

◆ 특집 ◆ 지능형로봇 평가기술

자율이동 청소로봇 성능지표 개발에 관한 연구

유재창*, 박광호**, 이순걸***, 임성수***

A Study on Development of Performance Metrics for Autonomous Cleaning Robot

Jaechang Ryu*, Kwang-Ho Park**, Soon-Geul Lee*** and Sungsoo Rhim***

Key Words : Autonomous mobility (자율이동), Cleaning robot (청소로봇), Performance index (성능지표)

1. 서론

1990년대 후반부터 기존 산업용로봇 시장이 점차 포화 단계에 접어들면서, 인간과 같이 지능적으로 판단하고 행동하는 인간공존형 지능로봇 시장이 빠르게 형성되고 있다. 지능형 로봇 산업은 기계, 전기 등의 기반기술과, 센서, 제어, 시스템 통합 등의 요소 기술, 통신, 인공지능, 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(첨단용 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. 일본의 미쓰비시 연구소는 로봇산업 예측 자료에서 로봇 시장이 2020년에는 그 규모가 IT와 BT 시장에 버금가는 1조 4000억 달러에 이르러, 1가구 1로봇 시대를 맞이하게 될 것으로

예측하고 있다. 특히 지능로봇 중 청소용 로봇을 비롯한 다양한 분야의 서비스 로봇시장은 현재 각 국가별로 생산대수 등의 파악은 어려운 실정이나, 2003~2006년도 사이에 210만대 이상의 판매가 예상된다. 지능형 로봇 산업의 발전에 따라 지능형 서비스로봇시장의 파일럿 제품으로서 한국, 미국, 스웨덴, 일본, 중국 등의 세계 각국에서 다양한 기능과 가격대의 청소용 로봇을 개발하여 공급하고 있다.

현재 세계 각국에서 지능형 로봇에 대한 많은 연구와 개발이 이루어지고 있지만 현재의 시장상황은 그 형성기에 머물고 있어, 기술 개발인력의 부족과 높은 초기 투자비 등의 문제와 함께 불충분한 수요의 문제가 겹쳐 당장 수익을 창출하기 힘들어 보인다. 이러한 시장형성기에는 우수한 기술의 개발과 더불어 표준을 염두에 둔 개발기술의 상품화와 시장 진입을 위한 전략적 접근이 필요한 시기이다.

로봇 특히 서비스 로봇은 인간, 환경 및 로봇간의 다양한 상호 작용이 매우 중요한 요소이며, 인간-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 환경

* 경희대학교 기계공학과 대학원

**산업자원부 기술표준원 산업기계표준과

*** 경희대학교 기계공학과

Tel. 031-201-3248, Fax. 031-202-8106

Email: ssrhim@khu.ac.kr

로봇, 제어, 자동화 분야에 관심을 두고 연구활동을 하고있다.

(Ubiquitous environment)에 따른 상호 지능형 정보 교환 방식과 로봇에 대한 인간의 안전성 확보, 모듈화, 성능평가 기술 등이 중요한 문제로 대두될 것으로 예상된다.

또한, 표준 선점의 실패에 따라 발생하는 기존 투자나 설비가 무용지물이 되거나 규격전환에 따른 막대한 비용 발생 등 기업 생존의 문제와 직결되어 보유 기술에 대한 표준화는 기업의 적극적 시장 전략으로 중요성을 갖고 있다. 이러한 여러 가지 문제의 해결을 위해서 지능형 서비스 로봇의 표준화에 대한 연구와 노력이 필요하다.^{1,2}

본 논문은 지능형 서비스로봇의 성능평가 표준화를 향한 첫 번째 표준화 대상 제품으로 서비스로봇 시장의 파일럿 제품이라 할 수 있는 가정용 건식 청소로봇에 대한 성능평가 표준화에 대한 연구 결과를 보고한다. 청소로봇은 최근 그 대중적 인지도 및 수요의 상승과 함께 매우 다양한 제품들이 시장에 소개되기 시작하면서, 그 성능에 대한 소비자들의 적지 않은 불만 역시 점차 표출되기 시작하고 있다. 그러나, 청소로봇의 성능평가에 대해서는 국내외 어느 기관에서도 아직 규격을 갖고 있지 않으며, 이러한 상태의 지속은 서비스로봇 시장의 장래에 미칠 부정적 파급효과가 매우 클 것으로 생각된다.

