

수치 영상을 활용한 3차원 위치 정확도 해석

A Study On the Accuracy Analysis of 3-Dimensional Position using Digital Image

유복모*
YEU, Bock-Mo

손덕재**
SOHN, Duk-Jae

염재홍***
YOM, Jae-Hong

백상호****
BAEK, Sang-Ho

要 旨

본 연구에서는 근거리 사진측량에 수치사진측량기법을 적용하여 3차원 위치를 결정하였다. 이를 위해 근거리 사진측량으로 부터 취득한 사진을 스캐너에 의해 수치영상으로 변환시키고, 영역적 영상정합기법으로 정합점을 탐색하여 사진의 외부표정요소를 결정한 후 기준점들의 3차원 위치값을 계산하였다. 이 값을 최초의 기준점 측량값과 비교하여 정확도를 분석함으로써 수치사진측량기법에서 적용할 수 있는 영상정합기법에 대해 연구하였다. 영상정합은 영역적 영상정합방법에 의한 정합점 추출방법을 채택하였으며, 영상소 단위까지의 영상정합기법과 부영상소 단위까지의 영상정합 실험을 실시하여 그 결과를 비교분석하였다.

본 연구의 결과 영상소단위의 정합에서는 3.32mm의 3차원 위치오차를 얻을 수 있었으며, 단일 축 방향으로서는 0.76mm의 오차로 위치를 결정할 수 있었다. 부영상소 단위의 정합에서는 각각 3.98mm와 0.73mm의 오차로 위치를 결정할 수 있었다.

ABSTRACT

This study aims to apply digital photogrammetric methods on the close range photogrammetry. To get a three dimensional position with digital photogrammetric method, scanning, image matching, and bundle adjustment are performed. Comparing the three dimensional position computed by digital photogrammetric methods with ground survey values, the errors can be detected. Analyzing the errors, it is possible to present a new digital photogrammetric method for the close range photogrammetry. Image matching method used in this study is area-based pixel unit and subpixel unit method.

As a result of the study, three dimensional position error is 3.32mm and the error in the single coordinate axis direction is 0.76mm in pixel unit and in subpixel unit, respective error is 3.98mm and 0.73mm.

1. 서 론

사진측정학은 대상물에 대한 정량적 및 정성적인 정보를 해석하기 위한 것으로서 19세기 후반의 이론적 토대위에 1차, 2차 세계대전을 통해 비약적으로 발전

하였으며, 전산기 기술의 급속한 발전으로 현재는 수치사진측량의 시대에 이르게 되었다.

그동안 사용되었던 해석사진측량은 기계적으로 정확히 해석하기 위해서는 숙련된 도화사가 필요하며 고가의 도화장비가 필요하다. 그런데 소규모 근거리 사

* 연세대학교 토목공학과 교수

** 서남대학교 토목공학과 교수

*** 연세대학교 토목공학과 석사과정

**** 연세대학교 토목공학과 박사과정

진측량의 경우에 있어서는 소량의 사진을 분석하기 위해 고가의 장비와 숙련된 기술인력을 사용한다는 것이 비효율적일 수 있으며, 경제성이 확보되지 않는다. 따라서, 고가의 해석도화기와 숙련된 기술자가 없어도 수학적인 모형식에 의해 전산기에서 수치적으로 처리하는 기법의 필요성이 대두되고 있는 것이다.

본 논문에서는 지상사진기에 의해 촬영된 한 쌍의 사진을 수치화(digitizing)하고, 수치화된 영상에서 상좌표를 취득함에 있어 육안관측에 의한 방법과 통계적 이론에 의한 영상소단위의 수치영상정합 및 부영상소단위의 수치영상정합을 수행하여 각각의 3차원 위치를 결정하고 상호정확성을 비교하여 근거리 사진측량에서 수치사진측량기법에서 적용할 수 있는 영상정합기법에 대해 연구하였다.

2. 수치사진측량기법에 의한 근거리 사진측량 이론

2.1 연구 체계

수치사진측량을 이용하여 근거리 사진측량 성과를 얻기 위한 과정은 그림 2.1과 같다. 따라서 본 연구를 위해서는 그림 2.1에 나타난 바와 같이 스캐너의 점정, 광속조정법(bundle adjustment), 수치영상정합(digital image matching) 등에 대한 이론이 정립되어야 하고 관련 프로그램을 제작하여야 한다.

2.1.1 좌표변환

수치영상은 스캐닝방향을 u , 진행방향을 v 로 표현되는 영상좌표와 그 좌표상에 위치한 밝기값을 0부터 255사이의 정수로 나타낸 것을 말한다. 이때 사진영상의 수치자료 u, v 의 값은 모두 양(+)의 정수이다. 하나의 영상좌표를 또다른 영상좌표로 변환하거나 사진좌표로 평면좌표변환하는 방법에는 다음과 같이 부등각 사상변환, 의사부등각사상변환, 평면투영변환, 2차 다항 변환, 3차 다항 변환 등이 있다. 그림 2.2는 영상좌표와 사진좌표 사이의 변환관계이다. 본 연구에서 사진좌표의 취득, 영상정합의 예측모형식 설계 등에 이

와같은 평면좌표변환식이 이용된다.

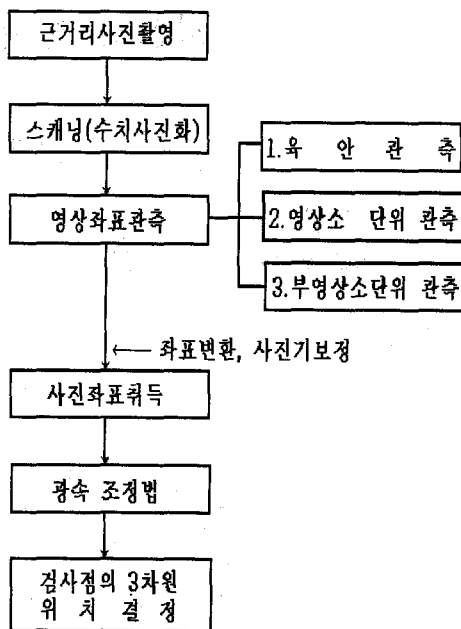


그림 2.1 수치사진측량을 이용한 근거리 사진측량기법연구

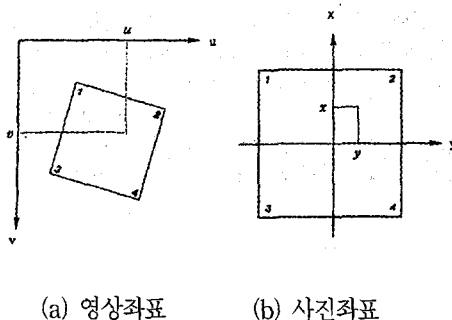


그림 2.2 영상좌표에서 사진좌표로의 변환

2.1.2 사진측량의 정오차

사진측량의 함수모델은 상점과 노출점 및 상점에 대응하는 대상점이 일직선 위에 존재해야 한다는 공선조건식(collinearity equation)을 근거로 한다. 그러나, 실제에 있어서는 사진기가 완전하지 못하며, 대상

점으로부터의 광선이 일직선이 아닐 수도 있으므로 상좌표에 대한 보정이 필요하다. 이러한 보정에는 주점에 대한 보정 및 렌즈왜곡에 대한 보정이 반드시 수행되어야 하며, 이 밖에도 필름의 신축 및 편평도, 대기의 굴절 등이 고려될 수 있으나 근거리 사진측량에서는 그 영향이 극히 미약하여 일반적으로 고려하지 않는다.

