사물인터넷융복합논문지 Vol. 9, No. 4, pp. 59-69, 2023 https://doi.org/10.20465/KIOTS.2023.9.4.059

사물인터넷 기반의 수경재배 시스템 구현

평보[1], 누머너브 일리요스벡 라크힘전 우글리[2], 여성구[3], 김태국[4*]
[1]국립부경대학교 인공지능융합학과 학생, [2]국립부경대학교 컴퓨터·인공지능공학부 학생,
[3](주)이맥스정보기술 대표, [4]국립부경대학교 컴퓨터·인공지능공학부 교수

Implementation of IoT-Based Hydroponic Cultivation System

Bo Peng[1], Ilyosbek Rakhimjon-Ugli Numonov[2], Seong-Koo Yeo[3], Tae-Kook Kim[4*]
[1]Student, School of Artificial Intelligence Convergence, Pukyong National University
[2]Student, School of Computer and Artificial Intelligence Engineering, Pukyong National University
[3]CEO, Emax Information Technology Co. Ltd.
[4]Professor, School of Computer and Artificial Intelligence Engineering, Pukyong National University

요 약 본 논문에서는 수경재배의 편리성, 안정성, 정확성의 향상을 위하여 사물인터넷(IoT) 기술을 활용한 수경재배 원격 모니터링 및 제어 시스템을 연구하였다. 제안한 시스템은 라즈베리 파이, 아두이노, 센서를 IoT 기술과 접목하여 재배 환경과 배양액의 농도 등을 측정하여 PC 서버로 전송한다. PC에서는 미들서버(Middle Server), 데이터베이스, 웹서버를 구축하여 TCP/IP 통신으로 라즈베리 파이와 안정적인 데이터 전송, 저장 및 처리를 보장한다. 이를 통해 재배 환경, 배양액의 배합 등을 원격 모니터링 및 제어한다. 따라서 모니터링 및 배양액 배합은 장소, 시간 및 장비 등에 구애받지 않고 어디서나 웹페이지로 관리시스템을 접속하여 확인과 작업을 할 수 있다. 제안한 시스템은 수경재배 작물의 최적화된 생육환경을 유지하면서 원격 모니터링 및 제어로 농업 관리의 편리성을 제공하고, 다양한 작물에 적용 가능할 것으로 기대한다.

주제어 : 사물인터넷(IoT), 라즈베리 파이, 아두이노, 수경재배, 스마트 팜

Abstract In this paper, a remote monitoring and control system for hydroponic cultivation using Internet of Things (IoT) technology was studied to improve the convenience, stability, and accuracy of hydroponic cultivation. The proposed system combines Raspberry Pi, Arduino, and sensors with IoT technology to measure the cultivation environment and the concentration of culture medium, It subsequently transmits this data to the PC server. In the PC, the middle server, database, and web server are built to ensure stable data transmission, storage, and processing with Raspberry Pi through TCP/IP communication. This facilitates remote monitoring and control of cultivation conditions, as well as the mixing of nutrient solutions. Therefore, monitoring and mixing of culture solutions can be conducted from anywhere, without being limited by location, time, or equipment. Users can access the management system via a web page to review and perform tasks. The proposed system provides convenience in agricultural management through remote monitoring and control while maintaining an optimized growth environment for hydroponic crops. It is expected to have the potential for application across various type of crops.

Key Words : Internet of Things(IoT), Raspberry Pi, Arduino, Hydroponics, Smart farm

*교신저자 : 김태국(king@pknu.ac.kr)
접수일 2023년 7월 1일 수정일 2023년 8월 14일 심사완료일 2023년 8월 17일
www.kci.go.kr

1. 서론

1.1 연구 배경

기후 변화, 농경지 감소, 농약 남용, 환경 오염 등 자연환경이나 개인 기술 원인으로 인해 작물의 생산성 저하, 품질 하락 등 문제가 발생하고 있다. 통계청 2021년과 2022년의 경지면적 조사 결과에 따르면 대한민국의 2002년 1,862,622[ha]의 경지면적은 지속적으로 감소하여 2021년까지 1,546,717[ha]로 줄어들었다. 20년 동안 약 320,000[ha]의 경지면적은 감소되었다[1]. 논 경지와 밭 경지를 포함한 경지면적은 2003년부터 2022년까지 해마다 감소하고 있다는 결과가 나타났다. 이러한 감소는 건물건축이 가장 큰 영향을 미치며 유실매몰, 야적장, 조림, 묘지 등이 그 뒤에 있다[2]. 경지면적 감소, 자연재해 및 기술 문제로 인해 농업 생산성이 하락하고 있고 이를 해결하기 위한 방안에 관한 연구가 필요하다.

4차 산업혁명 시대에 진입해 현대 사회에서 이러한 문제점을 해결하기 위해 수경재배 방법과 IoT(사물인터넷), 스마트 관리 기술 등을 활용하게 되었다. 2000년대에 한국형 양액 자동 공급 시스템이 개발되어 수경재배가 농가에 보급되기 시작하였다. 1992년에 13[ha]에 불과했던 수경재배 면적이 1996년에 275[ha]로 급속히 증가하였다. 8년 동안 약 21배 증가하였으며 2019년까지 4491[ha]에 이르렀다[3]. 이와 같이 IoT, AI, 임베디드 시스템 등 첨단 기술을 농업에 적극적인 도입으로 스마트화하는 농업 시대가 도래하며 수경재배의 발전을 촉진하고 있다.

1.2 연구 방법

수경재배는 토양을 대체한 배양액 및 배지에서 작물을 재배하는 방법으로 작은 공간에서 과학적이고 집약적으로 관리하는 기술이다. 배양액에서 작물 생육에 필요한 양분을 공급하기 때문에 경지환경에 영향받지 않아 작물이 양분을 더 균형적으로 흡수한다.

본 연구에서 IoT 기술을 활용하여 수경재배 환경의 모니터링과 배양액의 배합 또는 관개 작업을 원격으로 제어할 수 있도록 구현하였다. 라즈베리 파이(Raspberry Pi)[4][5] 및 아두이노(Arduino)[6]를 함께 활용함으로써 재배환경의 온·습도와 이산화탄소, 배양액의 pH(수소이온농도)와 EC(전기 전도도) 농도 등을 정확하게 측정한다. 측정된 데이터들을 손쉽게 확인할 수 있도록 PC(Personal Computer)에 전송한다. PC에서 미들서버(Middle Server), 데이터베이스, 웹서버를 구축하여 수신된 데이터를 저장하고 웹페이지에 표시한다. 따라서 사용자가 어디서나 웹페이지만 접속하면 재배환경 데이터와 배양액 농도를 확인할 수 있다. 또한 측정된 데이터에 따라 배양액을 적절한 농도로 배합하여 작물에 관개하는 것을 제어할 수 있다.

