

# 하·폐수 처리 시설의 센서 데이터 분석 및 효율적인 데이터 전달을 위한 WiFi 망 구축에 관한 연구

강용식\*, 정순호\*, 김진태\*\*, 신재권\*\*, 양승연\*\*, 정재학\*\*\*,  
이승연\*\*\*\*, 최영관\*\*\*\*\*©, 차재상\* 정회원

## A Study about Construction of WiFi Network for Efficient Data Transmission and Sensor Data Analysis in Wastewater Treatment Plant

Yongsik Kang\*, Soonho Jung\*, Jintae Kim\*\*, Jaekwon Shin\*\*, Seungyoun Yang\*\*, Jaehak Chung\*\*\*,  
Seungyoun Lee\*\*\*\*, Youngkwon Choi\*\*\*\*\*© and Jaesang Cha\* Regular Members

### 요 약

본 논문에서는 하·폐수 처리 시설에서 측정하는 슬러지 농도 및 TN/TP의 센서 데이터를 수집하여 효율적인 WiFi기반의 상태 감시 모니터링 시스템을 구현하기 위한 WiFi 망 구축을 제안하였다. 하·폐수 처리 시설에서 슬러지 및 TN/TP 측정 장비들로부터 수집한 센서 데이터 값을 기존 WiFi에 쓰이는 망 구조를 하·폐수 처리 시설에 특화된 망 구조로 개선하였다. 본 논문에서는 PC 뿐만 아니라 스마트 디바이스(스마트폰, 스마트패드, 태블릿 PC 등) 기반의 모니터링이 가능하도록 상태 감시 모니터링 시스템을 설계하여 실시간 상태 확인이 가능하도록 함으로써 사용자의 접근성과 편의성을 향상시켰다. 또한 효율적인 데이터를 전달하기 위한 WiFi 망을 구축하고, 센서 통신 네트워크 분석을 통해 그 효율성을 입증함으로써 제안 기술의 유용성을 확인하였다.

**Key Words** : Wastewater, WiFi network, Sensor, Monitoring, Protocol

### ABSTRACT

In this paper, the wastewater treatment plant sludge proposed TN/TP sensor data collected an efficient monitoring system in order to implement status monitoring to build WiFi networks. Also we sludge concentration and TN/TP sensor data were collected from wastewater treatment plant. It is able to be monitored sensor data through smart devices(Smart phones, smart pad, tablet PC, etc.) and pc. In addition, when certain events occur immediately be able to cope by adding features to enable efficient and rapid processing, real-time status can be checked by ensuring improved user access and convenience. We has built a WiFi network for to transfer data efficiently. It proved its effectiveness by analysis of sensor communication network. Therefore, we have verified the usefulness of the proposed technology.

## I. 서 론

최근 우리나라는 개발위주의 성장기를 거치며 나타난 수질오염을 해결하기 위해 환경 하·폐수 처리시설의 방류수 수질기준을 지속적으로 강화되어 왔으며, 이와 더불어 효율적인 에너지 관리를 위한 스마트 워터 그리드를 구축하여 하수처리시스템의 경제적, 효율적인 최적의 시스템 기술을 확

보 및 상태 관리를 위한 첨단 스마트 그리드 기술을 개발하는 추세이다. 이러한 과정에서 효율적인 관리를 위해서는 하·폐수 처리 시설 관리 및 하·폐수의 수질 상태를 통합적으로 모니터링 할 수 있는 시스템 구축이 필요하지만, 관리자가 항상 모니터링 해야 하는 불편함과 정확한 데이터를 측정하기 어려운 문제점이 있으며, 이러한 문제점을 해결하기 위한 연구의 중요성이 부상하고 있다[1-3].

