

## 사각영상을 이용한 물체의 고도정보 추출에 관한 연구

이 우영, 엄 기문, 박 찬응, 이 쾌희  
서강대학교 전자공학과

## A Study on Extracting Depth Information Using a Non-parallel Axis Image

Woo-Young Lee, Gi-Mun Um, Chan-Eung Park, Kwae-Hi Lee  
Dept. of Electronic Engineering, Sogang Univ.

### Abstract

In stereo vision, when we use two parallel axis images, small portion of object is contained and B/H(Base-line to Height) ratio is limited due to the size of object and depth information is inaccurate. To overcome these difficulties we take a non-parallel axis image which is rotated  $\theta$  about y-axis and match other parallel-axis image. Epipolar lines of non-parallel axis image are not same as those of parallel-axis image and we can't match these two images directly. In this paper, we transform the non-parallel axis image geometrically with camera parameters, whose epipolar lines are aligned parallel. NCC(Normalized Cross Correlation) is used as match measure, area-based matching technique is used to find correspondence and  $9 \times 9$  window size is used, which is chosen experimentally. Focal length which is necessary to get depth information of given object is calculated with least-squares method by CCD camera characteristics and lens property. Finally, we select 30 test points from given object whose elevation is varied to 150 mm, calculate heights and know that height RMS error is 7.9 mm.

## I. 서론

두 장의 영상을 이용하여 대응점을 찾고 주어진 지형의 깊이정보를 얻는 스테레오 비전은 많은 연구가 진행되어 왔다. 한 영상을 기준영상으로 두고 다른 영상에서 이에 대응하는 점을 찾는 correspondence 문제는 정합의 척도로 유사함수를 사용하여 기준영상의 한 점이 대응영상 상에서 어느 점에 대응되느냐 하는 문제이며 스테레오 비전의 관건이 된다. 두 장의 수직영상을 이용하여 주어진 대상체의 고도정보를 구할 경우는 같은 공선 상에서 정합을 할 수 있어 대응점 문제가 수월한 반면 복원할 수 있는 지역이 제한되고 B/H 비가 낮아 고도계산시 고도값이 부정확해진다. 본 논문에서는 B/H 비를 어느 정도 유지하면서 주어진 대상체의 많은 부분을 복원할 수 있도록 한 장의 수직영상과 다른 한장의 사각영상을 사용하는 방법을 제안하였다. 왼쪽 영상을 y축에 대하여  $\theta$ 만큼 회전시켜 광축이 물체에 수직이 아닌 사각영상을 얻을 경우 이 영상의 공선들이 광축에 수직인 오른쪽 영상의 그것들에 평행하지 않으므로 정합의 용이성을 위하여 영상의 기하학적인 구조를 이용하여 영상변형을 한다. 고도정보 추출시 정합과 아울러 고려되는 중요한 요소는 고도식에 직접 들어가는 카메라 렌즈의 초점거리이다. 본 논문에서는 카메라와 물체의 거리를 변화시켜 가며 각기 다른 43장의 실험영상을 취득한 후 사용한 CCD 카메라의 기본적인 특성을 이용하여 초점거리를 최소자승법으로 구한다. 이러한 두 과정을 거쳐 왼쪽-오른쪽 영상쌍을 영역기반에 의한 유사함수 NCC(Normalized correlation coefficient)를 이용하여 정합을 수행한다. 끝으로 유도한 고도식을 이용하여 고도를 구하고 오차를 분석하였다.