2. 관련 연구

기존의 수경재배 모니터링 방식은 블루투스 모듈이나 Wi-Fi 모듈을 사용한 단거리 원격 모니터링에 제한되고 있다[7][8]. 본 연구는 미들 서버와 데이터베이스를 PC에 배치하여 안정적인 데이터 전송 및 저장을 구현하였다. 그리고 데이터베이스에 저장된 정보를 웹페이지에 적용하기 위해 웹서버를 구축하였다. 따라서 사용자가 다른 PC나 모바일 등 기기에서 웹페이지를 통해 먼 거리에서도 실시간 모니터링 및 제어를 할 수 있다. 또한 단일 작물 재배에 벗어나 배양환경 및 배양액 농도의 측정, 원격으로 모니터링과 제어에 초점을 두었다. 이를 통해서 다양한 작물에 응용 가능성 및 원격 관리의 편리성을 향상시킨다.

Kwon et al.의 연구에서는 다중 센서를 이용한 스마트 팜을 설계하였다. 아두이노에서 각 센서를 통해 식물 생장에 필요한 온도, 습도, 조도를 측정하고 블루투스 모듈을 이용하여 원격으로 제어할 수 있도록 연구하였다[7].

Ko et al.의 연구에서는 IoT 기반의 수경재배 식물공장을 제작하고, PLC(Programmable Logic Controller) 제어 방법을 제안하였다. 해당 연구에서는 환경제어, 양액제어, 원격관리를 구현하였다[8].

Baek et al.의 연구에서는 원격 무선통신기술(LPWA) 기반으로 원격 모니터링 및 제어가 가능한 자가설치형 농업 자동화 시스템 “씽커넥트-Green”을 구현하였다. 이는 농업에 필요한 물, 온도, 햇빛, 흙 등 필요한 요소들을 원격 모니터링 및 제어할 수 있다[9].

Park et al.의 연구에서는 작물 수확량에 영향을 미치는 재배환경 데이터를 측정하고 모니터링을 하는 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템을 이용하여 콩 재배 토양의 수분을 자동으로 40%로 유지할 수 있게 한다[10].

Kim et al.의 연구에서는 스마트 온실 수경재배로 재배되는 토마토의 과실을 인식하는 방안을 검토하였다. 해당 연구는 CNN 기반의 Faster R-CNN, SSD, YOLOv3과 YOLOv4의 네 가지 모델을 적용해서 각 인식 정확도를 비교하였다[11].

www.kci.go.kr

Lee et al.의 연구에서는 IoT 기술을 이용하여 스마트 팜의 전기 사용에 대한 웹 기반 실시간 모니터링 및 전력 사용량 분석을 수행하였다. 해당 연구는 실시간으로 스마트 팜에서 사용된 전력 사용량을 작물재배와 연계하여 모니터링을 하였다. 수집된 전력 사용량이 자체 웹서버에 접속하여 실시간 측정된 데이터를 다운로드 받을 수 있다[12].

Jeong et al.의 연구에서는 스마트 팜에서 자율 센서를 적용하여 농작물을 효율적으로 모니터링할 수 있는 관리 기법을 제안하였다. 제안 기법은 농작물 관리의 효율성을 향상시키고, 관리 비용을 최소화한다[13].

Noh et al.의 연구에서는 가정용 수경재배기에서 재배한 로메인상추의 생육에 적합한 양약 농도와 NH_4^+: NO_3^-의 비율을 찾기 위해 실험을 수행하였다[14].

Shin et al.의 연구에서는 ICT 기반의 스마트 팜 설계를 제안하였다. 제안된 시스템은 ICT 기술을 활용하여 재배하는 농작물에서 측정하는 환경 데이터를 수집해서 활용한다. 이를 통해 농작물의 최적 재배환경 설정을 위한 모델을 설계하였다[15].

3. 제안한 수경재배 시스템 구현

본 수경재배 시스템에서는 라즈베리 파이, 아두이노를 활용해서 수경재배 환경 및 배양액 농도를 측정하여 PC로 전송한다. PC에 구축된 미들서버, 데이터베이스, 웹서버로 라즈베리 파이부터 PC 및 웹서버 사이의 데이터 전송, 저장 및 처리를 보장한다. 여러 IoT 센서를 통해서 측정된 온·습도, 이산화탄소, pH와 EC 농도를 웹페이지에 나타내 실시간 원격 모니터링이 가능하게 한다. 이를 바탕으로 펌프의 원격 제어를 통해 배양액을 적절하게 배합하고, 작물에 관개한다.

3.1 모니터링 필요한 요소(수치) 및 측정 방법

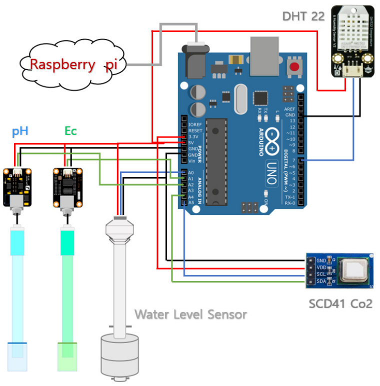
작물의 생육은 재배환경 및 배양액 농도에 크게 영향을 미친다. 수경재배 시스템에서 작물이 토양을 대체한 배양액에서 양분을 흡수하여 생장하기 때문이다. 따라서 생육에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 배양액이며, 이는 pH, EC 등 성분을 정확하게 파악해야 적절한 배합이 가능하다. 또한, 공기 중의 이산화탄소 농도, 온·습도도 중요한 요소가 된다. 이러한 수치들을 측정하기 위해 아두이노를 활용하여 여러 센서를 제어하였다.

수경재배 시스템으로 최적인 재배환경을 제공하기 위해서 적절한 온도, 습도, 이산화탄소, 그리고 배양액의 pH와 EC 농도 등을 고려해야 한다. 각 작물은 특정한 재배 조건 범위 내에서 최적의 생장을 보장해야 생산성이 향상된다. 농촌진흥청 수경재배 자료에 따르면 각 작물의 생육에 필요한 배양액 농도, 온·습도 환경 등을 제시하였다. 토마토, 딸기, 가지 등 작물들은 배양액의 pH와 EC, 이산화탄소 농도 및 온·습도 관리가 중요하다고 나타냈다[3].

