

CCD Camera Scanner의 스캐닝 왜곡 보정기법 연구 Correction for Scanning Errors of a CCD Camera Scanner

안 기 원*
Ahn, Ki-Won

요 旨

촬영된 사진이나 음화 또는 양화필름을 스캐닝할 때에는 스캐닝에 따르는 기하왜곡이 발생하게 된다. 스캐닝 기하왜곡을 보정하기 위하여는 스캐닝 대상물상에 평면위치를 정확하게(수 μm 의 정확도) 알고 있는 선명한 기준점들이 있어야 한다. 특수한 측정용 카메라에 있어서는 필름면 앞에 내장되어 있는 레조플레이트의 십자선이 사진상에 나타나긴 하지만 비측정용 카메라인 경우에는 스캐닝 왜곡을 보정할 수 있는 기준점을 얻을 수 없기 때문에 이론적인 스캐닝 왜곡의 보정이 어렵다. 따라서 스캐닝 기하왜곡을 소거하기 위하여는 스캐닝하고자 하는 사진이나 필름 위에 올려 놓을 수 있는 건판이 필요하다. 본 연구에서는 스캐닝 왜곡 보정용 건판을 제작하고, 제작된 정밀보정건판의 사용을 통하여 CCD 카메라 스캐너로 사진을 스캐닝할 때에 발생하는 기하왜곡을 보정할 수 있었으며, 제시된 보정기법의 유효성을 검증할 수 있었다. 그리고 보정건판상의 기준점 형태에 따른 왜곡 보정 정밀도를 검사한 후, 보다 유효한 기준점 형태를 제시할 수 있었다.

ABSTRACT

One can see more and more photogrammetric applications dealing with the extraction of information from images obtained with CCD (Charge Coupled Device) camera scanners. In order for this information to be useful, the scanning errors of scanners must be known through a calibration. Investigation of this study is given to the detailed procedure of the correction for scanning errors created during the scanning of photographs with CCD camera scanner using the three kinds of high resolution reseau plates prepared. The geometric corrected digital images for scanning errors were generated and the accuracy of the resulting new images for each types of plates were checked comparing its image coordinates with there corresponding ground coordinates for the ckeck points.

1. 서 論

구조물의 측정과 각종 지형정보의 추출 및 데이터의 관리에 있어서, 수치화된 사진화상과 컴퓨터를 이용한 측정방법의 활용이 많이 시도되고 있다.^{1-5,8,14,15)} 촬영된 사진을 컴퓨터 처리가 가능한 수치사진화상으로 만들기 위하여는 스캐너를 사용하여야 하는데, CCD 카메라 스캐너(CCD camera scanner)는 사용하기 간편하고 스캐닝하는 동안 안정성이 있으며 동일한 크기의 사진이라도 해상력을 광범위(128×128에서 4096×4096 화소 크기까지)하게 조절할 수 있다는 장점

*경상대학교 공과대학 토목공학과 부교수

때문에 널리 사용되고 있다.^{6,9)}

촬영된 사진이나 필름을 스캐닝할 때에는 스캐닝에 따르는 왜곡이 발생하게 된다. 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.^{7,9)} 측정용 카메라의 경우, 필름 전면에 레조플레이트(reseau plate)가 내장되어 있으며 촬영된 사진에는 이 레조플레이트의 십자선들이 항상 나타나기 때문에 스캐너 왜곡의 보정에 활용할 수 있다. 그러나 필름자체가 현상이나 인화 과정에서 신축 및 기타의 변형이 생길 수 있기 때문에

보정의 어려움이 뒤따르게 되며 카메라 가격이 고가이므로 손쉬운 사진촬영이 어렵다.

