

내부표정과 상호표정의 자동화에 관한 연구 A Study on the Automation of Interior Orientation and Relative Orientation

정 수* · 박정환** · 윤공현** · 유복모***

Jeong, Soo · Park, Choung-Hwan · Yun, Kong-Hyun · Yeu, Bock-Mo

요 旨

컴퓨터의 급속한 발달과 다양한 영상처리기법이 도입되면서, 기존의 기계적 사진측량과 해석적 사진측량에서 숙련된 작업자에 의해 수행되었던 표정작업들을 컴퓨터를 이용해 자동화하고자 하는 시도들이 사진측량 분야에서 활발하게 이루어지기 시작했다. 사진측량공정의 자동화를 위해서는 내부표정, 상호표정, 절대표정 등의 표정작업에 관한 자동화 연구가 선행되어야 한다. 본 연구는 내부표정과 상호표정과정을 자동화하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 내부표정에는 Hough 변환을, 상호표정에는 대상공간영상정합기법을 적용하였다. 본 연구의 결과, 기존 수치사진측량시스템에서 수작업에 의존하여 반자동으로 수행되는 표정 작업들을 자동화하기 위한 방법을 제시할 수 있었다.

ABSTRACT

Owing to the rapid development of computer system and the introduction of image processing technique, recent photogrammetric studies have been concentrated on the automation of photogrammetric orientation work that have been carried out by skilled professionals in analog and/or analytical photogrammetric field. To automate the whole photogrammetric work, the automation of the orientation processes including interior, relative and absolute orientation should be preceded. This study aims to automate interior orientation and relative orientation process. For this purpose, we applied Hough transform to interior orientation process and object space matching technique to relative orientation process. As the result of this study, we can present a method to automate interior and relative orientation process that has been semi-automatically operated in most commercial digital photogrammetric workstations currently available.

1. 서 론

1990년대에 이르러 컴퓨터의 자료처리 능력과 속도가 급속히 향상됨에 따라, 고가의 도화기와 숙련된 도화사에 의해 수행되던 기존의 기계적 또는 해석적 사진측량 과정을 컴퓨터 상에서 자동화하기 위한 수치사진측량이 본격적으로 적용되기 시작하였다. 수치사진측량은 필름 형태의 사진자료 대신에 수치영상자료를 이용하기 때문에, 수치영상처리 기법과 컴퓨터 비전 기법에 의해 사진측량공정의 대부분을 컴퓨터 내에서 처리할 수 있다

(Schenk, 1996). 이미, 미국과 독일 등에서는 상용 DPWS(Digital Photogrammetry Workstation System)가 개발되어 DEM(Digital Elevation Model), 정사사진, 수치지도 등의 제작에 활용되고 있다(Schenk, 1996). 그러나, 현재까지의 대부분의 상용 DPWS는 기계식 또는 해석식 도화기의 기계적 기능을 컴퓨터 상에서 소프트웨어적으로 구현하는 것을 주목적으로 하여 개발되어 왔다. 따라서, 대부분 작업자의 육안관측과 수작업을 병행하는 반자동 방식으로 운영되고 있으며, 완전 자동화된 DPWS의 개발을 위해서는 보다 많은 연구가 필요하다.

사진의 표정(Orientation)은 사진측량에서 가장 핵심적인 작업단계로서 사진측량과정의 전단계에 대한 자동화를 이룩하기 위해서는 표정과정에 대한 자동화가 우선적으로 이루어져야 한다. 사진측량에서 표정과정은 내부표

*연세대 산업기술연구소 전문연구원

**연세대 토목공학과 박사과정

***연세대 토목공학과 교수

정과 외부표정으로 구분할 수 있으며, 이중 외부표정은 상호표정과 절대표정으로 나누어 수행될 수 있다.

내부표정의 경우는 사진지표(fiducial mark)의 형태와 위치가 사진기의 종류에 따라 거의 일정하므로 비교적 자동화가 용이하다고 볼 수 있다. 주로, 지표의 형태에 대한 템플릿을 이용하여 예상 위치에서의 영상정합을 수행하여 지표의 영상좌표를 자동으로 관측하기 위한 방법이 주로 수행되어 왔다. 이 경우에는 수치영상에서의 지표의 형태와 크기가 일률적으로 나타나야만 한다. 따라서 저해상도의 수치영상이나 각각 해상도가 다른 수치영상들을 처리해야 할 경우에는 적용이 곤란하였다.

상호표정을 자동화하기 위해서는 입체영상에서 공액점을 자동으로 탐색할 수 있어야 하며, 이를 위해서는 영상정합기법이 적용될 수 있다. 영상정합기법은 영역기준 영상정합(area-base image matching), 형상기준 영상정합(feature-based image matching), 관계형 영상정합(relational image matching) 등으로 구분되어 개발되어 왔으나, 이 중 어느 한 방법만으로는 양호한 성과를 얻을 수 없으므로 다양한 방법을 조합하여 영상정합을 수행하는 것이 일반적이었다. 이러한 기존의 영상정합기법의 경우는 영상의 특성만을 이용하는 것으로서, 입체영상의 시차에 의해 좌우 영상에서 형태의 변화가 발생할 경우에는 효율적이지 못하였으며, 대부분에 있어서 막대한 수행시간이 소요되었고, 정합결과에 많은 오차가 내포될 가능성이 크므로 상호표정을 자동화하기 위해 이를 적용하는 것이 용이하지 않았다(Liang and Heipke, 1996).

절대표정의 경우는 사진 상에 나타나는 기준점의 종류, 위치, 형태가 일정하지 않으므로 현재까지는 이에 대한 실질적인 자동화 방법을 제시하지 못하고 있으며 연구단계에 머무르고 있는 실정이다(Heipke, 1996).

본 연구에서는 사진측량의 표정과정 중에서 내부표정과 상호표정과정에 대한 자동화를 이룩하고자 하였다. 이를 위해, 내부표정의 경우에는 직선, 원 등 특정한 물체의 외곽선을 검출하는 Hough 변환을 적용하고, 상호표정의 경우에는 대상물의 기하학적 특성을 고려하여 영상정합을 수행하는 대상공간 영상정합(object space image matching)기법을 적용하였다.

Hough 변환은 영상에서의 형태를 매개변수공간(parameter space)으로 변환하여 임의의 형태의 외곽선 추출이나 선형추출을 가능하게 한다. 또한 노이즈가 심한 영상이나 추출하고자 하는 형태가 완전하지 않은 영

상에도 적용할 수 있을 뿐만 아니라 크기가 변화되고 회전된 대상에 대해서도 적용 가능하다(Hough, 1962).

