

## 내부표정의 자동화를 위한 영역중심 영상정합기법 적용 Application of Area Based Matching for the Automation of Interior Orientation

유복모\* · 염재홍\*\* · 김원대\*\*\*

Yeu, Bock-Moϕ Yeom, jae-houngϕ Kim, Won-Dae

### 要 旨

본 연구는 수치사진측량학과 전산기 시각 분야의 연구를 통하여 발전하고 있는 영상정합기법을 적용하여 사진지표의 관측과 위치결정을 자동화하는데 목적이 있다. 이러한 자동화과정에서 주된 문제점은 계산을 수행하는데 있어서의 시간을 최소화하고 위치결정의 정확도를 높이는 것이다. 본 연구에서는 스캐닝과정과 기준점의 절대적인 위치를 구하는 과정을 제외하고 영상 정합기법과 영상처리 기법을 이용하여 내부표정 과정을 자동화하였다. 본 연구에 의해서 개발된 체계를 근거리사진측량에 의한 결과를 적용하였으며 결과를 분석한 결과 최대 54%까지 계산시간이 절감되었다. 내부표정과정동안 사진지표의 관측에 대해서, Laplacian of Gaussian 변환과 휴 변환을 각각 영상의 중심점의 정확한 결정을 위하여 적용하였으며, 상관계수영상정합과 최소제곱 영상정합기법을 사진지표의 정확한 위치결정을 위하여 사용하였다. 영상피라미드의 개념을 사진지표의 자동 관측과정에 적용하여 계산시간을 절감할 수 있었다.

### ABSTRACT

Automation of observation and positioning of fiducial marks is made possible with the application of image matching technique, developed through the cooperative research effort of computer vision and digital photogrammetry. The major problem in such automation effort is to minimize the computing time and to increase the positional accuracy. Except for scanning and ground control surveying, the interior orientation process was automated in this study, through the development of an algorithm which applies the image matching and image processing techniques. The developed system was applied to close-range photogrammetry and the analysis of the results showed 54% improvement in processing time. For fiducial mark observation during interior orientation, the Laplacian of Gaussian transformation and the Hough transformation were applied to determine the accurate position of the center point, and the correlation matching and the least squares matching method were then applied to improve the accuracy of automated observation of fiducial marks. Image pyramid concept was applied to reduce the computing time of automated positioning of fiducial mark.

### 1. 서 론

정보산업의 발달로 지형공간정보체계(geo-spatial information system : GSIS)의 필요성이 대두됨에 따라 지형공간정보의 자료기반(database) 구축과 갱신의 수요가 급작스럽게 확장되고 있다.<sup>1)</sup> 그러나 현존하고 있는 자료기반 구축 및 관리방식은 대부분 수동으로 처리되어 고가의 장비를 필요로 하며 전문인력의 부족으로 인하여

자료기반이 적시에 제공되지 못하여 그 활용이 늦어지고 있는 실정으므로 자료기반의 구축을 신속하고 저렴하게 자동화시킬 필요가 있다.

일반적인 사진측량의 과정을 조사하면, 대상점의 관측, 즉 대상점의 선정(selection), 검색(detection), 위치결정(positioning)의 순서로 진행되며 이때 관측된 값은 공선조건과 같은 기하학적 조건(geometrical constraint)을 이용하여 수립된 수학적 모형의 변환계수에 적용되어 그 변환계수를 결정하므로써 특정한 수학적 모형을 결정하게 된다.<sup>2)</sup> 수학적 모형을 결정하는데 잉여 관측값(redundancy)을 이용하여 그 정확도를 향상시킬 수 있으며 일반적으로 최소제곱법과 같은 통계방식에 의해 조

\*학회장 · 연세대학교 토목공학과 교수

\*\*정회원 · 한국공항공리정보연구소 책임연구원

\*\*\*정회원 · 연세대학교 산업기술연구소 전문연구원

정을 한다. 이러한 과정에서 수학적모형의 결정과 관측값의 조정은 자동화가 완료되었으며 자동화 측면에서는 비교적 간단한 문제이다. 그러나, 이에 앞서서 이루어지는 대상점의 선정, 검색 및 위치결정 등의 관측과정은 아직까지 수동으로 많이 처리되고 있으며, 앞으로 자동화해야 할 과제로 남아 있으며, 많은 연구가 진행되고 있다. 사진측량분야에서 관측을 자동화시키려는 연구는 영상정합기법의 연구에 집중되고 있으며 그 접근방법은 영상의 밝기값중심(gray level based), 도형요소중심(feature based), 도형요소간의 관계중심(relation based) 등으로 다양하다.<sup>3)</sup> 그러나, 영상정합문제는 일반적으로 해결 곤란한 대응문제로서 계속 연구발전되어야 할 문제이다.

본 연구의 목적은 여러 영상정합기법을 구현시키고 이를 사진측량의 내부표정과정에 적용시켜 특성을 분석하고 그 적용성을 평가하여 사진측량과정을 자동화시킬수 있는 연산법을 개발함으로써 사진측량이 일반 개인 전산기를 이용하여 가능케 하는데 있다. 또한 효과적인 자동처리과정을 구현시키기 위하여 사진측량의 여러 단계의 정확도를 향상시키고 영상 피라미드 방식을 이용한 처리를 통하여 처리속도를 향상시키는데 목적이 있다.

## 2. 사진측량자동화 이론

### 2.1 Laplacian 조작자

Laplacian은 다음과 같이 정의된 2차 미분 조작자이다.

$$L[f(x, y)] = \partial^2 f / \partial x^2 + \partial^2 f / \partial y^2 \quad (1)$$

밝기값  $x_5$ 를 가지는 점  $(x, y)$ 에서의 수치 Laplacian은 다음과 같이 정의된다.

