

플렉스 센서와 메카넘 휠을 사용한 이동식 원격 작업보조 로봇⁺

(Mobile remote assistant robot using flex sensor and
mecanum wheel)

윤 동 관¹⁾, 박 철 영²⁾*

(DongKwan Yoon and CheolYoung Park)

요 약 본 논문에서는 사용자의 다양한 작업 환경을 고려하여 원격 제어가 가능한 이동식 로봇을 설계한다. 구체적으로는 소정의 방향으로 이동하며, 사용자의 손동작 움직임에 동기화되어 일련의 작업을 수행할 수 있는 이동식 원격작업 로봇, 그리고 이를 제어하는 제어시스템 및 제어방법을 제안하였다. 위험물 또는 고중량 물품 운반과 같은 작업 보조를 위해 로봇 손과 이동을 위한 휠을 이용하여 구현하였다. 개발한 로봇의 성능 평가를 위하여 로봇 손의 운반 가능한 최대 중량과 로봇의 이동 가능한 경사 등을 테스트하였고, 시험 평가 결과는 목표한 대부분의 설계 사양을 만족하였다.

핵심주제어: 플렉스 센서, 모바일 로봇, 웨어러블 디바이스, 메카넘 휠, 블루투스

Abstract In this paper, a mobile robot capable of remote control is designed in consideration of the user's various work environments. Specifically, a mobile remote work robot that moves in a predetermined direction and can perform a series of tasks in synchronization with the user's hand movements, and a control system and control method for controlling the robot were proposed. It was implemented using a robot hand and a wheel for movement to assist in tasks such as transporting dangerous goods or heavy goods. In order to evaluate the performance of the developed robot, the maximum weight that can be carried by the robot hand and the movable inclination of the robot were tested, and the test evaluation results satisfied most of the targeted design specifications.

Keywords: Flex sensor, Mobile robot, Wearable device, Mecanum wheel, Bluetooth

* Corresponding Author: cypark@daegu.ac.kr

+ 이 논문은 2020학년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의한 논문임.

Manuscript received August 20, 2021 / revised September 23, 2021 / accepted January 18, 2022

1) 한양대학교 전자공학과

2) 대구대학교 전자전기공학부, 교신저자

1. 서 론

로봇은 산업과 가정 등 다양한 분야에서 인력을 대체하기 위한 수단으로 활발한 연구개발이 진행되고 있고, 제어기술의 발달로 다양한 목적을 가지며 그에 맞는 형상으로 제조된 로봇이

개발되어 활용되고 있다(Kong et al., 2016; Park et al., 2017; Kim et al., 2020). 이러한 로봇의 한 예로 작업자가 기피하는 열악한 작업 환경이나 위험한 환경에서 노동력을 확보하기 위한 요구에 따라 개발된 작업 로봇이 있다.

작업 로봇의 목적은 지금까지 각종 실험실에서 실험 도중 발생하는 다양한 형태의 안전사고가 지속적으로 발생하는 것을 방지하기 위한 대체 수단이라고 할 수 있다. 또한, 화학물질을 처리해야 하거나 군사지역과 같은 고위험군에서도 이러한 작업을 대체하기 위해 작업로봇이 필요하게 되었다. 이처럼 작업로봇은 다양한 작업장에서 작업자의 노동력을 대체하거나 작업자의 위험요소를 줄이는 보조장치로 이용되고 있다.

작업보조로봇은 설치형과 이동형으로 구분할 수 있다. 설치형 작업로봇은 로봇손을 용도에 맞게 설정하여 반복작업에 특화된 것이지만 설치장소에 국한되어 활용 범위가 좁다. 이동형 작업로봇은 집는 동작을 조정할 수 있으나 로봇손이 집게 형태로 되어 동작에 한계가 있다.

또한 현재까지 개발된 작업 로봇은 제조비용이 상대적으로 고가이며 무게가 무거워서 기술적으로 활용이 쉽지 않았다. 이러한 이유로 작업 로봇의 시장 활성화가 어려웠고, 이는 작업 로봇의 개발을 더디게 하는 문제를 초래하였다.

