

IoT 오존수 변기 수질 개선 장치 개발

한민덕¹, 김준민², 윤상철^{3*}

¹한밭대학교 전자공학과 대학원생, ²한성대학교 기계전자공학부 조교수, ³대전대학교 산학협력단 조교수

Development of IoT Ozone Water Apparatus for Toilet Water Sterilization

Min-Doc Han¹, Jun-Min Kim², Sangcheol Yoon^{3*}

¹Student, Division of Electronic Engineering, Hanbat University

²Professor, Hansung University / Dept. of Mechanical Systems Engineering Electronics

³Professor, Industry-Academic Cooperation Foundation, Daejeon University

요약 본 연구는 오존수를 이용해 변기의 수질을 개선함으로써 세균의 확산 및 악취 물질을 감소시키는 장치 개발에 관한 것이다. 불특정 다수가 사용하는 공중화장실에서는 다양한 오염물질과 병원균이 변기에 존재한다. 인체에 유해한 이러한 물질들은 변기 물 내림을 통해 공기 중으로 에어로졸 형태로 확산된다. 각종 오염물을 내포한 에어로졸은 사용자의 호흡기로 유입되거나 피부와 피복에 전이되어 각종 질병의 매개체 역할을 할 수 있다. 이러한 확산을 막기 위해서는 화장실 내부의 청결을 지속적으로 유지하는 것이 필수적이다. 따라서, 본 연구에서는 화장실 환경을 청결하게 유지하기 위한 방안으로 변기의 수질을 개선할 수 있는 오존수를 활용하였다. 변기 수조에 장착되어 지속적으로 오존수를 생성함으로써 변기 내부의 오염물질을 개선하는 장치를 설계 및 개발하였다.

주제어 : 오존수, 에어로졸, 사물인터넷, 화장실, 세균 확산

Abstract This study is about the development of a device that reduces bacterial diffusion and odor by improving the water quality of the toilet using ozone water. In public toilets used by an unspecified number of people, various pollutants and pathogens are present in the toilet. These substances that are harmful to the human are dispersed in the form of aerosols into the air through toilet flushing. Aerosols containing various contaminants may flow into the user's respiratory tract or spread to the skin and cover, serving as a medium for various diseases. In order to prevent this spread, it is essential to continuously maintain cleanliness inside the toilet. Therefore, in this study, ozone water that can improve the water quality of the toilet was used as a way to keep the toilet environment clean. A device that is mounted in a toilet tank and continuously generates ozone water to improve pollutants inside the toilet was designed and developed.

Key Words : Ozone water, Aerosol, Internet of Things, Toilet, Bacterial Diffusion

본 논문은 산업통상자원부와 한국산업기술평화원의 "지역산업거점기관지원사업"(과제번호 P0001940)으로 수행되었음.

*교신저자 : 윤상철(yoonsangcheol@gmail.com)

접수일 2022년 10월 12일

수정일 2022년 11월 28일

심사완료일 2022년 12월 3일

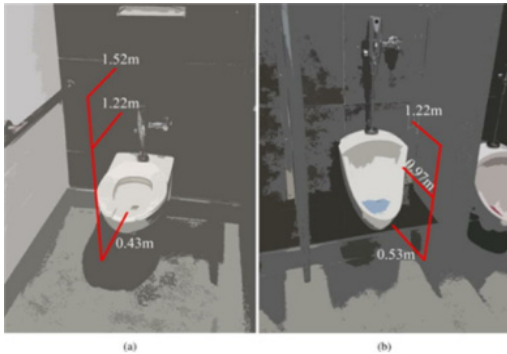
1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

스마트 욕실 기술은 사물인터넷 기술의 발전과 스마트 홈의 수 증가, 그리고 친환경에 대한 관심으로 지속적으로 연구되고 있다. 글로벌 스마트 욕실 시장은 2017년 63억 4,921만 달러에서 연평균 성장률 10.19%로 증가하여, 2022년에는 103억, 1,603만 달러에 이를 것으로 전망된다. 그 중, 스마트 변좌 시장은 2016년 15억 6,420만 달러에서 연평균 성장률 6.30%로 증가하여, 2021년에는 21억 2,330만 달러에 이를 것으로 전망된다[1].

