

# 수온 모니터링 기능을 탑재한 심장마비 방지용 목욕 보조 시스템

강소명<sup>†</sup>, 웨이첸<sup>\*\*</sup>

## Development of a Bath Assistive System with Water Temperature Monitoring to Prevent Heart Attack

So Myoung Kang<sup>†</sup>, Qun Wei<sup>\*\*</sup>

### ABSTRACT

Old people and patients with cardiovascular disease could die of a heart attack in the bath with heated water for a long time. Various researches have been studied to prevent these accidents from happening such as measuring the ECG signal when taking bath. However, these devices are hard to use and the higher price is not easily accepted by the public. In this paper, a low-cost and use-friendly, real time high precision water temperature monitoring device to prevent heart attack in the bath was developed. The device with waterproof design that lets the device can float on the surface of the water, and an accurate way to make water temperature measurement method was proposed by this paper that is immersing the sensor into water with 4cm depth to measure the temperature of underwater. The manufactured device was conducted to two experiments; one was to verify the basic functions of the device, and another one was for compare the proposed device with commercial products for monitoring the water temperature in the bathtub. As the experimental results shown, the proposed device has stable performance for the water temperature measurement and communicating with laptop in wireless.

**Key words:** Heart Attack, Bath, Assistive, Water Temperature, Measurement

### 1. 서 론

최근 현대인들의 평균 기대수명이 증가하고 있으며, 여가생활 및 건강에 대한 관심과 필요성이 높아지고 있다[1]. 그 중 반신욕은 하반신만 따뜻한 물에 담그는 목욕법으로 단순 목욕뿐만 아니라 스트레스 해소 및 다양한 질환의 치료에도 사용되어 여가생활의 하나로 각광받고 있다[2]. 특히 반신욕은 온열치

료(systemic thermal therapy) 방법으로 알려져 있으며 말초 혈관의 확장을 유발하여 심장 후부하를 줄여 줌으로써 혈관 저항을 감소시키고 혈액순환을 원활하게 하며 심장 기능 향상에도 도움을 줄 수 있음이 알려져 있다[3-6]. 특히 심부전과 같이 심장의 기능 저하와 그에 따른 이차적인 말초혈관 수축이 병태생리에 중요한 역할을 하는 질환에 있어서 혈액학적 지표, 증상, 및 내피 세포의 기능을 개선할 뿐 아니라

※ Corresponding Author : Qun Wei, Address: (42601) Room 440, School of Medicine, Keimyung University, 1095 Dalgubeal-daero, Dalseo-gu, Daegu, Korea, TEL : +82-53-580-3764, FAX : +82-53-580-3764, E-mail : weiqun@kmu.ac.kr

Receipt date : Dec. 21, 2018, Approval date : Dec. 29, 2018  
<sup>†</sup> Dept. of Biological Eng., Graduate School of Medicine, Keimyung University (E-mail : negato456@gmail.com)

<sup>\*\*</sup> Dept. of Biomedical Eng., School of Medicine, Keimyung University

※ Following are results of a study on the "Leaders in INdustry-university Cooperation +" Project, supported by the Ministry of Education and National Research Foundation of Korea (No.2018DG040010101)

[7-11], 당뇨병, 고혈압, 비만, 고지혈증과 같은 대사성 질환과 흡연에 의한 혈관 내피세포 기능장애에도 효과가 있음이 보고된 바 있다[12,13]. 또한 하체를 따뜻하게 해주어 하체의 혈관이 확장되면서 몸 전체의 혈액순환이 원활해지고 혈액이 상체까지 올라오는데 도움을 주어 체온의 균형을 잡아주고 땀과 함께 노폐물을 배출해준다. 이 과정을 통해 혈액순환이 균형을 이루면서 관절부위의 경직이 풀리고 근육 이완을 통해 긴장이 완화되어 관절통이나 요통 등의 통증을 완화해주는 진정효과가 있다.

반신욕은 체온보다 약간 높은 38~40℃의 따뜻한 물에 가슴 아래 부분만 20~30분간 담그는 것을 원칙으로 한다[14]. 그러나 41도 이상의 뜨거운 물에 들어가면 혈관이 이완되고 갑작스럽게 수축되면서 협심증이나 심혈관계 질환을 악화시킬 수 있으며, 혈압과 맥박의 변동에 문제가 될 수 있다. 고령자의 경우 혈압과 심박동수는 온수 욕조에 담그면 즉시 상승하기 시작하고 약 4분 후에 감소하기 시작한다[15]. 이러한 변화는 부교감 신경의 억제 없이 일시적으로 교감 신경 활동이 감소하여 저혈압 및 서맥에 의한 실신이 유발되며 궁극적으로 죽음을 초래 할 수 있다. 젊은 사람과 달리, 고령자는 심장 혈관 스트레스에 충분히 활발한 방식으로 대응할 수 없기 때문에 각별한 주의가 필요하다[16-18].

