

공차영역을 이용한 대형 2차원 가공물의 형상 검사

이성건*, 정병묵**, 조지승*

Vision Inspection for Large 2D Machining Product using Tolerance Zone

Sung-Gun Lee, Byeong-Mook Chung** and Che-Seung Cho*

ABSTRACT

Generally, it is very difficult to inspect geometric shape of large 2D objects after machining. To maintain the accuracy for inspection, a robot vision is used to divide overall shape into several enlarged images, and image processing technique is applied to acquire one minute geometric contour. The inspection is to compare the NC data with the measured contour data by the vision system, and the algorithm is to rotate to minimize the maximum deviation after coinciding two geometric centers. This paper experimentally shows that the proposed algorithm is very useful for inspection of large machined objects.

Key Words : Inspection(검사), Machining(기계가공), Robot vision(로봇비전), Shape matching(형상맞춤)

1. 서론

기술과 산업의 발달로 생산 시스템이 자동화함에 따라 작업의 적응성 및 유연성을 부여하기 위한 연구가 많이 진행되고 있다. 특히 비전시스템은 다른 시스템과 결합하여 보다 효율적으로 작업을 수행할 수 있어 로봇에 시각 장치를 이용하여 시각 능력을 부여함으로써 스스로 작업 환경의 변화에 적응하며, 조립작업, 용접작업, 도장 작업, 자동 검사작업등에 다양하게 응용되고 있다. 최초로 이진 영상으로 원형 형상의 위치를 찾아내어 전기모터의 조립을 수행한 이래로 비전시스템은 전자 소자를 PCB(Printed circuit board)에 삽입하는 공정이나 원자력 발전소 증기발생기의 스팀제너레이터에

대한 파손 유무를 검사하는데 응용되었다^[1-3]. 그리고 최근에 이러한 시각검사의 자동화는 컴퓨터와 이미지처리기술등의 발전과 더불어 CIM(Computer Integrated Manufacturing)의 중요한 부분이 되었다. 가공 도형의 검사와 관련한 연구를 보면 J.S. Sallade와 M.L. Philpott^[4]는 CAD의 기하학적 정보를 이용하여 통합적 형상을 생성하고 이를 비전 시스템으로부터 획득된 이미지 형상과 매칭하여 가공된 제품을 검사하였고, Yvres Lucas, Tanneguy^[5]는 이미지 데이터와 CAD 모델을 공간상의 윤각선으로 나타내고 이 둘을 포개어 매칭하였다. Chen과 Ventura^[6]는 형상을 모델링하고, 이를 4개의 변수로 (scale, orientation, x position, y position) 두고 외각 포인트와 보간 곡선을 Euclidean 거리를 이용하여

¹⁻³ 2002년 4월 18일 접수

* 영남대학교 대학원

** 영남대학교 기계공학부

오차를 구하고 최소자승법을 이용하여 오차를 줄이는 방향으로 매칭 시켰다. 일반적으로 절단된 이차원 가공품의 양 불량은 특징부위의 치수를 작업자가 수작업으로 측정하여 판단하고 있으며 이러한 검사는 작업자의 상황이나 작업자의 숙련도에 따라 차이가 날 수 있다. 특히 가스 절단의 경우에는 토치의 높이나 불꽃의 세기에 의해 제품이 미절삭되거나 과절삭되는 경우가 많이 발생되고 가공된 제품의 열변형에 의한 불량까지 발생한다. 따라서 가공 후에 신뢰성 있는 검사를 통하여 불량의 원인을 파악하고 이를 제품의 생산과정에 반영한다면 생산성을 향상시킬 수 있다. 본 연구에서는 원하는 정밀도를 얻기 위해 카메라를 절삭용 토치에 부착하여 윤곽선을 따라 이동하면서 확대된 이미지를 얻은 다음 이것을 NC(Numerical Control) 데이터로부터 얻어진 형상과 비교한다. 비교 방법은 두 형상모델의 도심을 중첩한 후 오차벡터를 이용하여 회전하면서 최대오차가 허용 오차 범위(tolerance zone)안에 존재하는지의 여부로 제품의 양 불량을 검사하고 오차분포도로부터 불량의 원인도 분석할 수 있다.

