

도로상 콘크리트 구조물의 설계 기법

Concrete Structure



조 태 준^{1)*}

Cho, Tae Jun

1. 서론

조명분야의 급성장과 함께하여 도로상 조명, 교통, 보안 시스템으로서의 캔틸레버형 기둥구조시스템의 세계적인 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 당면한 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, 영연방도로개발처 편찬)와 이에 기반한 ISO규정이, 일본은 JIL시방서 (조명기구공업회 편찬)를 30여년간 개정 및 제정하고 있으며, 국내의 설계지침은 일본 JIL시방서와 기타 시방서의 혼합된 내용으로 사용되고 있으며, 간략한 비교는 다음과 같다.

- 교통신호지주 설계지침: 일본시방서와 같은 허용응력

설계만을 검토함.

- 설계: 허용응력설계와 선형탄성 유한요소해석에 의한 검토. 강선과다설계로 콘크리트의 압축파괴 발생이 예상된다.

위의 설계에서의 문제점은 다른 국가와 비교하여 보면,

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

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

국내시방서의 경우 또다른 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 및 신공법의 도입에 따른 새로

1) 대전대학교 건설시스템공학과 부교수

* E-mail : taejun@daejin.ac.kr

운 표준단면의 제시, 그리고 실물실험검증이 매우 시급한 현황이다. 본 기사에서는 상기 제시된 문제점에 대하여 기본적인 해결방향을 검토하고자 한다.

2. 기후변화와 안전성, 경제성의 문제

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

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 연구내용을 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



Fig. 1 2013년 11월의 슈퍼태풍 하이옌에 의한 필리핀의 태풍 피해상황과 도로상 부구조물

비교

- (2) 강재지주 및 FRP 등 기타재료 지주의 설계 비교분석
- (3) 지주의 휨과괴시 압축과괴와 인장과괴의 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, 앵커베이스와 평판베이스플레이트의 파괴모드 비교

3. 도로상 부구조물의 내풍설계

2장에 소개된 EPA의 특성을 활용한 내풍설계에 대하여 자세히 살펴보면 다음과 같다.

3.1 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 파괴실험 결과 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, Kz는 높이계수, G는 거스트응답 계수, Ir은 허리케인발생에 따른 발생빈도중요도계수, Cd (Coefficient of Drag Force)는 풍하중 항력계수이다. 풍 하중중요도 계수 Ir의 추가도입은 위험지역에서 최대15% 증가된 풍하중을 고려한다. Ir값은 설계수명에 관련되어서 50년의 설계수명을 가진다면 기존의 시방서와 차이가 없다고 볼 수 있다.

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

3.2 실제 시공된 PSC 도로지주의 설계풍하중과 항력계수 적용과 설계에는 다음과 같다.

풍하중 V=90 mph에 대하여 다음의 계수를 고려하고 38 ft (=11.58m) 높이를 가지는 원통형 지주에 대한 항력계수를 계산하여 보면

높이별 항력계수				
Design Velocity of Wind = 90 mph				
Importance Factor Ir = 1.00				
Gust Effect Factor, G or Gf = 1.300				
Terrain Exposure Constant, a = 9.5				
Terrain Exposure Constant, zg = 900 ft				
BASIC WIND PRESSURE (=Pz/Cd)				
Height, z	Kz	Pz	V*d	Cd
0 ft	0.85	22.9 psf	119.88189	0.450
4 ft	0.85	22.9 psf	112.76575	0.450
8 ft	0.85	22.9 psf	105.64961	0.450
11 ft	0.85	22.9 psf	98.533465	0.450
15 ft	0.85	23.0 psf	91.417323	0.450
19 ft	0.89	24.1 psf	84.301181	0.450
23 ft	0.93	25.0 psf	77.185039	0.454
27 ft	0.96	25.8 psf	70.068898	0.514
30 ft	0.99	26.6 psf	62.952756	0.591
34 ft	1.01	27.2 psf	55.836614	0.691
38 ft	1.03	27.8 psf	48.720472	0.825

대상 표지판 지주의 부재단면에 대한 EPA를 평가하면 EPA=0.5*(dt+db)*hpole*Cd=29.44 ft²

(dt : 지주상단 직경=6.5 in, db:지주하단 직경=16 in, hpole:지주높이=38ft, Cd:항력계수= 0.825)

계산된 EPA값은 도로표지판 지주의 풍하중(설계풍속 =100mph)에 대한 유효저항단면적이다. 그러나 이 값은 동시에 대상 PSC기둥(도로표지판 지주)의 부착물에 대한 저항능력이 된다. 이 것은 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 (Cd= 0.825)는 풍속에 의하여 변화하므로 고정된 단면크기와 인장철근 양의 설계에서는 결국 발생 가능한 최대값에 대하여 설계가 이루어져야함.

