

# 퍼스널 로봇을 위한 운동과 이동 성능평가 기술의 개발

論 文  
52D-2-2

## Development of Evaluation Technique of Mobility and Navigation Performance for Personal Robots

安昌紘\* · 金鎮吾\*\* · 李健寧\*\*\* · 李浩吉§ · 金奎魯§§  
(Chang-hyun Ahn · Jin-Oh Kim · Keon Young Yi · Ho Gil Lee · Kyu-ro Kim)

**Abstract** - In this paper, we propose a method to evaluate performances of mobile personal robots. A set of performance measures is proposed and the corresponding evaluation methods are developed. Different from industrial manipulators, personal robots need to be evaluated with its mobility, navigation, task and intelligent performance in environments where human beings exist. The proposed performance measures are composed of measures for mobility including vibration, repeatability, path accuracy and so on, as well as measures for navigation performance including wall following, overcoming doorsill, obstacle avoidance and localization. But task and intelligent behavior performances such as cleaning capability and high-level decision-making are not considered in this paper. To measure the proposed performances through a series of tests, we designed a test environment and developed measurement systems including a 3D Laser tracking system, a vision monitoring system and a vibration measurement system. We measured the proposed performances with a mobile robot to show the result as an example. The developed systems, which are installed at Korea Agency for Technology and Standards, are going to be used for many robot companies in Korea.

**Key Words** : personal robot, performance, mobility, navigation, test environment, measurement system

### 1. 서 론

퍼스널 로봇의 기술은 정보화 기술(IT)과 함께 개발된 기술로서 더욱 보편화되고 있다. 최근에는 대중매체에서 새로운 퍼스널 로봇을 보는 것은 그리 어려운 일이 아니다. 앞으로 전개될 로봇 시대에 발맞추어 퍼스널 로봇의 시장성이 자동차 시장을 뛰어 넘을 것[1]이라는 전문가들의 분석이 잇따르는 가운데, 퍼스널 로봇의 연구는 필수적인 과제라고 할 수 있다. 즉, 현 실정에서는 로봇의 개발에만 주안점을 두고 있는 상황이며, 개발된 로봇에 대해서는 아직 이렇다할 만한 부가 기술을 개발하고 있지 않는 상황이기 때문에 이는 퍼스널 로봇의 성능 평가 기술을 개발해야 하는 중요한 계기가 될 수 있다.

로봇을 크게 산업용과 비산업용으로 분류한다면, 비산업용의 하나인 이동용 퍼스널 로봇은 다음의 경우에서 산업용 로봇과는 다르다고 할 수 있다.

- (1) 조작성(manipulation)보다 운동성(mobility)이 더 중요시 된다.
- (2) 인간이 존재하는 환경에서 움직인다.
- (3) 인간과의 상호 작용이 필요하다.

위와 같은 차이에 의해 퍼스널 로봇에게 요구된 성능은 산업용 로봇의 성능과는 다르다고 할 수 있다. 조작성을 중요시하는 산업용 로봇[2]에 반해, 퍼스널 로봇은 운동 성능과 이동 성능, 작업 성능, 그리고 지능 같은 더욱 복잡한 성능을 가지고 있다. 그러나 만약 퍼스널 로봇이 머니플레이터(manipulator)를 가지고 있다면 조작성을 작업 성능으로서 포함시키는 것도 필요하다. 이런 상황들을 비추어 볼 때, 퍼스널 로봇의 성능들은 산업용 로봇의 성능보다는 더 복잡하고 신뢰성 있어야 하며, 아직 충분히 연구되어지지 않고 있기 때문에 본 논문의 필요성은 크다고 할 수 있다.

본 논문에서의 연구는 다음과 같이 요약된다. 먼저 퍼스널 로봇의 성능 평가를 위한 측정용 정의를 한다. 즉, 여러 가지 성능의 평가 중에서 기본적인 성능인 운동 성능과 이동 성능의 평가는 다루어지며 부가 성능인 작업 성능과 지능은 차이에 다루기로 한다. 측정에 관한 정의를 내린 후, 일련의 측정을 수행하는데 필요한 측정 환경과 측정조건에 대해 정의하는 것 또한 필요하다. 그리고 정의된 측정을 위한 적절한 측정 시스템 또한 정의되고 개발되어야 한다. 즉, 측정을 위한 표준 시험 환경을 제안하고 3차원 레이저 트래킹 시스템(laser tracking system)[7], 비전 감시 시스템(vision monitoring system)[8] 그리고 진동 측정 시스템(vibration measuring system)[9]과 같은 성능 측정 시스템을 개발한다. 그리고 하나의 예로 측정 결과를 보여주기 위해서 측정에 적합한 이동 로봇(mobile robot)을 개발해서 본 연구에서 제안된 성능을 측정한다.

이렇게 많은 로봇 개발 업체에 의해 개방되고 공유될 수 있는 성능 측정 기술은 로봇 개발비용을 줄이고 로봇 개발

\* 準 會 員 : 光云大學 情報制御工學科 碩士課程  
\*\* 正 會 員 : 光云大學 情報制御工學科 助教授 · 工博  
\*\*\* 正 會 員 : 光云大學 電氣工學科 副教授 · 工博  
§ 正 會 員 : 韓國生産技術研究院 首席研究員 · 工博  
§§ 正 會 員 : 産業資源部 技術標準院 研究士 · 工碩  
接受日字 : 2002年 10月 10日  
最終完了 : 2002年 11月 12日

성공률을 높이기 위해서는 매우 중요하다고 할 수 있다. 그런 배경에서 본 연구는 산업자원부, 생산기술연구원 그리고 기술표준원의 지원을 받아 진행 되었다. 그리고 본 연구에서 개발된 장비와 기술은 한국의 많은 로봇 전문 연구원들과 회사들이 공동으로 활용할 수 있도록 기술표준원에 설치될 것이다.

