한국형 가정용 서비스 로봇의 설계 및 작업 공간 분석

Design and Workspace Analysis of Korean Service Home Robot

배영걸 · 정슬* †

Yeong Geol Bae and Seul Jung*

지능 시스템 및 감성 공학 실험실 충남대학교 메카트로닉스공학과*

† Intelligent systems and Emotional Engineering Laboratory, Department of Mechatronics Engineering, Chungnam National University

요 약

본 논문은 가사지원 한국형 서비스 로봇의 설계 및 작업공간의 분석에 대해 기술하였다. 한국형 서비스 로봇의 주안점은 바닥작업에 용이하도록 로봇을 설계하는 것이다. 로봇 팔의 길이도 바닥 작업에 용이 하도록 설계하였으며, 그에 따른 작업 공간을 분석하였다. 로봇 설계에 있어서도 매니폴레이션 작업 영역의 확장을 위해 어깨와 허리에 높이 조절이 가능한 메커니즘과 슬라이딩 메커니즘 등을 적용하였다. 매니플레이터를 설계하고 및 제작하였으며, 제작된 매니폴레이션 시스템의 작업 공간을 분석하였다. 실제로 로봇의 바닥작업실험을 수행하였다.

키워드 : 서비스로봇, 슬라이딩 메커니즘, 작업공간 분석, 한국형 생활방식

Abstract

This paper presents design and workspace analysis of a Korean home service robot. The robot is designed with specific needs of floor-task applications suitable for Korean life style. Shoulder and waist of the robot are adjusted by sliding mechanism to increase the workspace of the robot arms. Manipulators are designed and built and their workspaces are analyzed. Experimental studies of the robot for cleaning the floor are conducted.

Key Words : Service Robot, Sliding Mechanism, Workspace Analysis, Korean Life Style, Floor Cleaning

1. 서 론

최근 로봇 산업의 동향을 살펴보면 서비스 로봇에 대한 관심이 급격히 증가하고 있다. 서비스로봇은 가정용로봇, 의료용 로봇, 농업용 로봇, 엔터테인먼트로봇, 이동로봇 등 전 분야에서 다양한 서비스를 제공하고 있다.

가정용 서비스 로봇의 경우에는 청소로봇과 같이 단

순하게 움직이며 실용적이고 가격이 저렴한 로봇이 실제 사용되고 있다 [1-3]. 최근에는 아직 상용화 되진 않았지만 이동로봇기반에 매니폴레이션 기능이 추가된 형태의 서비스 로봇에 대한 관심이 높아지고 있다. 와세다 대학의 Twendy-one은 가정용 작업을 수행하는 연구하는 로봇의 하나이다 [4].

가사지원용 서비스 로봇이 사람과 공존하며 움직인다는 특징을 고려하면 크기 및 모양 등과 같은 디자인 및 설계 기술 등 고려할 사항들이 많이 있다. 현실적으로 로봇이 가정에서 하게 되는 서비스는 주로 물건을 옮기거나 정리정돈 하는 일이 대부분을 차지할 것이다.

이처럼 매니폴레이션 기능을 활성화하기 위해 이동로봇 기반에 로봇 팔을 부착한 형태인 모바일 매니플레이터 구조가 가정용 서비스로봇의 구조로 적합하다고 할 수 있다.

모바일 매니플레이터는 이동로봇 기술과 매니폴레이션 기술을 합한 것으로 각 부분은 로봇 기술의 주가 된다. 매니폴레이션 기술은 산업로봇에 이동로봇 기술은 탐사 로봇에 각각 사용되어져 왔다. 두 기술을 합한 모바일 매니폴레이션 기술은 서비스 로봇에 대한 관심으로 연구가 활발히 진행되고 있다[5-10]. 우리나라에서도 서비스로봇에 대한 연구가 한창이다.

특히 한국인의 생활은 대부분 바닥에서 이루어지는 ‘온돌문화’이다. 따라서 로봇도 바닥 청소나 물건정리와

접수일자: 2013년 1월 11일

심사(수정)일자: 2013년 2월 19일

게재확정일자: 2013년 3월 22일

† Corresponding author

※ 본 연구의 일부는 제 6회 한국로봇 종합 학술대회에서 발표되었습니다.

