

유한요소법을 이용한 Wireless 교통신호등 구조 해석

강성준^{1*}

¹전북대학교 기계시스템공학부

Structural Analysis of Wireless Traffic Signal Using Finite Element Method

Sung-Jun Kang^{1*}

¹Dept. of Mechanical System Engineering, Chonbuk National University

요 약 본 논문에서는 도심 미관의 보안을 위해 와이어를 제거한 교통신호등의 구조 해석을 수행한다. 실제 교통신호등의 3차원 CAD 모델로부터 쉘 요소로 이루어진 유한요소 모델을 생성하였고, 특히 교통신호등의 지주 및 가로재는 모양, 두께, 보강재 등을 고려하였다. 풍하중을 적용하여 응력 및 변형 해석을 수행하였으며, 풍하중이 적용될 경우에 교통신호등에 미치는 결과를 분석하여 설계 개선에 대한 기본 작업을 수행하였다.

Abstract In this paper, the structure of traffic lights removed the wire for the completion of urban aesthetics is analyzed. The finite element model consists of shell elements from three-dimensional CAD model of actual traffic signal. Traffic light pole, horizontal stand shape, thickness, stiffeners, etc. are considered in this study. Analysis of stress and deformation is performed by applying wind load. When the wind load is applied, the result on traffic signal is analyzed. This study is to perform the basic tasks for improving the design.

Key Words : Traffic Signal, Structure analysis, Finite element method

1. 서 론

교통신호등은 도로이용자의 안전조치와 예비동작을 하도록 주의, 규제 및 지시하여 교통안전과 원활한 소통이 이루어지게 하는 중요한 역할을 한다. 하지만 최근 강해진 태풍의 영향으로 도로표지구조물의 안전성 문제가 부각되고 정부의 도심 미관을 위한 정책에 따라 구조물에 관한 규제가 강화되고 있는 실정이다. 이미 해외에서는 Davenport 등에 의해 바람의 변동 특성에 주안점을 두고 구조물 거동의 공학적 평가법에 관한 연구가 이루어진 이후 오늘에 이르기까지 각국의 많은 연구기관에서 각종 공기역학적 현상을 규명하기 위한 기초적 연구가 행하여져 왔다[1-6] 또한, 가능한 실제 구조물 거동에 가까운 풍하중 분포를 설계에 반영하고자 노력하고 있다. 그러나 현재까지 국내에서는 이와 관련된 설계 기준이

도로표지관련규정집에 반영되지 않았다[6].

최근 태풍의 규모는 점진적으로 대형화되고 강도는 강해지는 추세에 있으며 이에 따라, 태풍 피해는 계속해서 증가하고 있다. 이처럼 자연재해의 피해로 안전 시설물에 대한 수요가 급증하고 있으며, 국내 건축물 주요시설물에는 기존 내풍 설계기준인 25~45m/s가 무용지물이 되는 가운데 이 시점에서 더욱 강화된 기준에 맞는 안전 시설물 설계가 요구되고 있다[7,8].

또한 국토해양부는 도로교통법 시행령 개정안의 입법예고를 통해 보행자의 안전을 도모하고 도로구역 지하매설물 관리 강화를 통해 교통소통을 원활히 하는 등 도로교통 안전과 도심 미관에 관한 문제점 보안을 주안점으로 하고 있다.

기존의 교통신호등의 경우 가로재가 조가선으로 연결되어 신호등의 수평을 유지하는 역할을 한다. 조가선이란

*Corresponding Author : Sung-Jun Kang(Chonbuk National Univ.)

Tel: +82-10-3677-7846 email: sjkang@jbnu.ac.kr

Received August 5, 2013

Revised (1st September 17, 2013, 2nd October 10, 2013, 3rd October 18, 2013)

