

# 시저스 전개형 구조의 형상변화와 구조특성

## Characteristics and a Variation of Profile Shape in Scissors Deployable Structure

최은미\*  
Choi, Eun-Mi

이주나\*\*  
Lee, Ju-Na

박찬수\*\*\*  
Park, Chan-Soo

### 요약

본 연구는 설치와 해체가 용이하여 간이식 구조에서 활용되는 시저스 전개형 구조에 관한 것으로, 입면상의 곡률변화 방법을 고찰하고 그에 따른 구조특성을 파악하고자 한 것이다. 먼저 시저스 구조의 입면상 곡률과 시저스부재의 내부절점 편심거리와의 관계를 식과 그래프를 이용하여 나타내었다. 이에 따라, 동일한 시저스부재에서 내부절점 편심거리를 조절하여 곡률을 변화시킬 수 있는 해석모델을 고찰함으로써, 곡률변화에 따른 시저스 구조부재들의 구조적 특성을 고찰하였다. 또한 고찰된 구성 방식에 근거하여 실 모델을 제작하고 전개과정을 살펴봄으로써 실제 전개가능성을 검토하였다.

### Abstract

In scissors deployable structure which could be easily removed by folding it, a method of curvature variation in the profile and the structural characteristics were examined. At first, the relation between the profile curvature and a eccentricity of joint in scissors members is presented by a formula and a graph. And then, the structural characters of scissors members with the curvature variation are presented by analysing a several models based on this relation. Also, a real modeling study is achieved in accordance with this composition method and the possibilities to be developed with the expected profile shape was examined.

키워드 : 전개형 구조, 시저스 구조, 형상변화, 곡률, 모델링 스테디

Keywords : Deployable structure, scissors structure, profile variation, Curvature, Modeling Study

## 1. 서론

전개형 구조(Deployable Structure)는 구조체의 절점을 힌지로 대체하여 접고 펼 수 있도록 한 구조물이다. 부피를 줄이고 확장시킬 수 있는 특성을 지닌 전개형 구조는 설치와 해체가 용이하고 높은 이동성을 가지고 있으므로, 재사용이 가능하고 필요에 따라 설치할 수 있는 등 다양한 활용성을 가지고 있다. 이에 슬라이딩식이나 시저스식, 겹침식, 말이식 등 다양한 전개방식을 가진 구조시스템들에 대하여 연구가 이루어져왔고 실제 실용적인 구조시스템들

이 개발되고 있다.

그중 시저스형 전개방식은 활용도가 매우 높은 방식이라 할 수 있는데, 가위형식을 빌려 형상을 접었다 폼으로써 구조물이 전개되며, 전개된 후에도 하중에 저항하는 구조체로써 구성될 수 있다. 이러한 특성은 다양한 구조형태와 공간을 만들어내는 경량의 간이식 전개형 구조로도 활용될 수 있다고 보는데, 본 논문에서는 여러 임시 가설건축 용도에 활용도를 높이기 위하여 시저스 타입의 전개형 구조에서 곡률변화를 가능하게 하는 구성방식에 대하여 고찰해 보고자 한다.

우선 시저스 전개형 구조의 기본 구성원리를 바탕으로 하여 시저스 구조의 곡률변화를 가져오는 원리를 파악하고, 곡률변화와 부재구성의 관계를 손쉽게 인지할 수 있게 하고자 한다. 또한 곡률변화에

\* 교신저자, 정회원 · (주)바로건설기술, 공학석사

Tel : 02-413-6503(25) Fax : 02-413-6503

E-mail : ssuniyam@naver.com

\*\* 정회원 · 충북대학교 산업과학기술연구소 학술연구교수

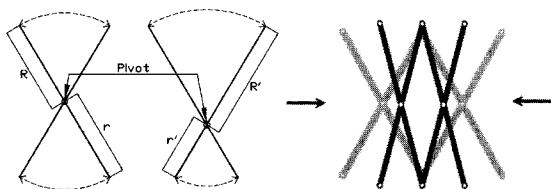
\*\*\* 정회원 · 충북대학교 건축공학과 교수, 공학박사

따른 구조거동을 고찰하고 이에 따른 모형작업을 통하여 전개성능을 탐색함으로써 시저스 구조시스템의 적용가능성을 넓혀보고자 한다.

