

특정점 측정에 근거한 도어 장착 로봇의 위치 보정 시스템 개발: Part II - 측정 및 구현

변성동*, 강희준**, 김상명***

Development of Position Correction System of Door Mounting Robot Based on Point Measure: Part II - Measurement and Implementation

Sung Dong Byun*, Hee Jun Kang**, Sang Myung Kim***

ABSTRACT

In this paper, a position correction system of industrial robot for door - chassis assembly task is developed in connection with the position correction algorithm shown in Part I. Two notches and a hole of auto chassis are selected as the reference measure points and a vision based error detection algorithm is devised to measure in accuracy of less than 0.07mm. And also, the transformation between base and tool coordinates of the robot is shown to send the suitable correction quantities according to robot's option. The obtained algorithms were satisfactorily implemented for a real door - chassis model such that the system could accomplish visually acceptable door - chassis assembly task.

Key Words: Position Correction System(위치 보정 시스템), Online Shift 기능(온라인 이동 기능)
Error Detection Algorithm(오차 측정 알고리즘), Coordinate Transformation(좌표 변환)

1. 서론

산업용 로봇의 외부 센서로 비전 시스템을 채택하여 도어 자동 장착 전 공정에서 불가피하게 발생하는 차체의 변형 오차를 능동적으로 보정하여 조립 불량률을 감소시키고, 조립후 도어-차체 결합이 시각적으로 충분한 만족도를 제공하는 산업용 로봇의 위치 보정 시스템을 개발하

고자 한다. Part I에서는 차체에서 위치 측정이 가능한 특정점을 가정하고, 기존의 교시점과 그 점의 변형 위치 점과의 차이로 2차원 또는 3차원 오차 정보를 얻어 최적의 위치 보정량을 산출하는 알고리즘을 제시하였다. 본 연구에서는, 소개된 최적 위치 보정 알고리즘과 더불어, 비전을 이용한 오차 측정 알고리즘, 보정 로봇 및 비전 시스템의 PC 인터페이스, 구성 요소 간의 좌표 변환 그리

* 울산 대학교 컴퓨터 공학과 대학원
** 울산 대학교 제어 계측 공학과
*** 현대 자동차 생산 기술 개발부

고 카메라 Calibration 등 시스템 개발에 필요한 여러가지 고려 사항을 기술한다. 특히, 표시이 없는 차체의 특징점 인식을 위하여 차체 프레스 제작시 만들어진 노치(notch) 부위의 면적 중심을 차체의 특징점으로 삼아 비전을 통하여 변형 위치 오차를 측정하는 알고리즘을 소개한다. 고려된 모든 알고리즘의 효율성 및 구현성을 입증하기 위하여 실 도어-차체 모델에 대하여 실 도어 장착 실험을 수행하였다.

2. 전체 시스템의 개요

고려된 도어 장착을 위한 위치 보정 산업용 로봇 시스템의 하드웨어는 Fig. 1과 같이 차체의 특정 위치를 측정하는 Nachi NV5000 비전 시스템, 주요 소프트웨어를 판장하는 486 PC 그리고 도어를 조작하는 현대 7602 AP 산업용 로봇 등으로 구성되어 있다. 비전 시스템을 이용한 영상 입력부는 1개의 볼트 구멍과 2개의 노치를 측정하는 3대의 CCD 카메라 및 점(Spot) 조명기, 디스플레이 모니터, 콘트롤러로 구성되어 있다.

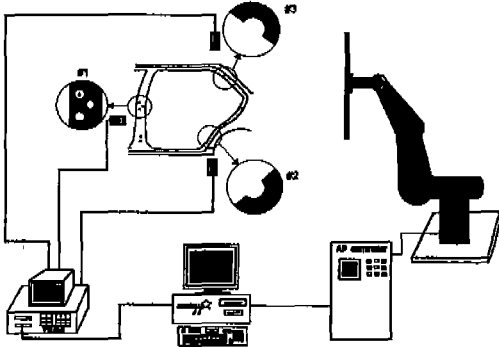


Fig. 1 도어 장착 시스템 구성

Fig. 2는 각 구성 요소들이 수행하는 역할과 상호간의 전송 데이터를 설명한다. 비전 시스템은 도어와 차체의 영상이 CCD 카메라에 잡히게 되면 그 영상의 명도와 조도를 자동 조절한 후, 이진영상으로 바꾸고, 얻어진 이진영상에 대해 개발된 위치 정보 추출 알고리즘을 적용하여, 필요한 오차량을 구하여 그것을 PC로 전송한다. PC에서는 측정된 오차로부터 최적의 보정량을 산출하여 현대 7602 AP 로봇으로 전송하고, 로봇은 Online Shift 기능을 이용하여 교시된 위치로부터 최적의 보정 위치로

