

광센서를 이용한 실시간 중환자 요량감시 장치

김종명 · 이진영 · 홍주현 · 임승운* · 차은종 · 이태수[†]

Real-time urine monitoring system for intensive care patient using optical sensor

Jong Myoung Kim, Jin-Young Lee, Joo-Hyun Hong, Seung Woon Lim*, Eun-Jong Cha, and Tae-Soo Lee[†]

Abstract

This paper addressed real-time urine monitoring device for intensive care patients. The device was developed to detect and count each urine drop using optical sensor and calculate the current urine output volume and its hourly rate. In experiment, the water volume scale of drainage bottle was observed and compared with the count of the device so that the volume of each drop was found to vary with the dropping rate per minute. From this measurement, the relationship equation was derived to estimate the total water volume from the drop rate (correlation coefficient : $r=0.99$). The developed device could be applied to count patient's urine drop successfully. Therefore, this device can be used to monitor intensive care patient's urine status in real-time.

Key Words : real-time, urine monitoring, intensive care patient, optical sensor

1. 서 론

우리의 신체에는 2개의 신장이 있고, 이 신장은 혈장(plasma)의 성질을 화학적·물리적으로 정상 유지하는 조절기능이 있다. 그리고 이를 위하여 질소성 물질을 비롯한 여러 가지 대사물을 배설한다. 혈장이 사구체를 통해 여과되고, 그 중 몸에 필요한 물질들을 선택적으로 재흡수하고, 신체내에 과잉된 물질이나 불필요한 물질들과 세뇨관에서 분비되는 일부 물질이 합쳐져서 체외로 나오는 것이 요(urine)이다. 따라서, 사람의 소변에는 요 형성에 직접 관여되는 비뇨기계통의 이상은 물론 혈액성분이나 순환기계통의 이상들이 직접 또는 간접적으로 반영된다^[1].

이러한 이유로 임상에서는 환자로부터 배설된 소변

을 환자의 상태를 체크하는 중요한 요소로 사용하고 있다. 수술 중에는 환자 스스로 소변을 보는 것이 불가능하게 되어 방광에 소변이 머물게 되고, 이로 인해 방광의 압력이 지나치게 높아지면 비뇨계통에 일시적 또는 영구적인 장애가 초래될 수 있다. 이를 예방하고 동시에 여러 가지 임상적인 정보를 얻기 위하여 수술 중인 환자나 중환자실에 입원하고 있는 환자의 방광에 도뇨관을 삽입하고, 시간당 나오는 소변량을 측정하게 된다. 환자로부터 배설된 소변량이 대개 단위시간과 단위체중당 $1\text{ ml}/(\text{ml}/\text{kg}/\text{hr})$ 이상이면 순환혈량이 충분한 것을 의미하나, 횡뇨(oliguria)가 생기면 순환혈량의 부족, 마취제의 항이뇨 효과, 수술에 따른 스트레스, 급성 신부전의 압박, 심박출량의 감소 등을 의미할 수 있다^[2,3]. 즉, 시시각각 변화하는 소변의 양(Urine output)을 알 수 있으면, 이를 통해 환자의 생리 및 병리 상태를 파악하고, 대처할 수 있게 된다.

소변량을 모니터링하기 위한 방법은 중환자의 경우, 유치도뇨(retention catheterization)를 하고^[4,5], 간호사가 보통 1 시간마다 소변배액병에 표시된 눈금을 읽어 소변의 양을 측정하여 기록하는 것이다. 그리고 이 자료를 통하여 환자의 하루 동안 수분섭취와 배출량을 계

충북대학교 의과대학 의공학교실(Department of Biomedical Engineering and Pain Medicine, College of Medicine, Chungbuk National University)

*충북대학교 의과대학 마취통증의학교실(Department of Anesthesiology and Pain Medicine, College of Medicine, Chungbuk National University)

[†]Corresponding author: tslee@chungbuk.ac.kr

(Received : December 13, 2007, Accepted : January 16, 2008)

산하며 이를 임상지표로 활용한다. 그러나 이와 같은 소변량 측정법에는 다음과 같은 문제점이 있다. 첫 번째로 한 시간의 측정시간이 소요된다는 것과 두 번째로 이 측정치가 현재의 환자 상태가 아닌 지난 한 시간 동안의 환자 상태를 의미하는 것, 그리고 마지막으로 간호사들이 1 시간마다 여러 환자의 소변량을 체크하여 기록하는 것은 인력관리상 매우 비효율적이라는 것이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 개선할 수 있는 장치를 개발하고자 하였다.

