

## 승용차 충돌을 고려한 가로등주 설계

임재문\* · 이광원\*\*

### Design of a column for streetlamp considering the car crash

Jaemoon Lim\*, Kwangwon Lee\*\*

Key Words : 가로등주(column for streetlamp), 풍하중(wind load), 좌굴(collapse), 충돌(crash), 점검구(inspection hole)

#### ABSTRACT

A column for streetlamp has been damaged by severe wind loads such as typhoon. The stress concentration around the inspection hole may cause the collapse of the column for streetlamp. In this paper, the effects due to the wind load of 60m/s and the car crash to the column at the speed of 48 km/h were considered to examine the design stability analysis of the column for streetlamp. The maximum von Mises stress did not exceed the yield stress of the material. Considering the car crash, the column for streetlamp was not collapsed.

#### 1. 서론

가로등은 도로 이용자가 안전하게 통행하기 위한 도로의 필수 시설물이나, 도로의 부대시설로 취급되어 풍하중 등에 대한 구조거동 관련 연구가 활발하지 못했으나, 최근 풍하중을 고려한 가로등주의 설계개선 관련 연구가 진행되고 있다<sup>(1)</sup>.

가로등주는 도로표지판과 달리 조명의 전원을 안정적으로 공급하기 위하여 바닥에서 일정 높이에 점검구를 통해 안정기를 내부에 설치하게 되며, 점검구 모서리부에서는 급격한 단면 손실(약 1/6)로 인해 응력집중이 발생하여 점검구를 중심으로 빈번하게 좌굴 파괴가 일어나고 있다<sup>(1)</sup>.

도로표지의 경우 조명방식과 관련하여 국토교통부 『도로표지 제작설치 및 관리지침』의 별표(19)에서 설계시 유의사항으로 “구조 및 취급방법은 풍속 50 m/s에 견딜 수 있을 것으로 규정하고 있다<sup>(2, 3)</sup>”.

KS D 3600에서는 가로등주에 걸리는 하중을 최대 순간풍속 60 m/s의 풍압력으로 계산하는 것으로 규정하고 있다<sup>(1)</sup>. 일본의 가로등 설계기준인 JIL 1003에서도 순간 최대풍속 60 m/s의 풍압력으로 계산하는 것으로 규정하고 있다<sup>(1)</sup>.

본 논문에서는 최대순간풍속 60 m/s일 때의 풍압력으로 가로등주의 구조안전성을 검토하였다. 도로변에 설치된 가로등주의 경우 자동차 충돌가능성이 있으므로, 자동차안전법규에서 규정한 48 km/h의 속도로 자동차가 가로등주에 충돌할 때의 충격력으로 인한 구조 안전성을 검토하였다<sup>(4)</sup>.

본 연구에서는 가로등주의 구조안전성 측면에서만 검토하고자 하였으며, 가로등주에 충돌한 자동차 탑승자의 안전성은 검토하지 않았다.

#### 2. 풍압력에 의한 설계기준

가로등주 관련하여 KS 기준은 KS D 3600에서 규정하고 있다<sup>(5)</sup>. 가로등주의 구조설계 관련하여 표준 적용 재료는 SS400, STK400, 재료의 두께는 공칭 3.2 mm 이상, 가로등주에 걸리는 하중은 최대순간풍속 60

\* 대덕대학교 기계설계과

\*\* 기술보증기금

E-mail : jmlim@ddc.ac.kr

m/s의 풍압력, 가로등주 풍력계수는 0.7, 안정기 부착 구 높이는 600 mm 이상으로 규정하고 있다<sup>(1)</sup>.

풍속은 거듭계급의 법칙에 따라 수평방향으로 증가하며, 노출환경에 장애물이 많으면 지표면 조도가 커져서 대기경계층 시작높이는 증가하고, 연직방향의 풍속에 영향을 미친다<sup>(1, 6)</sup>. 대기경계층 시작높이는 지표면의 영향을 받아 연직방향의 풍속이 변화하는 대기층의 시작이 되는 높이를 말한다. 대기경계층 시작높이 이하에서는 지표면 조도 구분에 따라 일정풍속으로 한다. 설계 풍속은 설계 대상 구조물의 노출 환경, 설치 고도에 따른 풍속 변화, 시간과 공간에 따라 풍속이 변화되는 난류의 영향을 고려해야 하는 거스트 계수 (Gust coefficient, 돌풍률), 구조물의 형상과 거칠기에 따른 풍력계수 및 설계 대상 구조물의 용도, 사회적, 경제성 및 중요도 등이 고려된 중요도 계수가 고려되어야 한다<sup>(1, 2, 6)</sup>.

