

레이저 트랙커(Leica LTD 500)를 이용한 로봇 성능 평가 시스템 개발

김미경(울산대학교)*, 윤천석(울산대학교 대학원),
강희준, 서영수, 노영식(울산대학교), 손홍래(현대자동차)

Development of a Robot Performance Evaluation System Using Leica LTD 500 Laser Tracker

Mi-Kyung Kim(UOU), Cheon-Seok Yoon(Graduate School, UOU),
Hee-Jun Kang, Young-Shick Ro(UOU), Hong-Rae Son(Hyundai Motor Company)

ABSTRACT

A Robot Performance Evaluation System(RPES) with the laser tracker Leica LTD 500 was developed according to the ISO 9283 robot performance criteria. The developed system is set up a test robot to continuously move the prescribed cyclic trajectories without a human intervention and the laser tracker to simultaneously measure the robot's movement. And then, the system automatically extracts the required data from the tremendous measured data, and computes the various performance criteria which represents the present state of the test robot's performance. This paper explains how ISO 9283 robot performance criteria was used for the developed system, and suggests a automatic data extraction algorithm from the mass of measured data. And also, a user-friendly Robot Performance Evaluation System(RPES) Software was developed with Visual Basic satisfying the need of Hyundai Motor Company. The developed system was implemented on NACHI 8608 AM 11 robot. The resulted output shows the effectiveness of the developed system.

Key Words : Robot Performance Evaluation System(로봇 성능 평가 시스템), RPES software(로봇 성능 평가 시스템 소프트웨어), ISO 9283 robot performance criteria(ISO 9283 로봇 성능 기준).

1. 서론

전자, 기계, 자동차 산업의 발전으로 다양한 제품의 생산과 그 품질의 향상이 가속화되어 왔으며, 조립자동화와 검사자동화 등의 자동화 생산기술 또한 양적, 질적으로 꾸준히 성장해 왔다. 균질, 고품질 제품의 생산을 목표로 하는 자동화 생산라인에서 자동화 설비, 특히 산업용 로봇의 역할은 매우 중요하며, 자동화 생산라인에 설치·운용될 로봇의 정밀하고 반복적인 작업 수행을 위하여, 로봇은 개발 초기 단계부터 규격에 맞는 시험과 평가가 이루어져야 한다. 이에, 1990년 ISO는 로봇 성능에 관련된 표준을 마련하였으며, 1995년에는 로봇의 성능 평가에 대한 규격을 정하였다.

본 연구는 현대 자동차 생산라인에 설치·운용 중인 수백 대의 NACHI 8608 로봇의 성능 평가를 위하여 ISO 규정에 따라 로봇의 성능을 평가하는 시스템을 개발하기 위하여 시작되었다. 현재 생산

공정에 사용되고 있는 NACHI 8608은 노후화가 진행됨에 따라 폐기처분 또는 재활용을 위한 오버홀(overhaul)의 고려대상이다. 고속, 고품질의 자동차 생산을 위하여 구형 로봇은 당연히 폐기 처분되고 신형 로봇이 도입되어야 하나, 현재의 성능으로 충분히 고품질의 제품을 생산하고 있는 로봇의 경우에는 오버홀을 수행한 후 그 성능을 확인하여 재사용하는 것이 바람직하다.

본 연구는 로봇 재활용을 위하여 오버홀이 수행된 로봇을 다시 생산공정에 투입하기 전에 반드시 거쳐야 하는 로봇 튜닝 및 성능 평가 중에서 로봇 성능 평가에 대한 방법과 그 시스템 구축에 관한 내용을 다룬다.