① 렌즈의 방사방향 왜곡

방사방향왜곡은 주점에 대해 방사적이고 대칭적인 특징을 보이며, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$dr = K_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7 + \dots \quad (2.1)$$

이때, K_1, K_2, K_3 는 방사방향 왜곡에 대한 계수이고 r 은 다음과 같이 표현되는 주점에서부터의 방사거리(radial distance)이다.

$$r^2 = (x - x_p)^2 + (y - y_p)^2 \quad (2.2)$$

이때, (x, y) 는 임의의 상점에 대한 사진좌표이고, (x_p, y_p) 는 주점의 사진좌표이다

② 주점의 보정

렌즈의 보정을 통해 사진면에 직각으로 입사된 광선이 상을 맺는 주점은 사진면이 경사져서 광축과 직교하지 않는 경우 광축이 사진면에 상을 맺는 점과 일치하지 않는다. 측량용 사진기의 경우 지표좌표계의 원점은 일반적으로 4개의 지표중심이 되는 것으로, 주점과의 차이가 있는 경우 그 만큼 평행이동 시킨 주점을 원점으로하는 좌표계로 변환시켜야 한다.

2.2 광속조정법

2.2.1 외부표정요소

지표면 평행좌표계의 x', y', z' 축에 대하여 회전행

렬 $R(x, \phi, \omega)$ 만큼 순차적으로 회전하여 사진기의 경사를 재현하는 회전변환식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11}x + m_{12}y + m_{13}z \\ m_{21}x + m_{22}y + m_{23}z \\ m_{31}x + m_{32}y + m_{33}z \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

z 를 사진기 초점거리 $-f$ 로 치환하여 대입하고, 역변환식에 의하여 촬영시와 동일한 상태를 재현한다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix} = R^T \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

대상물 공간에서 경사가 없는 대상물의 점 $P(X_p, Y_p, Z_p)$ 와 사진기 투영중심 $O(X_o, Y_o, Z_o)$ 가 이루고 있는 좌표계와 일직선상에 있는 사진상의 점 P 를 x_p, y_p, z_p 로 잡으면 다음과 같이 성립한다.

$$S = \frac{\vec{r}}{R} = \frac{(x_p - x_o)}{X_p - X_o} = \frac{(y_p - y_o)}{Y_p - Y_o} = \frac{-f}{Z_p - Z_o} \quad (2.6)$$

또한,

$$\begin{bmatrix} x_p - x_o \\ y_p - y_o \\ -f \end{bmatrix} = SR \begin{bmatrix} X_p - X_o \\ Y_p - Y_o \\ Z_p - Z_o \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

의 관계가 성립한다

이를 정리하여 전개하면 공선조건식은 다음과 같다.

$$x_p = -f \frac{(X_p - X_o)m_{11} + (Y_p - Y_o)m_{12} + (Z_p - Z_o)m_{13}}{(X_p - X_o)m_{31} + (Y_p - Y_o)m_{32} + (Z_p - Z_o)m_{33}} \quad (2.8)$$

$$y_p = -f \frac{(X_p - X_o)m_{21} + (Y_p - Y_o)m_{22} + (Z_p - Z_o)m_{23}}{(X_p - X_o)m_{31} + (Y_p - Y_o)m_{32} + (Z_p - Z_o)m_{33}} \quad (2.9)$$

위 식을 Taylor 급수전개를 한 뒤 2차원 이상의 고차항을 무시하여 선형화하여 초기값들의 보정해를 구할 수 있다.

2.3 벡터 해석에 의한 지상좌표

좌표는 공간교선(space intersection)이론에 의하여 계산을 할 수 있다. 좌우사진에서 정합으로 동일지점 p_1, p_2 를 찾았을 경우, 그 때의 각각의 투영 중심 L_1 과 L_2 에 의하여 두 개의 직선이 형성된다. 이론적으로 두 직선이 한 점에서 만나야 하지만, 일반적으로 외부표정요소의 결정이나 정합위치 결정에서 피할 수 없는 오차들로 인하여 두 직선은 서로 교차하지 않는다. 따라서 실제에 있어서는 두 직선의 최단거리 벡터를 찾아 이것의 중간점을 교차점으로 간주하여 좌표를 계산한다.

2.4 영상정합(image matching)

영상정합이란 밝기값을 비교하여 공통되는 점을 결정하는 것으로서 수치영상을 이용한 영상정합은 스캐너를 이용하여 사진을 수치영상으로 변환하고, 변환된 좌우 수치영상에 존재하는 정합점들을 탐색하는 방법으로 영상정합의 정도에 따라 수치사진측량의 정확도가 좌우된다.

영상을 정합하는 방법에는 영상에 존재하는 점, 모서리, 선 등과 같은 구조체를 추출하여 정합하는 특징적 영상정합(feature-based image matching)과 정합점 부근의 일정면적에 대하여 두 영상에서 반사된 빛의 밝기값을 비교하여 정합하는 영역적 영상정합(area-based image matching)이 있다.

특징적 영상정합은 특징점의 유사한 특징표현을 가지는 영상소에 대해서만 정합을 시도하므로 처리시간이 빠르며 정합의 정확도가 높다는 장점이 있으나 뚜렷한 특징이 없는 일반적인 영상에서는 잘 적용되지 않으며 부영상소(subpixel)까지의 깊이 정보를 추출하

기가 어렵다는 단점을 갖고 있다. 영역적 영상정합은 부영상소까지 깊이 정보를 추출하기가 용이하며 일반적인 영상에도 적용이 가능하다는 장점이 있으나 처리시간이 길며 촬영당시의 조명 등 입력환경에 따라 민감하게 반응한다는 단점을 갖는다.

2.4.1 영상소단위

영상상관기법은 좌우 수치영상의 동일점으로 예상되는 u 점과 v 점의 유사성을 통계학적으로 관측하는 것으로서 다음과 같이 공분산(cov_{uv}) 및 상관계수(cor_{uv})를 통해 해석하며, 공분산은

$$cov_{uv} = \frac{\sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})(v_i - \bar{v})}{n-1} \quad (2.10)$$

으로 표현되며, 이를 상관계수로 표현하면,

$$cor_{uv} = \frac{cov_{uv}}{S_u \cdot S_v}, \quad -1 \leq cor_{uv} \leq 1 \quad (2.11)$$

이다.

