0.25LL)과 기초자중 및 흙의 자중을 포함한 기초의 최대반력이  $R_n$  위치에서 642kN이 발생하여 허용지지력  $q_{all} = 198\text{kN/m}^2$ 을 구하였고 이를 식 (2)에 대입하여 기대지지력( $q_e \cong 600\text{kN/m}^2$ )을 산출하였다.

$$q_e = \phi \times q_{all} \times 3 \quad (2)$$

여기서 강도감소계수  $\phi$ 는 성능기반평가법을 적용하므로 1로 하였다.

해석모델별 X방향에 대한 비선형 정적해석(PO\_X)으로 구한 성능점에서 기초 최대반력(기초 및 흙의 자중포함)에 의한 소요지지력( $q_u$ )과 기대지지력( $q_e$ )의 비율을 구하여 Table 4와 같이 기초 보강유무를 검토하였다. 전체적으로 보강에 의하여 기초반력이 3배 ~ 3.6배 증가하였으며, 보강재와 접합된  $R_{max}$ 기초에서 가장 큰 반력이 발생하였다. 모든 보강모델에서 기초보강이 필요한 것으로 평가되었으며, 기대지지력 대비 소요지지력의 비율은 FPD가 1.31로서 가장 크게 나타났다. Y방향에 대한 비선형 정적해석(PO\_Y)결과 모든 해석 모델에서 기초보강이 필요 없는 것으로 나타났다.

Table 4 Foundation Strengthening Check (PO\_X)

	Foundation	Maximum Reaction* (kN)	Required Bearing Stress, $q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	Ratio of Bearing Stress, $\frac{q_u}{q_e}$	Remark
N	F1	698	215	0.36	○
	F2	847	185	0.31	○
B	F1	2,493	769	1.28	X
	F2	2,640	423	0.71	○
FPC	F1	2,411	744	1.24	X
	F2	2,559	410	0.68	○
FRC	F1	2,411	744	1.24	X
	F2	2,559	410	0.68	○
FPD	F1	2,540	784	1.31	X
	F2	2,688	430	0.72	○

\* Soil and foundation self weight (F1=160kN, F2=308kN) contained

Table 3 Seismic Performance Evaluation

	N		B		FPC		FRC		FPD	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Vertical Load Factor	X	○	○	○	○	X	○	X	X	X
Story Drift Ratio	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

#### 4.2.4 인접부재 검토

3차원 학교건물에 대한 비선형 정적해석결과를 통하여 모델링 기법에 따른 보강 부근의 기존 RC부재에 미치는 영향을 비교하고 이를 3장의 예비해석 결과와 비교하였다. 분석의 범위는 Fig. 7에 나타난 바와 같이 최대반력 ( $R_{max}$ )이 발생하는 기초와 접한 프레임을 대상으로 하였다. 예비해석에서와 같이 각각 2개의 기존 RC부재 기둥과 보 중에서 더 큰 하중이 발생하는 부재를 선택하여 최대내력을 비교하고 Table 5와 같이 정리하였다.

예비해석결과와 동일하게 전체적으로 보강에 의하여 주변 RC부재에 전단력과 휨 모멘트는 감소시켰으나 기둥의 축력은 증가시키는 것으로 나타났고 보의 축력은 슬래브 강막작용으로 산출되지 않았다. 브레이스만 모델링한 B의 경우 다른 프레임포함 모델과 비교하여 기둥의 축력을 매우 적게 발생시키는 것으로 나타났다. 그럼에도 B모델에서 기초보강이 필요한 것으로 평가된 이유는 Fig. 10(b)에서와 같이 가새의 축력이 기초상부에 추가되었기 때문인 것으로 판단된다.

