

# 팽창형 접합부 모르타르와 H형강 프레임에 의한 비내진 상세를 갖는 철근콘크리트 골조의 내진보강

김지현<sup>1</sup>, 장석준<sup>2</sup>, 윤다애<sup>1</sup>, 김대영<sup>3</sup>, 윤현도<sup>4\*</sup>

## Strengthening of Non-ductile Reinforced Concrete (RC) frames with Expansive Joint Mortar and H-beam Frame

Ji-Hyeon Kim<sup>1</sup>, Seok-Joon Jang<sup>2</sup>, Da-Ae Yun<sup>1</sup>, Dae-Young Kim<sup>3</sup>, Hyun-Do Yun<sup>4\*</sup>

**Abstract:** The seismic performance of non-ductile reinforced concrete (RC) frame retrofitted with H-beam frame and cast expansive mortar into joint between existing RC frame and H-beam frame is investigated experimentally and analytically. RC frames considered in the study contain non-ductile reinforcement details of low-rise school building constructed in Korea before 1988. The tests were conducted on half-scale specimens simulating the lower frame assemblages of a typical school building. Two one-bay, one-story RC frames with and without retrofitting with H-beam frame and expansive joint mortar were tested to failure. Test and analysis results indicated that seismic strengthening using H-beam and expansive joint mortar significantly improved the lateral strength and stiffness of non-ductile RC frame without installing anchor bolts to fit H-beam frame into existing RC frame. The effectiveness of seismic strengthening technology proposed in the study for non-ductile RC frame was verified experimentally and analytically.

**Keywords:** Seismic performance, H-beam frame, Expansive mortar, Finite element analysis

### 1. 서론

2016년 9월 경주에 발생한 규모 5.8 강진 이후로 국내 지진 발생 횟수가 급격히 증가하고 있다. 기상청(Korae Meteorological Administration, 2018) 발표자료에 따르면 2005~2015년 국내 연간 평균 지진 발생 빈도는 약 53회로 나타났으나, 경주지진 이후 발생 빈도가 급격히 증가하여 2016 및 2017년도에 각각 252 및 223회 지진이 발생하였다. 이에 국내 기존구조물의 내진 성능에 대한 관심이 높아지고 있다. 국내 내진설계기준은 1988년도부터 도입되었고 6층 이상 혹은 연면적 100,000 m<sup>2</sup> 이상인 건축물이 내진설계 적용대상이었으며, 2005년부터 3층 이상 연면적 1,000m<sup>2</sup> 이상의 건축물에 대한 내진설계가 의무화 되었다. 2017년에는 2층 이상, 연면적 200 m<sup>2</sup> 이상의 건축물에 대해 내진설계 하도록 규정하고 있다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2018). 따라서 국내 건축물

의 설계기준에 내진설계가 의무화되기 이전 건설된 건축물은 내진 성능 평가 및 보강 대책이 필요한 실정이다. 국내 학교 건물 또한 내진설계가 도입되기 이전에 대다수 건설되었으며, 교육부 발표자료에 따르면 규모 5 이상의 지진이 발생할 경우 학교건축물의 절반 이상이 대규모 피해를 받을 것으로 보고되었다(Lee and Kim, 2012). 학교시설은 특정시간 동안 많은 학생들이 밀집하여 생활하는 곳이며, 재난 발생 시 대피장소로도 활용되는 공간이기 때문에 내진보강이 필수적이며 시급히 이루어져야 한다. 이에 정부에서도 2011년도부터 내진보강 기본계획을 수립하여 추진하고 있으며, 2016년 학교시설의 내진율은 24.9%로 2011년 말에 비하여 3.6% 향상된 것으로 보고되고 있다(Ministry of Education, 2016).

학교와 같은 중저층 건축물의 내진 성능을 보완하는 방법은 보강목적에 따라 지진하중저감, 연성보강, 강도 및 강성보강 등으로 구분할 수 있다. 지진하중을 저감하기 위한 대표적인 방법으로는 제진댐퍼를 골조에 보강하는 방법이 있으며, 이는 지진에너지를 집중적으로 소산시켜 진동을 효과적으로 억제한다(Sorace and Terenzi, 2008; Benavent-Climent, 2011). 하지만 접합부에 대한 정밀시공이 요구되며 고비용이라는 단점이 있고, 국내연구가 미흡한 실정이므로 실제 구조물에 적용하기 어렵다. Pampanin et al. (2007)은 3층으로 구성된 실험체의 보기둥 접합부에 CFRP(Carbon fiber reinforced

<sup>1</sup>정희원, 충남대학교 건축공학과 석사과정

<sup>2</sup>정희원, 한국시설안전공단 선임연구원, 공학박사

<sup>3</sup>정희원, (주)금성백조 건축부 부장, 공학석사

<sup>4</sup>정희원, 충남대학교 건축공학과 교수

\*Corresponding author: wiseroad@cnu.ac.kr

Department of Architectural Engineering, Chungnam National University

•본 논문에 대한 토의를 2019년 5월 1일까지 학회로 보내주시면 2019년 7월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

polymer) 시트를 부착하여 반복가력 실험을 실시하였으며, 실험결과 구조물의 취성적인 파괴를 방지하고, 연성향상에 효과적인 것으로 나타났다. 섬유시트를 사용한 내진보강 방법은 내·외관의 변화를 최소화 할 수 있다는 장점이 있지만, 기존 마감재를 철거해야 하고 다수의 설치개소가 필요하며, 추가적인 내화대책이 필요하다. 내진보강을 위한 또 다른 방법인 철골프레임 보강방법은 구조물의 강도 및 강성보강에 목적을 둔 방법으로, 횡하중에 높은 저항성을 보이며 연성 또한 증가하는 것으로 보고되었다(Youssef et al., 2007). 또한 건식방법이므로 공기단축이 가능하며 조망 및 채광확보에 유리하다. 하지만 기존 골조와의 일체화를 위해 접합용 앵커를 사용하기 때문에, 기존 철근콘크리트 골조를 손상시키고 접합부의 정밀시공이 요구되는 단점이 있다. 이에 본 논문에서는 기존 골조의 손상을 최소화하고자 팽창형 모르타르를 사용하여 팽창압에 의한 일체화방법에 대해 연구하였다. 해당 방법은 시공이 용이하며 외관 훼손을 방지하는 장점이 있다. 또한 보강에 따른 내진성을 평가하고자 기존 철근콘크리트 골조에 철골프레임 보강 여부를 변수로 반복가력실험을 실시하여 방법의 유효성을 평가하고자 하였다. 또한 유한요소해석을 통해 실험결과를 해석적으로 평가하고자 하였으며, 해당 연구내용을 기반으로 국내 학교건축물의 합리적인 내진보강 방법을 제시하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험체 계획

