

벼 재배용 사물인터넷 기반 물꼬 구현

이병한^{1*}, 성덕경¹, 진영민², 황연현², 김영광²

¹경상남도농업기술원 농업연구사, ²경상남도농업기술원 농업연구관

Implementation of IoT-Based Irrigation Valve for Rice Cultivation

Byeonghan Lee^{1*}, Deok-Gyeong Seong¹, Young Min Jin²,

Yeon-Hyeon Hwang², Young-Gwang Kim²

^{1,2}Researcher, Gyeongsangnam-do Agricultural Research & Extension Services

요약 벼농사에서 물 관리는 매우 중요한 작업이다. 벼의 생육 초기에는 잡초 발생을 억제하기 위하여 물을 깊이 대고, 모내기 후 뿌리가 활착하면 줄기 생성을 촉진하기 위해 물을 얇게 대며, 찻알이 맺힐 수 없는 줄기가 생성되는 시기에는 물을 댄다. 물 공급 상황은 논 위치, 농수로, 토양, 기상 등 다양한 요소에 영향을 받기 때문에 농민은 수시로 논을 방문하여 수위를 확인하고 물의 유출입을 통제한다. 경작하는 논이 원격지에 분산되어 있다면 이러한 노력은 더욱 증가한다. 자동 물 관리 시스템은 노동력을 절감하여 생산성 향상에 기여할 수 있는 방안으로 고려되고 있다. 그러나 2022년 국내 벼 생산으로 인한 순수익은 평균 32만원/10a 정도이다. 따라서 높은 단가의 고사양 장치를 적용하거나 공사를 추진하여 관련 인프라를 구축하는 것은 현실적으로 어렵다. 본 연구는 추가적인 기반공사 없이 국내 농업 인프라에 통합될 수 있는 물꼬 개발에 중점을 두었으며 세 가지 주요 분야에서 연구를 수행하여 사물인터넷 기반 물꼬를 구현하였다. 첫째, 기존의 농업용 관수 파이프에 빠르고 쉽게 설치할 수 있는 물꼬를 설계하였다. 둘째, 저전력 통신 기능을 갖춘 Cat M1 통신 모듈과 아두이노 나노 보드를 연결하고 전원을 공급하는 전자회로를 제작하였다. 셋째, 클라우드 기반 플랫폼을 이용하여 서버와 데이터베이스 환경을 구축하고 사용자가 접근할 수 있는 웹 페이지를 제작하였다.

주제어 : 사물인터넷, 농업, 벼, 자동 물 관리 시스템

Abstract In paddy rice farming, water management is a critical task. To suppress weed emergence during the early stages of growth, fields are deeply flooded, and after transplantation, the water level is reduced to promote rooting and stimulate stem generation. Later, water is drained to prevent the production of sterile tillers. The adequacy of water supply is influenced by various factors such as field location, irrigation channels, soil conditions, and weather, requiring farmers to frequently check water levels and control the ingress and egress of water. This effort increases if the fields are scattered in remote locations. Automated irrigation systems have been considered to reduce labor and improve productivity. However, the net income from rice production in 2022 was about KRW 320,000/10a on average, making it financially unfeasible to implement high-cost devices or construct new infrastructure. This study focused on developing an IoT-Based irrigation valve that can be easily integrated into existing agricultural infrastructure without additional construction. The research was carried out in three main areas: Firstly, an irrigation valve was designed for quick and easy installation on existing agricultural pipes. Secondly, a power circuit was developed to connect a low-power Cat M1 communication modem with an Arduino Nano board for remote operation. Thirdly, a cloud-based platform was used to set up a server and database environment and create a web interface that users can easily access.

Key Words : IoT(Internet of Things), Agriculture, Rice, Automated Irrigation System

본 논문은 경상남도농업기술원의 “벼 스마트팜 물관리 모듈 개발”(과제번호: LP0049282023)으로 수행되었음.

