

도어 장착을 위한 산업용 로봇의 위치 보정 시스템 개발

변 성동*, 김 미경*, 강 희준*, 김 상명**

Development of a Position Correction System of Industrial Robot for Door Chassis Assembly Task

S.D. Byun*, M.K. Kim*, H.J. Kang*, S.M. Kim**

ABSTRACT

In this paper, we developed a position correction system of industrial robot for door-chassis assembly task. With the aid of a dedicated vision system, industrial robot accomplished visually acceptable door-chassis's assembly task. The algorithm of the position detection of notch and 2 dimensional position correction algorithm are noteworthy. The obtained algorithms were satisfactorily implemented for a real door-chassis model.

words : Position Correction System(위치 보정 시스템), ONLINE SHIFT 기능
Error Detection Algorithm(오차 추정 알고리즘)

1. 서 론

최근 생산성 향상 및 생산 경비의 절감을 위하여 생산 공장의 여러가지 조립 공정들이 산업용 로봇을 이용하여 자동화되어 지고 있다. 일반적으로 범용 산업용 로봇을 조립 작업에 이용하고자 하는 경우에 로봇에 의한 위치 오차 및 손목 기구의 유격과 부품의 가공오차 등으로 인하여 조립 작업이 순조롭게 진행되기 어려워 다음의 3가지 조립 방법을 고려하고 있다. 그것들은 RCC와 같은 유연 손목기구를 이용하여 조립시 발생하는 조립 반력에 의하여 결합 부품간의 위치 오차를 보정하는 수동조립법, 각종 센서에 의한 정보를 알고리즘에 제공하여 위치오차를 인식 보정하는 능동 조립법, 그리고 이들 두 방법을 결합한 능수동조립법 등이 있다^(1,2).

현재, 자동차 생산 공장의 차체 조립 라인에서 사용중

인 도어 장착 자동화 시스템은 도어 조작 로봇과 Bolt 체결 로봇에 Passive Compliance Device를 장착한 후, 단순 교시후 작동(Teaching and Playback)만으로 위치 오차를 보정하는 수동조립법을 사용하고 있다. 그러나, 이 작업은 차체의 용접에 의한 열변형, 도어의 변형, 지그의 위치오차 등의 여러가지 오차 요인을 수반하기 때문에, 작업이 진행되는 중 Bolt 체결 작업이 불가능하거나 Bolt 체결 작업이 순조롭더라도 도어의 개폐가 매끄럽지 않는 등의 작업 불량에 발생하고 있으며, 정상적으로 자동 장착 공정이 수행되더라도 차체의 조립 정밀도가 일정치 않게 되어, 차후 공정에서 제품 정도를 조정하는 수작업 공정이 부가되는 등의 문제점을 가지고 있다. 따라서, 본 연구는 산업용 로봇의 외부 센서로 비전 시스템을 채택하여 이 공정에서 불가피하게 발생하는 오차를 능동적으로 보정하여 조립 불량률을 감소시키며, 조립후 도어-차체 결합이 시간적으로 충분한 만족도를 제공하는 산업용 로

* 울산대학교

** (주) 현대자동차

로봇의 위치 보정 시스템을 개발하고자 한다. 개발의 주요 과정으로 비전을 이용한 오차 측정 알고리즘, 측정된 오차를 이용하여 최적의 보정량을 산출하는 오차 보정 알고리즘, 로봇과 주변 기기 사이의 인터페이스, 그리고 구성 요소간의 좌표 변환 등을 고려한 후, 실제 도어-차체 모델을 이용한 실험을 통하여 제시된 방법의 유효성을 입증한다.

2. 전체 시스템의 개요

고려된 도어 장착을 위한 위치 보정 산업용 로봇 시스템의 하드웨어는 Fig. 1과 같이 고려된 차체의 특정 위치를 측정하는 NV5000 비전 시스템, 주요 소프트웨어를 관장하는 486PC 그리고 도어를 조작하는 7602AP 산업용 로봇 등으로 구성되어 있다. 비전 시스템을 이용한 영상 입력부는 1개의 너트 구멍과 2 개의 만곡부를 측정하는 3대의 CCD 카메라, 모니터, 콘트롤러로 구성되어 있다.