## 2 시저스 전개형 구조의 원리 및 발달과정

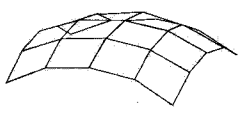
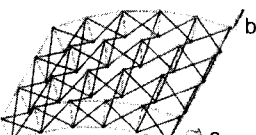
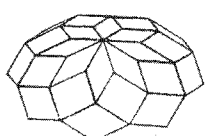
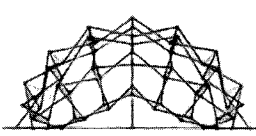
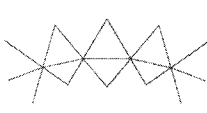
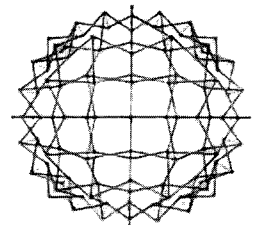
### 2.1 시저스의 원리

시저스 전개형 구조는 가위와 같이 회전이 자유롭도록 힌지로 결합된 두 부재를 기본 요소로 하여 이루어진 구성체를 말한다(그림 1). 중앙의 힌지를 이용하여 접고 펼 수 있는 전개형 구조가 형성될 수 있으며, 이 시저스 요소를 변화시키고 연속시켜 다양한 형태와 큰 규모의 전개구조가 구성된다. 또한 시저스 구조는 평면형 외에도 구면형과 같은 구성변화를 가져 올 수 있는데, 크게 평행형과 방사형 또는 자오선 형의 패턴변화와 입면상의 곡률변화를 통하여 다양화 될 수 있다(<표 1> 참조).



<그림 1> 시저스 구조의 원리

<표 1> 시저스 구조의 구성변화

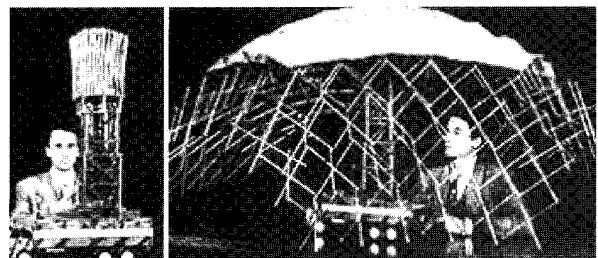
패턴변화	곡률변화
 <p>평행형</p>	
 <p>방사형</p>	
 <p>자오선형</p>	

일정한 크기의 부재배열 방법으로 쉽게 구조물을 만들 수 있다는 점에서 시저스 구조는 패널, 막, 케이블 등으로 이루어진 전개형 구조에 비해 제작이 쉬우며, 기하학적인 구조미를 보인다. 다만 자유롭게 회전하는 시저스 부재를 계획된 위치에서 고정하여 전개형 구조가 전개 후 형상을 유지하고 구조물로서 작용할 수 있도록 하는 고정방법이 필요하게 된다.

### 2.2 시저스 구조의 발달과정

시저스를 바탕으로 한 전개형 구조는 보관, 이동, 설치가 용이하고, 재사용이 가능하다는 점에서 장점을 인정받아 이른 시기부터 연구와 응용이 계속되어 왔다. 연구는 주로 원활한 전개과정과 전개후의 구조체 저항능력을 확보하는 것에 주안점을 주고 발전해 온 것으로 보인다.

2-D식 전개형 구조는 이미 오래전 레오나르도 다 빈치가 고안해냈다고 하는데, 이 시저스 원리를 이용하여 3-D 전개형 구조를 고안한 사람은 스페인 건축가 Emilio Perez Pinero으로 알려져 있다. 1961년 그는 런던에서 강성부재와 케이블을 이용하여 이동극장(그림 2)을 계획했다.

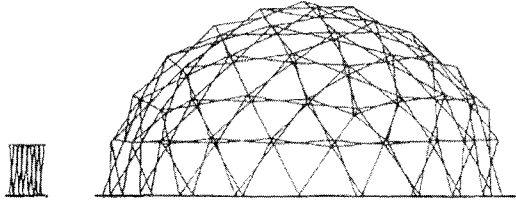


<그림 2> Pinero와 이동극장

그가 제안한 구조물은 전개 전·후 뿐만 아니라 전개과정에서 부재에 응력이 생기지 않았지만, 최종 형상에서 구조물의 안정을 위해 케이블과 같은 부가적인 고정 장치가 요구되었다.

