



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

IoT 기반 농업용
관정 제어시스템에 관한 연구

濟州大學校 大學院

機械工學專攻

李 東 洙

2024年 2月



IoT 기반 농업용 관정 제어시스템에 관한 연구

指導教授 朴潤鐵

李東洙

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2023年 11月

李東洙의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 강창남 印

委 員 박윤철 印

委 員 현명택 印

濟州大學校 大學院

2023年 11月



A Study on IoT-based Agricultural Well Control System

Dongsoo Lee

(Supervised by professor Youn Cheol Park)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement
for the degree of Master of Engineering

2023. 11.

This thesis has been examined and approved.

Thesis director, Chang Nam Kang, Prof. of Mechanical Engineering

Thesis director, Youn Cheol Park, Prof. of Mechanical Engineering

Thesis director, Myung Taek Hyun, Prof. of Mechanical Engineering

November 2023

Date

Department of Mechanical Engineering
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

| | |
|---|-----|
| List of Figures | i |
| List of Tables | iii |
| ABSTRACT | v |
| | |
| I. 서 론 | 1 |
| 1.1 연구배경 및 필요성 | 1 |
| | |
| II. 실증사이트 개요 | 3 |
| 2.1 실증사이트 및 주요활용 관정 선정 | 3 |
| 2.2 실증사이트 및 주요활용 관정 주변환경 조사 | 5 |
| 2.2.1 주요활용 관정 지하수 환경계측 | 5 |
| 2.2.2 실증사이트 노지채소 재배지 환경분석 | 9 |
| | |
| III. IoT 기반 농업용 관정제어시스템 개발 | 14 |
| 3.1 농업용 관정제어시스템 개요 | 14 |
| 3.2 농업용 관정제어시스템 개발 | 16 |
| 3.2.1 데이터 수집 모듈 설계 및 제작 | 16 |
| 3.2.2 농업용 관정 제어모듈 설계 및 제작 | 24 |
| 3.2.3 농업용 관수설비 구축 | 28 |
| 3.2.4 IoT 실시간 모니터링시스템 구축 | 31 |
| | |
| IV. IoT 기반 농업용 관정제어시스템 실증 및 운영 효과 | 35 |
| 4.1 농업용 관정제어시스템 실증 운영 | 35 |

| | | |
|-------|-----------------------------------|----|
| 4.1.1 | 점적관수 및 스프링클러관수 방식 비교 분석 | 35 |
| 4.1.2 | 재배작물 생육단계별 필요관수량 추정 | 37 |
| 4.1.3 | 다수 관정 균등 운전제어 기준 설정 | 43 |
| 4.1.4 | 다수 관정 최적 운전제어 조건 수립 및 실증 결과 | 45 |
| 4.2 | 노지채소 재배농가의 경제성 분석 | 48 |
| 4.2.1 | 농업용 관정제어시스템 LCC 분석 | 48 |
| 4.2.2 | 농업용 관정제어 기술 활용방안 | 52 |
| V. | 결 론 | 55 |
| | 참 고 문 헌 | 57 |

List of Figures

| | |
|--|----|
| Fig. 1 Demonstration site location map | 3 |
| Fig. 2 Investigation of underground water wells for agricultural use near the demonstration site | 4 |
| Fig. 3 Two major underground water wells selected in the final selection | 4 |
| Fig. 4 Location map of weather environment measurement site | 9 |
| Fig. 5 Soil test results of the demonstration site #1 | 12 |
| Fig. 6 Soil test results of the demonstration site #2 | 13 |
| Fig. 7 Overview of underground water well control data collection system | 16 |
| Fig. 8 Underground water well control data collection module design | 19 |
| Fig. 9 Design data collection module layouts | 23 |
| Fig. 10 Creating a data collection module | 23 |
| Fig. 11 Efficient underground water wells control logic | 24 |
| Fig. 12 Control system of piping water facilities in demonstration site #1 | 26 |
| Fig. 13 Control system of piping water facilities in demonstration site #2 | 26 |
| Fig. 14 Irrigation control system of demonstration site #1 | 27 |
| Fig. 15 Irrigation control system of demonstration site #2 | 27 |
| Fig. 16 Construction of irrigation facilities for agriculture | 29 |
| Fig. 17 Schematic construction of irrigation facilities | 29 |
| Fig. 18 Construction of irrigation facilities in the demonstration site | 30 |
| Fig. 19 Construction of irrigation tanks and pumping pumps | 30 |
| Fig. 20 Construction of irrigation pump rooms and pump facilities | 30 |
| Fig. 21 Monitoring system architecture | 31 |
| Fig. 22 Thermal imaging camera using a drone | 35 |
| Fig. 23 Thermal imaging camera analysis of conventional irrigation method (sprinkler) | 36 |
| Fig. 24 (a) Thermal imaging camera analysis, (b) Comparative graph of soil moisture content | 36 |

| | |
|--|----|
| Fig. 25 Empirical results of the multiple well optimization control system | 47 |
| Fig. 26 Annual yield and sales of demonstration site #1 | 49 |
| Fig. 27 Annual yield and sales of demonstration site #2 | 49 |
| Fig. 28 Jeju agricultural water integration wide area project plan | 53 |
| Fig. 29 Water supply system of Jeju agricultural water integration wide area project | 53 |
| Fig. 30 Underground water map of Jeju Island based on geospatial map | 54 |

List of Tables

| | |
|--|----|
| Table 1 Sequence of environmental measurement of underground water wells ... | 6 |
| Table 2 Environmental measurement of Odong-field underground water wells ... | 7 |
| Table 3 Environmental measurement of Jawundang-field underground water wells ... | 8 |
| Table 4 Average annual weather environment of the demonstration site | 9 |
| Table 5 Average annual soil environment of the demonstration site | 10 |
| Table 6 Average annual soil environment of the demonstration site | 11 |
| Table 7 Concept of IoT-based agricultural control system | 15 |
| Table 8 Development requirements for underground water well control data collection module | 17 |
| Table 9 Detailed design of underground water well control data collection module development | 18 |
| Table 10 Underground water well control data collection module part diagram ... | 20 |
| Table 11 Underground water well control data collection module circuit diagram key description | 21 |
| Table 12 Pipe water control logic and processes | 25 |
| Table 13 Monitoring system - Main page(Administrator mode) | 32 |
| Table 14 Monitoring system - Main page(Dash board) | 33 |
| Table 15 Monitoring system - Data page | 33 |
| Table 16 Monitoring system - Analysis page | 34 |
| Table 17 Monitoring system - Guide page | 34 |
| Table 18 Monthly beet growth process of demonstration site #1 | 38 |
| Table 19 About beet crop growth | 38 |
| Table 20 Monthly schedule of cultivated crops(beet) on demonstration site #1 ... | 39 |
| Table 21 Method of cultivation crop(beet) growth process of demonstration site #1 ... | 39 |
| Table 22 Monthly kohlrabi growth process of demonstration site #2 | 40 |
| Table 23 About kohlrabi crop growth | 41 |
| Table 24 Monthly schedule of cultivated crops(kohlrabi) on demonstration site #2 ... | 41 |

| | |
|---|----|
| Table 25 Method of cultivation crop(kohlrabi) growth process of demonstration site #2 | 42 |
| Table 26 Setting conditions according to cultivated crops | 43 |
| Table 27 AWS data near the demonstration site | 44 |
| Table 28 Estimated irrigation ranking and soil moisture setting values by schedule | 45 |
| Table 29 Establishment of well control operating conditions for September | 45 |
| Table 30 Establishment of well control operating conditions from the first week of October to the second week of October | 46 |
| Table 31 Establishment of well control operating conditions from the third week of October to the second week of November | 46 |
| Table 32 Establishment of well control operating conditions from the third to fourth weeks of November | 47 |
| Table 33 Cost analysis of economic effects | 50 |
| Table 34 Calculation of recovery period according to the capital recovery period method | 51 |

ABSTRACT

In the current global context, there is an urgent need to enhance water management systems to address abnormal temperatures and climate change. Particularly on Jeju Island, where a significant proportion of the population is engaged in agriculture, groundwater constitutes the highest recorded quantity nationwide, serving as a vital resource for numerous farms. However, due to insufficient water supply from limited wells, many agricultural enterprises frequently face challenges in irrigation, leading to a situation where efficient utilization and systematic management of agricultural groundwater facilities are lacking.

To tackle these issues, research is actively underway to explore technologies that can efficiently supply and manage irrigation. Among these, IoT-based agricultural irrigation control systems utilize soil and groundwater sensors to monitor crop conditions, measure irrigation quantities, collect data, and enable efficient control of groundwater facilities through control modules. This system also offers the advantage of real-time monitoring, allowing farmers to promptly access measured information and operational data through a monitoring system. Furthermore, the introduction of agricultural irrigation control systems proves essential as it enables the rapid recovery of initial investment costs within a short period.

Therefore, this paper aims to develop an agricultural irrigation control system based on Jeju Island's groundwater. The system seeks to efficiently manage groundwater, integrate smart farming practices, and enhance the productivity and quality of field vegetable cultivation through empirical data and economic analysis.

I. 서 론

1.1 연구배경 및 필요성

최근 기후변화로 인한 지구촌의 기상이변이 잦아지고 있으며, 지구온난화에 따른 증발산량 및 강수량의 증가는 집중호우, 홍수, 가뭄 등의 발생빈도를 증가시키고 있다.[1][2] 우리나라 역시 기후변화의 영향으로 평균기온, 강수량 및 집중호우의 발생 증가에 따라 효율적인 수자원 활용이 필요한 상황이다.[3]

지하수는 빗물의 지하 침투를 통해 끊임없이 보충되는 순환자원이며, 지구상에 존재하는 값진 부존자원 중 하나이다. 자연상태의 지하수량과 수질에 영향을 주지 않는 선에서 적절히 사용된다면 단기간에 적은 비용으로 용수를 공급할 수 있다는 측면에서 그 효율성이 높으며, 특히 적절한 관리를 통해 지속적으로 사용할 수 있는 재생 가능한 자원으로 활용성이 크다.[4] 또한, 생활용수, 공업용수, 농업용수 등 산업 전방위에 걸쳐 활용되고 있으며, 기후변화에 따른 수자원의 효율적 이용과 통합물관리 정책의 한 분야로 지하수 자원의 중요성이 대두되고 있어 지하수의 효율적이고 체계적인 관리를 통한 지속 가능한 수자원으로서의 활용이 가능할 것으로 기대된다.[5]

제주지역 수자원 개발 및 이용시설의 총 시설용량은 627,923천 m^3 /년이고 그 중 지하수가 4,818개소에 568백만 m^3 /년으로 전체의 90% 이상을 차지하고 있다. 농업용수 시설은 총 3,164개소로 시설용량은 931,615 m^3 /일이며, 96% 이상을 지하수로 활용하고 있다. 이는 제주지역의 지하수 의존도가 매우 높음을 확인할 수 있다. 또한, 제주도 내 지하수 개발·이용시설 4,818개소의 허가량은 1,579.1천 m^3 /일이고 이 중 농업용 지하수 관정은 총 3,231공으로 가장 높은 비중을 차지하고 있는데, 대부분 농업용 지하수 관정(3,157공)인 것으로 확인되었다.[6]

제주도는 화산섬으로 내륙지역과 다른 지형 및 지질의 특성으로 인해 상시 유출되는 하천이 없어 저수지와 댐 등 대규모 지표수자원 개발이 어려운 실정이며, 지하수를 농업용수, 냉난방 에너지원 등 지속 가능한 수자원으로 활용하기 위해서는 제주도 내 지역별, 관정별 지하수 이용량 분석이 필수적이다.[7]

지하수는 흐름과 함양량 등이 외부로 노출되지 않아 시각적으로 확인이 불가능하여 대수층 및 부존 특성, 취수량, 이용량 등에 대한 정확한 데이터 수집이 어렵다. 이에 현재 이용되고 있는 농업용 지하수 관정 시설의 효율적인 이용 및 체계적인 관리가 미흡한 상황이며, 농업용 지하수의 효율적인 공급방안에 관한 연구가 최근 들어 진행되는 추세이다.[8][9]

최근 ICT 기술 기반의 관정 간 연계를 통한 효율적 용수공급 기술을 개발하여 지하수 공급량이 서로 달라서 생기는 지역 간의 수자원 불균형을 해소하는 연구가 진행 중이며, 관정연계시스템을 적용하여 농업용수 공급량을 효율적으로 제어하였다.[10] 또한, 농업용수의 수요와 예측을 검토하여 효율적인 농업용수 공급방안과 물관리 일원화 정책에 부합하는 제주도 통합물관리 방안에 대한 연구가 진행되었다.[11]

현재 제주도의 일부 농가에서는 지역적 특성에 따라 하나의 관정을 다수의 농가가 사용하고 있어 농업용수의 공급이 부족해 불편을 호소하고 있다. 개별 관정을 효율적으로 활용하기 위해서는 물이 부족한 농가와 풍부한 농가 간의 효율적인 배분이 필요하며, 농가의 작물 종류, 생육 시기마다 필요로 하는 양수량이 상이하여 작물에 최적화된 관수제어 기술이 필요하다.

본 논문에서는 토양 및 지하수 센서, 데이터 수집 모듈, 관정 제어모듈, 관수 설비, IoT 실시간 모니터링시스템으로 구성된 IoT 기반 농업용 관정제어시스템을 개발하여 실증사이트 2곳에 구축하였다. 그리고 해당 실증사이트에 적절한 관수 방식을 적용하기 위해 분석을 실시하였으며, 재배작물의 생육단계별 스케줄링, 다수 관정 최적 운전제어 조건 수립을 통해 실증 결과데이터를 바탕으로 경제성 분석을 진행하였다. 이를 통해 효율적 물관리를 통한 제어로 농가의 생산성 및 품질을 향상시키고 향후 적용 가능한 분야 및 활용방안을 제시하였다.

