

## IoT에 의한 순환여과식 양식장 자동 수질 측정 시스템 구현

김선우\* · 최연성\*\*

## Implementation of an Automated In-line Water Quality Measurement System of Recirculation Fish Farm with IoT

Sun-Woo Kim\* · Yeon-Sung Choi\*\*

## 요약

기존의 순환여과식 양식장에서는 전문 인력의 부족, 수입 측정 장비에 대한 높은 의존도 등으로 인하여 많은 어려움을 겪고 있다. 이에 본 논문에서는 최신 IoT기술을 적용한 광학식 센서(pH, DO)를 이용하여 양식장 수조 내 오염도를 빠른 시간내에 측정할 수 있는 자동 수질 측정 시스템을 구현하고자 한다.

기존 시스템의 문제점은 양식장 수조를 사람이 일일이 확인하거나, 측정 장비를 수조 속에 넣고 직접 측정을 하여 물고기의 생육에 좋지 않은 영향을 주는 것이다. 본 논문에서는 시스템은 측정 장비를 수조 속에 담그지 않고 간접 측정을 하는 방식을 제안하고 염분 및 다수의 오염 물질이 포함된 환경에서도 양식장 내의 물고기의 생육에 영향을 주지 않고 지속적인 측정이 가능한 시스템을 개발하였다.

## ABSTRACT

In the conventional recirculation fish farms, there is a lot of difficulties due to lack of professional manpower and high reliance on imported measurement equipment. In this paper, we implement an automatic water quality measurement system which can measure the pollution degree in a water tank of fish farms using an optical sensor(pH, DO) with the IoT technology.

The problem with existing systems is that the fish tank should be checked by means of human, or put the measuring equipment into the water tank of fish farms and measurement directly. But, it has a bad influence on the growth of fish. In this paper, we propose a method of indirect measurement without immersing the measurement equipment in a water tank of fish farm and develop a sustainable measurement system in an environment containing salt and lots of pollutants without affecting the growth of fish within the water tank of fish farms.

## 키워드

Recirculation Fish Farm, Automated In-line Water Quality Measurement, Optical Sensor, Dissolved Oxygen, pH  
순환 여과식 양식장, 간접식 자동 수질 측정, 광학식 센서, 용존 산소, 산도

## 1. 서론

최근 네트워크 환경의 발전과 마이크로컨트롤러 등

주변기기들의 발전으로 인해 IoT를 활용한 기술들이 다양한 분야에 접목되고 있다. 수질자동측정 및 국산 측정기기 개발 필요성이 증가하고 있으나 국산측정기

\* 군산대학교 컴퓨터정보통신공학부(ssuny@kunsan.ac.kr)

\*\* 교신저자 : 군산대학교 컴퓨터정보통신공학부

• 접수일 : 2017. 03. 28

• 수정완료일 : 2017. 05. 31

• 게재확정일 : 2017. 06. 16

• Received : Mar. 28, 2017, Revised : May. 31, 2017, Accepted : Jun. 16, 2017

• Corresponding Author : Sun-Woo Kim

Dept. Information and Telecommunication Engineering, Kunsan National University,

Email : ssuny@kunsan.ac.kr

보급률은 낮은 수준으로 국가 수질 자동측정망, 수질 원격 감시 체계(Tele - Monitoring System, TMS) 설치기의 국산화율은 43% 수준에 미치고 있다. 또한, 환경 측정 장비 대부분은 수입에 의존하고 있으며, 오염 실시간 탐지 및 모니터링 기술 관련 국산화율 또한 낮은 수준으로 이러한 수입의존도로 인해 오염 측정 장비의 유지관리가 제대로 이루어지지 못하는 장애요인이 되고 있는 실정이다. 이를 위한 수조 내 수질모니터링 시스템은 전문 인력과 점검 시간을 절약하여 수조 내 오염도를 빠른 시간 내에 측정 및 이에 대처할 수 있는 시스템의 구현이 필요하다[1-2].