## II. 카메라 보정

그림 1과 같은 실험 위치를 고려하자.  $L_o$ 는 높이를 알고 있는 물체이며  $L_i$ 는 이 물체가 영상 평면에 맺힐 때의 실제 길이이다. 초점에서 대상체까지의 거리  $a_i$ 와 초점에서 영상평면 CCD 까지의 거리  $b_i$ 는 미지수이며  $c$ 는 대상체에서 아는 위치까지의 거리이고  $d$ 는 아는 위치에서 영상평면까지의 거리로 고정된 알고 있는 값이다.  $x$ 를 아는 위치에서 초점까지의 거리라 하면 다음의 관계를 알 수 있다.

$$\frac{L_o}{L_i} = \frac{a_i}{b_i} = a, \quad a_i = a \cdot b_i \quad (1)$$

$$a_i = c - x, \quad b_i = d + x \quad (2)$$

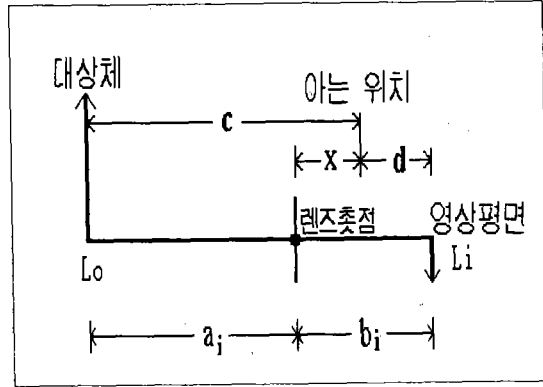


그림 1. 카메라 보정

(1) 및 (2)로부터  $c$ 를 변수로 하는 함수  $x$ 를 식 (3)과 같이 얻을 수 있다.

$$x = \frac{c - a d}{1 + a} \quad (3)$$

식 (3)을 이용하여  $L_o$ 를 50 mm씩 변화시켜가며 영상 43장을 취득하여  $a_i, b_i (i = 1, 2, 3, \dots, 43)$ 를 얻고 식 (4)와 최소자승법으로 초점거리  $f$ 를 구할 수 있다.

$$\frac{1}{a_i} + \frac{1}{b_i} = \frac{1}{f} \quad (4)$$

얻은 결과와 사용한 카메라의 제원은 다음과 같다.

- 초점거리 : 21.083 mm
- CCD 격자 : 1/3 inch
- CCD 가로 길이 : 4/15 inch
- CCD 세로 길이 : 1/5 inch

### III. 영상취득 및 변형

#### 1. 영상취득

영상은 대전지역의 일부를 모형으로 만든 물체를 이용하여 그림 2의 형태로 취득하였으며

그림 3, 4에 왼쪽 및 오른쪽 영상을 나타내었다.

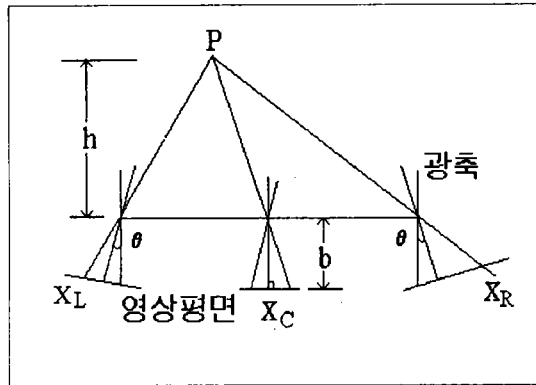


그림 2. 카메라 배열

그림 2의 모델링을 통해 얻어지는 값들은 다음과 같다.

$H$  : 1684.15 mm

$B$  : 600.0 mm

$B/H$  ratio : 0.356

회전각  $\theta$  : 19.61 degree

x축 화각 : 18.0 degree

y축 화각 : 13.6 degree

$b$  : 21.35 mm (초점에서 영상평면까지의 거리)

