

실시간 수질 모니터링을 위한 스마트 디바이스의 개발

류대현* · 최태완**

Development of the Smart Device for Real Time Water Quality Monitoring

Dae-Hyun Ryu* · Tae-Wan Choi**

요약

우리가 일상적으로 마시는 수도물의 경우 수질의 오염에 대한 시민들의 불신은 매우 높은 편이다. 또한 수도물의 수질오염사고는 예측이 어렵고 그 위험이 커서 실시간 모니터링과 관리가 필요하다. 따라서 사물인터넷을 이용한 실시간 수질 모니터링의 도입이 필요한 분야라 할 수 있다. 잔류염소는 다른 소독제보다 잔류성 및 경제성이 우수하고 잔류효과 확인이 쉬워 상수도에서 주로 소독 지표로 활용되는데 수도물의 안전성을 확보하는 차원에서 사물인터넷기술을 이용하여 실시간으로 감시가 가능하다. 본 연구에서는 전류법 센서를 이용하여 실시간 수질 모니터링을 위한 스마트 디바이스를 개발하고 그 성능을 분석하였다.

ABSTRACT

Citizens' distrust of water pollution is very high in tap water that we routinely drink. In addition, water pollution accidents of tap water are difficult to predict and the risk is high, so real-time monitoring and management are needed. Therefore, it is necessary to introduce real-time water quality monitoring using the Internet of things(IoT). Residual chlorine is more persistent and economical than other disinfectants and it is easy to check residual effect, so it is mainly used as a disinfection index in waterworks. It can be monitored in real time by using IoT technology in order to secure the safety of tap water. In this study, we developed smart device for real-time water quality monitoring using amperometry sensor and analyzed its performance.

키워드

IoT, Residual Chlorine, Smart Device, Water Quality
사물 인터넷, 잔류 염소, 스마트 디바이스, 수질

1. 서론

물환경관리에서 사물인터넷은 크게 1) 모니터링(Monitoring), 2) 분석(Analysis), 3) 제어(Control)의 부분에서 활용성을 보이는데, 특히, '신속성', '가시성',

'자율화', '최적화'가 꼭 필요한 대상에 적용하였을 때 최대의 효과 또는 활용성을 가지게 된다[1]. 우리가 일상적으로 마시는 수도물의 경우 수질의 오염에 대한 시민들의 불신은 매우 높은 편이다. 또한 수도물의 수질오염사고는 예측이 어렵고 그 위험이 커서 실

* 한세대학교 IT학부(dhyu@hansei.ac.kr)

** 교신저자 : 경남과학기술대학교 메카트로닉스공학과

• 접수일 : 2019. 06. 03

• 수정완료일 : 2019. 07. 09

• 게재확정일 : 2019. 08. 15

• Received : Jun. 03, 2019, Revised : Jul. 09, 2019, Accepted : Aug. 15, 2019

• Corresponding Author : Tae-Wan Choi

Dept. of Mechatronics Eng., Gyeongnam Nat'l Univ. of Sci. & Tech.

Email : twchoi@gntech.ac.kr

간 모니터링과 관리가 필요하다. 따라서 사물인터넷을 이용한 실시간 수질 모니터링의 도입이 필요한 분야라 할 수 있다.

일반적으로 수도물은 정수장에서 생산되는데 생산된 물은 배수지, 가압장, 수조 등의 수도 공급시설을 거쳐 시민들에게 공급된다. 전 공급 과정에서 수질이 오염될 가능성이 매우 높는데, 공급계통에서 수질악화 요인은 배관의 재질로부터 불순물의 용출과 수계전환 등 배수공사에 의한 스케일의 탈리, 불순물 혼입 및 배수지 수조의 부적절한 관리에 의한 오염 또는 관말 정체지역의 긴 체류시간에 따른 수질악화 등이 주요 원인이라 할 수 있다. 따라서 수계전시 관망해석을 통한 수압, 유량, 유속에 의한 전사평가로 급속한 유속 변화에 따른 탁도증가를 예방하고 탁도증가에 따른 적수감시 등 배급수계통 수질 감시시스템을 구축하여 공급계통에서 사전예방을 통해 대형 적수 발생을 최소화할 필요가 있다. 2000년 이후 여러 지자체에서는 수도물 수질감시시스템을 구축하여 원수로부터 수도꼭지까지 24시간 실시간 수질을 감시해 오고 있다. 일반적으로 감시 항목은 탁도, pH, 잔류염소, 수온, 전기전도도 등 5개 항목이다[2].

