

논문 2021-16-39

스마트 양식장 수조 내 용존 산소 및 온도 제어를 위한 시스템 구현 (An Implementation of System for Control of Dissolved Oxygen and Temperature in the pools of Smart Fish Farm)

전 주 현, 이 윤 호, 이 나 은, 주 문 갑*
(Joo-Hyeon Jeon, Yoon-Ho Lee, Na-Eun Lee, Moon G. Joo)

Abstract : Dissolved oxygen, pH, and temperature are the most important factors for fish farming because they affect fish growth and mass mortality of the fish. Therefore, fish farm workers must always check all pools on the farm, but this is very difficult in reality. That's why we developed a control system for smart fish farms. This system includes a gateway, sensor gatherers, and a PC program using LabVIEW. One sensor gatherer can cover up to four pools. The sensor gatherers are connected to the gateway in the form of a bus. For the gateway, the ATmega2560 is used as the main processor for communication and the STM32F429 is used as a sub-processor for displaying LCD. For the sensor gatherer, ATmega2560 is used as the main processor for communication. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), RS-485, and Zigbee are used as the communication protocols in the control system. The users can control the temperature and the dissolved oxygen using the PC program. The commands are transferred from the PC program to the gateway through the MQTT protocol. When the gateway gets the commands, it transfers the commands to the appropriate sensor gatherer through RS-485 and Zigbee.

Keywords : Smart fish farm, Control system, Embedded system, Gateway, Sensor gatherer

1. 서 론

전 세계적으로 수산 양식업은 해마다 비중이 커지고 있으며 4차 산업혁명 기술을 접목한 스마트 양식 산업으로 발전하고 있다. 하지만 국내 양식업의 스마트화는 선진국에 비해 뒤쳐져 있으며 대부분의 작업이 양식장 종사자의 인력으로 처리된다. 어류별로 요구되는 생활환경이 다르며, 특히 환경 변화에 민감한 어류는 종사자의 각별한 주의가 필요하다. 따라서 양식 환경 관리는 양어를 할 때 필수인데 실시간으로 변화하는 양식 환경을 순수한 인력만으로 관리하기에는 어려움이 많다.

용존 산소, 수소 이온 농도 (pH), 온도의 변화는 어류의 대량 폐사로 이루어지는 아주 치명적인 요소이다. 특히 용존 산소는 어류가 성장하는 데에 있어서 아주 중요한 요소이며, 수온, 어류의 상태 등에 따라 변화가 크기 때문에 양식장 종사자들이 가장 신경 써야 하는 부분이다 [1-3]. 그러나 24시간 동안 종사자가 양식장의 모든 수조를 일일이 확

인하기는 매우 힘들다. 양식장 규모가 작다 하더라도 종사자가 잠도 자지 않고 수조 상태를 확인하는 것은 현실적으로 불가능하며, 양식장 규모가 클 경우엔 더욱더 그렇다. 이러한 문제점을 해결하고자 자동으로 용존 산소량을 제어할 수 있는 시스템을 개발하였고 용존 산소에 영향을 주는 수온 또한 제어 대상에 포함하였다.

스마트 양식장 구현을 위한 연구는 현재 활발히 진행 중이다. 선행 연구에서는 덴마크의 OxyGuard에서 제공하는 용존 산소 센서와 pH 센서를 사용하여 실시간으로 수조 내의 용존 산소, 온도, pH를 확인하고 소나 센서 (sonar sensor)를 이용해 수위를 확인한다 [4]. 각 센서값을 MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)를 통해 아두이노로 전송하여 수질 상태를 확인한다. 상태에 따라 에어 펌프나 히팅 펌프를 사용하여 제어를 통해 용존 산소 6mg/L, 온도 30℃를 유지한다. 즉, 해당 연구는 제조사에서 제공하는 모니터링 시스템을 활용하여 MQTT와 아두이노를 이용한 제어 시스템을 구현하였다.

이에 비하여 본 연구는 용존 산소 센서와 pH 센서 자체를 제외한 모든 하드웨어와 소프트웨어를 직접 구현하여, 모니터링 및 제어 시스템을 국산화하였다는데 의의가 있다.

