

외부표정요소를 이용한 CCD 카메라 스캐너의 기하학적 왜곡 보정기법 연구

A Study on the Geometric Correction of a CCD Camera Scanner Using the Exterior Orientation Parameters

안기원* · 문명상**

Ahn Ki-Won · Moon Myung-Sang

요 旨

CCD 카메라 스캐너에 의한 지상사진의 스캐닝에 있어서 발생하는 기하학적 왜곡을 외부표정요소를 이용하여 수치적으로 보정하는 기법을 제시하였다. 먼저 CCD 카메라 스캐너의 외부표정요소를 구한 후, 이를 이용하여 수치화상의 전 화소에 대응하는 사진좌표를 구하였다. 얻어진 사진좌표와 수치화상데이터 값으로부터, 거리의 역에 따른 가중평균법을 적용하여 X 및 Y좌표 0.05 mm 마다의 스캐닝 왜곡이 보정된 화상을 작성할 수 있었다. 검사점의 보정화상좌표와 실측사진좌표를 비교하여 스캐닝 기하학적 왜곡 보정화상 작성기법의 유효성을 검증할 수 있었다.

ABSTRACT

Investigation is given to the detailed procedure of a computer assisted automatic correction for scanning errors of the digital images of close-range photographs scanned by the CCD camera scanner. After determination of the exterior orientation parameters, photo coordinates of the all pixels were calculated using collinearity equation. For the generation of geometric corrected image from the photo coordinates of the all pixels, inverse-weighted-average method was used. And the accuracy of the resulting new image was checked comparing its image coordinates with there corresponding ground coordinates for the check points.

1. 서 론

중요한 지상 구조물의 정밀 3차원 측정에 있어서 사진측량방법이 널리 사용되어 왔다. 그러나 컴퓨터화 및 자동화되어 가고 있는 현재에 있어서는 구조물의 측정, 각종 지형정보의 추출 및 데이터의 관리에 종래의 사진측량방법 외에 컴퓨터의 이용과 수치화된 사진화상으로부터의 측정방법이 많이 시도되고 있다.^{1-4,14,16,20,21)}

촬영된 사진을 컴퓨터 처리가 가능한 수치사진화상으로 만들기 위하여는 스캐너를 사용하여야 한다. 그러나 촬영된 사진이나 음화 또는 양화 필름을 스캐닝할 때에는 스캐닝에 따르는 왜곡이 발생하게 된

다. 이 왜곡은 측정 정확도에 큰 영향을 미칠 수 있을 뿐만 아니라, 신뢰할 수 있는 측정결과를 얻기 위해서는 그 크기가 크지 않더라도 이론적 및 실험적으로 왜곡의 크기를 규명하고 보정하여야만 한다.^{6,9)}

스캐닝 왜곡의 보정에 관련된 연구는 그 필요성이 증대되고 있는 최근에 와서야 활발히 진행되고 있는 실정이다. 외국의 경우, 본 연구에서 사용된 CCD 카메라 스캐너와 다른 형태의 스캐너인 덴시토메타(Densitometer)를 이용하여 사진을 스캐닝할 때의 왜곡오차를 보정하는 기법을 연구한 사례가 있다.⁸⁻¹⁰⁾ 또한 사진의 스캐닝 과정을 거치지 않고 2대의 디지털 카메라로 대상을 직접 촬영하여 얻은 수치지상사진화상의 왜곡을 보정하는 기법을 연구한 사례도 있다.^{5,17)}

우리나라에 있어서는, 인화된 항공사진을 스캐닝하

*경상대학교 공과대학 토목공학과 부교수
**한국수자원공사 과장

여 얻어진 수치화상에 대하여 기복변위 등이 보정된 정사투영화상을 제작하는 연구가 시도된 바가 있으나, 스캐닝할 때의 왜곡은 고려하지 않았다.²¹⁾ 또한 스캐닝왜곡의 보정에 관련된 연구도 실행되긴 하였으나, 보정시에 있어서 단순히 1차에서 4차까지의 다항식을 적용·검토하여 효율적인 다항식으로 4차다항식을 제시하고, 보다 정밀한 보정기법 연구의 필요성을 제시한 바가 있다.²⁾ 본 연구에서는 스캐너(EIKONIX 1412 CCD Camera Scanner)에 의한 사진의 스캐닝시에 발생하는 기하학적 왜곡의 보정에 있어서 외부표점요소를 이용하는 수치적 보정기법을 제시하고자 하였다.

2. 지상사진촬영 및 필름변형측정

2.1 지상사진촬영

촬영대상물로는 Fig. 1과 같이 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.