본 논문은 다음과 같은 순서에 의해 정리되어 있다. 먼저 2장과 3장에 각각 운동 성능과 이동 성능에 관하여 정의되어 있다. 그리고 4장에서는 표준 시험 환경과 조건에 관하여 정의되어 있고 5장에서는 개발된 측정 시스템에 대한 설명이 있다. 6장에서는 한 예로 로봇을 측정할 내용이 있으며, 마지막으로 본 논문의 결론이 7장에 있다.

## 2. 이동용 퍼스널 로봇의 운동 성능

조작성을 중요시하는 산업용 로봇의 성능 평가는 ISO 9283[2]에 의해 표준화 되었다. 그러나 더욱 복잡한 성능을 가진 퍼스널 로봇을 위해 ISO 9283을 사용할 수는 없기 때문에 이를 적용해서 퍼스널 로봇에 적합한 성능 평가 기준을 제시한다. 앞에서 언급했듯이, 퍼스널 로봇을 위한 성능은 운동 성능, 이동 성능, 작업 성능과 지능과 같은 4개의 주요한 성능으로 나눌 수가 있는데, 본 논문에서는 이것들 중에서 전자의 두 가지를 정의한다. 운동 성능은 이 장에서 정의되었고 이동 성능은 그 다음 장에 정의되어 있다.

본 연구에서의 운동 성능이라 함은 센서에 의한 주위 환경의 인식 없이 주어진 위치와 궤적으로 움직이는 성능을 말한다. 즉, 이동을 위한 구동부와 인코더의 성능이라고 할 수 있다. 퍼스널 로봇의 운동 성능을 정의하기 위해서 산업용 로봇과 다른 특성으로 다음의 세 가지를 고려한다. 먼저, 위치(position)뿐만 아니라 방향(orientation)이 포함된 위치 특성이 필요하다. 위치 특성의 경우에는 지난번 연구 과제인 '레이저 트래킹 시스템(laser tracking system)을 이용한 로봇의 운동 특성 분석 시스템의 개발[3]에서 제안한 위치 특성의 정의를 적용하고 이동 로봇의 특성과 방향 특성을 고려한 이동용 퍼스널 로봇의 위치 특성을 제안한다. 두 번째로, 퍼스널 로봇이 동적인 작업 환경을 갖기 때문에 공간에서의 경로(path) 특성 대신에 공간과 시간을 모두 포함한 궤적(trajec-tory) 특성을 고려한다. 세 번째로, 인간과 공존하는 작업 환경 때문에 진동(vibration) 특성과 소음(noise) 특성을 다루어야 한다. 앞의 세 가지 기준을 반영하면 다음과 같은 운동 성능을 도출 할 수 있다.

### 2.1 위치 특성 (position characteristic)

- 위치와 방향의 정확도(accuracy of position and orientation) : '로봇이 얼마나 정확하게 주어진 위치와 방향에 도착하는지'를 측정하는 성능으로 '요구 위치/방향과 도달 위치/방향의 공간적인 차이(거리와 방향)'로 표현된다.
- 위치와 방향의 반복정밀도(repeatability of position and orientation) : '로봇이 얼마나 반복적으로 전에 도착한 위

치와 방향에 맞게 도착하는지'를 측정하는 성능으로 '도달 위치/방향의 통계적인 범위의 길이'로 표현된다. 이 통계적인 범위의 길이는 이를 반지름으로 하는 원 안에 99%의 도달 위치/방향이 있음을 의미한다. 즉, 99%의 신뢰도를 가지는 도달 위치/방향의 표준 편차로 나타낸다.

안정화 특성 (stabilization characteristic) : 이것은 '로봇이 얼마나 빠르고 정확하게 정해진 위치와 방향에 도달하는지'를 측정하는 성능으로 '진동의 크기와 안정화 시간 (settling time)'으로 표현된다. 여기에서 안정화 시간 동안의 안정화 구간은 측정 중에 정지 명령이 수행되면서부터 진동의 크기가 최고 크기의 5% 이내로 감소할 때까지의 구간을 나타낸다.

### 2.2 궤적 특성 (trajectory characteristic)

- 위치와 방향의 정확도(accuracy of position and orientation) : '로봇이 주어진 요구 경로를 따라 얼마나 정확하게 움직이는지'를 측정하는 성능으로 '요구 경로와 도달 경로의 시간 함수로서의 공간적인 차이'로 표현된다.
- 선속도와 각속도의 정확도(accuracy of linear velocity and angular velocity) : '로봇이 얼마나 정확하게 요구 선속도와 각속도로 움직이는지'를 측정하는 성능으로 '시간 함수로서 경로를 따라 가면서의 요구 속도와 실제 속도의 차이'로 표현된다.
- 진동 및 소음 특성 (vibration and noisecharacteristic) : '진동과 소음의 정도'를 측정하는 성능으로 '움직일 때의 진동의 크기나 주파수(frequency), 그리고 로봇이 최대 정상 속도와 하중 (maximum normal speed and payload)으로 움직일 때의 소음'으로 표현된다. 진동은 로봇의 몸체 표면에 3차원 진동 센서를 부착시키고 측정하며 소음은 로봇의 중심과 같은 높이에 위치하고 수평 방향으로 1m 떨어진 소음 측정기에 의해 측정된다.

