

지하수 통합형 수위조절관리시스템에 관한 연구

송근산, 송영진*
건양대학교 의공학부

A Study on the Integrated Water Level Control System for Groundwater

Keun-san Song, Young-jin Song*
Division of Biomedical Engineering Konyang University

요약 본 연구는 지구환경변화로 인한 수자원의 관리가 중요시되고 수자원의 모니터링 및 오염감시와 전문적인 관리가 필수적이게 됨에 따라서 지하수 관리에 있어서 발생할 수 있는 애로사항들에 대한 해결방안을 연구하고자 한다. 물 관리 시스템의 기술동향은 물정보 통합관리체계를 정립하는 것이다. 이를 위한 융복합 기반 빅데이터를 구축 및 ICT기반 상수도 관리 시스템도 확대되고 있다. 이러한 시스템들의 목표는 관리 효율성 제고와 운영 유지관리 비용 절감 등을 통해 고품질 상수도 서비스 제공하는 것이다. 이에 따라 본 논문에서는 소규모 수도시설 관리시스템과 WEB 및 서버 등 백그라운드 시스템이 이원화되고 있던 것을 통합하고 단거리 RF통신 문제시 대응가능한 이중제어시스템을 탑재하고자 한다. 이를 위해 지하수 통합형 수자원통합관리시스템의 설계를 연구하고 시제품의 신뢰성시험을 통해 사용성을 확인하고 지하수 및 수자원 관리에 발생하는 애로사항의 해결방안으로써 제시하고자 한다.

Abstract Changes in the global environment have increased focus on managing water resources and the monitoring and professional management of these resources and measures to control water pollution. This study was undertaken to study possible solutions to challenges faced by those charged with managing groundwater. This paper aims to support the provision of high-quality water services by establishing an integrated water information management system, building convergence-based big data, and expanding ICT-based water management.

Keywords : Water Resources, Monitoring System, Pollution Monitoring, Groundwater Management, Water Information Management System, Big Data, ICT-based System

1. 서론

사회적으로 수자원에 대한 관리가 중요시되고 이에 대한 관심도 지속적으로 높아지고 있다. 수자원은 농업용수와 공업용수로 활용되는 등 실제 국민의 생활과 직접적으로 연관이 있기 때문에 이에 대한 모니터링 및 감시와 전문적인 관리가 필수적이라고 할 수 있다. 특히 상수도 권역 밖에 공급되는 마을 상수도의 경우 농업용수의 사용량이 많아 이러한 특징이 더욱 부각된다. 지속적인

관련 기관부처의 노력에도 불구하고 용수 부족이나 지속적인 물사용에 대한 국민의 체감도가 낮고 물정보 통합관리체계를 정립하고 융복합 기반 빅데이터를 구축하는 등의 노력이 이루어지고 있다[1]. 환경부에서도 이러한 수자원 관리를 위한 측정망을 설치하여 운영중에 있다 [2,3]. 또한 이러한 물 관련 산업들은 ICT기반 상수도 관리 시스템이 확대되고 관리 효율성 제고와 운영 유지관리 비용 절감 등을 통해 고품질 상수도 서비스 제공을 목표로 하고 있다[4]. 지하수 단말기의 경우에는 EC센서를

*Corresponding Author : Young-jin Song(Konyang University)

