

# 수치사진측량 기법을 이용한 항공사진의 정사투영사진 지도 생성에 관한 연구

## A Study on the Generation of Three Dimensional Orthophoto Map from Aerial Photograph by Digital Photogrammetry

조재호\* · 윤종성\*\*

Cho, Jae-Ho · Yoon, Jong-Seong

### 要 旨

정사투영사진 지도는 입체영상에 존재하는 공액점을 수치적으로 탐색하여 높이를 결정하는 수치사진측량 방법을 사용하여 제작되며, 공액점을 자동으로 결정하기 위한 수치영상정합 방법에 대한 많은 연구가 진행 중이다. 본 연구에서는 수치영상정합에서 공통적으로 사용되는 영상 피라미드의 4가지 축척 계수 변화와 8가지 기준영역의 크기의 변화에 따른 영역기반정합의 정확도에 미치는 영향을 고찰하였다. 각 방법에 대한 영상정합 결과는 1/5,000 수치지도 자료와 비교하였고, 영상정합의 성공률을 분석하여 최적 기준영역의 크기를 결정하였다. 수치지형모델은 결정된 영상정합 결과와 광속조정법을 이용하여 생성하였으며, 수치표고모델과 정사투영사진을 이용하여 정사투영사진 지도를 제작하였다.

### ABSTRACT

A traditional method to produce three dimensional orthophoto map has been studied by digital photogrammetry which decides a height by digitally searching conjugate points on the stereo image. Many researches in digital photogrammetric field are still in progress to determine conjugate points automatically. In this study, we analyze the effect of accuracy of area-based image matching with changing eight types of target area size using four types of image pyramid. The result of image matching to each method compared with 1/5,000 digital mapping data. We decided a optimal size of target area on a percentage of image matching. Digital elevation model is generated by matching results and bundle method. As a result, three dimensional orthophoto map is made in terms of digital elevation model and orthophoto.

## 1. 서 론

수치사진측량 기법을 이용한 정사투영사진 지도는 입체영상에 존재하는 공액점을 수치영상정합에 의해 탐색하여 결정하고, 결정된 공액점의 사진좌표를 이용하여 대상물의 높이를 측정하는 다음 수치지형모델을 취득하여 제작한다. 수치사진측량에서 영상정합은 자동으로 공액점을 탐색하는 것으로, 공액점 탐색 방법으로는 영역기반정합(Area Based Matching), 형상기반정합(Feature Based Matching), 기호정합(Symbolic Matching) 등으로 구별

되는데, 현재까지는 어느 방법이 가장 좋은 방법이라고 결정되어 있지 않아서 이들 방법을 혼합해서 사용하고 있다. 그러나, 탐색영역을 적당한 범위(Pull-In Range)로 축소하기 위한 방법으로 영상 피라미드(Image Pyramid)를 이용한 계층적 접근(Hierarchical Approach) 방식을 공통적으로 사용하고 있다.<sup>1,2)</sup>

일반적으로 두 영상에서 유일하게 식별이 될 수 있는 적당한 넓이의 기준영역(Template)을 선정하여 영상정합을 실시하므로 기준영역의 크기에 따라 영상정합의 결과가 달라질 수 있다. 이는 영역기반정합에서 기준영역이 좁은 경우 일정한 형태(Pattern)가 반복적으로 나타나는 경우에 동일한 상관성이 나타나게 되고, 기준영

\*인하공업전문대학 지형정보과 교수

\*\*한국항공 지리정보연구소 전문연구원

역이 넓은 경우 항공사진 및 지형에 의한 기하학적인 왜곡에 의하여 정확도가 떨어지는 문제가 있기 때문이다. 또한 계층적 접근 방법에서 단계별로 영상은 소축척에서 대축척으로 확대되는 효과가 생기므로 최초 단계의 기준영역의 크기를 각 단계에 적용하면 너무 좁은 면적을 기준영역으로 설정하는 문제가 발생하므로, 각 단계별 영상에서 기준영역의 크기를 합리적으로 결정하여야 최적의 정합 결과를 얻을 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 자동영상 정합을 수행하기 위하여 탐색영역의 크기를 외부표정요소와 기준점 성파를 시차 방정식에 대입하여 결정하며, 탐색영역을 기초로 기준영역을 결정한다. 영상정합은 영상 피라미드의 축척 계수와 기준영역의 크기를 변화시키면서 수행하고, 각각의 영상 정합에서 발생하는 과대 오차를 제거한 결과를 기존의 수치지도와 비교하여 분석하며, 영상정합의 성공률을 분석하여 최적 기준영역의 크기를 결정한다. 수치지형모델은 결정된 영상정합 결과와 광속조정법을 이용하여 생성하며, 수치지형모델과 정사투영사진을 이용하여 정사투영사진 지도를 생성한다.