이동함으로써 작업을 완료한다. 여기서, 7602 AP 로봇의 Online Shift 기능이란 로봇의 공구(Tool) 좌표계나 또는 기본(Base) 좌표계에 대하여 공구의 3차원 이동량을 로봇에 전송하면 그것에 따라 이동을 수행하는 사용 로봇의 선택 사양이다.

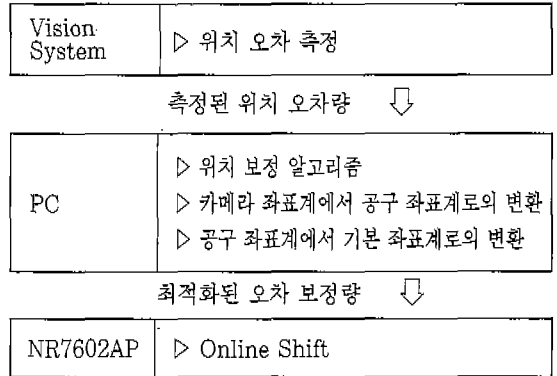


Fig. 2 시스템 구성 요소들의 역할

3. 주변기기와의 인터페이스

3.1 현대 7602 AP 로봇과 PC와의 인터페이스

산업용 로봇은 작업 교시와 재생 동작의 단계를 거치게 되는데 이때 위치 보정을 행할 수 있는 방법은 주변 장치로 부터 보정량을 입력 받아 그 값을 이용하여 동작을 행하게 된다. 본 연구에서 사용된 현대 수직 다관절 로봇의 경우 이러한 위치 보정량에 의한 동작을 할 수 있는 방법은 RS232 통신⁽¹⁾을 이용하여 교시된 작업을 행하면서 보정할 수 있는 기능인 Online Shift⁽²⁾를 이용하는 방법이다. Online Shift는 각 Shift, 평행 Shift, 보간 Shift 등의 종류가 있다. 일반적으로 각(angle) Shift와 평행 Shift를 병행하여 말단 공구의 3차원 이동을 수행한다. Fig. 3은 Online Shift 수행을 위한 프로토콜(Protocol)을 나타낸다.

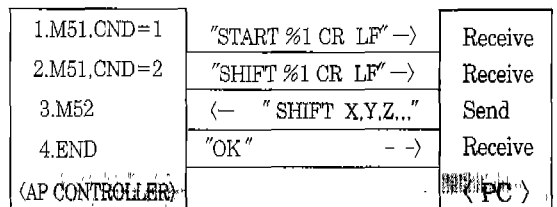


Fig. 3 Online Shift의 프로토콜

3.2 비전 센서와 PC의 인터페이스

본 연구에서 사용된 비전 센서로는 Nachi NV 5000 비전 시스템으로 입출력과 8bit AD컨버터, 화상 전용 DSP를 장착한 화상 처리장치이다(3). PC와의 통신을 위하여 RS232 시리얼 인터페이스를 수행하여 측정 오차량의 PC 송신 및 얻어진 화상에 대한 PC 단말기능, 소스 프로그램 Up/Down Load 기능, Image Up/Down Load 기능을 수행하도록 구성하였다.

