


Development of Portable Water Purification System for the Prevention of Waterborne Diseases

수인성 질병 예방을 위한 휴대용 물 정화 시스템 개발

Taek-Gwon Nam · Min-Jae Kim · Tae-Koo Kang[†]

남택권* · 김민재** · 강태구[†] 

Abstract

A growing number of people are dying of waterborne diseases after drinking water that is not purified water is increasing. The portable water purifier system generates electricity by self-energizing when moving, operating the water pump and UV-C LED. Three-stage purification system using membrane filter, carbon, iodine resin filter and UV-C LED can prevent waterborne disease. The system can reduce the number of victims of waterborne diseases by removing germs such as E-Coli, S. Typhimurium, and L.monocytogenes. The system proposed in this paper can actively respond to preventing waterborne diseases in developing countries and has been developed as a usable device in line with the local environment.

Key Words

water purification, appropriate technology, self-generating power, mobile device

1. 서론

물 부족국가의 국민들이 수인성질병으로 인해 사망하고 있다. 수인성질병의 원인으론 정수되지 않은 물을 마신 것이 원인으로 지목된다[1]. 특히 개발도상국의 생활환경에 급수시스템이 갖춰지지 않은 사람들은 살균, 정수되지 않은 물을 그대로 길러오고 있다. 물을 길러와서 생활공동체의 사람들과 공유하지만 오염된 물을 섭취해 수인성질병으로 건강 문제를 일으킨다. 이렇게 수인성질병으로 인한 물 부족국가의 사망자 수가 2017년도에 8억 2080만명을 넘어섰고 여전히 사회문제로 해결되지 못하고 있다.

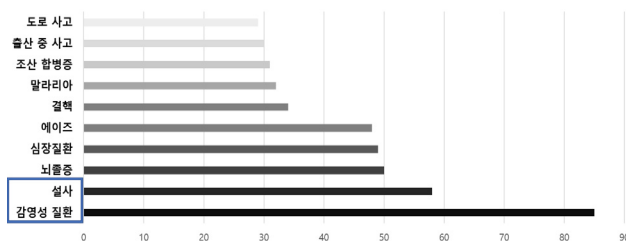


그림 1 개발도상국 사망 원인(인구 100,000명 당 사망자 수)
Fig. 1 Cause of death in developing countries (deaths per 100,000 people)

급수 시스템이 갖춰지지 않아 물을 길러와야하는 개발도상국의 사람들은 물을 기르기 위해 평균 편도 6시간을 걷고 12시간이 넘어야 물을 길러올 수 있다. 그러나 정수, 살균시스템이 갖춰지지 않아 건강한 물을 섭취할 수 없을 뿐만 아니라 평균 5L의 물을 길러오고 있어 시간대비 효율이 매우 떨어지는 실정이다.

기존 Q드럼과 히포클로라와 같이 굴리는 형태의 이동형 물통이 있었지만, 정수, 살균과 관련된 시스템이 적용되지 않았다. 기존 제품들은 평균이상 양의 물을 손쉽게 효율적으로 길러올 수 있다는 장점이 있었지만 수인성질병을 예방할 수는 없다는 단점이 존재하였다. 따라서, 본 휴대용 물 정화장치는 이러한 형태의 장점을 가지면서, 수인성질병의 원인이 될 수 있는 균(대장균, 황색포도알균 등)을 제거해 수인성질병을 획기적으로 예방할 수 있도록 개발하였다. 본 논문에서 제안하는 휴대용 물 정화장치는 이동형 정화시스템으로 굴릴 수 있는 물통구조에 워터펌프를 이용해 땅속 깊이 고여있는 물을 채우면 필터와 UV LED를 이용해 총 3단계로 물을 정화한다. 또한, 본 시스템에 필요한 에너지는 본체가 회전하며 발전기를 이용해 자가발전을 통하여 제공된다. 기존 평균 5L의 물을 끌면서 굴리는 형태의 본 장치를 이용하면 18.9L 물을 적은 에너지로 이

[†] Corresponding Author : Dept. of Human Intelligence and Robot Engineering, Korea.
E-mail: tkkang@smu.ac.kr
<https://orcid.org/0000-0002-8063-581X>
* Dept. of Human Intelligence and Robot Engineering, Korea.
<https://orcid.org/0000-0001-6793-0075>
** Dept. of Human Intelligence and Robot Engineering, Korea.
<https://orcid.org/0000-0003-4350-2740>

Copyright © The Korean Institute of Electrical Engineers
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

동시킬 수 있다. 물은 기르는 과정에서 필터를 통과하며 깨끗한 물만을 물통에 채움으로써 정수 효율성을 극대화하였다.



