

## 노광시스템을 위한 자동 정렬 비전시스템

조태훈<sup>†</sup> · 서재용

<sup>†</sup>한국기술교육대학교 정보기술공학부

## An Automatic Visual Alignment System for an Exposure System

Tai Hoon Cho<sup>†</sup> and Jae Yong Seo

<sup>†</sup>School of Information Technology, Korea University of Technology and Education

### ABSTRACT

For exposure systems, very accurate alignment between the mask and the substrate is indispensable. In this paper, an automatic alignment system using machine vision for exposure systems is described. Machine vision algorithms are described in detail including extraction of an alignment mark's center position and camera calibration. Methods for extracting parameters for alignment are also presented with some compensation techniques to reduce alignment time. Our alignment system was implemented with a vision system and motion control stages. The performance of the alignment system has been extensively tested with satisfactory results. The performance evaluation shows alignment accuracy of 1 $\mu$ m within total alignment time of about 2~3 seconds including stage moving time.

**Key Words** : Exposure System, Alignment, Machine Vision, Fiducial Mark

### 1. 서 론

FPD(Flat Panel Display)의 제조공정에 이용되는 노광시스템(노광기)은 전체 제조공정에서 마스크(mask)의 패턴을 기판(substrate) 위에 만들기위한 중요한 장비이다. 보통, 노광기는 광원부, 스테이지(stage)부, 반송장비로 구성되어있는데, 마스크의 패턴을 정확히 기판에 전달하기 위해서는 마스크와 기판을 정확하게 정렬하도록 스테이지를 제어하여야 한다. 기판과 마스크의 정렬이 이루어지기 전에, 먼저, 마스크와 기판이 평행을 유지하도록, 마스크와 기판사이의 갭(gap)이 조정된다[1].

마스크와 기판의 정렬은 Fig. 1과 같이, 보통 기판에 멀리 떨어져 있는 두 개 이상의 fiducial mark를 마스크의 해당되는 fiducial mark와 각각 정렬이 되도록 하는 과정이다. 이를 위해, mask fiducial mark (□ 또는 #모양)와 기판 fiducial mark (+모양)가 동시에 보이는 영상을 카메라로 취득하여, 각 마크의 중심위치를 측정

하고, 두 마크 중심 위치간 편차를 계산한다. 이렇게 각 카메라 영상으로부터 계산된 중심편차를 이용하여, 정렬하기 위한 기판의 수평, 수직, 각도 방향의 이동량을 계산하고, 이를 기반으로 스테이지를 이용, 이동하여, 마스크에 정렬한다.

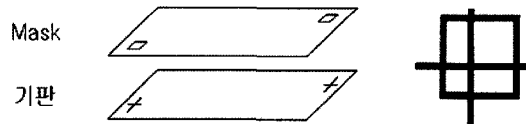


Fig. 1. Alignment of fiducial marks on the substrate and the mask.

본 논문에서는 최근 발표된 노광스테이지의 통합시스템[1]의 비전시스템에서 수행되는 마스크와 기판의 마크 중심위치를 정밀히 추출하기 위한 machine vision기법, 정렬에 필요한 파라미터들을 추출하는 과정, 정밀하고 빠른 정렬을 위한 방법들에 대해 논하고자 한다.

<sup>†</sup>E-mail : thcho@kut.ac.kr

## 2. Vision System 구성

노광시스템의 자동정렬을 위한 비전시스템은 두 곳에서의 fiducial mark 영상을 취득하기 위한 1/2" 흑백 CCD 카메라 2대, 조명장치, 프레임그래버 보드(Frame Grabber board)가 장착된 PC로 구성된다.

