

아두이노를 활용한 피부 부착형 영유아 질식방지 알람 시스템 개발

박영창*, 김성관**

*공주대학교 기계공학과

**공주대학교 기계자동차공학부

e-mail: kimsg@kongju.ac.kr

Development of Skin Type Anti-suffocation Infant Alarm System Using Arduino

Young-Chang Park*, Sung-Gaun Kim**

*Dept. of Mechanical Engineering, Kongju National University

**Dept. of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University

요약

본 논문은 아두이노 심장박동 센서와 압력 센서를 이용하여 3세 이하 영유아의 심장박동수와 흉부가압력을 측정한다. 외부신호와 생체신호에 대한 데이터를 기반으로 영유아에게 발생할 수 있는 호흡곤란 및 돌연사증후군을 감지하여 보호자에게 긴급한 상황을 알리는 장치를 개발하였다. 상기 장치는 아두이노를 활용하였으며 흉부에 부착하여 심박을 측정하고 스프링-압력센서 방식을 통해 사물에 의한 짓눌림, 이물질에 의한 기도폐색, 침구류에 의한 질식사고를 감지할 수 있다. 장치의 프로토타입을 제작 후 동작시험을 실시한 결과, 심박수와 흉부가압력의 정확성을 검증하고 실용성에 대한 평가 및 분석을 실시하였다.

1. 서론

미국 질병통제예방센터(Centers for Disease Control and Prevention, CDC)에서 조사된 자료를 보면 2020년 기준 12개월 미만의 영유아에 대한 질식사 사망 사례 중 영유아돌연사증후군(Sudden Infant Death Syndrome, SIDS)은 1,389명, 침구류에 의한 우발적 질식사 사망자는 905명, 원인불명으로 인한 사망자는 1062명으로 추산되었으며 연간 약 3400명이 사망한다고 보고된 바 있다[1]. 한국의 경우, 연간 1,400건의 질식사고와 150명의 사망자가 보고되고 있으며 이와 같은 영유아 질식사고는 매년 증가하고 있는 반면, 보호자의 부주의로 인한 원인으로 사고예방에 대한 근본적인 해결책이 없는 상황이다.

0-3세 미만의 어린 아이는 근육과 골격 등 신체적 성장 발달 부족하여 자유롭게 몸을 가누지 못하고 울음소리, 신체동작 외부 자극에 대한 표현이 제한적이기 때문에 소리를 통해서 보호자와 소통한다. 만약 보호자가 신생아의 의사표현을 인식하지 못하는 상황이라면 아기가 엎드려서 잠을 자거나 작은 물건을 삼키고 흉부나 호흡기가 짓눌리면 기도폐색이 일어나 질식사고로 이어지기 때문에 보호자의 지속적인 관심이 필요하다[2].

영유아 질식사고를 예방하기 위해 시스템 연구가 많이 진행

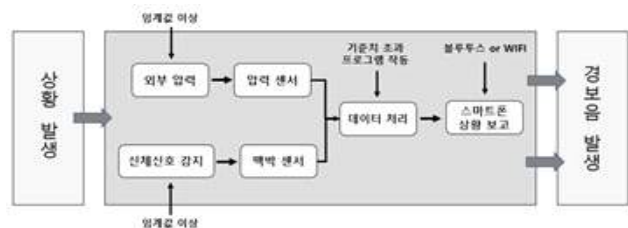
되고 있으나, 많은 경우, 장치의 크기가 아기에게 과도하거나 성인에 비해 심박수가 약해 측정의 어려운 요인들이 있다.

이러한 보호자의 상황인식을 개선하고 아기의 활동성과 정확한 심박수 얻기 위해서 본 논문에서는 Arduino 심장박동과 압력 센서를 활용해 가슴에 부착된 장치를 통해 짓눌림에 대한 흉부가압력(CP)과 심장박동수(BPM)를 실시간 관찰하여 취득한 데이터를 바탕으로 부저를 통해 보호자에게 적절한 조치를 취할 수 있도록 알리는 보조 장치를 개발하였다.

2. 시스템 개요

2.1 시스템 설계

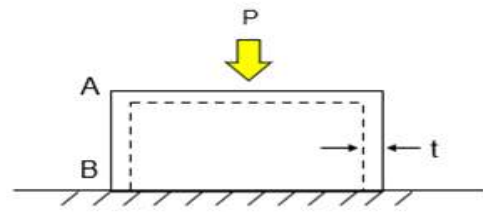
그림 1은 시스템의 작동순서를 표현한 것이다. 신생아가 질식되는 상황은 외부에서 작용하는 흉부가압력에 의해 기도가 눌리고 호흡곤란이 발생하여 혈압과 심박수가 높아진다. 그래서 외부신호와 생체신호 2가지 신호체계에 대해 데이터를 독립적으로 수집하도록 하였다.