그림 2 기존의 물 이동 장치
Fig. 2 previously developed water-movement device

2. 휴대용 물 정화장치 개발

2.1 휴대용 물 정화장치 H/W구성 및 기능

본 논문에서 설명하는 휴대용 물 정화시스템을 실험하기 위해 18.9L의 플라스틱 정수기 물통과 3D프린터로 만든 본체에 UV-C LED, 워터스트로우 등을 이용해 휴대용 물 정화장치를 개발하였다. 그림 3과 4는 본 논문에서 제안하는 휴대용 물 정화장치의 전체적인 구성을 보여준다. 그림 3과 4에서 휴대용 물 정화장치는 18.9L 플라스틱 물통을 기반으로 제작되었다. 물통의 표면에는 UV-C LED바 3개를 부착하였으며 바닥면에는 에너지 생산 및 저장을 위한 발전기와 배터리팩 상자를 장착하였다. 발전기는 굴리는 과정에서 발전하기 위해 한 쪽 손잡이와 연결되었으며 반대편 입구부분에는 돌려서 개폐가 가능한 뚜껑과 손잡이 구조를 구현하였다. UV-C의 높은 에너지로 사람에게 유해할 수 있어 검은 천으로 표면을 덮었으며 내구성과 안전성을 위하여 충격을 흡수할 수 있는 케이스를 제작해 장착하였다. 제안된 시스템은 크게 1)워터펌프와 멤브레인필터를 이용한 물 자동 흡수부, 2)카본필터와 요오드수지필터를 이용한 필터시스템, 3)UV-C LED를 이용한 살균시스템, 4)회전 물통을 이용한 자가발전시스템으로 구성된다. 구체적인 설명은 다음과 같다.

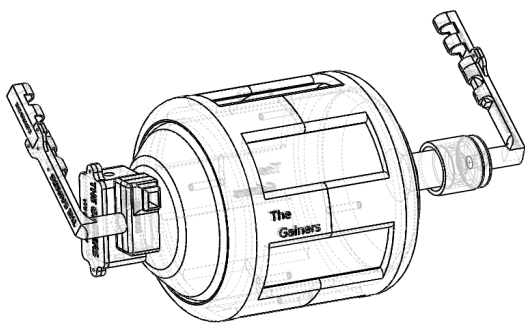


그림 3 휴대용 물 정화장치 H/W 구성
Fig. 3 Portable Water Purifier H/W Configuration



그림 4 휴대용 물 정화장치 외관
Fig. 4 Portable Water Purifier Exterior

2.1.1 워터펌프와 멤브레인필터를 이용한 자동 흡수 구현

물을 직접 길러 사용하는 사람들이 강에서 물을 양동이와 같은 구조를 이용해 떠서 물을 이동시키는 경우가 있지만 대다수의 경우 좁고 깊은 물웅덩이에서 고인물을 퍼올린다. 이러한 방식은 그들만의 상당한 노하우가 필요하고 사람의 에너지가 소비되지만 많은 물을 떠올릴 수 없다는 단점이 있다. 또, 작은 자갈, 흙 등 이물질이 같이 올라와 무심코 해당 물을 마시면 수인성질병에 걸릴 확률이 올라간다. 이런 환경에 대비해 워터펌프를 작동시켜 깊은 곳에 있는 물을 물통으로 끌어올리는 자동 흡수를 구현했다. 이때 워터펌프는 물 속으로 직접 들어가 output방향에 연결된 호스를 통해 물을 끌어올릴 수 있도록 설계하였다. 워터펌프가 직접 물 속으로 들어감으로써 양방향 호스연결로 인한 에너지 손실과 공기유입으로 인한 제품 고장을 방지하였다. 이때, 그림 5는 워터펌프 케이스와 멤브레인 필터를 보여준다. 워터펌프에 이물질이 들어가게 되면 펌프가 고장나거나 필터의 수명이 줄어들 수 있어 펌프와 필터의 수명을 위해 워터펌프 케이스를 제작하고 멤브레인 필터를 사용해 수질 개선 및 이물질을 걸러 낼 수 있게 제작하였다. 워터펌프 케이스는 부력으로 인해 물 속 깊이 들어가지 못할 수도 있는 상황을 대비하기 위해 양 측면에 구멍을 만들어 물의 이동을 자유롭게 하였다. 또, 케이스를 이용해 바닥에서 워터펌프까지 3cm를 띄워 바닥의 이물질 유입을 최소화 하였다. 표 1은 사용된 방수워터펌프의 스펙으로 물속 깊이 넣어 깊은 곳에서 물을 끌어올릴 수 있는 능력을 보여준다.

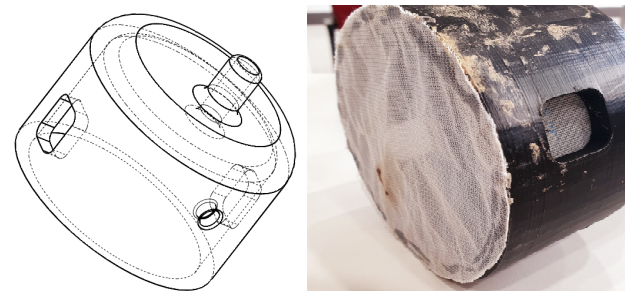


그림 5 휴대용 물 정화장치 워터펌프 및 멤브레인 필터를 이용한 케이스
Fig. 5 Case with portable water purifier water pump and membrane filter

