

수치사진측량을 위한 영상정합의
허용상관계수 결정에 관한 연구

A Study on the Allowable Correlation Coefficient Determination for Image
Matching in Digital Photogrammetry

이 재 기*
Lee Jae Kee

조 재 호**
Cho Jae Ho

要 旨

수치사진측량에서 공액점을 자동으로 결정하기 위한 영상정합은 가장 핵심적인 주제이며 이를 자동화하기 위한 많은 연구가 진행 중이다. 본 연구에서는 영역기반 영상정합에서 영상정합의 정확도를 제어하기 위한 허용상관계수의 설정이 수치사진측량의 정확도에 미치는 영향을 고찰하였다. 이를 위해 영상상관계수 정합법, 영상피라미드 정합법, 특징점 추출에 의한 정합법을 각각 구현하고 각 방법에서 허용상관계수가 수치사진측량의 정확도에 미치는 영향을 비교분석하였고 최적 허용상관계수를 결정하는 방법을 제시하였다.

ABSTRACT

Image matching to determine the conjugate points in stereo photos is the one of the most important subject in digital photogrammetry and many researches in digital photogrammetric field are on going to automate the image matching process. In this study, we analyzes the effect of allowable correlation coefficient, which controls the accuracy in areal based image matching, on the accuracy of digital photogrammetry. So, some areal based matching methods such as image correlation coefficient matching, image pyramid matching and interest point matching, are implemented, and the effect of allowable correlation coefficient on accuracy of digital photogrammetry in each method is analyzed. As a result of this study, a method to determine the optimal correlation coefficient is presented.

*충북대학교 공과대학 토목공학과 교수

**인하공업전문대학교 지형정보과 조교수

1. 서 론

수치사진측량 과정에서 공액점 탐색을 자동화하기 위한 수치영상정합은 가장 핵심적인 과제이며, 현재까지 많은 이론과 기법들이 연구되어 왔음에도 불구하고 실용화되지 못하고 있는 난제로 남아 있다. 수치사진측량에 의한 사진측량의 자동화를 구현하기 위해서는 일반화된 수치영상정합방법이 반드시 제시되어야 하며 이를 위해 현재에도 많은 연구들이 진행 중에 있다.

수치영상정합 방법은 영상의 밝기값의 통계적 분포 특성을 이용하여 수행하는 영역기반 영상정합(area-based image matching)과 영상 내에 포함된 형상의 특성을 이용하는 형상기반 영상정합(feature-based image matching)으로 크게 대별된다.

이 두 가지 방법 중 어느 것이 보다 효율적인지는 현재까지 판단되어지지 않고 있으며, 두 방법을 혼용하는 것이 일반적인 추세이다.^{1), 2), 3), 4)}

일반적으로 수치영상정합에서는 영상정합의 정확도를 제어하기 위한 한계값의 설정이 필요하며 이 한계값에 따라 영상정합의 결과가 달라질 수 있다. 영상상관계수 정합법의 경우에는 상관계수의 허용값인 허용상관계수를 한계값으로 설정하여 입체를 이루는 좌우 영상에서의 밝기값 분포 상관성에 따라 공액점을 결정하게 된다. 일반적으로 영역기반 정합방법은 물론 형상기반 정합방법에서도 정합 대상 후보점들이 추출된 후에는 영상상관 정합방법에 의해 최종적으로 공액점을 결정하는 경우가 많으며 이 때에도 허용상관계수의 설정이 필요하다.

따라서, 이러한 방법에 의해 영상정합을 자동화시키기 위해서는 최적의 허용상관계수를 합리적으로 결정할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 이를 위해 영역기반의 정합방법인 자동영상상관 정합기법과 영상피라미드 정합방법, 형상기반 정합방법의 일종인 특징점 추출 정합방법 등을 구현하고 각각의 경우에서 허용상관계수가 영상정합 결과에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 영상정합 기본 이론

2.1 영상상관 정합

영상상관 정합법은 한 영상에 기준영역(target area)을, 정합 대상 영상에 탐색영역(search area)을 설정하고, 기준영역에서의 밝기값의 통계학적 분포와 탐색영역에서의 밝기값의 통계학적 분포의 상관성을 고려하여 허용상관계수 이상의 상관성을 갖는 경우에 기준영역 및 탐색영역의 중앙점을 공액점으로 결정하는 것이다. 일반적으로 입체영상의 경우, 좌측 영상의 대상점을 중심으로 하는 일정한 크기의 기준영역을 설정하고, 우측 영상에서 공액점이 존재할 가능성이 있는 범위를 탐색영역으로 설정하여 영상정합을 실시한다.^{5), 6), 7)}

그림 2.1에서 보는 바와 같이 영상면에 적용할 경 좌측영상의 $M1 \times N1$ 크기인 기준영역을 $W(u, v)$ 로 설정하고, 이에 대응하는 우측 영상의 $M2 \times N2$ 크기인 탐색영역을 $S(u, v)$ 로 설정한 다음, 좌측 영상의 기준영역을 우측 영상의 탐색영역 내에서 한 영상소씩 이동하면서 각각의 위치에 대한 상관계수(cor_{uv})를 결정하며 결정식은 다음과 같다.