그러나 고령자의 경우 인체의 생리기능과 온도의 지각능력이 떨어지기 때문에 뜨거운 물의 온도를 체감으로 판단하는데 어려움이 있다. Chung 등은 온돌방에서 노인과 청년의 피부온도 반응 비교 연구를 하였다. 온돌방에 앉아있는 상태에서 1시간 동안 피부온도를 측정 한 결과, 고령자는 평균 33.25도, 청년은 33.55도로 청년의 평균 피부온도가 고령자에 비해 높았다. 시간 경과에 따른 변화 결과, 청년은 실험초기에 평균피부온도가 급격히 상승하는 반면, 고령자는 실험 중반 20~30분경과 후 상승하는 것으로 나타났다. 이것으로 고령자의 평균 피부온도 반응은 청년에 비해 낮으며 시간적으로도 지연됨을 알 수 있다. 그 원인은 고온 환경 하에서 청년에 비해 피부혈관 확장으로 인한 피부온도 상승이 늦고, 피부혈류량이 적게 증가하여 core에서 shell로의 열의 이동이 작기 때문이다[19]. 이러한 결과는 고령자가 뜨거운 물을 감지하기가 어려우며 뜨거운 물에서 목욕을 할 시 심장마비나 실신에 대한 위험이 더 높음을 시사한다.

Suzuki등은 2012년 10월부터 2013년 3월까지 일본의 도쿄도, 사가 현, 야마가타 현에서 실시된 목욕관련 사망률 조사연구를 하였다. 목욕관련 사건 중 33%가 심장 정지 사건으로 확인되었고 사망률은 남녀 모두 연령에 따라 증가하는 경향이 나타났다[20].

욕조에서 목욕 중 발생하는 심장마비를 예방하기 위한 연구가 많이 이루어지고 있다. Kosuke Motoi 등은 욕조에서 심전도 및 호흡을 측정 할 수 있는 장치를 연구하였다. 이 장치는 욕조 바깥쪽 벽면에 전극 두 개를 부착하여 심전도 모니터링을 할 수 있으며 심전도의 이상 신호를 감지할 수 있다[21]. Lim 등은 욕조에서 심전도 측정이 가능한 장치를 연구하였다. 욕조 안쪽 벽면에 코팅된 전극을 부착하여 심전도 신호의 R피크를 감지할 수 있다[22]. 두 연구 모두 심전도의 이상을 감지하여 심장마비를 판단 할 수 있지만, 심장마비가 발생하는 근본적인 원인인 물의 온도에 관한 설명이 없었다.

이에 본 논문에서는 목욕 중 심장마비를 방지하기 위해 생체신호를 측정하기에 앞서 수온 모니터링 및 알림기능을 탑재한 목욕 보조 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템은 정확한 목욕물의 온도를 측정하기 위해 물 내부의 온도 측정이 가능하도록 온도센서를 물 표면에서부터 4 cm 아래쪽에 위치하도록 설계 하였다. 케이스는 고무링을 사용하여 방수처리를 하였으며 구현된 온도 측정 전자회로를 포함한 디바이스가 물 위에 뜰 수 있도록 제작하였다. 구현된 시스템은 목욕물 온도를 측정하고 블루투스 무선통신 방식으로 측정된 데이터를 노트북에 전송하였다. 또한, 알람 회로가 설계되어 있어, 설정온도 보다 높으면 알람이 울리도록 하였다. 성능 실험 및 비교 실험을 통해 제안한 시스템의 성능을 확인하였고 보정 알고리즘을 통해 정확한 온도를 도출하였다.

## 2. 제안한 방법

### 2.1 시스템 구현

Fig. 1은 본 논문에서 제안한 수온 모니터링 목욕 보조 시스템의 개념도이다. 제안된 시스템은 마이크로컨트롤러, 온도센서, 알람 회로, 무선통신 모듈로 구성되어있다. 시스템 제어와 측정 데이터를 처리하기 위해 ARM(Acorn RISC Machine) Cortex M3 아키텍처로 설계된 32비트 EFM32GG940F1024(Sili-

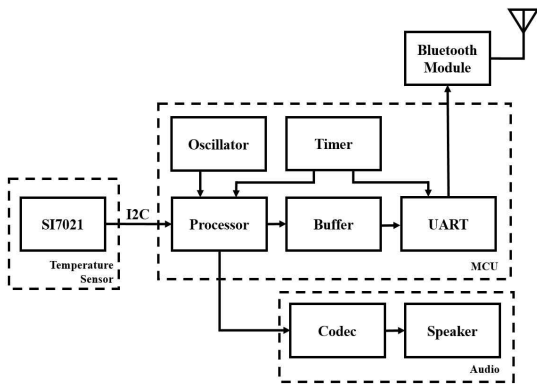


Fig. 1. Basic concept of the proposed bath assistive system with water temperature monitoring function.

