

# 전자부품 조립공정의 자동화를 위한 실시간 영상처리 알고리즘에 관한 연구

## A Real-Time Image Processing Algorithms for An Automatic Assembly System of Electronic Components

劉 凡 材\* · 吳 英 碩\* · 吳 尚 錄\*\* · 卞 增 男<sup>§</sup>

(Bum-Jae You, Young-Seok Oh, Sang-Rok Oh, Zeungnam Bien)

### 요 약

전자부품 조립공정의 자동화를 위하여 사각형 모양을 갖는 전자부품에 적용가능한 잡음에 둔감하고 실시간 처리를 할 수 있는 영상처리 알고리즘과 제안된 알고리즘의 병렬처리 방법이 제시되었다. 물체의 위치인식을 위하여 영상처리영역을 효율적으로 설정하고, 잡음에 둔감한 프로젝션 방법을 이용하였다. 또한 물체의 경계와 물체내부의 표시를 구분하기 위하여 프로젝션의 다이내믹 쓰레쇼울딩 방법이 이용되었다. 물체의 경사도인식 알고리즘은 물체의 상단경계 예상점들을 간단한 경계인식방법을 적용하여 추출한 후 잡음에 둔감한 Hough Transform을 이용하여 구현되었다. 또한 잘 정돈되지 않은 물체의 조립공정에서 물체의 위치 및 경사도의 실시간 인식을 위하여 병렬처리 방법이 제시되었다.

**Abstract** - Real-time image processing algorithms to detect position and orientation of rectangular-type electronic components are developed. The position detection algorithm is implemented with the use of projection method which is insensitive to noise. Also dynamic thresholding method of projection is employed in order to distinguish between the boundary of a component and any marking on the component. The orientation is determined by Hough transform of boundary candidates of a component, which is obtained a priori by a simple edge detection method. For real-time processing of both position and orientation for a component which is not aligned well, parallel processing method of image data is proposed and tested in real-time.

### 1. 서 론

1970년대부터 생산시스템의 자동화를 위하여 여러가지 부품의 자동분류, 자동검사 및 자동조립등의 공정에 시각장치가 널리 이용되고 있다.<sup>1,2)</sup> 그중 부품의 조립공정에 이용되고 있는 시각장치는, 자동차 엔진의 피스톤을 실린더에 집어넣는 엔진 조

\*正會員: 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科 博士 課程

\*\*正會員: 韓國科學技術院 電氣制御研究室 先任研究員 · 工博

§正會員: 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科 教授 · 工博

接受日字: 1988年 3月 29日

1次修正: 1988年 9月 27日

립공정<sup>3)</sup>에서와 같이 비교적 큰 물체의 인식용으로 부터, 다이본딩 (die bonding)<sup>4)</sup>, 와이어 본딩 (wire bonding)<sup>5), 6)</sup> 등의 반도체 조립공정과 전자 손목시계 조립공정과 같이 부품의 모양이 사각형이고 그 크기가 십수밀리미터 이하인 소형 전자부품의 인식용 까지 다양하게 개발, 이용되고 있다.<sup>7)</sup> 특히 전자부품은 그 설계 및 제작기술의 발달로 인하여 점차 소형화 및 고도집적화 되고 있는 바 이러한 부품을 이용한 제품의 품질향상 및 생산성 향상을 위해서는 조립작업에 사람의 도움을 받지않는 조립공정의 자동화가 절실히 요구되고 있는 실정이다. 특히 조립공정의 자동화에 있어서 시각장치를 이용한 로봇트 매니플레이터의 제어를 위하여 물체의 위치인식 및 경사도인식은 필수적이다. 한 예로써 반도체 조립공정에서는 마이크로스코프 (microscope) 를 이용하여 부품의 영상 (image) 을 확대하고 확대된 영상을 이용하여 부품의 위치인식, 경사도인식 및 부품의 검사등을 시각장치가 수행하도록 하고있다.

이차원 영상평면상에 존재하는 물체의 위치를 결정하는 대표적인 방법으로는, 물체의 모델 영상 (image model) 과 실제 물체의 영상을 화소 (pixel) 대 화소로 비교하는 템플레이트 매칭 (template matching) 방법<sup>8)</sup>과 물체인식을 위하여 SRI 방법<sup>9)</sup>에서 사용되는 물체의 대국적 특징 (global feature) 을 이용하는 방법등이 있다. 이 중 템플레이트 매칭 방법은 소프트웨어로 구현하는 경우 모델영상과 실제영상을 화소로 비교하므로 모델영상이 커지면 처리시간이 오래 걸리고, 또한 모델영상과 실제 영상의 경사도가 다른 경우 정확도가 떨어진다. 물체의 무게 중심, 면적, 둘레등의 대국적 특징을 이용하는 방법은 영상에 잡음 (noise) 이 없는 경우 일반적인 물체의 위치결정에 이용할 수 있는 장점이 있으나, 잡음에 의해 물체의 경계정보가 정확하지 못하여 대국적 특징정보가 부정확하게 되면 인식 정확도가 떨어지는 단점을 갖고있다.

한편, 이차원 영상평면상에 존재하는 물체의 경사도를 결정하는 방법으로는 파라미터 공간 (parameter space) 을 구성하는 Hough transform<sup>10), 11)</sup>, 물체의 경계를 알 경우 2 차 관성 모멘트를 이용하는 방법 및 관찰된 경계정보들로부터 직선식을 추출하여 경사도를 결정하는 Least-square-error 방법<sup>12)</sup> 등이 있다. 이 중 Hough transform은 물체의 경계를 알 필요가 없어 경계를 구하는 번거로움을 피할 수 있으나 불필요한 정보까지도 파라미터 공간의 구성에 이용함으로써 시간이 많이 소비된다. 또한 2 차

관성모멘트를 이용하는 방법과 Least-square-error 방법등은 영상에 잡음이 많이 섞여 경계정보가 정확하지 못하면 신뢰도가 떨어지게 된다. 따라서 전자부품의 자동조립공정에 필수불가결한 공정인 부품의 위치 및 경사도 결정에 이상의 알고리즘을 이용하기에는 잡음에 대한 적응도 및 처리시간 등의 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 전자부품 조립공정의 자동화에 사용되고 있는 시각장치의 성능향상을 위하여 부품의 위치인식, 경사도인식을 위한 영상처리 알고리즘 특히, 다이본딩 기계장치와 전자손목시계 조립장치 등과 같이 사각형 모양을 갖는 전자부품의 자동조립공정에서 응용가능한 잡음에 둔감하고 처리속도가 빠른 실시간 영상처리 알고리즘의 구현 및 그 실험결과를 제시 하고자 한다. 물체의 위치인식 알고리즘에서는 영상처리 영역을 설정하고 설정된 영역내의 이진 영상 (binary image) 에 대하여 프로젝션 (projection) 방법과 그의 다이나믹 쓰레쇼올딩 (dynamic thresholding) 방법을 적용하여 물체의 좌우경계와 물체의 표면과 구분되는 물체내부의 표지를 정확히 구분하고, 물체사이에 잡음이 있더라도 경계를 확실히 인식하여 물체의 위치를 정확하게 알 수 있는 영상처리 알고리즘을 구현하고자 한다. 또 물체의 경사도인식 알고리즘에서는 간단한 경계인식 (edge detection) 방법을 이용하여 추출한 경계예상 점들만을 파라미터 공간 구성에 사용하여 Hough transform에서 파라미터 공간 구성에 소비되는 시간을 다축시킴으로써 실시간 경사도인식이 가능한 알고리즘을 구현하고자 한다. 그리고 물체가 잘 정돈되어 있지않은 경우에는 먼저 물체의 경사도를 측정하고, 그 값이 위치인식 알고리즘을 적용할 수 있는 범위밖에 있을 때에는 회전축을 이용하여 경사도를 보정한 후 제안된 위치인식 알고리즘을 적용해야 하는 바 이상의 경사도 및 위치인식 알고리즘을 순차적으로 적용하는 경우에는 처리시간이 길어져 속도가 빠른 조립공정에서는 실시간인식이 어렵기때문에 두 가지 알고리즘을 실시간에 처리할 수 있는 병렬처리 방법을 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 제 II 장에서 영상처리를 위하여 사용한 시각장치 (vision system) 의 하드웨어 구성에 대하여 기술하고, 제 III 장에서는 실시간 영상처리 알고리즘을 제시하고자 한다. 제 IV 장에서는 실험결과 및 검토사항을, 제 V 장에서는 결론을 기술하고자 한다.

