

ZigBee를 이용한 수면 무호흡 검출

(Detection of Sleep Apnea Using ZigBee)

김 흥 윤*, 이 재 용*

(Hong-Yoon Kim, Jae-Yong Lee)

요 약 수면 무호흡증 환자를 진단하는 수면다원검사는 여러 가지 생체 신호를 함께 측정하므로 피검사자의 행동을 제약하며 비용이 많이 드는 단점이 있다. 본 논문에서는 피검사자의 심전도를 ZigBee 무선통신으로 컴퓨터 시스템에 전달하여 검사하는 방식을 제안 하였다. 이 방식은 환자의 자유도를 높였을 뿐 만 아니라 수면 무호흡 검사 장소의 제약성, 시간의 한계를 극복하여 저렴한 비용으로 검사가 가능하다.

핵심주제어 : 수면 무호흡, 수면다원검사, ZigBee

Abstract Polysomnography, a way of diagnosing patients for Sleep Apnea, measures several kinds of bio-signal simultaneously. So it makes patients' behavior restricted and the examination more expensive. In this paper, presents another way of examining patients' ECGs, which are transferred to a computer system through a new wireless communication, Zigbee. This way of using Zigbee has solved restrictions of places and time for Polysomnography; and thus it is possible to reduce the cost, as well as improving patients' liberty.

Key Words : Sleep Apnea, Polysomnography, ZigBee

1. 서 론

중년 성인에서 수면 무호흡증의 유병률은 2-4%이며, 이는 천식이나 당뇨병의 유병률과 비슷하다 [1]. 수면 무호흡증의 증상으로는 코골이, 무호흡, 숨 막힘, 혈떡거림, 수면 중 자주 깨는 현상뿐 만 아니라 주간 과다 졸림, 피로, 집중력 저하 등이 있다. 수면 무호흡증은 과도한 주간 졸음뿐 만 아니라, 지속되면 심장에 부담을 주어 고혈압과 뇌졸중, 심근경색증, 수면 중 사망 등의 빈도도 심각하게 증가 시킨다[2],[3]. 수면 무호흡증은 야간 수면다원검사를 통해 수면장애의 정확한 진단과 장애의 정도를 평가하여 무호흡이나 저호흡이 시간당 5회 이상이면 진단이 이루어진다[4].

그러나, 수면다원검사 비용이 워낙 고액일 뿐 만 아니라, 수면 중 뇌파, 안구 운동, 근전도, 심전도, 호흡, 혈중산소포화농도 등을 측정하는 특수한 계측 장비를 갖춘 병원의 수면실에서만 검사가 이루어져야하는 시간 및 장소의 제약성이 큰 문제가 된다. 그리고 수면 의학전문가가 피검사자의 취침 중에 발생한 여러 가지 생체신호를 비교 검토하여 수면 무호흡 유무를 진단해야 하는 등 의료 자원이 과도하게 소모되는 문제점도 크다.

뿐만 아니라, 수면다원검사는 여러 종류의 센서를 몸에 부착하기 때문에 피검사자의 행동을 제약하며 이로 인해 정상적인 수면이 이루어 지지 않아 정확한 진단을 할 수 없을 때도 있다.

이러한 수면다원검사의 과도한 검사 비용과 장소적 한계를 극복하기 위하여 측정 신호의 종류를 줄여 피검사자의 불편을 최소화하고, 진단 비용과

* 한서대학교 인터넷공학과

시간을 줄일 수 있는 여러 가지 연구들이 진행되고 있다.

CCD 카메라를 이용하여 간접적으로 호흡을 측정하는 방법은 피검사자를 구속하지 않는다는 장점이 있으나 측정의 정확도가 떨어진다는 단점이 있다[5],[6].

그리고, 마이크로폰을 이용하여 수면 무호흡을 측정하는 방법은 주위의 잡음에 민감하여 만족할 만한 결과를 보이지 못하고 있다[7].

심전도 신호를 이용하여 수면 무호흡을 측정하는 방법[8]은 다른 방식들에 비하여 비교적 검출율이 높으나 피검사자의 심전도 신호를 컴퓨터 시스템에 연결하는 리드선의 복잡함과 불편함 때문에 자유도가 떨어지며 일반 가정에서 측정하기도 어렵다.

