

주탑형상 및 강성이 사장교의 거동 및 주형좌굴에 미치는 영향

The Behavior Characteristic and Buckling Strength of Stiffening-Girder of Cable stayed bridge according to Pylon's shape and Flexure Stiffness

최 학 재* · 채 규 봉**
Choe, Hak-Ze · Chae, Gyu-Bong

ABSTRACT

Cable Stayed Bridge is mainly composed of three element. Composed element are cable, stiffening girder and Pylon. The characteristic of bridge's behavior depend on these three element's relative stiffness, shape and system of bridge. The purpose of this paper is to exam the characteristic of bridge's behavior and buckling strength of stiffening girder according to shape and flexure stiffness of pylon

1. 서 론

사장교는 크게 3부분으로 구성 되어있다. 첫 번째는 케이블 두 번째는 주형(stiffening girder) 세 번째는 주탑(Pylon)이다. 이들 3가지 요소는 서로의 강성비, 형상, 교량의 시스템에 의하여 교량의 거동특성이 달라지는 현상을 볼 수 있으며, 또한 사장교의 전체진동에 대한 frequency가 케이블의 진동 frequency와 일치할 경우 케이블의 진동은 구조물의 진동을 증폭시키는 효과⁽⁴⁾가 있다. 따라서 본 연구에는 주탑의 형상에 따른 교량의 거동특성과 주탑의 강성이 주형의 좌굴에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 주탑의 교축방향 휨강성 및 주형의 휨강성에 따른 주형의 좌굴강도에 대하여 연구를 실시하였다.

2. 주탑형상에 의한 교량의 거동특성

주탑의 적절한 높이와 강성, 형상은 교량의 구조적 효율성과 경제성 및 거동에 매우 중요한 역할⁽¹⁾을 한다. 따라서 본 연구에서는 그림 1에서와 같은 주탑형상에 따른 거동특성을 관찰하였다.

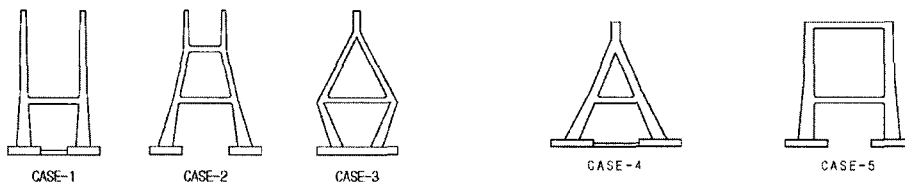


그림 1 교량별 선택된 주탑형상

* 정회원 · 한석엔지니어링 구조부 상무 · 토목구조기술사 E-mail: choehakze@lycos.co.kr
** 서울시립대학교 박사과정 · 토목구조기술사 E-mail : chae5962@hanmail.net

5가지 경우의 주탑형상으로 해석에 사용할 사장교의 해석모델은 그림 2와 같으며 이때 주형, 주탑의 단면상수는 표 1과 같다.

표 1 주형과 주탑의 단면상수

항 목	주 형	주 탑	주탑부 형법
단면적(m ²)	0.14035	6.80	9.80
단면 2차모멘트(m ⁴)	0.107	8.567	24.01

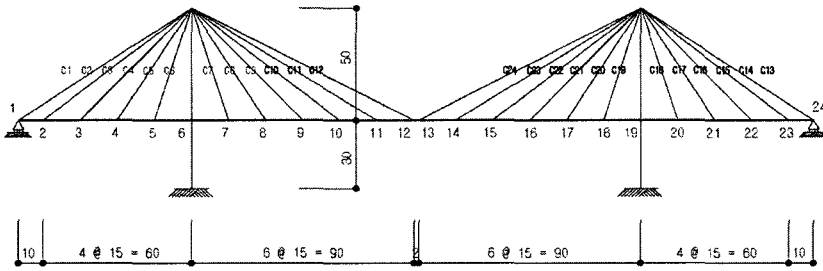


그림 2 해석모델

위의 주탑별 형상에 따른 각 case에 대한 교량의 진동특성 및 주기는 표 2와 같다.

