

# Infusion Pump용 Drop Sensor 개발에 관한 연구

인하대학교 전자공학과

이종실, 권장우, 이용혁, 박정선, 구자일, 홍승홍

## Abstract

When we inject drugstuffs to a patient for a long time, it is important to control proper injection amount and flow rate. Since inproper injection amount and a flow rate would cause bad a recovery a patient, the reliance of sensors which detect injection amount is an important factor for whole injection systems' performance. In this research, we've compared the suitability of three sensors for injection pump monitoring system. The three types of sensors, piezo film sensor, photo transistor made up with three transmitting photodiodes and receiving photodiode, and photo array, were selected for comparing. Using suggested data processing technique and photo array sensors, we could minimize the effect of interference, disturbance, illumination change, and sensitivity change caused by sensor's position. According to the experiments, the photo array showed the higher reliance than any other the three types of sensors. The developed systems could be the foundation of beginning home production of infusion pump system and available for the base model of whole monitoring and control systems.

## 1. 서론

최근 전자공학을 위시한 주변 관련 학문의 발전에 힘입어 의료는 고도화되고, 다양화되어 이에 관련된 의료장비의 개발 및 발전이 크게 진전되어 가고있다. 고도화되어 가고 있는 의료의 현장에서 우수한 의사, 간호사등의 스태프의 필요성은 물론이고 고품질의 의료시혜를 위한 첨단의료기들이 요구되고 있다. 그러므로 의료기들은 급속도로 발전되고 있는 컴퓨터 기술과 이에 관련된 정보처리기술을 응용한 생체신호의 제측, 진단 데이터의 전송, 표시, 감시 및 진단의 자동화 시스템들이 개발되어지고 있다. 이와 같은 수많은 의료기들 중에서 치료용의 기기로서 환자의 정맥이나 동맥에 일정량의 약액(藥液)이나 수액(輸液)을 투여하기 위해 사용되는 지속주입(持續注入)펌프 시스템도 ICU(Intensive Care Unit)시스템과 병행 사용하거나 치료용으로서 지능형의 시스템들이 개발되어지고 있다. 일반적으로 수액은 간호사의 직감과 경험에 의하여 정량의 수액량을 주입하고 있으며, 기계화된 시스템도 주입된 량의 계산 없이 미리 정해진 모터의 속도에 의해 주입량을 추정하고

있다. 기계화되지 않고 시판되고 있는 일반용의 수액 세트에 의해 주입하는 경우는 의사 또는 간호사가 1분간에 주입하는 수액의 드롭(drop) 점적(點滴)수를 헤아려 점적 세트 코크를 조절하여 주입량을 결정하고 있으므로 필요량을 결정하기까지 시간을 요하며 부정확하다. 지속주입 펌프를 이용하는 경우에는 수액량을 장시간에 걸쳐 안정하고, 일정하게 주입하여야 하며 미량투여도 가능하게 해야 하며, 투여량을 설정할 때에 재현성이 있어서 항상 필요한 양만이 투여되어야하며 환자의 위험을 방지하기 위한 경보 시스템도 부가되어야 한다. 그러므로 이와 같은 요구에 부응하기 위해 수액의 정확한 드롭량 혹은 점적량을 검출하기 위한 적절한 센서방식이 고안되어, 이 센서에서 얻어진 정보에 의해 일정량의 수액의 흐름을 제어하는 시스템이 개발되므로서 수액의 관리와 점적량의 단순 반복조절을 피할 수 있고, 간호의 시간적 여유와 아울러 보다 고도의 환자 치료관리가 가능하게 될 것이다.

본 연구에서는 시판용의 수액 세트에 부착할 수 있고 사용하고 버릴 수 있는 저가의 1회용 단순감시용의 드롭 센서와 병원 치료용 혹은 ICU에 사용할 수 있는 고급형 수액 드롭용 점적 센서와인퓨전 펌프 제어 시스템을 개발하기 위해 피에조 센서와 광 센서를 이용한 드롭 센서를 검토하고 이를 이용한 점적량 제어인퓨전 펌프 제어 시스템 설계를 수행하였다. 드롭 센서로서의 요구사항은 수분에 의해 센서에 부착된 전기회로의 손상을 방지하기 위한 방수구조가 되어야 하고 드롭의 낙하방향에 무관하게 검출하여야 하며, 광센서를 사용하는 경우에는 조도 환경변화에 무관하여야 하며 진동 및 충격에 대한 대책도 강구되어야 한다. 본 연구의 드롭량 검출에 이용한 피에조 센서는 PVDF(Poly Vinylidene Fluoride)필름을 점적류 보내에 설치하여 수액이 필름에 떨어질때 필름의 휘어짐에 의한 압전현상을 증폭하여 드롭량을 검출하도록 구성하였다. 광학적인 방법에 의한 드롭량 검출은 발광다이오드 3개와 수광 소자 1개를 이용하여 드롭량을 검출하는 방식과 수광소자 대신 수광 필름을 이용하는 방식을 구성하여 비교 검토하였다.

