

해상교량 가로등주 손상 및 개선방안 연구

A Study on the Damage and Improvement of
Luminaire Supports for Marine Bridges



정수형¹⁾

Jung, Soo Hyung



최현규^{2)*}

Choi, Hyun Gyu

1. 머리말

가로등은 보행자의 안전과 차량의 원활한 통행을 위해 없어서는 안 될 필수적인 시설물이다. 그러나 가로등은 도로의 부대시설로 취급되어 풍하중이나 이에 대한 구조거동에 대한 연구를 소홀히 해왔고, 외국제품을 무분별하게 복제하거나 그 형상을 그대로 사용함에 따라 강풍지역 또는 해상교량에서 가로등 점검구의 좌굴로 인한 붕괴가 자주 발생하고 있다.

'03년 태풍 매미(최대순간풍속 60 m/s)의 경우 전국에서 367개의 가로등이 파손된 것으로 보고된 바 있다. 또한 '09년 제주도 아라동지역 순간최대풍속 34.4m/s에 의해 단지 내 신규 가로등주 51기가 전도 또는 변형되었으며, 해상교

량에 설치된 지 10년이 경과한 가로등이 19m/s의 순간최대풍속에 갑자기 전도되는 등 태풍 내습 외에 일반 강풍에서도 가로등이 전도되어 2차 사고의 위험성을 항시 가지고 있게 된다. 따라서 매년 태풍의 내습 및 일반 강풍 시에도 가로등의 파손, 전도는 반복되었지만 매년 긴급복구로 끝나고 근본적인 해결책을 제시하지는 못하고 있다.

이러한 가로등의 풍해 원인은 1985년 일본조명기구공업회 표준(JIL 1001)을 기초로 KS기준을 정함에 따라 실제 발생 가능한 풍하중에 충분한 안전성을 확보하지 못하는 데에 기인한 것으로 판단된다. 이를 위해 본 고에서는 가로등의 손상 사례와 원인분석, 가로등 관련 KS기준의 적정성, 풍하중 적용기준, 가로등 체원 및 규격의 적정성 등 가로등주의 구조적 안전성을 기반으로 설계개선방안을 검토 제시하고자 한다.

1) 한국시설안전공단 진단본부 고속도로실 실장, 공학박사

2) 한국시설안전공단 진단본부 특수교육지원센터 삼천포사무소 사원

* E-mail : hyungyu0812@naver.com

2. 현행 가로등 적용실태 조사

2.1 가로등의 주요 손상 사례 및 원인 분석

현재 국내 해상교량에 설치되어 있는 가로등은 일반적으로 가로등주, Arm, 연결부, 기초 및 등기구로 구성되어 있다. 가로등주와 Arm은 원형, 팔각, 사각, 육각형 등의 단면을 널리 사용하며 중량이 작은 경량의 세장기둥구조로 제작되어 있다.

가로등주는 조명의 전원을 안정적으로 공급하기 위하여 바닥에서 일정 높이에 점검구를 통해 안정기를 내부에 설치하게 되며, 점검구 모서리 부분에서는 급격한 단면 손실(약 1/6)로 인해 응력집중이 발생하여 점검구를 중심으로 항상 좌굴 파괴가 Fig. 1과 같이 일어난다.

그리고 가로등은 가로등주와 Arm을 잇는 상부 연결부, Arm과 등기구의 연결부, 용접결합부, 기초 앵커연결부 등에서 균열 또는 파손이

발생한다. 이러한 부분에서 발생하는 가로등의 주요 손상 사례를 Fig. 2에 나타내었다.

또한 기존 가로등은 KS D 3600에서 정하는 형상이나 규격을 만족하고 있지만, 영세한 지역 제작업체의 기술력 부족에 따른 구조적 성능과 품질이 KS D 3600 규격을 만족하지 못하는 경우가 많고 용접공정이 많아 품질과 성능이 일정하지 않으며 가공공정에 따라 품질이 달라지는 문제점이 생긴다. 지방자치단체에서 지역 특색을 더한 형상의 가로등을 원하면서 다양각색의 가로등주의 모양으로 풍하중에 대한 투영면적이 넓어져 작용하는 외력이 커지는 문제점이 발생한다.

Fig. 1~3에 나타난 가로등의 주요 손상 사례에 나타난 문제점을 요약하면 다음과 같으며, 이를 통해 개선방안을 강구할 필요가 있다.

- ① 가로등주는 자체적으로 외력에 대하여 구조적 안전성을 확보하도록 하여야 하지만, 구조적 취약부인 점검구 부분에서 좌굴 파



Fig. 1 가로등 점검구의 주요 손상 사례



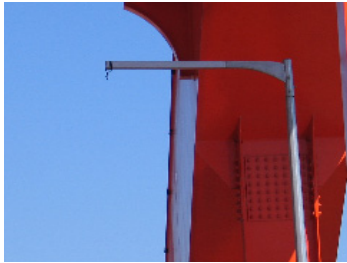
(a) 상부 연결부 탈락



(b) Arm 회전



(c) 등기구 결합부 균열



(d) 등기구 탈락



(e) 가로등 결합부 용접 균열



(f) 기초 앵커부 흔들림

Fig. 2 가로등 기타 주요 손상 사례



(a) 파손된 가로등주 실측 두께(t=2.5mm) 도면(t=3.2mm)과 상이



(b) 설치되어 있는 가로등주 실측 두께 (t=2.5mm) 도면(t=3.2mm)과 상이



(c) 다양한 모양의 가로등주1



(d) 다양한 모양의 가로등주2

Fig. 3 KS기준 규격과 상이한 가로등 사례

피가 발생한다.

