

비내력벽의 손상제어를 위한 Steel Plate와 Dowel Bar 이격시스템에 대한 유한요소해석

Finite Element Analytical Study of Steel Plate and Dowel Bar Systems Designed for Damage Reduction of Non-Bearing Walls

임창규* 문교영** 이홍석*** 김승직**** 김용남***** 이기학*****
Lim, Chang-Gue Moon, Kyo Young Lee, Hong-Seok Kim, Sung Jig Kim, Young Nam Lee, Kihak

Abstract

Generally the non-bearing walls in apartment buildings in Korea are not considered as a lateral force resisting members for the design consideration. This engineering practice caused large crack damages and brittle fractures of the non-bearing walls when subjected to Pohang earthquakes in 2017 since those have not been designed for seismic loading. In this study, finite element analysis was conducted for slot type non-bearing wall connection system to reduce damages and concentrate damages to the designated damping device through separation from the structural wall members. Steel plate and dowel bar systems designed for the dissipation of seismic energies were modeled and analyzed to investigate the damage reductions. Finally, the test result and the analysis result were compared and verified.

Keywords : Seismic loading, Non-bearing wall, Finite element analysis, Wall connection system, Damping device

1. 서론

1978년 국내 지진 계측 이후 현재까지 규모 2.0 이상 지진의 발생 빈도가 점점 증가하고 있는 추세이다. 최근에는 2016년 국내 최대 규모 5.8의 경주지진과 2017년 국내 지진 관측 사상 최대 지진 피해를 유발한 포항지진이 발생하였다. 경주지진 발생 시 언급된 대경권 전 지역에 걸쳐 이어지는 170km 구간의 양산 단층대에서 다

른 활성단층의 존재가 입증되었으며, 이는 향후 지속적으로 지진이 발생 가능성이 있음을 나타낸다¹⁾. 이에 따라 내진보강 및 내진설계의 중요성이 강조되고 있으며 이와 관련하여 많은 연구가 수행되고 있다.

기존의 전통적인 내진설계에서 아파트와 같은 공동주택에 대한 구조해석 시 수벽 및 날개벽은 비내력벽으로서 전단벽과 같이 횡력을 저항하는 부재로 고려하지 않고 구조 모델링에서 제외하여 해석을 수행하고 있다²⁾. 국내 공동주택에서는 비내력벽을 제외하더라도 상대적으로 벽체량이 많아 전체 구조물에 대한 시스템 수준에서의 층간변위비에 대한 기준은 만족하므로 구조해석상 큰 문제가 되지 않고 있다. 하지만 시공의 편의성을 위해 실제 시공 현장에서는 비내력벽에 최소 철근으로 배근한 후 같은 시점에 콘크리트 타설을 진행하여 의도치 않게 전단벽과 구조적으로 일체화 되는 경우가 발생한다. 이는 최소 배근으로 설계한 수벽과 날개벽 등 비내력벽이 구조엔지니어가 의도한 바와는 다르게 강성의 크기에 따라 지진하중을 분담하여 큰 균열 손상과 부재의 취성파괴를 유발하게 된다. 또한 날개벽 및 수벽의 최소 철근이 전단벽체와 연결되어 있어 지진 발생으로

* 학생회원, 세종대학교 건축공학과, 석사과정
Dept. of Architecture, Sejong University
** 학생회원, 계명대학교 건축공학전공, 박사과정
Dept. of Architecture, Keimyung University
*** 학생회원, 세종대학교 건축공학과, 석사과정
Dept. of Architecture, Sejong University
**** 정회원, 계명대학교 건축공학과 부교수, 공학박사
Dept. of Architecture, Keimyung University
***** 정회원, (주)미래구조엔지니어링, 공학석사
Mirae Structural Engineering Co., Ltd.
***** 교신저자, 정회원, 세종대학교 건축공학과 교수, 공학박사
Dept. of Architecture, Sejong University
Tel: 02-3408-3286 Fax: 02-3408-4331
E-mail: kihaklee@sejong.ac.kr

인한 손상 시 해체가 쉽지 않고, 보수·보강의 어려움으로 경제적 피해 비용이 막대하게 소요된다. 2017년 포항 지진 발생 시 내진설계가 이루어진 35층 A 아파트 내 많은 동의 비내력벽에서 의도치 않은 손상이 다수 발생하여 큰 문제가 된 바 있다.