## 2. 인퓨전 펌프 시스템 (Infusion pump system)의 구성

인퓨전펌프 제어 시스템의 구성은 주제어보드, 프론트패널, 센서보드로 되어 있다. 드롭 센싱부는 드롭 센서로부터 출력되는 원래의 신호를 증폭하여 사용한다.

## Infusion Pump 용 Drop Sensor 개발에 관한 연구

전원부는 전원으로 BATTERY와 SWITCHING POWER를 절환하여 사용할 수 있도록 하고, BATTERY의 전압 상태 감지, 전원 투입 스위치에 의한 주제어 보드로의 전원 공급의 역할등을 한다. 인퓨전 펌프는 크게 모터 동작부, Accutuator, drop 센서를 이용한 drop감지부, Air in line (Bubble) 감지부, Occulsion 감지부, 사용자 Interface용 key pannel, display part 등으로 되어 있다. <그림 1.1>은 인퓨전 펌프의 전체적인 시스템 구성도가 나타나 있다.

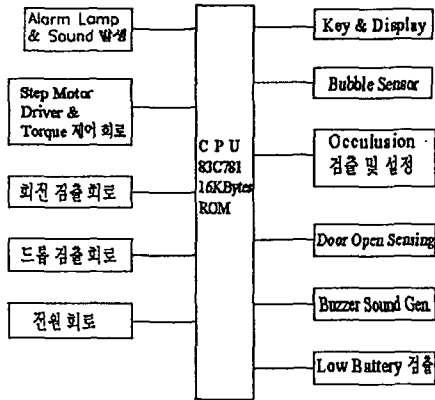
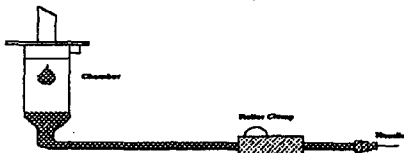


그림 1.1 시스템 구성도

### 2.1 드롭센서의 선택

인퓨전 펌프의 제어 성능 여부를 가름하는 것은 드롭센서로서 드롭센서의 정밀도에 따라 인퓨전 펌프 제어 시스템 전체의 제어정도가 판가름 난다고 하여도 과언이 아니다. 이는 주사용 수액 세트의 국제 표준이 drops/ml을 기준하고 있으므로 드롭센서에서 각 드롭을 정확하게 감지하는 것이 중요하고 따라서 본 연구에서는 각종 드롭센서를 이용하여 인퓨전 펌프에 적합한 드롭센서의 개발을 시도하였다. <그림 2.1>에는 수액 세트의 개략도가 나타나 있다. 그림에서 Chamber로 표시되어 있는 곳에서 드롭이 떨어지게 되고 이를 드롭센서를 이용하여 감지하게 된다.

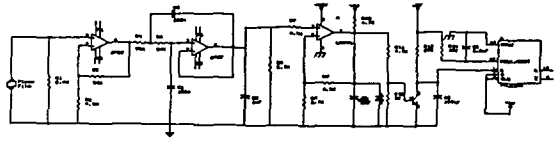


<그림 2.1> IVSET

#### 2.1.1 피에조 센서를 이용한 드롭검출

드롭을 피에조 센서에 떨어지도록 하여 센서가 흔들리면서 발생하는 전압의 변화를 이용하여 드롭을 검출한다. 드롭량은 국내에서는 15 drops/ml, 20 drops/ml, 60 drops/ml 3종류의 수액 세트가 시판되고 있으므로 수액 세트의 종류만 안다면 쉽게 계산될 수 있다. 수액 세트에 피에조 필름을 드롭이 떨어지는

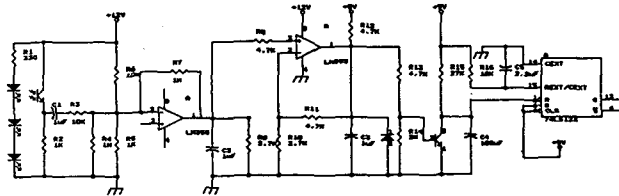
방향과 직각이 되도록 부착하여 신호를 검출한다. 검출된 회로는 증폭부에서 100배 증폭을 시킨후 저역 필터를 거쳐 잡음을 제거하고 비교기(comparator)를 거쳐 일정전압 이상의 전압만 통과시키고, 그후 계수기를 통하여 일정 시간의 신호를 만들어내 처리한다. <그림2-2>는 그 회로도이다.



