

고속철도 교량의 진동문제와 해결 방안

Vibration Problem and Solution on the Bridge for High-speed Train

곽종원* 조정래** 진원중*** 최은석**** 김병석*****

Kwark, Jong Won Cho, Jung Rae Chin, Won Jong Choi, Eun Suk Kim, Byung Suk

ABSTRACT

경부고속철도 교량은 대부분 콘크리트교량으로 2@40m와 3@25m의 박스거더교량의 대표적인 형식이다. 일부구간에서 단경간 또는 2경간 연속 50 m 2주형을 갖는 강합성교량이 건설되었다. 운행하는 차륜이 반복해서 통과하는 철도교량은 주기적인 동적하중에 의하여 공진이 발생할 수 있으며, 특히 고속전철이 통과하는 교량은 저속차량이 통과하는 일반철도보다 공진의 발생가능성이 클 뿐 아니라 고속으로 주행하는 열차의 주행안정성 확보를 위해서 엄격한 제한조건을 만족시켜야 하는 엄밀한 동적설계 조건을 갖게 된다. 그러한 조건 중에서 가속도의 제한 규정은 UIC에서 제안된 기준치로서 도상을 갖는 경우에 0.35g이하를 만족시키도록 요구하고 있다. 현재 KTX가 주행하는 교량에서는 일부구간 및 시점에서 규정치를 초과하는 값을 보이고 있는 것으로 계측되었으며, 그 원인 및 대책마련을 위한 연구를 수행하고 있다. 본 연구에서는 그러한 과도한 가속도의 원인 규명을 위한 각종 매개변수 연구와 그 해결책 마련을 위한 연구를 수행하였으며, 경제적이면서도 효과적인 진동저감 방안을 제시하고 있다.

1. 서론

2002년부터 실시된 KTX의 시험주행에 의한 교량의 동적응답 계측을 위한 현장실험을 통해서 PSC 단일 박스거더 교량의 과도한 가속도 응답 발생이 발견되었다. 상용운전 이전이므로 열차의 하중에 변화가 없는 상황에서 측정 시점에 따라 그러한 현상이 나타남이 밝혀졌고, 이에 장기간에 걸친 현장 계측을 수행하게 되었다. 그러한 장기계측을 통해서 기온이 내려가는 동절기에 과도한 가속도가 발생함을 알 수 있었다. 그림 1은 장기계측을 통해서 얻어진 시험대상교량인 연제교(2@40m PSC BOX 거더교)의 가속도응답 최대값을 실험시점에 따라 도시하고 있다.

한편, 수직 진동가속도 제한치인 0.35g를 상회하는 과도한 가속도가 기온이 일상적인 기온에서도 제한치를 초과하지는 않지만, 이에 근접하는 매우 큰 가속도 응답이 측정되었다. 이러한 큰 가속도 발생의 원인으로는 편마모와 같은 차륜 상태, 레일의 상태, 침목과 도상 사이의 접촉 조건, 도상의 유지관리 상태 그리고 교량의 형식 등이 있다고 볼 수 있다. 이러한 원인의 대부분은 교량과는 상관없는 도상과 차륜의 상태에 따른 조건이다. 또한, 침목과 도상 사이가 완전한 밀착이 이루어지지 않아서 차륜이 침목위를 통과할 때 교량에 충격으로 작용하는 부분과 등간격으로 연속 배치된 침목간격과 지나가는 차륜의 속도가 교량의 가속도 응답에 영향을 미치는 원인이 될 수 있다. 본 연구에서 대상으로 하는 연제교의 경우, 단면이 매우 큰 단일 박스거더 교량이므로 국부진동이 예상되었다. 현장 계측 시스템을 이용한 실험을 통해서 이러한 국부진동의 영향을 확인할 수 있었으며, 그림 2 는 이를 보여주고 있다.

