

# 플렉스 센서를 활용한 모션 감지 기반의 주행제어 시스템 구현

이 상 록\*

## Implementation of Driving Control System Based on Motion Detection Using Flex Sensor

Sangrok Lee\*

요 약

본 논문은 플렉스 센서를 활용하여 모션 감지 기반으로 차량 주행을 제어하는 시스템을 구현한다. 플렉스 센서는 손가락의 휘어짐을 감지하고, 가변저항처럼 동작한다. 즉, 플렉스 센서의 휘어짐이 커질수록 센서의 저항값이 비례적으로 증가한다. 또한, 180도 휘어진 상태에서 저항값은 휘어지지 않은 상태보다 2배 이상의 값을 갖는다. 하지만, 플렉스 센서가 동일한 각도로 휘어지더라도 검출된 저항값들이 샘플에 따라 편차가 너무 크다. 따라서 본 논문에서는 플렉스 센서의 저항값을 정규화 과정을 거쳐 기울기와 offset을 보상하였다. 구현된 시스템은 리모콘과 2축 구동 차량으로 구성된다. 리모콘은 3개의 플렉스 센서를 통해 손가락의 움직임을 감지한 후 이를 블루투스 통신으로 전달한다. 2축 구동 차량은 리모콘에서 전달된 센서의 정보에 따라 조정되고, 실험결과 센서의 움직임에 따라 다양한 제어가 가능함을 확인하였다. 따라서, 구현된 기술은 조이스틱이 부착된 다양한 전자기기의 활용이 불편한 장애인이나 노인들에게 다양하게 적용가능하리라 기대된다.

**Key Words** : flex sensor, motion detection, wearable device, bluetooth

### ABSTRACT

In this paper, we implemented the driving control system based on motion detection using flex sensor. Flex sensor detects a bend in fingers and it acts like a variable resistor. The more the flex sensor is bent, the higher the resistance value is. The resistance value at 180 degree bend is minimum 2 times greater than the flat resistance. But, the resistance value of flex sensor varies greatly from sample to sample even if flex sensor is bent at the same angle. In this research the measured resistance value was normalized in order to compensate for the offset and the slope. Our prototype consists of remote controller and 2-wheel driving vehicle. The remote controller has three flex sensors to detect the motion of 3 fingers and transmits the detected data via Bluetooth communication to the 2-wheel driving vehicle. We confirmed that the control of the 2-wheel driving vehicle is possible according to the data of the flex sensor received from the remote controller. Therefore we expect that this technology has further applications, such as the disabled or elderly people who are not comfortable using electronic devices.

\* 본 논문은 2017년도 신한대학교 학술연구비 지원으로 연구되었음.

◆ First Author : Shinhan University Department of IT Convergence Engineering, srlee@shinhan.ac.kr, 총신회원  
논문번호 : KICS2017-07-194, Received July 6, 2017; Revised September 24, 2017; Accepted October 5, 2017

## I. 서론

최근 사물인터넷의 급속한 발전에 부응하기 위해 다양한 웨어러블(wearable) 기기들이 등장하고 있다. 다양한 센서들을 웨어러블 기기에 적용하여 구현한 사례들이 발표되었다<sup>1-6)</sup>. 특히, 플렉스 센서를 활용하여 손가락의 움직임을 인식하는 방식들도 제안되고 있다<sup>7-10)</sup>.

플렉스(flex) 센서는 휘어지는 정도에 따라 저항값이 변화하는 센서이다. 따라서, 플렉스 센서를 적용하면 인체의 움직임을 감지할 수 있기 때문에 웨어러블 기기에 활용될 수 있어 최근 활발히 연구되고 있다. 하지만, 참고문헌 [9]에서는 장애인을 위해 플렉스 센서를 활용하여 수신호를 표현하는 기기를 구현하였지만 플렉스 센서의 샘플에 따른 편차를 언급하지 않았다. 참고문헌 [10]에서는 플렉스 센서의 샘플에 따라서 기준값을 달리 적용하여 구현함으로써 현실적으로 적용하기 어려움을 보이고 있다. 따라서, 본 연구에서는 플렉스 센서의 특성을 파악한 후 기공기와 offset의 편차를 제거하는 과정을 적용하고자 한다. 특히, 3개의 플렉스 센서를 활용하여 손가락의 움직임을 감지할 수 있는 웨어러블 장갑을 구현하고, 감지된 정보들을 블루투스 통신을 통해 전달한 후에 2축 주행 차량의 주행을 제어하는 시스템을 구현하고자 한다. 2장은 시스템 설계과정으로 원격제어 리모콘과 무선 원격제어 차량의 설계 과정을 설명하고, 3장에서는 플렉스 센서의 특성분석 과정과 PCB 설계 과정 및 시스템 구현 결과를 설명한다.

