

# 레이저 및 광학을 이용한 레일 프로파일 측정 기술

## Rail Profile Monitoring Technology Using Laser and Optics

\*\*정흥채<sup>1</sup>

\*\*H. Chung<sup>1</sup>(hchung@krri.re.kr)

<sup>1</sup> 한국철도기술연구원 철도시스템안전연구본부

Key words : rail profile, laser, optics, measurement.

### 1. 서론

최근에 철도기술 선진 각국에서는 경쟁적으로 열차의 고속화 및 고성능화를 추구하고 있는데 이를 위해서는 열차운행의 안정성과 더불어 철도 인프라의 안전성 확보가 매우 필요한 실정이다. 이러한 안전성 확보를 달성하기 위해서 레일의 마모정도를 검지하는 기술이 중요한데 최근에는 비접촉 광학 장치를 사용하여 레일 프로파일을 관리하는 기술을 개발하고 있다.

열차운행을 원활하게 하기 위해서는 선로상태를 항상 안전하게 유지하여야 하는데 이것과 직접적으로 연관이 되는 궤도의 프로파일을 모니터링 하는 것이 철도 인프라 관리자들에게 매우 중요하게 되어 어떠한 운행조건에도 검측이 쉽고 기관차나 객차 어디에나 장착이 가능하며 고속에서 아주 정밀하게 레일 프로파일을 측정할 수 있는 장치가 필요하게 되었다. 이러한 문제점을 모두 해결하기 위해서 별도의 특수한 차량이 필요치 않고도 고속에서 정밀하게 레일 프로파일 전체를 측정할 수 있는 레이저 기술과 인공시각 소프트웨어에 기반을 둔 장치가 개발되었다. 즉 레일과의 접촉 없이 레이저와 카메라를 이용하여 검측이 가능한 장치이다.

### 2. 레일프로파일 모니터링 장치의 특징

- a) 속도와 외부 빛에 간섭받지 않는 고성능  
여기에서 소개하고자하는 장치는 일반철도나 도시철도의 고속선(350km/h)에서 레일 프로파일을 측정할 수 있게 설계되어 있다. 1000 frames/sec의 고해상도를 가진 CMOS 카메라로 최고의 성능과 정밀도를 가지며, 모든 태양의 간섭과 브루밍 영향도 3가지의 각기 다른 보호 장비를(camera technology, interferential filters and software filters) 사용하여 제거할 수가 있다.
- b) 유지보수 지향적  
이 모니터링 장치의 주된 목적은 선로 유지보수 계획을 수립 하는데 있어서 유지보수 주기(단기, 장기)를 통합해서 알려주는 것이다. 이 장치로 선로구축물의 정성적인 상태(수직 및 횡마모, 다중마모, 궤간 등)를 나타내는 주요 핵심 마모 파라미터(WEAR PARAMETERS)를 검지하고 마모 양을 측정할 수 있다. 데이터를 비교, 분석하면 기계적인 마모로 인해 발생하는 레일 표면이 심각하지 않도록 주기적으로 검사, 관리를 하는 선로유지보수 계획을 최적화할 수 있게 된다.
- c) 레일 타입 자동 인식  
레일 프로파일을 검측하면 자동으로 레일 타입을 인식하게 되고 그리고 마모 정도를 평가하는 기준이 되는 형판을 선택하게 된다. 컴퓨터에 미리 레일 타입에 관한 데이터베이스를 저장하기 때문에 측정된 레일 프로파일의 마모정도가 식별이 가능한 경우에는 더 정확하게 인식할 수 있다.
- d) 설치 및 유지보수의 용이성  
측정 장치가 들어있는 두개의 상자와 하나의 전장품 캐비닛 그리고 종합적으로 통제하는 워크스테이션으로 구성되어 있으며, 어떤 종류의 철도 차량의 차체에 장착이 가능하고 설치, 작동 및 유지보수가 용이하다.

#### 2.1 삼각측량법에 의한 측정 원리

광원(레이저 방사체)과 디지털 카메라 간에 광학 삼각측량법 원리를 이용하여 레일을 검측 하는데, 점간의 거리를 측정하는데

적용한 광학 삼각측량법의 적용원리는 다음의 그림(Fig. 1)을 통하여 알 수 있다.