본 연구에서는 H형강 골조와 무수축 접합부 모르타르에 의

한 비내진 상세를 갖는 RC 골조의 보강 여부를 주요변수로 실험을 계획하였으며, 1980년도 교사동 표준도면을 근거로 실험체를 계획 및 제작하였다. 기존 비내진 상세를 갖는 철근콘크리트 골조(BF), H형강 골조와 팽창형 모르타르를 사용하여 내진 보강한 골조(SFR), 2개의 실험체를 제작하여 파괴시까지 가력 실험하였다. 실험체는 실험실 장비의 한계를 고려하여 1/2 축소 규모로 제작하였으며, SFR 실험체의 치수 및 상세는 Fig. 1과 같다. 기둥 단면은 175 × 250 mm, 골조의 전체 높이는 2,150 mm로 계획하였다. 8개의 D13 이형철근을 기둥 주근으로 배근하였으며, 기초 및 보의 철근상세는 실험 중 예상치 못한 파괴를 예방하기 위하여 실제 구조물 보다 과배근하였다.

내진보강요소인 H형강 골조는 SS275 재질의 강재가 사용되었으며, H-100×100×6×8 크기의 H 형강을 사용하였다. H형강 골조의 접합부 보강을 위하여 모서리 부분에 6mm 강판의 스티프너(Stiffener)를 용접하여 보강하였다. 비내진 상세를 갖는 철근콘크리트 골조에 H형강 철골을 보강하는 과정을 Fig. 2에 나타내었으며, 철근콘크리트 골조의 상·하부 및 기둥 4면과 H형강 골조를 고정시키고자 최소한의 정착기구와 앵커를 사용하였다. 기존 철근콘크리트 골조와 H형강 골조의 일체성을 향상시키기 위하여 폴리에스테르 재질의 소방용 호스를 기존 골조와 H형 골조 사이에 배치하고 호스의 내부에 팽창형 모르타르를 주입하여 팽창압을 유발하는 방식을 적용하였다.

### 2.2 사용재료

콘크리트의 압축강도를 평가하고자 KS F 2405에 따라 하중 제어방식으로 실험을 실시하였다. 재령 48일에 압축강도 및

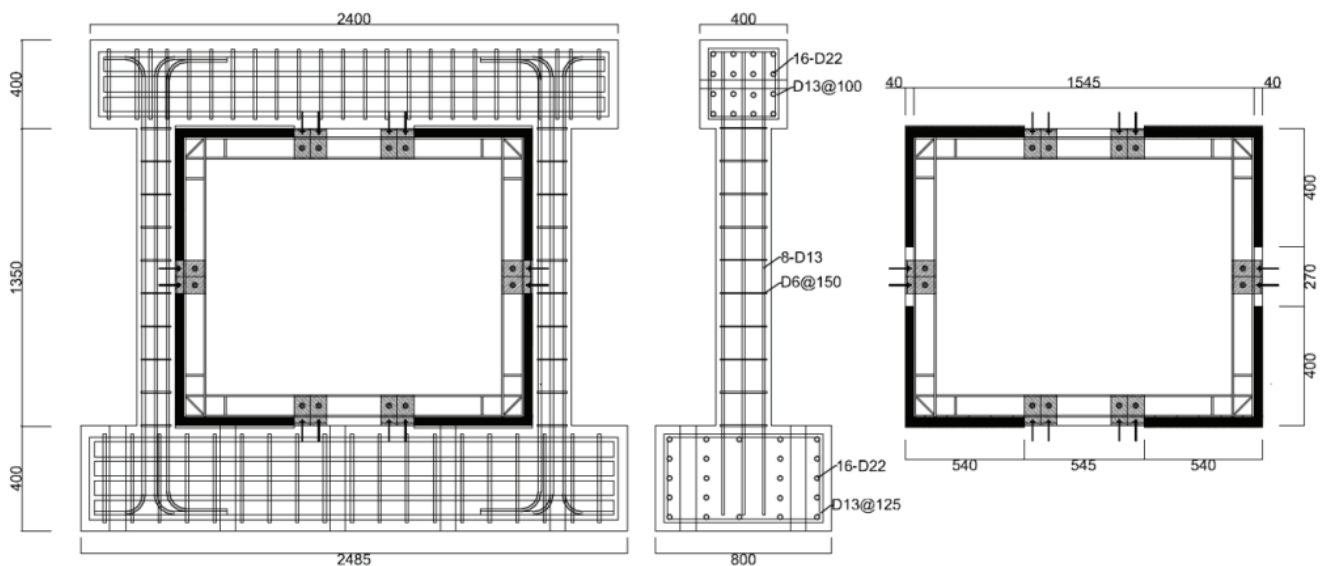


Fig. 1 Dimensions and reinforcement details of SFR specimens (unit :mm)



