



## 도로상 부구조물(교통표지판 및 가로등 지주)의 설계여정

조태준<sup>1</sup> · 김명한<sup>2</sup> · 지효선<sup>3</sup>

대진대학교 건설시스템공학과 부교수<sup>1</sup>, 국립목포대학교 건축공학과 교수<sup>2</sup>, 대원대학교 철도건설공학과 부교수<sup>3</sup>

### Odyssey for the Standard Design of Highway Minor Structures (Cantilever Columns for Signs, Luminaries, Traffic Signals)

Cho, Taejun<sup>1</sup> · Kim, Myeong-Han<sup>2</sup> · Ji, Hyo-Seon<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Associate Professor, Department of Civil Engineering, Daejin University, Kyeongki-Do

<sup>2</sup>Professor, Department of Architectural Engineering, Mokpo National University, Jeonnam-Do

<sup>3</sup>Associate Professor, Department of Civil & Railroad Engineering, Daewon University College, Chungbuk-Do

**Abstract:** As a preparation of a design standard regarding road facilities, such as cantilever columns for traffic lights, street lights on highways is proposed. Currently these minor structures are designed based on guidelines which are mixed with multiple old foreign specifications without any criteria in terms of safety and economy, which could lead irregular safeties and the loss of national properties. In the considered two cases for effective projected area, it is found that following efficient way of design without critical analyses could make significant errors and miscalculations. Therefore, a fundamental research on the minor structures is urgently needed.

**Key Words:** road facilities, cantilever columns, minor structures, guidelines

#### 1. 서 론

교통신호등, CCTV 지주대나 가로등 및 이와 연결된 기둥(지주) 구조물과 같은 도로상 부구조물의 설계표준 개발을 통하여 현재 국내에 존재하지 않는 도로상 시설물에 대한 표준시방서의 기반을 구축하고자 한다. 국내외 시방서 및 설계지침의 비교 및 예제 설계에 기초하여 안전한 설계를 위한 표준시방서 구축의 방향을 검토한다. 설계예제는 원심력을 이용한 프리텐션 콘크리트 원통형 기둥구조물인 부구조 지주 구조를 중심으로 검토하였으며, 최근 사용이 증가하는 복합신소재 또는 하이브리드 형 지주구조물 등에서의 확장이 가능할 것으로 생각한다.

조명분야의 급성장과 함께하여 도로상 조명, 교통, 보안시스템으로서의 캔틸레버형 기둥구조시스템의 세

계적인 경쟁과 개발체제는 가속화 하고 있다. 이와 비교하여 국내의 수준은 제도적 규제와 기술적 담보, 그리고 신기술 장려의 미흡은 물론이고, 설계의 기준이 되는 시방서가 부재한 근본적인 문제가 매우 심각한 상황이다. 이의 해결방안으로서 다음 과제들의 신속한 그러나 장기적인 기술개발 로드맵에 근거한 개발의 시작은 당연한 최우선 과제중 하나로 판단된다.

도로상 부구조물은 주로 가로등, CCTV, 전신주, 교통표지판의 지주구조물 의미하는데 국내의 경우 시공시방서 및 설계 교통신호지주 설계지침이 있으나 표준단면이나 설계시방서는 없다. 국외의 경우 미국은 AASHTO LTS시방서와 FP1001-07(AASHTO, ANSI 편찬)이, 유럽은 BD(Design of Minor Structures, 영연방 도로개발처 편찬)와 이에 기반한 ISO규정이, 일본은 JIL시방서 (조명기구공업회 편찬)를 30여 년

**주요어:** 도로상 부구조물, 외팔지주, 소형구조물, 설계지침

**Corresponding author:** Ji, Hyo-Seon

Department of Civi & Railroad Engineering, Daewon University College, 274 Daehak-Ro, Jecheon-Si, Chungbuk-Do, 390-702, Korea.  
 Tel: +82-43-649-3266, Fax: +82-43-649-3681, E-mail:hsji@mail.daewon.ac.kr

Received August 31, 2015 / Revised September 7, 2015 / Accepted September 10, 2015

간 개정 및 제정하고 있으며, 국내의 설계지침은 일본 JIL시방서와 기타 시방서의 혼합된 내용으로 사용되고 있으며, 간략한 비교는 다음과 같다.

