

◆특집◆ 비전응용계측기술

# 스테레오비전을 이용한 전차선 높이 및 편위 정밀 측정

김선기\*, 김현철\*, 백열민\*, 박종국\*\*, 심재원\*\*, 장경영\*\*\*, 김희을\*

## Measurement of the Railway Overhead Wire Height and Stagger using Stereo- Vision System

Sun-Gi Kim\*, HyunChul Kim\*, Yeul-Min Baek\*, Jong-Guk Park\*\*, Jae-Won Sim\*\*, Kyoung-Young Jang\*\*\*, Whoi-Yul Kim\*

**Key Words** : overhead wire(전차선), 3D measurement(3차원 측정), stereo vision(스테레오비전)

### 1. 서론

전차선은 고속으로 운행하는 차량(전동차)에 전기를 안정적으로 공급하기 위해 선로 위에 전기 선을 가설해 놓은 시설물이다. 일반적으로, 전동차는 마름모꼴의 집전 장치인 팬티그래프(pantograph)를 사용하는데, 이러한 팬티그래프와 전차선이 정확하게 접촉해야만 전동차가 안정하게 고속으로 운행할 수 있다. 따라서, 전차선의 시공과 유지 보수 작업 시, 전차선의 높이와 편위를 매우 정확하게 측정하고 이를 최적 상태로 유지할 필요가 있다.

전차선의 높이 및 편위를 측정하는 방법은 측정 장치와 전차선의 접촉 여부 및 측정 장치를 설치하는 방법에 따라 각각 차상식과 궤도식, 접촉식과 비접촉식으로 분류되며 이중 운반, 측정이 용이한 궤도식 비접촉 방법의 요구가 증가되고 있다. 현재 다양한 기술들이 존재하고 있으며 정밀

도는 약 5mm 로써, 높은 정확도를 가지고 전차선의 높이 및 편위에 대한 측정이 가능하다. 그러나 기존 방법들은 전차선의 높이 및 편위 측정을 위해 상당히 많은 부품을 필요로 하기 때문에 측정 장치의 제조 단가가 높으며 제어가 상당히 어려운 문제점이 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하고 측정 정밀도가 높은 기술의 개발이 필요하다.

대표적인 비접촉 측정방식으로는 초음파를 이용한 방식과 머신비전을 이용한 방식이다. 초음파 방식의 경우 온도 등 외부 환경과 정밀도에, 머신비전을 이용한 방식은 고해상도 카메라 등 높은 제조 단가와 측정 장치의 정밀도에 각각 단점을 가진다. 머신비전을 이용한 3차원 측정 방식의 경우 레이저를 이용한 삼각측정법<sup>1</sup>과 stereo vision을 이용한 방법<sup>2,4</sup>이 있다. 하지만 레이저를 이용한 삼각측정법은 측정 물체의 거리가 멀 경우 진동 등에 민감한 단점이 있으며 기존 stereo vision 방식은 정밀도가 떨어지는 단점이 있다.

본 연구에서는 운반이 용이한 크기의 궤도식 측정 장치 개발을 목표로 한다. 이를 위해 레이저 조명과 stereo vision 기술을 이용, 장치의 진동에 둔감하면서 높은 정밀도를 가지도록 한다. 위와 같은 문제를 해결함과 동시에 정확한 정밀도를 가지는 기술 개발을 목표로 한다. 이와 같은 목표를 달성하기 위하여 레이저 조명과 stereo vision 기술

\* 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부  
Tel. 02-2220-0561, Fax. 02-2292-6316  
Email sgkim@vision.hanyang.ac.kr; wykim@hanyang.ac.kr  
\*\* 투아이스스㈜  
\*\*\* 한양대학교 기계공학부

을 이용한다. 또한 sub-pixel 기법과 line fitting 기법을 이용, 낮은 해상도에서도 높은 정밀도 측정을 구현, 실제 제품에서의 단가를 낮추도록 하였다.

