

열차하중 재하시 교량상slab케도의 상향력 민감도분석

Parametric Analysis for Up-lifting force on Slab track of Bridge under Train Load

최성기* · 박대근** · 한상윤*** · 강영종****

Choi, Sung Ki · Park, Dae Geun · Han, Sang Yun · Kang, Young Jong

Abstract

The vertical forces in rail fasteners at areas of bridge transitions near the embankment and on the pier will occur due to different deformations of adjoining bridges caused by the trainloads. The up-lifting forces is not large problem in the blast track because the elasticity of blast and rail pad buffs up-lifting effect. But, it is likely to be difficult to ensure the serviceability of the railway and the safety of the fastener in the end in that concrete slab track consist of rail, fastener, and track in a single body, delivering directly the up-lifting force to the fastener if the deck is bended because of the end rotation of the overhang due to the vertical load. When the up-lifting force exceeds the clamp force of the fastener clip, the rail pad is out of fastener, which makes decrease the serviceability of the railway, such as noise and vibration. Furthermore, it is possible to reduce the safety of the track as the longitudinal resistance. This study is focused on guideline suggestion to decrease up-lifting force in the fastener adjacent to the civil joint of slab track of bridge throughout the parametric analysis between the vertical spring stiffness of the fastener as the material approach, the space of fastener adjacent to bridge transition, the rigidity of the girder as the geometrical approach and up-lifting force under the train load.

key words : Train load, Bridge transition, Up-lifting force, Slab track, Parametric analysis

1. 서 론

1.1 교량 단부의 들림가능성

상향력의 초래 가능성에 대한 수식적 증명은 다음과 같다.(그림 1)

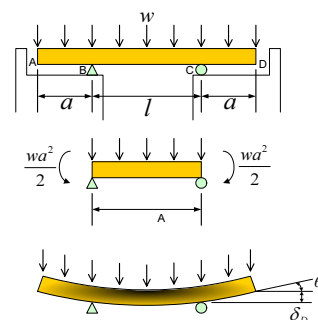


그림 1. 교량단부 들림

* 비회원 · 고려대학교 건축 · 사회환경공학과 · 석사 · E-mail : ildongchoi@korea.ac.kr
 ** 비회원 · 고려대학교 건축 · 사회환경공학과 · 박사과정
 *** 정회원 · 고려대학교 건축 · 사회환경공학과 · 박사과정
 **** 정회원 · 고려대학교 건축 · 사회환경공학과 · 교수

$$\theta_c = \frac{wa^2}{2} \left(\frac{l}{2EI} \right) - \frac{wl^3}{24EI} = \frac{wl}{24EI} (6a^2 - l^2)$$

식 1

$$\delta_D = \frac{wa^4}{8EI} + \theta_c a = \frac{wa}{24EI} (3a^3 + 6a^2l - l^3)$$

상향력이 “0”이 되기 위해서는,

$$3a^3 + 6a^2l - l^3 = 0$$

식 2

$$\therefore a \geq 0.37466 \ell$$

상판 설계시, 경간이 10m~40m인 경우 overhang길이는 0.3m~1.5m이다. 이것은 “ $a \geq 0.03 \ell \sim 0.15 \ell$ ”를 의미한다. 따라서, 상향력은 피할 수 없다.

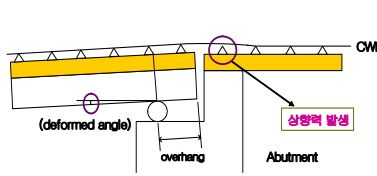


그림 2. slab 궤도(교대부)

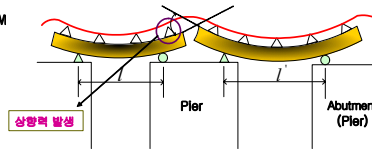


그림 3. slab 궤도(교각부)

