

비측정용 사진의 측정을 위한 수치화상처리기법의 적용 Digital Image Processing Technique for Measurements from Non-metric Photographs

안기원* · 박병욱**

Ahn, Ki-Won · Park, Byung-Uk

요 旨

비측정용 사진기로 촬영된 사진으로부터 수치화상처리기법과 컴퓨터를 이용하여 3차원 좌표 및 정보를 추출하는데 있어서는 해결해야 할 과제들이 뒤따르게 된다. 따라서 본 연구에서는 수치사진화상을 얻기위한 비측정용 사진의 스캐닝 방법, 스캐닝 시에 발생하는 기하왜곡의 보정방법, 각 화소에 해당하는 3차원 지상좌표 추출을 위한 공간교차이론의 효율적 적용기법 등을 연구하고 실제 적용을 통하여 제시된 기법의 유효성을 검증할 수 있었다.

ABSTRACT

Significant developments in the use of digital imagery for close-range photogrammetric metrology have occurred in the last few years because of technological advances in digital image processing. Present day needs for applications of digital image processing technique to measurements of photographs obtained with non-metric camera at reduced cost, automation and convenience. In order for this application to be useful, a detailed procedure must be developed. Investigation of this study is given to the detailed procedure for the digital measurements of the object space data from the scanned non-metric photographs.

1. 서 론

컴퓨터화 및 자동화되어 가고 있는 현재에 있어서는 구조물의 측정, 각종 지형정보의 추출 및 데이터의 관리에 종래의 사진측량방법외에 컴퓨터의 이용과 수치화된 사진화상으로부터의 측정방법이 많이 시도되고 있다.^{3-6,9,10)}

측정용 사진기로부터 얻어진 입체사진을 스캐닝한 후, 수치화상처리기법을 적용하여 지형 또는 대상물에 관한 3차원 정보를 추출, 관리하는 연구는 국내외적으로 많이 이루어진 바 있으며 현재에도 이와 관련된 연구가 진행되고 있는 실정이다. 그러나 측정용 사진기는 가격이 고가일 뿐만 아니라 촬영방법의 복잡함과 기술적인 어려움이 있게 되며 특히 초근접 사진측량에 있어서는 최소촬영거리의 제약 등으로 인한 어려움 때문에

비측정용 카메라 사용의 필요성이 제기되기도 한다.

비측정용 사진기는 가격이 매우 저렴함은 물론, 취급이 용이하고 초점거리를 자유롭게 조정할 수 있으며, 정확한 calibration data의 획득이 가능하므로 단점을 보완할 경우 정밀측정을 비롯한 여러분야에서 널리 이용될 수 있다. 반면에 비측정용 사진기에 의하여 촬영된 사진을 해석할 때에는 여러가지 제약이 따르게 된다.

비측정용 사진기의 경우 사진지표와 보정용 기준점들이 사진에 자동적으로 나타나게 되어 있지 않으며 렌즈의 왜곡도 측정용 카메라에 비하여 큰 경우가 대부분이기 때문에 측정정밀도가 떨어지게 된다. 측정용 사진이나 비측정용 사진으로부터 컴퓨터를 이용하여 대상물에 관련된 3차원 좌표 및 정보를 추출하는데는 여러가지 어려움이 있게 된다.

외국에 있어서는 측정용 또는 비측정용 사진기로 촬영된 사진을 스캐닝한 후, 수치화상처리기법을 적용하여 지형 또는 대상물의 3차원 좌표를 자동측정하는 기법의 개발과 각종 문제점의 해결을 위한 활발한 연구가 이루어

* 경상대학교 공과대학 토목공학과 부교수(경상대학교 생산기술연구소 연구원)

** 호남대학교 공과대학 도시계획학과 전임강사

어진 바 있으며 현재에도 꾸준히 진행되고 있다.^{7,8,11-13)}

국내의 경우, 자원탐사용 인공위성으로부터 관측수집된 수치화상데이터를 사용하여 해석대상지역의 3차원 지상좌표를 추출한 후 정사투영화상을 작성^{3,4)}하거나 항공사진을 대상으로 정사투영화상을 작성⁹⁾하는 연구를 행한 바 있으며, 측정용 사진의 스캐닝 왜곡의 크기를 규명하고 보정하거나 그 왜곡이 보정된 수치화상데이터를 활용하는 연구도 진행된 바 있다.⁴⁾ 비측정용 사진기를 이용한 근접사진측량연구 사례는 많이^{1,2)} 있으나 수치화상처리기법과 컴퓨터를 이용하여 비측정용 사진으로부터 3차원 좌표와 필요한 정보를 얻는 것에 관련된 연구는 미진한 실정이다.

비측정용 사진기로 촬영된 사진으로부터 수치화상처리기법과 컴퓨터를 이용하여 3차원 좌표 및 정보를 추출하는데 있어서는 해결해야 할 여러가지 과제들이 뒤따르게 된다. 해결해야 할 사항으로는 수치사진화상을 얻기위한 사진의 스캐닝 방법, 스캐닝 시에 발생하는 기하왜곡의 보정기법, 각 화소에 해당하는 3차원 지상좌표 추출을 위한 공간교차이론의 효율적 적용 등이 있다. 따라서 본 연구에서는 비측정용 사진기로부터 촬영된 사진을 위한 효율적 수치화상처리기법을 제시하고 실제 적용을 통하여 제시된 기법의 유효성을 검증하고자 하였다.