(a) Injection of expanded mortar  
(b) Specimens

Fig. 2 Manufacturing procedures of specimens

탄성계수는 32.2 MPa 및 22.8 GPa로 나타났으며, 재령 109일의 압축강도 및 탄성계수는 35.1 MPa 및 23.8 GPa로 나타났다. 구조실험은 재령 88 및 83일에 실시되었으며, 해당 시점에서 콘크리트 압축강도는 34.1 및 33.9 MPa로 추정된다. 실험체 기둥의 띠철근 및 주근으로 사용된 D6 및 D13 철근 항복강도 및 인장강도는 KS B 0802의 시험방법을 근거로 평가하였으며, 실험결과 D6 철근의 항복강도 및 인장강도는 418.1 및 443.6 MPa, D13 철근은 493.0 및 702.1 MPa로 나타났다. H형강 골조에 사용된 강재는 SS275로 재료시험결과 항복강도 및 인장강도는 350 및 500 MPa로 나타났다. 또한 팽창형 모르타르의 압축강도 및 팽창률에 대한 실험은 KS F 2426 및 KS L 5218에 준하여 실시하였으며, 실험 결과 재령 28일 압축강도는 66.2 MPa로 나타났다. 체적 팽창률은 실험시점에서 0.2%, 최고 0.5%로 평가되어 경화 시 호스 외부로 기포 및 잉여수의 배출과 팽창으로 인한 기존 RC 골조와 H형강 골조 사이에 팽창력을 유발하여 일체성 확보가 가능할 것으로 판단된다.

### 2.3 실험방법

H형강 철골 보강 및 팽창형 접합부 모르타르 적용에 따른 RC 골조의 내진성능 향상에 대한 유효성을 평가하고자 반복 가력실험을 실시하였다. Fig. 3에 실험체 설치상황을 나타내었으며, 1,000 kN 용량의 유압 액추에이터(Actuator)를 사용

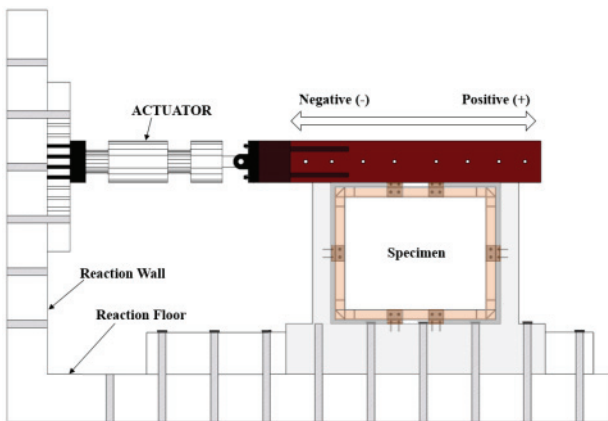


Fig. 3 Test set-up of specimens

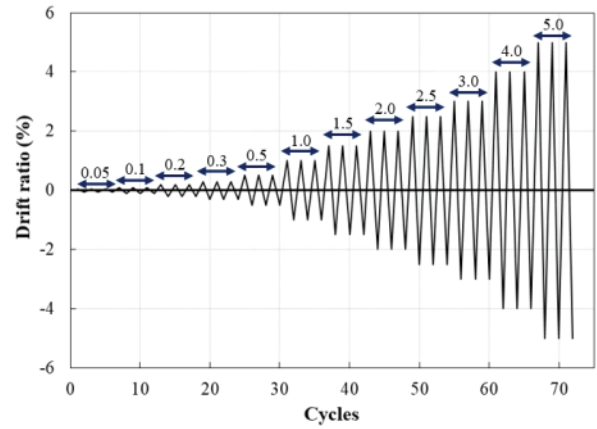


Fig. 4 Loading protocol

하여 실험체의 상부 보에 변위이력을 도입하였다. Fig. 4는 실험체에 도입된 변위제어이력으로, 층간변위비 0.05%, 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.5%씩 도입한 이후 0.5%씩 증가시켰으며, 3.0%에 도달한 이후에는 1%씩 점증하고 동일 층간변위비에서 각 3회씩 반복하는 방식으로 구성된다. 지진에 의해 작용하는 지진관성력 및 횡력에 대한 내진보강정도를 관찰하고자 상재하중은 고려하지 않았다. 가력시 골조의 횡좌굴에 의한 불안정 파괴를 방지하고자 보의 측면에 볼 지그(Ball jig)를 설치하고 이를 가이드(Guide) 골조에 지지하였다. 또한 하중가력에 따른 변위를 측정하고자 상부보 중앙부에 변위계를 설치하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 파괴양상

실험체의 최종 파괴 및 균열양상을 Fig. 5에 나타내었으며, H형강 골조 보강 여부에 따라 파괴양상이 크게 상이하게 나타났다. BF 실험체는 층간변위비 0.5%에서 우측 기둥상부에 초기균열이 발생하였으며, 층간변위비 1.0%에서 좌측 기둥 하부에 균열이 발생하였다. 이후 층간변위비가 증가함에 따라 기둥 하부로 휨 균열이 진전되는 양상을 보였으며, 층간변위비 4.0%에서는 하중이 저감되기 시작하였다. 최종적으로 기둥에서 휨 균열이 지배적으로 관찰되었으며, 우측 기둥 상부와 좌측 기둥 하부에 심각한 피해가 발생되었다. 실험체의 좌측 기둥 하부에는 콘크리트 박리현상이 나타났으며, 철근이 드러나고 부분적으로 좌굴되는 현상을 보이며 최종 파괴되었다.