본 연구에서는 보다 조속한 시기에 청소로봇의 성능평가에 대한 국가 표준을 제정하기 위한 연구를 위해 최적의 청소로봇 평가를 위한 평가항목 및 평가지수를 개발하였다. 특히 청소로봇 고유의 기능에 대한 적절한 평가를 위해 청소로봇 성능평가 시험장을 설계, 제작하여 청소로봇을 평가 하였다.

본 논문에서 제안하는 여러 가지 평가 항목들은 차 후에 진행될 다른 용도의 자율이동형 서비스로봇의 평가지표 개발 시에도 일부 또는 전체가 준용될 수 있을 것으로 기대한다.

2. 성능지표

본 논문에서 고려하고 있는 가정용 건식 청소로봇의 궁극적인 작업 목표는 주어진 청소대상영역에서 가능한 한 더 많은 면적을 빠른 시간 내에 깨끗하게 청소하는 것으로 정의될 수 있다. 이렇게 정의된 청소로봇의 고유기능은 성능평가의 관점에서 자율이동성능과

청소성능이라는 두 가지로 나누어 고려하였다. 자율이동성능은 주어진 청소 대상영역에서 빠른 시간 내에 가능한 한 더 많은 영역을 지나갈 수 있는 능력을 나타내며, 청소성능은 로봇의 청소능력 즉 오물 수집 능력을 나타낸다. 이 두 가지 주요 평가 항목에 더하여 청소로봇이 인간공존 생활환경에서 사용되는 제품인 점을 고려하여 소음성능 평가항목도 함께 고려하였다.

2.1 이동성능

청소로봇과 기존 가정용 청소기의 가장 큰 차이점은 자율이동성이며 이러한 특징적 차이점을 보다 잘 평가할 수 있도록 하기 위해 자율이동성능을 청소성능과 분리하여 측정할 수 있도록 평가항목을 구성하였다. 청소로봇의 자율이동성능을 평가하기 위해서 가상의 청소대상영역을 구성하고 그 영역 내에서 청소로봇이 얼마나 빨리 대상영역의 이동해 가며 청소영역을 넓혀나가는 지를 평가하고자 한다.

2.2 청소성능

청소성능은 일정한 면적 내에 고르게 살포된 일정량의 오물시료를 주어진 시간 동안 얼마나 많이 수집하는 가를 측정하여 결정한다.

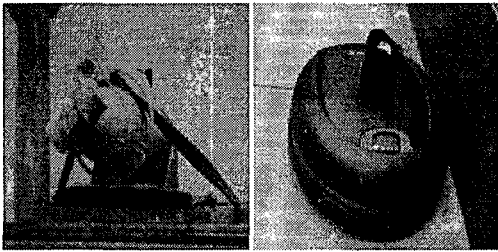
2.3 소음도

소음도 평가는 로봇이 청소 중에 일으키는 소음에 대해 평가하였다. 평가방법은 로봇이 일으키는 소음을 측정하여 기존의 가정용 전자제품에 적용되어온 실내 소음의 규격과 비교하여 규격을 만족하는가 여부로 소음도를 평가하고자 한다.