대상공간 영상정합기법은 대상물의 기하학적 특성을 고려하여 정합 대상점의 위치를 비교적 정확하게 예측할 수 있으므로 영상정합의 속도와 정확도가 높으므로 상호표정에 적용될 경우에 효율성과 정확도의 향상에 기여할 수 있다.

본 연구를 통해 자동화된 내부·상호표정 과정을 거쳐 실험된 결과는 사진지표의 육안관측과 기존의 영상정합 방법 및 상용 DPWS인 독일 Leica사의 DVP(Digital Video Plotter) 시스템에 의한 반자동 방식과 비교함으로써 검증될 수 있었다.

2. 기본이론

2.1 Hough 변환에 의한 내부표정의 자동화

사진의 주점을 원점으로 하는 사진좌표계와 일반적으로 영상의 좌측상단을 원점으로 하는 영상좌표계 간의 2차원 좌표변환은 사진기 검정표 상에 주어진 사진지표의 사진좌표와 그에 대한 영상좌표의 관측값을 이용하여 평면변환 모형식의 매개변수를 결정함으로써 수행된다. 이때, 영상좌표의 관측은 Hough 변환에 의해 자동화할 수 있다.

Hough 변환은 1962년 Hough에 의해 처음으로 제안된 이론으로서 영상공간에서 여러 개의 점이 직선으로 분포되어 있을 때 이 각 점에 따라 원래의 직선을 검출하는 방법이다. 영상공간에서의 한 영상소는 매개변수공간에서 하나의 직선으로 표현되며, 직선이라고 여겨지는 영상소들은 매개변수공간에서 여러 개의 직선으로 표현된다. 매개변수공간에서의 직선의 교차점은 영상공간에서는 일직선으로 표현되는 것이다. 각각의 직선은 영상공간과 매개변수공간에서 식 (1) 및 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$y = ax + b \quad (1)$$

$$b = -xa+y \quad (2)$$

이 경우에, 기울기와 절편 값이 무한대로 가는 문제가 발생할 수 있으므로 그대로 실제에 적용하기 곤란하므로, Duda와 Hart는 각거리 매개변수공간 변환을 고안하였다.

한 직선과 그 직선에 수직이며 원점을 지나는 직선이

+X축과 이루는 각을 θ , 두 직선의 교차점과 원점의 거리 ρ 라 하면 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (3)$$

여기서 ρ 는 $\rho \geq 0$ 의 범위를 가지며 θ 는 $0^\circ \leq \theta < 180^\circ$ 의 범위를 가진다.

영상공간에서의 어떤 한 점(x_0, y_0)이 주어 졌을 때 그 점을 통하는 모든 직선(기울기 불문)은 매개변수공간에서 식 (4)에 의해 1개의 정현곡선으로 도시된다.

$$\rho = x_0 \cos \theta + y_0 \sin \theta \quad (4)$$

ρ, θ 는 변수이므로 (x_0, y_0)를 통하는 모든 직선군은 변수 공간에서는 1개의 궤적으로서의 정현곡선을 그리는 것이 된다. 따라서, 식 (4)에 의해서 직선 위의 모든 점은 여러 개의 정현곡선으로 그려진다. 이들 곡선이 가장 많이 교차하는 점 (ρ_0, θ_0)를 찾아내면 식 (5)에 의하여 1개의 직선이 특징이 되는 것이다.

$$\rho_0 = x_0 \cos \theta_0 + y_0 \sin \theta_0 \quad (5)$$

사진지표의 경우, 일반적으로 두 직선의 교차에 의해 그 위치를 나타내고 있으므로 Hough 변환을 이용하여 그 형태를 선형화하고 그 교차점을 추출함으로써 그 위치의 영상좌표를 자동으로 관측할 수 있다.

2.2 대상공간 영상정합에 의한 상호표정의 자동화

상호표정은 한 쌍의 입체사진에 대한 촬영시의 위치 및 자세를 상사적으로 재현하는 것으로서 해석 도화기의 경우에는 입체사진 상의 공액점의 좌표를 관측하고, 이를 이용하여 수학적 모형에 의해 해석적으로 표정요소들을 결정한다(유복모, 1991).

해석적 상호표정방법에는 공면조건을 이용하는 방법,

종시차를 소거하는 방법, 공선조건을 이용하는 방법 등이 있으며 일반적으로 수학적 해석이 가장 명확한 공면조건을 이용한 방법이 널리 쓰이고 있으므로 본 연구에서는 공면조건을 이용한 해석적 상호표정 방법을 연구에 적용하였다(Methley, 1986).

상호표정요소는 좌측사진의 위치와 자세 및 기선의 X 방향 성분을 고정시킨 후 우측사진의 상대적인 위치와 자세를 5개의 요소($b_y, b_z, \omega, \phi, \kappa$)로 결정하는 종속적(dependent) 방법과 좌측사진 및 우측사진의 위치와 좌측사진의 X 방향에 대한 회전요소 ω_1 을 고정시킨 후 좌우사진의 회전요소를 5개의 요소($\phi_1, \kappa_1, \omega_2, \phi_2, \kappa_2$)로 결정하는 독립적인(independent) 방법이 사용되며 본 연구에서는 종속적 방법을 적용하였다(Methley, 1986).

상호표정을 자동화하기 위해서는 입체영상에서의 공액점을 자동으로 결정할 수 있어야 하며 이를 위해서는 영상정합기법이 활용될 수 있다.

영역기준 영상정합의 경우 공액 영상소를 찾기 위한 탐색영역은 전체 영상으로 설정될 수 있다. 그러나 사진 측량을 목적으로 항공사진을 이용한 경우는 대략 60~70%의 중복도로 촬영되기 때문에 탐색영역을 어느 정도 축소시킬 수 있다. 이 경우에도 탐색영역에서 공액점을 탐색하기 위해서는 막대한 계산시간이 소요되며, 이는 심각한 문제가 될 수 있다. 따라서 효율적인 영상정합을 위해서는 탐색영역을 공액점 부근의 일정영역으로 한정시킬 수 있어야 한다(Liang and Heipke, 1993, 1996).