SFR 실험체의 경우 층간변위비 1.0%에서 좌측 및 우측 기둥하부에서 초기균열이 관찰되었으며, 변위이력 사이클이 증가함에 따라 우측 기둥 하부 및 상부의 균열이 점진적으로 증가하였다. 이후 층간변위비 1.5%에서 우측 기둥하부에 사인

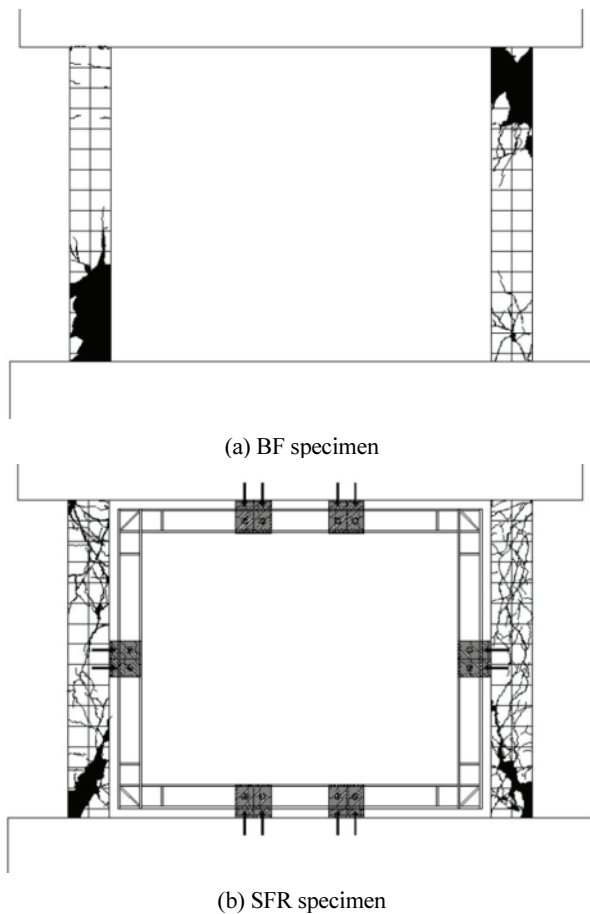


Fig. 5 Failure mode of the specimens

장 균열이 발생하였으며, 층간변위비 2.5%에서 하중이 저하되며 좌측 기둥 하부에 사인장 균열이 발생하였다. 도입된 층간변위비가 증가함에 따라 사인장 균열의 폭이 증가하는 양상을 보였다. 층간변위비 3.0%일 때 RC 골조 모서리 부분에서 균열이 시작되었으며, 이후 정·부하력이 반복되면서 이러한 균열의 폭이 급격히 증가하였다. 최종 파괴는 RC 골조의 좌측기둥의 상·하부에서 피복 콘크리트 박리현상과 좌우측 기둥의 전단균열에 의하여 나타났으며, BF 실험체와 달리 철근이 드러나고 좌굴되는 심각한 피해는 나타나지 않았다. SFR 실험체의 최종파괴시 기존 H형강 골조는 정·부하력의 반복으로 인해 모서리 부분 용접부에서 균열이 발생하는 피해를 보였다.

Table 1 Test results of Specimens

Specimens	Cycle	Yield load (kN)	Yield Displacement (mm)	Initial stiffness (kN/mm)	Maximum load (kN)	Maximum displacement (mm)
BF	+	36.4	6.8	5.3	82.9	53.9
	-	65.0	13.8	4.7	97.1	53.7
SFR	+	125.5	13.6	9.2	196.3	33.6
	-	127.5	13.6	9.4	177.5	26.8

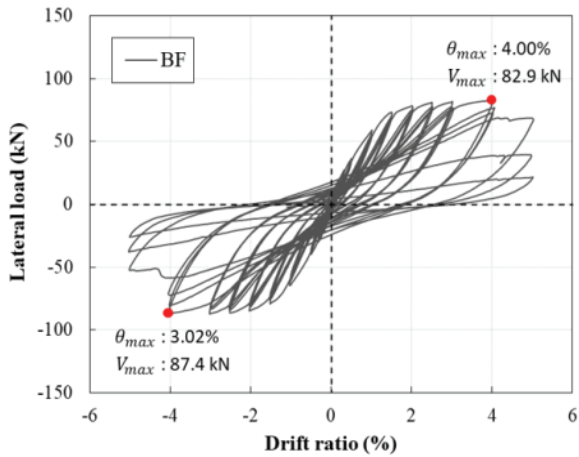
### 3.2 하중-변위 관계

두 실험체에 대한 반복재하 실험결과를 근거로 항복강도, 항복변위, 초기강성, 최대하중, 최대변위를 Table 1에 비교하여 나타내었다. Fig. 6은 BF 및 SFR 실험체의 하중-변위 관계 곡선을 나타낸 것이다. 초기 균열이 발생하였을 때의 강도를 항복강도로 정의하였으며, 항복강도의 경우 BF 실험체의 평균은 50.7 kN, SFR 실험체는 평균 126.5 kN으로 약 2.5배 증가하였다. BF 실험체의 초기강성은 정·부하력 평균 5.0 kN/mm이며, SFR 실험체의 초기강성은 평균 9.3 kN/mm로 나타났다. 제안된 내진보강방법은 비내진 상세를 갖는 RC 골조의 항복강도 및 항복강도시 강성증진에 효과적인 것으로 판단된다.

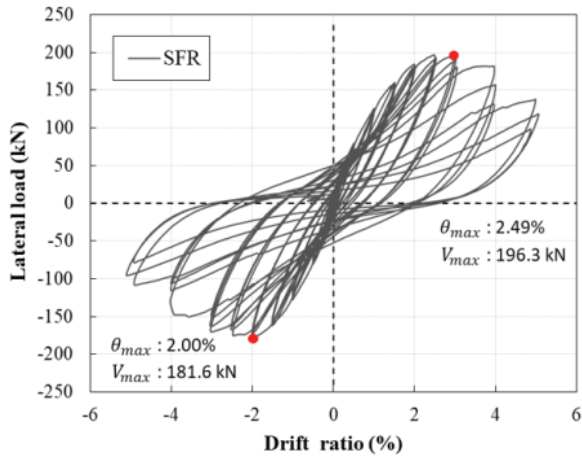
Fig. 6(a)에서 나타난 바와 같이 BF 실험체의 경우 층간변위비 4.0%에서 최대내력이 82.9 kN으로 나타났으며, SFR 실험체의 경우 층간변위비 2.5%에서 최대하중이 196.3 kN으로 나타났다. SFR 실험체의 최대내력은 BF 실험체에 비해 약 1.4배 향상되었다. 최대하중시 층간변위비가 H형강 골조로 보강된 SFR 실험체에서 BF 실험체에 비하여 다소 작은 것은 Fig. 5에 나타난 바와 같이 SFR 실험체 기둥 하부에서 전단균열이 발생됨에 따른 것으로 판단된다. 향후 본 연구에서 제안된 내진보강방법에 의해 기존 RC 골조의 내력증진과 연성증진을 위하여 기존 RC 골조기둥의 보강도 함께하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

