

# 재긴장과 무선 모니터링이 가능한 유압식 케이블 접합부시스템의 실험에 대한 연구

## Experimental study of Hydraulic Cable Connection Systems with Re-tensioning and Wireless Monitoring

김민수\*      이기학\*\*      김성범\*\*\*      이성민\*\*\*\*      백기열\*\*\*\*\*  
Kim, Min-su      Lee, Ki-hak      Kim, Seong-Beom      Lee, Sung-Min      Baek, Ki-Youl

### 요약

케이블 구조시스템의 경우 자기 평형 상태를 유지하기 때문에 장력이 손실된 특정 케이블을 재긴장을 하지 않으면 구조엔지니어가 요구한 하중보다 더 큰 하중이 다른 케이블에 전달되어 손상을 야기 할 수 있다. 또한, 턴버클을 이용한 재긴장 방법이 기존에 널리 적용되고 있지만 정확한 장력조절과 대구경 케이블에는 적절하지 못하고 인장재의 하중의 크기를 측정하는 것이 어렵다. 따라서 효과적으로 재긴장 할 수 있는 유압식 볼팅 접합부를 개발하고 인장력을 실시간으로 확인할 수 있는 모니터링 시스템을 적용하였다. 본 논문에서는 개발된 시스템의 현장 적용성 실험과 결과를 제시하였다.

### Abstract

Due to the self-equilibrium status of the cable system, the loss of the tensioning in the cable system results in other cables carrying larger tension forces than those initially calculated by structural engineers. Also, turn-buckle systems, which have been widely used to pre-tension and/or re-tension the cables, are limited to use for small cables and to provide a rough estimation for tension forces. In this study, the re-tensioning cable connection systems were developed to overcome the problems mentioned above. The main objective of the proposed system is to re-tension large cables and measure the exact amount of tension forces of the cable systems. This connection system is also combined with the wireless signal monitoring module so that engineers are able to measure the tension forces any place where the internet is available. This paper presents the development of the re-tensioning cable connection systems and experiment using the real-scale cable systems to verify the re-tensioning and signal monitoring systems.

키워드 : 유압식 볼팅 접합부, 케이블 시스템, 재긴장, 현장 시공성 검토

Keywords : Hydraulic bolting connection, Cable system, Re-tension, Test of constructability

## 1. 서론

현대 사회는 경제력의 향상으로 인하여 다양한 형태와 목적을 가진 건축물을 사회에서 요구하고 있고 그 중의 하나로 국민의 다양한 문화적 사회적 욕구 충족을 위한 대공간 구조물에 대한 수요가 증가하고

있다. 이러한 사회적 경향에 따라 케이블을 주요 구조부재로 사용하는 건축물이 증가추세에 있지만 케이블을 주요 하중 저항시스템으로 사용하는 경우 일반적인 구조부재와는 특성이 다른 케이블의 고유성질과 문제점을 고려해야 한다. 케이블은 안정된 강성을 얻기 위해서는 미리 인장력을 케이블에 부여해야 하며, 이를 통해 자기 평형 상태를 유지하여야 한다. 또한 케이블을 지지하고 고정하는 케이블 접합부의 경우 장기적인 사용과 외부노출 시 케이블의 지정이동 등에 의해 특정 케이블의 초기장력이 손실되면 재긴장을 할 필요성이 있다.<sup>1)</sup>

\* 세종대학교 건축공학과 석사과정  
\*\* 교신저자, 세종대학교 건축공학과 부교수, 공학박사,  
E-mail : kihaklee@sejong.ac.kr  
\*\*\* (재)한국건설품질연구원 연구원, 석사  
\*\*\*\* (재)한국건설품질연구원 이사, 공학박사  
\*\*\*\*\* CS구조엔지니어링 기술연구소 연구실장, 공학박사

기존의 케이블 접합부는 턴버클을 이용하여 장력을 재긴장하는 방식이 많이 사용되고 있지만 이는 초대형 구조물인 대공간 구조물에 사용되는 대구경 케이블에는 적합하지 않다. 또한 유지관리측면에서 재긴장을 수행하기 위해서는 많은 비용과 주변 조건의 제약 때문에 재긴장이 불가능 할 수 있다.

또한, 케이블 장력의 유지관리를 위한 장력측정에 대해 상시적이고 간편한 측정방법이 개발되지 않은 상태이다. 기존의 스트레인게이지, 진동측정법 등의 방법들이 있지만 이는 여러 전자장비를 동원해야 하는 번거로움 및 초기 값 관리의 어려움 등의 문제점을 가지고 있다.<sup>2)</sup> 이러한 문제점을 해결하고자 개발된 시스템에 무선 로드셀을 결합하여 인장재에 작용하는 인장력을 측정할 수 있도록 제안하였고 장력이 손실된 특정 케이블에 유압을 이용하여 손쉽게 장력을 부여할 수 있는 접합부 시스템을 제안하였다.

