

궤도강성변화구간의 레일압력 분포에 관한 연구

Rail Pressure on the Changing Point of Track Modulus

이기승* , 천진녕** , 김성철*** , 권순섭****
 Lee, Ki-Seung Cheon, Jin-Nyeong Kim, Sung-Chil Kweon, Soon-Sub

Abstract

The transition between bridge or tunnel and plain track has different rail pressure and distributed stress on formation. This paper shows distribution of rail pressure on transition at which spring stiffness are changed. By this study, it is revealed that the changing into relatively high stiffness causes increased rail pressure visibly and draw up dynamic track force. A medium stiffness structure and reinforced rail could be effective for reducing track force on the transition.

1. 서론

궤도는 열차하중을 지지하고 열차를 안전하게 안내 유도하는 중요한 역할을 하는 것으로 열차 주행 안전성과 쾌적성이 충분히 확보되지 않으면 안된다.

그러므로 궤도구조를 설계하는 데는 토목구조물 설계시와 같이 궤도부재의 강도 및 내구성을 검토할 필요가 있다.

궤도의 강도 및 내구성 검토시 해석방법은 레일을 보로 생각하여 선형탄성해석방법이 주로 사용되고 있으며 최근에서 컴퓨터를 이용한 유한요소 해석방법이 사용되기도 한다.

해석모델은 연속탄성지지모델 혹은 유한간격지지모델이 사용되고 있다.

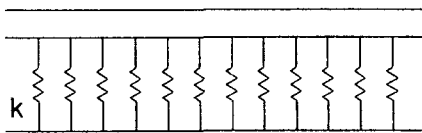


그림 1. 연속탄성지지모델

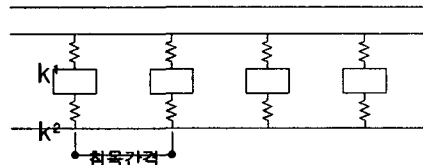


그림 2. 유한간격지지모델

* (재)한국철도기술공사 상무이사, 공학박사, 정회원
 ** (재)한국철도기술공사 사원, 공학석사
 *** 경기대학교 토목환경공학부 교수, 공학박사, 정회원
 **** 삼성물산 건설부문, 소장

이것은 궤도지지스프링계수가 균질하여 반력분포가 일정하게 되는 경우에 적용하였다.

그러나 실제로 구조물전후 등 특수한 경우에는 궤도의 구조, 노반의 조건이 다르게 되므로 이에 대한 연구가 필요하게 되었다.

본 연구의 목적은 구조물전후 등 궤도지지스프링계수가 변화하는 구간에 대한 하중분배를 정량적으로 분석하고 이에 대한 완화대책에 대하여 효과를 제시하는데 있다.

궤도의 이론적 해석은 1867년 Winkler, E가 레일을 탄성 상판 위에 놓인 보의 가정으로 발표한 이래 보다 정확한 해석을 위한 연구가 이루어져 동적해석방법, 비선형해석방법이 제시되고 있다. 최근에 컴퓨터에 의한 구조해석프로그램이 발전함에 따라 궤도해석도 이러한 프로그램을 이용한 유한요소해석이 이루어져 여러 가지 조건에 대하여 연구가 진행되고 있다.

본 연구의 방법은 범용의 구조해석프로그램인 LUSAS를 이용하여 유한간격지지모델로 이루어졌다. 정성적, 정량적 분석을 위하여는 무도상궤도에서 목침목을 사용한 경우와 유도상궤도가 접속되는 경우로 가정하여 분석 제시하였다.

2. 궤도강성과 하중분배

궤도에 윤증이 작용하는 경우 침목에 작용하는 레일압력은 레일의 단면계수 및 궤도지지스프링계수에 따라 다르게 된다.

본 논문에서는 그림 3과 같이 모델을 설정하였고 레일의 규격은 현재 일반적으로 사용되는 60kg레일을 사용하면서 궤도지지스프링계수의 변화에 대하여 침하량 및 반력분포를 계산한 결과 그림 4 및 5와 같은 유형으로 나타났다.