## 2. 전차선 높이 및 편위 측정

### 2.1 전차선 높이와 편위

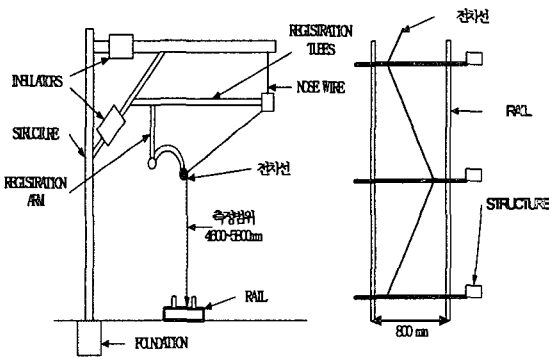


Fig. 1 A diagram of the railway overhead wire height and stagger

Fig. 1 은 측정해야 할 전차선의 높이와 편위를 나타낸다. 왼쪽은 레일 진행방향으로, 오른쪽은 레일 위에서 도시한 것이다. 전차선의 높이는 레일로부터 기준 높이 4600mm~5800mm의 측정 범위와  $\pm 400$ mm의 편위를 가지며 오른쪽 그림과 같이 레일 진행 방향에 따라 지그재그로 구성된다.

Fig. 2 는 전차선 높이 및 편위 측정 장치의 개략적인 모습을 보여준다. 이때 레이저 조명을 두 대의 카메라를 잇는 직선상에 있지 않고 직선으로부터 어느 정도 거리를 두고 설치하는 이유는 전차선이 전선들 중 가장 아래에 위치해 있다는 외부 정보를 이용하기 위해서다. 실제 전차선 촬영 영상에는 전차선 이외의 다른 선들이 촬영될 수 있다. 따라서 촬영된 영상으로부터 무엇이 전차선 인지를 결정하는 것이 힘든 문제가 될 수 있다. 그러나 위와 같은 방식으로 레이저를 설치하고 레이저 조명을 조사하게 되면 촬영한 영상에서 가장 아래쪽에 있는 것이 전차선임을 쉽게 알 수 있다.

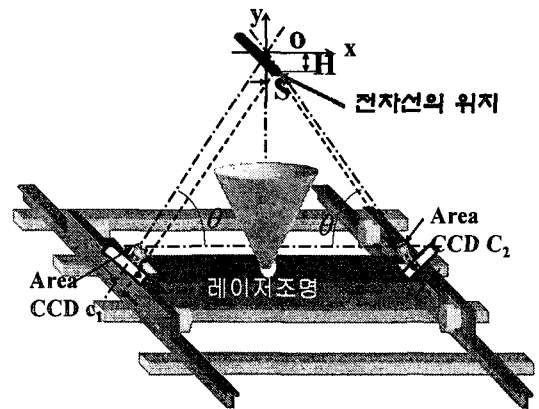


Fig. 2 System of the railway overhead wire height and stagger measurement

### 2.2 전차선 높이와 편위 측정 알고리즘

본 연구에서는 전차선의 높이 및 편위를 측정하기 위하여 레이저 조명과 스테레오 머신비전 기반 기술을 이용한다.

일반적으로 스테레오 영상과 영상의 촬영에 사용된 카메라 사양을 정확하게 알고 있다면 특별한 외부 장치 없이 찾고자 하는 물체까지의 거리를 상당히 정밀하게 측정할 수 있다.<sup>2</sup> 그러나 이를 위해서는 찾고자 하는 물체의 위치를 영상 내에서 정확하게 알고 있어야 하며 이를 위하여 다양한 방법들이 이미 개발되었다.<sup>3,5</sup> 따라서 이러한 방법을 이용한다면 두 개의 카메라를 이용해서 전차선의 높이 및 편위를 정밀하게 계산할 수 있을 것이다. 그러나 본 연구에서는 초당 10 개의 전차선 높이 및 편위를 측정하여야 하므로 스테레오 영상으로부터 찾고자 하는 물체의 위치를 찾는 알고리즘을 적용할 시간적 여유가 없다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 레이저를 외부장치로서 사용하며, 이를 이용하면 촬영 영상 내에서 밝은 부분이 전차선임을 쉽게 알 수 있다.

Fig. 3 은 스테레오 영상을 이용하여 전차선의 높이 및 편위를 측정하는 과정을 단계별로 나타낸 순서도이며, 각 단계에 대한 상세내용을 이하에 설명한다.