따라서 본 논문의 목적은 이전 연구<sup>3)</sup>에서 개발된 재긴장이 가능한 케이블 접합부의 최적화를 수행하고 무선 모니터링 시스템을 개발된 재긴장 정착 시스템과 결합하여 케이블에 작용하는 장력을 상시적으로 쉽게 측정할 수 있도록 하였다. 이는 케이블과 정착부 시스템의 실물 실험을 통해 최적화된 시스템의 현장적용성과 예상되는 성능을 검증하고 케이블 구조의 장력변화를 검토하였다.

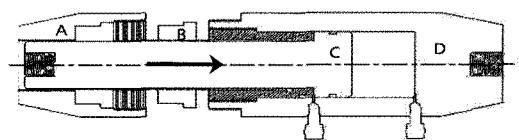
## 2. 재긴장과 모니터링이 가능한 케이블 접합부 시스템

### 2.1 유압식 재긴장 접합부

케이블 시스템의 경우 자기 평형상태를 유지하기 때문에 장력이 손실된 특정 케이블은 재긴장을 하지 않으면 구조엔지니어가 요구한 하중보다 큰 하중이 다른 케이블에 전달되어 손상을 가져올 수 있으며 심한 경우 구조물의 불안정성을 유발할 수 있다. 본 연구에서 개발된 유압식 케이블 재긴장접합부는 기존의 수동 턴버클 방식이 아닌 유압에 의한 정확한

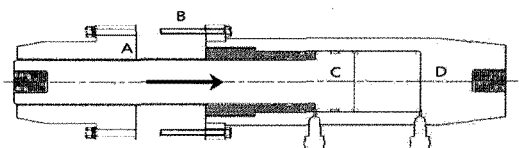
장력조절이 가능하며 무엇보다도 대공간 구조물에 적용되는 대구경 케이블에 대해 효과적으로 장력을 부여할 수 있다는 장점이 있다. 또한 케이블을 재긴장 할 때 유압장치의 설치문제점을 개선함으로써 기존 방법에 비해 뛰어난 시공성과 인력 및 시간 단축이 가능하다. 또한 유압시스템의 연결을 통해 여러 개의 케이블에 대한 동시에 재긴장이 가능하므로 시공성과 유지관리의 측면에서 케이블의 장력제어가 용이하다. 본 연구에서 개발한 유압식 재긴장 시스템은 직선형 재긴장 시스템과 플랜지형 재긴장 시스템의 2가지 모델을 개발하였다.

<그림 1>-(a)에 나타난 직선형 재긴장 시스템의 작동원리는 밸브를 통해 유압이 주입되면 고정된 튜브(D)에 의해 피스톤 축(C)이 화살표 방향으로 이동하여 피스톤 축(C)의 좌측단부에 연결된 케이블이 재 긴장되었을 때 유압을 제거한 이후에도 케이블의 긴장상태가 유지될 수 있도록 고정 너트(B)와 잠금 커버(A)를 볼트 체결한다. 대구경 케이블의 경우 튜브와 잠금 커버의 나사체결시 발생할 수 있는 시공상의 어려움을 해결하기 위한 목적으로 직선형 재긴장 시스템을 개선한 <그림 1>-(b)과 같이 플랜지형 재긴장 시스템을 개발하였다. 시스템의 작동원리는 앞에서 언급한 직선형 재긴장 시스템과 같고, 긴장 상태 유지를 위한 체결 시 고정너트(A)를 튜브(D)와



주) A: 잠금 커버, B: 고정너트, C: 피스톤 축, D: 튜브

(a) 직선형 재긴장 시스템



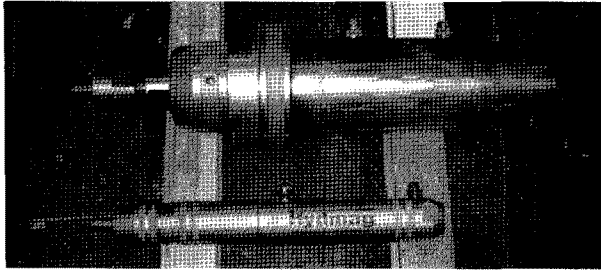
주) A: 잠금 커버, B: 플랜지, C: 피스톤 축, D: 튜브

(b) 플랜지형 재긴장 시스템

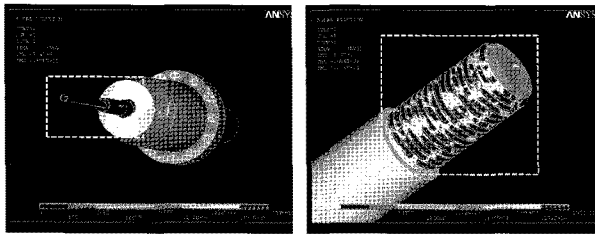
<그림 1> 유압식 재긴장 시스템 단면도

〈표 1〉 개발된 모델의 크기비교

	용량 (kN)	크기 (mm)	무게 (kg)	스트로크 길이 (mm)
(a) 기존개발모델	294	ø 179x764	149	100
(b) 최적화 모델	294	ø 112x620	47	200
(c) 본 연구 모델	98	ø 82x620	25	200



〈그림 2〉 개발된 유압식 재긴장 접합부 (초기모델 vs. 최적화모델)



〈그림 3〉 재긴장 접합부 유한요소해석모델

연결되어 있는 플랜지(B)를 이용하여 체결을 한다.

