

# 전동휠체어 로봇의 경로추적제어에 관한 연구

## A Study on the Path-Tracking of Electric Wheelchair Robot

안경관<sup>1,✉</sup>, 윤종일<sup>2</sup>, 레듀이코아<sup>2</sup>  
Kyoung Kwan Ahn<sup>1,✉</sup>, Jong Il Yoon<sup>2</sup> and Le Duy Khoa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 울산대학교 기계공학부 (School of Mechanical Engineering, Univ. of Ulsan)

<sup>2</sup> 울산대학교 기계자동차공학과 (Department of Mechanical and Automotive Engineering, Univ. of Ulsan)

✉ Corresponding author: kkahn@ulsan.ac.kr, Tel: 052-259-2282

Manuscript received: 2011.1.20 / Revised: 2011.7.18 / Accepted: 2011.8.3

*These days the number of aged and disabled people is increasing rapidly. But most of the disabled or the aged who have the ability to work, want to engage in economic activities and solve social restrictions as well as their bad financial conditions. This paper concerns about the tracking control of an electric wheelchair robot for welfare vehicle where the seat and electric wheelchair are separated and electric wheelchair robot must be autonomously controlled without the help of assistant. So the aged or the disabled people can drive welfare vehicle by himself by adopting this system. Therefore the concept of both an autonomous driving of electric wheelchair and path tracking robots is required in this system. Finally we suggested fuzzy controller in order to control the path tracking of electric wheelchair robot and compared the capability of the proposed controller with conventional PID controller.*

Key Words: Path-Tracking (경로추적), Electric Wheelchair (전동 휠체어), Mobile Robot (이동로봇), Navigation (주행), Welfare Vehicle (복지차량), Fuzzy Logic Controller (퍼지 제어기)

### 1. 서론

현재 우리나라는 국민소득이 높아짐에 따라 승용차를 소유하게 되는 휠체어 장애인이 증가하고 있는 추세이며, 이들의 직업생활뿐만 아니라 승용차를 이용하여 휠체어 장애인이 원하는 시간에 원하는 장소로 타인의 도움 없이 이동한다는 것은 일반적인 사회활동에도 필수 불가결한 사항이 될 것이다. 이러한 사회적 변화에 따른 장애인의 이동권 확보를 위한 자가 운전용 휠체어 및 복지차량의 연구가 필요하다.

이러한 자가 운전용 휠체어에 대한 연구는 접이식 휠체어, 음성인식 휠체어, 장애물 회피등과 같이 다양한 연구들이 진행되어왔다.<sup>1-3</sup> 또한, 승용

차용 휠체어 리프트를 개발하여 장애인의 이동권을 확보하였다.<sup>4</sup>

자가운전용 복지차량은 휠체어를 타인의 도움 없이 탑재하거나 내리거나 하여 장애인 또는 노약자가 스스로 운용할 수 있도록 제작되어야 한다. 따라서 전동휠체어에 자율이동로봇(autonomous mobile robot) 개념을 접합시켜야 한다. 자율이동로봇은 주위 환경을 인식하여 자신의 판단에 따라 원하는 목표 지점까지 충돌 없이 자율적으로 이동할 수 있는 능력을 갖는 로봇으로서, 제어알고리즘과 경로계획(path planning), 경로추적(path-tracking), 장애물 회피, 각종 센서들의 융합, 비전 시스템의 응용 등이 종합적으로 관련되어 있다.<sup>5</sup>

이들을 제어하기 위한 수단의 일환으로 1990

년 이후로 이동로봇의 복잡한 경로계획 알고리즘에 인공지능을 적용한 연구가 활발히 수행되고 있다. 퍼지제어기는 Mandani 가 증기스팀 엔진의 제어를 위하여 처음으로 적용하였다.<sup>6</sup> 퍼지 제어기의 기술의 적용은 M. Sugeno 와 K. Murakami 는 자동차의 주차제어<sup>7</sup>에 Y.F. Li 와 C.C Lau 의 DC 서보시스템의 제어<sup>8</sup>에 적용하였고, 로봇의 역기구학 문제와 조립작업등에 성공적으로 적용되었다.<sup>9-11</sup>