[그림 1] 시스템 기능개도

압력센서의 경우, 0-3세 미만의 영유아는 흉부에 작용하는 힘(CP)이 116N 이상부터 기도폐색이 진행되기 때문에 그보다 낮은 100N을 기준으로 하였다³⁾.

심장박동 센서는 0-3세 미만 영유아의 평균 심박수는 130BPM이고 호흡곤란으로 인한 최대 심박수는 180BPM으로 160BPM을 초과할 때 부저가 울리도록 설계되었다⁴⁾.



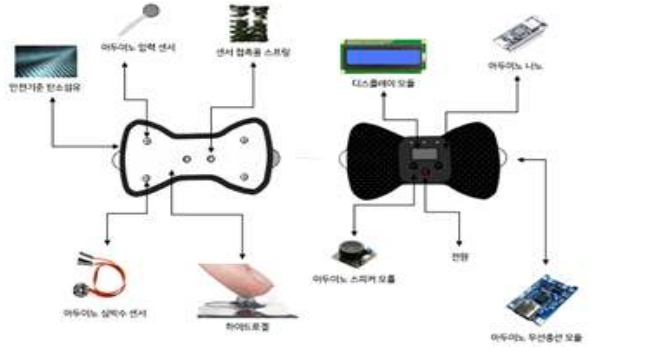
[그림 3] 단말기 케이스 자유물체도

2.2 시스템 구성

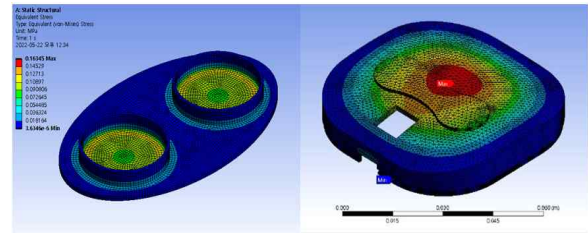
장치의 구성은 아두이노 단말기, 압력측정부, 심박측정부로 구성된다. 단말기는 Arduino Nano, Specker Module, Display Module, 500mA Lithium Polymer Battery, 3.7V Battery Charging Module, Bluetooth Module를 포함한다.

집중하중에 의한 경계조건에서 케이스의 최대 변형량 $\delta_{max} = 2.12\text{ mm}$ (True Scale)이고 최소 안전율은 2.93 이상으로 적합하였다.

단말기 유닛은 아두이노 나노, 디스플레이 모듈, 부저, 충전 모듈, 배터리를 연결하여 심박수(BPM) 수치와 그래프를 가시화하고 흉부가압력과 심박수가 3초간 측정된 평균값이 기준치 이상일 때 그림4와 같이 부저 울리도록 구현하였다⁶⁾.



[그림 2] 시스템 구성도



[그림 4] 스프링 서포터 및 단말기 케이스에 대한 구조해석

2.2.1 부착패드 및 단말기 케이스 설계

부착패드는 0-3세 미만 영유아의 흉부에 부착할 수 있는 적절한 크기를 선정하기 위해 미국질병예방센터에서 제공하는 ‘Generator of Body Manual’의 12개월 미만 세계 영유아의 복장뼈-겨드랑이까지의 흉부에 관한 평균 치수를 참고하여 한국 영유아에 대한 패드의 적정 길이를 계산하였다. (196.27mm)

$$t = \frac{1}{2} \left(a - \sqrt{\frac{P}{E\epsilon}} \right) \quad (1)$$

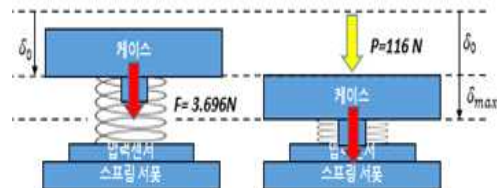
단말기 케이스는 영유아 신체에 적절한 크기와 안전성을 고려해야 하며 소형-경량화를 위해 장치에 포함된 부품의 치수, 공차(3mm)를 그림과 같이 고려하였다. 그림3은 케이스의 적정두께를 계산하기 위해 단말기를 단순화한 자유물체도를 나타낸 것이다.

