

논문 2024-13-35

# 수액 및 소변 측정용 원격 모니터링 시스템 (Remote Monitoring System for Fluid and Urine Measurement)

박수빈, 윤상석\*  
(Soo-Bin Park, Sang-Seok Yun)

**Abstract** : In this paper, we propose an IoT-based remote monitoring system designed for real-time tracking of fluid and urine output, with integrated hematuria detection. The system utilizes a load cell sensor to measure weight fluctuations in the bag and an RGB color sensor to monitor urine color, enabling immediate detection and alerts for hematuria. Additionally, the backend system compares the weights of the infusion and urine bags to assess fluid balance, using fuzzy logic to provide status updates. The compact, lightweight device design facilitates real-time data transmission and visualization via wireless protocols, supporting remote monitoring. Experimental results confirm the system's capability to detect weight changes as small as 5 ml and identify hematuria with 100% accuracy. Above all, it is expected to reduce the workload of medical staff for continuous monitoring and contribute to the rapid detection of abnormal fluid imbalances and hematuria.

**Keywords**: Internet of Things (IoT), Smart healthcare, Hematuria detection, Urine output monitoring, Fuzzy logic

## 1. 서론

최근 의료 현장에서는 의료진의 업무 부담을 줄이고 효율성을 높이기 위해 로봇, 인공지능 (AI), 사물인터넷 (IoT) 등 첨단 기술이 적극적으로 도입되고 있다 [1-3]. 하지만 환자 상태를 모니터링하는 작업은 여전히 의료기기의 단순 기능에 의존하는 경우가 많다. 예를 들어, 소변 배출량 측정과 같은 섭취량과 배설량 (Intake output) 데이터를 수집하는 과정은 반복적인 수작업과 기록을 필요로 하여 비효율적인 측면이 있으며, 이에 대한 해결책으로, 최근 연구들은 소변 배출량 측정을 자동화하고 실시간으로 데이터를 감지하는 기술에 중점을 두고 있다.

한 연구는 고정밀 저울을 이용해 소변량을  $\pm 1.2\text{mL}$ 의 오차 범위 내에서 측정하고, 블루투스 기술을 통해 실시간 전송 및 모니터링하는 시스템을 제안하였고 [4], 또 다른 연구인 Wi-Uro 시스템은 소변 주머니의 액체 부피를 실시간으로 모니터링하고 알람 기능을 제공하는 저비용, 고정밀 솔루션을 구현하였다 [5]. 그 외에도 정전용량 센서와 블루투스 통신을 사용해 일정량의 소변 배출을 자동화하고 실시간으로 모니터링하는 시스템 [6]이 개발되었으며, 광학 센서나 홀 효과 센서 등을 이용해 소변 흐름을 감지하고 클라우드에 데이터를 전송해 경고 알람을 제공하는 방식의 연구 사례도 발표되었다 [7, 8].

이러한 연구들은 환자의 소변 배출량을 실시간으로 모니터링하여 의료진에게 정보를 제공함으로써, 수작업으로 이루

어지던 소변 배출량 확인 업무의 부담을 줄이고 효율적인 환자 관리를 가능하게 하고 있다.

다른 한편으로, 혈뇨와 같은 비정상적인 소변 상태를 조기에 감지하는 다양한 방법들이 연구되면서, 환자의 상태를 실시간으로 모니터링하고 이상 징후를 빠르게 발견할 수 있는 기술도 주목받고 있다. 예를 들어, RGB 색상 센서를 이용해 소변 색상을 측정하고 혈뇨를 인식하는 시스템이 제안되었으며, 실험 결과 약 4.4%의 오차 범위로 혈뇨 탐지에 적합한 정확도를 제시하고 있다 [9]. 또한, Random forest 알고리즘을 적용한 이미지 처리 시스템은 웹 카메라로 촬영한 소변 이미지를 다양한 조명 조건에서도 정확하게 분류하여 소변 색상을 자동으로 식별하는 데 성공하는 사례도 있었다 [10]. 다른 연구에서는 LDR (Light Dependent Resistor) 기반 컬러 센서를 활용해 RGB LED로 소변 샘플을 투사하고, 반사된 빛의 강도를 측정해 수분 상태와 신장 질환과 관련된 소변 색상을 감지하는 방법도 제시하였다 [11]. 더 나아가, AI 기술을 적용한 시스템은 혈뇨 감지를 위해 빛 흡수 원리를 사용해 혈액 농도를 모니터링하고, CNN (Convolutional recurrent Neural Network)과 LSTM (Long Short-Term Memory) 기반의 신경망을 통해 공기 방울을 효과적으로 감지하여, 혈액 농도 측정 정확도를 높였다 [12]. 이와 함께 소변 색상과 투명도를 분석해 수분 상태를 자동 감지하는 시스템은 약 84%의 예측 정확도를 기록하기도 하였다 [13].

한편, 스마트폰 기반 휴대용 소변검사 시스템 Check4Urine을 제안하여, 조명 영향을 보정하기 위해 Lab 색상 모델 기반의 보정 알고리즘을 적용하고, HSV 색상 테이블을 활용해 색상 판별의 정확도를 높여 기존 시스템 대비 검사 정확도를 20-50% 개선한 사례도 있다 [14].

