

斜橋에 작용하는 地震荷重의 影響 評價 Evaluation of Seismic Force Effects on Skew Bridges

박형기*
Park, Hyung-Ghee

김범중**
Kim, Beom-Joong

이찬영***
Lee, Chan-Young

ABSTRACT

This study is focused on evaluation of the structural behavior of skewed bridge during earthquake. The variation of natural frequencies and the lateral forces at pier shoes by the skewness and the rotational effect about vertical axis of skewed bridge due to seismic activity are analytically evaluated and identified through case studies.

For this purpose, the composite steel girder highway bridges are selected as case study models. The seismic analyses by response spectrum method and time history method are performed for the selected models.

It has been recognized that the frequency of longitudinal mode increased as the skew angle decreased, while the lateral mode frequency showed the opposite trends. When the skew angle decreased, longitudinal seismic forces of the bridge at the pier were increased but decreased in transverse direction. And it also has been found that the skewed bridges of the case study models showed the rotational behavior about vertical axis due to the motion of San Fernando earthquake at Pacoima Dam.

1. 서론

구조물이 대칭이면 지진시 수직축에 대한 회전이 최소화되어 비틀림에 의한 피해를 줄일 수 있다. 사고는 지진시에 수직축에 대하여 회전하는 경향이 있다. 실제로 미국의 San Fernando 지진(1971년)과 Eureka 지진(1979년)시에 많은 기둥이 회전과 이로 인한 비틀림 전단력으로 인하여 심한 피해를 입은 경험이 있다.⁽¹⁾ 사고의 이러한 거동에 대한 약간의 연구가 있으나 아직까지는 구조적으로 정확히 규명되지는 못한 상황이므로 안전축의 설계를 위하여 여유있는 이음부 간격, 받침길 이등을 확보하는 방향으로 대처하고 있다.

이 연구에서는 단경간, 2경간과 3경간의 강재받침을 가지는 교량을 선정하여 단일모드스펙트럼 해석시 일련의 보요소모델, 다중모드스펙트럼과 시간이력해석시는 격자모델을 사용하여 직교 및 일정한 사각을 갖는 사고에 대하여 지진해석을 수행하여 사각의 변화에 따른 지진시 거동을 평가하였다. 또한 받침에 작용하는 전단력과, 교축과 교각 또는 교대 단면의 약축이 직교하지 않으므로 생기는 거동의 영향을 평가하였다.

* 인천대학교 공과대학 토목공학과 교수

** (주) 도담엔지니어링 구조부

*** 인천대학교 공과대학 토목공학과 석사과정

2. 사고의 지진해석

2.1 해석모델과 해석방법

교량의 교축과 교각단면의 약축이 이루는 각의 크기에 따라 교량의 지진응답의 변화가 예상된다. 따라서, 해석용 강합성 판형교 모델을 선정하여 해석적 방법으로 사각의 변화에 따른 지진응답의 변화를 평가하였다. 이를 위하여 2경간을 갖는 강합성형교(40+40=80 m)를 기본모델로 선정하고 2경간교로부터 축소 또는 확장하는 방법으로 단경간교(35 m) 및 3경간교(35+42+35=112 m)를 작성하고, 고유치해석과 지진해석을 실시하였다. 기본적인 직교모델인 2경간 연속강합성형교로부터 경간수를 감소 또는 증가시키는 방법으로 단경간교와 3경간교를 만들때 교량의 경간수에 관계없이 상부 및 하부구조의 단면특성은 일정한 것으로, 교각은 교대에 평행하고 횡형은 교축에 직각 방향으로 배치된 것으로 가정하였다. 또한 지반은 암반지반이라 가정되었다.

다중모드스펙트럼해석을 위한 해석모델은 바닥판을 격자모양으로 하고 받침은 GTSTRUDL⁽²⁾의 매트릭스요소를 사용하여 그림2.1과 같이 모형화하였으며 기둥단부의 연결부 이외에 2개의 1/3지점을 중간절점으로 모형화하였다. 받침의 배치는 그림2.2에 보인바와 같이 이동 가능 방향은 교축 방향 또는 교축직각방향이다.

