

수치화상처리기법을 이용한 지상사진의 정사투영화상의 작성

Generation of Ortho-Image of Close-Range Photographs by Digital Image Processing Technique

安 基 元*

Ahn, Ki Won

Abstract

Investigation is given to the detailed procedure of a computer assisted automatic technique for ortho-image generation from digital stereo image data of close-range photographs scanned by the CCD camera scanner. After rectification of geometric scanning errors, the bundle adjustment technique was used to determine the exterior orientation parameters of terrestrial camera. An automatic correlation matching technique was applied to search for the conjugate pixels in digital stereo pairs. And the 3-dimensional coordinates of the corresponding pixels were calculated by the space intersection method. For the generation of ortho-image from the calculated coordinates and right image data values, inverse-weighted-distance average method was used. And the accuracy of the resulting ortho-image was checked by comparing its image coordinates with there corresponding ground coordinates for the check points.

요 지

스캐닝된 지상사진의 수치화상데이터를 이용하여 정사투영화상을 작성하는 기법을 제시하였다. 수치화상데이터를 얻기 위하여 촬영된 지상사진을 CCD 카메라 스캐너로 스캐닝한 후, 4차 다항식을 적용하여 스캐닝과정에서 생긴 기하왜곡을 보정하였다. 좌우 화상에 있어서 각 화소의 동일점을 찾기 위하여 자동매칭기법을 적용하였으며 외부표정요소를 이용한 공간교차이론으로 각 화소의 3차원 지상좌표를 구하였다. 얻어진 3차원 지상좌표와 우측화상데이터값으로부터, 거리의 역에 따른 가중평균법을 사용하여 1개 화소의 크기가 1mm×1mm 되는 정사투영화상을 작성하였다. 검사점에 대하여, 작성된 정사투영화상의 X 및 Y좌표와 지상관측된 좌표를 비교하여 정사투영화상 작성기법의 유효성을 검증할 수 있었다.

1. 서 론

지형도의 작성과 중요한 구조물의 3차원 측정방법으로는 종래의 일반측량방법 이외에, 1960년대

후반부터는 사진측정방법이 많이 사용되어 왔다. 그러나 컴퓨터화 및 자동화되어 가고 있는 현재에 있어서는 구조물의 측정, 각종 지형정보의 추출 및 데이터의 관리에 종래의 사진측량방법외에 컴퓨터의 이용과 수치화된 사진화상으로부터의 측정방법이

* 정희원 · 경상대학교 공과대학 토목공학과 부교수

많이 시도되고 있다.⁽¹⁻⁵⁾

촬영된 사진으로부터 컴퓨터를 이용하여 3차원 좌표 및 정보를 추출하는데 있어서는 사진을 수치 데이터화 하는 문제와 입체수치화상데이터로부터 3차원 좌표를 추출해 내는 문제가 뒤따르게 된다. 첫번째 문제의 경우에 있어서는, 스캐너를 이용하여 사진을 수치화상 데이터화 할 수는 있지만 스캐닝 하는 동안에 발생하는 여러가지 위치오차를 포함하고 있기 때문에 스캐닝왜곡의 보정이 필요하게 된다.^(6,7) 두번째 문제의 경우, 좌우사진의 수치화상 데이터가 있다고 하면 자동매칭기법(automatic matching technique) 등의 적용을 통하여, 3차원 지상 좌표 추출시 필요로 하는 임의 점의 좌우화상 위치를 찾을 수 있다.

사진은 카메라의 중심으로 투영되어 얻어지기 때문에 카메라의 위치와 방향, 지형의 높낮이, 대상물까지의 거리 및 필름의 신축 등에 따른 변위가 포함되어 있으며, 여러가지 처리절차를 거쳐서 이 변위를 소거하여 지도처럼 평면투영화된 정사투영사진 또는 정사투영 수치화상을 얻은 필요가 있다. 그러나 정사투영 사진을 만들기 위하여는 고가의 장비, 고도로 숙련된 기술자 및 복잡한 처리절차가 필요함은 물론, 컴퓨터에 의한 3차원 데이터의 취득 및 관리가 필수적이기 때문에 수치화된 정사투영화상이 더욱 요구되는 실정이다.

본 연구에 있어서는 먼저 측정용 카메라를 사용하여 대상물에 관한 한쌍의 입체사진을 얻은 후, 스캐너로 스캐닝하여 컴퓨터에 의한 수치화상처리가 가능한 화상데이터(일종의 raster data)로 변환하였다. 수치화상처리시스템과 추가로 작성한 소프트웨어를 이용하여 외부표점요소의 결정, 자동매칭기법과 공간교차이론을 이용한 3차원 지상좌표추출 및 정사투영화상의 작성을 행하므로써 정사투영화상작성의 구체적 기법을 제시하고 검증하고자 하였다.

