

차세대 고속철 주행속도를 대비한 교량받침의 장기마찰시험법

오순택¹, 이동준^{2*}, 전성민³, 정신효⁴

A Long-Term Friction Test of Bridge Bearings Considering Running Speed of Next Generation Train

Soon-Taek Oh¹, Dong-Jun Lee^{2*}, Sung-Min Jun³, Shin-Hyo Jeong⁴

Abstract: Structural behaviour of PSC box bridge, on which KTX train runs, is analysed up to 500 km/h speed considering 12 stages track irregularity and interaction between bridge and vehicle. To evaluate wheel forces and rotations of vehicle, lateral wheel forces, derail factor and offload factor calculated on the track combining the bridge and 170 m normal track are compared with existing allowed limits. Maximum longitudinal displacement and accumulated sliding distance of the bridge bearings for simply supported and 2 span continuous PSC bridges are presented by each running speeds. Long-term friction tests based on EN-1337-2 are conducted between PTFE and DP-mate plates. Finally, the long-term friction tests are proposed to consider the increasing speed of next generation high-speed train.

Keywords: Bridge bearing of high speed train, Accumulated sliding distance, Long-term friction test

1. 서 론

고속철은 상대적으로 유리한 친환경성 및 도심접근성과 대 도시를 연결하는 높은 운송분당률로 인하여 국내에서는 경부 및 호남고속철 구간에서 상용화가 이루어졌다. 기존 철도와 비교하여 고속철인 주행속도 300 km/h의 KTX와 200 km/h의 GTX의 운영이 성공적으로 활성화되고, 2013년 HEMU-430X 동력분산형 차세대 고속철의 428 km/h 최고속도 시험운행이 성공하여 상용화를 위한 동력, 신호, 기반구조물에 대한 연구 및 기술개발에 관심이 집중되고 있다. 해외의 경우, 최고속도 기록은 2007년 프랑스의 TGV-P의 575 km/h이며, 중국의 경우 2011년 독일 ICE를 개조한 CRH380B가 487 km/h를 기록한 후 350 km/h 상용속도의 광역 고속철시대를 개막하여 미국, 인도, 브라질, 중동 등 광역국가의 고속철 도입계획과 함께 기술 수출을 위하여 관련 기술의 연구개발을 촉진하고 있다. 국내 차세대 고속철 관련연구로서는 한국철도공사의 “430 km/h 고속열차 실용화 적용방안연구”, 한국철도시설공단의

“선로구축물(호남고속철) 설계기준연구”, 한국철도기술연구원의 “차세대고속철도기술개발사업”과 함께 신에너지적용, 친환경성 증진 및 안전관리 기술 등에 중점을 두어 변화되고 있는 고속철 환경변화에 대응하고 있다.

차세대 고속철의 경우, 기존의 고속철 기반구조물을 전용할 예정으로 있어 기존에 적용되고 있는 구조안정성과 주행 안정성에 관한 설계기준의 대폭적인 수정과 보완이 요구된다. 기존의 설계기준에서 요구되는 최대허용처짐, 처짐가속도와 단부회전각과 면틀림에 대한 제한조건은 증가될 초고속 운행에 대하여 주행안정성과 안전관리 측면이 미흡하고, 설계에 적용되는 UIC 연직하중은 차량의 질량 간 관성력을 반영하지 못하며 6단계로 규정된 궤도의 불규칙성은 차세대 고속철에 적용하기에 매우 미흡하다. 또한 차량과 교량의 상호작용력을 통합한 해석모델을 적용한 보다 현실적인 정밀 해석기술의 적용이 요구된다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 한국연구재단의 지원(2013년~2015년)으로 개선된 차량하중 모형과 고속철용 궤도 불규칙성, 그리고 차량과 교량의 상관관계를 고려한 동적해석기술을 적용하여 교량 상에서 동적 확대계수에 대한 임계주행속도 및 차량의 윤축 횡압과 탈선 계수 그리고 윤중감소율 및 윤축차이에 대한 연구와 교량과 일반도상간 차량회전각 변이에 대한 기초연구를 수행하였다. 또한 지식경제부지원사업(2013년~2014년)으로 교량받침 제작업체와 산학공동연구로 차세대 고속철을 고려한 교량 받침 마

¹정회원, 서울과학기술대학교 건설시스템공학과 교수

²정회원, 서울과학기술대학교 건설시스템공학과 강사, 교신저자

³정회원, 서울과학기술대학교 건설시스템공학과 박사과정

⁴정회원, 서울과학기술대학교 건설시스템공학과 석사과정

*Corresponding author: djlee@seoultech.ac.kr

•본 논문에 대한 토의를 2016년 4월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 5월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

찰판의 장기마찰시험을 수행하여 마찰시험장비구축과 25,000 m 마찰시험을 한국건설생활환경시험연구원의 공인성적을 획득하여 장기마찰시험법을 구축하였다.