4. 노치의 위치 측정 알고리즘

외부적인 식별용 표식이 없는 차체의 위치 정보를 2차원 CCD 카메라를 이용하여 알아내기는 쉽지 않다. 따라서, 차체의 위치를 측정하기 위하여 많은 경우 차체의 너트 구멍을 이용하게 되는데 자동차 차체는 프레스로부터 탈착되는데 필요한 조그만 노치 부분이 있는데, 그 부분의 정도가 관리된다면 차체의 위치 정보를 측정하는 주요 부분으로 사용될 수 있다. Fig. 4는 차체의 노치를 반원의 형태로 표현하였는데, 이것을 이용하여 차체의 특징점의 위치를 측정하는 방법을 우선 설명하고자 한다. 교시된 도어와 최적의 결합을 하는 차체의 위치에서 각 노치 부위를 포함하는 윈도우에 대한 이진 영상을 얻은 후, 그 영상의 역을 얻으면 차체의 노치 부위가 측정 대상(Object)으로 인식되고, 그 대상의 면적 중심을 구하여 차체 노치의 기본 위치로 설정한다. 차후에 도입된 변형된 차체에 대하여 위의 방법을 반복하여 얻어진 노치부의 면적 중심 위치에서 기본 위치를 빼게 되면 원하는 변형 오차량을 얻게 된다.

그러나, Fig. 5의 실 차체 우상단 노치 부위에서 보여진 대로 노치의 아래선은 직선이 아니고 안으로 굽어 있고, 우하단 노치의 아래선은 밖으로 굽어 있어 노치 이외의 면적이 측정 대상으로 인식되어 면적 중심의 변화가 발생하는 문제가 발생한다. 이 문제의 해결 방안을 다음과 같이 제시한다. 차체의 최대 변형 오차를 감안하여 충분히 큰 윈도우에 영상을 얻고 그로부터 노치의 면적 중심을 찾은 후, 다시 그 점을 중심으로 이미 알려진 노치의 크기에 따라 작은 윈도우를 잡아 다시 노치 부분의 면적 중심을 찾는 두번에 걸친 특징량 추출 방법을 사용하여 변형된 위치를 구한다. Fig. 5를 이용한 자세한 설명은 다음과 같다. 최초의 윈도우를 ($W1, W2, W3, W4$)로 정하고 이 윈도우에서 얻어진 이진 화소를 반전시키면 진한 빛금을 제외한 부분이 측정 대상으로 인식된다. $W1-W2$ 선상에서 이진 화소의 변화가 발생하는 첫점을 Obj1이라 하고, $W3-W4$ 선상에서 이진 화소의 변화가 나타나는 첫 점을 Obj2라 한다. Obj1과 Obj2를 연결하는 직선을 그으면 Fig. 5의 빛금과 같은 윈도우($W1, Obj1, Obj2, W4$)를 설정하게 되고 그 윈도우 내부에 속한 열은 빛금으로 표현된 측정 대상의 면적 중심을 구하게 된다. 그러나 이 경우 불필요한 부분이 포함되어 측정 오류가 발생하는 주요인이 된다. 따라서, 윈도우를 잡을 때 이미지 분석결과 대략 3-4 pixel 만큼 평행 이동한 $P1, P2$ 를 잡아, ($W1, P1, P2, W4$)의 새로운 윈도우를 구성하여 노치부의 면적 중심(Q)을 찾는 것이 좋다. 측정의 정밀도를 향상시키기 위하여 위 과정을 반복하는데, 차체상의 노치 부위가 13mm인 점을 고려하여 이 노치를 포함하는 최소의 윈도우($N1, N2, N3, N4$)를 설정한다. 다