일반적으로 수술중인 환자나 중환자로부터 배출되는 소변은 연속적인 방울(소변이 흐르는 상태) 형태가 아닌 불연속적인 방울 형태를 띠었다. 이러한 점을 착안하여 소변배액병으로 떨어지는 소변 방울을 카운트함으로써 환자의 소변량을 측정함과 동시에 떨어지는 물 방울의 용적변화에 따른 오차율을 계산함으로써 본 장치의 유용성도 확인하였다. 만일 환자의 침상에 설치된 소변배액병이 기울어져 있을 경우, 소변 방울이 소변배액병 표면을 따라 흐를 수 있기 때문에 이를 수직으로 고정시켜 실험을 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시스템 구성

소변배액병으로 떨어지는 소변방울을 감지하기 위하여 광센서를 이용하였고, 센서신호로부터 드롭 이벤트(소변 방울이 떨어짐)를 검출하고 카운트하여 실시간 소변량과 시간당 소변량을 계산하는 시스템을 설계하였다. 소변배액병은 현재 병원에서 사용하고 있는 것을 이용하였고 그림 1(a)와 같은 구조로 되어있다.

그림 2는 요 측정 장치의 전체 시스템 구성을 보여주는 블록도이다. 개발된 장치는 크게 센서 및 전처리부와 신호처리부, 디스플레이부로 구성되어 있다.

센서 및 전처리부는 그림 2(a)와 같이 센서, 판별부(discriminator) 및 아날로그 신호 컨디셔너(Analog signal conditioner)로 구성되며, 센서신호를 판별하여 이를 증폭하는 역할을 한다. 센서는 적외선 발광 다이오드(발광부)와 포토 트랜지스터(수광부)를 사용하였고, 그림 1(b)와 같이 소변배액병과 카테타(Catheter)의 연결부분으로부터 약 2 cm 아래에 서로 마주보게 설치하였다. 센서 및 전처리부의 판별부는 주위의 빛을 제거하는 역할을 하며, 판별부의 출력신호 DISC OUT(discriminator output)은 발광부 센서가 켜지고, 꺼졌을 때의 신호 간 차이 값으로 순수한 발광부 센서만의 신호이다. 그리고 아날로그 신호 컨디셔너는 이득이 12 인 연산증폭기를 이용하여 DISC OUT을 증폭하는 역

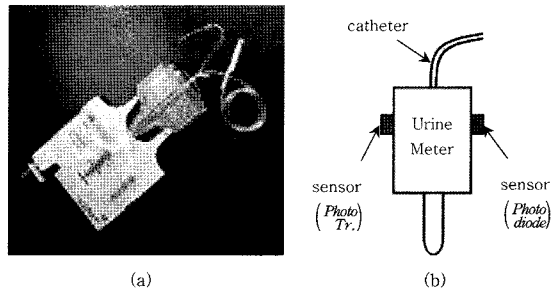


그림 1. (a) 상용의 소변배액병 (b) 센서 장착 위치
Fig. 1. (a) Commercial urine meter (b) Attached position of sensor to urine meter.

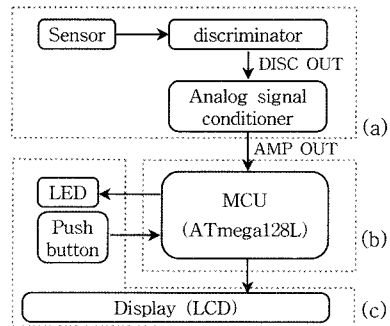


그림 2. 전체 시스템 블록도 (a) 센서 및 전처리부 (b) 신호처리부 (c) 디스플레이부
Fig. 2. System block diagram. (a) Sensor and preprocessing part (b) Signal processing part (c) Display part.

