

IoT기반 지하수 수질모니터링을 위한 다중센서모듈 개발 및 성능평가

장현진¹ · 문보람¹ · 윤승균¹ · 진태석^{2*}

Development and Performance Evaluation of Multiple Sensor for Groundwater Quality Monitoring and Remote Control System using IoT

Hyunjin Chang¹ · Boram Moon¹ · Seunggyun Yoon¹ · Taeseok Jin^{2*}

¹GT&P, LTD, Busan 46721, Korea

²Department of Mechatronics Engineering, Dongseo University, Busan 47011, Korea

요 약

본 논문은 지하수 수질을 모니터링하기 위한 다중센서기반의 센서 디바이스를 제작 및 성능을 제시하고자 한다. 신규로 제작된 시스템은 데이터 수집을 위하여 원격 제어기반의 다중센서 디바이스를 채택하였으며 원격모니터링 관리를 위하여 윈도우 모바일을 사용하였습니다. 지하 수질 센서장치와 모니터링 시스템 간의 통신 인터페이스로 직렬 포트 CAN 및 RS485를 채택하였고 신규 제작된 직렬 연결형 다중 센서 장치를 사용하여 지하수의 깊이에 따른 기존 센서와의 성능 비교 분석(온도계 오차범위 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$, 수소이온농도(pH) $< 0.85\text{unit}$) 결과를 제시하였다. 무선 연결된 센서 네트워크를 기반으로 한 지하수 모니터링 시스템을 위한 설계 및 통신방법을 제시하여 장치의 성능을 비교 분석하였다.

ABSTRACT

This paper has proposed a new-type groundwater auto-monitoring system based on Multi-Sensor Device. The system adopted Multi-Sensor Device as host computer of data acquisition, used Windows Mobile which was prevalent operation system of Multi-Sensor Device. It adopted serial port CAN and RS485 as the communication interface between groundwater sensor Device and monitor host machine and utilized serial-linked multi-sensor design to measure effectively according to the depth of groundwater. We present a design for a groundwater monitoring system based on a network of wirelessly linked sensors. The proposed solution will enable groundwater researchers and decision makers to have quick access to the groundwater data with less effort and cost. Though our design is initially meant for groundwater monitoring, it can be easily adapted to other fields of environmental monitoring.

키워드 : 사물인터넷, 다중센서, 지하수관측, CAN통신, 수소이온농도

Key word : IoT, Multi-sensor, Groundwater monitoring, Controller Area Network, pH

Received 07 August 2017, Revised 11 August 2017, Accepted 05 September 2017

* Corresponding Author Taeseok Jin(E-mail:jints@dongseo.ac.kr, Tel:+82-51-320-1541)

Department of Mechatronics Engineering, Dongseo University, Busan 47011, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.10.1957>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

국내에서 실시하고 있는 지하수 모니터링을 위한 관리 운영으로는 “보조지하수 관측망 설치 및 관리 지침(2002, 국토해양부, 한국수자원공사)”에 따른 보조 지하수 관측망은 국가지하수관측망과 연계하여 국가 지하수관측망을 보완하기 위한 기능으로서, 지역별로 주요 관측 대상 지점에 관측관정과 모니터링 시스템을 설치하여 지하수 수위(수질) 특성 자료를 획득 및 관리하고 있다. 이러한 지하수 모니터링 시스템은 지역 지하수의 자원고갈 방지를 위한 수위관측, 시스템 내부 수문 요소에 따른 지하수 수지균형 산출, 지역 지하수 생성요인 및 순환과정 규명, 오염이 잔존 가능한 지역에 있어 지층 내 수문지질학적 특성 파악할 수 있는 신규 센서시스템 개발과 신뢰성 테스트를 수행하였다[1].

