

# 전방향센서(OISSA)를 이용한 조립물체사이의 상대오차의 측정

## Measurement of Relative Geometric Errors between Mating parts by Using an Omnidirectional Image Sensing System(OISSA)

김완수\*, 조형석\*\*, 김성권\*\*\*

\*한국 과학기술원 자동화및 설계공학과(Tel: 02-958-3461; Fax: 02- 968-1638)

\*\*한국 과학기술원 기계공학과 (Tel: 042-968-3213; Fax: 042-968-3210; E-mail: hscho@lca.kaist.ac.kr)

\*\*\*삼성전자 자동화 연구소 (Tel: 0331-200-2400; Fax: 0331-200-2420)

**abstracts** In contrast to parts of relatively simple shapes, it is important to match their cross-sectional shapes during mating parts of complicated shapes. It requires the  $2\pi$  information along their matching boundary to figure out their relative geometrical shapes.

In this paper, we propose a method measuring a misalignment occurring at the interface during mating parts with the complicated shapes by using the omnidirectional image sensing system(OISSA). Also we carried out experiments in order to prove the method, and the results show the feasibility.

**Keyword** Assembly, Omnidirectional Sensing, Occlusion, Misalignment, Matching

### 1. 서론

조립은 제조공정의 한단계로서 위치결정 작업이다. 조립작업시 발생하는 두 부품사이의 위치및 각도오차는 조립부품사이에서 매우 큰 반력을 초래하여 조립을 방해하고 종종 로봇 또는 부품에 손상을 초래하게 된다. 조립에서 이러한 문제를 극복하고자 오차의 감지및 보정방법에 대해서 많은 연구성과가 있었다[1]. 그러나 지금까지 이러한 연구의 대부분이 단순한 대칭부품에 대해서 이루어져 왔고, 전방향의 오차의 이해가 필요한 복잡한 비대칭형상에 대한 연구는 미미한 상황이다[2]. 사각부품을 포함한 복잡한 형상을 갖는 부품의 조립을 위해서는 보정 방법과 아울러서 사각영역없이 전방향오차를 감지할 수 있는 효과적인 감지방법이 요구된다.

일반적으로 자동조립에서 조립부품사이의 오차를 측정하기 위해서 근접(proximity) 센서, 접촉(tactile) 센서, 역각(force) 센서와 시각(vision) 센서등을 이용한 많은 방법들이 개발되어 왔다[3]-[4]. 그러나 이 센서들을 이용한 방법은 국부적인 정보를 얻기에 적합하며 전방향오차를 측정하는 데는 많은 시간이 소요되는 등의 문제가 발생하여 그 적용에 한계가 있다. 다시 말하면, 접촉센서를 포함한 역각센서는 접촉반력을 최소로 유지하여 부품및 로봇에 손상을 방지할 수 있으나, 국부적인 접촉특성에 의해서 목표탐색을 하므로 복잡한 형상의 경우 접촉상태를 해석하기 어렵고 전방향의 오차측정에 시간이 많이 걸린다. 한편, 시각센서는 부품결합전에 비접촉으로 물체의 형상과, 상대적인 위치및 방향 오차정보를 얻을 수 있으므로 결합시 보정에 요하는 시간과 오차에 의한 충격의 영향을 줄일 수 있다. 이 때문에 실제로 다양한 조립작업에 응용되고 있다. 조립에 있어서 시각센서의 응용분야는 주로 PCB 부품의 조립[5]및 원형및 각형과 같은 단순 대칭형상의 기계부품[6]등이다. 이러한 연구의 대부분은 고정방법(fixed method)과 재배치방법(relocation method)의 두가지로 분류할 수 있다. 고정방법은 그림1(a)에서와 같이 카메라(camera)를 기울여서 측정물체의 정보를 가장 잘 얻을 수 있는 방향과 위치에 고정설치하고, 이때 이 센서로써 조립부품들 사이의 상대위치및 자세오차 정보를 측정하는 방법이다. 이방법은 활상각도(viewing angle)가 고정되어 있기 때문에 조립물체 자체에 가리워서 조립대상이 보이지 않게 되는 사각(occlusion)영역의 발생을 피할 수 없게 된다. 그러므로 단지 카메라의 설치방향과 일치하는 방향에 대한 부분적인 정보만을 얻을 수 있으며 조립부품들 사이의