* 정회원 · 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원 · 공학박사 E-mail: origilon@kict.re.kr 031) 910-0575

** 정회원 · 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원 · 박사과정 E-mail: jykang@kict.re.kr

*** 정회원 · 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원 · 공학석사 E-mail: wjchin@kict.re.kr

**** 정회원 · 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원 · 박사과정 E-mail: eschoi@kict.re.kr

***** 정회원 · 한국건설기술연구원 기획조정실장 연구위원 · 공학박사 E-mail: bskim@kict.re.kr

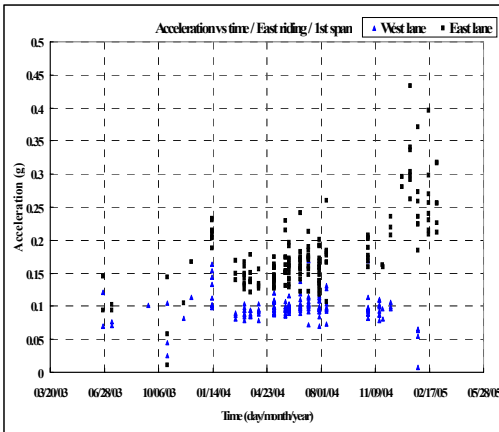


그림 1. 시기별 최대가속도 응답

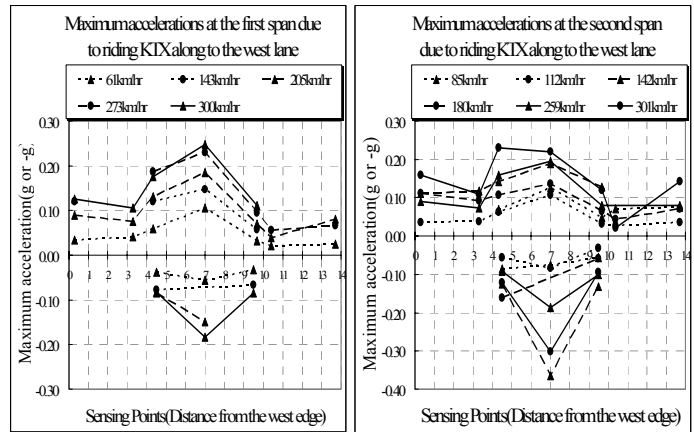


그림 2. 주행속도별 최대가속도 응답 분포

0.35g를 초과할 경우에 자갈도상의 체결력이 저하되므로 열차의 주행안전성을 확보하기 위해서는 국부 진동저감장치의 개발이 필요하다. 이에 선행연구를 통하여 밝혀진 국부 진동저감장치의 진동저감효과를 실제교량에서 파악하고자 계측실험을 수행하였다. 시험대상교량에서의 고속철도 주행실험을 통하여 교량의 진동을 저감 할 수 있는 방안을 제시하고자 한다. 또한 교량받침이 교량에 미치는 영향 및 매스포 설을 고려한 이동하중해석을 수행하여 진동저감방안을 고려해보았다.

2. 고속철도 교량 국부진동 저감장치 적용성 평가

2.1 고속철도 교량 계측 가속도응답

대상교량은 연체교 구간을 선정하였으며, KTX의 주행속도는 약 300km/hr 정도로 나타나고 있다. 대상 교량에서 발생하는 진동량을 저감하기 위하여 다양한 진동 저감장치를 설치한 후에 측정하여 교량의 진동 저감 대책을 위한 방안 및 기초 데이터를 확보하고자 하였다. 그림 3 ~ 그림 5 는 진동저감장치 설치개념도와 설치장면이다. 그림 6 은 오리피스댐퍼의 내부구성도이다. 표 1은 진동저감장치의 종류와 특성을 나타내고 있다.

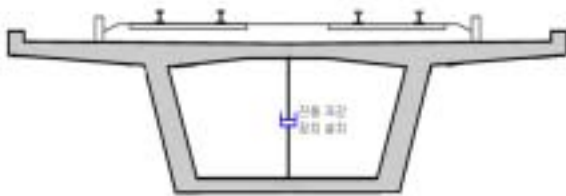


그림 3 교량 내부 진동저감장치 설치개념도

표 1 진동저감장치 구분 단위:mm

순번	진동저감장치 종류	구분
1	오리피스 댐퍼	φ.5 x 400L
2		φ1 x 400L
3		φ1.5 x 400L
4		φ x 400L
5	제진용 환봉	210 x φ100
6	제진용 턴버클	1 1/2" x φ100
7	우레탄 러버	64.5mm
8		29mm
9	일반 방진 러버	40mm

