한국측량학회지, 제 18 권 제 2 호, pp. 191~198(2000년 6월 30일)

수치 사진측량에 있어서 정합 강도 측정에 의한 불량 정합점 제거에 관한 연구
Blunder Detection by Matching Strength Measurement in Digital Photogrammetry

정명훈 · 윤홍식** · 위광재***
Jeong, Myoung Hoon · Yun, Hong Sic · We, Gwang Jae

要 旨

수치사진 측량은 신속한 정보 획득과 갱신을 통하여 지리정보체계의 데이터 베이스 구축에 중요한 역할을 하고 있다. 이러한 수치사진측량의 기본적인 처리과정 중의 하나는 영상정합이다. 그러나 어떠한 영상정합 알고리즘도 인간의 판단과 지적 능력에 의해서 수행되는 것만큼 만족스러운 결과를 산출하지는 못하고 있다. 따라서 본 논문에서는 대상지역이 완만한 경우 정합점이라고 판단되는 점과 그 이웃 점들간에 전체적인 유사성을 관측하여 불량 정합점들을 제거하는 방법(정합 강도의 측정)을 제안하였고, 또한 최종적으로 얻어지는 정합점들의 3차원 좌표를 광속 조정법을 통하여 구하였다. 실험결과 제안방법은 불량정합점들을 효과적으로 제거하였고, 계산된 3차원 지상좌표도 허용 오차 범위 이내로 들어왔다.

ABSTRACT

Digital photogrammetry in the implementation of GIS database plays an important role, with the demand for rapid data acquisition and quick updating. Here image matching represents a fundamental task of digital photogrammetry. No image matching algorithm provides a solution as complete as the one given by human vision which is reinforced by knowledge and intelligence capabilities. In this paper, if object space is smooth, we check the global similarity between a possible corresponding point pair and its neighbouring possible corresponding point pairs, detecting blunders; We define matching strength measurement. Besides this, we compute three-dimension coordinates of matching points by bundle adjustment method. Results of the test reveal that the proposed method can eliminate the incorrectly matched pairs efficiently and the accuracy of three-dimension coordinates of matching points come within an allowable error.

1. 서 론

수치사진 측량은 신속한 정보 획득과 갱신을 통하여 지리정보체계의 데이터 베이스 구축에 중요한 역할을 하고 있다. 이러한 수치사진 측량에서 가장 기본적인 처리과정 중의 하나는 둘 또는 그 이상의 사진 상에서 공액점(Conjugate Point)을 찾고, 관측하는 것으로 영상정합(Image Matching)을 통하여 자동으로 해결하려 하고 있다. 그러나 현재까지 제안된 대부분의 영상정합 방법들은 일정 크기의 면의 유사점 또는 선의 유사성을 기준으로 정합점을 결정하기 때문에 실제로는 전혀 다른 점인데도 불구하고 비교하는 특성이 같으면 정합점이라고 판단하는 경우가 빈번하게 발생하였다.[2] 이렇게 불량한 정합점들을 이용한다면 사진의 표정 및 그 이후에 수행되는 실체시 모델 형성, 모델좌표 계산, 지상좌표 계산, 등고선도 작성, 정사사진 제작 등을 틀리게 하므로 어떠한 경우에도 불량 정합점들이 포함되지 않게 하는 영상정합 방법의 개발이 필요하게 되었다. 그래서 지금까지 이러한 영상정합 방법들과 함께 과대오차 검출기법을 사용하여 측정치간에 상대적으로 큰 오차를 검출해서 불량 정합점들을 제거하였다. 그러나 불량 정합점들이 지나치게 많거나 일정하게 치우쳐져 있으면 이를 검출할

*성균관대학교 지리정보체계 석사과정
**성균관대학교 건축 · 조경 · 토목공학부 조교수
*** 한진정보통신(주) GIS기술연구소 연구원

수 없게 되므로 본 논문에서는 대상 지역이 지형·지물의 기복 변위가 심하지 않은 완만한 지역에 대하여 영상정합시에 발생하는 불량 정합점들을 국부적인 유사성을 관측하는 것이 아닌, 정합점과 그 이웃점들과의 전체적인 유상성을 관측하여 불량 정합점을 판단하는 정합강도의 측정에 따른 불량 정합점 제거 방법을 제안하였다. 또한, 최종적으로 얻어진 정합점들의 3차원 지상좌표를 광속조정법을 통하여 계산하였으며, 공간기술정보(주)에서 개발한 상용 소프트웨어인 PhoEMS에서 반자동적으로 구한 3차원 좌표 측정 결과와 비교하여 검증을 수행하였다.