프레임 그래버는 최대6대의 카메라로부터 640x480의 해상도의 영상을 취득할 수 있는 모델을 사용하였다. 카메라 렌즈는 1/2" CCD카메라 사용시, 시야범위(Field of View: FOV)가 1.2x1.6 mm 정도가 되도록, 배율이 4배, 심도(Depth of Field: DOF)가 150um 정도가 되는 것으로 선정하였다. 조명은 동축조명으로, 할로겐 100W 광원으로부터 광파이버 light guide를 통해 빛이 전달된다.

## 3. 마크중심 추출알고리즘

제일 먼저, 각 카메라의 영상으로부터 마스크 마크와 기판마크의 중심을 추출하는 일이 수행되는데, 이를 위해 아래에서 설명되는 에지기반 알고리즘이나 무게 중심법 중 하나를 사용할 수 있다.

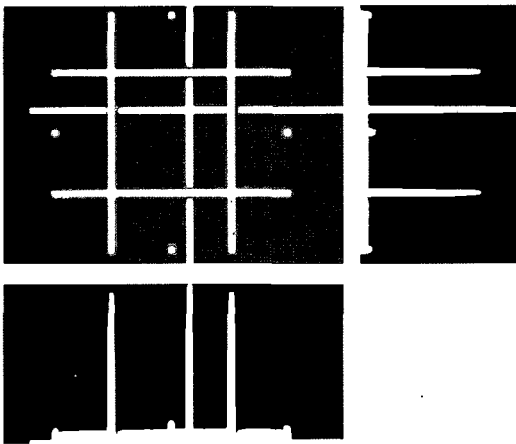


Fig. 2. Horizontal and vertical projection profiles of a mark image.

### 3.1. 에지기반알고리즘

에지기반 알고리즘은 Fiducial Mark의 수평, 수직 그레이레벨 프로젝션 프로파일로부터 에지위치를 추출한 후, 마크의 중심을 계산한다.

**Step 1.** Fiducial Mark 영상을 수평, 수직방향으로 밝기값을 사영(projection)하여 수평(x), 수직(y) 사영 프로파일(profile)을 구한다. Fig. 2는 수평, 수직프로젝션 프로파일의 한 예를 보여준다.

**Step 2.** 수직 프로젝션 프로파일에서 첫 번째 피크(peak)의 rising edge와 falling edge의 중심위치를 세 번째 피크의 rising edge와 falling edge의 중심위치의 중간점이 Mask Fiducial Mark #의 중심위치의 수평좌표(x 좌표)가 되며, 두 번째 피크의 rising edge와 falling edge의 중심이 기판 Fiducial Mark +의 중심 수평좌표가 된다. 수직 프로젝션 프로파일에서 n 번째 피크의 rising edge와 falling edge가 나타나는 지점을  $x_{nr}$  및  $x_{nf}$ 라 하면, Mask Fiducial Mark #의 중심위치의 x 좌표  $x_{cm}$ 은 다음과 같이 구해진다.

$$x_{cm} = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{2}(x_{1r} + x_{1f}) + \frac{1}{2}(x_{3r} + x_{3f}) \right\}$$

기판 Fiducial Mark +의 중심좌표의 수평좌표  $x_{cs}$ 은 아래와 같이 주어진다.

$$x_{cs} = \frac{1}{2}(x_{2r} + x_{2f})$$

각 edge 쌍 (rising edge와 falling edge)의 위치는 Fig. 3에서와 같이 프로젝션 프로파일을 미분한 값들에서 최대와 최소가 되는 위치로 구할 수 있다[2].

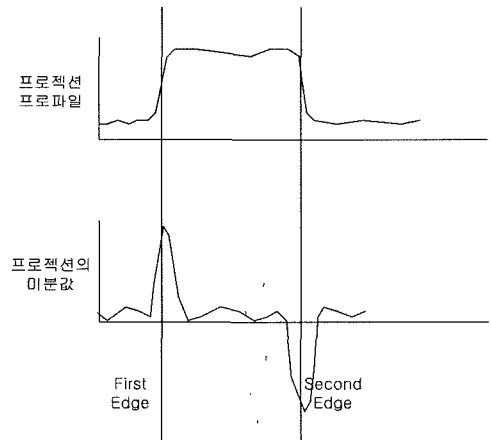


Fig. 3. Projection profile and its derivative.

