

언더텐션 시스템이 적용된 구조물의 비탄성 비선형 거동 해석

Inelastic Nonlinear Analysis of Structures with Under -Tension System

박덕근*
Park, Duk-Kun

이재홍**
Lee, Jae-Hong

요 약

본 논문은 Total Lagrangian(TL) 과 Updated Lagrangian(UL)을 사용하여 구조물 하부에 케이블을 연결하고, 그 케이블에 인장력을 가하여 구조물의 처짐을 제어하는 언더텐션 시스템에 있어서 케이블의 인장력에 따른 구조물의 처짐 거동의 변화와 각 부재력을 비교함으로써 언더텐션 시스템의 효율성을 검증하는데 있다. 일반적인 빔과 거더로 이루어진 구조와는 달리 언더텐션 시스템에서는 상부에서의 하중을 하부 케이블의 인장력을 이용하여 그 하중을 양 단부로 전달하게 된다. 언더텐션 시스템은 스트럿의 개수와 길이, 케이블의 초기 인장력의 크기에 따라서 그 효과가 다르게 나타날 수 있다. 또한 케이블이 설치된 장스팬 구조의 경우, 그 거동에 있어서 비선형성 거동이 크게 나타나게 된다. 따라서 본 논문에서는 선형과 비선형해석 결과를 비교함으로써 비선형해석의 필요성에 대하여 논의하고자 한다.

Abstract

This study presents geometric nonlinear and material nonlinear analysis of under-tension structure using Total Lagrangian and Updated Lagrangian method. In the regard, the under-tension system enables the load of upper part to carry to the end of beam by pre-tensional force in cable. The under-tension system on lower part of the structure is applied in order to reduce the deflection and size of member.

This study is performed with conforming of the effect by pretension value in the cable and applying loading. Dead and Live loads are supposed to apply nodal load on the top member. The member force and deflection of the structure are with MIDAS and ADINA.

키워드 : 언더텐션 시스템, 케이블, 비선형해석

Keywords : Under-tension system, Cable, Nonlinear analysis

1. 서 론

세계적인 도시화의 진행과 인구의 증가로 대부분의 대도시의 경우 지가 상승과 용지 부족이 발생하고 있으며, 이는 도시 내 기반시설 중 하나인 녹지 및 휴게공간의 확보를 어렵게 만들고 있는 것이 사실이다. 또한 도시 내에 녹지 및 휴게공간이 확보된 경우에도

각각의 개별사업에 의존하여 점적으로 발생되어 그 양이 늘어나는 성과에 비하여, 주변공간과의 연계성에는 소극적인 양상으로 보이고 있다.¹⁾ 그러나 대도시의 녹지 및 휴게공간과 빠른 도시화의 공존은 불가피한 현실이며, 이제 맞추어 도심내의 교차로 및 일반도로 상부에 휴식과 통행이 가능한 공간을 조성하여 녹지 및 휴게공간을 확보하고 각 구역간의 연결성 및 접근성을 높일 수 있는 장스팬 구조물을 설치하는 것을 가정하고, 이 구조물의 구조적 거동을 분석하는 것을 본 논문의 목적으로 하였다.

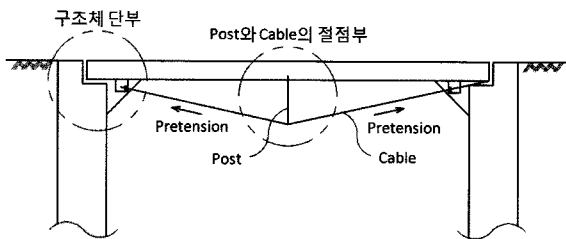
본 연구에서 가정하는 휴식과 통행이 가능한 공간

* 학생회원 · 세종대학교 건축공학과
E-mail : skyland1114@nate.com

** 정회원 · 세종대학교 건축공학과 교수, 공학박사
Tel: 02-3408-3331 Fax: 02-3408-4331

의 경우 하부의 도로로 인하여 일반적인 건축물과 달리 구조물의 내부에 기둥이 없는 공간을 내포하여 축력 및 면내력에 의해 저항되는 경우가 많다. 이러한 특성상 대공간 구조에는 일반적으로 장스팬이 사용되는 경우가 많으며, 그 결과 일반적인 골조와는 달리 부재에 발생하는 변형도가 작은 경우에도 큰 변형이 발생하는, 즉 대변형 혹은 유한 변형을 동반하므로 정적, 동적 해석에 관계없이 비선형 해석이 요구된다.