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

그림 1. Laplacian 마스크

$$L[f(x, y)] = x_2 + x_4 + x_6 + x_8 - 4x_5 \quad (2)$$

이 조작은 영상  $f(x, y)$ 를 가지는 그림 1에서 나타난 마스크와 연계하여 수행할 수 있다. 만약 벡터  $w$ 가 이 마스크의 계수로부터 형성될 수 있다면, 벡터형식에서 Laplacian은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$L[f(x, y)] = w \cdot x \quad (3)$$

Laplacian이 실행되기 앞서 Gaussian 형태의 평활화(smoothing)가 수행되는 Laplacian of Gaussian(LoG)를 사용하는 경우, 연속 영역 LoG 변환은 다음과 같다.<sup>4)</sup>

$$G(x, y) = -L[f(x, y)] \otimes H_G(x, y) \quad (4)$$

여기서,  $\otimes$ 는 convolution을 의미하며  $H_G(x, y)$ 는 Gaussian 변환함수이다.

그림 2는 LoG 변환 조작자의 단면을 나타내고 있다. 일반적으로 이러한 것은 멕시코 모자 여과(Mexican hat filter)라고 부르며, 다음과 같이 표현할 수 있다.<sup>5,6)</sup>

$$H(x, y) = \frac{1}{\pi s^4} g(x, \sigma) \left[ 1 - \frac{y^2}{\sigma^2} \right] g(y, \sigma) + \frac{1}{\pi \sigma^2} g(y, \sigma) \left[ 1 - \frac{x^2}{\sigma^2} \right] g(x, \sigma) \quad (5)$$

### 2.2 영상재배열<sup>7,8)</sup>

#### 가. 최근린보간법

최근린보간법은 입력 격자상에서 가장 가까운 영상소의 밝기값을 이용하여 출력격자로 변환시키는 방법이다. 최근린보간법의 과정은 다음과 같다.

$$G_0(m, n) = G_p(i, j) \quad (6)$$

여기서,  $i$ 는  $x$ 의 정수값,  $j$ 는  $y$ 의 정수값,  $(m, n)$ ,  $(i, j)$ 는 입력 및 출력 격자에서 영상소의 위치,  $G_0(m, n)$ 은

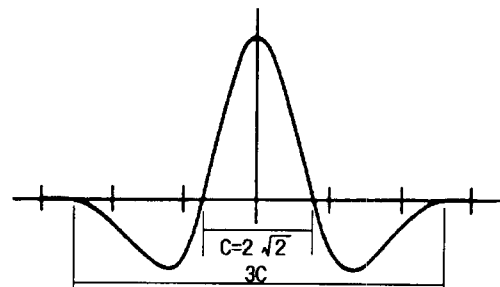


그림 2. Laplacian of Gaussian 충격파반응 단면도

입력격자에서  $(m, n)$  영상소의 밝기값, 그리고  $G_p(i, j)$ 는 출력격자에서  $(i, j)$  영상소의 밝기값이다.

나. 공일차보간법

공일차보간법은같이 선택된 점에 대해 가장 가까이 있는 4개 영상소의 평균값을 취하는 방법이다.

$$G_0(m, n) = (1-a)(1-b)G_p(i, j) + a(1-b)G_p(i+1, j) + b(1-a)G_p(i, j+1) + abG_p(i+1, j+1) \quad (7)$$

다. 공이차보간법

공이차보간법은 단위 부근의 16개 영상소를 영상소 값으로 변환하여 계산하는 방법이다. 최종 보간된 밝기값은 다음과 같이 계산된다.

$$G_0(m, n) = -b(1-b)^2G_d(i, j-1) + (1-2b^2+b^3)G_d(i, j) + b(1+b-b^2)G_d(i, j+1) - b^2(1-b)G_d(i, j+2) \quad (8)$$

여기서,

$$G_d(m, k) = -a(1-a)^2G_p(j-i, k) + (1-2a^2+a^3)G_p(j, k) + a(1+a-a^2)G_p(j+1, k) - a^2(1-a)G_p(j+2, k) \quad (9)$$

2.3 영상 피라미드

영상피라미드의 기법은 영상의 해상력을 변화시켜 대상을 다양한 해상력의 2차원적 배열로 연속적으로 생성하므로서 중요한 특징만을 남겨하여 영상의 크기를 감소시키므로서, 그 처리속도를 증가시키는 기법이다.<sup>9)</sup>

피라미드 P는 다음과 같은 영상의 집합으로 나타낼 수 있다.

$$P = \{A_{1 \times 1}, A_{2 \times 2}, A_{4 \times 4}, \dots, A_{256 \times 256}, A_{m \times m}\} \quad (10)$$

여기서,  $m = 2^n$ 이다. 이러한 피라미드식 표현에서,  $A_{m \times m}$ 는 영상의 최고 또는 최대 해상력이고,  $A_{1 \times 1}$ 은 해상력이 저하된 1 영상소로 이루어진 영상이다. 사지수 또는 피라미드를 생성할 때 입력된 영상에서 4개의 영상소에 대해서 계산된다. 하나의 해상력에 대해 다른 해상력으로 옮겨갈 때 평균적인 접근법을 통하여 수준 n에서 입력영상이 주어지면, 피라미드는 다음의 식을 통하여 새로운 영상이 생성된다.

$$f(i, j, k) = \frac{1}{4} \sum_{p=0}^1 \sum_{q=0}^1 f(2i+p, 2j+q, k+1) \quad (11)$$

