

## 색상분리기법을 이용한 표정점의 스테레오 매칭 Stereo Matching the Orientation Point Using the Method of Color Channel Separation

이재기\* · 이현직\*\* · 박경식\*\*\*

Lee, Jae Kee\* · Lee Hyun Jik\*\* · Park, Kyeong Sik\*\*\*

### 요 旨

본 연구에서는 실시간에 걸쳐서, 자동적으로 공액점들을 매칭시킬 수 있는 색상분리기법을 제시하는데 목적을 두고 있다. CCD카메라에 의해 취득된 영상으로부터 계산된 상좌표는 취득된 상좌표의 정확도와 소트를 통한 매칭의 정확도 측면에서 점검되었다. 점검결과, 연구에 의하여 취득된 상좌표를 이용하여 사진측량프로그램에 의해 계산된 대상물좌표의 RMSE는 근거리사진측량의 기대RMSE내에 분포하고 있었으며, 소트에 의한 공액표정점들의 매칭 또한 정확하게 수행되었다. 따라서 본 연구에서 제시하는 색상분리기법이 정확한 상좌표의 취득과 공액점의 매칭에 적절함을 알 수 있었으며, 이 방법은 실시간에 걸쳐서 취득정보를 빠르고 정확하게 처리해야 하는 산업분야에 유용할 것으로 생각된다.

### ABSTRACT

This study is aimed to suggest the method, color channel separation, can match the common points in real-time automatically. Image coordinates which was calculated from the acquired image with CCD camera in this study is checked with two methods; check the accuracy of image coordinate and common point matching through correct sort. In conclusion of check, The RMSE of object coordinate which is calculated by photogrammetry program with image coordinate is in the expect RMSE of close-range photogrammetry, and Matching of common point is also performed correctly by using sort. For these reason, this color channel separation method is adequate for the acquisition of accurate image coordinates and the matching of the common points. I think that this method will be useful for the fields of industry which need fast-correct processing with acquired information in real-time.

## 1. 서 론

사진측량에 있어서 가장 근본적인 처리과정중 하나는 2매 이상의 중복사진으로부터 공액점을 확인하고 측정하는 것이다. 1950년대 Hobrough에 의해 영상으로부터 공액점을 자동으로 추출하고자 하는 연구가 최초로 수행된 이래 수 많은 기법들이 제시되어 왔으며, 1980년대 말까지는 주로 수치상관기법에 중점을 두고 연구가 수행되었다. 1990년대에 접어들면서 수치영상 자동처리에 관한 연구는 CCD나 디지털 카메라로부터 직접 취득된 영상을 처리하여 자동으로 매칭시키려는

방향으로 많은 연구가 진행되고 있으나 아직까지 발견된 일반해는 없는 실정이다.

이것은 자동 근거리 디지털 사진측량과 특히 실시간 분야로 향한 사진측량학적 견지에서 볼 때 상당히 시급한 일이 된다. 따라서 본 연구에서는 CCD카메라를 이용하여 영상을 취득함과 동시에 각 표정점의 상좌표를 구하고, 색상에 따른 소트를 수행함으로써 공액점에 대한 스테레오 매칭을 실시간에 걸쳐 자동으로 수행할 수 있는 기법을 제시하는 데 그 목적을 두고 있다.

## 2. 영상처리 이론 및 프로그램개발

### 2.1 색상좌표 및 색상처리

컴퓨터에 의해 색채화소를 수치적으로 처리하려면

\* 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*\* 상지대학교 이공대학 토목공학과 전임강사

\*\*\* 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

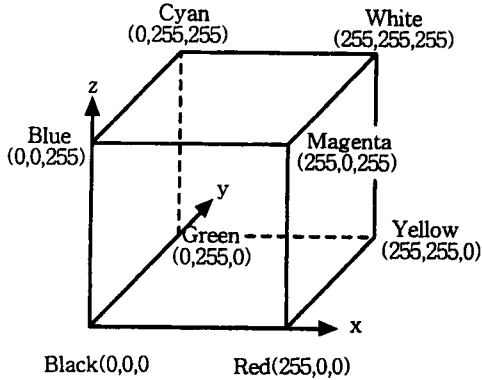


그림 1. 색상입방체 좌표계

일정한 방법에 의해 매개변수화 되어야 한다. 이것을 색모델(color model)이라 부르며, 컴퓨터 그래픽에서는 적-녹-청색 모델(RGB model) 사용한다. RGB 각 채널에 대한 밝기값은 0~255에 걸쳐 분포하고 있으므로 이것을 색상 입방체 좌표<sup>1-3)</sup>로 나타내면 그림 1과 같다.

CCD카메라에 의해 직접 취득된 영상은 24비트이기 때문에 16,777,216 가지 색상 모두를 다룬다는 것은 메모리나 처리 시간면에서 상당히 불합리하다. 때문에 본 연구에서는 효율성을 위하여 그림 2와 같이 색상표를 제작하여 256컬러 테이블중 27가지 컬러로 색상을 변환 하였다.

이때 원래의 영상에 담겨진 배경과 표정점에 대한 색상정보는 선정된 27가지의 색상표에 따라 버퍼에 저장 하도록 하였다. 이렇게 함으로서 소트계산시 좌표만 인식하고 있으면 필요한 값을 일일이 다시 읽지 않고 그 색인번호에 따라 각각의 R, G, B 값을 가져 올 수 있도록 하였다.