촬영카메라로는 BRONICA사의 측정용 카메라(metric camera, 6×6 cm film format, 110 mm focal length)를 사용하였으며 필름은 해상력이 우수한 Kodak EPR 120 양화필름(Ektachrome 64 professional color reversal film)을 사용하였다. 촬영에 있어서는 대상물에 2개의 서치라이트(각 500 W)를 조명하였으며,

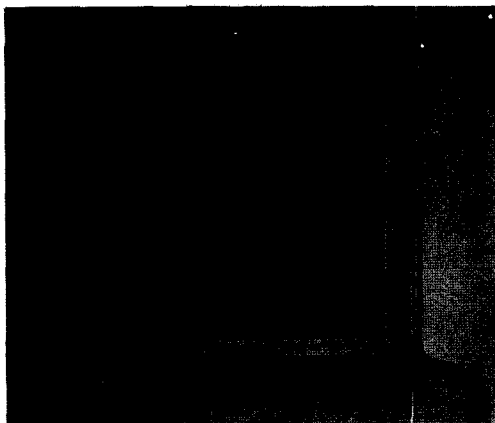
대상물에서 4 m 떨어진 곳에서 촬영기선 약 63 cm의 입체사진을 촬영하였다. 41개 기준점과 검사점 및 카메라 중심의 3차원 지상좌표는 데오도라이트를 이용한 삼각측량원리에 의하여 구하였다.

2.2 필름변형의 측정

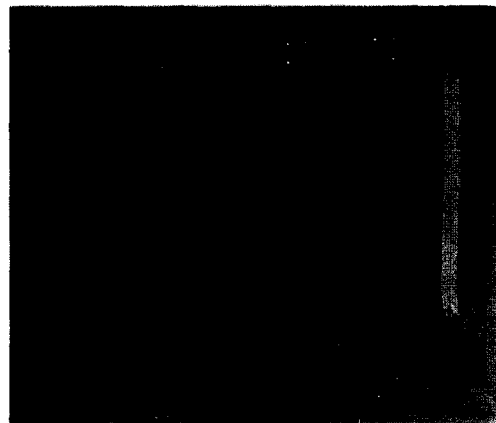
필름변형의 크기는 일반카메라에 비하여 측정용 카메라의 경우가 극히 작지만 요구되는 정밀도에 따라서는 필름변형의 크기를 무시할 수 없는 경우도 있다. 본 연구에 있어서는 필름변형의 크기를 정밀 측정한 후, 그 영향이 스캐너의 기하학적 왜곡과 비교하여 어느 정도의 크기인지 파악하고자 하였다.

본 연구에 사용된 카메라에는 Fig. 2와 같이 12.5 mm 간격의 십자선이 그려져 있는 레조플레이트(reseau plate)가 필름전면에 내장되어 있기 때문에 촬영된 필름 또는 사진에는 항상 이 십자선들이 나타나며 향후 각종 보정의 기준점으로 사용된다. 내장된 레조플레이트상과 필름상의 십자선들의 위치변화를 파악하기 위하여 이 점들의 레조플레이트상 좌표와 필름상 좌표를 정밀측정하여 비교해 본 결과, 좌우 필름에 있어서 Table 1과 같은 필름의 변형에 따르는 십자선들의 위치변화가 있었으며, 각 십자선 위치변화의 방향과 크기는 Fig. 3과 같았다.

Table 1에서 보는 바와 같이 25개 십자선들의 레조플레이트상 위치와 현상 후 필름상 위치를 각각 측정하여 비교한 결과, 위치변화에 대한 X 및 Y방향의 평균제곱근 오차가 좌측 필름에서는 ± 0.019 및 \pm



(a) Front view



(b) Side view

Fig. 1. The test field.

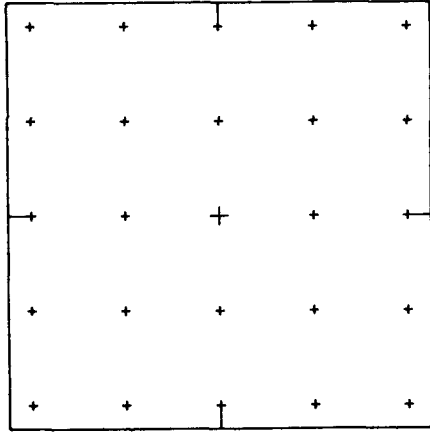


Fig. 2. Built-in reseau plate with 25 cross marks of BRONICA 6×6 metric camera (interval of cross marks; about 12.5 mm, line thickness of cross marks; 0.025 mm, size of cross marks; 0.8×0.8 mm, 1.6×1.6 mm or 0.8×2.0 mm).

0.016 mm, 우측 필름에서는 ± 0.059 및 ± 0.073 mm로 나타났다.

