

마취기용 인공호흡기의 압력 측정값의 보정을 위한 센서 출력의 데이터 처리

박영준, 이종수, 김영길
'아주대학교
0331-219-2378/0331-212-9531

Data processing of sensor output for correction of pressure measurement value of an anesthesia ventilator

Young-joon Park, Jong-su Lee, Young-kil Kim
Dept. of E.E., Ajou University
E-mail : foolish3@madang.ajou.ac.kr

Abstract

Anesthesia gas to pour to patients affects the flow and volume as the pressure difference of an oxygen and an anesthesia gas. An anesthesia gas, being injurious and polluting an environment, must control the pressure of an oxygen gas because of being used by closing up tight. But a pressure sensor to use for measuring an oxygen gas appears other pressure as the characteristic and the error difference of elements to use for implementing an system. A medical machine such as an anesthesia ventilator must be accurate because of using for the person's body. So we intend to implement an system for a sensor pressure measurement not to be change regardless of an environment.

This papers is the target that a sensor pressrue measurement to be changed in environment is equal to actual sensor pressure measurement. So an implemented system is using analog filter and digital filter to reduce a noise. And we are using auto-zeroing and calibration to correct a sensor pressure which is changed in environment. Through such a process we increase the accuracy and the

confidence of an anesthesia ventilator by controlling the flow of an anesthesia gas.

I. 서론

마취를 할 때 환자에게 주입하는 마취 가스는 산소 가스와 섞여서 환자에게 주입된다. 이때 산소 가스와 섞여있는 마취 가스는 압력을 가지게 된다. 그런데 마취 가스는 환경을 오염시킬 수 있다는 특성 때문에 밀폐하여 사용하게 된다. 그래서 산소 가스의 압력을 이용해 마취 가스와의 압력차에 의해 혼합된 마취 가스의 유량을 제어한다. 환자의 몸속으로 들어가는 혼합된 마취 가스는 압력이 높은 기준 압력(High pressure limit)보다 높거나 낮은 기준 압력(Low pressure limit)보다 낮게 되면 가스 유량 및 용적 전달에 영향을 미치게 된다.

그래서 높은 기준 압력(High Pressure Limit)보다 높거나 낮은 기준 압력(Low Pressure Limit)보다 낮게 되었을 때 시술자에게 알려주어 시술자가 그것에 대처하도록 해야한다. 그래야만 환자에게 영향을 미치지 않는다. 그렇기 때문에 마취기용 인공호흡기를 사용함에 있어 혼합된 마취 가스의 압력을 정확하게 제어하여 오차 없이 측정하는 것이 요구된다.

그런데 압력 센서는 주변 환경에 따라 다른 압력값을 나타낼 수 있다. 마취기용 인공호흡기와 같은 의료기들은 정확성과 신뢰성을 요구한다. 그래서 이런 압력값의 변화가 없는, 일정하면서 실제 압력값과 같은 시스템을 만들어야 한다. 그리고 압력 센서로 산소 가스의 압력을 측정할 때 노이즈가 많이 생기기 때문에 압력 센서의 출력 아날로그 신호를 어떻게 처리하느냐가 마취기용 인공호흡기의 정확성과 신뢰성을 결정할 수 있다. 그래서 구현한 시스템은 압력 센서의 출력 아날로그 신호를 먼저 아날로그 필터를 사용하여 1차적으로 노이즈를 제거하고 그 다음으로 아날로그 필터를 거친 신호를 analog-to-digital(ADC)를 이용하여 샘플링한다. 그리고 샘플링한 값으로 디지털 필터를 사용하여 2차적인 노이즈를 제거한다. 그리고 주변 환경에 따라 변하는 압력값을 보정하기 위해 auto-zeroing(영점 보정)을 하였으며 실제 압력을 주입하여 시스템의 압력값과 비교하여 같은 값을 가지도록 하는 Calibration(교정)을 하였다.

센서 출력의 데이터 값들을 이런 과정을 거쳐서 정확한 데이터 값을 얻을 수 있다.

II. 본론

센서 출력에서 나오는 아날로그 신호는 많은 노이즈를 포함하고 있다.

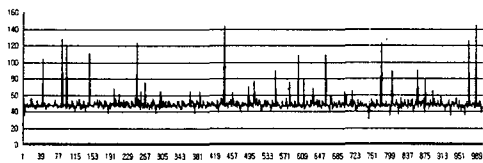


그림 1. 센서의 출력 신호
fig. 1. sensor output signal

그림 1은 센서의 출력 신호를 보여주고 있다. 그래서 이 노이즈가 섞여 있는 아날로그 신호에서 노이즈를 제거하기 위하여 다음과 같은 방법을 사용하였다.

