

곡선부 저속주행시 타오르기 탈선의 원인과 대책

Cause and Counterplan of Wheel Climb Derailment at Low Speed on Curves

함영삼*

유원희**

Ham, Young-Sam

You, Won-Hee

ABSTRACT

When vehicles running, vertical force and lateral force act except load of vehicles to rail and wheel. This force happens by complex motion at running. If mark vertical force by P and lateral force by Q, derailment coefficient displays Q/P , most important indicator pointer of running safety judgment. If Q is grown than P from derailment coefficient, than arrived to derailment because wheel climb or jumps over rail. Wheel climb derailment among kind of derailment is when attack angle is +, wheel and rail strike and flange rides to rail. This derailment occurs much in curved line and occurs in low speed. In this study, occurred when running at low speed on curved line, analyze cause of derailment and presented the countermeasure plan.

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 를링, 피칭, 요잉의 합계 6방향 움직임을 동시에 할 수 있다. 레일 위를 주행하는 윤축에서는 좌우 각각의 레일과 차륜이 접촉하고 있는 2개의 구속조건이 부가하여져서 6-2=4 방향의 움직임으로 한정되어진다. 따라서 윤축의 상하위치, 를링위치는 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.

본 논문에서는 2007년 3월 19일 11:50경 수색역을 출발하여 망우역으로 가던 한국철도공사 소속 제5621호 근거리화물열차가 경원선 왕십리역 구내로 진입하던 중 29호 선로전환기 전방에서 25량중 20량 째 후부대차와 21량째 전부대차가 탈선한 사고에 대하여, 곡선부를 저속으로 주행할 때 발생하는 탈선의 원인을 분석하고 그 대책방안을 제시하고자 한다.