\*Corresponding Author (ssyun@silla.ac.kr)  
Received: Oct. 14, 2024, Revised: Nov. 11, 2024, Accepted: Nov. 25, 2024.  
S. B. Park: Silla University (B.S.)  
S. S. Yun: Silla University (Prof.)  
\* 본 논문은 교육부와 한국과학재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 3단계 산학연협력 선도대학 육성사업 (LINC 3.0)의 연구 결과입니다.

이러한 연구들은 환자의 소변 상태를 자동으로 분석하고 이상이 발생할 경우 빠른 진단과 치료를 가능하게 지원할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 기술적 배경을 바탕으로, 수액 주입량과 소변 배출량을 실시간으로 비교하고, 소변의 색상을 분석하여 비정상적인 상태를 감지하는 스마트 수액 및 유린 메타의 원격 모니터 시스템을 제안한다.

## II. 수액 및 유린 메타 원격 모니터링 시스템

그림 1과 같이, 스마트 원격 모니터링 시스템은 크게 2가지 주요 모듈로 구성된다. 첫 번째는 수액 주머니를 계측하는 모듈로써, 로드셀 센서를 사용하여 수액 주입량을 측정하며, 수액 주머니의 무게 변화를 실시간으로 감지한다. 두 번째는 소변 주머니를 계측하는 모듈로써, 로드셀 센서로는 소변 배출량을 정확히 측정하고, 색상 감지 센서를 통해 환자의 혈뇨 이상 상태를 감지하게 된다. 여기서, 혈뇨 감지 센서는 소변 내 혈액을 대체할 수 있는 색소를 기반으로 작동하며, 실시간으로 소변 색상을 분석함으로써 이상 여부를 판단한다. 그리고, 이 모듈들은 모두 무선 통신으로 원격 모니터 시스템과 연동되어, 환자의 체액 상태를 실시간으로 파악할 수 있도록 데이터를 시각화하였고, 환자의 상태에 따라 자동으로 알림을 제공하게 된다 (그림 2 참조).

### 1. 수액 주머니의 무게 변화 감지 모듈

수액 주머니의 무게 변화를 실시간으로 측정하기 위해, [15]에서 제안한 모니터링 시스템의 원리를 참고하여 로드셀 기반 Intravenous (IV) 계측 모듈을 설계하였다. 수액 주머니 무게 변화 감지 장치의 내부 구성 요소는 아래 그림 3과 같다.

먼저, 수액 걸이에 장착되는 수액 주머니의 무게 측정을 위해 소형 로드셀과 ADC 전류센서, 장착 및 휴대의 편의성을 가지기 위한 임베디드 보드, 그리고 배터리와 승압 모듈의 구성으로 감지용 모듈을 구성하였다. 이 모듈을 통해 수액 주머니에 유입되는 수액량을 실시간으로 수집하고 처리하게 된다. 무엇보다도, 사용 편의성을 제공하기 위해 부품을 소형화하고 직접적으로 설계하여 장착 및 거치를 용이하게 하였으며, 장기간 사용 과정에서 DC 승압 모듈 작동 시 발생하는 발열 문제를 해결하기 위해 열 방출구를 추가로 설계하였다. 또한, 장기 사용을 위해 배터리 충전이 가능한 충전부도 설계하여 모듈의 성능과 효율성을 개선하였고, 이를 통해 소형화된 모듈로 제작하였다.

### 2. 소변 주머니 무게 감지 및 혈뇨 측정 모듈

다음으로, 소변 주머니로부터 유입되는 소변량을 무게로 측정하고 혈뇨를 감지하기 위한 유린 계측 모듈의 구성은 그림 4와 같다.

사람의 신체에서 추출되는 소변은 여러 질환의 초기 징후를 자동으로 감지하는 데 매우 중요하기 때문에, 소변량의

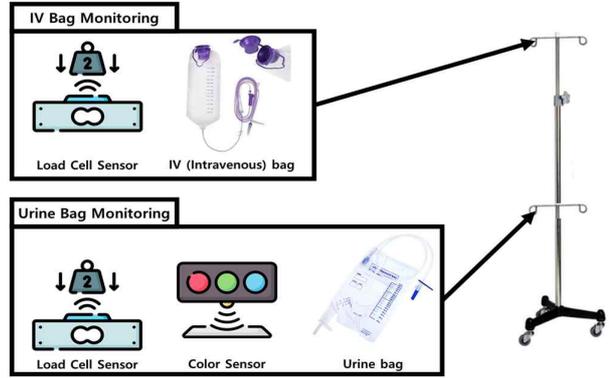


그림 1. 수액 및 유린 메타 원격 모니터링 시스템 구성도  
Fig. 1. Diagram of remote monitoring system

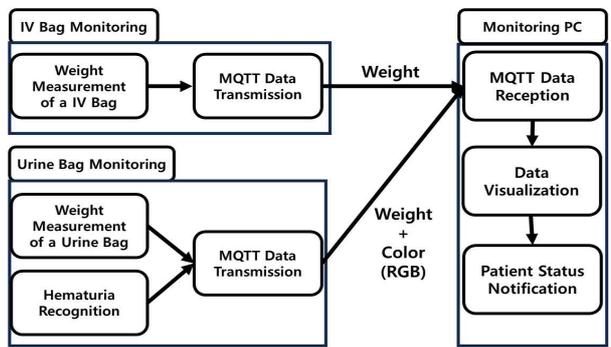


그림 2. 수액 및 유린 메타 원격 모니터링 흐름도  
Fig. 2. Flowchart of a remote monitoring for fluid and urine

