

---

# 로봇 팔의 제어를 위한 포텐셜미터를 이용한 팔 움직임 감지 시스템 개발

박기훈\* · 박성훈\* · 윤태성\* · 곽근평\*\* · 안호균\* · 박승규\*\*\*

Development of Arm Motion Sensing System Using Potentiometer for Robot Arm Control

Ki-hoon Park\* · Seong-Hun Park\* · Tae-Sung Yoon\* · Gun-Pyong Kwak\*\* · HO- Kyun Ann\* · seung-kyu Park\*\*\*

---

이 논문의 연구에 참여한 연구자는 「2011년도 2단계 BK21 사업」의 연구비를 지원받았음

---

## 요 약

본 논문은 사람 팔의 움직임 감지 시스템을 제안한다. 기존의 모션측정 장비들은 고가이거나 혹은 특수한 장소가 따로 필요하였다. 또한 측정된 데이터들을 필요한 데이터로 변환하는 추가적인 시간도 필요하였다. 본 논문에서는 사람이 입을 수 있으며 가격이 매우 저렴하고 추가적인 데이터 변환이 필요 없는 시스템을 개발 하였다.

## ABSTRACT

In this paper, an arm motion sensing system using potentiometer is developed. Most motion sensing systems use optical method for the quality of motion data. The optical method needs much cost for manufacturing capture system and takes much time for correcting the captured data. And mechanical method entails relatively low cost, but it uses the wires and takes much time for correcting the data like the optical method. For solving the problems, in this paper, an arm motion sensing system is newly developed using low cost potentiometer and based on the suggested simple calculation method for the joint angles and the angular velocities. For the verification of the performance of the developed system, practical experiments were executed using real human arm motion and a robot arm. The experimental results showed that the motion of the robot arm controlled by the output of the developed motion sensing system is much similar with the motion of human arm.

## 키워드

모션 측정, 포텐서미터, 사람 팔, 팔 움직임

## Key word

motion sensing, potentiometer, arm motion, human arm

---

\* 정회원 : 창원대학교 전기공학과  
\*\* 종신회원 : 창원대학교 전기공학과  
\*\*\* 정회원 : 창원대학교 전기공학과 (교신저자, skpark@changwon.ac.kr)

접수일자 : 2012. 03. 07  
심사완료일자 : 2012. 03. 24

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2012.16.4.872>

©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.

## I. 서 론

모션 측정은 모션 캡처라고 하며 1970년대 말부터 알려지기 시작한 기술이다. 1980년대 컴퓨터를 이용하면서 인간의 동작분석이 학문적으로 시작되었다. 신체의 여러 부분에 센서를 부착한 뒤 센서의 위치 값을 통해 로봇이나 가상의 캐릭터가 같은 동작으로 움직이게 하는 것이 이 기술의 핵심이다. 실제 물체의 움직임을 컴퓨터에 입력해 수치적 데이터로 저장하는 것을 말하며 가장 활발하게 사용하는 분야는 영화이다.

모션 캡처를 이용해 CG로 작업한 영화는 무수히 많다. 대표적으로 1989년에 개봉한 ‘배트맨’이나 1991년의 ‘터미네이터 2’의 액체 금속 로봇이 있다. 영화에서는 실제 촬영 중 일부를 모션 캡처를 활용해 영상을 담아내지만, 3D 애니메이션 영화의 경우 등장하는 사람과 흡사한 움직임과 얼굴 표정등을 담아내기 위해 사람의 관절에는 특수마커를 부착하고 얼굴에는 격자로 마커를 그린다. 그 후에 마커들의 위치, 회전 데이터를 특수 장치에 실시간으로 입력하여 모션커브(motion curve)를 만들게 된다.

사람의 모션을 측정하는 방식은 두 가지로 볼 수 있다. [1],[2],[3] 있다. 첫 번째는 마그네틱 와이어 방식으로 유선형이며 두 번째는 적외선 리플렉터를 이용한 무선 방식이 있다.

