

이력에너지흡수 원리를 이용한 대경간 구조물의 내진설계(1)

—이선형 탄소성 이력거동에 의한 에너지 소산원리를 이용하는 방법—

Seismic Design of Long Span Structures Based on Hysteric Energy Absorption Mechanism(1)

정 명 채*
Cheong, Myung-Chae

원 성 대**
Won, Sung-Dae

요 약

공간구조의 지붕을 지지하는 기둥상단부에 탄소성기구를 설치하여, 설계 하중을 초과하는 지진동이 가해졌을 때 이 기구의 탄소성이력거동을 통하여 지진에너지가 흡수되는 효과를 검토한다. 이 효과로 지붕트러스로 전달되는 지진에너지가 저감되는 것을 입증하고 이러한 원리를 공간구조물의 제진설계에 활용할 수 있음을 입증한다. 트러스 형식의 지붕구조에 설계하중 이상의 외력이 가해지는 경우에는 구성부재의 좌굴파괴로 인한 건물전체의 취성붕괴가 예상되기 때문에 이러한 상황에서 구조안전성을 확보하는 설계법이 요망되며, 이 논문은 트러스 지붕에 전달되는 지진에너지를 감소시키는 설계방법을 제안하고 있다.

Abstract

This paper suggests a vibration control method long span structures with trussed roof. Basic concept of this method is based on the energy absorption through hysteresis loop of an elasto-plastic element. This element is attached on the top of the column supporting the roof. Two different types of roofs and three of earthquake waves are used in the investigation. It shows that this is very efficient method to reduce the seismic energy of roof member transferred from the column.

키워드 : 탄소성 이력루프, 좌굴, 트러스 지붕, 안전성, 지진에너지

Keywords : *Elasto-plastic hysteresis loop, Buckling, Trussed roof, Structural Safety, Seismic Energy.*

1. 서 론

돔이나 체육관 등의 공간구조물은 그 특성상 많은 인원을 수용할 것을 전제로 하고 있기 때문에 외부의 하중에 대한 구조적 안전성을 확보하는 일이 무엇보다 중요하다. 이들 구조물의 지붕은 전통적으로 트러스 형식이 자주 사용되어 왔다. 역학적으로 트러스의 구성 부재는

외력에 대하여 축 응력으로 저항하기 때문에, 외력이 설계하중을 초과하여 작용하는 경우에 트러스 부재가 좌굴에 의해 파괴될 수 있고, 이는 건물 전체의 취성붕괴를 초래할 수 있다는 것을 의미하므로 설계에서 반드시 피해야 할 붕괴형식의 하나이다. 지진하중과 같이 정부(正負)방향의 반복하중이 가해지는 경우에 그 안전성을 확보하는 일은 더욱 중요하다. 구조형식이나 지지조건에 따라서는 기초에 입력된 지진동이 기둥을 통해 지붕으로 전달되는 과정에서 진폭이 증폭되는 경우가 있으며, 이러한 경우에는 지붕의 취성파괴가 일어날 확률이 더욱 높다고 할 수 있다. 따라서 이러한 위험에 대한 안

* 정희원 · 전주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

Tel: 063-220-2720 Fax:063-220-2750

E-mail : syrius@jj.ac.kr

** ES구조 엔지니어링, 공학석사

전성을 확보하는 일은 설계상 매우 중요한 과제이다.

지진 하중하에서 좌굴에 대한 안전성을 확보하는 방법은 여러 가지가 있을 수 있다. 그 가운데 하나의 방법으로 이 논문에서는 지붕 트러스를 지지하는 기둥의 상단부에 탄소성기구를 설치하고, 구조물에 지진동이 입력되어 기둥을 타고 지붕으로 전달될 때 이 기구가 타 구조요소에 선행하여 소성역에 진입하면서 탄소성 이력 거동을 통하여 지진 에너지를 흡수하게 하여 지붕으로 전달되는 에너지의 상당 부분을 흡수하게 함으로서 지붕부재가 선형범위 내에서만 거동하게 하여 좌굴을 방지하는 설계방법을 검토한다.

지금까지 공간 구조물에 대하여 이 개념을 사용한 설계방법을 검토하고 제안한 연구는 거의 이루어지지 못했다. 이 논문에서의 검토결과 이 방법이 매우 유효한 것으로 나타났으며, 따라서 공간구조물의 내진 설계시 고려할 만한 방법으로 제안한다. 이 방법의 일반성을 입증하기 위해서는 보다 많은 종류의 공간구조물을 대상으로, 보다 많은 종류의 지진동에 대하여 검토하고 입증하여야 하겠으나, 이 논문에서는 경간대 지붕 높이의 비 $\alpha = r/s$ 와 상현재와 하현재간의 높이의 비 $\beta = d/h$ 를 변수로 정하고 각각 세 종류의 값을 선정하여 모델의 형상을 결정한 후, 이들에 대하여 탄소성기구의 에너지 흡수능력을 검토하였으며, 검토 방법은 탄소성기구를 설치하기 전과 후에 지붕부재에 발생한 축응력을 비교하는 방법을 사용하였다. 검토에 사용한 지진동은 기록 지진동 세 종류를 사용하였다. 또한 구조해석의 결과를 바탕으로 하는 검토에 있어서 2D 구조물을 검토하는 경우와 3D 구조를 대상으로 검토할 때 다소 응답의 차이가 있겠으나, 여기서는 2D 구조물을 대상으로 검토하고 있다.