- 1) 교통신호지주 설계지침: 일본시방서와 같은 허용응력설계만을 검토함.
- 2) 설계: 허용응력설계와 선형탄성 유한요소해석에 의한 검토, 강선의 과다설계로 콘크리트의 압축 파괴 발생이 예상됨.

위의 설계에서의 문제점은 다른 국가와 비교하여 보면 다음과 같다.

- 1) 미국: 허용응력설계를 기본으로 RC, PSC구조에서는 콘크리트의 균열과 강선의 강성으로 고려.
- 2) 유럽: 한계상태설계방법(피로설계는 허용응력설계).
- 3) 일본: 허용응력설계 (개구부는 3차원 유한요소해석과 연결부는 파괴실험)과 같다.

위에서 미국의 경우, 허용응력설계를 기본으로 하지만 파괴실험결과를 극한한계상태의 검토로 사용하고 있으며, 지주구조물의 하부에서의 균열을 어느 정도 허용하는 한계상태설계방법을 일부 고려하고 있다고 볼 수 있다.

국내시방서의 경우 또 다른 커다란 문제점은 강풍 및 충돌하중에 대한 대응개념이 부재한 점과 기존 시방서의 설계개념의 혼용의 결과로 혼용에 의하여 과소설계 및 과다설계가 혼재한 결과 표준단면이 과다 또는 과소한 부재 또는 부재연결이 가능하고 최적시공방법의 제시가 어려운 점 등의 심각한 자원낭비 또는 인명 및 국가재산의 손실을 일으킬 수 있다. 그러므로 허용응력설계 또는 한계상태 설계에 대한 제정방향과 신재료(Park et al., 2014) 및 시공법의 도입에 따른 새로운 표준단면의 제시, 그리고 실물실험 검증이 매우 시급한 현황이다. 본 연구에서는 상기 제시된 문제점에 대하여 기본적인 해결방향을 검토하고자 한다.

## 2. 설계기준과 안전성, 경제성의 문제

### 2.1 미국, 일본과 유럽의 설계기준비교

미국의 경우 1986년부터 AASHTO-LTS (2nd Edition, 2013)시방서에서 적용된 유효투영면적(EPA: Effective Projected Area)에 의한 표준설계단면의 적용이 제공되었으며, 현재 필리핀 등 태풍의 피해가 극

심한 지역에서 사용이 되고 있으며, 미국 남부해안 지역과 필리핀 해안지역의 경우, EPA의 도입으로 2013년도 초대형 태풍이 발생한 지역에서 많은 가로등, 전신주 등이 외견상 피해없이 견제하고 있음을 알 수 있다 (Fig. 1).



Fig. 1 Sustained minor structures in Philippines against Super Typhoon "HiYeon" in November, 2013

위 문제에 대해서 기초연구로써 풍하중에 대항하는 단면의 면적과 항력계수의 곱인 EPA는 풍하중이 증가함에 따라서 단면이 커져야 하는지, 어느 정도의 풍하중이 더 큰 하중을 전달시키는 지에 대한 연구 내용을 포함하고 있으며, 더 중요한 특성은 지주 (Pole, Mast)의 EPA가 부착물의 총 EPA에 1:1 대응하는 특성을 가지게 되어서 설계 및 사용시 지주의 높이, 폭 등의 선택을 표준화 된 상태로 가능하게 하는 점이다.

그러나 무엇보다 중요한 점은 선진국의 축적된 기술에도 지역적 특성 및 재료적 특성, 그리고 풍하중 특성의 차이와 심지어 시공방법에서의 법적, 제도적인 특성차이를 반드시 고려하여야 하며, 특별히 법적인 규제와 시공방법에서의 관습적 형태가 존재하는 우리나라에서의 적용은 더욱 신중한 검토가 필요하다. 설계시방서 초안의 준비작업에서의 기본적인 고려사항은 다음과 같다.

- 1) 미국이외의 시방서와 각국 시방서별 단면과 강성의 비교
- 2) 강재지주 및 FRP 등 기타재료 지주의 설계 비교분석
- 3) 지주의 휨파괴시 압축파괴와 인장파괴의 확률론적 안전성 비교
- 4) 지주의 휨한계상태, 전단한계상태 및 연결부의 극한한계상태에 대한 파괴확률의 비교
- 5) 지주의 높이변수 별 변화
- 6) 부착물의 형태 및 복잡성(간섭 및 공진발생) 여부
- 7) 제반 변수별 콘크리트기초와 매립식, 앵커베이

스와 평판베이스플레이트의 파괴모드 비교

살펴보면 다음과 같다.

