

## 클라우드 기반 아쿠아포닉스 모니터링 시스템 설계 및 구현

양 오 석\*, 이 흥 로\*, 허 정 욱\*\*, 이 재 수\*\*, 김 태 현\*\*, 김 현 중\*\*, 임 동 혁\*\*, 백 정 현°

Design and Implementation of Aquaponics Monitoring System  
on Cloud-ComputingOh-Seok Yang\*, Hong-Ro Lee\*, Jeong-Wook Heo\*\*, Jae-Su Lee\*\*, Tae-Hyun Kim\*\*,  
Hyun-Jong Kim\*\*, Dong-Hyeok Im\*\*, Jeong-Hyun Baek°

## 요 약

최근 COVID-19로 인하여 가정 내에서 식사하는 빈도수가 증가하였으며, 소비자들이 안전한 먹거리를 찾고 있다. 아쿠아포닉스는 물고기 양식에 사용되는 물을 식물 재배에 사용하여 물을 정화하는 친환경적인 기법이다. 본 논문에서는 아쿠아포닉스의 생육 환경 데이터를 수집하기 위해 재배부와 수조부에 센서를 설치한다. 아쿠아포닉스 환경 데이터를 웹 서버에 전송하기 위해 무선 통신이 가능한 아두이노에 센서를 연결한다. 수집된 데이터를 저장하기 위해 MySQL 데이터베이스를 사용한다. 저장된 데이터를 처리하고 가시화하기 위해 Node.js와 HTML5를 이용한다. 본 논문의 시스템을 확장하여 사용자가 외부에서도 환경을 제어할 수 있다. 본 논문의 환경 데이터 수집 시스템을 통해 저장된 빅 데이터를 분석하여 재배부와 수조부에 필요한 양분을 체계적으로 정리할 수 있으며, 생육 영상을 이용하여 생육 단계에 따른 환경 자동 제어 기능을 추가할 수 있다.

**키워드** : 아쿠아포닉스, 생육 환경 데이터, 사물인터넷, 웹, 가시화

**Key Words** : Aquaponics, Crop Environment Data, IoT, Web, Visualization

## ABSTRACT

Recently, the frequency of eating at home has increased due to COVID-19, and consumers are looking for safe food. Aquaponics is an eco-friendly technique that purifies water by using water used in fish farming for plant cultivation. In this paper, sensors are installed in the cultivation unit and the water tank unit to collect data on the growth environment of aquaponics. A sensor is connected to an Arduino capable of wireless communication to transmit aquaponics environmental data to a web server. The MySQL database is used to store the collected data. Node.js and HTML5 are used to process and visualize stored data. By expanding the system of this paper, users can control the environment from the outside. Big data stored through the environmental data collection system of this paper can be analyzed to systematically organize the nutrients needed for cultivation and water tank, and automatic environmental control according to the growth stage can be added using growth images.

※ 본 논문은 농촌진흥청 연구사업(공통과제번호: PJ01579603)의 지원에 의해 이루어진 것임. 그리고 2021년도 농촌진흥청 학·연협동 연구과제 지원사업에 의해 이루어진 것임.

• First Author : Department of Computer Information Engineering, Kunsan National University, dhtjr9596@gmail.com, 학생회원

° Corresponding Author : Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences, butterfly@korea.kr, 정회원

\* Kunsan National University Department of Computer Information Engineering, boiselee@kunsan.ac.kr

\*\* National Institute of Agricultural Sciences, wooncho@korea.kr; butiman@korea.kr, 정회원; thkim8205@korea.kr, 정회원; hyunjongnt@korea.kr, 정회원; imdh1004@korea.kr

논문번호 : 202109-254-0-SE, Received September 15, 2021; Revised October 28, 2021; Accepted November 2, 2021

## I. 서 론

최근 COVID-19로 인하여 외부활동 감소와 가정 내 식사 횟수가 증가하고 있다. 이에 소매업체의 식재료 매출액이 증가하며, 국내의 농식품 시장에서는 안전한 먹거리에 관한 관심이 증가하고 있다<sup>1)</sup>.

아쿠아포닉스(Aquaponics)는 물고기 양식 과정에서 발생하는 배설물을 활용하여 작물을 수경재배하는 친환경 농법이다. 어류의 양식 과정에서 생성된 불필요한 배설물을 작물 생장에 이용할 수 있는 질소 성분으로 전환하고 작물 재배에 이용하여 작물이 흡수하고 남은 용수는 불순물을 침전시킨 후 수조로 이동하는 순환형 시스템이다. 또한, 아쿠아포닉스는 작물 생장을 촉진할 목적으로 화학비료를 사용하여 영양성분을 공급하면 물고기 생육 환경에 다양한 어독성을 발생시킬 수 있어 화학비료를 시비하지 않는다. 이러한 관점에서 아쿠아포닉스에 의한 작물생산은 Chemicalphobia 현상과 맞물려 소비자들의 친환경 작물의 안전성에 대해 확신을 하게 한다<sup>2)</sup>.

