

고속전철교량의 동적거동에 미치는 감쇠와 교좌장치의 영향

The Effects of Bearings and Damping on the Dynamic Behavior of bridge for KHSR

곽종원¹⁾ 김병석²⁾ 김영진³⁾ 강재윤⁴⁾

Kwark, Jong-Won Kim, Byung-Suk Kim, Young-Jin Kang, Jae-Yoon

ABSTRACT

The objective of this study is to investigate the dynamic behaviors of KHSR(Korea High-Speed Railway) bridge supported by elastomeric bearings subjected to high-speed vehicles. The effects of damping on the dynamic behaviors are also studied.

The train composed of two power cars, two motor cars and eighteen passenger cars are simulated using constant moving forces for simplicity and effectiveness in the analysis. Direct integration method are used to solve the dynamic equation of motion. The bridge analyzed is real bridge with 2040 m span and concrete continuous box girder. The bridge is modelled using frame element in three dimensional space.

From the results of this study, the effects of elastomeric bearing on the dynamic responses of bridge(especially vertical accelerations) may cause undesirable behaviors. Damping are very important in the dynamic behaviors of the bridge subjected to high-speed railways. And so, dynamic analysis of steel bridge for high-speed railway supported by elastomeric bearings should be performed carefully.

1. 서론

고속 주행하는 열차에 의해서 교량은 열차가 지나가는 동안 반복적인 집중하중을 받아서 동적 거동을 하게된다. 이러한 반복적인 하중은 반복정도 즉, 타격진동수에 따라서 다양한 응답을 보여주게 된다. 당초 콘크리트 박스거더교로 설계되었던 경부고속전철 교량은 경제성 등의 여러 가지 이유 때문에 I형 콘크리트주형으로 지지되는 판형교로 설계가 변경되었다가 동적 거동에 문제가 제기되어 이를 다시 원안대로 콘크리트 박스거더교로 설계 및 시공되었다. 이러한 과정에서 동적 거동에 관한 안정성문제를 검토하는 단계에서는 교량 단부의 격임각, 동중폭계수, 처짐, 상판의 가속도 등의 응답을 기준으로 교량의 동해석이 수행되었다. 한편 열차의 제동과 온도에 의한 교량 종방향 거동에 저항하는 교각의 강성이 부적절함을 해소하기 위하여 2경간 연속교(2040)의 모든 교량에 일점 고정단을 위한 Pot 베어링과 양단부의 Pad 베어링이 설치되었다. 설계초기 단계에서 이러한 지점조건이 고려되지 않은 상태에서 즉, 일점 고정과 이점 자유 이동단의 개념

1) 선임연구원, 한국건설기술연구원 구조연구실

2) 수석연구원, 한국건설기술연구원 구조연구실

3) 연구원, 한국건설기술연구원 구조연구실

4) 연구원, 한국건설기술연구원 구조연구실

으로 동해석이 미국의 CEC(International Civil Engineering Consultant, INC)사에 의하여 수행되었다. 그러나 이러한 지점조건의 상이성은 교량의 각 응답에 영향을 미칠 것으로 판단되나 그 실체에 대한 규명이 이루어지지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 지지점에 사용된 탄성받침이 교량의 동적 거동에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

한국형 고속전철(이후 KTGv)은 대표적으로 그림 1과 같은 차량의 구성을 갖게된다. 그림에서 볼 수 있듯이 각 대차 밑에 위치한 차륜하중은 그 간격이 3 m이고 이러한 대차들간의 간격은 18.7 m의 대표 값을 갖고 있다. 동력차와 객차는 그 축하중에는 거의 차이가 없으나 차륜의 분포가 달라서 동력차와 모터차 사이에 가장 큰 하중이 분포하게 된다. 그러나 반복적인 하중의 효과는 객차의 경우와 유사한 18.7 m 정도의 타격간격을 갖는다고 볼 수 있다.

