
초음파 센싱 방식의 spirometer에 대한 sensitivity 향상

한승헌* · 김영길

아주대학교

Sensitivity Elevation about Spirometer Using Ultrasound Sensing Method

Seung-Heon Han · Young-Kil Kim

Ajou University

E-mail : pianomix@freechal.com

이 논문은 2004년도 유비쿼터스 컴퓨팅 프론티어 사업단의 연구비를 지원 받았습니다.

요 약

초음파 센서를 이용한 호흡측정방식은 관성 및 압력의 오차의 영향을 거의 받지 않고, 반영구적으로 사용이 가능한 호흡기기이다. 초음파의 특성을 이용한 것으로 송수신시 초음파의 매질인 공기의 흐름에 의한 반송형식인 초음파의 전달속도 차이를 이용하여 호흡량 및 흐름을 detecting하는 기술이다. 본 논문에서는 환자를 중심으로 측정이 이루어져야 하기 때문에 센서의 송수신시 일어나는 신호의 sensitivity를 향상시켜서 약한 호흡에도 detection이 가능하도록 하였다.

ABSTRACT

The respiration measurement method using the ultrasound sensor hardly gets an influence of an error of inertia and pressure and it is a respiratory detection device available semi-permanently. This device measures the amount and flow of respiration through using a delivery speed difference of the ultrasound waves that are a return format by the pneumatic stream that is a flogging of ultrasound waves during transmission and receipt as having used a characteristic of ultrasound waves. In this paper, it improved sensitivity of a signal to happen during transmission and receipt of a sensor because measurement must be performed with a patient to the center and measurement was played in a weak breathing so that it was possible.

키워드

초음파, 호흡측정방식, 호흡량

1. 서 론

20세기말에 들어 인류는 자신의 건강을 항상 모니터링하며 검사하기를 원하고 있으며, 병원 의료 서비스 또한 일반인을 상대로 종합검진의 형태로 조기진단종합검사 시스템이 체계화, 구체화 되고 있다. 그 중에서 호흡측정기는 수년 동안 여러 연구 과제로 실행이 되어 왔지만 실용화 단계에 앞서서 원하는 결과가 나오지 않은 경우가 많았다. 또한 현재 실용화된 센싱 방식에 있어서 터빈을 이용하여 그 회전율로서 호흡의 흐름 및 양을 측정하고

있으나, 그 방식 자체에 갖고 있는 단점으로는 호흡의 측정이 측정시작과 측정 끝 부분에서 터빈관성에 의해 측정오차가 크게 발생하고 있다는 것이다. 또한, 압력센서를 이용한 방법으로 호흡시 저항체에 의한 간섭을 압력의 변화로 측정하는 방법에 의해 호흡량 및 흐름을 측정하는 방식이 있으나, 이 방식도 외부 환경의 변화에 따라 항상 calibration을 해야 하는 문제점을 가지고 있어서 사용하는데 불편함을 가져오고 있다.

따라서, 이러한 단점을 고려하여 관성의 오차 및 압력의 오차에 영향을 거의 받지 않는, 그리고 반

연구적으로 사용이 가능한 초음파 센서를 이용한 호흡측정방식이 연구중이다.

폐활량계는 호흡하는 가스의 용적 유량의 순간적인 속도를 측정하는 의료기구로 폐의 기능시험과 환자 모니터링에 사용되는데 전자공학적으로는 용적 유량 신호를 합친 폐의 절대적인 용적변화를 측정한다. 오늘날 사용하는 가장 대중적인 호흡측정기는 선형저항을 이용한 것이다. 이것은 낮은 유량 속도에서 용적 유량에 선형적으로 비례하게 압력강하를 시키기 위하여 저항을 사용한다.

본 논문에서는 초음파의 특성을 이용한 것으로서 초음파의 송수신시 초음파의 매질인 공기의 흐름에 의한 전달속도의 차이를 이용하여 호흡량 및 흐름을 측정하는 기술이다. 현재 센서의 출력값에 대한 결과가 안정성이나 재현성으로 볼때 임상으로 적용하기엔 아직까지 부족하다. 그래서 아날로그 부분을 여러 방법으로 수정하고 측정함으로써 sensitivity를 향상 시키기 위한 연구를 하였다.

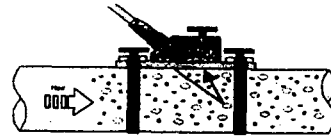


그림 1. 도플러 유속 측정기

전달시간 측정방법은 발신부에서 수신부까지의 전파시간 변화를 측정하는 방식이다. 그림 2에서 보인 것처럼 초음파를 발신·수신하는 변환기 1과 2를 관벽에 설치하고 초음파 변환기 1이 진동하며 유체에 초음파 진동을 발생시킨다.

