

# 차량측량시스템을 위한 코드 타겟 개발에 관한 연구

## A Study on the Development of New Coded Targets for a Mobile Mapping System

엄우학\*, 김병국\*\*

Woo-Hak Eom, Byung-Guk Kim

**요약** 본 연구에서는 차량측량시스템에 사용할 수 있는 코드(Coded) 타겟을 설계, 제작하고 이를 자동으로 식별하고 타겟 중심의 영상좌표를 획득하는 방법을 개발하였다. 차량측량시스템은 CCD, GPS, INS 장비를 통합 탑재하여 도로상에 존재하는 시설물과 노면에 대한 3차원 정보를 획득할 수 있는 시스템이다. 차량측량시스템은 특성상 카메라 검교정과 외부표정을 위해서 미리 설치된 타겟을 사용하며 표정작업을 위한 영상좌표 획득은 수동에 의한 방법이 사용되어 왔다. 그러나 코드 타겟을 사용하면 타겟의 자기인식(Self-Identifying)을 통해 각 영상에서 관측된 타겟을 하나의 공액점으로 인식 가능하고 자동으로 타겟 중심의 영상점 획득이 가능하다. 이처럼 자동화된 타겟 관측 및 영상점 획득이 가능하다면 차량측량시스템의 카메라 검교정 및 외부표정을 작업의 효율성을 향상시키고 영상좌표 획득의 일관성을 유지하는데 매우 효과적인 것으로 판단된다.

**ABSTRACT** In this study, a new coded targets that being suitable for a Mobile Mapping System and method of automated target recognition and coordinates determination of center point was developed. the purpose of a Mobile Mapping System is acquisition and logging data around the road, for the camera calibration and the Exterior orientation of system, target installed previously and CCD cameras captured the image. target center point was observed by hands. but using coded target, target recognition and center point observation process will be automated effectively. in addition we kept up the consistency of photo coordinates observation.

**주요어** : 차량측량시스템, 코드 타겟

**Key word** : mobile mapping system, coded target

### 1. 서론

최근 국내에서는 도로와 도로시설물 관리를 목적으로 한 지상사진측량시스템(차량측량시스템)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 차량측량시스템에는 CCD 카메라, GPS(Global Positioning System), INS(Inertial Navigation System)가 통합, 탑재되어 있으며 이를 통해 획득된 자료를 이용해 신호등, 표지판 등 도로주변 시설물의 상태 조사와 도로의 폭, 도로 중심선의 추출과 같은 작업을 수행할 수 있다.

차량측량시스템은 두 대 이상의 CCD 카메라가 일정 간격(기선거리)을 두고 차량에 고정 설치되어 동시에 촬영하므로 상호표정요소가 거의 일정하므로 CCD 카메라를 탑재한 후 상호표정요소를 산출하면 이후에

촬영된 모든 입체영상에 사용이 가능하다. 그러나 CCD 카메라는 차량에 계속 탑재되어 있는 것이 아니라 측량작업을 시작하기 전에 탑재한다. 그러므로 설치할 때마다 상호표정요소가 달라지며 그때마다 타겟을 촬영하여 상호표정요소를 새로이 산출해야 한다.

차량측량시스템에서 카메라 왜곡보정과 상호표정을 위해 사용되는 타겟은 보통 평면 원형 타겟을 사용하며 촬영 후 수동으로 사진좌표를 관측하고 카메라 왜곡보정 계수와 상호표정요소를 계산한다. 원형 타겟은 회전과 축척변경 등 촬영 후 변형에 둔감하지만 실제로 촬영한 타겟은 카메라와의 각도 등에 의해 영상에서 원형이 유지되지 않으며 원형이 아닌 타겟의 정확한 중심점을 찾는 것은 쉽지 않다. 영상에서 타원으로 나타난 원형의 중심점을 정확히 찾을 수 있다면 더욱

\* 인하대학교 지리정보공학과 대학원 석사과정

rueman21@hanmail.net

\*\* 인하대학교 지리정보공학과 부교수

byungkim@inha.ac.kr

정밀한 상호표정이 가능할 것이다.