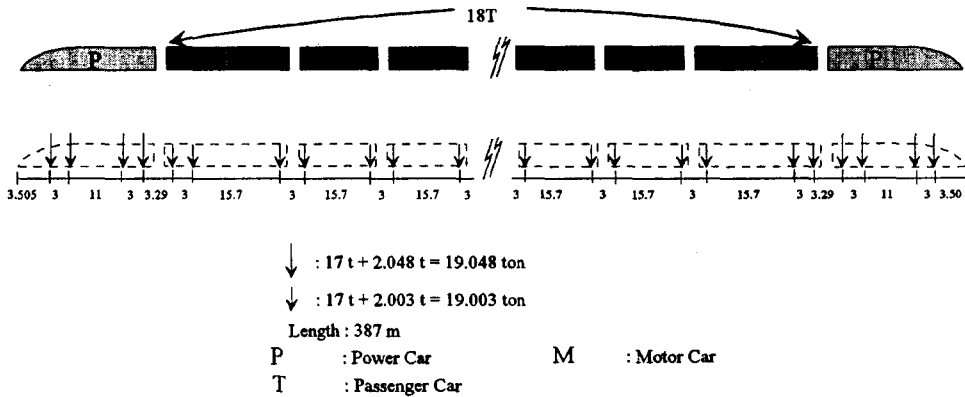


그림 1. KTGv의 구성

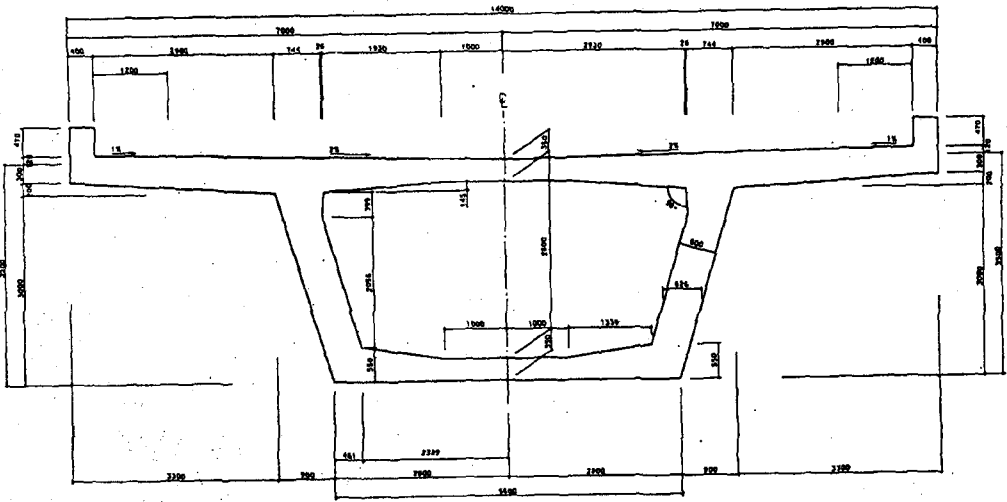
이러한 일정한 타격간격은 그 지나가는 속도와 더불어 교량에 타격진동수로 작용하게된다. 고속 주행하는 일반 차량의 경우에는 그 타격간격이 일정하다고 볼 수 없고 속도가 저속이므로 이러한 공진 문제에 크게 문제되지 않는다. 더구나 열차의 주행 안전성을 보장하기 위한 구조물의 설계조건이 까다로운 고속전철의 경우에는 그 제한사항을 만족하기 위해서는 동해석이 필수적이며 이때 공진 검토와 그때의 응답해석은 필수적이라 할 수 있다.

