

수면 관리 베개 시스템

안도현¹, 쩌밍², 박재희^{2*}

¹경북대학교 의공학과, ²계명대학교 전자공학과

Sleep Management Pillow System

Dohyun Ahn¹, Tran Minh², Jaehee Park^{2*}

¹Department of Biomedical Engineering, Kyungpook National University

²Department of Electronic Engineering, Keimyung University

요약 본 논문에서 코골이 검출과 호흡 측정이 가능한 수면 관리 베개 시스템에 대해 연구 조사 하였다. 수면 관리 베개 시스템은 4개의 압력센서, 두 개의 마이크로폰, 하나의 베개, 측정 시스템으로 구성되어있다. 베개의 하단부에 설치된 4개의 압력 센서는 호흡 신호를 측정 하는데 사용되고, 베개 중앙 왼쪽과 오른쪽에 설치된 두 개의 마이크로폰은 코골이 신호만 검출하는데 사용된다. 데이터 수집 장치와 컴퓨터로 구성된 측정 시스템을 사용하여 10명의 젊은 사람들의 코골이 신호와 호흡신호를 측정 하였다. 호흡 신호 측정 정확도는 약 98% 이었고, 코골이 신호 측정 정확도는 약 97% 이었다. 본 연구에서 수행된 실험 결과들이 수면 관리 베개 시스템이 수면 중 사람의 코골이 신호와 호흡신호를 측정하는데 사용 가능함을 보여 주고 있다.

• 주제어 : 호흡, 코골이, 베개, 수면 관리, 수면장애

Abstract In this paper, a sleep management pillow system for snoring detection and respiration measurement is investigated. The sleep management pillow system consists of four force sensing resistor(FSR) sensors, two microphones(MIC), a pillow, a measurement system. Four FSR sensors attached at the bottom part of the pillow are used for respiration measurement and snoring detection. Two microphones located at the middle left and right of the pillow are utilized for only snoring detection. The respiration and the snoring of ten young people were measured using the sleep management pillow system composed of a data acquisition board, interface circuit, and personal computer. The measurement accuracy of the respiration was about 98% and the measurement accuracy of the snoring was about 97%. The experiment results show that the sleep management pillow system can be used for snoring detection and respiration rate measurement during sleeping.

• Key Words : Respiration, Snoring, Pillow, Sleep management, Sleep disorder

Received 09 December 2019, Revised 26 December 2019, Accepted 30 December 2019

* Corresponding Author Park, Jaehee, Department of Electronic Engineering, Keimyung University, 1095 Dalgubeol-daro, Dalseo-gu, Daegu, Korea. E-mail: jpark@kmu.ac.kr

I. 서론

1.1 수면의 개요 및 질의 중요성

수면은 사람의 하루 생활 중 약 1/3을 차지하는 매우 중요한 부분이다. 잠자는 동안 우리는 육체적 정신적 활력을 회복하게 되는데, 이는 우리 뇌에 있는 생체시계가 적극적으로 관여하여 낮에는 활동을, 밤에는 잠을 자게 하는 것이다. 따라서 잠을 제대로 못 자면 신체와 정신에 많은 문제가 발생한다.

수면은 단순히 잠의 양적인 측면만을 의미하는 것이 아니라 질적인 측면도 고려한 잠자기이다. 예를 들어 수면시간은 여덟 시간으로 충분하더라도 아침에 피곤하고 낮에 졸린다면 수면의 질에 문제가 있을 가능성이 많다[1]. 수면다원화 검사는 정확하나 많은 비용과 시간이 드는 단점이 있다. 따라서 더 저렴하면서 간단한 방식으로 수면 중 코골이 및 호흡수를 측정하는 방법이 요구되고 있다.

1.2 수면관리 관련 기존 연구

수면 중 발생하는 모든 수면 장애 관련 문제들을 극복하기 위하여 많은 수면 장애 치료기술들이 개발되었다. 수면 장애를 치료하기 위해서는 약물적인 방법과 비약물적인 방법이 있는데 약물적인 치료는 빠른 효과는 있으나 장기적으로 볼 때 부작용을 유발하고 중독을 초래할 수 있는 위험성을 크게 내포하고 있고, 비약물적으로 치료하는 방법은 환자 개인의 상황에 맞추어 능동적 조절을 할 수 없으며 일반적이고 수동적인 therapy만을 제공한다[2-3]. 그래서 능동적인 수면 관리를 위한 수면 관련 생체신호를 모니터링 하는 기술들이 많이 개발되어졌다.