표 1 워터펌프 스펙

Table 1 water pump specification

구분	사용전압	소비전력	물기둥 최대높이	최대유량
스펙	12V	5W	250cm	350L/H

2.1.2 카본필터와 요오드 수지필터를 이용한 필터시스템

본 휴대용 물 정화장치에서 카본필터와 요오드 수지필터를 사용한 필터는 핵심 정수 시스템이다. 모든 정수시스템에서 필터를 거쳐 물속의 유해한 성분을 필터링하는 것은 필수 시스템이며 가정용 정수기에서는 4단계 필터 시스템을 채택하고 있다. 하지만 총 4단계에 걸친 표준형 필터 시스템을 휴대용 물 정화장치에 장착하는 것은 이동해야하는 디바이스에 무게를 높이고 구조적 안정성을 얻을 수 없다는 면에서 효율적이지 못하였다. 따라서, 특수한 물 부족국의 상황에 맞춰 카본필터와 요오드 수지필터를 결합해 하나의 정수 필터를 제작하였다. 카본 필터는 프리카본 필터를 사용해 물속에 염소, 냄새, 유기 물질을 제거하는 목적으로 사용하였으며, 요오드 수지는 세균과 박테리아와 같은 균들을 필터링 하기 위해 사용하였다. 이러한 필터는 평균 6개월동안 유해한 균들과 중금속을 걸러줄 수 있다. 그림 6은 사용된 필터와 휴대용 물 정화장치에 장착하는 모습과 교체가능한 필터 모습이다.

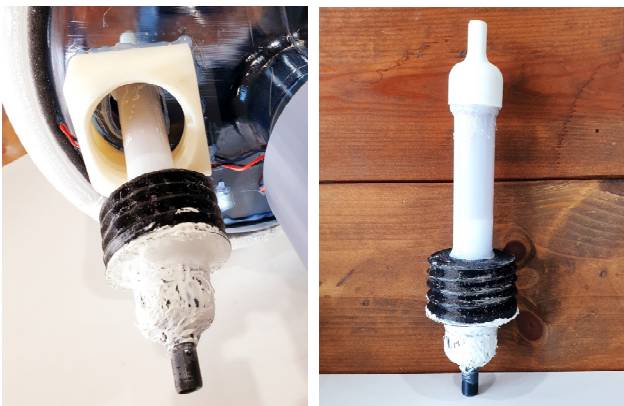


그림 6 휴대용 물 정화장치 카본필터와 요오드수지 필터
Fig. 6 Portable water purifier carbon filter and iodine resin filter

1차 멤브레인 필터로 필터링된 오염수가 큰 이물질이 걸려진 상태로 통과하는 필터이다. 눈에 보이지 않는 작은 입자들을 필터링하는 역할을 한다. 이 필터는 본체와 나사형태로 결합할 수 있게 제작해 수명이 끝나면 모듈식으로 교체가 가능하며 해당 필터만을 교체해 추후 필터 성능을 높이거나 다른 종류의 필터로 업그레이드 할 수 있게 설계하였다.

2.1.3 UV-C LED를 이용한 살균시스템

2차 필터를 통과해 본체 속에 모인 물에 걸러지지 못한 입자 및 균들을 살균하기 위해 UV-C LED를 이용한 살균시스템을 개발하였다. 그림 7은 UV-C LED를 작동시킨 모습으로 LED바 한 개당 17개의 UV-C LED가 살균작용을 하고 있다.



그림 7 휴대용 물 정화장치 UV-C LED
Fig. 7 Portable Water Purifier UV-C LED

본 제안된 시스템의 UV-C LED는 200~280mm파장으로 바뀐 개당 소비전력이 7.2W이다. UV-C LED는 국제적으로 바이러스가 유행할 때 집중했던 기술로 세균 뿐만아니라 메르스 바이러스, 코로나 바이러스 등 바이러스까지 죽일 수 있는 것으로 알려져 있다. UV-C LED의 광선이 방해없이 물에 직접적으로 닿을 수 있게 제안된 시스템에서는 물통에 구멍을 뚫고 방수작업을 통해 3개의 UV-C LED바를 장착하였다. UV-C LED는 빛의 에너지가 강한만큼 인체에게 유해한 영향을 미칠 수 있어 빛이 외부로 퍼져나가지 못하게 검정색 천으로 마감하였다. 해당 검정색 천은 부직포이며, 빛을 완전히 차단하기 위해 은박지를 물통위에 1차적으로 마감한 후에 2차적으로 부직포 마감을 하였다. 또한, UV-C LED바 3개는 휴대용 물 정화 시스템의 마지막 정화 단계로 살균을 통해 수인성질병 및 유해균을 제거하는 역할을 수행하는 것으로 실험을 통해 그 성능을 확인하였다.