* 한국철도기술연구원, 철도시스템연구본부, 정희원

E-mail : ysham@krri.re.kr

TEL : (031)460-5202, FAX : (031)460-5299

** 한국철도기술연구원

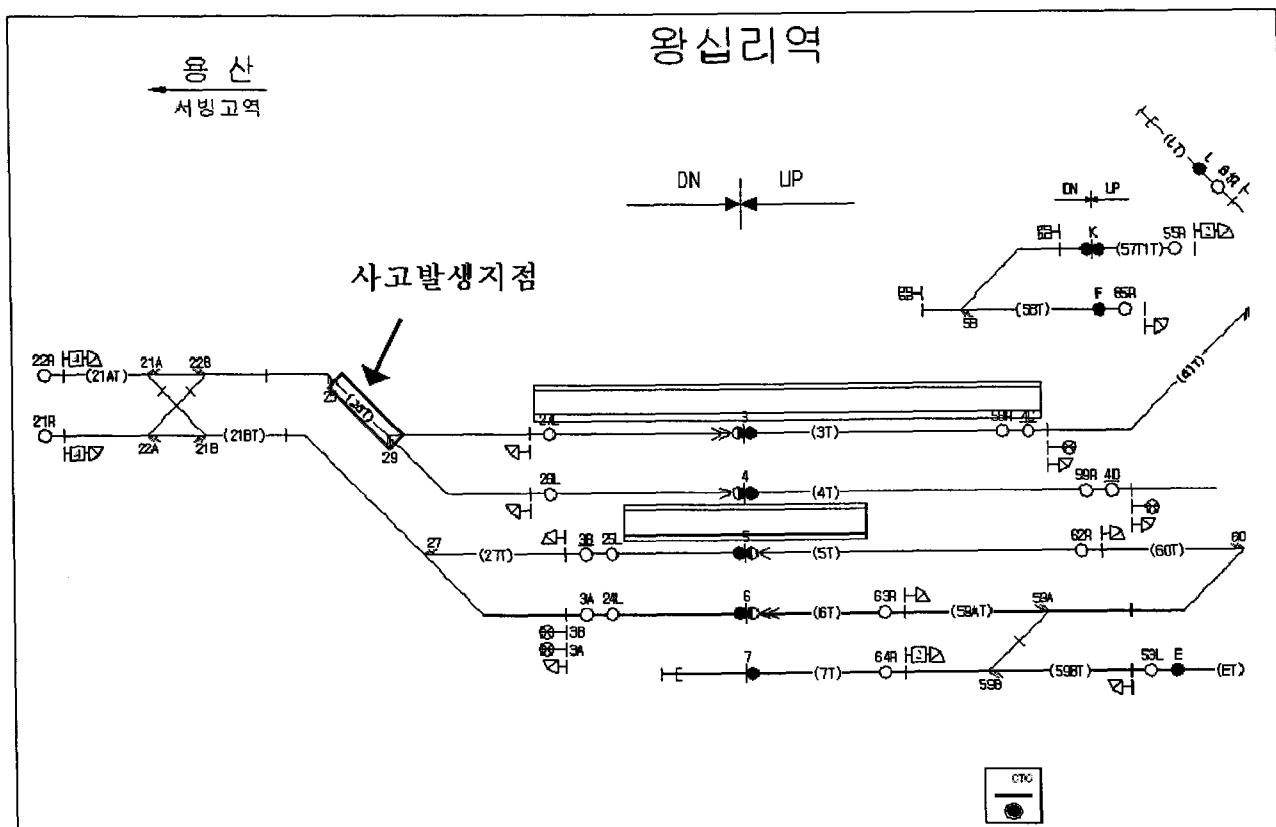


그림 1. 사고현장 약도

2. 탈선의 종류

차량이 주행할 때, 레일과 차륜은 차량의 하중 외에 주행시의 복잡한 운동으로 인하여 차륜은 레일에 수직방향의 힘과 수평방향의 힘을 작용시킨다. 수직방향의 힘을 P로 표시하고 수평방향의 힘을 Q로 표시하면, 주행안전성 판단의 가장 중요한 지표인 탈선계수는 Q/P의 비율로 나타내며, Q가 P보다 커지게 되면 차륜이 레일을 올라타거나 뛰어넘어 탈선에 이르게 되는 것이다. 탈선의 종류 중에서 타오르기 탈선은 공격각이 +일 때 차륜과 레일이 부딪쳐 플랜지가 레일에 올라타는 것으로 곡선부에서 많이 발생하고 저속에서도 발생한다. 이러한 탈선은 다음과 같이 세 가지로 크게 분류할 수 있다.

2.1 타오르기 탈선(Wheel climb derailment)

그림 2와 같이 공격각(attack angle)이 +일 때 차륜과 레일이 부딪쳐 플랜지가 레일에 올라타는 것으로 곡선부에서 많이 발생하고 저속에서도 발생한다.

2.2 미끄러져 오르기 탈선(Slide-up derailment)

그림 3과 같이 공격각(attack angle)이 -일 때 차륜이 레일을 따라 미끄러져 올라가는 것으로 역시 곡선부 및 저속에서 발생한다.

2.3 뛰어 오르기 탈선(Jump-up derailment)

차륜이 곡선부나 분기기를 통과할 때, 또는 좌우진동과 사행동(hunting)이 격심할 때 좌우방향의 힘과 속도가 커지면 플랜지가 레일에 충돌하여 차륜이 레일 위로 뛰어 오르는 현상으로, 특히 고속에서 발생하기 쉽다.

