

효율적인 CMM을 위한 조명 조건 개선에 관한 연구

A Study on Optimum Lighting Conditions for Effective Coordinate Measuring Machine

배준영*, 반갑수**

Jun-Young Bae, Kap-Soo Ban

〈Abstract〉

Machine vision systems is applied for various industries such as optimize your spending, automate your production and maximize your efficiency. This research is effective for most optimal light condition of machine vision that technology was applied bald outside human visual acuity. Image processing converts a target image captured by a CCD camera into a digital signal and then performs various arithmetic operations on the signal to extract the characteristics of the target, such as points, lines, circles, area and length. The mathematical concepts of convolution and the kernel matrix are used to apply filters to signals, to perform functions such as extracting edges and reducing unwanted noise. This research analyze and compares matching ratio with reference image and search for optimal lighting condition in accuracy that user wants coming input image according to brightness change of lighting.

Keywords : Coordinate Measuring Machine, Optimum lighting conditions

* 일신테크 연구원, 경북대학교 과학기술대학원

* Ilsin Tech. Graduate School, KYUNGPOOK National University

** 정회원, 교신저자, 경북대학교 자동차공학부 교수,
工博

** Corresponding Author, School of Automotive
Engineering, Ph.D. KYUNGPOOK National University
E-mail:gsban@knu.ac.kr

1. 서 론

인간의 눈은 착시 현상과 같은 오류를 가지고 있기 때문에 검사체에 대한 오류를 가질 수 있다. 같은 지름을 가진 중심원이거나 서로 평행인 선들이 주위 환경에 따라 다른 크기의 원으로 보이거나 굽은 선처럼 보이는 것처럼 검사체에서도 사람의 눈은 착시현상을 일으킬 수 있다. 이런 오류를 줄이기 위해 카메라를 사용하는 머신 비전을 이용한다.

머신 비전 기술을 이용한 측정은 대량 제품 생산에 따른 자동화 기술의 발달과 더불어 부품 조립에 있어 인간의 노동력을 대신해서 적용되었으며, 반도체와 같은 인간 시력 밖의 미세 부품들의 등장으로 필수적으로 사용되어 오고 있다. 현재 많이 사용되는 2차원 측정은 영상으로부터의 경계를 추출하여 경계 정보들을 가지고 거리, 면적, 각도, 형상 인식을 수행하게 된다. 머신 비전에 필요한 조명 분야는 할로겐 조명, 형광등 조명, LED 조명 등이 많이 사용되나 최근 몇 년 동안 고품질의 LED 조명이 산업용 응용분야에서 급속히 사용이 확산되고 있는 추세이다. LED 조명은 직류전원을 사용하여 깜박거림이 없고, 단색광이므로 보다 정확한 측정이 가능하며, 또한 저가격 장시간의 수명시간, 소형, 가벼움, 안전성이 뛰어난 장점을 가지고 있다. 피사체의 특성에 따른 알맞은 조명의 구조를 선택하여 정밀도와 시스템의 신뢰성 및 응답시간을 향상 시킬 수 있다. 보다 정확한 화상정보를 얻기 위한 방법으로 조명의 밝기, 조명의 위치, 조명의 수량 등 조명의 다양화에 따른 기초연구가 이루어졌다1).

또한 머신비전시스템에서 표면거칠기에 따른 조명조건의 영향 등에 대한 연구가 있었다2). 머신 비전에서 최적의 정밀도를 측정할 수 있는 조명조건을 찾는 연구가 보완적으로 필요하며 이를 위해 본 연구에서는 조명의 밝기 변화에 따라 입력 이미지와 기준 이미지와의 매칭비를 계산하고 사용

자가 원하는 정밀도 내에서의 최적 조명 조건을 찾아낸다.

2. 조명 조건

조명은 실제로 성공적인 Machine Vision System을 구축하기 위한 가장 중요한 구성 요소 중 하나이다.

2.1 조명의 필요성

머신 비전에서의 조명은 그림자를 최소화 하거나, 거울 같이 반사하는 것을 없애는 방법 등, 여러 가지 방법으로 우리가 원하는 특징(Feature)을 뚜렷한 영상으로 변환하기 위해 사용된다.

조명은 검사대상의 광학적 특성을 분석해야 하며 조명 선택 시 검사 대상의 특성 중 밝기의 유무, 크기, 위치 및 방향, 거리, 색상, 결함 등, 어떤 특징이 중요한지를 검토하여 이에 적당한 조명원의 종류 및 조명 방식을 결정한다.