본 연구에서는 이 중에서 잔류염소를 대상으로 한다. 잔류염소의 종류는 유리잔류염소와 결합잔류염소가 있다. 염소는 분자상의 염소(Cl_2), 차아염소산($HOCl$)과 차아염소산이온(OCl^-)으로 존재하고 그 비율은 물의 pH와 수온에 따라 다르다. 잔류염소는 다른 소독제보다 잔류성 및 경제성이 우수하고 잔류효과 확인이 쉬워 상수도에서 주로 소독 지표로 활용된다. 정수장에선 염소주입 위치에 따라 전염소처리, 중염소처리, 후염소처리가 있으며 공정제어, 약품주입량 제어, 수질감시에 사용하며 배급수 계통에서 미생물에 대한 안전성을 확보하는 차원에서 감시할 필요가 있다. 본 연구에서는 전류법(amperometry) 센서를 이용하여 IoT 환경에 적용될 수 있는 실시간 수질 모니터링을 위한 스마트 디바이스를 개발하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 관련 기술 및 동향을 간단히 설명한다. 3장에서는 전체 시스템 개념과 구체적인 구현 내용을 기술하였다. 4장에서는 3장에서 시험환경을 구축하여 시험한 내용을 기술하고, 5장에서는 결론과 향후 연구방향을 제시하였다.

II. 관련 연구

2.1 전류법 센서를 이용한 잔류 염소 검출

정수장에서 원수에 포함되어 있을지도 모르는 병원성 미생물, 무기물 및 냄새 제거에 염소가 많이 이용되고 있다. 그러나 과도한 염소 주입은 많은 비용이 소요될 뿐 아니라 염소계 소독 부산물을 생성시킬 수 있고 적게 주입한다면 수인성 전염병에 대한 위험성을 증가시킬 수 있다.

염소를 사용하여 원수를 소독하는 경우 소독 처리 후에도 잔류 염소로 남아 송·배수 중에도 재오염을 방지하는 효과도 얻을 수 있다. 그러나 과도한 염소 주입은 발암성 물질인 트리할로메탄(trihalomethane)을 증가시킬 수 있어 염소 소독제 농도 관리는 매우 중요하다. 따라서 잔류염소량의 측정은 먹는 물 관리에 있어 중요한 기준이 된다. 현재 국내의 염소 소독제에 관한 농도 기준은 먹는 물 수질기준에 의하여 유리 잔류염소 농도는 $4mg/L$ 이하로, 정수처리에 관한 기준에 따라 잔류염소 농도는 $0.2mg/L$ 이상으로 규정하고 있다[2].

물속의 염소(Cl_2)는 물의 pH에 따라 차아염소산($HClO$)이나 차아염소산이온(OCl^-)로 존재한다. 낮은 pH에서는 $HClO$ 의 생성이 많고 높은 pH에서는 OCl^- 의 생성이 많으며, pH 5 이하에서 Cl_2 로 존재하는데 이들 염소성분을 유리 염소(free chlorine)라고 한다. 또한 이 화합물들 중 $HClO$ 은 활성염소(active chlorine)라 하며, 가장 강한 산화력과 소독력을 가진다. 이러한 염소의 일반적인 측정에는 SNORT법(stabilized neutral orthotolidine method), DPD법(N,N -diethyl-p-phenylenediamine colorimetric method) 등과 같은 비색법이 있으며, 이러한 측정법들은 시료의 전처리 및 분석 소요시간이 길어 보다 간편하고 신속한 측정이 가능한 방법이 요구되어 왔다. 특히 실시간 모니터링이 가능한 측정장비의 필요성이 대두되면서 전기화학방식의 전류법이 연구되어 왔다. 전류법 센서는 강한 산화력을 가지는 $HClO$ 의 환원반응을 직접 검출함으로써 전처리 없이 유리염소를 실시간 연속 모니터링이 가능하다[3].