- ② 운반이나 설치를 쉽게하기 위해서 공장에서 일체형으로 용접 제작하지 않고 부분 조립식 방법을 적용하여 연결부에서 회전, 균열 또는 파손 등의 손상이 발생한다.
- ③ 가로등의 KS기준의 규격을 만족하지 못하여 위의 ①, ②의 손상이 발생한다.

2.2 KS기준의 문제점

가로등의 안전성에 대해서는 기 수행한 연구 결과나 기술적인 설계기준이 전무하여 기 고시된 KS기준에서 제시하는 도면대로 가로등을 설치하고 있는 실정이다. 그러나 철재 가로등주에 관한 기준인 「KS D 3600」의 내용은 자체적으로 외력(풍하중)을 지지하는 구조물로서가 아니라 전기시설 위주의 규정으로서 설계풍하중이나 재료 및 단면제원 등을 구조안전성에 근거하여

규정하고 있지 않다. 구조설계에 관한 「KS D 3600」의 주요 내용은 다음과 같다.

- 표준 적용 재료 종류 : SS 400, STK 400
- 재료의 두께는 공칭 3.2mm 이상, 가로등주에 걸리는 하중은 최대순간풍속 60m/s의 풍압력으로 하며, 가로 단면의 모양에 따라 원형 가로등주 478.7N/m² (48.8kgf/cm²) 이상, 8각형 가로등주 598.4N/m² (61.0kgf/cm²) 이상, 4각형 가로등주 885.8N/m² (90.3kgf/cm²) 이상
- 가로등주 풍력 계수 0.7, 등기구(메탈할라이드등) 풍력 계수 0.8 및 풍압면적 0.28m²
- 가로등 기구 내의 안정기 내장 가능(1988년), 안정기 부착구 높이를 600mm 이상 (2001년)

사용재료인 SS 400, STK 400은 스테인리스 스틸과 마찬가지로 용접부의 강도기준이 규명되지 않은 재료로서 부재들이 용접연결로 구성된 가로등에 사용하기에는 부적절하며 용접형 강재인 SMA 계열의 용접강재를 사용해야 할 것이다. 안전에 취약한 점검구에는 응력집중이 발생하므로 이에 대한 규격도 새로이 만들어야 하며, Arm이 사각단면으로 구성되어 풍력계수(1.3정도)가 크기 때문에 원형단면으로 개량할 필요가 있다.

일반적으로 가로등의 설계는 풍하중이 지배하기 때문에 설계 풍하중 기준은 명확하고 객관적인 데이터에 근거하여 설계 대상구조물의 가설 지역 및 지형별 풍속 특성을 반영하여야 하며, 태풍이나 급작스럽게 발생하는 돌풍에 대해서도 충분한 안전성이 확보되어야 한다. 그러나 KS기준에는 풍하중에 대해 가로등주에 걸리는 하중은 최대순간풍속 60m/s의 풍압력으로하며, 가로 단면의 모양에 따라 일정 풍압에 대한 내력을

가져야 한다고 규정해 놓았을 뿐, 적용된 설계풍속이 적절한 재현빈도의 풍속인지 그 근거가 불명확하고, 지역별 풍속 특성과 태풍 및 급작스럽게 발생하는 돌풍의 영향을 고려하지 않고 있다. 또한 점검구 응력집중의 영향에 대한 기준이 없고 Arm에 대한 풍력계수를 제시하지 않는 등 구조용 강재에 대한 설계기준에 비해 낮은 용접강도, 취약단면(점검구)을 가진 가로등을 설치함에 따라 태풍 시에는 불안정하여 파손, 전도가 발생할 가능성이 크게 된다.

3. 가로등주 KS기준의 개선방안

3.1 설계풍속

3.1.1 기본풍속의 결정

KS기준의 풍하중의 문제점을 개선하기 위하여 Table 1에서 보는 바와 같이 국내·외 내풍 설계기준을 비교·검토하였다.

기본풍속(V_{10})은 설계풍속을 결정하는데 있어서 기초가 되는 풍속이며, 구조물 건설지점에 있어서의 고유의 풍속이다. 일반적으로, 구조물의 건설지점 주변에 있는 기상관청의 관측기록에 기초하여 그 지점의 풍속의 재현 기대치를 추정하는 방법으로 기본풍속을 결정하고 있다. 가로등의 내풍 설계 규정을 국내 지역별 풍속 특성이 반영된 합리적인 설계기준으로 개선하기 위하여, 지역별로 명확한 설계풍속을 제시하고 있는 「건축구조 설계기준(KBC2005)」, 「도로교설계기준(한계상태설계법)(MTLM)」, 「가공 송전용 철탑 설계기준(KEPCO)」, 「도로표지관련규정집(MTLM)」의 기본풍속을 비교·검토하였다.

