

# 항공사진에 포함된 사진 지표의 자동 인식

## Automatic Identification of Fiducial Marks Existing on Aerial Photographs

조성익\* · 방기인\*\* · 김경옥\*\*\*  
CHO, Seong-Ik · BANG, Ki-In · KIM, Kyung-Ok

### 要 旨

항공사진에 포함된 사진 지표의 방사 및 기하 특성을 이용하여 지표의 중심 위치를 자동으로 인식하기 위한 접근 방법을 제안한다. 방사 특성에 기반을 둔 전략에 근거하여, 입력된 영상을 이진화한 다음 형태 연산자를 적용시켜 사진 지표가 있는 후보 영역을 추출한다. 기하 특성에 기반을 둔 전략에 근거하여  $\nabla^2G$  필터링과 대칭성 강조 필터링을 적용시킨 후, 대칭이 가장 강하게 나타나는 위치인 지표의 중심 위치를 구한다. 사진 지표를 포함하고 있는 66개의 영상에 대한 평가 결과 중심 위치가 수동으로 관측한 결과와 비교할 때 1 화소 정도의 차이로 얻어질 수 있었다.

### Abstract

This paper proposes an approach of automatically identifying the center of fiducial marks using radiometric and geometric characteristics of those marks existing on aerial photographs. Candidate region surrounding a mark, based on radiometric strategy, is determined by producing a bi-level image and by applying morphological operations. Based on geometric strategy, the central location of a mark is determined by applying  $\nabla^2G$  filtering and symmetry-enhancement filtering, and by finding peak location of symmetry. Evaluation with respect to 66 cases of sub-images containing a fiducial mark showed that the central location of the mark is determined up to around one pixel difference when it is compared to a manual inspection.

## 1. 서론

지도 제작을 위하여 촬영된 항공사진은 내부 표정, 상호 표정, 절대 표정의 검정 과정을 거쳐 정밀한 지리 정보 추출을 위한 도화 과정을 위해 사용된다. 내부 표정은 영상좌표와 사진좌표와의 관계를 설정하

기 위한 과정으로 사진의 주점과 투영 중심의 일치 보정, 초점 거리 보정, 신축 보정, 렌즈 왜곡 보정 등의 처리를 하는 과정을 의미한다. 그 중에서 사진에 포함된 주점의 위치는 보통 항공사진의 네 모서리와 꼭지점에 위치한 네 개 또는 여덟 개 사진 지표의 위치 정보를 주어진 변환식에 적용하여 얻어진다.

\* 한국전자통신연구원 공간정보기술센터 (Tel:042-860-1087; E-mail:chosi@etri.re.kr)

\*\* 한국전자통신연구원 공간정보기술센터 (Tel:042-860-1629; E-mail:kiinbang@etri.re.kr)

\*\*\* 한국전자통신연구원 공간정보기술센터 (Tel:042-860-5526; E-mail:kokim@etri.re.kr)

사진 지표(fiducial mark)는 항공사진에 포함된 잘 정의된 기하 형상으로서 정의된다. 물리적인 의미로서의 사진 지표는 카메라 본체의 일부로서 붙어 있는 물리적 장치를 의미하며, 카메라가 대상을 촬영할 때 필름의 특정 부분에 물리적 장치의 상을 밀착하여 기록할 수 있도록 되어 있다. 각 사진 지표는 필름의 특정 위치에 독립적으로 상을 맺도록 되어 있기 때문에 카메라 본체나 필름의 상태 등의 물리적 조건 변화에 따라 필름에 맺히는 지표의 상은 약간씩 달라질 수 있다(KOlbl, 1996; Schenk, 1999).

사진 지표의 자동 인식은 보다 편리한 수치도화시스템(Digital Photogrammetric Workstations)을 개발하는데 도움을 준다. 이에 관련한 기존 연구로는 이진 영상의 교차상관, template를 이용한 최소제곱 정합(KOlbl, 1996), 수정된 Hough 변환(Kersten and Haering, 1997), 속성 기반 수학적 형태 연산(Sun and Wu, 2001) 등에 기반을 둔 연구들이 있어 왔다. 최근 사진 지표의 기하 특성에 대한 정밀한 사전 정보(a priori information)에 의존하지 않고도 지표의 중심 위치를 찾기 위한 방법(Sun and Wu, 2001)이 제안되기는 하였지만, 지표 중심 위치를 계산하는 데 있어 보다 신뢰성이 높은 방법론의 개발이 계속되어야 한다고 믿는다.

