

사진측량 기법을 사용한 광각렌즈 왜곡보정에 관한 연구

The Research for the Wide-Angle Lens Distortion Correction by Photogrammetry Techniques

강진아¹⁾ · 박재민²⁾ · 김병국³⁾

Kang, Jin A · Park, Jae Min · Kim, Byung Guk

Abstract

General lens, widely using in Photogrammetry, has narrow view, and have to adjust "Image-Registration Method" after obtain images and it need cost, economic, period of time. Recent days, there is various study that use wide-angle lens, usually for robotics field, put to practical use in photogrammetry instead of general lens. In this studies, distortion tendency of wide-angle lens and utilize the correction techniques suitable to wide-angle lens by the existing photographic survey methods. After carrying out the calibration of the wide-angle lens, we calculated the correction parameters, and then developed the method that convert the original image-point to new image-point correcting distortion. For authorization the developed algorithm, we had inspection about shape and position; there are approximately 2D RMSE of 3 pixel, $cx = 2$, and $cy = 3$ different.

Keywords : Photogrammetry, Wide-angle Lens, Lens Distortion Calibration, Auto Calibration Program

초 록

현재 사진측량 분야에서 널리 사용되는 표준렌즈의 경우 비교적 좁은 시야각으로 인하여 취득한 영상에 대한 영상 정합 기법을 적용하고 있으며 이로 인하여 시간적, 경제적인 비용이 많이 요구되고 있다. 최근 이러한 표준렌즈의 단점을 보완하기 위하여 로보틱스 분야에 널리 사용되고 있는 광각렌즈를 사진측량학에 응용하는 연구가 진행되고 있다. 이 연구에서는 사진측량에서 사용되는 왜곡보정 방법을 저가형 로봇에서 사용되는 광각어안렌즈에 적용하여 광각렌즈에 적합한 보정모델을 개발하였다. 이를 위하여 광각렌즈영상 보정을 위한 왜곡계수를 산출하였으며, 관측한 영상점을 왜곡이 보정된 영상점으로 위치를 보정하는 프로그램을 개발하였다. 개발된 알고리즘을 검증하기 위하여 모양과 위치에 대한 검정을 실시하였으며, 그 결과 약 3픽셀의 2D RMSE와 $cx = 2$, $cy = 3$ 의 차이가 나타났다.

핵심어 : 사진측량, 광각렌즈, 렌즈왜곡보정, 자동왜곡보정프로그램

1. 서 론

현재 사진측량 분야에서는 영상획득을 위하여 표준렌즈를 주로 사용하고 있다. 표준렌즈의 경우 비교적 좁은 시야각(field of view)을 가지므로 취득한 영상에 대하여 영상 모자이크 또는 영상 합병 기술(image stitching)을 적용하고 있다. 그러나 이러한 영상정합 기법은 알고리즘 수행에 따른 소요 시간이 길며, 시스템 제작이 어려워 많은 비용이 요구된다는 단점이 있다. 이러한 제약사항을 보

완하기 위하여 최근에는 넓은 시야각을 얻을 수 있는 광각(wide-angle) 렌즈를 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다(신주홍 등, 2004). 광각렌즈는 주로 로보틱스(robotics) 분야에서 사용되는 렌즈로서, 로봇에 장착된 영상센서의 사물인식 및 위치인식을 위하여 이용되고 있다(Garcia, 1999). 광각렌즈는 넓은 시야를 제공하는 장점이 있지만 렌즈의 특성상 매우 큰 방사왜곡을 가진다. 방사왜곡은 광학중심으로부터 방사방향으로 왜곡이 일어난다는 것을 의미한다(Wolf and Dewitt, 2000).

1) 정회원·인하대학교 공과대학 지리정보공학과 석사과정(E-mail:j6328928@hotmail.com)

2) 연결저자·정회원·인하대학교 공과대학 지리정보공학과 박사수료(E-mail:jaemini.park@gmail.com)

3) 정회원·인하대학교 공과대학 사회기반시스템공학부 교수(E-mail:byungkim@inha.ac.kr)

기존 사진측량관련 분야에서는 측량용(metric) 카메라에 대한 왜곡보정 연구가 주로 진행되어 왔다. 특히, 카메라에 대한 여러 기하학적 상수를 정확하게 결정하기 위해 다양한 연구가 진행되었다. 이에 비해 로봇 비전(vision) 분야에서는 비상수(non-parameter) 기법과 같이 렌즈에 대한 상수를 구하지 않는 비교적 간단하고 추상적인 왜곡보정 기법만이 연구되었다.

사진측량 분야의 왜곡보정 기법을 로봇 비전 분야에서 적용한 연구들을 살펴보면, Maas(1997)는 산업용 로봇에 장착된 렌즈에서 나타난 왜곡을 번들 조정(bundle adjustment) 기법을 적용하여 보정하였으며, Hefele(2001)는 실시간으로 움직이는 로봇 모델의 자세를 결정하기 위하여 사진측량 분야의 전방교회법(intersection) 및 후방교회법(resection)을 적용하였다. 국내에서는 최춘호와 문철홍(1998)에 의해 스테레오 시각장치에서 사진측량의 카메라 교정방법을 이용한 왜곡보정이 수행되었으며, 신주홍(2004)은 광각어안렌즈의 왜곡보정을 위하여 타원체의 구면기하를 이용한 연구를 진행하였다.

