

## 자율청소로봇 성능평가 표준화에 관한 연구

유재창\*(경희대원), 홍주표(삼성전기), 임성수(경희대)  
이순걸(경희대), 박광호(한국기술표준원)

### A Study on Standardization of Performance Evaluation for Autonomous Cleaning Robot

Jaechang Ryu (Dept. of Mech. Eng., KHU), Ju-Pyo Hong (Samsung Electro-Mechanics),  
Sungsoo Rhim (Dept. of Mech. Eng., KHU), Soon-Geul Lee (Dept. of Mech. Eng., KHU),  
Kwang-Ho Park (Korea Agency for Technology and Standards)

#### ABSTRACT

To support the expansion of the autonomous robot market, the establishment of evaluation standards of the robot performance are essential. In this paper, to venture the standardization of the performance evaluation of the autonomous robot, the authors take the autonomous cleaning robot (ACR) as the initial stepping stone. Recently, the ACR has been being developed and marketed actively in many countries including Korea and it believes to be the fore-runner among various types of autonomous robot products. Standards of the performance evaluation for the ACR could be easily modified and applied to other autonomous robots. This paper formulates and suggests a group of standards for the performance evaluation based on a evaluation platform for the ACR. The newly developed performance evaluation platform has been designed to include all the important aspects of living environments in reality. In the platform the performance of the ACR is measured in terms of mobility, cleaning performance, avoidance of obstruction(safety), and operation noise. A few commercially available ACR products are collected and tested in the evaluation platform and compared against the performance evaluation standards formulated.

**Key Words** : 청소로봇, 성능평가, 표준화, 평가 플랫폼

#### 1. 서론

지능형 로봇 산업은 기계, 전기 등의 기반기술과, 센서, 제어, 시스템 통합 등의 요소 기술, 통신, 인공 지능, 인간-로봇 인터페이스(HRI) 등 최선의 기술이 상호 결합된 첨단 기술의 결정체이다. 이러한 지능형 로봇은 향후 노령화 등으로 인해 나타나는 노동 인구 감소와 노인 복지 문제 등의 사회 문제를 해결하고(침단용 로봇, 의료 지원용 로봇 등, '03년 65세 이상 인구 7.3% -> '20년 14%로 증가예상), 사회공익, 안전 우주, 국방 등 특수 분야(재난구조 로봇, 국방로봇 등)에서 고부가가치 창출에 선도적 역할을 수행하게 될 것이다[2].

1990년대 후반부터 기존 산업용 로봇 시장이 점차 포화 단계에 접어들면서, 인간과 같이 지능적으로 판단하고 행동하는 인간 공존형 지능로봇 시장이

빠르게 형성되고 있다. 일본의 미쓰비시 연구소는 1999년 로봇산업 예측 자료에서 로봇 시장이 2020년에는 IT 와 BT 시장에 버금가는 1조 4000억 달러에 이르러, 1가구 1로봇 시대를 맞이하게 될 것으로 예측하고 있다. 특히 서비스 로봇분야는 전 세계적으로 2003~2006년도 사이에 210만대 이상의 판매가 예상되어 청소용 로봇을 비롯한 다양한 가정용 서비스 로봇이 앞 다투어 출시되고 있다. 이러한 지능형 로봇 산업의 발전에 발맞추어 한국(삼성-크루보, (주) 베이직로봇-로보센스), 미국(아이로봇-롤바), 스웨덴(ELECTROLUX-트릴로바이트), 일본 등의 세계 각국에서 서비스 로봇의 선두 주자로 청소용 로봇을 개발하여 공급하고 있다.