Table 1. Comparison of design criteria

핵심어	국내 안전시방서 및 개발현황	국외 안전시방서 및 개발현황
설계시방서의 유무	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시공시방서 및 설계 교통신호지주 설계지침이 있으나 표준단면이나 설계시방서는 없음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미국: AASHTO LTS시방서, FP1001-07,(AASHTO, ANSI 편찬)</li> <li>• 유럽:BD(Design of Minor Structures),(영연방도로개발처 편찬)</li> <li>• 일본: JIL시방서,(조명기구공업회 편찬)</li> </ul>
안전설계개념	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 설계지침에서는 일본시방서와 같은 허용응력만을 검토함.</li> <li>• 설계사에서는 허용응력설계와 선형탄성 유한요소해석에 의한 검토.</li> <li>• 강선과다설계로 콘크리트의 압축파괴 가능.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미국:허용응력설계를 기본으로 RC, PSC구조에서는 콘크리트의 균열과 강선의 강성으로 고려하도록 함.</li> <li>• 유럽: 한계상태설계방법(피로설계는 허용응력설계)</li> <li>• 일본: 허용응력설계(개구부는 3차원 유한요소해석과 연결부는 파괴실험)</li> </ul>
강풍 및 충돌하중대응설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 표준시방서 부재</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미국: 기후변화에 따라서 강풍의 적용기준을 100MPH에서 지속적 상향조정</li> <li>• 유럽: 풍하중 항력계수 개정 및 차량충돌하중에 대한 연결부 설계 강화</li> <li>• 일본: 풍하중에 대하여 상대적 과다설계</li> </ul>
표준단면개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일본시방서의 영향으로 과다설계 가능.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미국:EPA를 이용한 표준단면 적용</li> <li>• 유럽:한계상태 및 복합구조 개발</li> </ul>
시공성과 경제성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 경제적으로 유리한 Embedded Type 시공의 검토 및 적용이 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미국:Embedded Type의 적극 적용 및 Capping Concrete로 연결부 경제적 보강</li> <li>• 유럽:FRP지주 적용으로 최소하중 적용</li> <li>• 일본:Embedded Type도 사용됨</li> </ul>
기타 개발방향	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 표준단면과 설계시방서가 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미국:풍하중기준강화, 피로 및 미적설계</li> <li>• 유럽:FRP 또는 Hybrid구조 개발적용</li> <li>• 일본: 유지관리 선진화</li> </ul>

### 3. 지주구조물의 내풍설계

#### 3.1 미국, 일본과 유럽의 설계기준비교

EPA의 특성을 활용한 내풍설계에 대하여 자세히

#### 1) 설계풍하중과 항력계수

풍하중과 항력계수를 첫 번째로 고려하는 이유는 항력계수를 이용한 유효저항면적이 캔틸레버 지지방식인 지주의 저항능력을 표현하는 방식으로 사용되고 있는 중대한 발견이 설계에 도입되어 있기 때문이다. 미주지역의 경우, AASHTO-LTS, FP1001-07, ASCE, ACI 시방서 규정을 따르게 된다. 각 시방서는 현재 허용응력설계에서 극한하중저항강도설계(LRFD)로 개정되는 과도단계에 있으며 이러한 경향은 향후 계속적으로 진행될 것으로 예상된다.

미국 A사의 지주 설계에서 적용된 1994년도 AASHTO-LTS4 허용응력설계에서는 지주의 평상시 하중과 허리케인이 발생하는 비상시 풍하중, 그리고 강설하중 등에 대해서 발생하는 응력을 허용가능한 응력과 비교하여 안전성을 검토하며, 극한저항력에 대해서는 상세해석 또는 파괴실험결과 값을 발생 가능한 최대하중(기동최하단 발생모멘트)와 비교하게 된다. AASHTO-LTS6판 (2013년도) 시방서에서의 설계풍하중은 근본적인 설계개념이 크게 변화 없으나, 기존의 산정식에서 구조물 높이에 따른 계수가  $K_z$ 로 변경되고, 허리케인발생에 따른 발생빈도중요도계수  $I_r$ 이 추가되었다. AISC에서도 같은 식을 사용하는데, 설계풍하중 산정식은 다음과 같다.

