

무도상 판형교의 횡방향 동적거동특성 분석을 위한 실험적 연구

Field Test to Investigate Lateral Dynamic Characteristics of Steel Plate Girder Railway Bridge without Ballast

오지택* 김현민* 박옥정** 박 찬***
Oh, Ji-Taek Kim, Hyun-Min Park, Ok-Jung Park, Chan

ABSTRACT

Field measurements were conducted to analysis lateral dynamic characteristics of existing steel plate girder railway bridges without ballast. Three bridges which have 9m, 12m, 18m span length in Kyoung-Bu Line were selected for test. According to the each bridge, dynamic lateral deflections and accelerations were measured. From the present study, it was observed that dynamic lateral amplification phenomena caused by a fluctuation of lateral force were occurred under the current running circumstances. Lateral deflections were occurred below than that specified in Korean railway bridge specification, but lateral accelerations is a match for vertical accelerations. From now on, it is in need a plan to reduce lateral accelerations for the conventional railway Line speed up.

1. 서 론

기존선 교량의 46.8%를 차지하는 판형교는 도상이 없이 거더에 침목이 직결되는 구조로 차량의 주행하중이 교량에 직접 전달되어 하중 특성에 따라 동적응답이 민감하게 변화하는 특징이 있다. 또한 유도상 교량에 비해 교량에 가해지는 충격과 소음이 크고 다른 형식의 교량과 달리 수직진동과 수평진동이 거의 비슷한 크기로 발생하는 이상진동현상이 나타나고 있어 교량의 손상촉진 및 승차감과 차량의 주행안정성을 저해하고 있다. 진동가속도의 크기는 교량의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지는 않지만 가속도가 크게 발생하게 되면 장기적으로 피로손상의 문제가 발생할 수 있을 뿐만 아니라 차량의 주행안정성과 승차감에 영향을 미치게 된다. 특히 횡방향의 변위 및 진동가속도는 차량의 주행안정성과 밀접한 상관관계가 있어 차량과 구조물의 상호작용을 고려한 동적 안전성 검토를 수행하여야 할 필요성이 있다. 이에 본 연구에서는 판형교의 횡거동특성과 하중효과를 알아보기 위하여 현장계측을 수행하였다. 판형교중에서 가장 많은 비율을 차지하는 9m, 12m, 18m 교량을 대상으로 실 운행열차 주행에 따른 횡압분포특성, 횡변위, 횡가속도를 계측하여 이를 국내설계기준과 비교하였으며 속도변화에 따른 동적증폭효과를 분석하였다.

* 한국철도기술연구원 구조물동특성연구그룹, 정회원

** 한국철도기술연구원 시험시설건설팀, 정회원

*** (주)강원레일테크

2. 현장측정

현재 공용중인 판형교의 횡방향 동특성과 열차 운행하중의 교량 내 변동특성을 파악하기 위하여 9m, 12, 18m 교량에서 계측을 실시하였다. 열차의 거동특성을 분석하기 위해 지간 중앙부에서 수평 처짐 및 수평 진동가속도를 측정하였으며 12m 교량의 전후구간에 8개의 횡압계이저를 그림 1과 같이 설치하여 횡방향 거동의 주요 원인중 하나인 횡압의 변동특성을 측정하였다. 측정대상 교량의 일반현황은 도표 1과 같다. 열차하중은 실제 주행열차하중을 대상으로 9m교량 72회, 12m교량 70회, 18m교량 71회의 실험을 수행하였다. 그림 2~그림 7은 각 교량별로 디젤 1량 견인 열차 통과시 수평변위와 수평진동가속도의 시간이력의 예를 나타낸 것이다.

도표 1. 대상교량의 일반현황

구분	선로	역구간	상하	직곡	연장	설계하중	경간 및 런수
9m	경부선	남성현-청도	상	직	138.90	LS-22	9.00+18.30/6+9.00
12m	경부선	약목-왜관	상	직	52.75	LS-22	용접미터12.10×4
18m	경부선	김천-대신	하	직	277.00	LS-22	용18.30×12+미18.30×2

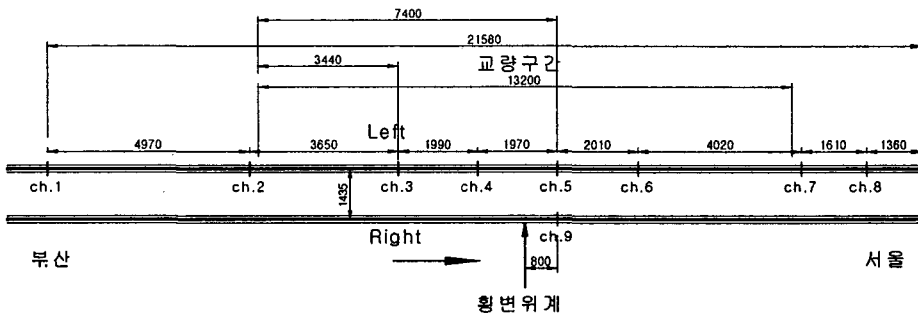


그림 1. 횡압변동 측정계이지 위치 (12m)