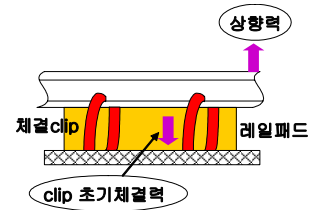


그림 4. 체결장치 모델

1.2 상향력 초래시 문제점

콘크리트 slab궤도는 자체강성이 커서 자갈궤도와 달리 자갈 교란에 의한 궤도틀림 발생의 우려가 없기 때문에 이를 고려한 단부변형의 검토는 필요가 없다. 또한 좌굴에 대한 저항성도 크기 때문에 자갈궤도와는 달리 종방향 안전성은 신뢰한다. 하지만 콘크리트 slab궤도는 사용성 문제로써 경간중양에서 단기적으로 활하중에 의한 단기처짐, 장기적으로 크리이프와 건조수축에 의한 장기연직처짐의 발생과 교량단부에서 직결궤도라는 점 때문에 교량 단부의 변형이 발생하면 궤도에 직접적으로 힘을 가하므로 교대 및 교각의 교량단부 변형이 일어나면 상대적인 단차가 발생하여 수직방향으로 체결장치에 인장력, 즉 상향력을 일으키는 효과가 크다(그림 2, 3). 따라서, 자갈궤도와는 달리 궤도틀림의 영향은 없고 그로인한 좌굴가능성 또한 적더라도 상향력에 의한 체결장치의 조기 파손 등 교량 단부에서의 사용성 악화를 가져올 수 있는 가능성이 존재한다.

- 교량단부 근처의 레일지지점에서 발생하는 최대 상향력이 체결장치의 초기체결력을 초과하면 rail pad의 이탈가능성이 커져 압축력에 대한 저항성이 감소되어 초기체결력이 확보되어야 보장되는 종방향 저항성이 작아져서 slab궤도이지만 좌굴강도가 작아 질 수 있고 고속주행시 궤도안정성이 떨어진다.
- 또한 체결장치의 피로 및 파손으로 인한 대형사고가 우려되는 등 궤도의 안정성에 영향을 끼친다.
- 그리고 차량의 속도가 빠르면(고속철도), 동적계수(DS 804) 또한 커져 준-동적하중(연직하중)증가에 따른 "수직변위(displacement) 및 처짐(deflection)이 증가"하고 이로 인한 상향력이 더욱 커진다.
- 교량단부에서의 수직변위가 "요철"로써 작용하면 차량의 "진동에 영향"을 주어 승차감 저하 및 궤도의 동적안전성을 저하 시킬 수 있다.

2. 상향력 매개변수해석

2.1 상향력 초래원인 및 매개변수

상향력은 교량상판이 연직하중, 가속/제동하중 그리고 온도변화, 교대나 교각의 침하, 상판의 상하면 온도

차, 그리고 축운중에 의한 교량단부의 회전 및 단차에 의해서 발생한다. 본 연구는 상향력 초래원인 중에서 가장 크게 영향을 끼치는 열차하중만을 고려한다. 해석시 매개변수로서 사용된 것은 상판구조물의 체원(거더 길이에 따른 휨강성) 및 형식(overhang 길이), 궤도의 체원(체결장치의 스프링 강성) 및 형식(교량단부 근처의 체결장치의 간격)이며 이를 변화시키면서 발생하는 최대상향력을 결정한다.

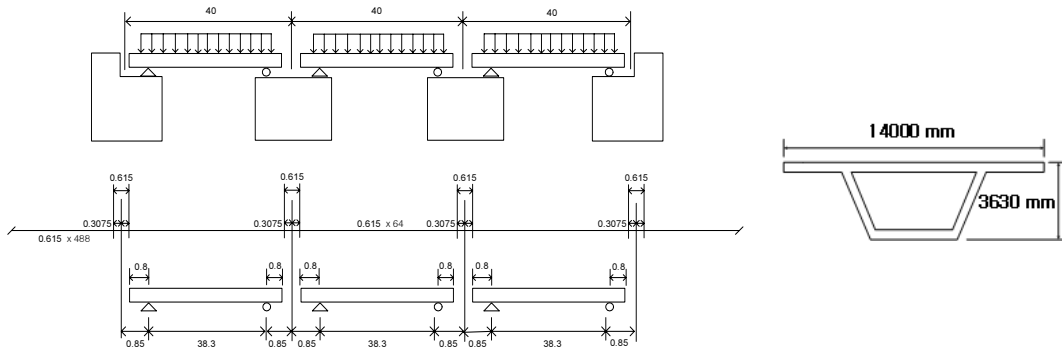


그림 6. 해석 모델

2.2 해석 모델

해석 모델은 PSC Box Girder상판위에 slab궤도가 부설된 3경간으로 구성된 40m 단순교로써 UIC 71하중(80kN/m)를 3경간 전체에 재하하였다.

2.3 매개변수 해석

매개변수 해석에 따른 결과는 그림7~11과 같다.

