

## 노후차량의 타고오름탈선에 관한 연구

## A Study on the Wheel Climbing Derailment of the Degraded Trains

우관제\*<sup>†</sup>, 정상영\*, 김용원\*Kwan-Je Woo\*<sup>†</sup>, Sang-Young Jeong\*, Yong-Won Kim\*

**Abstract** As the operation time of the train increases, the characteristics of the parts which have effect on the safety of the trains change. Especially, the stiffness of the primary and secondary springs has a tendency to increase with the aging so the possibility of the wheel climbing derailment increases. And the trains which designed and built before the domestic regulation which specifies the limit values of the wheel load ratio became effective, the measured wheel load ratio are as high as 20%~30%. In this paper the possibility of the wheel climbing derailment was studied with the changes of the characteristics of the suspension and wheel off-load ratio of the degraded trains.

**Keywords** : Degraded trains, Wheel climbing derailment, Stiffness, Wheel load ratio, Wheel off-load

**초 록** 차량이 노후화 됨에 따라 차량 안전성에 관련된 요소들의 특성이 변화하는 경향이 있다. 특히 타고오름탈선에 관련된 1차 스프링, 2차 스프링의 강성은 차량 노후화에 따라 강성이 커져 탈선의 위험성이 증가하게 된다. 또한 도시철도차량 안전기준에 관한 규칙 발효 이전에 제작된 전동차는 윤중비 관리가 이루어지지 않아 수 십 %의 윤중비가 측정을 통해 확인되었다. 본 논문에서는 차량의 노후화에 따른 현수장치 특성 변경 및 도시철도차량 안전기준에 관한 규칙 발효 이전에 설계/제작된 차량의 실제 윤중비로 인한 타고오름탈선의 위험성에 대해 연구하였다

**주요어** : 노후 차량, 타고오름탈선, 스프링 강성, 윤중비, 윤중감소율

## 1. 서 론

열차 탈선의 유형에는 타고오름탈선(wheel-climbing derailment), 미끄러짐탈선(slide-up derailment), 뛰어오름탈선(jump-up derailment) 등이 있으나 열차 충돌 등의 과격한 외력이 가해지지 않고, 선로 상태가 좋지 않은 곡선부에서 저속으로 운행할 때는 차륜의 플랜지가 레일을 타고 올라 탈선에 이르는 타고오름 탈선이 일어날 가능성이 크다[1]. 타고오름 탈선에 영향을 주는 인자에는 선로비틀림, 정지윤중비, 현수장치의 강성, 레일 두부형상, 차륜 플랜지 형상 등을 들 수 있다.

<sup>†</sup> 교신저자: 국토교통부 항공철도사고조사위원회([dr.wookj@korea.kr](mailto:dr.wookj@korea.kr))

\* 국토교통부 항공철도사고조사위원회

이 중에서 현수장치의 강성은 열차가 노후화 됨에 따라 경화되는 특성이 있으며[2], 이 경우 곡선통과 시 곡선추종성을 악화시켜 타고오름 탈선의 가능성이 커질 수 있다. 또한 2000년 3월 18일 이후에 제작된 차량은 도시철도법의 도시철도차량 안전기준에 관한 규칙(현재는 철도안전법의 기술기준)에 따라 정지윤증비를 5% 이내로 관리하고 있으나 그 이전에 제작된 차량은 윤증비에 대한 기준이 없었기 때문에 차량의 윤증비는 5%를 초과할 가능성이 크고, 이에 따라 타고오름 탈선의 위험성이 존재한다고 할 수 있다. 본 논문에서는 차량의 노후화 및 도시철도법에 따른 윤증비 관리 이전에 제작된 열차의 타고오름탈선의 위험성에 대해 연구하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 탈선의 유형

일반적으로 탈선은 다음과 같은 세가지 유형으로 나눌 수 있다 (Fig. 1).

