

2D 영상마커 추적 기반 시린지펌프 투약속도 실시간 감시 기술 개발

김건호¹ · 황영준¹ · 김민재¹ · 남경원^{1,2,3*}

¹부산대학교 의과대학 의공학협동과정 소속, ²양산부산대학교병원 의생명융합연구원
³부산대학교 의과대학 의공학교실

Real-time Monitoring of the Actual Infusion Rate of Syringe Pump Using 2D Image Marker Tracking

Gun Ho Kim¹, Young Jun Hwang¹, Min Jae Kim¹ and Kyoung Won Nam^{1,2,3*}

¹Interdisciplinary Program in Biomedical Engineering, College of Medicine, Pusan National University, Yangsan, Korea

²Research Institute for Convergence of Biomedical Science and Technology, Pusan National University
Yangsan Hospital, Yangsan, Korea

³Department of Biomedical Engineering, College of Medicine, Pusan National University, Yangsan, Korea
(Manuscript received 19 January 2023 ; revised 22 February 2023 ; accepted 23 February 2023)

92

Abstract: Purpose: To propose a new infusion rate monitoring technique based on the 2D image marker tracking to improve patient safety by preventing syringe pump-related medication accidents due to decreased infusion rate control accuracy. Materials and Methods: The infusion rate of the syringe pump and drug residue in the pump-equipped syringe were monitored in real time by tracking the movement of the 2D image markers attached to the syringe pump. Results: The error rate between the set and the estimated infusion rates was 1.03, 0.66, 1.95, 0.23, and 1.05% when the infusion rate setting was 10, 20, 30, 40, and 50 mL/H, respectively. In addition, the error rate between the actual and the estimated drug residues was 1.04, 0.47, 0.60, 3.66, and 0.00% when the infusion rate setting was 10, 20, 30, 40, and 50 mL/H, respectively. Conclusion: Experimental results demonstrated that the proposed technique can increase the efficiency of the safety management system for seriously ill inpatients by decreasing a possibility of syringe pump-related medication accidents in hospitals.

Key words: Syringe pump, Patient safety, 2D image marker, Real-time monitoring

1. 서 론

수술이 끝난 환자 또는 입원 중인 중증환자의 대다수의 의사의 처방에 따라 하나 혹은 둘 이상의 치료용 약물을 투여 받으며, 환자 치료효과의 재고 및 안전관리를 위해서는 정확한 투약 관리가 매우 중요하다. 이를 위해, 대부분의 병원에

서는 정확한 투약관리를 위한 인퓨전펌프(infusion pump) 및 시린지펌프(syringe pump)를 많이 사용한다[1]. 인퓨전 펌프는 수액백과 연결된 수액세트를 외부에서 기계적으로 순차 압착하여 투약속도를 제어하며, 주로 오차율 $\pm 5\%$ 이내의 정도관리가 필요한 경우 사용된다. 시린지펌프는 펌프 구동부가 주사기의 플런저(plunger)를 일정한 속도로 밀어서 투약속도를 제어하며, 주로 오차율 $\pm 2\%$ 이내의 높은 정도관리가 필요한 경우 사용된다[2,3]. 특히, 시린지펌프는 체액 과부하를 방지하기 위해 약물을 낮은 속도로 주입하는 목적으로 사용되는 것으로 주로 중증환자 또는 영·유아 환자들을 대상으로 많이 사용된다.

건강보험심사평가원 자료에 의하면 국내 중환자실 입원환

*Corresponding Author : Kyoung Won Nam
49, Busandaehak-ro, Mulgeum-eup, Yangsan-si, Gyeongsangnam-do, Republic of Korea
Tel: +82-51-510-8119
E-mail: marmara@gmail.com

본 연구는 2021년 양산부산대학교병원 임상연구비 지원으로 이루어 졌음.