마그네틱 와이어 방식은 액터(actor : 착용자)의 각 관절 부위에 자석형의 센서를 부착 센서의 스텝을 파악하여 모션을 샘플링 하는 방식이다. 센서는 자석으로 되어 있고 각 센서는 스텝 값을 추적하는 계측 유닛에 붙어 있으며 센서의 수만큼 유닛을 늘려줘야 한다. 상대적으로 가격이 싸며, 운용하기 쉬운 장점이 있으나 유선(wire) 방식이므로 많은 전선들로 인해 액터가 자유로운 모션을 취하기 어려우며 초당 측정되는 데이터의 양이 적기 때문에 유실되는 동작이 상당히 많은 단점이 있다.



그림 1. 마그네틱 와이어 방식  
Fig. 1 Magnetic wire type

적외선 리플렉터 방식은 액터의 관절 부위에 마커를 달고 6~8대의 카메라가 2차원적으로 포착하여 그 움직임을 3차원적으로 추적하는 방식이다. 액터의 관절 부위에 센서 역할을 하는 적외선 마커(marker, 리플렉터)를 붙이는데 이는 작은 공의 형태로 적외선 반사 물질이 붙어 있으며 특별한 전자 장치는 없다. 6~8대의 카메라로 마커들의 위치를 추적하여 카메라 한 대당 하나의 컴퓨터와 연결하여 3차원 데이터로 분석되며 이를 워크스테이션에 입력하게 된다. 이 방식은 무선(wireless)이므로 액터의 동작에 방해가 거의 없고 각 관절에 마커의 개수만 늘려주면 되므로 다수의 액터를 한꺼번에 측정할 수 있는 장점도 있다. 하지만 이 방식은 상당히 넓고 큰 공간이 필요한데 최소 10m<sup>2</sup> 이상의 넓이가 필요하다. 또한 시스템의 가격이 매우 비싸며, 유지 보수도 어렵다는 단점이 있다.



그림 2. 적외선 리플렉터 방식  
Fig. 2 Infrared reflector type

모션 측정 기술은 영화뿐만이 아니라 로봇을 컨트롤 하는 제어기(controller)를 개발을 하는데도 활용될 수 있다. [4],[5],[6] 사람과 닮은 휴머노이드 로봇의 경우 사람과 같은 동작을 필요로 하는데, 앞서 설명한 방식 중 마그네틱 와이어 방식의 유선이라는 단점과 적외선 리플렉터 방식의 고비용의 단점을 커버할 수 있도록 로봇 제어기는 가볍고 이동성이 좋으며 가격이 저렴해야 한다. 또한 범용으로 어떠한 로봇에도 적용이 가능하다는 장점이 있어야 한다.

이를 위해 본 논문에서는 다음과 같은 새로운 형태의 로봇 제어기를 제안한다. 먼저 인체 상부에 옷처럼 입고서 어깨부터 손목까지의 움직임을 실시간으로 측정하여 무선으로 데이터를 보내주는 장치를 설계하고자 한다. 최소 20명의 평균적인 팔의 길이와 두께, 각 관절 회전량을 측정, 기록하여 이 데이터의 평균을 기준으로, 길이는 ±100mm로 조절을 할 수 있도록, 그리고 두께는 지름을 기준으로 +50mm로 운동을 전문적으로 하지 않은

일반인이라면 누구나 사용할 수 있도록 설계하고자 한다. 그 후 팔의 각 관절의 각도를 측정하는 포텐서미터 (potentiometer)로 제작된 8축 각도 측정 시스템을 설계하고자 한다.

