

# 비좌굴 가새를 이용한 스테거드 트러스 시스템의 내진성능향상

## Seismic Improvement of Staggered Truss Systems using Buckling Restrained Braces

이 준 호\*  
Lee, Joon-Ho

김 진 구\*\*  
Kim, Jin-Koo

### 국문요약

본 연구에서는 4층, 10층, 30층 스테거드 트러스 시스템(STS)의 비탄성 정적해석에 의한 하중-변위 관계와 비탄성거동을 분석하고, 그 결과를 바탕으로 STS의 내진성능을 평가하였다. 또한 동일한 규모의 모멘트골조 및 가새골조의 거동과 비교함으로써 STS의 횡력 저항 능력을 파악하였다. 해석결과에 따르면, STS는 일반적으로 적용되는 구조시스템에 비하여 비교적 만족할 만한 내진성능을 보유하는 것으로 나타났다. 그러나 중층 이상의 STS에 있어서는 상대적으로 강성이 작은 비렌딜 패널 상·하현재에 소성변형이 발생한 후 인접한 수직 가새가 항복함으로써, 다른 층으로 소성변형이 전이되지 못하여 약층의 형성에 의한 취성적인 거동을 보인다. 그러므로 스테거드 트러스 시스템의 연성능력을 확보하기 위해서는 비렌딜 패널의 수직 가새를 보강하여 비렌딜 패널 상하현재에 발생한 소성변형을 다른 층의 비렌딜 패널로 유도하는 것이 필요하다.

**주요어** : 스테거드 트러스 시스템, 비좌굴 가새, 비탄성거동, 반응수정계수, 내진설계

### ABSTRACT

In this paper the seismic performances of 4, 10, and 30-story staggered truss systems (STS) were evaluated by observing the force-displacement relationship up to failure. The results were compared with the seismic performance of conventional moment resisting frames and braced frames. According to the analysis results, the STS showed relatively satisfactory lateral load resisting capability. However, in the mid- to high-rise STS, plastic hinges formed first at the chords were transferred to vertical members of the virendeel panels, which formed a weak link and subsequently led to brittle collapse of the structure. Therefore to enhance the ductility of STS it would be necessary to reinforce the vertical bracing members of the virendeel panels so that the plastic hinges, once formed in chord members of a virendeel panel, spread out to virendeel panels of neighboring stories.

**Key words** : staggered truss system, buckling restrained brace, inelastic behavior, response modification factor, seismic design

## 1. 서 론

스테거드 트러스 시스템(Staggered Truss System, 이하 STS)은 1960년대 중반 호텔과 같이 횡 방향으로 동일한 유닛이 반복되는 구조물을 위한 경제적인 구조 시스템으로 개발되었다. STS는 시공이 쉽고, 경제적이며, 건축 계획적인 측면에서 내부 기둥이 없는 장 스패의 구현으로 효율적인 공간 구성이 가능하다. 이러한 장점들로 인하여 STS는 미국, 캐나다 등지에서 아파트, 호텔, 기숙사 등 고정 간막이벽이 많은 장방향의 주거 건물에 주로 적용되었다. 1998년 미국 라스베가스에 38층의 Aladdin Hotel 이 STS를 이용하여 시공되었고, 국내에서는 1997년 서울시 마포구에 17층의 홀리데이인 호텔에 스테거드 월-빔 구조가 적용되는 등, 근래에는 저층 구조뿐 아니라 중·고층 건물에도 적용되고 있다.

STS는 시스템의 고유한 구조적 장점에도 불구하고, 적용 가능한 형태 및 기능이 제한된 관계로 STS에 대한 연구 및 적용은 매우 제한된 상태이다. 특히 국내·외 설계

기준의 구조물의 분류에 명시되어 있지 않고, 기타 구조로 분류되고 있다. 최근 미국을 중심으로 STS의 효율성 및 경제성에 대한 구조 기술자들의 의견 및 시공 사례가 많이 보고되고 있으며<sup>(1),(2)</sup>, 이러한 추세를 반영하여 2002년 AISC(American Institute of Steel Construction)는 AISC Design Guide 14: Staggered Truss System Framing Systems<sup>(3)</sup>를 발표하였다. 이것은 설계기준이라기 보다는 설계지침서 및 예제집에 해당하는데, STS의 비탄성 거동에 대한 연구가 미흡한 실정임을 감안하여 반응수정계수를 기타 구조인 3으로 설계하도록 권장하고 있으며, 기타 구조로 설계할 경우 특별한 내진 상세를 적용하지 않아도 된다고 기술하고 있다. 그러나 STS의 초과강도계수, 연성도 계수, 잉여도 계수, 거동한계 등, 구조시스템의 비탄성 거동을 규정할 수 있는 각각의 계수 값이 명확하게 명시되어 있지 않다.

본 연구에서는 위 참고문헌에서 제시한 절차를 통하여 4층, 10층, 30층의 STS 건물을 설계하고, 정적 비탄성 해석을 통하여 STS의 비탄성 거동을 파악하였다. 또한 동일한 규모의 모멘트골조(moment resisting frame, MRF) 및 가새골조(ordinary concentric braced frame, OCBF) 시스템의 거동과 비교하여, STS의 효율성을 파악하였다.

\* 성균관대학교 건축공학화, 석사과정

\*\* 정회원·성균관대학교 건축공학과, 부교수(대표저자 : jkim12@skku.edu)

본 논문에 대한 토의를 2006년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.  
(논문접수일 : 2005. 11. 10 / 심사종료일 : 2006. 3. 31)

특히 복도 등 통행 공간을 확보하기 위하여 가새를 제거한 비렌탈 패널 부분이 시스템의 약한 고리(weak link)를 형성하여 STS의 비탄성 거동에 어떠한 영향을 미치는지를 검토하였다. 해석 결과를 바탕으로 층수가 높아질수록 취성적으로 거동하는 STS의 비탄성 거동을 개선하기 위한 효율적인 보강방법에 관하여 기술하였다.

## 2. 스테거드 트러스 시스템의 일반사항

스테거드 트러스 시스템은 외부 기둥을 서로 연결한 층고 높이의 트러스로 이루어져 있으며, 트러스 부재는 그림 1과 같이 층별로 엇갈려 배치되어 있다. 내부는 1층에서 기둥이 없는 공간을 마련할 수 있으므로, 건축 계획적인 측면에서 큰 장점을 가지고 있다.