본 수경재배 시스템에서는 재배환경의 온·습도, 공기 중의 이산화탄소, 배양액의 pH와 EC 농도를 중점적으로 모니터링을 한다. 이는 아두이노를 활용하여 IoT 센서를 제어해서 구현하였다.

3.1.1 아두이노를 활용한 환경 측정

라즈베리 파이에서 배양액을 적절하게 배합하기 위해서는 아두이노를 통해 배양액의 pH, EC 농도, 공기의 이산화탄소 농도 및 온·습도를 모두 파악해야 한다. [Fig. 1]은 아두이노 UNO에서 재배환경을 측정하기 위해 센서 제어하는 구조를 나타낸다. 아두이노에서는 SCD41 CO2 센서를 이용하여 공기 중의 이산화탄소를 측정한다. 그리고 pH센서, EC센서, 수위 센서로 각각 pH, EC 농도 및 배양액 양을 측정한다. pH, EC, 수위 센서의 출력 신호는 아날로그 신호이고 아날로그 핀을 지원하는 아두이노 UNO를 사용하면 이러한 신호를 안정적이고 정확하게 처리할 수 있다. 또한 온·습도의 변화가 pH, EC 측정에 영향을 미칠 수 있기 때문에 온·습도 측정하는 DHT22 센서와 함께 사용된다. 이렇게 측정된 pH, EC 농도, 수위 값에 따라 배양액을 어떻게 조절해야 하는지를 결정한다.



[Fig. 1] Control structure for measurement of growing environment with Arduino

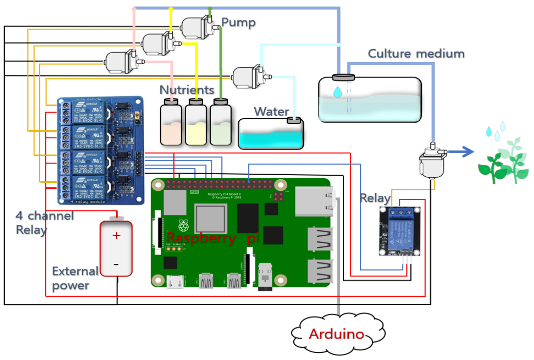
www.kci.go.kr

3.2 배양액 배합 과정

작물 재배에 사용하는 배양액은 각종 작물 영양제를 혼합하여 제조된다. 그러나 제조된 배양액은 초기에 적절한 pH, EC 농도를 유지하지 못한다. 적절한 농도로 달성하기 위해 배양액의 pH, EC 농도를 계속으로 측정해서 조정해야 한다. 따라서 제조된 배양액을 작물에 관개하기 전까지 배양액을 초보적인 배합, 측정, 조정하는 과정을 거쳐야 한다. 아두이노에서 측정된 pH, EC 농도를 바탕으로 라즈베리 파이에서 배양액 초기 배합 및 농도 조정 작업을 한다.

3.2.1 라즈베리 파이를 활용한 배양액 배합 및 배양액 관개

라즈베리 파이는 아두이노에서 측정된 데이터를 PC로 전송하며, 수신된 펌프제어 명령에 의해 배양액의 배합 및 관개를 제어하는 역할을 한다. [Fig. 2]는 라즈베리 파이에서 릴레이, 펌프 등을 제어해서 배양액을 배합부터 작물에 관개하기 까지의 구조를 나타낸다. 본 수경재배 시스템에 3가지 다른 작물 영양제를 조합하여 필요한 배양액을 배합한다. 이를 위해 라즈베리 파이에서 4채널 릴레이를 사용하여 3개의 영양제 펌프를 제어하며 각 영양제를 적절히 흡입한다. 나머지 한 채널은 일반 물을 흡입하여 영양제와 혼합하기 위한 급수 펌프를 제어한다. 4채널 릴레이의 각 채널을 ON/OFF 제어하여 각 펌프의 작동 상태를 결정한다. 따라서 펌프 동작 상태를 제어하면 필요한 양인 영양제와 물을 흡수해 올 수 있다. 사용자는 제공된 웹페이지에서 실시간 측정된 pH, EC 농도를 확인하면서 각종 영양제가 적절한 배합 비율이 될 때까지 원격으로 펌프 제어할 수 있다. 배양액이 적절하게 배합되면 1채널 릴레이를 통해서 관개 펌프를 제어하여 배양액을 작물에 관개한다.

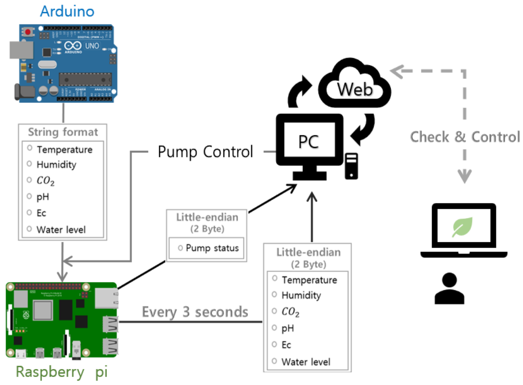


[Fig. 2] Control structure for mixing and irrigation of culture medium with Raspberry Pi

3.3 데이터 통신 시스템

라즈베리 파이와 아두이노 사이에는 시리얼 통신을 통해 데이터 전송을 구현하였다. [Fig. 3]은 라즈베리 파이, 아두이노 및 PC 간에 데이터를 전송하는 과정을 나타낸다. 아두이노로 배양액의 pH, EC 농도, 수위 값, 그리고 공기의 이산화탄소 농도 및 온·습도를 측정하여 이 데이터들을 라즈베리 파이로 전송한다. 라즈베리 파이는 아두이노에서 발송된 데이터를 처리해서 3초씩마다 패킷 형식으로 PC에 전송한다. PC로 데이터 전송할 때 TCP/IP 프로토콜과 본 시스템에서 정의한 패킷 형식을 사용한다. PC는 TCP/IP 기반의 미들서버, 데이터베이스 관리 및 웹서버 역할을 한다. PC에서 수신된 데이터를 데이터베이스에 저장하여 웹서버에 제공한다. 시각적으로 보기 좋고 사용 거리에 제한받지 않는 모니터링 환경을 제공하기 위해 웹서버는 실시간으로 데이터들을 웹페이지에 표시한다. 따라서 인터넷 사용이 가능한 모바일 기기나 다른 PC에서 웹페이지를 접속하여 원격 모니터링을 할 수 있다.