로봇산업의 장밋빛 전망에 세계 각국에서 로봇에 많은 연구 개발을 하고 있지만 아직도 여러 분야에 해결해야할 많은 기술적 문제들이 존재한다. 또

한 아무리 우수한 기술도 표준으로 채택되지 않으면 사장될 수 있으므로 서비스로봇 분야에도 표준을 염두에 둔 기술개발을 통하여 개발기술의 상품화와 시장 진입을 위한 전략적 접근이 필요한 시대이다. 표준 선점의 실패에 따라 발생하는 기존 투자나 설비가 무용지물이 되거나 전환에 따른 막대한 비용 발생 등 기업 생존의 문제와 직결되어 보유 기술에 대한 표준화는 기업의 적극적 시장 전략으로 중요성을 갖고 있다. 지능형 로봇은 인간, 환경 및 로봇간의 다양한 상호 작용이 중요한 요소이며, 로봇공존에 따른 안전 및 성능과 상호접속에 대한 표준이 시급히 필요한 분야이다. 특히, 2010년 1가정 1로봇 시대에 대비한 로봇의 성능 및 안전 문제는 자동차와 마찬가지로 제조회사에 국한되지 않고 국가의 관리와 책임이 전가될 것으로 예상된다. 시장에 따라서는 PC와 같이 모듈화 제품군으로 발전할 가능성도 크며, 인간 공존 또는 유비쿼터스 환경에 따른 상호 정보 교환 방식과 로봇에 대한 인간의 안전성 확보, 모듈화, 성능평가 기술 등이 중요한 문제로 대두될 것으로 예상된다. 이러한 문제의 해결을 위해서 자율이동 로봇의 표준화를 위한 로봇의 평가가 필수적으로 요구 되고 있다[4][5].

본 논문은 로봇의 표준 제정을 위해 로봇평가 플랫폼을 제작하였고, 최적의 로봇 평가를 위해 플랫폼과 연계하여 자율이동 로봇 표준화를 위한 평가 항목을 만들어 로봇을 평가 하였다. 특히 본 논문에서는 자율이동로봇의 평가표준 연구를 위해 최근 상품성에 있어 매우 긍정적인 평가를 받기 시작한 자율 청소로봇을 그 대표적 상품으로서 선택하여 평가표준을 적용하고자 한다.

## 2. 평가 플랫폼의 구성

평가 플랫폼은 가정환경과 유사한 청소로봇의 시험환경을 위해 Fig.1, Table 1, 2와 같이 32평 주거공간 기준에서의 거실 (약 8평 5m×5m) 로 내부를 구성하였다. 바닥은 청소로봇의 이동거리와 청소량 평가의 편리성을 위해 가로, 세로 50cm 크기의 셀을 이용하여 분할 구성하였다.

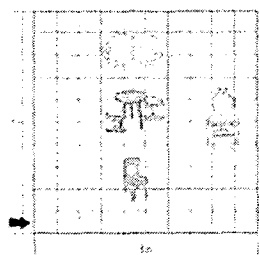


Fig.1 평가 플랫폼 계획도



Fig.2 평가 플랫폼 모습

평가 플랫폼에는 청소 로봇의 청소 능력을 측정하기 위해서 바닥에 임의로 청소 대상(모물 시료)을 뿌려 놓았다. 청소 대상(모물 시료)으로 바닥에 뿌려 놓은 모물 시료는 한 알의 평균 크기 2mm, 무게 1g인 흑쌀로 하였다. 흑쌀을 청소 대상으로 정한 것은 실제 가정에서 청소기로 청소하는 쓰레기의 크기와 가장 유사하기 때문이다. 또 평가 플랫폼의 바닥과 모물 시료가 시각적인 차이를 느낄 수 있어 청소 로봇의 청소 상태를 눈으로 쉽게 파악 할 수 있고, 청소량에 대한 무게를 쉽게 측정 할 수 있어 청소 로봇의 청소능력을 쉽게 파악 할 수 있기 때문이다.

또 바닥의 모물시료(흑쌀)를 쉽게 식별하기 위하여 Fig.2와 같이 마찰력 0.70.8 (운동/정지 마찰력) 을 갖는 황토색의 가정용 비닐 장판(KS M 3507)을 설치하였다. 평가의 반복수행시 평가환경의 초기화 및 재구성을 용이하게 수행할 수 있도록 평가플랫폼 내부의 장애물 요소들을 자동으로 들어올리기 위해 평가 플랫폼의 4모서리에 알루미늄프로파일을 2단 구조 3m 높이로 설치하였다. 내부 장애물을 들어올리기 위해 와이머지치 플레이트를 제작하였고 플레이트를 고정하기 위해 가로와 세로 프로파일을 제작하였다. 이 자동 리프트장치는 내부 환경영역에 설치된 시설을 모물 시료 살포 및 제거를 위해 공압 실린더를 이용하여 200mm이상 들어 올릴 수 있다.