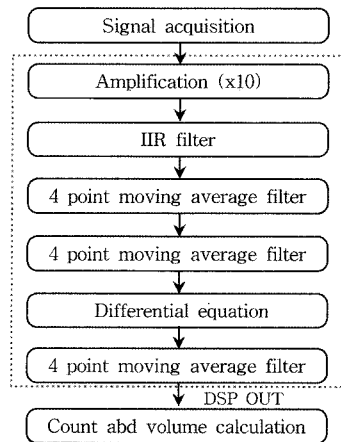


그림 3. 신호 처리 흐름도
Fig. 3. Flow chart of signal processing algorithm.

할을 한다.

신호처리부는 고성능, 저전력형의 8 비트 마이크로 컨트롤러 ATmega128L^[6]을 이용하여 입력된 AMP

OUT(Amplifier output)신호로부터 드롭 이벤트를 검출하고, 총 카운트 수와 이에 따른 소변량을 계산한다. 그림 3은 입력신호 AMP OUT신호의 처리과정을 나타낸 것이고, 소변량은 매 분마다 분당 방울 수와 물 한 방울의 용적을 곱하여 더한 값이다.

디스플레이부는 8*2 문자행렬의 액정디스플레이(LCD)와 푸쉬버튼(Push button), 발광다이오드(LED)로 구성되어 있고, 환자의 실시간 소변량과 시간당 소변량, 그리고 소변량 측정시간을 표시한다.

3. 결 과

그림 4와 같이 현재 병원에서 사용하고 있는 소변배액병에 액병에 개발한 요 측량 장치를 장착하고, 일정한 높이에 고정된 물병과 카테터를 연결시켜 환자의 소변 대신 물을 이용하여 실험하였다.

표 1은 100 mL를 기준으로 분당 방울 수를 달리 하였을 때, AMP OUT신호에서 발생한 전압강하 횟수(오실로스코프로 측정)와 요 측량 시스템에 의해 검출된 카운트 수를 나타낸 것이다. 이를 통해 두개의 측정값

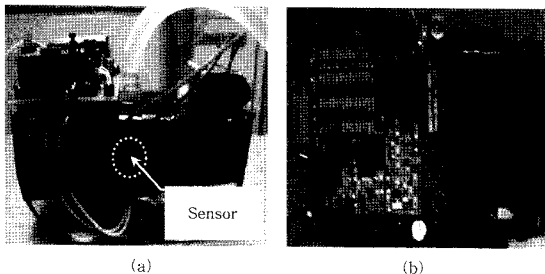


그림 4. (a) 소변배액병에 장착한 요 측량 장치의 모습 (b) 요 측량 시스템
Fig. 4. (a) Urine monitoring system attached to urine meter (b) Urine monitoring system.

표 1. 분당 방울수에 따라 측정된 AMP OUT신호의 전압강하 횟수와 개발 장치의 카운트 수 비교
Table 1. Comparison of Measured Number of AMP OUT Signal Falling and Counted Number by Developed Device According to Drop Count per Minute

Drop count per minute	Measured number of AMP OUT signal falling	Counted number using developed device
14	1000	1000
28	978	978
55	955	955
106	907	907
198	793	793

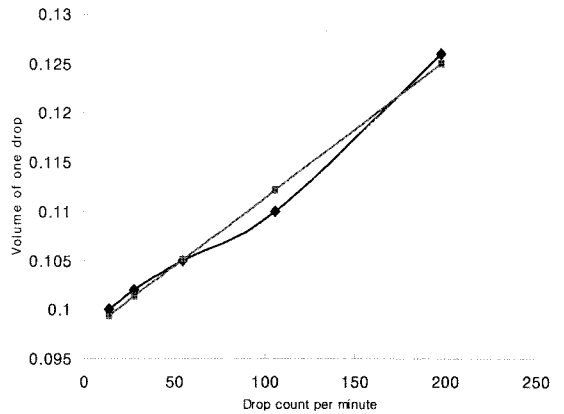
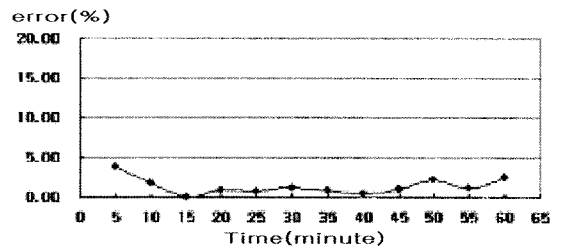
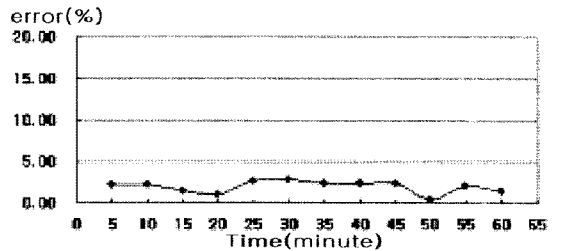


