

## 관로형 UV 소독기를 위한 세척 및 모니터링 시스템 개발

박병준<sup>1</sup>, 류지형<sup>2</sup>, 박재병<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup>풀빛이엔씨, <sup>2</sup>전북대학교 전자공학부, <sup>3</sup>전북대학교 전자정보 신기술연구센터

# The Development of Cleaning and Monitoring System for Pipeline Type UV Sterilizer

Byeung-Jun Park<sup>1</sup>, Ji-Hyoung Ryu<sup>2</sup> and Jae-Byung Park<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup>Pulbit Engineering & Control Co. Ltd.

<sup>2</sup>Division of Electronic Engineering, Chonbuk National University

<sup>3</sup>Advances Electronics & Information Research Center, Chonbuk National University

**요 약** 본 논문에서는 관로형 UV 소독기의 자동 세척 제어 및 원격 모니터링이 가능한 통합 제어 시스템을 제안한다. 제안한 시스템은 소독기 내 UV 램프 세척 와이퍼의 다양한 세척 동작 제어가 가능하고 UV 센서를 통해 오염도를 주기적 점검할 수 있어 관로형 소독기를 보다 효율적으로 유지, 보수할 수 있다. 또한, 관로형 소독기의 제어기는 개방형 프로세서를 기반으로 하고 있어 외부의 스마트기기와 블루투스 통신을 통해 제어명령 및 센서 정보 등을 주고받을 수 있다. 그 뿐만 아니라 스마트기기를 통해 무선으로 제어기의 펌웨어 업그레이드가 가능하기 때문에 세척 동작 변화 및 각종 센서 장·탈착에 유연하게 대처할 수 있다. 이러한 장점들을 통해 제안한 시스템으로 소규모 마을 등의 스마트 하수 처리 시스템 구축이 가능하다.

**Abstract** In this paper, an integrated control system is proposed for automatic control and remote monitoring of pipeline type UV sterilizer. The proposed system can control the cleaning wiper in the sterilizer with various cleaning motions, and periodically check the contamination level of the UV lamps with the UV power sensors. Therefore, sterilizer repair and maintenance can be more effectively done. In addition, the control system based on the open-source processor can communicate with external smart devices via Bluetooth, and thus wirelessly exchange control commands and sensor data. Furthermore, the system is able to flexibly cope with changes of cleaning motions and sensors since its firmware can be wirelessly upgraded by using the smart device. Consequently, the proposed system is suitable to construct a smart sewage treatment system in small towns.

**Key Words** : Monitoring System, Pipeline type, UV Sterilizer

### 1. 서론

공공하수처리과정에서 물을 하천에 흘려보내기 전에 Fig. 1과 같이 소독과정을 거치게 된다. 이러한 소독과정에는 일반적으로는 염소소독제를 사용하고 있다. 그러나 염소 소독 시 발생하는 소독부산물은 인체 및 환경에 유해하여 염소 소독 후 탈염설비를 이용한 재처리 과정을 필요로 한다[1,2]. 또한 사용되는 염소가스의 저장과 관련한 안전성 문제로 많은 논란을 불러오고 있는 실정이며

이와 더불어 1993년 미국의 밀워키시와 1996년 일본의 사이타마현(埼玉県) 등에서 발생한 수돗물에 의한 집단 감염을 유발한 크립토스포리디움(Cryptosporidium)은 대장균에 비해 염소저항이 24만배나 높아 기존의 염소소독으로는 병원균을 제거하기 어렵다[3]. 하지만 최근 들어 크립토스포리디움이 일반적인 자외선 소독공정으로 감염력을 잃는다는 것이 밝혀져 자외선 소독공정에 관심이 높아졌다[4,5]. 이에 점차적으로 자외선(UV)을 이용한 소독공정이 증가하고 있다. 자외선 소독공정은 미생물 소

\*Corresponding Author : Jae-Byung Park(Chonbuk National Univ.)