모니터링 하는 생체신호로는 뇌파[4], 산소포화도와 ECG[5], 호흡[6], 심장박동률[7] 등이 있다. 이들 방식들은 생체신호 획득 센서들을 직접 수면자의 몸에 부착하거나, 센서로부터의 출력 신호가 매우 작고 주변 노이즈에 영향을 많이 받기 때문에 좋은 수면을 방해하거나, 정확한 생체 신호 모니터링에 어려움이 많이 있다. 그래서 많은 연구자들이 센서를 부착하지 않더라도 신호 획득이 쉬고, 신호의 크기가 큰 호흡 및 코골이 신호를 모니터링 하여 수면의 질을 판단하는 기술들의 개발에 관심을 가져왔다.

수면의 질 혹은 좋음 여부를 판단하기 위한 다양한 호흡신호 검출 기술과 코골이 검출 기술들이 개발되었

다. 광섬유 센서[8]들을 직물에 삽입하여 호흡 및 코골이를 측정하는 기술, 침대 위 천장에 마이크로웨이브 안테나[9]를 부착하여 수면자의 호흡 및 코골이를 모니터링 하는 기술, 의복에 콘덴서형 센서[10]를 부착하여 호흡 및 코골이 신호를 모니터링 하는 기술 등이 개발되었다. 이 기술들은 착용 의복에 부착을 해야 되거나, 주변 노이즈에 영향을 많이 받거나, 신뢰성 있는 측정들이 불가능하였다. 그래서 항상 수면자의 호흡 및 코골이 신호를 검출 분석할 수 있고, 착용 의복에 센서를 부착할 필요도 없으며, 주변 노이즈에 영향을 적게 받는 수면 베개 시스템[11-12]에 대한 연구가 수행되었다. 그러나 이들은 각각 코골이 신호 혹은 호흡 신호만 측정하는 베개 시스템이어서 정확한 수면 정보를 얻기 어렵다. 그래서 본 논문에서는 코골이와 호흡을 동시에 측정할 수 있는 수면 관리 베개 시스템에 대한 연구 결과를 나타내었다. 수면 관리 베개 시스템(Fig. 1)은 4개의 FSR 압력센서, 2개의 마이크로폰 센서, 베개, 및 측정 시스템으로 구성되어 있다.

II. 연구방법

2.1 시스템의 구성

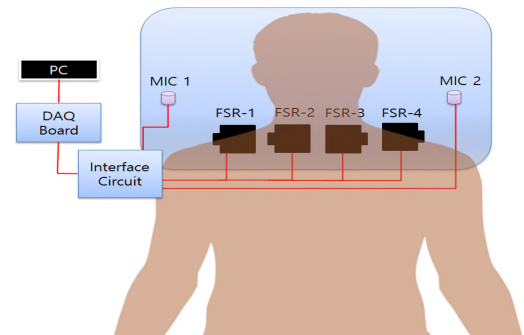
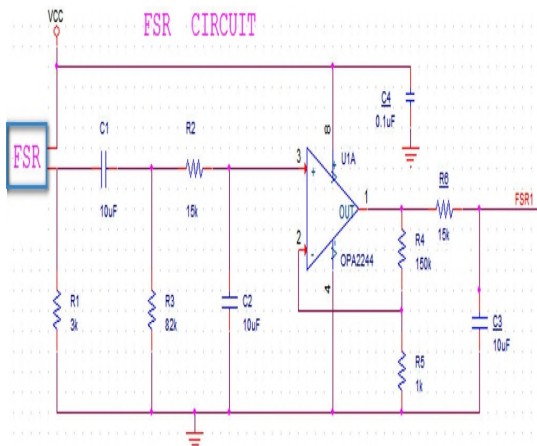


