

언더텐션 시스템을 이용한 장스팬 구조의 처짐 거동 해석

Deflection Analysis of Long Span Structures Using Under-Tension System

박 덕 근* 이 진* 함 수 윤** 안 남 식*** 이 기 학*** 이 재 홍***
Park, Duk kun Lee, Jin Ham, Su Yun Ahn, Nam Shik Lee, Kihak Lee, Jaehong

요 약

본 연구는 도로 상부에 휴식과 통행이 가능한 공간을 조성하여 녹지 및 휴게 공간을 확보하고 각 구역간의 연결성 및 접근성을 높일 수 있는 장 스펠 구조의 처짐의 거동을 해석하는 것을 목표로 한다. 이러한 장 스펠 구조의 경우, 부재의 크기를 결정할 때 도심 미관과 하부의 차량소음을 고려하여야 한다. 그 결과 부재의 크기가 세장해지는 결과를 가져오게 되며 이는 구조물의 과다 처짐을 유발할 수가 있다. 여기에서는 부재의 크기 제한과 구조물의 과다 처짐을 방지하기 위하여 구조물 하부에 언더텐션을 적용한 후, 그 효과와 처짐 거동에 대하여 비교 분석하였다. 언더텐션이란 상부에서의 하중을 하부 케이블의 인장력을 이용하여 그 하중을 양 단부로 전달하는 시스템을 말하며, 케이블의 크기와 개수, 포스트의 개수와 크기 및 간격에 따라서 효과가 다르게 나타날 수 있다. 따라서 본 연구에서는 케이블의 크기와 개수, 포스트의 개수와 크기 및 간격을 변수로 하여 장 스펠 구조의 처짐 거동을 비교 하였다. 하중은 활하중과 고정하중이 평면에 재하되는 것을 기본으로 가정하였으며, 해석결과는 상용 프로그램인 마이더스(MIDAS)를 이용하여 언더텐션의 효과를 처짐에 맞추어 비교 검토하였다.

Abstract

This study presents deflection analysis of long span structures for pedestrian bridge on crossroads. For long span structures, the size of structural members should be determined considering the esthetic view and vehicle below the structures. As a result, the slenderness ratio of members is increased and the structure may be suffered from significant deflection. The under-tensioned system on lower part of the structure, is applied in order to reduce the deflection and the size of members. In this regard, the under-tensioned system enables the load of upper parts to carry to the end of beam by means of tensional force in cable. In addition, effectiveness of under-tensioned system can be different depending on the size of cable, the number and spacing of posts. This study is performed with conforming the effect by analytical various parameters (size of cable, number and spacing of post). Dead and live loads is supposed to apply in the slab, and the analytical result by MIDAS program are presented addressing the effect of the under-tensioned system.

키워드 : 장 스펠 구조, 언더텐션, 하늘공원

Keywords : Long span structure, Under-tension, Sky park

1. 서 론

최근 대도시의 경우 도시화가 급속히 진행되면서 도시인구가 증가하고 있으며 인구가 증가하면서 그에 따라서 기반시설의 필요성이 증가하고 있다. 하지만, 대도시에 있어서 전반적인 지가 상승 및 용지난으로 인하여 기반시설 중 하나인 녹

지 및 휴게공간의 확보가 어려운 것이 현실이다. 게다가 확보된 각각의 녹지 및 휴게공간의 경우에도 개별사업에 의존하여 점적으로 발생되어 양을 늘리는 성과에 반해, 그 공간들의 연계에는 소극적인 양상을 보이고 있다.