2. 영상정합

영상정합이란 수치사진 측량에서 사용되는 기술로서 두 장 이상의 중복 촬영된 수치사진영상에서 동일한 점이 피사된 실체쌍을 찾아내는 기술이다. 기계적, 해석적 사진측량기술에서는 이러한 작업이 도화사의 판독에 바탕을 두고 이루어지나 수치사진 측량에서는 컴퓨터프로그램에 의한 수치적인 계산으로 수행된다.[12]

2.1 상관계수 정합법(Correlation Coefficient Matching)

상관계수 정합법은 좌측과 우측영상의 기준영역에서 밝기값의 분포에 대한 상관성을 계산하여 공액점을 결정하는 방법이다. 이 방법은 계산이 간편하나 탐색영역이 큰 경우에 속도가 매우 느리다. 본 연구에서는 연산 횟수를 줄여서 계산 속도를 향상시키기 위해 다음과 같은 식을 사용하였다.[2,4,10]

$$r(n,m)=\frac{\sum_{x=1}^{N}\sum_{y=1}^{M}\{G_w(x,y)G_s(x,y)\}-MN\,\overline{G_wG_s}}{\left[\left\{\sum_{x=1}^{N}\sum_{y=1}^{M}G_w(x,y)^2-MN\,\overline{G_w^2}\right\}\cdot\left\{\sum_{x=1}^{N}\sum_{y=1}^{M}G_s(x,y)^2-MN\,\overline{G_s^2}\right\}\right]^{1/2}} \quad (1)$$

여기서,

r(n, m) : 기준창틀과 비교창틀과의 상관계수

$G_w(x, y)$: 기준창틀의 (x, y)에서 영상의 밝기값

$G_s(x, y)$: 비교창틀의 (x, y)에서 영상의 밝기값

$\overline{G_w}=\frac{\sum_{x=1}^{N}\sum_{y=1}^{M}G_w(x,y)}{N\cdot M}$: 기준창틀 내의 영상소 밝기값들의 평균

$\overline{G_s}=\frac{\sum_{x=1}^{N}\sum_{y=1}^{M}G_s(x,y)}{N\cdot M}$: 비교창틀 내의 영상소 밝기값들의 평균

2.2 최소제곱 정합법(Least Square Matching)

이 방법은 좌측과 우측의 영상에서 밝기값의 변화와 기하학적 변화를 평면좌표 변환식에 의해 모델화하고, 최소제곱법으로 영상정합을 하는 것이다. 부영상소 단위의 영상정합이 가능하므로 매우 정확하나 초기값이 부정확할 경우에는 발산하는 경우가 있다.[2]

2.3 특징점 추출(Interest Point Extraction)

건물의 모서리와 원의 중심 등의 특징점을 연산자에 의해 추출하여 영상정합에 이용하는 방법이다. 특징점을 추출하는 방법으로 Moravec, Hannah, Forstner 등이 각각 제안하였는데, 본 연구에서는 Forstner가 제안한 추출 연산자를 사용하였다.[6]

2.4 영상 피라미드

영상 피라미드 기법은 영상의 해상력을 변화시켜 영상을 다양한 해상력의 2차원적 배열로 연속적으로 생성하므로써 중요한 특징만을 남게 하고 영상의 크기를 감소시키므로 그 처리속도를 증가시키는 기법으로 일련의 함수 $f_k(i, j)$로 표현할 수 있다.[7]

그림 1은 단계 k+1의 하위 영상으로부터 단계 k의 상

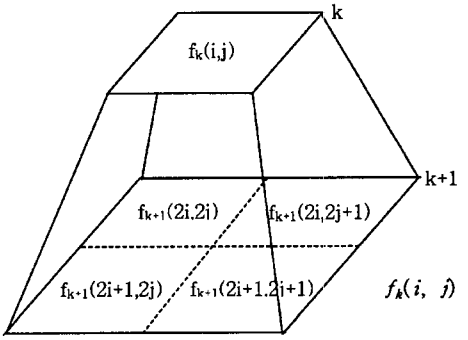


그림 1. 하위 영상으로부터 상위 영상의 형성

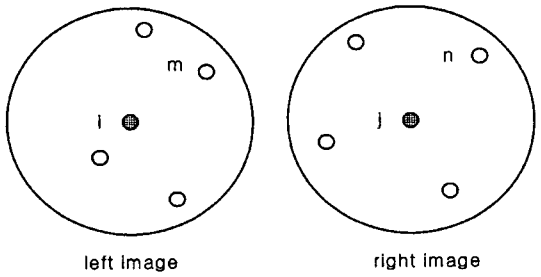


그림 2. 정합점의 이웃점들

위 영상으로의 형성과 정을 보여주고 있다. 즉, 하나의 해상력으로 옮겨갈 때, 평균적인 접근법을 통하여 새로운 영상이 생성된다. 다음 식 (2)는 영상 피라미드 형성을 위한 식을 표현한 것이다.

