

USN 기반 수직형 정수처리시설 데이터 최적관리 및 신뢰성 검증연구

장상복^{2*} · 신강욱¹ · 홍성택¹ · 이안규¹ · 박혜미¹ · 전명근²

USN-based Water Treatment Plant Facilities Data Management Techniques and Reliability

Sang-bok Jang^{2*} · Gang-wook Shin¹ · Sung-taek Hong¹ · An-kyu Lee¹ · Hye-mi Park¹ ·
Myung-geun Chun²

¹ K-water Institute, Daejeon 305-730, Korea

² Department of Electronic Engineering, Chungbuk University, Cheongju Chungbuk 361-763, Korea

요 약

본 논문은 수직형 정수처리시설 내의 유량, 압력, 수위 및 수온 등의 데이터 취득과 무선 환경에서의 실시간 모니터링을 통해 스마트 정수장 구현의 기반을 마련하고자 한다. 현장 적용 전 2.45GHz 대역의 Zigbee 기반 센서노드 및 게이트웨이를 제작하여 검증하였다. 센서로부터 취득된 데이터는 데이터 처리장치로 전송되고, 처리된 데이터는 운영관리용 PC 뿐만 아니라 모바일에서도 모니터링 가능하도록 구현하였다. 또한, 전파환경 분석과 송수신 속도 분석 등의 적용성을 분석하였으며, 이를 통해 통신망 성능분석 및 모바일 기기를 활용한 원격 모니터링 감시체계를 구현함으로써 저비용, 고효율의 USN 기반 분산형 용수공급시스템을 구축하고자 한다.

ABSTRACT

In this paper, we present a Smart Water Treatment Plant using Zigbee USN devices and a real-time monitoring system in K-water Flow Meter Calibration Center Building. For verification, the data of vertical type WTP such as flow rate, pressure, water level and water temperature are obtained by the Zigbee USN devices, operating in 2.45 GHz band, and be wirelessly surveilled by the real-time monitoring system. The received data from the sensor is transmitted to the data processing device, and then the processed data can be monitored on a smart phone. Consequently, the pilot plant based on the low-cost and high-efficiency USN has been developed with the performance analysis for the communication network and remote monitoring system on mobile devices.

키워드 : 무선, 게이트웨이, 센서노드, 유비쿼터스 센서 네트워크, 정수처리시설

Key word : Wireless, Gateway, Sensor node, USN, Water Treatment Plant

접수일자 : 2013. 07. 11 심사완료일자 : 2013. 07. 18 게재확정일자 : 2013. 07. 31

* **Corresponding Author** Sang-bok Jang(E-mail:jsbok0502@kwater.or.kr, Tel:+82-42-629-3330)

Department of Electronic Engineering, Chungbuk University, Cheongju Chungbuk 361-763, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.11.2736>

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

현재 통신의 발달에 따라 통신매체가 다양화, 고속화 되어가고 있는 실정으로, 정보화 사회를 구축하는 데 있어 가장 중요한 요소는 통신수단으로 볼 수 있다. 따라서 데이터 수집이나 분배 등의 다양한 서비스를 저렴하고 편리하게 이용할 수 있는 시스템 구현이 요구되고 있는 실정이다[1-3]. 이러한 환경은 센서를 통해 정보를 습득하고 관리하는 네트워크인 USN(Ubiquitous Sensor Network)을 통해 구현이 가능하다.

USN은 사물이나 생활공간에 부착된 센서로부터 사물 및 환경정보를 감시, 저장, 가공 및 통합하고 상황인식 정보 및 지식 콘텐츠 생성을 통해 언제, 어디서나 원하는 맞춤형 지식 서비스를 자유롭게 이용할 수 있는 첨단 지능형 사회의 기반 인프라로, 기존의 사람 중심에서 사물까지 정보화의 지평을 확대하는 새로운 패러다임의 유비쿼터스 IT기술이다. 센서와 무선장치를 결합하여 사물-사람 간의 통신과 컴퓨팅으로 사물 주변에서 변화하는 물리 환경계의 다양한 정보를 획득하여 생산성, 안전성 및 인간생활 수준의 고도화를 실현 가능하게 한다[4-5].