본 논문은 로봇의 대량생산을 위하여 로봇에 장착될 저가형 렌즈의 왜곡보정계수 추출을 목적으로 진행되었다. 로봇에 저가형 카메라를 장착할 경우, 용도에 따라 상당 부분의 매개변수를 고정할 수 있으며, 이러한 전제 하에 단일영상으로도 왜곡보정계수 추출이 가능하기 때문이다. 이는 대량생산 체계에서 보정 공정의 효율을 높일 수 있으며, 또한 단일영상 기법을 활용함으로써 공정의 단순화를 통한 생산성 제고 측면에서 접근 할 수 있기 때문이다.

본 논문에서는 사진측량에서 사용되는 왜곡보정 방법을 저가형 로봇에서 사용되는 광각어안렌즈에 적용하였으며, 이를 바탕으로 왜곡보정 계수를 산출하는 알고리즘을 개발하였다. 또한 이 연구에서 개발된 알고리즘을 이용하여 왜곡된 영상을 보정하는 프로그램을 구현하였다.

2. 광각렌즈

광각렌즈는 일반적인 표준렌즈 보다 시야각은 넓지만 초점 거리가 짧은 특징이 있다. 그러므로 촬영 시 화각이 넓은 대신 표준렌즈보다 화상은 작아지게 되고 원근감이 과장되게 표현되며, 피사체 심도가 깊어져 영상에서 많은 영역을 획득할 수 있다. 즉, 광각렌즈에서는 원근감이 강조되기 때문에 피사체가 렌즈에 비교적 가까이 있으면 확대되어 보이고, 반대로 거리가 멀어질수록 크기가 축소되어 보인다. 그림 1은 광각렌즈로 촬영된 영상으로 광각렌

즈의 특징을 잘 나타내주고 있다.

일반적으로 촬영된 모든 광학영상에는 왜곡이 포함되어 있으며, 사용되는 렌즈에 따라 촬영되는 영상의 왜곡 정도는 모두 다르게 나타난다. 특히 이 연구에서 사용된 광각어안렌즈의 경우, 앞서 기술한 바와 같이, 일반렌즈에 비해 방사방향으로 크게 왜곡되어 촬영되는 특징이 있다. 그러므로 광각어안렌즈로 촬영된 영상을 활용함에 있어 왜곡보정은 매우 중요한 요소라 할 수 있다.

렌즈왜곡 현상은 일반적으로 방사왜곡(radial distortion), 접선왜곡(tangential distortion), 그리고 비중심왜곡으로 구분할 수 있다. 방사왜곡은 영상에서 특정한 점의 위치를 렌즈 중심에서 방사방향으로 왜곡하여 나타나게 하는 현상으로 그림 2와 같은 왜곡경향이 나타난다. 방사왜곡은 양(+의 방사왜곡(Pincushion distortion)과 음(-의 방사왜곡(Barrel distortion)으로 구분할 수 있다. 즉, 그림 2(a)와 같이 동일 크기의 격자를 촬영하였을 때 바깥쪽 격자의 크기가 커지는 현상을 양의 방사왜곡이라 하며, 그림 2(b)와 같이 렌즈 중심을 대칭으로 가운데 격자의 크기가 가장 크게 나타나는 현상을 음의 방사왜곡이라 한다. 광각렌즈에서는 주로 음의 방사왜곡이 발생한다.

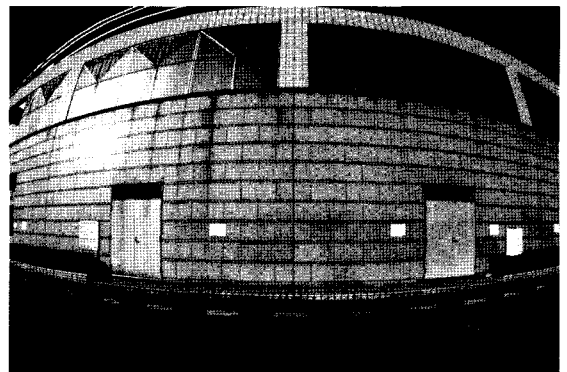
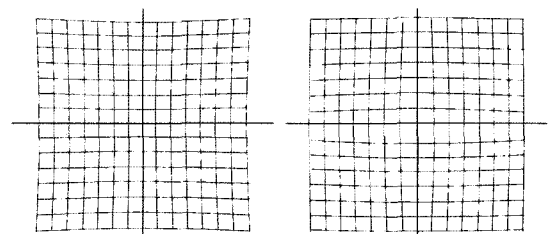


그림 1. 광각렌즈로 획득한 영상 예시



(a) Pincushion distortion

(b) Barrel distortion

그림 2. 방사 왜곡

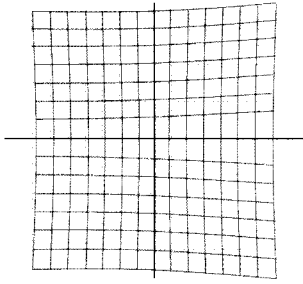


그림 3. 비중심 왜곡

접선왜곡은 렌즈 중심으로부터 방사방향의 접선방향으로 발생하는 왜곡으로, 방사왜곡에 비하여 크기가 매우 작아 렌즈왜곡 보정에서 무시되는 경우가 많다. 비중심왜곡은 비대칭방사왜곡과 접선왜곡이 합성된 것으로서 렌즈 조합의 불완전에 의해 발생한다. 비중심왜곡은 그림 3과 같이 중심에 대칭되지 않은 왜곡경향이 나타난다.

