

자동 IV 주사 유량 자동 제어 및 네트워크 모니터링

김진남*, 권원태⁺, 이강희**

(논문접수일 2011. 11. 07, 수정일 2012. 01. 13, 심사완료일 2012. 01. 16)

Automatic Flow Control and Network Monitoring of IV Injection

Jin Nam Kim*, Won Tae Kwon⁺, Kanghee Lee**

Abstract

Intravenous (IV) injection is widely used to supply Ringer solution directly into a vein in hospital. Generally, a passive injection method has been used, which causes the inconsistent flow rate of fluid and inappropriate control of injection time by a patient. It leads to an unnecessary nurse's overwork and decrement of IV injection's effect. To solve these problems, flow control infusion pumps have been developed. But because of relatively heavy weight and high price, its usage has been limited. In the present study, a new automatic IV injection system is developed. It is installed with a small pressing mechanism driven by a small electric motor to regulate the flow rate by pressing tube. Proportional integral derivative (PID) feedback control algorithm is applied to control the electric motor. The system is smaller in size and uses lower power than the existing commercial product. The newly developed system is also installed with networking capability, which enables monitoring the status of several automatic IV injection system at the same time.

Key Words : IV injection(정맥주사), Automatic flow control(자동유량제어), Network monitoring(네트워크 감시), Infrared sensor(적외선 센서), Load cell sensor(로드셀 센서)

1. 서론

환자가 입원하거나 응급실에 수송되면 Intravenous 주사(IV 주사), 즉 혈관에 놓는 주사를 이용하여 수액이나 혈액을 투여하여 환자에게 에너지를 공급하거나, 생명을 유지시키는 것이 일반적이다. 현재 대부분의 병원에서는 간호사가 조절장치를 수동으로 조절하여 수액이나 혈액의 유량을 조절한다. 하지만 투액 속도는 간호사에 따라 달라질 수 있고⁽¹⁾ 때로는 환자가 임의로 투액 속도를 조절하여 수액의 약효가 반감되는 경우도 발생한다. 또한 수액 투입이 끝난 후 링거를 잠그지 않으면 혈

관에 공기가 유입되어 좋지 않은 영향을 끼칠 수 있으므로 적시에 수액을 잠그는 일은 환자가족이나 간호사에게 상당한 부담으로 작용하여 가족의 스트레스와 간호사의 업무량을 증가시키는 요인이 된다. 이 문제를 해결하기 위하여, 정밀한 유량제어가 가능한 인퓨전을 사용하는 펌프고급형 수액 조절 장치⁽²⁾를 사용할 수 있으나, 고가이고 무거워 환자 이동 시 매우 불편하므로 중환자실이나 신생아실 같은 특수한 경우로 사용이 제한된다. 이를 극복하기 위하여 작은 형태이면서 외부에서 튜브를 압착하는 장치가 제안되었다⁽³⁾.

본 연구에서는 위에 제안된 연구를 계속하여, 밀봉상태의 수

* 서울시립대학교 기계정보공학과 대학원

+ 교신저자, 서울시립대학교 기계정보공학과 (kwon@uos.ac.kr)

주소: 130-743 서울시 동대문구 전농동 서울시립대학교 기계정보공학과

** 동양미래대학, 로봇자동화공학부

액에 손상을 주지 않으면서도 소형이며 저전력을 사용하는 자동 유량제어장치를 갖춘 저가의 소형 수액 조절 시스템을 개발하였다. 또한 적외선 센서를 이용하는 수액 방울감지 시스템과 튜브에 압력을 주어 유량을 제어하는 기구도 개발하였다. 이 시스템에서는 PID제어를 이용하여 저렴하면서도 정확하게 유량을 제어하도록 하였으며 동시에 네트워크를 이용하여 원격 모니터링이 가능하도록 하였다.

2. 실험 장치 및 실험

2.1 듀얼 센서를 이용한 유량 및 속도 감지 시스템

본 연구에서는 무게를 측정하는 로드셀과 수액방울 수를 측정하는 적외선 센서를 이용하여 유량과 속도를 감지하였다.