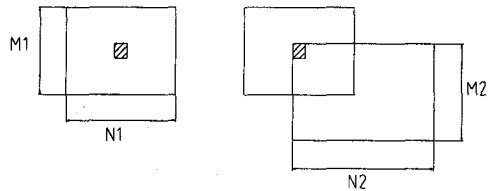


그림2.1 기준영역과 탐색영역의 정합 개념

$$cor(m, n) = \frac{\sum \sum [(S(u, v) - \bar{S}) \cdot (W(u, v) - \bar{W})]}{[\sum \sum (S(u, v) - \bar{S})^2]^{1/2} \cdot [\sum \sum (W(u, v) - \bar{W})^2]^{1/2}} \quad (2-1)$$

여기서, $-1 \leq cor \leq 1$

$$\bar{S} = [\sum\sum (S(u, v))] / (M1 \times N1),$$

기준배열 밝기값의 평균

$$\bar{W} = [\sum\sum (S(u, v))] / (M2 \times N2),$$

탐색배열 밝기값의 평균

$S = S(u, v)$: 기준배열에서 임의의 영상소 (u, v) 의 밝기값

$W = W(u, v)$: 탐색배열에서 임의의 영상소 (u, v) 의 밝기값

이다.

식(2-1)에 의해 탐색영역 내의 모든 영상소의 상관계수를 계산하여 가장 높은 상관계수를 갖는 점을 정합점으로 결정한다. 이 때, 탐색영역 내에서의 최대상관계수가 미리 설정된 허용상관계수보다 작으면 정합점이 없는 것으로 간주하게 된다. 기준영역의 크기와 및 탐색영역의 크기는 상관계수 영상정합의 정확도 및 효율성을 좌우하는 중요한 요소이다. 기준영역의 크기가 작으면 밝기값의 분포특성이 잘 나타나지 않게 되며, 크기가 크면 기준과 탐색영상 사이에 시차에 따른 불일치가 발생하게 된다. 또한 기준영역의 크기에 따라 계산속도가 기하급수적으로 증가하게 된다.

2.2 영상피라미드 정합

영상피라미드 정합법은 영상의 해상력을 2의 멱수로 순차적으로 감소시킨 영상피라미드를 구성하고, 중요한 특징만이 남게 되는 피라미드 상부의 영상에서 각각의 영상소에 대해 영상정합을 실시한 다음 각각의 전 단계로 거슬러 가며 단계에 따른 영상정합결과를 세부적으로 확인함으로써 최초의 영상에서의 정합결과를 취하는 방법이다. 일반적으로 각 영상피라미드 단계에서의 영상정합에는 상관계수법이 이용된다.^{8), 9)}

그림 2.2에서 최초의 32×32 크기의 두 영상은 3 단계의 피라미드를 구성하므로써 8×8 크기의 영상으로 해상도를 감소시킬 수 있다. 최상부의 영상에서 모든 점에 대해 영상정합을 실시하고 그 결과에 대해 순차적으로 하부 단계에서 반복적으로 영상정합하

로서 세부적인 영상정합을 실시한다.

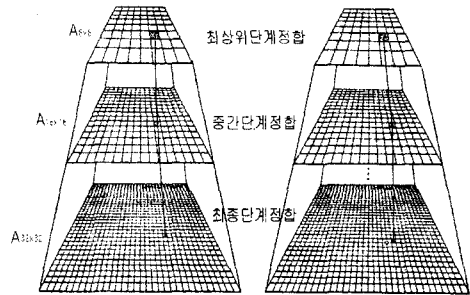


그림 2.2 영상피라미드 정합과정

영상피라미드 영상정합은 최상부의 영상에 전체적인 특징만이 남게 되므로 격자형으로 구역을 나누어 특징적인 요소만을 추출하여 영상정합을 수행하게 된다. 피라미드 P 는 다음과 같은 영상의 집합으로 나타낼 수 있다.

$$P = \{A_{1 \times 1}, A_{2 \times 2}, A_{4 \times 4}, \dots, A_{256 \times 256}, A_{m \times m}\}$$

여기서 $m = 2^n$ 이다. 피라미드는 i 와 j 로 나타나는 공간적인 좌표와 k 로 표현되는 피라미드 해상력 수준값에 의하여 구성되는 $f(i, j, k)$ 함수로 나타낼 수 있다.

사지수 또는 피라미드를 생성할 때 입력된 영상에서 4개의 영상소에 대해서 계산된다. 하나의 해상력에 대해 다른 해상력으로 옮겨갈 때 평균적인 접근법을 통하여 수준 n 에서 입력영상이 주어지면, 피라미드는 다음의 식을 통하여 새로운 영상이 생성된다.

$$f(i, j, k) = \left(\frac{1}{4}\right) \sum_{p=0}^1 \sum_{q=0}^1 f(2i+p, 2j+q, k+1) \quad (2-2)$$

식(2-2)에서의 처리과정은 필요한 수준의 영상이 얻어질 때까지 반복된다. 원영상으로부터 축소된 각 영

상소의 영상소 값을 계산하는 방법으로는 여러 가지가 있을 수 있으나 가장 간단한 방법으로는 축소된 영상소의 각 영상소에 대응하는 원영상의 영상소들의 평균을 취하는 방법이 있으며, 이 방법으로도 충분한 효과를 거둘 수 있다.