2. 화상 처리와 분할영상 인식

픽셀 단위로 주어진 윤곽점 정보를 가지고 본래의 윤곽을 표현하기 위하여 화상처리과정을 거쳐서도형정보를 추출한다. 다음 화상으로부터 그 구성 성분 별로 나누는 작업을 하는데 이진화, 윤곽선 추출, 세선화를 이용하였다. 물체의 인식에 필요한 특징을 보다 효율적으로 추출하기 위해서는 화상을 적당한 방법으로 부호화(Coding)하여 필요한 정보의 양을 통합하여 묘사할 필요가 있다. 여기서는 체인 코딩(Chain coding)의 방법을 사용하여 세선화된 픽셀들을 결합하여 벡터의 순서쌍으로 나타낸다^[7-10]. 그 다음은 체인 코딩된 형상정보로부터 특징정보인 선과 원호정보를 추출하는 과정이다. 먼저 윤곽의 직선 근사화 과정으로 체인 코딩된 형상정보를 직선 근사화하면 정보의 양을 축약할 수 있다. 본 연구에서는 잘 알려진 Iterative end-point fit 알고리즘을 변형하여 사용한다^[11-13]. 먼저 처리 시간을 향상시키기 위하여 길이가 일정한 최소 길이의 기본선분(fundamental line segment)으로 그룹화한 다음 실제 곡선과 근사 직선간의 오차가 허용 범위(Acceptable bound)를 초과하면 두 개의 새로운

직선선분으로 분리하는 과정을 수행한다. 다음 이 직선선분 들간에 오차가 허용범위를 초과하지 않는다면 각 직선선분들을 병합(Merge)하는 과정을 수행한다.

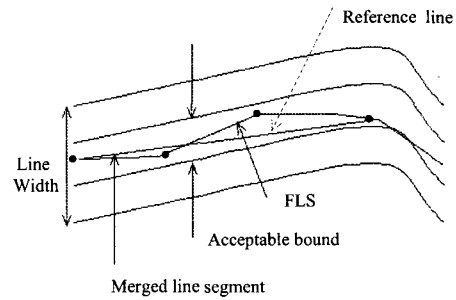


Fig. 1 Merge of fundamental line segment

Fig. 1은 최소 길이의 기본 선분들을 병합하는 과정을 나타내고 있다. 처음 선분의 끝점과 합친 선분과의 오차가 허용범위를 초과하지 않으면 두 선분을 병합하고 다음 선분에 대해 병합을 시도한다. 그러나 초과할 경우 병합을 끝내고 다음 선분을 선택하여 순차적으로 병합가능 여부를 판단한다. 다음에는 각각의 병합된 선분이 일정한 각도변화를 가진다면 세 점(시작점, 중간점, 끝점)을 지나는 원호의 오차범위 안에 있는지 판단하여 원호로 병합한다.

본 논문에서는 작업대상물의 크기가 크기 때문에 카메라로 작업대상물의 전체영역을 하나의 영상으로 처리하면 영상의 해상도가 감소한다. 따라서, 원하는 검사정밀도를 얻기 위해서는 검사대상물 전체를 하나의 화면으로 처리할 수는 없으므로

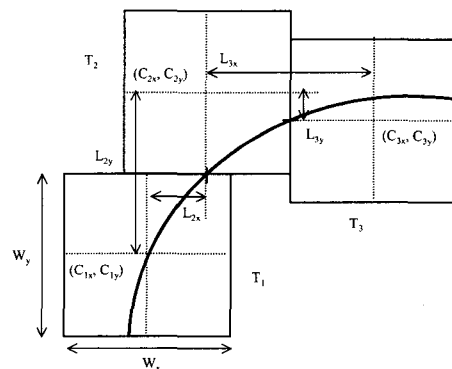


Fig. 2 Moving position of camera

로봇을 이용해 카메라를 이동시켜 여러 조각의 분할된 화상으로 나누어서 전체 이미지를 획득한다.^[11]

확대된 영상을 얻기 위해 카메라의 중심점(C_x, C_y)은 Fig. 2와 같은 방법으로 이동한다. 즉, 영상의 가장자리를 제외한 유효한 화면의 크기를 가로 W_x , 세로 W_y 라고 하면, 현재의 화상 T_1 의 마지막 선분의 위치가 위쪽이면 다음 화상 T_2 의 아래쪽 중양을 일치시키면서 x 방향으로 L_x 길이만큼 이동하고, 오른쪽이면 다음 화상 T_3 와 같이 왼쪽의 중양을 일치시키면서 y 방향으로 L_y 만큼 이동한다. 이때 L_y 는 W_y 와 같다. 이렇게 구한 이미지를 선분이나 원호로 병합하고 각 병합된 선분이나 원호의 시작점과 끝점 그리고 중간점을 검사에 필요한 특징점으로 사용한다. 이때 병합된 한 도형의 길이가 너무 길 때에는 중간점을 추가해 사용한다.