기존의 풍하중 관련 연구에서는 국내의 내풍 설계 기준을 비교·검토하여 단위 면적당 풍하중은 식(1)과 같이 사용할 것을 제안하고 있다<sup>(1, 2)</sup>.

$$P = \frac{1}{2} \rho V_d^2 GCI \quad (\text{N/m}^2) \quad (1)$$

여기에서,  $\rho$ 는 공기밀도( $\text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ ),  $V_d$ 는 설계 풍속(m/s),  $G$ 는 거스트 영향계수,  $C$ 는 풍력계수 및  $I$ 는 중요도계수이다.

일본의 경우 가로등주의 설계기준은 JIL 1003에서 규정하고 있으며 식(2)와 같이 풍하중을 적용하여 가로등주의 강도계산을 할 수 있도록 기준을 마련하여 놓았다<sup>(1)</sup>. 식(2)는 식(1)에서  $1/2\rho=0.615$ 과  $V_{cr}^2 = V_d^2 GI$ 를 적용한 것이다.

$$P = 0.615 CV_{cr}^2 \quad (\text{N/m}^2) \quad (2)$$

여기에서,  $V_{cr} = 60\text{m/s}$ ,  $C$ 는 풍력계수이다.

식(2)에  $V_{cr} = 60\text{m/s}$ , 풍력계수 0.7(지주의 경우에 적용)을 적용하였을 때, 풍하중에 의한 압력은  $P = 1550\text{N/m}^2$ 로 계산된다. 거스트 영향계수, 풍력계수 및 중요도계수 등에 따라 식(1)에 의한 계산값은 달라질 수 있다. 본 논문에서는 풍하중의 계산을 단순하게 하기 위하여 식(2)를 이용하였으며,  $P = 1550\text{N/m}^2$ 의 풍하중이 가로등주에 작용하는 것으로 하였다.

### 3. 풍력에 의한 구조 안전성 해석

가로등주는 Fig. 1에 나타난 것과 같이 상부지주, 중간지주, 하부지주 및 베이스 부위로 구성되어 있다. 가로등주의 총길이는 10 m이며, 상부지주의 길이는 5,300 mm, 중간지주의 길이는 2,700 mm, 하부지주의 길이는 2,000 mm이다. 가로등주의 구조 안전성을 검토하기 위하여 UniGraphics 7.0에 탑재된 NX-NASTRAN을 이용하여 구조해석을 수행하였다. 해석모델은 QUAD4 셀요소 42,802개와 TRI3 셀요소 672개를 사용하였다. 부재 사이의 체결을 고려하기 위하여 강체요소인 RBE2 요소를 67개 사용하였으며 및 가로등의 질량을 보정하기 위하여 집중질량요소 3개를 사용하였다. 상부지주, 중간지주 및 베이스 부위는 SS400, 하부지주는 알루미늄 재질이며 NX-NASTRAN에서 제공하는 물성치를 사용하였다. 하중은 Fig. 1에 나타난 좌표축을 기준으로 가로등주의 Z-X면에 분포하중으로 작용하는 것으로 하였다.

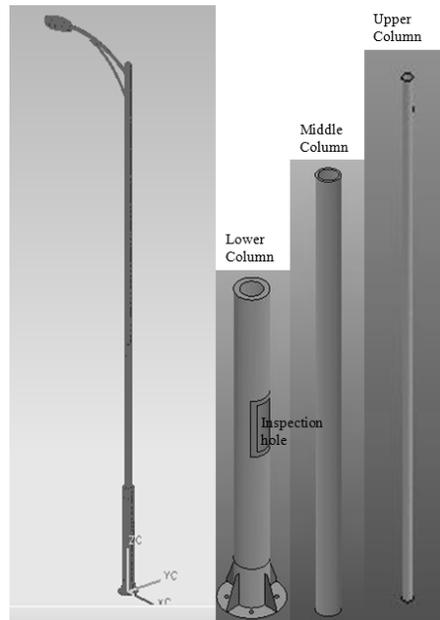


Fig. 1 Analysis model

풍속 60 m/s로 풍하중이 가로등주에 작용하는 경우 Fig. 2에 나타난 것과 같이 최대 변위는 가로등주의 상부에서 좌표축의 Y 방향으로 270.7 mm를 나타내었다.