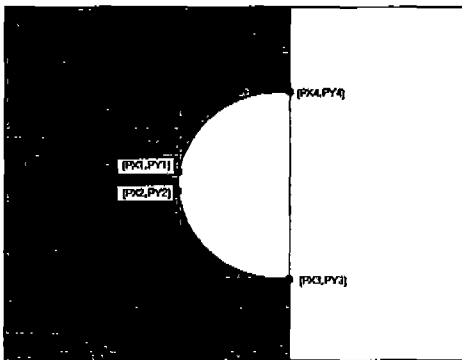


Fig. 4 차체의 노치

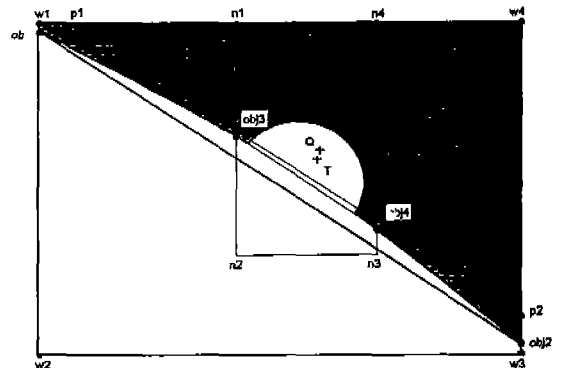


Fig. 5 화상 특징량 추출

시 N1-N2 선상에서 이진 화소의 변화가 나타나는 첫 점을 Obj3이라 하고, N4-N3 선상에서 측정 대상이 나타나는 첫 점을 Obj4라 둔다. (N1, Obj3, Obj4, N4)를 연결하는 새로운 윈도우를 만들어 그 윈도우에 속한 측정 대상의 면적 중심(T)를 찾는다.

위에서 설명된 노치부의 면적 중심을 특정량으로 추출하는 방법은 노치의 아래선이 굽어져 있음으로, 측정의 정밀도가 알고리즘 자체적으로 100% 보장 받을 수 없지만, Table 1의 반복 측정 테스트에 의하면 단순히 이미지 상의 특정점을 측정하는 경우에 비해 상당히 신뢰할 수 있음을 알 수 있다. 단순히 이미지 상의 특정점을 측정하는 경우에는 최대 1 pixel 변화로 X가 0.1296mm, Y가 0.1255mm 이지만, 노치의 면적 중심을 위치 측정값으로 사용하는 경우, X 방향으로 최대 0.042 pixel 변화가 발생하여 0.0054mm, Y 방향으로 최대 0.054 pixel 변화로 0.0068mm 이고, (N1, Obj3, Obj4, N4)를 연결하는 새로운 Window를 만들 때, Y 방향으로 1 pixel 감소시키는 방법으로 Y의 정확도(이 경우, 0.0061mm)로 X의 정확도에 근접시킬 수 있다. 면적 중심을 특정 위치의 측정값으로 사용함으로써 이미지 상의 특정 한 점 사용시 보다 최대 측정 오차를 1/10 이하로 줄일 수 있다.

Table 1. 특정 위치와 면적 중심의 반복 측정

data 실험	#1		#2		#3		#4		Result	
	x1	y1	x2	y2	x3	y3	x4	y4	xc	yc
1회	244	190	244	202	249	178	250	212	247.807	194.137
2회	244	190	244	201	249	177	250	213	247.835	194.122
3회	244	190	244	201	249	178	250	212	247.799	194.110
4회	244	190	244	201	249	178	250	213	247.804	194.117
5회	244	190	244	201	249	178	250	212	247.815	194.099
6회	244	190	244	201	249	178	250	212	247.814	194.132
7회	244	190	244	201	249	178	250	212	247.812	194.152
8회	244	190	244	201	249	178	250	212	247.822	194.108
9회	244	190	244	201	249	178	250	212	247.793	194.127
10회	244	190	244	201	249	178	250	213	247.831	194.083

위에서 제시된 방법으로 차체의 우상단과 우하단에 위치한 노치 및 볼트 구멍의 측정 결과는 다음과 같다.

- 우상단부 노치 측정 : 우상단부 노치는 9.0mm의 크기

로 208.0mm에서 측정한 결과로는 X는 3.8658mm Y는 3.8698mm로서 그 면적중심(X,Y)는 10회 반복 측정한 결과 X는 293.540-293.637, Y는 281.080-281.371로서 이는 X로 최대 0.0251mm Y로 최대 0.0637의 오차를 나타내었다.

- 우하단부 노치 측정 : 우하단부 노치는 11.0mm의 크기로 110.0mm에서 측정한 결과 X는 7.7175, Y는 7.9665로서 그때 면적 중심(X,Y)는 10회 반복 측정한 결과 X는 265.778- 265.835, Y는 309.083-309.152로서 이는 X로 최대 0.0074mm Y로 최대 0.0067mm의 오차를 나타내었다.
- 볼트 구멍 : 주어진 볼트 구멍은 직경 13mm로서 측정 거리 91.0mm에서 X로 8.5901mm로서 구멍의 면적 중심(X,Y)는 10회 반복 측정결과 X는 238.264-238.301 Y는 340.170-340.254로서 이는 X로 최대 0.0043mm Y로 최대 0.0094mm의 오차를 나타내었다.