자 수가 2015년 약 15만 1천명에서 2020년 16만 9천명으로 5년 사이 약 12% 증가하였다[4]. 중환자실 입원환자 수의 증가 추세에 따라 병원 내 시린지펌프 사용빈도 역시 지속적으로 증가하고 있으며, 인적(사용자의 조작 실수, 약물 혼동 및 계산 오류), 기기적(기기 노후화에 따른 오동작, 구동 부정확성 증가) 및 환경적(환자에 의한 임의 주작, 다양한 기종의 기기 사용) 요인에 의한 다양한 시린지펌프 관련 투약사고 사례들이 보고되고 있다[5-7]. 투약사고 사례의 대부분은 오작동으로 인한 약물의 과다 또는 과소주입이며, 노후된 기기의 경우 사용자가 정확한 투약속도를 설정하더라도, 실제 투약속도가 목표 오차율을 초과할 가능성이 있다[8]. 시린지펌프 안전관리의 중요성이 지속적으로 증가하고 있고, 기기 성능관리를 위해 IEC 60601-2-24 요구사항에 따른 시험항목들을 주기적으로 병원에서 관리하고 있으나[9], 기기적 요인으로 인한 투약사고의 발생은 지속적으로 보고되고 있는 실정이다.

이러한 이유로, 시린지펌프의 오작동으로 인한 투약사고 예방을 위한 다양한 연구활동이 지속적으로 수행되어 왔다. 일례로, Batliner 등[10]은 주사기 표면에 부착된 유량센서의 측정값을 시린지펌프 제어기에서 입력받아 시린지펌프를 제어하는 피드백 구조를 제안한 바 있으며, Anjani 등[11]은 시린지펌프의 투약 상황을 스마트폰으로 모니터링할 수 있는 스태핑 모터 기반의 시린지펌프를 자체 제작한 바 있다. 또한, Das 등[12]은 자체 제작한 정전식 감응센서를 주사기 표면에 부착하여 시린지펌프에 장착된 주사기 내부의 약액 부피 변화를 감지하는 기술을 제안하였다. 기존 시린지펌프 안전관리기술의 대부분은 새로운 시린지펌프를 자체 제작하거나 주사기 표면에 자체 제작한 센서를 부착하는 방식이었으므로, 실제 의료현장에 바로 적용하기 어렵다는 한계가 있었다.

본 연구에서는 시린지펌프 전면부에 비치된 카메라 모듈과 시린지펌프 표면에 부착된 두 개의 2차원 영상마커를 이용한 이미지 추적(image-tracking) 기술을 이용하여, 기존 시린지펌프의 실제 투약속도를 실시간적으로 감시할 수 있는 새로운 투약관리기술을 제안하였다.

II. 연구 방법

1. 시린지펌프 실시간 구동상태 감시 시스템 개요

그림 1은 시린지펌프의 실시간 구동상태감시를 위해 제안된 시스템의 개요도를 보여준다. 임베디드 제어모듈(Raspberry Pi 4B; Raspberry Pi Foundation, Cambridge, UK)과 카메라 모듈(Raspberry Pi Camera V2; Raspberry Pi 4B; Raspberry Pi Foundation)을 탑재하고, 시린지펌프 전면부에 개별 거치할 수 있는 카메라 거치 프레임을 자체적으로 제작하였다. 본 연구에서는 양산부산대학교병원 중환자실에서 가장

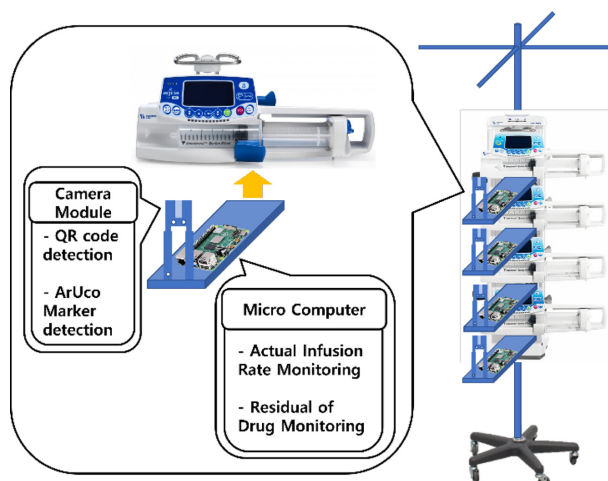


그림 1. 시스템 개요도
Fig. 1. System overview

많이 활용 중인 시린지펌프 모델 중 하나(Agilia SP; Fresenius Kabi AG, Bad Homburg vor der Höhe, Germany)를 선정하고, 해당 모델의 형상에 맞춰 필요에 따라 탈·부착이 가능하도록 카메라 거치 프레임에 설계, 제작하였다. 촬영된 영상 내에 감시에 필요한 시린지, 플런저 및 펌프 구동부가 모두 포함되도록 카메라 모듈과 시린지 펌프 사이의 거리는 25.5 cm로 고정하였으며, 촬영 영상의 해상도는 1280 × 720 픽셀로 설정하였다.