스테거드 트러스 시스템은 전체 프레임이 횡력을 받는 캔틸레버 보와 같이 거동하며, 모든 기둥은 구조물의 외부 벽에 배치되어 보의 플랜지와 같은 역할을 한다.<sup>(4)</sup> 그림 1의 A열과 B열을 잘라내어 2차원 평면상에서 하중을 가할 경우, 그림 2의 (a), (b)와 같이 기둥에 휨 모멘트가 작용하지만, 전체적인 3차원 거동은 그림 2(c)와 같이 기둥에 주로 압축, 인장력이 발생하여 전체적으로 캔틸레버 거동을 한다. 스테거드 트러스 시스템의 슬래브는 구조물의 시공 과정에 있어서 임시적인 고정재 역할을 하며 상부 트러스의 전단력을 하부 트러스로 전달하는 역할을 한다. 최근에는 프리캐스트 콘크리트 슬래브(precaster concrete plank)나 메탈 데크(composit steel deck)가 주로 사용된다. 바닥 구조재는 면내 전단력과 휨모멘트를 저항하므로 깊은 보와 같은 작용을 하며 본 연구에서는 슬래브가 강막으로 거동한다고 가정하고 해석을 수행하였다.

스테거드 트러스 시스템은 층 중앙에 아파트, 호텔 등의 복도로 사용되는 개구부가 필요하며, 비렌탈 패널의 상·하현재에는 횡력에 의한 모멘트가 발생하여, 그림 2(c)와 같이 변형함을 알 수 있다. 단변방향으로 작용하는 횡하중은 강막으로 작용하는 RC 슬래브에 의해 대부분의 층 전단력이 트러스 부재로 전달되며, 기둥에는 모멘트를 발생시키는 전단력이 거의 작용하지 않는다.<sup>(4)</sup> AISC Design Guide 14는 기둥의 강축을 장변방향으로 배치하여 장변방향으로 작용하는 횡력에 저항할 수 있도록 권고

하고 있다.<sup>(3)</sup>

## 3. 예제 구조물의 설계

스테거드 트러스 시스템의 내진성능을 평가하기 위하여 그림 3(a)와 같은 장방형 평면을 갖는 4층, 10층, 30층 구조물을 설계하였다. AISC Design Guide에 제시된 설계지침에 따라  $x$ (장변)방향은 모멘트 저항 골조(MRF)로 구성하였으며 스테거드 트러스는  $y$ (단변)방향으로 배치하였다. 사례조사를 통해 트러스 부재들은 각형강관 부재로 설계하였고, 상·하현재와 양쪽 기둥의 접합부는 핀접합으로 설계하였다.

같은 규모의 다른 구조시스템과 STS의 거동을 비교하기 위하여, 모멘트 저항 골조 및 가새 골조로 구성된 해석모델을 추가적으로 설계하였다. 가새 골조의 경우에도 장변방향은 MRF로 구성하였다. 거동을 비교하기 위한 MRF와 가새 골조의 평면은 내부에 기둥을 두 개 배치하여 3경간으로 설계하였다. 4층, 10층 가새 골조의 경우 가새가 모든 횡력을 부담하는 건물 골조 시스템(Building Frame System)으로 설계하였고, 30층 가새골조의 경우 횡 변위 제어를 위해 모멘트 저항 골조가 횡력의 25%를 부담하는 이중 골조 시스템(Dual System)으로 설계하였다.

표 1 설계 지진하중 산정을 위한 계수

지역계수	0.11	
지반종류	$S_D$	
내진등급	특	30층
	I	4층, 10층
중요도계수	1.5	30층
	1.2	4층, 10층
내진설계범주	$D$	
반응수정계수	3	스테거드 트러스 시스템
	6	모멘트 저항 골조
	5	가새 골조

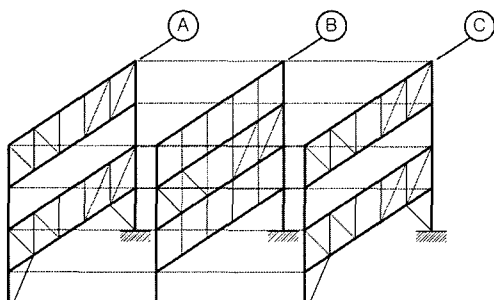
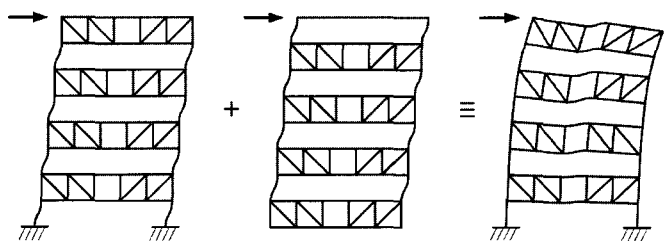


