

# 입력지진 세기에 따른 콘크리트 주탑 케이블교량의 부재별 거동 특성 연구

## Behavior of Cable Supported Bridges with RC Pylon Under Varying Seismicities

임 영 근\*      정 혁 창\*\*      김 익 현\*\*\*      이 중 석\*\*\*\*  
Lim, Young Geun    Jeong, Hyeok Chang    Kim, Ick Hyun    Lee, Jong Seok

---

### ABSTRACT

According to current bridge design code cable supported bridges are designed generally against 1000-year-return-period earthquake. Considering its importance, however, it may be desirable to design against 2400-year-return-period earthquake. But the seismic behavior of cable supported bridges under higher seismicity is not investigated fully.

In this study, several cable supported bridges were analyzed under higher seismicity and then the response forces in prime members were compared with those analyzed under current design earthquake.

---

### 1. 서론

우리나라도 관광벨트 개발 및 연육, 연도교 건설 프로젝트 추진으로 많은 수의 케이블 장대교량이 건설되었거나, 건설 예정 중에 있다. 해외의 경우 이러한 대형 교량의 경우에는 별도의 설계기준을 만들어 설계하고 있으나 우리나라의 경우에는 현행 도로교 설계기준에 따라 설계하고 있다. 이러한 현실은 감안하여 최근 케이블 교량의 보다 합리적인 설계를 위하여 “케이블 강교량 설계지침 작성 연구<sup>(1)</sup>”이 준비 중에 있으며 내진설계도 여기에 포함되어 연구가 수행되고 있다. 케이블 교량의 사회적, 경제적 중요성을 고려할 때 해외에서와 같이 현행도로교 내진설계기준에서 정의되고 있는 설계지진과 목표내진성능 보다 강화된 규정으로 설계하는 것이 바람직하지만 이에 따른 케이블교량의 거동 변화에 대한 이해 부족으로 많은 우려가 있는 것이 현실이다.

따라서, 본 연구에서는 국내에서 시공되었거나 설계된 다수의 케이블교량을 대상으로 현 기준보다 강화된 입력지반운동에 대하여 케이블 교량의 주요부재의 단면력 및 응답변위에 어느 정도의 변화가 있는지를 해석적으로 고찰하였다.

### 2. 대상 케이블교량 특성

- 
- \* 정회원 울산대학교 건설환경공학부 석사과정
  - \*\* 정회원 울산대학교 건설환경공학부 박사수료
  - \*\*\* 정회원 울산대학교 건설환경공학부 부교수
  - \*\*\*\* 정회원 울산대학교 건설환경공학부 교수

다양한 제원 특성을 지닌 케이블 교량의 지진 응답 특성을 살펴보기 위하여 중앙경간 길이가 다른 4개의 사장교와 2개의 현수교를 해석 모델로 선정하였다. 표 1은 모델 교량의 주요 특성을 나타내며, 그림1은 대표적인 사장교와 현수교의 형식별 형상을 나타낸 것이다. 모델 교량의 주탑 높이는 70 ~ 210m이고, 중앙 경간 길이는 170 ~ 840m 이다. A 교량은 3주탑 사장교로 2개의 중앙 경간이 있는 구조로 이루어져 있으며, C교량은 두 주탑의 제원이 다른 비대칭 교량이다.

표 1 모델의 주요특성

Type	교량형식	주탑높이(m)	교폭(m)	중앙경간(m)	주탑지점	횡방향 배치	비고
A	사장교	70	27.2	170	spring	One lateral plane	3주탑 사장교
B		178	34	470	고정	Two lateral planes	
C		209.4	18	540	spring	One lateral plane	비대칭형
D		203.7	24.5	550	spring	One lateral plane	
E	현수교	131.7	16.88	750	고정		
F		156	25.4	840	고정		