이처럼 퍼지 제어기(fuzzy logic controller)는 부정확하고 애매모호한 데이터의 처리와 기존의 수학적 모델에 의해 해결하기가 어려운 복잡한 경로계획문제에 인간의 경험적인 지식을 이용한다는 점과 실시간 결정능력 등의 여러 가지 장점들 때문에 다양하게 적용되고 있다.<sup>12</sup>

보통의 이동로봇분야에 있어서 대상의 추적 및 인식을 위하여 레이저 레인지파인더, CCD 카메라, 초음파 센서 등이 일반적으로 사용된다. 레이저 레인지파인더는 넓은 탐색범위와 물체에 대한 고정도의 거리 및 각도정보를 실시간적으로 제공하지만 고가의 가격부담이 따른다.<sup>13</sup> 또한 CCD 카메라를 이용할 경우 방대한 데이터 처리를 위해 고성능의 프로세서를 필요로 하게 된다.<sup>14</sup> 다음으로 초음파 센서 시스템은 구성이 간단하고, 빠른 응답성, 또한 데이터 처리의 실시간성 보장과 더불어 센싱비용이 저렴한 장점이 있다.<sup>15</sup>

본 논문에서는 2 개의 초음파 센서와 퍼지제어기를 이용하여 복지차량의 옆면을 따라 움직이는 전동휠체어 로봇의 궤적제어를 실험하고 PID 제어기와 비교 검토를 하고자 한다.

## 2. 전동휠체어의 경로계획 및 구성

### 2.1 전동휠체어의 경로계획

복지차량에서 전동휠체어의 전체 경로는 운전자(장애인)가 휠체어에서 내린 후 차량을 따라서 후면의 전동휠체어 탑재 리프트까지 자율주행을 하는 것이다. 전체 경로계획은 Fig. 1 과 같다.

장애인인 자가운전자는 주차되어 있는 복지차량의 운전석으로 진입을 하고 차량은 리모컨에 의해서 차량 옆 문과 뒷문(트렁크)을 열도록 경로가 계획되어 있다. ㉑의 위치에서 차량의 시트 리프트와 전동휠체어의 시트가 도킹을 하고 나서 운전자는 복지차량 내부로 리프팅되어 탑승하게 된다. 다음으로 전동휠체어는 차량 옆면을 따라 ㉒ 구역을 지나 차량 후면의 전동휠체어 탑재용 리프

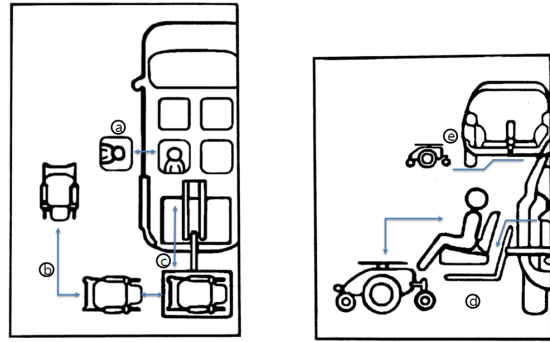


Fig. 1 Path planning of Electric Wheelchair

트로 자율주행을 한다. ㉑, ㉒는 전동휠체어 탑재용 리프트에 의해 전동휠체어는 차량에 탑재가 되며 차량의 트렁크로 돌아가기 전의 상황과 운전자는 운행준비를 완료하는 구간을 설명하고 있다. 다음 Table 1 은 위 Fig. 1 의 경로계획의 설명을 나타내고 있다.

본 논문에서는 우선 전동휠체어의 경로제어의 기초연구로 경로 ㉑에서 경로 ㉒까지의 직선구간에 국한하여 제어 실험을 실시하였다.

Table 1 Contents of Each path

Path	Contents
㉑	Leaving wheelchair
㉒	Going straight
㉓	Turning a corner
㉔, ㉕	Docking system

### 2.2 시스템의 구성

본 논문에서는 자가운전이 가능한 복지차량용 전동휠체어를 이동용 로봇 대용으로 사용한다. 여기서 자가 운전이라 함은 장애인 스스로 탑승 및 운전이 가능하도록 구성된 시스템을 이야기한다.