작업 로봇은 다양한 구조로 구성될 수 있는데, 가장 대표적인 작업 로봇의 예로 로봇 팔이 구비된 로봇을 들 수 있다. 그러나 로봇 팔(로봇 손)의 조종은 교육이나 훈련받지 않은 일반인이 쉽게 할 수 없고 반드시 숙련된 전문가가 조종해야 할 만큼 높은 전문성이 요구된다. 조종이 잘못되어 작업장 주위의 각종 기기를 파손하거나 파지하고 있던 위험 물건을 떨어뜨리게 되면 더 큰 위험부담에 노출되는 문제를 초래하기 때문이다. 더욱이 로봇 팔의 전문가를 양성하기까지 많은 시간과 노력이 필요한 문제가 있다.

본 논문은 이러한 문제점의 해결을 소개하기 위한 것으로서 기존의 작업 로봇 대비 저렴하고 가벼우며, 제어가 용이한 로봇을 개발하여 시장 활성화에 기여할 수 있는 이동식 원격작업 로봇 개발을 목적으로 한다. 사용자의 다양한 작업 환경을 고려하여 원격 제어가 가능한 이동식 로

봇을 설계한다. 위험물 또는 고중량 물품 운반과 같은 작업 보조를 위해 로봇 손과 이동을 위한 휠을 이용하여 구현한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 시스템을 구성하는 하드웨어 및 소프트웨어 구성과 설계를 설명하고, 3장에서는 통신거리 및 경사에 따른 이동 성능을 포함한 실험결과를 요약 정리한다. 마지막으로 4장 결론에서는 제안한 시스템의 기대효과 및 향후 기능과 성능 개선을 위한 사항을 제시한다.

2. 시스템 구성

작업 로봇에서 로봇 손을 사용자가 쉽게 조작하도록 인체와 유사한 골격 구조를 가지도록 설계하고 사용자의 행동 인식, 특히 손동작과 팔동작을 파악하기 위해 각종 센서를 이용한다. 또한, 제어부의 동작과 로봇의 동작을 일치되도록 설계하며, 마지막으로 원거리 통신을 통하여 제어가 가능한 이동식 로봇을 설계하는 것을 목표로 한다.

본 논문의 작업 로봇은 메카넘 구동 휠을 구비하고 있는 차량부와, 차량부에 탑재되어 사용자의 손 움직임과 동기화되어 움직이는 로봇 팔을 포함하는 로봇 본체로 구성된다.

메카넘 휠은 일반적인 바퀴가 아니라 다양한 움직임이 가능하도록 만들어진 바퀴이다. 전방향 구동이 가능한 기존의 휠에 아이들 롤러를 결합한 것으로 구성이 간단하고 협소한 공간에서도 자유롭고 유연한 이동이 가능하여 서비스 로봇, AGV 등 다양한 산업 분야에 적용되고 있다(Kim et al., 2015).

로봇 본체에는 작업 상황을 촬영하는 카메라가 부착되어 있다. 차량부는, 골격을 형성하는 프레임에 설치되며, 구동 휠을 구동시키는 기어 모터와 이를 제어하는 모터 드라이버, 차량부와 로봇 본체에 전원 공급을 위한 배터리, 배터리 전원을 둘 이상의 전원레벨로 변환 공급하는 컨버터가 구비된 하우징 박스를 포함하고 있다.

Fig. 1은 로봇의 시스템 구성에 필요한 부품도를 나타내며 크게 제어부, 동작부, 구동부 그

리고 통신장치로 구분할 수 있다.

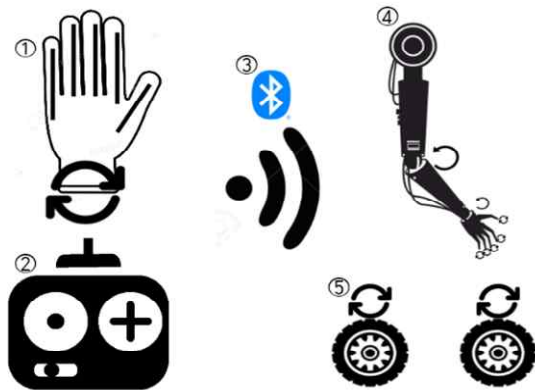


Fig. 1 A Rough Sketch of the Work

제어부(①, ②)는 플렉스센서, 자이로센서 그리고 MCU로 구성되며 제어부를 소형화하기 위해 Arduino Mini를 사용하였다. 플렉스센서와 자이로센서로 손가락 구부림 정도 및 손목의 기울기를 파악하는 역할을 한다(Min, 2011; Park, 2014; Song et al., 2016; Kim et al., 2017, Lee, 2017; Choi et al., 2018).