2. 지상사진의 촬영 및 사진좌표의 측정

2.1 지상사진의 촬영

촬영대상물로는 정육면체(폭 1 m, 높이 1 m 및 깊이 1 m) 앵글을 조립한 후, 이 앵글에 일정한 간격과 깊이마다 철선을 매달았으며 이 철선에 직경 약 8 mm인 41개의 구슬을 고정하여 기준점 및 검사점으로 활용하였다. 보정의 기준점과 검사점으로 사용된 41개 구슬의 배치형태는 다음과 같았다.

제1면 : 약 20 cm 간격으로 16점

제2면 : 제1면으로부터 깊이 약 35 cm 떨어진 면에 약 20 cm 간격으로 12점

제3면 : 제2면으로부터 깊이 약 35 cm 떨어진 면에 약 20 cm 간격으로 8점

제4면 : 제3면으로부터 깊이 약 35 cm 떨어진 면에 약 20 cm 간격으로 4점, 제4면 중앙에 1점

촬영카메라로는 측정용 카메라 1대와 비측정용 카메라

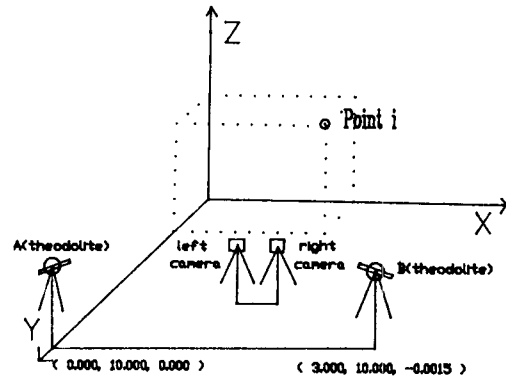


Fig. 1. Ground coordinate system for metric and non-metric(BRONICA) camera.

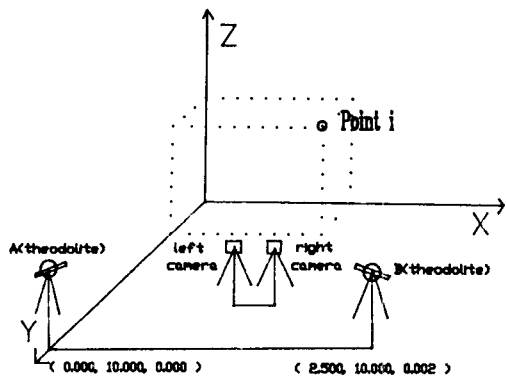
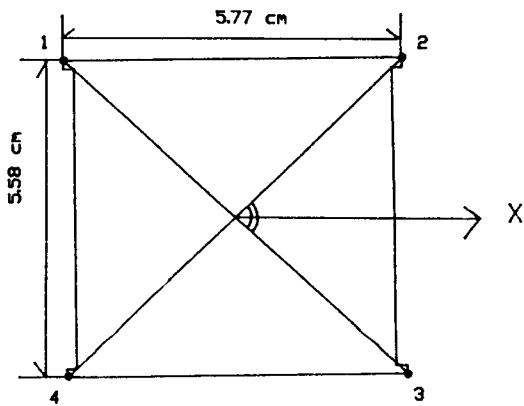


Fig. 2. Ground coordinate system for non-metric (SAMSUNG) camera.

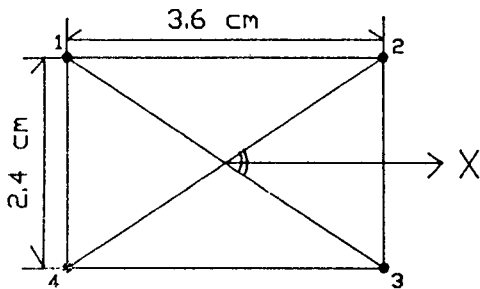
라 2대가 각각 사용되었다. 측정용 카메라로는 ZENZA BRONICA사의 지상사진측량용 카메라(metric camera SQ-AmR, 6×6 cm film format, focal length 110 mm)가 사용되었으며 특히, 이 카메라에는 필름전면에 12.5 mm 간격마다 모두 25개 십자선이 그려져 있는 레조플레이트가 내장되어 있다. 비측정용 카메라로는 역시 ZENZA BRONICA사의 카메라(camera SQ-Ai, 6×6cm film format, focal length 110 mm)와 삼성의 미놀타 카메라(focal length 50 mm)가 사용되었다. 필름의 사용에 있어서는 흑백농담만으로 스캐닝할 것을 고려하여 흑백필름을 사용해야 함이 원칙이나 흑백필름의 구입 및 현상의 어려움을 감안하여 칼라필름을 사용하였으며, 필름으로는 Kodak EPR 120 양화필름(Ektachrome 64 professional color reversal film)과 Kodak 칼라슬라이드필름(Ektachrome Elite 100)을 사용하였다.

Table 1. Ground coordinates of the metric and non-metric cameras measured approximately(unit : m).

Camera	Position	X	Y	Z
Metric	Left	0.90	8.18	1.04
	Right	2.10	8.18	1.05
Non-metric (BRONICA)	Left	0.90	8.18	1.04
	Right	2.10	8.18	1.05
Non-metric (SAMSUNG)	Left	0.65	8.18	1.12
	Right	1.85	8.18	1.12



(a) Non-metric(BRONICA) photograph



(b) Non-metric(SAMSUNG) photograph

Fig. 3. Photo coordinates system of the non-metric photographs.