국내 교량받침과 관련된 연구 동향은 교량 구조물은 상부 구조 및 하부구조에 사용하는 재료 및 형상, 시공기술이 비약적으로 발전하고 있는 중이며, 교량 받침도 다양한 종류로 개발되면서 발전되고 있다. 교량 받침의 경우 상부구조물이 연직하중 및 수평하중에 대하여 저항하고 이로 인해 발생하는 변위와 회전을 교량받침이 수용하는 기능을 가진다. 이는 교량 구조물의 수명과 관련되는 중요한 기능이며, 이러한 기능을 발휘하기 위해 강재받침의 상부와 하부사이에 PTFE 판과 같은 낮은 마찰계수의 마찰판을 적용한 제품들이 사용되고 있으나 아직까지는 국내에서 마찰재의 내구성능을 평가하는 적절한 기준이 마련되어 있지 않은 실정이다. 국내 교량받침의 설계기준은 외형 치수에 한정된 국내 KS 기준만으로는 주행속도 증가에 따른 교량받침의 누적이동거리 증가 및 동적 거동으로 인한 손상에 대처하기 부족하므로 이에 대한 현실성 높은 정량적인 마찰판의 내구성 성능평가 방법의 개발이 요구된다. 또한 장기마찰시험에 적용된 마찰판의 이동속도는 온도 하중에 의한 거동인 경우 저속 0.4 mm/s을, 활하중에 의한 거동인 경우 고속 15 mm/s를, EN 1337-2 기준과 CUAP 03.01-78 코드를 적용하여 실험하고 있으나 고속철 교량의 동적거동에 대한 수치해석 결과와 관련된 현장실측자료를 함께 고려한 국내 실정에 적합한 실험방법 개발이 요구된다.

국의 마찰받침 기준의 경우, 마찰판 누적이동거리 50,000 m 이상에 대한 실험방법, 한계 평가기준을 통한 설계기준이 수립되어 있다(Structural Bearings, EN 1337-2, CUAP 03.01-78 등). 또한 유럽에서 통용되는 EN-1337-2는 장기마찰시험 기준으로 온도변화와 활하중에 의한 누적이동거리에 대한 평가기준을 제안하고 있으나 이는 기존 고속철도의 주행속도로 350 km/h 이하인 경우를 적용하고 있으므로 KTX와 HEMU-430X를 포함한 주행속도 450 km/h 이상의 차세대 고속철을 고려한다면 차량중량과 관성운동 그리고 주행속도 증가에 대한 수치해석과 현재 고속철 교량받침에 대한 현장계측 결과를 바탕으로 보다 합리적인 평가기준의 수립이 요구된다.

따라서 기존 공용 중인 고속철 교량의 구조적 거동을 현장 계측하고 차세대 고속철 교량의 거동을 고려한 수치모델의 개발과 해석을 통하여 교량받침의 내구성 평가기준과 국내환경에 합당한 표준시험방법을 마련하기 위하여 아래와 같은 사항을 제안한다.

1) 기존 국내의 설계기준과 교량받침의 개발방향 및 인증기관의 평가항목을 바탕으로 현장계측을 위한 항목을 도출하고 국내 측정대상 교량을 선정한다.

- 2) 측정된 교량받침의 거동을 주행속도 및 온도변화에 대한 일반화와 각각의 특수성을 고려한 다양한 변수(하중별 실험속도, 지속시간, 허용마찰계수, 탄성변위 및 영구잔류변위)를 적용하여 표준시험방법을 개선하고 생산업체의 개발된 마찰판과 기존의 PTFE 마찰판의 차이를 규명한다.
- 3) 개선된 실험방법을 적용한 실험결과를 바탕으로 국내환경 및 차세대 고속철교량받침에 적합한 내구성 평가기준을 수립한다.

2. 교량받침 관련기준 및 인증

경부와 호남고속철에서의 300 km/h 주행속도의 KTX를 능가할 450~500 km/h로 증속될 차세대 고속철의 상용화에 대비한 기존 고속철 교량구조물의 전용 및 보강에 대한 다양한 연구가 수행되고 있으나, 증속에 따른 동적거동의 확대로 인한 교량받침 마찰판의 내구성에 관한 장기/단기 마찰실험방법과 한계 마찰계수 및 누적이동거리에 대한 연구나 기준이 미흡하여 교량받침의 기능저하로 인한 교량구조물의 손상이 예상된다.