분석 결과, 「AASHTO Standard Specs」는 재현빈도 50년, 노출조건 C인 지상10m에서의 3초 거스트 풍속을 적용하고 있으나, 국내에서는 보편적으로 '재현기간 100년, 최대 풍속 비초

Table 1 국내·외 설계 풍하중 기준의 비교

설계기준명	풍하중 산출식	설계기준풍속		고도 및 환경 보 정계수	거스트 계수	풍력계수	중요도 계수
		설계기준풍속 산출식	기본풍속				
철재 가로등주 (KS D 3600)	순간최대풍속 60 m/s의 풍압력 원형: 48.8kgf/cm ² 8각형: 61.0 kgf/cm ²	언급 없음	언급 없음	언급 없음	언급 없음	가로등주 : 0.7 등기주 : 0.6~0.8	언급 없음
건축구조 설계기준 (국토해양부)	$\frac{1}{2} \rho V_s^2 C_f C_{f1}$	$V_s = V_0 K_{zt} K_{st} I_w$	실측풍속 또는 재현기간 100년인 지상 10m에서의 지역별 기본풍속 V_{10}	풍속에 반영 (K_{zt}, K_{st})	풍하중에 반영 (1.8~1.9)	모양 및 높이에 따라 다양하게 제시	풍하중에 반영 (I_w)
도로표지 관련규정집 (국토해양부)	$\frac{1}{2} \rho V_d^2 G_f C_I$	$V_d = V_0 K_z$	재현기간 100년, 최대풍속 비초과확률 60%인 10m에서의 10분간 평균풍속 V_{10} 도로표지 설계기본 풍속 분포도 사용 (30~45m/s)	고도 및 노출 환경 풍속에 반영 (K_z)	1.9 적용	원형 지주: 0.5~1.2 사각형 지주: 1.3~2.0	풍하중에 반영 (I)
도로교 설계기준 (국토해양부)	4.0~0.2 $\frac{B}{D}$ (kPa) 또는 2.4 (kPa)	(일반 중소지간교량) $V_d = 40.0m/s$	재현기간 100년, 최대풍속 비초과확률 60%인 개활지 지상 10m에서의 10분간 평균풍속 V_{10} 지역구분 I~V에 따라 $V_{10} = 30 \sim 50m/s$	미반영	미반영	-기타 부재 (풍상측) 원형 1.5kPa 각형 3.0kPa	미반영
	$f_1 > 1Hz$: $\frac{1}{2} \rho V_d^2 C_d C_r$ $f_1 \leq 1Hz$: $\frac{1}{2} \rho V_d^2 C_d C_f$	(태풍/돌풍지역 중대 지간 교량) 지역의 풍속 자료 또는 $V_d = 1.723 \left[\frac{z_D}{z_G} \right]^\alpha V_{10}$	지표상향 I~IV 및 고도에 따라 풍속 반영 $1.723 \left[\frac{z_D}{z_G} \right]^\alpha$	풍하중에 반영 -가체구조물 -유연구조물	기존 문헌, 실험, 해석 등의 합리적 방법으로 산정	미반영	
고속도로 방음벽 설계 풍하중 검토 (한국도로공사)	$\frac{1}{2} \rho V_d^2 C_d$	$V_d = 1.925 \left[\frac{z(b)}{z_G} \right]^\alpha V_{10}$	재현기간 100년, 최대풍속 비초과확률 60%인 개활지 지상 10m에서의 10분간 평균풍속	풍속에 반영 $\left(\frac{z(b)}{z_G} \right)$	미반영	토공부:1.2 교량부:1.6	미반영
가공성용 철탑 설계기준 (한국전력공사)	$\frac{1}{2} \rho V_{G10}^2 \alpha \beta K_1 K_2 C$	지상 10m에서 지역별 순간최대풍속 (기본풍속×돌풍율 (=G))	실측풍속 또는 재현기간 50년인 지상 10m에서의 10분간 평균풍속	풍하중에 반영 (α, K_2)	풍속에 반영 (돌풍율)	모양에 따라 다양하게 제시	풍하중에 반영 (K_1)
미국 AASHTO Standard Specs.	$0.613 K_1 G V^2 I_r C_d$ $= \frac{1.25}{2} K_s G V^2 I_r C_d$ (Pa)	재현빈도 50년, 노출 조건 C인 지상10m에서의 3초 거스트 풍속(기준에 지역별 풍속 MPa 제시)	관련 규정 없음	풍하중에 반영 (K_1)	풍하중에 반영 ($G=1.14$)	모양에 따라 다양하게 제시	풍하중에 반영 (I_r)
도로교 시방서 (일본도로협회)	$\frac{1}{2} \rho U_d^2 C_d G$	40.0m/s	관련 규정 없음	미반영	풍하중에 반영 (1.9)	기타 부재(풍상측) 원형 0.8 각형 1.6	미반영
표지 표준도집 방음벽 설치요령 (일본도로공단)	$\frac{1}{2} \rho V^2 C$	45.0m/s (=기본풍속×거스트 계수)	내용년수 20년, 최대풍속 비초과확률 60%인 풍속 (37.2m/s)	미반영	풍속에 반영 (1.2)	토공부:1.2 교량부:1.6	미반영
照明用ポール強度計算基準 (JIL 1003) (일본조명기구공업회, 2009)	$0.615 C V_{er}^2$ (N/m ²)	$V_{er} = 60.0m/s$ 또는 建築物荷重指針 참조	관련 규정 없음	미반영	V_{er} 로 계산	모양에 따라 가로등주:0.7~1.3 등기주:0.7~1.2	미반영
建築物荷重指針 (日本建築基準法施行令)	$0.6 E V_0^2$ (N/m ²) $E = E_c^2 G_f$	$E_c V_0^2$	지역구분 I~九에 따라 $V_{10} = 30 \sim 46 m/s$	지표조건 I~IV 및 고도에 따라 풍속 반영 $E_c = 1.7 \left[\frac{H}{z_G} \right]^\alpha$	풍하중에 반영 ($G_f = 1.8 \sim 3.1$)	미반영	미반영