교량의 지진응답 해석 수행전에 Lanczos 방법에 의해 각 교량의 고유치해석을 수행하였으며, 교량모델에 대한 지진해석은 단일모드스펙트럼해석법, 다중모드스펙트럼해석법을 실시하였다. 이때 다중모드스펙트럼해석법에 사용된 감쇠율은 모든 모드에 대해 일률적으로 5%를 사용하였으며, 모드별 응답의 중첩은 CQC(Complete Quadratic Combination)에 의한 방법으로 하였다. 수평 두방향에 대해서는 독립적으로 지진해석하여 제곱합평균 근 방법에 의해 방향별 조합을 실시하였다. 이를 위하여 범용 구조해석프로그램인 GTSTRUDL을 이용하였다. 해석시 교량의 사각에 따른 영향을 평가하기 위하여 직교 형태의 사각 즉, 90°의 사각을 갖는 경우로부터 매 5°간격으로 45°의 사각까지 변화시켰다.

사고의 지진시 수직축에 대한 회전하려는 경향을 파악하고자한 지진해석시에는 3방향 지진성분에 대해 모드중첩법에 의한 시간이력해석으로 이루어졌다.

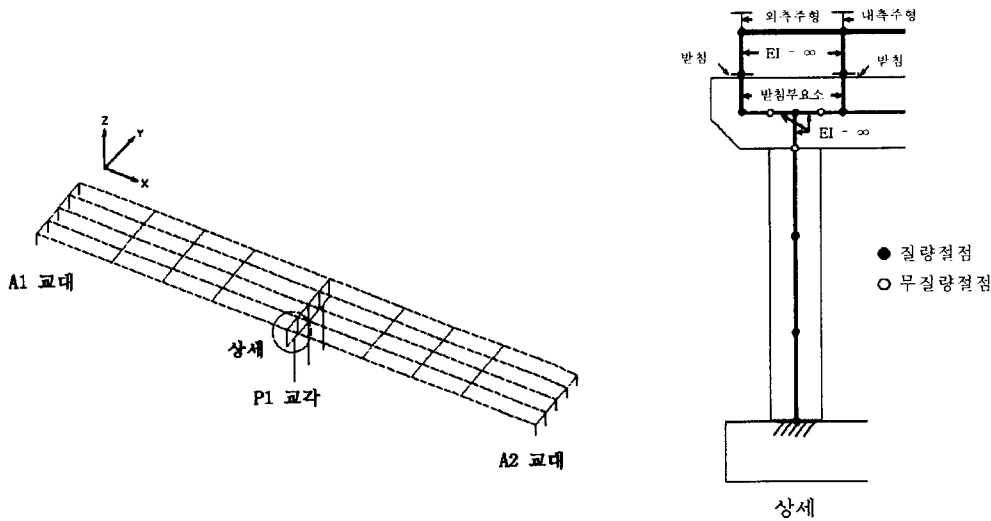


그림 2.1 다중모드스펙트럼해석을위한 2경간교 모델

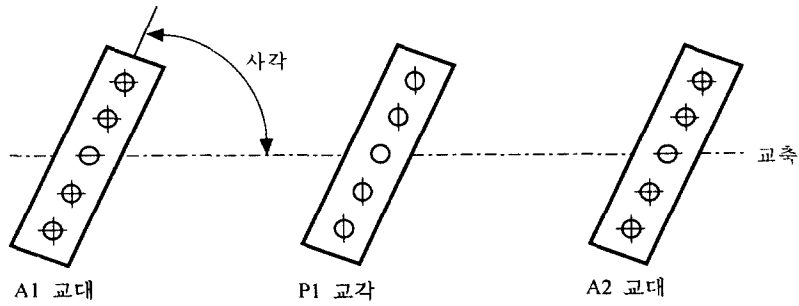


그림 2.2 2경간교의 받침 배치도

2.2 입력운동

스펙트럼해석법을 위한 지진하중은 도로교표준시방서⁽³⁾에 제시된 그림2.3와 같은 탄성지진응답 계수를, 시간이력해석시는 1971년에 발생한 San Fernando지진시 Pacoima dam 부지(암반지반)에서 측정된 가속도시간이력을 사용하였다. 각 방향별 시간이력은 그림2.4에 보인바와 같고, 응답스펙트럼을 나타내면 그림2.3와 같으며 각 방향별 지진성분 사이의 상관계수는 표2.1과 같다.