촬영에 있어서는 대상물에 2개의 서치라이트(각 500 W)를 조명하였으며, 대상물에서 5 m정도 떨어진 곳에서 촬영기선 약 1.2m의 입체사진을 수렴촬영하였다. 41개 기준점과 검사점 및 카메라 중심의 3차원 지상좌표는 데오도라이트를 이용한 삼각측량원리에 의하여 구하였으며, 특히 카메라 위치는 외부표정요소를 찾기 위한 초기입력자료로 사용되기 때문에 개략적으로 측

정한 결과이다. 지상좌표계와 카메라위치는 Fig. 1, Fig. 2 및 Table 1과 같았다.

2.2 사진좌표의 측정

본 연구에 사용된 측정용 카메라는 필름전면에 25개의 십자선들이 12.5 mm 간격으로 그려진 레조플레이트가 부착되어 있기 때문에 촬영된 필름 또는 사진에는 항상 25개의 십자선들이 나타나게 되며 향후 각종 보정의 기준점으로 사용될 수 있도록 되어있다. 따라서 촬영 이전의 레조플레이트상의 25개 십자선들의 위치와 촬영후 현상된 필름상의 십자선 사진좌표를 measure-scope로 μm 단위까지 정밀 측정하였다. 비측정용 카메라에는 레조플레이트가 내장되어 있지 않기 때문에 스캐닝왜곡을 보정하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 유효화면의 4개의 모서리와 41개 구슬의 사진좌표를 measure-scope로 측정한 후, Fig. 3에서 보는 바와 같은 사진좌표체계의 좌표로 다시 환산하여 사용하였다.

3. 스캐닝 및 스캐닝 왜곡의 보정

3.1 필름의 스캐닝

촬영된 사진을 컴퓨터 처리가 가능한 수치사진화상으로 만들기 위하여는 스캐너를 사용하여야 하는데, 스캐너는 크게 microdensitometer와 camera scanner의 두 가지 종류로 나눌 수 있다. 이 스캐너들은 각기 장단점이 있으나 camera scanner는 사용하기 간편하고 스캐닝하는 동안 안정성이 있으며 동일한 크기의 사진이라도 해상력을 광범위하게 조절할 수 있다는 장점때문에 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 camera scanner의 일종인 CCD(charge coupled device) camera scanner를 사용하였는데 CCD camera scanner는 사진측량 응용분야에서 많이 활용되고 있다.

현상된 좌·우 필름을 EIKONIX 1412 CCD camera scanner로 스캐닝하여 각각의 수치화상데이터를 얻었다. 이 camera scanner는 4096개의 CCD센서(한개의 센서크기는 약 $7 \times 7 \mu\text{m}$)가 1열로 배열되어 있고, 일정한 면적을 스캐닝하기 위하여 이 CCD array가 스캐닝 라인에 직각인 방향으로 움직이도록 제작되어 있다. 따라서 한번에 최고 4096×4096 화소의 해상력으로 수치화상데이터를 얻을 수 있으며, 이 해상력은 128×128 에서부터 4096×4096 화소까지 조정이 가능하다. 스캐닝후

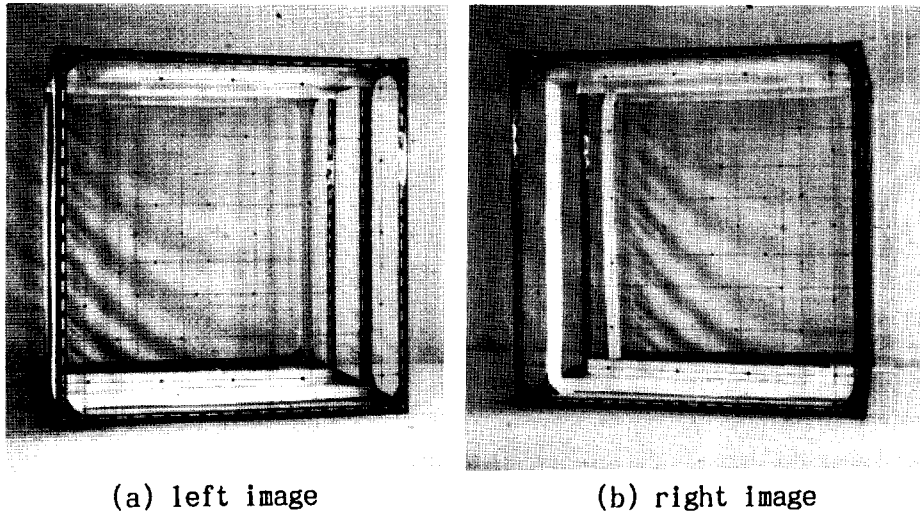


Fig. 4. Scanned digital image of the films photographed with metric camera.