B모델에서와 같이 보강인접 부재에 대한 내력을 적게 산출한 결과는 Table 5에 나타난 바와 같이 프레임포함 모델들에 비하여 하중저항능력을 높게 평가하게 된다. 이는 합성단면에 대한 비선형 힌지 속성이 아직 국내·외적으로 정립되지 않음으로 인하여 모델링 시에 보강부재와 기존 RC부재를 링크로 연결하고 비선형해석 이후 성능평가 시에는 기존 RC부재

와 철골 보강재를 분리하여 수행되는 현황에서 볼 때 불안전층의 내진성능평가결과를 유도할 것으로 판단된다.

FPD는 예비해석과 유사하게 FPC 및 FRC와 비교하여 기둥의 축력과 보의 모멘트를 작게 산출하였고 나머지는 크게 산출하였다.

### 5. 결론

- 1) 철골 기움가새골조 보강을 위한 해석모델에서 브레이스만 모델링 할 경우 프레임을 포함한 모델들보다 보강 주변의 기존 RC기둥의 축력을 매우 작게 유도하는 것으로 나타났으며, 이는 인접 RC부재의 하중저항능력과 기초보강 유무검토 시 불안전층 평가를 유도할 것으로 사료된다.
- 2) 학교건물에 대한 내진성능평가 결과 브레이스만 고려한 B의 경우 중력하중저항능력과 층간변위에서 목표수준을 만족하는 것으로 평가되었고, 프레임을 포함한 FPC, FRC 및 FPD의 경우 모두 층간변위는 만족하였으나, 중력하중저항능력을 만족하지 못하는 것으로 평가되었다. 따라서 프레임을 포함한 모델이 안전성 확보 측면에서 합리적인 모델인 것으로 사료된다.
- 3) 기초보강 유무검토결과 모든 보강모델에서 기초보강이 필요한 것으로 평가하였으며, 기대지력 대비 소요지력의 비율은 FPD가 1.31로서 가장 크게 나타났다.
- 4) 합성단면 부재의 비선형모델이 정립되지 않아 해석 시 철골 보강재와 기존 RC부재를 링크시키고 해석 후 둘을 분리하여 성능을 평가하는 현 상황에서 철골 기움가새골조와 같은 강성보강 공법의 내진성능평가 결과는 층간변위 수준은 높게 수직하중저항 수준은 낮게 평가하는 것으로 사료된다.

Table 5 Maximum Forces at Existing RC Members

	Axial Force (kN)		Shear Force (kN)		Moment (kN·m)	
	Column	Girder	Column	Girder	Column	Girder
N	491	0	166	96.2	227,924	199,602
B	1,371	0	129	47.2	119,799	50,693
FPC	2,237	0	137	65.2	119,964	118,536
FRC	2,237	0	137	65.2	119,964	118,536
FPD	1,741	0	162	201	149,763	71,846