비측정용 카메라인 경우에는 레조플레이트가 내장되어 있지 않기 때문에 스캐닝 왜곡을 보정할 수 있는 기준점들을 얻기가 어려우며 이론적인 스캐닝 왜곡의 보정이 어렵다. 따라서 비측정용 사진의 스캐닝 왜곡을 소거하기 위하여는 스캐닝 하고자 하는 사진이나 필름 위에 올려 놓을 수 있는 건판이 필요하며, 이 건판에는 평면위치를 정확하게 알고 있는 점들이 여러 점 표시되어 있어야 한다. 아울러 이 건판은 투명하면서도 굴절이 일정한 재질로 제작되어야만 방사왜곡을 줄일 수 있게 된다.

본 연구에서는 비측정용 카메라로 촬영된 사진의 스캐닝까지도 고려하여 보정건판을 제작한 후, 제작된 보정건판을 사용하여 CCD 카메라 스캐너의 스캐닝 왜곡을 보정할 수 있는 기법을 제시하고자 하였으며, 보정건판 내의 기준점 형태에 있어서도 종래에 주로 사용되던 십자선 형태보다 수치화상처리에 있어서 보다 유효하게 사용될 수 있는 기준점 형태를 결정하고자 하였다.

2. 지상사진촬영 및 보정건판의 제작

2.1 지상사진촬영

촬영대상물로는 정육면체(폭 1m, 높이 1m 및 깊이 1m)의 앵글을 조립한 후, 이 앵글에 일정한 간격과 깊이마다 철선을 매달았으며 이 철선에 직경 약 8 mm인 41개의 구슬을 고정하여 검사점으로 활용하였다. 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 BRONICA 사의 측정용 카메라 (metric camera, 6×6 cm film format, focal length 110 mm)를 사용하였으며 필름의 사용에 있어서는

흑백농담만으로 스캐닝할 것을 고려하여 흑백필름을 사용해야 함이 원칙이나 흑백필름의 구입 및 현상의 어려움을 감안하여 해상력이 우수한 Kodak EPR 120 양화필름(Ektachrome 64 professional color reversal film)을 사용하였다.

촬영에 있어서는 본 연구의 목적상 단사진을 촬영하여도 되나 향후의 연구에 활용될 가능성을 감안하여 입체사진을 촬영하였다. 즉, 대상물에 2개의 서치라이트(각 500 W)를 조명하였으며, 대상물에서 4 m 떨어진 곳에서 촬영기선 약 63 cm의 입체사진을 촬영하였다.

2.2 보정건판의 제작

스캐닝 왜곡을 보정하기 위하여는 스캐닝 대상물의 평면위치를 정확하게(수 μm 의 정확도) 알고 있는 선명한 기준점들이 필요하다. 특수한 측정용 카메라에 있어서는 필름면 앞에 내장되어 있는 레조플레이트의 십자선이 항상 사진상에 나타나긴 하지만 필름자체가 현상이나 인화과정에서 신축 및 기타의 변형이 생기기 때문에 스캐닝 왜곡보정의 어려움이 뒤따를 수 있으며 카메라 가격이 고가이기 때문에 손쉬운 사진촬영이 어렵다. 비측정용 카메라인 경우에는 레조플레이트가 내장되어 있지 않고 스캐닝 왜곡을 보정할 수 있는 기준점들을 얻기가 어렵기 때문에 이론적인 스캐닝 왜곡의 보정이 어렵다.

따라서 스캐닝 왜곡을 소거하기 위하여는 스캐닝 하고자 하는 사진이나 필름 위에 올려 놓을 수 있는 건판이 필요하며, 이 건판에는 평면위치를 정확하게 알고 있는 점들이 여러 점 표시되어 있어야 한다. 아울러 이 건판은 투명하면서도 굴절이 일정한 재질로 제작되어야만 방사왜곡을 줄일 수 있게 된다. 보정건판 내의 기준점 형태에 있어서도 종래에 주로 사용되던 십자선 형태는, 기준점의 보다 정확한 화상좌표 결정을 위한 센트로이드 방법(centroid method)의 적용에 있어서 유효한 형태는 아니기 때문에 보다 유효하고 정밀한 화상좌표를 추출할 수 있는 기준점 형태를 결정할 필요가 있다. 본 연구를 위한 보정건판의 제작에 있어서, 기준점 형태를 달리한 3개의 건판을 다음과 같은 순서에 의해 제작,사용하였다.