이 시스템에는 각 관절에서 매초 측정되는 각도 데이터가 최소 10개이며 이동 평균을 적용한 경우 최소 20개 이상의 각도 데이터를 출력할 수 있는 제어기를 설계하기로 한다. 그리고 출력된 데이터를 로봇에 적용함으로써 제안된 모션 측정 시스템의 적합성을 검증하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 1장 서론에서는 연구의 필요성과 배경, 연구 방법에 대해 기술한다. 제 2장에서는 모션 측정 장비의 해부학적 모델과 운동성, 사람의 팔의 길이, 두께에 따른 기계적인 설계에 대해 기술하고 제 3장에서는 포텐서미터의 장단점, 포텐서미터를 이용한 각도 측정 방법, 이동 평균을 이용한 각도 추정 제어기 설계 방법에 대해 기술한다. 그리고 제 4장에서는 제안된 각도 측정 시스템의 적합성을 검증하기 위한 데이터 측정 및 실제 팔 로봇을 사용한 실험 과정 및 결과에 대해 기술한다. 마지막으로 제 5장에서는 본 연구의 결론에 대해 기술한다.

## II. 모션 측정 장치

이 기구의 총 무게는 약 2.4Kg 이며 팔 하나당 8개의 센서가 사용되어 총 16개의 센서를 사용한다. 그림3은 CAD로 3D 작업을 한 것이다.

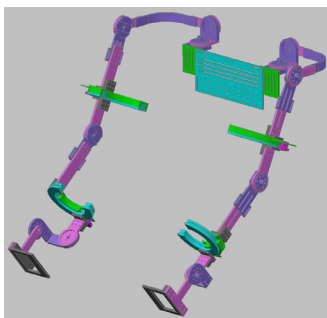


그림 3. 전체 기구 설계

Fig. 3 Design of the overall motion sensing apparatus

그림 4는 제작을 완료하여 사람이 착용한 사진이다. x, y축 상의 포텐서미터가 장착된 프레임 주변을 과도한 움직임에 의한 파손을 막기 위해 와이어를 사용하여 감아 두었다.



그림 4. 전체 기구 제작

Fig. 4 Manufactured overall sensing apparatus

## III. 포텐서미터 제어 시스템

모션 측정 장비는 아래와 같이 포텐서미터와 Atmega 128을 이용한 각도측정 제어기가 있으며 제어기 내부에는 모션커브를 이용한 각도 추정 제어기가 포함되어 있다. 팔의 움직임을 측정하기 위해서 모션 측정 장비에 포텐서미터를 사용하였다. 그림 5의 왼쪽포텐서미터는 각도 변화량이 300°정도로 대부분의 움직임을 측정할 수 있지만 상지와 하지의 z축의 경우 최소 2회전을 하여야 하므로 그림 5의 오른쪽 포텐서미터를 사용하였다.



그림 5. 포텐서미터

Fig. 5 Potentiometer

팔 한쪽을 측정하기 위해서 ATmega 128이 하나 필요한 것이다. A/D 컨버터를 고속으로 사용하기 위해서 나머지 특수한 시스템들은 사용하지 않았다. 일반적인

A/D 컨버터 칩의 경우 측정 시간이 매우 고속이며 정밀하지만 매우 고가이며, 결과적으로 A/D 컨버터 칩에서 출력되는 데이터를 처리하는 Main MCU가 필요함으로 ATmega 128을 이용해 A/D 컨버터 기능과 동시에 데이터의 처리 전송을 하고자 한다. 제작된 제어기를 통해 포텐서미터의 데이터를 받아와 무선으로 전송하기 위한 시스템을 그림 6과 같이 설계하였다.

