



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)



석 사 학 위 논 문

목욕 중 화상 및 심장질환 방지를 위한
내부 수온 측정
스마트 목욕 보조 시스템 개발

계 명 대 학 교 대 학 원
의 학 과

강 소 명

강
소
명

지도교수 박 희 준

2
0
2
0
년

2 0 2 0 년 2 월

2
월



목욕 중 화상 및 심장질환 방지를 위한
내부 수온 측정
스마트 목욕 보조 시스템 개발

지도교수 박 희 준

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함

2020년 2월

계명대학교 대학원

의학과

강소명

강소명의 석사학위 논문을 인준함

주 심 구 정 훈

부 심 박 희 준

부 심 허 윤 석

계 명 대 학 교 대 학 원

2 0 2 0 년 2 월

목 차

1. 서 론	1
2. 재료 및 방법	5
3. 성 적	19
4. 고 찰	33
5. 요 약	35
참고문헌	36
Abstract	40
국문초록	43

그림 목차

<그림 1> 실시간 목욕물의 수온 모니터링이 가능한 목욕 보조 시스템 개념도	13
<그림 2> 6개의 온도센서를 사용한 실험의 개념도	14
<그림 3> 깊이에 따른 수온 분포를 확인하기 위한 실험 개념도	15
<그림 4> 깊이에 따른 수온 분포 그래프	16
<그림 5> 동일한 5cm 깊이에서의 온도 센서의 성능 검증 실험	17
<그림 6> 동일한 5cm 깊이에서 측정된 온도 값	17
<그림 7> 제안한 스마트 목욕 보조 시스템 구상도	18
<그림 8> 제안한 스마트 목욕 보조 시스템 3D 모델링	18
<그림 9> 제작된 수온 측정이 가능한 스마트 목욕 보조 시스템 PCB	25
<그림 10> 제작된 스마트 목욕 보조 시스템 케이스	26
<그림 11> 스마트 목욕 보조 시스템 및 케이스 조립	26
<그림 12> 제작된 스마트 목욕 보조 시스템 어플리케이션	27
<그림 13> 챔버를 이용한 온도에 따른 시스템 안정성 검증	28

<그림 14> 챔버 내 온도 변화에 따른 목욕 보조 시스템의 온도 측정값 ...	28
<그림 15> 제작된 목욕 보조 시스템과 아날로그 탕온계 및 디지털 온도 측정 장치 성능 비교 실험	29
<그림 16> 성능 비교 실험 결과	30
<그림 17> 온도 보상 알고리즘 적용 후, 성능 비교 실험 결과	31

1. 서 론

반신욕은 하반신만 따뜻한 물에 담그는 목욕법으로 청결 유지뿐만 아니라 스트레스 해소 및 다양한 질환의 치료에도 사용되어 여가생활의 하나로 각광받고 있다[1]. 특히 반신욕은 온열치료(systemic thermal therapy) 방법으로 알려져 있으며 말초 혈관의 확장을 유발하여 심장 후 부하를 줄여 줌으로써 혈관 저항을 감소시키고 혈액순환을 원활하게 하며 심장 기능 향상에도 도움을 줄 수 있음이 알려져 있다[2-5]. 특히 심부전과 같이 심장의 기능 저하와 그에 따른 이차적인 말초혈관 수축이 병태생리에 중요한 역할을 하는 질환에 있어서 혈 역학적 지표, 증상, 및 내피세포의 기능을 개선할 뿐 아니라[6-10], 당뇨병, 고혈압, 비만, 고지혈증과 같은 대사성 질환과 흡연에 의한 혈관 내피세포 기능장애에도 효과가 있음이 보고된 바 있다[11]. 또한 하체를 따뜻하게 해주어 하체의 혈관이 확장되면서 몸 전체의 혈액순환이 원활해지고 혈액이 상체까지 올라오는 데 도움을 주어 체온의 균형을 잡아주고 땀과 함께 노폐물을 배출해준다. 이 과정을 통해 혈액순환이 균형을 이루면서 관절 부위의 경직이 풀리고 근육 이완을 통해 긴장이 완화되어 관절통이나 요통 등의 통증을 완화해주는 진정효과가 있으며, 특히 근골격계 질환, 관절염, 비만 스트레스 등 증상과 피로 회복에도 효과적이다.

하지만 잘못된 방식의 반신욕은 신체 기능이 약한 고령자 및 유아의 안전사고 위험을 수반한다. 최근, 가정에서의 반신욕은 집에서 간편하게 할 수 있어 강도 저하로 인해 정기적인 신체 활동에 참여할 수 없는 고령자들의 주의를 끌고 있으며, 건강 증진 및 질병 예방 치료에 수년 동안 사용되고 있다. 일반적으로 반신욕은 약간 높은 38~40℃의 따뜻한 물에 가슴 아랫부분만 20~30분간 담그는 것을 원칙으로 하는데[12], 그러나 대부분의 고령자는 목욕 중 적절한 목욕물의 온도와 적절한 시간을 인지하지 못한다. 수온을 인지하지 못하여 41도 이상의 뜨거운 물에 들어갈 경우 혈관이

이완되고 갑작스럽게 수축되면서 협심증이나 심혈관계 질환을 악화시킬 수 있으며, 혈압과 맥박의 변동에 문제가 될 수 있다. 또한 고령자의 경우 혈압과 심박동수는 온수 욕조에 담그면 즉시 상승하기 시작하고 약 4분 후에 감소하기 시작한다[13]. 이러한 변화는 부교감 신경의 억제 없이 일시적으로 교감 신경 활동이 감소하여 저혈압 및 서맥에 의한 실신이 유발되며 심근경색 및 뇌경색을 일으킬 뿐만 아니라 궁극적으로 죽음을 초래할 수 있다. Suzuki 등은 2012년 10월부터 2013년 3월까지 일본의 도쿄도, 사가현, 야마가타 현에서 실시된 목욕 관련 사망률 조사연구를 하였다. 목욕 관련사건 중 33%가 심장 정지 사건으로 확인되었고 사망률은 남녀 모두 연령에 따라 증가하는 경향이 나타났다[17]. 이처럼 젊은 사람과 달리, 고령자는 동맥경화가 진행된 경우가 많고, 심장혈관 스트레스에 충분히 활발한 방식으로 대응할 수 없기 때문에 각별한 주의가 필요하다[14-16].

가정에서의 목욕은 고령자뿐만 아니라 신체 발달이 아직 형성되지 않은 영유아에게도 위험을 줄 수 있다. 목욕은 영유아에게 필요한 요소 중 하나이다. 1~2세 유아의 경우, 어른들보다 땀샘의 밀도가 높고 표면 적당 발한량이 2배 이상 높아 땀이 자주 발생하며 땀샘의 기능 저하로 체온을 조절하는 역할이 감소된다. 체온 조절은 생리학적인 기능으로, 체온을 정상적으로 유지하기 위해 열을 내거나 발산하여 그 균형을 조절하는 능력이다. 이를 유지하지 않으면 열 발진이 쉽게 발생하며 영유아의 피부에 땀띠와 같은 피부 질환을 유발한다[18]. 영유아는 이러한 피부 질환을 예방하기 위해 일주일에 2~3번 목욕을 통해 체온을 조절 및 청결 유지를 해주어야 하며, 일반적으로 유아의 목욕 적정 온도는 체온보다 약간 높은 37~38도를 권장한다. 영유아의 경우 면역력과 저항력이 낮으며 성인보다 피부가 약하고 온도 변화에 훨씬 더 민감하여 목욕 적정 온도 이상이 될 경우 피부에 화상을 입을 수 있다[19]. Cerovac의 연구에 따르면 뜨거운 목욕과 샤워기로 인한 화상 때문에 Stoke Mandeville Hospital (영국 Aylesbury)에 입원한 환자에 대한 검토를 수행하였다. 모든 연령대의 57명의 환자가 확인되었으며 16세 이하의 소아 그룹 중 3세 이하가 83%로 나타났다[20]. 이를

통해 목욕 중 비교적 영유아에게 화상 사고가 많이 발생하며, 특히나 영유아의 목욕물 온도에 주의를 기울여야 한다는 것을 알 수 있다.

정확한 목욕물의 수온을 측정하고 이를 모니터링 하는 것은 목욕 중 위험 사고를 예방하기 위한 중요한 요소이다. 심혈관 질병을 가진 환자 및 고령자나 영유아의 경우 자신에게 맞는 물의 온도를 충분히 고려해야 하며, 계속 온도를 확인하고 위험 온도를 알려주어야 한다. 하지만 목욕물의 온도를 유지하기 어려우며, 목욕 중 물의 온도를 계속 확인하기란 쉽지 않다. 그렇기 때문에 개인에 맞게 물의 온도를 자동으로 맞춰주고 물의 온도를 조정해주는 시스템이 필요하며, 이를 개발하기에 앞서 정확한 물의 온도를 측정해주고 모니터링 및 알람이 가능한 목욕 보조 시스템이 필요하다.

최근에 목욕물의 수온을 측정하기 위한 탕온계가 개발되고 있다. 먼저 더블하트 아날로그 탕온계(더블하트, Korea)는 욕조에 띄워서 사용 가능하며 물의 온도 측정이 가능하다. 아날로그 탕온계는 수온 온도계를 사용하여 물의 온도를 측정하는데, 0.01°C 의 낮은 오차율을 가지고 있어 정확한 수온 측정이 가능하다. 하지만 수온 온도계의 경우 팽창률이 낮아 상대적으로 눈금을 읽기가 어렵고 정확한 온도를 확인하기가 어려우며, 온도 측정 결과 대기 시간이 최대 10분으로 실시간 온도 확인이 어렵다는 단점이 있다. 또한 목욕물의 표면 수온만을 측정하기 때문에 목욕물의 내부 수온을 확인하기란 어렵다. 다른 탕온계인 카스 하마 디지털 탕온계(CAS, Korea)의 경우는 아날로그 탕온계와 달리 반도체 온도 센서를 사용하며 온도가 숫자로 표기되어 고령자들도 쉽게 확인이 가능하다. 또한 온도 측정 결과는 1~3초를 초과하지 않아 실시간 확인이 가능하다. 그러나 아날로그 탕온계와 마찬가지로 목욕물의 표면 수온만을 측정하기 때문에 목욕물의 내부 수온을 확인하기가 어렵다. 뜨거운 물의 경우에는 대류 현상으로 인해 밀도가 가벼운 뜨거운 물은 물의 표면 부분으로 올라오지만, 뜨거운 물은 열전달 현상에 의해 물보다 차가운 공기에 열을 빼앗겨 목욕물의 표면 온도는 내부 온도보다 빨리 식게 된다. 이로 인해 물의 내부 수온이 물의

표면 온도보다 높으며, 정확한 목욕물의 수온을 측정하기 위해 물의 내부 수온 측정이 요구된다.

이에 본 논문에서는 목욕물의 수온에 따른 유아의 화상 및 고령자들의 심장질환을 예방하기 위한 내부 수온 모니터링 및 위험 온도 알림 기능을 탑재한 IoT 목욕 보조 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템은 정확한 목욕물의 온도를 측정하기 위해 깊이에 따른 물의 수온 분포를 확인하여 물의 내부 온도가 표면 온도보다 높은 것을 확인하였으며, 실험 결과 및 디바이스의 사용성을 고려하여 물의 내부 온도 측정이 가능하도록 하였다. 물 위에서 안정적으로 뜰 수 있도록 원반 형태로 설계하였으며, 온도 센서를 물 표면에서부터 5cm 아래쪽에 위치하도록 설계하였다. 제안하는 시스템은 데이터 처리 및 시스템 제어를 위해 저전력 소비 마이크로컨트롤러, 목욕물의 수온을 측정하기 위해 고정밀 반도체 기반 온도 센서로 설계되었다. 디바이스는 고무링을 사용하여 방수 처리를 하였으며 구현된 온도 측정 전자 회로를 포함한 디바이스가 물 위에 뜰 수 있도록 제작하였다. 구현된 시스템은 목욕물 온도를 측정하고 블루투스 무선통신 방식으로 측정한 데이터를 제작한 앱에 전송하였다. 또한, 알람 회로가 설계되어 있어, 설정온도보다 높으면 알람이 울리도록 하였다. 성능 실험 및 비교 실험을 통해 제안한 시스템의 성능 및 효용성을 검증하였고 보정 알고리즘을 통해 정확한 온도를 도출하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 목욕 보조 시스템 구상:

본 논문에서 제안하는 목욕 보조 시스템의 개념도는 그림 1(a)와 같다. 제안한 시스템은 온도 센서 및 제어 부분이 탑재된 송신부와 측정된 온도 데이터를 모니터링 및 디바이스를 제어할 수 있는 수신부로 나누어지는데, 송신부는 목욕물 위에서 부유하며, 디바이스에 탑재된 온도 센서를 통해 물의 온도를 측정한다. 이러한 온도 센서로부터 받아들여지는 물의 온도 데이터는 MCU(Micro Controller Unit)로 전송하고 받아들여진 데이터들은 Analog Comparator를 통해서 신호처리 된다. 설계된 알고리즘을 통해서 데이터를 분석하고 이를 물의 온도로 나타내는 데이터로 처리하여, 이를 무선통신을 이용하여 스마트 폰 APP으로 전송한다. 송신부로부터 전달받은 온도 데이터는 스마트 폰 APP을 통해 실시간 모니터링이 가능하며, 위험 온도의 알람을 받을 수 있다. 또한 스마트 폰 APP을 통해 목욕 보조 시스템의 송신부를 제어 및 관리한다. 제안하는 목욕 보조 시스템은 물에 안정적으로 부유할 수 있도록 그림 1(b)와 같이 원반의 형태로 디자인한다. 정확한 물의 온도 측정을 위해 온도 센서는 물에 잠기는 디바이스의 내부에 배치하며, 이는 물의 온도를 측정하기 위한 센서로 작동된다.