현재 상용화되어 있는 대표적인 수질계측 시스템은 탁도, SS 및 MLSS를 측정하기 위한 것으로 pH, DO, 전기전도도, 수온, ORP 등의 전극형 센서와 함께 모듈로 제작된 다항목측정기 형태로 상용화되어 상대적으로 깨끗한 하천 모니터링에 활용되고 있다[3-4].

수조내의 물은 배설물, 사료 찌꺼기 등의 유기물질이 미생물에 의해 분해되면서 CO<sub>2</sub> 농도가 증가하게 되어 pH가 하강하면서 산성으로 변한다. 이로 인해, 어류의 먹이 섭취율이 현저히 떨어져 성장을 더디게 할 뿐만 아니라 질병이 걸리는 원인이 된다. 또한, 대부분의 양식장에서의 측정은 센서들을 직접 물에 담가서 측정하는 방식을 이용하는데 이러한 직접식 측정 방식은 장어와 같은 예민한 어종의 경우에는 미세한 전기 자극에 스트레스를 받아 사료를 정상적으로 섭취하지 못하는 문제가 발생하여 현장에서 부정적인 반응을 보이고 있다[4].

본 논문에서는 광학식 센서(DO, pH)와 온도 센서를 간접식 측정 방식을 통하여 자동으로 측정할 수 있는 수질 측정 시스템 개발로 DO, pH, 온도를 검출하기 위한 센서 기술과 센서 모듈간의 통신을 위한 네트워크 기술 그리고 센싱 데이터의 처리와 중앙 제어를 위한 측정 소프트웨어를 개발하고 개발된 개별 요소들을 통합화하여 수질관리가 필요한 시설에 설치·운영함으로써 신뢰도를 올리는 방법을 제안하고 구현하였다.

## II. 관련 연구

### 2.1 육상 수조식 양식장

육상 수조식 양식 방법은 풍부한 수원과 어종에 따

른 적정 수온을 맞추어 관리하기 때문에 현재 널리 어민들에게 보급되어 사용되고 있는 기술이다. 하지만 육상 수조식 양식 방법은 해수 또는 민물을 바다나 강으로부터 직접 끌어올려 양식에 적합한 온도로 조절한 다음 수조에 공급하게 되어 있어 공급수의 수질 및 온도 조절 문제가 가장 중요한 문제 중 하나이다.

순환여과식(육상 수조식) 양식장은 물리, 화학, 생물학적 이론들이 종합적으로 접목되어 설계되고 운영되는 양어장으로서 그동안 건설되었던 국내 순환여과식 양식장은 유럽의 순환여과식 양식장을 모방한 형태에 불과했으며, 수질 관리 전문가가 없어 많은 국내 순환여과식 양식장들이 실패를 거듭해온 것이 현실이다. 대형 양식장의 경우 30~50여개에 달하는 대형 수조를 관리하는데 꼭 필요한 수질 환경에 대한 기초적, 과학적인 측정에 대한 이해 부족과 관련 측정 시스템의 부재로 운영상 어려움이 가중됨은 물론 관리자가 많은 수조를 일일이 돌면서 수질 상태를 검사하는 것이 현실이다[4].

기존 대부분의 방식들은 측정 가능한 센서들을 직접 수조에 담가 놓는 방식(직접식)으로 센서 보정, 관리자의 수동 측정, 어종의 스트레스(예를 들어, 장어 등)등에 대한 문제점이 존재한다.

이에 본 논문에서는 직접식 측정방법 보다 파이프 모듈을 통해서 물을 흡입하여 측정하는 간접식 측정(in-line sensing)을 설계함으로써 수조안에 있는 물고기들에게 스트레스를 주지 않기 때문에 직접 측정 방식보다 효과 면에서 훨씬 우수할 것이다. 또한 유지관리 측면에서도 물에 담겨있는 것보다는 훨씬 우수하다.