$$P_z = 0.613K_zGV^2I_rC_d(Pa) \quad (1)$$

여기서, P=설계풍하중,  $K_z$ 는 높이계수, G는 거스트 응답계수,  $I_r$ 은 허리케인발생에 따른 발생빈도중요도 계수,  $C_d$  (Coefficient of Drag Force)는 풍하중 항력계수이다. 풍하중중요도 계수  $I_r$ 의 추가도입은 위험지역에서 최대15% 증가된 풍하중을 고려한다.  $I_r$ 값은 설계수명에 관련되어서 50년의 설계수명을 가진다면 기존의 시방서와 차이가 없다고 볼 수 있다.

중요한 설계방식으로 도입된 Effective Projected Area (EPA)는  $C_d$ 값과 구조부재 단면의 투영면적의 곱한 값으로 는 50년 재현기간동안에는 기간비율전환 계수  $C_v=1.0$ 을 사용하므로 저속풍속에서 1.1을 적용할 수 있다. 미국 A사의 경우  $C_d=1.2$ 를 적용하여 두 개의 트러스요소간의 간섭과 공진에 의한 증가값을 고려하는 지주와 풍속이 증가하면 증가하는 데  $C_d$ 을 적용하는 두 가지 지주 모델이 존재하며,  $C_d=1.2$  값은 발생가능한 최대 항력계수라고 할 수 있다.

2) 실제 시공된 PSC 도로지주의 설계풍하중과 항력 계수적용과 설계에는 다음과 같다.

풍하중  $V= 40.29 \text{ m/s}$  에 대하여 다음의 계수를 고려하고 11.58m 높이를 가지는 원통형 지주에 대한 항력계수를 계산하여 보면 Table 2와 같다.

**Table 2. Coefficient of drag force for varying height**

높이별 항력				
Design Velocity of Wind = 40.29 m/s				
Importance Factor $I_r = 1.00$				
Gust Effect Factor, G or $G_f = 1.300$				
Terrain Exposure Constant, a = 9.5				
Terrain Exposure Constant, $z_g = 274.32m$				
BASIC WIND PRESSURE ( $=P_z/C_d$ )				
Height z (m)	$K_z$	$P_z (N/m^2)$	$V \times d$	$C_d$
0	0.85	0.001096851	119.8819	0.450
1.2192	0.85	0.001096851	112.7658	0.450
2.4384	0.85	0.001096851	105.6496	0.450
3.3528	0.85	0.001096851	98.53347	0.450
4.572	0.85	0.001101641	91.41732	0.450
5.7912	0.89	0.001154328	84.30118	0.450
7.0104	0.93	0.001197436	77.18504	0.454
8.2296	0.96	0.001235753	70.06889	0.514
9.144	0.99	0.001274071	62.95276	0.591
10.363	1.01	0.00130281	55.83661	0.691
11.582	1.03	0.001331548	48.72047	0.825

대상 표지판 지주의 부재단면에 대한 EPA를 평가하면  $EPA=0.5 \times (d_t + d_b) \times h_{pole} \times C_d = 2,735,065 mm^2$   
 ( $d_t$  : 지주상단 직경=165.1mm,  $d_b$ : 지주하단 직경=406.4mm,  $h_{pole}$ : 지주높이=11.6m,  $C_d$ : 항력계수=0.825). 지주에 대한 EPA 및 응력 계산값을 Table 3, 4에 나타내었다.