영상정합에 있어서 보다 정확하고 보다 신속하게 공액점을 찾기 위해 공액점 위치를 예측하는 방법으로서 널리 알려진 방법은 에피폴라 선(Epipolar line)을 이용하는 것이다. 그림 2는 에피폴라 기하(Epipolar geometry)를

$$\rho_0 = x_0 \cos \theta_0 + y_0 \sin \theta_0$$

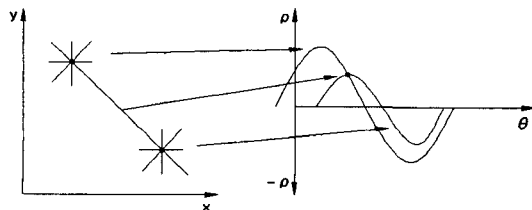


그림 1. 영상공간과 변수공간의 변환관계

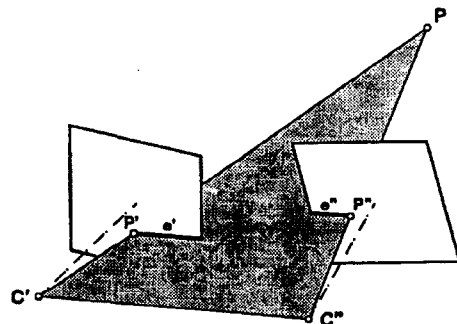


그림 2. 에피폴라 기하

나타내고 있다. 에피폴라 평면(Epipolar plane)은 그림 2에서 투영중심 C' , C'' 와 지상의 점 P에 의해서 정의된다. 에피폴라 선은 영상평면과 에피폴라 평면의 교차선이다.

그림 2에서 공액점은 에피폴라 선 위에 존재하게 되므로 좌측영상에서의 임의의 점에 대응하는 우측영상에서의 에피폴라 선의 결정할 수 있다면, 영상정합 시에 탐색영역의 범위를 상당히 감소시킬 수 있다. 에피폴라 선을 계산하기 위해서는 입체영상의 표정요소를 미리 알고 있어야 한다.

입체사진의 표정요소가 결정된 후 에피폴라 영상을 이용해 영상정합을 실시하는 경우에는 공액점의 위치가 좌우영상에서 동일한 행 내에 존재하게 되므로 대상공간 영상정합을 원활히 적용할 수 있지만, 본 연구에서와 같이 상호표정을 자동화하기 위해 영상정합을 실시할 경우에는 좌우사진의 표정요소를 미리 알 수 없으므로 대상공간 영상정합을 직접 적용하기가 곤란하다. 따라서, 대상공간 영상정합 방법을 상호표정과정에 적용하기 위해서는 기존의 대상공간 영상정합 방법을 개선하여야만 한다.

본 연구에서는 연직촬영된 항공사진을 대상으로 하여 다음과 같이 상호표정의 자동화를 위한 대상공간 영상정합 방법을 설정하였다.

먼저, 공일차 보간법(bilinear interpolation)에 의해 입체영상의 피라미드를 구성하고, 주점기선길이(b_0)를 입체모형에서의 기선의 X 방향 성분으로 설정한 다음, 상호표정요소 $b_y, b_z, \chi, \phi, \kappa$ 의 초기값을 모두 0으로 설정한다. 이는 수직촬영된 항공사진의 경우에만 가능하다.

최상위 영상피라미드의 좌측영상에서 Förstner 연산자에 의해 특징점들을 자동으로 추출한다. 특징점의 수가 적을 경우에는 기준영역의 크기를 변경하여 가능한 많은 특징점들이 추출되도록 한다. 추출된 특징점들의 모형좌표는 주점기선길이를 기선의 X 방향 성분의 크기로 설정하였으므로 높이(z)의 경우 사진기의 초점거리로, 평면 위치(x, y)의 경우는 좌측사진의 사진좌표로 초기값을 설정할 수 있다. 또한, 입체모형 상의 최대높이와 최소높이는 실제 대상지에 대해 가정된 최대표고와 최소표고를 초점거리와 촬영고도의 비로 환산하여 설정할 수 있다. 각 특징점들의 모형좌표 초기값을 기준으로 입체모형의 최대높이와 최소높이에 해당하는 범위를 우측영상에서 탐색영역으로 설정하고 상관계수 영상정합에 의해 정합

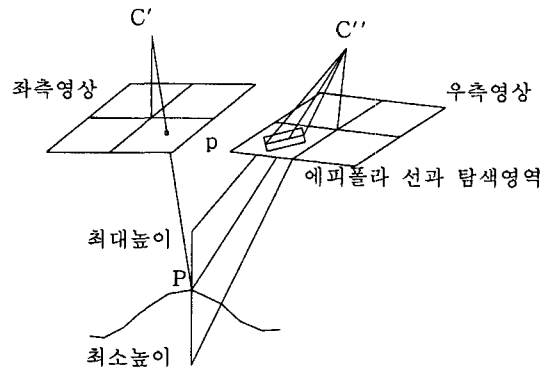


그림 3. 에피폴라 선과 탐색영역의 설정

을 실시함으로써 최상부 영상피라미드에서 대상공간 영상정합을 수행할 수 있다.

최상부 영상피라미드에서의 정합결과를 이용하여 상호표정을 실시하면 0으로 가정했던 상호표정요소 값들을 다시 계산할 수 있고, 이를 이용하여 정합점들에 대한 모형좌표를 다시 계산할 수 있다. 이 결과를 이용하여 영상피라미드의 다음 단계에서 그림 3과 같이 모형좌표의 최대높이와 최소높이로부터 에피폴라 선을 설정하여 대상공간 영상정합을 반복 수행할 수 있다. 단, 영상피라미드의 최상부의 경우는 저해상도로 영상이 축소되어 있어 계산된 상호표정요소의 정확도가 매우 낮으므로 다음 단계의 영상피라미드에서 에피폴라 선 내에 공액점이 존재하지 않을 가능성이 매우 크다. 따라서, 그림 3과 같이 에피폴라 선을 기준으로 위 아래의 일정 영역을 탐색영역으로 설정한다. 설정된 탐색영역 내에서 상관계수 영상정합에 의해 허용범위 내의 정합점을 탐색하여 공액점들을 결정하면 이로부터 상호표정요소와 공액점들의 모형좌표를 다시 계산할 수 있다.

이전 단계에 비해 영상의 해상도가 높아졌으므로 다시 계산된 상호표정요소와 공액점의 모형좌표는 보다 높은 정확도를 갖게 된다. 이러한 과정을 각 단계 별 영상피라미드에 대해 반복해서 수행하게 되던 영상피라미드의 최하부인 원영상에서는 높은 정확도의 상호표정요소와 공액점들의 모형좌표를 계산할 수 있게 된다. 최종적으로 결정되는 상호표정요소의 정확도를 높이기 위해 원영상에서는 탐색영역에 대한 상관계수 영상정합 후에 최소 제곱 영상정합 방법을 적용하여 부영상소 단위의 영상정합이 이루어지도록 설정하였다.