## II. 시스템 설계

### 2.1 원격제어 리모콘

원격제어 리모콘은 손등에 장착되는 웨어러블기기 형태로 설계한다. 원격제어 리모콘의 기능은 3개의 플렉스 센서를 활용하여 손가락의 움직임을 감지한 후, 이 정보를 블루투스 통신으로 원격제어를 위해 2축 주행 차량으로 전달한다. 또한, 선택기능으로 조이스틱(Joystick)을 사용하여 원격제어 차량을 제어할 수도 있다.

그림 1은 구현된 시스템의 블록도이고, 3개의 플렉스 센서를 활용하여 손가락의 움직임 감지한 후 블루투스로 전달하는 원격제어부와 수신된 플렉스 센서의 위치와 휘어짐 정도를 활용하여 2축 주행 차량으로 구성된다.

그림 2는 원격제어 리모콘의 블록도이다. 원격제어

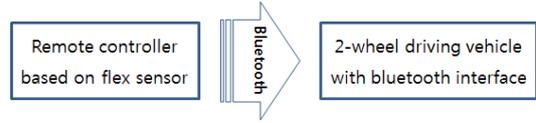


그림 1. 플렉스 센서 기반의 주행제어 시스템 블록도  
Fig. 1. Block diagram of driving control system based on flex sensor

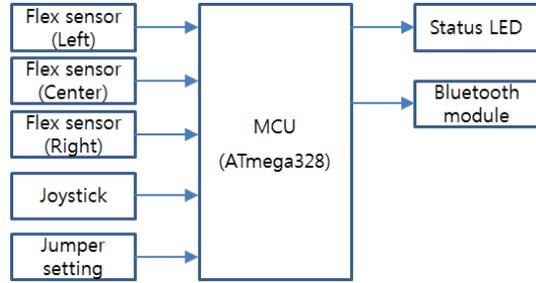


그림 2. 원격제어 리모콘 블록도  
Fig. 2. Block diagram of remote controller

리모콘에서 차량 제어를 위한 입력신호는 크게 플렉스센서, 조이스틱, 점퍼설정으로 구성된다. 손가락의 움직임을 감지하기 위해 3개의 플렉스센서를 적용하였고, 3개의 조합으로 차량의 주행상태를 다양하게 표현하고자 한다. 조이스틱은 선택사양으로 적용하여 플렉스 센서 없이 조절이 가능하도록 설계하였다. 점퍼 설정은 동작 모드에 따라 2가지로 구분된다. '1'이면 플렉스 센서의 휘어짐 정도를 ADC를 통해 읽어오는 정상 입력모드이고, '0'이면 플렉스 센서의 기준값 설정모드이다. 플렉스 센서의 기준값 설정모드에 대해서는 3장에서 자세히 설명한다.

표 1은 원격제어 리모콘의 사양이다. 손등에 장착할 수 있는 웨어러블 기기로 설계되었으므로 PCB 크기는 50mm x 35mm로 제한하였고, 소형화를 위해 MCU는 TQFP32 패키지의 ATmega328을 적용하였다. 블루투스 통신을 위해 HC-06 모듈을 마스터 모드로 설정하였고, USART 인터페이스로 연결하였다. 또

표 1. 원격제어 리모콘 사양  
Table 1. Specification of remote controller

	specification
MCU	ATmega328-AU
Clock speed	Internal 8MHz
Flex sensor	FS-L-0095-103-ST
Joystick	KY-023
Bluetooth module	HC-06 (Master)
PCB size	50mm x 35mm

한, 플렉스 센서는 손가락 움직임을 감지하기 위해 사용하였고, 적용된 모델은 95.25mm 길이의 Spectrasymbol사의 제품이다.

### 2.2 무선 원격제어 차량

무선 원격제어 차량은 블루투스 통신으로 전달되는 리모콘에서 검출된 센서 정보에 따라 2축 차량의 DC 모터를 제어하여 주행을 제어하는 기능을 한다. 그림 3은 무선 원격제어 차량의 블록도이고, 표 2는 차량의 사양을 보이고 있다.