**Table 3. EPA and stresses of 11.58 meter poles when EPA of fixture is 371,612 mm<sup>2</sup>**

설계풍속(m/sec)	지주의 EPA(m <sup>2</sup> )	자중에 대한 응력(MPa)/허용응력(MPa)
35.81	3.187503	1.496/3.82
40.29	2.735065	1.496/3.82
44.76	2.384821	1.496/3.82
49.24	2.107041	1.496/3.82
53.71	1.882216	1.496/3.82
58.19	1.69548	1.496/3.82

**Table 4. Ratio of resistance to load for moments of poles, Shear stresses, thickness of base plates**

설계풍속 (m/s)	최대외력모멘트 (lb-ft)/최대저항모멘트(lb-ft)	앵커볼트의 전단응력(MPa)/허용응력(MPa)	베이스 플레이트 두께(mm)/설계두께(mm)
35.81	33.94/285.21=0.119	38.94/119.69 =0.325	18.19/32 =0.568
40.29	38.22/285.21=0.134	43.65/119.69 =0.364	19.25/32 =0.602
44.76	42.49/285.21=0.149	48.51/119.69 =0.405	20.29/32 =0.634
49.24	46.77/285.21=0.164	53.52/119.69 =0.447	21.31/32 =0.666
53.71	51.34/285.21=0.180	58.70/119.69 =0.490	22.33/32 =0.698
58.19	54.81/285.21 =0.239	64.07/119.69 =0.535	23.32/32 =0.729

**3.2 경량화 지주구조물의 극한한계상태휨저항성능**

지주구조물의 극한한계상태의 휨저항성능(GL.Moment: Moment at ground level)은 베이스플레이트와 지주구조물이 만나는 지주 구조물의 최하단 위치에서의 휨내력모멘트 저항성능을 의미한다. 지주구조물은 기둥 자체와 부착물의 자중 및 기타 외력으로 인한 축력과 주로 풍하중에 의한 휨모멘트의 두가지 외력을 고려하여 축력-모멘트 저항성능 상관관계도인 P-M 상관도의 파괴포락선을 도시하고 작용외력인 축력 및 휨모멘트와의 크기비교를 통하여 안전성을 평가한다.

P-M 저항성능 상관도는 1) 등방성 압축상태인 순수압축상태, 2) 인장응력이 발생하지 않는 전단면압축상태, 3) 균형파괴상태(콘크리트와 긴장철근의 동시항복-파괴상태), 그리고 4) 순수 휨상태(자중 및 축력을 무시하는 경우)의 4 가지 상태를 연결한 도면이다. 경량화 지주구조물의 극한 휨저항 성능을 평가하기 위하여 본 연구에서는 다음과 같은 기본가정사항을 적용하였다.

- 1) 최대하중을 받아서 회전되는 단면내부에서의 선형 변형율 분포
- 2) 완전부착 프리스트레스트 콘크리트 구조
- 3) 콘크리트의 파괴변형율,  $\epsilon_{cu} = 0.003$
- 4) 콘크리트의 인장강도는 무시

콘크리트와 긴장철근의 비선형 평형상태를 구하기 위한 미지수의 결정방법으로는 다음의 조건식을 고려하였다.



- 1) 인장력과 압축력의 평형방정식
- 2) 선형변화 변형율에 대한 적합방정식
- 3)  $\sigma - \epsilon$ : 콘크리트와 강선의 응력-변형율 구성방정식

지주구조물의 높이가 7m인 경량화 지주구조물의 제원은 다음과 같다; 1) 경량화 원통형 PSC지주구조물의 설계 물성값: 직경= 196.7 mm; 2) 콘크리트의 압축강도:  $f_{ck} = 55 \text{ MPa}$ ; 3)주근의 극한강도:  $f_{pu} = 1504 \text{ MPa}$ ; 4) 지주하단의 기둥 단면적:

$$A = \{D^2 - (D - 2t)^2\} \frac{\pi}{4} = 21,446 \text{ mm}^2; 5) \text{ 지주}$$

하단의 긴장철근의 단면적:  $A_{ps} = 248 \text{ mm}^2$

상기 제원에 대한 GL.Moment의 설계결과인 P-M 상관도는 Fig. 2와 같이 나타내었다.