### 3.3 강성저하 및 에너지 소산능력

실험체의 층간변위비에 따른 강성저하 특성을 Fig. 7에 비교하여 나타내었다. 층간변위비에 따른 각 실험체의 강성은 하중-변위 관계 곡선에서 각 변위비별 정가력 및 부가력 시 최대하중인 점을 이은 선의 기울기로 산정하였다. BF 및 SFR 실험체 모두 초기 급격한 강성저하를 보였으나 BF 실험체보다 SFR 실험체의 강성이 더 급격히 감소하였다. 이는 RF 실험체의 초기강성이 작았고 하중이 증가됨에 따라 나타난 기둥의 휨균열로 전체적인 골조의 이력거동이 안정적인 반면, SFR 실험체의 경우 초기강성이 BF 실험체에 비하여 2.4배 크게 나타났고 실험체 손상은 기존 RC 골조와 H형강 골조의 경계면 미끄러짐 및 좌우측 기둥 하부면에서 발생한 사균열로 층간변위비가 증가됨에 따라 초기에 비해 다소 완만한 강도 증진에 따른 것으로 판단된다. 또한 전반



(a) BF specimen



(b) SFR specimen

Fig. 6 Cyclic response of the specimens

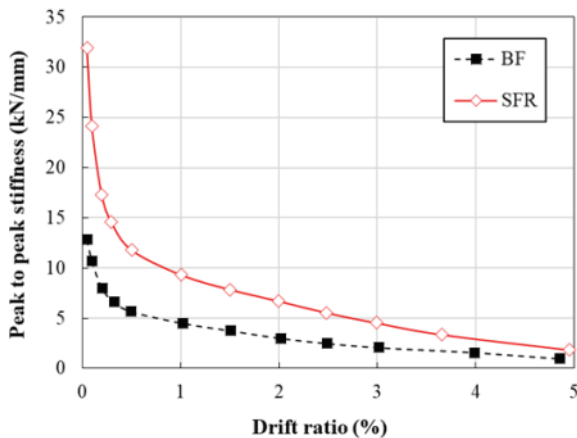


Fig. 7 Stiffness degradation of specimens

적으로 SFR 실험체의 강성이 BF 실험체의 강성에 비해 크게 나타났으며, 층간변위비 1.0% 이후 두 실험체 모두 안정된 강성저하 특성을 보였다.

본 연구에서 제안된 팽창 모르타르 접합재와 H형강 골조에

의한 내진보강방법에 따른 RC 골조의 횡하중 저항 성능을 평가하기 위해 BF 및 SFR 실험체의 등가점성감쇠비 (Equivalent viscous Damping Ratio, EDR)를 Fig. 8에 나타내었다. 빗금친 면적인 탄성에너지에 대한 이력곡선의 면적인 소산에너지의 비로 등가점성감쇠비를 산정하여 에너지 소산 능력을 가시화 하였다. BF 실험체는 5.7 ~ 18.1%의 등가점성감쇠비 변화를 보였으며, SFR 실험체는 7.7 ~ 19.3%의 변화를 나타내어, SFR 실험체의 등가점성감쇠비는 BF 실험체에 비하여 전체적으로 2.4% 더 크게 평가되었다. 이에 본 연구에서 제안된 내진보강방법의 적용을 통하여 비내진 상재를 갖는 기존 RC 골조의 에너지 소산능력을 개선할 수 있는 것으로 판단된다.

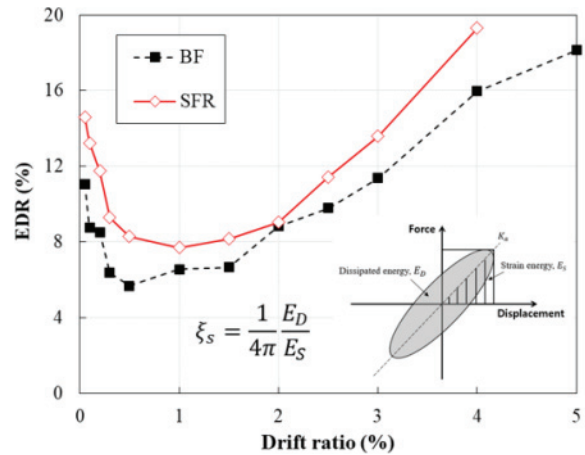


Fig. 8 Equivalent viscous damping of specimens

### 3.4 기둥 주근의 변형률

Fig. 9는 우측 기둥에서 내측 주근과 H형강 골조의 플랜지 부분 변형을 변화를 나타낸다. 그림에 나타난 바와 같이 BF 실험체 기둥의 주근은 충분한 소성변형을 경험하고 있는 것으로 나타났으나 SFR 실험체보다 상대적으로 낮은 변형상태에 있다. 이는 Fig. 9(c)에 나타난 바와 같이 H형강 골조의 내측 플랜지가 기둥 주근이 부담하는 휨인장 및 압축력을 부담하고 있기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서 제안한 팽창형 모르타르 접합재와 H형강 골조에 의한 기존 RC 골조의 내진보강방법은 골조에 작용되는 지진과 같은 횡하중을 효율적으로 분담하고 있는 것으로 판단된다.