## 2. 영상정합 기본 이론

### 2.1 영상상관 정합

영상상관 정합법은 한 영상에서 고정되어 있는 기준영역과 정합 대상 영상의 탐색영역(Search window)의 밝기값 분포를 통계학적으로 분석하여 허용상관계수보다 큰 최대값의 상관계수(Cross-Correlation)가 있는 지역에 있는 기준영역 및 탐색영역의 중앙 좌표를 두 영상의 공액점으로 결정한다.<sup>5,6)</sup> 일반적으로 입체영상을 사용하는 경우에는 그림 1에서 보는 바와 같이 좌측 영상에 있는 한 점을 중심으로 하는 일정한 크기의 기준영역을 설정하고, 우측 영상에서 공액점이 존재할 가능성이 있는 범위를 시차 방정식에 의해서 탐색영역으로 설정하여 영상정합을 수행한다.

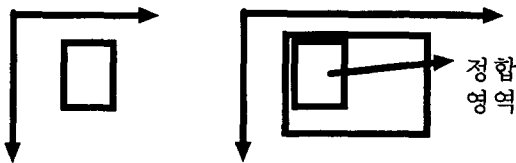


그림 1. 기준영역 및 탐색영역

$n \times m$ 인 기준영역의 영상 함수를  $g_L(x, y)$  이라 하고, 탐색영역내에 같은 크기의 정합 대상 영상 함수를  $g_R(x, y)$ 라 하면, 탐색영역에 존재하는 각각의 영상소에 대한 상관계수(correlation coefficient:  $\pi$ )는 다음 식에 의해서 결정된다.

$$\rho = \frac{\sigma_{LR}}{\sigma_L \sigma_R} \quad (1)$$

$$\sigma_{LR} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (g_L(x_i, y_j) - \bar{g}_L)(g_R(x_i, y_j) - \bar{g}_R)}{n \cdot m - 1}$$

$$\sigma_L = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (g_L(x_i, y_j) - \bar{g}_L)^2}}{n \cdot m - 1}$$

$$\sigma_R = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (g_R(x_i, y_j) - \bar{g}_R)^2}}{n \cdot m - 1}$$

$$\bar{g}_L = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_L(x_i, y_j)}{n \cdot m}$$

$$\bar{g}_R = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_R(x_i, y_j)}{n \cdot m}$$

여기서,  $\sigma_{LR}$ 은 두 영상 함수의 공분산(covariance),  $\sigma_L$ 은 기준영역 영상 함수의 표준편차,  $\sigma_R$ 은 정합 대상영역 영상 함수의 표준편차,  $\bar{g}_L$ 은 기준영역 영상소의 평균값,  $\bar{g}_R$ 은 정합 대상영역 영상소의 평균값이다.

좌·우 입체 영상상에서 동일점의 정합 여부는 기준영역과 탐색영역과의 상관성을 가지고 판단하며, 기준영역의 크기에 따라 영상정합의 정확도 및 계산 속도에 많은 영향을 미치게 된다. 기준영역의 크기가 너무 작으면 계산 속도는 빠르나 밝기값의 분포 특성이 뚜렷하게 식별되지 않는 단점이 있는 반면, 기준영역의 크기가 너무 크면 계산 속도가 기하 급수적으로 느려지고, 지형 및 항공사진에 의한 기하학적인 영상 왜곡으로 인하여 정합 정확도가 떨어지는 문제가 발생하므로 적당한 기준영역의 크기를 선정하는 것이 필수적이다.

### 2.2 탐색 공간

영상정합의 효율성 및 성공률은 동일한 정합 요소를

정확하게 찾을 수 있는 정합 시작 위치의 근사값과 탐색영역의 설정에 의해 좌우된다. 탐색영역의 근사값 설정은 입체 항공 사진의 시차 방정식에 의하여 결정할 수 있고, 방대한 영상소로 인한 탐색 공간은 계층적 접근 방식에 의한 영상 피라미드로 해결할 수 있다.<sup>7,9)</sup>

### 2.2.1 시차 방정식에 의한 탐색영역과 영상소 크기의 결정

좌·우 입체사진에 존재하는 동일점과 사진기의 투영 중심이 하나의 평면상에 존재한다는 공면조건과 영상정합 해야 할 공액점의 높이를 표정시 사용한 지상기준점이나 지도로부터 취득할 수 있다면, 탐색영역의 범위는 시차 방정식으로부터 구할 수 있으며, 탐색영역  $S_p$ 는 다음과 같다.

$$S_p = b_0 \frac{H_D \Delta z}{(H_p + \Delta z/2)(H_p - \Delta z/2)} \approx b_0 \frac{H_D \Delta z}{H_p} \quad (2)$$

여기서,  $\Delta z$ 는 지표상의 점 S의 예측 표고의 범위,  $H_p = H_D - Z_p$ ,  $b_0$ 는 기선 길이이다.

수치영상에서 영상소의 해상력을 R이라 하고,  $b_0 = f \times (B/H_D)$ 로 대체하면, 수치영상에서의 탐색영역 영상소의 수  $S_i$ 는 다음과 같다.

$$S_i = \frac{B}{H_p} \frac{f}{H_p} \frac{\Delta z}{R} \quad (3)$$

여기서,  $B/H_p$ 는 항공사진에서 기선 길이와 촬영 고도의 비율이고,  $f/H_p$ 는 항공사진의 축척이므로 지표면의 예측 표고의 범위  $\Delta z$ 를 알 수 있다면, 표정 작업을

하지 않은 항공사진에도 적용할 수 있다.