본 연구에서 이용한 영상으로부터 생성된 영상피라미드는 그림 2.3과 같다.

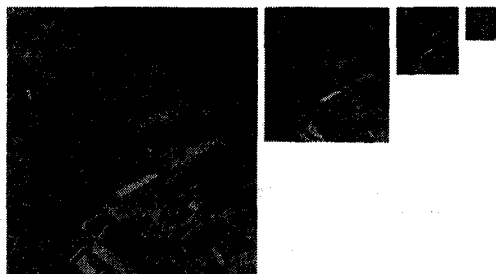


그림 2.3 본 연구에서 생성된 영상피라미드(좌측영상)

2.3 특징점 영상정합

특징점 영상정합은 수치영상에서 특정한 영상함수를 가지는 특징점을 추출하고 이들간의 정합을 실시하는 방법이다. 특징점을 추출하는 방법에는 여러 가지가 있으나, 모서리 점이나 원형물체의 중심을 검출하기 위한 Förstner 특징점 연산자(Förstner Interest Operator)가 가장 널리 이용되고 있다.^{10), 11)}

영상의 x , y 방향의 영상소의 변화량을 g_x , g_y 라 하고, Robert 연산자나 Sobel 연산자로 컨벌루션(convolution)하여 계산한 정규행렬 N 은 식 (2-3)과 같다.

$$N = \begin{bmatrix} \sum g_x^2 & \sum g_x g_y \\ \sum g_x g_y & \sum g_y^2 \end{bmatrix} \quad (2-3)$$

특징값(Interest value)를 나타내는 무게(wight) w 와 원만성(roundness) q 는 소영역을 설정하여 계산한다. 무게 w 는 오차 타원의 크기에 관계가 있고, 밝기값의 대비(contrast)에 비례하며 다음과 같이 계산

된다.

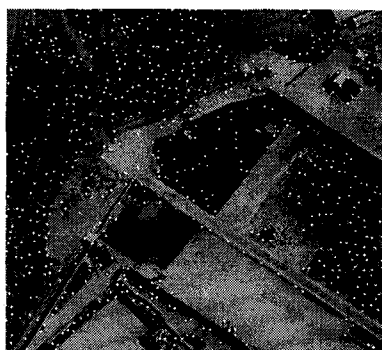
$$w = \frac{\det N}{\text{tr} N} \quad (2-4)$$

타원축의 장반경, 단반경과 같은 오차 타원의 형상에 관계되는 q 는 다음과 같다.

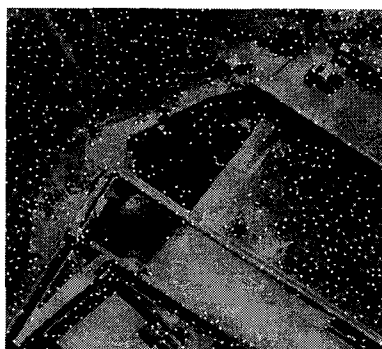
$$q = \frac{4 \det N}{\text{tr}^2 N} \quad (2-5)$$

계산된 q , w 는 특징점만 추출할 뿐, 두 점간의 정합을 판단하는 명확한 기준이 되지 못하므로 영상정합을 위해서는 특징점 사이의 상관계수를 비교하는 방법과 과대오차 추출기법을 병행하여 사용한다.

그림 2.4에는 본 연구에서 이용한 영상으로부터 추출된 특징점이 나타나 있다.



(a) 좌측영상(부분)



(b) 우측영상(부분)

그림 2.4 특징점 추출

3. 관측 및 결과값 분석

3.1 관측

3.1.1 대상지역과 촬영

본 연구를 위해 사용한 항공사진은 초점거리 303.10mm, 구경 40mm의 광각렌즈 및 화면의 크기 23cm × 23cm를 가지고 있는 Wild사의 RC 30 항공측량용 사진기로 TM 좌표상 X방향으로 173,600m, Y방향으로 190,900m 부근의 지역을 고도 약 950 m에서 촬영한 음화필름을 밀착인화한 양화필름이다.

cm(2048 영상소×2048 영상소) 크기의 지역을 절취하여 대상지역으로 선정하였다(그림 2.3 참조).

지상기준점은 대상물을 사진상에서 식별이 용이한 도로상의 교차점, 건물의 모서리 점 등을 선정하였으며, 3차원 좌표취득을 위해 0.1초독 Wild T3 Range Master II DI-3000 광거리측량기를 이용한 정밀 삼각측량방법을 실시하였다. 본 연구에서 이용한 지상기준점의 3차원 좌표와 Carl Zeiss사에서 제작된 해석적 도하기 P3를 사용하여 관측한 사진좌표는 표 3.1 과 같다.