본 논문에서는 ZigBee를 통하여 무선으로 피검사자의 심전도 신호를 컴퓨터 시스템에 전달하여 수면 무호흡을 검사하는 방식을 제안하여, 수면다원검사의 과도한 검사 비용과 장소적 한계를 극복하고자 한다. 이 방식은 피검사자에게 친숙한 일반 가정에서도 가능하므로 잠자리에 민감하여 수면다원검사가 잘 이루어지지 않는 환자에게도 적용이 가능하다.

수면 무호흡의 진단 뿐 만 아니라, 치료하는 과정에서도 효과를 측정하기 위해서 수면 무호흡 검사를 자주 해야 하므로, 본 논문의 방식은 환자의 시간적, 경제적 및 장소적 자유도를 크게 개선할 것으로 기대된다.

2. 수면 무호흡 검출 관련 연구

무호흡은 10초 이상 기류가 완전히 멈추는 것이고 저호흡은 기류가 50%이상 감소하지만 완전히 숨을 멈추지 않는 것을 말한다. 수면 무호흡은 수면동안에 일어나는 상기도의 폐색으로 호흡이 반복적으로 멈춤으로써 발생한다. 통상적으로 무호흡 지수가 5이상, 7시간의 수면 동안 30회 이상 또는 호흡 곤란 지수(무호흡-저호흡 지수)가 10이상인 경우로 정의하고 환자의 연령이나 연구자에 따라 약간의 차이는 있다[4].

2.1 수면다원검사

수면 무호흡을 진단하는 가장 대표적인 방법은 수면다원검사이다. 이 검사는 수면 중의 근전도, 심전도, 안전도, 혈압, 호흡, 산소 포화도, 사지 운동 기관지음, 코골음 등을 측정하며, 수면 의학 전문가가 여러 가지 생체신호를 비교 검토하여 수면 무호흡의 유무를 진단한다.

그러나, 이 검사는 [그림 1]처럼 여러 종류의 계측 장비를 몸에 부착하기 때문에 환자들이 큰 거부감을 느껴서 정상적인 수면이 이루어지지 않는 단점이 있다. 또한, 이러한 계측 장비들이 있는 병원 또는 연구소의 수면실에서 검사를 해야 하므로 장소의 제약성과 고액의 검사 비용이 드는 단점이 있다[9].



<그림 1> 수면다원검사를 하기 위한 계측 장비 부착

이러한 단점 들을 개선하기 위하여, 측정 신호의 종류를 줄여 환자의 자유도를 개선하기 위한 방법들이 제안되고 있다.

2.2 CCD 카메라를 이용한 방법

CCD 카메라를 이용하여 호흡에 의해 움직이는 흉부의 영상을 처리함으로써 간접적으로 호흡을 측정하는 방법이 널리 쓰이고 있다. 이 방법은 피검사자를 전혀 구속하지 않는다는 장점이 있으나, 수면 중의 움직임으로 인한 계측 부위의 설정에 어려움이 있고 따라서 측정의 정확도가 떨어진다는 단점이 있다[5],[6].

수면 장애에서 가장 흔하게 나타나는 수면 무호흡증은 중추성 무호흡증, 폐쇄성 무호흡증, 혼합성

무호흡증으로 구분된다. 중추성 무호흡증은 중추 신경의 마비로 인해 가슴과 복부의 호흡 운동이 전혀 없는 경우이며, 폐쇄성 무호흡증은 코나 입을 통한 공기의 출입은 없어도 가슴이나 복부의 호흡 운동은 있는 경우이고, 혼합성 무호흡증은 위의 두 경우가 함께 나타나는 경우이다.

영상처리를 이용하는 방법은 움직임의 유무로 호흡을 판단하기 때문에 중추성 무호흡의 경우에만 적용이 된다. 수면 무호흡 환자의 대부분이 폐쇄성 수면 무호흡증인 현실에서, 이 방법은 수면 무호흡 검출율이 떨어진다.

또한, 검사하기 위하여 CCD 카메라를 설치해야 하므로 일반 가정에서 환자가 검사하기 어려운 문제점이 있다.

2.3 심전도를 이용한 방법

전체 수면의 75%는 non-REM 수면이고 나머지가 REM 수면이다. 정상적으로 수면은 매 90분 주기로 non-REM 1, 2, 3, 4 단계를 거쳐 다시 3, 2 단계를 지나 REM 단계까지 하루밤동안 5회 정도 반복한다. 밤이 깊어지면 REM 수면은 점차 길어진다. REM 수면의 반이 밤의 마지막 3분의 1에서 나타난다. 가장 긴 REM 수면은 30-50분 지속된다. 그래도 여전히 REM 수면 사이에 non-REM 수면이 30분 이상 지속된다.