제어부는 사용자가 직접 착용하고 손가락을 움직여 미세한 컨트롤을 할 수 있도록 장갑형으로 개발하였다. 손가락의 움직임을 정밀하게 측정하기 위해 각 손가락마다 플렉스 센서를 부착하여 접하는 정도를 측정할 수 있으며, 손목 부분에 부착한 자이로 센서를 통하여 손의 기울기를 측정한다.

통신 장치 ③은 라즈베리파이를 이용한 제어부에서 측정된 센서 값을 내부에 장착된 블루투스 모듈을 이용해 각 부분으로 송신한다.

동작부 ④는 제어부에 수신되는 플렉스센서와 자이로센서 값에 따라 3D 프린터로 제작한 로봇 손을 서보모터를 사용하여 주요 부분에 동력을 전달한다.

마지막으로 구동부 ⑤는 이동성을 위해 메카넘휠을 사용하며 주요 특징인 전 방향 이동을 위해 DC 기어모터와 모터 드라이버로 구동부를 제어한다.

2.1 하드웨어 및 소프트웨어 구성도

시스템을 구성하는 하드웨어의 구성은 Fig. 2에 그리고 시스템 작동 알고리즘은 Fig. 3에 각각 나타내고 있다. 각 부분이 서로 센서값 또는 컨트롤 신호를 송수신하기 위해 통신 장치인 블루투스모듈(HC-06)을 필수적으로 부착하고 있으며, 영상출력부는 사용자가 쉽게 제어할 수 있게 자체 개발한 앱에 출력한다.

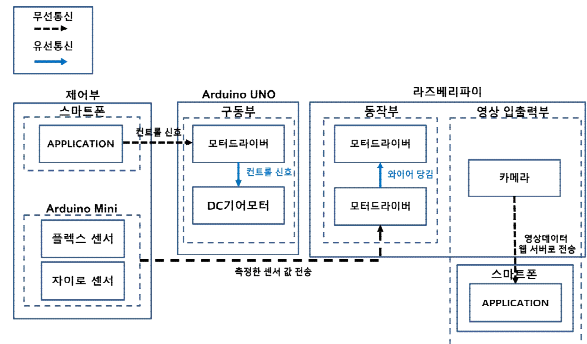


Fig. 2 H/W Configuration Diagram

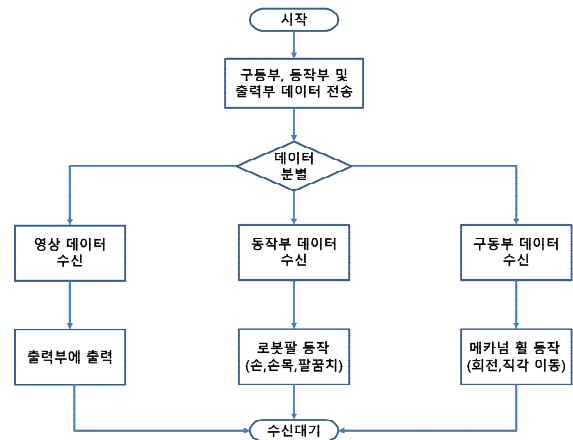


Fig. 3 System Operation Algorithm

구동부, 동작부, 출력부가 수신한 데이터를 각 MCU에서 변수 맵핑 또는 컨트롤 신호 분별을 통해 영상 출력 또는 로봇팔 동작, 메카넬 휠 동작을 구현한다. 제어부에서 각 부분으로 송신하는 센서 값 및 컨트롤 신호는 10ms 간격으로 송신한다.

소프트웨어 구성도는 Fig. 4에 나타난 것과 같으며 총 6개의 플렉스 센서와 자이로 센서의

값을 라즈베리파이에서 식별하는 것이 가장 중요하다. 이를 위해 플렉스 센서들의 최종 맵핑 값에 변별력을 두어 라즈베리파이에서 수신 시 식별이 가능하도록 하였다. 자이로 센서도 6개의 플렉스 센서값을 송신 후 마지막에 식별을 위해 맵핑된 값을 사용한다.