- 1) 타고오름탈선 (wheel-climbing derailment)  
공격각이 +일 때, 차륜 플랜지가 레일을 타고 올라 가는데 충분한 마찰력이 발생한 경우에 일어날 가능성이 있음
- 2) 미끄러짐탈선 (slide-up derailment)  
공격각이 - 이고, 차륜이 레일에서 멀어지는 방향이며 횡력이 외력보다 클 때 발생할 가능성이 있음
- 3) 뛰어오름탈선 (jump-up derailment)  
횡방향으로 충격력이 발생하여 차륜이 레일에 충돌할 때 발생할 가능성이 있음

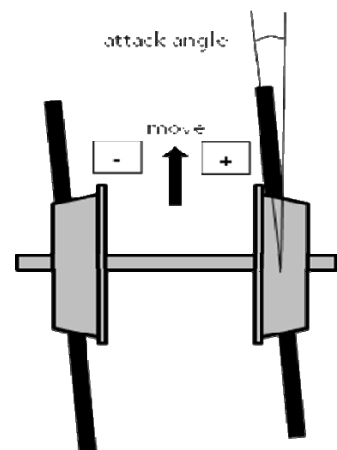


Fig. 1 Attack angle

### 2.2 타고오름탈선

앞 절에서 설명한 세가지 탈선 유형 중 타고오름탈선의 과정을 살펴보면 다음과 같다 (Fig. 2).

- 1) 차륜 플랜지가 레일 측면에 접촉
- 2) 플랜지가 레일을 타고 오르기 시작
- 3) 차륜이 레일 상면까지 타고 오름

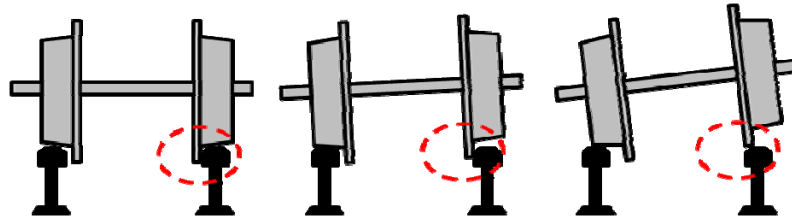


Fig. 2 Process of wheel-climbing derailment

타고오름탈선의 가능성을 미리 예측하는 데에는 탈선계수(수평력/수직력)가 유용하게 사용되고 있으며 타고오름탈선은 크립력, 차륜들림량 및 윤중감소율에도 상당한 상관관계가 있다고 알려져 있다 [1].

### 2.3 윤중감소율

윤중감소율은 피봇센터와 차축거리간 기울기를 감안하여 계산할 수 있는데 도시철도법(현 철도안전법)에서는 이를 0.6이하로 제한하고 있다. 윤중감소율에 영향을 주는 인자에는 다음과 같은 것을 들 수 있다.

- 선로 비틀림
- 현수장치 수직방향 강성 (1차, 2차)
- 정지윤중비

Fig.3과 같이 열차가 캔트나 비틀림이 있는 궤도를 주행한다고 가정했을 때 캔트의 정점 또는 비틀림양이 큰 지점에서는 선두 차축의 우측 차륜과 레일에 작용하는 하중이 감소하게 된다(궤도가 좌곡선이라고 가정). 이때 차륜 플랜지와 레일 사이의 마찰력이 차륜 플랜지가 레일을 타고 오를 만큼 충분하게 크다면 타고오름탈선의 가능성이 발생하게 되는 것이다.