일반적으로 아쿠아포닉스 순환수 관리에 바이오플락(Bio-floc) 기술을 접목하여 유용 미생물에 의한 배설물 분해로 양식 용수의 수질 정화는 물론 작물 수경재배에 필요한 용수를 순환·정화하는 연구가 진행되고 있다<sup>3), 4)</sup>. 또한, 아쿠아포닉스에 IoT 기술을 접목하여 물고기 및 작물의 생육 환경을 제어하는 연구를 진행하고 있다<sup>5)</sup>.

본 논문은 국내 아쿠아포닉스 시스템을 활용한 물고기 양식과 작물 재배를 위한 메기 양식수 및 생육 관리를 위해 수조부와 재배부의 기초 환경 데이터를 실시간으로 수집하고, 인터넷을 통하여 프라이빗 클라우드(Private Cloud Computing)에 저장 및 처리하는 시스템을 설계하고 구현한다.

2장에서는 아쿠아포닉스 시스템의 생육 환경 데이터를 저장하기 위한 전체 시스템에 관해 설명하고, 3장에서는 시스템 구현에 필요한 관련 모듈과 가시화에 관해 설명하고 본 논문에서 수집된 데이터를 이용한 분석을 한다. 4장에서는 아쿠아포닉스 모니터링 시스템에 대한 결론을 짓는다.

## II. 아쿠아포닉스 모니터링 시스템 구성

Fig 1은 본 논문의 아쿠아포닉스 시스템의 구조이다. 아쿠아포닉스 모니터링 시스템은 국립농업과학원 농업공학부 유리 온실 내 수조부 1동과 재배부 3동으로 구성된 아쿠아포닉스 시스템에 수조부와 재배부로

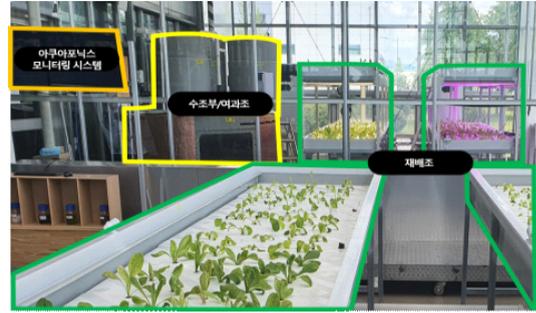


그림 1. 국립농업과학원의 아쿠아포닉스 시스템  
Fig. 1. Aquaponics system on NAAS

나누어 구성하였다. 아쿠아포닉스 시스템의 수조부는 3.5톤으로 15Kg의 메기 치어를 양식하고 있으며 재배부는 바질, 겨자채, 근대 등 6종의 작물을 수경재배하고 있다.

Fig 2은 시스템에 대한 기능별 구성도로 아쿠아포닉스 생육 장소에 있는 카메라 시스템, 환경 데이터 시스템과 클라우드 컴퓨팅 내부에 있는 웹, 데이터베이스, 영상 스트리밍 시스템이 있다. 클라우드 컴퓨팅 환경은 오픈스택(OpenStack newton)으로 구성된 클라우드 플랫폼에 영상처리를 위한 인스턴스(Instance), 데이터베이스와 웹 서버를 구성하는 인스턴스로 구성이 되며, 각 사양은 Table 1과 같다.

환경 데이터 시스템은 아쿠아포닉스 수조부 및 재배부에서 센서를 통하여 데이터를 수집하고 클라우드 내에 있는 데이터베이스 인스턴스로 전송한다. 카메라 시스템은 생육 영상을 실시간으로 확인할 수 있도록 실시간 스트리밍 프로토콜(Real Time Streaming Protocol, RTSP)을 활용하여 구성하였다. 클라우드 컴퓨팅 시스템 내부의 스트리밍 시스템은 수조부와 재배부 카메라의 영상을 웹에서 실시간 재생할 수 있

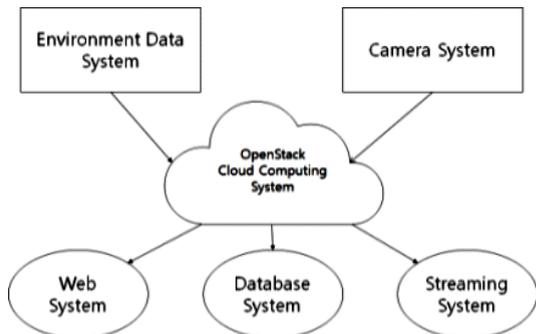


그림 2. 웹 기반 아쿠아포닉스 환경 데이터 가시화 시스템 구조도  
Fig. 2. Web-based Aquaponics Environment Data Visualization System Diagram

표 1. 클라우드 서버 내 인스턴스 사양  
Table 1. Instances specification of cloud server

| Instances SPEC. | Camera | Web  | Database |
|-----------------|--------|------|----------|
| vCPUs           | 4      | 2    | 2        |
| RAM             | 8GB    | 4GB  | 4GB      |
| DISK            | 80G    | 40GB | 40GB     |

도록 화질(high definition, HD 720p)과 프로토콜(Web Socket)을 변환하여 송출하도록 하였다.

아쿠아포닉스의 모니터링을 위한 웹 시스템은 환경 데이터 시스템에서 전송받은 데이터를 데이터베이스에 저장하며, 사용자의 요청에 따라 데이터를 아쿠아포닉스 모니터링 시스템에서 일주일 구간별 매 5분씩 측정된 데이터를 확인할 수 있도록 구성하였다.

