

진단폐활량계 성능검증을 위한 장치의 정확도 평가

이인광*, 박미정*, 김경옥**, 차은중*, 김경아*
 충북대학교 의과대학 의공학교실*, 우송정보대학 간호과**

Accuracy evaluation of the device to validate spirometer performance

In-kwang Lee*, Mi-Jung Park*, Kyoung-Oak Kim**, Eun-Jong Cha*, Kyung-Ah Kim*
 Biomedical Engineering Department, School of Medicine, Chungbuk National University*,
 Department of Nursing, Woosong College, Daejeon, Korea**

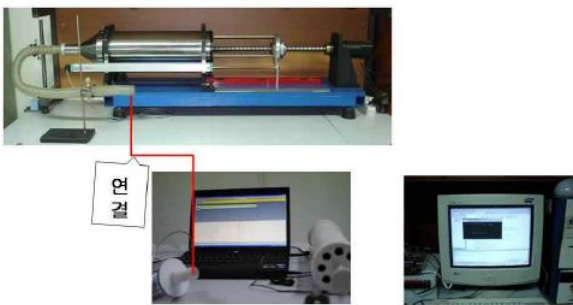
Abstract - The present study developed an air flow generator system with standard syringes usually adapted for spirometer calibration. It consisted of servo-motor, driver, linear robot, and controller operating as a whole integrated system capable of generating air flows at different speeds on two identical 3L syringes. Experiments demonstrated high accuracy in both flow and volume generation as required such that relative errors were approximately 2.1% and 0.5%, respectively.

1. 서 론

진단폐활량계는 환자의 폐에서 나오거나 들어가는 공기의 양을 측정하여 폐의 기능을 진단하는 의료기기이다[1]. 폐 기능은 환자의 코를 집게로 막고, 입에 기류변환기를 연결한 후 정해진 호흡 방법으로 호흡하면서 측정된 기류신호로부터 진단한다. 임상적으로 중요한 진단변수로는 노력성폐활량(FVC, Forced Vital Capacity), 1초간 노력성폐활량(FEV₁, Forced Expiratory Volume in 1second), 최대호식기류(PEF, Peak Expiratory Flow rate) 노력성 호식 중간기류(FEF_{25-75%}, Forced mid-Expiratory Flowrate), 일초율(FEV_{1%}, FEV₁/FVC) 등이 있다[2].

2011년 6월에 발표된 식품의약품안전처의 진단폐활량계 성능평가 가이드라인에서는 표준파형발생장치나 3리터 캘리브레이션 시린지로 각 진단변수들의 측정 정확도가 성능 기준에 부합하는지 평가하도록 제시하고 있다[3]. 그러나 표준파형발생장치는 용적이 큰 시린지를 서보모터로 제어하므로 시스템의 전체 부피가 커지고 시스템을 제어할 수 있는 컴퓨터를 따로 구동시켜야 하는 제약이 따른다.

성능시험장치



진단폐활량계

제어컴퓨터

<그림 1> 표준파형발생장치



<그림 2> 3리터 캘리브레이션 시린지

또한 3리터 캘리브레이션 시린지는 시험자가 수동으로 다양한

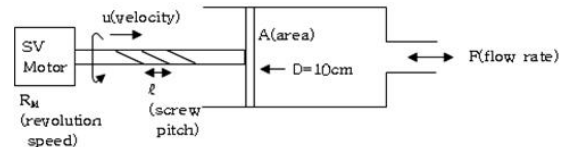
속도로 수차례 동작시켜야 하는 번거로움이 있다[3]. 따라서 폐활량계의 성능평가 및 캘리브레이션시 다양한 속도로 정확한 용적의 공기를 간편하게 반복적으로 폐활량계에 제공해 줄 수 있는 장치가 필요하다.

이에 본 연구에서는 3리터 시린지 및 서보 모터, 드라이버, 선형로봇, 컨트롤러를 하나의 패널에 결합시켜 자동으로 3리터 시린지 두 대를 동시에 구동시킬 수 있는 장치를 개발하였다. 또한 선형변위센서를 장착하여 진단폐활량계에 제공해 주는 공기의 정확한 용적과 기류신호를 산출할 수 있도록 하였고, 실험을 통해 최대기류값과 용적의 정확도를 평가하였다.

