

개폐식 방사형 케이블 지붕 시스템의 역학적 특성

Mechanical Characteristics of Retractable Radial Cable Roof Systems

박 강 근*
Park, Kang-Geun

이 동 우**
Lee, Dong-Woo

최 동 일***
Choe, Dong-Il

Abstract

The objective of this study is to analysis the mechanical characteristics on the geometric nonlinear behavior of radial cable roof systems for long span retractable cable roof structures. The retractable roof is designed as a full control system to overcome extreme outdoor environments such as extreme hot or cold weather, strong wind or sunlight, and the cable roof greatly can reduce roof weight compared to other rigid structural system. A retractable cable roof system is a type of structures in which the part of entire roof can be opened and closed. The radial cable roof is an effective structural system for large span retractable roofs, the outer perimeter of the roof is a fixed membrane roof and the middle part is a roof that can be opened and closed. The double arrangement cables of a radial cable truss roof system with reverse curvature works more effectively as a load bearing cables, the cable system can carry vertical load in up and downward direction. In this paper, to analyze the mechanical characteristics of a radial cable roof system with central posts, the authors will investigate the tensile forces of bearing cables, stabilized cables, ring cables, and the deflection of roof according to the height of the post or hub that affects the sag ratio of cable truss. The tensile forces of the cables and the deflection of the roof are compared for the cases when the retractable roof is closed and opened.

Keywords : Radial cable roof systems, Geometric nonlinear behavior, Long span retractable cable roof structures

1. 서론

방사형 케이블 지붕 시스템은 중앙부 허브를 중심으로 내력 케이블과 안정 케이블이 방사 방향으로 역방향 곡률을 이루어 매우 가볍고 안정된 지붕 시스템이다. 방사형 케이블 지붕 시스템에서 각각의 케이블의 인장력을 지지하는 역할을 하는 외부 링과 자기 평형을 이룬다. 이때의 외부 링은 압축력을 받는다. 이러한 방사형 케이블 시스템은 장스팬이고 외부 하중에 대한 변형이 크기 때문에 지붕의 새그비와 초기장력의 크기에 따른 역학적 특성에 대한 분석이 매우 중요하다. 지붕의 스펠에 따른 적정한

트러스의 개수와 중앙부의 허브 높이의 결정이 방사형 지붕의 구조설계 시 고려해야할 중요한 요인이다. 방사형 케이블 개폐식 지붕 시스템은 지붕의 외주부는 고정막 지붕으로 하고, 중앙부는 열고 닫을 수 있는 개폐식으로 하여 외부의 기후조건에 능동적으로 적응할 수 있는 지붕 시스템이다. 개폐식 경기장 지붕 시스템은 혹한기와 혹서기에서도 쾌적한 환경조건에서 경기를 관람할 수 있고, 운동선수들도 신체적으로 안정된 환경조건에서 경기를 수행할 수 있다¹⁻⁹⁾.

본 연구에서는 구조적으로 안정적이며 강성의 확보가 용이한 장스팬 경량 개폐식 구조물에 사용할 수 있는 방사형 케이블 지붕의 구조시스템을 제안한다. 초기장력, 중앙부 허브의 높이 등에 대한 영향을 고려한 기하학적 비선형해석을 수행하여 제안된 시스템의 역학적 특성 및 구조적 거동을 분석하고자 한다. 100m 및 200m 스펠의 방사형 지붕 시스템과 스포크 휠 시스템을 비교하고, 제안된 케이블 지붕 시스템에 대한 지붕의 처짐, 안정 케이블의

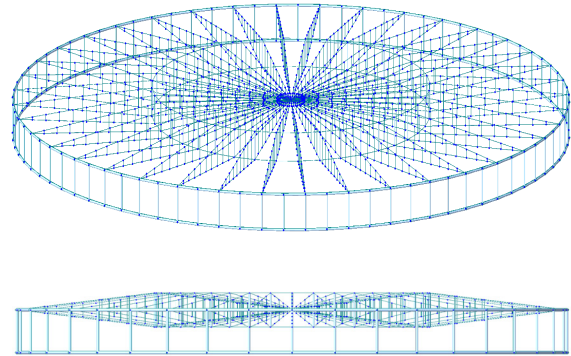
* 교신저자, 정회원, (주)아이스트 기술연구소, 공학박사
I'ST Technology Institute
Tel: 02-2036-1131 Fax: 02-2036-1201
E-mail: pkg6952@naver.com
** 정회원, (주)아이스트, 공학박사
I'ST Co., Ltd. Structural Engineering Group
*** 정회원, 인천도시공사
Incheon Development & Transformation Corporation

인장력, 내력 케이블의 인장력, 중앙부 포스트의 압축력 등을 비교 및 분석한 연구를 수행하고자 한다. 지붕의 경사도와 케이블의 새그 비에 영향을 미치는 지붕의 중앙부 포스트의 높이에 따른 전체지붕의 역학적 특성에 대해서 중점적으로 연구를 한다.

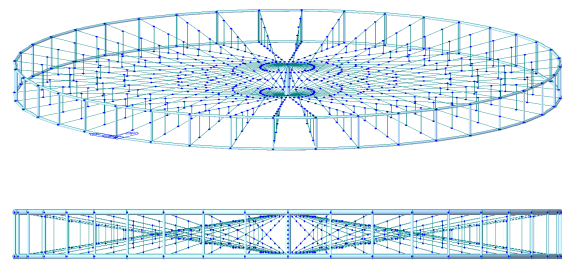
2. 방사형 케이블의 지붕 시스템의 비선형 거동에 대한 역학적 특성

2.1 방사형 케이블 지붕 시스템

방사형 케이블 지붕 시스템은 축구 경기장이나 공연장 등의 개폐식 지붕에 주로 많이 사용되는 시스템으로 외부 자연환경이나 기후에 보다 능동적으로 대처하기 위한 시스템이다. 지붕의 외주부는 고정 막지붕이고 중앙부는 개폐식 지붕으로 하여 지붕을 개방하거나 닫을 수 있는 시스템이다. 중앙부 허브를 중심으로 외부로 펼쳐진 방사형 케이블이 외부 압축링과 자기평형을 이루고 있으며 중앙부에는 케이블을 정착하는 소켓을 부착하기 위한 장치가 있다. 지붕의 중앙부 압축부재들이 링 케이블에 의해서 지붕의 안정 케이블을 들어 올려 내력 케이블과 안정 케이블의 경사를 조절한다. 연속으로 설치된 내력 케이블과 안정 케이블은 브레이싱 케이블에 의해서 결속되고 초기장력을 가하여 필요한 강성을 확보한다. 중앙부 포스트들만 압축부재이고 방사형으로 설치된 모든 부재는 인장재이므로 지붕의 경량화 및 개폐지붕에 매우 효과적인 시스템이다. 이러한 케이블 지붕 시스템은 수직하중에 대한 케이블의 인장력, 포스트의 압축력, 전체 지붕의 변형 등에 대한 연구가 중요하다. <Fig. 1>은 방사형 케이블 지붕 시스템으로 지붕의 중앙부에 원형으로 링 케이블에 연결된 여러 개의 들림 포스트가 설치되어 전체 지붕을 위로 들어 올리고 포스트의 높이에 의해서 내력 케이블과 안정 케이블의 각도를 조절한다. <Fig. 2>는 케이블 스포크 휠 지붕 시스템으로 중앙부의 허브를 중심으로 방사형으로 케이블 트러스를 설치하고 허브의 높이에 의해서 내력 케이블과 안정 케이블의 새그 비를 조절할 수 있다.