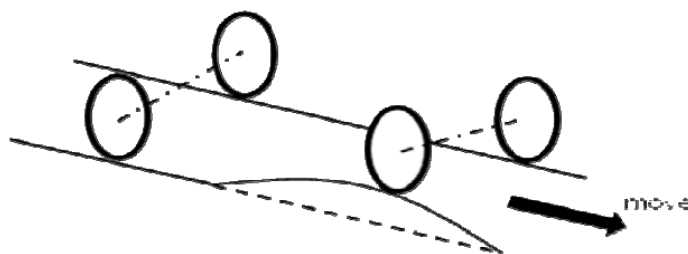


Fig. 3 Wheel unloading due to track twist

## 2.4 선로비틀림

Fig.4는 실제 열차가 운행되고 있는 선로에서 정적(궤도선형측정기)으로 측정한 비틀림(twist)과 캔트(cant)량을 보여주고 있다. 유의할 것은 하구배가 시작되는 (완화곡선이 시작되는) 지점에서 비틀림양이 갑자기 증가하고 있다는 것이다. 일반적으로 동적(궤도검측차)으로 측정한 결과가 정적으로 측정한 결과 보다 크다는 연구결과[3]가 있으나 본 연구에서는 정적으로 측정한 결과를 해석에 사용하였다.

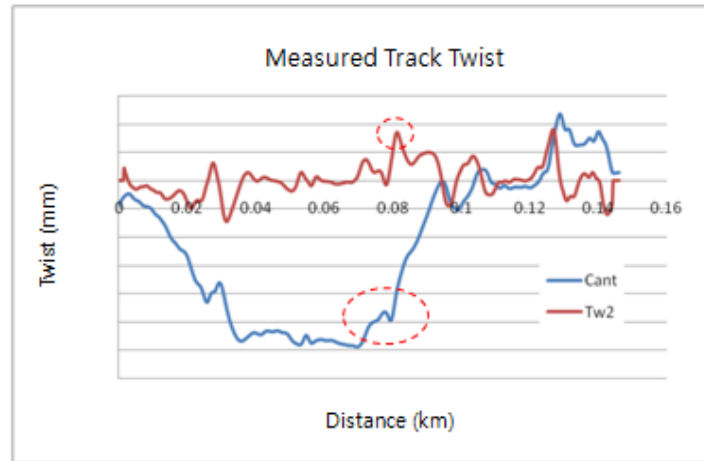


Fig. 4 Measured track twist

## 2.5 1차 스프링 강성

Table 1은 1997년도에 제작해서 현재까지 운행하고 있는 전동차의 1차 스프링 강성의 설계치 대비 측정치의 증가율을 나타낸 것이다 (종류 당 8개씩 측정).

Table 1 Increment of vertical stiffness of primary springs (average of 8 sets for each type)

Type	Increment
M car	31%
T car	24%

제작 이후 약 18년 동안 교체 없이 사용한 결과 1차 스프링의 수직방향 강성이 설계치에 비해 M차는 31%, T차는 24% 증가하였다.

## 2.6 윤중 측정결과

10량 1편성으로 구성된 전동차에 있는 총 80세트의 차륜에 대해 윤중을 측정한 결과, 정지윤중비(한 축에 있는 좌우 차륜의 윤중 평균 대비 한쪽 차륜의 윤중 편차)는 도시철도법 기준인 5%를 벗어나는 차륜이 많이 있다는 것을 알 수 있었다 (Fig.5).