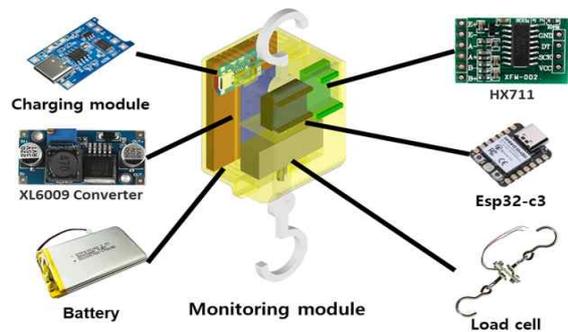


그림 3. 수액 주머니 무게 변화 감지 모듈 구성도  
Fig. 3. Diagram of an intravenous (IV) Bag weight change detection module

무게 변화와 혈뇨 감지를 동시에 측정할 수 있는 모듈로 구성하였다. 여기서, 혈뇨 감지 모듈은 컬러 센서를 활용하여 소변 주머니에 연결된 고무 튜브 근처에 장착하여, 소변 흐름 중 혈액과 같은 특정 색상을 최적으로 감지하도록 설계되었다. 또한, 로드셀 및 전류 센서를 통합하여 소변 주머니의 무게 변화를 측정하고, 임베디드 보드가 측정되는 혈뇨 및 무게 데이터를 실시간으로 처리하도록 구성하였다. 그리고, 수액 측정 모듈과 동일하게, DC 승압 모듈 사용 중 발생할 수 있는 발열 문제를 해결하기 위해 열 방출구를 설

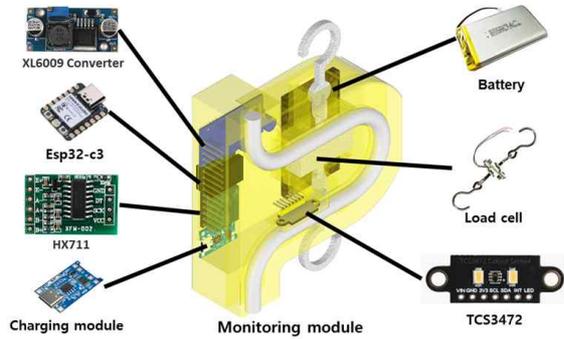


그림 4. 소변 주머니 무게 및 혈뇨 감지용 모듈 구성도  
Fig. 4. Diagram of a module for urine bag weight and hematuria detection

게하여 성능 저하를 방지하고, 배터리 충전부를 추가하여 장시간 모니터링 환경에서도 안정적인 전력 공급이 가능하도록 제작하였다.

### 3. 데이터 정확도를 위한 오차 보정 알고리즘

로드셀 센서와 RGB 색상 센서 데이터의 신뢰성과 정확성을 높이기 위해 각각 칼만 필터 (Kalman Filter)와 외부 환경 보정 알고리즘을 적용하여 외부 환경 요인과 센서 노이즈로 인해 발생할 수 있는 데이터를 안정적으로 처리하여, 실시간 모니터링 시스템 성능을 향상시켰다.

-로드셀 센서를 위한 칼만 필터: 로드셀 센서 데이터는 외부 진동, 충격 및 전자적 노이즈로 인해 오차가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해 칼만 필터 (Kalman Filter)를 적용하여 센서 데이터의 노이즈를 제거하고, 예측된 상태와 측정값을 결합하여 최적의 결과를 도출하였다. 칼만 필터는 다음과 같은 단계로 구현되었다:

상태 예측 (Prediction): 이전 상태를 바탕으로 현재 데이터를 예측.

측정 업데이트 (Update): 예측된 값과 실제 측정값의 가중 평균을 계산하여 최적의 데이터를 생성.

이를 통해 센서 데이터의 신뢰성을 높이고, 시스템의 무게 측정 성능을 개선시킬 수 있다.

-RGB 색상 센서를 위한 외부 환경 보정: RGB 색상 센서는 외부 광원의 영향을 받을 수 있어, 측정값의 왜곡이 발생할 가능성이 있다. 이를 해결하기 위해, 본 연구에서는 주변 조도 센서를 사용하여 색상 데이터를 정규화하는 외부 환경 보정 기법을 설계하였다. 정규화 방식은 수식 (1)과 같다.

$$R = \frac{R}{L}, G = \frac{G}{L}, B = \frac{B}{L}. \quad (1)$$

여기서 L은 조도 센서에서 측정된 조명의 강도이다. 이러한 보정은 외부 환경 변화에 상관없이 신뢰성 높은 색상 데이터를 제공하며, 혈뇨 감지 성능을 개선시킨다.

### 4. 수액 및 유린 메타 데이터 시각화

제안하는 원격 모니터링 시스템은 수액 투여와 소변 배출

량을 실시간으로 무선 통신으로 통합하여 모니터링되며, 범용적으로 사용되는 대시보드 인터페이스인 Grafana 프로그램을 이용하여 도식화하였다. 이 대시보드는 수액량 무게 변화, 소변 색상 변화, 소변량 변화 경고, 소변량 무게 변화, 그리고 사용자 I/O 상태 모니터링으로 총 5가지 요소로 구성된다.

