

와류 챔버를 사용하는 호흡기류 센서

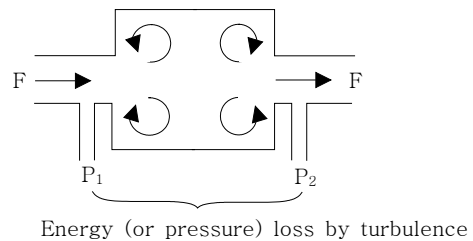
이인광, 최성수, 김군진, 장종찬, 김성식, 김경아, 이태수, 차은중
 충북대학교 의과대학 의공학교실, 충북 BIT 연구중심대학사업단

Air flow transducer with turbulence chamber

In Kwang Lee, Sung Su Choi, Goon Jin Kim, Jong Chan Jang, Sung Sik Kim,
 Kyung Ah Kim, Tae Soo Lee, and Eun Jong Cha
 Biomedical Engineering Department, School of Medicine, CBITRC,
 Chungbuk National University, Cheongju, Korea.

Abstract - Cardiopulmonary resuscitation(CPR) is an important clinical technique performing artificial ventilation and chest compression on a patient under emergent situation before arriving in hospital. Since the quality of CPR significantly affects the survival rate, it would be of great advantage to monitor respiration in real time during CPR. However, currently applied respiratory air flow transducers are difficult to apply with sensing elements in the middle of the flow axis. The present study developed a new turbulent air flow transducer conveniently applicable to CPR. Abrupt changes in diameter of the flow tube generated turbulence in air flow, thereby pressure difference was obtained to estimate the air flow rate, with no physical object on the flow plane. Expiration and inspiration were separated by the direction of the pressure difference, resulting in good symmetry. Pressure-flow relationship was tested on a quadratic model, which provided accurate enough estimation results. Therefore, the present turbulent air flow transducer seemed appropriate to monitor respiration during CPR.

변화하므로 정압력의 차이는 기류의 함수로 표현할 수 있다. 따라서 두 지점간의 압력 차이를 계측할 수 있다면 기류를 산출해 낼 수 있게 된다[4].



<그림 1> 와류형 호흡기류센서의 동작원리.

본 연구에서는 투명 아크릴 재질로 와류형 호흡기류센서를 제작하고 계측특성실험을 수행하여 CPR 시 호흡기류센서로 사용할 수 있는지의 가능성을 평가하였다.

1. 서 론

심폐소생술(Cardiopulmonary resuscitation, CPR)은 심장 마비나 교통사고, 익사사고 등을 당한 사람의 뇌사가 진행되기 전 약 10분 내에 인공호흡과 흉부압박을 병행해서 실시하여 최소한의 호흡과 혈액 순환을 유지시켜 주는 응급 처치법을 말한다[1]. 응급상황 발생 후 환자가 병원으로 이송되기 전 단계에서 수행되는 CPR은 환자의 생존율에 중요한 영향을 미친다. 따라서 양질의 CPR 수행이 요구되고 있으나 현실적으로 병원 전 단계에서 시행되는 CPR은 전문구조사들의 숙련도에 의존할 수 밖에 없으며 국제적 기준에 대한 적합성이 미흡한 상황이다[2]. 현재 CPR 시 호흡신호의 모니터링은 환자의 숨소리를 청진하거나 흉부의 진폭 등을 시각적으로 관찰하여 환자의 호흡유무를 판단하는 정도이어서 CPR 상황 하에서 실제로 환자에게 공급된 공기 용적에 관한 객관적이고 정량적인 자료가 전무한 실정이다. 따라서 CPR 시 호흡신호 모니터링의 중요성이 더욱 부각되고 있다.

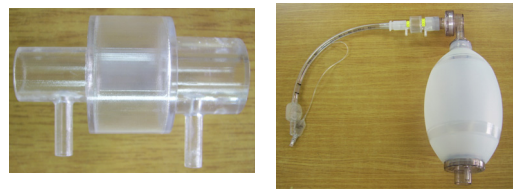
응급상황에서 환자의 호흡신호를 모니터링하기 위해서는 CPR을 방해하거나 지연시키지 않아야 하고, 휴대가 간편해야 하며 기존 장비들에 적용할 수 있어야 한다. 또한 환자가 수시로 배출하는 타액, 혈액과 같은 이물질의 침착으로 인해 센서의 계측특성이 변화하지 않아야 한다. 호흡신호를 모니터링 할 수 있는 계측기법 및 장치들은 여러 가지가 있지만 기존의 계측기법들은 응급상황이라는 특수한 상황에는 적절하지 않다. 특히 호흡경로 상에 센서소자가 위치하고 있어 상술한 요구조건들을 만족할 수 없다[3].

