

## 디지털 카메라를 이용한 구조물의 3차원 좌표 추출에 관한 연구 A Study on 3D-Coordinate Extraction of Structure by Using The Digital Camera

김감래<sup>1)</sup> · 김학준<sup>2)</sup> · 박용<sup>3)</sup>

Kim, Kam Lae · Kim, Hak Joon · Park, Yong

- 1) 명지대학교 토목환경공학과 교수(E-mail:kam@mju.ac.kr)
- 2) 명지대학교 토목환경공학과 박사수료(E-mail:airbump@mju.ac.kr)
- 3) 명지대학교 토목환경공학과 석사과정(E-mail:xerex@netian.com)

### Abstract

Recently, the number of the use of Digital Photogrammetry is increasing, the Digital Photogrammetry is used for the acquisition of images, remote sensing and three dimension location. Especially, the three dimension location is more activated to use digital camera for the Digital Photogrammetry. The reason is that it is cheap and easy to use and also it has high confidence.

Using non-metric digital camera not metric camera, in this research, to get images and apply the images to the Direct Liner Transformation which is one of the techniques in Digital Photogrammetry to get three dimensional location of a point. I programmed the procedure with Visual C++ to get the position of points speedily and I tested possibility whether it can analyze the displacement and the existence of structure with measurement system which is structured by a inexpensive non-metric digital camera.

## 1. 서 론

최근 인공위성에 의한 영상정보의 획득에서부터 각종 분야에서의 영상감시분야에 이르기까지 수치사진측량에 대한 활용이 활발히 이루어지고 있으며 특히 변위해석의 기하학적 3차원 위치 결정에 있어서 신뢰성이 있고 사용하기 쉬우며 상대적으로 저렴한 디지털카메라를 이용한 수치사진측량기법이 빠르게 확산되고 있다.

본 연구에서는 측량용 사진기가 아닌 비측량용 디지털카메라를 사용하여 영상을 획득하였고, 획득한 한 쌍의 수치영상에 수치사진측량기법을 적용함으로써 대상물의 3차원 위치를 측량하였다. 위치측량의 효율성 증대, 신속한 데이터 획득 및 처리를 위하여 객체지향기법으로 직접선형변환 클래스를 제작하고 영상입력, 타겟 중심좌표 획득, 영상정합, 직접선형변환 계수 및 외부표정요소 산출, 대상물의 3차원 지상좌표획득 등을 각각 직접선형변환 클래스의 객체(object)로 설계하여 프로그래밍 하였다. 획득한 위치정보의 정확도를 분석한 결과 비교적 정밀한 대상물의 3차원 좌표를 추출할 수 있었으며, 저가의 비측량용 디지털카메라의 활용을 통한 정밀 3차원 좌표 측량 가능성을 확인할 수 있었다.

## 2. 연구내용 및 방법

본 연구에서는 디지털카메라로 획득한 한 쌍의 사진으로부터 타겟 중심의 영상좌표를 측량하고 6개 이상의 기준점을 사용한 직접선형변환에 의해 좌·우측 영상의 외부표정요소를 도출한 후 후방교선법에 의한 3차원 지상좌표를 획득하고자 한다. 이를 위하여 객체지향기법을 이용, 수치사진측량 각 과정을 클

래스화 하여 타겟인식, 타겟 번호, 좌우 타겟의 매칭, 영상의 좌표측량, 직접선형변환에 의한 외부표정요소 산출 및 3차원 위치해석 등을 설계한다. 그리고 GUI 윈도우 환경의 사용자 인터페이스를 구축하여 3차원 위치결정까지의 전과정을 PC상에서 처리하여 실시간 수치사진측량을 가능하도록 한다.

획득한 3차원 위치정보에 대한 정확도 분석을 위해 지름 60mm 크기의 원형 타겟 30점을 부착하고 직각수평 촬영한다. 각 타겟의 중심좌표를 3차원 측량기인 0.1초독 토탈스테이션(TC-2002:Leica)으로 측량하고 영상으로부터 획득한 3차원 지상좌표를 비교함으로써 위치결정에 따른 정확도를 비교 분석하였다.