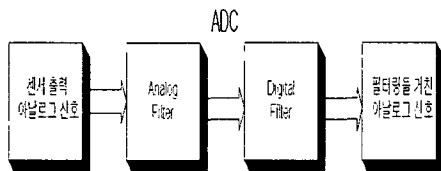


그림 2. 노이즈 제거를 위한 과정
fig. 2. processing for reducing a noise

그림 2는 그림 1의 센서의 출력 아날로그 신호에서 노이즈를 없애기 위해서 사용한 방법이다. 먼저 센서 출력의 아날로그 신호에서 1차적으로 노이즈를 제거하기 위해서 아날로그 필터를 통과시킨다. 본 시스템에서는 2차 저역 통과 필터를 사용하였고 차단주파수는 5Hz로 하여 필터를 설계하였다.

저역 통과 필터를 통과 시킨후 analog-to-digital(ADC)를 통과시켜 아날로그 신호를 샘플링하여 디지털 값을 얻을 수 있다.

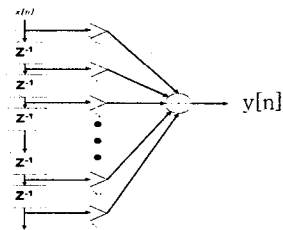


그림 3. 디지털 필터
fig. 3. digital filter

ADC를 통과시켜서 얻은 디지털 값을 디지털 필터를 이용하여 2차적으로 노이즈를 제거한다. 그림 3은 디지털 필터를 구현한 것이다. 본 시스템에서는 그림 3의 디지털 필터를 구현하기 위해 소프트웨어적으로 프로그램 하였다. 빠른 연산을 위하여 Circular Buffer를 사용하였고 작은 Ripple을 지닌 값을 얻기 위해 16차 저역 통과 필터를 구현하였다.

$$y[n] = \sum_{k=0}^{N-1} x[n-k]h[k]$$

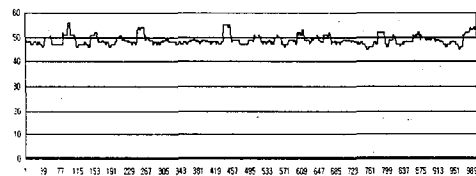


그림 4. 디지털 필터를 거친 신호
fig. 4. signal after digital filtering

그림 4는 디지털 필터를 통과시켰을 때 얻을 수 있는 파형이다. 그림 1과 비교하였을 때 노이즈가 상당히 제거된, 원래의 sensor output 값에서 보다 더 정확한 값을 얻을 수 있다.

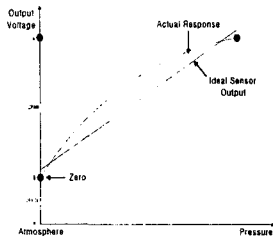


그림 5. 센서 출력 특성
fig. 5. sensor output response

압력 센서에서 나오는 압력 값은 주변 환경에 따라 변하게 된다. 그래서 대기압하에서의 일정 센서 출력 전압, 즉 offset 값 또한 변하게 된다. 그림 5는 센서의 출력 특성을 나타낸다. 주변 환경의 변화에 관계없이 대기압하의 센서 출력 전압이 일정하도록 시스템을 구현한다. 대기압하의 기준점, 즉 offset 값을 0으로 만들어 준다. 즉 auto-zeroing(영점 보정)을 한다. 이것을 하기 위해 본 시스템은 다음과 같은 방법을 사용한다.

$$v_1, v_2, v_3 \cdots v_n : \text{대기압하에서의 센서출력 전압 값}$$

$$\text{offset} = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + \cdots + v_n}{n}$$

전원을 켜고 일정 시간동안의 샘플링한 값의 평균한 값을 빼주게 되면 대기압하에서 0의 출력 전압을 얻을 수 있다. 그리고 이 값을 기준으로 하여 다른 압력하에서 출력 전압을 보정한다. 그리고 이 방법을 사용하게 되면 시스템에 전원을 넣었을 때 자동으로 offset이 auto-zeroing(영점 보정)을 하게된다. 그리고 주변 환경이 변해 압력 값이 변한다고 하더라도 평균한 offset 값을 빼버리면 항상 0 이라는 같은 값을 가질 수 있다.

또 주변의 환경적인 영향을 많이 받게 되는 센서의 압력값을 보정하기 위해 Calibration 방법을 이용한다. 시스템을 구현하다 보면 주변의 온도나 회로를 만들때의 주변 소자등에 의해서 센서 압력값에 영향을 받게 되는데, 그 영향을 없애주기 위해 다음과 같은 방법을 사용한다.