2.1.1 로드셀을 이용한 총 무게 감지

로드셀을 이용하여 초기의 링거액의 무게를 측정하고 이후에 변화하는 무게를 측정하여 잔여 링거액의 양을 추정하고 Fig. 1에 보였다. 로드셀은 탄성체의 물리적인 변형량을 스트레인 게이지를 이용하여 중량을 측정하는데, 제작비가 저렴하고 계량 정밀도가 높으며 부피 및 무게가 작아 본 연구에서 사용하였다. 로드셀에서 측정된 출력 전압은 OP 앰프(operational amplifier) 회로를 거쳐 증폭되어 마이크로 프로세서로 입력되는데, 순간적인 외부 충격이나 전자기파에 의한 노이즈를 감소시키기 위하여 시간이 지남에 따라 새로운 한 개의 데이터를 받아들이고 가장 오래된 한 개의 데이터를 버린 후, 평균을 계산하여 사용하는 무빙 윈도우를 사용하였다. 이 방법으로 노이즈에 둔감하면서도 변화되는 무게를 적시에 측정할 수 있는 알고리즘을 개발하였다.



Fig. 1 Weight measurement using load cell

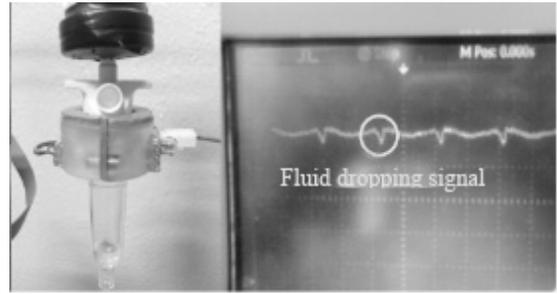


Fig. 2 Sensing of fluid dropping and its electrical signal

2.1.2 적외선 센서를 이용한 수액 방울 감지

점적통에서 떨어지는 수액 방울의 개수와 시간 간극은 적외선 센서를 이용하여 측정하였다. Fig. 2에서 보듯이 시간 간극에 따른 방울 하나의 부피는 실험적으로 결정하여 시간 간극과 방울 부피의 상관관계를 구하였다. 점적통은 육안으로 방울의 점적을 확인 가능하도록 투명한 형태로 만들어지며, 수액이 공급되는 튜브에 공기가 들어가는 것을 막기 위한 것으로, 점적통에 수액을 1/3 내지 1/2 정도를 채웠다. 한 방울씩 떨어지는 수액방울을 감지하는 감지부는 쉽게 탈부착이 가능한 형태로 설계하며 수액 저장부 하단에 연결된 점적통에 장착하였다. 점적을 감지하기 위해 사용한 적외선 센서는 열형 적외선 센서로 온도 변화를 측정 후, 이 결과를 저항 변화나 기전력 형태로 출력한다. 이 센서는 실온에서 동작하고, 파장 전역에 걸쳐 감도의 변화가 적으며, 가격이 저렴하다는 장점이 있다.

2.1.3 듀얼센서를 이용한 유량 및 속도 계산

로드 셀에서 얻어지는 무게 정보와 적외선 센서에서 얻어지는 방울의 개수와 속도 정보는 마이크로 프로세서로 전달되어 유량과 속도를 계산하는데 사용되었다. 이 연구에서는 Atmega 128 마이크로 프로세서에서 무게 정보와 적외선 센서 정보를 수집하고 계산하여 현재의 수액 무게와 수액 종료시간을 추정하였다.

2.2 유량 조절 장치

2.2.1 유량조절 장치의 설계

본 연구에서는 유량을 조절하기 위하여 간단한 압착 구조를 사용하여 소형화와 제작 단가 절감을 달성하였다. Fig. 3에 보듯이 구동부는 수액의 주입 속도의 정밀한 제어를 위해 소형 DC모터와 리드 스크류 형태의 압박바로 구성하였다. 소형 DC모터를 사용하여 구동부를 작고 가벼우면서도 저렴하게 제작 가능케 하였으며 압박바는 모터의 동력에 의해 선형 왕복 이동으로 수액이 공급되는 튜브를 압박하거나 압박을 풀어주는 역할을 하였다. 튜브 압박 정도에 따라 수액의 주입 속도가 조절되었다. 모터가 회전하면 리드 스크류에 의하여 끝단의 압박