## 4. 유한요소해석

### 4.1 해석개요 및 모델링

재료 및 구조실험 결과를 근거로 H형강 골조 보강 여부에 따른 비내진 상재를 갖는 RC 골조에 대한 비선형 유한요소해

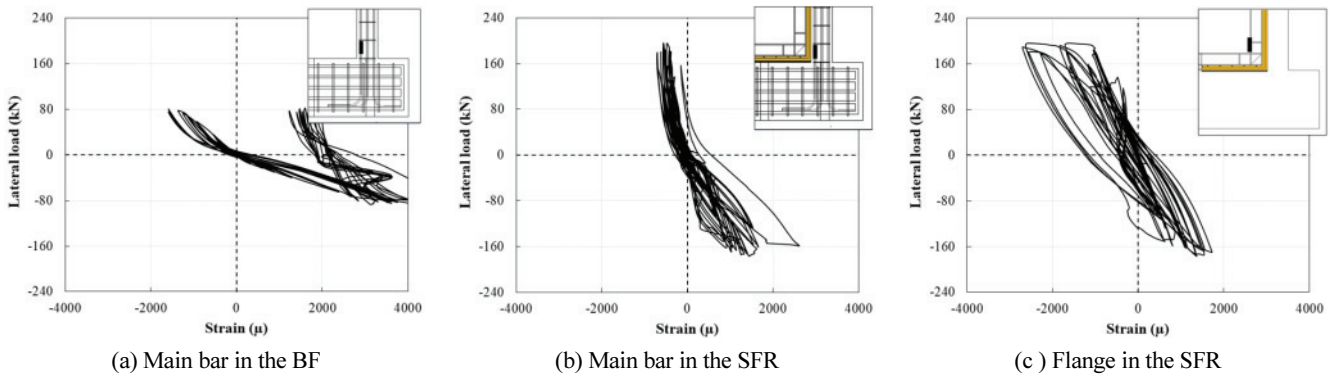


Fig. 9 Strain variation in the main bar of column and flange in the H steel frame

석을 수행하였다. 본 연구에서 활용한 유한요소해석 프로그램은 DIANA 10.2이며, 해석의 효율성을 위하여 골조를 2차원으로 이상화하였다. 또한 고차요소해석을 통해 해석의 정확성을 높이고자 하였다. BF 및 SFR 실험체는 Fig. 1을 근거로 이상화하였으며, 해석을 위한 실험체의 이상화 및 해석조건에 대해 Fig. 10에 나타내었다. BF 실험체는 Fig. 10에서 H형강 골조 및 접합철물을 제외하고 RC 골조만을 이상화하였다. BF 실험체의 구속조건을 반영하기 위해 기초의 하단부를 모든 축에 대해 고정하였다. 가력조건인 경우 모델링한 가력보에 중앙점을 두어 X축 방향으로 단조가력을 실시함으로써 가력에 따른 회전이 최대한 발생하지 않도록 설정하였으며, 가력용 골조를 통한 하중가력을 나타내고자 강체와 모델링한 RC 골조 사이에 스프링 요소를 적용하였다. 또한 실험결과에서 다수의 균열이 발생했던 기둥의 파괴양상을 자세히 관찰하기 위해 기둥을 정밀하게 나눈 요소로 이상화하여 해석을 실시하였다. SFR 실험체의 경우 Fig. 10과 같이 이상화하였으며, BF 실험체와 해석조건은 동일하다. 해석상 H형강 골조와 RC 골조를 일체화하고자 접합철물을 이상화하였다.

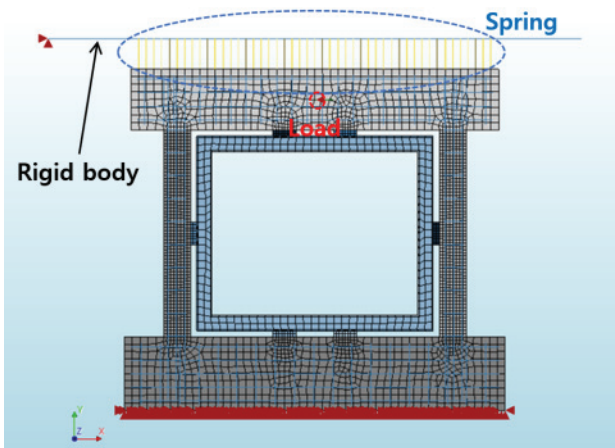
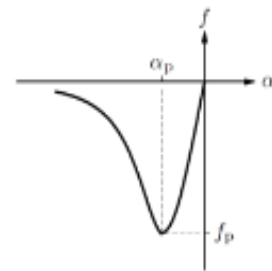


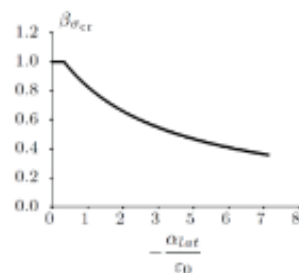
Fig. 10 Modeling of SFR specimen

#### 4.2 재료모델

RC 골조에 사용된 콘크리트는 균열이 요소에 흩어져있다고 가정하여 해석을 실시하는 분산균열모델을 사용하였다. Fig. 11 및 12는 콘크리트 거동특성 정의시 사용된 모델의 개형으로, 콘크리트의 압축 및 인장거동에 대해 설정하였다. 압축거동의 경우 Thorenfeldt 모델을 사용하여 압축강도 이후 구속압에 의한 압축강도의 증가효과를 고려하고자 하였으며, 횡방향 균열에 의한 압축강도 감소효과를 적용하기 위해 Vecchio and Collins 1993 모델을 적용하였다. 인장거동의 경우 Brittle 모델을 사용하여 콘크리트 인장축의 취성적인 파괴성질을 모델링에 적용하고자 하였다. 철근 모델링의 경우 Von mises 모델을 사용하여 철근거동 특성을 정의하였으며, 본드 슬립거동을 적용하여 철근과 콘크리트의 부착에 따른 효과를 고려하였다.