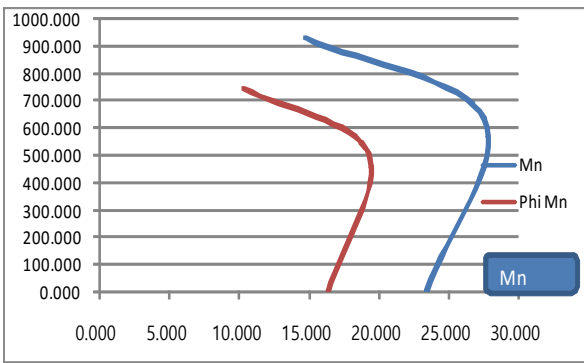


Fig. 2 P-M relationship for 7m PSC Pole Structure

Table 5. Design results for 7m PSC Pole Structure ( $\Phi=0.85$  assumed)

	전단면압축 (kN-m)	균형과괴 (kN-m)	순수휨 (kN-m)
$P_n$	930.663	631.524	0.000
$M_n$	14.800	27.613	23.471
$\Phi M_n$	10.360	19.329	16.430
$\Phi P_n$	744.531	505.220	0.000

### 3.3 경량화와 등가 EPA의 재 정의

EPA의 특성을 활용한 내풍설계에 대하여 위에서 관찰한 결과, 대부분의 설계영역에서 허용응력을 기준으로 만족스러운 적용이 가능하였다. 그러나 비교적 최근 출시되고 있는 가로등 전용 경량화 지주구조물의 경우에는, 지주 구조물의 설계에 적용하는 EPA개념 (부착물의 총 EPA 합계 ≤ 지주구조물의

EPA)은 매우 효율적이고 편리하지만 경험적인 방법으로 지주구조물의 높이를 변수로 하면 일부구간에서만 적용이 가능한 한계를 가지게 된다.

결과적으로 지주구조물의 상단 및 하단의 직경이 축소되는 경우 지주의 EPA는 기존제품보다 매우 작게 될 수 있으며, 다음 절의 계산 비교와 같이 더 이상 부착물의 총 EPA 합계 ≤ 지주구조물의 EPA의 공식을 사용할 수 없게 된다. 이에 대한 해결방안은 다음과 같다.

- 1안) 지주의 최하단인 지반접합부에서의 휨저항 모멘트 (GL.Moment)로 부터 추정된 EPA 계산정
- 2안) GL.Moment와 자중으로부터의 등가 EPA 평가
- 3안) GL.Moment(지주의 강성)와 Twisting Moment (하중)의 조합응력에 대한 안전계수비교값 사용

이상의 방안 중에서 GL.Moment가 가장 중요한 이유는 지주구조물의 주요과괴모드가 휨과괴와 90%정도 일치하기 때문이다. (10%의 변화는 자중 및 외력에 의한 축력) 그러나 상기 1안이나 2안은 정성적인 평가 방법이고, 3안은 시방서기준에 부합한 정상적인 설계방법이므로 세 가지 대안 중에서 3안을 선택하는 것이 가장 합리적인 것으로 판단된다.

그러므로 설계단계에서 부착가능한 EPA값을 시행착오법으로 입력하여 저항가능한 (안전한) 응력의 발생비율을 검토하여 최대로 또는 적절히 안전한 부착가능 EPA를 결정하고자 한다. 이하 절에서 3m, 5m, 7m의 경량화 지주구조물에 대하여 EPA를 비교하여 상기 기술에 대하여 증명한다.

### 3.4 경량화 지주구조물의 EPA

Table 6. Comparison of OLD EPA for new light poles with old poles and one from company A (wind speed = 35.81 m/s, following AASHTO LTS 1994)

지주의 높이	경량화 지주	기존 가로등주	미국A사 경량제품
3m	4.78	7.50	7.0
5m	9.73	13.50	7.0
7m	14.09	18.09	7.0
7m GL.Moment	20,792 kN-m	50,830 kN-m	15774 kN-m

**Table 7. Comparison of OLD EPA for new light poles with old poles and one from company A (wind speed = 35.81 m/s, following AASHTO LTS 2013)**

지주의 높이	경량화 지주	기존 가로등주	미국A사 경량제품
3m	4.38	6.01	7.0
5m	8.92	12.38	7.0
7m	12.92	14.49	7.0
7m GL.Moment	20,792 kN-m	50,830 kN-m	15774 kN-m