응급상황이라는 특수한 상황에 적용할 수 있는 호흡기류 센서는 호흡경로 상에 위치하면서 호흡을 방해하지 않아야 하며, 현재 CPR 시 사용되고 있는 기존의 연결관 사이에 손쉽게 연결할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 이러한 조건을 만족시키는 새로운 와류형 호흡기류 센서(turbulent air flow transducer)를 개발하였다. 와류형 호흡기류 센서는 그림 1에서와 같이 호흡기류가 흐르고 있는 경로의 단면적이 갑자기 넓어지거나 좁아지는데, 그 경계면을 중심으로 와류가 발생하게 되고 와류는 공기의 흐름을 방해하므로 에너지 손실이 발생하게 된다. 이때 에너지 손실량은 단면적이 변화하는 전후 위치에서 정압력 차이로 측정된다. 기류의 크기에 따라 와류 발생량도

2. 본 론

2.1 와류형 호흡기류센서의 구조

CPR 시 사용되는 ambu-bag과 기관내관(endotracheal tube)의 연결구조는 규격화되어 있으므로 기존 연결구조에 부가적으로 연결할 수 있도록 와류형 호흡기류센서를 그림 2와 같이 설계 제작하였다. 중앙에 직경이 큰 와류 챔버를 형성하고 좌우측에 압력을 측정하기 위한 탭을 수직으로 위치시켰다. 그림 2의 우측 그림은 실제 CPR시 사용되고 있는 기구에 와류형 센서를 연결한 실물사진이다. 기존의 기구에 와류형 호흡기류센서가 추가되었지만 연장되는 부분은 약 4cm 정도로서 CPR 수행을 거의 방해하지 않는다.

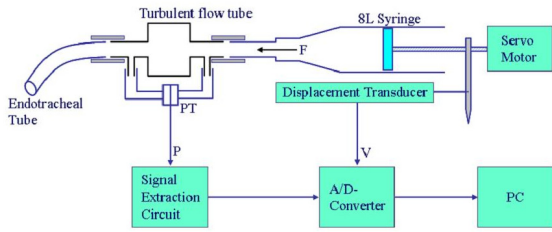


<그림 2> 와류형 호흡기류센서의 실물사진(좌)과 기존 기구와의 연결사진(우).

2.2 실험장치 및 방법

와류형 호흡기류센서의 좌측 관은 기관내관과 연결하고 우측관은 ambu-bag 대신 기류발생장치에 연결하였다(그림 3 참조). 기류발생장치로 약 $F = \pm 3$ [LPS] 범위 내에서 0.5[LPS]씩 단계적으로 일정 기류를 생성시켜 와류형 호흡기류센서로 흐르도록 하였다. 이때, 발생하는 기류의 용적(V)과 와류형 호흡기류센서 좌·우측의 차압(P) 신호를 동시에 측정하였다. V는 기류발생장치에 연결되어 있는 변위센서로 측정하였고, 일정 기류가 발생하는

시간동안 선형적으로 변화하는 V 신호의 기울기를 취하여 기류값(F)을 산출하였다.



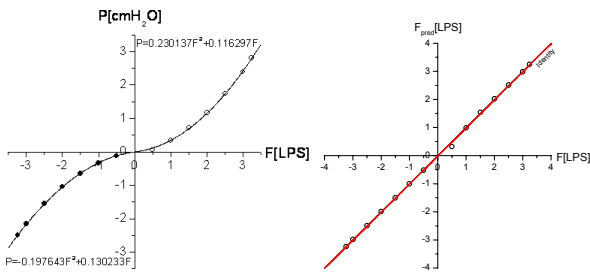
〈그림 3〉 실험장치의 모식도

2.3 계측특성 및 정확도 검증

P와 F 간의 관계를 식 (1)과 같이 2차 함수로 fitting 하였다.

$$P = aF^2 + bF \quad \text{where } a, b = \text{constants} \quad (1)$$

그림 4(a)에 P와 F 간에 2차함수 fitting 결과를 나타내었다. 흡식(+), 호식(-) 간에 거의 완전한 대칭성을 나타내었으며, 두 경우 모두 상관계수가 0.999 이상으로 정확한 fitting이 가능하였다($P < 0.0001$). 기류 계측의 정확도를 평가하기 위해 식 (1)의 압력-기류 특성식에 측정된 압력값을 대입하여 추정기류값(F_{pred})을 구하여 실제기류값과 비교하였다(그림 4(b) 참조). F_{pred} 의 평균상대오차가 약 -0.4% 정도로서 매우 정확한 기류 추정이 가능함을 확인하였다.