2.1 아쿠아포닉스 환경 데이터 수집 시스템 설계

Fig 3는 아쿠아포닉스 환경 데이터 수집 시스템을 구성하고 있는 각 모듈과 측정 센서의 구성도이다. 재배부와 수조부의 환경 데이터 수집에 사용되는 아두이노(Arduino)는 Wemos D1 R1과 아틀라스사이언티픽(AtlasScientific)의 텐타클 쉴드(Whitebox labs Tentacle shield)를 결합하여 사용하였으며, 각 환경의 수집 요인에 맞게 센서를 연결하여 환경 데이터를 수집하였다. 각 센서 프로브(Probe)는 아두이노의 전력과 통신 인터페이스(inter-integrated circuit, I2C)를 지원하는 EZO 측정 모듈과 결합하여 구성하였다. 센서로부터 측정된 데이터는 아두이노 Wemos의 2.4 Ghz 무선 통신을 통해 클라우드로 전송할 수 있도록 하였다. 아쿠아포닉스 시설 내 생육 영상 송출을 위해 재배부와 수조부에 PoE(Power over Ethernet)을 지원하는 IP카메라(internet protocol camera)를 설치하고,

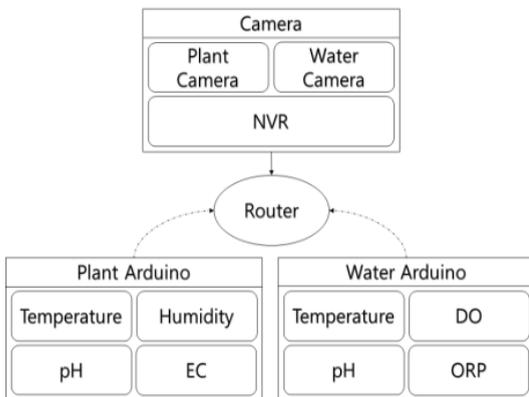


그림 3. 환경 데이터 시스템 구조도  
Fig. 3. Environment Data System Diagram

NVR(network video recorder)에 어류의 활동 및 작물 생육 영상을 저장하였다.

Table 2와 Table 3은 아쿠아포닉스 시스템에 사용한 센서 및 연결 기기에 대한 주요 사양을 보여준다. 재배부에 사용된 센서는 대기 온·습도 센서와 폐기 양식수 상태를 측정하기 위한 pH와 EC 센서이며, 수조부는 수온, DO, pH, 화학적 및 생화학적 변화량을 확인할 수 있는 ORP 센서를 사용하였다.

표 2. 아쿠아포닉스 시스템에 사용된 센서의 사양  
Table 2. Features of sensors used in Aquaponics systems

| Feature Sensors | Range        | Response    | Accuracy   |
|-----------------|--------------|-------------|------------|
| Temperature     | -20 ~ 70 °C  | -           | ± 0.5 °C   |
| Humidity        | 0 ~ 95% RH   | -           | ± 2%       |
| pH              | 2-13         | 95% in 4s   | ± 0.1      |
| EC              | 0.05-200dS/m | 90% in 1s   | ± 2%       |
| Water Temp.     | -55 ~ 125 °C | -           | ± 0.5 °C   |
| DO              | 0-100mg/L    | ~0.3 mg/L/s | ± 0.05mg/L |
| ORP             | ± 2000mV     | 95% in 1s   | ± 1mV      |

표 3. 아쿠아포닉스 시스템에 사용된 장치의 사양  
Table 3. Features of devices used in Aquaponics systems

| category                    | features  |
|-----------------------------|---|
| Temperature/Humidity sensor | Waterproof Temperature & Humidity Sensor, I2C, Sensor supply voltage 5V<br>Temperature range -20 - 70 °C<br>Temperature accuracy +/- 0.5°C<br>Temperature response time 5.0sec<br>Humidity range 0-95%<br>Humidity accuracy +/- 2%<br>Humidity response time 7.0sec |
| pH sensor                   | Range 0 - 14<br>Resolution +/- 0.001<br>Accuracy +/- 0.002<br>Response time 95% in 1s<br>Temperature range °C -5 - 99 °C  |
| EC sensor                   | Range 5 - 200,000 µS/cm<br>Accuracy +/- 2%<br>Response time 90% in 1s<br>Temperature range °C 1 - 110 °C  |
| Water temperature sensor    | DS18B20 Waterproof Temperature Sensor<br>Temperature sensor supply voltage: 3.0V ~ 5.5V<br>Temperature sensor resolution: 9 to 12 adjustable resolution<br>Temperature range: -55 ~ +125 ° (lead can only withstand the highest temperature of 85 degrees)          |