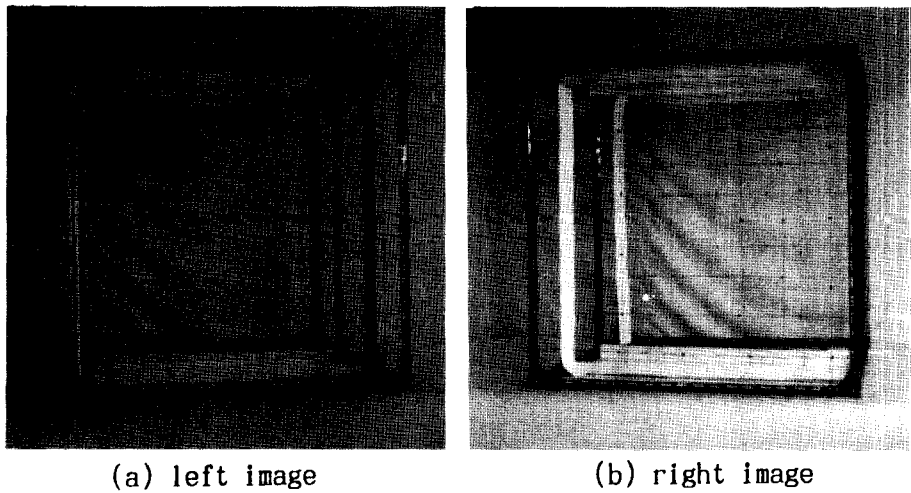


Fig. 5. Scanned digital image of the films photographed with non-metric camera(BRONICA).

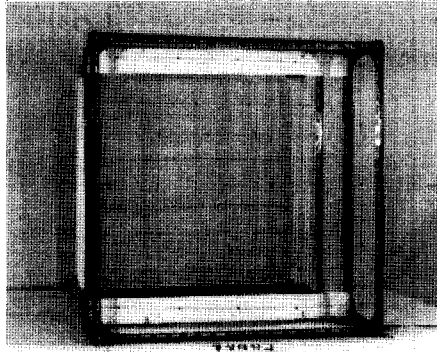
의 해상크기는 1024×1024 화소크기가 되도록 하였으며, 데이터 값은 0에서 255사이가 되도록 하였다. Fig. 4, Fig. 5 및 Fig. 6은 스캐닝하여 얻어진 수치화상을 칼라프린터로 출력한 모습이다.

3.2 스캐닝 왜곡의 보정

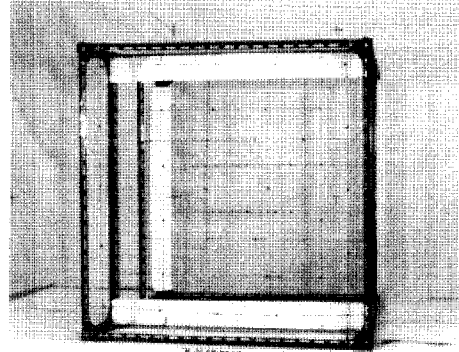
스캐닝 과정에서 생길 수 있는 왜곡의 종류로는 방사왜곡(radiometric error)과 기하왜곡(geometric error)의 두 종류로 나눌 수 있는데,방사왜곡은 스캐닝하여 얻어지는 화상데이터값 자체의 변화와 관련이 있는 것이고, 기

하왜곡은 위치의 변화와 관련이 있는 것으로서 측정분야에 있어서는 기하왜곡의 영향이 더 문제가 되고 있다.

CCD 카메라 스캐너의 기하왜곡은 카메라에 관련된 왜곡과 CCD에 관련된 왜곡으로 나눌 수 있다. 카메라에 관련된 것으로는 카메라의 외부표정요소에 따른 왜곡, 광축의 비수직성으로 인한 왜곡 및 렌즈왜곡이 대부분이며 특히 외부표정요소에 따른 왜곡이 다른 왜곡에 비하여 상대적으로 큰 부분을 차지하게 된다. CCD에 관련된 것으로는 CCD 소자의 크기가 일정하지 않거나 1열의 CCD가 스캐닝 라인에 직각인 방향으로 움직일



(a) left image



(b) right image

Fig. 6. Scanned digital image of the films photographed with non-metric camera(SAMSUNG).

때에 일정한 간격으로 이동하지 못하여 생기는 왜곡을 들 수 있지만, CCD가 비교적 정교하게 제작되고 있기 때문에 이들 왜곡은 그 크기가 극히 작다고 할 수 있다.

본 연구에서는 기하왜곡중에서도 그 크기가 대부분을 차지하고 있는 CCD 카메라 외부표정요소에 따른 왜곡만을 대상으로 하고자 한다. 외부표정요소라 하면 지상좌표체계에 있어서의 CCD 카메라 렌즈 중심의 3차원 위치(X_0, Y_0, Z_0)와 X, Y 및 Z축에 대한 카메라 회전요소 (ω, ϕ, κ) 등 모두 6개 요소를 말한다. 스캐너의 외부표정요소를 이용하여 기하왜곡을 보정하기 위해서는 우선 스캐닝 당시의 외부표정요소를 구해야 하며, 이를 위하여 번들조정(bundle adjustment) 기법을 적용하여야 한다. CCD 카메라 중심과 임의 점 P의 화상위치 및 사진상위치 사이에는 식 (3-1)과 같은 공선 조건식이 성립한다.

$$\begin{aligned} x &= -f \frac{m_{11}(X-X_0) + m_{12}(Y-Y_0) - m_{13}(Z-Z_0)}{m_{31}(X-X_0) + m_{32}(Y-Y_0) - m_{33}(Z-Z_0)} \\ y &= -f \frac{m_{21}(X-X_0) + m_{22}(Y-Y_0) - m_{23}(Z-Z_0)}{m_{31}(X-X_0) + m_{32}(Y-Y_0) - m_{33}(Z-Z_0)} \end{aligned} \quad (3-1)$$