그림 2.1은 연구수행 흐름도이다.

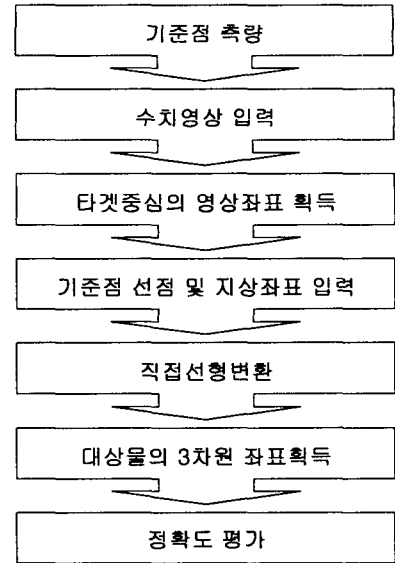


그림 2.1 연구수행 흐름도

### 3. 수치영상

#### 3.1 CCD사진기의 영상취득 원리

대상물에서 반사된 빛은 CCD사진기의 렌즈에 의해 연속신호로 수집되고 CCD 센서가 강도를 감지함으로써 수집된 빛은 아날로그 전압신호로 전달된다. 이 신호가 A/D 변환자에 의해 수치정보로 변환이 이루어지는데, 관측목적에 위하여 이 강도는 전형적으로 0(black)에서 255(white)범위의 밝기값으로 변환된다. 일반적으로 CCD사진기를 이용하여 수치영상을 실시간으로 얻기 위해서는 컴퓨터 영상보드의 프레임포착기가 필요하며 그림 3.1과 같이 A/D 변환을 수행하여 영상을 모니터상에 출력한다.

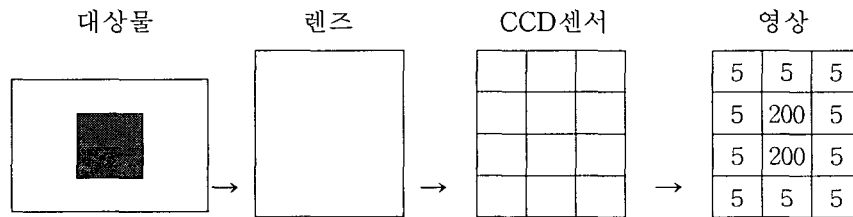


그림 3.1 CCD사진기의 영상취득 원리

#### 3.2 CCD사진기의 영상 왜곡

사진측량의 함수모형은 영상점과 렌즈의 중심 및 대상점의 일직선을 이룬다고 가정하는 공선조건식을 근거로 한다. 그러나 실제로 사진기가 완전하지 못하며, 대상점으로부터의 사면으로 진행되는 광선이 일직선이 아닐 수도 있으므로 상좌표에 대한 검정이 필요하다. 이러한 검정에는 렌즈왜곡에 대한 검정이 반드시 수행되어야 하며, 이밖에도 필름의 신축 및 편평도, 대기의 굴절 등이 고려될 수 있으나 CCD사진기의 경우 필름을 사용하지 않기 때문에 필름의 신축은 생각할 필요가 없으며 대기의 굴절은 근거리 사진측량에서 그 영향이 극히 미약하여 일반적으로 고려하지 않는다. 따라서 이 연구에서는 렌즈 왜곡에 대한 검정만을 고려하였다. 렌즈왜곡은 방사방향 왜곡과 편심방향 왜곡으로 구분할 수 있다.

#### 3.3 타겟 인식 및 타겟 중심좌표 측정

본 연구에서는 촬영 영상에서 타겟의 확연한 구분을 위해 반사율이 높은 시트식 반사타겟을 제작하여 사용하였으며 획득한 영상을 이진화 한 후 밝기값에 대한 히스토그램을 분석하고 최적의 임계값을 설정

하여 타겟영상과 배경영상을 분할하였다. 이는 타겟 인식을 극대화하기 위해 취한 전처리 과정이며 도심측정방법을 사용하여 타겟 중심의 영상좌표를 획득하였다.