email: songjin@konyang.ac.kr

Received August 30, 2023

Accepted November 3, 2023

Revised November 2, 2023

Published November 30, 2023

포함하면 모니터링에 활용했을 급격한 변화나 높은 전기 전도도를 확인하여 유입수의 오염을 판단하는 기준으로 삼을 수 있기 때문에 설계에 수질측정목적으로 EC센서를 포함하여 설계하도록 한다[5,6]. 기존 소규모수도시설 관리는 단거리 통신에만 의존하고 있으며 서버는 단순 기록용도로만 사용되고 있기 때문에 단거리 통신 장애가 발생할 경우 관점에서 펌프가 제대로 작동하는지 여부를 물탱크에서 알 수 없으며 물탱크에서 서버로 데이터를 정상 전송할 수 없으므로 사고 발생 원인을 파악할 수 없다는 한계를 가지고 있다[7]. 또한 기존의 지하수 관리 시스템은 소규모 수도시설 관리시스템과 WEB 및 서버 등 백그라운드 시스템이 이원화되어 관리되고 있으며 이 때문에 관리에 필요한 인적, 물적자원의 소요가 크다는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 통신 및 제어방식에 있어서 이중제어 방식을 채택하고 백그라운드 및 전체 시스템 설계에 있어서 소규모 수도시설과 지하수 관리 시스템을 이원화하지 않고 통합한 지하수 통합형 수자원통합관리시스템을 연구하여 상용화가능성을 검토하기로 한다. 또한 본 연구의 타당성을 검증하기 위하여 자체기준에 따른 신뢰성 시험을 진행하고 그에 따른 결과를 논하고자 한다.

2. 본론

2.1 지하수 통합형 수자원관리 시스템

본 논문에서 개발하고자 하는 지하수 통합형 수자원관리 시스템은 물탱크 측정부에서 수위, 보안 데이터, RF 통신상태 등을 서버로 전송하고 관정 측정부에서 관정 단말기의 전원 상태, RF통신상태 등을 서버로 전송하고, 지하수 측정부에서 지하수 수위, EC 측정값 등을 서버로 전송한다. 아래 Fig. 1은 지하수 통합형 수자원 관리시스템의 구성을 그림으로 나타낸 것이다.

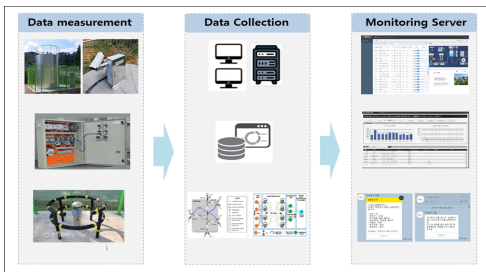


Fig. 1. Groundwater Water Resources Management System Conceptual Diagram

기존 단일 제어방식에서는 통신장애 시 물탱크 쪽 통신장비의 문제인지 관정 쪽 통신장비의 문제인지 서버에서 원인파악이 불가능하고 근거리통신에 장애가 발생하였을 때 다른 통신대체수단이 존재하지 않기 때문에 급수사고가 발생할 위험이 있다. 반면 이중제어방식을 사용하게 된다면 근거리 통신 장애 시에도 CatM1 통신 방식으로 정상작동이 가능하고 비상상황 시에는 서버에서 원격제어가 가능하기 때문에 긴급대응이 가능하다는 장점이 있다. 또한 인터넷 통신을 통해 서버에 연결되므로 서버에 모든 데이터가 기록되어 문제 발생시 대응이 가능하고 분석을 위한 데이터 수집에 용이하다는 장점을 가지고 있다. 아래 Fig. 2는 이중제어 방식을 그림으로 나타낸 것이다. Fig. 3은 지하수 통합형 수자원통합관리시스템의 개념을 그림으로 나타낸 것이다.

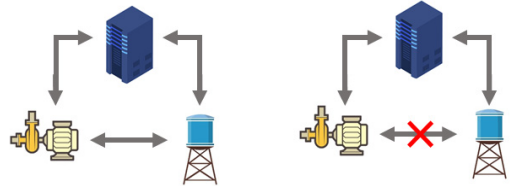


Fig. 2. Dual control system

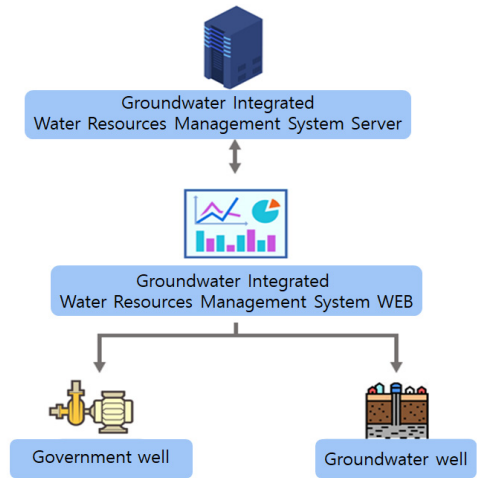


Fig. 3. Underground water integrated water resource management system

물탱크 단말기와 관정 단말기는 RF 보드를 포함하고 있으며 RF를 통해 관정의 펌프모터를 제어하고 물탱크의 수위를 조절할 수 있다. RF 통신이 실패하는 경우 최대 2회까지 재전송 후에 CatM1을 통해 서버로 직접 수위데이터를 전송하여 펌프를 제어한다. 이는 기존의 단