<Fig. 1> A radial cable roof system







<Fig. 2> A cable spoke wheel roof system

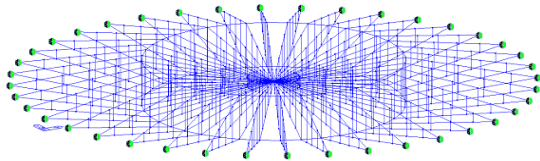
2.2 방사형 케이블 지붕 시스템의 역학적 거동

2.2.1 100m 스패 방사형 지붕 시스템

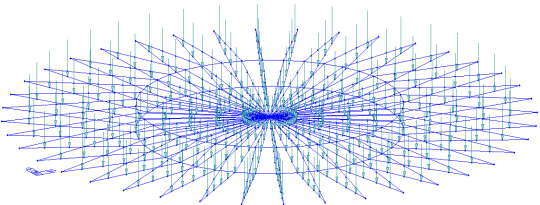
방사형 케이블 지붕 시스템은 지붕 중앙부에 여러 개의 들림 포스트를 중심으로 연직하중에 효과적인 하부 내력 케이블, 지붕의 들림에 저항하는 상부 안정 케이블, 내력 케이블과 안정 케이블을 연결하여 트러스 거동을 하게 하는 브레이싱 케이블이 중앙부 포스트를 중심으로 방사형으로 설치된다. 지붕 포스트의 높이, 작용 하중의 크기에 따라서 발생하는 지붕의 처짐 및 케이블의 인장력, 중앙부 포스트의 압축력 등을 분석하고자 한다. 케이블 지붕의 반경은 50m이고 방사형 케이블의 개수는 40개이다. 지붕의 외피 막은 하부 내력 케이블에 설치되므로 작용하중은 내력 케이블에 연직방향의 점하중을 작용시켜 기하학적 비선형해석을 수행하였다<Fig. 3~9>.

〈Table 1〉 Properties of cables (span=100m)

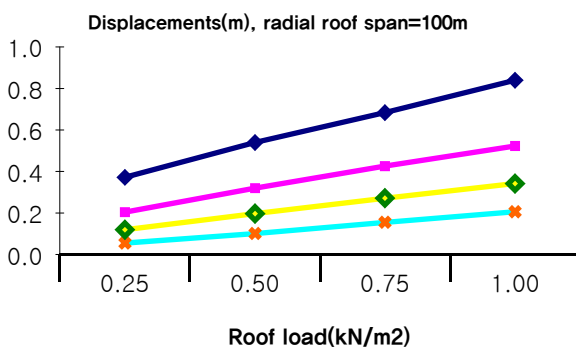
Item	Data
Elastic modulus	$1.90 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$
Cable diameter	70 mm(Bearing cable)
	60 mm(Stabilizing cable)
	24 mm(Bracing cable)
	80 mm(Ring cable)
Pretension of cables	300 kN(Bearing cable)
	200 kN(Stabilizing cable)
	10 kN(Bracing cable)
	400 kN(Ring cable)
Notations <Fig.5~9>	 post height=4m
	 post height=6m
	 post height=8m
	 post height=10m



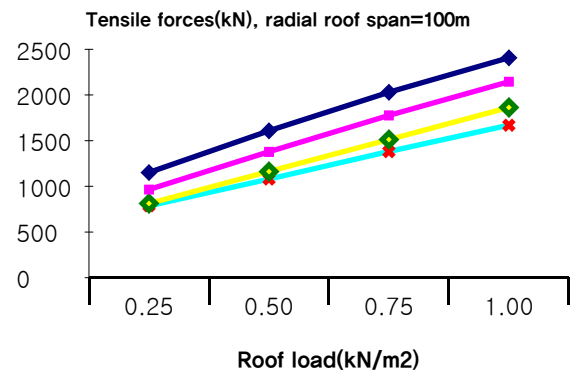
〈Fig. 3〉 A radial cable roof system with roof posts (span=100m)



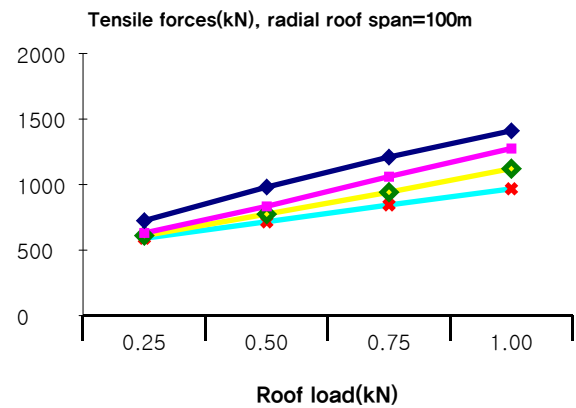
〈Fig. 4〉 Load condition of a radial roof system by post height 4, 6, 8, 10m (span=100m)



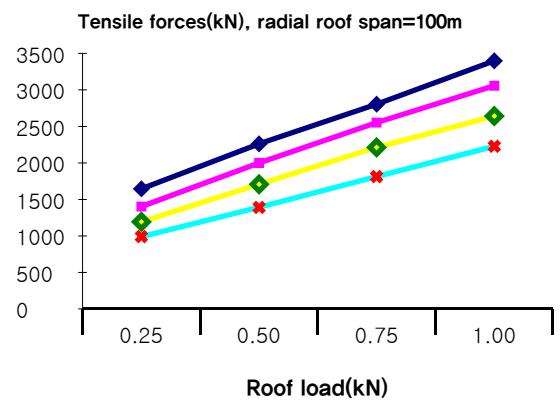
〈Fig. 5〉 Displacements of radial roof systems by post height 4, 6, 8, 10m (span=100m)



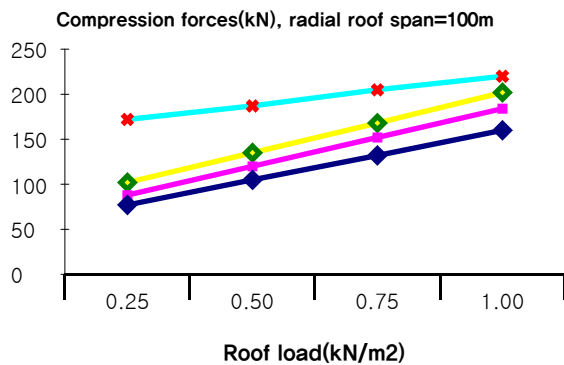
〈Fig. 6〉 Tensile forces of bearing cables by post height 4, 6, 8, 10m (span=100m)



〈Fig. 7〉 Tensile forces of stabilizing cables by post height 4, 6, 8, 10m (span=100m)



〈Fig. 8〉 Tensile forces of ring cables by post height 4, 6, 8, 10m (span=100m)

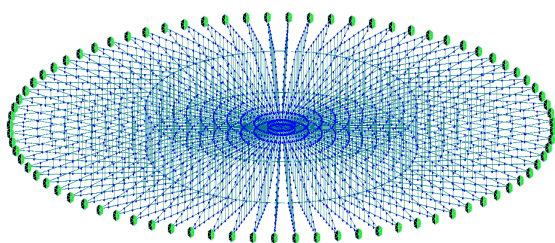


〈Fig. 9〉 Compression forces of roof posts by post height 10, 8, 6, 4m (span=100m)

〈Fig. 5〉에서 등분포 지붕 하중 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 kN/m²의 단계별 증가에 비례하여 지붕의 처짐이 증가하였고, 중앙부 포스트의 높이가 높을수록 처짐이 감소하였다. 〈Fig. 6~8〉은 케이블의 인장력, 〈Fig. 9〉는 지붕 포스트들의 압축력을 나타낸 것이다. 중앙부 포스트의 높이가 높을수록 내력 케이블 및 안정 케이블의 인장력도 감소하였고, 압축력은 높이에 비례하여 증가하였다〈Fig. 6~9〉.