2.1.4 회전하는 물통을 이용한 자가발전 시스템

휴대용 물 정화장치는 상기 설명한 워터펌프와 UV-C LED 바 3개가 전기 에너지를 이용해 작동한다. 급수시스템이 잘 갖춰지지 않아 휴대용 물 정화장치가 필요한 지역에는 대부분 전기설비도 잘 갖춰지지 못한 환경을 가지고 있다. 이러한 환경에 대응해 전기 에너지를 활용하기 위해 자가발전 시스템을 구현하였다. 제안된 시스템에서는 자체 제작한 12V 3300mAh Li-Po(리튬폴리머)배터리를 사용하였으며 12V의 다른 배터리로 교체 가능하도록 하네스 커넥터를 사용하였다. 배터리를 충전하기 위해선 발전기와 외부 전원을 활용할 수 있다. 주로 발전기를 이용해 충전을 하도록 설계하였으며 최대 6V 300mA로 시간당 1.8W 발전이 가능하다. 본 디바이스를 끌고 시간당 2km로 이동이 가능하다. 본 디바이스의 시스템은 15분동안 워터펌프를 작동시켜야 하며, 1분 동안 UV-C LED를 작동시켜야 한다. 해당 시스템을 16분 동안 작동시키기 위해서는 2.2km를 이동하면 충분히 시스템을 작동시킬 수 있다. 꾸준히 걸어 이동하는 현지 상황에 충분한 스펙이며 왕복거리를 이동후에 완충까지 가능하다. 해당 시스템을 이용해 물통이 굴러가는 상황에서 에너지를 생산할 수 있고, 전력설비 없는 열악한 환경에서도 지속적 사용이 가능하다. 그림 8은 물통 바닥면에 장착된 발전기와 배터리팩으로 발전기에 손잡이를 바로 연결해 굴러가며 발전시킬 수 있도록 하였다.

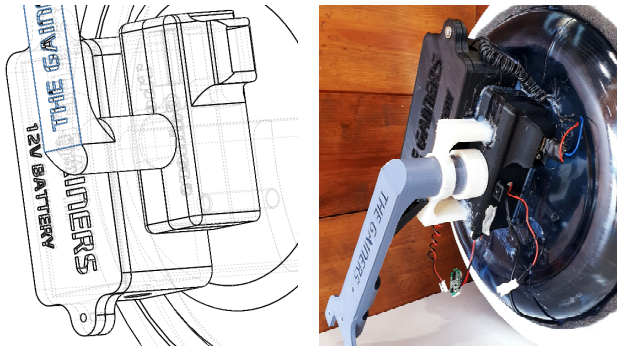


그림 8 휴대용 물 정화장치 발전시스템과 배터리상자
Fig. 8 Portable Water Purifier Power Generation System and Battery Box

2.2 에너지 흐름도

제안된 시스템은 휴대용 물 정화장치의 워터펌프, UV-C LED에 전기 에너지가 필요하다. 워터펌프와 UV-C LED에 필요한 에너지는 외부의 도움없이 자체적으로 생산, 출력이 가능하다. 외부에서 유선으로 전원을 공급할 수도 있지만, 열악한 사용환경 특성에 맞춰 설계하였다. 물통의 본체가 굴러가면서 손잡이와 연결된 부분에서 회전하는 운동을 발전기를 사용해 전기 에너지로 전환한다. 발전기로 생산한 전원은 내부 배터리팩을 충전하며 휴대성을 극대화하였다. 충전된 배터리를 이용해 UV-C LED와 워터 펌프를 선택적으로 작동시킨다. 이 회로는 2개의 전자회로로 작동되어 누구나 쉽게 사용이 가능하다. 이 시스템의 핵심은 전기전자에 대한 배경지식이 없는 사람이라도 스위치 2개를 사용해 기능을 작동시키고, 전압 체크장치의 단순 숫자를 확인해 배터리를 관리할 수 있게 하였다. 최대한 직관적이고 단순한 구성으로 열악한 환경에서 고장 가능성을 낮추고 수리 난이도를 극단적으로 낮췄다. 그림 9는 휴대용 물 정화장치의 에너지 흐름도로 전기에너지가 시스템 내에서 사용되는 모습을 보여준다.

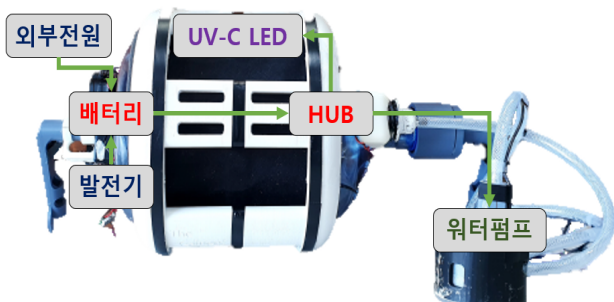


그림 9 휴대용 물 정화장치 전기 에너지 흐름
Fig. 9 Portable Water Purifier Electrical Energy Flow

3. 실험 및 결과

본 휴대용 물 정화장치에 들어간 각각의 기술들이 하나의 시스템으로 융합되어 수인성 질병을 예방할 수 있는 기능을 갖췄는지에 대한 실험을 하였다. 실험은 멤브레인 필터를 통

과하는 워터펌프 및 워터펌프 성능, 필터성능, UV-C LED 성능 등 총 3차에 걸친 정화시스템에 대한 성능테스트를 진행하였다. 실험은 각각을 따로 테스트한 것이 아니라 시스템에서 과정이 진행되는 중간에 테스트를 진행해 융합성능을 검증하였다.

살균율(%)은 (1)과 같이 산출되며 초기 표본의 균수를 기준으로 시간이 지난 후 균수를 측정해 시간 경과 후 살균력을 측정하였다.

$$\frac{(A - B)}{A} \times 100 \tag{1}$$

(1)에서 A는 초기 균수(CFU(Colony-forming unit)×10³)를 B는 시간이 지난 후 균수를 각각 나타낸다. 그림 10은 시스템의 정화 능력을 실험하기 위해 만든 표본과 단계별 정화결과를 담은 샘플들의 모습이다. 현지환경에 맞춰 만든 표본(흙탕물)에서 정화시스템을 거칠수록 물의 탁도가 변하는 것을 확인할 수 있다.