그림 3. 해석모델

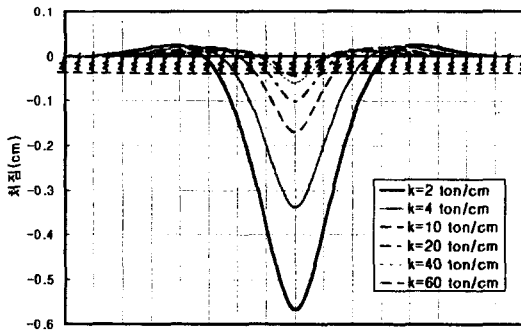


그림 4. 레일지지스프링계수 및 침하량

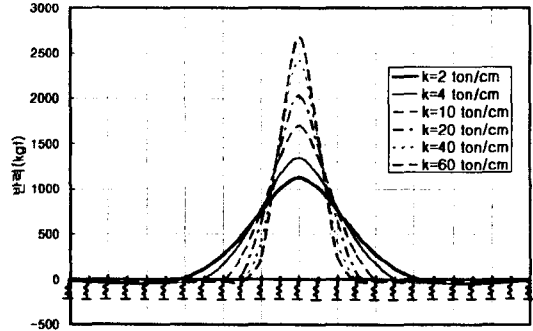


그림 5. 레일지지스프링계수 및 반력분포

또한 윤중 작용점에 대한 반력의 변화를 그림 6에 나타내었다.

그림 4에서 레일지지스프링계수가 크면 침하량이 작아지며 그 범위가 작아지는 것을 알 수 있다. 그림 5에서 레일지지스프링계수가 크면 반력 분포는 좁게, 그 크기는 크게 되는 것으로 나타났다. 그림 6에서 하중 재하점의 반력분배율을 분석하기 위하여 레일 종류와 궤도지지스프링계수를 변화시켜 본 결과 궤도지지스프링계수가 커짐에 따라 분배율이 커지며 그 값은 중량이 작은 레일에서 더욱 현저한 것으로 나타났다.

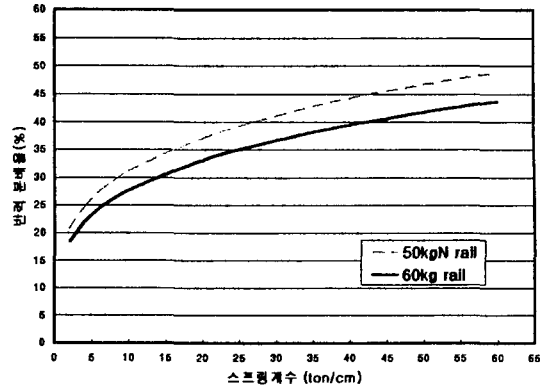


그림 6. 반력의 변화

3. 궤도강성 변화구간의 하중분배

궤도의 강성은 일정한 것이 좋으며 일정하게 관리할 필요가 있다. 그러나 궤도유지관리상의 문제, 환경 문제 및 궤도구조상의 문제 등에 의하여 일정하게 관리하기는 어렵다.

본 논문에서는 구조물전후의 궤도강성이 현저히 변화하는 구간에 대하여 검토하였다.

3.1 정적분석

그림 7은 강성이 변화하는 구간의 처짐곡선이고, 그림 8은 강성변화구간의 반력분포이다.

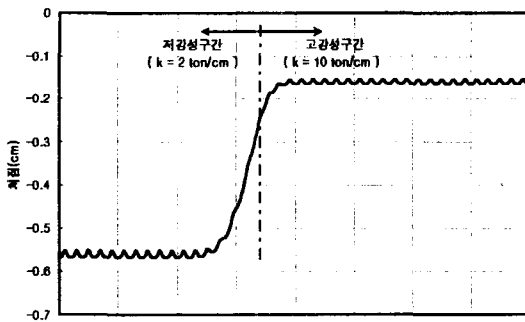


그림 7. 강성변화구간의 처짐곡선

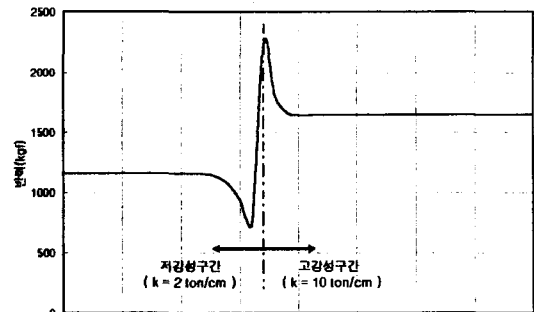


그림 8. 강성변화구간의 반력분포

그림 7, 8에서 처짐량은 강성변화구간의 침목 6개 거리에서 점진적으로 증가하게 되는 것으로 나타났다. 그러나 반력분포는 스프링계수가 큰쪽 침목 2개에서 현저히 크게 발생되었고, 스프링계수가 낮은쪽은 침목 3개에서 현저히 작게 나타났다.