ABS 플라스틱에 대한 세로탄성계수 $E = 2.45\text{ GPa}$ 이고 변형률 $\epsilon = 0.5$, 최소부하 $P = 116\text{ N}$, 바닥단면의 중형길이 $a = 50\text{ mm}$, $b = 50\text{ mm}$ 일 때, 흑의 법칙을 근거로 두께는 2.48mm로 계산되었다⁵⁾.

그림4는 Ansys 구조해석을 이용하여 해당 두께에 대한 케이스와 스프링 서포터에 대한 변형량 및 안전율을 검증한 것으로,

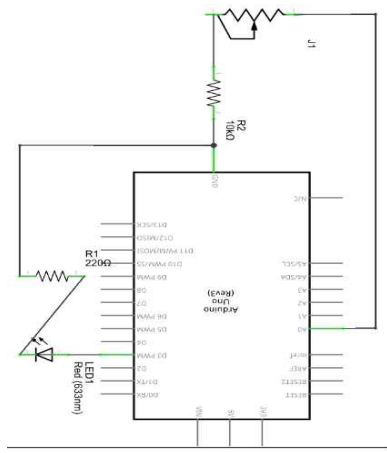
2.2.2 압력측정부

흉부가압력을 측정하는 방법은 그림5와 같이 스프링의 압축력을 이용한다. 스프링 상단에 달린 지압돌기가 압력센서와 접촉할 때 발생하는 기전력을 저항으로 환산하여 압력을 측정하는 원리이다. 이때 스프링 바닥면에 대해 두 지점에서 집중하중이 발생하기 때문에 측정값의 안정성을 위해 2개의 압력센서를 사용하여 스프링 서포터를 이용하여 힘을 분산시켰다⁷⁾. 스프링은 평균 10kgf의 하중을 지지하는 2개의 스프링을 이용해 스프링 변형량을 10mm 이내로 가정하여 표준규격에 해당하는 제품을 선정하였다. ($k = 2.99$, $G = 7,235\text{ N/mm}^2$)



[그림 5] 압축 스프링 자유물체도

$$k = \frac{P}{\delta} \quad (2)$$

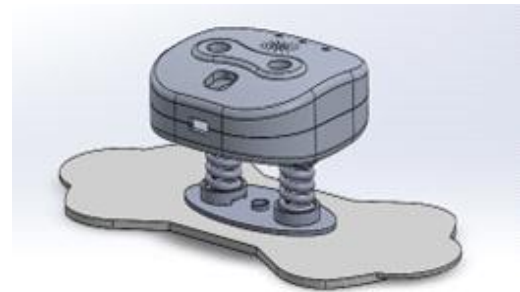


[그림 6] 심박박동과 압력센서 회로도

[표 1] 배터리 용량에 따른 충전시간

배터리 용량 (mA)	충전시간 (분)
800	48
1000	60
2000	120
2500	150

그림6은 상기 시스템 분석과 검증 과정을 통해 3D 모델링 한 모습을 나타낸 것이다.



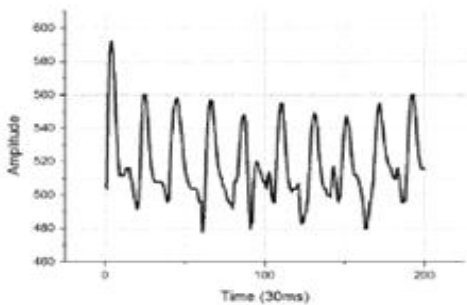
[그림 8] 시스템 3D 모델링

2.2.3 심박측정부

심박수를 측정하는 방식은 센서로부터 방사된 녹색 LED 광선이 혈관으로 투사되어 혈류량의 변화로 인해 산란된 빛의 세기를 통해 심박수를 측정한다.

하이드로겔이 도포된 패드 부착면에 심장박동센서를 삽입하여 가슴부위에 있는 모세혈관 다발을 통해 비교적 정확한 데이터를 측정할 수 있다.

그러나 빛의 세기를 이용하여 데이터를 측정하기 때문에 자세를 움직이거나 장치에 진동이 생기면 불안정한 데이터가 취득될 수 있다. 이러한 문제를 방지하기 위해 평균 데이터로 변환하여 3초간 측정된 심박수의 평균값이 기준치 이상일 때 부저가 작동될 수 있도록 구현하였다.



[그림 7] 정상 심박수 측정 시리얼 모니터

2.2.4 배터리 용량 및 충전시간

배터리 용량과 충전시간을 결정하기 위해서는 장치에 포함된 부품의 소비전력 $W_h = 0.271 W$ 이고 배터리 용량은 영유아 평균 수면시간 5시간을 고려하여 배터리 스펙을 결정하였다⁸⁾. 아두이노의 출력전압은 4.9V이고 충전모듈의 충전률이 1C(1000mA)일 때, 최소 배터리 용량과 충전시간을 표1에 요약하였다.