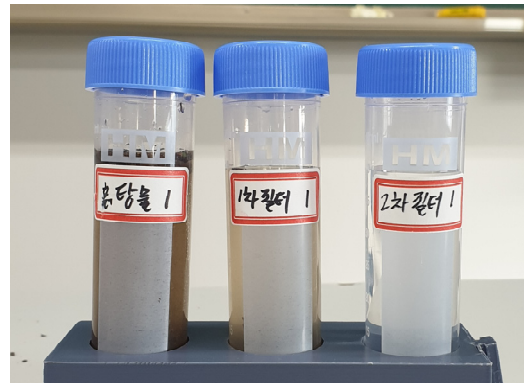


그림 10 표본과 정화능력 실험 모습
Fig. 10 Sample and Purification Capability Experiments

3.1 워터펌프 성능 실험

3.1.1 워터펌프 성능 실험환경

워터펌프가 본 시스템에서 12V전압으로 물속에 들어가 호스와 필터를 통과해 분당 몇L의 물을 이동시킬 수 있는지에 대한 실험을 진행하였다. 총 18L의 물을 이동시켰고, 20L 이상의 물이 담긴 수조에 워터펌프를 넣어 진행하였다. 1분 간격으로 물통에 담긴 물의 누적량을 체크해 성능을 확인하였다.

3.1.2 워터펌프 성능 실험결과

휴대용 물 정화장치의 워터펌프의 성능을 실험 한 결과 분당 평균 1.2L의 물을 끌어올려 물통으로 이동시켰다. 워터펌프의 기본 성능이 분당 평균 2.0L인것에 비해 필터와 긴 호스를 통과하며 평균 0.8L정도 느려졌다. 물통의 용량이 실제 18.9L인것에 비해 옆으로 세워두고 실제 사용에서 직관적으로 물을 담을수 있는 용량은 18L이다. 워터펌프를 사용해 15분

만에 물통을 채울 수 있으며 깊은곳에 있는 물까지 전기힘으로 쉽게 기를수 있다는 장점을 가지고 있다. 표 2와 그림 11은 워터펌프 성능 실험 결과이다.

표 2 워터펌프 성능 실험 결과(3분 간격)

Table 2 Water pump performance test results (3 minutes intervals)

구분	3 min	6 min	9 min	12 min	15 min
증가량	3.4	3.8	3.6	3.6	3.6

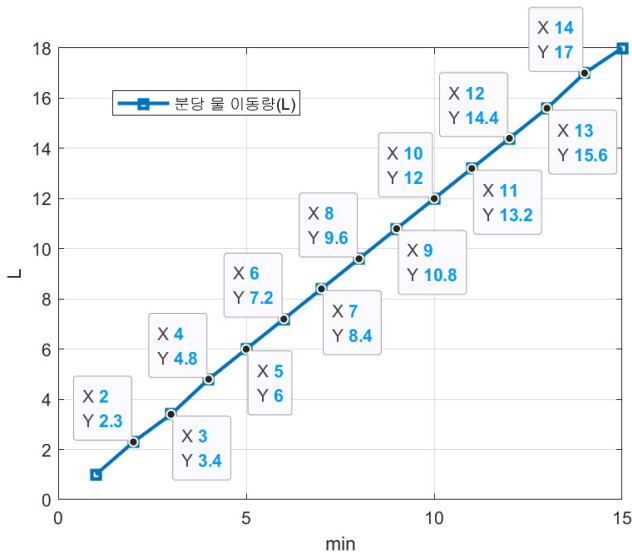


그림 11 워터펌프를 이용한 시스템의 분당 물 이동량
Fig. 11 Amount of water movement per minute in the system using a water pump

3.2 요오드 수지 필터 정수 실험

3.2.1 요오드 수지 필터 정수 실험환경

본 실험은 두 번째로 거치는 2차 필터에 들어가는 요오드수지의 성능을 측정하였다. 용액 500ml에 균들을 넣고 온도를 40도로 똑같이 맞춰준 뒤 용액에 요오드 수지를 침지시킨 후 5분, 30분 및 1시간 후에 살아있는 균(대장균, 살모넬라균, 리스테리아)을 조사하여 시간에 따른 살균력을 측정하였다.

3.2.2 요오드 수지 필터 정수 실험결과

표 3은 요오드 수지 필터의 살균실험 결과를 보여준다. 실험 결과를 보면 5분 이내로 큰 폭으로 줄어들어 90퍼센트 이상이 살균이 되고 점점 줄어들다 1시간이 되면 거의 모든 균이 없어지는 것을 볼 수 있다. 이 결과로 보아 이 요오드 수지 만으로도 수인성 질병을 예방할 수 있는 것을 알 수 있다. 이러한 요오드 수지는 필터로 만들어 모든 물이 물병에 담기 전에 통과하게 하여 균을 제거할 수 있게 하였다. 이 휴대용 물 정화 장치에 있어 꼭 필요한 살균 장치이다. 표 3과 그림 12는 요오드 수지 필터 살균실험 결과이다. 결과를 보면 수인성 질병의 주요 원인인 대장균과 살모넬라균, 리스테리아균을 99.9% 제거할 수 있음을 알 수 있다.