<그림 2-2> 피에조 센서의 회로도

#### 2.1.2 수광 트랜지스터를 이용한 드럼검출

광센서를 이용한 드롭센서로서 우선 수광 트랜지스터 1개와 발광다이오드 3개를 이용하여 <그림 2-3>와 같이 구성하였다. R1과 직렬로 연결되어 있는 발광 다이오드에는 20mA의 전류가 흐르고 빛을 발하게 된다. 이 빛은 광 트랜지스터의 베이스단에 전압을 야기시켜 통과상태가 되게 하여 저항 R2의 양단에 전압을 1.5V정도 유지한다. 이 상태에서 드롭이 발광부와 수광부 사이에 떨어져 빛을 차단하게 되면 광 트랜지스터는 차단상태가 되어 R2양단의 전압은 떨어지게 되고 이 변위가 LM 358를 거치면서 반전으로 R7/R3= 1M/10K=100배 증폭하게 된다. 이 증폭된 전압은 LM 393소자로 된 비교기를 거치게 되는데 전압은 출력이 발생하지 않고 그 이상이 되는 전압은 출력이 되어 계수부(74LS123)를 동기시킨다.

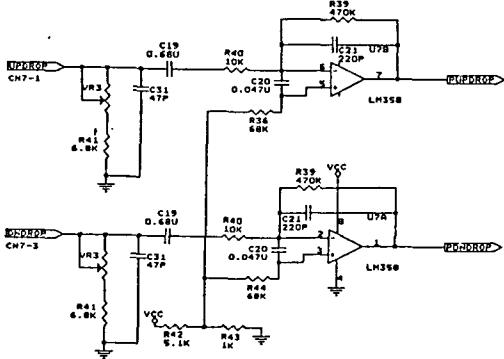


<그림2-3>수광트랜지스터를 이용한 드롭 센서의 구성

#### 2.1.3 포토 다이오드 어레이를 이용한 드롭센서

드롭의 정밀도를 높이기 위하여 어레이 형태의 포토 다이오드를 상하 2개를 사용한다. <그림 2-4>에서 상부의 센서를 A, 하부의 센서를 B라 하고 OP 증폭기를 거쳐 증폭된 신호를 각각 AA, BB라 하면 정상적인 드롭은 다음과 같은 방법으로 감지된다. 4개의 신호 (A, AA, B, BB)는 각각 A/D변환기로 입력되어 CPU에서는 증폭전의 신호(A, B)와 증폭후의 신호(AA, BB)를 비교하여 증폭도가 맞는지 확인한다. (약 47배) 상부

(A)와 하부(B)의 센서 신호의 순서를 비교하여 A->B로 드롭이 발생하였는지 아니면 B->A로 드롭이 발생(드롭이 발생하여 물이 튀는 현상)하였는지를 판별한다. 정상적인 드롭의 순서는 A->B이다. A 센서에서 감지된 시간과 B 센서에서 감지된 시간차를 검출하여 일정시간(T) 이상이어야만 드롭으로 인정한다. 또한, 드롭센서 유니트에 있는 광다이오드와 LED를 제어하기 위하여 별도의 제어회로가 있다. 이는 드롭의 발생을 사용자에게 알리기 위함과 전원 소모를 줄이기 위함이다.