※ 본 연구는 한국연구재단 일반연구자 지원 사업과 지식경제부의 융복합형 로봇전문인력 양성사업 “자율지능형 매니폴레이션 연구센터(AIM)”에 의해 지원 받았습니다.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

같은 ‘바닥’이라는 공간에서의 서비스 작업을 수행하여야 한다. 그러므로 한국형 가사 지원 서비스 로봇은 Twendy-one과 같이 식탁에서의 작업수행뿐만 아니라 바닥에서도 작업을 해야 하는 특징이 있다.

그림 1. 한국형 서비스 로봇 개념

Fig. 1. Concept of Korean service robot

본 논문은 이러한 조건을 만족하는 한국형 가사지원 서비스 로봇의 개발을 위한 설계 및 분석에 대한 내용을 기술하였다. 그림 1에는 한국형 서비스로봇의 개념이 나타나 있다. 서비스 로봇의 작업 영역 확장을 위해 어깨와 허리에 리프트 구조를 추가하여 상하 작업 영역을 확장하였으며, 몸통부분의 슬라이딩 메커니즘 등을 적용하여 앞뒤의 작업 영역을 확장하였다. 한국형 서비스 로봇 팔의 기구학 해석을 통한 작업영역 분석과 바닥 작업 가능한 공간을 분석하였다.

2. 로봇 팔의 기구학 및 작업 영역 분석

2.1 순기구학

서비스 로봇의 팔은 길이가 길어질수록 작업 범위는 넓어져 바닥 작업이 편리해질 수 있으나 상대적으로 모터의 토크나 다른 일반적인 작업에 있어서는 비효율적이다. 따라서 모바일 베이스 부분과 간섭이 없는 상태에서 바닥에서의 작업이 가능한 최소한의 길이로 설계되었다.

그림 2는 매니퓰레이터의 좌표계를 설정한 것으로 기준좌표계와 각 관절을 나타내는 좌표계, 그리고 로봇 팔 끝의 좌표계로 구성되어 있다[11].

그림 2. 각 조인트의 좌표계 설정

Fig. 2. Coordinates of joints

D-H 변수로부터 로봇팔 끝을 나타내는 최종행렬 T 를 다음 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$${}^0T_7 = {}^0A_1 {}^1A_2 {}^2A_3 {}^3A_4 {}^4A_5 {}^5A_6 {}^6A_7 = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & p_x \\ n_y & s_y & a_y & p_y \\ n_z & s_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} p_x &= d_2 + d_6(C\theta_3C\theta_5 + C\theta_4S\theta_3S\theta_5) \\ &\quad - a_7C\theta_7(C\theta_6(C\theta_3S\theta_5 - C\theta_4C\theta_3S\theta_3) + S\theta_3S\theta_4S\theta_6) \\ &\quad + d_4C\theta_3 - a_7S\theta_7(C\theta_3C\theta_5 + C\theta_4S\theta_3S\theta_5) \\ p_y &= a_7S\theta_7(S\theta_5(S\theta_2S\theta_4 - C\theta_2C\theta_3C\theta_4) + C\theta_2C\theta_5S\theta_3) \\ &\quad - d_4C\theta_2S\theta_3 - d_6(S\theta_5(S\theta_2S\theta_4 - C\theta_2C\theta_3C\theta_4) + C\theta_2C\theta_5S\theta_3) \\ &\quad - a_7C\theta_7(C\theta_6(C\theta_3S\theta_5 - C\theta_4C\theta_3S\theta_3) - C\theta_2S\theta_3S\theta_6) \\ &\quad + S\theta_6(C\theta_4S\theta_2 + C\theta_2C\theta_3S\theta_4) \\ p_z &= d_6(S\theta_5(C\theta_2S\theta_4 + C\theta_3C\theta_4S\theta_2) - C\theta_2S\theta_3S\theta_3) \\ &\quad + a_7C\theta_7(C\theta_6(C\theta_3S\theta_5 - C\theta_4C\theta_3S\theta_3) + S\theta_3S\theta_4S\theta_6) \\ &\quad + S\theta_6(C\theta_2C\theta_4 - C\theta_3S\theta_2S\theta_4) \\ &\quad - d_4S\theta_2S\theta_3 - a_7S\theta_7(S\theta_5(C\theta_2S\theta_4 + C\theta_3C\theta_4S\theta_2) - C\theta_2S\theta_3S\theta_3) \end{aligned} \quad (2)$$

P_x, P_y, P_z 가 로봇팔 끝의 위치를 나타내는 값이며 식 (2)와 같이 나타난다.

