

힘 보조형 전동 휠체어를 위한 구동 의지 제어 시스템 개발

공정식¹, 이보희^{2*}

¹인덕대학교 기계설계과, ²세명대학교 전기공학과

Development of the Driving-will Control System for a Power-assisted Electric Wheelchair

Jung-Shik Kong¹ and Bo-Hee Lee^{2*}

¹Department of Mechanical Design, Induk University

²Department of Electrical Engineering, Semyung University

요약 본 논문은 힘 보조형 휠체어에 있어 사용자의 구동 의지력을 측정하고 이를 통해 사용자의 구동 의지에 따른 휠체어 구동 제어를 수행할 수 있는 시스템 개발에 관한 논문이다. 최근 고령자의 증가에 따른 다양한 편의 기구가 증가되고 있으며 이에 따라 휠체어에 대한 관심이 증가되고 있다. 특히 힘 보조형 휠체어의 경우 기존의 전동 휠체어가 갖고 있는 운동 부족 등의 문제점을 해결할 수 있도록 고안된 휠체어이다. 본 논문에서는 이러한 힘 보조형 휠체어에 있어 사용자의 구동 의지력을 측정할 수 있는 센서를 제안하였고 이를 통해 사용자의 구동 의지력에 따른 휠체어 제어를 수행하였으며 이를 실험을 통해 검증하였다.

Abstract This paper deals with development of the driving-will control system in power-assisted electric wheelchair. Nowadays, population of elderly people has been increased rapidly, and also an electric wheelchair has been considered as the device for the elderly. Especially, power-assisted electric wheelchair can overcome problems that a conventional electric wheelchair holds, such as lack of movement of wheelchair user. In this paper, we propose the sensors system to measure the driving-will force and perform the control action for a power-assisted electric wheelchair. And motion performance of the proposed system is verified through the experiment.

Key Words : Power-assisted, Electric wheelchair, Driving-will force, Motion control

1. 서론

최근 의학의 발달과 삶의 질 향상으로 인해 고령자 인구는 급격히 증가되고 있으며, 장애인 인구 또한 지속적으로 증가되고 있다. 통계청 자료에 의하면 2010년에는 10.9%, 2020년에는 15.7%가 고령 인구가 될 것으로 예상되고 있다. 또한 고령자는 근력 감퇴, 반응성 저하등으로 인해 생활 반경이 축소될 것으로 예상되며, 이를 극복할 수 있는 사용자의 기술적 요구를 해소할 수 있는 다양한 기술 개발이 진행되고 있다. 이에 대한 대표적인 장치는 휠체어[1,2], 보행보조기[3-5]등이 있다. 이들 중에서 휠체어의 경우에는 대부분 하지 근력이 부족한 분들을 위한

장치로서 사용 방식에 따라 스스로 구동하는 휠체어와 도우미 도움으로 이동하는 방식으로 나눌 수 있다. 이 중에서 고령자는 대부분 본인 스스로 이동할 수 있는 전동 휠체어를 선호하고 있다. 하지만 일반적인 전동 휠체어는 조이스틱으로 구동되므로 상지 근력의 약화를 초래할 수 있으며 이에 따라 사용자의 건강에 도움이 되지 못하게 된다. 이와는 반대로 수동 휠체어의 경우는 사용자가 림에 힘을 지속적으로 가하게 됨으로써 상지 근육의 강화를 가져올 수 있는 장점이 있는 반면에 경사등의 지형에서는 지속적으로 손목에 힘이 가해지면서 손목 터널 증후군 등이 발생할 수 있다.

이에 이러한 전동 휠체어와 수동 휠체어의 장점을 접

본 연구는 보건복지부 보건의료연구개발사업의 지원에 의하여 이루어진 것임(A101699)

*교신저자 : Bo-Hee Lee

Tel : +82-43-649-1305 e-mail: bhlee@semyung.ac.kr

접수일 12년 02월 03일 수정일 12년 02월 13일 게재확정일 12년 03월 08일

목한 힘 보조형 전동 휠체어에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 이는 기존의 수동 휠체어가 갖고있는 비평탄 지형에서의 휠체어 구동 시 발생하는 문제점을 해결하면서 사용자의 운동성을 향상시킬 수 있는 장점을 지녔기에 이에 대한 다양한 연구가 진행되었다. 먼저 힘 보조형 휠체어의 기본 구동[6], 평지 및 언덕에서의 위험성을 회피하기 위한 연구[7,8], 정확한 구동 의지력을 측정하기 위한 다양한 센서 개발[9,10] 등이 이루어지고 있다. 하지만 기존의 힘 보조형 휠체어를 위한 센서의 경우에는 장착 편리성 문제 및 사용자의 구동 의지력을 파악하기 위한 제조 단가 등의 문제가 제기되고 있다.