코드 타겟이란 타겟에 미리 임의의 부호를 표시하여 이를 타겟의 번호로 인식할 수 있도록 제작된 것으로 이를 이용하여 상호표정을 수행한다면 영상정합 과정을 거치지 않아도 자동으로 타겟을 인식할 수 있고 영상좌표를 판측할 수 있다. 그러므로 코드 타겟을 이용하면 렌즈 검교정 및 상호표정을 자동화하여 반복적인 작업을 단축하고 효율성을 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다. 본 연구에서는 제작한 차량측량시스템을 이용하여 코드 타겟을 촬영하고 타겟 인식 및 중심점 추출을 실험하였다. 사용된 CCD 카메라 사양은 <표 1>과 같다.

<표 1> CCD 카메라와 렌즈 사양

항목	내 용
카메라	UNIQ UC-900 (칼라)
영상 크기	1312 * 1028 (저장용량: 3.952MB/매)
셀 크기	4.65 $\mu$ m * 4.65 $\mu$ m
초점거리	12.25mm
유효 칩 크기	6.10mm * 4.78mm
렌즈	COSMICAR 12mm, Auto-Iris
수평 시야각	28° 31' 17"
수직 시야각	22° 31' 41"
CCD 센서	1/2" Hyper HAD progressive scan interline transfer CCD

## 2. 기존 연구사례 분석

### 2.1 코드 타겟

코드 타겟이란 타겟에 일정한 형태의 코드를 표기하여 타겟을 자동으로 인식할 수 있도록 제작한 것으로 이미 공업용 사진측량에서 많이 이용되어 왔다. 코드의 형태는 사용목적과 방법에 따라서 다양하다. 보통 코드 타겟은 타겟 번호를 인식하여 자동으로 대상물을 3차원으로 재구성할 목적으로 사용되므로 사용할 타겟 개수가 얼마나 많은가에 따라서 코드의 형태가 결정된다. Vladimir A. KNYAZ는 원형 코드 타겟을 설계하여 타겟의 3차원 좌표를 자동으로 생성했다.[1] 총 10개의 원형이 코드로 사용되었고 이를 통해서 2<sup>10</sup> (= 1024)개의 경우의 수를 가지는 타겟을 만들었다. 제시한 코드 타겟의 조건은 다음과 같다.

- 회전과 축척 변화에 따른 변화가 작아야 한다.
- 오차가 거의 없는 강력한 인식능력이 필요하다.
- 영상의 대조에 상관없이 타겟을 추출할 수 있어야 한다.
- 영상처리시간이 최대한 짧아야 한다.
- 사용가능한 적당한 크기여야 한다.
- 일정 개수 이상 코드 타겟을 제작할 수 있어야 한다.

Sendo WANG은 문자를 이용한 코드 타겟(Text-coded target)을 이용하여 자동 self-calibration을 실험하였다.[2] 문자 코드 타겟이란 도형으로 된 코드 대신 숫자나 문자를 코드로 사용한 것을 말한다. 문자 인식 방법은 템플릿 매칭과 유사하다. 타겟 영역에서 문자가 있는 영역을 잘라내고 이를 2D projective 투영을 통해서 정규화 영상으로 만든 후 문자 템플릿과 비교하여 타겟 번호를 인식하였다.

### 2.2 기존 연구 적용의 한계

기존에 제시된 코드 타겟의 활용은 영상의 해상도가 높고 촬영거리가 매우 가까운 근접사진을 이용한 경우이므로 코드의 형태나 크기에 제한을 받지 않았다. 또한 실내에서 타겟을 촬영하여 비교적 일정한 조명상태를 유지할 수 있었다. 그러나 차량측량시스템은 촬영거리가 비교적 멀고 야외에서 촬영을 실시해야 하므로 더욱 단순하면서 영상처리에 효과적인 코드 타겟이 필요하다. 그래서 본 연구에서는 차량측량시스템의 촬영거리와 사용된 카메라의 사양을 고려하여 이에 적합한 코드 타겟을 제안하였다.