위의 Table 6, 7과 같이 구정의에 의한 EPA를 적용하면 미국A사의 지주가 신형 경량화 지주보다 더 강하고, 5-7M에서는 더 약한 것으로 생각될 수 있지만, GL.Moment를 비교하여보면 신형 경량화 지주가 50%이상(9.2mm 강선 4EA의 경우) 큰 값을 보일 수 있다. AASHTO LTS 1994판과 2013판의 비교에서는 2013판의 허용응력이 증가하는 경향을 보여준다. 그러므로 지금까지 적용해온 EPA는 신형 경량화 지주에 대하여는 적용이 매우 어려운 값이 되므로 새로운 등가 EPA의 평가가 필요함을 알 수 있다. 설계단계에서 AASHTO LTS시방서에 기준하여 허용응력을 검토한 계산을 수행한다. 이 과정에서 부착된 조명등의 EPA가 입력되고 하중으로 적용된다. 지주구조물의 EPA란 부착 가능한 조명등의 총 EPA합계를 의미하므로 부착물의 EPA를 0에서 점차 늘려가면서 허용응력의 조건식들이 모두 만족하는 지를 검토하므로써 최대값(또는 적정한 값)의 부착물의 EPA를 결정하면 그 값이 새로운 지주구조물의 등가EPA로 설계된다. 이 과정을 거쳐서 결정된 EPA값은 아래와 같이 2배의 조명등무게를 문제없이 지지한다. 그러나 베이스플레이트의 두께는 25.4mm가 필요하게 된다.

**Table 8. Comparison of EPAs for light poles**

풍속 (m/s)	경량지주 6M			경량지주5M		
	35.81	40.29	44.76	35.81	40.29	44.76
EPA (구정의)	10.48	10.48	10.48	8.92	8.92	8.92
등가 EPA (새로운정의)	14	12	10	14	12	10
미국 A사	7	6	5	7	6	5

**Table 9. Comparison of EPAs for light poles**

풍속 (m/s)	경량지주 4M			경량지주 3M		
	35.81	40.29	44.76	35.81	40.29	44.76
EPA (구정의)	6.54	6.54	6.54	5.43	5.43	5.43
등가 EPA (새로운정의)	14	12	10	14	12	10
EPA (구정의)	7	6	5	7	6	5

2) 베이스플레이트의 두께를 19.05mm를 사용하는 경우를 기준으로 하면 다음과 같다.

아래와 같이 지주의 길이가 짧을수록 더 강한 값을 보이는데 그 이유는 전 높이에 대하여 7.4mm×6EA의 동일한 긴장철근을 사용하여 짧을수록 긴장효과와 휨저항 모멘트가 상대적으로 큰 값을 가지기 때문이다. 44.7m/s이상에서 베이스플레이트를 25.4mm정도의 두께를 사용하면 미국A사 제품보다 큰 EPA를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

**Table 10. Comparison of EPAs for light poles**

풍속 (m/s)	경량지주 6M			경량지주5M		
	35.81	40.29	44.76	35.81	40.29	44.76
EPA (구정의)	10.48	10.48	10.48	8.92	8.92	8.92
등가 EPA (새로운정의)	12	8	5.5	11	7.5	4.5
미국 A사	7	6	5	7	6	5

**Table 11. Comparison of EPAs for light poles**

풍속 (m/s)	경량지주 4M			경량지주 3M		
	35.81	40.29	44.76	35.81	40.29	44.76
EPA (구 정의)	6.54	6.54	6.54	5.43	5.43	5.43
등가 EPA (새로운 정의)	13	9.5	6.5	14	11	8
미국 A사	7	6	5	7	6	5

#### 4. 결론 및 향후 연구방향

국내의 도로상 부구조물은 사용수명이 오래되고 신도시개발 등에 의하여 증가하고 있지만, 유지관리 매뉴얼은 물론이고, 설계기준조차 마련되어 있지 않다. 그러므로 유럽, 미국, 일본 등의 설계 기준을 비교분석하고, 국내 생산 재료, 부재 및 완제품에 대한 시험을 통하여 조속히 국내 설계표준을 확립하고 기술개발을 추진할 필요가 있다. 국내에서 통용되는 일본의 구시방서에 의하여 제작된 기둥부재의 설계는 국내 재료 및 하중의 변동특성을 반영하지 못하여 과다설계가 이루어지는 경우가 많아서 경제성이 저하될 수 있다.

본 연구에서는 기존 국외의 구조설계기준과 연구 문헌조사를 바탕으로 경제성과 안전성의 확보를 위한 허용응력설계의 검토 및 극한한계상태에 대한 검토사례를 통하여 표준설계시방서의 제정 준비방향에 대하여 논의하였다.

