

케이블 기반 개폐 막 시스템의 개폐 조건을 고려한 트롤리 최적화에 관한 연구

손수덕*, 이돈우**, 최봉영**, 서건호**, 이승재*

*한국기술교육대학교 디자인·건축공학부

**한국기술교육대학교 미래융합공학전공

e-mail:sdshon@koreatech.ac.kr

A Study on the Trolley Optimization of a Cable-based Retractable Membrane in Consideration with Open/Close Condition

Sudeok Shon*, Donwoo Lee**, Bongyoung Choi**, Geonho Seo**, Seungjae Lee*

*School of Industrial Design Eng. & Arch. Eng., Korea Univ. of Technology and Education

**Future Convergence Engineering, Korea Univ. of Technology and Education

요약

최근 기계요소의 건축적 접목은 건물이 주변 환경에 유동적으로 대응할 수 있게 하는 역할을 한다. 개폐식 장치를 경기장 지붕에 적용하여 다양한 야외 활동이 가능하게 하며, 이러한 장치 중에서 외관이 수려한 개폐식 막 지붕은 경량이고 경계부의 견인 장치만으로 막을 쉽게 개폐할 수 있다. 이러한 장점으로 인해 다양한 상태를 현실화 할 수 있으며, 시공과 설계에서 다양한 면을 구현할 수 있다. 그러나 이들의 연결부를 이루는 많은 기계적 요소의 부품들은 비용면이나 환경면에서 최적화될 필요가 있다. 본 연구에서는 이러한 케이블 기반 막 구조물의 막과 케이블을 이어주는 연결구인 트롤리의 개수와 형태의 최적화를 수행하고자 한다.

1. 서론

건축 구조물은 고정되어 있다는 인식은 기계적 건축요소의 발전으로 인해 다양한 접목이 이루어졌고, 이로 인해 움직이는 또는 다양한 환경에 적용이 가능한 구조물로서의 변화를 가져왔다. 이러한 시대의 흐름에 건축물의 에너지와 환경에 대한 관심이 더 커지면서 태양과 같은 자연 에너지를 효율적으로 사용하기 위해 노력하고 있다. 스타디움과 같은 대공간 구조물은 날씨와 같이 변화하는 환경에 유동적으로 대응하여 일조량 확보나 자연재해 예방을 위해 개폐가 가능한 지붕 구조를 많이 사용하고 있다.

개폐식 구조물은 지붕 요소가 스페이스 프레임과 같은 강체로 이루어지기도 하지만 케이블이나 막과 같은 유연한 특성을 가진 재료가 기계적 요소를 이용하여 개폐가 이루어지기도 한다. 특히 연성 구조물은 강성 구조물보다 지붕이 경량화가 가능하여 많이 채택하여 사용하고 있다.

이와 같은 연성 막 구조물은 기계적 요소인 트랙터(Tractor)와 트롤리(Trolley)가 막과 연결된 상태로 케이블을 이동하여 지붕구조를 개폐하는 시스템으로 등장하기 시작하면서 다양한 가능성이 제시되었다. 여기서 트롤리는 구동력을 가지지만, 트랙터는 구동력을 가지며 견인한다. 최종적으로 앵커링(Anchoring)에 고정되어 구조물이 고정된다.

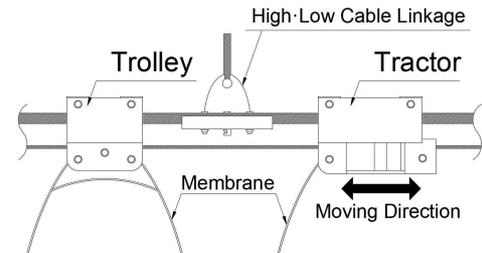


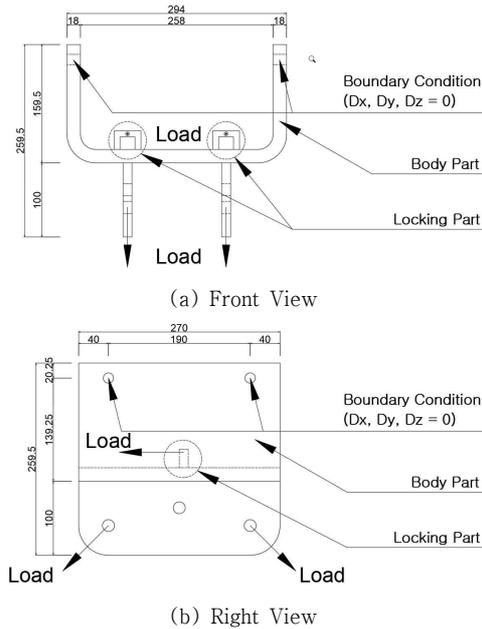
Fig. 2. Open-Type Tractor & Trolley Drawing

개폐식 구조물에 관한 연구는 주로 구동에 관한 다양한 연구가 많이 진행되었고, 구동 원리의 규명이나 새로운 제어방법과 시공 등이 관심되는 부분이다. 트롤리의 재료적 성질에 따른 구조적 안전성을 해석적으로 연구하는 것과 더불어 가장 많은 부품을 차지하는 트롤리의 최적의 형상을 연구하는 것은 실질적인 장점을 얻는 것이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 연구에서 잘 다루지 않은 오픈형 트롤리의 개폐 상태를 고려한 위상 최적화를 진행하고 최적화 모델을 제안하고자 한다.