2.4 휴(Hough) 변환

휴 변환은 영상으로부터 직선을 추출하는데 활용된다.<sup>10,11)</sup> 영상의 모든 유효한 영상소에 대해서 그 점을 지나는 모든 직선의 방정식을 직선 변수 공간으로 투영시켜, 변수공간에서 교차점은 동일선상에 있는 점들이라는 사실을 이용한 것이다. 점  $(x_i, y_i)$ 와  $y_i = ax_i + b$ 로 표현되는 직선 방정식의 일반적인 식을 고려하면,  $(x_i, y_i)$ 를 지나는 선은 무수히 많으며, 다양한 a, b 값들에 대하여 방정식  $y_i = ax_i + b$ 를 만족한다. 방정식을  $b = -x_i a + y_i$ 로 표현하고 ab 평면을 고려한다면, 고정된 쌍에 대하여 단일선에 대한 방정식을 구할 수 있다. 또한, 두 번째 점  $(x_j, y_j)$ 는 이와 관련된 변수 공간에서 직선을 가지게 되며,  $(a', b')$ 에서  $(x_i, y_i)$ 가 지나는 선을 통과하게 된다. 여기서 a'은 경사이고, b'은 x, y 평면상에서  $(x_i, y_i)$ 와  $(x_j, y_j)$ 를 모두 포함하는 x, y 평면의 교선이다. 이 선에 포함되는 모든 점들은  $(a', b')$ 에서 교차되는 변수 공간에선 직선을 가진다. 이 개념은 그림 3에 나타나 있다.

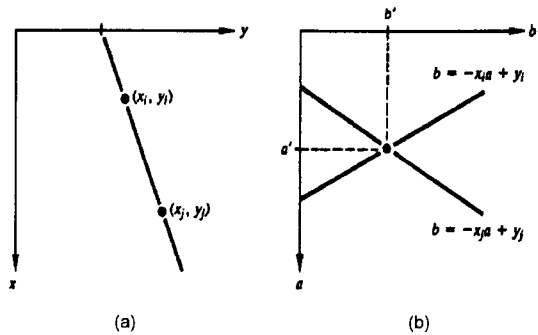


그림 3. x, y 평면 및 변수공간

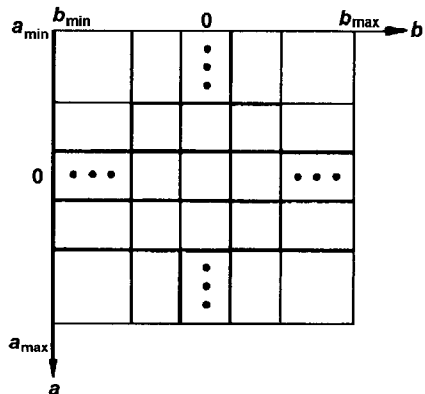


그림 4. 휴변환에서 사용되는 변수 평면의 계량화

휴 변환의 계산상에 있어서의 이점은 그림 4에 나타나 있는 것처럼 변수 공간을 완충 격자(accumulator cell)로 세분화하는 것으로부터 시작된다. 여기서  $(a_{max}, a_{min})$ 와  $(b_{max}, b_{min})$ 는 경사와 교차값의 예상 범위이며 완충값(accumulator value)  $A(i, j)$ 를 가지는 좌표  $(i, j)$ 에서의 격자는 변수공간 좌표  $(a, b)$ 와 결합하여 제곱에 비례한다. 영상 평면에서 각 점  $(x_k, y_k)$ 에 대하여,  $a$  추상의 세분화된 값들 즉, 변수  $a$ 에 대해서 방정식  $b = -x_k a + y_k$ 를 이용하여  $b$ 값을 계산한다.

만약  $a$ 축을  $K$ 개의 요소로 세분화하였다면, 각 점  $(x_k, y_k)$ 에 대하여  $a$ 의 모든 값에 대해서  $K$  수 만큼  $b$ 의 값을 구할 수 있다. 만약  $n$ 개의 영상점들이 있다면, 이것은  $nK$  만큼의 계산이 진행된다.

선을 나타내는 방정식  $y = ax + b$ 를 이용하는데 있어서의 문제점은 경사와 교차점이 선이 수직위치에 근접하면 무한대로 향한다는 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법은 다음과 같이 주어지는 선의 일반적인 표현식을 이용하는 것이다.

$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \quad (12)$$

식 12에서 사용된 변수들은 그림 5(a)에 나타나 있다. 완충작용자의 표를 구성하는데 있어 이러한 표현의 사용은 앞에서 논의한 경사-교차점 표현에 대하여 앞에서 논의한 방법을 특성화하는 것으로 직선 대신에  $\rho\theta$  평면에서 사인곡선을 고려한 것이다. 이에 앞서 선  $x \cos \theta + y \sin \theta = \rho$  상에 놓여 있는 공선 점  $M$ 은 변수 공간에서  $(\rho, \theta)$ 에서 교차하는  $M$  사인곡선을 산출할 수 있다.  $\theta$ 를 증가시키고  $\rho$ 에 비례하여 해석하는 방법을 사용할 때, 이 과정은  $(\rho, \theta)$ 에 의해서 계산되는 격자와 결합하여 완충작용자  $A(i, j)$ 에서  $M$ 의 내용을 산출할 수 있다. 변수공간의 세분화는 그림 5(b)에 표현되어 있다.

