

## 수면 중 비정상호흡 모니터링을 위한 IoT 모듈 사전연구

박수지\*, 신항식\*, 김 훈\*\*  
 전남대학교 의공학과\*  
 전남대학교 기계설계공학부\*\*

### Preliminary Study of IoT Module for Monitoring of Abnormal Respiratory Activity during Sleep

Sooji Park\*, Hangsik Shin\*, Hoon Kim\*\*

Department of Biomedical Engineering, Chonnam National University\*  
 Department of Mechanical and Automotive Engineering, Chonnam National University\*\*

**Abstract** - 본 연구는 IoT 환경에서 수면 중 비정상호흡 모니터링을 위한 모듈개발 사전연구로, 베개 안에 삽입할 수 있는 가속도, 진동 측정 모듈을 제작하고, 측정된 신호를 기반으로 수면 중 발생하는 호흡활동을 관찰하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 압전센서 및 3축 가속도 센서를 내장한 진동, 가속도 측정 모듈 프로토타입을 설계 및 제작하였으며, 파일럿 실험을 통하여 개발된 모듈의 동작을 확인하였다. 실험 결과 가속도 및 압전센서에서 획득된 신호에서 호흡성분이 검출되는 것을 확인하였으나, 샘플링율, 센서 민감도 설정에 따라 코골이 성분은 검출되지 않았다.

#### 1. 서 론

수면무호흡증(sleep apnea)과 코골이(snoring)는 대표적인 수면 중 호흡 장애로, 수면의 질을 떨어뜨리고 신체 밸런스를 무너트려 집중력 저하, 피로감, 기억력 감퇴 등 일상생활에 지장을 주게 되며, 심할 경우 심장 및 뇌혈관 질환, 수면 중 돌연사 등을 일으킬 수 있다[1]. 이러한 수면 장애를 객관적으로 평가하기 위해 수면다원검사를 실시하는데, 이는 각종 센서를 부착하고 인위적인 환경에서 잠을 자야하며, 고가의 검사비용과 오랜 측정 시간 소요 된다는 불편함이 있다. 또한 수면다원검사는 수면 패턴이나 장기간의 생체 신호 변화를 측정하기에 적합하지 않다.

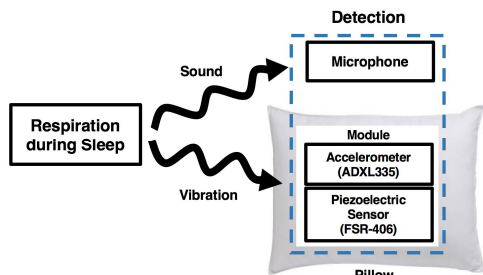
수면다원검사의 불편함을 대체하고자 수면 측정에 대한 다양한 연구가 진행되었다. 마이크로폰을 이용하여 수면 중 소음을 측정하고 이로부터 수면무호흡증이나 코골이를 검출하는 방법[2,3], 베개에 진동센서를 부착하여 코골이를 측정하고 자세변화 피드백을 주는 방법[4], 목에 부착한 코골이용 압전센서로부터 박동변이율을 유도하여 수면무호흡을 검출하는 방법[5] 등이 있다.

수면 측정 시 센서를 몸에 직접 부착하게 되면 정확한 신호를 얻을 수 있지만, 편안한 수면에 방해가 되고 매번 센서를 부착해야한다는 점이 번거로워 장기간 수면 측정에 적합하지 않다. 베개에 수면 측정 시스템을 내장한 경우 센서 부착에 대한 구속감은 해소되지만 해당 베개에 서만 수면을 취해한다는 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 수면 중 호흡활동 모니터링을 위해 어느 베개에서나 설치하여 사용할 수 있는 IoT(Internet of Things) 진동 측정 모듈에 대한 사전 연구를 진행하였다. 수면 시 호흡이나 코골이, 뒤척임 등에 의해 발생하는 진동 신호를 측정하기 위해 가속도센서와 압전센서를 이용하여 진동 측정 모듈을 제작하고, 기준센서인 마이크로폰과 동시에 수면 소음 신호와 진동 신호를 측정하는 실험을 통해 개발된 모듈의 유용성을 평가하였다.