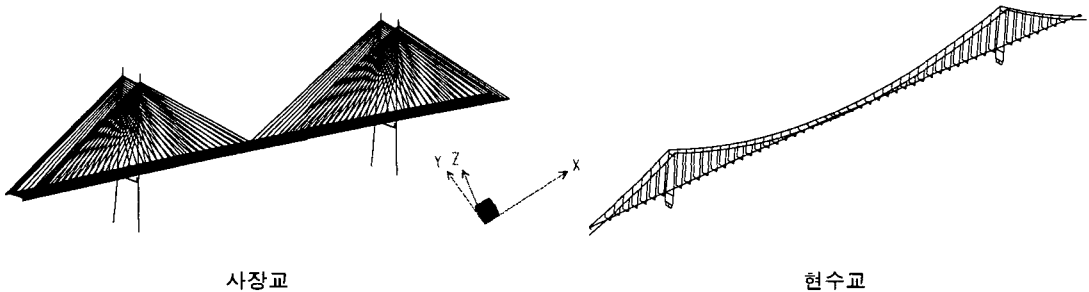


그림 1 대표적 모델 형상

### 3. 지진해석

#### 3.1. 해석의 종류

모델 교량에 대해서 다중 모드 스펙트럼 해석을 수행하여 주요 부재의 응답 특성을 살펴보았다. 해석은 세 가지 case로 수행되었다. case 1은 현행 도로교 기준에 따라 재현주기 1000년 지진을 입력 지진으로 하였으며 현행 설계 관습을 고려하여 주탑의 강성은 전단면 강성으로 하였다. case 2는 재현주기 2400년 지진을 입력지진으로 하였으며 주탑의 강성은 균열을 고려하여 전체강성의 40%를 사용하였다. 따라서 case 1과 case 2에 의해 입력지진의 증가하는 경우 주요 부재의 단면력 변화를 확인할 수 있다. case 3은 case 2와 같으며 수직방향 지진을 추가로 고려하였다. 이때 수직 방향의 지진의 세기는 수평방향 지진의 1/3로 하였다. 따라서 case 2와 case 3의 비교에서 수직 방향 지진하중의 주요 부재의 단면력에 미치는 영향을 확인할 수 있다. 표 2는 해석 종류별 특성을 요약한 것이다.

#### 3.2. 해석 방법

표 2 해석 종류별 특성

구분	case 1	case 2	case 3
재현주기	1000년	24000년	2400년
주탑 교축 방향 단면강성	$I_g$	$I_{eff}(0.4I_g)$	$I_{eff}(0.4I_g)$
수직방향 지진하중	비고려	비고려	고려

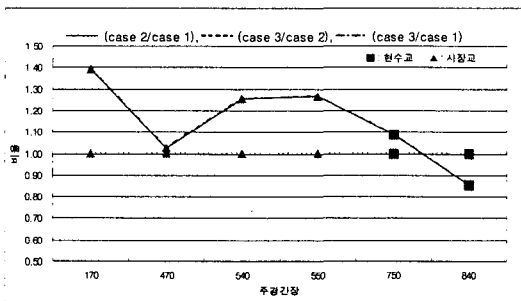
모델 교량은 범용 구조 해석 프로그램 SAP2000을 이용하여 3차원 모델화 하였으며 주탑 기초부의 지반특성은 고려하지 않았다. 응답스펙트럼은 현행 도로교설계기준의 설계응답스펙트럼을 감쇠비 2%로 보정하여 사용하였으며 해석 조건은 지역구역 I, 지반종류 II로 하였다.

모드 해석은 각 교량별로 질량 참여율을 고려하여 충분한 모드수가 포함되도록 하였고 각 진동수별 응답은 CQC(complete Quadratic Combination)로 조합하였다. 한편 주요 부재의 단면력은 교축방향과 교축직각 방향의 응답을 100%-30% 조합을 하였으며, 수직방향을 고려하는 경우 100%-30%-30%으로 조합하였다.

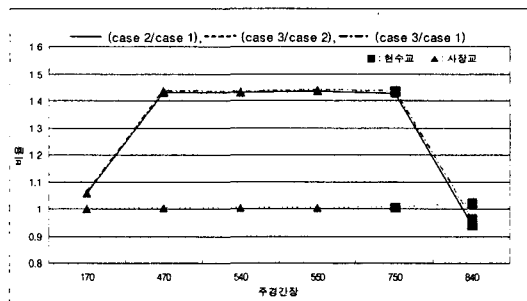
### 3.3. 해석결과 및 분석

주요 부재의 응답 특성을 비교하기 위하여 주탑 하단의 모멘트(면외 방향,  $M_y$ ), 주탑의 축력(P), 주경간 및 측경간 케이블의 장력, 주경간 보강형 및 측경간 보강형 모멘트(면외방향,  $M_z$ ), 주탑 상단의 교축방향 변위를 선정하였다. 해석 결과를 정리하여 그래프로 나타내면 그림 2와 같다.