2. 지상사진촬영 및 필름변형측정

2.1 지상사진촬영

촬영대상물로는 헤르메스석고상(약 폭 60 cm, 높이 80 cm 및 두께 40 cm)을 선정하였고 자동매칭기법의 효율을 높이기 위하여 석고상의 전면에 흑,

청 및 적색의 페인트를 고루 분사하였다. 그러나 대상물을 손상시킬 수 없는 중요 문화재 등인 경우, 표면의 거칠기, 그림자 및 조명의 차이점이 존재하기 때문에 자동매칭이 가능하리라 여겨지지만 그 효율성은 다소 떨어질 수 있겠다. 카메라는 BRONICA사의 metric camera(6×6 cm)를 사용하였으며 필름은 Kodak EPR 120(Ektachrome 64 professional color reversal film)을 사용하였다. 지상기준점측량을 위하여 Fig. 1과 같은 모양의 39개 스티카를 헤르메스석고상에 부착하여 향후 해석에 필요한 기준점 및 검사점으로 활용하였다.

부착할 지상기준점의 크기 결정에 있어서 특히 내측의 검정색 원형은 예상되는 사진축척(실제 약 1/23)과 스캐닝 후의 1화소에 해당하는 사진상 크기(실제 약 56 μm)를 고려하여 1화소 이상의 크기로 스캐닝될 수 있도록 하였으며 제일 안쪽의 흰색 원형은 데오도라이트의 시준점 역할을 하도록 하였다.

Fig. 2의 지상좌표체계에 따른 지상기준점들과 카메라의 3차원 지상좌표는 데오도라이트를 이용한

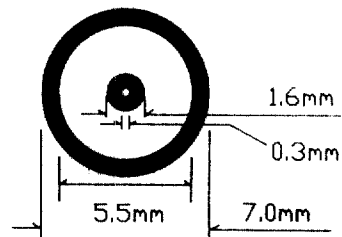


Fig. 1. Shape of ground control point

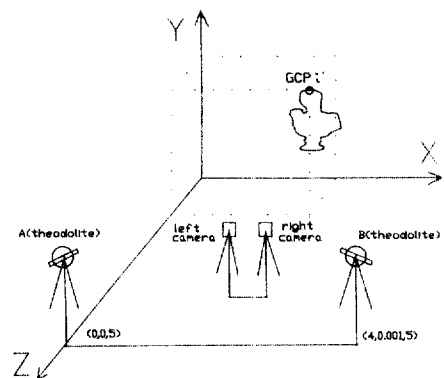


Fig. 2. Ground coordinate system

Table 1. Camera position(unit: m)

Position	X	Y	Z
Left	1.746	1.249	3.673
Right	2.257	1.246	3.688

삼각측량원리에 의하여 구하였으며 얻어진 좌표중 촬영카메라 좌표는 Table 1과 같았다. 기준점의 평면위치(X 및 Z좌표)는 정반위 평균값을 취하였으며 수직위치(Y좌표)는 A와 B의 테오도라이트에서 각각 측정된 값의 평균을 취하였다. 39개 지상기준점에 대하여 정위측정값과 반위측정값을 비교한 X 및 Z 좌표의 평균제곱근오차는 ± 0.086 mm 및 ± 0.104 mm이었으며 A 및 B점에서 각각 측정된 Y좌표의 평균제곱근오차는 ± 0.188 mm이었다.

2.2 필름변형의 측정

필름변형의 크기는 일반카메라와 비교하여 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 어느 정도인지 파악하고 무시할 수 없는 정도일 때는 변형에 따르는 오차를 소거하고자 하였다.

본 연구에서 사용된 카메라는 필름 전면에 Fig 3과 같은 25개의 십자선들이 그려진 레조플레이트(reseau plate)가 부착되어 있기 때문에 촬영된 필름 또는 사진에는 항상 25개의 십자선들이 나타나게 되며 향후 각종 보정의 기준점으로 사용될 수 있도록 되어 있다.

촬영 전·후의 필름변형을 파악하기 위하여 본 대학교 전자재료공학과 의 measure-scope로 촬영 이전의 레조플레이트상의 25개 십자선들의 위치와 촬영 후 현상된 필름상의 십자선 좌표를 μm 단위 까지 정밀 측정한 결과, Table 2 및 Fig. 4와 같은 필름변형이 있음을 알았다.