<그림2-4> 포토 다이오드 어레이에 대한 회로도

### 3. 실험 및 결과

#### 3.1 피에조센서

피에조 센서부는 충격에 매우 민감하고 온도의 변화에 따라 특성이 변화하므로 이러한 요인에 노출시킨 상태에서 실험하였다. 특히 잡음이 종종 발생하므로 잡음을 제어할 수 있는 필터 회로가 필요하다. 흔들림에 대한 상태 검출을 위하여 바퀴가 달린 상위에 부착하여 이동시키면서 측정하였고 온도의 변화에 대한 실험을 위해 거울에 실험실의 창문을 모두 열어둔 상태에서 문을 닫은 후 난방온도를 25℃ 이상에서 측정하였다. 이동시험은 피에조 센서부에 가해지는 진동을 묘사하기 위한 것이다. 피에조 센서부를 고정하여 시험한 경우와 이동중에 시험한 경우의 주입률과 주입량을 1000방울씩 센싱하여 10회에 걸쳐 측정된 시험결과를 <표3-1>에 표시하였다. 표에서 나타난 바와 같이 고정시엔 평균 99%의 검출율을 보였으나, 이동할 때는 외부적 진동에 매우 영향이 있음을 보이고 있다. 따라서 피에조 센서를 수액주사용 드롭센서로 사용하기 위해서는 외부진동을 제거하는 신호처리방법이 요구된다. 그러나 가해지는 외부진동의 주파수가 드롭에 의한 기초적 주파수와 중첩될 수 있어 주파수 뿐만 아니라 여러가지 발전적인 기법이 요구되어 필터링에 난점이 따른다.

#### 3.2 광센서부

광센서부는 광의 외부환경변화에 적응할 수 있어야 하며, 센서모듈 하단부에 생성되는 수면에서 물방울이 튀김으로 생기는 내부적 간섭을 효율적으로 제거할 수 있어야 한다. 따라서 이러한 요인들을 제거하기 위한 구조로 이에 대한 대응력을 실험하였다.

#### 1. 외부조건변화에 대한 처리방식

물방울의 통과여부는 검출된 광의 변화의 크기 및 통과순서에 따라 판단하였다. 광의 미량 변화는 조명 및 점멸과 손전등을 순간적으로 센서부에 비추 지나가도록 하여 발생시켰다.

#### 2. 드롭센서모듈 부착각도의 변화

본 실험을 간호사가 수액세트 설치시 발생할 수 있는 센서 모듈 부착각도의 차이에 의해 생길 수 있는 오검출 확률을 추정하기 위해 수액병의 수직 낙하 방향에 대해 각 5°씩 변화하며 ±30°차이까지 시험하였다.

#### 3. 드롭낙하에 따른 물방울 튀김

수액세트에서 수액의 드롭에 의해 수액 세트 하단부의 수면에서의 물방울 튀김이 드롭으로 오인되는 현상을 규명하기 위해 수면을 초기에 드롭센서모듈의 센싱부 바로 밑에 형성되도록 조정하여 실험하였다. 실험 결과 이러한 현상은 물방울 튀김이 하단부 센서에 먼저 센싱되면 물방울 튀김으로 판단하여 제거하는 방식이 가장 효과적이었다.

#### 4.진동에 의한 드롭의 센싱 위치 변화

과우 진동을 발생시켜 드롭의 떨어지는 위치를 변경하여 실험하였으나 정량적으로 진동의 주파수, 크기를 변조하여 실험하지 않았다. 따라서 일정한 실험의 제한은 되지 않았다. 그러나 진동의 크기를 높여 어느 한계 이상이 되면 검출률이 급격히 떨어지는 현상을 보였다.

### 3.3 센서 실험 결과

실험은 대아, 보인메디카, 한국 메디카의 세 회사의 15 drops/1ml 수액 세트에 대하여 여러가지 환경하에서 행하였다. 각 회사마다 직경과 재질에 차이가 있는데 직경은 한국메디칼 1.59cm, 대아 1.56cm, 보인 메디카는 1.51cm이다. <표 5-1>는 1000방울 씩 10회, 각 센서에 대하여 검출한 결과이다. 각 회사마다 드롭의 속도, 광도의 변화, 흔들림 등 환경을 변화시켜 실험을 행했다. <표5-1>에서 광센서 I는 수광 트랜지스터를 이용한 센서이고 광 센서 II는 수광 다이오드 어레이를 이용한 센서이다. 광센서 I의 경우 2회째 실험에서 특히 검출률이 떨어지는 것은 흔들림을 좀더 크게 한 결과이다. 이 결과로 수액의 드롭이 떨어지는 위치가 수광 트랜지스터의 수광범위를 벗어나는 경우가 많아서 발생하는 것으로 추정된다. 광센서 II의 경우 고정시엔 100%의 검출율을 보였고 이동시엔 대부분 100%의 검출율을 보였으나 진동이 심한 2회째의 경우에는 95.5%의 검출율을 보였다. 이러한 이유로 진동이 심할 경우 드롭이 튜브의 벽면으로 붙어 떨어질 때 확실한 드롭으로 검출하지 못하는 것으로 추정된다. 그러나 타 센서에 비해 매우 높은 검출율을 보여 가장 신뢰성이 있으며 좀 더 검출 알고리즘을 보완한다면 오차율을 줄일 수 있을 것으로 보인다. 또 임상적으로 실험에 사용한 정도의 진동의 확율은 극히 희박할 것으로 보여 큰 문제가 없을 것으로 사료된다. 이러한 결과는 직선적으로 연결된 어레이를 사용하여 수액 드롭의 흔들림에 따른 센싱위치변동 범위를 커버하고, 떨어지는 순서 및 센서 상하층의 시간적 윈도우를 설정하여 광도 변화 및 물방울 튀김에 의한 간섭 효과를 제거하였기 때문이다.