II. 실증사이트 개요

2.1 실증사이트 및 주요활용 관정 선정

본 논문의 실증 운영 대상지인 ‘제주특별자치도 제주시 애월읍 신엄리 2437 일대’는 채소재배 농가인 농업회사법인 주식회사 길영농원의 재배지역으로 총 2개의 밭으로 이루어져 있으며, Fig. 1과 같이 편의를 위하여 각각 ‘실증사이트 #1’과 ‘실증사이트 #2’로 지칭하여 실증 운영을 진행하였다. 실증사이트 #1은 재배면적 총 3,595m² 규모로 비트를 재배작물로 운영하고 있으며, 실증사이트 #2은 재배면적 총 1,328m² 규모로 콜라비를 재배작물로 운영하고 있다. 두 곳 모두 지하수 관정을 기반으로 스프링클러를 통한 살수 관수로 재배작물에 물을 공급하고 있다.



Fig. 1 Demonstration site location map

실증사이트 인근 농업용 관정은 Fig. 2와 같이 옛저리 관정, 오동밭 관정, 자운당 관정, 용마루 관정, 제와니 관정으로 총 5곳의 후보군을 두었으며, 주요활용 관정 선정을 위해 각 관정별 불량, 파손, 누수, 노후화, 유지보수 필요사항 등 여러 점검 요소를 검토하였다. 조사 결과, 제와니 관정의 경우 용접부 균열과 배관 용접부 누수 등 전체적인 시설물 노후화로 인해 주요활용 관정 대상에서 제외하였으며, 용마루 관정의 경우에도 상부보호 시설 파손 및 배관 누수 등의 문제로 제외하였다. 최종적으로 Fig. 3과 같이 가장 활용성이 높고 직·간접적으로 연계된 오동밭 관정과 자운당 관정을 주요활용 관정으로 선정하였다.

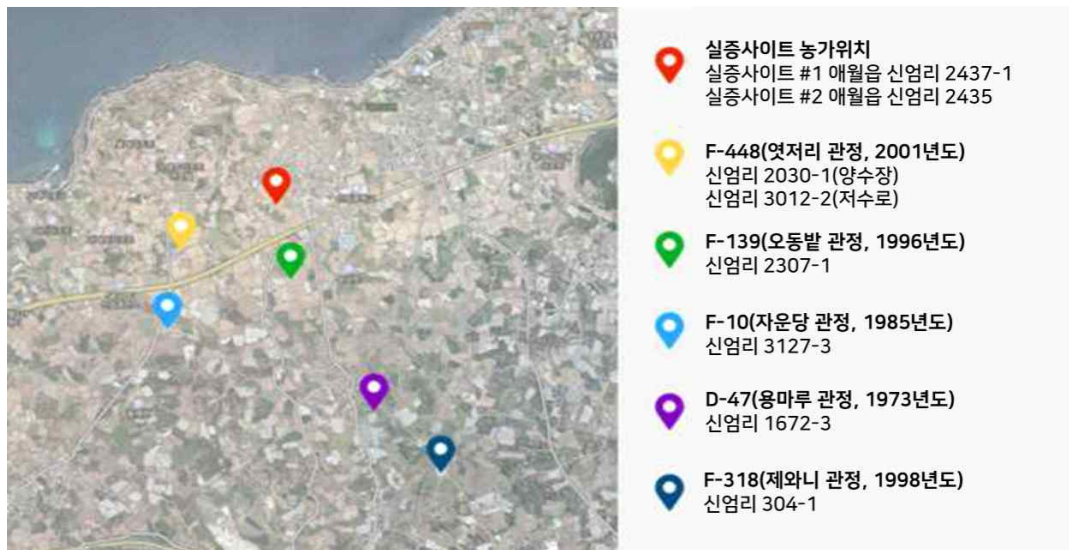


Fig. 2 Investigation of underground water wells for agricultural use near the demonstration site



Fig. 3 Two major underground water wells selected in the final selection

2.2 실증사이트 및 주요활용 관정 주변환경 조사

2.2.1 주요활용 관정 지하수 환경계측

지하수 환경계측을 위해 사용되는 지하수 센서는 지하수의 다양한 물리적, 화학적 및 생물학적 속성을 측정하고 지하수 시스템 관리에 필요한 정보를 제공하는데 중요한 역할을 수행한다. 이에 주요활용 관정으로 선정된 오동밭 관정과 자운당 관정의 현 상태를 점검하기 위해 지하수 환경계측 데이터 수집 및 분석을 진행하였으며, 지하수 센서 설치 과정은 Table 1과 같다. 먼저, 지하수 관측 센서 준비 단계로 수위, 압력, 수온, 전기전도도 등 측정이 가능한 센서를 준비하고, 지하수 관정에 삽입할 탈착식 고장력 방수케이블 그리고 현장 다운로드 전용 소프트웨어 시스템을 준비한다. 두 번째는 지하수 관측을 진행할 관정에 설치되어 있는 폴리에틸렌(PE) 파이프를 분리하는 단계로 파이프를 들어 올려 센서를 삽입할 준비를 한다. 세 번째는 분리된 파이프 안으로 지하수 관측 센서를 삽입하는 단계로 이 과정에서는 센서가 지하수까지 정확하게 도달할 수 있도록 신중하게 작업을 이행한다. 마지막으로 삽입한 지하수 관측 센서를 기반으로 해당 관정의 지하수위, 전기전도도, 지하수 온도, 수압, 센서 내부 배터리, 기압 등을 계측하고 기기를 통해 수집 및 확인한다. 이를 통해 주요활용 관정으로 선정된 오동밭, 자운당 관정 2곳의 계측을 진행하였다. 첫 번째로 오동밭 관정은 1년에 걸쳐 계절별 지하수 환경계측 분석을 진행하였으며, Table 2와 같이 지하수위(EL)는 6월과 봄 시기에 가장 낮았으며, 12월과 여름 시기가 가장 높은 것으로 나타났다. 반대로 지하수위(GL)는 겨울 시기에 가장 낮았지만, 봄 시기에 가장 높은 수치를 기록했다. 압력과 지하수 온도는 평균 13.33m, 15°C로 일정한 수치를 유지하는 모습을 보여주었으며, 전기전도도(EC)는 평균 150 μ s/cm를 유지하였다. 두 번째로 자운당 관정에서는 가을철 시기에 약 1개월의 기간을 설정하여 오동밭 관정과 비교하여 상대적으로 짧은 기간동안 환경계측 분석을 진행하였다. 계측 결과는 Table 3과 같이 지하수 온도, 전기전도도, 센서 내부 배터리, 수압, 센서 내부 기압의 항목에서 모두 일정한 수치를 보여주었다.

Table 1 Sequence of environmental measurement of underground water wells

Step 1. Groundwater sensor preparation



Step 2. Well pipe separation



Step 3. Insert groundwater sensor




Step 4. Measurement and collection



Table 2 Environmental measurement of Odong-field underground water wells

|  | Division | | | Avg | High | Low | | | |
|---|------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|----------|------------|--------|
| | Groundwater level (EL) | | | 12.16 | 17.49 | 8.55 | | | |
| | Groundwater level (GL) | | | 43 | 46.95 | 38.01 | | | |
| | Pressure | | | 13.33 | 18.38 | 9.34 | | | |
| | Water temperature | | | 15.53 | 19.29 | 15.11 | | | |
| | EC | | | 166.7 | 182 | 150 | | | |
| Month | Groundwater level (EL) | | | Groundwater level (GL) | | | Pressure | Water temp | EC |
| | Avg | High | Low | Avg | High | Low | Avg | Avg | Avg |
| 1 | 14.87 | 15.72 | 14.12 | 40.63 | 41.38 | 39.79 | 15.76 | 15.12 | 177.03 |
| 2 | 13.34 | 14.05 | 12.66 | 42.16 | 41.45 | 42.84 | 14.21 | 15.12 | 175.17 |
| 3 | 11.91 | 12.60 | 11.25 | 43.60 | 44.25 | 42.90 | 12.77 | 15.12 | 173.52 |
| 4 | 10.57 | 11.2 | 9.98 | 44.93 | 45.52 | 44.30 | 11.41 | 15.14 | 169.23 |
| 5 | 9.43 | 9.94 | 8.88 | 46.07 | 46.62 | 45.56 | 10.25 | 15.16 | 163.52 |
| 6 | 8.63 | 8.83 | 8.55 | 46.87 | 46.95 | 46.67 | 9.44 | 15.20 | 161.47 |
| 7 | 9.09 | 9.61 | 8.68 | 46.41 | 46.82 | 45.89 | 9.90 | 15.27 | 161.03 |
| 8 | 9.91 | 10.21 | 9.65 | 45.59 | 45.85 | 45.29 | 10.67 | 15.71 | 161.26 |
| 9 | 12.83 | 15.57 | 10.26 | 42.68 | 45.24 | 39.93 | 13.61 | 17.42 | 157.83 |
| 10 | 16.53 | 16.80 | 15.68 | 39.00 | 39.82 | 38.70 | 17.29 | 16.79 | 157.83 |
| 11 | 16.31 | 16.69 | 15.83 | 39.19 | 39.67 | 38.81 | 17.09 | 15.15 | 162.65 |
| 12 | 16.67 | 17.49 | 15.76 | 38.83 | 39.74 | 38.01 | 17.56 | 15.12 | 179.87 |
| Avg | 12.51 | - | - | 43.00 | - | - | 13.33 | 15.53 | 166.7 |

Table 3 Environmental measurement of Jawundang-field underground water wells

|  | Division | Avg | High | Low |
|---|------------------------------|-------|-------|-------|
| | Water temperature | 16.3 | 16.6 | 15.7 |
| | EC | 316.8 | 353.8 | 262.2 |
| | Battery inside sensor | 3.6 | 3.6 | 3.6 |
| | Water pressure | 35.4 | 35.5 | 34.9 |
| | Sensor internal air pressure | 959.4 | 960.8 | 957.1 |

| Day | Water temp | EC | Battery inside sensor | Water pressure | Sensor internal air pressure |
|------------|-------------|--------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| 10/15 | 16.5 | 353.8 | 3.6 | 35.4 | 960.8 |
| 10/16 | 16.5 | 306.8 | 3.6 | 35.4 | 960.7 |
| 10/17 | 16.5 | 272.0 | 3.6 | 35.5 | 960.6 |
| 10/18 | 16.5 | 304.2 | 3.6 | 35.5 | 960.5 |
| 10/19 | 16.5 | 326.4 | 3.6 | 35.5 | 960.5 |
| 10/20 | 16.4 | 339.9 | 3.6 | 35.5 | 960.4 |
| 10/21 | 16.4 | 338.5 | 3.6 | 35.5 | 960.2 |
| 10/22 | 16.4 | 337.7 | 3.6 | 35.5 | 960.2 |
| 10/23 | 16.3 | 329.2 | 3.6 | 35.4 | 959.4 |
| 10/24 | 16.1 | 316.3 | 3.6 | 35.3 | 958.8 |
| 10/25 | 15.9 | 313.8 | 3.6 | 34.9 | 957.9 |
| 10/26 | 16.1 | 340.4 | 3.6 | 35.1 | 958.8 |
| 10/27 | 16.0 | 340.7 | 3.6 | 35.2 | 958.2 |
| 10/28 | 16.2 | 340.9 | 3.6 | 35.3 | 959.0 |
| 10/29 | 16.4 | 351.6 | 3.6 | 35.5 | 959.9 |
| 11/2 | 15.7 | 291.8 | 3.6 | 35.4 | 957.1 |
| 11/3 | 16.0 | 320.9 | 3.6 | 35.4 | 958.2 |
| 11/4 | 16.1 | 337.4 | 3.6 | 35.5 | 958.8 |
| 11/5 | 16.0 | 331.1 | 3.6 | 35.4 | 958.5 |
| 11/6 | 16.0 | 334.5 | 3.6 | 35.4 | 958.3 |
| 11/7 | 15.7 | 296.9 | 3.6 | 35.4 | 957.1 |
| 11/8 | 16.4 | 274.9 | 3.6 | 35.5 | 959.9 |
| 11/9 | 16.6 | 262.2 | 3.6 | 35.5 | 960.5 |
| 11/10 | 16.6 | 277.2 | 3.6 | 35.5 | 960.4 |
| 11/11 | 16.5 | 279.5 | 3.6 | 35.4 | 960.2 |
| Avg | 16.3 | 316.8 | 3.6 | 35.4 | 959.4 |

2.2.2 실증사이트 노지채소 재배지 환경분석

실증사이트가 위치한 ‘제주특별자치도 제주시 애월읍 신엄리 2437 일대’ 지역은 주변에 높은 지형이 없고 약 700m 거리에 바다가 위치하고 있는 지역적 특성이 있으며, ‘자연녹지지역’에 해당하여 주변 대부분 지역이 같은 지리적 환경 특성을 보인다. 기상환경은 Fig. 4와 같이 실증사이트로부터 약 3.5km 떨어진 애월읍 제주지방기상청(K.M.A)과 약 388m 떨어진 신엄리 농업기술원(Agri.Jeju)의 정보를 수집하였다. Table 4와 같이 제주지방기상청과 농업기술원에서 관측된 연평균 기상 데이터를 정리하였으며, 애월과 신엄리 두 지점의 관측 결과는 대부분 비슷한 수치를 보였으나, 최저기온과 평균풍속의 경우 각각 1.2℃와 1.4㎍로 다른 기상요소에 비해 큰 차이를 보였다. 이는 비교적 지형적 영향을 많이 받는 풍속의 특성과 비교적 바람의 영향을 많이 받는 최저기온의 특성인 것으로 사료된다.