Table 2에서 보는 바와 같이 25개 십자선들의 위치를 촬영 이전과 촬영·현상 후에 각각 측정하여 비교한 결과, 위치변화에 대한 X 및 Y 방향의 평균제곱근오차가 좌측 필름에서는 ± 0.032 및 ± 0.014 mm, 우측 필름에서는 ± 0.033 및 ± 0.014 mm로 나타났다. 또한 Fig. 4에서 보는 바와 같이

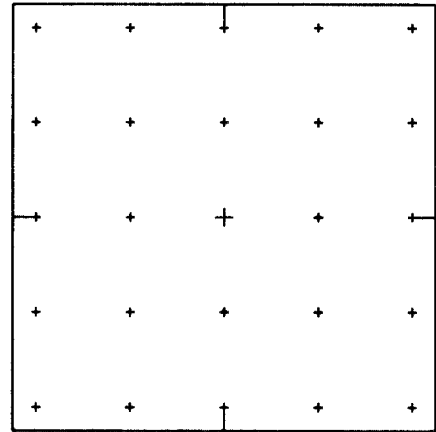


Fig. 3. Built-in reseau plate with 25 cross marks of BRONICA 6×6 metric camera(interval of cross marks: about 12.5 mm; line thickness of cross marks: 0.025 mm; size of cross marks: 0.8×0.8 mm, 1.6×1.6 mm or 0.8×2.0 mm)

Table 2. Results of the coordinate measurement of cross marks(unit: mm)

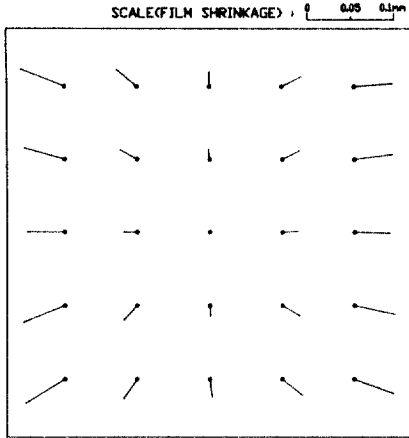
Film	Differences(RMSE)	
	ΔX	ΔY
Left	± 0.032	± 0.014
Right	± 0.033	± 0.014

중앙에서 멀어질 수록 십자선 위치변화는 Y 방향보다는 X 방향으로 커지며 모습도 대칭형에 가까운데, 그 원인은 카메라의 필름 뒷면에 위치한 필름 압착장치의 공기흡입구멍 4개가 중앙부에 상하 1열로 배치되어 있기 때문인 것과 현상 당시와 현상 후의 필름신축이 원인이라고 생각된다.

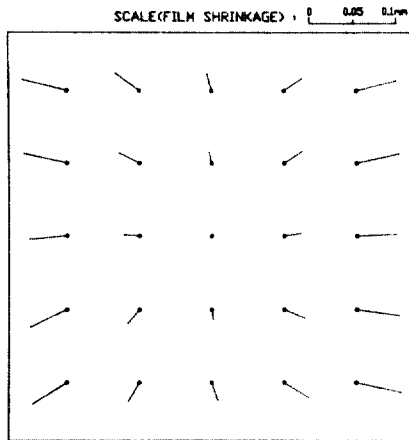
3. 스캐닝 및 스캐닝 왜곡오차의 보정

3.1 필름의 스캐닝

촬영된 사진을 컴퓨터 처리가 가능한 수치사진화상으로 만들기 위하여는 스캐너를 사용하여야 하는데, 스캐너는 크게 마이크로 덴시토메타(microdensitometer)와 카메라 스캐너(camera scanner)의 두



(a) Left film.

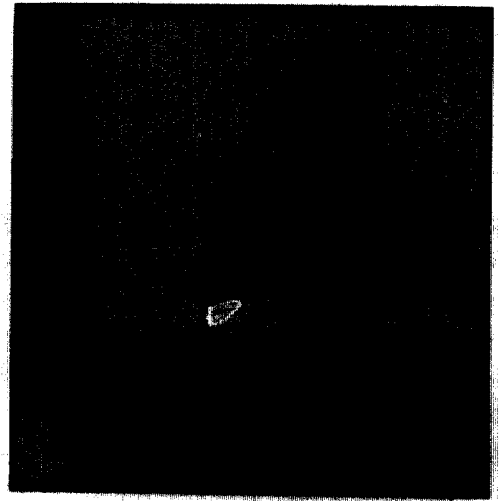


(b) Right film.

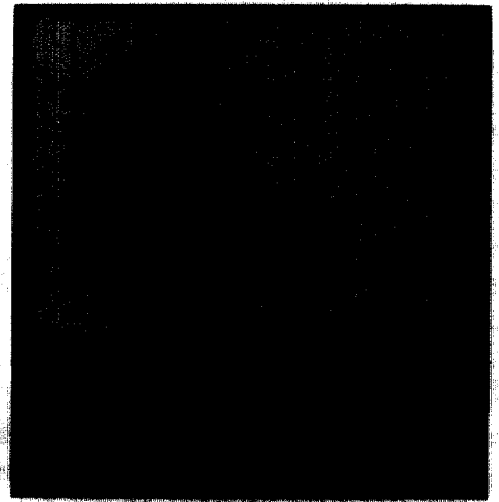
Fig. 4. Vector diagram of position shifts for 25 cross marks before and after film processing

가지 종류로 나눌 수 있다.^(8,9) 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.⁽¹⁰⁾ 본 연구에서는 카메라 스캐너의 일종인 CCD(charge coupled device) 카메라 스캐너를 사용하였는데 이 스캐너는 사진측량 응용분야에서 많이 활용되고 있다.