**Step 3.** 수평 프로젝션 프로파일에서 첫 번째 피크의 rising edge와 falling edge의 중심위치를 세 번째 피크의 rising edge와 falling edge의 중심위치의 중간점이 Mask Fiducial Mark #의 중심위치의 수직좌표(y 좌표)가 되며, 두 번째 피크의 rising edge와 falling edge의 중심이 기판 Fiducial Mark +의 중심 y좌표가 된다. 수평 프로젝션 프로파일에서 n 번째 rising edge와 falling edge가 일어나는 지점을  $y_{nr}$  및  $y_{nf}$ 라 하면, Mask Fiducial Mark #의 중심위치의 y 좌표  $y_{cm}$ 은 다음과 같

이 구해진다.

$$y_{cm} = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{2}(y_{1r} + y_{1f}) + \frac{1}{2}(y_{3r} + y_{3f}) \right\}$$

기관 Fiducial Mark +의 중심좌표의 y좌표  $y_{cs}$ 는 아래와 같이 주어진다.

$$y_{cs} = \frac{1}{2}(y_{2r} + y_{2f})$$

Step 3, 4에 의하여, 추정된 Mask Fiducial Mark #와 기관 Fiducial Mark +의 중심위치는 각각  $(x_{cm}, y_{cm})$ 와  $(x_{cs}, y_{cs})$ 가 되며, 이 두 좌표의 차이만큼을 보정하게 된다.

Step 4. 프로젝션 프로파일을 미분한 결과 값에서 극대값과 극소값이 나타나는 위치를 정수로 구하는 것으로는 불충분하고, 보간법(interpolation)을 사용하여 서브픽셀(sub-pixel)로 극대/극소점을 계산하는 것이 보다 정확한 값이 된다.

$E(x)$ 가 픽셀단위로  $x=i$ 에서 최대값을 가질때,  $E(x)$ 가 최대값을 갖는  $x$ 위치,  $i_{max}$ 를 다음과 같은 2차(parabolic) 보간법을 사용하여 서브픽셀로 구할 수 있다[3].

$$i_{max} = i + \frac{E(i+1) - E(i-1)}{4E(i) - 2E(i+1) - 2E(i-1)}$$

### 3.2. 무게중심기반알고리즘

무게중심기반 알고리즘은 마크 영상의 수평, 수직 프로젝션 프로파일로부터 봉을 찾고, 각 봉의 중심위치를 무게중심법에 의해 추출한 후, 마크의 중심을 계산한다.

Step 1. Fiducial Mark 영상을 수평, 수직방향으로 프로젝션하여 수평, 수직 프로젝션 프로파일을 구한다.

Step 2. 수직 프로젝션 프로파일에서 첫 번째 봉의 중심위치와 세 번째 봉의 중심위치의 중간점이 Mask Fiducial Mark #의 중심위치의 x좌표가 되며, 두 번째 봉의 중심이 기관 Fiducial Mark +의 중심 x좌표가 된다. 수직 프로젝션 프로파일  $P_v(i)$ 에서 n 번째 봉의 시작점과 끝점을  $x_{ns}$  및  $x_{ne}$ 라 하면, n번째 봉의 중심좌표  $x_{nc}$ 는 무게중심법에 의해 다음과 같이 구한다.

Mask Fiducial Mark #의 중심위치의 x 좌표는 다음과 같이 구해진다.

$$x_{nc} = \left( \frac{\sum_{i=x_{ns}}^{x_{ne}} i \cdot P_v(i)}{\sum_{i=x_{ns}}^{x_{ne}} P_v(i)} \right)$$

$$x_{cm} = \frac{1}{2}(x_{1c} + x_{3c})$$

기관 Fiducial Mark +의 중심좌표의 x좌표는 2번째 봉의 중심이므로  $x_{cs} = x_{2c}$ 로 주어진다. 여기서, 무게중심법에 의해 구해지는  $x_{nc}$ 는 일반적으로, 정수가 아니므로,  $x_{cm}$ 과  $x_{cs}$ 값도 정수가 아니다.