이에 본 논문에서는 먼저 기존의 수동형 휠체어를 전동화 시키기 위한 모터 및 이 휠체어를 힘 보조형 휠체어로 손쉽게 변환 시킬 수 있는 구동 의지력 측정 센서를 개발하였다. 개발된 구동 의지력 센서의 특성 및 이를 통한 사용자의 구동 의지력 측정 성능을 평가한 후 이를 토대로 사용자의 구동 의지력에 따른 휠체어를 제어할 수 있는 제어기를 개발하였다. 그리고 본 개발된 힘 보조형 휠체어 센서 및 구동 알고리즘을 통해 사용자는 구동 의지력에 따라 휠체어를 제어할 수 있으며 이 특성이 수동 휠체어와 비슷하나 보다 적은 힘으로 구동됨을 실험을 통해 검증하였다.

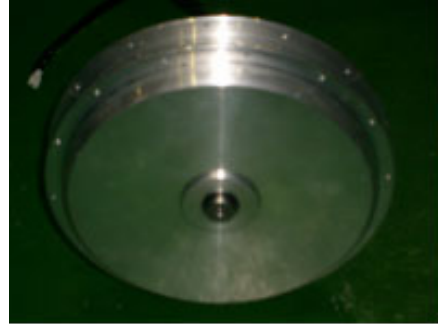
2. 힘 보조형 휠체어 모듈

힘 보조형 휠체어는 기존의 수동 휠체어에 전동화 모듈을 장착하여 전동 휠체어로 구성할 수 있도록 시스템을 구성하였으며 그림 1은 힘 보조형 휠체어의 실제 모습이다.



[그림 1] 힘 보조형 휠체어
[Fig. 1] Power-assisted electric wheelchair

그림 1에서는 기존의 수동 휠체어를 기초로 자체 제작한 gearless BLDC 모터를 기반으로 인휠형 모터를 장착하였다. 그림 2는 힘 보조형 휠체어를 위한 인휠모터이며 표 1은 인휠모터의 하드웨어 사양이다.



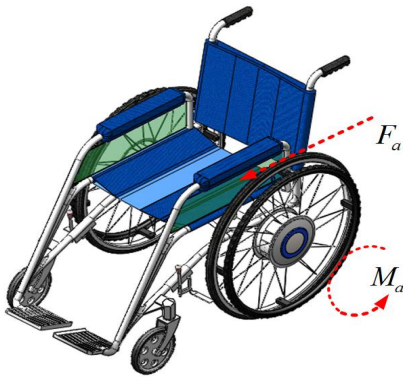
[그림 2] 무기어 BLDC 기반의 인휠모터
[Fig. 2] In-wheel Motor based on gearless BLDC

[표 1] 인휠 모터 하드웨어 스펙
[Table 1] Specification of the In-wheel motor

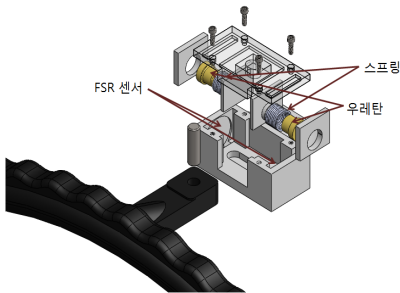
항목	Spec
모터 출력	200W
극수	32극
회전 방식	Outer
입력전압	24V
무부하 속도	180rpm
최대부하 속도	120rpm
정격 토크	16Nm
최대 토크	50Nm
무게	5.5kg

힘 보조형 전동 휠체어는 일반적인 전동휠체어와는 달리 조이스틱과 같은 입력 장치를 따로 구비하지 않으며 그 대신에 수동 휠체어와 같은 림을 통해 휠체어를 구동하게 된다. 이는 일반적인 수동 휠체어가 휠 림에 힘을 가하게 될 경우 바퀴 축에 모멘트가 발생하게 되며 이 힘으로 수동 휠체어가 이동하게 되므로, 힘 보조형 휠체어의 경우 휠 림에 힘을 가할 때 이 힘을 인지하여 이에 맞는 모멘트를 모터가 발생시키게 되어 사용자가 힘을 보조해 줄 수 있게 된다. 그림 3은 힘 보조형 휠체어의 힘과 모멘트의 상관관계를 나타내었다.