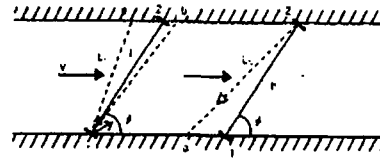


그림 2. 전달시간 측정방법

II. 호흡 측정 방식

현재 알려진 모든 초음파 유량 측정의 원리를 보면 초음파를 이용, 유속을 측정하여 유체의 흐름당 면적을 곱하여 유량을 연산하도록 되어있다. 따라서 직접 측정하는 것은 유속이다. 초음파 유량 측정 원리를 이해하려면 초음파를 이용하여 유속을 측정하는 원리를 이해하면 된다.

측정방식은 이용하는 특성에 따라 크게 나누어 전달시간 측정방식과 도플러 측정방식으로 분류할 수 있다.

움직이는 차량이 횡단보도 위에 있는 행인을 향하여 진행할 때 경적을 울리는 경우 똑같은 거리에 정지해 있는 차량이 울릴 때보다 더 크게 들린다. 즉 달려오는 차량에서 들리는 경적소리는 서있는 행인의 위치에서 들을 때 똑같은 거리에서 움직이지 않는 차량에서 들리는 경적소리보다 높은 주파수를 가지게 되는데 이러한 현상을 도플러효과(Doppler effect)라고 한다. 도플러 측정방식은 이 도플러효과를 이용하여 속도를 알아낸다. 그림 1은 발신부와 수신부가 일체로 된 도플러 초음파 유량계의 경우로 측정대상인 액체가 흐르지 않고 정지된 상태에서는 발신부와 수신부의 주파수가 같으나 액체가 흐르고 있을 경우에 그 주파수는 달라진다. 이 주파수 차이는 유량에 직선 비례 관계를 갖는다. 도플러 초음파 유량계는 원리상 액체 내의 입자나 가스 버블이 존재하는 경우에만 적용가능하며 깨끗한 액체의 유량 측정용으로는 사용할 수 없다. 또한 도플러 초음파 유량계는 측정 유체의 유속분포, 유체의 특성, 유체의 조성변화에 따라 오차가 커져서 정밀도가 매우 떨어진다. 특수한 적용 사례의 경우 30%이상의 오차를 발생시키기도 한다.

유체가 흐르지 않는 경우, 즉 유속이 '0'인 경우에는 변환기 2에 가장 먼저 도달하는 초음파는 L선 방향으로 전파한 파가 된다. 유체가 흐르고 있으면 점 1에서 발생한 초음파가 유체 내에서 유체 흐름을 따라 전파하게 된다. 이로 인하여 L선 방향으로 전파하던 초음파는 점 2에 도달하지 않고 점 b에 도달한다. 변환기 2에 도달하는 초음파는 점 a를 향해 전파하던 파가 된다. 반대로 변환기 2가 유체에 초음파 진동을 전달하면 a' 방향으로 전파하던 초음파가 변환기 1에 도달한다. 이때 그림 2에서 $LT_2 > LT_1$ 이 된다.

변환기 2에서 1까지 전파한 시간 t_2 와 변환기 1에서 2로 전파한 시간 t_1 과 유속 V 간의 관계가 다음의 식과 같이 된다.

$$V = \frac{L}{2 \cos \phi} \frac{t_2 - t_1}{t_2 t_1} \dots (II.1)$$

$\cos \phi$ 대신 $d = L \cos \phi$ (즉 L의 사영)을 식 (II.1)에 대입하면 널리 사용되고 있는 초음파 유속 측정식이 된다.

$$V = \frac{L^2}{2d} \frac{t_2 - t_1}{t_2 t_1} \dots (II.2)$$

식 (II.1)과 (II.2)에서 나타나 듯이 전파 시간차 ($\Delta t = t_2 - t_1$)은 유속 V에 정비례 관계를 갖는다.

초음파 유속 측정 방법으로서 위상차 방법, 주파수 방법 등이 있으나 모든 방법들이 위에서 설명한 전달시간 방법에 근거한 것이다. 초음파 유속 측정식은 완벽하게 증명된 물리 법칙이므로, 식 (II.1) 또는 식 (II.2)의 정당성에 대해서는 따로 증명할 필요가 없다. 따라서 유속 측정 오차 L , d 그리고 전파시간 t_2 와 t_1 의 측정 오차로 발생한다고 볼 수 있다.