원격제어 차량은 리모콘으로부터 전송되는 제어정보를 블루투스 통신을 통해 수신한다. 블루투스 통신은 HC-06 모듈을 슬레이브 모드로 설정하고, USART 인터페이스를 통해 연결하였다. 점퍼설정은 리모콘의 종류에 따라 2가지로 구분된다. '1'이면 본 논문에서 설계된 전용 리모콘을 활용하여 차량을 제어하는 모드이고, '0'이면 휴대폰과 같은 다양한 휴대기기를 활용한 제어 모드이다. 또한, 상태 LED는 제어 기기의 종류, 차량 방향 및 속도 등의 다양한 차량 상태를 표시한다.

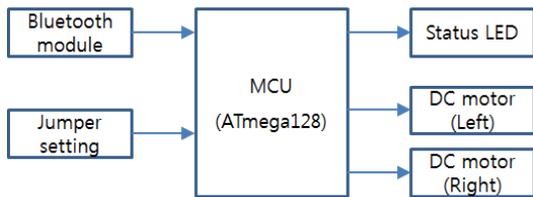


그림 3. 무선 원격제어 차량 블록도  
Fig. 3. Block diagram of 2-wheel driving vehicle

표 2. 무선 원격제어 차량 사양  
Table 2. Specification of 2-wheel driving vehicle

	specification
MCU	ATmega128-AU
Clock speed	Internal 8MHz
DC motor	RB-388, Hobby elec.
Bluetooth module	HC-06 (Slave)
PCB size	100mm x 70mm

## III. 시스템 구현

### 3.1 플렉스 센서 특성

본 논문에서는 플렉스 센서의 특성인 휘어짐 정도에 따라 다양한 기능을 구현하도록 설계되었고, 적용된 센서의 사양은 다음과 같다.

- 플렉스 센서의 휘어진 각도에 따라 저항값의 선형적 변화로 표현
- 휘어지지 않은 상태에서 저항값: 10kΩ +/-30%
- 180도로 휘어진 상태의 저항값은 휘어지지 않은 상태의 저항값보다 최소 2배 이상은 큼

그림 4는 6개 플렉스 센서의 특성을 측정한 결과이다. 플렉스 센서의 휘어짐 정도를 각도로 표현하였고, 휘어짐 정도에 따른 저항값을 측정하였다. 먼저, 그림 4에서 센서의 첫 번째 사양인 센서의 휘어진 각도에 따른 저항값의 선형적 변화를 확인할 수 있다. 단, 2번 샘플의 기울기가 가장 작고, 5번 샘플의 기울기가 가장 크다. 다음으로 각도가 0일 때와 140일 때의 저항값을 비교하면 6개의 센서 모두 세 번째 사양도 만족함을 확인할 수 있다. 또한, 휘어지지 않은 상태에서의 저항값은 3번 샘플이 7.13kΩ으로 가장 작았고, 5번 샘플이 10.25kΩ으로 가장 크다. 따라서 센서의 두 번째 사양인 휘어지지 않은 상태에서 저항값인 “10kΩ +/-30%”의 사양은 만족함을 확인하였다.

이와 같이 6개의 샘플 모두 플렉스 센서의 사양을 모두 만족하지만 샘플마다 휘어진 정도에 따른 저항값의 편차가 크다. 즉, MCU의 ADC를 통해 측정된 저항값이 15kΩ일 때 5번 샘플은 휘어진 각이 대략 30도이고, 2번 샘플은 휘어진 각이 대략 140도이다. 즉, 플렉스센서의 제조 공정상 오차가 커서 휘어진 각을 활용하여 차량의 다양한 제어에 직접 적용하기는 부적합해 보인다.

이를 보완하기 위해 본 논문에서는 플렉스 센서의 저항값을 식 1을 적용하여 정규화하였다.