신규 제작된 지하수 모니터링 시스템은 수위 및 수질 변동을 지속적으로 감시 및 관측하여 지하수 장해를 사전에 방지하고 지하수의 합리적인 이용 및 유지관리에 필요한 다중 센서기반 모니터링 정보를 제공하는 장치이다. 이러한 장치는 지역으로 선정된 대표지점에서 주기적으로 지하수의 수위 및 수질현황을 관측하여 시간에 따른 지하수의 물리적·화학적 변화를 파악하기 위한 지하수 모니터링이 가능한 다중 센서기반 시스템으로써 그림 1과 같은 시스템 개념도를 보여주고 있다 [2,3].

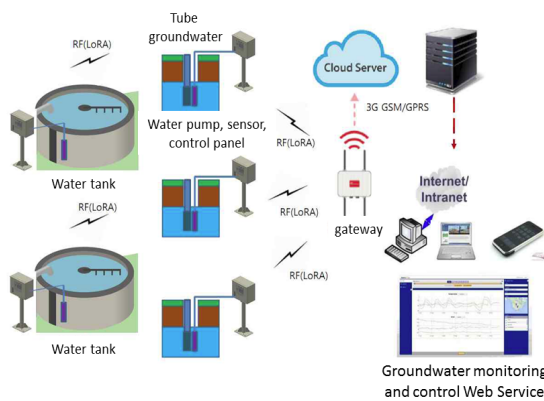


Fig. 1 Configuration of groundwater monitoring and control system

II. 다중센서시스템

본 연구에서는 지하에 보유된 지하수의 전기전도도, 온도, 산성도 등을 감지하는 시스템을 통하여 실시간으로 감지/모니터링하고 경보함으로써, 광범위한 지하수 피해에 따른 천문학적인 복원비용을 사전에 최소화하고, 관리자가 주기적으로 지하수 상태의 계측자료를 수집 및 모니터링 함으로써 지하수의 경시적 변화 양상을 분석 가능케 하고 해당지역의 수질관리대상 시설 관리, 또는 지하수오염방지 대책 수립 등에 활용할 수 있는 시스템을 설계 및 제작하였다.

본 연구에서 제작된 실시간 지하수 상태감지 시스템의 기본 구성은 그림 1과 같다. 그림에서와 같이 지하수 상태감지 시스템은 크게 1) 데이터 수집 모듈 2) 전송(통신) 모듈 3) 중앙 서버의 데이터 관리 시스템으로 구성된다. 기존 수입용 수질관측 센서는 여러 개의 센서 전극이 모두 병렬로 배치된 형태로 만들어져 있으며 이러한 센서의 단점은 고가라는 것과 외경이 45mm 이상, 높이가 450mm 이상으로 인하여 배관에 삽입이 어렵고 지하에서의 지하수 흐름을 방해하는 문제점과 국외(페루) 시장에서 사용되는 센서들은 외경(40mm 이하)이 작고 직렬형 센서 구조로 개선하였다.

수중펌프가 설치된 배관의 구경이 40mm이하로 제한되어 있음으로 인하여 배관에 센서를 삽입 및 유지관리의 어려움과 센서봉에 의한 지하수의 흐름을 방해하는 문제가 야기되어 왔다. 펌프의 배관에 집어넣을 때 공간이 협소하고 작아서 높이도 기존 외국제품에 비해 작게 구현될 수 있는 수요자의 요구에 의해서 기존 병렬형태의 센서 배열에서 선택적으로 직렬형 또는 개별형으로 구현될 수 있도록 그림 2와 같은 개념도로 제작하였다.

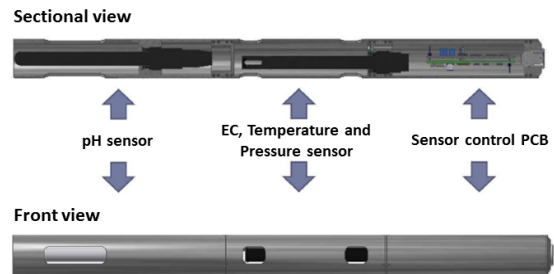


Fig. 2 Structure of multi-sensor device

표 1은 그림 1에서 제시된 시스템에 대한 각 모듈별 스펙 및 기능은 다음과 같다.

