

# 강판벽이 설치된 건물의 연쇄붕괴 저항성능

## Progressive Collapse Resisting Capacity of Building Structures with Infill Steel Panels

이 하 나\*  
Lee, Ha-Na

권 광 호\*  
Kwon, Kwangho

김 진 구†  
Kim, Jinkoo

### 요 지

본 논문에서는 강판벽이 설치된 골조 구조물의 연쇄붕괴 거동을 비선형 정적 pushdown 해석을 이용하여 평가하였다. 해석모델은 중력하중에 대해서 설계된 2층 2경간 철골구조물이며, 중앙 기둥을 제거하고 하중을 서서히 증가시키며 하중-변위 관계를 구하였다. 구조물의 전체적인 거동뿐만 아니라 부분적인 응력과 변형을 파악하기 위하여 ABAQUS를 이용한 유한요소해석을 수행하였다. 해석을 통해서 구조물의 경간 길이 및 설치된 강판의 두께의 변화에 따른 연쇄붕괴 거동을 평가하였으며, 셋기둥을 이용하여 강판을 분할하고 분할된 강판의 위치에 따른 연쇄붕괴 성능의 변화를 관찰하였다. 해석결과에 따르면 경간의 길이가 증가할수록 연쇄붕괴를 방지하기 위하여 요구되는 강판의 두께 또한 증가하며, 분할된 강판의 수가 증가할수록 연쇄붕괴에 대한 저항성능이 약간 증가하지만 그 영향은 그리 크지 않은 것으로 나타났다. 또한 계구부로 인하여 일부 경간에만 강판이 설치된 경우에도 연쇄붕괴 저항성능이 어느 정도 증가하는 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 강판전단벽, 연쇄붕괴, 비선형 정적해석

### Abstract

In this study the progressive collapse behavior of a moment frame with infill steel panels is evaluated using nonlinear static pushdown analysis. The analysis model is a two story two span structure designed only for gravity load, and the load-displacement relationship is obtained with the center column removed. To obtain local stress and strain as well as the global structural behavior, finite element analysis is conducted using ABACUS. Through the analysis the effect of the span length and the thickness of the steel plate on the progressive collapse behavior of the structure is investigated, and the effect of the dividing the infill panel using stud columns is also studied. According to the analysis results, the thickness of the panels required to prevent progressive collapse increases as the span length increases, and as the number of panel division increases the progressive collapse resisting capacity increases slightly but the effect is not significant. It is also observed that when the infill panel is installed in only a part of the span the progressive collapse resisting capacity is somewhat increased.

**Keywords** : steel plate shear walls, progressive collapse, nonlinear static analysis

### 1. 서 론

연쇄붕괴는 예상하지 못했던 비정상 하중에 의해 발생한 구조물의 일부파괴가 전체적인 붕괴로 이어지는 현상이다. 뉴욕의 World Trade Center의 붕괴사고를 계기로 화재나 폭발 등의 비정상 하중에 의해 야기될 수 있는 건물의 연쇄붕괴를 방지할 수 있는 방안에 대한 관심이 높아지고 있다. 이를 고려하여 미국에서는 모든 관공서와 군 관련 시설의 설

계 시 연쇄붕괴에 대한 안전성을 고려하도록 규정하고 있다.

강판벽(steel plate wall)은 무게가 비교적 가벼워 구조물 및 기초에 부담을 주지 않으며, 건식공법으로 간단히 설치할 수 있고, 연성도 및 에너지 소산 능력이 우수하여 신축 건물뿐만 아니라 기존 건물의 연쇄붕괴 저항성능을 향상하기 위한 목적으로 쉽게 적용이 가능하다.

강판벽 시스템은 골조에 두꺼운 강판 또는 스티프너로 보강한 강판을 간막이벽과 같이 설치하여 캔틸레버 거동을 나

† 책임저자, 정회원 · 성균관대학교 건축공학과 교수  
Tel: 031-290-7563 ; Fax: 031-290-7570  
E-mail: jkim12@skku.edu

\* 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정

• 이 논문에 대한 토론을 2012년 4월 30일까지 본 학회에 보내주시면 2012년 6월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

타내도록 설계하거나, 얇은 강판을 사용하여 강판의 전단 좌굴 발생 이후의 인장응력장작용(tension field action)을 발휘하도록 설계된다. 현재 미국과 일본에서는 The Century Building, Shinjuku Nomura Building 등 많은 건물들이 강판벽을 사용하여 내진설계되었으며, AISC Seismic Provisions, 캐나다의 NBCC 기준 등에서 강판벽의 설계에 대한 세부적인 내용을 규정하고 있다. 국내에서는 강판벽의 폭 두께비와 보강 리브에 따른 거동을 평가하였으며(김진욱 등, 2001), 강판의 연결 상세에 따른 강도 및 에너지 소산능력에 관하여 연구하였다(박홍근 등, 2007). 외국에서는 많은 연구자들이 강판전단벽의 실험 및 해석적 연구를 수행하고 횡력에 대한 거동과 해석 모델링 및 설계기법에 관하여 연구하였다(Thorburn 등, 1983; Timler 등, 1983).