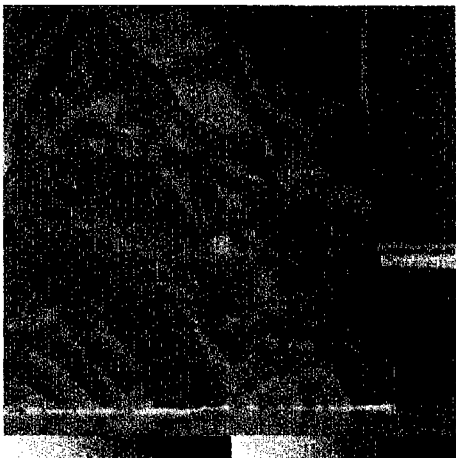


그림 3. 왼쪽 영상

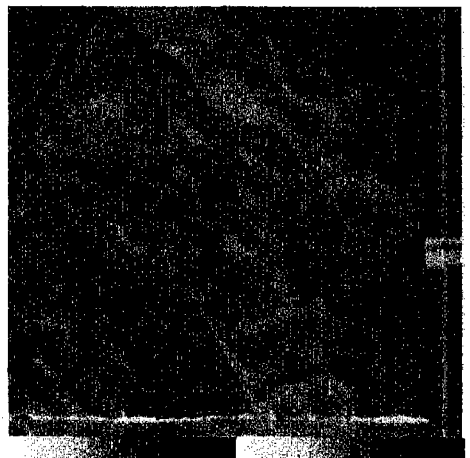


그림 4. 오른쪽 영상

## 2. 영상변형

오른쪽 사각영상의 기하학적인 변형을 고려하기 위하여 영상취득을 그림 2와 같이  $\theta$ 만큼 회전시켜 취득하면 영상은 그림 5의 굵은 선과 같이 영상의 반은 늘어나는 형태이고 나머지는 줄어들어 보이는 물체의 크기가 다르게 된다.

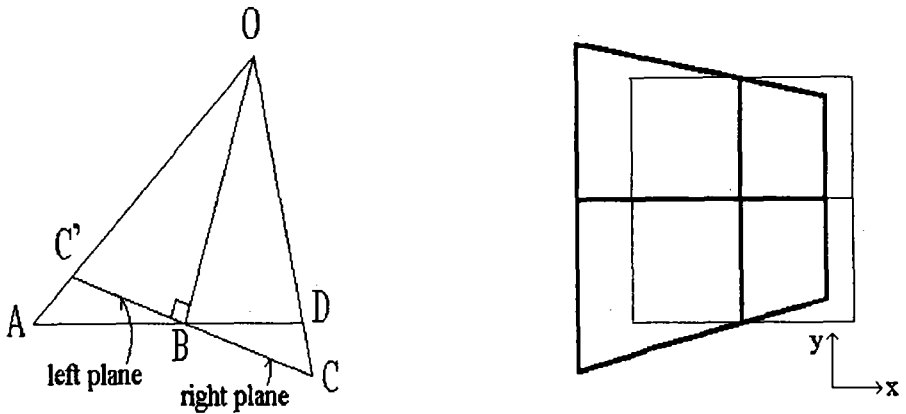


그림 5. 영상의 실제 형태

영상의 올라간 부분을 left plane ( $x$  및  $y$ 의 길이가 주는 평면), 내려간 부분을 right plane ( $x$  및  $y$ 의 길이가 늘어나는 부분),  $\overline{CC'}$ 을 변형되지 않은 등간격 영상, 영상크기는  $256 \times 256$ , 그리고 중심을 (125,125)라 가정한다.

### 2.1 $x$ 축으로의 길이변화 (Right Plane $\triangle OAB$ )

그림 6에서 정의된 각  $a_i$ 는 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned}
 a_{127} &= \text{atan} \frac{r}{b} = \frac{\phi}{2} \\
 &\vdots \\
 a_{255} &= \text{atan} \frac{128r}{b}
 \end{aligned} \tag{5}$$