스마트 양식장을 구현하기 위한 첫 번째 발걸음으로 본 연구에 앞서 스마트 양식장용 모니터링 시스템을 개발하였다 [5, 6]. 본 모니터링 시스템은 LabVIEW를 이용하여 양식장 전체 수조 상태를 한눈에 확인할 수 있도록 개발되었고,

*Corresponding Author (gabi@pknu.ac.kr)

Received: Sep. 28, 2021, Revised: Nov. 15, 2021, Accepted: Nov. 23, 2021.

J.H. Jeon, Y.H. Lee: Pukyong National University (M.S. Student)

N.E. Lee: Pukyong National University (B.S.)

M.G. Joo: Pukyong National University (Prof.)

※ This research was supported by the Korea Institute of Marine Science & Technology (KIMST). (Grant number: 20180352)

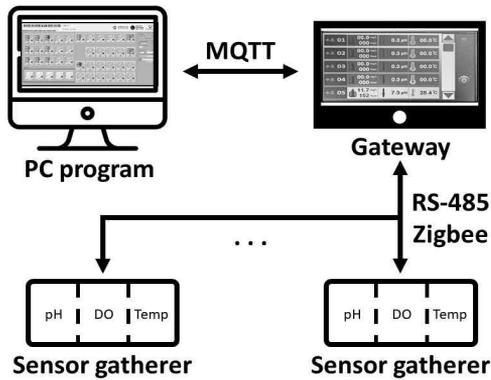


그림 1. 제어 시스템 개요
Fig. 1. Overview of the control system



그림 2. PC 프로그램 화면
Fig. 2. Screen of PC program

이 시스템은 앞으로 소개할 제어 시스템에서 사용자 GUI 용 PC 프로그램으로도 사용되기 때문에 밀접하게 연관되어 있다.

본 논문에서는 스마트 양식장의 수조 내에 용존 산소와 온도를 제어할 수 있는 시스템에 대해 소개하고자 한다. 해당 시스템에는 사용자가 게이트웨이에 쉽게 접근할 수 있도록 LabVIEW로 개발한 PC 프로그램, 여러 개의 센서 수집기에 접근할 수 있는 게이트웨이, 각 수조별로 정보를 수집하고 제어할 수 있는 센서 수집기가 포함된다. 설명의 편의를 위해 본 논문에서는 이러한 시스템을 제어 시스템이라 칭한다.

II. 제어 시스템 소개

1. 시스템 개요

그림 1은 제어 시스템을 간략하게 표현한 것이다. 제어 시스템에는 PC 프로그램, 게이트웨이, 센서 수집기가 포함된다. 그림 2는 앞서 소개한 모니터링 시스템의 메인 프로그램인 PC 프로그램으로, LabVIEW를 이용하여 사용자의 편의성을 목적으로 개발하였다. 사용자는 PC 프로그램을 통해 전체적인 수조 상황을 모니터링할 수 있다. 각 수조별로 데이터 히스토리를 표와 그래프로 확인할 수 있으며 데이터 베이스를 쉽게 관리할 수 있다.

또한 사용자는 PC 프로그램을 통해 게이트웨이에 명령어



그림 3. 제어 시스템에서 사용한 센서들
(a) 용존 산소 센서 (b) pH 센서
Fig. 3. Sensors used in control system
(a) Dissolved oxygen sensor (b) pH sensor



그림 4. 게이트웨이 외형
Fig. 4. Gateway Appearance



그림 5. 양식장에 설치한 게이트웨이
Fig. 5. Gateway installed at the fish farm

를 전송할 수 있다. 명령어가 MQTT로 전송되면 게이트웨이는 명령어에 따라 적절한 동작을 수행하고 명령어에 대한 응답을 PC 프로그램으로 전송한다. 센서 수집기는 게이트웨이가 RS-485와 Zigbee를 통해 전송하는 명령어에 맞추어 센서값을 전달하고 온도나 용존 산소를 제어한다. 센서 수집기에는 용존 산소 센서와 pH 센서가 연결되는데 이는 그림 3과 같다. 더 자세한 내용은 아래에서 설명할 예정이다.