이러한 문제점을 공학적으로 해결할 수 있는 방법 중 하나가 특정한 위치에 손상 제어와 손상 집중을 유도할 수 있는 이격을 통한 감쇠시스템이다. 감쇠시스템의 장점은 지진 시 손상으로부터 구조물을 보호할 뿐만 아니라 전통적인 내진설계에 의해 계획된 구조시스템에 비해 손상을 제어함으로써 보수·보강 비용을 절감할 수 있는데 있다.

본 연구에서 고려된 감쇠장치인 Steel plate와 Dowel bar는 슬롯형 비내력벽 연결시스템으로서 비내력벽보다 먼저 항복하고 이격을 통해 기존 구조체와 손상을 분리시키며 Steel plate와 Dowel bar에 손상이 집중되도록 하는 효과가 있다. 실험 결과와 비교하여 Steel plate와 Dowel bar의 비내력벽에 대한 영향력을 고려하기 위해 상용화된 유한요소해석 프로그램인 ANSYS 프로그램을 통하여 FEM(Finite Element Method) 해석을 수행하였다. FEM 해석을 통해 감쇠장치인 Steel plate와 Dowel bar의 거동 및 해석 결과를 실험 결과와 비교하였다.

2. Steel Plate 가력 실험

2.1 실험체 제원 및 형상

본 연구에서 손상 제어를 위해 고려된 슬롯형 비내력벽 연결시스템은 Steel plate와 Dowel bar이다. 실험체에 고려된 비내력벽 시스템 설계 시 3가지 조건을 고려하였다. 먼저 면외 하중인 풍하중에 대하여 항복에 도달하지 않고 탄성영역에 머물러야 하며, 동시에 지진하중에 대해서는 항복을 통해 지진에너지를 소산할 수 있도록 설계를 고려하였다. 예상되는 풍하중에 대해 허용응력법을 통해 안정성을 고려하였으며, 지진하중에 대해서는 수평변위를 가하여 유도되는 응력을 산정하는 FEM 해석을 적용하였다. 본 연구에서 고려하는 Steel plate와 Dowel bar의 형상은 <Fig. 1>에 나타나있다.

실험체는 기준 실험체 NBW와 비내력벽 시스템을 적



(a) Steel plate



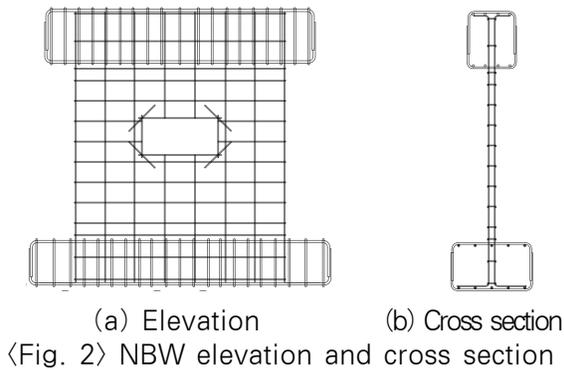
(b) Dowel bar

<Fig. 1> Specimen shape

<Table 1> Specimen specification

Specimen	Dimension (mm)		Concrete strength (MPa)
	Bearing wall	Non-bearing wall	
NBW			
Conventional system	670 X 1,800 X 135	1,000 X 1,800 X 135	24.7
SPW			
Steel plate system	670 X 1,800 X 135	960 X 1,800 X 135	23.5
DBW			
Dowel bar system	670 X 1,800 X 135	960 X 1,800 X 135	20.4