전류법 센서를 이용한 잔류염소를 측정하는 데는 전극구성과 전극재질에 따라 특성이 매우 다르다. 보통 $Ag/AgCl$ 기준전극은 여러 분야에 응용되는 중요

한 전기화학 부품으로 음극 방식을 이용한 부식방지 시스템의 제작과 pH 측정 시 내부기준전극으로서 많이 사용된다. 하지만 장기적으로 사용함에 따라 특성이 변하는, 소모적인 특성을 지닌다. 그래서 장기적으로 안정한 Ag/AgCl전극에 관한 연구가 필요하다[4].

2.2 스마트 디바이스

IoT가 제대로 가치를 만들기 위해서는 통신이 가능한 사물, 사물간의 통신을 연결해주는 통신 네트워크, 사물간의 통신으로 수집된 정보로 판단 및 제어를 해주는 서비스의 3가지 요소가 효과적으로 결합되어야 한다[5].

이 중에서 사물은 주변의 데이터를 수집할 수 있는 능력과 통신 기능을 갖고 있어야 하는데, 최근에는 라즈베리 파이나 아두이노와 같은 오픈소스 하드웨어가 소개되면서 다양한 분야의 사람들이 손쉽게 자신의 스마트 디바이스를 구현할 수 있게 되었다[6-7].

본 논문에서는 최근 IoT 등 다양한 분야에서 활용도가 높은 ESP8266을 사용하여 스마트 디바이스를 개발하였다. ESP8266은 중국의 에스프레시프 시스템(Espressif System)에서 제작하여 판매하는 WiFi 통신 기능을 포함하고 있는 SoC(System on Chip)이다. ESP8266은 2014 년 첫 선을 보인 이후 불과 몇 년 사이에 WiFi 통신 모듈 시장을 평정한 것으로 평가받고 있다[8-9].

III. 시스템 구성 및 구현

본 연구에서 개발한 실시간 수질 모니터링을 위한 스마트 디바이스의 전체 시스템 개념도는 그림 1과 같다.

마이크로컨트롤러와 WiFi 통신을 담당하는 핵심 모듈은 ESP-12를 사용하였다. 잔류 염소를 측정하기 위한 센서(전극)은 ANRUI사의 ARCL200을 사용하였다(그림 2). ARCL200 은 0-20.00 mg/l(\approx ppm)의 측정 범위를 갖고 있으며 0.01 mg/l의 해상도를 갖고 있다.

잔류 측정을 위해서는 INA219B 칩을 적용한 INA219 하이 사이드 DC 전류 센서 브레이크 아웃을 사용하였다. 최대 $\pm 3.2A$ 까지 전류 측정이 가능하며,

$\pm 0.8mA$ 의 분해능을 갖는다. 내부 12-비트 ADC를 이용하여 디지털 값을 출력하며 I2C 인터페이스를 지원하므로 쉽게 ESP-12와 연동이 가능하다.

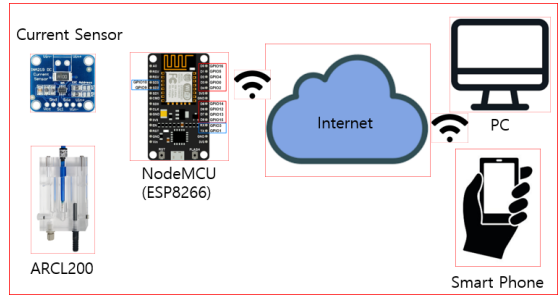


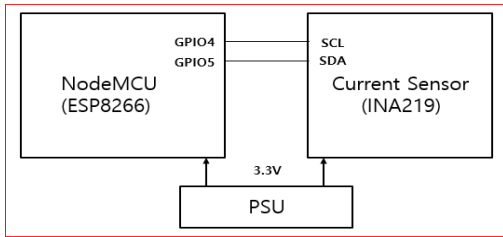
그림 1. 전체 시스템 개념도
Fig. 1 Total system concept