여기서, (x, y) : 임의 점의 화상좌표

f : 스캐너에 부착되어 있는 카메라의 초점거리

(X, Y, Z) : 구하고자 하는 임의 점의 지상좌표(본 연구에서는 필름이 스캐닝 대상물이므로 X, Y는 사진좌표, Z는 0이됨)

(X_0, Y_0, Z_0) : 외부표정요소로서 스캐너의 사진좌표

체계상 3차원 위치

m_{ij} : 스캐너의 X, Y 및 Z축에 대한 스캐닝 당시의 회전행렬요소

즉, CCD 카메라 중심의 위치(X_0, Y_0, Z_0)와 회전요소 (ω, ϕ, κ) 및 임의 점의 지상좌표 $P(X, Y, Z)$ 를 알면 화상좌표 (x, y) 를 알 수 있다. 또한 다음의 식 (3-2)를 이용하여 CCD 카메라 중심의 위치와 회전요소 및 임의 점의 화상좌표를 알면 지상좌표 $P(X, Y)$ 를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} X &= -Z_0 \frac{m_{11}x + m_{21}y - m_{31}f}{m_{13}x + m_{23}y - m_{33}f} + X_0 \\ Y &= -Z_0 \frac{m_{12}x + m_{22}y - m_{32}f}{m_{13}x + m_{23}y - m_{33}f} + Y_0 \end{aligned} \quad (3-2)$$

식 (3-1)은 선형 방정식이므로 이를 Taylor 급수 전개식에 의하여 선형화하고, 이 식에 6개 외부표정요소의 초기근사값과 기준점의 지상좌표 및 화상좌표를 입력하고 최소제곱법을 적용하여 잔차 v_x 및 v_y 의 제곱합이 최소가 될 때의 외부표정요소를 구하는 작업을 반복 계산하면 최종적인 외부표정요소를 얻을 수 있다. 외부표정요소가 결정되면 식(3-2)에 검사점의 화상좌표를 입력하여 지상좌표 즉, 사진좌표를 구하여 실측좌표와 비교함으로써 결정된 외부표정요소의 정밀도를 검사해 볼 수 있다. 특히, 기준점과 검사점의 화상좌표는 각점 주변의 화소들을 대상으로 식 (3-3)에 의한 센트로이드 방법(centroid method)을 적용하여 비교적 정밀한 값을 얻을 수 있다.

$$I = \frac{\sum(D_i \times I_i)}{\sum D_i} \quad (3-3)$$

$$J = \frac{\sum(D_i \times J_i)}{\sum D_i}$$

여기서, (I, J): 구하고자 하는 기준점 및 검사점의 화상좌표

D_i : 기준점 및 검사점 주변 화소의 화소값

(I_i, J_i): 기준점 및 검사점 주변 화소의 화상좌표

수치화상에 대한 외부표정요소를 결정한 후에는 각 화상들의 스캐너 기하왜곡을 보정하기 위하여 결정된 외부표정요소를 이용하여 모든 화소에 대응하는 사진좌표를 추출하여 사용하여야만 한다.

얻어진 사진좌표들은 스캐닝 기하왜곡이 포함되어 있는 화상의 각 화소 중심마다의 좌표이다. 즉, 스캐너 외부표정요소와 사진상 점들의 위치에 따른 변위가 포함되어 있는 중심투영화상의 화소에 대응되는 사진좌표이며 일정한 간격마다의 사진좌표가 아닌 산재되어 있는 점들의 사진좌표이다. 따라서 추출된 사진좌표를 이용하여 스캐닝 기하왜곡이 보정된 즉, 사진상 일정한 간격에 해당하는 새로운 화상을 만들어야 한다. 사진상 일정한 간격마다의 기하보정된 화상을 작성하기 위하여 먼저, 각 격자점 주변의 점들에 대하여 거리를 계산하고 이 거리를 기준으로 정렬(sorting)한 후, 격자점과

의 거리가 가장 가까운 점들을 선정하고 식(3-4)에 의하여 격자점 마다의 화상데이터를 다시 계산하여야 한다.

$$D_i = \frac{\sum_{i=1}^n D_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (3-4)$$

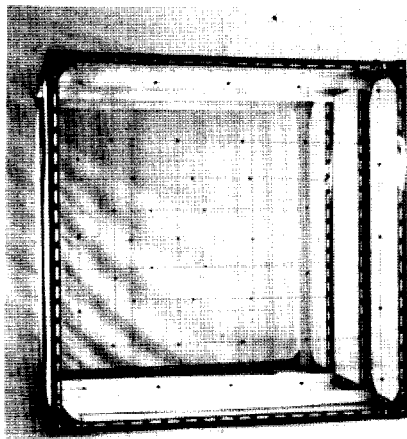
단, D_i 는 구하고자 하는 격자점의 데이터값

$W_i(\text{weight})=1/d_i$ (d_i 는 격자점으로부터 주변점까지의 거리)

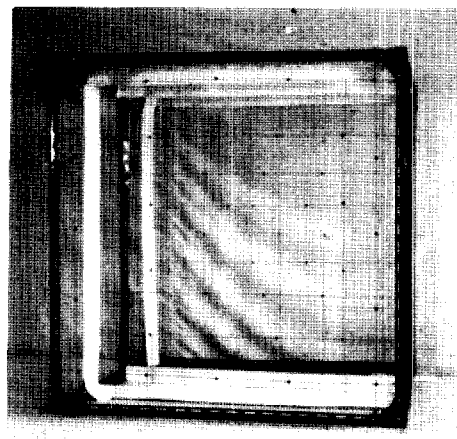
n (사용점수)=6

3가지 카메라로 촬영된 필름을 각각 스캐닝하여 얻은 수치화상들을 대상으로 외부표정기법을 적용하여 보았다. 특히 입력데이터중 사진좌표로는 measure-scope로 기측정된 좌표가, 화상좌표는 centroid방법에 의하여 얻어진 화상좌표가 사용되었다.