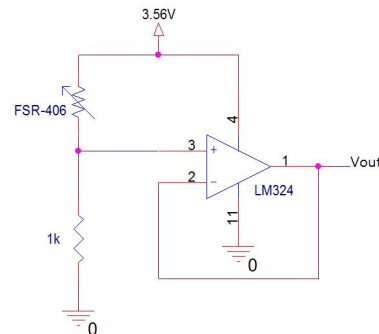
#### 2. 본 론

##### 2.1 수면 중 호흡활동 측정 모듈 제작



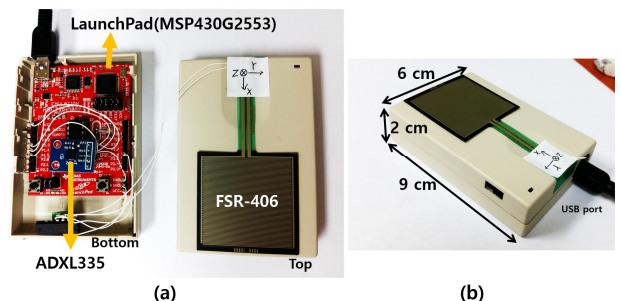
〈그림 1〉 수면중 호흡활동 모니터링 시스템 및 실험 구성도

수면 시 호흡, 코골이에 의해 발생하는 진동을 측정하기 위해 <그림 1>과 같은 시스템을 구성하였다. 개발된 모듈은 진동을 측정하기 위해 가속도센서와 압전센서 탑재하였으며, 어느 수면 환경에서나 설치할 수 있는 독립모듈 형태로 제작되었다. 가속도센서는 3축 아날로그 출력, 300 mV/g (@3 V)의 민감도를 가지는 ADXL335 (Analog Devices inc., MA, USA) 모듈을 사용하였다. 압전센서로는 힘 변화에 따라 저항이 변화하는 특성을 갖는 FSR-406 (Interlink Electronics, CA, USA)를 사용하였다. 사용된 FSR-406의 크기는 4.3 × 4.3 cm 로, 센서에서 데이터 획득을 위해 <그림 2>와 같은 회로를 구성하였다. 또한, 각 센서로부터 값을 수집하기 위해 초저전력 마이크로컨트롤러인 MSP430G2553을 장착한 LaunchPad (Texas Instruments, Texas, USA)를 사용하였다.



〈그림 2〉 압전센서(FSR-406)의 신호 획득을 위한 회로도

진동 측정 모듈은 <그림 3(b)>에 나타난 것과 같은 형태를 가진다. FSR-406은 플라스틱 케이스 외부에 부착되었으며, 내부에는 ADXL335와 Launchpad를 바닥면에 수평이 되도록 부착하였다. <그림 3>은 완성된 진동 측정 모듈 사진으로 완성된 모듈은 USB포트를 통해 PC와 연결되며, SW UART를 사용하여 데이터를 전송한다.



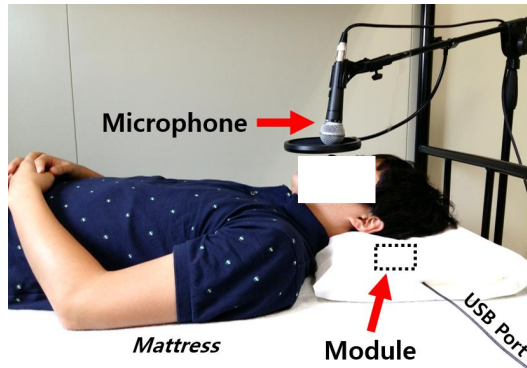
〈그림 3〉 완성된 진동 측정 모듈 사진 (a) 개발된 모듈 내부 구조, (b) 개발된 모듈 외관