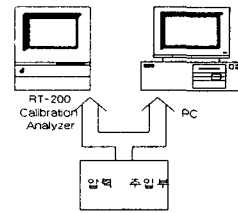


그림 6. 보정
fig. 6. Calibration

그림 6은 주변환경, 즉 온도같은 주변 요소나 소자에 따라 변화하는 압력값을 실제 압력 주입부에서 주입하는 압력값과 같게 만들기 위한 것이다. 압력 주입부에서 압력을 주입하면 RT-200이라는 Calibration Analyzer에 그 압력값이 표시된다. 이 때 제작한 시스템 보드를 연결하고 센서의 압력값을 PC와 연결하여 표시한다. 그러면 PC상에 제작한 시스템의 센서 값이 표시되는데, 그 때 RT-200에서 표시된 값과 비교하여 일치하도록 제작한 시스템의 증폭을 등을 변화시킨다.

마취기용 인공호흡기는 일정 압력의 혼합된 마취 가스를 주입하지만 시스템의 노이즈나 주변 환경에 의해서, 또는 환자 상태의 악화에 의해서 압력의 상승이나 감소가 일어날 수 있다. 이러한 일이 발생하게 되면 이것을 시술자에게 신속히 알려줄 필요가 있다. 그래서 시술자가 이에 대한 조치를 하도록 마취기용 인공호흡기가 경보 신호를 알려 주어야 한다.

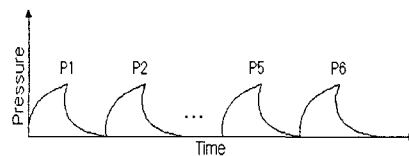


그림 7. 고·저압력값에 따른 자동 측정
fig. 7. auto-Cal to determine high and low pressure limit

그림 7에서 P1은 Auto-Cal을 위한 시작점이고 이것을 측정하기 위해 5번의 호흡이 필요하다. 그래서 5번의 호흡 압력값들을 평균한다. 평균 압력값이 일정 허용 범위 안에서는 시스템이 정상적으로 동작하다가 허용 범위를 벗어나게 되면 경보 신호를 울려서 시술자에게 알려주도록 한다.

$$\text{High Pressure Limit} = (P2 + P3 + \cdots + P6) / 5 + 5$$

$$\text{Low Pressure Limit} = (P2 + P3 + \cdots + P6) / 5 - 5$$

높은 기준 압력(High Pressure Limit)보다 큰 압력이 측정되거나 낮은 기준 압력(Low Pressure Limit)보다 작은 압력이 측정되면 경보 신호를 보내어 시술자에게 위급함을 알려준다.

III. 결 론

마취기용 인공호흡기는 수술시 환자의 전신 마취를 위해서 환자의 폐속에 산소 가스와 혼합된 마취 가스를 주입한다. 그러므로 환자의 폐 속으로 주입되는 혼합된 마취 가스의 압력을 고려해야 한다. 환자의 폐속에 주입되는 혼합된 마취 가스의 압력이 높거나 낮게 되면 환자에게 주입하려는 마취 가스의 유량이나 용적을 정확하게 제어할 수 없으므로 환자에게 악영향을 미칠 수 있다.

구현한 시스템은 시스템의 노이즈나 주변 환경에 의해서 센서에서 나오는 압력값이 변하지 않고 실제 압력값과 일치하도록 구현하였다. 그리고 환자의 몸 속으로 주입하는 혼합된 마취 가스가 허용 범위의 압력값을 넘어섰을 때, 즉 높은 기준 압력(High Pressure Limit) 나 낮은 기준 압력(Low Pressure Limit)를 벗어났을 때 단순히 시술자에게 알려주어 시술자가 시스템에 대하여 조치를 취하도록 하였다. 하지만 시술자가 옆에 있어야 한다는 부담감 또한 무시할 수는 없는 것이다. 그래서 이런 경보 신호를 시술자에게 알려주어 시술자가 조치하도록 하는 것 보다 시스템이 자동으로 환자의 상태와 시스템의 상태를 체크하여 항상 환자와 시스템의 상태를 최적으로 만든다면 시술자에게 더 편리할 것이며, 더 정확한 시스템을 구현할 수 있을 것이다.

IV. 참고문헌

- [1] Bear Medical System Inc. "Adult Volume Ventilator", pp. 28-36, 1989
- [2] Neil R. Macintyre, "Graphical analysis of Flow, Pressure and Volume during Mechanical Ventilation", M.D., F.C.C.P.
- [3] Sensym Inc. "Solid-State Pressure Sensor Handbook", 1998
- [4] A Practical Approach, Emmanuel C. Ifeakor & Barrie W. Jervis "Digital Signal Processing"