Tel: +82-63-270-4283 email: jbpark@jbnu.ac.kr

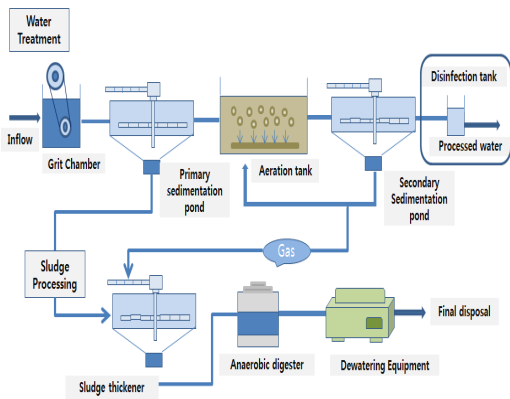
Received October 10, 2013

Revised (1st December 3, 2013, 2nd December 4, 2013)

Accepted December 5, 2013

독효율이 높고 염소 등의 화학적 소독과정에서 발생하는 발암성 부산물이 거의 발생되지 않는다.

이러한 자외선 소독공정에 사용되는 살균소독기는 그 형태에 따라 수로형과 관로형으로 나뉜다. 수로형 자외선 살균 소독기는 열린 수로에 자외선 램프 다발을 침수시켜 살균하며 이를 위한 부가설 등이 필요하기 때문에 설치 면적을 많이 차지하여 대규모 살균 시스템에 적합하다. 수로형 소독기와는 달리 관로형 소독기는 설치 면적을 적게 차지하여 주로 소규모 마을 단위 하수처리장에서 각광받고 있다. 또한, 우리나라의 대부분의 하수처리장이 소규모인 것을 감안하면 수로형 살균 소독기에 비해 시장성이 있다[6,7]. 하지만 관로형 소독기는 챔버 내에 UV 램프가 위치하기 때문에 이를 관리자가 수시로 관리하기란 쉽지 않은 일이다. 따라서 소독효율을 유지하면서도 이를 효과적으로 모니터링 할 수 있는 시스템이 필요하다.



[Fig. 1] The water treatment process

관로형 소독기 사용 시 대개의 경우 소독기와 별도로 제어패널을 설치하여 관로형 소독기 내 램프 상태 (ON/OFF) 등 관로 내의 상태를 모니터링하고, 필요에 따라 램프를 감싸는 램프가드를 청소하도록 제어 한다. 하지만 이 경우 관로형 소독기와는 별도로 제어패널을 설치해야하기 때문에 추가적인 설치비용과 설치 공간이 필요하다.

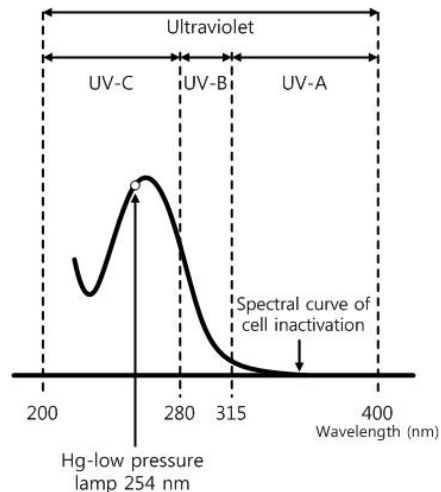
본 논문에서는 관로형 소독기 제어패널의 접근성, 설치비용의 경제성 등의 문제를 합리적으로 해결하고 관로 내의 소독효율을 효과적으로 유지할 수 있는 세척 및 모니터링 시스템을 새롭게 제안한다.