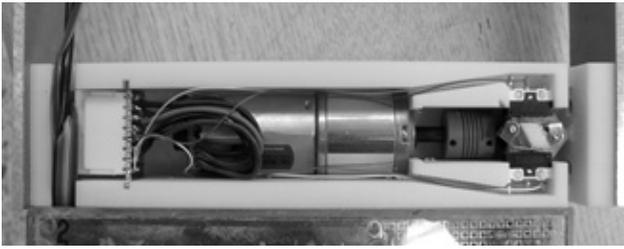


Fig. 3 Control mechanism of fluid flow

부위가 튜브를 눌러주는데, 리드 스크류는 모터회전을 직선운동으로 바꾸어주는 동시에 튜브의 탄성에 의한 스프링 백이 발생하지 않도록 지지하였다. 이는 일단 모터가 정위치에 도착하면 모터의 전원을 꺼도 그 자리를 유지하는 역할을 하므로 전원 소비를 줄이도록 하였다.

구동부에는 엔코더 및 리미트 스위치가 장착되어 있는데, 엔코더는 회전량을 검출하기 위한 센서로서 DC모터 구동축에 장착된 마그네틱의 회전을 자기센서를 통해 회전을 측정한다. 엔코더의 회전량을 측정하여 계산한 압박바의 현재위치를 마이크로 프로세서에 전달하여 폐회로 제어가 가능케 하였다. 이렇게 압박바의 위치를 제어함에 따라 튜브를 압박하는 정도를 조절하고, 이로써 수액의 주입 속도도 조절하였다. 리미트 스위치는 압박바의 시작점 및 종점 양쪽에 설치하여, DC모터가 계속 동작하여 튜브에 과도한 압력이 가해지거나 범위를 넘어 구동부가 손상되는 것을 방지하거나, 처음 기기를 켰을 때 압박바의 초기 위치를 설정하여 원점을 잡기 위하여 사용하였다. 구동부의 엔코더 신호, 리미트 스위치 신호를 마이크로 프로세서로 보내서 PID제어를 가능하게 하고 제어 알고리즘으로 얻어진 결과를 PWM(pulse width modulation) 방식으로 모터를 구동하였다.

2.2.2 유량의 자동 제어 및 경보 시스템

전체 시스템에 대한 개략도는 Fig. 4에 주어졌고 유량제어 알고리즘은 Fig. 5에 주어졌다. 이 시스템에서는 계산된 수액의 주입 속도와 요구되는 수액의 주입 속도가 다를 경우 구동부를 구동시켜 수액의 주입 속도를 조절하도록 하였다. 수액이 주입되는 동안 수액의 잔여량 및 수액 방울의 무게가 계속 변하기때문에, 지속적으로 수액의 주입 속도를 조절하여야 정확한 주입 속도가 유지되는 것이 밝혀졌다. 수액을 제외한 나머지 부분의 무게는 미리 측정하여 초기 값으로 주어졌다. 마이크로 프로세서는 적외선 센서와 로드 셀에서 읽어들이 값에서 수액의 잔여량과 주입 속도를 계산하여 수액의 주입 완료 예상 시간도 추정하였다. 수액 주입 완료 예상시간이 가까워지거나 또는 바늘이 빠져서 수액이 정상적으로 흐르지 않을 경우 경보음과 함께 구동부를 구동시켜 수액의 주입을 차단하도록 설계하였다.

