

## ARM 920T 프로세서 기반의 초음파 폐활량계 구현 및 감도 향상 연구

### An Implementation of ARM 920T Processor-based Ultrasonic Spirometer and Improvement of Its Sensitivity

이철원\*, 김영길\*\*†

Cheul Won Lee\* and Young Kil Kim\*\*†

초 록 폐활량계(Spirometer)는 호흡하는 가스의 용적 유량의 순간적인 속도를 측정하는 의료기기로 폐의 기능 시험과 환자 모니터링에 사용되며 용적 유량 신호를 합친 폐의 절대적인 용적변화를 측정한다. 본 논문에서는 환자를 대상으로 약한 호흡에서도 폐활량 측정이 가능 하도록, 관성의 오차 및 압력의 오차에 영향을 거의 받지 않는 초음파 센서를 이용하여 송수신시 초음파 신호를 향상시켰으며, ARM 920T 프로세서를 사용하여 약한 호흡에도 정확하고 빠른 검출이 가능한 시스템을 구현하였다.

**주요용어:** 초음파, 폐활량계

**Abstract** The spirometer is a medical device that measures the instantaneous velocity of the respiratory gas flow capacity. It is used for testing the condition of the lung and patient monitoring. It measures the absolute capacity difference that includes the flow capacity signal. In this paper, by using an ultrasound sensor that reduce+ the error caused by the inertia and pressure it has improved the transmission and receiving signal. This has enabled patients with weak respiratory to use the spirometer. Also, by using the ARM 920T processor, a precise and prompt detection system was implemented.

**Keywords:** ultrasound, spirometer

#### 1. 서 론

인구의 증가(특히 노령인구) 와 생활수준 향상에 따라 질병과 진료의 형태가 다양해지고 의술과 첨단과학기술의 발전이 맞물려 의료기기의 기술개발이 급변하고 있다. 또한 의료기술의 정밀화와 편리성, 다기능성 등에 대한 요구가 증가하면서 선진국에서는 일찍부터 많은 연구가 이루어져 왔다. 국내에서도 의료기술개발에 대한 필요성을 인식, 여러

분야에서 개발 중이나 아직 기술수준이 초보단계에 있다. 그 중에서 호흡측정 분야는 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.

따라서, 이러한 단점을 고려하여 관성의 오차 및 압력의 오차에 영향을 거의 받지 않는, 그리고 반영구적으로 사용이 가능한 초음파 센서를 이용한 호흡측정방식이 연구 중이다.

본 논문에서는 약한 호흡에도 검출 가능하도록 초음파의 특성을 이용하여 초음파의 송수신시 초음파의 매질인 공기의 흐름에 의한 전달속도의 차이를 이용한 시스템을 구현하고, 호흡량 및 흐름을 측정하여 디스플레이 하였다. 또, 보다 정확한 신호의 검출을 위해 아날로그부의 성능을 개선시켜 감도를 향상시키기 위한 연구를 하였다.

## 2. 이 론

### 2.1. 기체용 초음파 측정 원리

기체용 초음파 측정계에서 사용되고 있는 원리는 전파속도차법인데 이중에서도 주류는 싱어라운드법(sing around)을 기본으로 하는 주파수차법(전파시간역수차법)이며 기체의 유속을 초음파 전파 시간역수의 차이로 측정하는 원리이다.

전파 시간 역수차법의 유속측정은 그림에서 보여주고 있는 바와 같이 측정관에 검출기를 서로 마주 보게 설치하고 교대로 초음파 펄스를 발신 및 수신하여 유동방향에 대해 순방향(Pu → Pd)의 전파시간 td와 역방향(Pd → Pu)의 전파시간 tu를 얻는다. 각각 아래 식으로 나타낼 수 있다.

$$td = \frac{L}{C + V \cos \theta} \quad (1)$$

$$tu = \frac{L}{C - V \cos \theta} \quad (2)$$

여기서 L : 초음파 전파경로의 길이(L=D/sin θ)

D : 관의 직경

θ : 초음파의 전파경로와 관축이 이루는 각

C : 기체내에서의 음속

V : 초음파 전파경로상의 평균유속

여기서 전파시간 td, tu 의 역수에 비례하는 측정 회로상의 주파수 fd, fu 를 고려하면 아래 식과 같이 된다.

$$fd = N / td \quad (3)$$

$$fu = N / tu \quad (4)$$

여기서 N : 측정회로상의 정수 (배수)