앞에서 측정한 유속은 점 1에서 2 구간의 평균 유속이며 이 측정된 유속을 이용하여 유량을 연산하게 된다. 유량 Q 의 정의는 유체의 단면 S 를 통과하는 1초 동안의 유체 흐름 양이고, 유속이라는 것은 초당 유체가 이동한 속도이기 때문에 평균 유속 V_s 를 알면 유량은 식 (II.3)과 같이 간단하게 구할 수 있다.

$$Q = V_s (m/s) \times S (m^2) m^3/s \dots (II.3)$$

여기서 단면 평균 유속 V_s 를 어떻게 측정하는가에 따라 유량 측정방법이 분류된다. 유체의 단면 한 곳에서 초음파로 유속을 측정하는 경우가 가장 기본적인 1회선 방식이다. 가장 널리 알려진 방식으로 관로 내경 D 선상의 평균 유속을 초음파로 측정하도록 되어 있다. 직경선상의 평균 유속 V_D 는 단면 평균 유속 V_s 보다 약간 높게 나타난다. 따라서 1회선 방식에서는 식 (II.4)에 의해서 계산하게 된다.

$$Q = K S V_D \dots (II.4)$$

여기서 K 를 유량 계수라고 하는데 K 는 식 (II.5)와 같다.

$$K = \frac{Q}{S V_D} \dots (II.5)$$

유량계수 K 가 유속과 관로의 직경에 따라 어떻게 변하는가를 유량계 교정 검사 장치를 이용한 실험을 통해 결정하게 된다. 유량계수 K 와 유속과 내경과의 관계를 레이놀즈 수 $Re = V \cdot D/v$ (v : 유체의 운동 점도)의 함수로 표시된다.

1회선 방식 이외에 측정 지점의 수에 따라 늘려 2회선, 4회선 방식도 존재하며, 다회선 방식이라고 하는 5회선 이상의 방식도 있다.

III. 초음파 호흡 시스템

초음파 음향 풍속계는 한 쌍의 트랜스듀서 사이에서 초음파를 전달하여 측정 공간내의 매질 속도에 의한 전달 시간의 변화를 측정한다. 음향 풍속계의 특성을 계산하는데 적용되는 음속만큼이나 많은 유속을 가지고 있는 유한길이 실린더 덕트 내에서 음압을 계산하는 데에는 많은 문제점을 가지고 있다. 음파 회절은 양쪽 덕트 끝에서 연속파 반사를 적용할 때 생각해 볼 수 있다. 반 한정된 도

파관의 끝에서의 정상 모드 반사와 변형 상관계수는 그 연관된 기술로서 얻을 수 있다. 음향 풍속계는 0.05에서 20m/s의 범위에서 가스와 공기의 유속을 측정하는 기구이다. 측정방법은 공기와 음향의 상호작용에 기반을 두고 있으며, 그것은 원주형의 도파관 공기 덕트 안에서 진동여진을 일으킨다. 여진점에서 약간 떨어진 곳에서 그리고 정보 제공 신호의 결과로서 얻어진 진동은 골라내지는데, 그것은 흐름을 단위로서 사용된다.

한 방향으로의 전달 시간만을 측정한다면, 유량 속도의 변화로 인한 영향과 음파의 속도 C_s 의 변화로 인한 영향을 구별할 수 없기 때문에 한 쌍의 트랜스듀서는 교대로 상대편 트랜스듀서 방향으로 전송하여 Upstream과 Downstream 두 방향 모두에서의 전달 시간을 측정한다. 이러한 방식으로 C_s 에 대한 의존을 감소시키거나 제거할 수 있다. 구조를 간단히 하고 비대칭 경로를 피하기 위해 각 센서는 교대로 발사하도록 하였다.

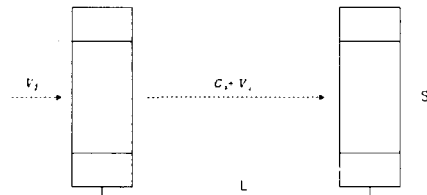


그림 3. 초음파 transducer

발신 링으로부터 수신 링까지의 파 전달 시간 T 는 식 (III.1)에 의해서 근사적으로 결정된다.

$$T = \frac{L}{C_s \pm V_f} \dots (III.1)$$

표시 “ \pm ”는 소리와 유량의 전파 방향의 일치(또는 불일치)를 고려한 것이다. 일치하였을 경우 음파의 속도와 유체의 속도는 합쳐지고, 불일치가 발생하였을 때 속도는 감소된다. 전달 측부터 수신 측까지 전달시간 측정은 측정의 정확도를 위해 발신 측에서 수신 측 사이의 위상 전이의 식 (III.2)로 대체된다.

$$\phi = \frac{2\pi f L}{C_s \pm V_f} \dots (III.2)$$

링 형태 압전 센서는 선명한 주파수 특성을 가지며, 음파의 진행 방향에 따라 발신부 또는 수신부로 이용 가능하다.