이 논문에서는 사진 지표의 방사 특성과 기하 특성을 이용하여 WILD RC계열 항공측량사진기 지표의 중심 위치를 구할 수 있는 새로운 접근 방법을 제안하고자 한다. 제안하는 방법에서는 배경 영역의 방사 특성에 기반을 둔 전략을 통하여 사진 지표를 포함하는 영역을 분리한 다음, 기하 특성에 기반을 둔 전략을 통하여 대칭성이 가장 강하게 나타나는 위치인 사진 지표의 중심 위치를 계산한다. 제안된 전략의 장점은 지표의 정밀한 기하 특성에 대한 정보에 거의 의존하지 않는다는 점이다.

사진 지표의 방사 및 기하 모델에 근거한 접근 전략에 대한 논의를 2장에서 한 다음, 방사 모델에 근거하여 사진 지표를 포함하는 영역을 분리하고, 기하 모델에 근거하여 지표의 중심 위치를 구하기 위한 접근 방법에 대한 논의가 3장과 4장에서 이어질 것이다. 5장에서 실험 결과를 제시한 다음 6장에서 결

론을 내릴 것이다.

## 2. 사진 지표의 모델 및 접근 전략

항공사진의 사진 지표는 인식하기에 충분한 넓이를 가진 어두운 배경 영역 위에 균일한 밝기를 가지는 지표가 적히도록 만들어져 있기 때문에, 사진 지표의 모델은 방사와 기하 특성에 의해 비교적 명확하게 정의가 가능하다. 방사 특성은 충분한 넓이를 가지는 어두운 배경(backgrounds) 영역과 이를 둘러싼 밝은 전경(foregrounds) 영역, 그리고 배경 영역 안에 존재하는 밝은 형상의 사진 지표로서 정의할 수 있다. 기하 특성은 일반적으로 지표를 구성하는 선분이나 원과 같은 기하 요소 사이의 연관성에 의해 정의되거나 사진 지표를 구성하는 기하 요소 전체에 의해 형성되는 대칭성에 의해 정의될 수 있다(Schenk, 1999; 유복모 and Schenk, 2001).

이 논문에서 제안하는 사진 지표의 자동인식 방법

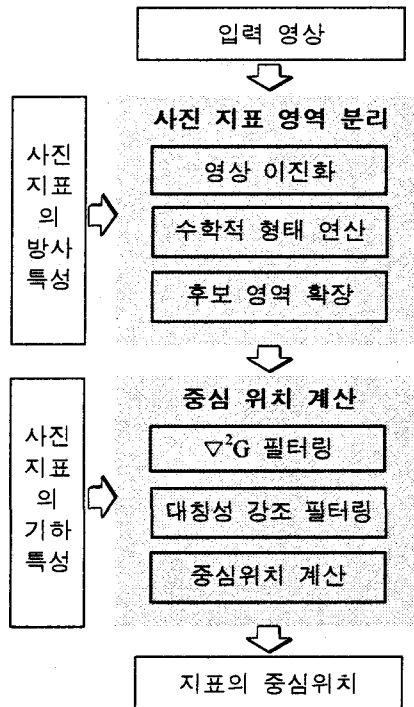


그림 1. 논문에서 제안하는 사진 지표의 자동인식 방법

은 방사 특성에 기반을 두어 사진 지표를 포함하는 영역을 분리하고 기하 특성에 기반을 둔 대칭성 계산을 통하여 지표의 중심 위치를 계산하는 전략에 기반을 둔다. 그림 1에 보인 것처럼 사진 지표를 포함하는 영역의 분리는 입력 영상을 이진화(binanzation)한 다음, 수학적형태 연산(mathematical morphology)을 적용시켜 사진 지표 영역을 추출하고, 이를 확장하여 사각형으로 된 영역을 분리하도록 하는 절차를 거친다. 사진 지표의 중심 위치 계산은  $\nabla^2 G$  (Laplacian of Gaussian) 필터를 적용하여 지표 주변의 경계를 강조한 다음 그 결과를 대칭성 강조 필터에 적용시켜 가장 강한 대칭성이 나타나는 위치를 찾아 중심 위치를 결정하는 절차를 거친다.