이러한 문제점을 인식하고 Zeigler은 1974년 외부 고정 장치없이 지지될 수 있는 구형 돔(그림 3)을 제안하였다. 그러나 Zeigler의 돔은 전개된 후 부재에 휨이 발생하여 하중저항능력에 감소를 가져온데 한계가 있었는데, 이 휨의 원인은 후에 Clarke에 의

해 기하학적인 이론으로 규명되었다<sup>1-3)</sup>.



〈그림 3〉 Zeigler의 돔, 전개 전후

1970년대 후반부터는 상하현재나 수직부재 등에 부재를 삽입하여 시저스 시스템의 보강을 고안한 시스템이 다수 제안되었으며, 1980년대 후반 시저스 구조에 대한 연구가 다양해 졌는데, 1984년 Felix Escrig의 연구가 대표적이다. 그는 구면을 그리드로 분할하는 방법과 입체 그리드를 곡면으로 만들기 위한 조건과 방법을 연구하였다. 특히 이 시기에는 우주구조물로서 시저스 구조의 활용범위가 확장된 시기이기도 하다. 따라서 접어 이동할 때의 경량성을 고려하여 상하현재가 보강된 시저스 시스템이나 자동으로 개폐되는 시스템 등이 다수 연구되었다<sup>4)</sup>.

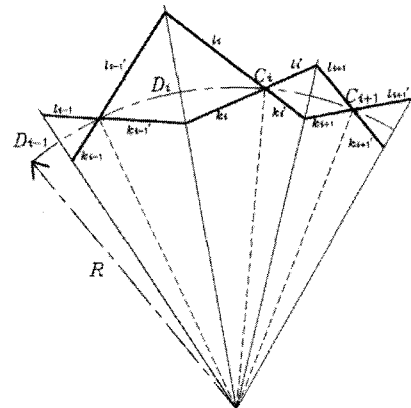
또한 Pellegrino의 연구도 주목되는데, 우주에서 전개되는 성능에 주목하여 보강재로서 연속적인 케이블을 사용하는 시저스 시스템을 개발하였다. 연속적인 케이블 도입을 통하여 프리스트레스 도입을 제안하고 있으나, 구조전체의 구조성능을 높이기 보다는 케이블의 탈선을 막기 위한 소극적인 역할이었다.

또한 일본의 코나가와는 1990년대 후반에 신축기능을 극대화시킨 후프식 시저스아치를 제안하고 있다. 이것은 Pellegrino시스템과 유사한 것이나 상하현재의 보강없이 아치형태를 취하고 있다. 그리고 일본의 사이토는 장현 시저스 시스템<sup>5)</sup>(String Scissors System)으로 수직재와 인장 상하현재의 보강을 통해 구조제어능력을 보다 높은 시저스 구조시스템을 선 보였다. 또한 전개형 구조에 대한 전반적인 이론적 연구는 Gantes에 의해 다수 정리되었다. 살펴본 바와 같이 기존의 연구는 시저스의 전개능력 자체에 중점을 두고, 보강재의 추가나 프리스트레스의 도입을 통하여 전개 후에 구조성능을 발휘하도록 고안되어 왔다.

본 연구에서는 이와 같은 시저스 구조시스템에서 보다 다양한 형태구성을 위하여 곡률변화를 쉽게 시도하고, 전개 후 구조거동의 특성을 파악함으로써 간이식 시저스 전개형구조의 활용성을 높이고자 한다.

### 3. 시저스 구조의 곡률변화 방법

앞서 언급한 바와 같이 시저스 구조 각 요소의 결합위치는 전체 구조물 형상에 영향을 미친다. 따라서 구성하고자 하는 곡면과 형태에 따라 시저스부재길이와 결합위치를 선정하여 배열하여야 하는데, 예를 들어 Escrig는 2방향 시저스로 구성된 구형 그리드에 초점을 맞추어 곡면으로 전개할 수 있는 입체 그리드를 만드는 기하학적 조건을 다음과 같이 제시하기도 하였다.