여기서,  $r$ : 영상평면의  $x$ 축 한화소 길이  
 $b$ : 초점에서 영상평면까지의 거리  
 $\phi$ :  $x$ 축 화각

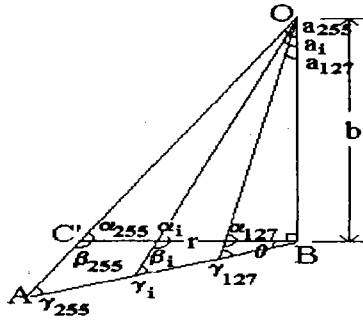


그림 6. x축에서 본 영상의 단면

(5)에서  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$  및  $\gamma_i$ 는 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned}
 \alpha_{127} &= \frac{\pi}{2} - a_{127} \\
 &\vdots \\
 \alpha_{255} &= \frac{\pi}{2} - a_{255} \\
 \beta_{127} &= \pi - \alpha_{127} = \frac{\pi}{2} + a_{127} \\
 &\vdots \\
 \beta_{255} &= \frac{\pi}{2} + a_{255} \\
 \gamma_{127} &= \pi - (a_{127} + \frac{\pi}{2} + \theta) \\
 &= \frac{\pi}{2} - a_{127} - \theta \\
 &\vdots \\
 \gamma_{255} &= \frac{\pi}{2} - a_{255} - \theta
 \end{aligned} \tag{6}$$

식 (6) 및 다음의 그림 7에 대응되는 x축 실수 좌표는 식 (7)과 같다.

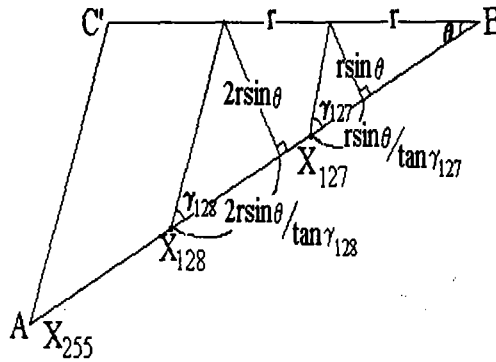


그림 7. x축 실수좌표의 표현

$$\begin{aligned}
 X_{127} &= r \frac{\sin \theta}{\tan \gamma_{127}} + r \cos \theta \\
 X_{128} &= 2r \frac{\sin \theta}{\tan \gamma_{128}} + 2r \cos \theta - X_{127} \\
 &\vdots \\
 X_{255} &= 129r \frac{\sin \theta}{\tan \gamma_{255}} + 129r \cos \theta - X_{254} \quad (7)
 \end{aligned}$$

2.2 y축으로의 길이변화 (영상의 오른쪽)

x축으로의 길이변환 후 y축 변화(row방향)는 변환된 x축상에서 고려할 수 있다. 그림 8에서  $\triangle OO'A$ 와  $\triangle OO'B$ 는  $\phi_A, \phi_B$ 가 다르게 된다.

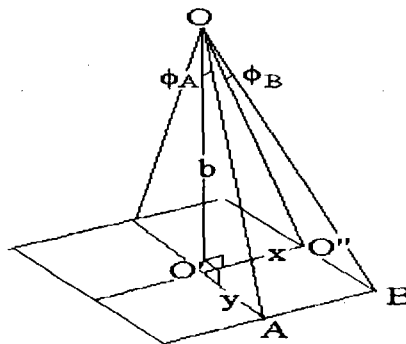


그림 8. y축 길이에 따른 다른 각의 예

이를 이용하여 영상의 오른쪽을 고려하여  $\phi_i$ 를 구한다.

$$\begin{aligned} \phi_{128} &= \operatorname{atan} \frac{y^2}{\sqrt{b^2 + X_{128}^2}} \\ &\vdots \\ \phi_n &= \operatorname{atan} \frac{y^2}{\sqrt{b^2 + X_n^2}} \\ \phi_{255} &= \operatorname{atan} \frac{y^2}{\sqrt{b^2 + X_{255}^2}} \end{aligned} \quad (8)$$

위의  $\phi_i$ 와 그림 9에 의하여 구하려는  $y$ 축 길이는 다음과 같다.