### 2.2 국내 기술 개발 현황

국내 수질 센서는 주로 DO, pH, SS, 탁도를 위주로 개발되어 왔으며, DO는 한국바이오시스템, 리테크, 유일엔지니어링 등 8개 업체, pH는 대운계기산업, 팬지아21, 나노하이텍 등 15개 업체, 프로브형 탁도계는 휴마스 1개 업체의 제품이 먹는 물 분야 형식승인을 통과하였다. 또한, SS는 동일그린시스, 삼성계기공업 등 14개 업체, COD는 13개, TOC는 1개 업체의 제품이 수질분야 형식승인을 통과하였다. 수질계측기 업체는 대부분 중소기업이며 수요가 많은 pH, DO, SS를 측정하는 수질 계측기가 주류를 이루고 있다. 하나엔지니어링은 이산화탄소 농도온도, 습도 등 실내 환경

상태를 한눈에 알아볼 수 있도록 만든 다기능 실내환경 모니터인 ‘센스라이프’를 개발하였다.

최근 모니터링 시장의 성장이 예측되면서 복수의 센서를 모듈화한 다항목 수질 계측기의 개발이 활발한 편이나 아직 본격적인 상품화 단계에는 이르지 못하고 있다.

팬지아21, 대운기계산업, 정림산업 등 다수의 업체들이 개발하고 있는 것으로 알려져 있으며, 정림은 수처리 선진화사업단 사업을 통하여 상수도 모니터링용 다항목 모듈을 개발하여 실증 시험을 완료하였다. 대운기계산업, 팬지아21은 프로브형 센서를 이용하지만 모듈 형태로 하지 않고 구조를 설치하여 시료를 자동 채수하여 측정하며 과학기술분석센터는 모듈형태로 하였으나 채수하여 측정한다[4].

### 2.3 해외 기술 개발 현황

YSI(미국)는 수질 모니터링과 테스트를 위한 데이터 수집 플랫폼과 소프트웨어, 센서 제품의 개발과 판매를 하고 있으며, HydroLabb(미국)는 수질센서, 수표면 레벨 센서, 지하수 레벨 센서, 수표면 방출 센서, 기상센서, 포켓용 통신장치, 원거리 데이터 취득장비를 판매하고 있으며, Horiba(일본)는 화학적 공정, 음식과 음료, 제약, 발전, 오일 정제, 펄프와 종이산업 등 다양한 제조과정에서 널리 쓰이는 수질분석장치를 제공한다. 그리고 In-Situ Inc.사의 TROLL 9500 모델의 경우 수질오염의 복합적인 평가가 가능한 장치로 최대 9개의 센서 확장기능을 가지고 있으며, 자체 저장기능과 디스플레이 기능을 통한 현장 확인 및 통신기능이 내장되어 장기간의 무인 연속측정에 가능한 제품이다[4].

## III. 순환여과식 양식장 설계

### 3.1 순환여과식 양식장 설계도

본 논문에서 개발을 위해 설계한 양식장의 개요도는 그림 1과 같이 일정 주기로 양식장 수질의 온도, DO, pH 등 센서를 이용한 자동화된 간접식 수질 측정 시스템으로 아두이노, 라즈베리파이, 수질 측정용 광학 센서 및 장치들을 이용하여 시제품 개발을 진행하였다[5-9].

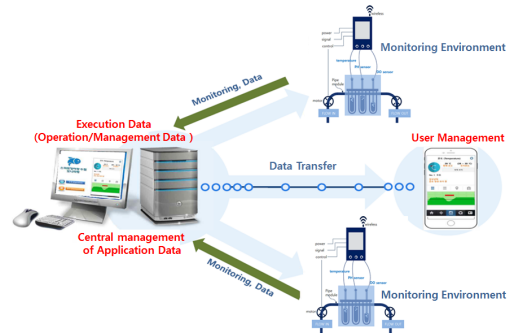


그림 1. 전체 시스템 개요도  
Fig. 1 System overview

마이크로 컨트롤러 보드에 연결된 각종 Digital/ Analog 센서들을 통해 정보를 입력받고, 라즈베리파이를 이용하여 유/무선으로 데이터를 서버로 전송한다. 수질 측정용 센서로는 양어장수의 산소 포화도를 측정하기 위한 DO(Dissolved Oxygen : 용존산소)센서, 산성도를 측정하기 위한 pH 센서, 수온을 측정하기 위한 온도 센서를 사용하였다. 게이트웨이는 수집된 센서 데이터를 이더넷 또는 와이파이를 이용하여 서버로 전송하는 역할을 한다. 서버는 수신된 데이터를 분석하여 지정한 센서값의 범위를 벗어날 경우 양어장 담당자에게 문자 또는 알람 등의 조치를 취하여 양어장 어류를 안전하게 키울 수 있도록 한다[8-9].