개발된 유압식 재긴장 접합부는 국내의 순수기술로 제작 되었으며 이전연구<sup>3)</sup>에서 개발된 접합부의 최적화 연구를 진행하였다. 대공간 구조에서의 케이블은 마스트(Mast)를 이용하여 지붕구조물을 지지하거나 지붕 막구조의 연결부재나 누름케이블 등의 지붕 구조 부재로 많이 사용되므로 대부분은 고소작업이 이루어지며 초기 시공시 가설경비 최소화 및 시공 편의성 향상을 위해 경량화가 필수적이다. 또한 세장한 부재인 케이블과 조화되도록하며 외부에 노출되었을 때 디자인의 측면에서 장점을 가지기 위하여 최적화 연구의 필요성이 크다.

기 개발된 재긴장 소켓(〈그림2〉-(a))은 최초 개발된 모델로 유압의 내부 압력등 기계적 안전율을 고려하여 상당히 보수적으로 설계되었지만 유한요소해석 결과 일정부분 소형화가 가능한 것으로 판단되

어 최적화 설계를 진행하였다. 최적화 설계는 유압을 견딜 수 있는 유압실린더를 기준으로 기본설계를 진행 후 유압잭의 출력을 산정하여 한정된 단면적 내에서 피스톤 면에 작용하는 압력을 높여 설계하였다. 구조적으로 응력이 집중되는 부분의 최소 크기를 고려하여 중량대비 기존모델의 31% 수준으로 경량화가 진행 되었으며 직경은 62% 수준의 최적화가 진행되었다.

본 연구에서는 최적화 모델인 294kN 용량을 기본으로 하여 케이블의 초기장력이 9.8kN로 설계 하중을 선정하여 이에 만족하는 98kN 용량의 유압식 재긴장 장치를 적용하였다. 이에 따라, 현장 적용성 여부와 실제 시공성에 대하여 실험을 통해 고찰하였다.

## 2.2 무선모니터링 시스템

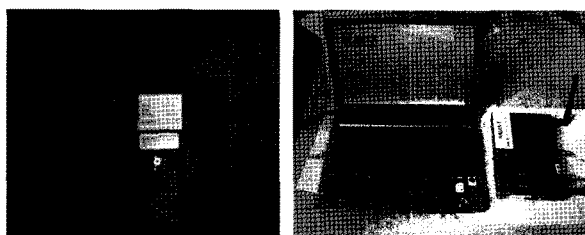
국내외 건설 분야에는 건전도 모니터링을 통해 구조물의 상태를 실시간으로 확인, 평가하고 발생하는 구조적 손상을 감지하여 구조물의 상태평가와 안전성 확보를 위해 계측시스템을 구축하고 있다. 한편 기존 구조물의 건전도 모니터링은 유선계측시스템에 크게 의존되어 왔으며, 이 시스템은 많은 장점에도 불구하고 초기 설치 및 유지, 관리 측면에서 경제성과 효율성이 떨어지는 문제점을 안고 있다. 따라서 최근 건설 분야에는 다양한 형태로 개발된 계측센서와 전기, 전자 통신 및 IT분야의 기술력을 바탕으로 한 무선 계측시스템을 이용하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 이러한 무선계측시스템은 구조물로부터의 응답을 획득함에 있어 시공간의 제약을 크게 줄일 수 있다. 또한, 유선계측시스템에서의 초기설치 및 유지, 관리를 위한 비용과 노력을 최소화 할 수 있어 구조물의 건전도 모니터링에 효과적이라 할 수 있다.<sup>5)</sup>

이에 따라, 대공간 건축구조물의 케이블 장력을 직접 로드셀을 이용 무선 모니터링 시스템 개발의 접목을 고려하였다. 이는, 가속도센서를 이용한 케이블의 고유진동수를 측정하여 장력을 추정하는 방

법에서 탈피하여 일반적인 장력을 측정하는 로드셀을 이용한 직접적인 측정방식으로 진동측정방식에 비해 간단하면서도 가장 정확한 데이터의 취득이 가능하고, 누구나 손쉽게 판별도 가능하다. 특히, 사장교 등 토목 구조물의 케이블 같이 고장력이 요구되거나 재긴장이 필요하지 않는 구조물보다는 건축 케이블구조처럼 시공단계에서부터 케이블 장력을 정확하게 파악하여 시공 및 유지관리 해야 하는 구조물의 경우 그 필요성이 더욱 요구된다.<sup>6)</sup>

〈그림 4〉는 개발된 무선로드셀과 네트워크 수신기가 결합된 최종 완성된 형태를 보여 주고 있다. 기존의 무선 로드셀을 유압식 재긴장 접합부와 연결할 수 있게 제작하였으며 무선 모니터링 시스템은 자체적인 프로그램을 개발하여 직접 장력 모니터링을 구성하였다. 직접식 케이블장력 무선모니터링 시스템에 사용되는 무선 송수신 모듈은 한국방송통신위원회 산하 전파연구소에서 허가를 득하지 않아도 사용 가능한 2.4GHz 또는 5GHz 영역대(블루투스, Zigbee, 무선LAN 등)의 주파수를 사용하도록 제작 되었다. 이를 통해 고도의 신뢰성과 내구성을 요하는 시스템으로 혼선이 발생하지 않는 청정 주파수 영역대를 사용하게 됨으로 접합부에 작용하는 장력을 상호간섭없이 안정되게 확인할 수 있으며 로드셀을 적용하는데 있어 가변설비를 최소화 할 수 있도록 하였다.