Table 1 평가 플랫폼의 특징

특징	
크기	전체 크기 5m × 5m, 가로, 세로 50cm 의 cell 10개씩 전체 100개 구성
설치 장애물	소파 1개, 4발 탁자 1개, 화장대 1개, 4발 의자 1개
특징	공압을 이용, 천정 프레임에 설치된 장애물 이동기구, 턱과 낙하지역 자유로운 설치 가능
시료	흑쌀, 1알 평균 크기 가로 6mm 높이 2mm, 1알 평균 무게 0.025g

Table 2 평가 플랫폼 내 장애물

종목명	수량	크기	비고
화장대	1개	1050(W)×500(D)×700(H)	KS G 4017
4발 의자	1개	450(W)×480(D)×400(H)	KS G 4101
4발 테이블	1개	1000(W)×600(D)×700(H)	KS G 4001
소파	1개	1800(W)×880(D)×690(H)	바닥면 밀착

오물 시료의 살포 및 제거를 위한 오물 자동살포 장치는 호퍼에 담긴 오물 시료가 살포 롤러에 의해 균일하게 분포되고 살포 롤러 뒤쪽의 브러시 또는 걸레로 깨끗하게 자동 제거할 수 있다. 평가플랫폼을 이용한 평가 항목으로는 바닥에 살포한 오물 시료의 흡입량에 의한 청소성능 평가와 직진성, 이동 경로 측정에 의한 이동성능 평가, 장애물 인식 및 제어 능력과 충돌성능에 대한 센싱 성능 및 안전성 평가, 소음도 성능 평가 등이 포함된다[7].

### 3. 성능 평가

자율 청소로봇의 성능 평가를 위해 본 논문은 평가항목을 Table 3과 같이 구성한다.

#### 3.1 이동성능 평가

이동성능 평가는 세부적으로 직진주행 성능, 이동경로, 특정영역의 주행 가능성 등으로 나누어 평가한다. 첫째, 직진주행 성능평가는 로봇이 이동할 때 직선으로 주행이 가능한가를 평가한다.

Table 3 자율 청소로봇 성능 평가 항목

평가 항목	세부 항목	평가 기준	평가 필요성
이동 성능	직진성	직진주행의 가능	목적위치까지 빠른 이동, 알고리즘 개발에 유용
	이동경로	일정 면적을 5분 동안 이동한 경로	효율적인 이동에 의한 청소효율의 향상
청소 성능	흡입한 시료량	일정 청소 면적 내에서 10분 동안 흡입한 시료의 양	청소로봇의 흡입능력 측정
장애물 회피 (안전성)	장애물 인식 및 제어	장애물 인식 후 장애물 회피 제어 성능	장애물에 대한 센싱 능력 향상 및 안전성 확보
	충돌성	장애물과 충돌시 이동된 표준 장애물의 거리 측정	접촉방식 이용하는 로봇의 안정성 확보
소음도	소음도	작동중 소음도 측정	실내 소음 기준 준수



Fig.5 청소량 테스트

직진주행기능은 로봇의 다양한 움직임을 구현하기 위한 기본 이동형태로서, 로봇이 원하는 위치에 신속히 도달하는데 도움이 된다. 직진주행의 평가를 위해 LTS(laser tracker system)를 이용한다[7]. Fig.4 (a)와같이 로봇의 몸체 뒷면에 좌표를 잡는 리플렉터를 설치한 후 LTS를 이용하여 로봇움직임의 좌표를 얻어 좌표변화량을 계산함으로써 로봇의 직진성을 측정한다.