강판벽에 관한 기존의 연구는 대부분 횡 방향 지진력에 대한 거동평가 및 모델링기법 개발에 집중되었으며, 기둥이 제거됨에 따른 연쇄붕괴 현상과 관련된 연구는 수행되지 않은 상태이다. 건축물에 대한 현행 설계기준에서는 연쇄붕괴에 대한 대책을 명확하게 규정하고 있지 않으며, 건축주의 요청 없이는 설계에 반영되지 않는 것이 일반적인 현실이다. 따라서 구조물의 연쇄붕괴에 대한 저항성능을 확보하기 위한 현실적인 대안은 내진 또는 내풍설계를 통하여 연쇄붕괴에 대한 성능을 동시에 확보하는 것이다. 본 연구에서는 내진성능을 높이기 위하여 간막이벽의 위치에 강판벽이 설치된 골조의 연쇄붕괴 저항성능을 평가하였다. 이를 위하여 2층 2경간 철골 모멘트골조의 2층에 다양한 두께 및 크기의 강판을 설치하고 내부 기둥을 제거한 후 pushdown 해석을 수행하였다.

## 2. 연쇄붕괴 해석의 개요

연쇄붕괴 해석은 기둥과 같은 구조체의 주요부재가 충격이나 폭발 등과 같은 예측할 수 없는 하중에 의해 파괴되는 시나리오를 예상하고, 구조부재의 부분손상이 건물의 전체 붕괴로 이어지는 즉 연쇄붕괴가 일어날지에 대한 평가를 수행하는 것이다. 본 연구에서는 현재 GSA 가이드라인(2003)에서 제시하는 연쇄붕괴 해석방법 중 FEMA-356을 기준으로 한 pushdown 해석을 이용하여 해석모델의 연쇄붕괴 거동을 파악하였다. 변위제어 pushdown 해석은 비정상 하중에 의하여 구조물의 특정부재가 파괴되었다고 가정하고 남은 부재들의 연쇄붕괴 저항성능을 평가한다. 즉, 임의의 기둥을 제거하고 기둥이 제거된 위치에서 수직방향으로 변위를 점차 증가시키면서 구조물의 거동을 파악하는 방법이다. 기둥이 제거됨으로써 제거된 기둥이 부담하던 축력과 휨모멘트 등이

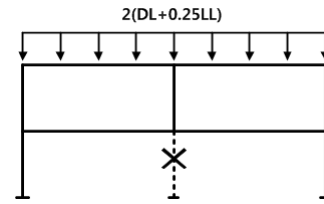


그림 1 연쇄붕괴 해석 시 적용되는 정적하중

다른 부재로 전달되며 추가적인 하중을 전달받은 부재는 보유 강도까지 저항하다가 항복하면 다른 부재로 또다시 하중을 재분배시킴으로써 붕괴에 저항한다. 비선형 정적해석인 pushdown 해석을 통하여 각 변위단계에서 필요한 하중을 계산하는 방식으로 구조물의 저항능력을 평가할 수 있다.

pushdown 해석을 위해 GSA에서 제시한 고정하중과 25%의 적재하중을 더한 하중조합에 동적효과를 고려하여 해석하였다. 그림과 같이 기둥이 제거된 경간의 부재에는 기둥이 제거된 순간의 동적효과를 고려하여 동적증폭계수 2를 적용한  $2(DL+0.25LL)$  하중조합을 적용하였다. 이 하중조합을 기준으로 기둥이 제거된 위치에서 수직변위가 점차적으로 증가함에 따라 모든 부재에 작용하는 하중도 동일한 비례로 증가하도록 하였다.

## 3. 유한요소해석 모델

### 3.1 재료의 물성 및 모델링

본 연구에서는 구조체의 전체적인 거동뿐만 아니라 부분적인 응력과 변형을 파악하기 위하여 유한요소해석이 가능한 ABAQUS(2007)를 이용하여 비선형 정적해석을 수행하였다. 유한요소해석에 사용된 탄성계수(Young's modulus)는  $2.05 \times 10^5$  MPa, 프아송비(Poisson's ratio)는 일반적으로 해석 시 강재에 적용되는 0.3으로 하였다. 구조체의 기둥은 SM490, 보와 강판은 SS400을 사용하였으며, 각 부재의 항복강도 및 최대강도는 공칭강도 대신 박홍근 등(2004)의 실험결과를 이용하였다. 각 부재는 KBC 2009에 따라 설계하였다.