표 1은 본 논문에서 제안하는 시스템의 수질 측정용 센서의 제원이다. DO(용존산소 : 생물학적 산소 요구량)센서와 pH(산성도)센서는 Vernier사의 제품을 사용하였다. DO와 pH센서를 마이크로 컨트롤러와 연결하기 위해서 Vernier사의 myDAQ Adapter를 추가로 장착하였다. 또한, 온도 센서는 Melexis사의 제품을 사용하였다.

표 1. 수질 측정용 센서 제원  
Table 1. Sensor for water quality measurement spec.

Category	DO Sensor	pH Sensor	Temp Sensor
Quantity	1	1	1
Manufacturer	Vernier	Vernier	Melexis
Model	DO-BTA	PH-BTA	MLX90614
Range	0~15mg/L (ppm)	pH 0~14	-40~85 °C

### 3.2 양식장 디자인 개요도

그림 2는 시스템 회로 구성도를 나타낸다.

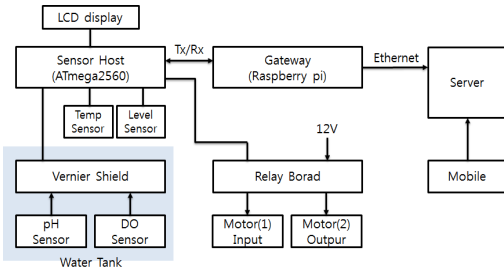


그림 2. 시스템 회로 구성도  
Fig. 2 System Circuit diagram

센서 호스트는 Atmega2560 마이크로 컨트롤러를 사용하였다. 여기에 온도센서, 수위를 측정하기 위한 레벨 센서, pH와 DO를 측정하기 위한 Vernier 센서를 연결하였다. 모터(1)과 모터(2)는 두 개의 레벨센서와 연동이 되어 워터탱크로 물을 채우고 센서 값을 측정해서 게이트웨이(라즈베리파이)로 보낸 후 물을 다시 뽑아낸다.

수집된 데이터는 외부 서버로 전송하기 위해 게이트웨이로 전송되고, 게이트웨이에서는 Nope.js를 이용하여 서버로 전송한다. 상/하 수위를 측정하기 위해 비접촉식 레벨센서를 활용하고, DO, pH, 온도를 측정하기 위해서 워터탱크를 추가로 구성하였다.

그림 3은 본 논문에서 제안된 워터탱크의 디자인 개요도 이다.

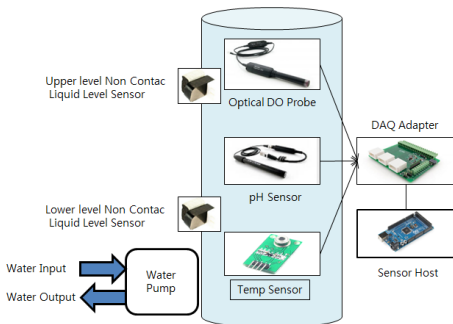


그림 3. 워터탱크 모니터링 디자인 개요도  
Fig. 3 Water tank monitoring design overview

### 3.3 외함 및 내부 3D 프린팅

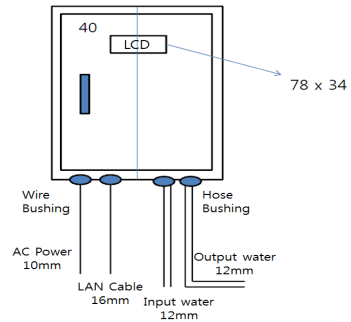


그림 4. 외함 케이스 설계도  
Fig. 4 Enclosure case design

본 개발을 위해서 그림 4는 시제품의 외함 케이스 설계도로 전면부 상단에는 LCD 패널을 넣기 위한 직사각형 케이스 밑면 부분에는 전선, LAN 케이블, 양어장수의 입력 호스, 양어장수의 출력 호스를 위해서 각각 타공 작업을 실시하였다.