## 2. 시각장치(vision system)의 구성

영상처리를 위하여 사용한 시각장치<sup>12)</sup>는,

- (1) 해상도(spatial resolution)가 256×256,
- (2) 명암도(brightness resolution)가 256단계

로, 외부에서 수평동기신호, 수직동기신호 등을 공급해 주는 외부동기용 카메라를 이용한다. 그리고 물체의 크기가 가로, 세로 모두 십수 밀리미터 이하인 부품의 인식을 위하여 카메라에 마이크로스코프가 장착되어 있다. 사용된 시각장치는 (그림 1)과 같은 구조를 갖는데, 부분별로 살펴보면 다음과 같다.

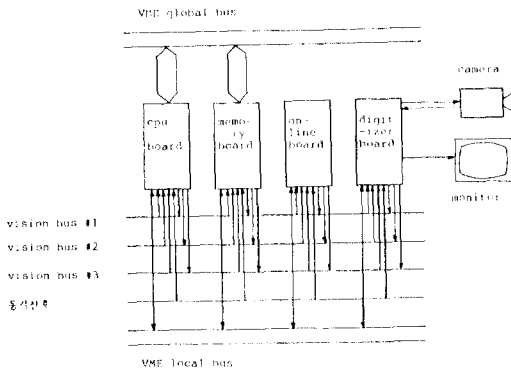


그림 1 시각장치의 구성  
Fig.1 Vision system.

시각장치를 총괄하는 중앙처리장치는 MC68000 CPU를 기조로 하여 VME-BUS 사양<sup>13)</sup>에 맞게 설계된 마이크로컴퓨터(micro-computer)를 사용한다. 이 마이크로 컴퓨터에 조립부품의 위치를 인식하거나 경사도를 결정하는 알고리즘 등 실시간 처리가 가능한 영상처리 알고리즘을 구현, 내장시킴으로써 조립공정에서 필요한 기능을 수행할 수 있다.

영상을 카메라로부터 읽어들이고 모니터에 디스플레이하는 영상 디지털라이저(digitizer)는, 카메라로부터 입력되는 아날로그 영상신호(analog video signal)를 6.9MHz의 속도로 샘플을 추출하여 한 프레임(frame)의 영상을 256×256(64K) 바이트(byte)의 그레이레벨 영상(gray level image)으로 변환하여 주는 A/D변환기, 처리된 디지털 영상을 아날로그 영상신호로 만들어 주는 D/A변환기, 각 하드웨어에 픽셀클럭(pixel clock)과 동기신호들을 공급하는 클럭발생기(clock generator)로 구성된다. 픽

표 1 픽셀클럭과 동기신호의 주파수

Table 1 Frequency of pixel clock and synchronization signal.

Sync signal	Freq.
Pixel Clock	6.9 MHz
H-Sync	15.58 KHz
V-Sync	56.6 Hz

셀클럭과 동기신호들의 주파수는 (표 1)과 같다.

영상메모리(frame grabber)<sup>14)</sup>는 영상 디지털라이저로부터 입력되는 그레이레벨 영상과 온라인 영상 프로세서(online processor)로부터 입력되는 이진영상을 6.9MHz의 속도로 저장한다. 영상처리를 수행하는 중앙컴퓨터와 영상메모리를 리프레쉬(refresh)하는 메모리 제어가 효율적으로 영상메모리를 사용할 수 있도록 memory cycle contention problem을 해결하기 위하여 256화소의 데이터를 일단 256비트의 시프트 레지스터(shift register)에 저장했다가 한번에 메모리에 저장할 수 있는 이중입출력 메모리(dual port video RAM)인 TMS4161을 사용하여 구성되어 있다.

실시간 영상처리를 위하여 설계된 온라인 영상프로세서는 영상 디지털라이저로부터 들어오는 그레이레벨 영상을 마이크로컴퓨터에서 지정해준 역치(threshold)와 비교하여 이진영상으로 변환한다. 또한 256×256바이트 영상평면상에 임의의 영상처리 윈도우(window)를 설정하여 영상처리속도를 빠르게 할 수 있는 하드웨어 윈도우가 내장되어 있다. 또한 각 프레임과 스캔라인마다 화면의 흔들림없이 하드웨어 제어정보를 정리하기 위해 인터럽트(interrupt)를 이용할 수 있는 인터럽트 제어기능을 가지고 있다.

시각장치에서 영상 데이터의 전송은 VME I/O BUS에 마련된 3개의 비전버스(vision bus)를 통하여, 영상 디지털라이저에서 공급되는 동기신호에 따라 이루어진다. 따라서 그레이레벨 영상이나 이진영상이 6.9MHz의 속도로 메모리에 저장되고 모니터(monitor)에 디스플레이 된다. 이 때 영상 데이터가 전송되는 비전버스의 선택은 각 하드웨어에 마련되어 있는 제어용 레지스터를 마이크로 컴퓨터가 통제함으로써 이루어진다.

## 3. 영상처리 알고리즘

전자부품 조립시스템은 조립할 부품을 연속적으로 공급해주는 XYθ축 피딩시스템(feeding system),

공급된 부품의 위치인식, 경사도인식 및 부품의 검사를 수행하는 시각장치(vision system), 양질의 부품을 집어서 조립작업을 수행하는 로봇트 매니플레이터시스템(robot manipulator system)과 이들 전체 시스템을 총괄적으로 제어하는 관리제어 시스템(supervisory control system) 등으로 구성된다. 이때 XYθ 축 피딩시스템의 제어정확도와 최초로 부품상자 및 부품이 놓여지는 상태에 따라 부품상자의 경사도오차, 부품의 경사도오차 및 위치 오차가 불가피하게 발생하는 바 로봇트 매니플레이터가 부품을 집어 신속정확하게 조립작업을 수행하기 위해서는 시각장치에서 발생한 오차를 인식하고 피딩시스템을 이용하여 오차를 보정하여야 한다. 이를 위하여 전자부품 조립공정에서 이용되는 영상처리(그림2)와 같이 영상의 이진화, 부품상자의 경사도 측정, 부품의 크기 측정등의 선행작업(off-line processing)과 부품의 위치인식, 부품의 경사도인식 그리고 부품의 검사로 구성되는 반복작업(on-line processing)으로 나누어진다.

