

하구배 곡선 선로에서 타오르기 탈선이 발생할 수 있는 횡압 분포에 관한 연구

A Study on lateral force distribution that climb derailment can happen in descent grade curved track

**함영삼¹, 이동형², 서정원², 권석진², 전현규², 이찬우², 유원희³,

**Y. S. Ham(ysham@krii.re.kr)¹, D. H. Lee², J. W. Seo², S. J. Kwon², H. K. Jun², C. W. Lee², W. H. You³
^{1,2} 한국철도기술연구원 차륜레도연구실, ³ 한국철도기술연구원 주행추진연구실

Key words : Lateral Force, Wheel Load, Derailment Coefficient, Running Safety

1. 서론

철도차량의 주행안전성을 저해하는 중요한 요인은 탈선이다. 사전에서의 탈선이란 「기차와 전차 등이 선로에서 벗어나는 것」 등으로 되어있다. 보다 구체적으로, 좌우의 차륜과 그것들을 연결하는 축으로 구성된 윤축이 레일에서 벗어나는 것이라고 할 수 있다. 일반적으로 물체는 3개의 직선방향, 전후, 좌우, 상하와 3개의 회전방향 롤링, 피칭, 요잉의 합계 6방향 움직임을 동시에 할 수 있다. 레일 위를 주행하는 윤축에서는 좌우 각각의 레일과 차륜이 접촉하고 있는 2개의 구속조건이 부가하여져서 6-2=4방향의 움직임으로 한정되어진다. 따라서 윤축의 상하위 치, 롤링위치는 임의의 값을 잡는 것으로 하였을 때 좌우, 요잉 위치가 결정되는 등 자연스럽게 해결되어진다. 벗어난다는 것(탈선)은 이 구속조건이 없어지는 것이라는 말로 바꿀 수가 있다. 탈선은 그 과정에 따라 타오르기 탈선, 미끄러져 오르기 탈선, 뛰어 오르기 탈선 등 3가지로 분류되고 있다. 여기에는 공격각이 중요한 매개변수이다. 공격각은 차륜의 진행방향과 레일의 방향과의 각도차로 주어진다. 탈선의 종류 중에서 타오르기 탈선은 공격각이 +일 때 차륜과 레일이 부딪쳐 플랜지가 레일에 올라타는 것으로 곡선부에서 많이 발생하고 저속에서도 발생한다. 탈선의 주요 원인이라 할 수 있는 횡압의 분포를 파악하기 위해서는 차륜과 레일이 접촉하는 부분에서의 응력분포를 해석하여 하중간의 연성을 최소화하고¹, 최적의 게이지 부착위치를 선정하여 상호 작용력을 측정할 수 있는 계측시스템이 필요하다²⁻³. 급빈 원인규명 시험에서는 측정용 윤축을 제작하기 위한 충분한 시간이 부족하였기 때문에 윤축을 측정하기 위한 방법으로 굽힘하중을 이용하였고⁴, 횡압은 신뢰성을 높여 하나의 차륜에서 90°의 위상차를 가지는 2채널의 데이터를 추출하도록 계측시스템을 구성하였다⁵.

본 논문에서는 2009. 2. 15. 17:00경 H1161새마을회송열차(수색16:49⇒용산17:07)가 서울역을 진입하던 중 제53A호 선로전환기 부근에서 2량째 객차 앞대차가 탈선한 사고와 2009. 3. 1. 13:10경 H1057새마을회송열차(수색12:38⇒서울12:52)가 서울역 진입 중 제51A호 선로전환기 부근에서 2량째 객차(344호) 뒷대차와 3량째 객차(333호) 앞대차가 탈선한 사고의 원인을 규명하고자 하구배의 곡선선로를 저속으로 주행할 때 발생하는 횡압의 분포를 분석하고 탈선 가능성에 대하여 검토한 결과를 기술하였다.