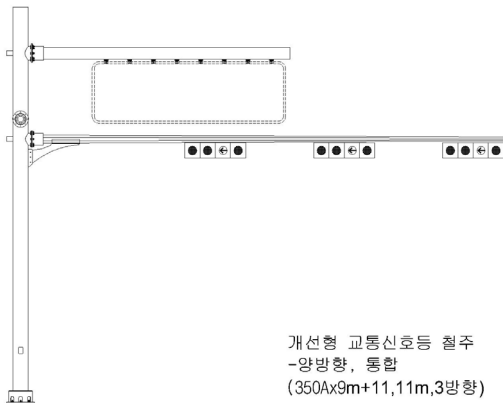
Accepted November 7, 2013

기둥에 매달린 교통신호등이 자체 중량이나 강풍 등으로 인해 휘어지는 등 손상을 방지하기 위해 신호등 기둥과 가로재를 연결하는 철제 로프를 말한다. 하지만 바람이 측면에서 심하게 불 때는 그 기능을 상실하고 가로재가 휘어져 종종 교통사고가 발생하는 안전성 문제가 있다. 따라서 본 논문은 도로표지구조물에 대한 설계기준분석과 가장 일반적인 도로표지구조물 형식인 횡형 교통신호등 구조물의 구조해석을 수행하였으며, 도로표지관련규정집에서 제정한 풍하중을 이용하여 구조물의 연결부위를 안전성을 평가하였다.

2. 해석개요

도로표지구조물은 표지판의 지지방식에 따라 여러 가지 구조형식이 있으나, 본 논문은 도로상에서 가장 흔하게 볼 수 있는 횡형 교통신호등 구조물 중에서 조가선을 제거한 개선형 교통신호등에 대한 해석을 수행하는 것으로 하였다. 도시지역의 도로에 사용되는 비교적 큰 규모인 통합형인 11×11×9m 규격을 모델로 선정하였다.

도로표지관련규정집에 따르면 측주식 구조물인 경우 저항계수는 지주의 경우 0.7, 표지판 및 신호등, 가로재의 경우 1.2를 적용하고 있으며 설계풍속은 50m/s로 지역 및 높이에 관계없이 일정하다고 가정하고 있다. 따라서 본 논문은 설계기준에 의해 산정된 구조물의 풍하중에 대한 응답을 통한 구조물의 안전성 평가를 위하여 부재의 저항계수는 설계기준과 동일하게 공기밀도는 1.225kg/m³, 지주의 경우 0.7, 표지판 및 신호등, 가로재의 경우 1.2를 적용하였다.⁹⁾



[Fig. 1] Traffic signal composite type 11×11×9m model

조가선을 제거하여 가로재의 단면형상을 팔각쉬링크 형으로 바꾸고, 가로재의 길이가 9m 이상인 경우 보강받침대를 추가하여 처짐과 강도를 보강했다. 또한 지주와 가로재의 접합부인 rib의 설계변경과 가로재의 단면을 보강하여 풍하중에 의한 처짐을 보강했다.

3. 해석모델

본 논문에서 해석한 횡형 교통신호등 구조물은 Fig. 1에서 볼 수 있듯 양방향 동일 구조물이기 때문에 구조물에 작용하는 풍하중은 표지판과 지주에 수직으로 작용한다고 가정하였다.

3.1 교통 신호등의 물성치 및 제원

교통 신호등의 지주와 가로재의 재질은 SS400이다. SS400의 인장강도는 410MPa 이상이며, 항복점은 240MPa 이상이다. 유한요소 해석 시 요구되는 물성치는 탄성계수와 프와송비이다. 탄성계수는 210GPa를 프와송비는 0.3을 적용하였다.

[Table 1] SS400 material specifications

Item	Data
Length of the horizontal bar	11m
Thicjness of the horizontal bar	3.2mm
Height of column	9m
LED Traffic light weight	13.6kg

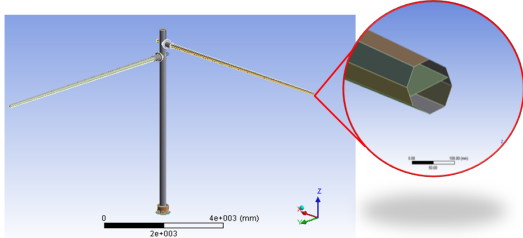
교통 신호등 구조물의 제원은 Table 1에서 볼 수 있듯이, 가로재의 길이가 11m, 지주의 높이는 9m, 그리고 팔각단면 중앙에 가로보강재가 적용되었다.