표 2.1 Pacoima dam 부지에서 관측된 San Fernando지진 가속도시간이력간의 상관계수

| 방향 | S16E | S74N | Vertical |
|----------|------|---------|----------|
| S16E | 1.00 | 0.37965 | 0.02408 |
| S74N | - | 1.00 | 0.38408 |
| Vertical | - | - | 1.00 |

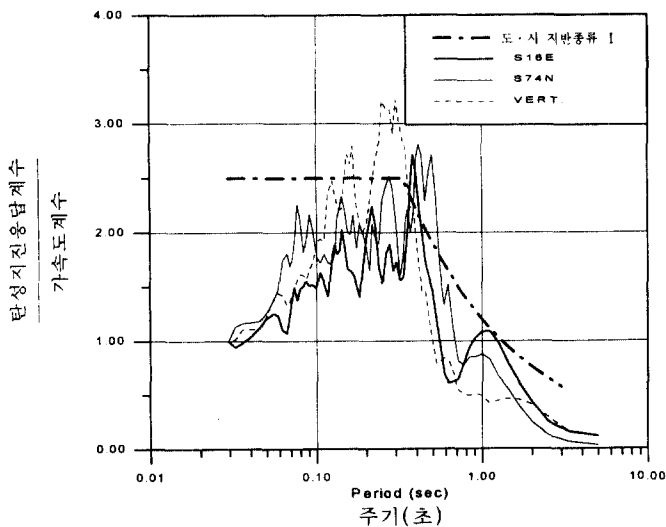
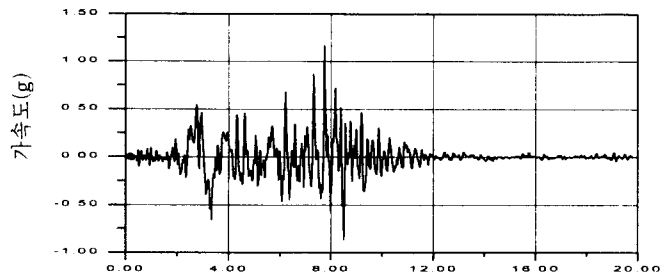
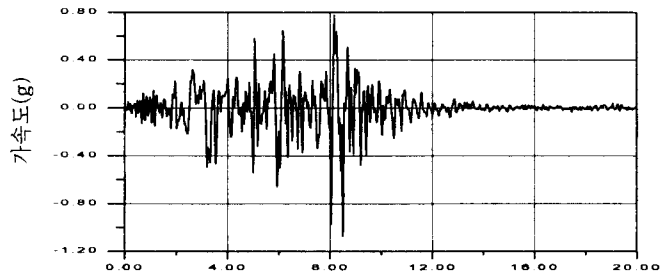


그림 2.3 Pacoima dam 부지에서 관측된 San Fernando 지진의 응답스펙트럼



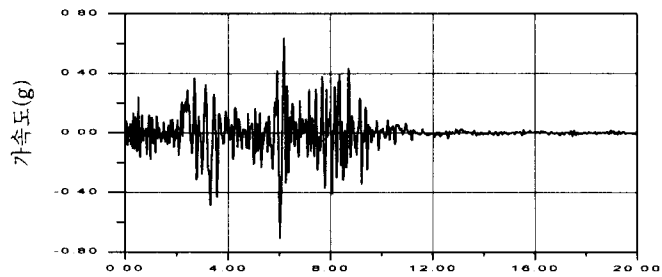
시간(초)

(가) S16E



시간(초)

(나) S74N



시간(초)