표 3 요오드 수지 필터 살균실험 결과

Table 3 Results of iodine resin filter sterilization test

구분	0 min	10min	30min	60min
대장균	4.8	0.5	0.2	0
감소율(%)	0	89.6	95.9	99.9

구분	0 min	10min	30min	60min
살모넬라균	3.9	0.3	0.1	0
감소율(%)	0	92.3	97.5	99.9

구분	0 min	10min	30min	60min
리스테리아균	3	0.2	0	0
감소율(%)	0	93.4	99.9	99.9

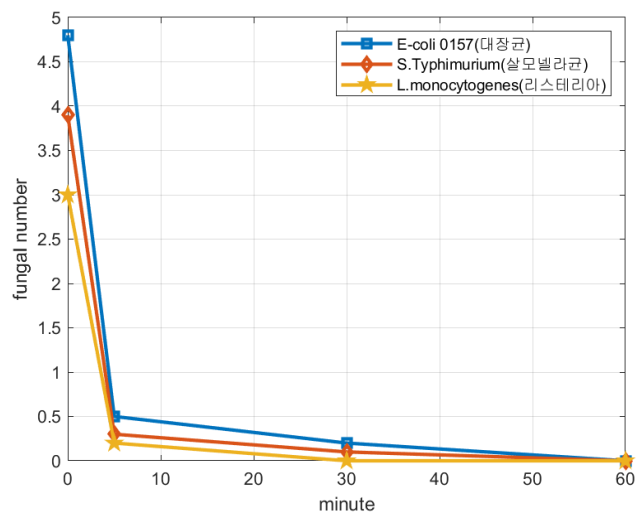


그림 12 요오드 수지필터 살균 능력
Fig. 12 iodine resin filter sterilization capacity

3.3 UV-C LED 살균 실험

3.3.1 UV-C LED 살균 실험환경

휴대용 물 정화장치에서 멤브레인필터와 카본, 요오드수지 필터를 통과한 물이 물통에 담겨 최종적으로 살균하는 단계인 UV-C LED 살균실험을 진행하였다. 물통속에 18L의 물을 가득 담고 UV-C LED를 작동시켜 수인성 질병을 유발하는 대장균, 살모넬라균, 리스테리아균의 양을 측정하였다. 살균된 멸균 테스트 용지에 물을 가득 적서 균의 양을 측정하는 방법을 사용해 물속의 균을 측정할 수 있었다.

3.3.2 UV-C LED 살균 실험결과

표 4와 그림 13은 UV-C LED 살균실험 결과이다. 30초가 지나면서 3가지 균들이 모두 극단적인 수치로 줄어들었으며 시스템 개발시 권장 UV-C 작동시간으로 설정했던 5분 내에 균을 모두 살균할 수 있었다. UV-C LED는 1분내에 균을 99.9% 제거할 수 있다고 알려져 있지만 휴대용 물 정화장치는 고체가 아닌 물에 빛을 방출함으로써 기존 고체의 살균력에 비해 완전살균이 어렵고, 시간이 20초 가량 더 걸린다는 결과를 얻었다. UV-C LED를 본 시스템에 적용해 실험한 결

과 대장균, 살모넬라균, 리스테리아균 모두 제거한다는 결과를 얻을 수 있었다.

표 4 UV-C LED 살균실험 결과

Table 4 UV-C LED sterilization test results

구분	0	10	20	40	80	100
대장균	6.9	5.1	2.9	1.8	1	1
감소율(%)	0	27	58	74	85.6	85.6

구분	0	10	20	40	80	100
살모넬라균	6.9	5.1	3.9	2.1	1.2	1
감소율(%)	0	27	43.5	70	82.7	85.6

구분	0	10	20	40	80	100
리스테리아균	5.1	4.9	3.9	2	1	1
감소율(%)	0	4	23.6	60.8	80.4	80.4

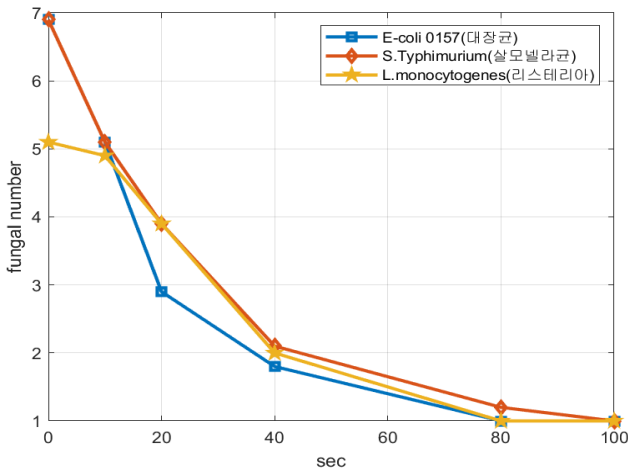


그림 13 UV-C LED 살균실험
Fig. 13 UV-C LED sterilization test

3.4 3단 시스템 정화 능력 실험

3.4.1 3단 시스템 정화 능력 실험환경

본 실험에서는 TDS와 PH를 실험했다. 똑같은 환경에서 채취한 오염수 3개를 준비하여 3가지 단계의 살균 작업을 진행하여 실험을 했다. 첫 번째로 멤브레인 필터를 통과하게 하고 2번째로 요오드 필터를 통과하게 하고 마지막으로 UV-C 빛까지 노출시켜 살균을 진행하였다. 실험을 위해 우선 TDS센서를 이용해 TDS 측정을 하였다. PH를 측정하기 위해 버퍼용액을 이용하여 측정기의 PH의 초기값을 4로 설정하고 177mv로 설정하여 교정을 한 뒤 PH 실험을 진행했다. 사용된 오염수는 흙을 통과한 물에 진흙과 나무 부스러기 등 자연재료를 섞어 1개월 이상 상온에 노출시켜 현지환경과 비슷한 환경을 만들었다.