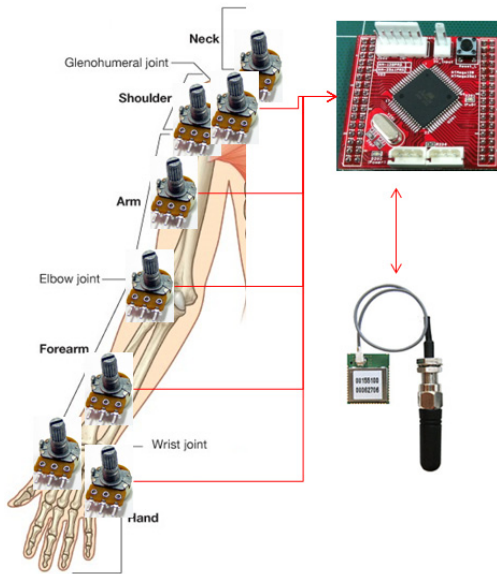


그림 6. 포텐서미터 데이터 무선 전송 시스템  
Fig. 6 Wireless system for transmitting the potentiometer data

지그비를 이용한 시리얼 통신을 하였으며 ATmega 128에서 각 포텐서미터의 전압값을 받아서 초당 10개씩 컴퓨터로 전송하도록 하였다.

그림 3에서 보면 손목의 회전은 하지 전체가 비틀어지는 구조이다. 또한 상지에서도 회전부분이 있으며 보통 이 두가지를 합하여 손목의 최대 회전 반경이 된다. ATmega 128이 A/D 컨버팅을 하여 각 포텐서미터의 값을 무선으로 송신 할 수 있었다. 하지만 모션 측정 장비 착용 후 빠른 움직임을 하였을 경우 중간 중간의 많은 데이터들이 유실되었다.

초당 10개의 데이터는 초당 10프레임의 값을 가지고 있다는 뜻이고 이는 100ms당 하나의 데이터를 가지게 되는 것이다. 적외선 리플렉터 측정의 경우 초당 100개에

서 125개의 데이터를 처리하고 마그네틱 와이어 측정의 경우 초당 5개 에서 10개의 처리 한다. 각도는 포텐서미터의 동작범위가 0°에서 300°이고 동작전압이 4.8V이므로 각도 1°당 전압변화량은 0.016V가 되며 이는 프로그램 내에서 16의 변화량이 각도 1°가 된다. 각속도는  $w = d\theta/dt$ 로 시간적 변화율당 회전각도로 나타낼 수 있다. 포텐서미터의 측정시작과 동시에 ATmega 128의 타이머, 카운터를 연동시켜 데이터 측정 시마다 시간을 측정한다. 측정한 시간과 각도 변화량을 이용해 계산하게 된다. 포텐서미터의 아날로그 값을 측정 하여 디지털 각도와 각속도로 변환, 출력을 하였다. 현재의 시스템은 하나의 포텐서미터의 아날로그 값을 측정하여 디지털로 변환, 출력까지의 시간이 약 950 cycle, 0.00593 sec의 시간이 걸린다. 8개의 포텐서미터를 사용을 하므로 이론상으로는 총 0.0475sec 가 걸리며 이는 1초에 약 20번 측정할 수 있다. 1초에 20번의 데이터는 총 20개의 프레임을 만들 수 있다. 보통 적외선 리플렉터 방식은 초당 125프레임을 만들어 끊어지지 않는 부드러운 동작을 만들어 낸다. 최소 30프레임을 만들어야 끊어지지 않는 데이터를 얻을 수 있다. 그러므로 측정 횟수를 최대 20번, 20프레임을 이동 평균(moving averaging; MA)을 이용해 나누어 두 배 이상의 출력을 만들어 내고자 한다. 이 방식은 이전의 데이터와 이후의 데이터 사이의 값을 가상으로 만들어 출력량을 늘리는 방식이다. 즉 각도는 두 개의 값 사이의 값을 예측 가능함으로 측정시간은 같으면서 데이터의 양을 늘리는 방식이다. 이동 평균을 이용하여 데이터를 늘릴 경우 IMU 내부에서 계산시간이 추가 된다. 데이터의 양을 두배로 늘릴 경우 이론적 계산 시간은 약 50cycle, 0.0003125sec 이며, 최대 1/4까지 늘리면 계산시간은 약 200cycle, 0.00125sec가 매 측정 후 추가 된다. 결과적으로 초당 측정하는 데이터 량은 약 20개가 되고 출력 데이터는 약 80개가 된다. 그 이상 늘리게 되면 초당 측정 데이터 양이 적어져서 고속 모션을 측정할 경우 신뢰도가 떨어질 수 있다.

