

철도교량의 동적 거동에 대한 레일이음매의 영향

Field Test : Effects of a Rail Joint on the Dynamic Behavior of Railway Bridge

김현민* 오지택** 황원섭*** 조은상****
Kim, Hyun-Min Oh, Ji-Taek Hwang, Won-Sub Cho, Eun-Sang

ABSTRACT

Field tests were conducted to investigate effects of a rail joint on the dynamic behavior of railway bridge. A four-span simply supported plate girder bridge which has a rail joint on the third span was selected for tests. At the operating train loading, the induced vibration of the first and third span has been examined. The dynamic magnification ratio was used for quantitative analysis of impact effects caused by rail joint. The result of tests show that dynamic behavior of railway bridge picked up considerably due to a rail joint.

1. 서 론

철도교량의 약 47%를 차지하는 판형교는 도상이 없이 거더에 침목이 직결되는 구조로 주행 하중이 교량에 직접적으로 전달되어 충격에 취약한 특징을 가지고 있다. 따라서 타 형식에 비해 진동가속도가 크게 발생하여 교량의 손상 촉진 및 승차감과 차량의 주행안정성을 저해하고 있다. 특히 판형교 구간에 설치된 레일이음매는 승차감을 저하시킬 뿐만 아니라 교량에 충격하중을 유발하여 교량의 동적응답을 증가시키고 주요 원인 중 하나로 지적되고 있으며 이에 따른 직, 간접적인 교량의 손상 사례가 보고되고 있다. 이에 대한 해결방안의 하나로써 CWR관 관련된 연구가 활발하게 진행되고 있으나 아직도 많은 교량 구간에 레일이음매가 설치되어 있는 것이 현실이다. 이에 본 논문은 판형교를 대상으로 레일이음매가 있는 경간과 레일이음매가 없는 일반 경간에서 발생하는 진동가속도를 측정, 비교하여 레일이음매가 교량의 동적거동에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다. 각 대상 경간의 중앙에 진동가속도계를 설치하여 실 운행열차하중에 의해 발생하는 수직, 수평진동가속도를 계측하였으며 운행열차하중과 속도대역별로 동적 응답 증가율을 비교하여 이음매로 인한 교량의 진동 증폭 효과를 평가하였다.

* 한국철도기술연구원 구조물동특성연구그룹 주임연구원, 정회원
** 한국철도기술연구원 구조물동특성연구그룹 선임연구원, 정회원
*** 인하대학교 토목공학과 부교수
**** 인하대학교 토목공학과 박사과정

2. 현장계측

레일이음매가 교량의 동적거동에 미치는 영향을 분석하기 위하여 동일 제원의 교량에 대해 레일이음매가 설치된 경간과 일반 경간의 수직, 수평 진동가속도를 측정하였다. 측정 대상 교량은 경부선에 위치한 설계하중 LS-22의 12m형 판형교로 4경간 단순보이며 레일이음매는 3경간의 진입부 지점으로부터 1.8m에 설치되어 있다. 센서는 그림1과 같이 각 경간 중앙의 좌측 거더 하부에 부착하였다. 원칙적으로 시험열차의 속도대역별 계측을 수행하여야 하지만 현장여건상 운행열차에 대한 가속도를 계측하였다. 운행열차는 차량 편성에 따라 다양하게 분류될 수 있으나 본 실험에서는 교량의 동적거동에 지배적으로 작용되는 기관차 및 동력차를 기준으로 4가지 Type으로 분류하였으며 각 열차유형별 측정횟수 및 속도대역은 도표1과 같다. 그림2와 그림3은 각 경간에서 측정된 디젤 1량 견인열차에 의한 수직진동가속도와 수평진동가속도의 시간이력의 일례를 나타낸 것으로 레일이음매가 설치된 교량의 수직, 수평가속도가 상당히 크게 발생하는 것을 알 수 있다.