3.2 해석과정

기존 교통신호등의 해석의 경우 1D Beam 요소를 사용하여 해석을 수행하였으나, 본 논문의 구조물의 경우 연결부위인 rib과 하단 지지부의 안전성 평가를 위한 해석이므로 상용프로그램인 ANSYS를 사용하여 가로재 및 지주의 경우 4절점 shell 요소를 적용하고, 연결부위인 rib 부분은 solid 요소를 적용하여 Fig. 2와 같이 유한요소 모델링을 생성하였다. 또한 응력 집중이 발생할 수 있는 접촉부위는 절점이 공유되도록 설정하였으며, 해석과정에

서 큰 영향을 주지 않는 hole, chamfer, fillet부분은 제거하여 모델을 단순화하였다.

각각의 신호등 구조물 사이의 접촉이 발생하는 부분은 bonded 조건을 부여하여 일체거동이 이루어지도록 하였다.



[Fig. 2] Horizontal-Type traffic signal cross-sectional shape

3.3 하중 및 경계조건 설정

하중은 바람의 영향이 없이 자중에 의해서만 영향을 받는 고정하중을 설정하였고, 바람의 영향을 받는 풍하중은 도로표지 관련 규정집을 참조하여 풍속 50m/sec를 받을 경우, 저항계수는 지주 0.7, 가로재에 1.2를 적용하고, 지주의 풍하중은 109.37kg/m², 신호등과 가로재의 작용 풍하중은 187.5kg/m²을 적용하였다. 또한 신호기의 자중은 13.6kg으로 산정하였다.

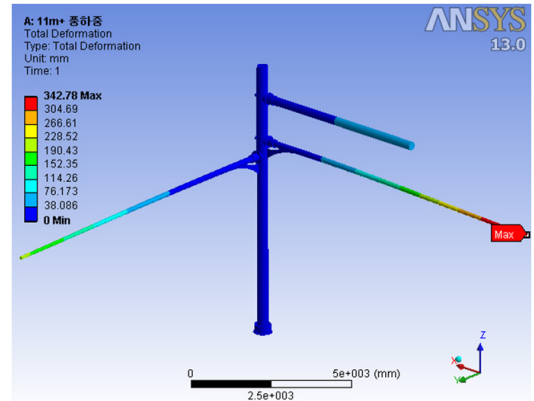
풍하중의 경우, 지주와 가로재의 단면에 압력을 주고 신호등과 표지판은 가로재와 연결지점에 풍속압과 축방향 단면을 곱한 하중을 입력한다. 교통신호등 하단(base rib)의 경계조건은 fixed 고정을 적용하여 6개의 자유도를 모두 구속한다.

4. 해석 결과

유한요소 해석을 통해 교통 신호등의 자중에 의한 고정하중과 풍속 50m/s의 풍하중이 주어졌을 경우의, 가로재의 최대변위와 교통신호등 하단(base rib)의 최대 응력, 가로재와 지주의 연결부위인 rib에 발생하는 최대 응력을 확인해 볼 수 있다. Table 2에서 고정하중과 풍하중의 최대변위가 변위한계 안에 있다는 것을 확인 할 수 있다.

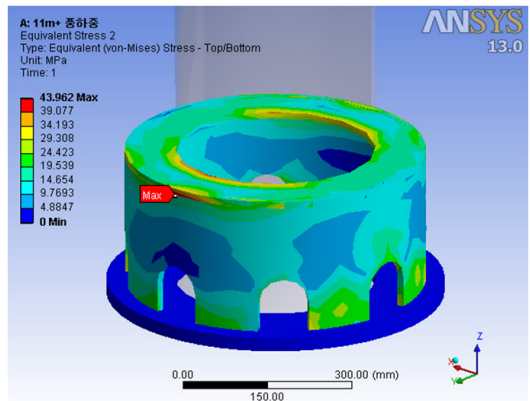
[Table 2] Comparison between analytical displacement results

Static load displacement	Wind Load Displacement	Dead load Displacement limits	Wind load displacement limit
191.3mm	342.78mm	275mm	680mm