### 2.2.2 계층적 접근 방식

계층적 접근 방식은 탐색영역의 범위를 축소하여 영상정합의 효율성을 향상시키는 방법으로, 영상의 크기를 축척 계수에 의해 단계별로 축소하여 새로운 영상으로 구성되는 영상 피라미드를 이용한다.

영상 피라미드는 영역기준정합에 사용할 수 있는 영상소 밝기값의 평균을 취하는 가우스 필터(Gaussian Filter) 방법과 형상기준정합에 사용할 수 있는 영상의 경계선, 질감 등의 영상 특징을 이용한 라플라스 필터(Laplacian Filter) 방법이 있으며, 본 연구에서는 가우스 필터 방법을 이용하였다. 가우스 필터를 이용한 가장 간단한 방법은 4 영상소의 평균값을 취하는 축척 계수 2이며, 각 단계별로 영상을 축소하면 전 단계 영상의 0.25 크기로 새로운 영상이 제작되고, 반복하여 영상을

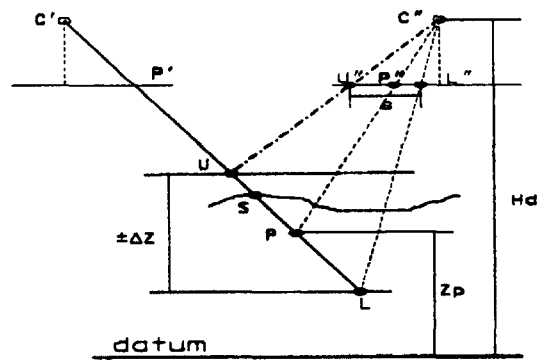


그림 2. 탐색영역

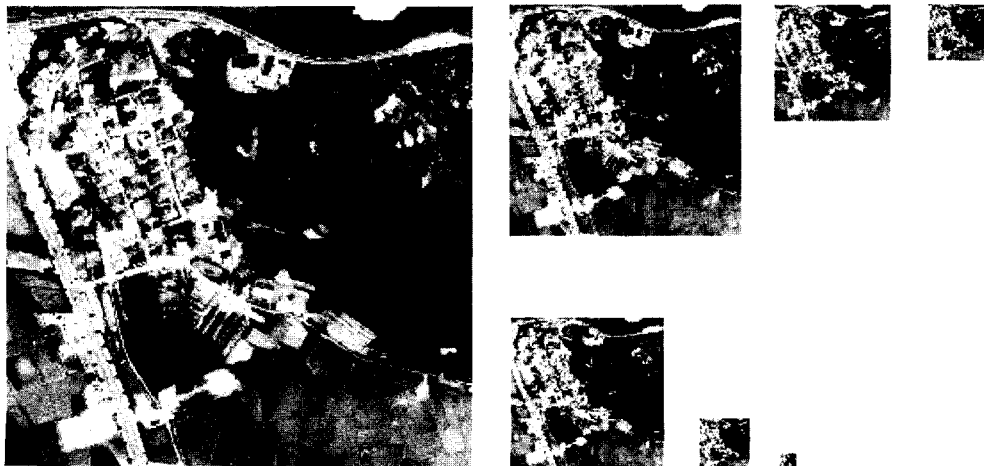


사진 1. 영상 피라미드의 예(축척 계수 2, 3)

제작하더라도 저장 용량은 최종 단계 영상(스캐닝 영상) 보다 33%만 더 필요하게 된다.

$$N^2 \left(1 + \frac{1}{4} + \frac{1}{16} + \dots\right) \approx 1.33 N^2 \quad (4)$$

영상 피라미드의 최초 단계에서의 영상소 크기는 최종 단계의 영상소에 축척 계수에 단계별 지수를 곱하여 결정된다.

$$R = R_0 S^n \quad (5)$$

여기서,  $R_0$ 는 최종 단계에서의 영상소 크기,  $S^n$ 은  $n$  단계에서의 축척 계수이다.

시차 방정식에 의한 수치영상에서의 탐색영역을 영상 피라미드의 해상력으로 다시 표현하면 다음과 같다.

$$S_i P = \frac{B}{H_p} \frac{f}{H_p} \frac{\Delta z}{R_0 S^n} \quad (6)$$

영상 피라미드를 이용한 계층적 접근 방식은 최종 단계 영상의  $1/S^n$ 인 탐색영역으로 적당한 영상소의 수를 개략적인 초기 근사값으로 이용하여 영상정합을 수행할 수 있고, 이전 단계에서 계산된 정합 결과를 사용하여 다음 단계의 탐색영역을 설정하므로 올바른 정합 결

과를 얻을 수 있어 신뢰성이 향상되며, 영상정합의 처리 속도를 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 사진 1은 본 연구에서 사용한 축척 계수 2, 3인 영상 피라미드의 일부로 4단계 영상을 보여주고 있다

### 3. 관측 및 결과값 분석

#### 3.1 관측

##### 3.1.1 항공사진 촬영 및 연구 대상 지역의 특성

본 연구에서 사용한 항공사진은 화면 크기가 23 cm × 23 cm이며 초점거리 153.71 mm의 광각렌즈가 장착된 Wild RC-30 항공사진 카메라로 고도 약 3500 m에서 촬영된 사진으로, 사진 축척은 약 1/23,000이다. 연구 대상지역은 동서로 1.5 km, 남북으로 2.8 km로 약 4.2 km<sup>2</sup> 면적을 절취하여 사용하였다.