그림 3에서 F_a 는 사용자의 구동 의지력이며 M_a 는 사용자의 구동 의지력에 따른 구동 모멘트이다. 이에 대해 사용자의 구동 의지력을 측정하기 위한 구동 의지력 센서를 그림 4와 같이 구성하였다.



[그림 3] 힘 보조형 휠체어에서의 힘 모멘트 상관관계
 [Fig. 3] Relation between user's force and moment in the power-assisted electric wheelchair



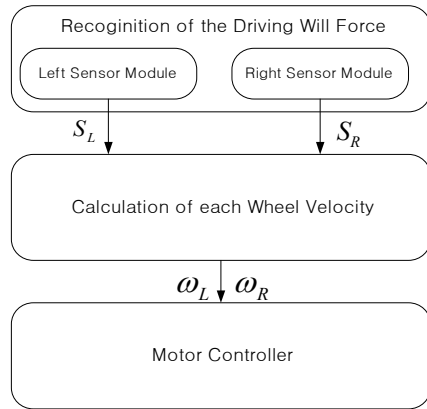
[그림 4] 구동의지력 센서
 [Fig. 4] Driving-will force sensor

그림 4에서 구동 의지력 센서는 사용자의 구동 의지력을 정확하게 측정할 수 있도록 FSR(Force Sensing Resistor)를 장착하였다. 또한 사용자의 구동 의지력을 정확하게 전달할 수 있도록 우레탄을 센서 양 끝단에 장착하였으며, 사용자의 구동 의지력이 전달된 후 원래 상태로 복귀할 수 있도록 스프링을 장착하였다. 이렇게 구성된 센서를 각 바퀴에 4개씩 장착하였으며, 이 센서들을 통해 휠체어 림을 시계 방향으로 밀 경우 FSR센서 중에 시계 방향으로 장착되어 있는 센서에 힘이 작용되게 하였으며 이와 반대로 림에 힘을 가할 경우에도 반시계 방향의 센서에 힘이 가해지게 된다. 이를 통해 사용자가 림을 잡고 구동 하고자 할 경우 구동 의지력이 휠 림을 통해 센서에 작용되게 되며 이를 통해 사용자의 구동 의지력 크기를 정확하게 측정할 수 있도록 하였다.

3. 차량 제어 알고리즘

힘 보조형 전동 휠체어에서 사용자의 구동 의지력에

따른 차량 제어를 수행하기 위해 그림 5와 같은 차량 제어 알고리즘을 구현하였다.



[그림 5] 차량 제어 알고리즘
 [Fig. 5] Control algorithm of vehicle

그림 5에서 차량 제어 알고리즘은 크게 사용자 구동 의지력 측정, 측정된 구동 의지력을 기준으로 모터에 입력될 각 모터의 각속도 계산 모듈 그리고 이러한 모터 각속도를 기준으로 모터를 제어하기 위한 모터 제어 모듈로 이루어져 있다. 먼저 각 바퀴에는 4개의 센서모듈이 장착되어 있으며 이 센서모듈에는 전진 구동 의지력을 측정하는 FSR 센서와 후진 구동 의지력을 측정하는 FSR 센서로 구성되어 있다. 그리고 사용자는 구동을 위해 림을 잡게 될 경우 센서모듈에 차별적으로 힘이 가해지게 된다. 이에 사용자의 구동 의지력은 식(1)과 같이 센서 데이터 계산을 통해 구동의지력을 추출한다. 식 (1)에서 S_L 과 S_R 은 각각 왼쪽과 오른쪽 바퀴에서의 구동 의지력을 나타내며 이때 F_{FL} , F_{RL} , F_{FR} , F_{RR} 은 각각 왼쪽과 오른쪽 바퀴에서의 전진과 후진 센서들의 힘 데이터 결과를 나타낸다.

$$\begin{aligned} S_L &= \sum F_{FL} - \sum F_{RL} \\ S_R &= \sum F_{FR} - \sum F_{RR} \end{aligned} \quad (1)$$

식(1)을 이용함으로써 사용자의 림을 잡는 위치에 영향을 받지 않으면서 구동 의지력을 정확하게 추정할 수 있게 된다. 이제 측정된 힘을 기초로 각 바퀴에 전달되는 속도 데이터를 식(2)와 같이 나타내었다.