위 식에 대한 주파수 Δf는 아래와 같다.

$$\Delta f = fd - fu = \frac{N}{td} - \frac{N}{tu} = \frac{2Nc \cos \theta}{L} \cdot V \quad (5)$$

여기서 주목하여야 할 것은 식 (5)의 오른쪽 항에는 기체중의 음속 C가 없다는 것이다. 위의 식 (5)에서 전파경로상의 평균유속 V는 아래 식과 같이 된다.

$$V = \frac{L}{2 \cos \theta} \left( \frac{1}{td} - \frac{1}{tu} \right) \quad (6)$$

그런데 전파시간 td, tu 는 식 (1) 및 (2)에서 보여주고 있는 바와 같이 기체중의 음속 C가 있으며, 기체의 조성 및 온도에 따라서 변화한다. 그러나 전파 시간역수차법을 이용하면 식 (5)처럼 음속 C항은 없어지고, 유속 V는 정수 N, θ와 측정 회로상의 정수 N에만 의존하며, 기체의 온도 변화와는 관계없이 유속을 구할 수 있다. 이것이 전파시간 역수차법의 큰 특징이다.

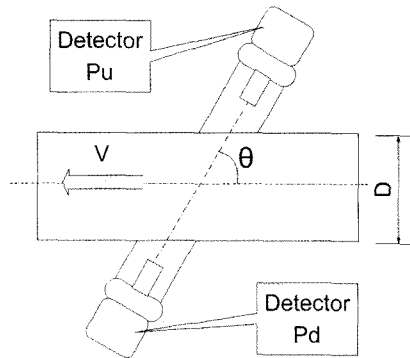


Fig. 1 measurement diagram

### 2.2. 적용된 초음파 호흡 방식 및 시스템

호흡 측정 방식에는 검출기가 직접 측정 기체에 접촉하는 센서삽입형 검출기와 검출기가 측정 기체에 비접촉으로 측정하는 Clamp-On형 검출기가 있으며 센서삽입형 검출기는 전파 경로의 계산에 어려운 관재료 및 라이닝재료가 포함되어 있지 않아, 이론적으로 Clamp-On형 검출기보다 높은 정확도로 전파시간의 측정이 가능하며, 초음파 펄스의 감쇄가 없으므로 수신 강도가 높고, 보다 안정된 측정이 가능하며, 높은 정확도를 가진다.

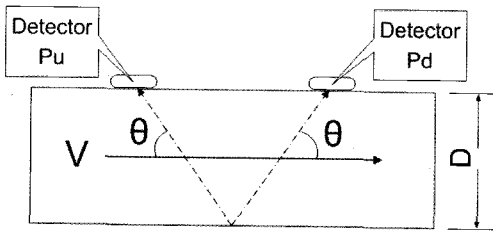


Fig. 2 Sensor Penetration Detector

Fig. 2는 시스템에 적용한 센서삽입형 검출기의 단면으로서 초음파 펄스를 발사 후 기체 내에 투과 또는 반사한 초음파 펄스를 수신하여 전기신호로 변환한 그림이다. 순방향의 전파시간  $t_d$ 와 역방향의 전파시간  $t_u$ 는 각각 다음과 같이 측정된다.

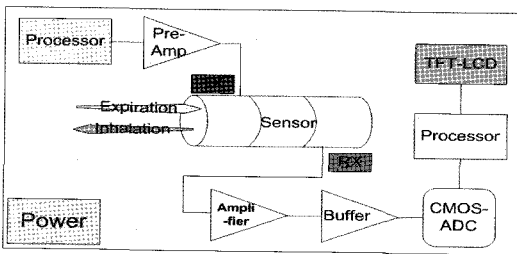
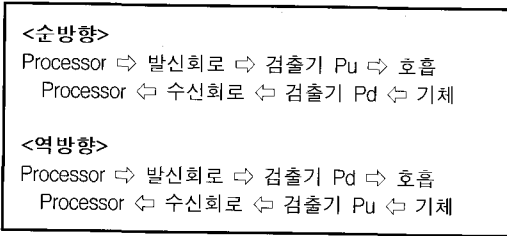