### 3. 사진 지표 영역의 분리

#### 3.1 영상 이진화

입력된 영상을 이진화하기 위한 최적의 문턱치(threshold)는 Otsu와 triangular 알고리즘을 순차적으로 적용시켜 구한다. Otsu의 알고리즘(Otsu, 1979)은 자동적인 문턱치 계산이 가능하지만, bi-modal한 통계적인 특성을 가진 영상에 대해서만 신뢰성 있는 문턱치의 계산이 가능하다는 단점이 있다. Triangular 알고리즘(Zack, et. al. 1997)은 적절한 초기 조건이 주어지는 경우 영상의 통계적 특성에 무관하게 신뢰성 있는 문턱치의 계산이 가능하다. 사진 지표를 포함한 항공 영상의 히스토그램(histogram)은 일반적으로 multi-modal한 특성을 가지며 배경 영역에 해당하는 밝기에서 강한 peak를 가진다. 따라서 이런 특성을 이용하여 Otsu의 알고리즘으로 구한 문턱치를 triangular 알고리즘의 초기 조건으로 삼아 이진화를 위한 문턱치를 계산한다.

그림 2는 Otsu의 알고리즘에 의한 문턱치를 초기 조건으로 삼아 히스토그램을 이용하여 triangular 알고리즘을 적용하는 원리를 보여주고 있다. 그림에서  $\theta_1$ 은 Otsu 알고리즘에 의한 문턱치를,  $\theta_2$ 는 배경 영역에 의한 히스토그램의 peak 위치를 나타낸다. Triangular 알고리즘은 초기 조건인  $\theta_1$ 과 히스토그램

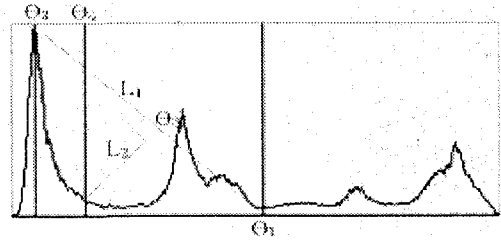


그림 2. Otsu와 triangular 알고리즘의 순차 적용에 의해 문턱치를 구하는 방법

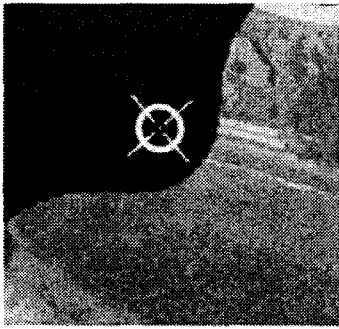
의 peak에 의한  $\theta_2$ 를 연결하는 선 L1과 더불어 이에 직교하는 선 L2를 정의한 다음, 선 L1 위의 한 점  $\theta_3$ 으로부터 정의되는 선 L2가 히스토그램 곡선과 만나는 길이가 최대로 되는 위치인  $\theta_4$ 를 구하여, 이를 문턱치로서 정의하는 방법이다.

그림 3은 사진 지표를 포함하는 두 개의 영상에 대하여 Otsu 알고리즘만을 단독으로 적용하는 경우와 Otsu-triangular 알고리즘을 순차적으로 적용하는 경우를 비교한 것이다. 그림 3(a)와 같이 사진 지표가 충분히 밝은 경우에는 Otsu 알고리즘의 의한 결과와 Otsu-triangular 알고리즘에 의한 결과가 거의 유사하지만, 그림 3(d)와 같이 사진 지표가 다소 어두운 경우에는 Otsu의 알고리즘은 사진 지표를 배경으로 분류하지만 Otsu-triangular 알고리즘은 사진 지표를 배경과는 다른 영역으로 분리한다는 것을 보여준다. 이것은 Otsu-triangular 알고리즘이 사진 지표의 방사 특성에 무관하게 항상성이 있도록 이진화 결과를 제공한다는 것을 의미한다.

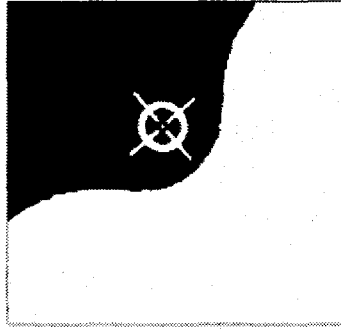
#### 3.2 수학적 형태 연산

집합론의 기초 위에서 정의되는 수학적 형태 연산은 일종의 회전 커널(convolution kernel)인 structuring element를 이용하여 대상 영상에서 특정한 형상을 가진 영역이나 경계선(boundaries) 또는 골격(skeletons)등의 정보를 담은 영역을 추출하는데 유용하게 사용되는 방법이다(Gonzalez and Woods, 1992).