3. 형상모델과 형상중심

검사방법은 카메라의 이미지로부터 구한 가공형상의 특징점과 NC 데이터로부터 구한 NC 도형 정보를 비교한다. 이미지데이터와 NC 도형으로부터 구한 형상특징은 다음과 같은 도형정보로 나타낸다. 이미지에서 획득한 특징점들의 집합은 IS (Image Set)로 나타낸다.

$$IS = \{IP_i = (I_x, I_y) \mid i=1, 2, \dots, n\} \quad (1)$$

여기서, IP_i 는 이미지에서 획득한 특징점을 나타내고 n 은 특징점의 개수이다. NC 도형은 NS(NC data Set)로 표현하였고 엔티티(entity)의 개수는 N 개이다.

$$NS = \{NP_j \mid j=1, 2, \dots, M\} \quad (2)$$

이때의 형상모델의 기하학적 표현은 선분(L_j)과 원호(C_j)로 구성되고 식(3)과 같이 나타낸다.

$$NP_j = \left[\begin{array}{l} L_j, j \in I_L \\ C_j, j \in I_C \end{array} \quad j=1, 2, \dots, N \right] \quad (3)$$

여기서, 선분은 I_L , 원호는 I_C 의 집합으로 나타내고, L_j 와 C_j 는 다음과 같다.

$$L_j = \{Nx_j, Ny_j, l_j, a_j\}, j \in I_L \quad (4)$$

$$C_j = \{Nx_j, Ny_j, \phi_j, Cx_j, Cy_j\}, j \in I_C \quad (5)$$

여기서, Nx_j, Ny_j 는 끝점 좌표, l_j 는 선분의 길이, a_j 는 각도, ϕ_j 는 원호각, Cx_j, Cy_j 는 원호의 중심점, NP_j 의 Nx_j, Ny_j 는 NP_{j+1} 의 시작점이며, NP_1 의 시작점은 NP_N 의 Nx_N, Ny_N 점이다. Fig. 3은 기하학적형상에 대한 정의를 나타내었다.

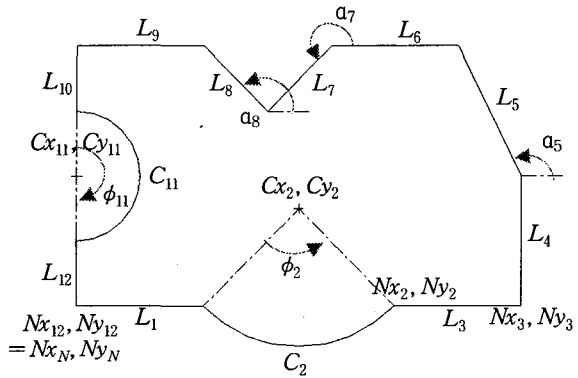


Fig. 3 Geometric description

기하학적 형상모델로부터 도심을 구하기 위해 먼저 면적을 구한다. Fig. 4는 면적을 구하는 예를 보여주는데 기준점(P_o)은 도형의 내부나 외부 어느 곳에 두어도 상관없다. 면적은 다음 식(6)으로 표현 할 수 있다.

$$A = \sum_{j=1}^N (A_j^{tri} + A_j^{arc}) \quad (6)$$

$$A_j^{tri} = \frac{1}{2} \times d_{j-1} \times d_j \times \sin(\theta_j) \quad (7)$$

$$A_j^{arc} = \left(\frac{\phi_j}{2} \times R_j^2 \right) - (R_j^2 \times \sin(\phi_j)) \quad (8)$$

여기서, A_j^{tri} 는 d_j 와 d_{j-1} 그리고 L_j 로 이루어진 삼각형의 면적이고 A_j^{arc} 는 이 삼각형과 접하는 호의 면적으로 호가 없는 경우에는 제로이다. 그리고 d_j 는 기준점에서 모서리까지의 거리, θ_j 는 삼각형의 각도(rad)이며 ϕ_j 는 삼각형과 접하는 호의 각도(rad)로서 호가 없으면 각도는 제로이고 모든 각도