2.2 조명의 구성

조명은 피사체의 부각되어야 할 특징에 따라, 여러 가지 조명 방식이 있다.조명은 피사체의 부각되어야 할 특징에 따라, 여러 가지 조명 방식이 있다. 후방조명은 피사체의 뒤쪽에서 조명하는 방식으로 피사체와 배경과의 최대의 명암을 제공하며 피사체의 그림자 위주의 단순한 영상이다.

$$I_e = A \cos \theta_i \cos \theta_e + \frac{1}{(\cos \theta_i)^y} [B e^{-k\varphi_s^2} + C e^{-k\varphi_r^2}] \quad (1)$$

$$\varphi_s = \cos^{-1} [\sin(\beta \theta_i) \sin \theta_e \cos(\phi + 180^\circ) + \cos(\beta \theta_i) \cos \theta_e]$$

$$\varphi_r = \cos^{-1} [\sin(\beta \theta_i) \sin(\theta_e) \cos \phi + \cos(\beta \theta_i) \cos \theta_e]$$

$$\phi = \phi_i - \phi_e$$

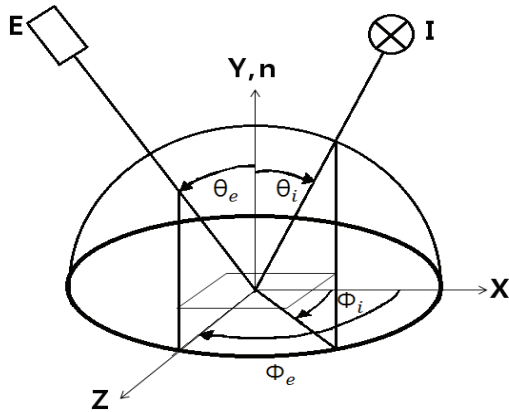


Fig. 1 Illustration of the vectors of incident light(I) and observation direction(E).

그림(1)과 식 (1)은 일반적인 경우의 입사각과 관찰방향의 관계를 구좌표로 나타낸 것이다. 여기서 n 은 표면에 수직인 단위벡터이고 $I(\theta_i, \phi_i)$, $E(\theta_e, \phi_e)$ 는 각각 구좌표에서 입사각 벡터와 관찰방향 벡터를 의미한다. 또한 6개의 상수 A, B, C, k, β 그리고 γ 는 반사율 측정에 대한 curve fitting으로 얻어진다³⁾. 동축 조명은 반거울(Half-mirror)을 이용하여 카메라와 조명이 동일한 축(Axis)상에 놓이게 하는 조명방식으로 주로 평평하고 반질반질한 표면에 있는 흠이나 결함을 검출하거나 미세하고 깊은 구멍 밑을 조명하는데 주로 사용된다. 구조 조명은 레이저 혹은 광섬유선 조명(line light)을 피사체에 주사하는 것으로 물체의 3차원 특성을 간접적으로 측정하기 위한 조명방법으로 높이, 깊이를 측정하는 저렴한 방식으로 steps, gaps, edges 등과 같은 불연속적인 특징 측정 또는 비교적 낮은 contrast의 부품 등에 주로 이용된다.

Fig. 2는 필터 조명의 원리를 나타낸 것이며 조명원에 구조적인 수정이 없이 편광필터나 컬러 필터를 사용하여 간편하고 저렴하게 조명원에 변화를 줄 수 있으므로 원형편광필터를 적용하였다.

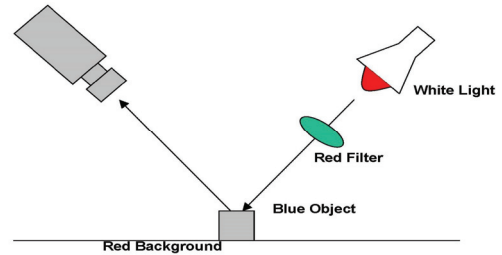


Fig. 2 Filter lighting

편광필터는 두 종류의 필터를 사용하여 한 필터는 고정시키고 다른 필터를 회전시키면서 정반사(Specular reflection)이 가장 적게 생기는 위치에서 조명원을 사용한다. 편광 필터를 사용하면 정반사와 확산반사(Diffuse reflection)를 분리할 수 있으며 반질반질한 부품으로부터 정반사를 억제하고자 할 때 주로 이용된다. 그러나 필터로 인해 감쇄가 크게 일어나기 때문에 보다 높은 조명광 세기가 요구된다.

Table 1 Specification of Filters

Filter	특 성
적색 필터	청색과 녹색 물체를 어둡게 한다.
청색 필터	적색과 노랑색 물체를 어둡게 한다.
녹색 필터	청색과 적색 물체를 어둡게 한다.