현상된 좌·우 필름을 EIKONIX 1412 CCD 카메라 스캐너로 스캐닝하여 각각의 수치화상데이터를 얻었다. 이 스캐너는 4096개의 CCD센서(한개의 센서



(a) Left digital image.



(b) Right digital image.

Fig. 5. Digital images of the photographs scanned

크기는 약 $7 \times 7 \mu\text{m}$)가 1열로 배열되어 있고, 일정한 면적을 스캐닝하기 위하여 1 열의 CCD가 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. 스캐닝시에 약 $5.7 \times 5.7 \text{ cm}$ 크기의 필름을 1024×1024 화소크기의 화상이 되도록 하였으므로 스캐닝 후에 얻어진 수치화상에 있어서 한 화소의

크기는 필름상 약 $56 \times 56 \mu\text{m}$ 의 크기에 해당하며, 데이터 값은 0에서 255 사이가 되도록 하였다. Fig. 5는 스캐닝하여 얻어진 좌우수치화상을 필름레코더(film recorder)로 출력하여 인화한 모습이다.

3.2 스캐닝 왜곡오차의 보정

스캐닝 왜곡을 보정하기 위하여는 사진 또는 필름과 같은 스캐닝 대상물상에 평면위치를 정확하게 (수 μm 의 정확도) 알고 있는 선명한 기준점들이 나타나 있어야 한다.⁽¹²⁾ 특수한 측정용 카메라에 있어서는 화면 전면에 부착되어 있는 레조플레이트의 십자선들이 사진상에 나타나기 때문에 필름의 현상이나 인화 후의 이 십자선들의 위치와 스캐닝하여 얻어진 수치화상내에서의 십자선들의 좌표를 비교함으로써 보정이 가능하게 된다.

스캐닝 과정에서 생길 수 있는 왜곡오차의 종류로는 방사왜곡(radiometric error)과 기하왜곡(geometric error)으로 나눌 수 있는데, 방사왜곡은 스캐닝하여 얻어지는 화상데이터값의 변화와 관련이 있는 것이고 기하왜곡은 위치의 변화와 관련이 있는 것으로서 측정분야에 있어서는 기하왜곡의 영향이 더 문제가 되고 있다. 본 연구에서는 기하왜곡만 보정하고자 하였는데, CCD 카메라 스캐너의 기하왜곡 발생 원인으로는 카메라 렌즈의 왜곡수차, 광축의 비수직성, CCD 센서크기의 비동일성 등을 들 수 있다.^(12,13)

본 연구에서는 필름상 십자선들의 상좌표를 화상좌표체계로 변환한 후, 이 좌표와 스캐닝하여 얻어진 화상상의 십자선들의 화상좌표를 이용하여 1차 다항식을 사용하는 affine 변환⁽¹⁴⁾을 실행한 결과, 좌우화상에서 평균제곱근오차가 ± 1.132 및 ± 1.078 화소의 비교적 큰 크기로 나타났다. 따라서 화상의 기하보정을 수행할 때에 종래에 자주 사용해 오던 affine 변환식⁽¹⁵⁾으로는 기하왜곡보정의 큰 효과를 거둘 수 없다고 판단되어 다음과 같은 2차, 3차 및 4차 다항식을 적용해 보았다. 필름상 십자선들의 사진좌표와 화상좌표를 이용하여 다항식에 의한 변환상수를 찾고 잔차를 계산한 결과 Table 3 및 Fig. 6과 같았다.

Table 3에서 보는 바와 같이 스캐닝된 화상의 기하보정을 위한 변환식의 적용에 있어서 1차 다항

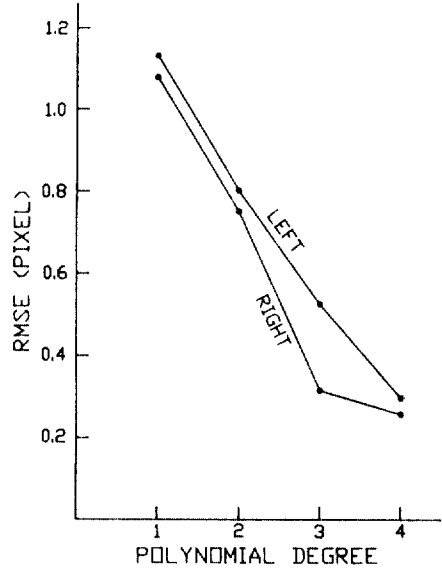


Fig. 6. RMSE for left and right images as a function of degree of polynomial(based on residual errors at GCPs)