직접식 케이블 장력 무선모니터링 시스템의 프로그램은 다양한 분석이 가능하도록 제작되어 지지값 및 주의값, 위험값등 경보의 단계화를 시켜 상황에 맞는 대책수립이 가능하도록 프로그램화 하였다. 또한, 관리 사이트를 통해 현장 상황실과 똑같은 데이



〈그림 4〉 무선 로드셀과 수신기

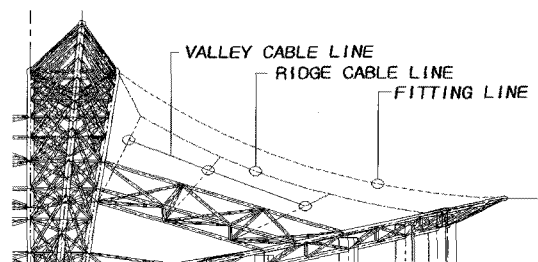
터 및 분석화면을 모니터링 할 수 있으며, 경보 발생 시 즉각 상황실에 경보 발령 불이 들어오고 작업자 및 현장 책임자들에게 신속하게 핸드폰 문자 메시지를 통해 현장 상황을 실시간으로 알려 줄 수 있다.

이를 통해 갈수록 대형화 구조의 복잡화 되어가고 있는 건축 구조물의 공영수명을 증대시키고, 선진화된 유지관리 체계를 구축하여 이용자의 안전과 효율적인 관리 시스템을 만들고자 한다.

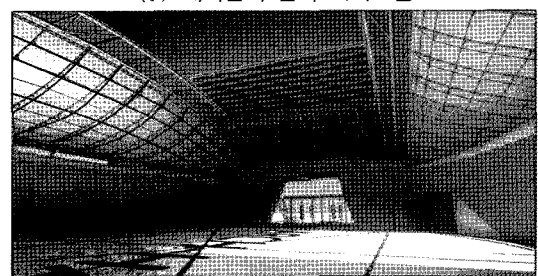
### 3. 케이블 재긴장시스템의 실험방법

실험의 계획은 유압식 재긴장 상태의 유용함을 확인하고 재긴장 장치와 무선 로드셀간의 연결 및 작동 상태를 확인하는 것이 주 목적이다. 또한, 네트워크 시스템의 작동상태와 설정된 프로그램이 케이블 장력의 기준 값 설정과 주의 값, 위험 값 및 긴급 상황 값 등의 설정 등에 따라 사용자에게 경고, 알람 등의 기능 확인을 계획하였고 케이블의 새그량에 대한 벨리 및 릿지케이블의 하중변화의 검토를 위한 실험을 수행하였다.