계산된 EPA 값은 도로표지판 지주의 풍하중(설계풍속=44.76m/s)에 대한 유효저항단면적이다. 그러나 이 값은 동시에 대상 PSC기둥(도로표지판 지주)의 부착물에 대한 저항능력이 된다. 이것은 누적된 설계의 경험에 근거한 것으로 판단되며, 그 이유는

1) 지주의 모멘트저항능력은 투영면적과 풍속이 아닌, 단면의 크기와 인장철근(과강선)에 의한 것으로 하중과 직접적 상관관계가 없음;

2) 위의 설계 예에서의 항력계수 ( $C_d=0.825$ )는 풍속에 의하여 변화하므로 고정된 단면크기와 인장철근량의 설계에서는 결국 발생 가능한 최대값에 대하여 설계가 이루어져야함.

위의 두 가지 판단근거는 다섯 가지 이상의 설계 검토를 풍속별로 계산하고, 지주높이별 및 종류별과 부착물의 EPA의 변화에 대한 검토이며, 그 결과는 Table 8-11에 보이는 바와 같다. 이 설계 예에서 표지판의 총 EPA가  $0.37m^2$ 일 때 지주의 허용응력 설계는 최하EPA가  $1.67m^2$ 이상이므로 안전한 값이 보여져야 하고 실제로 허용응력과의 비율은 지주에서는 과다할 정도이고 베이스플레이트와 앵커볼트에서는 적정한 수준으로 판단된다. 가로등의 경우 최근 디자인의 다양화 및 경량화 경향을 보이고 있으며, 제조가격의 절감까지를 목표로 신제품이 개발되고 있다. 그러나 기존의 EPA의 설계 및 제품선택기준의 적용이 한계를 보이므로 허용응력 및 극한휨저항성능에 근거한 반복설계의 결과로 새로운 등가 EPA의 개념을 만들 필요가 생겼으며, 본 연구의 3장에서 다양한 높이와

풍속에 대하여 설계에 적용하여 기존 제품보다 우수한 저항성능을 가지는 경량화 신제품 가로등 지주의 설계를 가능하게 하였다.

현재의 개발상태에서 구조성능의 최적화에 의한 개선작업이 가능할 것으로 생각되며, 이보다 더욱 시급한 문제는 표준설계시방서의 제정과 개선작업이라고 할 수 있다. 동 분야 선진국과 비교하여 다소 늦은 시방서의 제정작업은 처음부터 다음 사항들을 고려하여 하중저항계수 설계법으로 개발 방향을 정하는 것이 효율적일 것으로 판단한다. 서로 다른 재료 및 구조시스템간의 동일한 파괴확률의 유지(보장)로 안전설계와 경제성 제공, 새로운 하중 및 구조시스템의 도입에도 같은 파괴확률과 경제성의 유지, 불확실한 미지의 오류 및 미소확률의 발생가능성에 대한 대응방안 (경제성과 안전성의 조화), 몇 가지 확률론적 설계방법인 신뢰성 평가 및 설계의 필요성을 제시하였다. 재료 및 구조시스템의 향상되는 기술적 특성을 반영하는 하중저항계수 설계의 도입으로 설계 및 시공비용의 절감과 내구성에 유리한 발전된 도로상 부구조물의 개발을 통해서 사용범위의 확대 및 수요증가를 유도할 수 있다.

#### References

- AASHTO(2013), "AASHTO-LTS-6" Structural Specifications for Highway Signs, Luminaries, and Traffic Signals.
- ANSI/NAAMM FP 1001-97, "Guide Specifications for Design Loads of Metal Flagpoles 1606.1.1."
- BD 94/07 (2007), "Design of Minor Structures," Design Manual for Roads and Bridges, Vol., 2.
- American National Standards Institute (1999) ,"Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures," Standard No., 7-88.
- ACI Committee 318 (2002), "Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318-02) and Commentary."
- Japanese Society of Illumination Facilities Engineering (2009), "JIL 1003."
- National Police Agency (2005), "Installation Manual of Traffic Sign Facilities." (in Korean).
- Park, J.M, Lee, S.Y, Ji, H.S and Song, B.J. (2014) "Optimal Fiber-Angle of Wind Turbine Tower Made of Composites under Wind Loads," Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures, 5(1), pp. 9-15. (in Korean).