한편, 정수장과 같은 산업현장에서는 펌프 및 밸브의 동작상태, 유량, 수위, 수온, 압력 등의 데이터는 정수처리 공정에서 매우 중요한 요소들로, 이러한 데이터는 보통 유선망으로 전송되어 모니터링 되는데, 송수신 데이터 안정성은 우수할 수 있으나, 유지보수가 어렵고 초기투자비용이 많이 드는 단점이 있다[6-8].

따라서 유비쿼터스 기반의 무선장비를 이용하여 무선망을 구축하면 손쉽게 저렴하게 데이터를 얻을 수 있으며, 제어실 뿐 아니라 모바일 기기를 이용해 외부에서도 모니터링 및 제어가 가능하다.

이에 본 논문에서는 유비쿼터스 기반의 2.45 GHz 대역의 Zigbee 센서노드 및 게이트웨이를 개발하였으며, 최적 관리를 위한 네트워크 시뮬레이션을 통해 알고리즘 검증실험을 하였다. 또한, 무선메쉬망을 통하여 데이터 전송경로를 확인하였고 감시제어화면을 구성하여 센서노드에서 송수신된 각각의 데이터를 취득 및 감시하였으며, 이를 모바일기기에 적용하는 결과를 도출하였다.

II. 수직형 정수처리시설 개요

수직형 정수처리시설은 콤팩트형 정수처리시설을 구축함으로써, 기존 수평형으로 이루어진 정수처리시설에서의 문제점을 해결하고자 제안되었다.

기존 수평형 정수처리시설은 정수장에서 생산한 정수를 이송하는데 필요한 송수관로의 장거리화 및 관로의 노후화로 야기되는 2차 오염 및 유지관리 비용이 지속적으로 증가하고 있다. 또한, 가뭄피해 등과 같은 비상상황에 대한 국가 비상용수 및 물 안보 체계구축 마련이 필요한 실정이다. 이러한 문제를 근원적으로 개선하기 위해 처리시설의 분산화 및 콤팩트화, 수송과정의 최소화, 물 안보 및 비상대응 원수의 저류화, 신재생에너지의 활용 극대화 등을 포함하는 분산형 용수공급시스템이 제안되었다. 아래 그림 1은 수직형 정수처리시설의 지하 개념도로, 중단 없이 용수를 소비자에게 공급하는 것을 목표로 하고 있다[9].

그림 2는 기존 용수공급시스템과 제안하는 분산형 용수공급시스템의 구성도를 나타낸 것으로, 가장 큰 차이점은 분산형 용수공급시스템에 물 안보시스템을 연계하여 지하 저류조를 활용한 비상용수 확보로 재난에 대비할 수 있고, 분산화로 인해 2차 오염을 예방하여 국민신뢰를 회복할 수 있다는 점을 가장 큰 차이점으로 볼 수 있다.



그림 1. 수직형 정수처리시설 개념도 (예: 지하형)
Fig. 1 Concept of vertical type WTP (ex: underground-type)

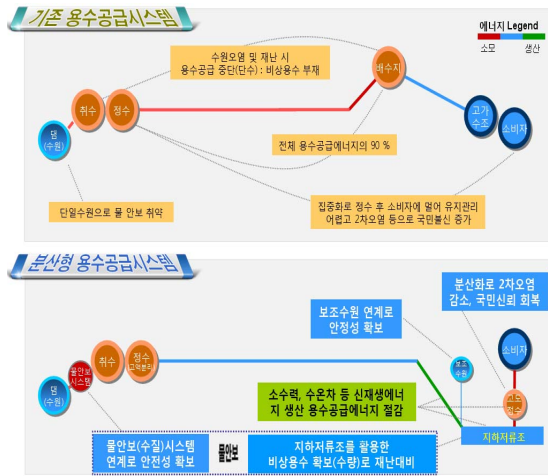


그림 2. 기존 용수공급 및 분산형 용수공급시스템
Fig. 2 Horizontal and vertical water supply system

본 연구에서 제안하고자 하는 수직형 정수처리시설의 무선네트워크 구성도는 그림 3과 같고, 각 층에 설치되는 통신장비 규격은 표 1과 같이 지하에는 취·송수 공정, 1·2층에는 오존 및 활성탄 공정, 그리고 3층에 막여과 공정으로 구축될 계획이다.