5. 좌표 변환

5.1 공구 좌표계와 기본 좌표계 사이의 변환

일반적으로, 최적 위치 보정 알고리즘에서 얻어진 보정량은 로봇의 공구 좌표계의 값이지만, 로봇의 공구 좌표계에서의 Online Shift 기능은 선택 사항이므로 조립 라인에 설치된 로봇이 이 기능을 가지고 있다고는 할 수 없다. 따라서, 기본 사양인 기본 좌표계에서의 Online Shift 값으로 변환이 요구된다. 기본 좌표계와 공구 좌표계에서의 전이와 회전(Translation and Rotation)에 대한 변환식⁽⁴⁾은 각각 식(1)-(2)로 표현되고, 그 변환의 결과는 같으므로 식(3)이 성립한다.

$${}^0T_6 + dT = {}^0Trans(dx, dy, dz) {}^0Rot(d\theta_x, d\theta_y, d\theta_z) {}^0T_6 \quad (1)$$

$${}^0T_6 + dT = {}^0T_6 {}^TTrans(dx, dy, dz) {}^TRot(d\theta_x, d\theta_y, d\theta_z) \quad (2)$$

$${}^0Trans {}^0Rot {}^0T_6 = {}^0T_6 {}^TTrans {}^TRot \quad (3)$$

여기에서, 0T_6 은 로봇의 기본 좌표계에서 공구 좌표계까지의 4x4 기구 변환 매트릭스를 나타내고, Trans와 Rot은 각각 4x4 전이 변환 매트릭스와 회전 변환 매트릭스를 나타낸다. 또한 위치자 0와 T는 각각 기본 좌표계 표현과 공구 좌표계 표현을 위하여 사용된다.

기본 좌표계 Online Shift 기능에서 정의하는 기본 좌표계란 원 기본 좌표계가 로봇 공구의 끝단으로 전이된 좌표계이므로 위의 식에서 기본 좌표계의 원점과 공구 좌표계의 원점까지를 나타내는 0T_6 의 위치 벡터(3x1 vector) 0P_6 를 $0 = [0 \ 0 \ 0]^T$ 가 되도록 하면 식 (3)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} {}^0R & {}^0dP \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} {}^0R_6 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^0R_6 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} {}^T R & {}^T dP \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} {}^0R {}^0R_6 & {}^0dP \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^0R_6 {}^T R & {}^0R_6 {}^T dP \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

그러므로, 식 (5)로부터 다음의 관계식이 유도된다.

$${}^0R = {}^0R_6 {}^T R {}^0R_6^T \quad (6)$$

$${}^0dP = {}^0R_6 {}^T dP \quad (7)$$

따라서, 식 (7)은 공구 좌표계 전이 보정량으로부터 기본 좌표계에서의 전이 보정량 dx, dy, dz 가 얻어지고, 회전 보정량 $d\theta_x, d\theta_y, d\theta_z$ 는 식 (6)에서의 기준 좌표계에 대한 회전 매트릭스로부터 고정 기본 좌표축의 롤(roll), 피치(pitch), 요우(yaw)값을 계산하여 얻어진다. 위 관계식은 기준 좌표계에서 공구좌표계로의 변환이 역시 가능함을 보여준다.

5.2 카메라 좌표계를 공구 좌표계로의 변환

측정하는 카메라 좌표계와 보정시 사용하는 공구 좌표계가 일치하지 않으므로 측정된 오차량은 공구 좌표계에서의 오차량으로 변환되어야 한다. Fig. 1에 나타낸 이상단 노치부의 경우 측정의 편리를 위하여 카메라가 공구 좌표계의 Z축에 대해 α 만큼 회전하여 설치되고, 그 카메라의 지지대는 공구 좌표계의 X축에 대해 β 만큼 기울어져 있기 때문이다. 이들을 식으로 표현하면 다음과 같다.

$${}^T dP = Rot(x, -\beta) Rot(z, \alpha) {}^C dP \quad (8)$$

여기서,

$$\begin{bmatrix} {}^T dx \\ {}^T dy \\ {}^T dz \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \cos \beta \sin \alpha & \cos \beta \cos \alpha & \sin \beta \\ -\sin \beta \sin \alpha & -\sin \beta \cos \alpha & \cos \beta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} {}^C dx \\ {}^C dy \\ {}^C dz \end{bmatrix}$$

식 (8)에서 얻어진 공구 좌표계에서의 위치 오차량은 최적 위치 보정 알고리즘의 측정 오차량으로 사용되어 공구 좌표계에서의 최적 보정량을 산출하게 되고 그 양들은 다시 식 (4)-(7)을 이용하여 기본 좌표계의 보정량으로 변환된다.