여기서, S_u 와 S_v 는 각각 u, v 영상소에 대한 표준편차로,

$$S_u = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2}{n-1} \right)^{1/2} \quad (2.12)$$

$$S_v = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}{n-1} \right)^{1/2} \quad (2.13)$$

이 되며, 이때 상관계수는 다음과 같이 결정된다.

$$cov_{uv} = \frac{\sum_{i=1}^n u_i v_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i \sum_{i=1}^n v_i}{\left[\sum_{i=1}^n (u_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i)^2 \sum_{i=1}^n (v_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i) \right]^{1/2}} \quad (2.14)$$

그림 2.3에서 보는 바와 같이 영상면에 적용할 경우 좌측 영상의 $m \times n$ 크기인 기준영역을 $W(u,v)$ 로 설정하고, 이에 대응하는 우측영상의 $M \times N$ 크기인 탐색영역을 $S(u,v)$ 로 설정한 다음, 좌측영상의 기준영역을 우측영상의 탐색영역내에서 한 영상소씩 이동하면서 각각의 위치에 대한 상관계수를 결정하며 결정식은 다음과 같다.

$$cor(m, n) = \frac{\sum \sum [S(u, v) - \bar{S}(u, v)] [W(u, v) - \bar{W}(u, v)]}{\sum \sum [S(u, v) - \bar{S}(u, v)] [W(u, v) - \bar{W}(u, v)]} \quad (2.15)$$

여기서,

$$-1 \leq cor \leq 1$$

$$\bar{S} = [\sum \sum S(u, v)] / (m \times n)$$

$$\bar{W} = [\sum \sum W(u, v)] / (M \times N)$$

$S = S(u, v)$: 기준배열의 밝기값

$\bar{S} = \bar{S}(u, v)$: 기준배열의 평균밝기값

$W = W(u, v)$: 탐색배열의 밝기값

$\bar{W} = \bar{W}(u, v)$: 탐색배열의 평균밝기값

이다.

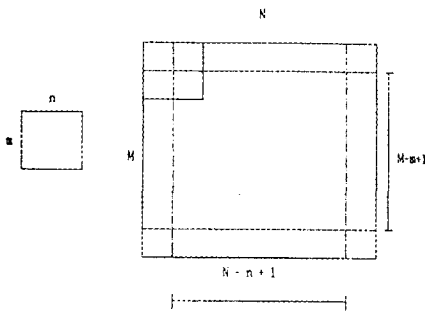


그림 2.3 영상상관기법

2.4.2 부영상소단위

부영상소정합은 보다 정확한 위치를 검색하기 위해 검색영역과 탐색영역을 확대하여 검색하는 기법이다.

부영상소 정합은 본래의 영상소에서 영상소 단위까지의 정합을 실시하여 좌우 영상에서 정합점이 결정되면 그 점을 중심으로 적절한 영역의 크기를 설정하고 그림 2.4처럼 확대된 영역내에서 한 개의 영상소씩 기준영역과 탐색영역을 이동하여 소수점 첫째자리까지 정합을 실시한다.

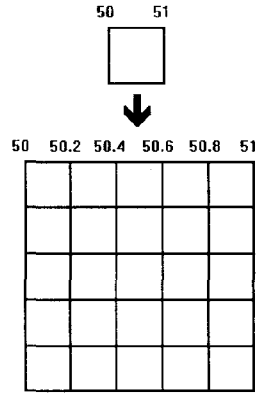


그림 2.4 부영상소 정합을 위한 영상소확대 예

3. 관측 및 관측자료

3.1 Test Field의 설치 및 촬영

본 연구에서는 지상용 Rolleiflex 6006 6×6 metric 사진기로 직각 수평 촬영하였으며, 기준점의 3차원 좌표는 5" 독 데오돌라이트(SOKKIA DT5S)를 사용하여 삼각수준측량에 의해 관측하였다.

본 연구에 사용된 모형물은 65cm×130cm 크기이며, 모형대상물상에 기준점 및 검사점으로 이용될 20점의 표지를 배치하여 사진촬영 및 기준점 측량을 실시하였다. 모형물의 크기에 대한 사진의 축척을 1/30으로 고려하고 50mm 렌즈를 사용하여, 모형대상물로부터 1.6m에서 모형대상물 전체가 중복범위안에 포함되도록 촬영하였다. 사진의 중복도가 65%일때 기선 길이는 약 52cm이며, 기선 간격의 좌우에서 사진촬영을 실시하였다. 촬영은 자연광 상태에서 촬영하였으며,

촬영된 사진중 필름상태와 표정점의 해상력이 비교적 양호한 것을 선택하여 관측값해석에 이용하였다. 본 논문에서 사용된 사진기의 주요 특성과 선정된 필름의 촬영조건은 표 3.1과 같다.

표 3.1 본 연구에 이용된 사진기 및 필름의 특성

품명	특성
사진기명	Rolleiflex 6006
사용필름	KODAK VP 6041
렌즈	Distagon f/4 HFT No.:8110021
수평/수직각	75/57°
초점거리	50mm
화면크기	60mm×60mm
노출	f/9
셔터속도	1/250초
촬영거리	1.6m

표 3.2 기준점 측량 결과

측점	수평각		연직각		XL(m)	YL(m)	ZL(m)
	좌	우	좌	우			
1	274-45-05	65-27-20	88-49-10	88-46-15	0.2879	1.0775	0.2838
2	277-59-10	68-13-10	88-13-55	88-11-10	0.5069	1.1178	0.3137
3	279-52-40	70-09-05	88-18-50	88-14-14	0.6470	1.1139	0.2974
4	283-31-05	73-36-25	87-40-50	87-33-30	0.9045	1.1598	0.3280
5	275-01-15	65-41-30	91-44-50	91-26-45	0.3064	0.8792	0.2829
6	278-11-35	68-17-40	91-41-20	91-25-55	0.5167	0.8825	0.3285
7	280-28-50	70-30-15	90-48-20	90-37-10	0.6801	0.9418	0.3288
8	283-49-15	73-36-45	91-07-40	90-57-45	0.9114	0.9185	0.3668
9	275-24-40	66-02-15	95-30-10	94-54-30	0.3334	0.6231	0.2814
10	278-04-40	68-09-00	95-27-20	94-57-50	0.5072	0.6284	0.3313
11	280-51-55	70-27-20	95-23-40	95-01-35	0.6887	0.6299	0.3337
12	284-08-05	73-29-20	95-32-20	95-19-20	0.9118	0.6157	0.4223
13	275-32-05	66-06-30	100-02-20	99-05-20	0.3406	0.3101	0.2848
14	278-17-00	68-31-05	99-57-45	99-13-55	0.5286	0.3104	0.3042
15	280-12-10	70-16-10	99-37-40	99-04-00	0.6617	0.3296	0.3183
16	283-41-05	73-37-55	99-39-35	99-23-35	0.9094	0.3166	0.3404
17	275-28-35	66-01-50	103-36-50	102-24-10	0.3357	0.0573	0.2862
18	278-08-50	68-21-15	103-29-55	102-39-55	0.5175	0.0520	0.3068
19	280-11-05	70-16-10	103-23-50	102-47-05	0.6611	0.0519	0.3134
20	283-35-15	73-22-00	124-03-20	103-04-05	0.8945	0.0505	0.3581