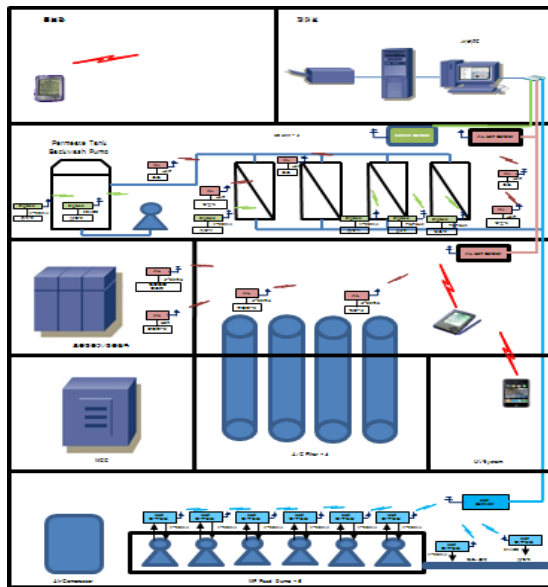


그림 3. 수직형 정수처리시설 무선네트워크 구성도
Fig. 3 Wireless network block diagram of vertical type WTP

표 1. 수직형 정수처리시설 감시항목

Table. 1 Surveillance elements of vertical type WTP

공정	계측기명	수량	출력 신호	노드 방식	통신 방식
3층 (막여과)	막여과 1계열 압력계	3	4-20mA	A/I	Zigbee
	막여과 1계열 유량계	3	4-20mA	A/I	Zigbee
	막공급 및 처리유량계	8	4-20mA	A/I	Wi-HART
	역세수조 수위계	3	4-20mA	A/I	Zigbee
	막여과펌프	5	24VDC	D/I	Zigbee
1, 2층 (오존, 활성탄)	A/C Filter 압력계	5	4-20mA	A/I	Zigbee
	UV유출 유량계	2	4-20mA	A/I	Zigbee
	잔류오존계	1	4-20mA	A/I	Zigbee
	농축수탁도계	1	4-20mA	A/I	Zigbee
지하 (취송수)	PAC 수위계	1	4-20mA	A/I	Zigbee
	UF 압력계	2	4-20mA	A/I	Zigbee
	역세유량계	2	4-20mA	A/I	Zigbee
	탁도계 등	4	4-20mA	A/I	Zigbee
	가압펌프	5	24VDC	D/I	Zigbee

III. 통신방식 선정 및 알고리즘 도출

3.1. 통신방식 선정

기존의 아날로그 전송방식을 포함한 유선방식의 경우 초기 투자비용이 많이 들고, 노이즈 및 신규 추가 설치비용이 많이 들며, 유지 보수에 따른 불편함 등의 단점을 많이 갖고 있다[10]. 이러한 유선통신 방식의 불편함에 따른 문제점을 보완하고자 무선통신 방식의 데이터 취득방식을 선정하였고, 시스템 구축에 앞서 수직형 정수처리시설에 적용 가능한 다양한 통신방식을 표 2에서와 같이 비교하였다.

먼저, 수직형 정수처리시설은 근거리 데이터 취득을 목적으로 하며, 추가되는 무선장비에 대한 부가적인 설치를 고려하여야 한다. 따라서 통신방식 비교결과, 정수장의 데이터 송수신에 적합하고 저용량, 근거리로 적합하며, 적은 비용으로 추가 장비에 대한 설치가 용이한 2.4 GHz 대역의 Zigbee 방식을 채택하였다.