Original color(24-bit)	Color table	Indexed color
<b>RED</b>	R G B	
0 1 2 3 4 5 6 7	0 0 0 0	136 116 23
	1 0 0 150	. . .
<b>GREEN</b>	2 0 150 0	10 427 12
0 1 2 3 4 5 6 7	. . . .	. . . .
<b>BLUE</b>	25 200 150 200	. . . .
0 1 2 3 4 5 6 7	26 150 200 209	. . . .

그림 2. 색상등급의 변환

## 2.2 영상취득

일반적으로 영상을 취득하기 위해서는 화소 단위로 탐색을 수행하여야 하지만, CCD로부터 전송되는 영상의 용량을 화소단위로 탐색해서는 실시간처리가 불가능해진다. 따라서 본 연구에서는 각각의 채널에 대하여 512크기만큼의 버퍼를 할당하고, 줄 단위로 R, G, B 값을 버퍼에 저장하고 이를 다시 파일로 저장하는 구조로 설계하였다.

영상을 취득하기 위해서 설계된 모듈의 주요 흐름은 그림 3과 같다.

## 2.3 표정점 인식

배경으로부터 표정점을 추출하기 위해서는 배경과 명확하게 구분되는 R,G,B 값을 가지고 있어야 한다. 즉, 배경이 지니는 각각의 값에 대하여 급격한 변화를 보이는 화소들을 표정점으로 인식하는 것이다. 이것은

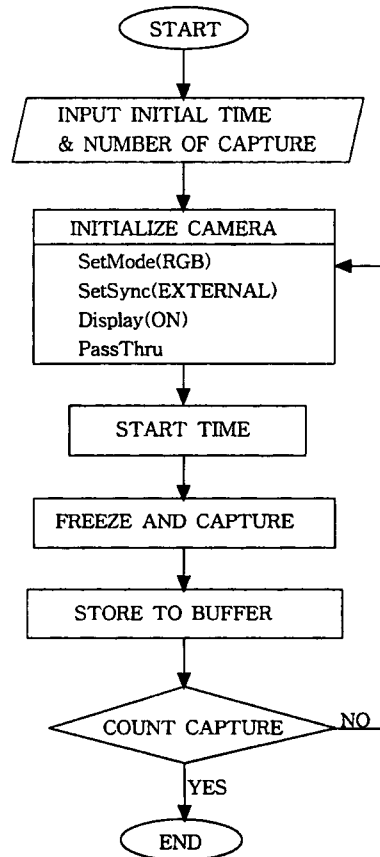


그림 3. 영상취득의 흐름도

각각의 채널에서 밝기값을 대상으로 1차미분과 2차미분을 수행하여 구하며, 대상이 수치화상이므로 실제로는 차분을 구함으로써 행해진다.

x방향과 y방향의 차분은

$$\begin{aligned} \Delta_x f(i,j) &= f(i,j) - f(i-1,j) \\ \Delta_y f(i,j) &= f(i,j) - f(i,j-1) \end{aligned} \quad (1)$$

에 의해 구해질 수 있다.

이와 같이 방향성을 가진 1차미분은 화상중의 경계선 방향에 따라 미분값이 변하기 때문에, 본 연구와 같은 수치화상 처리에서는 경계선의 방향에 관계없이, 농도 변화의 크기에 따른 미분값을 계산하는 2차미분인 라플라스 연산자(Laplacian operator)<sup>49)</sup>를 사용해야 한다.

라플라스 연산의 형태는 식 (2)과 같으며,

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (2)$$

수치화상에서 라플라스 연산은 식 (3)으로 정의 된다.

$$\begin{aligned} \nabla^2 f(i,j) &= \Delta_x^2 f(i,j) + \Delta_y^2 f(i,j) \\ &= [\Delta_x f(i+1,j) - \Delta_x f(i,j)] + [\Delta_y f(i,j+1) - \Delta_y f(i,j)] \\ &= [f(i+1,j) - f(i,j) - f(i,j) - f(i-1,j)] \\ &\quad + [f(i,j+1) - f(i,j) - f(i,j) - f(i,j-1)] \\ &= [f(i+1,j) + f(i-1,j) + f(i,j+1) \\ &\quad + f(i,j-1)] - 4f(i,j) \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)을 화상에 적용시키면 화상의 라플라시안을 구할 수 있다.

그림 4는 라플라시안 처리를 한 경계선을 나타낸다. 라플라시안을 적용할 경우 경계선의 상단과 하단에서 각각 양과 음의 피크가 발생하게 되므로 경계의 위치를 찾기 위해서는 두 피크의 중앙에서 라플라시안이

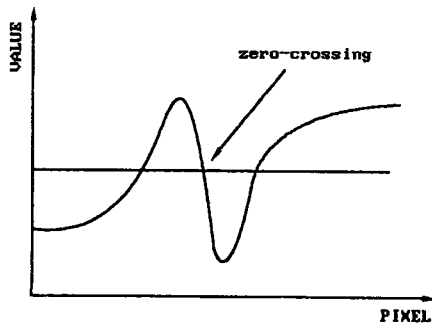


그림 4. 경계선의 라플라시안 처리

0이 되는 장소 즉, 영점 교차점(zero-crossing)<sup>6)</sup>을 찾으면 된다.

배경으로부터 표정점에 포함되어 있는 임의의 한 화소를 인식하여, 표정점 전체를 인식하도록 연장시키기 위해서는 선 추적이나 경계선 추출 등에 많이 사용되는 근방연산<sup>78)</sup>을 하여야 한다.