1) Fig. 1과 같은 형태의 기준점을 400배 확대하여 X-Y plotter로 플로팅한다. cross-1 type의 형태는 본

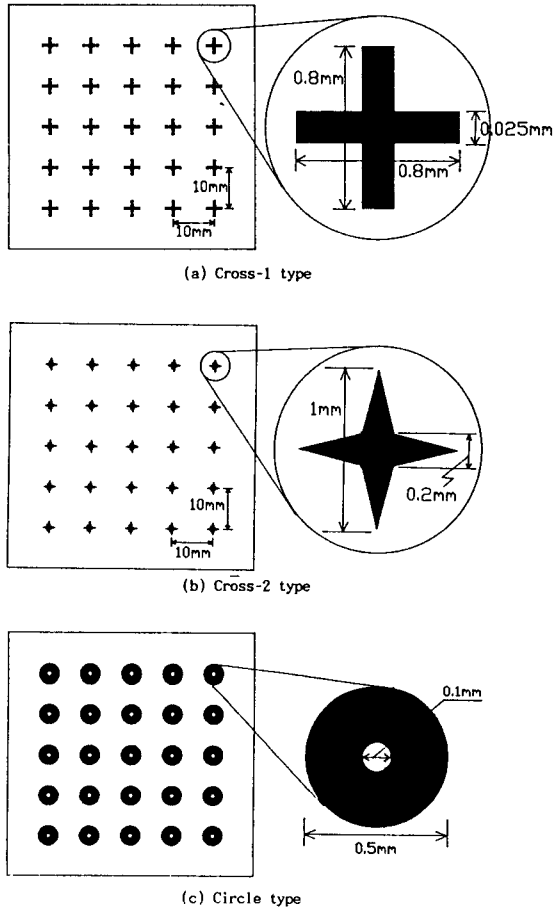


Fig. 1. Reseau glass plates prepared.

연구에서 사용한 측정용 카메라에 내장되어 있는 레조플레이트의 십자선 형태와 같게 하였고, cross-2 및 circle type의 경우에 있어서는 스캐닝 후의 수치화상에 있어서 한개의 기준점이 수십개의 화소로 구성되고 기준점 중앙의 화소값의 영향을 많이 받게 되는 센트로이드 방법을 고려하여 결정하였다.

2) 빛의 산란을 막고 선명한 보정용 기준점을 얻기 위하여 투명필름에 부착된 특수 코팅지를 플로팅된 기준점 모습대로 잘라낸다.

3) 상기 모습의 기준점이 1cm 간격으로 모두 25점(5열×5점/열)이 되도록 배치하면서 고해상도 건판(high resolution glass plate, 투명 및 굴절 일정, 크기 약 6×6 cm)을 사용하는 전자공학용 리더선 카메라(reduction camera)로 촬영한 후, 현상한다.

3. 스캐닝 왜곡오차의 보정

3.1 스캐닝

촬영된 사진을 컴퓨터 처리가 가능한 수치사진화상으로 만들기 위하여는 스캐너를 사용하여야 하며, 스캐너는 크게 마이크로 덴시토메타(microdensitometer)와 카메라 스캐너(camera scanner)의 두가지 종류로 나눌 수 있다. 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.

본 연구에서는 카메라 스캐너의 일종인 CCD 카메라 스캐너(EIKONIX 1412)를 사용하였으며 CCD 카메라 스캐너는 사진측량 응용 분야에서 많이 활용되고 있다. 이 카메라 스캐너는 4096개의 CCD 센서(한개의 센서 크기는 약 $7 \times 7 \mu\text{m}$)가 1열로 배열되어 있고, 일정한 면적을 스캐닝하기 위하여 이 1열의 CCD가 스캐닝 라인에 직각인 방향으로 움직이도록 제작되어 있다. 따라서 한번에 최대 4096×4096 화소의 해상력으로 수치화상데이터를 얻을 수 있으며, 해상력은 128×128 에서부터 4096×4096 화소 크기까지 조정이 가능하다.