그림 3은 위의 순기구학을 이용하여 각 조인트의 각도 변화에 따른 움직임을 시뮬레이션한 결과이다. 기구학을 이용한 시뮬레이션 결과와 설계된 로봇 팔의 원하는 움직임과 동일함을 확인하였다.

그림 3. 각 조인트의 움직임 시뮬레이션

Fig. 3. Joint movements

2.2 역기구학

설계된 6자유도 매니퓰레이터가 아닌 실제 제작된 5자유도 매니퓰레이터를 기준으로 역기구학을 해석하였다. 로봇팔 끝의 위치만 알고 있는 경우에 대해서 기술하였다.

그림 4. 각 조인트와 P6의 관계

그림 5. 여러 가지 해가 존재

Fig. 4. Relations between P6 and joints Fig. 5. Multiple solutions

일반적인 매니퓰레이터의 경우 그림 4의 1,2,4 joint에 의해 P_6 의 위치가 정의되지만 본 로봇의 경우 그림 5와 같이 joint 3에 의해 여러 가지 해가 존재하는 특징을 갖고 있다. 단, p_{4x} 값이 결정이 되면 다음의 방법으로 역기구학 해를 구하는 것이 가능하다. 로봇 팔 끝의 좌표값을 알고 p_{4x} 값을 알면 그림 6에 나타난 것과 같이 식(3)의 두 연립방정식을 유도할 수 있다.

그림 6. 링크와 좌표의 관계

Fig. 6. Relation of link and position

$$\begin{aligned} (x_0 - p_{4x})^2 + (y_0 - p_{4y})^2 + (z_0 - p_{4z})^2 &= d_4^2 \\ (p_{6x} - p_{4x})^2 + (p_{6y} - p_{4y})^2 + (p_{6z} - p_{4z})^2 &= d_6^2 \end{aligned} \quad (3)$$

위의 두 연립방정식을 통해 p_{4y}, p_{4z} 를 계산해 낼 수 있으므로 P_4 의 위치가 결정된다. P_4 의 위치를 알게 되면 식(4)를 이용하여 식(5)과 같이 θ_1 의 값이 구해진다.

그림 7. 점 P_4 를 이용한 θ_1

Fig. 7. θ_1 using P_4

그림 8. p_{4x} 를 이용한 θ_2

Fig. 8. θ_2 using p_{4x}

$$\sin\theta_1 = \left(\frac{p_y}{d4}\right), \quad \cos\theta_1 = \left(\frac{p_z}{d4}\right) \quad (4)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{\sin\theta_1}{\cos\theta_1}\right) \quad (5)$$

θ_1 과 θ_2 의 기구학적 특성에 의해 θ_1 가 어떤 값을 가져도 θ_2 에 의해 p_{4x} 가 결정된다. 따라서 식(4)에서 p_{4x} 가 정해지면 그림 8의 θ_2 는 식(6)과 같이 정의된다.

$$\theta_2 = \text{asin}\left(\frac{p_{4x}}{d_2}\right) \quad (6)$$

θ_4 의 경우 그림 8에 나타나듯이 로봇팔 끝의 좌표가 결정되면 코사인법칙을 이용하여 식(7)과 같이 유도된다.