cons Lab, USA) 마이크로컨트롤러를 사용하였으며 낮은 전력소모, 빠른 웨이크 업 시간 등 저 전력 플랫폼을 내장하고 있어 장시간 사용을 가능하게 한다. 또한 다수의 I/O(Input/Output)포트와 다중 통신 인터페이스를 포함하고 있어 여러 주변장치를 연결하여 사용하기에 적합하다. 물의 온도를 측정하기 위한 온도 센서는 SI7021(Silicons Lab, USA)을 사용하였으며 넓은 범위의 온도 측정이 가능하고 오차범위는  $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 로 오차범위가 작아 정확한 물의 온도를 측정할 수 있다. SI7021은 I2C(InterIntegrated Circuit)통신 방식을 통해 마이크로컨트롤러와 연결되며 측정된 데이터를 송수신한다. 사용자에게 온도 알람을 알려주기 위해 오디오 회로를 설계하였으며 알람 출력을 위해 오디오 코덱 TPA6138(Texas Instruments, USA)과 스피커를 사용하였다. 이 회로는 두 개의 스피커를 사용하여 스테레오 음성출력까지 출력이 가능하다.

마이크로컨트롤러에 의해 처리된 데이터를 송신하기 위해 무선통신 방식인 블루투스를 이용하였으며 블루투스 BC127 모듈(Blue Creation, USA)을 사용하였다. BC127은 듀얼모드를 지원하고, 저전력에 소형 폼팩트로 IoT 디바이스에 사용하기에 적합한 블루투스 4.2 Class 2 모듈이다. 다양한 입출력 인터페이스를 지원하며 특히 Android, iOS 연동에 필요한 SPP, IAP, IAP2, HFP, A2DP, AVRCP 프로파일 등을 지원하며 호환성이 높아 사용에 적합하다[23].

또한 2.4GHz대의 무선 주파수를 사용하는데 이는 ISM(Industry-Science-Medical) band 대역으로 심박조율기(Pacemaker) 사용자가 사용하여도 영향을 끼치지 않는 장점이 있다. 제안된 시스템은 블루투스

SPP(Serial Port Profile)통신을 통해 노트북과 연결하여 무선으로 데이터를 전송한다.

### 2.2 외관 설계

욕조 안 목욕물의 온도를 정확하게 측정하기 위해서 가장 중요한 점은 물의 내부 온도를 측정하는 것이다. 뜨거운 물의 경우 열의 이동 이론에 근거하여 물보다 온도가 낮은 공기로 물의 열이 전달된다. 이로 인해 뜨거운 물의 표면이 가장 먼저 식게 되어 물의 표면과 내부의 온도차이가 발생하게 된다. 그러나 시중에 판매되는 탕온계의 경우 물의 표면온도를 측정하며 정확한 목욕물의 온도 측정에는 부적합한 위치이다. 본 논문에서는 물의 내부 온도를 측정하기 위해 디바이스의 외관 및 치수를 결정한다. 디바이스의 케이스와 부품들의 무게를 예측하여 질량을 구하고 온도센서가 물의 표면에서 4cm에 잠기도록 아래 식(1)을 통해서 디바이스의 부피를 계산한다.

$$B = \rho gV \tag{1}$$

여기서 B는 부력이며  $\rho$ 는 물의 밀도, g는 중력 가속도, V는 물체의 부피이다. 제안한 디바이스는 한 손으로 잡을 수 있는 크기로 설계하였으며 물 위에서 균형을 유지 하면서 온도센서가 일정하게 물의 표면에서 4cm 아래 위치할 수 있도록 디자인하였다. Fig. 2(a)는 제안한 디바이스의 단면도이며 L은 디바이스의 직경,  $H_1$ 은 디바이스의 높이,  $H_s$ 는 물의 표면에서 부터 온도센서 위치지점까지의 높이이다. Fig. 2(b)는 제안한 디바이스의 3D 모델링이다.

### 2.3 시스템 제작

본 연구에서는 ORCAD(Cadence, USA)를 이용하

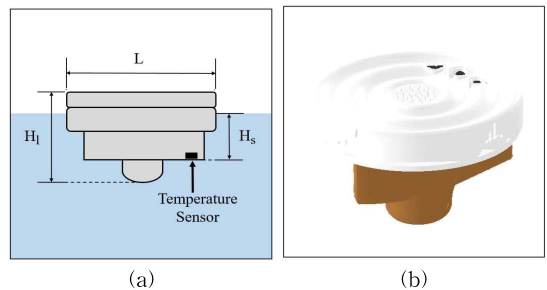


Fig. 2. Appearance design for the proposed system, (a) Plan of designed proposed system dimension, (b) 3D Model of the proposed system.