2.2.2 200m 스펠 방사형 지붕 시스템

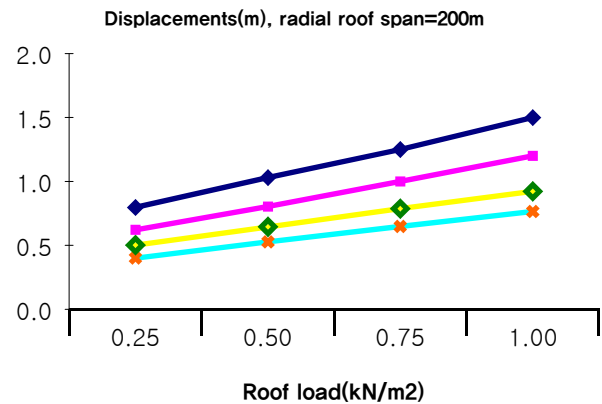
본 해석에서는 200m 스펠의 80개의 케이블 트러스로 구성된 방사형 케이블 지붕 시스템에 대한 기하학적 비선형 해석을 수행하고, 역학적 특성을 분석하기 위해서 등분포 하중에 대한 지붕의 처짐, 케이블의 인장력, 지붕 포스트의 압축력 등을 분석하였다〈Fig. 10~15〉.



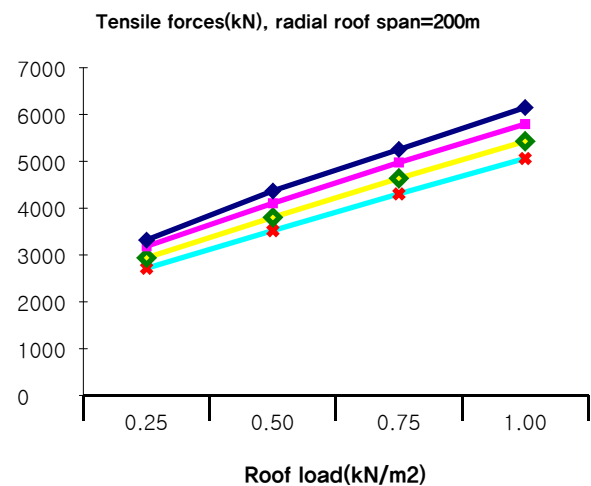
〈Fig. 10〉 A radial cable roof system with roof posts (span=200m)

〈Table 2〉 Properties of cables (span=200m)

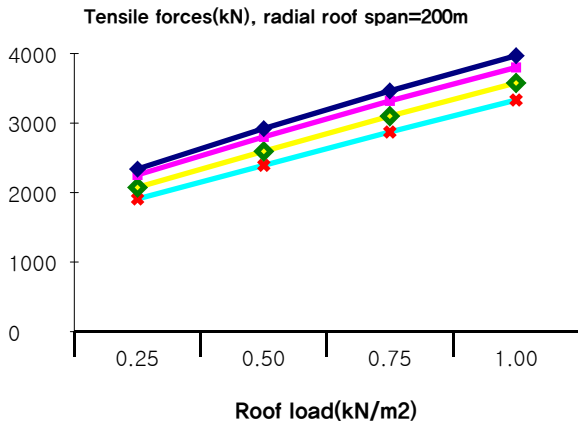
Item	Data
Elastic modulus	1.90x10 ⁸ kN/m ²
Cable diameter	100 mm(Bearing cable)
	90 mm(Stabilizing cable)
	36 mm(Bracing cable)
Pretension of cables	140 mm(Ring cable)
	500 kN(Bearing cable)
	300 kN(Stabilizing cable)
	10 kN(Bracing cable)
	600 kN(Ring cable)
Notations	<ul style="list-style-type: none"> ◆ post height=10m ◆ post height=12m ◆ post height=14m ◆ post height=16m



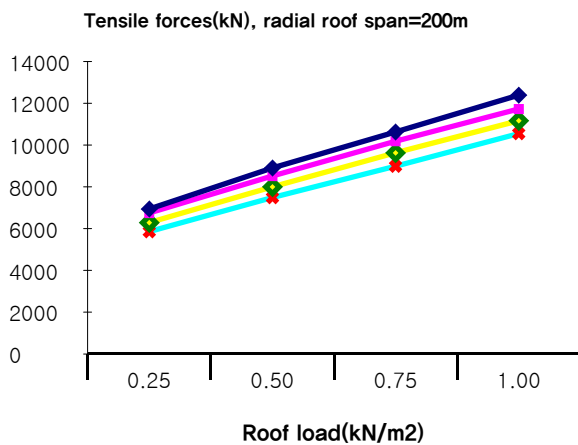
〈Fig. 11〉 Displacements of a radial roof system by post height 10, 12, 14, 16m (span=200m)



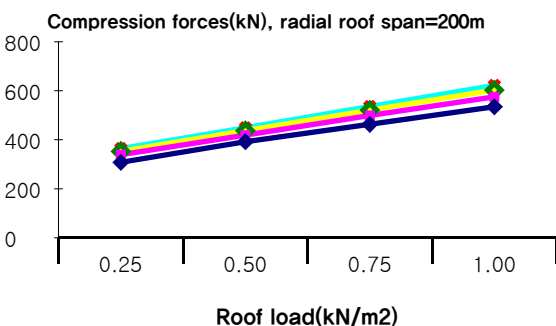
〈Fig. 12〉 Tensile forces of bearing cables by post height 10, 12, 14, 16m (span=200m)



<Fig. 13> Tensile forces of stabilizing cables by post height 10, 12, 14, 16m (span=200m)



<Fig. 14> Tensile forces of ring cables by post height 10, 12, 14, 16m (span=200m)



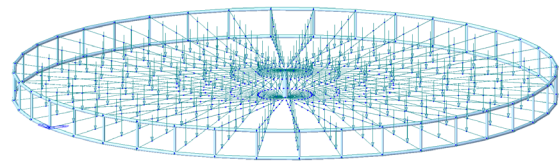
<Fig. 15> Compression forces of roof posts by height 16, 14, 12, 10m (span=200m)

<Fig. 11>은 스펠 200m 지붕의 하중 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 kN/m²에 대한 처짐이다. <Fig. 12~14>는 케이블의 인장력이고, <Fig. 15>는 중앙부 포스트의 압축력이다. 처짐은 하중에 거의 비례하여 증가하였고, 케이블들의 인장력은 하부 링 케이블이 가장 크게 나타났다. 링 케이블의 최대 크기는 내력 케이블의 최대 크기의 약 2배이다.

