

# 고속영상처리에 의한 레일형상측정시스템 개발

## Development of Rail Profile Measurement System using High Speed Laser Image Processing

문철이\*      김만철\*\*  
Moon, Chul Yi   Kim, Man Chul

### ABSTRACT

Railway track supports and guides train and it directly affects ride quality and safety. To maintain track quality, regular maintenance activity is essential but it degrades track usage since maintenance activity occupies the track during the work. To achieve maximum track efficiency, track inspection should be performed at commercial running speed.

In this paper, we designed and developed high speed rail profile measurement system using laser light sectioning method with line laser generator, digital camera and DSP based image processing system. The measurement system can supports rail profile measurement at the speed of 300 Km/h that can be applied to KTX.

### 1. 서론

열차의 주행로를 제공하는 궤도는 노반위에 설치된 도상, 침목 및 레일로 구성되며 철도자산의 가장 큰 부분을 차지한다. 이러한 궤도는 구조적으로 열차의 반복적인 운행에 따른 하중, 충격에 의하여 변형, 파손될 수 있으며, 이는 열차의 동요, 승차감 악화, 최악의 경우 열차 탈선 사고를 유발할 수 있다. 따라서 이를 방지하기 위하여 주기적인 궤도검측(track measurement)과 보선작업(track maintenance)이 이루어진다.<sup>[1]</sup> 이때 궤도검측은 궤도를 구성하는 모든 요소들을 시설 기준에 따라 종합적으로 측정하여 보선작업을 위한 자료를 제공한다.

한국철도공사의 2005년 통계자료에 따르면 1985년 이후 2004년까지 탈선으로 인한 사고 및 장애는 전체 1,226건이며, 철도 유지보수기술의 발전으로 사고 및 장애가 크게 감소한 1996년 이후에도 년 평균 42.6건의 탈선 사고 및 장애가 발생하고 있다.<sup>[2]</sup> 이러한 철도의 탈선 사고 및 장애는 보다 체계적인 궤도검측 및 보선 활동으로 예방, 개선할 수 있다. 한편으로 경제성장에 따른 물적, 인적 수송 수요의 증가로 인하여 운행빈도의 증가 및 운행속도의 고속화로 이어져, 궤도에 가해지는 부담이 가중되고 있으며 이로 인하여 궤도 파괴 또한 가속, 증가하고 있다. 이와 같이 운행의 안전성을 확보함과 동시에 궤도 부담 증가에 대처하기 위해서는 궤도검측 및 보수작업의 자동화를 통한 운영의 효율화가 필요하다.

궤도검측업무의 자동화를 위한 궤도검측시스템은 궤도의 선형(alignment) 유지를 위하여 궤도틀림(track irregularity)을 측정하고 관리하기 위한 것으로서 주로 궤간틀림, 수평틀림, 면틀림, 줄틀림, 평면성틀림의 5 항목이 주요한 관리의 대상이다.<sup>[3]</sup> 또한 궤도검측업무의 자동화에 있어서 전용차량에 의한 궤도검측업무는 영업선로를 점유하여 영업효율의 저하와 사고유발 가능성을 높이게 되므로 궤도검측업무의 효율성을 위해서는 영업운전속도와 동일한 속도로 궤도검측을 시행하여 영업운전에 장애를 유발하지 않는 고속궤도검측시스템의 확보가 중요하다. 이러한 고속궤도검측시스템의 핵심적인 요소는 궤도틀림의 검출을 위하여 레일의 형상과 위치(rail geometry)를 고속으로 측정하는 기능이며 이를 위하여 최근에는 레이저와 영상처리기법에 의한 광학적 측정시스템이 개발되어 왔다.<sup>[4][5]</sup>

\* (주)지니언 대표이사

\*\* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 선임연구원(공학박사)

본 연구에서는 고속철도의 영업운전속도에 대응하기 위하여 레이저-카메라 조합에 의한 광절단측정법(light sectioning method)과 DSP 기반의 고속영상처리시스템을 사용하여 300Km/h 운행속도에서 최소 25cm간격으로 레일의 단면형상(rail profile) 측정이 가능한 고속레일형상측정시스템에 대하여 논한다.

## 2. 궤도검측시스템 현황

궤도검측장비의 개발은 표 1과 같이 철도 선진국인 유럽과 일본에서 주로 이루어졌으며 크게 장거리 구간 검측을 위한 측정전용차량, 또는 차량 탑재형과 단거리 특정 구간의 수작업 검측을 위한 트롤리형의 궤도검측장비가 개발, 활용되고 있다. 또한 기존의 기계식, 접촉식 측정방식에서 디지털, 비접촉식 측정방식으로 발전하고 있다.