2. 대상교량의 재원 및 진동특성

대상 교량은 현재 경부고속전철에 건설되고 있는 교량형식 중에서 대표적인 콘크리트박스거더로서 2경간 연속교이다(그림 2참조). 중앙지점은 Pot베어링이고 양단 지점은 탄성받침으로 이루어져 있다. 교량은 뼈대요소를 사용하여 모델링하고 비틀림에 관한 영향은 배제하고 교량의 휨거동에 중점을 두고 해석을 수행하였다. 탄성받침의 경우는 고감쇠가 아니라서 그 감쇠효과는 무시하고 탄성거동효과만을 포함하여 질량이 없는 스프링으로 모사하였다. 이동하중은 이동 집중하중과 이동질량으로 모델링하고 주행속도는 100 km/hr부터 400 km/hr까지 20 씩 증가시키면서 사용하였다. 응답은 동적 증폭계수와 단부 격임각 그리고 가속도를 대상으로 하였다. 교량은 이러한 탄성받침이 있는 모델과 없는 모델을 사용하였다. 그림 3은 해석 대상교량의 고유진동수와 그에 따른 모드형상을 보여주고 있다. 두 모델간의 고유진동수의 차이는 미소하게 나타났다.

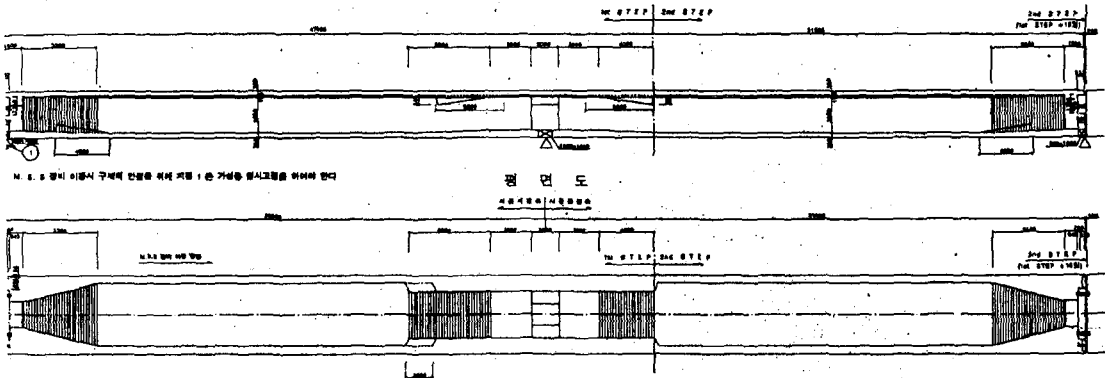
이러한 교량구조물에서는 다음과 같은 임계속도가 예상된다.

$$S_{eff} \times \omega_1 \times 3.6 = 18.7 \times 4.34 \times 3.6 = 292.2 \text{ km/hr}$$



(a)

종 단 면 도



(b)

그림 2. 2경간 연속 콘크리트 박스교의 대표단면과 형상

3. 탄성반침의 영향

사용된 탄성반침은 수직방향의 강성이 2.079×10^6 ton/m이고 종방향 강성이 1248 ton/m인 탄성 반침 2개로 이루어져 있다. 탄성반침의 유무에 따라서 단부 격임각, 변위에 관한 동적 확대계수, 변위, 그리고 가속도 응답들을 비교하였다. 교량의 비틀림에 의한 영향은 무시하였으며 차량의 편심효과 또한 고려하지 않았다. 대상차량은 이동집중하중과 이동질량으로 모델링하였다.

탄성반침의 강성이 교량의 동적 거동에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 교량의 이동단에 설치되는 탄성반침의 강성을 변화시키면서 이동하중해석을 수행하였다. 이때 감쇠비는 0%를 사용하였다. 그림 8, 그림 9 그리고 그림 10에서 수직축은 탄성반침이 없는 경우의 응답에 관한 비이다.