2.3 스포크 휠 지붕 시스템의 역학적 거동

2.3.1 100m 스펠 스포크 휠 시스템

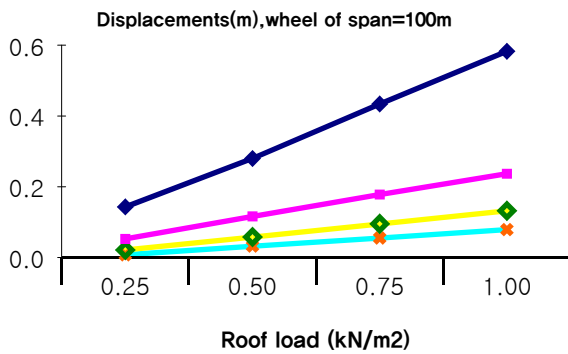
본 해석모델은 100m 스펠 지붕에 40개의 케이블 트러스를 설치한 스포크 휠 지붕 시스템이다. 역학적 특성을 분석하기 위해서 등분포 하중에 대한 케이블 스포크 휠 지붕의 처짐, 케이블의 인장력, 포스트의 압축력 등을 분석하였다. 지붕 주변 원형 압축링의 영향을 무시하기 위해서 케이블과 압축링이 만나는 위치에서 회전지점으로 하였다<Fig. 16>.



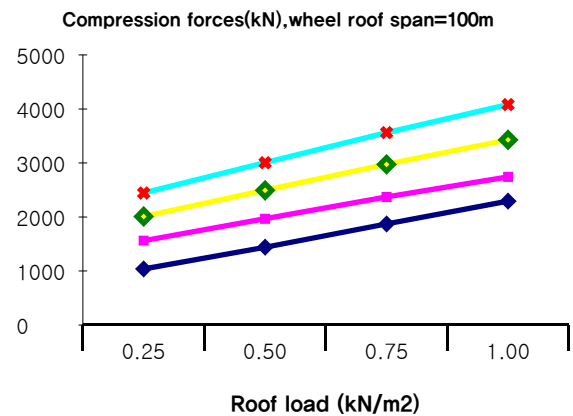
<Fig. 16> A cable spoke wheel system (span=100m)

<Table 3> Properties of cables (span=100m)

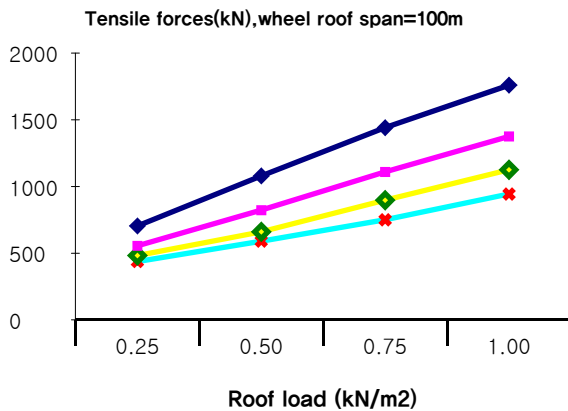
Item	Data
Elastic modulus	1.90x10 ⁸ kN/m ²
Cable diameter	70 mm(Bearing cable) 60 mm(Stabilizing cable) 24 mm(Bracing cable)
Pretension of cables	300 kN(Bearing cable) 200 kN(Stabilizing cable) 10 kN(Bracing cable) 400 kN(Ring cable)
Notations	◆—◆ post height=4m ◆—◆ post height=6m ◆—◆ post height=8m ◆—◆ post height=10m



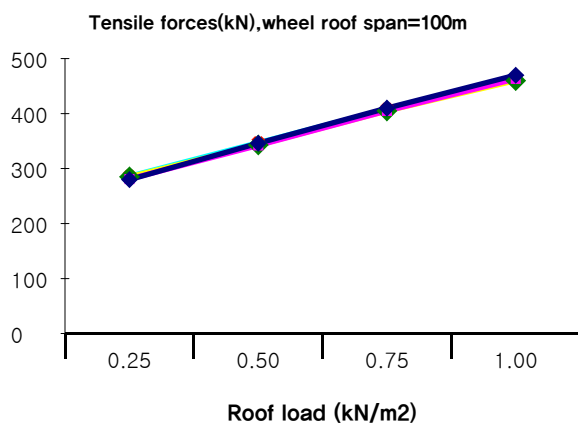
<Fig. 17> Displacements of a cable spoke wheel roof by post height 4, 6, 8, 10m (span=100m)



<Fig. 20> Compression of center post by height 10, 8, 6, 4m (span=100m)



<Fig. 18> Tension of bearing cables by post height 4, 6, 8, 10m (span=100m)



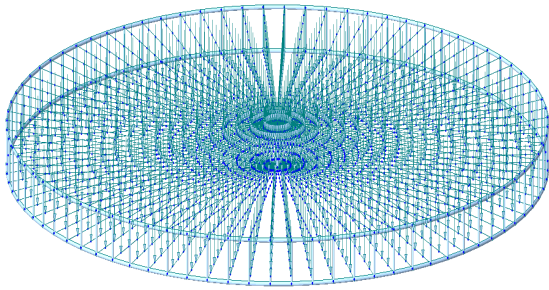
<Fig. 19> Tension of stabilizing cables by post height 4, 6, 8, 10m (span=100m)

<Fig. 17>은 100m 스패 스포크 휠 시스템에 대한 등분포 하중 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 kN/m²에 대한 처짐을 비교하였다. <Fig. 18~19>는 케이블들의 인장력을 나타낸 것이고, <Fig. 20>은 중앙부 허브의 압축력을 비교하였다.

2.3.2 200m 스패 스포크 휠 시스템

본 해석에서는 200m 스패의 80개의 케이블 트러스로 구성된 스포크 휠 지붕 시스템에 대한 비선형 해석을 수행하고, 역학적 특성을 분석하기 위해서 등분포 하중을 변환한 점하중에 대한 지붕의 처짐, 케이블의 인장력, 중앙부 허브 포스트의 압축력 등을 분석하고자 한다. 케이블 지붕의 주변에 원형으로 설치된 링에는 케이블의 인장력에 의해서 압축이 발생하므로 압축링이라 부른다. 원형 압축링은 방사형 케이블 트러스의 지점 역할 및 경계부 역할을 한다. 철골 트러스 등의 강한 구조 시스템으로 설계하는 것이 일반적이다. 연성구조물의 비선형 해석 시에는 해석 모델을 단순화 시켜야만 해석결과 의 정밀도와 신뢰성을 높일 수 있고 예측 불가능한 반복 증분 해석시간을 단축시킬 수 있다. 기하학적 비선형 해석 시 압축링의 변형에 의해서 케이블 시스템에 미치는 영향을 무시하기 위해서 케이블과 압축링이 만나는 부분에 회전 지점을 설정하였다. 지붕 중앙부 허브의 높이에 의한 스포크 휠 지붕의

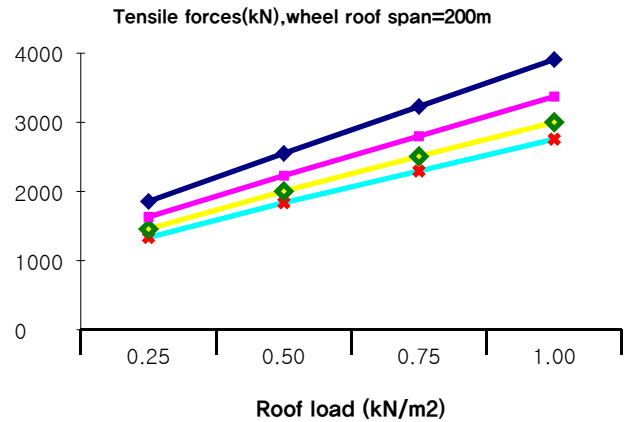
처짐 및 케이블의 인장력을 분석하였다<Fig. 21~25>.