2. 로봇 성능 평가 시스템

로봇 성능 평가 시스템(RPES)은 대상 로봇, 측정기, 측정 알고리즘과 성능 평가 알고리즘으로 구

성된다. 대상 로봇은 NACHI 8608 AM 11이며, 측정기는 LTD 500 LASER TRACKER(Leica Geosystems Ltd., 스위스)이다. 측정기는 로봇 끝단에 부착된 반사경(reflector)을 향하여 레이저 빔을 발사하고 반사경에 반사되어 측정기로 되돌아오는 레이저 정보를 이용하여 3 차원 위치를 구한다.⁴ 측정 알고리즘은 오프라인 프로그래밍 시스템으로서 ROBCAD (Tecnomatix Technologies Ltd., 이스라엘)에서 작업한 후 로봇 컨트롤러에 다운로드(download)하여 사용한다.⁵ 성능 평가 알고리즘은 대상 로봇의 동작을 측정기가 측정 알고리즘에 의하여 측정한 데이터를 사용하여 로봇의 성능을 평가하며, 사용자 편의를 위하여 Visual Basic으로 개발되었다.

2.1 작업 공간에서의 조사큐브의 위치

ISO 9283에 따라 조사큐브는 다음의 요구를 만족하는 작업공간 내에 위치하여야 한다.

- 큐브는 작업 공간 내에서 가장 많이 쓰일 것으로 기대되는 부분에 위치하여야 한다.
- 큐브는 기저 좌표계와 평행한 모서리를 가지고 허용 가능한 최대한의 부피를 가져야 한다.

대상 로봇인 NACHI 8608에 대한 조사큐브의 부피는 $1200 \times 1200 \times 1200 \text{mm}^3$ 이며 대상 로봇의 기저 좌표계에 대한 조사큐브의 각 모서리의 좌표는 Table 1과 같다.

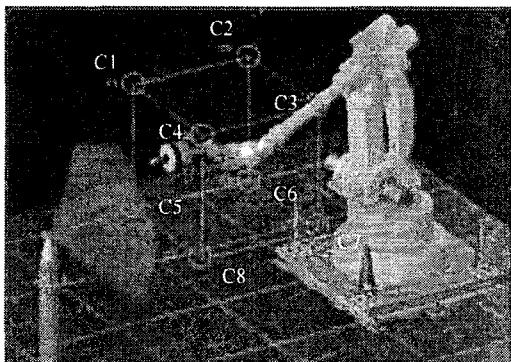


Fig. 1 Robot Performance Evaluation System

Table 1 Test Cube

	x	y	z
조사큐브 C1	600	2300	2000
조사큐브 C2	600	1100	2000
조사큐브 C3	-600	1100	2000
조사큐브 C4	-600	2300	2000
조사큐브 C5	600	2300	800
조사큐브 C6	600	1100	800
조사큐브 C7	-600	1100	800
조사큐브 C8	-600	2300	800

2.2 시험될 포즈

ISO 9283에 따라 5개의 지령포즈(P1~P5)는 측정평면(조사큐브의 대각평면 C4-C1-C6-C7)의 대각선 상에 위치한다. P1은 대각선의 교점이고 큐브의 중심이다. P2, P3, P4, P5는 대각선의 양끝으로부터 대각선 길이의 $(10\pm2)\%$ 인 거리에 위치하여야 한다. 측정평면의 각 모서리 C4, C1, C6, C7에서 x 방향, y 방향, z 방향으로 각각 100mm 만큼 큐브의 중심으로 이동한 점을 각각 P2, P3, P4, P5로 선정하였으며 이는 대각선 길이의 8.33%인 거리가 된다.(Fig.2와 Table 2 참조)

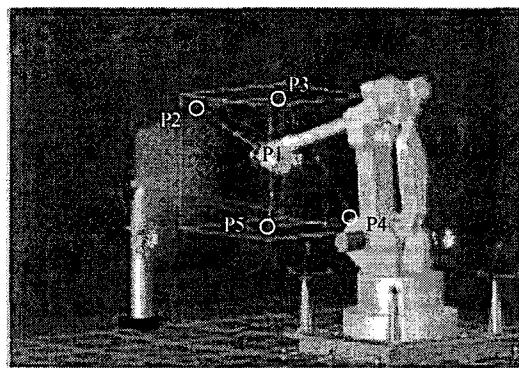


Fig. 2 Command Positions

Table 2 Command Positions

지령포즈 P1	0	1700	1400
지령포즈 P2	-500	2200	1900
지령포즈 P3	500	2200	1900
지령포즈 P4	500	1200	900
지령포즈 P5	-500	1200	900

3. 시험 특성

ISO 9283은 포즈 특성과 경로 특성에 대한 시험 특성을 각각 제시하고 있으며, 로봇 성능 평가 시스템(RPES)이 다른 로봇 시험 특성은 다음과 같다.