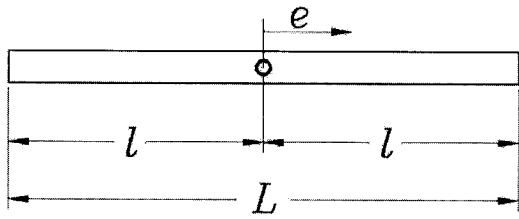
$$l'_{i-1} + k'_{i-1} = l_i + k_i$$

$$l'_{i-1} = l_i, k'_{i-1} = k_i$$

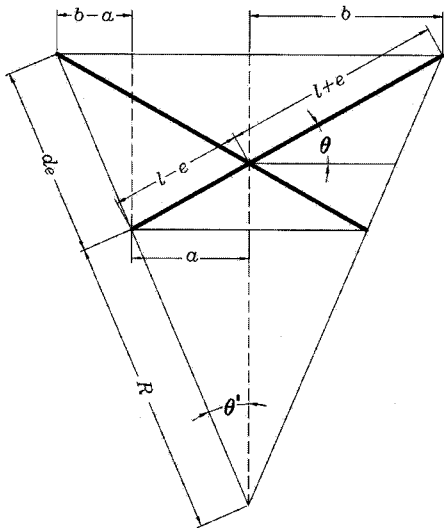
〈그림 4〉 Escrig의 곡면구조 부재 배열<sup>1)</sup>

이와 유사한 관점으로 본 연구에서는 시저스 구조의 곡률변화를 얻어낼 수 있는 부재길이와 접합점의 구성을 보다 간단하게 고찰해 보고자 하였다. 시저스의 특성상 전체구조의 곡률변화는 교차되는 절점위치에 따라 시저스 요소가 생성하는 반지름의 변화를 통하여 얻어낼 수 있고 이를 수식으로 유도하면 그 특성이 쉽게 파악될 수 있다.

〈그림 5〉에서처럼 e를 부재 중심으로부터의 이격거리로 설정하고, 〈그림 6〉에서와 같이 시저스 요소를 상징하였을 때 e에 따른 시저스 입면형태의 곡률변화 수식을 유도하면 다음과 같다.



<그림 5> 부재의 절점위치



<그림 6> 시저스 요소의 곡률생성

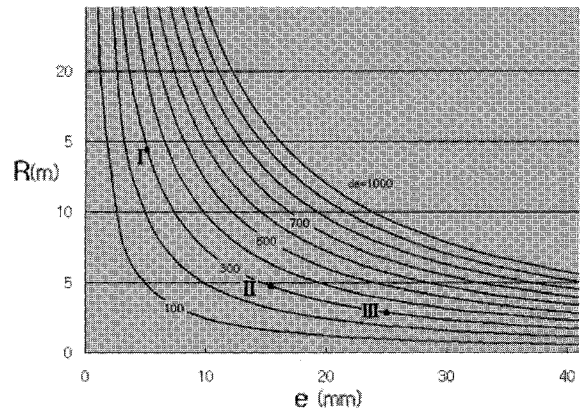
$$\begin{aligned}
 a &= (l - e) \times \cos \theta \\
 b &= (l + e) \times \cos \theta \\
 b - a &= 2e \times \cos \theta \\
 de : b - a &= R : a
 \end{aligned}$$

따라서 시저스 입면형태 곡률의 반지름(R)은 다음과 같은 관계를 가진다.

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{de \times a}{b - a} = \frac{de \times (l - e) \times \cos \theta}{2e \times \cos \theta} \\
 &= \frac{de \times (l - e)}{2e}
 \end{aligned}$$

위 식에서  $de=100, 200, 300, \dots, 1000(\text{mm})$ 로, 그리고 부재 길이( $l$ )은 1m로 하였을 때,  $e$ 에 따른  $R$ 의 변화를 파악할 수 있도록 <그림 7>에서 그래프로 표현하였다. 편심거리  $e$ 의 변화에 따라 시저스 구조의 곡률변화를 쉽게 예측할 수 있으며, 이를 통하여 시저스 춤 깊이( $de$ )변화에 따른 곡률의 구성범위 예

측 등, 곡률을 가진 시저스 구조의 형태결정과 기본 구성을 전반적으로 파악할 수 있을 것으로 본다.



<그림 7> 편심 e와 곡률반경 R의 관계

#### 4. 곡률변화에 따른 구조거동 검토

나타낸 바와 같이 시저스 구조에서는 부재중심의 접합점을 간단하게 이동시킴으로써 다양하게 곡률을 변화시킬 수 있는데, 본 장에서는 이러한 곡률변화에 따른 시저스 구조의 구조거동 변화를 살펴보고자 한다.