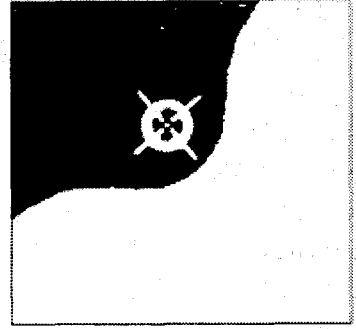
아래에서  $I_1$ 은 입력되는 이진 영상,  $C_n$ 은  $n$  화소의 반경을 가진 disk 형태의 structuring element,



(a) 실험에 사용한 영상 #1



(b) Otsu 알고리즘에 의한 영상(a)의 이진화



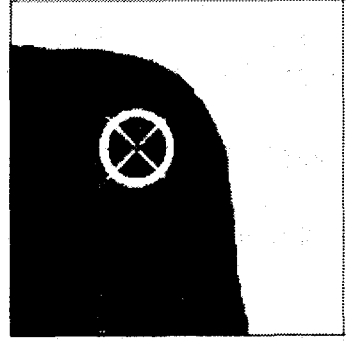
(c) Otsu-triangular 알고리즘에 의한 영상(a)의 이진화



(d) 실험에 사용한 영상 #2



(e) Otsu 알고리즘에 의한 영상(d)의 이진화



(f) Otsu-triangular 알고리즘에 의한 영상(d)의 이진화

그림 3. 사진 지표를 포함하고 있는 두 영상의 이진화 결과 비교

$\alpha(\Pi, C_n)$ 은 수학적 형태 연산에 의해 정의되는 opening operation을 각각 의미한다. 사진 지표 영역의 분리는 다음과 같은 연속적인 연산들에 의해 이루어진다.

$$L = \vec{o}(\Pi, C_n) \quad (1)$$

$$B = \vec{o}(L, C_m) \quad (2)$$

$$A = L - B \quad (3)$$

여기에서 disk 형태의 structuring element  $C_m$ 의 반경은 예상되는 사진 지표의 반경으로 설정해야 하고,  $C_n$ 은 잡영(noise)을 제거하기에 충분할 정도의 적절한 크기로 하면 된다. 식 (1)은 영상에 포함된 잡영과 같은 작은 영역을 제거한 영상을 만들고, 식 (2)는 배경 영역에 있는 사진 지표를 제거하므로, 식

(3)에 의한 두 영상의 차(difference operation)는 그림 4(c)에 보인 것처럼 사진 지표의 영역만을 남기게 된다.

### 3.3 후보 영역 확장

수학적 형태 연산에 의해 남겨진 형상을 분석하여 사진 지표를 포함하고 있는 영역을 분리한다. 사진 지표의 영역은 그림 4(c)에서 수직과 수평 방향으로 계산된 누적 프로파일(accumulated profile)을 이용하여 얻어진다. 누적 프로파일로부터 얻어진 사진 지표를 포함하는 사각형의 영역을 점선으로 표시하였는데, 이 점선을 확장하여 실선으로 정의된 영역을 최종적으로 사진 지표의 영역으로 확정한다.