3.4.2 3단 시스템 정화 능력 실험결과

본 실험에서 초기값은 TDS는 800에서 1000사이가 나왔고 PH는 2~4까지가 나왔다. 표 5와 그림 14는 3단계에 걸친 정

화 과정을 통과한 물의 각 단계별 TDS 측정값이며 표 6과 그림 15는 PH 측정값이다. 표본의 초기값만을 봤을 때 절대 먹지 못하는 물이라는 것을 알 것이다. 그리고 멤브레인 필터를 통과했을 때 TDS가 150~170이 나오고 PH는 4~5 사이가 나온 것을 알 수 있다. 이 정도에 필터만 거쳐도 바로 마셔도 문제 없는 수준이다. 하지만 더욱 안전하게 물을 마시기 위해 2차 필터와 UV-C까지 통과하면 절대적으로 안정된 수치가 나오게 되어 매우 안전하다는 것을 그림에서 알 수 있다. 이러한 3단계 정수 시스템을 설계함으로써 어떤 물을 정수시켜도 수인성 질병에 효과적임을 알 수 있다.

표 5 3단 정화시스템 TDS 측정 결과

Table 5 Results of TDS measurement of 3-stage purification system

구분	표본	1차	2차	3차
1차 Test	849	158	100	86
감소율	0	82	88.3	89.9

구분	표본	1차	2차	3차
2차 Test	980	170	97	74
감소율	0	82.7	90.2	92.5

구분	표본	1차	2차	3차
3차 Test	790	149	82	78
감소율	0	81.2	89.7	90.2

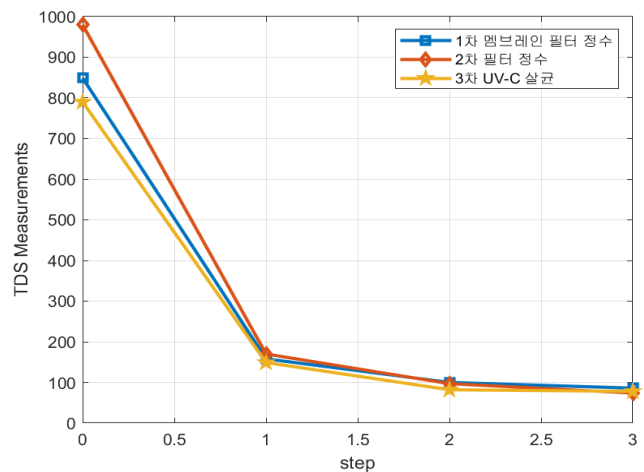


그림 14 3단 정화시스템 TDS 측정
Fig. 14 Measurement of TDS for 3-stage purification system

표 6 3단 정화시스템 PH 측정 결과

Table 6 Results of PH measurement of 3-stage purification system

구분	표본	1차	2차	3차
1차 Test	3.02	4.58	7.32	7.4

구분	표본	1차	2차	3차
2차 Test	2.83	4.25	6.92	6.82

구분	표본	1차	2차	3차
3차 Test	2.95	4.48	7.03	7.5

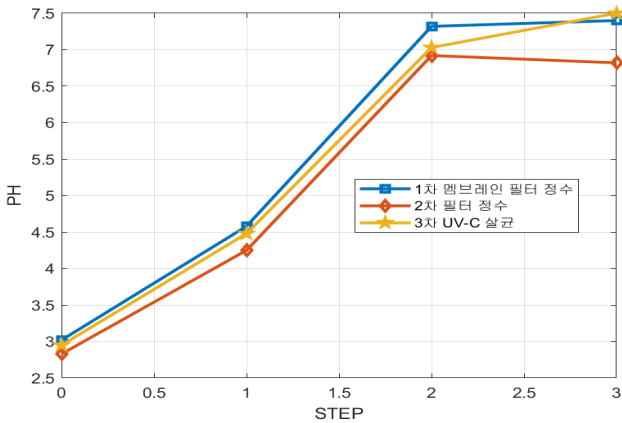


그림 15 3단 정화시스템 PH 측정
Fig. 15 Measurement of PH for 3-stage purification system

4. 결론

급수 시스템이 열악한 물 부족국가 등의 사람들이 정수가 되지 않은 자연의 물을 마시고 수인성 질병으로 사망하고 있다. 이런 사람들에게 건강한 물을 마실 수 있도록 하여 수인성 질병을 예방하고, 사망자수를 줄이기 위해 현저환경에 맞는 휴대용 물 정화장치를 개발하였다. 개발한 휴대용 물 정화장치는 굴리는 물통 형태로 현저환경에 맞춰 내구성을 강화하였으며, 빠른 보수와 쉬운 정비를 위하여 모듈형태로 디자인하였다. 모듈형태로 디자인함으로써 수리용이성이 높아졌으며 해당 시스템을 사용할 수 있는 물 부족국가의 사람들도 전문 지식 없이 사용이 가능하다. 또, 직관적인 전자회로로 전기 흐름을 구성해 누구나 쉽게 버튼 2개로 UV-C LED와 워터펌프를 제어할 수 있도록 하였다.