임의의 화소 (i, j)에 대하여, 화소의 집합(i+p, j+q)은 그 화소에 대하여 근방이 된다. 여기서 p와 q는 적당한 정수이며, 본 연구에서는 1이다. 따라서 근방연산은 한 화소를 처리할 때 그 화소의 근방, 예를 들면 4근방 또는 8-근방의 화소를 참조해서 처리하는 것이다.

연구에서는 표정점 인식을 위한 8-근방 탐색 경로를 그림 5와 같이 정의하였다.

-1,-1	0,-1	1,-1
-1,0	0,0	1,0
-1,1	0,1	1,1

그림 5. 8-근방 탐색경로

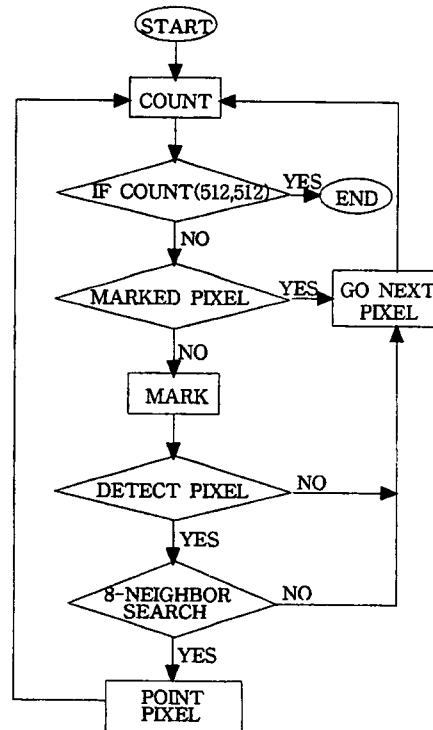


그림 6. 8-근방 탐색의 흐름도

```
int path[16] = {1,0, 1,1, 0,1, -1,1, -1,0, -1,-1, 0,-1,
               1,-1};for(i=n; i,8; I++)
```

영상으로 상좌표를 취득하기 위해서 본 연구에서는 시작점 x, y와 CCD 카메라에서 얻어 온 원 영상과 등급을 낮춘 영상을 가지고 시작점에서부터 8방향을 검색해 나가면서, RGB값들을 저장해 나아가도록 하였다. 그림 6은 그 주요흐름이다.

#### 2.4 표정점 상좌표 측정

CCD카메라를 이용하여 취득된 영상의 크기가 512×512 화소이므로, 본 연구에서는 영상의 좌측 상단을 원점으로 하고 가로 방향을 x축, 세로 방향을 y축으로 하는 화소단위의 직교 상좌표계를 설정하였다. 따라서, 취득되어지는 표정점의 모든 상좌표는 화소의 개수를 기준으로 좌표가 설정되기 때문에, 일반적으로 원점을 중심으로 잡는 직교좌표계 즉 사진좌표계와는 달리 양의 정수를 지니게 된다.

상좌표를 결정하기 위하여 영상 전체를 구성하고 있는 각각의 화소들은 경계선 추출 기법에 의해 검색되어지고, 색상표에 의해 각각의 표정점 군으로 분류되며, 이때 같은 표정점 군에 속하는 화소의 RGB 값은 색인(index)번호와 함께 버퍼에 각각 기록된다. 동일 표정점 군으로 분류된 화소들은 각 방향으로 연속되는 화소의 갯수를 계산하고, 이중 가장 길게 연속된 화소들의 중심 좌표를 그 표정점의 상좌표로 간주하였다.

표정점의 형태를 원형으로 하였기 때문에 장방향 화소의 길이가 같은 경우, 수렴촬영에 따라 어떠한 축방향의 왜곡이 발생하던 시간에 가장 장축을 기준으로 원을 형성하여 그림 7에서처럼 항상 동일한 면적을 얻을 수 있도록 하였다.

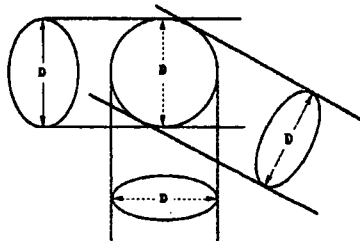


그림 7. 표정점의 면적계산

#### 2.5 표정점 소트 및 매칭

표정점을 구분하는데 있어서 가장 중요한 것은 각각의 영상으로부터 동일 표정점은 동일하다고 인식하는 것이다. 그러나, 각각의 픽셀이 지니는 채널별 값 즉 R, G, B 값들은 빛에 따라서 상당히 큰 폭으로 변하기 때문에 절대적 기준을 가지고 구분할 수는 없다. 따라서, 표정점들을 효과적으로 배열하기 위해서는 각각의 영상에 대하여 상대적 소트를 수행하여야 한다.

앞의 단계들을 통하여 구하여진 표정점 군과 면적을 바탕으로 소트에 이용될 각 표정점의 대표 밝기값을 구할 수 있다.