3.1.2 외부표정요소

표3.1 지상기준점의 3차원 좌표와 사진좌표

GCP No.	3차원 좌표			좌측사진		우측사진	
	X(m)	Y(m)	Z(m)	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)
1	173676.562	190950.946	111.059	-6.471	24.377	-77.396	27.677
2	173821.065	190938.621	130.454	-4.608	78.468	-76.993	82.059
3	173324.297	190928.981	84.870	7.131	-98.593	-62.265	-94.913
4	173702.135	190720.773	97.928	74.972	36.971	5.217	39.540
5	173536.859	190748.272	91.075	67.276	-21.972	-2.382	-19.348
6	173336.796	190761.656	78.343	64.799	-91.059	-4.417	-87.950

표3.2 단사진 후방교회법에 의해 결정된 좌·우 사진의 외부표정요소

사 진	ω (rad)	ϕ (rad)	χ (rad)	X_0 (m)	Y_0 (m)	Z_0 (m)
좌측사진	0.0086448	0.0067002	-1.6168947	173613.7313	190928.8244	952.7719
우측사진	0.0079054	0.0234611	-1.6070684	173611.7813	190732.7236	951.0173

촬영된 사진의 축척은 약 1/3,470 이고, 화면의 중앙에 위치한 지표를 기준으로 촬영경로를 따라 계산한 중중복도는 66.6%이며, 좌·우 사진상에서 입체시 되는 부분은 약 15.1cm × 23cm이다. 이 중 산악지역, 농지 및 주택지가 적당하게 분포되어 있는 5.12cm×5.2

사진촬영시의 사진기의 위치와 자세를 결정하기 위해 본 연구에서는 광속조정법에 의한 단사진 후방교회법을 이용하여 각 사진의 외부표정요소를 결정하였다. 단사진 후방교회법의 입력자료는 사진기 초점거리, 외부표정요소의 초기값, 지상기준점의 3차원 좌표 및

사진좌표이다. 외부표정요소의 초기값은 투영중심의 평면위치 X_0 와 Y_0 에 대하여는 기준점들의 평균값을 택하여 설정하고, 높이 Z_0 에 대하여는 사진 상에서 구한 근사값을 촬영고도로 설정하였으며, 사진기의 자세에 대한 ω , ψ , χ 의 초기값은 0으로 설정하여 조정을 수행한 결과 표 3.2과 같이 외부표정요소를 결정할 수 있었다.

3.1.3 항공사진의 수치화

본 연구에서는 회전 드럼형식이며 투과방식을 채택하고, 스캐닝하는 과정 중에 자체검정을 하는 Vexcel사의 VX3000 Scanner를 이용하여 사진을 수치영상화 하였으며, 화일형태는 화일변환의 범용성 및 신속성을 고려하여 TIFF(Tagged Image File Format)로 변환하였고, 변환에 이용한 소프트웨어는 VXSCAN 프로그램과 VXFORMAT 프로그램이다.

스캐닝 영역은 양화필름의 크기를 고려하여 약 9 inch × 9 inch로 설정하였으며, 필름의 해상력, 영상소의 분해능력 및 저장 용량을 고려하여 1016 DPI로 수치화 하였다. 수치화된 한 영상소의 크기는 $25 \mu m \times 25 \mu m$ 이며, 실제 지형 상에서는 $0.087 m \times 0.087 m$ 로 된다.

256가지의 밝기값으로 구분하여 수치화된 흑백필름의 한 영상소가 1 byte의 기억용량을 가지므로 1장의 영상을 저장하는데 필요한 저장 용량은 약 81 Mbyte이고, 좌우 사진에 필요한 저장 용량은 최소 162 Mbyte가 된다. 본 연구에서 수치화된 영상은 그림 3.1과 같으며 이 중에서 대상지역을 절취하여 연구에 이용하였다.

3.2 자료처리 및 해석

3.2.1 예비 영상정합실험

영상상관 정합법에서 미리 설정되어야하는 기준영역, 탐색영역, 허용상관계수 등의 매개변수는 영상의 특성에 따라 다르게 나타나게 되며 이를 일반화시키는 것은 현재까지 곤란하다. 또한, 자동 영상상관 정합법을 실시할 경우에는 막대한 반복계산에 의해 매우 긴 처리시간이 필요하므로 다양한 매개변수를 적



그림 3.1 수치영상(좌측)

용하여 최적의 매개변수를 설정하는 것이 곤란하다. 따라서, 본 연구에서는 영상 전체에 골고루 분포된 소수의 점에 대해 미리 예비영상정합 실험을 실시하여 최적의 기준영역과 탐색영역의 크기를 설정한 후 이를 자동 영상상관 정합법, 영상피라미드 정합방법, 형상적 영상정합방법 등에 적용하였다.

예비영상정합 실험은 좌측영상에 대하여 400영상소 × 400영상소 간격으로 총 25개의 기준점을 선정하고, 기준영역의 크기를 7영상소 × 7영상소에서 33영상소 × 33영상소까지 2영상소씩 증가시키면서 영상상관 정합을 수행하므로써 이루어졌다. 상관계수는 기준영역의 크기에 따라 변화하는 양상을 보였으며, 허용상관계수가 양호하게 취득된 19영상소 × 19 영상소에서 31영상소 × 31영상소에서까지의 값은 표 3.3과 같다.