\* 본 연구는 환경부 “글로벌 환경기술개발사업”으로 지원받은 과제임(과제번호:GT-11-B-02-014-3)

\*서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과

\*\*파이브텍 R&D 센터

\*\*\*인하대학교 전자공학부

\*\*\*\*동서울대학교 전기정보제어과

\*\*\*\*\*한국수자원공사

©교신저자 music@kwater.or.kr

접수일자: 2012년 3월 2일, 수정완료일자: 2012년 4월 10일, 최종 게재 확정일자: 2012년 6월 19일

본 논문에서는 하·폐수처리시설을 효율적으로 관리하기 위하여 WiFi 망을 구축함과 동시에 원격 제어가 가능한 상태 감시 모니터링 시스템을 제안하고자 한다. 또한, 수집된 센서 데이터를 이용하여, WiFi 기반의 네트워크 서버구축하고, 원격 모니터링이 가능한 하·폐수처리시설의 모니터링용 SW에 대한 개발내용에 대하여 기술하고자 한다. 추가적으로 하폐수 처리 시설에 특화된 WiFi 망 기반의 프로토콜을 제시하고, 시뮬레이션을 통하여 제안한 시스템 및 구조의 유용성을 입증하고자 한다.

네트워크에 접속된 스마트 디바이스(스마트폰, 스마트패드, 태블릿 PC 등)를 이용하여 영상 및 실시간 모니터링이 가능하므로 문제 발생 및 긴급 상황 시 적절한 대처가 가능하기 때문에 불가피한 사고 발생 시 피해를 최소화 할 수 있으며, 관리의 효율성을 높일 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 하·폐수 처리 시설 기반의 모니터링 시스템의 구조와 슬러지 및 TN/TP 센서 데이터의 처리과정에 대하여 기술하였으며, 3장에서는 하·폐수 처리시설에 특화된 효율적인 데이터 전달을 위한 WiFi 망 구성에 관한 내용을 기술하고, 4장에서는 WiFi 기반의 통신 성능을 분석한 내용을 토대로 제안한 시스템의 유용성을 입증하고자 한다. 끝으로 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 하·폐수 처리 시설의 슬러지 및 TN/TP 센서 데이터 개요

### 1. 상태 감시 모니터링 시스템 개요

본 논문에서는 제안한 WiFi 망 구축을 통한 상태 감시 모니터링 시스템을 구성하기 위하여 다음 그림 1과 같이 구조도를 설계하였다.

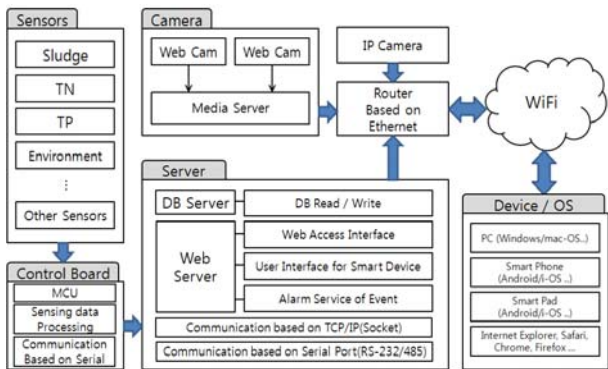


그림 1. 상태 감시 모니터링 시스템 구조도

하·폐수 처리 시설의 슬러지 농도 및 TN/TP 센서, 다양한 환경 감시 센서 등의 센서 데이터를 MCU를 포함한 통합 제어 보드에서 수집하여 보드의 프로세서를 통해 수집된 데