표 2. 통신방식 비교

Table. 2 Comparison of communication method

구분	RF방식	Zigbee	Wi=Fi	W-CDMA
통신 거리	최대 1.5km	최대300m	최대20km	반경 3~4Km
주파수	424MHz	2.4GHz	2.4/5.0GHz	2.1GHz
전송 속도	1.2~115 kbps	250 kbps	2~20 Mbps	2.4~14.4 Mbps
전 원	+12Vdc ±10%	전지전원	90~240 AC	USB전원 (5V)
출 력	10mW 이내	0dBm (1mW)	최대 50mW	최대 200mW
인터 페이스	RS232C	HART/ Ethernet	Ethernet	USB
표준 규격	EIA	IEEE 802.15.4	IEEE 802.11b/g/n	W-CDMA (3GPP)
응용 분야 (수자원)	블록구축 (유량, 압력감시)	취· 정수 장 (데이터)	담하류 정보국 (데이터 +영상)	WCDMA 통한 실외 관리자관리
사용 용도	저용량, 중간거리	저용량, 근거리	대용량, 장거리	대용량, 장거리
보안성	-	128bit AES	인증 및 암호화	USIM 카드 인증

3.2. 알고리즘 도출

센서노드 구현에 앞서 네트워크 시뮬레이션 툴인 NS-2(Network Simulator Version 2)를 활용하여 최적 알고리즘을 도출하였다.

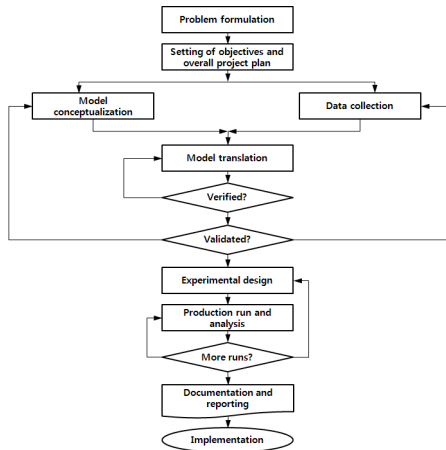


그림 4. 시뮬레이션 단계
Fig. 4 Simulation process

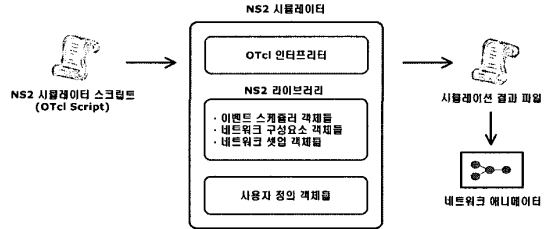


그림 5. NS 시뮬레이션 처리과정
Fig. 5 Simulation process of NS

NS는 유·무선 네트워크상에서 TCP, 라우팅, 멀티 캐스트 프로토콜과 같은 다양한 프로토콜들의 성능을 평가하기 위해 사용되는 이산 이벤트 시뮬레이터로, Otc1과 C++언어로 쓰여 있다[11]. 그림 4는 시뮬레이션 단계를, 그림 5는 시뮬레이션 처리과정을 나타내었다.

시뮬레이션은 아래 표 3의 조건과 같이 구현하였으며 NS-2.34 버전을 사용하였다. 실험환경은 그림 6에서와 같이 패킷 전송시간 10초를 갖는 70x70 m의 토폴로지를 형성하여, 전체 토폴로지의 1/4에 해당하는 지역을 클러스터로 형성하고, 정 가운데에 이더넷과 연결된 라우터를 배치하였으며, 각 클러스터에 25개의 노드가 임의의 위치로 배치되도록 진행하였다.

표 3. 시뮬레이션 환경

Table. 3 Environment of simulation

분류	내용
주파수	2.4 GHz 대역
네트워크 대역폭	250 kbps
MAC 계층 프로토콜	802.15.4 MAC
Transport	UDP
Grid 크기	70 x 70 m (노드 100개)
패킷 전송시간	10초
최대 통신거리	10 m
전송 성공률	98 %

기존 Tree기반의 Zigbee 라우팅 프로토콜과 본 연구를 위해 제안된 라우팅 프로토콜을 비교하였으며, 제안된 라우팅 기법은 각 클러스터의 노드들 중에서 랜덤한 노드가 클러스터 헤더로 동작하는 방식으로, 클러스터 헤더를 랜덤으로 설정함으로써 그림 7과 8에서와 같이 기존 Tree 기반 Zigbee 라우팅 프로토콜과 비교하여 패

킷 전송 성공률이 약 5% 정도 향상된 성능을 보여주고 있으며, 패킷 전송량 역시 6홉 이내에서 패킷이 전송되는 것을 확인할 수 있었다. 이 같은 시뮬레이션 결과를 토대로 수직형 정수처리시설에 최적관리 시스템을 구현하고자 한다.