3.2 기준점 측량

모형대상물에 설치된 각 측점과 사진촬영점의 3차원 좌표값을 얻기 위해 대상물로 부터 3.8m 위치에서 기선길이를 2.08m로 하여 삼각수준 측량방법에 의해 기준점 측량을 실시하였다. 그 결과는 표 3.2와 같으며, 촬영점에 대한 기준점 측량 성과를 이용하여 번들 조정의 입력값이 되는 외부표정요소의 초기값을 결정하였다.

3.3 사진좌표계산

사진측정학에서 광속조정법을 적용하기 위해서는 대상물의 기준점에 해당하는 사진상의 좌표를 관측하여야 한다. 사진좌표는 렌즈의 중심을 수직으로 입사한 광선이 필름상에 맺히는 점을 원점으로 하여 정의되며 측량용 사진기의 지표(fiducial mark)와 같이 Rolleiflex 6006 6×6 metric에는 사진좌표값을 알고 있는 레조(Reseau)를 기준으로 하여 사진상의 각 점에 대한 사진좌표를 계산할 수 있다. 본 논문에서 사용하는 사진좌표는 촬영된 사진에서 ERDAS사의 IMAGINE으로 10배 확대하여 관측한 상좌표는 의사 부등각사상변환식을 이용하여 실험하였다.

표 3.3 좌우 사진의 영상좌표

번호	좌측사진		우측사진		비고
	X	Y	X	Y	
1	1278.95	787.05	483.85	875.45	
2	1640.35	706.95	833.85	799.15	
3	1869.95	723.05	1069.95	817.05	
4	2305.25	633.55	1489.45	734.95	
5	1309.05	1110.35	510.25	1197.35	
6	1661.35	1091.75	841.05	1180.55	
7	1936.35	992.95	1117.15	1083.45	
8	2346.65	1019.45	1505.25	1112.05	
9	1355.45	1532.85	551.05	1615.05	
10	1647.05	1526.05	820.85	1607.45	
11	1975.05	1519.55	1121.05	1601.05	
12	2339.45	1543.35	1513.15	1624.25	
13	1366.05	2051.35	557.25	2133.05	
14	1682.25	2056.05	865.05	2134.95	
15	1909.25	2027.55	1087.05	2104.85	
16	2339.25	2054.65	1504.75	2127.15	
17	1359.15	2474.35	547.05	2557.05	
18	1663.85	2493.35	847.15	2570.15	
19	1907.75	2495.45	1088.75	2567.85	
20	2325.35	2526.55	1481.55	2590.85	

4. 관측자료의 처리 및 해석

4.1 사진의 수치화

사진을 수치영상으로 변환하는데에는 스캐너가 이용되며, 일반적으로 횡단형(pass-through scanner), 원통형(drum scanner), 평판형(flat-bed scanner)으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 평판 광학방식의 VISTA-S6 Color Scanner(UMAX DATA SYSTEM 사)를 이용하였으며, 수치영상의 해상도는 1200DPI이다. 영상은 0부터 255까지 총 256가지의 밝기값(gray value)으로 구분하여 수치화하였으므로, 한 영상소는 1byte의 기억용량을 차지하고 한 사진에 대한 전체화일의 크기는 약 8Mbyte이다. 따라서 사진 2장을 저장하기 위해서는 최소 16Mbyte의 저장용량이 필요하다. 이때 1영상소는 사진상 $21\mu\text{m} \times 21\mu\text{m}$ 의 크기를 갖는다.

4.2 영상정합

본 연구에서는 좌측영상에 기준영역을 설정하고 우측영상에 탐색영역을 설정한 다음, 그 영역 내에 있는 영상소의 밝기값 분포를 비교하여 정합점을 탐색하는 영역적 영상정합방법을 이용하였다.

좌우영상의 상관성은 두 영역의 유사성을 나타내는 상관계수를 통계적으로 처리하여 유출하였으며, 상관계수를 이용하여 정합점을 탐색하였고, 각 정합점을 기준영역의 중심으로 설정하였다. 기준영역의 크기는 축척과 그에 따라 영상에 나타나는 표지의 크기를 고려하여 41영상소 \times 41영상소로 설정하여 실험하였으며, 탐색영역의 크기는 종방향으로는 4영상소, 횡방향으로는 60영상소크기로 하여 실험하였다.

기준점의 분포는 정확도를 고려하여 대상물의 외곽에 4점, 중앙에 1점을 배치하였으며, 기준점은 육안으로 정확히 관측하는 것이 곤란하여 ERDAS사의 IMAGINE을 사용하여 10배 확대하여 관측하였다. 20개의 기준점과 자유도를 고려하여 3차 다항식을 예측 모형식으로 적용하였다.

① 육안관측

영상정합기법을 적용하기 이전에 육안관측에 의한 관측에서 다섯개의 기준점에 대한 3차원 위치의 표준오차 평균은 그림 4.1에서 처럼 x방향으로 0.41mm, y방향으로 0.39mm, z방향으로 1.57mm의 값을 나타냈으며, 외부표정요소의 값과 표준오차는 그림 4.2와 같다.

대상물에 설치한 20개의 표지 중에서 다섯개의 기준점을 기준으로 하여 나머지 점들의 3차원 위치를 추정하였을 때의 값은 표 4.1과 같으며, 이 중 과대오차가 발생하는 9번점과 상관계수값이 0.8 미만으로 나타나는 2, 3번 점을 제외한 나머지 점들만으로 표준오차를 계산한 결과는 그림 4.3과 같다.