관련 해외기준으로 미국 AASHTO와 ASTM은 KS기준과 동일한 마찰판의 형상과 관련된 탄성변형과 영구잔류변형에 관한 한계범위만 제안되어 누적이동거리 증가에 따른 고려는 미흡하다. 독일 DIN EN 1337-2와 CUAP 03.01-78 기준은 장기마찰시험법과 한계 마찰계수에 대한 기준을 제안하고 있으며 온도하중과 활하중에 대한 각각의 마찰계수를 측정하는 방법과 누적이동거리에 대한 고려가 마련되어 있다. 그러나 일반철도 상황을 고려한 2 가지 하중별 일정한 등가 실험속도를 제안하고 있어 국내 고속철의 주행속도에 대한 고려와 스펙트럼 해석법 또는 현장실험을 통한 실제적인 변이를 적용한 동적해석법을 적용할 수 없다.

교량의 거동을 고려한 개선된 차량모델을 적용하고 교량-차량 상호작용을 반영한 교량받침의 변이 추이를 분석하므로서 관련 기준들의 문제점을 파악할 수 있으며, 특히 주행속도가 500 km/h로 증가될 경우 동적확대계수가 증폭되는 430 km/h 임계 공진발생 주행속도의 동적효과를 반영하는 실험법의 개발과 정량적인 마찰받침의 내구성 관련 기준을 마련하여 국내 실정에 적합한 설계기준이 수립되어야 하며또한 이러한 접근방법을 바탕으로 국제표준기준으로 발전시켜야 한다.

해외의 교량받침 사례로는 Maurer 제품인 MSM® 마찰판을 개발하여 기존의 PTFE와 비교하여 2 배의 하중저항과 5 배의 누적이동거리 그리고 -35°C에서 3% 마찰계수저감을 확보하여 40 배의 공용사용기간을 보장하고 있다. 국내에 진출한 Magerba 제품인 Robo@Slide는 PTFE판의 2 배 이상의 허용응력 특성값과 50,000 m의 누적이동거리 마찰시험을 만족한 내

구성을 부각시켜 빠르고 큰 변위가 발생하는 고속철 교량에 적합한 제품으로 ETOA(European Organisation for Technical Approvals)와 CE 인증(Conformity to European Marking)을 보유한다. 반면에 국내 교량에 적용하는 스페리컬 받침의 경우 표준화 미비로 황동주물제품과 PTFE 마찰판을 고집하여 고속철의 증가될 주행속도에 의한 빠르고 큰 변위와 누적이동거리 증가로 인한 대비가 필요하다.

국내 고속철 관련 현황은 300 km/h 주행속도의 KTX 상용화와 수년간의 운영경험 및 경부와 호남고속철 전용선로와 다양한 고려가 반영된 설계기준을 보유하고 있으며 420 km/h 시험운행을 성공한 동력분산형 고속철 시스템을 확보한 독자 운영시스템과 설계능력을 구현 가능한 반면에 교량받침의 경우 내진설계를 제작사에서 수행하는 기형적인 환경에 놓여 있다. 따라서 국내 고속철 교량에 적합한 증가될 고속철 주행속도를 반영할 고유한 장기마찰시험법 및 인증을 위한 표준안의 개발이 요구되며 이를 위하여 온도하중에 의한 낮은 속도의 마찰시험법에 치중된 EN1337-2 장기마찰시험법을 국내 환경에 적합하도록 등가마찰속도를 적용하는 장기시험법을 위한 고유 스펙트럼을 적용한 동적특성을 반영한 누적이동거리 시험법을 개발하였다. 또한 3차원 차량모형과 교량 그리고 궤도의 상호작용을 고려한 해석법의 개발과 현장 계측을 통한 받침의 거동특성을 고려한 최대 작용 하중과 허용 누적이동량을 주요 변수로 적용하였다.