## 4. 중심 위치 계산

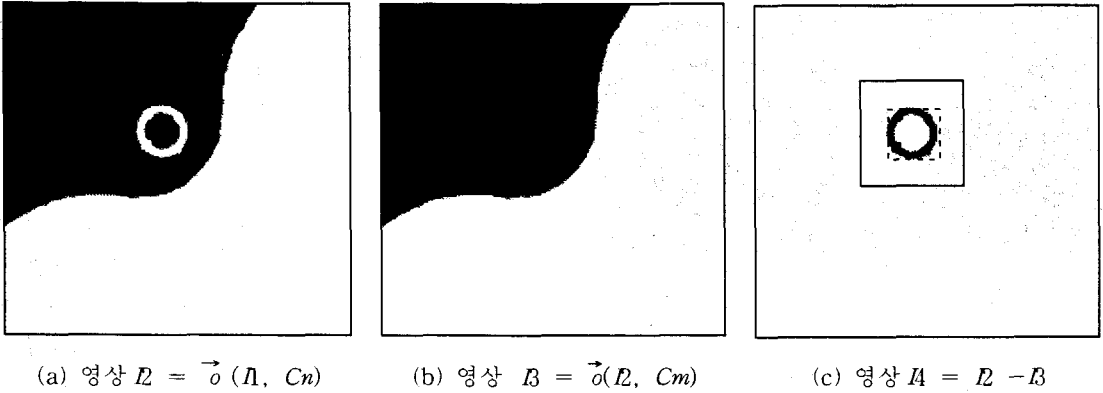


그림 4. 수학적 형태 연산의 적용에 의한 사진 지표 영역의 분리

#### 4.1 $\nabla^2G$ 필터링

사진 지표를 충분히 포함하도록 분리된 영역에 대하여  $\nabla^2G$ (Laplacian of Gaussian) 필터를 적용하여 사진 지표의 형상이 이루는 경계의 주변이 zero-crossing의 형태를 갖도록 한다. 계산 속도를 향상시킬 수 있는 박스 필터링 기법을 사용하기 위하여  $\nabla^2G$  필터를 그대로 사용하지 않고 그림 5(a)에 보인 회선 커널을 이용하는 단순화된  $\nabla^2G$  필터를 사용한다. 단순화된  $\nabla^2G$  필터의 연산은 영역  $R1$ 과  $R2$ 의 평균값의 차이를 구하는 것으로 정의된다.

$$I_5 = \frac{1}{N_{R2}} \int_{R2} I_0 - \frac{1}{N_{R1}} \int_{R1} I_0 \quad (4)$$

여기에서  $I_0$ 는 사진 지표를 포함하도록 분리된 원래의 영상을 의미하고,  $N_{R1}$ 과  $N_{R2}$ 는 각각 그림 5(a)

의 회선 커널에 의해 정의되는 영역  $R1$ 과  $R2$ 에 포함된 화소의 수를 의미한다. 회선 커널의 반경  $R1$ 은 사진 지표의 해상도에 따라 달라지지만 보통 3화소 이상이 적절하고,  $R2$ 는  $R1$ 의 두 배 정도가 적절하다.

그림 6은 단순화된 회선 커널을 사용하여  $\nabla^2G$  필터를 적용한 결과를 보여준다. 중심부를 확대한 영상인 그림 6(b)를 보면, 사진 지표의 경계 부분에서 밝기의 강한 대비(contrast)가 나타남을 볼 수 있는데, 이러한 밝기의 대비는 다음 단계에서 이루어지는 대칭성 강조 필터에서 중요한 역할을 담당하게 된다.

#### 4.2 대칭성 강조 필터링

수직과 수평의 대칭성 강조 필터링은 그림 5(b)와 5(c)의 대칭성 강조를 위한 회선 커널에 의해 각각

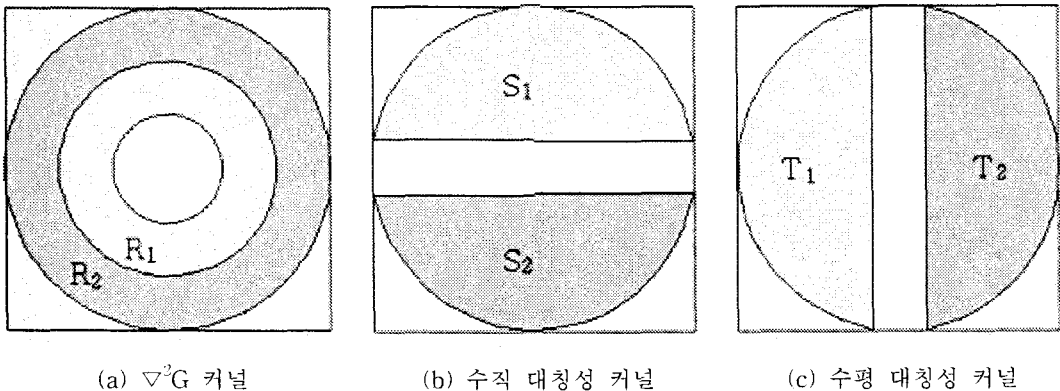
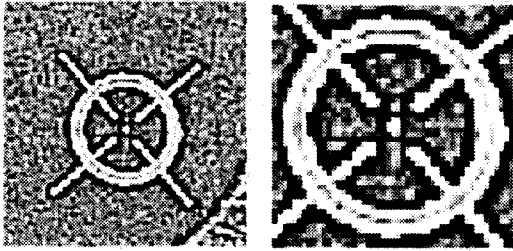


그림 5. 중심 위치 계산을 위해 사용된 회선 커널



(a)  $\nabla^2 G$  필터링에 의한 영상 (b) 중심부를 확대한 영상

그림 6.  $\nabla^2 G$  필터링의 결과

다음과 같이 정의된다.