2.1.1. 목욕물 온도 측정을 위한 온도 센서:

일반적으로 온도 센서는 측정 방법에 따라 크게 접촉식 센서와 비접촉식 센서로 나뉜다. 비접촉식은 피 측정 물체에서 방사되는 열에너지로부터 온도를 측정하는 방식으로, 측정 물체에 직접적으로 접촉하지 않음에 따라, 측정 물체의 온도 변화가 없고, 고온에서의 측정이 가능하다. 또한 빠른

응답 속도를 가지므로 움직이는 물체에 대한 온도측정이 가능하다. 하지만 비접촉식 방식의 경우 부피가 크고, 고가이며, 물의 표면만 측정하기 때문에 물의 내부온도를 측정하지 못하는 단점이 있다. 목욕물 온도를 측정하기 위해서는 외부온도와의 단열이 되어야 하며, 온도 센서 전체에 물의 온도가 전달되어야 정확한 목욕물의 온도를 측정할 수 있다. 접촉식은 온도를 측정하는 센서의 감온지점이 피 측정 물체에 직접 접촉되는 방식으로, 피 측정물체 온도를 정확하게 검출하기 위해서는 충분한 접촉면이 필요하다. 구조적으로 열이 전도되어야 하는 전달 경로를 갖고 있으며, 빠른 응답 특성을 얻기 어렵고 상대적으로 긴 지연시간을 가진다. 그러나 접촉식 방식은 피 측정 물체에 직접 접촉하여 정확한 온도 측정이 가능하며, 또한 부피가 작아 IoT 디바이스를 제작하는 데 있어 적합하다.

정확한 목욕물 온도의 측정을 위해서 가장 좋은 방법은 접촉식 방식인 측온저항체(RTD; Resistance temperature detectors)를 사용하는 것이다. 측온저항체는 온도에 따라 금속의 전기저항이 변화하는 것을 이용하여 온도를 측정하는 장치이며, 온도 센서 중에서 가장 안정도가 좋으며, 정밀온도 측정에 이용된다. 측온저항체에 사용되는 금속은 백금, 니켈, 구리 등이 있으며, 그중 백금은 타 금속에 비하여 온도계수가 직선의 형태로 변화하며 중량이 가볍고 물리적, 화학적 성질이 우수하여 따라서 장기간 안정적이고 정확한 온도측정에 유리하다. 하지만 다른 접촉식 센서들보다 가장 고가이며, 부피가 크다는 단점이 있다. 그밖에 물의 온도를 측정할 수 있는 소형 및 저가의 센서로는 열전대와 써미스터, 반도체가 있다. 열전대 센서는 온도에 따라 기전력이 변화하며 이를 통해 온도를 측정하는 장치이다. 열전대 온도 센서는 구조가 간단하고 가격이 저렴하며, 내구성이 강하고 비교적 정확하게 온도 측정이 가능하다. 하지만 감도가 낮고 장기적인 안정성에 취약하며, 기준점(cold junction)의 측정이 필요하다는 단점이 있다. 써미스터의 경우 가장 일반적으로 사용되며 가장 저렴한 온도 센서이지만, RTD 센서보다 정확도가 약하며 정기적 안정성, 호환성 부분에서 취약하다. 또한 비선형이며 자연 발열이 높다는 단점이 있다. 한편, 반도체

체 온도 센서는 실리콘 트랜지스터의 온도 의존성을 응용한 것으로, 트랜지스터의 베이스, 에미터 사이의 전압이 온도 변화에 대해 거의 직선적으로 변화되는 현상을 응용한 것이다. 여러 가지 신호 회로와 감온소자가 일체화되어 있기 때문에 외부에서의 회로 조작을 거의 필요로 하지 않으며, 쉽게 기존 시스템에 통합할 수 있다. 또한 가격이 저렴하고 출력 신호가 높으며, 많은 인터페이스 유형에서 사용이 가능하여 IoT 시스템 개발에 적합하다.

정확한 목욕물의 수온을 측정하기 위한 온도 센서는 정확도가 높으면서도 소형으로 제작하기 위해 반도체 센서를 사용하는 것이 바람직하다. 온도 센서는 아날로그와 디지털의 두 가지 형태의 출력신호를 가진다. 아날로그 출력의 온도 센서는 동작을 위해 주변에 부가적인 회로가 필요하며 출력신호에 대한 온도 보정이 필요한 단점이 있으나 센서의 크기가 소형인 장점이 있다. 디지털 출력 온도 센서의 경우 별도의 부가 회로와 온도 보정을 필요로 하지 않는 장점이 있으나 일반적으로 실리콘 칩 형태이므로 수온 측정 시 주변 온도 변화에 영향을 받는다[21]. 본 논문에서는 출력신호에 대한 별도의 온도 보정이 필요 없이 동작 가능한 반도체 타입의 온도 센서인 Si7021(Silicon Lab, USA)를 사용한다. Si7021은 12bit의 온도 해상도를 가지고 있으며, I2C 통신을 통해 데이터를 출력한다. 다른 온도 센서보다 $-40^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ 의 좁은 작동범위를 가지지만 목욕물 온도를 측정하기에는 충분하며, 특히 온도 측정 시 1Hz 샘플링 속도 및 $-10^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ 에서 약 $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 의 작은 오차를 가지고 있어 이는 낮은 전력 소비로 수온을 정확하게 측정하는 데 기여한다. 또한 내부에 온 칩 히터가 장착되어있어 자체 발열이 없으며, 목욕물과 같은 높은 온도에서의 사용에 적합하다.

2.2. 물의 깊이에 따른 수온 분포:

대류는 열을 전달하는 대표적인 방법으로, 가열된 유체가 열원으로부터

떨어지면서 에너지를 운반할 때 공기 또는 물과 같은 유체의 질량 운동에 의한 열전달이다. 뜨거운 표면 위의 대류는 뜨거운 공기가 팽창하여 밀도가 낮아지고 상승하기 때문에 발생한다. 마찬가지로 뜨거운 목욕물에서 냉수보다 밀도가 낮은 온수는 상승하게 되고 더 시원하고 밀도가 높은 물은 아래로 가라앉는다[22]. 즉, 물의 온도변화에 따른 밀도 차이로 인하여 온도가 높은 물이 상부에 위치하고, 하부에는 온도가 낮은 물이 위치하게 된다. 그러나 물체 간의 직접적인 접촉을 통하여 열이 전달되는 열전달 현상에 따르면, 공기보다 뜨거운 물의 표면에서 열이 빠르게 소실되어 목욕물의 표면과 내부 사이의 수온 차이가 발생한다. 다시 말하면, 온수에서 물의 표면 온도는 물의 내부 온도보다 낮다. 따라서 본 논문에서는 온수의 표면과 내부의 온도 차이에 대한 상기 이론을 검증하기 위해, 실제 온수를 통해 깊이가 다른 수온을 측정하여 깊이와 온도 변화의 관계를 찾는 실험을 수행하였다.

2.2.1. 목욕물의 깊이에 따른 수온 분포 실험:

시스템 개발에 앞서, 깊이에 따른 수온 분포를 확인하고 정확한 목욕물의 온도 측정을 위한 실험을 진행한다. 온도 측정을 위해 Si7021 센서를 사용하며, 각각의 깊이에 따른 수온 측정을 위해 센서 6개를 사용하였다. 실험은 30 x 60 x 45cm 크기의 어항에서 진행되며 물의 높이는 30cm로 설정한다. 센서는 5cm 간격으로 물의 표면에서부터 0cm, 5cm, 10cm, 15cm, 20cm, 25cm에 각각 배치하며 서로 다른 위치에서 물의 온도를 측정한다. 6개의 온도 센서를 동시에 동작시키고 데이터를 받기 위해 PCA9547 멀티플렉서를 사용한다. PCA9547는 I2C 버스로 제어되는 8진 양방향 변환 멀티플렉서이다. 8개 채널로 확장되며 I2C 버스에서 여러 장치를 함께 연결하고 각 장치와 개별적으로 고속 통신이 가능하다. 물의 온도는 반신욕을 할 때 가장 적정 온도인 40℃로 설정하였으며, 온도 설정을 위해

0.1℃의 분해능을 가지고 있는 온도측정 장치 Thermometer TES 1300(TES, Taiwan)를 사용한다. TES 1300은 -50℃~+1300℃의 온도 범위에서 0.3℃의 해상도로 온도 측정이 가능하다. 그림 3에 도시된 바와 같이, TES 1300의 K-타입 열전대를 20cm 깊이에 고정한다. 측정을 위하여 온도 센서를 물속에 넣은 후 온도가 안정화되면 동시에 동작 시켜 실험을 진행한다. 온도 센서는 1초 간격으로 물의 온도를 측정하고 측정된 온도 데이터를 전송하였다. 30분 동안 측정하였으며 5분마다 온도 값을 기입하고 저장하였다.

그림 4는 5cm 깊이 간격으로 배치된 6개 온도 센서의 온도 측정값을 보여준다. 측정된 온도 값은 목욕물의 0cm에서 20cm까지는 수온이 상승하다가 20cm 깊이에서부터 수온이 떨어지고, 가장 깊은 곳인 25cm에서 수온이 가장 낮게 나타났다. 이는 물의 대류 현상에 의해 차가운 물은 아래로 가라앉고 뜨거운 밀도가 가벼워 위로 올라가기 때문이다. 하지만 물의 표면 수온은 25cm 깊이에서의 수온을 제외하고 가장 낮게 나타났다. 이 결과를 통해 물의 내부 온도가 물의 표면 온도보다 높은 것을 확인할 수 있으며, 이는 앞에서 설명했듯이 뜨거운 물은 밀도가 높아 물 위로 올라가지만 앞서 설명한 열전달로 인해 물보다 낮은 온도를 가진 공기에 의해 물의 표면 온도가 내려가기 때문이다. 이를 통해 물의 표면 온도와 내부 온도의 차이를 확인하였으며, 정확한 물의 온도를 측정하기 위해서는 물의 내부 수온을 측정해야 한다.

2.2.2. 5cm 깊이에서의 온도 센서 검증 실험:

위의 실험 결과, 평균 수온은 10cm~20cm 깊이에서 가장 높게 나타났다. 그러나 10cm~20cm 깊이에서 수온을 측정하기 위해서는 목욕 보조 시스템의 크기가 커져야 하는 불편함이 있다. 본 연구에서는 디바이스의 크기 및 사용성을 고려하여 물의 5cm 깊이에서 수온을 측정하도록 하였으며, 5cm 깊

이에서 온도 센서의 성능 및 안정성을 검증하기 위해 센서 성능 실험을 진행한다. 그림 5와 같이 동일한 6개의 Si7021 센서를 사용하며, 5cm 깊이의 동일한 깊이에 배치하였다. 동시에 수온을 측정하기 위해 Multiplexer Module을 사용하여 6개의 센서를 연결하며, 온도 설정을 위해 TES 1300 온도계를 사용하였다. 실험 환경은 위의 실험과 동일하게 설정하였으며, 온도 센서는 1초 간격으로 물의 온도를 측정하고 측정된 온도 데이터를 전송하였다.

그림 6는 동일한 깊이에서 측정된 6개의 온도 센서의 온도 측정값을 보여준다. 5cm 깊이에서 측정된 온도를 시간에 따라 비교하였으며, 6개의 센서 모두 시간이 지남에 따라 거의 일정하게 감소하였다. 센서 간의 오차는 평균 0.01°C 로 거의 동일한 온도 값을 확인 할 수 있었으며 이를 통해 5cm 깊이에서 온도 센서의 안전성을 확인하였다. 따라서 본 논문에서는 목욕물의 정확한 수온 측정을 위해 물의 표면에서 5cm 깊이의 수온을 측정하도록 선정하였다.