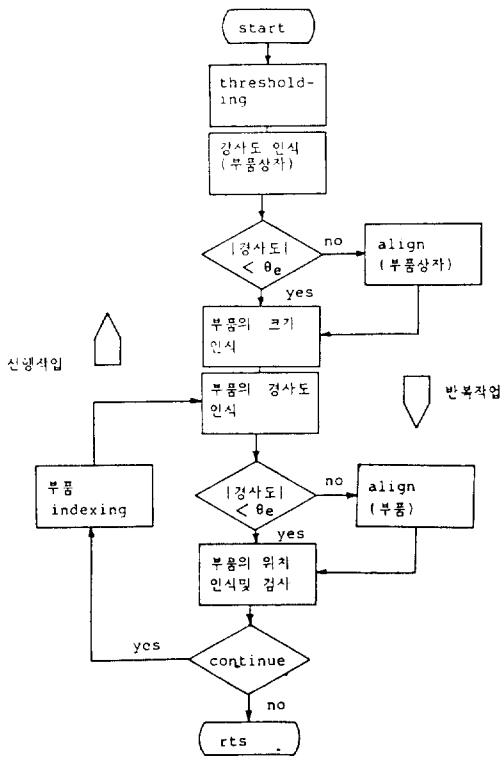


그림 2 자동조립장치의 영상처리 흐름도  
**Fig. 2** Image processing flow chart for automatic assembly machine.

선행작업에서는 이진영상을 얻기 위한 역치(threshold level)를 결정하고, 부품들이 담겨 있는 부품상자의 경사도를 측정하여 부품상자를 바로 잡은 후 부품의 크기를 측정한다.<sup>12)</sup> 반복작업에서는 선행작업의 결과를 토대로 부품의 위치인식과 경사도인식 그리고 부품의 검사등을 실시간으로 처리하여 전체조립공정이 원활하게 이루어지도록 한다. 이때 기울어진 부품이 없는 공정에서는 경사도 인식이 불필요한 과정이 되지만, 부품의 정돈 상태가 불량한 공정에서는 경사도 인식 알고리즘을 적용하여 부품을 바로 잡은 후, 위치 인식 알고리즘을 이용하여 위치를 인식하게 된다. 따라서 공정의 생산성 향상을 위해서는 매 부품마다의 위치오차 및 경사도 오차의 보정을 위한 처리시간은 빠를수록 좋으며, 또한 실제 공정에서 발생가능한 잡음이 많은 영상에 대해서도 높은 인식율을 가져야 한다.

이에 본 연구에서는,

- (1) 물체의 모양은 사각형이다.
- (2) 물체의 위치오차를 측정할 때 물체의 경사도  $\theta$ 는

$$-5^\circ < \theta < +5^\circ$$

이다.

- (3) 물체의 크기를  $s_x, s_y$ 라 할 때, 물체의 위치오차  $dx, dy$ 는
- $$-s_x/2 < dx < +s_x/2$$
- $$-s_y/2 < dy < +s_y/2$$

의 조건을 만족한다.

는 가정하<sup>4)-6)</sup>에 실시간 처리가 가능한 경사도인식 및 위치인식 알고리즘을 제시하고자 한다.

### 3.1 경사도인식 알고리즘

물체의 모양이 사각형이므로 물체가 기울어지더라도 상단경계는 (그림3)과 같이 직선으로 나타나기 때문에 경사도 인식의 문제는 상단 경계가 구성하는 직선식의 추출문제로 귀결된다. 영상처리 시간의 단축을 위하여 제안된 가정 (3)에 따라 상단경계가 나

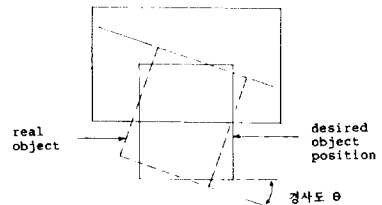


그림 3 물체의 경사도  
**Fig. 3** Orientation of an object.

날타 수 있는 위치에 인식영역(window)을 결정하고 인식영역 내부에 존재하는 물체의 상단경계를 간단한 경계 인식방법을 이용하여 추출한다. 그리고 추출된 상단경계만을 대상으로 잡음에 강한 Hough transform을 적용하여 상단경계에 의해서 구성되는 직선을 추출함으로써 물체의 경사도를 결정할 수 있다. 대표적인 직선추출의 방법으로 Least-square-error 방법<sup>1)</sup>도 있으나 이 방법은 잡음이 많은 영상처리에는 부적합하다.

Hough transform은 영상공간의 화소들을 파라미터 공간으로 변환하여 영상공간의 화소들로 이루어지는 가장직선에 가장 근접한 직선을 추출하는 방법이다. 영상공간에 (그림 4) 같은 직선  $y=a_1x+b_1$ 가 있다고 하면 직선의 기울기  $a$ 와  $y$ 축 절편  $b$ 로 구성되는 파라미터 공간은 영상공간에 있는 직선  $y=a_1x+b_1$ 상의 한 점 한 점을 통과하는 모든 직선으로 표시함으로써 (그림 5) 같이 구성된다.

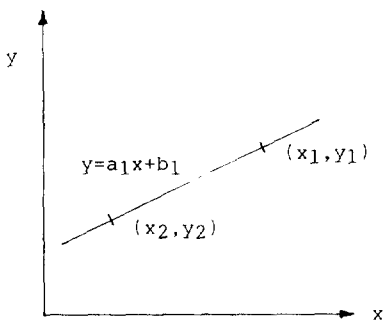


그림 4 영상공간의 직선  
Fig. 4 Image space.

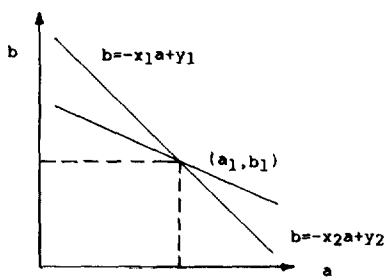


그림 5 파라미터공간의 직선  
Fig. 5 Parameter space.

이 때 영상공간에서 한 직선위에 있는 화소들은 모두 파라미터 공간에서 한 점을 통과하게 된다. 즉,

(그림 4)에서 영상공간상의 한 직선  $y=a_1x+b_1$  위에 있는 점들을 통과하는 모든 직선은 파라미터 공간에서 점  $(a_1, b_1)$ 을 통과한다. 따라서 영상공간의 직선위의 화소들을 통과하는 모든 직선을 파라미터 공간으로 변환시킨 후 가장 많은 직선이 통과하는 파라미터 공간상의 한 점  $(a_m, b_m)$ 을 구하면 영상공간상에 있는 직선의 기울기와  $y$ 축 절편을 결정할 수 있다. 이 방법은 물체의 경계들을 모두 알 필요없이 경계의 정보들을 포함하고 있다고 예상되는 영상공간의 화소들을 모두 파라미터 공간으로 변환하여 직선을 추출하기때문에 특별한 경계인식 알고리즘을 적용할 필요가 없는 반면 소비시간이 증가하므로 파라미터 공간의 구성에 소비되는 시간을 줄이면서 물체의 상단경계 직선식을 추출해야 한다. 구현된 알고리즘은 다음과 같다.