촬영지역은 동해안에 인접한 지역으로 표고가 약 10~200 m인 완만한 구릉지로 동쪽에서 서쪽으로 갈수록 표고가 높아지는 특성을 띠고 있다. 구릉지는 대부분 산림으로 덮여 있고 구릉지 사이에 논이 대부분인 경작지가 발달되어 있고 그 사이로 동서 방향으로 도로가 형성되어 있는 전형적인 농촌 지역이다.

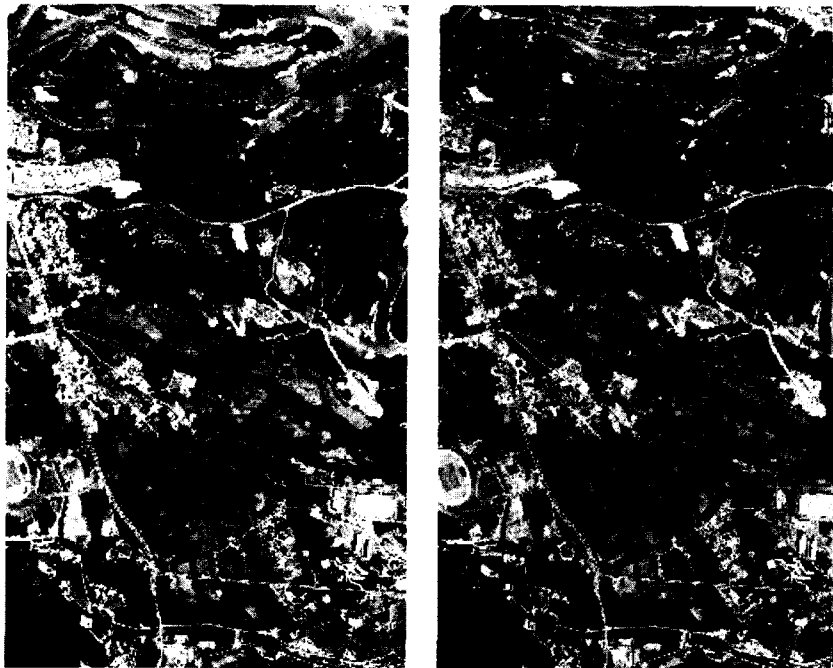


사진 2. 좌측 및 우측 수치 영상 자료

### 3.1.2 항공 사진의 스캐닝

본 연구에서 사용한 스캐너는 영상자료 입력시 기하학적 특성을 그대로 유지할 수 있고, 항공사진을 전용으로 스캐닝하도록 제작된 Vexcel사의 VX-3000으로 위치 정확도는 0.9  $\mu\text{m}$ 이며, 편평한 유리에 의해서 양화 또는 음화 필름을 고정하여 빛을 투과하는 방식이다. 명암의 범위는 스캐닝 작업을 수행하기 전에 항공사진의 명암을 최대한 유지하기 위해 투명양화의 가장 어두운 부분과 가장 밝은 부분의 밝기를 측정하여 설정하였다. 스캐닝 영역은 모든 사진지표가 포함될 수 있도록 9inch $\times$ 9inch로 하였고, 필름의 해상력, 영상소의 분해능력 및 저장용량을 고려하여 1016DPI로 수치화하였다. 수치화된 한 영상소의 크기는 25  $\mu\text{m}\times$ 25  $\mu\text{m}$  이고, 실제 지표상에서 0.6 m $\times$ 0.6 m이다. 한 영상의 저장 용량은 81MB이고, 1매의 투명 양화를 영상자료로 취득하는 데 45분이 소요되었으며, 자료의 호환성을 고려하여 TIFF형식으로 저장하였다. 본 연구에서는 사진 2에서 보는 바와 같이 입체시되는 영상에서 3000 $\times$ 5000 화소를 절취한 영상을 사용하였다.

### 3.1.3 표정 요소 결정

영상좌표의 관측은 Intergraph사의 Image Analyst 7.0.1 상에서 영상을 15배 확대하여 0.1영상소 단위로 하였으며, Affine 변환식을 이용하여 사진좌표로 변환하였고, 그 좌표값들은 표 1과 같다.

지상 기준점은 항공사진에서 식별이 용이한 도로의 교차점과 같은 인공지물의 모서리를 선택하였고, 3차원 지상좌표는 모델 조정법에 의한 항공삼각측량 성과를 사용하였으며, 사진좌표는 Carl Zeiss사에서 제작한 해석적 도화기 P-2를 이용하여 관측하였고, 그 관측된 사진좌표와 3차원 지상좌표는 표 2와 같다.