## 2. 시스템 구성

### 2.1 관로형 UV 소독기의 자동세척 시스템

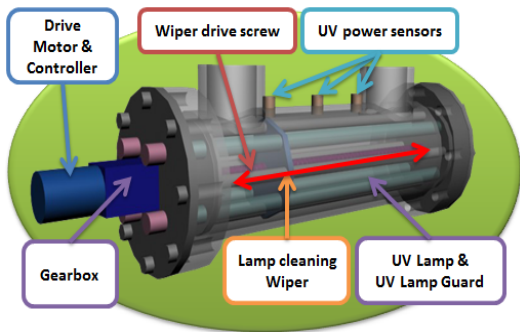
자외선은 파장 100 nm 와 400 nm 사이의 전자기 에너지를 말한다. 그 중에서도 파장 200 nm 와 300 nm 사이의 자외선이 소독기능을 가지며, 250 nm 에서 270 nm 사이의 파장이 강한 소독기능을 나타냄을 Fig. 2에서 확인할 수 있다. 자외선의 최대 소독기능은 파장 265 nm 에서 나타나지만, 기술적으로 생산할 수 있는 저압계열의 UV-C램프의 파장대가 253.7nm에 머물러 있기 때문에 일반적으로 정수처리 및 하수처리 시 254 nm 파장대가 소독공정에 많이 사용되고 있다.

염소 등의 화학적 소독제제는 세포벽을 파괴하여 세포 성분의 누출, 생체반응관련 효소의 손실이 주인 반면 자외선을 흡수한 세포는 핵산이 광화학작용(Photochemical)에 의해 DNA의 손상을 입고 변이하여 유전자의 복제를 억제시키게 된다[8]. 관로형 UV 소독기는 이러한 자외선의 살균력을 활용하여 하수를 소독한다.



[Fig. 2] The bactericidal effect due to the wavelength of ultraviolet light

Fig. 3은 관로형 소독기의 자동세척 시스템을 나타내고 있다. 관로내부에는 소독을 위한 UV 램프가 자리 잡고 있고, UV 램프를 감싸는 램프가드가 오염되는 것을 막기 위해 램프세척 와이퍼가 주기적으로 또는 수동조작에 의해 램프가드를 세척하게 된다. 이때, 세척용 와이퍼는 횡 방향으로 이동하게 된다.



[Fig. 3] The configuration of the pipe-type UV sterilizer

세척용 와이퍼 구동을 위해서는 모터와 기어 비를 맞추어주는 기어박스가 필요하며 이들은 관로의 끝부분에 위치하고 있다. UV 센서는 UV 자외선의 강도( $mW/cm^2$ )를 측정하며 이를 이용하여 자외선 조사량을 계산할 수 있다.

$$D = I \times t \quad (1)$$

이때,  $D$  는 자외선 조사량( $mW \cdot s/cm^2$ ),  $I$  는 자외선 강도,  $t$  는 노출시간(sec)을 나타낸다.

일반적으로 조사량에 따른 대장균의 비활성화율은 챔버내의 반사 등을 고려하지 않을 때 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$-\ln\left(\frac{N_t}{N_0}\right) = k \cdot D \quad (2)$$

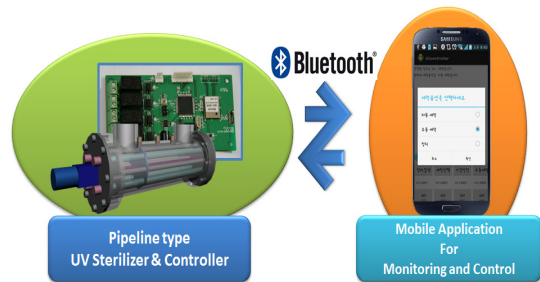
여기에서  $N_t$ 는 임의시간  $t$ 에서 존재하는 미생물의 총 수를 나타내고  $N_0$ 는 자외선을 조사하기 전의 미생물의 총 수를 나타낸다. 또한,  $k$ 는 자외선 조사량에 따른 대장균의 비활성화 계수로 탁도등에 영향을 받는다[9]. 따라서 자외선 조사량은 소독 성능에 큰 영향을 끼치기 때문에 UV파워 센서를 통해 소독성능을 주기적으로 점검할 수 있다.