Fig. 4 Location map of weather environment measurement site

Table 4 Average annual weather environment of the demonstration site

| Annual average | Average temperature (°C) | High temperature (°C) | Low temperature (°C) | Daily precipitation (mm) | Maximum instantaneous wind speed (㎍) | Average wind speed (㎍) |
|----------------|--------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| K.M.A | 17.0 | 20.3 | 13.7 | 3.6 | 8.7 | 3.2 |
| Agri.Jeju | 16.5 | 20.6 | 12.5 | 3.9 | 8.9 | 1.8 |

초상기온은 지표에서 자라는 풀 위의 공기 온도, 온도계의 수감부가 짧은 잔디 옆 끝에 닿을 정도로 설치해서 측정한 기온을 말한다. 눈 위에서는 수감부가 눈에 닿지 않을 정도로 눈면에 접근해서 측정한 공기의 온도로 특히 농업 분야에서는 농작물의 생육과 관계가 깊은 초상 최저기온을 중요하게 여긴다. 토양온도 또한 식물의 생육, 미생물들의 활동, 토양생성작용 등에 중요한 역할을 미치는 요소이며, 지중온도보다는 지표온도인 토양온도가 밀접한 연관성을 가진다. 토양표면의 온도는 태양광선에 의한 영향을 많이 받으며, 토양온도를 결정하는 조건은 기온, 일사량, 풍속, 증발량, 토양의 피복 정도 등에 해당한다. 토양수분은 토양에 존재하는 물로서 토양 중에서 이동하거나 식물로 이동하며, 수분함량이 적으면 수분장력이 커져서 식물의 성장속도가 낮아지며, 수분함량이 너무 많으면 산소결핍으로 인해 식물의 생육이 감소하기 때문에 식물의 성장과 직접적인 연관성을 지닌다. Table 5는 각각의 실증사이트별 농업기술원 신임리 지점에서 농업, 농작물의 생육과 관련이 높은 초상온도와 토양온도, 토양수분의 연평균 데이터를 수집하여 정리하였는데, 실증사이트 #1의 경우 평균초상온도는 17.4℃, 최저초상온도는 13.7℃였고 평균토양온도는 18℃, 최고토양온도는 19.3℃, 최저토양온도는 16.9℃로 나타났으며, 평균 토양수분함유량은 32.7%로 확인되었다. 또한, 실증사이트 #2의 경우에는 평균초상온도는 18.3℃, 최저초상온도는 13.4℃였고 평균토양온도는 18.3℃, 최고토양온도는 21.5℃, 최저토양온도는 19.5℃로 나타났으며, 평균 토양수분함유량은 40.8%로 확인되었다. 이와 같이 토양환경과 농작물이 갖는 밀접한 연관성 때문에 초상온도 및 토양온도 분석과 더불어 실시간 모니터링을 통한 주기적인 관리가 필요하다.

Table 5 Average annual soil environment of the demonstration site

| Annual average | Average super temperature (°C) | Lowest super temperature (°C) | Average soil temperature (°C) | Highest soil temperature (°C) | Lowest soil temperature (°C) | Average soil moisture (%) |
|----------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| Site #1 | 17.4 | 13.7 | 18.0 | 19.3 | 16.9 | 32.7 |
| Site #2 | 18.3 | 13.4 | 18.3 | 21.5 | 19.5 | 40.8 |

실증사이트의 토양 검정을 위해 각 실증사이트 인근 5-10개 지점에서 겉흙을 1-2cm와 10-15cm 정도 옆면 작토부위의 흙을 채취하여 제주농업기술원에 토양검정을 의뢰하였으며, 각 실증사이트의 토양 검정 결과는 Fig. 5, 6와 같다. 첫 번째로 비트를 재배작물로 취급하는 실증사이트 #1의 경우, 토양 유형은 화산회토 임지, 토성은 미사질양토, 토양통은 중문통, 배수등급은 양호로 자갈이 많은 토양이며, 작물 뿌리의 뻗음이 나쁘고 경종관리가 어렵기 때문에 토심을 높이기 위해 자갈을 제거하거나 객토 등의 토양관리가 필요하다는 처방을 확인하였다. 또한, 토양 pH가 낮아서 아질산 가스 발생에 의해 작물 생육이 저조할 수 있으며, 석회질 비료를 살포해야 하고, 인산질 비료는 적게 주는 것이 좋으며, 지력은 좋은 편이나 모래가 많은 토양이므로 비료를 자주 나누어 주면 좋다는 결과도 함께 도출되었다. 두 번째로 콜라비를 재배작물로 취급하는 실증사이트 #2의 경우, 실증사이트 #1과 마찬가지로 토양 유형은 화산회토 임지, 토성은 미사질양토, 토양통은 중문통, 배수등급은 양호로 자갈이 많은 토양이며, 작물 뿌리의 뻗음이 나쁘고 경종관리가 어렵기 때문에 토심을 높이기 위해 자갈을 제거하거나 객토 등의 토양관리가 필요하다는 처방을 확인하였다. 또한, 대체로 지력이 낮은 토양이므로 생육 저하나 비절현상이 나타날 수 있으며, Table 6과 같이 토양 pH가 낮아서 작물 생육이 저조할 수 있으므로 석회질 비료와 퇴비를 살포해야 하고 인산질 비료는 적게 주는 것이 좋다는 결과도 함께 도출되었다. 추가로 일반적인 토양수분은 45% 내외가 적정하나, 실제 실증사이트의 토양 수분함량은 연평균 약 32.7%이고 토양의 습도는 20%가 채 되지 않아 적절한 관수 관리에 대한 필요성이 대두되었다. 하지만, 제주도의 토양 특성상 배수가 좋고 토양분석 결과 실증사이트 2곳 모두 배수 상태가 양호하다는 검정결과가 있어 토양의 수분 상태는 기상변화 등 외부 요인에 의한 차이가 존재할 것으로 확인되었다.

Table 6 Average annual soil environment of the demonstration site

| Division | Soil test (pH) | Soil moisture(%) (Agri.jeju, K.M.A) | Soil humidity(%) (Self-measurement) |
|----------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Site #1 | 5.2 | 32.7 | 21.62 |
| Site #2 | 5 | | 14.94 |



밭 토양 비료사용 처방서

□ 검지 현황

| | | | | | | | |
|-------|--|-----|--|-----|--------|------|----|
| 조사번호 | 2021-365 | 작물명 | 비트(화산,비화산-가을) | 면적 | 3,761㎡ | | |
| 경작자명 | | 경작지 | 제주특별자치도 제주시 여월읍 신엄리 2437-2 2437-3 2437-4 | | | | |
| 경작자주소 | | | | | | | |
| 토양유형 | 화산회토 임지 | 토성 | 미시질양토 | 토양통 | 중문통 | 배수등급 | 양호 |
| 토양특성 | 자갈이 많은 토양으로 작물 뿌리의 뻗음이 나쁘고 경종관리가 어렵기 때문에 토심을 높이기 위하여 자갈을 제거하거나 객토등의 토양관리가 필요합니다. | | | | | | |

□ 토양검정 결과



□ 비료 추천량 (kg / 3,761㎡) 비료와 퇴비는 각각 한 종류만 선택하여 사용하십시오.

| 구분 | 질소질비료 | | 인산질비료 | | 칼리질비료 | | 퇴비 종류 | | | | 소석회(석회고분) |
|-----|-------|-----|-------|-----|-------|------|-------|-------|------|-------|----------------|
| | 요소 | 유안 | 용성인비 | 용과린 | 염화칼리 | 황산칼리 | 우분퇴비 | 돈분퇴비 | 계분퇴비 | 혼합퇴비 | |
| 밀거름 | 81 | 178 | 404 | 404 | 55 | 66 | 5,640 | 1,241 | 959 | 2,034 | 1128 (1128) |
| 웃거름 | 78 | 171 | 0 | 0 | 55 | 66 | - | - | - | - | - |

< 참고 > 10a당 화학비료 성분량(밀거름/웃거름): 질소(9.9/9.6), 인산(21.5/0.0), 칼리(8.8/8.8)kg

□ 담당자 의견

- ▶ 비트(화산,비화산-가을) 재배시에 밀거름은 추천한 비료량을 사용하고 웃거름은 생육상태에 따라 다소 조절해 주셔도 됩니다.
- ▶ 이 시비처방서는 농업인 지도용이므로 타용도로 활용할 수 없으며 문의사항이 있으면 아래 연락처로 문의바랍니다.

제주특별자치도 농업기술원

토양검정일: 2021년 10월 13일 발급일자: 2021년11월01일

Fig. 5 Soil test results of the demonstration site #1

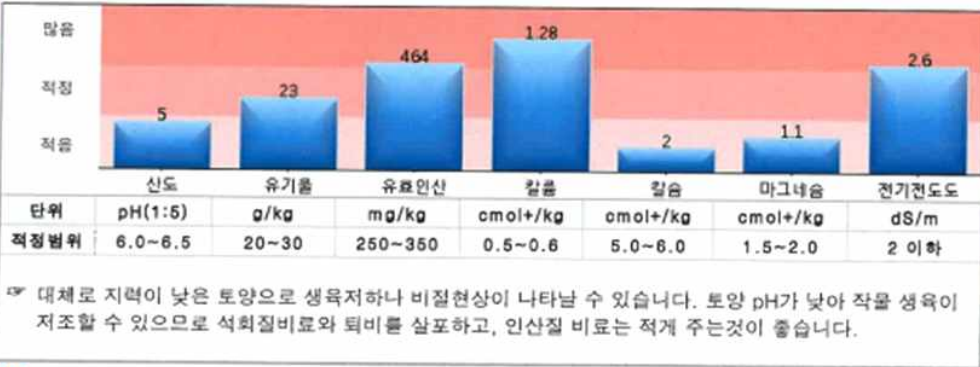


밭 토양 비료사용 처방서

경지 현황

| | | | | | | | |
|-------|--|-----|-------------------------------|-----|--------|------|----|
| 조사번호 | 2021-364 | 작물명 | 콜라비 | 면적 | 1,911㎡ | | |
| 경작자명 | | 경작지 | 제주특별자치도 제주시 애월읍 신업리 2435 2439 | | | | |
| 경작자주소 | | | | | | | |
| 토양유형 | 화산회토 임지 | 토성 | 미사질양토 | 토양용 | 중문봉 | 배수등급 | 양호 |
| 토양특성 | 자갈이 많은 토양으로 작물 뿌리의 뻗음이 나빠고 경중관리가 어렵기 때문에 토심을 높이기 위하여 자갈을 제거하거나 객토등의 토양관리가 필요합니다. | | | | | | |

토양검정 결과



비료 추천량 (kg / 1,911㎡) 비료와 퇴비는 각각 한 종류만 선택하여 사용하십시오.

| 구분 | 질소질비료 | | 인산질비료 | | 칼리질비료 | | 퇴비 종류 | | | 소석회 (석회고도) |
|-----|-------|----|-------|-----|-------|------|-------|------|------|-------------|
| | 요소 | 유안 | 용성인비 | 용과린 | 염화칼리 | 황산칼리 | 우분퇴비 | 돈분퇴비 | 계분퇴비 | |
| 밀거름 | 14 | 30 | 29 | 29 | 5 | 6 | 2,865 | 630 | 487 | 1,033 (573) |
| 웃거름 | 13 | 29 | 0 | 0 | 5 | 6 | - | - | - | - |

< 참고 > 10a당 화학비료 성분량(밀거름/웃거름): 질소(3.3/3.2), 인산(3.0/0.0), 칼리(1.5/1.5)kg

담당자 의견

- ▶ 콜라비 재배시에 밀거름은 추천한 비료량을 사용하시고 웃거름은 생육상태에 따라 다소 조절해 주셔도 됩니다.
- ▶ 이 시비처방서는 농업인 지도용이므로 타용도로 활용할 수 없으며 문의사항이 있으면 아래 연락처로 문의바랍니다.

제주특별자치도 농업기술원

토양검정일: 2021년 10월 13일 발급일자: 2021년11월01일

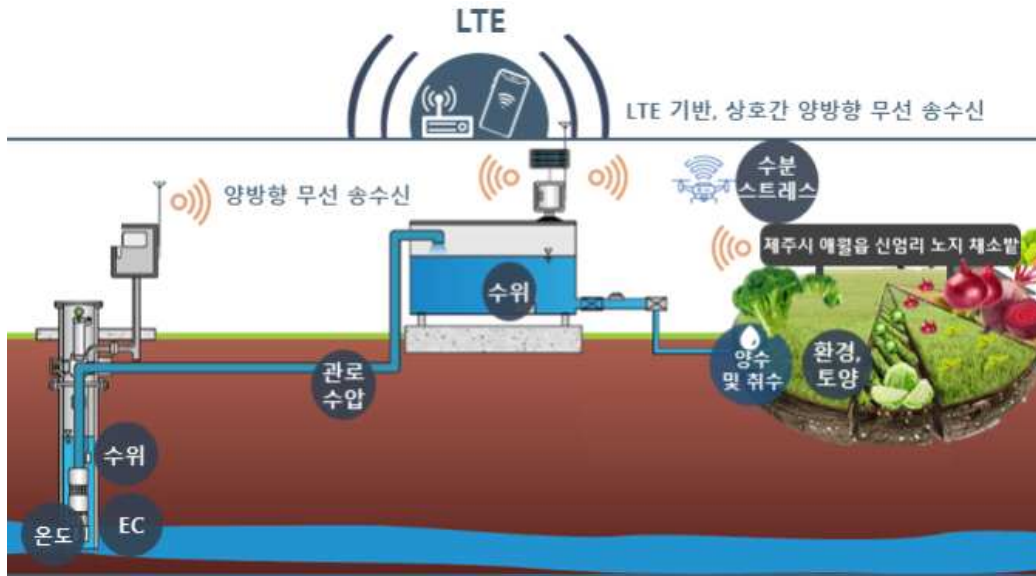
Fig. 6 Soil test results of the demonstration site #2

III. IoT 기반 농업용 관정제어시스템 개발

3.1 농업용 관정제어시스템 개요

본 논문에서 다루고자 하는 농업용 관정제어시스템은 센서부, 제어부, 관제부로 Table 7와 같이 크게 3가지 구성요소로 이루어져 있다. 먼저 센서부는 지하수를 관측하고 상태를 모니터링하는 역할로서 센서를 통해 지하수위, 수온, 전기전도도 등 지하수의 상태와 환경조건을 계측하는 역할을 담당하고 있다. 정확한 데이터 수집 이외에도 센서부는 높은 감도로 작동하여 비정상적인 수위 상승, 수질의 변화 등 이상 상황을 신속하게 감지할 수 있기 때문에 중요한 역할을 하며, 센서부에서 수집된 데이터는 분석 및 예측에 적극 활용될 수 있다. 두 번째로 제어부에서는 센서부로부터 수집한 데이터를 실시간으로 저장하는 역할을 진행한다. 동시에 상태모니터링을 통해 실시간으로 전송 및 연계하는 역할을 하고 있다. 또한, 사물인터넷(IoT) 기반 동시 계측 및 상호간 통신 네트워크 구축을 통해 지하수를 공급하거나 차단하며, 필요에 따라 관수를 위한 설비 및 관수를 제어하여 농작물의 생육환경을 조절하는 역할을 수행한다. 제어부에서는 미리 설정된 제어 알고리즘에 따라 관수 작업을 자동으로 수행하기 때문에 사용자의 개입 없이도 일관된 관수 제어를 실현할 중요한 역할을 하고 있다. 마지막으로 관제부에서는 개별관제 또는 중앙관제를 시스템화하여 원격제어하는 역할로서 모니터링시스템을 통하여 실시간으로 작물의 데이터를 수집하고 상태를 감지한다. 또한, 오류 등 특이사항을 감지하였을 경우 농가주에게 즉시 상황을 알려주어 작업의 편의성을 제공하고 작물 관리에 소요되는 시간과 노력을 줄여줄 수 있다. 이러한 농업용 관정제어시스템의 기대효과로는 지하수 자원 등 농업용수를 효율적으로 관리함으로써 농작물의 생산성을 향상시키고, 동시에 정확한 센서 데이터를 기반으로 자원을 절약할 수 있다. 또한, 정밀한 제어로 농작물의 품질을 향상시키고, 일관된 품질을 유지하고 환경 부담을 줄이며, 지속 가능한 농업 생산을 실현할 수 있다. 이러한 기대효과들은 농업의 생산성과 효율성을 향상시켜 농업 분야에서 경제적이고 환경친화적인 방향으로 발전하도록 도움을 줄 것으로 기대하고 있다.