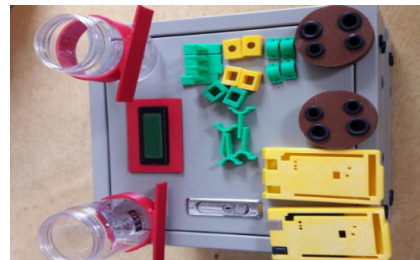


그림 5. 실제 출력된 3D 프린팅 시제품  
Fig. 5 3D printing prototype

그림 5는 내부 센서 PCB 기판 고정을 위한 3D 프린팅 작업을 거쳐 만들어진 시제품들로 PCB 마운팅 지그, 내부 워터탱크 수조 커버, 워터탱크 수조 고정을 위한 수조홀더, 수질센서를 고정하기 위한 수질센서 마운팅, 온도센서를 고정하기 위한 온도센서 마운팅, 수위센서를 고정하기 위한 수위센서 마운팅, 외부에 pH, DO 등의 값과 각종 메시지를 출력하는 LCD 디스플레이를 고정하기 위한 LCD 패널을 제작하였다.

### 3.4 서버 및 사용자 프로그램

본 논문에서 개발을 위해 사용된 서버의 개요는 다음 표 2와 같다.

표 2. 서버 사양  
Table 2. Server spec.

Category	Specification
Server	intel Core I5, 8G Ram, 1TB
DB	Mysql Enterprise Edition 5.6
Webserver	PHP 5.4.8 Apache 2.4.4, Http
Node.js	Node.js Version 4.5.0

양어장 정보를 찾기 위해서 각 양어장 사용자별로 고유번호를 반드시 부여받아야 하며, 각 양어장 일련번호를 제공한다. 양어장에 설치된 게이트웨이 장치의 맥 어드레스 또한 저장하여 분류에 사용한다. 각 센서별 기준값을 저장하여 기준값을 초과하는 경우 알람이 발생하도록 하였다. 아래 표 3은 각 양어장에서 설정하는 양어장 정보를 저장하기 위한 서버에서 사용할 데이터베이스 테이블 표이다.

표 3. Comp\_m(양어장 정보) 테이블  
Table 3. Comp\_m(fish farm) DB tables

Field	Type	Field	Type
userid	int(11)	username	varchar(255)
macaddr	varchar(255)	userphone	varchar(255)
fishname	varchar(255)	useremail	varchar(255)
fishnum	int(11)	regdate	datetime
checktime	datetime	dovalue	int(11)
phvalue	int(11)	tempvalue	int(11)

제작된 장치에서 수질 측정 센서들이 데이터를 측정해서 서버로 데이터를 전송하는데 필요한 데이터 테이블은 아래 표 4와 같다. 전송되는 데이터는 게이트웨이 구분을 위한 맥어드레스, 전송시간, 센서 정보 데이터이다. 센서 정보 데이터는 t:25, p:7.5, o:13.5 순서로 전송이 된다. 여기서 t는 온도, p는 pH, o는 DO 값을 의미한다.

표 4. 센서 데이터 전송 테이블  
Table 4. Sensor data log table

Field Name	Type	Description
macaddr	varchar(255)	Gateway macaddress
regtime	datetime	Sensor Data Transmission time
jsondata	txt	Sensor Data information

운영하는 사용자의 편의를 위해서 PC 또는 스마트폰에서 운영 및 관리를 할 수 있도록 앱을 개발하였으며 그림 6과 같이 전달받은 양식장의 데이터를 모바일에서 각각의 측정된 수질 상태(수온정보, pH 정보, DO 정보)의 값을 실시간으로 확인 할 수 있도록 하였다.