## 승용차 충돌을 고려한 가로등주 설계

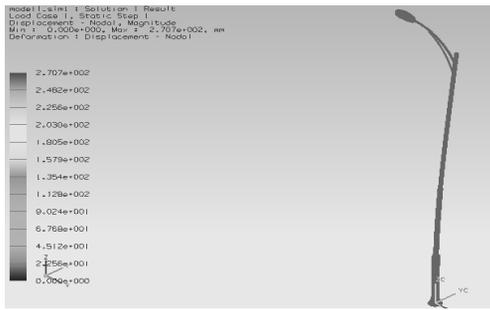


Fig. 2 Maximum displacement

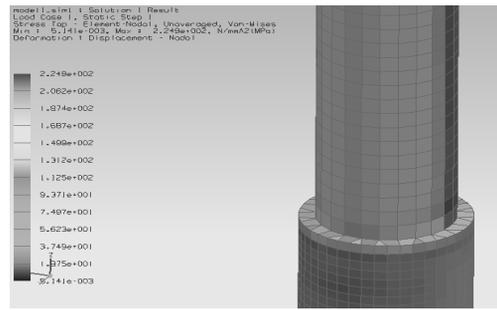


Fig. 5 Stress distribution at the connection part between upper and middle column

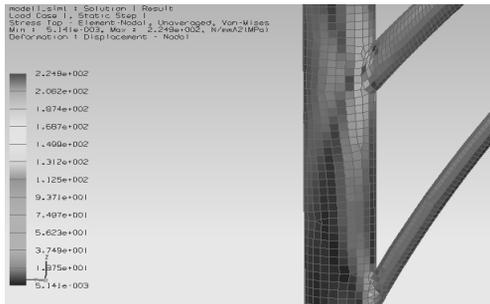


Fig. 3 Maximum von Mises stress

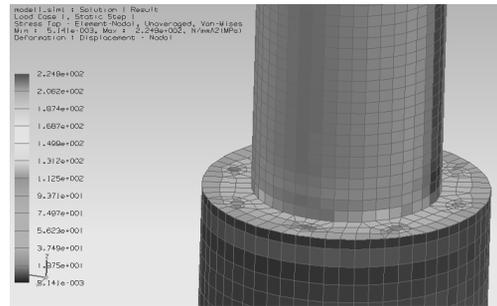


Fig. 6 Stress distribution at the connection part between middle and lower column

Fig. 3은 상부 지주와 조명등이 장착되는 파이프의 연결부에서의 von Mises 응력 분포를 나타낸 것이다. 연결부위에서 최대응력 224.9 MPa가 발생하였으나 SS400의 항복점 391 MPa에 비해 낮은 값이므로 파손 가능성은 없을 것으로 보인다.

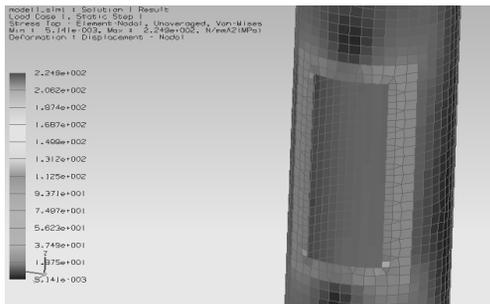


Fig. 4 Stress distribution of inspection hole

Fig. 4는 점검구(Inspection hole) 주변의 응력분포를 나타낸 것이다. 점검구 주변은 파손을 방지하기 위하여 보강이 된 상태이며, 최대응력은 140 MPa 정도의 값을 나타내었다.

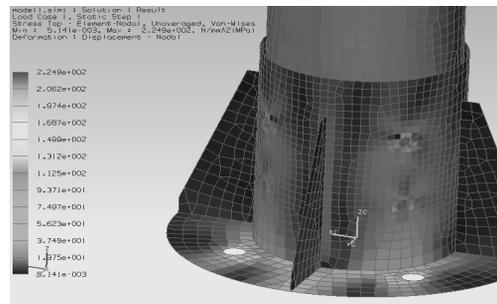


Fig. 7 Stress distribution at the lower column and base part

Fig. 5은 상부지주와 중간지주 사이의 연결부위에서 응력분포를 나타낸 것이며, 최대응력은 120 MPa 정도를 나타내었다. Fig. 6은 중간지주와 하부지주 사이의 응력분포를 나타낸 것이며, 최대응력은 190 MPa 정도를 나타내었다. Fig. 7은 하부지주 및 베이스 부위의 응력분포를 나타낸 것이며, 최대응력은 110 MPa 정도를 나타내었다. 볼트 체결부위의 최대 반력은 8.97 kN으로 나타났으며, 볼트 직경을 25mm로 가정하는 경우에 볼트에 작용하는 응력은 57.4 MPa로 나타났다.

