

# 철도차량 차축의 굽힘하중에 의한 차륜/레일 접촉력 계산에 관한 연구

함영삼<sup>†</sup>

## A Study on the contact force calculation by bending load of axle of rolling stocks

Young-Sam Ham

**Key Words:** Contact Force(접촉력), Wheel Load (윤중), Lateral Force (횡압), Derailment Coefficient (탈선계수)

### Abstract

The important factor to evaluate the running safety of a railway vehicle would be the interaction force between wheel and rail(derailment coefficient), for which is one of important factors to check the running safety of a railway vehicle that may cause a tragic accident. Element that analyze derailment coefficient is consisted of wheel load and lateral force.

In this paper, studied about method that calculate vertical force(wheel load) by bending load of axle in rolling stocks.

#### 기호설명

P : 윤중(수직방향 하중, Ton)  
Q : 횡압(수평방향 하중, Ton)  
B : 굽힘하중(Ton)

### 1. 서 론

철도차량의 주행안전성을 평가하는 중요한 항목 중의 하나는 차륜과 레일 사이에서 발생하는 접촉력이다. 수평방향 하중과 수직방향 하중의 비율로 나타내는 탈선계수는 주행안전성의 핵심 지표라고 할 수 있는데, 이는 탈선이 발생하면 대형사고로 직결되기 때문이다. 차륜의 마모와 레일의 보수주기에도 관여하는 접촉력을 측정하

는 데에는 측정용 윤축을 회전체 로드셀로 탈바꿈시켜야 하기 때문에 많은 시간과 비용이 요구된다. 또한 차륜의 플레이트에 구멍을 가공하여 스트레인 게이지를 부착함으로써 측정의 정확성이 떨어지면 윤축을 폐기해야 하는 경제적 손실도 감수할 수 밖에 없었다. 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하여 차축에서 발생하는 굽힘하중으로 윤중 또는 횡압을 계산하는 과정과 측정결과에 대하여 기술하였다.

### 2. 탈선이란?

#### 2.1 정의

탈선계수란 차륜과 레일의 접촉점에서 발생하는 수직하중과 수평하중의 비율을 의미하는 것으로서 수평하중이 증가할수록 탈선의 위험성이 높아진다고 할 수 있다<sup>(1)</sup>. 탈선에 관한 문제는 횡압을 제거함으로써 모든 문제를 해결한다 해도 과언이 아니다. 그만큼 윤중감소보다 횡압의 증

<sup>†</sup> 회원, 한국철도기술연구원

E-mail : ysham@krri.re.kr

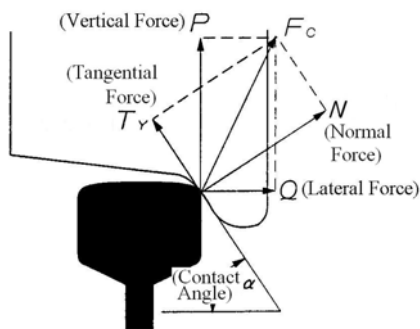
TEL : (031)460-5202 FAX : (031)460-5814

가가 위험하기도 하지만, 차륜의 마모저감이나 레일의 유지보수주기 연장 등 매우 많은 문제에 횡압이 관여한다는 것을 의미한다. 탈선사고는 자주 발생하지는 않지만 한번 발생하면 치명적인 대형사고로 연결된다. 그러한 사고는 차량뿐만 아니라 궤도, 전기신호 등 여러 시스템이 복합적으로 원인을 제공하는 것이므로 차량 측면에서는 횡압의 저감이 가장 큰 당면과제라고 할 수 있다.

차량이 주행할 때 레일과 차륜은 차량의 하중 외에 주행시의 복잡한 운동으로, 차륜은 레일에 수직방향의 힘과 수평방향의 힘을 작용시킨다. 이 수평방향의 힘(횡압 Q)에 대한 수직방향의 힘(윤중 P)의 비(Q/P)를 탈선계수라 하며 이 값이 일정치를 넘으면 차륜이 레일을 올라타거나 뛰어 넘어 탈선을 하게 되므로 주행안전성 검토의 기준이 된다. 탈선계수의 해석은 정적해석과 동적해석으로 구별되며 Fig. 1과 같은 상태에서의 정적해석은 접촉점에서 힘의 평형을 고려하면 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\left(\frac{Q}{P}\right) = \frac{\tan\alpha \mp \mu}{1 \pm \mu \tan\alpha} \quad \text{----- (1)}$$

식에서 분자의 -와 분모의 +는 타오르기 탈선, 분자의 +와 분모의 -는 뛰어오르기 탈선을 나타내고, 이것은 차륜이 레일을 미는 힘, 즉 횡압의 작용시간으로 구별하여 1/20 초 이하를 뛰어오르기 탈선, 1/20 초 이상을 타오르기 탈선으로 적용한다.



$$Q = N \sin \alpha - T_\gamma \cos \alpha$$

$$P = N \cos \alpha + T_\gamma \sin \alpha \quad T_\gamma \leq \mu N$$

Fig. 1 Forces between wheel and rail

## 2.2 측정 원리

레일 위를 주행하는 차륜에 작용하는 분력을 측정하기 위해 차륜에 스트레인 게이지를 부착하고, 차륜 상의 직교하는 위치에 대응한 두개의 브리지 출력에 각각 하중 작용 위치에 대응한 하중을 가산하여 양자의 조합에 따라 출력을 얻을 수 있도록 한다.