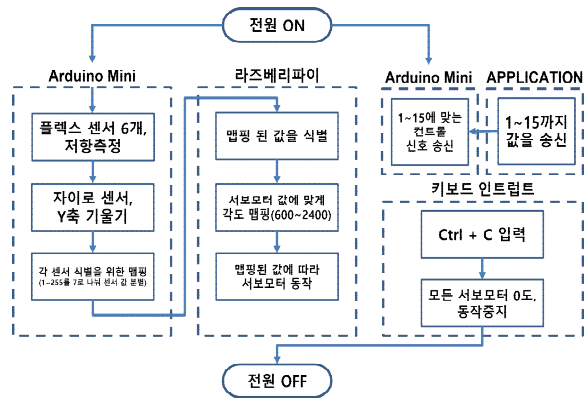


Fig. 4 S/W Configuration Diagram

2.2 하드웨어 설계 및 앱 구현

동작부 하드웨어 구성을 위한 플렉스 센서를 부착한 장갑을 이용하는 제어부 및 최종 제작된 로봇의 외형을 각각 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내고 있다.

로봇 손의 외형은 3D 프린터 이용하여 제작했으며 관절 사이에 파라 코드 와이어 및 나일론 와이어로 연결하였다. 서보모터를 이용하여 손가락 동작, 손목 동작, 팔꿈치 동작을 구현하고 부분마다 동력 전달원을 알맞게 설정하였다.

손가락은 서보모터와 와이어를 연결하여 기본 동작을 확인하여 제작하고, 손목의 동작은 서보모터와 서보 혼을 이용해 직접 동력을 전달하는 형태로 구현하였다.

구동부 하드웨어는 구동부를 부착할 알루미늄 프로파일을 이용하여 하단부를 제작하고 여기에 모터 및 브라켓을 장착하였다. 마지막으로 메카넘 휠 부착 후 3D 프린터로 케이스를 제작하여 모터드라이버와 배터리를 장착하였다.

애플리케이션은 앱 인벤터로 제작하였고 실시

간 스트리밍을 확인할 수 있도록 웹 뷰어를 사용하였다.



(a) (b)

Fig. 5 (a) Gloves with Flex Sensor
(b) Assembled Control Unit

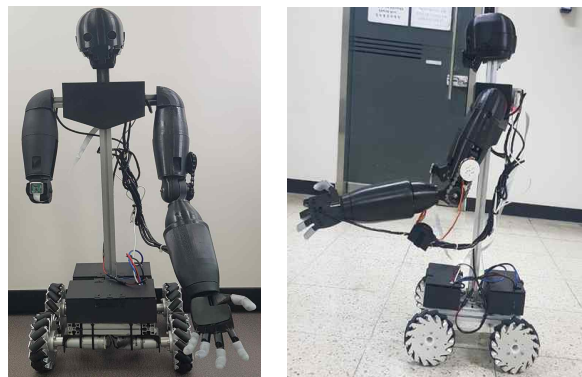


Fig. 6 Final Finished Work

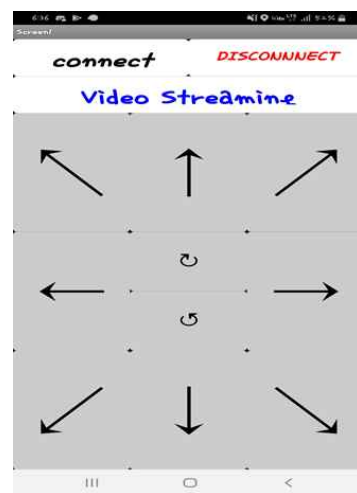


Fig. 7 Control Panel Developed Using App Inventor

3. 실험결과

성능 지표의 기준이 되는 설계 목표사양은 Table 1에 나타내고 있다. 이중에서 중요한 항목으로, 운반 가능한 최대 중량은 로봇 손을 이용해 작은 위험 물체 혹은 도구를 파지해야 하므로 약 1.5~2kg을 목표로 하였다. 이동 가능한 최대 경사는 국토교통부령 도로의 구조 및 시설 기준에 관한 규칙에서 각 도로의 최대 종단경사도를 참고하여 해당 로봇이 외부에서도 사용할 수 있도록 설계 목표치를 설정하였다.

마지막으로 최대 통신거리는 장애물 여부에 따라 다르지만, 원격으로 작업하기 위해 최소 100m를 성능지표로 하였다. 이동속도는 전체적인 로봇의 형태와 무게를 고려하였고 사람의 도보 속도보다 조금 빠른 시속 6km 정도로 설정하였다.