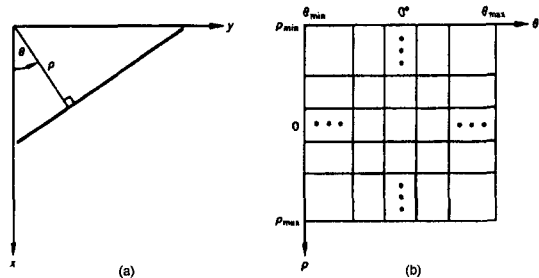


그림 5.  $\rho\theta$  평면의 계량화

## 2.5 영상정합

### 가. 상관계수정합법(Correlation)

상관계수기법은 일반적으로 수치사진측량에서 공액점을 찾는 데 사용해 왔다. 상관계수(correlation coefficient)  $\rho$ 는 다음과 같이 정의된다.<sup>12)</sup>

$$\rho = \frac{\sigma_{LR}}{\sigma_L \sigma_R} \quad (13)$$

만약  $\rho$ 가 정규화(normalized) 되었다면  $-1\rho + 1$ 의 범위를 가진다.

좌측과 우측 영상소구역(또는 기준영역과 정합영역)의 영상  $g_L(x, y)$ ,  $g_R(x, y)$ 에 대한 각각의 밝기값의 평균  $\bar{g}_L, \bar{g}_R$ 은 아래의 식으로 정의된다.

$$\bar{g}_L = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_L(x_i, y_j)}{n \cdot m} \quad (14)$$

$$\bar{g}_R = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_R(x_i, y_j)}{n \cdot m} \quad (15)$$

여기서,  $n, m$ 은 기준영역의 행(rows)과 열(columns)이다.

### 나. 최소제곱영상정합

그림 6에 나타난 것과 같은 연속적인 2개의 영상들을 가정하여 보자. 대상물은 일반적인 3차원 직교좌표계영

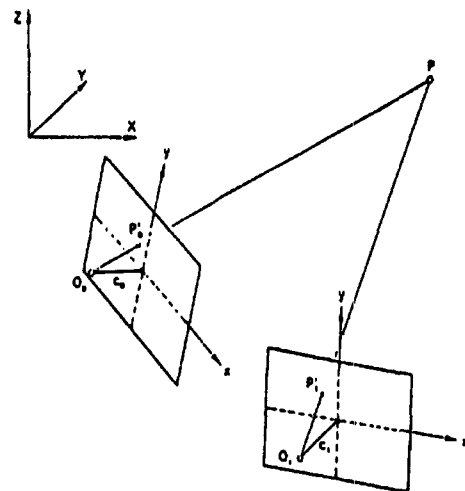


그림 6. 점위치 결정을 위한 다중사진의 배열

상은 초점거리가 0인 3차원 직교좌표계에 의하여 정의된다. 영상은 연속 함수의 2차원적인 근사화에 의하여 분리된다. 하나의 영상 함수  $f(x, y)$ 는 기준영상으로  $g(x, y)$ 로 정의된다.<sup>13,14)</sup>

잡음을 고려하고 기준영상의 잡음이 사진상의 잡음에 대해 독립적이라고 한다면 다음과 같이 된다.

$$f(x, y) - e(x, y) = g(x, y) \quad (16)$$

여기서  $e(x, y)$ 는 실제 오차 벡터이다.

식 (16)은 사진상에서의 위치를 계산하여야 하는 함수  $g(x, y)$ 로 관측 벡터  $f(x, y)$ 를 모형화하는 비선형 관측방정식으로 생각할 수 있다. 계산하여야 할 위치는 함수  $g^0(x, y)$ 에 대한 초기 추정 위치를 고려하여  $\Delta x, \Delta y$ 만큼 이동량으로 표현할 수 있다. 또한, 투영 효과에 의하여 발생하는 체계적인 영상 변형을 고려하고, 더 이상적인 영상정합과 추가적인 기하학적 변형계수들이 포함될 수 있다.

함수  $g^0(x, y)$ 는 밝기값의 격자를 형성하고 더 큰 탐색영상  $w(x, y)$ 에 위치된다. 새로운 영상의 형성은  $g^0(x, y)$ 에 대한  $x_0, y_0$ 좌표의 변환과  $w(x, y)$ 에 대한 영상 재배열에 의해서 이루어진다. 기하학적인 변환은 이항분포 다항식에 의하여 형성할 수 있다.

$$\begin{aligned} x &= t_y^T \bar{A} t_x \\ y &= t_y^T \bar{B} t_x \end{aligned} \quad (17)$$

여기서

$$t_x^T = (x_0^0 \ x_0^1 \ \dots \ x_0^{m-1}),$$

$t_y^T = (y_0^0 \ y_0^1 \ \dots \ y_0^{m-1})$ 이고,  $\bar{A}, \bar{B}$ 는 변수행렬이다. 식 (16)이 비선형이므로 다음과 같이 선형화할 수 있다.

$$f(x, y) - e(x, y) = g^0(x, y) + \frac{\partial g^0(x, y)}{\partial x} dx + \frac{\partial g^0(x, y)}{\partial y} dy \quad (18)$$

$$\text{여기서 } dx = \sum_{j=1}^M \frac{\partial x}{\partial p^j} dp^j, \quad dy = \sum_{j=1}^M \frac{\partial y}{\partial p^j} dp^j \text{ 이고, } M$$

는 식 (18)에서 변수의 개수,  $p_j$ 는 사진에 대한  $j$ 번째 변환계수이다. 부등각사상변환을 이용하면, 식 (17)의 결과는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} x &= a_{11} + a_{12}x_0 + a_{21}y_0 \\ y &= b_{11} + b_{12}x_0 + b_{21}y_0 \end{aligned} \quad (19)$$