또한 컬러필터(Filter) 조명은 색상이 있는 경우에 콘트라스트를 향상시킬 수 있다. Table 1은 컬러에 따른 필터의 특성을 나타낸 것이다. 컬러 필터를 사용하여 피사체와 배경의 색상이 다르지만 Grey값으로 변환되면 거의 같게 되는 경우에 콘트라스트를 높이고자 할 때 컬러 필터를 적용한다. 그러나 편광 필터와 같이 필터에 의한 빛의 감쇄가 발생하여 보다 높은 조명광 세기가 요구된다.

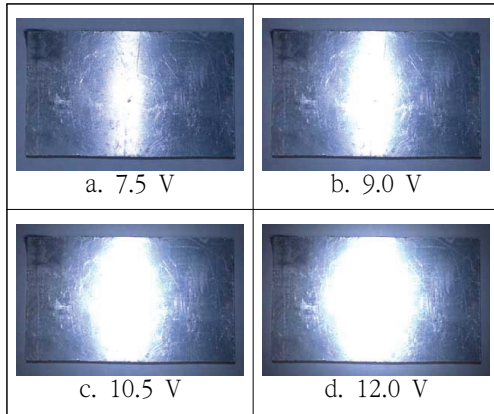


Fig. 3 Images along the brightness

3. 시스템 구성

3.1 피사체 선정

비전시스템은 여러 종류의 피사체의 측정에 사용된다. 그러나 실제 측정에서 피사체의 특징 중 빛의 반사의 유무에 따라 조명의 미세한 위치 변화에 의해서도 측정 결과에 많은 영향을 준다.

Fig. 3에서 보면 하나의 피사체에 빛의 세기에 따라 발생하는 빛 반사에 의해 실제 측정에서는 많은 오차를 발생한다. 본 실험에서는 다양한 피사체 중에서 위의 Fig. 3과 같이 빛을 반사하는 성질을 가진 피사체를 이용하여 실험을 진행한다.

3.2 조명 선정

본 실험에 사용된 조명 시스템은 LED조명을 원형 주위로 120개를 배치하고 가변저항을 주어 7.5V에서 12V까지 전압 변화를 주어 조명의 밝기를 변화시킨 확산 전방 조명을 사용하였다. Fig. 4는 밝기가 뚜렷한 링타입 조명의 개념도를 나타낸 것이며 Fig. 5는 실제 사용된 조명과 컨트롤러 사진이다.

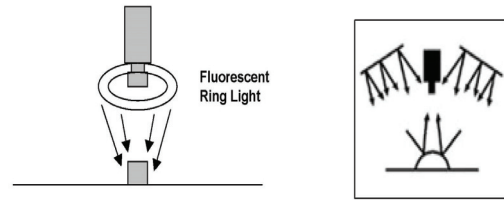


Fig. 4 Fluorescent ring lighting

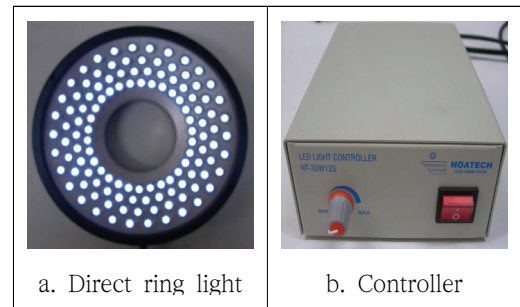


Fig. 5 Lighting system

4. 영상 시스템

4.1 영상 획득 시스템

비전 시스템에서 조명을 받은 검사대상에서 반사된 빛이 렌즈를 통과한 후 카메라 안의 영상센서에 도달되어 영상 신호로 변환되어 영상이 획득된다. 영상 센서로는 보통 CCD (Charge coupled device)센서가 사용되며 센서의 배열 상태에 따라 Area Scan과 Line Scan 방식의 방식이 있다. 영상 입력 장치인 카메라는 과거 RS-170, CCIR 등의 아날로그 방식이 주를 이루었지만 디지털 방식의 카메라가 보다 깨끗한 화질 등의 장점으로 인해 수요가 증가하고 있다. 또한, 아날로그 방식도, 과거의 Interlaced 방식이 아닌 Non- interlaced 방식의 카메라가 등장하여, 고속으로 이동하는 물체의 Full frame 영상도 떨림없이 취득할 수 있게 되었다. 해상도면에서는 아직 512 * 480 또는 640 * 480이 주류이지만, 고정밀 측정용으로

1000 * 1000 이상의 고해상도 카메라도 사용되어진다. 카메라의 핵심소자인 Image sensor는 깨끗한 화질로 아직 CCD Sensor가 많이 사용되지만 최근 화질의 대폭적인 개선이 이루어진 Cmos Image Sensor도 사용된다. 색상이 검사대상의 중요한 특징이 되는 경우에는 단색광(Monochrome) 카메라보다는 컬러영상을 취득, 처리하는 것이 보다 효과적이며 하드웨어의 성능향상으로 고속처리가 가능하고 응용범위도 폭넓게 적용되고 있다.