## 3. 이동용 퍼스널 로봇의 이동 성능

2장에서 설명한 퍼스널 로봇의 운동 성능은 1m 정도의 짧은 거리의 움직임을 위해 로봇이 얼마나 주어진 위치에 잘 도착하는지 또는 주어진 궤적을 얼마나 잘 따라가는가를 측정하는 성능인데 반해, 퍼스널 로봇의 이동 성능(navigation performance)은 방과 방 사이와 같이 먼 거리를 움직이는데 필요한 동적인 성능(dynamic performance)이다.

본 연구에서의 이동 성능이라 함은 센서를 이용해 주위 환경의 인식하면서 주어진 위치와 궤적으로 움직이는 성능을 말한다. 즉, 이동을 위한 구동부와 센서의 성능이라고 할 수 있다. 그러므로 이동 성능은 이동 방법과 이동 환경에 의해 벽 따라가기(wall following), 선 따라가기(line tracing), 장애물 회피(obstacle avoidance), 이동 물체 추적(moving object following), 문턱 극복(doorsill overcoming) 등의 로봇의 움직임[4]과 관련이 있다. 앞에서 말한 운동 성능의 궤적 특성과 같이, ISO 9283에서는 이 이동 성능을 다루지 않는다. 그래서

이 논문에서 이동 성능에 관한 것을 새로이 정의하는 것이 필요하다.

방과 방 사이를 움직이는 로봇의 이동은 (1) 일정 패턴(pattern)을 따라가기, (2) 예기치 않은 환경의 극복, 그리고 (3) 방의 출입(exiting/entering)과 같이 세 가지로 분류될 수 있는 많은 부수 작업(sub-task)들로 구성된다. 이 부수 작업들은 이동 성능과 함께 적용되어 이동용 로봇의 움직임을 만든다. 위의 이동 성능을 위한 세 가지 항목을 위해서 다음과 같은 성능을 도출한다.

### 3.1 일정 패턴을 따라가기 (following patterns)

- 벽 따라가기(wall following) : '로봇이 주어진 벽(wall)을 얼마나 잘 따라가는지'를 측정하는 성능으로 '로봇이 이동하는 벽과 평행한 영역에서 만들어진 궤적과 이동 시간의 변화 정도'로 표현된다. 이 변화 정도는 로봇의 이동 궤적 곡률의 적분으로 정의된다.
- 선 따라가기(line tracing) : '로봇이 주어진 선(line)을 얼마나 잘 따라가는지'를 측정하는 성능으로 '로봇의 중심이 선으로부터 벗어난 거리의 절대 값의 적분과 이동 시간'으로 표현된다. 여기서 말하는 선은 바닥과 다른 색을 가진 색 테이프(color tape)나 자기 테이프(magnetic tape) 등을 말한다.
- 이동 물체 따라가기(moving object following) : '로봇이 주어진 이동 물체를 얼마나 잘 따라가는지'를 측정하는 성능으로 '물체와 로봇 사이의 요구된 거리와 방향 차이의 절대 값의 표준 편차'로 표현된다.

### 3.2 예기치 않은 환경의 극복 (overcoming unexpected situations)

- 장애물 회피(obstacle avoidance) : '로봇이 예기치 않은 움직이거나 고정된 장애물을 얼마나 잘 회피하는지'를 측정하는 성능으로 '충돌 없이 초기 지점부터 목표 지점까지 장애물을 회피하면서 이동하는데 걸린 시간'으로 표현된다.

### 3.3 방의 출입 (exiting and entering of rooms)

- 문턱 극복(doorsill overcoming): '로봇이 문턱을 얼마나 안정적으로 극복해서 넘어가는지'를 측정하는 성능으로 '로봇이 문턱 위를 움직일 때의 진동의 최대 크기'로 표현된다.

위에 제시한 이동용 퍼스널 로봇의 이동을 위한 다섯 가지 성능들은 아직 완전하게 정의한 것은 아니다. 예를 들어, 추후에 문의 개폐와 같은 더 많은 성능들을 추가해야 할 것이다. 다음 장에서는 운동 성능과 이동 성능의 측정을 위한 시험 환경(test environment)을 정의한다.

## 4. 시험 환경

퍼스널 로봇의 성능을 효과적이고 정확하게 측정하기 위해서, 일종의 시험실(test house)과 시험조건(test condition)을 정의하는 것이 필요하다. 가정환경에서의 적용을 위한 퍼스널 로봇의 시험실은 바닥의 상태, 장애물 조건, 방과 복도의 크기, 그리고 문턱의 크기와 같은 요인들에 의해 정의될 수 있다. 그리고 시험 조건은 시험실의 온도, 습도, 조도 등의 환경 조건에 의해 정의될 수 있다.

우리는 다음의 세 가지 기준을 기초로 하여 시험실을 설계한다.

- (1) 4인 가족 기준의 20평(64m<sup>2</sup>) 크기의 아파트를 기준으로 설계한다.
- (2) 성능 시험에 부합되도록 측정 영역과 방을 적절히 나눈다.
- (3) 나누어진 모든 측정 영역과 방을 위한 운동 성능과 이동 성능의 시험 성능을 모두 포함하도록 측정 장비를 적절히 분포시킨다.

위의 기준에 의해 설계된 그림 1과 같은 시험실에서, 시험실의 주어진 경로를 따라서 로봇을 움직이게 하면서 로봇의 모든 성능 측정을 수행할 수 있을 것이다.