일제어방식과 대비되기 때문에 이중제어시스템이라고 한다. 지하수 단말기는 지하수의 EC측정을 위한 EC센서와 수위측정을 위한 수위센서로 구성된 통합형 센서를 이용하여 관정에 위치한 측정공을 통해 케이블을 도하여 설치하도록 한다. 이를 설치하기 위해 당진시청에서 허가한 지역의 관정에 관측공을 설치하고 지하수 측정 단말기를 설치하였다.

2.2 하드웨어 설계

2.2.1 물탱크 단말기 설계

물탱크 단말기는 실제 가정 및 농지로 공급되는 물탱크 내부에 수위센서를 투입하여 수위를 측정하기 위한 장치로써 물탱크 상부에 고정되고 외부전원의 공급이 어려운 경우가 많기 때문에 솔라셀과 컨트롤러 12V 납축 전지로 구성된 전원부를 포함하게 된다. 또한 보안 감지 기능을 포함하여야 외부인의 침입으로 인한 안전사고에 대응할 수 있기 때문에 이를 위해 물탱크의 문 개폐를 확인하기 위한 마그네틱 센서와 침입 시 움직임 감지를 위한 PIR센서를 포함하고 PIR센서를 통해 움직임이 감지된 경우 보안카메라를 동작시켜 촬영하도록 하는 기능을 포함한다. 또한 관정 단말기와 근거리 통신을 진행하기 위한 RF보드와 서버와 인터넷 통신을 하기 위한 CatM1 통신부등을 포함하고 있으며 이러한 구성품을 표로 나타내면 Table 1과 같이 나타낼 수 있다.

Table 1. Water tank terminal components

Product Name	Specifications
wireless communication	RF, Cat.M1 dual communication
water pressure sensor	3Point Float Switch, Piezo meter
open/close sensor	Magnetic Sensor
PIR sensor	Range : 7m, Angle : 100°
security camera	Pixel : 2백만, Angle : 120°
battery	12V, 35Ah

2.2.2 관정 단말기 설계

관정 단말기는 물탱크로 공급되는 지하수의 관정펌프를 가동시키기 위한 제어부를 포함하는 장치로써 매립형, 건물형, 외부형 등의 관정형태에 따라 시공방법이 다르게 설치되며 관정제어반에 전원을 공급하기 위한 220V 외부전원의 공급이 가능하기 때문에 별도의 배터리나 공급원을 포함하지 않고 220V를 12V로 변환하기

위한 어댑터와 충전식 배터리를 포함하고 있으며 9V 충전식 배터리와 변환하여 사용하기 위한 변환기능을 포함한 전원부를 포함한다. 또한 전원부에서 전원 상태를 체크하여 외부전원에 이상이 생겼는지를 체크할 수 있는 전원 이상을 확인하는 측정부를 포함하고 관정 단말기와 근거리 통신을 진행하기 위한 RF보드와 서버와 인터넷 통신을 하기 위한 CatM1 통신부 등을 포함하고 있으며 이러한 구성품을 표로 나타내면 Table 2과 같이 나타낼 수 있다.

Table 2. Public well terminal components

Product Name	Specifications
wireless communication	RF, Cat.M1 dual communication
LED	Power/action/water level display
motor control	Pump On/Off Control
blackout detection	Incoming Current Sensing
Overload/TRIP detection	Overload/TRIP data measurement from EOCR
voltage, ammeter	Switchgear voltage and current measurement
reserve power	reserve power(9V)

2.2.3 지하수 단말기 설계

지하수 단말기는 관정단말기나 물탱크 단말기와 별도의 근거리 통신을 수행하지 않고 서버에 데이터를 전송하는 인터넷 통신만 수행하며 이를 위한 CatM1 통신부등을 포함하고 있고 이러한 구성품을 표로 나타내면 Table 3과 같이 나타낼 수 있다.