단계 1) 파라미터 공간상에서 직선이 가질 수 있는 기울기  $a$ 와  $y$ 축 절편  $b$ 의 범위를 결정한다. 즉, 물체의  $y$ 축 크기를  $sy$ 라 할 때,

$$\begin{aligned} -a_{lim} &\leq a \leq +a_{lim}, \\ b_{low} &\leq b \leq b_{high}, \\ 0^\circ &\leq \theta_{lim} < +45^\circ, \\ -sy/2 &< b_{low} < b_{high} < +sy/2 \end{aligned}$$

단계 2) 파라미터 공간의 기울기  $a$ 와  $y$ 축 절편  $b$ 의 범위를 원하는 정밀도에 맞추도록 양자화(quantization) 한다.

단계 3) 이진 영상을 읽어들이고, 인식 영역을 설정한다.

인식영역의 크기를  $w_x, w_y$ ,

물체의 크기를  $s_x, s_y$ ,

물체의 최대경사도 범위를  $|\theta| < \theta_{max}$ 라 하면,

$$\begin{aligned} w_x &= 2 \cdot s_x \\ w_y &= 2 \cdot (s_y/2 + s_x \cdot (\tan \theta_{max})/2) \end{aligned}$$

단계 4) 인식영역내에 존재하는 물체의 상단 경계에상점을 찾는다. 물체의 상단경계는 인식영역내부를 상단에서 하단으로 조사하면서 맨 처음 이진 영상이 흰 화소(배경)에서 검은 화소(물체)로 변화되는 점을 물체의 경계예상점으로 결정한다. 이 때 서브 샘플링(sub-sampling) 개념을 도입하면 경계인식에 소비되는 시간을 더욱 줄일 수 있다.

단계 5) 파라미터 공간상의 accumulator array  $A(a, b)$ 를 모두 0으로 만든다.

단계 6) 물체의 상단 경계에 상점들을 파라미터 공간으로 변환시키고, 파라미터 공간에 만들어지는 직선  $b = -ax + y$ 가 통과하는 accumulator array A(a, b)를 직선이 통과할 때마다 1씩 증가시킨다. 즉,  $A(a, b) = A(a, b) + 1$

단계 7) accumulator array A(a, b)에서 최대값을 갖는 array  $A(a_{max}, b_{max})$ 를 구한다.

단계 8)  $a_{max}$ 를 직선의 기울기로,  $b_{max}$ 를 직선의 y축 절편으로 결정한다.

단계 9) 물체의 경사도  $\theta$ 를 결정한다.

$$\theta = \tan^{-1}(\text{직선의 기울기})$$

기술된 알고리즘의 (단계 2)에서 파라미터 공간구성을 위하여 물체의 최대 경사범위를,

$$-1 < \text{기울기 } a < +1$$

$$-45^\circ < \text{경사도 } \theta < +45^\circ$$

로 정하고, 기울기의 범위를 128등분하여 경사도의 분해도가  $1^\circ$  이하가 되도록 한다. (단계 3)에서 인식영역을 설정하고 그 이후의 영상처리는 영상공간의 원점을 인식영역의 중심으로 설정하여 수행하면 Hough transform에서의 y축 절편은 항상 인식영역내에 존재하게 된다.

### 3.2 위치인식 알고리즘

물체의 상단경계와 좌측경계를 알면 물체의 중심의 위치를 알 수 있기 때문에 가정(3)에 근거하여 설정된 인식영역(그림 6)의 이진영상을 이용하여 잡음(noise)에 강한 프로젝션(projection) 방법을 적용한다. 물체의 경계를 인식하여 그 정보를 위치인식에 사용하는 방법은 근접한 물체간에 잡음이 섞이는 경우 두 개의 물체가 하나의 연결된 물체로 인식될 위험이 있으나 프로젝션을 이용하면 물체의 경계간에 잡음이 섞여도 적분효과에 의하여 두 개의 물체를 확실히 구분할 수 있으며 이차원 정보를 일차원 정보로 변환함으로써 처리시간을 단축할 수 있다.

프로젝션 방법이란 이진영상의 각 스캔라인(scan line)마다 존재하는 검은 화소들을 각각 x축, y축 방향으로 세어 그 합을 이용하는 방법으로, 적분효과에 의하여 물체의 경계에 생기는 잡음의 영향을 줄일 수 있다. 또한 이진영상의 프로젝션의 차이(difference)로 부터 물체의 경계가 될 수 있는 위치들을 결정하고, 물체의 크기를 이용하여 물체의 경계와 물체내부의 표시(marking)를 구분함으로써 물

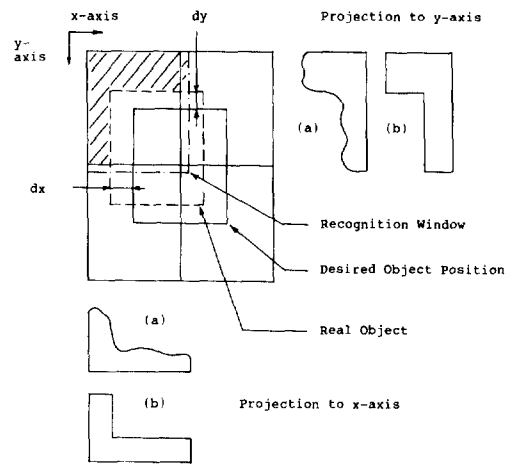


그림 6 위치인식 영역과 프로젝션

Fig. 6 Position recognition window and projection of windowed binary image.

체내부 표시의 크기가 변화하더라도 물체의 위치인식이 가능한 알고리즘을 제시하고자 한다. 제시되는 알고리즘은 x축, y축에 대하여 각각 적용하여야 한다. 구체적인 알고리즘은 다음과 같다.

단계 1) 이진영상을 읽어들이고, (그림 6)과 같이 인식영역을 결정한다. (그림 6)에서 중앙에 실선으로 정의된 사각형은 정확한 조립을 위하여 물체가 놓여져야 할 위치를 표시하고, 점선으로 표시된 사각형은 물체가 XY  $\theta$ 테이블에 의하여 공급된 실제 부품의 위치를 의미한다. 또 일점쇄선으로 표시된 사각형은 가정(3)에 근거하여 설정된 영상처리 영역이다. 즉, 부품의 위치인식을 위하여 프로젝션을 구할 때는 이 영역내의 이진영상만을 이용한다.

단계 2) 물체의 유무를 판단한다. (그림 6)의 중앙에 실선으로 표시된 영역내에 배경이 되는 이진영상이 40% 이상 존재하는 경우에 물체가 없다고 판단한다. 물체가 있으면 단계 3)으로 진행하고, 물체가 없으면 본 알고리즘에서 빠져나간다.