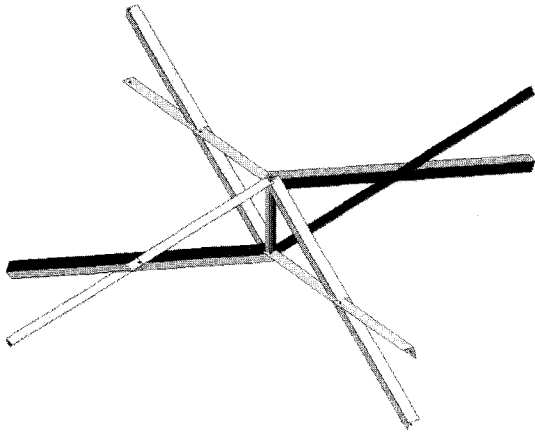
이를 위하여 <그림 7>에서 I, II, III점으로 표시한 조건의 곡률을 가진 시저스 구조를 상정하였고, 시저스 구조모델에 대한 구조해석을 통해 부재응력 상태를 검토하고 각 모델의 구조거동을 비교하였다. 해석조건으로는 기본적인 수직하중인 자중에 대하여 고려하고 각 케이스에서 부재의 종류 및 형상은 <표 2>와 같은 단면으로 동일하게 적용하였다. 요소의 결함과 세부 구성은 <그림 8>과 같이 2방향으로 시저스구조가 결합하는 것으로 가정하였다.

<표 2> 모델화된 부재

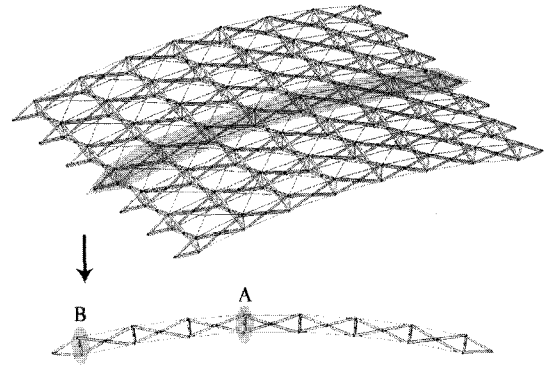
적용	단면형상	크기(길이×두께, mm)
시저스 X 부재		40×40×3
수직부재		27.2×2.3
상하현재 및 브레이스		φ 20

비교고찰을 위하여 모델화된 구조물의 전체 구성과 형상을 접합점의 편심에 따라 <표 3>에 나타나

었다. 각 모델은 주어진 편심으로 인해 보울트 형상과 같이 곡률변화를 보이게 된다. 이에 따라 동일한 부재의 시저스 요소를 사용하는 경우 시저스 구조가 형성하는 공간의 스팬은 점차로 줄어들게 된다.



<그림 8> 모델화된 시저스 요소의 결합



<그림 9> 부재력이 비교검토된 위치

부재력의 변화를 통하여 살펴보면, 우선 곡률의 변화로 인해 입면형상이 직선형에서 아치형으로 변화하고 스팬자체가 줄어들어 따라, x 방향의 반력이 줄어들고 중앙부 처짐이 감소하며 전반적으로 부재력이 감소하는 경향을 보였다.

시저스를 이루는 X부재의 부재력은 아치형을 이루는 /형부재(아래쪽이 지점을 향하는 부재)가 주로 압축력을 감당하며 하중을 전달하는 것을 알 수 있는데, \형부재(아래쪽이 중앙부를 향하는 부재)는 곡률이 증가할수록 압축력이 감소하다가 e=25의 경우에는 단부에서 인장부재로 거동하는 것으로 나타났다.

상하현재의 거동은 직선형태일 때는 중앙부 하현재에 큰 인장력이 발생하나, 곡률이 점차로 커지면서 인장이 감소하였고 2힌지 아치의 응력상태와 같은 양상을 보였다. 따라서 동일부재로 구성된 경우, 곡률변화에 따라 인장과 압축상태가 변화하는 것이 고려되어야 할 것으로 생각된다.

수직부재의 응력상태는, 시저스의 X부재의 응력상태를 통하여 파악할 수 있듯이, 모두 인장상태인 것으로 나타났다. 직선형태에서는 중앙부에 정모멘트가 크게 발생하므로 중앙부의 수직부재가 큰 응력을 보이고 있으나, 아치형이 되면서 단부에도 부모멘트가 발생하게 되므로 단부 쪽의 수직부재가 역할이 커지는 것이 나타났다. 그러나 오히려 e=25m의 경우는 스팬도 줄어들고 단부에서 압축거동이 더 커지므로 수직부재의 응력이 줄어드는 양상을 보였다.