휴대용 물 정화장치는 멤브레인 필터, 카본필터, 요오드수지 필터로 물을 정수하고, UV-C LED로 살균 하는 과정을 거쳐 수인성 질병을 유발하는 균과 중금속들을 제거한다. 위에서 언급한 실험결과를 바탕으로 휴대용 물 정화장치의 시스템을 통해 마실 수 없는 수준의 물속 균들을 제거하였으며 특히 수인성 질병을 유발 할 수 있는 대장균, 살모넬라균, 리스테리아균 등을 살균할 수 있는 능력을 입증하였다.

오랜 시간 걸어서 적은 양의 물을 길러오는 물 부족국가의 열악한 환경에서 보다 손쉽게 많은 양의 깨끗한 물을 길러올 수 있는 시스템은 많은 사람들을 수인성 질병으로부터 보호할 수 있다. 휴대용 물 정화장치의 내구성과 수리 용이성 등 장점은 유지하며 부담없이 부품을 교체할 수 있고, 물의 저장용량을 키우고, 배터리팩을 대용량으로 업그레이드 함으로써 생산한 에너지를 전구 등 생활에 필요한 다른 곳에도 사용 가능하게 할 수 있다.

References

- [1] <https://www.who.int/activities/improving-water-safety>
- [2] <https://www.qdrum.co.za/>
- [3] <https://hipporoller.org/>
- [4] Beom-Su Kim, Hong-Shik Lee, Dae-Hee Park, "Analysis of Microbial Sterilization and Photometric Performance of High Power UV-C LEDs," Proceedings of KIIEE Annual Conference, 38-38, 2019.
- [5] Ho-Hoon Kim, "Present status and effective control measure of water-borne infectious diseases," in Korea Journal of Environmental and Sanitary Engineering, 9(2), 41-49, 1994.
- [6] Ryu, Ji-Hyeob, Choi, Rang-Kyu, Park, Hun, "Development of Portable Hybrid Water Purifier System," 3(2), 47-55, 2010.
- [7] Kiwoong Kim, Sang Joon Lee, "Highly charged surface as an effective barrier on a nanoporous membrane for enhanced water filtration performance," Spring Conference of the Korean Society of Mechanical Engineers, 45-46, 2019.
- [8] <https://www.katadyn.com/en/ch>
- [9] Boram Yang, Jeong-Ann Park, Hye-Lim Nam, Sung-Mok Jung, Jae-Woo Choi, Hee-Deung Park, Sang-Hyup Lee, "Degradation of Microcystin-LR, Taste and Odor, and Natural Organic Matter by UV-LED Based Advanced Oxidation Processes in Synthetic and Natural Water Source," Journal of Korean Society of Environmental Engineers, 39(5), 246-254, 2017.
- [10] Yoon-Jung Shin, Hyunwoo Kim, Intae Shim, "Project for Drinking Water and Biosand Filter Supply Based on Appropriate Technology in Vietnam," JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, 64(4), 46-48, 2016.
- [11] Sung-Hoon Ahn, "Renewable energy-based appropriate technology in the era of 4th industrial revolution - a case study of alpine village of Nepal," Collection of papers for the Korean Society of Precision Engineering's Academic Presentation, 11-11, 2017.
- [12] Tae-Hwoa Jung, Yun-Tai Lee, Myung-Won Lee, Bok-Kwon Lee, Ki-Sang Kim, "The Pathogenic Role of Enterobacteria (Salmonella, Shigella and E. coli spp) Isolated in Korea," The Journal of the Korean Society for Microbiology, 21(1), 73-95, 1986.

저자소개



Taek-Gwon Nam

Taek-Gwon Nam is currently working toward his B.S degree in Human Intelligence and Robot Engineering from Sangmyung University. His research interests are computer vision, robotics, artificial intelligence, and machine learning.



Min-Jae Kim

Min-Jae Kim is currently working toward his B.S degree in Human Intelligence and Robot Engineering from Sangmyung University. His research interests are computer vision, robotics, artificial intelligence, and machine learning.



Tae-Koo Kang

Tae-Koo Kang received his B.S. in Applied Electrical Engineering, M.S. in visual image processing, and Ph.D. in Electrical Engineering from Korea University, Seoul, Republic of Korea, in 2001, 2004, and 2012 respectively. He was a research professor at Korea University, Seoul, Republic of Korea from 2012 to 2014 and an assistant professor in Information and Telecommunication Engineering, Cheonan, Republic of Korea in 2015 and 2016. He is now an Assistant Professor in Department of Human Intelligence and Robot Engineering, Sangmyung University, Cheonan, Republic of Korea. His research interests include computer vision, robotics, artificial intelligence, and machine learning.