시스템은 전반적으로 센서부, 송·수신 신호 처리부, 제어부로 나누어진다. 첫째로 센서부는 초음파 센서의 하우징 및 출력 케이블로 이루어져 있으며 초음파 폐활량 측정기 시스템의 센서 부분에 해당되고, 그 규격은 공진 주파수와 수학적 모델을 근거로 정해졌다. 둘째로 송·수신 신호 처리부는 센서에 구동신호를 공급하고 센서로부터의 신호를 처리하여 시스템 제어부로 넘겨주는 역할을 한다.

세 번째 전 시스템 제어부는 두 번째에서 넘겨진 처리 신호를 디스플레이 하는 역할을 한다.

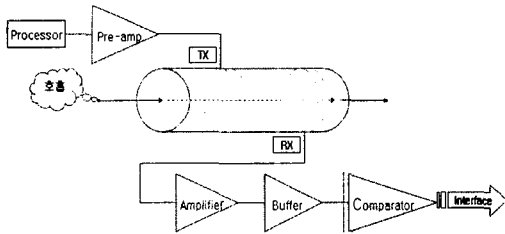


그림 4. 초음파 spirometer의 블록도s

IV. 실험 및 고찰

환자를 중심으로 이루어지는 기기이므로, 약한 호흡에도 측정이 가능하도록 센서의 발신부로 들어가는 회로에 프리앰프를 이용 하였다. 센서에서 수신된 신호는 임피던스 매칭을 위한 버퍼를 거쳐 증폭하여 변화량 측정을 위해 Generator에서 발생 시킨 신호와 레벨을 맞추기 위해 증폭기를 거친 후 Comparator로 들어간다.



그림 5. 약호기(왼쪽) 과 강호기(오른쪽)



그림 6. 약흡기(왼쪽)과 강흡기(오른쪽)

V. 결 론

초음파를 이용하여 유량을 측정하는 기술은 적용되지 오래되었지만, 호흡측정에 적용되는 것은 아직까지는 드문 일이다. 위의 실험은 전체적인 시스템을 보았을 때, 초기단계에 불과하지만, 앞으로의 진행 단계를 위해서는 중요한 부분이라 할 수 있다. sensitivity가 명확해야 평균 유속 측정에 정확성도 높이고 correlation을 통해 유량계수를 얻어 내서 정확도를 개선할 수 있기 때문이다. 임상에서 호흡기 적용이 가능하도록 연구가 진행되어야 하기 때문이다. 실제 병원에서 사용 가능한 측정값을 얻기 위해서는 호흡 기류 측정값의 알고리즘 개선과 많은 실험을 통한 검증은 거치면서 실제 호흡기에 적용 가능하도록 기술적으로 더 많은 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] Shkundin, S.Z. and Kremlijova, O.A, Method for Calculating Acoustic Fields in a Finite Cylindrical Channel with a Flow. Acoustical Physics, Vol.44, No 1, 1998
- [2] Johnston, G.W. and Ogimoto, K., Sound Radiation from a Finite Length Unflanged Circular Duct with Uniform Axial Flow. I. Theoretical Analysis, J. Acoust. Soc. Am.,1980, vol. 68, no. 6, pp. 1858-1870
- [3] "의용계측공학", 의공학 교육 연구회
- [4] "의료 초음파 공학", 인터버전
- [5] American Thoracic Society Statement, "Standardization of spirometry", Am Re Respir Dis 1987, pp.1286-1296.
- [6] Voskresenskii, G.V. and Pliss, A.I., On a Constructive Solution of Boundary Value Problems of Diffraction at Finite Bodies Based on Factorization, Zh. Vychisl. Mat. Fiz ; 1975, vol. 15, no. 3, pp.672-681
- [7] Russel NJ, Crichton NJ, Emmerson PA, Morgan AD, "Quantitative assessment of the valu of spirometry", Thorax, 1986, pp.360-363.