Fig. 3 Block diagram of the ultrasound spirometer

Fig. 3은 시스템의 전반적인 블록도로서 센서부, 아날로그부, 디지털 신호 처리부, 디스플레이부, 전원부로 나누어진다. 먼저, 센서부는 초음파 센서의 하우징 및 출력 케이블로 이루어져 있으며 초음파 폐활량 측정기 시스템의 센서 부분에 해당되고, 그 규격은 공진 주파수와 수학적 모델을 근거로 정해졌다. 또, 아날로그부는 센서에 구동신호를 공급하고 센서로부터의 수신 신호를 받아 증폭, 버퍼 처리하여 디지털 신호 처리부로 넘겨주는 역할을 한다. 디지털 신호 처리부는 시스템 전체를 제어하는 ARM 920T 프로세서를 제어하여 아날로그부에서 넘겨진 신호를 ADC 처리하고, 디지털 신호를 메모

리에 저장하고, 디지털 처리된 수신 신호를 디스플레이부로 보내는 역할을 한다. 디스플레이부는 이 디지털 신호를 받아, TFT-LCD 에 실시간 디스플레이 해준다. 전원부는 전 부분에 각각 3.3 V 및 5 V, 12 V를 공급해 줌으로써, 시스템 정상 작동을 가능하게 한다.

### 3. 실험 및 결과

Fig. 4는 환자의 약한 호흡에서도 기체 흐름이 측정 가능한 ARM 920T 프로세서 기반의 초음파 폐활량계 시스템 구성도이다.

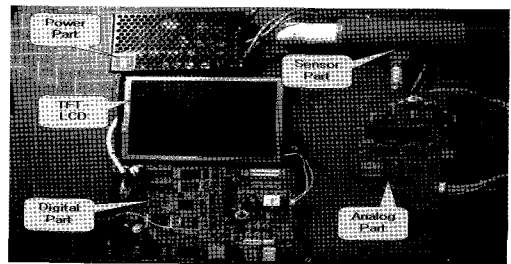


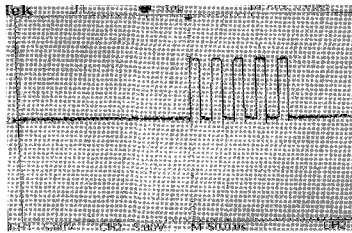
Fig. 4 Ultrasound Spirometer System Diagram

위에서 설명한 바와 같이 기체용 초음파 측정 원리 및 호흡 방식, 그리고 Fig. 4의 초음파 폐활량계 시스템을 사용하여 다음 몇 가지 실험을 실행하였다.

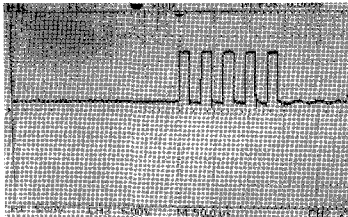
Fig. 5의 실험은 30 kHz, 5 V 신호를 아날로그부 발신회로에 입력 후 수신했을 때 수신회로에 나타나는 파형이다. 이 파형에서 그라운드(0 V)는 호흡의 강도를 나타내는 기준선이 된다. 이 기준선은 호흡을 불었을 때 올라가고, 호흡을 들이 마실 때는 내려가도록 구성하였다. Fig. 5(a)는 volume이 0.2 L (litter: 약호기)일 때의 결과를 나타내는데, 기준선의 변화가 없었다. 따라서 미세한 신호를 측정할 수 없었다. 한편 Fig 5(b) 실험에서는 수신부측에 감도를 높게 하여 미세한 신호에도 감지할 수 있도록 구성하였다. 결과는 Fig. 5(b)와 같이 기준선 값이 1.8 V 까지 올라갔다. 즉, 호흡에 대한 변화가 없었던 Fig. 5(a)와 비교해보면, 같은 강도만큼 주입했을 때 Fig. 5(b)실험에서처럼 감도가 더 좋아졌다.

Fig. 5(c)는 volume을 1 L (litter:강호기)로 좀 더 강하게 주입했는데, 기준선 값이 0.8 V로 올라갔다. 즉, 건강한 사람이 센서에 강하게 불어야만 비로소 반응이 약하게 일어날 수 있다. 따라서 환자 중립

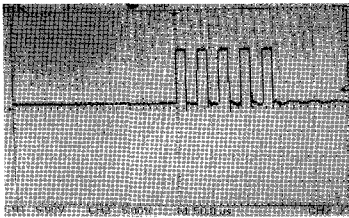
의 측정으로는 불가능하였다. Fig 5(c)는 수신부측 감도를 높게 하여 volume을 1 L 로 하였을 때, 기준선 값이 3.2 V까지 올라갔다. 강하게 주입할수록 감도가 더욱 향상되었다. 따라서, 같은 양 만큼 주입했을 때와 약한 호흡에 대해서 감도가 더 나아진 것을 볼 수 있다. 다음 Table 1에서는 몇 가지 volume 값에 대한 기준선 값을 나타내었다.