3. 왜곡보정 모델

사진측량에서는 획득된 영상의 왜곡보정을 위하여 식 (1)과 같은 공선조건식을 주로 사용하고 있다.

$$\begin{aligned} x_{ij} &= -f \frac{r}{q} \\ y_{ij} &= -f \frac{s}{q} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 q , r , 그리고 s 는 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} q &= m_{31}(X_j - X_i) + m_{32}(Y_j - Y_i) + m_{33}(Z_j - Z_i) \\ r &= m_{11}(X_j - X_i) + m_{12}(Y_j - Y_i) + m_{13}(Z_j - Z_i) \\ s &= m_{21}(X_j - X_i) + m_{22}(Y_j - Y_i) + m_{23}(Z_j - Z_i) \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)의 X_i , Y_i , 그리고 Z_i 는 렌즈중심의 위치좌표이며, X_j , Y_j , 그리고 Z_j 는 점 j 의 위치좌표, 그리고 m 은 회전행렬을 의미한다. 회전행렬 m 의 요소는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} m_{11} &= \cos\phi\cos\kappa \\ m_{12} &= \sin\omega\sin\phi\cos\kappa + \cos\omega\sin\kappa \\ m_{13} &= -\cos\omega\sin\phi\cos\kappa + \sin\omega\sin\kappa \\ m_{21} &= -\cos\phi\sin\kappa \\ m_{22} &= -\sin\omega\sin\phi\sin\kappa + \cos\omega\cos\kappa \\ m_{23} &= \cos\omega\sin\phi\sin\kappa + \sin\omega\cos\kappa \\ m_{31} &= \sin\phi \\ m_{32} &= -\sin\omega\cos\phi \\ m_{33} &= \cos\omega\cos\phi \end{aligned}$$

여기서 w , ϕ , 그리고 κ 는 렌즈의 자세요소이다.

본 논문에서는 렌즈 왜곡보정을 위해서는 하나의 영상과 하나의 렌즈위치와 자세만 연관하여 실험하였다. 그러므로 본 연구에서는 사진을 i 번째인 것으로 간주하고 사진상에 나타난 점 j 에 대하여 표현하였다. 이 연구에서는 방사방향 왜곡이 심한 어안렌즈의 특성을 고려하여 식 (1)의 공선조건식에 x , y 방향의 초점거리를 각각 다르게 가정하여 식 (3)과 같이 공선조건식을 수정하였다.

$$\begin{aligned} x_{ij} &= -f_x \frac{r}{q} \\ y_{ij} &= -f_y \frac{s}{q} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, x_{ij} , y_{ij} 는 i 번째 사진 상에 나타난 점 j 의 사진좌표, 즉 사진상에 나타난 객체의 좌표이며, f_x 와 f_y 는 x , y 방향의 초점거리를 의미한다.

사진에서의 모든 기하학적 해석은 사진주점(PP: Principal Point)를 기준으로 한다. 그러나 실제 사진좌표를 관측할 때에는 그림 4와 같이 사진좌표(fiducials)를 연결하는 교차점(IPP: Indicated Principal Point)이 좌표계의 원점이 된다. 그러므로 IPP와 PP는 위치차이가 있으며, IPP를 기준으로 PP의 상대위치를 사진주점 오프셋(offset), (x_p, y_p) 라 한다. 즉, 촬영된 영상의 좌표가 IPP를 원점으로 관측되었다면 공선조건식은 사진주점 오프셋을 고려하여 수정하여야 한다.

본 연구에서는 사진주점 오프셋과 방사왜곡, 그리고 비중심왜곡에 의한 왜곡량을 고려하여 공선조건식을 재구성하였다. 즉, i 번째 사진상의 점 j 에 대하여 사진주점 오프셋과 방사왜곡, 그리고 비중심왜곡을 고려한 공선조건