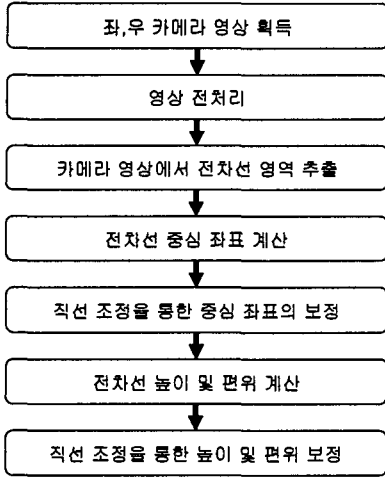


Fig. 3 A flowchart of the railway overhead wire height and stagger measurement

### 2.2.1 영상 전처리

Fig. 4 는 레이저조명으로 촬영된 영상에서 전차선 영역만을 확대한 영상이다. 그림에서 볼 수 있듯이 레이저조명의 특성과 카메라 해상도의 차이로 전차선 영역이 불균일 한 것을 볼 수 있다.

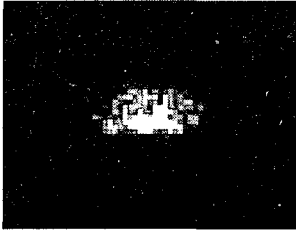


Fig. 4 Captured image of overhead wire

상기 영상에서 정확한 전차선 영역 추출과 sub-pixel 기법의 중심좌표를 계산하기 위해 가우시안(Gaussian) 마스크<sup>5</sup>를 이용하여 스무딩(smoothing)하였다. 공간영역 상에서 가우시안 마스크를 이용한 스무딩과정은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$I'(x, y) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} I(m, n)G(m+x, n+y) \quad (1)$$

여기서  $I'(x, y)$ 와  $I(m, n)$ 는 결과영상과 원영상의  $(x, y)$ 에서 밝기 세기를 나타내며,  $G$ 는  $M \times N$  크기의

가우시안 마스크를 나타낸다. 가우시안 마스크  $G$ 는 식 (2)와 같이 정의된다.

$$G(x, y) = qe^{\left(\frac{-(x^2+y^2)}{c^2}\right)} \quad (2)$$

여기서  $c$ 는 가우시안 함수 곡선의 퍼짐 정도를 조절하는 변수이며,  $q$ 는 식 (3)과 같이 정의된다.

$$\iint qe^{\left(\frac{-(x^2+y^2)}{c^2}\right)} dx dy = 1 \quad (3)$$

가우시안 블러를 하는 이유는 하나의 전차선 영역이 촬영 환경의 악화로 인하여 두개의 영역으로 나누어져 촬영된 결과를 다시 하나의 영역으로 병합하거나 무게중심 기반의 서브픽셀(sub-pixel) 방법<sup>8,9</sup>을 적용하기 위해서이다

### 2.2.2 카메라 영상에서 전차선 영역 추출

2.1 절에서 언급한 바와 같이 전차선이 전선들 중에서 가장 아래에 위치해 있고 레이저 조명을 두 카메라를 잇는 일직선상에서 일정 거리를 두고 설치하기 때문에 촬영 영상에서 전차선 영역은 항상 가장 아래에 있다는 것을 미리 알 수 있다. 따라서 이를 이용하면 촬영 영상으로부터 손쉽게 전차선 영역을 분리할 수 있다. 구체적인 방법은 다음과 같다.

먼저 레이블링<sup>5</sup> 알고리즘을 사용하여 촬영 영상을 이진화한 후 각 영역의 대략적인 중심 좌표를 계산한다. 그 다음 계산된 좌표값 중  $y$  값을 내림차순으로 정렬하여 가장 큰 값을 가지는 영역을 선택한다. 또한 전차선은 총 3 개가 동시에 나타날 수 있으므로 내림차순으로 정렬된 값들이 3 개가 비슷한 값들을 가진다면 3 영역 모두 전차선 영역으로 선택하도록 한다. Fig. 5 는 레이블링 알고리즘을 적용한 결과를 보여준다. 총 2 개의 영역이 레이블되었으며 이 중 가장 아래에 있는 2 번 레이블 영역이 전차선 영역으로 간주된다.