Table 3. Results of transformation by least square method using polynomials(unit: pixel)

Degree of Polynomial	Camera Position	Control Points Used	Residuals		
			X(Line)	Y(Colm)	Total
First	Left	25	0.744	0.853	1.132
	Right	23	0.838	0.677	1.078
Second	Left	25	0.522	0.608	0.801
	Right	23	0.593	0.460	0.750
Third	Left	25	0.243	0.465	0.525
	Right	23	0.224	0.222	0.316
Fourth	Left	25	0.159	0.251	0.298
	Right	23	0.176	0.189	0.258

식인 affine 변환식은 잔차가 1화소의 크기를 넘어 가며, 이는 1화소에 해당하는 실제대상물의 크기가 약 1.3 mm 정도 된다는 사실을 감안한다면 정밀측정분야에 있어서의 정밀도로는 부족한 상태이다. 따라서 기하보정을 위한 변환식의 다항식차수는 4차까지는 그 차수가 높을 수록 잔차가 작아짐을 알 수 있었으며, 5차 이상의 다항식에 있어서는 필요한

기준점의 수가 21점 이상이고 결정해야 할 상수의 갯수가 42개라는 이유 때문에 다항식 적용의 어려움이 따르게 된다. 결국, 지상사진측량의 경우, 스캐닝 후 얻어진 수치사진화상의 기하보정을 위하여 다항식을 적용한다면 보정의 정밀도 확보와 사용해야 할 기준점의 수를 고려하여 4차 다항식을 적용하는 것이 효율적임을 알 수 있었다.

4차 다항식을 적용한 경우, 잔차가 좌·우화상에 있어서 각각 0.298 및 0.258화소의 크기로 나타났으며 이 크기는 실제 대상물에 있어서는 약 0.38 및 0.33 mm에 해당하며 필름에 있어서는 약 0.017 및 0.014 mm에 해당하는 크기이다. 따라서 촬영카메라의 종류에 따라 차이는 있겠지만 BRONICA 6×6 cm metric camera의 경우, 촬영하여 현상된 필름의 변형크기가 위 필름상 잔차크기의 2배 이상에 해당하므로 필름변형의 영향을 무시해서는 안되며 필름신축에 대한 보정도 아울러 실시해야만 4차 다항식 적용의 유효성이 있음을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서는 필름변형과 스캐닝시의 기하왜곡의 보정을 위하여 레조플레이트 십자선들의 좌표를 기준으로 좌우수치사진화상데이터를 4차 다항식을 이용한 최소제곱법으로 다시 보정한 후, 다음 작업의 사용데이터로 활용하였다. 최소제곱법의 적용시에 사용된 4차 다항식은 다음과 같았고 보정시의 기준점들의 잔차는 Table 4와 같았다.

$$X' = C_1 + C_2X + C_3Y + C_4X^2 + C_5XY + C_6Y^2 + C_7X^3 + C_8X^2Y + C_9XY^2 + C_{10}Y^3 + C_{11}X^4 + C_{12}X^3Y + C_{13}X^2Y^2 + C_{14}XY^3 + C_{15}Y^4$$

$$Y' = C_{16} + C_{17}X + C_{18}Y + C_{19}X^2 + C_{20}XY + C_{21}Y^2 + C_{22}X^3 + C_{23}X^2Y + C_{24}XY^2 + C_{25}Y^3 + C_{26}X^4 + C_{27}X^3Y + C_{28}X^2Y^2 + C_{29}XY^3 + C_{30}Y^4$$

Table 4. Residuals of transformation by LSQ using the 4th degree of polynomials(unit: pixel)

Degree of Polynomial	Camera Position	Control Points Used	Residuals		
			X(Line)	Y(Colm)	Total
Fourth	Left	25	0.259	0.270	0.374
	Right	23	0.234	0.175	0.293

4. 외부표정요소의 결정

4.1. 지상카메라의 외부표정요소 결정

본 연구의 목적인 지상사진의 정사투영화상을 작성하기 위해서는 각 화소의 3차원좌표를 구하여야 하며, 이 3차원좌표를 구하기 위하여는 지상사진촬영시의 카메라 위치 및 자세, 즉 외부표정요소를 결정하여야 한다. 수치화상데이터가 대상인 경우에는 사진좌표 대신 화상좌표가 입력되어야 한다는 점만 다를 뿐이기 때문에 본 연구에서는 일반적인 지상사진의 경우와 같이, 좌우 카메라 각각 6개($\omega, \phi, \kappa, X_o, Y_o, Z_o$)의 외부표정요소를 변물조정기법으로 구하였으며 사용된 외부표정요소 초기값과 결정된 외부표정요소는 Table 5 및 Table 6과 같았다. 외부표정요소의 초기값 입력에 있어서 ϕ 및 κ 는 촬영시의 카메라 방향을 고려하여 대략적으로 $-10'$ (약 -0.00291 radian)을, X_o, Y_o , 및 Z_o 는 측정된 카메라 3차원좌표를 사용하였다.