이터들을 실시간으로 처리하고, 처리된 데이터들은 RS-232 또는 RS-485와 같은 시리얼통신을 통해 서버로 데이터를 송·수신하게 된다. 서버로 송신된 데이터들은 Socket 통신을 이용하여 라우터를 거쳐 WiFi 망을 통해 Web Access 인터페이스 및 스마트 디바이스를 위한 UI를 스마트 디바이스와 PC로 제공받을 수 있다. 스마트 디바이스로는 Android와 i-OS 등 OS에 독립적으로 사용 가능하며 Internet Explorer, Safari, Chrome, Firefox 등 다양한 브라우저에서도 사용 가능하다. 이때 하·폐수 처리 시설의 이미지 영상은 Web Cam 및 IP 카메라를 사용하여 라우터를 거친 후 WiFi 망을 통해 스마트 디바이스 및 PC로 제공되기 때문에 통합적인 상태 감시 모니터링이 가능하게 된다. 이와 더불어 문제 발생 시 신속한 대처가 가능하도록 이벤트 알람 서비스 기능을 제공한다. 다음 그림 2은 상태 감시 모니터링 시스템을 플로우 차트로 나타낸 것이다.

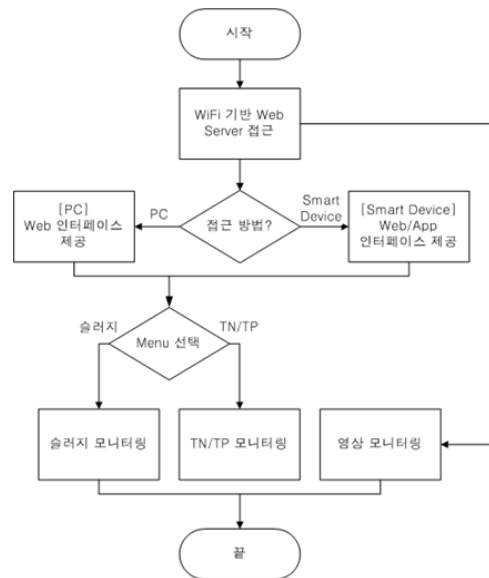


그림 2. 상태 감시 모니터링 인터페이스 접근 플로우 차트

사용자는 스마트 디바이스 및 PC를 이용하여 WiFi를 통해 Web Server에 접근하게 된다. 접근 유형에 따라 각기 다른 인터페이스를 제공받을 수 있으며, 사용자들은 제공받은 인터페이스를 통하여 DB에 접근가능하며, 센서 데이터 및 영상 모니터링이 가능하다.

### 2. 슬러지 및 TN/TP 센서 데이터 분석

센서 데이터를 통합 제어 보드에 수집하고, 프로세싱 후 Web 서버 및 DB 서버와 데이터를 교환하기 위한 프로토콜을 설계하였다. 슬러지 및 TN/TP 등의 센서들은 통합 제어 보드로 센싱된 값을 전달하며 MCU에서 센싱 신호를 수집/분석 후, 프로토콜에 의거하여 시리얼 통신을 통해 메인 서버로 데이터를 전달하게 된다. 통합제어 보드와 메인서버간의 센서 데이터 전달을 위한 프로토콜은 다음 그림 3과 같다.

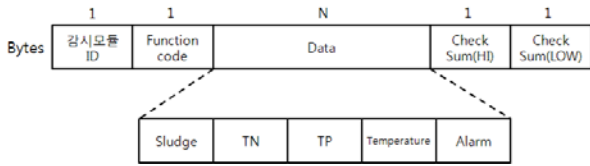


그림 3. 센서 데이터 처리 프로토콜

본 개발에서는 시리얼 통신으로 데이터를 송·수신하는데 시리얼 통신으로 RS-485를 고려하여 개발하였기 때문에 감시 모듈의 ID 값을 세팅하도록 하였으며, Function Code에서는 서버와 통합 제어 모듈간의 상태 정보 요청 및 응답, 제어정보 요청 및 응답, 알람 레벨 값 등을 입력하여 조절할 수 있다. 서버에서는 센서정보를 통합 제어 모듈로부터 요청하고, 통합제어 모듈에서 이에 맞는 센서 데이터를 응답하게 된다. 센서 데이터의 수집 및 저장을 위한 절차는 그림 4을 통해 확인할 수 있다.