본 실험에서는 24만 화소 배속 카메라를 사용하였다. 이 카메라의 특징은 컬러 화상센서를 비롯하여 배속 프로그레시브 구동 방식의 CCD를 사용하여 화상전송시간을 기존의 33ms에서 16ms로 큰 폭으로 단축하였다.

4.2 영상 처리 시스템

하나의 픽셀에 대해 직접 특정 식을 적용하여 그 값을 변경시키는 픽셀 중심 처리와 달리, 특정 픽셀의 중심으로 그 주변의 값을 고려하여 그 값을 변경시킴으로서 영상의 품질을 향상시키거나, 영상 분석에 필요한 특징점 및 에지(Edge)를 검출하는 영상 처리 방법에 관한 것이다. 이를 위해서 마스크(Mask)를 사용하여야 하며, 마스크 크기만큼의 주변 값의 영향을 받도록 하여 마스크 중심 위치의 픽셀 값을 조정하고, 이를 영상 전체에 적용하도록 하는 회선기법이 필요하다.

4.1.1 회선(Convolution)

회선은 영역 처리 기본 단위를 상징하는 마스크 연산을 위치를 이동해 가면서 전체 영상에 적용하는 기법이다.

마스크는 가중치를 갖는 홀수 정방 행렬이라 할 수 있으며, 마스크 연산은 마스크에 대응되는 영상의 부분인 회선 윈도우에 대해 마스크의 가중

치와 대응되는 회선 윈도우의 각 원시 픽셀값을 곱한 것을 마스크(Mask) 크기만큼 합하여 그 결과 값을 마스크 중심에 해당하는 원시 픽셀의 값으로 정하는 것을 말한다.

$$[f * g](t) \equiv \int_0^t f(\tau)g(t-\tau)d\tau \quad (3)$$

식 (3)은 시간의 함수 f 와 g 를 시간 t 변화에 따라 겹쳐지는 면적의 합을 회절로 정의하였다. τ 는 영역이동을 용이하게 하는 변수로 사용된다.

$$A[i_a, j_a] * B[i_b, j_b] = \quad (4)$$

$$C[i_c, j_c] = \sum_{\tau_1=0}^{i_a-1} \sum_{\tau_2=0}^{j_a-1} A[\tau_1, \tau_2]B[i-\tau_1, j-\tau_2]$$

식 (4)는 식 (3)을 2차원 영역으로 확장한 경우를 나타낸 회선식이다. 여기서 A, B 는 2차원적인 함수를 의미하고 i_a, j_a 는 시간에 따른 평면의 좌표를 의미한다. 마스크 연산을 위해 마스크가 영상 배열의 모든 요소를 훑어 지나가는 공정이 필요하고 3*3 마스크의 경우, (영상폭-2)*(영상높이-2) 만큼의 마스크 연산이 수행된다.

4.2.2 윤곽선 검출(Edge Detection)

방대한 데이터를 가진 영상에 있어서 에지는 영상에 있는 물체의 위치, 크기, 모양 등과 같은 중요한 정보를 가지고 있는 곳이다. 에지 검출은 영상 분석의 한 분야라 할 수 있는 영상 분할의 기초 단계에 해당된다. 일반적으로 에지는 영상에서 Fig. 6에서 알 수 있듯이 명도의 변화가 심한 곳에 있으며, 이는 광원의 변화나 물체 형상의 변화로 인해 발생한다. 에지를 검출하기 위해서는 영상 내에서 명도가 급격히 변화하는 것을 어떻게 감지하느냐가 관건이라 할 수 있다. 하나의 방법으로는 특정 픽셀을 기준으로 주변의 픽셀과의 명도값의 차이가 가장 큰 것에 가산값을 더하여 새

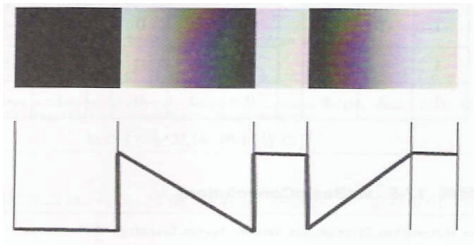


Fig. 6 Brightness graph along the edges

로운 픽셀값으로 정하는 것이다. 이 방법은 빠른 에지 검출을 할 수 있지만 가산값, 상하한의 임계치에 따라 검출되는 에지의 정확성이 좀 떨어질 수 있다. 또한 명도 변화의 기울기를 미분에 의해 구할 수 있으므로 미분값을 이용하는 방법이 많이 사용된다. 이 방법은 속도는 떨어지지만 정확도가 향상된다.