Step 3. 수평 프로젝션 프로파일에서 첫 번째 봉의 중심위치와 세 번째 봉의 중심위치의 중간점이 Mask Fiducial Mark #의 중심위치의 y좌표가 되며, 두 번째 봉의 중심이 기관 Fiducial Mark +의 중심 y좌표가 된다. 수평 프로젝션 프로파일  $P_h(i)$ 에서 n 번째 봉의 시작점과 끝점을  $y_{ns}$  및  $y_{ne}$ 라 하면, n번째 봉의 중심좌표  $y_{nc}$ 는 무게중심법에 의해 다음과 같이 구한다.

$$y_{nc} = \left( \frac{\sum_{i=y_{ns}}^{y_{ne}} i \cdot P_h(i)}{\sum_{i=y_{ns}}^{y_{ne}} P_h(i)} \right)$$

Mask Fiducial Mark #의 중심위치의 y 좌표는 다음과 같이 구해진다.

$$y_{cm} = \frac{1}{2}(y_{1c} + y_{3c})$$

기관 Fiducial Mark +의 중심좌표의 y좌표는 2번째 봉의 중심이므로  $y_{cs} = y_{2c}$ 로 주어진다.

Fig. 4에 마크 중심 추출 예를 보인다. 마크 중심에 십자표시를 하였다. 예지기반 및 무게중심기반 알고리즘에 의한 중심추출결과는 Table 1에 있다. 두 방법에 의한 결과가 거의 차이가 없음을 알 수 있다.

Table 1. An example of mark center extraction using edge-based and center-of-mass based method [pixel].

	마스크 마크(#)		기관 마크(+)	
	x	y	x	y
예지기반	315.71	235.25	350.00	193.14
무게중심	315.76	235.24	350.00	193.09

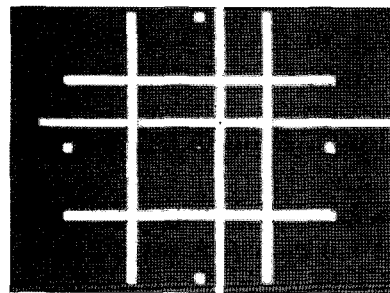


Fig. 4. Extraction of the mask mark(#)'s center and the substrate mark(+)'s center.

### 4. 정 렬

마스크와 기관 fiducial mark의 중심좌표는 영상좌표로 추출되기 때문에, 정렬을 하기 위해서는 이 좌표를 카메라 캘리브레이션을 통해서, 실세계좌표로 변환하여야 한다. 여기서는 카메라의 시야범위가 매우 좁아, dot array형태의 캘리브레이션 플레이트를 사용하기 어려워, 머신비전에서 많이 사용되는 카메라 캘리브레이션 기법[4][5]을 적용하지 않고, #형태의 마스크의 fiducial mark를 카메라캘리브레이션 플레이트 용도로 사용하였다.

캘리브레이션 플레이트의 가로, 세로 실제 길이가 각각  $W_H, W_V$  [um]이고, 이것의 영상을 카메라로 취득하여 가로, 세로 길이를 구한 길이가 각각  $I_H, I_V$  [pixel]이라고 한다면, 수평방향 한 픽셀당 실제 길이 lph와 수직방향 한 픽셀당 실제 길이 lpv는 아래와 같이 계산된다.

$$lph = W_H/I_H, lpv = W_V/I_V$$

Fig. 5와 같이 마스크의 두 fiducial mark의 중심을 원점으로 하고, 카메라 1에 있는 마스크 fiducial mark 중심좌표를 (0, d), 카메라 2에 있는 마스크 fiducial mark 중심좌표를 (0, -d)라 하자. (마스크의 두 fiducial mark 중심좌표간의 거리는 2d라고 가정) □는 마스크 fiducial mark, +는 기관 fiducial mark, (ix, iy)는 영상좌표계를 나타낸다.