단계 3) (그림 6)에서 일점쇄선으로 표시된 인식영역의 x축 또는 y축에 대하여 프로젝션한다. 배경(background)의 이진영상을 1, 물체의 이진영상을 0이라 할 때, x축에 대한 프로젝션  $P_x(k)$ 는,

$$P_x(k) = \sum_{i=0}^{m-1} \text{pixel}(k, i), k = k_l, \dots, k_m,$$

$$0 \leq i < m \leq 255, 0 \leq k_l < k_m \leq 255$$

y축에 대한 프로젝션  $P_y(k)$ 는,

$$P_y(k) = \sum_{i=in}^{io} \text{pixel}(i, k), k=kn, \dots, ko,$$

$$0 <= in < io <= 255, 0 <= kn < ko <= 255$$

프로젝션  $P(k)$ 는,

$$P(k) = P_x(k) \text{ 또는 } P_y(k)$$

최초로 프로젝션된 정보는 이진영상의 잡음과 물체 내부의 표시 때문에 (그림 6)의 (a)와 같이 고분포를 갖지 못하므로 [16]의 알고리즘을 적용하여(그림 6)의 (b)와 같은 분포를 갖도록한다. (1×3) 소프트웨어 윈도우를 사용하는 [16]의 알고리즘은, 이후의 영상처리 과정에서 폭이 좁은 프로젝션 정보의 소멸을 방지하기 위한 경계보존(edge preserving) 여과 과정과 (1×3) 윈도우안의 프로젝션의 평균과 분산을 이용하여 프로젝션의 변화율이 큰 곳은 보다 변화율이 크게하고 변화율이 작은 곳은 평탄화(smoothing) 하는 여과과정으로 구성된다.

단계 4) 프로젝션의 차이(difference)를 구한다.

$$dP(k) = P(k+1) - P(k)$$

단계 5)  $dP(k)$ 의 가장 작은 최소치부터  $m$  번째 최소치까지의 인덱스의 집합

$$T_{min} = \{k_1, k_2, \dots, k_m\}, m \text{은 정수}, 2 \leq m \leq 5$$

를 구한다.

단계 6)  $P(k) > m_e$  (물체의 크기  $-m_e$  ( $m_e$ 는 정수,  $0 < m_e < 5$ ),  $k \in T_{min}$  이면 점  $(k+1)$ 을 물체의 경계로 결정하고 단계 7)로 진행한다. 조건을 만족하지 못하면 집합  $T_{min}$ 에서  $k$ 점을 제외하고 단계 5)로 진행한다.

단계 7) 단계 6)에서 결정된 물체의 경계를 이용하여 물체의 위치 오차를 결정한다.

제안된 알고리즘중 (단계 5)가 없는 상태에서 물체의 경계를 인식하기 위하여 고정된 프로젝션 쓰레소울드를 사용하는 경우에는 물체의 표면과 구분되는 물체내부 표시의 크기변화에 대하여 적응할 수 없기때문에 물체의 내부표시가 물체의 경계로 인식되는 오류를 범하게 된다. 따라서(단계 5)에서 프로젝션의 차이를 이용하여 물체 경계예상점을 결정하고, (단계 6)에서 프로젝션 값을 이용하여 물체의 경계를 최종적으로 결정함으로써 물체내부의 표시의 크기가 변화하여도 물체의 경계와 확실하게 구분할 수 있는 프로젝션의 다이나믹 쓰레소울딩 방법을 적용하였다.

### 3.3 위치인식 알고리즘과 경사도인식 알고리즘의 병렬처리

물체의 정돈상태가 불량한 경우에는 물체가 기울어져 있으므로 한 대의 영상처리 CPU를 이용하는 경우에는 그 처리시간이 길어져 속도가 빠른 조립 공정에서는 실시간 인식이 어렵기 때문에, N대의 영상처리 CPU가 영상메모리를 공유토록 하여, (그림 7)과 같이 먼저 물체의 경사도를 측정하고, 경사도가 정해진 범위내에 존재하면 곧 이어서, 범위내에 존재하지 않으면 경사도를 보정한 후 N 대의 영상처리 CPU가 동시에 (그림 8)과 같이 위치오차를 측정하도록 한다.

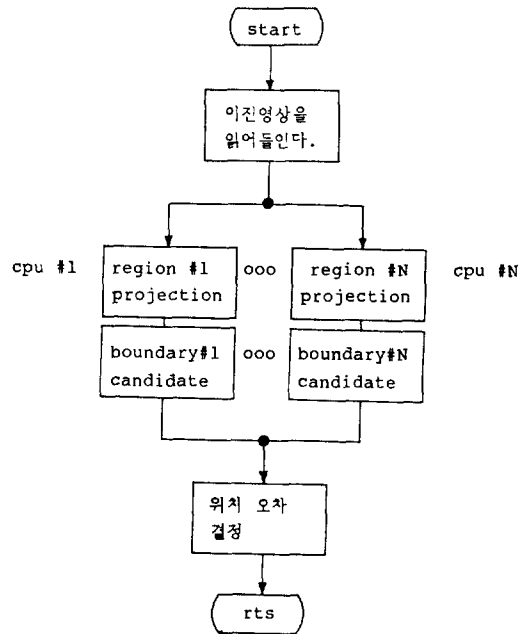


그림 7 위치인식 알고리즘의 병렬처리

Fig. 7 Parallel processing of position recognition algorithm.

제안된 경사도인식 알고리즘의 병렬처리를 위하여 인식영역을 경계예상점들이 각각 포함되도록 프로세서별로 N개로 분할하여 각각 경계예상점을 인식하고, Hough transform에 의한 파라미터 공간을 N개의 CPU가 공유할 수 있는 공유메모리(shared memory in time shared common bus structure)에 분담해서 구성한 후 최종적으로 한 대의 CPU가 물체의 상단경계의 기울기 및 y축 절편을 결정함으로써 처리시간을 줄일 수 있다. 또한 위치인식 알고리즘의 경우에는 인식영역을 프로세서별로 분담하

고 최종적으로 한 대의 프로세서가 측정된 정보들을 종합함으로써 인식시간을 더욱 단축할 수 있다.

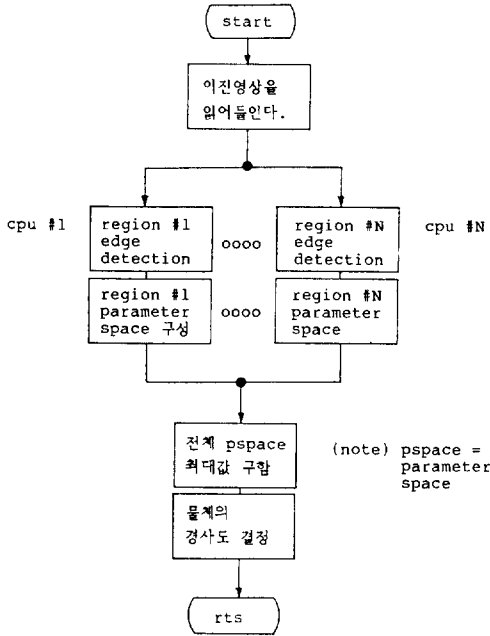


그림 8 경사도인식 알고리즘의 병렬처리  
 Fig. 8 Parallel processing of orientation recognition algorithm.

