정전용량변화를 이용한 링거액소진감지장치의 구현

김 청 월*

Implementation of apparatus for detecting Ringer's solution exhaustion using electrostatic capacitance variation

Kim Cheong Worl*

Abstract

Electrostatic capacitance measurement method in a fine hose was proposed, in which two ring-type electrodes were disposed on the hose in the direction of fluid flow instead of the conventional face-to-face electrodes. With the proposed electrode structure, we realized a Ringer's solution exhaustion detector for an IV(invasive vein) injection set. On a 4 mm-diameter hose of IV set, we disposed two ring-type electrodes of 10 mm width at a distance of 5 mm each other and obtained 0.72 pF and 2.51 pF for air and 10 % dextrose Ringer's solution in the hose, respectively. The capacitance between the two electrodes varied with the hose-wraparound coverage of electrode as well as the width of electrode and the distance between the electrodes. For hose-wraparound electrode coverage of 75 %, the capacitance varied from 0.62 pF to 1.98 pF with the Ringer's solution level between the two electrodes. A charge amplifier converted the capacitance variation into electric signal and a comparator was used to detect whether Ringer's solution was exhausted or not. The result was delivered to a host using a RF transmitter with 320 MHz carrier frequency.

Key Words : ringer's solution exhaustion detector, IV injection set, ring-type electrode

1. 서 론

수액세트는 병을 치료하기 위해 유리병이나 비닐팩에 들어 있는 링거액(이하 링거액용기)을 장시간에 걸쳐 환자의 혈관을 통하여 체내에 공급하는데 사용된다. 링거액이 모두 소모된 경우에는 수액세트의 동작을 정지시키거나 링거액용기를 새로운 것으로 바꾸어야 한다. 그렇지 못할 경우에는 혈관의 피가 수액세트로 역류하게 되고, 이를 장시간 방치하게 되면 부작용이 발생하거나 환자에게 약물공급을 제시간에 하지 못하여 치료에 장애를 유발할 수 있다. 이를 방지하기 위해서 링거주사를 맞는 환자나 보호자 혹은 간호사는 링거액 소진 여부를 수시로 감시해야 한다^[1-7].

수액세트는 크게 도입침, 점적통(drip chamber), 유

량조절기, 가늘고 긴 연결관(이하 링거호스) 및 수액침으로 구성되어 있다. 도입침을 통하여 링거액용기에 연결되는 점적통은 링거액의 유량을 파악하기 위하여 링거액 방울의 낙하 빈도를 관찰하는데 사용되고, 유량조절기는 링거호스에 부착되어 링거액 방울의 낙하 빈도를 조절하는데 사용된다. 링거호스와 수액침은 링거액을 환자의 혈관에 공급하는 통로의 역할을 한다.

링거액의 소진을 감지하거나 유체의 양을 측정하는 방법으로는 정전용량 측정^[3,4,8], 광센서^[5,10], 중량측정^[2,7,9], 압력센서^[10] 혹은 이미지 센서를 이용하는 영상처리^[1,6] 등이 사용되어 왔다. 정전용량방식은 링거액 용기나 점적통에 전극을 설치하여 정전용량의 변화를 측정하여 유체의 양을 측정하고, 광센서방식은 점적통에 발광소자와 수광소자를 설치하고 링거액이 떨어지는 방울의 수를 카운트하여 유체의 양을 측정하며, 중량측정방식은 로드셀로 수액용기의 무게의 변화를 측정하여 유체의 양을 측정한다. 최근에는 압력센서로 수압의 변화를 측정^[11]하여 유체의 양을 측정하거나, 링거액용기를 적외선 카메라로 촬영하고 이를 영상신호처리하여 유체

안동대학교 정보전자공학교육과(Department of Information Technology & Electronics Education, Andong National University)

*Corresponding author : cwkim@andong.ac.kr

(Received : September 3, 2009, Revised : November 12, 2009

Accepted : November 24, 2009)

의 양을 측정하는 방법^[1]이 제안되었다.