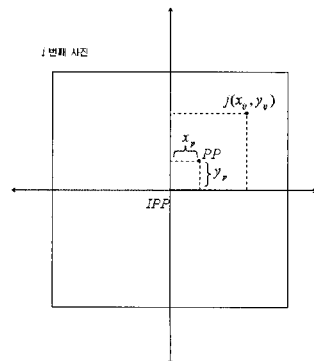


그림 4. 사진주점 오프셋

식은 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} x_j - x_p - x_{\text{방사왜곡량}} - x_{\text{비중심왜곡량}} &= -f_x \frac{r}{q} \\ y_j - y_p - y_{\text{방사왜곡량}} - y_{\text{비중심왜곡량}} &= -f_y \frac{s}{q} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, $x_{\text{방사왜곡량}}$, $y_{\text{방사왜곡량}}$, $x_{\text{비중심왜곡량}}$, 그리고 $y_{\text{비중심왜곡량}}$ 은 x , y 방향의 방사왜곡량과 비중심왜곡량을 의미하며 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} x_{\text{방사왜곡량}} &= x_j(k_0 + k_1 r_j^2 + k_2 r_j^4 + k_3 r_j^6 + k_4 r_j^8) \\ y_{\text{방사왜곡량}} &= y_j(k_0 + k_1 r_j^2 + k_2 r_j^4 + k_3 r_j^6 + k_4 r_j^8) \\ x_{\text{비중심왜곡량}} &= (1 + p_3 r_j^2 + p_4 r_j^4)[p_1(r_j^2 + 2x_j^2) + 2p_2 x_j y_j] \\ y_{\text{비중심왜곡량}} &= (1 + p_3 r_j^2 + p_4 r_j^4)[2p_1 x_j y_j + p_2(r_j^2 + 2y_j^2)] \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)의 k_0 , k_1 , k_2 , k_3 , 그리고 k_4 는 방사왜곡계수이며, p_1 , p_2 , p_3 , 그리고 p_4 는 비중심왜곡계수이다. r_j 은 PP로부터 짐까지의 거리를 의미한다. 그러므로 식 (3)에 나타난 공선조건식은 식 (6)과 (7)로 다시 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_j - x_p - x_j(k_0 + k_1 r_j^2 + k_2 r_j^4 + k_3 r_j^6 + k_4 r_j^8) \\ - (1 + p_3 r_j^2 + p_4 r_j^4)[p_1(r_j^2 + 2x_j^2) + 2p_2 x_j y_j] &= -f_x \frac{r}{q} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} y_j - y_p - y_j(k_0 + k_1 r_j^2 + k_2 r_j^4 + k_3 r_j^6 + k_4 r_j^8) \\ - (1 + p_3 r_j^2 + p_4 r_j^4)[2p_1 x_j y_j + p_2(r_j^2 + 2y_j^2)] &= -f_y \frac{s}{q} \end{aligned} \quad (7)$$

식 (6)과 식 (7)에 나타난 공선조건식은 관측값 5개, 미지수 19개로 총 24개 변수를 가지는 함수이다. 즉, 왜곡 보정을 위하여 렌즈의 초점거리, 방사왜곡계수, 그리고 비중심왜곡계수를 합하여 총 13개의 미지수와 렌즈 자세 및 위치요소에 관한 6개의 미지수를 동시에 추정하기 위한 19개 이상의 관측방정식이 필요하다. 한편, 객체점 하나에 두개의 관측방정식이 조성되므로 최소 10점의 객체가 필요하며, 이 때 객체좌표와 해당 객체가 노출된 영상에서의 사진좌표는 모두 사전에 알려져 있어야 한다.

식 (6)과 식 (7)을 선형화한 후 렌즈외부표정, 지상점 좌표, 렌즈 왜곡보정에 관한 계수행렬, 그리고 미지수를 행렬로 정리하면 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{B}_i \cdot \hat{\Delta}_i + \hat{B}_j \cdot \hat{\Delta}_j + \hat{B}_i \cdot \hat{\Delta}_i = \epsilon_j + v_j \\ (2,6)(6,1) \quad (2,3)(3,1) \quad (2,13)(13,1) \quad (2,1)(2,1) \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 \hat{B}_i 는 렌즈표정요소, \hat{B}_j , 지상점 좌표, \hat{B}_i 는 렌즈

보정에 관한 계수행렬, 그리고 $\hat{\Delta}_i$, $\hat{\Delta}_j$, $\hat{\Delta}_i$ 는 미지수에 관한 행렬을 의미한다. 렌즈의 수를 하나로 가정하였으므로 지상점의 수가 n 개가 되면 사진점도 n 개가 되며, 식 (8)은 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다

$$\begin{aligned} \hat{B}_i \cdot \hat{\Delta}_i + \hat{B}_j \cdot \hat{\Delta}_j + \hat{B}_i \cdot \hat{\Delta}_i = \epsilon + v \\ (2n,6) \quad (6,1) \quad (2n,3n) \quad (3n,1) \quad (2n,13) \quad (13,1) \quad (2n,1) \quad (2n,1) \end{aligned} \quad (9)$$

식 (9)의 미지수에 관한 관측방정식은 다음과 같다.

$$\text{렌즈 외부표정요소 관측방정식: } \hat{\Delta} = \hat{C} + \hat{V} \quad (6,1)$$

$$\text{미지점 및 기준점 관측방정식: } \hat{\Delta} = \hat{C} + \hat{V} \quad (3n,1)$$

$$\text{내부표정요소 관측방정식: } \hat{\Delta}_j = \hat{C} + \hat{V} \quad (13,1)$$

식 (9)와 렌즈외부표정요소, 미지점 및 기준점, 그리고 내부표정요소에 대한 관측방정식을 모두 고려한 렌즈 왜곡보정 통합 관측방정식은 식 (10)과 같다.

$$\begin{bmatrix} \hat{B}_i & \hat{B}_j & \hat{B}_i \\ I & 0 & 0 \\ 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{\Delta} \\ \hat{\Delta} \\ \hat{\Delta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \epsilon \\ \hat{C} \\ \hat{C} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{V} \\ \hat{V} \\ \hat{V} \end{bmatrix} \quad (10)$$

4. 프로그램 구현

4.1 격자점 자동추출 프로그램

본 연구에서는 광각어안렌즈로 획득한 영상의 왜곡보정을 위하여 새로운 왜곡보정관측방정식을 개발하였으며, 이를 바탕으로 왜곡된 영상을 보정하여 출력하는 프로그램을 구현하였다.