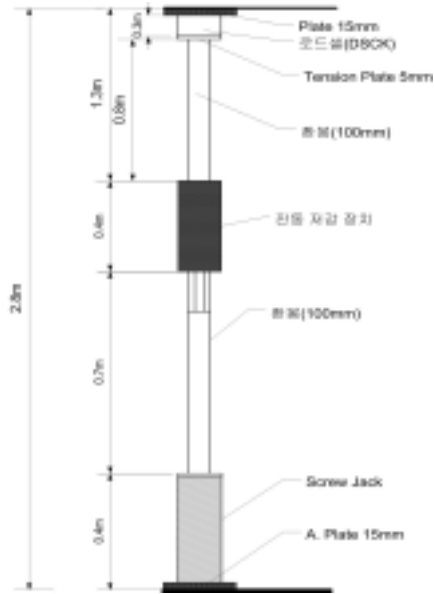


그림 4 장치설치 개념도



그림 5 설치 장면

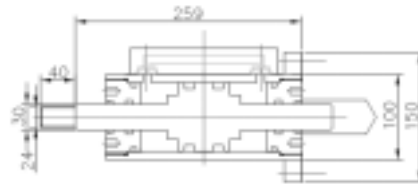


그림 6 오리피스 댐퍼

2.2 국부 진동저감장치 설치 및 계측방법

국부 진동저감장치 개발과 현장 계측실험은 산업기술시험원 김상헌박사팀과 공동으로 수행하였고, 연체교 교량 중앙 단면부에 가속도계 10개를 설치하여 KTX 통과시의 가속도값을 측정하였다. 그림 7 ~ 그림 10 은 진동저감장치 설치장면을 보여주고 있다.



그림 7 환봉(강절)



그림 8 $\Phi 2\text{mm}$ 댐퍼



그림 9 우레탄 러버



그림 10 방진 러버

2.3 단면 중앙부 가속도 계측결과

그림 11 ~ 그림 12 에 KTX열차 상행, 하행시의 단면중앙부 가속도 측정결과를 정리하였다. 표 2 는 가속도 저감율을 나타낸다. 그림 13 ~ 그림 14 는 저감장치에 작용하는 하중과 박스내부 상대변위를 나타낸다.

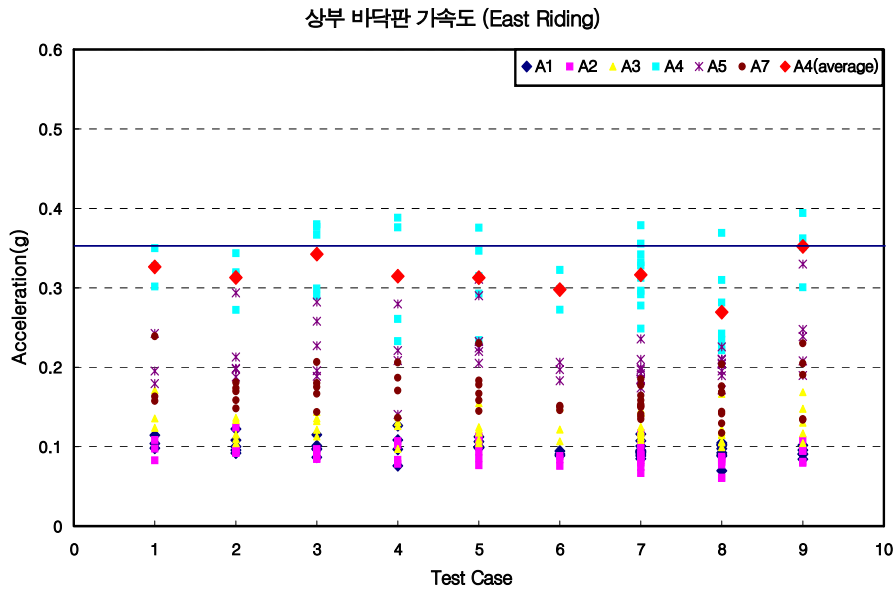


그림 11 단면중앙부 가속도측정(하행)