3. 스캐닝

촬영된 사진을 컴퓨터 처리가 가능한 수치사진화상으로 만들기 위하여는 스캐너를 사용하여야 하는데, 스캐너는 크게 마이크로 덴시토메타(microdensitometer)

Table 1. Results of the film deformations(unit: mm)

Film	Root Mean Square Errors	
	dX	dY
Left	± 0.019	± 0.016
Right	± 0.059	± 0.073

와 카메라 스캐너(camera scanner)의 두가지 종류로 나눌 수 있다.^{12,15)} 이 스캐너들은 각기 장단점이 있으나 카메라 스캐너는 사용하기 간편하고 스캐닝하는 동안 안정성이 있으며 동일한 크기의 사진이라도 해상력을 광범위하게 조절할 수 있다는 장점 때문에 널리 사용되고 있다.¹¹⁾ 본 연구에서는 카메라 스캐너의 일종인 CCD(charge coupled device) 카메라 스캐너를 사용하였는데 이 스캐너는 사진측량 응용 분야에서 많이 활용되고 있다.¹⁷⁾

현상된 좌·우 필름을 CCD 카메라 스캐너(EIKONIX 1412)로 스캐닝하여 각각의 수치화상 데이터를 얻었다. 이 스캐너는 4096개의 CCD센서(한개의 센서크기는 약 7×7 μm)가 1열로 배열되어 있고, 일정한 면적을 스캐닝하기 위하여 이 1열의 CCD가 스캐닝 라인에 직각인 방향으로 움직이도록 제작되어 있다. 따라서 한번에 최대 4096×4096 화소 크기까지 조정이 가능하다.

CCD 카메라 스캐너의 스캐닝 원리는 대상필름을 통과한 빛의 강도가 CCD에 의하여 12비트 데이터로

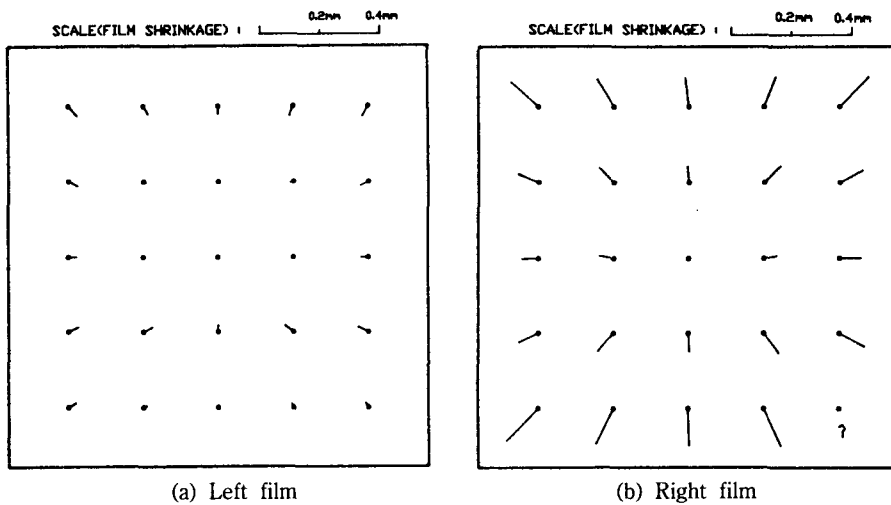


Fig. 3. Vector diagram of position shifts for 25 cross marks before and after film processing.

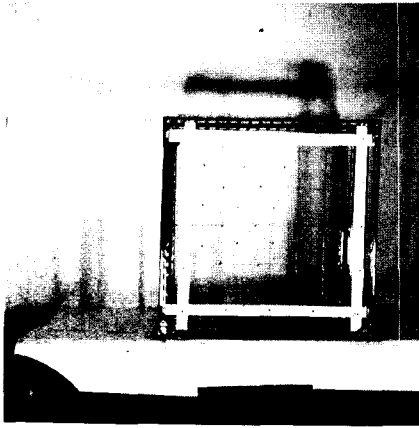


Fig. 4. Digital image of left photo.

변환되는 것이다. 따라서 사진의 흑백농도에 따라 0에서 4095의 데이터 값으로 변환되며 사진의 어두운 부분은 0, 밝은 부분은 4095에 가까운 값으로 나타나게 된다.

본 연구에 사용된 CCD 카메라 스캐너에는 초점 거리 55 mm의 Nikon 렌즈가 부착되어 있으며 이 렌즈의 상이 맺히는 부분 즉, 일반 카메라에 있어서 필름이 위치하는 곳에 4096개의 CCD 소자로 구성된 1열의 CCD가 내장되어 있는 구조로 되어 있다. 이 스캐너는 칼라사진의 스캐닝도 가능하고 칼라사진의 스캐닝시에는 청색, 녹색 및 황색의 농도에 따른 3가지 색깔별 수치화상으로 각각 스캐닝할 수 있다.

본 연구에 있어서는 화상처리에 사용될 퍼스널 컴퓨터의 용량과 처리속도를 감안하여 좌우칼라필름을 흑백농도에 따라 각각 1개의 수치화상이 되도록 스캐닝하였으며, 약 5.6×5.6 cm 크기의 필름을 1024×1024 화소 크기의 화상이 되도록 하였으므로 결국, 스캐닝 후에 얻어진 수치화상에 있어서 한 화소의 크기는 필름상 약 55×55 μm의 크기에 해당하며, 데이터 값은 0에서 4095 사이의 값 대신 0에서 255 사이가 되도록 하였다. Fig. 4는 스캐닝된 수치화상 중에서 좌측화상(1024×1024 화소 크기)을 필름레코더(film recorder)로 출력하여 인화한 모습이다.