| category              | features   |
|-----------------------|--|
| DO sensor             | Range 0 - 100 mg/L<br>Accuracy +/- 0.05 mg/L<br>Response time ~0.3 mg/L/per sec<br>Temperature range °C 1 - 60 °C  |
| ORP sensor            | Range +/- 2000mV<br>Accuracy +/- 1mV<br>Response time 95% in 1s<br>Temperature range °C 1 - 99 °C  |
| Arduino (wemos D1 R1) | microcontroller ESP-8266EX<br>operating voltage 3.3v<br>clock speed 80MHz/160MHz<br>flash 4M byte  |
| tentacle shield       | Stackable design 8 sensors at once<br>Integrated serial multiplexer<br>Works in both UART mode, or I2C mode  |
| Camera                | HikVision DS-2CD1021-I<br>Resolution 1920x1080(HD)<br>FPS 30fps<br>Day&Night IR cut filter with auto switch  |
| NVR                   | IP Video Input 4-ch<br>Incoming bandwidth 40Mbps<br>Outgoing bandwidth 60Mbps<br>Decoding format H.265+, H.265<br>H.264+, H.264<br>Resolution 4MP, 3MP, 1080p, 720p, VGA<br>Network Protocols TCP/IP, DHCP, NTP, SADP, SMTP, UPnP<br>Network interface, 10/100Mbps<br>self-adaptive Ethernet interface |

### 2.2 클라우드 기반 아쿠아포닉스 모니터링 설계

Fig 4은 아쿠아포닉스 시설 내에서 수집된 환경 데이터를 사용자가 의사 결정할 수 있도록 지원하는 모니터링 시스템의 구성도이다. 웹 서버, 데이터베이스 및 영상 스트리밍 시스템이 국립농업과학원 농업공학부 스마트팜개발과에 구축된 클라우드 내부에 인스턴스로 구성되어 있다. 스트리밍 시스템은 FFMPEG과 Node.js를 이용하여 영상을 웹 브라우저에 표시할 수 있도록 웹 소켓으로 변환하여 제공하였다.

데이터베이스는 MySQL Server(Ver 5.7.35)를 이용하여 구성하였으며, Fig 5는 아쿠아포닉스 시스템에서 수집되는 데이터를 저장하기 위한 논리/물리적 스키마를 표현한 E-R 다이어그램(entity-relation diagram)이다. 데이터베이스의 user\_info 테이블은 아쿠아포닉스 모니터링 시스템에 접속하기 위한 사용자의 정보가 저장되며, 아쿠아포닉스 환경 유지를 위한

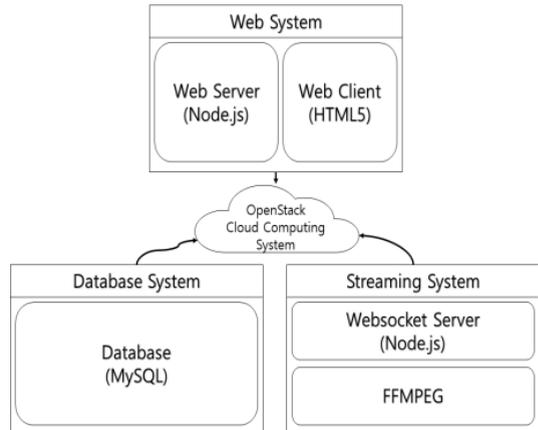


그림 4. 아쿠아포닉스 가시화 시스템 구조도  
Fig. 4. Aquaponics Visualization System Diagram

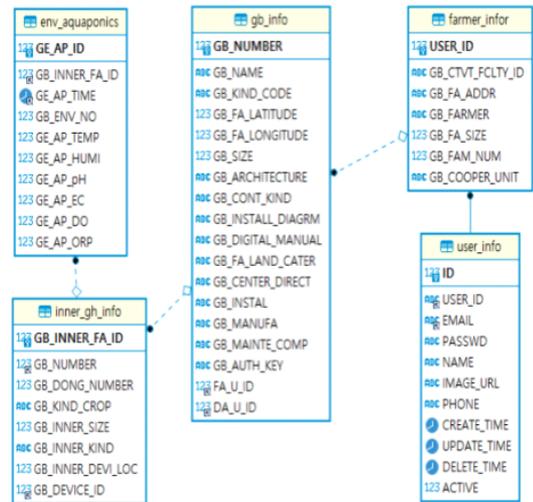


그림 5. 아쿠아포닉스 환경 데이터베이스 개체 관계도  
Fig. 5. Aquaponics Environment Database E-R Diagram

작업자의 정보가 저장된다. farmer\_infor 테이블은 최종 관리자에 대한 정보가 저장되며, 아쿠아포닉스 작업자 정보의 관리 및 시설관리에 대한 정보가 초기에 입력될 수 있도록 하였다. gb\_info 테이블은 아쿠아포닉스 시설에 대한 위치 정보, 시설 내 수조부, 재배부 및 내부 구성 장비에 대한 정보와 운영방법에 대한 정보가 inner\_gh\_info 테이블과 관계를 형성하여 다수의 시설을 보유할 경우에 분리하여 저장할 수 있도록 하였다. env\_aquaponics 테이블은 아쿠아포닉스 시설 내에서 구역별 수집된 센서 데이터가 저장된 시간을 기준으로 저장된다.