## 3. 코드 타겟의 설계 및 제작

### 3.1 타겟 설계

본 연구에서 사용하려는 코드 형태는 정사각형이며 일정한 개수의 코드를 조합하여 필요한 경우의 수를 만들고자 하였다. 코드의 개수는 설치할 타겟의 개수에 따라 결정되며 일반적으로 20~60개 정도의 타겟을 사용한다고 가정하면 6개의 코드로 충분하다. 흑색(■), 또는 백색(□)으로 구분된 코드를 0 또는 1로 표현되는 이진수라고 생각하면 2<sup>6</sup>(= 64)개의 코드를 만들 수 있다. 예를 들어 타겟 번호 34를 코드로 변환하면 다음과 같다.

$$34_{10} = 100010_2 = \square \blacksquare \blacksquare \blacksquare \square \blacksquare$$

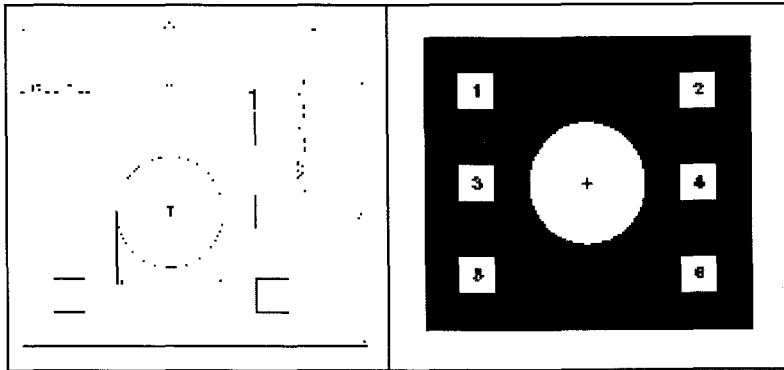
6개의 코드로 제작할 수 있는 타겟의 개수는 64개이지만 촬영면적을 고려한다면 20~30개 정도가 적함

〈표 2〉 촬영거리에 따른 촬영면적

촬영거리		거 리
5m	가로	$1312 \times 0.00465 \times (5000/12.25) = 2490.1224mm = 2.490m$
	세로	$1028 \times 0.00465 \times (5000/12.25) = 1951.1020mm = 1.951m$
10m	가로	$1312 \times 0.00465 \times (10000/12.25) = 4980.2448mm = 4.980m$
	세로	$1028 \times 0.00465 \times (10000/12.25) = 3902.2041mm = 3.902m$

〈표 3〉 촬영거리에 따른 중복면적

촬영거리		거 리
5m	가로	$2490.1224mm - 1300.0mm = 1190.1224mm = 1.190m$
	세로	$1028 \times 0.00465 \times (5000/12.25) = 1951.1020mm = 1.951m$
10m	가로	$4980.2448mm - 1300.0mm = 3680.2448mm = 3.680m$
	세로	$1028 \times 0.00465 \times (10000/12.25) = 3902.2041mm = 3.902m$



〈그림 164〉 코드 타겟 설계 및 타겟 배치 순서

하다고 판단되었다. 타겟의 크기를 설계하기 전에 차량측량시스템에 사용하는 CCD 카메라의 사양과 촬영거리를 통해 촬영면적을 계산하였다. 또 기선거리를 이용하여 촬영거리마다 중복 촬영되는 면적을 계산한 후 이에 적당한 타겟의 개수와 타겟 배치 간격을 결정하였다. 카메라 기선거리는 1.3m이며 촬영거리를 5~10m로 하면 카메라 한 대의 촬영면적과 두 카메라간의 기선거리를 고려한 중복면적은 각각 〈표 2〉, 〈표 3〉과 같다.

중복 촬영면적은 촬영거리가 5m인 경우 1.190×1.951m<sup>2</sup>이며 촬영거리가 10m인 경우 3.680×3.902m<sup>2</sup>인 것을 알 수 있었다. 최단 촬영거리를 5m로 가정하고 이

에 알맞도록 타겟을 설계하였다. 코드의 크기는 1.5×1.5cm의 정사각형으로 하였고 좌우에 코드를 배치하기 위해서 타겟은 14×12cm로 설계하였다. 타겟 내부에 위치한 원형은 실제로 사진좌표를 관측하기 위한 것으로서 직경이 5cm이다.

#### 4. 타겟 추출 및 인식 기법 개발

##### 4.1 타겟 추출

본 논문에서는 타겟 영역 추출을 위해서 영상 이진화(Binarization)와 영역 라벨링(Region Labeling) 기법을 이용하였다. 영상 이진화란 흑백영상에서 일정

한 값을 기준으로 화소값을 1 또는 0으로 변환하는 처리과정을 말한다. 영상 이진화에는 많은 방법이 있으나 Fixed threshold, Otsu threshold 기법 등이 일반적으로 많이 사용된다. 타겟 추출을 위한 임계값은 영상에서 타겟과 배경의 경계부분에 해당하는 픽셀 값을 분석하여 결정하였다. 영상에서 경계부분은 번짐 현상이 발생하여 완전한 분리가 힘들기 때문에 번짐 현상이 일어나는 범위를 양분하여 경계로 설정하고 밝기값을 분석하였다.