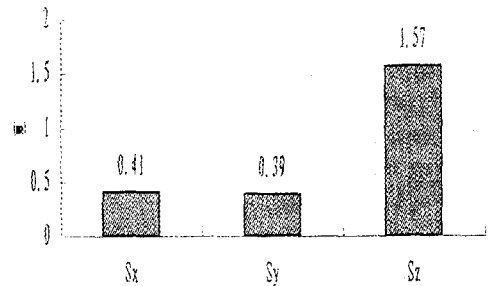


그림 4.1 육안관측에서 기준점의 표준오차평균

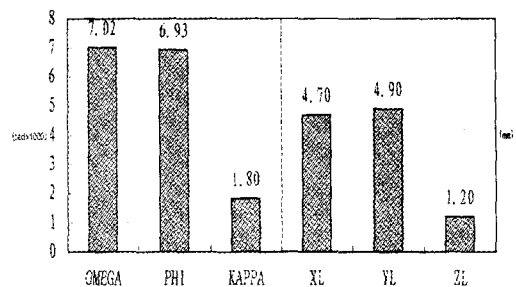


그림 4.2 육안관측에서 외부표정요소의 오차

입력하여 획득한 3차원 위치와 기준점측량에 의한 값과의 오차 및 표준오차는 표 43와 같다. 육안관측의 경우와 마찬가지로 상관계수가 0.8 미만인 2, 3번 점과 과대오차가 발생하는 9번점의 결과를 제외하고 나머지 검사점에 대해서만 계산을 수행하였다.

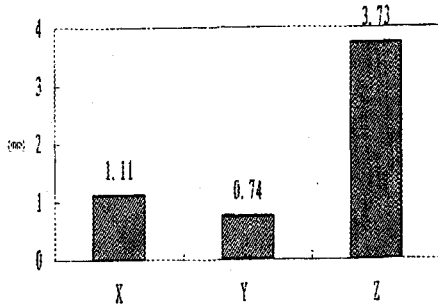


그림 4.3 육안관측에서 검사점의 표준오차

표 4.1 육안관측에서 검사점의 위치와 표준오차

단위:mm

no	Xc	오차	Yc	오차	Zc	오차	비 고
1	287.2	0.7	1077.9	-0.4	277.9	5.9	
2	506.3	0.6	1119.8	-2	306.2	7.5	
3	647.0	0	1114.3	-0.4	296.6	0.8	
4	905.1	-0.6	1159.6	0.2	328.0	0	
6	516.1	0.6	882.8	-0.3	327.2	1.3	
7	679.6	0.5	942.1	-0.3	328.2	0.6	
9	335.3	-1.9	622.2	0.9	290.4	76.4	과대오차
11	689.4	-0.7	629.9	0	381.8	1.9	
12	913.7	-1.9	616.3	-0.6	413.7	8.6	
14	528.1	0.5	311.1	-0.7	307.5	-3.3	
15	660.9	0.8	329.6	-0.1	320.3	-2.0	
17	338.6	-2.9	59.8	-2.5	285.9	0.3	
18	518.9	-1.4	51.9	0.1	300.1	6.7	
19	662.4	-1.3	52.0	-0.1	308.3	5.1	
20	895.3	-0.8	49.4	1.1	353.4	4.7	
표준오차		1.094		0.738		3.728	

표 4.2 영상소 단위 영상정합 결과

번호	좌측사진		우측사진		비 고
	X	Y	X	Y	
1	1278	787	482	876	0.953
2	1640	706	833	799	0.776
3	1869	723	1069	818	0.758
4	2305	633	1489	734	0.869
5	1309	1110	510	1197	0.963
6	1661	1091	841	1180	0.938
7	1936	992	1117	1083	0.948
8	2346	1019	1504	1111	0.939
9	1355	1532	551	1615	0.975
10	1647	1526	821	1608	0.926
11	1975	1519	1121	1601	0.926
12	2389	1543	1513	1623	0.960
13	1366	2051	557	2133	0.968
14	1682	2056	866	2134	0.963
15	1909	2027	1086	2104	0.942
16	2339	2054	1504	2127	0.922
17	1359	2474	547	2557	0.975
18	1663	2493	846	2569	0.926
19	1907	2495	1087	2567	0.953
20	2325	2526	1481	2590	0.950

② 영상소단위 영상정합

영상정합 기법을 이용하여 우측사진의 좌표를 영상소 단위까지 결정하였을때 그 결과는 표 4.2와 같다.

이때, 다섯개의 기준점(#5, #8, #11, #13, #16)에 대한 표준오차평균은 그림 4.4에서 보는 바와 같이 x방향으로 0.42, y 방향으로 0.41, z 방향으로 1.56 의 오차를 나타냈다. 한편, 외부표정요소의 오차는 그림 4.5과 같다. 영상소단위의 영상정합에 의해 취득된 좌표값을

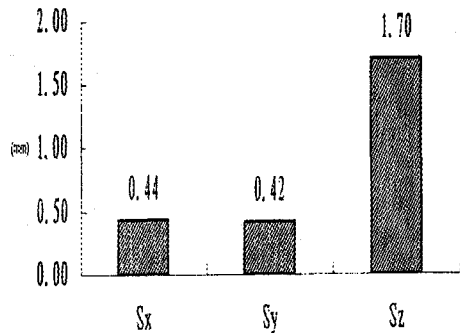


그림 4.4 영상소단위 영상정합에서 기준점의 표준오차평균

표 4.3 영상소단위 영상정합에서의 검사점의 위치와 표준오차 (단위:mm)

no	Xc	오차	Yc	오차	Zc	오차	비고
1	287.4	0.5	1076.9	0.6	280.6	3.2	
2	506.3	0.6	1119.6	-1.8	306.4	7.3	
3	646.9	0.1	1113.7	0.2	297.1	0.3	
4	905.4	-0.9	1159.9	-0.1	327.4	0.6	
6	516.2	0.5	883.1	-0.6	326.0	2.5	
7	679.9	0.2	942.3	-0.5	327.2	1.6	
9	335.2	-1.8	622.2	0.9	289.8	77.0	과대오차
11	689.7	-1.0	629.8	0.1	300.7	3.0	
12	914.1	-2.3	616.5	-0.8	412.8	9.5	
14	528.3	0.3	310.8	-0.4	305.1	-0.9	
15	660.7	1.0	330.0	-0.5	321.4	-3.1	
17	338.6	-2.9	59.7	-2.4	285.8	0.4	
18	518.8	-1.3	52.9	-0.9	301.8	5.0	
19	662.0	-0.9	53.3	-1.4	310.9	2.5	
20	895.1	-0.6	49.9	0.6	353.9	4.2	
표준오차		1.030		0.760		3.062	