블특정 다수가 사용하는 공중화장실에서는 변기에서 물 내림이 지속적으로 발생하며, 이 과정에서 에어로졸이 생성되어 공기 중에 부유하면서 사용자의 호흡기로 들어가거나 섬유나 피부에 부착하여 질병의 매개체 역할을 할 수 있으며, 면역력이 약한 사람의 경우 2차 감염이 발생할 수 있다[2,3].

Stella Batalama 연구팀에 의하면, 변기와 소변기 모두 3mm 이하의 에어로졸을 만들어 냈으며, 이는 코로나 19를 포함한 다양한 전염병 전파에 중심적인 역할을 한다. 이 연구는 밀폐되고 환기가 잘되지 않는 공간에서의 에어로졸 감염 위험을 뒷받침하는 증거를 제시했다[4].



[Fig. 1] Diffusion Range of Aerosol [4]

따라서 변기와 소변기에서 만들어지는 에어로졸에 세균이나 바이러스가 포함되지 않도록 하는 살균기가 필요하며, 본 연구를 통해 변기의 수질을 개선할 수 있도록 변기통 내에 넣을 수 있는 오존수 발생 장치를 설계 및 제작하였다.

1.2 오존의 원리

오존(O_3)은 산소원자 3개가 결합한 산소(O_2)의 동소

체로써 분자기호 O_3 비중 1.7, 분자량 48인 담청색의 기체이다. 오존은 일반 산소보다 훨씬 강한 산화력으로 유기물을 분해하여 살균, 탈취, 탈색 및 COD(chemical Oxygen Demand), BOD(Biochemical Oxygen Demand)를 제거하므로 각종 수 처리에 이용되고 있다 [5]. 그리고 물속에서 산소보다 용해도가 크고 자가 분해 후 생성되는 수산기($OH\cdot$, Hydroxyl Radicals)는 유기물과 매우 빠르게 반응하므로, 반응 이후 냄새나 색이 남지 않고 화학적 반응이 발생되지 않으므로 2차 오염이 유발 않는다. 단, 과용해의 경우 반응하지 않은 잉여 오존이 생성되므로 장치를 통해 오존을 제거해야 한다[6].

오존은 물리적인 매개변수에 의하여 용해도가 변할 수 있다. Henry'법칙에 의하면 액체에서의 오존 용해도는 액체에 작용하는 부분압에 정비례하고 압력이 높을수록, 온도가 낮을수록 높다[7]. Meddows Taylor(1947년)는 20°C일 때 0.4의 비율로 용해된다고 발표하였으며, Watson(1943년)은 용해성비율(물의 오존농도/가스단계에 있는 물의 오존농도)은 20°C일 때 0.26이라고 발표하였고[8], Horvath 등(1985)에 따르면 수온에 따라 오존의 용해도는 0.31~1.13정도의 변화가 있다고 발표하였다[9]. 앞의 실험에 의하면 물속에서의 오존 용해도에 가장 큰 영향을 미치는 매개변수는 수온이라고 할 수 있다.

오존의 용해도에 영향을 주는 다른 요인으로 산도(pH)가 있다. 높은 산도에서는 오존분자의 용해도가 낮아지고 수산기의 오존분자 분해비는 높아지며, 수산기 이온의 촉매로 작용하므로, 높은 산도가 오존의 급속한 분해 원인이라고 발표하였다. (Hill과 Adler,1950; Davison과 Hewes 1973년)[10,11].

Farooq 외(1977년)는 처리 배지의 pH가 높아지는 환경에서의 오존을 처리하고 Mycobacterium fortuitum의 생존율을 확인했다[12]. 수산화이온은 물에서 오존이 분해되는 과정에서 소모되므로 산도가 낮아 질수 있다. 유기 물질을 다량 포함하는 가금류의 가공물은 오존으로 50분 처리한 후에 산도가 6.9~5.6까지 줄었다는 것을 발표하였다(Chang과 Sheldon 1987년)[13].

1.3 오존수의 활용

최근 여러 분야에 활용되고 있는 오존은 전력만 있으면 반영구적으로 생성할 수 있으며 원료는 대기 중에 있어 저비용으로 제조할 수 있고 제어가 쉽다는 것이 큰 특징이다. 국외의 오존 적용 사례를 보면 농업, 어업, 가정 등 다양한 분야에서 응용되어지고 있다[14]. 하수, 농업 용수 등의 수 처리 등에서 많이 사용되었으며[15], 최근

에는 식품 제조와 보관에 많이 이용되고 있다. 국내에서는 수 처리에 주로 사용하고 있고 농업용수의 살균 목적으로 사용된다[16]. 또한 급식시설용의 조리기구 및 식자재 살균에 사용되고 있다[17].