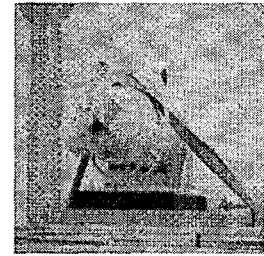
둘째, 이동경로의 평가는 이동 효율성을 높이기 위해 로봇이 평가 플랫폼을 주행했을 때 움직이는 경로의 중복성을 평가한다. 이동 효율성의 측정을 통해 로봇이 청소한 지역을 반복하여 청소하는 문제를 개선할 수 있다. 평가의 방법은 로봇마다 청소하는 알고리즘의 차이가 있기 때문에 평가 플랫폼에서 장애물을 모두 제거한 후 일정하게 5분의 시간동안 3m×2m의 평가 플랫폼을 움직이는 로봇의 이동경로를 비전 시스템을 이용하여 측정한다. 이동경로 평가 시 비전이 인식 가능한 범위 내에서 측정을 위해 평가공간을 3m × 2m로 축소 조정하였다[1][6].

#### 3.2 청소성능 평가

청소성능 평가는 Fig.5에서 보는 바와 같이 일정한 청소 면적(4m×2m)의 평가 플랫폼에서 일정한 시간 (10분) 동안 흡입한 시료의 양을 측정한다. 이 평가는 청소로봇의 흡입 능력을 평가하기 위하여 필요한 중요 항목이다.



(a) 청소로봇



(b) LTS

Fig.4 LTS를 이용한 측정

청소성능평가는 각 청소 로봇마다 사용한 장애물 회피방법 차이의 반영으로 인한 평가의 중복성을 피하고 흡입량만을 독립적으로 측정하기 위해 평가 플랫폼에서 장애물을 모두 제거한 후 실시한다. 식1을 이용하여 로봇이 흡입한 시료의 양과 청소면적에 살포한 250g의 시료간의 비를 계산하여 청소효율을 측정한다.

$$\text{청소효율(\%)} = \frac{\text{흡입한 시료의 양}(g)}{\text{청소면적에 살포한 250g의 시료}} \times 100 \quad (1)$$

### 3.3 장애물 회피 (안전성) 성능 평가

장애물 회피(안전성) 평가는 적외선 센서들과 같은 거리 측정이 가능한 센서를 사용하는 로봇과 접촉방식을 이용한 로봇에 대한 센싱 기능 및 장애물 회피 제어능력과 안전성을 평가한다. 거리측정을 위한 센서를 사용한 로봇의 장애물 감지에 대한 평가는 평가 플랫폼에 설치된 장애물(소파, 탁자, 의자, 화장대, 전등 등)을 로봇이 청소 중에 감지하고 회피한 후 장애물 근접의 시료를 얼마만큼 청소할 수 있는가를 평가한다. 또한 접촉방식 센서를 이용한 로봇의 경우 장애물에 로봇이 충돌했을 때 얼마만큼 장애물이 본래의 위치에서 움직였는가를 평가한다. 이 평가는 로봇의 센싱 기능 및 장애물 회피 제어능력 향상과 청소로봇이 장애물에 충돌했을 때의 안전성을 확보해야 한다는 점에서 중요한 평가이다[7][8].

### 3.4 소음도 평가

소음도 평가에서는 로봇이 청소 작업 중에 일으키는 소음에 대해 측정 평가한다. 평가방법은 소음을 측정하여 실내소음규격에 만족하는가 여부로 소음도를 평가한다. 소음도 평가 환경은 주위 온도  $t=20\pm 5^{\circ}\text{C}$ , 상대 습도  $\text{RH}=(50\pm 20)\%$ , 대기압  $P_s=96\pm 10\text{ KPa}$ , 측정을 위한 공간은 KS C IEC 60704-1의 규정을 준수하는 곳으로 실험 내부 환경 바닥은 아이들 롤러를 설치하여 청소로봇이 정상 작동 가능하게 한

