

# 렌즈 모듈 생산 공정에서 조립 정렬을 위한 자동 초점 제어

## Automatic Focus Control for Assembly Alignment in a Lens Module Process

김형태<sup>1</sup>, 강성복<sup>1</sup>, 강희석<sup>1</sup>, 조영준<sup>1</sup>, 박남규<sup>2</sup>, 김진오<sup>3,✉</sup>

Hyung Tae Kim<sup>1</sup>, Sung Bok Kang<sup>1</sup>, Heui Seok Kang<sup>1</sup>, YoungJoon Cho<sup>1</sup>, Nam Gue Park<sup>2</sup> and Jin-Oh Kim<sup>3,✉</sup>

<sup>1</sup> 한국생산기술연구원 (Korea Institute of Industrial Technology)

<sup>2</sup> 로봇앤드디자인 (Robots and Design)

<sup>3</sup> 광운대학교 정보제어공학과 (Dept. of Information and Control Engineering, Kwangwoon Univ.)

✉ Corresponding author: jokim@kw.ac.kr, Tel: 02-940-5158

Manuscript received: 2009.7.16 / Revised: 2009.11.13 / Accepted: 2009.12.7

*This study proposed an auto focusing method for a multi-focus image in assembling lens modules in digital camera phones. A camera module in a camera phone is composed of a lens barrel, an IR glass, a lens mount, a PCB board and aspheric lenses. Alignment among the components is one of the important factors in product quality. Auto-focus is essential to adjust image quality of an IR glass in a lens holder, but there are two focal points in the captured image due to thickness of IR glass. So, sharpness, probability and a scale factor are defined to find desired focus from a multi-focus image. The sharpness is defined as clarity of an image. Probability and a scale factors are calculated using pattern matching with a registered image. The presented algorithm was applied to a lens assembly machine which has 5 axes, two vacuum chucks and an inspection system. The desired focus can be determined on the local maximum of the sharpness, the probability and the scale factor in the experiment.*

Key Words: IR Glass Filter (적외선 글래스 필터), Lens Module Assembly (렌즈 모듈 조립), Digital Camera Phone (디지털 카메라 폰), Auto-focus Control (자동 초점 제어), Sharpness (선명도), Automatic Alignment (자동 정렬)

### 기호설명

$\mu$  = horizontal coordinate in a pattern

$v$  = vertical coordinate in a pattern

$\tau$  = threshold

$\theta$  = rotational angle

$D$  = absolute derivative on a pixel

$c$  = correlation

$f$  = captured image

$g$  = registered pattern

$h$  = height of an image

$i$  = image sharpness

$n$  = the number of pixels in an image

$p$  = probability of a recognized pattern

$r$  = pattern recognition algorithm

$s$  = scale factor of a recognized pattern

$w$  = width of an image

$x$  = horizontal coordinate in an image

$y$  = vertical coordinate in an image

$z$  = moving stroke on focal axis

### 1. 서론

IT 기술의 발달은 디지털 카메라, 휴대폰, PMP, MP3 등 다양한 소형 제품에 응용되고 있으며, 대형 제품과 비교하여 손색없는 강력한 기능을 실현

하고 있다. IT 기기 중 대표적인 제품으로 휴대폰이 있으며, 디지털 카메라, MP3, 터치 스크린 등 IT 정보 장치들의 융복합한 형태로 발전하고 있다. 디지털 카메라는 휴대폰에 장착되는 대표적인 장치로 카메라폰이라는 명칭으로 대중화에 성공하였다.

카메라폰에 사용되는 카메라는 디지털 카메라를 카메라 모듈로 축소한 형태로 Fig. 1 과 같이 비구면 렌즈, 렌즈 마운트, 배럴(Barrel), IR glass, CCD 소자, PCB 등으로 구성되어 있다. 일반적으로 비구면 렌즈와 배럴을 렌즈 블록으로 결합하고, IR glass와 렌즈 마운트를 렌즈 홀더(Holder)로, CMOS 칩과 Laminate substrate는 PCB로 결합한다. 그리고, 렌즈 홀더와 PCB를 결합하고, 렌즈 블록을 삽입하여 하나의 카메라 모듈을 완성한다.

카메라 모듈의 부품들은 소형화 및 경량화되어 있고, 대량 생산의 특징이 있으므로 수작업에 의한 생산은 적합하지 않다. 카메라 모듈의 각 부품 생산은 자동화되어 있으나, 카메라 모듈의 조립 공정은 일부 수작업으로 진행되고 있다. 자동화된 공정에서는 각 부품간 정렬을 위하여 머신 비전(machine vision)을 사용하고 있으나, 경쟁력을 확보하기 위해서는 자동화는 필수적인 요소라고 할 수 있다.<sup>1</sup> 이러한 제품 생산을 위하여 다양한 형태의 대상 부품을 빠르고 정확하게 자동 인식을 할 수 있는 화상 인식 알고리즘에 대한 연구가 핵심이 되고 있다.<sup>2</sup>

카메라 모듈의 조립 품질은 렌즈 모듈, 렌즈 홀더 및 PCB 간의 결합 정도에 의해 영향을 받게 된다. 특히, 렌즈와 PCB를 서로 고정하는 렌즈 홀더가 조립 품질에 결정적인 영향을 미친다. 카메라 모듈 조립의 자동화를 위하여 렌즈 홀더를 비전으로 인식하고, 조립 편차를 보상하는 방법을 사용하고 있다. 그러나, 제품간의 편차로 인한 초점 거리 변화가 있기 때문에 정밀도 향상을 위하여는 초점 심도(depth)가 높은 광학계를 사용하거나 초점 변화를 보상하는 방법을 생각할 수 있다.