Table 7 Concept of IoT-based agricultural control system



| Sensor part | Control part | Supervision part |
|--|--|--|
| <p>Agricultural water /ground water observation Status monitoring</p> <ul style="list-style-type: none"> Water temperature Groundwater level electrical conductivity etc. | <p>Equipment for irrigation, irrigation control</p> <ul style="list-style-type: none"> Real-time data collection and storage Real-time status monitoring transmission and connection Establishment of IoT-based simultaneous measurement and mutual communication network | <p>Individual control, central control system</p> <ul style="list-style-type: none"> Well systemization, remote control Based on real-time monitoring, status information collection and status detection Abnormality, error detection and alarm alarm Individual control DB information transferred to central control system |
| | | |

3.2 농업용 관정제어시스템 개발

3.2.1 데이터 수집 모듈 설계 및 제작

실증사이트 인근 주요활용 관정을 대상으로 관정 제어를 수행하기 위한 데이터 수집 시스템의 설계를 수행하였다. Fig. 7과 같이 실증 관정에 적용 가능한 시스템을 설계하였으며 관정에서 획득되는 데이터의 수집이 이루어지는 시스템 설계이며 PCB-BOARD에 부착된 MCU, Multi module, Wifi Module, Standard SIM Card, SD-Card, GNSS Module 등을 통해 데이터가 수집되는 형태로 구성하였다. PCB-BOARD는 전력 공급이 가능한 DC/DC Power Supply와 Cellular Antenna와 GNSS Antenna를 포함하며 데이터는 PCB-BOARD를 거쳐 Main Server(MQTT Broker)로 무선 통신되어 연계된다. Main Server를 통해 수집된 데이터의 분석을 수행하며, 이 데이터를 별도의 PC나 Mobile로 전송할 수 있다.

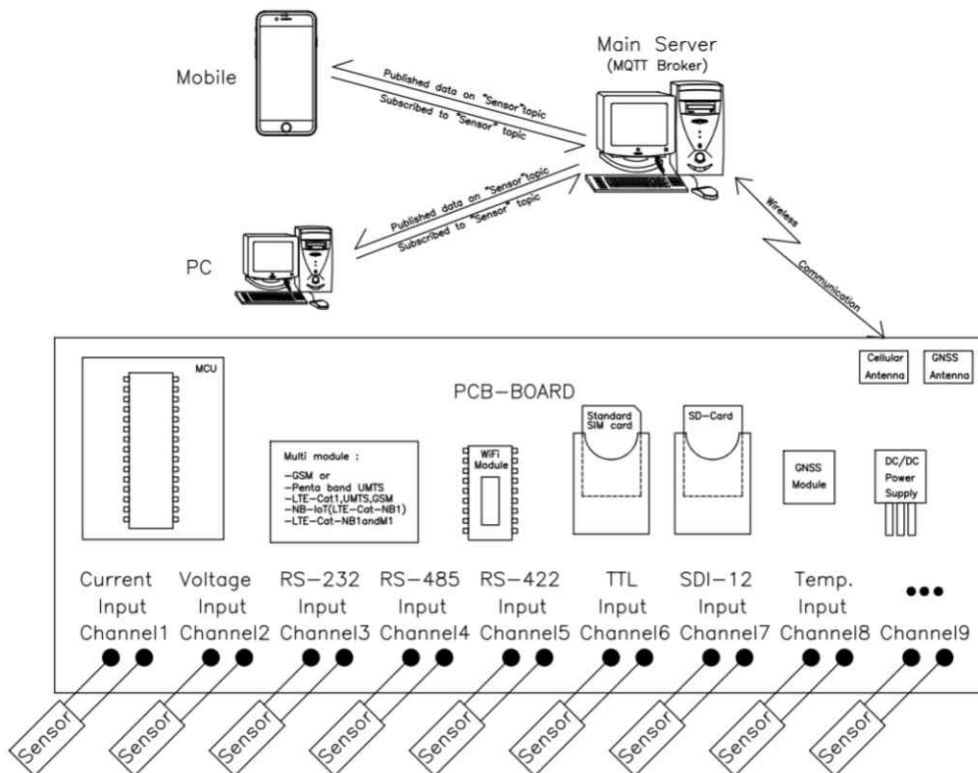


Fig. 7 Overview of underground water well control data collection system

시스템 설계도를 기반으로 데이터 수집 모듈을 개발하였으며, 초기 설계도를 기반으로 필요한 요구사항은 Table 8과 같다. 환경제어 데이터 수집을 위해서는 무선통신을 이용한 MQTT서버 전송기능, 수집된 데이터를 저장하는 기능, AC, DC 전원의 호환 기능 및 RS232, RS485, SDI-12, 4-20mA, 0-10V 출력을 가지는 다양한 센서 데이터 수집 기능이 요구되며, 낮은 소비전력 또한 필요하다.

Table 8 Development requirements for underground water well control data collection module

| Division | Development Requirements |
|----------|---|
| 1 | MQTT server transmission function using wireless communication |
| 2 | Collection of various sensor data with RS232, RS485, SDI-12, 4-20mA, 0-10V output |
| 3 | Collection data storage function |
| 4 | AC, DC power compatible function |
| 5 | Low power consumption |

위와 같이 정의한 설계 요구사항을 기반으로 상세 설계를 진행하였으며, Table 9과 같이 MCU, 입력포트, 데이터 저장, 와이파이 모듈, 전원부로 크게 구분하였다. MCU는 다양한 센서 입력 및 확장성을 고려하여 저전력의 ATMEGA2560을 사용한다. 입력포트의 경우에는 RS232 입력 2채널, RS286 입력 2채널, 아날로그 입력 8채널, 디지털 입력 8채널을 사용한다. 또한, 데이터 저장을 위해 Micro SD 카드를 사용하고 시간 정보를 위한 RTC 모듈을 사용한다. 와이파이 모듈은 저전력의 ESP01 모듈을 사용하며, 마지막으로 전원부는 AC 220Vac 입력전원 단자 1개, DC 7-26Vdc 입력전원 단자 1개를 사용한다.

Table 9 Detailed design of underground water well control data collection module development

| Division | Explanation |
|--------------------------------|---|
| MCU (Micro Controller Unit) | <ul style="list-style-type: none"> • Uses low-power ATMEGA2560 considering various sensor inputs and scalability |
| Input port | <ul style="list-style-type: none"> • RS232 input 2 channels • RS486 input 2 channels • 8 channels of analog input • 8 channels of digital input |
| Data storage | <ul style="list-style-type: none"> • Use Micro SD card • Use of RTC module for time information |
| Wifi module | <ul style="list-style-type: none"> • Use of low-power ESP01 module |
| Power supply | <ul style="list-style-type: none"> • 1 AC 220Vac input power terminal • 1 DC 7 - 26Vdc input power terminal |

요구사항 및 상세 설계에 맞춰 관정제어 데이터 수집 모듈을 설계하였으며 Fig. 8와 같이 최종안을 도출하였다. Table 10에서는 관정제어 데이터 수집 모듈 회로도에 포함된 구성품을 정리하였으며, Table 11에서는 구성품의 주요 목적 및 성능을 정리하였다. 대표적으로 J4의 DC/DC 컨버터는 입력 전원 5Vdc를 12Vdc, 24Vdc로 승압시켜주는 컨버터로 다양한 센서의 전원을 공급하기 위해 사용된다. J10의 RS485 to TTL 컨버터는 RS485 출력을 MCU에 사용 가능한 전압으로 바꿔주는 컨버터로서 RS485 통신 출력을 가지는 센서의 데이터를 취득하기 위하여 사용된다. D2-D5의 고휘도 LED는 장치 전원 LED, MCU 동작 LED, WIFI 동작 LED, MQTT LED로 데이터 수집 장치의 각종 상태를 확인하기 위해 사용된다. U2의 포토커플러는 단순한 스위치의 개념으로 On/Off 제어를 위한 부품이며 SDI-12 센서의 전원을 On/Off하기 위해 사용된다. J21의 4핀 커넥터는 5Vdc, 12Vdc, 24Vdc 출력을 가지는 포트에 다양한 센서의 전원을 공급하기 위해 사용자의 편의를 고려한 커넥터이다. J15의 6핀 커넥터는 4-20mA

Table 10 Underground water well control data collection module part diagram

| Name | Model name | Name | Model name |
|------|--------------|---------------------------|----------------------------|
| J1 | USB_A/F type | J19 | 5EHDR |
| J2 | AM2302 | J20 | 5EHDR |
| J4 | SUW100512B | J21 | 5EHDR |
| J5 | DS1302 | J22 | USB_A/F type |
| J6 | SZH-EK051 | J23 | MCU |
| J8 | RD079 | U1 | MAX3232 |
| J10 | SZH-CVBE-013 | U2 | G3VM-41Y1 |
| J12 | ada-3328 | R1, R3, R4, R11,R12 | SMD type resistor |
| J13 | ada-3328 | R2 | SMD type resistor |
| J14 | 5EHDR | R5, R6, R7, R8 | Axial type resistance |
| J15 | 5EHDR | R9, R10 | SMD type resistor |
| J16 | 5EHDR | C1, C2, C3, C4, C5, C6 | SMD type ceramic capacitor |
| J17 | 5EHDR | D1 | High brightness LED |
| J18 | 5EHDR | D2, D3, D4, D5 | High brightness LED |

Table 11 Underground water well control data collection module circuit diagram key description

| Name | Explanation |
|---------------|---|
| J1 | <ul style="list-style-type: none"> • USB_A type connector: Data acquisition device input power port, 5Vdc |
| J4 | <ul style="list-style-type: none"> • DC/DC converter: A converter that boosts input power 5Vdc to 12Vdc or 24Vdc • Purpose: Used to supply power to various sensors |
| J10 | <ul style="list-style-type: none"> • RS485 to TTL converter: A converter that changes RS485 output to a voltage usable by the MCU • Purpose: Used to acquire data from sensors with RS485 communication output |
| D2 - D5 | <ul style="list-style-type: none"> • High brightness LED • Purpose: Used to check various statuses of data collection devices ※ D2:Device power LED, D3:MCU operation LED, D4:WIFI operation LED, D5:MQTT operation LED |
| U2 | <ul style="list-style-type: none"> • Photocoupler: Part for On/Off control with a simple switch concept • Purpose: Used to turn on/off the power of the SDI-12 sensor ※ The SDI-12 sensor output must be turned on/off at all times to update the measured value |
| J22 | <ul style="list-style-type: none"> • USB_A type connector: USB port to supply power to the LTE module |
| J21 | <ul style="list-style-type: none"> • 4-pin connector: Port with 5Vdc, 12Vdc, 24Vdc output • Purpose: Connector considering user convenience to supply power to various sensors |
| J15 | <ul style="list-style-type: none"> • 6-pin connector: analog input port with 4-20mA input (4 channels) • Purpose: Connector considering user convenience to acquire data from various sensors with 4-20mA output |
| J20 | <ul style="list-style-type: none"> • 2-pin connector: analog input port with 0-5Vdc input (2 channels) • Purpose: Connector considering user convenience to acquire data from various sensors with 0-5Vdc output |

| | |
|-------------|---|
| J14 | <ul style="list-style-type: none"> 4-pin connector: 1 input port for RS485 communication (1 channel) Purpose: A connector for user convenience as a port for connecting the RS485 to TTL converter |
| J19 | <ul style="list-style-type: none"> 3-pin connector: input port for using one SDI-12 sensor (1 channel) Purpose: A connector for user convenience as a port for connecting SDI-12 sensors |
| J18 | <ul style="list-style-type: none"> 4-pin connector: 1 input port for RS232 communication (1 channel) Purpose: A connector for user convenience as a port for connecting RS232 to TTL IC (MAX3232) |
| J16, J17 | <ul style="list-style-type: none"> 3-pin connector: input port for using two RTD temperature sensors (2 channels) Purpose: A connector for user convenience as a port for connecting RTD sensor modules |
| U1 | <ul style="list-style-type: none"> RS232to TTL IC (MAX3232): Converter that changes RS232 output to a voltage usable by MCU Purpose: Used to acquire data from sensors with RS232 communication output |
| J12, J13 | <ul style="list-style-type: none"> RTD sensor module: A converter that allows the output of the RTS sensor to be used in the MCU Purpose: This converter is essential for using an RTD temperature sensor in an MCU and increases the accuracy of the RTD temperature sensor |
| J8 | <ul style="list-style-type: none"> Micro SD card module: Micro SD card module for data storage (maximum 2GB) |
| J6 | <ul style="list-style-type: none"> Wi-Fi module: Connect to the Wi-Fi provided by the LTE router and connect to the Intertek MQTT server |
| J5 | <ul style="list-style-type: none"> RTC (RealTime Clock) module: Module to provide time information when saving data |
| J2 | <ul style="list-style-type: none"> Temperature and humidity sensor: To acquire temperature and humidity data inside the data collection device |
| J23 | <ul style="list-style-type: none"> MCU (MicroController Unit): Uses ATMEA2560 as a microcontrol unit. Purpose: Receive data from various sensors and store them on the SD card, connect to the Internet through the Wi-Fi module, and periodically transmit sensor data to the Intertek MQTT server |

3.2.2 농업용 관정 제어모듈 설계 및 제작

효율적인 관정제어 로직은 Fig. 11과 같이 기상정보, 지하수위, 수요량 등 실시간 계측 정보 수집을 통한 관정제어를 통해 지하수 양수량을 조절하는 것으로 볼 수 있다. 기존 관수설비 설계도를 기반으로 관수제어시스템을 개발하였으며, Table 12과 같이 실증사이트 맞춤형으로 적용한 4단계의 관수 제어 로직 및 자동 제어 알고리즘 프로세스에 따라 관수 제어가 진행된다. 주변농가와 물 사용이 겹쳐 물 부족 현상이 발생하지 않도록 취수시간은 야간(ex. 20시부터 명일 4시)으로 설정하여 취수를 진행하였다. 그리고 레벨센서를 통해 측정된 수위가 상한점에 도달할 경우 취수밸브를 닫힘으로 설정하였다. 펌프를 이용한 관수 중에 물탱크의 수위가 하한점에 도달할 경우에는 펌프의 작동을 멈추고 비상시에 수동으로 운전하도록 설정하였다. 제어밸브는 스프링클러와 점적관수 두 가지로 두 개의 제어밸브가 모두 닫힘으로 되면 펌프가 멈추며 한 개의 밸브라도 열리면 다시 작동하도록 설계하였다. 또한, 관수 설정시간 중에 시간 간격을 설정하여 수분센서 값을 측정하며, 하한 수분값에 도달할 경우 제어밸브를 열고 상한 수분값에 도달할 경우에는 제어밸브가 닫히는 형태로 구성하였다.