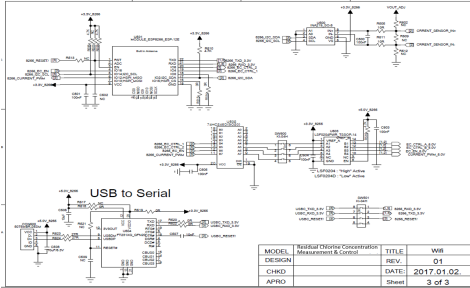
그림 2. ARCL200
Fig. 2 ARCL200

ESP-12 모듈은 에스프레시프 시스템 사의 ESP8266를 적용한 모듈로 32-bit RISC processor와 on-chip memory를 갖고 있다. 이 모듈은 802.11 b/g/n를 지원하고 on-board ceramic antenna를 포함하고 있으며 SDIO 1.1/2.0, SPI, UART 인터페이스와 다수의 GPIO를 지원한다. 또한 Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP를 지원하므로 스마트 디바이스의 개발에 유용하게 사용될 수 있다.

본 연구에서 개발한 스마트 디바이스의 경우 WiFi로 데이터를 전송하게 되는데 이때의 성능을 평가하기 위해 시험 환경을 그림 1과 같이 구축하였다. ESP8266은 기본적으로 AP(Access Point) 기능도 지원하는데 AP 바운드 내에서만 로컬 통신이 가능한 소프트AP(softAP)로도 통신이 가능하다. 통신을 위한 라이브러리는 아두이노 IDE에서 WiFi 표준 라이브러리를 사용하였으며 WiFiServer 객체로 서버를 구현하고 WiFiClient 객체로 클라이언트를 구현하였다.



(a) Block diagram



(b) circuit

그림 3. 블록도 및 회로도

Fig. 3 The entire block diagram and circuits

디바이스의 전체 블록도 및 회로도는 그림 3에 나타내었다. 실험 단계에서는 USB 케이블로 전원을 공급 받았으나 최종 단계에서는 리튬이온이나 리튬 폴리머 배터리도 동작하도록 배터리 충전 회로를 내장하였다.

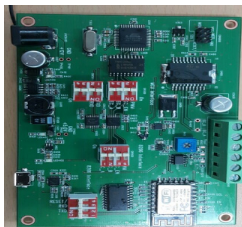


그림 4. 제작 보드

Fig. 4 Implemented board

그림 4는 제작된 실제 보드의 사진을 보여준다. 이 보드에는 수질 모니터링을 위한 회로 이외의 실험을 위해 소금물을 전기분해하여 차아염소산을 생성하기 위한 회로도 포함되어 있다.

본 연구에서는 ESP8266 모듈을 부트스트랩(Bootstrap) 프레임워크에 기반하여 HTTP 서버로 동작시킨다. 부트스트랩은 웹디자인을 쉽게 할 수 있도록

해주는 오픈소스 프론트엔드 프레임워크로, 유연한 HTML, CSS, JavaScript 템플릿과 UI컴포넌트, 인터랙션을 제공하여 손쉽게 웹 사이트를 구축할 수 있도록 해준다. PC나 모바일 폰에서 브라우저로 접속하여 HTTP Request 요청을 보내면 ESP8266은 저장하고 있던 HTML 파일, Java Script 파일, CSS 파일을 전송해주고 그림 5와 같이 웹 인터페이스를 보여준다. 본 연구에서는 웹 페이지를 통해 잔류 염소 농도를 실시간으로 측정하고 캘리브레이션(calibration) 할 수 있을 뿐 아니라 차아염소산 생성 농도를 제어할 수 있는 웹 인터페이스를 구현하였다.