앞서 언급한 바와 같이 연쇄붕괴 해석은 수직변위가 점차적으로 증가함에 따라 모든 부재에 작용하는 하중도 동일한 비례로 증가하도록 하는데, 이 때 변위의 증분은 초기 설정으로 전체하중의 1/10 부터 시작하도록 하였으며, 해석이 수렴되지 않을 경우 해석프로그램이 자동적으로 증분값을 최소  $1E-005$ 까지 줄여 수렴하도록 해석을 수행하였다. 재료의 비선형성을 고려하기 위해 그림 2와 같이 재료곡선을 4개의 직선을 이용하여 이상화된 응력-변형도 모델을 사용하였다. 보

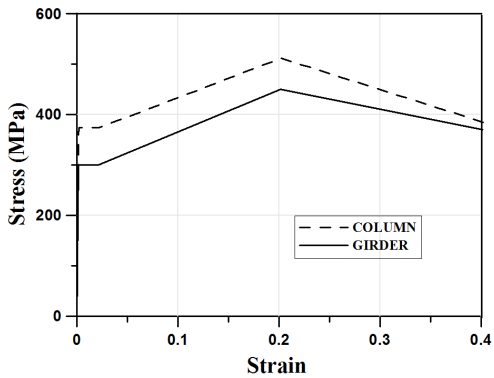


그림 2 강재의  $\sigma$ - $\epsilon$ 관계

-기둥은 Solid 요소를 사용하였고, 강판의 경우는 Shell 요소를 사용하여 모델링하였다. 박홍근 등(2007)의 해석적 연구에서와 같이 강판은 기둥과 보에 강접된 것으로 모델링하였다.

### 3.2 해석모델의 개요

건물의 연쇄붕괴 성능을 평가하기 위하여 2층 2경간 철골구조물을 설계하였다. 구조물의 경간 길이는 6m, 9m, 12m의 세 가지로 나누었고, 층고는 모두 동일하게 3.6m이다. 해석모델의 치수 및 형상은 그림 3 및 표 1과 같다.

해석모델은 크게 세 가지의 경우로 나누어, 설계 변수에 따른 강판의 연쇄붕괴 성능을 평가하였다. 경간의 길이가

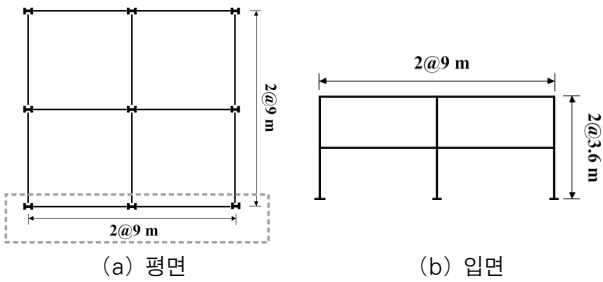


그림 3 해석모델의 치수 및 형상그림

표 1 해석모델의 부재크기

	Column	girder
6m span	250×250×9/14	400×200×8/13
9m span	400×400×13/21	582×300×12/17
12m span	550×550×20/28	650×420×20/28

표 2 경간길이 및 강판두께에 따른 해석모델의 명칭

경간	Bare Frame	강판 두께			
		2T	4T	6T	8T
6m	6-BF	6-2T	6-4T	6-6T	6-8T
9m	9-BF	9-2T	9-4T	9-6T	9-8T
12m	12-BF	12-2T	12-4T	12-6T	12-8T

표 3 셋기둥 및 강판의 유무에 따른 해석모델의 명칭

셋기둥의 개수	Bare Frame	Plate
	S0-BF	S0-PW
	S1-BF	S1-PW
	S2-BF	S2-PW
	S3-BF	S3-PW

표 4 강판위치 및 강판의 두께를 변수로 한 해석모델

강판위치	두께	2T	4T	6T	8T
		C-2T	C-4T	C-6T	C-8T
		S-2T	S-4T	S-6T	S-8T
		F-2T	F-4T	F-6T	F-8T

6m, 9m, 12m인 해석모델에 설치되는 강판의 두께를 달리 하며 연쇄붕괴 거동을 파악하였다. 경간 9m 모델의 한 경간에 셋기둥(stud column)을 1개, 2개, 3개 설치하여 강판을 2개, 3개, 4개로 분할하여 설치하였다. 셋기둥과 보와의 접합은 강접으로 모델링하였다. 셋기둥에 의하여 강판이 분할될 경우 강판의 형상비가 달라지며 이에 따른 강판의 연쇄붕괴 성능을 비교하였다. 또한 2개의 셋기둥을 설치함으로써 3분할된 모델에서 두께 4mm의 강판의 위치를 center(가운데 부분에 적용), side(양쪽 바깥부분에 적용), full(전체 적용)로 나누어 설치하여 강판없이 오로지 골조만으로 설계된 경우와 비교 평가하였다. 각 위치에 설치된 강판의 두께를 2, 4, 6, 8mm로 변화시킴으로써 강판 두께 증가에 따른 연쇄붕괴 성능의 변화도 판단해 보았다. 다양한 설계변수에 따른 해석모델의 명칭을 표 2~표 4에 정리하였다.