$$N_x = \frac{R_x - R_0}{R_{90} - R_0} \quad (1)$$

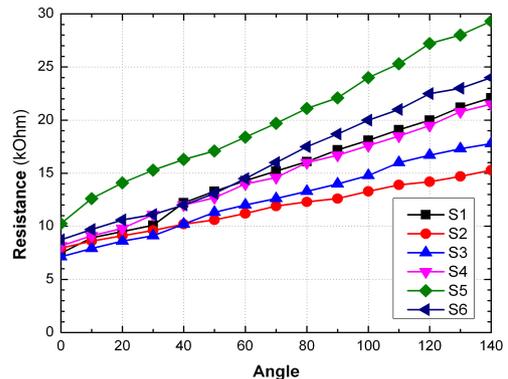


그림 4. 플렉스 센서의 특성  
Fig. 4. Characteristics of flex sensor

식 1에서  $R_0$ 은 휘어지지 않은 상태에서의 저항값,  $R_{90}$ 은 90도 휘어진 상태에서의 저항값,  $R_x$ 는  $x$ 만큼 휘어진 상태에서의 저항값이고, 이를 활용하여 정규화된 값은  $N_x$ 로 표현한다. 그림 5는 6개의 샘플에 대해 식 1을 적용하여 정규화된 값을 보이고 있다. 결과적으로 정규화 과정을 적용함으로써 6개의 샘플에서 offset이 사라지고, 기울기가 거의 유사해짐을 확인할 수 있다. 또한, 정규화 과정을 적용함으로써 플렉스 센서의 큰 오차에 상관없이 제어프로그램을 구현할 수 있다.

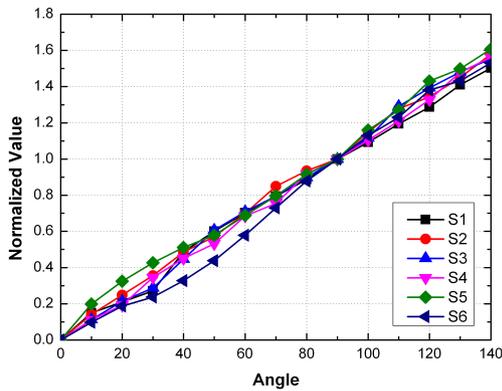


그림 5. 플렉스센서의 정규화된 특성  
Fig. 5. Normalized characteristics of flex sensor

### 3.2 하드웨어 구현

원격제어 리모콘은 그림 2의 블록도를 기준으로 회로를 설계하고, PCB를 구현하였다. 3개의 플렉스 센서는 각각 ATmega328의 ADC5, ADC6, ADC7에 연결하였고, 아날로그 조이스틱은 2축으로 ADC1과 ADC0에 연결하였다. 각각의 상태는 10비트 내부 ADC를 활용하여 처리하였고 인터럽트 방식으로 구현하였다. 점퍼설정은 플렉스 센서의 입력상태를 설정하고, INT1 핀으로 입력되어 외부인터럽트를 통해 구현하였다. 블루투스 모듈의 인터페이스는 USART 채널 0을 통해 구현하였고, 19200/8/n/1/n의 프레임으로 연결된다. 그림 6은 설계된 PCB를 활용하여 구현된 원격제어 리모콘의 실물 사진이고, 조이스틱을 연결한 예이다. 그림 7은 웨어러블 장갑에 설치된 실물 사진이고, 3개의 플렉스 센서가 각각 검지, 중지, 약지에 연결하여 손가락의 휘어진 정도를 입력받을 수 있다.

원격제어 차량은 그림 3의 블록도를 기준으로 회로를 설계하고, PCB를 구현하였다. DC 모터는 ATmega128에서 2개의 타이머를 활용하고, 모터 드