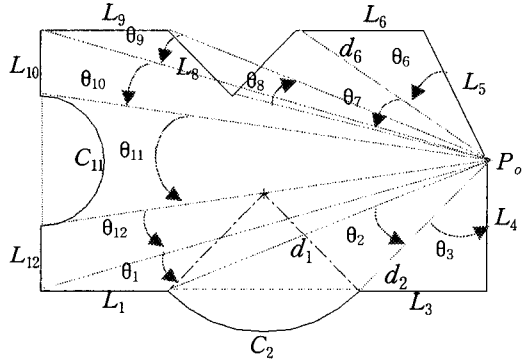


Fig. 4 Example of obtaining Area

는 반 시계 방향이 양(+)이고, θ_8 처럼 시계 방향으로 돌면 면적을 빼준다. 또한 R_j 는 j 번째 삼각형에 접하는 호의 반지름이다. 이렇게 구한 면적을 이용하여 다음과 같이 전체 도형의 도심을 구할 수 있다.

$$X_c = \left(\sum_{j=1}^N (x_j^{tri} A_j^{tri} + x_j^{arc} A_j^{arc}) \right) / A \quad (9)$$

$$Y_c = \left(\sum_{j=1}^N (y_j^{tri} A_j^{tri} + y_j^{arc} A_j^{arc}) \right) / A \quad (10)$$

여기서, x_j^{tri} 과 y_j^{tri} 는 j 번째 삼각형의 도심이고, x_j^{arc} 와 y_j^{arc} 는 j 번째 삼각형과 접하는 호의 도심이다.

4. 검사 알고리즘

검사과정에 있어서는 먼저 검사할 초기 위치를 잡고 제안된 검사 알고리즘을 반복적으로 적용하여 최종 매칭 후 전체오차를 분석한다. 검사할 두 형상의 초기위치는 전체 도심으로부터 각 엔터티와의 최단 거리와 최장 거리가 되는 점을 단축과 장축으로 둔 후 단축에서 장축의 각도가 가장 작은 것을 선택하여 이 단축을 기준으로 잡는다. 이때 단축이나 장축이 호인 경우에는 호의 중심이 도심과 일치하는지를 검사하여 일치하는 경우에는 이 호의 중간 점을 단축이나 장축으로 선택한다. 도심과 단축을 일치시킨 초기위치로부터 오차 값과 오차 벡터를 구하여 NC 도형의 이동량과 회전량을 구한다. 여기서 구한 이동량과 회전량으로 매칭을 시킨 후 다시 오차값과 오차벡터를 구하여 NC 도형의 이동

량과 회전량을 구한다. 이런 반복작업을 통하여 최종 매칭이 이루어진다. 이때, 이미지로부터 측정된 도형정보(IP_i)와 NC 도형 정보(NP_i)간의 오차는 Euclidean 거리를 이용하여 계산하는데 이때, 임의의 이미지 데이터와 비교할 NC 도형상의 대응점을 설정해 주어야한다. 이 대응점들을 NIS(NC data point for Image point)로 정의하고 식(11)로 표현하였다.

$$NIS = \{ NP_i = (Nx_i, Ny_i) \mid i=1, 2, \dots, n \} \quad (11)$$

여기서 NP_i 는 측정된 이미지에 대응하는 NC 도형상의 점이다. 이 점에서 이미지 도형 점으로 연결한 벡터가 오차벡터가 되고 이러한 대응점은 도형정보가 직선일 때와 원호일 때의 2가지로 나누어 구할 수 있다.

i) 도형 정보가 선분일 때 대응점을 구하는 방법

$$Y = \alpha \times (X - Nx_i) + Ny_i \quad (12)$$

$$Y = -\frac{1}{\alpha} \times (X - Lx_i) + Ly_i \quad (13)$$

여기서, $\alpha = (Ny_i - Ny_{i-1}) / (Nx_i - Nx_{i-1})$ 이며 이 직선의 기울기이다. 식 (12)는 NC도형의 선분 L_j 를 포함하는 직선 식이며, 식 (13)은 i 번째 특징점을 지나고 식 (12) 직선에 수직인 직선 식이다. 위의 두 식을 연립하여 구한 점 (X, Y) 이 NC 도형상의 대응점 (Nx_i, Ny_i) 이 된다.

$$Nx_i = \frac{\alpha^2 Nx_i + \alpha(Ly_i - Ny_i) + Lx_i}{\alpha^2 + 1} \quad (14)$$

$$Ny_i = \frac{\alpha^2 Ly_i + \alpha(Lx_i - Nx_i) + Ny_i}{\alpha^2 + 1} \quad (15)$$

ii) 도형 정보가 원호일 때 대응점을 구하는 방법

먼저 NC 도형의 호 C_j 를 포함하는 원의 식을 구하면 식 (16)이 되며 반경은 식(17)에 의해 구할 수 있다. 이 원의 중심점과 이미지의 특징점을 잇는 직선 식이 식(18)이므로 이미지의 특징점에서 가장 가까운 점은 이 두 식을 연립하여 구할 수 있고 (X, Y) 의 두 값 중에서 IP_i 에 가까운 점을 대응점 (Nx_i, Ny_i) 으로 선택한다.