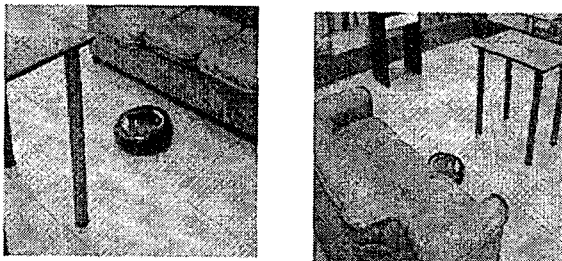


Fig.6 장애물 회피 성능 테스트

Table 4 각국의 실내 소음 규격

국가	제정 기관	실내 소음 규격	
한국	대한주택공사	40DB	
일본	일본 건축학회	특급	30dB
		A급	35dB
		B급	40dB
미국	ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)	35~45dB	

다. 소음 측정을 위한 내부 마이크는 바닥 면으로 1m, 청소로봇으로부터 1m의 거리에 설치한다. 그리고 측정은 청소로봇 전후좌우 그리고 중앙의 5개소에서 실시한다. 이렇게 측정한 소음도는 Table 4의 각국 소음 규격과 비교하여 만족여부를 평가한다. Table 4에서 보인 각국의 소음 규격은 일반 진공청소기의 소음 규격에도 사용되고 있다.

## 4. 청소로봇 성능 평가 결과

### 4.1 상용 청소로봇 평가 데이터

본 논문에서는 앞 절에서 정의한 자율청소로봇 성능평가를 두 종류의 상용 청소로봇에 적용하여, 그 실효성을 검증하고자 한다.

#### 4.1.1 상용 청소로봇 A

상용 청소로봇 A는 평가항목 테스트 결과 가장 높은 성능을 나타내었다. 180개의 적외선 센서를 이용하여 장애물을 인식하고 안전하게 회피하였다. 직진 주행 측정 결과는 직선움직임의 이상적인 그래프 결과와 1.6mm의 오차를 보여 Fig.7에서 보듯이 실제 직선과 가깝게 움직이는 결과를 나타내었다. Fig.8을 보면 A는 맵핑 기능을 이용하여 4m×2m의 평가 플랫폼의 모양과 유사하게 움직임을 나타내었다.

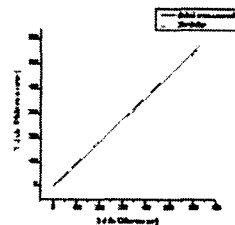


Fig.7 A의 직진주행

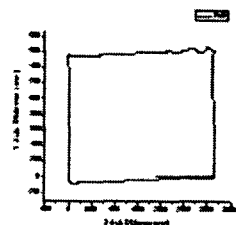
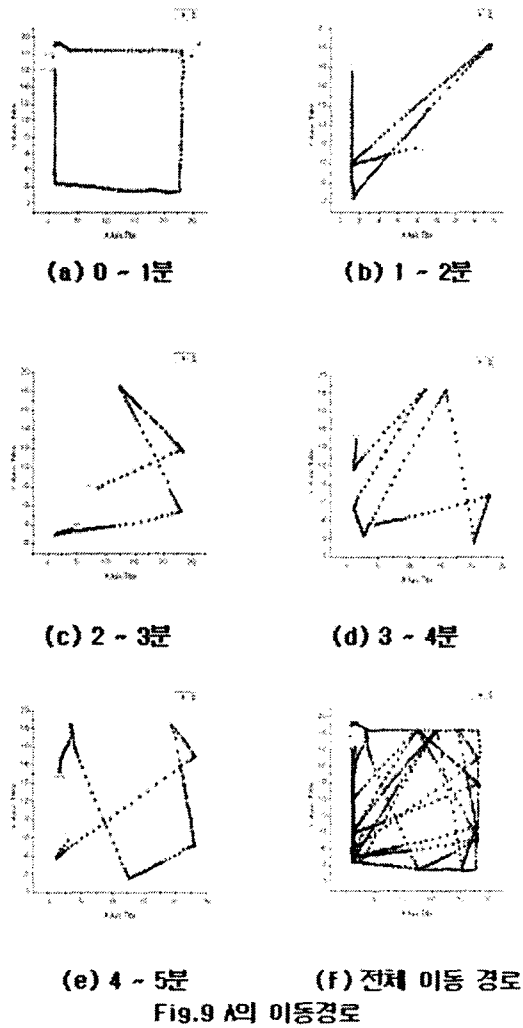