2. 본 론

2.1 동작 원리

시린지의 이동 속도는 서보모터의 단위시간당 회전수로 제어된다(식 1 참조).



$$[u]=\text{cm/sec}, \quad [R_M]=\text{RPM}, \quad [l]=2\text{cm}, \quad A=\pi\left(\frac{10\text{cm}}{2}\right)^2, \\ [F]=\text{LPS}$$

<그림 3> 서보모터 회전속도에 따른 기류 산출

$$F(\text{기류}) = u(\text{속도}) \cdot A(\text{단면적}) = R_M(\text{회전속도}) \cdot l(\text{screw pitch}) \cdot A \\ = R_M \left[\frac{\text{turns}}{\text{min}} \right] \cdot l \left[\frac{\text{cm}}{\text{turn}} \right] \cdot A [\text{cm}^2] \cdot \left[\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ sec}} \cdot \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ cm}^3} \right] \\ = \frac{R_M \cdot l \cdot A}{6 \times 10^4} [\text{LPS}] \text{----- (식 1)}$$

내경이 100[mm] 인 캘리브레이션 시린지에서 정확하게 3리터 용적의 공기를 토출시키기 위해서는 (식 2)와 같이 시린지 축의 이동거리를 정확히 계산해야 한다.

$$V(\text{용적}) = \pi \left(\frac{100}{2}\right)^2 \cdot \text{mm}^2 \cdot L \cdot \text{mm} \cdot \frac{\text{cm}^3}{10^3 \text{mm}^3} \times \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{cm}^3} \\ = \pi \cdot \frac{100 \times 100}{4} \cdot \frac{1}{10^6} \cdot L = \frac{\pi}{400} L \\ \text{where } [L]=\text{mm}, [V]=\text{L} \text{----- (식 2)}$$

2.2 실험 방법

내경이 100[mm]인 3리터 캘리브레이션용 시린지 두 대를 평행하게 위치시키고, 시린지의 시간에 따른 이동상황을 전기신호로 측정하기 위한 선형변위센서의 축과 시린지의 축을 고정하였다. 서보 모터를 이용하여 정확하게 3리터의 공기를 토출시키기 위해 시린지 축의 이동거리를 382[mm]로 설정하였다. 시린지의 이동 속도는 서보모터의 단위시간당 회전수로 제어되며, 0~15[LPS]의 기류범위에서 변화하도록 하였다. 상기 범위내에서 임의의 최대기류를 설정하면 최대기류로 1회 왕복운동하는 모드와 최대기류를 기준으로 5단계의 속도로 총 10회 연속 왕복운동이 가능하도록 설계하였다.

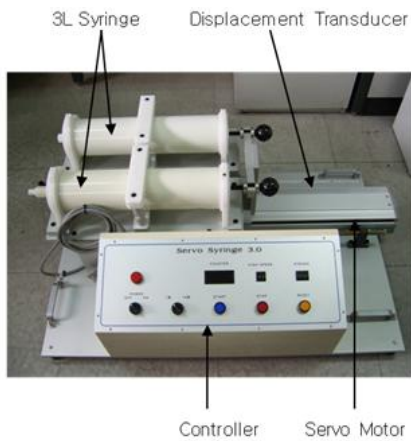
본 연구에서 개발한 기류 발생 시스템의 용적 정확도를 확인

하기 위한 실험을 수행하였다. 1회 왕복운동모드에서 최대기류를 2~12[LPS]에서 2[LPS] 간격으로 시린지를 구동하면서 선형변위 센서로부터 출력전압을 측정하였다. 이를 용적신호로 변환한 후, 시간에 대해 수리미분하여 기류신호를 산출하였다. 기류신호 산출시 발생하는 고주파 잡음을 제거하기 위해 ± 50 [msec] 간격으로 11pt. moving average하여 최종적인 기류신호로 간주하였다. 기류신호로부터 각 스트로크의 용적과 최대기류를 산출하여 표준값과 비교하였다.