2. 시린지펌프 탈·부착형 카메라 모듈 거치 프레임 제작

그림 2는 시린지펌프의 전면부에 거치 고정되어 시린지펌프의 구동 중 영상을 연속적으로 촬영하기 위해 제작된 카메라

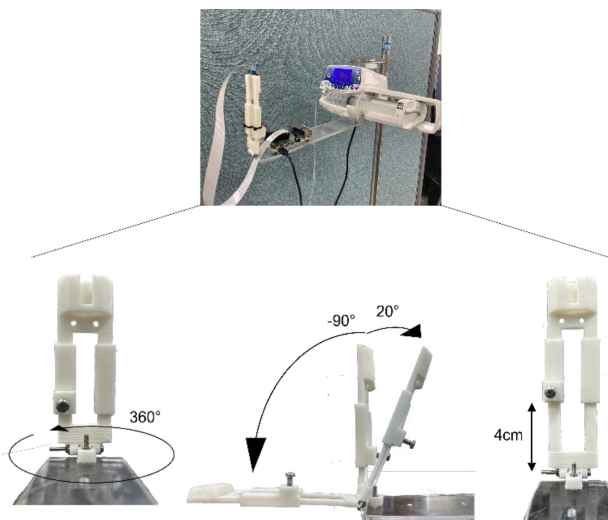


그림 2. 제작된 시린지펌프 감시 프레임
Fig. 2. Produced syringe pump monitoring frame

라 모듈 거치 프레임의 설계 및 3D 프린터를 이용하여 제작된 카메라 모듈 거치 프레임을 나타낸다. 제작된 프레임은 감시 대상인 시린지펌프의 크기 및 형상 변화에 대응할 수 있도록 카메라 모듈의 높이 및 상·하·좌·우 시야각도를 조절할 수 있도록 하였으며, 프레임의 구동 범위는 상하각 +20° - 90°, 좌우각 360°, 상하 슬라이드 길이 4 cm로 설계하였다.

3. 영상마커 기반 시린지펌프 실 주입속도(Infusion Rate) 감시

시린지펌프 전면부에 거치된 카메라의 촬영 영상으로부터 시린지펌프의 실 주입속도(infusion rate)를 측정하기 위해, 1) 시린지펌프의 클램프 상단 전면 제어부(구동 중 위치 고정)와 펌프 구동부(구동 중 위치 변화)에 각각 다른 ArUco Marker를 하나씩 부착하고, 2) 촬영된 영상 내에서 2개의 ArUco Marker의 위치정보를 동시 추출하고, 3) 일정한 시간 간격으로 촬영된 두 개의 감시 영상 내 ArUco Marker 들 간 수평거리 변화량(Δpixel)과 촬영 영상 간 시간간격 정보를 추출하였다. 그와 동시에, drug-filled 주사기에 최초 채워진 약액의 이름 및 양(in mL) 정보를 문자열로 입력하여 생성한 QR Marker 스티커를 주사기 표면에 부착하고, 해당 주사기가 시린지펌프에 장착되면 촬영 영상에서 QR Marker에 포함된 약액의 초기 용량 값을 자동으로 추출하도록 하였다 (Figure 3).

이후, 1) 클램프 상단 전면 제어부에 부착된 ArUco Marker의 우측면 좌표와 펌프 구동부에 부착된 ArUco Marker의 좌측면 좌표 사이의 x축 방향 거리를 marker distance(d)로 정의하고, 2) 주사기 내부 공간을 최대한 압축한 빈 주사기를 시린지펌프에 장착했을 때의 d 값 측정치를 d_{min}, 주사기 내부 공간을 최대한 팽창시킨 주사기를 시린지펌프에 장착했을 때의 d 값 측정치를 d_{int}로 각각 사전 설정하고, 3) 매 촬영 영상에서 계산된 d 값(Δd) 으로부터 시린지펌프의 실 주입속도를 식 (1)과 같이 추정하였다.