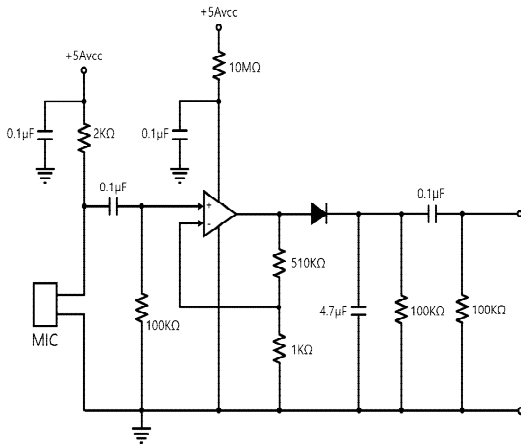
Fig. 1. Configuration of a sleep management pillow system

수면관리 수면베개는 Figure 1과 같이 수면베개 몸체, 수면베개에 부착된 4개의 FSR 센서, Interface회로, DAQ, Personal Computer(PC)로 구성되어있다. 본 베개는 먼저 수면자의 호흡에 의한 미세한 움직임을 FSR 센서들이 감지하여 전기신호로 바꾼다. 바뀐 전기신호는 Filter와 증폭기로 구성된 회로(Fig. 2a)에서 Noise가 제거된 호흡 신호만 추출되고, 이 신호가 DAQ에서 디지털 신호로 변환된다. 디지털신호로 변환된 호흡 신호는 PC로 전달되어 분석된다. 여기서 사용된 FSR센서

는 Interlink 사의 FSR-406이었고 DAQ는 National Instrument 사의 NI9215이었다. 본 연구에서 사용된 DAQ의 Sampling 주파수는 약 10Hz이었다. 수면자의 코골이 신호는 베개의 중앙 좌우측에 설치된 마이크로 폰에서 전기신호로 바뀌고, 코골이 전기신호가 코골이 검출 interface 회로(Fig. 2b)에서 펄스 신호로 변환되어 DAQ 디지털 입력 port에 전달된다. 전달된 코골이 신호는 PC에서 분석된다.



(a) circuit for measuring respiration



(b) circuit for detecting snoring

Fig. 2. Interface circuit[11-12]

FSR 센서 신호에서 호흡신호만 추출하는 역할을 하는 회로는 high pass filter, low pass filter 및 증폭기로 구성되어 있다. 본 연구에서 사용된 interface 회로의 high pass filter와 low pass filter는 저항과 콘덴서로만 설계되었으며 high pass filter의 cutoff 주파수는

0.19Hz, low pass filter의 cutoff 주파수는 1.06Hz이었다. 증폭기는 OP-AMP로 설계 제작되었으며 신호 증폭도는 151이었다. 코골이 검출회로는 High Pass Filter, 두 개의 증폭기, Peak Detection Circuit로 구성되어 있다. High Pass Filter의 Cutoff 주파수는 16Hz, 앞단 증폭기의 증폭도는 511이고 뒷단 증폭기의 증폭도는 4이다. Peak Detection 회로는 아래 회로의 중간부분에 있는 다이오드, 4.7uF 콘덴서와 100KΩ 저항으로 구성되어졌다. 이 회로가 코골이 발생 시 한 개의 Pulse를 만들어 준다.

2.2 호흡신호 및 코골이 신호 검출 방법

일반적으로 건강한 일반인은 1분에 16에서 20회 정도의 호흡을 한다. 즉 1분에 16에서 20회 정도의 호흡 신호를 발생한다. 수면자 호흡 정보를 추출하기 위해 4개의 FSR 센서를 베개에 부착하여 사용한다. 4개의 FSR 센서를 사용하는 이유는 수면자의 수면 위치가 변하더라도 항상 일정한 호흡 신호를 검출하기 위해서다. 수면자의 호흡신호는 수면자의 호흡에 의한 미세한 어깨 움직임이 센서 출력신호를 변화시킨다. 변화하는 이 아날로그 호흡신호는 DAQ 보드에서 디지털 신호로 변환되고 PC에서 분석되어 호흡정보를 추출한다.