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{p_{6x}^2 + p_{6y}^2 + p_{6z}^2}, \quad \cos\theta_4 = \frac{d_4^2 + d_6^2 - R^2}{2d_4d_6}, \\ \sin\theta_4 &= \sqrt{1 - \cos^2\theta_4}, \quad \theta_4 = \tan^{-1}\left(\frac{\sin\theta_4}{\cos\theta_4}\right) \end{aligned} \quad (7)$$

그림 9. 로봇팔 끝 좌표를 이용한 θ_4

Fig. 9. θ_4 using end-effector

로봇팔 끝의 위치는 이미 알고 있으므로 위에서 구해진 θ_2, θ_4 를 로봇팔 끝의 x축 좌표를 나타내는 식(8)에 대입하면 식(10)과 같이 θ_3 를 구해낼 수 있다.

$$P_{6x} = d_4 \cos\theta_2 + d_6 \cos\theta_2 \cos\theta_4 + d_6 \cos\theta_3 \sin\theta_2 \sin\theta_4 + d_6 \quad (8)$$

$$\cos\theta_3 = \frac{P_{6x} - d_4 \cos\theta_2 - d_6 \cos\theta_2 \cos\theta_4 - d_6}{d_6 \sin\theta_2 \sin\theta_4}, \quad \sin\theta_3 = \sqrt{1 - \cos^2\theta_3} \quad (9)$$

$$\theta_3 = \tan^{-1}\left(\frac{\sin\theta_3}{\cos\theta_3}\right) \quad (10)$$

θ_5 의 경우 로봇팔 끝의 위치에 관여하지 않으므로 초기값을 유지한다. 로봇팔 끝의 위치만을 아는 경우에 p_{4x} 를 결정하기 위하여 구속조건을 이용한 역기구학의 방법을 이용하였으며 구속조건은 다음과 같다.

제4축의 위치에서 xy 평면에 수직으로 투영하면 제2축과 로봇팔 끝을 잇는 직선상에 위치한다.

그림 10. 역기구학 해석을 위한 구속조건

Fig. 10. Constrained condition for inverse kinematics

2.3 로봇 팔 시뮬레이션

팔 끝 좌표의 위치만을 알고 있는 경우의 역기구학 해석 방법을 이용하여 여러 가지 경로에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 11(a)는 팔 끝의 위치가 X축을 따라 이동하는 경로, 그림 11(b)는 Y축을 따라 이동하는 경로, 그림 11(c)는 Z축을 따라 이동하는 경로에 대한 시뮬레이션 결과이다. 그림 11(d)는 팔 끝의 위치가 지름 약 400mm의 원의 경로를 따르도록 하는 시뮬레이션의 결과를 나타낸다. 모든 경로에 대해 정확하게 추종하고 있음을 확인할 수 있다.

그림 11. 역기구학 시뮬레이션

Fig. 11. Inverse-kinematics Simulation

3. 바닥작업 영역 분석

3.1 바닥 작업 영역 분석

그림 12는 로봇의 상하 리프팅 구조와 허리 슬라이딩 구조를 적용하여 로봇이 바닥 작업을 하는 경우 작업 가능한 바닥의 영역을 나타낸 것이다. 위 두 가지 메커니즘을 적용함으로써 로봇 팔의 길이가 길어지지 않고 바닥에서의 작업이 가능함을 확인하였다[12]. 현재 상태에서 로봇의 손 구조가 포함될 경우에 바닥에서 서로 두 손을 맞잡는 작업까지도 충분히 가능함을 알 수 있다.

그림 12. 서비스 작업 가능한 바닥 영역

Fig. 12. Workspace of floor tasks

기구학을 이용하여 여러 가지 조건에 따라 변화되는 로봇의 바닥 작업 영역을 확인하기 위하여 현재 로봇의 작업영역이 바닥에 닿을 수 있는 조건들을 다음과 같이 정리하였다. 바닥 작업은 로봇의 진행 방향에서의 바닥 작업을 기준으로 하였다.

표 1. 바닥 작업이 가능한 각 조인트 범위

Table 1. Joint range of floor tasks

Joint 1	10 ~ 55 (deg)
Joint 2	10 ~ 55 (deg)
Joint 3	0 ~ 180 (deg)
Joint 4	-90 ~ 90 (deg)

가장 넓은 범위의 바닥 작업이 가능하도록 하기 위해 허리의 슬라이딩 구조를 앞으로 나오도록 하고 로봇 팔과 전체 시스템과의 간섭을 피하는 범위로 시뮬레이션하였다.