농산물의 오존수 처리는 통해 품질 향상 및 유통기간을 늘릴 수 있으며, 토양 살균 기능으로 생산성을 증가시키고, 영양분 흡수를 촉진시켜 작물의 빠른 성장, 균의 내성화를 제거할 수 있다[18]. 오존수는 식물의 개화기에 살포 하여도 생육에 지장을 주지 않고, 기존 화학농약을 사용 후 오존수를 살포하면 화학농약의 주원료인 카바닐이 대부분 제거된다[19]. 오존은 농작물 뿐 아니라 가공식품의 살균에도 효과적이므로, 식자재의 유통 시간을 증가시킬 수 있는 장점이 있다[15].

위에서 언급되었듯이 오존수는 인체에 무해하며 산도를 높일 뿐만 아니라 뛰어난 살균 능력을 가지고 있으므로, 대변기 수조에서 사용되는 물에 오존을 주입하여 오존수로 변화시켜 사용한다면 수질 개선과, 국민의 건강 증진에도 효과가 있을 것으로 예상할 수 있다.

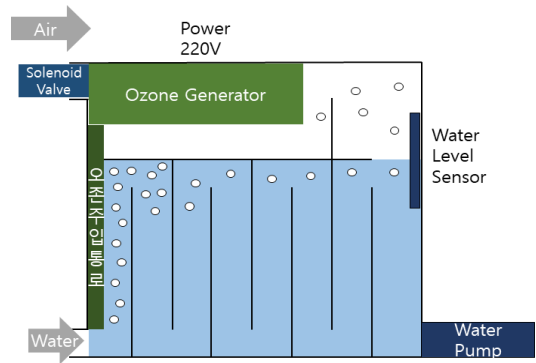
2. 개발내용 및 방법

2.1 제안하는 제품의 장점

본 기기는 공기 중의 산소를 해리시켜 오존을 발생시킨 후, 변기 수조에 저장된 물에 용해시켜 오존수를 생성한다. 이 때, 오존이 장치 밖으로 빠져 나갈 수 없도록 그림 2와 같은 구조를 설계하였다. 생성된 오존수는 변기 수조에 저장되어 사용자가 변기를 사용하면 변기 내부를 순환하게 된다. 이 과정에서 변기의 내부에 부착된 오염물질과 병원균이 오존수에 노출되어 살균된다.

또한, 최근 코로나 바이러스가 변기를 통하여 확산될 수 있다는 연구들이 많이 나오고 있는 상황에서 공중 화장실에서 전염될 수 있는 가능성을 제거할 수 있다[4].

제안하는 오존수를 이용한 Internet of Things(IoT) 변기 살균 장치는 무선랜을 통하여 원격 제어로 기기의 ON/OFF 할 수 있다. 오존을 물에 용해시키기 위해서는 높은 압력, 낮은 온도, 용매와의 접촉시간이 길어야 한다. 제안하는 기기는 저렴한 가격으로 제작하고 소형화하기 위해 압력과 온도 요소는 제어하지 않고 물과 오존이 장시간 접촉하기 위한 디자인을 구현하였다. 그리고 그림 2의 구조에서는 오존기체가 물에 녹지 않고 전자회로 부분으로 올라가더라도 장치 밖으로 나갈 수 없도록 구성되어 있다.



[Fig. 2] Structure of Apparatus

본 장치는 상기 개발내용들을 고려하여 제작되었으며 상세내용은 아래 표1과 같다.

<Table 1> Range of Development

Development Range	
Design	(Mechanism) Configuring modules, Device exterior design and Protection treatment for electric circuit (waterproof etc.)
	(Design) Increasing retention time of Ozone
PCB	(Trans module) Trans development and Controlling power modules
	(Control circuit) Motor, Solenoid and other control modules (Communication) Communication with smart devices(mobile phone etc.) using Wifi
Firmware	Digital circuit design and parent-control firmware development
IoT	Development IoT for device controlling based on Android(mobile)