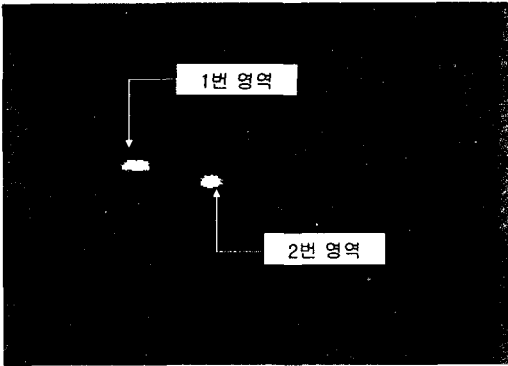


Fig. 5 Result of preprocessing and labeling

### 2.2.3 전차선 영역 중심 좌표의 계산

현재 사용하는 카메라의 높이 및 편위 분해능은 5m 높이 전차선에서 각각 약 4mm, 0.6mm 정도이다. 때문에 전차선의 높이 계산을 픽셀 단위로 수행할 경우 목표 정밀도를 얻기 힘들다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 서브픽셀 방법을 이용한다. 서브픽셀 방법은 크게 에지기반 방법<sup>6-7</sup>과 무게중심 기반 방법<sup>8-9</sup> 두 가지가 있다. 이 중 에지기반 방법은 촬영하고자 하는 물체가 변하지 않고 고정적인 경우에 그 적용이 의미가 있다. 때문에 본 연구에서는 무게중심기반 방법을 이용하며 식 (4)는 기본적인 무게중심 계산식을 보여준다.

$$(x_c, y_c) = \left( \frac{\sum_{x,y \in \Omega} w(x,y)x}{\sum_{x,y \in \Omega} w(x,y)}, \frac{\sum_{x,y \in \Omega} w(x,y)y}{\sum_{x,y \in \Omega} w(x,y)} \right) \quad (4)$$

여기서  $\Omega$ 는 무게 중심을 구하기 위해 사용되는 점들의 집합을 나타내며,  $w(x,y)$ 는 무게중심을 계산하기 위해 사용되는 가중치로써 일반적으로  $(x,y)$ 의 픽셀 밝기 값을 주로 사용한다

### 2.2.4 직선 조정을 이용한 좌표의 보정

서브픽셀 기법을 이용하여 분해능 이상의 정확도로 전차선 영역의 중심 좌표를 구했을 지라도 기본적으로 부족한 분해능과 외부의 물리적 충격 등의 여러 이유로 인해 원치 않는 좌표가 계산될 수 있다. 이러한 이유로 인해 잘못 계산된 전차선 영역의 중심 좌표를 보정하기 위해, 아래와 같은 가정을 근거로 직선 조정 기법을 사용하여 전차선

영역의 중심 좌표 값을 보정한다.

가정 1. 전차선은 연속적인 물체이므로 짧은 구간에서 높이 및 편위의 변화율은 일정하다.

가정 2. 위의 가정 1을 근거로 현재 프레임의 전차선 영역 중심 좌표는 최소 이전 10 프레임 동안의 전차선 영역 중심 좌표와 직선의 궤적을 이루는 상관도를 가진다.

즉, 현재 프레임의 전차선 영역 중심 좌표는 이전 10 프레임의 전차선 영역 중심 좌표와 직선으로 나타나는 궤적을 이뤄야 하며, 이를 근거로 직선 조정 기법을 사용하여 현재 프레임의 전차선 영역 중심 좌표를 보정한다.

본 연구에서 사용한 직선 조정 기법은 Weighted Least Square Method로 노이즈와 같은 데이터에 대해서는 상대적으로 작은 가중치를 부여함으로써 노이즈의 영향을 최소화하는 방법이다.<sup>11</sup> 이 방법은 이전 10 프레임의 전차선 영역 중심 좌표에 비해 현저히 수치가 다른 노이즈의 특징을 갖는 레이저 영역 중심 좌표가 들어왔을 때 현재 프레임의 전차선 영역 중심 좌표의 영향을 최소화하여 기본적인 Least Square Method<sup>11</sup>에 비해 더 정확한 좌표의 보정을 가능케 한다.