2. 연구모델

본 연구에 사용한 모델의 기본형상을 <그림 1>에 표시하였다. 이 구조는 평면 규모의 체육관을 가정하여 설계한 후, 그 가운데 하나의 프레임을 취한 것이다. 이 논문에서는 앞 절에서 설명한 α 의 값을 0.0, 0.13 및 0.2

의 세 가지 값에 대하여, 그리고 β 의 값으로는 1/8, 1.5/8 및 1/4의 값에 대하여, 총 9가지 모델을 정하고 이들에 대하여 검토한다. 또 이들 모델의 지붕은 모두 복층의 트러스 구조형식으로 가정하였으며, 기둥은 모두 동일 규격으로 크기의 SRC구조로 가정한다. 기둥 상단부와 지붕 사이의 지지점 방향으로 약 정도는 콘크리트 기둥 내부의 H-형강만 돌출한 것으로 가정하여 이것을 탄소성기구로 가정한다. 이것은 상대적으로 이 부분의 강성을 약하게 하여 극한 하중하에서 이 부분이 타 요소에 선행하여 소성역에 진입하게 하는 탄소성기구로 상정하였기 때문이다. 지붕부재의 단면은 자중과 적재하중 ($0.1KN/m^2$)이 동시에 작용하는 것으로 가정하여 설계하였으며 전술한 것처럼 기둥은 정사각형 단면의 SRC, 지붕부재는 강재 파이프로 구성되어 있으며 기둥 높이는 이다. 기둥상단과 지붕 트러스의 왼쪽 지점에서는 핀 지지, 오른쪽 지점은 고정단으로 가정하였으며, 부재설계는 KBC 2005²⁾기준에 따라 설계하였다. 또 수직재와 수직재간의 간격은 상현재와 하현재간의 간격과 동일하게 가정하였다. 지붕 트러스 부재는 모두 동일규격의 부재를 사용하였으며 재질은 SS400으로 하였다. 표 1과 2.에 기둥 및 지붕 부재의 제원을 각각 표시하였다.

< 표 1 > 기둥부재 제원과 물성치

| Steel H - 400×250×6/12(mm) | |
|----------------------------|-----------------------------------|
| 영계수(E) | $2.0594 \times 10^8 \text{ kN/m}$ |
| 프와송비(ν) | 0.3 |
| Weight Density(γ) | $7.85 \text{ kN/m}^3/\text{g}$ |
| Concrete - 600×600(mm) | |
| 영계수(E) | $2.3236 \times 10^7 \text{ kN/m}$ |
| 프와송비(ν) | 0.167 |
| Weight Density(γ) | $2.4 \text{ kN/m}^3/\text{g}$ |

< 표 2 > 지붕부재 제원

| 부 재 | | 규 격 |
|-----|-----|-------------------------|
| 현 재 | 상현재 | $\phi 114.3 \times 5.6$ |
| | 하현재 | $\phi 101.6 \times 7$ |
| 사 재 | 사 재 | $\phi 60.5 \times 4$ |
| | 수직재 | $\phi 60.5 \times 4$ |

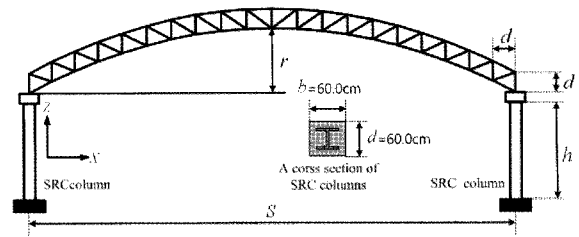
3. 탄소성지진응답해석

탄소성 요소의 이력거동을 통한 에너지 흡수기구(탄소성기구)는 기둥의 상단부와 지붕구조를 연결하는 지지점에 설치되는 것으로 가정한다. 지진응답해석에서는 이것을 스프링 요소로 모델링하여 검토하였다. 이 기구는 기둥부재의 SRC요소에 비해 선형하여 항복할 수 있도록 가정하였으며, 본 논문에서는 SRC기둥 상단부에 H-형강만 돌출하게 하는 것을 상정하여 해석변수를 산정하였다.

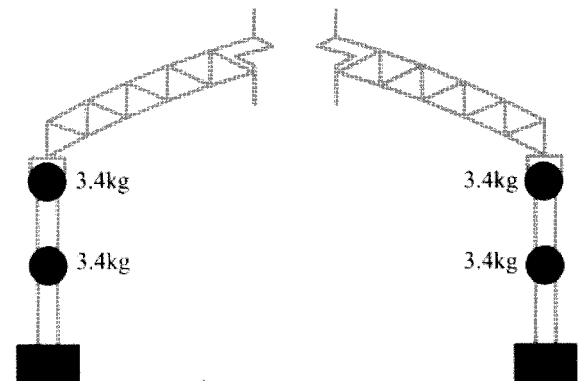
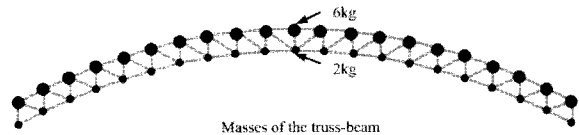
탄소성기구의 에너지 흡수 능력을 검토하기 위하여 3 종류의 기록 지진동을 사용한 탄소성 지진응답해석을 수행하였는데 이들은 각각 El-Centro NS(PGA=0.34G), Taft(PGA=0.18G) 및 Mexico (PGA=0.17G) 지진동이다. 이 가운데 El-Centro NS 지진동 성분은 처음부터 끝까지 비교적 에너지 성분이 강하게 지속되는 특성이 있으며, Taft지진동은 장주기 성분을 포함하고 있고, Mexico지진동은 진원에서 매립지를 통과하면서 진폭이 증폭되는 특징을 각각 지니고 있다.