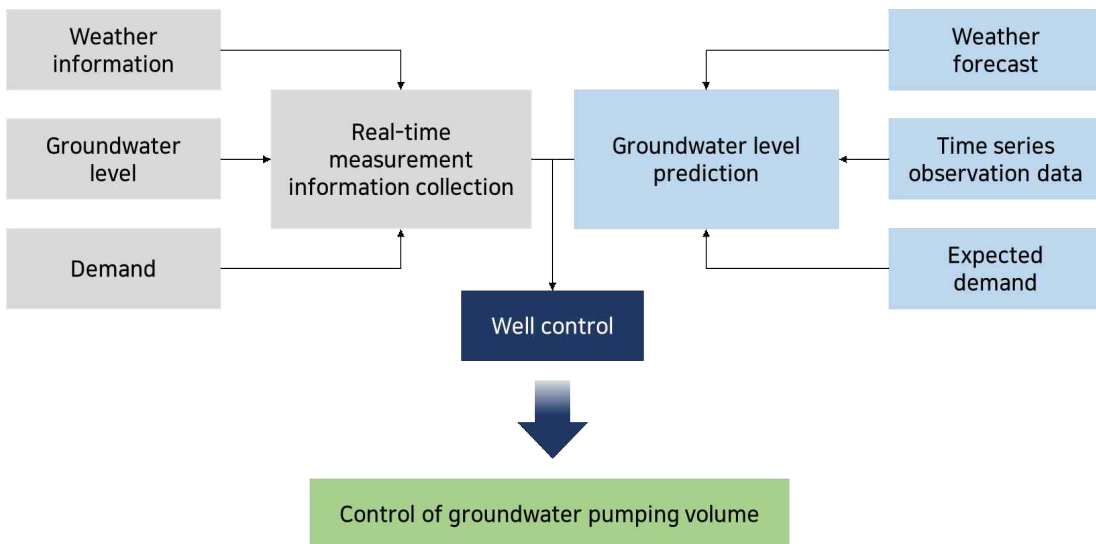
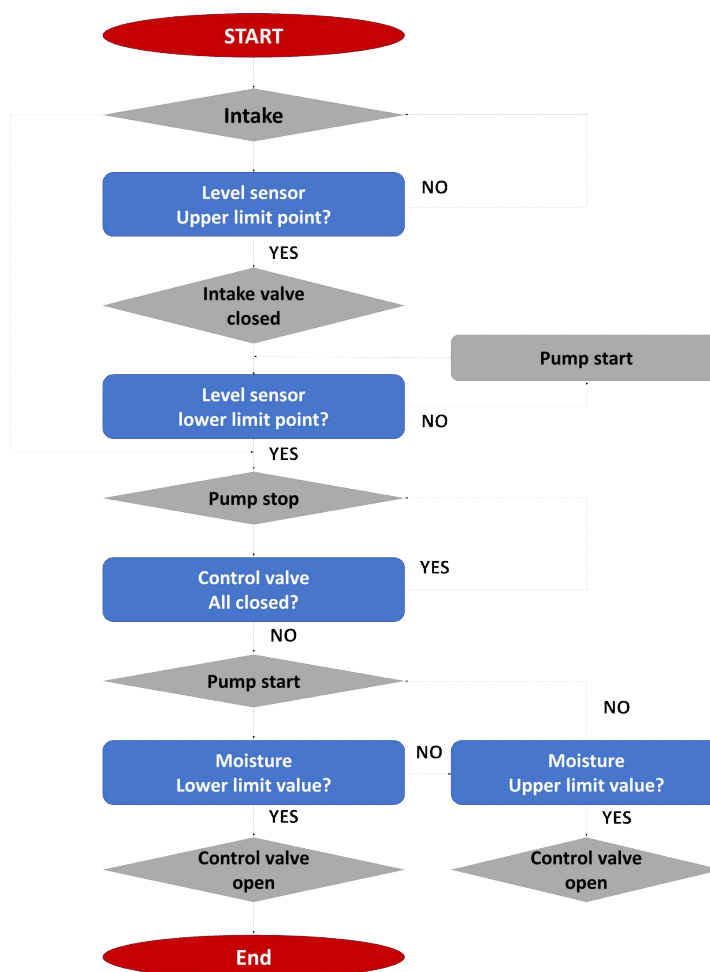


Fig. 11 Efficient underground water wells control logic

Table 12 Pipe water control logic and processes



| | |
|--------|---|
| Step 1 | <ul style="list-style-type: none"> • If the water level measured through the level sensor reaches the upper limit during water intake time (set to night), the water intake valve closes • The water intake time is set, for example, from 20:00 to 4:00 on Mondays (to prevent water shortage due to overlapping water use by surrounding farms) |
| Step 2 | <ul style="list-style-type: none"> • During irrigation using a pump, if the water level in the tank reaches the lower limit, the pump stops operating |
| Step 3 | <ul style="list-style-type: none"> • The pump stops when all sprinkler control valves are closed • When the control valve is opened, it operates again |
| Step 4 | <ul style="list-style-type: none"> • During the set irrigation time (8:00 - 18:00), the pump operates at set intervals (3 hours) to irrigate with water stored in the tank • If the water level measured through the level sensor does not reach the upper limit, the water intake valve opens and water is stored in the tank |

제어모듈을 제작하기 위한 표준 설계안을 토대로 실증사이트 #1, #2의 관수설비 제어모듈 설계도면을 Fig. 12, 13과 같이 설계하였으며, 각각 Fig. 14, 15와 같이 관정 제어모듈 제작을 완료하였다.

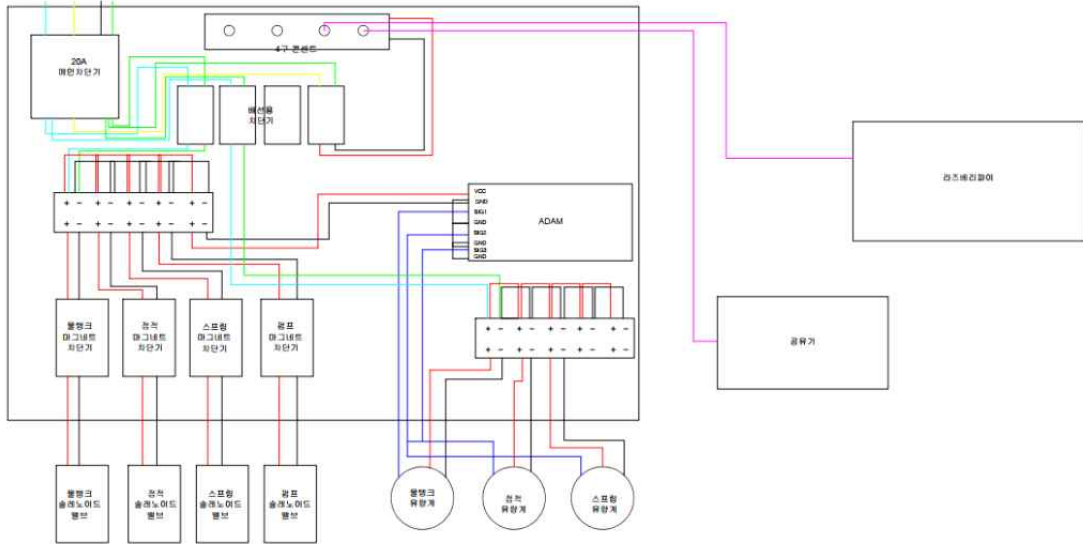


Fig. 12 Control system of piping water facilities in demonstration site #1

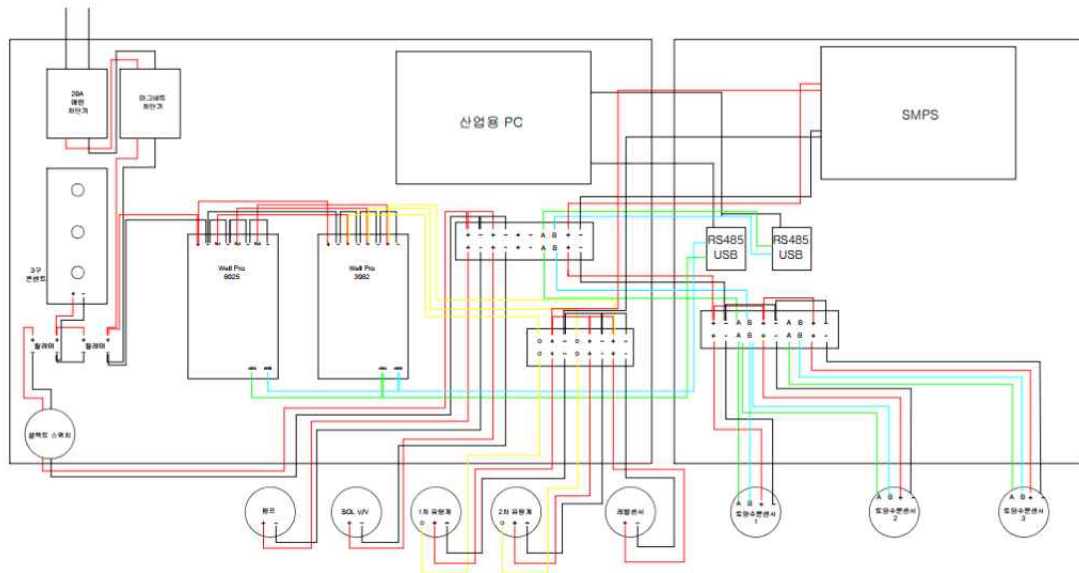


Fig. 13 Control system of piping water facilities in demonstration site #2



Fig. 14 Irrigation control system of demonstration site #1

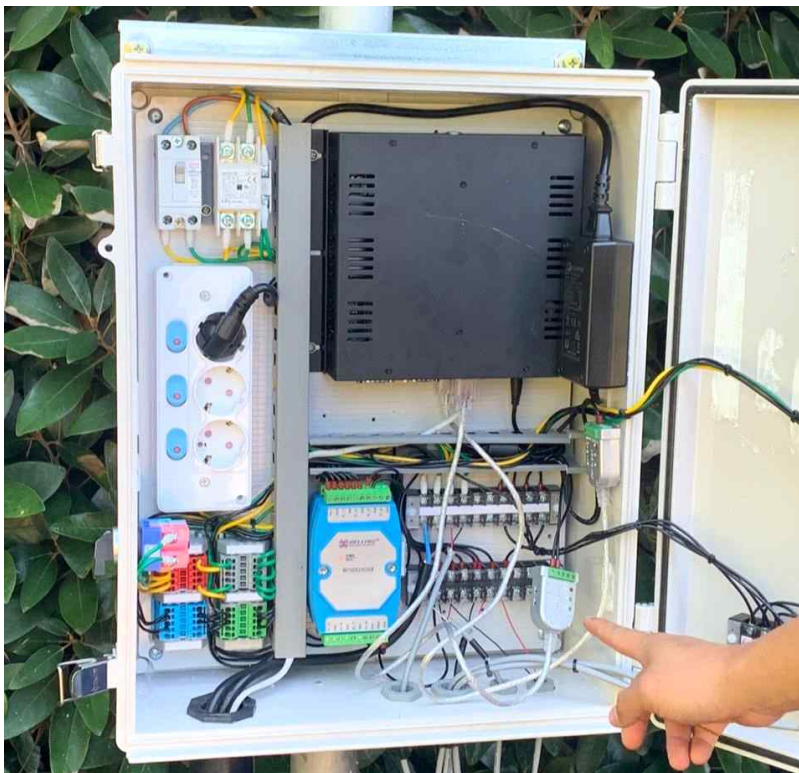


Fig. 15 Irrigation control system of demonstration site #2

3.2.3 농업용 관수설비 구축

실증사이트의 관수설비 제어모듈 설계 및 제작을 토대로 실제로 농업용 지하수 관정의 제어를 통해 농업용수의 활용 분배를 위한 시스템 설계를 해야 했지만, 지하수 관정이 가지는 특성과 실제 지하수 관정 대상의 제어가 어려운 점으로 각 실증사이트에 위치한 물탱크를 제어하는 방식으로 변경하여 진행하였다.