배양액의 농도를 조정하려면 웹페이지의 펌프 수동 제어로 이동하여 제어할 펌프의 제어 버튼을 누르면 라즈베리 파이로 펌프제어 명령이 전송된다. 라즈베리 파이에서 펌프제어 명령이 수신되면 펌프를 제어함으로써 배양액의 농도를 조정한다. 펌프의 동작 상태를 파악하기 위해 상태변화가 일어날 때마다 각 펌프의 동작 상태 값을 PC로 전송한다.



[Fig. 3] Data transmission process

3.3.1 아두이노에서 라즈베리 파이로 전송하는 데이터 형식

아두이노에서 측정된 온·습도, 이산화탄소, pH, EC 및 수위 값을 하나의 재배환경 데이터로 함께 조합해서

www.kci.go.kr

라즈베리 파이로 전송한다. 배양액 양을 의미하는 수위 값은 정수 0~2으로 표현하며 2이면 배합된 배양액이 충분하다는 의미이다. 수위 값을 제외한 나머지 모든 값은 소수점을 제거하기 위해 각각 100을 곱해서 정수로 변환한 다음 10진수인 문자열 형식으로 변환한다. 여러 문자열은 하나의 전체 재배환경을 나타내는 문자열 형식인 데이터로 변환하여 라즈베리 파이로 전송한다. 〈Table 1〉은 아두이노에서 라즈베리 파이로 전송하는 재배환경 데이터 형식을 나타낸다.

〈Table 1〉 Growing environment data transmitted from Arduino to Raspberry Pi

Actual measurements					
temperature	humidity	CO_2	pH	EC	Water level
26.30	31.50	8.90	6.60	12.34	55%

Cultivation environment data (Decimal string)					
"2630"	"3150"	"0890"	"0660"	"1234"	"0001"
transmission data format to Raspberry Pi					
"263031500890066012340001"					

3.3.2 라즈베리 파이에서 데이터 처리 및 PC 전송

라즈베리 파이에서 재배환경 데이터를 수신하여 첫 4자리는 온도, 그다음 4자리는 습도, 마지막 4자리는 수위 값과 같은 순서로 각 데이터를 분석하여 따로 저장한다. 라즈베리 파이와 PC를 통신할 때 전송 및 수신된 데이터를 제대로 인식되도록 데이터를 표현하는 바이트 순서를 정의해야 한다. 이를 위해 라즈베리 파이로 발송할 데이터를 2바이트 크기인 Little-endian 형식으로 변환하였다. 따라서 재배환경 데이터 및 펌프 상태 데이터를 발송하기 전에 다음과 같은 형식으로 변환된다.

〈Table 2〉는 아두이노가 발송한 10진수 문자열 데이터를 라즈베리 파이에서 16진수 Little-endian 형식으로 변환하는 결과를 나타낸다. 〈Table 3〉은 펌프 상태 데이터를 나타낸다. 펌프를 제어하는 명령이 수신되면 라즈베리 파이는 명령을 분석하여 각 펌프를 제어한다. 각 펌프의 상태 값은 변화가 일어나면 상태 값을 PC로 반환한다. 펌프는 총 5개 있으며, 영양제 펌프 3개, 급수 펌프 1개 및 관개 펌프 1개를 포함한다. 펌프 상태 데이터에서 각 펌프는 번호와 상태가 포함되며, 각각 1자리인 16진수로 나타내며, 총 1바이트를 차지한다. 펌프 번호는 어떤 펌프인지를 의미하며, 펌프 상태는 0이면 OFF, 1이면 ON으로 펌프의 작동 상태를 나타낸다.

〈Table 2〉 Growing environment data in hexadecimal little-endian format

Cultivation environment data converted to decimal					
temperature	humidity	CO_2	pH	EC	Water level
2630	3150	890	660	1324	1

Cultivation environment data (Hexadecimal Little-endian)					
460A	4E0C	7A03	9402	2C05	0100
460A4E0C7A0394022C050100					

〈Table 3〉 Data of pump status

Pump status data (Little-endian hexadecimal)									
Nutrient solution pump						Feed water pump		Irrigation pump	
Pump 1		Pump 2		Pump 3		Pump 4		Pump 5	
No.	Status	No.	Status	No.	Status	No.	Status	No.	Status
1	ON	2	ON	3	ON	4	OFF	5	OFF
11		21		31		40		50	
1121314050									

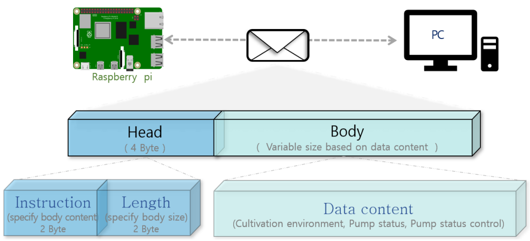
3.3.3 패킷 구조

라즈베리 파이와 PC 간에 데이터 패킷을 송수신할 때 해당 데이터 패킷은 어떤 데이터를 의미하는지를 구별해야 한다. 패킷의 데이터 내용은 재배환경 데이터인지, 펌프 상태 제어나 상태 반환 데이터인지를 패킷의 헤드에서 명시한다.

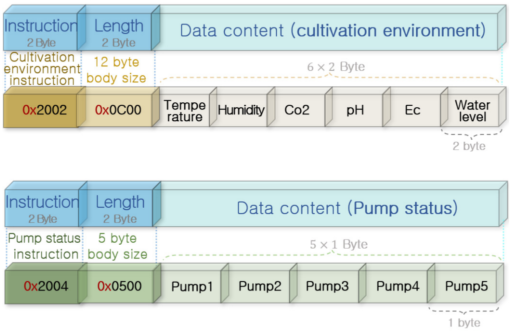
[Fig. 4]는 패킷 구조를 나타내고. [Fig. 5]는 데이터 내용에 따라 각 패킷 구조에 대한 설명을 나타낸다. 패킷 구조는 4바이트인 헤드(Head) 및 전송 데이터 내용인 바디(Body)로 구성된다. 헤드의 첫 2바이트는 바디에서 어떤 데이터인지를 나타내는 명령어이며 마지막 2바이트는 바디의 크기를 나타낸다. 바디 부분에서 재배환경 데이터(12바이트)나 펌프 상태 데이터(5바이트), 또는 펌프 상태 제어 데이터(5바이트)를 포함할 수 있다. 데이터 내용에 따라 바디의 크기가 다르기 때문에 데이터를 올바르게 처리하기 위해 바디의 길이를 헤드에서 명시해야 한다.