사진기의 위치와 자세를 결정하기 위한 외부표정요

소는 광속조정법에 의한 단사진 후방교회법을 이용하여 결정하였으며, 투영중심의 평면좌표와 Kappa 인자의 초기 근사값은 2차원 상사변환에 의하여 계산하였고, 투영중심 높이의 근사값은 항공사진 축척과 지상 기준점의 평균 높이를 이용하여 결정하였다. 계산된 외부표정요소와 기선길이는 표 3과 같다.

## 3.2 영상정합 처리 및 분석

### 3.2.1 영상 피라미드에 의한 처리 및 분석

영상정합은 기준영역과 탐색영역의 위치와 크기, 유사성 판정을 위한 허용상관계수 등이 영상과 피사체의 특성에 따라 변하므로 현재까지도 이를 일반화시켜 사용하지 못하고 있다. 본 연구에서는 정합 프로그램을 visual C++ 개발하여 영상정합에 사용하였다. 그림 3에서 보는 바와 같이 영상 피라미드는 축척 계수와 처리 단계별에 따라 영상소의 해상력이 기하 급수적으로 작아지는 현상이 발생하므로 단계별로 기준영역의 크기를 증가시킬 필요가 있다.

표 1. 지표 영상좌표를 사진좌표로 변환

점 번호	좌측 영상좌표		우측 영상좌표		사진좌표	
	열	행	열	행	X	Y
1	8734.4	8751.2	8808.5	8682.8	105.999	-105.999
2	252.7	8742.6	327.4	8768.3	-105.999	-106.000
3	262.2	261.6	242.0	286.9	-105.999	105.999
4	8742.4	269.8	8722.1	201.0	105.999	105.999
5	4493.0	8987.9	4570.3	8965.6	-0.001	-111.998
6	18.3	4501.8	45.3	4530.0	-111.997	0.001
7	4502.8	25.1	4479.6	3.7	0.000	112.000
8	8977.6	4511.1	9004.8	4438.7	111.993	0.002
RMSE	0.010	0.009	0.007	0.006		

표 2. 기준점의 사진좌표와 3차원 지상좌표

번호	좌측 사진		우측 사진		3차원 지상좌표		
	X	Y	X	Y	X	Y	Z
1	70.220	15.392	3.717	15.962	161353.144	521480.990	8.444
2	55.059	91.167	-11.480	91.551	160859.297	523164.949	11.001
3	-2.098	72.043	-69.466	73.056	159604.233	522609.757	48.046
4	-1.945	23.333	-69.342	24.223	159699.161	521518.463	44.685
5	-0.579	-74.631	-70.925	-74.413	159910.615	519379.343	187.947
6	66.337	-54.884	-0.826	-54.330	161387.706	519885.696	48.104

표 3. 좌·우 사진의 외부표정요소

사진	Omega	Phi	Kappa	X	Y	Z
좌측	-0.455302	0.082443	4.808815	159792.083	521025.075	3520.057
우측	-0.057162	-0.655235	4.937980	161259.294	521113.848	3518.459
기선 거리			1467.211	88.773	-1.598	

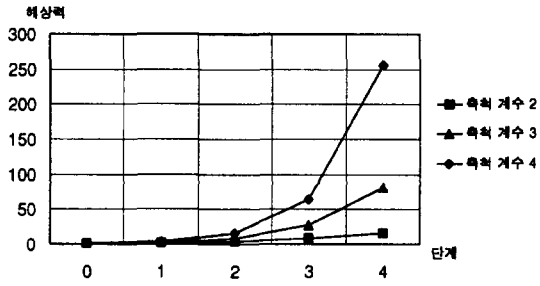


그림 3. 축척 계수에 의한 단계별 해상력

탐색영역의 크기는 외부표정요소와 기준점 성과를 시차 방정식에 대입하여 3.9 mm로 결정하였고, 수치영상에서 탐색영역의 크기는 11 영상소로 하였다. 영상 피라미드의 최초 단계에서의 영상소의 크기는 0.36 mm 보다 큰 경우에 대해 축척 계수 2, 3, 4, 5를 사용하여 영상 피라미드 단계별로 기준영역의 크기를 변화시키면서 영상상관 기법을 실행하였다. 최초 단계에서 기준영역의 크기는 7 X 7 영상소로 하였으며, 단계별 기준영역의 크기는 축척 계수에 비례하여 확장 영역의 증가율을 계산하고, 이를 최초 단계의 기준영역의 크기에 더하여 결정하였다. 표 4는 축척 계수에 따른 최초 단계의 기준영역의 크기와 최종 단계에서 확장 영역의 단계별 증가율이 나타나 있다.

공액점 결정에 기준이 되는 허용상관계수는 0.7을 사용하였고,<sup>10,11)</sup> 정합 오차는 광속 조정법을 이용하여 계산하였으며, 광속조정에서의 표준편차가 평균표준오차의 2배 이상 되는 점은 과대 오차로 처리하여 제거하였다.

그림 4는 과대 오차를 제거하기 전의 영상정합 오차이며, 그림 5는 과대 오차를 제거한 정합 오차이다.