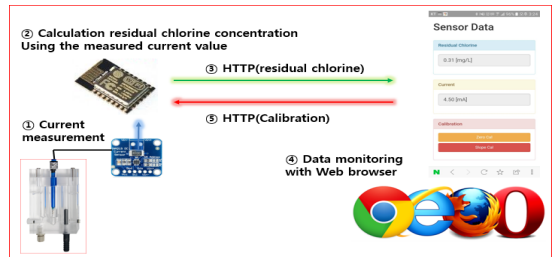
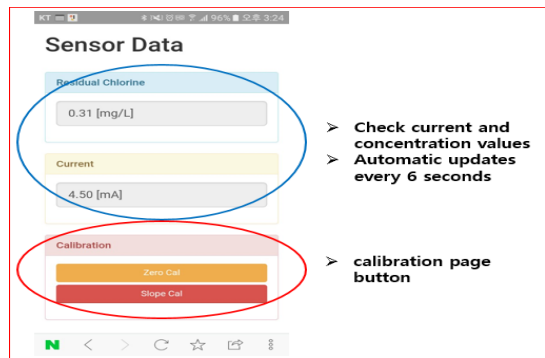


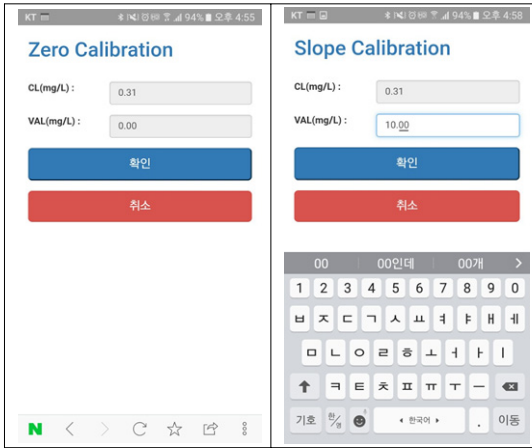
그림 5. 웹 인터페이스

Fig. 5 Web Interface

그림 6에 잔류 염소 농도를 실시간으로 측정하고 캘리브레이션 할 수 있도록 하는 웹 인터페이스 화면을 나타내었다. ARCL200과 INA219B를 통해 측정되는 잔류와 잔류 염소 농도를 6초 마다 표시되도록 하였다. 캘리브레이션은 제로 캘리브레이션과 슬로프 캘리브레이션이 가능하도록 하였으며 버튼을 누르면 해당 페이지로 이동하도록 하였다.



(a) Web Interface UI



(b) Calibration UI

그림 6. 웹 인터페이스 화면 및 캘리브레이션 화면
Fig. 6 Web Interface UI & calibration UI

IV. 시험 및 평가

본 연구에서 개발한 실시간 수질 모니터링을 위한 스마트 디바이스의 성능 평가는 크게 WiFi로 데이터를 전송 시의 데이터 전송 성능 평가와 실제 수질 측정 성능 평가로 이루어질 수 있는데 데이터 전송 성능에 대한 시험 및 평가는 본 연구팀에서 이미 발표한 바 있다[9]. 실제 수질 측정 성능 평가를 위해서는 그림 1과 같이 시험 환경을 구성하였으며 Pocket Colorimeter*를 이용하여 제로 캘리브레이션과 슬로프 캘리브레이션을 수행한 후 시험하여 그 결과를 그림 7에 나타내었다. 본 실험을 위하여 소금물을 전기분해하여 차아염소산을 생성하였는데 그림 7의 가로축은 소금물에 전류를 흘린 시간을 표시하며 세로축은 잔류염소의 농도를 ppm으로 나타내었다. 전류를 흘리는 시간이 길어질수록 잔류염소의 농도는 높아지게 된다. 캘리브레이션을 위해 사용한 Pocket Colorimeter로 측정한 결과는 점선으로 표시하였는데 본 기기의 최대 측정 가능한 값이 8.8 ppm 이라서 8.8 ppm 까지 수차례 측정한 결과 Pocket Colorimeter으로 측정한 결과와 평균 2% 이내의 정확도를 얻을 수 있다.