#### IV. 제어기 출력확인 및 실험

2장에서 해부학적 관점으로 해석하여 모션 측정 장비를 설계하였고 제작하였다. 3장에서는 포텐서미터를 이용한 각도 측정 제어기와 모션커브를 이용한 각도 추정

제어기에 대해서 알아보았다.

본 장에서는 2장에서 설계 제작된 모션 측정 장비에 3장에서 소개한 포텐서미터를 이용한 각도 추정 제어를 적용하고 그 결과를 측정과 실제 실험을 통하여 확인하고자 한다. 이를 위하여 1차적으로 측정 각도와 출력 각도, 각속도 데이터를 확인하고 최종적으로 바이오로이드를 이용한 로봇 팔을 제작하여 실제 실험을 수행하고 그 결과를 살펴보기로 한다. 8개의 포텐서미터를 이용하여 입력 값과 출력 값을 측정하고 그 데이터를 비교 분석하였다. 모두 같은 각도로 움직인다. 또한 이동 평균(1/2) 데이터를 추가로 출력하였다. 입력 각도는 무작위로 하였으며 회전 속도를 변화하여 진행 하였다. 출력 값 측정은 렘뷰를 사용하여 측정 하였다. 표 12의 입력 각도는 0°에서 정해진 각도로 변환했다가 0°로 돌아오는 값이며 측정시간은 하나의 데이터가 입력되는 시간이다. 각 관절의 최소 이동 각도와 최대 이동 각도를 기준으로 실험 하였다. 실험은 1초를 기준으로 총 3번을 하였으며 각 포텐서미터의 데이터를 평균하여 그래프 화 하였다. 그 결과는 그림 7과 같고 데이터의 양이 2배 많아 졌다. 그림 8은 각속도 그래프이다.

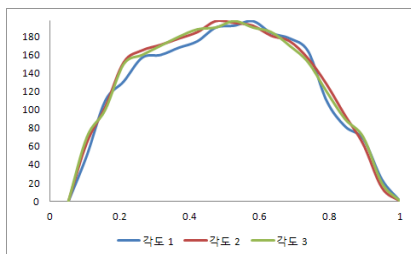


그림 7. 8개의 포텐서미터를 이용한 이동평균 각도 측정  
Fig. 7 Measured moving averaged angles using 8 potentiometers

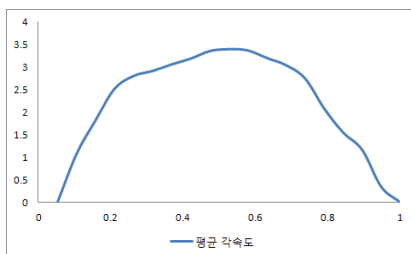


그림 8. 8개의 포텐서미터를 이용한 이동평균 각속도 측정  
Fig. 8 Measured moving averaged angular velocity using 8 potentiometers

바이오로이드는 ATmega128을 main MCU로 제작한 주제어기를 제공하고 있다. 하지만 이 제어기는 로보티즈사에서 제공하는 소프트웨어로 동작이 가능 하도록 되어 있으므로 사용하지 않고 따로 제어기를 구성하였다. 키트에서 사용한 부분은 다이내믹셀과 프레임이며 이를 이용하여 모션 측정 장치의 출력을 사용할 수 있는 로봇 팔을 만들었다.