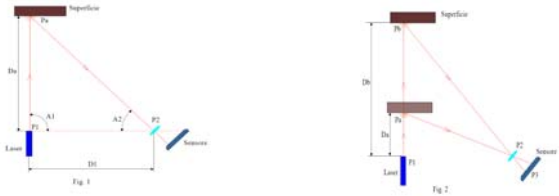


Fig. 1 Laser optic triangulation scheme

레이저 측은 검측하고자하는 표면에 수직으로 투영되고 레이저 원(레이저 기원) P1과 검측점 P2간의 거리 D1은 장치의 기계적인 설계(레이저-카메라 거리)에 의해 결정되는 상수이다. laser beam의 경사각도는 90° 이고 설계상 고정되어있다. 카메라 측 A2의 경사각은 P2점에 위치한 광학 센서에 의해 구한 데이터의 비례함수로 계산된다. 결론적으로 laser beam의 원점과 검측하고자하는 Pa 점간의 거리 Da는 다음의 공식으로 쉽게 구할 수 있다.

$$Da = D1 * \tan(A2)$$

간단한 기하학적 계산식을 이용하면 laser beam에 의해 발생된 모든 선을 재구성할 수 있게 된다. laser line은 원통형 렌즈와 적정한 파워를 가진 laser beam을 확대함으로써 발생된다. 레일 프로파일의 실측치를 원래의 프로파일과 비교하면 레일의 마모 정도를 평가할 수 있다.

#### 2.2 삼각측량법에 의한 측정장치(Triangulation Measurement System)

레이저와 카메라 사이의 광학 삼각측량법 원리를 이용하면 모든 선의 파라미터를 검측할 수 있다. laser beam은 고체원(solid-state source)으로 부터 발생되며, 광선을 일정한 분포로 방사하기 위해 특별하게 구성된 원통형의 렌즈에 의해 확대된다. 주어진 각도로 특별히 장착된 카메라는 굴절된 레이저 광선을 검지한다. 이를 위해 1024 x 1,280 pixels에 CMOS센서를 장착한 카메라를 사용하였다. 센서는 평행하게 작동하는 10개가 1세트인 아날로그-디지털 변환기를 제어하고, 또한 80비트 parallel bus상에 외부에서 들어오는 데이터를 전달한다. 이러한 구조는 1000 frames/sec까지의 표본화 초단파(very high sampling frequency)도 통과가 가능하다. 모든 카메라에는 선택감도가 매우 높은 특정한 간섭필터를 장착하여 빛을 레이저 파장과 상응하는 짧은 파장 단으로 여과하여 보낼 수가 있다. 모든 시스템(CMOS, optical filters, software filters)을 보호하는 이러한 장치는 태양이나 다른 광원으로 부터의 간섭을 받지 않게 하고 어떠한 제약 없이 어떤 빛의 조건에서도 작동이 가능하게 한다.

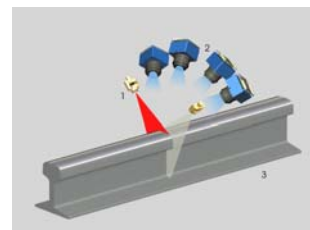


Fig.2 Measurement of rail profile. 1: laser sources; 2: detection units; 3: rail

### 2.3 레일 프로파일 측정

레일 프로파일 측정 장치는 레일 두부의 전체 형상을 측정할 수 있고 이것을 참조용 레일 프로파일과 비교하여 마모 정도를 계산할 수 있다.

전체 레일 프로파일을 가장 정확하게 측정하기 위해 각각의 레일에 4대의 레이저-카메라 그룹을 사용한다. 4대의 카메라는 표면에서의 반사를 고려하여 민감도와 시간조정을 최적화하기 위해 자동으로 마이크로 프로세스에 의해 조절된다. 검측하고자 하는 레일부분의 반사특성에 따라서 각 각의 지점이 가장 잘 측정되게끔 카메라가 조절이 가능하도록 네 대의 카메라로 구성하였다. 실질적으로 구르는 표면은 반사 정도가 매우 높은 것이 특징인 반면 레일의 측면은 어둡고 표면의 반사정도가 아주 적은 것이 특징이다. 이 검측장치로부터 얻을 수 있는 정보는 다음과 같다.

- 레일궤간(Rail gauge)
- 측정된 프로파일과 기준이 되는 형판과 비교(Real profile compared to reference profile)
- 레일중앙에서 측정된 수직마모(Vertical wear evaluated in the centre of the rail)
- 레일표면으로부터 14 mm 아래에서 측정된 횡 마모(Transversal wear evaluated 14 mm under rail level)
- 사용자 정의의 다중마모(Multi-point wear, user defined)

다른 쪽에 있는 카메라로 인한 브루밍 효과를 피하기 위해 파장이 다른 두 그룹(적색 및 적외선)의 레이저를 사용한다. 4대의 카메라로 구성된 이 장치는 측정하기가 까다로운 지역, 즉 차량이 분기기 상에 있을 때에도 정확하게 측정할 수 있다.