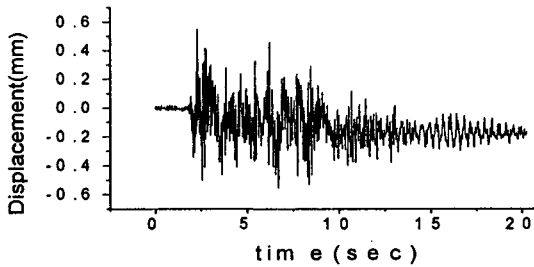


그림 2. 수평변위 (9m)

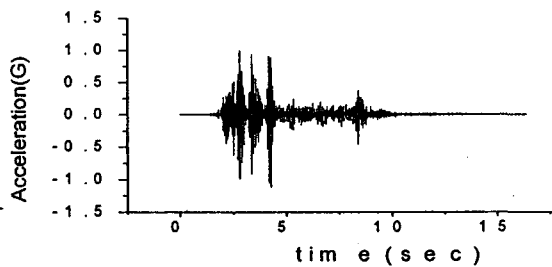


그림 3. 수평가속도 (50Hz Filtering -9m)

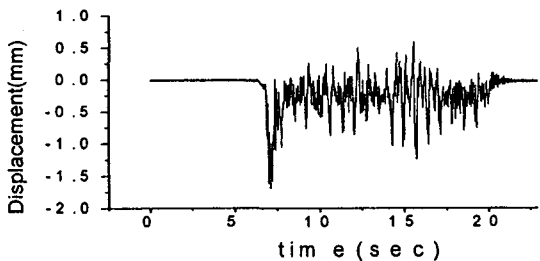


그림 4. 수평변위 (12m)

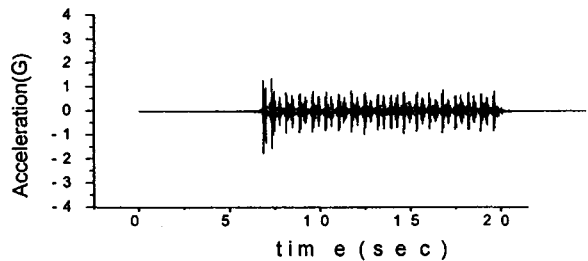


그림 5. 수평가속도 (50Hz Filtering -12m)

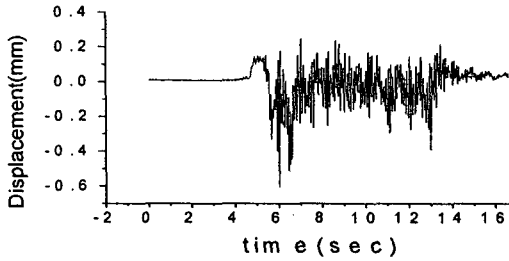


그림 6. 수평변위 (18m)

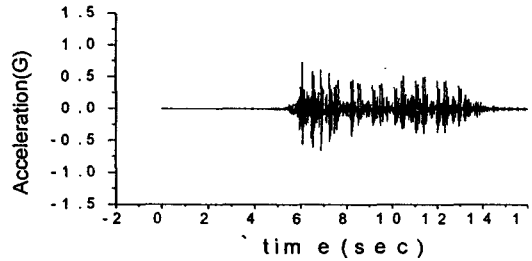


그림 7. 수평가속도 (50Hz Filtering -18m)

3. 계측결과 분석

본 절에서는 측정자료 결과를 분석하였다. 먼저 직선구간에서 실 주행열차의 횡압변동특성을 분석하였으며 열차유형과 속도에 따른 동적 수평변위 및 진동가속도의 응답을 검토하였다.

3.1 횡압변동특성 분석

직선교량에 재하되는 열차하중의 횡압은 차륜과 레일 담면의 기하학적 형상으로 인해 주기적으로 변동되는 특징이 있다. 이러한 열차하중의 횡방향 거동은 *Klingel Movement*⁽¹⁾ 이론으로부터 설명된 바 있다. 곡선부의 통과를 용이하게 하기 위하여 설치되어 있는 차륜의 담면 구배가 직선에서는 차륜과 레일사이의 접촉면에서의 차륜의 지름차이를 발생시켜 횡 이동 유간 (flangeway clearance)이 생기고 이에 의하여 접촉회전 반경의 차이가 발생하게 되어 횡방향 주기운동을 하게 된다. 그림 8과 9는 교축방향에 따라 측정된 횡압의 분포를 Case 별로 나타낸 것이다.