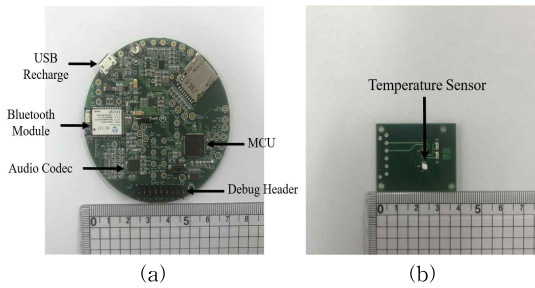


Fig. 3. Manufactured PCBs of the proposed system. (a) Main board, (b) Sensor board.

여 제한한 시스템의 회로도를 설계하였다. 회로도 설계 후, 구현을 위해 부품 배치 및 회로 보드의 최적 크기를 고려하여 Artwork를 진행하였으며 SMT (Surface Mounter Technology)를 수행하여 PCB (Printed Circuit Board)를 제작하였다. Fig. 3(a)는 제작된 PCB의 메인보드이며 시스템 제어를 위한 마이크로컨트롤러, 블루투스 모듈, 오디오 코덱, USB 충전, 디버그 헤더로 구성된다. 제작된 PCB는 4층 구조이며 직경 7 cm 원형으로 제작되었다. Fig. 3(b)는 센서 보드이며 온도센서 및 I2C pull-up 회로로 구성된다. 크기는 3 cm × 3.8 cm 직사각형으로 제작되었으며 물의 온도를 측정하기 위해 한 면에 부품을 배치하였다. 소자의 크기는 두 회로기판 모두 1608 사이즈를 사용하였고 두 회로기판의 연결 및 동작 확인을 위해 TP(Test Point)를 마련하였으며 이를 통해 연결하였다.

제한한 케이스는 SolidWorks(Dassault Systemes, USA)를 이용하여 기구설계를 하였다. 물 위에 뜰 수 있게 설계되었으며 3D 모델링을 통해 구현하였다. 직경은 12 cm, 높이는 7.3 cm이며 온도 센서

는 물의 표면온도와 내부 온도의 차이를 고려하여 물 내부의 온도를 측정할 수 있도록 물 표면에서부터 4 cm 아래에 위치하도록 하였다. 3D 프린터를 통해 케이스를 구현하였으며 높은 충격 강도가 나오면서도, 시제품 제작에 용이한 ABS 재질을 이용하여 제작하였다. 사용된 ABS 재질은 온도 변화에 강하여 뜨거운 목욕물에 사용에도 변형이 일어나지 않는 장점이 있다. 무게 중심을 위해 케이스 중반부에 PCB를 배치하였고 물의 온도 측정을 위해 하단부에 온도 센서를 배치하였다. 온도 센서는 방수 처리를 위해 온도 측정부분을 제외한 모든 부분에 에폭시를 사용하여 코팅 처리를 하였으며 온도 측정을 하는 센서 부분만 방수용 테이프를 부착시켜 물에 노출이 되도록 하였다. 조립된 디바이스는 물에 넣어도 내부 회로에 이상이 없도록 고무링을 사용하여 방수처리를 하였다.

### 3. 실험 및 결과

#### 3.1 성능 실험

구현된 목욕 보조 시스템의 성능을 확인하기 위하여 온도측정 장치와 구현된 시스템을 이용한 성능 실험을 수행하였다. 이때 물의 온도를 유지하기 위해 가열교반기 MSH-20D(DAIHAN Scientific, S Korea)를 사용하였으며 물의 온도는 반신욕을 할 때 적정 온도와 가까운 온도인 36℃, 38℃, 40℃, 42℃, 44℃로 유지하였다. 정확한 물의 온도를 비교하기 위해 0.1℃의 분해능을 가지고 있는 온도측정 장치 Thermometer TES 1300(TES, Taiwan)를 사용하였다. 실험은 1000 mL 비커 안에 물의 높이가 13 cm인 800 mL로 채운 뒤 진행하였으며 실험 실내 온도는 27℃

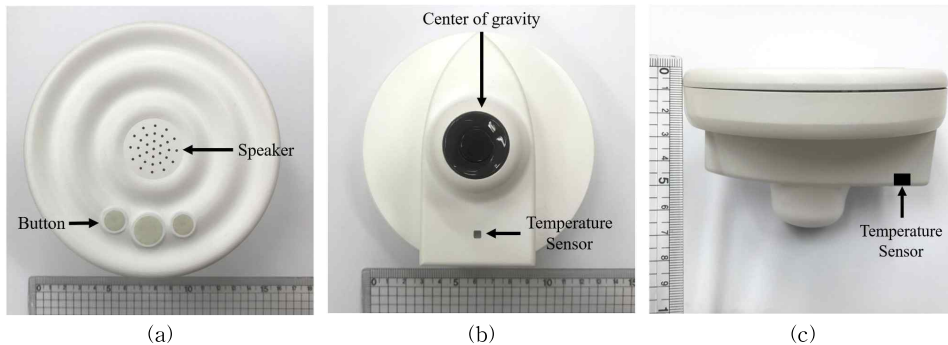


Fig. 4. Pictures of the assembled bath assistive system. (a) Top view, (b) Bottom view, and (c) Side view.