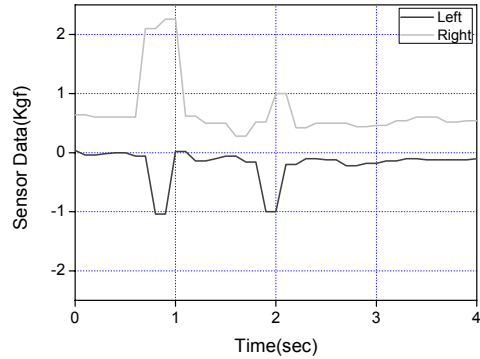
$$\begin{aligned}
 T_L(t) &= \alpha \sum_{i=1}^n S_L(t) - D_L(t) \\
 \omega_L(t) &= k(t) \times T_L(t) \times S_L(t) \\
 T_R &= \alpha \sum_{i=1}^n S_R(t) - D_R(t) \\
 \omega_R(t) &= k(t) \times T_R(t) \times S_R(t)
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

식(2)에서 $T_L(t)$ 와 $T_R(t)$ 는 각각 휠체어 각 휠의 모터 구동 시간을 나타내며, 이 구동시간은 센서에 외력이 가해지게 될 경우에 가해지는 힘에 비례하여 시간이 증가되며, $D_L(t)$ 와 $D_R(t)$ 는 감쇠함수로써 일정 시간이 지나면 휠체어 구동시간이 0이 되도록 유도한다. 이때 α 는 구동 시간을 조정하는 이득값이다. 또한 이때 휠체어의 구동은 제공된 구동시간 $T_L(t)$ 와 $T_R(t)$ 동안에 작용된 센서 힘에 의해 휠체어가 동작되며 이때 일반 수동 휠체어와 같이 회전력이 점차로 감소되도록 하기 위해 마찰함수 $k(t)$ 를 적용하였다. 이와 같이 수학적으로 정의함으로써 휠 림에 힘을 가하게 될 경우 사용자의 구동 의지에 따라 휠체어가 일정시간동안 구동 된 후 수동 휠체어와 동일하게 정지되도록 구현할 수 있다.

4. 실험 결과

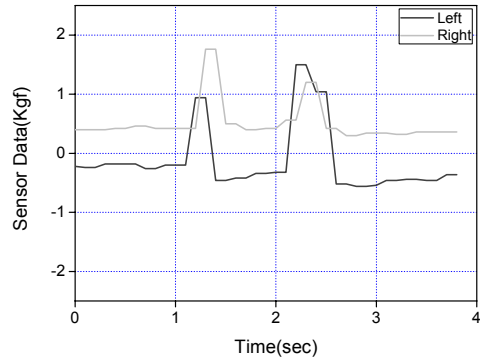
본 논문에서는 직진 및 회전에 대해 실험을 수행하였으며, 각각 수동 휠체어에서의 구동 특성과 힘 보조형 휠체어에서의 구동 특성을 분석하였다. 본 실험을 수행함에 있어 본 논문에서는 64kg의 20대 후반 신체 건강한 남성을 토대로 실험을 실시하였으며 각 실험은 10회 실시하였다. 먼저 수동형 휠체어에 센서를 장착한 후 사용자의 수동형 휠체어 구동 특성 데이터를 추출하였으며, 그림 6 및 그림 7은 각각 직진 및 회전 실험결과를 나타내었다.

그림 6과 7에서 평지에서 수동 휠체어를 구동할 경우 전진 구동 시 최대값은 평균 2.00kgf의 힘이 가하여 수동 휠체어를 구동하며 회전의 경우도 최대값이 평균 2.02kgf의 힘을 가하여 휠체어를 구동시키며 이를 개발된 센서를 통해 사용자의 구동 의지력을 정확하게 추출할 수 있음을 파악하였다. 이제 사용자의 구동 의지력에 대한 휠체어 구동 실험을 실시하였다.