Table. 1 System specifications

Section	Data receiver	Data transfer	Remote communication	Central Management System
System Spec.	Sensor - Water pollutant - Soil pollutants - Oil pollutants RS 232 RS 485 SDI-12 Analog Data logger	RDP (Radio Data Processor) -Data receive module -SMS transmitter module -Power control module -Data DB module	CDMA network	Main PC - Real time data - Period search - Alarm setting - Cycle setting

데이터 수집 모듈은 적용 대상지역의 상황에 부합하도록 다양하게 조합된 센서부와(수심, 수압, 수온, 유속, pH 등) 수집한 데이터를 저장하는 데이터로거로 구성되어 있다. 전송(통신) 모듈은 CDMA 또는 LTE 무선망에 접속하여 데이터 통신 기능을 갖도록 하는 Radio Data Processor(이하 RDP) 무선 단말장치로서 다양한 방식의 데이터로거 및 센서와 호환 가능한 프로토콜을 지원하는 모듈, SMS 방식으로 데이터로거에서 수집한 자료를 전송하는 모듈로 구성된다. 중앙 서버의 데이터 관리 시스템은 전송 모듈에서 발송한 SMS 데이터를 수신하는 장치와 수신한 데이터를 저장 및 관리하는 데이터베이스, 현장에 설치된 RDP의 셋팅을 가능하게 하는 설정 기능으로 구성된다. 마지막으로, 지하수상태에 대한 메시지 전달 모듈은 실시간으로 수집되는 자료가 데이터 관리 시스템의 기능에서 설정할 수 있는 지하수상태나 오염물질의 특정 범위를 벗어날 경우에 지정한 관리자에게 메시지를 발송하여 지하수 상태를 인지하게 하여 정해진 매뉴얼에 따라 대응 할 수 있도록 하는 부분이다[4,5].

III. 시스템 설계

본 연구에서 적용된 데이터 전송(통신) 모듈은 LoRa 통신 기술을 적용하여 국부 지역의 각 제어판넬과 무선기반의 센서데이터를 게이트웨이 모듈과 연계하여 전체 수집하게 된다. 게이트웨이 모듈은 이동통신망(CDMA, LTE)에 접속하여 중앙서버의 수신 장치로 데이터를 송신하는 Radio Data Processor(이하

RDP) 무선 단말장치 시스템이다. 게이트웨이 전송 모듈은 데이터로거 및 센서로부터의 데이터 수집부분, LoRa 무선망에 접속하여 자료를 발송하는 데이터 송출부분, 데이터 저장부분, 전원 제어부분으로 구성하였다. LoRa 통신망 기술은 다른 Zigbee 등 무선 프로토콜 보다 훨씬 긴 범위(가시거리가 확보된 환경에서 최대 21km)를 가지므로 많은 리피터 및 AP 가 필요 없어 인프라 구축 비용을 낮출 수 있으며, 3/4G 셀룰러 네트워크에 비해 임베디드 애플리케이션을 위한 보다 높은 확장 가능성과 비용 효율성을 극대화 할 수 있는 인터페이스로 구현하였다.