〈Table 4〉는 패킷 헤드에 포함된 2가지 명령어와 각 바디 내용의 길이를 나타낸다. 명령어는 패킷의 바디가 재배환경 데이터인지 펌프상태 데이터인지를 명시한다. 0x2002로 의미하는 재배환경 데이터의 경우는 바디 길이가 12바이트로 되며, 0x2004로 의미하는 펌프 상태 데이터의 경우는 바디 길이가 5바이트로 된다.

www.kci.go.kr



[Fig. 4] Data packet structure



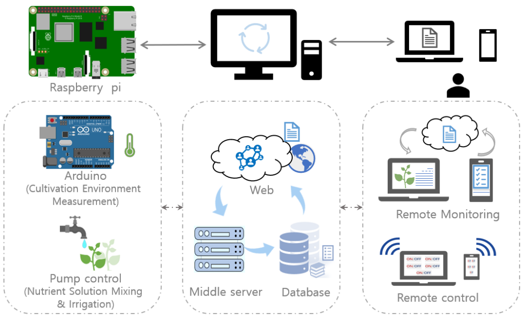
[Fig. 5] Description of each packet structure according to data content

<Table 4> Instructions and length included in packet head

body content		Head	
		Instruction	Length
Cultivation environment		0x2002	12 Byte
Pump status	Request Response	0x2004	5 Byte

3.4 원격 모니터링 시스템 구성

원격으로 모니터링을 할 수 있도록 PC에서 데이터베이스 및 웹서버를 구축하였다. [Fig. 6]은 원격 모니터링 시스템을 나타낸다. 웹서버와 통신하기 위해 WebServer 소켓을 생성한다. 이 소켓은 JSON 형태의 데이터로 재배환경 데이터 및 펌프 상태 데이터를 송수신한다. 이를 위해 localhost의 9000번 포트를 사용하여 WebServer 소켓에 연결한다. MySQL로 DB(Database)를 개발하여 미들서버에서 수신된 재배환경 데이터 및 펌프 상태 데이터를 실시간으로 저장한다. 데이터의 정확성과 일관성을 유지하기 위해 DB에서는 5초씩마다 업데이트하며, 1분씩마다 데이터를 삽입하여 기록한다. 이를 통해 실시간으로 수신된 데이터를 저장하고 관리함으로써 웹서버를 통해 활용할 수 있게 된다.



[Fig. 6] Remote monitoring system

3.4.1 미들서버(Middle Server)

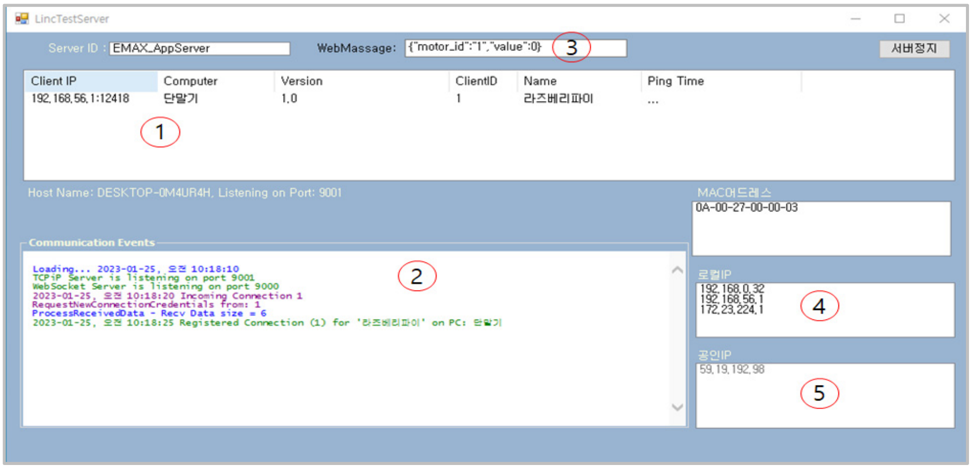
PC와 라즈베리 파이를 통신하기 위해 미들서버는 TCP/IP 소켓을 생성한다. 송수신 데이터는 온·습도, 이산화탄소, pH, EC 및 수위 값을 나타내는 재배환경 데이터가 있다.

또는 배양액 펌프, 급수 펌프, 관개 펌프의 상태값을 나타내는 펌프 상태 데이터가 있다. 이때 PC 및 라즈베리 파이 간의 TCP/IP 서버 소켓 연결 포트는 9001이다. 미들서버가 웹서버와 통신하기 위해 WebServer 소켓을 생성하며 WebServer 소켓 연결 포트는 9002이다. 웹서버는 재배환경 데이터, 펌프 상태 데이터를 JSON 형식의 데이터로 송수신한다. [Fig. 7]은 미들서버의 화면 구성을 나타낸다. ①은 미들서버에 접속한 장치들의 목록을 표시하는 창이다. ②는 서버의 상태 송수신 데이터를 표시하며, ③은 웹서버로부터 수신된 JSON 형식인 펌프제어 명령 데이터를 표시한다. 그리고 ④에는 내부 인터넷에서 접속할 때의 로컬 서버 IP(주소)를 표시하며, ⑤에서 외부 인터넷에서 접속할 때의 공인 IP를 표시하는 것이다.

3.4.2 데이터베이스(DB)

데이터베이스는 MySQL 5.7로 구현되어 미들서버에서 수신된 재배환경 데이터 및 펌프 상태 데이터를 실시간 저장한다. 데이터는 5초에 한번씩 업데이트와 1분에 한 번씩 삽입하여 기록한다. <Table 5>는 데이터베이스의 데이블 구조를 나타내며, [Fig. 8]은 데이터베이스의 테이블 레코드를 나타낸다. Select 조회 결과와 같이 온도, 습도, 이산화탄소, pH, EC, 수위 값 및 총 5개의 펌프 동작 상태값을 1분에 한 번씩 저장되는 것을 확인할 수 있다. 웹서버에서 데이터베이스에 저장된 데이터를 이용하여 모니터링 화면과 정보를 나타낸다.