3. 적용자료

본 연구를 수행하기 위하여 선정된 대상지역은 마산시와 김해군의 경계지역으로 이 지역은 고도 50m에서 500m대의 거주지, 구릉지, 농경지, 산악지 등으로 구성되어 있다. 그림 4는 연구대상지역의 3차원 지형도이다.

연구대상지역에 사용된 항공사진측량용 사진기는 Wild사의 RC30이며, 사용된 사진기의 제원 및 특성은 표 1에 나타나 있다.

본 연구를 위해 사용된 항공사진은 TM좌표 상 X방향

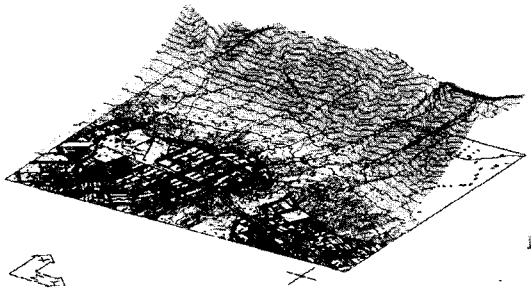


그림 4. 연구대상지역의 3차원 지형도

표 1. 사용된 항공사진측량용 사진기의 제원 및 특성

명칭	Wild RC30	
초점거리	303.10mm	
사진의 크기	23cm×23cm	
사진지표의 수	8개	
주점의 위치	자동시준 주점	x = 0.014mm y = 0.022mm
	대칭적 주점	x = 0.013mm y = -0.015mm

으로 173,600 m, Y방향으로 190,900 m 부근의 지역을 고도 약 950m에서 촬영한 후, 음화필름을 밀착인화한 양화필름이다.

촬영된 사진의 축척은 약 1/3,470이고, 영상의 중앙에 위치한 지표를 기준으로 촬영경로를 따라 계산한 종중복도는 65.6%이며, 좌우 사진 상에서 입체시 되는 부분은 약 15.1 cm×23 cm이다.

지상기준점은 사진 상에서 식별이 용이한 도로상의 교차점, 건물의 모서리 등에 대해 점이사(point transferring)를 한 후 항공삼각측량을 수행하므로써 3차원 지상 좌표가 결정된 점으로 설정하였다. 상호표정을 수행하는 경우에는 지상기준점이 필요하지 않으므로, 본 연구에서는 지상기준점의 취득방법에 따른 영향은 고려하지 않아도 된다. 본 연구에서 이용한 지상기준점의 3차원 좌표는 표 2와 같다.

스캐닝 영역은 양화필름의 크기를 고려하여 약 9 inch×9 inch로 설정하였으며, 필름의 해상력, 영상소의 분해

표 2. 지상기준점의 3차원좌표

번호	3차원좌표		
	X(m)	Y(m)	Z(m)
202101	173676.384	190950.054	110.997
202201	173676.562	190950.946	111.059
202302	173324.297	190928.981	84.870
202802	173821.065	190938.621	130.454
203213	173702.135	190720.773	97.928
203303	173336.796	190761.656	78.343
203403	173536.859	190748.272	91.075
203803	173837.699	190758.301	119.123

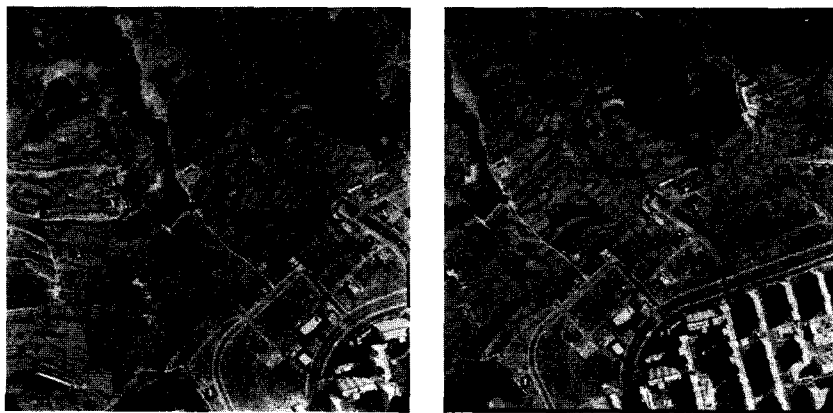


그림 5. 본 연구에 사용된 입체 항공사진

능력 및 저장 용량을 고려하여 1016 dpi(dot per inch)로 수치화 하였다. 수치화된 한 영상소의 크기는 약 $25\ \mu\text{m} \times 25\ \mu\text{m}$ 이며, 실제 지상에서는 약 $0.087\text{m} \times 0.087\text{m}$ 의 크기에 해당한다.

수치화된 영상의 크기는 좌측영상이 $8955\ \text{pixel} \times 9122\ \text{pixel}$, 우측영상이 $8967\ \text{pixel} \times 9381\ \text{pixel}$ 이며, 한 영상소가 1 byte의 기억용량을 가지므로 1장의 영상을 저장하는데 필요한 저장용량이 약 81 Mbyte이고, 입체 영상의 저장용량은 최소 162 Mbyte가 된다. 본 연구에서 수치화된 영상은 그림 5와 같다.

4. 자료 처리

본 연구에서는 Hough 변환을 이용한 내부표정의 자동

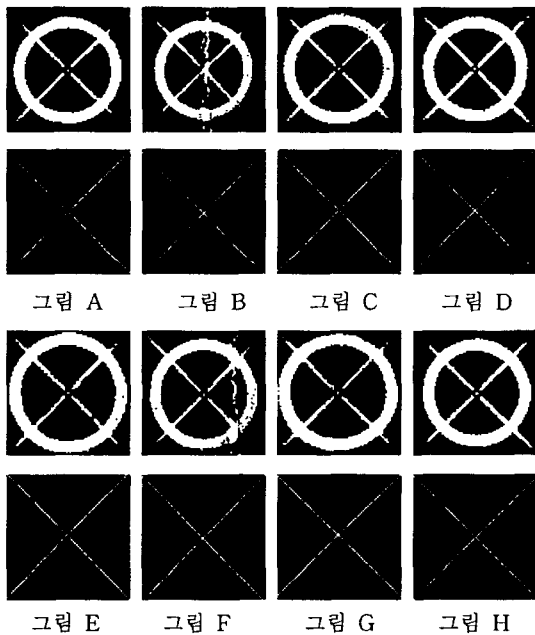


그림 6. Hough 변환을 이용해 추출한 사진지표
(상단:Hough 변환을 위해 생성된 이진영상, 하단:Hough 변환 결과 추출된 사진지표)

화와 대상공간 영상정합에 의한 상호표정의 자동화를 구현하기 위한 전산 프로그램을 그림 7과 같은 순서로 제작하였다.