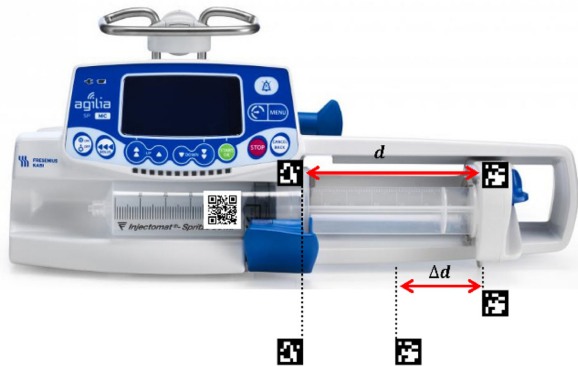


그림 3. 모니터링을 위해 2D 이미지 코드가 부착된 시린지펌프의 예
Fig. 3. Example of syringe pump with 2D image code for monitoring

$$IR_{EST} = \frac{\Delta d \times SV}{d_{max} \times OT} \tag{1}$$

식 (1)에서 SV는 QR Marker로부터 추출된 약액의 초기 채워진 용량이며, OT는 두 촬영 영상 사이의 소요시간 간격을 나타내며, d_{max}는 두 ArUco Marker 사이의 최대거리(d_{int} - d_{min})를 각각 나타낸다. 하지만, 식 (1)의 경우 실제 의료현장에서 발생 가능한 주사기 치수 편차, 카메라 성능 편차, 카메라와 주사기/펌프 구동부 사이의 편차각 등의 오류 요인들을 고려하지 않은 이상적인 추정식이므로, 이런 요인들을 고려하여 식 (1)의 추정 정확도를 높이기 위해, 50 cc 주사기가 장착된 상황에서 시린지펌프에 설정된 주입속도와 두 ArUco Marker 사이의 거리 d 사이의 상관성을 구하고, 식 (1)을 통해 예측된 주입속도를 실제 측정된 주입속도에 맞추기 위해 최소제곱법을 적용하여 보정된 식 (2)를 추가로 제안하였다.

$$IR_{ADJ} = \frac{\Delta d \times SV}{d_{max} \times OT} \times 1.0207 - 0.005 \tag{2}$$

4. 주사기 내 약액 잔량(drug residue) 감시

촬영 영상으로부터 시린지펌프에 부착된 두 ArUco Marker 사이의 거리 d 값이 추출되면, 이를 이용하여 시린지펌프에 장착된 주사기 내부의 약액 잔량을 식 (3)을 이용하여 추정할 수 있다. 다만, 약액 잔량 추정의 주 목적이 특정 잔여량 이하로 낮아진 경우의 조기 경고(re-fill alarm)에 있으므로, 식 (3)에 대해 추가적인 보정작업은 수행하지 않았다.

$$DR_{EST} = \frac{d - d_{min}}{d_{max}} \tag{3}$$

III. 연구 결과

그림 4는 50 mL 주사기를 시린지펌프에 부착한 후 펌프의 주입속도 설정값을 10 mL/H에서 50 mL/H 까지 10 mL/H 씩 증가시키며 2초 간격으로 60분 동안 ArUco Marker 사이의 거리를 측정한 결과이다. 모든 주입속도에서 d_{min}은 143 pixel로 측정되었으며, 시린지 내부 약액의 양이 50, 40, 30, 20 및 10 mL 인 경우의 d 값은 513, 438, 366, 293 및 212 pixel 이었다. 설정된 펌프주입속도에 따른 d 값의 감소 정도는 서로 차이가 있었으나, 모든 경우에서 d 값이 선형적인 감소 추세를 나타냈다. 펌프의 주입속도 설정값이 50, 40, 30, 20 및 10 mL/H 일 때의 2초당 d 값은 0.206, 0.164, 0.124, 0.083 및 0.038 pixel 감소하였다.

표 1은 생리식염수를 50 mL 채운 50 mL 용량의 시린지를 펌프에 부착한 후 1시간 동안 10, 20, 30, 40 및 50 mL/H 로 주입속도를 설정하고 시린지펌프를 연속 구동하였을 때, 1분 간격으로 기록된 펌프 설정값 및 실제 약액 주입속도와 식