그림 9 및 그림 10은 중간강성 및 보강레일을 설치하여 궤도강성의 급격한 변화를 완화시켜준 경우에 대하여 나타냈고, 각 Case별 해석 제원은 도표 1과 같다.

중간강성구간의 설치시 침하량의 완화와 현저히 큰 반력의 크기를 적게 할 수 있는 것으로 나타났다으며 보강레일 설치시에도 효과가 있는 것으로 나타났다.

도표 1. 각 Case별 해석 제원

구분	해석 제원
Case 1	
Case 2	
Case 3	
Case 4	
Case 5	

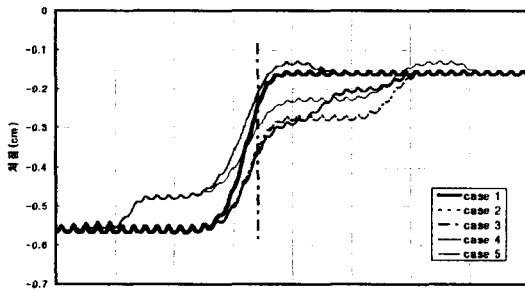


그림 9. 침하량곡선(중간강성구간)

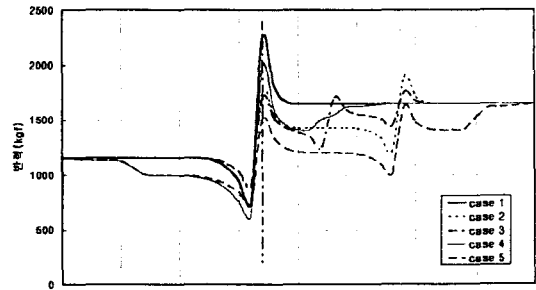


그림 10. 레일반력분포(중간강성구간)

3.2 동적거동

강성이 변화되는 구간은 정적인 영향과 함께 동적인 하중의 증가를 가져온다. 이러한 동적하중의 증가량은 크게 차량중량, 통과속도, 스프링 계수 및 댐핑계수 등의 차량요소와 강성, 변경구간

연장과 변경량 등의 하부구조요소에 따라 달라진다. 여기에서 고려할 차량이 일정하다고 가정하면 동적인 하중은 속도와 하부구조의 조건에 따라 결정되게 된다.

그림 11은 궤도강성 변화구간의 연장에 따른 동적 증가 계수 (Dynamic Amplification Factor, DAF)를 나타냈다.

동적 증가 계수의 결정은 아래와 같은 과정을 통하여 이루어 졌다.

1) 저장성 구간의 임계속도는 탄성지지모델의 경우 다음 식 (1)과 같다.

$$V_{cr}^2 = \frac{2}{m} \sqrt{kEI} \quad (1)$$

여기에서, m : 단위길이당 레일중량

k : 궤도 강성

EI : 궤도의 휨강성

2) 정적인 상태에서 궤도에 발생되는 응력을 계산하여 기준으로 한다.

3) 강성 변화구간의 연장과 속도에 따른 동적응력을 산출하고 정적응력으로 나누어 DAF를 구한다.

강성변화 구간의 강성도 비가 4인 경우 접속구간의 연장에 따른 DAF의 변화는 임계속도비가 0.46일 때 즉, 열차의 속도 100km/h라 가정하면 DAF는 접속구간의 거리가 8m 정도에서 1.21로 수렴하며, 열차의 속도가 상승하여 임계속도비가 0.9(속도 200km/h)인 경우 25m의 접속구간에서 2.51로 DAF가 수렴하고 있다.

여기서 동적하중은 접속구간의 길이에 반비례하므로 속도에 따라 동적하중의 영향을 감소시키기 위한 적절한 접속구간의 연장이 필요하며, 필요 이상의 접속구간 길이는 불필요함을 알 수 있다.

또한 통과속도의 증가에 따라 동적 영향이

중대하게 되므로 열차의 고속운행을 위한 경우 적절하게 접속구간의 연장을 확보할 필요성이 있다. 이와 함께 강성의 차이에 의한 영향을 분석하여 보면 강성의 차이가 크게 발생하는 개소는 동적하중의 발생이 크게 나타나므로 접속구간의 연장을 길게 하여 영향을 감소시켜야 한다.