용한 실험체 SPW 및 DBW로 구성되어 있다. 실험체의 제원은 <Table 1>과 같다. NBW 실험체는 2017년 포항 지진에서 비내력벽에 큰 피해가 발생한 A 아파트를 축소한 기준 실험체이다. SPW 실험체는 비내력벽 하부의 내진 슬릿에 Steel plate를 설치한 실험체이다. DBW 실험체는 비내력벽 하부에 Dowel bar 4개를 이격시켜 설치한 실험체이다. SPW 및 DBW 실험체는 건축구조기준에서 제시하고 있는 허용층간변위(0.010h)와 일반적으로 실무에서 창호 등의 설치를 위해 구조체와의 간격에서 고려할 수 있는 이격 변위(10mm)를 고려하여 비내력벽 양단부에 20mm, 상·하부에 30mm 슬릿을 두었다³⁾. 이는 내부 비내력벽과 인접 내력벽을 분리하여 내부 비내력벽의 균열 및 손상을 방지하고 지진 하중이 작용할

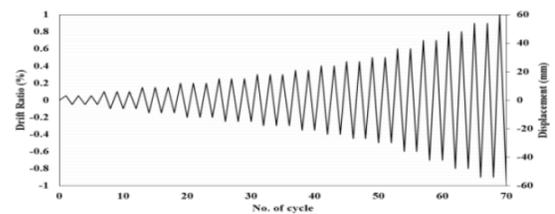
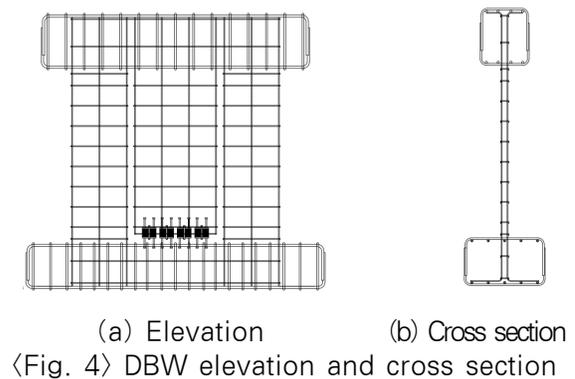
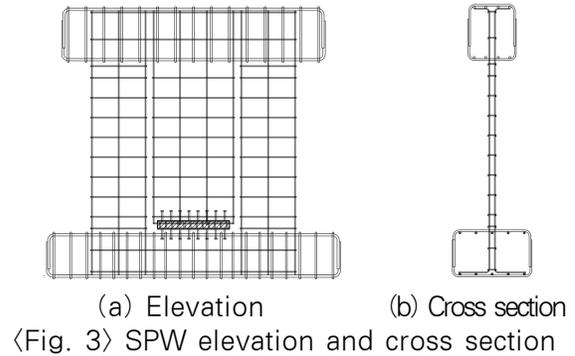


때 구조부재의 거동에 영향을 주지 않기 위함이다.

NBW의 상세는 <Fig. 2>와 같다. 2017년 포항지진에 최대 피해를 입은 아파트의 도면을 이용하여 축소된 모델로서 실험을 통하여 피해를 분석하고, 비내력벽 시스템을 적용한 철근 콘크리트벽체의 내진성능을 평가하는 비교 실험체이다. NBW 실험체 시공 시 비내력벽을 내력벽과 함께 철근 배근 및 타설하는 시공 관행을 적용하였다. 또한 NBW의 비내력벽에 780 X 350mm 크기의 개구부가 있으며, 개구부 주위에는 보강 기준을 고려하여 수직, 수평 및 사선으로 보강근을 배근하였다.

SPW와 DBW의 상세는 <Fig. 3> 및 <Fig. 4>와 같다. 슬롯형 비내력벽 시스템으로서 비내력벽 상부는 슬래브와 일체화 타설로 고정되어 있으며, 단부 및 하부에는 슬릿을 두고 있다. SPW 및 DBW 비내력벽 시스템의 주된 목적은 지진하중 발생 시 비내력벽 하부에 매립되어 있는 Steel plate 및 Dowel bar가 이력 댐퍼의 이력과 같이 에너지를 소산시키며, 비내력벽의 균열 및 손상을 제어한다.