그림 13은 바닥 작업이 가능한 영역을 바닥면을 기준으로 나타낸 것이다. 손 구조를 감안하여 로봇 팔 끝의 작업 공간 중에 지면에서 약 50mm까지의 영역을 바닥 작업 가능 공간으로 설정하고 시뮬레이션 한 결과이다. 두 개의 타원이 겹쳐지는 형태를 나타내고 있다. 좌우 약 $\pm 780\text{mm}$, 로봇의 앞쪽으로 약 520mm 정도의 바닥 공간에서의 작업이 가능한 것으로 나타났다.

그림 13. 서비스 작업 가능한 바닥 영역

Fig. 13. Floor workspace

3.2 바퀴 크기 변화에 따른 바닥 작업 영역 분석

현재 설계된 바퀴의 크기는 지름이 약 420mm이다. 실내 공간에서의 사용을 위해 바퀴 크기를 변경하는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우 현재 설계의 조건에서는 보조 바퀴와의 관계에 의해서 그림 14와 같이 지름 약 300mm가 최소 크기이다.

그림 14. 바퀴의 최소 크기
Fig. 14. Diameter of wheel

이 때 로봇의 팔의 높이가 낮아지므로 같은 길이의 팔이라면 바닥에서의 작업 영역은 넓어지게 된다. 그림 15는 팔의 길이 변화없이 바퀴의 지름이 300mm로 줄어든 경우의 바닥 작업 가능 영역을 나타낸 것이다. 작업이 가능한 바닥 공간은 좌우 약 $\pm 848\text{mm}$, 로봇의 앞쪽으로 약 579mm 정도의 나타났다. 두 손을 맞잡을 수 있는 영역이 더욱 넓어진 것도 확인할 수 있다.

그림 15. 바퀴 크기 변화에 따른 바닥 작업 영역
Fig. 15. Floor workspace about wheel size

바퀴 크기의 변경으로 인해 팔이 작업할 수 있는 바닥 영역이 넓어졌다. 이것은 바퀴 크기 변경 전의 바닥 작업 영역을 기준으로 비교한다면 팔의 길이를 줄일 수가 있음을 의미한다. 그림 16은 바퀴의 크기가 줄어든 상태에서 바퀴 크기 변경 전의 작업 영역을 유지할 수 있는 로봇 팔 길이를 나타낸 것으로 약 50mm의 길이를 줄일 수 있다.

그림 16. 바퀴 지름 변화에 따른 팔 길이 변화
Fig. 16. Arm length depending upon wheel size

3.3 최대 바닥 작업 영역

지름이 300mm인 바퀴로 인한 로봇 팔의 길이 변화는 다소 작다고 할 수 있다. 이는 보조 바퀴로 인한 설

계 변경의 한계 때문이다. 밸런싱 제어 모드를 고려하면 바퀴와 시스템의 높이가 일정각 이상을 갖도록 해야 한다. 그동안의 연구 결과를 살펴보면 제어 범위가 약 $\pm 3^\circ$ 이며 현재 목표로 하고 있는 제어 범위는 약 $\pm 5^\circ$ 이다. 따라서 바퀴와 시스템의 끝단 사이에 $\pm 5^\circ$ 이상의 각이 존재해야 한다.

현재 청소로봇들의 문턱에 대한 고려 높이는 13mm~20mm 이므로 약 20mm의 문턱 높이를 고려하는 것으로 하였다. 그림 17은 이러한 두 가지 조건을 고려한 상태에서의 바퀴의 크기를 나타낸다. 즉, 그림 17에 나타난 바퀴와 같이 170mm가 현재 본 시스템에 적용 가능한 가장 작은 바퀴의 크기이다.

시스템의 하중과 170mm의 크기를 고려하여 상용 제품을 조사한 결과 약 200mm 바퀴가 가장 적합한 것으로 조사되었다. 그림 17은 조사된 200mm 바퀴를 적용한 바닥 작업 영역을 나타낸다. 작업이 가능한 바닥 공간은 좌우 약 $\pm 892\text{mm}$, 로봇의 앞쪽으로 약 630mm의 범위로 나타났다.