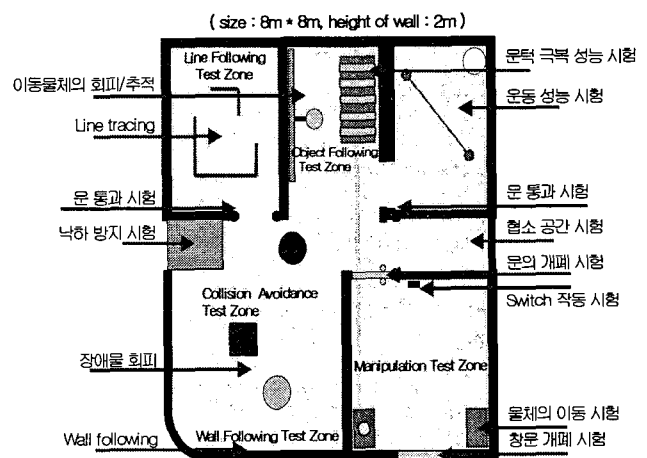


그림 1 제안된 시험실의 구조  
Fig. 1 Proposed test room

시험 조건은 수치에 의해 그 영역이 정의되지 않는다. 대신에, 표 1과 같이 사용 조건(use condition)을 정의한다. 이 조건은 측정을 위한 조건으로 한국의 기후와 가정환경 그리고 측정 장비의 작동 조건에 기초하여 정의되었다[5][6]. 성능을 측정할 때의 시험 조건은 사용 조건을 만족시켜야 한다. 그리고 측정 시의 온도, 습도 그리고 조도의 시험 조건을 각각 기록하여 평가에 참고해야 한다.

표 1 제안된 사용 조건

Table 1 Proposed use condition

		온도	습도	조도	참고
한국의 기후		-6~27℃	30~80%	.	한국기상청
가정환경		10~30℃	30~80%	300~600 lux	KS규격
작동 조건	비전 카메라	-5~45℃	20~80%	upper 400 lux	메뉴얼
	레이저 트래커	5~40℃	10~90%	.	메뉴얼
	진동 센서	0~55℃	25~85%	.	메뉴얼
기타 조건		36.5℃	.	.	인체조건
사용 조건		10~40℃	10~80%	400~600 lux	

5. 성능 측정 시스템

제안된 모든 성능 측정을 수행하기 위해서는 다음과 같은 네 가지의 측정 장비가 필요하다. 위치 특성과 궤적 특성을 측정하기 위해서 3차원 레이저 측정 장비(3D laser tracking system)[7]를 사용한다. 그리고 문턱 극복을 제외한 이동 성능과 방향 특성을 측정하기 위해서 비전 시스템(vision system)을 개발하여 사용하며, 문턱 극복 시 발생하는 진동을 측정하기 위해서 진동 측정 시스템(vibration measuring system)을 개발해서 사용하였고 로봇으로부터 발생하는 소음을 측정하기 위해서 상용 소음 측정기(commercial noise meter)를 사용하였다. 각 장비에 대한 자세한 사항을 살펴보면 다음과 같다.

먼저, 3차원 레이저 측정 장비[7]는 비교적 짧은 거리의 움직임 동안의 위치를 정밀하게 측정하는 것에 매우 유용하다. 레이저 측정 시스템은 로봇 몸체에 붙어 있는 반사경(reflector)에 반사된 레이저를 이용해서 로봇의 좌표를 3차원 상에서  $\mu\text{m}$  단위[7]까지 측정하는 장비이다. 그러나 레이저의

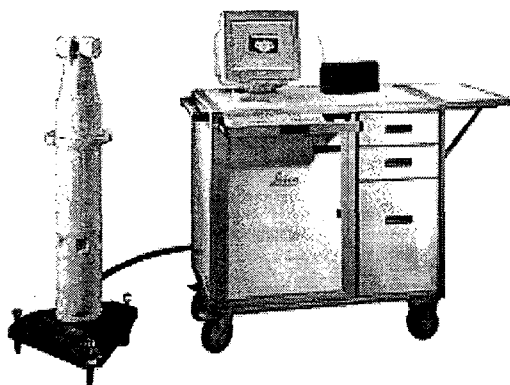


그림 2 레이저 측정 장비  
Fig. 2 Laser measurement system

직진하는 성질과 반사하는 성질 때문에 레이저 측정 시스템으로는 3차원 데이터(x, y, z)만을 측정할 수 있다. 이 레이저 시스템은 ISO 9283의 측정에 적합하도록 개발된 것이기 때문에 이동 로봇의 성능 측정을 하는데 있어서 방향을 측정할 수 없다는 약점이 존재한다. 그래서 방향은 다음과 같이 개발된 비전 시스템을 이용해서 로봇의 방향을 측정한다.

둘째로, 긴 거리의 이동이나 정밀성이 요구되지 않는 측정과 관계된 이동 성능, 로봇의 방향을 측정하기 위한 비전 시스템[8]을 개발한다. 이 비전 시스템은 시험실의 천정에 붙어 있어 로봇 몸체의 상단에 있는 특정한 색을 가진 표식(colored mark)을 인식해서 2차원의 위치(x, y)와 1차원의 방향( $\theta$ )을 측정하는 장비이다. 여기에서 표식은 두 가지 이상의 색을 가지고 있어 그 색 정보를 이용해서 위치와 방향을 도출하는 것이다. 이 비전 시스템은 모든 시험 영역에서의 측정의 연속성을 유지하기 위해서 적절하게 분산 배치시킨다.

세 번째로, 진동 측정 시스템은 로봇에서 발생하는 진동을 측정하기 위해서 개발되었다. 이 진동 측정 시스템은 로봇 몸체에 붙는 3차원 정밀 가속도 센서(3D accelerometer) [9]와 신호 증폭기(amplifier), 데이터 송신기(micro processor) 그리고 데이터 처리를 위한 컴퓨터(application computer)로 구성되어 있다. 본 연구에서 쓰인 진동 측정 센서는 1.4khz[9]까지의 진동을 측정할 수 있다.