비전상의 화상 초점 변화를 보상하기 위하여 자동 초점 제어(auto focus control)에 관한 연구는 디지털 기술의 발달로 활발하게 진행되고 있으며, 산업용으로 응용한 사례도 있다.<sup>3,4</sup> 일반적으로 영상을 초점을 판별하는 대표적인 방법으로는 그레이 레벨 차,<sup>5</sup> Tenengrad 측정법,<sup>6</sup> 상관도 평가법,<sup>7</sup> 통계적 방법,<sup>8</sup> Fourier 변환,<sup>9</sup> Wavelet 변환<sup>10</sup> 및 에지 기반의 산출<sup>11</sup> 등이 있다.

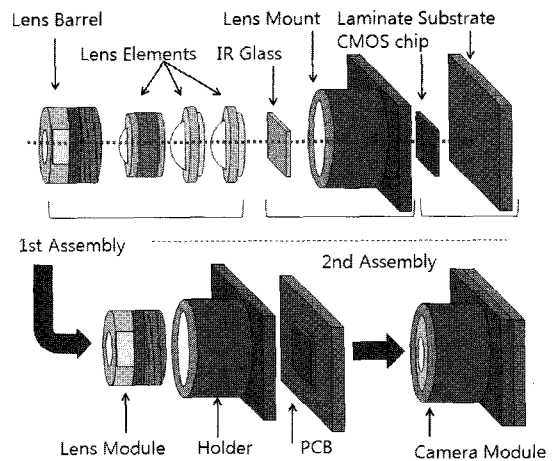


Fig. 1 Structure of a digital camera module

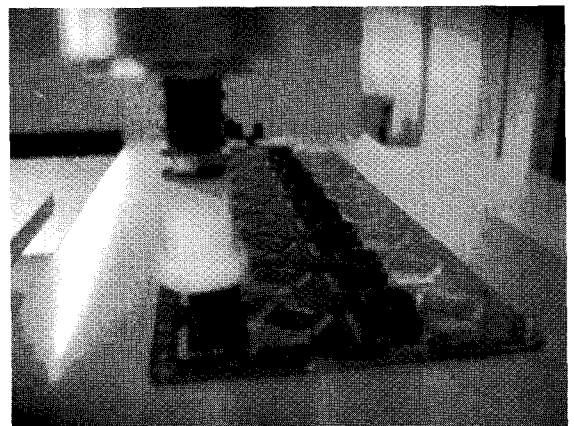


Fig. 2 Photo of a CCD array PCB and lens holders

상기 방법들은 대상체가 평면인 경우로 카메라와 거리가 일정한 경우에 사용할 수 있다. 그러나, 렌즈 홀더의 경우는 이미지 내부에서도 단차가 5~10mm 정도이므로 상기 방법으로 적합하지 않다. 대상체의 단차가 있는 다초점 이미지의 경우 초점을 잡는 방법으로는 보간법(interpolation)<sup>12</sup>이나 융합(fusion)같은 방법<sup>13</sup>도 연구되고 있으나, 다수의 이미지를 획득하여 하나의 선명한 이미지를 합성하는 방법이므로 연산량이나 샘플링 방법을 고려하면 렌즈 조립 공정에 적합하지 않다. 또한 이미지 합성시 샘플된 부분의 경계면에서 불연속면이 나타날 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 렌즈 조립 공정에서 획득한 다초점 이미지로부터 대상물인 렌즈 홀더에 한정하여 인식하는 기법을 제안하고, 유용성을 평가하고자 한다.