4. 스캐너 기하학적 왜곡의 보정

4.1 스캐너 왜곡

스캐닝 과정에서 생길 수 있는 왜곡의 종류로는

방사왜곡과 기하학적 왜곡의 두 종류로 나눌 수 있는데, 방사왜곡은 스캐닝하여 얻어지는 화상데이터 값의 변화와 관련이 있는 것이고, 기하학적 왜곡은 위치의 변화와 관련이 있는 것으로서 측정분야에 있어서는 기하학적 왜곡의 영향이 더 문제가 되고 있다.

CCD 카메라 스캐너의 기하학적 왜곡은 카메라에 관련된 왜곡과 CCD에 관련된 왜곡으로 나눌 수 있다. 카메라에 관련된 것으로는 카메라의 외부표정요소에 따른 왜곡, 광축의 비수직성으로 인한 왜곡 및 렌즈 왜곡이 대부분이며^{5,13)} 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 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.

4.2 외부표정요소의 결정

정밀측정분야에 있어서는 CCD 카메라 스캐너의 왜곡중 기하학적 왜곡 즉, 위치에 관련된 왜곡이 중요한 의미를 갖게 되며, 이 기하학적 왜곡의 크기와 방향을 규명하고 그 영향이 무시될 수 없는 정도이면 이를 보정하여야만 한다. 본 연구에서는 기하학적 왜곡만을 대상으로 하여 기하학적 왜곡의 크기를 파악하고 보정하고자 하였다. 기하학적 왜곡의 보정방법으로는 최소제곱법에 의하여 결정된 다항식을 이용하는 방법^{2,19)}과 기하학적 왜곡의 주원인인 외부표정요소를 이용하는 방법으로 나눌 수 있는데, 스캐너의 3차원 위치와 회전요소를 이용하는 외부표정방법이 보다 체계적인 방법이라 할 수 있다.

본 연구에서는 기하학적 왜곡중에서도 그 크기가 대부분을 차지하고 있는 CCD 카메라 외부표정요소에 따른 왜곡만을 대상으로 하였다. 외부표정요소라 하면 지상좌표체계에 있어서의 CCD 카메라 렌즈 중심의 3차원 위치 X_0, Y_0, Z_0 와 X, Y 및 Z 축에 대한 카메라 회전요소 ω, ϕ, κ 등 모두 6개 요소를 말한다. 스캐너의 외부표정요소를 이용하여 기하학적 왜곡을 보정하기 위하여는 우선 스캐닝 당시의 외부표정요소를 구해야 한다. 이를 위하여 번들조정(bundle adjustment) 기법을 적용하였다. 이 방법의 원리를 설명하면 다음과 같다. Fig. 5에서 CCD 카메라 중심과 임의 점

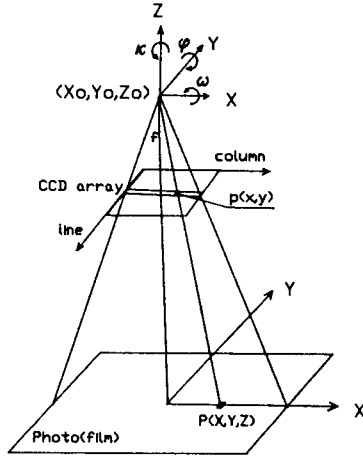


Fig. 5. Collinearity condition.

P의 화상위치 및 사진상위치 사이에는 다음과 같은 공선조건식이 성립한다.

$$x = -f \cdot \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) - m_{13}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) - m_{33}(Z - Z_0)} \quad (4.1)$$

$$y = -f \cdot \frac{m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) - m_{23}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) - m_{33}(Z - Z_0)}$$

여기서, (x, y): 임의 점의 화상좌표
 f: 스캐너에 부착되어 있는 카메라의 초점거리
 (X, Y, Z): 구하고자 하는 임의 점의 지상좌표
 (X₀, Y₀, Z₀): 외부표정요소로서 스캐너의 사진좌표 체계상 3차원 위치
 m_{ij}: 스캐너의 X, Y 및 Z축에 대한 스캐닝 당시의 회전행렬요소

즉, CCD 카메라 중심의 지상좌표(본 연구에서는 필름이 스캐닝 대상물이므로 사진좌표가 됨) (X₀, Y₀, Z₀)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 (4.2)를 이용하여 CCD 카메라 중심의 지상좌표와 회전요소 및 임의 점의 화상좌표를 알면 지상좌표 P(X, Y)를 구할 수 있다.