계획 중인 구조물의 설계도면(〈그림 5〉)을 기초로 하여 실험실 조건에 맞추어 1개의 릿지 케이블과 3

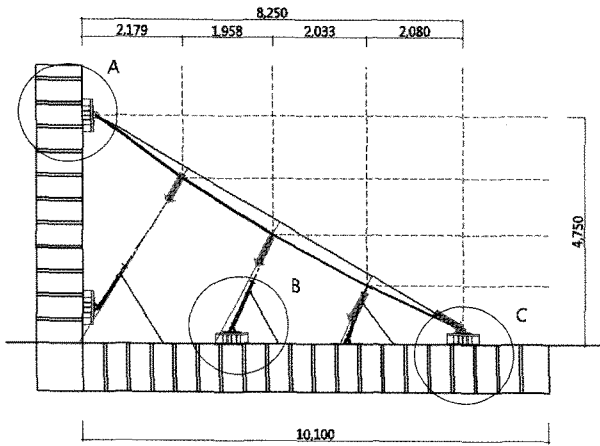


(a) 케이블의 설치 계획도면

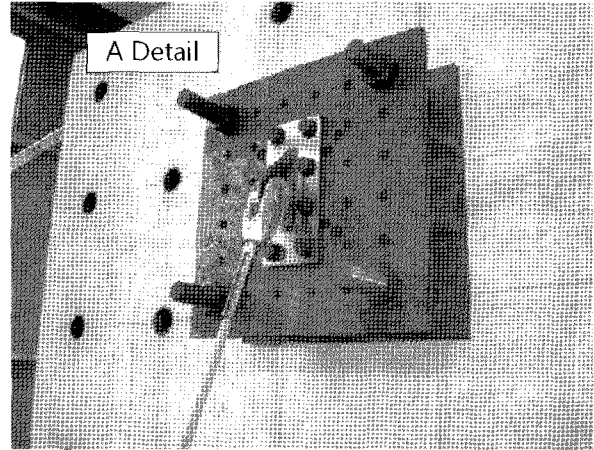


(b) 내부 투시도

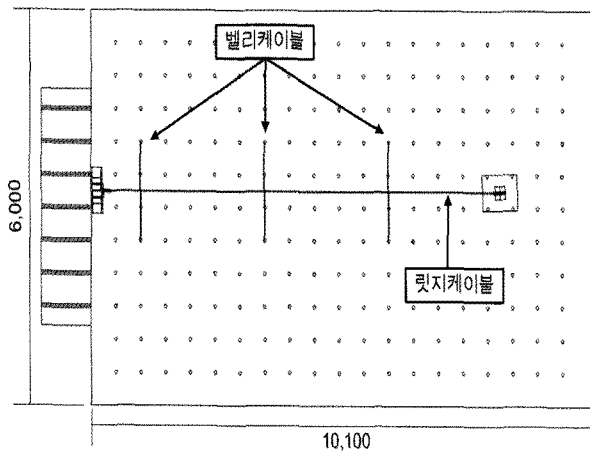
〈그림 5〉 한국과학기술대학교 ARCH HALL 조성계획의 설계도면



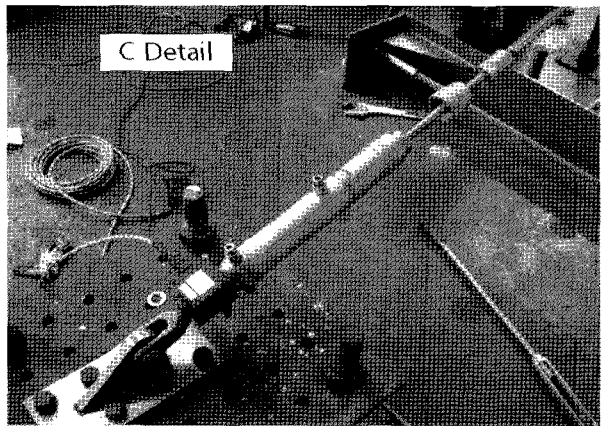
〈그림 6〉 실험체 계획 입면도(단위 : mm)



〈그림 8〉 실험체 계획 A 상세도



〈그림 7〉 실험체 계획 평면도(단위 : mm)



〈그림 9〉 실험체 계획 C 상세도

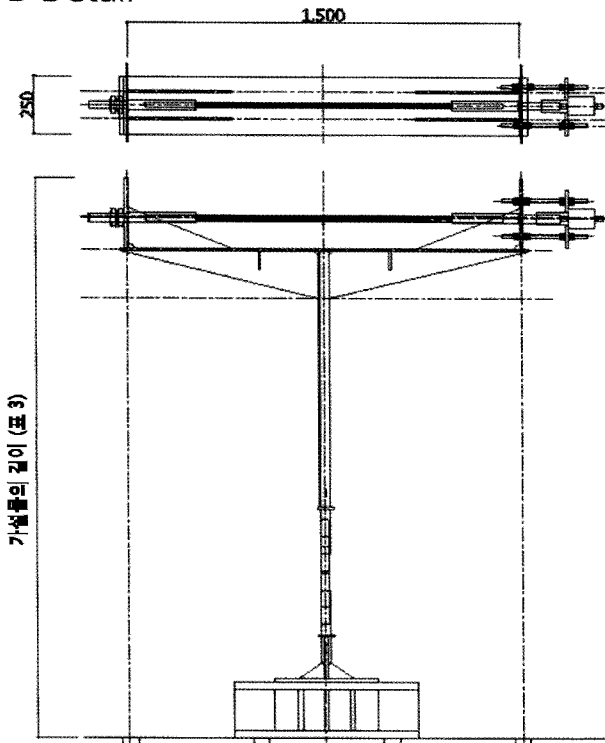
개의 벨리 케이블로 이루어진 네트구조를 형상화 하였다. 릿지 케이블의 길이는 9.11m이고 벨리 케이블의 길이는 1.5m 이다. 릿지 케이블과 벨리 케이블의 규격은 <표 3>와 같으며 실험의 안정성 및 하중이력에 따른 하중-신장 관계를 고려하여 실험 중 케이블에 최대 작용하는 하중은 릿지케이블 파괴하중의 50%로 제안하였다.<sup>4)</sup>

〈그림 8>과 같이 릿지 케이블의 수직 전단벽의 정착부는 오픈 스웨지 소켓을 사용하여 케이블을 고정하였다.

〈그림 9>와 같이 지면의 정착부는 유압식재진장 접합부와 무선로드셀을 결합하여 정착하였다.

〈그림 10>은 벨리 케이블 형상화를 위한 지그를 나타낸다. 네트구조를 형상화하기 위하여 벨리 케이블을 고정할 수 있는 지그를 3개 제작하였다. 지그의 크기는 릿지케이블의 세그량을 고려하여 제작하였으며, 지그의 가로 길이는 1500mm이고 세로 길이는 <표 3>와 같이 벨리케이블의 위치에 따라 각각 길이를 3600mm, 2640mm, 1500mm로 하여 제작하였다. 벨리케이블의 위치변화에 따른 각 케이블의 하중변화를 검토 하기위하여 지그 기둥의 중간 부위에 변위 조절나사를 설치하여 300mm까지 벨리 케이블의 위치를 조절할 수 있도록 제작하였다. 또한 벨리 케이블과 무선 로드셀을 연결하여 벨리 케이블에 작용하는 장력을 확인할 수 있게 하였다.