Table 3. groundwater terminal components

Product Name	Specifications
wireless communication	Cat.M1, RS232
water pressure sensor	0~100m, ±0.5% FS
temperature Senser	0~50℃, ±0.5% FS
EC sensor	4~20mA, ±5F.s
atmospheric pressure sensor	300hPa ~ 1100hPa (9000m ~ -500m)
battery	10.8V Lithium 5.2Ah
power supply	solar power(40W)

지하수의 수위 측정에 사용되는 방식은 압전식 수위센서를 이용한 수두 측정 방식으로써 관측공 내에 밀폐되어 있는 액체의 임의의 기준점의 압력이 액면의 높이에

비례하는 원리를 이용한 것으로 수식으로 나타내면 Eq. (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$L = \frac{P_1 - P_2}{w} = \frac{P_1 - P_2}{\rho L g} \quad (1)$$

Eq. (1)에서 w 는 액체의 비중을 의미하고 g 는 중력 가속도를 의미하며 P_1 는 액면 이상의 압력을 의미하고, P_2 는 액면으로부터 깊이에서의 압력을 의미한다. 따라서 본 논문에서 연구한 장비는 상부에 부착된 대기압 센서와 관측공에 삽입된 압력식 수위센서의 압력 차이를 이용하여 지하수 수위를 계산할 수 있도록 한다.

2.3 웹 모니터링 시스템

웹 모니터링 시스템은 관리자로서 하여금 실시간 모니터링 가능하도록 할 수 있으며 세부 개발내용은 페이지 단위로 구분하며 크게 모니터링 페이지, 이력조회 페이지, 상세보기 페이지, 현장관리 페이지 등으로 나누어 구성하도록 한다. 아래 Table 4는 웹 모니터링 시스템의 개발환경 및 스택을 정리한 표이다.

Table 4. Development environment and specification of web monitoring system

Name	Specifications
Server (.NET)	Microsoft Enterprise Library 6.0
	IIS URL Rewriter 2.0
	Newtonsoft Json.NET
UI (Dependencies)	Bootstrap 4.3.1
	jQuery 3.4.1
	Popper.js
Open API (Plugins)	DataTables 1.10.18
	Font Awesome 5.10.1
	Moment.js 2.24.0
	Tempus Dominus Bootstrap4 v5.1.2
	Chart.js 2.8.0

3. 연구방법

3.1 신뢰성 시험

본 논문에서 연구한 콜드체인 무선 단말장치와 기존 콜드체인 무선 단말장치의 연구 결과를 검증하기 위해 비교 가능한 성능을 수치로 확인하기로 하였다. 평가 항목으로는 무선단말장치 부분에서 최저온도 측정, 온도측

정 정확도, 동작가능 온도, 통신모뎀 부분에서 수신감도 측정, TX Max Output Power, 정전기 방전 내성 시험으로 선정하였다.

3.2 동작 범위 시험

동작범위시험은 데이터 전송에 있어서 정해진 시간 간격인 유선 1초, 무선 15초를 지키고 데이터가 제대로 전송되는지 확인하는 시험으로 설치 후에 데이터 전송의 안정성을 검증하기 위한 시험이다. 시험 기준은 보드에서 PC로 온도데이터를 1초 간격으로 전송하는지 Serial 프로그램으로 확인하고 CatM1 모뎀을 통해 웹서버에서 온도 데이터를 15초 간격으로 전송하는지 확인하기로 한다. 시험방법은 보드에 DC 12 V 어댑터를 연결하고 장비의 전원을 인가하여 부팅시킨 후에 PC와 유선으로 연결하여 Serial 프로그램을 통해 데이터가 1초 간격으로 정상적으로 들어오는지를 확인한다. 이를 유선과 무선 모두 각 10회 시험하여 정상적으로 동작하는지 확인하도록 한다.