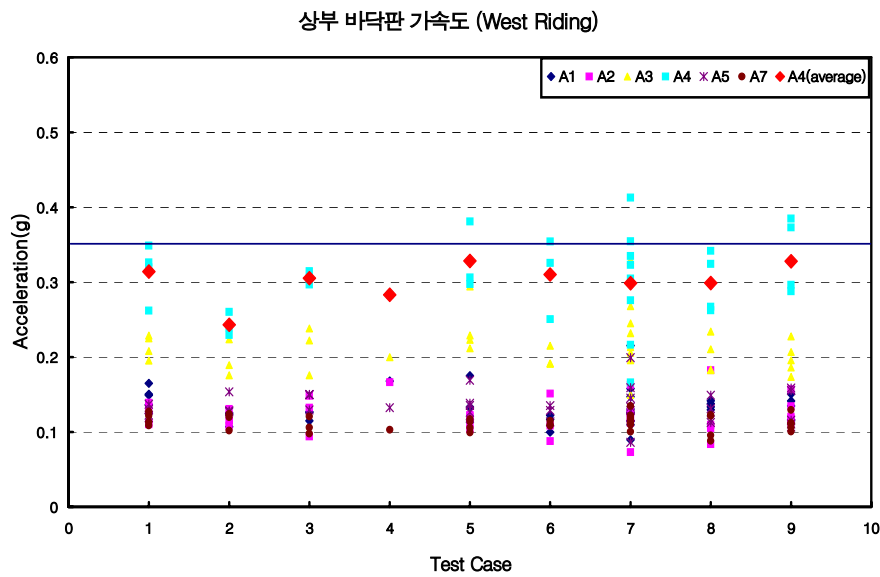


그림 12 단면중앙부 가속도측정(상행)

표 2. 단면중앙부 가속도 저감율

case	두번째경간(west Riding)	첫번째경간(East Riding)
1 (오리피스 댐퍼 $\Phi 0.5$)	4.17 %	7.32 %
2 (오리피스 댐퍼 $\Phi 1.0$)	25.85 %	11.12 %
3 (오리피스 댐퍼 $\Phi 1.5$)	6.88 %	2.72 %
4 (오리피스 댐퍼 $\Phi 2.0$)	13.65 %	10.68 %
5 (틴버클)	-0.12 %	11.16 %
6 (환봉-강절)	5.39 %	15.43 %
7 (우레탄 러버)	8.91 %	10.15 %
8 (일반 방진 러버)	8.81 %	23.53 %

Loadcell : pier42-43 center in box / east riding / KTX
/ Yeonje Brdg(PSC box girder) / 10 JUN 2006

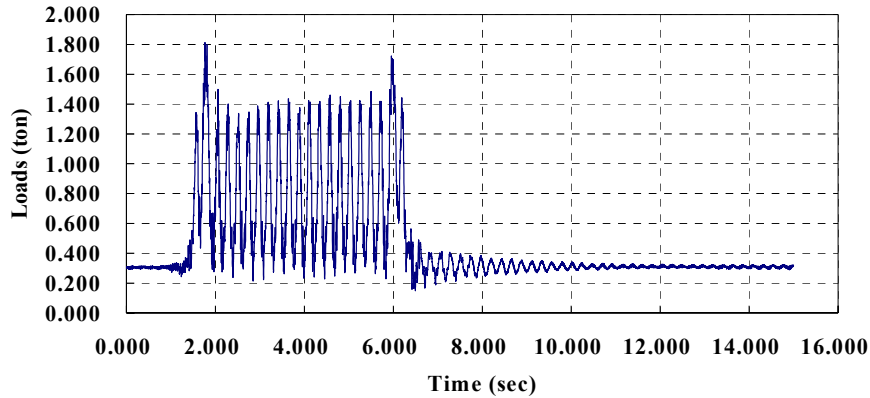


그림 13 저감장치 작용력

DT11 : pier42-43 center in Box / east riding / SN# 243590(ou-30mm)
/ KTX / Yeonje Brdg(PSC box girder) / 10 JUN 2006