표 2 주탑형상에 따른 주기(sec) 및 진동특성

Case mode	Mode-1	Mode-2	Mode-3	Mode-4	Mode-5	Mode-6	Mode-7	Mode-8	Mode-9
Case-1	2.2930 (주탑2 교직)	2.2858 (주탑1 교직)	2.1653 (주탑1,2 주형 윗 부분만 비대칭 교직)	2.1653 (주탑1,2 주형 윗 부분만 비대칭 교직)	1.6927 (주탑1,2 휨, 주형 연직)	1.3794 (주형 연직)	1.1623 (주형 교직)	0.7532 (주탑2 교직)	0.7140 (주탑1 교직)
Case-2	2.5316 (주탑1휨, 주형연직)	2.0463 (주탑1,2휨, 주형 연직)	1.1785 (진자)	1.1225 (주탑2 교직)	1.0620 (진자)	0.8593 (주탑1,2 교축)	0.7473 (비틀림)		
Case-3	2.2666 (주탑1휨, 주형연직)	1.7966 (주탑1,2휨, 주형연직)	1.0351 (진자)	0.8644 (주탑1,2교 축, 주형연 직)	0.8030 (비대칭 교직)	0.7876 (주탑1 비틀)	0.7744 (교직)	0.7684 (주탑2 비틀)	0.6291 (비대칭 연직)
Case-4	2.3107 (주탑1휨, 주형연직)	1.8070 (주탑1,2휨, 주형연직)	1.007 (진자)	0.9088 (주탑1,2교 축, 주형연 직)	0.7207 (주탑1, 비틀)	0.6390 (주탑2 비틀)	0.6114 (주탑1 비틀)	0.4599 (주탑2 교직)	0.4563 (주탑1 비대칭 교직)
Case-5	2.1289 (주탑1,2 휨, 주형 연직)	1.9969 (주탑2 교직)	1.9887 (주탑1, 교직)	1.7245 (주탑1,2 휨, 주형연직)	1.1415 (진자)	0.6942 (주탑2 교직)	0.6542 (주탑1,2비 틀)		

표 3 Case 별 횡진동 과 비틀림 진동 주기비

Case 주기	횡진동 주기	비틀림진동 주기	횡진동/비틀림진동
Case-1	1.6927	0.2341	7.231
Case-2	2.5316	0.7473	3.387
Case-3	2.2666	0.7876	2.877
Case-4	2.3107	0.7207	3.206
Case-5	2.1289	0.6542	3.254

위 해석 결과에 따라 연직 횡진동에 가장 높은 강성을 보인 Case-1에 대한 각 모드별 주기는 그림 3과 같다.