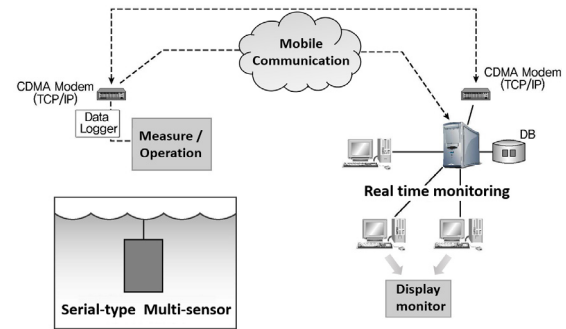


Fig. 3 Groundwater monitoring system configuration

그림 3에서 제시된 시스템 구성도는 CAN, RS-232C, RS-485 프로토콜 등 다양한 방식을 이용하여 PC 또는 다른 외부장치와 연결하여 사용할 수 있게 설계되어 있으며 내장된 LoRa Module은 800~900MHz의 주파수 대역과 10kbps 이하의 속도로 Data 전송을 지원한다. 또한 본 기기는 태양광을 이용한 저전력 회로 설계를 통해 상용전원과 병행하여 사용이 가능하도록 설계 및 제작하였다. 또한, 저전력 및 고신뢰성을 요구하는 IoT 서비스를 위하여, 중장거리 무선통신 기술인 LoRa (Long-Range Sub-Ghz Module)[3] 기반의 스마트 IoT 디바이스와 스마트폰 앱을 활용하는 수질모니터링 및 원격제어 시스템을 설계 및 구현하였다.

그림 4는 LoRa 통신기술 기반의 IoT 서비스를 위한 시스템 구조를 나타내며, LoRa 태그(tag)는 LoRa 통신 모듈과 센서 모듈을 활용하는 디바이스이다. 해당 디바이스로부터 환경 및 디바이스에 대한 상태 정보 등은 LoRa 통신을 이용하여 LoRa AP 로 전달된다. 전달된 정보는 서버에 저장 및 관리되며, 웹기반의 운영자 모

드 및 스마트폰앱 기반의 사용자 모드에서 실시간으로 모니터링 서비스를 제공할 수 있다[6].

3.1. 데이터 수집 기능

다양한 방식의 센서 또는 데이터로거와의 통신을 위해 RS-232, RS-485 및 적외선 통신방식의 장비도 데이터 수집이 가능하도록 설계하였다. 본 감지 시스템에서는 디지털 방식의 다항목 수질 측정센서를 지하수 오염물질 측정에 응용하기 위하여 그림 4와 같이 송수신 프로토콜 해석을 통해 변환 모듈을 개발 및 적용을 통해서 데이터로거를 연결하지 않고도 직접 데이터 전송시스템에 연결할 수 있도록 설계 및 제작하였다. 또한, 몇몇 지하수 측정 장비는 연결 부위의 부식방지를 위해 적외선 통신 방식을 허용하는 경우도 있어, 이를 고려하여 가능하도록 하였다[7].

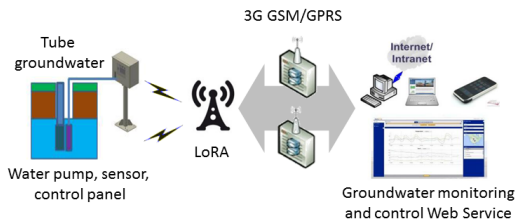


Fig. 4 Structure for groundwater monitoring and control Web Service

3.2. 데이터 송출 기능

중앙 서버에서 순차적으로 원격의 측정망을 호출하여 접속하는 RS-232 패킷통신 방식이 아닌, 정해진 시간에 현장에서 중앙으로 데이터를 송출하는 SMS 데이터 송신방식으로 설계 하였다[8]. 지하수 센싱 및 모니터링을 통해 이러한 정보를 지하수모니터링시스템의 제어판넬과 무선통신 인터페이스 방식으로 상시 정보 공유를 통해 펌프 작동 여부의 판단하도록 하였다. 무선통신에는 남미의 대규모 농장에 적용할 수 있도록 기본적으로 5km 이상 되는 통신 거리를 만족하고 RF 통신은 Open Field에서 10km 이상을 만족하는 LPWA 방식의 LoRA 기술을 적용하였다.