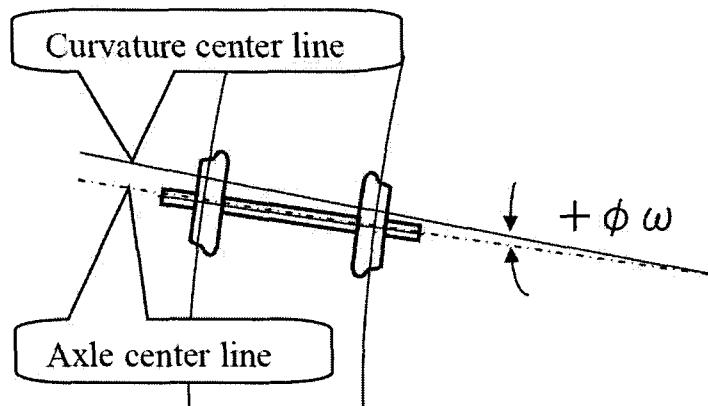


그림 2. Positive attack angle

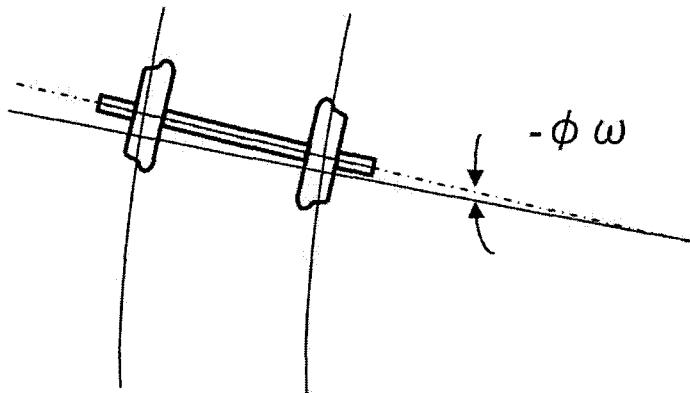


그림 3. Negative attack angle

3. 사고원인분석 및 대책방안

3.1 선로 및 차륜상태 조사

수집된 자료를 검토한 결과, 사고차량의 치수는 기준한도 이내인 것으로 나타났으며, 선로는 곡선부 진입구간인 측정위치 #1부터 #16까지에서 다음과 같이 기준한도를 초과한 것으로 조사되었다.

- 궤간은 #5, #6, #10, #11 등의 지점이 기준한도 초과

- 궤간의 표준치수 = 1,435 mm (국유철도건설규칙 제6조)
- 슬랙 $S = 2,400/R - S' =$ 최대 6 mm (국유철도건설규칙 제12조)
- 기준한도는 표준치수 + 최대허용슬랙 = 1,441 mm

- 캔트는 #6, #7, #8, #9 등의 지점이 기준한도 초과

- 캔트는 160 mm 이하로 하며 다음과 같다.(국유철도건설규칙 제19조)
- 캔트 $C = 11.8 \times V^2/R - C' = 47.2 \approx$ 최대 50 mm

- 종거는 레일의 길이가 정확히 표현되어 있지 않지만 10 m 현이라고 가정한다면 최대종거는 #5 지점에서 40 mm로 조사되었으므로 곡선반경이 400 m 보다 작은 것으로 추정됨

- 완화곡선은 기준인 30 m 보다 10 m 적게 하여 20 m 삽입

- 20량째 차량의 차륜 플랜지에 패인 자국 발견

3.2 조사내용 고찰

이상의 조사내용을 종합하면 당시의 사고는 ‘타오르기 탈선’ 또는 ‘뛰어 오르기 탈선’으로 분류할 수 있으며, 다음과 같이 사고 원인을 추정할 수 있다.

① 타오르기 탈선의 경우

- 정적인 윤중의 불균형
- 차륜과 레일 간의 마찰계수 증대
- 레일의 마모된 단면 형상
- 선로의 선형 부적절

② 뛰어 오르기 탈선의 경우

- 지장물에 의한 차륜 충격

3.3 대책방안

① 타오르기 탈선의 경우

- 차량의 정적인 윤중 관리
 - 윤중 측정 미실시로 원인 모호
 - 불균형 윤중 발견시 절차에 의한 조치
- 차륜과 레일 간의 마찰계수 관리
 - 각종 이론해석 필요
 - 차륜탈선시험설비를 이용한 creep force 시험 필요
 - 시험선로에서의 탈선주행시험 필요
- 레일의 단면 형상 관리
 - 레일의 단면 형상 미측정으로 원인 모호
 - 레일의 연삭 형상 적정화
- 선로 선형 정상화 및 탈선방지 가드레일 설치

② 지장물에 의한 차륜 충격 탈선의 경우 : 선로와 차량의 원형 정비

③ 원인분석용 시험설비

차륜탈선 안전성능 평가 시험설비는 철도차량의 주행 중 차륜/레일의 담면형상, 주행속도, 수직하중, 수평하중, 차륜/레일의 좌우접촉위치, 공격각 등에 따라 탈선을 야기하는 크리프력이 어떻게 변화하는지를 규명하는 시험설비이며, 아울러 탈선현상 특히 Climbing Derailment의 현상을 보다 정확히 규명할 수 있다. 이태리의 윤축 롤러리그는 약 10년 전에 설치한 이후 3년간의 튜닝을 거쳐 7년 전부터 정상가동되고 있는 설비로서 밀라노공대에서 소프트웨어를 개발하고 적용한 탈선 안전성능 평가 시험설비이며 영문 이름은 “Wheelset Test System”이다. 이 시험설비는 독일 DB의 탈선 시험설비와 유사한 장비이나 요인각을 제어할 때 DB장비는 유압실린더로 하는 것에 비하여 서보모터를 통해 보다 신속하고 정확하게 자동 조정할 수 있다. 그림 4는 이태리 Lucchini CRS에 설치된 윤축 롤러리그로서 이러한 시험설비가 구축되어야 탈선의 원인을 보다 정확하게 분석할 수 있을 것이다.