- 위치 정밀도와 반복 정밀도
- 위치 오버슈트와 안정화 시간
- 다방향 위치 정밀도 편차
- 거리 정밀도와 반복 정밀도
- 최소 포즈 시간

3.1 포즈 정밀도와 반복 정밀도

포즈 정밀도는 “지령포즈”와, “지령포즈”로 같은 방향에서 접근할 때의 “도달포즈”들의 “평균”과의 편차를 표현하며, 포즈 반복 정밀도는 같은 방향으로 같은 지령포즈에 n 번 반복 방문시의 도달된 포즈들 간의 일치의 균접도를 표현한다. ISO 9283에서 포즈 정밀도와 반복 정밀도는 위치 정밀도와 반복 정밀도 및 방향 정밀도와 반복 정밀도를 함께 제시

하고 있으나, RPES 는 위치 정밀도와 반복 정밀도만 다룬다.

3.1.1 위치 정밀도(AP)

위치 정밀도는 지령포즈의 위치와 도달포즈의 위치들의 평균과의 거리이며, 다음과 같다.

$$AP_p = \sqrt{(\bar{x} - x_c)^2 + (\bar{y} - y_c)^2 + (\bar{z} - z_c)^2}, \quad (1)$$

$$\text{where, } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j, \quad \bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n z_j.$$

식 (1)에서 x_c , y_c , z_c 는 지령포즈의 좌표이며, x_j , y_j , z_j 는 j 번째 도달포즈의 좌표이다.

3.1.2 위치 반복 정밀도(RP)

위치 반복 정밀도는 중심이 도달포즈의 위치들의 평균인 구의 반지름으로서 아래와 같이 계산된다.

$$RP_I = \bar{l} + 3S_I, \quad (2)$$

$$\text{where, } \bar{l} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n l_j,$$

$$l_j = \sqrt{(x_j - \bar{x})^2 + (y_j - \bar{y})^2 + (z_j - \bar{z})^2},$$

$$S_I = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (l_j - \bar{l})^2}{n-1}}.$$

3.1.3 성능 평가 예

RPES 는 위치 정밀도와 반복 정밀도를 구하기 위하여 대상 로봇 NACHI 8608 의 정격부하(100%, 100kg)와 정격속도(100%, 2300mm/sec)에 대하여 지령포즈 P1, P2, P3, P4, P5 에서 n 회 반복 측정한다.(ISO 규정은 30 회 측정임.) LTD 500 은 설정된 측정 간격(sampling time, 0.01sec)에 따라 지령포즈뿐만 아니라 로봇의 모든 이동경로를 연속 측정하므로 성능 평가 알고리즘은 성능 평가에 앞서 측정된 모든 점들 중에서 지령포즈에 대한 도달포즈를 추출하는 전처리(preprocessing)를 수행한다. 각 도달포즈를 성능 평가 알고리즘이 자동인식하기 위하여 로봇은 해당 포즈에서 일정 시간(0.5초) 정지한다.

측정은 P1 에서 대기하고 있다가 시작하여, P2, P3, P4, P5, P1 의 순으로 측정하고 n 회 반복한다. 처음 세 개의 측정 사이클에 대한 속도와 이동 평균 속도(Moving Average of the velocity)를 Fig. 3에 나타내었다. 이동 평균 속도를 도입하면 속도 곡선이 평활(Smoothing)하게 되어 크게 두 가지의 구간 즉, 연속가속구간과 연속감속구간으로 표현할 수 있게 된다. 속도 $v(i)$ 와 이동 평균 속도 $\bar{v}(k)$ 에 대한 정의는 다음과 같다.