시스템에 부착된 소형 LCD에는 수액의 잔여량, 수액의 주입

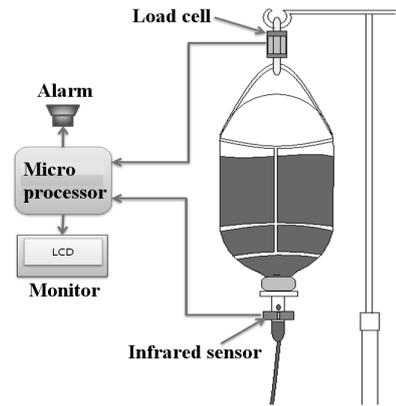


Fig. 4 Schematics of the microprocessor controlled automatic flow control system

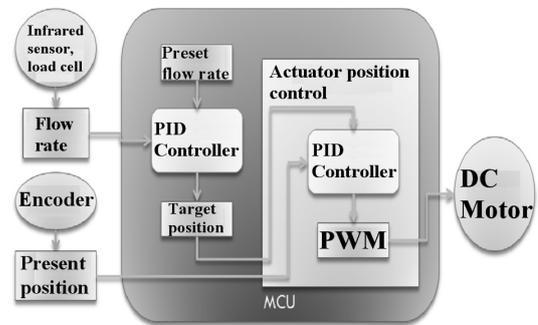


Fig. 5 Algorithm of the control mechanism

속도, 수액의 주입 완료 예상 시간 등이 표시하여 사용자가 현재의 상태를 알 수 있도록 설계하였다.

2.2.3 유량 제어 결과

이 연구에서 적외선 센서와 로드셀의 듀얼센서로 점적량과 무게를 측정하여 유량과 잔량을 계산하고, 리니어서보 모터를 이용하여 수액 튜브 라인을 압착하여 흐름을 제어하도록 하였다. PID 제어를 이용하는 컨트롤러로 정밀한 유량 제어가 투여 종료 시점까지 이루어 질 수 있도록 하였다. 목표 유량을 각각 20, 40, 60, 80 분당 방울 수로 설정하고 실험 진행한 후 그 결과를 Fig. 6에 보였다. 이때 전체 물방울 수를 계수하고 전체 시간으로 나누어서 평균유량을 계산한 결과가 Table 1에 보여졌다. 여기서 볼 수 있듯이 최대 오차는 분당 20방울일 때 1.2%이고 최소오차는 분당 60방울일 때 0.3%이다. 이와 같이 분당 방울 수에 따라 오차가 달라지지만, 이 오차의 수치가 유량의 무게와 직결되지는 않는다. 그 이유는 분당 방울수가 달라짐에 따라 물방울의 크기가 달라지기 때문이다. 이를 보정하기 위해서 우리는 무게를 측정할 수 있는 로드셀을 이용하였고 결과적으로 Fig. 6에서 볼 수 있듯이 잔여 유량이 변해도 매우 일정한 유량을 얻을 수 있었다. 개발된 시스템을 이용하였을

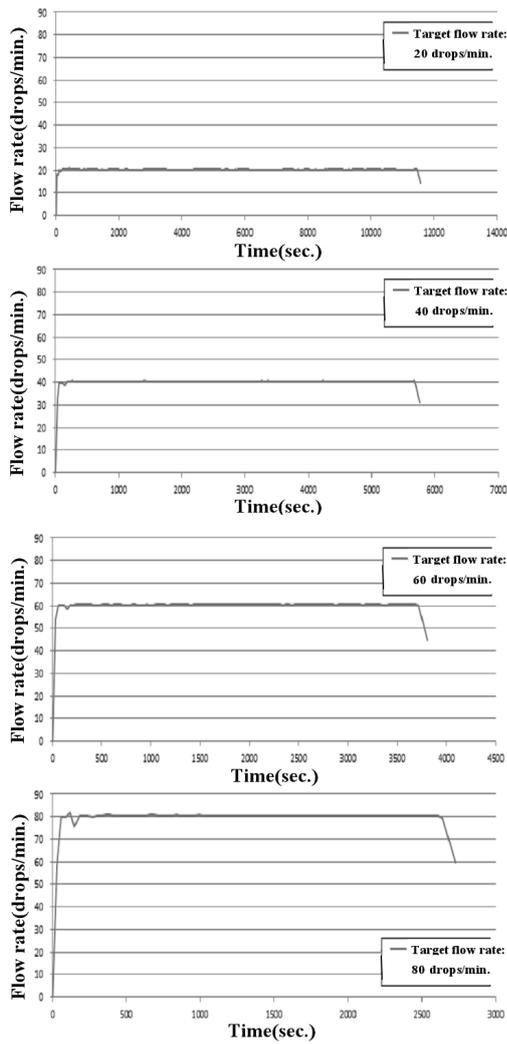


Fig. 6 Controlled flow rate of the fluid when target rate is 20 gtt/min, 40gtt/min, 60gtt/min, 80gtt/min, respectively