마지막으로 로봇의 소음을 측정하기 위해서 우리는 상업적으로 사용되고 있는 소음 측정기를 사용한다. 그래서 이 부분은 본 연구에서는 자세하게 다루지는 않는다.

그래서 본 성능 측정에 쓰인 장비를 정리하면 다음의 표 2와 같다.

표 2 성능 측정 시스템

Table 2 Measurement system for performance

	장 비	적 용
운동 성능	레이저 측정 시스템	위치
	비전 시스템	방향
	진동 측정 시스템	진동
	소음 측정기	소음
이동 성능	비전 시스템	위치, 방향
	진동 측정 시스템	진동

6. 시험 예제

본 연구에서는 그림 3과 같이 측정을 위한 시험용으로 간단한 이동 로봇을 개발했다. 로봇에 레이저 측정을 위한 반사경과 비전 시스템을 위한 색을 가진 표식을 상단에 부착시킬 수 있는 구조로 설계했다.

개발된 로봇에 의해 측정된 운동 성능과 이동 성능의 시험 결과는 다음과 같다.

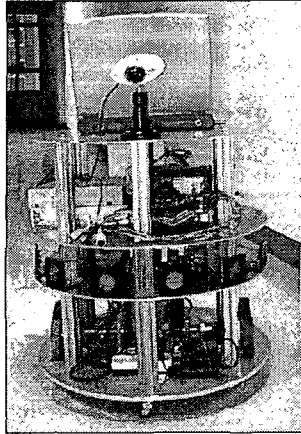


그림 3 개발된 시험용 이동 로봇  
Fig. 3 Developed test mobile robot

6.1 운동 성능의 시험

운동 성능의 경우에는 레이저 장비를 이용해서 측정을 수행한다. 그러므로 먼저 레이저 장비를 로봇에 장착된 반사경 방향으로 정렬하고 두 지점 사이를 왕복 운동하도록 로봇을 프로그래밍 한다. 이 때, 두 지점에서는 로봇이 3초간 정지하도록 하고 30회 이상 왕복 운동 시킨다.

- 위치와 방향의 정확도

표 3 위치 정확도의 시험 결과

Table 3 Test result of position accuracy

Point data	Test result
Point, X-axis, Y-axis, Z-axis	
1, 635.771, 420.315, 1088.423	Average Error: AE = 1.830 mm
2, 625.322, 430.647, 1088.441	
3, 625.366, 420.648, 1088.647	
4, 635.771, 425.963, 1088.498	
5, 635.534, 415.853, 1088.598	
6, 635.624, 410.236, 1088.436	
7, 635.276, 425.698, 1088.464	
.....	Standard Deviation: S = 5.203 mm
12, 635.552, 425.945, 1088.739	
13, 635.853, 420.570, 1088.446	
14, 625.488, 430.394, 1088.381	
15, 625.950, 420.667, 1088.449	
16, 635.492, 425.847, 1088.475	
17, 635.067, 415.533, 1088.484	
.....	Position Accuracy: PA = 26.849 mm
24, 635.372, 425.776, 1088.288	
25, 635.629, 415.446, 1088.247	
26, 635.922, 410.239, 1088.637	
27, 635.267, 425.650, 1088.478	
28, 635.722, 425.876, 1088.494	
29, 635.975, 420.893, 1088.499	
30, 635.482, 420.556, 1088.849	

- 위치와 방향의 반복정밀도

표 4 위치 반복정밀도의 시험 결과

Table 4 Test result of position repeatability

Point data	Test result	
Point, X-axis, Y-axis, Z-axis		
1, 1005.125, 405.121, 1088.462	Average Error: AEx = -1.279 mm AEy = 10.468 mm AEz = 0.041 mm	
2, 1000.874, 410.223, 1088.657		
3, 1005.227, 410.474, 1088.344		
4, 1000.257, 420.345, 1088.412		Standard Deviation: Sx = 4.618 mm Sy = 4.837 mm Sz = 0.190 mm
5, 1005.373, 410.725, 1088.767		
6, 1005.437, 415.116, 1088.498		
7, 1015.467, 415.886, 1088.443		
8, 1000.625, 415.077, 1088.268		
9, 1000.745, 425.007, 1088.478		
10, 1000.140, 415.432, 1088.883		
11, 1000.017, 415.224, 1088.447		Position Repeatability: PRx = 23.829 mm PRy = 24.959 mm PRz = 0.981 mm PR = 11.403 mm
12, 1005.246, 420.116, 1088.442		
13, 1005.122, 405.755, 1088.438		
14, 1000.345, 410.778, 1088.169		
15, 1005.462, 410.335, 1088.756		
16, 1000.736, 420.483, 1088.449		
17, 1005.264, 410.375, 1088.446		
18, 1005.226, 415.556, 1088.823		
19, 1015.735, 415.828, 1088.482		
20, 1000.444, 415.445, 1088.347		
21, 1000.421, 425.674, 1088.864		
22, 1000.765, 415.338, 1088.428		
23, 1000.198, 415.773, 1088.202		
24, 1005.134, 420.342, 1088.437		
25, 1005.335, 410.215, 1088.422		
26, 1005.001, 415.162, 1088.446		
27, 1015.183, 415.625, 1088.469		
28, 1000.531, 415.322, 1088.842		
29, 1000.775, 425.162, 1088.488		
30, 1000.446, 415.275, 1088.442		

시험 결과에서 로봇의 전진 방향으로의 위치 정확도는 약 27mm로 정상적인 상태를 보이고 있고 후진 방향으로의 위치 반복정밀도는 약 11mm로 반복정밀도가 높게 나타났다.