모니터링 시스템을 구성하는 웹 서버는 클라우드

인스턴스 우분투 서버(Ubuntu Server 18.04 LTS) 플랫폼에 Node.js를 이용하여 구성하였으며, 웹 클라이언트는 HTML5를 이용하였다[6]. 아쿠아포닉스 시설 내에 있는 각 환경 요인별 데이터 수집 장치에서 인터넷을 통해 클라우드 시스템으로 전송한다. 전송된 데이터는 요인별 측정 시간이 상이한 원시데이터로 저장하였다. 원시데이터는 모니터링 시스템에서 같은 시간대로 전처리하여 보여줄 수 있도록 하였다. 사용자 웹 클라이언트의 요청에 따라 수집된 센서 데이터는 매 5분 단위로 변화된 값을 갱신하여 텍스트와 도표로 보여질 수 있도록 하였다. 또한, 웹 클라이언트에서 스트리밍 서버에 접속하여 실시간으로 영상을 확인할 수 있도록 하였다.

### III. 실험

연구에서 구성된 아쿠아포닉스 모니터링 시스템은 국립농업과학원 농업공학부 식물 공장 내의 아쿠아포닉스 시스템에서 측정된 데이터로 구현하였다. 시설 내 3개의 재배부와 1개의 수조부 구조에 아두이노와 요인별 측정 센서를 이용하여 환경 데이터를 측정하는 시스템을 구성하였다. 환경 데이터 수집 시스템은 측정된 데이터를 인터넷을 통해 농업공학부 2세대 스마트팜 테스트베드에 위치한 클라우드의 웹 서버로 전송, 저장 및 실시간으로 데이터를 시각화하도록 구성되었다.

#### 3.1 환경 데이터 수집 시스템 구현

Fig 6와 Fig 7은 재배부 및 수조부 센서 데이터가 매 5분 간격으로 측정, 전송되어 env\_aquaponics 테이블에 저장된 그림이다. GB\_ENV\_NO 컬럼은 재배부와 수조부를 구분하며, GB\_INNER\_FA\_ID는 시설 위치와 동을 구분한다. 센서로부터 측정되는 재배부와 수조부 데이터는 GB\_AP\_TEMP, GB\_AP\_HUMI, GB\_AP\_pH, GB\_AP\_EC, GB\_AP\_DO,

| GB_INNER_FA_ID | GE_AP_TIME          | GB_ENV_NO | GE_AP_TEMP | GE_AP_HUMI | GE_AP_pH | GE_AP_EC |
|----------------|---------------------|-----------|------------|------------|----------|----------|
| 1              | 2021-07-30 00:03:25 | 1         | 21.5       | 78.7       | 7.6      | 0.4      |
| 1              | 2021-07-30 00:08:27 | 1         | 21.4       | 78.5       | 7.6      | 0.4      |
| 1              | 2021-07-30 00:13:29 | 1         | 21.4       | 79         | 7.6      | 0.4      |
| 1              | 2021-07-30 00:18:31 | 1         | 21.5       | 79.8       | 7.6      | 0.4      |
| 1              | 2021-07-30 00:23:33 | 1         | 21.6       | 80.4       | 7.5      | 0.4      |
| 1              | 2021-07-30 00:28:35 | 1         | 21.6       | 80.4       | 7.6      | 0.4      |
| 1              | 2021-07-30 00:33:38 | 1         | 21.6       | 79.9       | 7.6      | 0.4      |
| 1              | 2021-07-30 00:38:40 | 1         | 21.5       | 79.8       | 7.6      | 0.4      |
| 1              | 2021-07-30 00:43:42 | 1         | 21.5       | 79.6       | 7.6      | 0.4      |
| 1              | 2021-07-30 00:48:44 | 1         | 21.4       | 79.1       | 7.6      | 0.4      |
| 1              | 2021-07-30 00:53:46 | 1         | 21.4       | 79         | 7.6      | 0.4      |
| 1              | 2021-07-30 00:58:48 | 1         | 21.4       | 78.7       | 7.6      | 0.4      |
| 1              | 2021-07-30 01:03:50 | 1         | 21.5       | 78.1       | 7.6      | 0.4      |
| 1              | 2021-07-30 01:08:52 | 1         | 21.6       | 78.6       | 7.6      | 0.4      |
| 1              | 2021-07-30 01:13:55 | 1         | 21.9       | 78.5       | 7.6      | 0.4      |

그림 6. 아쿠아포닉스의 재배부 환경 데이터  
Fig. 6. Plant Environment Data of Aquaponics

| GB_INNER_FA_ID | GE_AP_TIME          | GB_ENV_NO | GE_AP_TEMP | GE_AP_pH | GE_AP_DO | GE_AP_ORP |
|----------------|---------------------|-----------|------------|----------|----------|-----------|
| 1              | 2021-07-30 00:03:25 | 2         | 18.5       | 6.6      | 12.1     | 353.3     |
| 1              | 2021-07-30 00:08:27 | 2         | 18.43      | 6.8      | 12.1     | 353.3     |
| 1              | 2021-07-30 00:13:29 | 2         | 18.44      | 6.7      | 12.5     | 353.6     |
| 1              | 2021-07-30 00:18:31 | 2         | 18.51      | 6.6      | 12.2     | 353.8     |
| 1              | 2021-07-30 00:23:33 | 2         | 18.59      | 6.6      | 11.8     | 354.9     |
| 1              | 2021-07-30 00:28:35 | 2         | 18.59      | 6.6      | 12       | 355.2     |
| 1              | 2021-07-30 00:33:38 | 2         | 18.57      | 6.8      | 12       | 355.4     |
| 1              | 2021-07-30 00:38:40 | 2         | 18.48      | 6.8      | 12.1     | 355.5     |
| 1              | 2021-07-30 00:43:42 | 2         | 18.46      | 6.7      | 12.2     | 355.7     |
| 1              | 2021-07-30 00:48:44 | 2         | 18.39      | 6.6      | 11.6     | 356       |
| 1              | 2021-07-30 00:53:46 | 2         | 18.35      | 6.6      | 12.4     | 356.6     |
| 1              | 2021-07-30 00:58:48 | 2         | 18.39      | 6.7      | 12.1     | 356.7     |