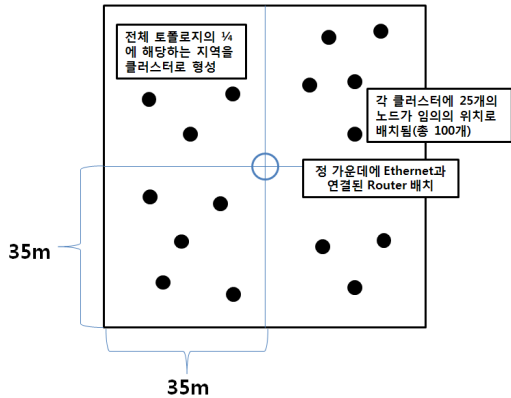


그림 6. 실험 환경
Fig. 6 Environment of Experimental

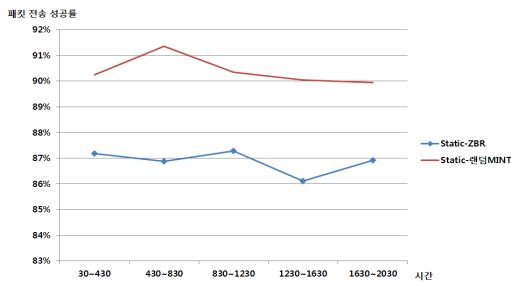


그림 7. 패킷 전송 성공률
Fig. 7 Success rate of packet transmission

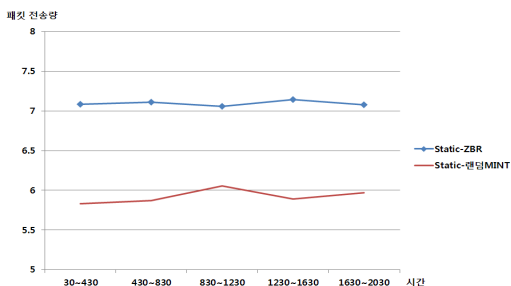


그림 8. 패킷 전송량
Fig. 8 Packet transmission rating

IV. 통합정보시스템 아키텍처 설계

수직형 정수처리시설에 설치된 유량, 수질센서로부터 발생하는 데이터를 게이트웨이를 통하여 데이터를 효율적으로 수집하는 것이 가장 기본적인 역할이다.

USN 통신망에 설치되는 장치들은 Zigbee 게이트웨이와 아날로그 및 디지털 센서노드로 구성되어 있으며, 본 논문에서는 표 4와 같이 IEEE 802.15.4 표준 2.4 GHz 대역의 Zigbee 칩을 선정하여 센서노드와 게이트웨이를 개발하여 적용하였다[12].

표 4. 지그비 센서노드 및 게이트웨이
Table. 4 Zigbee sensor node and gateway

항목	설계 규격
Frequency	2.4000~2.485 GHz
Transmission Output	10 mW
Electrical Box	ABS 수지
Power	12 Vdc
Current Consumption	송신모드 270 mA (@ 3.3 V) 수신모드 55 mA (@ 3.3 V)
RF Data Rate	250 Kbps
Receive Sensitivity	-100 dBm
Networking Topology	Mesh Topology
Spread Spectrum Type	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
Analog Input	2채널, 4~20 mA 입력, 16bit ADC
Interface	10/100 Ethernet Interface
Antenna	0 cBi 휩 안테나

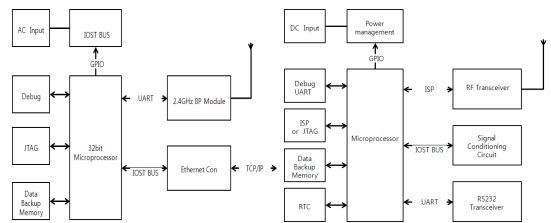


그림 9. 게이트웨이 및 센서노드 블록도
Fig. 9 Gateway and sensor node block diagram

무선센서노드 간 원활한 데이터통신을 위해 최적화된 Zigbee Stack을 사용하였으며 이를 센서와 인터페이스가 가능하도록 통신 프로토콜 및 변환 드라이버를 설

계, 개발하였으며 내부 블록도는 그림 9와 같이 구성되었다.