그림 1 스테거드 트러스 시스템



(a) A열 (b) B열 (c) 캔틸레버 거동

그림 2 스테거드 트러스 시스템의 2차원 개념도<sup>(4)</sup>

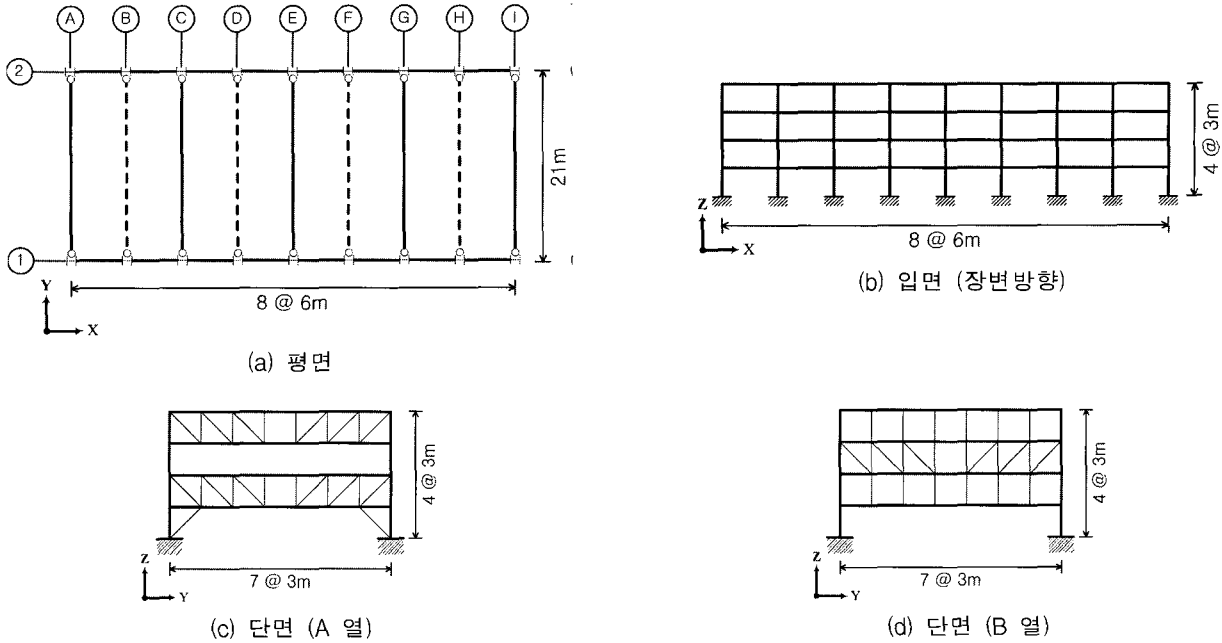
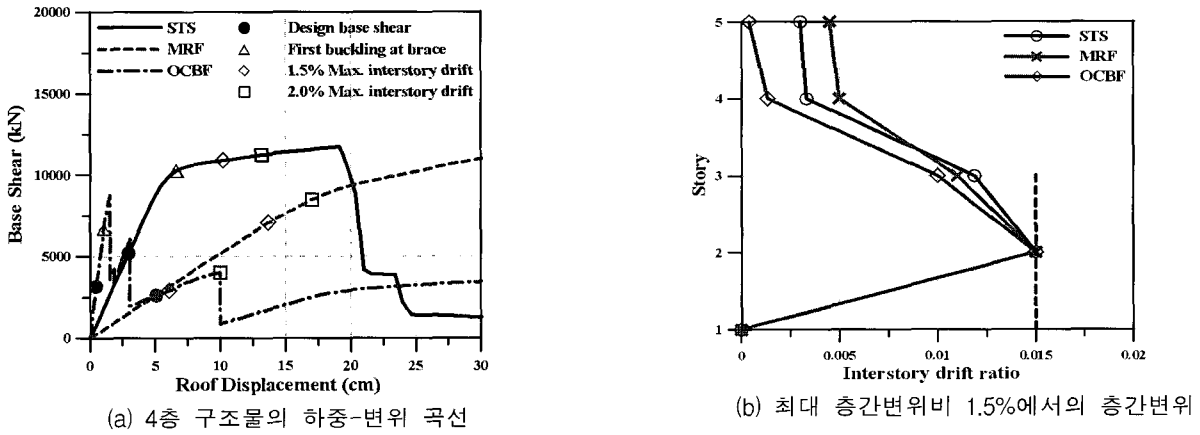


그림 3 4층 스테거드 트러스 시스템 해석모델의 형태



(a) 4층 구조물의 하중-변위 곡선

(b) 최대 층간변위비 1.5%에서의 층간변위

그림 4 4층 해석모델의 비선형 정적해석 결과

표 2 설계 풍하중 산정을 위한 계수

노풍도구분	B
기본풍속	30 m/sec
중요도계수	1
가스트영향계수	2.2

예제 구조물의 설계에 있어서, 설계하중은 건축 구조 설계기준 (KBC-2005)<sup>(5)</sup>을 적용하였으며, 고정하중의 경우, 600kg/m<sup>2</sup> (5.9 kN/m<sup>2</sup>), 활하중은 250 kg/m<sup>2</sup> (2.5 kN/m<sup>2</sup>)을 사용하였다. 지진하중과 풍하중을 산정하기 위한 계수는 표 1과 표 2에 나타내었다. 스테거드 트러스 시스템의 경우  $x$ ,  $y$ 방향에 각각 다른 구조시스템이 적용 되었으므로,  $x$ 방향 MRF의 반응수정계수는 6으로 하였고,  $y$ 방향 STS에는 기타구조인 3을 적용하였다. 또한 가새골조(건물골조시스템, 이중골조시스템)의 경우에는 5를 적용 하였다. 전체 예제 모델에 대하여 기둥은 SM490강재를,

가새와 보는 SS400강재를 사용하였으며, 각 구조물의 부재 설계는 AISC LRFD 2000<sup>(6)</sup>에 따라 설계하였다.

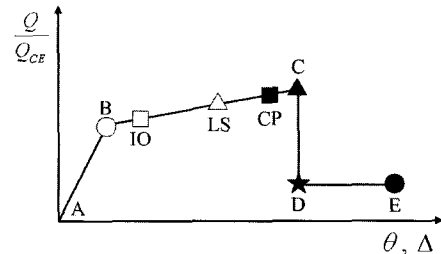


그림 5 부재에 발생한 소성힌지의 상태별 표기

#### 4. 비선형 정적해석에 의한 내진성능 평가

##### 4.1 4층 해석모델

스테거드 트러스 시스템 및 모멘트골조, 가새 골조의 비선형 정적해석을 수행하고, 각 구조물의 하중-변위관계,

층간변위, 소성변형 분포상태 등을 구하였다. 하중 분포는 스테거드 트러스가 배치된  $y$  방향으로 등가정적 지진하중을 사용하였으며, 구조물의 설계 및 해석은 MIDAS Gen<sup>(7)</sup>를 이용하였다.

그림 4(a)는 동일한 조건으로 설계된 STS, MRF, 가새 골조의 힘-변위 관계를 나타내며, 설계 밀면전단력, 가새 부재가 최초로 좌굴하는 지점, 최대 층간변위가 각각 층고의 1.5%, 2.0%에 도달하는 지점들이 표시되어 있다. 가새 골조는 압축가새의 좌굴 이후 인장가새 부재력과의 차이로 발생하는 불균형력에 의하여, 보에 큰 소성변형이 발생하여 구조물의 내력이 급감하게 된다. 따라서 횡력에 의한 구조물의 손상은 최초로 압축가새가 좌굴한 층에 집중되며, 최대 층간변위비 1.5%에서 각 층의 층간변위를 나타낸 그림 4(b)와 같이 2층에 구조물의 층간변위가 집중됨을 알 수 있다. 모멘트골조는 큰 설계반응수정계수로 인하여 설계지진력이 작고, 결과적으로 다른 시스템 보다 강성이 작지만, 연성능력이 매우 뛰어나음을 알 수 있다. 각 층의 층간변위 또한 비교적 고르게 분포함을 알 수 있다. 다른 시스템과 같이 2층에서 층간변위가 크게 발생한다. 스테거드 트러스 시스템은 반응수정계수가 기타구조인 3으로 설계되었기 때문에 비교적 큰 강도를 가지며, 4층 구조물의 경우 안정적인 비탄성 거동을 보이고 있다.