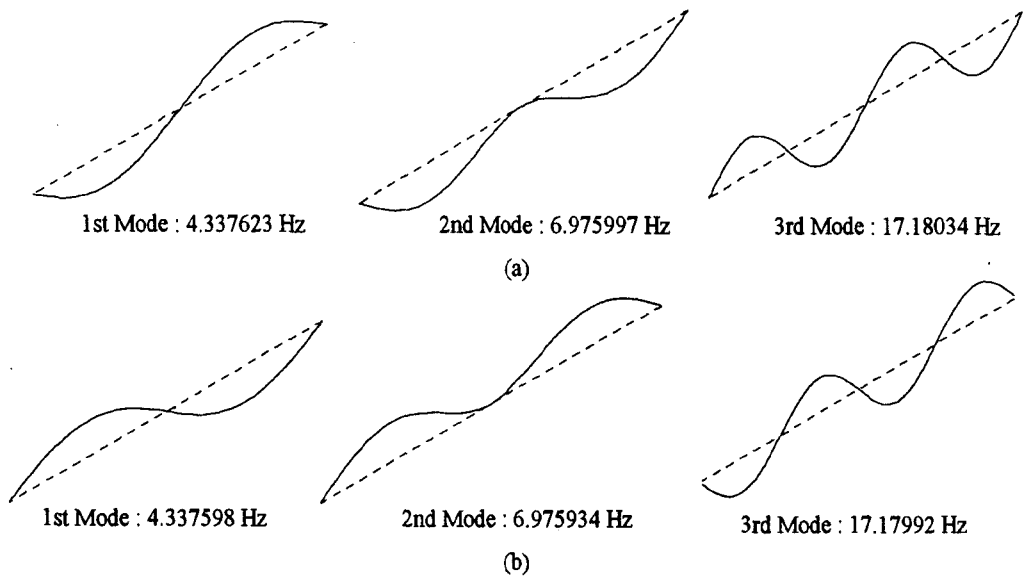


그림 3. 대상교량의 모드형상 (a) 자유 이동단 (b) 탄성받침 이동단

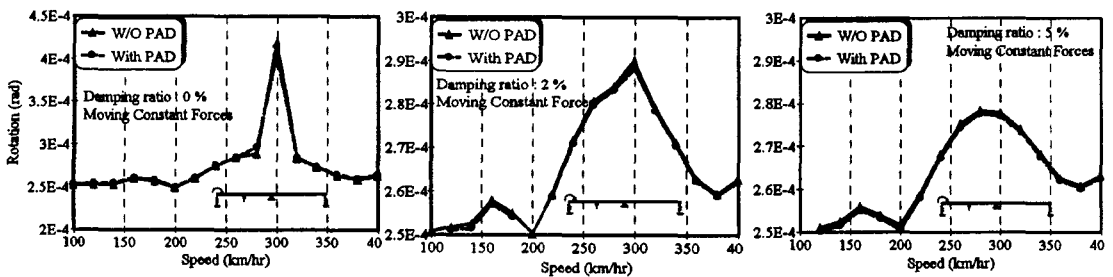


그림 4. 동적 단부회전각(진입부) 응답에 미치는 탄성받침의 영향

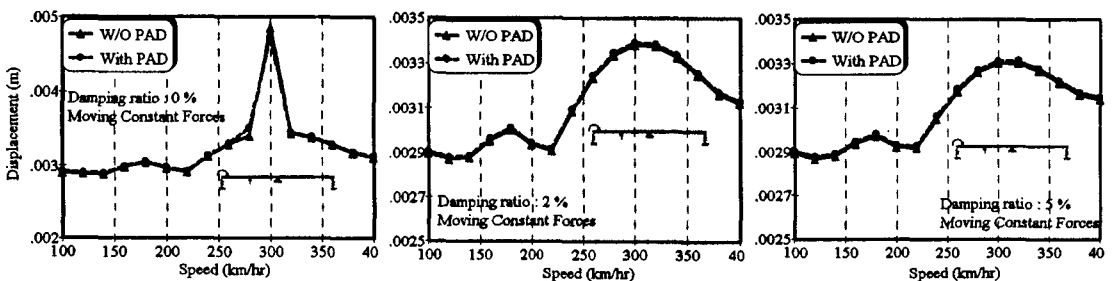


그림 5. 동적 변위응답에 미치는 탄성받침의 영향 (첫 경간 중앙부)