대표 밝기값은 단일 표정점 군으로부터 화소들의 밝기 값을 받아 들여 식 (4)에 대입하여 각각의 채널별로 R, G, B값의 평균을 구함으로써 얻어진다. 여기서  $f_{RED}(i,j), f_{RED}(i,j), f_{BLUE}(i,j)$ 는 중심화소에 대표 밝기값을 부여한 것이다.

$$f_{RED}(i,j) = \frac{\sum f_{RED}(i_n, j_n)}{n}$$

$$f_{GREEN}(i,j) = \frac{\sum f_{GREEN}(i_n, j_n)}{n}$$

$$f_{BLUE}(i,j) = \frac{\sum f_{BLUE}(i_n, j_n)}{n}$$
(4)

공액점을 찾기 위하여 연구에서는 각 표정점이 지니는 대표색상값과 그 유사도를 기준으로 하여 소트를 수행하고 일괄적으로 번호를 부여하였다.

$$N_{RED} = f_{RED}(i \pm n, j \pm n) / f_{RED}(i, j)$$

$$N_{GREEN} = f_{GREEN}(i \pm n, j \pm n) / f_{GREEN}(i, j)$$
(5)

유사도는 식 (5)에 의하여 결정되며, 소트는 RGB 각 채널에 대하여 실시하고, 유사도 범위 내에 있는 채널에 대하여 다시 크기별로 실시하도록 하였다. 먼저 sort index table을 생성한 후에 RED 값에 대하여 전체 소트를 수행한다. RED에 대한 소트가 끝나면 유사도를 판정한다. 유사도가 80%를 넘지 못하면 다음 클래스로 분리시키고, 넘는 경우는 RED값이 유사한 범위 내에서만 GREEN에 대하여 소트한다. 유사도 검색에 의하여 분류된 다음 클래스 역시 유사도 범위 내에 있는 값중 80%이상의 유사도를 가지는 값들과 다시 소트를 실시한다. 차례 차례로 유사도를 검색하면서 클래스를 분류해 최종적으로 RED와 GREEN값이 유사도 내에 있는 군들에 한해 BLUE에 대하여 소트를 실시한다. 과정은 앞의 과정과 동일하다. 색에

대한 모든 소트가 끝나면 색상별로 클래스가 분류되며, 분류된 클래스 내에서 최종적으로 면적에 대하여 소트를 실시하도록 하였다.

결론적으로 최종값은 RED, GREEN, BLUE, AREA에 대하여 순서적으로 소트된 값이 되며, 이것은 다른 사진에서도 동일한 방법으로 수행되기 때문에 표정점들이 갖게 되는 표정점 번호는 상대적으로 동일하다. 따라서 이것은 동일한 표정점들을 각각의 화상으로부터 찾아내는 스테레오 매칭이 되는 것이다.

프로그램의 주요 내용은 다음과 같으며 전체적인 흐름은 그림 8과 같다.

```

FindSimilar(&nStart, &nEnd, nLimit, RED);
Sort(nStart, nEnd, GREEN);
FindSimilar(&nStart, &nEnd, nLimit, RED);
nLimit = nEnd;
FindSimilar(&nStart, &nEnd, nLimit, GREEN);
Sort(nStart, nEnd, BLUE);
    
```

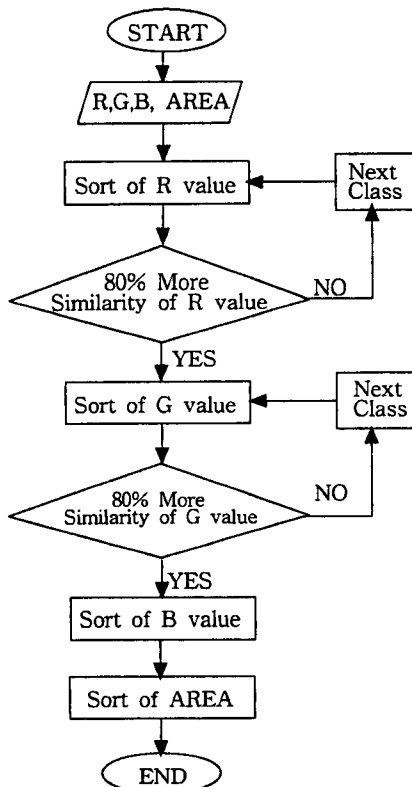


그림 8. 소트의 흐름도

```

FindZero(&nStart, &nEnd);
SortRect(nStart, nEnd);
nStart = nEnd + 1;
    
```

### 3. 실험대상물 설치 및 관측

실험은 동적대상물에 대하여, 표정점을 자동으로 인식하고 동일 표정점에 대해서는 동일한 번호가 주어지도록 하여 공액표정점을 찾아내는 단계와, 이 단계를 통하여 취득된 표정점들의 상좌표를 사진측량 프로그램에 적용시켜 3차원 좌표의 취득 가능성 및 그 정확도를 평가하는 두 가지 단계로 나누어 실시하였다.

#### 3.1 실험대상물 제작 및 설치

실험대는 표정판이 X, Y 및 Z축 방향으로 동시에 움직이는 것을 관측 할 수 있도록 하기 위하여 가로, 세로, 높이가 각각 1.5 m인 지지대에 대각으로 가로대를 설치하고, 그 위에 표정판의 이동을 위한 레일을 부착하였다.

레일은 표정판이 X, Y, Z 방향으로 가능한 한 동일한 양만큼 이동되도록 하기 위하여 각각 45도씩의 경사를 주어 대각선으로 움직이도록 하였으며 이때 각 방향에 따른 직선거리는 대략 1m가 되도록 하였다.

각각의 표정점은 대각선을 교차시킨 위치에 미세한 점을 찍어 중심의 위치를 표시함으로써 기준점 측량시 정확하게 중심을 시준할 수 있도록 하였으며, 원형의 표정판위에 총 15개를 등간격으로 배치하였다. 표정점의 크기는 초점에 따라 영상 내에서 변할 수 있는 크기를 고려하여 지름 16 mm, 12 mm, 9 mm의 세종 류로 하였다.