## 2.2 관로형 UV 소독기 모니터링 시스템

기존의 제어 패널을 대신하여 관로형 소독기의 끝부분에 Arduino 기반의 제어기를 구성하고 이를 활용하여 외부의 스마트기기와 블루투스 통신을 하는 시스템을 구성하였다. 스마트기기에서는 App을 설치하여 관로형 소독기 내부를 모니터링 하고 세척기를 제어할 수 있다. 따라서 기존에 고정형 제어패널에 비해 원격 모니터링이 가능하다. 또한, 다양한 스마트기기를 지원하여 App 설치

만으로도 간단히 제어모니터링 시스템을 구축할 수 있어 비용 면에서도 훨씬 경제적이다. 더불어 필요시 제어기의 Firmware를 업데이트 할 수 있어 유지 보수가 용이하다. 수동으로 램프가드를 살균할 때에 스마트 기기에서 생성한 모션을 제어기를 통해 바로 적용하여 다양하고 효과적인 세척 모션을 활용할 수 있다.

제한한 원격제어 모니터링 시스템 내 제어기는 효과적인 관로형 소독기 관리를 위하여 측정된 UV센서 데이터를 일정한 주기로 저장하였다가 스마트기기와 통신이 시작되면 데이터를 스마트 기기에 전송하여 분석할 수 있다.

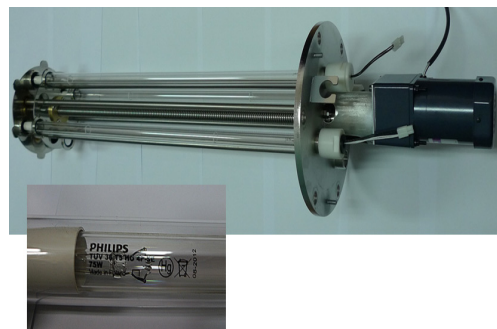


[Fig. 4] The monitoring system of the pipe-type UV sterilizer

## 3. 시스템 구현

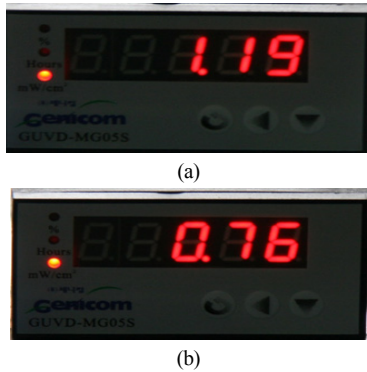
### 3.1 관로형 UV 소독기 자동 세척부 구현

Fig. 5와 같이 관로형 UV 소독기 자동 세척부를 설계하고 구현하였다. 자동세척부에는 램프를 감싸기 위한 석영관 위에 이를 세척하기 위한 와이퍼가 중앙의 스크류를 통해 움직인다. 이 스크류를 구동하기 위해 AC모터를 사용하였고 램프는 필립스사의 제품을 사용하였다.

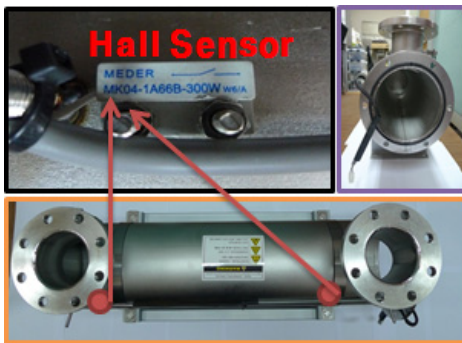


[Fig. 5] The development of cleaning system for the pipe-type UV sterilizer

UV강도를 측정하는 센서로는 Fig. 6과 같이 제니컴 제품을 사용하였다. UV강도는 램프가드에 이물질이 없을 경우 약  $1.19 \text{ mW/cm}^2$ 이었고 하수 오염물이 있을 경우  $0.76 \text{ mW/cm}^2$ 으로 줄어들었다. 특히 이 센서는 UV 파장  $220\text{nm} \sim 280\text{nm}$  사이의 강도를 측정할 수 있기 때문에 제작한 관로형 UV소독기의 살균력을 알아볼 수 있는 지표가 된다.