가로등주의 각 부분에서의 응력분포를 검토한 결과,

가로등주의 상부지주와 가로등을 연결하는 파이프 부위에서 최대응력이 224.9MPa로 나타났으나 파손 가능성은 없는 것으로 판단된다. 일반적으로 파손이 많이 발생하는 점검구 주변 및 가로등주와 노면을 연결하는 볼트 체결부위에서도 파손가능성은 없는 것으로 판단된다.

#### 4. 충격력에 의한 구조안전성 해석

충격력에 의한 구조안전성은 Fig. 8에 나타난 것과 같이 48 km/h의 속도로 자동차가 가로등주에 충돌하는 상황을 모델링하여 해석을 수행하였다. 충돌해석은 LS-DYNA v. 971을 이용하였다.

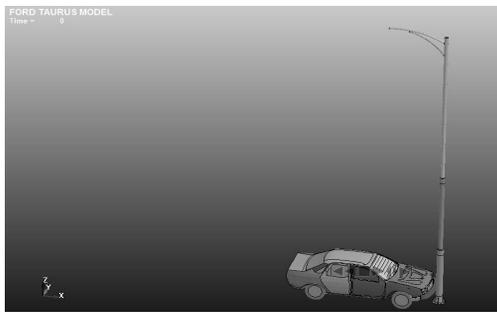


Fig. 8 Car crash model

자동차 모델은 NCAC(National Crash Analysis Center) 센터에서 개발은 FORD 자동차의 TORUS 모델을 이용하였다<sup>(7)</sup>. 자동차는 27,873개의 셀요소, 348개의 솔리드요소, 142개의 빔요소로 구성되어 있으며 1,459 kg의 질량을 가지고 있다. SS400 및 알루미늄에 대한 응력-변형률 선도는 참고문헌[8, 9]의 자료를 이용하였다.

Fig. 9는 자동차 충돌 후 시간대별로 가로등주의 거동을 나타낸 것이다.

자동차는 가로등주에 충돌 후 105ms 근방까지 전진을 계속하다 105ms 이후에는 운동에너지를 잃고 리바운드되기 시작한다. Fig. 10에 나타난 것과 같이 250ms에서는 자동차가 가로등주로부터 완전히 분리되어 있는 것을 볼 수 있다. 가로등주도 자동차가 리바운드되기 시작한 이후로 원래의 위치로 돌아가는 것을 확인할 수 있었으며, 자동차와 접촉한 부위에서의 변형은 발생해도 전체적으로 좌굴이 발생하지는 않은 것을 알 수 있다.

자동차의 경우에는 엔진룸 부위가 전반적으로 균형 있게 변형되지 않고, 가로등주에 충돌한 부위만 국부적으로 심하게 변형되었다. 본 연구에서는 승객의 상해 정도를 해석을 통해 검토하지는 않았으나, 자동차 및 가로등주의 변형 상태를 고려했을 때 충돌에너지가 자동차 또는 가로등주에서 적절하게 흡수되거나 분산되지 않아 승객 상해 가능성은 클 것으로 예상되었다. 따라서, 풍하중에 의한 구조안전성 조건과 자동차 충돌 시 승객안전도를 동시에 만족시키는 것은 어려울 것으로 판단된다.