1) 회색 영상으로 변환

이미지 처리용 영상은 대부분 컬러 영상이지만 본 연구는 윤곽선 검출이 주된 목적이며 색에 관한 속성은 무의미하기 때문에 이진화를 위해 회색 영상으로 이미지를 변환한다. 이진화란 간단하게 물체를 검색색(1)으로, 배경을 흰색(0)으로 만드는 것을 말하며 이를 통하여 데이터의 양을 줄이며 그와 더불어 프로세서의 처리 속도를 더욱 향상시킬 수 있는 효과를 가져 온다.

RGB 칼라 영상을 회색 영상으로 바꾸기 위해서 NTSC(National Television System Committee) 표준으로 사용되는 방식을 사용하였다.

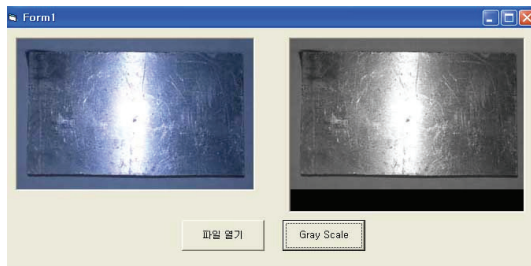


Fig. 7 Gray scale

$$Brightness = 0.266r + 0.587g + 0.114b \quad (5)$$

본 연구에서는 Fig. 7과 같이 Gray scale로 변환하는 프로그램에 식 (5)를 이용하였다. 여기서 r, g, b 는 색의 3요소를 의미한다.

2) 1차 미분 마스크

에지를 검출하는데 있어서 명도의 변화가 심한 곳은 기울기에 해당되는 1차 미분값이 아주 크거나 작다는 점을 이용할 수 있다. 여기서 G_x 는 수평 방향 미분을 위한 마스크를 나타내고 G_y 는 수직 방향 미분을 위한 마스크를 나타낸다. G_x 와 G_y 의 값이 다르므로 계산해서 사용할 필요가 있다.

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} * A \quad G_y = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +1 & +1 \end{bmatrix} * A \quad (6)$$

식 (6)은 Prewitt mask방식의 G_x, G_y 를 수식으로 나타내었다.

G_x 를 적용하면 열에 해당되는 수직 에지가 잘 검출되고, G_y 를 적용하면 행에 해당되는 수평에지가 더 잘 검출 된다. 따라서 G_x 를 열 검출기, G_y 를 행 검출기라 할 수 있으며 이 두 가지를 동시에 적용하면 어느 한쪽을 적용한 것보다 보다 선명한 에지를 검출할 수 있다. 프리윗 마스크(Prewitt Mask)는 대각선 에지보다는 수평 및 수직 에지에 더 잘 검출해 낸다. Fig. 8은 G_x 를 적



Fig. 8 Prewitt mask (Gx)

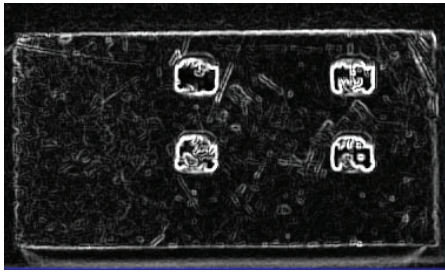


Fig. 9 Prewitt mask image

용한 실행 결과를 나타낸 것으로 수직 에지가 잘 검출되었음을 알 수 있다.

Fig. 9는 G_x , G_y 를 동시에 사용하여 회선을 수행하게 함으로써 결과 에지를 검출한 사진이다. 마스크의 크기는 3*3으로 하고, 두 개의 마스크에 대한 각각 마스크 연산 결과를 더하고 밝기 가중치는 주지 않는다. G_x 를 적용한 마스크 연산 결과와 G_y 를 적용한 마스크 연산 결과를 합한 값이며 새로운 픽셀 값으로 결정된다. 회선을 수행하면서 이러한 마스크 연산이 전체 영상에 적용되면 내재된 에지들이 검출된다. 위 실험 결과를 기초하여 본 실험에서는 윤곽선 검출 과정에서 Prewitt mask를 적용하였다.