$$M_y = \int_{S1} |I_{S1} - I_{S2}| \quad (5)$$

$$M_x = \int_{T1} |I_{T1} - I_{T2}| \quad (6)$$

$$M = M_y \times M_x \quad (7)$$

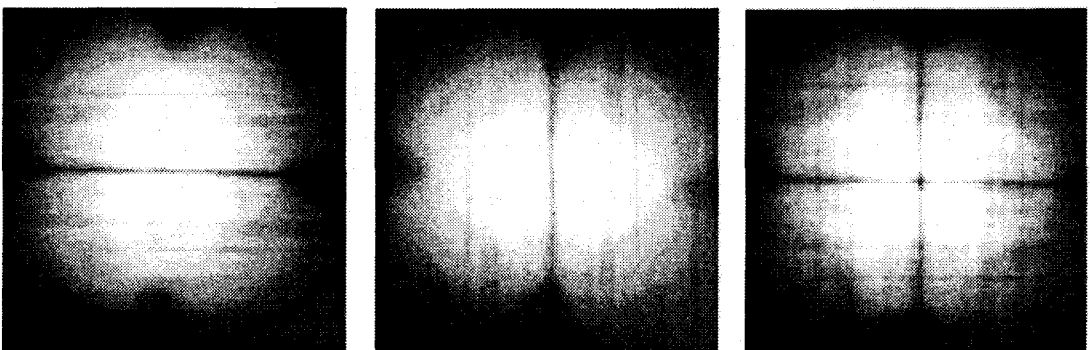
여기에서 식 (5)는  $\nabla^2 G$  필터링이 적용된 영상인 그림 6(a)에 대한 수직 방향의 대칭성 강조 필터링을 의미하고, 식 (6)은 같은 영상에 대한 수평 방향의 대칭성 강조 필터링을 의미하며, 식 (7)은 수직과 수평 방향에 대해 이루어진 대칭성 강조 필터링의 결과가 결합된 것을 의미한다.  $I_{S1}$ 과  $I_{S2}$ 는 그림 5(b)의 수직 대칭성 커널에 의해 정의되는 영역에 포함된 화소를 의미하며,  $|I_{S1} - I_{S2}|$ 은 대칭적인 위치에 있는 두 화소의 밝기 차이의 절대치를 의미한

다.  $I_{T1}$ 와  $I_{T2}$ 도 마찬가지로 그림 5(c)의 수평 대칭성 커널에 의해 정의되는 영역에 포함된 화소를 의미한다. 그림 5(b)와 5(c)에 정의된 회전 커널의 반경은 예측 가능한 사진 지표의 반경 정도의 크기로 하면 된다.

그림 7은 사진 지표를 포함하도록 분리된 영상에 대해 대칭성 강조 필터링을 적용한 결과를 보여준다. 그림 7(a)와 7(b)는 각각 수직 방향과 수평 방향에 대하여 대칭성 강조 필터링을 한 결과를 보여주고, 7(c)는 두 방향으로 구한 대칭성 강조 필터링의 결과를 결합한 것을 보여준다. 앞 단계에서 계산한  $\nabla^2 G$  필터링은 경계 주변에 zero-crossing을 만들기 때문에(Marr, 1982. pp. 54-78), 대칭성 강조 필터링의 결과는 사진 지표의 기하 특성이 정확한 대칭성을 가지는 위치인 사진 지표의 중심 위치에서는 어두운 값을 내게 되고, 그 주변부에서는 강한 밝기를 가진 값을 내게 된다.

### 4.3 중심 위치 계산

그림 7(c)의 중앙부에서 밝은 영역으로 둘러싸인 십자 형상의 어두운 부분은 사진 지표의 영상이 가지는 대칭성의 중심 위치에 해당하기 때문에, 사진 지표의 기하 특성에 의해서 정의되는 중심 위치가 된다. 대칭성의 중심 위치는 그림 7(c)의 영상에 평활화(smoothing) 필터를 적용한 다음, 주변부와와 밝기 차이가 가장 많이 나는 가장 어두운 점을 찾음으