- 수액량 무게 변화: 이 지표는 정맥 링거용 수액의 무게를 기반으로 유체 투여 속도를 계측한 후 원격 전송된 데이터를 그래프에 표시하여 시간 단위로 환자에게 전달되는 수액 용량 변화를 표시한다.

- 소변 색상 변화: 색상 센서를 이용하여 감지된 RGB 값을 바탕으로 소변 색상의 실시간 변화를 분석한다. 정상적인 소변 색상은 일반적으로 연한 노란색이나 밝은 노란색, 혹은 투명한 색으로 표시되며 [16], 이 범위를 벗어나 녹색, 빨간색 등 비정상적인 색상이 검출될 경우, 이는 잠재적인 내부 출혈이나 기타 건강 문제와 연관될 수 있으므로 경고 기능을 표시한다.

- 소변량 변화 경고: 로드셀과 전류센서에 의해 감지된 소변 주머니의 무게를 기반으로 실시간 소변량 변화를 표시한다. 예상 소변 배출량의 현저한 감소는 카테터 막힘이나 기타 요로 문제를 시사할 수 있다. 그래프의 녹색 선은 시간 경과에 따른 소변의 무게 변화를 나타내며, 이 편차가 크거나 유의미한 차이가 발생할 경우 경고 시스템이 자동으로 활성화된다.

- 소변량 무게 변화: 시간에 따른 소변 주머니의 무게 변화를 표시한다. 이러한 변화는 수액의 무게 감소 추세를 반영하고 있으며, 환자가 투여된 양과 유사한 속도로 수액을 배설할 것으로 예상되기 때문이다.

- I/O 상태 모니터링: 본 연구에서 제안된 시스템은 수액량과 소변량의 무게 비율 (Weight ratio) 및 혈뇨 감지를 위한 소변의 적색 비율 (Red percentage)을 입력 변수로 사용하여 퍼지 로직 (Fuzzy Logic)을 적용한 실시간 상태 모니터링을 구현하였다. 입력 데이터의 정확성을 확보하기 위해 위 칼만 필터와 외부 환경 보정 알고리즘을 사전에 적용하였다.

여기서, 수액량 대비 소변량의 무게 비율이 일정 범위를 벗어나거나 소변의 적혈구 비율이 증가할 경우, 퍼지 멤버함수는 이 값을 처리하여 사용자의 체액 균형 및 혈뇨 발생 가능성을 분석한다. 입력 변수로는 수액량 대비 유린백 무게 비율 (Weight\_ratio)과 소변의 색상 (Red\_percentage)이 사용되며, 각각의 변수는 퍼지 집합에서 'Low', 'Medium', 'High' (Weight\_ratio)와 'Normal', 'Slightly red', 'Very red' (Red\_percentage)로 구분된다. 이러한 입력 변수들은 퍼지 규칙에 따라 사용자의 상태를 평가하게 된다. 예를 들어, 소변 색상이 'slightly\_red'이고 무게 비율이 'medium'일 경우, 시스템은 사용자의 상태를 'alert' 단계로 판정한다. 이를 위해 퍼지 제어 시스템에 주로 사용되는 규칙 기반의 맘다니형 퍼지 추론 (Mamdani Fuzzy Inference)이 적용되었다. 이 추론법에서는 먼저 입력 변수를 퍼지화 (Fuzzification)하여 각 입력에 대해 여러 퍼지 집합에 포함할 수 있는 소속도 (Membership degree)를 계산한다. 그런

표 1. 퍼지 로직 규칙 설정  
Table 1. Fuzzy Logic Rule Setup

	Weight Ratio	Red Percentage	Condition
Rule1	low (0.0 - 0.3)	normal (0 - 20%)	Good
Rule2	medium (0.3 - 0.7)	slightly_red (20% - 50%)	Alert
Rule3	high (0.7 - 1.0)	very_red (50% - 100%)	Critical

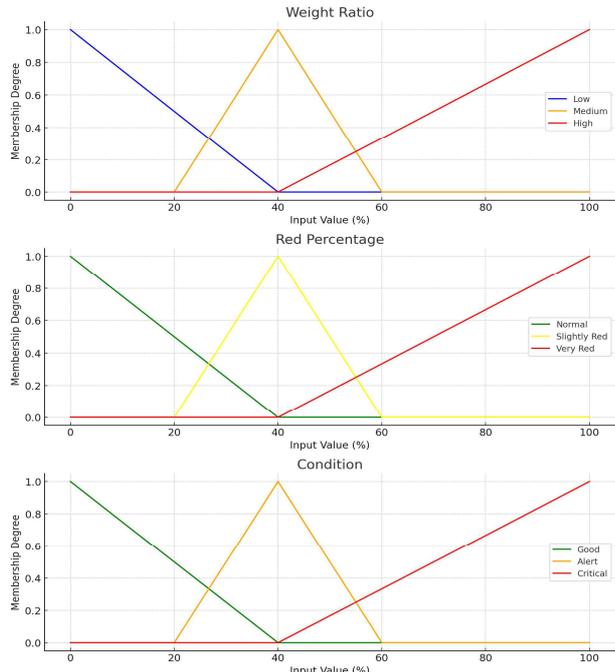


그림 5. 체액 균형 및 혈뇨 감지를 위한 퍼지 제어 시스템의 변수 소속도

Fig. 5. Membership functions of variables in a fuzzy control system for monitoring fluid balance and detecting hematuria