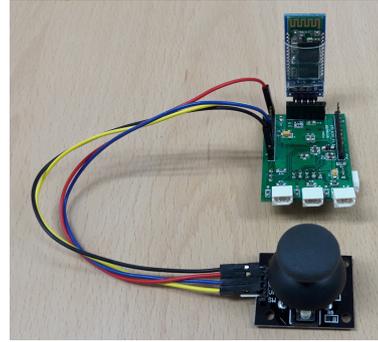


그림 6. 원격제어 리모콘 사진  
Fig. 6. Photo of remote controller

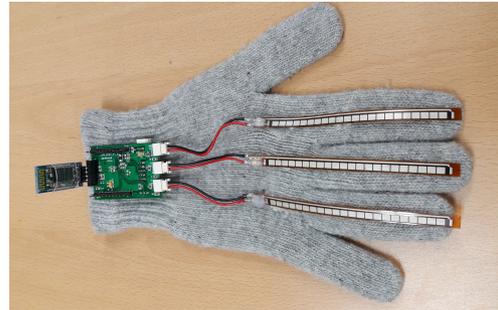


그림 7. 웨어러블 장갑 사진  
Fig. 7. Photo of wearable glove

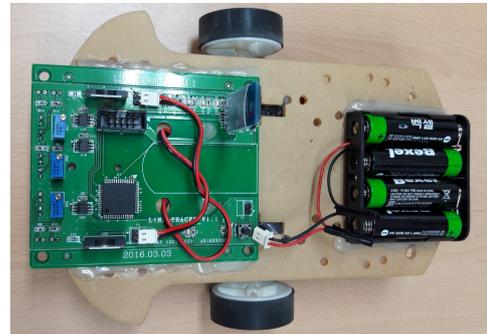


그림 8. 원격제어 차량 사진  
Fig. 8. Photo of remote-controlled car

라이버 IC를 통해 전진과 후진이 가능하도록 제어하였다. 즉, 왼쪽 바퀴는 타이머 0과 타이머 1A를 활용하여 PWM으로 제어하였고, 오른쪽 바퀴는 타이머 2와 타이머 1C를 활용하여 PWM으로 제어하였다. 블루투스 모듈의 인터페이스는 USART 채널 0을 통해 구현하였고, 19200/8/n/1/n의 프레임으로 연결된다. 또한, 차량의 상태는 5개의 LED를 활용하여 다양하게 표현하였다. 그림 8은 구현된 원격제어 차량의 실물 사진이고, 4개의 AA건전지로 구동되고 있다.

### 3.3 기능 구현

무선 원격제어 차량은 블루투스 통신으로 전달되는 리모콘에서 검출된 센서정보에 따라 DC 모터를 제어하여 2축 차량의 주행을 제어하는 기능을 한다. 플렉스 센서의 값은 식 1에 따라 그림 5와 같이 정규화된 후 최종적으로 활용된다. 정규화 과정을 위해서 리모콘에는 초기에 점퍼설정을 통해 플렉스 센서의 상태를 읽어오는 과정을 진행한다. 먼저 점퍼설정을 '0'으로 한 후에 3개의 센서가 휘어지지 않은 상태에서 저항값  $R_0$ 를 각각 측정한다. 다음으로 3개의 센서를 90도 휘어진 상태에서 저항값  $R_{90}$ 을 각각 측정한다. 정규화를 위해 필요한  $R_0$ 와  $R_{90}$ 를 측정한 후에 마지막으로 점퍼설정을 '1'로 전환한 후에 정상모드로 동작한다.

정상모드에서 3개 센서의 기본 기능은 다음과 같다. 중앙 센서는 차량의 속도를 제어한다. 중앙 센서의 휘어짐이 커질수록 속도를 비례적으로 증가한다. 왼쪽 센서와 오른쪽 센서는 차량의 회전 방향을 제어한다. 왼쪽 센서의 휘어짐이 커질수록 좌회전 각도를 비례적으로 증가하고, 오른쪽 센서의 휘어짐이 커질수록 우회전 각도를 비례적으로 증가한다. 이와 같이 3개 센서의 기본 기능을 조합한 주행 제어 흐름도는 그림 9와 같다. 1차적으로 중앙센서의 정규화 값  $N_x$ 에 따라서 동작 모드를 결정한다. 중앙 센서의  $N_x$  값이 0.2보다 적으면 'Brake mode'이고, 0.2보다 크면서

1.0보다 적으면 'Forward mode'이고, 1.0보다 크면 'Backward mode'로 모드를 전환한다. 모드가 결정되면 왼쪽 센서와 오른쪽 센서의 값에 따라 세부적인 동작이 이루어진다. 'Brake mode'는 3개 센서의  $N_x$  값이 동시에 0.2보다 작으면 차량은 즉시 정지한다. 'Backward mode'는 3개 센서의  $N_x$  값이 동시에 1.0을 넘으면 차량은 후진하고, 후진 속도는 최대속도의 50%로 동작한다. 'Forward mode'는 3개 센서의 값에 따라 차량의 진행 속도와 진행 방향을 결정하여 비례적으로 모터를 제어한다.

## IV. 결론

3개의 플렉스 센서를 활용하여 손가락의 움직임을 감지한 후 이를 활용하여 차량 주행을 제어하는 시스템을 구현하였다. 플렉스 센서는 손가락의 휘어짐을 감지하고, 휘어진 정도에 따라 저항값으로 표현된다. 하지만, 플렉스 센서는 동일한 각도에서 검출된 저항값도 샘플에 따라 편차가 너무 크다. 따라서 본 논문에서는 플렉스 센서의 저항값을 정규화 과정을 거쳐 기울기와 offset을 보상함으로써 편차가 적은 정규화된 값을 얻을 수 있었다. 실험 결과에서는 기울기의 편차가 26.2에서 3.6으로 감소하였다. 이를 적용하여 구현된 2축 구동 차량은 리모콘에서 전달된 플렉스 센서의 큰 오차에 덜 민감하면서도 균일한 제어가 가능함을 확인하였다. 따라서, 본 연구에서 구현된 결과는 조이스틱이 부착된 다양한 전자기기의 활용이 불편한 장애인이나 노인에게 다양하게 적용가능하리라 기대된다.