$$\bar{v}(k) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k v(i), \quad (3)$$

$$\text{where, } v(i) = \sqrt{v_x^2(i) + v_y^2(i) + v_z^2(i)},$$

$$v_x(i) = \frac{p_x(i) - p_x(i-1)}{t(i) - t(i-1)},$$

$$v_y(i) = \frac{p_y(i) - p_y(i-1)}{t(i) - t(i-1)},$$

$$v_z(i) = \frac{p_z(i) - p_z(i-1)}{t(i) - t(i-1)}.$$

Fig. 3 에서 최초 대기구간(0~4 초)은 P1 에서 대기하고 있다가 측정을 시작하는 구간이며, 최초 가속구간(4~7 초)은 P1 에서 지령포즈 P2 로 이동하는 구간이고, 감속구간은 지령포즈 P2 로 감속접근하는 구간이다. 성능 평가 알고리즘의 전처리 과정은 도달포즈를 자동추출하기 위하여 바로 이 감속구간에서 “최소속도구간”을 찾고 최소속도구간 내에서 도달포즈 P2 를 추출한다.(최소속도구간을 찾는 알고리즘은 뒤에 설명한다.) 마찬가지로, 두번째 가속구간(7~9 초)은 P2 에서 지령포즈 P3 으로 이동하는 구간이며, 감속구간은 지령포즈 P3 으로 감속접근하는 구간이다. 감속구간에서 도달포즈 P3 을 추출한다. 세 번째 감속구간(9~11 초)에서는 도달포즈 P4 를, 네 번째 감속구간(11~13 초)에서는 도달포즈 P5 를, 다섯 번째 감속구간(13~15 초)에서는 도달포즈 P1 을 각각 추출한다.(여기까지가 한 사이클이다.)

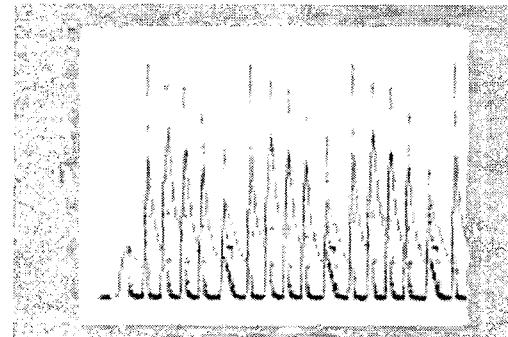


Fig. 3 the first three cycles of Command Pose P1-P2-P3-P4-P5.



Fig. 4 the Moving Average of the velocity and the Average of the velocity of the Moving Horizon.

2 번째 사이클의 첫 번째 도달포즈 P2 가 추출되는 구간은 14.5~17.5 초이며 Fig. 4 와 같다. 앞에서 설명한 바와 같이 가속구간은 P1 에서 지령포즈 P2 로 이동하는 구간이며, 감속구간은 지령포즈 P2 로 감속접근하는 구간이다. 감속구간에서 속도가 최소인 점을 도달포즈로 추출할 수 있는데, 이 경우에는 최선의 도달포즈를 추출함으로써 알고리즘에 의하여 최선의 로봇 반복 정밀도를 얻게 된다. 이를 피하기 위하여 “최소점”이 아니라 “최소구간”을 구하고 최소구간의 임의의 점을 택하는 방식을 사용한다. 최소구간을 구하기 위하여 먼저 이동구간(Moving Horizon) M_j 을 정의하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} M_j &= \{p(j-M), p(j-(M-1)), p(j-(M-2)), \dots, \\ &p(j-1), p(j), p(j+1), \dots, \\ &p(j+(M-2)), p(j+(M-1)), p(j+M)\}, \\ j &= M_p, 2M_p, 3M_p, \dots. \end{aligned} \quad (4)$$

여기서,

M (이동구간크기): 0.5*(하나의 이동구간 내의 측정점의 수 ? 1),
 M_p (이동주기): 하나의 이동구간의 이동주기,
 $p(j)$: 하나의 이동구간 내의 기준 측정점.