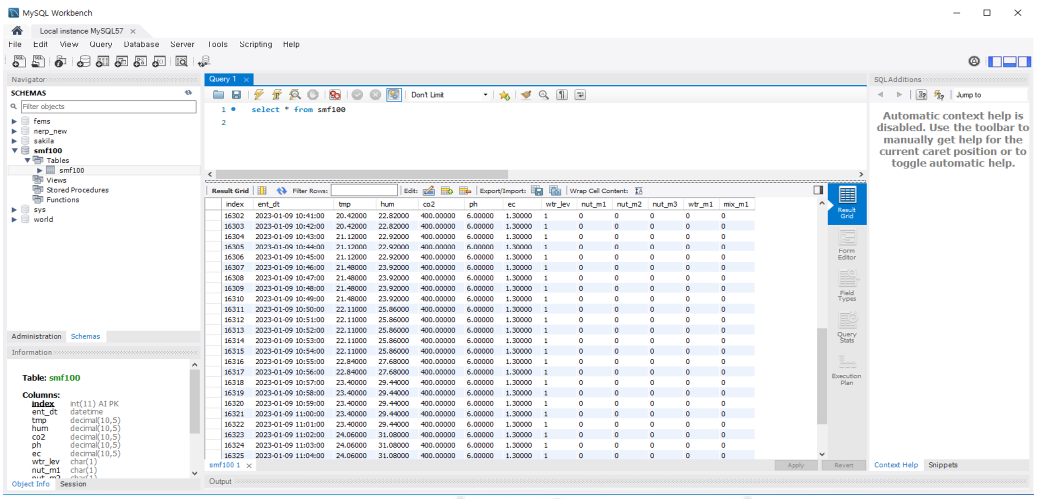
www.kci.go.kr



[Fig. 7] Screen composition of Middle Server

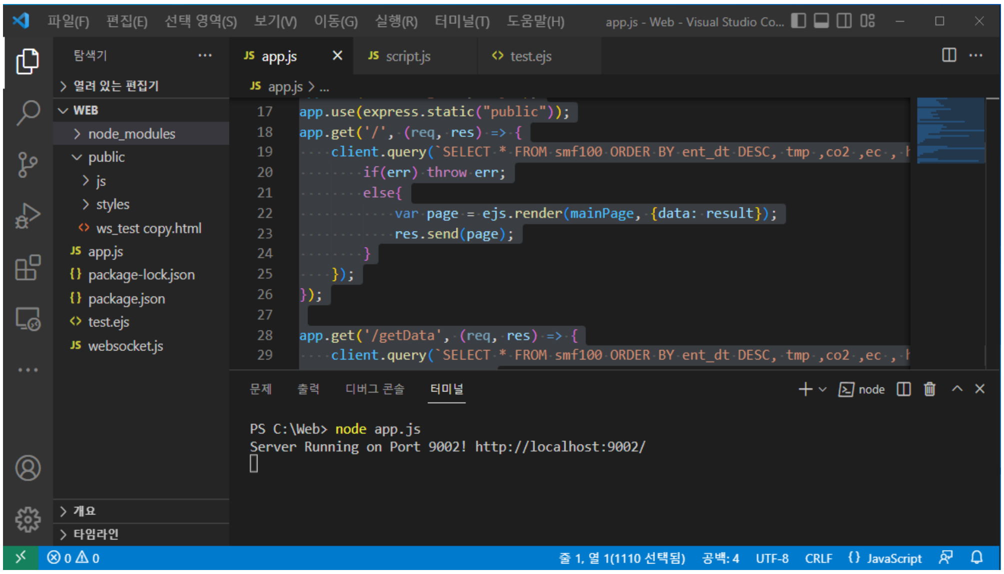
〈Table 5〉 Database table structure

Cultivation environment and pump status information Table name: smf100			
Column ID	Ccolumn name	Attr	Note
ent_dt	Date of occurrence	datetime	
tmp	Temperature(℃)	decimal(10,5)	
hum	Humidity(%)	decimal(10,5)	
co2	Carbon dioxide(ppm)	decimal(10,5)	
ph	pH(Hydrogen ion concentration)	decimal(10,5)	Parts per million
ec	EC(electrical conductivity)	decimal(10,5)	
wtr_lev	Water level value (culture medium volume)	Char(1)	0:low water level ~ 1:high water level
nut_m1	Nutrient Pump 1 Status	Char(1)	0:OFF, 1:ON
nut_m2	Nutrient Pump 2 Status	Char(1)	0:OFF, 1:ON
nut_m3	Nutrient Pump 3 Status	Char(1)	0:OFF, 1:ON
wtr_m1	Water pump status	Char(1)	0:OFF, 1:ON
mix_m1	Irrigation pump status	Char(1)	0:OFF, 1:ON



[Fig. 8] Database table record content

www.kci.go.kr



[Fig. 9] Running web server

3.4.3 웹서버(WebServer)

[Fig 9]는 웹서버를 실행하는 과정을 나타낸다. 웹서버는 Node.js 및 스크립터를 사용해서 구현하였다. 사용자가 localhost 9002번 포트를 통해 Web http 소켓 연결이 가능하며 웹서버 코드를 실행하여 Command 창에서 node app.js 명령어로 웹서버를 활성화한다. 웹서버 구동되면 사용자가 PC이나 모바일 환경에서 다음 주소에 접속해서 이용할 수 있다.

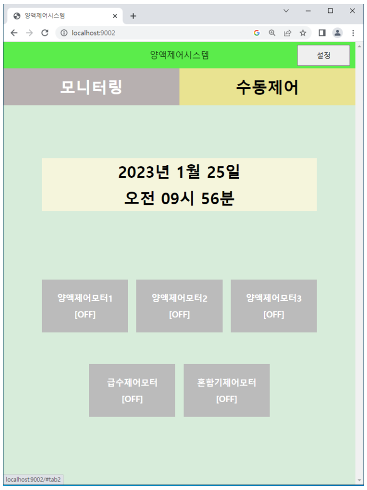
http://localhost:9002/

위 웹주소를 접속한 후에 나오는 화면이 다음 그림과 같다. [Fig 10]은 PC 환경에서 접속할 경우, [Fig 11]은 모바일 환경에서 접속할 경우를 나타낸다. 전체화면이 모니터링 및 수동 제어 두 부분으로 구성되어 있다. 모니터링 부분에서 현재일시, 재배환경 정보 및 각 펌프의 동작 상태를 표시하였다. 표시된 정보를 5초의 단위로 실시간 화면을 갱신한다. 이를 통해서 사용자가 측정된 데이터들을 편리하고 정확하게 모니터링 할 수 있다. 배양액의 pH, EC 농도가 적절하지 않아 배양액 배합을 제어하려면 수동 제어 부분으로 이동할 수 있다. [Fig 12] 및 [Fig 13]은 PC 환경과 모바일 환경에서 나오는 수동제어 화면이다. 수동제어에서 각 펌프의 현재 동작 상태를 확인할 수 있으며 원격으로 제어할 수 있다.