그림 4에서 알 수 있듯이 정합오차는 기준영역의 크기를 증가시킴에 따라 계속 감소하는 반면, 과대 오차를 제거한 그림 5에서는 기준영역의 크기가 원래 영상에서 30 영상소 이상인 경우 E 이후에서는 증가하는 경향을 보인다. 이는 기준영역의 증가에 따라 항공사진

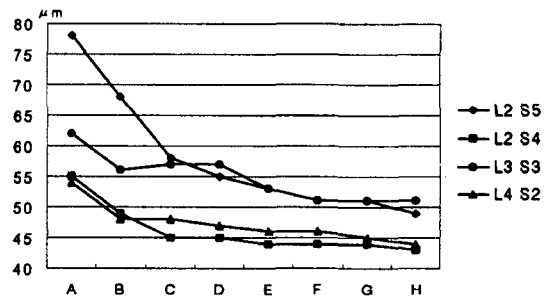


그림 4. 영상정합 오차 (RMS)

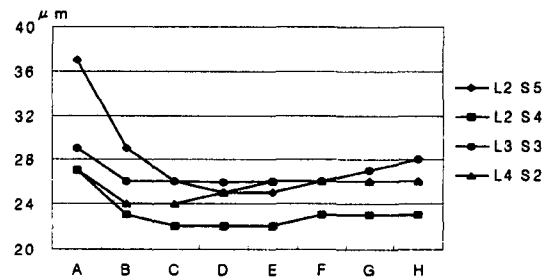


그림 5. 과대 오차를 제거한 정합 오차(RMS)

표 4. 기준영역의 크기

축척계수 (S)	최초단계		최종단계								
	단계(L)	기준영역	확장영역	A	B	C	D	E	F	G	H
S2	L4	7	112	7	11	15	23	31	39	47	55
S3	L3	7	189	7	11	17	25	35	43	53	61
S4	L2	7	112	7	11	15	23	31	39	47	55
S5	L2	7	175	7	13	17	27	37	47	57	67
확장 영역 증가율				0.0	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0

의 회전 인자 및 지형 기록으로 인한 영상 왜곡에 의한 영향으로 정합 오차가 증가함을 보여 준다.

본 연구에서는 과대오차를 제거한 영상정합 결과로 취득한 지상좌표를 기존의 1/5,000 수치지도상에 있는 등고선과 표고를 이용하여 제작한 수치지형모델과 비교하였으며, 그 높이오차는 그림 6과 같다. 그림 6은 그림 5와 거의 유사한 양상을 띠고 있으므로 정합 오차와 높이 오차의 상관 관계가 있음을 알 수 있으며, 정합 결과물 높이에 대한 과대 오차를 제거하지 않고 수치지형 모델로 사용하는 데에는 한계가 있음을 알 수 있다. 모든 축척 계수에서 단계별 기준영역 확대율이 경우 D와

E에서 높이 오차가 낮은 것을 알 수 있다.

영상정합 과정에서 계산되는 상관계수는 정합 결과를 평가하는 데 중요한 요소이므로, 본 연구에서는 각 경우에 대해서 단계별로 최대 상관계수와 최소 상관계수의 평균값을 계산하였으며, 표 5는 확장 영역 경우 D의 최초 단계와 최종 단계의 상관계수와 최대 상관계수와 최소 상관계수의 차이를 보여 주고 있다. 그림 7에서 보는 바와 같이 최대 상관계수와 최소 상관계수의 차는 축척 계수에 관계없이 최초 단계에서는 거의 같지만, 원래 영상을 사용하는 최종 단계에서는 축척 계수에 따라 감소한다.

표 6에서 최초 단계와 최종 단계에서의 정합점의 수

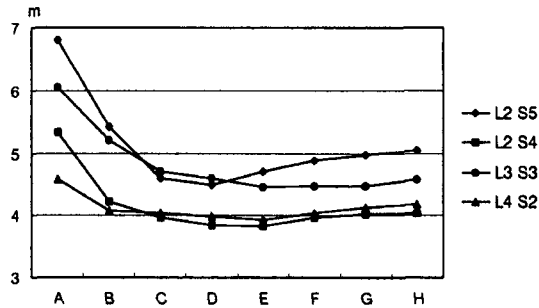


그림 6. 정합 결과의 높이 오차(RMS)

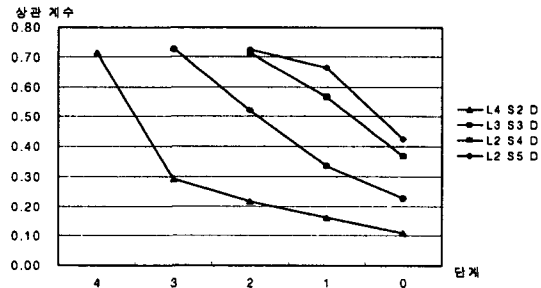


그림 7. 최대 상관계수와 최소 상관계수(경우 D)

표 5. 최대 및 최소 상관계수의 평균과 차(확장 영역 경우 D)