위의 식에서 1차 미분은 다음과 같다.

$$g_x = \frac{\partial g^0(x, y)}{\partial x}, \quad g_y = \frac{\partial g^0(x, y)}{\partial y} \quad (20)$$

방사적 변위 계수  $r$ 를 고려하면, 식 (17)은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} f(x, y) - e(x, y) &= g^0(x, y) + g_x da_{11} + g_x x_0 da_{12} \\ &\quad + g_x y_0 da_{21} + g_y db_{11} + g_y x_0 db_{12} + g_y y_0 db_{21} + r \end{aligned} \quad (21)$$

### 3. 내부표정 자동화 연산법

#### 3.1 기준영상 중심점 결정

기준영상은 대부분 지표 또는 표적과 같이 인공적으로 제작된 물체의 영상이기 때문에 직선을 추출하여 직선의 교차점을 해석적으로 산정하므로써 정확하게 그 위치를 결정할 수 있다. 이와 같이 전처리된 영상을 0 또는 1의 이진화 영상으로 변환시키기 위하여 영상을 경계구분 이진화를 한다. 이진화 파일을 이용하여 LOG 변환을 적용시켜 물체의 외곽선만이 있는 영상을 구하여 직선을 찾는다. 구해진 직선의 방정식을 구하기 위하여 휴 변환을 적용시키며 이때 구해진 방정식을 이용하여 교차점을 구하므로써 정확한 영상의 중심선을 구한다(그림 7).

#### 3.2 내부표정

내부표정은 지표의 기준영상과 대상영상의 지표에 대한 영상정합을 통하여 영상좌표를 관측하고 검증자료(calibration data)를 활용하여 사진좌표 변환계수를 결정하여 이루어진다. 일반적으로 사진전체를 전산기의 기억장치(memory)로 읽어들이는 다음 처리하는데 이와 같이 하면 많은 시간을 요하게 되므로 1,2번 지표에 대해서는 검증자료를 이용하여 지표를 포함하는 영상부분을 절취하여 이에 대해서만 처리하여 속도를 개선시켰다. 이때 개략적인 위치를 추정하고 그 해당위치를 자동 산정하여 필요한 부분만 밝기값을 읽어 들이게 하므로써 처리시간을 단축시킬 수 있다(그림 8).

영상정합에 있어서는 영상상관계수정합법으로 개략적인 위치를 구하였으며 최소제곱정합법으로 정밀한 위치

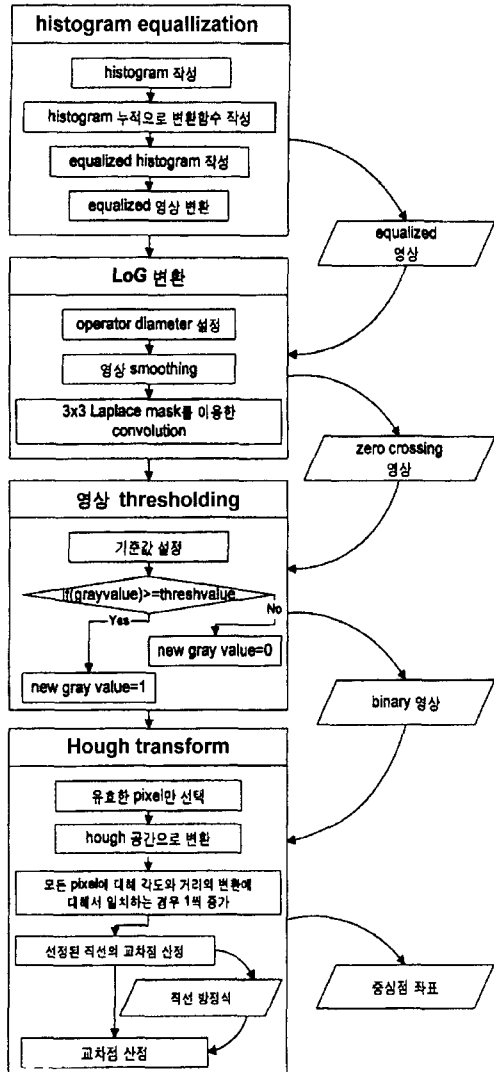


그림 7. 기준영상 중심점 결정 연산법

를 구하였다. 영상상관계수정합법으로 처리하는데 1,2 번 지표에 대해서는 처리시간을 단축시키기 위하여 영상의 해상력을 기준으로 영상피라미드 재배열을 하여 실질적인 영상소의 수를 감소시키면서 특징적인 정보는 유지시켜 시간을 단축시킬수 있었다.

이와 같이 구한 1,2번 지표의 관측값과 검증자료를 이용하여 등각 사상 변환계수를 산정할 수 있으며 이를 이용하여 제 3번 지표의 개략적인 위치를 구한후 이를 이용하여 바로 영상절취를 한후 정상정합을 하였다. 1,2,3 번 지표를 관측한 후에는 등각 사상 변환 대신 부등각 사상 변환을 이용하여 4번 지표를 포함하는 영상을 절취