Table 1 Design Specifications

Item	Design Spec.
robot size(mm)	380×400×960
robot weight	12kg
carryable weight	2kg
movable slope	15°
communication distance	150m
speed	6km/h
power consumption	70W
usable time	2.5 hour

먼저 개발한 로봇의 여러 가지 동작을 확인하였다. 사용자가 끼고 있는 장갑의 구동부 컨트롤러를 통해 로봇의 손가락 및 손목의 기본 동작을 확인하였다. 다음으로 사용자의 손동작(구부림)에 따라 물체(휴대폰)를 파지할 수 있음을 확인하였다.

마지막으로 사용자의 구동부 컨트롤러를 통해 운반할 목적지까지 이동하였고, 사용자의 손목 동작(돌림) 및 손동작(핍)으로 물체를 전달하는 과정을 확인하였다. 측정은 경사도가 13° 이하인 지형에서 개방된 환경을 기준으로 통신거리 100m 이하에서 실행하였다.

동작 확인을 기반으로 실제 로봇의 성능을 실험한 결과를 아래와 같이 정리하였으며, 설계

목표 사양을 만족하고 정상 작동하였다.

1) 로봇 손이 운반 가능한 최대 중량

- 로봇 손이 운반 가능한 최대 중량은 500mL 물병을 넣은 종이 가방을 5초간 견디는 것을 1회로 카운트함.
- 물병의 수를 늘여가면서 5회 측정한 결과, 1.5kg 구간까지는 안정적으로 견디지만 2kg 이상에서는 불안정하여 5회 중 1회 정도 성공함.
- 팔꿈치 동작을 구현하여 최대 운반 무게의 개선 가능성.

2) 로봇의 이동 가능한 최대 경사

- 로봇이 경사 5°~15°를 넘어가는 경우 1회로 카운트함.
- 총 5회 측정한 결과, 경사도 5°~13° 구간에서는 안정적인 주행을 하지만 14° 이상의 경사 구간에서는 불안정한 주행을 나타냄.
- 최대 13°까지 이동 가능함을 확인하였고 로봇의 무게 중심을 낮추어 이동 가능한 최대 경사를 개선할 수 있으며, 측정 환경(노면의 젖음, 노면의 포장 상태 등)에 따라 이동 가능한 최대 경사는 달라질 수 있음.

현재 구동부 중심에는 알루미늄 프로파일을 이용해 뼈대를 제작하였으며, 뼈대 사이 공간에 알루미늄 프로파일을 추가하여 무게중심을 조절할 수 있다.

메카닉 휠은 불규칙한 노면이나 요철에 대해 매우 민감하게 반응할 수 있다. 따라서 이러한 환경에서 사용하는 작업보조 로봇은 구동부 바퀴로 캐터필러(궤도바퀴)를 사용하면 문제를 개선할 수 있다.

3) 사용자와 로봇의 최대 통신거리

- 사용자와 로봇의 최대 통신거리는 개방된 장소에서 구동부를 동작시켜 확인함
- 아두이노와 라즈베리파이가 블루투스 통신하며 통신여부 확인은 라즈베리파이 수신데이터를 터미널에서 확인하여 송수신이 잘 이루어졌는지 파악함.
- 사용자와 로봇의 통신 신호가 끊어지기 1초 전의 거리를 최대 통신거리로 설정함.

- 20m 간격으로 거리를 늘어가면서 5회에 걸쳐 측정한 결과, 140m까지는 안정적인 통신이 가능하며, 140m~160m 구간은 부분적으로 안정적인 통신 그리고 160m~180m 구간은 불안정한 통신을 나타냄.
- 블루투스 모듈(HC-06)을 상위 모델로 교체하면 최대 통신거리 개선 가능함. 다만, 측정 환경(측정 사이 방해물)에 따라 통신거리는 달라질 수 있음.

작업보조로봇의 사용 용도 혹은 환경에 따라 블루투스로 원격조정 가능한 거리보다 먼 경우에는 무선통신모듈(HC-12)를 이용하여 제작하면 통신거리는 최대 1km로 증가될 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 사용자의 다양한 작업 환경을 고려하여 원격 제어가 가능한 이동식 로봇을 설계하였다. 본 작품의 평가를 위해 로봇 손의 운반 가능한 최대 중량, 로봇의 이동 가능한 경사 등 성능을 테스트하였다. 시험 평가 결과 목표한 대부분의 설계 사양을 만족함을 확인하였다. 다만, 운반 가능한 중량에 있어서는 당초 목표보다 10% 정도 부족하였다.