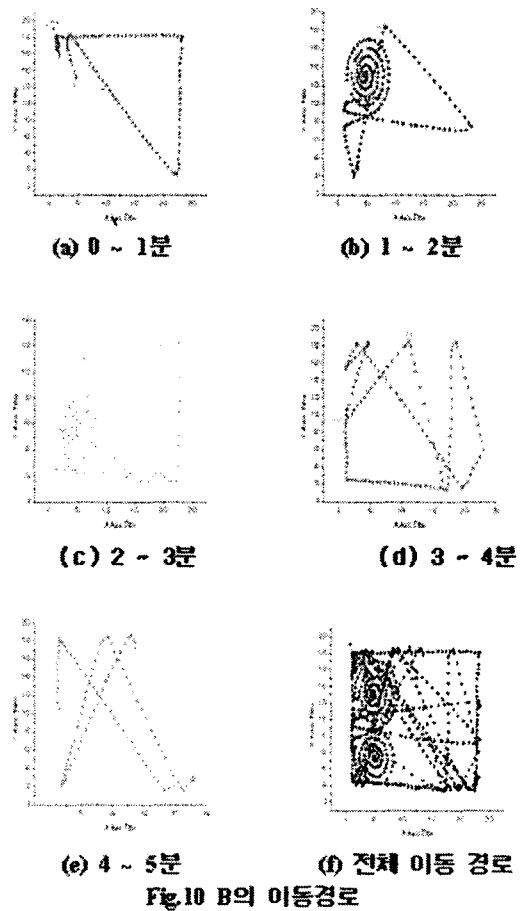
Fig.8 A의 맵핑경로

평가 중에 장애물이 있는 곳과 없는 곳에서 로봇 자체적으로 속도를 가·감속하여 빠르게 이동하며 청소하였다. 그리고 3가지의 청소 방식(Nomal, Quick, Random)을 보유하여 청소 시 적절한 모드변경을 통하여 효율적인 청소를 하였다. 청소 효율 평가 결과는 바닥에 뿌려진 250g의 시료 중 228g를 흡입하여 91.2% 효율로 굉장히 높은 청소 효율을 보여주었다. 하지만 기준 소음보다 2배 가까이 높은 소음(74dB)과 맵핑기능 사용 시 평가 플랫폼을 이동하며 로봇 자신의 위치를 파악 할 때까지 오랜 시간이 걸리는 문제를 나타내었다. A의 이동성능은 3m×2m의 평가 플랫폼을 5분 동안 이동 했을 때 Fig.9의 그래프 (a)→(b)→(c)→(d)→(e)의 순으로 이동하였다. A가 평가 플랫폼을 5분 동안 이동한 모든 경로는 Fig.9의 (f)에 보인다. A가 이동한 경로를 보면 A는 이동경로는 낮은 중복성을 보이며 평가 플랫폼의 많은 영역을 이동하는 뛰어난 이동성능을 보여 주었다.



#### 4.1.2 상용 청소로봇 B

상용 청소로봇 B는 저가형 제품으로 소비자들의 경제적인 문제를 해결 하였다. B는 접촉식 센서를 이용하여 장애물과 접촉 후 장애물을 회피를 하는 방식이지만 장애물과의 접촉은 굉장히 작은 충격을 주어 안전성에서 크게 문제 되지 않았다. 그러나 본체 오른쪽에 부착된 청소용 회전 브러시에 의해 모물 시료들이 주변으로 튀어나가는 단점을 보였다. B는 랜덤 청소방식을 채택하고 있다. 랜덤 청소 방식은 청소로봇이 무작위로 주행방향과 회전시점을 결정하여 이동하고 청소를 하는 방식이다. 이러한 청소방식으로 인해 B는 직진 주행을 실험할 수 없었다. 청소 효율 면에서는 250g에서 146g를 흡입하여 58.4%의 낮은 효율을 나타내었다. 이러한 청소효율은 작은 용량의 청소함을 탑재하고 있어 많은 시료를 흡입하지 못하는 B의 단점을 보여준다. 소음도 역시 70dB를 나타내어 기준 소음도를 만족하지 못하였다.