3. 교량받침 관련 연구결과

3.1 고속철 PSC 교량의 동적거동

현재 공용 중인 고속철 PSC 박스 교량의 구조설계기준인 충격계수와 고유진동수 제한 외에 KTX 차량의 주행안정성을 확보하기 위한 방안과 관련된 중요한 결과를 도출하였다. 증가되는 주행속도를 적용한 설계기준을 평가하기 위하여 경부고속철구간에서 공용 중인 PSC 박스 교량에 대하여 동적응답이 최대 발생하는 40 m 단경간 대상교량을 선정하였다. 주행안정성을 위한 설계기준을 적용하면 교량의 경간 중앙부에서 23.5 mm 최대 허용수직변위, 0.35 g 허용 최대가속도, 973.7 μ radian 단부회전각과 1.2 mm/3 m 이내의 연직면 궤도형상을 만족시켜야 한다. 증가될 주행속도에 대한 적용된 KTX 차량하중은 UIC 하중을 적용하고, 교량의 거동만을 제한한 기존의 구조설계기준과 차량의 주행안정성을 위한 차량의 연직처짐과 처짐가속도 그리고 교량의 단부회전각과 면틀림의 제한 조건과 비교하고 발표된 현장실험 결과와 개발된 정밀 3차원 차량모형을 적용한 수치해석 결과를 비교하였다.

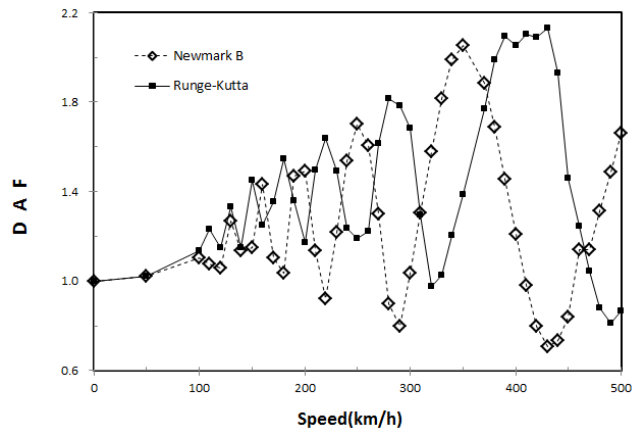


Fig. 1 D.A.F. of PSC railway bridge

해석대상인 최대 변위가 예상되는 경부고속철구간의 PSC 박스교량은 40 m 지간의 변단면 단순교로서 교량의 폭은 14 m 이고, 복선궤도를 가진 유도상 교량이다. 해석모형에서는 횡, 전단, 비틀림 모듈을 파악할 수 있고 교량을 보요소와 강결 절점에 상호 연결된 것으로 모사화한 3차원 뼈대요소 모형을 개발하였다. KTX 동력차를 연직변위, 피칭, 롤링뿐만 아니라 횡변위, 종변위 및 요잉에 의한 운동효과도 동시에 고려할 수 있도록 동력차 하중을 차량, 대차, 윤축 3개의 질량으로 각각 연결하여 3차원 수치 모형화 하였다. KTX 동력차의 강체질량은 1개의 차체질량, 2개의 대차질량 및 4개의 윤축장치 질량으로 스프링과 댐퍼로 연결하여 총 38 자유도로 구성되었다. Power Spectral Density(PSD) function을 이용한 궤도의 불규칙성 모형궤도의 형상은 좌우레일 사이의 수평거리인 궤간(gage), 레일간의 높이차이인 수평(cross level), 좌우레일의 평균높이인 연직면(vertical profile), 그리고 레일간의 횡방향 평균 중앙선인 줄(alignment)로 구성되는 4개의 항목으로 제안된 6개의 모형을 고속철용으로 6개 추가 확대하여 정의하고 Hamid 등에 의해 개발되어 미국 FRA에 규정된 지수스펙트럼 밀도 함수식을 인용한 수치모형을 반영하였다. 수치해석은 Newmark- β 와 Runge-Kutta 방식을 적용하여 해석하고 비교하였으며, 문헌조사된 연구결과들을 분석하여 차량의 고진동 특성을 감안한 Runge-Kutta법을 선택하였다.

PSC 고속철 교량의 해석결과 Fig. 1과 같이 적용된 주행속도 100 km/h~500 km/h에 대한 정적 최대변위는 중앙부에서 4 mm 발생하였으며 동적 최대변위는 기존운행속도 범위에서는 주행속도 280 km/h에서 7 mm 증가된 속도구간에서는 430 km/h에서 8 mm 이상 발생하였다. 최대 동적확대계수(D.A.F.)는 2.13을 기록하였으나 기존 설계기준의 최대변위, 가속도, 단부회전각과 면틀림의 한계값은 모두 만족하였다. Runge-Kutta법을 적용한 해석결과는 발표된 연구결과와 현장실험