표 3.3에서는 기준영역의 크기가 커짐에 따라 상관계수가 커지는 경향이 있었으며, 상관계수값이 큰 지역에서는 기준영역의 변화에 따른 변화가 거의 없었으나 작은 지역에서는 변화가 컸다. 상관계수가 작은 기준점의 주위는 밝기값의 변화 및 특징이 없는 지역이다.

우측영상에 존재하는 공백점의 영상좌표는 상관계수를 이용하여 결정하였고, 공백점의 영상좌표는 Adobe systems사의 Photoshop 4.0 상에서 영상을 확대하여 육안으로 검사하였다. 숲, 밭, 논, 지붕, 잔디 등과 같이 밝기값의 변화가 없는 지역에 위치하고 있는 기준점은 육안판측이 불가능 할뿐만 아니라 기준

표3.3 기준영역의 크기에 따른 상관계수

기준점번호	기준 영역의 크기								
	x	y	19×19	21×21	23×23	25×25	27×27	29×29	31×31
1	200	200	0.750327	0.781903	0.804242	0.808876	0.813718	0.816711	0.819263
2	600	200	0.780526	0.785419	0.798617	0.807767	0.818412	0.823868	0.832373
3	1000	200	0.453905	0.481471	0.470479	0.471278	0.476403	0.502512	0.524553
4	1400	200	0.453293	0.410116	0.384523	0.375083	0.388754	0.424932	0.468990
5	1800	200	0.935397	0.946728	0.953954	0.958294	0.961045	0.960877	0.962537
6	200	600	0.666805	0.663002	0.663030	0.639589	0.633966	0.614499	0.606342
7	600	600	0.515597	0.549827	0.564786	0.607631	0.624195	0.631711	0.647355
8	1000	600	0.340167	0.401821	0.454283	0.526854	0.544534	0.574213	0.570481
9	1400	600	0.751505	0.746670	0.747969	0.753238	0.752240	0.763726	0.771297
10	1800	600	0.689796	0.709058	0.718515	0.732031	0.752215	0.766048	0.784485
11	200	1000	0.829396	0.825543	0.824146	0.820639	0.817558	0.827928	0.828342
12	600	1000	0.679863	0.671986	0.668051	0.669553	0.691294	0.689374	0.694089
13	1000	1000	0.776061	0.775013	0.761722	0.759657	0.755512	0.746563	0.742731
14	1400	1000	0.547139	0.541745	0.569631	0.599983	0.607077	0.618242	0.613266
15	1800	1000	0.931975	0.938721	0.942351	0.946199	0.950324	0.953251	0.953965
16	200	1400	0.845845	0.841724	0.838808	0.843806	0.849577	0.850577	0.848407
17	600	1400	0.767117	0.739910	0.763184	0.783048	0.801725	0.822510	0.848683
18	1000	1400	0.586518	0.589528	0.594534	0.659863	0.783378	0.849062	0.879342
19	1400	1400	0.194753	0.177976	0.181885	0.206193	0.213185	0.188587	0.226816
20	1800	1400	0.888784	0.874837	0.862362	0.869676	0.868057	0.836762	0.842574
21	200	1800	0.616634	0.633321	0.635945	0.602755	0.573710	0.555080	0.560312
22	600	1800	0.676271	0.689450	0.726610	0.741262	0.747434	0.768931	0.783911
23	1000	1800	0.897943	0.894497	0.899558	0.894879	0.889513	0.885179	0.880478
24	1400	1800	0.947556	0.947284	0.931918	0.922014	0.912865	0.906687	0.901444
25	1800	1800	0.583729	0.593995	0.630775	0.645288	0.647119	0.661740	0.674752

영역의 크기에 따라 결정된 각각의 영상좌표가 큰 불일치를 보였다. 육안판측이 불가능한 지점의 허용상관계수는 비닐하우스 위에 위치하고 있는 18번 기준점을 제외하고는 모두 0.65보다 작았으며, 허용상관계수

표3.4 우측사진의 영상좌표와 육안관측 좌표

기준점 번호	우측 사진의 영상좌표															
	19×19		21×21		23×23		25×25		27×27		29×29		31×31		육안관측	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
1	204	201	204	201	204	201	204	201	204	201	204	210	204	201	204	201
2	607	204	607	204	607	204	607	204	607	204	607	204	607	204	607	204
5	1804	213	1804	213	1804	213	1804	213	1804	213	1804	213	1804	213	1804	213
6	208	602	208	602	208	602	209	603	209	602	209	602	209	603	208	601
8	1013	608	1013	608	1013	608	1013	608	1013	608	1013	608	1013	608	1011	609
9	1414	611	1415	611	1415	611	1415	611	1415	611	1415	611	1415	611	1415	611
10	1815	614	1815	614	1815	614	1815	614	1815	614	1815	614	1815	614	1814	614
11	212	1003	212	1003	212	1003	212	1003	212	1003	212	1003	212	1003	212	1003
12	616	1006	616	1006	616	1006	615	1006	615	1006	615	1006	615	1006	612	1014
13	1019	1009	1019	1009	1019	1009	1019	1009	1019	1009	1019	1009	1019	1009	1019	1010
14	1423	1012	1423	1012	1423	1011	1423	1011	1423	1011	1423	1011	1423	1011	1425	1008
15	1821	1014	1821	1015	1821	1014	1821	1014	1821	1014	1821	1014	1821	1014	1821	1014
16	219	1404	219	1404	219	1404	219	1404	219	1404	219	1404	219	1404	219	1404
17	629	1406	629	1406	629	1406	630	1406	630	1406	630	1406	630	1406	630	1406
20	1826	1415	1826	1415	1826	1415	1826	1415	1826	1415	1826	1415	1826	1415	1826	1415
21	215	1804	215	1804	215	1804	215	1804	215	1804	215	1804	215	1804	215	1806
22	601	1792	626	1811	625	1811	626	1811	618	1806	618	1806	618	1806	618	1806
23	1037	1809	1037	1809	1037	1809	1037	1809	1037	1809	1037	1809	1037	1809	1037	1809
24	1426	1812	1426	1812	1426	1813	1426	1812	1426	1812	1426	1812	1426	1812	1427	1812