실증 농가에 물탱크를 설치하여 기존의 관수 방법인 수위차를 이용해 용수를 물탱크에 저장하였으며, 농가로 공급되는 관수라인 앞단에 인버터 펌프를 설치하여 물탱크에 저장되어있는 용수의 용량을 고려하여 대상 작물에 관수를 진행할 수 있도록 Fig. 16의 관수설비 설계도를 기반으로 Fig. 17와 같이 관수 제어시스템을 구축하였다. 먼저, 실증사이트 기준 대도로변에 농업용 전기 설비를 위해 메인전기 계량기함을 설치한다. 두 번째로 실증사이트와 농업용 전기 설비 중간 위치에 10톤 물탱크와 메인 제어반을 설치하고 지하수 관정 공급을 위한 인버터 펌프와 유량계, 전자변을 설치한다. 또한, 실증사이트 내에 구역을 나누어 점적관수와 스프링클러관수설비를 구축하고 그 옆에 CR100 제어반 및 PAR 센서를 구축하였다.

관정제어시스템의 표준 설계 구성을 기반으로 IoT 기반 다수 관정 및 다수 농가 상호 간 지하수 공급을 조절하여 노지 스마트팜에 농업용수를 균등하게 공급할 수 있도록 물탱크, 관수펌프, 배관, 제어반 등으로 구성하였다. 또한, 관수 시기를 파악하고 물 사용량이 적은 시간을 파악해 물을 비축하고 농가주 경험 및 센서 기반 데이터를 활용하여 자동으로 제어가 가능하도록 관수설비를 구축하였다.

이를 토대로 농가의 지하수 관정 기반 관수 배관을 Fig. 18과 같이 스프링클러를 통한 살수관수설비를 구축하였으며, Fig. 19, 20과 같이 관수 저장용 물탱크 및 펌프시설을 구축하였다. 실증 농가 대상의 관수설비 구축으로 실제 채소재배 농가가 가지고 있는 관수에 대한 어려움을 보완하고 효율적인 관수 관리가 가능할 수 있을 것으로 기대된다.

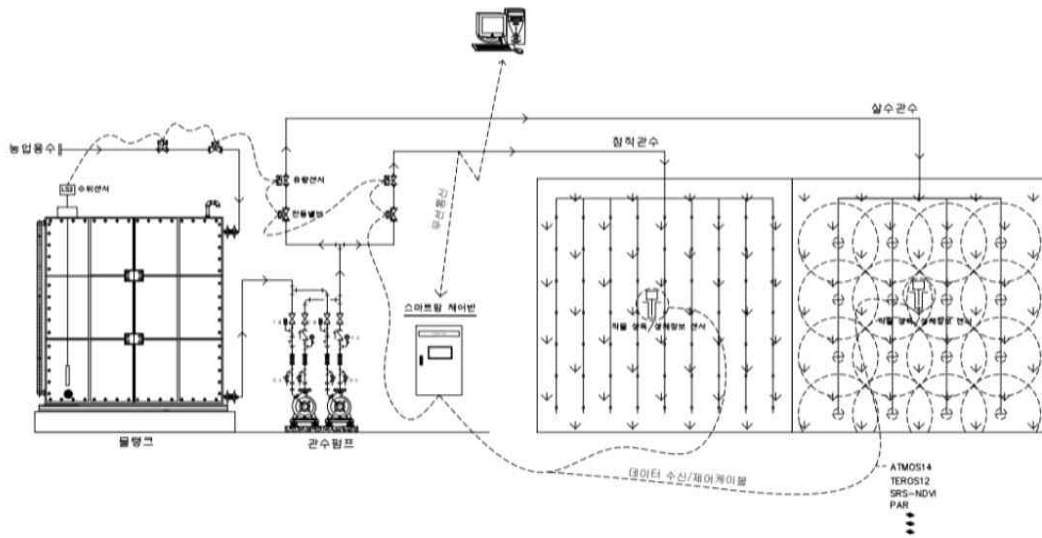


Fig. 16 Construction of irrigation facilities for agriculture



Fig. 17 Schematic construction of irrigation facilities



Fig. 19 Construction of irrigation tanks and pumping pumps



Fig. 20 Construction of irrigation pump rooms and pump facilities

3.2.4 IoT 실시간 모니터링시스템 구축

사물인터넷(IoT) 기반의 관정제어 모니터링시스템은 지하수를 효율적으로 관리하고 모니터링하는 시스템이다. 이 시스템은 다양한 센서와 장치를 활용하여 실시간으로 지하수 관정의 상태를 감지하고 데이터를 수집한다. 먼저, 관정에 설치된 센서들은 지하수위, EC, 온도 등과 같은 다양한 데이터를 측정한다. 이러한 데이터는 사물인터넷 기술을 통해 인터넷에 연결된 중앙서버로 전송된다. 중앙서버에서는 수집된 데이터를 분석하여 관정의 상태를 실시간으로 모니터링하고 필요한 조치를 취할 수 있다. 또한, 사물인터넷을 통해 관정제어가 가능한데 예를 들어 수위의 높낮이에 따라 게이트를 개방 혹은 폐쇄하여 물을 배출·저장할 수 있다. 이 시스템은 관정의 상태를 실시간으로 모니터링하는 기능뿐만 아니라 실증사이트의 환경 정보를 분석하여 이를 통해 미리 조치를 취하거나 관수 계획을 세울 수 있다. Fig. 21과 같은 IoT 기반의 데이터 수집 및 모니터링시스템 아키텍처(Architecture)와 같이 물의 효율적인 관리와 모니터링을 가능하게 함으로써 지하수 관정 및 실증사이트 운영의 효율성을 높일 수 있다.

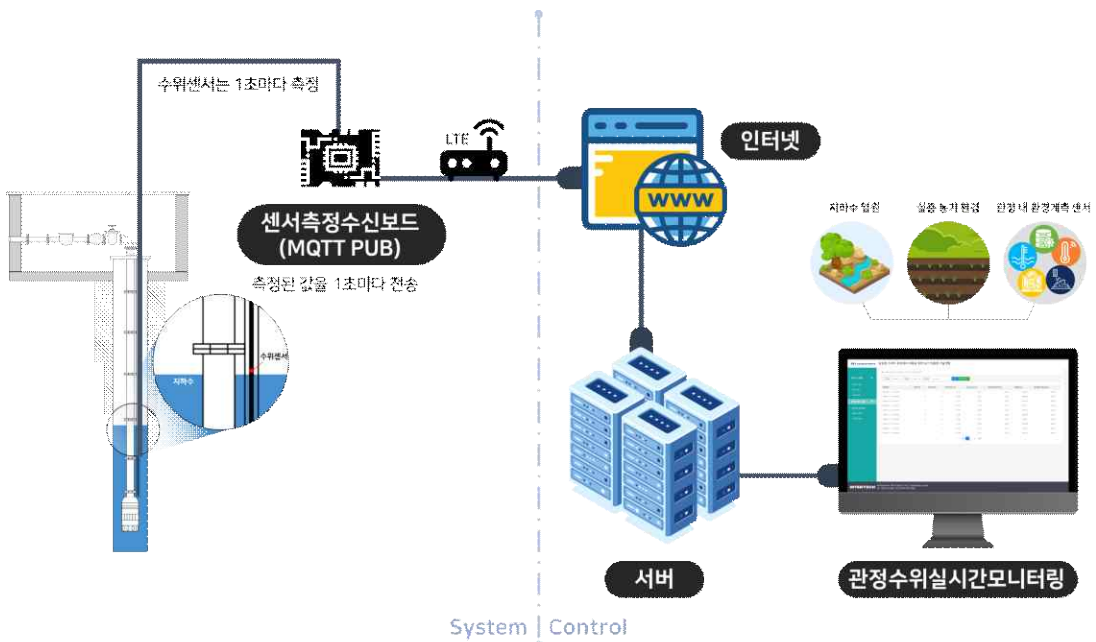


Fig. 21 Monitoring system architecture

실증사이트와 관정의 실시간 모니터링을 위한 관리자용 모니터링시스템을 개발하였다. 크게 총 5가지 페이지로 구성되어 있으며, 관리자 모드의 메인 페이지, Dashboard 형태의 메인 페이지, 관정에서 수집되고 있는 데이터와 기상청, 농업기술원 데이터를 연동하여 표출하는 데이터 페이지, 수집된 데이터의 통계분석 내용을 표출하는 분석 페이지, 관정 제어에 대한 관리자용 가이드 페이지로 구성하였다. 첫 번째로 메인 페이지는 관리자 페이지와 대시보드 페이지로 나뉘며 Table 13과 같이 관리자 페이지는 다수의 실증사이트를 확인할 수 있다. 대시보드 페이지는 Table 14와 같이 Dashboard 형태로 구성되어 수집되는 데이터의 실시간 시각화를 제공한다. 데이터 페이지는 Table 15와 같이 관정에서 수집되고 있는 데이터와 제주기상청, 농업기술원의 데이터를 연동하여 표출하여 준다. 분석 페이지는 Table 16와 같이 수집된 데이터의 통계분석 내용을 표출하며, 실시간 수집 및 저장된 데이터를 기간별로 설정하여 검색할 수 있도록 구성하였다. 마지막으로 가이드 페이지는 Table 17과 같이 관정 제어에 대한 관리자용 가이드를 제공하며, 작품의 재배특성, 주요 농작업 및 생육 과정, 재배환경 등을 확인할 수 있다.

Table 13 Monitoring system - Main page(Administrator mode)

| Interface Description | | | |
|-----------------------|----------------------------------|------------------------|------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Menu tab | Demonstration site selection tab | Demonstration site map | Login and logout |

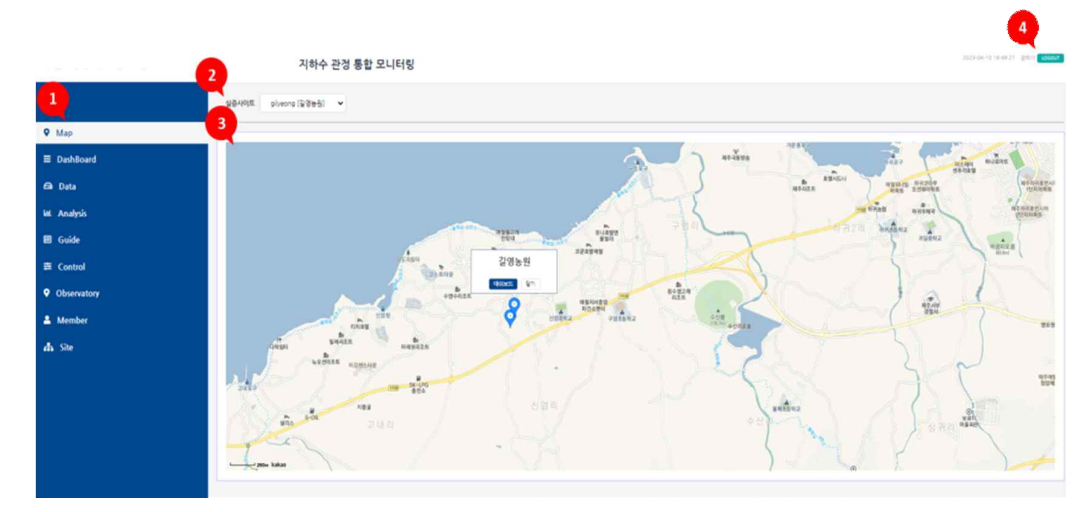


Table 14 Monitoring system - Main page(Dash board)

| Interface Description | | |
|-----------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| Menu tab | System configuration diagram | Demonstration site information |

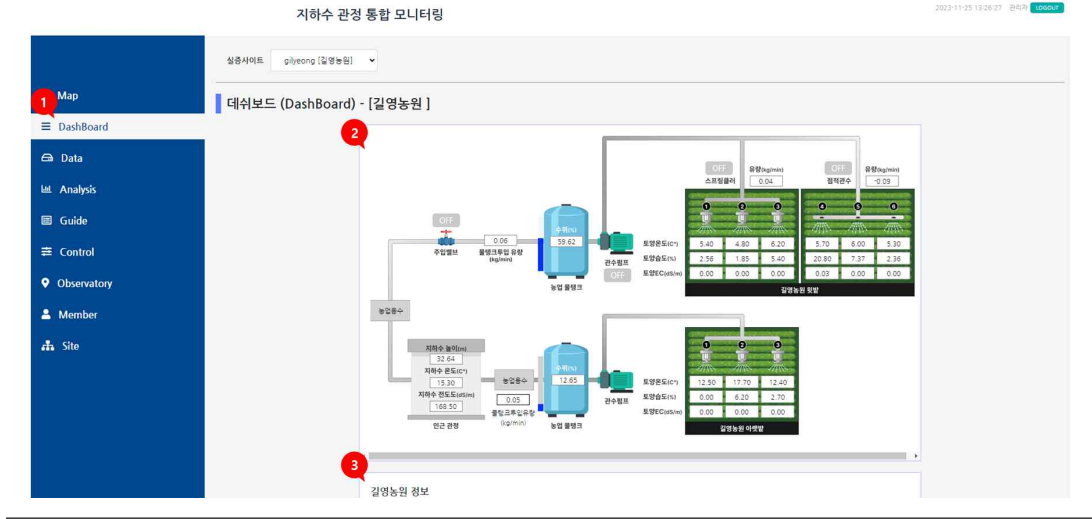


Table 15 Monitoring system - Data page

| Interface Description | | | |
|-----------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Menu tab | Data by demonstration site | Specify search date | Period unit settings |