본 논문에서 장스팬 구조의 처짐과 부재의 크기를 제어하기 위하여 구조물 하부에 언더텐션 시스템을 적용하였다. 언더텐션 시스템은 그림 1에서 보이는 바와 같이 구조물 하부에 강재로 이루어진 스트럿을 설치하고, 이 스트럿과 상부구조물을 연결하는 케이블을 설치한 후, 이 케이블에 초기 인장력을 가함으로써 구조물 전체적으로 처짐을 제어하고, 부재의 크기를 조절하도록 하는 시스템을 말한다.²⁾



〈그림 1〉 언더텐션 시스템의 모식도

일반적으로 소형 구조물의 경우에는 그 구조물의 거동을 분석함에 있어서 선형해석만을 수행하더라도 그 결과 값에 있어서 높은 신뢰도를 확보할 수 있다. 그러나 본 연구에서 논하고자 하는 장스팬 구조에 강재와 케이블로 이루어진 언더텐션 시스템을 적용한 모델의 경우 선형해석만을 수행할 경우 그 결과 값에 대한 신뢰도가 떨어지게 된다.

또한, 트러스의 구조물의 비선형 거동 해석은 과거의 트러스 구조물의 붕괴로 관심이 대두되어졌으며, 트러스 구조 해석 시에 구조물의 안정성에 미치는 요인들을 신중히 고려할 것을 요구하고 있다. 트러스 구조물의 붕괴는 취성적인 거동을 나타내고 있어서 선형 탄성 해석은 트러스 구조물의 거동을 예측하는데 부적절하다고 알려진바 있다.³⁾

따라서 트러스 구조물의 정확한 구조해석을 수행하기 위해서는 기하학적 비선형성(Geometric

nonlinearity)과 재료적 비선형성(Material nonlinearity)을 함께 고려하여야 한다.

본 논문에서는 기존에 Tran chi Hoang과 Jaehong Lee에 의해 개발된 스페이스트러스 해석모델⁴⁾과 이후 추가 연구된 핀-조인트 해석모델⁵⁾을 이용하여 언더텐션 시스템의 구조해석을 수행하였다.

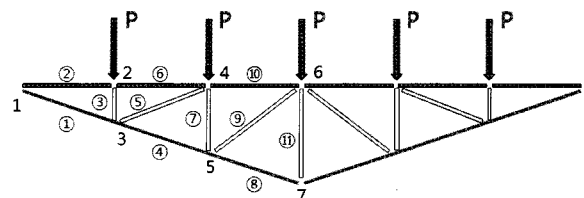
따라서 본 논문에서는 기존 개발된 해석모델을 사용하여 케이블의 프리텐션의 크기에 따라서 각 부재의 부재응력과 구조물의 최대 처짐을 비교하여, 본 언더텐션 시스템의 효율성을 높일 수 있는 방안에 대하여 연구해보고자 한다. 또한, 선형 해석 결과와 비선형 해석 결과의 비교를 통하여 언더텐션 시스템이 적용된 장스팬 구조 있어서 보다 구조적으로 안정적이며, 효과적인 해석 방안을 제시하는 것이 본 논문의 목적이다.

2. 해석 모델

실제 거동과 가장 비슷한 결과를 얻어내기 위해서는 3차원 모델링을 통하여 구조해석을 수행하여야 하지만, 본 연구에서는 단순화된 2차원 트러스 모델을 바탕으로 하여 구조해석을 수행하였다. 이는 구조 모델링에 걸리는 시간을 단축하고, 부재의 휨변형을 제한함으로써 언더텐션 케이블이 구조물에 미치는 영향을 보다 분명하게 확인하기 위함이다.

그림 2에서 보이는 형상과 같이 본 모델은 총 경간이 60m이며 10m 단위로 상부가 분할되어 있다. 또한, 본 논문에서 사용된 모델은 12개의 절점과, 21개의 요소로 이루어져 있으며, 수직 스트럿의 상부 절점의 연직방향에서 모두 같은 크기의 하중이 재하되는 것으로 가정하였다. 모든 부재는 트러스로 이루어져 있으며, 양 단부도 힌지로 구성되어 있다.