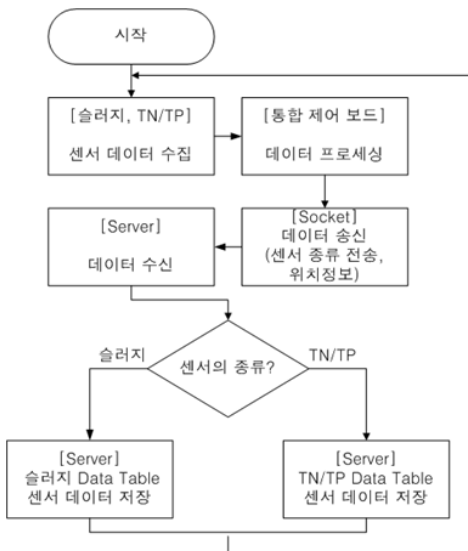


그림 4. 수집 및 저장 플로어 차트

각 센서는 센싱된 데이터를 통합 제어 보드로 전달하며, 통합 제어 보드에서는 수집된 센서 데이터를 프로세싱하여 메인서버로 전달하며, 메인서버에서는 Socket 통신을 통하여 DB 서버로 데이터를 전달한다. 처리된 데이터 및 센서의 종류, 위치 정보 등을 수신한 DB 서버에서는 센서의 종류에 따라 형식에 맞는 DB Table에 저장하게 되며, 주기적으로 센서 데이터를 서버에 저장하는 일을 반복 수행한다.

프로토콜을 통해 수집 받은 센서 데이터를 이용하여 모니터링이 가능한 SW 구현을 위해 프로그래밍 언어로 Java를 이용하여 개발하였으며, DB 서버구축을 위하여 MySQL을 사용하였고, 메인 개발 툴은 Eclipse를 사용하였다. 보다 자세한 개발 환경을 다음 표 1에서 보이고 있다.

표 1. 센서 데이터 DB화 SW 개발환경

구분	내용
OS	Windows XP, Windows 7
Language	JAVA
JDK version	JDK 1.7.0
JRE version	JRE 7.0
tool	Eclipse Indigo Service 1
Database	MySQL ver 5.5.17
DB connector Driver	Mysql-Connector-java ver. 5.1.18

각 센서 데이터는 Socket 통신을 통해 DB 서버에 주기적으로 전송되고, 센서의 종류에 따라 슬러지 또는 TN/TP DB Table에 데이터가 갱신된다. 그림 5는 주기적으로 저장된 센서 데이터를 갱신하는 프로그램을 보이고 있다.