단계	축척 계수 2			축척 계수 3			축척 계수 4			축척 계수 5		
	최대	최소	차	최대	최소	차	최대	최소	차	최대	최소	차
4	0.91	0.20	0.71									
3	0.89	0.60	0.29	0.92	0.19	0.73						
2	0.86	0.65	0.22	0.89	0.37	0.52	0.91	0.20	0.71	0.92	0.19	0.73
1	0.85	0.69	0.16	0.86	0.52	0.34	0.87	0.31	0.57	0.87	0.21	0.67
0	0.84	0.73	0.11	0.84	0.62	0.23	0.85	0.48	0.37	0.85	0.42	0.42

표 6. 최초 및 최종 단계에서의 정합점의 수

축척 계수	5		4		3		2	
최초 단계	18863	성공률	48633	성공률	15856	성공률	48622	성공률
최종 단계A	3428	18.2%	8678	17.8%	2002	12.6%	5885	12.1%
최종 단계B	3847	20.4%	9592	19.7%	2399	15.1%	7422	15.3%
최종 단계C	4282	22.7%	10874	22.4%	3056	19.3%	8927	18.4%
최종 단계D	5290	28.0%	13371	27.5%	3794	23.9%	11532	23.7%
최종 단계E	6271	33.2%	15401	31.7%	4493	28.3%	13817	28.4%
최종 단계F	7014	37.2%	17258	35.5%	4941	31.2%	15880	32.7%
최종 단계G	7624	40.4%	18647	38.3%	5456	34.4%	16063	33.0%
최종 단계H	8021	42.5%	19759	40.6%	5831	36.8%	17271	35.5%

와 그 비율을 보면 기준영역의 크기가 증가할수록 정합의 성공률도 증가함을 알 수 있다. 또한 유사한 기준영역의 크기에서는 축척 계수가 증가함에 따라 성공률이 증가하는 현상을 나타내는 데, 이는 동일한 영상에서는 사용정합 가능성이 높은 점의 개수는 일정한 데 반해 축척 계수에 의해 영상의 축소 비율이 증가하여, 초기 단계에서 상대적으로 정합점의 개수로 많은 정합 가능성이 높은 점을 처리하여 나타난 현상이다. 축척 계수 2와 4는 최초 영상의 축소 비율이  $16(=2^4=4^2)$ 으로 동일한 데 정합 성공률이 차이가 발생하는 것은 축척 계수 2의 경우가 축척 계수 4보다 2단계가 많아 정합 기각율이 높기 때문이다.

그림 5에서 경우 C까지 기준영역의 크기를 증가시킬 때 영상정합 오차는 계속 감소하지만, 기준영역의 크기가 너무 커지면 항공사진의 특성으로 인한 오히려 정확도는 감소함을 알 수 있다. 그러나, 기준영역의 크기가 증가할수록 정합 성공률은 증가하므로 영상 피라미드를 이용하여 영상정합을 수행할 때는 정확도와 정합 성공률을 동시에 고려하여야 한다.

### 3.2.2 수치지형모델의 생성 및 정사사진지도 제작

정합 결과에서 Y시차에 대한 정합 오차는 공면조건식을 이용하여 제거할 수 있지만, 높이에 해당하는 X시차에 대한 오차를 검토하여 제거할 수 있는 수학적인 조건식은 존재하지 않으므로, 수치 도화기나 해석 도화

기를 이용하여 입체 모델상에서 직접 점검하거나, 지도에 있는 높이 자료와 비교하는 방법 등 다양한 방법을 사용하여 정합 결과에 대한 높이 오차를 점검해야 한다. 더군다나, 항공사진을 사용한 영상정합 처리 결과는 건물, 각종 구조물, 산림 등으로 인하여 높이의 과대 오차가 발생하므로 작업자에 의한 수정 편집작업이 반드시 필요하다.

본 연구에서 높이에 대한 과대 오차를 수정하기 위해서 기존의 수치지도에 있는 등고선과 높이 자료를 이용하여 수치지형모델을 형성하여 각 정합점의 높이 오차를 점검하였다. 과대 높이 오차를 제거한 각 정합 결과의 높이 오차는 그림 8와 같으며, 기준영역의 크기에 따라서 발생한 영상정합 오차의 변화 추이를 그림 5, 6보다 그림 8에서 뚜렷하게 알 수 있다.

본 연구에서는 정사투영사진지도를 제작하기 위해서 많은 점높이를 이용한 격자형 수치지형모델을 만드는 방법을 적용하였다. 정합 오차 및 정합 결과의 높이에 대한 오차 분석 결과에서 축척 계수 2와 4가 가장 정확한 것이 밝혀졌다. 그러나, 축척 계수 2는 영상정합 단계에 따른 상관계수의 감소에 따른 정합 성공률이 축척 계수 4보다 낮은 경향을 나타냈다. 따라서 정사투영사진을 제작하기 위해서는 많은 점의 높이 자료가 필요하