청소 효율 면에서 낮은 성능을 보인 B는 랜덤 청소 방식을 갖고 있어 직진 주행 능력을 평가 할 수 없었지만 이동성능 실험 결과 이동성에서는 뛰어난 성능을 보여주었다. Fig.10은 B가 평가 플랫폼을 5분 동안 이동한 경로를 1분 간격으로 보여주고 있다. (a)→(b)→(c)→(d)→(e) 의순으로 이동한 B는 평가 플랫폼의 거의 모든 영역을 이동 통과하여 뛰어난 이동성능을 보여주었다. B가 5분 동안 이동한 평가 플랫폼의 모든 경로는 Fig.10의 (f)그래프에 나타내었다.

### 5. 결론

표준화란 어떤 특정의 활동을 순서 있게 접근할 목적으로 규칙을 세우고, 이것을 적용하는 과정에서 관계하는 모든 사람들의 이익, 최대량의 경제성을 촉진함은 물론, 기능적인 조건과 안정성까지 유의하면서 관계하는 모든 사람들의 협력 하에 이루어지는 조직적인 행위이다. 표준화는 상호이해의 촉진, 다양성의 조정, 호환성/인터페이스의 확보, 사용목적의 적합성 확보(표준에 따른 생산자 품질보증), 사용자 및 소비자의 이익 보호, 안전의 확보와 환경의 보호 등의 매우 중요한 역할을 한다. 이렇게 중요한 표준화는 1) 품질 수준 및 생산 능력의 향상, 2) 사용의 편의성 및 거래의 단순화, 3) 문화적-경제적인 교류의 활성화, 4) 의사 전달 및 정보교류의 능률화를 위해서 꼭 필요한 일이다.

본 논문에서는 자율청소로봇 성능평가의 표준화를 위해 청소 로봇의 이동성능 테스트 항목(직진성, 이동경로 파악), 효율적인 청소를 위한 청소성능 평가 항목, 장애물 회피를 통한 안전성 평가 항목 등을 성능평가 표준으로 설계 제안하였으며, 이러한 평가기준들은 실제의 상용 청소 로봇들에 적용하였다. 본 논문의 성능평가 표준화 연구 결과 중 가장 시급한 개선을 요한다고 여겨지는 부분은 장애물 회피 및 안전성 평가의 계량화작업이며, 이는 향후 연구 및 토의 과제로 남아있다.

### 참고문헌

1. P.Soueresst, T.Hamel, and V.Cadenat, "A path following controller for wheeled robot which allows to avoid obstacles during transition phase." IEEE Robotics & Automation, pp.1269-1274, 1998
2. M.Saitoh, et al., "A mobile robot testbed with manipulator for security guard application." IEEE Robotics & Automation, pp.2518-2523, 1995
3. Jijun Wang; Lewis, M.; Gennari, J.S., "Interactive Simulation of the NIST USAR Arenas." IEEE

- Systems, Man and Cybernetics pp.1327 - 1332, 2003
4. Adam Jacoff, Elena Messina and John Evans. "A Standard Test Course for Urban Search and Rescue Robots" NIST, 2002
5. Robin Murphy, Jenn Casper, Mark Micire and Jeff Hyams, "Assessment of the NIST Standard Test bed for Urban Search and Rescue", NIST, 2002
6. Ju-Pyo, Hong, Soon-Guel Lee, et al, "The Evaluation of Mobile Robot Performance by Dynamic Simulator.", APCCM, 2004
7. Larcombe, M. H. E. "Tracking Stability of Wire Guided Vehicles", International Conference on Automatic Guided Vehicle System: 137-144, 1981
8. Mckeay, E. S. Drake, K. C. and Inigo, R. M. "Range Measurements by a Mobile Robot using a navigation Line", IEEE Transaction on PAMI pp. 8:105-109, 1986
9. 안창현, 김규로, 김진오. "레이저 트래킹 시스템을 이용한 로봇의 운동 특성 분석 시스템의 개발" ICCAS. pp.1836-1839, 2001