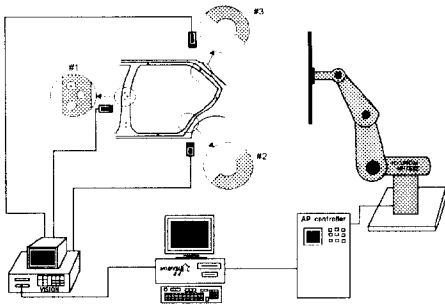


Fig. 1. 전체적인 시스템 구성

Fig. 2는 각 구성 요소들이 수행하는 역할과 상호간의 인터페이스를 설명한다. 비전 시스템은 도어와 차체의 영상이 CCD 카메라에 잡히게 되면 그 영상의 명도와 조도를 조절 한 후, 이진 영상으로 바꾸고, 얻어진 이진 영상에 대해 위치 정보 추출 알고리즘을 적용하여, 필요한 오차량을 구하고, 그것을 PC로 전송한다. PC에서는 측정된 오차로부터 최적의 보정량을 산출하여 산업용 로봇으로 전송하고, 산업용 로봇은 ONLINE SHIFT 기능을 이용하여 교시된 위치로부터 최적의 보정 위치로 이동함으로써 작업을 완료한다.

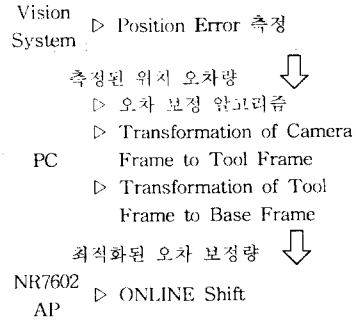


Fig. 2. 시스템 구성 요소 간의 인터페이스

3. 최적 위치 보정 알고리즘

개발하고자 하는 알고리즘은 비전 시스템으로부터 측정된 오차 정보를 이용하여 도어의 힌지 구멍과 차체의 너트 구멍 사이의 구속식을 만족하면서, 도어와 차체의 결합이 시각적으로 보기 좋도록 하는 최적의 보정량을 신속하게 산출하여야 한다. 따라서, 시각적으로 보기 좋은 결합을 나타낼 수 있는 정량화된 성능 지수가 필요하고, 이 성능 지수들이 2차원 보정을 수행한 후의 변환 오차로 표현된다면 바로 이 성능 지수를 도어의 힌지 구멍과 차체의 너트 구멍 사이의 구속조건 하에 최적화함으로써 문제를 해결할 수 있다, 성능 지수는 시각적으로 보기 좋은 결합을 나타내야 함으로 여러 가지를 고려할 수 있으나, 저자들의 기존 연구^[3]에 따르면 오차의 합을 최소화 하는 전체 오차 최소화 방법이 전체적으로 오차를 균일하게 할 뿐만 아니라, 차체의 Aperture 라인과 도어 라인을 평행에 가깝도록 만드는 경향이 있고, 연산 시간도 빨라 본 시스템 개발의 보정 알고리즘으로 사용한다.

4. 주변기기와 인터페이스

4.1 산업용 로봇과 PC와의 인터페이스

산업용 로봇은 작업 교시와 제생 동작의 단계를 기억하게 되는데 이때 위치 보정을 행할 수 있는 방법은 주변 장치로부터 보정량을 입력 받아 이를 이용하여 동작을 행하게 된다. 본 연구에서 사용된 7602 AP 수직 다관절 로봇의 경우 이러한 위치 보정량에 의한 동작을 할 수 있는 방법은 시리얼 인터페이스를 이용하는 방법이다. 그 중에서 교시된 작업을 행하면서 보정 할 수 있는 기능으로 ONLINE Shift를 이용한다^[4]. ONLINE Shift는 각도를

가진 Shift, 평행 Shift, 보간 Shift등의 종류가 있다. Fig. 3은 ONLINE SHIFT 수행을 위한 Protocol을 나타낸다.

1.M51,CND=1	"START %1 CR LF" -->	Receive
2.M51,CND=2	"SHIFT %1 CR LF" -->	Receive
3.M52	<--"SHIFT X,Y,Z,"	Send
4.END	"OK" -->	Receive
<AP CONTROLLER>		< PC >

Fig. 3. Online SHIFT의 Protocol

4.2 비전 센서와 PC의 인터페이스

본 연구에서 사용된 비전 센서는 입출력과 8bit AD컨버터, 화상 전용 DSP를 장착한 화상 처리장치이다. PC와의 통신을 위해서는 시리얼 인터페이스를 이용하는데 연구 과정의 편리를 위해, 난말기능, 소스 프로그램 UP/DOWN LOAD기능, IMAGE UP/DOWN LOAD기능 등의 기능을 갖추었다^[5].