다음, 정의된 퍼지 규칙에 따라 각 입력의 조합에 대해 퍼지 연산을 수행하여 퍼지 출력값을 도출하고, 마지막으로 비퍼지화 (Defuzzification)를 통해 구체적인 출력값을 산출하고, 최대값 평균 (Max-Average) 방식을 사용하여 비퍼지화를 수행하였다. 이 방식은 퍼지 출력값의 소속도 중 가장 높은 값을 가진 영역의 평균값을 계산하여 출력값을 결정하며, 복합적인 입력 변수에 대한 직관적인 해석을 가능하게 한다. 맘다니형 퍼지 추론의 주요 장점은 다수의 규칙을 기반으로 한 직관적인 제어가 가능하기에, 본 연구에서는 퍼지 규칙을 표 1과 같이 정의하였다.

출력 변수인 condition은 사용자의 상태를 'good', 'alert', 'critical'로 분류하며, 규칙 기반 퍼지 제어 시스템 (Control System)을 통해 해당 상태에 맞는 경고를 제공한다. 이 시스템은 체액 배출 상태를 지속적으로 모니터링하고, 'critical' 상태로 판정될 경우 즉각적인 대응을 필요로 하는

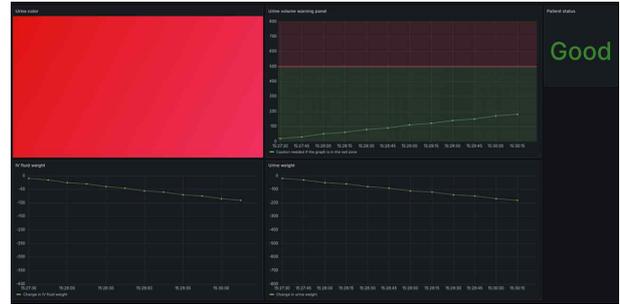


그림 6. 원격 모니터링 시스템의 데이터 시각화  
Fig. 6. Data visualization of a remote monitoring system

알림을 생성한다.

맘다니형 퍼지 추론법은 그림 5에서 볼 수 있듯이, 각 입력 변수의 값이 퍼지 집합에 속하는 정도를 계산하고 이를 통해 최종적으로 사용자의 상태 (Condition)를 평가한다. 특히, 여러 입력 변수 간 상호 작용을 기반으로 한 복합적인 추론이 가능하며, 복잡한 의료 데이터를 효과적으로 처리하고 적절한 경고를 제공할 수 있다.

이와 같이, 원격 모니터링 시스템은 5가지 지표를 시각화하여 의료진이 직접 환자의 체액 균형을 지속적으로 확인하지 않더라도, 비정상적인 상태를 조기에 발견하고 알림을 제공할 수 있게 된다. 이를 통해 환자의 체액 관리를 안전한 수준으로 유지하고, 신속하게 이상 징후에 대응할 수 있는 기능을 갖추게 된다 (그림 6 참조).

### III. 실험 결과 및 분석

수액과 소변 주머니에 유입되는 유량 및 혈뇨를 계측하기 위한 실험은 두 가지로 구성된다. 첫 번째는 각 모듈에 적용된 무게 센서의 계측 정밀도를 확인하는 실험이며, 두 번째는 혈뇨 인식을 위한 컬러 센서의 색상 측정 정확도를 평가하는 실험이다 (그림 7 참조). 각 항목은 총 100회 반복하여 수행되었고, 이를 통해 제안된 프로세스의 신뢰성을 검증하였다.

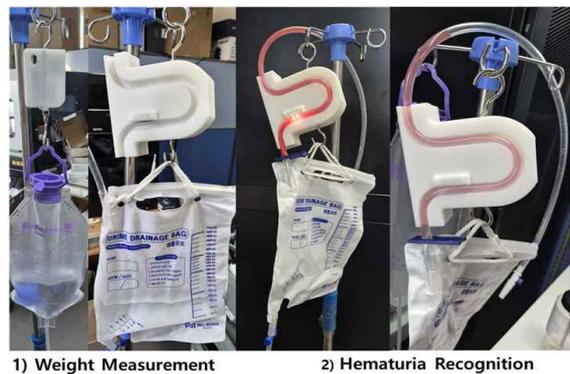


그림 7. 수액 및 소변 주머니 모듈의 계측 실험 구성  
Fig. 7. Experimental setup of weight measurement for an iv and urine bag