2.3. 시스템 설계:

2.3.1. MCU 설계:

본 연구에서 제안하는 수온 모니터링 목욕 보조 시스템의 기본적인 구성도는 그림 7과 같다. 전체 시스템은 목욕물의 수온을 측정하는 센서부, 측정 데이터를 처리 및 제어하고, 무선 송신부를 포함한 제어부 및 수온을 모니터링하는 어플리케이션의 세 부분으로 구성한다. 수온 측정용 센서부는 온도 센서로 구성되며, Si7021을 사용하였다. 목욕물의 온도를 측정하기 위해 디바이스 아랫부분에 배치된 온도 센서는 온도 데이터를 측정하며, 센서를 통해 측정되는 온도 데이터는 제어부로 전달한다. 제어부에서는 온도 센서의 동작을 제어하고 데이터를 분석 및 가공하여 전송하는 무

선 송신부가 포함된 마이크로컨트롤러로 구성된다. 마이크로컨트롤러는 대부분의 전자제품에 사용되고 전자제품의 두뇌 역할을 하는 핵심 칩으로 다양한 특성을 제어하는 역할을 하는 비메모리 반도체이다[23]. 본 연구에서 목욕 보조 시스템을 구현하기 위해 ARM(Acorn RISC Machine) Cortex M3 아키텍처로 설계된 32비트 EFM32GG940F1024(Silicons Lab, USA) 마이크로컨트롤러를 사용하였다. Cortex M3을 기반으로 하는 MCU는 DSP(Digital Signal Processing) 명령 세트를 포함하며 빠른 계산 성능을 위한 FLO(Floating Point Unit)를 포함한다. EFM32GG940F1024은 256kB의 플래시 메모리, 32kB의 RAM 및 최대 48MHz의 CPU 속도를 제공하며, 알고리즘을 내장하여 실시간으로 수온 데이터를 처리하고 분석하는 데 적합하다. 또한 낮은 전력 소모, 빠른 웨이크업 시간 등 저 전력 플랫폼을 내장하고 있어 장시간 사용을 가능하게 하며, 다수의 I/O(Input/Output) 포트와 다중 통신 인터페이스를 포함하고 있어 여러 주변 장치를 연결하여 사용하기에 적합하다.

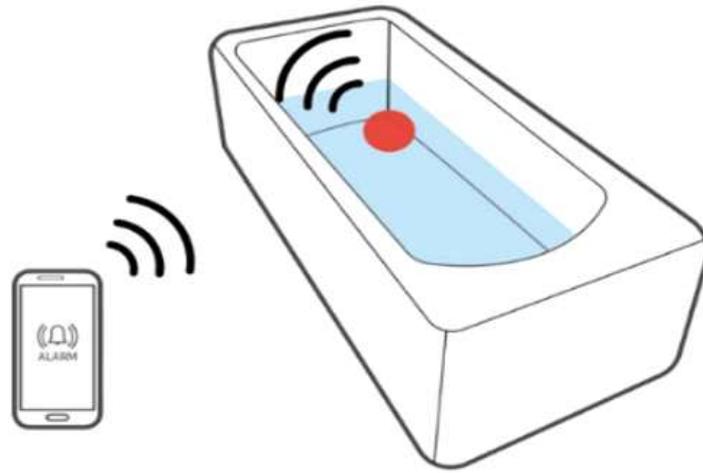
2.3.2. 케이스 설계:

그림 8은 제안된 온도 측정 시스템 및 케이스를 조립하기에 앞서 설계한 케이스 3D 모델이다. 케이스는 스피커 및 스위치를 고정하기 위한 상단 공간과 충전식 배터리, PCB, 온도 센서 등을 고정하기 위한 공간으로 설계된다. 상단 케이스는 전원 스위치 구멍 및 스피커 구멍으로 설계되었으며, 하단 케이스에는 고무 패킹을 위한 구멍을 설계하여 케이스의 방수를 통해 장치 내부의 PCB, 배터리 등을 보호하도록 하였다. 또한 앞선 목욕물의 깊이 따른 온도 실험을 통해 물의 표면 온도가 물의 내부 온도보다 낮은 것을 확인하였다. 정확한 수온 측정을 위해 온도 센서는 물의 내부 온도를 측정할 수 있도록 하단 케이스 가장 아랫부분에 고정될 수 있도록 설계하였으며, 디바이스 전체 크기를 고려하여 온도 센서가 물의 표면에서 5cm

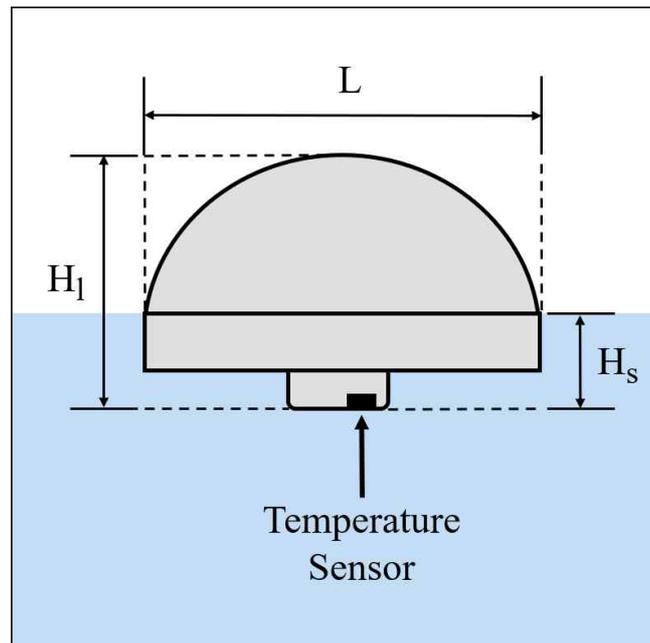
깊이를 측정하도록 설계하였다. 수온 측정 시 케이스의 방해를 최소화하기 위해 온도 측정 센서 부분만 구멍을 설계하였다.

2.3.3. Bluetooth 무선통신:

마이크로컨트롤러에 의해 처리된 온도 데이터를 스마트폰 앱으로 전송하기 위해 무선통신 방식인 블루투스를 이용한다. 블루투스는 연결 케이블 없이 전파를 사용하여 데이터를 주고받기 위한 규격을 말하며 데이터 송수신을 위한 저출력, 좁은 범위에서의 무선 통신 기술이다. 이는 휴대폰, 노트북, PC, 휴대 장치 단말기 사이에서 정보를 교환을 가능하게 하며 주로 10m 안팎의 초단거리에서 저 전력 무선 연결이 필요할 때 쓰인다[24]. 본 연구에서는 제안한 목욕 보조 시스템의 디바이스와 스마트폰 앱을 무선으로 연결하고 데이터를 송수신하기 위해 블루투스 모듈 BC127(Blue Creation, USA)을 사용하였다. BC127은 블루투스 모듈 5.0 버전으로 최대 데이터 전송속도 3Mbps, 최대 전송 거리 30m를 가지고 있어 실시간으로 집 내부 어디에서나 목욕물의 온도를 모니터링하기에 적합하다. 또한 오디오 스트리밍을 위한 고성능 블루투스 코덱을 내장하고 있는데, 이는 16비트의 해상도 및 8KHz ~ 90KHz의 출력 샘플 속도를 가지고 있으며 디바이스에 장착된 스피커를 통해 위험 온도 알람 및 노래 재생이 가능하다. 무면허로 이용 가능한 2.4GHz의 ISM(Industrial Scientific Medical) 주파수 대역을 가지며, 대역폭 1MHz의 채널을 79개로 설정해 1초에 1600번 채널을 바꾸는 주파수 호핑 방식의 스펙트럼 확산 기술을 사용하여 무선 전송에 따른 보안 위협에서도 상대적으로 안전하다. 특히 블루투스는 저렴한 가격에 저 전력(100mW)으로 사용할 수 있으므로 장시간 사용이 요구되는 목욕 보조 시스템의 효율을 향상 시킬 수 있다.



(a)



(b)

그림 1. 실시간 목욕물의 수온 모니터링이 가능한 목욕 보조 시스템
 개념도 (a) 기본 아이디어, (b) 제안한 목욕 보조 시스템의 설계도

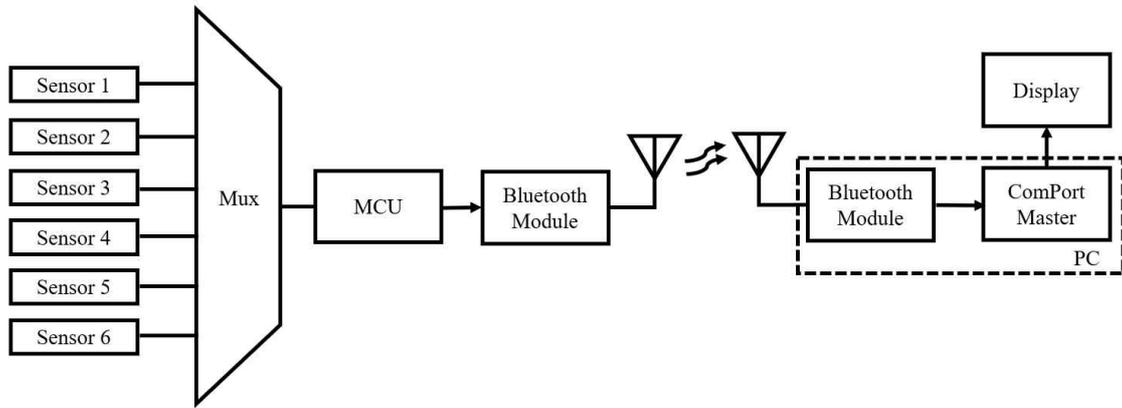


그림 2. 값이에 따른 수온 분포를 확인하기 위한 실험 개념도

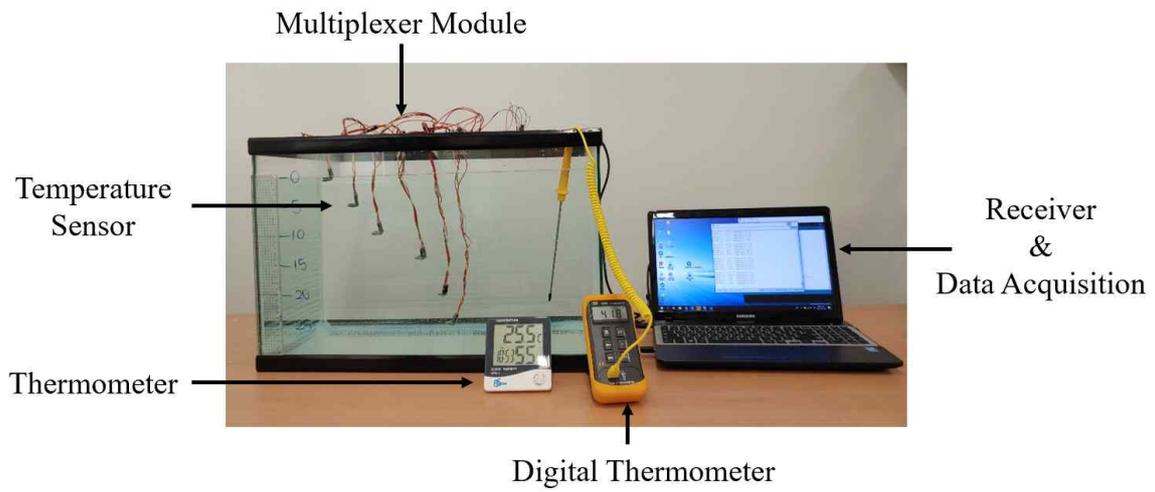
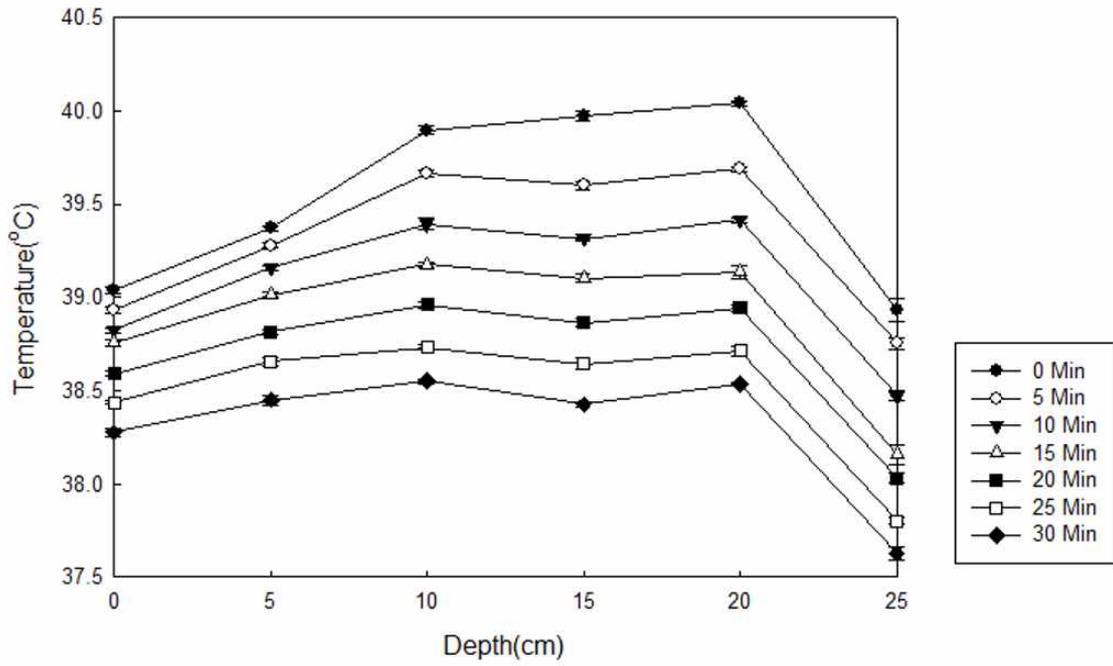
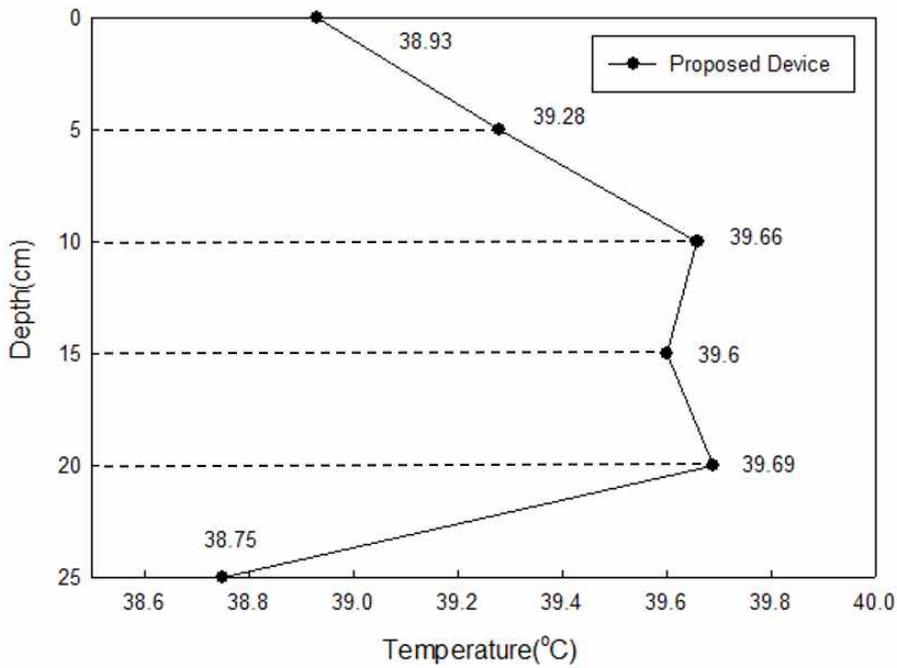