6.2 이동 성능 시험

이동 성능의 경우에는 로봇의 방향이 수시로 변하기 때문에 비전 카메라를 이용해서 측정을 수행한다. 그래서 로봇에 장착된 색 표식을 인식하기 위해 카메라를 시험실의 천정에 장착하고 측정을 한다. 단, 문턱 극복의 경우에는 진동 측정 장비를 사용한다. 장애물 회피를 측정하기 위해서는 센서를 이용해서 전방의 장애물을 피하면서 목적지까지 가도록 프로그래밍 한다.

- 장애물 회피

그림 4와 5의 시험 결과에서, 그림 4의 경우에는 로봇이 안정적으로 빠른 시간에 장애물을 회피하는 것을 볼 수가 있고 그림 5에서는 그림 4보다는 더 불규칙하고 회피 시간도 더 많이 소요되었음을 알 수가 있었다. 이렇게 로봇의 장애물을 회피하는 궤적과 회피 시간을 이용해서 장애물 회피의 성능을 측정 할 수 있었다. 물론 앞의 운동 성능에서의 경우와 같이, 평가결과와 함께 궤적의 정도와 회피 시간 같은 수

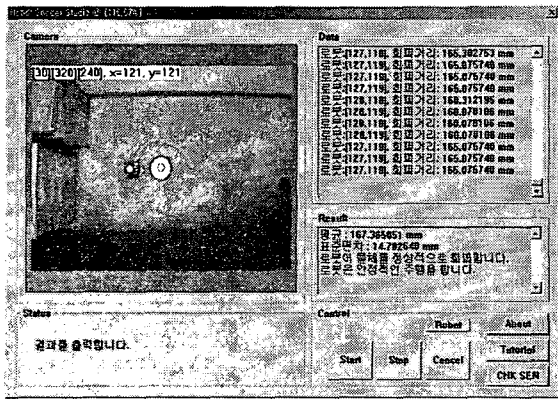


그림 4 장애물 회피의 시험 결과 1  
Fig. 4 Test result of obstacle avoidance 1

표 5 장애물 회피의 시험 데이터 1  
Table 5 Test data of obstacle avoidance 1

Point data Robot point, Measuring distance	Test result
[199,117], 195.576072 mm	Mean measuring distance: 167.365851 mm
[199,117], 195.576072 mm	
[199,116], 196.022958 mm	
[199,116], 196.022958 mm	
[199,117], 195.576072 mm	
[197,117], 185.607112 mm	Standard deviation: 14.782640 mm
[197,117], 185.607112 mm	
[196,117], 180.623919 mm	
[196,117], 180.623919 mm	
[193,110], 172.409396 mm	Avoiding time: 10 sec
[193,108], 175.570499 mm	
[192,108], 170.880075 mm	
[191,108], 166.207701 mm	

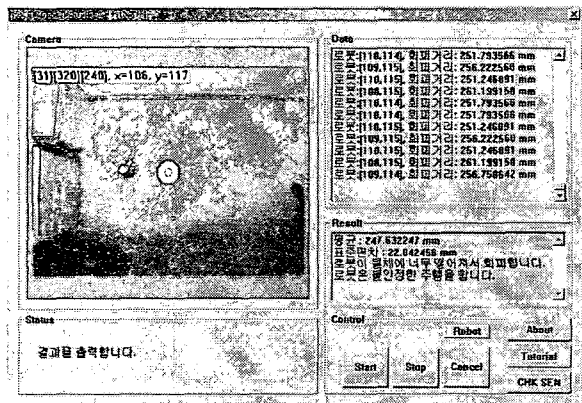


그림 5 장애물 회피의 시험 결과 2  
Fig. 5 Test result of obstacle avoidance 2

치적인 측정 결과를 함께 기록해야 할 것이다. 이번 측정에서 로봇의 작동 프로그램을 각각의 경우에 적합하게 변경해서 회피 거리와 로봇의 속도를 제어함으로써 로봇의 성능을 조절하였다.

표 6 장애물 회피의 시험 데이터 2  
Table 6 Test data of obstacle avoidance 2

Point data Robot point, Measuring distance	Test result
[219,117], 295.381110 mm	Mean measuring distance: 286.242971 mm
[219,116], 295.677189 mm	
[218,119], 290.043100 mm	
[215,117], 275.408787 mm	
[127,076], 275.000000 mm	Standard deviation: 26.532094 mm
[127,077], 271.016605 mm	
[126,077], 274.089401 mm	
[104,111], 283.593018 mm	Avoiding time: 8 sec
[105,111], 278.657496 mm	
[105,111], 278.657496 mm	

### 6.3 진동 시험

문턱 극복 성능을 측정하기 위해서는 진동 측정 장비를 사용한다. 그래서 진동 센서를 로봇에 장착 시키고 측정을 수행해야 한다. 여기에서 진동 센서의 장착 위치는 사용자가 측정을 원하는 위치에 장착하면 된다.