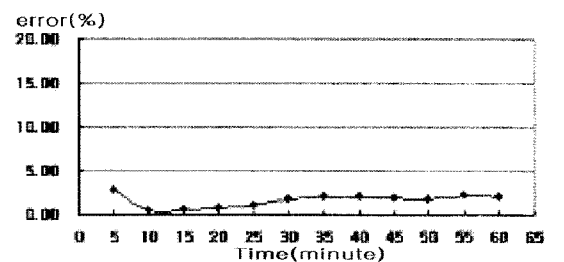
그림 5. 분당 방울수에 따른 물 한 방울의 용적($r=0.99$, $r^2=0.98$)
Fig. 5. Volume of one drop according to drop count per minute. ($r=0.99$, $r^2=0.98$)



(a) Drop count per minute : 5



(b) Drop count per minute : 10



(c) Drop count per minute : 20

그림 6. 개발 장치에 의해 측정된 물의 양의 오차율(%)
Fig. 6. Percent error(%) of measured water volume using developed device.

이 정확히 일치함을 알 수 있었고, 분당 방울 수에 따라 물 한 방울의 용적이 달라짐을 발견하였다. 표 1로부터 분당 방울 수에 따른 물 한 방울의 용적을 나타낸 그래프를 통해 분당 방울 수가 증가할수록 물 한 방울의 용적도 증가하는 것을 볼 수 있다(그림 5 참조). 그리고 그림 5의 추세선으로부터 분당 방울수(S)와 물 한 방울의 용적(V)에 대한 관계식을 다음과 같이 구하였다.

$$V=0.0001S+0.0975 \quad (1)$$

요 측정 장치에 위의 식을 적용하고, 각각 5, 10, 20으로 분당 방울 수를 달리하여 실험하였다. 이는 사람의 평균 체중을 70 kg으로 하고, 수술 후 환자로부터 배설된 소변량이 대개 시간과 체중당 1 ml(ml/kg/hr)이 상임을 고려한 것이다. 그리고 매번 물병의 물의 양을 같게 한 후 실험하였고, 1 시간동안 5 분 간격으로 개발된 장치에 의해 측정된 물의 양과 실제 소변배액병으로 배출된 물의 양을 측정하여 기록하였다. 실제 배출된 물의 양은 소변배액병으로 떨어지는 물방울을 메스실린더에 담아 육안으로 눈금을 읽음으로써 측정할 수 있었다. 그리고 이 둘 사이의 오차율을 계산하여 그림 6에 나타내었다. 실험 결과, 개발된 장치에 의한 측정값이 실제 물의 양에 대하여 5% 미만의 오차율을 나타냄으로써 거의 일치함을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

배뇨량을 측정할 수 있는 방법에는 여러 가지가 있겠지만, 본 연구에서는 수술 중인 환자나 중환자로부터 생성된 소변이 소변배액병으로 배출될 때, 불연속적인 방울 형태를 띠는 것에 착안하여, 소변 방울을 카운트하는 방법으로 광센서를 이용한 소변량 측정 시스템을 설계하였다. 본 연구팀이 개발한 요 측정 장치는 병원의 소변배액병을 그대로 이용하여 설계하였기 때문에 바로 장착하여 사용할 수 있고, 센서 및 전처리부의 판별부는 주위로부터 들어오는 빛을 제거하기 때문에 주위의 빛의 양이나 세기에 상관없이 안정적으로 드롭 이벤트를 검출할 수 있는 이점이 있다.