2.2 제안하는 제품의 디자인 구성

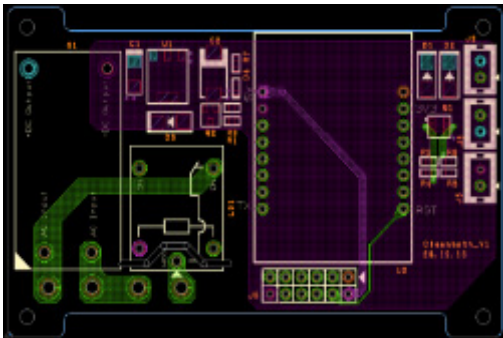


[Fig. 3] Design of Apparatus

제품 디자인은 대변기 수조통에 거치할 수 있도록 고리를 가지고 있으며, 전자회로가 물속에 닿지 않도록 그림 3의 흰색 영역은 물에 잠기지 않는 구조로 설계되었다. 장치의 설치 위치는 고리를 이용하여 고정될 수 있다. 그리고 오존 기체가 외부로 새어나가지 않도록 고무 패키지를 이용하여 밀봉되게 설계하였다. 또한 기기의 바디(물탱크)는 격벽을 사용하여 오존기체가 변기 수조의 물과 오랫동안 접촉할 수 있도록 디자인하였다. 기기 크기는 상용화되어 있는 소형 사이즈인 변기의 수조 크기를 고려하여 가로, 세로 22cm×11cm 을 기준으로 기기의 삽입이 가능한 사이즈인 가로, 세로, 높이 15cm×8.5cm×17.5cm로 설계하였다.

2.3 제안하는 제품의 하드웨어(전자)

오존 발생을 제어하기 위한 전자회로를 설계하였다. 빠른 프로토타이핑을 위해 와이파이 기능을 가진 아두이노 Wemos d1 mini V3.1.0 (Wifi: ESP-826 6EX)를 활용하였으며, 수위 센서(SZH-EK057, SMG, 독일)와 공기의 흐름을 제어하기 위한 솔레노이드 밸브(0520D, Fushi Pump Chongqing, 중국) 회로를 구성하였다. 그리고 오존수를 강제로 변기 수조로 밀어내기 위한 워터펌프(JBL-B02, 제일모터컴퍼니, 대한민국)를 구성하였다. [그림 4는] 전자회로 부분의 아트웍 작업을 보여 준다.

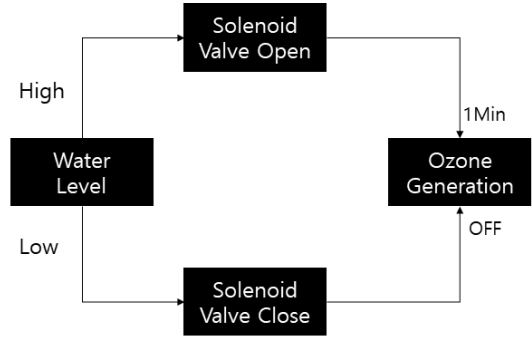


[Fig. 4] Artwork of PCB

2.4 제안하는 제품의 소프트웨어

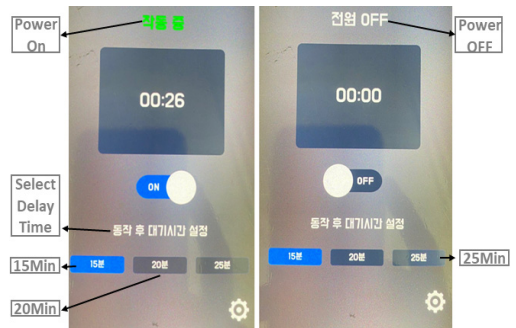
플라즈마 모듈, 솔레노이드 밸브, 워터 펌프를 제어하기 위한 펌웨어를 개발하였다. 펌웨어는 Window 11 환경에서 Arduino IDE 1.8.13을 이용하였다. 아두이노의 타이머를 이용하여 설정된 시간마다 오존을 발생시키고 물을 순환하는 알고리즘을 그림 5와 같이 구현하였다.

오존 생성 시간은 1분으로 설정하고, 주기는 20분으로 하였다. 오존이 인체에 가장 해로운 상황은 기체 상태로 인체의 폐로 흡입되는 경우이므로, 이를 방지하기 위하여 수위 센서를 이용하여 수조에 물이 없는 경우 동작을 중지하도록 설계하였다.