*교신저자 : 이병한(ys198@korea.kr)

접수일 2023년 9월 30일 수정일 2023년 10월 3일 심사완료일 2023년 11월 6일

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

우리나라는 농업 인구의 고령화와 노동력 부족에 직면하고 있다.[1] 농가 경영주의 평균 연령은 68.0세이며 70세 이상이 46.5만 가구로 전체의 45.5%를 차지한다.[2] 실제로 경영주들은 운영단계에서 겪는 애로사항으로 노동력 부족을 지적하고 있으며[3], 농촌 고령화로 인한 인력 풀(pool)의 감소가 노동력 부족의 주요한 원인이다.[4]

또한 농지가 필지별로 분산되어 있어 규모 확대의 효율성이 쉽게 발현되지 않는 문제를 안고 있다.[5] 상대적으로 큰 경지를 한 곳에 보유한 경우보다 농작업이 비효율적으로 진행된다. 특히, 벼농사에서 물 관리 노력은 논 공간적 분산 정도가 커질수록 증가한다. 논마다 별도로 물 관리를 해야 하기 때문이다.

벼농사에서 물 관리는 매우 중요한 작업이며 물 관리에 실패하면 벼의 생육이 부진하여 생산량이 감소하고 쌀의 품질이 저하 될 수 있다. 농민은 수시로 논을 방문하여 수위를 확인하고 물의 유출입을 통제한다. 벼의 생육 초기에는 잡초 발생을 억제하기 위하여 물을 깊이 대고, 모내기 후 뿌리가 활착하면 줄기 생성을 촉진하기 위해 물을 얇게 대며, 쌀알이 맺힐 수 없는 줄기가 생성되는 시기에는 물을 댈다. 이후 산소를 공급하여 뿌리노화를 방지하고 쌀알이 잘 여물도록 물을 걸러대며 수확기가 다가오면 수확용 농기계가 논에 들어 갈수 있도록 물을 대지 않고 논을 말린다.

물 관리에 소요되는 시간을 농지의 위치와 규모, 농가의 물 관리 의지와 정도, 수리 시설의 사정을 고려하여 정량적으로 조사한 국내연구 사례는 없으나 농가 응답에 의한 조사 결과를 보면 수동식 물꼬를 사용하여 직접 농민이 물을 관리할 경우 연간 18.0시간/ha이 소요되며, 수동물꼬 조작 설치되지 않은 경우 26.8시간/ha이 소요된다[6]. 생육 단계에 따른 물 관리 요령[7]을 준수하여 수위를 조절하거나 가뭄에 대비하고자 상시 배수상태를 지양하고 필요한 만큼만 물을 댄다면 물 관리 시간은 더욱 증가할 것이다.

한편, 농업의 현안 문제를 해결하기 위한 대안으로 스마트농업이 주목을 받고 있다. 스마트농업은 2014년 이후 본격적으로 도입되기 시작하였으며, 지속적으로 도입 농가가 증가하고 있다. 정부도 농가의 소득 정체, 곡물 자급률 하락, 농촌인구의 감소와 고령화 등의 문제를 해결하고자 다양한 정책적 노력을 강구하고 있으며 그 일

환으로 스마트농업을 보급·확대하고 있다.[8] 일본의 경우 농작업에 대한 의사결정이 경험과 노하우보다는 데이터에 기반하여 수행될 수 있도록 스마트농업을 국가전략 산업으로 추진하고 있으며 기술적 난이도에 따라 단계적으로 실용화를 추진하고 있다.[9, 10, 11]

원격 계측과 조작, 웹 서비스와 같은 사물인터넷 기술을 농업분야에 도입한다면 농작업이 집중되는 시기에 그 효과를 얻을 수 있다. 작물 재배에서는 4월에서 6월 사이의 기간 동안 농작업이 집중되고 인력난이 심하며[12] 이 시기는 벼의 이앙시기이기도 하다. 자동 물 관리 시스템이 정상적으로 구현된다면 물 관리에 소요되는 시간을 절약하고 바쁜 일정으로 인한 물 관리 실패를 방지 할 수 있다. 본 연구는 자동 물 관리 시스템의 구성요소인 사물인터넷 기반 물꼬를 개발하고자 추진하였다.