제작한 시스템은 크게 모터 구동부, 초음파 센서부, 컴퓨터(퍼지 제어기) 제어부로 구성된다. 본 과제에서 제안하는 휠체어 로봇의 시스템 개략도를 Fig. 2 에 나타내고 있다. 여기서 전동 휠체어는 차량 옆면을 따라 주행하게 되고, 이 때, 전동휠체어에 설치된 초음파센서를 통하여 차량과의 거리를 검출하게 된다. 이 신호를 A/D 변환기를 거쳐 컴퓨터에 입력하게 되고, Fuzzy 제어기는 초음파센서로부터의 거리신호와 목표 거리와의 차이를 줄이기 위하여 제어연산을 수행하고, 그 결과 PWM 신호로 변환하여 좌우 모터를 제어함으로써 전동

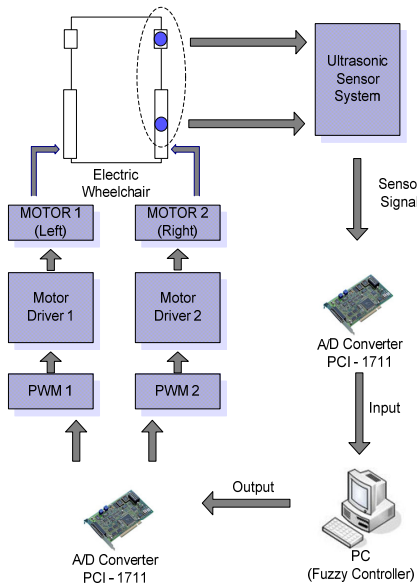


Fig. 2 Schematic diagram of system

휠체어가 일정한 간격을 유지하면서 주행하게 된다.

본 실험에 사용된 전동휠체어 시스템의 사진을 Fig. 3 에 나타내고 있다. 그림에서 뒤쪽의 지름이 큰 바퀴가 구동 바퀴(Driving Wheel)이며, 작은 바퀴는 보조 바퀴(Free Wheel)이다. 그리고 전동휠체어 상부에 인터페이스 회로를 설치하였고 우측에는 초음파센서가 설치되어 있다. 전동 휠체어는 케어라인사의 BUDDY II 를 사용하였다.

전동휠체어의 DC 모터는 24V, 3900rpm, 200W 의 사양을 가지고 있다. 전원은 내부에 12V, 55Ah 의 배터리 2 개를 사용하고 있으며, 자동차의 시트와 휠체어의 시트를 겸용하여 사용하기 때문에 전동 휠체어의 프레임과 자동차 시트의 하단부를 개조하였다. 따라서 시트가 차량 및 전동휠체어 양쪽에 탈착이 가능하도록 구성하였다.

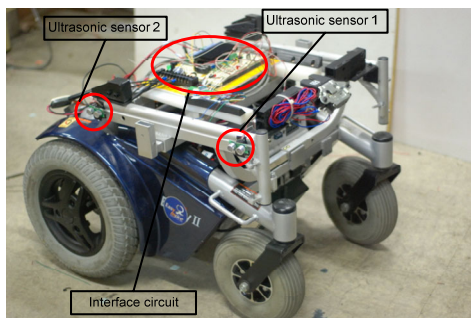


Fig. 3 Photograph of Electric Wheelchair

### 2.3 구동바퀴의 구동속도

본 논문에서 고려하는 이동로봇 즉 전동휠체어는 2 개의 구동바퀴(Driving wheel)와 2 개의 보조바퀴(Free wheel)를 가진 4 바퀴 2 자유도(4 wheeled 2 DOF)형태의 이동로봇이다. 전동휠체어의 기구학적 관계를 Fig. 4 에 나타내고 있다. 구동바퀴는 2 개의 모터와 각각 체결되어 있으며 이들의 상대속도를 제어함으로써 이동로봇을 구동할 수 있다. 전동휠체어의 휠과 바닥 간의 슬립, 휠 지름의 변화, 평탄하지 않은 바닥에서의 주행 등은 고려하지 않았다.