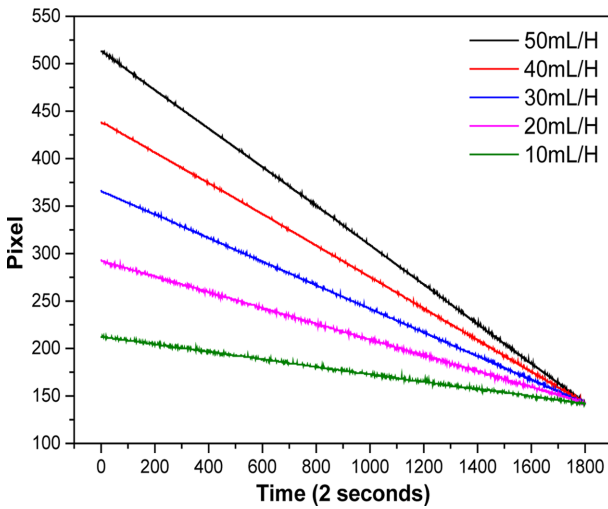


그림 4. 2초 간격으로 측정된 두 ArUco Marker 사이 거리
 Fig. 4. Distance between 2 ArUco Markers measured at 2 second intervals

(1)을 이용하여 계산된 약액 주입속도 간의 %오차값을 나타낸다. 실제 약액 주입속도를 측정하기 위해 50 mL 시린지에 수액라인을 연결하고 수액라인 말단부를 미세전자저울 위에 놓은 비커에 넣어두었다. 이후, 시린지에 물을 10, 20, 30, 40 및 50 mL 채운 상태에서 시린지펌프의 주입속도 설정값을 10, 20, 30, 40 및 50 mL/H 로 조절하여 구동하였다. 이후 1시간 동안 10분 간격으로 전자저울 측정값을 기록하는 과정을 5회 반복한 후, 물의 비중을 1 g/mL 로 하여 실제 약액 주입속도의 평균값을 계산하였다. 측정 결과, 펌프의 설

정값과 식 (1)을 이용한 예측값 사이의 주입속도 오차율은 0.10% - 1.78% 이었으며, 실측된 주입속도와 예측값 사이의 주입속도 오차율은 1.11% - 2.66% 이었다.

표 2는 동일한 평가 조건에서 측정된 펌프 설정값 및 실제 약액 주입속도와 식 (2)를 이용하여 계산된 약액 주입속도 간의 %오차값을 나타낸다. 펌프의 설정값과 식 (2)를 이용한 예측값 사이의 주입속도 오차율은 0.23% - 1.95% 이었으며, 실측된 주입속도와 예측값 사이의 주입속도 오차율은 0.08% - 0.92% 이었다.

표 3은 동일한 평가 조건에서 20분 간격으로 측정된 시린지 내 실제 약액 잔량과 식 (3)으로 계산된 예측값 사이의 % 오차값을 나타낸다. 펌프 주입속도 설정값이 10, 20, 30, 40 및 50 mL/H 인 경우 실측 잔량과 예측 잔량 간 오차율 범위는 0.25% - 1.04%, 0.09% - 0.69%, 0.48% - 0.51%, 1.79% - 3.66%, 0.00% - 2.66% 였다.

IV. 고찰 및 결론

2016년 7월 29일부터 2019년 10월 31일까지 환자안전 보고학습시스템에 보고된 약물주입장치 관련 투약사고는 총 131건이었으며, 그 중 123건(93.9%) 이 위해사건으로 구분되었다. 약물주입장치 관련 사고의 대부분이 위해사건인 만큼 약물주입장치의 정확한 구동여부를 지속적, 상시적으로 확인하는 것은 매우 중요하지만, 대부분의 기존 연구들이 적용범위가 넓은 인퓨전펌프를 대상으로 하고 있다. MEMS 기술을 활용한 인퓨전펌프 실 투약속도 감시 연구의 일례로,

표 1. 식 (1)을 이용한 주입속도 예측 정확도 분석 결과

Table 1. Error rate between actual infusion rate and estimated infusion rate according to the set infusion rate

Set Rate (mL/H)	Actual Rate (mL/H)	Estimated Rate (mL/H)	%Error Rate [Set - Est.]	%Error Rate [Actual - Est.]
10	10.12±0.10	9.90±0.41	0.97	2.12
20	20.17±0.18	19.67±0.56	1.67	2.48
30	30.31±0.26	29.97±0.34	0.10	1.11
40	40.36±0.41	39.29±0.70	1.78	2.66
50	50.49±0.53	49.51±0.36	0.99	1.94

표 2. 설정 주입속도에 따른 실제 주입속도와 보정된 예측 주입속도 간의 오차

Table 2. Error rate between actual infusion rate and adjusted estimated infusion rate according to the set infusion rate