- 문턱 극복

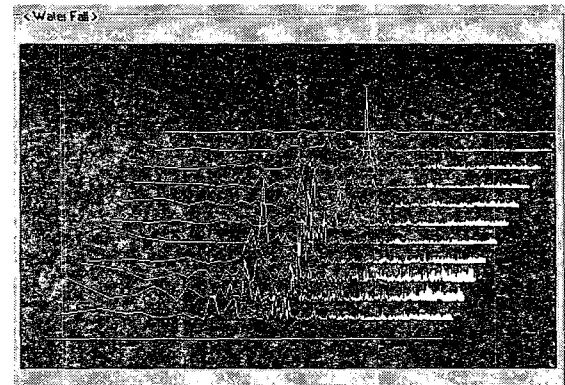


그림 6 주파수 축에서의 진동의 크기  
Fig. 6 Magnitude of vibration at frequency axis

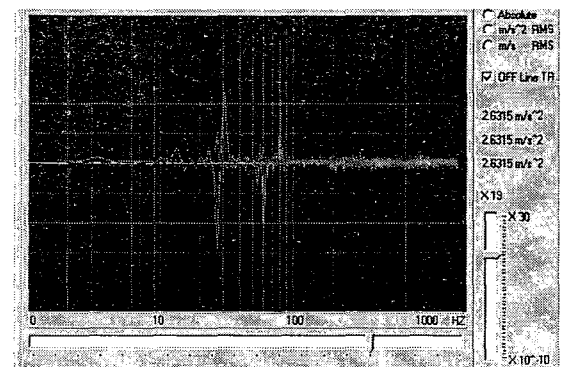


그림 7 Waterfall 형식으로 본 시험 결과  
Fig. 7 Test result by Waterfall type

그림 6과 7의 결과에서 로봇이 문턱 위를 움직일 때 진동이 심하다는 것을 알 수 있었다. 그리고 로봇이 문턱 위를 움직일 때의 진동 데이터를 이용해서 진동이 심한 부분에서의 위치를 알 수 있기 때문에 이를 이용해서 문턱 극복 성능의 평가나 문턱 극복 시의 진동 감소의 해결책 모색 등에 참고할 수 있을 것이다.

6.4 측정 데이터의 그래픽 표현

퍼스널 로봇의 움직이는 특성을 평가하기 위해서는 측정된 것을 계산한 결과뿐만 아니라 측정된 각종 데이터도 필요하다. 그리고 측정 데이터를 쉽고 편리하게 비교 분석하기 위해서 측정 데이터를 그래프로 표현해야 한다. 그러므로 다음과 같은 측정 데이터를 그래프로 표현하기 위한 새로운 방법을 제안한다. 기존의 그래프 표현은 대부분 2차원의 데이터만을 표현 가능했으나, '위치 정확도'나 '벽 따라가기'와 '선 따라가기'의 경우와 같이 로봇의 궤적을 표현할 때는 '요구된 위치와 실제 위치와의 차이', '경과 시간'과 '실제 위치로부터 요구된 위치까지의 방향'을 하나의 그래프에 표현하기 위해 시간과 공간을 포함한 그래프를 사용해야 한다. 그래서 본 연구에서는 2차원의 좌표와 시간을 표현 할 수 있는 새로운 방법을 제안한다.

먼저, 그림 8과 같이 각 항목의 측정 데이터를 표현하기 위한 표준 그래프를 정의한다. 그리고 다음과 같이 그래프의 X축과 Y축을 정의한다. 이는 수행한 시간을 나타내기 위한 X축과 '요구된 위치와 실제 위치와의 차이'를 나타내기 위한 Y축으로 나타내었다. 그리고 방향은 벡터양이기 때문에 로봇이 목표한 지점으로부터 위치한 방향을 나타내기 위하여 화살표를 덧붙여 사용하였다. 앞의 세 가지 인자(parameter)를 이용하면 로봇이 성능 측정을 수행한 정도를 2차원의 좌표와 수행한 시간을 한눈에 알 수 있다. 여기에서 Y축의 경우는 로봇의 방향을 화살표로 표현함으로써 각 편차가 음의 값이 나올 수 없기 때문에 그림과 같이 양의 값으로만 표현하였다. 또한 여기서의 화살표는 방향을 나타내는 단위 벡터(unit vector)라고 할 수 있다.

본 연구에서 제시한 측정 데이터의 그래픽 표현을 이용해서 궤적 위에서 로봇의 움직이는 모든 상황을 알 수 있다. 그래서 요구된 궤적과 이 그래프 표현에서의 데이터를 조합하면 로봇의 실제 궤적을 알 수 있을 것이다. 이것은 퍼스널 로봇의 성능 평가를 위한 분석에 있어서 더욱 효과적인 방법이다.

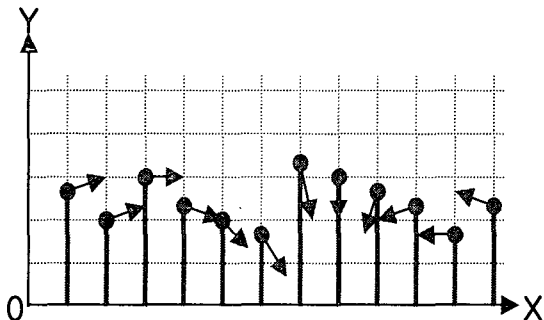


그림 8 측정 데이터의 그래픽 표현  
Fig. 8 Graphical representation of measured data

그러면, 본 연구에서 제시된 방법을 이용한 그래프 표현의 예는 다음과 같다. 다음 예에서는 앞에서 나온 장애물 회피 2의 시험 결과를 나타냈으며 0.5초 단위로 결과 데이터를 정리하였다.

