

# 틸팅차량의 주행안전성을 평가하기 위한 무선계측시스템 Wireless Measuring System to Estimate Running Safety of Tilting Vehicles

\*#함영삼<sup>1</sup>, 이동형<sup>2</sup>, 오택열<sup>3</sup>

\*Y. S. Ham(ysham@krii.re.kr)<sup>1</sup>, D. H. Lee<sup>2</sup>, T. Y. Oh<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> 한국철도기술연구원 철도시스템안전연구본부, <sup>3</sup>경희대학교 기계공학부

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

## 1. 서론

탈선이란 사전적으로 기차나 전차 따위의 바퀴가 궤도를 벗어나는 것을 의미하는 것으로서 철도차량의 주행안전성을 저해하는 중요한 요인이다. 철도차량의 주행안전성을 평가하는 중요한 항목은 차륜과 레일 사이에서 작용하는 수평방향하중과 수직방향하중의 비율인 탈선계수라고 할 수 있는데, 이는 탈선이 철도차량의 주행안전성을 저해하는 지배적인 인자로서 대형사고로 직결되기 때문이다.

틸팅차량은 고속철도의 개통 이후 기존선의 속도향상방안으로 가장 유력하게 떠오른 열차 시스템이다. 틸팅열차란 선로의 곡선부를 철도차량이 통과할 때 통과속도를 줄이지 않기 위하여, 곡선선로를 주행할 때 원심력을 줄이도록 열차를 곡선부 안쪽으로 약간 기울임으로써 곡선주행속도를 떨어트리지 않고도 승객의 승차감을 유지할 수 있기 때문에 속도 향상의 효과를 얻을 수 있는 열차 시스템이다. 틸팅차량에서도 차륜과 레일의 작용력이 가장 크게 발생하는 위치는 진행방향으로 볼 때 최전부 차량의 전부대차에서 전부축이라 할 수 있다. 이 축은 주행중 궤도나 차량의 특성에 의한 영향이 가장 크기 때문에, 탈선계수를 측정할 때 측정용 윤축을 투입하는 위치이다. 그러나 틸팅차량의 최전부 축은 구동축으로서 Driving Gear를 탑재하여야 하기 때문에 차축에 브레이크 디스크를 설치하지 못하고 차륜 브레이크 디스크를 사용하도록 설계되었다. 차륜 디스크를 설치하기 위하여 차륜에 크고 작은 홈들이 18개나 뚫려져 있는 상태에서 탈선계수 측정용 센서를 부착하기 위하여 홈을 추가로 가공하게 되면 구조적인 취약부가 발생하게 되는데, 이러한 부분에 대해서는 차륜과 레일 상호 작용에 의한 접촉력이 발생할 때의 응력분포를 해석하여 하중간의 연성을 최소화하고<sup>(1)</sup>, 최적의 게이지 부착위치를 선정하여 안전성 검증을 실시하고 있다<sup>(2)</sup>. 그럼에도 불구하고 리드와이어를 인출하기 위한 드릴가공은 안전도를 떨어트릴 수밖에 없기 때문에<sup>(3)</sup> 본 연구에서는 차륜 디스크를 채택하고 있는 틸팅차량의 탈선계수 측정 시스템으로 무선계측시스템을 제안하고자 한다.

## 2. 주행안전성 측정

### 2.1 탈선계수란?

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 뛰어넘어 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.

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

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.

### 2.2 측정 원리

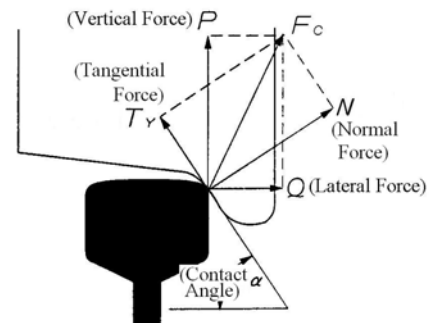
레일 위를 주행하는 차륜에 작용하는 분력을 측정하기 위해 차륜에 스트레인 게이지를 부착하고, 차륜 상의 직교하는 위치에 대응한 두개의 브리지 출력에 각각 하중 작용 위치에 대응한 하중을 가산하여 양자의 조합에 따라 연속된 출력을 얻을 수 있도록 한 것이 연속 측정법이다<sup>(4)</sup>. 연속법의 브리지 결선은 간헐식 결선을 기초로 하고 있다. 종래의 연속식은 브리지를 결선할 때 한쪽 차륜의 윤중 또는 횡압의 모든 게이지를 연결함으로써 연속출력을 얻어왔지만, 최근의 연속법은 브리지 출력을 디지털 처리함으로써 연속 출력을 얻고 있다. 본 틸팅차량에서는 Fig. 2와 같은 차륜 디스크를 설치하기 위하여 차륜에 Fig. 3과 같은 홈이 존재하기 때문에 간헐식으로 측정할 수밖에 없는 실정이다.

## 3. 무선계측시스템

### 3.1 구성방안

편성열차의 최전부차량에서 전부대차의 1위축에 측정용 윤축을 조립하여 차륜의 안쪽에 신호 발신기가 내장된 Telemeter를 설치하고, 차체에 신호 수신기를 Fig. 4와 같이 설치한다.