실제 평가 실험은 다양한 작업환경보다는 일반적인 환경에서 이루어졌지만, 화학물질 처리 등 고위험 작업에서 위험요소를 줄이는 보조장치로 이용될 수 있음을 보여준다.

제안한 이동식 원격 작업 로봇과 제어시스템 및 제어방법에 따르면, 기존의 작업로봇에 비해 손쉽게 제작할 수 있어 작업로봇에 대한 시장 활성화를 기대할 수 있다. 그리고 간단하고 손쉬운 조정장치를 통한 작업로봇의 이동이 가능하며, 사용자 자신의 팔 움직임에 따라 로봇 팔을 동기화시켜 구동시킬 수 있어서, 초보자도 손쉽게 작업로봇을 제어할 수 있다. 이로 인하여 위험요소가 많은 작업환경에서 안전사고 발생률이 저감되며, 작업자의 육체 피로도 감소로 인하여 작업능률이 향상되는 효과도 기대할 수 있다.

향후 개선 사항으로는 고출력 모터 사용에도 불구하고 프레임 재질의 한계와 와이어 사용에 따른 로봇 손의 악력 부족 개선과 팔꿈치 서보 모터에 금속 서보 혼 장착으로 팔꿈치 동작 수행 과정 중 서보 혼의 마모를 방지하는 것이다. 또한, 로봇의 각종 배선 정리와 마감처리를 통해 디자인적 요소를 개선하고, 로봇의 오른팔에 장착한 카메라를 동작시켜 사용자가 원하는 각도의 실시간 스트리밍 구현이 필요하다.

References

- Choi D. K., Mun M. G., Seo J. H. and Mun I. J. (2018). Design of Finger rehabilitation device using Digital Servo-Motor, *Proceedings of the Korean Society Of Computer And Information Conference*, 26(1), 185-186.
- Kim H. S., Song W. and Hong M. (2017). Manufacture Interactive Virtual Reality Controller Using Flex Sensor, *Proceedings of Korea Information Processing Society Conference*, April, pp. 1086-1087.
- Kim J. J., Koh D. Y., Park J. S. and Kim C. H. (2020) Development of a Mobile Autonomous Manipulation Robot for Non-Structured Environments, *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A*, 44, pp. 133-139
- Kim R. S., Ryu S. H., Park J. S. and Jin T. S. (2015). Design of an Omni-directional Mobile Robot based on Mecanum Wheel, *Proceedings of Korean Institute of Intelligent Systems Conference*, April, pp. 103-104.
- Kong T. H. and Lee W. C. (2016) Remote Control System for a Mobile Robot with a Robotic Arm, *The Journal of KI*, 14(7), pp. 21-28.
- Lee S. R. (2017). Implementation of Driving Control System Based on Motion Detection

Using Flex Sensor, *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, 42(10), 2031-2034.

Min H. G. (2011). *Design of Complementary Filter using MEMS-type Gyroscope and Accelerometer*, Ph. D. Thesis, Graduate School of Chang-Won National University, Chang-Won, Korea, pp. 5-24.

Park J. C., Jo Y. R. and Ryu J. R. (2017). Automatic Cocktail Maker Based on Bluetooth *Proceedings of KIIT Conference*, Jun. pp. 323-326.

Park J. H. (2014). *Research regarding the control system of auto side mirror used in electric vehicles using gyro-sensor*, M.S. Degree Thesis, Graduate School of Industry and Technology, Chonnam National University, pp. 14-27.

Song H. G. and Joo M. G. (2016). Implementation of Driving Control System Based on Motion Detection Using Flex Sensor, *Proceedings of KIIT Conference*, Jun. pp. 424-425.



윤 동 관 (DongKwan Yoon)

- 대구대 전자공학전공 공학사
- 현재: 한양대학교 전자공학과 석사과정
- 관심분야: 3D NAND flash memory, TCAD simulation, 로봇공학



박 철 영 (CheolYoung Park)

- 정회원
- 경북대 전자공학과 공학학사
- 경북대 전자공학과 공학석사
- 도호쿠대 공학박사
- 현재: 대구대학교 전자전기공학부 교수
- 관심분야: 디지털시스템설계, 지능집적시스템, 퓨처모빌리티