그림 9. 로봇팔  
Fig. 9 Robot Arm

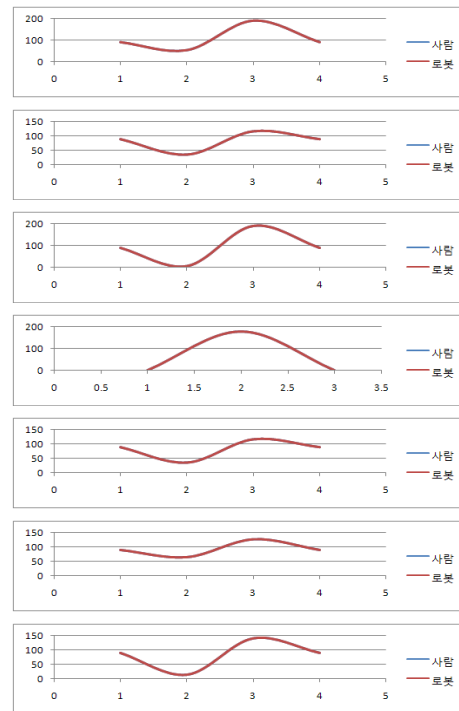


그림 10. 모션 측정 장비의 출력 값과 로봇 팔의 피드백 값의 비교  
Fig. 10 Comparison of the motion sensing system outputs and the feedback values of the robot arm

모션 측정 장치를 착용하고 앞서 제작한 로봇에 각도와 각속도 데이터를 주어 동작을 실험하였다. 다이 나믹셀로부터 피드백 되어 돌아오는 데이터와 제어를 통해 출력되는 데이터를 비교 하였다. 모션 측정 장비를 착용한 액터의 동작은 손을 지면을 향한 상태에서 손목과 상지의 z축 회전을 한다. 이 후 손목의 x, y축을 움직이고 이어서 팔꿈치를 최대로 움직이고 다시 편다. 마지막으로 팔을 좌우로 앞뒤로 움직인 후 종료한다. 검증을 위해서 제한적인 움직임을 기록하였다. 그림 10은 이동 평균을 적용한 모션 측정 각도와 로봇 팔의 각도이다.

## V. 결 론

본 논문에서는 포텐서미터를 이용하여 각도 및 각속도를 출력하는 모션 측정 장비의 설계를 제안하고 동작 실험을 통하여 그 결과를 살펴보았다.

인체의 해부학적 모델을 해석하여 팔의 각 부분을 분류하였고 분류된 팔의 각 부분에 대한 운동성을 알아보았다. 무작위로 선정한 20명의 사람들의 목에서부터 상지(arm)끝단 까지 길이와 상지에서 팔꿈치, 팔꿈치에서 손목, 손목에서 손바닥까지의 길이를 측정하여 평균적인 길이를 구하고, 또한 손목의 x, y, z축 최소, 최대 회전각, 팔꿈치 y, z의 최소, 최대 회전각, 어깨 x, y축의 최소, 최대 회전각을 측정하여 평균화 시켰다. 앞서 구한 길이와 회전각을 기준으로 상체 팔의 모션 측정 장비를 설계하였다. 그리고, 실제 모션을 측정하는 센서인 포텐서미터를 사용한 제어기를 개발 하였다. 이 제어기의 성능을 증가시키기 위해서 이동 평균 알고리즘을 적용하여 출력 데이터의 양을 최대 4배까지 늘릴 수 있도록 제어기를 설계하였다.

본 논문의 실험에서는 먼저 모션 측정 장비에 장착하지 않은 포텐서미터 제어기를 단독으로 또는 최대 8개를 따로 실험하여 입력과 출력을 비교 검증 하였다. 그런 후 본 논문에서 설계 제작된 모션 측정 장비에 포텐서미터 센서와 제어기를 설치하고 로보티즈사의 바이오로이드 제품으로 제작한 로봇 팔과 연동하여 그 성능을 검증하였다. 실제 동작 실험 결과 사람의 동작과 로봇의 동작이 유사함을 알 수 있었다.