Table 1 Comparison of the target and measured flow rate (gtt/min.) when total flow is 200ml

No	Total time (sec.)	Target flow rate (gtt/min.)	Measured flow rate (gtt/min.)	Error (%)
1	11580	20	20.23	1.2
2	5760	40	40.25	0.6
3	3810	60	60.16	0.3
4	2730	80	79.59	0.5

때와 하지 않았을 때의 유량의 변화를 비교하여 Fig. 7에 보였다. 그림에서 볼 수 있듯이 수동시스템은 유량이 일정하지 않았다. 특히 수동주입 시 초기에 매우 불안정하였고 분당 주입되는 물방울의 수가 커짐에 따라 오차도 증가하였다. 반면 자동주입 시는 주입 초기와 후기 모두에서 안정된 주입속도를 보였다. 또한 Table 2에서 볼 수 있듯이 분당 수액 수가 20, 40, 60,

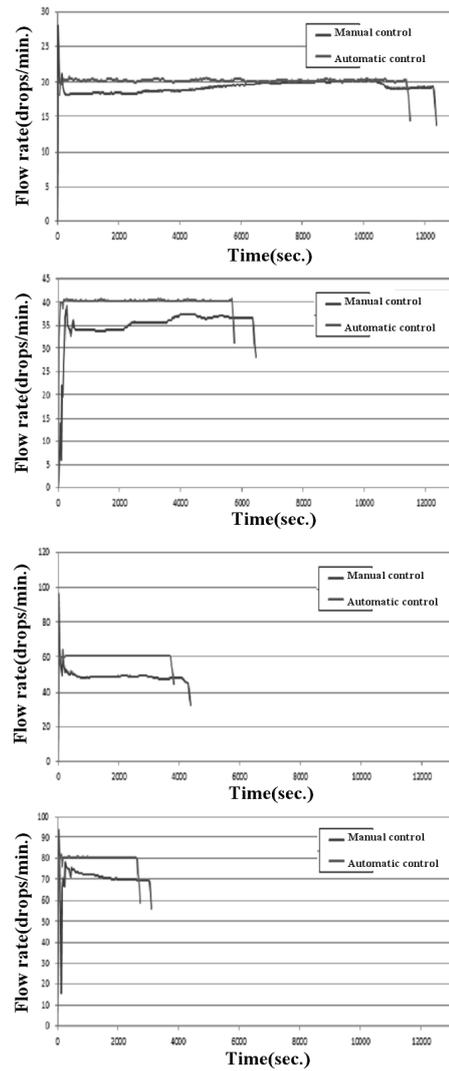


Fig. 7 Comparison of the flow rate between manually and automatically controlled IV injection system when flow rate is 20, 40, 60, 80gtt/min, respectively

Table 2 Time difference between average flow rate under different target flow rate and control scheme

No.	Target flow rate	Control	Average flow rate (gtt/min.)	Difference of flow rate (gtt/min.)	Total time (sec.)	Time Difference (sec)
1	20	Manual	19.29	-0.71	12390	810
		Auto	20.23	+0.23	11580	
2	40	Manual	35.04	-4.96	6450	690
		Auto	40.25	+0.25	5760	
3	60	Manual	49.36	-10.64	4380	570
		Auto	60.16	+0.16	3810	
4	80	Manual	70.46	-9.54	3120	390
		Auto	79.59	-0.41	2730	

80 방울 일 때 각각의 투여시간은 810초, 690초, 570초, 390초가 절약되었다. 유량이 빠를 때 절약 시간이 줄어든 것은 전체 투입시간 자체가 줄어들었기 때문이다. 하지만 이를 수동으로 주입할 때를 기준으로 비교하면 각각 7.0%, 12.0%, 15.0%, 14.3% 시간이 절약되었음을 알 수 있다. 이는 개발된 시스템을 사용하면 유량이 일정할 뿐 아니라 전체 주입 시간도 절약됨을 알 수 있다.