본 연구에서 구현된 왜곡보정 프로그램은 격자점을 자동으로 추출하는 부분과 왜곡계수 산출 및 영상 보정 부분으로 구분된다. 그림 5는 격자점 자동 추출 프로그램 구동 결과를 예시한 것으로, 입력된 단영상의 격자점을 자동으로 추출한 장면을 나타낸 것이다. 입력된 영상의 격자점을 추출하기 위하여 그림 5의 ①을 이용하여 영상을 입력하고 ②와 ③을 이용하여 추출범위를 설정한 후 ④를 이용하여 프로그램을 실행하면 격자점이 자동으로 추출된다. 그림 5의 붉은색으로 표시한 부분이 프로그램을 통해 추출된 격자점이다.

타겟의 격자점은 격자의 패턴이 다른 최외각부분의 격자와 이를 제외한 내부격자로 이루어져 있다. 패턴 분석

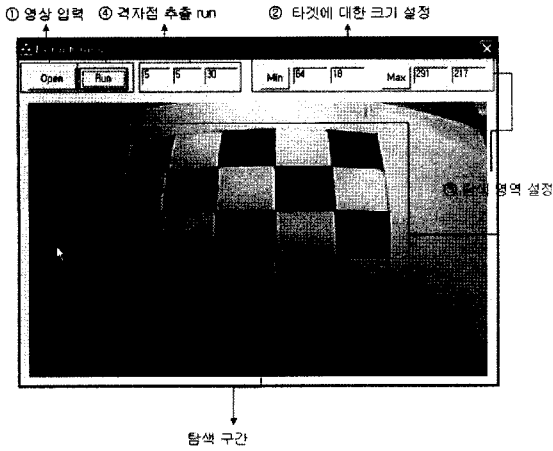


그림 5. 격자점 자동추출 프로그램 실행 예시

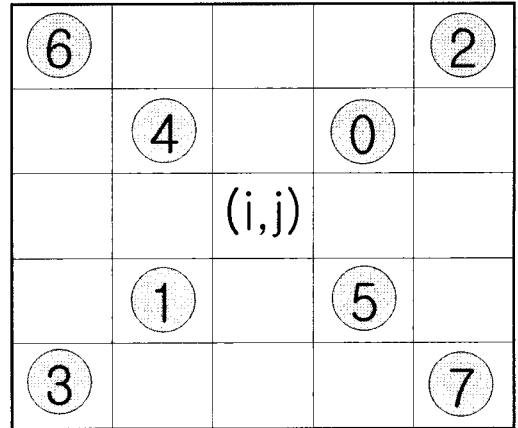


그림 7. 내부점 Search Window

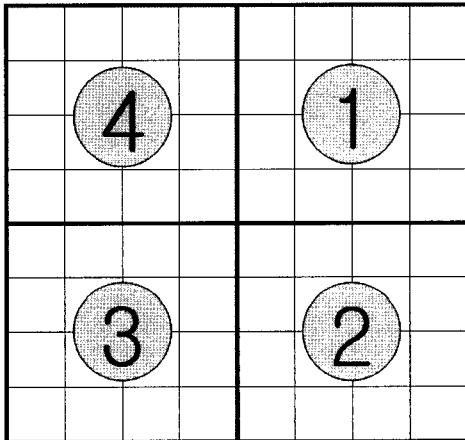


그림 6. 외부점 Search Window

을 위하여 전자를 외부점, 후자를 내부점이라고 부르기에 각각 다른 알고리즘을 적용하여 격자점으로 인식하도록 설계하였다. 타겟의 패턴인식을 위한 알고리즘은 다음과 같다.

본 연구에서 사용한 타겟은 굴곡을 가진 직사각형 모양의 구조를 가지고 있기 때문에 인식이 어렵다. 그러므로 먼저, 2진 영상을 만든 후 그림 6과 같이 4개 격자를 바탕으로 4구역을 한 묶음으로 하는 8×8 Search Window를 만들고, 각 구역에 대한 픽셀 평균값을 계산한다. 각 구역 평균값에 대한 차이를 산출한 뒤, 그 값이 30 이하로 나타나면 동일 격자로 인식하고, 160이상이면 다른 격자로 인식하도록 하여 격자 패턴을 분석한다. 그리고 격자점으로 인식된 다른 위치가 존재하는 경우, 격자 위치(i,j)값

평균으로 격자점을 대신한다.

내부점 추출의 Search Window는 다음과 같다. 아래 그림과 같이 Search Window는 5×5로 구성되어 있으며, 정중앙의 픽셀은 주변 8개의 픽셀로 격자의 패턴을 판단하게 된다. 첫째 대각선 방향의 격자패턴이 같은지 판단하고, 둘째 대각선 방향들끼리의 패턴이 같은지를 판단하게 된다. 즉, 그림 7의 경우, 격자점은 대각선 방향의 (① ② ③), (④ ⑤ ⑥ ⑦)의 패턴이 같아야 하고, 양쪽 대각선 방향의 패턴은 달라야 한다. 이를 만족하면 격자점으로 인식하게 된다.