2. 차량 주행시험

2.1 시험목적

탈선 현상인 서울역구내 북부 선로상태를 차량 통과시 동적상태에서의 윤중 및 횡압을 계측하여 취약요인을 발굴하고, 시험결과를 탈선사고 원인규명에 참조 및 사고재발 방지대책을 수립하는 데 활용

2.2 시험개요

- 시험주관 : 한국철도기술연구원
- 시험협조 : 한국철도공사
- 시험구간
 - (1) 경의선 신촌 ~ 서울역간 열차 탈선사고 발생지점
 - (2) 비교대상 분기기 선로구간

- 시험차종 : 전후동력새마을호열차(사고열차)
- 시험항목
 - (1) 차량에서 발생하는 윤중 및 횡압, 탈선계수
 - (2) 선로에서 발생하는 윤중 및 횡압, 탈선계수(별도 추진)
- 시험절차
 - (1) 계측용 윤축(333호 탈선 전부대차 전부차축) 준비
 - (2) 계측장비 설치 등 시험 준비
 - (3) 대차에 조립 및 주행시험기 이용 차량주행시험
 - (4) 1차 시험 (3량째 전부대차 전부차축에 계측장비 설치)
 - 1회 : 정상 분기기 선로 주행시험(신촌역 21AB, P55호)
 - 2회 : 운전규정을 준수하여 허용최고속도로 운행
 - 3회 : 탈선사고 발생 당시 조건으로 제동취급 운행
 - 4회 : 정차 후 최고속도 25 km/h까지 타행 진입
 - (5) 윤축 교환(3량째 전부대차 ↔ 2량째 후부대차)
 - (6) 2차 시험 (2량째 후부대차 전부차축에 계측장비 설치)
 - 정상 분기기 비교 주행시험(신촌역 21AB, P55호)

2.3 시험열차 편성

- 1차 시험 열차편성 : 측정용 윤축을 3량째 전부대차에 설치
←신촌역 서울역 →



- 2차 시험 열차편성 : 측정용 윤축을 2량째 후부대차에 설치
←신촌역 서울역 →



3. 시험결과

경의선 서울역-신촌역간에서 5회에 걸쳐 주행시험을 실시한 결과 하구배 곡선선로인 사고현장에서의 횡압은 최고 4톤 정도까지 발생하였고, 윤중은 제동을 취급할 때 좌우의 편차가 심하게 발생하여 윤중감소가 발생한 차륜에서 횡압이 증가하면 탈선계수는 1에 이르는 순간도 발생하였다.



Fig. 1 Measurement wheel-set

4. 결론

4.1 전부대차와 후부대차의 정상 분기기 시험결과 비교

신촌역 21 A/B 분기기에서의 주행속도는 20 km/h 미만이었으며, 서울역 55호 분기기에서의 주행속도는 10 km/h 미만으로 제한하여 주행할 때 전부대차와 후부대차의 차이는 미미하였다. 다만, 서울역 55호 분기기에서는 신촌역에서 서울역으로의 진행방향 좌측 차륜에서 윤중은 감소하고 횡압은 증가하여 탈선계수가 0.9를 초과하는 경우가 발생하였다.

4.2 사고현장 분기기 속도제한 15 km/h 시험결과

제한속도 15 km/h를 준수하기 위하여 제동을 취급하면서 주행한 결과, 좌측 차륜의 횡압이 4톤 정도까지 발생하여 우측 차륜보다 높게 나타났으며, 높은 횡압이 작용할 때 제동취급 등으로 인하여 윤중이 감소하게 되면 탈선계수는 0.9를 초과하여 탈선 가능성이 높아지는 것을 알 수 있었다.

4.3 사고현장 분기기 속도제한 25 km/h 시험결과

사고발생 현장에서 속도제한 15 km/h 운행시와 비교할 때, 탈선계수는 오히려 낮아지는 것을 볼 수 있었다.

4.4 측정의 신뢰성

윤중을 정확히 측정하기 위하여는 차륜의 플레이트에 홀을 가공하여야 하지만 본 시험에서는 차륜의 굽힘하중을 윤중으로 환산하였기 때문에 전체적으로 윤중의 신뢰성은 높지 않다고 할 수 있다. 이에 비해 횡압은 정확한 위치에 게이지를 부착하여 정하중시험실에서의 하중시험과 대등한 수준으로 교정을 하였으므로 대단히 높은 신뢰성을 보장할 수 있다.