[Fig. 6] UV power sensing  
 (a) UV power, when contaminants don't exist  
 (b) UV power when contaminants exist



[Fig. 7] The pipe-type UV sterilizer

Fig. 7과 같이 관로형 UV 소독기의 외관은 마을 하수도에 설치하기 용이하게 제작하였다. 외관에는 와이퍼의 위치를 한정시키기 위해 양 끝에 홀센서를 부착하여 와이퍼가 세척 중 관로의 끝부분에 다다르면 제어기에 중지 신호를 보내도록 제작하였다.

Fig. 8과 같이 설계한 제어기는 ATmega2560을 기반으로 하는 Arduino Mega와 블루투스 모듈, 자동세척부의 AC모터를 구동하기 위한 릴레이, 각종 센서들을 연결할 수 있는 센서커넥터 부분으로 이루어져 있다. 특히, Arduino보드의 특성을 살려 블루투스 통신을 이용하여 펌웨어 업그레이드가 가능하도록 부트로더를 심었다. 또

한, 향후 추가적으로 센서를 연결할 수 있도록 충분한 커넥터를 만들어 센서타입에 맞게 설치 할 수 있도록 하였다. 이렇게 설계한 제어기를 Fig. 8과 같이 PCB형태로 만들어 제작하였다.

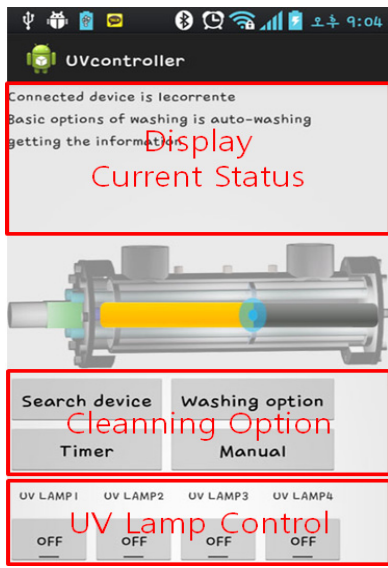


[Fig. 8] The PCB board of controller

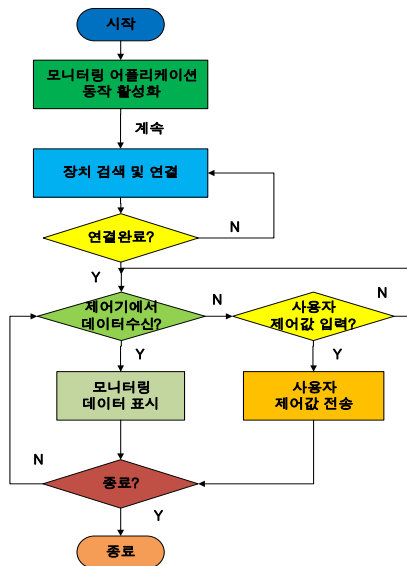
### 3.2 관로형 UV소독기 모니터링 시스템 구현

세척장치 작동 및 램프 모니터링, 블루투스를 활용한 원격제어, 모니터링을 위해 안드로이드 OS 기반의 애플리케이션을 개발하였다. Fig. 9는 개발한 안드로이드 애플리케이션을 보여주고 있다.

화면의 위부분에는 관로형 소독기의 연결 상태, 제어 명령전송, 에러 메시지 등을 나타내는 상태창이 위치하고 다음으로는 관로형 소독기내의 와이퍼의 움직임을 직관적으로 나타내는 도면이 위치하고 있다. 조작버튼으로는 세척옵션을 지정하는 버튼, 외부의 스마트기기와 블루투스 통신을 설정하는 버튼, 자동세척, 수동세척 버튼 등이 있으며 마지막으로 램프의 ON/OFF상태를 모니터링하고 이를 제어할 수 있는 램프제어 버튼이 화면의 하단에 위치하고 있어 직관적이고 효율적으로 관로형 소독기를 제어할 수 있다. Fig. 10은 이러한 애플리케이션의 동작을 순서도를 이용하여 보여주고 있다.



[Fig. 9] The monitoring system for the pipe-type UV sterilizer



[Fig. 10] The flow chart of the smart monitoring app.