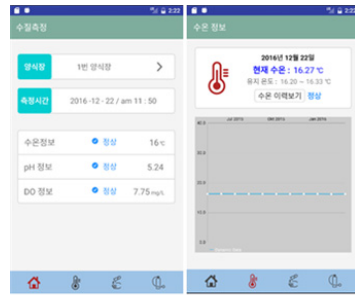


그림 6. 스마트폰용 앱 프로그램  
Fig. 6 App program for cell-phone

#### IV. 결 론

본 논문에서는 순환여과식(육상수조) 양식장에서 광학식 센서(pH, DO)와 온도 센서를 이용하여 수질을 간접적으로 측정할 수 있는 시스템을 제안하고 시제품을 개발하였다. 기존 직접식 시스템의 경우 양어장의 수질을 측정할 때 문제점인 잦은 센서 보정, 관리자의 수동 측정, 어종의 스트레스(예민한 어종 장어 등)등에 대한 문제점이 있었지만, 본 논문에서 제안하는 시스템은 이러한 문제를 해결하기 위해서 간접식 측정 방법과 광학식 센서를 활용하여 잦은 센서 보정의 문제를 해결하고 자동으로 관리자에게 수질을 측정하여 센서값을 전달하도록 하는 시스템을 개발하였다.



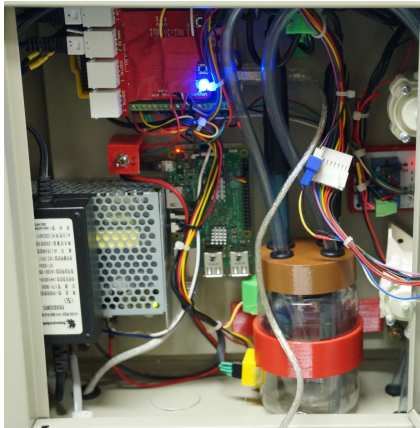


그림 7. 개발 시제품  
Fig. 7 Development prototype

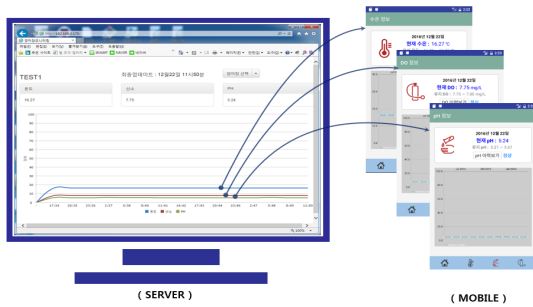


그림 8. 서버 및 앱 프로그램 예  
Fig. 8 Server and App program

그림 7과 8은 본 논문에서 제안한 시스템의 시제품과 사용자의 편의를 위한 서버 및 앱 프로그램이다. 그림 7의 오른쪽 하단에 보이는 것이 워터탱크이고 안에 광학식 센서(pH, DO)가 포함되어 특정 시간(사용자가 설정 가능)마다 양어장수를 뽑아 올려 pH, DO, 온도를 측정하여 사용자에게 전송한다. 또한, 시제품 외부에는 LCD 패널을 장착하여 사용자가 직접 볼 수 있게 하였다.

본 논문에서 제안한 시스템의 수질 온도, pH, DO 값에 대한 실험을 위해서 군산대학교 양어장 등에서 시험수를 채취하여 다양한 장소에서 시험수를 채취하여 시험을 하였다. 또한, 정확한 평가를 위해서 공인 시험기관에 의뢰하여 평가를 받았다. 개발 장비의 정확도를 분석하기 위해서 보정된 공인기관의 장비 pH meter(METTER TOLED CH/SevenEasy S20k)와 DO meter(YSI 58), 전

지식 수은계)와 개발 장비에 동일 시료에 대해서 측정 실시하였다. 시험은 총 3회에 걸쳐 측정을 실시하였고, 각 회마다 5회 측정 평균치를 사용하여 평가를 한 결과를 표 5에서 보여준다. DO의 경우 화학적 분석 방법인 용존산소측정법(Winkler Azide 변법)으로 시료수에 대한 용존산소를 측정하였다.