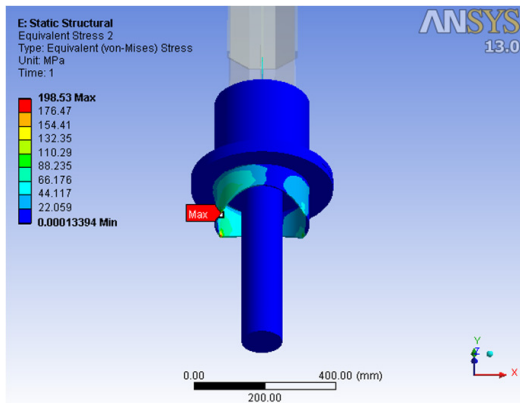


[Fig. 3] Maximum displacement of the traffic signal

Fig. 3에서 볼 수 있듯이 교통신호등 복합형 11m의 최대 변위는 가로재의 가장 끝단에서 342.78mm만큼 처짐이 발생하는 것을 확인할 수 있었고, Fig. 4에서는 교통신호등의 하단 부분인 Rib에 발생하는 최대 응력이 43.96MPa 이라는 것을 확인 할 수 있다. 교통신호등 복합형 11m의 가로재와 지주의 연결부위인 Rib에 발생하는 최대 응력은 Fig. 5에서 보는 것과 같이 198.53MPa 만큼의 응력 값을 얻을 수 있었다.



[Fig. 4] Maximum stress of the traffic signal base rib



[Fig. 5] Maximum stress of the traffic signal connection rib

5. 결론

본 논문에서는 도시 미관을 개선할 수 있도록 설계된 조가선이 없는 교통신호등에 50m/s의 풍속이 수평 방향으로 주어졌을 때, 교통신호등의 구조 안전성은 Table 2에서 볼 수 있듯이 고정변위와 풍하중변위는 도로교통법 규정집을 근거로 한 변위한계 범위 안에 있다는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 본 논문에서 해석한 교통신호등의 처짐이 안전한 범위 안에서 발생한다는 것을 알 수 있었다.

본 연구에 사용된 가로재의 경우 팔각 쉬링크형으로 내부에는 보강판이 있어 풍하중에 대한 굽힘 강도를 강화하였으며, 보강판 및 가로재의 두께는 하중이 주어질 경우, 변위에 영향이 있으므로 고정하중과 풍하중을 모두 고려하여 설계해야 한다. Base Rib의 경우, 지주로부터 굽힘력 보다 비틀림에 의한 응력을 더 많이 받기 때문에 부분용접 부분에 응력집중이 생겨 파괴가 발생할 수 있다. 따라서 Base Rib의 설계는 지주의 비틀림 보강 구조로 설계하도록 한다. 연결부 Rib의 경우, 허용응력 범위 내로 설계를 변경하여 응력이 분산되도록 한다.

본 연구로 확립된 설계 및 해석 방법은 실제 교통신호등의 설계에 도움이 될 것으로 기대된다.

References

[1] A.G.Davenport, The application of statistical concepts to the wind loading of structures, Proc. Institution of Civil Eng., 449-472 .1961.
 [2] A.G.Davenport, "Gust Loading Factors", Jr. of Structural

Division, ASCE, Vol. 93, No. ST 3,proc. 5255, pp. 11-34. 1967.
 [3] J.Vellozzi&E.Cohen, "Gust Response Factors", Jr. of structural Div., ASCE, Vol. 94, Proc. 5980, pp. 1295-1313. 1968.
 [4] Fouad, F. H., E. A. Calvert and E. Nunez , "Structural Supports for Highway Signs", Luminaires and Traffic Signals, NCHRP Report 411. 1998.
 [5] Kaimal, J.C., Wyngaard, J.C., Izumi, Y. and Cote "Spectral Characteristics of Surface Layer Turbulence", Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol. 98, pp. 563-589. 1972.
 DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/qj.49709841707>
 [6] Ministry of Construction and Transportation, Regulations related to road signs, 2003.
 [7] J.S. Kim, "aerodynamic stability of cable-stayed bridges considering the construction phase", Ph.D. Thesis, University of Seoul, 2005.
 [8] M.C. Kim, "By spectral analysis of the dynamic response of the cantilever under wind load analysis", MS Thesis, Seoul National University, 1984.
 [9] Ministry of Construction and Transportation, Highway Bridge Design Criteria, 2005.

강성준(sung-jun kang)

[정회원]



- 1983년 2월 : 서울대학교 조선공학과 (학사)
- 1985년 2월 : 서울대학교 조선공학과 (석사)
- 1990년 2월 : 서울대학교 조선공학과 (박사)
- 1992년 6월 ~ 1993년 2월 : 원자력연구소 선임연구원
- 1993년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 기계시스템공학부 교수

<관심분야>
 전산구조해석, 구조설계