$$X = -Z_0 \cdot \frac{m_{11} x + m_{21} y - m_{31} f}{m_{13} x + m_{23} y - m_{33} f} + X_0 \quad (4.2)$$

$$Y = -Z_0 \cdot \frac{m_{12} x + m_{22} y - m_{32} f}{m_{13} x + m_{23} y - m_{33} f} + Y_0$$

식 (4.1)은 비선형 방정식이므로 이를 Taylor 급수

전개식에 의하여 선형화하면 다음과 같은 공식을 얻을 수 있다.

$$v_x = F(X_{00}, Y_{00}, Z_{00}, \omega_0, \phi_0, \kappa_0) - \frac{\partial F}{\partial X_0} \Delta X_0 - \frac{\partial F}{\partial Y_0} \Delta Y_0 - \frac{\partial F}{\partial Z_0} \Delta Z_0 - \frac{\partial F}{\partial \omega} \Delta \omega - \frac{\partial F}{\partial \phi} \Delta \phi - \frac{\partial F}{\partial \kappa} \Delta \kappa \quad (4.3)$$

$$v_y = G(X_{00}, Y_{00}, Z_{00}, \omega_0, \phi_0, \kappa_0) - \frac{\partial G}{\partial X_0} \Delta X_0 - \frac{\partial G}{\partial Y_0} \Delta Y_0 - \frac{\partial G}{\partial Z_0} \Delta Z_0 - \frac{\partial G}{\partial \omega} \Delta \omega - \frac{\partial G}{\partial \phi} \Delta \phi - \frac{\partial G}{\partial \kappa} \Delta \kappa$$

식 (4.3)에 6개 외부표정요소의 초기근사값과 기준점의 지상좌표 및 화상좌표를 입력하고 최소제곱법을 적용하여 잔차 v_x 및 v_y의 제곱합이 최소가 될 때의 외부표정요소를 구하는 작업을 반복계산하면 최종적인 외부표정요소를 얻을 수 있다. 외부표정요소가 결정되면 식 (4.2)에 검사점의 화상좌표를 입력하여 지상좌표 즉, 사진좌표를 구하여 실측좌표와 비교함으로써 결정된 외부표정요소의 정밀도를 검사해 볼 수 있다.

본 연구에 있어서는 19점의 기준점을 사용하여 스캐너의 6개(ω, φ, κ, X₀, Y₀, Z₀) 외부표정요소를 구하였으며, 이 외부표정요소를 이용하여 22점의 검사점에 대한 사진좌표를 계산한 후, 실측 사진좌표와 비교하여 보았다. 특히, 기준점 및 검사점의 수치화상좌표는 각 점 주변의 화소들을 대상으로 다음 식에 의한 센트로이드방법(centroid method)을 적용하여 비교적 정밀한 값을 얻을 수 있었다.^{17,18,22)}

$$I = \frac{\sum(D_i \times I_i)}{\sum D_i}, \quad J = \frac{\sum(D_i \times J_i)}{\sum D_i}$$

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

외부표정요소 초기값의 입력에 있어서 회전요소는 정확한 값을 알 수 없어서 모두 0으로, (X₀, Y₀)는 사진중심이 스캐닝된 화상중심과 벗어난 크기를 사진상의 크기로 환산하여 사용하였으며 Z₀는 스캐닝 당시의 값을 대략적으로 측정한 값이다. 입력된 외

Table 2. Initial value of exterior orientation parameters(unit: rad. and mm)

Parameter	Left Image
ω	0.000
ϕ	0.000
κ	0.000
X_0	-0.764
Y_0	0.164
Z_0	55.000

Table 3. Exterior orientation parameters determined (unit: rad. and mm)

Parameter	Left Image
ω	0.00253878
ϕ	-0.00127209
κ	-0.00243003
X_0	-0.092
Y_0	-0.152
Z_0	54.903

부표정요소 초기값과 결정된 외부표정요소는 Table 2 및 Table 3에서 보는 바와 같았다.

결정된 외부표정요소와 식 (4.2)를 이용하여 19개의 기준점에 대하여 사진좌표를 계산한 후, 실측 사진좌표와 비교하여 보았다. Table 4에서 보는 바와 같이 X 및 Y좌표에 있어서 19개 기준점의 잔차의 평균제곱근오차가 ± 0.007 mm로 나타났으며, 이는 수치화상 1 화소의 크기가 약 0.055 mm란 점을 감안한다면 화상좌표에 있어서는 ± 0.127 화소 크기에 해당한다. 이 크기는 다항식을 적용한 기존 연구결과²⁾보다는 작은 값으로서 만족할 만한 결과라고 생각된다.

결정된 외부표정요소와 식 (4.2)를 이용하여 22개의 검사점에 대해서도 사진좌표를 계산한 후, 실측 사진좌표와 비교하여 보았다. Table 5에서 보는 바와 같이 22개의 검사점에 대한 X 및 Y방향의 평균제곱근오차가 각각 ± 0.016 및 ± 0.015 mm의 작은 값으로 나타났는데 그 이유는 센트로이드 방법을 적용하여 기준점 및 검사점의 화상좌표를 0.01 화소 단위까지의 비교적 정밀한 값을 입력할 수 있었기 때문이라고 판단된다.