호흡신호 추출 시 제일 먼저 4개의 FSR 센서 출력 신호 중 크기가 가장 FSR 출력 신호를 선택하여 호흡 신호 분석에 사용한다. FSR 출력 신호 선택은 4개의 FSR 센서로부터 sampling된 세 개의 값이 모두 threshold 보다 크고, 세 번째 sampling에서 첫 번째 sampling된 값을 뺀 때 그 차이가 가장 큰 값을 가지는 FSR 센서가 호흡 신호 출력 신호가 가장 큰 값이 발생하는 FSR센서로 판단하고 메인 센서로 선택하여 호흡신호 분석 시 이용한다. 호흡발생은 선택된 FSR 센서 출력 신호만을 가지고 판단한다. 3연속 Sampling된 값이 Threshold보다 커졌다가 다시 3연속 Sampling 값이 Threshold보다 작으면 호흡이 1회 발생되었다고 판단한다[11].

코골이는 수면의 질을 판단할 때 중요한 요소 중 하나이다. 특히 수면 무호흡증 환자나 수면의 질이 좋지 않은 일반인들은 수면 시 항상 코골이가 발생한다. 코골이 신호 발생 감지는 아날로그 코골이 신호가 코골이 검출 회로에서 디지털 펄스로 변환된다. 이 신호의 길이가 0.5초 이상이면 코골이 발생했다고 판단한다.

만약 호흡 센서로부터의 신호가 없으면 사용자가 없다고 판단하여 대기상태로 전환하며, 사용자의 호흡신호가 센싱될 때만 FSR 센서와 마이크폰이 활성화되도록 하였다[12].

III. 실험 결과

제작된 호흡 측정 수면 베개를 사용하여 20대 중반의 건강한 남자의 호흡 신호를 검출하여 보았다. Figure 3은 건강한 남자의 호흡신호를 검출하기 위해 실험하고 있는 사진이다.



Fig. 3. Experiment setup and an experimenter

Figure 4는 4개의 정자세로 누워 코골이가 발생하지 않은 상태에서의 측정된 4개의 FSR 센서 호흡 출력 신호들이고, Figure 5는 코골이가 발생한 상태에서 측정된 호흡센서 출력신호들이다. 그럼들이 모든 FSR 센서가 동일 크기의 출력을 발생하지 않고, 수면자의 위치에 따라 다르게 나타나는 것을 보여주고 있다. 그리고 일반 호흡 경우에는 평균 전압은 약 2.1V이었고 코골이가 발생하는 경우에는 약 3.1V이었다. Figure 5가 코골이가 발생했을 때 1.5배 정도 호흡 신호가 커짐을 보여주고 있다. 그리고 60dB 정도의 음악소리가 있는 환경에서도 호흡신호 검출 실험을 수행하였다. 실험 결과 음악소리가 없는 조용한 환경과 동일한 결과를 얻었다. 이는 압력 기반 수면베개가 주변 소리 노이즈에 영향을 받지 않는다는 것을 보여주고 있다.