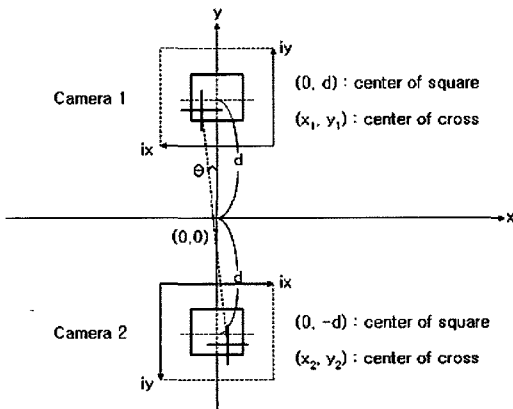


Fig. 5. Configuration of image coordinate system and world coordinate system.

카메라 1의 마스크 fiducial mark □의 중심 영상좌표를 (ixm1, iym1), 카메라 1의 기관 fiducial mark +의 중심 영상좌표를 (ixs1, iys1), 카메라 2의 마스크 fiducial mark □의 중심 영상좌표를 (ixm2, iym2), 카

메라 2의 기관 fiducial mark +의 중심 영상좌표를 (ixs2, iys2), 카메라 1과 2의 수평/수직방향 한 픽셀당 실제길이를 각각 lph1/lpv1, lph2/lpv2이라 하면, 카메라 1과 2의 기관 fiducial mark의 중심의 실세계좌표 (x1, y1)와 (x2, y2)는 아래와 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} x_1 &= -(ixs1 - ixm1) * lph1 \\ y_1 &= d + (iys1 - iym1) * lpv1 \\ x_2 &= (ixs2 - ixm2) * lph2 \\ y_2 &= -d - (iys2 - iym2) * lpv2 \end{aligned}$$

정렬을 위해 먼저, 각도  $\theta = -\arctan((x_2-x_1)/(y_2-y_1))$  만큼 회전시키면, (x1, y1)와 (x2, y2)는 다음과 같이 이동한다. (회전중심이 (xcr, ycr)이라 가정. 기관의 회전중심이 원점과 같게 조정되어 있으면, (xcr, ycr)=(0,0)이 된다.)

$$\begin{aligned} x_1' &= (x_1-x_{cr})\cos\theta + (y_1-y_{cr})\sin\theta + x_{cr} \\ y_1' &= -(x_1-x_{cr})\sin\theta + (y_1-y_{cr})\cos\theta + y_{cr} \\ x_2' &= (x_2-x_{cr})\cos\theta + (y_2-y_{cr})\sin\theta + x_{cr} \\ y_2' &= -(x_2-x_{cr})\sin\theta + (y_2-y_{cr})\cos\theta + y_{cr} \end{aligned}$$

회전된 좌표 (x1', y1')와 (x2', y2')을 지나는 직선은 y축과 평행하므로, 아래와 같이 주어지는 dx, dy만큼 x, y 방향으로 기관을 이동시키면 기관의 마크는 마스크의 마크와 정렬을 이루게 된다.

$$\begin{aligned} dx &= -(x_1' - x_2') / 2 \\ dy &= -(y_1' - y_2') / 2 \end{aligned}$$

### 5. 성능 평가

먼저, 영상처리 알고리즘의 반복정밀도를 측정하였다. 정지된 상태에서 100회 영상을 반복 취득하여, 카메라 캘리브레이션과 마크중심추출알고리즘의 반복정밀도를 측정하였다. 카메라캘리브레이션은 마스크 마

Table 2. Repeatability of mask mark's height and width measurement [pixel],  $\sigma$ : standard deviation.