CCD 카메라 스캐너의 스캐닝 원리는 대상필름을 통과한 빛의 강도가 CCD에 의하여 12비트 데이터로 변환되는 것이다. 따라서 사진의 흑백농도에 따라 0에서 4096의 데이터값으로 변환되며 사진의 어두운 부분은 0, 밝은 부분은 4096에 가까운 값으로 나타나게 된다.

본 연구에 사용된 CCD 카메라 스캐너에는 초점거리 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. 실제의 스캐닝에 있어서는

- 1) cross-1 type의 reseau plate
- 2) cross-2 type의 reseau plate
- 3) circle type의 reseau plate

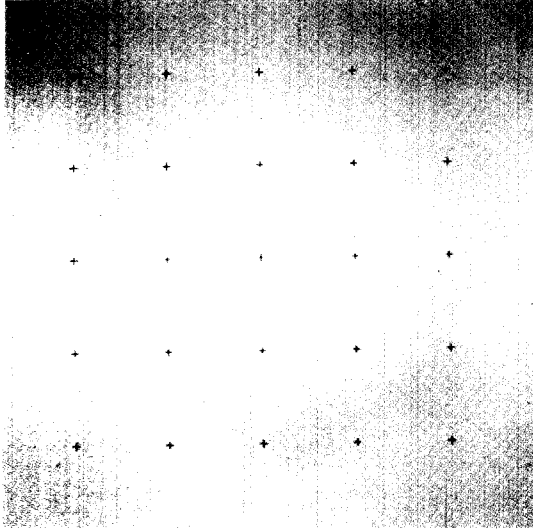


Fig. 2. Digital image of the cross-1 type reseau plate.

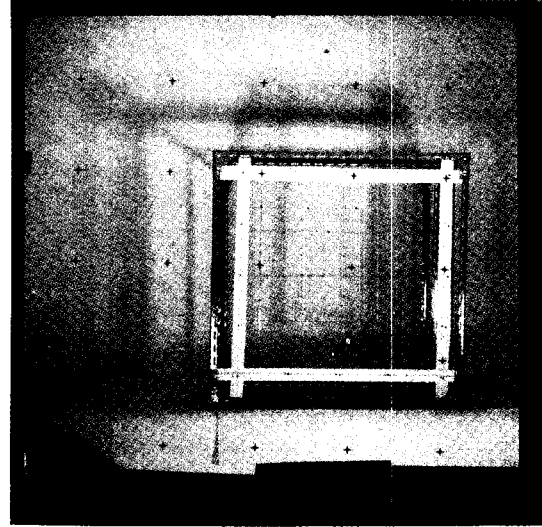


Fig. 3. Digital image of the left film with cross-2 type reseau plate.

- 4) 현상된 필름에 cross-1 type의 reseau plate를 올려 놓은 것
- 5) 현상된 필름에 cross-2 type의 reseau plate를 올려 놓은 것
- 6) 현상된 필름에 circle type의 reseau plate를 올려 놓은 것

등의 6가지 경우에 대하여 각각 스캐닝하였다. 6가지 경우의 스캐닝에 있어서 화상데이터의 양과 처리할 개인용 컴퓨터의 처리능력을 감안하여 약 5.7×5.7 cm 크기의 보정건판 및 필름을 1024×1024 화소 크기의 화상이 되도록 하였으므로 결국, 스캐닝 후에 얻어진 수치화상에 있어서의 한 화소 크기는 건판 또는 필름상 약 56×56 μm의 크기에 해당하며, 데이터 값은 0에서 255 사이가 되도록 하였다.

