

# 차륜/레일 작용력 측정을 위한 레이저기술 연구

## A study on laser technology for measurement of wheel/rail interaction force

함영삼\*      서정원\*\*  
Y. S. Ham    J. W. Seo

---

### ABSTRACT

This research is develop the sensing and measurement technology for measure that wheel/rail interaction force to use laser. Investigated existent laser measurement system, and examined transformation by load that action to wheel for achieve research purpose. A proposed to laser measurement system composition plan to analyze existent method that measure wheel/rail interaction force.

---

Keywords : derailment coefficient, running safety, wheel load, lateral force, wheel/rail force

#### 1. 서론

차량고속화에 수반하여 주행안전성 면에서 빼놓을 수 없는 문제로 가장 중요한 탈선의 현상이 있다. 철도에 있어서 탈선은 대형사고로 직결되기 때문에 결코 쉽게 간과할 수 없는 부분이며, 철도가 타교통수단에 비해 상대적인 장점으로 내세울 수 있는 안전성을 확보하기 위하여 반드시 차륜과 레일 사이에서 발생하는 상호 작용력을 측정하여 탈선가능성을 평가하여야만 한다.

철도차량의 차륜/레일 작용력 측정은 철도차량 주행안전성 시험평가의 핵심기술의 하나이다. 그러나 기존 스트레인게이지를 이용한 차륜/레일 작용력 측정기법은 측정을 위한 준비시간이 매우 길고, 스트레인게이지 취부작업에 있어서 매우 많은 애로사항이 있으며, 측정량 간의 간섭에 의한 정확한 측정의 어려움 및 고 비용 등의 문제점을 안고 있다. 따라서, 측정이 용이하고 내구성 및 신뢰도가 향상된 레이저 측정기술을 이용한 차륜/레일 작용력의 측정기술 개발이 요구되고 있다.

#### 2. 레이저측정기술 동향

최근 레이저 측정기술은 급속한 발전을 보여 유체유속이나 길이, 거리 등 여러 가지 물리량을 측정하는 데 이용되고 있으며, 측정의 정확도 또한 뛰어나다. 본 연구에서는 이러한 레이저 측정기술을 철도차량의 차륜/레일 사이의 작용력을 측정하는 데 응용 개발함으로써 보다 정확히 철도차량의 주행안정성을 평가하여 선진국에 비하여 떨어져 있는 국내 철도기술수준을 한 단계 향상시키고자 하였다. 또한 차륜의 탄성 변형(전후, 좌우, 상하)을 수반하는 차륜과 레일 사이의 작용력을 분해능 0.01톤 이하의 성능으로 측정함으로써 세계적으로도 첨단기술에 속하는 고도의 기술을 확보하고자 한다.

우리나라의 철도기술은 선진국과 비교할 때 보잘 것 없는 수준으로서 철도기술의 거의 모든 부

---

\* 한국철도기술연구원 차량기계연구본부 책임연구원

\*\* 한국철도기술연구원 차량기계연구본부 주임연구원

분이 외국기술에 의존되어 있다. 측정기술분야 및 주행안정성 평가분야도 예외가 아니지만 이러한 분야에 대하여 철도선진국인 이탈리아와 공동 연구개발을 통해 독자적인 기술을 가지게 된다면 그 경제·산업적인 파급효과는 매우 클 것으로 판단되어 이태리와 국제공동연구사업을 시작하게 되었다. 연구결과와 파급효과로서 우선 국내 신조 철도차량의 시험평가지 필수적인 주행안정성을 독자 기술로 정확히 평가함으로써 기존의 고비용 측정시스템을 저렴하게 대체할 수 있으며, 더 나아가 외국으로의 기술수출 또는 측정시스템의 수출을 통해 외화획득의 효과를 가져올 수 있을 것이다. 또한 신뢰성 있는 정확도를 가진 레이저 측정기술을 습득함으로써 철도차량만이 아닌 다른 분야에도 확장 적용할 수 있어 그 파급효과가 클 것으로 기대된다.