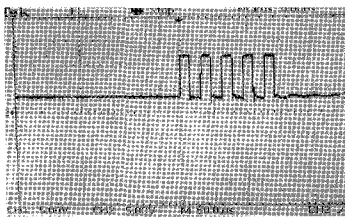
Previous(a) : Weak Phase



Previous(b): Strong phase



Present(c): Weak Phase



Present(d) : Strong phase

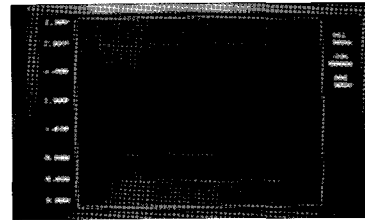
Fig. 5 The wave shown in the receiving circuit

Table 1 Experimental comparison of Fig. 5

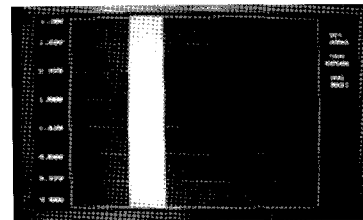
|        | 0.2 L | 0.5 L | 1 L   | 1.5 L |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| (a) 실험 | 0 V   | 0.4 V | 0.8 V | 1.1 V |
| (b) 실험 | 1.8 V | 2.5 V | 3.2 V | 5.5 V |

기존 방식에 있어서는 호흡 강도에 대한 신호가 거의 구별하기 힘들었다. 또한, 그라운드(기준선)의 상·하 움직임에 대한 불안정성이 발생하였다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서 op-amp로 인한 오프셋을 조정하여 그라운드를 안정화 시키고, 발신부측의 증폭률을 높이고 수신부측도 이중증폭을 이용하여 호흡의 강도에 따른 차이를 구별할 수 있게 하였다.

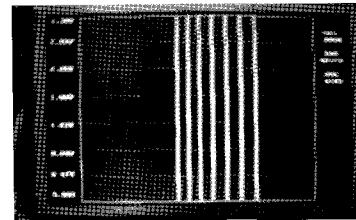
Fig. 6은 호기 및 흡기에 대한 강·약 디스플레이 실험으로서, Fig. 6(a)는 무입력 상태 신호를, Fig. 6(b)는 강하고 연속적인 호기 및 흡기 신호를, Fig. 6(c)는 강하고 짧은 간헐적 신호를, Fig. 6(d)는 약하거나 강한 짧은 간헐적 신호를 각각 TFT-LCD 에 디스플레이 한 실험이다.



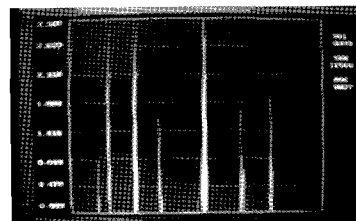
(a) no input



(b) strong and continuous signals



(c) strong short intermittent signals



(d) weak or strong short intermittent signals

Fig. 6 Respiratory intensity display experiment

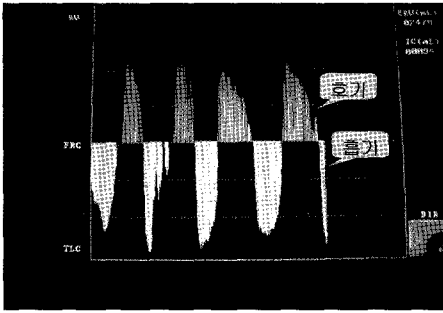
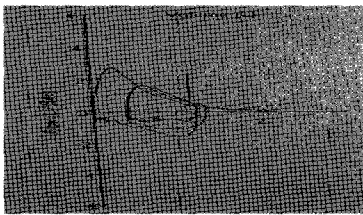
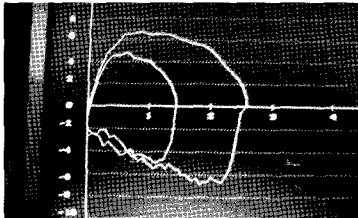