실험장비는 그림 10과 같이 배치하였으며, 촬영지점

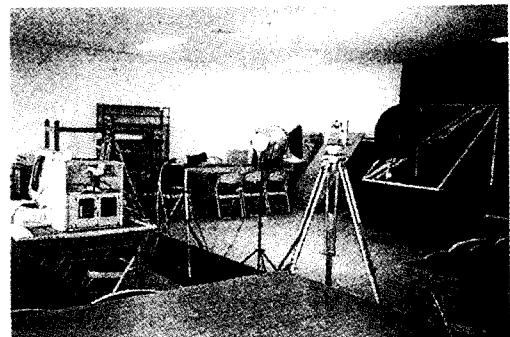


그림 9. 실험장비 및 실험대

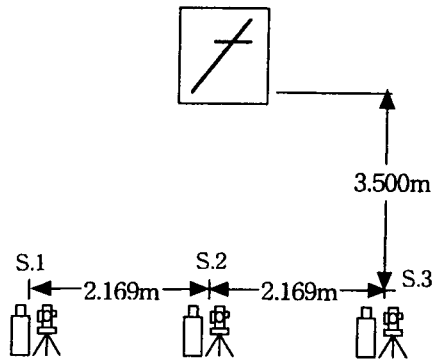


그림 10. 실험장비 배치도

S.1과 S.3는 수렴사진에 대한 기대 표준편차 계산시 이용되는 수렴각을 일정하게 하기 위하여 S.2로부터 각각 등거리인 2.169 m로 정하였다. 또한 S.2로부터 실험대까지의 거리는 실험에 사용되는 CCD카메라의 화각을 고려하여 영상 내의 표정점이 너무 작지 않도록 미리 예비실험을 거쳐 3.500 m로 결정하였다. 이 거리는 CCD카메라의 60 mm렌즈를 기준으로 설정한 값이기 때문에, 보다 광각이나 줌 렌즈를 사용할 경우 계산결과에 대한 기대 표준편차 계산시 60 mm와는 결과가 다르게 나온다. 좌표의 원점은 S.1지점을 선정하여 모든 표정점 및 장비에 대하여 적용시켜 통일을 하였다.

### 3.2 기준점 측량

기준점측량 결과는 사진측량의 좌표계산에서 절대 좌표값으로 이용되고, 결정된 3차원 좌표의 정확도를 비교하기 위한 최확값으로 사용된다. 본 연구에서는 각 표정점에 대한 절대좌표를 결정하기 위하여 Wild T-2 데오도라이트를 사용하여 삼각수준측량 기법으로 관측하였다. 또한, 기대 표준편차의 계산에 사용될 CCD카메라의 촬영 수렴각을 관측하기 위하여 S.1 과 S.3 지점에서 CCD카메라의 중심이 시준한 위치를 시준 하여 수평 수렴각을 관측하였다. 관측된 수평 수렴각  $\phi = 31^{\circ}47'13.51''$ 이다.

### 3.3 CCD 촬영 및 상좌표 취득

CCD촬영을 위하여 사용된 하드웨어적 장비로는 CCD 카메라, 586DX컴퓨터, DT2871 영상 캡처보드, 도트 프린터 각 1대씩이다.

움직이는 대상물의 3차원 좌표를 취득하기 위해서는 최소한 두 대 이상의 CCD카메라로 동시에 연속적으로

표 1. 사용된 CCD카메라의 주요사항

Item	Contents
Maker	Panasonic
Model	E550 3-CCD
Pick-up Device	Middle index prism system(F1.4)
Image Sensor	Three 1/2" IT CCD : 768(H) x 494(V) pixels
Resolution(H)	800 lines
Registration	Less than 0,05%
Shutter Speed	1/100~1/10000

표 2. 캡처된 영상의 상좌표

No	S.1		S.2		S.3	
	xccd	yccd	xccd	yccd	xccd	yccd
1	216	313	191	327	218	311
2	213	345	187	363	216	338
3	216	254	192	261	222	256
4	293	322	297	337	294	318
5	267	317	260	332	267	314
6	241	316	224	330	241	312
7	296	290	301	301	297	288
8	270	288	264	299	271	287
9	244	285	229	295	247	283
10	290	353	293	373	291	347
11	264	349	255	368	263	343
12	239	350	221	369	239	343
13	296	258	302	264	299	257
14	271	257	266	263	273	258
15	246	254	232	260	250	255

촬영하여야 하지만, 본 실험에서는 사정상 한 대의 CCD카메라를 이용하여 정지된 대상물을 S.1, S.2, S.3지점에서 각각 촬영 하여 대상물 좌표를 구하고자 하였다.

촬영에 이용된 CCD카메라의 주요 특징사항과 촬영된 영상을 이용하여 영상 처리기법에 의해 실시간으로 취득된 상좌표는 표 1 및 표2 와 같다.

### 3.4 공액 표정점위 인식 및 분류실험

촬영된 각각의 영상으로부터 공액 표정점을 어느 정도 분리하여 인식할 수 있는지 알아보기 위하여 다음과 같은 실험을 하였다. 먼저 표정판을 가장 앞부분에 위치시키고, 표정판 전체가 레일을 따라 서서히 이동하는 동시에 표정판 자체도 회전시키며 촬영을 실시하였다.