[그림 6] 수동 휠체어에서의 직진 시 구동 의지력 센서 데이터

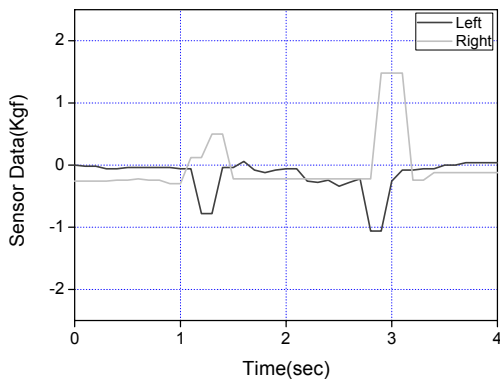
[Fig. 6] Driving-will sensor data of a manual wheelchair at moving straight



[그림 7] 수동휠체어에서의 회전 시 구동 의지력 센서 데이터

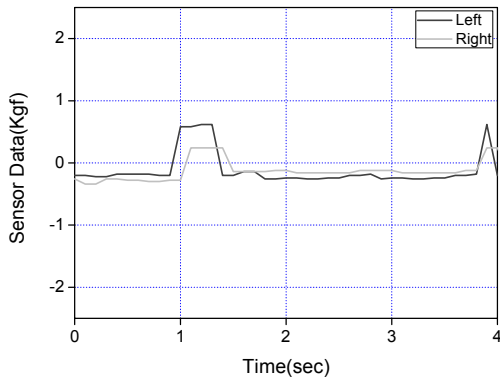
[Fig. 7] Driving-will sensor data of a manual wheelchair at the rotation

그림 8 및 그림 9는 힘 보조형 휠체어에 구동 알고리즘을 적용하였을 경우의 구동 의지력 센서 데이터 결과를 나타내었다. 본 논문에서 제시된 바와 같은 힘 보조형 휠체어 구동 알고리즘을 적용하였을 경우 평지에서 전진 시 가해진 최대 힘은 평균 1.78kgf가 가해졌으며 이는 수동 휠체어로 휠체어를 구동시킬 때 보다 평균 11% 힘이 적게 작용됨을 알 수 있다. 회전 구동에 있어서도 최대 가해진 힘의 크기는 평균 1.72kgf가 가해졌으며 이는 수동 휠체어로 구동 하였을 때와 비교하였을 때, 14.8% 힘이 적게 작용됨을 알 수 있다. 그리고 전진 실험에서 힘을 두 번 가했을 경우에 수동 휠체어와 힘 보조형 휠체어의 경우에 대한 각각의 이동거리 실험 결과를 표 3에 나타내었다.



[그림 8] 구동 알고리즘을 적용한 경우에 직진 시 구동 의지력 센서 데이터

[Fig. 8] Driving-will sensor data at moving straight with the proposed algorithm



[그림 9] 구동 알고리즘을 적용한 경우에 회전 시 구동 의지력 센서 데이터

[Fig. 9] Driving-will sensor data at the rotation with the proposed algorithm

표 3에서는 휠체어 전진 이동 시의 휠체어 이동거리에 대한 데이터로써 식(2)에서의 α 를 0.4하였을 때의 실험 결과이다. 표 3에서 수동 휠체어로 구동 하였을 경우 평균 2.64m를 이동하였으며, 힘 보조형 휠체어로 구동하였을 경우 3.47m를 이동하였다. 이에 실험 결과를 토대로 사용자는 직진 이동시 평균 11%의 적은 힘으로 0.83m를 더 이동함을 알 수 있으며 이러한 데이터를 통해 사용자가 힘 보조형 휠체어로 휠체어를 구동할 경우 사용자가 림에 가하는 힘을 적게 가해주면서도 수동 휠체어와 유사하게 움직이게 되었다.

[표 3] 전진 이동 시 실험 결과

[Table 3] Experimental result at moving forward

횟수	이동거리(m)	
	수동휠체어 거리	힘 보조형 휠체어
1	2.06	4.13
2	2.17	3.84
3	2.64	2.96
4	2.83	3.15
5	3.02	2.93
6	2.39	3.21
7	3.12	3.76
8	2.83	3.54
9	2.78	3.43
10	2.65	3.72
평균	2.64	3.47

5. 결론

본 논문은 힘 보조형 휠체어를 위한 구동 의지력 측정 센서를 개발하였으며, 이를 통해 사용자의 구동 의지력을 측정하였다. 또한 이 측정된 구동의지력을 토대로 사용자의 구동 의지력에 따라 힘을 보조해 줄 수 있는 힘 보조형 휠체어 구동 알고리즘을 구현하였으며 이를 실험을 통해 수동 휠체어와 유사한 특성을 갖으면서도 보다 적은 힘으로 많은 거리를 이동함을 실험을 통해 검증하였다.