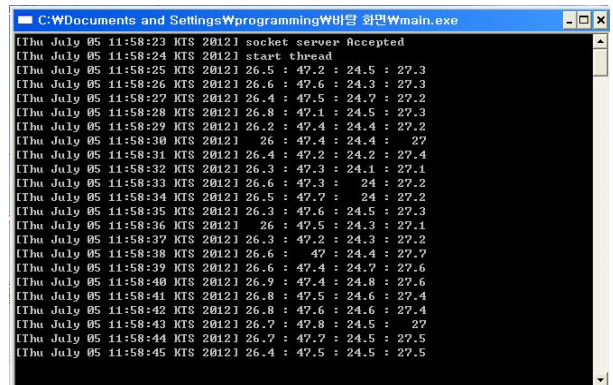


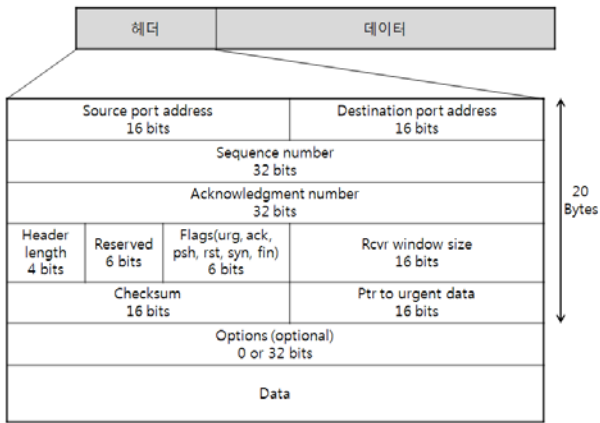
그림 5. 주기적으로 업데이트 된 센서 데이터

### III. 효율적인 데이터 전달을 위한 WiFi 망 설계

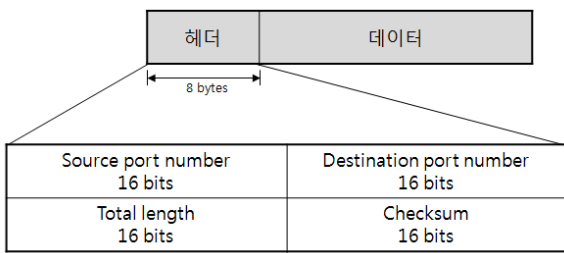
본 논문에서는 슬러지 및 TN/TP 등의 센서 데이터를 수집, 분석하여 WiFi 망에 효율적으로 전달하기 위한 전송 기술을 제안하고자 한다. 하·폐수 처리 시설에서의 각종 측정 장비로부터 센싱되어 전송되는 다양한 센서 데이터들은 그 데이터 양이 크지는 않으나 실시간으로 신뢰성 있는 데이터를 사용자에게 제공해야 한다.

센서 데이터들은 메인서버로 송신되어 Socket 통신을 이용하여 WiFi 망을 통해 스마트 디바이스와 PC로 전달 된다. 주로 인터넷에서 신뢰성 있는 전송 서비스를 제공하기 위한 프로토콜로 TCP(Transmission Control Protocol)를 사용하여 왔으며, 음성 및 비디오와 같은 실시간 데이터 전송을 요구하는 스트리밍 서비스를 제공하기 위한 프로토콜로 UDP(User Datagram Protocol)을 사용하고 있다. TCP는 호스트 간 신뢰성 있는 데이터 전달과 흐름제어 및 혼잡제어

등을 제공하는 전송계층의 연결 지향형 프로토콜로써 높은 신뢰성을 보장하지만 통신 과정에서 서버 측에서는 Socket을 생성하고, 주소를 할당하며 연결요청을 기다리며 요청에 대한 응답을 하는 과정을 거치며, 클라이언트 측에서는 Socket을 생성하고 주소를 할당하여 연결 요청을 하는 과정을 거치게 되는데 이러한 패킷 오버헤드가 세그먼트 당 20~24bytes 할당되어 있다. UDP는 전송계층에서 제공해야 할 최소한의 서비스 즉, 호스트 간 데이터 전달과 오류검출만을 제공하는 비 연결형 전송 프로토콜이다. Port만을 확인하여 Socket을 식별하고 송수신하기 때문에 패킷 오버헤드가 세그먼트 당 8 bytes로 적어 네트워크의 부하는 감소하지만 신뢰성이 떨어지게 되어 신뢰도가 중요한 통신이 아닌 실시간으로 한 방향으로 데이터를 제공하는 환경에서 UDP를 사용하고 있다[4-5]. 그림 8에서는 TCP 및 UDP의 세그먼트 헤더의 구성요소를 보여주고 있다.



(a) TCP 세그먼트의 구조 (헤더 : 20~24 bytes)



(b) UDP 세그먼트의 구조 (헤더 : 8 bytes)

그림 8. TCP 및 UDP의 세그먼트 구조

그림 6에서 (a)는 TCP 세그먼트의 구조가 나타나 있는데 헤더에 20~24 bytes의 구성 요소들로 인하여 TCP 통신은 데이터를 주고받을 때 데이터의 요청 및 응답 과정에 대한 확인 절차를 거치게 되고 이로 인해 전송 속도가 UDP에 비해 느리게 된다. 반면 (b)는 UDP 세그먼트 구조를 나타낸 것으로써, TCP에 비해 그 절차가 간소화 되었지만 정보의 응답, 확인 절차를 거치지 않기 때문에 신뢰성 면에서 떨어지게 된다.