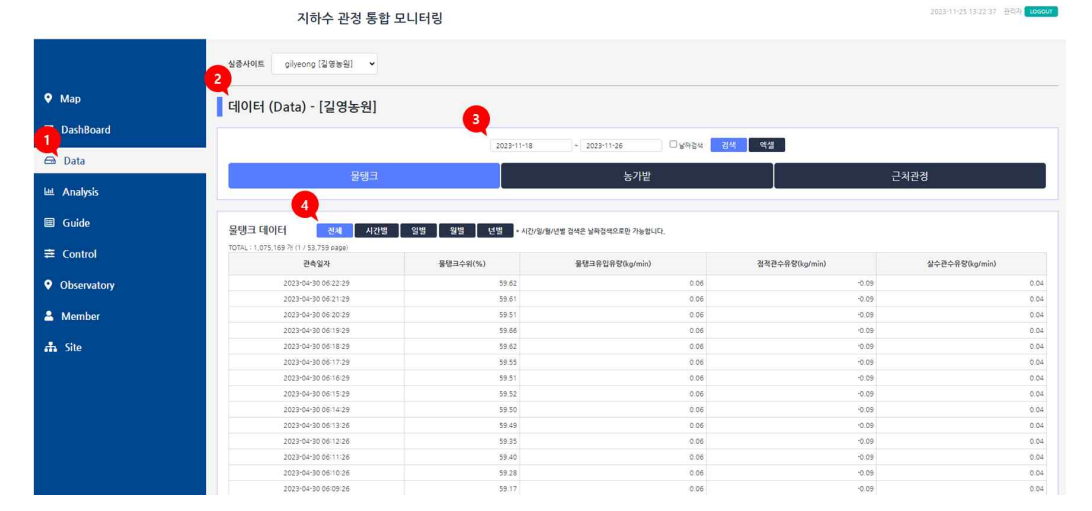


Table 16 Monitoring system - Analysis page

| Interface Description | | | |
|-----------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Menu tab | Data graph by demonstration site | Specify search date | Period unit settings |

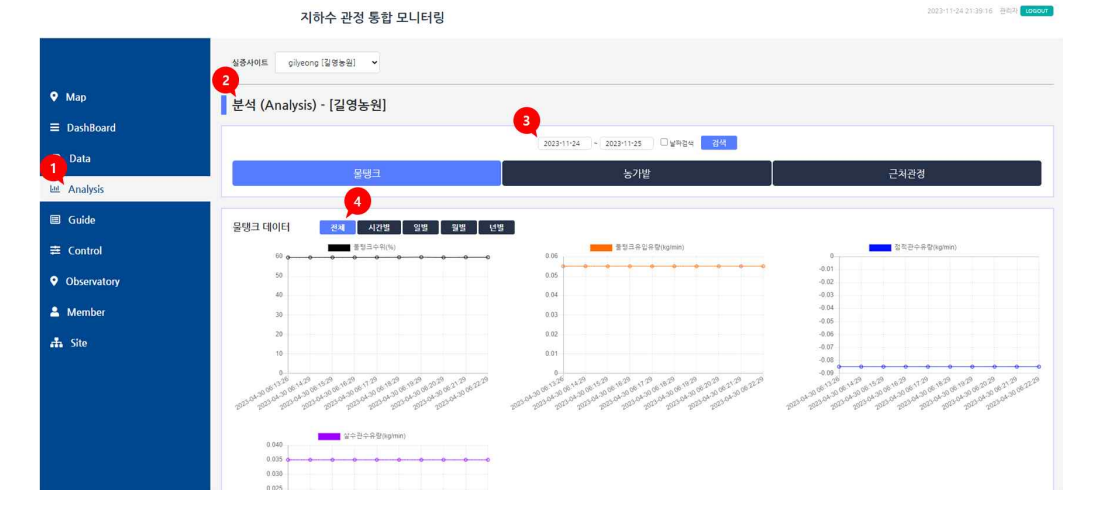
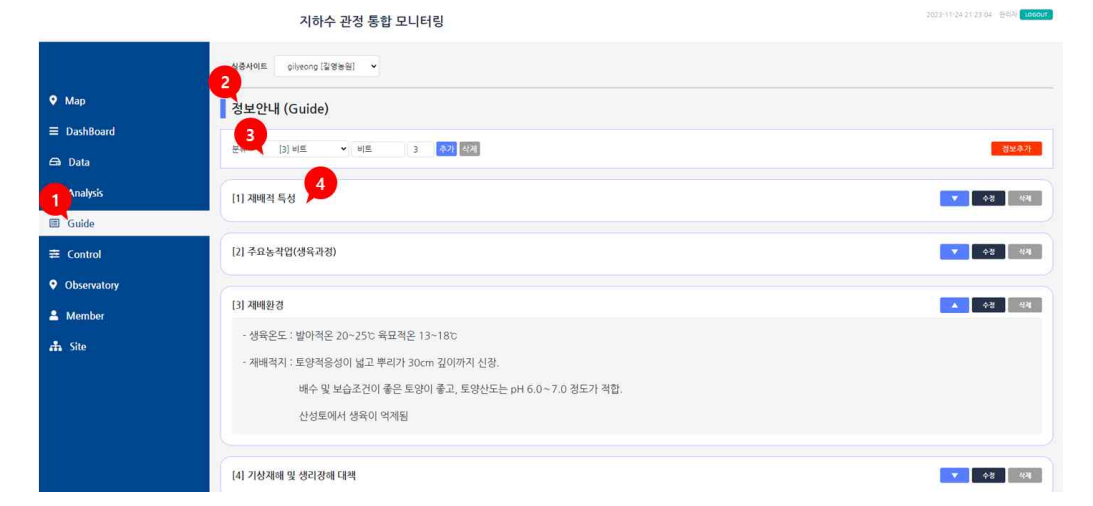


Table 17 Monitoring system - Guide page

| Interface Description | | | |
|-----------------------|-----------------------------|---------------------|------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Menu tab | Guide by demonstration site | Specify search crop | Read information |



IV. IoT 기반 농업용 관정제어시스템 실증 및 운영 효과

4.1 농업용 관정제어시스템 실증 운영

4.1.1 점적관수 및 스프링클러관수 방식 비교 분석

효율적 관수관리 방안 체계 구축을 위해 실증사이트의 노지채소 재배 농가를 대상으로 Fig. 22와 같이 드론을 활용하여 열화상 촬영을 진행하였다. 그리고 이를 통해 스프링클러관수와 점적관수 방식을 비교 분석하였다. 먼저, 기존 실증 농가의 관수 방식은 스프링클러를 활용한 살수관수 방식으로 모든 작물에 골고루 관수가 되지 않는 구조이다. 스프링클러는 기본적으로 동그란 원의 형태로 관수가 이루어지며, 관수 중심 부분과 소외 지역은 관수가 제대로 되지 않는다. Fig. 23과 같이 스프링클러관수 방식의 열화상 카메라를 통해 촬영한 이미지를 보면 관수가 되는 곳과 이를 제외한 스프링클러의 중앙 부분 등 물이 가지 않는 범위의 차이가 확연히 나타났다. 스프링클러의 설치 간격으로 보아 소외되는 지역이 있는 등 관개 균일도가 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 재배지 하단으로 갈수록 수압이 약해 충분한 관수가 이루어지고 있지 않은 상태로 충분하고 적절한 관수가 필요한 농업 측면에서 이와 같은 스프링클러관수 설비는 생육 발달에 직·간접적인 영향을 미쳐, 생육의 발달은 물론 작물의 품질 측면에서도 큰 차이를 보이는 등의 한계가 존재할 것으로 판단된다. 따라서, 농작물별로 필요관수량을 관수할 수 있는 관수설비가 적용되어야 한다.

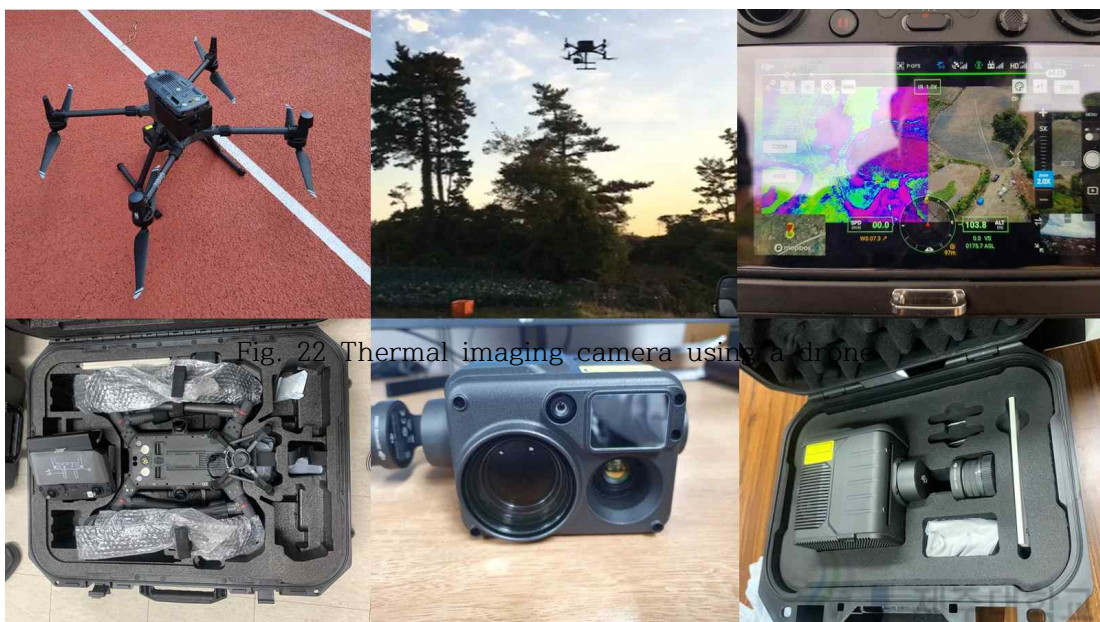


Fig. 22 Thermal imaging camera using a drone

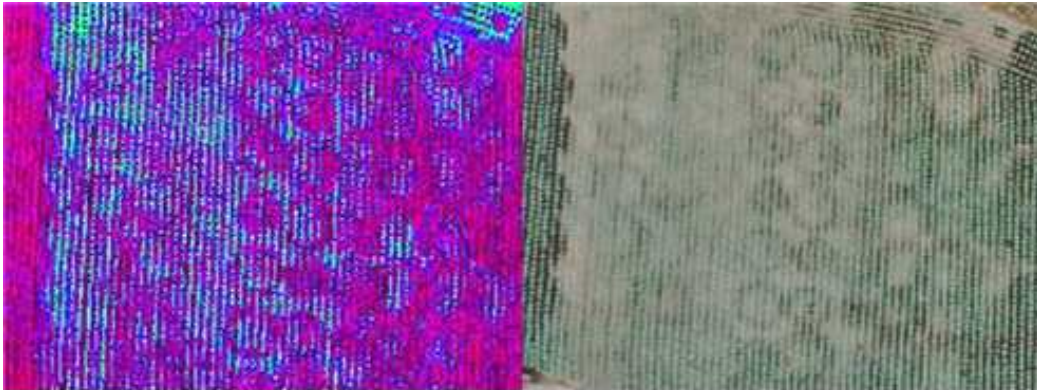


Fig. 23 Thermal imaging camera analysis of conventional irrigation method (sprinkler)

이 같은 문제를 해결하기 위하여 실증사이트의 일부를 점적관수로 교체하여 Fig. 24 (a)와 같이 열화상 카메라로 확인하고 같은 시간에 관수를 진행하여 토양 수분함량을 비교 분석하였다. 그 결과 열화상 카메라에서는 Fig. 24 (b)와 같이 점적관수가 스프링클러보다 관개 균일도가 높아 작물에 충분하고 적절한 관수가 가능함을 보였고 일제 토양수분 측정 결과에서도 토양 수분함량이 약 2배가량 높음을 확인할 수 있었다.

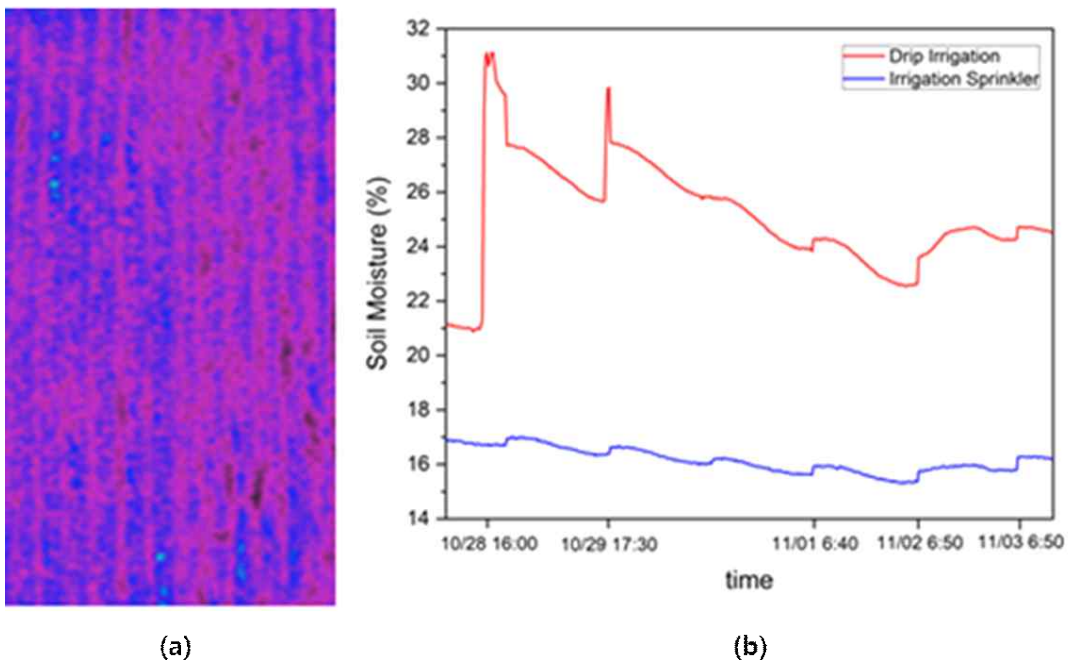


Fig. 24 (a) Thermal imaging camera analysis, (b) Comparative graph of soil moisture content

4.1.2 재배작물 생육단계별 필요관수량 추정

비트는 비름과의 식물로 생육과정에 대한 주요 농작업은 파종 → 관리(거름 및 제초 등) → 수확의 흐름으로 진행되며, Table 18과 같이 봄재배와 여름재배, 가을재배로 구분할 수 있다. 여름재배의 경우 기온이 낮은 고랭지 지역에서 이루어지며, 제주도의 경우 봄재배와 가을재배를 진행하나, 실증사이트 #1의 경우 가을재배를 진행하였다.