그림 7. 아쿠아포닉스의 수조부 환경 데이터  
Fig. 7. Water Environment Data of Aquaponics

GB\_AP\_ORP 컬럼에 GB\_ENV\_NO를 기준으로 수집된 시간대에 따라 순차적으로 입력된다.

본 논문에서 활용된 아쿠아포닉스 모니터링 시스템의 수집데이터는 2021년 06월 28일부터 2021년 09월 01일까지 재배부 16,986건, 수조부 16,793건을 활용하여 아쿠아포닉스 시설 내 재배부와 수조부 생육 환경에 대해 분석하였다.

#### 3.2 아쿠아포닉스 모니터링 시스템 구현

Fig 8은 실험 중인 아쿠아포닉스 시설 재배부에 설치된 구역별 센서로부터 5분 단위로 도출된 환경 값을 표현하였으며, 표출되는 정보는 재배부 온도, 습도, pH 및 EC의 현재 값을 텍스트와 도표로 표현하였다. 도넛 차트 하단의 수치는 센서로부터 측정된 시점에 갱신되는 형태로 7일간 이전 측정값과 비교하여 요인별로 수집된 최댓값, 최솟값을 낱짜와 시간과 함께 정보 제공한다. 또한, 측정된 데이터를 표출하는 텍스트 하단의 스파크라인(Sparkline)은 7일간의 변화 추이를 볼 수 있도록 표현하였다[7].

Fig 9는 재배부 내부에서 송출된 영상을 인코딩하여 웹서비스에 적절한 화질로 정보 제공할 수 있도록, 클라우드 시스템 내부에 별도의 인코딩 서버를 구축하였다. 수집된 영상은 JSMpeg[8]를 이용하여 실시간으로 영상을 송출하였으며, 아쿠아포닉스 시스템 내부의 네트워크 제약사항으로 인하여 약 1초의 지연속도를 보였다.



그림 8. 아쿠아포닉스의 실시간 대시보드  
Fig. 8. Real-time Dashboard of Aquaponics



그림 9. 아쿠아포닉스의 생육 스트리밍 영상  
Fig. 9. Growth Streaming Video of Aquaponics

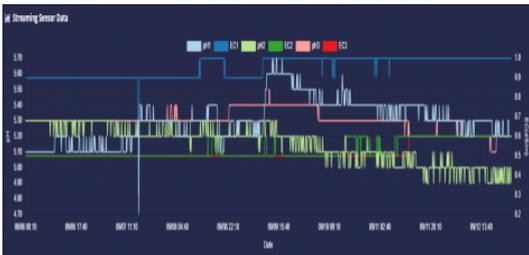


그림 10. 아쿠아포닉스 환경 데이터의 도표  
Fig. 10. Chart of Aquaponics Environment Data

Fig 10은 아쿠아포닉스 수조부의 메기 양식수를 활용하는 재배부 각 3개 구역별 5분 단위로 수집된 EC와 pH 값을 차트로 표현하였다. 수집되는 각 센서의 측정 위치는 각 재배부로 메기 양식수가 유입되는 부분과 배출되는 부분으로 설치하였으며, 해당 재배부에 적용된 요인들의 측정값을 7일 구간으로 시각적으로 변화량을 확인할 수 있도록 하였다.

### 3.3 아쿠아포닉스 생육 환경 데이터 분석

Table 4는 메기와 엽채류를 생육하는 다른 아쿠아포닉스 시스템과 8월 25일부터 8월 31일까지 일주일간 수집된 생육 환경 데이터를 비교한 표이다.

본 논문에서 수집된 아쿠아포닉스 재배부 온도는 평균 24°C로 최고온도 31.9°C, 최저온도 21.8°C이며, EC의 값은 0.9 dS/m이다. pH의 평균값은 5.4이며, 최대 5.8, 최소 5.3로 측정되었다. 재배부의 작물은 겨자채, 다청채, 근대 및 적치커리 실험묘 4종이며 시설 내 재배부 주간 온도는 25°C으로 설정되어 있으며, 실측된 환경조건과 1°C 차이를 유지하고 있음을 확인할 수 있다. 수조부의 온도는 평균 24.4°C로 최고온도 25.8°C, 최저온도 23°C이다. pH의 평균값은 6.35이며, 최대 11.2, 최소 5.2이다. DO 평균값은 12.5 mg/L이며, 최대 17.8 mg/L, 최소 10 mg/L로 측정되었다. 메기의 성장에 필요한 적정환경은 수온은 24°C~28°C, pH는 pH 6.5 ~ 7.5 수준이며, 용존산소(DO)는 여름