지진응답해석을 위하여 9종류의 구조물을 모델링 하는 과정에서 지붕과 기둥의 질량분포는 <그림 2>에서 표시한 것과 같은 방법으로 하였다. 이 그림에서 보는 것처럼, 지붕의 경우 상현재의 각 절점에서는 자중을 고려하여 씩, 하현재의 각 절점에서는 씩의 집중 질량을 배치하였다. 모든 모델에 대하여 질량 값은 동일하게 가정하였으나 모델별로 질량의 위치 및 강성의 차이는 있다. 또 기둥부재는 <그림 2>에 표시한 것처럼 하나의 기둥을 두 개의 절점으로 모델링하였다.

탄소성 기구의 거동을 표현하기 위하여 기둥과 지붕의 지지점에 스프링 요소를 배치하였으며 이 스프링요소의 탄소성 이력모델은 <그림 3>과 같이 이선형(bi-linear)모델로 가정하였으며, 이때 초기 강성은 $K_1=2540kN/mm$ 으로, 그리고 항복 후 강성은 $K_2=0.1K_1$ 로 각각 가정하였다. 항복전단력 Q_y 는 다음과 같이 가정하였다. 먼저 이 스프링의 재질을 SS400로 가정하고, 그 항복응력을 $f_y=235MPa$ 로 가정하여, 그 값을 안전율 1.5로 나눈 값으로 하였다.



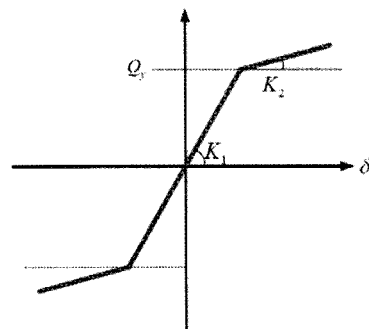
<그림 1> 연구모델의 형상



Masses of SRC columns

<그림 2> 지붕과 기둥의 질량분포의 가정

다음으로 이 값을 $\sqrt{3}$ 으로 나눈 값 $90MPa$ 를 허용전단응력으로 하였다. 마지막으로 스프링의 항복전단력은 그 값에 단면적 $A=55,56cm^2$ 을 곱하여 $Q_y=500kN$ 으로 하였다. 이때 단면적은 표 1.에 표시한 H-400×250×6/12(mm)강재의 단면적을 대상으로 하였다.



<그림 3> 스프링 요소의 탄소성 이력모델

탄소성 지진응답해석은 9가지 모델에 대하여 탄소성 기구가 부착된 경우와 안된 경우, 그리고 3가지지진동에 대하여 도합 54 가지 경우에 대하여 상용 팩키지 프로그램 MIDAS[®]을 사용하여 수행하였다.

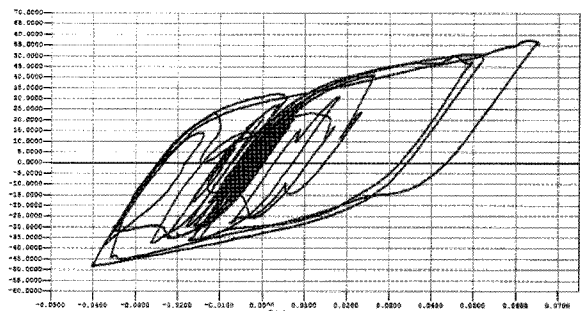
4. 탄소성기구의 에너지흡수 효과

전술한 54 가지 경우에 대하여 탄소성지진응답해석을 수행한 결과를 바탕으로 지붕트러스 부재의 축 응력을 비교하여, 탄소성 기구의 지진에너지 흡수 효과를 검토하였다.

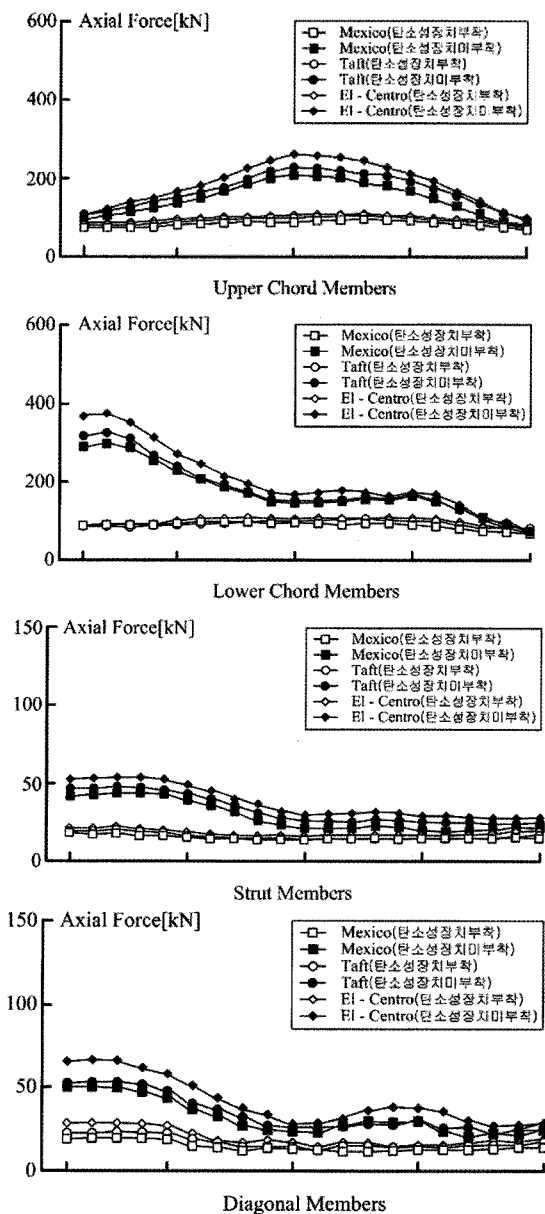
〈그림 4〉는 탄소성기구를 부착한 모델 가운데 하나에 Mexico지진동이 입력되었을 때의 탄소성기구의 이력거동을 지진응답해석 결과로부터 얻은 것이다. 가정된 대로 이선형 이력거동을 나타내고 있으며 곡선내부의 면적이 에너지 흡수능력을 표시한다. 이 이력거동을 통하여 입력된 지진동 에너지가 흡수되고 그 나머지가 지붕으로 전달된다고 볼 수 있다.