이에 본 연구에서는 도심내의 교차로 및 일반 도로 상부에 휴식과 통행이 가능한 공간을 조성하여 녹지 및 휴게공간을 확보하고 각 구역간의 연결성 및 접근성을 높일 수 있는 장 스펠 구조를 가정하였다. 도심 내에 설치되는 이러한 장 스펠 구조의

* 학생회원, 세종대학교 건축공학과 석사과정
Tel : 02-3408-3331
E-mail : skyland1114@nate.com

** 학생회원, 홍익대학교 건축공학과 학사

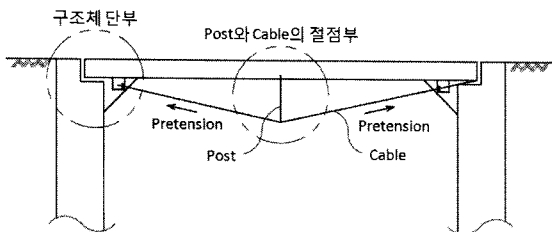
*** 정 회 원, 세종대학교 건축공학과 교수, 공학박사

경우, 부재 크기를 결정할 때 도심 미관 및 하부의 원활한 차량소통에 대한 고려가 필요하며, 그 결과 부재의 크기가 세장해지며 그에 따라서 처짐이 과다하게 증가하게 된다. 본 연구에서는 이러한 처짐을 제어하기 위하여 구조물 하부에 언더텐션을 설치하였고, 각 시스템에 있어 각각의 변수 조건의 변화에 따른 구조물의 처짐을 비교하는 것을 목적으로 한다.

2. 언더텐션 시스템

텐세그리티(Tensegrity) 구조는 부재가 압축과 인장요소만으로 이루어져 모멘트가 발생하지 않기 때문에, 단면적을 최적화하는 동시에 중량을 줄일 수 있어서 공간구조에 효율적으로 이용할 수 있다. 그러나 시스템 자체의 인식부족과 기존의 강성 및 연성구조와 차별되는 특성, 형태구성 등에 건축가나 엔지니어가 익숙하지 않은 이유로 국내에는 서울올림픽 체조경기장의 지붕구조로 사용한 이후 구조물에 적용되거나 응용된 사례가 거의 없다.

본 연구에서 다루고 있는 언더텐션 시스템은 텐세그리티 구조의 특징을 응용한 것으로, 언더텐션 시스템에서는 일반 강재를 압축재로 언더텐션 케이블을 인장재로 하여 상부에서의 하중을 양 단부로 전달함으로써 지붕구조 외에 일반 구조체로 사용할 수 있도록 하였다. 언더텐션 시스템의 개략적인 모식도는 다음 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 언더텐션 시스템

본 연구에서는 구조물 상부에서 연직방향으로 고정하중과 활하중이 <표 1>을 기준으로 균등하게 분포되어 있는 것으로 가정하였으며, 기타 구조 재료 특성은 <표 2>와 같다.

<표 1> 하중조건

Material	THK (mm)	Unit Load (kN/m ²)	Load (kN/m ²)
흙	570	18.00	10.26
무근 콘크리트	100	23.00	2.30
방수 및 몰탈	30	20.00	0.60
슬래브	200	24.00	4.80
기타			0.50
Total Dead Load			18.46
Live Load			5.00

<표 2> 구조 재료

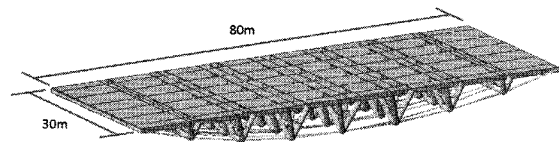
Material	탄성계수 (GPa)	항복강도 (MPa)
SM490	206	490
SS400	206	400
Cable	190	1860

3. 언더텐션 시스템의 효과 비교

본 연구에서 언더텐션의 효과는 단일 변수의 변동에 따른 구조물의 최대 처짐을 대상으로 분석하였다. 해석 결과는 상용프로그램인 MIDAS를 사용하였으며, 기본 모델의 특성은 <표 3>과 <그림 2>에, 각각의 모델에 대한 변수 조건은 다음 <표 4>와 같다.