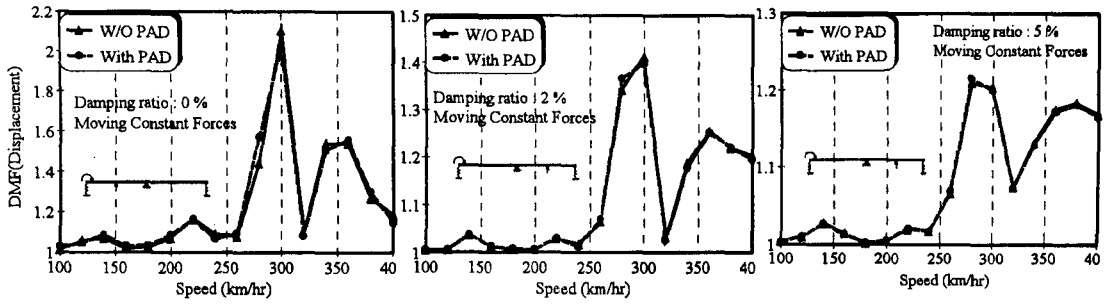


그림 6. 변위 동적 확대계수에 미치는 탄성받침의 영향 (두 번째 경간 중앙부)

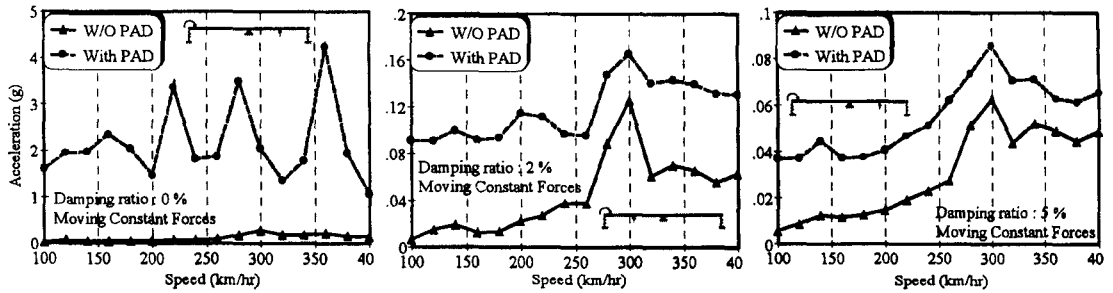


그림 7. 수직 가속도응답에 미치는 탄성받침의 영향(두 번째 경간 중앙부)