4.1. 게이트웨이

게이트웨이는 한 네트워크와 다른 네트워크를 상호 연결하는 역할을 하며, 센서노드에서 측정된 데이터가 운영관리용 PC로 유입되기 위해 필요하다.

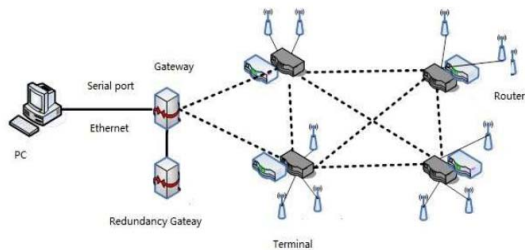


그림 10. WIA 네트워크 구조
Fig. 10 Structure of WIA network

본 연구는 WIA 프로그램을 사용하여, 센서노드에서 송신되는 정보를 시리얼 포트를 통해 운영관리용 PC로 전달한다. 게이트웨이 내부는 AT91RM9200 으로 구성되어 있으며, 이더넷 인터페이스 통신을 한다.

4.2. 센서노드 및 안테나

아날로그 및 디지털 센서노드는 현장상황 무선측정을 위해 설치하였으며, 각각 입출력이 2채널과 8채널로 구성되어 있다. 또한, 안테나는 전 방향 이득을 갖는 WIA-M1800을 사용하여 복잡한 실내 환경과 장거리 송신에 따른 통신 불량률을 해소하였다. 실험을 위해 제작된 게이트웨이와 센서노드는 아래 그림 11과 같다.

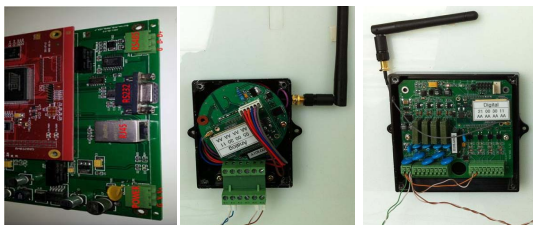


그림 11. 게이트웨이 및 센서노드
Fig. 11 Gateway and sensor node

V. 시스템 구현 및 실험

제작된 장치는 정수처리 실증시설에 적용하기 전에 K-water 연구원에서 운영하고 있는 유량계동 교정센터에 시험운전을 하였으며, 표 5와 그림 12와 같이 유량, 압력, 탁도 등을 측정하는 총 5곳에 설치하였다.

표 5. 데이터 계측요소

Table. 5 Measurement elements of data

측정요소	수량	통신방식	설치위치
게이트웨이	1	RS-485	-
유량계	1	4 ~ 20 mA	원수유량
압력계	1	4 ~ 20 mA	원수압력
탁도계	1	4 ~ 20 mA	처리수탁도
펌프	1	DC 24 V	농축수후단 펌프
밸브	1	DC 24 V	농축수후단 밸브