신체는 non-REM 수면동안 움직일 수 있다. 뇌는 아주 가끔씩 체위를 바꾸도록 명령할 뿐이다. REM 수면 동안 일어나는 마비는 거의 완전한 근긴장도의 소실, 즉 무긴장중에서 몸을 꿈쩍할 수 없다.

따라서, 수면무호흡이 자주 일어나면, 숨을 몰아쉬거나, 체위를 바꾸어야 하므로 긴 REM 수면이 이루어지지 않고 짧은 각성상태가 반복된다. 심전도를 이용하는 방법은 심전도의 심박동 변이도를 분석함으로써 짧은 각성상태를 non-REM 2, 3, 4 단계로부터 추출하여 수면 무호흡을 알아내므로 정확한 측정과 분석이 가능하고 데이터 획득이 수월하여 비교적 좋은 결과를 내고 있다[8].

그러나, 심전도를 측정하는 장비들이 대부분 병원에 있으며, 이 검사를 하는 소프트웨어도 특정 시스템에 종속되어 있는 실정이어서 피검사자의 자유도를 개선하고 대중화하기에는 한계가 있다.

수면 무호흡증의 수술적 요법은 치료 효율이 50% 정도로 보고되고 있다[10],[11]. 비수술적인 방법은 체중 감량과 금주·금연을 실천하고, 수면 무호흡을 유발하거나 악화시킬 수 있는 약제의 투약을 금지하며, 잠을 잘 때는 특정 체위를 유지하는 등의 행동요법을 시행한다.

수면 무호흡의 진단 뿐 만 아니라, 치료 과정에서도 효과를 측정하기 위해서 수면 무호흡 검사를 자주 해야 하므로, 환자에게는 경제적 및 장소적 부담이 커진다.

따라서, 수면 무호흡이 순환기 계통이나 뇌졸중을 유발하는 심각한 증세임을 감안 할 때, 검출율이 다소 떨어지더라도 개인이 가정에서 손쉽게 진단할 수 있는 시스템이 절실히 필요한 실정이다.

본 논문에서는 심전도를 이용한 검출 방법이 비교적 정확한 측정과 분석이 가능하므로 이 방식을 이용하기로 하였다. 이 방식에서 심전도 신호를 컴퓨터 시스템에 연결하는 긴 리드선은 피검사자의 활동을 제약하므로, 본 논문에서는 심전도 신호를 ZigBee를 이용한 무선 통신으로 컴퓨터 시스템에 전달하도록 하여 피검사자의 자유도를 높였다.

본 논문의 방식은 심전도 신호를 분석하는 시스템이 노트북이나 핸드폰 등 ZigBee 통신이 가능하면 되므로, 피검사자가 가정에서 손쉽게 수면 무호흡을 검사 할 수 있어 대중화가 수월 할 것으로 생각된다.

3. ZigBee를 이용한 수면 무호흡 검출

3.1 ZigBee 센서 네트워크

유비쿼터스 네트워크 분야에서 낮은 전력을 소모하며 초저가의 센서네트워크를 제공하는 ZigBee는 물리계층과 데이터 링크 계층을 IEEE 802.15.4 기반으로 네트워크 계층과 응용 계층과 같은 상위 계층에서의 프로토콜은 ZigBee Alliance에서 정의하고 있다. ZigBee 스택은 OSI 7계층 모델을 기반으로 계층적 구조를 가지고 있으며, IEEE 802.15.4 표준을 기반으로 네트워크 계층에서 응용 계층까지 모든 계층을 정의하고 있다.

듀얼 PHY 형태로 주파수 대역은 2.4GHz, 868/915MHz를 사용하고, 모뎀방식은 DSSS(Direct

Sequence Spread Spectrum), MAC은 CSMA/CA를 사용하며, 데이터 전송속도는 20kbps에서 250kbps까지 가능하다. ZigBee 프로토콜 스택의 요구조건은 8bit 마이크로컨트롤러를 사용하며, 전체 프로토콜 스택은 32Kbytes 이하이어야 한다.