과 확률 60% 이상에 대응되는 지상 10m에서의 10분간 평균 풍속'을 기본풍속으로 적용하고 있는 것으로 나타났다. 「도로교 설계기준(한계상태설계법)」은 지역별로 5m/s 큰 값을 제시하는 경우가 있으나, 「가공송전용 철탑 설계기준」, 「도로표지관련규정집」, 「건축구조 설계기준」은 비슷한 기본풍속을 제시하고 있고, 「건축구조 설계기준」이 타 기준에 비해 기본풍속을 지역별로 세분화함과 동시에 설계용 기본풍속 분포도를 수록하여 실무자가 편리하게 사용할 수 있게 하였다. 또한, 위 기준이 가로등주의 설계에 환경적·지역적으로 더 적합하다고 판단하여 「건축구조 설계기준」의 기본풍속 기준을 적용하는 것으로 하였다. 위에 제시된 기본풍속은 각 지역별 위치 특성이 고려된 해당 지역관측소의 장기 풍속 실측값에 근거하여 재현기간 100년에 대해 추정된 풍속 값이며, 설계 시 가설지점 부근의 유효한 관측 자료가 존재하는 경우에는 해당 데이터를 기본풍속으로 사용해도 무관할 것이다.

3.1.2 고도 및 노출환경에 따른 보정계수

풍속은 거둬제곱의 법칙에 따라 수평방향으로 증가하며, 노출환경에 장애물이 많으면 지표 조도가 커져서 대기경계층 시작높이 Z_b 는 증가하고 연직방향의 풍속에 영향을 미친다. 국내 여러 내풍 설계기준에서는 설계 대상 구조물의 노출환경과 설치 고도에 따른 풍속 변화를 고려하고 있다. 국내 기준과 「AASHTO Standard Specs」을 비교·검토했다.

검토 결과, 고도 및 노출환경에 따른 보정계수는 정성적으로 고도에 따라 증가하는 경향을 보였으나, 정량적으로는 비교적 낮은 고도에서 유사한 반면 고도가 높아질수록 각 기준에 따라 다소 큰 차이를 보이는 것으로 나타났으며, 「건축구조 설계기준」과 「도로교 설계기준」이 비슷한 값을 보이는 반면 「가공 송전용 철탑 설계기준」

과 「AASHTO Standard Specs」은 다소 작은 계수 값을 제시하고 있다. 높게 설치되는 해상교량 가로등주의 높이도 60m를 초과하는 경우는 드물 것이므로 60m 이내에서 매우 유사한 값을 보여주는 건축구조 설계기준」과 「도로교 설계기준」이 합리적이라 판단되며, 가로등은 도시, 언덕, 평야지 도로, 교량 등 어디에서나 위치할 수 있어서 도심, 개활지, 교량 등에서 고도 및 노출환경에 영향을 많이 받기 때문에 가로등의 안전성과 적용성 측면에서 적합한 「건축구조 설계기준」 Table 2, Table 3의 고도 및 노출환경 보정계수를 적용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 또한 위 기준은 Table 4의 노풍도 구분에 있

Table 2 노풍도 구분에 따라 풍속의 고도분포계수(K_{zr})

지표면으로부터의 높이 $Z(m)$	노풍도 구분			
	A	B	C	D
$Z \leq Z_b$	0.58	0.81	1.0	1.13
$Z_b < Z \leq Z_g$	$0.22Z^a$	$0.45Z^a$	$0.71Z^a$	$0.97Z^a$

Table 3 대기경계층의 시작높이(Z_b), 기준경도풍높이 (Z_g) 및 풍속의 고도분포지수 (α)

노풍도 구분	A	B	C	D
$Z_b(m)$	20m	15m	10m	5.0m
$Z_g(m)$	500m	400m	300m	250m
α	0.33	0.22	0.15	0.10

Table 4 노풍도 구분

노풍도 구분	주변지역의 지표면 상태
A	대도시 중심부에서 10층 이상의 대규모 고층건축물이 밀집해 있는 지역
B	높이 3.5m 정도의 주택과 같은 건축물이 밀집해 있는 지역 중층건물이 산재해 있는 지역
C	높이 1.5~10m 정도의 장애물이 산재해 있는 지역 저층건물이 산재해 있는 지역
D	장애물이 거의 없고, 주변장애물의 평균높이가 1.5m 이하인 지역 해안, 초원, 비행장

어서 「AASHTO Standard Specs」과 유사한 구분을 가지고 있어서 합리적이다.

3.2 거스트(Gust) 영향 계수

자연풍은 시간과 공간에 따라 풍속이 변화되는 난류이므로 평균값을 구하는 시간범위 내에서 풍속의 최대값을 V_{max} 라 하면 $G = V_{max} / \bar{V}$ 로 표현되는 거스트 계수(돌풍률)를 설계에 고려하여야 한다. 일반적으로 난류에 의한 효과를 고려하는 방법으로 거스트 계수(gust coefficient)를 풍속에 반영하거나 거스트 영향 계수(gust effect factor)를 풍하중에 반영하는 방법으로 구분된다. 한국전력공사의 「가공송전용 철탑설계기준」에서는 국내 지역별 풍속 관련 실측 데이터에 근거하여 ‘순간풍속’과 ‘10분 평균풍속’ 간의 관계를 거스트 계수 개념의 돌풍률을 통해 제시하고 있으며, 거스트 영향 계수로 환산할 경우 지역별로 1.82~1.90 수준의 값을 갖는 것으로 나타났다. 「건축구조 설계기준」에서는 바람에 의한 공진효과를 무시할 수 있는 구조인 경우 노풍도 구분에 따른 구조골조용 거스트 영향 계수 Table 5를 설계에 적용하도록 규정하고 있으며, 풍속 관련 실측 데이터에 근거하여 산출된 「가공송전용 철탑설계기준」을 근거로 「건축구조 설계기준」에서 제시하는 거스트 영향 계수를 가로등주 설계 시 노풍도 B, C, D 중 가설 장소에 따라 적절한 값을 적용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