##### 2.2 수면 중 호흡활동 측정 실험

개발된 모듈의 동작을 검증하기 위해 실제 수면환경에서의 실험을 수행하였다. 먼저, 수면 시 발생하는 소리 및 진동을 측정하기 위해 개발된 측정 모듈을 50(가로) × 30(세로) × 10(높이) cm 크기의 라텍스 소재 베개 내부 정중앙에 위치시켰다. 이 때 FSR-406이 바닥을 바라보도록 설치하였다. 또한 피험자의 코 5 cm 위에 마이크로폰(Shure, IL, USA)

을 설치하여 수면 중 호흡활동에 의해 발생하는 소리를 동시에 기록할 수 있도록 하였다. 수면 호흡활동에 의해 발생한 소리는 StudioCapture (Roland, Japan)를 통해 수집 및 녹음 되었다.

실험에는 실제 코골이를 겪고 있는 20대 남성이 참여하여 실험을 진행하였고, 사전 실험 설명과 동의 절차를 마쳤다. <그림 4>는 실험 환경 및 실제 실험 사진을 보여준다. 수면 중 발생하는 소리와 진동은 각각 44,100 Hz (16 bit, stereo), 40 Hz로 샘플링되었다.

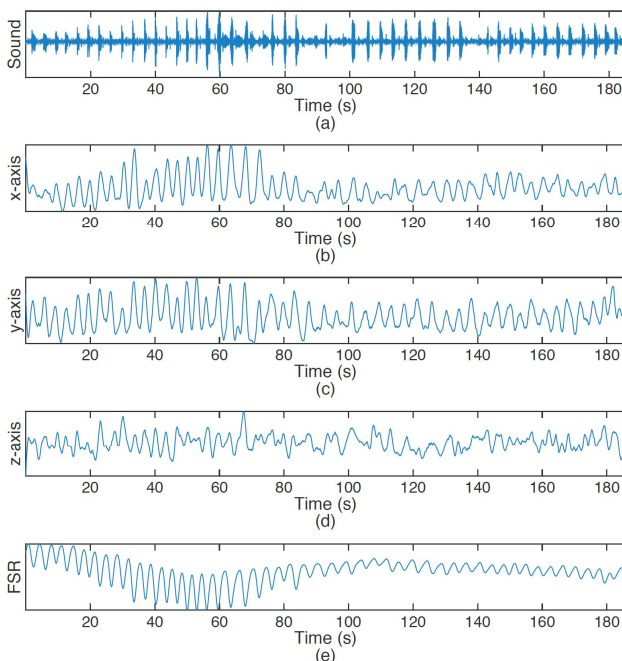


<그림 4> 실험 환경 및 실제 실험 사진

### 2.3 실험 결과

모듈을 통해 측정된 신호에서 호흡성분을 검출하기 위해 이동평균 필터링을 적용하였다. 이 때, 이동평균 필터는 일반적인 코골이 주파수 대역이 0.15 ~ 0.5 Hz인 것을 고려하여 1초 길이를 가지도록 설계 되었다. <그림 5>는 이동평균 필터링된 신호를 보여준다. <그림 5(a)>는 마이크를 통해 녹음된 코골이음을 포함하는 호흡신호이고 <그림 5(b)-(d)>는 x, y, z축 가속도 신호의 이동평균 필터링 결과를 보여준다. <그림 5(e)>는 FSR-406을 통해 측정된 압력 변화에 이동평균 필터링을 적용한 결과를 보여준다. 그림으로부터 가속도센서의 x, y, z축, FSR-406에서 검출된 신호의 경우 호흡성분을 잘 반영하고 있음을 직관적으로 확인할 수 있다. 특히 FSR-406에서 측정된 신호는 다른 결과에 비해 곡선의 변화가 가장 안정적인 것을 확인할 수 있으며 이는 호흡을 가장 정확하게 반영하고 있는 것으로 유추할 수 있다.