$$f_k(i,j) = \frac{1}{4}\sum_{l=0}^{1}\sum_{m=0}^{1} f_{k+1}(2i+l, 2j+m) \qquad (2)$$

2.5 제안 방법

본 연구는 대상 지역이 지형·지물의 기복 변위가 심하지 않는 완만하게 변하는 지역에 대하여 영상정합시에 발생하는 불량 정합점들을 정합 강도의 측정에 따라 제거하는 방법을 제시하였다. 정합 강도의 측정(Matching Strength Measurement)에 따른 불량 정합점 제거 방법이란 좌측과 우측의 우량 정합점이라고 판단되는 점과 그 이웃점들 간에 전체적인 유사성을 관측하여 불량 정합점들을 제거하는 것이다.

위 그림에서 점 i와 점 j를 정합점이라고 놓고, 점 i와 점 j 주변에 M개의 이웃점들이 있다고 가정한다. 그리고 점 i와 점 j 주변에 점 m과 점 n이 정합점 이라면 i, j, m, 및 점 n의 좌표는(i_x, i_y), (j_x, j_y), (m_x, m_y) 및 (n_x, n_y)이다.

이때, i와 j 점의 정합강도는 다음과 같이 표시된다.

$$SM_{ij} = \frac{\sum \frac{C_{ij}\cdot C_{mn}}{1+[d(i,m)+d(j,n)]/2}\cdot\frac{1}{\sigma_{dx}\sqrt{2\pi}}e^{\frac{|dx-\mu|}{2\sigma_{dx}}}}{\sum\frac{1}{1+[d(i,m)+d(j,n)]/2}} \qquad (3)$$

여기서, C_{ij} : i와 j점 사이의 상관계수

C_{mn} : m과 n점 사이의 상관계수

d(i, m) : 점 i와 이웃 점 m 사이의 거리

d(j, n) : 점 j와 이웃 점 n 사이의 거리

$dx = (i_x - m_x) - (j_x - n_x)$

m : dx의 평균

σ_{dx} : dx의 표준편차

측정오차는 정규분포(Normal Distribution)를 따른다는 이론[9,11]으로부터 식 (3)은 정합점과 이웃하는 점들 간에 dx는 정규분포를 나타낸다고 할 때에 정합점과 이웃점들 간의 거리와 상관계수의 중량(경중률)을 고려한 식이다. 여기서 어떤 정합점이 좌측 영상과 우측 영상에서 일치하는 우량 정합점이라면 정합 강도의 값이 밀도 함수(Density Function)의 중심부에 위치할 것이다.

3. 광속 조정법

광속조정법(Bundle Adjustment)이란 각 사진상에서 관측된 기준점과 사진좌표를 관측값으로 하여 최소제곱법에 의한 각 사진의 외부표정 요소 및 미지의 지상좌표값에 대한 최확값을 결정하는 방법으로서 인접 사진과의 중복 부분 및 기준점을 이용하여 동시에 표정함으로써 각 사진의 투영중심점 위치와 사진의 경사 등을 해석하여 사진에 나타난 지상점을 기준좌표계상에서의 위치로 해석하는 방법이다. 광속조정법의 기본적인 수학적 모델은 공선조건으로 다음과 같이 표시할 수 있다.[3,5,8]

$$F_x = (\omega_i, \phi_i, \chi_i, X_{Oi}, Y_{Oi}, Z_{Oi}, X_i, Y_j, Z_j)$$
$$= x_{ij} - c\frac{m_{11}(X_j - X_{Oi}) + m_{12}(Y_j - Y_{Oi}) + m_{13}(Z_j - Z_{Oi})}{m_{31}(X_j - X_{Oi}) + m_{32}(Y_j - Y_{Oi}) + m_{33}(Z_j - Z_{Oi})} = 0$$

$$F_y = (\omega_i, \phi_i, \chi_i, X_{Oi}, Y_{Oi}, Z_{Oi}, X_i, Y_j, Z_j)$$
$$= y_{ij} - c\frac{m_{21}(X_j - X_{Oi}) + m_{22}(Y_j - Y_{Oi}) + m_{23}(Z_j - Z_{Oi})}{m_{31}(X_j - X_{Oi}) + m_{32}(Y_j - Y_{Oi}) + m_{33}(Z_j - Z_{Oi})} = 0 \qquad (4)$$