그림 17. 200mm 바퀴를 적용한 바닥 작업 영역
Fig. 17. Floor workspace for 200mm wheel size

그림 18은 이와 같은 조건에서 바닥 작업이 가능한 로봇 팔의 최소 길이를 나타낸다. 최초의 설계된 길이에 비해 약 145mm가 줄어들어 약 701mm의 길이를 갖는다. 이는 바닥 작업이 가능한 최소의 길이일 뿐 최적의 길이라고는 할 수 없다. 최적의 조건은 로봇의 작업 환경과 작업 목적에 따라 달라진다.

그림 18. 200mm 바퀴를 적용한 팔 길이 변화
Fig. 18. Arm length change for the 200mm wheel size

4. 서비스 로봇 시스템

그림 19는 제작된 매니퓰레이터의 구성을 나타낸다. 매니퓰레이터는 팔의 무게를 최소화하기 위하여 각 링크들을 뼈대 구조로 설계하였으며, 무게에 비해 효율이 좋은 BLDC 모터를 선택하였고 팔의 폭을 최소화하기 위하여 flat motor를 선정하였다. 충분한 토크 확보를 위해 높은 기어비를 사용하였으며 그로 인해 길어지는 일반기어모듈을 대신하여 하모닉드라이브를 사용하여 폭을 줄임과 동시에 backlash를 현저히 줄이도록 하였다.

그림 19. 5자유도 매니퓰레이터
Fig. 19. 5 DOB manipulator

그림 20은 작업 영역 확장을 위한 가변형 매니플레이션 시스템이 구성된 모습이다.

그림 20. 한국형 서비스 로봇
Fig. 20. Korean service robot

어깨 높이 조절부는 각각 독립적 제어가 가능하며 이동 가능 범위는 약 170mm이다. 몸통의 상하 이동가능 범위는 250mm이며 상체의 무게를 감당하기 위하여 볼스크류 구조로 제작되었다. 슬라이드 구조는 시스템의 수직, 수평하중에 견딜 수 있도록 전조볼나사와 LM가이드를 사용하여 설계되었다.

5. 바닥 작업 실험

5.1 실험 경로

그림 21은 앞에서 분석한 로봇의 바닥 작업 영역을 바

탕으로 실험 가능한 경로를 설정한 것이다. 경로는 로봇이 청소용품을 이용하여 바닥 청소를 하는 것을 목적으로 설정되었다. 초기 위치는 end-effector가 청소용품 위에 얹혀진 상태이며 좌우로 $\pm 120\text{mm}$ 의 영역을 청소하는 경로를 따라 이동하게 된다.

팔 끝의 초기위치 좌표는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_{iR} &= (0.264, 0.463, -0.718) , \\ P_{iL} &= (-0.264, 0.463, -0.718) \end{aligned} \quad (11)$$

그림 21. 바닥 작업 실험을 위한 경로 설정
Fig. 21. Trajectory planning for floor tasks

5.2 바닥 작업 실험 결과

그림 22는 개발된 서비스 로봇을 이용하여 바닥을 청소하는 작업을 실험하는 모습이다. 청소 용품을 이용한 바닥 청소 작업이 충분히 가능함을 보여주고 있다.

그림 22. 바닥 청소 작업 실험
Fig. 22. Floor Cleaning tasks

그림 23은 실험 결과를 각 축별로 자세히 나타낸 것이다. Y축, Z축으로의 변화 없이 설정된 X축 경로를 추종하고 있는 것을 보여주고 있다.