는 다른 기준점과는 달리 탐색영역의 크기에 따라 변화가 심한 특징을 보여주었다. 육안 관측이 가능한 19 점에 대한 영상좌표는 표 3.4와 같다.

표 3.4에서 상관계수 값이 1에 가까운 기준점들의 영상좌표는 기준영역의 크기에 따라 변화가 거의 없

을 뿐만 아니라 육안 관측한 영상좌표값과 거의 일치 하였으나, 상관계수값이 작은 경우에는 변화가 크고 육안 관측한 영상좌표와 큰 차이를 보였다.

상관계수를 이용하여 결정된 각 기준점들의 영상좌 표와 육안 관측한 영상좌표를 비교해본 결과 기준영

역의 크기가 27영상소 × 27영상소에서 가장 근사한 영상좌표값을 취득하였고, 허용상관계수가 0.7 이하인 6, 12, 14, 21번 기준점의 영상좌표는 육안 관측한 영상좌표와 최소 1영상소에서 최대 8영상소까지 차이를 보였으나, 상관계수값이 0.747434인 22번 기준점과 0.75이상인 기준점들은 육안관측된 영상좌표와 일치하고 있었다.

3.2.2 영상정합

예비영상정합 실험을 통하여 결정된 기준영역의 크

상소 × 27영상소로, 허용상관계수를 0.75로 결정되었으며 본 연구에서는 허용상관계수에 대해 0.7 및 0.8을 부가적으로 설정하여 적용하였다.

자동 영상상관 정합법의 경우에 대상지역 전체의 모든 영상소에 대하여 영상정합을 실시하는 경우에는 자료처리의 부담이 매우 크므로 좌측영상에 대해 20영상소 간격으로 영상정합을 실시하는 방법을 적용하였다. 본 연구의 경우 자동 영상상관 정합을 실시하는데 약 12시간의 처리시간이 소요되었다. 결정된 공역 점에는 영상정합의 오차에 의해 과대오차가 포함되어

표3.5 허용상관계수의 변화에 따른 자동 영상상관 정합의 정밀도

허용상관 계수	영상정합점 의 수	과대오차 제거 후의 점의 수	표준편차(m)			
			Sx	Sy	Sz	Sp
0.7	6081	5835	0.01468	0.02124	0.11404	0.02599
0.75	5005	4819	0.01425	0.02066	0.11047	0.02527
0.8	3533	3394	0.01444	0.02135	0.11268	0.02595

기와 허용상관계수를 자동 영상상관 정합방법, 영상피라미드 정합방법 및 특징점 추출 정합방법에 적용하고, 각 방법별 정확도를 비교 분석함으로써 상관계수 정합기법을 이용한 예비영상정합 실험에 의해 설정된 허용상관계수의 설정이 각각의 영상정합기법의 정확

이므로 광속조정에서의 표준편차가 평균표준오차의 3배 이상되는 점은 과대오차로 처리하여 제거한 다음 공역점에 대한 3차원 지상좌표와 그에 대한 조정값의 표준편차를 계산한 결과 표 3.5와 같은 결과를 얻었다. 이 경우, 예비 영상정합실험에서 결정된 허용상관계수

표3.6 허용상관계수의 변화에 따른 영상피라미드 정합의 정밀도

허용상관 계수	영상정합점 의 수	과대오차 제거 후의 점의 수	표준편차(m)			
			Sx	Sy	Sz	Sp
0.7	10059	9437	0.03416	0.05187	0.26322	0.06247
0.75	7325	6859	0.03127	0.04759	0.24183	0.05728
0.8	4781	4487	0.02861	0.04400	0.22297	0.05277

도에 미치는 영향을 분석하였다.

예비영상정합 실험에 의해 기준영역의 크기는 27영

값인 0.75에서 위치오차가 가장 양호한 것을 알 수 있었다.

영상피라미드 정합방법에서는 2048영상소 × 2048 영상소의 대상 영상을 3단계로 축소하여 마지막 단계의 영상을 256영상소 × 256영상소로 만들었고, 이에 상관기법을 이용하여 영상정합을 실시하였다. 허용상관계수를 0.7, 0.75, 0.8로 설정하여 영상정합을 실시한 결과 표 3.6과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 이 경우에도, 광속조정에서의 표준편차가 평균표준오차의 3배 이상되는 점은 과대오차로 처리하여 제거하였다.