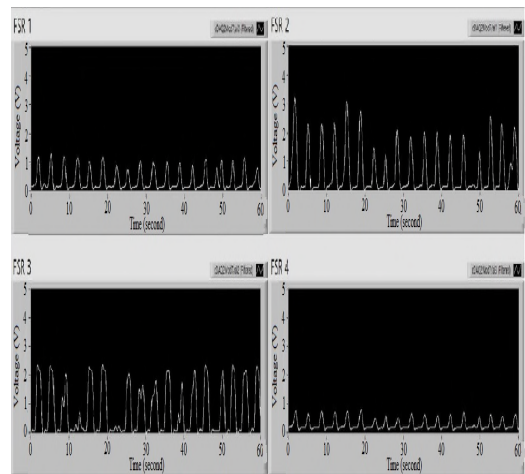


Fig. 4. respiration signals without snoring

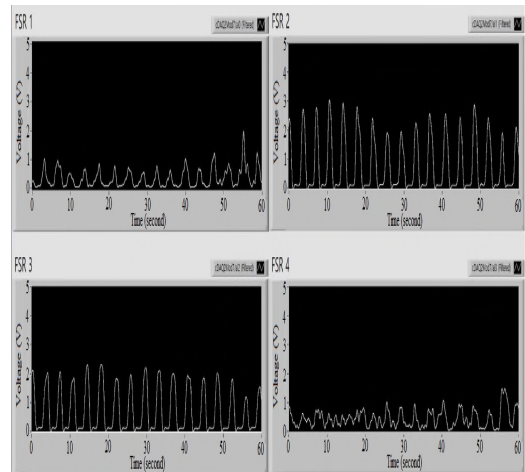


Fig. 5. respiration signals with snoring

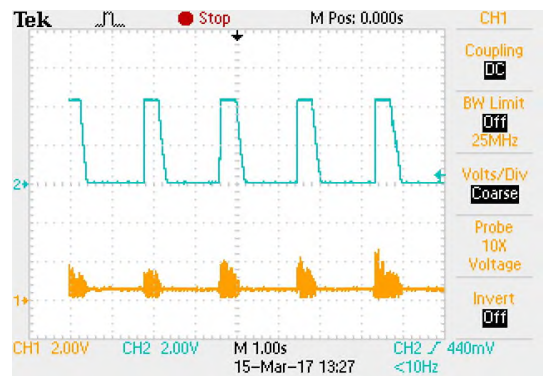


Fig. 6. Analog and pulse snoring signal

Figure 6은 코골이 검출 회로를 사용하여 아날로그 코골이 신호를 펄스 신호로 변환한 그림이다. Figure 6로부터 변환된 코골이의 펄스폭이 0.5초보다 크다는 사실을 알 수 있었다. 그래서 코골이 펄스폭이 0.5초 이상이면 코골이가 발생한 것으로 count하였다.

수면관리 베개 시스템의 특성을 알아보기 위하여 체형이 다른 20대에서 30대 사이의 남성 10명의 호흡 신호 및 코골이 신호를 검출하여 호흡신호는 상용화 장비인 바이오파크와 코골이 신호는 관측자의 실측값과 비교하였다(Table 1). 모든 측정 결과가 98% 이상의 검출 정확도를 보여주고 있고, 호흡수의 검출 정확도가 평균 약 98.8%로 나타났으며, 코골이의 경우 평균 약 98.6%의 정확도를 보였다. 본 연구에서 제안한 수면 관리 수면 베개시스템이 수면의 질을 판단할 때 매우 중요한 요소인 수면 중 사람의 호흡과 코골이 정보를 얻을 수 있다는 것을 보여주고 있다.

Table 1. Measurement results

No	Age	Weight (Kg)	Height (Cm)	Accuracy (respiration)	Accuracy (snoring)
1	31	60	160	98.3%	98%
2	28	82	181	99.4%	99%
3	24	80	173	99.1%	98%
4	26	78	171	98%	98%
5	24	85	173	98.6%	99%
6	23	67	171	99.4%	99%
7	26	58	173	98.5%	99%
8	26	60	165	99.4%	98%
9	31	78	178	99%	99%
10	25	72	174	98%	99%

IV. 결론 및 고찰

수면의 질을 판단할 때 중요한 요소인 호흡과 코골이 정보를 얻을 수 있는 수면 관리 베개 시스템에 대해 연구하였다. 수면 관리 베개 시스템은 베개의 하단부에 부착된 4개의 FSR 압력센서, 베개의 중앙 좌우에 설치된 2개의 마이크로폰 센서, 베개, interface 회로, DAQ 보드, 그리고 PC로 구성되어 있다. FSR 압력 센서는 호흡신호를 획득하는 데 사용되었고, 마이크로폰

센서는 코골이 신호를 획득하는 데 사용되었다. 체형이 다른 20대에서 30대 사이의 남성 10명을 실험 대상으로 하여 수면관리 베개 시스템의 특성 실험을 수행한 결과, 모든 검출의 정확도가 98% 이상이었으며, 호흡수의 경우 약 98.8%의 검출 정확도를, 코골이의 경우 평균 약 98.6%의 정확도를 보였다. 이 실험 결과들이 제안한 수면 관리 수면 베개시스템이 수면의 질을 판단할 때 매우 중요한 요소인 수면 중 사람의 호흡과 코골이 정보를 얻을 수 있다는 것을 보여주고 있다. 다음 연구에서는 본 실험으로 제작된 베개에 대해 소음의 영향을 추가적으로 분석해야 하며 추가적인 실험 대상군 확보를 통해 보다 신뢰성 있는 데이터를 획득할 필요가 있다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MIST) No. 2018RID1A1B07048066.