도표 1. 운행열차하중별 측정횟수 및 속도대역

차종	측정횟수	속도대역(km/hr)
디젤 1량 견인	46	19.1 ~ 123.9
디젤 2량 견인	11	66.0 ~ 128.4
새마을 PMC 8량 편성	7	127.0 ~ 136.9
새마을 PMC 16량 편성	11	123.4 ~ 133.7

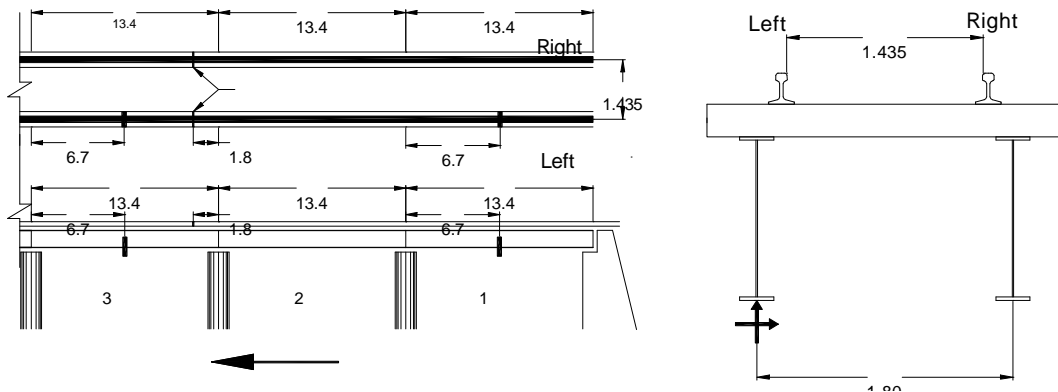


그림1. 레일이음매 및 센서 부착위치

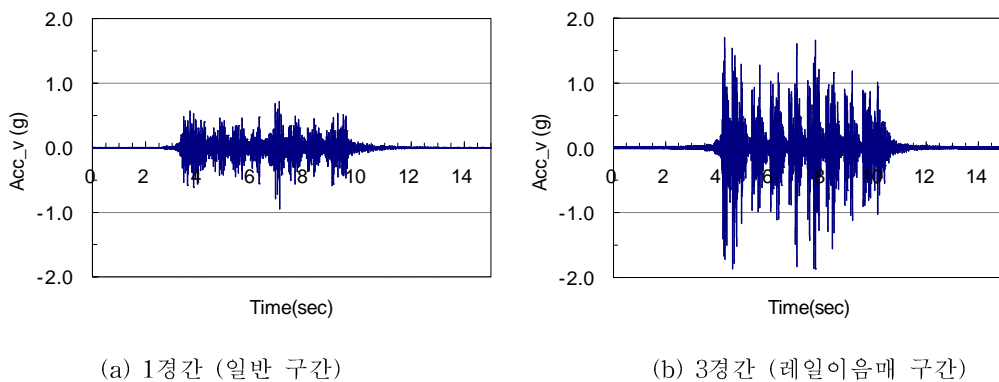
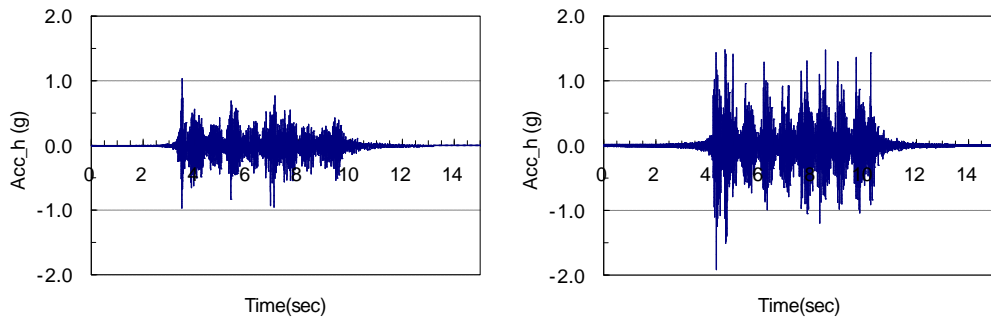


그림2. 각 경간별 수직진동가속도 시간이력



(a) 1경간 (일반 구간)