	카메라 1		카메라 2	
	x	y	x	y
평균	226.12	226.12	227.32	227.71
3 $\sigma$	0.018	0.020	0.010	0.017

Table 3. Real length per pixel [um].

카메라 1		카메라 2	
lph1	lpv1	lph2	lpv2
2.6534	2.6491	2.6395	2.6349

크의 수평/수직 간격의 실제 길이(600 um)를 영상에서 측정된 픽셀간격으로 나누어 수행하였다. Table 2는 마스크 마크의 수평/수직 간격을 픽셀로 측정한 값들의 반복정밀도를 보인것이다. Table 3은 마스크 마크를 이용하여, 픽셀당 실제길이를 측정한 것을 보여준다. 카메라캘리브레이션의 반복정밀도는 최대 0.02 pixel 미만임을 알 수 있다.

마크 중심좌표 추출 반복정밀도(3σ)를 Table 4에 나타내었다. 최대 오차가 0.08픽셀을 넘지 않는것으로 나타났다.

**Table 4.** Repeatability of mark's center measurement, 3σ [pixel]

	카메라 1		카메라 2	
	x	y	x	Y
마스크마크	0.03	0.06	0.03	0.08
기판마크	0.06	0.05	0.06	0.08

다음에, 모션제어의 x, y 반복정밀도를 측정하였다. 기판 +마크를 수평, 수직 방향으로 일정거리(300um)를 이동시키고, 이동간격을 영상에서 계산하는 것을 각각 30회 반복하여, 반복정밀도를 측정하였다(Table 5). 수평, 수직방향으로 각각 최대 0.35pixel, 0.16pixel로서 1um이내의 반복정밀도를 갖는 것으로 나타났다. (실제로, 사용한 모션제어기의 정확도는 약 1um급이다.) 이 데이터를 이용하여 카메라의 픽셀당 실제길이를 구한 결과가 Table 6에 있다.

Table 3는 마스크 마크를 사용하여 얻은 카메라캘리브레이션 데이터이고, Table 6는 기판마크를 이용하여 얻은 카메라캘리브레이션 데이터이다. Table 6에 있는 픽셀당 길이가 Table 3에 있는 값들보다 약간 차이가 나는 것은 마스크와 기판사이에 약간의 갭(gap, 보통 100-200 um)이 있기 때문이다. 따라서, Table 6의 데이

**Table 5.** Repeatability of motion x, y-control, [pixel]

	카메라 1		카메라 2	
	x	y	x	y
이동량				
평균	110.71	118.73	111.33	112.62
3σ	0.331	0.165	0.347	0.163

**Table 6.** Real length per pixel based on Table 5 [um]

카메라 1		카메라 2	
lph1	lpv1	lph2	lpv2
2.7097	2.6750	2.6946	2.6638

타를 사용하여 정렬하는것이 보다 정확할 것으로 추측할 수 있다.

보통 정렬시 1번만 수행해서는 카메라캘리브레이션 오차, 영상처리알고리즘 오차, 모션제어 오차 등의 원인으로, 원하는 정렬오차를 얻지 못하는 경우가 많다. 여기서는 정렬오차가 카메라 1, 2 모두 1um이내로 들어올 때까지 정렬을 반복하였는데, Table 7은 정렬을 1번 수행했을 때의 정렬오차를 나타낸다. 정렬된 상태에서, 임의의 위치로 기판 마크를 수평, 수직 이동시킨 후 정렬을 한번 수행했을 때, 기판 마크와 마스크 마크와의 편차를 측정하는 것을 30회 반복하여, 표준편차의 3배를 나타내었다.