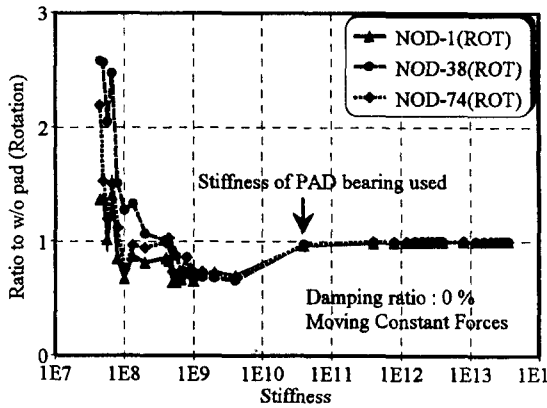


그림 8. 탄성받침의 강성에 따른 단부회전각 응답의 비교

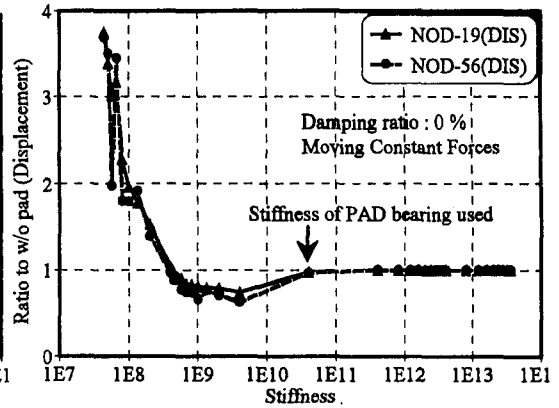


그림 9. 탄성받침의 강성에 따른 변위 응답의 비교

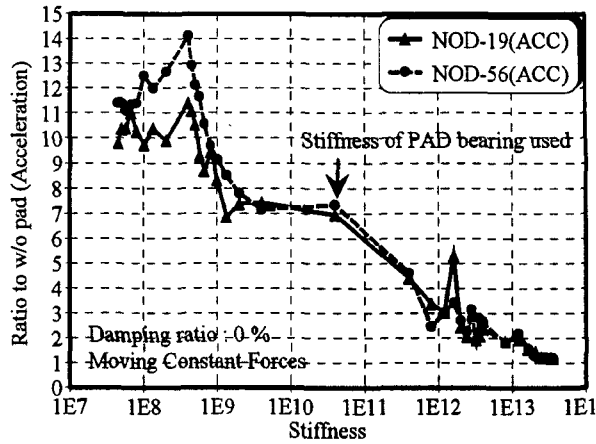


그림 10. 탄성받침의 강성에 따른 경간 중앙부 수직 가속도응답의 비교

4. 교량 감쇠의 영향

구조물의 감쇠는 동적 거동에 가장 중요한 변수로서 특히 공진 문제가 발생하는 경우에는 그 응답에 미치는 영향이 절대적이라 할 수 있다. 이동하중에 의한 교량의 공진 문제를 다루는 경우에 실제적인 감쇠는 구조물에 따라 다르고 그 값은 실험에 의하여 구할 수가 있다. 고속전철의 경우에 도상이 존재하고 구조물의 동특성치가 일반교량과는 상이하므로 이러한 감쇠값에 관한 연구가 이루어 질 필요가 있다. 감쇠가 크면 구조물의 응답이 현저하게 줄다는 사실은 인지하고 있으나 그 경향성 파악이 필요하므로 본 연구에서는 감쇠의 영향에 관하여 검토하였다.