### 3. System Architecture

레일프로파일 장치 아키텍처는 다음의 서브장치로 구성되어 있다.

- 데이터 수신 장치(Data Acquisition)
- 열차 위치추적 장치(Train Localization)
- 최종 처리장치(Final Processing)

#### 3.1 데이터 수신

3단계로 병렬 구체화 장치를 사용하여 데이터를 고속으로 처리하고 실시간으로 수신하기 위해 다음과 같이 병렬로 구체화하는 작업을 수행한다.

- 첫 번째 level은 각 디지털 카메라 내부에 집적된 DSP 기능을 가진 FPGA로 구성되고 수신된 화소(pixels)를 실시간으로 처리한다.
- 두 번째 level은 삼각측량법에 의하여 수집된 프로파일 자료들을 제어하고 광학섬유를 통하여 다음 level로 정보를 전송하는 각 검측 장비 내부에 통합된 전자카드로 구성된다.
- 세 번째 프로세싱 level은 PC 인터페이스 카드로 구성되어 있는데 두 대의 검측 장비로부터 들어오는 데이터를 동기화하고 데이터를 산업용PC 메모리에 옮기는 작업을 한다.

고주파의 광학섬유 serial bus를 통하여 검측장비로부터 구체화 장치로 데이터를 전송한다. 이렇게 하면 전자기기 특성에 의해 미치는 어떠한 간섭도 받지 않게 된다.

#### 3.2 열차 위치 추적

열차의 위치는 검측차량의 차륜에 연결되어 있는 incremental encoder로 추적한다. GPS와 같은 위치 추적 장치가 이미 차량에 설치되어있으면 직접적으로 encoder 신호나 차상 데이터처리 네트워크와의 인터페이스로 접속이 가능하다. 위치 추적은 차상에 설치되어있는 절대 추적 장치와 인터페이스로 접속하여 수동으로나 자동으로 리셋이 가능하다.

### 3.3 Final Elaboration

Final elaboration은 차상에 설치된 산업용 PC로 만들어 졌는데 특성은 다음과 같다

- 2,4 GHz Pentium IV Processor
- Hard Disk SCSI 80 GByte
- RAM 512 MByte
- 17" Colour Monitor

산업용 PC는 final elaboration level과 operator graphical interface 역할을 한다. 조작용 콘솔(operator console)은 17인치 컬러 모니터, 마우스와 키보드로 구성되어있는데 모니터, 마우스와 키보드는 캐비닛 안에 같이 설치되어있지 않지만 사용자 요구하면 차상의 테이블에 설치가 가능하다. 측정 장치와 컴퓨터 간의 모든 데이터는 광학섬유상의 고주파 serial line을 통하여 전송된다. 차상의 워크스테이션으로부터 원거리의 다른 컴퓨터로 파일을 전송하려면 DVD, 분리형 하드디스크 또는 USB memory stick을 사용하면 된다.

### 4. Operator Interface

그래픽 인터페이스는 사용자의 필요에 따라 설정이 가능한데 관련화면(Fig.3)은 다음과 같다.

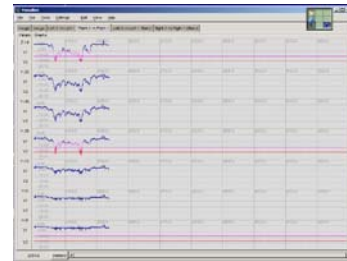


Fig.3 Example of rail wear screen

다음 화면(Fig.4)은 검측 프로파일과 참조용 프로파일간의 비교를 나타낸다.



Fig.4 Example of rail profile graph compared with reference profile

검측한 프로파일은 Fig. 5와 같이 정형화된 문서로 보고된다.

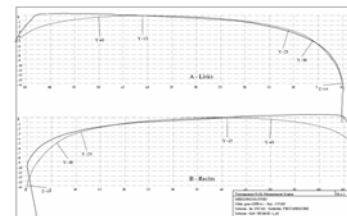


Fig.5 Example of rail profile graph compared with the reference profile with longitudinal wear diagram of reference angles

### 후기

본 발표문은 미국교통기술센터(TTCI)의 "Automated Wheel/Rail Contact Inspection System" 개발 과제에서 활용하고 있는 이태리 Tecnogamma사에서 개발한 레일프로파일 측정 장치에 관한 기술 자료를 근거로 하여 재구성하였음을 알립니다.