그림 3. 깊이에 따른 수온 분포를 확인하기 위한 실험



(a)



(b)

그림 4. 깊이에 따른 수온 분포 그래프 (a) 6개의 센서로 측정된 온도 값,
(b) 40°C에서 측정된 온도 값

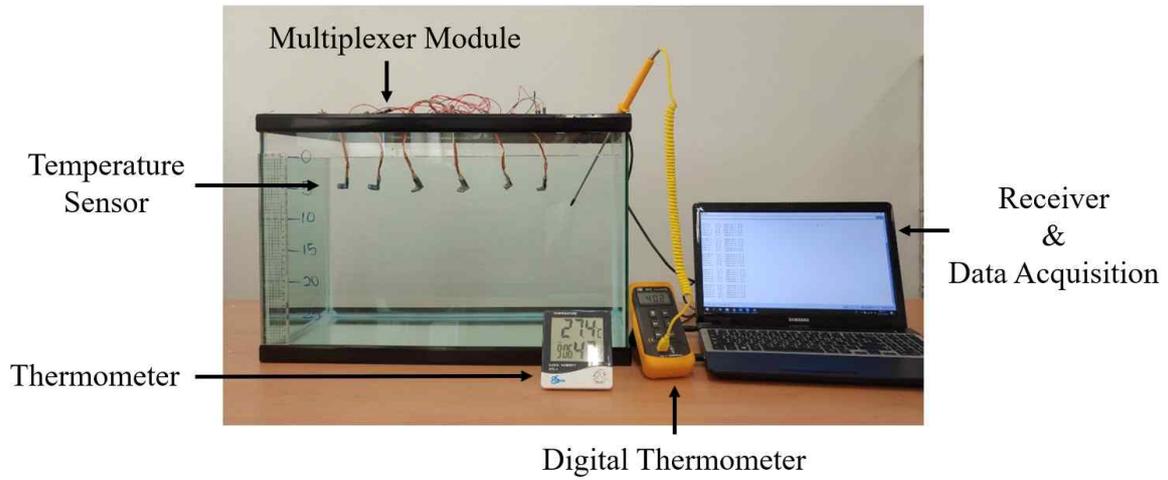


그림 5. 동일한 5cm 깊이에서의 온도 센서의 성능 검증 실험

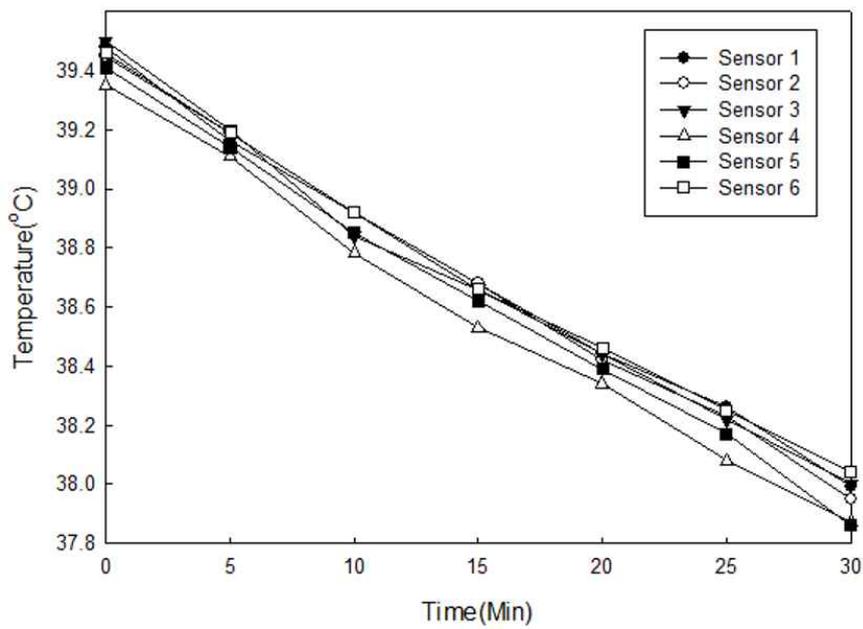


그림 6. 동일한 5cm 깊이에서 측정된 온도 값

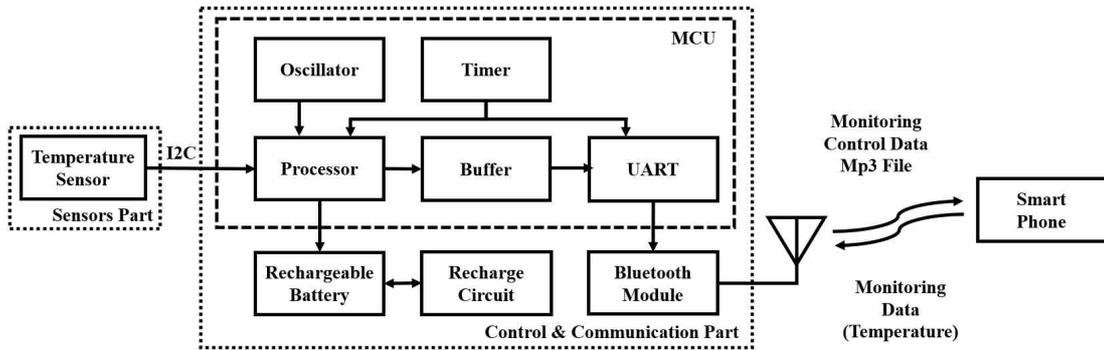


그림 7. 제안한 스마트 목욕 보조 시스템 구상도

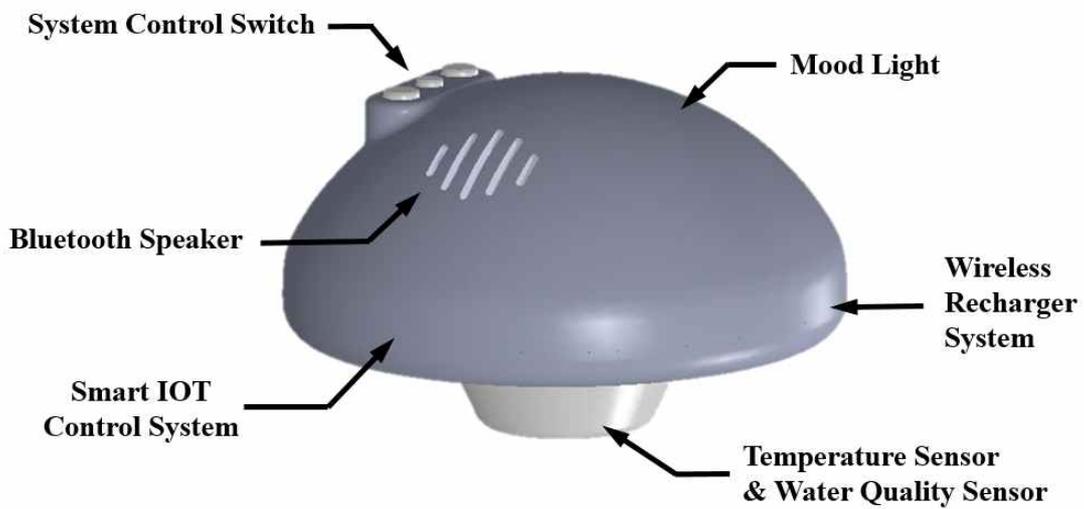


그림 8. 제안한 스마트 목욕 보조 시스템 3D 모델링

3. 성 적

3.1. PCB 및 목욕 보조 시스템 케이스 제작:

3.1.1. PCB 제작:

제안한 스마트 목욕 보조 시스템을 구현하기 위해서 ORCAD(Cadence, USA)를 이용하여 제안한 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.

그림 9는 제작된 목욕 보조 시스템의 PCB를 보여준다. 하나는 시스템 제어를 위한 마이크로컨트롤러, 블루투스 모듈, 오디오 코덱, USB 충전, 디버그 헤더를 장착하기 위한 메인보드이며, 다른 하나는 온도 센서가 있는 센서 보드이다. PCB의 바깥을 둘러싸고 있는 부분이 메인보드이다. 제작된 목욕 보조 시스템의 PCB는 케이스에 고정될 수 있도록 설계하였으며, 직경 10cm 원형으로 제작되었다. 제안한 목욕 보조 시스템은 물에서 사용되기 때문에 방수가 가장 중요하다. 이에 목욕 보조 시스템의 배터리 재충전을 위해 무선 충전 방식을 선택하였으며, 무선 충전 회로를 메인보드 중반부에 배치하였다. 또한, 전자 부품의 전기적 영향을 방지하도록 블루투스 모듈에 내장된 2.4GHz 안테나가 MCU와 멀리 떨어지게 설계하였다. PCB 안쪽의 원형 부분은 수온을 측정하는 센서 보드이며 온도 센서 및 I2C pull-up 회로로 구성된다. 그 크기는 직경 3cm 원형으로 제작되었으며 물의 온도를 측정하기 위해 온도 센서를 제외한 모든 부품을 윗면에 부착하고 측정용 센서만 아랫면에 부착하였다. 모든 PCB는 4층 구조로 제작되었으며 소자의 크기는 두 회로 기판 모두 1608 사이즈를 사용하였다. 제작된 PCB의 두 보드는 최종적으로 분리되어 사용되며, 두 회로 기판의 연결 및 동작 확인을

위해 TP(Test Point)를 마련하였으며 이를 통해 연결하였다.

3.1.2. 목욕 보조 시스템 케이스 제작:

본 연구에서 스마트 목욕 보조 시스템 케이스는 3D 모델링 프로그램 (Solidworks)을 사용하여 설계하였으며, 3D 모델링 프로그램 Solidworks는 3D 디자인 프로그램 중 하나로 솔리드 및 서피스(Solid & Surface)를 기반으로 하는 3D CAD 소프트웨어이다[25]. 그림 10은 제작된 스마트 목욕 보조 시스템의 케이스 사진이다. 케이스는 직경은 12cm, 높이는 7.3cm이며 온도 센서는 물의 표면 온도와 내부 온도의 차이를 고려하여 물 내부의 온도를 측정할 수 있도록 물 표면에서부터 5cm 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.