그림 5는 이상화된 하중-변위 관계 그래프에 FEMA-450<sup>(8)</sup>에 규정된 부재별 성능수준에 해당하는 위치를 표시한 것이다 (즉시 거주(Immediate Occupancy), 인명안전(Life Safety), 붕괴방지(Collapse Prevention)). 인장가

새의 경우 항복변형의 15배, 압축가새의 경우 좌굴변형의 9배를 한계상태로 규정하고 있다. STS의 층간변위비가 각각 1.5% 및 2.0%에 도달했을 때, 그리고 구조물의 내력이 급감하는 위치에서 항복한 부재의 분포를 그림 6-8에 나타내었다. 비선형 정적 해석의 결과, 항복한 부재는 그림 3(a)의 구조물의 평면에서 열마다 동일하게 반복되어 발생하였으므로 A열, B열, C열을 선택하여 나타내었다. 4층 스테거드 트러스 시스템의 층간변위비가 1.5%에 도달할 경우, B, C 열의 1층 기둥과 A, C열의 비렌달 패널 상·하현재, 비렌달패널의 수직재에 소성변형이 집중되었다. 최대층간변위비가 각각 1.5%, 2.0%에 도달했을 경우, B 열 기둥에 소성변형이 발생하였지만, 하중-변위 그래프 상에는 큰 변화가 없음을 알 수 있다. STS의 대각 부재 및 비렌달 패널 주변의 상·하현재가 항복하였으나 변형의 크기는 크지 않은 것으로 나타났다. 그러나 비렌달 패널의 수직가새에 큰 소성변형이 발생한 것을 알 수 있으며, 이는 비렌달 패널을 중심으로 좌·우 트러스의 강성이 상대적으로 크기 때문에 횡력에 의한 응력이 비렌달 패널에 집중되기 때문이다. 구조물의 내력이 급감할 경우 (그림 8), C열 비렌달 패널 상·하현재와 1층 기둥에 발생한 소성변형이 한계 상태에 도달하였다. 따라서 비렌달 패널 상·하현재의 거동이 구조물 내력에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

4.2 10층 해석모델

그림 9는 10층 STS와 모멘트골조, 가새 골조의 비선형

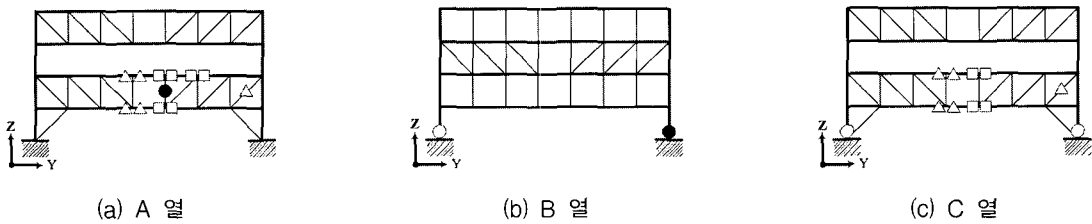


그림 6 층간변위비 1.5%에서 소성변형이 발생한 부재

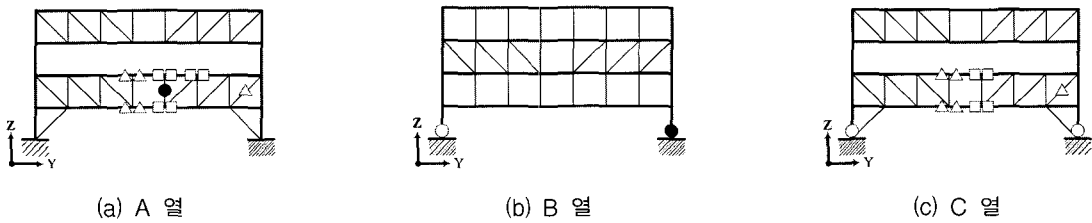


그림 7 층간변위비 2.0%에서 소성변형이 발생한 부재

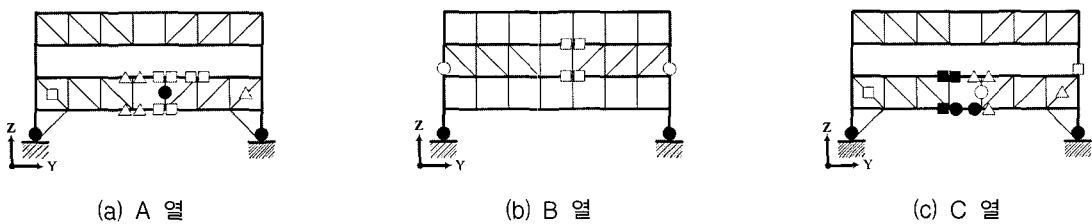


그림 8 구조물의 내력이 급감할 때 소성변형이 발생한 부재

정적해석 결과를 나타낸다. 그림 9(a)는 하중-변위 곡선 그래프이며, 가새 골조와 MRF의 경우 4층 모델과 유사한 거동을 보이고 있지만, STS는 4층모델의 해석 결과와 달리 항복 직후 취성적인 거동을 보이고 있다. 그림 9(b)는 10층 구조물의 층간변위비를 나타내며, STS, MRF, 가새 골조 모두 저층부에 층간변위가 집중됨을 알 수 있다. 그림 9(c)는 STS의 최대 층간변위가 층고의 1.5% 및 2.0%에 도달할 때 각 층의 층간변위비를 나타내며, 각 단계별로 저층부의 층간 변위만 증가하며, 상부층의 층간 변위는 거의 변화가 없음을 알 수 있다.

그림 10은 스테거드 트러스 시스템의 내력이 급감할 때의 소성변형 분포를 그림 5의 소성인지 상태별 표기에 따라 나타낸 것이다. 그림에는 나타나지 않았지만, 최대 층간변위비가 층고의 1.5%에 도달할 경우, 4층 STS의 경우와 같이 1층 기둥 하부와 비렌달 패널의 상·하현재에 소성변형이 집중되었다. 압축가새의 좌굴은 소성변형이 집중된 2층 비렌달 패널의 상·하현재 주위에 주로 발생하며, 다른 층의 가새 부재에는 소성변형이 전혀 발생하지 않았다. 즉 전 층의 비렌달 패널 상·하현재에 소성변형이 고르게 발생할 경우, STS의 안정적인 거동과 연성능력이 기대되나, 저층부에 손상이 집중됨에 따라 구조물의 내력이 급격하게 떨어지는 것을 알 수 있다. 압축가새의 좌굴은 비렌달 패널 상·하현재의 소성변형의 크기가 커짐에 따라 발생하며, 가새부재는 STS의 거동을 좌우하는 요소가 아님을 알 수 있다. 최대 층간변위비가 2.0%에 도달하였을 때, 비렌달 패널 상하현재의 소성변형이 상층부로 확대되나, 내력이 급속히 감소하는 순간에는 1,

2층 기둥 및 2층 비렌달 패널의 하현재 (C열), 비렌달 패널의 수직재(C열), 트러스의 사재 (A열)에서 부재의 소성 변형이 한계상태에 도달하였다.