Weighted least square method를 이용한 직선의 산출은 입력 전차선 영역 중심 좌표  $Y_i$ 와 직선 조정에 의해 보정된 전차선 영역 중심 좌표  $\hat{Y}_i$ 사이의 에러(error)에 가중치  $w_i$ 를 부여한 전체 합을 최소화하여 구하며 식 (5)와 같다. 식 (5)의 가중치  $w_i$ 는 Huber 가중치로써 식 (6)과 같다.<sup>11</sup> 식 (6)에서  $r$ 은 직선과 data 간의 거리로써, 거리를 구하기 위한 초기 직선은 모든  $w_i$ 를 1로 둔 상태에서 구해진 직선이며 식 (5)의 최소화를 통해 구해진 직선의 변화가 일정 범위보다 작아질 때까지 반복적으로 갱신된다. 이 과정은 Fig. 6에 나타나 있다.

$$error_w = \sum_i w_i (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum_i w_i (Y_i - (a + bX_i))^2 \quad (5)$$

$$w_i = \begin{cases} 1 & \text{if } r < c \\ c/r & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

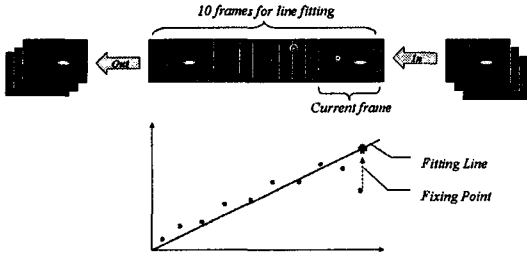


Fig. 6 Line fitting processing

### 2.2.5 전차선 높이 및 편위의 계산

식 (7)과 (8)은 각각 높이 및 편위 계산식이며, 이는 Fig. 7 에 삼각비 공식을 이용하여 쉽게 유도할 수 있다

$$\begin{aligned}
 dl + dr : f &= L : h \\
 L \cdot f &= h(dl + dr) \\
 h &= \frac{L \cdot f}{dl + dr}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{h}{dl + 0.5L + s} &= \frac{f}{dl} \\
 f(dl + 0.5L + s) &= h \cdot dl \\
 f \cdot s &= h \cdot dl - f(dl + 0.5L) \\
 s &= \frac{h \cdot dl - f(dl + 0.5L)}{f}
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

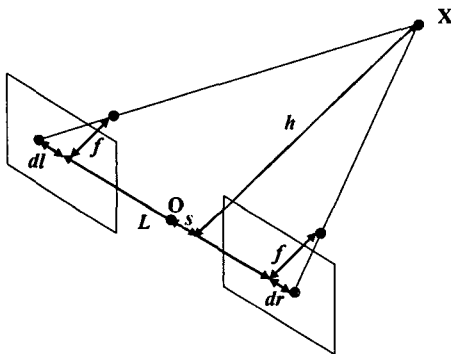


Fig. 7 Geometric relations between two cameras and Object

## 3. 실험 결과 및 분석

### 3.1 높이 및 편위 측정 실험 결과

실험을 위해 1624 x 1236 흑백 카메라 2 대를 사용했으며 660nm 100mW 레이저 조명과

interference optical filter 를 사용하였고 카메라간의 거리는 1500mm 로 하였다. 측정 거리는 5000mm 를 기준으로 하였다.

### 3.1.1 서브 픽셀 기법을 이용한 전차선 영역 중심 좌표 계산

다음 결과는 기준 좌표를 중심으로 1mm 단위로 전차선을 움직이며 전차선 영역의 중심 좌표를 계산한 것이다. Fig. 8 은 픽셀 단위로 전차선 영역 중심 좌표를 계산한 결과 궤적을 나타내며, Fig. 9 는 서브 픽셀 기법을 사용한 전차선 영역 중심 좌표의 궤적이다. 서브 픽셀 기법을 사용함으로써 전차선 영역 중심 좌표의 정확도가 크게 향상된 것을 Fig. 9 를 통해 확인할 수 있다. Fig. 8 은 전차선 영역의 중심 x 좌표로써 계단 함수(step function) 형태를 띄고 있는데 반해 Fig. 9 는 무계 중심 x 좌표가 직선에 가까운 형태를 띄고 있는 것을 알 수 있다