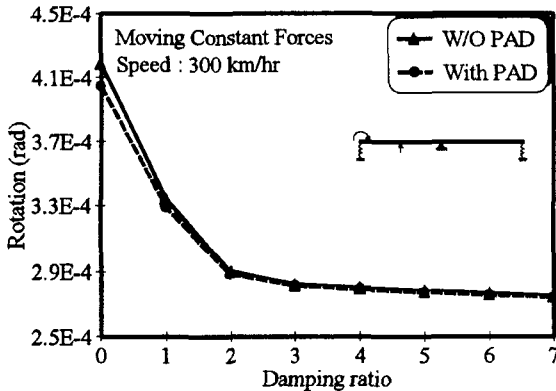


그림 11. 감쇠비가 교량의 단부 회전각 (진입부) 응답에 미치는 영향

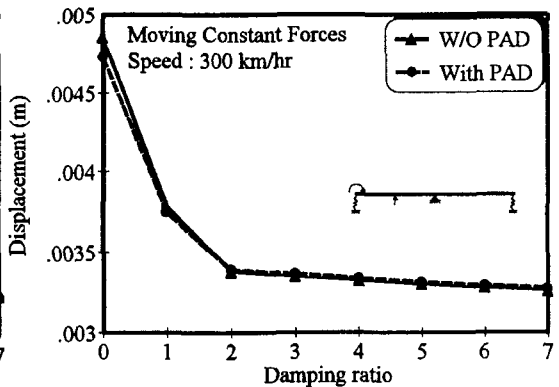


그림 12. 감쇠비가 교량의 변위(첫 번째 경간)응답에 미치는 영향

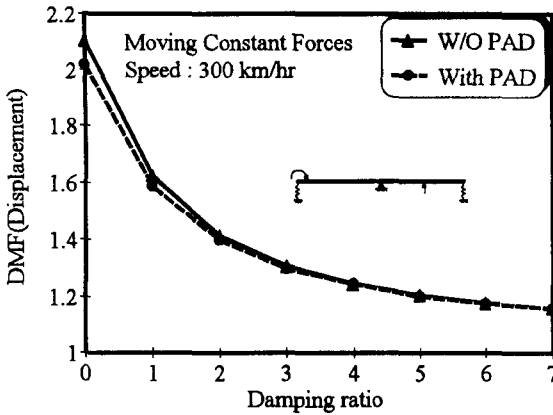


그림 13. 감쇠비가 교량의 변위 동적확대계수 (두 번째 경간)에 미치는 영향

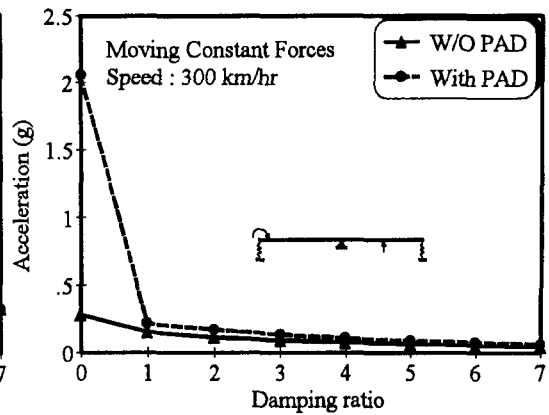


그림 14. 감쇠비가 교량의 경간 수직가속도 응답(두 번째 경간)에 미치는 영향

5. 결 론

탄성받침을 사용한 교량의 경우에 관한 이동하중해석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 탄성받침은 교량의 변위와 단부 회전각 응답에는 큰 영향이 없으며 임계속도에서의 응답을 다소 완화시킨다.
 - (2) 탄성받침을 사용한 교량의 수직방향 가속도는 그렇지 않은 경우보다 큰 응답을 보인다. 따라서, 설계규정 중에서 가속도응답에 민감한 구조로된 교량의 경우에는 탄성받침을 사용하는 경우 엄밀한 검토가 요구된다.
 - (3) 탄성받침의 강성에 따른 응답의 변화를 살펴본 결과 현재 사용되는 탄성받침의 강성을 사용한 교량의 회전각과 변위는 이보다 강성이 큰 경우에 근접된 응답을 보인다.
 - (4) 탄성받침의 강성이 증가할수록 가속도 응답은 감소한다.
 - (5) 탄성받침의 강성이 부족한 경우에 변위와 회전각의 응답이 매우 증가될 수 있다.
- 구조물 감쇠에 따른 교량의 동적 응답을 살펴본 결과 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

- (1) 교량의 감쇠증가에 따라 응답은 빠르게 감소되어간다.
- (2) 감쇠가 1%이하인 경우에 탄성받침이 사용된 교량의 가속도는 매우 민감하게 반응한다. 따라서 강교량과 같이 감쇠가 적은 교량에 탄성받침을 사용할 때는 자세한 검토가 요구된다.

이상과 같이 교량의 동적 응답에 탄성받침과 감쇠가 미치는 영향을 살펴볼 때 탄성받침을 사용하는 경우에는 가속도 응답이 영향을 많이 받으며, 특히 강교량과 같이 감쇠가 적은 교량의 경우에는 주의가 요구된다.

6. 참고 문헌

1. 광종원(1997), "차량의 제동을 고려한 교량의 동적거동", 박사학위논문, 서울대학교.
2. 장승필 등(1994), "경부고속철도 교량 및 고가구조물의 동적거동특성에 대한 안정성 검토보고서의 분석 검토 및 자문", 서울대학교 공학연구소.
3. 장승필, 광종원(1995), "제동하중에 의한 강교량의 동적거동 연구", 서울대학교 토목공학과.
4. 장승필 등(1997), "고속철도 강교량의 동적응답", 최종보고서, 서울대학교 에너지자원 신기술 연구소.
5. 김병석 등(1998), "고속전철 교량기술 개발(2차년도 연구보고서)", 한국건설기술연구원.