3.3 온도 보관 시험

본 논문에서 연구한 제품은 건물형 관정에 설치되는 관정단말기를 제외하고 실외에 설치되는 제품으로 철제 재질로 되어있어 실외 환경에서 고온에 대한 내구성을 강구해야할 필요성이 있다. 이에 따라 온도조절이 가능한 챔버를 준비하여 50 °C 의 온도에서 전원을 인가하지 않은 상태로 1시간동안 두고 난 후에 시험 전 후로 정상적으로 부팅되는지 여부를 확인하고 통신이 정상적으로 실행되는지 여부를 확인하도록 한다. 이후 -10 °C 의 온도에서 1시간동안 두고 난 후에 시험 전 후로 정상적으로 부팅되는지 여부를 확인하고 통신이 정상적으로 실행되는지 여부를 확인하도록 한다.

3.4 습도 보관 시험

본 논문에서 연구한 제품은 건물형 관정에 설치되는 관정단말기를 제외하고 실외에 설치되는 제품으로 전자 장비의 특성상 습도에 취약하고 습도에 대한 검증이 이루어지지 않고 설치될 경우 녹이 슬거나 합선, 고장의 오류가 있으므로 습도에 대한 내성을 필수적으로 검증해야 한다. 이에 따라 습도조절이 가능한 챔버를 준비하여 35 °C 일 때, 95 % 의 습도에서 전원을 인가하지 않은 상태로 1시간동안 두고 난 후에 시험 전 후로 정상적으로 부팅되는지 여부를 확인하고 통신이 정상적으로 실행되는

지 여부를 확인하도록 한다.

4. 연구결과

4.1 동작 범위 시험 결과

동작 범위 시험 결과를 확인하기 위하여 PC에 유선 연결 후 Serial 통신프로그램을 이용하여 데이터가 1초 간격으로 들어오는지 확인하고 CatM1을 통해 무선으로 웹서버에 데이터가 15초 간격으로 전송되는지 총 10회 시험하였다. 아래 Fig. 4은 시험을 진행한 시험환경을 촬영한 사진이다.



Fig. 4. Operation cycle test environment

아래 Fig. 5은 웹서버로 데이터가 들어오고 있는 상황을 캡처한 이미지이다.

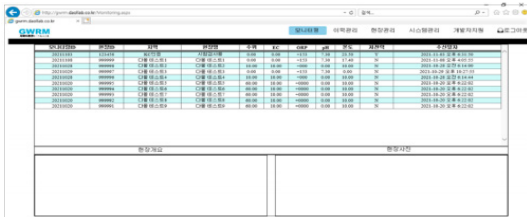


Fig. 5. Operation cycle test web screen capture

동작 범위 시험 10회 시험결과 모두 정상 동작하는 것으로 확인되었다.

4.2 온도 보관 시험 결과

고온 보관 시험의 시행 결과를 확인하기 위해 온도조절이 가능한 챔버를 준비하여 50 °C 의 온도에서 전원을 인가하지 않은 상태로 1시간동안 두고 난 후에 시험 전후로 정상적으로 부팅 여부와 통신이 정상적으로 실행되는지를 확인하였다. 아래 Fig. 6는 시험을 진행한 시험환경을 촬영한 사진이다.



Fig. 6. High temperature storage test environment

시험 결과 50 °C 의 온도에서 전원을 인가하지 않은 상태로 1시간동안 두고 난 후에 부팅과 통신이 정상적으로 동작한 것이 확인되었다. 아래 Fig. 7는 챔버 내부에 부착된 온도센서를 이용하여 1시간 동안의 온도변화를 기록한 후에 그래프로 나타낸 것이다.

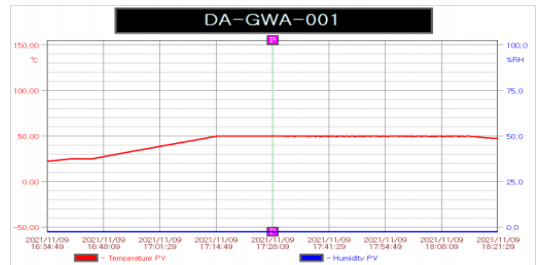


Fig. 7. High Temperature (red) graph, humidity (blue) graph during temperature storage test

이후 -10 °C 의 온도에서 1시간동안 두고 난 후에 시험 전 후로 정상적으로 부팅되는지 여부를 확인하고 통신이 정상적으로 실행되는지 여부를 확인하였다. 저온 보관 시험에 사용된 장비는 고온 보관 시험에 사용된 항온습습챔버와 동일한 장비를 사용하였다. 아래 Fig. 8은 시험을 진행한 시험환경을 촬영한 사진이다.