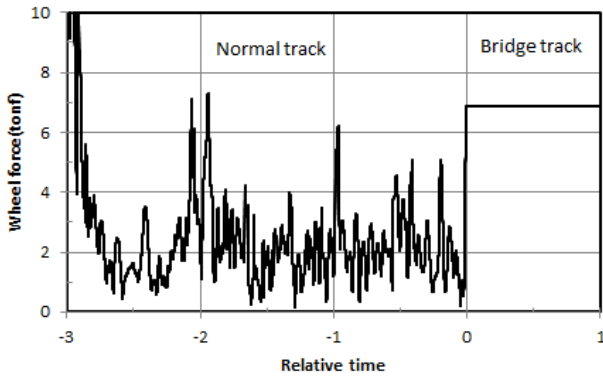


Fig. 2 Max. difference between Wheel forces at 360 km/h

결과와 비교하여 적합한 결과인 반면에 Newmark-β법을 적용한 경우 최대변위 결과는 유사하였으나 조사된 임계 주행 속도와 차이를 나타내었다.

3.2 고속철 PSC 교량을 통과하는 차량의 윤축하중

경간 40 m 고속철 PSC 교량 전면에 170 m 일반 도상구간을 동일한 불규칙성 궤도모형을 반영하여 연결한 수치모형 구간을 주행속도별로 38 자유도 차량의 윤축에 작용하는 윤하중과 차량의 3방향 회전각을 교량통과시간을 기준한 상대시간으로 분석하였다. 교량 구간에서 동력차의 윤축하중을 해석한 결과 자체의 중량을 제외하고 평균 26.5 kN의 윤축하중이 작용하였고 360 km/h에서 68.5 kN까지 증폭되었고, 임계주행 속도에서 각 윤축의 차이가 교량구간에서 크게 발생하였다. 이러한 윤축하중의 불균형은 교량/차량의 공진현상과 교량의 동적 횡변위 거동이 영향을 미친다(Oh et al., 2014).

일반도상과 교량상의 윤하중을 분석하면 윤하중의 최대값은 일반도상에서 상대적으로 크게 발생하나 윤축간의 하중차이가 주행속도가 증가되어 교량의 동적거동이 확대되는 경우에 증폭되었다. 윤축 횡압의 경우도 윤하중차이의 경우와 일치하여 Fig. 2에서 나타낸 바와 같이 주행속도 360 km/h에서 61.5 kN의 최대값을 나타내고 허용탈선계수 값 0.8에 대하여 주행속도 330 km/h에서 초과되었으며 윤중감소율은 허용한계 값인 60%를 주행속도 340 km/h에서 420 km/h 구간에서 상회하였다(Oh et al., 2013(a)).

3.3 고속철 PSC 교량을 통과하는 차량의 중심회전각

고속주행 시 승차감과 관련된 차량 중심에서의 피칭회전각은 Fig. 3에서 나타낸 바와 같이 일반도상에서 주행속도 170 km/h에서 최대/최소 0.021/-0.019 radian로 해석되었고, 교량 구간에서는 주행속도 200 km/h에서 0.031/-0.025 radian이 기록되었다.