원주방향으로의 전방향오차는 측정이 곤란하다. 따라서, 획득된 부분적정보의 유실이 발생하는 경우에 오차의 추정이 곤란하고 또한, 전방향오차 정보를 필요로 하는 복잡한 형상을 갖는 물체의 경우에 그 적용이 곤란하게 된다. 한편, 재배치 방식 [7]은 활상각도(viewing angle)를 달리하면서 많은 정보를 얻는 방법으로, 고정방식에서 유발되는 사각(Occlusion)의 문제를 상당부분 극복할 수 있다. 물론 이 외에도 센서수를 증가시켜서 고정방식과 같은 효과를 얻을 수 있다.

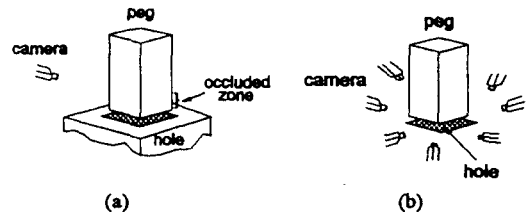


그림 1. 시각센서를 이용한 상대오차의 측정방법: (a) 고정방식 (b) 재배치 방식

Fig. 1. The sensing methods of relative geometric errors using a camera: (a) a fixed method (b) a relocation method

그러나 이 방법들은 센서수의 증가에 따르는 비용의 증가 외에도 센서의 방향과 위치의 변경에 따르는 시간소모적 이동량의 증가와 정보처리량의 증대로 시간이 많이 소요된다. 따라서 이 같은 방법들은 조립작업에서 요구되는 조립시간을 만족시킬 수가 없다.

본 논문에서는 복잡한 단면 형상을 갖는 부품의 조립시 발생하는 상대오차의 측정을 위한 새로운 전방향센서[8]의 사용을 제안한다. 이 장치는 그것의 내부에 놓인 물체사이의 간섭경계면을 따라서 그 상대오차를 동축의  $2\pi$  영상으로 보여줄 수 있는 특징을 갖는 것으로, 센서를 둘러싼 환경으로 부터 들어오는 전방향 영상을 측정하는 다른 전방향 센서[9]-[10]들과는 그 원리및 적용대상이 다르다. 여기서 우리는 측정장치의 구성과 조립물체 사이의 상대오차를 측정하는 방법과 실제로 실험을 통해서 이 장치의 효용성을 보이고자 한다.

### 2. 측정장치

#### 2.1. 측정원리

그림2(a)는 측정장치의 기본구조로서 원뿔거울쌍과 평면거울쌍, 카메라 그리고 부품취급용 툴(tool)등의 4가지 요소로 이루어져 있다.

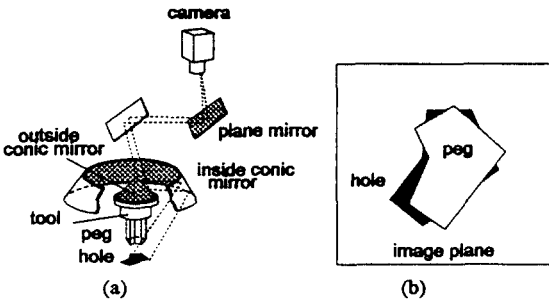


그림 2. 제안된 측정장치의 개념도: (a) 측정장치의 구성 (b)조립물체사이의 예상 이미지

Fig. 2. The schematic diagram of the proposed sensing system: (a) The configuration (b) an expected image for a pair of a peg and a hole