3. 성능평가 시험 조건

3.1 이동성능 평가

이동성능 평가에서는 세부적으로 직진주행 성능과 자율이동성능을 평가하였다. 첫 번째 직진주행성능 평가는 로봇이 이동할 때 직선으로 주행이 가능한지 여부와 그 직진도를 평가한다. 정밀한 직진주행이 가능하다면 사용자가 지정하는 청소대상 위치로 로봇이 보다 신속하게 이루어질 수 있고, 로봇의 움직임에 보다 지능적인 이동 알고리즘을 구현하기 유용하기 때문에 성능평가 항목으로 포함하였다. 직진주행의 평가방법은 청소로봇의 직진주행 모드(또는 매뉴얼 모드)에서의 직진주행 경로를 LTS (laser tracker



(a) LTS (b) Landmark

Fig. 1 LTS and cleaning robot with landmark installed on its top

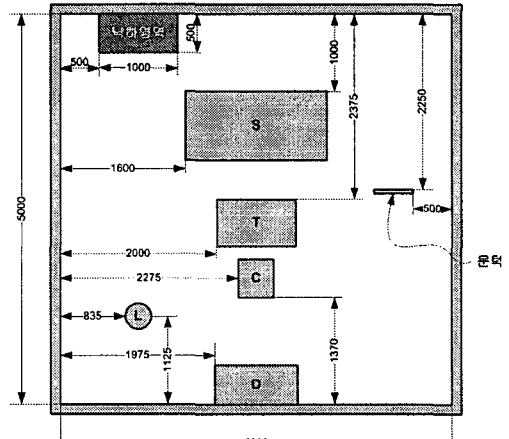
system, Fig. 1) 또는 비전센서를 이용하여 측정한다. 로봇의 몸체에 리플렉터를 설치한 후 LTS를 이용하여 로봇의 좌표를 측정하고 기록한 후 변위를 살펴봄으로써 로봇의 직진성을 평가할 수 있다.

두 번째, 청소로봇의 자율이동성능의 평가는 복잡한 비정형 환경에서 청소로봇의 이동 효율성을 평가하는 것으로서, 본 연구에서는 성능평가 시험장을 구성하였다. 평가시험장은 한국의 평균적 주거환경인 32 평형 아파트의 거실(약 8 평, 5m×5m)을 기준으로 크기 및 환경특성을 구성하였다(Fig.2, Table1).³ 시험장 바닥은 청소로봇의 이동거리와 청소량 평가의 편리성을 위해 가로, 세로 50cm 크기의 cell을 가로 10 개, 세로 10 개, 전체 100 개의 cell로 나누었다. 시험장 내에서 움직이는 청소로봇의 경로를 측정하기 위해서 앞에서 설명한 LTS (Laser Tracker System) 또는 비전센서를 사용한다.⁴

자율이동성 지수는 시험평가장 내에서 로봇이 지나간 면적을 매 10 분 단위로 측정하여 전체 시험평가장 면적에 대한 백분율로 나타낸다. 이러한 이동 효율성의 측정은 로봇이 청소한 지역을 반복하여 청소하거나, 청소하지 못하고 지나가는 영역을 최소화하기 위한 알고리즘 개발에 기여할 수 있다.

3.2 청소성능 평가

청소성능 평가는 청소로봇의 흡입 능력을 평가하기 위하여 필요한 중요 항목으로 일정한 청소 면적의 시험장에서 일정한 시간 동안 흡입한 시료의 양을 측정하였다. 이 평가는 청소성능과 자율이동성능의 상호 상승효과 또는 간섭효과를 가능한 최소화하고, 흡입량에 대한 공정한 비교를 위하여 시험장 내에 장애물을 설치하지 않았다.



S: sofa, T: 4-legged table, C: 4-legged chair, D: drawer, L: floor lamp (단위: mm)

(a) Schematic diagram of evaluation station



(b) Picture of evaluation station

Fig. 2 Test-platform for the evaluation of the autonomous mobility of cleaning robot

Table 1 Specification for the obstacles inside the platform

Item	Num	Size (W×D×H)[mm]	Notes
drawer	1	1050×500×700	KS G 4017
chair	1	450×480×400 Up to middle plat	KS G 4009
table	1	1000×600×700	KS G 4009
sofa	1	1800×880×690	KS G 4209
lamp	1	330×1550(H)	
doorsill	1	500 × 50 × 10	
drop zone	1	1000(W) × 500(D)	