영상을 이진화하면 타겟영역은 흑색(0)으로 배경은 백색(255)으로 분할된다. 이 영상에서 각 타겟의 영역을 구하기 위해 영역 라벨링을 사용하였다. 영역 라벨링(Labeling)은 인접하여 연결되어 있는 모든 화소에 동일한 번호(라벨)를 붙이고 다른 연결성분에는 또 다른 번호를 붙이는 영상처리기법이다. 라벨링된 영상에서 임의의 번호를 가진 영역만 추출하면 영역 분리가 이루어지며 이 영역에 대해서 크기, 영역좌표 등을 구할 수 있다.

**4.2 타겟 인식 및 해석**

전역적인 이진화와 영역 라벨링으로 타겟의 영역을 결정하게 되면 타겟의 영역 내에서 코드를 추출한다. 지역적 이진화에서는 타겟이 배경으로 취급되며 코드와 내부 원형이 추출하고자 하는 대상이 된다. 그러므로 타겟과 코드, 그리고 내부원형의 경계 범위에 해당하는 픽셀의 화소값을 분석하여 임계값을 설정한다. 코드는 타겟을 인식하기 위한 존재여부의 판단이 그 목적이므로 형태는 중요하지 않다. 그러나 내부 원형은 추출된 후 경계픽셀을 이용해 중심점을 추출해야 하므로 형태의 유지가 매우 중요하다. 추출된 코드는 각각 하나의 영역으로 구분되는데, 이미 타겟의 원형을 알고 있으므로 타겟 내에서 코드가 나타날 위치를 대략 알 수 있다. 그러므로 영상에서 획득된 코드 영

역과 타겟 원형에서 코드가 위치하는 지점을 비교해서 총 6개 코드의 흑백을 판별할 수 있다.

6개 영역의 코드 존재여부를 1 또는 0으로 변환하고 이를 이진수에서 십진수로 변환하면 타겟의 번호를 알 수 있다. <그림 3>에서 검색된 코드를 십진수로 변환하면 다음과 같다.

$$000110_2 = 2^5 \times 0 + 2^4 \times 0 + 2^3 \times 0 + 2^2 \times 1 + 2^1 \times 1 + 2^0 \times 0 = 6_{10}$$

**4.3 타겟 중심점 획득**

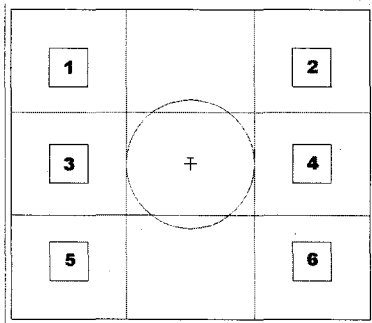
타겟 내부에 위치한 원형의 중심점을 추출하기 위해 원형의 경계를 추출하고 추출된 경계점들의 영상좌표를 이용하여 최소제곱법을 이용한 원, 타원 fitting을 수행하였다.

**4.3.1 내부 원형의 경계 검출**

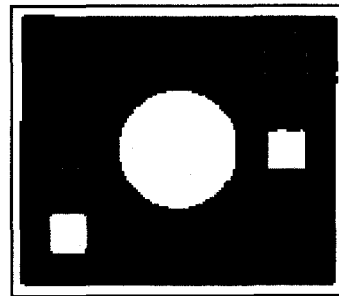
내부 원형의 영역 경계를 추출하기 위해서 체인코드(chain code)알고리즘을 사용하였다. 체인코드는 경계 추적 알고리즘에 하나로서 대상 물체의 경계(edge)를 따라 이동하면서 물체의 돌래, 면적 등을 계산한다. 경계선을 따라서 시계반대 방향으로 이동하며 처음 픽셀의 위치를 기록하고 있다가 처음 위치에 되돌아오면 경계선 추적을 끝낸다. 경계 정보를 명확히 하기 위해서 설정된 내부 원형의 영역을 확장해준다. 확장 폭은 코드와 내부원형의 간격을 2등분하여 계산하였다. 경계 검출이 완료되면 경계선으로 검색된 모든 화소의 영상좌표를 저장한다. 저장된 영상좌표는 다음 단계에서 중심점을 계산하기 위한 정보로 사용된다.