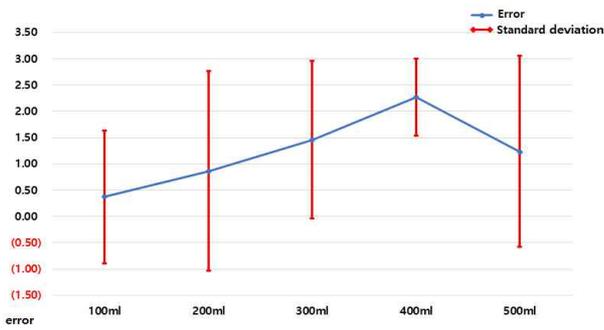


그림 8. 수액 주머니 무게 측정 결과  
Fig. 8. Results of the weight measurement on iv bag

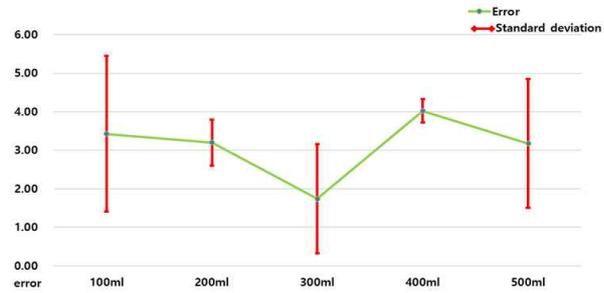


그림 9. 소변 주머니 무게 측정 결과  
Fig. 9. Results of the weight measurement on urine bag

첫 번째 실험은 수액량과 소변량을 장착된 무게 측정 모듈의 정밀도를 검증하기 위해 각 주머니에 물을 100ml씩 추가하여 100회씩 측정하였고 측정된 센서 데이터의 결과는 각각 그림 8, 그림 9과 같다. 추가하여 100회씩 측정하였고 측정된 센서 데이터의 결과는 각각 그림 8과 그림 9와 같다.

로드셀 센서를 통해 측정된 무게 값의 결과, 수액 주머니에서는 평균 1.24±1.44g, 소변 주머니에서는 평균 3.11±1.06g의 측정 오차가 발생하였다. 제안된 계측 모듈을 통해 약 5ml의 미세한 용량 변화에 해당하는 무게 구분이 가능함을 확인하였으며, 이를 통해 해당 시스템이 수액 및 소변량의 정확한 모니터링을 위한 정밀한 무게 감지 성능을 제공할 수 있음을 검증하였다.

그리고, 정밀 계측 기능을 바탕으로 수액량과 소변량 간의 무게 차이가 일정량의 임계값을 초과할 경우, 경고 알람이 자동으로 발생하는 시스템이 작동함을 확인하였다. 특히, 두 모듈의 무게 차이가 20% 이상일 때 알람이 활성화되도록 설계되었으며, 실험 결과 사용자에게 경고 신호를 정확하게 전달하는 시스템의 정상적인 동작이 검증되었다.

두 번째 실험은 혈뇨 감지 센서의 정확도를 정량적으로 평가하기 위해, 혈뇨 발생 시의 실제 혈액 농도를 모사할 수 있는 대체 용액 (예: 물감)을 준비하였으며, 각각 직경 (5mm, 9mm)이 다른 두 종류의 튜브를 사용하여 센서의 감지 성능을 검증하였다. 실험은 총 100회 반복하여 센서의 일관성과 정확성을 평가하는 방식으로 설계되었다.

실험 과정에서 컬러 센서는 주입되는 용액의 색상을 적색

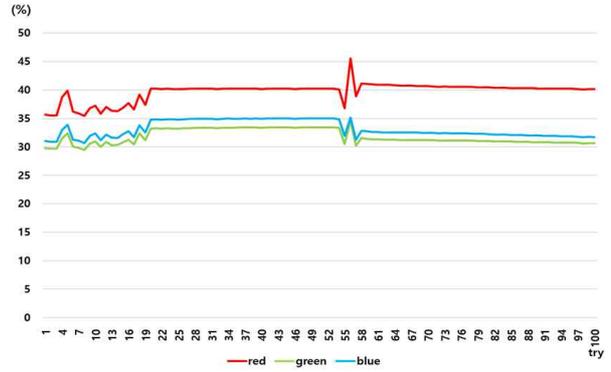


그림 10. 혈뇨 감지 모듈 측정 결과  
Fig. 10. Measurement results of hematuria recognition

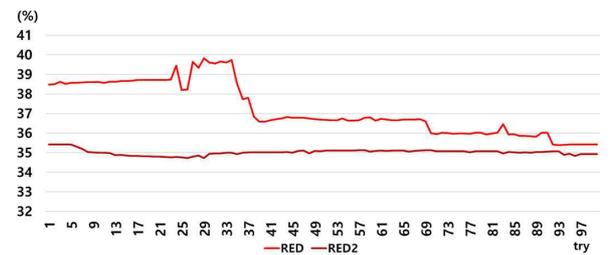


그림 11. 차폐 효과에 따른 혈뇨 인식 차이 측정 결과  
Fig. 11. Measurement results of hematuria recognition differences based on shielding effects

(Red), 청색 (Blue), 녹색 (Green) 세 가지 채널로 인식하였다. 각 채널에서 측정된 값 중 가장 높은 값을 기준으로 주요 색상을 판별하였으며, 이를 통해 혈뇨의 존재 여부를 판단하였다 (그림 10 참조).

해당 실험에서 기준 용액은 5%의 농도의 액체 300g을 사용하여 실험을 진행하였고 그림 11에서 보는 바와 같이, 0-19 구간과 52-58 구간에서 실험 환경에서 발생한 외부 광원으로 인한 측정 오차가 발생하였으나, 혈뇨 감지 센서의 정확도는 100%로 확인되었다.

