

# 고속 하이비전 카메라 기술을 이용한 철도차량 차륜형상 측정에 관한 연구

## A study on Profile Measurement for Railway Wheel using High speed Camera and Vision Technology

허성범<sup>†</sup>, 원시태<sup>\*</sup>, 권석진<sup>\*\*</sup>

Sung-Bum Huh<sup>†</sup>, Si-Tae Won<sup>\*</sup>, Seok-Jin Kwon<sup>\*\*</sup>

**Abstract** The main components used in railway vehicle inspection and equipment for maintenance had been depended on the import from abroad in the initial stage. However, they have been localized by benchmarking from abroad advanced equipment, and installed in the local operating agency. The performances and reliabilities of localized equipment had been become issues by the lack of the know-how of local technologies. For this reason, the necessities of system development using the up-to-date technologies have been come to the fore. In this study, in order to improve the precision and reliability of 'Wheel Profile Inspector' which has been operated with the purposed of management of the railway vehicle, the optimized image processing algorithm has been developed by applying the up-to-date high-speed high-vision camera technology.

**Keywords** : High speed CCD Camera, Wheel Profile, Wheel Maintenance, Vision algorithm

**초 록** 철도차량에 사용되는 주요부품과 유지보수용 검사장비는 초창기 해외 수입에 의존하여 운용되고 있으며, 최근에는 해외의 우수한 선진 장비에 대한 벤치마킹을 통하여 국산화가 진행되어 국내 운영기관에 설치되고 있다. 국산화 장비는 국내 기술 Know-How의 부족으로 성능과 신뢰성의 문제가 발생되어 최신기술을 이용한 시스템개발 필요성이 제기되었다. 본 연구에서는 철도차량의 차륜관리 목적으로 운용되고 있는 차륜형상측정장치의 정밀도와 신뢰도 향상을 도출하기 위해 최신의 고속 하이비전 카메라 기술 적용에 의한 최적화된 영상처리 알고리즘에 대해 연구하였다.

**주요어** : 하이비전 카메라, 차륜형상, 차륜관리, 비전알고리즘

## 1. 서 론

국내 철도 운영기관에서는 차량의 검수의 효율성 증대 목적으로 일상점검이 자동화된 비접촉식 검사장치를 도입하여 운용되고 있다. 초창기에는 해외 수입에 의존하여 설치 운용되고 있으나, 장비의 노후화와 유지보수의 어려움, 신뢰성의 확보 등의 문제가 발생되었다.

† 책임저자: 서울과학기술대학교 철도전문대학원(주)우진산전)

E-mail : sbhur@wjis.co.kr

TEL : (043)820-4261

\* 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

\*\* 한국철도기술연구원

국내의 검수장비 개발업체는 외국의 선진기술에 대한 벤치마킹을 통하여 국산화를 진행하여 설치하고 있으나 장치의 신뢰성과 성능이 떨어지는 현상이 발생되어 최신의 기술을 이용한 시스템 개발이 필요하게 되었다. 본 연구에서는 차량의 주행에 중요한 역할을 하는 차륜의 형상을 고속 하이비전 카메라기술 적용과 차륜형상 측정시스템의 최적화된 알고리즘 개발을 통하여 차륜형상 측정기술 향상에 대한 연구를 수행하였다.

## 2. 고속 하이비전 카메라를 이용한 차륜측정 기술 개발

### 2.1 시스템 구축

차륜의 프로파일을 측정하기 위하여 차륜의 답면과 측면을 측정할 수 있도록 고속 하이비전 카메라와 레이저, 카메라 트리거 타이밍 신호 발생용 적외선 광화이버 센서를 각각 1SET씩 좌,우측 레일 근방에 설치하여 구성하였다. Table 1은 카메라, 레이저, 적외선 광화이버 센서 주요사양이다.

Table 1 Specifications of the main components

Item	Specifications
Camera	1/2" progressive scan, 2,448(H)×2,048(V), 1μs speed
Laser	line laser, 95mW power, 655nm wavelength
Sensor	photoelectric type, 300mm range, 0.2ms speed

차륜의 프로파일을 측정할 수 있는 고속 하이비전 카메라와 레이저는 눈과 비의 환경 영향을 받는 전용의 구조로 되어 있고, 차량 주행속도 25Km/h 이하에서 차륜의 프로파일을 측정할 수 있도록 궤도 하부에 설치하여 차량 운행에 간섭이 발생되지 않도록 배치되었다. 고속 하이비전 카메라, 레이저와 센서는 Fig. 1의 (a)와 같은 구조이며 차륜의 측정위치를 기준으로 레이저는 차륜에 수직이 되도록 조사하고 그 프로파일의 영상은 Fig. 1의 (b)와 같다.