스캐닝된 6가지의 수치화상중에서 Fig. 2는 1) (cross-1 type의 reseau plate)을, Fig. 3은 5) (필름에 cross-2 type의 reseau plate를 올려 놓은 것)를 스캐닝하여 얻어진 수치화상이다.

3.2 보정건판의 스캐닝왜곡 보정정밀도 비교

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

있는 것으로서 측정분야에 있어서는 기하왜곡의 영향이 더 문제가 되고 있다.⁹⁾

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,^{9,10)} 특히 외부표정요소에 따른 왜곡이 다른 왜곡에 비하여 상대적으로 큰 부분을 차지하게 된다.²⁾ 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.^{9,12)}

본 연구에서는 기하왜곡 중에서도 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 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 변조조정기법을 적용하여야 한다.¹¹⁾

CCD 카메라 중심과 임의 점 P의 화상위치 및 사진상위치 사이에는 식 (3-1)과 같은 공선조건식이 성립한다.

$$x = -f \cdot \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) - m_{13}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) - m_{33}(Z - Z_0)} \quad (3-1)$$

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

여기서,

(x, y) ... 임의 점의 화상좌표

f ... 스캐너에 부착되어 있는 카메라의 초점거리

(X, Y, Z) ... 구하고자 하는 임의 점의 사진좌표

(X₀, Y₀, Z₀) ... 외부표정요소로서 스캐너의 사진좌표 체계상 3차원 위치

m_{ij} ... 스캐너의 X, Y 및 Z 축에 대한 스캐닝 당시의 회전형률요소

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

$$X = -Z_0 \frac{m_{11} x + m_{21} y - m_{31} f}{m_{13} x + m_{23} y - m_{33} f} + X_0 \quad (3-2)$$

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

식 (3-1)은 비선형 방정식이므로 이를 Taylor 급수 전개식에 의하여 선형화하고, 이 식에 6개 외부표정요소의 초기근사값과 기준점의 지상좌표 및 화상좌표를 입력하고 최소제곱법을 적용하여 x 및 y 방향의 잔차의 제곱합이 최소가 될 때의 외부표정요소를 구하는 작업을 반복계산하면 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 다음 식에 의한 센트로이드방법을 적용하여 비교적 정밀한 값을 얻을 수 있다.^{12,13)}

Table 1. RMSE of the check points in case of 3 kinds of reseau plate images (unit: mm)

Image of the Reseau Plate	Root Mean Square Errors	
	X	Y
Cross-1 Type	± 0.035	± 0.013
Cross-2 Type	± 0.026	± 0.015
Circle Type	± 0.027	± 0.014

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

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

제작된 3개의 보정건판중 어떤 기준점 모양의 보정건판이 보정효과가 클 수 있는지 파악하기 위하여 단지 보정건판들만을 각각 스캐닝하여 얻은 수치화상과 수치화상내의 25개 점들을 대상으로 외부표정기법을 적용하여 보았다. 특히 입력데이터중 25개 점들의 보정건판상 좌표로는 전자공학용 정밀좌표측정기(measure-scope)로 기측정된 좌표가, 화상좌표는 센트로이드방법에 의하여 얻어진 화상좌표가 사용되었다.

변동조정기법에 있어서 각 화상의 기준점 25개중 9~10점은 외부표정요소를 찾기 위한 기준점으로, 나머지 15~16개의 점은 찾아진 외부표정요소의 정밀도 비교를 위한 검사점으로 사용되었으며, 검사점들의 기측정된 보정건판상 좌표와 외부표정요소를 이용하여 얻은 보정건판상 좌표를 비교한 결과 Table 1과 같이 3가지 종류의 보정건판에 대한 외부표정요소 정밀도를 비교할 수 있었다.