Table 5. Initial exterior orientation parameters (unit: rad. and mm)

Parameter	Left Image	Right Image
ω	0.00000	0.00000
ϕ	-0.00291	-0.00291
κ	-0.00291	-0.00291
X_o	1746.0	2257.0
Y_o	1249.0	1246.0
Z_o	3673.0	3688.0

Table 6. Exterior orientation parameters determined(unit: rad. and mm)

Parameter	Left Image	Right Image
ω	-0.00063587	-0.00042285
ϕ	-0.00258606	0.00270123
κ	-0.00221636	-0.00155410
X_o	1755.288	2251.823
Y_o	1246.394	1245.608
Z_o	3676.681	3692.064

4.2 검사점의 평균제곱근오차

또한, 구하여진 외부표정요소의 타당성을 평가하기 위하여 총 39개의 지상기준점 중에서 앞에서 사용한 13개의 기준점과 선명도가 떨어져 수치화상좌표를 정확히 구하기 어려운 8점을 제외한 18개의 검사점에 대하여 공간교차이론을 적용하여 지상좌표를 계산한 후, 지상관측값과의 잔차로부터 X, Y, Z의 평균제곱근오차를 구하였다. Table 7에서 보는 바와 같이 18개의 검사점에 대한 X 및 Y 방향의 평균제곱근오차가 각각 ± 0.382 및 ± 0.372 mm이었는데 이 오차의 가장 큰 원인은 검사점들의 화상좌표를 읽는 과정의 오차라고 생각된다. 기준점 및 검사점의 좌우화상좌표는 공1차내삽법(bilinear interpolation method)에 의하여 화상을 10배 확대한 후, 화소 단위까지 읽었으므로 결국 원화상에 있어서는 0.1화소 단위까지의 화상좌표가 얻어진 셈이며 이러한 화상좌표추출과정에서 0.1 내지 0.2화소 정도의 오차는 피할 수 없는 것이다. 그리고 Z좌표의 평균제곱근오차가 X 및 Y 방향의 오차보다 약 4배 정도 큰 값으로 나타난 것은 촬영기선의 길이와 카메라로부터 대상물까지의 비의 영향이 큰 것으로 판단된다.

5. 각 화소의 지상좌표 추출

지상사진의 정사투영화상을 작성하기 위해서는 각 화소의 X, Y 및 Z좌표를 알아야 하며, 이를 알기 위해서는 각 화소에 대한 좌우화상좌표를 구한 후 공선조건식을 적용하여야 한다. 결국, 한쌍의 입체 수치모델 상에서 각 화소의 좌우화상좌표를 찾는 자동매칭이 선행되어야 한다. 본 연구에 있어서 자동매칭기법으로는 표준상관기법(standard correlation technique)을 사용하였으며, 우측화상의 윈도우 영역의 크기로는 15×15 화소를 택하였다. 서어치 영역의 크기는 카메라의 위치, 대상물과 카메라까지의 거리 및 대상물의 두께 등을 고려하여 23×61

Table 7. RMSE of the ground coordinates of the 18 check points used(unit: mm)

dX	dY	dZ
± 0.382	± 0.372	± 1.540

화소의 크기를 택하였다. 3차원좌표 추출을 위한 대상영역으로는 전체화상중에서 $300 \text{ line} \times 460 \text{ column}$ (138,000화소) 크기만 절출하여 사용하였다.

모두 138,000개의 화소에 대해 자동매칭기법을 적용하여 화소 이하 단위까지의 좌우화상좌표를 얻은 후, 이들 좌표와 외부표정요소 및 공간교차이론을 이용하여 3차원 지상좌표를 추출할 수 있었다. 좌우화상을 매칭시킬 때의 상관계수 평균값은 0.82이었으며 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다.

6. 정사투영화상의 작성

6.1 정사투영화상의 작성

추출된 3차원 지상좌표는 우측화상의 각 화소중심마다의 좌표이다. 그러나 이 우측화상은 카메라 외부표정요소와 대상물내 점의 위치 등에 따라 변위가 포함되어 있는 중심투영화상이다. 따라서 추출된 이들 화소의 3차원 지상좌표를 이용하여 변위가 보정된 정사투영화상을 만들 필요가 있다.