본 연구에서는 신뢰성뿐만 아니라 실시간 데이터 전송이 요구되는 하·폐수 처리 시설에서 보다 효율적인 데이터 전달을 위한 WiFi 망의 설계를 통해 기존의 Socket 통신보다 신뢰성을 가지면서 실시간 데이터 전송을 할 수 있도록 WiFi 망의 구조를 개선할 필요가 있다. 따라서 실시간의 고신뢰성을 가지는 개선된 WiFi 망의 프로토콜 구조도는 그림 9과 같다.

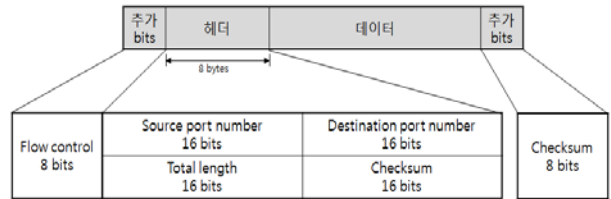


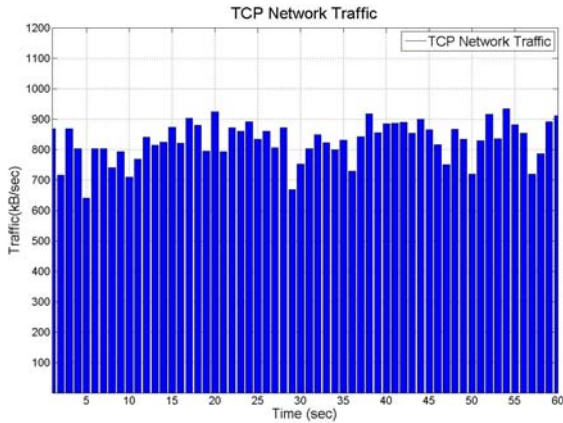
그림 9. 개선된 세그먼트 구조 (추가 bits : 16 bits)

기본적으로 실시간 전송이 가능한 UDP 통신을 개선, 보완하여 하·폐수 처리 시설에서 필요로 하는 높은 수준의 신뢰성을 가지는 실시간 Socket 통신을 설계하였다. 세그먼트 구조에서는 헤더 앞단에 패킷을 제어 할 수 있는 흐름 제어 bits를 8 bits 추가하여, 데이터를 송신하는 서버 측에서는 메모리 버퍼에 순차적으로 들어온 데이터 순서대로 패킷을 전달하게 된다. 그리고 데이터를 수신 받는 모니터링 장비는 WiFi망을 통하여 순서 없이 들어온 패킷들의 신뢰성을 보장하기 위해서 흐름제어 bits를 이용하여 데이터를 복구한다. 데이터 뒷단에는 Checksum 알고리즘을 8bits 추가하여 패킷을 네트워크에 전송하고 있는 사이에 헤더나 데이터의 이상 유무를 판단하여 전송된 데이터가 파손되지 않았다는 것을 보증하게 된다.

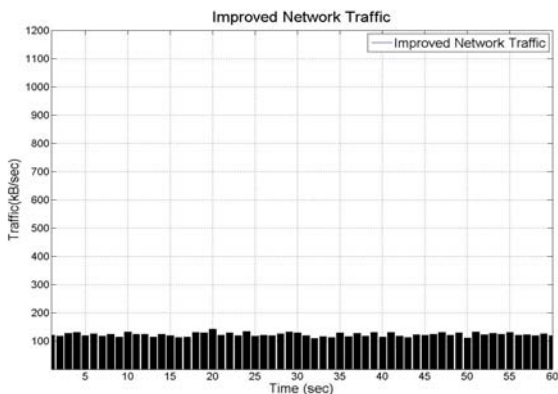
#### IV. 효율적인 데이터 전달을 위한 WiFi 통신 네트워크 분석