2. 관련연구

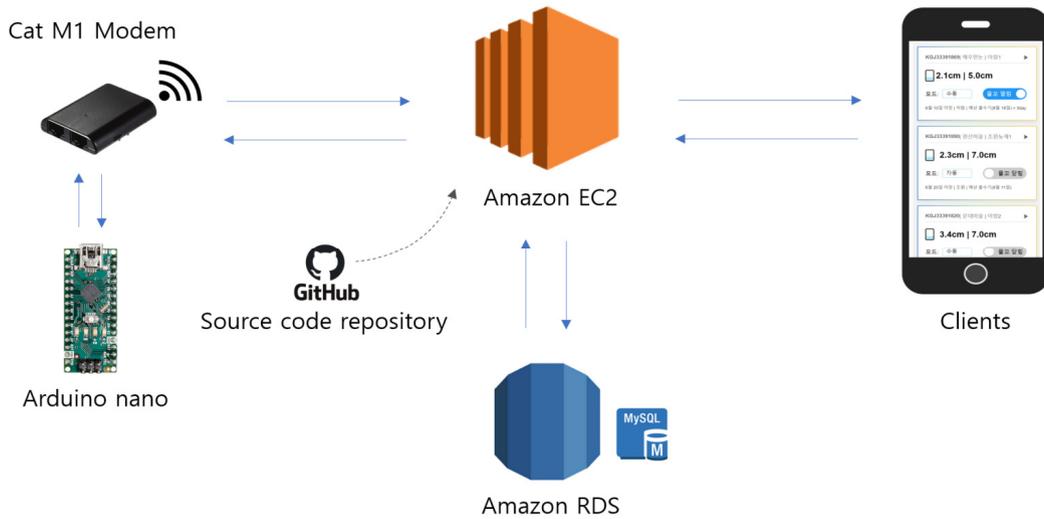
2.1 국내의 자동물꼬 개발 연구

자동 물 관리 시스템에 대한 국내의 연구들은 통신 기술, 수위 감지 방식, 물꼬의 형상과 기능, 경제성 등 다방면에서 진전을 이루어 왔다.

전종길 외(2006년) 관련 개발자들은 전극식 수위센서에 의해 수위의 상한과 하한을 감지하고 물막이판이 구동모터에 의해 열리고 닫히는 자동식 취수물꼬와 엘보관의 회전반경에 의해 물높이를 조절하는 배수물꼬를 개발하였다. 전극식 수위 센서의 상하범위를 현장에서 직접 설정해야 하므로 원격 조작이 불가하지만 농가응답에 의하면 이 물꼬를 사용할 경우 물 관리에 소요되는 노력은 연간 3.7시간/ha으로 수동 물꼬 대비 79.0%의 노동 감소 효과가 있음을 보고하였다.[13]

김준식 외(2022년) 관련 개발자들은 PTZ카메라에 의해 촬영된 영상에 기반하여 수문개폐가 이루어질 수 있는 영상물꼬를 개발하였으며 이 물꼬는 스마트폰이나 컴퓨터를 통해 원격으로 물 관리를 수행 할 수 있다.[14]

농촌진흥청 국립식량과학원(2022년)은 기존물꼬 대비 자동물꼬 단가를 90% 이상 낮춘 단순형 물꼬를 선보인 바 있다. 이 물꼬는 사용자가 미리 설정해둔 수위 조절 일정에 따라 수위를 조절하므로[15] 통신비용과 통신유지에 대한 부담이 없다. 공동으로 활용하는 농수로의 물 공급여부를 확인할 수 있는 수단이 있다면 활용도가 높을 것으로 예상된다.



[Fig. 1] Schematic of IoT-based agricultural water management system

Yuan-Fu Zeng 외(2023년) 관련 개발자들은 노지 환경에 적합한 저전력 통신 방법인 NB-IoT를 도입하였으며, 7회의 벼 재배 실험을 수행하여 자동 물 관리 시스템으로 인한 물 절약 효과를 확인하였다.[16] 그러나 수위 감지를 위해 오차가 적은 상용센서를 사용하여 제작단가가 높을 것으로 예상된다.