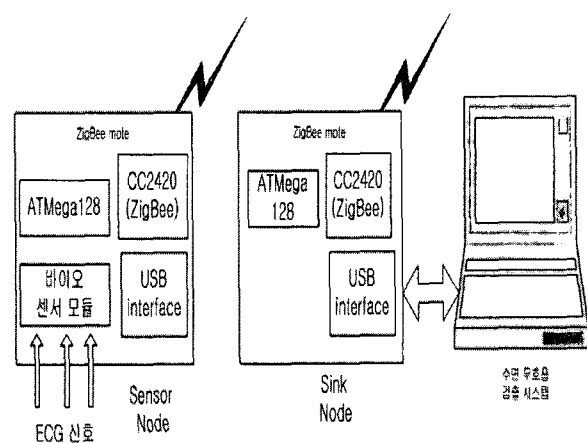
ZigBee의 전송거리는 실내에서 30m, 야외에서 100m까지이며, 가장 큰 특징은 저전력 소모이다. ZigBee 칩은 동작 시 전력소모가 20mA 내외로 저전력 기술이라는 UWB의 전력소모가 200mW, 블루투스의 전력소모가 100mW 임을 감안할 때 상당히 낮은 전력소모임을 알 수 있다.

이와 같은 특징들을 살펴볼 때 ZigBee는 배터리가 오래가고, 여러 기기에 연결될 수 있는 덩치가 가벼운 무선 기술이다.

3.2 심전도 전송

심전도를 이용한 수면 무호흡 검출 방법이 비교적 정확한 측정과 분석이 가능하므로 본 논문에서는 이 방식을 이용하기로 하였다.

무선통신의 ZigBee 모듈은 유비쿼터스 환경의 기반 기술로써 센서 네트워크 환경 개발이 가능한 Chipon CC2420 칩을 장착한 제품을 사용하였다. Sensor Node와 Sink Node는 같은 ZigBee mote로써 ATmega 128 CPU가 장착되고, 운영체제는 TinyOS를 사용한다. 각 Node는 최대 125m 까지 통신이 가능하며, 크기가 40mmx70mm 으로 비교적 소형이다.



<그림 2> ZigBee를 이용한 심전도 전송

수면 무호흡 검사를 하기 위해서, 피검자에게서 발생한 ECG 신호는 [그림 2]와 같이 Sensor Node의 바이오 센서 모듈을 통하여 입력 받은 후 Sink Node에게 무선으로 데이터를 전송한다.

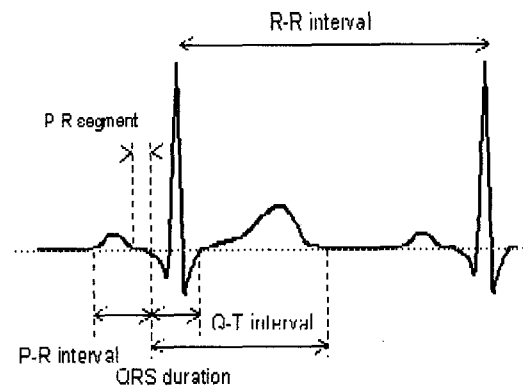
Sink Node에 무선으로 도착된 피검사자의 ECG 신호는 USB 인터페이스로 수면 무호흡 검출 시스템에 전달된다.

TinyOS에서는 Sink Node 아이디로 0번을 사용하므로 각각의 장비를 구분하기 위하여 Node 아이디는 프로그램 포팅시에 정한다.

Sink Node에 연결된 수면 무호흡 검출 시스템을 ZigBee 휴대폰이나, ZigBee 칩이 내장된 시스템을 사용하면 Sink Node가 필요 없게 되어 구성이 간단해 진다.

3.3 수면 무호흡 검출

[그림 2]에서 USB 인터페이스를 통하여 수면 무호흡 검출 시스템에 입력된 피검사자의 ECG 신호를 분석하여 수면 검사를 시행한다. 피검사자의 ECG 신호는 [그림 3]과 같이 일련의 파형과 이 파형들 사이에서 이루어지는 간격으로 구성된다.



<그림 3> ECG 파형의 성분

심박동 변이도의 전력스펙트럼 추정은 자율 신경계 활동에 의한 사람의 긴장감과 정신 부하나 운동 부하에 의한 생체 부담 정도를 추정할 수 있는 평가 지표로 연구되고 있다.