4. 궤도강성변화구간의 보완대책

궤도강성이 급격히 변화하는 경우에는 침목에 작용하는 하중은 정적인 상태에서 약 50%이상 증가하며, 동적인 상태에서의 충격은 현저하게 증가하게 된다. 따라서 구조물전후에서 차량의 충격과 동요가 발생하게 된다.

이에 대한 대책은 중간강성구간 혹은 보강레일을 설치하여 완충토록 하는 방안을 제시할 수 있다.

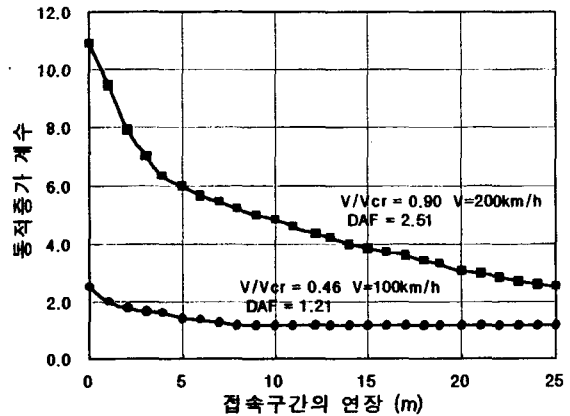


그림 11. 궤도강성 변화구간의 동적증가계수

4.1 터널전후

터널내에는 유지관리 및 궤도보수작업의 어려움의 이유에서 콘크리트도상궤도의 필요성이 요구되고 있으며 방진효과를 얻기 위하여 LVT, STEDEF, Rheda 등의 방진침목궤도, 방진체결장치적결궤도 등이 사용되고 있다. 이 궤도구조의 레일지지스프링계수는 자갈도상구간에 비하여 작게되므로 자갈도상구간에 탄성을 부여하여 콘크리트도상궤도의 스프링계수보다 작게 할 필요가 있다.

따라서 유도상궤도 일부구간에 바ラスト매트설치, 방진침목설치 등으로 중간강성구간을 설치하고 보강레일을 설치하여 궤도반력을 균등하게 하는 것이 바람직하다.

4.2 무도상 교량구간

일반적인 철도교량은 무도상교량으로서 강형교량에 목재의 교량침목을 설치하고 침목과 레일을 체결하는 구조로서 레일지지스프링계수는 오직 목침목의 탄성에 의존하게 된다.

이 경우 교량전후의 유도상궤도와 비교하여 레일지지스프링계수가 현저히 작게 되며 따라서 교량전후에서의 차량진동, 충격이 발생하여 궤도 파손이 크게 되고 교량상에서의 침목 파손도 크게 된다.

이 경우 교량전후의 교량침목에 탄성을 부여하여 스프링계수를 작게 하기 위하여 적절한 탄성이 있는 방진체결장치를 설치함으로 하중분배율을 적게 하고 교량전후의 궤도 수명을 연장할 수 있다고 판단된다.

이 방진체결장치는 교량 전장에 대하여 설치하는 것이 바람직하나 부득이한 경우 적어도 교량전후구간의 교량침목에는 설치하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 논문을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 레일지지스프링계수가 큰 경우 하중분배율이 현저히 커지므로 무도상교량의 경우 침목 1개가 받는 하중은 상당히 크게되어 방진체결장치의 도입이 요구된다.
- ② 궤도강성이 변화하는 구간에서 레일침하는 점진적으로 변화하지만 침목반력은 현저히 커지므로 바ラスト매트설치, 방진체결장치설치 등의 중간강성구간 설치가 필요하다.
- ③ 궤도강성이 변화하는 구간의 윤중 변동량은 현저히 커지며 이는 열차의 고속화에 따라 더욱 현저하게 나타난다.
- ④ 궤도강성의 변화구간의 보강방안으로 터널전후에는 바ラスト매트 혹은 방진침목 사용이, 무도상교량전후에는 방진체결장치 설치가 필요할 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 이기승(1996), "콘크리트도상 방진침목궤도의 역학적 거동과 동특성에 관한 연구", 박사학위논문, 경기대학교.
2. Coenraad Esveld(2001), "*Modern Railway Track Second Edition*", Professor of Railway Engineering Delft University of Technology
3. "*Lusas Theory Manual 1, 2*", FEA Ltd