본 논문에서는 하·폐수 처리 시설에서 고신뢰성의 실시간 데이터 전송을 위한 WiFi 망에서의 효율적인 데이터 전송을 위하여 TCP와 개선된 WiFi 망에서의 트래픽을 비교하여 센서 통신 네트워크를 분석하였다. 본 연구에 사용된 통신 환경은 메인서버와 다수의 사용자간의 무선 통신에 있어서 TCP 통신을 통해 센서 데이터를 전송했을 때와 개선된 WiFi 망에서의 센서 데이터를 전송하여 각 트래픽 양을 비교하였다.

그림 11에서 TCP와 개선된 WiFi 망에서의 트래픽 측정 결과를 그래프로 나타내었다.



(a) TCP 통신 Traffic 분석



(b) 개선된 WiFi 망 Traffic 분석

그림 11. TCP 통신과 개선된 WiFi 망 Traffic 비교 분석

그래프에서 나타난 것처럼 (a)에서는 TCP 통신을 통해 다수의 사용자에게 센서 데이터를 전송 할 때는 640.9kB/sec에서 933.6kB/sec사이의 네트워크 트래픽을 기록한 반면, (b)에서는 개선된 WiFi 기반의 통신에서는 110.7kB/sec에서 143.0kB/sec로 약 1/8배 가량 네트워크 트래픽이 감소됨을 확인 할 수 있었다. 이를 통해 다양한 센서들의 효율적인 데이터 전달이 필요한 하·폐수 처리 시설에 개선된 WiFi 네트워크를 구성함으로써, 높은 신뢰성을 가진 실시간 모니터링 시스템을 구현함에 그 유용성을 확인 할 수 있었다.

## V. 결론

본 논문에서는 하·폐수 처리 시설의 센서 데이터를 분석하고, 고 신뢰성의 효율적인 데이터 전달 및 에너지 관리를 위한 WiFi 망을 설계하여 상태 감시 모니터링 시스템을 제안하였다. 또한 센서데이터 처리를 위한 프로토콜을 제시하고, 제시한 프로토콜을 기반으로 DB 및 네트워크 서버구축과 관련핵심 SW를 개발하였다. 제안한 프로토콜 및 망구조에 기반한 시뮬레이션을 통하여, 성능향상효과를 확인하였으며 제안한 시스템에 대한 유용성을 확인하였다.

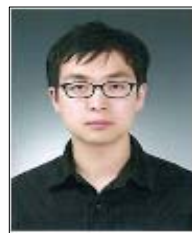
이와 같이 기존의 미흡했던 하·폐수 처리 시설의 에너지 관리 및 상태 감시 모니터링 시스템의 환경 구축을 위하여 새로운 WiFi 망을 구축함으로써, 모니터링 관련 분야의 효율적인 관리에 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고 문헌

- [1] Ministry of environment, "The status report on the operation and management of sewage treatment plants in Korea", pp. 8, Ministry of environment, Seoul, 2011
- [2] Korea environment corporation, "The report on the propriety of energy saving project in the sewage treatment plant", p. 51, Ministry of environment, Seoul, 2008
- [3] S. Kang, H. Lee, J. Kim, and K. Han, "Application of Microfiltration and Reverse Osmosis System to Sewage Reuse for Industrial Water", Membrane Journal, Vol.12 No.3, pp.151-157, 2002
- [4] James F. Kurose, Keith W. Ross, Computer Networking 3판, 2005
- [5] K. Kim, A. Ahmad, and K. Kim, "A Wireless Multimedia LAN Architecture Using DCF with Shortened Contention Window for QoS Provisioning," IEEE Communication Letters, Vol.7, No.2, pp. 97-99, Feb.2003