〈그림 5〉는 $\alpha=0, \beta=1/4$ 의 모델에 대한 해석결과를 표시한 것으로, 그림으로부터 상현재의 경우는 탄소성기구가 부착되지 않은 상태에서는 좌우측 지점부근의 부재에서는 중앙부의 부재의 비해 작은 값의 축 응력이 발생하였으나 탄소성기구를 부착한 경우에는 모든 상현재에서 발생한 축 응력 값이 비교적 일정한 값으로 분포하고 있음을 알 수 있다. 또한 지진동의 종류에 따른 축 응력 값의 차이도 탄소성기구를 부착하기 전에 비해 부착 후의 값 차이가 작은 것으로 나타나고 있다. 따라서 탄소성기구의 이력거동에 의한 에너지 흡수효과는 양쪽 지점에서는 작고 중앙부 부재에서 크다고 할 수 있다. 하현재의 경우는 탄소성기구 부착전의 축 응력은 좌측 지점 근처의 부재들에서 상대적으로 크게 발생하였고 우측 지지점에서는 최소 값을 나타내었으나, 탄소성기구를 부착한 경우에는 상현재의 경우와 마찬가지로 모든 부재에서 거의 일정한 값으로 나타나고 있음을 알 수 있다. 지진동 종류에 따른 응력 값의 차이도 상현재와 유사하게 나타났다. 탄소성기구를 부착한 모델에서 모든 부재에서 발생한 축 응력 값이 거의 일정하게 발생하는

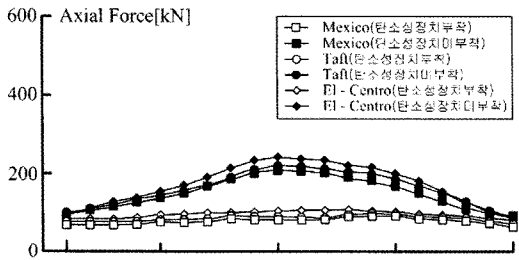
현상과 지진동의 종류에 따른 응력 값의 차이가 감소하는 현상은 수직재와 사재의 경우도 유사하게 나타났다.



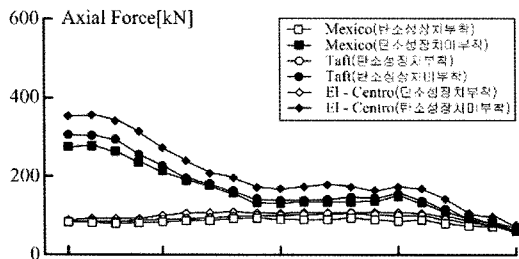
〈그림 4〉 스프링 요소의 탄소성 이력거동



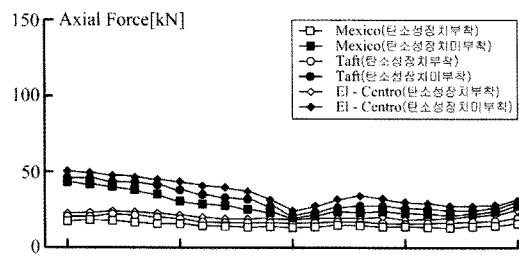
〈그림 5〉지붕부재 축응력($\alpha=0, \beta=1/4$)



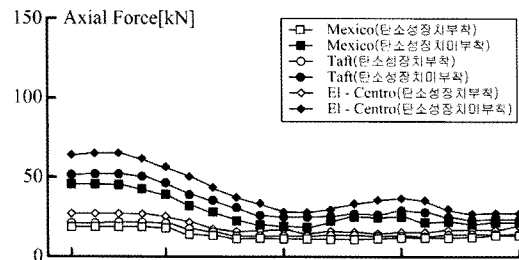
Upper Chord Members



Lower Chord Members



Strut Members

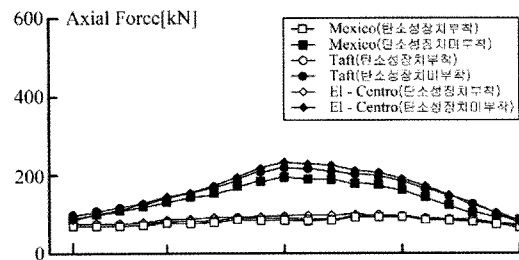


Diagonal Members

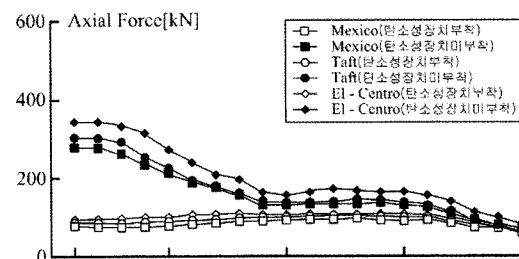
(그림 6) 지붕부재 축응력 ($\alpha=0, \beta=1.5/8$)

다만 지진동 종류에 따른 응력값의 차이는 타 부재에 비해 사재에서는 상대적으로 크게 나타난다. 하현재 및 사재의 경우, 지진동의 전구간에 걸쳐 비교적 강한 에너지가 지속되는 El-Centro파에 대해서 기구 부착 전에는 상대적으로 큰 축력이 발생하였으며, 기구 부착 후에는 이 차이가 하현재에서는 대폭 감소하였으나 사재에서는 약간의 차이를 보이고 있다. 그러나 그 차이는 기구설치 후에는 분명 감소하는 것으로 나타났다.