		
일본 East-i	프랑스 멜루진	이탈리아 MERMEC ROGER
		
이탈리아 TecnoGamme	영국 NMT 고속검측차량	미국 ImageMap

표 1 해외 궤도검측시스템 현황

### - 일본 JR East, Dr. Yellow, East i (측정전용차량 형태)

세계적 철도강국인 일본은 1962년부터 Doctor Yellow라는 검측차량을 개발하여 운영하여 왔으며 현재는 여객수송용 상업운전차량의 속도와 동일한 210Km/h의 속도로 궤도 및 전차선에 대한 검측이 가능하다. 최근에는 이를 더욱 개량하여 고속전철 환경의 270Km/h 검측이 가능한 "East i"를 2001년부터 운영하고 있다.

### - 프랑스 SNCF, Cybernetix (측정전용차량 형태)

프랑스 Cybernetix는 철도운영사 SNCF와 공동으로 고속비디오궤도검측시스템 IVOIRE를 개발하였다. 이는 열차의 전두부에 고속비디오카메라를 부착하여 선로를 주행하면서 선로의 주변과 궤도를 고속촬영하여 영상데이터를 디지털로 처리하고 레일과 침목의 결함, 체결구의 이탈 및 변형을 감지한다.

### - 이탈리아 MERMEC (측정전용차량 형태)

이탈리아 MERMEC사는 레이저에 의한 비접촉측정 방식으로 궤도 및 전차선을 종합적으로 측정하는 측정전용차량 ROGER를 공급하고 있으며, 한국 고속철도 건설과정에서 TGV와 함께 한국형 모델 ROGER-1000K가 도입되어 운영되고 있다.

### - 영국 Network Rail의 New Measurement Train (측정전용차량 형태)

영국은 2003년부터 200Km/h 속도로 궤도 및 전차선에 대한 측정 및 영상촬영이 가능한 New

Measurement Train(NMT)을 운영하고 있다.

- 이탈리아 TecnoGamma (차량탑재형)

이탈리아의 TecnoGamma는 레이저 비접촉식 측정방식에 의하여 레일검측(Rail Profile and Track Geometry), 레일 표면분석(Rail Corrugation), 전차선 및 터널검측을 위한 차량탑재형 장비를 개발, 공급하고 있다.

- 미국 ImageMap (차량탑재형)

미국 ImageMap사는 레이저 비접촉식 측정방식에 의하여 레일검측(Rail Profile and Track Geometry), 레일 표면분석(Rail Corrugation)을 위한 레일검측전용 시스템 LaerRail을 개발, 공급하고 있다.

- 스위스 Leica (트롤리형)

스위스의 Leica Geosystems는 토목, 건설 분야의 측량장비 전문회사로서 궤도검측, 터널검측 및 분석을 위한 트롤리 형태의 장비를 개발, 공급하고 있다.

### 3. 레일단면형상의 광절단측정 시스템

#### 3.1 광절단측정법

레이저를 이용한 광절단측정법 (Light Sectioning Method)은 그림 1과 같이 선형(line)의 레이저 광을 측정대상에 조사(projection)하여 형성된 레이저 라인(laser line)의 영상을 디지털카메라에 의하여 획득하고 영상처리기법에 의한 분석을 통하여 측정대상의 표면형상을 비접촉식으로 측정하는 방법이다.

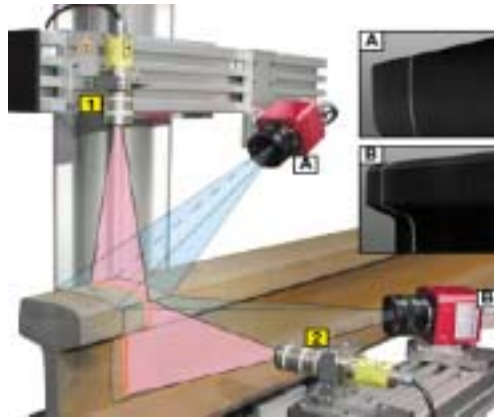


그림 1 광절단측정법

평행광(collimated beam)을 이용하여 물체의 윤곽을 추출하고 형상을 측정하는 광절단측정법은 70년 이상의 역사를 가지고 있으나 평행광의 생성을 위한 광원, 렌즈 및 카메라 기술의 한계로 인하여 측정정밀도의 제한이 있었다. 그러나 1960년 헬륨-네온 레이저(He-Ne Laser)의 개발과 함께 균일한 파장과 높은 직진성을 갖는 레이저를 이용함으로써 측정정밀도의 비약적인 발전이 이루어졌고 현재에는 다양한 산업분야에서 3차원 형상측정에 이용되고 있다. 이후 1962년 반도체레이저의 개발에 따라 작은 크기와 비용절감의 효과로 He-Ne Laser를 대체하게 되었다.