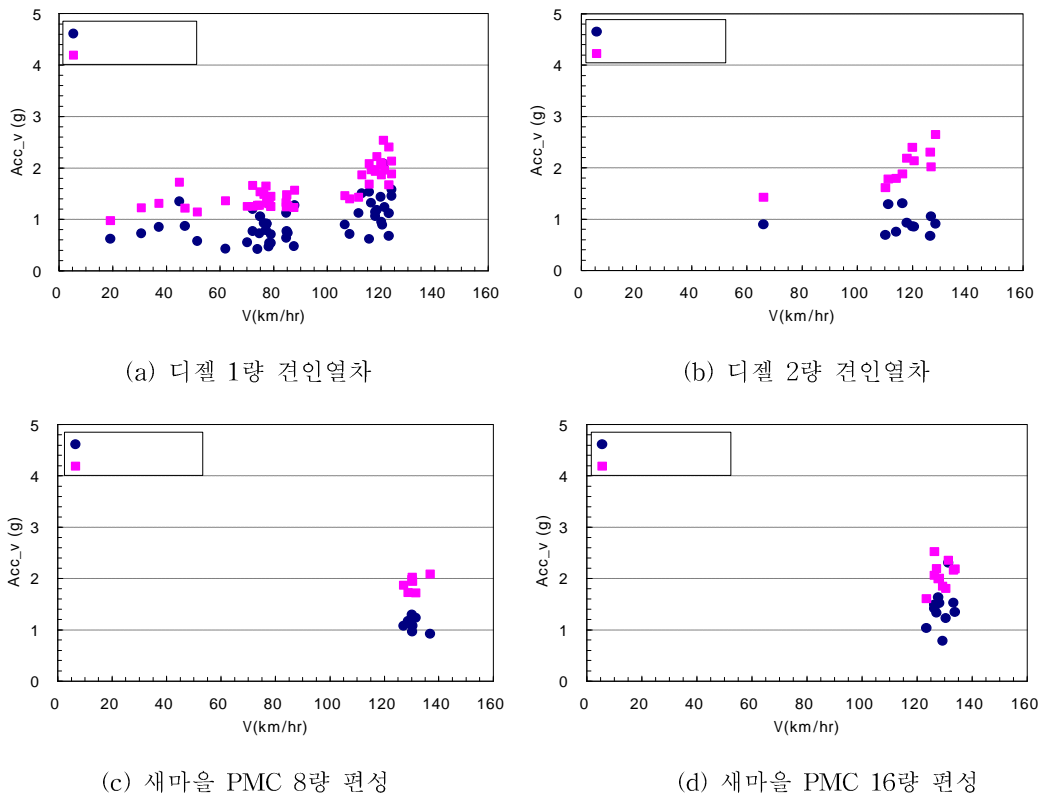
(b) 3경간 (레일이음매 구간)

그림3. 각 경간별 수평진동가속도 시간이력

3. 계측결과 분석

3.1 최대가속도 분석

각 경간에서 계측된 속도별 최대 수직진동가속도와 최대 수평진동가속도를 열차유형별로 분류하여 그림4와 그림5에 나타내었다. 결과로부터 모든 열차유형과 속도대역에 걸쳐 레일이음매 구간에서 발생하는 수직, 수평진동가속도가 일반 구간에 비해 상당히 큰 것을 알 수 있다. 타 형식 교량에 비해 높은 수준의 가속도가 발생하는 문제점을 안고 있는 판형교 시스템에서 레일이음매의 설치는 이러한 문제점을 가중시키는 요소이므로 판형교 시스템의 진동저감 방안에 대한 연구와 더불어 교량상 레일이음매 부분에 대한 여러 가지 보완책의 제시가 시급한 것으로 판단된다.