2. 게이트웨이

그림 4는 개발한 게이트웨이의 외형이다. 그림 5에 보이는 것과 같이 센서 수집기와 가까운 곳에 설치하여 사용하면 된다. 게이트웨이에는 사용자가 터치할 수 있는 LCD가

표 1. 게이트웨이 개발 사양

Table 1. Gateway development specification

External network access port	WiFi, LAN
External network access protocol	MQTT, JSON
Internal network wired port	RS-485 1 port
Internal network wireless port	Zigbee 1 port
Main processor	ATmega2560
Sub processor	STM32F429
Display	7 inch Touch
Display function	Display sensor values
	Setting
Supply voltage [V]	DC 12 ~ 24

장착되어 있어 대략적인 양식장 수조 상황을 PC 프로그램 없이도 확인할 수 있다.

표 1은 게이트웨이의 개발 사양을 정리한 것이다. 여기서 외부망은 게이트웨이가 PC 프로그램과 통신하기 위한 망을 의미하고, 내부망은 게이트웨이와 센서 수집기들 사이의 통신망을 의미한다. 메인 프로세서로 사용되는 ATmega2560은 센서 수집기와의 통신을 담당하고 서브 프로세서로 사용되는 STM32F429는 디스플레이 제어를 담당한다. 터치 LCD에는 각 수조별 온도, 용존 산소, pH 값을 확인할 수 있으며, 설정 페이지를 통해 수조별 경고 알람 설정, 릴레이 동작 설정, PID 제어 설정, 센서 보정 등을 할 수 있다.

3. 센서 수집기

그림 6은 개발한 센서 수집기의 PCB 보드이다. 그림 7에 나타난 것처럼 수조 가까이 설치해 사용한다. 그림 3과 같은 온도, 용존 산소, pH를 측정할 수 있는 센서들을 연결하여 그 값을 받아오고, 릴레이를 통해 수조 상태를 제어한다 [7]. 그림 8 (a)는 센서 수집기의 센서 입력 회로부로, 센서값은 센서에서 출력되는 전압을 해당 회로를 통해 증폭하여 처리한다. 8 (b)는 센서 수집기의 릴레이와 I/O 포트 인터페이스 회로부로, 메인 프로세서의 제어 신호에 따라 릴레이가 동작한다.

표 2는 센서 수집기의 개발 사양을 정리한 것이다. 센서 세트는 온도와 용존 산소를 측정할 수 있는 센서 한 개와 pH를 측정할 수 있는 센서 한 개를 포함하는데, 한 개의 센서 수집기당 센서 4세트를 연결할 수 있다. 릴레이 포트는 온도와 용존 산소 제어용으로 사용되며 한 개의 포트당 한 종류의 항목을 제어할 수 있다. 메인 프로세서이 ATmega2560은 게이트웨이와의 통신을 담당한다.

릴레이에는 용존 산소 제어를 위한 에어 펌프 또는 온도 제어를 위한 밸브가 연결되어 있다. 제어 방식에는 PID 제어, Timer 제어, 릴레이 On/Off 제어로 세 가지가 있다. 설정 제어 목표값으로 이르게 하는 방법으로 나눈 것으로 명령어를 통해 원하는 방식으로 선택할 수 있다. PID 제어는 K_p, K_i, K_d 값을 이용하여 릴레이를 제어한다. Timer 제어