Table 5 구조골조 설계용 거스트 영향계수(G_f)

노풍도 구분	거스트 영향계수(G_f)
A	2.5
B	2.2
C	1.9
D	1.8

3.3 풍력계수

구조물에 있어서 항력에 의해 바람의 흐름방향으로 변형이 발생하며 구조물의 형상과 거칠기에 따라 다르므로 이를 고려하기 위하여 풍력 계수를 적용하고 있다. 국내·외 내풍 설계기준에서 제시된 다양한 풍력계수를 비교·검토한 결과 교량, 건축물, 표지판, 철탑 등 주로 가로등과 달리 규모가 크거나 형상이 크게 다른 구조물에 주로 적용하고 있기 때문에 세장한 부재로 단순하게 구성된 가로등주에 적용하는 것은 다소 문제가 있는 것으로 판단되며, 별도로 등주의 형상과 등기구의 모양 등에 따라 다양하게 풍력계수를 적용하고 있는 「照明用ポール強度計算基準 설계기준(4)」 Table 6의 풍력계수를 적용하는 것이 가장 합리적일 것으로 판단한다.

3.4 중요도 계수

국내 내풍 설계기준에서는 적용된 설계풍속이 설계목표수명만큼의 재현기간에 부합되도록 보정하기 위하여 설계 대상 구조물의 용도, 사회성, 경제성 및 중요도 등이 고려된 중요도 계수를 적용하도록 규정하고 있다. 「건축구조 설계기준」의 중요도와 「AASHTO Standard Specs」에서 제시하고 있는 설계수명 중요도를 비교하면, AASHTO의 중요도 “S”은 설계수명 100년, “1”은 50년, “2”는 25년, “3”은 10년에 해당된

Table 6 풍력계수(C_f)

가로등주, Arm		등기구	
단면형태	C_f	단면형태	C_f
원형	0.7	구형	0.6
12각형	1.0	형광등형, 나트륨등 메탈할라이드등	0.8
6각형 혹은 8각형	1.2	다각형	1.0
4각형	1.3	각형	1.2

Table 7 중요도계수(I) : AASHTO Standard Specs

설계수명 중요도	건축물의 용도 및 규모	중요도 계수
		$V=38-45m/s$
100년	-	1.15
50년	높이가 15m(49.2ft.)를 초과하는 가로등 지주와 가공(架空) 표지 구조물 (편지·현수·문형식 표지판)	1.00
25년	높이가 15m(49.2ft.) 미만인 가로등 지주와 교통 신호등	0.87
10년	길 가장자리의 표지 구조물 (단주·복주식 표지판)	0.71

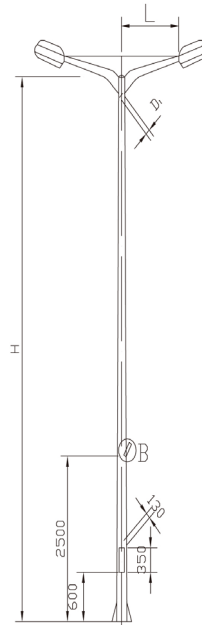
Table 8 중요도계수(I) : 건축구조 설계기준

중요도	건축물의 용도 및 규모	중요도 계수 (I)
특	· 연면적인 1,000m ² 이상인 위험물 저장 및 처리 시설, 종합병원, 병원, 방송국, 전신전화국, 발전소, 소방서, 공공업무시설 및 노약자 시설 · 15층 이상 아파트 및 오피스텔	1.10
1	· 연면적인 5,000m ² 이상인 관람집회시설, 운동 시설, 운수시설, 전시시설 및 판매시설 · 5층 이상인 숙박시설, 오피스텔, 기숙사 및 아파트 · 3층 이상의 학교	1.00
2	· 중요도 (특), (1), (3)에 해당하지 않는 건축물	0.95
3	· 가설 건축물, 농가 건축물, 소규모 창고	0.81

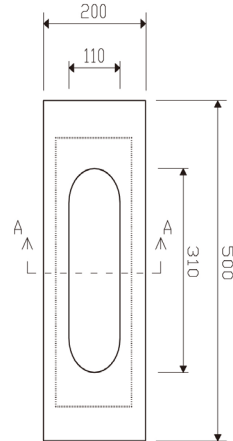
다. 가로등의 설계수명은 구조물에 비해서 낮기 때문에 25년이 적당하며 중요도계수는 0.95를 적용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 이 값은 풍속을 보정하기 위해 사용되기 때문에 풍하중으로 환산할 경우 $0.95^2 = 0.90$ 의 값을 갖는다.

3.5 가로등주에 작용하는 풍하중 제한

현재 가로등주에 대한 연구결과가 전무한 실정임에 따라 본 연구에서는 KS기준의 불명확한 풍하중의 산정에 대한 기본풍속, 거스트 영향 계수, 풍력계수, 중요도 계수를 국내·외 내풍 설계기준 중에서 적절하다고 판단되는 기준을 정의하였으며 각 항목을 적용하여 가로등주의 단