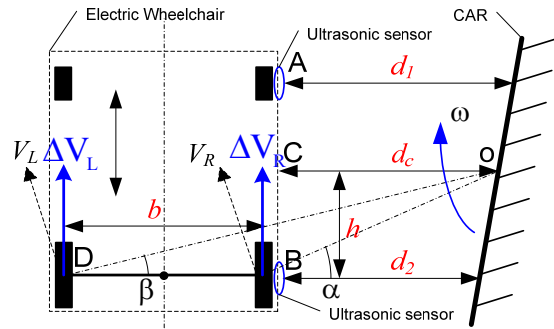


Fig. 4 Kinetics of Electric Wheelchair

여기서,

- $V_L$  = 좌측 구동바퀴의 속도
- $V_R$  = 우측 구동바퀴의 속도
- A = 앞쪽 초음파센서 위치
- B = 뒤쪽 초음파센서 위치
- C = B 와 A 의 중점
- $b$  = 구동바퀴 사이의 거리
- $h$  = B 점과 C 점 사이의 거리
- $d_1$  = A 점과 차량 사이의 거리
- $d_2$  = B 점과 차량 사이의 거리
- $d_c$  = C 점과 차량 사이의 거리

초기속도를  $V_0$  라고 할 때, 거리 오차  $e$  는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$e = d_c(t) - d_c(0) \tag{1}$$

C 점은 두 개의 초음파센서의 중점으로 C 점까지의 거리  $d_c$ 는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$d_c(t) = \frac{d_1(t) + d_2(t)}{2} \tag{2}$$

다음으로 점 O 를 중심으로 한 각속도를  $\omega$  라고 하면,

$$\omega = \frac{V_R}{OA} = \frac{V_L}{OB} \quad (3)$$

$$V_L = \frac{V_R \cdot OB}{OA} \quad (4)$$

$$V_R = \Delta V_R \cdot \cos \alpha = \Delta V_R \cdot \frac{d_C}{OA} \quad (5)$$

$$V_L = \Delta V_L \cdot \cos \beta = \Delta V_L \cdot \frac{d_C + b}{OB} \quad (6)$$

가 되며 식(5)와 식(6)를 식(4)에 대입하면,

$$\Delta V_L = \Delta V_R \frac{d_C}{d_C + b} \cdot \frac{OB^2}{OA^2} \quad (7)$$

이 된다. 여기서,

$$OB^2 = h^2 + (d_C + b)^2 \quad (8)$$

$$OA^2 = d_C^2 + h^2 \quad (9)$$

이다.  $\Delta V_L$  과  $\Delta V_R$  은 좌·우측 구동휠의 속도 증감을 나타낸다. 식(8)과 식(9)을 식(7)에 대입하게 되면 이들은 식(10)과 같은 관계식을 가진다.

$$\Delta V_L = \Delta V_R \frac{d_C [h^2 + (d_C + b)^2]}{(h^2 + d_C^2)(d_C + b)} \quad (10)$$

여기서  $\Delta V_R$  은 퍼지논리제어기의 출력이며,  $\Delta V_L$  은 위의 식(10)에 의해서 계산된다. 따라서 좌·우측 구동휠의 속도는 다음의 식(11), 식(12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V_R = V_0 + \Delta V_R \quad (11)$$

$$V_L = V_0 + \Delta V_L \quad (12)$$

### 3. 전동 휠체어 제어 알고리즘

전동 휠체어 시스템은 여러 가지 비선형적인 요소를 가지고 있어서 제어하는데 어려움이 있다. 또한, 속도의 변화와 정확성이 요구되는 전동 휠체어 시스템에 있어서 PID 제어를 하는 경우, 정상 편차는 줄일 수 있지만, 휠체어 로봇에서 발생하는 부하변동에 의하여 과도 응답특성이 악화되는 문제점이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 퍼지제어기를 적용하여 이 문제점을 해결하고자 한다. 본 논문의 퍼지 제어기는 거리 오차와 거리오차의 미분치를 퍼지 제어기의 입력으로 하고 있으며, 퍼지 추론을 통하여 휠체어의 목표 속도를 구하도록 되어 있다. 또한, 주행의 효율성을 높이기 위하여 주행 중 좌측으로 주행할 경우 좌측휠은 뒤로 구동하고, 우측휠은 앞으로 구동하여 빠른 방향전환이 이루어지도록 하였다. 이러한 구동은 시스템의 정밀제어와 빠른 응답성을 가져올 수 있다. 휠체어 로봇 시스템의 블록선도는 Fig. 5 에 나타내고 있다. e 는 거리 오차를 나타내고, de 는 오차에 대한 미분값을 나타낸다.