**4.3.2 내부 원형의 중심점 결정**

컴퓨터 비전 분야에서 가장 많이 사용되는 타겟 형태는 원이며 원은 3차원 공간에서 2차원 평면으로 투영되는 과정에서 타원으로 형태가 변형된다. 본 논문에서는 투영된 내부원형을 모델링하기 위하여 원과 타원에 대한 최소제곱 fitting 방법을 이용하였다.



<그림 2> 코드 배치



<그림 3> 코드 검색

(1) 최소제곱법을 이용한 Circle Fitting

타겟의 내부원형은 투영에 따라 그 형태가 변화하지만 촬영 각도의 변화가 적을 때에는 원의 형태를 유지한다. 그러므로 원의 방정식을 이용하여 관측방정식을 구성하고 검색된 내부원형의 경계픽셀을 관측값으로 하여 최소제곱법을 수행하였다. 원의 방정식은 비선형 방정식이므로 이를 선형화하고 중심점 좌표  $(x_c, y_c)$  와 반지름  $(r)$  을 미지수로 하는 관측방정식을 유도하고 선형화된 관측 방정식을 매트릭스 식으로 전환하여 조정계산을 통해 미지수를 구한다. 영상 좌표의 가중치는 모두 동일하다고 가정하면 선형화된 관측방정식 과 매트릭스 식은 다음과 같다.

미지수 :  $x_0, y_0, r_0$

$$C(x_c, y_c, r) = (x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 - r^2 = 0$$

(원의 방정식)

$$C(x_c, y_c, r) = C(x_0, y_0, r_0) + \left(\frac{\partial C}{\partial x_c}\right) dx_c + \left(\frac{\partial C}{\partial y_c}\right) dy_c + \left(\frac{\partial C}{\partial r}\right) dr \text{ (선형화된 관측방정식)}$$

관측방정식 :  $J_{(m \times n)} X_{(n \times 1)} = L_{(m \times 1)} + V_{(m \times 1)}$   
 ( $m$  관측수,  $n$  미지수)

정규방정식 :  $X = (J^T J)^{-1} J^T L$

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial C_1}{\partial x_c} & \frac{\partial C_1}{\partial y_c} & \frac{\partial C_1}{\partial r} \\ \frac{\partial C_2}{\partial x_c} & \frac{\partial C_2}{\partial y_c} & \frac{\partial C_2}{\partial r} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial C_m}{\partial x_c} & \frac{\partial C_m}{\partial y_c} & \frac{\partial C_m}{\partial r} \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} dx_c \\ dy_c \\ dr \end{bmatrix}$$

$$L = \begin{bmatrix} 0 - [(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 - r_0^2] \\ 0 - [(x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 - r_0^2] \\ \vdots \\ 0 - [(x_m - x_0)^2 + (y_m - y_0)^2 - r_0^2] \end{bmatrix}$$

(2) 최소제곱법을 이용한 타원(Ellipse) Fitting

일반적으로 투영평면에 존재하는 타원에 대한 모델은 아래와 같은 2차 다항식이 사용된다. [4] 2차 다항식으로 표현되는 타원의 방정식은 미지수  $(a, b, c, d, e)$  에 대하여 선형방정식이므로 바로 최소제곱법을 위한 전개가 가능하다. 관측방정식을 매트릭스 식으로 표현하면 다음과 같다.

미지수 :  $a, b, c, d, e$

$$F(x, y) = ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey + f = 0$$

(타원의 방정식)

$$F(x, y) = ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey = -1 + \varepsilon$$

(관측방정식)

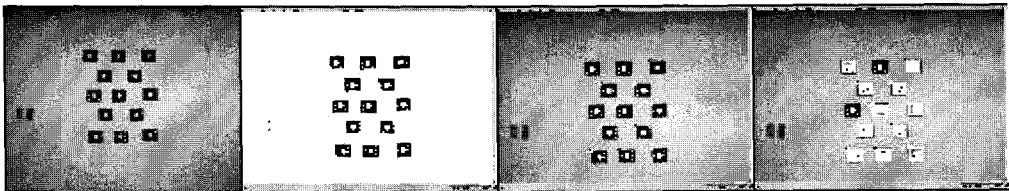
관측방정식 :  $A_{(m \times n)} P_{(n \times 1)} = B_{(m \times 1)} + V_{(m \times 1)}$   
 ( $m$  관측수,  $n$  미지수)