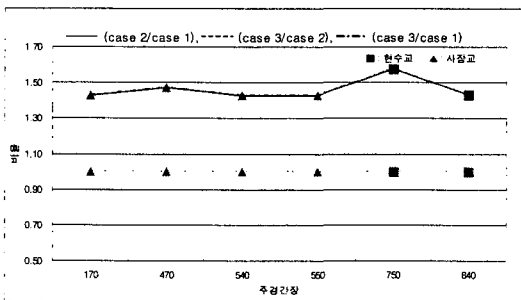
우선 수직 지반 운동에 의한 단면력 변화를 살펴보면 (그림에서 case 3/ case 2) 모든 부재의 응답에서 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 지진력 증가에 의한 응답 특성 변화를 살펴보면 (그림에서 case 2/case 1) 주탑의 하단 모멘트(a)는 경간길이 470m 사장교를 제외하고 1.2~1.4까지 증가하고 있고, 현수교 type F의 경우는 오히려 단면력이 감소하였다. 주탑축력(b)의 경우 사장교에서 대체적으로 1.4배 정도 증가하였고 현수교 type F의 경우는 주탑 모멘트와 마찬가지로 감소하였다. 주경간 및 측경간 보강형의 모멘트(c),(d)인 경우 대부분이 1.4~1.5까지 비슷하게 증가하였고 cable 장력(e),(f)은 사장교에서는 증가 추세를 보이고 type D의 경우 최대 2.1까지 증가하였고 현수교는 1.3~1.6 정도로 증가하였다. 주탑 상단 교축 방향 변위(g)의 경우 사장교에서는 증가비율이 1.6~2.7 정도로 높고 현수교의 경우 1.5정도로 사장교에 비해 상대적으로 낮다.



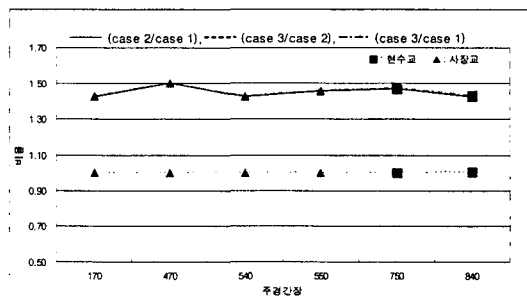
(a) 주탑 Global-Mv



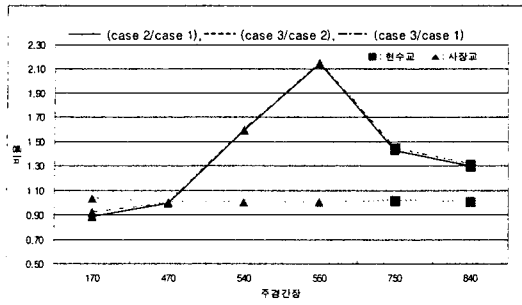
(b) 주탑 축력



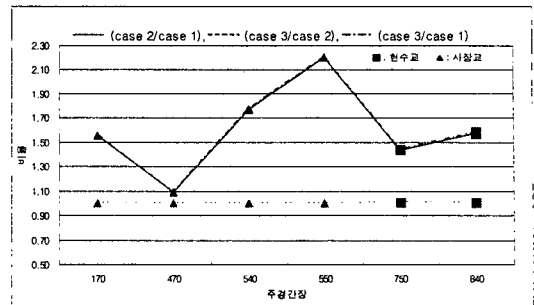
(c) 보강형 Global-Mz(주경간)



(d) 보강형 Global-Mz(측경간)



(e) Cable 장력(주경간)



(f) Cable 장력(축경간)



(g) 주탑 상단 변위 (교축방향)

그림 2 각 부재별 단면력 비율

#### 4. 결론

재현주기 1000년, 2400년, 그리고 2400년에 수직방향을 고려하는 경우의 각각의 콘크리트 주요 부재가 단면력 변화를 해석적으로 살펴 보았다. 그 결과를 정리하면 아래와 같다.

- 1) 수직 지반 운동에 의한 주요 부재의 응답은 큰 영향이 없었다.
- 2) 주탑하단 모멘트는 2400년 지진시 사장교에서 1.3배 증가하였고 현수교에서는 평균적으로 1000년 지진과 유사한 수준이다.
- 2) 보강형(주경간)의 1000년과 2400년 지진시 My의 경우를 보면 약 1.4배~1.6배 크게 나타났다.
- 3) 보강형(축경간)의 1000년과 2400년 지진시 My의 경우를 보면 약 1.4배~1.5배 크게 나타났다.
- 4) 케이블의 장력의 변화는 교량 종류에 따라 변화 폭이 크며 대략 0.9 ~ 2.1 수준이다.
- 5) 현수교의 경우 케이블의 장력과 주탑 상단의 변위가 재현주기 2400년일 때 1000년의 경우 보다 약 1.3배~1.5배였다.

#### 참고문헌

1. "케이블 강교량 설계지침 작성 연구", 대한토목학회, 2005