[그림 3]과 같은 피검사자 ECG 신호의 R-R 간격 변화로부터 심박동 변이도를 계산할 수 있는데 그 전력스펙트럼은 주파수영역에 따라 크게 3부분

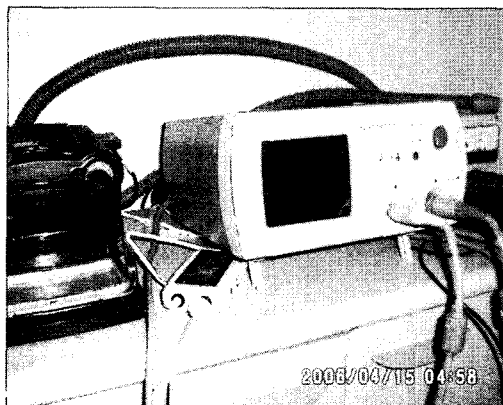
LF(0.01-0.08 Hz), MF(0.08-0.15 Hz), HF(0.15-0.5 Hz)로 나눌 수 있다. LF는 교감신경계의 활동을 주로 반영하고 부교감 신경계의 활동은 조금 반영하는 반면에 HF는 거의 전적으로 부교감 신경계의 활성도를 반영하므로 LF/HF는 교감신경계와 부교감 신경계의 균형을 측정하는 지표로 사용되어왔다. MF는 교감과 부교감 신경계의 혼합 활성도를 나타내지만 부교감 신경계의 활성도를 훨씬 더 많이 반영한다고 알려져 왔다.

수면무호흡이 자주 일어나면, 숨을 몰아쉬거나, 체위를 바꾸어야 하므로 긴 REM 수면이 이루어지지 않고 짧은 각성상태가 반복된다. 짧은 각성상태가 발생하는 시점에서 피검사자 ECG 신호의 R-R 간격이 줄어들며, 짧은 각성상태가 끝나는 시점에 R-R 간격이 정상으로 되돌아오므로, R-R 간격을 이용한 수면 무호흡 검출이 가능하다.

그러나, 이 R-R 간격은 등간격 신호가 아니므로 주파수 분석을 위해서는 R-R 간격으로부터 등간격의 심박동 변이율 신호를 유도하였다.

4. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 방법은 일반 가정에서도 손쉽게 수면 무호흡을 검출할 수 있는 시스템이다. 이 시스템을 Phsysionet[12]에서 제공하는 수면 무호흡자 데이터로 실험을 하는 방법을 고려할 수 있다.



<그림 4> 수면다원검사 장비 Alice-4

Phsysionet에는 많은 수면 무호흡자의 실험 데이터를 손쉽게 구할 수 있는 장점이 있는 반면에,

이 데이터들이 병원 및 실험실 환경에서 축적된 것으로 일반 가정에서 생성되는 데이터와 거리가 있다. 따라서 본 논문에서는 시간이 걸리더라도 피검사자의 ECG 신호를 직접 입력하여 수면 무호흡을 검출하는 방식을 선택하였다.

피검사자의 수면 무호흡 검사는 [그림 4]와 같은 수면다원검사 장비 Alice-4를 이용하여 K 대학병원의 수면검사실에서 2회에 걸쳐서 실시하였다. 2회 검사 결과 피검사자는 시간당 무호흡-저호흡 지수가 32 이상 되는 심각한 상태의 수면 무호흡 환자로 진단되었다.

수면 무호흡 환자로 진단된 피검사자를 본 논문에서 제안한 방식으로 수면 무호흡 검출을 실험하여 무호흡-저호흡 지수를 [표 1]과 같이 산출하였다.

<표 1> 피실험자의 무호흡-저호흡 검출

측정 날짜	무호흡-저호흡 지수
2006. 5. 27.	29
2006. 5. 29.	24
2006. 5. 31.	34
2006. 5. 1.	28
2006. 6. 3.	32
2006. 6. 5.	35
2006. 6. 7.	29
2006. 6. 10.	35
2006. 6. 11.	31
2006. 6. 14.	27
2006. 6. 16.	32
2006. 6. 18.	28

[표 1]의 검출 결과를 보면 최저 24에서 최고 35로 측정치가 서로 다르게 분포됨을 알 수 있었다. 피검사자가 똑바로 누워서 자는 수면 자세에서는 코골이나 수면 무호흡이 악화될 수 있다.