Hough 변환을 이용한 내부표정의 자동화를 위해 제안한 방법은 다음과 같다. 먼저 좌우 입체영상에서 촬영 사진기의 종류에 따른 사진지표의 개략적인 위치를 파악하고 해상도를 고려해 사진지표 부근의 영상을 절취한다. 다음 절취한 영상의 히스토그램 분포의 특성에 따른 누적배열기(accumulator array)의 (ρ, θ) 값을 계산해내고 이 값을 이용해 Hough 변환을 수행한다. 이때 추출된 직선의 교차점을 사진지표의 중심좌표로 인식하고 그 영상좌표를 결과물로 얻게 된다. 이렇게 얻어진 사진지표의 영상좌표와 사진기 검정표에 있는 사진지표의 사진좌표를 이용해 내부표정을 수행하게 된다. 내부표정은 부등각사상변환(affine transform)을 이용해 수행하였다.

Hough 변환을 이용해 추출된 사진지표의 형태는 다음 그림과 같다.

표 3. Hough 변환을 통해 얻은 사진지표의 영상좌표

지표	직선의 방정식	절취된 영상에서의 사진지표 좌표		전체 영상에서의 사진지표의 좌표	
		x(pixel)	y(pixel)	x(pixel)	y(pixel)
그림 A	① $y=x+1$	42.0	43.0	185.0	351.0
	② $y=-x+85$				
그림 B	① $y=x+2$	45.5	47.5	8662.5	385.5
	② $y=-x+93$				
그림 C	① $y=x$	41.0	41.0	151.0	8830.0
	② $y=-x+82$				
그림 D	① $y=x+1$	42.0	43.0	8628.0	8864.0
	② $y=-x+85$				
그림 E	① $y=x-1$	38.0	37.0	284.0	483.0
	② $y=-x+75$				
그림 F	① $y=x+1$	41.5	42.5	8762.5	495.5
	② $y=-x+84$				
그림 G	① $y=x+1$	37.5	38.5	272.5	8962.5
	② $y=-x+76$				
그림 H	① $y=x+1$	42.0	43.0	8751.0	8975.0
	② $y=-x+85$				

표 4. 내부표정 결과(평면좌표변환식 : $x' = ax + by + c, y' = dx + ey + f$)

매개변수		a	b	c	d	e	f
우측영상	산정값	2.500×10^{-2}	3.397×10^{-5}	-1.131×10^2	3.674×10^{-5}	-2.500×10^{-2}	1.181×10^2
	표준편차	2.086×10^{-7}	2.086×10^{-7}	1.625×10^{-3}	2.086×10^{-7}	2.086×10^{-7}	1.625×10^{-3}
좌측영상	산정값	2.500×10^{-2}	1.011×10^{-4}	-1.107×10^2	1.009×10^{-4}	-2.500×10^{-2}	1.148×10^2
	표준편차	7.932×10^{-7}	7.931×10^{-7}	6.072×10^{-3}	7.931×10^{-7}	7.931×10^{-7}	6.072×10^{-3}

표 3과 표 4는 Hough 변환을 통해 얻은 사진지표의 영상좌표와 내부표정의 결과를 보여주고 있다.

대상공간영상정합을 이용한 상호표정의 자동화를 구현하기 위해서는 먼저 입체사진에 대한 영상피라미드를 구성한다. 본 연구에서의 영상피라미드 제작은 공일차 보간법을 적용하였으며, 최상부의 영상의 크기가 512×512 이하가 될 때까지 영상피라미드를 구성하도록 설정하였다. 본 연구의 경우 원영상을 단계 0으로 할 경우 단계 4까지의 총 5단계의 영상피라미드가 구성되었으며 원영상을 제외한 본 연구에서의 영상 피라미드는 그림 8과 같다.

수동방식에 의해 상호표정을 수행할 경우에는 입체모

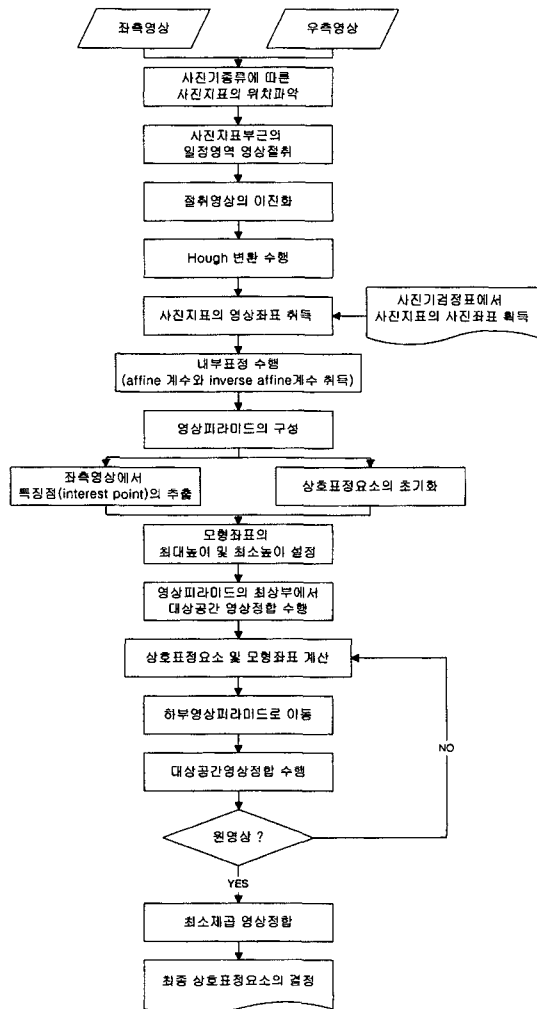


그림 7. Hough 변환과 대상공간영상정합을 이용한 내부표정 및 상호표정의 자동화 흐름도

형 내에 골고루 분포된 6개의 중첩합점을 선정하여 사진 좌표를 관측한다. 본 연구에서는 이와 유사한 조건을 갖추기 위해 그림 9와 같이 좌측영상에서 중복부분을 크게 6구역으로 나누어 Förstner 연산자에 의해 각 구역에서 최소 50점 이상의 특징점을 추출하도록 하였고, 특정구역에서 영상의 특성상(예 : 산지나 숲의 경우) 최소 50점 이상의 특징점이 추출되지 않으면 탐색창들의 크기를 2만큼 줄여서 다시 추출하도록 하였다. 특징점 추출을 위한 초기 기본탐색창들은 7×7 크기를 적용했다(Förstner, 1986).