$$(X - Cx_i)^2 + (Y - Cy_i)^2 = R^2 \quad (16)$$

$$R = \sqrt{(Cx_i - Nx_i)^2 + (Cy_i - Ny_i)^2} \quad (17)$$

$$Y = \frac{Cy_i - Iy_i}{Cx_i - Ix_i} \times (X - Cx_i) + Cy_i \quad (18)$$

$$NLx_i = Cx_i + R \cdot \cos(\tan^{-1} \frac{Iy_i - Cy_i}{Ix_i - Cx_i}) \quad (19)$$

$$Nly_i = Cy_i + R \cdot \sin(\tan^{-1} \frac{Iy_i - Cy_i}{Ix_i - Cx_i}) \quad (20)$$

측정된 이미지 데이터에 대한 NC 데이터상의 정확한 점을 찾을 수 없으므로 이미지 데이터에서 NC 데이터와의 가장 가까운 지점을 동일점으로 가정한다. 이렇게 구한 NC 도형상의 대응점과 측정된 이미지의 특징점간의 Euclidean 거리가 오차 (E_i) 크기가 되며 식(21)과 같다.

$$E_i = \sqrt{(Ix_i - NLx_i)^2 + (Iy_i - Nly_i)^2} \quad (21)$$

Fig. 5는 각각의 특징점(IP_i)에 대해 Euclidean 거리가 가장 가까운 점을 대응점으로 선택한 그림으로 실선은 NC 도형이며 점선은 가공 형상의 이미지로부터 구한 도형이다. 여기서 점선 화살표는 이상적인 대응점에 대한 오차 벡터이고 실선 화살표는 Euclidean 거리를 기준으로 오차 벡터를 나타낸 것이다. 이 때 어긋난 각이 클 때에는 대응점이 다소 차이가 나지만 검사 알고리즘을 반복적으로 적용하여 매칭 하면 두 형상이 거의 일치하게 되어

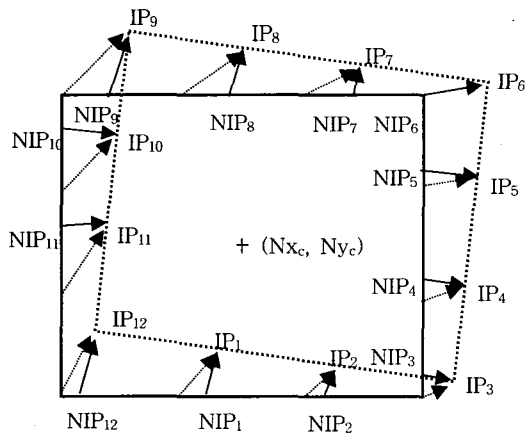


Fig. 5 Error vector generation

이렇게 찾은 대응점(NIP_i)이 결국에는 이상적 대응점에 접근하게 된다.

형상검사에서는 NC 데이터에 의해 형성된 기하학적 도형을 도심(Nx_c, Ny_c)을 중심으로 화살표 방향으로 이동과 회전을 시킨다. 이때, 도심의 이동량(dx, dy)은 전체를 평균하여 구하고 오차벡터에 의한 각도의 합을 표준화하여 회전각($d\theta$)를 결정하여 도심을 중심으로 회전시킨다. 식(22)는 이동량(dx, dy)을 구하는 식이며, 식(23)은 회전각($d\theta$)을 구하는 식이다.

$$dx = \frac{\sum_{i=1}^n (Ix_i - NLx_i)}{n}$$

$$dy = \frac{\sum_{i=1}^n (Iy_i - Nly_i)}{n} \quad (22)$$

$$d\theta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tan^{-1} \left(\frac{Iy_i - (Ny_c + dy)}{Ix_i - (Nx_c + dx)} \right) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tan^{-1} \left(\frac{Nly_i - Ny_c}{NLx_i - Nx_c} \right) \quad (23)$$

앞에서 구한 이동 벡터와 회전각으로부터 이미지 특징점과 NC 도형상의 대응점간의 매칭을 위한 이동 행렬과 회전 행렬을 구할 수 있으므로 이동 행렬 (TM)은 식(24)와 같다.