하지만 댄스 춤과 같은 빠르고 각도 변화량이 많은 동작을 했을 시에는 로봇이 똑같은 동작을 보이지 않았다. 이는 각도가 빠른 속도로 변할 시 변화 최고점을 측정하지 못하여 최고점 이전과 이후의 각도 값으로 이동 평균을 하게되므로 도달 각도는 같으나 출력을 받아서 동작하는 로봇 팔의 동작은 최고 각도까지 도달하지 못하고 평균 각도로 이동하기 때문이다. 이를 보완하기 위해서 향후 여러개의 MCU를 사용하거나 고사양의 MCU를 사용하여 측정 횟수를 높이는 연구가 추가 되어야 할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 2011년도 2단계 BK21 사업의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] 이제희 “모션 캡처의 과거, 현재, 그리고 미래,” 정보과학회논문지 제27권 pp.24-29, 2003.
- [2] 김기현 “장애물에 의한 휴먼 모션의 적응적 변형기법,” 한국게임학회 한국게임학회지 제 6권 pp. 61-63, 2009.
- [3] 서용호, 두경수, 최종수, 이철우 “인체의 구조적 특성과 역운동학을 이용한 모션캡처,” 대한전자공학회 전자공학회지 제 47권 pp. 22-32, 2010.3.
- [4] 정일웅 “모션 캡처 데이터를 이용한 휴머노이드 로봇의 동작 생성,”KAIST 전산학전공, 석사논문, 2004.
- [5] 전풍우 “Exoskeleton 형태의 모션 캡처 장치를 이용한 이동로봇의 원격 제어,” 충남대학교 메카트로닉스공학전공, 석사논문, 2003.
- [6] 김승수, 김창환, 박종현, 유범재 “모션 캡처 DB를 이용한 휴먼노이드 로봇의 상태 동작 재생성,” 대한전기학회 제37회 하계학술대회 논문집 D, 2006. 38



저자소개



박기훈(Ki-hoon Park)

2010 창원대학교 전기공학과 졸업 (공학사)  
2012 창원대학교 전기공학과 졸업 (공학석사)

※관심분야: 로봇, 모션 측정



곽군평(Gun-pyeong Kwak)

1982 고려대학교 전기공학과 졸업 (공학사)  
1985 고려대학교 전기공학과 졸업 (공학석사)

1990 고려대학교 전기공학과 졸업 (공학박사)  
1990~1997 LG산전 연구소 CNC팀 팀장  
1988~현재 창원대학교 전기공학과 교수

※관심분야: 강인제어, 슬라이딩모드제어, 모션제어



박성훈(Seong-hun Park)

2008 창원대학교 전기공학과 졸업 (공학사)  
2011 창원대학교 전기공학과 졸업 (공학석사)

2011~현재 (주)KTE

※관심분야: 강인제어, 모션 측정



안호균(Ho-kyun Ahn)

1981 고려대학교 전기공학과 졸업 (공학사)  
1989 고려대학교 전기공학과 졸업 (공학석사)

1992 고려대학교 전기공학과 졸업 (공학박사)  
1992~현재 창원대학교 전기공학 교수

※관심분야: 전력전자, 모션제어, 대체에너지



박승규(Seung-kyu Park)

1984 고려대학교 전기공학과 졸업 (공학사)  
1986 고려대학교 전기공학과 졸업 (공학석사)

1990 고려대학교 전기공학과 졸업 (공학박사)  
1995~1996 영국 Starthclyde대 visiting scholar  
2003~2004 미국 Wisconsin대 visiting professor  
1989~현재 창원대학교 전기공학과 교수

※관심분야: 퍼지제어, 강인제어, 비선형제어



윤태성(Tae-sung Yoon)

1978 연세대학교 전기공학과 졸업 (공학사)  
1980 연세대학교 전기공학과 졸업 (공학석사)

1988 연세대학교 전기공학과 졸업 (공학박사)  
1994~1995 미국 Vanderbilt대 visiting professor  
1989~현재 창원대학교 전기공학과 교수

※관심분야: 퍼지제어, 신경회로망, 신호처리