그림 11은 목욕물 수온 측정 내부 회로 및 케이스, 각종 스피커, 배터리 등과 같은 부품을 조립한 사진이다. 무게 중심을 위해 케이스 중반부에 PCB를 배치하였고 물의 온도 측정을 위해 하단부에 온도 센서를 배치하였다. 온도 센서는 방수 처리를 위해 온도 측정 부분을 제외한 모든 부분에 에폭시를 사용하여 코팅 처리를 하였으며 온도 측정을 하는 센서 부분에 얇은 아크릴판을 사용하여 수온 측정 시 케이스의 방해를 최소화하도록 하였다. 조립된 디바이스는 물에 넣어도 장치 내부 PCB 및 배터리에 이상이 없도록 케이스의 상단과 하단의 조립부 및 모든 나사 부분에 고무 패킹 방식을 사용하여 방수 처리를 하였다.

3.1.3. 목욕 보조 시스템 어플리케이션 제작:

본 연구에서는 실시간 수온 모니터링 및 위험 알람 등 디스플레이와 전체적인 목욕 보조 디바이스 제어를 위해 안드로이드 기반 목욕 보조 시스템 앱을 구현하였다. 안드로이드는 구글에서 만든 스마트폰 운영체제이다. 안드로이드 플랫폼은 오픈소스 운영체제인 리눅스를 기반으로 하고 있으며, 응용 소프트웨어 작업 환경은 자바 언어를 사용하여 시스템 자원 및 각종 장치를 운용하는 리눅스 커널 위에 안드로이드 어플리케이션을 실행한다 [26]. 앱 구현을 위해 프로그램인 Android Studio(Cadence, USA)를 이용하였다. 앱은 블루투스 무선통신 방식을 사용해 목욕 보조 디바이스와 연결된다. 그림 12는 제작된 스마트 목욕 보조 시스템 어플리케이션 메인 화면이다. 본 연구에서 구현한 목욕 보조 시스템 어플리케이션은 정확한 수온 모니터링을 위해 수온을 한눈에 확인할 수 있도록 숫자로 표시하여 실시간 모니터링이 가능하도록 구현하였으며, 위험 온도를 설정하여 위험 온도가 되면 알람을 울리도록 설정하였다. 그뿐만 아니라 부가적인 기능으로는 노래 재생을 위한 뮤직 플레이어, 목욕물의 색상을 단계별로 보여주는 수질 모니터링, 목욕 시간을 측정하기 위한 타이머, 무드 등이 있다.

3.2. 목욕 보조 시스템 검증:

3.2.1. 챔버를 이용한 온도에 따른 시스템 검증:

제작된 목욕 보조 시스템의 안정성을 검증하기 위해서 온도 및 습도 챔버(T2, YMRTC)를 이용하여 실험을 진행하였다. 목욕 보조 시스템의 측정값을 비교하기 위해 디지털 온도계 HTC-1 (GRAPHTEC, USA)를 사용하였다. 챔버의 온도 센서는 챔버의 상단에 고정되어 있기 때문에 챔버 디스플레이의 온도 값은 제안된 무선 온도 측정 장치의 측정값을 비교하기에 적합하지 않았으며, 동일한 위치에 배치가 가능한 디지털 온도계를 선택하였다. 비교를 위해 HTC-1을 챔버 내부의 목욕 보조 시스템 바로 옆에 배치하였다.

HTC-1은 공기 중 온도 및 습도를 측정하는 장치로 LCD 디스플레이 화면에 현재 온도와 상대 습도가 동시에 표시된다. $-50\sim 70^{\circ}\text{C}$ 사이의 온도 범위를 가지고 있으며, $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 의 정확도와 0.1°C 의 분해능을 가지고 있다. 챔버의 내부의 초기 온도는 15°C 로 설정하였다. 30분마다 5°C 씩 증가시켰으며, 40°C 까지 증가시켰다.

그림 14은 온도 측정 성능 테스트에서 제작된 목욕 보조 시스템과 디지털 온도계를 비교한 실험 결과이다. 목욕 보조 시스템으로 측정 한 온도 값은 디지털 온도계로 측정된 값보다 설정온도 15°C 에서 2°C 높게 나타났다. 챔버 온도가 증가하면서 두 측정값의 차이가 점차 감소하는 것을 확인하였으며, 설정온도 45°C 에서는 0.18°C 차이를 보였다. 이는 빠른 열 소산이 금지되는 경우 온도 센서가 목욕 보조 시스템 PCB의 전자 부품의 강한 열에 의해 쉽게 영향을 받기 때문이다. 이를 통해 제작된 목욕 보조 시스템에 탑재된 온도 센서가 온도 변화에도 안정적으로 온도 값이 변화하는 것을 확인할 수 있으며, 목욕물의 수온과 유사한 높은 온도에서도 안정적으로 작동하는 것을 확인하였다.

3.2.2. 목욕 보조 시스템 성능 비교 검증:

제작된 목욕 보조 시스템의 성능을 검증하고 그 효용성을 확인하기 위해서 비교 실험을 수행하였다. 제안된 시스템과 비교를 위해 일반적으로 사용되어지고 있는 아날로그 탭온계 및 온도 측정 장치를 사용하였다. 실험은 그림 15와 같이 진행된다. 제안된 시스템 및 온도 측정 장치는 5cm 깊이의 내부 수온을 측정하며, 아날로그 탭온계는 1cm 깊이의 표면 수온을 측정한다. 실험이 시작되기 전, 세 장치 모두 안정화를 위해 5분 동안 물 속에 두었으며 온도 측정 장치의 온도가 40°C 에 도달했을 때 수온을 측정하였다. 실험은 30분 동안 수행되었고 측정 데이터는 이전 실험에서와 마찬가지로 5분마다 기록되었다. 실험 환경에 대한 온도 및 습도는 각각

26.6℃ 및 51%로 유지하였으며 환경 모니터링을 위해 실내 온도계인 MOG-HTC1(BS Basic, Korea)를 사용하였다.

그림 16(a)는 세 가지 장치로 측정된 수온 값에 대한 그래프이다. 디지털 온도측정 장치로 측정한 온도 값이 가장 높게 나타났으며, 제안한 시스템으로 측정한 온도 값이 가장 낮게 나타났다. 또한 세 가지 장치 모두 40℃로 설정된 물에서 시간이 지남에 따라 수온이 낮아지는 것을 확인 하였다. 그러나 제안한 시스템 및 디지털 온도 장치는 수온이 선형적으로 낮아지지만 아날로그 탕온계의 경우는 비선형적으로 낮아지는 것을 알 수 있다. 또한 결과 그래프를 통해 수온이 선형적으로 감소하는 제안한 시스템 및 디지털 온도 측정 장치의 경우 평균 0.63℃의 차이로 일정하게 유지하며 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과 값은 두 장치간의 상관관계가 있음을 나타내며 본 연구에서는 두 장치의 상관관계를 파악하기 위해 산포도를 도출하였다.

그림 16(b)는 제안한 시스템과 디지털 온도 측정 장치로 측정된 두 온도 값의 산포도 결과를 보여준다. 그래프에서 왼쪽 축은 제안한 시스템으로 측정된 온도 값을 나타내고 아래 축은 디지털 온도 측정 장치로 측정된 온도 값을 나타낸다. 산포도 도출 결과 0.999로, 두 장치로 측정된 온도 값이 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 이 결과를 바탕으로 본 연구에서는 정확한 목욕물 수온 측정을 위해 온도 보상이 필요하다.

3.2.3. 보상 알고리즘:

정확한 온도 데이터를 나타내기 위해서 측정된 물의 온도 데이터는 1차 선형 방정식을 이용하여 설계한다. 구현된 시스템은 디지털 온도계로 측정된 온도 값과 유사하게 감소하기 때문에 두 장치에서 측정된 측정값의 차이를 계산하여 정확한 물의 온도 값을 유도할 수 있다. A_T 는 아날로그 온도계로 측정된 온도 값이며 아날로그 온도계는 가독성에 의한 오차 값을

포함한다. D_T 는 디지털 온도계로 측정된 온도 값이며 0.2°C 오차 값을 가진다. P_T 는 제안한 시스템으로 측정된 온도 값이며 온도 센서의 오차 값과 아크릴판에 의해 차단된 열에 의해 생긴 오차 값을 포함한다.

$$A_T = T_{\text{surface}} + \text{Error}_{\text{scale}} \quad (1)$$

$$D_T = T_{5\text{cm}} + \text{Error}_{\text{Digital thermometer}} \quad (2)$$

$$P_T = T_{5\text{cm}} + \text{Error}_{\text{Proposed system}} + \text{Error}_{\text{acrylic}} \quad (3)$$

동일한 5cm 깊이에서 측정된 제안한 시스템과 디지털 온도계로 측정된 온도 값의 상관관계 분석을 통해 두 장치로 측정된 온도 값이 거의 일치하는 것을 확인하였으며, 식(4)와 같이 두 장치에서 측정된 온도 값은 평균적으로 0.63°C 차이를 보였다. 제안한 시스템으로 측정된 온도 값에 보상 알고리즘을 적용하였으며, W_{TS} 는 보상 값이 적용된 온도 데이터 값이다.

$$D_T - P_T = 0.63_{\text{average}} \quad (4)$$

$$P_T + 0.63_{\text{average}} = W_{TS} \quad (5)$$

그 결과, 구현된 시스템으로 측정된 온도가 아날로그 탕온계로 측정된 온도보다 높게 나타났으며, 결과적으로 식(7)와 같이 물의 내부온도가 물의 표면 온도보다 높은 것을 알 수 있다.

$$A_T < W_{TS} \quad (6)$$

$$\therefore T_{\text{surface}} < T_{5\text{cm}} \quad (7)$$

그림 17(a)는 제안한 시스템에 온도 보상 알고리즘을 적용한 후, 세 가지 장치를 비교한 실험결과이다. 먼저 온도 보상 전과 달리, 온도 보상을 적용한 목욕 보조 시스템으로 측정된 온도 값은 아날로그 탕온계로 측정된 온도 값보다 높게 나타났다. 이는 앞서 수행한 깊이에 따른 수온을 확인한 실험의 결과와 일치하며, 물의 내부 수온이 표면 수온과 비교하여 상대적으로 높게 나타났다. 또한 장치의 오차 값은 그림17의 (b)와 같이 평균

0.04℃로, 온도 보상을 적용한 목욕 보조 시스템과 온도 측정 시스템으로 측정한 온도 값이 거의 일치하는 것을 확인하였다.