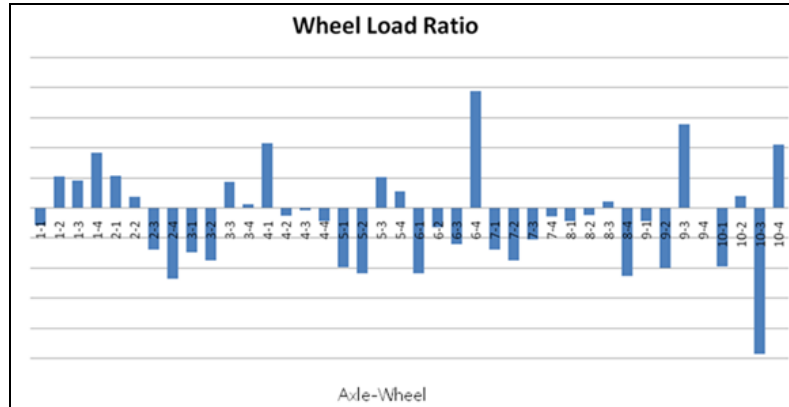


Fig. 5 Measured wheel load ratio

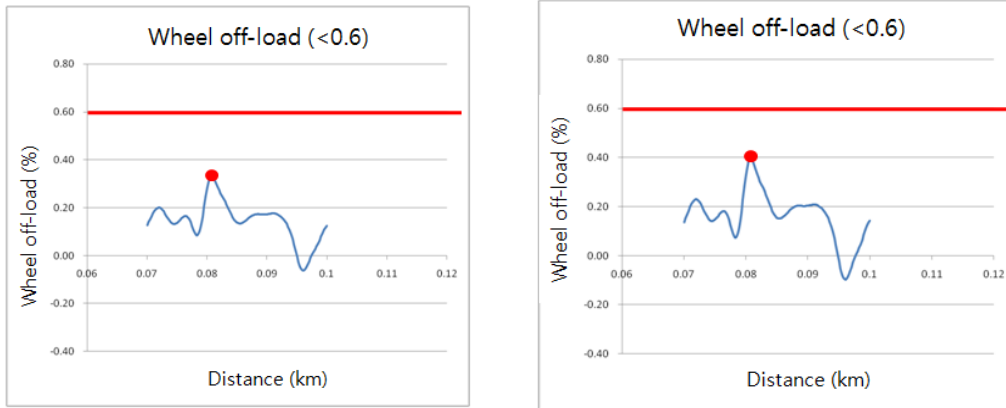
## 3. 해석

본 논문에서는 실측한 궤도 비틀림량, 1차 스프링계수 및 정지윤중비를 사용하여 ORE Report B55[4]에서 제시하고 있는 방법으로 윤중감소율을 계산하여 타고오름탈선의 가능성에 대해 살펴 보았다.

### 3.1 1차 스프링의 영향

정지윤중비를 5%로 가정하고 1차 스프링의 강성으로 설계치를 입력했을 경우와 실측치를 입력했을 경우에 대해 각각 윤중감소율을 계산하였다.

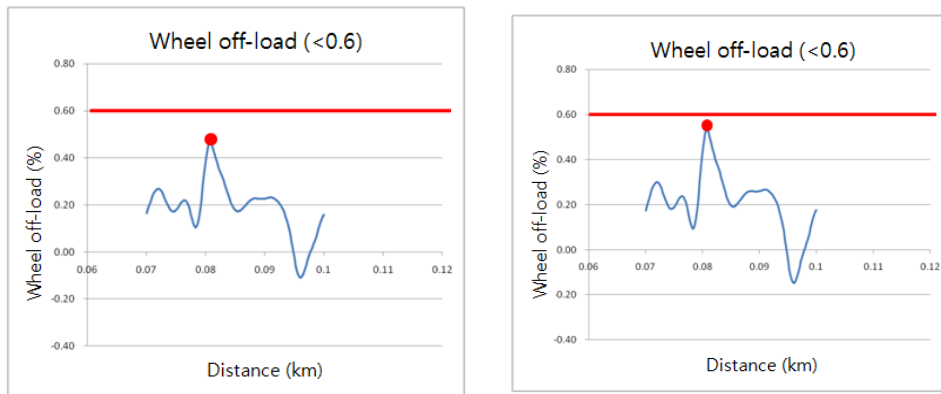
M차는 1차 스프링의 강성으로 설계치를 사용했을 경우에는 선로 비틀림량이 가장 큰 지점에서 윤중감소율이 0.34였으나 실측치를 사용했을 경우에는 0.4로 증가하였다. 그러나 둘 다 기준치인 0.6에는 미치지 못하는 수치이다 (Fig.6).