표 4. 아쿠아포닉스 생육 환경 데이터(평균, 최대, 최소)  
Table 4. Aquaponics Crop Environment Data (Average, Maximun, Minimun)

|             |     | RDA (08-25 ~ 08-31) |       | Biofloc Aquaponics <sup>[3]</sup> | Hybrid BFT Aquaponics <sup>[9]</sup> |
|-------------|-----|---------------------|-------|-----------------------------------|--------------------------------------|
|             |     | Plant               | Water | Water                             | Water                                |
| Temperature | AVG | 24                  | 24.4  | -                                 | 25.43                                |
|             | MAX | 31.9                | 25.8  | 22.9                              | 26.33                                |
|             | MIN | 21.8                | 23    | 17.1                              | 24.53                                |
| Humidity    | AVG | 74.5                | -     | -                                 | -                                    |
|             | MAX | 90.2                | -     | -                                 | -                                    |
|             | MIN | 53                  | -     | -                                 | -                                    |
| EC          | AVG | 0.9                 | -     | -                                 | 0.7                                  |
|             | MAX | 0.9                 | -     | -                                 | 0.72                                 |
|             | MIN | 0.9                 | -     | -                                 | 0.67                                 |
| pH          | AVG | 5.4                 | 6.35  | -                                 | 5.85                                 |
|             | MAX | 5.8                 | 11.2  | 7.63                              | 6.33                                 |
|             | MIN | 5.3                 | 5.2   | 4.52                              | 5.43                                 |
| DO          | AVG | -                   | 12.5  | -                                 | 8.27                                 |
|             | MAX | -                   | 17.8  | 9.38                              | 8.72                                 |
|             | MIN | -                   | 10    | 5.61                              | 7.82                                 |
| ORP         | AVG | -                   | 370.8 | -                                 | -                                    |
|             | MAX | -                   | 461.2 | -                                 | -                                    |
|             | MIN | -                   | 163.8 | -                                 | -                                    |

철 6mg/l 이상 10mg/l이다. 실험 중인 수조부 환경은 메기 성장을 위한 적정 수온과 pH를 유지하고 있지만, DO는 최적 환경 측정치와 비교하여 높게 측정된 것으로 나타났다. 데이터 취득 시점 이전에 수조부 물 교환 작업으로 인해 많은 산소가 공급되어 DO가 높게 측정되었다.

본 논문에서 구성된 아쿠아포닉스는 수조부의 물이 여과조를 통하여 재배부로 공급되는 구간별로 별도의 실험환경이 구성되어 있는 시스템이며, 각 실험 구간에 별도의 환경 측정이 필요하다. 각 구간별로 측정된 수조부와 재배부의 생육 환경 값은 매 5분 별로 도출됨을 확인하였으며, pH 값이 수조부보다 재배부에서 낮게 측정이 되는 것으로 나타났다. 또한, 연구 시스템에서 구성된 환경은 다른 아쿠아포닉스 시스템의 수조부와 재배부 적정 생육 환경과 비교했을 때 각 구역간 적정 생육 환경으로 제어되고 있는 것으로 나타났다.

## IV. 결 론

본 논문은 아쿠아포닉스 시스템 내부의 생육환경을 실시간으로 확인할 수 있도록 메기 양식에 사용되는 양식수와 엽채류 생육 관리를 위해 수조부와 재배부

의 환경 데이터를 실시간으로 수집하고, 인터넷을 통하여 프라이빗 클라우드(Private Cloud Computing)에 저장 및 처리하는 시스템을 설계하고 구현하였다.

본 논문의 생육 환경 모니터링 시스템은 물리 공간의 아쿠아포닉스에서 이두이노를 이용하여 수집된 생육 환경 데이터를 클라우드 시스템 내에 있는 가상의 데이터베이스 시스템에 저장하였다. 웹 시스템은 데이터베이스에 저장되어있는 생육 환경 정보를 이용하여 사용자의 물리적 위치와 관계없이 현재 아쿠아포닉스의 상황을 시각화하여 정보를 제공하는 시스템이다. 사용자는 본 논문의 시스템에서 생육 환경 정보의 수치 데이터와 도표, 생육 영상을 이용하여 실시간으로 생육 환경의 문제점을 바로 파악할 수 있다.

본 논문에서 수집된 아쿠아포닉스 생육 환경 데이터를 다른 논문의 시스템과 비교 분석한 결과 연구 시스템에서 구성된 환경은 다른 아쿠아포닉스 시스템에서의 수조부 생육 환경과 비교했을 때 pH와 DO는 수조부의 물 교환으로 인하여 차이를 보이지만, 전체적으로 재배부와 수조부는 적정 생육 환경 범위 내에서 제어되고 있다.

추후 본 논문의 환경 데이터 수집 시스템을 통해 저장된 빅 데이터를 분석하여 상이한 두 환경을 제어 및 공유할 수 있는 환경 분석 및 예측 모델을 도출할 수 있을 것이며, 추가적으로 생육 영상을 이용하여 생육 단계에 따른 자동 환경 제어 기능을 추가할 수 있을 것이라 기대된다.