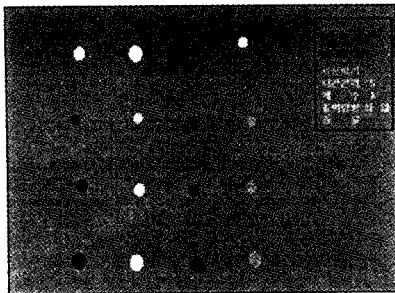


그림 11. 캡처된 영상

설정된 시간 간격으로 연속 촬영된 영상은 표정점의 인식 및 분리, 소트, 상좌표 계산 등의 영상처리 과정을 통하여, 최종적으로 파일이나 프린트 형태로 상좌표를 출력하기까지 실시간으로 처리 되었으며, 출력된 상좌표는 표 3과 같다.

#### 4. 관측결과 및 분석

본 연구에서는 다음과 같이 두 가지 방법으로 상좌표의 취득과 그 정확도에 대하여 검증을 실시하였다.

전자에 대한 검증은 실시간 취득된 표정점의 상좌표를 2차원적으로 도화 하여 그 상대적 위치들의 일치 여부를 판단하였다.

후자에 대해서는 취득된 상좌표를 사진측량 프로그램에 적용시켜 구한 좌표값과 기준점 측량에 의한 좌표값을 비교하는 한편, 좌표의 표준편차가 수렴측량사진의 기대 정확도 내에 분포하는지 점검하였다.

##### 4.1 기준점측량 결과

데오돌라이트로부터 관측된 수평각과 연직각, 그리고 쇠줄자 이용하여 정밀 관측된 기선거리를 이용하여 표 4와 같은 대상물 좌표를 얻을 수 있었다. 계산은 포트란 언어를 사용하여 삼각수준측량 프로그램을 작성하여 수행하였으며, 좌표의 원점은 좌측 데오돌라이트의 중심점을 기준으로 하였다. 또한 동일한 관측의 정도를 유지하기 위하여 두 데오돌라이트 간의 기계고 차이 즉,  $Z_L - Z_R$ 을 계산하였으며, 관측시 이 차이가 일정하지 않은 점에 대해서는 반복하여 관측함으로써 정도를 일정하게 유지할 수 있었다.

##### 4.2 상좌표를 이용한 대상물 좌표값 계산

연구를 통하여 작성한 영상처리 프로그램을 이용하

표 3. 캡처된 영상의 계산 및 소트결과

File Name : cap0.dat						
Min : 150		Size : 6				
Max : 240		Interval : 5		Photos : 1/4		
No	X	Y	AREA	R	G	B
1	118	269	1808	150	150	150
2	111	382	1133	150	150	150
3	112	60	706	150	150	150
:	:	:	:	:	:	:
13	392	54	1519	0	150	0
14	300	55	907	0	150	0
15	215	51	615	0	150	0
File Name : cap1.dat						
Min : 150		Size : 6				
Max : 240		Interval : 5		Photos : 2/4		
No	X	Y	AREA	R	G	B
1	202	87	1661	150	150	150
2	116	82	1017	150	150	150
3	357	76	615	150	150	150
:	:	:	:	:	:	:
13	381	409	1256	0	150	0
14	374	299	803	0	150	0
15	370	198	452	0	150	0
File Name : cap2.dat						
Min : 150		Size : 6				
Max : 240		Interval : 5		Photos : 3/4		
No	X	Y	AREA	R	G	B
1	394	245	1133	150	150	150
2	395	155	706	150	150	150
3	409	416	452	150	150	150
:	:	:	:	:	:	:
13	177	419	907	0	150	0
14	253	419	452	0	150	0
15	324	423	254	0	150	0
File Name : cap3.dat						
Min : 150		Size : 6				
Max : 240		Interval : 5		Photos : 4/4		
No	X	Y	AREA	R	G	B
1	315	330	1256	150	150	150
2	387	340	803	150	150	150
3	180	330	452	150	150	150
:	:	:	:	:	:	:
13	172	60	907	0	150	0
14	174	148	530	0	150	0
15	172	230	314	0	150	0

표 4. 기준점측량 결과 (단위 : M)

No	X <sub>L</sub>	Y <sub>L</sub>	Z <sub>L</sub>	Z <sub>L</sub> -Z <sub>R</sub>
1	1.7784	3.4960	1.4425	1.665674E-02
2	1.7755	3.4963	1.3668	1.666743E-02
3	1.7733	3.4960	1.5854	1.666352E-02
4	2.0083	3.5142	1.4344	1.669578E-02
5	1.9279	3.5073	1.4414	1.674097E-02
6	1.8498	3.5007	1.4416	1.681034E-02
7	2.0142	3.5183	1.5147	1.679896E-02
8	1.9331	3.5088	1.5136	1.681468E-02
9	1.8577	3.5032	1.5175	1.672007E-02
10	2.0030	3.5132	1.3567	1.666575E-02
11	1.9207	3.5036	1.3634	1.669086E-02
12	1.8483	3.5000	1.3581	1.675611E-02
13	2.0127	3.5210	1.5961	1.674382E-02
14	1.9325	3.5123	1.5916	1.670055E-02
15	1.8593	3.5036	1.5932	1.665756E-02