Set Rate (mL/H)	Actual Rate (mL/H)	Estimated Rate (mL/H)	%Error Rate [Set - Est.]	%Error Rate [Actual - Est.]
10	10.12±0.10	10.10±0.42	1.03	0.15
20	20.17±0.18	20.13±0.31	0.66	0.17
30	30.31±0.26	30.59±0.35	1.95	0.92
40	40.36±0.41	40.09±0.73	0.23	0.66
50	50.49±0.53	50.53±0.37	1.05	0.08

표 3. 설정 주입속도에 따른 실제 약물 잔량과 예측 잔량 간의 오차

Table 3. Error rate between actual residual and estimated residual according to the set infusion rate

Set Rate	Elapsed Time (min)	Actual Residue (mL)	Estimated Residue (mL)	%Error Rate [Actual - Est.]
10 mL/H	20	46.60	46.71	0.25
	40	43.30	43.29	0.03
	60	39.59	40.00	1.04
20 mL/H	20	43.30	43.60	0.69
	40	36.77	36.80	0.09
	60	29.99	30.13	0.47
30 mL/H	20	39.90	40.09	0.48
	40	29.76	29.91	0.51
	60	19.88	20.00	0.60
40 mL/H	20	36.38	37.03	1.79
	40	22.83	23.38	2.39
	60	10.38	10.00	3.66
50 mL/H	20	33.26	33.56	0.89
	40	16.54	16.98	2.66
	60	0.00	0.00	0.00

Hagihghi 등[13]은 IV 튜브에 자체 제작한 압전저항형 (piezoresistive) 유량센서를 부착하여 튜브 내부를 흐르는 유체의 주입속도를 측정하였으며, Shen 등[14]도 이와 유사한 생체모방형(biomimetic) 유량센서를 제작하여 IV 튜브로부터 유체의 주입속도를 측정하였다. 스마트 펌프를 통한 시린지펌프 구동상태 감시 연구의 일례로, Islam 등[15]은 아두이노 보드와 스테핑 모터를 활용하여 클라우드 원격 감시가 가능한 스마트 시린지펌프 프로토타입을 제작하였으며, Rajasekwaran 등[16]은 아두이노 보드와 직류 모터를 이용하여 네트워크 통신이 가능한 스마트 시린지펌프 프로토타입을 제작한 바 있다. 하지만, 대부분의 기존 연구들이 새로운 프로토타입 투약장치를 제안하거나 MEMS 기술을 활용한 프로토타입 센서를 제안하는 방식이 대부분이었다. MEMS 기반 시린지/튜브 일체형 센서의 경우 병원 입장에서 기존의 일반 시린지 외에 별도의 센서 일체형 소모품들을 추가로 구매해야 하는 불편함이 있고, 센서 구동·측정·처리를 위한 별도의 HW 보드가 필요하고, 시린지/튜브에 전력공급·신호측정을 위한 전선 연결이 필요하고, 약액 리필을 위해 시린지를 교환할 때마다 전선을 뽑고 재연결하는 수작업이 반복적으로 필요하므로, 현장 근무자 입장에서 업무량이 가중되고 불편함을 느낄 수 있다. 또한, 최근 시린지펌프들의 경우 기기 내부에 투약상황 자가감시기능을 함께 포함하고 있는 경우가 있으나, 시린지펌프 노후화와 함께 내장센서의 노후화도 함께 진행되어 중·장기적으로 자가감시의 정확도가 떨어질 수 있다. 본 연구에서 제안된 영상마커 기반 시린지펌프 투약속도 감시기술은

1) 일반 시린지를 그대로 사용할 수 있고, 2) 기존의 시린지펌프를 그대로 활용할 수 있으며, 3) 초기 세팅 이후에는 시린지/튜브 교환 시 현장 근무자의 추가적인 수작업이 필요 없으며, 4) 영상 측정부의 HW 교환 및 SW 업데이트가 편리하며, 5) 영상 측정부의 WiFi 통신기능을 활용하여 추가적인 시린지펌프 구동상황 원격감시도 가능하다는 점에서 기존의 부착형 센서 연구들에 비해 임상적 효용성이 높을 것으로 판단된다.