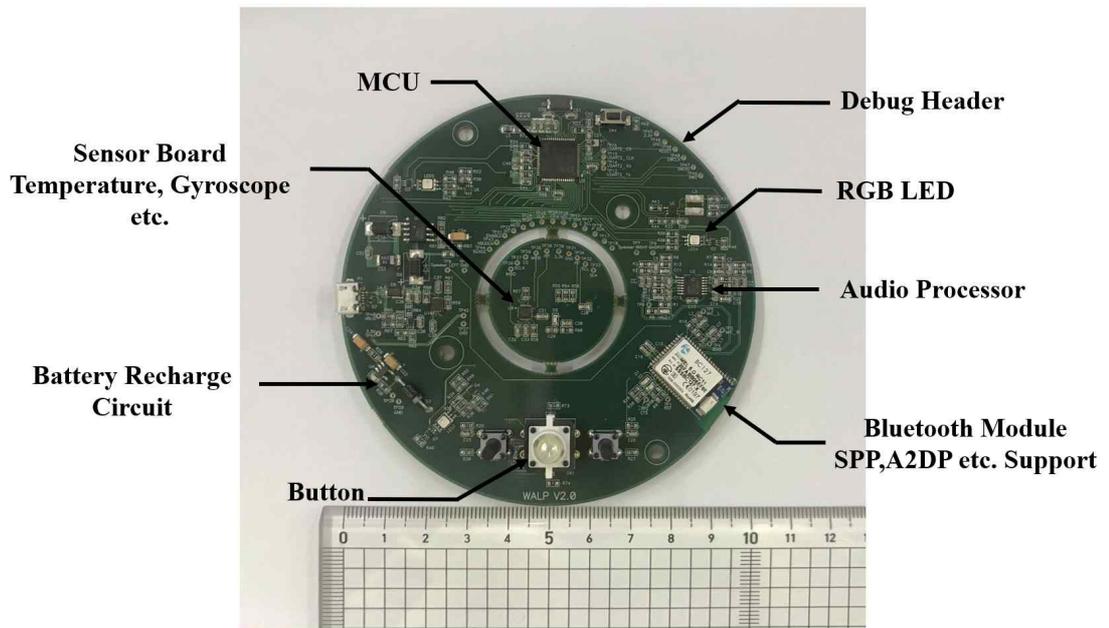


그림 9. 제작된 수온 측정이 가능한 스마트 목욕 보조 시스템 PCB

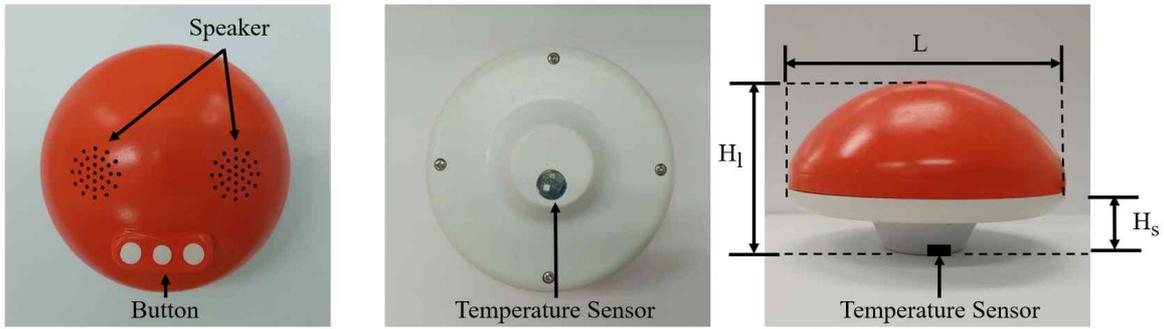


그림 10. 제작된 스마트 목욕 보조 시스템 케이스

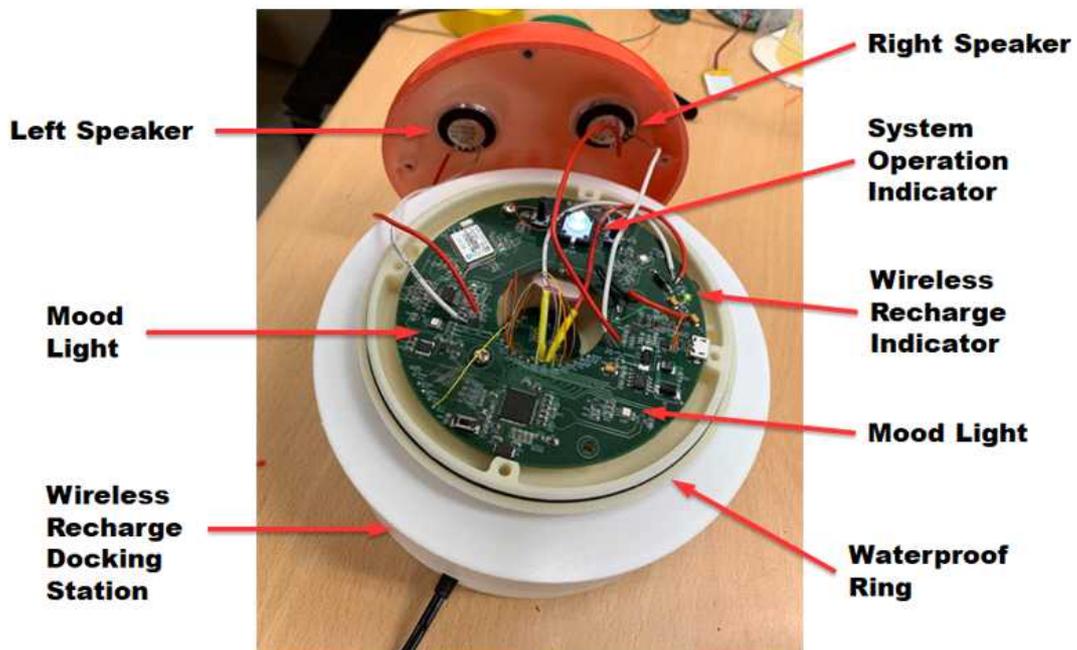


그림 11. 스마트 목욕 보조 시스템 및 케이스 조립

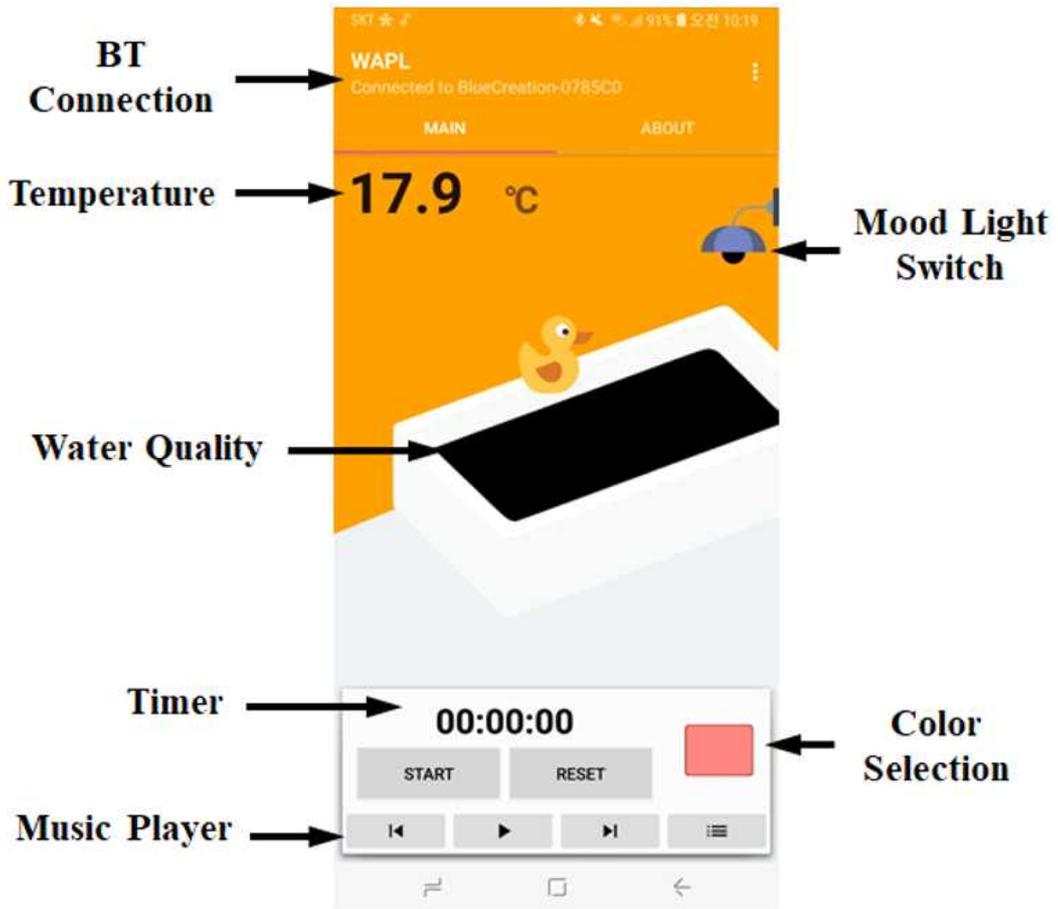


그림 12. 제작된 스마트 목욕 보조 시스템 어플리케이션

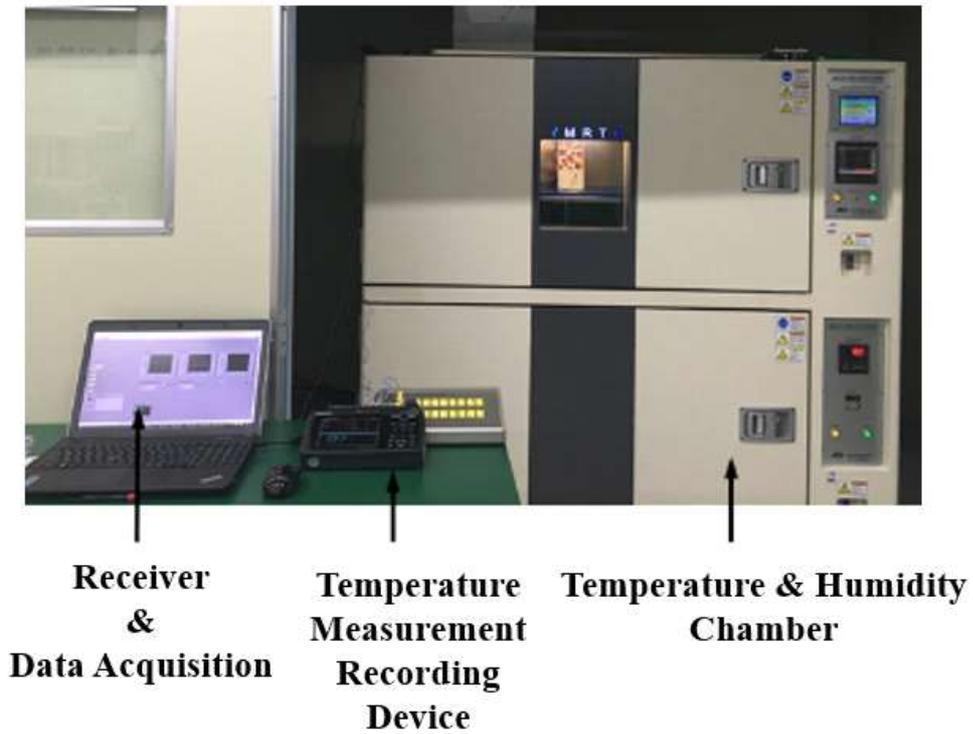


그림 13. 챔버를 이용한 온도에 따른 시스템 안정성 검증

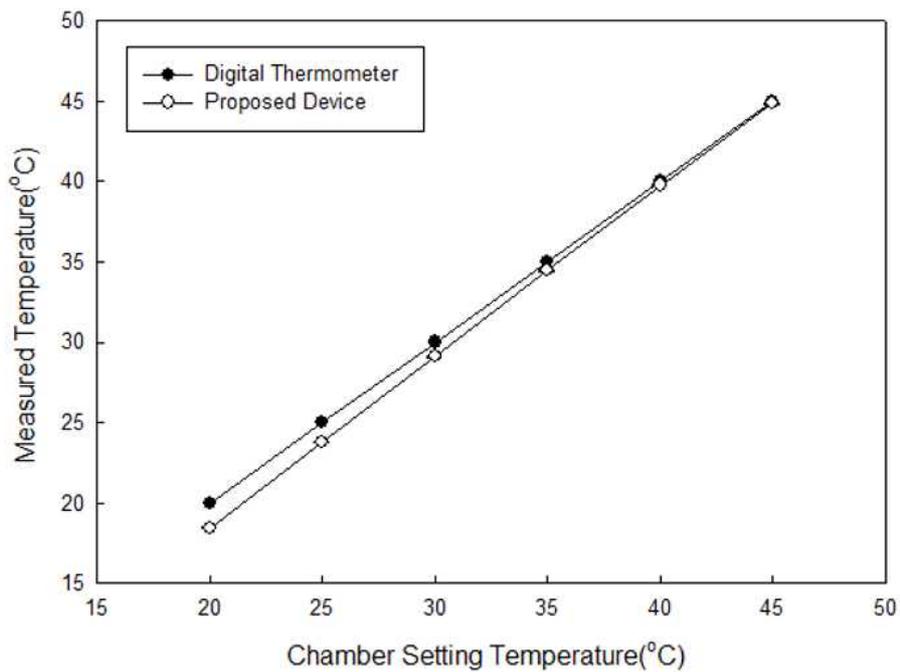


그림 14. 챔버 내 온도 변화에 따른 목욕 보조 시스템의 온도 측정값

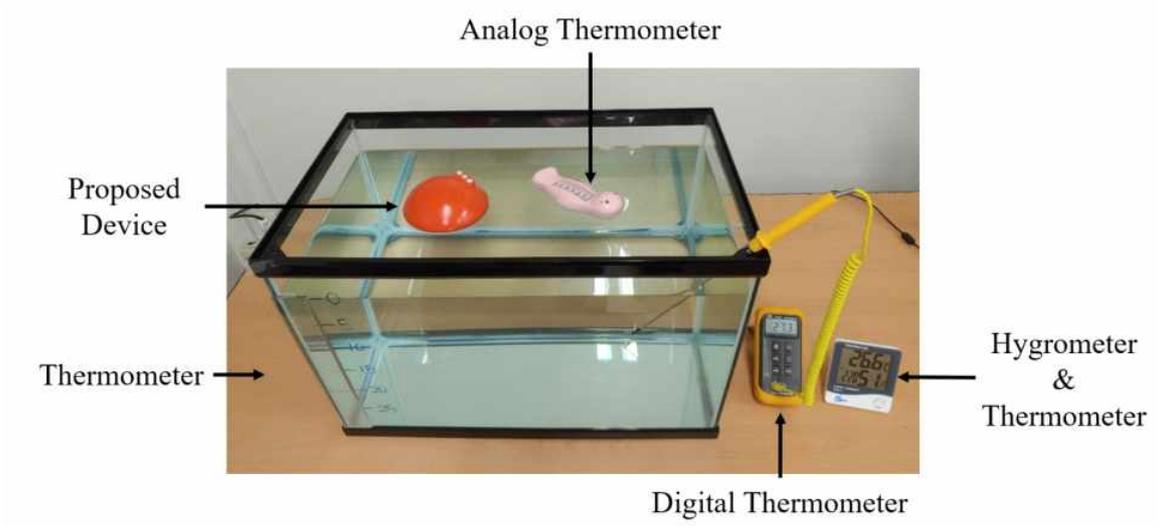
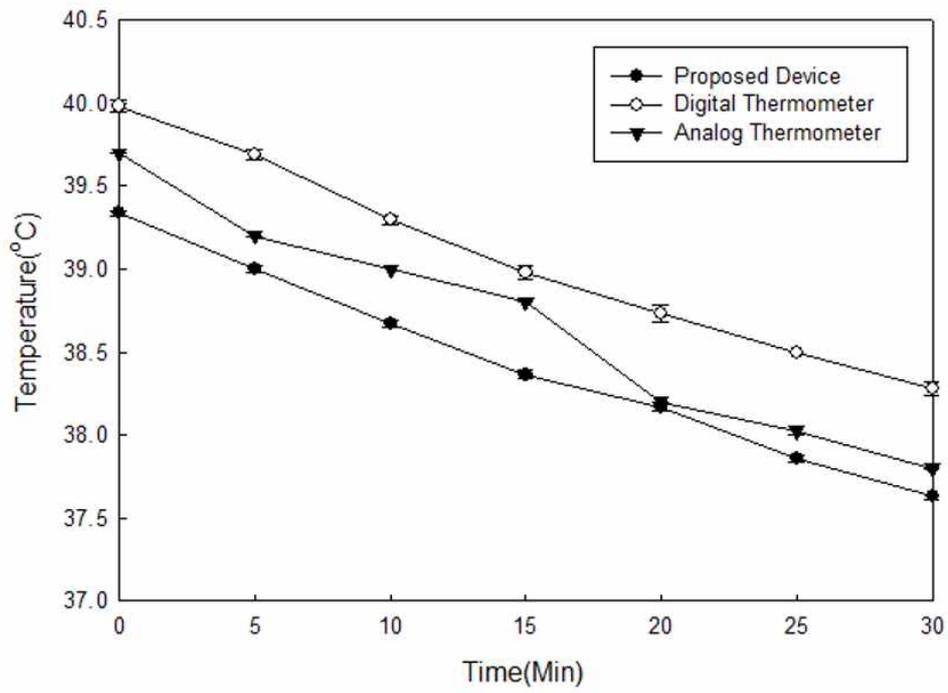
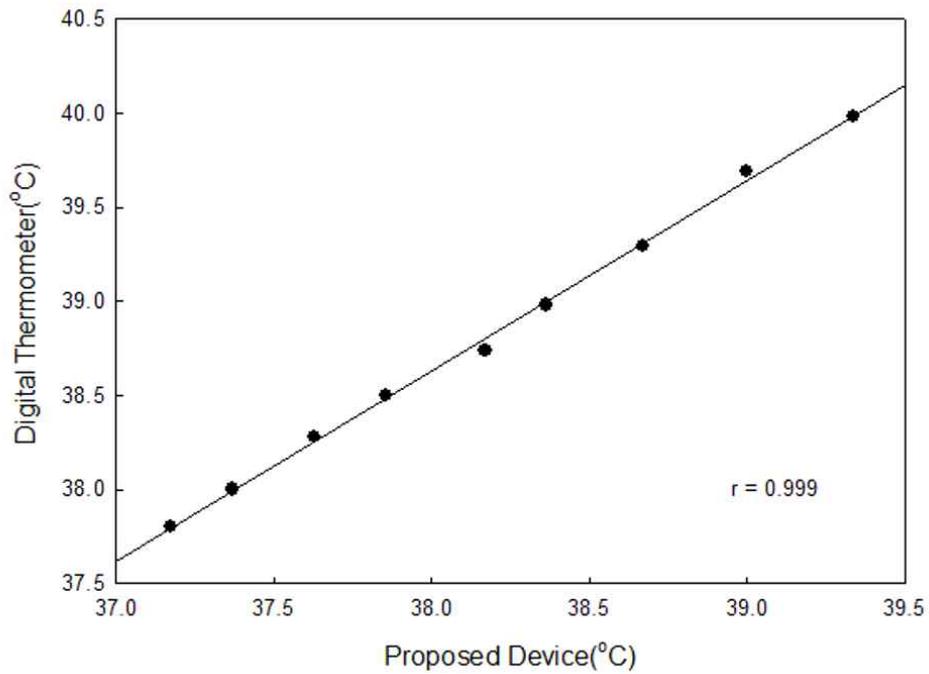


그림 15. 제작된 목욕 보조 시스템과 아날로그 온도계 및 디지털 온도 측정 장치 비교 실험

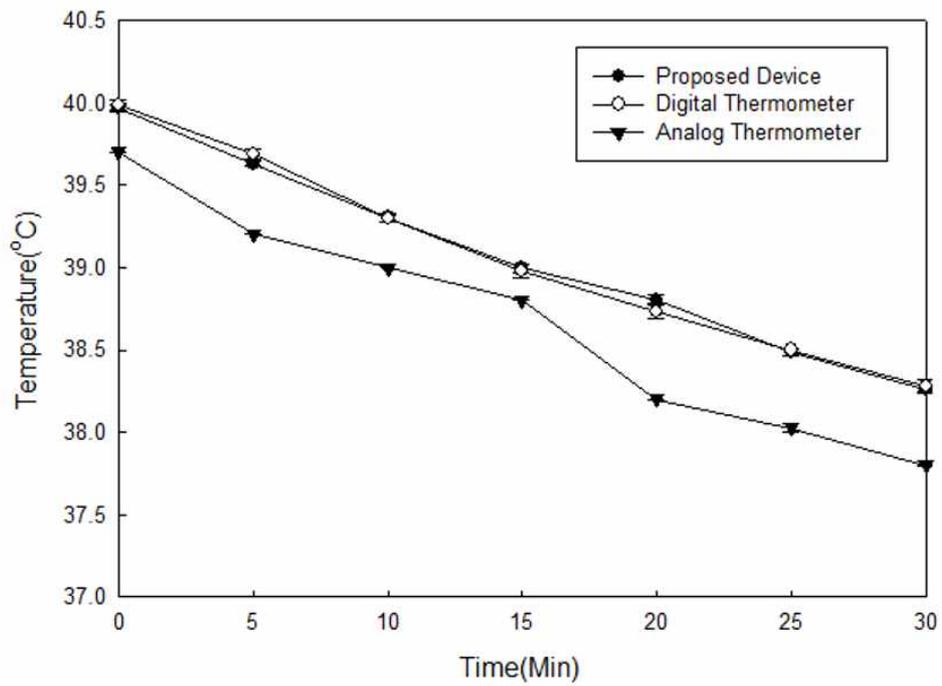


(a)

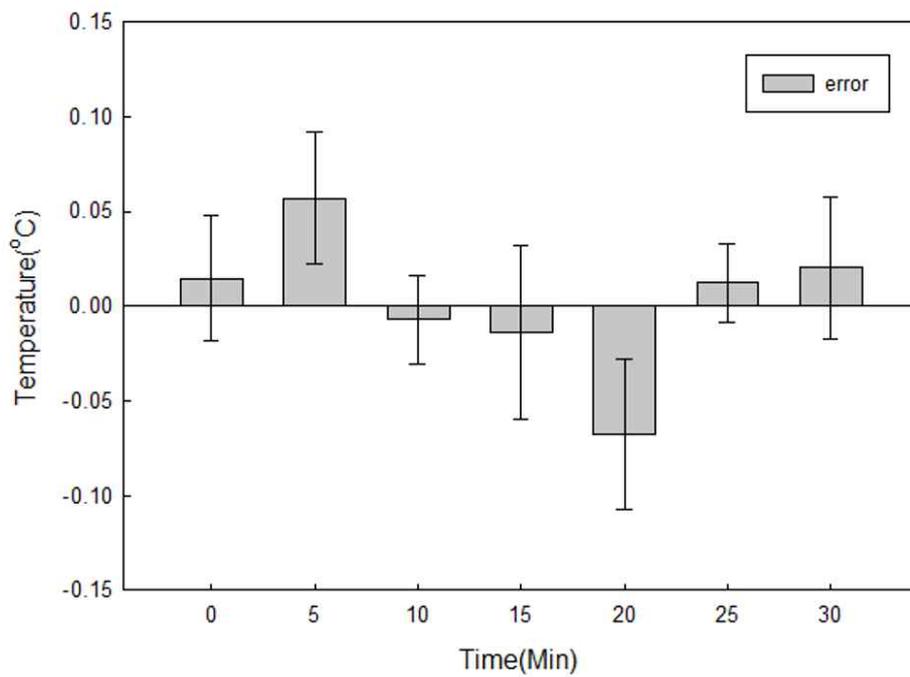


(b)

그림 16. 성능 비교 실험 결과 (a) 제작한 시스템, 아날로그 온도계, 디지털 온도 측정 장치로 측정된 온도 값 비교 그래프, (b) 제작한 시스템 및 디지털 온도 측정 장치의 산포도 결과



(a)



(b)

그림 17. 온도 보상 알고리즘 적용 후, 비교 실험 결과 (a) 제작한 시스템, 아날로그 온도계, 디지털 온도 측정 장치로 측정된 온도 값 비교 그래프, (b) 제작한 시스템 및 디지털 온도 측정 장치의 오차율

4. 고찰