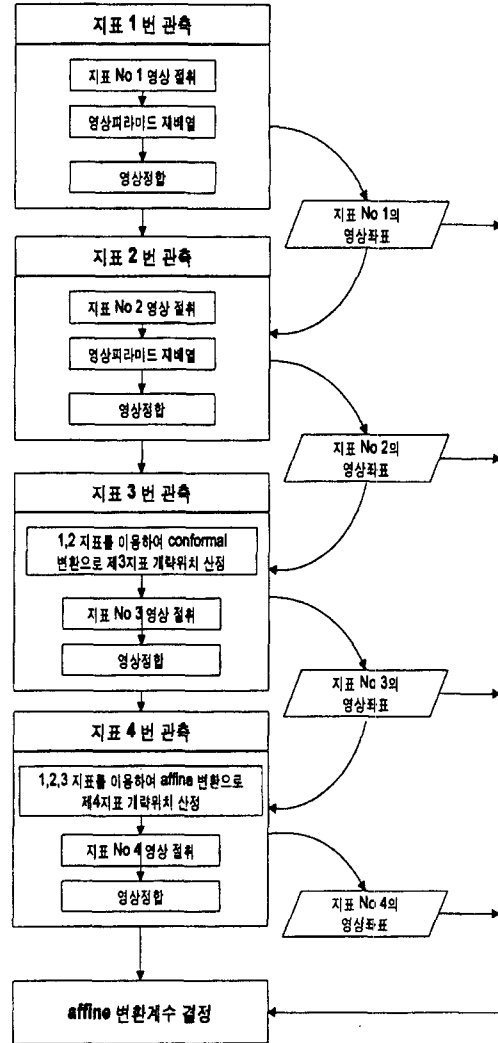


그림 8. 내부표점 자동화 연산법

한후 정합을 시켰다.

#### 4. 관측값 분석

##### 4.1 관측대상의 촬영 및 특성

개발된 자동화 체계를 평가하기 위하여 P31 사진측정용 지상사진기를 사용하여 촬영한 2장의 사진을 사용하였다. 이와 같은 방법으로 촬영된 사진을 Vexcel scanner를 이용하여 20 μm 해상력으로 주사하여 그림 9 와 같은 영상을 확보하였다.

또한 영상처리 패키지를 이용하여 다음과 같이 지표에

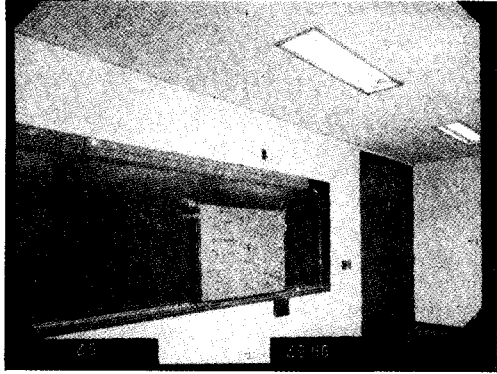


그림 9. 연구 대상 영상

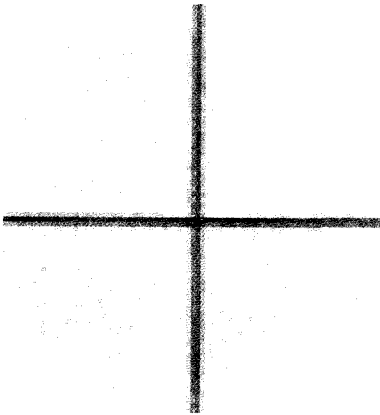
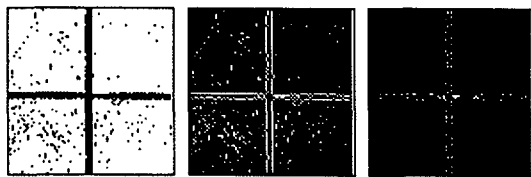


그림 10. 사진지표의 기준영상



(a) equaliz (b) threshold (c) hough 변환  
그림 11. 영상처리를 통하여 추출된 직선에 대한 영상

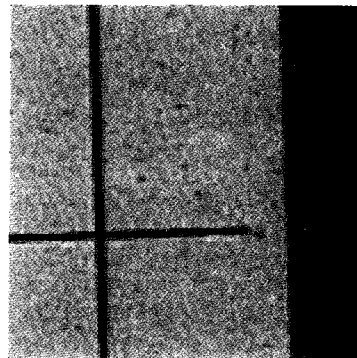
대한 기준 영상을 확보하였다.

#### 4.2 내부표점 정확도 분석

내부표점에 있어 본 연구에서는 우선 기준영상의 주요 지점 위치를 결정하였다. 휴 변환으로 직선의 방정식을 구하였으며 두직선의 교차점을 기준영상의 중심점으로 정하였다. 휴변환하기 전에 영상처리하여 추출된 영교합

표 1. 기준영상에 대한 중심 탐색 결과

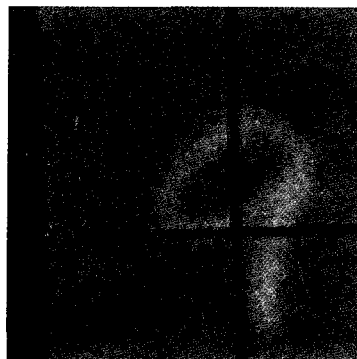
	지표번호	도심 (영상소)	휴 변환 (영상소)
좌측영상	x	1 4.888889	5.126582
	2 4.888889	5.126582	
	3 4.926829	5.126582	
	4 4.814815	5.126582	
우측영상	y	1 4.888889	5.380952
	2 4.888889	5.380952	
	3 4.902439	5.380952	
	4 5.148148	5.380952	
좌측영상	x	1 4.888889	5.126582
	2 5.111111	5.126582	
	3 4.888889	5.126582	
	4 4.888889	5.126582	
우측영상	y	1 4.888889	5.380952
	2 5.111111	5.380952	
	3 5.111111	5.380952	
	4 4.888889	5.380952	