편성열차의 최전부차량에서 전부대차의 1위축에 측정용 윤축을 조립하여 차륜의 안쪽에 신호 발신기가 내장된 Telemeter를 설치하고, 차체에 신호 수신기를 설치한다. 스트레인 게이지는 차륜에 부착하여 무선으로 신호를 전송하도록 측정 시스템을 구성한다<sup>(2)</sup>.

Transmitter에는 배터리를 내장시켜 별도의 전원 공급 없이 신호를 전송하도록 하고, 차축의 회전과 충격에 견딜 수 있도록 지그를 견고하게 제작하여 설치한다. Transmitter에서 발생된 신호는 안테나를 통해 Receiver로 전달되어 Data Recorder에 저장되도록 구성한다.

## 3. 지금까지의 접촉력 측정방법

### 3.1 윤축의 구조해석 및 가공

주행안전성을 평가하기 위한 측정용 윤축은 차량의 최전부에 조립되어, 주행시 윤중과 횡압을 동시에 측정하는 것으로서 측정용 윤축의 제작은 주행안전성 측정시스템 구축의 첫 번째이자 가장 중요한 단계라 할 수 있다. 횡압은 차륜의 플레이트에서 바로 측정이 가능하지만, 윤중은 차륜의 절단면에서 측정하는 것이 더 정확하다. 따라서 차륜면에 구멍을 가공하여 그 단면에서 윤중을 측정하는 것이 일반적으로 널리 사용되고 있는 측정방법이다. 윤중의 측정위치는 횡압의 간섭이 최소이면서 수직압이 크게 발생하여야 하므로 가공되는 구멍의 위치가 이 위치를 포함하도록 하여야 한다. 이를 위해 차량의 윤축을 대상으로 유한요소해석을 실시하여 그 위치를 결정한다<sup>(3)</sup>.

구조해석의 결과를 바탕으로 윤중을 측정하기 위한 구멍의 적절한 위치를 결정하고 지름이 60 mm인 구멍을 차륜중심으로부터 일정위치에 180° 간격으로 2개씩 차륜 양쪽이 좌우대칭이 되도록 가공한다.

### 3.2 정하중시험 및 교정값 산출

윤축의 구조해석을 통해 선정된 위치 부근에 응력집중 측정용 게이지를 부착하고 정하중 시험을 실시하여 간섭이 최소인 지점을 최종적으로 선정한다<sup>(4)</sup>. 윤중 및 횡압 측정용 게이지의 부착 위치를 선정하기 위해 응력집중 측정용 게이지를 부착하고 수직하중 20톤과 수평하중 5톤을 가하여 상호간섭을 측정한다.

윤중과 횡압의 측정방법에는 간헐법과 연속법의 2종류 측정방법이 있다. 간헐법은 차륜 1회전에 1개의 사인파를 얻는 방법이고, 연속법은 연속적으로 출력이 얻어지는 방법이다. 차륜 디스크를 사용하는 윤축인 경우에는 간헐법을 사용할 수 밖에 없으며, 차륜당 윤중과 횡압 각각 1채널씩 총 4채널을 구성한다.

영업용으로 사용하는 차량의 윤축을 그대로 측정차륜으로 사용할 경우에는 수평하중과 수직하중 사이에 상호간섭이 발생하므로 이에 대한 보정이 필요하다. 구하고자 하는 윤중 P와 횡압 Q, 그리고 정하중시험에서 나오는 출력, 주행중 발생하는 출력량 Eq, Ep 사이의 관계식을 이용하여 보정을 실시한다. Calibration을 실시하여 단위하중당 출력값을 산출하고, 이 교정값으로 실제 차량이 주행할 때 발생하는 접촉력을 환산한다.

### 4. 굽힘하중에 의한 접촉력 측정방법

탈선계수 측정용 윤축을 제작하기 위한 구조해석, 가공, 스트레인 게이지 부착, 브릿지 결선, 정하중시험 등의 과정은 지금까지의 작용력 측정방법과 동일하다. 다만, 굽힘하중 검출용 스트레인 게이지를 추가로 부착하여야 하고 교정값을 산출할 때 윤중과 횡압이 굽힘응력에 어떠한 영향이 미치는가를 정확히 파악하여야 하는 점이 다를 뿐이다. Table 1과 2는 굽힘하중에 의한 접촉력을 산출하기 위하여 틸팅차량의 윤축에 대하여 교정값을 산출한 결과이다.