## 저자

강 용 식(Yongsik Kang)



정회원  
 · 2007년 2월 : 호서대학교 정보통신공학과 학사졸업  
 · 2011년 2월~현재 : 서울과학기술대학교 NID융합대학원 석사과정  
 <관심분야> : 스마트 워터 그리드, WiFi Network, 모니터링 시스템

정 순 호(Soonho Jung)



정회원  
 · 1991년 2월 : 성균관대학교 전기공학과 학사졸업  
 · 1994년~2000년 : LG반도체 ASIC Design 연구원  
 · 2000년~2007년: 승전상사 응용기술팀 연구원/마케팅

· 2008년~현재 : 서울과학기술대학교 NID융합기술대학원 박사과정

<관심분야> : USN, 모니터링시스템, LED통신, 유무선 홈 네트워크, 방송통신융합요소기술, 유무선통신기술, LSI 설계



**김진태(Jintae Kim)**

**정회원**



- 1991년 2월 : 건국대학교 전자공학과 학사졸업
- 1993년 2월 : 건국대학교 전자공학과 석사졸업
- 현재 : 건국대학교 정보통신대학원 IT 융합과 겸임교수, (주)파이브텍 대표이사

<관심분야> : 스마트 워터 그리드 구축 / 제어, 통신응용

**신재권(Jaekwon Shin)**

**정회원**



- 1993년 2월 : 단국대학교 전기공학과 학사졸업
  - 현재 : 파이브텍 R&D 센터 소장
- <관심분야> : 스마트 워터그리드 구축 / 제어, 통신 응용

**양승연(Yangseung Youn)**

**정회원**



- 1999년 2월 : 순천향대학교 제어계측 공학과 학사졸업
  - 현재 : 파이브텍 R&D 센터 차장
- <관심분야> : 스마트 워터그리드, USN, 모니터링시스템, 유.무선통신

**정재학(Jaehak Chung)**

**정회원**



- 1988년 2월 : 연세대학교 전자공학과 학사졸업
- 1990년 2월 : 연세대학교 전자공학과 석사졸업
- 2000년 2월 : University of Texas at Austin, 전기전산학과 박사 졸업

- 2000년 3월~2001년 2월 : University of Texas at Austin, post doctoral fellow
  - 2001년 3월~2005년 2월 : 삼성종합기술원 수석연구원
  - 2005년 3월~현재 : 인하대학교 전자공학과 부교수
- <관심분야> : 위성통신, LTE-ADVANCED, MIMO-OFDM

**이승연(Seungyoun Lee)**

**정회원**



- 1999년 2월 : 성균관대학교 전기공학과 학사졸업
- 2001년 2월 : 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 석사졸업
- 2006년 2월 : 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 박사졸업

- 2006년 11월~2007년 12월 : Georgia Tech post-Doc.
  - 2008년~현재 : 동서울대학교 전기정보제어과 교수
- <관심분야> : USN, 모니터링시스템, 유무선통신기술, 전력선통신

**최영관(Youngkwan Choi)**

**정회원**



- 2001년 2월 : 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부 학사졸업
- 2004년 2월 : 성균관대학교 석사졸업
- 2012년 2월 : 성균관대학교 박사졸업
- 2004년~현재 : 한국수자원공사

<관심분야> : 스마트 워터 그리드, 하수처리 시스템, 유무선 통신 네트워크

**차재상(Jaesang Cha)**

**정회원**



- 2000년 : 일본 東北대학교 전자공학과 공학박사
- 2002년 : ETRI 이동통신연구소 무선전송기술팀 선임연구원
- 2008년 : 미국 플로리다 대학교 방문교수
- 2009년~현재 : 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과 교수

<관심분야> : 디지털 방송 전송 기술, UWB, 홈네트워크 무선통신기술, 대역확산 및 이중 접속기술, 4세대 이동통신기술