(a) Thorenfeldt



(b) Vecchio and Collins 1993

Fig. 11 Compressive behavior of concrete

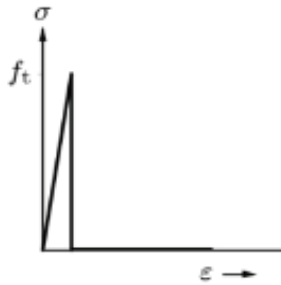


Fig. 12 Tensile behavior of concrete (Brittle)

Table 2 Applied analysis conditions of specimens

Category		Value	
Concrete	Compressive strength (MPa)	34.3	
	Elastic modulus (GPa)	22.8	
	Poisson's ratio	0.18	
	Tensile strength (MPa)	3	
Rebar	Elastic modulus (MPa)	200,000	
	Yield stress (MPa)	D6	418.1
		D13	493.0
		D22	40
Steel frame	Elastic modulus (N/mm <sup>2</sup> )	210,000	
	Poisson's ratio	0.3	
	Predictive yield stress (N/mm <sup>2</sup> )	330	
	Predictive tensile stress (N/mm <sup>2</sup> )	492	

Table 2는 모델링 시 적용된 재료 물성치로 2.2절의 재료 실험결과를 근거로 설정하였으며, 측정되지 않은 값은 일반적인 특성값을 적용하여 해석을 실시하였다. H형강 골조의 경우, 건축설계기준을 근거로 물성을 도출하였다. 건축설계기준(KDS 41 00 00)에서 강종 SS275의 항복강도 및 인장강도는 각 330 및 492 MPa이다. 이를 강재에 적용하기 위해서는 파단 및 항복한계상태에 대한 요소의 공칭강도를 계산해야 하며, 공칭항복강도( $F_y$ ) 및 인장강도( $F_u$ )에 R값을 곱하여 예상항복강도( $R_y F_y$ ) 및 인장강도( $R_t F_u$ )를 사용한다. 따라서 해당하는 R값인 1.3 및 1.2를 곱하여 이를 근거로 예상 항복 및 인장강도를 해석에 적용하였다.

### 4.3 해석결과

Fig. 13은 BF 및 SFR 실험체의 거동에 대한 해석 및 실험결과를 비교하여 나타낸 것으로, Test data는 하중-변위 관계 곡선의 포락선이며 Analysis는 단조가력에 따른 해석결과이다. BF 실험체에 대한 해석결과 최대내력은 87.8 kN으로 실험결과에 비하여 약 5.6% 높게 나타났으며, 최대하중 이후 강도저하는 다소 과소평가하는 경향을 보였다. 그러나 층간변위비 4.0%까지 실험결과를 양호하게 예측하고 있는 것으로 나타났다. SFR 실험체에 대한 해석결과로부터 얻은 최대내력은 203.2kN으로 실험결과를 약 3.4% 높게 평가하였다. 해석결과에 의한 SFR 실험체의 하중-층간변위비 관계 곡선은 최대내

력에 이를 때까지 실험결과에 의한 이력곡선의 강성을 다소 과대평가하는 경향을 보였다. 이는 H형강 골조와 기존 RC 골조의 일체성이 해석조건과 시공조건이 상이하기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 14는 BF 및 SFR 실험체 해석결과 최종 파괴 시 각 요소의 변형량을 비교하여 나타낸 것이다. BF 실험체가 SFR 실험체에 비해 변형이 상대적으로 더 크게 발생하였으며, SFR 실험체의 경우 H형강 골조의 모서리부분에 집중적으로 변형이 발생한 것으로 나타났다. 이는 SFR 실험체의 실험결과에서도 나타난 현상으로 실험체의 손상 또한 본 연구에서 도출한 비선형 유한요소해석 방법을 통하여 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

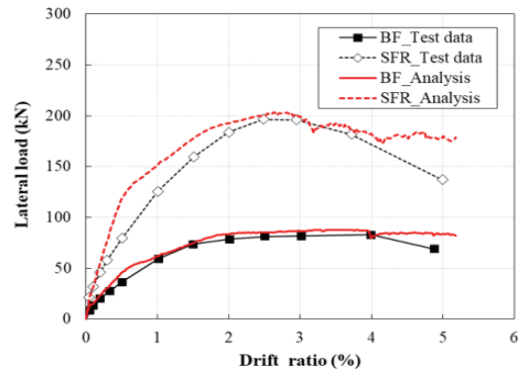
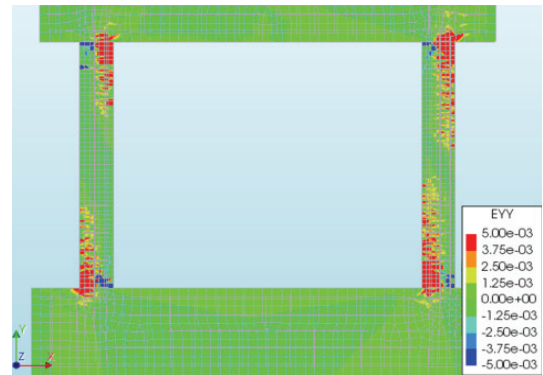
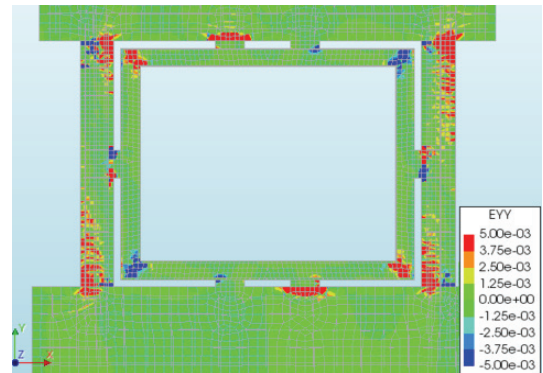


Fig. 13 Analytical result of specimens



(a) BF specimen



(b) SFR specimen

Fig. 14 Strain distribution of the specimens from FEM analysis

## 5. 결 론

본 논문에서는 팽창형 모르타르 접합재 및 H형강 골조에 의한 비내진 상세를 갖는 RC 골조 내진보강방법의 유효성을 평가하기 위하여 수행된 실험 및 해석적 연구결과를 제시하였다. 이를 위하여 1980년대에 작성된 학교 건축물의 표준도면에 준하여 1층 1경간의 RC 골조를 2개 제작하였다. RC 골조인 표준 실험체(BF)와 RC 골조에 본 연구에서 제안한 내진보강방법을 적용한 실험체(SFR)에 대한 반복재하 실험을 실시하여 내진보강효과를 평가하였다.