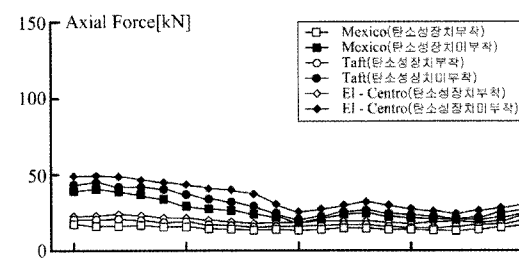
(그림 6)은 $\alpha=0, \beta=1.5/8$ 인 모델의 탄소성 기구를 부착하기 전후의 전술한 세 가지 지진동에 대한 축 응력을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 축 응력



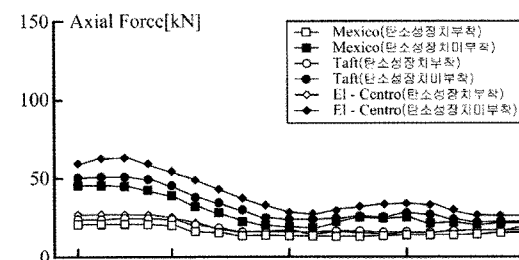
Upper Chord Members



Lower Chord Members



Strut Members



Diagonal Members

(그림 7) 지붕부재 축응력 ($\alpha=0, \beta=1/8$)

값의 분포가 (그림 5)와 유사하다. 따라서 평지붕 트러스이고 상하현재의 높이가 증가한 경우의 응력차이는 크지 않다고 할 수 있다.

(그림 7)은 $\alpha=0, \beta=1/8$ 모델의 탄소성 기구를 부착하기 전후의 전술한 세 가지 지진동에 대한 축 응력을 나타낸 것이다. 전체적인 경향은 $\beta=1/4, 1.5/8$ 의 경우와 유사하나, 탄소성 기구를 설치한 모델의 사재에 발생한 지진동 종류에 따른 값의 차이가 줄어든다는 점이 다르다. 이상의 검토에서 탄소성 기구의 에너지 흡수효과는 모든 부재에서 명확히 나타나며 그 결과 부재의 위치에 관계없이 대략 일정한 축 응력을 발생시키며, β (상하현

재 간의 간격)이 작을수록 지진동의 종류에 따른 응력 값의 차이가 줄어드는 것으로 나타났다.

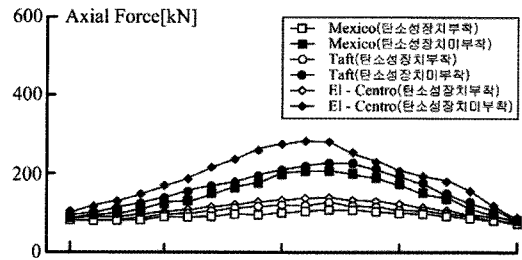
〈그림 8〉은 $\alpha=0.13, \beta=1/4$ 인 모델의 탄소성 기구를 부착하기 전후의 전술한 세 가지 지진동에 대한 축 응력을 나타낸 것이다. $\alpha=0$ (평지붕)인 모델에 비해 지진동의 종류에 따른 축 응력 값 차이가 탄소성 기구의 설치 유무와 관계없이 상대적으로 크게 나타나고 있다. 특히, 하현재와 사재에서 그 차이가 크게 나타나고 있다.

〈그림 9〉는 $\alpha=0.13, \beta=1.5/8$ 인 모델의 탄소성 기구를 부착하기 전후의 전술한 세 가지 지진동에 대한 축 응력을 나타낸 것이다. 〈그림 8〉의 경우와 비교하면 사재를 제외한 모든 부재의 축 응력이 입력 지진동의 종류에 따른 축 응력 값의 차이가 현저하게 줄어들고 있는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 탄소성 기구의 부착 유무와 관계없이 나타났으며, 사재에서는 이 차이가 탄소성 기구 설치된 모델에서 상대적으로 약간 크게 나타나고 있다.

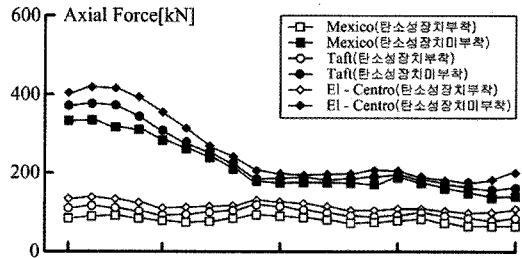
〈그림 10〉은 $\alpha=0.13, \beta=1/8$ 인 모델의 탄소성 기구를 부착하기 전후의 전술한 세 가지 지진동에 대한 축 응력을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것처럼 축 응력 값의 분포가 $\beta=1.5/8$ 의 모델과 거의 유사하게 나타났다.

이상의 검토로부터 α 값이 0에서 0.13으로 증가하는 경우 $\beta=1/4$ 에서 입력 지진동의 종류에 따른 응력 값의 차이가 커지며, $\beta=1.5/8, 1/8$ 에 대해서는 $\beta=1/4$ 에 비해서 그 값의 차이가 줄어들며 두 경의 응력 값은 유사하게 나타났다.