Table 4. Results of the 19 control points(unit: mm)

Image	Control Points Used	Residuals	
		dX	dY
Left	19	± 0.007	± 0.007

Table 5. RMSE of the 22 check points(unit: mm)

Image	Control Points Used	Root Mean Square Errors	
		dX	dY
Left	22	± 0.016	± 0.015

4.3 기하학적 왜곡의 보정

스캐닝된 수치화상의 기하학적 왜곡을 보정하기 위하여는 각 화소에 대응하는 사진좌표를 추출하여 사용하여야만 한다. 전 화소를 대상으로 식 (4.2)를 사용하여 사진좌표를 구할 수 있었으며, 이때의 사용화상의 크기는 1024×1024 크기의 원화상중에서 600×600 화소 크기의 화상을 절출하여 사용하였으므로 모두 360,000 화소에 대응하는 사진좌표가 얻어졌다. 얻어진 360,000점의 사진좌표는 스캐너의 기하학적 왜곡이 포함되어 있는 화상의 각 화소 중심마다의 좌표이다. 즉, 스캐너 외부표정요소와 사진상 점의 위치 등에 따른 변위가 포함되어 있는 중심투영화상의 화소에 대응되는 사진좌표이며 일정한 간격마다의 사진좌표가 아닌 산재되어 있는 점들의 사진좌표이다.

따라서 추출된 사진좌표를 이용하여 변위가 보정된 즉, 사진상 일정한 간격에 해당하는 새로운 화상을 만들 필요가 있다. 본 연구에서는 간격이 일정치 않은 360,000점의 사진좌표와 화상데이터 값으로부터 거리의 역에 따른 가중평균법(inverse-weighted-distance average method)을 사용한 내삽(interpolation) 기법을 통하여 스캐너 기하학적 왜곡이 보정된 새로운 화상을 적성할 수 있었다. X 및 Y좌표 0.05 mm 마다의 기하보정된 화상을 작성하기 위하여 먼저, 0.05 mm 격자점 주변의 점들에 대하여 거리를 계산하여 정렬(sorting)한 후, 격자점과의 거리가 가장 가까운 6점을 선정하고 다음 식에 의하여 격자점마다의 화상데이터를 다시 계산하였다.

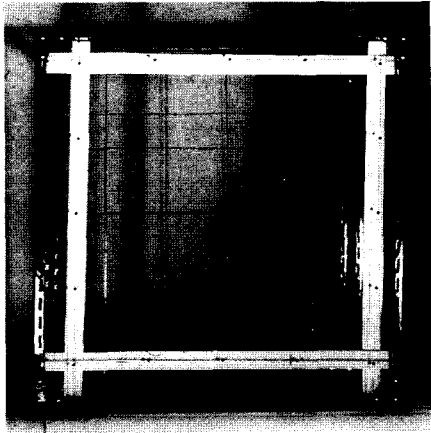


Fig. 6. Digital image used for geometric correction (600×600 pixel size).

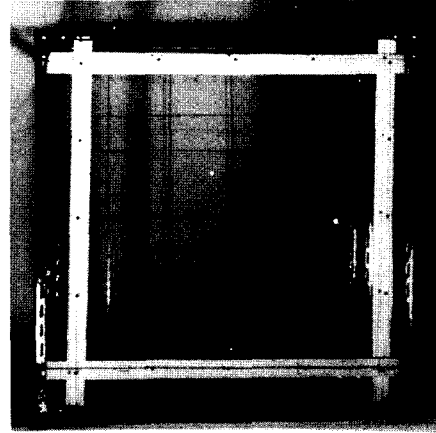


Fig. 7. Resulting image corrected for scanning errors (645×640 pixel size).

$$D_i = \frac{\sum_{i=1}^n D_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

여기서, D_i : 구하고자 하는 격자점의 데이터 값
 W_i (weight): $1/d_i$ (d_i 는 격자점으로부터 주변점까지의 거리)
 n (사용점수): 6

이와 같은 방법으로 스캐닝 왜곡이 보정된 새로운 화상을 작성하였으며 이 화상의 크기는 645×640 (line×column) 화소 크기였다. Fig. 6은 보정 이전의 원화상이고 Fig. 7은 최종 결과로서 얻어진 스캐닝 기하학적 왜곡이 보정된 화상이다. 이 화상의 1 화소의 크기는 사진상 0.05×0.05 mm 크기에 해당되며, 첫 화소의 사진좌표를 -8.5 및 14.1 mm(X 및 Y좌표)로 하였으므로 각 화소의 화상좌표를 알면 사진좌표를 구할 수 있게 된다.