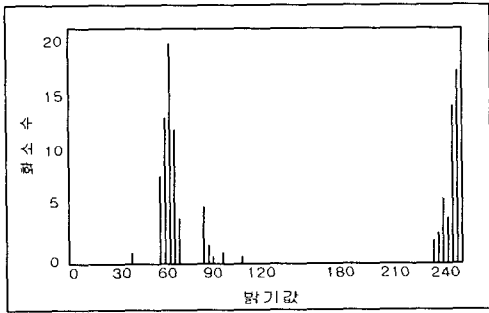


그림 3.2 검색 영역내 타겟영상의 히스토그램 분포

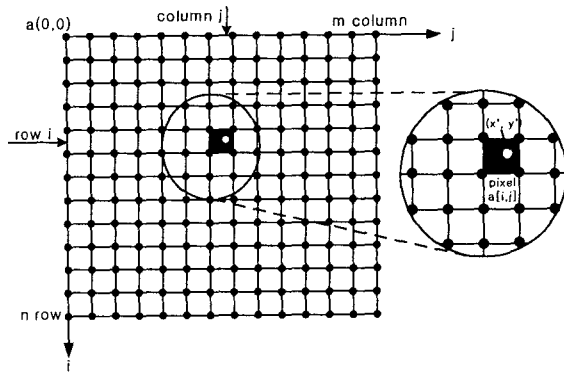


그림 3.3 타겟의 부화소 측량

그림 3.3은 물리적으로 규정된 화소 크기 이하로 보다 정확하게 타겟의 중심위치를 측정하기 위한 타겟의 부화소 좌표측정을 도식화한 것이다. 본 연구에서는 도심측정방법을 통해 측정하였다.

도심측정방법은 검색 영역내 영상의 밝기값을 정보로 이용하여 타겟의 중심위치를 계산하는 방법으로, 타겟의 밝기값을 경중률로 사용하며 경중률을 달리하여 타겟의 중심 위치를 계산한다.

### 3.4 좌표변환

획득한 영상을 영상분할 하여 처리한 후, 타겟 중심의 픽셀좌표를 측정하였다. 타겟의 픽셀좌표는 영상의 좌측상단을 평면상의 원점(0,0)으로 하여 측정되며 영상 중심으로의 좌표변환을 수행하였다. 영상 중심으로의 좌표변환은 축척이 동일한 2차원 등각 사상변환을 이용하여 좌측 상단을 원점(0,0)으로 하는 픽셀좌표를 영상의 중심픽셀(320, 240)을 원점(0,0)으로 하는 좌표계로 변환하였으며 그림 3.6과 같고 지표없이 직접 영상좌표를 얻을 수 있기 때문에 2차원 부등각 사상변환을 거치지 않아 편리하다. 또한 실제의 CCD 배열의 크기와 축척을 같게 하기 위해 1픽셀의 크기를 각각 고려하여 최종적인 영상좌표를 얻었다. 2차원 부등각 사상변환은 사진의 신축에 의해 x축과 y축의 축척이 같지 않을 경우의 수학적 변환 모형으로서, 필름 스캔영상의 화소좌표를 영상좌표로 변환할 경우 사용한다. 이는 2차원 등각 사상변환에 비직교성 요소인  $r$ 을 고려하여 수치 모형화를 이룬다.

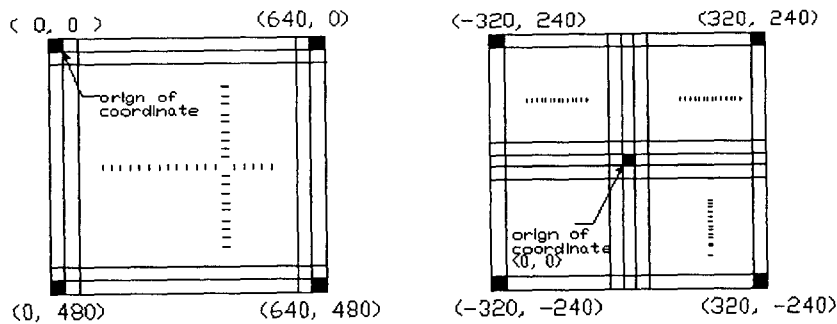


그림 3.4 픽셀좌표계와 영상좌표계

$$\begin{aligned} X_i &= pixel * (X_p - 320) \\ Y_i &= pixel * (240 - Y_p) \end{aligned} \quad (3.1)$$