따라서 동일부재를 사용하면서 X부재의 접합부

<표 3> 편심에 따른 해석모델의 형상

e	전체형상	입면
0		곡률 R=무한대 
5 (I)		곡률 R=14850 
15 (II)		곡률 R=4850 
25 (III)		곡률 R=2850 

해석을 통해 얻어진 부재력의 결과를 <표 4>에서 나타내었다. 나타낸 해석값은 <그림 9>에서 보인 것과 같이 가운데에 위치한 시저스의 중앙부분과 단부부분에 대한 부재력으로, 곡률변화에 따른 기본적인 구조거동을 파악하기 위하여 간단히 해당부분에 대한 부재력만을 비교검토 하였다.

<표 4> 곡률변화에 따른 부재력(kg)

e	곡률	X방향 반력	X부재 부재력			상하현재 부재력			수직부재 부재력		지점간 거리(cm)	중양부 변위(cm)
			방향	단부	중양부	위치	단부	중양부	단부	중양부		
0	0	443	/부재	-176.60	-136.79	상현	-190.44	-673.38	48.11	80.35	1191	0.426
			\부재	-24.91		하현	-145.06	180.85				
5	6.7E-5	230	/부재	-79.79	-43.20	상현	-26.91	-136.09	24.37	24.21	1162	0.04
			\부재	-17.87		하현	-126.20	-19.35				
15	2.1E-4	87	/부재	-36.67	-13.25	상현	16.74	-52.69	9.79	5.15	1009	0.013
			\부재	-8.98		하현	-87.49	5.85				
25	3.5E-4	28	/부재	-32.92	-2.47	상현	38.21	-50.60	2.21	4.13	792	0.015
			\부재	4.70		하현	-108.89	38.95				

만을 이동시켜 여러 곡률을 가지는 구조를 얻는다고 가정했을 때, 부재의 설계는 직선형태의 부재력을 고려해야 할 것으로 보이나, 곡률이 커짐에 따라 일부 X부재에서 인장이 나타나거나 상현재의 단부 등에서 인장력이 커지는 것과 같이 부재거동이 변화되는 성질이 검토되어야 할 것으로 생각된다.

### 5. 아치형 시저스의 모형화 및 전개성능 검토

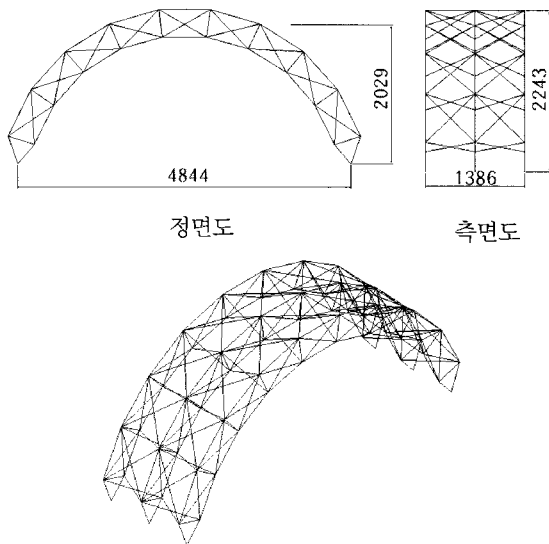
본 연구과정에서는 부재중심의 접합점을 이동시킴으로써, 예상곡률을 가진 아치형 시저스 전개형 구조를 얻을 수 있음을 보이기 위하여 모형제작을 수행하였다. 실험 모델은 곡률 R=2300mm를 가지는 아치형으로 제작하기로 하고, 이를 위해 L=80cm

크기의 시저스 부재를 e=32mm의 편심을 두고 접합하여 de=40cm의 크기를 갖는 시저스 구조를 제작하였다. 모델의 세부적인 형상과 구성은 <그림 10>에서 나타내었다.