2.3 네트워크를 이용한 모니터링

개발된 자동 수액 조절 시스템은 크게 2부분으로 구성되는데 첫부분은 마이크로 프로세서를 이용하여 수액상황을 측정하고 조절하는 자동 수액 조절 부분이고, 두 번째 부분은 중앙에서 여러 개의 자동 수액 조절 부분을 모니터링하는 서버이다. 시스템의 개략도가 Fig. 8에 주어졌다.

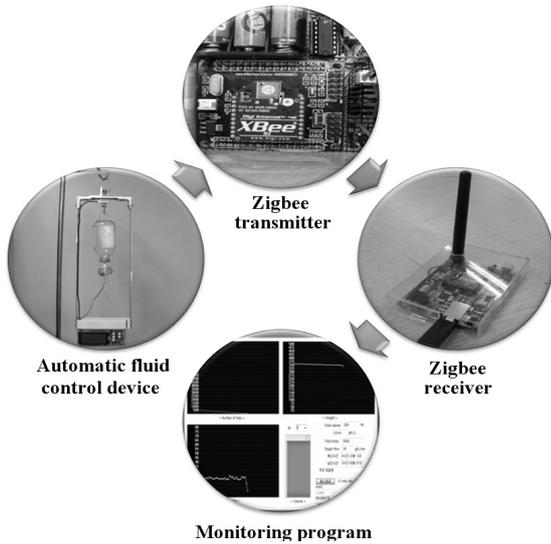


Fig. 8 Schematic of automatic monitoring system of IV injection

2.3.1 자동 수액 조절부의 모니터링

자동 수액 조절부도 크게 2부분으로 구성되어 있다. 첫 번째는 수액 저장부, 무게측정을 위한 로드셀, 수액 방울 감지를 위한 적외선 센서, 엔코더와 모터를 포함한 구동부 등의 센서 및 액츄에이터 부분이고, 두 번째는 이들 신호를 이용하여 실제로 계산과 제어, 그리고 통신을 담당하는 제어부로 구성되어 있다. 로드 셀에서 측정된 무게와 적외선 센서에서 측정된 물방울, 구동부의 엔코더의 신호가 마이크로 프로세서에 전달되면, 마이크로 프로세서는 이 데이터를 이용하여 수액의 잔여량, 수액의 주입 속도, 수액의 주입 완료 예상 시간을 계산한다. 마이크로 프로세서는 계산된 수치에 따라 모터를 구동하여 주입 속도를 조절하고, 필요한 정보를 자동수액 조절부에 부착되어 있는 소형 LCD에 송신하여 환자가 현재의 상태에 대한 정보를 볼 수 있도록 한다. 마이크로 프로세서는 또한 수액 주입 완료 예상 시간과 같이 경보음이 필요한 경우, 경보음을 발생한다.

자동수액 조절부는 지그비(Zigbee)를 이용하여 중앙 서버에 데이터를 송신한다.

2.3.2 네트워크의 구성

개발된 시스템의 서버는 중앙집중식 방사형구조의 성형 토폴로지의 무선 네트워크를 사용함으로써 한 대의 중앙컴퓨터로 여러 개의 수액 주입상태를 모니터링이 가능케 하였다. 즉, 여러 개의 수액을 동시에 투여할 경우 각각의 수액의 투여 상태를 모니터링 할 수 있도록 구성하였다. 각 수액 조절장치는 고유의 식별자를 사용하여 구별하였으며, 각 장치로부터 전송받은 데이터는 Visual C++ MFC 기반으로 구성된 모니터링 프로그램을 통해 실시간으로 그래프 형식으로 출력되어 현재 상태를 확인 가능케 하였다. 또한 실시간 출력과 더불어 데이터 파일 형식으로 저장하여, 차후에 필요한 경우 저장된 데이터 기록 확인이 가능하도록 코딩하였다.