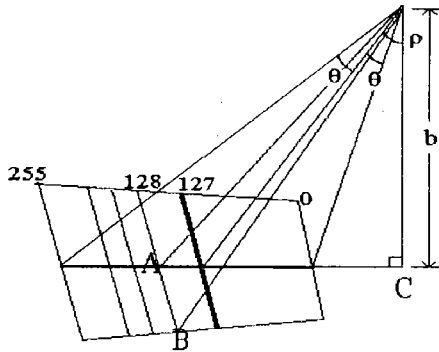


그림 9.  $y$ 축 실수 좌표를 구하기 위한 그림

$$\begin{aligned} Y_{128} &= \frac{b y^2}{\cos(\alpha_{128} + \rho) \sqrt{b^2 + X_{128}^2}} \\ &\vdots \\ Y_{255} &= \frac{b y^2}{\cos(\alpha_{255} + \rho) \sqrt{b^2 + X_{255}^2}} \end{aligned} \quad (9)$$

이와 같이 기하학적인 방법에 의한 두 축을 변환하여 각 좌표의 실수 값을 구하고 주변 네 화소의 가중치를 고려하는 bilinear interpolation을 이용하여 그림 10과 같이 영상을 변형하였다.



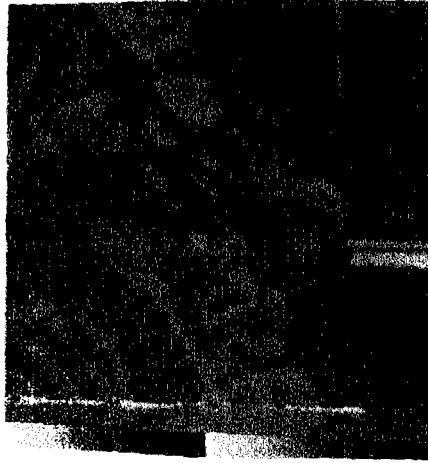


그림 10. 변형된 사각영상

#### IV. 고 도 식 유 도

그림 11의 왼쪽 및 오른쪽 영상 좌표계를 고려하자[1].

왼쪽영상의 초점에 원점이 있는 좌표계는 입체모형 좌표계와 base line 및 회전각  $\theta$ 로써 식 (10)과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} X_L \\ Y_L \\ Z_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_W + \frac{b}{2} \\ Y_W \\ Z_W \end{bmatrix} \quad (10)$$

또한 오른쪽 영상의 좌표계는 식 (11)과 같이 주어진다.

$$\begin{bmatrix} X_R \\ Y_R \\ Z_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_W - \frac{b}{2} \\ Y_W \\ Z_W \end{bmatrix} \quad (11)$$

$x_L : b = X_L : Z_L$ 과  $x_R : b = X_R : Z_R$ 에서 각각  $X_W$ 를 얻어 등치시킨 후 고도식  $Z_W$ 를 식 (12)로 얻을 수 있다.

$$Z_w = \frac{\text{base}(b \cos\theta - x_L \sin\theta)b}{(b^2 + x_L x_R) \sin\theta + b(x_L - x_R) \cos\theta} \quad (12)$$