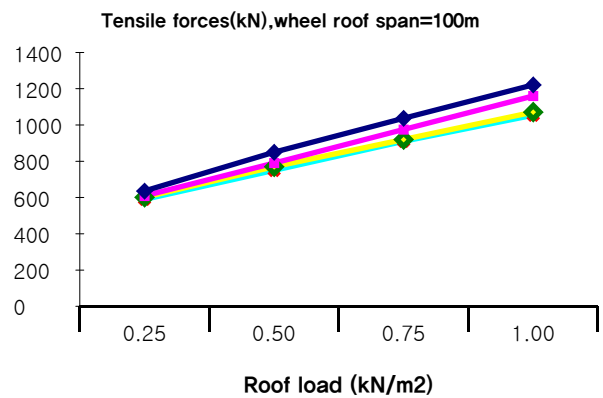
<Fig. 21> A cable spoke wheel system (span=200m)

<Table 4> Properties of cables (span=200m)

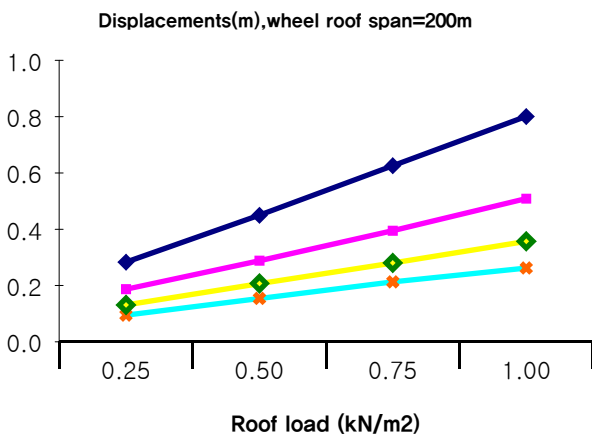
Item	Data
Elastic modulus	$1.90 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$
Cable diameter	100 mm(Bearing cable)
	90 mm(Stabilizing cable)
	36 mm(Bracing cable)
Pretension of cables	500 kN(Bearing cable)
	300 kN(Stabilizing cable)
	10 kN(Bracing cable)
Notations <Fig.22~25>	post height=10m
	post height=12m
	post height=14m
	post height=16m



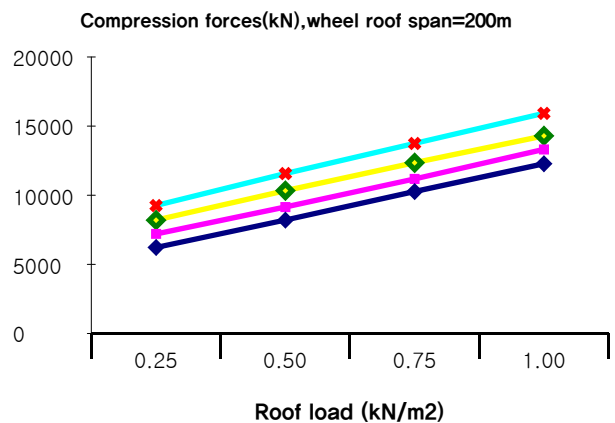
<Fig. 23> Tensile forces of bearing cables by post height 10, 12, 14, 16m (span=200m)



<Fig. 24> Tensile forces of stabilizing cables by post height 10, 12, 14, 16m (span=200m)



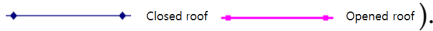
<Fig. 22> Displacements of a cable spoke wheel roof by post height 10, 12, 14, 16m (span=200m)

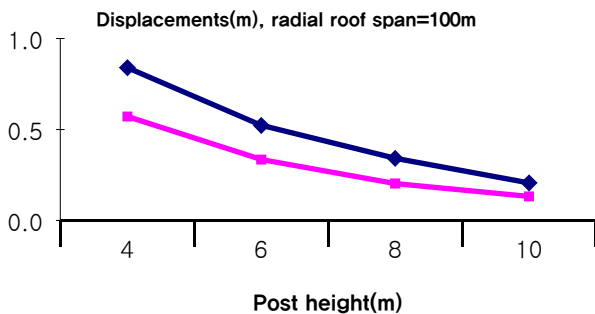


<Fig. 25> Compression forces of center post by height 16, 14, 12, 10m (span=200m)

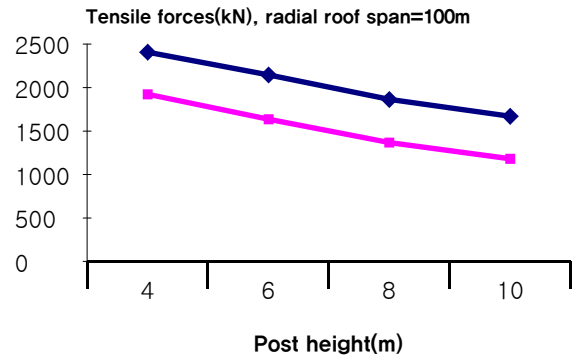
3. 비교 및 고찰

3.1 방사형 케이블 지붕시스템에 대한 고찰

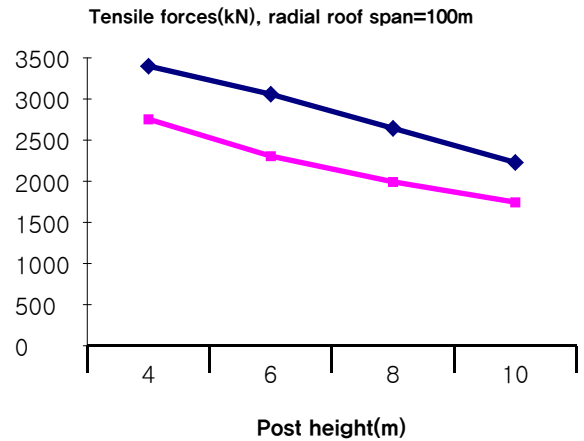
방사형 케이블 지붕 시스템의 지붕 중앙부 링 케이블에 설치된 들림 포스트의 높이에 따라서 달라지는 역학적 특성을 분석하였다. 지붕의 들림 포스트의 높이가 높아지면 지붕의 처짐 및 내력 케이블의 인장력이 감소하였고, 포스트의 압축력은 증가하였다. 지붕이 닫혀 있을 때 지붕전체에 등분포 하중이 작용하는 경우와 지붕이 열렸을 때에 지붕의 외주부에만 하중이 작용하는 경우에 대한 처짐 및 인장력을 비교하였다. <Fig. 26~29>는 100m 스패의 방사형 지붕 시스템에 대한 비선형 해석 결과에 대한 처짐, 케이블의 인장력, 들림 포스트의 압축력 등을 닫힌 상태와 열린 상태의 경우에 대해서 분석 및 비교를 하였다. <Fig. 30~33>은 200m 스패의 방사형 시스템에 대한 해석의 결과이다. <Fig. 26>과 <Fig. 30>에서 지붕의 들림 포스트의 높이가 높을수록 처짐이 감소하였다. 내력 케이블 및 링 케이블의 인장력에 대한 비교에서도 지붕 포스트의 높이가 높을수록 인장력이 감소하였고, 포스트의 압축력은 증가하였다. 지붕의 닫힌 상태와 열린 상태에 대한 해석 결과에서 곡선의 변화가 유사하게 나타났다. 방사형 시스템에서 지붕 내부의 하부 케이블을 제거하면 텐세그리티 지붕 시스템이 된다. 방사형 시스템 지붕 막은 하부 케이블에 설치되지만 텐세그리티 지붕 시스템에서는 상부 케이블에 지붕 막이 설치된다().