## Infusion Pump 용 Drop Sensor 개발에 관한 연구

<표 3-1> 각 센서모듈의 검출율

센서종류 횟수	피에조 센서	광센서 I	광센서 II
1	99.5	98	100
2	99.5	97.5	100
3	98.5	95.5	100
4	99	98.5	100
5	98.5	99	100
6	99.5	99	100
7	98	98	100
8	99	98.5	100
9	98.5	97.5	100
10	99.5	98.5	100

검출율(%)

(a) 일정위치 고정시

센서종류 횟수	피에조 센서	광센서 I	광센서 II
1	75	77	100
2	72.5	70.5	95.5
3	76.5	72	100
4	74.5	73	100
5	77	72	100
6	73.5	74.5	100
7	75.5	75.5	100
8	78.5	82.5	100
9	79.5	85.5	100
10	76	77.5	99.5

검출율(%)

(b) 검체가 이동할 때

### 참고문헌

- 1 P. G. Witherell and M. E. Faulhaber, "The Silicon Solar Cell as a Photometric Detector", Applied Optics, Vol. 9, No.1, January 1970
2. Robert H. Hamstra, Jr., and Paul Wendland, "Noise and Frequency Response of Silicon Photodiode Operational Amplifier Combination Applied Optics, Vol. 11, page 1539, July 1972
3. Edward F. Zalewski and C. Richard Duda "Silicon Photodiode device with 100% external quantum efficiency" Applied Optics, vol.22, page 2867, 15 September, 1987
4. Raj korde and Jon Geist "Quantum efficiency stability of silicon photodiodes " Applied Optics, Vol.26.No.24,15 December 1987
5. Amp Incorporated "Piezo Film Sensors Technical Manual", December 1993
6. 김동호, 김용완, 정영봉, 이인원 "광 검출기" 한국 표준 연구소, 12/1988
7. 梅地正外, "센서 인터페이싱 No.4", 機電研究社 1986
8. Paul H. Wendland "Silicon Photodiodes Come into Their Own" optical spectra, October 1973
9. Paul H. Wendland "Measuring Led Outputs Accurately" Electro-optical Systems Design, November 1971
10. Brian O. Kelly "Lateral-effect photodiodes" Applied Optics, Vol.22, No.18, 15 September 1983

## 4. 결론

수액주사량 및 주입률을 자동으로 검출하기 위해서 드롭센서모듈을 피에조 센서와 광센서를 이용하여 설계, 제작하고 평가하였다. 이의 유용성을 시험결과 피에조센서는 주위환경의 진동에 의한 영향을 많이 받아, 실제 수액의 드롭과 진동성분을 구별하는데 난점이 따랐다. 따라서 신호처리의 부담을 가중시켜서 실시간 처리 능력이 제한된 8 비트 단일 칩 프로세서로서 처리하기가 부적절하였다. 그러나 광센서로서 2가지 형태를 설계하였고, 그 중 광 필름을 상하로 배치한 형태가 센서의 부착기술의 차이 및 실제 수액 자동 주입기에서 나타나는 주변의 급격한 조도변화에 의한 드롭의 오인식 문제를 제거할 수 있어서 신뢰성이 향상되었다. 감시(monitering) 시스템을 RS-232C 통신방식을 채택하여, 장기간의 지속적 감시를 필요로 하는 환자에 대한 주입량 및 주입률을 원격지에서 그래픽 화면을 통해 감시할 수 있었고, 그 성능은 상용화된 주입량 분석기와 동일하였으나, 환자 이력 및 처방의 데이터 베이스를 활용할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 의료기기의 일종인 수액자동 주입기의 주입량 및 주입률을 자동으로 신뢰성있게 검출하는 센서를 개발하여 센서의 국산화에 기여하였으며, 개발된 센서를 이용한 인퓨전 펌프 제어 시스템의 개발이 기대된다.