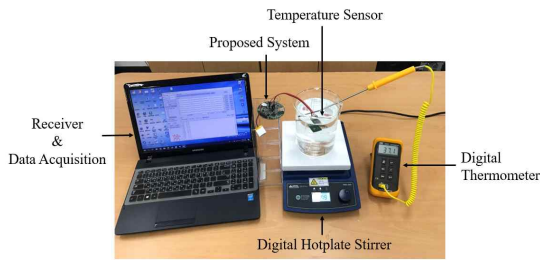


Fig. 5. Picture of the proposed system and thermometer with digital hotplate stirrer in the performance test.

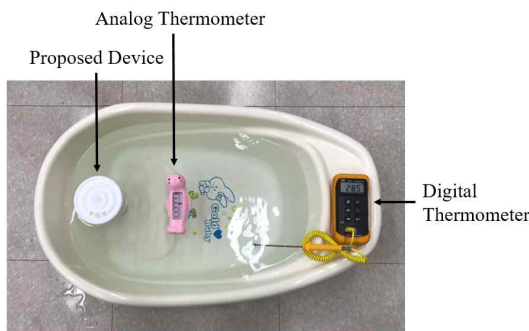


Fig. 6. Experiment for comparison of the proposed system with commercial temperature measurement products in the bath water temperature monitoring.

를 유지 하였다. 측정을 위하여 물의 온도가 일정하게 유지되도록 하였으며 구현된 PCB 센서보드와 온도 측정 장치를 물속에 넣은 후 측정되는 온도가 안정화되면 동시에 동작시켜 실험을 진행하였다. 구현

된 시스템은 1초 간격으로 물의 온도를 측정하고 측정된 온도 데이터를 전송하였다. 30분 동안 측정하였으며 5분마다 온도 값을 기입하고 저장하였다. Fig. 5는 제안한 시스템의 성능 실험사진이다.

### 3.2 비교 실험

구현된 목욕 보조 시스템의 정확도를 확인하기 위하여 실제 욕조에서 비교 실험을 수행하였다. 제안한 시스템은 조립 후 사용하였으며 비교를 위하여 성능 실험에서와 동일한 온도측정 장치와 시중에 판매되고 있는 아날로그 탕온계를 사용하였다. 실험은 가정에서 사용하는 68 cm × 48 cm × 18 cm 크기의 유아용 욕조에서 진행되었으며 실내 온도는 29℃를 유지 하였다. 측정을 위해 욕조의 2/3인 12cm까지 물을 채운 뒤 조립된 디바이스와 아날로그 온도계를 물속에 띄워 동시에 동작시켰으며 온도측정 장치는 물의 표면에서 4 cm 아래에 고정시킨 후 동일 위치를 측정하였다. 30분 동안 물의 온도를 측정하였으며 성능 실험과 동일한 방법으로 3가지 장치로 측정되는 온도 값을 확인하고 기입하였다. Fig. 6은 조립된 디바이스와 온도계 및 아날로그 온도계 비교 실험 사진이다.

Fig. 7 (a)는 구현된 목욕 보조 시스템과 온도측정 장치를 이용하여 진행한 성능실험 결과이다. 36℃, 38℃, 40℃, 42℃, 44℃ 온도에서 측정한 온도를 각각 비교하였으며 구현된 시스템으로 측정된 온도의 평균값이 상대적으로 높게 나타났다. 측정된 온도의 오차는 Fig. 7 (b)를 통해 온도가 높아짐에 따라 차이가 커지는 것을 확인하였으며 평균 0.35℃ 차이를 보였