측정원리는 다음과 같다. 어떤 부품의 원주방향으로의 전방향의 영상을 얻기 위해서 그 물체주위를 감싸도록 안쪽이 거울면으로 되어있는 내면원뿔거울(inside conic mirror)을 배치한다. 이때 물체의 원주방향으로의 전체의 영상이 원뿔거울의 거울면에 일대일로 투영되게 된다. 그리고 바깥쪽이 거울인 외면원뿔거울(outside conic mirror)을 이 내면 원뿔거울의 중심부에 설치하여 내면원뿔거울에 투영된 영상을 모이게 한 다음, 그 거울의 바로 위쪽에 있는 평면거울에 투영시킨다. 그러면 결국 동축상에서 내려다 보는 영상이 얻어진다. 이 영상을 또 한개의 평면거울을 사용하여 동축에서 떨어진 카메라로 투영시킴으로써 원하는 동축의 2 $\pi$  영상이 얻어진다(그림2(b)).

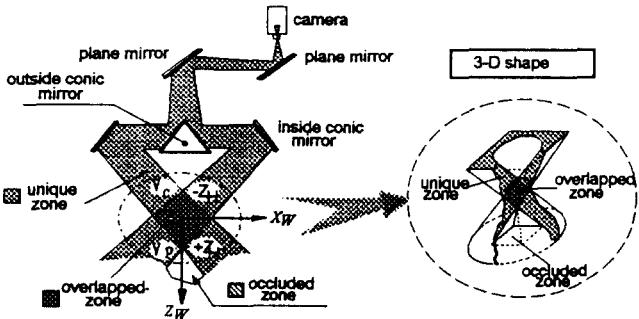


그림 3. 활상영역의 구조  
Fig. 3. The configuration of field of view

이 센서는 그림3과 같이 영상의 투영특성에 따라서 활상범위물 유일영역(unique zone), 중복영역(overlapped zone) 그리고 사각영역(occluded zone)등의 3개 영역으로 나뉘어진다[8]. 그림 3에서 알 수 있듯이 측면부를 일정각도 기울여서 물체를 관측하므로 물체의 측면부 뿐만 아니라 원주방향으로의 접합(mating)되는 물체사이의 간섭경계면을 따라서 매우 효과적으로 상대적인 형상을 얻을 수 있게 된다.

### 2.2. 영상의 변환

전방향 측정장치 OISSA는 여러개의 거울을 사용한 복잡한 광학계로 이루어져 있기 때문에 이 장치에서의 영상변환은 기본적으로 거울의 반사법칙을 이용하여 다단거울에서의 영상변환식으로 표현할 수가 있다[8]. 이러한 관계를 이용하여 사각의 peg의 조립시 발생하는 정렬오차를 갖는 사각 peg와

hole사이의 상대적인 모양을 모의실험을 통해서 보이면 그림4와 같이 된다.

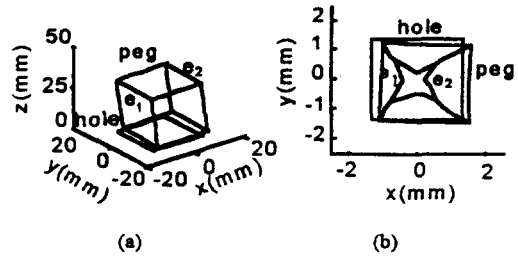


그림4. 정육면체의 투영: (a) hole에 대해서 yawing -2°, pitching 5°, 변위 x=2, y=-1, z=-2 인 정육면체, (b) (a)의 투영영상

Fig. 4. A projection of a cube at  $Z = Z_0$ : (a) a cube rotated by yawing -2° and pitching 5° and translated by  $x=2, y=-1, z=-2$  relative to a hole, (b) the projected image of (a)

이 그림은 물체의 윗면의 수직방향에서 활상한 영상과 같은 동축의 2 $\pi$  영상이 얻어짐을 알 수 있다. 이 영상으로부터 상대적인 위치 및 각도오차를 정확하게 찾아내어 보상해 주면된다. 결국, 접합되는 두물체 사이의 상대오차의 추정문제는 전방향 센서들 사용함으로써 부분폐색(local occlusion)된 두물체사이의 2차원 정합(matching) 문제가 된다. 따라서 형상이 복잡하더라도 두물체사이의 변환관계를 알아낼 수가 있게 된다.