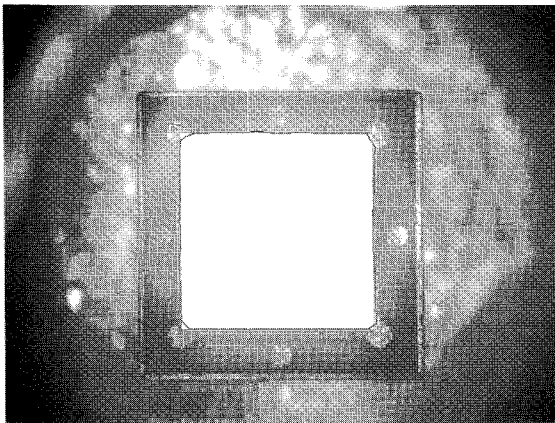


Fig. 3 Lens holder image captured by machine vision

## 2. 초점 제어 알고리즘

### 2.1 렌즈 홀더 인식

Fig. 2 는 렌즈 홀더와 CCD array 를 포함한 PCB 의 실제품 사진으로 각 부품을 결합하는 장면이다. 렌즈 홀더는 하부에 IR glass 를 부착한 상태로 PCB 와 정렬을 맞추고 접착제를 도포한 후, PCB 상에 부착한다. 렌즈 블록은 렌즈 홀더 상부에 같은 과정으로 정렬을 맞추고 결합한다. 각 부품의 조립을 위하여 정렬을 위한 편차 데이터 수집은 머신 비전을 사용하여 획득한 이미지를 분석하여 얻는다. 렌즈 홀더의 이미지는 적색 LED 광원을 고른 분포로 확산하여 카메라와 동축으로 조사하면 Fig. 3 과 같은 결과를 얻을 수 있다. 이때 얻어지는 이미지는 IR glass 에 의한 밝은 사각형 부분과, 마운트 프레임의 흑색 부분 및 홀더를 붙잡고 있는 picker 부분으로 나누어진다. 이미지에서 정렬 편차 계산을 위하여 사용되는 부분은 IR glass 에 의한 밝은 부분이며, 수평 수직 기준선과 일치하는 경우 패턴 인식을 위한 기준 이미지로서 등록하여 사용한다. Fig. 3 에서 보이는 보라색 부분이 기준 패턴으로 등록된 부분으로 획득된 이미지에서 정렬을 위하여 필요한 영역이며, 이외의 영역은 배경(background)로 분류한다. 참고로, 배경에서 보이는 원형 부분은 렌즈를 진공으로 고정하고 있는 picker 이며, 반짝이는 원인은 표면 상태에 따른 불규칙한 반사가 일어나기 때문이다.

### 2.2 선명도(sharpness)

머신 비전으로 제품 인식 시 초점 방향의 편차로 인한 오차를 줄이기 위하여 초점을 맞추는 작

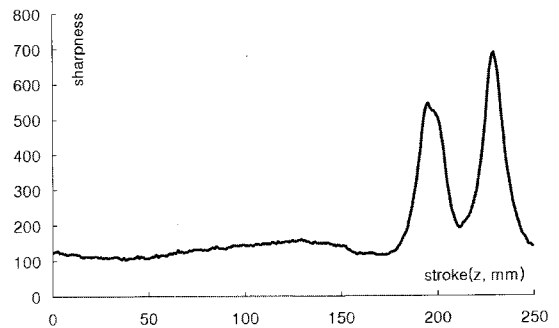


Fig. 4 Sharpness variation by moving stroke

업이 필요하다. 렌즈 모듈 조립 작업은 대량 생산으로 이루어지기 때문에 초점을 수작업으로 할 수 없고, 자동으로 진행하여야 한다.

이미지를 가지고 초점 여부를 평가하는 방법으로 선명도라는 개념이 있다. 선명도의 기본 원리는 이미지가 선명할수록 그레이 레벨 분포가 넓게 나타나고 고주파 성분이 증가하는 특성을 이용하여 수식화한 것이다. 선명도를 계산하는 방법은 다수 제안되어 있으나 본 연구에서는 2 차원 상의 1 차 미분의 절대값을 사용하였다.<sup>14</sup> 이미지 상의 한 픽셀의 변화값은 수식(1)과 같이 정의할 수 있다.

$$D_{xy} = |f(x+1, y) - f(x, y)| + |f(x, y+1) - f(x, y)| \quad (1)$$

초점여부를 평가하기 위한 선명도  $i$  는 전체 이미지에 대한  $D_{xy}$  값을 평균한 것으로 볼 수 있으므로 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$i = \frac{1}{n} \sum_y^h \sum_x^w D_{xy} \quad (2)$$

### 2.3 자동 초점 알고리즘

렌즈 홀더 인식을 위한 초점을 찾기 위하여 카메라와 렌즈 홀더 간의 거리를 광축 방향으로 변화시킬 수 있다. 본 연구에서 제작한 자동 초점 기구에서 이동량을  $z = 0\text{mm} \sim 250\text{mm}$  로 변화하였을 경우 선명도의 변화는 Fig. 4 와 같다.