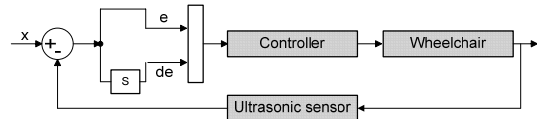


Fig. 5 Block diagram of wheelchair robot system

본 논문의 퍼지제어기에 사용된 언어변수는 다음과 같다.

- NB(Negative Big), NS(Negative Small)
- PB(Positive Big), PS(Positive Small)
- N(Negative), P(Positive)

입력  $e_d$ ,  $\dot{e}$  에 대한 출력은  $\Delta V_R$  이다. 위에서 설정된 언어변수로 만들어진 각각의 임.출력변수에 대한 퍼지 멤버십 함수는 Fig. 6 과 같다. 퍼지 출력 값의 범위는 -1 에서 1 까지 이다. 또한 Fig. 6 에 대한 Rule Base 는 Table 2 와 같다.

즉,  $e_d$ (입력)가 PB 이면, 전동 휠체어가 차량 면에서 멀어지는 것을 말한다. 즉, 전동 휠체어가 좌측으로 진행하는 것을 의미함으로 출력에서의 NB 는 전동휠체어의 진행 방향을 우측으로 진행하라는 명령이다.

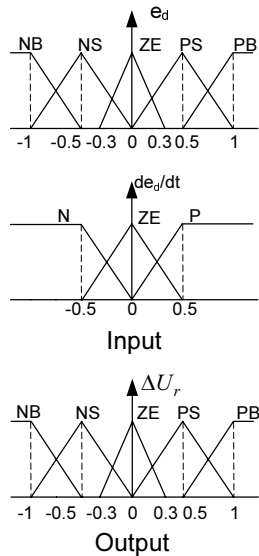


Fig. 6 Membership functions of Fuzzy Controller

Table 2 Fuzzy Logic Rule Bases

	NB	NS	ZE	PS	PB
N	PB	PS	PS	NS	NB
Z	PB	PS	ZE	NS	NB
P	PB	PS	NS	NS	NB

4. 실험결과

실제 실험에 사용된 전동휠체어는 Fig. 2 와 같이 전륜에 보조바퀴 2 개와 후륜에 구동바퀴 2 개로 구성되어 있으며, 우측 앞뒤로 초음파 센서가 설치되어있다. 실제 복지차량에 적용이 될 때 자율주행 중 시트부분은 항상 분리가 되어 있기 때문에 분리하여 실험을 진행하였다. Fig. 7 및 Fig. 8 은 목표거리를 35cm 로 한 경우, 외부부하가 무 부하 및 50kg 의 부하에 대하여 Fuzzy 제어를 사용한 경우의 실험결과를 나타내고 있다. 실험 시에는 전동휠체어를 일정한 속도로 전진하면서 실험을 실시하였다. 각 그림에서 상단부는 목표 거리 및 차량의 측면과 전동휠체어의 측면 사이의 거리를, 중간은 목표 거리와의 오차를, 그리고 하단부는 제어입력을 각각 나타내고 있다. 또한 Fig. 9 및 Fig. 10 은 상기와 동일한 부하 조건(무 부하 및 50kg 의 부하)에서 PID 제어를 적용한 경우의 실험결과를 각각 나타내고 있다. 본 실험결과로부터

PID 제어를 사용한 경우에는 특정한 부하상태에서는 양호한 제어성능을 얻을 수 있으나, 외부부하 조건이 바뀔 경우, 제어성능이 상당히 나빠짐을 알 수 있다. 이에 반해 Fuzzy 제어를 사용한 경우, 외부부하의 변동에 상관없이 양호한 제어성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

또한 PID 제어기와 Fuzzy 제어기에 대한 위치제어성능을 비교한 그래프를 Fig. 11 에 나타내고 있다. 이 결과로부터 무 부하인 경우 PID 및 Fuzzy 모두 양호한 위치제어 성능을 보이나, 50kg 부하인 경우 일정한 계인을 가지고 있는 PID 제어기의 위치제어 성능은 상당히 나빠진 반면, Fuzzy 제어를 적용한 경우에는 부하의 변동에 상당히 강건함을 알 수 있다.