3. 실험결과

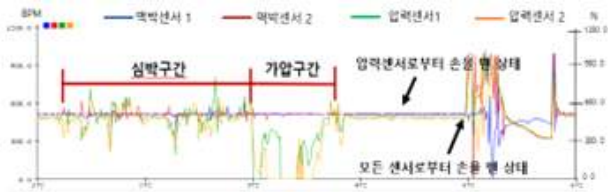
본 논문에서 제작한 장치의 작동여부와 정확한 평가를 위하여 영유아에 대한 위험 심박수 160BPM을 성인 남성의 평균 70BPM으로 변경 후 대학생을 대상으로 실험을 진행하였다. 누운 자세에서 장치를 흉부에 부착하고 심박수, 흉부가압력 그리고 장치탈착을 순차적으로 관찰하였다.

그림은 3분 동안 측정된 Serial Value를 그래프로 나타낸 것으로 가로축은 30ms 단위의 시간축이고 좌·우측의 세로축은 심장박동 센서를 통해 출력된 BPM값과 압력센서를 통해 감지된 흉부가압력[N]을 나타낸 것이다.

심박구간에서 실험대상자가 약한 강도의 운동(걷기) 후 장치를 부착하였을 때, 측정된 심박수가 8~11초가 경과한 후 부저가 작동하는 것을 확인하였다.

가압구간에서 장치에 최대 설계 부하인 12kg의 질량추를 올려놓고 1kg씩 무게를 줄이며 관찰하였을 때, 12kg에서 약 3초 후 부저가 작동하고 11~9kg에서는 작동되지 않는 것을 확인하였다.

이후, 모든 부하를 제거하고 정상 심박수 범위가 될 때까지 기다린 후 장치를 탈착하였을 때 진동으로 인한 과도반응으로 이상치가 발생하며 부저가 작동되는 문제를 확인할 수 있었다.



[그림 9] 시간에 따른 심박수-흉부가압력

4. 결론

본 논문에서 개발한 장치는 보호자의 부주의로 인한 영유아의 질식사고를 예방하고 아기의 건강상태를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 기술을 고안하기 위한 연구되었다.

이 장치는 심장박동센서, 압력센서-압축 스프링, 부착패드, 디스플레이 단말기로 구성되며 심박수와 흉부가압력을 측정하는 시험을 진행하였을 때, 심박수 측정에 대한 기능적인 알고리즘은 설계한 방식대로 작동되는 것을 확인하였다. 하지만 흉부가압력을 측정하는 스프링 메커니즘의 한계와 측정시험에서 설계 부하에 대한 오작동은 추가적인 개선이 필요하며 아래와 같은 보완점을 해결하였을 경우, 실용가능성이 있을 것으로 기대된다.

- (1) 스프링-압력 측정방식을 Board-Type 압력센서 대체
- (2) PCB회로를 활용한 모듈의 소형화 및 간소화
- (3) 부저 소음의 적절한 데시벨 개선

참고문헌

[1] Centers for Disease Control and Prevention, CDC/NCHS, National Virtual Statistics System, "Sudden Unexpected Infant Death and Sudden Infant Death Syndrome"

[3] Cheng, Huaining Obergefell, Louise, Rizer, Annette, 'Generator of Body Data Manual', Defense Technical Information Center pp. 51~73, 1994.

[4] Yechiam Ostchega, Ph.D. R.N.; Kathryn S. Porter, M.D., M.S.; Jeffery Hughes, M.P.H.; Charles F. Dillon, M.D., Ph.D.; and Tatiana Nwankwo, M.S, 'Resting Pulse Rate Reference Data for Children, Adolescents and Adults: United States, 1999-2008', National Health Statistics Reports Number 41, pp.13~14, August 24, 2011.

[5] Barrt J. Goodno, James M. Gere, 'Mechanics Of

Materials', CENGAGE, Edition 9, pp. 21~55, Appendix I

[6] Shin Gi-Chang, Hong Jong-Phil, 'Low Power Attached Wearable Module for Preventing Suffocation Accident of Infant', pp. 7~8, 2016

[7] Korean Law Information Center, 'Safety Standard of Children's Product The Test Methods For Physical Safety Requirements', Appendix D

[8] Hirshkowitz M, Whiton K, Albert SM, Alessi C, Bruni O, et al. 'The National Sleep Foundation's sleep time duration recommendations: methodology and results summary'. Sleep Health. pp.40 - 43, 2015.