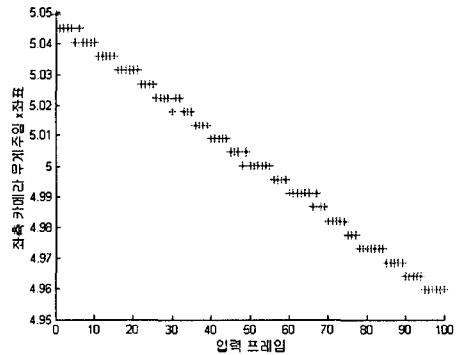


Fig. 8 Result of center position by pixel

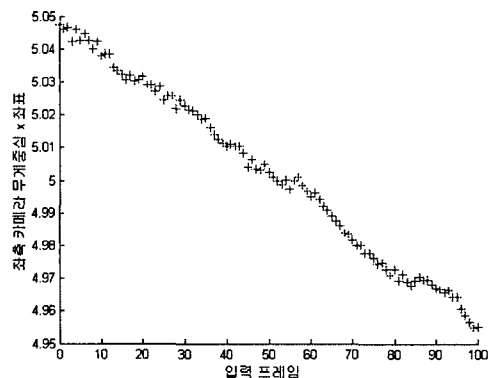


Fig. 9 Result of center position by sub-pixel

### 3.1.2 높이 및 편위 오차 측정

Fig. 10 과 Fig. 11 는 본 연구에서 제안한 방법으로 구한 전차선의 최종 높이 및 편위와 시뮬레이터 상의 실제 전차선의 높이 및 편위와의 오차를 보여준다. 실험은 전차선 높이를 1mm 씩 증가시키며 실험하였다. 실험 결과 전차선 높이 측정의 경우 최대 오차는 0.8mm 이며 전차선 편위 측정의 경우 0.15mm 였다. Fig. 10 과 Fig. 11 의 붉은 '+' 표시는 측정된 전차선의 높이 및 편위이며 파란 실선은 실제 전차선의 높이 및 편위이다.

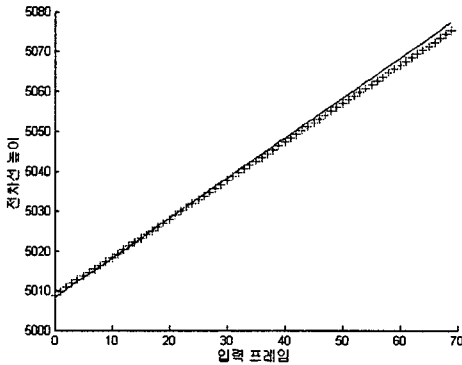


Fig. 10 Result of overhead wire height

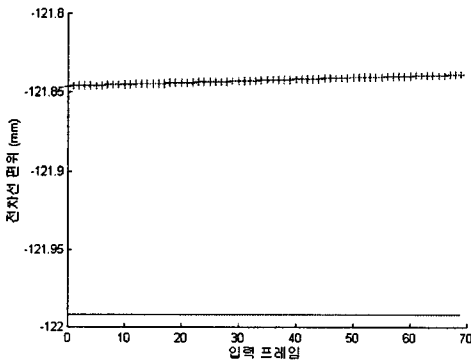


Fig. 11 Result of overhead wire stagger

### 3.1.3 픽셀해상도 보정을 통한 높이 및 편위 오차 측정

Fig. 10 과 같이 실제 높이와 측정된 높이와의 증가 기울기가 틀림을 알 수 있다. 이것은 높이에 따라 픽셀해상도가 차이가 나기 때문이다. 따라서 식 (7)에 의해 계산된 높이를 기준으로 해당하는 픽셀해상도를 적용, 다시 계산하여 실제 높이와

측정된 높이와의 차이를 줄였다. Fig. 12 와 Fig. 13 은 이 방식을 적용, 전차선 높이를 1cm 씩 증가시키며 실험한 결과를 보여준다. 높이와 편위 이동량은 각각 38cm, 48cm 이며 실험실 지그 환경에서 최대한 이동시킨 것이다. 실험 결과 전차선 높이 및 편위 평균 오차는 각각 0.1mm, 0.15mm 이하였다.