본 연구에서는 간격이 일정하지 않은 138,000점의 3차원 지상좌표와 우측화상데이터 값으로부터 거리의 역에 따른 가중평균법(inverse-weighted-distance average method)을 사용한 내삽(interpolation)기법을 통하여 우측화상의 일부 영역에 대한 정사투영화상을 작성하였다. X 및 Y좌표 1mm 마다의 정사투영화상을 작성하기 위하여 먼저, 1mm 격자점 주변의 데이터에 대하여 거리를 계산하여 정렬한 후

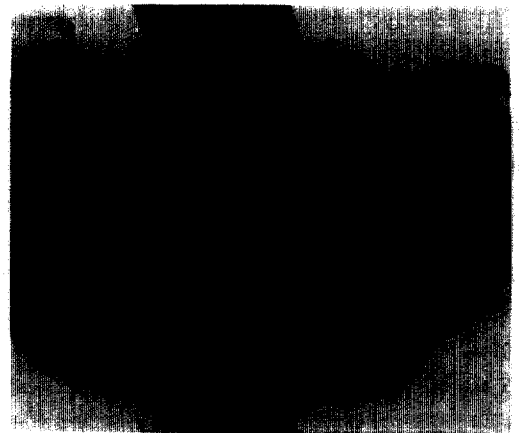


Fig. 7. Resulting ortho-image(412×480 pixel size)

격자점과의 거리가 가장 가까운 6점을 선정하고 다음 식에 의하여 격자점 마다의 화상데이터를 다시 계산하였다. 이와 같은 방법으로 최종적으로 작성된 정사투영화상의 크기는 412×480화소 크기였다.

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

단, D_i 는 격자점의 정사투영화상 데이터값

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

n (사용점수) = 6

Fig. 7은 작성된 정사투영화상(412×480화소 크기)의 모습이다.

6.2 정사투영화상의 평가

작성된 정사투영화상을 평가하기 위하여 정사투영화상내에 포함되어 있는 24개의 검사점에 대하여 X 및 Y좌표를 비교하여 보았다. 정사투영화상에 있어서의 검사점의 X 및 Y좌표는

1) 10배 확대된 화상에서 화소단위로 화상좌표를 읽은 후, 10으로 나누어 화소 단위 이하 소수 1자리까지의 화상좌표를 구하고

2) 정사투영화상 첫 화소의 지상좌표($X=1798.0$ mm, $Y=1499.0$ mm) 및 각 화소크기(1 mm× 1 mm)를 고려하여

계산할 수 있었다. 이와 같은 방법에 의하여 얻어진 정사투영화상상의 24개 검사점들의 X 및 Y좌표와 일반측량방법에 의하여 얻어졌던 지상좌표를 비교한 결과, Table 8에서 보는 바와 같이 X 및 Y좌표에 대한 평균제곱근오차가 각각 ± 0.434 및 ± 0.723 mm로 나타났으며 화상좌표로도 역시 ± 0.434 및 ± 0.723 화소에 해당하는 값이다. 따라서 스캐닝, 자동매칭, 외부표정 및 내삽의 여러 과정을 거치면서도 column 및 line 방향에 있어서 각각 1화소 이하의 정밀도로 정사투영화상을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

X좌표에 비하여 Y좌표에 대한 오차가 더 크게 나타난 것은 검사점의 화상좌표추출시의 Y좌표에 있어서 과대오차에 가까운 이상점이 다소 포함된

Table 8. Comparison of X and Y coordinates of the 24 check points between field survey coordinates and image coordinates for resulting ortho-image(unit : mm)

dX	dY
± 0.434	± 0.723

원인도 있겠지만 정사투영화상의 첫 화소의 지상좌표 산정시의 오차의 영향이 더 큰 것으로 생각된다.

7. 결 론

이상과 같은 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 십자선들의 레조플레이트상 좌표와 필름상 좌표를 측정하여 비교해 본 결과, X 및 Y방향의 평균 제곱근오차가 좌측 필름에서는 ± 0.032 및 ± 0.014 mm, 우측 필름에서는 ± 0.033 및 ± 0.014 mm로 나타났다. 또한 필름 중앙에서 멀어질 수록 필름변형은 Y 방향보다는 X 방향으로 커지며 그 모습도 대칭형에 가까운 데 그 원인은 카메라의 필름 뒷면에 위치한 필름압착장치 공기흡입구멍의 배치모습 때문인 것과 현상 당시와 현상 후의 필름신축의 원인으로 판단되었다.