### 4.3 30층 해석모델

그림 11은 30층 STS와 이중골조로 설계된 가새 골조의 비선형 정적해석 결과를 나타내며, STS에 비해 이중골조로 설계된 가새골조는 큰 반응수정계수로 인하여 강도와 강성이 작게 나타남을 알 수 있다 (그림 11(a)). 가새 골조는 첫 번째 압축가새의 좌굴 이후, 불균형력으로 인하여 구조물의 내력이 감소하며, STS는 최대 층간변위가 층고의 2.0%에 도달한 직후 곧 내력이 급속하게 감소하여, 취성인적인 거동을 보이는 것으로 나타났다. 그림 11(b)는 각 구조물의 최대층간변위가 1.5%에 도달할 때 각 층의 층간변위를 나타낸 그림으로, 두 구조물 모두 소성변형이 한 층에 집중되어 층간변위가 특정 층에 크게 발생함을 알 수 있다. STS는 5층에서 10층 사이에, 가새골조는 15층에서 20층 사이에 층간변위가 집중되어 있음을 알 수 있으며, STS의 층간 변위가 비교적 고르게 분포됨을 알 수 있다. 그림 11(c)에 따르면 STS의 최대층간변위가 1.5% 에서 2.0%로 증가하는 동안 8층에서 11층을 제외한 모든 층의 층간변위비는 거의 변화가 없어, 소성변형이 그 부분에 집중된 것을 알 수 있다. 그림 12는 30층 STS의 횡하중에 대한 내력이 급격하게 감소할 때 소성변형의 분포를 나타내며, 4층, 10층 구조물과 같이 비렌달 패널의 상·하현재와 수직 가새부재에 소성변형이 집중되며, 특히 6-10층에 집중적으로 발생하였음을 알 수 있다.