4.3 검사 시스템에 적용

일반적인 비전 검사 시스템은 기준 이미지를 저장해 놓은 상태에서 검사대상 입력 이미지를 카메라를 통해 입력 받고, 기준 이미지와 입력 이미지 사이의 차이를 비교하는 방식으로 이상 유무를 판별한다. 대부분의 부품에 사용되는 비전 검사 시스템이 이와 같은 형태로 시스템이 이루어져 있다. 기준 이미지는 시스템 구성 초기단계에 저장하게 되며 입력 이미지는 검사대상 물체를 교체하면서 계속 입력받게 된다. 따라서 입력 이미지의 픽셀값은 검사장의 환경, 미세한 조명의 차이에 따라 계속 변하게 된다. 따라서 실제 검사 대상에

는 이상이 없지만 이렇게 입력 이미지의 픽셀값이 변화함에 따라, 비전 검사 시스템은 기준 이미지와 입력 이미지가 서로 일치 하는지 여부를 판별하게 된다. 즉 입력 이미지에 오류가 있는지를 판단하게 된다.

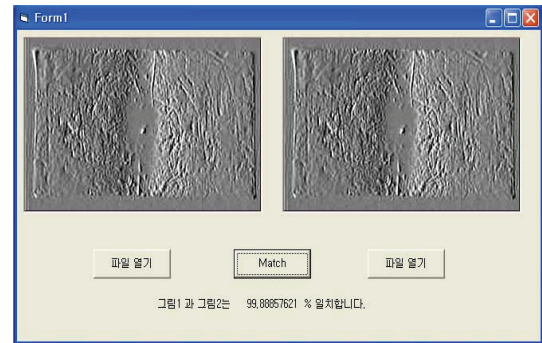


Fig. 10 Matching ratio analysis

Fig. 10은 매칭률을 분석한 사례를 나타낸 것이다. 미세한 조명의 차이에 의해 변화된 입력 이미지의 픽셀값을 기준 이미지의 픽셀값과 매칭시켜 비교하여 사용자가 원하는 범위내의 최적 조명 조건을 설정한다면 비전 검사 시스템은 검사 결과에 대한 신뢰성을 가진다고 할 수 있다.

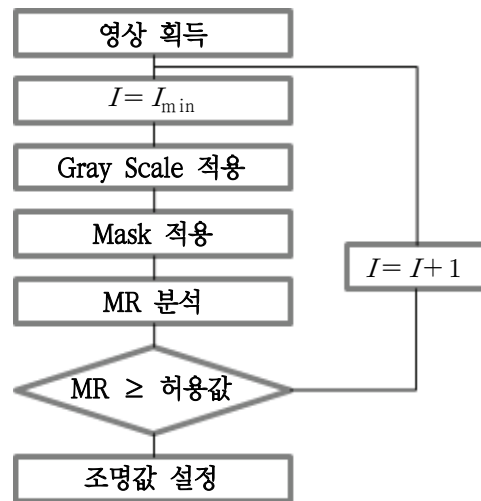


Fig. 11 Flow chart of operating system

Fig. 11은 위에서 개발된 프로그램을 이용하여 최적 조명 조건 설정에 관한 공정시스템의 flow chart이다. 여기서 MR은 매칭률을 나타내고 I는 프로그램상 순차적 픽셀순서를 나타낸다. 피사체가 입력이 되면 카메라를 통하여 조명의 밝기를 변화 시키면서 입력 이미지를 입력받는다. 입력된 입력 이미지는 이진화 과정인 Gray scale변환을 거치게 된다. 이 과정을 거치고 Prewitt mask를 적용시켜서 윤곽선 검출을 수행한다. 윤곽선 검출이 끝난 입력 이미지는 사전에 설정된 기준 이미지와의 매칭률 비교 분석한다. 여기서 MR은 Matching ratio를 나타낸다. MR값 비교 분석 후 사용자가 정해진 오차 범위 내의 매칭률일 경우 그 조명값을 시스템의 조명값으로 설정한다. 그러나 그렇지 않은 경우 다시 조명의 밝기를 변경하여 영상을 획득하여 이진화 작업을 수행한다. 이러한 과정을 사용자가 원하는 최적의 오차범위 내의 매칭률이 나올 때까지 반복적으로 수행한다. 비전 시스템을 이용한 치수 측정 시 측정거리의 픽셀의 거리로 나타난다. 픽셀의 거리와 실제 거리와는 차이가 있으므로 단위 픽셀당 거리를 계산하여 각 픽셀에 대입하여 실제 치수를 계산한다.