#### 4. 실험결과 및 검토

제 III 장에서 제안된 알고리즘들을 다이본딩 기계 장치(die bonding machine)의 웨이퍼 영상(wafer image)을 이용하여 실험하였다. 조도 400룩스 정도의 평소 실내조명은 너무 어두워서 영상이 보이지 않을 뿐만 아니라 마이크로스코프의 배율이 증가할수록 인식되는 물체의 범위가 좁아져서 영상이 어둡게 되기 때문에 fiber optic light source를 사용하여 3000룩스 이상의 밝은 조명을 주었다. 그리고 웨이퍼상의 다이(die)의 크기가 십수밀리미터 이하의 소형물체이므로 마이크로스코프를 사용하여 영상을 확대시킨 후 영상처리 하였다.

물체의 경사도 인식 실험에서, 다이(die) 내부에 검은 점이 없는 경우에는(그림9-a), 검은 점이 있는 경우에는(그림9-b), 잡음이 많은 마일러(myler) 위에다가 하나 있는 경우에는(그림 9-c)의 결과를 얻었다. 실험결과를 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 경사도의 측정범위를 바꾸어 가면서 알고리즘

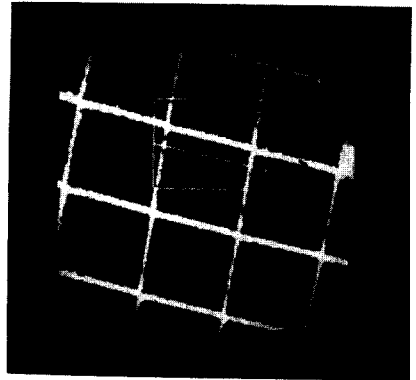


그림 9-(a) 검은 점이 없는 경우

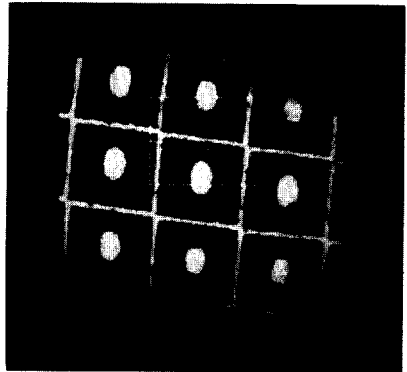


그림 9-(b) 검은 점이 있는 경우

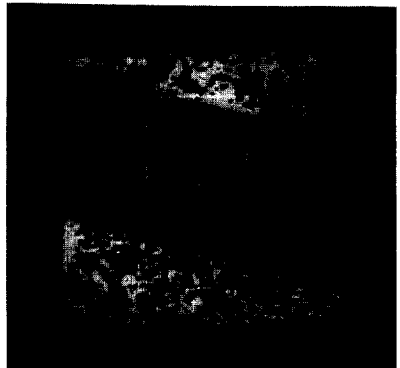


그림 9-(c)잡음이 많은 마일러 위에 있는 경우

그림 9 경사도 인식결과

Fig. 9 Orientation recognition result.

의 처리시간을 관찰하였다. 물체의 상단경계를 3라인 마다 하나씩 조사하고, 경계점들에 의하여 만들



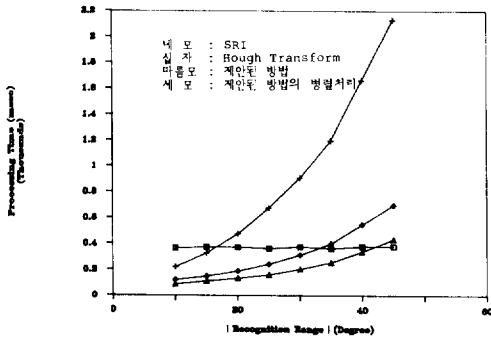


그림 10 경사도 인식시간과 경사도 인식범위  
**Fig. 10** Processing time for orientation recognition and recognition angle.

어지는 직선을 추출하여(그림10)의 결과를 얻었다. (그림10)에서 Hough transform 직선은 물체의 경계를 인식하지 않고 배경영상 전체에 대하여 Hough transform을 적용하는 경우이고, 제안된 방법의 직선은 물체의 상단경계 예상점들에 대해서만 Hough transform을 이용하는 경우이다. 또 병렬처리 직선은 제안된 방법을 두 대의 CPU를 사용하여 병렬처리한 결과이다. 물체의 폐곡선 경계정보를 이용하여 이차 관성 모멘트로 경사도를 구하는 방법(그림 10의 SRI 직선)의 경우는 사각형 물체의 경계를 모두 인식하는 시간과 이차 관성모멘트를 구하는 시간을 고려하여 상단경계정보를 찾는 시간의 약 5 배로 소비시간을 추정하였다. 그리고 Hough transform을 배경영상 전체에 적용하는 경우는 파라미터 공간구성에 걸리는 시간을 제안된 알고리즘의 약 6 배로 하여 그 처리 시간을 추정하였다. 배경영상 전체를 이용한 Hough transform이나 물체의 이차 관성 모멘트를 이용하는 방법보다 처리시간이 현저히 개선되었다. 측정 범위가 증가할수록 처리시간이 증가하는 이유는 파라미터 공간의 구성 시간과 파라미터 공간에서 최대값을 구하는 데 소비되는 시간이 증가하기 때문이다. 둘째, 잡음에 대한 둔감성을 알아보기 위하여 이진영상을 구하는역치(threshold)를 바꾸면서 제안된 알고리즘과 직선 추출의 대표적인 방법인 Least-square-error 방법에 의한 오차를 측정하였다. 제안된 알고리즘을 적용한 경우, 다이의 내부에 검은 점이 없을 때, 다이의 내부에 검은 점이 있을 때, 잡음이 많은 마일러 위에 다이가 하나 있을 때로 나누어 실험하여(그림 11)의 결과를 얻었다. 역치가 그레이레벨 64에서 160사이에서 결정되면 경사도의 오차가 0.8°

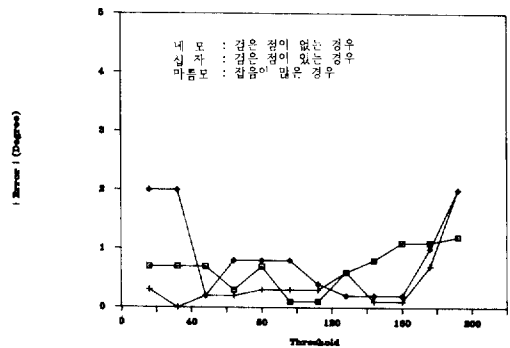


그림 11 역치의 변화에 따른 경사도 인식 오차(제안된 알고리즘)  
**Fig. 11** Threshold and orientation recognition error (proposed algorithm).

이내에 존재하여 잡음에 둔감함을 알수 있다. 반면에 Least-square-error 방법을 적용한 경우(그림 12)의 결과를 얻었다. 제안된 알고리즘의 결과와 비교해 볼 때, 역치(threshold)의 변화 즉, 화면에 존재하는 잡음에 상당히 민감한 결과를 나타내고 있다.