여기서,  $i$  : image coordinates

$p$  : pixel coordinates

### 3.5 직접 선형 변환

#### 3.5.1 개요

비측정용 사진기는 주점좌표를 모르기 때문에 주점좌표를 사용하지 않고 공간좌표를 구할 수 있는 많은 독특한 방법이 개발되었으며 그중 하나가 직접선형변환 방법이다. 직접선형변환은 정밀좌표관측계에서 얻어진 영상좌표를 사진좌표계로 변환하는 중간과정을 생략한다. 즉 정규공선조건식의 외부와 내부표정매개변수를 소거하므로 사진 지표를 사용하지 않고도 정밀 관측기 좌표로부터 절대좌표(또는 지상좌표)로 직접 변환할 수 있는 방법이다.

#### 3.5.2 직접선형변환의 장점과 단점

직접선형변환의 장점은 첫째, 영상내에서 관측된 좌표관측기의 좌표와 대상물좌표들간의 비례관계를 제공하여준다. 둘째, 관측방정식이 매우 간단하고 미지수의 계수들은 선형으로 비례하기 때문에 도함수 등의 계산이 불필요하다. 셋째, 선형계수이므로 초기 근사값을 필요로 하지 않으며, 투영관계에서 사진기의 왜곡과 같은 체계사이의 오차를 검정하기 위해 매개변수를 부가하는 것이 가능하다. 이와는 반대로 다음과 같은 단점을 가지고 있다. 11개의 미지변수를 결정하기 위하여 최소 6개 이상의 3차원 기준점을 필요로 한다. 또한, 직접선형변환에 의한 결과의 정확도는 일반적인 광속조정법에 비해 다소 떨어지며 직접선형변환에 의한 결과값은 대상 공간내 기준점의 배치상태에 따라 매우 민감하다. 따라서 직접선형변환 방법을 사용할 때는 기준점을 골고루 분포하게 위치시켜야 하며 모든 기준점이 한 평면상에 있지 않도록 해야 한다. 또한 기준점이 구하고자 하는 대상점의 주위에 분포해야 한다. 이러한 단점에도 불구하고 직접선형변환은 사진지표가 없는 사진이나 영상으로부터 위치를 결정할 수 있는 가장 적절하고 유용한 방법이다.

## 4. 수치사진측량 컴포넌트 개발

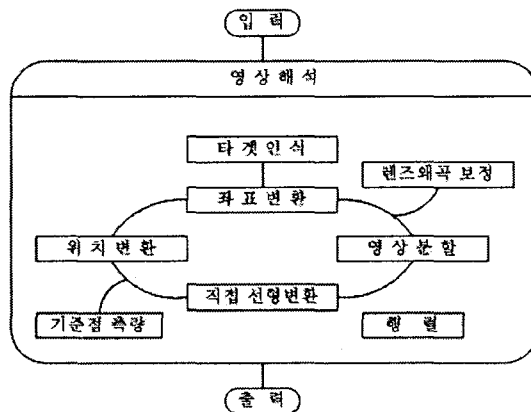


그림 4.1 클래스 계층도

### 5. 관측 및 분석

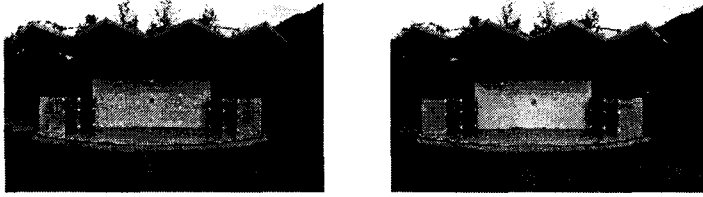


그림 5.1 실험대상 영상(좌,우)