롤링회전각은 일반도상에서 Fig. 4에서 나타낸 바와 같이

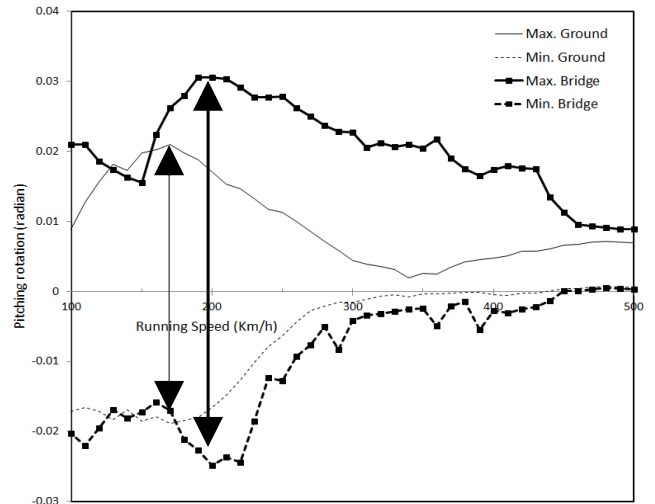


Fig. 3 Maximum/Minimum pitching rotation

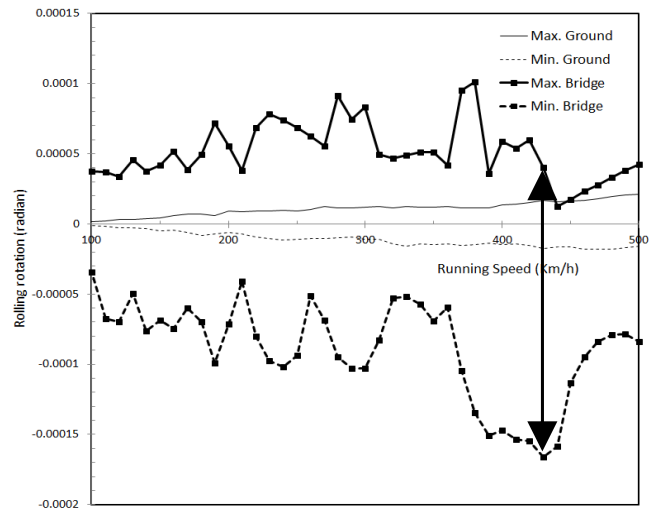


Fig. 4 Maximum/Minimum rolling rotation

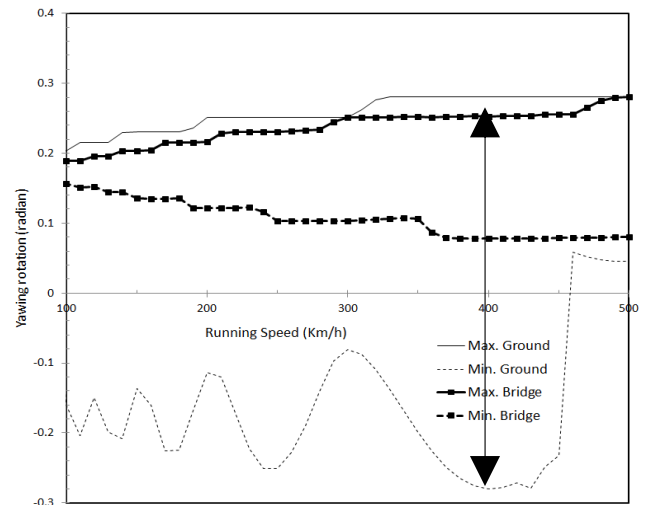


Fig. 5 Maximum/Minimum yawing rotation

주행속도 480 km/h에서 최대/최소 $2.09 \times 10^{-5} / -1.83 \times 10^{-5}$ radian이 계산되었고, 교량구간에서는 주행속도 430 km/h에서 $1.01 \times 10^{-4} / -1.66 \times 10^{-4}$ radian가 발생하였다.

요잉회전각은 일반도상에서 Fig. 5에서 나타난 바와 같이 주행속도 400 km/h에서 최대/최소 0.280/-0.280 radian이 계산되었고, 교량구간에서는 주행속도 500 km/h에서 0.280/ 0.080 radian이 해석되었다. 이 경우 요잉회전각이 최대 차이를 나타내고 있으나 일반도상과 교량구간 사이에서의 차이는 피칭회전각이 큰 차이를 나타낸 반면, 롤링회전각의 경우 미소하였다.

3.4 고속철 PSC 교량받침의 누적이동거리

단경간 단순교의 교량 통과 차량 당 교량받침의 최대 누적 이동거리는 양방향 이동단에서 3.00 mm이고 일방향 이동단에서는 2.52 mm이다. 이 결과는 정적해석 누적이동거리인 1.16 mm에 비하여 최대 2.59 배 확대되었다. 해석결과를 바탕으로 20 량 편성 KTX 일일통과량이 149 편이므로 연간 최대 누적이동거리가 3,262 m로 크게 증가한다(Oh et al., 2013(b)). 2경간 연속교인 경우 교축방향 이동단의 동적응답은 중간 교각에서 주행속도 400 km/h에서 최대변위 0.72 mm로 단순교의 경우에 비하면 미미하였다(Oh et al., 2013(c)). Fig. 6에서 교량받침의 주행속도별 최대 변위를 나타내고 3차 회귀분석 함수를 도출하였다.

3.5 고속철 PSC 교량받침의 장기 마찰시험

고속철 PSC 교량받침의 장기 마찰시험은 EN1337-2와 CUAP03.01/78기준을 기반으로 동일한 수직압력에 대한 온도 변수별 누적 마찰거리 25,000 m 장기마찰시험을 수행하였다. 기존의 PTFE판은 우수한 마찰계수 결과에도 불구하고 10,000 m에서 손상되어 한계 내구성능을 나타내었고, 반면에 DP-Mate 판은 일부 온도구간에서 한계 마찰계수를 상회하였으나 성공

적으로 장기마찰시험을 만족시켰다. 개발된 마찰시험장치를 이용하여 온도변화(-35°C~70°C)내 저속(0.4 mm/s)시험과 상온 고속(15 mm/s)시험을 32 일간 수행하여 마찰재 두께 3% 마모율과 0.7% 직경변화율을 나타내었으며, AASHTO 기준의 완제품 수치해석과 30,000 kN 압축전단시험기를 사용하여 받침 허용용량의 1.5 배를 재하하고 5 분간 유지하여 탄성변형율과 잔류영구변형율을 만족시켰다(Oh et al., 2014(b); Lee et al., 2014). Fig. 7은 온도변화에 따른 마찰시험 결과를 EN1337-2에서 제한하는 한계 마찰계수와 비교하여 나타내었다.