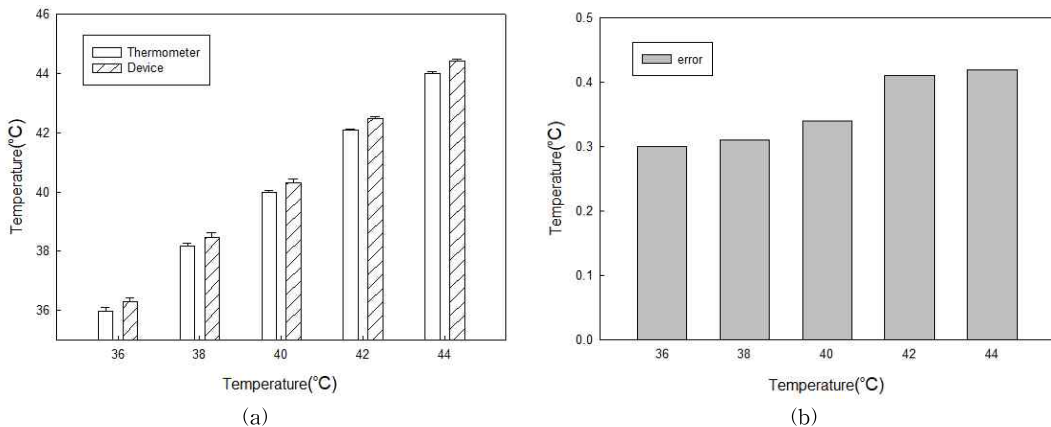


Fig. 7. Performance experiment results. (a) Comparing the implemented system and thermometer, (b) Mean error before interpolation.

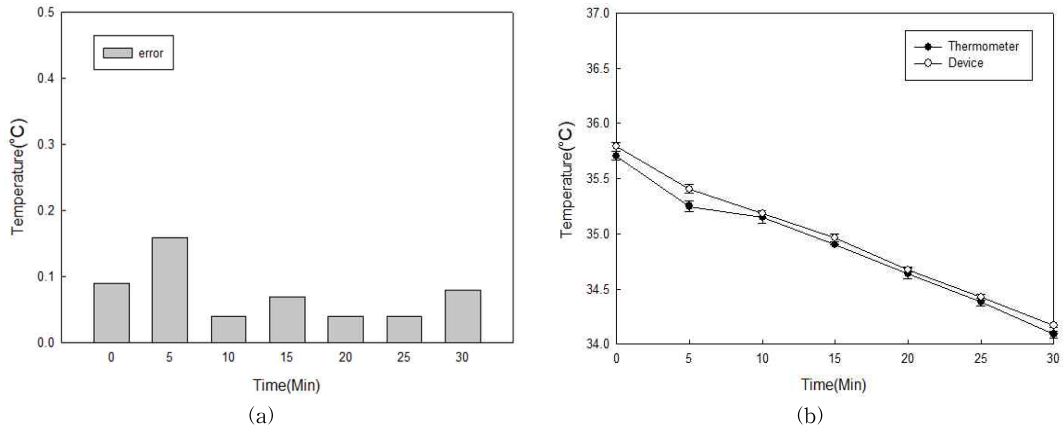


Fig. 8. Graphs of the performance test results through the developed compensation algorithm, (a) Comparison of the proposed system with thermometer, (b) Mean error.

다. 그러한 이유는 SI7021이  $-5^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$  사이에서 최대  $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$  오차를 가지기 때문이다. 시스템의 정확한 온도결과 값을 도출하기 위하여 아래 식(2)을 사용하였으며, 이 식은 SI7021 센서의 데이터시트에서 최대 오차 값과 측정된 데이터 값을 통해 유도하였다.

$$T = x - 0.3[\text{C}] \quad (2)$$

여기서,  $x$ 는 구현된 목욕 보조 시스템으로 측정된 온도 계수이고(단위:  $^{\circ}\text{C}$ ),  $T$ 는 온도가 보상된 온도 값이다.

Fig. 8 (a)는 보상 알고리즘을 적용한 목욕 보조 디바이스와 온도측정 장치로 측정된 결과를 보여주고 있다. 온도 차이는 평균  $0.07^{\circ}\text{C}$  차이를 보였으며 온도측정 장치와 거의 동일한 온도 값을 확인 할 수

있었다.

Fig. 9는 구현된 디바이스와 아날로그 탕온계로 측정된 결과를 보여주고 있다. 아날로그 탕온계는 평균  $0.84^{\circ}\text{C}$  높게 나타났다. 아날로그 탕온계의 경우 물의 표면 온도를 측정하였지만 실험 결과에서 아날로그 탕온계로 측정된 온도의 평균값이 상대적으로 높았다. 이러한 이유는 눈금으로 표시된 온도를 정확하게 읽을 수 없어 발생한 것으로 추정된다.

알람 기능은 설정온도 보다 높을 경우 알람이 울리도록 하였다. 반신욕 적정 온도 범위가  $38^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 인 것을 감안하여 설정온도를  $40^{\circ}\text{C}$ 로 하였고 물의 온도가  $40^{\circ}\text{C}$ 보다 높을 경우 알람이 울리는 것을 확인하였다.