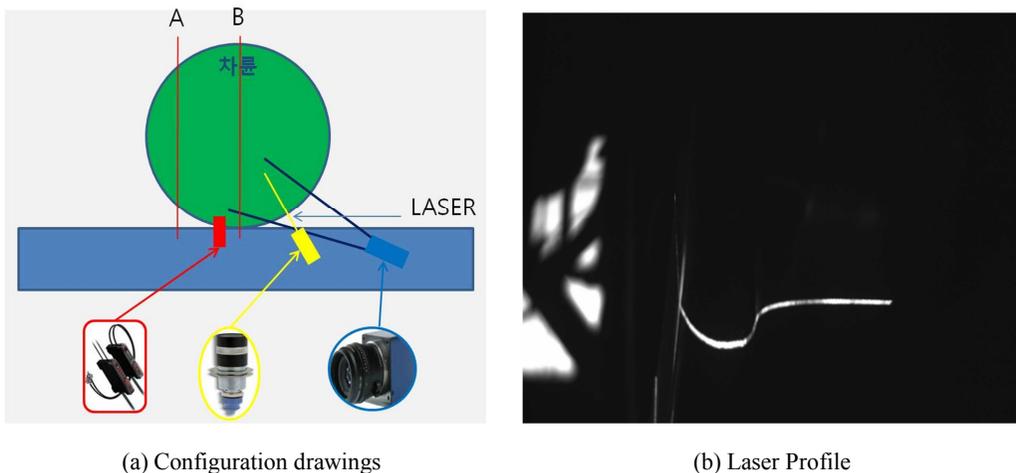


Fig. 1 Measurement image of wheel geometry

### 2.3 프로그램 구성

차륜형상 측정장치의 차륜관리 프로그램의 처리 시퀀스는 Fig. 2와 같다. 차륜관리 프로그램을 구동한 후 차량진입 센서로부터 차량의 진입 상태에 대한 정보를 받아 모든 차륜에 대하여 차륜 답면, 측면의 프로파일을 촬영하고, 취득 영상데이터 필터처리, 분석, 이미지 프로세싱을 통하여 차륜의 각부의 치수(차륜두께, 플렌지 두께, 플렌지 넓이)를 산출한다

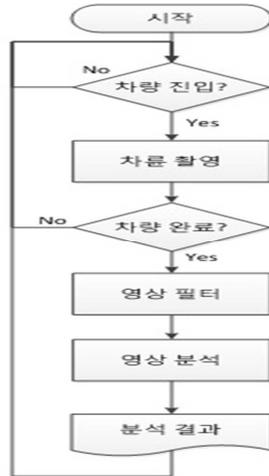


Fig. 2 Flowchart of wheel inspection

### 2.4 차륜측정을 위한 수치해석 알고리즘

차륜 프로파일 이미지 프로세싱 처리 알고리즘 플로우차트는 Fig. 3와 같다. 기하학적으로 변환하여 노이즈 필터를 통해 차륜 에지를 추출하고 데이터를 처리한다



Fig. 3 Flowchart of wheel profile image

#### 2.4.1 기하학적 변환 수행

차륜 형상의 원본 이미지를 1차적으로 기하학적 변환을 수행하였다. 본 연구에서는 차륜의 좌측과 우측을 구분하여 영상을 취득하는데 동일한 영상처리를 위해 기하학적 변환(Geometric Transform)을 이용하여 동일한 방향으로 변환하기 위해 영상반전(Image reflection)을 이용하여 y축을 기준으로 대칭되는 위치를 바꾸는 기법을 적용하였다. y축 기준의 반전은 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{Bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

### 2.4.2 스래시홀딩 기법 적용

이와 같은 과정으로 좌측과 우측의 차륜 이미지를 동일화할 수 있다. 차륜의 원본 이미지에서는 밝기 레벨이 여러 단수에 나누어져 있어 프로파일의 경계를 정확하게 구분할 수 없는 경우가 발생한다. 피사체의 경계를 정확히 인식하기 위해 컬러나 그레이 영상을 0과 1의 값으로 변환하는 스래시홀딩(Thresholding)기법인 영상 이진화를 사용하였다. 픽셀값이 임의로 정해진 임계치(Threshold)보다 작을 경우 흑색으로, 임계치보다 클 경우 백색으로 변환한다. 레이저 프로파일의 경우는 비교적 단순한 영상으로 식 (2)와 같이 분리가 가능하다.