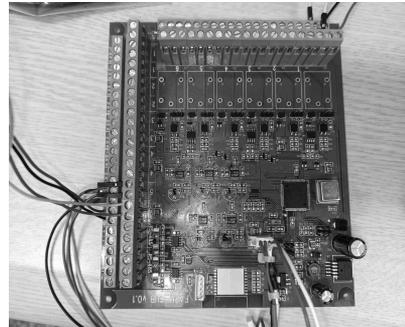


그림 6. 센서 수집기 PCB 보드
Fig. 6. Sensor gatherer PCB board



그림 7. 양식장에 설치한 센서 수집기
Fig. 7. Sensor gatherer installed at the fish farm

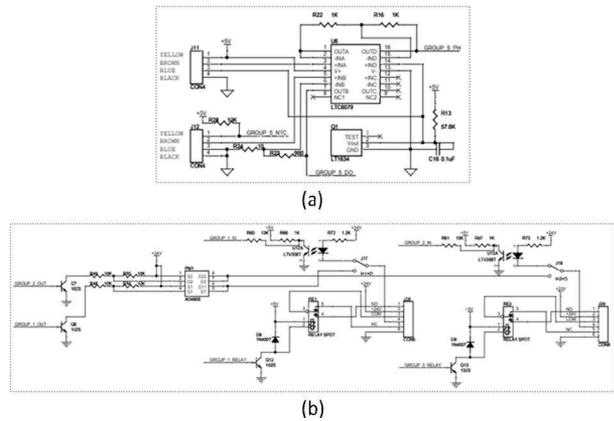


그림 8. 센서 수집기 회로도 (a) 센서 연결부 (b) 릴레이 연결부
Fig. 8. Circuit of sensor gatherer
(a) Part of connection of sensors
(b) Part of connection of relays

는 릴레이를 동작시키는 시간을 초 단위로 설정하는 방식이다. 릴레이 On/Off 제어는 일명 뱅킹 제어로, 현재 값이 목표값보다 작으면 릴레이를 동작시키고 목표값보다 크면 릴레이를 끄도록 설정한다. 그림 9는 목표값인 set point 근처에서의 채터링 현상을 줄이기 위하여 hysteresis를 설정하여 임계치 범위 밖에서만 제어 입력을 주는 것을 나타낸다. 추가로 지연 시간을 설정하여 제어 신호 출력 시점을 설정할 수 있다.

표 2. 센서 수집기 개발 사양

Table 2. Sensor gatherer development specification

Sensor access port	3 ports * 4 sets
Relay port	4 ports
Connected sensor type	Temperature
	Dissolved oxygen
	pH
Communication port	RS-485 1 port
Wireless communication port	Zigbee 1 port
Main processor	ATmega2560
Supply voltage [V]	DC 12 ~ 24

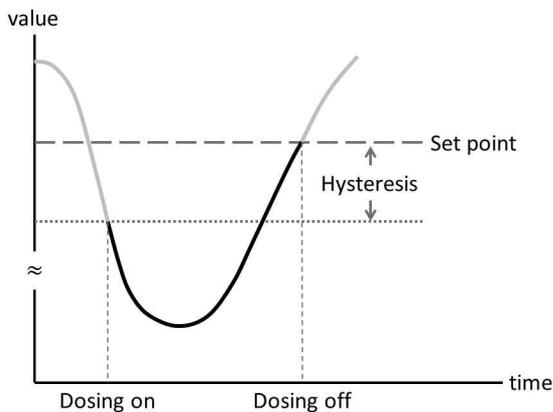


그림 9. 제어 신호 출력에 따른 센서값 변화 그래프

Fig. 9. Graph of sensor value change according to control signal output

4. 통신 방식과 데이터 형식

게이트웨이와 PC 프로그램이 통신하는 외부망은 MQTT 프로토콜을 이용한다. 서론에서 언급했던 해외의 기존 시스템인 OxyGuard사의 PACIFIC 시스템은 HTTP (Hyper Text Transfer Protocol)을 이용하여 통신을 한다. 하지만 HTTP는 서버와 클라이언트를 연결해야하기 때문에 네트워크에서 지연이 발생하고 오버헤드가 커질 가능성이 있다. 그에 비해 MQTT는 고정 헤더가 2byte로 오버 헤더가 가볍고, 속도도 HTTP에 비해 매우 빠르다 [8, 9]. MQTT의 메시지 용량은 256Mbyte로 HTTP에 비해 적은 편이지만 본 시스템에서는 통신 메시지의 용량을 3Kbyte로 제한하고 있어 MQTT를 사용하는 것이 적합하다고 판단하였다. MQTT Broker로는 Eclipse사의 Mosquitto를 사용하였으며 서버는 DDNS를 이용하여 외부에서 접속할 수 있도록 하였다. 데이터 종류와 송신자에 따라 topic을 다르게 설정하여 데이터를 전송한다.