위의 두 가지 판단근거는 다음과 같이 다섯 가지 이상의 설계검토를 풍속별로 계산하고, 다시 지주높이별 및 종류별과 부착물의 EPA의 변화에 대한 검토하며 되며, 그 결과는 Table 1에 보이는 바와 같다. 이 설계 예에서 표지판의 총 EPA가 4ft²일 때 지주의 허용응력 설계는 최하EPA가 18ft² 이상이므로 안전한 값이 보여져야 하고 실제로

Table 1 지주의 높이가 11.58m이고 부착물의 EPA가 4ft²인 경우의 지주의 EPA와 변형 및 허용강도비율

설계풍속(mph)	지주의 EPA(ft ²)	지주에 대한 응력(psi)/허용응력(psi)
80	34.31	216.98/554
90	29.44	216.98/554
100	25.67	216.98/554
110	22.68	216.98/554
120	20.26	216.98/554
130	18.25	216.98/554

설계 풍속 (mph)	최대외력모멘트 (lb-ft)/ 최대저항모멘트 (lb-ft)	앵커볼트의 전단응력 (psi)/ 허용응력 (psi)	베이스플레이트 소요두께 (in)/ 설계두께 (in)
80	25024/210286=0.119	5649/17362=0.325	0.716/1.26=0.568
90	28178/210286=0.134	6332/17362=0.364	0.758/1.26=0.602
100	31332/210286=0.149	7036/17362=0.405	0.799/1.26=0.634
110	34487/210286=0.164	7763/17362=0.447	0.839/1.26=0.666
120	37851/210286=0.180	8515/17362=0.490	0.879/1.26=0.698
130	50414/210286=0.239	9293/17362=0.535	0.918/1.26=0.729

허용응력과 비율은 지주에서는 과다할 정도이고 베이스 플레이트와 앵커볼트에서는 적절한 수준으로 판단된다.

개발을 통해서 사용범위의 확대 및 수요증가를 유도할 수 있다.

4. 맺는말

국내의 도로상 부구조물은 사용수명이 오래되고 신도시 개발 등에 의하여 증가추세이지만, 유지관리 매뉴얼은 물론이고 이에 합당한 국내 구조설계 기준조차 마련되어 있지 않다. 그러므로, 유럽, 미국, 일본 등의 설계 기준을 비교분석하여 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 기사에서는 기존 국외의 구조설계기준과 연구문헌조사를 바탕으로 경제성과 안전성의 확보를 위한 신뢰성 평가 및 설계의 필요성을 제사하였다. 재료 및 구조시스템의 향상되는 기술적 특성을 반영하는 하중저항계수 설계의 도입으로 설계 및 시공 비용의 절감과 내구성에 유리한 발전된 도로상 부구조물의

참고문헌

1. 경찰청, “교통신호기설치매뉴얼”, 2005.
2. AASHTO, “AASHTO-LTS-6”, Structural Specifications for Highway Signs, Luminaries, and Traffic Signals. 2013.
3. ANSI/NAAMM FP 1001-97, Guide Specifications for Design Loads of Metal Flagpoles 1606.1.1.
4. BD 94/07, “DESIGN OF MINOR STRUCTURES”, DESIGN MANUAL FOR ROADS AND BRIDGES, vol. 2, 2007.
5. 일본조명기구공업회, “JIL 1003”, 2009.
6. American National Standards Institute, “Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures”, Standard No. 7-88, 1990.
7. ACI Committee 318, “BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR STRUCTURAL CONCRETE (ACI 318-02) AND COMMENTARY”, 2002.

담당 편집위원: 김태수
(한밭대학교 건축공학과 부교수)
tskim@hanbat.ac.kr