번들조정기법에 있어서 측정용 카메라인 경우에는 레조플레이트의 25개 십자선중 11점은 외부표정요소를 찾기위한 기준점으로, 나머지는 찾아진 외부표정요소의 정밀도 비교를 위한 검사점으로 사용되었으며, 비측정용 카메라인 경우에는 필름의 4개의 모서리점과 41개 구슬중 13점이 외부표정요소를 찾기위한 기준점으로, 41개 구슬중 나머지 28개점들은 찾아진 외부표정요소의 정밀도 비교를 위한 검사점으로 사용되었다.

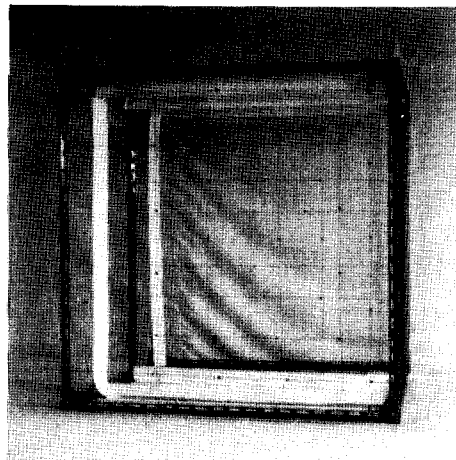
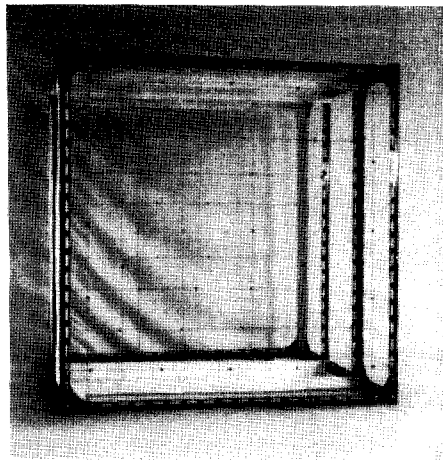


(a) left image



(b) right image

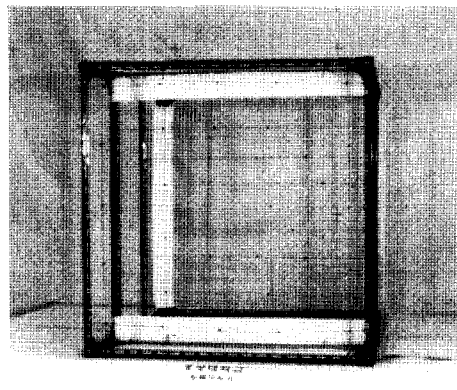
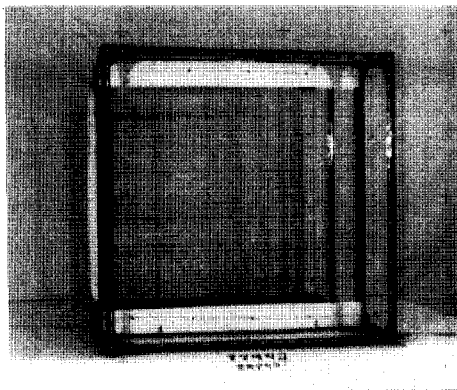
Fig. 7. Resulting image corrected for scanning error(metric, 1150×1150 pixel size).



(a) left image

(b) right image

Fig. 8. Resulting image corrected for scanning errors(non-metric(BRONICA), 1220×1220 pixel size).



(a) left image

(b) right image

Fig. 9. Resulting image corrected for scanning errors(non-metric(SAMSUNG), 1080×1080 pixel size).

스캐닝된 수치화상의 기하왜곡을 보정하기 위하여는 각 화소에 대응하는 사진좌표를 추출하여 사용하여야만 한다. 전 화소를 대상으로 식(3-2)를 이용하여 사진좌표를 구할 수 있었다. 얻어진 사진좌표는 스캐닝 기하왜곡이 포함되어 있는 화상의 각 화소 중심마다의 좌표이다. 즉, 스캐너 외부표정요소와 사진상 점의 위치 등에 따라 변위가 포함되어 있는 중심투영화상의 화소에 대응되는 사진좌표이며 일정한 간격마다의 사진좌표가 아닌 산재되어 있는 점들의 사진좌표이다. 따라서 추출된 사진좌표를 이용하여 스캐닝 기하왜곡이 보정된 즉, 사진상 일정한 간격에 해당하는 새로운 화상을 만들 필요가 있다. 본 연구에서는 간격이 일정하지 않

은 사진좌표와 화상데이터값으로부터 거리의 역에 따른 가중평균법(inverse-weighted-distance average method)을 사용한 내삽(interpolation)기법을 통하여 스캐너 기하왜곡이 보정된 새로운 화상을 작성할 수 있었다.