Fig. 8. Low temperature storage test environment

시험 결과 -10 °C 의 온도에서 전원을 인가하지 않은 상태로 1시간동안 두고 난 후에 부팅과 통신이 정상적으로 동작한 것이 확인되었다. 아래 Fig. 9는 챔버 내부에 부착된 온도센서를 이용하여 1시간 동안의 온도변화를 기록한 후에 그래프로 나타낸 것이다.

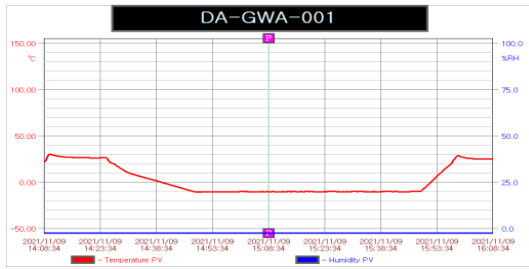


Fig. 9. Low Temperature (red) graph, humidity (blue) graph during temperature storage test

위 내용에 따라 진행된 고온, 저온 보관 시험에서 제품규격에 준하는 시험조건에서 정상동작을 확인하였으므로 사용성 기준에 부합한다고 할 수 있다[8].

4.3 습도 보관 시험 결과

습도 보관 시험의 시행 결과를 확인하기 위해 습도 조절이 가능한 챔버를 준비하여 35 °C 일 때, 95 %의 습도에서 전원을 인가하지 않은 상태로 1시간동안 두고 난 후에 시험 전 후로 정상적으로 부팅되는지 여부를 확인하고 통신이 정상적으로 실행되는지 여부를 확인하였다. 습도 보관 시험에 사용된 장비는 고온 보관 시험에 사용된 항온항습챔버와 동일한 장비를 사용하였다. 아래 Fig. 10는 시험을 진행한 시험환경을 촬영한 사진이다.

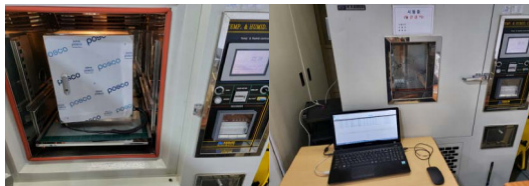


Fig. 10. Humidity storage test environment

시험 결과 35 °C 일 때, 95 %의 습도에서 전원을 인가하지 않은 상태로 1시간동안 두고 난 후에 부팅과 통신이 정상적으로 동작한 것이 확인되었다. 아래 Fig. 11는 챔버 내부에 부착된 온도센서와 습도센서를 이용하여 1시간 동안의 온도변화와 습도변화를 기록한 후에 그래프 나타낸 것이다.

다음 내용에 따라 진행된 내습성 시험에서 제품규격에 준하는 시험조건에서 정상동작을 확인하였으므로 사용성 기준에 부합한다고 할 수 있다[8].

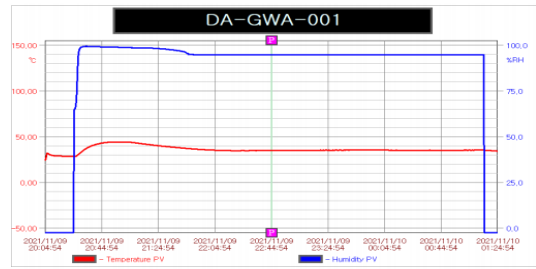


Fig. 11. Temperature (red) graph, humidity (blue) graph during humidity storage test