그림 11은 조도 센서 측정 영역의 차폐 효과에 따라 혈뇨 감지 센서의 성능 차이를 나타내는 결과이다. 여기서, RED는 차폐 효과가 없는 상태, RED2는 차폐 효과가 있는 상태를 나타낸다.

차폐 여부에 따른 감지 성능 차이를 분석한 결과, 외부 광원으로부터 차단된 환경에서는 동일 색상의 유체를 인식할 때 색상 인식 값이 낮아지는 경향이 있었으나, 외부 광원이 차단된 상태 (RED2)에서는 실험값의 변동 폭이 감소하여, 전반적으로 더 안정적인 인식 성능을 보였다. 반면, 외부 광원이 존재하는 환경 (RED)에서는 인식 값의 변동이 불규칙적으로 나타나며 외부 광원으로 인한 간섭이 시스템의 감지 성능에 영향을 제공함을 알 수 있었다. 이는 외부 광원 차단이 감지 시스템의 인식 정밀도 향상에 기여할 수 있음을 시사한다.

다음으로 수액 및 소변 주머니의 실시간 모니터링을 위해

표 2. 퍼지 로직 적용 실험 결과  
Table 2. Fuzzy Logic Results

	Weight Ratio(g)	Red Percentage (%)	Fuzzy Inference Result	Defuzzification Result
1	0.85	45	Alert	0.73
2	0.90	60	Critical	0.96
3	0.78	30	Good	0.42
4	0.83	50	Alert	0.69
5	0.95	170	Critical	0.92

퍼지 논리와 퍼지 추론을 적용하는 실험을 진행하였다. 해당 실험은 100회씩 측정된 수액 및 소변 주머니의 측정 데이터를 기반으로 퍼지화 과정을 거친 후 퍼지 규칙에 따라 출력 변수를 결정하였다. 그런 다음, 비퍼지화를 통해 실시간으로 환자의 상태를 'Good', 'Alert', 'Critical'로 평가하는 실험을 진행하였으며, 표 2는 100mL 구간에서의 데이터를 반영한 퍼지 시스템의 추론 및 비퍼지화 과정의 결과이다.

위 표에서는 'Weight ratio'와 'Red percentage'의 입력값을 기반으로 퍼지 추론을 통해 결정된 결과값을 확인할 수 있습니다. 각 결과는 비퍼지화 과정을 거쳐 최종적으로 환자의 상태를 정량적으로 평가할 수 있도록 변환되는 것을 확인하였고, 이를 통해 시스템은 외부 환경 요인으로 인해 발생하는 일정 부분 오차가 존재해도 실시간으로 환자의 체액 상태를 모니터링하고 경고를 제공할 수 있음을 검증하였다.

마지막으로, 시스템의 배터리 구동 시간은 최대 충전 시 두 모듈 모두 약 18시간 사용이 가능한 것으로 확인되어, 본 시스템이 장시간 연속 사용 시에도 모니터링이 가능함을 확인하였다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 IoT 디바이스를 기반으로 수액 및 소변량을 측정하는 모듈을 구성하고, 원격 모니터링 시스템의 정확성 향상을 위해, 칼만 필터와 외부 환경 보정 알고리즘을 설계했으며, 원격에서 5가지 지표를 통해 사용자의 수액 및 유린 메타를 모니터링하는 시스템을 제안하였다. 로드셀 기반의 무게 측정 모듈은 약 5ml 이내의 미세한 용량 변화를 감지할 수 있음을 검증하였으며, 혈액 대체 용액을 사용하였지만, 혈뇨 감지 센서는 일정 비율의 혈뇨 유입을 100% 정확도로 감지할 수 있는 성능을 입증하였다. 또한, 체액 배출 균형 및 혈뇨 검출 데이터는 퍼지 로직으로 I/O 상태를 모니터링함으로써, 정밀한 무게 측정과 혈뇨 감지를 통해 환자의 이상 상태를 신속하게 파악할 수 있는 신뢰성을 가지는 정보 제공의 가능성을 확인하였다.

그러나 로드셀 기반 무게 측정 방식은 외부 힘이나 충격으로 인해 측정 오차가 발생할 수 있는 한계가 있다. 이를 해결하기 위해 물리적 차폐 구조 개선과 정교한 보정 알고리즘 적용이 필요함을 확인하였다. 또한, 혈뇨 검출을 위한

조도 센서의 측정 정확도를 높이기 위해 외부 광원의 간섭을 최소화할 수 있는 차폐 설계가 요구되며, 유량 측정 센서는 다양한 튜브 두께에 대응할 수 있는 유연한 설치 구조로 개선해야 함을 확인하였다.

뿐만 아니라, 환자와의 접촉으로 인한 위생 관리 및 안정성을 확보하기 위해 별도의 살균 처리 시스템과 보호 장치의 도입이 필요하며, 시스템의 연속적 작동을 보장하기 위한 전력 관리 방안과 무선 데이터 전송 과정에서의 보안 강화 방안도 고려해야 한다.

향후에는 지속적인 센서 계측을 통해 현재 의료진이 수동으로 조작하는 소변 주머니의 밸브와 클램프를 자동으로 제어할 수 있는 기구부를 설계하고, 이를 원격으로 관리할 수 있는 장치를 개발하여 반복적인 수작업을 보다 체계적으로 자동화하는 시스템을 구축할 계획이다. 이러한 자동화 시스템은 소변 배출 및 방광 세척 과정을 자동으로 관리하여 의료진의 업무 부담을 보다 경감하고, 신속한 환자 관리에 기여할 것으로 기대된다.