4.2 왜곡계수 산출 및 영상 보정 프로그램

격자점 자동추출 프로그램에서 추출된 좌표가 왜곡계수 산출 및 영상 보정 프로그램의 입력데이터가 된다. 이 프로그램은 입력된 격자점 좌표를 이용하여 해당 영상의 보정 계수를 산출하고, 그 보정 계수를 역으로 분석하여 영상을 보정한다. 그림 8은 그림 5에서 추출한 격자점을 이용하여 왜곡보정 한 결과를 나타낸 것이다.

왜곡보정 계수 산출 및 영상 보정 프로그램의 입력 데이터는 격자점 좌표와 초기값에 관한 정보, 그리고 왜곡 보정에 사용될 데이터로 구성되어 있다. 데이터 입력 후, 보정(Adjust) 버튼을 실행 시키면 보정 계수가 산출되며, 그 계수를 적용하여 보정된 영상이 화면에 출력된다.

본 연구에서는 영상의 왜곡보정 결과를 검증하기 위하여 보드 카메라 영상과 디지털 카메라 영상과 비교를 통한 모양에 대한 검증과 위치가 고정된 카메라의 렌즈회전에 따른 cx, cy 검정을 실시하였다.

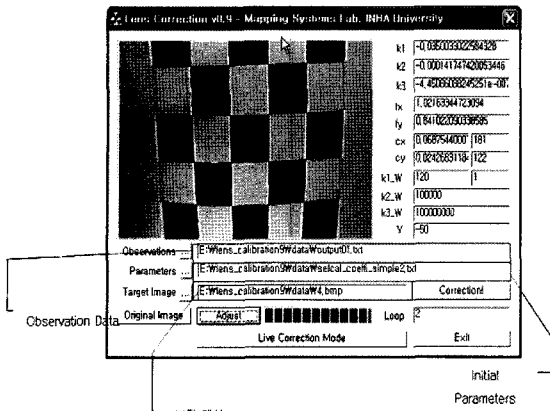


그림 8. 단영상 왜곡보정 프로그램 예시

5. 결과 검증

5.1 모양에 대한 비교

보드 카메라에 찍힌 광각렌즈 영상은 초점거리와 촬영 거리가 매우 짧은 반면에 화각이 120° 이상이다. 타겟을 한화면에 담기위해 촬영거리를 30cm 미만으로 촬영하였기 때문에, 일반 사진측량학적인 방법으로 검정하기 어렵다. 그러므로 왜곡보정한 영상과 디지털 카메라에 찍힌 영상을 비교하여 RMSE를 비교하였다.

실험을 위해 먼저, 보드 카메라와 디지털 카메라를 사용하여 동일 타겟에 대한 영상을 촬영하였다. 디지털 카메라로 촬영된 영상은 보드 카메라와 동일한 외부표정을 가지도록 영상을 획득하여, 보드 카메라로 촬영된 영상에 대한 왜곡보정을 수행한 후 영상을 비교에 사용하도록 한다. 보드 카메라를 통해 획득한 영상은 그림 9와 같으며, 디지털 카메라의 경우 그림 10과 같다.

보드 카메라로 촬영된 영상은 왜곡보정 과정을 거친 보정 영상과 디지털 카메라 영상에서 각각격자점을 추출한다. 추출된 격자점을 사용하여 왜곡보정계수를 구하고, 보정계수를 새로운 사용하여 보정 영상을 출력하면 그림 11과 같다.

왜곡보정 영상과 디지털 카메라에 찍힌 타겟에 그림 12와 같이 격자점에 번호를 부여하고, X방향과 Y방향에 점과 점 사이의 거리, 즉 격자 거리를 산출하였다. 보정 영상의 격자 거리에 스케일 벡터를 곱하여, 산출된 결과를 디지털 카메라 영상 격자 거리와 비교하였다.