참고문헌

1. Y. S. Ham, "Analysis of Coupling Term Between Vertical Load and Lateral Load for Install Load Cell to Wheel-set", Korean Society for Precision Engineering, KSPE 2006 Spring Conference, pp. 31~32, 2006
2. Y. S. Ham, "Stress Distribution of Tilting Vehicles Wheel-set by Interaction Force Between Wheel and Rail", Korean Society for Precision Engineering, KSPE 2006 Spring Conference, pp. 351~352, 2006
3. Y. S. Ham, "Static Load Test of Tilting Vehicle Wheel-set by New Telemetry System", Korean Society for Precision Engineering, Proceedings of the KSPE 2008 Spring Annual Meeting, pp. 985~986, 2008
4. Young-Sam Ham, "A Study on the contact force calculation by bending load of axle of rolling stocks", Korean Society of Mechanical Engineering, Proceedings of the KSME 2008 Autumn Annual Meeting, pp. 481~484, 2008
5. Young-Sam Ham, Dong-Hyong Lee, Seok-Jin Kwon, Won-Hee You and Taek-Yul Oh, "Continuous Measurement of Interaction Forces between Wheel and Rail", International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 10, No. 1, pp. 35 ~ 39, 2009

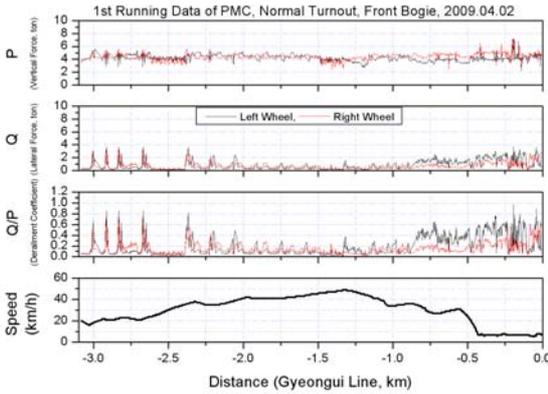


Fig. 2 Test result of normal turnout in front bogie

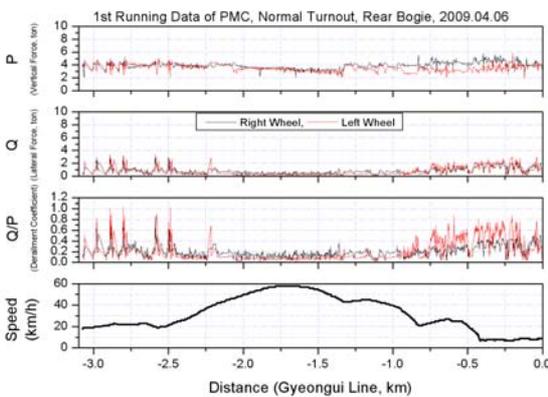


Fig. 3 Test result of normal turnout in rear bogie

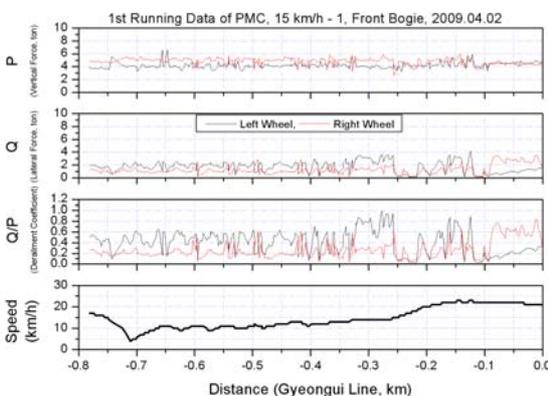


Fig. 4 Test result of 15 km/h in front bogie

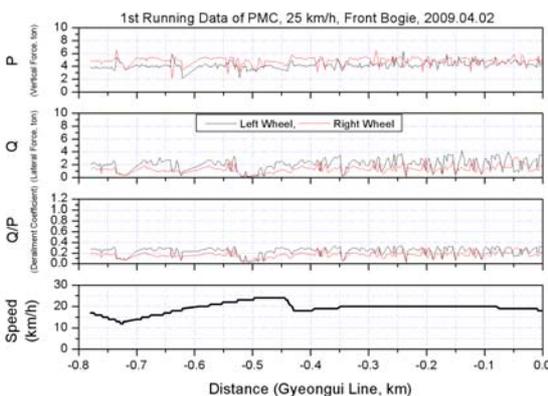


Fig. 5 Test result of 25 km/h in front bogie