## 4. 해석결과

### 4.1 경간 길이 및 강판두께에 따른 해석모델

2층 2경간 철골구조물의 경간 길이를 6m, 9m, 12m 세

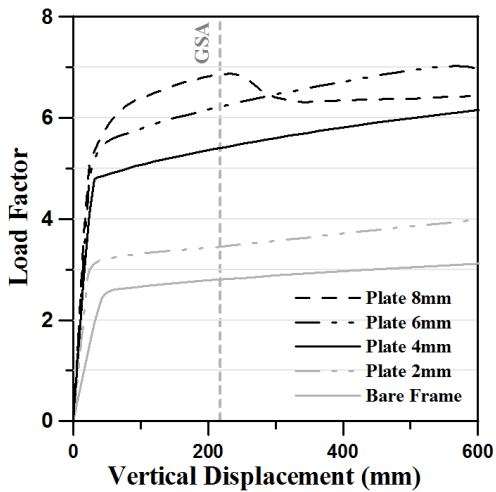


그림 4 경간 6m model

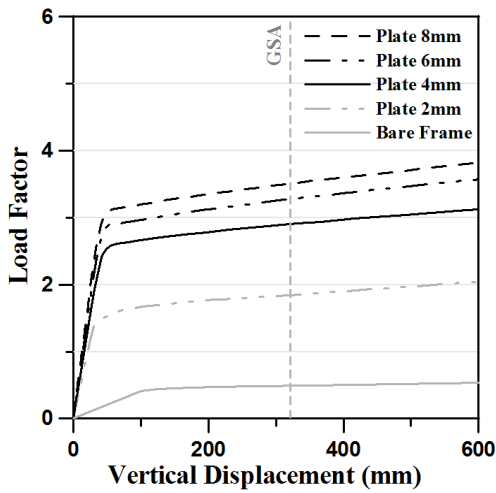


그림 5 경간 9m model

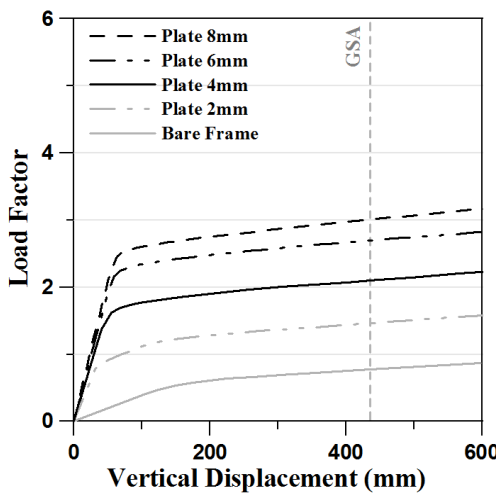


그림 6 경간 12m model

경우로 모델링하고, 각 모델에 설치된 강판의 두께를 2, 4, 6, 8mm로 변화시키며 연쇄붕괴 해석을 수행하였다. 비선형

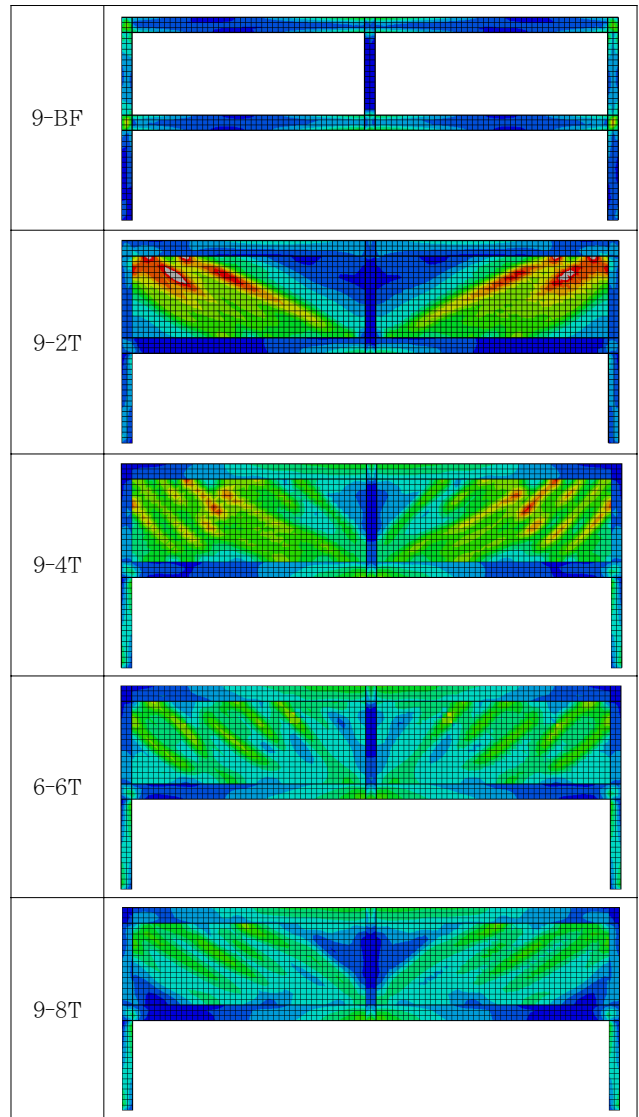


그림 7 강판 두께에 따른 응력분포(D=50mm)