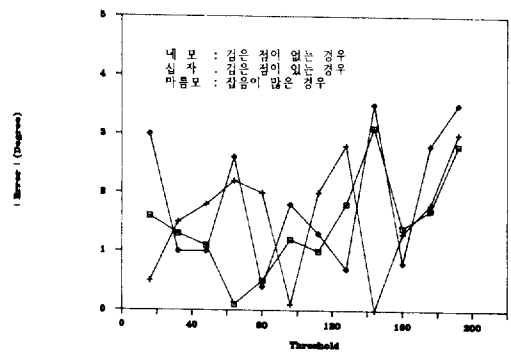


그림 12 역치의 변화에 따른 경사도 인식오차 (Least square method)  
**Fig. 12** Threshold and orientation recognition error.(Least square estimation).

물체의 위치오차 인식실험에서, 다이내부에 검은 점이 없는 경우에는(그림 13-a), 검은 점이 있는 경우에는(그림 13-b), 다이가 전체적으로 경사진 경우에는(그림 13-c) 그리고 잡음이 많은 마일러 위에 다이가 하나 있는 경우에는(그림 13-d)의 결과를 얻었다. 실험 결과를 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 물체의 크기변화에 따른 영상처리시간을(그림 14)와 같이 측정하였다. 영상의 크기가 가로 65화

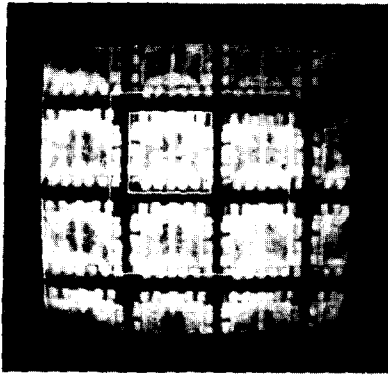


그림 13-(a) 검은 점이 없는 경우

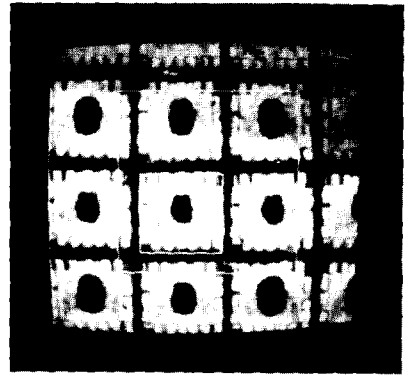


그림 13-(b) 검은 점이 있는 경우

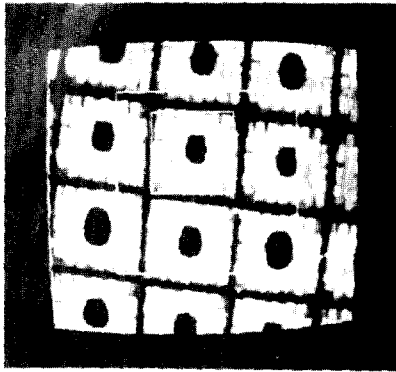


그림 13-(c) 영상이 경사진 경우

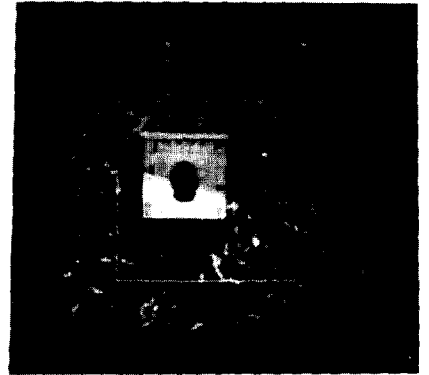


그림 13-(d) 잡음이 많은 마일러 위에 있는 경우

그림 13 위치 인식결과

Fig. 13 Position recognition result.

소, 세로 55화소이내일 때 400msec이내에 위치오차의 측정이 가능함을 알 수 있다. 물체의 크기가 커질수록 물체를 찾기 위해 조사해야 할 영상공간의 영역이 넓어지므로 그 처리시간이 증가한다. 그러나 소프트웨어에 의하여 템플레이트 매칭방법을

이용하는 경우 가로 15화소, 세로 10화소의 모델영상이 필요하기 때문에 실험된(표 2)의 인식시간을 볼 때 실시간 인식이 어려움을 알 수 있다. 둘째, 잡음에 대한 적응성 실험을 위하여 이진영상을 얻기 위한 역치를 변화시키면서 위치오차를 측정하였다. (그림 15)를 보면 역치가 그레이 레벨 96부터 192까지 변하더라도 위치오차의 측정오차는 1 화소 이하의 정확도를 나타내고 있다. 셋째, 알고리즘의 정확도 측정을 위하여 역치의 값을 고정시키고 반복 실험 하였다. (그림 16)과 같이 네모로 표시된 x축 인식의 경우에는 1 화소의 오차를 나타내고, 십자로 표시된 y축 인식의 경우에는 그 그림이 그래프의 x축과 일치하여 0 화소의 인식정도를 나타내고 있다.

물체의 위치인식 알고리즘과 경사도인식 알고리즘의 병렬처리를 위하여 다이의 크기를 가로 64화

표 2 템플레이트 매칭에 의한 위치인식시간  
Table 2 Processing time for position recognition by template matching method.

모델영상의 크기(화소×화소)	소비시간(msec)
2×2	310.9
3×3	507.3
4×4	701.4
5×5	982.5
6×6	1212.0
7×7	1562.8

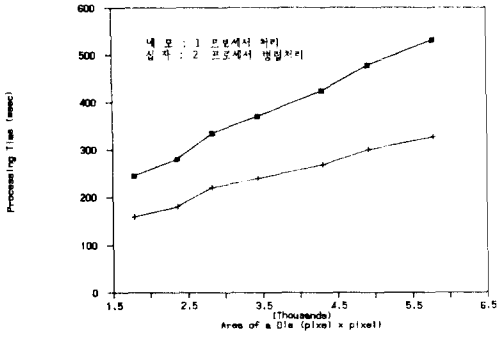


그림 14 물체의 크기와 위치 인식시간  
 Fig. 14 Object size and processing time for position recognition.

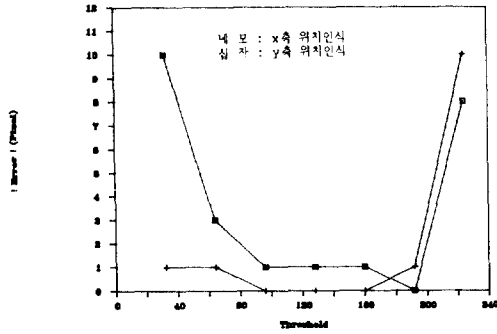


그림 15 역치와 위치 인식오차  
 Fig. 15 Threshold and position recognition error.

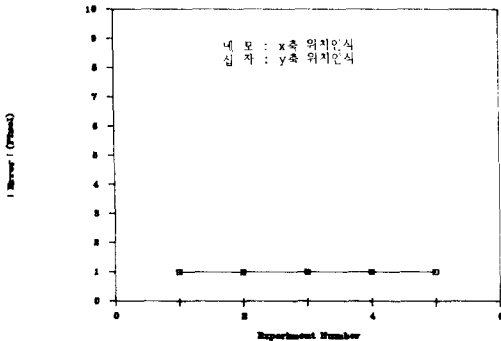


그림 16 위치인식의 반복실험  
 Fig. 16 Repetition of position recognition.