여기서, x_{ij}, y_{ij} : 사진상에서 i로 나타나는 지상점 j의 사진좌표

c : 화면 거리, (X_j, Y_j, Z_j) : 점 j의 지상좌표

(X_{Oi}, Y_{Oi}, Z_{Oi}) : 사진 i에 대한 카메라 노출점의 지상좌표

m_{11}~m_{33} : 회전행렬의 요소

4. 실험 및 분석

4.1 대상지역 및 사진

본 실험을 수행하기 위하여 선정한 지역은 경기도 과

천시 일대이고, 실험대상지역에 사용된 항공사진측량용 카메라는 Wild사의 RC30이며, 사용된 사진기의 제원 및 특성은 표 1에 표시한 바와 같다.

촬영된 사진의 축척은 1/5,000이고, 항공사진을 수치화하기 위해 사용한 스캐너는 VEXCEL VX3000을 사용하였으며, 스캐닝하는 과정에서 생기는 오차를 줄이기 위해 고해상도의 1,600 dpi로 스캐닝하였다. 수치화된 영상은 좌측 영상이 14250×14223 pixel, 우측 영상이 14284×14190 pixel이며, 제작된 프로그램의 사용을 위해서 RAW형식의 파일형태로 변환하였다. 수치화된 한 영상소의 크기는 15.9 μm×15.9 μm로, 실제 지형상에서는 0.079 m×0.079 m에 해당한다. 256가지의 밝기값으로 구분하여 수치화된 흑백필름의 한 영상소가 1 byte의 기억용량을 가지므로 1장의 영상을 저장하는데 필요한 저장용량은 약 198 Mbyte이고, 좌우 사진에 필요한 저장용량은 최소 396 Mbyte가 된다. 본 논문에서 이용한 지상기준점의 3차원 좌표와 공간기술정보(주)에서 개발한 수치사진측량 시스템인 PhoEMS을 통해서 얻은 사진좌표는 표 2와 같다.

4.2 실험의 수행

본 연구에서는 영상정합시에 발생하는 불량 정합점들을 정합 강도의 측정에 따라 제거하는 방법을 제시하였고, 계산된 정합점들의 3차원 좌표를 상용 소프트웨어인 PhoEMS에서의 결과와 비교하였다. 본 연구를 수행하기 위해 사용한 프로그램 언어는 마이크로소프트사의 비주얼 C++ 6.0을 사용하였으며, 그림 4는 본 연구의 전체 흐름도를 표시한 것이다.