사진상 X 및 Y좌표 0.05 mm(단, 삼성카메라인 경우는 0.03 mm) 마다의 기하보정된 화상을 작성하기 위하여 먼저, 0.05 mm격자점 주변의 점들에 대하여 거리를 계산하여 정렬(sorting)한 후, 격자점과의 거리가 가장 가까운 6점을 선정하고 앞의 식(3-4)에 의하여 격자점마다의 화상데이터를 다시 계산하였다.

이와 같은 방법으로 Fig. 7, Fig. 8 및 Fig. 9에서 보는

바와 같이 스캐닝 왜곡이 보정된 새로운 화상들을 작성하였으며 이들 화상의 1화소의 크기는 사진상 0.05×0.05 mm(삼성카메라인 경우는 0.03×0.03 mm) 크기에 해당하며, 첫 화소의 사진좌표를 고려하면 각 화소의 사진좌표를 구할 수 있게 된다.

4. 지상좌표의 추출

4.1 자동매칭기법

각 화소의 지상좌표를 구하기 위하여는 각 화소에 대한 좌우화상좌표를 구한 후 공선조건식을 적용하여야 한다. 결국, 한 쌍의 입체수치모델 상에서 각 화소의 좌우화상좌표를 찾는 자동매칭이 선행되어야 한다. 자동매칭이란 둘 이상의 수치화상에서 수치적 접근방법에 의하여 동일한 점을 찾는 것으로서 화상의 기준점을 선정하거나 표고를 추출하는데 사용되며 산업분야에서는 로봇의 입체감 감지 등에 활용되고 있다.

본 연구에 있어서는 자동매칭기법중 표준상관기법(automatic correlation technique)에 의하여 41개 구슬에 대한 자동매칭을 실시하였는데, 센트로이드방법에 의하여 sub-pixel 이하의 단위로 찾아진 우측화상좌표에 대응하는 좌측화상좌표를 자동매칭기법으로 추출한 후, 이중 13점의 좌우화상좌표는 촬영카메라 외부표정요소를 결정하는데 사용하였으며 나머지 28점은 3차원 지상좌표 추출정밀도 파악을 위한 검사점으로 활용하였다.

자동매칭기법의 적용에 있어서 윈도우 영역의 크기로는 구슬의 화상내 크기를 고려하여 9×9 화소를 택하였다. 서어치 영역의 크기는 예상되는 좌측화상상의 대략적 위치를 입력하는 것을 고려하여 23×23 화소의 크기를 택하였다. 또한 41개 구슬의 화소이하 단위의 우측화상좌표에 대응하는 좌측화상좌표를 구하기 위하여, 우측화상의 구슬 주변 4점 각각에 대하여 화소이하 단위의 화상좌표를 얻은 후, 공1차내삽법(bilinear interpolation)을 적용하였다.

이와 같은 방법으로 41개 구슬에 대한 화소 이하단 위까지의 좌우화상좌표를 얻은 후, 이중 13점의 좌우화상좌표는 카메라 외부표정요소를 결정하는데 사용하였으며 나머지 28점은 지상좌표 추출정밀도 파악을 위한 검사점으로 활용하였다.

4.2 외부표정요소의 결정

Table 2. Exterior orientation parameters of the metric camera (unit : rad, and mm)

Parameter	Left	Right
ω	0.01137305	0.01098612
ϕ	-0.19146620	0.19829467
κ	-0.01542223	0.02288397
X_o	887.361	2081.838
Y_o	1054.186	1055.456
Z_o	8133.677	8149.104

Table 3. Exterior orientation parameters of the non-metric(BRONICA) camera (unit : rad, and mm)

Parameter	Left	Right
ω	0.01873307	0.01524668
ϕ	-0.19631459	0.20048871
κ	0.01967480	0.02037621
X_o	892.408	2093.142
Y_o	1040.579	1041.995
Z_o	8137.111	8125.902

Table 4. Exterior orientation parameters of the non-metric(SAMSUNG) camera (unit : rad, and mm)

Parameter	Left	Right
ω	-0.00447331	-0.00309157
ϕ	-0.11170274	0.14622913
κ	0.00847975	0.02039480
X_o	645.512	1848.619
Y_o	1118.371	1118.491
Z_o	8245.413	8232.873

지상좌표를 구하기 위하여는 지상사진촬영시의 카메라 위치 및 자세, 즉 외부표정요소를 결정하여야 한다. 이를 위하여 번들조정(bundle adjustment)기법을 적용하였다. 번들조정이란 다수의 번들에 대하여 투영중심과 사진상의 점, 지상의 물체가 일직선상에 있다는 공선조건을 기본으로 최소제곱법에 의하여 각 사진의 외부표정요소를 동시에 구하는 것으로서 수치화상데이터가 대상인 경우에는 사진좌표 대신 화상좌표가 입력되어야 한다는 점만 다를 뿐이다.

본 연구에서는 일반적인 지상사진의 경우와 같이, 좌우 카메라 각각 6개(ω , ϕ , κ , X_o , Y_o , Z_o)의 외부표정요소를 1차다항식을 적용한 번들조정기법으로 구하였다. 특히 외부표정요소의 결정에 있어서, 입력된 13점의 기준점 지상좌표와 비교할 지상좌표의 계산을 위하여 공

Table 5. RMSE of the ground coordinates of the 28 check points(unit : mm)

Camera	X	Y	Z
Metric	±0.691	±0.565	±0.808
Non-metric(BRONICA)	±0.674	±0.483	±1.157
Non-metric(SAMSUNG)	±0.717	±0.648	±3.387

간교차(space intersection)이론을 적용하였다. 즉 동일한 기준점의 화상좌표와 좌우카메라중심간에 두개의 직선이 형성되며, 이론적으로는 이 두개의 직선이 한점에서 만나야 하지만 일반적으로 외부요소결정시나 좌우화상위치의 결정에 있어서 생기는 피할 수 없는 오차들로 인하여 두 직선은 교차하지 않는다.