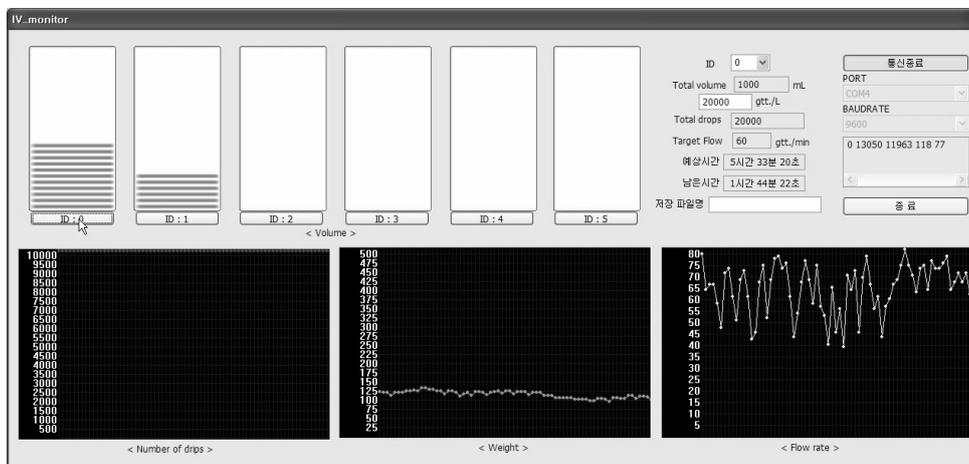


Fig. 9 User Interface for automatic monitoring system of IV injection

중앙 서버에서 볼 수 있는 UI(user interface)가 Fig. 9에 보여졌다. 이 그림에서 각각의 수액에 대한 방울 수, 수액의 무게, 유량속도가 그래프로 그려져 있으며 남은 전체 볼륨 또한 한눈에 볼 수 있도록 설계하였다. 수액 병의 무게가 다를 경우에도 그 수액에 대한 방울 수, 수액 무게, 유량 속도 등에 대한 정보를 알 수 있도록 코딩하였다.

3. 결론

이 연구에서 경제적인 소형 IV주사 조절장치를 개발하였다. 이 연구에서 새로 개발된 사항은 다음과 같다.

- (1) 적외선 센서와 로드 셀의 듀얼 센서를 이용하여 측정의 정밀도와 신뢰도를 향상시켰다. 적외선 센서로만 측정할 때 시간이 흐름에 따라 수액의 방울의 크기가 달라질 수 있으므로 이를 로드 셀로 보정하였으며 이를 노이즈에 둔감하면서도 변화에 대처할 수 있는 알고리즘으로 제어하여 시간에 관계없이 매우 일정한 유량을 얻었다.
- (2) 자동 조절장치를 사용하였을 때의 주입되는 물방울 수가 1분당 20, 40, 60, 80방울일 때 각각의 오차가 1.2%, 0.6%, 0.3%, 0.5%로 수동으로 주입할 때의 오차 3.55%, 12.4%, 17.7%, 11.9%에 비하여 매우 안정되었고, 수액 주입 할 때 모든 시간대에서 일정한 주입속도를 보였다.
- (3) 분당 주입 물방울 수가 20, 40, 60, 80 방울일때 일 때 수동

으로 주입할 때 보다 각각의 투여시간이 810초, 690초, 570초, 390초 절약되어, 각각 7.0%, 12.0%, 15.0%, 14.3%의 시간이 절약되었다.

- (4) 중앙에서 각각의 자동 IV 주사 시스템을 모니터링 하는 시스템을 제작하였다. 중앙 서버의 UI는 Visual C++ MFC로 프로그래밍하여, 결과적으로 환자와 간호사의 부담을 줄일 수 있는 수액 모니터링 시스템을 제작하였다.

참고 문헌

- (1) Yim, D. S., Kim, S. Y., Lee, S. W., Song, J. M., Yim, S. B., and Kim, M. K., 2009, "Development of Automatic Ringer Injection System," *Proceedings of 2009 KSME fall meeting*, pp. 2039~2044.
- (2) Lee, E. H., Kwon, J. W., Han, Y. H., Jang, Y. G. and Hong, S. H., 1996, "Development of Infusion Pump System for Several Kind of IV Sets," *IEEK - B*, Vol. 33, No. 12, pp. 1869~1877.
- (3) Kim, J. N., Kwon, W. T., Kim, Y. S., Kim, J. H., Lee, C. M., Lee, S. K., and Park, S. H., 2010, "Automatic Flow Control and Monitoring for IV Injection using Network," *Proceedings of 2010 KSMTE fall meeting*, pp. 495~496.