(a) 수직방향

(b) 수평방향

(c) 결합된 결과

그림 7. 대칭성 강조 필터링의 결과

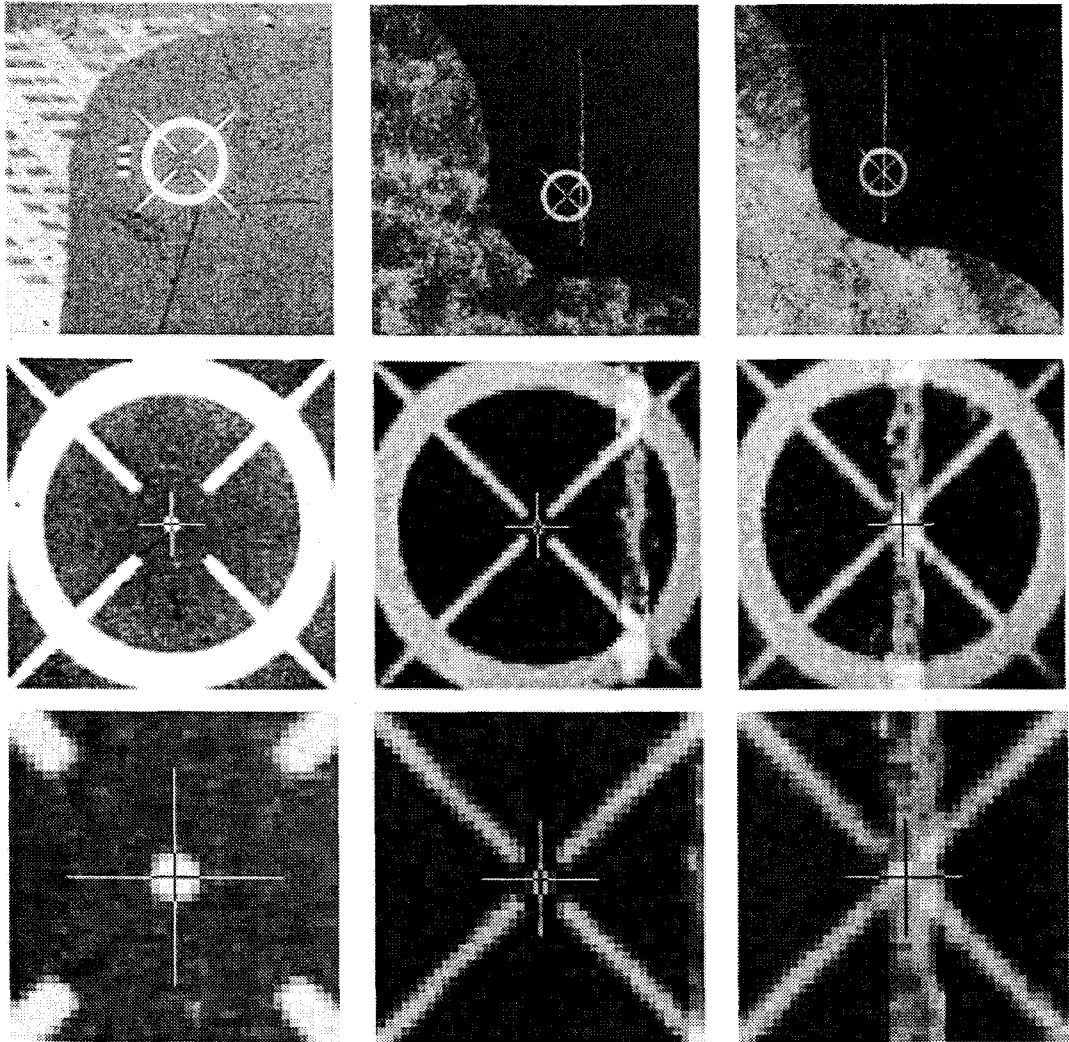


그림 8. 실험에 사용된 일부 영상에 대한 중심 위치 계산 결과

로서 얻어진다.

## 5. 실험

본 논문에서 제안한 방법의 신뢰성과 안정성을 점검하기 위하여 WILD RC계열 항공측량사진기의 사진 지표를 포함하고 있는 66개의 실험용 영상에 대하여 실험을 하였다. 실험은 양호한 품질의 영상뿐만 아니라 잡영(noises)이나 긁힘(scratches)이 있는 영상을 비롯하여 사진 지표가 상대적으로 다소 밝거나

어두운 경우도 포함하도록 다양한 품질의 영상에 대해서 이루어 졌다.

그림 8은 실험에 사용된 영상 중의 일부와 제안된 방법에 의해 계산된 중심 위치를 보여주고 있다. 첫 번째 영상은 양호한 품질로 분류될 수 있는 영상이고 두 번째와 세 번째 영상은 사진 지표의 주위에 긁힘이 포함되어 있는 영상이다. 그림에서 보듯이 양호한 품질의 영상뿐만 아니라 긁힘을 포함하고 있는 영상의 경우에도 사진 지표의 중심 위치가 대체로 신뢰성 있게 얻어질 수 있음을 확인할 수 있다.