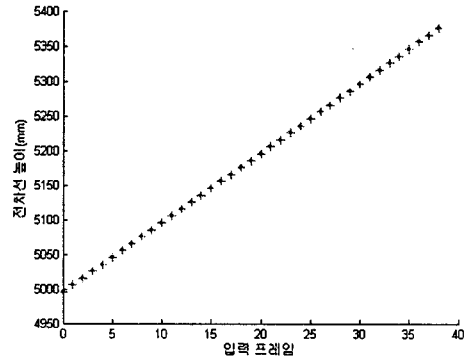


Fig. 12 Result of overhead wire height

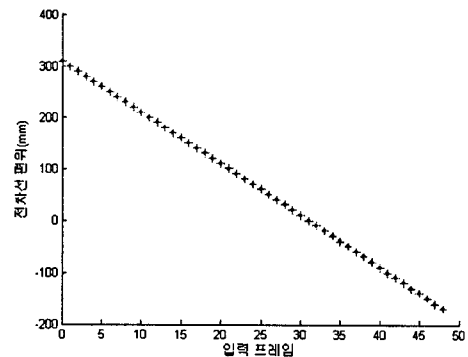


Fig. 13 Result of overhead wire stagger

### 3.2 진동에 따른 민감도 측정

본 실험에서는 궤간식의 단점 중 하나인 진동에 대한 측정 변화량을 보았다. 궤간식의 경우 사람이 운반 가능한 작은 크기로 인해 실제 측정 시 진동이 많이 발생할 수 있다. 높이 및 위치 측정에 많이 사용되는 레이저 삼각측정법은 이러한 진동에 취약함을 가진다.

레이저 삼각측정법은 다음 Fig. 14 와 같이 레이저조명과 CCD 의 각도를 두고 대상물의 높이에 따라  $\Delta d$  만큼 차이가 발생하는 것을 인식한다.

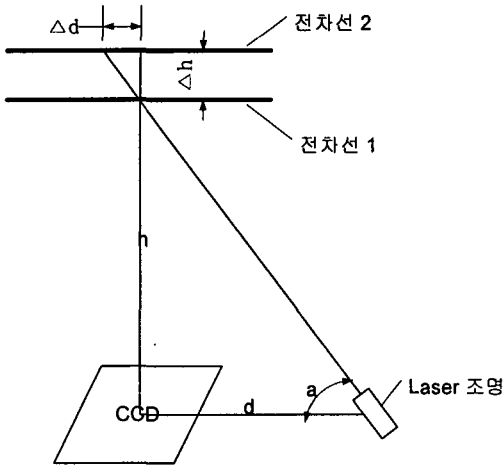


Fig. 14 A diagram of laser triangulation

이때 Fig. 15 와 같이 진동에 의해 레이저 조명이 흔들릴 경우 동일 전차선 위치에 대해 식 9 만큼의 y 축 촬영 오차를 가진다.

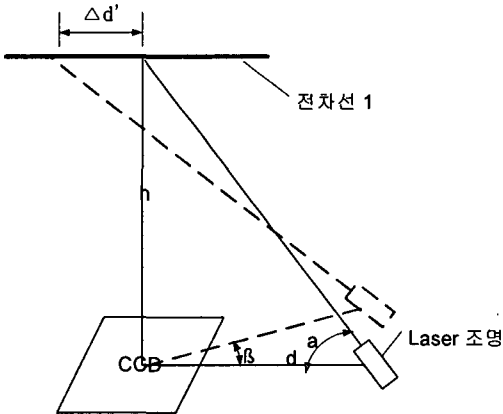


Fig. 15 Measurement error by vibration

$$\Delta d' = h \sin \beta \quad (9)$$

하지만 본 연구에서는 식 7 과 같이 상대적으로 진동의 영향이 적은 x 성분만을 이용하여 높이와 편위를 구하므로 이와 같은 진동에 의한 오차가 적다. 다음 Fig. 16 은 진동을 가정,  $\Delta d'$  를 5mm 씩 증가시키며 촬영한 후 x 성분과 y 성분의 변화를 본 것이다. 실험결과 x 성분의 경우 최대 20mm 변화에 대해 0.73pixel 이내의 변화가 있는 반면, y 성분의 경우 최대 12.75pixel 의 변화가 발

생함을 알 수 있다.

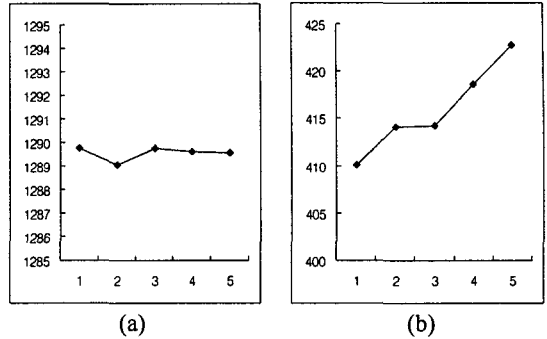


Fig. 16 Change of object center position (a) x and (b) y under vibration

#### 4. 결론

본 연구에서는 스테레오 이미지와 레이저 조명을 이용하여 전차선의 높이 및 편위를 측정하는 방법에 관한 연구를 진행하였다.