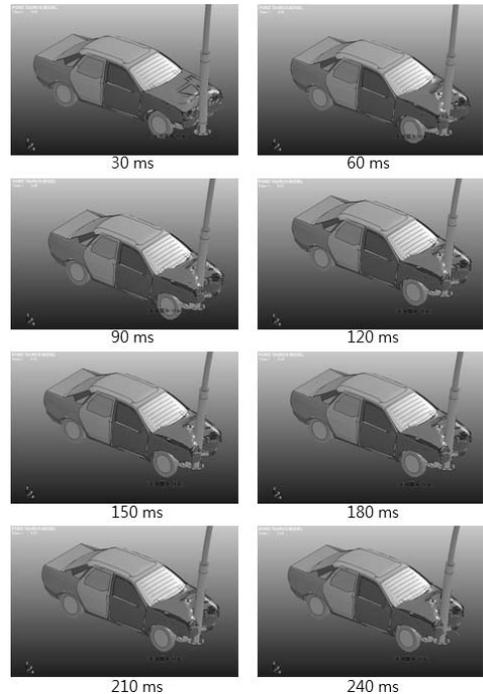


Fig. 9 Behaviors of the car and the column after impact

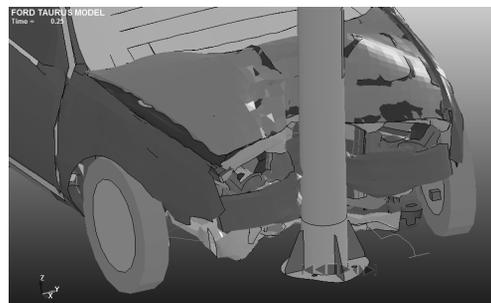


Fig. 10 Car and column behavior at 250ms

Fig. 11은 자동차 충돌 후 75ms에서 가로등주의 von Mises 응력 분포를 나타낸 것이다. 최대 von Mises 응력은 베이스 부위에서 532.5 MPa로 나타났다. 최대변위는 Fig. 12에 나타낸 것과 같이 자동차 충돌 후 240ms에서 나타났다. 최대 변위가 발생하는 부위는 상부 가로등주로, 상부 가로등주의 끝부분의 변위는 3,057mm로 나타났다. 베이스 부위의 볼트 체결 부에서 최대 반력은 75ms에서 42.6 kN으로 나타났으며, 체결 볼트에 작용하는 최대 응력은 볼트의 직경을 25mm로 가정할 경우 86.8MPa일 것으로 예측된다.

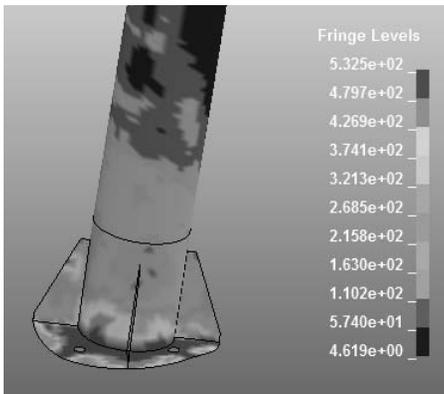


Fig. 11 Maximum von Mises stress distribution at 75ms



Fig. 12 Maximum displacement at 240ms

## 5. 결론

본 연구에서는 가로등주의 설계 시 구조안전성을 검토하기 위하여 풍속 60 m/s의 풍하중에 의한 압력  $P=1550 N/m^2$ 을 설계하중으로 고려하였다. 가로등주의 주요 부위에서 von Mises 응력은 항복강도보다 낮게 나타났으므로, 풍하중에 의한 가로등주의 파손가능성은 없을 것으로 판단되었다.

충격력에 의한 가로등주의 구조안전성을 검토하기 위하여 자동차가 48 m/s의 속도로 가로등주에 충돌하는 상황을 해석하였다. 자동차는 가로등주에 충돌 후 105ms 근방에서 운동에너지를 잃고 리바운드되기 시작하였으며, 가로등주도 원래 위치로 복원되기 시작하였다. 250ms 근방에서 가로등주의 가동을 살펴본 결과, 자동차와 충돌한 부위의 변형은 존재해도 좌굴 가능성은 없는 것으로 판단되었다.

자동차가 가로등주에 충돌 시 엔진룸부위에서 국부적으로 변형이 발생하기 때문에 충돌에너지의 적절한 흡수·분산이 어려울 것으로 예상되어 승객 상해 가능성도 클 것으로 예상되었다.

따라서, 풍하중에 의한 구조안전성 조건과 자동차 충돌 시 승객안전도를 동시에 만족시키는 것은 어려우며, 향후 이에 대한 연구가 더욱 필요할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 (주)성현하이텍의 지원에 의해 이루어졌습니다.

## 참고문헌

- (1) 정수형, 심재수, 최현규, “구조안전성 기반의 가로등주 설계개선방안”, 한국구조물진단유지관리공학회 논문집, 제16권, 제6호, pp. 45~55, 2012.11.
- (2) 박홍석, 구현본, “도로 표지의 구조안전성 확보를 위한 설계개선방안”, 건설기술정보, pp. 11~16, 2006.7.
- (3) 국토교통부, 예규 제 223호, 별표19, “도로표지 제작설치 및 관리지침 전부개정안”, 2012.4.4.
- (4) 국토교통부, 자동차 안전기준에 관한 규칙, 2011.3.
- (5) 기술표준원, KS D 3600, “철재 가로등 주”, 2012.9.28.
- (6) 국토해양부, 고시 제2009-1245호, “건축구조기준”, 2009.12.29.
- (7) NCAC, FE Models, www.ncac.gwu.edu.
- (8) Rasmussen, K., “Full-range Stress-strain Curves for Stainless Steel Alloys”, Research Report No R811, Department of Civil Engineering, The University of Sydney, 2001. 11.
- (9) Favilla, S., Tensile Testing Laboratory, <http://stephanfavilla.files.wordpress.com/2011/03/tensile-testing-laboratory.pdf>, 2010.2.