5. 위치 정보 추출

5.1 노치의 위치 정보 추출 알고리즘

외부적인 식별용 표식이 없는 차체의 위치 정보를 2차원 CCD를 이용하여 알아내기는 쉽지 않다. 자동차 차체는 프레스로부터 탈착하는데 필요한 조그만 노치 부분이 있는데 그 부분의 성도를 관리한다면 차체의 위치 정보를 측정하는 중요 부분으로 사용될 수 있다. Fig. 4에서 보여진 차체의 노치를 이용하여 특정점의 위치를 측정하는 방법의 기본 내용은 다음과 같다. 교시된 도어와 최적의 결합을 하는 차체의 위치에서 각 노치 부위를 포함하는 Window에 대한 이진 영상을 얻은 후 그 영상의 역을 얻으면 차체의 노치 부위가 화상의 Object로 인식되고, 그 Object의 면적 중심을 구하여 차체 노치부의 기본 위치로 설정한다. 차후에 도입되는 차체에 대하여 위의 방법을 적용하여 얻어진 노치부의 면적 중심 위치에서 기본 위치가 바뀌게 되면 원하는 오차량을 얻게 된다.

그러나, Fig. 5의 실 차체 위쪽 측정 노치 부위에서 보여진 대로 노치의 아래선은 직선이 아니고 안으로 굽어 있고, 아래쪽 노치의 아래선은 밖으로 굽어 있어 노치

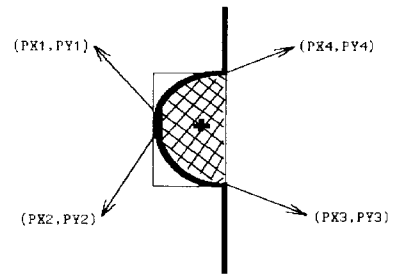


Fig. 4. 차체 노치

이외의 면적이 Object로 인식되어 면적 중심의 변화가 발생되는 문제가 발생한다. 해결 방법으로 차체의 최대 변형 오차를 감안하여 충분히 큰 윈도우에서 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 영상을 반전시키면 진한 빛금을 제외한 부분이 Object로 인식된다. W1 ~ W2선상에서 이진 화소의 변화가 발생하는 첫 Point를 Obj1이라 하고, W3 ~ W4선상에서 이진 화소의 변화가 나타나는 첫 Point를 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 Object의 면적 중심을 구하게 된다. 그러나 이 경우 불필요한 부분이 포함되어 측정 오류가 발생하는 주 요인이 된다. 따라서, 윈도우를 잡을 때 이미지 분석결과 대략 2 ~ 6 pixel 만큼 평행 이동한 P1, P2를 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. 다시 N1 ~ N2 선상에서 이진 화소의 변화가 나타나는 첫 Point를 Obj3이라 하고, N4 ~ N3 선상에서 Object가 나타나는 첫 Point를 Obj4라 한다. (N1, Obj3, Obj4, N4)를 연결하는 새로운 Window를 만들어 그 윈도우에 속한 Object의 면적 중심(T)를 찾는다.

위에서 설명된 노치부의 면적 중심을 특징광으로 추출하는 방법은 노치의 아래선이 굽어져 있으므로, 측정의 정밀도가 알고리즘 자체적으로 100% 보장 받을 수 없지만, 표 1의 반복 측정 테스트에 의하면 단순히 이미지 상의 특징점을 측정하는 경우에 비해 상당히 신뢰할 수 있음을 알 수 있다. 단순히 이미지 상의 특징점을 측정하는 경우에는 최대 1 pixel 변화로 X가 0.2587 mm, Y가 0.2584 mm 이고, 노치의 면적 중심을 위치 측정값으로 사용하는 경우, X 방향으로 최대 0.097 pixel 변화가 발생하여 0.0251 mm, Y 방향으로 최대 0.291 pixel 변화로 0.0752 mm 이고, (N1, Obj3, Obj4, N4)를 연결하는 새로운 Window를 만들 때, Y 방향으로 1 pixel 감소시키는 방법으로 Y의 정확도도 X의 정확도에 근접시킬 수 있다. 면적 중심을 특정 위치의 측정값으로 사용함으로써 이미지 상의 특정 1 점 사용시 보다 최대 측정 오차를 1/10 이하로 줄일 수 있다.