본 연구는 목욕 중 뜨거운 수온으로 인해 발생하는 인체 상해 및 안전사고를 방지하기 위해 내부 수온 모니터링 및 알람기능을 탑재한 IoT 기반 스마트 목욕 보조 시스템을 개발하고, 개발한 시스템의 성능 검증 및 효율성을 확인하였다. 먼저 시스템의 성능 검증 및 효율성을 확인하기 위한 실험에서 제작한 시스템과 일반적으로 사용되고 있는 아날로그 탕온계 그리고 디지털 온도계를 비교하였을 때 디지털 온도계 및 아날로그 온도계 및 디지털 온도계로 측정된 온도 값은 시간이 지날수록 낮아지는 것을 확인하였다. 이때, 제작된 시스템 및 디지털 온도계로 측정된 온도 값은 선형적으로 낮아지지만, 아날로그 온도계의 경우는 비선형적으로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 비선형적인 감소는 아날로그 온도계의 가독성과 관련이 있으며, 눈금을 보는 방향과 방법에 따라 읽는 온도 값이 달라지기 때문에 생긴 오차라고 생각된다. 따라서 아날로그 탕온계는 정확한 목욕물의 수온을 확인하기에 어려움이 있으며 이러한 결과를 통해 센서를 사용한 수온 측정이 아날로그 온도계보다 안정적인 수온 확인이 가능하다는 것을 확인하였다.

구현된 시스템으로 측정된 온도 평균값은 세 가지 장치로 측정된 온도 평균값 중에서 가장 낮게 나왔으며, 물의 표면 온도를 측정한 아날로그 온도계보다도 상대적으로 낮은 수온 값을 보였다. 이 결과는 아날로그 탕온계 및 디지털 온도계와는 다르게 온도 센서가 물에 직접적으로 닿지 않고 아크릴판에 의해 차단되기 때문에 생긴 것으로 생각된다.

또한 구현된 시스템 및 디지털 온도계로 측정된 두 온도 값은 거의 일정한 차이를 보이며 감소하는 것을 확인하였다. 이는 구현된 시스템과 디지털 온도계로 측정된 온도 데이터가 연관성이 있다고 생각할 수 있다. 이 두 온도 값의 상관관계를 확인하기 위해 산포도를 구하였으며, 그 결과, 0.999로 두 개의 온도 값의 상관관계가 거의 일치하는 것으로 나타났다.

따라서 구현된 시스템으로 측정된 온도는 디지털 온도계로 측정된 온도와 관련되어 있으며 이러한 결과를 통해 알고리즘 개발하여 제안한 시스템에 온도 보상을 적용하였다.

마지막으로 온도 보상을 적용한 목욕 보조 시스템으로 측정된 온도 값과 아날로그 탕온계 및 디지털 온도계를 통해 측정된 온도 값을 비교하였을 때 목욕 보조 시스템의 온도는 아날로그 탕온계보다 높게 나타났고, 디지털 온도계와 거의 일치하는 것을 확인하였다. 이는 목욕물의 내부 수온이 표면 수온보다 높기 때문에 나타난 결과이며, 5cm 깊이에서의 측정을 통해 정확한 수온을 측정하는데 충분한 것으로 생각된다.