3.3. 직렬형 센서 기능

그림 5는 완성된 다중센서 디바이스를 보여주고 있다. 센서의 왼쪽 부분에 수소이온농도 측정을 위한 pH

센서를 장착하여 지하수 수량이 감소하더라도 관측될 수 있도록 끝단 부분에 장착하였고 중간부분에 지하수의 오염물질 관측을 위하여 전기전도도(EC) 측정 센서를 장착 하였다. 그림 5에서 보는 것과 같이 센서들은 외경(40mm이하)이 작고 직렬형 센서 구조로 인하여 지하 삽입에 따른 착공비용이 적게 되고 모듈별 교체가능하여 유지보수의 장점을 가질 수 있게 되었다[9].

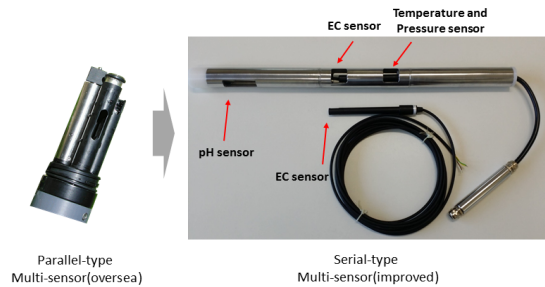


Fig. 5 Improved multi-sensor device

3.4. 데이터 저장 기능

RDP에 직접 연결되어 있는 센서 및 데이터로거에서 전송된 자료를 메인보드의 메모리에 일정 용량 저장할 수 있는 기능이다. 이는, CDMA/LTE 망의 이상으로 인해 송신이 누락된 경우, CDMA/LTE 망의 재개통시 전송되지 않은 저장된 데이터를 중앙으로 송출하도록 하였다. 또한, 회로기판에 방수 스프레이를 처리해 현장의 습기에 대한 방수등급을 높일 수 있도록 하였다[10].

IV. 지하수측정 다중센서 성능시험

본 실내시험에서는 관측망의 특성상 필요한 안정적인 데이터 생산, 급격한 수질변동의 관측 여부, 장기관측과 데이터 통신에 적합한 최적의 센서로 활용하기 위한 테스트로 2종류의 제품에 대하여 온도, 수소이온농도, 전기전도도 세 가지 항목에 대해서 30분 간격으로 5일 동안 데이터를 수집하였다.

4.1. 시험방법

동일한 수조에 지하수용 수돗물을 채우고 1Litter/h. 정도의 수돗물 유입에 따른 세 종류의 센서 측정을 시도하였다. 이 때, 동일 심도에 수소이온농도, 전기전도

도 감지 부위가 위치하도록 세팅하였고 온도 센서는 수조에 센서 전체가 잠기도록 하였다.

온도 변화를 관찰하기 위해서 일별 온도차가 발생하는 곳에 수조를 설치하여 온도변화를 모니터링 하였고 센서의 정확도를 평가하기 위하여 수은 온도계와 측정값을 3회/일 비교하였다.

수소이온농도 변화의 감지 여부를 파악하기 위하여 3개 시점에서 1N HCl, 1N NaOH를 사용하여 수소이온 농도를 변화 시키고 시간에 따른 농도를 관측하였다. 그리고 수소이온농도 변화의 감지 여부 이외에 외부 자극이 없는 상황에서 안정적으로 유지되는지 파악하기 위해서 3일간 산/염기를 가하지 않고 관측하였다.

전기전도도 변화의 감지 여부를 파악하기 위하여 별도의 용액을 가하지는 않았으며, 다만, 강산/강염기 투하 시 전기전도도 변화 여부와 외부 자극이 없는 상황에서의 안정성 여부를 시험하였다.

4.2. 다중센서 성능평가

4.2.1. 온도 변화 측정

다항목 수질 측정기의 온도 값은 수소이온농도, 전기 전도도, DO, 이온선택성 전극(암모니아성질소, 질산성 질소, 염소이온)의 측정값에 모두 영향을 주기 때문에 중요한 항목 중 하나이다. 그림 6은 수조내의 온도변화는 낮시간대의 높은 기온에서 저녁시간대의 낮은 온도로 인하여 점진적인 낮게 변화하는 온도 결과를 보여주고 있다. 이때, 각 측정지점에서 기존 병렬형 수은 온도계와의 오차 범위는 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 였다.