선형 연구를 통하여 언더텐션 시스템의 효율성에 영향을 주는 요인으로는 케이블의 프리텐션의 크기,



〈그림 2〉 해석 모델의 요소 위치 및 하중 재하점

스트럿의 개수 및 높이가 있다고 알려진바 있다.⁶⁾

〈표 1〉 기본 모델의 절점의 좌표

절점번호	X-coord	Y-coord	부재번호	단면적(m ²)
1	0	0.0	1, 4, 8	1.53 × 10 ⁻³
2	10	0.0		
3	10	-1.0	2, 6, 10	1.90 × 10 ⁻¹
4	20	0.0		
5	20	-2.0	3, 7, 11	6.87 × 10 ⁻²
6	30	0.0		
7	30	-3.0	5, 9	6.87 × 10 ⁻²

* 11번 부재를 기준으로 Y축 대칭

〈표 2〉 재료 물성치

Material	Modulus of Elasticity	Yield Stress	Section
Steel	2.0594 × 10 ⁸ kN/m ²	325 Mpa	Truss (Slab) Truss (Strut)
Cable	1.8633 × 10 ⁹ kN/m ²	1600 MPa	Cable

본 연구에서 구조 해석을 수행하는 데에 기본적으로 가정한 사항은 다음과 같다

(1) 구조물에 있어서 초기 부재의 비틀림과 기초 구조의 회전, 수직하중에 의한 변형 등은 고려하지 않는다.

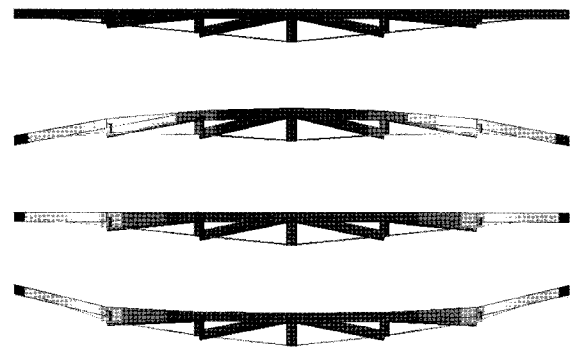
(2) 트러스의 변형 시에는 단면의 면적은 일정한 값을 유지한다.

본 연구에서는 하중의 경우, 실제의 구조물에서는 상부에서 연직방향으로 전 면적에 걸쳐서 재하 되어야 하지만, 해석의 단순화를 위하여 구조물의 상부에서 연직방향으로 다섯 지점에 하중이 재하 되는 것으로 가정하였다. 본 해석은 전 부재가 트러스로 이루어져 있는 것으로 가정하여 수행하였으며, 각 절점의 위치와 부재의 특성은 표 1과 같으며, 모델의 형상과 하중 재하 위치는 그림 2와 같다. 또한, 구조물을 구성하고 있는 물성치는 표 2와 같다.

처짐 및 부재응력을 비교하기 위하여 구조물 상부에 재하 되는 하중은 0 kN에서 100 kN까지 순차적으로 증가시키면서 재하 하였으며, 케이블에 가해지는 프리텐션의 경우, 케이블의 항복응력을 기준으로 하

여 프리텐션을 가하지 않은 일반 트러스 구조에서 프리텐션을 10%, 30%, 50%로 증가시키면서 구조 해석을 수행하였다.

그림 3에서 보이는 것은 케이블에 초기 인장력이 가해진 상태에서 상부에 하중을 재하할 경우에 구조물 거동의 변화양상이다. 초기 구조물의 형태에서 프리텐션이 가해질 경우 구조물이 처짐이 상부로 발생하는, 마치 초기 캠버를 주는 것과 비슷한 형상을 보이게 된다. 이후, 하중이 재하되면서 구조물을 구조물의 초기 형상으로 바뀌게 되며, 하중의 크기가 증가하면 일반적인 구조물과 마찬가지로 하부로 처짐이 발생하는 모습을 보이게 된다.



〈그림 3〉 언더텐션 시스템의 거동 변화

3. 재료비선형

구조물의 부재에 좌굴이나 항복이 발생할 수 있는 트러스 구조물을 해석하기 위하여 본 논문에서는 그림 4와 같이 탄성모델(I), 비탄성모델(II) 및 잔류 변형을 고려한 이력모델(III) 3가지 형태의 응력-변형률 관계를 이용하였다.