정적해석인 pushdown 해석은 기둥이 제거된 위치의 중앙부의 수직방향 변위를 증가시키면서 각 변위 단계에서 구조물에 재하되는 하중과 가이드라인에 규정된 하중(DL+0.25LL)에 대한 비(load factor)를 구하는 일련의 과정이다. 이 때 변위는 최대 600mm까지 점차적으로 증가하도록 변위제어 해석을 수행하였다. 해석결과 최대 하중계수(load factor)가 1.0 보다 작으면 구조물이 규정된 하중에 저항하지 못한다는 것을 의미한다. 이러한 경우 강판을 이용하여 보강하였다.

그림 4~그림 6은 경간 길이가 6m, 9m, 12m인 해석모델의 내부 기둥을 제거하고 pushdown 해석을 수행한 결과는 나타난다. GSA Guideline에서 규정하는 수직변위의 한계상태를 수직 점선으로 표시하였다. 해석결과에 따르면 강판이 설치되지 않은 bare frame 모델은 load factor가 1.0 이하로 나타나 기둥의 제거에 의한 연쇄붕괴에 저항하지 못

하는 것으로 나타났다. 그러나 강판벽을 설치한 6m 경간 모델은 강판의 두께가 2mm, 9m 경간 모델과 12m 경간 모델은 각각 4mm와 6mm이상의 두께의 강판을 설치할 경우 탄성구간에서 안전율을 고려한 목표값인 load factor 1.5를 초과하여 연쇄붕괴에 안전한 것으로 나타났다. 강판의 두께가 증가할수록 연쇄붕괴에 대한 저항성능 또한 증가하는 것으로 나타났다. 그림 4에 나타낸 경간 6m 모델의 해석결과에 따르면 강판의 두께가 6mm 이상 증가할 경우 다른 경간 모델들과 상이한 거동을 보이는데, 이는 강판의 큰 강성으로 인하여 강판이 좌굴하지 않고, 1층 기둥에서 먼저 항복 및 좌굴이 발생하기 때문이다. 그림 7은 경간 9m 모델의 최대 수직 변위가 50mm에 도달하였을 때 강판의 두께에 따른 응력 분포를 나타낸다. 기둥이 제거된 중앙부의 수직 축을 중심으로 강판의 대각선 방향으로 인장응력장이 발생하는 것을 관찰할 수 있다. 최대 응력은 외부 기둥과 2층 상부 보의 접합부와 가까운 코너부분 강판에서 최대 응력이 발생하며, 강판의 두께가 증가할수록 동일한 변위에서 강판에 발생하는 최대응력의 크기가 감소하는 것을 볼 수 있다.

#### 4.2 셋기둥이 설치된 해석모델

경간 9m모델의 기둥과 기둥사이에 셋기둥(stud column)을 1개, 2개, 3개를 설치하여 강판을 2, 3, 4분할하고 연쇄붕괴 해석을 수행하였다. 이 때 강판의 두께는 4mm로 고정하였으며, 셋기둥의 크기는 200×200×8/12이고 SS400 강재를 사용하였다. 셋기둥이 없는 경우 강판의 형상비(수직길이/수평길이)는 0.4 이나 셋기둥이 한 개 설치된 경우 0.8, 두 개 설치된 경우 1.2, 세 개 설치된 경우 1.6으로 증가한다. 그림 8은 강판벽이 설치되지 않은 기본 골조의 내부 기둥을 제거하고 비선형 정적해석을 수행한 결과를 나타낸다.