그림 23. X, Y, Z 축의 경로 변화

Fig. 23. Cartesian Position of experiment result

6. 결론

본 논문에서는 모바일 매니퓰레이터 구조를 갖는 가정용 서비스 로봇을 위한 6자유도의 매니퓰레이터의 기구학 해석을 통한 작업공간 해석 그리고 실험에 대하여 기술하였다. 매니퓰레이터는 모바일 베이스 시스템의 크기를 고려하여 한국 문화의 특징인 바닥 생활에 대한 서비스 작업이 가능하도록 설계되었다. 서비스 로봇의 크기를 최소화하면서 로봇팔 끝의 작업 영역은 최대화하기 위해 어깨와 허리에 높이 조절이 가능한 메커니즘과 슬라이딩 메커니즘 등을 적용하였다. 구속조건을 정의하고 이를 포함하는 기구학 해석을 수행하여 제어를 위한 역기구학 해를 유도하였다. 시뮬레이션과 경로 추종 실험을 수행하여 결과를 확인함으로써 역기구학 해를 검증하였다. 또한 베이스 시스템과 간섭이 없이 바닥 작업이 가능한 6자유도의 매니퓰레이터를 설계하고 제작하였으며 제작된 전체 매니퓰레이션 시스템의 작업 영역 확장 효과를 분석하였으며, 간단한 실험을 통해 제작된 시스템이 바닥 작업을 수행할 수 있음을 확인하였다.

References

- [1] Roomba, "http://www.irobot.com".
- [2] Tango, "http://www.samsung.com/sec/consumer"
- [3] Roboking, "http://www.ge.co.kr/brand/cyking/index.jsp"
- [4] H. Iwata, and S. Sugano, "Design of Human Symbiotic Robot TWENDY-ONE", *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 580-586, 2009.
- [5] C. Ding, P. Duan, M. Zhang, H. Liu, "The

Kinematics analysis of a redundant mobile manipulator", *IEEE Conference on Automations and Logistics*, pp. 2352-2357, 2008

- [6] Y. Chen, L. Liu, M. Zhang, and H. Rong, "Study on coordinated control and hardware system of a mobile manipulator", *World Congress. on Intelligent control and Automation*, pp. 9037-9041, 2006.
- [7] G. D. White, R. M. Bhatt, C. P. Tang, and V. N. Krovi, "Experimental evaluation of dynamic redundancy resolution in a non-holonomic wheeled mobile manipulator", *IEEE/ASME Trans. on Mechatronics*, vol. 14, no. 3, pp. 349-357, 2009.
- [8] D. Xu, D. Zhao, J. Yi, and X. Tan, "Trajectory tracking control of omnidirectional wheeled mobile manipulators: robust neural network-based sliding mode approach", *IEEE Trans. on Systems, man, and Cybernetics*, Vol. 39, No. 3, pp. 788-799, 2009.
- [9] Z. Li, S. S. Ge, M. Adams, W. S. Wijesoma, "Robust adaptive control of cooperating mobile manipulators with relative motion", *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics*, vol.39, no.1, pp. 103-116, 2009.
- [10] C. C. Tsai, H. C. Huang, and S. C. Lin, "FPGA-based parallel DNA algorithm for optimal configurations of omnidirectional mobile service robot performing fire extinguishment", *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 3, pp.1016-1026, 2011.
- [11] Yeong-Geol Bae and Seul Jung, , "Design and Kinematic Analysis of Arms of a Korean Robot Worker(KOBOKER)", *ICROS*, pp. 396-401, 2011
- [12] Yeong-Geol Bae and Seul Jung, "Kinematic Design and Workspace Analysis of a Korean Service Robot :KOBOKER", *ICCAS*, pp. 833-836, 2011

저 자 소 개

배 영 결 (Yeong-Geol Bae)

2004년 충남대 메카트로닉스학과 졸업.

2006년 동대학 석사 졸업

2009년~현재 동 대학원 메카트로닉스공학과 박사과정

관심분야 : 가정용 로봇, 힘제어 응용.

Phone : +82-42-821-7232

Fax : +82-42-823-4919

E-mail : dinoyg@empal.com

정 슬 (Seul Jung)

1988년 : 미국 웨인 주립대 전기 컴퓨터
공학과 졸업.
1991년 : 미국 캘리포니아대 데이비스 전
기 컴퓨터공학과 석사 졸업.
1996년 : 미국 캘리포니아대 데이비스 전
기 컴퓨터공학과 박사 졸업.
1997년 ~ 현재 : 충남대학교 메카트로닉스
공학과 교수

관심분야 : 지능 시스템 및 지능 로봇, 밸런싱 시스템응용,
서비스 로봇, 미래형 지능형 운송시스템, 로봇교육

Phone : +82-42-821-6876

Fax : +82-42-823-4919

E-mail : jungs@cnu.ac.kr