게이트웨이와 센서 수집기들이 통신하는 내부망은 RS-485과 Zigbee를 이용한다. RS-485는 2개의 통신선을 사용해 차분 방식 신호로 데이터를 표현하는 프로토콜로 내부망에서 유선 통신을 담당한다 [10]. Zigbee는 국제 표준



그림 10. 센서 관련 데이터 예시

Fig. 10. An example of the data about sensors

IEEE 802.15.4를 기반으로 개발되었으며 저가격, 저전력을 요구하는 통신을 위한 프로토콜로 내부망에서 무선 통신을 담당한다 [11]. 한 개의 센서 수집기가 최대 4개의 수조 정보를 확인할 수 있으므로 전체 수조 개수에 맞는 센서 수집기 여러 개가 버스 형태로 게이트웨이와 연결된다.

제어 시스템에서 전송되는 데이터는 두 가지로 나뉘는데, 센서값과 경고 알람과 같은 센서 관련 데이터와 게이트웨이 명령어 데이터이다. 센서 관련 데이터의 형식은 JSON (JavaScript Object Notation)을 따르며 모니터링 관련 데이터이기 때문에 데이터가 이동하는 MQTT topic은 제어용 topic과 분리하였다 [5]. 아래 그림 10은 JSON을 따르는 데이터 중 특정 수조의 용존 산소 경고 알람 정보를 담은 데이터 예시이다.

게이트웨이 명령어 데이터는 문자열 형태이다. 명령어의 종류는 아래 표 3과 같다. 표 4는 명령어와 응답이 실리는 MQTT topic을 정리한 것이다. 각각의 명령어에 대한 응답 형식은 내용에 맞게 모두 다르며 그 중 하나를 예시로 그림 11에 나타내었다. 그림 11은 '\$GET_DATA' 명령어에 대한 응답으로, 센서 수집기 보드 번호, 센서 세트 번호, 각 센서들의 현재값, 경고 알람 상태, 센서 활성 상태를 나타낸다.

표 3. 게이트웨이 명령어 형식

Table 3. The format of gateway command

Command	Function
\$SET_ALARM	Set warning alarm range
\$CAL_DO	Calibrate DO sensor
\$CAL_PH	Calibrate pH sensor
\$CAL_TEMP	Calibrate temperature sensor
\$SET_REL	Set relay module for control
\$USE_REL	Relay module on/off
\$GET_DATA	Get sensor data from the sensor gatherers
\$GET_ALARM	Get warning alarm range from the sensor gatherers
\$GET_RELAY	Get setting data from the gateway
\$FACTORY	Factory reset

표 4. 명령어와 응답을 전송하는 MQTT topic
Table 4. MQTT topics for transfer of gateway command and response

MQTT topic	contents
fishfarm/cmd	commands to the gateway
fishfarm/res	response from the gateway

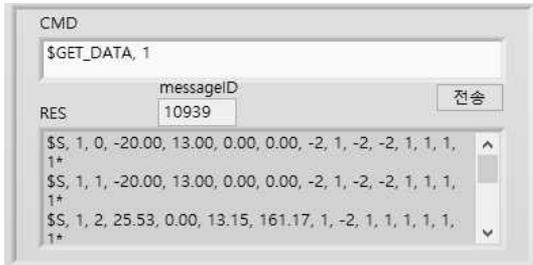


그림 11. 게이트웨이 명령어에 대한 응답 예시
Fig. 11. An example of the response to gateway command

III. 제어 시스템 동작

사용자는 그림 2 PC 프로그램의 오른쪽 하단에 있는 제어 패널을 이용하여 원하는 수조의 온도나 용존 산소를 손쉽게 제어할 수 있다. 그림 12는 제어 패널 부분만 확대한 것이다. 제어 패널은 위에서부터 수조 번호, 알람 설정 부분, 제어 설정 부분으로 구성된다. 알람 설정 부분에서는 해당 수조에서의 온도, pH, 용존 산소의 정상 범위와 경고 알람 여부를 설정할 수 있다. 정상 범위는 위험 최저값, 경고 최저값, 경고 최고값, 위험 최고값을 설정하여 경고 최저값과 최고값 사이를 정상으로 판단한다. 그림 12를 예로 들자면, 1-2 수조의 온도 정상 범위는 경고 최저값과 최고값 사이인 16℃~32℃이다.