본 연구에서는 최상위 영상피라미드의 좌측영상에서

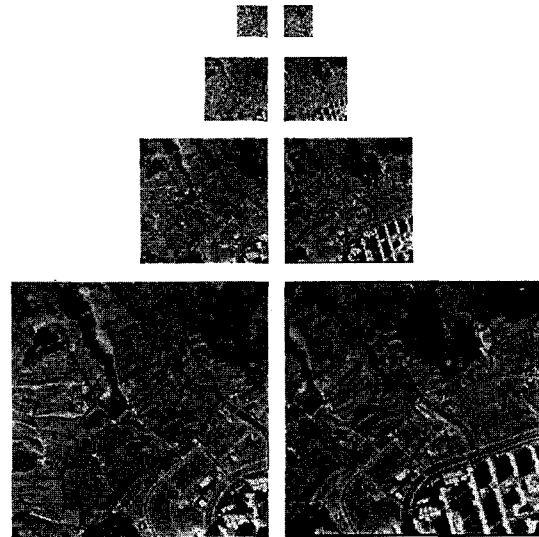


그림 8. 입체영상의 영상피라미드(원영상은 제외)

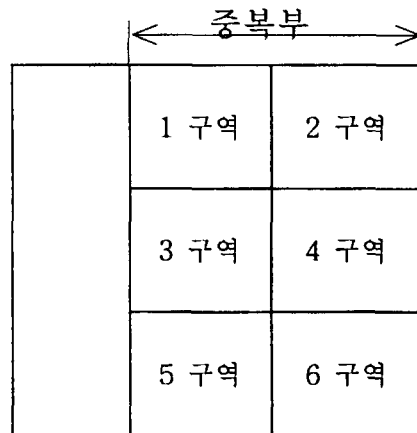


그림 9. 특징점 추출을 위한 영상의 구역분할

총 576개의 특징점을 추출되었다. 추출된 특징점의 입체 모형좌표는 좌측영상에서의 사진좌표와 초점거리로서 초기값을 설정하였으며 상호표정요소 초기값을 이용하여 우측영상에서의 위치를 예측할 수 있다. 또한, 대상지역에 대한 최대표고와 최소표고로부터 입체모형에서의 최대높이와 최소높이를 산정하고, 이에 대한 우측영상에서의 각각의 위치를 상호표정요소 초기값을 이용하여 계산한 후 영상에서 두 점을 연결한 선을 대각선으로 하는 직사각형 영역을 탐색영역으로 설정하였다.

최상위 영상피라미드에서 영상정합이 이루어지면 정합점들을 이용해 상호표정을 수행하고 상호표정요소를 결정하였다. 이렇게 결정된 상호표정요소를 다음 단계 영상피라미드의 상호표정요소로 이용하였다. 그리고 이전 단계에서의 특징점에 대해 에피플라 선을 설정하여 대상 공간 영상정합을 수행하였으며 이후의 단계에서 이러한 과정을 반복하였다.

대상공간 영상정합은 탐색영역을 결정해 주는 역할을 하며 실제 영상정합은 탐색영역에 대해 상관계수 영상정합을 사용하였다. 본 연구에 사용된 영상은 축척이 1/3,470로 1/1,000 축척의 지도를 제작할 수 있다. 따라서 1/1,000 수치지도의 작업지침(국립지리원, 1998)을 따라 실제 지형에 나타난 모든 요소를 나타낼 수 있어야 하므로 사방 1m이상의 모든 지물을 영상정합시 특징점으로 인식가능 하도록 상관계수 영상정합 시 기준창들의 크기를 15×15(1.305m×1.305m)로 설정하였으며, 허용상관계수는 일반적으로 사용되고 있는 0.8로 채택했다. 한편, 최하위 영상피라미드 즉, 원영상의 경우는 상관계수 영

상정합 후에 부영상소 단위의 영상정합이 수행되도록 최소제곱영상정합을 실시하였다(Heipke, 1992).

각 단계의 영상피라미드에서 결정된 정합점의 수는 표 5와 같다. 우선, 최상위 영상피라미드의 좌측영상에서 1구역 98개, 2구역 110개, 3구역 96개, 4구역 88개, 5구역 92개 6구역 92개 등 총 576개의 특징점이 추출되었으며, 최상위 영상피라미드에서 영상정합을 실시한 결과 총 371개의 정합점을 얻을 수 있었다. 이를 기초로 최상위 영상피라미드에서부터 최하위 영상피라미드까지 내려가면서 영상정합을 수행하였으며, 정합점들에 대한 모형좌표 계산시 y-시차값들의 표준편차를 계산하여 이 값의 3배 이상의 y-시차값을 갖는 점들은 과대오차로 간주하였다(Edward and Gracie, 1981). 표 5에 각 단계에서 과대오차로 판단되는 정합점의 수가 나타나 있다.

그림 10에서는 최상위 영상피라미드에서의 정합결과를, 그림 11에서는 최하위 영상피라미드에서의 정합결과를 나타내고 있다. 또한, 각 단계의 영상피라미드에서 얻어진 정합점을 이용해 계산된 상호표정요소는 표 6과 같다. 주점기선길이(bx)를 70.569 mm로 설정함으로써 상호

표 5. 영상피라미드의 단계별 정합점의 수와 과대오차

영상피라미드의 단계 (사용된 영상정합법)	정합점의 수	정합점에 포함된 과대오차수
level 4(상관계수)	371	5
level 3(상관계수)	321	2
level 2(상관계수)	259	1
level 1(상관계수)	184	4
level 0(최소제곱)	69	1