B Detail



〈그림 10〉 실험체 계획 입면 B 상세도(단위 : mm)

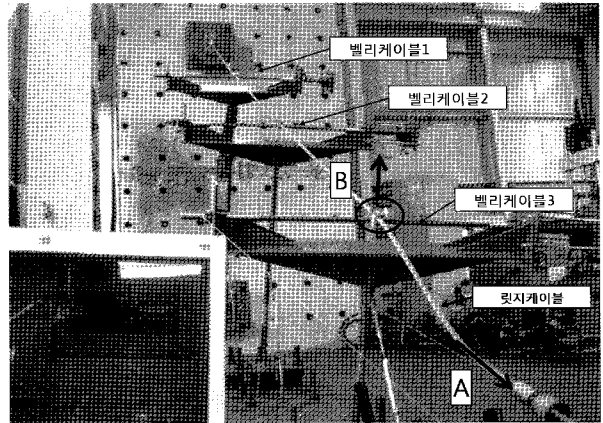
〈표 2〉 케이블 규격

종류	릿지케이블	벨리케이블
재료	WIRE ROPE ø 20(7×19)	STRUCTURAL ROPE ø 25(6×19)
공칭지름	20mm	25mm
단면적	157mm <sup>2</sup>	298mm <sup>2</sup>
중량	1.46kg/m	2.48kg/m
파괴하중	216 kN	394 kN

〈표 3〉 벨리케이블 가설물의 길이

구분	VARIATION
벨리케이블 1	3600mm
벨리케이블 2	2640mm
벨리케이블 3	1500mm

〈그림 11〉은 벨리케이블과 릿지케이블의 연결 상태와 벨리케이블의 수직변위 측정 위치를 나타낸다. 실험 1에서 릿지케이블의 장력을 A방향으로 증가시킴에 따라 각 벨리케이블과 릿지케이블의 연결부에서 B방향으로 이동하는 벨리케이블의 위치 변화를 측정하였다.



〈그림 11〉 벨리케이블과 릿지케이블의 위치

〈표 4〉와 같이 릿지케이블의 초기장력을 달리하고 그에 따른 릿지케이블과 벨리케이블의 하중 변화를 검토 하였다. 4번의 실험을 계획하였으며, 실험 1은 벨리케이블의 수직위치는 고정된 상태에서 릿지케이블의 장력이 최초 0.15tonf에서 0.3tonf 씩 증가하여 3.15tonf 까지 변화 하였을 때 각 케이블의 하중상태를 점검하였다.

실험 2~4는 릿지케이블의 최초 장력 값을 1.47kN, 10.29kN, 22.05kN 로 설정하고 벨리케이블의 수직 변위를 벨리케이블의 위치에 따라 지면 방향으로 100mm, 160mm, 120mm 까지 줄였을 때의 릿지케이블과 벨리케이블의 하중 상태를 점검하였다.

〈표 4〉 실험 가력 계획

실험별 릿지 케이블의 초기장력(kN)	실험1	실험2	실험3	실험4
	릿지 케이블	벨리 케이블1	벨리 케이블2	벨리 케이블3
Step	tonf	mm	mm	mm
Base	1.47	0	0	0
1	4.41	10	20	10
2	7.35	20	30	20
3	10.29	30	50	40
4	13.23	40	60	50
5	16.17	50	80	60
6	19.11	60	100	70
7	22.05	70	110	90
8	24.99	80	130	100
9	27.93	90	140	110
10	30.87	100	160	120

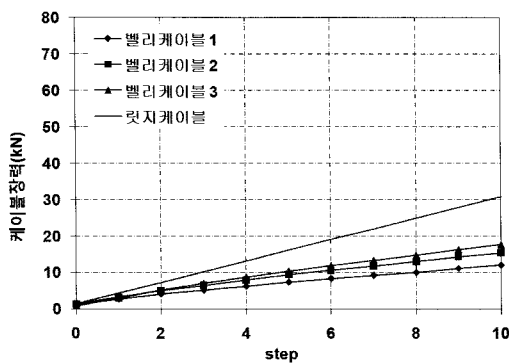
### 4. 케이블 재긴장 시스템의 실험 결과

〈그림 12〉은 실험 1의 결과를 나타낸다. 실험 1은 릿지 케이블의 장력을 1.47kN에서 30.87kN 까지 2.94kN 씩 유압식 재긴장 장치를 이용하여 증가하였을 때 각 케이블의 응력 변화를 고찰하였고 기존 턴버클을 이용한 접합부 시스템과 비교하여 장력을 부여함에 있어 사용자의 편의성이 증대 되었는지 여부를 판단하기 위하여 진행하였다. 〈그림 13〉에 나타난 것처럼 릿지케이블의 장력이 변함에 따라 벨리케이블의 장력이 일정한 크기로 변함을 확인 할 수 있고 지면 접합부와 가까이 위치한 벨리케이블 1의 장력 변화가 가장 작고 벽면 접합부와 가까이 위치한 벨리케이블 3의 장력 변화가 가장 크게 나타남을 확인 할 수 있었다. 릿지케이블의 장력 변화가 일정한 크기로 증가함에 따라 벨리케이블의 장력 또한 일정하게 증가함을 확인 할 수 있다.