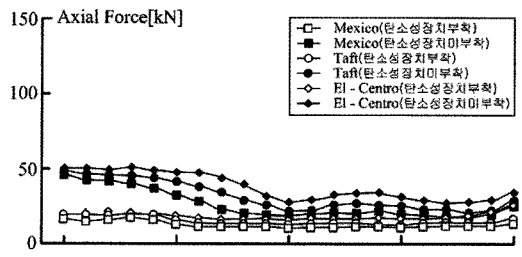
〈그림 11〉은 $\alpha=0.2, \beta=1/4$ 인 모델의 탄소성 기구를 부착하기 전후의 전술한 세 가지 지진동에 대한 축 응력을 나타낸 것이다. 이 그림에서 보는 것처럼의 값이 0에서 0.13, 0.2로 증가함에 따라 탄소성 기구 설치하기 전 모델에서는 입력 지진동 종류에 따른 축 응력 값의 차이가 커지는 경향을 보이고 있다. 그러나 설치후의 축 응력 값들은 설치 전에 비해 상당히 줄어들고 있는 것으로 나타났다. 특히, 하현재의 경우는 탄소성 기구 설치 전후의 입력 지진동의 종류에 따른 응력 값의 차이가 현저하게 줄어드는 것으로 나타났다.



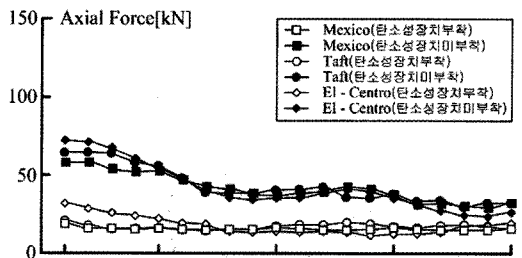
Upper Chord Members



Lower Chord Members



Strut Members

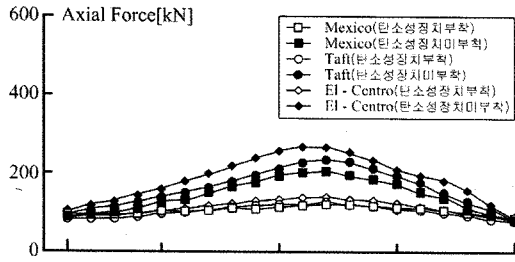


Diagonal Members

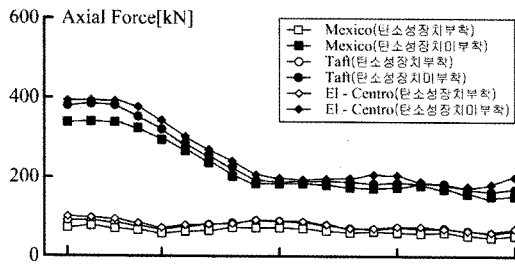
〈그림 8〉지붕부재 축응력($\alpha=0.13, \beta=1/4$)

〈그림 12〉는 $\alpha=0.2, \beta=1.5/8$ 인 모델의 탄소성 기구를 부착하기 전후의 전술한 세 가지 지진동에 대한 축 응력을 각각 나타낸 것이다. 이들 그림에서 알 수 있는 것처럼 $\alpha=0.2$ 인 모델에서는 탄소성 기구를 설치하기 전에는 El-Centro NS지진동에 대한 하현재의 축 응력 값이 우측 지지점으로 갈수록 크게 나타났으나 기구를 설치한 후에는 이 값이 현저하게 감소하고 있는 것을 알 수 있다.

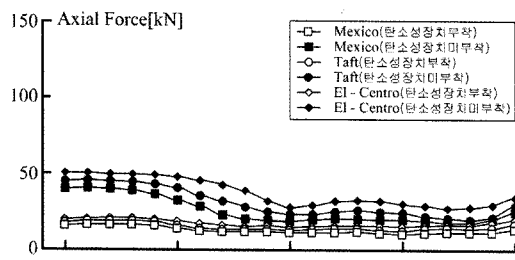
〈그림 13〉에서 보는 것처럼, 이러한 경향은 $\beta=1/8$ 에서도 유사하다. $\alpha=0.2$ 인 모델에서는 β 의 값에 관계없이,



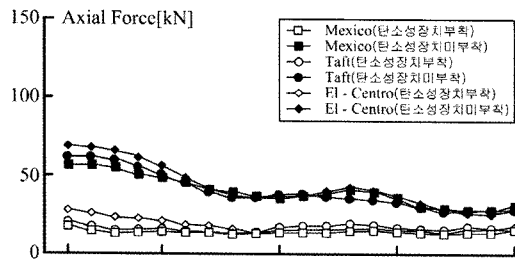
Upper Chord Members



Lower Chord Members

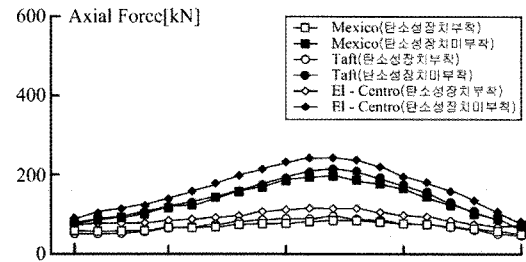


Strut Members

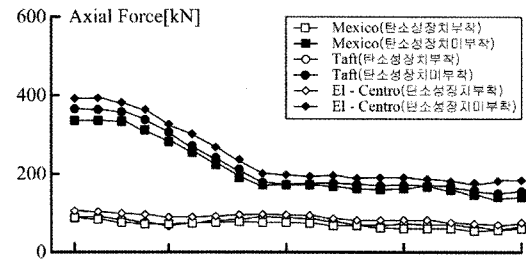


Diagonal Members

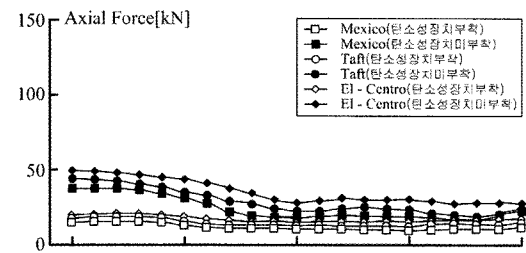
〈그림 9〉지붕부재 축응력 ($\alpha=0.13, \beta=1.5/8$)