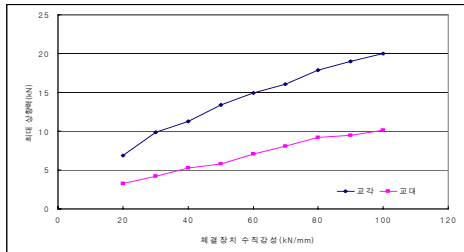


그림 7. 체결장치 수직강성에 따른 상향력

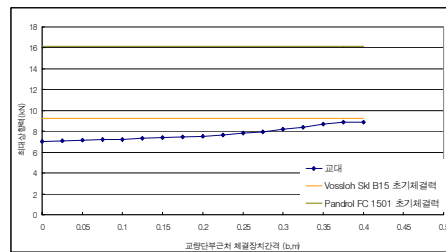


그림 8. 단부근처 체결장치 간격에 따른 교대부근

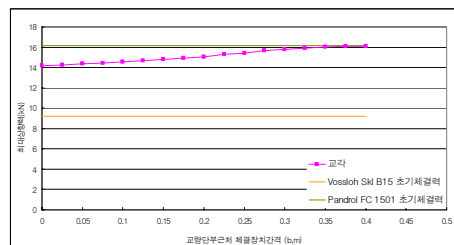


그림 9. 단부근처 체결장치 간격에 따른 교대부근

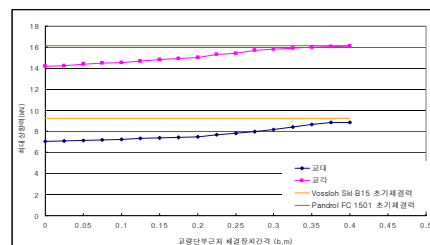


그림 10. 단부근처 체결장치 간격에 따른 상향력

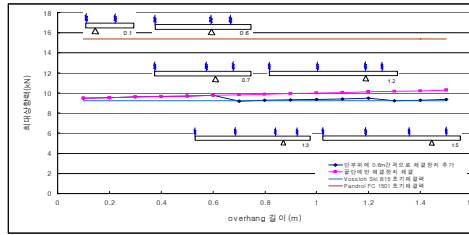


그림 11. overhang 길이와 체결장치 개수 변화

3. 결론

- 열차하중 재하시, 상향력은 궤도에 있어서는 상판지점위치와 마지막 레일체결장치의 간격과, 체결장치의 수직강성, 거더에 있어서는 거더 휨강성과 overhang의 길이에 민감하게 반응한다.
- 체결장치의 강성을 변화시키면 체결장치의 강성이 커질수록 최대 상향력은 커진다. 따라서, slab궤도에서 최대상향력이 체결장치의 초기체결력을 상회하면 강성은 유지시키되 초기체결력을 증가시키기 위해서 체결clip과 rail pad로 구성된 2중 체결장치에서 상향력에 저항하는 체결 clip의 강성을 증가시키고 rail pad의 강성은 줄이는 방향(즉, 저탄성 pad)으로 해야 상향력을 감소시킬 수 있다.
- 단부근처에서 체결장치의 간격(a)이 커질수록 교대, 교각부근의 최대상향력은 커진다. 즉, 상판지점위치와 마지막 레일체결장치의 간격(b)을 최소화시키면(overhang위에 체결장치를 설치하지 않게되면) 상향력이 작아진다. 지점부로부터 0.025m증가 할때마다 모두 증가폭이 점점 커지지만 평균 각각 0.1136kN, 0.120295kN씩 증가한다.
- 교각부근과 교대부근을 비교하면 교각부근의 상향력이 교대부근의 상향력의 약 2배에 달하는데, 이는 교각부근에서의 회전변위가 교대부에서보다 약 2배에 달하기 때문이다.
- overhang 길이에 따른 상향력 매개변수해석에 있어 끝단에만 체결장치를 체결한 경우 0.1m씩 증가할때마다 평균 0.0562kN 씩 증가하고 체결장치의 간격을 유지하기위해서 overhang위에 체결장치를 추가할수록 상향력은 작아진다.
- overhang위에 0.6m간격으로 추가적으로 체결장치를 체결한 경우,
 - overhang 0.7m~1.2m (2개) : 끝단에만 설치할 때 값보다 “평균0.6175kN”작아짐
 - overhang 1.3m~1.5m (3개) : 끝단에만 설치할 때 값보다 “평균0.9214kN”작아짐

감사의 글

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 국가지정연구실사업으로 수행된 연구임 (R0A-2005-000-10119-0).

참고문헌

1. DS804(B6)(2000). Regulation for bridges and other civil structures, Deutsche Bahn Gruppe, DB Netz(“German Railway Code”) Appendix 29
2. 철도기술공사(2006), “경부고속철도 대구-부산간 궤도공사 콘크리트설계 및 구조해석보고서”