여 취득된 상좌표를 근거거리 지상사진측량프로그램인 MR2 프로그램에 적용시켜 취득한 3차원 좌표값은 표 5와 같다. 표에서 표정점 2, 3, 10, 13 의 표준편차가 0.000으로 되는 것은 삼각수준 측량한 기준점 좌표값을 절대좌표값으로 입력하였기 때문이며, 이 절대좌표값은 프로그램 내에서 경중률 1을 가지게 된다. 따라서 이 좌표값을 기준으로 하여 상대적으로 좌표를 설정해

표 5. MR2프로그램에의해 계산된 대상물 좌표 (단위 : m)

No	X	Y	Z	σ <sub>x</sub>	σ <sub>y</sub>	σ <sub>z</sub>
1	1.7784	3.4956	1.4420	0.0014	0.0045	0.0012
2	1.7755	3.4963	1.3668	0.0000	0.0000	0.0000
3	1.7733	3.4932	1.5847	0.0000	0.0062	0.0018
4	2.0077	3.5148	1.4347	0.0023	0.0040	0.0009
5	1.9270	3.5086	1.4412	0.0018	0.0037	0.0009
6	1.8494	3.5025	1.4406	0.0015	0.0039	0.0010
7	2.0134	3.5180	1.5145	0.0019	0.0040	0.0009
8	1.9324	3.5083	1.5131	0.0016	0.0039	0.0010
9	1.8570	3.5026	1.5170	0.0014	0.0044	0.0012
10	2.0025	3.5132	1.3567	0.0027	0.0000	0.0000
11	1.9197	3.5049	1.3630	0.0022	0.0039	0.0009
12	1.8475	3.5006	1.3577	0.0018	0.0039	0.0009
13	2.0127	3.5210	1.5962	0.0000	0.0000	0.0000
14	1.9331	3.5101	1.5910	0.0015	0.0046	0.0012
15	1.8595	3.5025	1.5927	0.0014	0.0053	0.0014

나아가게 된다.

### 4.3 정확도 분석

사진측량에 있어서, 수렴촬영의 경우 기대 정확도의 범위는 다음 식에 의한 절대좌표의 기대 표준편차로서 나타낼 수 있다.

$$\sigma_x = \frac{H}{C} \frac{1 + \tan\alpha \tan\phi}{1 - \tan(\alpha - \phi) \tan\phi} \sigma_0$$

$$\sigma_y = \frac{H^2}{BC} \sqrt{2} \frac{1 + \tan\alpha \tan\phi}{1 - \tan(\alpha - \phi) \tan\phi} \sigma_0 \quad (6)$$

$$\sigma_z = \frac{H}{C} \frac{\sec\phi}{1 - \tan(\alpha - \phi) \tan\phi} \sigma_0$$

σ<sub>x</sub>, σ<sub>y</sub>, σ<sub>z</sub> : 절대좌표의 기대 표준편차

σ<sub>0</sub> : 상좌표의 정도

C : 초점거리, φ : 수렴각

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{B}{2H}$$

사용된 CCD카메라의 초점거리는 60 mm, 수렴각은 31°47' 57.49", 관측정도는 0.042 mm이며, 또한 촬영시 대상물까지의 거리는 3500 mm 이고 S.1~S.2까지의 기선길이는 2169 mm 였다. 따라서 식 (6)에 앞의 값들을 적용하여 계산하면 각각의 기대 표준편차 σ<sub>x</sub> = 2.51523 mm, σ<sub>y</sub> = 5.73995 mm, σ<sub>z</sub> = 2.48241 mm 를 얻을 수 있다.

표 6. 대상물 좌표의 잔차

RESIDUALS			RESIDUALS				
NO	vx	vy	vz	NO	vx	vy	vz
1	0.0000	0.0004	0.0006	9	0.0007	0.0006	0.0005
2	0.0000	0.0000	0.0000	10	0.0005	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0028	0.0007	11	0.0010	0.0012	0.0004
4	0.0006	0.0006	0.0003	12	0.0012	0.0006	0.0004
5	0.0009	0.0013	0.0002	13	0.0000	0.0000	0.0001
6	0.0004	0.0018	0.0010	14	0.0006	0.0022	0.0006
7	0.0008	0.0003	0.0002	15	0.0002	0.0011	0.0005
8	0.0007	0.0005	0.0005	Av	0.0005	0.0009	0.0004

표 7. X, Y, Z 좌표의 RMSE

Coordinate	X	Y	Z
RMSE	0.16959 mm	0.32249 mm	0.12836 mm



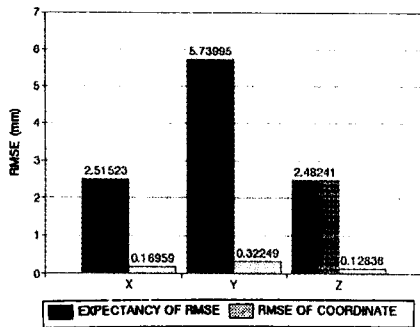


그림 12. X,Y,Z 좌표의 RMSE 및 기대표준편차 막대그래프

또한 본 기법에 의해 취득된 대상물의 좌표값은 삼각 수준측량을 통하여 취득된 기준점 좌표값과 비교함으로써 그 정확도가 판단될 수 있다. 영상처리에 의해 취득된 상좌표를 이용하여 계산된 대상물 좌표값과 삼각 수준측량에 의해 계산된 대상물 좌표값과의 잔차는 표 6과 같다.

X, Y, Z 좌표값들의 잔차에 대하여 표준편차를 구한 것이 표 7이며, 도표로 나타낸 것이 그림 12이다.