5.3 보정 회전 중심과 측정 위치 사이의 상대 거리

로봇의 자동 정수 설정 방법⁽²⁾과 유사하게 뾰족한 바늘을 로봇의 공구의 끝과 기준 위치에서의 차체 특징점에 설치하여 5개의 오리엔테이션에 대하여 두 바늘을 일치 시킴으로써 공간상의 기구학적 관계식을 만들어 로봇의 공구 좌표계의 원점과 로봇에 설치된 바늘끝과의 상대 거리를 구한다. 따라서, 공간상의 임의의 위치와 로봇에 설치된 바늘끝을 일치시킴으로써 그 위치의 절대값을 사용 로봇의 기구학을 이용하여 구할 수 있게된다. 이 방법을 각 측정 위치에 적용함으로써 보정 회전 중심과 측정 위치 사이의 상대 거리를 구할 수 있다.

6. 위치 보정 실험

본 논문을 통해 기존 도어 장착 공정의 문제점 개선을 위한 시스템의 구성과 비전 센서 시스템을 이용한 위치를 측정하는 알고리즘을 소개하였다. 또한 개발된 시스템의 실제 라인 설치 가능성을 입증하기 위하여, 사용 로봇의 한계 하중에 맞춰 스티로폼로 제작된 실물 크기의 도어와 실 소나타 차체에 대하여 고려된 방법에 따라 적용하여, 성공적으로 위치 보정 실험을 수행하였다. 그 작업 순서는 다음과 같다.

① 작업 위치 교시는 도어와 차체의 결합 상태가 가장 좋은 상태로 차체를 지그로 고정하고 도어를 조작하는 로봇의 자세를 교시하여 둔다. Fig. 6은 교시 후 도어와 차체의 결합 모습을 볼트 구멍에 대하여 나타내었다.



Fig. 6 기본 교시후 도어 장착 모습

② Fig. 7-9에서와 같이 결정된 측정 위치(볼트 구멍 1, 우상단부 노치 2)에서 카메라 Calibration을 수행한 후 현재 차체의 위치를 카메라 좌표계의 값으로 측정, 기억하여 기준 위치로 둔다.



Fig. 7 볼트 구멍 측정



Fig. 8 우상단부 노치 측정



Fig. 9 우하단부 노치 측정

③ 변형된 차체 모습을 만들기 위해 차체를 고정하고 그를 임의의 형태로 변형을 가하여 오차를 생성시킨다. 그 결과 기존의 교시점으로 도어를 이동시키면 Fig. 10에 보여진대로 도어 차체 결합이 불가능하게 된다.



Fig. 10 오차량 생성 후 볼트 체결이 불가능한 모습

④ 변형된 차체의 볼트 구멍 및 노치의 위치를 측정하여 기준 위치에 대한 오차량을 구한다. Fig. 11은 우하단부에 있는 노치의 기존 위치에 대한 변형 위치를 카메라 좌표계에 나타내고, Fig. 12는 변형된 노치의 위치를 재측정한 모습이다.

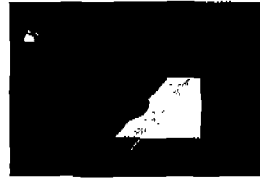


Fig. 11 노치 위치의 변형 모습

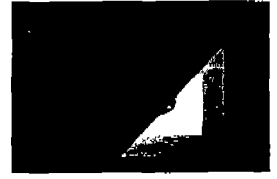


Fig. 12 변형 노치의 위치 측정 모습

⑤ 카메라 좌표계에서 측정된 오차량을 PC로 전송하여 로봇의 공구 좌표계로 변환한 후, Part I에서 개발된 최적 위치 보정 알고리즘을 이용하여 위치 보정량을 계산한다.

⑥ 로봇 공구 좌표계로 표현된 보정량을 로봇의 기준 좌표계의 값으로 변환한다.