#### 4. 결 론

본 논문은 목욕 중 심장마비 방지를 위한 수온 모니터링 목욕 보조 시스템을 설계 및 구현 하였다. 정확한 목욕물의 온도 측정을 위해 물 표면에서 4cm 아래에 온도센서가 위치할 수 있도록 케이스를 설계 하였으며 물에서 사용이 용의하도록 디바이스를 방수처리 하였다. 온도 보상 알고리즘을 개발하여 정확한 물의 온도를 측정할 수 있으며 블루투스 무선통신 방식으로 측정된 데이터를 노트북으로 전송하였다. 구현된 시스템은 성능실험 및 비교실험을 통해 정확도를 확인하였다. 이를 통해 목욕 보조 시스템은 일반적으로 판매되고 있는 아날로그 탕온계 보다 간편하고 정확한 목욕물 온도 측정 및 알람기능 시스템으로 사용 가능하고 정확한 목욕물의 온도를 알려줌으

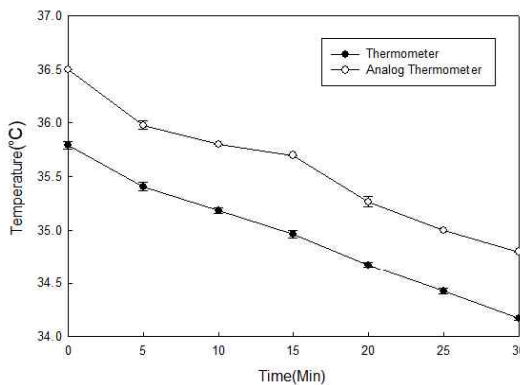


Fig. 9. Experimental results of the comparison of the assembled system with analog thermometer in the bath water temperature monitoring.

로써 목욕 중 심장마비 사고를 예방할 수 있을 것으로 기대 된다. 그러나 성능 실험에서 볼 수 있듯이, 물의 온도가 높을수록 구현된 시스템으로 측정되는 온도 값의 오차가 커졌으며 물의 온도에 따라 다르게 측정되는 온도 값 보정에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 만약 물의 온도에 따른 온도 값이 보정되면, 더 정확한 물의 온도를 측정할 수 있다. 향후 목욕물의 온도와 시간에 대한 데이터베이스를 구축한 후 스마트폰 앱을 개발하여 효율적인 저장 및 관리를 할 수 있도록 구현할 예정이다.

## REFERENCE

- [ 1 ] Y.S. Kim, "The Effect of 40-hour Work Week System on Leisure Life of Workers," *Journal of Korea Labor Studies*, Vol. 17, No. 1, pp. 37-70, 2011.
- [ 2 ] I.H. Lee, "The Effect of Half-bath on Women's of Stress Change," *Journal of Korea Society of Esthetics and Cosmeceutics*, Vol. 2, No. 1, pp. 5-15, 2007.
- [ 3 ] C. Tei, Y. Horikin, J.C. Park, J.W. Jeong, K.S. Chang, Y. Toyama, et al., "Acute Hemodynamic Improvement by Thermal Vasodilation in Congestive Heart Failure," *Circulation Journal*, Vol. 91, No. 10, pp. 2582-2590, 1995.
- [ 4 ] S. Biro, A. Masuda, T. Kihara, and C. Tei, "Clinical Implications of Thermal Therapy in Lifestyle-related Diseases," *Experimental Biology and Medicine*, Vol. 228, No. 10, pp. 1245-1249, 2003.
- [ 5 ] C. Miwa, T. Matsukawa, S. Iwase, Y. Sugiyama, T. Mano, J. Sugeno, et al., "Human Cardiovascular Responses to a 60-min Bath at 40 Degree C," *Environmental Med*, Vol. 38, No. 1, pp. 77-80, 1994.
- [ 6 ] K.A. Kirsch, L. Rucker, H. von Ameln, and K. Hrynyschyn, "The Cardiac Filling Pressure Following Exercise and Thermal Stress," *The Yale Journal of Biology and Medicine*, Vol. 59, No. 3, pp. 257-265, 1986.
- [ 7 ] L. Kaiser, R.C. Spickard, and N.B. Olivier, "Heart Failure Depresses Endothelium-dependent Responses in Canine Femoral Artery," *Journal of American Physiological Society*, Vol. 256, No. 4 Pt 2, pp. H962-967, 1989.
- [ 8 ] S.H. Kubo, T.S. Rector, A.J. Bank, R.E. Williams, and S.M. Heifetz, "Endothelium-dependent Vasodilation is Attenuated in Patients with Heart Failure," *Circulation Journal*, Vol. 84, No. 4, pp. 1589-1596, 1991.
- [ 9 ] C. Tei and N. Tanaka, "Thermal Vasodilation as a Treatment of Congestive Heart Failure: a Novel Approach," *Journal of Cardiology*, Vol. 27, No. 1, pp. 29-30, 1996.
- [ 10 ] A. Michalsen, R. Ludtke, M. Buhning, G. Spahn, J. Langhorst, and G.J. Dobos, "Thermal Hydrotherapy Improved Quality of Life and Hemodynamic Function in Patients with Chronic Heart Failure," *American Heart Journal*, Vol. 146, No. 4, pp. 728-733, 2003.
- [ 11 ] T. Kihara, S. Biro, M. Imamura, S. Yoshifuku, K. Takasaki, Y. Ikeda, et al., "Repeated Sauna Treatment Improves Vascular Endothelial and Cardiac Function in Patients with Chronic Heart Failure," *Journal of American College of Cardiology*, Vol. 39, No. 5, pp. 754-759, 2002.
- [ 12 ] P.L. Hooper, "Hot-tub Therapy for Type 2 Diabetes Mellitus," *The New England Journal of Medicine*, Vol. 341, No. 12, pp. 924-925, 1999.
- [ 13 ] M. Imamura, S. Biro, T. Kihara, S. Yoshifuku, K. Takasaki, Y. Otuji, et al., "Repeated Sauna Treatment Improves Vascular Endothelial and Cardiac Function in Coronary Risk Factors," *Journal of American College of Cardiology*, Vol. 38, No. 4, pp. 1083-1088, 2001.
- [ 14 ] I.H. Lee and J.Y. Kim, "The Effects of Half-bath on Blood CBC and Stress Hormone Change of Women in the 30s -Esters Systemic Aroma-," *Journal of Korea Society of Cosmetology*, Vol. 13, No. 1, pp. 396-402, 2007.
- [ 15 ] J.H. Oh and K.J. Lee, "The Effect of Bath and Sauna on IOP, BP, PR, and Body Temperature," *Journal of Korea Ophthalmological*