REFERENCES

[1] N. Zuberi, k. Rekab, and H. Nguyen, (2004, Dec). Sleep Apnea Avoidance Pillow Effects on Obstructive Sleep Apnea Syndrome and Snoring. *Sleep and Breathing*, vol.8, no.4, pp.201-208. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15611895>

[2] S. Elliott, M. Kim, J. Beaulieu, and G. Stefano,. (2003, May). Sound therapy induced relaxation: down regulating stress processes and pathologies. *Medical Science Monitor*. vol.9, pp.116-121. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19129030>

[3] M. David, J. Patrie, R. Felder, and M. Alwan. (2009, JAN). Development and preliminary validation of heart rate and breathing rate detection using a passive, ballistocardiography-based sleep monitoring system. *IEEE Tran. Inf. Technol. Biomed*. vol.13, pp.111-120. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19129030>

[4] J. Kelly, R. Strecker, and M. Bianchi,.(2012, Jul). Recent developments in home sleep-monitoring devices. *ISRN Neurol.*, vol. 2012, pp.1-10. Available: <http://dx.doi.org/10.5402/2012/768794>

- [5] S. Gyualy, D. Gould, B. Sawyer, D. Pond, A. Mant, and N. Saunders. (1987, Apr). Evaluation of a microprocessor-based portable home monitoring system to measure breathing during sleep, *Sleep*, vol. 10, pp. 130-142. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3589326>
- [6] H. Ju, Y. Park, J. Park, B. Lee, J. Lee, and J. Lee, (2015). Real-Time Driver's Biological Signal Monitoring System. *Sensors Mater.* vol. 27, pp.51-59.
- [7] X. Zhu, W. Chen, T. Nemoto, Y. Kanemitsu, K. Kitamura, K. Yamakoshi, and D. Wei. (2006, Dec). Real-time monitoring of respiration rhythm and pulse rate during sleep. *IEEE Tran. Biomed. Eng.*, vol. 53, pp.2553-2563. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17153213>
- [8] S. Eom, J. Park, and J. Lee. (2010, Mar). Optical fiber arterial pulse wave sensor. *Microwave Opt. Technol. Lett.* vol.52, pp.1318-1321. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/mop.25200>
- [9] M. Uenoyama, T. Matsui, K. Yamada, S. Suzuki, and A. Seo. (2006, Sep). Non-Contact Respiratory Monitoring System using a Ceiling-Attached Microwave Antenna. *Med. Bio. Eng. Comput.* vol.44, pp.835-840. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16941101>
- [10] F. Bezombes, M. Lalor, and D. Burton. "Contact microphone using optical fibre bragg grating technology" *J. Phys. Conf. Ser.* 2007, pp.1-6.
- [11] D. Ahn, T. Minh, J. Lee, and J. Park, (2017 Jul). Respiration measurement sleeping pillow system. *Journal of Sensor Science and Technology.* vol. 26, pp.280-285. Available: <http://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201724655835219.page>
- [12] T. Minh, D. Ahn, and J. Park, (2019). Snoring detection sleep pillow. *Journal of Convergence Signal Processing.* vol. 20, no. 2, pp. 105-110.

저자 소개

안 도 현 (Dohyun Ahn)



2000년 2월 : 동국대학교
화학과(이학사)
2014년 2월 : 경북대학교
의용생체공학과(공학석사)
2008년 8월 ~ 현재 :
(주)인더텍 연구원
관심분야 : 의료기기

쩨밍 (Tran Minh)



2012년 3월 : 타이완우엔대학교
전자전기공학과(공학사)
2017년 8월 : 계명대학교
전자전기공학과(공학석사)

박 재 희 (Jaehee Park)



1984년 2월 : 경북대학교
전자공학과(공학사)
1992년 8월 : Texas A&M
전기공학과(공학석사)
1995년 8월 : Texas A&M
전기공학과(공학박사)
1984년 3월 ~ 1990년 3월 :
국방과학연구소(연구원)
1995년 10월 ~ 1997년 2월 : 삼성전기주식회사(부장)
2010년 1월 ~ 2010년 2월 : University of Texas
의공학과(방문교수)
1997년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 전자공학과(교수)