2) CCD 카메라 스캐너의 스캐닝 기하왜곡을 보정할 수 있는 적절한 다항식의 차수를 찾았으므로 스캐닝시의 기하왜곡보정기법을 제시할 수 있었다. 스캐닝시의 기하왜곡을 다항식으로 변환·보정할 때 종래에 자주 사용해 오던 1차 다항식(affine 변환식)은 보정정밀도가 떨어져 더 이상 사용할 수가 없었다. 따라서 다항식의 차수를 증가시켜 적용해 본 결과, 2차, 3차 및 4차 다항식의 순으로 그 보정효과가 급격히 커짐을 확인할 수 있었으며 보정정밀도와 사용해야 할 기준점의 수를 고려할 경우 4차 다항식이 정밀하면서도 효율적으로 사용될 수 있음을 알 수 있었다.

스캐닝된 수치사진화상의 기하변환보정을 위하여 4차 다항식을 적용한 경우, 잔차가 좌·우화상에 있어서 각각 0.298 및 0.258화소의 크기로 나타났으며 이 크기는 필름에 있어서 약 0.017 및 0.014 mm에 해당하는 크기이다. BRONICA 6×6 cm metric ca-

mera의 경우, 촬영하여 현상된 필름변형크기가 화상기하보정시의 위 간차크기의 2배 이상에 해당하므로 필름신축의 영향을 무시해서는 안되며 이 영향에 대한 보정도 아울러 고려해야만 4차 다항식 적용의 유효성이 있게 됨을 알 수 있었다.

3) 수치적인 방법으로 입체모델내에서의 동일점을 찾기 위하여 상관계수를 이용한 자동매칭기법을 적용하였으며, 얻어진 동일점의 좌우화상좌표와 외부표정요소 및 공간교차이론을 이용하여 해석대상영역내 전화소의 3차원 지상좌표를 추출할 수 있었다.

4) 추출된 3차원 지상좌표와 화상데이터값으로부터 거리의 역에 따른 가중평균법을 사용한 내삽기법을 통하여 X 및 Y좌표 1 mm 마다의 정사투영화상을 작성할 수 있었다. 24개의 검사점의 화상좌표와 지상관측좌표를 비교해 본 결과, X 및 Y좌표에 대한 평균계급근오차는 각각 ± 0.434 및 ± 0.723 mm로 나타났으며 화상좌표로도 역시 ± 0.434 및 ± 0.723 화소에 해당하는 값이다. 따라서 위치오차 1화소 이하의 정밀도로 정사투영화상을 작성할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 1992년도 한국과학재단 일반기초연구비(과제번호: 921-1300-017-1) 지원에 의하여 이루어졌음을 밝히며 이 재단에 감사드립니다. 또한 많은 도움을 주신 호남대학교 박병욱 교수님과 (주)범아엔지니어링 임직원 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 안철호, 안기원, 박병욱, 이병길, "위성영상을 이용한 3차원 정사투영영상 생성법에 관한 연구", 서울대학교 공학연구소보고, 제14권, 제1호, 1991, pp. 49-57.
2. 안기원, 인공위성 화상데이터를 이용한 지형표고의 추출, 서울대학교 박사학위논문, 1988.
3. 유복도, 조기성, 이현직, 노도영, "영상정합에 의한 SPOT 위성영상의 3차원 위치결정에 관한 연구", 한국측지학회지, 제9권, 제2호, 1991, pp. 49-56.
4. 윤종성, PC와 저가의 Scanner를 이용한 정사투영

사진 제작에 관한 연구, 서울대학교석사학위논문, 1991.

5. Shortis, M.R., "Precision Evaluations of Digital Imagery for Close-Range Photogrammetric Application", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 54, No. 10, 1988, pp. 1395-1401.
6. Wong, K.W. and Ho, W.H., "Close-Range Mapping with a Solid State Camera", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 52, No. 1, 1986, pp. 67-74.
7. Haung, H.H., Digital Ortho-Photo Mapping Using Non-Metric Cameras, Ph.D. Thesis of the Univ. of Wisconsin-Madison, 1986.
8. Lo, T.H.C. and Huang, H.H., "Geometric Fidelity Evaluation of Drum-Type Scanning Microdensitometer", *Technical Papers of 1986 ACSM-ASPRS Annual Convention*, Vol. 4, 1986, pp. 314-318.
9. Perlant, F.P. and Mckeown, D.M., "Scene Registration in Aerial Image Analysis", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 55, No. 4, 1990, pp. 481-493.
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. Trinder, J.C., "Precision of Digital Target Location", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 55, No. 6, 1989, pp. 883-886.
12. El-Hakim, S.F., "Real Time Image Metrology with CCD Cameras", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 52, No. 11, 1986, pp. 1757-1766.
13. 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.
14. Moffit, F.H. and Mikhail, E.M., *Photogrammetry*, Harper & Row, Inc., New York, 1980, pp. 589-602.
15. Welch, R., Jordan, T.R. and Ehlers, M., "Comparative Evaluation of the Geodetic Accuracy and Cartographic Potential of Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper Image Data", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 51, No. 9, 1985, pp. 1249-1262.

(接受: 1993. 7. 7)