### 3. 오차의 추정

이장에서 우리는 전방향 센서를 이용하여 임의의 단면을 갖는 부품의 조립시 발생하는 상대오차를 추정하기 위한 방법을 보인다.

#### 3.1 문제의 정의

조립문제에서 삽입위치 탐색(hole search) 단계에서 여러가지 불확실(uncertainty)한 요인들에 의해서 초기오차가 발생하며 이 오차를 측정하여 보정하는 것에 관심을 갖고자 한다. 이 조립의 문제는 다음과 같은 가정하에 고려되어 진다.

- 1) peg와 hole사이에서 반드시 폐색(occlusion)이 발생한다.
- 2) peg의 형상에 대한 사전정보를 알지 못한다.
- 3) 두 물체는 형상이 갖고 변화가 없고 강체운동이다.
- 4) 척도(scale)의 변화가 없는 Euclidean Transformation이다.

이 같은 가정하에서 조립에서 오차의 추정문제는 peg의 전방향센서에 의해서 얻어진 영상으로부터 peg와 hole을 구분하고 형상에 대한 정보를 알아낸 다음, 이들 사이에 상대적인 오차 즉, 각도 및 변위값을 알아내는 것이다.

#### 3.2 peg와 hole의 인식

그림 5(a)와 같은 윤곽선(edge line)으로부터 물체를 구분하는 방법으로 체인코드(chain code)[11]과 윤곽선추적(edge follow)[13]등이 사용된다. 하지만 이 방법들은 peg와 hole의 구분을 위해서는 추가적인 지식을 필요로 한다. 또한, 이방법은 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 따라서 보다 효율적인 방법을 제안한다. 즉, 그림5(a)에서와 같이 조립작업에서 항상 peg의 단면 형상은 폐색(occlusion)이 없이 폐곡선으로 그 윤곽선이 모두 나타나는 반면에 hole은 항상 peg에 의해서 가리워진다는 것에 착안하여 peg와 hole을 간단하게 구분하는 방법을 제안한다. 이 방법은 먼저, peg의 내부에 위치한 센서 광학계의 중심  $O_p$ 로부터  $\phi$  각도로 반경방향의 직선을 방사선 형태로 그은 다음, 이 직선과 윤곽선이 만나는 점과 중심  $O_p$ 로부터의 거리를 구하여  $\phi-r$  공간으로 투영시킨다. 그러면 그림5(b)의 결과를 얻을 수 있다.

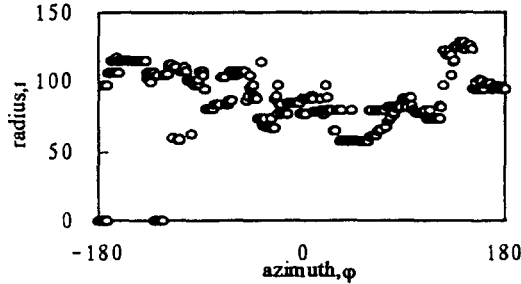
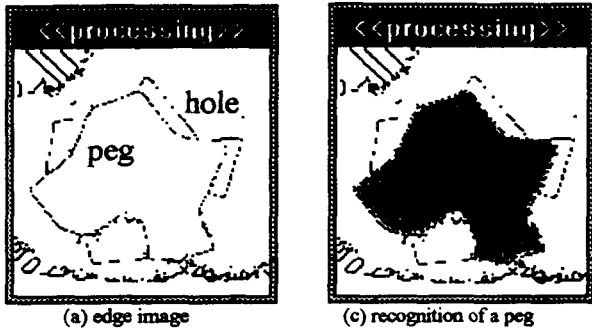