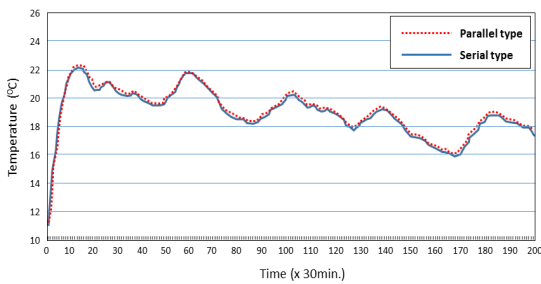


Fig. 6 Measurement of Temperature change

4.2.2. 수소이온농도(pH) 변화 측정

계측기간 값의 차이는 발생하였지만, 변화의 양상과 시간에 따른 안정성을 볼 때 세 계측기간 최대 오차

0.85 unit 이내에서 안정적인 측정값을 가질 수 있었다. 그리고 그림7에서와 같이 외부에서 강산과 강염기를 투여했을 때 (Time: 0~20, 45~120, 140~200 지점), 센서 역시도 즉각적으로 반응하여 수소이온농도에 영향을 주는 오염물질의 누출을 감지하는 기능으로써 문제가 없을 것으로 판단된다.

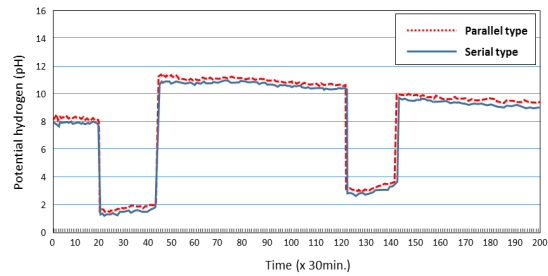


Fig. 7 Measurement of pH change

4.2.3. 전기전도도(EC) 변화 측정

전기전도도 센서는 일반적으로 수질 측정 센서 중 가장 오차가 적고 유지관리 노력이 적게 소모되는 센서이다. 일반 정류한 수돗물을 이용한 시험결과에서도 전기 전도도 값이 낮은 범위 ($< 1 \text{ mS/cm}$)와 중간 범위 (약 4 mS/cm) 모두에서 외부에서 오염물질이 투여되지 않았을 때 지극히 안정적으로 측정되는 것을 알 수 있었다. 그림 8에서와 같이 일정 흐르는 정류 수돗물에서 수소이온농도 변화를 위해 염산(HCl)과 수산화나트륨(NaOH)을 가한 구간에서는 순간적으로 $12\sim 14 \text{ mS/cm}$ 정도 측정되었지만 50시간정도에서 급격히 감소하여 정상상태로 동작됨을 알 수 있었다. 지하수의 무기 오염물질의 투입이나 증가로 인한 오염물질 누출을 감지할 수 있는 지표로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

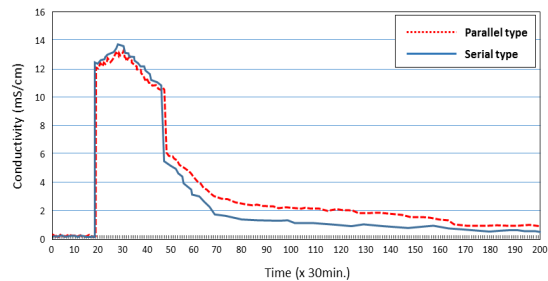


Fig. 8 Measurement of EC change

V. 결 론

본 연구에서는 지하수 모니터링을 위한 다중센서 기반의 센서 디바이스의 제작 및 성능에 대한 결과를 제시하였다. 제안한 직렬형 구조의 센서의 성능(온도, 수소이온농도, 전기전도도)을 관측하기 위하여 세 가지 항목에 대하여 실내시험을 수행하였다. 기존 병렬형 구조의 수질측정 센서 모두 외부의 자극에 대해 감지 시스템으로 적용 가능할 수 있게 반응하였으며, 자극이 없는 구간에서 시변화에 대해 안정적인 값을 보여주어 사용화 할 수 있는 수준의 성능을 제시하였다.