표 1. 사용된 항공사진측량용 카메라의 제원 및 특성

명칭	RC30 (WILD)
화면거리	152.85 mm
사진의 크기	23 cm × 23 cm
사진지표의 수	4개

· 내부표정 수행 : 내부표정은 사진의 주점을 기준으

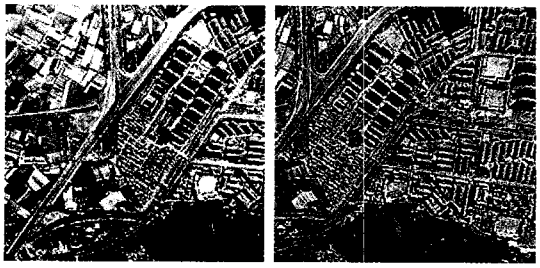


그림 3. 실험에 사용한 좌우 항공사진

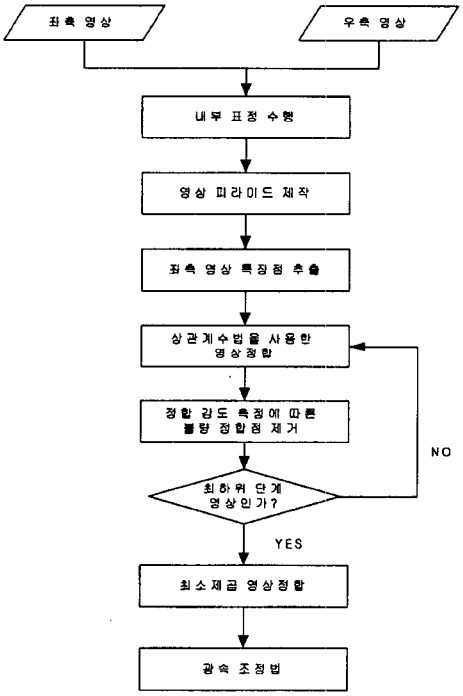


그림 4. 연구 흐름도

표 2. 지상기준점의 좌표와 사진좌표

번호	3차원 좌표			좌측 사진		우측 사진	
	X(m)	Y(m)	Z(m)	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)
905205	199411.755	437565.094	37.668	0.082	-79.355	-69.987	-77.536
905707	199874.78	437248.194	48.702	8.204	20.009	-61.958	19.938
910727	200148.896	437148.372	48.987	-0.871	73.281	-70.566	74.285
9108808	199224.874	437241.240	66.736	68.582	-82.678	-5.380	-83.404
9108268	199335.727	437144.370	42.424	72.17	-54.843	0.777	-56.404
9108408	199608.089	437012.256	40.579	69.103	-0.782	-0.944	-3.064
9108711	200009.481	436785.866	46.088	70.097	84.397	1.553	82.979

로 하는 사진좌표계와 좌측상단을 기준으로 하는 영상좌표계간의 2차원 좌표변환을 사진지표의 사진좌표와 영상좌표를 이용해 수행하는 것을 말하며, 본 연구에서는 내부표정을 위해서 공간기술정보(주)에서 개발한 수치사진측량 시스템인 PhoEMS를 이용하여 사진지표의 영상좌표를 취득하였고, 사진지표의 사진좌표는 항공사진측량용 사진기 RC30에 첨부된 검정자료에서 얻었다.

· 영상피라미드 제작 : 본 연구에서는 총 3단계의 영상피라미드를 제작하였으며, 가장 상위 영상피라미드의 경우 좌측이 1782 pixel×1778 pixel, 우측이 1786 pixel×1774 pixel 크기를 갖는다.

· 특징점 추출 : 좌측 영상으로부터 특징점을 추출하고 이 특징점들을 정합 후보점으로 사용하여 좌측에서 우측 영상으로 상관계수 정합을 실행하였다. 본 연구에서는 Forstner가 제안한 추출 연산자를 사용하였으며, 기본 탐색창틀은 5×5 크기를 사용하였다. 최상위 영상 피라미드 단계에서 Forstner 연산자를 사용하여 특징점을 추출한 후에 상관계수 정합을 실시하여 834개의 정합점들을 얻었다.

· 영상피라미드 단계별로 상관계수 정합 : 전 단계 영상 피라미들의 정합점들을 후보점으로 사용하여 상관계수 정합법으로 공액점을 찾는다. 영상정합시 기준창틀의 크기는 15×15로 정했으며, 허용상관계수는 0.8로 채택하였다.

· 정합 강도 측정에 따른 불량정합점 제거 : 정합점이라고 판단되는 점과 그 이웃점들간에 전체적인 유사성을 관측하여 불량 정합점들을 제거하는 것으로서 이웃하는 정합점들간의 영역은 경험적으로 영상의 폭/8에 해당하는 지역으로 나누었으며, 정합 강도의 값은 정규분포를 따르므로 97%~99% 구간을 유의수준으로 보고 나머지 구간에 있는 정합점들을 불량 정합점이라고 간주하였다.

· 최소제곱 정합법 : 최하위 영상으로부터 얻은 영상 정합점들을 영상소들의 밝기값 차이가 최소로 되는 점을 찾아내는 최소제곱 정합을 수행하였다. 기준 창틀의 크기는 15로 설정하였다.