표 5. 공인기관 평가표  
Table 5. Authorized institution evaluation table

No.	Item	Calibration device measurement results	Development device measurement results	Chemical Analysis results	Relative Error (%)
1	DO	17.44	17.21	17.35	1.32
	pH	9.25	9.19		0.65
	Temp	16.3	16.2		0.61
2	DO	17.00	16.80	16.67	1.18
	pH	9.17	9.16		0.11
	Temp	15.9	15.9		0.00
3	DO	17.30	17.10	17.12	1.16
	pH	9.20	9.18		0.22
	Temp	15.2	15.1		0.66

분석 결과 개발된 시제품의 측정치와 공인기관 보정장치를 이용한 측정시간에 상대측정오차가 DO의 경우 1.22%, pH의 경우 0.33%, 수온의 경우 0.44%의 오차가 발생하였으며 시제품의 측정 결과가 우수하다는 결론을 얻을 수 있었다.

시제품 개발을 통해 기존의 전기화학식 측정 시스템에 비해 제품의 life time이 길고 환경적인 영향이 없이 높은 신뢰성을 유지할 수 있어 관리에 대한 노력이나 비용을 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다.

향후 과제로 현재는 사용자 앱 프로그램이 안드로이드에서만 사용이 가능하지만, 추후에는 iOS에서도 동작할 수 있도록 앱을 추가로 개발할 예정이고 이상 유무를 판단하여 관리자에게 통보만 해주는 것이 아니라 정해진 임계치보다 산도가 높을 경우 산도를 자동으로 낮추고, 온도가 낮을 경우 온도를 자동으로 높일 수 있는 시스템으로 개발해야 할 것이다.

## References

[1] H. Kim and H. Ceong, "Statistical Analysis of

Water Quality in a Land-based Fish Farm," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 5, no. 6, 2010, pp. 637-644.

- [2] S. Hwang, O. Kim, and S. Lee, "A Case Study on the ICT-Based smart Aquaculture System by Applying u-Farms," *J. of the Korea Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 39C, no. 2, Feb. 2014, pp. 173-181.
- [3] B. Kim, "A Study on the Flow Characteristics of a Land Aquaculture Tank," Doctor's Thesis, *Kyungnam University*, 2006.
- [4] Y. Choi, "Implementation of a Intelligent Fish Farm by IoT," *Korea Institute of Electronic Sciences, Conf.*, Gunsan, Korea, Nov. 2016, pp. 152-155.
- [5] S. Kim, S. Kim, and Y. Choi, "An Abnormal Activity Monitoring System Using Sensors and Video," *J. of Korea Institute of Information Scientists and Engineers*, vol. 41, no. 12, 2014, pp. 1152-1159.
- [6] S. Jeong and H. Ceong, "Online Identification for Normal and Abnormal Status of Water Quality on Ocean USN," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 4, 2012, pp. 905-915.
- [7] J. Seo, S. Han, Y. Kang, and M. Jang "Specific Handset Design for Environmental data Monitoring and Aquafarm," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 2, no. 2, 2007, pp. 145-151.
- [8] X. Hao and C. Kim, "Design and Implementation of LED Lighting Control System Using Arduino Yun and Cloud in IoT," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 10, 2016, pp. 983-988.
- [9] K. Jeong and W. Kim, "A Smart Home Prototype Implementation using Raspberry Pi," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 10, 2015, pp. 1139-1144.

저자 소개

**김선우(Sun-Woo Kim)**



2000년 군산대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)

2002년 군산대학교 대학원 정보통신정보공학과 졸업(공학석사)

2008년 군산대학교 대학원 정보통신전파공학과 졸업(공학박사)

2004년 ~ 현재 군산대학교 정보통신공학과 시간강사

2012년 ~ 현재 군산대학교 정보통신기술연구소 선임 연구원

※ 관심분야 : 영상처리, 인간 행동분석, IoT, 컴퓨터 비전, 무인비행체(드론) 자율주행

**최연성(Yeon-Sung Choi)**



1982년 중앙대학교 전자공학 졸업(공학사)

1984년 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1990년 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1988년 ~ 1990년 제주대학교 정보공학과 조교수

1991년 ~ 현재 군산대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수

※ 관심분야 : 빅데이터, 인지과학, IoT, 영상처리, 컴퓨터 비전, 인공지능, 리얼리티마이닝