## References

- [1] G.-Y. Lee and S.-J. Kang, "Design of reassembly unit modular wearable device," *J. KICS*, vol. 41, no. 3, pp. 338-346, 2016.
- [2] H. Yoon, S.-H. Park, and K.-T. Lee, "Design and implementation of wearable user interface exploiting light sensor and proximity sensor," in *Proc. KICS Int. Conf. Commun.*, pp. 760-761, 2016.
- [3] P. B. Gaikwad and Dr. V. K. Bairagi, "Hand gesture recognition for dumb people using indian sign language," *Int. J. Advanced Res. Comput. Sci. and Softw. Eng.*, vol. 4, no. 12, pp. 193-196,

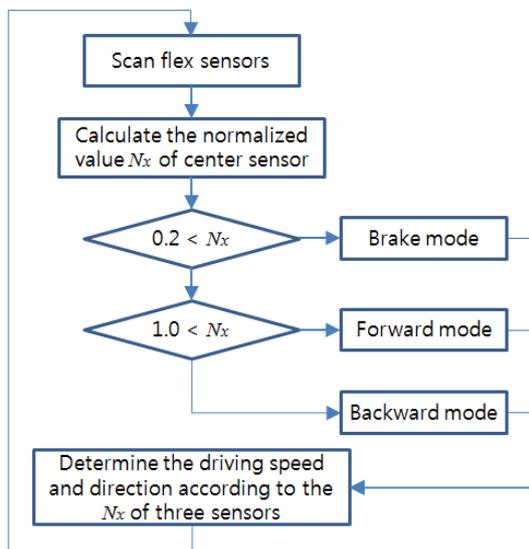


그림 9. 2축 주행 차량의 제어 흐름도  
Fig. 9. Control flowchart of 2-wheel driving vehicle

- 2014.
- [4] A. Raut, V. Singh, V. Rajput, and R. Mahale, "Hand sign interpreter," *The Int. J. Eng. and Sci.*, vol. 1, no. 2, pp. 19-25, 2012.
  - [5] J.-W. Kim, W.-Y. Lee, J.-H. Yu, and K.-B. Sim, "Autonomous mobile robot control using the wearable devices based on EMG signal for detecting fire," *J. Korean Inst. Intell. Syst.*, vol. 26, no. 3, pp. 176-181, 2016.
  - [6] S. Gu and K.-A. Sohn, "Sensor selection strategies for activity recognition in a smart environment," *J. KIISE*, vol. 42, no. 8, pp. 1031-1038, 2015.
  - [7] S.-B. Chung and J.-W. Kim, "A study of new interface system for the disabled and old people who do not well using electronic equipment," *J. KIICE*, vol. 16, no. 12, pp. 2595-2600, 2012.
  - [8] M. J. Hwang, "Sensor-based recognition of human's hand motion for control of a robotic hand," *J. Korean Academia-Ind. Cooperation Soc.*, vol. 15, no. 9, pp. 5440-5445, 2014.
  - [9] P. S. Aaisha and U. M. Rohitha, "Microcontroller based hand gesture recognition system using flex sensor for disabled people," *Int. J. Computer Appl.*, pp. 12-14, 2015.
  - [10] D. K. Barbole and Dr. D. V. Jadhav, "Hand gesture recognition using flex sensors," *Int. Eng. Res. J.*, vol. 1, no. 8, pp. 624-628, 2015.

이 상 록 (Sangrok Lee)



1991년 2월 : 고려대학교 전자  
전산공학과 졸업

1993년 2월 : 고려대학교 전자  
공학과 석사

1997년 8월 : 고려대학교 전자  
공학과 박사

1997년 12월~2000년 4월 : 한  
국전자통신연구원

2000년 5월~2002년 8월 : (주)텔리언

2002년 9월~현재 : 신한대학교 IT융합공학부 전자공  
학전공 교수

<관심분야> 임베디드시스템, IoT