전 변형률 ϵ 는 탄성변형률 ϵ_e 및 소성변형률 ϵ_p 로 분리 가능하며, 이에 따른 응력-변형률 관계는 다음과 같다.

$$\epsilon = \epsilon_e + \epsilon_p \tag{1}$$

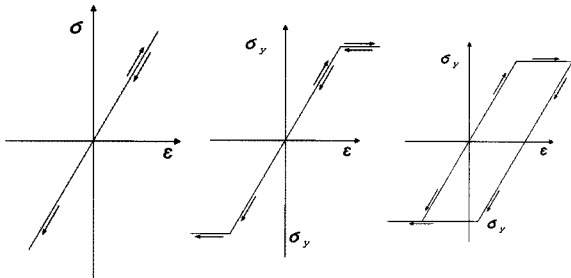
$$\sigma = E \epsilon_e \tag{2}$$

$$f = |\sigma| - \sigma_y \leq 0 \tag{3}$$

$$\epsilon_p = \frac{\delta f}{\delta \sigma} \Delta \lambda \tag{4}$$

위 식에서 σ 는 부재의 응력, E 는 탄성계수, σ_y 는

항복응력, $\Delta\epsilon$ 는 소성파라메타를 의미한다. 식 (1)은 탄성구성식, 식 (2)는 항복조건식, 식 (3)은 관련소성 흐름법칙을 각각 의미한다. 본 연구에서는 그림 4에서 보이는 응력-변형률 관계 곡선 중 (a)탄성모델(I)



(a)탄성모델(I) (b)비탄성모델(II) (c)이력모델(III)
 <그림 4> 응력-변형률 관계

과 (b)비탄성모델(II)을 채택하여 해석을 수행하였다.

4. 기하학적 비선형 변형률

트러스 요소의 변형률을 고려하기 위한 변형 전 부재의 길이를 ds , 변형 후의 부재 길이를 ds' 로 가정하면 ds 와 ds' 의 관계를 아래의 식으로 쓸 수 있다.

$$(ds')^2 - ds^2 = dx'_i dx'_i - dx_i dx_i \quad (5)$$

여기서 ds' 는 변형 후의 부재의 길이 이므로 변위 u_i , 변형후의 부재좌표 x'_i 와 dx' 의 관계식은 식 (6)과 식 (7)으로 표현 할 수 있다.

$$x'_i = u_i + x \quad (6)$$

$$dx'_i = \frac{\partial x'_i}{\partial x_j} dx'_j = \left(\frac{\partial u'_i}{\partial x_j} + \delta_{ij} \right) dx_j \quad (7)$$

식 (7)에서 δ_{ij} 는 ($j=i$)일 때 1이고, ($j \neq i$)일 때 0인 크로넬커 델타를 나타낸다. 식 (6), 식 (7)을 식 (5)에 대입하면 증분변위는 식 (8)로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} (ds')^2 - ds^2 &= (u_{i,k} + \delta_{ij})(u_{j,k} + \delta_{ik}) dx_j dx_k - dx_i dx_i \\ &= (u_{i,k} u_{i,j} + u_{j,k} + u_{k,j}) dx_j dx_k \end{aligned} \quad (8)$$

식 (8)에서 $(u_{i,k} u_{i,j} + u_{j,k} + u_{k,j})$ 를 $2\epsilon_{jk}$ 로 가정할 때 변형률은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\epsilon_{jk} = \frac{1}{2} (u_{i,k} u_{i,j} + u_{j,k} + u_{k,j}) \quad (9)$$

여기서 ϵ_{jk} 는 그린 변형률(Green strain)을 나타내며, 트러스 요소의 축방향의 변형률은 다음과 같은 그린 변형률로 유도 된다.

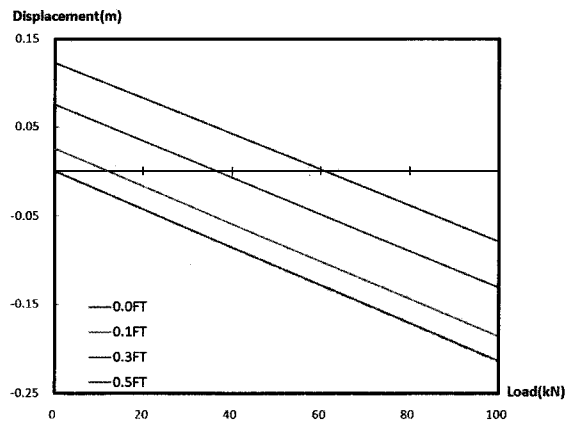
$$\begin{aligned} \epsilon_{x,x} &= u_{x,x} + \frac{1}{2} (u^2_{x,x} + u^2_{y,x} + u^2_{z,x}) \\ &= \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \right] \end{aligned} \quad (10)$$