레이저 광원을 일정한 선폭을 갖는 평행광으로 형성하는 빔성형(beam shaping)은 렌즈를 통한 광학계 구성에 의하여 이루어진다. 그러나 이 과정에서 광원과 광학계의 특성으로 인하여 일정한 폭과 강도(intensity)를 유지하기 어려우며 일반적으로 빔의 중심점에서 선폭이 최대이며 가장자리로 갈수록 좁아

진다. 또한 강도는 가우시안 분포(Gaussian Distribution)를 갖는다. 따라서 측정정밀도의 확보를 위하여 레이저 광원은 형성된 레이저 라인의 폭(width)과 강도가 균일한 특성을 가져야한다.

측정대상에 형성된 레이저라인 영상의 획득을 위한 디지털카메라는 측정대상과의 거리를 고려하여 이에 적절한 초점거리를 갖는 렌즈를 구비한다. 또한 광학필터는 레이저 광원의 파장에 대응하여 배경영상을 제거하고 레이저 라인의 형상만을 추출하여 후속의 영상처리 과정을 효율적으로 수행할 수 있도록 한다.

### 3.1 레일단면형상측정 시스템 구성

레일단면측정을 위한 광절단측정 시스템의 구성을 위해서는 라인 레이저(Line Laser Generator)와 카메라의 배치 거리 및 각도, 이에 따른 렌즈 및 광학필터의 선택이 이루어져야 하며 이들의 조합에 의하여 최적의 측정정밀도를 얻을 수 있도록 구성되어야 한다. 이러한 구성의 시험을 위하여 레이저 광원, 디지털카메라, 영상처리시스템 및 기구물을 사용하여 그림 2와 같이 레일단면형상 측정 시스템을 구성하였다.

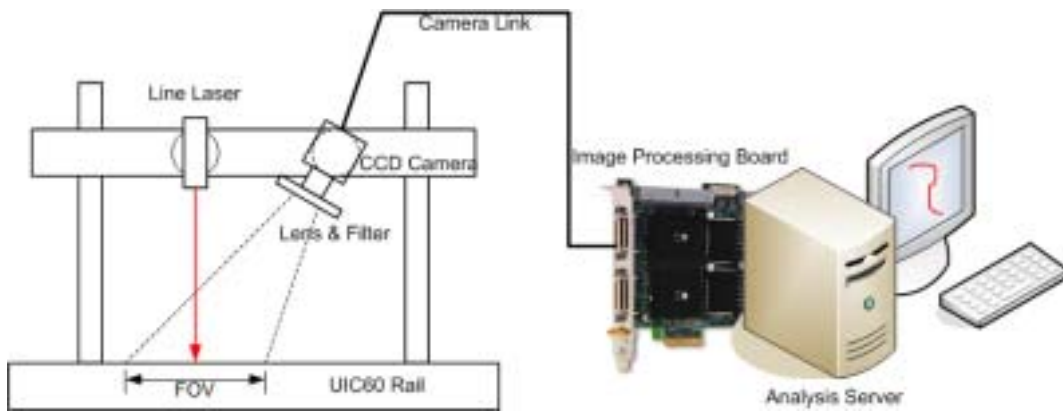


그림 2 레일단면형상 광절단측정 시스템

광절단측정을 위한 기구물은 카메라와 레이저를 부착하여 일정 각도의 회전이 가능한 Rotation Platform Mount와, Rotation Platform Mount 간의 거리를 조절할 수 있도록 Optical Rail 및 Optical Carrier를 구성하였다. 이를 통하여 레이저와 카메라의 각도 및 거리를 조절할 수 있다. 또한 레일에 대한 측정 거리를 조절할 수 있도록 Optical Rail을 Rod에 거치하여 높이를 조절할 수 있도록 구성하였다. 이와 같이 구성된 광절단측정 기구물의 형태는 그림 3과 같다.