이동구간크기가 10 인 이동구간($M=10$)은 측정 간격(sampling time)이 0.01sec 일 때 21 개의 측정점으로 이루어진 0.2sec 간격의 이동구간이 된다. 이동주기를 10 으로 하면 ($M_p=10$), 현(current) 이동구간의 마지막 10 개의 측정점은 다음(next) 이동구간의 처음 10 개의 측정점이 된다. 주어진 감속구간에서, 각 이동구간의 속도의 합($2M+1$ 개의 측정점에서의 속도의 합)을 구하고, 이 중 이동구간 속도의 합이 최소이면 해당 이동구간은 최소속도구간이 된다. 최소속도구간의 $2M+1$ 개의 측정점 중에서 중심점(이동구간 내의 기준점, $p(j)$)을 도달포즈로 추출한다. Fig. 4 의 연속된 하나의 감속구간(15.3~17.5 초) 내의 속도곡선에서 최소속도구간은

검정가로실선의 높이가 가장 낮은 구간(약 17.1~17.3 초)이며, 17.2 초 근방에서 도달포즈가 추출됨을 알 수 있다.

3.2 위치 오버슈트와 안정화 시간

3.2.1 위치 오버슈트(POS)

위치 오버슈트를 측정하는 목적은 로봇의 도달포즈(위치)로의 순조롭고 정확한 정지 능력을 정량적으로 표시하려는 것이다. 위치 오버슈트는 로봇의 끝단이 최초로 한계대역으로 진입한 후에 도달포즈로 이르는 과정에서 한계대역을 벗어나는 측정점들과 도달포즈와의 거리를 중에서 최대 거리이며 다음과 같다.

$$POS = \max POS_j, \quad (5)$$

$$POS_j = \max D_{ij}, \max D_{ij} > \text{규정한계} \\ = 0, \max D_{ij} < \text{규정한계},$$

$$\max D_{ij} = \max \sqrt{(x_{ij} - x_j)^2 + (y_{ij} - y_j)^2 + (z_{ij} - z_j)^2}, \quad i=1,2,\dots,m.$$

여기서, m 는 로봇의 끝단이 최초로 한계대역으로 진입한 후의 측정점의 수이며, 규정한계는 위치 반복 정밀도로 정의되거나 제조사에 의해 서술된 하나의 값으로 정의된다.

3.2.2 위치 안정화 시간(PST)

위치 안정화 시간은 로봇이 얼마나 빨리 도달포즈에 정지하는지를 정량화한 로봇 성능이다. 위치 안정화 시간은 로봇의 끝단이 한계대역으로 최초로 진입하는 순간(t_{mj})부터 한계대역 내에 남아 있게 되는 순간(t_{nj})까지의 경과시간이다. 각각의 지령포즈에 대한 위치 안정화 시간으로 n 번 반복 방문한 평균값이 제시되며, 다음과 같다.

$$PST = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n PST_j, \quad (6)$$

$$PST_j = t_{nj} - t_{mj}, \quad i=1,2,\dots,m.$$

여기서, m 는 로봇의 끝단이 최초로 한계대역에 진입한 후의 측정점의 수이다.

3.2.3 성능 평가 예

위치 오버슈트와 안정화 시간을 구하기 위하여 로봇 제조사가 제시하는 위치 반복 정밀도(이 경우 동종의 로봇은 동일한 하나의 값으로 제시된다.)나 로봇 성능 평가에 의해 제시되는 위치 반복 정밀도(대상 로봇의 반복 정밀도)를 규정한계로 정의할 수 있다. 제조업체가 제시하는 NACHI 8608 의 위치 반복 정밀도는 0.5mm 이다. 로봇의 끝단이 도달포즈 P1 으로 감속 접근하는 과정을 이 한계대역과

함께 Fig. 5 에 나타내었다. 이 예에서 로봇의 끝단은 45.1 초에 한계대역으로 진입한 후 45.22 초에 한계대역을 벗어났다가 45.23 초에 다시 한계대역으로 진입하고 46 초의 도달포즈까지는 한계대역을 벗어나지 않는다(왼쪽 그림). 도달포즈 P1에 대한 위치 오버슈트는 45.22~45.23 초에서의 최대값 0.501762mm 이 된다. 위치 안정화 시간은 0.13 초로 45.23 초와 45.1 초의 차이이다. 같은 데이터에 대하여 한계대역을 P1의 위치 반복 정밀도(0.200954mm)로 정의하였을 때의 결과를 Fig. 5 의 오른쪽에 나타내었다. 이 경우에는 로봇의 끝단이 도달포즈로 과감쇠접근하는 것으로 평가되며, 위치 오버슈트는 0mm, 위치 안정화 시간은 0초가 된다.