Kuboda사는 WATARAS라는 수문개폐용 구동 장치를 일본에서 판매하고 있다. 이 장치는 저전력 통신 방법인 Lora와 LTE Cat M1을 사용할 수 있으며, 클라우드를 활용해 웹서비스를 제공한다.[17] 이 장치는 수문 개폐를 위한 구동부의 역할을 하므로 이에 호환이 되는 수문과 기반시설을 갖추어야 한다.

2022년 국내 벼 생산으로 인한 순수익은 평균 32만원/10a 정도이다[18]. 또한 수리환경이 같지 않은 농지가 분산되어 있어 물꼬를 설치한다면 농지 면적에 비하여 설치대수가 많을 것이다. 이를 고려할 때 높은 단가의 고 사양 장치를 적용하거나 공사를 추진하여 관련 인프라를 구축하는 것은 현실적으로 어렵다. 따라서 자동물꼬 설치 초기 단계에서부터 웹 서비스에 이르기까지 모든 단계에서 비용을 절감하는 동시에 필수 기능을 보장하는 방향으로 세부적인 개선이 필요한 상황이다.

2.2 선행 연구와의 차별점

본 연구는 추가적인 기반공사 없이 국내 농업 인프라에 통합될 수 있는 물꼬 개발에 중점을 두었다. 이를 달성하기 위해 세 가지 주요 분야에서 연구를 수행하였다.

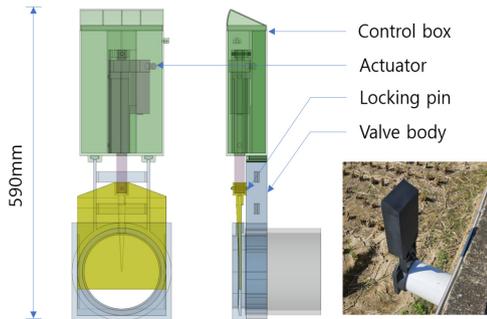
첫째, 기존 농업용 파이프에 빠르고 쉽게 설치할 수 있는 물꼬를 설계하였다. 이 과정에서 불필요한 요소를 최소화하고 장치의 크기를 감소시키기 위해 3차원 설계와 3D프린팅 기술을 활용하였다. 둘째, 저전력 통신 기능을 갖춘 Cat M1 통신 모듈과 아두이노 나노 보드를 연결하고 전원을 공급하는 전자회로를 제작하였다. 이를 통해 원격조작을 위한 통신시스템을 구축하였다. 셋째, 클라우드 기반 플랫폼인 Amazon Web Services(AWS)를 이용하여 서버와 데이터베이스 환경을 마련하였다. 이를 바탕으로 사용자가 접근할 수 있는 웹 페이지를 제작하였다.[Fig. 1]

3. 사물인터넷 기반 물꼬 구현

3.1 물꼬 제작

물꼬 본체는 [Fig. 2]와 같이 농수로로부터 물을 유입시키는 파이프에 장착할 수 있도록 설계하였다. 이때 유입관의 끝이 물꼬에 3cm정도 깊게 삽입될 수 있도록 하여 물꼬가 수압이나 외력을 받아 전후좌우로 기울어지지 않도록 하였다. 물꼬의 개폐는 액추에이터의 상하 전인으로 실현되며 액추에이터는 물꼬의 컨트롤박스 내부에 장착된다. 이 컨트롤박스 내부에는 액추에이터 외에도 전자회로, 모뎀, 배터리를 장착하였다. 고장 발생 시 신속한 유지보수를 위해 컨트롤박스를 물꼬 본체(Valve body)와 분리할 수 있는 구조로 설계하였다. 또한 닫힘