왜곡보정 된 영상과 디지털 카메라 영상의 격자 거리를 비교한 결과 방향별 RMSE(root mean square error)는 아

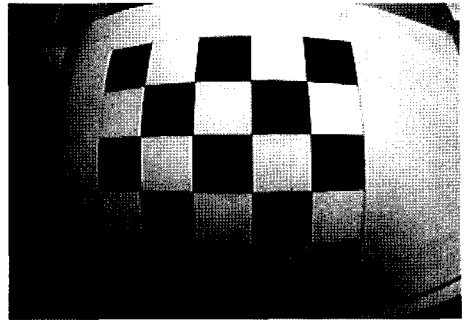


그림 9. 보드 카메라 영상

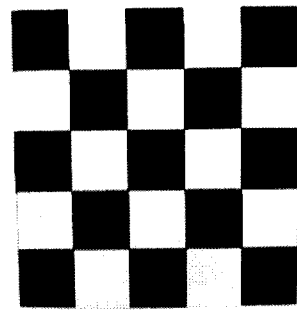


그림 10. 디지털 카메라 영상

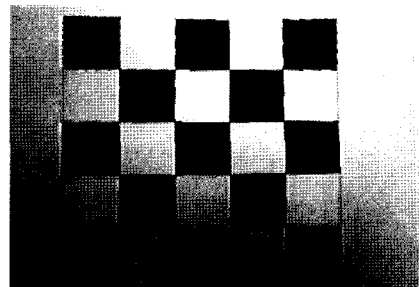


그림 11. 왜곡보정된 영상

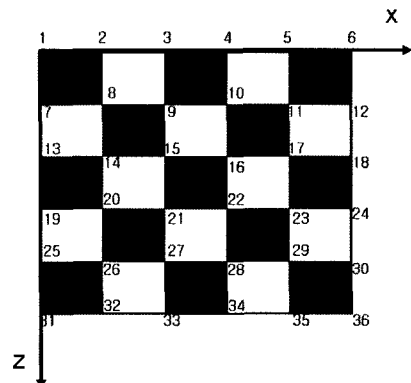


그림 12. 타겟점 번호 부여

표 1. 디지털 카메라 영상에 기준에 왜곡보정된 보드카메라 영상의 격자거리 RMSE 비교

| | RMSE [pixel] |
|----|--------------|
| X | 2.7 |
| Y | 1.6 |
| 2D | 3.1 |

래 표 1과 같이 나타났다.

표 1을 보면 디지털 카메라 영상을 기준으로 왜곡이 보정된 보드 카메라 영상은 X 방향으로 2.7픽셀, Y 방향으로 1.6픽셀로 나타나 2차원 평면상 약 3픽셀의 오차가 나타났다.

5.2 위치에 대한 검정(cx, cy 검정)

카메라 검정 요소 중 주점의 위치는 렌즈의 중심을 통과한 광선이 CCD 칩과 만나는 위치를 의미하는 것으로 영상좌표 취득 시 중심이 된다. 이를 c_x , c_y 라 지칭한다. 렌즈 왜곡계수는 렌즈의 중심으로부터 방사방향으로 피사체의 위치가 왜곡되어 나타나는 정도를 수치로 나타낸 것으로, 렌즈 왜곡보정에 c_x , c_y 를 사용한다.

일정한 위치에 타겟을 놓고, 카메라의 위치를 고정시킨 후, 카메라를 회전하여 영상을 취득한다. 그림 13(a)와 같이 타겟과 카메라 위치를 고정시킨 후 카메라 렌즈만 회전시키면서 촬영을 한다. 이 경우 그림 13(c)와 같이 카메라의 회전방향과 무관하게 동일지점에 점이 찍히게 된다.

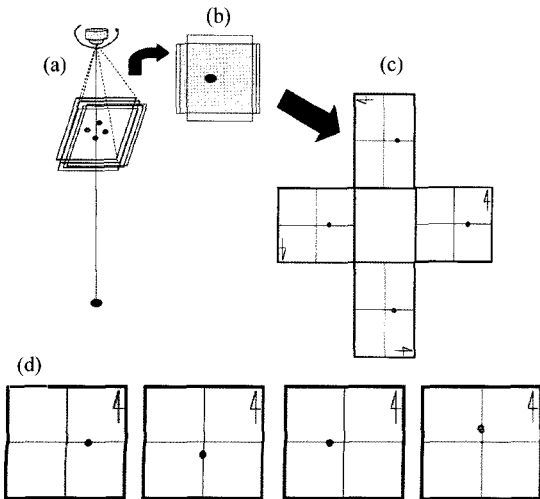


그림 13. c_x , c_y 원리 및 카메라 회전에 따른 포인트 취득

이를 동일한 방향으로 정렬하면 그림 13(d)와 같은 영상을 취득하게 할 수 있다.

이와 같은 방법으로 포인트를 취득하기 위하여 그림 14와 같이 평판의 밑 부분에 타겟과 카메라의 위치를 고정하고 카메라를 회전시켜 영상을 획득하였다. 촬영된 영상은 그림 15와 같다.

c_x , c_y 를 추출하기 위해 영상을 중첩하여 각 영상의 타겟에 번호를 그림 16과 같이 부여하였다. 부여한 번호에 대한 실험 좌표는 표 2와 같다.