$$G(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } f(x,y) \geq \text{Th} \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

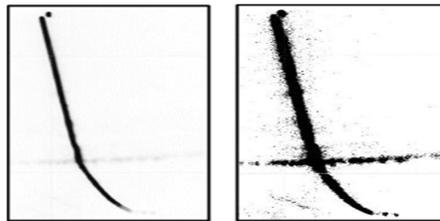


Fig. 4 Original image and threshold image

### 2.4.3 평균 필터링 기법 적용

이미지 영역 및 샘플링을 하기 위한 소프트웨어 코딩작업 후 시험결과 Fig. 4의 우측과 같이 많은 노이즈가 발생한다. 이러한 노이즈를 제거하기 위해 평균 필터링(mean filtering)기법을 사용하여 노이즈를 최소화하였다. 이 기법은 식 (3)과 같이 기준 픽셀(x,y)을 중심으로 이웃하는 픽셀들의 평균값을 구해 기준 픽셀의 값을 변경하는 방법을 사용하였다.

$$G(x,y) = \frac{1}{9} \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 f(x+i,y+j) \quad (3)$$

이진화 영상을 노이즈 필터링을 통해 Fig. 5의 우측과 같은 영상이 출력된다. 육안으로도 좌측과 우측을 비교하면 노이즈 성분이 감소된 것을 식별할 수 있다.

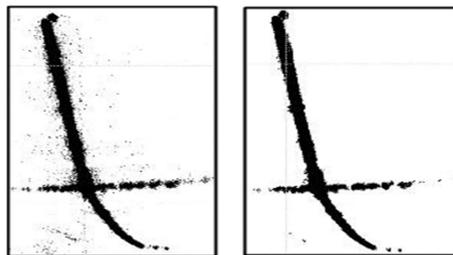


Fig. 5 Binary image and filtered image

#### 2.4.4 유사연산 에지 검출 기법 적용

이러한 과정으로 실제 차륜의 크기를 구하기 위해 레이저라인을 검출해야 한다. 이러한 경계선을 검출하기 위해 사용된 유사연산(homogeneity operator)에지 검출 기법은 해당 픽셀을 기준으로 이웃하는 3×3영역 내의 8개 픽셀들을 각각 감산해서 계산하고 이들 중 가장 큰 값을 선택한다. Fig. 6와 Fig. 7은 검출된 경계선을 이용하여 촬영된 이미지를 연산하는 과정이다.

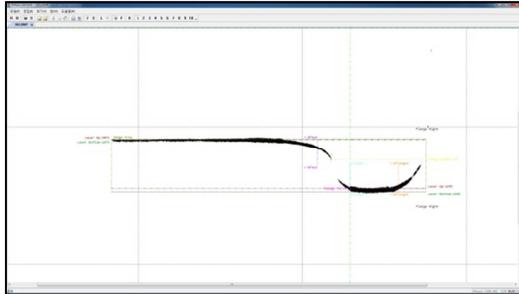


Fig. 6 Wheel tread analysis image

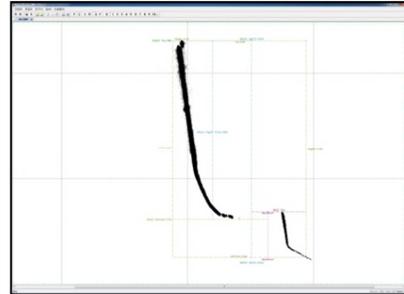


Fig. 7 Wheel side analysis image

Fig. 6과 Fig. 7과 같은 이미지로 레이저 프로파일까지 검출이 된 상태에서 실제 차륜의 값으로 환산하기 위해 보정(calibration)을 통해 영상을 정면에서 보는 것과 같은 보정과 원근변환 작업이 완료되면 실제 차륜의 크기를 도출할 수 있다.

### 3. 시험결과

신뢰성 평가를 위해 측정 환경이 가능한 한국철도공사 시흥차량사업소 내에 설치된 차륜형상 측정장치에 고속 하이비전 카메라 시스템과 측정 알고리즘을 적용하여 차륜의 측정치와 실측치를 비교하여 장치의 신뢰도 확인을 하였다. 고속 하이비전 카메라와 측정 알고리즘 적용 전에는 차륜 각부의 측정치가 불규칙적인 오차 발생으로 인하여 신뢰성이 저하되는 현상이 보였다. 최신 사양의 고속 하이비전 카메라 기술 적용과 영상처리 알고리즘 적용으로 측정 정밀도 비율을 분석하여 신뢰성을 평가한 결과는 Table 2와 Fig. 8과 같이 ±0.5mm내의 오차범위에 분포하는 결과로 96.9% 수준으로 신뢰도 향상 효과가 있었다.