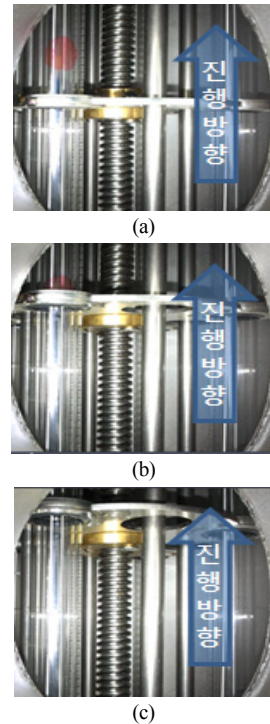
이렇게 만들어진 모니터링 어플리케이션은 Fig. 11과 같은 프로토콜을 이용하여 제어기와 제어명령 및 센서 값 정보를 주고받을 수 있다. 명령어는 총 16byte로 이루어져 있으며 시작신호를 감지하고 관로형 소독기 제어기에 부여된 ID를 읽어 모니터링 시스템의 데이터베이스에 저장한다. 현재 램프의 상태와 UV 파워 센서 등의 상태를 기본으로 전송하며 추가적으로 센서를 설치하였을 경우 이에 대한 데이터를 읽어온다. 세척명령의 경우 자동

세척 수동세척 등의 명령을 주고받을 수 있다. 마지막으로 주고받은 명령어에 대해 검사신호가 있어 이를 통해 명령오류를 최소화 한다.

Fig. 12는 램프가드에 이물질이 묻었을 경우 스마트기기에서 설정한 동작으로 세척하는 과정을 순차적으로 나열한 것이다.

Meanings	Data Length	Example
Start Signal	1 byte	S
Device ID	1byte	0x50
Lamp1 State	1 byte	0x01
Lamp2 State	1 byte	0x01
Lamp3 State	1 byte	0x01
Lamp4 State	1 byte	0x01
UV power sensor1	1 byte	0xAF
UV power sensor2	1 byte	0xAE
UV power sensor3	1 byte	0xAD
Extra Sensor1 State	1 byte	0x00
Extra Sensor2State	1 byte	0x00
Extra Sensor3 State	1 byte	0x00
Extensible Data State	1 byte	0x00
Extensible Data State	1 byte	0x00
Cleaning Command	1 byte	0x01
Check Sum	1 byte	0x01

[Fig. 11] The protocol of the monitoring system



[Fig. 12] The cleaning process

- (a) Before cleaning the contaminants
- (b) During cleaning the contaminants
- (c) After cleaning the contaminants

#### 4. 결론

본 논문에서 제안한 관로형 소독기를 위한 세척 및 모니터링 시스템은 관로 내의 UV 램프 표면이 이물질이나 기타요인으로 인해 오염되었을 때 이를 감지하여 자동으로 세척해 주고, 또한 이를 효과적으로 모니터링 하여 관로형 소독기의 세척효율을 유지할 수 있도록 해준다.

특히, 기존의 관로형 소독기가 가지고 있던 유지, 보수 의 불편함과 별도의 제어패널을 위한 추가비용 및 공간 확보를 극복하였다. 따라서 제안한 시스템을 이용한다면 보다 경제적이고 효율적으로 관로형 UV소독기를 운용할 수 있다. 이는 최근 마을 단위 소규모 하수종말처리장에 관로형 UV소독기의 이용이 확산되고 있음을 감안하면 이와 관련한 사업 부문에 많은 기여를 할 것이라고 기대 된다[6].