그림 3 광절단측정 시스템 기구물

레이저 광원은 광절단측정시스템이 야외광 환경에서 열차 하부에 부착되어 레일을 측정하는 상황

을 가정하여 측정거리에서 충분한 조도를 확보함과 동시에 레일의 측정대상 범위를 모두 포함할 수 있어야 한다. 또한 레이저 라인 영상의 획득을 위한 디지털 카메라는 고정밀, 고속 영상획득 조건을 만족할 수 있도록 1,280 x 1,024 픽셀 해상도에서 초당 485 프레임 획득이 가능한 카메라를 사용하였다.

레일단면형상의 측정을 위한 광절단측정시스템의 영상처리 과정은 그림 4와 같다. 카메라에 의하여 획득된 레이저 라인의 영상은 카메라 링크(Camera Link)를 통하여 영상 스트림(Image Stream)의 형태로 영상처리시스템에 전달된다. 영상처리시스템은 카메라에 의하여 생성된 영상 스트림으로부터 단위 프레임을 차례로 추출하여 레이저 라인에 대한 영상처리를 수행하고 레일의 단면형상을 결정한다.

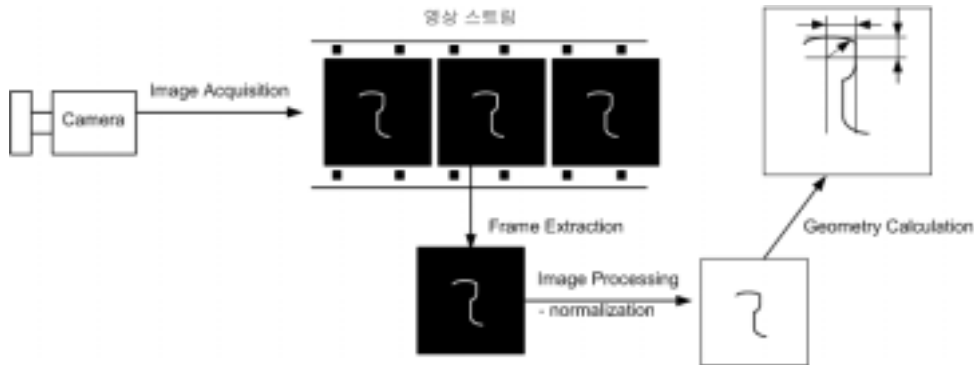


그림 4 영상처리 과정

### 3.2 영상처리시스템

고성능 CMOS 카메라로부터 입력되는 레일 영상으로부터 분석 영역을 추출하고 이에 대한 2차원 좌표값을 획득하기 위하여 최대 400FPS 속도의 영상 데이터 획득과 영상 처리를 수행할 수 있는 DSP 기반의 전용 영상처리보드를 개발하였으며 이를 위한 블록 다이어그램은 그림 5와 같다.