5. 보정화상의 평가

작성된 기하보정화상을 평가하기 위하여 보정화상 내의 22개의 검사점에 대하여 X 및 Y좌표를 비교하여 보았다. 보정화상에 있어서의 검사점의 X 및 Y좌표는 1) 보정화상에서 센트로이드 방법을 이용하여 화소 이하의 단위로 화상 좌표를 읽은 후 2) 보정화상 첫 화소의 사진좌표(X=-8.5 mm, Y=14.1 mm) 및 각

화소크기(0.05 mm×0.05 mm)를 고려하여 계산할 수 있었다. Table 6은 보정화상에서 얻은 검사점들의 X 및 Y좌표와 정밀측정된 실측 사진좌표를 비교한 결과이다. Table 6 및 Fig. 8에서 보는 바와 같이 보정 화상에 있어서 22개 검사점의 X 및 Y좌표에 대한 평균제곱근오차는 각각 ±0.013 및 ±0.015 mm의 작은 값으로 나타났으며, 보정화상의 1화소 크기가 0.05×0.05 mm인 점을 감안한다면 화상좌표로는 ±0.26 및 ±0.30 화소(column 및 line)에 해당하는 값이다. 따라서 스캐닝 외부표정 및 내삼의 과정을 거쳐 스캐너의 기하학적 왜곡을 보정할 수 있었으며, 최종결과로서 작성된 보정화상의 정밀도도 만족스러운 결과이었다.

6. 결 론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) CCD 카메라 스캐너의 외부표정요소를 이용하여, 스캐닝된 수치사진화상의 기하학적 왜곡 보정기법을 제시할 수 있었다.

2) 스캐너의 외부표정요소를 결정한 후, 화상좌표로부터 기준점들의 사진좌표를 구하여 실측 사진좌표와 비교하여 본 결과, X 및 Y좌표의 평균제곱근오차가 각각 ±0.007 mm로 나타났으며, 화상좌표에 있어서는 ±0.127 화소 크기에 해당하였다. 이 크기는 다항식을 적용한 기존 연구결과보다는 작은 값으로서

Table 6. Comparison of X and Y coordinates of the check points between field survey ground coordinates and extracted coordinates from resulting geometric corrected image(unit of line & column: pixel, unit of X & Y: mm)

Check Points No.	Error of Photo Coord. X			Error of Photo Coord. Y		
	From Centroid Method	From Measure-Scope	Error	From Centroid Method	From Measure-Scope	Error
2	2.770	2.757	0.013	9.632	9.629	0.003
4	13.821	13.811	0.010	9.522	9.522	0.000
6	19.267	19.249	0.017	3.671	3.675	-0.004
8	18.872	18.884	-0.012	-7.282	-7.316	0.034
10	12.990	13.002	-0.012	-12.500	-12.523	0.023
12	2.000	2.028	-0.028	-12.361	-12.348	-0.013
14	-3.341	-3.324	-0.017	-7.099	-7.095	-0.004
16	-2.992	-2.987	-0.005	3.927	3.935	-0.008
18	4.194	4.210	-0.016	5.625	5.627	-0.002
20	14.549	14.551	-0.002	5.669	5.660	0.009
21	14.448	14.450	-0.002	0.595	0.577	0.018
24	9.090	9.096	-0.006	-9.701	-9.721	0.020
26	-1.146	-1.118	-0.028	-9.451	-9.417	-0.034
27	-1.024	-1.018	-0.006	-4.324	-4.323	-0.001
29	1.579	1.582	-0.003	3.024	3.005	0.019
31	11.095	11.092	0.003	2.868	2.858	0.010
33	10.875	10.878	-0.003	-6.551	-6.554	0.003
35	1.350	1.363	-0.013	-6.462	-6.446	-0.016
37	3.477	3.470	0.007	0.500	0.503	-0.003
38	8.021	7.999	0.022	0.431	0.434	-0.003
39	7.951	7.951	0.000	-3.951	-3.951	0.000
40	3.422	3.417	0.005	-3.918	-3.915	-0.003
RMSE			± 0.013			± 0.015

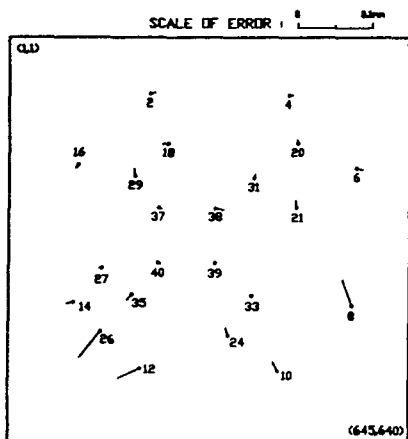


Fig. 8. Error vectors for the 22 check points for the resulting geometric corrected image.

보정의 정밀도를 향상시킬 수 있었다.

3) 필름변형의 크기가 외부표정요소를 이용한 검사점들의 사진좌표 추출오차의 1배 이상에 해당하므로 필름변형의 영향을 무시해서는 안되며, 이 영향에 대한 보정도 아울러 고려해야만 수치적 방법에 의한 지상 3차원좌표 추출시 스캐닝 왜곡보정의 유효성이 있게 됨을 알 수 있었다.