우리나라는 최근까지도 자동차 중심의 교통체계를 추진하고 있다. 그러나 2004년 경부고속철도의 개통과 지하철 및 경전철, 기존철도의 고속화 사업 등 여러 가지의 철도사업에 의해 철도차량의 주행안정성이 상당히 중요하게 되었다. 철도차량의 주행안정성은 차량의 안전 및 승차감과 직접적인 관련이 있다. 주행안정성을 정확히 측정 평가함으로써 철도이용 승객에게 안전과 쾌적한 승차감을 제공해 주고, 이를 통해 국민에 대한 서비스의 질 향상을 추구하고으로써 철도의 신뢰성을 확보하고 고품질의 사회로 나아가기 위한 관점에서 본 연구는 매우 중요하다.

### 3. 레이저 측정시스템

#### 3.1 기존 레이저측정시스템

기존의 레이저측정시스템에 사용되는 대부분의 상용센서들은 Fig. 1과 같이 크기가 커서 본 과제에 사용하기에는 적합하지 않다. 따라서 본 과제에서 이태리와 같이 개발하고 있는 레이저센서는 Fig. 2와 같은 것으로서 일반적인 사양은 다음과 같다.

- Measurement Resolution : 0.004 mm
- Sampling Frequency : 100 kHz

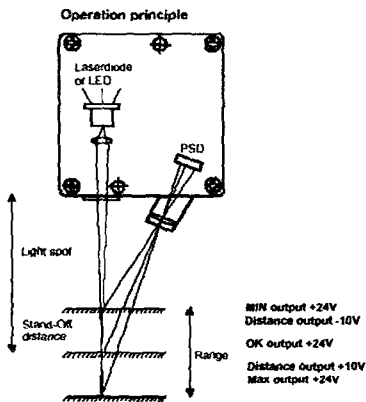


Fig. 1 laser-camera triangulation

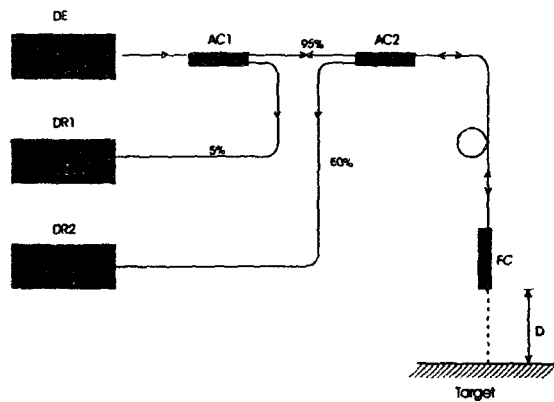


Fig. 2 개발센서의 개념

#### 3.2 철도차량의 차륜에 작용하는 하중에 따른 변위

FEM 해석을 통하여 하중에 따른 변위와 응력을 검토한 결과는 Fig. 5~6과 같이 나타났으며 최대변위는 다음과 같이 예측되어, 수직하중의 경우 차륜의 변위를 측정하여 작용력을 측정하는 것은 불가능할 것으로 판단되었다.

- 수직하중 작용시(10 ton) : 최대 변위 : 0.009mm(차축 중앙)  
차륜 변위 : 0.005mm(차륜 끝단)
- 수평하중 작용시(10 ton) : 최대 변위 : 1.3mm(차륜 끝단)