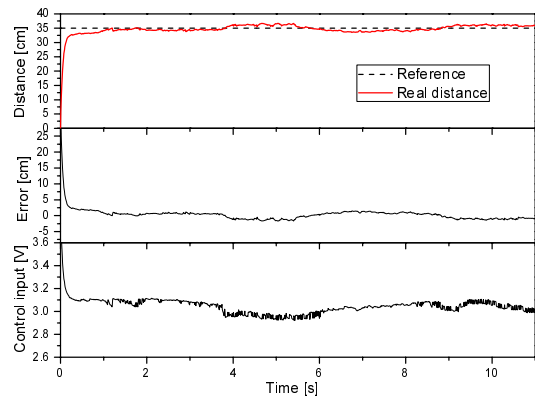


Fig. 7 Experimental Results of Fuzzy Controller at No Load Condition

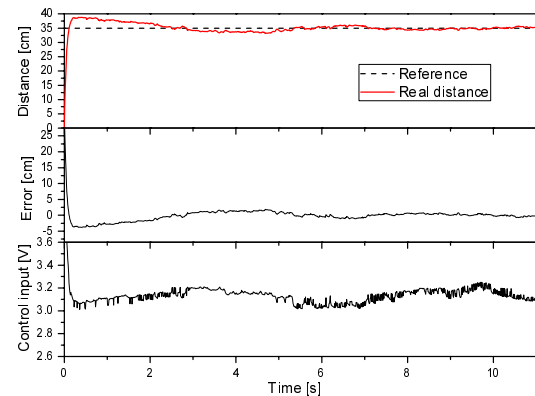


Fig. 8 Experimental Results of Fuzzy Controller at Load = 50 kg

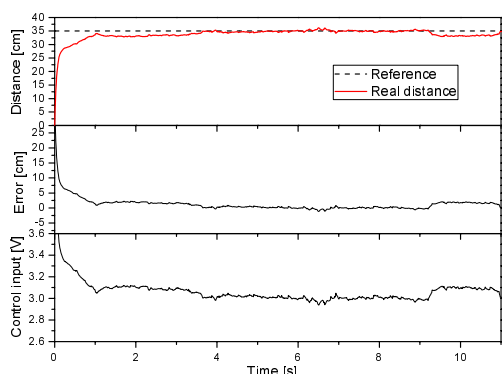


Fig. 9 Experimental Results of PID Controller at No Load Condition ( $K_p=0.65$ ,  $K_i=0.065$ ,  $K_d=0.01$ )

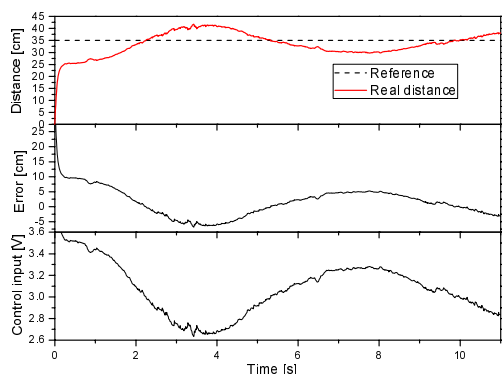


Fig. 10 Experimental Results of PID Controller at Load = 50 kg

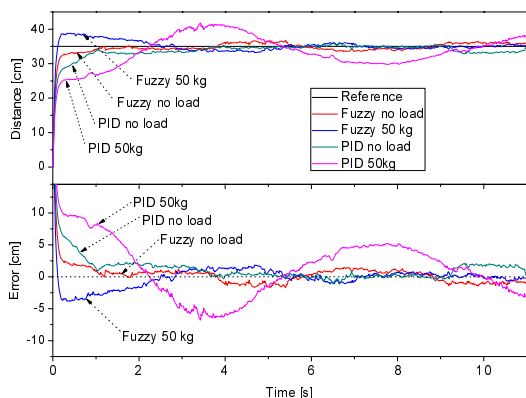


Fig. 11 Comparison of PID and Fuzzy Controller

5. 결론

본 논문은 장애인의 활동범위를 넓혀주는 수단

중 하나인 자가운전용 전동휠체어 로봇의 경로 추적에 관한 연구이다. 특히 본 논문에서는 시트 탈착식 구조를 가지는 휠체어 로봇을 새롭게 제안/제작하였으며 이 시스템에 필수적으로 요구되는 시트와 휠체어가 분리 후 휠체어가 자율적으로 차량의 트렁크에 설치된 리프트에 의하여 자동 격납 되도록 설계되어 있다.