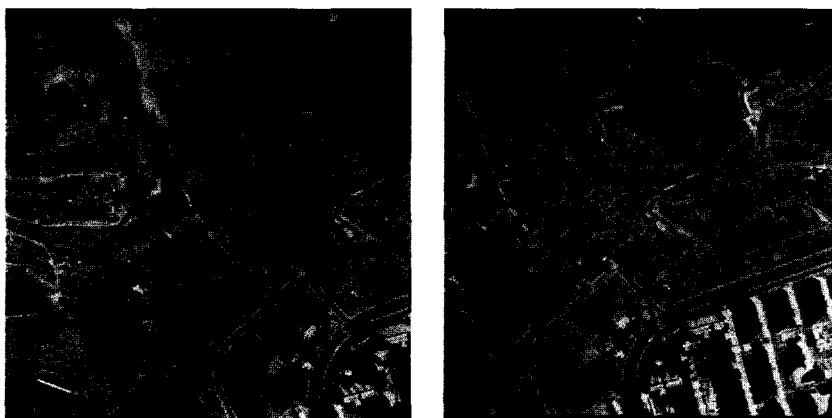


그림 10. 최상위 영상피라미드(level 4)에서 얻어진 정합점



그림 11. 최하위 영상피라미드(level 0)에서 얻어진 점합점

표 6. 각 단계의 영상 피라미드에서 계산된 상호표정 요소

단계	ω (rad)	ϕ (rad)	κ (rad)	by/bx (mm)	bz/bx (mm)
4	-0.016032	-0.002876	0.009942	0.034275	0.001767
S.E.	0.000831	0.000954	0.000198	0.003814	0.000790
3	-0.015351	-0.003025	0.009656	0.030697	0.001580
S.E.	0.000452	0.000522	0.000104	0.002072	0.000444
2	-0.016937	-0.002027	0.009794	0.037679	-0.000109
S.E.	0.000501	0.000605	0.000118	0.002283	0.000528
1	-0.016526	-0.002841	0.009585	0.035826	0.000674
S.E.	0.000186	0.000219	0.000042	0.000850	0.000195
0	-0.016825	-0.003522	0.009568	0.037249	0.001092
S.E.	0.000218	0.000263	0.000042	0.001013	0.000183

표 7. 절대표정 수행결과 얻어진 외부표정요소

외부표정요소	좌측사진	우측사진
ω (deg)	0.476371	0.319170
ϕ (deg)	0.356463	1.328734
κ (deg)	-92.641332	-92.089116
X_0 (m)	173613.269	173611.546
Y_0 (m)	190929.107	190734.714
Z_0 (m)	952.786	951.393

표정 요소는 $\omega=-0.9639^\circ$, $\phi=-0.2018^\circ$, $\kappa=0.5482^\circ$, $by=2.6286$ mm, $bz = 0.0770$ mm로 결정되었다.

상호표정요소가 결정된 후에는 최소 3점 이상의 지상 기준점을 이용하여 절대표정을 수행할 수 있으며, 절대

표 8. 육안관측과 자동관측으로 취득한 영상좌표의 비교

사진	지표	사진지표의 영상좌표 (육안관측)		사진지표의 영상좌표 (자동관측)	
		x(pixel)	y(pixel)	x(pixel)	y(pixel)
좌측사진	1	8629	8864	8628.0	8864.0
	2	151	8830	151.0	8830.0
	3	185	352	185.0	351.0
	4	8663	384	8662.5	385.5
우측사진	1	8752	8975	8751.0	8975.0
	2	272	8963	272.5	8962.5
	3	285	484	284.0	483.0
	4	8763	495	8762.5	495.5

표정을 통하여 입체영상의 외부표정요소를 결정할 수 있다. 본 연구에서 표 2의 지상기준점을 이용한 절대표정 결과는 표 7에 나타나 있다.

5. 비교 및 고찰

5.1 육안관측과 자동화된 내부표정의 비교

육안관측과 자동관측으로 얻어진 영상좌표는 표 8과 같으며, 사진지표의 육안관측은 상용프로그램인 Adobe사의 Photoshop 5.0을 이용해 실시하였다.

5.2 영상정합방법별 비교

본 연구에서는 상관계수정합법, 특징점 영상정합법, 영상피라미드를 이용한 상관계수법 등 3가지 영상정합법을 선택해 제안한 영상정합법과 비교를 해보았다.

표 9. 육안관측에 의한 내부표정 결과 (평면좌표변환식 : $x' = ax + by + c$, $y' = dx + ey + f$)

매개변수		a	b	c	d	e	f
우측영상	산정값	2.500×10^{-2}	1.003×10^{-4}	-1.107×10^2	9.720×10^{-5}	-2.500×10^{-2}	1.148×10^2
	표준편차	1.923×10^{-6}	1.923×10^{-6}	1.472×10^{-2}	1.923×10^{-6}	1.923×10^{-6}	1.472×10^{-2}
좌측영상	산정값	2.500×10^{-2}	3.544×10^{-5}	-1.131×10^2	3.379×10^{-5}	-2.500×10^{-2}	1.180×10^2
	표준편차	2.378×10^{-6}	2.378×10^{-6}	1.853×10^{-2}	2.378×10^{-6}	2.378×10^{-6}	1.853×10^{-2}

영상정합방법별 처리시간과 정합점의 수는 그림 12와 표 10에 나타나 있다.

영상정합방법별 상호표정요소를 비교한 결과는 표 11과 같다.

상호표정요소를 이용하여 계산된 모델좌표의 표준편차를 비교해보면 그림 13과 같이 제안된 영상정합법을 사용했을 때 가장 정밀한 결과를 얻을 수 있었다.

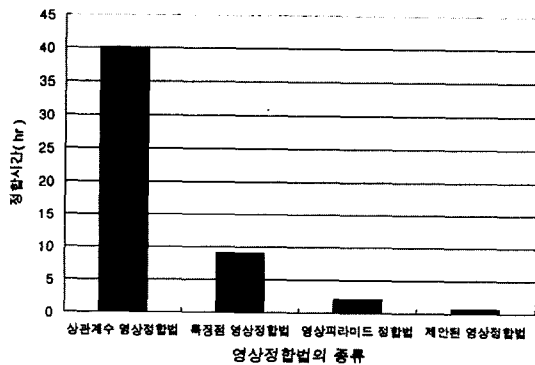


그림 12. 영상정합방법별 처리시간의 비교

표 10. 영상정합방법별 정합점의 수와 과대오차

영상정합법	정합점의 수	정합점에 포함된 과대오차수
상관계수 영상정합	78849	2068
특징점 영상정합	11138	421
영상피라미드 영상정합	3847	95
제안된 영상정합(level 0)	69	1

5.3 기존 DPWS와의 비교

본 연구에서는 제작된 전산프로그램을 이용해 계산된 상호표정요소와 정합점의 3차원 지상좌표를 독일 Leica사의 DVP를 통해 얻어진 결과와 비교해 정확도를 검증하기로 했다.