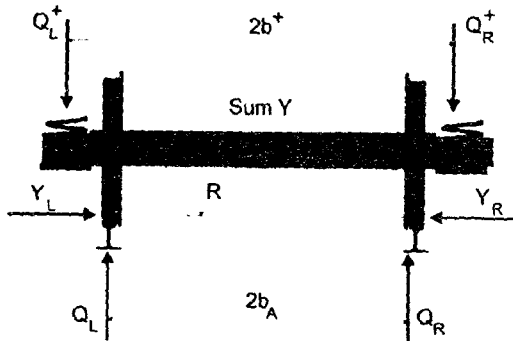


Fig. 3 윤축에 작용하는 하중

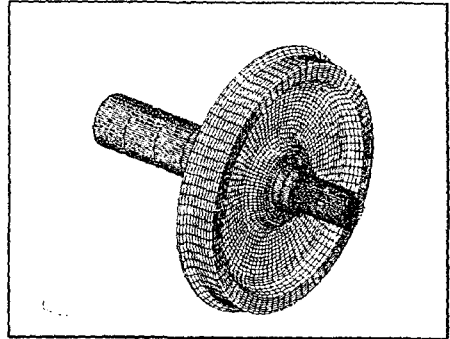


Fig. 4 FEM 모델

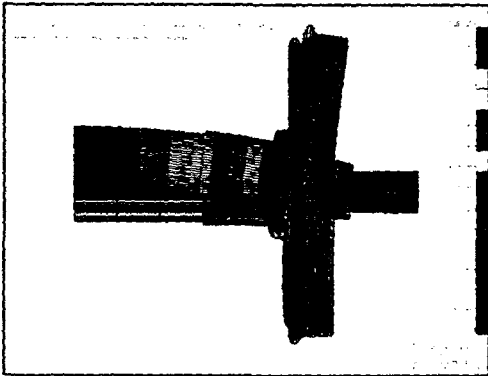


Fig. 5 수직하중 작용시 변위 분포

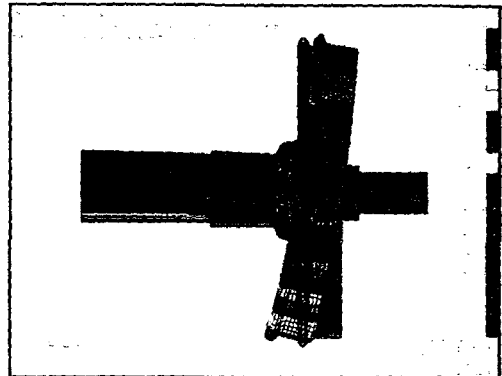


Fig. 6 수평하중 작용시 변위 분포

### 3.3 기존의 차륜/레일 작용력 측정 방법

기존의 차륜/레일 작용력 측정방법은 측정용 윤축을 가공하여 스트레인게이지를 차륜에 부착하여 이로부터 작용력 측정하는 것으로서 회전체에서 고정체로의 신호전달방법은 슬립링이나 텔레메트리를 이용하였다.

측정 순서는, 윤축 가공(구멍가공)  $\Rightarrow$  스트레인 게이지 부착위치 선정  $\Rightarrow$  게이지 결선  $\Rightarrow$  Calibration  $\Rightarrow$  윤중/횡압 상호간섭 보정  $\Rightarrow$  실차 취부  $\Rightarrow$  주행시험 순으로 진행하며, 측정 시스템 계통은 측정용 윤축  $\Rightarrow$  Telemeter (Slip ring)  $\Rightarrow$  스트레인 앰프  $\Rightarrow$  Recorder (데이터저장)  $\Rightarrow$  Signal Processor 순으로 신호가 전달되고 처리되어진다.

이러한 측정방법에는 간헐법과 연속법이 있는데, 간헐법은  $180^\circ$  로 부착된 4장 또는 8장의 게이지로 Full Bridge를 결선하여 출력을 얻도록 하여 2채널의 신호가  $90^\circ$  의 위상차를 가지고 발생하는 방법이고, 연속법은 윤중과 횡압용 게이지 16장을 1개의 브릿지로 결선하여 출력신호는 각각 1채널씩 발생하는 방법이다.