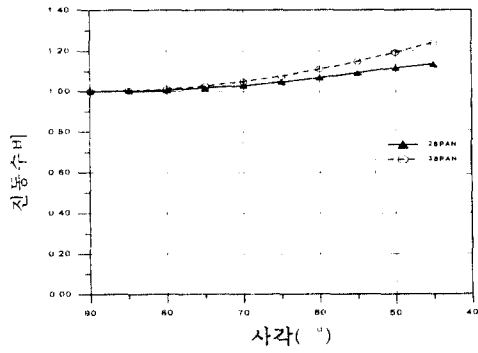
(다) Vertical

그림 2.4 Pacoima dam 부지에서 관측된 San Fernando 지진의 가속도시간이력

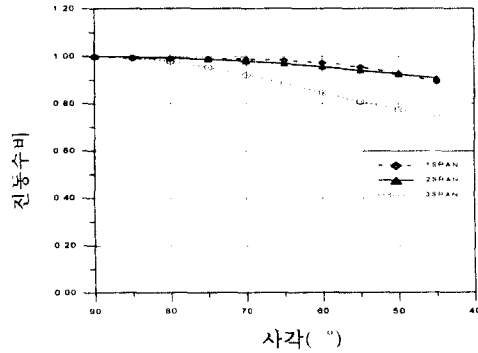
3. 동특성 분석

사각에 따른 고유진동수의 변화를 직교에 대한 사각의 비로 무차원화하여 그림 3.1에 나타내었고, 그림 3.2에 각 모드의 모드참여계수를 도식적으로 표현하였다.

그림 3.1에 보인 바와 같이 사각이 작아짐에 따라 교축직각방향 모드의 고유진동수는 감소하는 반면, 교축방향 모드의 고유진동수는 증가함을 알 수 있다. 그림 3.2로부터 사각이 작아짐에 따라 참여계수의 변화로부터 모드간 연계 정도가 커짐을 알 수 있고 이는 교축과 교각 또는 교대단면의 강축방향의 불일치로 생긴 결과로 판단된다.

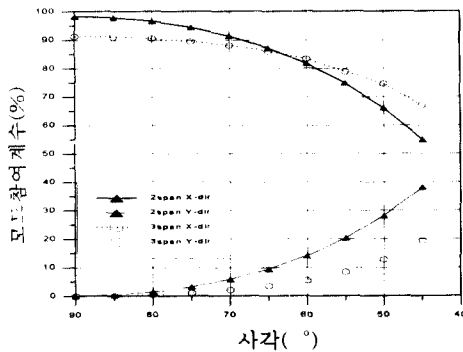


(가) 교축방향 모드

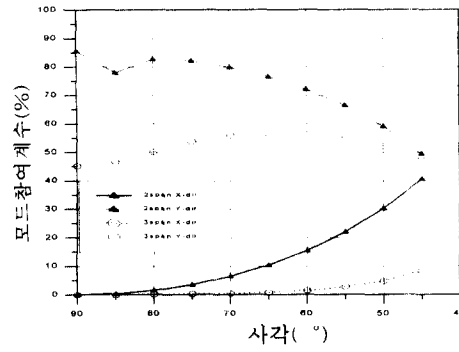


(나) 교축직각방향 모드

그림 3.1 고유치해석 결과 비교



(가) 교축방향 모드

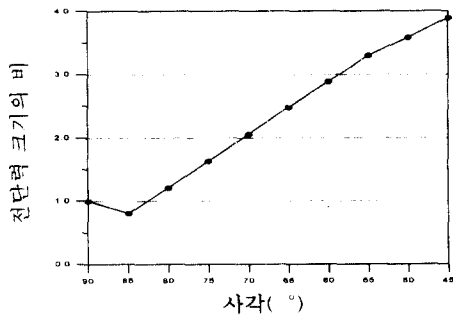


(나) 교축직각방향 모드

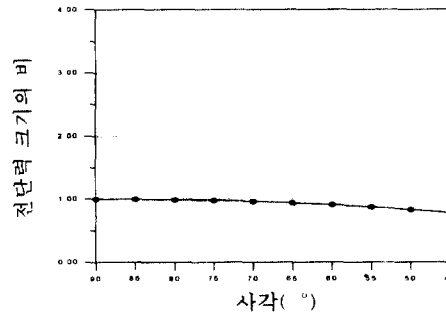
그림 3.2 모드참여계수 비교

4. 교각 받침에 작용하는 전단력

사교에서 모드간 연계효과를 고려한 다중모드스펙트럼해석 결과중 2경간교의 양방향 고정인 교각 받침의 교축방향 전단력과 교축직각방향 전단력을 직교에 대한 사교의 비로 나타내면 그림4.1과 같다.