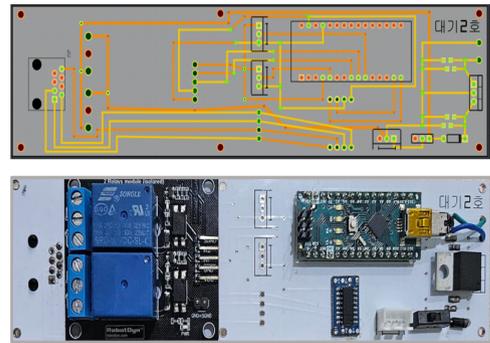
구동 시 개폐문이 경사진 경로를 따라 유입구 쪽으로 밀착되며 내려가도록 설계하여 누수를 방지하였다. 3차원 모델링은 Autocad를 이용하여 수행되었으며 설계파일은 .stl 형식으로 변환 저장하였다. 이 파일을 사용하여 결속핀, 케이스, 개폐문, 물꼬 본체를 SLA방식의 3D프린팅을 통해 일괄 제작하였다.



[Fig. 2] Irrigation valve design and field installation. Left: Technical drawing with dimensions and key components labeled. Right: Installed valve in a field setting

3.2 회로 제작

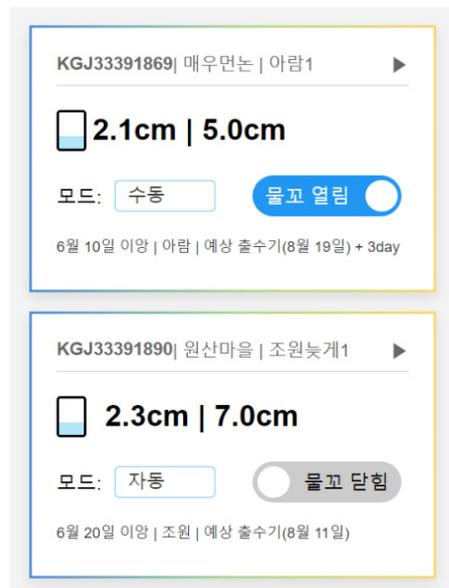
물꼬의 동작은 액추에이터가 실행한다. 사용자의 명령이 액추에이터에 도달할 수 있도록 아두이노 나노 보드, MAX3232, 2채널 릴레이, 레귤레이터, 커넥터 등을 사용하여 [Fig. 3]과 같이 회로를 구성하였다. 회로 구성을 위하여 소프트웨어 Fritzing을 사용하여 양면레이어의 PCB를 설계하고 관련 부품을 장착하였다. 통신을 위해 AM텔레콤의 Cat M1 통신 모듈, AMT5920을 사용하였다. AMT5920은 RS232통신을 제공하므로 아두이노 나노와의 직렬통신을 가능하게하는 MAX3232를 사용하여 회로를 연결하였다. 아두이노 나노에서 모뎀이 수용할 수 있는 AT명령어를 생성하여 모뎀을 통해 서버 측으로 수위 정보를 전송 할 수 있도록 프로그래밍하였다. 레귤레이터를 사용하여 아두이노 나노와 모뎀에 DC5V를 공급하고, 액추에이터에는 DC12V를 공급하였다. 액추에이터는 아두이노 나노로부터 전달받은 신호를 기반으로 2채널 릴레이를 통해 상하 이동 및 정지가 가능하게 구현하였다. 릴레이의 양 채널이 모두 닫히면 개폐문은 상승하고, 양 채널이 모두 열리면 멈추며, 한 채널만 열리면 하강한다. 개폐문의 상하 이동 한계는 액추에이터에 내장된 스위치를 통해 설정되었다.



[Fig. 3] PCB layout design and component placements

3.3 웹 페이지 제작

Amazon EC2를 서버로, Amazon RDS의 MySQL을 데이터베이스로 사용하여 웹 환경을 구축했다. HTML로 제작된 웹페이지는 물꼬에서 받은 수위를 표시하며 수위는 고객정보, 장치 식별키, 현재시간, 물꼬상태 등과 함께 데이터베이스에 저장된다. 고객이 웹페이지에 접속하면 정해진 간격으로 데이터베이스를 조회하여 가장 최신의 정보를 화면에 반영한다. 또한 웹페이지 내의 토글 조작을 통해 사용자 입력이 감지되면 고객정보와 장치 식별키를 기반으로 해당 물꼬에 사용자 명령을 전송할 수 있다. 사용자의 편의를 고려하여 다수의 물꼬 정보를 효