## References

- [1] S. H. Kim, Y. A. Hong, S. Y. Huh, and J. H. Ji, *Analysis of the influence of agricultural and food consumption on the spread of coronavirus 19*(2020), Retrieved Aug. 15, 2021, from <http://www.krei.re.kr>
- [2] G. Y. Jung, *Current status and R&D implications of aquaponics technology*(2020), Retrieved Aug. 15, 2021, from <https://www.ipet.re.kr/>
- [3] S. R. Kim, J. W. Jang, B. J. Kim, I. K. Jang, H. J. Lim, and S. K. Kim, "Urban aquaculture of catfish, *Silurus asotus*, using biofloc and aquaponics systems," *Environ. Organisms*, vol. 37, no. 4, pp. 545-553, Nov. 2019.
- [4] A. K. Buhmann, U. Waller, B. Wecker, and J. Papenbrock, "Optimization of culturing

conditions and selection of species for the use of halophytes as biofilter for nutrient-rich saline water," *Agric. Water Manage.*, vol. 149, pp. 102-114, Feb. 2015.

- [5] G. H. Kim and D. W. Han, "Exploratory research : Home aquaponics of tropical fish using IoT," *J. The Korea Contents Soc.*, vol. 21, no. 4, pp. 424-433, Apr. 2021.
- [6] OpenJS Foundation, *Node.js Docs*(2020), Retrieved Nov. 01, 2020, from <https://nodejs.org/docs/latest-v14.x/api/documentation.html>
- [7] Gareth Watts, *JQuery Sparkline*(2013), Retrieved Feb. 14, 2016, from <https://omnipotent.net/jquery.sparkline/#s-about>
- [8] phoboslab, *JSMpeg* (2020), Retrieved Jan. 24, 2021, from <https://github.com/phoboslab/jsmpeg>
- [9] D. H. Lee, J. Y. Kim, S. R. Lim, D. Y. Kim, K. B. Kim, J. M. Kim, and J. D. Kim, "Comparative study on growth and yield of far eastern catfish *silurus asotus* and leafy vegetables grown in hybrid BFT-Aquaponics, Semi-RAS and Hydroponics," *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, vol. 52, no. 5, pp. 482-495, 2019.

## 양 오 석 (Oh-Seok Yang)



2018년 2월 : 군산대학교 컴퓨터 정보공학과 졸업  
 2021년 2월 : 군산대학교 컴퓨터 정보공학과 석사  
 2021년 3월~현재 : 군산대학교 컴퓨터정보공학과 박사과정 <관심분야> 객체지향시스템, 빅 데이터, 스마트팜

[ORCID:0000-0001-5016-6146]

**이 흥 로 (Hong-Ro Lee)**



1986년 2월 : 전북대학교 전자계산기학과 석사  
1994년 8월 : 전북대학교 전산응용공학과 박사  
2002년 4월~현재 : 군산대학교 컴퓨터정보공학과 교수

<관심분야> 객체지향시스템, GIS, 스마트 팜

**김 태 현 (Tae-Hyun Kim)**



2011년 2월 : 세종대학교 컴퓨터공학과 박사수료  
2019년 1월 : (주)아이앤씨테크 놀로지 책임연구원  
2019년 2월~현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구사 <관심분야> HCI, 인공지능, 스마트팜

[ORCID: 0000-0002-4478-667X]

**허 정 옥 (Jeong-Wook Heo)**



1996년 4월 : Chiba대학교 원예학부 석사  
1999년 4월 : Chiba대학교 다양성과학 박사  
2008년 11월~현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구사 <관심분야> 빅데이터, IoT, 스마트팜

[ORCID:0000-0002-9968-7783]

**김 현 종 (Hyun-Jong Kim)**



1993년 2월 : 서울대학교 서울대학원 동물자원과학과 석사  
2000년 2월 : 서울대학교 서울대학원 동물자원과학과 박사  
1998년 2월~현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구관 <관심분야> 가축번식학, 스마트팜, 머신러닝

[ORCID:0000-0001-6217-9374]

**이 재 수 (Jae-Su Lee)**



2012년 2월 : 전북대학교 생물산업기계공학과 석사  
2021년 2월 : 전북대학교 생물산업정밀기계공학과 박사  
2015년 1월~현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구사 <관심분야> 스마트팜, 인공지능, 환경제어

[ORCID:0000-0002-9977-9274]

**임 동 혁 (Dong-Hyeok Im)**



1999년 2월 : 성균관대학교 생물기전공학과 석사  
2005년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 박사  
2016년 4월~현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구관 <관심분야> 객체지향시스템, 빅데이터, 스마트팜

[ORCID:0000-0003-1204-8274]

**백 정 현 (Jeong-Hyun Baek)**



2016년 2월 : 군산대학교 컴퓨터정보공학 박사  
2020년 1월 : 농촌진흥청 국립농업과학원 전문연구원  
2020년 2월~현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구사 <관심분야> 스마트팜, 클라우드 컴퓨팅, 데이터분석

[ORCID:0000-0002-5867-2171]