Fig. 4 에서 수평축은 이동 거리를, 수직축은 선명도를 의미하며, 두 개의 peak 가 있음을 알 수 있다. 이동 거리 변화에 대한 이미지를 살펴보면, Fig. 5 와 같이 초기 불분명한 이미지가 이동 거리

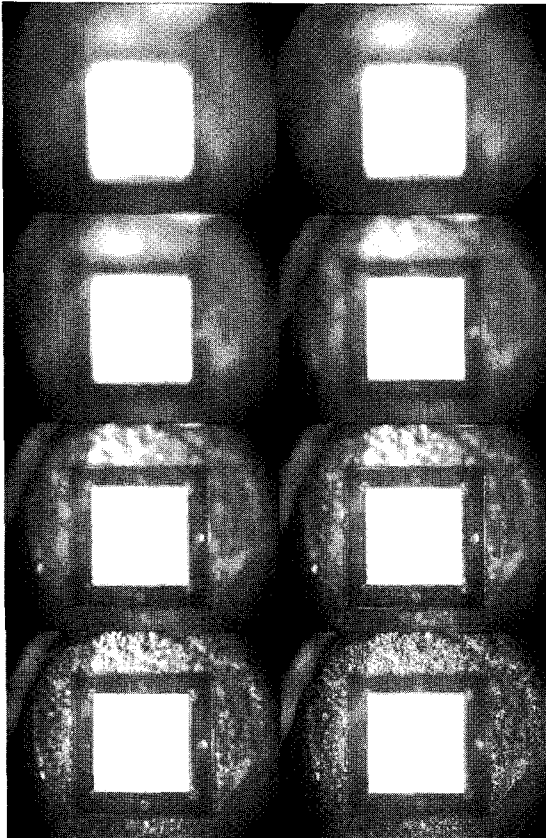


Fig. 5 Image variation by working distance(0%, 20%, 40%, 60%, 72%, 78%-1st peak, 84%, and 92%-2nd peak of full stroke)

증가에 따라 점차 선명해 짐을 알 수 있다. 그러나, 각 peak 에서 이미지를 살펴보면 왼쪽 peak 에서는 관심 영역의 이미지가 선명하게 되었음을 알 수 있으나, 오른쪽 peak 에서는 배경 이미지가 선명하게 되었다. peak 상에서 값을 살펴보면 왼쪽 배경에 의한 값이 더 크게 나왔는데, 이는 관심 영역보다 배경의 넓이가 크기 때문으로 사료된다. 따라서, 이동 거리에 대한 선명도에 의한 초점 평가는 사용 가능한 지표이나, 관측 대상의 단차로 인하여 배경 부근에서도 초점이 형성되므로 관심 영역의 초점을 찾기 위하여 다른 지표가 필요함을 알 수 있다.

**2.4 패턴 인식 방법**

대부분 상용 라이브러리를 사용하여 패턴 인식을 수행하면 결과값으로 이미지의 위치, 각도, scale factor 및 인식율 등을 계산하여 사용자에게

제공한다. 참고로 패턴 인식은 correlation 을 이용하여 계산할 수 있으며, 다음과 같은 수식과 같이 전개할 수 있다.

$$c = \iint f(x-\mu, y-\nu) * g(\mu, \nu) d\mu d\nu \quad (3)$$

여기서, 획득된 이미지를 f, 이미지 f 에서 찾고자 하는 기준 패턴을 g, xy 는 이미지 상의 패턴의 위치로 정의한다.

한편, 이미지 상에서 패턴의 회전 혹은 크기 변화에 따른 왜곡은 식 (4)와 같은 좌표 변환식을 이용하여 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \mu' \\ \nu' \\ s \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mu \\ \nu \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서,  $\theta$  는 패턴의 각도, s는 패턴의 scale factor 로 정의한다. 그러면, 패턴 인식 알고리즘 r 은 다음과 같은 문제로 정의할 수 있다.

$$\text{Maximize } c(f, g) \text{ in } \forall(x, y, \theta, s) \quad (5)$$

따라서, 인식율은 식 (5)에 의한  $p=c_{max}$  의 관계에 의하여 구해진다.

**2.5 자동 초점 평가 방법**

렌즈 홀더의 초점 방향의 위치를 z 로 정의하고, z 방향으로 렌즈 홀더가 움직이면서 이미지를 획득한다고 가정한다. 위치에 따른 획득된 이미지는 각각 변화하므로 f(z)로 표현할 수 있다. 따라서, 이미지 상에서 찾고자 하는 패턴을 g 를 패턴 인식 알고리즘 r 에 대입하면 다음과 같이 패턴의 위치, 각도, scale factor, 인식율이 구해지는 식으로 표현할 수 있다.

$$r(f(z), g) = (x \ y \ \theta \ s \ p)^T \quad (6)$$

초점을 조정하는 이유는 패턴 인식을 위한 최적 조건을 찾는 것으로 이론적으로는 초점이 맞는 점에서 인식율이 최대값을 갖게된다. 또한, 초점에서는 빛이 모이지만, 초점에서 약간 벗어나면 빛이 퍼지게 되므로 초점에서 인식물의 크기가 가장 작게 된다.