표 7 장애물 회피 2의 시험 데이터  
Table 7 Test data of obstacle avoidance 2

Point data	Test result
Robot point, Measuring distance	
[219,117], 295 mm	Mean measuring distance: 286.242971 mm  Standard deviation: 26.532094 mm  Avoiding time: 8 sec
[211,105], 266 mm	
[207,095], 266 mm	
[205,086], 282 mm	
[200,076], 297 mm	
[191,067], 307 mm	
[180,061], 311 mm	
[168,059], 308 mm	
[161,060], 300 mm	
[159,060], 300 mm	
[155,062], 291 mm	
[147,065], 283 mm	
[136,070], 277 mm	
[129,075], 273 mm	
[119,083], 276 mm	
[111,093], 280 mm	

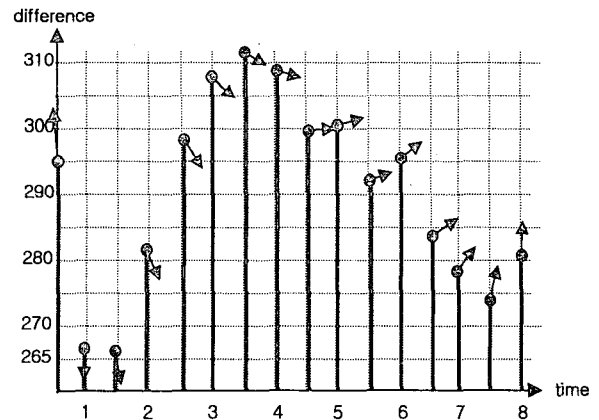


그림 9 장애물 회피의 그래픽 표현 예  
Fig. 9 Graphical representation of obstacle avoidance 2

측정된 운동 성능과 이동 성능의 결과에서의 같이, 우리는 측정을 위해 개발된 로봇을 가지고 측정에 적합하게 개발된 측정 시스템을 이용해서 퍼스널 로봇을 위해 제안된 성능 측정이 잘 되도록 시험했다. 그러나 앞에서 언급했던 표준 시험 환경은 본 논문에서는 아직 적용하지 않았고 단지 일반 시험 환경에서 측정을 수행하였다.

### 7. 결 론

본 논문에서는 퍼스널 로봇의 성능을 평가하기 위해서 운동 성능과 이동 성능을 정의했다. 그리고 정확하고 신뢰성 있는 측정을 위해 표준 시험 환경을 정의했다. 또한 정의된 성능과 시험용 이동 로봇에 적합한 측정 장비를 개발했다. 측정 시스템과 로봇은 성능 측정에 사용되었고 성공적이고 효과적으로 측정되었음을 결과로 보였다. 그리고 본 연구에서 제시한 성능 평가 방법은 작업 성능과 지능을 포함하고 제조업자와 사용자들의 여러 요구를 만족시키기 위해 더욱더 개발될 것이다. 또한 향후에는 퍼스널 로봇의 안전성에 관한 평가 지표 또한 추가되어야 할 것이다. 앞으로 본 연구에서 개발된 기술과 장비는 기술표준원에 설치되어 한국의 많은 로봇 연구원과 회사들이 활용할 수 있도록 될 것이다. 그러면 로봇 전문 기업들이 이러한 장비와 기술을 이용해서 퍼스널 로봇에 대한 연구개발을 보다 효율적으로 진행할 수 있게 될 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 2002년도 산업자원부, 생산기술연구원, 기술표준원의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 도지마 와코, "로봇의 시대", 사이언스북스, pp.72-73, 2002
- [2] ISO, "Manipulating industrial robots-Performance criteria and related test methods", ISO 9283,1988
- [3] 안창현, 김규로, 김진오, "레이저 트래킹 시스템을 이용한 로봇의 운동 특성 분석 시스템의 개발", in Proceeding of ICCAS, pp.1836-1839, 2001
- [4] James L. Crowley, "Position Estimation Using Principal Components of Data", in Proceeding of ICRA, pp.3121-3128, 1998
- [5] John Hancock, "Active Laser Radar for High-performance Measurements", in Proceeding of the ICRA, pp.1465-1470, 1998
- [6] ISO, "측정실의 환경 표준", ISO 규정집, 1988
- [7] Leica Geosystems LTD, Leica Laser Tracker Module Operator's Manual, 2000
- [8] Sony Co., XC-55 Camera Manual, 1999
- [9] Eliezer Co., 14502 Tri-axial Accelerometer Manual, 2001

## 저 자 소 개



### 안창현 (安昌紘)

1976년 1월 10일생. 2001년 광운대 제어계측공학과 졸업. 2001년~현재 동 대학원 정보제어공학과 석사과정  
Tel : 02-940-5158, Fax : 02-909-3255  
E-mail : roboto@kw.ac.kr



### 김진오 (金鎭沔)

1959년 10월 27일생. 1983년 서울대 기계공학과 졸업. 1985년 동 대학원 기계공학과 졸업(공석). 1992년 Carnegie-Mellon Univ. Robotics 졸업(공박). 1998년~현재 광운대 정보제어공학과 조교수  
Tel : 02-940-5158, Fax : 02-909-3255  
E-mail : jokim@daisy.kw.ac.kr



### 이건영 (李健寧)

1959년 8월 2일생. 1982년 한양대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(공석). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1996년~현재 광운대 전기공학과 부교수  
Tel : 02-940-5142, Fax : 02-942-0107  
E-mail : keonyi@daisy.kw.ac.kr



### 이호길 (李浩吉)

1953년 1월 5일생. 1980년 한양대 기계공학과 졸업. 1986년 오오사카대학 대학원 공학연구과 졸업(공석). 1989년 동 대학원 기초공학연구과 졸업(공박). 1991년~현재 한국생산기술연구원 수석연구원  
Tel : 041-5898-441, Fax : 041-5898-400  
E-mail : leehg@kitech.re.kr



### 김규로 (金奎魯)

1965년 2월 13일생. 1986년 경희대 기계공학과 졸업. 1988년 동 대학원 기계공학과 졸업(공석). 1995년~현재 산업자원부 기술표준원 공업연구사  
Tel : 02-509-7351, Fax : 02-509-7423  
E-mail : grkim@ats.go.kr