향후 힘 보조형 휠체어가 수동형 휠체어와 유사한 감각을 갖고 구동할 수 있도록 지능 알고리즘을 적용한 차량 제어 알고리즘이 개선되어야 한다. 또한 힘 보조형 휠체어가 평지 이외에 경사 등에서 평지와 동일한 구동 특성을 갖을 수 있도록 기울기 센서를 적용하여 기울기에 따라 구동력을 바꿔 주는 다양한 실험이 선행되어야 할 것이다.

References

- [1] Rechar Simpson, Edmund LoPrestic, Steve Hayashi, and Illah Nourbakhsh, "The Smart Wheelchair Component System," Journal of Rehabilitation Research and Development, Vol. 41, No 3B, pp.429-442, 2004.
- [2] Sakiko Tashiro and Toshiyuki Murakami, "Step Passage Control of a Power-Assisted Wheelchair for a Caregiver," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 55, No. 4, pp. 1715-1721, 2008.
- [3] Yasuhiro Nemoto, Saku Egawa, Atshshi Koseki, Shizuko Hattori, Takeshi Ishii, and Masakatsu Fujie, "Power-Assisted Walking Support System for Elderly,"

- Int. Conf. of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Vol. 20, No. 5, pp. 2693-2695, 1998.
- [4] Aaron Morris, Raghavendra Donamukkala, anuj Kapuria, Aaron Steinfeld, Judith T, Matthews, Jacqueline Dunbar-Jacob, and Sebastian Thrun, "A Robotic Walker That Provides Guidance," Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.25-30, 2003.
- [5] J.S. Kong, D.K. Lee, Y.S. Nam, B.H. Lee, and E.H. Lee, "Optimized Walking Will Recognizing System of the Walking Aid with the Fuzzy Algorithm," Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, Vol. 18, No. 5, 2008.
- [6] R. A. Cooper, T. A. Corfman, S. G. Fitzgerald, M. L. Boninger, D. M. Spaeth, W. Ammer, and J. Arva, "Performance Assessment of a Pushrim- activated Power-Assisted Wheelchair Control System," IEEE Trans. Control System Technology, Vol. 10, No. 1, pp. 121-126, 2002.
- [7] Y. Takahashi, S. Ogawa, and S. Machida, "Front Wheel Raising and Inverse Pendulum Control of Power Assist Wheelchair Robot," In Proc. IEEE IECON, pp. 668-673, 1999.
- [8] H. Seki and S. Tadakuma, "Straight and circular Road Driving Control for Power Assisted Wheelchair Based on Fuzzy Algorithm," IEEE IECON, pp. 3898-3903, 2006.
- [9] Chung-Hsien Kuo, Jia-Wun Siao and Kuo-Wei Chiu, "Development of an Intelligent Powe Assisted Wheelchair Using Fuzzy Control Systems," Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, pp. 2578-2583, 2008.
- [10] Yuusuke Oonishi, Sehoon Oh, and Yoichi Hori, "A New Control Method for Power-Assisted Wheelchair Based on the Surface Myoelectric Signal," IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 57, No. 9, pp. 3191-3196, 2010.

공 정 식(Jung-Shik Kong)

[정회원]



- 2006년 2월 : 인하대학교 일반대학원 자동화공학과 (공학박사)
- 2007년 3월 ~ 2009년 2월 : 대덕대학 로봇과 전임강사
- 2009년 3월 ~ 현재 : 인덕대학교 기계설계과 전임강사

<관심분야>

지능제어, 재활공학, 지능형 로봇 및 제어

이 보 희(Bo-Hee Lee)

[정회원]



- 1996년 2월 : 인하대학교 일반대학원 자동화공학과(공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 세명대학교 전기공학과 부교수

<관심분야>

지능제어, 임베디드 시스템, 로봇공학, 제어시스템