위의 식에서 축방향의 2차항을 $(\frac{\partial u}{\partial x})^2$ 고려하지 않게 되면 일반적인 공학 변형률(Engineering strain)이 된다. 본 연구에서는 대변형을 대상으로 하므로 축방향의 2차항 $(\frac{\partial u}{\partial x})^2$ 을 고려한 그린 변형률(Green strain)을 해석에 적용하도록 한다. 또한 변형률의 축방향의 2차항 $(\frac{\partial u}{\partial x})^2$ 이 해석 결과에 미치는 영향을 파악하기 위해 수치해석 예제를 통해 구조물의 하중-변위 관계를 두 변형률을 사용하여 비교하도록 한다.

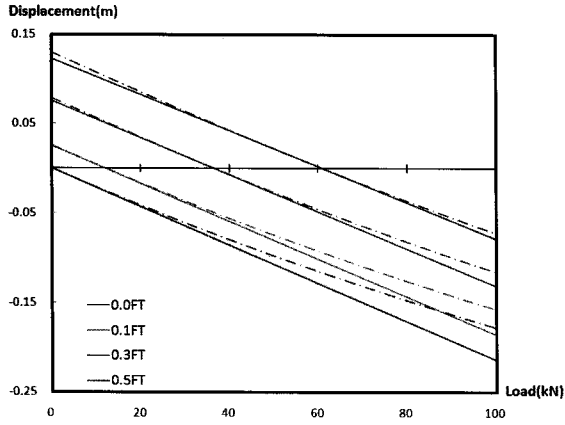
5 수치해석 및 결과

5.1 최대 처짐 비교

본 연구에서 사용하는 해석모델의 신뢰성을 확보하기 위하여, 상용프로그램인 마이더스와 아디나의 해석 값과 비교를 하였다. 재하 되는 하중을 증가시키면서 최대 처짐을 비교할 경우 그림 5와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 본 연구에서 사용되는 해석모델의 결과와 마이더스⁷⁾, 아디나⁸⁾의 처짐의 결과가 매우 일치하는 것을 볼 수 있었다.



<그림 5> 선형/비선형 해석결과 비교

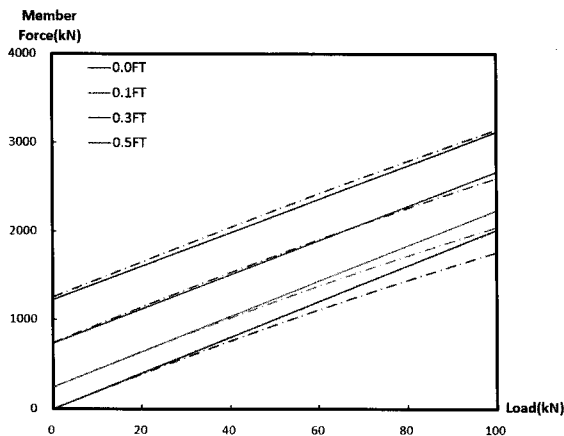


〈그림 6〉 프리텐션 크기에 따른 처짐

프리텐션의 크기를 순차적으로 증가시키면서 그에 따른 구조물의 최대 처짐을 비교하였다. 그림 6과 같이 케이블의 프리텐션의 크기가 증가할수록 최대 처짐이 감소하는 결과를 볼 수 있다. 오히려, 프리텐션을 가하지 않았을 경우에는 초기 하중이 없을 경우 처짐이 발생하지 않았지만, 프리텐션이 0.1F^T인 경우 0.0262 m, 0.3F^T의 경우 0.0787 m, 0.5F^T의 경우 0.1305 m가 발생하여, 하중이 증가하더라도 초기 프리텐션의 크기가 큰 경우 구조물에 처짐이 발생하지 않고, 오히려 상향으로 구조물의 거동이 보이는 결과를 가져왔다. 이 경우 프리텐션의 크기는 0.1F^T는 242.2 kN, 0.3F^T는 732.6 kN, 0.5F^T의 경우 1110 kN 이었다. 또한, 선형해석 결과와 비교할 때 하중과 프리텐션의 크기가 증가할수록 비선형에 의한 최대 처짐의 변화가 크게 발행하는 것으로 나타났다.