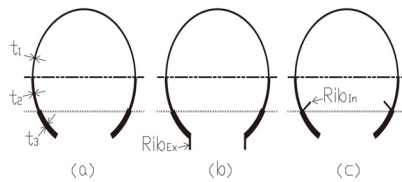


(a) KS기준의 가로등주



(b) 점검구 상세

A-A Section



(c) A-A단면의 3가지 유형의 보강

Fig. 4 가로등의 KS기준과 다양한 보강

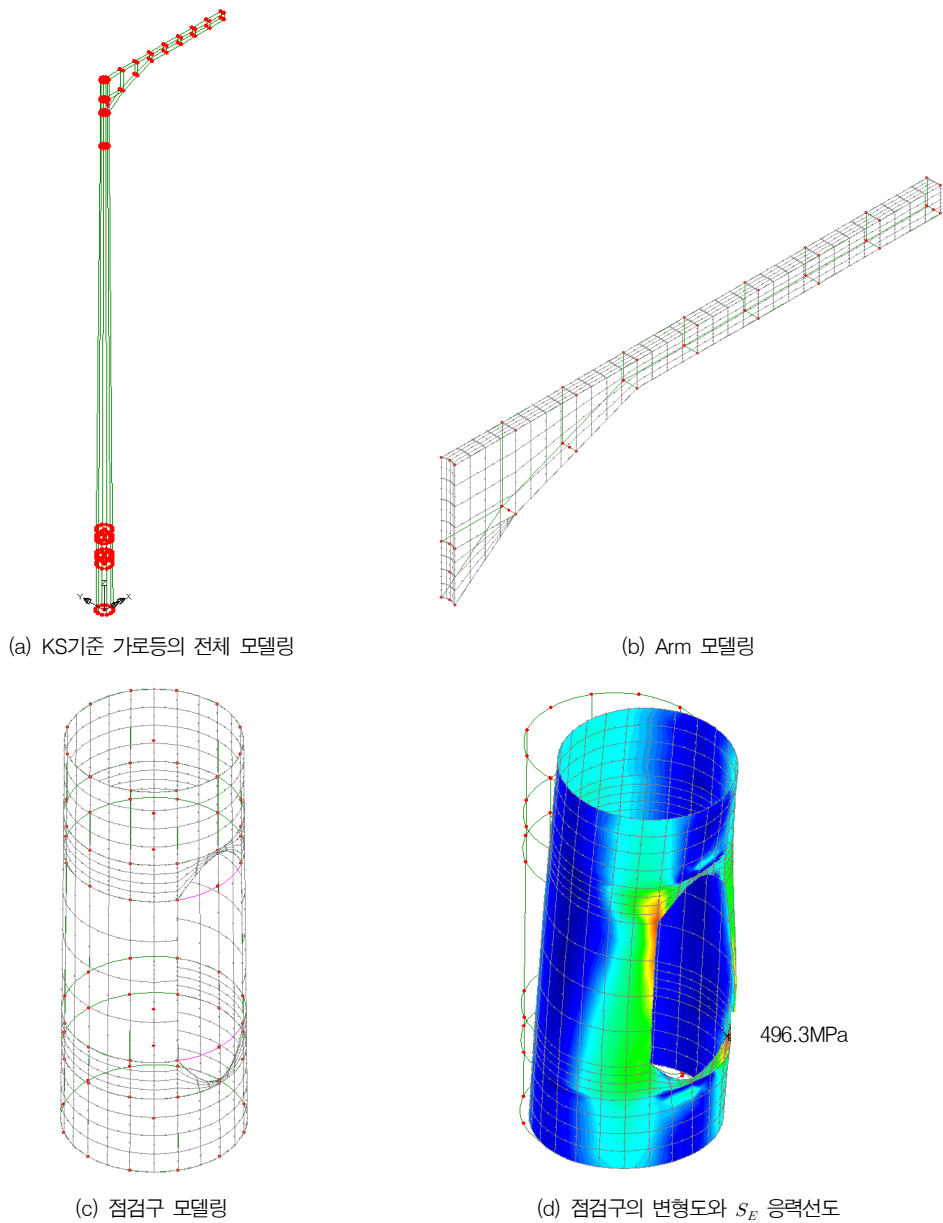


Fig. 5 KS기준 가로등의 구조해석 모델링 및 해석결과

위면적당 작용하는 풍하중 $P(N/m^2)$ 는 식 (1) 과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = \frac{1}{2} \rho V_d^2 G_f C I \quad (1)$$

여기서, ρ 는 공기밀도($1.226 N \cdot s^2/m^4$), V_d 는 설계풍속(m/s), $V_d = K \cdot V_{10}$, K 는 고도 및 노출환경 보정계수, G_f 는 거스트 영향 계수, C 는 풍력계수, I 는 중요도 계수이다.

4. 가로등주의 구조적 설계개선방안

4.1 구조해석을 통한 가로등주 안전성 검토

가로등주는 풍하중에 지배되며 점검구 모서리 부에서는 급격한 단면 손실(약 1/6)로 인해 응력집중이 발생하여 Fig. 1과 같이 점검구를 중심으로 좌굴과괴가 일어난다. 따라서 해석 프로그램 LUSAS V 13.4를 사용하여 높이 8m인 KS 기준의 가로등 제원을 기본형으로 풍하중에 대한 가로등주의 구조해석을 수행하였다. KS기준에서는 가로등주에 안정기의 설치 및 점검을 위해 하부로부터 600mm 위치에 폭 130mm, 높이 350mm의 점검구를 설치하게 되어있다. 점검구 주변에서 발생하는 복잡한 응력을 반영하기 위해서 가로등주, Arm, 보강 리브를 8절점 Shell 요소로 모델링하고 안정기는 설치 및 점검에 필요한 최소치수인 폭 110mm, 높이 310mm로 크기를 축소하여 해석을 수행하였다. 풍하중은 기본풍속 $V_{10} = 40 m/s$ 로부터 계산된 설계풍속은 $V_d = 45.38 m/s$, 거스트 영향계수 $G_f = 1.8$,

풍력계수는 원형등주 0.7, 사각 Arm은 1.3을 적용하였다. 또한, 강풍 시 점검구 주변의 응력집중으로 전도가 발생되기 때문에 Fig. 4와 같이 3가지 유형으로 점검구 보강을 하여 결과를 비교하였다.