[Fig. 4] Web-based user interface for valve control and water level monitoring

과적으로 관리하고 표시하기 위해 각 물꼬에 대한 정보를 [Fig. 4]와 같은 카드형식으로 제공하며 사용자는 스마트폰 화면을 아래로 스크롤하면서 물꼬 정보를 확인할 수 있다. 각 카드에는 사용자 설정 값인 이앙일, 작동 모드, 품종 정보, 설정 수위, 설정 그룹 등의 추가 정보가 포함될 수 있어 사용자는 이를 통해 보다 세밀한 물 관리를 수행할 수 있다.

4. 결론

본 연구는 자동 물 관리 시스템의 구성요소인 사물인터넷 기반 물꼬를 개발하고자 추진하였다. 자동 물 관리 시스템에 대한 국내외 연구들은 다방면에서 진전을 이루어 왔으나 설치 초기 단계에서부터 웹 서비스에 이르기까지 모든 단계에서 비용을 절감하는 동시에 필수 기능을 보장하는 방향으로 세부적인 개선이 필요하다.

본 연구에서 개발된 물꼬는 설치가 간편하며 별도의 기반공사 없이도 기존의 농업 용수 유입관에 장착될 수 있다. 저전력 통신 기술인 Cat M1의 적용으로 기존의 통신 인프라를 활용하여 원격조작이 가능하여 웹 기반의 사용자 인터페이스를 통해 사용자는 언제 어디서나 물꼬의 상태를 확인하고 제어할 수 있다. 또한, 카드형식의 정보 제공은 각 물꼬에 대한 세밀한 관리를 가능하게 하며, 이는 더 효율적인 물 관리로 이어진다.

그럼에도 불구하고, 본 연구에서 개발된 물꼬는 여러 면에서 보완이 필요하다. 향후 개발 계획에는 사용자별 장치 등록과 관리 시스템을 포함하여, 생육 시기별로 수위를 자동으로 설정할 수 있는 스케줄러 기능 등이 포함될 것이다. 이러한 추가 기능은 자동 물 관리 시스템을 더욱 편리하고 지능적인 시스템으로 발전시킬 수 있다. 사용자 경험을 향상시키는 방향으로 지속적인 연구가 필요하다.

REFERENCES

[1] S.J.Ma, S.M.Lee, Y.G.Pack, I.C.Choi, J.H.Choi, T.W.Kim, M.G.Kim, J.A.Ryu, J.M.Lee, N.H.Kim, B.G.Lee, J.Y.Park and G.H.Kim, "Rural Areas & Youth: A Study on the Improvement of Rural Sustainability through the Young Generation (Year 1 of 2)," Korea Rural Economic Institute Research Report, R960, pp.3-4, 2022.

[2] "Results of the 2022 Agriculture, Forestry, and Fisheries Census", Statistics Korea, pp.13-14, 2023.

[3] J.Y.Eom, J.Y.Yoon, K.H.Park, S.J.Ma, B.Y.Kim, S.H.Kwon and D.W.Jeong, "Policy tasks to expand and stabilize agricultural jobs for an inclusive society (Year 1 of 3)," Korea Rural Economic Institute Research Report, R946, pp.94-96, 2021.

[4] J.Y.Eom, D.S.Park, S.Y.Jo, Y.J.Kim, C.W.Lee, S.R.Choi, S.J.Lee and Y.J.Shin, "Policy tasks for Foreign Worker Employment amid Changes in the Agricultural Employment Environment," Korea Rural Economic Institute Research Report, R905, pp.91-92, 2020.

[5] C.R.Im, "A Study on the Establishment of Farmland Use Plan for Efficient Use of Farming and Fishing Village Resources," Rural Research Institute Research Report, Vol.1, No.1, pp.1-10, 2018.

[6] J.G.Jeon, S.B.Lee, J.Y.Kim, S.J.Lee, G.H.Kim and B.C.Kim, "Manual and Automatic Water Gates for Paddy Field Water Management," Experimental Research Project Report: Agricultural Engineering Research, pp.263-269, 2008.