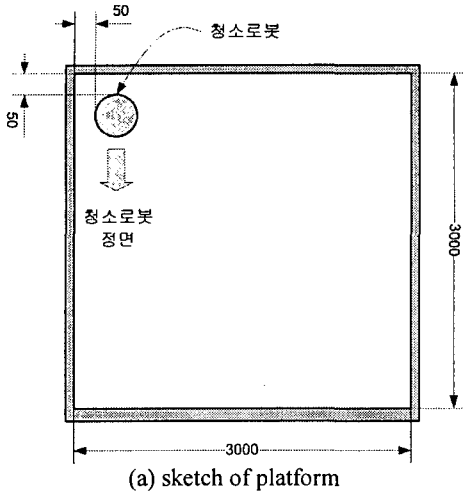


Fig. 3 Test-platform for the evaluation of the cleaning capability

Table 2 Limits for the In-house noise in major countries

국가	제정 기관	실내 소음 규격	
한국	대한주택공사	40dB	
일본	일본 건축학회	특급	30dB
		A 급	35dB
		B 급	40dB
미국	미국 냉동공기조화공학회 (ASHRAE)	35~45dB	

Fig.3 에서 보는 바와 같이 평가는 3m×3m 의 청소면적에 250g 의 흑살 시료를 깔고로부터 5 분의 일정한 시간을 주어 청소로봇이 흡입한 시료의 양을 측정한다. 청소면적에 배포된 시료에

Table 3 Summary of the performance metrics

평가항목	세부항목	평가필요성	평가기준
이동성능	직진성	목표위치까지 빠른 이동, 알고리즘 개발에 유용	직진주행의 가능
	자율이동 성능	지능적, 효율적 자율이동에 의한 청소효율의 향상	일정 면적 (5m×5m) 에서 매 10 분간 로봇이 지나간 면적 비율 백분율
청소성능	청소 면적에서 흡입한 시료량	청소로봇의 흡입능력 측정	일정 청소 면적 (3m×3m) 5 분 동안 흡입한 시료의 양 비율의 백분율
소음도	소음도	실내 소음 기준 준수	작동 중 소음도 측정

대한 흡입한 시료의 양의 비율을 백분율로 계산하여 청소효율을 측정한다.

3.3 소음도 평가 기준

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 60704-1 의 규정을 준수하는 곳으로 실험 내부 환경 바닥은 아이들 롤러(Idle roller)를 설치하여 청소로봇이 정상 작동 가능하게 한다. 소음 측정을 위한 내부 마이크는 바닥 면으로 1m, 청소로봇으로부터 1m 의 거리에 설치한다. 그리고 측정은 청소로봇 전후좌우 그리고 중앙의 5 개소에서 한다. 이렇게 측정한 소음 도는 Table 2 의 각국 소음 규격과 비교하여 소음 도를 평가한다. Table 2 에서 보인 바와 같이 각국의 실내소음도 규정은 한국(대한주택공사)의 경우 40dB 를 일본(일본 건축학회)은 소음 규격을 3 단계로 구분하고 있으며 미국(ASHRAE)은 소음 규격을 35~45dB 로 규정하고 있다. 이러한 소음도의 규격은 일반 진공청소기의 소음 규격에도 사용되고 있다.

본 연구에서 제안한 평가지표를 요약 정리하여 Table 3 에 나타내었다.

4. 시험 결과

성능지표의 유효성을 검증하기 위하여 시중에 판매되고 있는 두 가지 청소로봇 (본 논문에서는 편의상 로봇 T, 로봇 R 로 지칭)에 대하여, 성능 평가 기준에 따른 성능평가시험을 시행하였다.