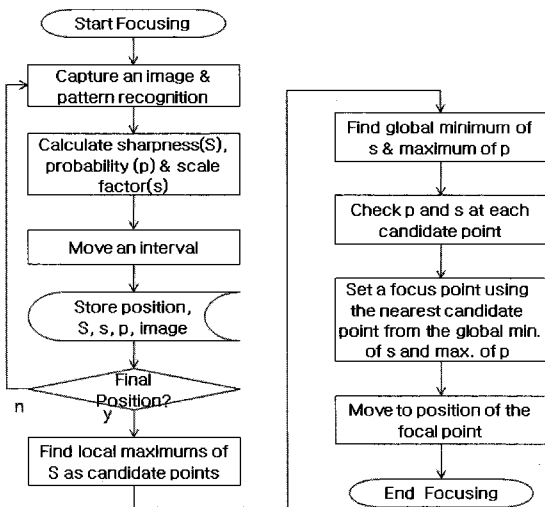


Fig. 6 Flow chart of the proposed focusing algorithm

그러므로, 자동 초점 알고리즘은 식(7)과 같이 image sharpness, (-) scale factor 및 인식율의 local maximum 을 구하는 문제로 정의할 수 있다.

따라서, 이론적으로 초점은 z 위치 변화에 따른 선명도 i 의 local maximum 일때 존재하며, z 위치 변화에 따른 다수의 초점 후보 위치로 선정할 수 있다. 최종적으로 대상체의 초점 여부를 평가하기 위하여 각 후보 위치에서 보조 지표인 scale factor 와 인식율을 계산한다. 그리고, 각 보조 지표의 global minimum 의 가까운 것을 대상체의 초점으로 판정한다. 이러한 과정을 정리하면 Fig. 6 과 같은 흐름도로 정리할 수 있다.

$$Maximize (i, -s, p) \text{ in } z = [0, z_{max}] \quad (7)$$

### 3. 실험

#### 3.1 실험 장치

렌즈 모듈 조립 장치로 Fig. 7 과 같은 5 축 장비를 제작하고 실험을 수행하였다. 중력 방향으로 움직이는 Z 축에는 렌즈 홀더를 pick up 하기 위한 진공 picker 와, 렌즈 홀더를 회전시키기 위한 R 축, PCB 의 편차를 인식하기 위한 카메라 및 접착제 도포를 위한 dispenser 가 설치되어 있다. X 축 상에는 Z 축을 설치하였고, 렌즈 홀더와 PCB 는 각각 독립적으로 움직이는 Y1, Y2 축 상에 놓이게 된다. 각 Y1, Y2 축에는 진공척을 설치하였다. 진공으로 pick up 한 렌즈 홀더의 편차를 인식하기 위하여 진

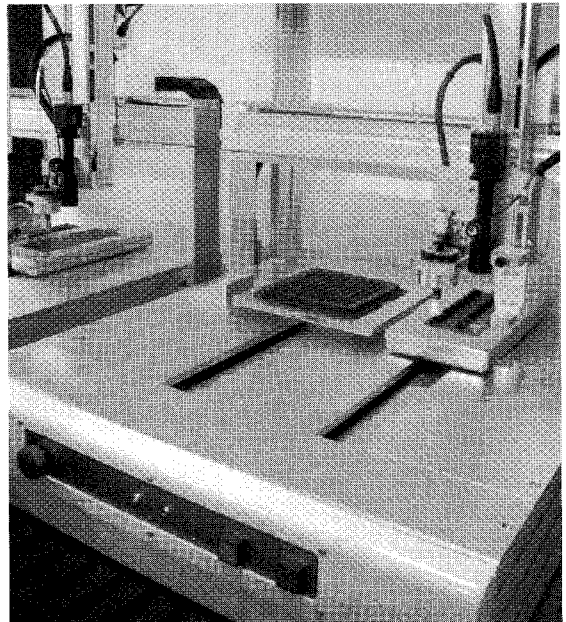


Fig. 7 Photo of a assembly machine for camera module

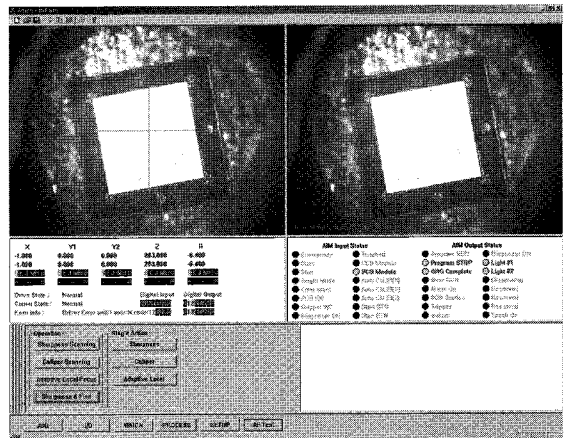


Fig. 8 Operating program for a lens assembly machine

공으로 pick up 한 렌즈 홀더의 편차를 인식하기 위하여 Y1 축 옆쪽의 장비 몸체에도 비전 카메라가 설치되어 있다. IR glass 의 반사광을 발생시키기 위하여 LED 를 이용한 적색광을 카메라와 동축으로 조사하였다. 장비의 사양은 Table 1 과 같다. 렌즈 조립 작업을 위하여 5 축과 머신 비전을 동시에 인터페이스하는 운영프로그램을 Fig. 8 과 같이 제작하였다. 프로그램 상에서는 작업 파라미터 및 작업 파라미터 입력이 가능하고, 장비와 I/O 의 상태 모니터도 가능하다.