위의 결과로부터, 계산된 3차원 좌표값들이 기대 정확도내에 수렴하는 것을 알 수 있으며, 이것은 CCD카메라를 이용하여 자동으로 상좌표를 취득하기 위한 본 연구가 정확도 측면에서 타당성이 있음을 의미한다.

#### 4.4 소트결과 및 매칭분석

앞에서 취득된 상좌표를 이용하여 표정점들의 2차원적 위치를 구현해 본 결과 그림 13과 같이 나타났다.

cap0.dat				cap1.dat			
3	15	14	13	2	1		3
	9	8	7	12	6	9	15
1	6	5	4	11	5	8	14
2	12	11	10	10	4	7	13

cap2.dat				cap3.dat			
10	11	12	2	13	7	4	10
4	5	6	1	14	8	5	11
7	8	9		15	9	6	12
13	14	15	3	3		1	2

그림 13. 표정점들의 2차원 위치

위의 그림에서, 각각의 표정점 번호들이 나타내는 절대위치 관계는 표정판의 회전에 따라 서로 변하고 있지만, 표정점 번호들을 기준으로 회전시켜 보면 상대적 위치가 모두 일치한다는 것을 알 수 있다. 이것은 표정판의 회전이나 3차원적 변위에 관계없이 각 영상들로부터 정확하게 표정점들을 찾아내고, 동일 표정점들에 대하여는 동일 표정점 번호가 부여되었음을 나타내는 것이다. 이것은 색상분리 기법을 이용하여 공액점이 정확하게 추출되었음을 의미하기 때문에 본 기법이 타당성이 있음을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구를 통하여 제시된 색상분리기법을 이용하여 각 영상의 상좌표를 실시간에 걸쳐 취득하고 이를 검증해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. CCD카메라를 이용하여 대상물의 영상을 수치적으로 취득함으로써, 컴퓨터를 이용한 실시간 처리가 가능하다. 따라서 필요한 정보를 실시간으로 취득할 수 있어 신속한 대응 처리를 필요로 하는 분야에 이용 할 수 있다.
2. 취득된 상좌표를 사진측량 프로그램에 입력하여 수행해 본 결과 표준편차가  $\sigma_x=0.16959$  mm,  $\sigma_y=0.32249$  mm,  $\sigma_z=0.12836$  mm로 나타났다. 이 값들은 수렴사진의 기대 정확도  $\sigma_x=2.51523$  mm,  $\sigma_y=5.73995$  mm,  $\sigma_z=2.48241$  mm 범위 내에 분포하는 것으로, 정확한 상좌표를 취득하는데 본 연구를 통하여 제시된 기법이 타당함을 나타낸다.
3. 상좌표 자동 취득기법에 의해 취득된 동적 대상물의 상좌표를 도해 해 본 결과 동일 표정점의 인식과 분류가 정확하게 수행되었다. 따라서 본 기법이 다수의 영상으로부터 공액점을 찾아내고 매칭시키는데 타당함을 알 수 있었다. 이상과 같은 결론을 통하여, 본 연구에서 제시한 색상분리기법이 신속하고 정확한 공액점 추출에 적합함을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. 日本工業技術 Center, "Computer 画像處理 入門." 機電研究社 1993, pp. 305~ 318
2. Pratt, W. K., "Digital image processing." 탐출판사, 1984, pp. 66~68.
3. Jensen, J. R., "Introductory digital image processing," PrenticeHall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1996. p.

- 96, pp. 188~190.
4. 長尾眞, "패턴認識과 圖形處理," 機電 研究社, 1993, pp. 161~166.
  5. Hildreth, E. C., "Edge Detection," Artificial Intelligence Laboratory of the Massachusetts Institute of Technology, 1985, pp. 3~19.
  6. Marr, D., and Hildreth, E., "Theory of Edge Detectin," M.I.T. Phychology Department and Artificial Intelligence Laboratory, 1980, pp. 205~ 208.
  7. J hne, B., "Digital Image Processing," Springer Verlag, Berlin, 1993, p. 208.
  8. Sid-Ahmed, M. A., "Image Processing," MCgRAW Hill Book Co., 1995, pp. 87~91.
  9. Schenk, T., "Concepts in Digital Photogrammetry," Korean Society for Geo-Spatial Information Systems, 1996, pp. 115~116.
  10. Karara, H. M., "Non-Topographic Photogrammetry" ASPRS, pp.53~54.
  11. Torlegard, A. K. I., "Some Photogrammetric Experiments with Digial Image Processing," Technical Meeting of the Society, 18th, March, 1986, pp. 175~177.
  12. Hanajik, M., and Ruud, G. Van Vliet, "Real Time Image Processing for Fast Seam Tracking" Springer-Verlag, Computer Analysis of Images and Patterns, 1993, pp. 698~705.
  13. 近律博文, 村井俊治, "畫像を用いた人體の動作解析へのビデオセオドライトの利用に関する研究", 寫眞測量 とリモートセンシング, Vol. 34, No.3, 1995, pp. 20~ 28.
  14. 横山 大, 近律博文, 宮塚義人, "CCDカメラによる考古遺物の正射投影撮影および 化," 寫眞測量とリモートセンシング, Vol. 34, No.2, 1995, pp. 65~71.
  15. 최재화, 박희주, "사진측량의 표정을 위한 스테레오 매칭기법에 관한 연구" 대한토목학회 논문집(III), 1995, pp. 85~88.