그림5. 영상으로부터 peg와 hole의 인식  
Fig.5. Recognition of a peg and a hole on an image

따라서 어떤  $\phi_i$ 에 해당하는 직선  $l_i$ 와의 교점들에 대한 중심으로부터의 거리들로 이루어진 집합  $R_i$ 는 peg가 폐곡선을 이루므로 1개 이상의 성분을 갖는 점들로 이루어진 집합이 된다.

$$R_i = \{r_{i1}, r_{i2}, r_{i3}, \dots, r_{in}\} \quad (1)$$

이  $R_i$ 에 대해서 분류형태나 분류갯수에 대한 사전지식이 없으므로 스스로 교점들의 분포특성을 고려하여 분류를 한다. 이때, 첫번째로 분류되는 군은 peg에 해당될 확률이 높으며, 두번째로 분류되는 군은 hole 또는 잡음(noise)일 확률이 높다. 그리고 3번째 이상의 것은 모두 배경 또는 잡음일 확률이 높다. 이 알고리즘은 다음과 같다.

먼저,  $\phi-r$ 의 공간에 무영된 집합  $R_i$ 에 대해서  $k$ 를 분류군이라고 하고,  $k$ 번째 군의 원소의 갯수를  $n_{ik}$ , 평균값을  $m_{ik}$ , 분산을  $J_{ik}$ 라 하자. 또한 군의 소속분산(within group variance)을  $J_W$ 라고 표기하자.

- step 1: 초기값 설정:  $k=1, n_{1k}=1, J_W=0$
- step 2:  $R_i$ 를 선정하고  $m_{1k}=r_{i n_{1k}}, J_{1k}=0$ 로 초기화시킨다.
- step 3: 평균값과 분산의 증가:

$$m^* = m_{1k} + \frac{r_{i n_{1k}} - m_{1k}}{n_{1k} + 1} \quad (2)$$

$$J^* = J_{1k} + \frac{n_{1k}}{n_{1k} + 1} (r_{i n_{1k}} - m_{1k})^2 \quad (3)$$

- step 4: if  $n_{1k} \geq n$ , then end
- else goto step 5.
- step 5: if  $J^* \geq J_W$ , then  $m_{1k} = m^*, J_{1k} = J^*, n_{1k} = n_{1k} + 1$ ,  
goto step3
- else  $k = k + 1, n_{1k} = n_{1(k-1)}$ , goto step 2

이 방법은 ART[13]의 자기조직 분류법과 유사하다. 이와같은 방법으로 쉽게 peg와 hole을 구분할 수가 있다(그림5(c)). 그런데 hole은 두번째 군에 해당되는 것으로 occlusion 발생시 잡음을 hole로 오인할 가능성이 있다. 이것은 정합시 적합성 검토(compatibility check)에서 제외 시킬 수가 있어 문제되지 않는다. 그리고 sampling 간격  $\phi$ 가 클수록 처리 속도는 빠르지만 정확한 정보를 얻을 수 없기 때문에 앞에서 구한 교점들을 표식(land mark)으로 하여 이

표식 사이를 윤곽선 정보를 참조하여 연결을 하면 보다 정확한 형상정보를 얻을 수 있다. 여기서는 중심  $O_p$ 로부터 영상면 전체에 대해서 최대 약 2 pixel의 오차 허용범위내로 들어오기 위해서  $0.8^\circ$ 를 사용하였다. 또한 이 윤곽선 정보는 방대하므로 다각형 근사(polygonal approximation) 방법[14]을 이용하여 단순화 시킨다. 이 다각형 근사법은 어떠한 평면 물체에 대해서도 적용이 가능하므로 이 방법을 사용한다.