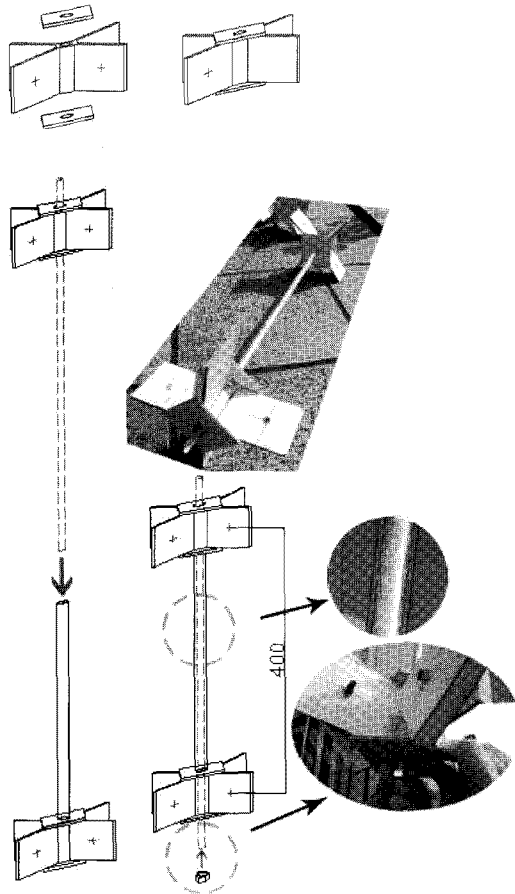
시저스 전개형 구조에서는 상하부 절점 사이에 삽입된 수직부재가 구조전체의 전개를 멈추게 하고 구조물을 안정적으로 만드는 역할을 한다. 이때 구조안정을 위해 가장 고려되는 것이 전개를 멈추고 구조물로서 작용할 수 있도록 수직부재를 고정시키는 것이다. 가장 기본적인 방법은 시저스 상하부 절점 사이에 강재를 삽입하여 구조물을 안정시키는 것이겠으나, 이러한 방법은 일일이 부재를 삽입해야 하는 번거로움이 있게 된다. 따라서 본 연구에서는 전개과정을 단순화 할 수 있도록 수직부재에 다단식 부재를 적용하는 전개패턴을 고안하고, 본 모형을 제작을 통하여 함께 검토하였다.

이 다단식 수직부재는 전개에 따라 길이조정이 가능하도록 상부절점과 하부절점에 각각 나무 봉과 나무 봉 지름보다 내부지름이 큰 아크릴 파이프를 결합시켜 구성하였다. 나무 봉은 구조물이 최종 전개되었을 때 아크릴 파이프를 통과하여 절점 밑으로 나오며, 구조거동에서 파악된 바와 같이 삽입 수직부재는 곡률에 따라 압축이나 인장에 저항하여야 하므로 나사산을 만들어서 볼트로 고정할 수 있도록 하였다(<그림 11> 참조).

이와 같은 부재구성을 통하여 본 모델이 전개되는 과정을 <그림 12>에 보였다. 시저스 모델은 R=2300mm 곡률을 가진 아치형 구조물로 전개되었고, 전개과정에서 다단식 수직부재는 시저스 구조가 다시 수축하려는 것을 고정하는 역할과 함께 구조체



<그림 10> 시저스 구조 모델의 형상

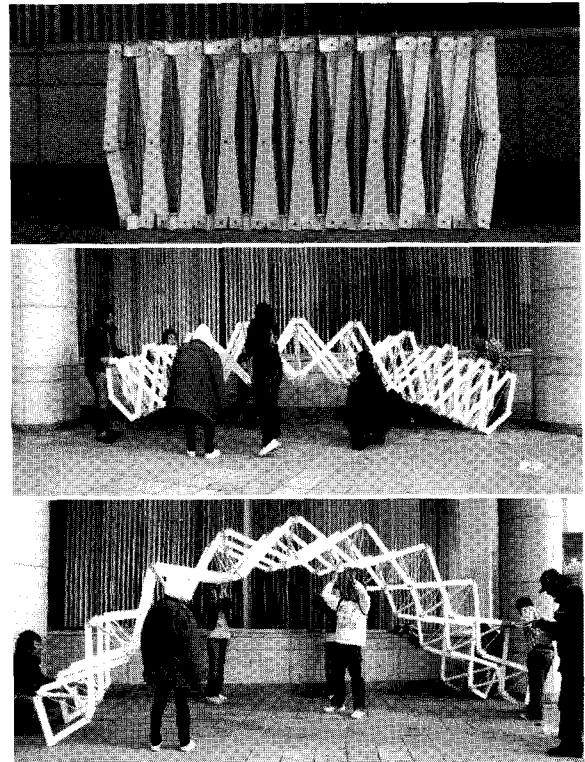


〈그림 11〉 다단식 부재 설계

를 안정적으로 만들고 계획된 스펙과 높이에서 전개를 멈추게 하는 역할을 하였다. 그로인해 수직부재를 일일이 삽입하는 수고를 덜어서 전개시간은 단축되었으며 볼트만으로 손쉽게 고정되었다.