따라서 실제에 있어서는 두 직선의 최단거리인 벡터를 찾아 이것의 중간점을 교차점으로 간주하여 지상좌표를 계산하였다. 본 연구에서 결정된 외부표정요소는 Table 2, Table 3 및 Table 4와 같았다.

4.3 지상좌표의 추출

결정된 외부표정요소와 자동매칭기법으로 얻어진 28개 검사점들의 좌우화상좌표를 이용하여 이 점들의 지상좌표를 구하였다. 28개의 검사점에 대하여 공간 교차이론을 적용하여 지상좌표를 계산한 후, 지상관측값과 비교하여 X, Y, Z의 평균제곱근오차를 구한 결과, Table 5에서 보는 바와 같았다.

5. 평 가

Table 5에서 보는 바와 같이 모든 화상에 있어서, X 및 Y방향의 지상좌표 추출 정밀도가 ±1 mm이내의 비교적 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 그 이유는 스캐닝 기하왜곡의 보정, 자동매칭 및 공간교차이론의 적용을 위한 기준점 및 검사점들의 화상좌표추출시 센트로이드방법의 적용을 통하여 화소 단위이하의 정밀도로 화상좌표를 얻을 수 있었던 것과 적절한 자동매칭기법의 적용을 통하여 그 효율이 높았던 것 때문이라고 판단된다.

BRONICA사의 비측정용 카메라의 경우, 측정용 카메라의 측정정밀도보다는 떨어지지만 어느정도 근접하는 정밀도를 얻을 수 있었다. 그러나 삼성카메라의 경우에 있어서 Z방향에 있어서의 평균제곱근오차가 크게

나타난 것은 X 및 Y방향의 오차가 다른 카메라의 경우보다 큰 원인도 있겠지만 카메라 초점길이가 짧은 사진의 축척이 작은 것이 큰 원인 이라고 판단된다.

6. 결 론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 측정용 사진은 물론, 비측정용 카메라로 촬영된 사진을 이용하여 대상물상의 점들에 관한 3차원 지상좌표를 얻기위한 수치화상처리기법을 제시할 수 있었다.
- 2) 수치화상처리기법에 의한 3차원 측정에 있어서 본 연구에서 사용한 BRONICA사의 비측정용 카메라의 경우, 측정용 카메라를 이용한 측정정밀도에 근접하는 정밀도를 얻을 수 있음을 알았다.
- 3) 비측정용 삼성카메라의 경우에 있어서 Z좌표의 측정정밀도를 향상시킬 수 있다면 측정용으로 사용될 수 있음을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 1994년도 한국과학재단 목적기초연구사업(핵심전문연구 과제번호: 941-1200-006-1)의 연구비 지원에 의하여 이루어졌음을 밝히며 이 재단에 감사드립니다.

參考文獻

1. 강준목, 오원진, 한승희, "비측량용 사진기에 의한 근접 사진 해석의 정확도 향상에 관한 연구", 대한토목학회 논문집, 제12권, 제2호, 1992, pp. 151-159.
2. 강준목, 오원진, "비측량용 사진기에 의한 초근접 사진해석", 한국측지학회지, 제8권, 제2호, 1990, pp. 23-29.
3. 안철호, 연상호, 박병욱, 이병길, "인공위성 데이터를 이용한 정사투영화상의 작성", 한국측지학회지, 제10권, 제1호, 1992, pp. 1-7.
4. 안기원, 수치화상처리기법을 이용한 지상사진의 정사투영화상의 작성, 한국과학재단연구 보고서, 1993.
5. 유복모, 조기성, 이현직, 노도영, "영상정합에 의한 SPOT 위성영상의 3차원 위치결정에 관한 연구", 한국측지학회지, 제9권, 제2호, pp. 49-56.
6. 윤종성, PC와 저가의 Scanner를 이용한 정사투영사진

- 제작에 관한 연구, 서울대학교석사 학위논문, 1991.
7. El-Hakim, S.F., "A Hierarchical Approach to Stereo Vision", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 55, No. 4, 1989, pp. 443-448.
 8. Oimeon, D.C., "Evaluation of a Tablet Digitizer for Photogrammetry", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 53, No. 6, pp. 601-603.
 9. Shortis, M. R., "Precision Evaluations of Digital Imagery for Close-Range", *Photogrammetric Application, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 54, No. 10, pp. 1395-1401.
 10. Wong, K.W. and W.H.Ho, "Close-Range Mapping with a Solid State Camera", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 52, No. 1, 1986, pp. 67-74.
 11. Haung, H.H., *Digital Ortho-Photo Mapping Using Non-Metric Cameras*, Ph.D. Thesis of the Univ. of Wisconsin-Madison, 1986.
 12. Perlant, F.P. and D.M.Mckeown, "Scene Registration in Aerial Image Analysis", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 55, No. 4, 1990, pp. 481-493.
 13. Trinder, J.C., "Precision of Digital Target Location", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 55, No. 6, 1989, pp. 883-886.