DVP의 STERORI Module을 이용해 반자동방식의 상

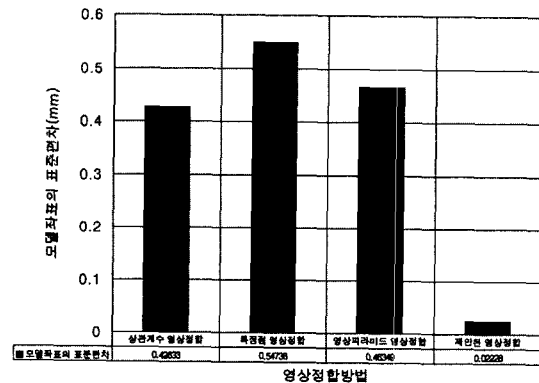


그림 13. 모델좌표의 표준편차로 본 상호표정요소의 정확도

표 12. DVP와 제작된 프로그램을 이용한 상호표정요소의 비교($b_x=70.569$ mm)

상호표정요소	ω (deg)	ϕ (deg)	κ (deg)	b_y (mm)	b_z (mm)
DVP	-0.937	-0.186	0.548	2.444	0.056
제작된 프로그램	-0.964	-0.202	0.548	2.629	0.077
차이	0.027	0.016	0	-0.185	-0.021

표 11. 영상정합방법별 상호표정요소의 비교

상호표정요소	ω (deg)	ϕ (deg)	κ (deg)	b_y (mm)	b_z (mm)
상관계수 영상정합	-0.541822	-0.230988	0.479648	0.259573	0.214234
특징점 영상정합	-0.890037	-0.192901	0.535366	2.191727	0.085076
영상피라미드 영상정합	-0.946313	-0.143298	0.548388	2.530009	-0.063026
제안된 영상정합	-0.963983	-0.201817	0.548231	2.628654	0.077075

호표정을 수행한 결과와 본 연구에서 제작한 프로그램을 통해 얻어진 결과를 비교하면 표 12와 같다.

한편, 본 연구에서 제작된 프로그램을 이용해 얻어진 정합점(68개)의 절대표정 후의 3차원 좌표를 DVP에서 STERVEC Module을 이용해 얻은 3차원 좌표와 비교한 결과 X방향으로 3.643 cm, Y방향으로 2.571 cm, Z방향으로 11.509 cm의 표준편차가 구해졌다.

본 연구에 적용한 영상에서의 한 영상소의 크기는 실제 지형에서 약 8.7 cm×8.7 cm에 해당한다. 따라서 평면 오차 $\sqrt{3.643^2 + 2.571^2} \approx 4.45$ cm는 1 pixel 이내로 들어옴으로 허용 가능한 오차로 볼 수 있다. 또한, 우리나라의 경우 1/1,000 수치지도 작업내규(국립지리원, 1998)에서 평면위치는 0.2 m, 표고오차는 0.17 m로 산정하고 있으므로 DVP에 의한 결과를 기준으로 할 경우 본 연구 결과는 1/1,000 지도제작에 적용 가능한 것으로 판단된다.

6. 결 론

본 연구에서는 수치사진측량의 공정에 있어서 핵심부분이 되는 표정단계를 자동화시키기 위해 Hough 변환을 이용한 내부표정과 대상공간 영상정합법을 이용한 상호표정의 자동화 방법을 제시했으며 이를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 기존의 수치사진측량 소프트웨어에서 반자동으로 수행되던 내부표정과 상호표정을 자동화하기 위한 방법을 제시하였다.

2. 영상내에서 직선성분을 추출하는 Hough 변환을 이용해 사진지표를 추출하여 내부표정 수행시 부영상소 단위까지 정확한 영상좌표를 취득할 수 있었고, 육안관측에 의한 결과와 비교해 관측시간이나 정확도에 있어서 우월하였다.

3. 지형적 특성을 고려한 대상공간 영상정합방법에 의해 탐색영역의 위치와 크기를 공액점 부근의 일정영역으로 줄일 수 있었고 이를 통해 기존의 영상정합법에 비해 빠른 시간 내에 공액점을 결정할 수 있었다.

4. 상용소프트웨어인 DVP에서 반자동적인 방법에 의한 3차원 위치값과 본 연구에서의 자동화에 의한 상호표정 후 절대표정에 의한 3차원 위치값을 비교한 결과, X방향으로 3.643 cm, Y방향으로 2.571 cm, Z방향으로 11.509 cm의 표준편차를 보였으며, 이는 허용가능한 오

차이므로 본 연구에서 제시한 상호표정자동화가 타당하다는 것을 알 수 있었다.

향후 영상의 특성에 따른 보다 정확한 누적배열의 (ρ, θ)값을 결정하는 알고리즘의 개발이 요구되며, 또한 신속한 영상정합을 위해 각 영상피라미드마다 가장 적절한 기준창들의 크기를 자동으로 결정하는 알고리즘의 연구가 지속되어야 할 것으로 생각된다. 궁극적으로는 촬영 지역의 기준점을 자동으로 인식하는 절대표정의 자동화에 관한 연구가 진행되어야 사진측량공정의 완전한 자동화가 이루어질 것이라고 사료된다.

참고문헌

1. 유복모, 사진측정학, 문운당, 191-218, 1991.
2. 국립지리원, 수치지도 작업지침 개선연구, 109-216, 1998.
3. 강석건, Hough 변환을 이용한 훼손된 영상복원, 박사학위 논문, 연세대학교 대학원, 1992.
4. Duda, R. O., and Hart, P. E., Use of Hough transformation to detect lines and curves in pictures, Commu. ACM. March 15, 1972, 11-15.
5. Frostner, W., A Feature Based Correspondence Algorithm for Image Matching, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 26, 1986, 150-166.
6. Heipke, C., A Global for Least-Squares Image Matching and Surface Reconstruction in Object Space, P.E. & R.S., Vol. 58, No. 3, 1992, 317-323.
7. Heipke, C., Automatic of Interior, Relative, Absolute Orientation, ISPRS Commission III, Vol. 29, Part B3, 1996, 297-311.
8. Hough, P.V.C., Methods and means for recognizing complex patterns, U.S. Patent 3,069,654, 1962, Dec.
9. Liang, T. and C. Heipke, An Approach for Automatic Relative Orientation, Optical 3-D Measurement Techniques II, Wichmann, 1993, 347-354.
10. Liang, T. and C. Heipke, Automatic Relative Orientation of Aerial Images, P.E. & R.S., Vol. 62, No. 1, 1996, 47-55.
11. Methley, B. D. F., Computational Models in Surveying and Photogrammetry, Blackie, 1986, 187-203.
12. Mikhail, E. M. and G. Gracie, Analysis and Adjustment of Survey Measurements, Van Nostrand Reinhold Company, 1981, 199-235.
13. Schenk, T., Concepts in Digital Photogrammetry, 한국지형공간정보학회 Course Notes 1996.
14. Tzvi, D. B., and Sandler, M. B., Combinatorial Hough

- Transform, Pattern Recognition Letters, Vol. 11, No. 3, March, 1990, 167-174.
15. Xu, L., Oja, E., and Kultanen, P., A new curve detection method : Randomized Hough transform(RHT), Pattern Recognition Letters, Vol. 11 No. 5, May, 1990, 331-338.
16. Yan Lue, 1996, Towards a higher level of automation for softplotter, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXX1, Part B3, Vienna.