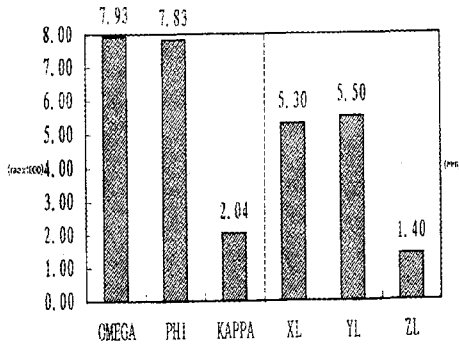


그림 4.5 영상소 단위 영상정합에서의 외부표정요소의 오차

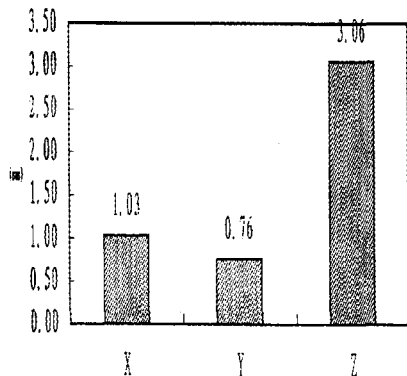


그림 4.6 영상소단위 영상정합에서 검사점의 표준오차

③ 부영상소단위 영상정합

본 연구에서는 보다 정확한 영상정합을 수행하기 위해 하나의 영상소를 10배로 확대하여 상관계수에 의한 정합점을 검색하고 다시 이를 10으로 나누어 소수점 첫째자리로 처리하는 부영상소 정합을 실시하였다. 영상소 단위의 영상정합에 의해서 결정된 좌우측 사진의 영상소를 10배 확대한 영역의 점들에 대해 상

표 4.4 부영상소단위까지의 영상정합에서의 영상좌표

번호	좌측사진		우측사진		상관계수
	X	Y	X	Y	
1	1278.95	787.05	482.9	876.0	0.953
2	1640.35	706.95	833.3	799.9	0.774
3	1869.95	723.05	1069.9	818.0	0.760
4	2305.25	633.55	1489.2	734.5	0.864
5	1309.05	1110.35	510.0	1197.3	0.964
6	1661.35	1091.75	841.3	1180.7	0.927
7	1936.35	992.95	1117.3	1083.9	0.945
8	2346.65	1019.45	1504.6	1111.4	0.938
9	1355.45	1532.85	551.4	1615.8	0.975
10	1647.05	1526.05	821.0	1608.0	0.929
11	1975.05	1519.55	1121.0	1601.5	0.926
12	2389.45	1543.35	1513.4	1623.3	0.958
13	1366.05	2051.35	557.0	2133.3	0.969
14	1682.25	2056.05	866.2	2134.0	0.962
15	1909.25	2027.55	1086.2	2104.5	0.942
16	2339.25	2054.65	1504.2	2127.6	0.920
17	1359.15	2474.35	547.1	2557.3	0.975
18	1663.85	2493.35	846.8	2569.3	0.926
19	1907.75	2495.45	1087.7	2567.4	0.953
20	2325.35	2526.55	1481.3	2590.5	0.950

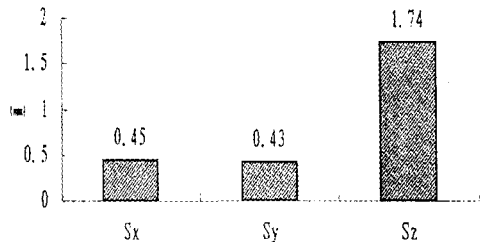


그림 4.7 부영상소 단위 영상정합에서 기준점의 표준오차 평균

관기법을 적용하여 부영상소(subpixel) 단위까지 영상정합을 실시하였다. 부영상소단위까지 영상정합을 실시하였을때의 결과는 표 4.4와 같다.

기준점의 표준오차 평균과 검사점의 표준오차는 그림 4.7, 4.9와 같다.

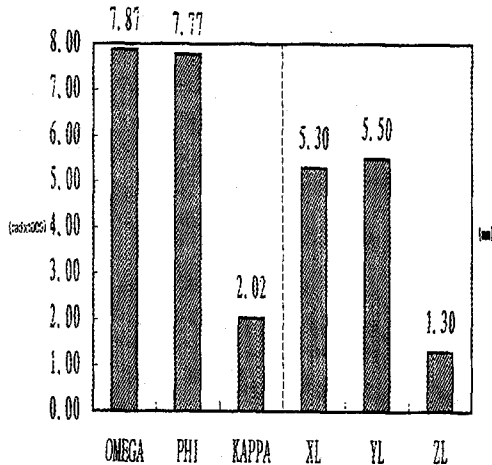


그림 4.8 부영상소단위 영상정합에서 외부표정요소의 오차

표 4.5 부영상소 단위 영상관측에서 검사점의 오차와 표준오차 (단위:mm)

no	Xc	오차	Yc	오차	Zc	오차	비고
1	287.3	0.6	1077.4	0.1	279.0	4.8	
2	506.3	0.6	1119.4	-1.6	306.3	7.4	
3	647.2	-0.2	1114.1	-0.2	296.0	1.4	
4	905.2	-0.7	1159.6	0.2	327.9	0.1	
6	516.2	0.5	883.0	-0.5	325.8	2.7	
7	679.9	0.2	942.1	-0.3	327.1	1.7	
9	335.2	-1.8	622.0	1.1	289.2	77.6	과대오차
11	689.6	-0.9	629.8	0.1	380.9	2.8	
12	914.2	-2.4	616.6	-0.9	412.5	9.8	
14	528.3	0.3	310.8	-0.4	304.8	-0.6	
15	660.7	1.0	330.0	-0.5	321.2	-2.9	
17	338.6	-2.9	59.6	-2.3	285.6	0.6	
18	518.9	-1.4	52.3	-0.3	300.3	6.5	
19	662.2	-1.1	52.8	-0.9	309.7	3.7	
20	895.3	-0.8	49.7	0.8	353.4	4.7	
표준오차		1.14619		0.7267		3.744	

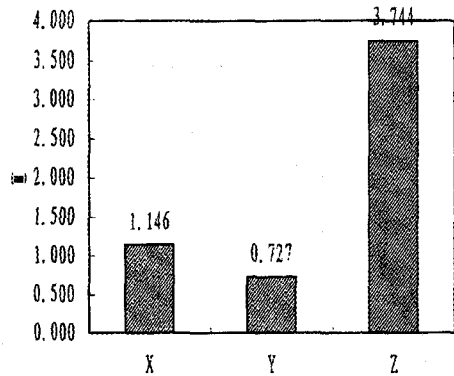


그림 4.9 부영상소 단위 영상관측에서 검사점의 표준오차

4.3 정합점 추출방법에 따른 관측값 해석

본 연구에서는 사진을 수치화하여 3차원위치를 구하여 직접적인 근거리 사진측량으로 부터 얻은 성과를 비교분석하여 효율적인 기법을 제시하기 위해 육안에 의한 방법과 영상소단위까지의 정합, 부영상소단위까지의 정합을 실시하였다.

다섯개의 기준점에 대한 표준오차 평균은 육안관측이 가장 작은 오차를 나타내었으며 영상소단위의 오차와 부영상소단위의 오차는 근소한 차이를 보이며 약간씩 크게 나타났지만 그 차이는 육안관측을 기준으로 할 때 x방향과 y방향에서는 0.03mm와 0.04mm였으며, z방향에서는 0.13mm, 0.17mm로서 x와 y방향에 비해 다소 크게 나타났지만 관측값의 오차에 대한 상호 오차의 정도는 약 7%로서 다른 두 방향에서와 유사한 오차를 갖는다는 것을 알 수 있었다.