정규방정식 :  $P = (A^T A)^{-1} A^T B$

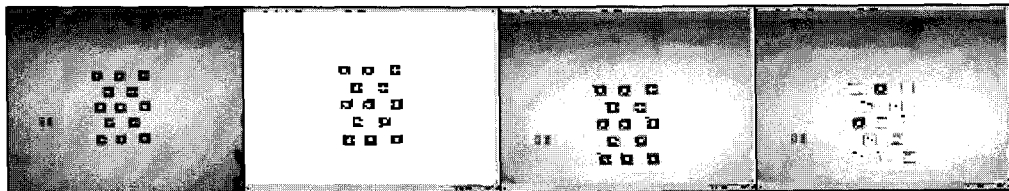
$$A = \begin{bmatrix} x_1^2 & x_1 y_1 & y_1^2 & x_1 & y_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_m^2 & x_m y_m & y_m^2 & x_m & y_m \end{bmatrix} \quad P = [a \ b \ c \ d \ e]$$

$$B = \begin{bmatrix} -1 \\ \vdots \\ -1 \end{bmatrix}$$

최소제곱법을 통해 얻어진 미지수는 다음과 같은 제약조건을 만족해야 한다.



<그림 4> 촬영거리 5m 영상의 코드 타겟 추출 및 인식과정



<그림 5> 촬영거리 7m 영상의 코드 타겟 추출 및 인식과정

위의 조건을 만족하는 타원에 대해서 중심점의 좌표  $x_0, y_0$ 는 다음과 같다.

$$x_0 = \frac{be-2cd}{4ac-b^2} \quad y_0 = \frac{bd-2ae}{4ac-b^2}$$

### 5. 실험 및 분석

#### 5.1 타겟 촬영 및 분석

촬영거리 5m, 7m에서 총 13개의 타겟을 촬영하였다. 획득된 영상을 흑백영상으로 변환하고 타겟 추출 및 인식, 그리고 중심점 추출 과정을 수행하였다.

〈표 4〉는 타겟 인식 결과이며 실패한 2개의 타겟(11번)은 중복되는 번호를 가지는 타겟을 제거하기 위한 실험을 위해 사용된 것이다.

〈표 4〉 타겟 인식 결과

구분	촬영거리	타겟 개수	인식 성공 개수	인식 실패 개수
실내촬영	5m	13	11	2(11번)
	7m	13	11	2(11번)

〈표 5〉는 코드 타겟의 인식결과를 정리한 것이다. 타겟 번호는 11번을 제외하고는 모두 정확히 인식되었으며 타겟 중심점 추출 결과도 타원과 원을 이용한 Fitting 결과가 모두 유사하게 나타났다. 정면에서 촬영한 영상이 아닌 경우라면 타원이 원보다 더 정확하게 중심점에 수렴할 것으로 판단되었다. 타겟 중심점 획득의 정확도를 산정하기 위하여 AutoCAD 상에서 디지털라이징을 통해 획득한 타겟의 중심점 좌표와 Fitting 결과를 비교하였고 그 결과는 〈표 6〉과 같다.

### 6. 결론

차량측량시스템에 사용하기 위해 제작된 코드 타겟은 영상처리를 통해 정확히 인식되었고 타겟 중심점 추출 결과를 수동 판측 결과와 비교하였을 때 1 픽셀(0.00465mm) 이내에서 차이가 발생하는 것을 알 수 있었다. 중심점 추출 결과가 편차를 보이는 원인은 내부원형의 경계를 추출하기 위해 영역을 이진화하는 과정에서 발생하는 조명이 의한 영향으로 판단되었다. 발생하는 편차는 방향이 일정하고 범위가 1픽셀 이하이므로 차량측량시스템 운용을 위한 Self-calibration,