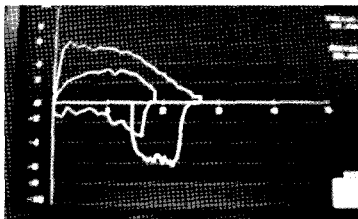
Fig. 7 breath-in/breath-out continuous display



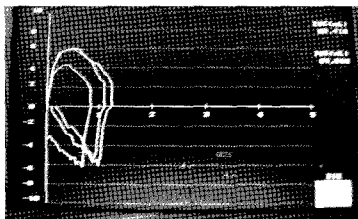
(a) Respiratory Curve in hospital



(b) Respiratory curve in an experiment



(c) Respiratory curve in an experiment



(d) Respiratory curve in an experiment

Fig. 8 Respiratory curve in an experiment

Fig. 7은 호기량 및 흡기량을 연속적으로 디스플레이 한 그림으로서, 호기량 및 흡기량을 사용자가 보기 편리 하도록 각각 분홍색(호기)과 하늘색(흡기) 등의 컬러를 사용하여 나타냈으며, 그 양을 숫자(단위: ml)로 TFT-LCD 에 디스플레이 한 그림이다.

Fig. 8(a)는 실제 병원에서 사용하는 Medical Graphics Corporation사 Spirometer(모델: ULTIMA PFX)의 호흡곡선의 결과를 보여준 것이고, Fig 8 (b)는 Fig. 8(a)와 유사한 방식으로 디스플레이 하기 위해 구현 및 실험된 호흡곡선의 결과를 보여준 것이다.

Fig. 8(b)의 가로는 크기 및 전체 양을, 세로는 Flow 속도를 각각 보여주며, 마치 책 페이지를 읽고 넘기는 것처럼 일정 시간 동안에 한 화면씩 연속 디스플레이 한 Fig. 7과는 다르게, 무한 시간 한 화면에 연속 디스플레이 하였다.

Fig. 8(c)와 (d)는 각각 흡기 후, 호기시를 원점 시작으로 하여 디스플레이 하였으며, Fig. 8(a)와 (b)와는 달리, 호흡시 마다의 호흡곡선을 쉽게 비교할 수 있도록 구현하였다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 초음파 폐활량 측정기기를 개발하기 위한 초기 단계로써 초음파 센서 및 초음파 측정 방식의 연구와 시스템 구현, 아날로그부의 감도 향상을 중점으로 실험하였는데, 기존 시스템과 비교하였을 때, 초음파 센서에 대한 원리 이해 및 실험, 시스템 개선 등을 통해 약한 호흡에도 민감하게 반응 할 수 있도록 개발, 진행되었다. 또한, 실제 병원에서 사용하는 폐활량 측정기기와 비교해 봄으로써, 제안된 방식의 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

초음파를 이용하여 유량을 측정하는 기술은 적용된지 오래되었지만, 호흡측정에 적용되는 것은 아직까지는 드문 일이다. 그러므로 초음파 폐활량 측정기의 개발은 아직 초기 단계이며, 국내의 센서기술과 측정기술이 발달되면서 많은 진보가 예상된다. 임상에서 호흡기 적용이 가능하도록 많은 실험을 통한 검증과 연구가 꾸준히 진행되어야 할 것이다.

#### 후 기

본 논문은 2005년도 정보통신부 유비쿼터스 컴퓨터 및 네트워크 사업단의 지원에 의하여 이루어진 연구임.

**참고문헌**

- [1] S. Z. Shkundin and O. A. Kremlijova, "A Method for Calculating Acoustic Fields in a Finite Cylindrical Channel with a Flow," Acoustical Physics, Vol. 44, No 1, (1998)
- [2] G. W. Johnston and K. Ogimoto, "Sound Radiation from a Finite Length Unflanged Circular Duct with Uniform Axial Flow : I Theoretical Analysis", J. Acoust. Soc. Am., Vol. 68, No. 6, pp. 1858-1870, (1980)
- [3] "의용계측공학", 의공학 교육 연구회, pp. 509-575, (1993)
- [4] "의료 초음파 공학", 인터버전, pp. 125-128, (2003)
- [5] American Thoracic Society Statement, "Standardization of spirometry," Am. Re. Respir. Dis., pp. 1286-1296, (1987)
- [6] Russel NJ, Crichton NJ, Emmerson PA, Morgan AD, "Quantitative assessment of the valu of spirometry," Thora, pp. 360-363, (1986)
- [7] "유량계측 A to Z", 테크하우스 pp. 121-141 (1997)