[Fig. 5] Process of Operating

그림 6과 같이 본 장치는 무선(Wi-Fi)으로 안드로이드 모바일 기기와 연결되며, "ON", "OFF" 기능을 추가하여 편리성 및 안정성을 향상시켰다. 또한, 사용 대변기의 용량에 따라 오존량을 변경할 수 있으며, 기기의 동작 시간, 동작 상황(정상: 녹색, 오류: 적색)이 표시된다. 어플리케이션은 Windows 11 환경에서 안드로이드 스튜디오 3.6.3에서 개발하였다.



[Fig. 6] IoT App

3. 결론

오존은 수중에서 불안정하여 반감기가 매우 짧으며, 피산화 물질이 존재하면 반감기는 더욱 짧아진다 [20]. 이 성질은 수 처리에 이용될 경우 오존의 독성이 오래도록 잔류하지 않는다는 장점도 있지만 소독의 유지 효과

시간이 짧아져 오존발생장치를 장기간 동작시켜야한다는 단점도 된다[20].

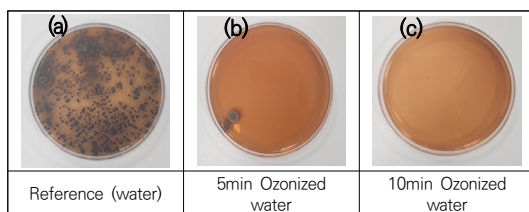
변기에서 물 내림으로 에어로졸이 생성되어 공기 중에 부유하면서 질병의 매개체 역할을 할 수 있으며, 이로 인한 2차 감염 빈번하게 발생된다.

본 연구에서는 이를 방지하기 위한 방법으로 IoT 오존수 변기 수질 개선 장치를 개발하였으며, 대변기 수조에 오존을 주입하여 오존수로 전환하는 방법을 제시하였다. 오존수의 생성방법은 플라즈마가 생성되면 발생하는 오존을 에어모터로 수중에 주입하는 방법을 사용하였다. 또한, 무선으로 모바일 기기와 연결되어 상태를 보여주며, "ON", "OFF" 기능을 추가하여 편리성 및 안정성을 향상시켰다.

본 논문에서 제안된 오존수 발생 변기 살균기는 모바일 앱과 Wifi를 통하여 연동되어[21,22], 수통 속의 기기를 상태를 모니터링할 수 있고 전원을 제어할 수 있도록 개발하였다.

본 기기를 이용하여 작동 및 살균 효과 검증을 위한 동작 테스트를 시행하여 그림 7에서 보이는 결과와 같이 디바이스 사용과 일반 생수 비교 결과 기기가 정상적으로 동작함을 확인하였다. 배지와 대장균은 사이언스톨에서 구입하였으며, 제조사는 퓨처테크닉이다. 향후 다양한 조건의 본 실험을 통하여, 살균효과에 대한 수치화된 검증 할 예정이다.

〈Table 2〉 Result of pre-experiment (after 10 days)



ACKNOWLEDGMENTS

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 "지역산업거점기관지원사업"(과제번호 P0001940)으로 수행된 연구결과입니다.