5. 실험

본 연구에서 구성한 자동화 시스템을 실제 비전 시스템에 적용하여 본 알고리즘이 검사 결과에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 조명값을 증가시키면서 피사체의 윤곽선 검출 과정에서의 매칭률과 오차값에 대해서 측정하였다. 매칭률에 의한 비교, 분석 시 오차율은 일반적인 기계부품의 정밀가공 오차인 ±0.05mm를 목표로 하였다.

Table. 2 Reference Image specification(Circle)

	Reference Image(내부 원형 가공)
size	100 x 51 (mm)
Pixel	360.235 x 137.01 (pixel)
size(원형)	ø 14.5(mm)
Pixel(원형)	37.7 (Pixel)

Table. 2는 원형형상이 포함된 피사체의 기본 이미지 규격을 나타내었고 Fig. 12는 피사체 내부 원형 가공이 있는 형태의 윤곽선 검출 사진이고 Fig. 13은 매칭률 검출결과 중 최소치를 나타낸 것이다. 여기서 최대 매칭률은 85.9%정도로 나타났다.

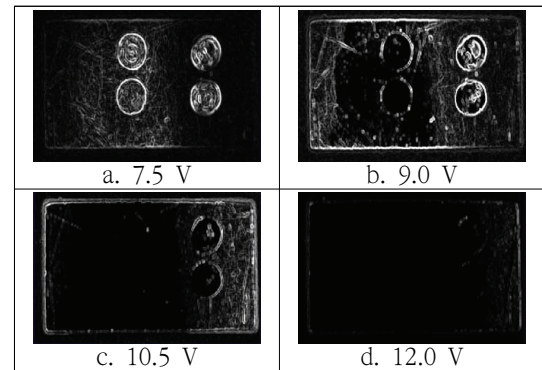


Fig. 12 Contour image of circle along the brightness.

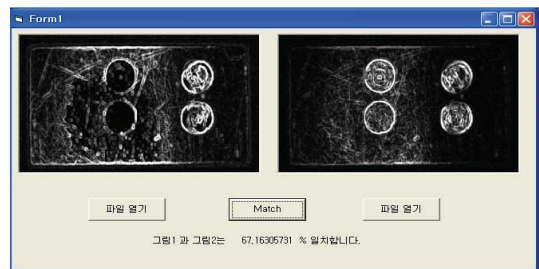


Fig. 13 Match ratio (min.)

피사체 외부 윤곽선 검출과 같이 외부 윤곽선은 밝기가 증가 할수록 선명한 윤곽선이 검출된다. 그러나 외부 윤곽선과 달리 내부 원형 가공형상의 윤곽선은 외부 윤곽선보다 밝기가 증가 할수록 윤곽선이 희미해지면서 내부 형상은 검출되지 않는다. 여기서 샘플들의 픽셀당 길이(mm/pixel)는 2.6로 같으며 조명의 조건도 모두 동일한 상황에서 실험이 진행되었다.

Table. 3 Matching ratio(λ) with pixels(ρ) along the brightness

종류 전압	외형 윤곽선		내부 원형 윤곽선		내부 사각형 윤곽선	
	λ_o	ρ_o	λ_{ic}	ρ_{ic}	λ_{ir}	ρ_{ir}
7.5V	82.0	370.245	62.4	35.009	59.9	51.252
7.7V	82.1	370.248	66.8	35.025	60.1	51.232
8.0V	82.4	370.245	67.16	35.011	61.7	51.234
8.2V	84.1	370.352	68.1	35.023	66.6	51.243
8.4V	84.5	370.215	69.4	35.033	68.4	51.275
8.6V	88.1	370.247	70.8	35.014	70.4	51.234
8.8V	93.2	370.236	72.5	35.022	72.4	51.234
9.0V	95.5	370.238	73.3	35.008	74.6	51.245
9.2V	96.2	370.221	75.6	35.041	79.4	51.245
9.4V	96.7	370.313	79.2	35.003	81.8	51.229
9.6V	97.0	370.244	83.12	35.025	82.6	51.233
9.8V	97.1	370.255	83.15	35.024	82.9	51.254
10.0V	97.14	370.235	83.39	35.036	81.5	51.272
10.2V	96.9	370.214	83.8	35.013	79.6	51.274
10.4V	96.9	370.424	80.9	35.045	77.8	51.275
10.6V	93.5	370.226	79.9	35.044	73.3	51.245
10.8V	89.9	370.332	79.4	35.048	72.1	51.255
11.0V	85.1	370.324	74.5	35.023	66.9	51.253
11.2V	83.3	370.219	69.6	35.015	64.3	51.268
11.3V	81.7	370.355	64.7	35.014	61.2	51.268

여기서 λ_o 는 외형윤곽선의 매칭률을 나타내고 λ_{ic} 와 λ_{ir} 은 각각 내부 원형윤곽선과 내부 사각윤곽선의 매칭률을 나타낸다.