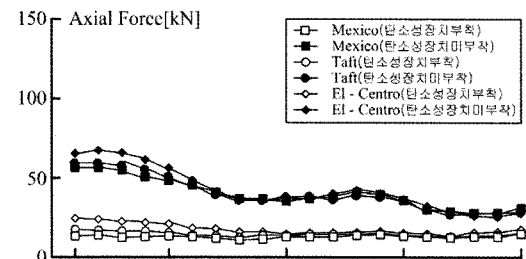
Upper Chord Members



Lower Chord Members



Strut Members



Diagonal Members

〈그림 10〉지붕부재 축응력 ($\alpha=0.13, \beta=1/8$)

입력 지진동의 종류에 관계없이 탄소성 기구의 이력에너지 흡수효과가 큰 것으로 나타났다.

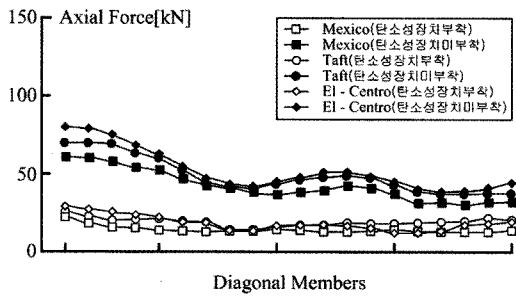
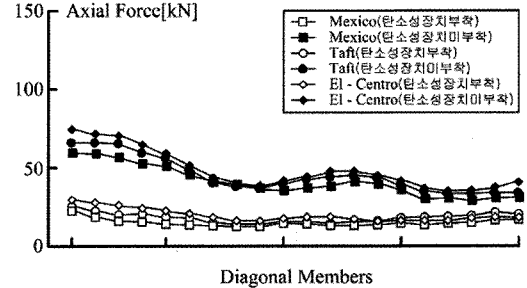
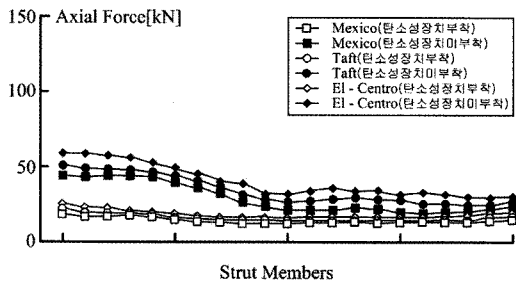
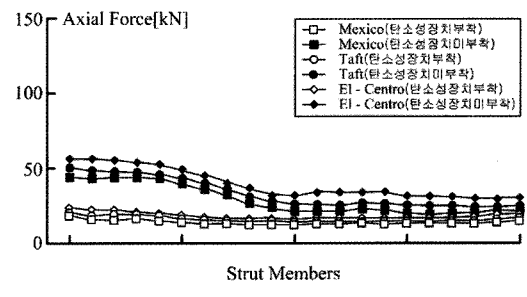
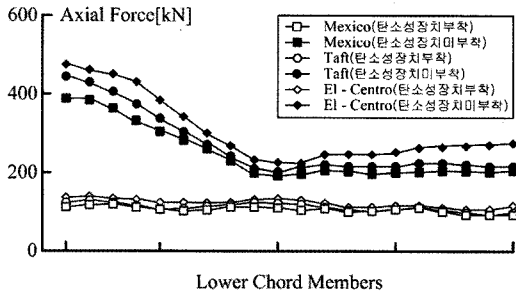
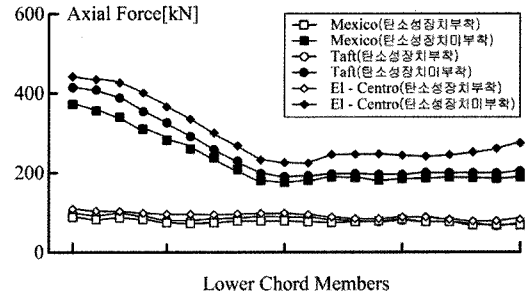
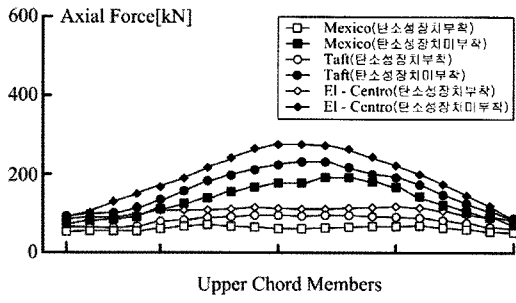
한편, 탄소성 기구를 설치하기 전의 모델에서 부재 위치별 응력 값의 분포의 차이가 있었던 것에 비해 설치 후에는 부재 위치별 축 응력 값이 거의 일정한 값으로 분포하는 것은 α 의 값과 β 의 값에 관계없이 동일하게 나타났다.