ADXL335를 통해 검출된 신호와 FSR-406에 의해 검출된 신호는 소리의 진폭변화에도 영향을 받는 것으로 나타난다. 예를 들어 그림 5에서 60초, 90초 부분을 살펴보면 60초 부근에서는 소리가 커지고 90초 부근에서는 작아지는 것을 발견할 수 있는데, ADXL335 및 FSR-406 신호에서도 신호 진폭의 증가 감소가 발생하는 것을 확인할 수 있다.



<그림 5> 진동 신호에서 검출된 호흡 성분 (a) 마이크를 통해 녹음된 호흡/코골이 소리, (b)-(d) 이동평균 필터링 된 x, y, z축 가속도신호, (e) FSR-406을 통해 측정된 값의 이동평균 필터링 결과

### 3. 결 론

본 연구는 간단한 센서모듈을 통해 수면 중 머리 부근에서 측정되는 진동을 기록하고 이를 기반으로 다양한 생체신호를 측정하기 위한 것으로, 주요 수면장애인 수면무호흡, 코골이 등의 검출을 그 목표로 한다. 본 연구에서는 개발된 가속도 및 힘 측정 모듈에서 획득된 진동 신호를 통해 호흡성분 검출 가능성을 보였으나, 코골이 검출에 있어서는 여전히 한계를 보이고 있다. 주요한 이유는 샘플링율, 센서 민감도를 들 수 있다. 먼저, 샘플링율의 경우 수백 Hz대역으로 알려진 코골이 신호를 기록하기 위해서는 최소 1 k~10 kHz의 샘플링 주파수가 요구되나 본 연구에 사용된 LaunchPad SW UART baud rate이 9600으로 제한되어 샘플링율에 제한이 있었고, 이에 따라 코골이 성분이 제대로 검출되지 못한 것으로 추정된다. 또한, 가속도 신호의 경우 코골이에 따라 발생하는 움직임이 매우 미미하기 때문에, 측정범위에 따른 민감도 조정이 수행되어야 할 것으로 생각된다. FSR-406은 머리 중량에 따라 그 초깃값이 변화할 수 있으므로 머리중량을 고려한 오프셋 조절이 필요하다.

본 연구에서는 머리 부근에서 측정된 가속도신호 및 힘신호를 통해 호흡신호를 측정할 수 있다는 가능성을 보였으나, 여러 부분에서 보완할 점을 보여준다. 앞으로의 연구를 통해 앞서 언급한 오차원인들에 대한 개선이 이루어 질 것으로 기대된다.

### [감사의 글]

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 ICT융합고급 인력과정지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2015-H8601-15-1009)

### [참 고 문 헌]

- [1] 김소현, 지기환, 윤창호, 하충건, “폐쇄수면무호흡증과 심혈관 질환 관련성 연구”, 대한신경과학회지, Vol. 27, No. 3, pp.223-228, 2009
- [2] W D Duckitt, S K Tuomi, T R Niesler, “Automatic detection, segmentation and assessment of snoring from ambient acoustic data”, Physiological measurement, Vol. 27, pp.1047-1056, 2006
- [3] Hiroshi Nakano, Makito Hayashi, Etsuko Ohshima, Nahoko Nishikata, Toshimitsu Shinohara, “Validation of a New System of Tracheal Sound Analysis for the Diagnosis of Sleep Apnea-Hypopnea Syndrome”, Sleep, Vol. 27, No. 5, pp.951-958, 2004
- [4] 지덕근, 위연, 김희선, 임재중, “Polyvinylidene Fluoride 진동센서를 이용한 코골이 검출”, 감성과학, Vol. 14, No. 3, pp.459-466, 2011
- [5] 에르덴바야르, 이효기, 김호중, 이경중, “코골이용 압전센서를 이용한 수면무호흡 검출에 관한 예비 연구”, 대한의용생체공학회 Vol. 35, No. 4, pp.75-80, 2014