개발된 장치를 가지고 물을 이용하여 실험한 결과, 소변배액병으로 떨어지는 분당 방울 수에 따라 물 한 방울의 용적이 달라지며, 분당 방울 수가 증가할수록

물 한 방울의 용적도 증가함을 알 수 있었다. 그리고 이들 사이의 관계식을 개발 장치에 적용한 뒤 분당 방울수를 달리하여 실험하였을 때, 5% 미만의 오차율을 보임으로써 좀 더 신뢰성 있는 측정값을 얻을 수 있었다. 이는 수술 중인 환자나 중환자의 배뇨량을 고려한 것이며, 실험 결과를 통해 중환자의 소변방울에도 적용 가능할 것으로 보여진다. 차후 본 연구는 지금까지의 연구를 토대로 개발장치에 지그비(Zigbee)센서를 내장하여 송신부를 만들고, 무선 수신부를 만들어 PDA에 장착한 후 환자의 배뇨량 및 시간당 소변량을 실시간으로 측정하는 장치개발 및 연구를 진행할 계획이며, 이는 국내에서도 활발히 연구되고 있는 유비쿼터스 헬스케어 의료기기용의 센서로서 활용 가능할 것으로 기대된다^[7,8]. 결론적으로 본 연구팀이 개발한 요 측정 장치를 이용하면 배뇨량을 정량화하여 표시하는 것뿐만 아니라 배뇨량과 시간당 소변량을 실시간으로 알 수 있기 때문에 의료인력 관리의 효율성을 높이고, 좀 더 효과적으로 환자를 관리할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

“본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업의 지원에 의하여 이루어진 것임.”(과제고유번호: A040032)

참고 문헌

- [1] 최정신, 성인간호임상실습지침서, 신광출판사, 서울, p. 135, 1983.
- [2] 대한마취과학회, 마취과학, 麗文閣, 서울, p. 71, 1996.
- [3] 대한마취과학회, 마취학과, 麗文閣, 서울, pp. 425-426, 1996.
- [4] 김금순, 기본간호실습, 서울대학교출판부, 서울, p. 235, 1989.
- [5] 김금순, 기본간호실습, 서울대학교출판부, 서울, pp. 237-240, 1989.
- [6] 홍주현, 김남진, 차은종, 이태수, “지그비 기반 PPG 개발”, 특허학회지, 제8권, 제3호, pp. 31-35, 2006.
- [7] 김경아, 이태수, 차은종, “기능성 일회용 호흡관의 소형화 연구”, 센서학회지, 제14권, 제4호, pp. 250-257, 2005.
- [8] 김경아, 최성수, 조동욱, 이승직, 이태수, 차은종, “호흡 감지를 위한 복부 부착형 전도성 고무소자의 계측특성”, 센서학회지, 제16권, 제1호, pp. 24-32, 2007.



김 종 명

- 2006년 충북대학교 전자공학과(공학사)
- 2008년 충북대학교 의용생체공학과(공학 석사)
- 주관심분야 : u-헬스케어 시스템 개발 및 응용, 신체영역 통신망



이 진 영

- 2004년~현재 충북대학교 전자공학과 학사과정 재학중



홍 주 현

- 2001년 단국대학교 전자공학과(공학사)
- 2003년 충북대학교 의용생체공학과(공학 석사)
- 2008년 충북대학교 의용생체공학과(공학 박사)
- 2004년~현재 휴대형 진단치료기기개발센터 연구원
- 주관심분야 : u-헬스케어 시스템 개발 및 응용, 신체영역 통신망



임 승 운

- 1980년 서울대학교 의학과 학사
- 1984년 마취통증의학전문의(서울대학교 병원)
- 1993년 서울대학교 대학원 의학박사
- 1988년~현재 충북대학교 교수
- 1994년 피츠버그대학 연수(간이식)
- 2003년 충북대학교 의과대학 학장
- 주관심분야 : 생명중후 감시, 생체신호분석, 약물의 혈중농도와 생체반응



차 은 종

- 1980년 서울대학교 전자공학과 학사
- 1987년 미국 남가주대학 박사, Research Associate
- 1988년~현재 충북대학교 의과대학 의공학교실 교수
- 2001년~현재 씨케이인터네셔널 대표 겸직
- 주관심분야 : 생체계측, 물리센서, 심폐 의료기, 정밀계측



이 태 수

- 1981년 서울대학교 전자공학과 학사
- 1983년 서울대학교 대학원 전자공학과 석사
- 1990년 서울대학교 대학원 제어계측공학과 박사
- 1991년~현재 충북대학교 의과대학 의공학교실 교수
- 2004년~현재 휴대형진단치료기기개발센터 대표
- 주관심분야 : 컴퓨터 의학응용, 유비쿼터스 헬스케어