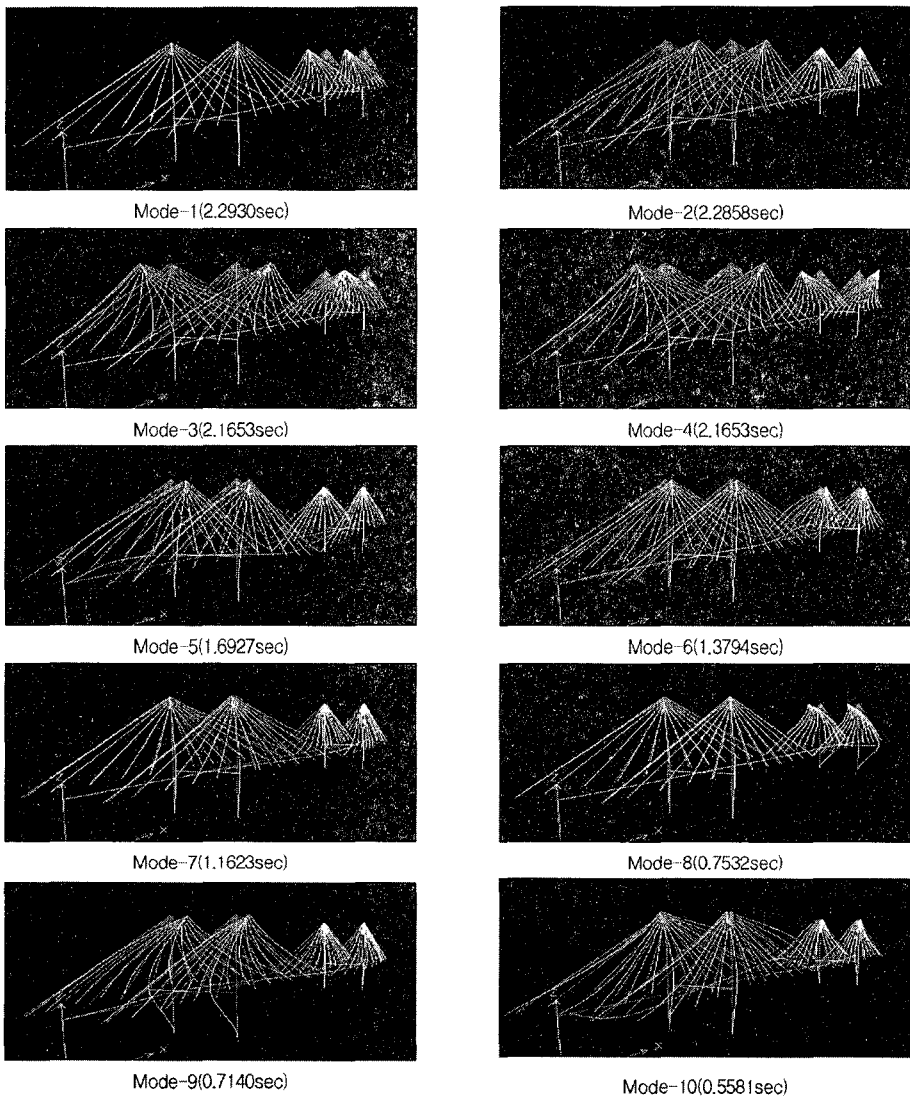


그림 3 Case-1에 대한 각 Mode 별 주기(sec)

3. 주탑 휨강성이 주형 좌굴강도에 끼치는 영향

주형의 단면2차모멘트 $I=0.107(m^4)$ 으로 일정하게 하고 주탑의 교축방향 휨강성을 증가시키면서 M.C Tang⁽²⁾이 제안 한 주형의 극한좌굴강도식과, 주탑의 교축방향 휨강성을 일정하게 하고 주형의 단면 2차모멘트를 증가시켜 가면서 Timoshenko⁽³⁾의 탄성받침위의 축력을 받는 빔의 극한 좌굴강도식, 두 가지의 방법에 의하여 주탑 부근의 주형에 대한 극한좌굴강도에 대한 검토 결과는 다음과 같다.

표 4 주탑 단면2차모멘트 변화에 따른 주형의 극한좌굴강도

주탑 $I(m^4)$ 항목	변위(m)	β	$P_{cr}(KN) = 2\sqrt{EI\beta}$
0.01	0.0005622	118.6	326,470
0.5836	0.00025	266.7	489,570
5	0.000226	295	514,910
20	0.0001959	340.3	553,050
60	0.000166	401.6	600,800
300	0.000139	479.6	656,570

표 5 주형 단면2차모멘트 변화에 따른 주형의 극한좌굴강도

주형 $I(m^4)$ 항목	$\beta L^4/16EI$	좌굴길이계수(=k)	$P_{cr}(KN) = \pi^2 EI / (kL)^2$
0.107	15.7	0.537	156,950
0.2	8.4	0.678	184,030
0.3	5.6	0.741	231,100
1	1.7	0.90	522,200
10	0.2	1	4,229,820
30	0.1	1	12,689,470