본 연구에서의 평가 결과를 보면, 최소제곱법을 이용하여 보정된 식 (2)를 사용할 경우 실 투약속도와 추정 투약속도 간 오차율이 1.0% 아래로 나타났다(0.08% - 0.92%; 표 2). 실제 현장에서 요구되는 시린지펌프 투약관리 정확도가 ± 2.0% 이내이므로, 이러한 평가결과로 미루어볼 때 본 연구에서 제안된 기술을 적용할 경우 임상적으로 요구되는 정도 관리 요건을 충족시키면서 실시간, 상시감시가 가능할 것으로 판단된다. 또한, 식 (3)을 바탕으로 계산된 시린지 내 약액 잔량 추정 평가결과(표 3)를 보면, 실제 잔량과 추정 잔량 간 오차율이 최대 3.66% 까지로 나타났다. 하지만, 잔량 추정 주 목적이 고갈된 시린지의 교체 지연으로 인한 임상적 트러블을 예방하는 것이므로, 3% 수준의 잔량 추정 오차는 임상 현장 적용에 별다른 문제가 되지 않을 것으로 판단된다. 이러한 평가 결과들로 볼 때, 본 연구에서 제안된 시린지펌프 오류감시기술은 중환자실 등 시린지펌프를 많이 사용하는 다양한 임상현장에서 투약 중 환자의 안전관리 강화 목적으로 활용 가능할 것으로 기대된다. 다만, 본 연구에서는 50 mL

시린지만 사용하여 연구를 진행했기에 이에 맞는 단일 보정 상수를 적용하였으나, 시린지의 크기가 10 mL, 20 mL 등으로 달라지는 경우에는 식 (2)의 보정상수를 그에 맞게 조절할 필요가 있다. 향후 추가 연구에서는 제안된 기술의 임상적 효용성을 높이기 위해 시린지 크기를 10 mL, 20 mL 등으로 다양화하면서 각 경우에 최적화된 보정상수 값을 산출, 적용함으로써, 투약속도·잔량추정의 정확도를 보다 개선할 계획이다. 또한, 서로 다른 크기의 시린지로 교체할 때마다 그에 맞는 보정상수를 수작업으로 설정해야 한다면, 실제 의료현장에서 현장 근무자들의 작업 강도가 높아질 수 있으므로, 향후에는 감시영상분석을 통해 시린지펌프에 장착된 시린지의 크기를 자동으로 감지하는 기능을 추가할 계획이며, 이를 통해 환자 적용 중 시린지의 크기가 달라지더라도 시스템이 이를 자동으로 감지하여 해당 시린지에 최적인 보정상수를 자동으로 반영하도록 하여, 사용자의 불편함을 최소화할 계획이다.

본 연구에서 제안된 식 (2)를 통해 약액 투입속도를 추산하고 식 (3)을 통해 약액잔량을 추산하면, 이를 바탕으로 약액의 과소·과다주입(underdose/overdose) 여부를 자가판정할 수 있다. 향후 간호스테이션 내 원격감시 PC 에서 현장 근무자가 과소·과다주입 판정을 위한 문턱치(threshold)를 임의 설정하면, 임베디드 제어모듈에서는 식 (2) 및 식 (3)의 결과를 활용하여 과소·과다주입 발생 여부를 상시적으로 감시하다가, 이상 발생 시 이를 즉각적으로 통지하도록 하는 스마트 원격감시 SW를 추가적으로 구현할 계획이다. 또한, 개발된 감시 기술을 보다 고도화하여 전달체계의 효율화, 오류적 알람 발생빈도 최소화 및 현장 근무자 업무 경감을 목적으로 한 중환자실 대상 스마트 알람 체계와의 연동 개발도 추진할 계획이다.

본 연구에서 제안한 영상마커 기반 약액 주입속도 추정 기술은 임상현장에서의 시린지펌프 실시간 감시 용도 이외에, 병원 의공학과 등 의료장비 유지, 보수 조직에서 구동이상 의심 시린지펌프의 신속 스크리닝 검사 용도 및 연 단위의 예방점검 검사 용도로도 활용 가능하다. 제안 기술을 적용할 경우 기존의 상용 펌프 테스터 장비로 대당 30분 - 60분 가량 소요되던 펌프 실 주입속도 평가 과정을 5분 이내로 단축하는 것도 가능할 것으로 판단된다. 다양한 조사결과에서 병원 내 투약사고 관리의 중요성이 강조되는 상황에서, 이러한 신속검사기술의 적용은 병원 의료기기 관리 체계 개선에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 시린지펌프의 구동 오류로 인해 발생할 수 있는 투약환자 안전사고 예방을 위한 영상마커 기반 시린지펌프 구동속도 실시간 감시기술을 제안하고, 제안 기술의 성능을 정량적으로 평가하였다. 본 연구에서의 평가결과로 미루어 볼 때, 제안된 기술은 병원 내 시린지펌프 관련 투약사