철도교량용 교량받침은 내진설계기준을 만족하기 위하여 포트받침이나 스페리컬받침을 적용한다. 이와 같은 종류의 받침은 낮은 마찰계수의 PTFE(Poly Tetra Fluoro Ethylene) 마찰판을 사용하는데 기존의 철도교량에서는 구조안전성과 내구성을 만족시키고 있다. 그러나 최근 고속철 KTX의 운영을 통하여 고속주행속도에 의한 동적거동과 관련된 마찰판 손상 및 기능저하로 인한 주요 교량 구조부재의 손상 등 다양한 손상사태가 보고되고 있으며 따라서 윤활제 보강 또는 한계거동 제한장치, 진동저감장치 등의 보강이 요구되므로 안전진단 또는 유지관리 비용이 급격하게 증가되어 이에 대한 시급한 대책마련이 요구되고 있다. 일반적인 고속철 교량의 최소 요구수명은 사용성 한계수명으로 최소 50년 이상이 확보되어야 하며 스페리컬 받침의 내구수명은 최소 5년 이상 공용되어 최초점검이 이루어 져야하는데 이는 교량수명의 1/10 수준이다.

내구수명 평가의 주요 요소인 마찰받침의 누적이동거리는 온도하중과 활하중에 의한 거동을 포함하여 미국 AASHTO 기준에 의하면 연간 최대 1,000 m의 거동을 확보하고 폴리브덴 윤활제를 사용하는 경우 10년간의 내구성을 확보하여야 한다. 개선된 통합모형을 적용한 수치해석결과 경부고속철 40 m 단경간 PSC 박스교의 양방향 교량받침은 주행속도 430 km/h에서 최대 3.0 mm 교축방향 거동이 발생하여 연간 최대

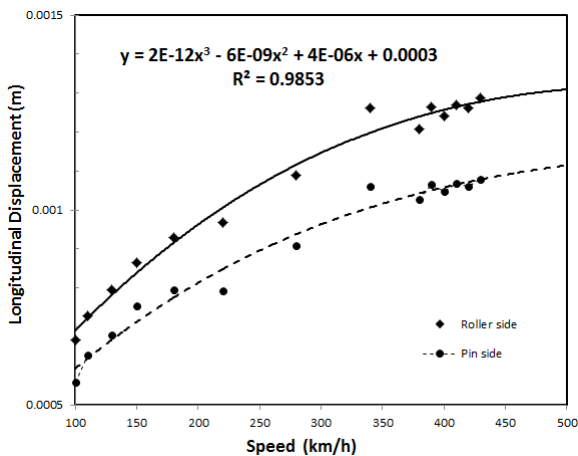


Fig. 6 Max. displacement of bearing for speed

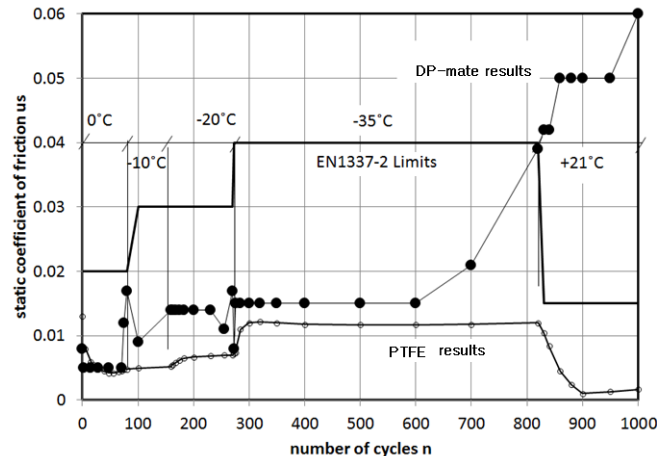


Fig. 7 Max. coefficient of friction in long term test

3,262 m의 누적이동거리가 추정되며 기존 내구성기준이 허용하는 10,000 m를 기반으로 내구수명이 3년 이상을 확보하기 어려운 것으로 판단된다. 또한 DIN EN 1337-2에 기반을 둔 장기 마찰시험을 통하여 PTFE판에 대한 실험결과 4,548 m 누적이동거리에서 마찰판의 파단이 발생하였다. 두 연구결과를 종합하면 기존 고속철 교량받침은 차세대 고속철이 운행될 경우 내구수명은 1.5년을 넘지 못할 것으로 예상된다(Oh et al., 2013(b)).