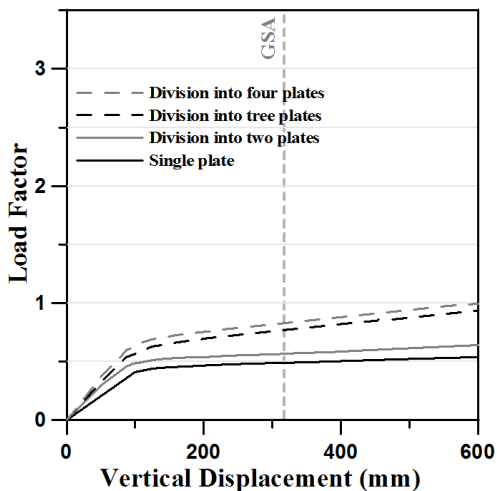


그림 8 셋기둥이 설치된 기본골조의 비선형 정적해석 결과

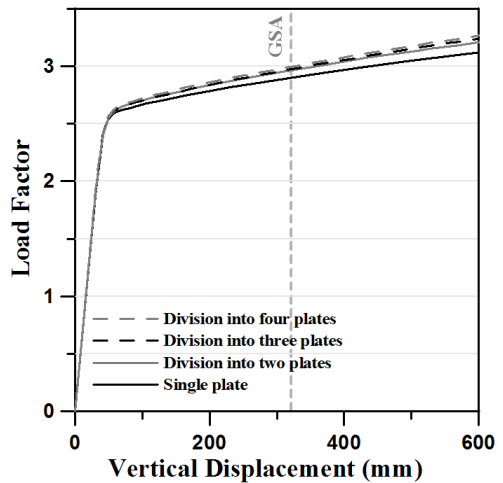


그림 9 셋기둥과 강판이 설치된 해석모델의 비선형 정적해석 결과

셋기둥의 개수가 증가할수록 최대강도 또한 약간 증가하며, 셋기둥이 두 개 이상 설치된 경우에 최대 하중계수가 1.0을 초과하나, 목표 강도인 load factor 1.5에는 미달하는 것을 알 수 있다. 특히 2개 이상의 셋기둥이 설치된 모델의 경우 강판벽의 형상비가 1.0 이상, 즉 강판의 가로길이가 보다 세로의 길이가 더 커지며 셋기둥이 하나 설치된 경우에 비하여 최대 강도가 비교적 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 그림 9는 셋기둥으로 분할된 경간에 강판을 설치하고 연쇄붕괴 해석을 수행한 결과를 나타낸다. 강판벽을 설치할 경우 최대하중계수가 2.5 이상으로 연쇄붕괴에 대한 저항 성능은 월등히 높아지나, 경간의 분할에 따른 영향은 그리 크지 않은 것으로 나타났다.

#### 4.3 강판위치 및 강판의 두께를 변수로 한 해석모델

두 개의 셋기둥을 설치하여 3분할된 9m 경간 모델에서 4mm 두께의 강판이 가운데에만 설치하는 경우, 양쪽 바깥부분에만 설치하는 경우, 전체 설치하는 경우로 나누어 해석을 실시하였다. 이는 문이나 창문 등 개구부로 인하여 경간 전체를 강판으로 채우기 어려운 경우에 해당한다고 할 수 있다.

그림 10은 분할된 강판의 설치 위치에 따른 연쇄붕괴 해석결과를 나타낸다. 강판벽이 중앙에 한 개 위치한 경우에는 강판이 설치되지 않은 경우에 비하여 최대 강도가 약 두 배 증가하는 것으로 나타났다. 강판벽을 양쪽 바깥부분에 설치할 경우에는 최대 강도가 더욱 증가하나, 경간 전체를 강판으로 보강한 경우에 비해서는 최대 강도가 상당히 작은 것을 알 수 있다. 하지만 경간의 일부만 강판으로 보강하더라도 기둥이 제거됨으로써 발생하는 연쇄붕괴에 충분히 저항할 수 있을 정도의 강도를 보유하는 것으로 나타났다. 즉 창이나 문이

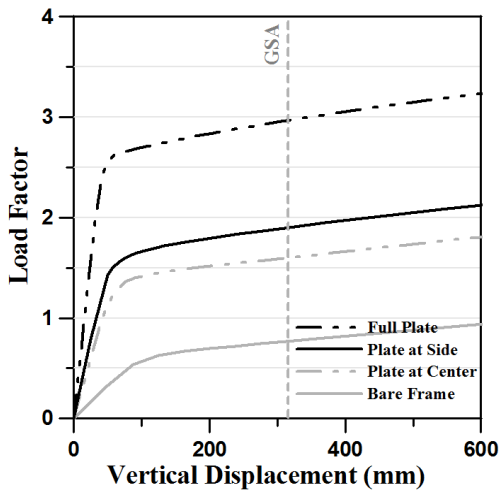


그림 10 강판위치에 따른 비선형 정적해석 결과

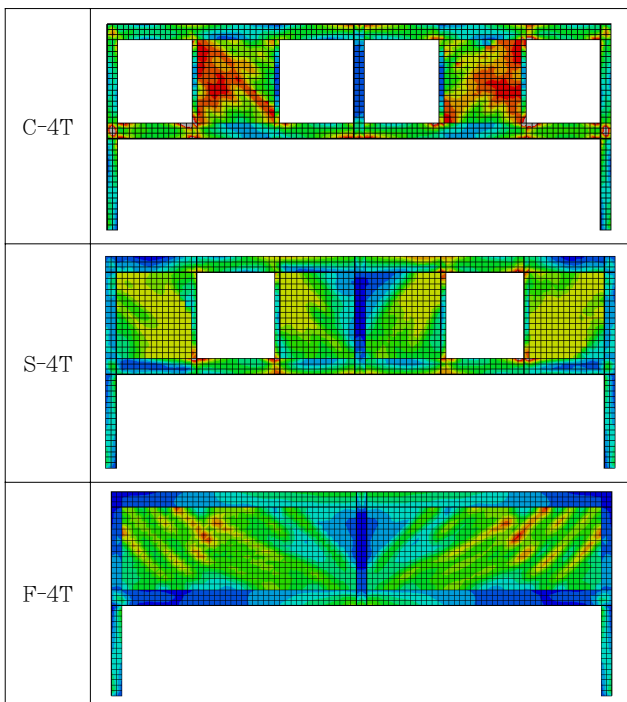


그림 11 강판 위치에 따른 응력분포(D=100mm)

벽 가운데에 위치할 경우 그 부분을 제외한 부분만 강판으로 보강함으로써 연쇄붕괴에 저항할 수 있음을 의미한다.