특징점 추출 정합방법에서는 4,194,304영상소에 대해 좌측영상에서 11,057개의 특징점을, 오른쪽 영상에서 10,866개의 특징점을 탐색할 수 있었다. 특징점들의 상관성을 발견하기 위하여 상관계수 정합방법을

영상정합에 의해 취득된 공백점에 대응하는 3차원 지상좌표값들은 대상지역에 대하여 무작위로 분포되어 있으므로 격자형태의 수치표고모형을 생성하기 위해서는 각 격자점에 대한 보간을 수행하여야 한다. 본 연구에서는 각 영상정합법에 의해 얻어진 3 차원 지상좌표값들에 대해 Kriging 보간법을 적용하므로써 10m × 10m 간격의 수치표고모형을 생성하였다. 각각의 영상정합방법으로부터 취득된 수치표고모형과 해석도화기에 의한 수치표고모형이 그림 3.2에 나타나 있다. 각각의 영상정합방법으로부터 취득된 수치표고모형은 해석도화기 P3로부터 취득한 수치표고모형과 대응되는 격자점에 대해 높이를 비교하였으며, 그 결

표3.7 허용상관계수의 변화에 따른 특징점 추출 정합의 정밀도

허용상관계수	영상정합점의 수	과대오차 제거 후의 점의 수	표준편차(m)			
			Sx	Sy	Sz	Sp
0.7	5511	5126	0.03055	0.04516	0.23547	0.05486
0.75	4125	3865	0.02706	0.04044	0.20938	0.04895
0.8	2705	2547	0.02437	0.03645	0.18821	0.04410

적용하였고 이때, 허용상관계수를 이전의 경우와 마찬가지로 0.7, 0.75, 0.8로 설정하여 영상정합을 실시하므로써 표 3.7과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

표 3.5, 3.6, 3.7에 나타나 바와 같이 자동 영상상관 정합에서는 예비영상정합에서 결정한 값인 0.75를 허용상관계수로 설정하였을 때 3차원 지상좌표 취득의 정밀도가 가장 높게 나타나는 반면에 영상 피라미드 정합과 특징점 추출 정합에서는 허용상관계수가 높아짐에 따라 3차원 지상좌표취득의 정밀도가 높아졌다. 그러나, 허용상관계수가 높게 설정될 수록 영상정합점의 수가 감소되며 특히 특징점 추출 정합에 있어서는 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 따라서, 예비실험을 통한 허용상관계수의 결정이 타당함을 알 수 있었다.

과는 표 3.8과 같다.

표3.8 각 영상정합방법에 의한 수치표고모형의 정확도

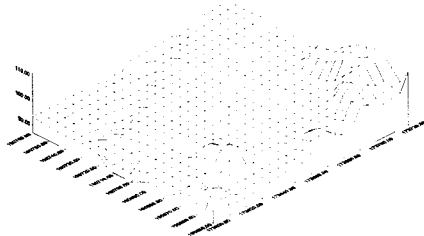
영상정합 방법	정합점의 수	높이의 평균 제공근 오차(m)	영상정합 소요시간
영상상관 정합	4819	2.18898	11 간 58분
영상피라미드 정합	6859	1.45761	1시간 34분
특징점 추출 정합	3865	2.19243	32분

3.2.3 수치표고모형의 생성

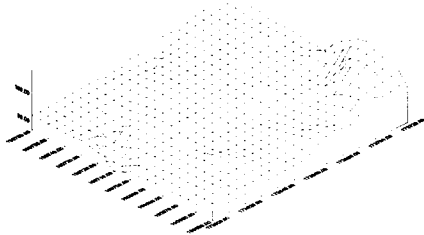
표 3.8에서 높이의 정확도는 영상피라미드, 자동 영

상상관, 특징점 정합방법 순으로 나타났으며, 영상정합에 소요되는 시간은 좌·우 영상상에서 특징점을 찾아내서 영상정합을 수행한 특징점 정합방법이 가장 짧게 나타났다. 그러나, 영상상관 정합과 특징점 추출 정합의 경우는 정합 방법의 특성상 영상정합의 결과가 대상물이 뚜렷하게 나타나는 지역에 편중되는 경향이 있다는 것이 검토결과로 나타났다. 또한, 이 두 방법에서는 반복적인 형태가 많은 시가지의 경우에는 정합오류가 다수 발생된 것을 육안으로 확인할 수 있었다. 이러한 정합결과와 편중과 오류가 보간과정을 통하여 수치표고모형에 영향을 준 것으로 판단된다.