4. 결 론

미래 고속철 주행속도를 대비한 고속철 PSC교량의 구조적 거동과 차량의 주행안정성을 해석하기 위한 수치모형을 개발하였다. 특히 교량마찰받침의 내구성을 확보하기 위한 장기 마찰시험을 수행하여 관련 기준 및 인증항목과 비교하였다.

- 1) 40 m 단경간 PSC교량의 최대 동적확대계수는 주행속도 430 km/h에서 2.13이고 기존 설계기준이 요구하는 최대변위, 연직가속도, 단부회전각 및 면틀림은 모두 만족하였다.
- 2) 일반도상과 교량을 연결한 궤도구간에서 차량의 윤축하중과 중심회전각은 임계주행속도에서 허용탈선계수 및 윤중감소율을 초과하였다.
- 3) 차량의 통과하중에 의한 교량받침의 누적이동거리가 임계 주행속도에서 최대 연간 3,262 m로 해석되어 안정된 내구 수명을 확보하기 위한 마찰판의 개발이 요구된다.
- 4) CE 인증에서 요구하는 EN1337-1 마찰판의 장기마찰시험을 수행하여 PTFE 마찰판은 누적이동거리 10,000 m에서 파단 되었다.

감사의 글

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

References

1. Lee, H. J., Oh, S. T., Lee, D. J. and Jeong, S. H. (2014), Durability Evaluation of Pre-Stressed Concrete(PSC) Bridge Bearing for High-Speed Railway, *Proceedings of the 25th Annual Conference*, Korea Society of Steel Construction, Busan, 169-170.
2. Oh, S. T., and Lee, D. J. (2014a), A Dynamic Analysis of Rotations at the Center of Vehicle Running High Speed KTX Train on the PSC Box Bridges, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 18(1), 59-67.
3. Oh, S. T., Lee, D. J., and Lee, J. H. (2013a), Dynamic Analysis of Wheel Forces of KTX Vehicle Running with High-Speed on the PSC Bridge, *Journal of KOSHAM*, 13(5), 1-7.
4. Oh, S. T., Lee, D. J., Park, K. R., and Jeong, S. H. (2014b), Durability Evaluation of Pre-Stressed Concrete (PSC) Bridge Friction Bearing for High-Speed Railway, *Proceedings of the 25th Annual Conference*, Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, JeJu, 18(2), 436-438.
5. Oh, S. T., Lee, D. J., Yeon, J. S., Kim, Y. S. and Jeong, S. H. (2013b), Dynamic Bearing Behaviour Analysis of PSC Box Bridges for KTX, *Proceedings of the 25th Annual Conference*, Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Yangyang, 17(2), 711-712.
6. Oh, S. T., Lee, D. J., Yeon, J. S., Lee, H. J. and Jeong, S. H. (2013c), Dynamic Behaviours of the Two-Span Continuous PSC Box Bridge with 40m Span for KTX Vehicle, *Proceedings of the 25th Annual Conference, KSR2013A032*, the Korean Society for Railway, Daegu, 130-132.

Received : 08/21/2015

Revised : 12/30/2015

Accepted : 02/16/2016

요 지 : 경부 고속철 40 m 단경간 PSC 교량을 대상으로 38 자유도 KTX 동력차를 주행속도 500 km/h까지 12 단계 불규칙 궤도형상과 상호작용력을 고려하여 해석하였다. 차량의 윤축하중과 중심회전각을 평가하기 위하여 170 m 일반도상을 교량과 조합하여 횡압과 탈선계수 그리고 윤중감소율을 허용기준과 비교하였다. 단순교와 연속교의 교량받침 최대 변위와 누적이동거리를 주행속도별로 해석하였다. PTFE 마찰판과 DP-mate의 EN-1337-2 기준의 장기마찰시험을 수행하였다. 수행된 장기마찰시험은 차세대 고속철의 증가되는 주행속도를 고려하여 개선 방안을 제안하였다.

핵심용어 : 고속철 PSC 교량받침, 누적이동거리, 장기마찰시험