2. 개폐를 고려한 트롤리의 위상최적모델

오픈형 트롤리는 Fig. 2의 정면도 및 측면도와 같이 막의 장력과 같은 하중에 저항하는 몸통부(Body Part), 케이블과

마찰하며 직접적으로 주행하는 레일부(Rail Part), 막이 완벽하게 펼쳐졌을 때 트롤리의 위치를 상·하현재 수직 연결고에 완벽하게 정착하기 위한 체결부(Locking Part)로 구분된다. 이들은 개폐의 상태에 따라 하중이 다르게 적용되며, 이러한 하중에 대응하는 최적화를 수행한다.



[Fig. 2] Front and Side Views of a Trolley

해석을 위한 오픈형 트롤리의 기본 모델은 몸통부와 체결부를 이용하며, 모델의 형상 및 치수, 물성치는 일반적인 값을 이용하도록 한다. 몸통부와 레일부는 볼트로 접합이 되기 때문에 몸통부의 볼트접합 되는 부분에 지점 조건($D_x, D_y, D_z = 0$)을 설정하였고, 하중에 대한 다양한 조건을 고려하여 최적화를 수행한다. 트롤리와 막이 연결되어 직접적으로 막의 장력이 전달되는 부분과 막이 펼쳐졌을 때 상·하현재 수직 연결고에 고정되어 장력을 받는 체결부에 하중을 설정하였다. 하중은 막의 장력이 보통 1,000~2,000N 발생하기 때문에 2,000N을 가력한다. 또한 개폐식 막 지붕이 열려진 상태에서는 막의 자중이 주요 역할을 하며, 닫혀진 상태에서는 장력에 의한 상태보다 외부의 하중에 의한 영향을 더 고려한 상태를 생각할 필요가 있다.

이러한 상태에 대해서 ANSYS를 이용해서 모델링하고, 응력의 분포와 변형의 상태를 기초모델을 대상으로 분석을 수행한다. 또한 하중의 역할에 대해서 개폐 상태별 영향이 큰 부분을 설계단계에서 고려할 수 있도록 다양한 상태를 외력의 조건으로 부여하여 최적화된 위상을 고려하도록 한다. 이 과정에서 보다 적절한 상태를 유도할 수 있도록 기존에 연구된 모델을 대상으로 동일한 환경에서의 결과를 도출하도록 하며, 이를 비교하여 분석하도록 한다.

감사의 글

이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2019R1A2C2010693)

참고문헌

- [1] J. W. Kang, "Trend of Retractable Roof Structures Technology", Journal of the Korean Association for Spatial Structures, Vol. 15, No. 4, pp. 4 - 11, Dec. 2015.
- [2] S. D. Shon, K. J. Hwang, D. W. Lee, S. J. Lee, "Technical Status and Classification of Steel Retractable Roof", Journal of the Korean Association for Spatial Structures, Vol. 15, No. 4, pp. 12 - 17, Dec. 2015.
- [3] K. J. Hwang, S. D. Shon, D. W. Lee, and S. J. Lee, "Technical Status and Driving Mechanism of Retractable Membrane Roof", Journal of the Korean Association for Spatial Structures, Vol.15, No.4, pp.18-23, Dec. 2015.
- [4] K. J. Hwang, S. D. Shon, S. J. Lee, "Driving System of Retractable Membrane Roof Structures", Magazine of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol. 20 No. 3, pp. 43 - 47, March. 2016.
- [5] Y. H. Lee, Y. J. Kim, S. J. Lee, K. J. Hwang, "Type Analysis and Classification of Driving Devices Applied to Retractable Membrane Structures", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol. 17, No. 3, pp. 19~24, Sep. 2017.
- [6] Y. H. Lee, Research on the Structural Design and Driving Device of Retractable Membrane Structures -Focused on the Application of Engineering Plastics-, Master's thesis, The University of Seoul, pp. 1-210, 2018.
- [7] Y. J. Kim, S. J. Lee, Y. H. Lee, K. J. Hwang, "Trolley Adaptability of Membrane Retractable Roof Under Vertical Load Considering Friction of Various Materials", Journal of the Korean Association For Spatial Structures, Vol. 16, No. 4, pp. 83 - 89, Dec. 2016.
- [8] S. H. Cha, S. W. Lee, S. H. Cho, "Experimental Validation of Topology Design Optimization", Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea, Vol. 26, No. 4, pp. 241-246, Aug. 2013.