소, 세로 48화소로 하고, 경사도 인식 범위를 실제 적용가능한  $-25^\circ < \theta < 25^\circ$ 로 한 후 두 대의 프로세서를 이용하여 실험하였다. 경사도 인식 알고리즘

은  $0^\circ$ 부터  $25^\circ$ 까지,  $-25^\circ$ 부터  $0^\circ$ 까지의 파라미터 공간구성을 각각 다른 프로세서에 분배하고, 위치 인식 알고리즘은 x축, y축 방향의 위치인식을 각각 다른 프로세서에 분할함으로써 병렬처리하였다. 한 대의 프로세서를 이용할 경우 600msec 이상 소비될 영상처리를 두 대의 프로세서를 사용함으로써 (그림 17)과 같이 350msec이하의 시간에 처리되었다.

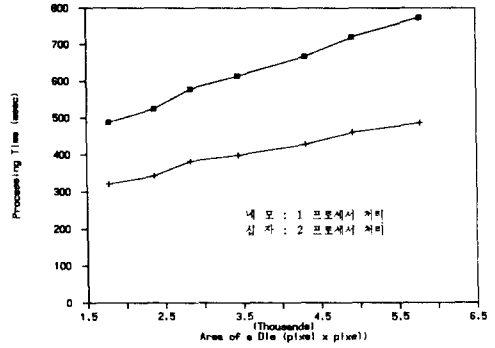


그림 17 위치인식과 경사도인식의 병렬처리에 의한 처리시간  
 Fig. 17 Processing time of parallel processing of position and orientation recognition.

즉, 물체의 정돈상태가 불량하여 제Ⅲ장의 (가정3)과 달리 물체의 경사도가  $|\theta| \geq 5^\circ$ 인 경우에도  $|\theta| \leq 25^\circ$ 이면 400msec 이내의 경사도인식이 가능하기 때문에 병렬처리를 통하여 물체의 경사도 및 위치의 실시간 인식이 가능하다. 위치인식 및 경사도 인식 알고리즘 각각의 병렬처리 실험결과는 (그림 10), (그림 14)와 같다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 사각형 물체의 위치인식, 경사도 인식을 위한 처리속도가 빠른 알고리즘을 구형하였다. 물체의 위치인식 알고리즘은 잡음에 강한 프로젝션 방법을 사용하였으며 특히, 물체의 좌우경계와 물체내부의 검은 점을 구별하기 위하여 차이 프로젝션과 물체의 크기를 이용하여 물체의 경계와 내부의 포시에 의한 프로젝션을 구분하는 역치를 결정하도록 하였다. 그리고 물체의 상단좌측 경계가 확실하게 나타나는 곳에 인식영역을 설정하여 영상처리 시간을 단축하였다.

물체의 경사도 인식 알고리즘은 물체의 상단경계가 직선이라는 점에 착안하여 상단경계의 점들로이

루어지는 직선식을 추출함으로써 물체의 경사도를 결정하였다. 경계정보에 잡음이 포함되거나, 간격이 있어도 양호하게 직선을 추출할 수 있는 Hough transform을 이용하였고 소비시간의 단축을 위하여 물체의 상단경계를 나타내는 정보만을 이용하여 파라미터 공간을 구성함으로써 영상처리시간을 단축하였다.

이상에서 구현된 알고리즘은 다이본딩 기계장치나 전자순목시계 조립공정과 같이 물체가 사각형인 전자부품의 조립공정에서 사용할 수 있을 것으로 사료된다. 특히 제안된 위치인식 알고리즘은 다이본딩 기계장치에서 실제 이용되고 있으며, 또한 제안된 병렬처리 알고리즘을 다이본딩 기계장치에 응용하면 5° 이상의 경사진 다이에 대해서는 불량판정을 내리고 있는 기존의 기계장치를 능가하는 영상처리 기능을 가지게 될 것이다. 즉, 경사도가 5° 이상되는 다이의 경우 먼저 인덱싱 테이블을 이용하여 픽업(pick-up) 위치에 다이를 정돈한 후 다이의 위치인식, 다이의 검사를 통하여 양/불량 판단을 하고 본딩(bonding)을 수행함으로써 생산성향상에 큰 도움이 될 것이다.

앞으로 보다 빠른 영상처리를 위한 하드웨어에 관한 연구와 보다 일반화된 알고리즘에 관한 연구, 그리고 멀티 프로세서(multi-processor)를 이용한 병렬처리에 의하여 영상처리시간을 보다 단축시키기 위한 연구가 이루어져야 할 것이다.

본 연구를 위하여 많은 자료를 제공해주신 삼성항공 산업(주)의 여러분과 연구에 많은 도움을 주신 한양대학교 서일홍 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

### 참 고 문 헌

1) Roland T.Chin and Charles A.Harlow, "Automated Visual Inspection : A Survey", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-4, no.6, november, 1982.  
 2) P.C.West, "Machine Vision in Practice", IEEE IAS,

pp.392-399, 1981.  
 3) C.J.Agin, "Vision Systems", Handbook of Industrial Robotics, pp.231-261, 1985.  
 4) Shinkawa Inc., "6300 Die Bonder manual", Japan.  
 5) Huges Aircraft Company, "HMC 2460 Wire Bonder manual", U.S.A.  
 6) Shinkawa Inc., "Full Auto Wire Bonder Instruction manual", Japan.  
 7) 과학기술처, "최종 연구 보고서 : 시각장치와 로봇트 매니퓰레이터를 이용한 자동조립시스템에 관한 연구", 1986.  
 8) Dana H.Ballard and Christopher M.Brown, "Computer Vision", Prentice Hall, 1982.  
 9) Gerald J. Agin, "Computer Vision System for Industrial Inspection and Assembly", IEEE Trans. on Computer, May, 1980.  
 10) Philip R.Thrift and Stanley M.Dunn, "Approximating Point Set Images by Line Segments using a Variation of the Hough Transform", Computer Vision, Graphics and Image Processing, pp.383-394, 1983.  
 11) J.Skalansdy, "On the Hough Technique for Curve Detection", IEEE Trans. on Computers, vol. c-27, pp.923-926, 1978.  
 12) 유수근, "반도체 다이본딩장치에 이용가능한 산업용 비전시스템 개발에 관한 연구", 한국과학기술원 석사학위 논문, 1986.  
 13) VME-bus Manufacturers Group, "VME-bus specification", 1982.  
 14) 오영석, 서일홍, 변중남, "이중입출력 메모리를 이용한 새로운 영상입력 장치의 설계 및 제작에 관한 연구", 전기학회지, vol.36, no.3, pp.38-52, March, 1987.  
 15) A.M.Mood, F.A.Graybill and D.C.Boes, "Introduction to the Theory of Statistics", pp.498-499, Mcgraw Hill, 1982.  
 16) Makoto Nagao and Takash Matsuyama, "Edge Preserving Smoothing", Computer Graphics and Image Processing, pp.394-407, 1979.