위 결과 표 4와 표 5 에 의하면 주탑의 강성을 고려한 표 4의 경우가 주탑의 강성을 고려하지 않은 결과 표 5 에 비하여 훨씬 높은 좌굴강도를 보였으며, 이는 주탑 및 케이블이 주형의 변형을 억제하는 효과를 가지고 있음을 알 수 있다. 따라서 주탑의 강성을 고려하지 않은 탄성받침 위의 빔의 좌굴강도가 훨씬 안전 축 설계임을 알 수 있으며, 이로부터 주탑의 연성으로 인한 주형의 2차변형 효과는 설계에서 우려 할 만큼 은 아닌 것으로 알 수 있었다.

4. 결 론

1. 주탑부 휨진동에 의한 주형의 연직진동은 모든 형태의 주탑에서 나타났으나 특히 Case-2의 경우 1,2차 모드의 주기가 제일 길어 Case-2로 설계 시 전체구조계의 연직진동 강성이 제일 적어지는 현상을 보였다.
2. 휨 연직진동에 대한 주기가 가장 짧은 주탑 경우는 Case-1이고, 이러한 현상은 주탑의 연직성이 전체 구조계의 휨연직진동에 유리하게 작용하는 것으로 판단되며, Case-5,3,4,2의 순서를 보였다.
3. 교축직각 방향에 대해서는 Case-1의 경우가 가장 긴 주기를 보였고 Case-5,2,3,4의 순서로 주기가 길어짐을 보여 교축방향으로는 case-4가 제일 강성이 높은 것으로 나타났다.
4. 제일 주기가 긴 휨 연직진동과 비틀진동의 비는 다음과 같다.

주기비 Case	1	2	3	4	5
ω_b/ω_a	7.231	3.387	2.877	3.206	3.254

- 풍동(aerodynamic)설계 시 가장 낮은 모드의 횡연직진동과 비틀진동의 주기비는 2.0이상이 요구되는데, 전 Case에서 이를 전부 만족 하는 것으로 판단된다.
5. 주탑의 형상에 의하여 교량전체의 거동이 변하므로 각개의 케이블과 전체구조계의 frequency가 일치할 경우 케이블의 진동이 구조체 전체진동을 증가시키는 요인이 되므로 주탑형식 선정 시에는 각개의 케이블과의 상관성을 고려하여 선정하여야 할 것으로 판단된다.
 6. 주형의 극한좌굴상태에 대해서는 횡연직진동의 강성이 우수한 Case-1에 대하여 주탑의 휨강성을 변해가면서 M.C Tang박사가 제안한 방법과, 주형의 휨강성을 변해가면서 Timoshenko가 제안한 탄성받침위의 주형의 극한좌굴강도에 대하여 검토한 결과 주탑과 주형의 강성이 커질수록 주형의 극한좌굴강도는 증가하는 현상을 보였으나 주탑이 주형의 극한 좌굴강도에 미치는 영향은 매우 크며 이는 주형의 좌굴이 stay-cable에 의하여 억제됨을 알았다. 따라서 Timoshenko가 제안한 탄성받침위의 축력을 받는 주형의 좌굴강도가 매우 안전측 설계임을 알 수 있다.

참고문헌

1. 최학재 (2005) 케이블의 비선형 거동효과를 고려한 사장교 강거더의 좌굴안전성 평가, 한국전산구조공학회 봄학술대회
2. Tang, M.C., (1976) Buckling of Cable-Stayed Girder Bridges, *Journal of the Structural Division, ASCE*, Sep.,
3. Timoshenko & Gere., Theory of Elastic Stability, pp.94~98
4. Alan G. DAVENPORT (1994) A Simple Representation of the Dynamic of a Massive Stay Cable in Wind, International Conference A.I.P.C-F.I.P deauville Oct 12~15,