실험체의 상부 및 하부 기초는 본 연구의 목적에 맞추어 횡 하중 가력 시 변형이 발생하지 않도록 강성을 증강시키기 위하여 과보강 되어있다. 벽체의 수직 및 수평 철근은 피해가 발생한 벽식 아파트의 철근배근을 기반으로 하였으며, 제작을 고려하여 모두 D10으로 배근되어 있다. 수직철근비의 경우 내력벽 및 비내력벽 각각 0.47% 및 0.21%이며, 수평철근비는 모두 0.29%로 배근하였다. 내력벽 및 비내력벽의 높이 및 두께는 동일하며, 길이는 비내력벽이 1,000mm로 내력벽의 670mm보다 높다.



<Fig. 5> Transverse force pattern

2.2 계측 장비 및 가력 설정

축하중 가력 시 등분포로 상부 기초에 전달될 수 있도록 높은 강성 및 면적을 가지는 프레임이 설치되었다. 횡력은 정가력 방향으로 2,000kN, 부가력 방향으로 1,300kN의 용량을 가지는 액츄에이터를 이용하여 횡 하중 계획을 기반으로 변위 제어 방식으로 가력되었다⁴⁾. 횡 하중 계획은 <Fig. 5>와 같이 변위를 기반으로 점진적 증가 및 감소하며, 반복되는 하중에서 강성 저감을 분석하기 위하여 증간변위비 0.3%까지는 3 사이클, 이후에는 2 사이클 반복 가력하였다.

각 실험체에서 철근에 대한 변형률을 분석하기 위하여 변형률 게이지를 부착하였으며, 이를 이용하여 각 실험체의 항복점을 찾고 비내력벽 대체 시스템의 영향을 분석하였다⁵⁾.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 하중-변위 관계

기준 및 비내력벽 대체 시스템 적용 실험체의 정적반복가력 실험을 통한 최대강도는 <Table 2>와 같다. <Fig. 6>은 SPW와 DBW의 실험 결과를 나타낸다. SPW와 DBW는 횡 방향 하중이 가력될 때 비내력벽 하부에 매립되어 있는 Steel plate 및 Dowel bar가 횡력에 저항하다가 비내력벽의 균열 및 손상이 발생하기 전 항복하여 에너지를 소산시키며 비내력벽의 피해를 최소화하는 것을 목적으로 한다. 따라서 Steel plate와 Dowel bar의 변형률과 실험체의 철근 변형률을 비교·분석하여 영향을 평가하였다.

NBW는 평균 최대강도 및 초기 강성이 554.04kN 및 273.08kN/m으로 비내력벽이 횡력에 저항됨에 따라 급격한 강도 감소를 보이며 취성적 거동을 나타내었다. NBW의 강성은 내력벽과 일체화 타설로 동일한 비내력벽이 횡력에 같이 부담하기 때문이며, 개구부를 고려하여도 실험체에 충분히 높은 강성을 기여하였다.

본 연구에서 개발된 비내력벽 대체 시스템은 일부 횡력에 저항하더라도 비내력벽의 균열 손상을 제어하는

<Table 2> Experiment result

Specimen	NBW		SPW		DBW	
	+	-	+	-	+	-
Stiffness (kN/m)	273.08		148.67		128.04	
P_{max} (kN)	559.6	548.5	423.6	417.4	381.8	383.7
δ_u (%)	0.35		0.7		0.67	
δ_y (%)	0.29		0.3		0.27	
μ	1.21		2.33		2.48	



(a) SPW



(b) DBW

<Fig. 6> Destruction of SPW and DBW

것을 최종 목표로 두고 있다. 비내력벽 대체 시스템을 적용한 SPW의 평균 최대강도 및 초기 강성은 420.5kN 및 148.67kN/m이고, DBW의 평균 최대강도 및 초기 강성은 382.75kN 및 128.04kN/m이다. SPW의 평균 최대강도 및 초기 강성은 DBW와 비교하여 각각 9.9%, 16.1% 증가하였다.