시스템의 성능 검증 및 효용성을 확인하기 위한 실험에서 제작한 시스템과 일반적으로 사용되어지고 있는 아날로그 탕온계 그리고 디지털 온도계를 비교해 본 결과를 종합해 보면, 목욕 보조 시스템의 케이스에 의해 5cm 깊이에서 수온을 측정하였음에도 불구하고 수온이 상대적으로 낮게 나타났지만, 온도 보상 알고리즘을 적용하여 물의 표면 온도보다 높고 정확한 목욕물 온도를 측정할 수 있었다.

본 연구의 목적은 목욕 중 뜨거운 물에 의한 유아의 화상과 같은 인체 상해 예방 및 갑작스런 온도 변화에 의해 발생하는 고령자들의 심장질환을 방지하기 위한 것에 있다. 제안한 목욕 보조 시스템을 통해 목욕물의 온도를 계속적으로 모니터링이 가능하며 위험시 알람을 줄 수 있다. 하지만 적정 온도를 맞추기 위해 물의 온도를 제어하는데는 여전히 번거로움이 남아 있으며, 안전 및 편의성을 위해 정확한 온도의 목욕물 제공할 수 있는 시스템에 대한 연구도 필요하다고 생각된다.

5. 요약

가정에서의 반신욕은 온열치료의 방법으로, 청결 유지뿐만 아니라 스트레스 해소 및 다양한 질환의 치료에 사용되지만 이러한 반신욕은 신체 기능이 약한 유아에게는 화상과 같은 상해를, 고령자들에게는 심장질환을 유발한다. 본 연구에서는 이러한 인체 상해 및 안전사고를 방지하기 위해 수온 모니터링 및 알람기능을 탑재한 IoT 기반 스마트 목욕 보조 시스템을 개발하고, 개발된 시스템의 성능 검증 및 효용성을 확인하였다.

본 연구는 깊이에 따른 수온을 확인하고 정확한 수온 측정을 위해 40cm 높이의 수조에서 깊이에 따른 물의 수온을 측정하였다. 40°C의 목욕물에서 내부 수온이 표면 수온보다 높다는 것을 확인하였으며, 결과를 바탕으로 표면에서 5cm 깊이에서 물의 내부 수온 측정이 가능하도록 디바이스를 설계하였다. 제안하는 시스템은 데이터 처리 및 시스템 제어를 위해 저전력 소비 마이크로컨트롤러, 목욕물의 수온을 측정하기 위한 고정밀 반도체 기반 온도 센서로 설계되었다. 측정된 데이터는 디바이스에서 처리되고, 블루투스 통신을 통해 스마트폰으로 전송된다.

본 연구는 먼저 시스템의 성능 검증 및 효용성을 확인하기 위한 실험에서 챔버를 사용하여 제안한 시스템의 안정성을 확인하고, 제작한 시스템과 일반적으로 사용되고 있는 아날로그 탭온계 및 디지털 온도계를 비교하였다. 비교한 결과를 바탕으로 온도 보상 알고리즘을 개발하였으며 제안한 시스템에 적용하였다. 그 결과 제안한 시스템으로 측정된 온도 데이터는 목욕물의 표면 수온을 측정하는 아날로그 탭온계로 측정한 온도보다 높게 나타났고, 디지털 온도계의 온도와 거의 일치하였다. 이를 통해 정확한 목욕물 수온 측정하고 실시간으로 수온을 모니터링하여 목욕 중 발생하는 인체 상해 및 심장질환을 방지하는데 적용하였으며 그 효용성을 입증하였다. 본 연구결과를 바탕으로 추후에는 자동 수온 맞춤 시스템 개발하는 것이 최종 목표이며, 목욕 시간, 수온, 칼로리 등의 목욕 정보를 기록 및 저장하여 목욕 중 안전뿐만 아니라 건강관리까지 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. Kim, YS.: The effect of 40-hour work week system on leisure life of workers. (Journal of Korea Labor Studies) 2011; 17.1: 37-71.
2. Tei C, Horikiri Y, Park JC, Jeong JW, Chang KS, et al.: Acute hemodynamic improvement by thermal vasodilation in congestive heart failure. Circulation Journal 1995; 91.10: 2582-2590.
3. Biro S, Masuda A, Kihara T, Tei C.: Clinical implications of thermal therapy in lifestyle-related diseases. Experimental Biology and Medicine 2003; 228.10: 1245-1249.
4. Miwa C, Matsukawa T, Iwase S, Sugiyama Y, Mano T, et al.: Human cardiovascular responses to a 60-min bath at 40 degrees C. Environmental medicine: annual report of the Research Institute of Environmental Medicine 1994; 38.1: 77-80.
5. Kirsch KA, Röcker L, von Ameln H, Hrynyschyn K.: The cardiac filling pressure following exercise and thermal stress. The Yale journal of biology and medicine 1986; 59.3: 257.
6. Kaiser LANA, Spickard RC, Olivier NB.: Heart failure depresses endothelium-dependent responses in canine femoral artery. American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology 1989; 256.4: H962-H967.

7. Kubo SH, Rector TS, Bank AJ, Williams RE, Heifetz SM.: Endothelium-dependent vasodilation is attenuated in patients with heart failure. *Circulation* 1991; 84.4: 1589-1596.
8. Chuwa TEI, FJCC NT.: Thermal 'Vasodilation as a Treatment of Congestive Heart Failure: A Novel Approach. *J Cardiol* 1996; 27: 29-30.
9. Michalsen A, Lüdtke R, Bühring M, Spahn G, Langhorst J: Thermal hydrotherapy improves quality of life and hemodynamic function in patients with chronic heart failure. *American heart journal* 2003; 146.4: 728-733.
10. Kihara T, Biro S, Imamura M, Yoshifuku S, Takasaki K.: Repeated sauna treatment improves vascular endothelial and cardiac function in patients with chronic heart failure. *Journal of the American College of Cardiology* 2002; 39.5: 754-759.
11. Hooper PL.: Hot-tub therapy for type 2 diabetes mellitus. *New England Journal of Medicine* 1999; 341.12: 924-925.
12. 이인희, 김주연.: 반신욕이 30 대 여성의 기초혈액 및 스트레스 호르몬 변화에 미치는 효과-에스테르계 아로마를 중심으로. *한국미용학회지* 2007; 13.1: 396-402.
13. Lee KJ, Oh JH.: The Effect of Bath and Sauna on IOP, BP, PR, and Body Temperature. *Journal of the Korean Ophthalmological Society* 1989; 30.6: 987-993.

14. Nishiyama C, Iwami T, Nichol G, Kitamura T, Hiraide A.: Association of out-of-hospital cardiac arrest with prior activity and ambient temperature. *Resuscitation* 2011; 82.8: 1008-1012.
15. Nagasawa Y, Komori S, Sato M, Tsuboi Y, Umetani K.: Effects of hot bath immersion on autonomic activity and hemodynamics. *Japanese circulation journal* 2001; 65.7: 587-592.
16. Chiba T, Yamauchi M, Nishida N, Kaneko T, Yoshizaki K.: Risk factors of sudden death in the Japanese hot bath in the senior population. *Forensic science international* 2005; 149.2-3: 151-158.
17. Suzuki M, Shimbo T, Ikaga T, Hori S.: Sudden Death Phenomenon While Bathing in Japan—Mortality Data—. *Circulation Journal* 2017; 81.8: 1144-1149.
18. Kim KH.: Neonatal skin diseases. *Korean Journal of Pediatrics* 2006; 49.1: 1-5.
19. Stamatias GN, Nikolovski J, Luedtke MA, Kollias N, Wiegand BC.: Infant skin microstructure assessed in vivo differs from adult skin in organization and at the cellular level. *Pediatric dermatology* 2010; 27.2: 125-131.
20. Cerovac S, Roberts AH.: Burns sustained by hot bath and shower water. *Burns*, 2000; 26.3: 251-259.

21. Lee JH, Seong KW, Kim MN, Cho JH.: Development for body temperature sensor and monitoring telemetry system. Journal of Sensor Science and Technology, 2010; 19.6: 435-442.
22. Bejan A: . Convection heat transfer. John wiley & sons, 2013.
23. Lee SS: . An Embedded Systems Implementation Technique based on Multiple Finite State Machine Modeling using Microcontroller Interrupts. Journal of Korea Multimedia Society 2013; 16.1: 75-86.
24. 송재철.: 무선인터넷을 위한 블루투스 프로파일. 인터넷정보학회지 2001; 2.2: 35-42.
25. SolidWorks, Introducing. Solidworks corporation. Concord, MA, 2002.
26. 홍영진, 임순자, 이완범.: 무선 통신과 스마트폰을 이용한 LED 색온도 제어 조명 시스템에 관한 연구. 한국산학기술학회 논문지 2017; 18.11: 72-77.

Development a Smart Bath Assistive Device Based on Internal Water Temperature Monitor for Preventing the Risk of Burned and Cardiovascular Disease During in Bath

Kang, So Myoung

Department of Biomedical Engineering

Graduate School

Keimyung University

(Supervised by Professor Park Hee Joon)

(Abstract)

Recently, taking a bath is not only to get clean, but also to reduce fatigue and stress. There are many advantages of the taking bath were reported, such as improving the blood circulation, maintain the balance of the body temperature, expel the wastes from the body by the sweat, and etc. However, old people and patients with cardiovascular disease could be dangerous that get heart attack and other cardiovascular disease in the bath with hot water for a long time. Various products have been develop to measure the water temperature when taking bath. However, these devices are measure the only surface water and the water temperature are not accurately measured. in this research, a smart bath assistive device with

accurate measurement and bathwater condition monitoring function is proposed. Before designing the system, the sensors were manufactured with a waterproof design and floated on the hot water to measure the water temperature placed at each depth. Based on experimental results, 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 5cm depth to measure the temperature of underwater. The proposed device was developed by a low-power consumption micro-controller for system control and data processing, a high precision semiconductor based temperature and a light sensor were designed in the device for measuring the temperature and water quality. Measured data is processed by the device and transmitted to the smartphone by the Bluetooth communication. 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.

목욕 중 화상 및 심장질환을 방지하기 위한 내부 수온 측정용 스마트 목욕 보조 시스템 개발

강 소 명

계명대학교 대학원
의학과 의용공학 전공
(지도교수 박희준)

(초록)

반신욕은 청결유지 뿐만 아니라 피로와 스트레스를 줄여주어 다양한 치료법으로도 사용된다. 혈액 순환을 개선하고 체온 균형을 유지하며, 땀으로 신체의 노폐물을 배출하는 등의 장점이 있다. 그러나 목욕 중 뜨거운 물은 심혈관 질환이 있는 환자나 노인의 경우 심장 마비와 같은 심혈관 질환을 유발하며, 유아의 경우는 화상 위험을 수반한다. 목욕 중 물의 온도 및 시간을 계속 확인하기란 쉽지 않다. 최근 목욕물의 온도를 측정하기 위한 온도계가 개발되고 있다. 하지만 대부분 물의 표면 온도를 측정하여 정확한 물 내부 온도 확인이 불가능하다. 본 논문에서는 물의 내부 온도를 측정하여 정확한 목욕물 온도 측정이 가능하고, 실시간으로 모니터링이 가능한 IoT 기반 스마트 목욕 보조 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템의 정확한 온도 측정 및 최적화 외관 설계를 위해 깊이에 따른 물의 온도 차이를 확인하기 위한 실험을 진행하였으며, 물의 표면 온도가 물의 내부 온도보다

낮은 것을 확인하였다. 이에 따라 물의 내부 온도를 측정하기 위해 센서는 물의 표면에서 5cm 깊이에 배치되며, 정확한 온도 측정이 가능하다. 제안하는 시스템은 데이터 처리 및 시스템 제어를 위해 저전력 소비 마이크로 컨트롤러, 수온 측정을 위한 고정밀 반도체 기반 온도 및 광센서로 설계되었다. 측정된 데이터는 디바이스에서 처리되고, 블루투스 통신을 통해 스마트폰으로 전송된다. 제작된 디바이스는 방수 설계되었으며, 물 위에 띄워 물의 수온을 측정하였다. 제작된 시스템으로 두 가지 실험을 진행하였다; 하나는 챔버를 이용하여 장치의 성능을 확인하는 것이고, 다른 하나는 수온을 모니터링하기 위해 제안된 장치와 상용 제품을 비교하는 것이다. 실험 결과, 제안된 디바이스는 수온 측정을 위한 안정적인 성능을 가지며, 온도 보상 알고리즘을 적용한 목욕 보조 시스템은 표면 온도를 측정하는 상용 온도계보다 약 0.2°C 높게 나타났으며, 온도 측정 장치와는 0.04°C 의 오차로 거의 동일하게 나타났다. 이를 통해 정확한 목욕물의 수온 측정이 가능함을 확인하였으며, 향후 자동 수온 맞춤 시스템 개발에서 물의 온도 측정용 디바이스로 사용될 예정이다.