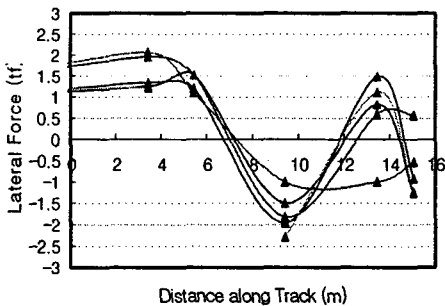


그림 8. 횡압분포 특성-Case1

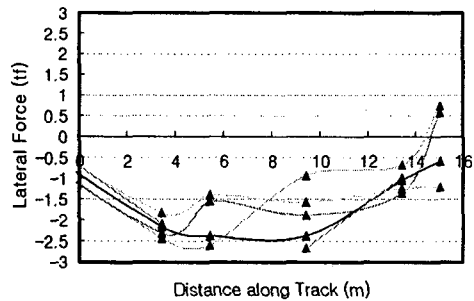


그림 9. 횡압분포 특성-Case2

3.2 동적 수평변위 분석

일반적으로 철도 교량의 경우 재하되는 하중에 대해 횡강성이 충분하기 때문에 횡방향 처짐에 관한 설계기준은 따로 정하고 있지 않다. 그러나 고속철도교량의 경우 필요한 경우 수직처짐의 1/2을 수평처짐의 한계값으로 정하고 있다. 본 절에서는 실 교량의 동적 최대 수평변위를 고속철도교량의 수평처짐 한계값 및 철도설계기준상의 차량 횡하중이 재하되었을 경우 유발되는 처짐의 수치해와 비교하여 도표 2에 나타내었다. 분석결과 설계하중(LS-22)에 의해 발생하는 정적 수평처짐보다 큰 동적 수평처짐이 발생하나 고속철도설계 기준상의 한계 처짐보다 훨씬 작아 구조물의 안전성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 또한 그림 10~12는 각 교량에서 계측한 속도에 따른 수평변위를 운행열차별로 구분하여 나타낸 것이다. 속도증가에 따른 동적증폭현상은 나타나지 않는 것으로 판단되며 이는 동적수직변위와 동일한 경향을 나타낸다.⁽²⁾ 따라서 현재 운행 속도 범위내에서의 동적 변위는 속도에 의해 크게 영향받지 않는 것으로 판단된다.

도표 2. 대상교량의 최대 수평 변위

구분	최대수평변위		LS22 (mm)	설계 기준 (mm)	설계 기준 대비(%)
	변위 (mm)	발생경우			
9m	1.35	디젤2량 무궁화 (85km/h)	0.29	5.63	23.97
12m	2.72	디젤1량 화물 (77km/h)	0.52	7.57	9.53
18m	0.78	디젤1량 무궁화 (88km/h)	0.74	11.44	5.06

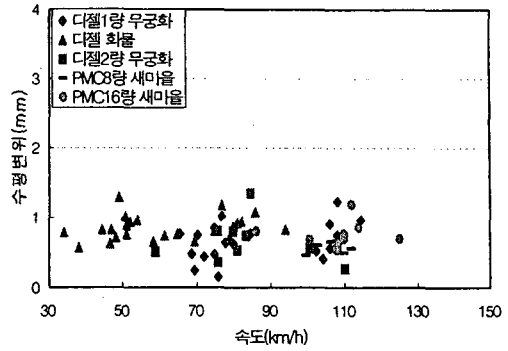


그림 10. 열차유형별 수평변위(9m)

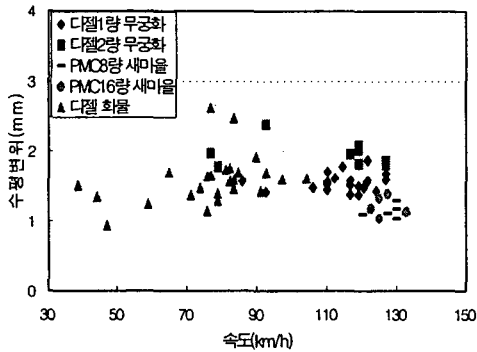


그림 11. 열차유형별 수평변위(12m)

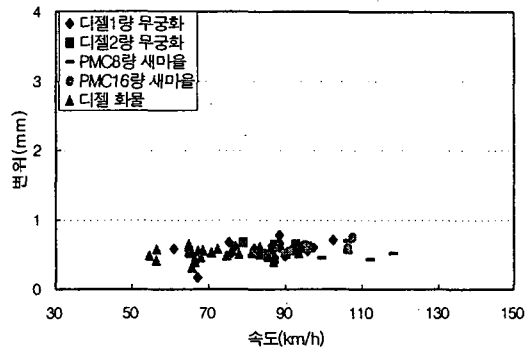


그림 12. 열차유형별 수평변위(18m)