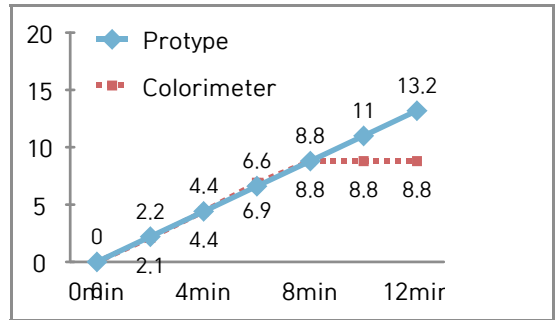


그림 7. 시험 결과
Fig. 7 Result

V. 결론

본 연구에서는 전류법 센서를 이용하여 IoT 환경에 적용될 수 있는 실시간 수질 모니터링을 위한 스마트 디바이스를 개발하였다. 개발된 스마트 디바이스는 IoT 환경에서 수질의 잔류염소 농도변화 추이를 실시간으로 안정하게 측정할 수 있어, 먹는 물 또는 수영장 등에서 잔류염소 측정을 위한 실시간 모니터링 시스템에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

최근 IoT 기술을 물 환경관리에 적용하고자 하는 시도가 이루어지고 있으며 이를 통해 다양한 기대 효과와 서비스의 향상이 예상된다. 그러나 물 환경관리에서 IoT 기술의 활용을 더욱 확대하고 발전시켜 나가기 위해서는 여러 가지 기술적 한계 및 문제점들에 대한 개선이 필요하다 할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2018년도 경남과학기술대학교 대학 회계 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

* <https://kr.hach.com/pocket-colorimeter-ii>

References

- [1] H. Han and J. Kim, "Toward An IoT-based Water and Environment Management System: Opportunities, Challenges, and Policy Options," *Korea Environment Institute*, Oct. 2016.
- [2] P. Shin, Y. Song, and Y. Choi, "Case-study; Reduction of Red Water in distribution water supply system by On-Line water quality monitoring," *Proc. of 2007 Fall Conference, Korean Society of Environmental Engineers*, Nov. 2007, pp. 1049-1053.
- [3] H. Kim and N. Jung, "Effectiveness of the Electrochemical Sensor for the Free Chlorine Measurement," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, vol. 25, no. 5 Oct. 2012, pp. 720-725.
- [4] Y. Heo, W. Park, J. Whang, and C. Park, "Fabrication and Evaluation of Ag/AgCl Reference Electrode," *ELECTRONIC MATERIALS LETTERS*, vol. 3, no. 1, Mar. 2007, pp. 33-38.
- [5] Y. Oh and S. Lee, "IoT and the open source development platform," *J. of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, vol. 32, no. 6, June 2014, pp. 25-30.
- [6] D. Ryu, "Development of BLE Sensor Module based on Open Source for IoT Applications," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 3, Mar. 2015, pp. 419-424.
- [7] D. Ryu, "Development of IoT Gateway based on Open Source H/W," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 9, Sept. 2015, pp. 1066-1070.
- [8] D. Ryu and T. Choi, "Development of Open IoT platform based on Open Source Hardware & Cloud Service," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 5, Mar. 2016, pp. 485-490.
- [9] D. Ryu and T. Choi, "Development of the Compact Smart Device for Industrial IoT," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 4, Aug. 2018, pp. 751-756.

저자 소개



류대현(Dae-Hyun Ryu)

1983년 부산대학교 전기기계공학과 졸업(공학사)

1985년 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1997년 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1987년 - 1998년 2월 전자통신연구원 선임연구원
1998년 3월 - 현재 한세대학교 IT 학부 교수

※ 관심분야 : IoT, M2M, 정보보호, 영상처리



최태완(Tae-Wan Choi)

1983년 2월 : 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)

1996년 2월 : 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학박사)

1984년 12월 - 1991년 2월 : (주)LG전자 디지털어플라이언스연구소 선임연구원

1997년 3월 - 현재 : 국립 경남과학기술대학교 메카트로닉스공학과 교수

※ 관심분야 : 신호처리, 정보통신, 영상처리, Computer Vision, IoT