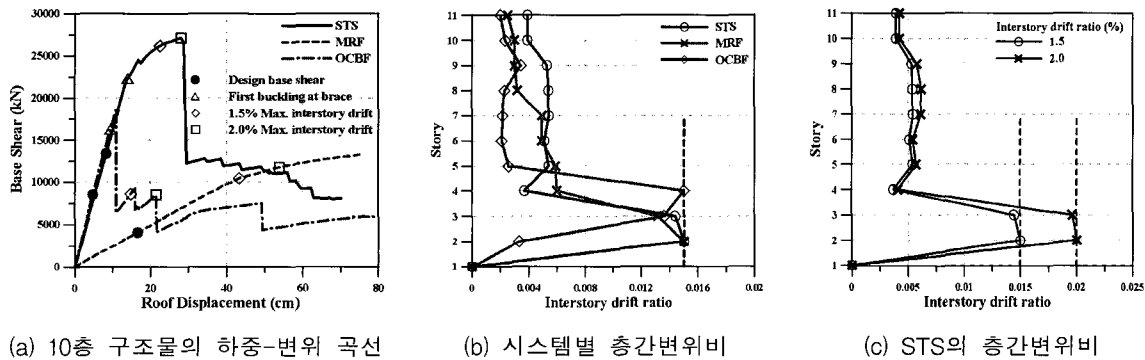


그림 9 10층 해석모델의 비선형 정적해석 결과

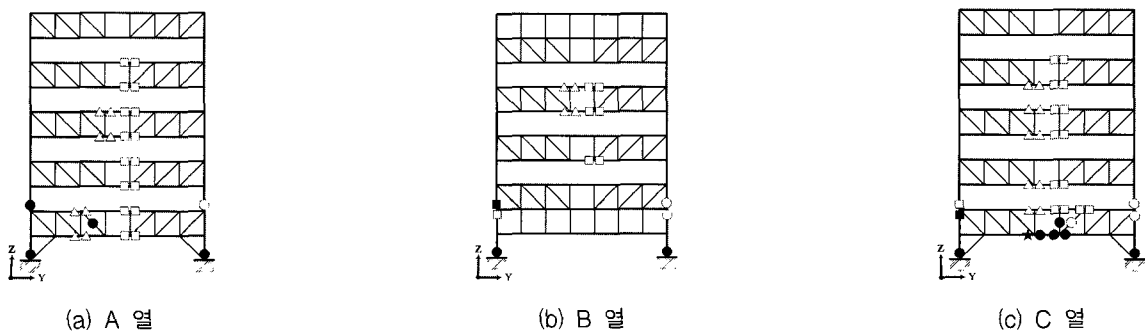


그림 10 구조물의 내력 급감할 때 부재의 소성변형

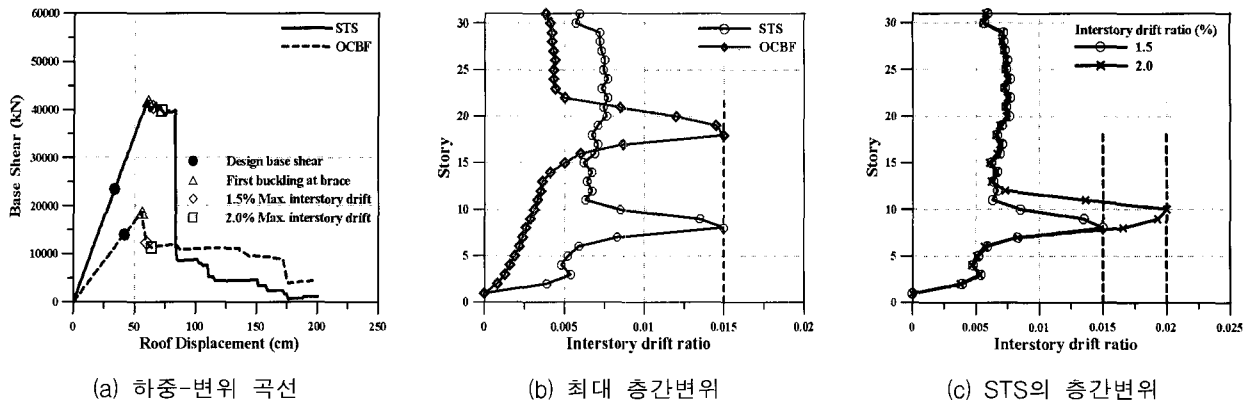


그림 11 30층 구조물의 비선형 정적해석 결과

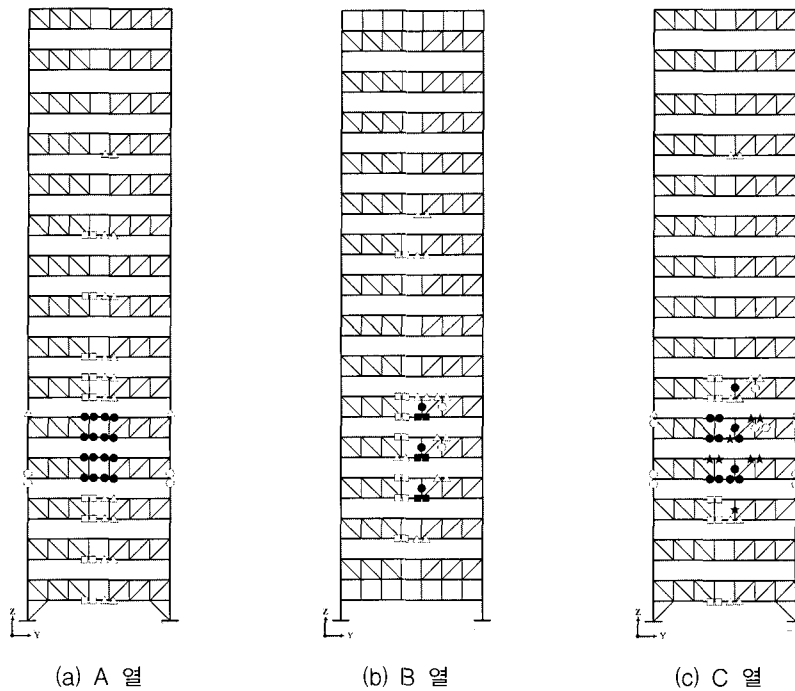


그림 12 구조물의 내력이 금감할 때 소성변형이 발생한 부재

### 5. 철골 물량의 비교

설계된 해석모델의 철골물량을 산정하여 STS의 효율성을 검토하였다. 각 해석 모델의 설계에 소요된 철골물량은 표 3에 나타나 있다. STS의 경우 4층과 10층의 해석 모델에서 주어진 설계 반응수정계수가 작아 가장 큰 밀면 전단력으로 설계되었음에도 불구하고, 모멘트골조나 가새골조 보다 적은 물량이 소요되는 것으로 나타났다. 즉, 중·저층 STS의 경우 다른 시스템에 비해 적은 철골 물량으로 만족할만한 내진성능을 기대할 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 30층 STS는 이중골조에 설계된 가새골조에 비해 철골물량이 많이 다소 많이 소요되었으며, 이는 STS가 고층으로 적용될수록, STS의 경제성이 다소 떨어짐을 알 수 있다. 하지만 1층의 내부 기둥을 제거할 수 있는 STS의 공간활용성, 시공의 편의성 등 시스템 고유의 장점이 매우 많으므로, 취성적인 측면을 보완한다면 효율적인 구조시스템으로 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

표 3 해석모델의 소요 철골물량의 비교 (단위 : kN)

	4층	10층	30층
STS	1,134	4,395	21,810
MRF	1,543	5,109	-
OCBF	1,359	4,799	20,530

### 6. 스테거드 트러스 시스템의 내진보강

#### 6.1 상·하현재의 단면 2차 모멘트 및 강도 증가

STS의 비선형 정적해석 결과에 따르면 비랜달 패널의 상·하현재에서 소성변형이 제일 먼저 발생하였다. 상·하현재의 소성변형이 커짐에 따라서 하층은 비랜달 패널 옆의 수직 가새 부재로 전이되며 이에 따라 구조물에 약층이 형성되었다. 그러므로 STS의 내진성능을 보강하기 위하여 SS400부재로 설계된 상·하현재의 재질을 SM490으

로 바꾸고 (B00 & SM490), 단면 2차 모멘트를 각각 10%(B10 & SM490), 20%(B20 & SM490), 30%(B30 & SM490)씩 증가시키면서 비선형 정적해석을 수행하였다. 해석 결과에 따르면 STS의 강성과 강도는 약간 증가하지만 상·하현재에 최초로 소성변형이 발생한 층에 약층이 형성되며, 소성변형이 다른 층으로 전이되지 않기 때문에 연성도가 감소하여, 전체적인 구조물의 비탄성 거동에 큰 차이가 없음을 알 수 있다 (그림 13). 4층, 10층 STS의 경우 상대적으로 하층이 크게 작용하는 하부층의 상·하현재에서만 소성변형이 집중적으로 발생하며, 상부층의 상·하현재로 하층이 전이되지 않는다. 30층 STS는 중간층에서 소성변형이 집중적으로 발생하였고, 저층 STS의 경우에서와 같이 다른 층으로 비렌달 패널의 소성변형이 전달되지 못하며 약층이 발생하는 것으로 나타났다. 그러므로 비렌달패널 상·하현재의 단면 2차 모멘트와 강도를 증가시키는 것은 구조물의 내진성능 향상에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

### 6.2 수직재의 단면 2차 모멘트 증가

비선형 정적해석 결과에 따르면 STS는 비렌달 패널의 상·하현재에 소성변형이 발생하며 이어서 중앙부 수직재가 항복한다. 이에 따라 기둥이 항복함으로써 구조물에 약층이 발생하고, 층 수가 높아질수록 취성적으로 거동함을 알 수 있다. 그러므로 구조물의 연성도를 높이기 위해 상·하현재에 발생하는 소성변형을 골고루 분포시키기 위하여 비렌달 패널 수직재의 단면 2차 모멘트를 증가시켜보았다. 수직재의 단면 2차 모멘트를 50%(V50), 100%(V100) 증가하여 비선형 정적해석을 수행한 결과, 4층 STS는 비탄성 거동에 변화가 없으나, 10층, 30층 STS의 경우 구조물의 연성능력이 크게 증가함을 알 수 있다 (그림 14). 이는 비렌달 패널의 상·하현재가 항복한 이후, 인근 수직재가 항복 혹은 좌굴이 발생하지 않기 때문에 소성변형이 좌우로 확산되지 않으며, 상대적으로 강성이 약한 다른 층 비렌달패널의 상·하현재로 소성변형이 전이되기 때문이다. 4층 STS의 경우 비렌달 패널이 횡력에

대해 충분히 저항하기 때문에 상대적으로 수직재의 보강 효과가 작다. 그러나 소성변형에 의한 에너지 소산 현상이 주로 약층에 집중되는 중·고층 STS에 있어서는 효율적인 보강효과가 발생함을 알 수 있다. 그러나 수직재의 단면 2차 모멘트를 50% 증가시킨 경우는 기존 STS에 비해 수직재의 단면적이 약 1.7배 증가하여 계획적인 측면에서 바람직하지 않을 수 있다. 또한 STS의 층수가 높아질수록 철골물량이 더욱 많이 소요되어, 전체 철골물량이 0.5%-1.5% 증가하는 것으로 나타났다. 비렌달 패널의 수직재와 상하현재를 동시에 증가시킨 경우에는 약층의 상하현재에 발생한 소성변형이 다른 층으로 전이되지 못하여 내진성능이 증가하지 않는 것으로 나타났다.