시스템 성능평가에 따른 기존 상용화 제품들의 직렬 센서구조 제품 특성으로는 지하수의 깊이에 따른 정확한 측정이 가능하고 병렬형 구조에 따른 센서간의 간섭현상을 최소화 할 수 있는 장점이 있다. 또한 장기적으로는 오염을 방지, 유지관리를 최소화 할 수 있는 성능을 제시하였다.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by Nurimaru R&BD Project (Busan IT Industry Promotion Agency) in 2017.

REFERENCES

[1] W.S. Lim, M.H. Hyun and G.B. Kim, "New development and application of a remote controlled groundwater monitoring equipment," *Journal of the Geological Society of Korea*, vol. 50, no. 5, pp.689-696, Dec. 2014.

[2] R.K. Chadha, H.J. Kuempel, and M. Shekar, "Reservoir Triggered Seismicity (RTS) and well water level response in the Koyna-Warna region," *Tectonophysics*, vol. 456, no.1-2, pp.94-102, Nov. 2008.

[3] Y.T. Che, W.Z. Zhao, J.Z. Yu, and C.L. Liu, "Digitalized well-water-level observation and monitoring efficiency evaluation of earthquake precursor in the Beijing-Tianjin-Hebei region," *Earthquake*, vol.26, no.4, pp. 103-112, June 2006.

[4] J.W. Kim, Y.K. Seo, R.H. Kim, and J.Y. Cheon, "The importance of monitoring wells maintenance in improving groundwater quality," *Journal of Engineering Geology*, vol.24, no.2, pp. 283-295, May 2014.

[5] American Geophysical Union. Observation of anomalous groundwater level changes, monitoring of moderatesize earthquake in Korea [internet]. Available: <http://adsabs.harvard.edu/abs/>.

[6] J.Y. Lee, K.D. Kwon, (2016, March). Current Status of Groundwater Monitoring Networks in Korea. Water, [Online]. 8(4) pp.168. Available: <http://www.mdpi.com/2073-4441/8/4/168/htm>.

[7] K-water and Hydronet Co. Ltd., "Report on the Development of a Remote-controlled Groundwater Monitoring System," Daejeon, 2013.

[8] A.S. Oh, "Transmission Control Method of Beacon Signal Based on Bluetooth of Lower Electric Power," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol.20, no.6, pp.1136-1141, June 2016.

[9] S. Anumalla, "Groundwater Monitoring using Smart Sensors," Ph. D. dissertation, The Graduate College at the University of Nebraska, Lincoln, 2004.

[10] C. Cambra, S. Sendra, J. Lloret, and L. Garcia, "An IoT service-oriented system for agriculture monitoring," in *Proceeding of 2017 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pp. 1-6, 2017.



진태석(Taeseok Jin)

2003년 부산대학교 전자공학과 공학박사
2006년~현재: 동서대학교 교수
현재: 한국지능시스템학회 부산울산경남지부회장
현재: 한국정보통신학회 기획이사
※관심분야: 센서융합, 이동로봇, 지능제어



장현진(Hyunjin Chang)

2014년 동서대학교 메카트로닉스공학사
현재: 지티앤피(주) 연구원
※관심분야 : 센서인터페이스, 시스템 설계



문보람(Boram Moon)

2016년 동서대학교 메카트로닉스공학사
현재: 지티앤피(주) 연구원
※관심분야 : 시스템 제어, 센서응용



윤승균(Seunggyun Yoon)

2014년 동서대학교 메카트로닉스공학사
현재: 지티앤피(주) 연구원
※관심분야 : CAD 설계, 시스템 제어