이상의 검토에서 탄소성 기구의 이력거동을 통한 입력 지진동의 에너지 감소효과가 모든 모델에서 큰 것으로 나타났다. 이 효과는 입력 지진동의 종류, α 및 β 의 값

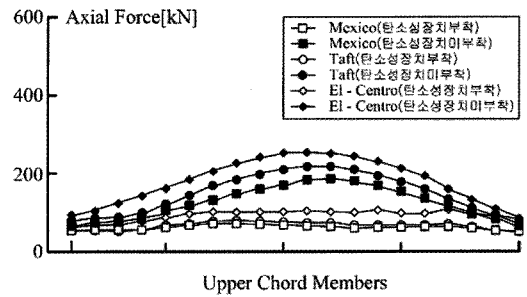
에 관계없이 큰 것으로 나타났으며, 탄소성 기구에 의한 에너지 저감의 정도는 α, β 값 보다는 이력특성과 이 기구의 구조 역학적 특성에 의존 하는 것으로 조심스럽게 추정할 수 있다.

5. 결론 및 향후 과제

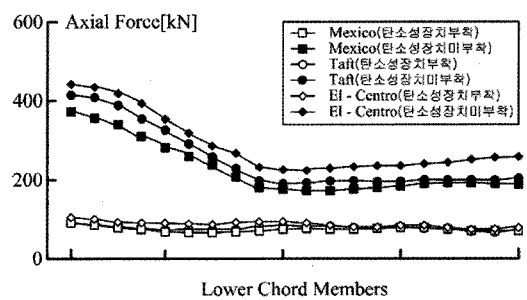
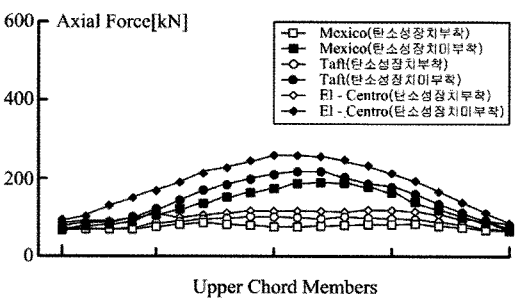
이 논문에서는 α 의 값이 0.0, 0.13 및 0.2로 변화하고 β 의 값이 1/8, 1.5/8, 1/4로 변하는 복층의 지붕 트러스를 강성이 큰 기둥으로 지지되고 기둥 상단부에 이선형 이력모델을 가지는 탄소성 기구를 설치하여 입력되는

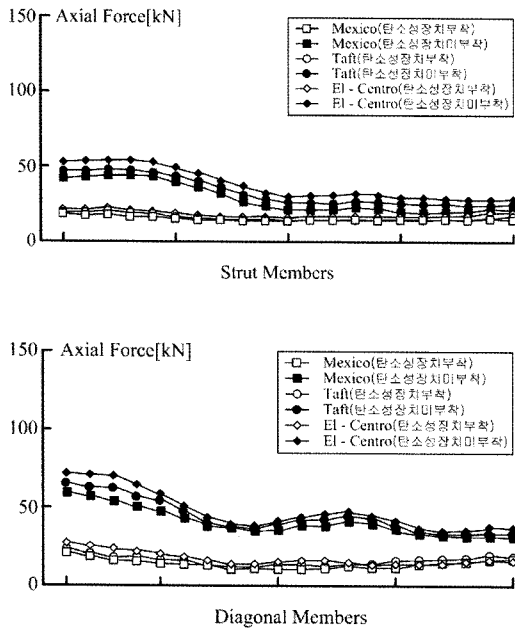


<그림 12>지붕부재 축응력($\alpha=0.2, \beta=1.5/8$)



<그림 11>지붕부재 축응력($\alpha=0.2, \beta=1/4$)





〈그림 13〉지붕부재 축응력 ($\alpha=0.2, \beta=1/8$)

지진 에너지를 상당부분 감소하게 하는 설계방법의 유효성에 관하여 검토하였으며, 검토결과로부터 다음과 같은 결론을 유추할 수 있다. 여기서 α, β 는 서론에서 정의한 것처럼 각각 경간대 지붕 높이의 비, 상현재와 하현재간의 높이의 비를 나타낸다.

(1) 탄소성 기구의 이력에너지 흡수에 의한 지붕 트러스 부재의 축 응력의 감소효과는 α (지붕 높이에 대한 경간의 비)와 β (상현재간의 높이에 대한 층고의 비)의 값 및 입력 지진동의 종류에 관계없이 모든 부재에서 크다.

(2) 이 효과로 트러스 부재에 발생하는 응력 값이 부재의 위치에 관계없이 부재의 종류별(상현재, 하현재, 수직재 및 사재)로 비교적 일정한 값으로 분포한다.

탄소성이력 거동에 의한 에너지 흡수효과는 이력곡선에 둘러싸이는 내부의 면적에 해당한다. 이런 점을 고려하면 탄소성 기구의 거동이 미끄럼 탄소성거동을 하는 경우는 에너지 저감효과가 이선형 모델의 경우에 비해 클 것으로 예측된다. 따라서 미끄럼탄소성 이력특성을 가지는 기구의 효과에 대한 에너지 저감효과의 검토가 필요하다고 판단된다.

—참고문헌—

1. 壓村昌明, 半剛接單層ラチスドームの挫屈應力度とその耐力推定への應用に關する解釋的研究(1996), 豊橋技術科學大學(博士學位論文)
2. 대한건축학회(2005), 건설교통부고시 건축구조설계기준
3. MIDAS Gen. User's Manual, Ver. 7.70
4. Shiro Kato, Jong-Min Kim and Myung-Chae Cheong(2003), A new proportioning method for member sections of single layer reticulated domes subjected to uniform and non-uniform loads, Engineering Structures, Vol 25(2003), 1265-1278.
- 5 日本建築學會(1989), 單層ラチスドームの安定解析(現象と問題點)

▶ 접수일자 : 2009년 12월 26일

▶ 심사 완료일자 : 2010년 2월 4일

▶ 게재 확정일자 : 2010년 2월 10일