고의 발생 가능성을 낮춰 중증 입원환자 안전관리체계의 효율성을 보다 높일 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Brocx S, Cleaver H. When and how to use a syringe driver in palliative care. *Best Practice J.* 2012;48:28-35.
- [2] Kim GH, Yun SU, Ro JH, Nam KW. A new injection rate estimation technique for on-site screening test of medication infusion pump by nurses. *P I Mech Eng H.* 2020;234(4):370-6.
- [3] Batliner M, Weiss M, Dual SA, Grass B, Meboldt M, Daners MS. Evaluation of a novel flow-controlled infusion pump for precise and continuous drug delivery at low flow rates: a laboratory study. *Anaesthesia.* 2019;74(11):1425-31.
- [4] Health Insurance Review & Assessment Service. Health insurance treatment statistics for inpatients in intensive care units. *Healthcare Bigdata Hub.* 2022 Oct. <https://opendata.hira.or.kr/op/opc/selectOpenData.mo?sno=11913>, accessed on Jan 10, 2023.
- [5] Lin L, Vicente KJ, Doyle DJ. Patient safety, potential adverse drug events, and medical device design: a human factors engineering approach. *J Biomed Inform.* 2001;34(4):274-84.
- [6] Vicente KJ, Kada-Bekhaled K, Hillel G, Cassano A, Orser BA. Programming errors contribute to death from patient-controlled analgesia: case report and estimate of probability. *Can J Anaesth.* 2003;50(4):328-32. English, French.
- [7] Syed S, Paul JE, Hueftlein M, Kampf M, McLean RF. Morphine overdose from error propagation on an acute pain service. *Can J Anaesth.* 2006;53(6):586-90.
- [8] Park HJ, Jang JS. Establish Selection Process of Performance Management Medical Devices and Test items Based on Risk Management. *Journal of Biomedical Engineering Research.* 2019;28:40(1):20-31.
- [9] International Electrotechnical Commission, IEC 60601-2-24: Medical electrical equipment-Part 2-24: Particular requirements for the basic safety and essential performance of infusion pumps and controllers, 2012;17-34.
- [10] Batliner M, Weiss M, Dual SA, Grass B, Meboldt M, Schmid Daners M. Evaluation of a novel flow-controlled syringe infusion pump for precise and continuous drug delivery at low flow rates: a laboratory study. *Anaesthesia.* 2019;74(11):1425-1431.
- [11] AnJani AG, Sunarto PG, Royan R, Winowo KM, Romadhona G, Sapundani R, Mulyanto A, Setiawan I, Jumrianto J, Prasath N. Application of IoT using nodeMCU ESP8266 on the Syringe Pump Device to Increase Patient Safety. *Indonesian Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics.* 2022;4(1):23-27.
- [12] Das S, Chakraborty B. A Pencil Drawn Capacitive Sensor used for Liquid Drug Volume Measurement in Syringe Pump. 2020 IEEE Applied Signal Processing Conference (ASPCON). 2020;85-88.
- [13] Hagihghi R, Razmjou A, Orooji Y, Warkiani ME, Asadnia M. A miniaturized piezoresistive flow sensor for real-time monitoring of intravenous infusion. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials.* 2020;108(2):568-576.

- [14] Shen Z, Kottapalli AGP, Subramaniam V, Asadnia M, Miao J, Triantafyllou M. Biomimetic flow sensors for biomedical flow sensing in intravenous tubes. 2016 IEEE SENSORS. 2016;1-3.
- [15] Islam MR, Zahid Rusho R, Islam SMR. Design and Implementation of Low Cost Smart Syringe Pump for Telemedicine and Healthcare. 2019 International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST). 2019; 440-444.
- [16] Rajasekwaran S, Aishwarya SV, Gowtham S, Suguna R, Vasunthera V, Sathes S. Iot based low cost syringe pump for telemedicine and health care. International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science. 2022;4(6):4222-4229.