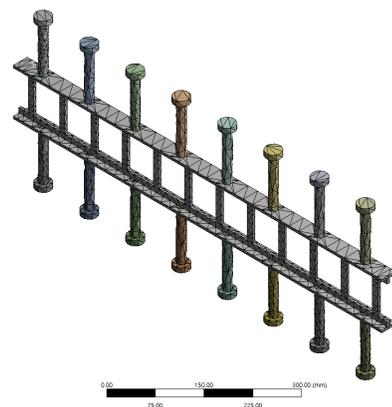
<Table 2>의 항복변위 δ_y 는 소성인진 구간에서의 주철근이 처음으로 항복할 때의 변위로 선정하였으며, 극한 변위 δ_u 는 모든 실험체가 전단보강이 되지 않은 실험체로서 취성적 거동을 함에 따라 실험체가 파괴될 때의 변위를 이용하였다. μ 는 연성비로서 δ_y 에 대한 δ_u 의 비율로 나타내었다. SPW 및 DBW의 연성비는 NBW와 비교하여 각각 92.56% 및 104.95% 증가하였으며, 이는 최대강도 및 강성에서의 영향과는 반대로 연성능력이 크게 향상되었음을 알 수 있다. 본 실험에 대한 구체적인 자료는 다른 보고서에서 참고할 수 있다⁶⁾.

4. 유한요소해석

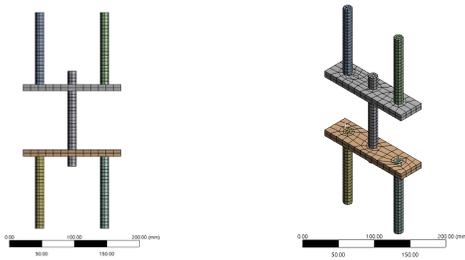
4.1 유한요소해석 모델링

본 연구에서는 유한요소해석 프로그램인 ANSYS(Ver. 19.2)를 통해 Steel plate와 Dowel bar의 CAD file을 3D Solid elements로 변환하여 3차원 해석을 실시하였다.

Steel plate의 세부 요소들을 각각의 Solid elements로 구성하였으며, 각각의 Solid elements에 대하여 10mm 크기의 5,244개 Mesh로 Nodes 12,365개, Elements 5,244개로 분할하여 진행하였다. <Fig. 7>에 모델링 형상을 나타내었다.



<Fig. 7> FEM model meshing



〈Fig. 8〉 FEM model meshing

〈Table 3〉 Material properties

Property	SD10
Density (kg/m ³)	7,850
Young's modulus (MPa)	200,000
Poisson's ratio	0.3
Tensile yiled strength	400

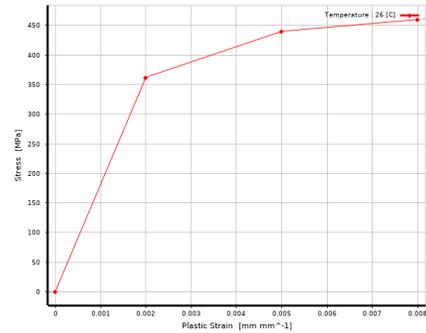
Dowel Bar의 세부 요소들을 각각의 Solid elements 로 구성하였으며, 각각의 Solid elements에 대하여 10mm 크기의 1,677개 Mesh로 Node 9,541개, Elements 1,677개로 분할하여 진행하였다. 〈Fig. 8〉에 모델링 형상을 나타내었다.

4.2 모델링 경계 조건

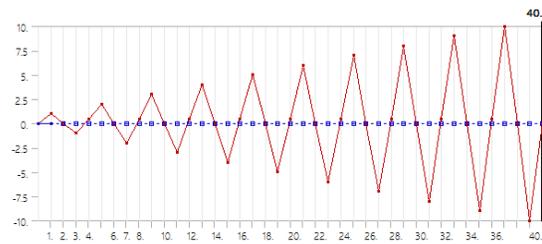
Steel plate와 Dower bar의 유한요소해석에 따른 경계조건 입력은 실험과 동일한 조건을 갖추기 위하여 모델의 상단부를 자유단으로 설정하였다. 모델의 하단부는 고정단 설정을 통해 슬릿 현상을 배제하였으며 X, Y, Z 에 대한 전방향 구속을 실시하였다⁷⁾.