그림 11은 강판의 위치를 다르게 하여 설치했을 경우 수직 변위 100mm에서의 응력분포를 나타낸다. 경간의 중간에만 강판이 설치된 경우에 강판이 양쪽에 설치된 경우보다 강판에 더욱 큰 응력이 작용하는 것을 관찰할 수 있다. 강판이 중앙에만 설치된 경우 동일한 변위에서 보와 기둥에도 더욱 큰 응력이 작용하는 것으로 나타났다.

그림 12는 3등분된 경간의 중앙에만 강판이 설치된 경우 강판의 두께를 2, 4, 6, 8mm로 변화하며 비선형 정적해석을 수행한 결과를 나타낸다. 해석결과에 따르면 강판의 두께

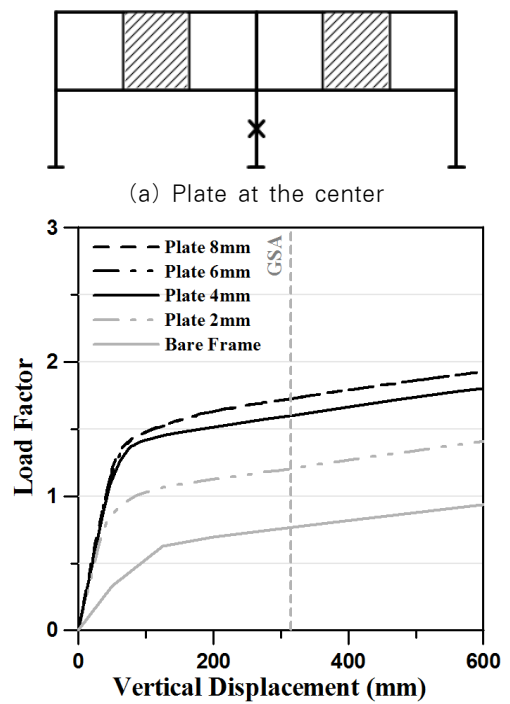


그림 12 가운데 부분에 강판벽이 적용된 모델

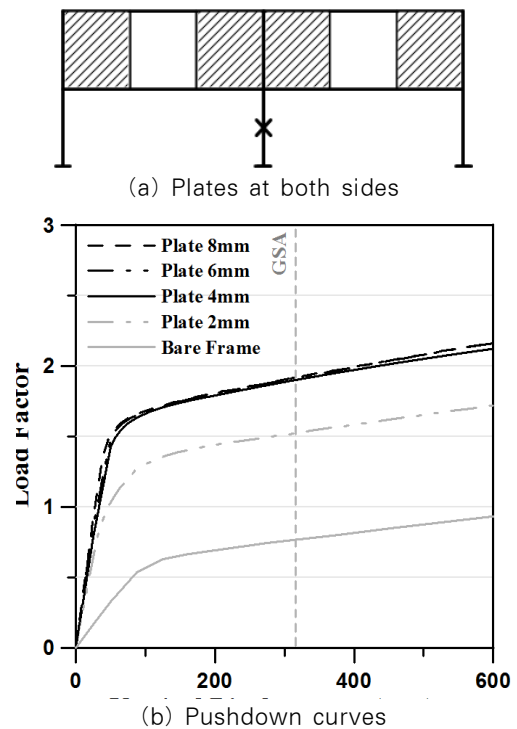


그림 13 양쪽 바깥부분에 강판벽이 적용된 모델

가 증가할수록 최대강도 또한 증가하는 것으로 나타났다. 2mm 두께의 강판벽을 설치했을 경우에는 수직변위가 1미터에 도달한 후 목표 강도인 하중계수 1.5에 도달하였으나 4mm 이상 두께의 강판을 설치할 경우 목표성능을 초과하였