Table 1 Specification of the assembly machine

parts	contents	specification
X, Y1, Y2 axes	stroke	250 mm
	speed	250 mm/s
	accuracy	20 $\mu$ m
	pay load	5 kg
	power	100W, AC servo
	layout	ball screw, LM guides
Z axis	stroke	250 mm
	speed	250 mm/s
	accuracy	20 $\mu$ m
	pay load	1.5 kg
	power	100W, AC servo
	layout	ball screw, LM guides
Vision Camera	model	XC-ES50, Sony
	pixels	768(H)x494(V)
	magnification	0.5x
	working dist.	65 mm
	resolution	9.2 $\mu$ m /pixel
	depth of field	2.2 $\mu$ m
Frame Grabber	model	Meteor II MC, Matrox
	library	Hexsight 3.3, adept

3.2 실험 방법

IR glass 를 포함한 렌즈 홀더와 CCD 를 실장한 PCB 를 Y1 및 Y2 축에 올려놓고 진공으로 고정한다. 렌즈 홀더를 진공으로 pick up 하여 머신 비전으로 렌즈 홀더의 이미지를 획득한 다음, 기준 패턴이 화상 좌표계와 수직/수평을 이루도록 R 축을 회전한다. 기준 패턴을 획득하기 위하여 ROI 를 설정하고, 학습하면 Fig. 3 과 같은 결과가 등록된다. 기준 패턴 등록 후, 다른 제품을 pick up 하여 비전 상에 위치하고, 광축상의 거리를 1mm 간격으로 이동하면서 화상인식 및 선명도를 측정하여 각 거리마다 결과를 저장하였다. 패턴 인식에서는 이미지 상에서 xy 위치 변화보다 회전 방향에 민감하다. 따라서, 상기 측정 과정을 대상 물체를  $\pm 25^\circ$  범위에서  $5^\circ$ 씩 회전하면서 결과를 취득하였다. 회전에 대한 자동 초점 알고리즘의 유효성을 검증한 후, 이미지 상의 임의의 위치에 대하여 알고리즘을 적용하였다. 패턴인식의 scale factor 인식 범위는 등록 패턴을 기준으로  $\pm 15\%$ 로, 각도 인식 범위는  $\pm 30^\circ$ 로 한정하였다.