<표 3> 기본모델의 특성

경간	80m
너비	30m
바닥판 두께	1.5m



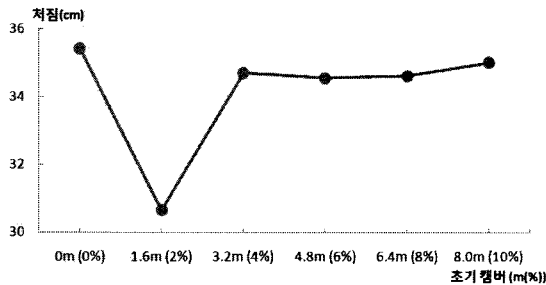
<그림 2> 기본 모델

<표 4> 변수 조건

변수 조건	상세내역
초기 캠버	0, 2, 4, 6, 8, 10 (%)
케이블의 프리텐션	4.90, 6.86, 9.32, 11.77, 14.71 (MN)
포스트의 개수	5, 7, 9, 11, 13 (개)
포스트의 길이	2, 4, 6, 8, 10 (m)

3.1 구조물의 초기 캠버

일반적인 구조물뿐만 아니라 언더텐션 시스템의 구조물에 있어서도 초기 캠버의 비율에 따라서 최대 처짐이 감소하는 효과를 보여줄 수 있다.

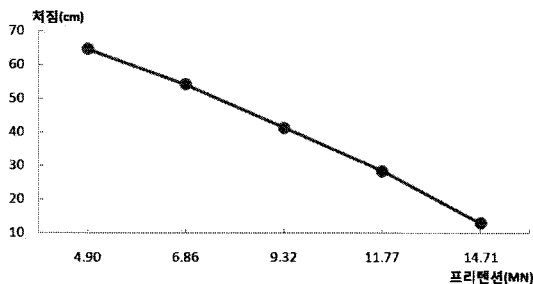


<그림 3> 초기 캠버에 따른 처짐 변화

캠버를 주지 않았을 때가 가장 처짐이 크게 나타났으나, 캠버비율이 2%를 넘어가면서 그 처짐이 다시 증가하는 것으로 나타났다. 이는 캠버의 높이가 증가할수록 6m로 고정되어 있는 포스트의 높이로 인하여 언더텐션 케이블의 효과가 감소한 것으로 사료된다.

3.2 케이블의 프리텐션

언더텐션 시스템에서 처짐의 제어에 가장 효과적인 방법은 케이블의 프리텐션 값의 조정이다. 케이블의 프리텐션 값이 증가할수록 구조물의 처짐은 선형적으로 감소하는 모습을 보여준다. 다만, 프리텐션의 값이 증가할 경우 시공비 및 기타 공사비의 증가로 이어질 수 있는 만큼 효율적인 프리텐션의 값의 결정이 필요하다.



<그림 4> 프리텐션에 따른 처짐 변화

3.3 포스트의 개수

언더텐션 시스템에 있어서 포스트는 언더텐션 케이블과 구조물을 결속시키는 역할을 하며, 포

스트의 개수에 따라서 포스트에 작용하는 압축력에 차이가 발생하며, 그에 따라서 포스트의 크기 및 물량에 차이가 발생하게 된다.

<표 7> 포스트의 개수와 처짐

포스트의 개수(개)	처짐(cm)	물량(tonf)
7	37.3	4072
9	36.6	4212
11	36.6	4350
13	37.1	4489
15	37.5	4532

포스트의 개수를 7개에서 15개로 순차적으로 늘려본 결과 물량의 증가량에 비하여 처짐의 감소량은 크게 변하지 않는 것으로 나타났다. 이는 실제 최대 처짐은 훨씬 감소하나, 포스트 개수의 증가에 따른 물량의 증가로 인하여 그 처짐의 감소량이 줄어드는 것으로 판단된다.

3.4 포스트의 길이

포스트의 길이에 따라서 양 단부에 고정된 케이블의 각도 차이가 발생하게 된다. 언더텐션 시스템에서 케이블의 각도 차이는 시스템의 효율성에 영향을 주게 된다. 본 연구에서는 캠버가 없는 상태에서 포스트의 길이 변화에 따른 처짐의 차이를 비교하였다.