5m 높이의 전차선에 대한 카메라의 높이 분해능은 약 4mm 로써 서브 픽셀과 직선 조정 기법을 이용하여 1mm 측정 오차를 구현하였다. 서브 픽셀 방법은 전차선의 무게중심 좌표를 정교하게 결정하는데 사용되었으며 단순히 픽셀 단위로 중심 좌표를 계산한 경우에 비해 상당히 높은 수준의 정밀도를 얻을 수 있었다. 직선 조정 기법은 전차선 중심 좌표와 높이 및 편위 값을 정교화하기 위해 사용되었으며 많은 수의 데이터를 사용할수록 더욱 더 정교한 값을 얻을 수 있었다. 본 연구에서는 무게 중심 좌표를 정규화하기 위해 데이터를 10 개 사용하였으며, 전차선의 높이 및 편위를 정규화하기 위해 데이터를 약 50 개 정도 사용하였다. 이와 같은 상황에서는 실험 결과에서 언급한 바와 같이 1mm 오차를 달성할 수 있었다. 또한 stereo 기법을 사용, 궤도식에서 발생하기 쉬운 진동에 의한 오차를 최소화하였음을 보였다.

그러나 실제 전차선 촬영 환경에서는 한 개의 데이터를 입력 받으면 그에 해당하는 높이 및 편위를 실시간으로 출력해야 하기 때문에 이와 같은 요구사항을 충족시키는 방법의 개발이 필요하다. 또한 초당 10 개의 전차선 높이 및 편위를 계산하기 위하여 알고리즘의 연산시간을 단축시키는 연구와 궤간 및 켄트 정보를 이용하여 전차선의 높

이 및 편위를 다시 한 번 보정함으로써 더욱 정교한 높이 및 편위를 얻을 수 있는 연구의 진행이 필요하다.

### 후기

본 연구는 2005 년도 중소기업청 구매조건부 신제품개발사업의 연구비지원에 의해 이루어졌습니다.

### 참고문헌

1. Franca, J.G.D.M., Gazziro, M.A., Ide, A.N. and Saito, J.H., "A 3D scanning system based on laser triangulation and variable field of view," Image Processing, ICIP 2005. IEEE International Conference on, Vol. 1, pp. 424-428, 2005.
2. Tjandranegara, E. and Lu, Y. H., "Distance estimation algorithm for stereo pair images," TR-ECE-05-10, 2005.
3. Dhond, U. R. and Aggarwal, J. K., "Structure from stereo: a review," IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics, Vol. 19, No. 6, pp. 1489-1510, 1989.
4. Scharstein, D. and Szeliski, R., "A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-Frame Stereo Correspondence Algorithms," International J. Computer Vision, Vol. 47, pp. 7-42, 2002.
5. Gonzalez, R. C., "Digital Image Processing," Prentice-Hall, 2002.
6. van Assen, H. C., Egmont-Petersen, M. and Reiber, J. H. C., "Accurate Object Localization in Gray Level Images Using the Center of Gravity Measure: Accuracy Versus Precision," IEEE Transaction on Image Processing, Vol. 11, No. 12, 2002.
7. Patwardhan, A., "Subpixel position measurement using 1D, 2D and 3D centroid algorithms with emphasis on applications in confocal microscopy," Journal of Microscopy, 1997.
8. Kim, T. H. , Moon, Y. Sh. and Han, C. S., "An efficient method of estimating edge location with subpixel accuracy in noisy images," Proceedings of the IEEE Region 10 Conference, Vol. 1, pp. 589-592, 1999.
9. Lee, C. K. and So, W. C., "A fast edge detector with subpixel accuracy," Proceedings of the 1992 International Conference on Industrial Electronics, Vol. 2, pp. 710-715, 1992.
10. Park, J. M., Looney, C. G. and Chen, H. C., "Fast Connected Component Labeling Algorithm Using A Divide and Conquer Technique," CATA 2000 Conference on Computer and Their Applications, pp. 373-376, 2000.
11. Huber, P. J., "Robust Statistics," New York: Wiley, 1981.