(a) 1번 지표



(b) 2번 지표



(c) 3번 지표

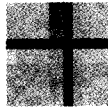


(d) 4번 지표

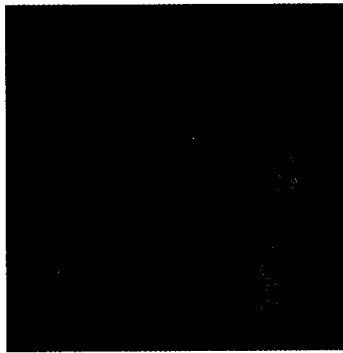
그림 12. 지표 1,2,3,4에 대해서 절취한 부분영상



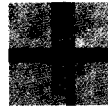
(a) 1번 지표



(b) 2번 지표



(c) 3번 지표



(d) 4번 지표

그림 13. 절취한 부분영상에 대한 영상 피라미드 적용결과

(zero-crossing)영상은 다음 그림 11과 같다.

위의 그림 11에 나타난 바와 같은 영상 들의 기준영상 크기를 (11,11)로 하였을 때 좌우 영상 각각에 대하여 기준영상에 대하여 도심 및 휴변환에 의한 방법으로 중심을 구한 값은 다음 표 1에 나타나 있다.

대상영역을 설정하기 위하여 부분적으로 절취한 지표 영상을 영상피라미드방식으로 크기를 감소 시켰다(그림 12, 13).

기준영상을 절취된 지표 대상영상에 대해서 표 1에 나타나 있는 영상의 중심 위치를 이용하여 각각 영상상관계수정합 및 최소제곱정합을 시행하였다. 각각의 경우에 대하여 관측된 지표의 자동관측결과에 의하여 산출된 영상좌표는 표 2 및 3에 각각 나타나 있다.

표 3에서 나타난 것과 같이 중심을 영상 도심 및 휴변환에 의한 중심으로 나누어 내부표정을 실시하고, 각각의 경우에 대한 단위 경중률의 사전표준편차를 산정하였다.

표 4 및 그림 14에 나타난 바와 같이 휴 변환에 의

표 2. 영상정합에 의한 내부표정 결과(도심산정방식)

정합방법	사진	지표번호	자동 관측좌표	
			x(영상소)	y(영상소)
상관계수	좌	1	6068.8889	2995.8889
		2	3248.8889	4477.8889
		3	324.9268	3212.9024
		4	3088.8148	235.1481
최소제곱	우	1	5987.8889	3219.8889
		2	3116.1111	4595.1111
		3	240.8889	3223.1111
		4	3112.8889	347.8889
상관계수	좌	1	6069.0000	2996.0000
		2	3249.0000	4478.0000
		3	325.0000	3213.0000
		4	3089.0000	235.0000
최소제곱	우	1	5988.0000	3220.0000
		2	3116.0000	4595.0000
		3	241.0000	3223.0000
		4	3113.0000	348.0000

표 3. 영상정합에 의한 내부표정 결과(휴변환방식)

정합방법	사진	지표번호	자동 관측좌표	
			x(영상소)	y(영상소)
상관계수	좌	1	6069.1266	2996.3810
		2	3249.1266	4478.3810
		3	325.1266	3213.3810
		4	3089.1266	235.3810
최소제곱	우	1	5988.1266	3220.3810
		2	3116.1266	4595.3810
		3	241.1266	3223.3810
		4	3113.1266	348.3810
상관계수	좌	1	6069.0000	2996.0000
		2	3249.0000	4478.0000
		3	325.0000	3213.0000
		4	3089.0000	235.0000
최소제곱	우	1	5988.0000	3220.0000
		2	3116.0000	4595.0000
		3	241.0000	3223.0000
		4	3113.0000	348.0000

한 오차는 상관계수정합할 때와 최소제곱정합할 때의 결과값이 같았으며 도심의 경우는 최소제곱정합방법이 상관계수정합방법보다 더 정확하였다.



표 4. 내부표정에 따른 오차

영상	중심선정방법	정합방법	$\sigma_x(\text{mm})$
좌	도심	상관계수	0.010968
		최소제곱	0.010259
	하프변환	상관계수	0.010259
		최소제곱	0.010259
우	도심	상관계수	0.013619
		최소제곱	0.012393
	하프변환	상관계수	0.012393
		최소제곱	0.012393

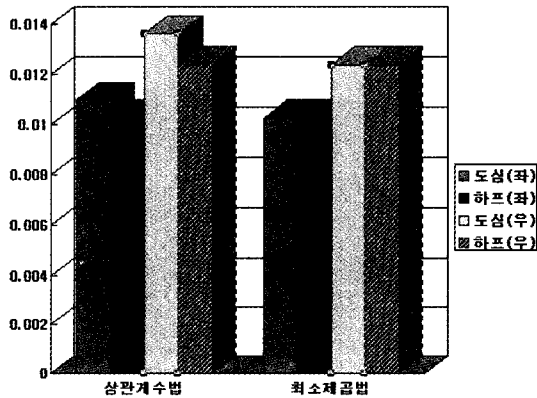


그림 14. 내부표정에 따른 오차 비교

표 5. 영상 피라미드 기법을 적용한 내부 표정의 결과

영상	영상재배열계수	처리시간(초)	$\sigma_x(\text{mm})$
좌	1	343.1	0.010259
	2	189.9	0.010259
	3	174.7	0.010259
	4	178.9	0.049145
우	1	424.8	0.012393
	2	195.8	0.012393
	3	180.5	0.035632

내부표정을 실시하는 과정에 있어서 처리 시간의 단축을 위하여 영상피라미드 기법을 적용하여, 이에 따르는 결과를 분석하였다. 좌우 각각의 영상에 대하여 영상 재배열 계수를 달리하여 내부표정을 실시하는데 있어 정확도 및 처리시간을 관측하였으며, 이에 대한 결과는 표 5 및 그림 15에 나타나 있다.