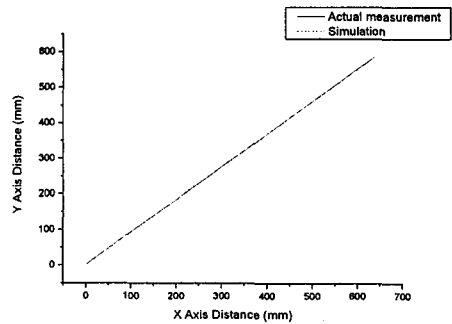
고가형 청소로봇 T 는 180 개의 적외선 센서를 이용하여 장애물을 인식하고 회피하며, 청소대상 영역에 대한 맵핑 기능을 갖고 있다. 또한 장애물이 있는 곳과 없는 곳에서 로봇 자체적으로 속도를 가·감속하여 빠르게 이동하며 청소하는 기능을 갖고 있으며, 3 가지의 청소 방식(Nomal, Quick, Random)을 보유하여 청소 시 적절한 모드변경을 통하여 효율적인 청소를 하도록 제작되었다. 저가형 청소로봇 R 은 접촉식 센서를 이용하여 장애물과 접촉 후 장애물을 회피를 하는 방식을 사용하며, random 청소방식을 채택하고 있다. Random 청소 방식은 청소로봇이 어떠한 특정한 경로를 갖지 않고 자유롭게 이동과 회전을 하며 청소를 하는 방식이다.

4.1 이동성능 평가 결과

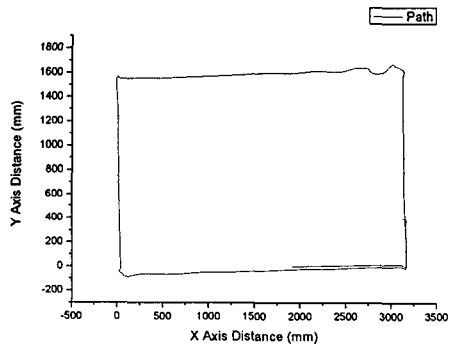
청소로봇 T 의 직진 주행 측정 결과는 Fig. 4 (a)에 나타난 바와 같이 직선움직임의 이상적인 그래프 결과와 1.6mm 의 오차를 보여 실제 직선과 가깝게 움직이는 결과를 나타내었다. 청소로봇 R 은 random 주행방식을 사용하며, 직진주행 기능을 갖고 있지 않아서 직진 주행성능을 평가할 수 없었다.

자율이동성능은 5m×5m 의 시험장에서 이동성을 측정하여야 하는데, 시판 중인 LTS 의 경우 측정영역의 한계로 인하여 전 영역을 측정할 수 없어서, 본 연구에서는 대신 3m×3m 의 장애물이 없는 시험장에서 측정하였다. 현재 복수개의 LTS 와 비전시스템 간의 동기화된 측정시스템을 구축하여 앞서 제시된 5m×5m 시험 영역에 대한 평가 작업을 위한 연구가 진행 중이다. 청소로봇 T 의 자율이동성능 측정 결과 초기 움직임은 Fig. 4 (b)에 보인 바와 같이 고유의 맵핑 기능을 이용하여 3m×3m 시험장의 벽면추종 (wall following) 특성을 나타내었다.

Fig. 5 는 청소로봇 T 의 자율이동성능을 쉽게 알아볼 수 있도록 LTS 를 이용하여 측정한 로봇의 궤적을 나타낸 그림이다. 맵핑 기능 사용 시 시험장 내를 이동하며 청소대상영역의 규모를 파악 할 때까지 오랜 시간이 걸리는 문제가 나타난다. 측정된 청소로봇 T 의



(a) measured linear travel capability



(b) measured wall-following performance

Fig. 4 Measured performance of linear travel capability of robot T

이동경로를 매 분별로 나누어 나타내면 Fig. 5 에서 (a)→(b)→(c)→(d)→(e)와 같다. T 가 시험장을 5 분 동안 이동한 모든 경로는 Fig. 5 의 (f)에 나타내었다. 이러한 T 의 이동성능은 Fig. 6 청소면적 비율 항상 수치를 보면 알 수 있듯이 최종적으로 96%의 청소영역 비율을 보였다. 청소로봇 R 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 오물 시료들이 주변으로 튀어나가는 단점을 보였다. 청소로봇 R 은 random 청소방식을 채택하고 있다. 로봇 R 은 Fig. 7 에서 보듯이 시험장을 5 분 동안 (a)→(b)→(c)→(d)→(e)의 경로를 보이며 이동하였다. Fig. 7 의 (f)는 로봇 R 의