정전용량방식이나 광센서방식은 점적통에 설치하는 방법이 제안되어 왔으나 점적통에 설치하면 원래 목적인 수액의 유량을 관찰하기에 어려움이 있어서 별도의 장치를 사용하여 왔다.^[3,4] 굵은 호스에는 마주보는 전극을 부착하여 정전용량을 측정할 수 있지만^[8] 약 4 mm 직경의 링거호스에 탈부착이 가능한 전극을 설치하려면 많은 문제점들이 발생하여 지금까지 구현되지 않고 있다.

본 논문에서는 약 4 mm 굵기의 가늘고 긴 링거호스에 탈부착이 가능한 전극을 부착하여 정전용량을 측정할 수 있는 전극의 구조를 제안하고 이를 활용하여 이동성이 좋고 저전압과 저전력으로 동작하며 무선송신 기능을 가진 링거액소진감지장치를 구현하였다.

2. 전극의 구조 및 특성

링거액의 성분은 종류에 따라 다르지만 증류수가 주 성분을 차지한다. 증류수의 유전율은 약 78정도이고 공기의 유전율은 1이므로 링거호스 내부를 통과하는 링거액의 유무에 따라 정전용량이 변화하게 된다. 따라서 링거호스 외벽에 전극을 설치하고 정전용량을 측정하면 링거액의 소진 유무를 판단할 수 있다.

수액세트의 링거호스는 Fig. 1의 (a)에 나타나 있는 것처럼 직경이 4 mm이며, 링거액이 통과하는 통로의 직경은 3 mm이다. 이러한 크기의 링거호스에 Fig. 1의 (b)와 같이 마주보는 형태의 두 전극을 배치하여 정전용량의 변화를 측정하였다. 실험에서는 두 종류의 링거액 즉 10 % 포도당 링거액과 5 % 포도당-나트륨염화물 링거액(이하 5 % 포도당 링거액)을 사용하였다. 전극의 폭과 전극의 가장자리 간격을 각각 5 mm와 1 mm로 고정한 후에 전극의 길이를 5 mm에서 15 mm

Fig. 1. (a) Vertical and (b) lateral cross-sectional view of the electrodes on the Ringer hose using the conventional method.

Fig. 2. Capacitance variation vs. the length of electrode in the conventional structure.

Fig. 3. The proposed electrode structure.

까지 변화시키면서 정전용량을 측정하여 그 결과를 Fig. 2에 나타 내었다.

Fig. 2에 나타나 있는 것처럼 전극 길이가 10 mm인 두 전극사이의 정전용량은 링거호스가 10 % 포도당 링거액과 5 % 포도당 링거액으로 채워진 상태에서는 각각 1.23 pF와 0.89 pF가 측정되었고, 공기로 채워진 상태에서는 0.86 pF가 측정되었다. 이러한 구조에서는 전극의 폭은 15 mm인 경우에 정전용량의 변화를 이용하여 링거호스 내부에 링거액의 유무를 감지할 수 있지만 4 mm직경의 링거호스 외벽에 탈부착이 가능한 두 전극을 설치하기에는 구조적으로 많은 어려움이 있어서 상용화 제품에서는 링거호스 중간에 별도의 부착물을 부착하거나 링거액 용기에 부착하는 방법이 제안되어 왔다.

링거호스에 마주보는 전극 대신에 Fig. 3에 나타나 있는 것처럼 링거액이 흐르는 방향으로 두 개의 링 (ring) 모양의 전극을 배치하여 정전용량의 변화를 측정할 수 있다. 제안된 구조로 정전용량을 측정하기 위하여 직경 4 mm인 링거호스 외벽에 폭이 10 mm인 두 개의 링 (ring) 모양의 전극을 배치하였다. 두 전극사이의 간격을 2.5 mm에서 15 mm까지 2.5 mm씩 변환시키면

Fig. 4. Capacitance variation vs. the distance between the two electrodes of 10 mm width.

서 정전용량을 측정된 결과가 Fig. 4에 주어지 있다.

Fig. 4에 나타나 있는 것처럼 전극사이의 간격 변화에 따라 링거호스가 10 % 포도당 링거액이 채워진 상태에서는 두 전극사이의 정전용량이 2.03 pF에서 2.58 pF까지 변화하였고, 5 % 포도당 링거액의 경우에는 정전용량이 1.37 pF에서 1.63 pF까지 변화하였다. 그러나 공기로 채워진 상태에서는 정전용량의 변화가 0.52 pF에서 0.81 pF로 나타났다. 10 % 포도당 링거액의 경우에는 전극사이의 간격이 10 mm 이하에서는 두 전극사이의 정전용량의 변화가 작게 나타나지만 10 mm 이상에서는 정전용량이 크게 감소하기 시작하였다.