(a) 디젤 1량 견인열차

(b) 디젤 2량 견인열차

(c) 새마을 PMC 8량 편성

(d) 새마을 PMC 16량 편성

그림4. 열차유형에 따른 각 구간별 최대 수직진동가속도

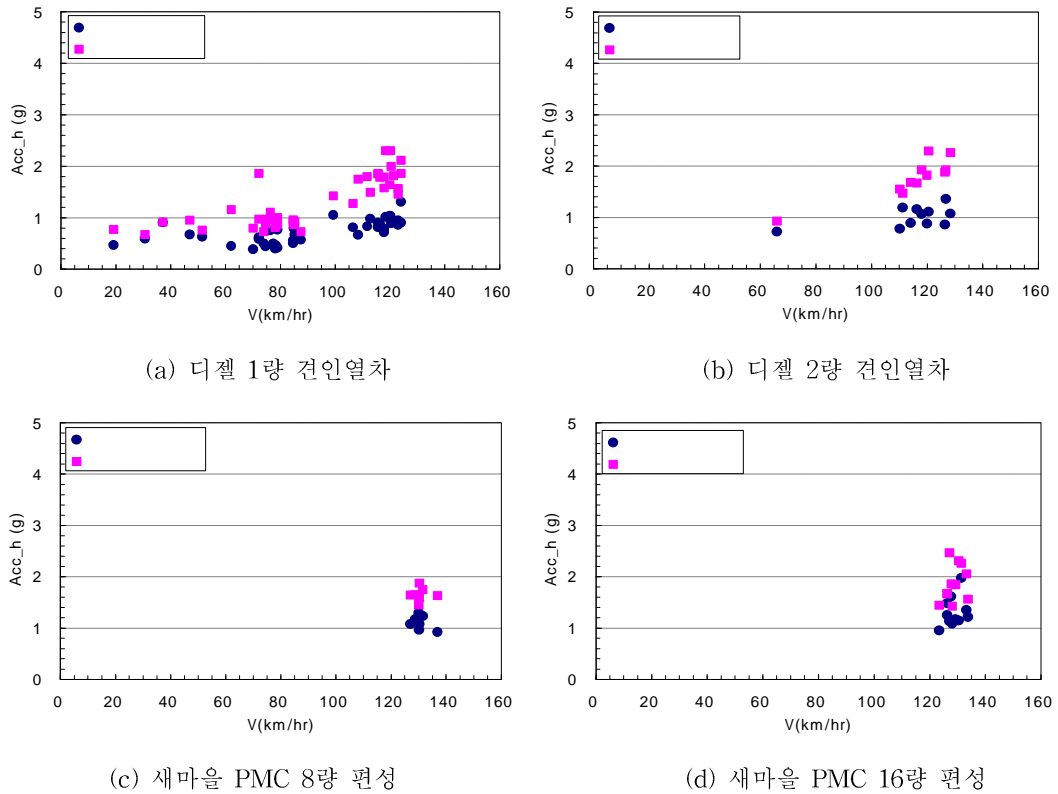


그림5. 열차유형에 따른 각 구간별 최대 수평진동가속도

3.2 동적 응답 증가율

레일이음매가 교량의 동적 거동에 미치는 영향을 정량적으로 분석하기 위한 지표로써 동적 응답 증가율 (D_{ij})를 식(1)과 같이 정의하였다. 이것은 일반 구간의 최대 진동가속도에 대한 레일이음매 구간에서의 최대 진동가속도의 증가율로써 열차종류와 주행속도에 따른 동적 응답 증폭 현상을 분석하는데 있어 간단하게 적용될 수 있다.

$$D_{ij} = \frac{(Acc_{ij} - Acc_g)}{Acc_g} \times 100 \quad (\%) \quad \text{식(1)}$$