data	#1	#2	#3	#4	Result	
횟수	x1 y1	x2 y2	x3 y3	x4 y4	xc	yc
1회	244190	244 202	249 178	250 212	247.807	194.137
2회	244190	244 201	249 177	250 213	247.835	194.122
3회	244190	244 201	249 178	250 212	247.799	194.110
4회	244190	244 201	249 178	250 213	247.804	194.117
5회	244190	244 201	249 178	250 212	247.815	194.099
6회	244190	241 201	249 178	250 212	247.814	194.132
7회	244190	244 201	249 178	250 212	247.812	194.152
8회	244190	244 201	249 178	250 212	247.822	194.108
9회	244190	244 201	249 178	250 212	247.793	194.127
10회	244190	244 201	249 178	250 213	247.831	194.083

표 1. 특정 위치와 면적 중심의 반복 측정

.Arc #2의 측정 : 두번째 Arc는 11.0mm의 크기로서 110.0mm에서 측정한 결과 1mm당 X는 7.7175, Y는 7.9665 화소로서 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.

6. 좌표 변환

6.1 TOOL 좌표계에서의 보정량을 BASE 좌표계에서의 값으로 변환

위치 보정 알고리즘에서 얻어진 값은 로봇의 공구 좌표계의 값이지만 본 연구에서 사용되어 지는 로봇은 공구 좌표계의 값으로 보정 할 수 있는 기능이 없으므로 기준 좌표계의 값으로 좌표 변환을 하여야 한다. 기준 좌표계와 공구 좌표계에서의 전이와 회전(Translation and Rotation)에 대한 변환식을 식 (1)과 (2)에 나타내었다.

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

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

$${}^0T {}^0R {}^0T_6 = {}^0T_6 {}^TR {}^TR \quad (3)$$

기준 좌표계 ONLINE_SHIFT 기능에서 정의하는 기준 좌표계란 원 기준 좌표계가 로봇 공구의 끝단으로 전이된 좌표계이므로 위의 식에서 0T_6 의 위치 벡터(3x1

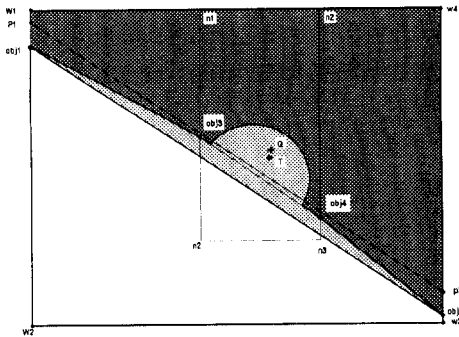


Fig. 5. 화상 특징광 추출

5.2 측정 결과

.너트 구멍 : 주어진 Hole은 직경 13mm로서 측정 거리 91.0 mm에서 1mm당 X로 8.5901화소, Y로 8.9006 화소로서 Hole의 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.

.Arc #1의 측정 : 첫 Arc는 9.0mm의 크기로서 208.0mm에서 측정한 결과로서 1mm당 X는 3.8658화소 Y는 3.8698화소로서 그 면적 중심(X,Y)는 10회 반복 측정한 결과 X가 293.540~293.637, Y는 281.080~281.371로서 이는 X로 최대 0.0251mm Y로 최대 0.0752mm의 오차를 나타내었다.

vector) 0P_6 는 $0 \cdot [0 \ 0 \ 0]^T$ 가 되며 식 (3)은 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

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

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

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

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

따라서 기준 좌표계에서의 전이 보정량 dx , dy , dz 는 식 (6)에 의해, 회전 보정량 $d\theta_x$, $d\theta_y$, $d\theta_z$ 는 식(7)로부터 얻어진 고정된 Base 축에 대한 roll, pitch, yaw값으로 얻어진다.

6.2 CAMERA 좌표계를 TOOL 좌표계로의 변환

측정하는 Camera Frame과 보정시 사용하는 Tool Frame이 일치하지 않으므로 측정된 오차량은 Tool Frame에서의 오차량으로 Transformation하여야 한다. Fig. 1에서 왼쪽 노치부 Camera Frame에서의 ${}^c dx, {}^c dy$ 는 A Frame에 대하여 α 만큼 Rotation되어 있다. 이는 측정의 편리를 위해 Camera가 Tool Frame의 Z축에 대해 α 만큼 회전 되어 있기 때문이다. 또한 Camera는 Tool Frame의 X축에 대해 β 만큼 기울어져 있다. 이들을 식으로 표현하면,

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

$$\begin{bmatrix} {}^T dx \\ {}^T dy \\ {}^T dz \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \cos \beta \sin \alpha & \cos \beta \cos \alpha & \sin \beta \\ \sin \beta \sin \alpha & -\sin \beta \cos \alpha & \cos \beta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} {}^c dx \\ {}^c dy \\ {}^c dz \end{bmatrix} \quad (9)$$

과 같다.