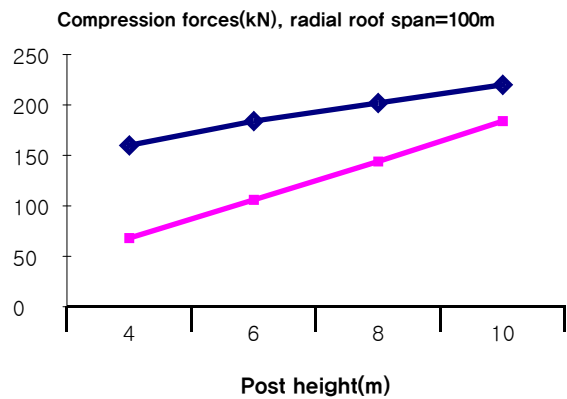
<Fig. 26> Displacements of radial cable roofs (span=100m, load=1.0 kN/m²)



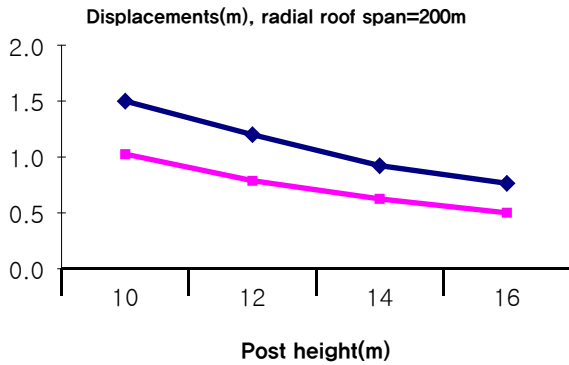
<Fig. 27> Tensile forces of bearing cables of radial cable roofs (span=100m, load=1.0 kN/m²)



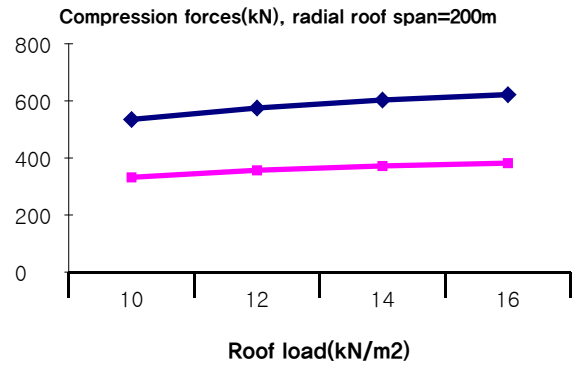
<Fig. 28> Tensile forces of ring cables of radial cable roofs (span=100m, load=1.0 kN/m²)



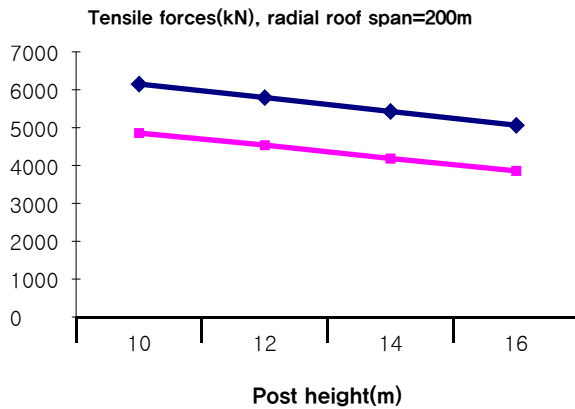
<Fig. 29> Compression forces of radial cable roofs (span=100m, load=1.0 kN/m²)



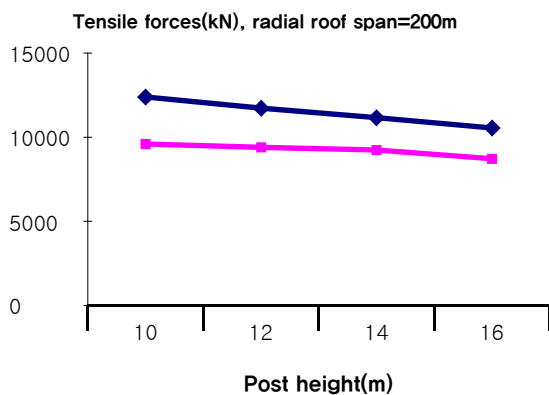
〈Fig. 30〉 Displacements of radial cable roofs (span=200m, load=1.0 kN/m²)



〈Fig. 33〉 Compression forces of radial cable roofs (span=200m, load=1.0 kN/m²)



〈Fig. 31〉 Tension forces of bearing cables of radial cable roofs (span=200m, load=1.0 kN/m²)

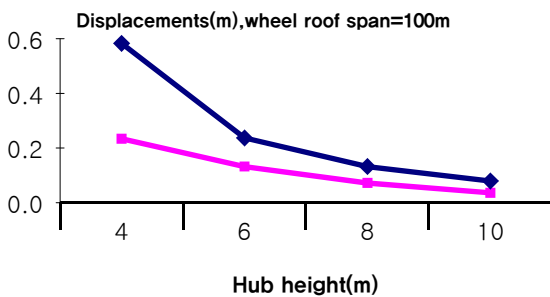


〈Fig. 32〉 Tension forces of ring cables of radial cable roofs (span=200m, load=1.0 kN/m²)