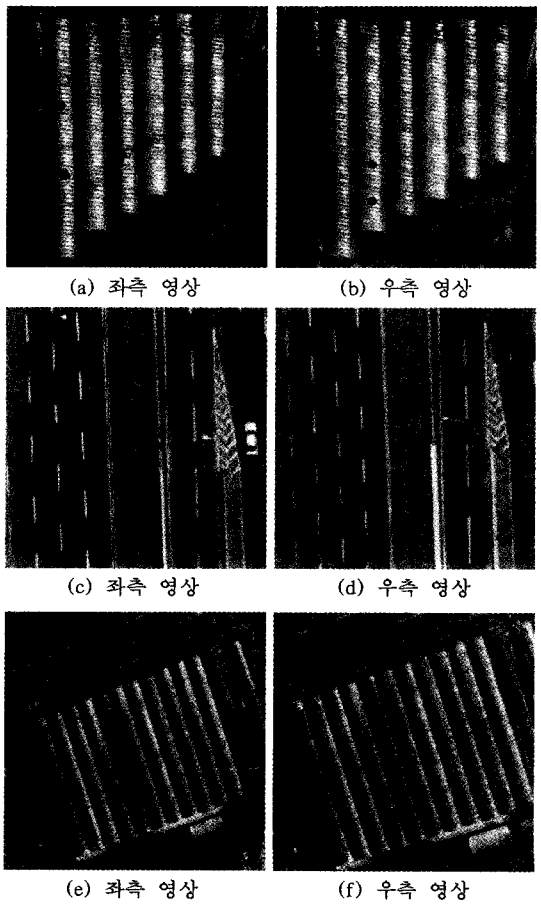
· 광속 조정법 : 좌측과 우측 사진의 내부표정요소의 결과를 이용하여 영상정합으로부터 얻은 정합점들의 영상좌표를 사진좌표로 변환한 후에 광속조정법을 통하여 각 정합점들의 3차원 좌표를 구하였다.

4.3 분석

본 논문에서 제안한 정합 강도의 측정에 따른 불량 정합점 제거를 평가하기 위해서 영상 피라미드 단계별로 제안 방법에 의해 제거된 점들이 불량 정합점들인지를 ArcView3.1을 통하여 육안으로 확인하였다. 또한, 본 논문에서 계산된 정합점들의 3차원 좌표를 상용소프트웨어인 PhoEms에서의 결과와 비교하였다. 표 3은 영상피라

표 3. 제안 방법에 의한 영상 피라미드 단계별 정합점의 수

영상 피라미드의 단계 (사용된 영상정합법)	정합점의 수
level 3(상관계수)	834
불량 정합점 제거	57
level 2(상관계수)	446
불량 정합점 제거	25
level 1(상관계수)	212
불량 정합점 제거	5
level 0(상관계수)	102
불량 정합점 제거	6
level 0(최소제곱)	68