그러나 워크샵을 통하여 간단한 재료로 제작된 본 모델작업에서는 정밀하게 제작되지 못하여 부재 내부에서 중심축이 불일치하는 등의 문제가 발생하였고, 이것이 강도가 부족한 접합부에 무리한 힘을 발생시켜 접합부에 응력이 집중되는 문제점을 보였다. 힘이 부재축에서 편심되는 문제는 구조물 전반의 전개과정에서 여러 부재에 휨현상을 일으켰고, 이 때문에 파이프 식으로 이루어진 수직부재의 신축이 어렵기도 하였다. 여러 부재의 조합으로 이루어진 구조방식인 만큼, 힘의 흐름이 잘 전달되도록 보다 정밀한 사전제작과 강성을 가진 접합부가 고안되어야 함을 알 수 있었다.

다만, 곡률을 가진 시저스 구조의 전개가능성을 본 모델을 통하여 확인한 바, 정밀한 예측과 제작을



〈그림 12〉 모형의 전개과정

통해 다양한 형태의 간이구조물 등 여러 용도에서 활용될 수 있을 것으로 본다. 또한 보다 간단한 전개형 간이구조물의 활용을 위하여 유압실린더를 응용한 수직부재를 고안한다거나 간편한 이동을 위한 바퀴 등의 활용 등도 고려될 수 있다고 하겠다.

## 6. 결론

본 논문에서는 임시 가설건축물로서 활용될 수 있는 시저스 전개형 구조의 형상변화 효과를 높이기 위하여 곡률변화 방식과 그 구조특성을 고찰하였으며, 그 결과는 다음과 같이 요약된다.

시저스 구조의 곡률이 부재중양의 힌지접합점의 편심거리에 따라 변화함을 보이고 이들 관계를 간단한 식과 그래프로 파악할 수 있도록 하였다.

또한 동일부재를 활용하여 다양한 곡률로 구성하고자 할 경우, 곡률이 증가함에 따라 시저스구조는 전반적으로 보거동에서 아치거동으로 변화하며 변위와 부재력이 감소하였는데, 곡률에 따라 부재의 인장과 압축이 변화하는 등 부재응력의 변화를 고려하여야 함을 보였다.

그리고 곡률을 가진 시저스 구조의 전개성능을 모형제작을 통하여 검토하였다. 이때 전개기능과 고정기능을 담당하는 수직부재를 다단식으로 고안하여 보다 작업성을 향상시키는 방안을 검토하고 전개과정에서 발생할 수 있는 문제점을 파악하였다.

향후 다양한 하중조건에서 접합부 등을 포함한 정밀한 검토와 세부설계가 수행된다면 보다 다양한 형태로 외부에서 사용할 수 있는 간이식 구조물에 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

### 참고문헌

1. Gantes, Kpnitopoulou, "Geometric design of arbitrarily curved bi-stable deployable arches with discrete joint size", International journal of solids and structures, 2004.
2. Gantes, "Deployable structures : analysis and design", WIT Press, 2001
3. John Chilton, "Space Grid Structures", Architectural Press, 2000.
4. 田中晃, "張弦シザーズの仮設構造への適用性に関する研究", 日本大学博士学位論文, 2007.
5. 사이토 마사오 저, 박찬수의 2인 역, "건축 공간 구조이야기", 기문당, 2005.
6. Kazuo Ishii, "Structural design of Retractable Roof Structures", Computational Mechanics, 2000.
7. J. Y. Richard Liew, T. C. Tran, "Novel deployable strut-tensioned membrane", IASS, Vol. 47, pp. 17~29, 2006.
8. 최은미, "시저스 전개형구조의 형상변화와 활용 방안", 충북대학교 석사학위논문, 2008.

접수일자 : 2008년 4월 3일

심사완료일자 : 2008년 8월 5일