여기서,  $x_L - x_R$  : disparity

base : base-line

b : 초점에서 영상평면까지의 거리

$\theta$  : 영상 회전각

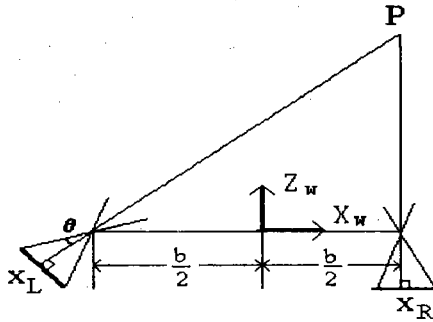


그림 11. 기준 좌표계

## V. 실험결과

왼쪽영상을 기준영상으로 오른쪽 영상 상에서의 대응점을 찾기 위한 창틀크기 선정을 위하여 창틀크기를 9×9에서 19×19까지 변화를 시켜본 결과 창틀크기가 커질수록 disparity의 변화가 부드러워지나 부정확한 대응이 많이 생겨 본 논문에서는 실험적으로 9×9의 창틀을 선정하여 사용하였다. 정합척도로는 기준영상의 창틀과 정합 대상영역의 창틀 유사도를 찾을 때 성능이 가장 뛰어나다고 알려진 NCC를 사용하였으며 실험적으로 임계값 0.85를 정합의 판단근거로 삼았다. 탐색영역은 8×18을 사용하였다. 변형된 512×512 사각영상과 512×512 수직영상을 정합하였으며 여기서는 영상좌표 (130,130)에서 (249,249)까지의 영상크기 100×100을 보였다. 그림 11은 그 지역이며 그림 12는 정합 후 생성된 초기 시차 map으로 밝은 부분이 고도가 높은 봉우리 혹은 능선 지역이며 어두운 부분은 고도가 낮은 지역이고 가장 어둡게 표현되는 부분이 비정합 지역들로 대부분 고도가 낮은 골짜기 부분이다. 그림 13은 그림 12의 시차



그림 11. 100×100 실험 영상



그림 12. 초기 시차 map



그림 13. 보간을 거친 시차 map

map을 보간을 통하여 다시 표현한 것이다. 영상의 오른쪽 부분들은 봉우리에서 계곡으로의 깊이 변화가 부드럽게 이루어지며 좌측 하단의 어두운 부분은 고도가 가장 낮은 강 지역으로 보간이 어려운 부분이다. 고도계산 및 지형복원은 그림 13의 시차 map의 disparity 값들을 식 (12)에 대입하여 구할 수 있다. 그림 14는 그 결과를 등고선 모양으로 표현한 것이며 등고선의 수치는 실제 계산된 고도로 mm 단위이다. 그림 15는 3차원으로 표현한 것이다. z축의 H는 계산된 고도 값으로서 mm 단위이며 512×512 실험영상의 높이 변화는 0 에서부터 150 mm까지 있다. 그림 15의 복원 결과는 실제 모형과 비교하였을 때 봉우리 및 능선 그리고 높