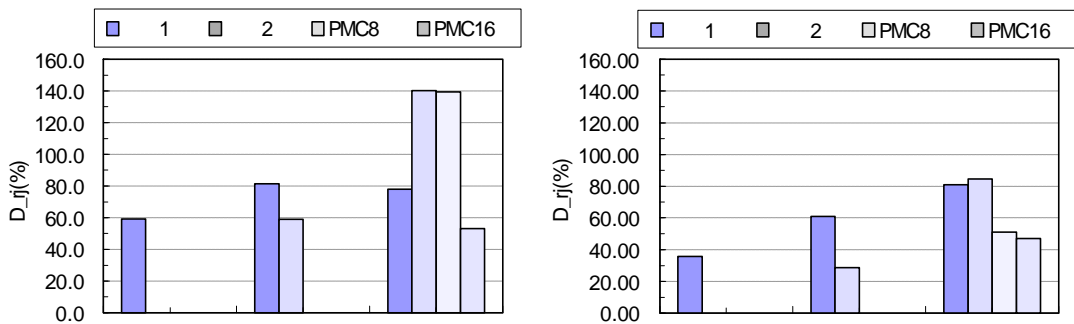
여기서, Acc_g : 일반 구간의 최대진동가속도

Acc_{ij} : 레일이음매 설치 구간의 최대진동가속도

식(1)로부터 산출된 동적 응답 증가율의 평균값과 최대값을 열차유형별로 분류하여 도표2에 표시하였다. 수직진동가속도에 대한 동적 응답 증가율은 열차유형에 따라 평균 53~139%, 최대 255%까지 발생하였으며 수평가속도는 평균 47.0~81.1%, 최대 201.7%까지 발생되었다. 또한 저속(0~40km/hr), 중속(40~80km/hr), 고속(80km/hr~)의 3가지 속도대역으로 분류하여 동적 응답 증가에 대한 주행속도의 영향을 정성적으로 분석하였다. 그림6과 같이 디젤 1량과 디젤 2량 견인열차의 경우 속도증가에 따라 동적 응답 증가율이 상승하는 경향을 나타내고 있다. 여기서 새마을 PMC열차는 디젤기관차보다 축중이 작음에도 불구하고 높은 증가율을 나타내고 있는데 이것은 130km/hr이상의 고속 주행 때문인 것으로 분석된다. 이 결과는 실 운행하중 환경에 따른 외부적인 원인이 포함되어 있을 수 있으므로 시험열차의 증속을 통해 보다 정확하게 검토되어야 한다.

도표 2. 열차유형별 동적응답증가율

	D_{ij} : 동적응답증가율 (%)			
	수직진동가속도		수평진동가속도	
	Avg.	Max.	Avg.	Max.
디젤 1량 견인	84.5	255.4	81.1	201.7
디젤 2량 견인	134.4	242.3	82.5	118.0
새마을 PMC 8량	139.5	246.8	52.0	77.4
새마을 PMC 16량	53.0	137.0	47.0	117.4



(a) 수직진동가속도

(b) 수평진동가속도

그림6. 속도대역별 동적응답증가율

4. 손상부위 조사

관형교 시스템의 주요 손상 형태로는 브레이싱 및 수직보강재의 좌굴, 교좌부 파손, 수직 보강재의 용접부 파손을 들 수 있다. 특히 수직 보강재의 용접부에서 파손이 자주 발생되어 이에 대한 지속적인 보수를 하고 있는 실정이다. 레일이음매로 인해 유발되는 충격하중이 교량 손상에 미치는 영향을 평가하기 위하여 각 구간별 수직보강재의 용접부 파손부위를 조사하였다. 1경간의 경우 2개소, 3경간은 7개소의 파손 후 재 용접된 부위가 있는 것으로 관찰되어 레일이음매로 인한 충격 효과가 교량의 손상에 상당한 영향을 미치는 것으로 추측할 수 있다. 그러나 이 결과는 단일 교량에 대한 조사로써 보다 정확하게 교량 손상에 미치는 레일이음매의 영향을 분석하기 위해서는 레일이음매가 설치된 다수의 교량에 대한 광범위한 조사가 수행되어야 할 것으로 판단된다.



그림7. 수직보강재 용접부 파손

5. 결론

관형교를 대상으로 레일이음매가 설치된 경간과 일반 경간에서 발생하는 진동가속도를 측정, 비교하여 레일이음매가 교량의 동적거동에 미치는 영향을 검토하였다. 또한 정량적인 분석을 통해 주행열차 종류와 속도대역에 대한 응답증가율의 경향을 검토하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 교량의 동적거동에 끼치는 레일이음매의 영향을 정량적으로 평가하기 위하여 동적 응답 증가율(D_{ij})을 산출한 결과, 수직진동가속도의 경우 열차유형별로 평균 53~139%, 최대 137~255%, 수평가속도는 평균 47.0~81.1%, 최대 77.4~201.7%에 이르는 것으로 분석되었다.
- 2) 대상 교량의 각 경간별 손상부위를 조사한 결과 레일이음매가 없는 일반 경간의 경우 2개소, 레일이음매 있는 경간은 7개소의 수직보강재와 플렌지 상·하부간 용접부의 파손이 관찰되었으며 교량의 손상에 레일이음매의 충격효과가 크게 기여하는 것으로 판단된다.
- 3) 열차 승차감 향상 및 교량국부파손 방지를 위해 교량 상 레일이음매 설치 제한이 기준화 되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 철도청에서 지원한 철도기술개발과제의 일환으로 수행되었으며, 연구의 수행에 많은 도움을 주신 철도청 관계자 여러분께 감사의 마음을 전합니다.

참고문헌

1. 최진유, 오지택외(2002), “무도상 관형교의 동적 거동 특성 분석을 위한 실험적 연구”, 철도학회 추계학술대회 논문집, pp.678-683
2. 오지택외 (2003), “기존선 속도향상에 대비한 관형교의 동적안정성 향상기술개발”, KRRRI 연구보고서, pp.43-108