⑦ 변환된 보정량을 로봇으로 전송함으로써 로봇의 위치 보정 기능인 'Online Shift'를 동작토록하여 도어 조작 로봇의 자세를 보정한다. Fig.13은 보정 작업이 수행된 후 볼트 구멍 주위의 모습이다.

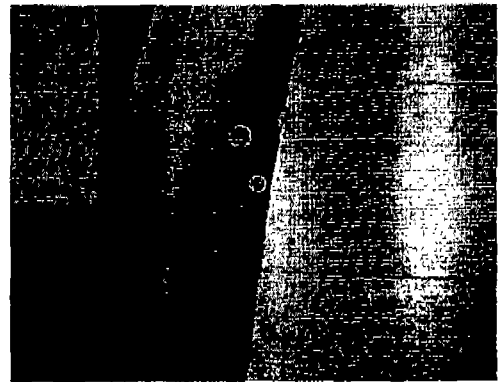


Fig. 13 위치 보정후 볼트 구멍 모습

7. 결 론

산업용 로봇의 외부 센서로 비전 시스템을 채택하여 조립후 도어-차체 결합이 시각적으로 충분한 만족도를 제공하는 산업용 로봇의 위치 보정 시스템을 개발하였다. 로봇의 반복 정밀도는 $\pm 0.1\text{mm}$ 이며, 비전 센서의 위치 측정 정밀도는 $\pm 0.07\text{mm}$ 이내로서 조립 라인에서 요구되어지는 $\pm 0.5\text{mm}$ 이내의 보정 정도가 가능함을 알 수 있다. 또한, 비전 센서에서 3점 오차 측정시간 최대 3초,

비전 시스템에서 PC까지 전송 시간 0.05초, 최적 위치 오차 보정치 계산 시간(486 DX2-66)이 0.11초, PC에서 로봇까지 전송 시간 0.05초로 보정 시스템에 할애된 전체 작업 시간에 비추어 시간적인 제약이 없는 On Line 보정이 실제 라인에서 가능한 것으로 나타났다.

구현된 방법은 볼트 구멍과 힌지 구멍 사이의 허용 공차에 비하여 도어 오차를 무시할 수 있는 경우에 사용함이 타당하며, 도어 오차를 무시할 수 없다면 도어와 차체 사이의 틈새(Gap)를 측정하여야 하므로, 레이저와 비전을 이용하거나⁽⁵⁾ 다수의 Range Finder를 이용한⁽⁶⁾ 측정 방법 및 보정 알고리즘을 개발할 필요가 있다. 또한 본 연구에서 고려된 방법을 사용하기 위해서는 특정점 인식을 위하여 사용된 노치의 위치 관리가 필요하며, 산업용 로봇으로 도어를 장착하는 과정에서 도어의 회전 중심과 측정점 사이의 상대 거리를 찾는 것과 도어 평면과 회전축 사이각이 90도가 되도록 보다 정밀하게 설치되어야 한다. 차후 과제로 상기된 설치 오차에 대한 도어 장착 결과의 민감도 해석 및 측정상에 발생하는 오차에 대한 민감도 해석을 수행하고자 한다.

후 기

본 연구는 현대 자동차와의 산학 협동에 의한 것으로 현대 자동차 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. J. Campbell, C Programmer's Guide to Serial Communications, Information Publishing, 1993.
2. Nachi 7602 AP Robot Manual, 1990.
3. Nachi NV5000 Vision System Manual, 1990.
4. Richard P. Paul, Robot Manipulators, MIT Press, 1980.
5. M. Kondo, S. Tachiki, M. Ishida and K. Higuchi, "Automatic Measuring System for Body Fit on the Automobile Assembly Line", Proc. IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation, pp. 538-543, 1995.
6. K. Higuchi, O. Ozeki and S. Yamamoto, "Dimension Inspection System Automotive Panel Using 3-D Vision Sensor", T.IEE Japan, pp. 112-117, 1992.
7. A. Watanabe and T. Arimatsu, "3-D Positional Compensation System with Image Processing System", ROBOT No. 95 JIRA, pp. 62-66, 1993.
8. O. Nakamura, "Application of Robot System with Vision Senors", ROBOT, No. 95 JIRA, pp. 30-37, 1993.