4) 외부표정요소 및 공선조건을 이용하여 좌측화상의 해석대상 영역내 전 화소의 사진좌표를 추출할 수 있었으며 거리의 역에 따른 가중평균법을 사용한 내삽기법을 통하여 X 및 Y좌표 0.05 mm 마다의 스캐닝 기하학적 왜곡이 보정된 새로운 화상을 작성할 수 있었다. 작성된 보정화상을 평가하여 본 결과, 22개

검사점의 X 및 Y 방향에 대한 평균제곱근오차가 사진좌표로는 ± 0.013 mm 및 ± 0.015 mm, 화상좌표로는 ± 0.26 mm 및 ± 0.30 mm 화소의 크기로 나타났으며 스캐닝 기하학적 왜곡 보정기법의 유효성을 검증할 수 있었다.

참고문헌

1. 안철호 외, "인공위성 데이터를 이용한 정사투영사진 제작에 관한 연구", 한국측지학회지, 제10권, 제1호, 1992, pp. 1-7.
2. 안기원, "CCD Camera Scanner의 기하왜곡 보정기법 연구", 경상대학교 생산기술연구소 논문집, 제8집, 1992, pp. 105-110.
3. 안기원, 수치화상처리기법을 이용한 지상사진의 정사투영화상의 작성, 한국과학재단보고서, 1993.
4. Cappellini, V., et. al., "Digital Processing of Stereo Images and 3-D Reconstruction Techniques", International Journal of Remote Sensing, Vol. 12, No. 3, 1991, pp. 477-490.
5. Curry, S., S. Baumrind and J.M. Anderson, "Calibration of an Array Camera", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 52, No. 5, 1986, pp. 627-636.
6. Daehler, J., "Problems in Digital Image Acquisition with CCD Cameras", Proceedings of Intercommission Conference on Fast Processing of Photogrammetric Data, 1987, pp. 48-59.
7. El-Hakim, S.F., "Real Time Image Metrology with CCD Cameras", PE & RS, Vol. 52, No. 11, 1986, pp. 1757-1766.
8. Gaydos, L., et. al., "The Production of Orthophotographs by Digital Image Processing Techniques", Technical Papers of the 1986 ACSM-ASPRS Annual Convention, Vol. 4, 1986, pp. 241-249.
9. Haung, H.H., Digital Ortho-photo Mapping Using Non-metric Cameras, Ph.D. Thesis of the Univ. of Wisconsin-Madison, 1986.
10. Keating, T.J. and D.R. Boston, "Digital Orthophoto Production Using Scanning Microdensitometers", PE & RS, Vol. 45, No. 6, 1979, pp. 735-740.
11. Li, J.C. and T. Schenk, "An Accurate Camera Calibration for the Aerial Image Analysis", Proceedings of the 10th International Conference on Pattern Recognition of IEEE, 1990, pp. 207-209.
12. Lo, T.H.C. and H.H. Huang, "Geometric Fidelity Evaluation of Drum-type Scanning Microdensitometer", Technical Papers of 1986 ACSM-ASPRS Annual Convention, Vol. 4, 1986, pp. 314-318.
13. Moffit, F.H. and E.M. Mikhail, Photogrammetry, Happer & Row, Inc. Publishers, New York, 1980, pp. 589-602.
14. 박병욱, SPOT 위성데이터를 이용한 수치표고모델 생성에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문, 1991.
15. Perlant, F.P. and D.M. Mckeown, "Scene Registration in Aerial Image Analysis, PE & RS, Vol. 56, No. 4, 1990, pp. 481-493.
16. Shortis, M.R., "Precision Evaluations of Digital Imagery for Close-range Photogrammetric Application", PE & RS, Vol. 54, No. 10, 1988, pp. 1395-1401.
17. Stefanidis, M., P. Agouris and A.F. Schenk, "Evaluation of the Performance of a Digital Camera", Technical Papers of 1990 ACSM-ASPRS Annual Convention, Vol. 5, 1990, pp. 109-118.
18. Trinder, J.C., "Precision of Digital Target Location, PE & RS, Vol. 55, No. 6, 1989, pp. 883-886.
19. Welch, R., T.R. Jordan and M. Ehlers, "Comparative Evaluation of the Geodetic Accuracy and Cartographic Potential of Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper Image Data", PE & RS, Vol. 51, No. 9, 1985, pp. 1249-1262.
20. Wong, K.W. and W.H. Ho, "Close-range Mapping with a Solid State Camera", PE & RS, Vol. 52, No. 1, 1986, pp. 67-74.
21. 윤종성, PC와 저가의 Scanner를 이용한 정사투영사진 제작에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문, 1991.
22. Zhou, G., "Accurate Determination of Ellipse Centers in Digital Imagery", Technical Papers of 1986 ACSM-ASPRS Annual Convention, Vol. 5, 1986, 109-118.