Table 9는 다양한 방법의 보강을 통한 구조해석 결과 중 점검구 부근의 최대 Von Mises 응력 (S_E) 값을 나타냈으며 1~4번의 결과를 비교하면 점검구 주변의 두께를 두께게 하는 것이 리브로 내부나 외부를 보강하는 것보다 보강효과가 좋은 것을 확인할 수 있었다. 하지만 리브나 두께 보강부에서 응력집중이 발생하여 사용재료인 SS400의 허용응력($f_a = 0.6 \cdot f_y = 0.6 \cdot 235 MPa \approx 140 MPa$)을 초과하는 것으로 나타나 다른 대안이 필요할 것으로 판단되었다.

4.2 가로등주 형상에 따른 구조안전성 검토

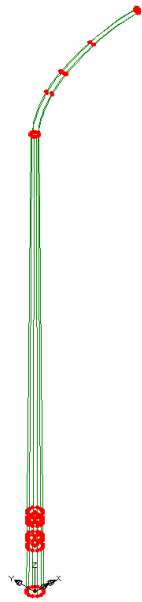
일반적으로 가로등은 풍하중이 지배하기 때문에 KS기준의 가로등은 Arm이 사각단면으로 큰 풍력계수와 풍압면적으로 풍하중을 크게 하기

Table 9 구조해석 결과 비교

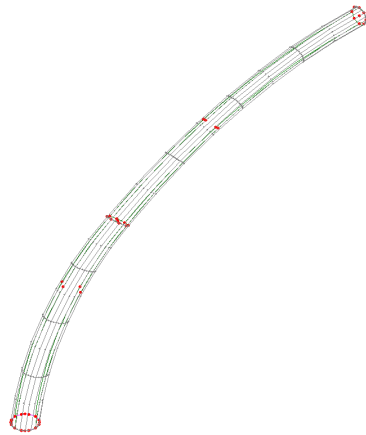
구분	둘레두께 (mm)			점검구 리브 보강 두께(mm)		점검구 $\max S_E$ at Gauss point (MPa)	허용응력 (140 MPa)
	t_1	t_2	t_3	$Rib_{Ex}(L = 30mm)$	$Rib_m(L = 20mm)$		
1	3.2	3.2	3.2	-	-	496.3	N. G
2	3.2	3.2	3.2	6.4	-	418.0	
3	3.2	3.2	3.2	-	6.4	427.6	
4	3.2	6.4	6.4	-	-	236.5	
5	3.2	6.4	6.4	6.4	-	207.2	
6	3.2	6.4	6.4	-	6.4	224.1	
7	3.2	6.4	9.6	-	-	160.4	
8	3.2	6.4	9.6	-	6.4	157.4	
9	6.4	6.4	6.4	-	-	221.2	
10	6.4	6.4	6.4	6.4	-	190.5	
11	6.4	6.4	6.4	-	6.4	209.2	
12	6.4	6.4	9.6	-	-	149.5	
13	6.4	6.4	9.6	-	6.4	146.0	

때문에 점검구 응력집중이 심해지게 된다. 따라서 일본조명기구공업회 표준(JIL 1001)에서 제시된 가로등 Arm의 원형단면을 접목시켜 비교하였다. JIL 1001에서는 가로등주와 Arm을 직

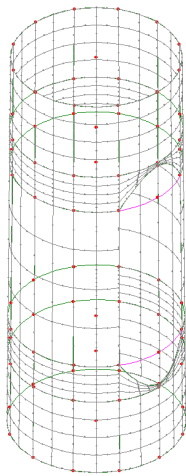
선부와 곡선부를 일체로 하고 풍압면적이 작은 슬림한 원형을 기본형으로 제시하고 있다. 가로등은 KS기준 원형 가로등주와 JIL1001 원형 Arm을 결합시켜 Fig. 6과 같이 개선된 가로등



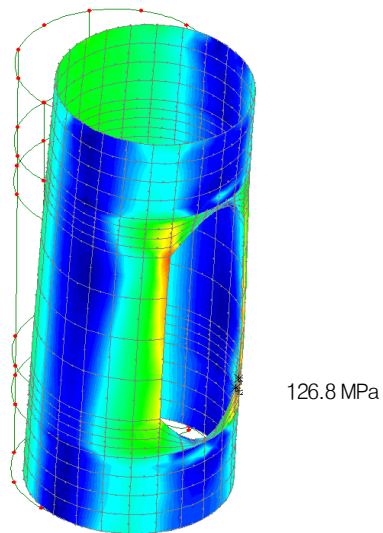
(a) 개선된 가로등의 전체 모델링



(b) 개선된 Arm 모델링



(c) 점검구 모델링



(d) 점검구의 변형도와 S_E 응력선도

Fig. 6 개선된 가로등의 구조해석 모델링 및 해석결과

Table 10 개선된 가로등주의 구조해석 결과 비교

구분	틀레두께 (mm)			점검구 리브 보강 두께(mm)		점검구 $\max S_E$ at Gauss point (MPa)	허용응력 (140 MPa)
	t_1	t_2	t_3	$Rib_{Ex}(L=30mm)$	$Rib_m(L=20mm)$		
1	3.2	3.2	3.2	-	-	253.7	N. G
2	3.2	3.2	3.2	6.4	-	213.0	
3	3.2	3.2	3.2	-	6.4	236.7	
4	3.2	6.4	6.4	-	-	126.8	O. K
5	3.2	6.4	9.6	-	-	94.9	
6	6.4	6.4	6.4	-	-	117.8	
7	6.4	6.4	9.6	-	-	87.5	

구조에 대해 구조해석을 수행하였다. 이는 풍하중을 줄여 하중에 대한 부담을 감소시켜 구조적 안전성을 확보하는 동시에 일체형으로 설계함으로써 연결부나 용접부에서의 균열 또는 파손 등의 손상이 발생하는 것을 해결한다.