이처럼 굵힘을 포함하고 있는 영상에서도 대체로 신뢰성있는 중심 위치가 얻어질 수 있는 이유는 본 논문에서 제안한 방법이 사진 지표를 구성하는 개별 기하 요소와 구조 형태에 의존하는 형상기준 접근법(유복모 and Schenk, 2001, pp.294-303)이 아니라 사진 지표의 기하 요소 전체가 나타내는 대칭성에 의존하는 새로운 접근법을 사용하고 있기 때문이다. 즉,  $\nabla^2 G$  필터링을 통하여 사진 지표를 구성하는 기하 요소의 경계부에서 zero-crossing이 나타나도록 한 다음, 대칭성 강조 필터링을 통하여 기하 요소 전체가 가지는 대칭성의 중심 위치를 구하는 방법을 사용하고 있기 때문이다. 따라서 사진 지표의 일부분에 굵힘을 포함하고 있더라도 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있게 된다.

시각 검사를 통하여 제안된 방법의 신뢰성을 평가한 결과, 66매의 대상 중에서 1매의 경우를 제외한 나머지의 65매의 영상에서는 수동으로 관측한 결과와 비교할 때 대체로 1 화소 정도의 차이로 지표 중심의 위치가 얻어진다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 사진 지표가 상당히 어두운 실험 영상 1매의 경우에는 신뢰도가 상당히 떨어지는 결과가 얻어지는 것을 관찰할 수 있었는데, 이는 사진 지표의 밝기가 낮아 zero-crossing의 효과가 제대로 나타나지 않기 때문으로 분석되었다.

## 6. 결론

항공사진에 포함된 사진 지표의 중심 위치를 자동적으로 구하는 새로운 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 사진 지표의 정밀한 기하 특성에 대한 정보에 의존하지 않고 대체적인 방사 특성과 기하 특성을 이용하여 지표의 중심 위치를 찾도록 하는 것이다. 66매의 영상에 대하여 실험을 한 다음, 제안한 방법에 의한 결과와 수동으로 관측한 결과를 비교한 결과 대체로 1 화소 정도의 차이로 지표 중심의 위치가 얻어진다는 것을 확인할 수 있었다. 잡영이나 굵힘을 포함한 영상 또는 사진 지표의 밝기가 다소 밝거나 어두운 영상의 경우에서도 대체로 1 화소 정도의 차이로 사진 지표의 중심 위치를 계산할 수 있었

지만 사진 지표가 너무 어두운 경우에는 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 없는 단점도 있다는 것을 확인할 수 있었다.

제안한 방법은 사진 지표의 정밀한 기하 특성에 의존하지 않기 때문에 기존의 방법에 비하여 안정성과 신축성이 높은 방법으로 평가될 수 있을 것이다. 그러나 사진 지표의 중심 위치를 부화소(sub-pixel)의 정확도까지 계산하지 못하는 단점도 있다.

이 논문에서 해결하지 못한 부화소의 정확도까지 중심 위치를 구하는 방법, RMK 계열 항공측량사진기에 사용되는 사진 지표와 같이 기하 특성이 단순한 경우에도 적용 가능하도록 확장하는 방법, 제안된 알고리즘이 신뢰성있는 결과를 내지 못할 경우를 위한 자동 진단(self-diagnosis) 방법 등에 대하여 후속 연구가 지속되어야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 유복모 and Schenk T., 현대 디지털사진측량학, (문운당), 2001.
2. Gonzalez R. C. and Woods R. E., *Digital Image Processing*, (Addison-Wesley, Tokyo), 1992.
3. Kersten T. and Haering S., Automatic Interior Orientation of Digital Aerial Images, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol.63, no.8, pp.1007-1011, 1997.
4. Kolbl O., An Overview on Commercial Software Products for Digital Aerial Triangulation, *OEEPE Workshop on Application of Digital Photogrammetric Workstations*, 1996.
5. Marr D., *Vision*, (W.H. Freeman and company, New York), 1982.
6. Otsu N., A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol.9, no.1, pp. 62-66, 1979.
7. Schenk T., *Digital Photogrammetry*, Vol. 1, (TerraScience, Ohio), 1999.
8. Sun C. and Wu X., Automatic Segmentation of



Fiducial Marks Using Attribute-based Mathematical Morphology, *Journal of Electronic Imaging*, Vol.10, no.2, pp.560-566, 2001.

9. Zack G. W., Rogers W. E. , and Latt S.A., *Automatic Measurement of Sister Chromatid Exchange Frequency*, Vol.25, no.7, pp.741-753, 1997.

---

(2002년 8월 13일 원고접수)