추출된 포인트를 통하여 점1과 점3을 연결한 직선과 점2와 점4를 연결한 직선의 교차점을 산출하면 $c_x=183.1$

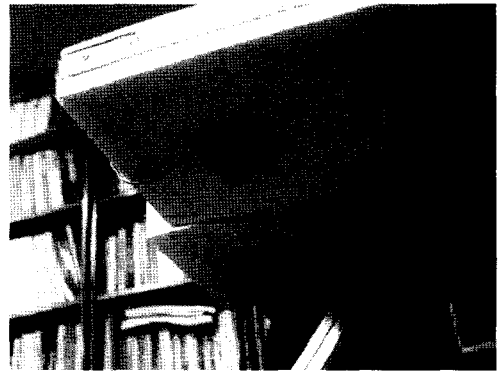


그림 14. 평판 밑 부분에 설치한 렌즈

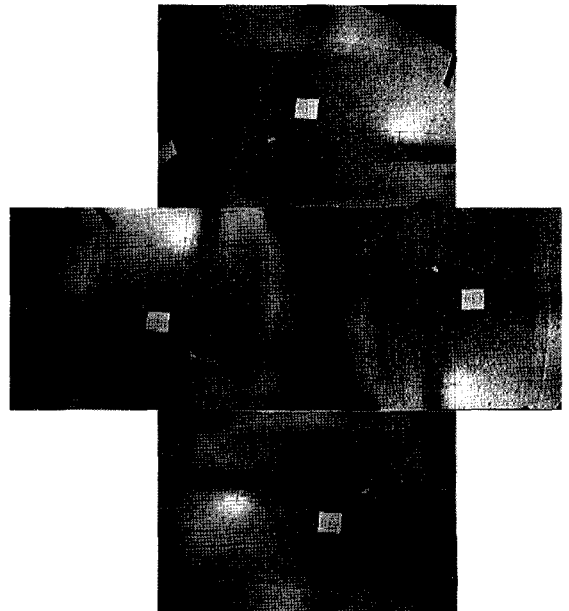


그림 15. c_x , c_y 추출을 위한 영상 획득

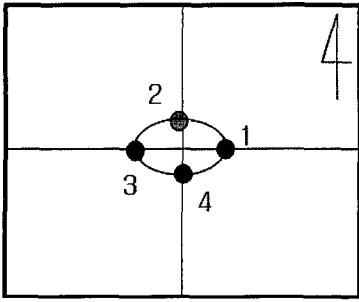


그림 16. 타겟 점 번호

표 2. cx, cy를 추출하기 위한 포인트 추출

| | X | Y |
|---|-----|-----|
| 1 | 176 | 123 |
| 2 | 198 | 108 |
| 3 | 203 | 132 |
| 4 | 174 | 136 |

표 3. 위치에 대한 검정 결과[단위: pixel]

| | cx | cy |
|-----------|-------|-------|
| 왜곡보정 프로그램 | 181.5 | 122.1 |
| cx, cy 검정 | 183.1 | 125.4 |

cy=125.4의 좌표를 얻을 수 있다. 이 연구를 통해 구현한 왜곡보정 프로그램의 결과와 cx, cy와 실험에 의해 얻어진 결과는 표 3에 나타내었다.

표 3을 보면, 왜곡보정 프로그램과 cx, cy 검정기법으로 도출된 결과는 약 cx=2, cy=3 정도의 차이가 나타났다.

6. 결론 및 제언

광각렌즈는 표준렌즈보다 시야각이 넓어 비교적 넓은 영역에 대한 영상을 획득할 수 있다. 그러나 초점 거리가 짧아 표준렌즈보다 원근감이 과장되며 피사체의 심도가

깊어지는 특징이 있다. 즉, 가까운 거리에서 넓은 범위를 선명하게 찍을 수 있으나 일반 렌즈에 비해 영상왜곡이 심하기 때문에 왜곡보정이 반드시 필요한 렌즈이다. 이 연구에서는 광각렌즈의 이러한 단점을 보완하기 위하여 사진주점 오프셋과 방사왜곡량, 그리고 비중심왜곡량을 포함하는 새로운 공선조건식을 개발하였으며, 이를 바탕으로 입력된 단영상에서 격자점을 자동으로 추출하고 왜곡계수 산출 및 영상보정 프로그램을 구현하였다. 개발된 공선조건식과 자동프로그램을 검정하기 위하여 실제 영상을 촬영하고 이를 바탕으로 모양에 대한 비교와 위치에 대한 cx, cy 검정을 실시하였다. 그 결과 모양에 대한 검정은 약 3픽셀의 2D RMSE가 나타났으며, 위치에 대한 검정은 cx=2, cy=3의 차이가 나타났다. 이 연구에서 적용된 렌즈 왜곡보정 기술은 컴퓨터 비전분야, 제어계측분야에서 광범위하게 사용되고 있는 광각렌즈영상을 활용한 사물 및 위치 인식의 정확도 향상 및 자동화에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 신주홍, 남동환, 권기준, 정준기 (2005), Ellipsoid를 이용한 어안 렌즈의 Non-metric 접근 왜곡 보정 기법, HCI 학술대회논문집, 제 14권, 제 1호, pp. 83-89.
- 최춘호, 문철홍 (1998), 렌즈에 의해 왜곡된 원영상의 교정, 대한 전자공학회 발표논문집, 제 21권, 제 1호, pp. 721-724.
- Garcia, C. (1999), Fully vision-based calibration of a hand-eye robot, Autonomous Robots, Vol. 6, pp. 223-238.
- Hefele, J. (2001), Real-time photogrammetric algorithms for robot calibration, The international archivers of the photogrammetry, remotesensing and spatial information sciences, Vol. 34, pp. 33-38.
- Maas, H.-G. (1997), Dynamic photogrammetric calibration of industrial robots, SPIE's 42nd annual meeting, Vol. 3174, pp. 106-112.
- Wolf, P. R., and Dewitt, B. A. (2000), Elements of photogrammetry with applications in GIS, 3th Edition, McGraw-Hill, 608pp.

(접수일 2007. 3. 15, 심사일 2007. 4. 26, 심사완료일 2008. 3. 5)