Fig. 5 Position Overshoot? Case1 (Left) POS for the limit 0.5mm, (Right) POS for the limit 0.2mm.

이와 다른 여러 경우가 존재하는데 Fig. 6 이 그 예이다. 역시 도달포즈 P1 으로의 감속 접근 구간(65.5~67 초)이다. 이 예에서 로봇의 끝단은 규정한 계 0.5mm 에 대하여 과감쇠 접근하나(왼쪽 그림), 규정한 계 0.2mm 에 대해서는 위치 오버슈트가 발생함을 알 수 있다(오른쪽 그림). 즉, 66.16 초에 한계 대역으로 진입한 후 66.22 초에 한계대역을 벗어났다가 66.27 초에 다시 한계대역으로 진입하고 66.6 초의 도달포즈까지는 한계대역을 벗어나지 않음을 알 수 있다. 도달포즈 P1에 대한 위치 오버슈트는 66.22~66.27 초에서 얻게 되며(0.223278mm), 위치 안정화 시간은 66.27 초와 66.16 초의 차(0.11 초)가 된다.



Fig. 6 Position Overshoot? Case2 (Left) POS for the limit 0.5mm, (Right) POS for the limit 0.2mm.

위치 오버슈트에 대한 Case1 과 Case2 의 결과로 부터 동일 로봇에 대하여 제조업체가 제시하는 반복 정밀도와 대상 로봇의 실제 반복 정밀도에 대하여 그 로봇의 정지 능력이 달리 평가될 수 있으므로 이에 대한 해석이 병행되어야 함을 알 수 있다.

3.3 다방향 위치 정밀도 편차(vAP)

다방향 위치 정밀도 편차는 3 개의 각각 방향으로부터 같은 지령포즈로 n 번 방문할 때 각각 다른

평균 도달포즈 사이의 편차를 나타낸다. 달리 표현하면, 각각 다른 경로(x 방향, y 방향, z 방향)의 끝에 도달된 점들의 클러스터의 평균값들 간의 최대 거리이며, 다음과 같다.

$$vAP_p = \max \sqrt{(\bar{x}_h - \bar{x}_k)^2 + (\bar{y}_h - \bar{y}_k)^2 + (\bar{z}_h - \bar{z}_k)^2}, \quad (7)$$

$$h, k = 1, 2, 3.$$

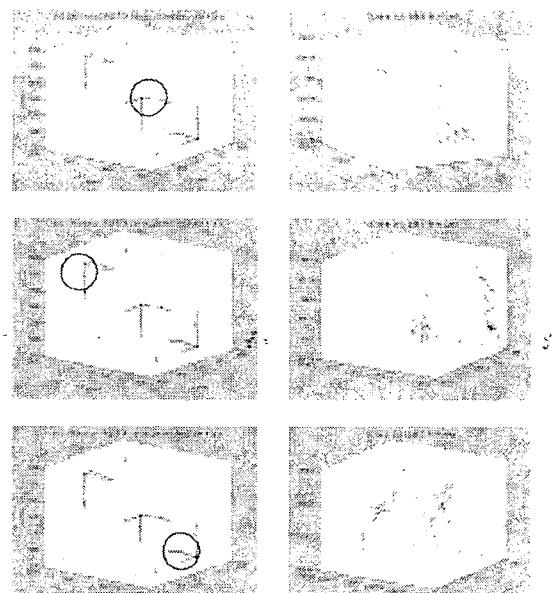


Fig. 7 Multi-directional Pose Accuracy (Upper graphs) vAP for P1, (Middle graphs) vAP for P2, (Lower graphs) vAP for P4.