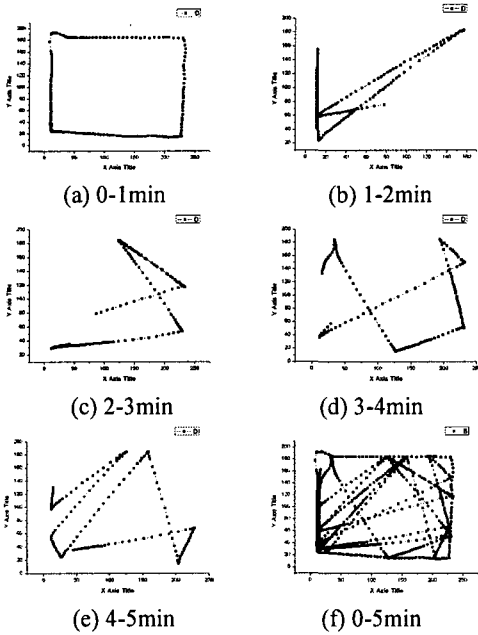


Fig. 5 Path of cleaning robot T during the autonomous travel capability evaluation

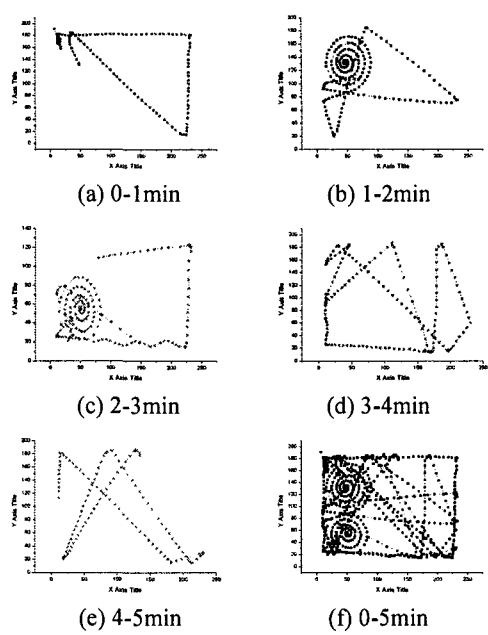


Fig. 7 Path of cleaning robot R during the autonomous travel capability evaluation

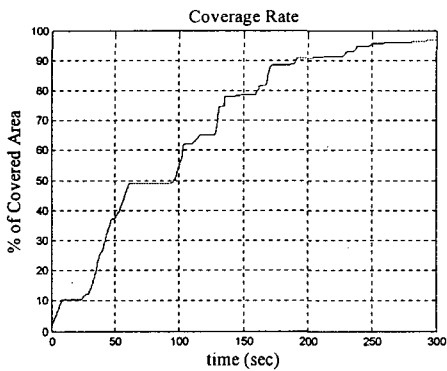


Fig. 6 Measured coverage rate trend of robot T

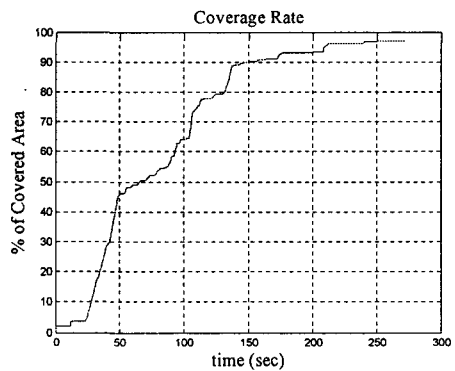


Fig. 8 Measured coverage rate trend of robot R

5 분간의 모든 이동경로를 보여준다. Fig. 8 의 청소면적 비율 수치를 보면 로봇 R 은 저가의 로봇이면서도 높은 청소면적 비율 (96%)을 나타내는 것을 볼 수 있다.