표 4.6 기준점의 표준오차 평균

단위 : mm			
구분	육안관측	영상소단위	부영상소단위
Sx	0.41	0.44	0.45
Sy	0.39	0.42	0.43
Sz	1.57	1.70	1.74

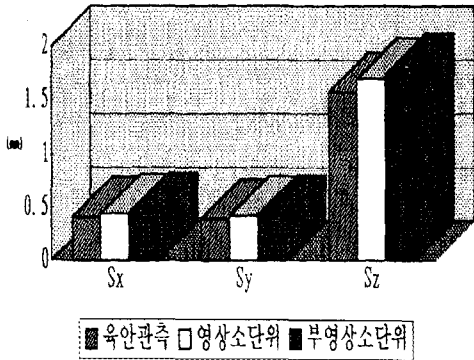


그림 4.10 기준점의 표준오차 평균

사진기의 자세와 위치를 나타내는 외부표정요소의 표준오차 역시 육안관측이 가장 양호한 결과를 보였으며, 영상소와 부영상소정합을 비교할 때 부영상소에서 더 양호한 값을 얻을 수 있었다.

표 4.7 외부표정요소의 표준오차

구 분	ω	ϕ	κ	XL	YL	ZL
육안 관측	7.02	6.93	1.80	4.70	4.90	1.20
영상소 단위	7.93	7.83	2.03	5.30	5.50	1.40
부영상소단위	7.87	7.77	2.02	5.30	5.50	1.30

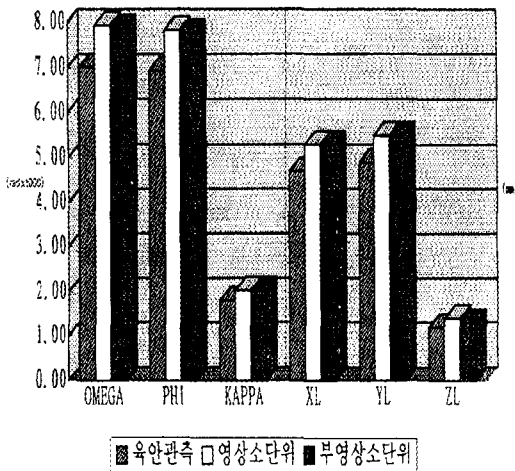


그림 4.11 외부표정요소의 표준오차

최종적으로 검사점에 대한 3차원 위치결정의 표준오

차를 검색한 결과 x축에 대해서는 영상소정합방법이 가장 양호한 값을 나타내었으며, 다른 방법과의 오차는 0.04mm, 0.08mm였다. y축과 z축에 대해서는 각각 부영상소 단위의 정합에 의한 위치결정과 영상소 단위의 정합에 의한 위치결정에서 양호한 값을 나타내었다. 이때 y축에서는 0.02mm와 0.03mm의 상대오차를 나타내었으며, z축에서는 0.67mm와 0.68mm의 상대오차를 나타내었다.

x, y, z방향으로의 오차를 벡터의 합으로 표현하면 표 4.8의 P값에서 처럼 육안관측에 의한 방법에서는 3.96mm, 영상소 단위의 오차에서는 3.32mm, 부영상소 단위의 오차에서는 3.98mm의 오차가 발생하는 것을 알 수 있다.

표 4.8 검사점의 표준오차

구 분	X	Y	Z	P
육안 관측	1.10	0.74	3.73	3.96
영상소 단위	1.06	0.76	3.06	3.32
부영상소단위	1.14	0.73	3.74	3.98

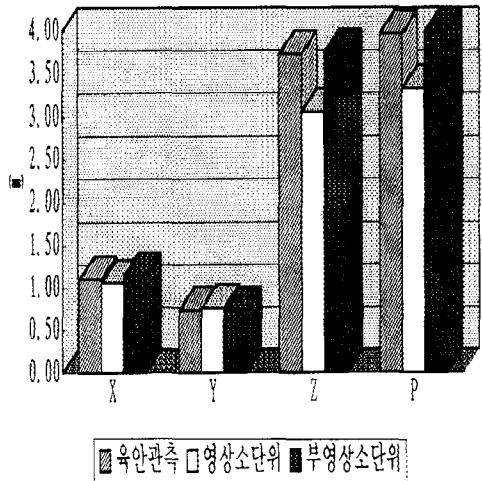


그림 4.12 검사점의 표준오차

표 4.8과 그림 4.12에서 보는 바와 같이 영상소 단위정합에 의한 위치결정에서 그 결과가 가장 양호한 것을 알 수 있다. 실험을 시작하면서 부영상소단위의 영상정합에 의해 구해진 결과가 가장 양호할 것으로

예측하였지만 오히려 영상소 단위보다도 좋지 않은 결과를 나타냈다. 이는 본 연구에서 수행한 부영상소 정합이 먼저 영상소단위의 정합에서 결정되는 하나의 영상소를 다시 10×10 영상소로 확대하여 정합하는 기법을 사용하였으므로 부영상소단위의 영상정합이, 선행하는 영상소단위의 영상정합 결과에 따라 정확도가 영향을 받기 때문인 것으로 추정된다. 따라서 부영상소 단위의 영상정합을 독립적으로 수행하면서도 정합의 시간을 단축시킬 수 있는 기법에 대해 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

실험의 결과대로 본 연구에서는 영상소 단위의 정합에서 가장 양호한 3차원 위치를 결정하였으므로 실험적으로 대상지의 일부분의 영상을 절취하여 자동영상정합을 수행하고 3차원적으로 표현해 보았다. 자동정합에 사용된 지역은 좌측영상에서 열방향으로 1,400 ~ 2,200 영상소까지, 횡방향으로는 1,700 ~ 2,500 영상소까지의 800×800 영상소 영역이다. 이 영상에 대해 열과 횡으로 각각 10개의 영상소씩 이동해 가며 정합점을 찾고 이를 광속조정법을 통해 Z방향의 높이를 계산하였다. 이렇게 형성된 자료화일을 3차원으로 구현하였을 때 그림 413과 같이 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 근거리사진측량에 수치사진측량 기법을 적용하여 영상정합에 의해 3차원 위치를 결정하였으며, 이를 위해 근거리 사진측량으로 얻은 사진을 스캐너에 의해 수치영상으로 변환시키고, 영역적 영상정합기법으로 정합점을 탐색하여 사진의 외부표정요소를 결정한 후 기준점들의 3차원 위치값을 계산하였다. 본 연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 근거리 사진측량에 수치사진측량기법을 적용하기 위해 관련 프로그램을 개발하였으며 소량의 사진 분석의 효율적이며 경제적인 기법을 제시하였다.
2. 영상소단위 정합에 의해 X, Y, Z 방향에 대한 3차원 위치를 결정함에 있어서 각방향의 오차의 백터합을 3.32mm까지 줄일 수 있었고 단일 축 방향으로서는 0.76mm까지 오차의 범위를 줄일 수 있었다.
3. 부영상소 영상정합은 영상소 단위 영상정합의 정확도에 의해서 영향을 받는다는 사실을 알 수 있었고