Table 1에서 보는 바와 같이 cross-2 type과 circle type의 보정건판이 기존의 측정용 카메라의 필름전면에 주로 내장되어 있던 cross-1 type 건판의 경우보다 외부표정요소 정밀도가 높음을 알 수 있었으며 스캐닝 기하왜곡중 외부표정요소에 의한 기하왜곡이 대부분을 차지하고 있다는 사실을 감안한다면 결국, 스캐닝 기하왜곡을 보정하기 위한 보정건판의 기준점

모양은 cross-2 또는 circle type이 바람직함을 알 수 있었다. 그 이유는 센트로이드 방법의 성질상 각 점의 모양이 중앙부로 갈 수록 화소수가 많아지는 경우에 화상좌표추출 정밀도가 향상된다는 것 때문으로 판단된다.

3.3 기하왜곡의 보정

실제적으로 스캐닝 기하왜곡이 보정된 화상을 작성하고 보정정밀도를 확인하기 위하여

- 1) 현상된 필름에 cross-1 type의 보정건판을 올려 놓고 스캐닝한 화상
- 2) 현상된 필름에 cross-2 type의 보정건판을 올려 놓고 스캐닝한 화상
- 3) 현상된 필름에 circle type의 보정건판을 올려 놓고 스캐닝한 화상

의 세가지 화상을 대상으로 스캐닝 기하왜곡이 보정된 화상을 작성하고 보정정밀도를 비교하여 보았다.

먼저 스캐닝된 3가지 수치화상(1024×1024 화소 크기)들의 외부표정요소를 찾기 위하여 각각의 레조플레이트의 25개 기준점 중 화상내의 선명도가 좋은 각기 20개의 실측좌표와 화상좌표들을 번들조정의 입력자료로 활용하였다. 여기서 실측좌표는 전자공학용 정밀좌표측정기로 정밀측정한 좌표이고 화상좌표는 센트로이드방법으로 얻은 화상좌표를 말한다. 3가지 수치화상들의 각각에 대한 외부표정요소를 결정 한 후에는 각 화상들의 스캐너 기하왜곡을 보정하기 위하여 모든 화소에 대응하는 사진좌표를 추출하여 사용하여야만 한다. 본 연구에서는 1024×1024 화소 크기의 3가지 수치화상들 각각에 대한 외부표정요소를 결정 한 후, 각각 주 해석대상영역인 600×600 화소 즉, 360,000 화소에 대응하는 사진좌표를 구하였다.

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 간격 마다의 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 않은 360,000점의 사진좌표와 화상데이터 값으로부터 거리의 역에 따른 가중중량법을 사용한 보간기법을 통

하여 스캐너 기하왜곡이 보정된 새로운 화상을 작성할 수 있었다.

사진상 X 및 Y좌표 0.05 mm 마다의 기하보정된 화상을 작성하기 위하여 먼저, 0.05 mm 격자점 주변의 점들에 대하여 거리를 계산하여 정렬한 후, 격자점과의 거리가 가장 가까운 6점을 선정하고 다음 식에 의하여 격자점 마다의 화상데이터를 다시 계산하였다.

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

단, D_i 는 구하고자 하는 격자점의 데이터 값

W_i (weight)= $1/d_i$ (d_i 는 격자점으로부터 주변점까지의 거리)

n (사용점수)=6

이와 같은 방법으로 Fig. 4와 같은 3가지 화상에 대한 스캐닝 왜곡이 보정된 새로운 화상들을 작성하였으며 이 화상들의 크기는 650×650 화소 크기였다. 이 화상들의 1화소의 크기는 사진상 0.05×0.05 mm 크기에 해당하며, 첫 화소의 사진좌표를 고려하면 각 화소의 사진좌표를 구할 수 있게 된다.