### 3.3 국소정합(local matching)

다각형 근사에 의해서 peg와 hole의 근사화된 정보로부터 두 물체사이의 변환관계를 알아내기 위해서는 정합이 필요하다. 정합에 대한 연구가 많이 진행되어 오고 있으며 크게 전역특징(global features), 국소특징(local features)들의 불변량(invariant)을 이용하거나 또는 이들 특징으로부터 가설적 방법을 이용하는 방법에 대해서 많은 연구가 진행되어 오고 있다[15]-[17]. 본 문제에서 관심을 갖는 조립은 물체의 전체길이에 대한 가리워진 길이비로 정의 되는 폐색비율(occlusion ratio)이 60% 이상으로 항상 발생함으로 전역특징점들 보다는 국소특징점들 이용하여 가설검증방법에 의해서 정합을 수행한다.

#### 1) peg 및 hole의 기술

peg 및 hole의 특징벡터를  $M_i, S_j$ 라 하자. 이때,  $M_i = \{X_{mi}, \theta_{mi}, u_{mi-1}, u_{mi+1}\}, S_j = \{X_{mj}, \theta_{mj}, u_{mj-1}, u_{mj+1}\}$ 로 정의 한다. 여기서  $X_{mi}, X_{mj}$ 는 peg와 hole의 근사화된 모양의 꼭지점(vertex point)이고,  $\theta_{mi}$ 와  $\theta_{mj}$ 는 그 꼭지점에서 이웃하는 꼭지점들과 이루는 각이다. 또한,  $u_{mi}, u_{mi+1}$ 와  $u_{mj}, u_{mj+1}$ 는 꼭지점  $(i, j)$ 에서 이웃하는 점까지의 각각의 단위 방향벡터이다.

#### 2) 가설의 수립

1)에서 얻어진 peg의 특징벡터  $M_i$ 에 대응되는 hole의 특징벡터  $S_j$ 를 찾아내기 위하여 후보특징벡터의 적합성(compatibility)을 평가하여야 한다. 따라서 적합성  $C(i, j)$ 는 다음과 같이 정의 된다.

$$C(i, j) = \frac{2}{1 + e^{\lambda T}} \quad (4)$$

여기서  $T = \Delta\theta = |\theta_{mi} - \theta_{mj}|$ 이고  $C(i, j)$ 와  $\lambda$ 는 0과 1사이의 범위를 갖고 적합성이 높으면 1이 된다.

따라서 peg의  $M_i$ 에 대응되는 hole의 특징점  $S_j$ 에 대해서 모두 적합성을 계산하고 이 가운데 문턱값(threshold value)  $C_T$ 에 대해서  $C(i, j) \geq C_T$ 를 만족하는 것을 찾아내어 각각 변환변수  $\alpha_i, t_x, t_y$ 를 다음의 식으로 계산한다.

#### 3) 가설의 검증

2)에서 미리제산된  $T_i$ 에 대해서 상이성(dissimilarity)를 계산하여 정합점수가 높은값을 찾아서 실제  $T$ 를 얻는다. 상이성과 정합점수(matching score)는 다음과 같이 정의 하였다.

$$d(i, j) = p \frac{|\theta_{mi} - \theta_{mj}|}{\Delta\theta_{max}} + q \frac{|X_{mi} - X_{mj}|}{\Delta X_{max}} \quad (5)$$

$$S(i, j) = \frac{2}{1 + e^{\lambda d(i, j)}} \quad (6)$$

## 4. 실험결과

그림7은 원형, 사각 그리고 다각형의 peg를 조립할 때 발생하는 상대위치 및 각도오차에 대해서 이를 보정해주는 실험결과이다. (a), (b), (c)는 peg를 hole에 삽입시 발생한 상대오차를 전방향선으로 촬영하여 세션화시킨 영상이다. 이 영상으로부터 3.2에서 서술한 방법으로 peg를 찾아낸 다음, 이 peg와 hole사이에 오차를 3.3의 정합방법에 의해서 찾아내면  $V_{circle} = (26 \text{ pixel}, -4 \text{ pixel}, 13.7^\circ), V_{rect} = (68 \text{ pixel}, 89 \text{ pixel}, 73.7^\circ), V_{poly} = (110 \text{ pixel}, -123 \text{ pixel}, -140.1^\circ)$  이 된다. 이 값을 확인하기 위해서 이 결과를 이용하여 peg의 형상의