5.2 부재응력 비교

프리텐션의 크기와 구조물에 가해지는 하중을 순



〈그림 7〉 하부 케이블(4번)의 응력 비교

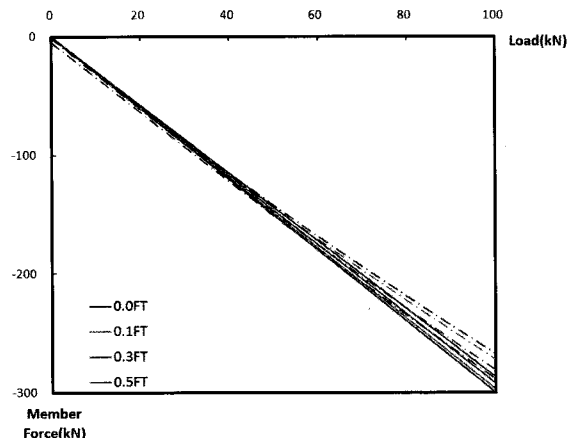
차적으로 변화시키면서 그에 따른 구조물을 구성하고 있는 각 부재의 부재응력을 비교하였다. 부재력을 표시함에 있어서 언더텐션 시스템을 이루고 있는 주요 요소 중 각각 하나의 부재에 대한 응력의 변화를 표시하였다. 부재력의 크기가 양수일 경우에는 그 부재에 인장력이 작용하고 있으며, 음수일 경우에는 반대로 압축력이 작용하고 있는 것이다.

그림 7은 프리텐션을 받는 하부 케이블 중 4번째 부재의 응력의 변화를 나타낸 그래프이다. 부재응력에 있어서도 비선형 거동을 보이는 것을 확인할 수 있었으며, 하중이 증가할수록 그 차이가 분명해지는 것을 볼 수 있었다. 구조물에 하중이 가해지지 않았을 경우, 프리텐션이 가해지지 않았을 때는 부재응력도 발생하지 않았으나, 프리텐션이 0.1F^T일 경우 244.2 kN, 0.3F^T의 경우 739.5 kN, 0.5F^T의 경우 1253.6 kN의 인장력이 발생하는 것을 볼 수 있었으며, 하중이 증가할수록 그 인장력의 크기가 지속적으로 증가하고 있는 것으로 나타났다.

이는 케이블에 직접적으로 프리텐션이 가해졌기 때문에 인장력이 발생하는 것이며, 이후 상부에서의 하중으로 인하여 케이블에 지속적인 인장력이 가해지기 때문에 나타나는 현상으로 사료된다.

또한 각 프리텐션의 크기 변화에 따른 응력값의 차이는 실제 케이블에 작용하는 초기 인장력의 값의 차이와 비슷하게 나타나고 있다.

그림 8은 상부 부재와 하부 케이블을 연결하고 있는 수직 스트럿 중 11번 부재의 응력을 비교한 그래프이다. 수직 스트럿의 경우 프리텐션의 크기 증가와는 달리 일반적으로 압축력을 받는 것으로 나타났다. 또

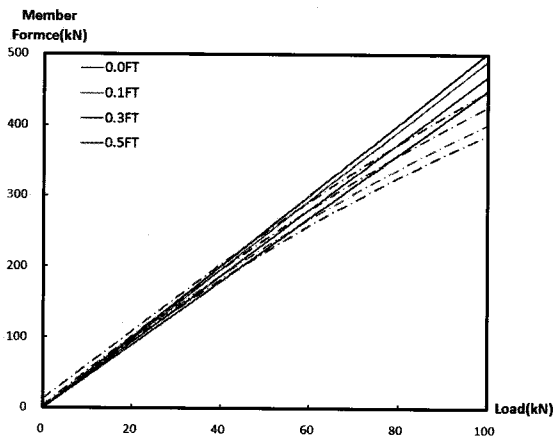


〈그림 8〉 수직 스트럿(11번)의 응력 비교

한 프리텐션의 크기 변화에도 불구하고, 부재의 압축력의 차이는 크지 않은 것으로 나타났으며, 비선형성도 크게 나타나지는 않는 것으로 나타났다.