제어 설정 부분에서는 용존 산소 제어와 온도 제어를 할 수 있다. 제어를 하고자 하는 수조를 선택한 후, 제어 설정 부분에서 목표값을 의미하는 'Set Point'를 설정하고 '확인'을 누르면 사용자가 설정한 내용을 포함한 '\$SET_REL' 명령이 전송된다. 이 때, 용존 산소 set point는 mg/L와 %saturation (ppm) 두 가지 중 하나를 선택해서 지정할 수 있다. Set point를 설정한 후, 사용자가 PC 프로그램에서 제어를 시작하면 '\$USE_REL' 명령이 전송된다. 그림 12에서는 사용자가 1-2수조의 DO를 15mg/L로 제어하고, 온도는 제어를 하지 않도록 설정한 것이다. 게이트웨이는 PC 프로그램으로부터 명령어를 수신하면 명령어에 포함된 보드 번호와 릴레이 번호를 확인한 후 적절한 센서 수집기에게 명령을 전달한다. 명령을 전달받은 센서 수집기는 해당되는 것의 릴레이를 동작시켜 제어를 시작한다.

제어 여부와 센서 값은 '\$GET_DATA' 명령을 통해 확인할 수 있다. PC 프로그램에서 3분 간격으로 '\$GET_DATA' 명령을 전송하며, 그림 11과 같은 해당 명령에 대한 응답을 게이트웨이에서 받아와 파싱하여 PC 프로그램에 나타낸다.



그림 12. 제어 패널
Fig. 12. Control panel



그림 13. 수조 상태를 나타낸 부분
Fig. 13. Part of indicator showing pool's state

그림 13은 PC 프로그램에서 보여주는 내용 중 한 개의 수조 정보를 나타낸 그림으로 가장 하단에 적혀 있는 것은 수조 번호이다. 왼쪽 상단부터 각각 용존 산소, pH, 온도를 의미하는데, 용존 산소는 mg/L, %saturation (ppm) 두 단위로 나타낸다. 그림 13의 오른쪽 하단에 있는 LED 2개는 제어 여부를 나타내는 것으로 불이 켜진 LED는 제어를 하고 있음을 의미한다. 위쪽 LED는 용존 산소 제어, 아래쪽 LED는 온도 제어를 나타낸다. 그림 13에서는 1-2수조의 용존 산소 제어 LED만 켜져 있으므로 그림 12에서 사용자가 설정한 내용이 잘 반영되어 제어 동작을 수행하고 있다는 것을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 스마트 양식장에서 각 수조에서 용존 산소와 수온을 제어하기 위한 시스템에 대해 설명하였다. 제어

시스템은 PC 프로그램, 게이트웨이, 센서 수집기로 구성되며, 게이트웨이와 센서 수집기는 내부망에서 RS-485, Zigbee로 통신하고 게이트웨이와 PC 프로그램은 외부망에서 MQTT로 통신한다. PC 프로그램의 제어 패널 조작을 통해 게이트웨이에 제어 관련 명령어를 전송하면 게이트웨이는 이 명령어를 적절한 센서 수집기에게 전송해 용존 산소나 수온을 제어하도록 한다.

본 시스템의 개발은 스마트 양식장 시스템을 국산화하고 양식장 종사자의 고충을 덜 수 있다는 것에 큰 의의를 가진다. 기존의 해외 시스템과 개발한 제어 시스템의 주요 기능은 유무선으로 수조 상태를 제어할 수 있고, 수집한 데이터를 이용해 양식장을 모니터링할 수 있다는 점에서 동일하다. 하지만 기존 시스템은 데이터 로그를 저장하기 위해서는 별도의 메모리 카드를 시스템 유닛에 장착하여야 한다. 그리고 제어할 때 관련 설정을 하기 위해서는 제어를 담당하는 유닛의 디스플레이에서 해주어야 하기 때문에 번거로움이 크다. 이러한 점을 고려하여 본 시스템에는 MariaDB를 이용해 데이터베이스에 자동으로 데이터 로그를 저장하는 방식을 택하였으며, PC 프로그램인 양식장 모니터링 및 DB 관리 시스템을 이용하여 양식장 관리를 하나의 프로그램만으로 할 수 있게 개발하였다. 뿐만 아니라 본 개발은 해외 기술 없이 완전 국산화한 것이므로 시스템 유지보수 및 기능 추가 등이 용이하다.