전극사이의 거리가 5 mm인 경우에는 링거호스가 10 % 포도당 링거액과 5 % 포도당 링거액으로 채워진 상태에서는 정전용량이 각각 2.51 pF와 1.59 pF로 측정되었으며, 공기로 채워진 상태에서는 0.72 pF가 측정되었다. 이는 링거호스 내부에 링거액의 유무에 따라 정전용량의 변화가 5 % 포도당 링거액 기준으로 약 52 % 정도의 정전용량의 변화가 나타나는 것으로 Fig. 1의 구조에서 비슷한 크기의 전극과 비교하여 정전용량의 변화가 두 배 이상으로 크게 나타난다. 따라서 기존의 전극구조보다는 제안된 전극 구조를 사용하면 정전용량의 변화가 크게 나타나서 신호처리회로의 구성이 용이할 뿐만 아니라 링거호스에 탈부착이 쉬운 전극을 구현할 수 있다.

3. 제작 및 실험

링거액소진감지장치를 구현하기 위하여 링거액 호스

Fig. 5. Capacitance variation vs. the wraparound coverage of the electrodes.

에 부착되는 전극의 크기를 최소화하면서 측정값의 신뢰성을 고려하여 전극의 폭과 두 전극사이의 간격은 각각 10 mm와 5 mm로 설계하였다. 감지장치는 링거호스에 탈부착이 가능하여야 함으로 링거호스를 100 % 감싸는 O자형의 전극 모양은 사용할 수 없어서 C자 모양의 전극으로 제작하였다.

전극 모양의 변화로 나타나는 정전용량의 변화를 관찰하기 위하여 C자형의 전극이 링거호스를 감싸는 비율을 변화시키면서 정전용량의 변화를 측정하였다. 전극의 폭과 간격은 10 mm와 5 mm로 고정시키고 전극이 링거호스를 감싸는 비율을 25 %에서 100 %까지 25 %씩 변화시키면서 측정된 결과가 Fig. 5에 나타나 있다.

전극이 링거호스를 감싸는 비율이 100 %에서 25 %까지 변화시킬 때 링거호스가 10 % 포도당 링거액으로 채워진 상태에서는 정전용량이 2.51 pF에서 0.82 pF로 감소하였고, 5 % 포도당 링거액의 경우에는 1.59 pF에서 0.43 pF로 감소하였다. 공기로 채워진 상태에서는 0.72 pF에서 0.47 pF로 감소하였다. 전극이 링거호스를 감싸는 비율이 25 %에 가까워지면 링거호스 내부에 물의 유무에 따른 정전용량의 변화량이 급속히 감소하는 방향으로 나타나므로 안정된 측정 결과를 얻기 위해서는 C자형 전극이 링거호스를 최소한 50 % 이상 감싸도록 전극을 제작하여야 한다.

제작된 전극을 사용하여 감지장치의 감도를 측정하기 위해 링거호스를 75 %를 감싸는 전극으로 구현된 감지장치와 50 %를 감싸는 전극으로 구현된 감지장치 각각에 대하여 두 전극사이에 링거액의 양에 따라 정전용량의 변화를 측정하였다. 두 전극의 양쪽 끝의 거

Fig. 6. Capacitance variation vs. the level of water between the two electrodes (a) 10 % dextrose (b) 5 % dextrose and sodium chloride.

리 25 mm이므로 이를 10등분하기 위해 아래쪽 전극의 밑 부분을 기준으로 물의 높이를 2.5 mm씩 변화시키면서 정전용량을 측정한 결과가 Fig. 6에 나타나 있다.

Fig. 6의 (a)와 (b)에는 각각 10 % 포도당 링거액과 5 % 포도당 링거액에 대한 실험결과가 주어지고 있다. 링거호스를 50 %를 감싸는 전극에서는 10 % 포도당 링거액의 경우에는 링거액의 높이에 따라 정전용량이 0.62 pF에서 1.45 pF까지 변화하였고, 5 % 포도당 링거액의 경우에는 정전용량이 0.61 pF에서 0.82 pF까지 변화하였다.