위의 실험을 통하여 조명의 밝기는 7.5V~11.3V의 범위 내에서 외부와 내부의 윤곽선이 동시에 검출된다. 7.5V이하의 밝기에서는 전체적으로 윤곽선이 희미하거나 검출되지 않고 11.3V 이상에서는 윤곽선은 검출되지만 내부 윤곽선은 검출되지 않거나 소실 되는 부분이 많아진다. 위의 결과를 토대로 본 실험에서는 7.5V~11.3V의 범위 내에서 매칭률 비교, 분석 실험을 하였다. Table. 3은 전압에 따른 조명 밝기 변화를 주었을 때 각각의 매칭률과 윤곽선 검출 결과를 나타낸 pixel 값이다. 조명의 밝기가 9.6~10.0(V)에서 최적의 매칭률을 보였다. 이때의 픽셀값은 기준 이미지의 픽셀값과 ± 0.02 Pixel의 범위 내에 있었으며 이는 실제 길이로 환산해 본 결과 초기 실험 단계에서 설정한 오차 범위인 ± 0.05 mm 이내의 범위안에 있다.

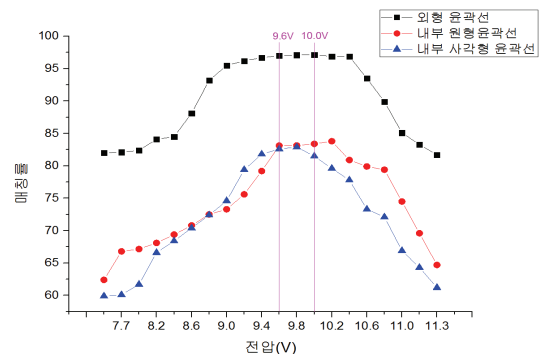


Fig. 14 Match ratio (min.)

Fig. 14는 λ_o , λ_{ic} 그리고 λ_{ir} 에 대한 매칭률을 그래프로 나타낸 것이다. 전압이 9.8V부근에서 λ_o 는 95% 가까운 매칭률을 보였지만 λ_{ic} 와 λ_{ir} 는 85% 미만의 매칭률을 보였다. 이는 외형의 매칭특징이 내부 형상보다 우수함을 보여준다.

6. 결론

본 연구에서는 조명밝기에 따른 매칭률을 이용하여 주변 환경 변화에 따른 최적 조명조건을 찾아주는 방식에 대하여 연구하였고, 이를 실제 시스템으로 적용해 보았다.

저장된 기준 이미지와 조명의 변화에 따라 획득한 I입력 이미지를 Gray Scale 변환 후 1차 미분 마스크(rewitt mask)를 적용하여 에지를 검출하였다. 에지 검출이 끝난 데이터를 매칭률의 오차를 최소화하는 이진화 처리후 기준 이미지와의 매칭률 분석을 통하여 사용자가 원하는 오차 범위 내에서 조명의 최적 조건을 설정하였다.

본 연구에서는 LED조명과 전방확산 조명을 사용한 제한된 범위 내에서 시스템 성능을 확인하였다. 추후 다양한 조명 조건 및 방식의 개발을 통해 더 나은 매칭 기법과 효율적인 영상처리 기술에 대한 연구가 요구된다.

참고문헌

- 1) Jung-Hwa Lee and Moon-Kyu Lee, "A Camera Calibration Algorithm for an Ill-Conditioned Case", J. of the KSPE, Vol. 16 No. 2, pp. 164-175, 1999.
- 2) Elango, V and Karunamoorthy, L. "Effect of lighting conditions in the study of surface roughness by machine vision-an experimental design approach" Int. Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 37 No. 1-2, 2008.
- 3) Volcy, J., March 1996, "Optimal illumination for machine vision using optical scatter data", Ph.D. dissertation, Mechanical engineering department, Georgia Institute of Technology in Atlanta, GA.
- 4) Ramesh Jain, 1995, "Machine Vision", MIT Press and McGraw-Hill, pp.140~186
- 5) Goodman, Joseph W., 1988, "Introduction to Fourier optics", McGraw-Hill Inc.
- 6) William K. Pratt, 1990, "Digital Image Processing", John Wiley & Sons, pp.491~556
- 7) phillips, D., 1994, Image Processing in C, R&D Publication, Inc.
- 8) Parker, J.R., 1997, Algorithms for Image Processing and Computer Vision, John Wiley&Sons
- 9) Gonzalez, R. C., Wood, R. E., Digital Image procesing, Addison Wesley.