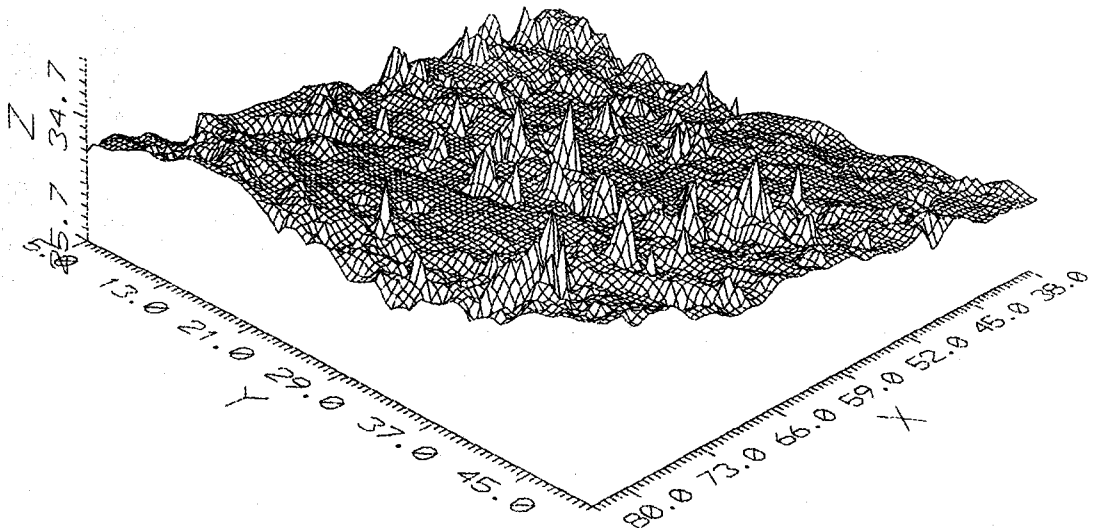


그림 413 자동영상정합에 의해 생성된 3차원 모형

이러한 정합방법의 단점을 보완하기 위해서는 영상을 단위 영상정합에 대해 독립적인 부영상소단위의 영상 정합 알고리즘 개발이 필요하다.

4. 영상의 일부를 질취하여 영상소 단위로 자동영상정합을 실시함으로써 대상지역에 대한 3차원 모형을 제작할 수 있었으며 향후 수치표고모형을 구축하기 위한 기반을 마련할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Merchant, D. C., "Analytical Photogrammetry -Theory and Practice", Unpublished Lecture Notes, Department of Geodetic Science, The Ohio State University, 1979.
2. Konecny, G. and D. Pope, "Correlation Technique and Devices", P.E & R.S, Vol 47, No. 3, 1981, pp.323-333.
3. Wiesel, J., "Digital Image Processing for Orthophoto Generation", Photogrammetria, Vol. 40, No. 2, 1985, pp. 69-76.
4. Tesche, T. W. and R.W. Begstrom, "Use of Digital Terrain Data in Meteorological and Air Quality Modeling", P.E. & R.S., Vol. 44, No. 12, 1978, pp. 1549-1559.
5. Lemmens, M. J., "A Survey on Stereo Matching Techniques", ISPRS Commission V, Vol. 27, 1988, pp.11-23.
6. Cho, W., and T. Schenk, "Resampling Digital Imagery to Epipolar Geometry", 17th ISPRS Commission IV, Washington D.C., USA, 1992.
7. Marsry, S.E., "Digital Correlation Principles", Presented at the XII Congress of the ISP, Comm. II, Ottawa, 1972, pp.303-308.
8. Keating, T. J. and P. R. Wole, "An Improved Method of Digital Image Correlation", Presented at Annual Convention of the ASP, 1975,

- pp.993-1002.
9. Goshtasby, A. and G. C. Stockman, "A Region - Based Approach to Digital Image Registration with Subpixel Accuracy", IEEE Trans. on Geosci. & R.S., Vol. GE-24, No.3, 1986, pp. 390-399.
10. Welch, R., "Cartographic Potential of SPOT Image Data", P.E. & R.S., Vol. 51, No. 8, 1985, pp. 1085-1091.
11. Rosenholm, D., "Digital Matching of Simulated SPOT Images", Department of Photogrammetry, Royal Institute of Technology, Stocholm, 1985.
12. Ackerman, F. and W. Schneider, "High Precision Aerial Triangulation with Point Transfer by Digital Image Correlation", International Archives of Photogrammetry, Vol. 26, Comm. III, 1986, pp. 18-27.
13. Förstner, W., "On the Geometric Precision of Digital Correlation", International Archives of Photogrammetry, Vol. 23, Comm. IV, 1982, pp. 176-189.
14. Pertl, A., "Digital Image Correlation with an Analytical Plotter", Photometria, 40, 1986, pp. 9-19.
15. Rosenholm, D., "Least Squares Matching Method : Some Experimental Results", Photogrammetric Record, 12, 1987, pp. 512 -520.
16. 유복모, 강준묵, 박흥기, "문화재 측정에 있어서 close-range photogrammetry의 효용성에 관한 연구", '82국내외 한국 과학 기술자 하계 심포지움 발표문집(토목분야), 1982, pp. 6/1-11.
17. 강준묵, "다중근거리 사진측정에 의한 피사체의 3차원 정밀해석에 관한 연구", 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1985.
18. 유환희, "근거리 사진 측량에 의한 변형해석에 관한 연구", 박사학위 논문, 연세대학교 대학원, 1988.
19. 국방과학연구소, 위성영상을 이용한 3차원 정사투영영상 생성법에 관한 연구, 1993.
20. Merchant, D.C., "Analytical Photogrammetry -

- Theory and Practice", Unpublished Lecture Notes, Department of Geodetic Science, The Ohio State University, 1979.
21. Brown, D.C., "Decentering Distortion of Lenses", Photogrammetric Engineering, Vol. 32, No. 6, 1966, pp. 444-462.
22. Schenk, T., "Computation of Epipolar Geometry", Technical Notes in Photogrammetry, No. 5, The Ohio State Univ., 1990.
23. Wolf, P.R., element of Photogrammetry, McGraw-Hill, 2nd Ed., 1983.
24. Moffitt, F. H. and Mickail, E. M., Photogrammetry, Happer and Row, New York, 3rd Ed., 1980, pp. 460-482.