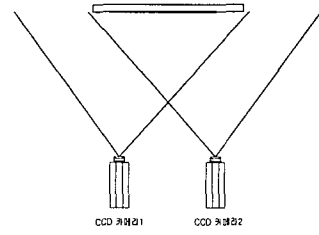
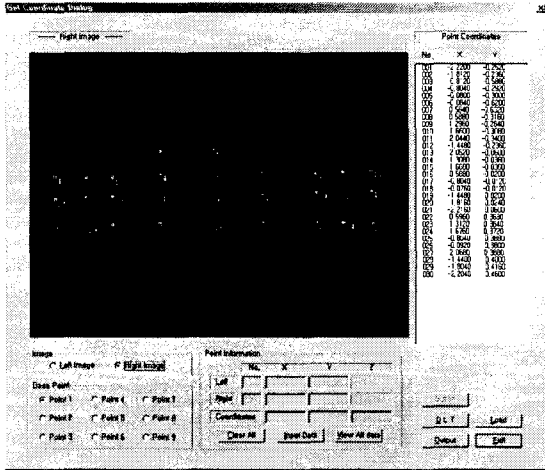
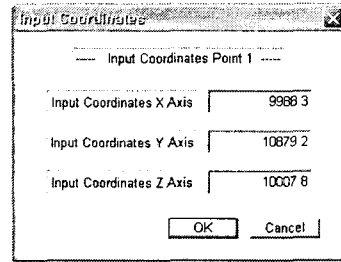


그림 5.2 직각수평촬영



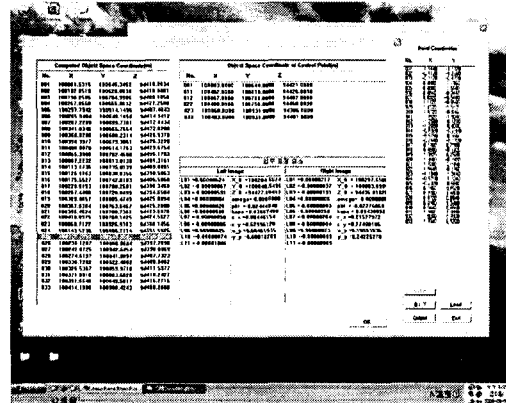
(a)



(b)

Point	X	Y	Z
Point 1	9986.3	10879.2	10037.8
Point 2	...	...	...
Point 3	...	...	...
Point 4	...	...	...
Point 5	...	...	...
Point 6	...	...	...
Point 7	...	...	...
Point 8	...	...	...
Point 9	...	...	...
Point 10	...	...	...

(c)



(d)

그림 5.3 이진화된 영상 처리과정(a-d)

표 5.1 결과 데이터 비교

단위 : MM

측점번호	TS좌표(T.S)			영상변환좌표(I.T)			T.S - I.T		
	X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
1	5346.0	12330.6	13205.0	5345.5	12328.8	13193.5	0.5	1.8	11.5
2	5374.6	11232.0	13208.0	5373.3	11229.7	13210.1	1.3	2.3	-2.1
3	5407.6	9824.4	13205.0	5409.9	9825.3	13188.2	-2.3	-0.9	16.8
4	6497.1	12336.4	12133.0	6496.2	12332.8	12098.5	0.9	3.6	34.5
5	6512.1	11369.5	12138.0	6508.6	11363.9	12096.4	3.5	5.6	41.6
6	6553.9	9920.0	12137.0	6549.4	9915.6	12129.6	4.5	4.4	7.4
7	7625.1	12400.6	11055.0	7613.0	12391.1	11117.5	12.1	9.5	-62.5
8	7627.6	11401.4	11056.0	7616.6	11395.2	11050.1	11.0	6.2	5.9
9	7656.7	9941.7	11058.0	7654.4	9941.1	11038.5	2.3	0.6	19.5
10	9956.3	13868.9	9997.0	9948.1	13864.0	9989.4	8.2	4.9	7.6