(a) P와 F 간의 계측 특성 (b) 추정값-표준값 비교

〈그림 4〉 계측특성 및 정확도 비교

3. 결 론

응급상황에서 양질의 CPR은 환자의 생존율에 큰 영향을 미칠 뿐만 아니라 병원으로 이송된 이후에도 CPR 수행에 따른 여러 부작용을 최소화할 수 있다. 최근 연구에 따르면 CPR 시 호흡상태를 객관적으로 파악할 만한 자료나 장치가 전무하고, 대부분 전문구조자들의 숙련도에 의존하고 있는 상황이다. 따라서 CPR 시 호흡신호를 실시간으로 모니터링 할 수 있다면 환자의 상태를 객관적으로 판단하여 대처할 수 있고, 병원 이송과정에서의 환자상태를 정량화함으로써 치료 과정에 활용할 수 있을 것이다.

CPR 시 호흡상태를 모니터링하기 위해서는 호흡경로 즉, 기관내관과 ambu-bag 사이에 호흡기류 센서가 위치해야 하는데, 응급상황이므로 갑작스럽게 혈담, 침 등이 배출될 수도 있다. 기존의 호흡기류센서들은 호흡경로 상에 센서소자가 위치하고 있으므로 응급환자로부터 배출되는 이물질들에 매우 취약할 수 밖에 없는 반면, 본 연구에서 개발한 와류형 호흡기류센서는 와류 발생을 위한 챔버가 빈 통의 형태이므로 호흡경로 상에는 실제 장애물이 없다. 또한 이 와류 챔버가 이물질들을 모으는 water trap의 역할도 할 수 있다는 이점을 가지고 있다.

본 연구에서 제시하는 호흡기류센서는 와류 발생으로 인한 에너지 손실로부터 정압력 차이를 계측하는 원리를 채택하였다. 에너지 손실은 두 지점 간에 압력차를 발생시키므로 압력센서를 사용하여 손쉽게 기류를 산출할 수 있다. 센서의 전체 폭은 약 4cm로 기존 CPR 시의 호흡경로보다 다소 더 길지만 기존의 CPR 상황과는 크게 다르지 않다고 판단된다.

와류형 호흡기류센서의 기류-압력 특성을 결정하기 위해 2차 함수로 fitting 한 결과 상관계수가 0.999 이상으로 충분히 높은 값을 나타내었으며, 기류 계측의 평균 상대오차가 약 -0.4% 정도로서 매우 정확하다는 것을 확인하였다. 또한 흡식과 호식 간에 대칭적인 P-F 특성을 나타내었으므로 인공적으로 공급한 신선한 공기의 양과 환자로부터 배출된 호식 공기의 양을 비교함으로써 기관내관 주변으로 공기 유출이 있는지의 유무도 판단할 수 있으리라 생각된다.

본 연구에서 제시하는 와류형 호흡기류센서는 기류변화에 대한 압력차를 충분히 정확하게 계측할 수 있고, 기류의 흐름을 방해하지 않는 구조이므로 CPR 시 호흡신호의 모니터링이나 장시간 평상호흡을 모니터링 할 때 새로운 호흡기류 계측기술로 응용할 수 있을 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 서울아산병원 심폐소생술 위원회, “심폐소생술”, 서울, 군자출판사, pp.21-26, 2006.
- [2] Aufderheide TP, Lurie KG, “Death by hyperventilation: a common and life-threatening problem during cardiopulmonary resuscitation”, Crit. Care Med. Vol. 32, No. 9(suppl) pp.S345-51, 2004.
- [3] Buess CH, Koller EA. “Pneumotachometers. In: Webster JG. Ed., Encyclopedia of medical devices and instrumentation”, Volume 4. New York, John Wiley & Sons, pp.2319-2324, 1988.
- [4] 신정철, “기초 유체역학”, 서울, 구민사, pp.286-290, 2000.