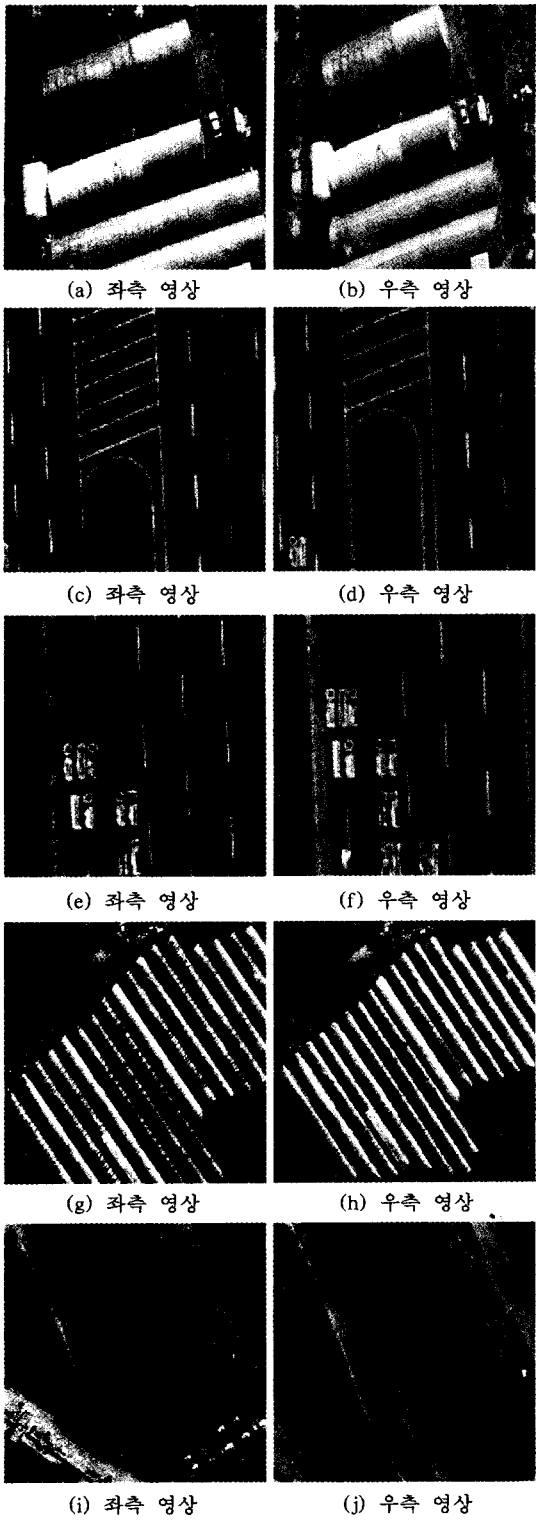


(a) 좌측 영상 (b) 우측 영상

(c) 좌측 영상 (d) 우측 영상

(e) 좌측 영상 (f) 우측 영상

그림 5. 최하위 영상에서 제거된 불량정합점



(a) 좌측 영상 (b) 우측 영상

(c) 좌측 영상 (d) 우측 영상

(e) 좌측 영상 (f) 우측 영상

(g) 좌측 영상 (h) 우측 영상

(i) 좌측 영상 (j) 우측 영상

그림 6. 영상 피라미드 Level 1에서 제거된 정합점

미드 단계별 정합점 수와 불량정합점으로 판단된 정합점의 수를 표시한 것이고, 그림 5는 최하위 영상에서 불량 정합점으로 제거된 6점을 표시한 것이고, 그림 6은 Level 1단계 영상 피라미드에서 제거된 5점을 표시한 것이다.

본 논문에서 제안한 정합 강도 측정에 의한 불량 정합점 제거를 영상 피라미드 단계별로 수행한 결과, 불량 정합점들이 올바르게 제거되었고, 그 효과가 충분함을 알 수 있었다.

또한, 본 논문을 위하여 작성한 프로그램을 이용하여 계산한 내부표정의 결과와 외부표정요소 및 3차원 지상좌표를 공간기술정보(주)에서 개발한 수치사진측량 시스템인 PhoEMS의 결과와 비교하였다. 내부표정을 위한 부등각 사상변환 매개변수는 사진지표의 영상좌표를 PhoEMS를 통하여 얻었기 때문에 본 논문에서의 결과와 PhoEMS의 결과는 같게 나타났다. 표 4는 내부표정의 결과를 나타낸 것이고, 표 5는 조정된 사진좌표에서의 잔차를 나타낸 것이다.

수치지도 작성 작업내규[1]에 내부표정은 4개 이상의 지표를 사용하여야 하며, 그 잔차는 0.02 mm 이내로 규정하고 있으므로 본 논문에서 실행한 내부표정 결과는 허용 오차 범위 이내에 있음을 알 수 있다. 다음 표 6과 표 7은 본 논문에서 계산된 외부표정 요소와 PhoEMS를 통하여 얻은 외부표정요소를 각각 나타낸 것이다.

그림 7은 본 연구에서 작성된 프로그램을 이용하여 얻

표 4. 내부표정 결과

매개변수	좌측 영상		우측 영상	
	산정값	표준편차	산정값	표준편차
a	1.590E-002	5.793E-007	1.590E-002	4.590E-007
b	1.381E-005	5.794E-007	8.659E-005	4.589E-007
c	-1.133E+002	6.986E-003	-1.145E+002	5.545E-003
d	1.676E-005	5.793E-007	8.818E-005	4.590E-007
e	-1.590E-002	5.794E-007	-1.590E-002	4.589E-007
f	1.128E+002	6.986E-003	1.122E+002	5.545E-003

표 5. 조정된 사진 좌표의 잔차

번호	좌측 영상		우측 영상	
	X(mm)	Y(mm)	X(mm)	Y(mm)
1	0.00454444	0.00302796	0.00342761	-0.00263926
2	-0.00454482	-0.00302822	-0.00342753	0.00263920
3	0.00454435	0.00302790	0.00342725	-0.00263898
4	-0.00454396	-0.00302764	-0.00342732	0.00263904

표 6. 본 연구에서 계산된 외부표정요소

구 분	ω(deg)	φ(deg)	κ(deg)	X_0(m)	Y_0(m)	Z_0(m)
좌측사진	0.020752	0.023834	-2.09148	199822.1871	437324.3179	888.654624
우측사진	0.036261	0.049877	-2.05532	199662.9243	436968.939	885.904309

표 7. PhoEMS에서 계산된 외부표정요소

구 분	ω(deg)	φ(deg)	κ(deg)	X_0(m)	Y_0(m)	Z_0(m)
좌측사진	0.020733	0.023854	-2.09150	199822.1887	437324.3219	888.650608
우측사진	0.036257	0.049860	-2.05532	199662.9235	436968.9396	885.898483

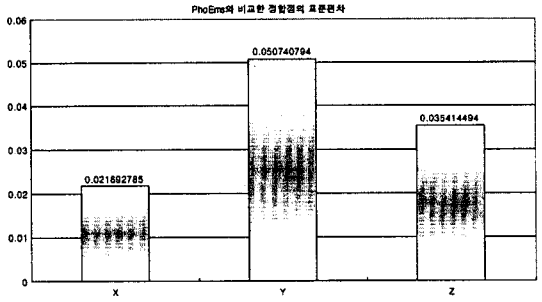


그림 7. PhoEMS와 비교한 정합점들의 표준편차

은 정합점들의 3차원 좌표를 PhoEMS에서 반자동적인 방법으로 얻은 3차원 좌표와 비교하여 구한 정합점들의 표준편차를 나타낸 것이다.