또한, 음주, 진정제, 수면제, 항고혈압제 등은 수면 중 호흡 중추를 억제하거나 상기도 근육의 긴장성을 저하 시킬 수 있으므로 코골이나 수면 무호흡이 심해진다[11].

따라서, 수면 중 다양한 자세를 취하기도 하고, 취침 전의 상태에 따라 수면 무호흡의 상태도 달라지므로 수면 무호흡 검사는 1회성이 아니라 반복적으로 시행하여야 정확한 결과를 산출할 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 ZigBee를 통하여 무선으로 피검 사자의 심전도 신호를 컴퓨터 시스템에 전달하는 방식을 제안하여, 수면다원검사의 과도한 검사 비용과 장소적 한계를 극복 하고자 하였다. 이 방식 은 피검사자에게 친숙한 일반 가정에서도 가능하 므로, 잠자리에 민감하여 수면다원검사가 잘 이루 어지지 않는 환자에게도 적용이 가능하다. 수면 무 호흡의 진단 뿐 만 아니라, 치료하는 과정에서도 효과를 측정하기 위해서 수면 무호흡 검사를 자주 해야 하므로, 본 논문의 방식은 환자의 시간적, 경 제적 및 장소적 자유도를 크게 개선할 수 있다.

또한, 검사를 가정에서 반복적으로 손쉽게 할 수 있어서 체중 조절과 자세 교정 등 비수술적 치료 를 원하는 환자들에게 매일 달라지는 수면 무호흡 상태를 즉시 알려주어 치료에 큰 도움을 줄 수도 있다.

참 고 문 헌

[1] Aldrich, Michael S., Sleep Medicine, Oxford University Press, pp. 202 - 236, 1999. 4.
 [2] 문화식, “코골이와 수면 무호흡,” 대한의사협회 지, 44권 제6호, pp. 638-646, 2001.
 [3] 신철, “수면장애에 대한 최근의 치료경향,” 대 한의사협회지, 43권 제6호, pp. 560-566, 2000.
 [4] 예미경, 김광훈, “폐쇄성 수면 무호흡증의 진 단,” Journal of Clinical Otolaryngology Head and Neck Surgery, 12권 1호, pp. 22-32. 2001. 5.
 [5] Kazuki Nakajima et al., “A monitor for posture changes and respiration in bed using real time image sequence analysis,” Proceeding of Annual EMBS International Conference, pp. 51-54, 2000.
 [6] Hiroaki Nakai et al., “Non-restrictive Visual Respiration Monitoring,” Proceedings 15th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'00), vol. 4, pp. 647-651, 2000.
 [7] Yoshifumi N et al., “Monitoring of breath

sound under daily environment by ceiling domemicrophone,” IEEE Con. Man and Cybernetics, pp. 1822-1829. 2000.

[8] Penzel T et al.. “Systematic comparison of different algorithms for apnoea detection based on electrocardiogram recordings,” Medical & Biological Engineering & Computing, vol. 40, pp. 402-407, 2002.
 [9] R. Ferber et al., “Portable recording in the assessment of obstructive sleep apnea,” Sleep, vol. 17, no. 4, pp. 378-392, 1994.
 [10] 공혜원 et al., “폐쇄성 수면 무호흡 증후군에 서 구개수구개인두성형술의 효과,” J. Korean Sleep Soc., vol. 1, no. 2, pp. 32-36, Dec., 2004.
 [11] 이호원, “수면장애의 진단과 치료,” 가정의학 회지, 제 27권 제 4호, pp. 310-319, 2005.
 [12] “physiologic signal archives for biomedical research,” <http://www.physionet.org/physiobank/database/>.



김 홍 윤 (Hong-Yoon Kim)

- 1982년 인하대학교 전자계산학과 (이학사)
- 1984년 인하대학교 전자계산학과 (이학석사)
- 1996년 인하대학교 전자계산학과 (이학박사)
- 1995년 ~ 현재 한서대학교 인터넷공학과 부교수
- 관심분야 : 센서 네트워크, 의료정보 처리, 정보 보안



이 재 용 (Jae-Yong Lee)

- 1985년 인하대학교 전자계산학과 (이학사)
- 1990년 인하대학교 전자계산학과 (이학석사)
- 2000년 인하대학교 전자계산공학과(공학박사)
- 2000 ~ 현재 한서대학교 인터넷공학과 부교수
- 관심분야 : 의료정보 처리 및 전송기술, 원격진료, 인터넷관리