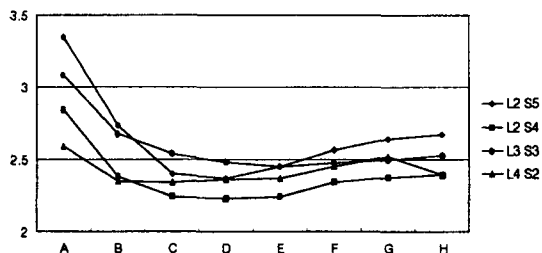


그림 8. 과대 높이 오차를 제거한 영상정합 높이 오차 (RMS)

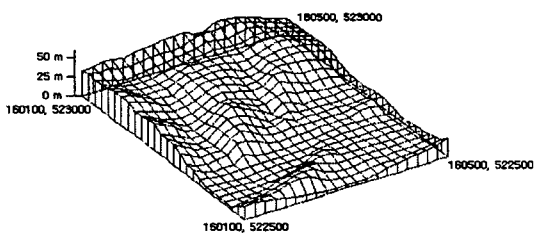


그림 9. 수치지형모델



사진 3. 좌측 영상의 정사투영사진 지도



므로 축척 계수 4를 이용하였고, 기준영역의 크기는 경우 E를 사용하여 영상정합을 수행하였다. 영상정합 결과의 과대 오차를 광속조정법으로 제거하여 3차원 지상 좌표를 계산하였다. 산출된 지상좌표를 수치지형모델 프로그램(Intergraph MGE Terrain Analyst)을 이용하여 불규칙삼각망(TIN)을 형성하였고, 이를 최소제곱내삽법으로 생성된 10×10 m 격자형 수치지형모델은 그림 9와 같으며, 수치지형모델과 정사투영사진을 이용하여 제작한 정사투영 사진지도는 사진 3과 같다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 영상 피라미드의 축척 계수 2, 3, 4, 5에 따른 다양한 기준영역의 크기를 적용하여 영상정합을 수행하였고, 정합 결과를 이용하여 수치지형모델을 생성하여 정사투영사진 지도를 제작하였다. 축척 계수와 기준영역의 크기에 따른 정합 오차를 분석하였고, 수치지도 자료와 비교 검토하여 높이 오차를 점검하였으며, 각 경우에 따른 상관계수와 정합의 성공률을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

가) 기준영역의 크기는 단계별로 증가시켜야 하는데, 기준영역의 크기를 최초 단계에서 축척 계수의 0~1배로 증가시키는 경우에는 기준영역 크기가 작으므로 정확한 정합 요소를 식별하기 곤란하여 정합 오차가 증가하고, 축척 계수의 5배 이상으로 기준영역의 크기를 증가시키면, 항공사진의 특성으로 인해 정합 오차가 증가하므로, 기준영역 크기의 증가율은 축척 계수의 2~4 배가 가장 적당한 것으로 밝혀졌다.

나) 영상 피라미드에서 기준영역의 크기와 축척 계수가 클수록 정합 성공률은 높아지지만, 정합에 소요되는 시간도 증가한다. 그러나, 축척 계수가 2, 3, 4 인 경우 정합 영역 크기의 증가율이 적을 경우에는 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다.

다) 높이에 대한 과대 오차는 건물, 산림 등으로 인해 두 영상의 공백 요소가 상당히 다른 형태를 띠는 지역과 유사한 형태가 반복되는 지역에서 주로 발생하였으며, 이는 과대 오차를 제거하지 않은 영상정합 결과를 수치

지형모델로 사용하는 데에는 한계가 있음을 알 수 있다.

#### 감사의 글

본 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

#### 참고문헌

1. Zygmunt Paszotta, Renata Jedryczka, "Basis of the Orthoimage Generation Method", International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 31, Commission III, 1996, 626-632.
2. Robert J. Schalkoff, "Digital Image Processing and Computer Vision", John Wiley and Sons, 1989
3. Alain Duperet, "Automatic derivation of a DTM to produce contour lines", OEEPE Workshop on the Application of Digital Photogrammetric Workstations, 1996,
4. Christian Heipke, "Automation of Interior, Relative and Absolute Orientation", International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 31, Commission III, 1996, 297-311.
5. K Ibl, O., Chardonnens, P.-Y. Gillieron, R. Hersch, S. Lutz, "A System for Automatic Image Correlation", ACSM-ASPRS, Annual Convention, Vol. 5, 1991, 218-227.
6. Marsha Jo Hannah, "Digital Stereo Image Matching Techniques", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 27, Comm. III, 1988, 127-135.
7. Schenk, T., "Concepts in Digital Photogrammetry", Course Notes, Korea Society for Geo-Spatial Information System, Seoul, 1996.
8. 박희주, "寫眞測量的 標定을 위한 스트레오 매칭技法에 대한 研究", 성균관대학교, 박사논문, 1995.
9. 염재홍, "영상정합기법을 활용한 사진측량의 자동화에 관한 연구", 연세대학교, 박사논문, 1997.
10. 조재호, "수치사진측량을 위한 영상정합의 허용상관계수 결정에 관한 연구", 지형공간정보학회지, 제5권 제2호, 1997. 99-110.
11. 조재호, "사진측량방법을 이용한 수치영상정합의 정확도 향상에 관한 연구", 인하공전 논문집, 제22편, 1997, 191-200.