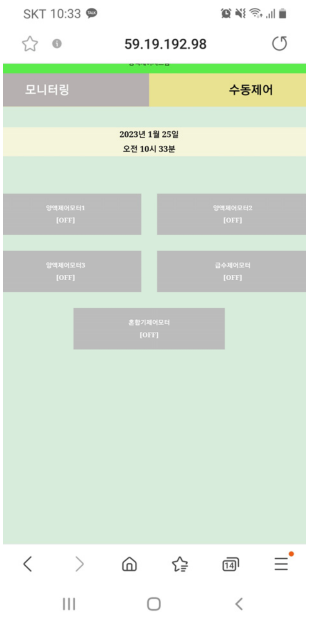
[Fig. 10] PC environment monitoring screen

[Fig. 11] Mobile environment monitoring screen

www.kci.go.kr



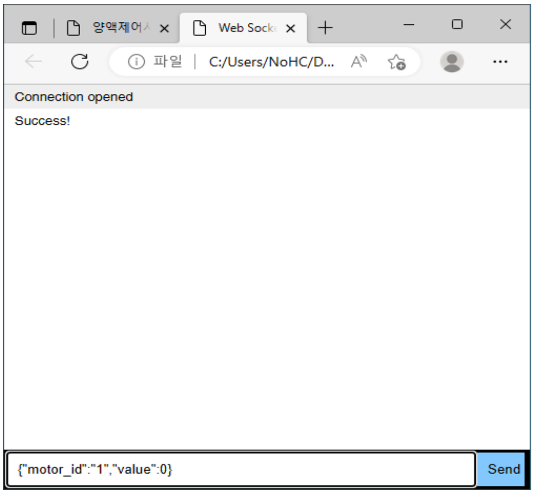
[Fig. 12] Manual control screen of PC environment



[Fig. 13] Manual control screen in mobile environment

화면에는 각 펌프가 표시되어 있으며 제어할 펌프의 버튼을 PC 환경에서 클릭하고, 모바일 환경에서 터치하면 해당 펌프의 제어 창으로 이동된다. 제어 창에서 정해진 명령어 형식에서 제어 값을 설정하여 발송하면 웹서버가 JSON 형식인 명령어를 미들서버로 발송한다. [Fig 14]는 제어 창에서 1번 영양제 펌프의 동작을 정지시키는 명령어를 발송하는 화면을 나타낸다. 해당 명령어 형식은 다음과 같으며, “motor_id”는 펌프 번호, “value”는 상태 값을 지정하는 의미이다.

{“motor_id”:“1”, “value”: 0}



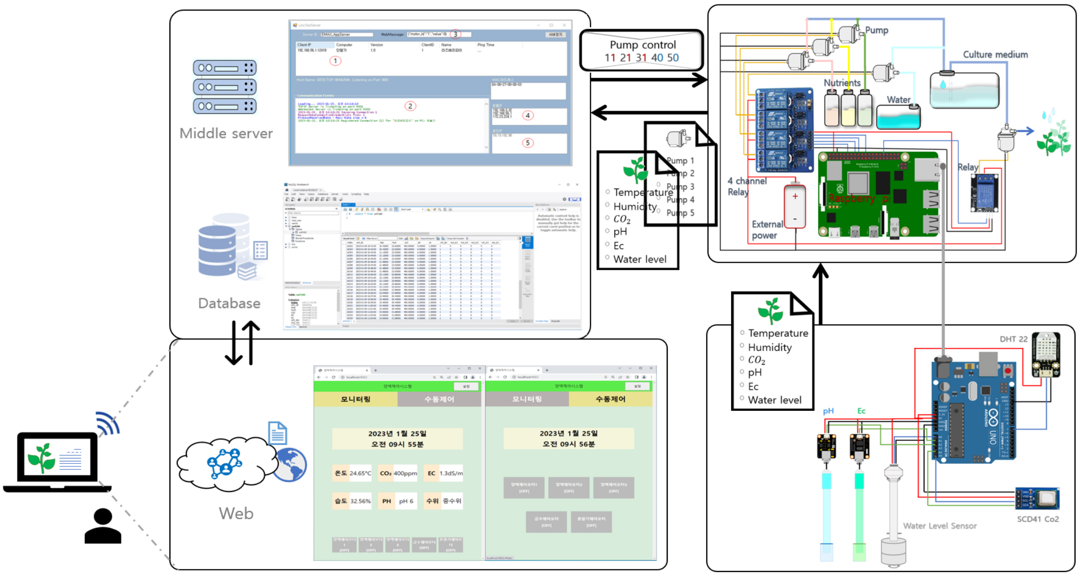
[Fig. 14] Pump control from the control window

4. 성능 평가

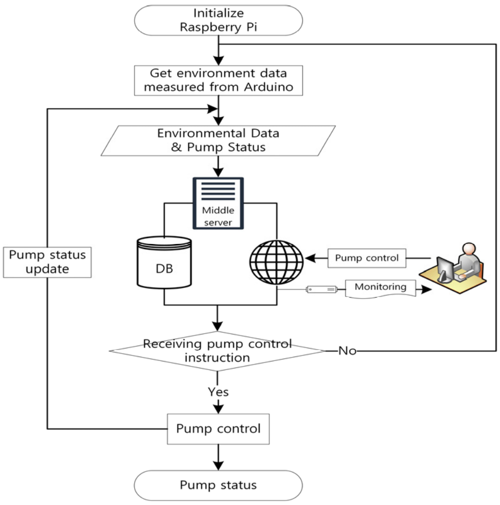
본 장에서는 제안한 전체 시스템의 성능 평가를 수행하였다. [Fig. 15]는 전체 시스템의 구조를 나타낸다. 아두이노를 활용하여 IoT 센서로 재배환경의 온도, 습도, 이산화탄소, 배양액의 pH, EC 농도 및 액량을 측정한다. 측정된 수치들을 실시간으로 라즈베리 파이에 전송하여 라즈베리 파이에서 데이터는 일련의 처리를 거쳐 패킷 형식으로 PC에 전송한다. PC에서는 미들서버, 데이터베이스, 웹서버를 구축하여 데이터에 대한 송수신, 저장, 처리 및 응용 등의 기능을 한다. 안정적인 송수신을 위해 미들서버에서 TCP/IP 통신 소켓을 생성하였다. 또한 웹서버와 통신을 위한 WebServer 소켓을 생생하였으며 데이터의 관리와 응용을 위해 데이터베이스를 구축하였다.