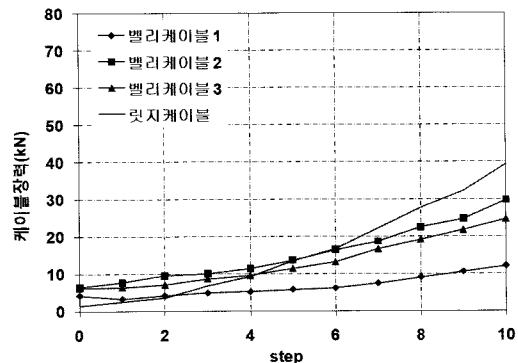
실험 1을 통하여 개발된 재긴장 시스템이 특정 케

이블의 장력이 손실되었을 때 요구 장력을 다시 부여함에 있어 유압을 이용함으로써 기존의 턴버클을 이용한 접합부에 비해 가설장비를 줄일 수 있는 장점을 가지고 있고, 기존의 방식이 여러 명의 작업자를 필요로 하지만 유압식 재긴장 시스템의 경우 휴대용 유압펌프와 펌프를 조작할 수 있는 작업자 한 명만이 필요하기 때문에 인건비 절감 방안에도 큰 효율을 지니고 있음을 확인하였다.

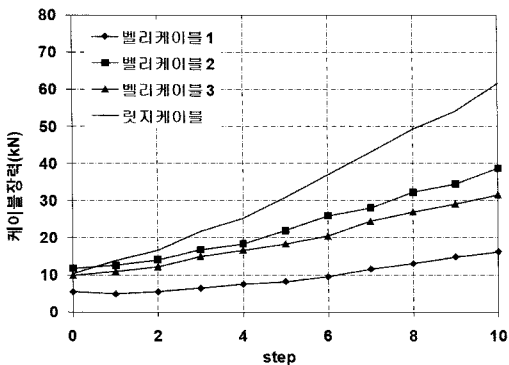
〈그림 13〉은 실험 2의 케이블 장력 변화를 나타낸다. 실험 2는 릿지케이블의 초기 장력을 1.47kN 로 설정하고 벨리케이블의 수직방향 변위를 지표면 접합부와 가까운 위치순으로 최대 100mm, 160mm, 120mm 까지 줄임으로서 케이블의 하중 변화를 검토 하였다. 벨리케이블의 위치 변화에 따라 가장 큰 폭으로 장력이 변화한 케이블은 릿지케이블이며 39.4kN 의 값을 나타냄을 확인하였다. 위치가 가장 많이 줄어든 벨리케이블 2가 벨리케이블 중 가장 큰 장력 변화를 나타내었고 29.69kN 의 장력을 가지고



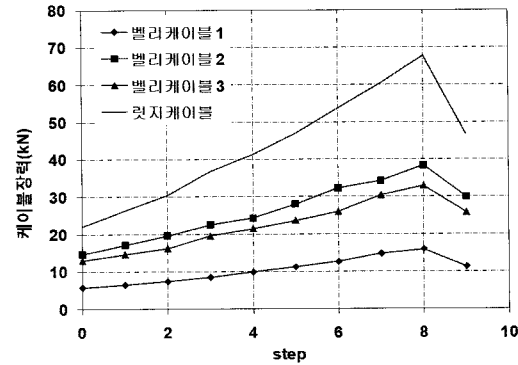
〈그림 12〉 실험 1의 케이블 장력 변화



〈그림 13〉 실험 2의 케이블 장력 변화



〈그림 14〉 실험 3의 케이블 장력 변화



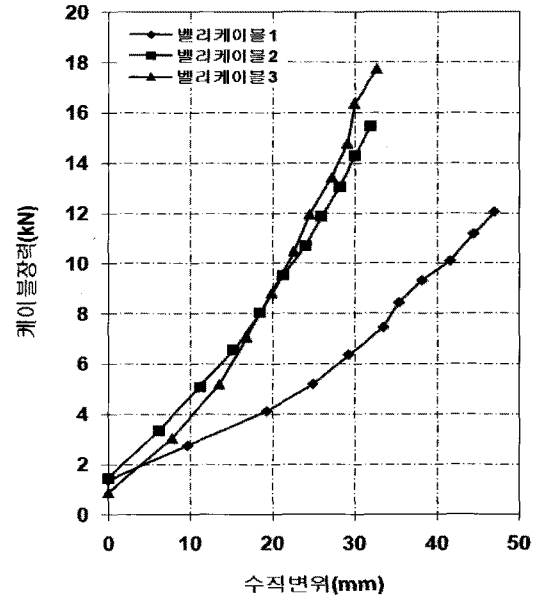
〈그림 15〉 실험 4의 케이블 장력 변화

있음을 확인하였다.