굽힘응력에 미치는 영향은 횡압이 윤중의 1.5 배 151.5 % 정도로서 훨씬 더 크게 작용하고 있는 것을 볼 수 있다. 윤중과 횡압 중에서 측정이 더 용이한 항목은 차륜면에 구멍을 뚫지 않아도 되는 횡압이기 때문에 횡압을 지금까지의 접촉력 측정방법대로 측정하고 굽힘하중 검출용 스

트레인 게이지의 출력에서 횡압에 의한 영향을 제거하면 윤중이 산출된다고 할 수 있다.

윤중과 횡압 및 굽힘하중과의 관계식은 식 2와 같이 정리할 수 있으며, 이 식을 이용하여 호남선 일부구간에서 틸팅차량으로 주행안전성을 측정한 결과는 Fig. 2 와 같다. 그래프는 우측 차륜이 외레측에 해당하는 곡선부를 통과할 때 외레측의 윤중을 굽힘하중으로부터 환산한 결과인데, 직선부에서는 양쪽 차륜의 윤중이 비슷하지만 곡선부에서는 내레측 윤중은 감소하고 외레측 윤중은 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 굽힘하중에 의한 윤중 또는 횡압이 실제 접촉력과 잘 일치하는 것을 의미한다.

$$P = B - (Q \times B \varepsilon_{bq} \times 1/B \varepsilon_{bp}) \text{ ----- (2)}$$

Table 1 Calibration value of vertical force (V/ton)

Load	Vertical Force		
	P	Q	B
Hole			
12	0.18848	-0.02086	0.40352
34	-0.18920	0.01308	-0.40322
Peak to Peak	0.37768	0.03394	0.80674
Zero to Peak	0.18884	0.01697	<b>0.40337</b>
Remark	$\varepsilon_{pp}$	$\varepsilon_{qp}$	$\varepsilon_{bp}$

Table 2 Calibration value of lateral force (V/ton)

Load	Lateral Force		
	P	Q	B
Hole			
12	0.03325	0.4349	-0.5986
34	0.01345	-0.44167	0.62359
Peak to Peak	0.04670	0.87657	1.22219
Zero to Peak	0.02335	0.43828	<b>0.611095</b>
Remark	$\varepsilon_{pq}$	$\varepsilon_{qq}$	$\varepsilon_{bq}$

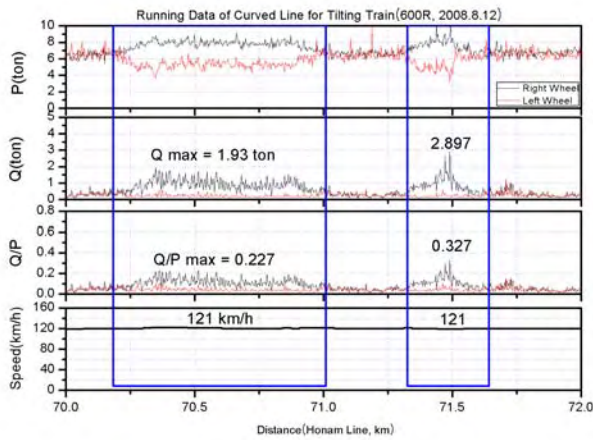


Fig. 2 Result of main line test

## 5. 결론

지금까지 철도차량 차축의 굽힘응력으로 접촉력을 산출하기 위하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 굽힘하중에서 산출한 윤중은 실제의 접촉력과 잘 일치하였다.
- (2) 굽힘응력에 미치는 영향은 횡압이 윤중의 151.5 % 로 더 크게 작용하였다.
- (3) 시험결과에서 산출한 다음 식은 매우 유용한 식으로 모든 철도차량에 적용할 수 있을 것으로 평가된다.

$$P = B - (Q \times B \varepsilon_{bq} \times 1/B \varepsilon_{bp})$$

## 참고문헌

- (1) International Union of Railways, 2005, Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour - Safety - Track fatigue - Ride quality, UIC CODE 518, 3rd edition
- (2) Y.S. Ham, D.H. Lee, T.Y. Oh, 2007, Wireless measuring system to estimate running safety of tilting vehicles, *Spring Conference of Korean Society for Precision Engineering*, pp. 809-810
- (3) Y.S. Ham, J.W. Seo, S.R. Kim, J.S. Hong, 2006, Analysis of coupling term between vertical

load and lateral load for install load cell to wheel-set, *Spring Conference of Korean Society for Precision Engineering*, pp. 31-32

- (4) Y.S. Ham, D.H. Lee, J.W. Seo, S.J. Kwon, J.C. Kim, C.W. Lee, 2008, Static load test of tilting vehicle wheel-set by new telemetry system, *Spring Conference of Korean Society for Precision Engineering*, pp. 985-986