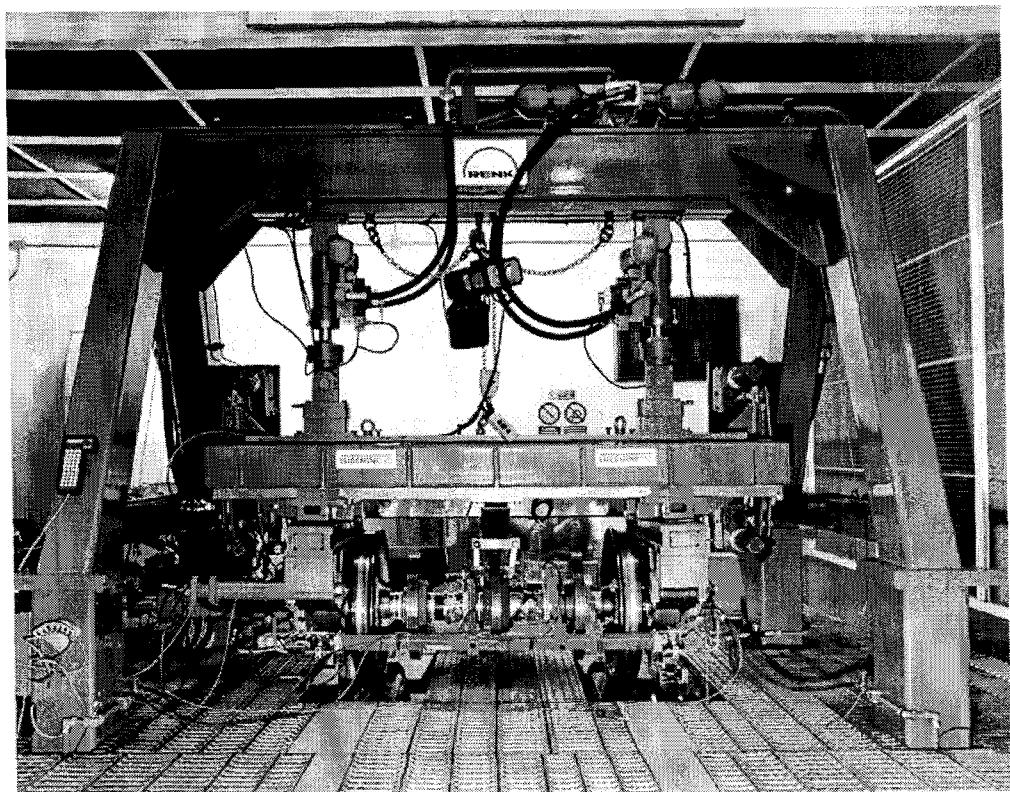


그림 4. Wheelset Test System

4. 결론

차륜이 레일을 벗어나는 현상은 여러 가지 원인들이 복합적으로 작용할 때 발생한다. 금번 탈선사고의 원인은 선로의 일부에서 기준을 초과하였지만 그와 더불어 외부 지장물에 의한 충격도 가미된 것으로 판단된다. 조사자료가 미흡하여 정확한 사고원인의 규명이 어려운 것이 사실이었다. 그러나 보다 근본적으로는 철도차량의 주행 중 차륜/레일의 담면형상, 주행속도, 수직하중, 수평하중, 차륜/레일의 좌우 접촉위치, 공격각 등에 따라 탈선을 야기하는 크리프력이 어떻게 변화하는지를 규명하는 시험설비도 필요하며, 관련자들의 지속적인 관심과 연구개발을 통한 기술력 축적이 요구되는 분야임을 밝히는 바이다.

참고문헌

1. International Union of Railways, 2003, Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour-Safety-Track fatigue-Ride quality, UIC CODE 518, 2nd edition
2. Masayuki MIYAMOTO, 1996, Mechanism of Derailment Phenomena with Railway Vehicle, Railway Technical Research Institute REPORT, Vol. 10, No. 3, pp. 31-38
3. Young-Sam Ham, Jai-Sung Hong, Taek-Yul Oh, A Study on the Evaluation Methods of Running Safety for Railway Vehicle, Key Engineering Materials, Vols. 321-323(2006), pp. 1499-1502, ©2006 Trans Tech Publications, Switzerland