<표 6> 포스트의 길이와 처짐

포스트의 길이(m)	처짐(cm)	물량(tonf)
2	282.6	5814
4	120.3	6501
6	58.4	7259
8	31.5	8047
10	18.2	8853

포스트의 길이가 증가할수록 물량이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 포스트에 소비되는 물량이 증가함에 따라서 나타나는 결과이다. 그러나 물량의 증가에도 불구하고 최대 처짐은 크게 감소하는 것으로 나타나는데, 이는 케이블의 단부에서의 각도가 전체 시스템의 효율성에 영향을 미치는 것을 나타낸다. 다만, 포스트의 길이가 증가할 경우 전

체 구조물에 있어서 구조물이 크기가 증가하여, 초기 언더텐션 시스템을 사용하고자 하는 목표인 구조물의 세장화에 맞지 않으므로, 적절한 포스트의 길이 선택이 필요하다.

4. 최적화 모델

위 변수를 대상으로 하여 구조해석을 수행한 결과를 바탕으로 본 연구에서 안전성 및 경제성을 고려하여 가장 합리적인 구조물의 조건을 분석한 결과는 <표 7>과 같다.

<표 7> 최적화 모델 조건

조 건	내 역
초기 챔버	1.6 m (2 %)
케이블의 프리텐션	9.32 MN
포스트의 개수	7 개
포스트의 길이	6 m
최대 처짐	30.7 cm
물 량	4030 tonf

5. 결론

언더텐션 시스템을 적용한 장 스패 구조를 각각의 변수를 대상으로 처짐에 비추어 구조해석을 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있었다.

1. 언더텐션 시스템이 적용되는 구조물에 초기 챔버를 준 결과 챔버의 비율이 증가할수록 최대 처짐이 감소하는 결과를 얻을 수 있었다. 다만, 챔버의 높이에 맞추어 포스트의 길이를 변화시킴으로써 언더텐션 케이블의 효율을 높이는 연구가 필요하다.
2. 일반적인 장 스패 구조의 경우 구조물의 처짐 제어를 위하여 큰 부재를 사용하는 것이 일반적이다. 이 경우 언더텐션 시스템을 사용한다면 비슷한 처짐을 유도하면서 구조물의 물량을 줄일 수 있어서 공사비의 절감을 가져올 수 있을 것으로 사료된다.
3. 언더텐션 시스템에 있어서 케이블의 프리텐션의 크기가 구조물의 처짐을 줄이는데 있어서 가장

효율적이거나 과도하게 프리텐션을 줄 경우 시공비가 과도하게 증가할 수 있어, 공사비의 상승으로 이어질 수 있으므로 세심한 주의가 요구된다.

4. 향후 물량의 감소에 따른 진동에 대한 고찰과 본 연구에서 가정한 제반조건 이외에 기타 조건에서 사용 가능한 일반적인 언더텐션의 효율화 방안에 대한 연구가 필요할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 서울시 기술기반 구축사업 (과제번호: GR070033)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

참고문헌

1. 박찬수, 최선영, “삼각형 케이블네트를 이용한 텐서그러티 구조 디자인”, 한국셀공간구조학회 학술발표회 논문집, 2005.5., pp.161-166.
2. 백인성, 정을석, 김승덕, “하중조건에 따른 Tensegrity 케이블 돔의 불안정 거동 특성에 관한 연구”, 한국셀공간구조학회 학술발표회 논문집, 2005.5., pp161-166.
3. 고광웅, 김재열, 권택진, “단일 곡률을 갖는 아치형 텐서그러티 시스템 개발”, 대한건축학회 논문집, 2002.8., pp27-34.
4. 양석우, 정혜진, 최지영, 김기호, “도시 그린웨이 네트워크를 위한 계획체계에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, 2007.6., pp209-220
5. <http://www.cospi.co.kr>