6.3 보정 회전 중심과 측정 위치 사이의 상대 거리

로봇의 자동 정수 설정 방법과 유사하게 뺄족한 바늘을 로봇의 툴과 기준 장소에 설치하여 5개의 오리엔테이션에 대하여 두 바늘을 일치시킴으로써 공간상의 기하학적 관계식을 만들어 로봇의 tool frame과 로봇에 설치된 바늘끝과의 상대 거리를 구한다. 그럼으로써 공간상의 임의의 위치와 로봇에 설치된 바늘끝을 일치시킴으로써 그 위치의 절대값을 사용 로봇의 기구학을 이용하여 구할 수 있게된다. 이 방법을 각 측정 위치에 적

용함으로써 보정 회전 중심과 측정 위치 사이의 상대 거리를 구할 수 있다.

7. 결과

본 논문을 통해 기존 도어 장착 공정의 문제점 개선을 위한 시스템의 구성과 비전 센서 시스템을 이용한 위치를 측정하는 알고리즘을 소개 하였다. 또한 개발된 시스템의 실제 라인 설치 가능성을 입증하기 위하여 스티로폴로 제작된 실물 크기의 도어와 실제 차체에 대하여 개발된 방법을 Fig. 6 에 보여진 구현 흐름도에 따라 적용하였고, 그 결과는 Computer Simulation과 동일한 보정 수행이 실제로 가능하였다.

로봇의 반복 정밀도는 $\pm 0.1mm$ 이며 비전 센서의 위치 측정 정밀도는 $\pm 0.07mm$ 이내로서 라인에서 요구되어지는 $\pm 0.5mm$ 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 로봇

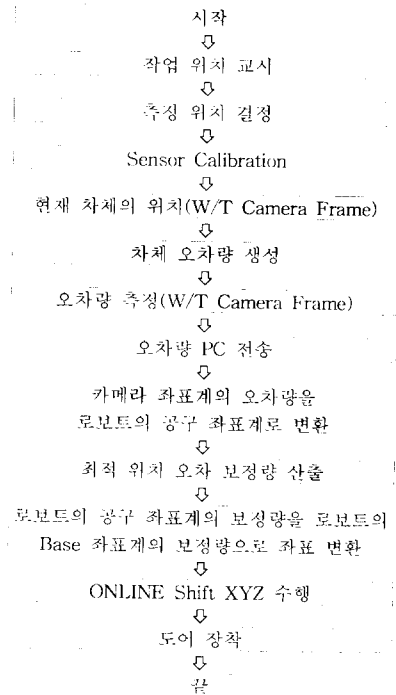


Fig. 6. 도어 자동 장착의 실제 구현

트까지 전송 시간 0.05초로 보정 시스템에 할애된 전체 작업 시간에 비추어 시간적인 제약이 없는 On Line 보정이 실제 라인에서 가능한 것으로 나타났다.

구현된 방법은 니트 구멍과 힌지 구멍 사이의 허용 공차에 비하여 도어 오차를 무시할 수 있는 경우에 사용함이 타당하며, 도어 오차를 무시할 수 없다면 도어와 차체 사이의 GAP을 측정하여야 하므로, 레이식와 비전을 이용한 새로운 측정 방법을 개발할 필요가 있다. 또한 본 연구에서 고려된 방법을 사용하기 위해서는 판공부의 위치 관리 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.

참고문헌

- [1] H. S. Cho, H. J. Warnecke, D. G. Gweon, "Robotic Assembly : a Synthesizing Overview", Vol. 5, pp. 153~165, 1987.
- [2] N. A. Aspragathos, "Assembly Strategies for Parts with a Plane of Symmetry", Robotica, Vol. 9, pp. 189~195, 1991.
- [3] 김 미경, 변 성동, 강 희준, 김 상명, "도어 장착을 위한 산업용로봇의 위치 보정 알고리즘", 대한기계학회 추계학술논문집, pp.608-612, 1994.
- [4] NACHI 7602 AP ROBOT MANUAL, 1989.
- [5] NV5000 MANUAL, (株)不二越, 1990.