3.3 진동가속도 분석

대상교량의 수직 및 수평진동가속도를 분석하였다. 진동가속도의 크기는 직접적으로 구조물 손상에 영향을 주는 요소는 아니지만 장기적인 피로손상이나 주행 안전성, 승차감 등에 영향을 준다. 도표 3은 계측대상 교량에서 최대 수직 및 수평진동가속도를 발생시키는 측정결과를 나타낸 것이다. 수직가속도에 대해 56~80% 달하는 수평가속도가 발생하는 것으로 나타나 타 형식 교량에 대해 상당히 큰 수평가속도가 발생됨을 알 수 있다. 또한 속도증가에 따른 동적증폭현상이 나타나 향후 증속에 대비한 진동저감대책이 필요할 것으로 판단된다.

도표 3. 최대 수직 및 수평 진동가속도

구분	수직가속도		수평가속도	
	가속도 (G)	발생경우	가속도 (G)	발생경우
9m	2.05	새마을PMC 16량 (125km/h)	1.15	디젤 화물 (79km/h)
12m	2.79	디젤2량 무궁화 (93km/h)	2.25	디젤1량 무궁화 (124km/h)
18m	1.12	디젤1량 무궁화 (82km/h)	1.07	디젤2량 무궁화 (95km/h)

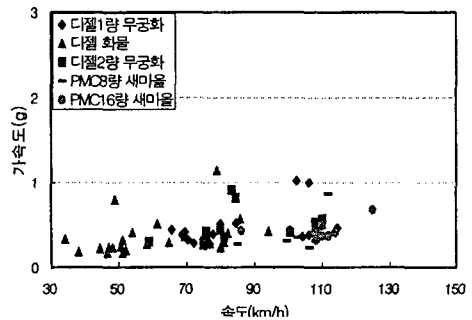


그림 13. 열차유형별 수평진동가속도(9m)

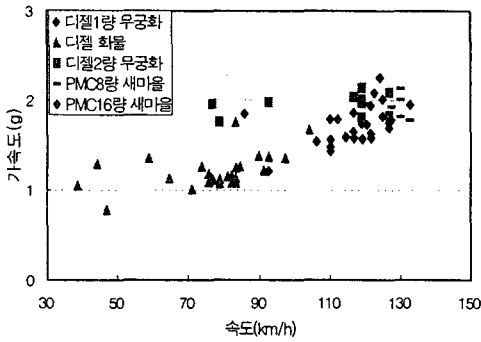


그림 14. 열차유형별 수평진동가속도(12m)

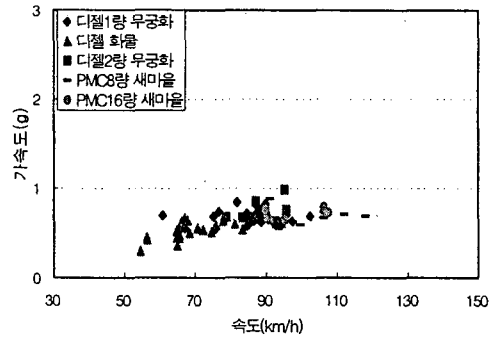


그림 15. 열차유형별 수평진동가속도(18m)

4. 결 론

공용중인 판형교의 동적 수평변위 및 진동가속도의 현장측정을 수행하고 측정된 결과를 열차유형과 속도별로 분석하였다. 또한 직선교량상에서 변동되는 횡압의 분포특성을 측정하여 횡거동의 1차적인 원인을 조사하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 직선교 상에서 주행열차의 횡압은 차륜과 궤도의 답면 특성에 따라 주기적으로 변동되는 특성뿐만 아니라 궤도특성 및 차량 주행특성에 따른 비주기적인 변동특성을 포함하여 교량의 횡거동에 영향을 주는 것으로 판단된다.
- 2) 동적 수평변위의 분석 결과, 현재의 열차주행환경과 구조물 상태 하에서는 차량의 속도에 따른 동적수직치침의 증폭현상은 뚜렷하게 나타나지 않으며 설계기준상의 한계범위 내에서 발생하는 양호한 결과를 보여주고 있었다.
- 3) 동적 수평가속도를 분석한 결과, 현재 판형교상에 발생하고 있는 수평가속도는 상당히 큰 수준이며 속도변화에 따라 증폭현상이 나타나 향후 기준선 속도향상에 대비한 진동 저감 대책이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Coenraad Esveld(2001), "Modern Railway Track", MTR-Production, pp.19~21
2. 최진유의 (2002), "무도상 판형교의 동적거동특성 분석을 위한 실험적 연구", 추계학술대회논문집, 한국철도학회, pp. 678-683
3. 철도청 1999), 철도설계기준(철도교편)
4. ERRI D181 Specialists' Committee(1994), "Lateral Force on Railway Bridges", ERRI