$$TM = Trans(Nx_c + dx, Ny_c + dy, 0) \times Rot(z, d\theta) \times Trans(-Nx_c, -Ny_c, 0) \quad (24)$$

$$= \begin{bmatrix} \cos d\theta & -\sin d\theta & 0 & Nx_c + dx \\ \sin d\theta & \cos d\theta & 0 & Ny_c + dy \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -Nx_c \\ 0 & 1 & 0 & -Ny_c \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

따라서 좌표 (x, y)가 도심을 중심으로 이동된 좌표 (TX, TY)는 다음 식(26),(27)과 같다.

$$\begin{bmatrix} TX \\ TY \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos d\theta & -\sin d\theta & 0 & Nx_c + dx \\ \sin d\theta & \cos d\theta & 0 & Ny_c + dy \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -Nx_c \\ 0 & 1 & 0 & -Ny_c \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$TX = (x - Nx_c) \cos d\theta - (y - Ny_c) \sin d\theta + Nx_c + dx \quad (26)$$

$$TY = (x - Nx_c) \sin d\theta + (y - Ny_c) \cos d\theta + Ny_c + dy \quad (27)$$

5. 실험

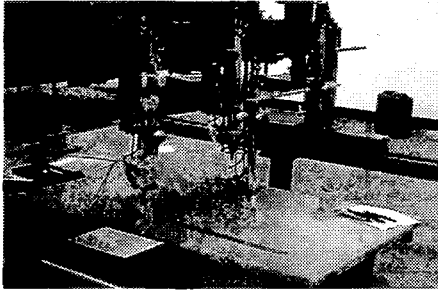
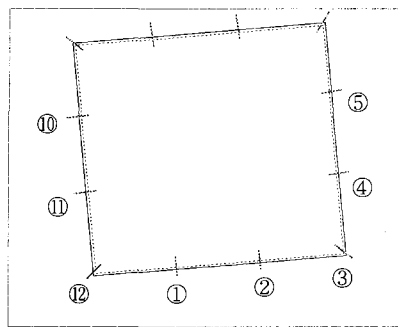


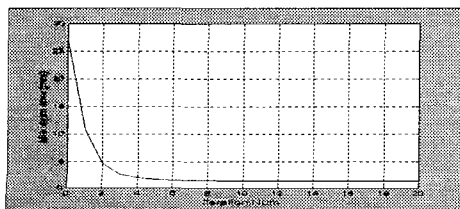
Fig. 6 Cutting machine with robot vision

Fig. 6은 2축 로봇으로 구성된 실제 절단기에 CCD카메라를 부착한 모습을 나타내고 있다. 화상 획득은 PC의 TV 수신용 카드를 이용하였고, 산업용 PC를 사용하였다. 그리고, 로봇 조작 및 화상처리 부분은 Visual C++을 사용하여 프로그래밍 하였다.

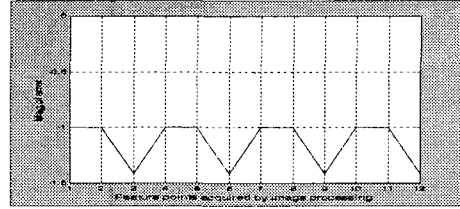
실험에서는 도형이 과 절삭일 때와 미 절삭일 때, 그리고 비틀린 절삭의 도형에 대한 매칭 결과



(a) Matching result



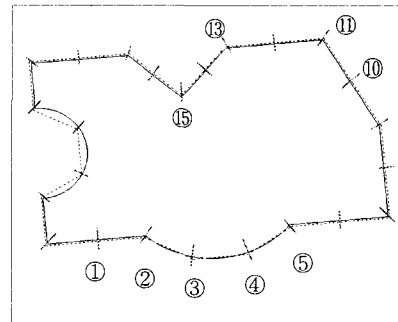
(b) Change of maximum error



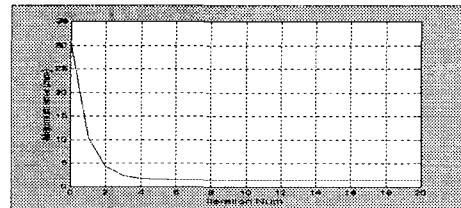
(c) Error distribution after shape matching

Fig. 7 Matching result of 1mm over-cut shape

를 살펴보았다. Fig. 7과 8에서 (a)에 부쳐진 숫자는 이미지점에서 추출한 특징점을 순번으로 적어놓은 것이다. Fig. 7은 각 변이 균일하게 1mm 과 절삭된 사각형의 매칭 결과로서 실선이 NC 데이터로 구성된 원래의 도형을 나타내며, 점선은 이미지에서 획득된 특징점들로 구성된 도형을 나타내고 있다. 이