기존측정 방법의 문제점으로는 시험준비과정에서 차륜의 가공(구멍)이 필요하고 스트레인 게이지 부착 등에 많은 시간 소요되는 등의 어려움이 있을 뿐만 아니라, 측정된 작용력은 연속된 하중이 아니라 1회전당 2개의 하중이 측정됨으로 인하여 분기기 등에서의 Peak 하중 등은 측정이 곤란한 문제점을 내포하고 있다. 이때의 출력신호 파형을 비교해 보면 Fig. 9-10과 같다.



Fig. 7 차륜 홀 가공 및 게이지 부착



Fig. 8 브릿지 결선 및 리드와이어 인출

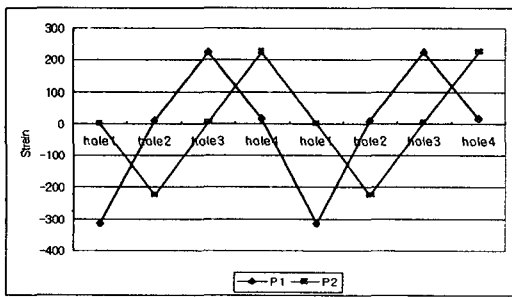


Fig. 9 간헐법에서 측정된 출력 파형

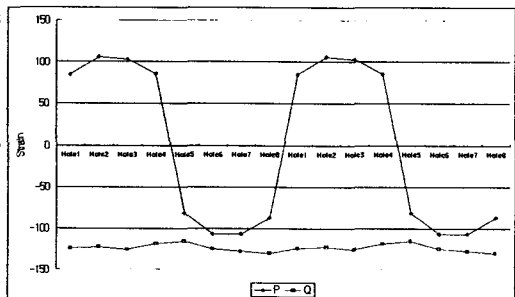


Fig. 10 연속법에서 측정된 출력 파형

### 3.4 레이저를 이용한 측정 시스템 구성

레이저를 이용한 차륜/레일 작용력 측정시스템의 개념은 Fig. 11~12와 같다. 수직력 측정시스템의 구성은 Fig. 13~14와 같고, 수평력 측정시스템의 구성은 Fig. 15~16과 같다.

수직력 측정시스템은 수직하중에 의한 차륜 자체의 변위가 10톤 하중에서 0.005~0.009mm 정도 이므로 변위를 하중으로 환산하는 것은 불가능하다. 따라서 1차 스프링의 변위를 측정하여 하중으로 환산하여야 하는데, 스프링의 상하변위 측정에 고감도 Laser Distance sensor를 사용한다.

수평력 측정시스템은 수평하중에 의한 탄성변형으로 하중을 환산하는 개념으로 차륜의 120° 간격 3지점 또는 90° 간격 4지점에서 변위를 측정하면 진원도 및 일그러짐량을 계측할 수 있는데 진원도 측정에 Fiber Optic sensor를 사용한다.