Solid elements에 대한 기본적인 물성치는 〈Table 3〉에 명시되어 있으며, 비선형 동적해석을 위한 Stress-Strain 곡선은 Necking 등의 단면적 변형을 고려하지 않는 Engineering Stress-Strain의 데이터를 바탕으로 True Stress-Logarithmic으로 치환하여 재료 물성치를 추출하여 적용하였다⁸⁾. 이에 대한 Stress-Strain 곡선은 〈Fig. 9〉에 나타나 있다.

가력 하중의 경우 Displacement 기능을 사용하여 〈Fig. 10〉과 같이 X축의 정방향과 부방향으로 10mm씩 20 사이클로 점진적으로 증가시키며 가력하였다. 각 사이클의 변위를 통하여 변형률을 산출하였으며, 철근의 항복 변형률인 0.2%에 도달한 지점을 최대하중으로 판단하였다. 이를 통해 실험체의 내력을 계산하였다.



〈Fig. 9〉 FEM model stress-strain curve



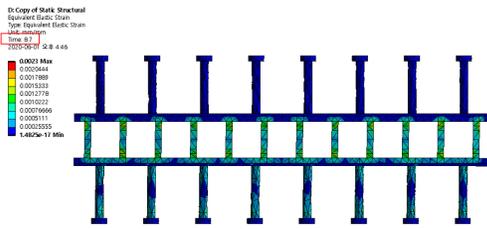
〈Fig. 10〉 Force load

본 연구에서 사용된 ANSYS(Ver. 19.2)는 비선형 해석을 위한 강재의 이력특성에 대해 Isotropic hardening rule과 Kinematic hardening rule을 제시하고 있다. Isotropic hardening의 경우 항복이 발생하는 응력이 부호만 바뀔 뿐 동일하며, Kinematic hardening의 경우 가력 사이클이 진행될 때마다 항복 응력의 절대값이 줄어드는 이력특성으로 Bauschinger 효과가 반영된다. 따라서 실험과 유사한 강재의 거동 시뮬레이션을 나타내기 위해 이력 특성은 Multi-linear kinematic hardening으로 고려하였다⁹⁾. 강재의 해당 이력특성은 Steel plate의 Loading, Unloading, Reloading 구간에 반영된다.

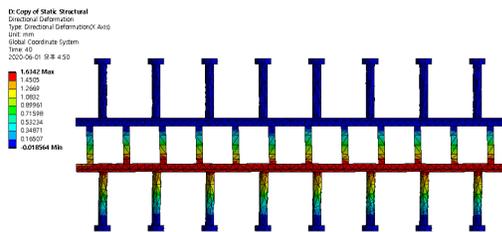
4.3 Steel Plate 이격시스템 유한요소해석 결과

실제 실험에서 SPW 실험체 및 NBW 실험체는 층간 변위비 0.9% 및 0.6%에서 파괴가 발생하였다. NBW와 비교하였을 때 SPW의 층간변위비는 50% 증가하였다. 감쇠시스템인 Steel plate가 기존 구조체와 손상을 분리시키며 감쇠장치에 손상이 집중되도록 작용하였다. 유한요소해석을 통하여 실험체에서 Steel plate의 효과를 검증하였다.