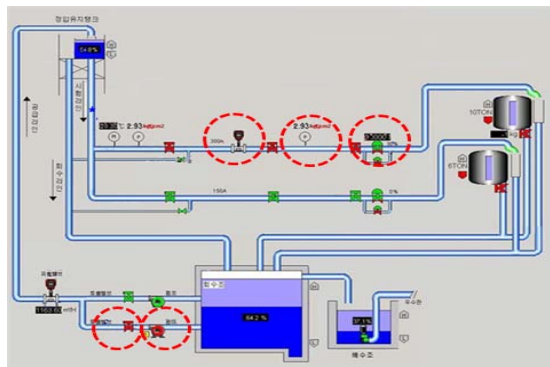


그림 12. 센서노드 설치위치
Fig. 12 Installation position of sensor node

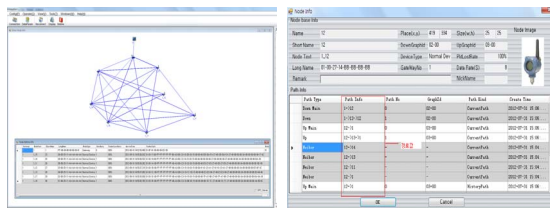


그림 13. 무선메쉬망 및 데이터경로
Fig. 13 Wireless mesh network and data path

그림 13은 데이터 전송과정을 나타낸 화면으로, 유량, 압력, 탁도는 4~20 mA의 출력 값을 전송하고, 펌

프 및 밸브는 DC 24 V의 출력 값을 전송한다. 노드별로 데이터 수신현황을 볼 수 있고, 경로와 망 형태를 확인할 수 있다.

관측요소에 대한 수신데이터 처리를 위해 전송데이터를 통합관리 할 수 있는 감시제어화면을 구성하였으며, 그림 14에서와 같이 펌프, 밸브 가동상태 및 데이터 감시가 가능하고, 항목별 실시간으로 트렌드 값을 확인할 수 있다. 또한, 그림 15의 태블릿 PC에도 원격 모니터링용 프로그램 감시제어화면을 구성하여 원격에서도 상황중계 모니터링이 가능하도록 구성하였다.

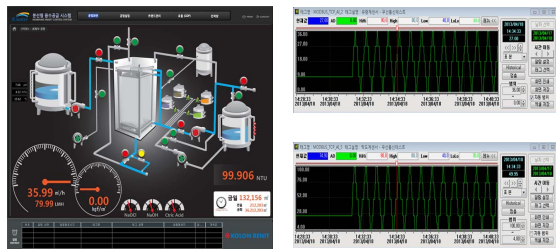


그림 14. 감시제어화면 및 트렌드 값
Fig. 14 HMI and trend value

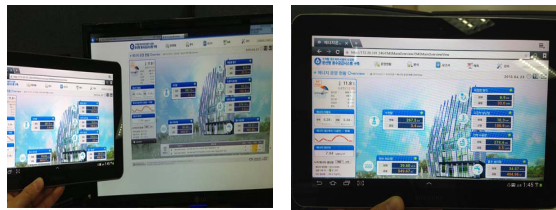


그림 15. 태블릿 PC 감시제어화면
Fig. 15 HMI of tablet PC

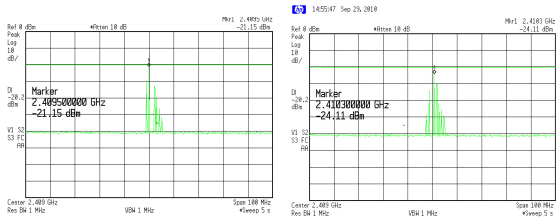


그림 16. Zigbee 수신레벨
Fig. 16 Receive level of Zigbee

관측지점 요소별 수신레벨을 스펙트럼 분석기(Spectrum analyzer)를 사용하여 측정한 결과, 그림 16와 같이 -21~25 dBm의 출력 신호 값으로 무선수신기의 최저 -90 dBm 보다 높은 레벨로 측정되었음을 확인할 수 있었다.

VI. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 수직형 정수처리시설이 도입된 분산형 용수공급시스템 내 USN 복합망 구성을 위해 2.45 GHz Zigbee 망을 이용하여 무선메쉬망 구축 및 유량, 압력센서 등으로부터 데이터 취득과 펌프 및 밸브의 상태를 모니터링 할 수 있는 최적관리 시스템을 구현하였다. 구현결과, 무선메쉬망 센서노드의 감시제어화면을 통한 데이터경로 확인 및 통신 설정이 가능한 것을 확인하였으며, 운영관리 PC 뿐만 아니라 모바일에서도 데이터 감시 및 제어가 가능하도록 구현하여 원격에서도 상황중계 모니터링이 가능하도록 구성하였다. 이는 현재 구축 중에 있는 수직형 정수처리시설이 도입된 분산형 용수공급시스템의 지하와 1층 및 3층에 2.45 GHz 대역 Zigbee 망을 이용하여 무선메쉬망을 구축하고 데이터 전송경로와 수신 값을 확인할 수 있다.