BF 실험체의 경우 층간변위비가 증가함에 따라 기둥에 휩균열이 지배적으로 발생되었으며, 기둥의 연단 피복 및 심부 콘크리트 박리현상과 철근의 좌굴이 발생되며 최종과피되는 양상을 보였다. SFR 실험체의 경우 재하초기에 양측기둥에 휩균열이 발생되었으며 층간변위비가 증가됨에 따라 H형강 골조와 기존 RC골조의 접합부가 분리되었다. 이후 하중이 증가됨에 따라 양측 기둥 하부와 상부에서 사인장 균열이 발생되었고 이러한 기둥에 발생된 사균열로 인하여 SFR 골조는 최종과피되었다. H형강 골조에 의한 내진보강시 기존 RC 골조 기둥 상하부에 대하여 탄소섬유슈트 등에 의한 진단보강을 혼용한다면 보다 연성적인 거동의 확보가 가능할 것으로 판단된다.

본 연구에서 제안된 내진보강방법은 비내진 상세를 갖는 RC 골조의 내력 증진, 에너지 소산능력 향상 및 강성증진에 효과적인 것으로 나타났다. 다만 H형강 골조로 내진보강된 골조의 초기강성이 상대적으로 높기 때문에 초기강성이 낮은 RC 골조 실험체에 비하여 낮은 층간변위비에서 강성저하가 다소 현저하게 나타났으며 이는 내진보강요소와 기존 RC 골조의 접합을 위하여 앵커볼트가 아닌 팽창형 모르타르 접합재의 사용에 따른 것으로 판단된다.

표준실험체인 RC 골조와 H형강 골조로 내진보강된 RC 골조에 대한 유한요소해석 평가결과, 각 실험체의 전체적인 이력특성, 최대내력 및 손상상태 등은 실험결과와 유사한 결과를 보였다. 다만 H형강 골조로 내진보강된 RC 골조에 대한 비선형 유한요소해석시 초기 강성이 다소 높게 나타났으며 이는 내진보강요소와 기존 RC 골조의 접합방법이 해석시 이상화 조건과 시공시 조건의 차이에 따른 것으로 판단되며 향후 실제적인 시공조건을 반영한 접합면의 이상화 방법의 개발이 요구된다.

## 감사의 글

본 논문은 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었습니다.

## References

1. Korea Meteorological Administration. (2019), Statistical data of Korea Meteorological Administration.
2. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2018), Korean Design Standard.
3. Lee, K. S. and Kim, H. J. (2012), Guidelines for Seismic Performance Evaluation and Seismic Retrofit of School Facilities, Korea Educational Development Institute, 19(2), 22-25.
4. Kim, H. J. (2015), 2<sup>nd</sup>(2016~2020) Seismic Retrofit of Existing Public Facilities, Ministry of Public Safety and Security
5. Sorace, S., & Terenzi, G. (2008). Seismic protection of frame structures by fluid viscous damped braces. *Journal of structural engineering*, 134(1), 45-55.
6. Benavent-Climent, A. (2011). An energy-based method for seismic retrofit of existing frames using hysteretic dampers. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31(10), 1385-1396.
7. Pampanin, S., Bolognini, D., & Pavese, A. (2007). Performance-based seismic retrofit strategy for existing reinforced concrete frame systems using fiber-reinforced polymer composites. *Journal of Composites for Construction*, 11(2), 211-226.
8. Youssef, M. A., Ghaffarzadeh, H., & Nehdi, M. (2007). Seismic performance of RC frames with concentric internal steel bracing. *Engineering Structures*, 29(7), 1561-1568.
9. Ahn, C. W., Yoon, J. H., Song, D. Y., Chang, B. S., & Min, C. G. (2013). The design considerations of steel braced frame for seismic retrofit through increasing the lateral strength of existing RC buildings. *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, 17(6), 293-303.
10. Kang, J. (2012). A Study on the Seismic Retrofit Techniques of School Buildings Constructed in Accordance with Standard Design in 1980s. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 12(1), 1-7.
11. Ryu, S. H., Yun, H. D., Kim, S. W., Lee, K. S., & Kim, Y. C. (2011). Nonlinear Behavior of Seismic-Strengthened Domestic School Building. *Journal of the Korea institute for structural maintenance and inspection*, 15(1), 243-253.
12. Kim, D. Y. (2019). Seismic Performance of RC Frames Strengthened with Steel Frame, Chungnam National University, Master's Thesis

Received : 03/29/2019

Revised : 04/05/2019

Accepted : 04/06/2019



---

**요 지** : 본 논문은 기존 RC 보강방법인 철골프레임 적용방법의 단점을 보완하고자, 접합철물을 최소화하고 팽창형 모르타르를 사용하여 H형강 프레임을 기존 RC 골조에 보강하고자 하였다. 철골프레임 적용 유무, 무를 변수로 RC 골조에 대한 반복가력실험을 실시하여 내진성능을 평가하였다. 철골프레임을 적용한 RC 골조의 최대내력이 기존 RC 골조에 비해 약 1.4배 향상되었으며, 등가점성감쇠비 평가결과 또한 평균 2.4% 향상되어 에너지 소산능력이 개선되었다. 유한요소해석결과 해당 실험결과가 신뢰성을 가질 수 있는 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 내진보강성능, H형강 프레임, 팽창형 모르타르, 유한요소해석

---