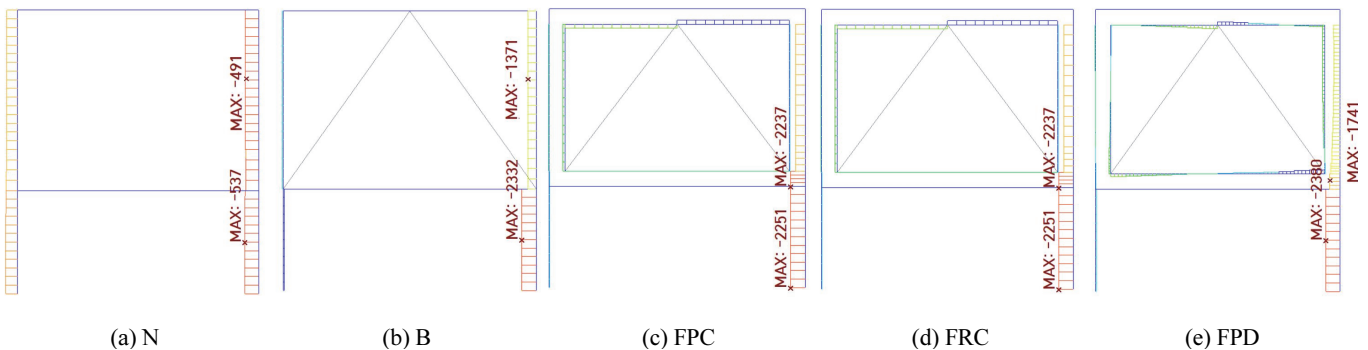


Fig. 10 Axial Force Diagram

## 감사의 글

이 논문은 2022년도 경상국립대학교 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

## References

1. MOE (2021), Guideline for Seismic Evaluation and Rehabilitation of Existing School Buildings, *Ministry of Education*, Sejong. (In Korea)
2. Jung, J. S., and Lee, K. S. (2018), A Seismic Capacity of R/C Building Damaged by the Gyeongju Earthquake Based on the Non-linear Dynamic Analysis, *Journal of Korea institute for Structural Maintenance and Inspection*, 22(1), 137-146. (In Korea)
3. Kim, K. I., Jung, J. S., Lee, B. G., and Lee, K. S. (2020), Seismic Performance Evaluation of Full-size Two-story R/C Frame Strengthened with Concrete Wingwall with Embedded Kagome Truss by Pseudo-dynamic Test, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 32(2), 173-183. (In Korea)
4. Oh, K. Y., Lee, K. M., and Lee, K. K. (2020), Seismic Performance Evaluation of Existing Reinforced Concrete Frame Retrofitted with Steel Chevron Bracing and Infilled Frame, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 32(4), 387-395. (In Korea)
5. Yoo, S. H., and Kim, D. G. (2020), Analytical Study on the Seismic Retrofit Method of Irregular Piloti Building Using Knee-Brace, *Journal of Korea institute for Structural Maintenance and Inspection*, 24(1), 35-42. (In Korea)
6. Byun, D. K., and Park, S. S. (2018), A Study on the Link Method of Seismic Retrofit Analysis of Existing Buildings, *Journal of The Korea Structural Engineers Association*, 25(2), 58-62. (In Korea)

Received : 07/20/2022

Revised : 07/25/2022

Accepted : 08/29/2022

---

**요 지 :** 최근 국내 지진으로 인한 건축물의 피해는 주로 학교건물과 필로티형 다가구 주택에서 발생함으로써 동일한 형식의 건물에 대한 내진보강 필요성을 부각시켰다. 학교시설 내진보강사업은 초기에 연성보강방법으로서 댐퍼를 활용한 다양한 특허공법들이 충분한 검증 절차 없이 적용되었다. 그러나 「학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼, 2021」에서는 특허공법 적용시 별도의 엄격한 검증 절차를 통하여 적용토록 하고 대신 일반공법으로서 강도/강성보강공법의 활성화를 유도하였다. 학교건물의 강도/강성 보강공법으로서 활발히 적용되고 있는 철골 끼움가새골조보강을 위한 내진선능평가 시 실무에서는 일부 제한된 조건에서 안전측의 내진성능평가 결과를 도출할 것으로 판단하여 기존 RC 부재에 철골가새만을 직접연결하여 해석모델을 구성하고 있다. 그러나 철골 끼움가새골조의 해석모델에서 프레임 제거할 경우 강성감소로 인한 보강 부근의 기존 RC부재에 발생하는 하중감소는 매우 클 것으로 사료되며 이는 보강부위 기초보강 유무 검토에도 영향을 미칠 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 철골 끼움가새골조를 이용하여 저층 RC 학교건물 내진보강 시 성능평가를 위한 해석모델에 대하여 철골 프레임 고려 유무, 프레임 링크방식 등을 변수로 한 예비해석과 실제 3층 학교 건물에 대한 비선형 정적해석에 따른 내진성능평가를 수행하였으며, 변수별 예비해석 및 푸쉬오버 해석결과를 비교함으로써 합리적인 해석모델 설정을 위한 기초자료를 제시하였다.

**핵심용어 :** 철골 끼움가새골조, 내진성능평가, 비선형 정적해석, 강성보강

---