Table 2 Accuracy result of the four trains

item	division		~±0.5	~±1.0	~±1.5	±1.5~
	quantity	point				
Tread thickness	quantity	point	31	32	32	32
	percentage	32	96.9%	100%	100%	100%
Flange height	quantity	point	31	32	32	32
	percentage	32	96.9%	100%	100%	100%
Flange thickness	quantity	point	31	32	32	32
	percentage	32	96.9%	100%	100%	100%
total	quantity	point	93	96	96	96
	percentage	96	96.9%	100%	100%	100%

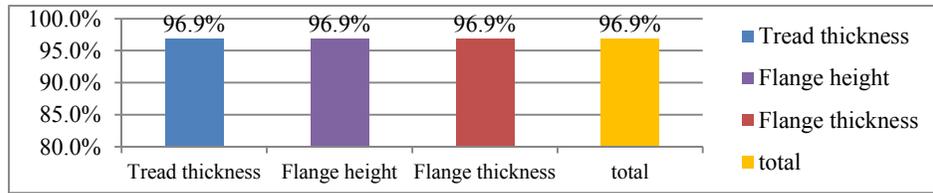


Fig. 8 Accuracy result of wheel profile measurement

#### 4. 결 론

차륜형상 프로파일 영상의 정밀도 향상을 위해 기하학적인 변환을 수행하여 좌측과 우측의 이미지를 동일화하고 노이즈 필터링을 위해 이미지 이원화를 수행하였다. 이원화된 이미지의 노이즈를 필터링하고 프로파일 에지를 추출하여 데이터처리를 수행하였다.

1. 최신 기술의 고속 하이비전 카메라와 관련 영상처리 모듈을 계측환경에 적용하였다.
2. 서로 다른 이미지를 동일한 로직으로 처리하면서 분산되는 이미지의 오류를 감소시키기 위해 기하학적 영상변환을 수행하여 고해상도의 영상을 빠른 시간에 처리하였다.
3. 영상에서 피사체의 경계선을 효과적으로 인식하기 위해 컬러나 흑백영상을 0과 1의 값으로 변환하는 영상 이원화 기법을 적용하였다.
4. 기준 픽셀(x,y)을 중심으로 이웃하는 픽셀들의 평균값을 구해 기준 픽셀의 값을 변경하는 방법으로 평균 필터링(mean filtering)법을 적용해 노이즈 필터링을 수행하였다.
5. 데이터를 연산하기 위해 샘플링된 이미지의 기준값과 가장 유사한 작업 버퍼를 기준으로 선정하여 여러 모듈의 필터를 거치면서 연산을 위한 영상 이미지를 취득하였다.

최신 사양의 고속 하이비전 카메라와 영상처리 모듈을 적용하고 이에 적합한 영상처리 알고리즘 개발에 대한 연구를 수행하여 국산화 기술에 의한 차륜형상 측정기술 향상에 효과가 있었고, 향후 효율적인 장치운용방안 제시에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

#### 참고문헌

- [1] S. G. Lee, D. W. Lee, G. D. Kim (2009) A study on the elimination method of noise image caused by rainfall using machine vision, *Journal of the Korean Society for Railway*, 12(3), pp. 364-369.
- [2] Y. G. Kim, S. J. Kwon, S. T. Won, H. S. Lee (2010) A study on the wearing phenomenon analysis of pantograph slider for the subway cars, *Journal of the Korean Society for Railway*, 13(4), pp. 389-395.
- [3] H. M. Hur, W. H. You (2005) A study on the wear characteristics of wheel profile for high speed rolling-stock, *Journal of the Korean Society for Railway*, 8(5), pp. 477-482.
- [4] H. M. Hur, J. H. Park, W. H. You, T. W. Park, et al. (2009) An Analysis on the influence of wheel flange wear on the vibration of EMU, *Journal of the Korean Society for Railway*, 12(2), pp. 230-235.
- [5] H. G. Lee (2007) *Digital Image Processing*, SciTech Media, 848, Janghang 2- dong Ilsandong-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, Korea, pp.36-128
- [6] Richard Neapolitan (2004) *Foundation of Algorithms using C++ Pseudocode*, SciTech Media, 848, Janghang 2- dong Ilsandong-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, Korea, pp.56-79