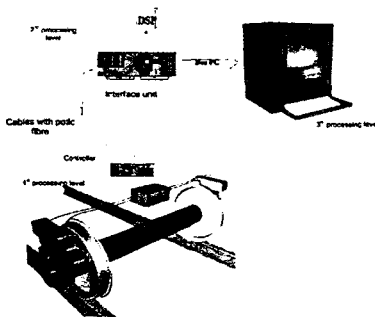


Fig. 11 Global vision of system

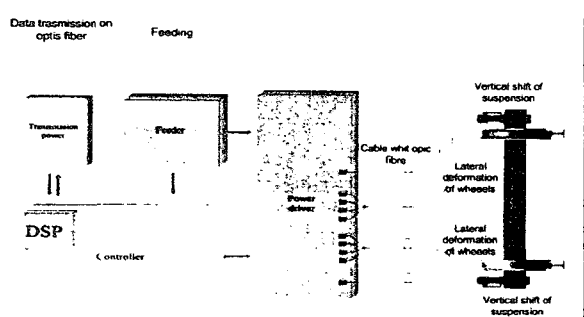


Fig. 12 Measuring system block

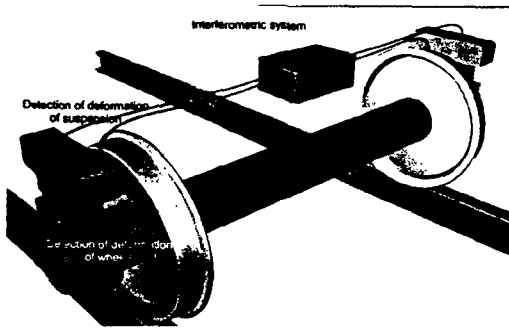


Fig. 13 Processing system

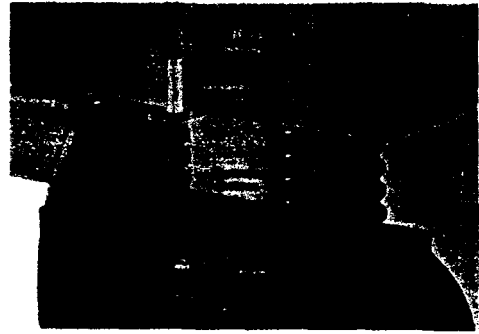


Fig. 14 Detection of vertical shifts

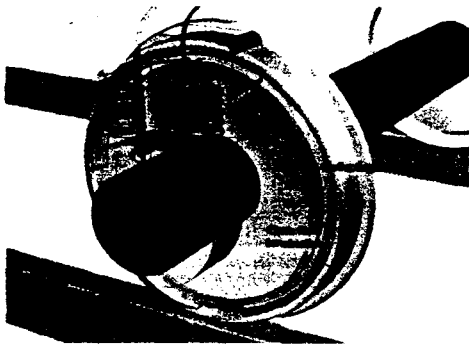


Fig. 15 Detection of lateral deformation

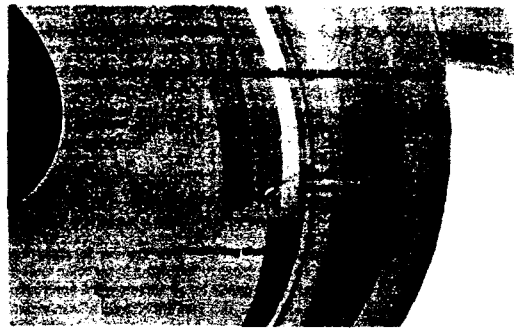


Fig. 16 Detail of lateral deformation

#### 4. 향후 연구방향

시작품 측정시스템이 구성되면 진동하는 차량에서 차륜/레일 작용력 측정을 위한 진동보상기술을 이태리와 공동으로 개발하여 분해능 0.01톤 이하인 정밀 레이저식 차륜/레일 작용력 측정시스템 시제품을 완성하고 개발된 시작품의 성능시험을 영업차량에서 수행하여 실용성과 정확성을 검증하여야 한다.

#### 후기

본 연구는 과학기술부의 과학기술국제화사업으로 수행된 한/이태리 국제공동연구사업 연구결과 의 일부입니다.

#### 참고문헌

- 1) Self Mixing Interferometric Sensor Prototype Technical Note, VM-EM-TNR-01, 2001.5
- 2) System for the detection of wheel-rail contact forces, TECNOGAMMA, 097R1 UK, 2002.2
- 3) 철도기술연구소, 철도차량의 주행안전성 평가방법, 철도기술연구보 VOL23 NO1, pp. 198~204, 1989.
- 4) 함영삼 외, 전후동력 새마을호 철도차량의 탈선가능성에 관한 실험적 연구, 한국철도학회 2000년도 추계학술대회는문집, pp. 243~248, 2000.11
- 5) 함영삼 외, 스윙모션보기의 임계속도와 주행성능 평가, 한국철도학회 2002년도 추계학술대회는문집, pp. 892~897, 2002.10