스트레인 게이지는 차륜에 부착하여 무선으로 신호를 전송하도록 하여 Fig. 5와 같이 측정시스템을 구성한다.



$$Q = N \sin \alpha - T_y \cos \alpha$$

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

Fig. 1 Forces between wheel and rail



Fig. 2 Wheel disk of tilting motor car

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

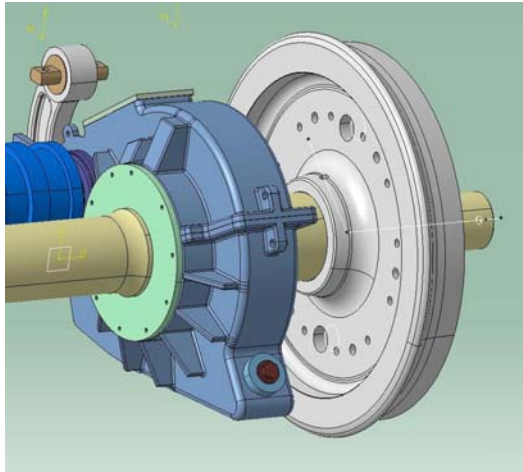


Fig. 3 Wheel-set of tilting motor car



Fig. 4 Transmitter and receiver of telemetry system

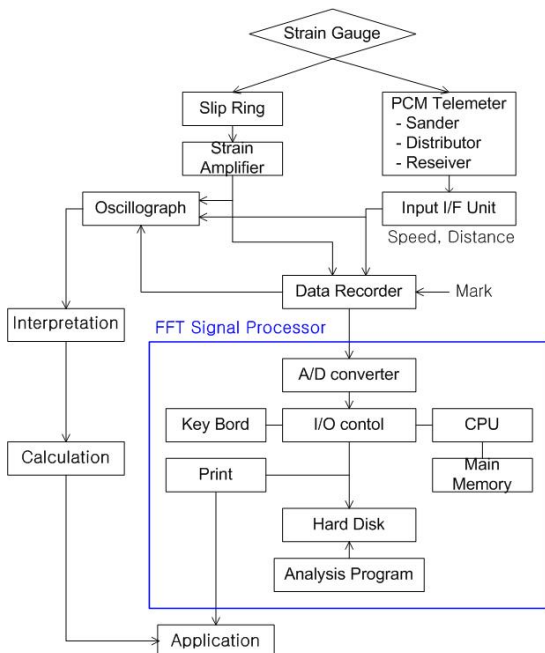


Fig. 5 Block diagram of measuring system

### 3.2 교정값 산출

스트레인 게이지를 부착한 윤축의 교정값을 산출하기 위하여는 정하중시험실에서부터 텔레메터 시스템을 설치하여야 한다. 구동축에서 발생할 수 있는 유도장애를 피하기 위하여는 무유도형 스트레인 게이지를 사용하는 것이 바람직하다.

철도차량 전용으로 특별히 제작되는 회전체 로드셀에 대한 Calibration Sheet를 만드는 과정을 거쳐 교정시트를 도출하도록 한다. 정밀한 윤중과 횡압의 신호를 얻기 위해서는 하중부가지점을 1회전당 16 포인트 정도까지 실시하는 것이 바람직할 것으로 추천된다.

### 3.3 문제점 및 대책

회전체에서 교정체로 신호를 전달하는 수단으로 가장 널리 보급된 것은 Slip Ring 이다. Slip Ring 은 접촉식으로 신호를 전달하기 때문에 내구성에서 문제가 발생할 수 있다. 이러한 단점을 보완할 수 있는 것이 Telemetry System 인데, 여기에서는 전원공급이 핵심문제로 부각될 수 있다. Inductive Coil 방식에서는 송수신축의 간격을 몇 mm 이내로 고정하여 외부에서 브리지 회로에 전원을 공급하지만 이렇게 하기 위해서는 차축 단부에 Inductive Coil 을 설치하기 위한 장비와 리드 와이어 인출용 홀을 가공하여야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 무선계측시스템에서는 회전체인 차축에 배터리를 설치하여 브리지 회로에 전원을 공급하고 송신까지 담당하도록 구성하였다. 이 정도의 파워를 감당하려면 배터리의 크기가 어느 정도 커질 것이며, 이것은 차축의 원심력 부담으로 작용하게 되어 무한대로 증대시킬 수는 없는 것이 현실이다. 본 측정시스템에서는 50시간 이상을 연속적으로 사용할 수 있는 배터리를 선정하였으며, 드라이빙 기어에 대한 회전체 시험에서 정상적으로 신호가 전송되는 것을 확인하였다.

## 4. 결론

차륜 디스크를 사용하는 틸팅차량에서 차륜과 레일간에 발생하는 상호 작용력을 측정할 수 있는 무선계측시스템을 제안하였다. 아울러, 틸팅 철도차량용 윤축에 회전체 로드셀을 설치하기 위하여 하중간의 연성 해석과 차륜/레일 상호 작용력에 의한 틸팅차량 윤축의 응력분포를 살펴봄으로서 차륜의 플레이트 부위에 홀을 가공하더라도 안전한 것을 확인하였다. 실차시험시에 발생할 수 있는 배터리 수명에 관한 문제점은 검증된 배터리 시스템으로 대비하여야 할 것이며, 정하중시험시에 이러한 문제들을 충분히 점검하여 실제 선로에서 실시하는 실차시험에 대비하여야 한다. 향후 실차시험결과를 근거로 측정시스템의 유용성을 검증하여 산업계 각 분야에 보급되기를 기대하는 바이다.

## 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, 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, Spring Conference, pp. 351~352, 2006.
3. Y. S. Ham, "Tilting Vehicle's Interaction Force Measurement System that Happen Between Wheel and Rail Continuous Method of Measuring Forces between Wheel and Rail and Derailment Coefficient", KSME, Proceedings of the KSME 2006 Fall Annual Meeting, pp. 556~559, 2006.
4. Y. S. Ham, 2006, "Continuous Method of Measuring Forces between Wheel and Rail and Derailment Coefficient", KSME, Proceedings of the KSME 2006 Spring Annual Meeting, pp. 2711~2714, 2006