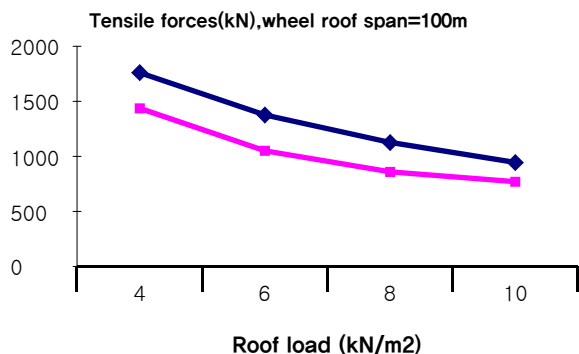
3.2 스포크 휠 케이블 지붕시스템에 대한 고찰

스포크 휠 케이블 지붕 시스템은 자전거 바퀴의 시스템을 모방한 케이블 지붕 시스템이다. 일반 방사형 케이블 시스템보다 구조적으로 유리하고 시스템도 단순하여 역학적인 장점이 많다. 방사형 케이블 시스템에 비해서 변형이 작고 개폐식 지붕의 필요한 경사를 만들기가 매우 용이하다. 중앙부 허브에서만 케이블의 연결을 하게 되므로 지붕의 부재들의 조합을 매우 단순화 시킬 수 있고, 내력 케이블과 안정 케이블의 장력도입이 매우 편리하다. 후프 케이블이 필요 없고, 중앙부 허브의 높이를 조정하여 지붕의 경사 및 케이블의 새그 비의 조절이 가능하다. 방사형 케이블은 외주부의 링과 케이블의 연결이 1개의 압축링에서 연결되지만 스포크 휠 케이블 시스템에서는 내력 케이블과 안정 케이블이 상하의 압축링에 연결되므로 각각의 케이블의 인장력에 의한 자기 평형 내력이 분산된다. 케이블의 전체 인장력을 외주부에 설치된 압축링과 자기평형을 이루어 하부 구조물이나 지지 구조물에 중력방향 축력이외에 구조적으로 중요한 휨모멘트의 영향이 작용하지 않으므로 역학적으로 매우 안정적인 시스템을 구축할 수 있다. 역방향의 X형 케이블 트러스가 브레이싱 케이블로 연결되어 연직방향의 상하방향 하중에 대해서 매우 효과적으로 저항하는 구조 시스템이다. 자중이나 설하중은 내력 케이블이 저항하고 바람 등에 의해서 지붕이 위로 뜨는 하중

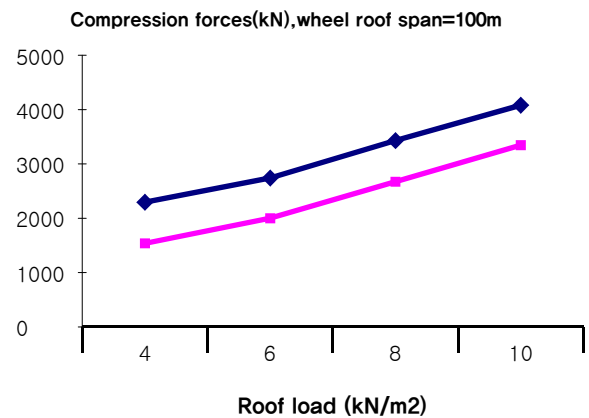
은 안정 케이블이 저항하여 구조적으로 안정된 시스템을 구축한다. 허브 포스트는 방사형 케이블의 연결 접합부가 모이는 곳으로 케이블의 모든 인장력에 저항하기 위한 인장링의 기능과 지붕의 경사와 케이블의 새그 비를 결정하므로 수직으로는 큰 압축력이 작용한다. <Fig. 34>는 100m 스패의 스포크 휠 시스템의 닫힌 상태와 열린 상태에 대한 처짐을 비교한 것이다. <Fig. 35>는 내력 케이블에 대한 인장력을 <Fig. 36>은 중앙부 허브의 압축력을 비교하였다. <Fig. 37>은 200m 스패의 스포크 휠 시스템에 대한 닫힌 상태와 열린 상태에 대한 지붕의 처짐을 비교하였다. <Fig. 38>은 내력 케이블의 인장력을 <Fig. 39>는 허브의 압축력을 비교한 것이다 (Closed roof Opened roof).



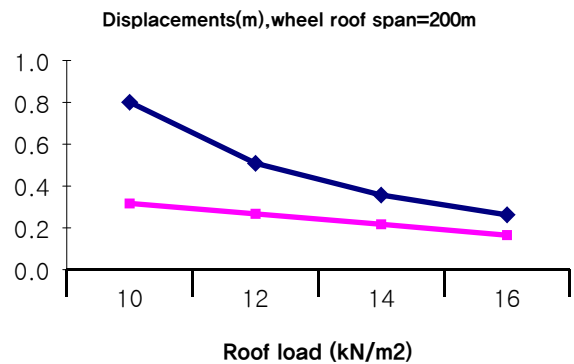
<Fig. 34> Deflections of hub heights of spoke wheel roofs (span=100m, load=1.0 kN/m²)



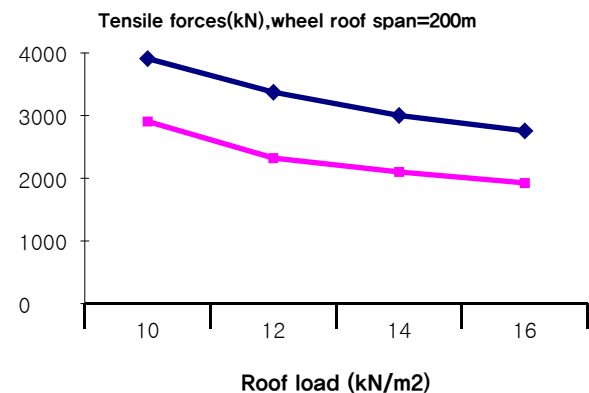
<Fig. 35> Tension forces of bearing cables of spoke wheel roofs (span=100m, load=1.0 kN/m²)



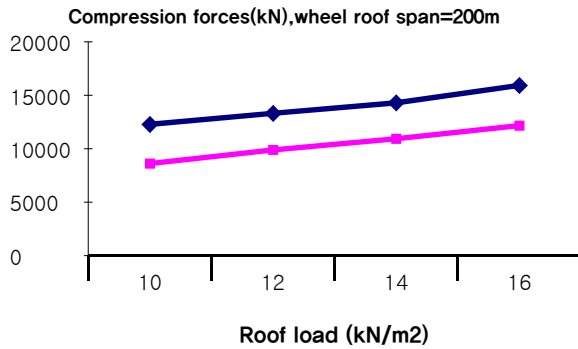
<Fig. 36> Compression forces of spoke wheel roofs (span=100m, load=1.0 kN/m²)



<Fig. 37> Deflections of hub heights of spoke wheel roofs (span=200m, load=1.0 kN/m²)

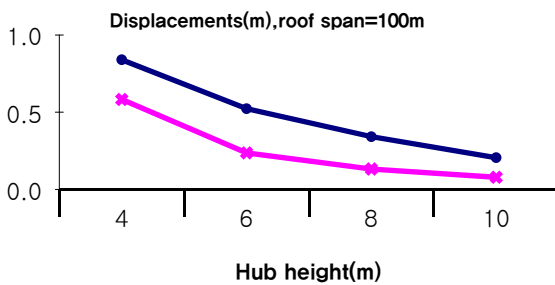


<Fig. 38> Tensile forces of bearing cables of spoke wheel roofs (span=200m, load=1.0 kN/m²)

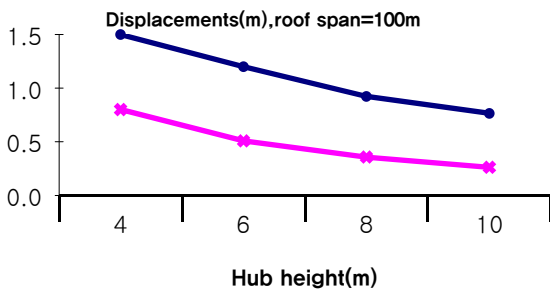


〈Fig. 39〉 Compression forces by hub height of spoke wheel roofs (span=200m, load=1.0 kN/m²)