〈표 5〉 코드 타겟 인식 및 중심점 추출 결과

촬영 거리	타겟번호	경계 픽셀수	sampling 개수	sampling 간격	원 x	원 y	타원 x	타원 y
5m	3	77	10	7	484.8043	283.1863	484.8355	283.2033
	4	78	10	7	810.5948	279.1187	810.5813	279.0939
	10	80	10	8	642.5393	500.131	642.5376	500.1367
	12	79	10	7	563.6781	394.3083	563.6085	394.2237
	13	79	10	7	815.6982	495.6452	815.7261	495.6509
	14	78	10	7	734.4636	392.7975	734.4619	392.7943
	20	78	10	7	513.6398	728.8689	513.5967	728.8407
	21	80	10	8	568.4637	607.3076	568.4712	607.3117
	22	80	10	8	738.4797	605.3019	738.4785	605.3057
	28	79	10	7	815.6216	721.1777	815.5636	721.1167
	29	79	10	7	651.6383	725.4903	651.6566	725.5011
7m	3	65	10	6	510.3055	390.9652	510.4119	391.0347
	4	65	10	6	767.3924	387.7881	767.4551	387.8255
	10	66	10	6	634.5443	562.9214	634.6391	562.9713
	12	66	10	6	572.7277	479.4376	572.6494	479.3477
	13	67	10	6	771.3641	558.8978	771.3651	558.903
	14	66	10	6	707.1765	477.9011	707.2028	477.9127
	20	65	10	6	533.2272	743.244	533.1799	743.2073
	21	65	10	6	576.3254	647.4029	576.2897	647.364
	22	66	10	6	710.6239	646.0374	710.635	646.0419
	28	64	10	6	771.3164	737.5754	771.2962	737.5529
	29	64	10	6	641.7941	740.4743	641.8056	740.4801

〈표 6〉 사진좌표 비교

타겟번호	원 x	원 y	타원 x	타원 y	수동 x	수동 y
3	-0.79606	1.073284	-0.79591	1.0732	-0.7917	1.0704
4	0.718866	1.092198	0.718803	1.09231	0.7201	1.0879
10	-0.06259	0.064491	-0.0626	0.06446	-0.061	0.0588
12	-0.4293	0.556566	-0.42962	0.55696	-0.4271	0.5504
13	0.742597	0.08535	0.742726	0.08532	0.7455	0.0787
14	0.364856	0.563592	0.364848	0.56361	0.3672	0.5581
20	-0.66198	-0.99914	-0.66218	-0.999	-0.6587	-1.0025
21	-0.40704	-0.43388	-0.40701	-0.4339	-0.4053	-0.4375
22	0.383531	-0.42455	0.383525	-0.4246	0.384	-0.427
28	0.74224	-0.96338	0.741971	-0.9631	0.7449	-0.9655
29	-0.02028	-0.98343	-0.0202	-0.9835	-0.0174	-0.9845

외부표정의 자동화 과정에서 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

**감사의 글**

“본 연구는 서해연안 환경연구센터에서 서해연안 환경관리를 위해 수행된 것으로 본 연구를 수행할 수 있게 한 서해연안 환경연구센터에 깊은 감사를 드립니다.”

**참고 문헌**

[1] Vladimir A. KNYAZ, Alexandr V. Sibiryakov, "The Development of new coded targets for automated point identification and non-contact 3D surface measurements", IAPRS 1998.

[2] Sendo Wang, Yi-Hsung TSENG, "Automatic self-calibration of digital cameras for close-range photogrammetry", IAPRS 2000.

[3] "투영변환방식을 이용한 CCD 카메라 렌즈의 방사왜곡 보정", 정동훈, 김병국 대한토목학회 논문집, 제 22권 제 5-D호, 2002.9

[4] W. Gander, G.H. Golub, and R. Strelbel, Least-Square Fitting of Circles and Ellipses, BIT, no. 43, 1994, pp. 558-578,



**엄우학**

2002년 인하대학교 지리정보공학과 졸업(공학사)  
 2004년 인하대학교 대학원 지리정보공학과 석사과정  
 관심분야 : 사진측량, 차량측량시스템, 영상처리



**김병국**

1978년 서울대학교 토목공학과 졸업(공학사)  
 1986년 Univ of Wisconsin-Madison 측량학 공학석사  
 1989년 Univ of Wisconsin-Madison, 지형정보공학 공학박사  
 1998년~2000년 인하대학교 부설 지리정보공학 연구소 소장  
 1993년~1995년 아주대학교 공과대학 토목공학과 교수  
 1996년~현재 인하대학교 지리정보공학과 부교수  
 관심분야 : 측량 및 지형정보공학, GPS, 사진측량