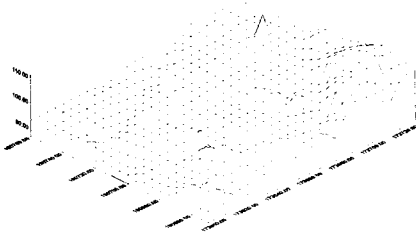
반면에 영상피라미드 정합방법의 경우는 영상의 해



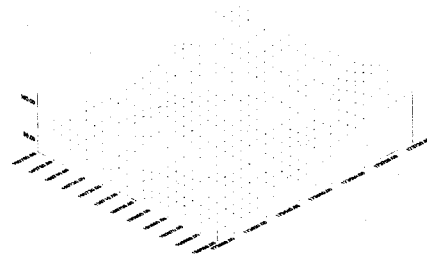
(a) 자동상정합에 의한 수치표고모형



(b) 영상피라미드정합에 의한 수치표고모형



(c) 특징점 추출정합에 의한 수치표고모형



(d) 해석도화기(P3)에 의한 수치표고모형

그림3.2 영상정합에 의해 취득된 수치표고모형

상도를 낮추어 영상 전체에 대한 특성을 추출하여 정합을 실시하게 되므로 정합점의 배치가 비교적 골고루 분포되므로 보간이 양호하게 수행되며 세부적인 반복형태에 의한 정합오류가 발생할 가능성이 적다는 것을 알 수 있었다. 그러므로 3 차원 위치결정에서의 정밀도가 가장 낮았음에도 불구하고 수치표고모형의 정확도는 가장 높게 나타났다. 대상지를 산악지, 농경지, 주택지로분류하여 각 지역에서의 수치표고모형의 정확도를 관측한 결과 표 3.9를 구할 수 있었다.

따라서 영상정합에 의해 수치표고모형을 제작하는 경우에 적절한 정합점의 배치와 정합오류 가능성의 여부를 고려하기 위한 기준을 설정하기 위한 연구가 향후에 계속적으로 연구될 필요가 있을 것으로 사료된다. 또한 대상지의 특성에 따라 최적의 영상정합방법을 자동적으로 설정하여 수행하기 위한 연구가 향후에 이루어져야 할 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 영상상관 정합방법, 영상피라미드 정합방법 및 특징점의 추출에 의한 영상정합방법을 위한 프로그램을 구현하였고, 예비영상정합 실험을 통하여 결정한 허용상관계수가 각 정합방법에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 각 영상정합방법에 적용하는 경우의 정확도를 해석적 도화기상에서 취득한 수치표고자료와 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었

다.

- 1) 좌·우 영상에 존재하는 공액점의 결정시 상관계수의 한계값을 예비영상정합 실험을 통해 결정된 값(본 연구에서는 0.75)을 자동 영상상관 정합법, 영상피라미드 정합법, 특정점 정합법 등에 적용하고 그 정확도를 분석한 결과 각 방법에서의 허용상관계수를 예비영상정합 실험을 통해 결정할 수 있음을 알 수 있었다.
- 2) 각각의 영상정합방법중 정밀도는 영상상관 정합방법에서 가장 높게 나타났으나, 다른 영상정합방법에 비하여 현저히 많은 처리 시간이 소요되었으며, 산악지나 주택지의 경우에 있어서 광속조정시의 평균제곱근 오차는 다른 방법에 비해 정확도가 양호하지 못한 결과를 나타냈다.
- 3) 특정점 정합방법의 경우에는 처리시간이 가장 빠른 것으로 나타났으나 영상피라미드 정합방법에 비해 정확도가 낮게 나타났다. 따라서 두 방법이 다 허용오차를 만족한다고 가정하면 특정점 영상정합이 가장 효율성이 높음을 알 수 있으나, 높은 정확도를 확보해야 할 경우에는 영상피라미드 정합방법이 적합함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 1996년도 학술진흥재단 자유공모과제 연구비 지원에 의하여 수행된 연구로서 학술진흥재단에 깊이 감사드립니다.

참고 문헌

1. William B. Green, "Digital Image Processing : A Systems Approach", Second Edition, Van Nostrand Reinhold, 1990, pp 1-27
2. Kölbl, O., Chardonnens, P.-Y. Gillieron, R.

- Hersch, S. Lutz, "A System for Automatic Image Correlation" ACSM-ASPRS, Annual Convention, Vol. 5, 1991, pp. 218-227.
3. Marsha Jo Hannah, "Digital Stereo Image Matching Techniques", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 27, Comm. III, 1988, pp. 127-135
4. Wolfgang Förstner, "Digital Image Matching Techniques for Standard Photogrammetric Applications", ACSM-ASPRS Annual Convention, Vol. 4, 1986, pp. 210-219.
5. Terrence, J. Keating. and P. R. Wolf, "An Improved Method of Digital Image Correlation", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 41, No. 3, March 1975, PP. 993-1002.
6. Thurgood, A., " A Region-Based Approach to Digital Image Matching", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 55, No. 5, May 1982, PP. 581-586.
7. 조재호, "氣球 寫眞測量體系를 利用한 小規模地域의 地形資料基盤 構築", 충북대학교, 박사논문, 1995,
8. Schenk, T., "Concepts in Digital Photogramtry", Course Notes, Korea Society for Geo-Spatial Information System, Seoul, 1996.
9. 염재홍, "영상정합기법을 활용한 사진측량의 자동화에 관한 연구", 연세대학교, 박사논문, 1997,
10. Mengxiang Li, "High Precision Relative Orientation Using the Feature Based Matching Techniques", International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 27, Commission III, 1988, pp. 456-465.
11. 박희주, "寫眞測量의 標定을 위한 스트레오 매칭技法에 대한 研究", 성균관대학교, 박사논문, 1995,