11	9989.6	12692.4	9987.0	9985.0	12685.9	9984.5	4.6	6.5	2.5
12	9987.0	11553.1	9988.0	9979.7	11547.6	9978.2	7.3	5.5	9.8
13	10000.0	10000.0	10000.0	9999.7	9998.5	9999.1	0.3	1.5	0.9
14	12878.0	14009.1	10059.0	12875.6	14003.7	10057.5	2.4	5.4	1.5
15	12894.4	12728.2	10067.0	12895.4	12728.1	10062.7	-1.0	0.1	4.3
16	12913.0	11582.3	10073.0	12904.2	11576.6	10070.9	8.8	5.7	2.1
17	12864.6	10000.0	10057.0	12863.4	9999.6	10053.7	1.2	0.4	3.3
18	15547.6	14060.1	10119.0	15537.9	14048.5	10114.4	9.7	11.6	4.6
19	15556.7	12791.0	10120.0	15547.3	12785.7	10113.5	9.4	5.3	6.5
20	15576.0	11611.2	10121.0	15572.9	11603.6	10111.6	3.1	7.6	9.4
21	15602.9	10063.4	10114.0	15601.1	10059.4	10101.5	1.8	4.0	12.5
22	18145.8	13299.5	11257.0	18135.6	13290.2	11242.8	10.2	9.3	14.2
23	18197.8	11647.2	11258.0	18180.9	11634.6	11255.5	16.9	12.6	2.5
24	18234.0	10131.6	11261.0	18254.1	10141.8	11305.3	-20.1	-10.2	-44.3
25	19244.2	12611.0	12391.0	19224.4	12595.8	12387.6	19.8	15.2	3.4
26	19269.5	11627.3	12391.0	19238.3	11607.4	12370.6	31.2	19.9	20.4
27	19299.4	10124.6	12395.0	19287.0	10106.0	12388.3	12.4	18.6	6.7
28	20296.5	12657.6	13488.0	20301.4	12664.1	13508.6	-4.9	-6.5	-20.6
29	20327.6	11679.1	13490.0	20324.0	11675.9	13458.5	3.6	3.2	31.5
30	20378.8	10116.8	13496.0	20371.5	10113.3	13470.6	7.3	3.5	25.4
표준편차							8.8	6.3	20.2

## 6. 결 론

본 연구에서는 직접선형변환에 대한 클래스를 제작하였고 이를 바탕으로 비측량용 디지털카메라로부터 획득한 영상을 이용한 근거리 수치사진측량을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 직접선형변환에 대한 클래스를 객체지향기법으로 설계하고 계층도를 구축함으로써 개인용 PC를 이용하여 근거리 수치사진측량을 수행할 수 있는 환경을 구축하였고 3차원 위치해석을 효율적으로 수행할 수 있었다.
- ② 비교 결과 표 5.1에서처럼 표준편차가 X와 Y에 대해서는 1cm 안쪽으로 나타났고, Z에 대해서 2cm로 나타났다. 평면의 위치에 대해서는 높은 정도의 결과를 얻을 수 있었고, 높이에 대한 오차량이 평면위치오차에 비해 다소 높은 편이지만 저가의 디지털카메라의 사용을 감안할 때 비교적 양호한 결과로 보여진다.
- ③ 저가의 비측량용 디지털카메라의 활용으로 정밀 3차원 측정 가능성을 확인 할 수 있었다. 카메라의 해상도의 향상과 원형 타겟 인식과 더불어 타원 타겟 인식을 병행하여 실험을 한다면, 높은 정도의 데이터를 획득할 수 있을 것이라 판단된다.

## 참고문헌

- 이석균 (1988), CCD 사진기와 객체지향기법을 이용한 근거리 사진 측량에 관한 연구, 박사학위논문, 연세대학교, pp. 14-21.
- 배상호 (2000), 구조물 변위해석을 위한 수치사진측량의 컴포넌트 개발, 박사학위논문, 충남대학교, pp. 3-19.
- 유복모, 이석균 (1998) CCD 사진기를 이용한 근거리 사진측량의 실시간 처리에 관한 연구, 대한토목학회지 제18권, 3호, pp. 317-327.
- 유복모 (2001), 디지털사진측량학, 문운당, pp. 247-248, pp. 212-216.
- 한승희, 강준목 (1995), 3차원 측량을 위한 Digital Image의 영상좌표 획득에 관한 연구, 대한토목학회지 제13권 6호, pp. 1727-1728.
- Paul R.Wolf, Bon A.Dewitt, "Element of Photogrammetry", McGraw-Hill, 3rd edition. 2000, p34~p36.