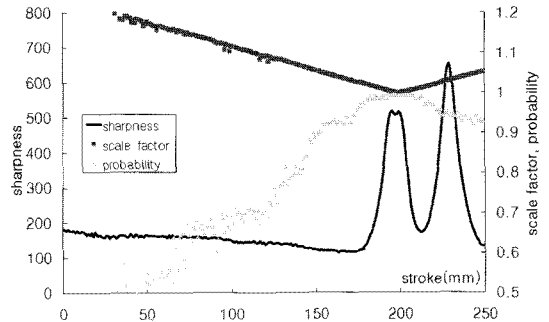


Fig. 9 Auto focus result at  $\theta = -25^\circ$

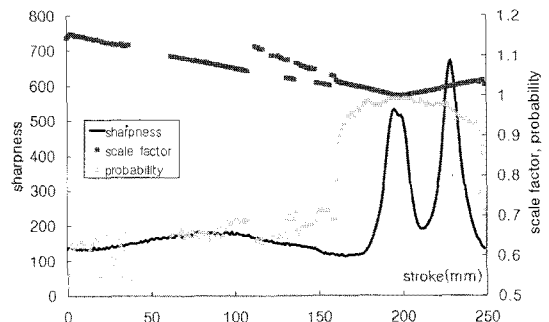


Fig. 10 Auto focus result at  $\theta = -10^\circ$

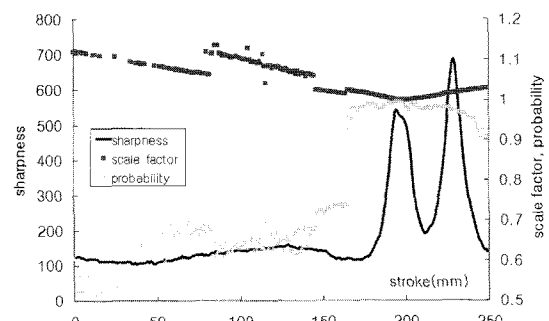


Fig. 11 Auto focus result at  $\theta = 0^\circ$

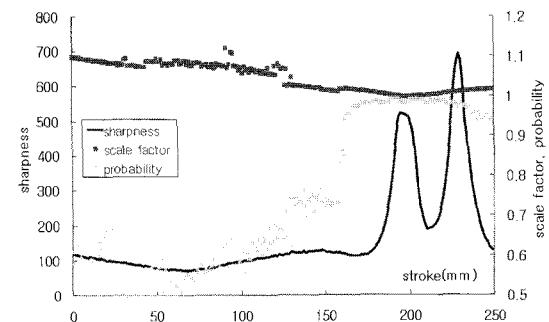


Fig. 12 Auto focus result at  $\theta = 10^\circ$

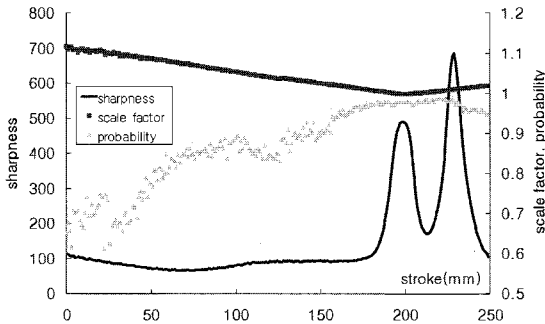


Fig. 13 Auto focus result at  $\theta=25^\circ$

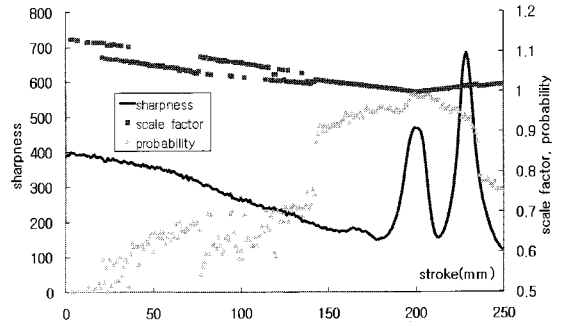


Fig. 15 Auto focus result using test pattern 1

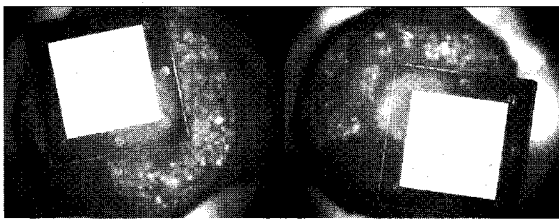


Fig. 14 Auto focus result using test patterns

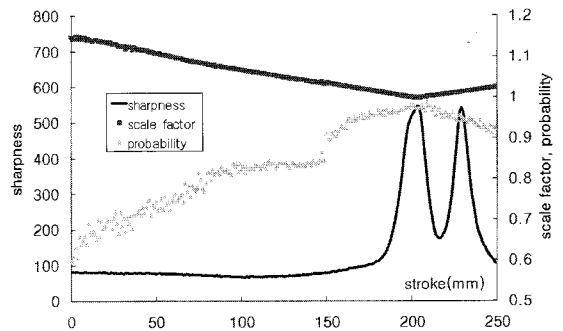


Fig. 16 Auto focus result using test pattern 2

### 3.3 결과 및 고찰

대상체의 회전시 초점거리 이동에 대한 선명도, 인식율 및 scale factor 의 결과는 Fig. 9~Fig. 13 과 같다. 그래프에서 가로축은 이동 거리, 좌측 수직축은 선명도, 우측 수직축은 인식율과 scale factor 를 의미한다. 각 그래프에서 실선은 선명도, 사각형 점은 scale factor, 삼각형 점은 인식율을 의미한다.

각 그래프에서 특징으로 선명도는 두개의 peak, 즉 local maximum 이 있으며, scale factor 는 하나의 최소값을, 인식율은 하나의 최대값을 가지게 되는 추세를 보이고 있다. 선명도가 높은 두개의 peak 에서는 초점이 맞아 이미지가 가장 선명하다. 그러나 배경이 가장 선명한 지점의 선명도값이 인식 패턴이 선명한 지점보다 크기 때문에 선명도의 local maximum 은 초점의 후보 데이터로 활용할 수 있다. scale factor 의 최소값은 인식 패턴의 초점 부근에서 형성되며, 인식율은 인식 패턴 초점 부근에서 최대가 되지만 배경 초점과 차이가 작다.

인식 패턴 초점에서 scale factor 는 명확하게 최소값을 가진다. 인식율은 인식 패턴 초점에서 최대값을 갖는 경향을 보이나 명확하지 않으며, 배경 패턴에서의 값과 큰 차이를 보이지 않고, 일부는 배경 패턴에서 큰값을 갖는 경우도 있었다. 따라서, 인식 패턴에서 자동 초점을 잡는 방법은 선

명도의 local maximum 에서 scale factor 의 최소점과 가까운 점을 인식 패턴 초점으로 잠정 결정한다. 이때 패턴 인식율을 참고하여 설정치(threshold) 이 상이면 등록 패턴을 인식한 결과이므로 인식 패턴의 초점으로 최종 결정할 수 있다.