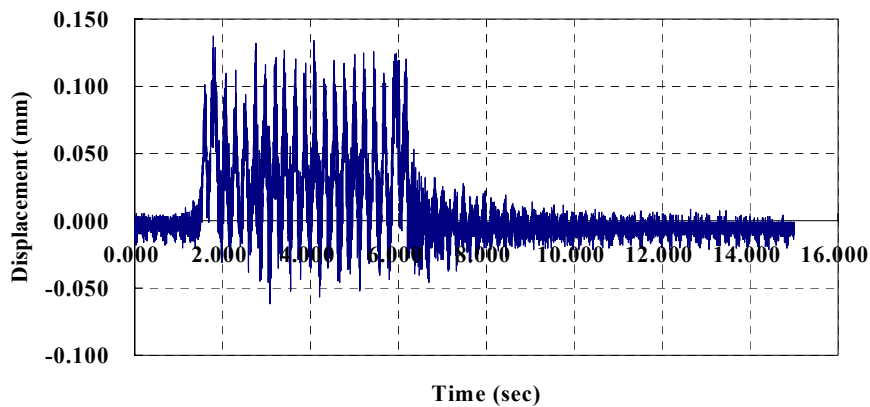


그림 14 박스내부 상대변위

3. 고속철도 교량 받침과 Mass의 영향을 고려한 이동하중해석 결과

한국건설기술연구원에서 개발한 유한요소해석 프로그램을 이용하여 지지조건에 따른 이동하중해석을 수행하였다. 2@40m교량의 중앙고정점의 지지조건을 매개변수로 하여 3차원 4절점 shell요소를 사용하여 해석하고 진동가속도 결과를 비교, 분석하였다. 대상교량인 연제교의 경우 고정단 교량받침에 탄성패드받침이 설치되어 있다. 고정단의 지지조건을 고정, 포트받침, 탄성패드, 교량 경간 중앙부 단면내부에 종방향 양쪽으로 20m구간의 면적에 400kg/cm²강도 콘크리트를 두께 25cm 포설, 두께 50cm 포설, 즉 Mass의 영향을 고려한 경우로 나누어서 해석을 수행하였다. 이동하중 해석결과, West 캔틸레버부와 단면중앙부의 가속도 저감율은 표 3 에 나타내었고, 단면중앙부의 가속도결과를 그림 15 에 정리하였다.

표 1. 지지조건에 따른 이동하중해석결과

CASE	West 캔틸레버부 가속도저감율	단면중양부 가속도저감율	비고
FIX	53.29 %	50.37 %	
POT	31.77 %	40.21 %	
SP	-	-	연제교(시험대상교량)
SP-T25	11.34 %	8.52 %	
SP-T50	14.30 %	11.85 %	

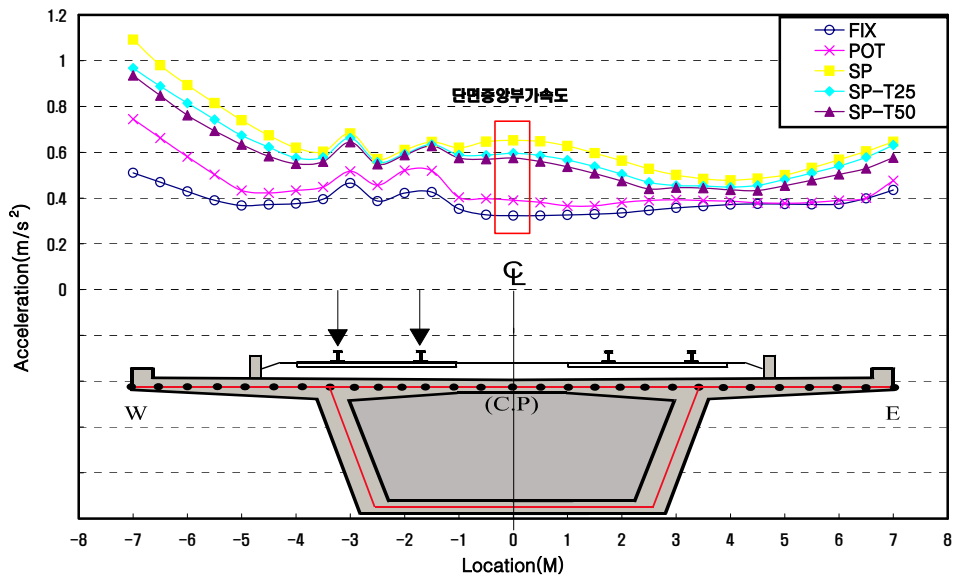


그림 15. 이동하중해석을 통한 단면중양부 가속도 결과(받침과 Mass 영향고려)

3. 결론

실험결과를 분석해보면 진동저감장치의 종류와 특성에 따라 저감량의 차이가 나타나는 결론을 얻었으나, 최적의 방안이 도출되지는 않았다. 또한 교량받침이 고속철도 교량 진동에 미치는 영향 및 Mass를 고려한 이동하중해석을 수행하여 진동저감방안을 제시해 보았다. 향후 보다 다양하고 상세한 진동해석과 추가적인 실험 연구를 통해 면밀한 진동 저감대책 수립 및 동적거동 검토가 요구된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 국가 R&D과제인 고속철도 선로구축물 시스템안정화 기술개발(4차년도) 연구 결과의 일부이며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 한국건설기술연구원(2005), 고속철도 선로구축물 시스템안정화 기술개발 3차년도보고서, 건설교통부