이는 본 모델이 트러스 구조로 이루어져 있으며, 수직 스트럿의 상부절점에서 연직방향으로 하중이 가해졌기 때문으로 생각되어 진다. 3번 부재와 7번부재의 경우에도 비슷한 양상을 보이는 것으로 확인되었다.

그림 9는 대각선으로 설치된 스트럿 중 5번 부재의 응력을 비교한 그래프이다. 프리텐션의 크기가 증가할수록 수직 스트럿과는 달리 전반적인 인장력을 받고 있는 것으로 나타났다. 또한 앞서 케이블의 응력 변화와 비슷한 양상을 보이고 있는데, 하중이 재하되지 않고, 케이블의 프리텐션이 가해지지 않았을 경우에는 다른 부재와 마찬가지로 부재응력이 발생하지 않으나, 프리텐션의 크기가 변할수록 응력이 다르게 나타났는데, 0.1F^T에서는 0.0926 kN, 0.3F^T에서는 2.636 kN, 0.5F^T에서는 12.45 kN의 초기 인장력이 발생했으며, 하중이 증가할수록 그 인장력의 크기가 증가하고 있는 것으로 나타났다. 하지만, 앞선 케이블의 경우와는 달리 프리텐션의 크기가 증가하더라도 하중의 크기의 변화에 따른 응력의 변화에 비하여 프리텐션 크기의 변화에 따른 응력의 변화가 크지 않은 것으로 나타났다. 다만, 선형 상태의 응력 변화와 비교할 때, 프리텐션과 하중의 크기가 증가할수록 비선형적 거동이 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.



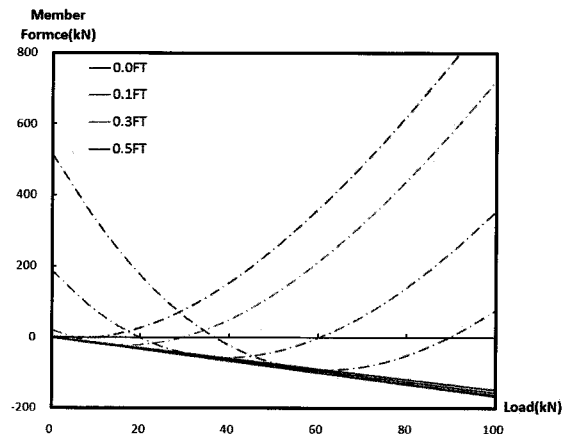
〈그림 9〉 대각선 스트럿(5번)의 응력 비교

이는 하중이 증가할수록 선형해석보다는 비선형해석을 수행하는 것이 실제 거동에 더 적합하다는 것을 나타내고 있다고 할 수 있다. 기타 타 대각선 스트럿

의 경우에도 비슷한 거동을 보여주고 있다.

본 연구에서 가장 비선형적 해석의 필요성을 보여주고 있는 것이 그림 10에서 보이는 상부 트러스 중 2번 부재의 응력 비교 그래프이다. 상부 트러스에 있어서 프리텐션의 크기와 상관없이 하중이 증가할수록 부재에 압축력이 작용하는 선형 거동의 형태를 얻을 수 있었다.

반면에, 비선형해석을 수행할 경우 상이한 거동을 보이는 것을 볼 수 있었다. 오히려, 선형 해석의 경우 부재에 지속적인 압축력이 발생하는 것으로 나타났으나, 비선형 해석의 경우 인장력이 발생하는 것으로 나타났다. 이후, 하중이 가해지지 않은 상태에서는 프리텐션의 크기가 0.1F^T의 경우 20.67 kN, 0.3F^T의 경우 187.5 kN, 0.5F^T의 경우 213.9 kN의 인장력이 발생하는 것을 볼 수 있었다. 이후 각 프리텐션의 크기별로 하중이 증가할수록 부재에는 인장력이 작용하지만, 그 크기가 점차 감소하여 일정 하중의 경우에는 선형 해석의 결과와 근접하는 응력값을 갖는 것으로 나타났다. 프리텐션이 없는 경우에는 하중의 크기가 0 kN, 즉 재하되지 않았을 경우에 선형 결과와 비선형 결과가 일치하는 것으로 나타났다.



〈그림 10〉 상부 트러스(2번)의 응력 비교

이후 프리텐션의 크기가 0.1F^T에서는 하중이 10kN 일 때 약 16.2 kN의 압축력이, 0.3F^T에서는 하중이 30 kN 일 때 약 46 kN에서, 0.5F^T에서는 50 kN에서 약 74 kN의 압축력으로 선형 결과에 근접하는 것으로 나타났다.