4. 보정화상의 평가

작성된 3가지 기하보정화상들을 평가하기 위하여 각각의 보정화상내에 포함되어 있는 41개의 검사점들을 대상으로

1) 센트로이드 방법을 이용하여 화소 이하의 단위로 추출한 화상좌표로부터 사진상 0.05×0.05 mm 크기가 1개의 화소에 해당함을 고려하여 환산한 사진좌표

2) measure-scope로 실측한 사진좌표

를 비교하였다. Table 2는 41개 검사점들을 대상으로 위와 같은 방법으로 비교하여 얻어진 스캐닝 기하왜곡 보정화상들의 보정정밀도이다. Table 2에서 보는 바와 같이 보정화상에 있어서 41개 검사점들의 사진좌표에 대한 평균제곱근오차는 X 및 Y 방향으로 cross-1 type의 보정건판을 올려 놓은 화상에서는 ±0.020 및 ±0.023 mm, cross-2 type의 보정건판을 올려놓은 화상에서는 ±0.017 및 ±0.019 mm, circle type의 보정건판을 올려 놓은 화상에서는 ±0.022 및 ±0.020 mm의 작은 값으로 나타났으며, 보정화상의 1화소

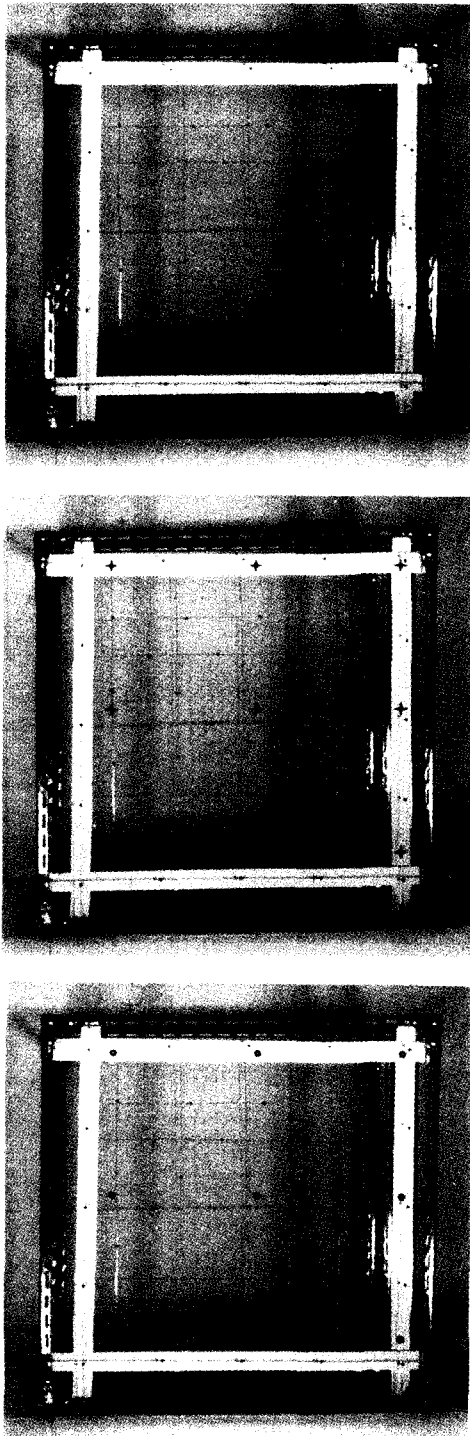


Fig. 4. Resulting images corrected for scanning errors (each 650×650 pixel size).

Table 2. Comparison of the coordinates of the 41 check points between field survey coordinates and transformed coordinates from resulting each geometric corrected images (unit: mm)

Digital Image Corrected	RMSE of the Image Coordinates	
	X	Y
Digital Image with Cross-1 Type Reseau Plate	± 0.020	± 0.023
Digital Image with Cross-2 Type Reseau Plate	± 0.017	± 0.019
Digital Image with Circle Type Reseau Plate	± 0.022	± 0.020

크기가 0.05×0.05 mm인 점을 감안한다면 화상좌표로는 행 및 열방향으로 ± 0.40 및 ± 0.46화소, ± 0.34 및 ± 0.38화소, ± 0.44 및 ± 0.40화소 크기에 해당하는 값이다.