기판마크로 수행한 카메라 캘리브레이션 데이터 (Table 6)를 사용하는 것이 마스크마크로 얻은 카메라캘리브레이션 데이터(Table 3)보다 정렬을 1회 수행한 후의 정렬오차가 현저히 줄어드는 것을 볼 수 있다. 또한, x, y 이동시 일정량 (x: 약 2 um, y: 약 1.5 um)이 덜 가는 기어의 백래쉬(backlash) 현상이 발견되어, 이를 추가적으로 보정(보정 1)한 결과 정렬오차는 더욱 감소하였다. 1번 정렬시 오차가 줄어들수록 정렬완료할 때까지의 수행시간이 줄어들음을 예상할 수 있다.

또한, 모션제어기의 회전반복정밀도를 측정하였다. 기판 +마크를 +0.002radian (0.114592도) 만큼 회전시키고 회전각도를 영상으로부터 측정하는 것을 30회 반

**Table 7.** Alignment error in first alignment trial, 3σ [pixel]

캘리브레이션	카메라 1		카메라 2	
	x	y	x	y
Table 3	5.09	2.44	5.33	2.43
Table 6	2.43	1.34	2.53	1.34
Table 6 & 보정 1	1.12	1.23	1.28	1.21

**Table 8.** Repeatability of rotation control [degree]

	회전각도 [도]
평균	0.1142
3σ	0.0006

**Table 9.** Alignment error in first alignment trial, 3σ [pixel]

캘리브레이션	카메라 1		카메라 2	
	x	y	x	y
Table 3	12.00	4.11	12.98	4.00
Table 6	8.81	3.32	9.28	3.25
Table 6 & 보정 1&2	2.69	3.01	3.13	2.98

복하였다(Table 8). 회전각도의 반복정밀도가 매우 좋음을 알 수 있다. 하지만, 실험결과 x, y이동과 마찬가지로, 회전방향이 바뀔때 약 0.002도의 백래쉬가 발생하는 것이 관측되었다.

Table 9는 정렬된 상태에서, 마스크 마크내의 임의의 위치로 기관 마크를 수평, 수직, 회전 이동시킨 후 정렬을 한번 수행했을 때, 기관 마크와 마스크 마크와의 편차를 측정하는 것을 30회 반복측정한 결과를 보인 것이다. 정렬을 위해 회전시 발생하는 백래쉬를 추가적으로 보정(보정 2)하면 x방향 정렬오차가 현저히 감소하는 것을 알 수 있다. 정렬에 필요한 이동량에 따라 다르지만, 대체적으로 정렬오차가 1  $\mu\text{m}$ 이내를 만족하기 위해서는 2~3회 정렬(스테이지 이동을 포함한 총 정렬시간은 수초이내)이 요구됨을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 노광시스템에서 기관과 마스크를 빠르고 정밀하게 자동으로 정렬할 수 있는 비전시스템이 소개되었다. 자동 정렬에 필요한 여러 머신 비전 알고리즘과 정렬 파라미터 추출방법, 정렬 정밀도와 시간을 단축하기 위한 보정 기법들이 제안되었다. 이 시스템은 현재 성공적으로 시험 중에 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RT04-01-02)의 지원으로 수행 되었음.

#### 참고문헌

1. 김종원, 서재용, 조현찬, 조태훈, 강홍석, "FPD용 노광스테이지의 통합시스템 구현," 반도체및디스플레이장비학회지, 제5권, 제4호, pp. 11-15, 2006.
2. R. Jain, R. Kasturi, and B.G. Schunck, *Machine Vision*, McGraw-Hill, 1995.
3. R.M. Haralick and L.G. Shapiro, *Computer and Robot Vision*, Vol. 1, Addison-Wesley, 1992.
4. R. Y. Tsai, "A versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses", *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. RA-3, No. 4, pp. 323-344, August 1987
5. Z. Zhang, "A flexible new technique for camera calibration," *IEEE Trans. on Pattern Analy. and Mach. Intelli.*, Vol. 22, No. 11, pp. 1330-1334, 2000.