향후, LED 조명시스템 추가연계를 통한 무선제어의 기반을 마련하고, 네트워크 최적화 및 신뢰성을 위한 전송알고리즘을 적용한 시험과 결과분석을 통해 최적관리 시스템을 구현하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설기술혁신사업의 연구비 지원(과제번호: 10기술혁신 C01)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- [1] Pyo cheol-sik, “RFID/USN technology trend and convergence view between technology and industry”, 2007.
- [2] Ah jeong-uk, “The understanding of next-generation broadband integrated networks”, Electronic Newspaper
- [3] Nam sang-yeop, Jeonggyoil, Kimseongdong, “Ubiquitous sensor network architecture and applications”, Sanghaktang
- [4] WILLIAM Webb, “Wireless Communication : the Future”, Wiley, 2007.
- [5] Gregory J. Kirmeyer et al. “Guidance Manual for Maintaining Distribution System Water Quality”, AWWARF, 2000.
- [6] Pyo cheol-sik, Chae jong-seok, “RFID / USN technology trends”, 2008.
- [7] Lee seong-eun, Yu cheol, Park jong-deok, “Study of MS-WP password processor for wireless transmission between water measurement and control equipment nodes”, Institute of Korea Electronics and Telecommunications, 2011.
- [8] Hong seong-taek, Shin gang-uk, “Ubiquitous-based compound communication network deployment and performance test” Korea Internet Broadcasting Communications Society, 2011.
- [9] Thornton J., “Water Loss Control Manual”, 1st edition, McGraw-Hill, 2002.
- [10] Lee Chul-Ho, “Prospect of wireless signal transmission system in process instrumentation & control”, C&I special edition, 2011.
- [11] “Network Simulator ns-2”, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>
- [12] Zigbee Alliance, <http://www.zigbee.org>



장상복(Sang-Bok Jang)

1989년 : 영남대학교 전기공학과 (공학사)
 2011년 ~ 현재 : 충북대학교 제어로봇 공학과(박사과정)
 1992년 ~ 현재 : 한국수자원공사 수도개발처 차장
 ※관심분야 : SCADA시스템, 최적제어, 패턴인식 기술



신강욱(Gang-Wook Shin)

2005년 2월 : 홍익대학교 전기공학과 박사
 1993년 ~ 현재 : 한국수자원공사 K-water연구원 수석연구원
 ※관심분야 : 플랜트제어 및 응용, 모델링, 지능제어, 원격감시제어, 센서응용



홍성택(Sung-Teak Hong)

2007년 8월 : 충북대학교 전파공학과 박사수료
 1996년 ~ 현재 : 한국수자원공사 K-water연구원 책임연구원
 ※관심분야 : 위성통신망, RFID/USN 기술, 원격감시제어 및 센서응용 기술



이안규(An-Kyu Lee)

2012년 : 충북대학교 정보통신공학과 공학박사
 1996년 ~ 현재 : 한국수자원공사 K-water연구원 녹색기술연구소 차장
 ※관심분야 : RFID/USN기술, 무선통신, SCADA시스템



박혜미(Hye-Mi Park)

2012년 : 서울시립대학교 전기전자컴퓨터공학부 석사
2012년 ~ 현재 : 한국수자원공사 K-water연구원 녹색기술연구소 위촉연구원
※관심분야 : RFID/USN기술, 무선통신



전명근(Myung-Geun Chun)

1993년 : KAIST 전기 및 전자공학과(공학박사)
1993년 ~ 1996년 : 삼성전자 자동화연구소 선임연구원
1996년 ~ 현재 : 충북대학교 전자공학부 교수
2008년 ~ 현재 : TTA PG505 전문위원
2007년 ~ 현재 : ISO/IEC SC27 정보보호 표준화 전문위원
※관심분야 : 바이오인식, 개인정보보호, 데이터마이닝, 지능시스템