따라서 스캐닝, 외부표정 및 내삽의 과정을 거쳐 스캐너의 기하왜곡을 보정할 수 있었으며, 최종결과로서 작성된 보정화상의 정밀도도 만족스러운 결과이었다.

5. 결 론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 제작된 정밀보정건판의 사용을 통하여, CCD 카메라 스캐너로 측정용 또는 비측정용 사진을 스캐닝할 때에 발생하는 기하왜곡을 보정할 수 있는 기법을 제시할 수 있었으며, 제시된 보정기법의 유효성을 검증할 수 있었다. 따라서 비측정용 카메라에는 보정건판이 내장되어 있지 않기 때문에 이 카메라로 촬영된 사진을 수치화상처리할 때에 항상 어려움이

뒤따르던 스캐닝 기하왜곡의 보정처리가 가능함을 알 수 있었다.

2) 사진을 CCD 카메라 스캐너로 스캐닝할 때에 발생하는 기하왜곡의 보정처리를 위한 보정전판상의 기준점 모양으로는 종래에 자주 사용되던 cross-1 type보다는 cross-2 type 또는 circle type이 다소 효과적이며 특히, cross-2 type이 유효함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 1993년도 한국과학재단 핵심전문연구과제(과제번호 : 931-1200-014-1)의 연구비 지원에 의하여 이루어졌음을 밝히며 이 재단에 감사드립니다.

參考文獻

1. 안기원, "수치화상처리기법을 이용한 지상사진의 정사투영화상의 작성", 대한토목학회 논문집, 제13권, 제5호, 1993, pp. 191-199.
2. 안기원, "CCD Camera Scanner의 기하왜곡 보정기법 연구", 경상대학교 생산기술연구소 논문집, 제8집, 1992, pp. 105-110.
3. 안철호, 연상호, 박병욱, 이병길, "인공위성 데이터를 이용한 정사투영사진 제작에 관한 연구", 한국측지학회지, 제10권, 제1호, 1992, pp. 1-7.
4. 유복모, 윤경철, 정 수, "수치사진측량에 있어서 epipolar 기하상태를 형성하기 위한 영상재배열", 한국측지학회지, 제10권, 제2호, 1992, pp. 31-36.
5. Cappellini, V., Alparone, L., Galli, G., Langé, P., Mecocci, A., Menichetti, L., Capanni, G. and Carlà, R., "Digital Processing of Stereo Images and 3-D Reconstruction Techniques", International Journal of Remote Sensing, Vol. 12, No. 3, 1991, pp. 477-

- 490.
6. Curry, S., Baumrind, S. and Anderson, J.M., "Calibration of an Array Camera", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 52, No. 5, 1986, pp. 627-636.
7. Daehler, J., "Problems in Digital Image Acquisition with CCD Cameras", Proceedings of Intercommission Conference on Fast Processing of Photogrammetric Data, 1987, pp. 48-59.
8. Gaydos, L., Lander, L., Champion, R. and Hooper, D., "The Production of Orthophoto graphs 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. Li, J.C. and Schenk, T., "An Accurate Camera Calibration for the Aerial Image Analysis", Proceedings of the 10th International Conference on Pattern Recognition of IEEE, 1990, pp. 207-209.
11. 박병욱, SPOT 위성데이터를 이용한 수치표고모델 생성에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문, 1991.
12. Stefanidis, M., Agouris, P. and Schenk, A.F., "Evaluation of the Performance of a Digital Camera", Technical Papers of 1990 ACSM-ASPRS Annual Convention, Vol. 5, 1990, pp. 109-118.
13. Trinder, J.C., "Precision of Digital Target Location", PE & RS, Vol. 55, No. 6, 1989, pp. 883-886.
14. Wong, K.W. and Ho, W.H., "Close-range Mapping with a Solid State Camera", PE & RS, Vol. 52, No. 1, 1986, pp. 67-74.
15. 윤종성, PC와 저가의 Scanner를 이용한 정사투영사진 제작에 관한 연구, 서울대학교 석사학위 논문, 1991.