5. 결론

본 논문에서는 기존 지하수 관리 및 수자원 관리의 선형연구 기술들의 실태를 파악하고 기존의 애로사항들을 해결한 지하수 통합형 수자원통합관리시스템을 설계하고 연구한 뒤에 신뢰성 시험을 통해 상용화 및 실제 사용가능성을 검증하였다. 지하수 수자원 및 소규모 수도시설의 인프라는 농업 및 생활용수로 사용되는 국민생활과 직결되는 중대한 사항이며 사고가 발생하지 않도록 상태를 상시 모니터링하기 위한 기술적인 문제에 신경을 써야하고 사후관리 뿐만 아니라 모니터링에 필요한 상시관리에도 신경을 써야하기 때문에 관리체계의 일원화 등을 위한 시스템적인 문제도 함께 고려하여 설계하여야 한다. 때문에 이러한 사정을 이해하고 통신장애나 전원불량 등으로 인한 제어실패 등의 문제발생 시에도 급수사고로 이어지지 않도록 이중제어와 같은 위급 시 제어방법에 대한 대책이 필수적으로 요구된다. 또한 지하수 수위 측정 시스템과 소규모수도시설은 직접적으로 연관이 있는 자원과 시스템이므로 이를 분리하여 관리할 경우 인적자원과 물적자원의 불필요한 소모를 야기할 수 있다. 때문에 신뢰성 시험을 통해 통신장애 시 급수가 가능하도록 하는 이중제어 시스템의 사용성을 검증하였으며 지하수 수위 및 EC측정값의 감시 또한 동일한 백그라운드 서버 내에서 관리할 수 있으면서 현장의 여건에 맞추어 선택적으로 이용이 가능하도록 프로토콜을 분리하여 설계하였고 이 또한 사용이 가능한지 신뢰성 시험을 통해 검증하였다. 본 논문에서 연구한 이중제어 시스템과 지하수 관리 일원화를 포함한 지하수 통합형 수자원통합관리시스템은 현장에서 발생할 수 있는 급수사고를 예방할 수 있고 수자원 관리의 효율을 증대시킬 수 있을 것으로 예상된다. 이를 통해 지역사회 사회의 문제의 해결 방안을 제시하고 인프라 만족도를 향상시키는 결과를 가

저을 수 있다.

향후 연구에서는 근거리 통신이나 인터넷 통신으로 수위를 제어하는 방식을 넘어서 4차 산업 혁명시대에 발맞추어 인공지능 알고리즘을 적용하고자 한다. 지하수 수위변화 및 물사용량을 파악하고 수위의 변화를 예측하여 적용할 수 있는 알고리즘을 개발하고자 한다.

References

- [1] H. S. Lee, Comprehensive Innovation 2022 Promotion Plan, pp. 2-7, 25-27, K-water, 2018.
- [2] H. S. Lee, Water and Future, pp. 10-11, 159, K-water, 2019.
- [3] J. H. Yoon, Problems and Improvement of Ground-water Management, Master's thesis, Ajou University, pp. 44-60, 2017.
- [4] J. C. Yoo, Report on R&D Technology Trends in Water and Sewerage, pp. 285-291, KEITI, 2021.
- [5] K. C. Yang, K. S. Chun, D. S. Lee, J. K. Ryu, Physicochemical Characteristic of Drinking Water in The Longevity Villages, Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 11, No. 3, pp. 119-128, 2004.
- [6] M. K. Choi, Manual of action when pollution enters in intake and water purification plant, Environmental Policy Korea, pp. 35, 2009.
- [7] J. M. Sin, Application of Wireless Communication Technology in Water Quality Measurement, pp.85-89, Pnlins, 2008.
- [8] D. S. Jae, Electrical Appliances Safety Standards, K60068-2-61, pp. 3-9, KATS, 2015.

송 영 진(Young-Jin Song)

[정회원]



- 1983년 2월 : 중앙대학교 전자공학과 (공학사)
- 1985년 2월 : 중앙대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1993년 8월 : 중앙대학교 대학원 전자공학과 (반도체공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 건양대학교 의공학부 교수

<관심분야>

사물인터넷, 헬스케어

송 근 산(Keun-San Song)

[정회원]



- 2018년 8월 : 건양대학교 의공학부 (의공학사)
- 2021년 8월 : 건양대학교 대학원 의료공학과 (의공학석사)

<관심분야>

사물인터넷, 의료공학