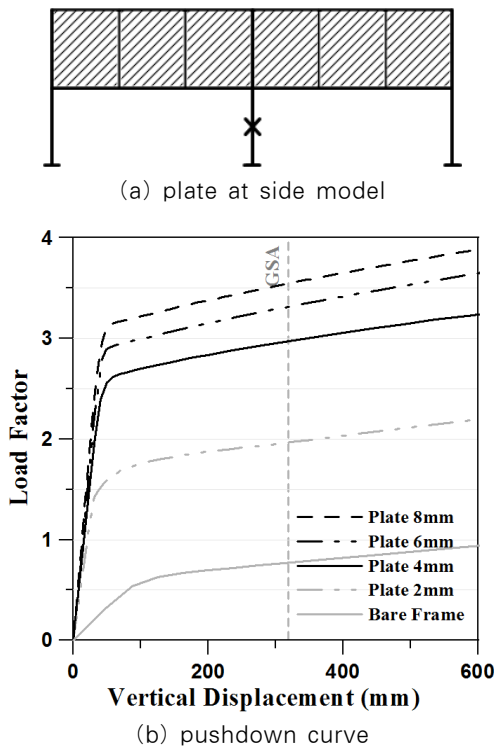


그림 14 전체 부분에 강판벽이 적용된 모델

다. 그러나 두께가 8mm인 경우 연쇄붕괴 성능은 더 이상 증가하지 않는 것으로 나타났다. 그림 13은 3등분된 경간의 양쪽에 강판을 설치한 경우의 해석결과를 나타내며, 강판이 경간의 중앙에만 설치된 경우와 같이 강판의 두께가 증가할수록 연쇄붕괴 저항능력이 증가하나, 강판의 두께가 8mm인 경우에는 강도가 더 이상 증가하지 않는 것으로 나타났다. 그림 14는 셋기둥에 의하여 분할된 경간의 모든 부분에 강판이 설치된 모델의 비선형 정적해석 결과를 나타낸다. 위의 두 경우와 달리 강판의 두께가 2mm인 경우에도 최대강도가 하중계수 2.0을 초과하여 매우 큰 연쇄붕괴 저항성능을 나타내는 것을 알 수 있다. 강판의 두께가 증가할수록 최대 강도 또한 증가하지만 강도의 증가량은 그리 크지 않은 것으로 나타났다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 강판벽이 설치된 골조 건물의 연쇄붕괴 저항성능을 평가하기 위하여 다양한 경간 길이를 갖는 2층 2경간 철골구조물을 설계하고 비선형 정적 연쇄붕괴 해석을 수행하였다.

해석결과에 따르면 골조 구조물에 강판벽을 설치함으로써 연쇄붕괴에 대한 저항능력을 향상할 수 있으며, 강판의 두께가 증가할수록 구조물의 최대 강도가 증가하는 것으로 나타

났다. 그러나 강판의 두께가 어느 한도 이상으로 증가하면 강판이 탄성적으로 거동하고 보와 기둥이 먼저 항복하여 연쇄붕괴에 대한 저항성능이 더 이상 증가하지 않았다. 경간 중간에 셋기둥을 설치하고 경간의 일부에만 강판을 설치한 경우에도 연쇄붕괴 저항성능이 어느 정도 증가하는 것으로 나타났다. 개구부로 인하여 전체 경간에 강판을 설치하지 못하는 경우에도 GSA Guideline에서 요구하는 연쇄붕괴 저항성능을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 유한요소해석을 통하여 2층 2차원 철골 모멘트골조를 대상으로 강판벽의 연쇄붕괴 저항성능을 파악하였다. 강판벽의 연쇄붕괴 보강 효과를 다각적으로 검토하기 위해서는 좀 더 다양한 구조재료 및 구조시스템을 대상으로 검증할 필요가 있으며, 이를 위하여 좀 더 단순한 모델링기법 및 목표 성능수준을 만족하기 위한 설계기법의 개발이 필요하다.

### 감사의 글

본 연구는 포스코의 대학원생 학위논문 지원 사업에 의해 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

김진욱, 이명호, 오상훈, 윤명호, 문태섭 (2001) 강판 내진벽의 폭두께비와 보강 리브에 따른 거동, 대한건축학회 학술 발표대회, 21(1), pp.55~58.

박홍근, 광재혁, 전상우, 김원기 (2004) 주기하중을 받는 골조강판벽의 실험연구, 한국강구조학회 논문집, 16(6), pp.781~792.

박홍근, 최인락, 전상우, 김원기 (2007) 다양한 웹강판 상세에 따른 골조강판벽의 구조성능, 한국강구조학회 논문집, 19(1), pp.67~78.

ABAQUS CAE (2007) General Finite Element Analysis System for Windows.

AISC (1997) Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois.

FEMA 356 (2000) Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building, Federal Emergency Management Agency, Washington, D. C.

GSA (2003) Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines for New Federal Office Buildings and Major Modernization Project, The U.S. General Services Administration.

KBC-2009 (2009) 건축구조설계기준, 대한건축학회.

**Midas Genw** (2006) General Structure Design System for Windows.

**NBCC** (1995) National Building Code of Canada, National Research Council of Canada, Ottawa, Canada.

**Thorburn, L.J., Kulak, G.L., Montgomery, C.J.** (1983) Analysis of Steel Plate Shear Walls, Structural Engineering Report, 107, University of Alberta.

**Timler, P.A., Kulak, G.L.** (1983) Experimental Study of Steel Plate Shear Walls, Structural Engineering Report, 114, University of Alberta.

**Unified Facilities Criteria(UFC)-DoD** (2005) Design of Buildings to Resist Progressive Collapse, Department of Defense.

- 논문접수일 2011년 7월 27일
- 논문심사일  
1차 2011년 8월 10일  
2차 2011년 10월 25일
- 게재확정일 2012년 1월 10일