〈그림 14〉는 실험 3의 케이블 장력 변화를 나타낸다. 실험 3은 릿지케이블의 초기 장력을 10.29kN로 설정하고 벨리케이블의 수직방향 변위를 지표면 접합부와 가까운 위치순으로 최대 100mm, 160mm, 120mm까지 줄임으로서 케이블의 하중 변화를 검토하였다. 벨리케이블의 위치 변화에 따라 가장 큰 폭으로 장력 변화를 갖는 케이블은 릿지케이블이며 61.64kN의 장력을 가짐을 확인 하였다. 위치가 가장 많이 줄어든 Valley 2가 벨리케이블 중 가장 큰 장력 변화를 나타내었는데 최대값은 38.71kN 를 나타내었다.

〈그림 15〉는 실험 4의 케이블 장력 변화를 나타낸다. 실험 4는 릿지케이블의 초기 장력을 22.05kN로 설정하고 벨리케이블의 수직방향 변위를 지표면 접합부와 가까운 위치순으로 최대 100mm, 160mm, 120mm까지 줄임으로서 케이블의 하중 변화를 검토하였다. 벨리케이블의 위치 변화 중 벨리케이블의 위치가 130mm 줄어들었을 때 릿지케이블의 장력은 최대 67.82kN을 나타내었으며, 140mm로 위치를 조정하는 중에 벨리케이블과 릿지케이블의 접합연결부의 위치가 변화 하면서 네트 구조의 전체적인 장력이 감소하게 됨을 확인 하였다. 이는 케이블접합부의 철물이 마찰에 의해 위치가 변화함에 따라 전체적인 장력의 배분이 변화된 것으로 사료되며 이에 따른 결과는 추후 연구에 더욱 고찰을 하도록 하겠다.

〈그림 16〉은 실험 1에서의 벨리케이블의 장력-변위 그래프를 나타낸다. 그래프에서 나타난 것처럼 벨리케이블 2와 벨리케이블 3은 초기신장영역을 지나 탄성신장으로 넘어가는 양상을 보이는 반면에 벨리케이블 1은 장력의 증가에 따른 수직변위 변화가 크게 나타나는데, 이는 벨리케이블과 릿지케이블의 연결부위의 결속이 완전히 이루어지지 않아 장력의 전달이 원활 하지 못한 것으로 사료되며, 추후연구를 통해 해석프로그램을 이용한 결과분석을 수행 할 예정이다.



〈그림 16〉 실험 1의 벨리케이블 장력-변위 그래프

전체적인 실험 진행 동안 무선 모니터링 시스템의 경계 값을 29.4kN로 설정하여 진행을 하였고 케이블의 장력이 경계 값 이상이 되었을 시 경고/알람을 울리게 되어 사용자에게 상황을 알려줄 수 있음을 확인 하였다.

## 5. 결론

본 연구에서는 케이블의 장력을 효율적으로 재긴장할 수 있는 접합부와 모니터링이 가능한 네트워크 시스템의 개발을 제안 하였다. 개발된 시스템의 현장 적용성 실험을 통하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) 기존의 개발된 시스템과 비교하여 소형화, 경량화 되어 시공성과 사용성이 증가하였으며 기존의 턴버클을 이용한 접합부 방식에 비해 유압을 이용함으로써 간편하게 장력이 손실된 케이블에 재긴장이 가능함을 보여 주었다.

(2) 무선 모니터링 시스템의 경우 실시간으로 케이블의 장력을 측정할 수 있음을 확인하였고, 사용자가 정한 장력손실이 발생하게 되면 경고 시스템이 작동함을 확인 하였다. 또한 3개의 벨리케이블 중 중간에 위치한 벨리 케이블2의 장력변화가 가장 크



다는 것을 확인 할 수 있었다.

(3) 실험을 통해 네트구조의 장력 변화를 측정하였고 추가 적인 실험을 진행하여 케이블 네트구조의 응력분포를 고찰 할 예정이다. 추후 연구에서는 본 연구에서 개발된 시스템을 300m 이상의 대공간 구조물에 적용하여 실용화 여부를 판단할 것이다.

## 감사의 글

본 논문은 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비 지원(과제번호# '06 건설핵심 B03)과 2009년 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 (2009-0086384)수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

## - 참고문헌 -

1. 한국공간구조학회 (2009) 케이블구조 설계기준 및 해설, 기문당
2. 신경재, 이수현, 인장력 장기 측정기 개발에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 제 18권, 제 6호, 2006
3. 김성범, 신지욱, 이기학, 이성민, 재긴장이 가능한 케이블 접합부시스템 개발에 대한 연구, 한국공간구조학회 춘계학술 발표논문집 Vol. 6, No. 1, 2009
4. 박강근, 이장복, 김재봉, 케이블의 역학적 특성 및 인장실험, 한국공간구조학회지. Vol 7. No 3. 2009
5. 박강근, 이장복, 하재원, 김재봉, 케이블 연결 소켓의 인장강도, 한국공간구조학회 춘계학술발표 논문집 Vol. 5, No. 1, 2008
6. 신경재, 이수현, 인장력 측정용 턴버클의 실험 및 해석, 한국강구조학회논문집, 제21권, 제 2호, 2009

(접 수 일 자 : 2010년 10월 1일)

(심사 완료일자 : 2011년 3월 7일)

(게재 확정일자 : 2011년 5월 27일)