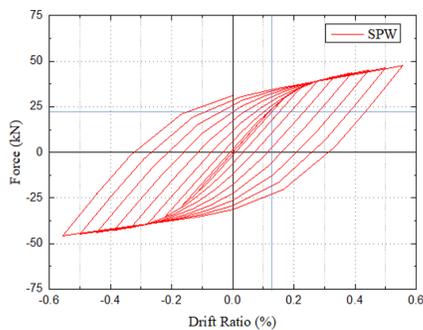
Equivalent elastic strain 해석 결과, 〈Fig. 11〉과 같



〈Fig. 11〉 FEM model elastic strain



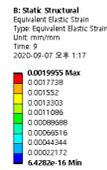
〈Fig. 12〉 FEM model deformation



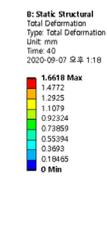
〈Fig. 13〉 Load to drift ratio

이 8.7sec에서 철근의 항복변형률에 근접한 변형률 0.181%에 도달하였다. Directional deformation 해석 결과, 8.7sec에서 X방향으로 2.25mm의 변형이 발생하였다²⁾. 이를 통해 〈Fig. 12〉와 같이 Steel plate가 항복할 때 실험체 층고가 1,800mm이므로 층간변위비는 0.125%임을 알 수 있으며, 실제 실험에서 Steel plate가 항복한 층간변위비 0.1%에 근사한 결과를 도출하였다.

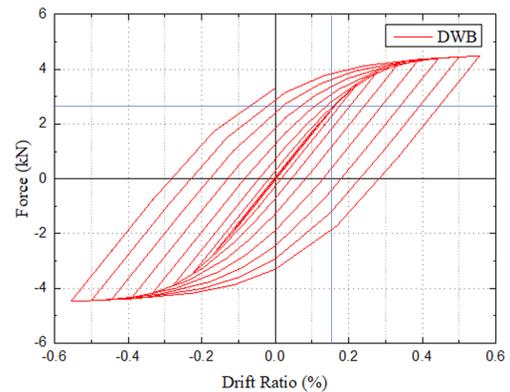
Steel plate가 변형률 0.181%에 도달할 때 Fixed support 위치에 발생하는 반력은 23kN이다. Steel plate의 경우 총 1개가 설치되므로 Steel plate 사용 시 총 내력은 23kN이 발생함을 근사적으로 유추할 수 있다. 〈Fig. 13〉은 층간변위비와 하중의 관계를 나타낸다. Steel plate의 층간변위비가 0.125%에 도달할 때 하중은 23kN임을 알 수 있다.



〈Fig. 14〉 FEM model elastic strain



〈Fig. 15〉 FEM model deformation



〈Fig. 16〉 Load to drift ratio

4.4 Dowel Bar 이격시스템 유한요소해석 결과

실제 실험에서 DBW 실험체 및 NBW 실험체는 층간 변위비 0.8% 및 0.6%에서 파괴가 발생하였다. NBW와 비교하였을 때 DBW의 층간변위비는 33% 증가하였다. 감쇠시스템인 Dowel bar가 기존 구조체와 손상을 분리시키며 감쇠장치에 손상이 집중되도록 작용하였다. 유한요소해석을 통하여 실험체에서 Dowel bar의 효과를 검증하였다.

Equivalent elastic strain 해석 결과, 〈Fig. 14〉와 같이 9sec에서 철근의 항복변형률에 근접한 변형률 0.199%에 도달하였다. Directional deformation 해석 결과, 9sec에서 X방향으로 3mm의 변형이 발생하였다. 이를 통해 〈Fig. 15〉와 같이 Dowel bar가 항복할 때 실험체 층고가 1,800mm이므로 층간변위비는 0.167%임을 알 수 있으며, 실제 실험에서 Dowel bar가 항복한 층간 변위비 0.10%에 근사한 결과를 도출하였다.

Dowel bar가 변형률 0.199%에 도달할 때 Fixed support 위치에 발생하는 반력은 2.7kN이다. Dowel bar의 경우 총 4개가 설치되므로 Dowel bar 사용 시 총 내력은 10.8kN이 발생함을 근사적으로 유추할 수 있다.

〈Fig. 16〉은 층간변위비와 하중의 관계를 나타낸다. Dowel bar의 층간변위비가 0.167%에 도달할 때 하중은 2.7kN임을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구는 Steel plate와 Dowel bar의 성능 실험 평가를 진행하였으며, ANSYS 유한요소해석 프로그램을 통해 Steel plate와 Dowel bar에 대한 3차원 해석을 수행하여 예측 시뮬레이션 방법론을 연구하였다. 본 연구로부터 도출된 결론은 다음과 같다.