용존 산소와 수온은 양어를 하는 데에 아주 중요한 요소이기 때문에 이를 자동 제어한다는 것은 양식장을 효율적으로 관리 할 수 있도록 도움을 준다. 그뿐만 아니라 실시간으로 양식 환경을 자동으로 관리하는 것은 경제적으로 큰 부가가치를 생성할 것이다. 더 나아가 제어 목표값 또한 자동으로 설정할 수 있도록 추가 개발을 한다면 양식장 종사자의 근무 환경은 더욱 좋아질 것으로 기대된다.

References

- [1] Y. J. Mallya, H. Thorarensen, "The Effect of Dissolved Oxygen on Fish Growth in Aquaculture," The United Nations University Fisheries Training Programme, Final Project, 2007.
- [2] D. L. Kramer, "Dissolved Oxygen and Fish Behavior," Environmental biology of fishes, Vol. 18, No. 2, pp. 81-92, 1987.
- [3] T. D. An, V. D. Anne A, J. W. Schrama, "Feed Intake, Growth and Metabolism of Nile Tilapia (Oreochromis Niloticus) in Relation to Dissolved Oxygen Concentration," Aquaculture Research, Vol. 43, No. 5, pp. 730-744, 2012.
- [4] K. J. Shin, M. Akbar, "Design of Remote Operating for Smart Fish Farm Using MQTT," International Journal of Trend in Research and Development, Vol. 4, No. 3, pp. 170-175, 2017.
- [5] J. H. Jeon, N. E. Lee, Y. H. Lee, J. M. Jang, M. G. Joo, J. D. Yoo, B. H. Yoo, "An Implementation of a Monitoring System of a Smart Fish Farm," Proceedings of IEMEK, fall, pp. 115-117, 2019 (in Korean).
- [6] J. H. Jeon, Y. H. Lee, M. G. Joo, B. H. Yoo, J. H. Sul, "An Implementation of Smart Fish Farm Monitoring System Using MQTT," proceedings of IEMEK, fall, pp. 18-20, 2020 (in Korean).
- [7] N. E. Lee, Y. H. Lee, J. H. Jeon, M. G. Joo, J. H. Sul, "Development of Water Quality Data Gathering Module," The 15th IEMEK Symposium on Embedded Technology, pp. 22-24, 2020 (in Korean).
- [8] T. Yokotani, Y. Sasaki, "Comparison with HTTP and MQTT on Required Network Resources for IoT", 2016 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications, pp. 1-6, 2016
- [9] B. Wukkadada, K. Wankhede, R. Nambiar, A. Nair, "Comparison with HTTP and MQTT in Internet of Things (IoT)", 2018 International Conference on Inventive Research in Computing Applications, pp. 249-253, 2018
- [10] H. J. Jia, Z. H. Guo, "Research on the Technology of RS485 over Ethernet," 2010 International Conference on E-Product E-Service and E-Entertainment, pp. 1-3, 2010.
- [11] D. Gislason, "Zigbee wireless networking," Newnes, 2008.

Joo-Hyeon Jeon (전 주현)



2020 Information and Communication Engineering from Pukyong National University (B.S.)

2020~Smart Robot Convergence and Application Engineering at Pukyong National University (M.S.)

Field of Interests: Factory Automation & Embedded System

Email: junju1998@naver.com

Yoon-Ho Lee (이 윤 호)



2020 Information and Communication Engineering from Pukyong National University (B.S.)

2020~Smart Robot Convergence and Application Engineering at Pukyong National University (M.S.)

Field of Interests: Factory Automation & Embedded System

Email: yoonho5276@naver.com

Na-Eun Lee (이 나 은)



2021 Information and Communication Engineering from Pukyong National University (B.S.)

Field of Interests: Factory Automation & Embedded System
Email: nanaeun98@gmail.com

Moon G. Joo (주 문 감)



1992 Electronics and Electrical Engineering from POSTECH (B.S.)
1994 Computer and Communications Engineering from POSTECH (M.S.)
2001 Electrical and Computer Engineering from POSTECH (Ph.D.)
2003~Professor at Pukyong National University

Field of Interests: Intelligent Control & Factory Automation
Email: gabi@pknu.ac.kr