그러나 초기 인장력을 받던 부재는 일정구간동안 압축력을 보인 이후 하중이 증가할수록 부재에는 다

시 인장력이 발생하는 결과를 얻을 수 있었다.

프리텐션의 값이 클수록 압축력을 갖는 구간이 넓을 것으로 나타났으며, 이후 발생하는 인장력의 경우 하중이 증가할수록 각 프리텐션의 크기에 따른 응력의 차이가 증가하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 해석을 수행한 언더텐션 모델의 각 부재에 있어서 상부 트러스의 경우 가장 비선형에 대한 고려가 필요한 부재로 나타나고 있으며, 또한 선형해석과 비교할 경우 그 응력 값에 있어서 전혀 상이한 결과가 발생하는 것을 볼 수 있었다.

6. 결론

본 연구에서는 언더텐션 구조시스템이 적용된 구조물에 있어서 최대 처짐 및 부재응력을 비선형기법을 이용하여 구조해석을 수행하였다. 언더텐션 케이블의 프리텐션 값에 따른 전체 구조물의 처짐 및 부재응력을 비교 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 일반적인 상용프로그램에서 비선형해석을 수행할 경우, 모델링에 많은 시간이 소요되게 된다. 반면에 본 해석모델의 경우, 부재 절점의 위치와, 각 부재의 연결 상태, 탄성계수, 부재 단면적을 입력하는 것으로 구조물의 비선형 처짐 및 부재응력을 계산할 수 있었다. 따라서 본 해석모델을 사용할 경우 해석에 소요되는 시간을 단축시킬 수 있을 것이다.

(2) 언더텐션 케이블이 적용된 구조물의 경우에 프리텐션의 값이 증가할수록 구조물의 최대 처짐이 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 프리텐션의 값이 증가할수록 각 부재에 걸리는 부재응력이 증가하게 되며, 이는 부재의 크기 증가와 시공비, 기타 공사비에 영향을 미치는 만큼 이에 대한 고려가 필요할 것으로 사료된다.

(3) 케이블의 프리텐션 값이 증가할수록 다른 부재들과는 달리 상부 트러스에서는 선형해석과 상이한 결과를 얻을 수 있었다. 이는 언더텐션 시스템이 적용된 장스팬 구조의 경우 비선형 해석이 필요하다는 당위성을 나타내는 것으로, 보다 더 많은 연구가 필요할

것으로 사료된다.

(4) 본 연구에서 사용한 모델의 경우 모든 부재의 요소를 트러스로 가정하고 해석을 수행하였다. 실제 건축물의 경우 트러스 요소와 함께 빔 요소의 사용으로 인하여 휨응력에 대한 고려가 필요하다. 따라서 이에 대한 추후 연구가 필요할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 첨단도시개발사업(#06 R&D B03)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 연구 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 양석우, 정혜진, 최지영, 김기호(2007), 도시 그린웨이 네트워크를 위한 계획체계에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계, 제23권 제6호, 2007.06, pp.209-220.
2. Wang Bin Bing(2004), Free-standing Tension Structures, Taylor & Francis, New York
3. 김광중, 정미루, 김연태, 백기열, 이재홍(2008), 아치 트러스 및 공간 트러스의 구조의 비탄성 비선형 거동해석, 한국공간구조학회지, Vol. 8 No.5 2008.10, pp.47-58.
4. Tran Chi Hoang, Jaehong Lee(2008), Material and Geometric nonlinear Analysis of Space Trusses, IASS 2008, 2009.10, pp.157-158.
5. Tran Chi Hoang, Kim Yeon Tae, Jaehong Lee(2009), Material and Geometrically Nonlinear Analysis of Pin-Jointed Structures, APCS 2009, 2009.5, pp.36-37.
6. 박덕근, 이진, 함수윤, 안남식, 이기학, 이재홍(2008), 언더텐션 시스템을 이용한 장스팬 구조의 처짐 거동 해석, 한국공간구조학회 춘계학술발표회 논문집, 제5권 제1호, 2008.05, pp.66-69
7. MIDAS Version 6.3.2 Users Manual.
8. ADINA Version 6.5 Users Manual.Substructure due to

접수일자 : 2009년 4월 29일
 심사완료일자 : 2009년 5월 28일
 게재확정일자 : 2009년 6월 5일