링거호스를 75 %를 감싸는 전극에서는 10 % 포도당 링거액의 경우에는 링거액의 높이에 따라 정전용량이 0.64 pF에서 1.98 pF까지 변화하였고, 5 % 포도당 링거액의 경우에는 0.63 pF에서 1.74 pF까지 변화하였다.

링거액소진감지장치를 구현하기 위하여 Fig. 7에 주어진 블록도와 같이 애널로그 신호처리 회로를 설계하

Fig. 7. Simplified block diagram of the Ringer's solution exhaustion detector.

였다. Fig. 7에서 OSC는 구형파 발진회로를 나타내고, 콘덴서 C_S 는 링거호스에 부착되는 두 전극사이의 정전용량을 나타낸다. 정전용량의 변화로 나타나는 신호를 처리하기 위해 전파정류회로 FWR과 비교기 CMP가 사용되었고, 링거액 소진 상태를 외부로 알리기 위해 발광 다이오드 LED, 부저(buzzer) BUZ와 고주파 발생회로 ASK가 사용되었다.

콘덴서 C_S 와 콘덴서 C_F 및 연산증폭기에 의하여 구성되는 전하증폭기의 출력 $V_o(t)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$V_o(t) = -\frac{C_S}{C_F} V_S(t) \quad (1)$$

여기서 $V_S(t)$ 는 진폭이 1 V인 1 MHz의 구형파로써 발진회로의 출력신호를 나타낸다. 콘덴서 C_F 의 크기는 1.5 pF로써 전극이 링거호스를 감싸는 비율이 75 %일 때에 두 전극사이의 최고 정전용량 값을 고려하여 설정하였다.

링거호스를 75 % 감싸는 전극으로 구현된 감지장치에서 두 전극사이가 10 % 포도당 링거액으로 가득 채워진 상태에서는 정전용량이 1.98 pF 되어 전파정류회로의 출력에는 1.32 V가 나타나고, 링거액이 모두 소모된 경우에는 되어 공기로 채워진 경우에는 정전용량이 0.65 pF가 되어 전파정류회로의 출력에는 0.43 V가 나타난다. 반면에 5 % 포도당 링거액의 경우에는 링거액 유무에 따라 전파정류회로의 출력신호는 0.85 V에서 0.43 V까지 변화한다.

링거호스를 50 % 감싸는 전극으로 구현된 감지장치에서 두 전극사이에 10 % 포도당 링거액으로 유무에 따라 전파정류회로의 출력신호는 0.97 V에서 0.37 V까지 변화하고, 5 % 포도당 링거액의 경우에는 링거액 유무에 따라 전파정류회로의 출력신호는 0.62 V에서 0.37 V까지 변화한다.

링거액이 소모되어 두 전극사이에 공기로 채워진 경우에 전극의 링거호스를 감싸는 비율이 100 %인 경우에 정전용량이 0.77 pF되어 전파정류회로의 출력신호는 0.51 V가 된다. 이를 기준으로 링거액의 소진여부를 판단하는 비교기의 기준전압은 0.55 V로 설정하였다.

Fig. 8. Chip photograph of the analog ASIC.

이는 두 전극사이의 정전용량이 0.83 pF가 되는 상태로써 링거호스를 50 % 감싸는 전극의 경우에는 두 전극사이에 10 % 포도당 링거액이 약 68 %가 채워진 경우나 5 % 포도당 링거액이 약 84 %가 해당된다. 반면에 75 % 감싸는 전극의 경우에는 두 전극사이에 10 % 포도당 링거액이 약 56 %가 채워진 경우나 5 % 포도당 링거액이 약 64 %가 해당된다.

두 전극사이에 링거액이 가득 찬 경우에는 비교기의 출력이 로우(low)상태가 되어 부저와 발광 다이오드 및 고주파 발생회로가 꺼진 상태가 되지만 두 전극사이의 링거액이 소진되면 비교기의 출력이 하이(high) 상태가 되면서 부저가 울고 발광 다이오드가 깜박이는 동시에 고주파 신호가 내장된 안테나를 통하여 외부로 전파된다.