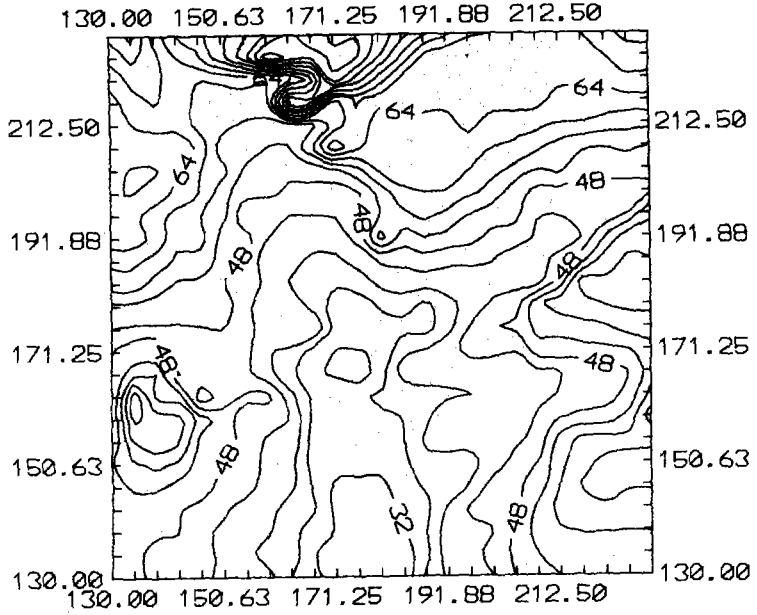


그림 14. 복원지역의 등고선

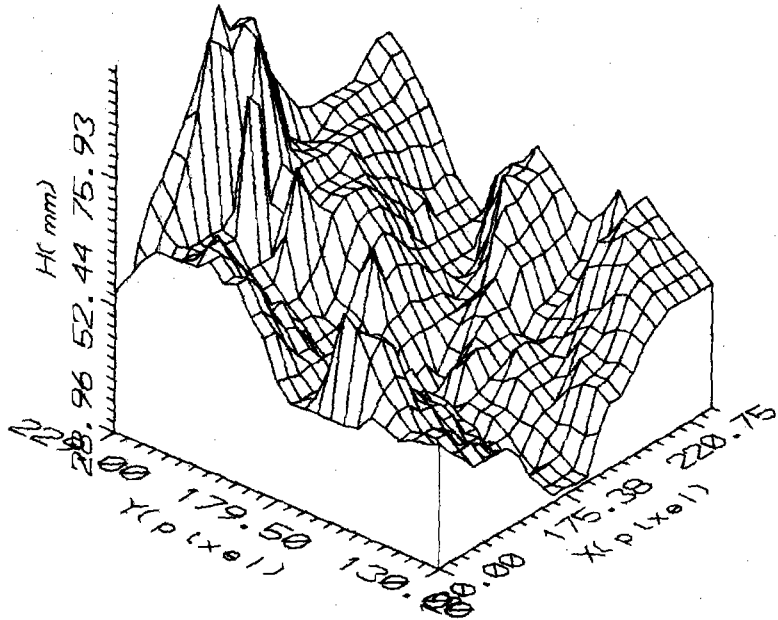


그림 15. 복원지역의 3차원 표현

가 아주 낮지 않은 대부분의 지역에서 매우 유사하게 따라감을 알 수 있었다. 복원결과와 고도 오차를 알아보기 위하여 30개의 기준점들을 정합된 지역의 봉우리, 능선, 계곡 등에서 고루 선정하여 구하였으며 이때 RMSE는 7.9 mm 이다. 단, 지형의 최고 높이는 150 mm 이며, 60 mm 이상의 높은 고도를 갖는 지역은 5 mm 이내의 오차로 접근함을 확인할 수 있었다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 고도정보 추출 시 중요한 카메라 초점거리를 간단한 카메라 특성을 이용하여 최소자승법으로 구하였다. 또한 복원지역을 크게 하기 위하여 하나의 사각영상을 이용하였으며 수직영상과의 수월한 정합을 위하여 기하학적인 방법으로 영상취득시 얻어지는 여러 변수를 이용하여 사각영상을 변형시켜 정합하였다. 정합된 시차 map을 보간한 후 유도한 고도식을 이용하여 고도를 계산하고 지형을 복원하였다. 복원결과는 실제 모형과 유사하며 고도오차는 RMSE로 7.9 mm 였다. 영상크기 100×100의 지역 중 강 지역으로 판단되는 낮은 지역의 복원이 어려웠으며 이는 다른 한 장의 영상을 이용하여 복원가능하며 계속 연구되어야 할 부분이다. 추후에도 카메라 및 영상취득과 연관된 여러 파라메타의 조정, 사각영상 변형시 보간방법의 다양한 적용 그리고 정합시 창틀 크기 및 정합 판단 근거 등의 실험을 통한 적절한 선택으로 고도오차를 만족할 만큼 줄일 수 있으리라 기대된다.

## 참고 문헌

- A. Blake, D. McCowen, H. R. Lo, and P. J. Lindsey, 1993, "Trinocular Active Range-Sensing," *IEEE Trans. Pattern anal. Machine Intell.*, 15-5 : 477-483.
- Eric Krotkov, Knud Henriksen, and Ralf Kories, 1990, "Stereo Ranging with Verging Cameras", *IEEE Trans. Pattern anal. Machine Intell.*, 12-12 : 1200-1205.
- Horst A. Beyer, 1987, "Some Aspects of the Geometric Calibration of CCD-Cameras," *ISPRS Intercommision Conference*, June 2-4, pp. 68-80.
- John Ens and Peter Lawrence, 1993, "An Investigation of Methods for Determining Depth from Focus," *IEEE Trans. Pattern anal. Machine Intell.*, 15-2 : 97-107.