#### References

- [1] S. Kang, H. Baek, E. Jung, H. Hwang, S. Yoo, "Survey on the Demand for Adoption of Internet of Things (IoT)-based Services in Hospitals: Investigation of Nurses' Perception in a Tertiary University Hospital," *Applied Nursing Research* Vol. 47, pp. 18-23, 2019.
- [2] Y. A. Song, H. J. Kim, H. K. Lee, "Nursing, Robotics, Technological Revolution: Robotics to Support Nursing Work," *Journal of Korean Gerontological Nursing*, Vol. 20, Suppl. 1, pp. 144-153, 2018 (in Korean).
- [3] L. Hanbit, M. Woojong, K. Sla, L. Jinhee, Z. Yuzhu, "Exploring the Applicability of Artificial Intelligence for the Improvement of Nursing Practice in Korea," *Journal of Korean Academy of Nursing Administration* Vol. 29, No. 5, pp. 564-576, 2023 (in Korean).
- [4] A. Otero, F. Palacios, T. Akinfiyev, R. Fernández, "A Device for Automatically Measuring and Supervising the Critical Care Patient's Urine Output," Vol. 10, No. 1, pp. 934-951, 2010.
- [5] H. Chen, Z. Ye, Y. Liu, Y. Li, L. Kong, J. Yu, G. Chen, "Wi-Uro: Real-time Monitoring and Alarming for Urine Bags Using Commodity Wi-Fi," *GLOBECOM 2022-2022 IEEE Global Communications Conference*, pp. 3029-3034, 2022.
- [6] A. Otero, R. Fernández, A. Apalkov, M. Armada, "An Automatic Critical Care Urine Meter," *Sensors*, Vol. 12, No. 10, pp. 13109-13125, 2012.
- [7] A. Sanguansri, "Development of a Prototype Sensor-integrated Urine Bag for Real-time Measuring," *Diss. Bournemouth University*, 2016.
- [8] R. Arshad, "Smart IoTs Based Urine Measurement System," *Diss. Bournemouth University*, 2018.
- [9] J. L. Lafuente, S. González, E. Puertas, V. Gómez-Tello, E. Avilés, N. Albo, J. J. Beunza, "Development of a Urinometer

for Automatic Measurement of Urine Flow in Catheterized Patients," Plos One, Vol. 18, No. 8, e0290319, 2023.

[10] B. S. Abdulwahed, A. Al-Naji, I. Al-Rayahi, A. Yahya, "Urine Color Analysis Using Random Forest Algorithm," in 2022 2nd International Conference on Advances in Engineering Science and Technology (AEST), pp. 79-83, 2022.

[11] M. Chidera, O. Kilanko, J. Azeta, C. A. Bolu, "An LDR Based Colour Sensor for Urine Analysis: A Review," International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, Vol. 8, No. 10, pp. 7704-7711, 2020.

[12] G. Reis, X. Tan, L. Kraft, M. Yilmaz, D. S. Schoeb, A. Miernik, "Safe Hb Concentration Measurement During Bladder Irrigation Using Artificial Intelligence," Sensors, Vol. 21, No. 17, pp. 5723, 2021.

[13] A. A. Gunawan, D. Brandon, V. D. Puspa, B. Wiweko, "Development of Urine Hydration System Based on Urine

Color and Support Vector Machine," Procedia Computer Science, Vol. 135, pp. 481-489, 2018.

[14] J. J. Cho, J. H. Yoo, "Check4Urine: Smartphone-based Portable Urine-analysis System," IEMEK Journal of Embedded Systems and Applications, Vol. 10, No. 1, pp. 13-23, 2015.

[15] A. Lee, M. Lee, H. J. J. Yeh, "An IoT-Based Automatic and Continuous Urine Measurement System," BioMedInformatics 2023, Vol. 3, No. 2, pp. 446-454, 2023.

[16] R. Belasco, T. Edwards, A. J. Munoz, V. Rayo, M. J. Buono, "The Effect of Hydration on Urine Color Objectively Evaluated in CIE L\* a\* b\* Color Space," Frontiers in Nutrition, Vol. 7, Article 576974, 2020.

**Soo-Bin Park (박수빈)**



2024 Mechanical Convergence Engineering from Silla University (B.S.)

Field of Interests: Smart Healthcare, Vision-based Control, Socially Assistive Robots  
 Email: tnqls9809@naver.com

**Sang-Seok Yun (윤상석)**



2002 Mechanical Engineering from Inje University (B.S.)  
 2005 Mechatronics Engineering from GIST (M.S.)  
 2013 Mechanical Engineering from Korea University (Ph.D)  
 2010~Mechanical Convergence Engineering from Silla Universit. (Assoc. Prof.)

Career:  
 2005~2017 Research Engineer, Center for Robotics Research at KIST  
 2004~2005 Visiting Scholar, Electrical and Computer Engineering at NCSU  
 Field of Interests: Smart Healthcare, Human-Robot Interaction, Location-Based Service, Socially Assistive Robots  
 Email: sssyun@silla.ac.kr