### 6.3 비좌굴 가새를 이용한 STS의 설계

위 해석결과에 따르면 STS의 수직재의 단면 2차 모멘트를 증가시키는 것이 구조물의 연성도를 높이는 효율적인 방법으로 나타났다. 그러나 수직재의 단면 2차 모멘트를 증가시키는 방법은 건물의 규모가 커질수록 경제적인 측면에서 효율적이지 않을 수 있다.

비좌굴 가새(Buckling-Restrained Braces, 이하 BRB)는 가새부재를 각형 또는 원형 강관 속에 설치하고, 빈 공간에 콘크리트를 충전하여 압축가새의 좌굴을 방지한 철골 가새 부재이다. 본 연구에서는 축력을 받는 수직재 및 사재를 BRB를 이용하여 설계하고, 일반 가새를 사용한 STS와의 거동을 비교하였다. 모든 부재를 BRB로 구성하는 것은 비경제적이므로, BRB의 합리적인 적용방법을 파악하기 위해 표 4와 같이 네 가지로 나누어 동일한 하중조건을 이용하여 설계를 수행하고, 비탄성해석을 수행하였다. 그림 15는 BRB의 적용에 따른 비선형 정적해석 결과를 나타내며, 4층 STS의 경우 중·고층 STS에 비해 상대적으로 큰 연성도를 보유하기 때문에 수직재를 보강하는 것이 큰 효과가 없음을 알 수 있다 (그림 15(a)). 10층과 30층 STS의 수직재에 BRB를 적용한 Type-01, 02, 04의 경우 연성능력이 크게 증가하며, 층수가 높아질수록 큰 효과가 나타난다 (그림 15(b), (c)). 이는 비렌달