Table 9에서 점검구 주변의 두께 보강이 테두리 리브 보강보다 효과가 좋은 것이 확인되었기 때문에 개선된 가로등주에 대해서는 두께 보강 위주로 구조해석을 수행하였다. Table 10에서 가로등 Arm의 사각단면을 원형단면으로 개선하고 점검구 주변의 두께를 보강한 결과 최대 S_E 응력이 허용응력 범위 내에 있어 점검구의 구조 안전성이 확보된 것을 확인하였다.

5. 맺음말

가로등주의 설계에 적용되는 현 KS기준은 1985년 일본조명기구공업회 표준(JIL1001)을 그대로 준용함에 따라 구조적인 안전성의 문제점을 가지고 제정되었으며, 그 후 몇 차례의 개정 시에도 가로등주가 풍하중에 취약한 구조물임은 간과되고 전기안전시설 위주로 개정이 이루어져 왔다. 특히 풍하중에 취약한 가로등은 태풍 시 파손, 전도되어 재산상의 피해뿐만 아니라 2차적인 사고를 야기하고 있으며 이제는 주요

도로시설물로서 미국이나 EURO의 선진국과 같이 도로담당 부처의 상세한 기준에 따라 구조안전성 측면에서 설계되어야 할 것이다. 본 고에서는 국내·외 각 설계기준의 비교 검토하여 현 KS기준의 문제점을 분석하고 개선된 가로등주의 구조해석을 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 가로등은 도심, 평야지, 산지도로, 해상교량, 해안가, 빌딩 옥상 등 설치 위치와 환경이 다양하므로 지역별 풍속, 고도 및 환경보정계수, 거스트 계수, 풍력 계수 및 중요도 계수 등 영향인자들을 다양하게 고려할 필요가 있다. 국내·외 풍하중 설계기준 분석 결과 건축구조설계기준의 골격이 적합한 것으로 판단되나 풍력계수는 테이퍼(Taper) 형태의 세장한 가로등주와 Arm 및 등기구의 풍력계수를 다양하게 실험적으로 제시한 일본조명기구 기준을 적용하는 것이 합리적인 것으로 나타났다. 위 두 기준을 합리적으로 적용한 풍하중 산정식을 제안하였다.
- (2) 점검구에서 급격한 단면 감소(약 1/6)로 인해 점검구의 응력집중으로 좌굴 파괴가 일어나므로 점검구의 크기는 최소화한다. 그리고 기본풍속 $40m/s$ 에 대응하는 풍

하중을 작용시켜 KS기준의 점검구 응력을 검토한 결과 상·하부에서 응력집중 현상이 발생하였으며 다양한 방법으로 점검구를 보강하였다. 그 결과 리브(Rib)로 보강할 경우보다 점검구 주변의 두께를 보강하는 것이 보강효과가 더 좋은 것으로 나타났다. 따라서 현행 KS기준은 반복되는 가로등주의 붕괴를 방지하기 위해서는 점검구 주변의 두께를 보강하여 점검구의 응력이 허용응력 이내로 구조안전성을 확보하여야 한다.

- (3) 가로등은 풍하중이 지배하기 때문에 현 KS기준의 불리한 조건인 Arm의 사각단면을 원형단면으로 개선하여 풍압면적을 줄이고 풍력계수를 1.3에서 0.7로 낮추어서 풍하중의 영향을 감소시켜야한다. 따라서 KS기준 가로등주의 Arm을 일본 기본형의 슬림(Slim)한 형태로 개선하여 풍하중에 안전하도록 설계하는 것이 필요하다.

참고문헌

1. 국토해양부, 건축구조 설계기준, 2005.
2. 국토해양부, 도로표지 관련규정집, 2006.
3. 국토해양부, 도로교 설계기준(한계상태설계법), 2012.
4. 기술표준원, 철재 가로등주(Steel lighting pole) (KS D 3600:2008), 2008.
5. 소방방재청, 내풍설계기준 설정 및 운영에 관한 연구, 2004.
6. 정수형, 심계수, 최현규, "구조안전성 기반의 가로등주 설계개선방안", 한국구조물진단유지관리공학회 논문집, 제16권, 제6호, 2012, 11월, pp.45-55.
7. 한국도로공사, 방음벽 설계풍하중 검토, 2002.
8. 한국전력공사, 가공송전용 철탑 설계기준, 2011.
9. 日本道路協會, 道路橋示方書・同解説, 2002.
10. 日本照明器具工業会, 照明用 テーパーポール (taper Pole) (鐵製) (JIL 1001), 2009.
11. 日本照明器具工業会, 照明用ポール強度計算基準 (JIL 1003), 2009.
12. AASHOTO, Standard Specifications for Structural Supports for Highway Signs, Luminaires and Traffic Signals, 4th Ed., American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 2001.
13. Euro Code 구조 설계하중, 2010.

담당 편집위원: 박성우
(한국시설안전공단 차장)
sungwoo@kistec.or.kr