*Society*, Vol. 30, No. 6, pp. 987-993, 1989.

[16] C. Nishiyama, T. Iwami, G. Nichol, T. Kitamura, A. Hiraide, T. Nishiuchi, et al., "Association of Out-of-hospital Cardiac Arrest with Prior Activity and Ambient Temperature," *Official Journal of The European Resuscitation Council*, Vol. 82, No. 8, pp. 1008-1012, 2011.

[17] Y. Nagasawa, S. Komori, M. Sato, Y. Tsuboi, K. Umetani, Y. Watanabe, et al., "Effects of Hot Bath Immersion on Autonomic Activity and Hemodynamics: Comparison of the Elderly Patient and the Healthy Young," *Journal of Japanese Circulation*, Vol. 65, No. 7, pp. 587-592, 2001.

[18] T. Chiba, M. Yamauchi, N. Nishida, T. Kaneko, K. Yoshizaki, and N. Yoshioka, "Risk Factors of Sudden Death in the Japanese Hot Bath in the Senior Population," *Journal of Forensic Science Int*, Vol. 149, No. 2-3, pp. 151-158, 2005.

[19] Y.J. Chung and J.W. Choi, "Transactions : Thermoregulatory Responses in the Elderly and the Young under the Ondol System," *Journal of Korea Society of Clothing and Textiles*, Vol. 22, No. 1, pp. 149-158, 1998.

[20] M. Suzuki, T. Shimbo, T. Ikaga, and S. Hori, "Sudden Death Phenomenon While Bathing in Japan - Mortality Data," *Journal of Circulation*, Vol. 81, No. 8, pp. 1144-1149, 2017.

[21] K. Motoi, Y. Yamakoshi, T. Yamakoshi, H. Sakai, N. Tanaka, and K. Yamakoshi, "Measurement of Electrocardiograms in a Bath Through Tap Water Utilizing Capacitive Coup-

ling Electrodes Placed Outside the Bathtub Wall," *Biomedical Engineering Online*, Vol. 16, No. 12, pp. 1-13, 2017.

[22] Y.K. Lim, K.K. Kim, and K.S. Park, "The ECG Measurement in the Bathtub Using the Insulated Electrodes," *Proceeding of Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 2383-2385, 2004.

[23] S.H. Kang, J.H. Lee, M.N. Kim, K.W. Seong, and J.H. Cho, "IoT based Pure Tone Audiometer with Software Platform Compatibility," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 21, No. 2, pp. 261-270, 2018.



강 소 명

2008년 2월 계명대학교 의용공학과(공학사)  
 2018년 현재 계명대학교 의학과 의용공학전공(공학석사과정)  
 Interest: Bio-signal processing, Medical sensor, Circuit design



웨이 춘

2008년 8월 경북대학교 전자공학과(공학사)  
 2010년 8월 경북대학교 전자공학과(공학석사)  
 2014년 8월 경북대학교 전자공학과(공학박사)  
 2015년 현재 계명대학교 의과대학 의용공학과 조교수  
 Interest : Biomedical system design, Speech recognition, Binaural hearing aids