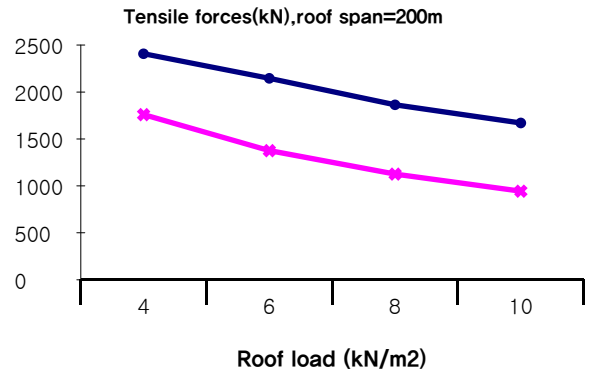
〈Fig. 40~43〉에서는 방사형 시스템의 처짐과 스포크 휠 시스템의 처짐 및 내력 케이블의 인장력을 비교하였다. 지붕에 여러 개의 포스트가 있는 방사형 지붕 시스템보다는 중앙부 허브 포스트가 있는 스포크 휠 지붕 시스템이 처짐 및 인장력이 작게 나타났다(● Radial system * Spoke wheel).



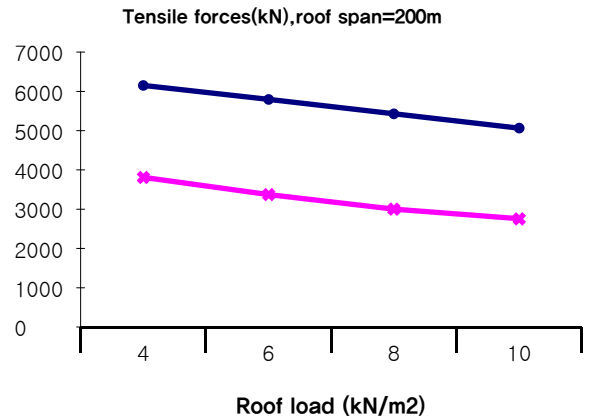
〈Fig. 40〉 Comparative deflections of radial system and spoke wheel system (span=100m, load=1.0 kN/m²)



〈Fig. 41〉 Comparative deflections of radial system and spoke wheel system (span=200m, load=1.0 kN/m²)



〈Fig. 42〉 Comparative tension forces of bearing cables (span=100m, load=1.0 kN/m²)



〈Fig. 43〉 Comparative tension forces of bearing cables (span=200m, load=1.0 kN/m²)

4. 결론

본 연구에서는 100m 스패 및 200m 스패의 방사형 케이블 지붕 시스템과 케이블 스포크 휠 지붕 시스템의 역학적 특성에 대해서 연구를 수행하였다. 지붕의 중앙부 포스트 높이에 의해서 결정되는 지붕의 경사에 의한 케이블 트러스의 새그 비를 고려한 지붕의 변형, 방사형으로 설치된 케이블들의 인장력, 링 케이블의 인장력, 지붕 포스트의 압축력에 대한 기하학적 비선형 해석을 수행하여 전체 지붕의 역학적 특성을 분석하였다.

1) 방사형 케이블 지붕 시스템은 내력 케이블과 안정 케이블이 역방향으로 구성되고 지붕 포스트에 의해서 지붕의 경사가 조절된다. 포스트를 연결하는 링 케이블의 인장력에 의해서 전체 지붕이 위로 들

어 올려져 안정된 구조 시스템을 이룬다. 스포크 휠 지붕 시스템은 내력 케이블과 방사형 케이블이 X자 형태로 구성되고 중앙부 허브에 의해서 지붕의 경사를 조절되므로 방사형 케이블 지붕 시스템에 비해서 구조적으로 유리하며 초기장력에 의해서 필요 강성의 확보가 용이한 시스템이다.

2) 방사형 케이블 지붕 시스템과 스포크 휠 지붕 시스템은 역방향 곡률로 된 내력 케이블 및 안정 케이블에 의해서 상하 방향의 연직하중에 매우 효과적으로 저항하는 시스템이다. 설하중과 바람 하중에 대해서도 효과적으로 저항할 수 있는 시스템이다.

3) 전체 지붕에 대한 기하학적 비선형 해석의 결과에서 지붕의 처짐, 내력 케이블의 인장력, 중앙부 포스트의 압축력은 등분포 하중을 케이블에 작용하는 절점하중으로 변환된 절점하중의 크기 비에 따라서 거의 비례적으로 증가하였다.

4) 전체 지붕의 경사도와 중앙부 허브의 포스트 높이와 관련이 있는 지붕의 스패에 대한 높이의 비, 즉 새그 비가 클수록 내력 케이블의 인장력은 감소하였고, 지붕 중앙부의 포스트의 압축력은 거의 비례적으로 증가하였다.

5) 케이블 스포크 휠 지붕 시스템이 방사형 케이블 시스템보다 연직하중에 대한 전체지붕의 변형이 작았다. 또한 인장력도 훨씬 작은 값으로 주어지므로 케이블의 직경을 줄일 수 있다. 중앙부 포스트는 압축력이 크게 작용하고 지붕의 모든 방사형 케이블이 모이는 접합부 연결부의 허브로 정밀한 설계가 필요하다. 중앙부 허브의 연결 장치에 대한 연결 시스템, 국부 응력에 대한 검토, 압축에 대한 좌굴 검토 등이 필요한 부분이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 도시건축연구사업의 연구비지원(17AUDP -B100343-03)에 의해 수행되었습니다.

References

1. Midas Programming, MidasIT, 2016
2. NISA Programming, Crane Software, 2015
3. Design Standard of Cable Structures, Korean Association for Spatial Structures, 2009
4. K.G. Park, S.J. Lee, D.W. Lee, "A Study on the Structural System of Flexible Large Span Spatial Roofs Using Steel Cables," Journal of The Residential Environment Institute of Korea, 2015.12, Vol.13(No.4), pp.393-404
5. K.G. Park, D.W. Lee, "A Study on the Nature Inspiration Design of Eco-friendly Spatial Buildings", Journal of The Residential Environment Institute of Korea, 2016. 6, Vol.13(No.5), pp.1-29
6. K.G. Park, D.W. Lee, "Mechanical Characteristics of Cable Truss Roof Systems," Journal of Korean Association for Spatial Structures, 2016. 6, pp.89-96
7. K.G. Park, D.W. Lee, "Mechanical Behavior of Cable Net Structures Considering Sag Ratio," Journal of Korean Association for Spatial Structures, 2016. 9, pp.47-58
8. K.G. Park, D.W. Lee, T.J. Kwun, "Mechanical Characteristics of Large Span Spoke Wheel System", International Association for Spatial Structures(IASS), N. 1341, 2016. 9
9. K.G. Park, D.W. Lee, S.J. Lee, "A Nature Inspired Design Philosophy of Spatial Structures", International Association for Spatial Structures(IASS), N. 1342, 2016. 9

- Received : January 20, 2017
- Revised : February 10, 2017
- Accepted : February 14, 2017