그림 7에서 보듯이 상용소프트웨어인 PhoEMS와 정합점의 3차원 좌표를 비교한 결과 X 방향으로 2.189 cm, Y 방향으로 5.074 cm, Z 방향으로 3.541 cm의 표준편차를 보이고 있다. 본 연구에서 사용된 영상의 경우 1600DPI로 수치화하였고, 수치화된 한 영상소의 크기는 15.9 μm×15.9 μm이며, 실제 지형상에서 7.9 cm×7.9 cm의 크기를 갖는다. 따라서 평면오차 $\sqrt{2.189^2+5.074^2} \fallingdotseq 5.526$ cm는 1 pixel 이내로 들어옴으로 허용 오차로 볼 수 있으며, 본 연구에 사용된 영상의 경우 축척이 약 1/5000로 약 1/1000의 수치지도를 제작 가능하다. 우리나라의 경우, 1/1000 수치지도 작성작업내규[1]에서 평면 위치는 0.2 m, 표고오차는 0.17 m로 규정하고 있으므로 표고오차 3.541 cm 역시 허용 오차 범위 이내로 들어왔다고 볼 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 대상 지역이 완만하게 변하는 경우에 영상정합시 나타나는 불량 정합점들을 정합 강도의 측정에 따라 제거하는 방법을 제안하였고, 최종적으로 얻어진 정합점들의 3차원 지상 좌표를 계산하였다. 따라서 본 논문에서 제안한 방법에 기초한 프로그램을 개발하고 이를 적용 후 평가를 실시한 결과 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 기존에 불량 정합점 제거를 위해 사용한 과대오차 검출기법을 적용하기 이전에 본 연구에서 제안한 방법으로 불량 정합점을 사전에 충분히 제거할 수 있었다.

2. 본 연구에서 제안한 방법은 대상지역이 지형·지물의 기복 변위가 심하지 않은 지역에 잘 적용할 수 있었다.

3. 상용소프트웨어인 PhoEMS에서 반자동적인 방법에 의한 정합점의 3차원 좌표를 비교한 결과 X 방향으로 2.189 cm, Y 방향으로 5.074 cm, Z 방향으로 3.541 cm의 표준 편차를 보였으며, 따라서 본 연구에서 수행한 정합점의 3차원 좌표 결과는 타당하다는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 국립지리원, "수치지도 작성작업내규", 1995, 4.
2. 박희주, "사진측량의 표정을 위한 스테레오 매칭 기법에 대한 연구", 성균관대학교 대학원 박사학위 논문, 1995, 13-39.
3. 정 수, "근거리 사진측량에서 번들조정기법에 의한 블록조정에 관한 연구", 연세대학교 대학원 석사학위 논문, 1990, 11-18.
4. 정 수, "내부표정과 상호표정의 자동화에 관한 연구", 한국측지학회지 제 17권 제 2호, 1999, 105-116.
5. American Society of Photogrammetry, "Manual of Photogrammetry", Fourth Edition, 1980, 37-100.
6. Cho, W. S., "Relational Matching for Automatic

Orientation", Ph. D. Dissertation, The Ohio State University, 1995, 12-28.
7. Larouche, C., "Automation of Photogrammetric Operations Using Advanced Digital Image Matching Techniques", Ph. D. Dissertation, The University of Calgary, 1995, 57-63.
8. Merchant, D. C., "Analytical Photogrammetry Theory And Practice", The Ohio State University Lecture Note, 1984.
9. Mikhail, E. M. and Gordon, G., "Analysis and Adjustment of Survey Measurments", Van Nostrand reinhold Company, 1981, 106-133.
10. Kraus, K., "Photogrammetry", The Vienna University, 1993, 344-378.
11. Wolf, P. R., "Adjustment Computations", John Willey & Sons INC, 1997, 35-48.
12. Schenk, T., "Concepts in Digital photogrammetry", The Ohio State University Lecture Note, 1990.