[Fig. 16]은 전체 시스템의 흐름도를 나타낸다. 라즈베리 파이의 초기화로 시작하여 계속 아두이노에서 측정된 환경 데이터를 수신한다. 환경 데이터와 현재 5개 펌프의 상태를 함께 미들서버에 전송한다. 미들서버에서는 수신된 데이터들을 데이터베이스에 저장하고 웹서버에 제공한다. 사용자가 웹페이지를 접속하면 원격으로 작물의 재배환경 및 펌프 상태를 모니터링 할 수 있다. 그리고 배양액 농도를 조정해서 작물에 관개하려면 수동제어 화면으로 이동하여 각 펌프를 제어할 수 있다. PC에서 펌프 제어명령이 수신되면 지정된 펌프를 제어하고 펌프의 상태를 업데이트해서 다시 PC로 전송한다.

www.kci.go.kr



[Fig. 15] Overall system structure



[Fig. 16] System flow chart

5. 결론

본 연구에서는 라즈베리 파이, 아두이노 및 IoT 센서를 활용해서 모니터링 및 제어 가능한 수경재배 시스템을 구현하였다. 재배환경의 온도, 습도, 이산화탄소, 배양액의 pH, EC 농도 및 수위 값(배양액 양)의 정확한 측정은 모니터링의 안정성 및 신뢰성이 보장된다. 5개 펌프의 제어로 배양액 적절한 배합의 간편성을 이룬다. 이를 바탕으로 PC에서 구축한 미들서버, 데이터베이스 및 웹서버를 통해 모니터링과 제어의 원격 작업의 가능성과 유연성을 실현하였다.

제안한 수경재배 시스템 관리의 불편함, 단거리 모니터링 및 제어의 한계점, 또는 단일 작물 재배시스템의 한정성을 보완할 수 있다. 그리고 농업과 IoT, 스마트 기술의 융합으로 작물의 생산량을 높이고, 경제적이고 지속 발전 가능한 농업에 기여할 것으로 기대한다. 또한 향후의 연구에서 다양한 작물에 대한 최적의 재배환경 및 배양액 농도 등 정보를 인공지능을 활용하여 자동 관리 수경재배 시스템을 구현할 예정이다. 이는 다양한 작물에 대해 각 작물의 재배정보를 저장하며 재배할 작물에 맞게 자동 재배할 수 있는 기술이다. 사용자가 작물을 지정하면 시스템은 재배환경을 모니터링하면서 적절한 배양액을 자동으로 배합하고 작물에 관개한다.

REFERENCES

[1] National Statistical Office(Statistics Korea), “2021 Cropland Survey Results”, 2021.

[2] National Statistical Office(Statistics Korea), “2022 arable area survey results”, 2022.

[3] Rural Development Administration, “hydroponics,” 2021.

[4] Raspberry Pi, https://www.raspberrypi.com/

[5] J.H.Moon, B.Peng, J.H.Kwon, T.K.Kim, “Implementation

www.kci.go.kr

of Smart Umbrella Stand Based on IoT," Journal of Internet of Things and Convergence, Vol.9, No.1, pp.57-64, 2023.

[6] Arduino, https://www.arduino.cc/

[7] O.H.Kwon, I.C.Kang, D.S.Min, H.B.Im, Y.W. Park, "A Study on the Smart Farm Characteristics Using Multiple Sensors," The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol.16, No.4, pp.719-724, 2021.

[8] J.H.Ko, H.C.Kim, "PLC Automatic Control for IOT Based Hydroponic Plant Factory," Journal of IKEEE, Vol.23, No.2, pp.487-494, 2019.

[9] JG.Baek, H.W.Lee, "Design and Implementation of Self-installing Agricultural Automation System for Remote Monitoring and Control Based on LPWA Technology," Journal of The Korea Internet of Things Society, Vol.3, No.1, pp.13-19, 2017.

[10] J.K.Park, J.H.Kim, "Agricultural Environment Monitoring System to Maintain Soil Moisture using IoT," Journal of The Korea Internet of Things Society, Vol.6, No.3, pp.45-52, 2020.

[11] Y.H.Kim, B.H.Cho, D.S.Seo, H.Y.Song, K.C.Kim, "The study on crop detection robot system for hydroponic green house," Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.23, No.6, pp.315-322, 2022.

[12] M.Y.Lee, S.J.Sim, E.J.Kim, Y.S.Han, "A Web-based Monitoring of Electrical Energy Consumption and Data Analysis of Smart Farm Facilities," Journal of Bio-Environment Control, Vol.31, No.4, pp.366-375, 2022.

[13] Y.S.Jeong, "Design of Smart Farm Growth Information Management Model Based on Autonomous Sensors," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol.28, No.4, pp.113-120, 2023.

[14] K.D.Noh, B.R.Jeong, "Optimum Strength and NH4 +:NO3 - Ratio of Nutrient Solution for Romaine Lettuce Cultivated in a Home Hydroponic System," Journal of bio-environment control, Vol.9, No.1, pp.57-64, 2023.

[15] B.H.Shin, H.K.Jeon, "ICT-based Smart Farm Design," Journal of Convergence for Information Technology, Vol.10, No.2, pp.15-20, 2020.

펑 보(Bo Peng) [준회원]

- 2023년 2월 : 국립부경대학교 컴퓨터공학부(공학사)
- 2023년 3월 ~ 현재 : 국립부경대학교 인공지능융합학과 석사과정

〈관심분야〉
사물인터넷(IoT), 인공지능(AI), 임베디드시스템

누머너브 일리요스벡 라크힘전 우글리 (Numonov Ilyosbek Rakhimjon Ugli) [준회원]

- 2018년 9월 ~ 현재 : 국립부경대학교 컴퓨터·인공지능공학부

〈관심분야〉
사물인터넷(IoT), 인공지능(AI)

여 성 구(Seong-Koo Yeo) [정회원]

- 1993년 8월 : 한양대학교 산업공학과 석사
- 2008년 5월 ~ 현재 : ㈜이맥스정보기술 대표
- 2020년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 벤처대학원 융합공학과 박사과정

〈관심분야〉
딥러닝, 클라우드, 빅데이터, 융합공학

김 태 국(Tae-Kook Kim) [종신회원]

- 2004년 8월 : 고려대학교 전기전자전파공학부(공학사)
- 2006년 8월 : 고려대학교 메카트로닉스학과(공학석사)
- 2014년 8월 : 고려대학교 모바일솔루션학과(공학박사)
- 2016년 3월 ~ 2022년 2월 : 동명대학교 AI학부 교수
- 2022년 3월 ~ 현재 : 국립부경대학교 컴퓨터·인공지능공학부 교수

〈관심분야〉
사물인터넷(IoT), 콘텐츠 전송 네트워크(CDN), 이동성, 인공지능(AI), 빅데이터, 모바일 서비스

www.kci.go.kr