4.2 청소성능 평가 결과

청소로봇 T 의 청소성능 평가 결과는 바닥에 뿌려진 250g 의 시료 중 228g 를 흡입하여 91.2% 효율로 굉장히 높은 청소 효율을 보여주었다. 청소로

봇 R 의 청소성능 측정 결과, 배포된 250g 의 시료 중에서 146g 를 흡입하여 58.4%의 낮은 효율을 나타내었다. 청소로봇 T 와 비교하여 대등한 청소영역 비율을 보인 평가결과에 비하면, 청소로봇 R 의 이렇게 낮은 청소성능은 의외로 받아들여 지는데, 이는 청소로봇 R 이 탑재하고 청소함의 작은 크기로 인한 것으로서, 청소함이 채워져 감에 따라 흡입효율이 현저히 줄어드는 경향을 보인다.

4.3 소음성능 평가 결과

두 청소로봇 T 와 R 의 청소작업 모드에서의 소음을 앞서 제시한 평가기준에 의해 측정된 결과 각각 74dB 와 70dB 로 나타났다. 이러한 측정결과를 앞서 제시한 국내의 실내소음 규격에 상당히 미달하는 것으로서, 청소로봇의 흡입성능향상에 따른 고풍력 모터의 사용에 따른 소음도 증가라는 문제를 해결하기 위한 제품개발의 어려움을 보여준다.

5. 결론

청소로봇은 최근 그 대중적 인지도 및 수요의 상승과 함께 매우 다양한 제품들이 시장에 소개되기 시작하면서, 그 성능에 대한 소비자들의 적지 않은 불만 역시 점차 표출되고 있으며 이러한 상태의 지속은 서비스로봇 시장의 장애에 미칠 부정적 파급효과가 매우 클 것으로 생각된다.

본 논문은 지능형 서비스로봇의 성능평가 표준화를 향한 첫 번째 표준화 대상 제품으로 서비스로봇 시장의 파일럿 제품이라 할 수 있는 가정용 건식 청소로봇에 대한 성능평가의 표준화를 위해 청소로봇 고유의 다양한 성능을 평가하기 위한 성능지표와 함께 평가 기준을 개발하여 제시하였고, 제시된 평가기준에 따라 두 가지 상용 청소로봇에 대한 성능평가를 수행하였다.

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 논문에서 보고한 청소로봇 성능평가지표개발에 관한 연구는 청소 로봇의 상용화와 일반적 자율형 서비스로봇 시장의 지속적 성장을 위해서는 매우 중요하며, 향후 지속적인 관심과 지원이 필요한 분야이다.

후기

본 연구결과를 바탕으로 작성된 ‘가정용 청소로봇의 성능측정 방법’ 표준안이 2006 년 3 월과 5 월에 각각 지능로봇표준포럼의 단체규격, 국가표준(KS)안으로 제정되었다.

참고문헌

1. Jacoff, A., Messina, E., Weiss, B., Tadokoro, S. and Nakagawa, Y. "Test Arenas and Performance Metrics for Urban Search and Rescue Robots," Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems," pp. 115-123, Las Vegas, Nevada, 2003.
2. Murphy, R., Casper, J., Micire, M. and Hyams, J. "Assessment of the NIIST Standard Test bed for Urban Search and Rescue," Proceedings of AAAI Mobile Robotics Competition Workshop, pp. 11-16, Austin, Texas, 2000.
3. Saitoh, M., Takahashi, Y., Sankaranarayana, A., Ohmachi, H. and Marukawa, K., "A mobile robot testbed with manipulator for security guard application," Proceedings of IEEE International Conference on Robotics & Automation page, pp.2518-2523, Nagoya, Japan, 1995.
4. Ahn, C.H., Kim, J.O., Lee, K.Y., Lee, H.G, Kim, K.R., "Development of Evaluation Technique of Mobility and Navigation Performance for Personal Robots," Transactions of Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 52, No. 2, pp.85-92, 2003.