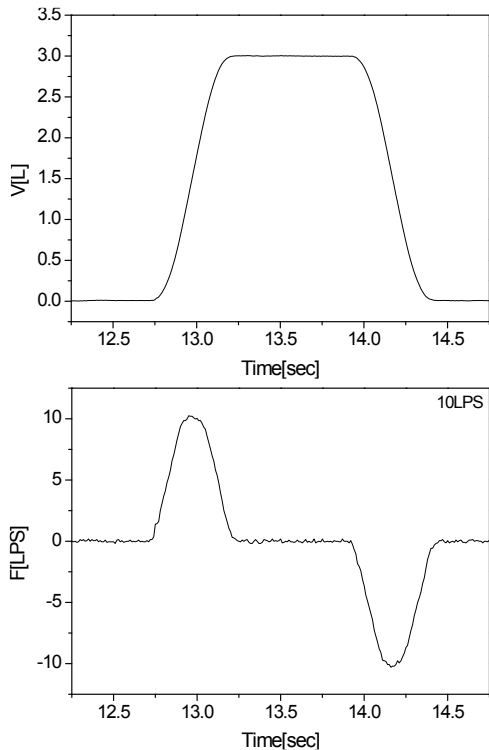
2.3 결과

본 연구에서 개발한 기류 발생 시스템의 실물사진을 그림 4에 제시하였다. 앞 패널은 시스템 컨트롤러 부분으로, 전원, 최대기류 및 왕복 회수의 설정, 시작 및 중지 버튼 등으로 구성하였다. 우측 중앙에는 서보모터를 위치시켜 다양한 속도로 시린지를 구동시킬 수 있게 하였으며, 선형변위 센서의 이동축과 시린지의 구동 축을 연결하여 시린지의 위치 변화를 정확하게 측정하도록 하였다.

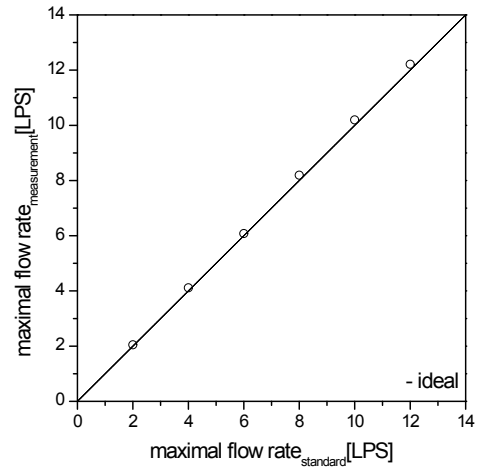
그림 5는 10[LPS]의 최대기류를 설정하여 기류를 가했을 때 왕복운동한 선형변위 센서의 출력값과 이 신호를 용적신호로 변환한 후 시간에 대해 수리미분하여 산출한 기류신호이다.



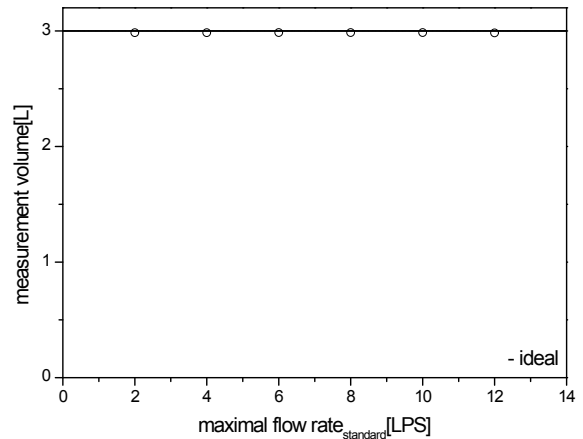
<그림 4> 기류 발생 시스템의 실물 사진



<그림 5> 1회 왕복 운동 모드 출력 파형-10LPS (위: 선형변위센서의 출력 전압, 아래: 산출된 기류신호)



<그림 6> 표준값과 측정값의 비교-최대기류



<그림 7> 표준값과 측정값의 비교-용적

용적 및 기류 정확도 측정 실험 결과를 그림 6, 7에 그래프로 제시하였다. 평균용적은 2.98[L]로서 평균 상대오차는 약 0.5%였고, 단계별 최대기류의 평균상대오차는 약 2.1%로서 매우 정확한 기류 및 용적 제공이 가능함을 확인하였다.

3. 결 론

본 연구에서는 3리터 시린지 및 서보 모터, 드라이버, 선형로봇, 컨트롤러를 하나의 패널에 결합시켜 자동으로 3리터 시린지 두 대를 동시에 구동시킬 수 있는 장치를 개발하였다. 또한 선형 변위 센서를 장착하여 진단폐활량계에 제공해 주는 공기의 정확한 용적과 기류신호를 산출하도록 제작하였다. 용적 및 기류 정확도 측정 실험 결과 정확한 기류 및 용적 제공이 가능함을 확인하였다.

본 연구에서 개발한 기류 발생 시스템은 병원용 진단폐활량계의 캘리브레이션시 사용하는 3리터 시린지를 장착하였고, 0~15[LPS] 범위내에서 자동으로 구동되므로 병원에서 수동으로 진행되는 진단폐활량계 캘리브레이션 작업을 대체할 수 있을 것이다. 또한 시린지 두 대를 동시에 구동하므로 서로 다른 각각의 진단폐활량계를 동시에 캘리브레이션하거나 기기간의 성능 비교에 활용할 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 나승권, “의용기계공학”, 상학당, 2007
- [2] Lauralee Sherwood, “생리학”, 라이프사이언스, 2005
- [3] 식약청, 식품의약품안전평가원, “단폐활량계 성능평가 가이드라인”, 2011