설계된 애널로그 신호처리 회로는 Fig. 8에 나타나 있는 것처럼 0.6 μm CMOS 공정을 사용하여 ASIC으로 제작하였다. 제작된 ASIC은 최저 2.4 V의 전원전압까지 동작하였으며, 전류 소비가 많은 부저와 발광 다이오드 및 고주파 신호발생기는 링거액 소진이 감지가 인식될 때만 동작하게 하여 불필요한 전류소비를 최소화 하였다. 회로 동작시간의 대부분을 차지하는 링거액 소진을 감지하는 동작에서는 0.7 mA의 전류를 소비하였다.

수액세트에서 점적통의 링거액이 모두 소진된 후에 링거호스에 남아있는 링거액이 모두 소진되기까지는 약 5~6분 정도의 시간이 소요되므로 제작된 감지장치는 약 3초마다 한 번씩 작동하도록 구현하여 감지장치의 전력 소모를 최소화하였다.

ASIC을 사용하여 제작된 링거액소진감지장치의 PCB 모듈은 Fig. 9에 나타나 있다. 고주파 발생회로는 반송파의 주파수가 320 MHz인 ASK(amplitude shift keying) 방식으로 구현하였으며 고주파 안테나는 PCB 기판의 패턴을 이용하여 제작하였다.

Fig. 9. Ringer's solution exhaustion detector with the proposed electrode structure.

Fig. 10. The apparatus for sensing Ringer's solution exhaustion.

수액세트에 부착된 링거액소진감지장치와 병실에 설치되는 고주파 트랜시버(transceiver)가 Fig. 10에 주어 져 있다. 링거액 소진이 감지되면 발생하는 고주파 신호는 고주파 트랜시버의 RF 안테나를 통하여 트랜시 버에 전달되고 이를 감지한 트랜시버는 병실의 번호와 같은 필요한 정보를 추가하고 블루투스 통신을 이용하여 주컴퓨터와 같은 다른 기기로 그 정보를 무선으로 전달한다.

사용된 블루투스 모듈^[12]은 장애물이 없는 직선거리로는 100 m까지 전송이 가능하지만 벽과 같은 장애물이 있는 경우에는 전송거리가 급격히 줄어든다. 이러한 문제는 트랜시버의 블루투스 모듈의 마스터/슬레이브 모드(master/slave mode)^[12]를 이용하여 해결하였다. 전송거리로 문제가 발생되지 않으면 링거액 소진을 알리는 무선 신호를 감지한 병실의 트랜시버가 바로 주컴퓨터의 블루투스 모듈을 연결하여 이를 알린다. 그러나

전송거리로 문제가 발생되면 병실의 트랜시버 블루투스 모듈은 주컴퓨터와 트랜시버 사이에 있는 중계용 트랜시버의 블루투스 모듈에 연결하여 데이터를 전송하고, 중계용 트랜시버는 주컴퓨터로 수신된 데이터를 전송한다.

이러한 통신망을 구성하기 위하여 병실에 있는 모든 트랜시버의 블루투스 모듈은 마스터 모드로 동작을 시작하고, 주컴퓨터와 중계용 트랜시버의 블루투스 모듈은 슬레이브 모드로 동작을 시작한다. 데이터를 수신하기 위하여 슬레이브 모드로 동작하던 중계용 트랜시버의 블루투스 모듈은 병실의 트랜시버로부터 데이터를 수신한 후에는 동작 모드를 마스터 모드로 바꾸어 수신된 데이터를 주컴퓨터의 블루투스 모듈로 전송하고 슬레이브 모드로 복귀하여 다음 데이터 수신을 기다린다.

4. 결 론

수액세트의 직경 4 mm 굵기의 링거호스에 기존의 마주 보는 전극방식 대신에 링거액이 흐르는 방향으로 C자 모양의 전극을 배치하여 정전용량을 측정하고, 이를 이용하여 링거액 소진을 감지하는 장치를 구현하였다. 전극의 폭과 두 전극사이의 간격은 각각 10 mm와 5 mm로 제작하였고, 전극이 링거호스를 감싸는 비율이 75 % 이상이 되도록 전극 모양을 제작하였다. 링거호스를 75 %를 감싸는 전극에서는 10 % 포도당 링거액이 두 전극사이에 존재하는 양에 따라 정전용량이 0.64 pF에서 1.98 pF까지 변화하였고, 5 % 포도당 링거액의 경우에는 0.63 pF에서 1.74 pF까지 변화하였다.