데이터를 변환시킨 다음, 선선화된 그림 (a), (c), (d)위에 각각 겹쳐서 보이면 (b), (d), (f)와 같은 결과를 얻는다. 이 결과에서 알 수 있듯이 비교적 형상이 단순하고 특징점들이 명확하게 얻어진 원 및 사각형의 단면형상은 정확하게 오차를 찾아내어 보정을 하는 반면에, 형상이 복잡하고 noise에 민감한 형상을 갖는 다각형의 복잡한 형상은 오차를 다소 가짐을 보인다.

지금까지의 내용을 통해서 전방향센서를 이용한 조립은 2차원의 정합문제가 되어 형상에 관계없이 조립오차를 찾아내는 것이 가능함을 보인다. 하지만 그 정확도는 조명조건, 반사율, 처리오차등에서 기인하는 잡음등에 민감하므로 1mm 이하의 미소변위를 갖는 조립오차를 측정하여 보상하기 위해서는 잡음을 고려한 강건한 전처리 및 정합알고리즘이 요구된다.

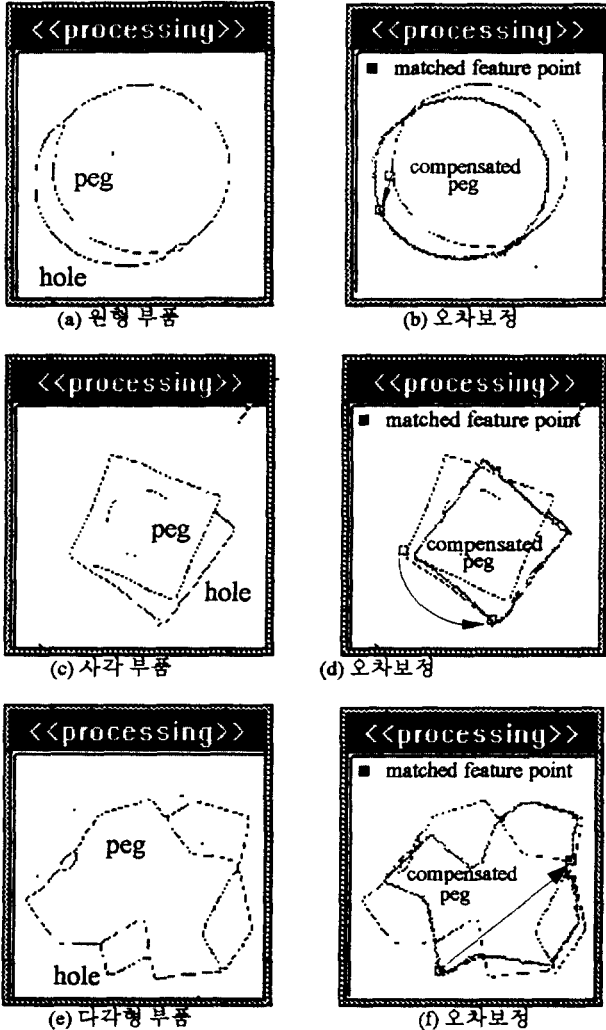


그림 6. 오차의 측정과 보정 실험

Fig.6. Experimental results of the measurement of a misalignment and its compensation

## 5. 결론

본 논문에서는 센서의 안쪽에 놓인 물체의 전방향 영상을 얻을 수 있는 전방향센서를 사용하여 임의의 복잡한 단면을 갖는 물체의 조립시 발생하는 오차를 측정하는 방법을 제시하고, 조립모델에 대한 사전지식이 없는 경우에도 전방향 영상으로부터 즉시, peg 및 hole의 형상을 구분하는 방법을 제안하였다. 또한, 실험을 통해서 전방향센서의 조립에의 응용 가능성을 보였다.