REFERENCES

- [1] TechNavio, Global Smart Bathroom Market 2018 - 2022, TechNavio, 2018.
- [2] U.R.Do, W.G.Yang and J.H.Ju, "Development of Toilet Anti-pollution Surface Treatment Technology using Plasma," Proceedings of the Korean Vacuum Society Conference, 2010, pp.401-401. The Korean Vacuum Society.
- [3] J.G.Kim, A.H.Kim and J.S.Kim, "Assessment of Bioaerosols in Public Restrooms," J Environ Health Sci, Vol.40, No.4, pp.304-312, 2014.
- [4] H.S.Jesse, M.J.Lashaki, J.Hashemi, M.Dhanak and S.Verma, "Aerosol Generation in Public Restrooms," Physics of Fluids, Vol.33, No.3, p.033320, 2021.
- [5] J.W.Ryu, K.D.Kim, H.K.Jee and S.Lee, "Water Treatment System by Using Ozone in Stream Flow," KSCE Conference, 2008, pp.3205-3208. Korean Society of Civil Engineers.
- [6] H.S.Lee, "Efficient operation civil official plan of ozone possibility sterilization disinfecting system," MS Dissertation, Chung-Ang University, Korea, 2007. Online Source.
- [7] S.T.Summerfelt and J.N.Hochheimer, "Review of Ozone process and Application As an Oxidizing Agent in Aquaculture," The progressive Fish- Culturist, Vol.59, No.2, pp.94-105, 1997.
- [8] J.Meddows-Taylor, "Some characteristics of ozone in relation to water treatment," J. Inst. Water Eng., Vol.1, pp.187-188, 1947.
- [9] M.Horvath, Ozone, Elsevier, 1985.
- [10] M.G.Alder and G.R.Hill, "The kinetics and mechanism of hydroxide iron catalyzed ozone decomposition in aqueous solution," Journal of the American Chemical Society, Vol.72, No.5, pp.1884 -1886, 1950.
- [11] C.G.Hewes and R.R.Davison, "Renovation of waste water by ozonation", Water, pp.71-80, 1973.
- [12] S.Farooq, E.S.K.Chian and R.S.Engelbrecht "Basic Concepts in Disinfection with Ozone," Journal (Water Pollution Control Federation), Vol.49, No.8, pp.1818-1831, 1977.
- [13] B.W.Sheldon and Y.H.Chang, "The application of ozone and other physical processes for treating spent poultry chiller water," Proceedings of the Food Processing Waste Conference, Atlanta,GA, USA, 1987. Dissertations.
- [14] Y.S.Kim, I.S.Park, A.Y.Kim, K.M.Jeon, Y.M.Seo, S.H.Choi, Y.J.Lee, H.C.Choi, D.Jeon, H.Kim and S.D.Ha, "Application, Utilization and Management of Ozone Water in Food Manufacturing," Journal of Food Hygiene and Safety, Vol.23, No.2, pp.98-107, 2008.
- [15] Y.H.Kwon, H.M.Park, K.S.Lee and W.Z.Park, "Research on Ozone generator Development with

Internal electrodes Hole,” KIEE Annual Spring Conference, 2015, p.131. Dissertations.

- [16] I.K.Kim, “Ozone Utilization Technology in Environmental Industry”, Chemical Industry and Technology, Vol.9, No.1, pp.11-12, 1991.
- [17] J.K.Choi, I.S.Shin, D.U.Kim and H.Y.Kim, “Control of Microorganisms in School Refectories and Kitchens using Ozone Water and Ozone Gas,” KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL., Vol.47, NO.5, pp.586-592, 2015
- [18] JAPAN OZONE ASSOCIATION, Ozone Handbook, 2nd ed., JAPAN OZONE ASSOCIATION, Ch.18-19, 2022.
- [19] SD Richardson, TV Caughran, T Poiger, Y Guo and FG Crumley, “Application of DNPH Derivatization with LC/MS to the Identification of Polar Carbonyl Disinfection Byproducts in Drinking Water,” The Journal of the International Ozone Association, Vol.22, No.6, pp.673-675, 1999.
- [20] Y.S.Lee, Y.Kim, K.S.Kim, and H.G.Han, “Disinfection Properties and variation in the Ozone Concentration in Seawater Generated Using a Low-Temperature Dielectric Barrier Discharge Plasma Reactor,” Journal of the Environmental Science, Vol.21, No.10, pp.1181-1186, 2012.
- [21] J.Lee, “Analysis of the Hardware Structures of the IoT Device Platforms for the Minimal Power Consumption,” The Korea Internet of Things Society, Vol.6, No.2, pp.11-18, 2020.
- [22] T.K.Kim, “IoT(Internet of Things)-based Smart Trash Can” The Korea Internet of Things Society, Vol.6, No.6, pp.17-22, 2020.

한 민 덕(Min-Doc Han)

[준회원]



- 2011년 2월 : 한국기술교육대학교 전자공학과 (공학사)
- 2021년 2월 ~ 현재 : 한밭대학교 전자공학과 (공학석사)

<관심분야>

사물인터넷, 오존수

김 준 민(Jun-Min Kim)

[회원]



- 2009년 8월 : 서울대학교 전기전자컴퓨터(공학사)
- 2016년 2월 : 서울대학교 전기전자컴퓨터(공학박사)
- 2019년 9월 : 경기과학기술대학교 조교수
- 2020년 9월 ~ 현재 : 한성대학교 조교수

<관심분야>

헬스케어, 의료기기, 딥러닝

윤 상 철(Sangcheol Yoon)

[회원]



- 2011년 2월 : 경희대학교 정보디스플레이(이학사)
- 2013년 2월 : 경희대학교 정보디스플레이(공학석사)
- 2019년 4월 ~ 현재 : 대전대학교 조교수

<관심분야>

헬스케어, 의료기기, 디스플레이