정전용량의 변화를 감지하여 링거액 소진여부를 판단하는 신호처리회로는 애널로그 ASIC으로 제작하였으며, 구현된 감지장치는 고주파 송신기능을 내장하고 있어서 한 병실 내에서 여러 개의 수액세트마다 감지장치를 부착하더라도 한 개의 트랜시버만 설치하면 주장치와 연결이 가능하여 경제적으로 링거액소진감시시스템을 구축할 수 있다.

기존의 상용 제품들은 고가이면서 중환자 위주로 사용되고 있으며 전력 소비가 많으며 부피가 커서 이동성이 떨어지는 문제점이 있다. 제안된 장치는 소비전력과 부피가 작고 이동성이 우수하여 환자들에게 보다 높은 의료서비스를 제공하는데 기여할 것으로 사료된다.

감사의 글

애널로그 ASIC 제작에 도움을 주신 (주)에이디이테크에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] 김창욱, 이상효, 지아 모이우딘, 원철호, 홍재표, 조진호, “링거 자동 교체를 위한 잔량 검출 알고리즘”, 한국산업정보학회논문지, 제13권, 제1호, pp. 30-36, 2008.
- [2] 하관용, 권종현, 오드케렐, 김희식, “마이크로프로세서를 이용한 병원용 환자 링거액 잔류유량 원격 실시간 검사 시스템 개발”, 정보및제어학술대회 논문집, pp.279-282, 2005.
- [3] イプフザンデイエル, “液流制御装置”, 特開昭 52-59285, 日本, 1977.
- [4] 강필식, “링거액 감지기”, 실용신안등록번호 20-0343314, 대한민국, 2003.
- [5] 강상욱, 노병국, 황경식, “정맥 주사용 링거액 자동 유량 조절장치”, 특허등록번호 10-0664615, 대한민국, 2006.
- [6] 강주완, 강상욱, 노병국, “영상신호처리를 이용한 링거액 유량측정시스템”, 특허등록번호 10-0664644-0000, 대한민국, 2006.
- [7] 김성길, “로드셀을 이용한 링거액 잔량 감지 및 통보장치”, 실용신안번호 20-0374301, 대한민국, 2006.
- [8] 이혁수, 김청월, “비유전율을 이용한 공기감지장치에 관한 연구”, 센서학회지, 제16권, 제5호, pp.384-388, 2007.
- [9] 정도운, 조성택, 남기곤, 정문기, 전계록, “로드셀을 이용한 요류검사의 구현 및 평가”, 센서학회지, 제13권, 제6호, pp.436-445, 2004.
- [10] 김종명, 이진영, 홍주현, 임승운, 차은종, 이태수, “광센서를 이용한 실시간 중환자 요량감시장치”, 센서학회지, 제17권, 제1호, pp.81-85, 2008.
- [11] 김경아, 최성수, 차은종, “전립선 진단을 위한 수압 측정방식의 새로운 요 유량 계측기법”, 센서학회지, 제16권, 제3호, pp.179-186, 2007.
- [12] www.firmtech.co.kr, “Embedded Bluetooth Module-FB151AX User Manual ver2.0”, 2009.

김 청 월

- 1980년 영남대학교 전자공학과 학사
- 1983년 한국과학기술원 산업전자공학과 석사
- 1990년 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사
- 1983년 3월~1987년 2월 금성반도체 연구소 주임연구원
- 1990년 1월~1991년 10월 금성일렉트론 중앙연구소 책임연구원
- 1991년 11월~1995년 2월 (주)대륙기전 전자기계연구소 연구소장
- 2000년 1월~2005년 8월 (주)포디컬처 3D 기술연구소 연구소장
- 1995년 3월~현재 안동대학교 정보전자 공학교육과 교수
- 주관심분야: 애널로그 신호처리 및 집적 회로설계, 마이크로프로세서 및 디지털 시그널프로세서 응용