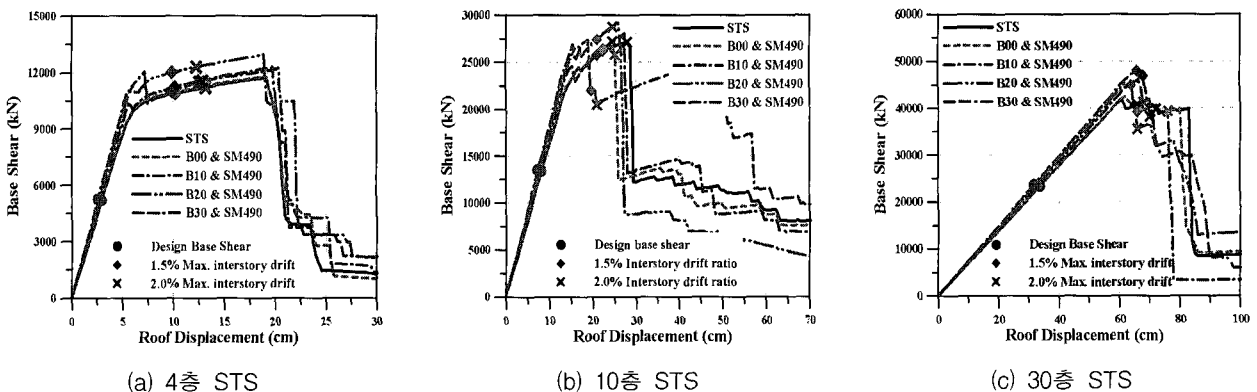


그림 13 비렌달 패널 상·하현재의 강도와 단면 2차 모멘트 증가에 따른 비선형 정적해석 결과

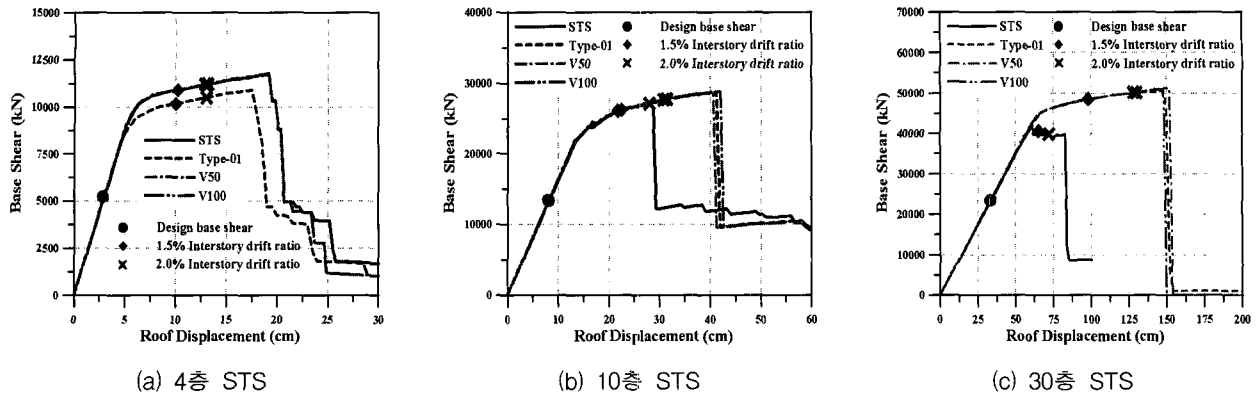


그림 14 수직 가새부재의 단면 2차 모멘트 증가에 따른 비선형 정적해석 결과

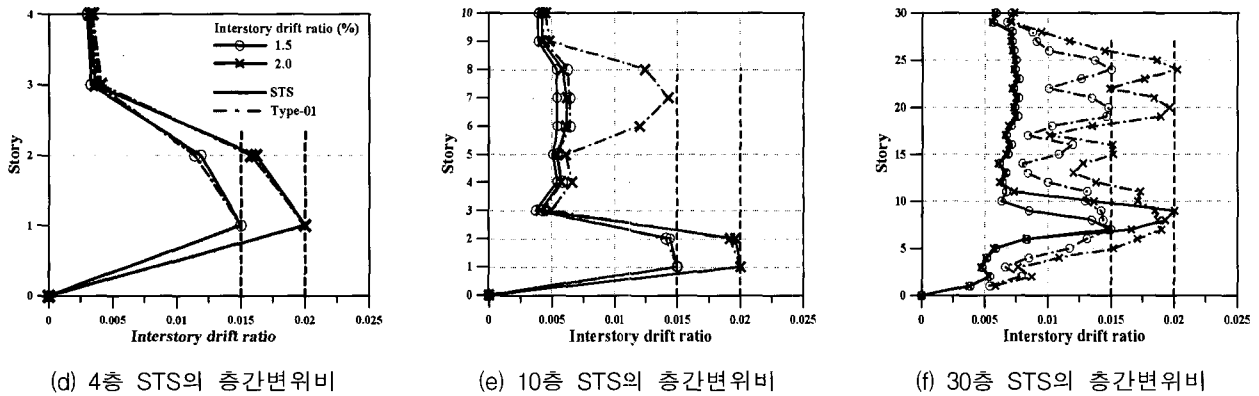
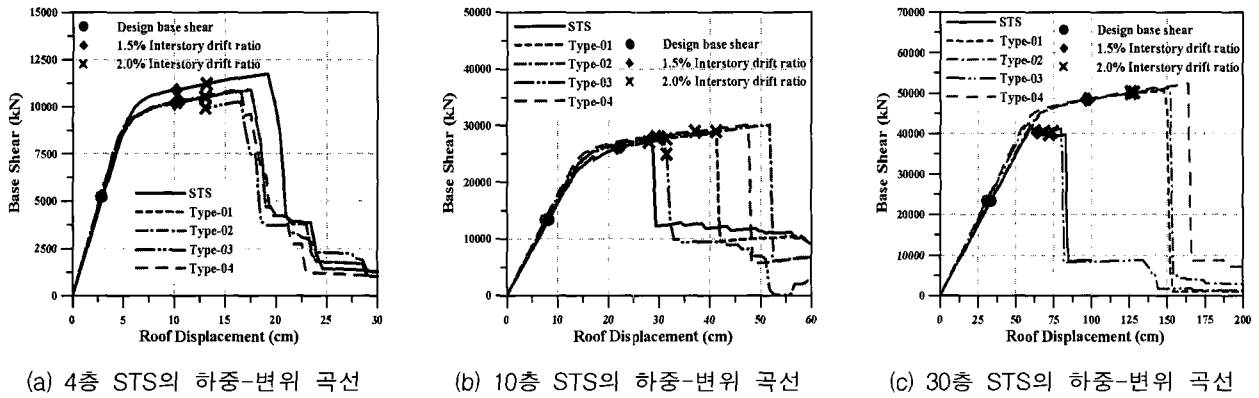


그림 15 비좌굴 가새가 설치된 STS의 비선형 정적해석 결과

패널의 상·하현재가 항복한 이후, 인근 수직재가 항복 혹은 좌굴이 발생하지 않기 때문에 소성변형이 좌우로 확산되지 않으며, 상대적으로 강성이 약한 다른 층의 비렌틸 패널 상·하현재로 전이되기 때문이다.

표 4 예제 구조물의 정의

예제 구조물	BRB 설치 위치
Type-01	비렌틸 패널의 수직재
Type-02	STS의 전체 수직재
Type-03	STS의 전체 사재
Type-04	STS의 전체 사재 및 수직재

그림 15(d)-(f)는 일반 STS와 비렌틸 패널 옆의 수직재에 BRB를 적용한 Type-01의 층간변위비가 각각 1.5%, 2.0%에 도달하였을 때의 그래프이다. 층수가 높아질수록 한 층에 집중되었던 층간변위가 상부층으로 전이됨을 알 수 있다. STS의 사재에 BRB를 적용한 Type-03의 경우(그림 15), STS의 내진성능 향상에 큰 영향이 없음을 알 수 있다. STS의 사재에 BRB를 적용할 경우 수직재 보강에 비해 취성적인 거동을 보이는 것으로 나타났다. 전체 가새를 BRB로 대체한 Type-04의 경우 비렌틸 패널의 수직재 보강이 포함되기 때문에 Type-01과 유사한 거동을 보이고 있다. 사재의 보강은 구조물의 거동에 거의 영향이 없으며, 경제적인 측면에서 Type-01, Type-02에 비해 효율적인 결과임을 알 수 있다. 결국 중·고층 STS의



경우 취성적인 거동을 보완하기 위해서는 STS의 수직재에 압축에 강한 BRB를 사용하는 것이 효과적인 것으로 나타났다. 특히 비렌달패널의 수직재에 BRB를 사용하는 것 (Type-01)이 성능대비 물량의 측면에서 가장 효율적이라고 할 수 있다. Type-01과 유사한 비탄성 거동을 보이도록 수직재의 단면 2차 모멘트를 증가한 경우는 BRB로 설계한 경우 보다 단면적이 약 2.5배 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 건축계획적인 이유로 부재의 단면을 증가시키는 것이 허용될 수 없는 경우에는 BRB를 사용하는 방법이 효과적일 것으로 사료된다.

## 7. 결 론

본 연구에서는 4층, 10층, 30층의 스테거드 트러스 시스템 및 모멘트골조, 가새골조를 설계하고, 비탄성 정적해석을 통하여 스테거드 트러스 시스템의 내진성능을 평가하였다. 해석 결과에 따르면 스테거드 트러스 시스템은 저층 구조물에서는 비교적 큰 내진성능을 보유하는 것으로 나타났다. 그러나 사재가 없는 중앙 비렌달 패널의 강성이 상대적으로 작기 때문에, 횡력에 의한 소성변형이 비렌달 패널의 상하현재에 집중되는 것으로 나타났다. 결과적으로 중·고층 이상의 구조물에서는 비렌달 패널 상·하현재에 소성변형 발생 후, 수직재가 항복하여 다른 층으로 소성변형이 전이되지 못하며 취성적인 거동을 보인다. 그러므로 스테거드 트러스 시스템의 연성능력을 확보하기 위해서는 비렌달 패널 수직재의 단면 2차 모멘트를 증가시키거나 BRB를 적용함으로써 비렌달 패널의 상하현재에 발생한 소성변형을 다른 층으로 전이시키는 것이 효과적이다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03산C04-01)에 의한 것임.

## 참 고 문 헌

1. Modern Steel Construction, *Aladdin Hotel*, American Institute of Steel Construction, 1999.
2. Modern Steel Construction, *Staggered Truss System Proves Economical For Hotels*, American Institute of Steel Construction, 2000.
3. AISC, *Steel Design Guide 14 : Staggered Truss Framing System*, American Institute of Steel Construction, Chicago, 2002.
4. Bungale S. Taranath, *Steel, Concrete, & Composite Design of Tall Buildings*, 1998.
5. 대한건축학회, *건축구조설계기준*, 2005.
6. AISC, *Load and resistance factor design specification for structural steel buildings*, American Institute of Steel Construction, Chicago, 2000.
7. MIDAS Genw, *General Structure Design System for Windows*, 2005.
8. Building Seismic Satety Council, *NEHRP Recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures (FEMA450) Part 1, 2*.