**Fig. 6** Calculation results (M car)

(Left: Design stiffness, Right: Measured stiffness)

T차는 1차 스프링의 강성으로 설계치를 사용했을 경우에는 선로 비틀림량이 가장 큰 지점에서 운중감소율이 0.46였으나 실측치를 사용했을 경우에는 0.53로 증가하였다. 둘 다 기준치인 0.6에는 미치지 못하는 수치이지만 M차에 비해서는 증가하였다 (Fig.7).

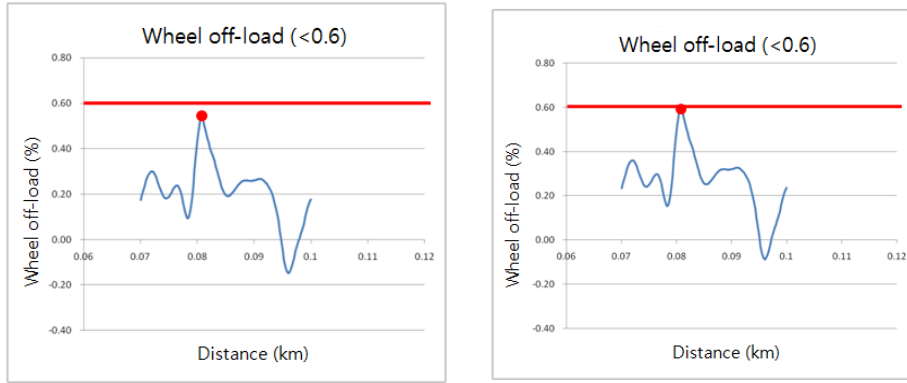


**Fig. 7** Calculation results (T car)

(Left: Design stiffness, Right: Measured stiffness)

### 3.2 정지운중비의 영향

한 편성에 있는 10량 중 특정차 1량에 대해 실측한 1차 스프링 강성과 실측한 정지운중비를 사용하여 운중감소율을 계산하였다. Fig.8과 같이 정지운중비 5%를 사용했을 때 보다 실측한 정지운중비를 사용했을 때 운중감소율은 0.53에서 0.59로 증가함을 알 수 있다. 본 연구에서 정적으로 측정한 선로 비틀림을 사용하였음을 감안했을 때 궤도검측차를 이용한 비틀림량을 해석에 사용한다면 기준치 0.6을 초과할 가능성이 크다.



**Fig. 8** Calculation results (T car)

(Left: Assumed wheel load ratio (5%), Right: Measured wheel load ratio (11%))

#### 4. 결론

차량 노후화에 따라 경화된 1차 스프링과 2000년도 이전에 제작되어 윤중비의 관리가 이루어지지 않은 차량에 대해 타고오름탈선의 가능성에 대해 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 탈선지점의 비틀림량과 차량의 1차 스프링 강성 및 윤중비가 복합적으로 작용하여 타고오름탈선의 가능성을 높일 수 있다.
- 2) 1차 스프링의 강성이 증가함에 따라 윤중감소율이 증가하였다.
- 3) 정지윤중비가 증가함에 따라 윤중감소율이 증가하였다.

따라서 노후차량의 타고오름 탈선을 방지하기 위해서는 다음과 같은 대책 수립이 필요하다.

- 1) 1차 스프링의 교체주기 설정
- 2) 운행중인 차량에 대한 윤중 측정 및 윤중 관리방안 수립
- 3) 탈선 방지를 위한 가드레일 및 도유기 설치 기준 수립

#### 참고문헌

- [1] Aircraft and Railway Accidents Investigation Commission, October 26, 2000, “Survey Report Regarding the Teito Rapid Transit Authority’s Hibiya Line Derailment and Collision Accident at Nakameguro Station”

- [2] 항공철도사고조사보고서, 2010.12.20, “서울메트로 전동열차 과천선 범계~금정역간 탈선(2010. 4.11)”
- [3] Rail Accident Investigation Branch , August, 2015, “Freight train derailment at Angerstein Junction, 2 April 2014”
- [4] ORE Report B55, Prevention of derailment on track twists, Report No. 8, April 1983