또한 본 논문에서는 상기 휠체어 로봇의 자동 격납을 위하여 퍼지제어기와 초음파 센서를 이용하여, 휠체어와 차량 사이의 거리를 일정하게 유지하기 위한 제어실험을 실시하였다. 그 결과 휠체어에 작용하는 부하가 0kg 및 50kg에 대하여, PID 제어기와 퍼지제어기를 각각 적용한 결과, PID 제어기의 경우에는 부하조건에 따라 다른 제어게인을 설정할 필요가 있었으며, 퍼지제어기의 경우 부하의 변동에 상관없이 항상 일정한 제어 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 향후 복지차량에 자동탑재가 가능하도록 휠체어의 모든 이동경로에 대한 제어기 개발 및 실제 실험을 통한 검증을 하고자 한다.

후 기

본 연구는 BK21 사업의 지원에 의하여 연구되었습니다. 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Choi, Y. C., Rhee, K. M., Choi, H. S. and Seo, Y. T., "Development of the Foldable Manual/Power Hybrid Wheelchair," J. of the Korea Society for Precision Engineering, Vol. 23, No. 2, pp. 172-180, 2006.
2. Song, B. S. and Hwang, J. G., "Modification and Application of Speech Recognition Powered Wheelchair for Effective Assistive Technology Service to the Person with Physical Disability," J. of Rehabilitation Research, Vol. 12, No. 2, pp. 111-128, 2008.
3. Kim, S.-W., Kim, E.-K., Park, K.-J. and Kang, B.-K., "A Study on the Deduction of Barrier Factors into the House for the Blind and the Disabled using Wheelchairs," J. of Architectural Institute of Korea, Vol. 25, No. 4, pp. 3-12, 2009.
4. Lee, Y. R., "Development of Wheelchair Lift for Passenger Car," Korea Employment Agency for the

- Disabled, Investigation Research 2002-13, 2003.
5. Choi, C.-H., Song, J.-B. and Kim, M., "Localization of Autonomous Mobile Robot Using Ultrasonic Sensor Data," Proc. of KSPE Autumn Conference, pp. 666-669, 2000.
  6. Mandani, E. H., "Application of Fuzzy Algorithms for Control of a Simple Dynamic Plant," Proc. IEEE, Vol. 121, pp. 1585-1588, 1974.
  7. Sugeno, M., Murofushi, T, Mori, T., Tatematsu, T. and Tanaka, T., "Fuzzy algorithmic control of a model car by oral instructions," Fuzzy Sets and Systems, Vol. 32, No. 2, pp. 207-219, 1989.
  8. Li, Y. F. and Lau, C. C., "Development of Fuzzy Algorithms for Servo Systems," IEEE Control Systems Magazine, Vol. 9, No. 3, pp. 65-72, 1989.
  9. Nedungani, A., "Application of Fuzzy logic to Solve the Robot Inverse Kinematic Problem," Proc. IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems, pp. 1325-1339, 1993.
  10. Park, Y. K. and Cho, H. S., "A Study on Mating Chamferless Parts by Integrating Fuzzy Set Theory and Neural Network," Trans. of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 18, No. 1, pp. 1-11, 1994.
  11. Scharf, E. M. and Mandic, N. J., "The Application of Fuzzy Controller to the Control of a Multi-Degree-of-Freedom Robot Arm: in Sugeno, M. (Ed.), Industrial Applications of Fuzzy Control," Elsevier Science Ltd., pp. 41-61, 1985.
  12. Chung, S., Woo, J. and Kim, H., "A Study on Autonomous Navigation for an Intelligent Vehicle using Fuzzy Controller," Proc. of KSPE Autumn Conference, pp. 494-497, 1998.
  13. Kwon, Y. D. and Lee, J. S., "A Stochastic Map Building Method for Mobile Robot using 2-D Laser Range finder," J. of Autonomous Robots, Vol. 7, No. 2, pp. 187-200, 1999.
  14. Gonzalez, R. and Woods, R., "Digital Image Processing," Prentice Hall, 2002.
  15. Hagisonic, [www.hagisonic.com](http://www.hagisonic.com)