알고리즘의 유효성을 검증하기 위하여 Fig. 14 와 같이 편차가 발생한 경우 제안한 알고리즘을 적용하였다. Fig. 14 와 같은 패턴을 채택한 이유는  $\pm xy$  방향 및  $\pm \theta$  방향으로 모두 편차가 있는 경우이므로 단축 편차 경우의 중복 실험을 피하기 위함이다. 그리고, 노이즈 요소로 정반사로 인한 약한 glare 가 발생하여서 알고리즘의 노이즈에 대한 강인성(robustness)도 판단할 수 있다. 제안한 알고리즘을 분석하면 Fig. 15 및 Fig. 16 과 같은 결과를 얻을 수 있다. 제안된 알고리즘과 같이 선명도의 local maximum 에서 scale factor 를 비교하면 배경 초점 부근에서 최소값을 가지게 되며, 인식율은 기준치 0.9 이상이므로 기준 패턴을 인식한 것으로 간주하여 패턴 인식의 초점으로 간주하였다. Fig. 14 는 제안된 알고리즘에 의해 계산된 결과에 의해 Z 축을 이동한 결과에 얻어진 화상이다. 결과

화상에서는 인식하고자 하는 패턴인 렌즈 홀더가 선명하게 나타났고, 배경은 흐리게 나온 것을 알 수 있다. 또한, 중앙에 화면에 glare 가 발생하여도 알고리즘이 유효함을 알 수 있다.

#### 4. 결론

카메라 폰에 사용되는 렌즈 모듈의 조립을 자동화 위하여 machine vision 을 사용한 부품 인식을 향상할 목적으로 자동 인식 알고리즘을 제안하였다. 렌즈 모듈 부품인 렌즈 홀더에 한정하여 초점을 잡기 위한 목적으로 선명도, 인식을 및 scale factor 의 변화를 Z 축의 이동에 대하여 수집한다. 선명도를 계산하여 local maximum 을 관찰하면, 인식 패턴과 배경과의 단차로 인하여 두개의 peak 가 나타난다. 이때 scale factor 의 최소값과 가까운 점을 인식 패턴의 초점으로 잠정 결정하고, 인식이 설정치 이상인 경우 초점으로 최종 결정한다.

제안한 알고리즘은 machine vision 을 포함한 5 축 조립 장비를 제작하여 적용하였다. 그 결과, 회전, 수직 및 수평 편차가 동시에 발생한 패턴에 대해서도 유효함을 증명하였다.

#### 후 기

본 연구의 일부는 광운대학교 2008 년도 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

#### 참고문헌

1. Lee, I. S., Kim, J. O., Kang, H. S., Cho, Y. J. and Lee, G. B., "Vision Inspection for Flexible Lens Assembly of Camera Phone," Proceeding of the KSPE Spring Conference, pp. 631-632, 2006.
2. Kim, W., Kang, H. S., Cho, Y. J. and Jung, J. Y., "Agile and Intelligent Manufacturing System for a Subminiature Lens Assembly Automation," Proceeding of the KSPE Spring Conference, pp. 169-172, 2005.
3. Han, M. Y. and Han, H. S., "Automatic Focusing Vision System for Inspection of Size and Shape of Small Hole," Journal of the KSPE, Vol. 16, No. 10, pp. 80-86, 1999.
4. Kim, J. K., Han, K. S. and Choi, J. S., "Efficient Auto Focusing Algorithm for the Video Measuring System," Proceeding of the KSII Spring Conference, Vol. 4, No. 1, pp. 547-550, 2003.
5. Santos, A., Ortiz de Solórzano, C., Vaquero, J. J., Peña, J. M., Malpica, N. and del Pozo, F., "Evaluation of autofocus functions in molecular cytogenetic analysis," Journal of Microscopy, Vol. 188, Part 3, pp. 264-272, 1997.
6. Krotkov, E. P., "Active computer vision by cooperative focus and stereo," Springer-Verlag, 1989.
7. Subbarao, M., Choi, T. and Nikzad, A., "Focusing techniques," Tech. Report, State University of New York at Stony Brook, 1992.
8. Yap, P. T. and Raveendran, P., "Image focus measure based on Chebyshev moments," Proceeding of Vision, Image and Signal Processing, Vol. 151, No. 2, pp. 128-136, 2004.
9. Chern, N. K., Neow, P. A. and Ang, M. H., "Practical issues in pixel-based autofocusing for machine vision," Proceeding of IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol. 3, pp. 2791-2796, 2001.
10. Yang, G. and Nelson, B. J., "Micromanipulation contact transition control by selective focusing and microforce control," Proceeding of IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol. 3, pp. 3200-3206, 2003.
11. Kubota, A., Aizawa, K. and Chen, T., "Reconstructing Dense Light Field From Array of Multifocus Images for Novel View Synthesis," IEEE Transaction on Image Processing, Vol. 16, No. 1, pp. 269-279, 2007.
12. Zhang, Q. and Guo, B. L., "Multi focus image fusion using the nonsubsampling contourlet transform," Signal Processing, Vol. 89, No. 7, pp. 1334-1346, 2009.
13. Shim, S. O., Malik, A. S. and Choi, T. S., "Accurate Shape From Focus Based on Focus Adjustment in Optical Microscopy," Microscopy Research and Technique, Vol. 72, No. 5, pp. 362-370, 2009.
14. Arora, J. S., "Introduction to Optimum Design," McGraw-Hill, pp. 304-314, 1989.