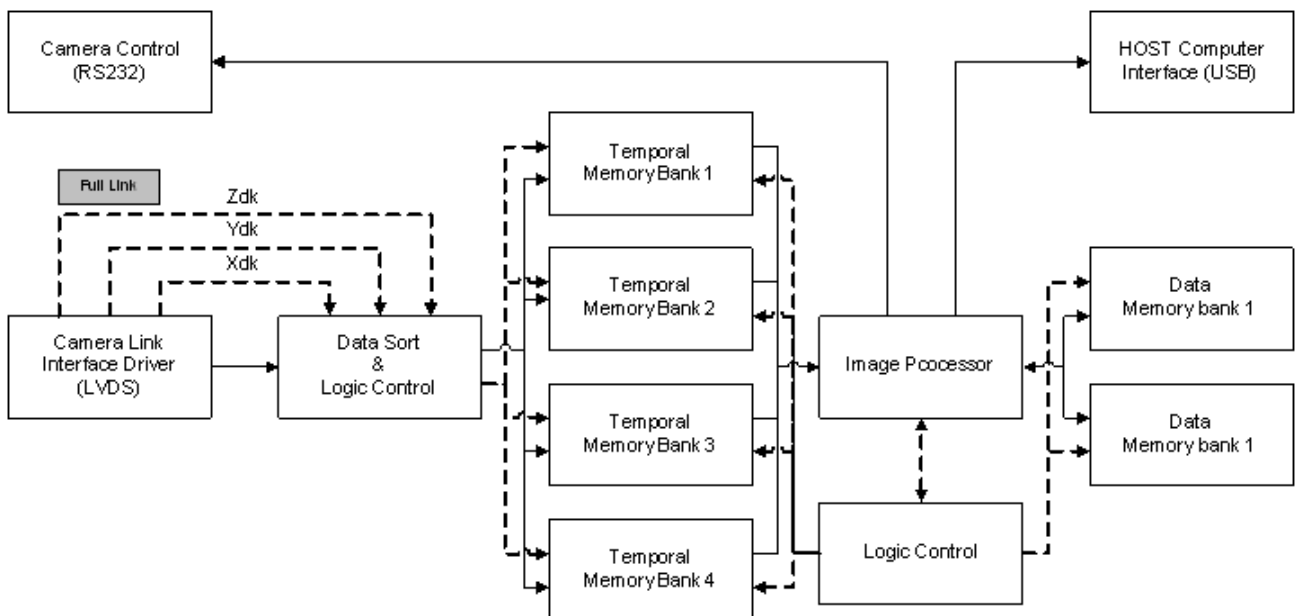


그림 5 DSP 기반 영상처리시스템

영상 처리 능력의 최적화와 극대화를 위하여 고속 CMOS 카메라에 내장된 FPGA에 영상 전처리 알고리즘을 적용하고 Object Self-Extraction과 Matching Pattern 알고리즘에 의한 Adaptive ROI Selection method를 사용하였으며, 적용된 방식에 의하여 입력되는 영상 데이터를 최대 25%까지 감소 시킴으로써 필요에 따라 최대 485FPS의 영상 처리를 수행하거나 레일 영상으로부터 고정밀의 좌표값

추출을 위한 고도의 영상 처리 기법의 적용이 가능하다.

영상처리 과정에서 측정영상과 추출영상의 예는 그림 6과 같다. 또한 추출영상에서 레일의 단면 형상이 결정되며 상대적인 위치를 절대위치로 변환한 후 각 픽셀의 (X,Y) 좌표를 2차원 배열의 형태의 데이터로 구성하여 호스트 컴퓨터에 전송한다. 호스트 컴퓨터에 구현된 분석 프로그램은 2차원 배열 형태의 레일 형상 좌표를 이용하여 레일의 형상을 기준 레일 형상과 비교하여 레일 마모량, 레일 꺾임 등의 분석을 수행한다.

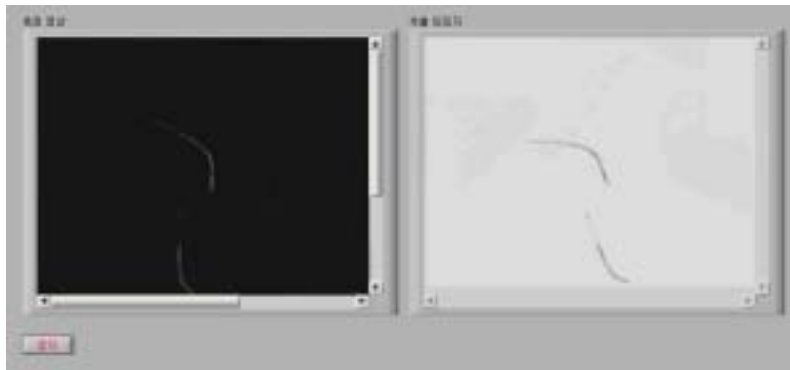


그림 6 측정영상과 추출영상

#### 4. 결론

고속궤도검측시스템의 핵심적인 요소는 궤도틀림의 검출을 위하여 레일의 형상과 위치(rail geometry)를 고속으로 측정하는 기능이다. 본 연구에서는 고속철도의 영업운전속도에 대응하기 위하여 레이저-카메라 조합에 의한 고속영상처리기법을 사용하여 300Km/h에서 최소 25cm간격으로 레일의 단면형상(rail profile) 측정이 가능한 고속 레일형상측정시스템을 개발하였다.

개발된 레일형상측정시스템은 라인레이저와 디지털 카메라를 사용하여 고속으로 레일의 영상을 획득하고 DSP 기반의 고속영상처리시스템에 의하여 레일의 형상을 측정, 분석하여 레일 마모량, 꺾임 등 궤도관리에 필요한 분석기능을 제공한다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국철도기술연구원의 위탁연구(PK06003C-5)로 수행된 과제임.

#### 참고문헌

1. 이기승, “도시철도기술자료집(4) 궤도”, 서울특별시 지하철건설본부, p247, 2004.
2. 한국철도공사, “2004 통계연보”, 2005.
3. 서사범, “선로공학 개정2판”, 북갤러리, pp. 516 ~ 519, 2006.
4. 서사범, “개정판 궤도시공학”, 열과알, pp. 618 ~ 634, 2001.
5. 서사범, “궤도장비와 선로관리”, 열과알, pp.167 ~ 205, 2000.