[7] "Guidelines for Mid-Season Water Management in Rice Cultivation for High-Quality Rice Production," <https://www.nongsaro.go.kr/>, 2016.

[8] D.S.Seo, J.Y.Park, S.M.Choo, U.J.Kim and J.H.Moon, "Study on Strategies for Smart Agriculture Development," Korea Rural Economic Institute Research Report, Vol.6, No.7, pp.1-5, 2020.

[9] Y.W.Yeo, I.B.Lee, K.S.Kwon, T.H.Ha, S.J. Park, R.W.Kim and S.Y.Lee, "Analysis of Research Trend and Core Technologies Based on ICT to Materialize Smart-farm," Protected Horticulture and Plant Factory, Vol.25, No.1, pp.30-41, 2016.

[10] J.H.Lee, "Japanese Smart Agriculture Policy: The Current State and Implications(Revised Edition)," Focus, GSJ, Vol.1, No.273, pp.1-17, 2020.

[11] J.J.Nam, "How Should We Promote Open-field Smart Agriculture?," Focus, GSJ, Vol.1, No.276, pp.1-15, 2020.

[12] J.Y.Eom, D.S.Park, S.Y.Jo, Y.J.Kim, C.W.Lee, S.R.Choi, S.J.Lee and Y.J. Shin, "Policy tasks for Foreign Worker Employment amid Changes in the Agricultural Employment Environment," Korea Rural Economic Institute Research Report, R905, pp.57-60, 2020.

[13] J.G.Jeon, S.B.Lee, J.H.Yoon and S.J.Lee, "Development of Automatic Water Gates for Paddy Water Management," Experimental Research Project Report: Agricultural Engineering Research, pp.255-270, 2006.

[14] J.S. Kim and J.S. Lee, "Auto flood-gate system for water supply of farm produce," Korean Patent Registration Gazette, pp.1-22, 2022.

[15] "Introducing a Simple Type Automatic Water Gate for Carbon Neutrality," <https://www.nongsaro.go.kr/>, 2023.

[16] Y.F.Zeng, C.T.Chen and G.F.Lin, "Practical application of an intelligent irrigation system to rice paddies in Taiwan", Agricultural Water Management, Vol.280,

pp.1-9, 2023.

- [17] "Field Water Management System WATARAS," https://agriculture.kubota.co.jp/product/rice_equipment/watering-WATARAS/, 2023.
- [18] "Results of the 2022 Rice Production Cost Survey", Statistics Korea, pp.1-4, 2023.

이 병 한(Byeonghan Lee) [정회원]



<관심분야>
농업, 사물인터넷

- 2014년 8월 : 경상국립대학교 건축공학과 공학석사
- 2021년 1월 ~ 현재 : 경상남도 농업기술원 지방농업연구사

성 덕 경(Deok-Gyeong Seong) [정회원]



<관심분야>
벼 육종

- 2023년 8월 : 경상국립대학교 농학과 농학박사
- 2008년 12월 ~ 현재 : 경상남도 농업기술원 지방농업연구사

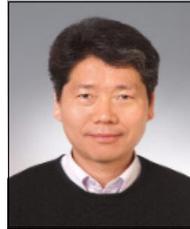
진 영 민(Young Min Jin) [정회원]



<관심분야>
작물 재배 생리, 기능성 성분 분리

- 2019년 8월 : 경상국립대학교 농화학과 농학박사
- 2022년 9월 ~ 현재 : 경상남도 농업기술원 지방농업연구관

황 연 현(Yeon-Hyeon Hwang) [정회원]



<관심분야>
원예, 수경재배

- 2003년 8월 : 경상국립대학교 원예학과 농학박사
- 2022년 8월 ~ 현재 : 경상남도 농업기술원 지방농업연구관

김 영 광(Young-Gwang Kim) [정회원]



<관심분야>
식량작물 육종 및 재배관리

- 2002년 8월 : 경상국립대학교 농학과 농학박사
- 2022년 8월 ~ 현재 : 경상남도 농업기술원 농업연구관