1) 슬롯형 비내력벽 연결시스템 Steel plate를 적용한 SPW와 Dowel bar를 적용한 DBW 실험 분석을 통해 연결 시스템인 Steel plate와 Dowel bar에 대한 해석을 진행하였다. 이를 통해 벽체와 비내력벽을 연결하는 연결시스템이 먼저 항복하여 안정적으로 거동함을 확인하였다.

2) 유한요소해석을 통하여 Steel plate의 내력이 Dowel bar의 내력보다 112% 증가하였음을 알 수 있다. 이를 통해 실제 실험 결과와 동일하게 Steel plate의 성능이 Dowel bar의 성능보다 우수함을 확인하였다. 이는 단위 길이에 대해 Dowel bar보다 더 많은 Steel plate 부재가 지진력 저항에 병렬적 요소로 참여함으로써 지진에너지 소산을 분산시키고 손상을 줄이는 효과가 발생한 것으로 사료된다.

추후 연구에서는 철근콘크리트 벽체와의 거동이 연관된 Steel plate와 Dowel bar 모델을 개발하여 FEM 해석을 통하여 거동 및 손상 제어에 대한 연구를 진행하고자 한다.

감사의 글

이 논문은 재난안전연구원의 대규모 지진으로 인한 사회경제적 영향분석 추정 기술개발 사업의 연구비지원(2020-MOIS31-013)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

1. Nam, J. H., Lee, Y. J., Min, B. G., Yeom, Y.

K., Sun, C. K., Kim, H. S., ... Lee, S. Y. (2017). Earthquake Prevention Measure and Policy Improvement in Gyeonggi-Do (Report No. 정책연구 2017-71). Republic of Korea: Gyeonggi Research Institute.

2. Choi, B. H., & Lee, K. (2019). Detailed FE analysis of non-bearing wall connection system with slit for damage control and fixation for apartment structure. Proceedings of the Korean Concrete Institute, Republic of Korea, Vol.31, No.2, pp.89~90

3. Architectural Institute of Korea, Korean Building Code 2016, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2016.

4. Lee, S. H., Oh, S. H., Hwang, W. T., Lee, K. B., & Lee, H. S., "Static Experiment for the Seismic Performance of a 2 Story RC Shear Wall System", Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, Vol.14, No.6, pp.55~65, 2010, doi: 10.5000/EESK.2010.14.6.055

5. Christopher, R. H. (2012). Cracking of reinforced concrete structural walls subjected to cyclic loading (Doctoral dissertation). University of Illinois at Urbana-Champaign, USA, Retrieved from file:///C:/Users/user/Downloads/Hart_Chrisopher%20(1).pdf

6. Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement. (2018). Seismic design/construction solution development to prevent recurrence such as cracking and dropping of wall apartments exposed in the 2017 Pohang earthquake. 2018 Creative Challenge Research 2nd Year Annual Report.

7. Youn, I., Kim, C. H., Do, C. G., & Jang, W., "A Study on the Structural Performance of Steel Plate Damper", Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol.29, No.2,

pp.159~167, 2017

8. Basan, R., & Marohnić, T. (2016). CONSTITUTIVE MODELING AND MATERIAL BEHAVIOR (Report No. IP-2014-09-4982). Croatia: University of Rijeka, Faculty of Engineering, Retrieved from http://www.riteh.uniri.hr/media/filer_public/3d/f9/3df916da-bcf4-4713-89d7-3a9fcec1a648/d711_constitutive_modeling_and_material_behavior_interim_report.pdf
9. Kim, Y. J., Park, J. H., Hwang, J. H., & Ahn, T. S. (2017). Experimental Study of Hysteretic Steel Damper for Deformation Capacity. Proceedings of the Architectural Institute of Korea Spring Conference, Republic of Korea, Vol.37, No.1, pp.733~734

- Received : September 24, 2020
- Revised : October 26, 2020
- Accepted : October 27, 2020