(가) 교축방향



(나) 교축직각방향

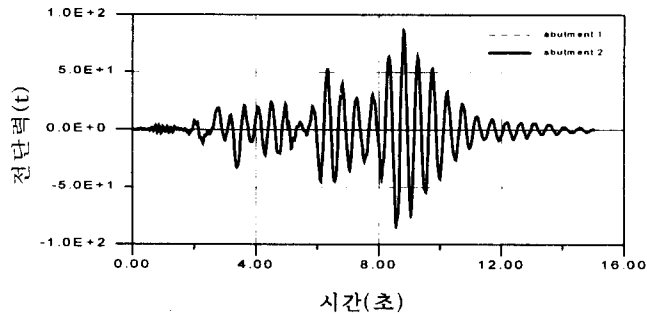
그림 4.1 2경간교 양방향고정 교각 받침의 전단력 비교

사각이 작아짐에 따라 사고 교각 받침의 교축방향 전단력은 교축직각방향 지진의 영향으로 직교에 비해 2경간교에서는 3.9배 3경간교에서는 1.3배로 증가하고, 교축직각방향 전단력은 교축방향 지진의 영향이 증가하지만 교축직각방향 지진의 영향이 더 크게 감소하여 직교에 비해 2경간교에서는 0.78배, 3경간교에서는 0.81배로 감소하였다.

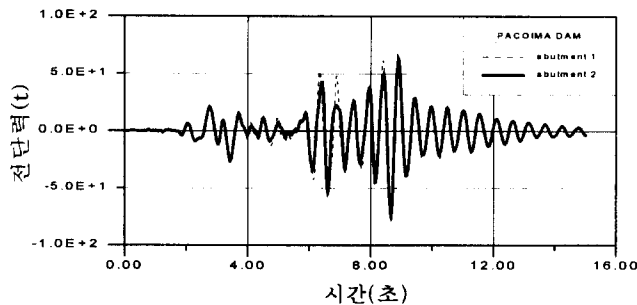
이상의 결과로부터 사각이 변함에 따라 교축과 교각 또는 교대 단면의 약축이 직교하지 않으므로 인해 생기는 거동의 연계효과에 의해 하부구조의 단면력이 크게 변할수 있으므로 사각의 영향을 고려할 수 있는 해석모델을 이용한 다중모드스펙트럼해석이 필요함을 알 수 있었다.

5. 수직축에 대한 교량의 회전거동

사각에 따른 교량의 회전경향을 알아보기 위해 Pacoima dam 부지에서 관측된 그림2.4과 같은 San Fernando 지진을 사용하여 시간이력해석을 수행하여 단경간의 양쪽 단의 교대 받침의 교축직각방향 반력을 시간이력해석법에 의해 계산하여 사각이 90°일 경우와 45°일 경우를 나타내면 그림 5.1과 같다. 2경간교와 3경간교에서도 마찬가지로 경향을 보인다.



(가) 사각 90°인 경우



(나) 사각 45°인 경우

그림 5.1 단경간교 양단 교대에서 받침에 작용하는 교축직각방향 전단력 시간이력

사각이 작아짐에 따라 각 교대에서 교축직각방향의 전단력이 다르다는 것은 교량전체 관성력의 작용선이 교량중심으로부터 벗어나 편심을 가지고 작용하는 것을 나타내는 것이므로 이상의 결과로부터 사고는 지진시 수직축에 대해 회전하려는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

6. 결론

- 사각이 작아짐에 따라 직교일 경우에 비하여 교축방향 진동모드의 고유치가 증가하고, 교축직각

방향 진동모드의 고유치는 감소하는 경향이 나타난다. 또한 연계효과가 커진다.

- 사각이 변함에 따라 연계효과에 의해 하부구조의 단면력이 크게 변할수 있으므로 사각의 영향을 고려할 수 있는 해석모델을 사용한 다중모드스펙트럼해석이 필요하다.
- 교량은 사각이 작아짐에 따라 지진시에 수직축에 대하여 회전하고 이로 인해서 하부구조의 기둥에 비틀림 전단력이 작용하게 되므로 이에 대한 상세설계가 요구된다.

7. 참고문헌

- 1) Priestley, M. J. N., Seible, F. and Calvi, G. M. *Seismic Design and Retrofit of Bridges*, John Wiley & Sons, 1995
- 2) GTSTRUDL : *User's Manual*, 1993
- 3) 건설부, 도로교표준시방서, 내진설계편, 1996