#### References

- [1] R. A. Meyers, editor, "Encyclopedia of Environmental Analysis and Remediation". Vol 3, pp. 1398-1421, John Wiley & Sons, Inc, 1998.
- [2] B. Langkai, D. A. Reckhow, and D. R. Brink, "Ozone in Water treatment; Application and Engineering", pp. 2-3, Lewis Publishers, Chelsea, Mich., 1991.
- [3] W. MacKenzie, N. Hoxie, M. Proctor, M. Gradus, K. Blari, D. Peterson, J. Kazmierczak, and J. Davis, "A massive outbreak in Milwaukee of Cryptosporidium infection transmitted through the public water supply.", *New Eng. J. Med.*, Vol 331., pp. 161-167., 1994.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1056/NEJM199407213310304>
- [4] Shin G.-A. , Linden K.G. , Arrowood M.J., and Sobsey M.D., "Low-pressure UV Inactivation and Subsequent DNA Repair Potential of Cryptosporidium parvum Oocysts", *Appl. & Envir. Microbiol.*, Vol.67 No.7, p.3029, 2001.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.67.7.3029-3032.2001>
- [5] Clancy J.L., Z. Bukhari, T.M. Hargy, J.R. Bolton, B.W. Dussertand, N.M. Marshall, "Using UV to Inactivate Cryptosporidium.", *Jour. AWWA.*, Vol. 92. No. 9, pp. 97-104, 2000.
- [6] Park J.H., "K-water sewer business operation status", *K-water sewer system operating status*, July, pp. 1-3, 2012.
- [7] Crites, R. and G. Tchobanoglous. 1998. *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*. The McGraw-Hill Companies. New York, New York.
- [8] Sonntag, Clemens von., "Disinfection by free radicals and UV-radiation" *Water Supply*, Vol. 4, Mulhouse, pp. 11-18, 1986.
- [9] K. Chiu, D.A. Lyn, P. Savoye, and E.R. Blatchley III, "Integrated UV Disinfection Model Based on Particle Tracking", *J. Environ. Eng.*, Vol. 125 No. 1, pp. 7 -16., 1999  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1999\)125:1\(7\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1999)125:1(7))
- [10] J.H. Ryu, S.K. Kwak, S.M. Lee, K.T. Chong, J.B. Park, "The Extensible Monitoring System for Pipe type sterilizer", *Proceedings of The Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 2013 No.4, pp. 179, 2012.
- [11] J.H. Ryu, D.H. Yu, S.M. Lee, K.T. Chong, J.B. Park, "pipe-type sterilizer for disinfecting increase efficiency self-cleaning device," *Proceedings of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 2013 No.7, pp. 1645-1646, 2013.
- [12] J.D. Park, K.K. Shin, S.T. Hong, C.G. Lee, "A Study of Disinfection Process Automation through Control Logic Program Development," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 12 No.8, pp. 3644-3653, 2011.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.8.3644>
- [13] Zhang J K ,Dong Z B ,Yang Y B , "New Closed UV Sterilizer Application of Wastewater Treatment", *Advanced Materials Research*, Vol. 535-537, No. 3, pp. 2232-2235, 2012.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.535-537.2232>
- [14] She J G ,Meng X Z ,Chen N , "The Research and Development Based on the UV + US Synergistic Sterilizer", *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 253-255, pp. 908-913, 2013.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.253-255.908>

**박 병 준**(Byeung-Jun Park)

[정회원]



- 2011년 8월 ~ 현재 : 전북대학교 산업기술대학원 제어계측공학 석사과정
- 1999년 1월 ~ 현재 : 풀빛이앤씨 대표

<관심분야>

산업용 계측기, 자동화시스템

---

**류 지 형**(Ji-Hyoung Ryu)

[정회원]



- 2007년 2월 : 전북대학교 대학원 제어계측공학과 (공학석사)
- 2008년 2월 ~ 현재 : 전북대학교 대학원 전자정보공학부 박사과정

<관심분야>

이동로봇, 지능제어, 자동화시스템

---

**박 재 병**(Jae-Byung Park)

[정회원]



- 2002년 2월 : 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 (공학석사)
- 2006년 8월 : 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 (공학박사)
- 2006년 10월 ~ 2007년 8월 : 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 BK21 박사후연구원
- 2007년 9월 ~ 현재 : 전북대학교 전자공학부 부교수

<관심분야>

다중로봇제어, 이동로봇제어, 원격로봇제어, 로봇비전

---