전방향 센서의 사용시 조립오차를 갖는 물체사이의 오정렬 형상이 즉시 동축  $2\pi$  영상으로 얻어지므로 결국 2차원의

정합문제로 바뀌게 된다. 따라서 임의의 형상을 갖는 부품의 조립시 발생하는 오차의 추정이 즉시 이루어질 수 있다. 하지만, 미소변위의 조립오차를 추정하여 동적으로 보정하기 위해서는 보다 강건하고 신속하게 측정할 수 있는 방법이 연구되어야 한다.

## 참고문헌

- [1] H. S. Cho, H. J. Warnecke and D. G. Gwon, "Robotic assembly: a synthesizing overview", *Robotica*, Vol. 5, pp. 153-165, 1987.
- [2] G. C. Burdick and H. J. Wolfson, "Solving Jigsaw Puzzles by a Robot", *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol. 5, No. 6, pp. 752-763, 1989.
- [3] A. C. Sanderson and G. Perry, "Sensor-Based Robotic Assembly Systems: Research and Applications in Electric Manufacturing", *IEEE Proc.* Vol. 71, pp.856-871, Jul. 1983.
- [4] N. Takanashi, H. Ikeda, T. Horiguchi and H. Fukuchi, "Hierarchical Robot Sensors Application in Assembly Tasks", *15th ISIR*, pp.829-836, 1985.
- [5] J. J. Hill, D. C. Burgess and A. Pugh, "The Vision-Guided Assembly of High-Power Semiconductor Diodes", *Proc. 14th. Int. Sym. on Industrial Robots*, Gothenburg, Sweden, pp.449-460, 1984.
- [6] J. E. Byun and H.S. Cho, "A Study on Assembly Task of Parts with Rectangular Cross-Sectional Area by Robot Vision System", MS Thesis PE, 1987, KAIST.
- [7] J. Miura and K. Ikeuchi, "Generating Visual Sensing Strategies in Assembly Task", *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp.1912-1918, 1995.
- [8] W. S. Kim, H. S. Cho and S. Kim, "A New Omnidirectional Image Sensing System for Assembly(OISSA)", *IEEE Int. Conf. Intelligent Robots and Systems*, 1996. (to appear)
- [9] Z. L. Cao, S. J. Oh and E. L. Hall, "Dynamic Omnidirectional Vision for Mobile Robots", *J. Robotics Syst.*, Vol. 3, no. 1, pp.5-17, 1986.
- [10] Y. Yagi, Y. Nishizawa, and M. Yachida, "Map-based Navigation for a Mobile Robot with Omnidirectional Image Sensor COPIS", *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol. 11, No.5, pp. 634-647, 1995.
- [11] H. Freeman, "Computer Processing Line Draw Images", *Computer Surveys* 6, 1, March 1974
- [12] D. H. Ballard and C. M. Brown, *Computer Vision*, Prentice Hall, Inc., 1982.
- [13] G. A. Carpenter and S. Grossberg, "A Massively Parallel Architecture for a Self-Organizing Neural Pattern Recognition Machine", *Computer vision, Graphics and Image*, Proc. 37, pp.54-155.
- [14] I. Pitas, *Digital Image Processing Algorithms*, Prentice Hall, 1993.
- [15] M.W. Koch and R. L. Kashyap, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. PAMI-9, No. 4, 1987.
- [16] N. Ayache and O. D. Faugeras, "A New Approach for the Recognition and Positioning of Two-Dimensional Objects", *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. PAMI-8, No. 1, Jan. 1986.
- [17] T. H. Reiss, *Recognition planar Objects Using Invariant Image Features*, Springer-Verlag, New-York, 1993.