(a) Matching result

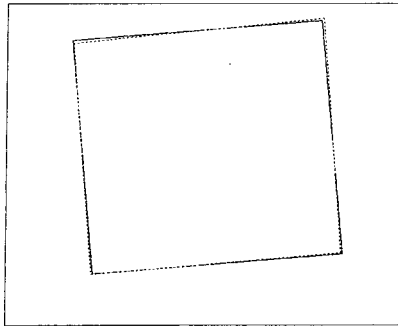


(b) Change of maximum error

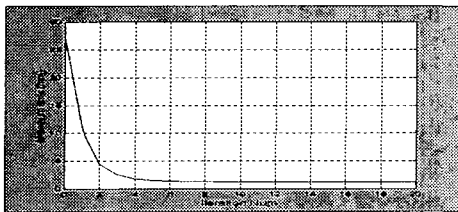


(c) Error distribution after shape matching

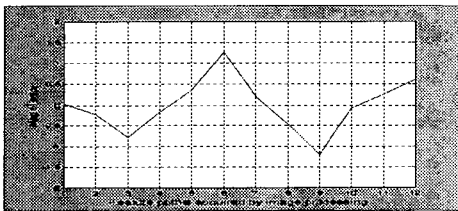
Fig. 8 Matching result of 1mm under-cut shape



(a) Matching result



(b) Change of maximum error

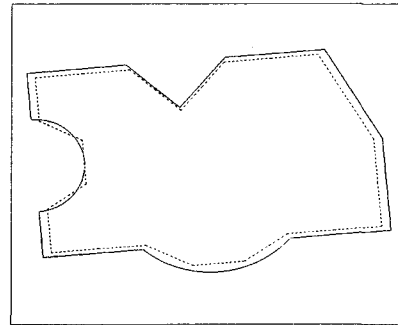


(c) Error distribution after shape matching

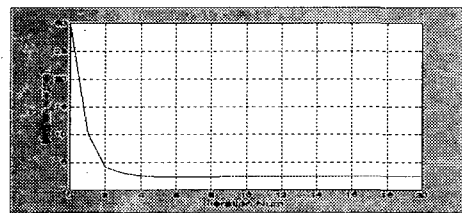
Fig. 9 Matching result of twisted rectangle

때 최대 오차는 -0.14mm 으로 9번째 특징점인 좌측 상단모서리에서 생겼다. 이론적 최대 오차의 값은 -0.14142mm 인데 이와 비교해 거의 차이가 없이 매칭이 이루어졌음을 볼 수 있었다. Fig. 8은 1mm 미 절삭된 원호가 있는 도형의 매칭 결과며 최대 오차가 7번째 특징점에서 1.54mm 로 나타났다. Fig. 9는 비틀린 사각형의 매칭결과를 나타내고 있다. 이때, 최대오차는 9번째 특징점에서 -1.26mm 를 보였다. Fig 10은 비틀린 원호가 포함된 도형의 매칭 결과이며 최대 오차는 7번째 특징점인 우측하단 모서리 부분에서 생겼으며 오차는 -2.52mm 를 보였다. 그리고 각 그래프의 (c)는 매칭 완료 후 오차들의 분포를 나타내고 있는데, 균일하게 과 절삭(Fig. 5(c))이나 미 절삭(Fig. 6(c))이 생겨 오차가 발생한

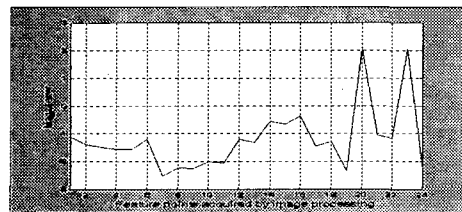
경우에는 오차가 항상 일정 오차값 이상을 나타내고 있고, 비틀림에 의해 오차가 발생한 경우(Fig. 7(c), Fig. 8(c))에는 오차분포가 고루 퍼져있음을 알 수 있어 매칭 후 오차의 원인도 분석 할 수 있다.