표 5 및 그림 15에서 나타난 바와 같이 영상피라미드를 적용하는 경우 일정한 정확도를 유지하면서도 일

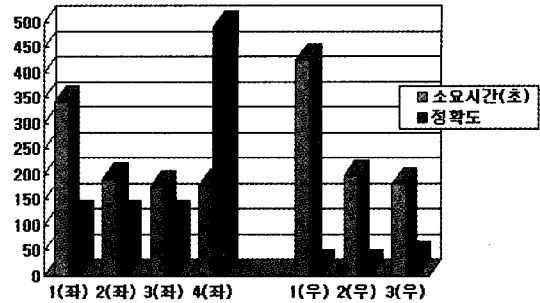


그림 15. 영상 피라미드 기법을 적용한 내부 표정의 결과 비교

정 수준까지에서 처리시간이 최대 54%까지 줄어드는 것으로 관측되었다. 이는 영상 피라미드를 통하여 일정한 정확도를 유지하면서도 처리시간은 단축할 수 있다는 것을 의미한다. 그러나, 영상 재배열 계수가 일정 수준 이상으로 커짐에 따라 처리시간이 증가하면서도 정확도가 떨어지는 것으로 나타났다. 따라서, 영상 재배열 계수를 선택하는데 있어서 작업 대상 영상 특성, 기준 영상의 특성 등을 파악하여 선정하는 것이 중요하다는 것을 알 수 있다.

### 4.3 관측값 분석

본 연구의 내부표정에 있어서, 기준영상을 이용하여 대상점의 위치를 자동으로 관측하는데 상관계수정합법과 최소제곱정합법을 적용하였다. 각각의 경우에 대해서, 기준영상의 중심점을 결정하기 위하여, 영상소의 밝기값을 기준으로한 도심방식과 영상의 직선을 찾는 휴변환방식을 비교하였다(표 1).

좌측사진과 우측사진에 대해서 내부표정을 수행하였으며 이때 산정된 표준경중률의 사전표준편차로 정확도를 분석하였다. 좌측사진의 도심방식 경우, 상관계수정합법의 정밀도는 0.010968 mm이었으며 최소제곱정합법의 정밀도는 0.010259 mm이었다. 휴방식에서는, 상관계수정합법의 정확도와 최소제곱정합법의 정확도가 0.010259로 동일하였다. 최소제곱정합법으로 상관계수정합법의 정확도를 6.5% 향상시켰으며 휴변환방식으로 같은 량의 정확도를 향상시킬 수 있었다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 사진의 수치화된 영상을 이용하여 영상 처리연산법을 내부표정과정에 적용시켜 내부표정인자를

자동으로 구하기 위한 연구로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 사진측량에 영상정합기법을 도입하여 내부표정에서의 육안관측과정을 자동화하기 위한 알고리즘을 개발함으로써 사진측량의 내부표정 처리과정을 자동화시킬 수 있었다.

2. 내부표정과정에서 도심계산 방법과 영상으로부터 직선을 자동으로 추출하여 해석적으로 중심점을 산정하는 휴변환방법을 비교분석한 결과, 휴변환 방식이 도심방식보다 정확하나, 그 정확도는 사진의 상태와 기준영상의 크기에 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다.

3. 내부표정의 자동관측과정에서, 기준영상과 대상영상에 대하여 영상피라미드 방식을 적용시킨 본 연구의 결과 영상정합의 처리속도를 최대 54%까지 개선할 수 있었다.

### 참고문헌

1. 유복모, 지형공간정보론, 동명사, 1994, pp. 1-33.
2. 유복모, 사진측정학, 문운당, 1991, pp. 12-47.
3. Schenk, T., Toth, C.K., "Computer Vision and Digital Photogrammetry", ITC Journal 1992-1, 1992, pp. 34-38.
4. Marr, D. and E. Hildrith, "Theory of Edge Detection", Proc. Roy. Soc. London, B207, 1980, pp. 187-217.
5. Wiejak, J. S., H. Buxton and B. F. Buxton, "Convolution with Separable Masks for Early Image Processing", Computer Vision, Graphics, and Image Processing, Vol. 3, No. 3, 1985, pp. 279-290.
6. Huertas, A. and G. Medioni, "Detection of Intensity Changes Using Laplacian-Gaussian Masks", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-8, 1986, pp. 651-664.
7. Schenk, A. F., "Digital Photogrammetry", Lecture Note, 1990.
8. Pitas, I., Digital Image Processing Algorithms, Prentice Hall, 1993.
9. Schalkoff, R. J., Digital Image Processing and Computer Vision, John Wiley & Sons, Inc., 1989.
10. Gonzalez, R. C. and Wintz, P., Digital Image Processing, Addison Wesley, 1987.
11. J hne, B., Digital Image Processing, Springer-Verlag, 1991.
12. Cho, W., "Relational Matching for Automatic Orientation", Ph. D Thesis of the Ohio State University, 1995.
13. Mikhail, E. M. and Ackermann, M., Observations and Least Squares, Harper & Row Purlishers, 1976.
14. Krupnik, A., "Using Theoretical Intensity Values as Unknowns in Multiple-Patch Least- Squares Matching", PE&RS, Vol. 62, No. 10, 1996, pp. 1151-1155.