3.4 거리 정밀도 및 거리 반복 정밀도

거리 정밀도는 지령거리와 도달거리들의 평균 사이의 위치 설정 및 방향의 편차를 표현한다.

$$AD_p = \bar{D} - D_c \quad (8)$$

거리 반복 정밀도는 같은 지령거리에 대해 n 번 같은 방향으로 반복된 여러 개의 도달거리 사이의 일치의 근접도이다.

$$RD = \pm 3 \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (D_j - \bar{D})^2}{n-1}} \quad (9)$$

3.5 최소 포즈 시간

최소 포즈 시간은 포즈에서 포즈간 제어 하에서 정해진 거리를 통과하거나 통과하고 정해진 각도를 회전할 때, 정지 상태로부터의 출발과 정지 상태로의 도착 사이의 시간이다. ISO 는 3 회 반복 후 그 평균값을 최소 포즈 시간으로 정의하고 있다.

$$MPT = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 MPT_j \quad (10)$$



Fig. 8 (Left) Distance Accuracy and Repeatability, (Right) Minimum Posing Time.

4. 결론

ISO 9283에 따른 로봇 성능 평가를 통하여 노후 로봇의 재활용 가능 여부를 판단하고 문제점을 파악하여 조치할 수 있는 로봇 성능 평가 시스템을 다음과 같이 구축하였다.

- 1) 조사큐브 및 자령포즈를 선정하였다.
- 2) 로봇 성능 평가를 위한 시험 특성을 선정하였다.
- 3) 로봇 성능 평가 시스템(H/W) 개발: 시험 내용 및 방법을 구체화하였다.
- 4) 로봇 성능 평가 알고리즘(S/W) 개발: 도달포즈 자동추출 알고리즘 등의 로봇 성능 평가 알고리즘을 개발하였다.
- 5) NACHI 8608 AM 11에 대하여 성능 평가를 수행하였다(Table 3).

개발된 로봇 성능 평가 시스템은 1) 사용 중인 로봇의 오버홀 수행의 필요여부를 결정할 수 있으며, 2) 로봇의 오버홀 수행 전과 수행 후의 성능 향상 정도를 파악할 수 있고, 3) 새로 도입된 로봇의 성능을 확인하는 데 도움이 되는 등 산업용 로봇의 관리 시스템에 크게 기여할 것이다. 또한 정기적인 로봇 성능 평가를 실시하고 그 결과를 데이터베이스화하여 관리한다면 로봇의 성능이 저하되어 생산 공정에 차질을 주는 등의 문제를 사전에 예방할 수 있다.

후기

본 연구는 산업자원부 지정 울산대학교 네트워크 기반 자동화연구센터(NARC)의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. KS B 7082: 1999 (ISO 9283: 1998) 산업용 로봇의 특성 · 기능 측정 방법, 한국표준협회, 1999.
2. KS B ISO/TR 13309: 2002 산업용 로봇 ? ISO 9283에 따른 로봇 성능 평가를 위한 시험 장비 조작 및 측정 방법, 한국표준협회, 2002.

3. Nachi Robot 8000 AM10, AM11 Controller Maintenance Manual, Nachi-Fujikoshi Corporation.
4. Axyz Training Manual for Trackers, Version 1.4.0, Leica Geosystems Ltd, 2000.
5. eM - Workplace Training (ROB 100), Tecnomatix Technologies Ltd., 2000.
6. Bryan Greenway, 봄 bobt accuracy?, Industrial Robot: An International Journal, Vol. 27, No. 4, pp. 257 - 265, 2000.
7. 강희준, 김미경, 윤천석, 재활용 로봇 보증 시스템 개발, 산학특별과제 최종보고서, 울산대학교 네트워크 기반 자동화연구센터(NARC), 2004.

Table 3 An Example of NACHI 8608 Performance Testing

	P1	P2	P3	P4	P5
위치 정밀도	3.22	3.94	3.48	3.93	4.70
위치 반복 정밀도	0.20	0.09	0.18	0.07	0.07
위치 오버슈트	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
위치 안정화 시간(sec)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
다방향 위치 정밀도 편차	1.16	0.39	-	1.17	-
거리 정밀도	1.86				
거리 반복 정밀도	0.25				
최소 포즈 시간(sec)	5.67				