(a) Matching result



(b) Change of maximum error



(c) Error distribution after shape matching

Fig. 10 Matching result of general shape

6. 결론

본 논문에서는 PC기반의 로봇 비전 시스템을 이용하여 2차원 절단기에서 가공 후 제품에 대한 검사의 필요성에 의해 대형 2차원 가공물의 검사알고리즘을 개발하였다. 일반적으로 형상검사를 위해서는 고 해상도 카메라와 고가의 이미지 처리 보드가 탑재된 비전시스템을 사용하지만 여기서는 가공

시스템이 직교로봇을 사용한다는 점에 착안하여 저가의 PC용 화상카메라를 절단용 토치에 탑재하여 카메라를 이동하면서 가공 윤곽을 측정하였기 때문에 대형 가공물에 대한 검사에서도 정밀도의 확보에서는 별 문제가 없었다. 수 작업에 의한 2차원 가공물에 대한 검사는 폭이나 길이, 직각도 등과 같이 몇 가지 특정치수에 대해서만 가능했고 전체적인 검사는 거의 불가능했다. 그러나 본 논문에서는 설계도에서 제공되는 가공 공차의 개념을 도입하여 오차범위를 제시하면 가공물이 그 오차범위를 만족하는지를 판단할 수 있었다. 제안된 알고리즘은 도형의 중심을 기준으로 하여 주로 회전에 의해서만 중첩에러를 최소화하기 때문에 복잡한 도형인 경우에도 10회 미만의 반복매칭으로 아주 빠르게 불량률의 유무를 가려낼 수 있었다. 매칭 후의 오차 분포 그래프는 미 절삭이나 과 절삭을 인해 오차가 발생한 경우에는 거의 일정한 오차 분포를 나타내지만 비틀린 가공의 경우에는 오차 분포가 들쭉날쭉한 것을 볼 수 있다. 따라서 검사 결과가 불량일 때, 에러 분포에 따라 토치의 높이나 불꽃의 세기에 의한 과 절삭 또는 미 절삭 불량인지, 열변형에 의해 가공 제품이 수축 또는 팽창되어 비틀린 불량인지를 알 수 있다. 제안된 검사 알고리즘은 검사하고자 하는 형상을 확대하여 이동하면서 측정하기 때문에 대형 2차원 가공물의 검사뿐만 아니라 초정밀 가공물의 검사에도 똑같이 이용될 수 있으므로 레이저나 플라즈마절단과 같이 보다 정밀한 가공물 검사에도 적용할 수 있다.

참고문헌

1. Markhlin, "Robot control and inspection by multiple camera vision system," 11th ISIR, pp. 121-128, 1981.
2. Hitachi, "Vision system of an automatic inserter for PCB assembly," Proc. of the 2nd International Conf, pp.63-72, Nov. 1982.
3. 한성현, "원자력발전소 증기 발생기의 자동검사 및 수리를 위한 비전시스템 설계," 한국정밀공학회지, 제15권, 제6호, pp. 5-14, 1998.
4. SALLADE, J.S., PHILPOTT, M.L., "Synthetic template methodology for CAD directed robot vision," Int.J.Tools Manufact., Vol. 37, No. 12, pp. 1733-1744, 1997.
5. Lucas, Y., Tanneguy, Jutard A., "Spatial contours for vision and CAD model matching," image and vision computing, Vol. 14, 1996.
6. Chen, J.M., Ventura, J.A., "Vision-based shape recognition and analysis of machined part," International Journal of Production Research 33, (1) 184-135, 1995.
7. Jiang, P., Chen, H.T., Wang, Y.J., "A vision guided curve tracking and input system for glass cutting robot," Proc 2nd Asina conf robotics application, pp. 665-669, 1994.
8. Haralick, R.M., and Shapiro, L.G., "Computer and Robot Vision 1," Addison Wesley, pp. 588-625, 1993.
9. Jain, R., Kasturi, R., Schunck, B.G., "Machine Vision," McGRAW-Hill International Editions, pp. 186-203, 1995.
10. Gonzalez, R.C., and Wood, R.E., "Digital Image Processing," Addison Wesley, pp. 491-495, 1992.
11. 조지승, 정병목, "로봇 비전을 이용한 대형 2차원 물체의 인식과 가공," 한국정밀공학회지, 제16권, 제2호, pp. 68-73, 1999.
12. Wan, W., Ventura, J.A., "Segmentation of planar curve into straight-line segments and elliptical arcs," Graphical models and image processing, Vol. 59, No. 6, pp. 484-494, November 1997.
13. Chen, J.M., Ventura, J.A., "Segmentation of planar curve into circular arcs and line segments," Image and vision computing, Vol. 14, pp. 71-83, 1996.
14. Ventura, J. A., Wan, W., "Accurate matching of two-dimensional shapes using the minimal tolerance zone error," Image and vision Computing, Vol. 15, pp. 889-899, 1997.