실증사이트 #1이 위치한 제주도 지역의 경우 육지에 비해 기온이 높고, 농가주의 경험적인 요인이 반영되어 Table 19와 같이 비트 작물의 생리·생태적 특성을 알아, 생육, 추대 및 개화, 토양으로 구분하여 비트 작물 생육에 대한 일반적인 내용을 정리하였다. 첫 번째로 발아의 특성으로 비트 종자의 발아온도는 8-30℃로 11℃에서 가장 좋은 발아율을 보인다. 4℃에서는 발아하지 않지만, 이 온도에서 60일간 유지된 후 30℃로 옮겨져 발아한다. 두 번째로 생육의 특성으로 비트 작물은 서늘한 기후를 좋아하며, 적온의 범위는 13-18℃이다. 22℃ 이상에서는 동화기능의 저하로 생육이 억제되어 품질이 좋지 않으며, 내한성은 비교적 강하다. 세 번째로 추대 및 개화의 특성으로 비트 작물의 꽃눈분화는 발아 후 4-10℃에서 15일 이상 경과하면 분화된다. 저온의 민감도는 발아할 때부터 증가하며, 오래된 식물에서도 반응이 잘 나타나는 편이다. 꽃눈분화 후에는 장일, 고온 조건에서 추대로 진행된다. 마지막으로 토양의 특성으로 토양 적응성은 넓고 뿌리는 깊이 3m까지 신장하므로 배수가 좋고 보습 조건이 좋은 토양에서 작물의 품질이 좋다. 또한, pH 5.6-6.7의 약산성에 적합하며, 산성토에서는 생육이 억제된다.

이를 기반으로 Table 20과 같이 비트 작물의 월별 스케줄링을 설정하였으며, Table 21과 같이 생육 및 관수관리 방법을 통해 필요관수량을 추정하였다. 월별 스케줄링 결과, 비트의 수분스트레스 기간은 11월로 설정하였으며, 실증사이트의 작물별, 생육단계에 따른 관수는 토양 수분센서 및 온도 값에 따라 제어가 가능하고 재배작물의 관수에 따른 수분함량 등을 분석하여 관수량을 결정할 수 있었다. 또한, 물관리는 생육시기별로 달리해야 하며, 토양특성과 수확기 작물 기준을 고려하여 관수기간과 관수량을 결정한다는 결과를 도출하였다.

Table 18 Monthly beet growth process of demonstration site #1

| Division | Jan | Feb | Mar | Apr | May | June | July | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
|--------------------------------|--------------------|----------------------|--------|---------------------------------|-----|------------------|--------|-------------|------------|---------------------------------|-------------|-----|
| Beet growing process (R.D.A) | Spring cultivation | | | | | Fall cultivation | | | | | | |
| | | Base soil management | Sowing | Laugh Manure Junggyeong Weeding | | Harvesting | | Founda tion | Sowing | Laugh Manure Junggyeong Weeding | Har vesting | |
| Beet growing process (Site #1) | | | | | | | Sowing | Meal | Irrigation | | Harvesting | |

Table 19 About beet crop growth

| | |
|-----------------------|--|
| Germination | <ul style="list-style-type: none"> The germination temperature of seeds is 8-30°C Best germination rate at 11°C It does not germinate at 4°C, but is maintained at this temperature for 60 days and then moved to 30°C for germination |
| Growth | <ul style="list-style-type: none"> Prefers cool climate, optimal temperature range is 13-18°C Above 22°C, growth is inhibited due to a decrease in assimilation function, resulting in poor quality, and cold resistance is relatively strong |
| Plantation, flowering | <ul style="list-style-type: none"> Flower buds differentiate after more than 15 days at 4-10°C after germination. Sensitivity to low temperature increases from germination, and even older plants tend to respond well. After flower bud differentiation, plant under long-day, high-temperature conditions. |
| Soil | <ul style="list-style-type: none"> Soil adaptability is wide and roots extend up to 3m deep, so crop quality is good in soil with good drainage and good moisture conditions. It is suitable for slightly acidic pH of 5.6-6.7, and growth is inhibited in acidic soil. |

Table 20 Monthly schedule of cultivated crops(beet) on demonstration site #1

| Division | Jan | Feb | Mar | Apr | May | June | July | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
|--------------------|---|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|--------|------------|-------------------|------------|
| Cultivation method | | | | | | | | | Sowing | | | Harvesting |
| Irrigation | | | | | | | | | | Irrigation | moisture stresses | |
| Note | <ul style="list-style-type: none"> Beet moisture stress period: November | | | | | | | | | | | |

Table 21 Method of cultivation crop(beet) growth process of demonstration site #1

| Division | Growth and irrigation management methods | |
|------------|---|--|
| Sowing | <ul style="list-style-type: none"> Sowing time: Spring cultivation, March-April Summer cultivation (highland areas) April to July Fall cultivation: August-September | <ul style="list-style-type: none"> Sowing rate: 2kg/10a Sowing distance: Cultivation of two rows at 1-1.2m Width of pot: 30×25-10cm |
| Management | <ul style="list-style-type: none"> Thinning: Thin out 1 to 2 weeks after sowing when the plants grow 2 to 7 cm tall. Weeding: Use herbicide or hand weeding Irrigation: Irrigation during drought / mobile sprinkler, drip irrigation | |
| Harvesting | <ul style="list-style-type: none"> Harvest when 7 to 8 leaves have grown and the root diameter has grown to 5 to 6 cm or more Harvesting in spring and summer is carried out in the evening to prevent wilting If harvesting is delayed, the fiber develops and the taste deteriorates | |

- Due to the nature of the crop, beets do not require a lot of irrigation, and growth in soil with good drainage and moisture conditions is important

콜라비는 줄기가 짧고 지상 2-5cm의 부분에서부터 줄기가 비대해 순무처럼 되는데 이 부분이 식용으로 이용한다. 표피 내부는 자르면 육질이 희며 무처럼 육질이 단단하고 비대한 줄기의 직경은 10cm 내외이며 종자의 모양은 양배추 씨앗과 비슷하다. 양배추, 브로콜리와 같은 십자화과 채소 품종이며 Table 22과 같이 제주지역에서는 겨울철 저온에 감응하여 맛이 좋아지는 12월 이후 출하를 목적으로 재배된다. 또한, 콜라비는 줄기 비대 채소이므로 좋은 알줄기를 키워내기 위해서는 적당한 습기가 필요하며, 건습의 반복이 심하지 않게 관수 관리를 해야 한다.

Table 23과 같이 콜라비 작물의 생리·생태적 특성을 온도, 파종 및 육묘, 정식, 토양으로 구분하여 일반적인 내용을 정리하였다. 첫 번째로 온도의 특성으로 콜라비는 온도에 대한 적응성이 좋아 호냉성 채소이지만 양배추보다도 더 더위에 강하고 추위에 강하다. 생육 적온은 18-25℃이며, 최적 온도는 22℃이다. 두 번째로 파종 및 육묘의 특성으로 콜라비 작물의 파종은 비닐하우스 이용 트레이 육묘이며, 파종량은 10a 당 7,500-10,000립이다. 세 번째로 정식의 특성으로 콜라비는 옮겨심기의 경우 본 잎이 4-5매일 때 건강하게 자란 묘를 본 밭에 정식하며, 마지막으로 토양의 특성으로 콜라비의 토질은 가리지 않으나 햇볕이 잘 드는 비옥한 적습의 양토 특성을 보인다.

Table 22 Monthly kohlrabi growth process of demonstration site #2

| Division | Jan | Feb | Mar | Apr | May | June | July | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
|---|-----------------|----------------------|--------------------|------------|------------|--------------------|------------|--------------|---------------------------|--------------------|------------|-----------------|
| Kohlrabi growing process (R.D.A) | | | Spring cultivation | | | Summer cultivation | | | Fall cultivation | | | |
| | | Base soil management | Sowing Meal | Irrigation | Harvesting | Sowing Meal | Irrigation | Harvesting | Sowing Meal | Irrigation | Harvesting | |
| Kohlrabi growing process (Site #2) | | | | | | | | | Soil Management | Sowing Meal | Irrigation | Harvesting |
| Weather disasters and expected problems | Low temperature | | | | | | | Downpour | | Drought | | Low temperature |
| | East Sea | | | | | | | Sowing delay | Tube feeding room, buried | Humid, slow growth | | East Sea |

Table 23 About kohlrabi crop growth

| | |
|-----------------------------|--|
| Temperature | <ul style="list-style-type: none"> • Although it is a psychrophilic vegetable with good adaptability to temperature, it is more resistant to heat and cold than cabbage • The optimal temperature for growth is 18-25°C and the optimal temperature is 22°C |
| Sowing and seedlings | <ul style="list-style-type: none"> • Sowing is done using tray seedlings in a greenhouse • The seeding rate is 7,500 to 10,000 grains per 10a (25 to 30 plants per 3.3m²) |
| Meal | <ul style="list-style-type: none"> • In the case of transplanting, healthy seedlings are planted in the main field when the main leaves are 4 to 5 years old • The planting distance is 20×30cm, 25×25cm, and 30×30cm for spring cultivation, 30×30cm for summer cultivation, and 30×40cm for fall cultivation |
| Soil | <ul style="list-style-type: none"> • Any soil type, but fertile, moist loam with plenty of sunlight • It grows well in loamy or sandy loam soils rich in organic matter • Soil acidity is pH6.0-6.8 |

이를 기반으로 Table 24과 같이 콜라비 작물의 월별 스케줄링을 설정하였으며, Table 25와 같이 생육 및 관수관리 방법을 통해 필요관수량을 추정하였다.

Table 24 Monthly schedule of cultivated crops(kohlrabi) on demonstration site #2

| Division | Jan | Feb | Mar | Apr | May | June | July | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | |
|---------------------------|---|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----------------|-------------------|------------|-------------------|------------|
| Cultivation method | | | | | | | | | Soil Management | sowing | Meal | | Harvesting |
| Irrigation | | | | | | | | | | moisture stresses | Irrigation | moisture stresses | |
| Note | Moisture stress is scheduled to be conducted twice. | | | | | | | | | | | | |

Table 25 Method of cultivation crop(kohlrabi) growth process of demonstration site #2

| Division | Growth and irrigation management methods |
|------------------------------|--|
| Sowing | <ul style="list-style-type: none"> The cultivation type can be grown year-round to eat the leaves like radish, and to grow the stems to be large like radish, sow around August 10-15 after the first fall and harvest at about 80-90 days |
| Management | <ul style="list-style-type: none"> Feeding fertilizer: Spread fertilizer among the plants three times <ul style="list-style-type: none"> - 1st fertilizer: Around 15 days after planting - 6kg of urea - 2nd fertilizer: Around 15 days after the 1st - 7kg of urea + 6kg of potassium chloride - 3rd feeding: Around 15 days after the 2nd application - Urea 11kg + potassium chloride 7kg Leaf picking: In the middle of growth, leaves are picked from the bottom, making sure to leave 5 to 6 upper leaves Pest control: In the case of fall cultivation, the temperature is high in the early stages of growth, so many insects occur, so it is best to apply pesticides to control insect pests such as moths and aphids about a week after planting. If there are many insects when the leaves are tender in the early stages of growth, insects may enter the stem leaves, making harvesting difficult |
| Irrigation management | <ul style="list-style-type: none"> Since a lot of moisture is needed during the cork formation period, sufficient water should be provided regularly starting when the corm diameter is about 2cm. In the case of direct sowing, first cover and thin out the damaged areas, and adjust the spacing between 5 to 6 true leaves to be 15 to 20 cm apart. Afterwards, fertilizing and weeding were also performed |
| Harvesting | <ul style="list-style-type: none"> It is a cool-loving vegetable that grows well in a cool environment. The stem becomes enlarged at 2 to 5 cm above the ground and resembles a turnip The maximum diameter of the kohlrabi (corm) is 8-10cm, and it is used when it grows to 5cm in size |

- Due to the nature of the crop, kohlrabi requires irrigation management only in the early stages of planting, and after planting, irrigation is only done in times of drought, so it does not require much irrigation.

4.1.3 다수 관정 균등 운전제어 기준 설정

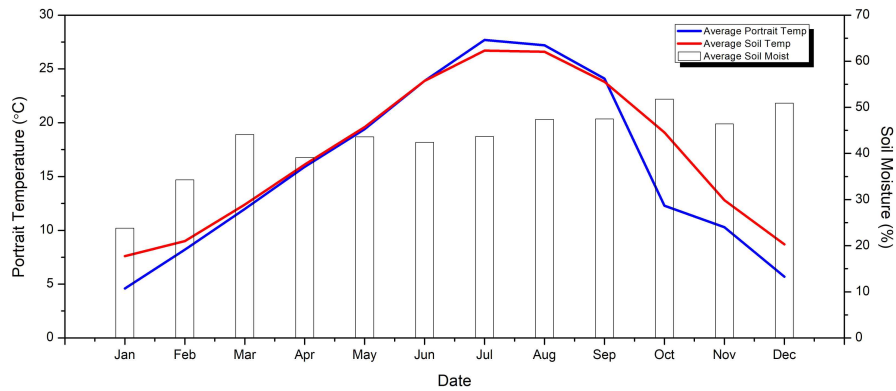
관정 제어 시스템 적용을 위해 제주도에 구축된 실증사이트 #1, #2의 관수 균등 운전 로직을 설계하였다. 본 연구를 통해 실증사이트에 물탱크를 설치하였으며 수위 테이더로 농가에 공급할 수 있는 관수량을 도출해 다수 농가 제어 테스트를 실시하였다. 다수 관정 균등 운전 로직을 설계하기 위해 재배작물과 필요관수 시기, 실증사이트 기상환경에 따른 조건을 Table 26와 같이 정리하여 설계에 반영하였다. 실증 작물 관수 시기 및 필요관수량 추정 결과를 바탕으로 작물 간 관수 우선순위 검토하였다. 비트와 콜라비는 파종 시기와 수분 스트레스 전후 시기에 중점적으로 관수를 해야 하는 작물이며 9월에 파종을 먼저 하는 비트를 관수 우선순위로 설정하여 조건 설정하였다.

Table 26 Setting conditions according to cultivated crops

| Site #1 | | | | | Site #2 | | | | | | |
|------------------------|--------------------|--------|-----|------------|---------------------------|----------|--------------------|------------------|------|-----|------------|
| Cultivated Crop: Beets | | | | | Cultivated Crop: Kohlrabi | | | | | | |
| Division | | Sep | Oct | Nov | Dec | Division | | Sep | Oct | Nov | Dec |
| Beet | Cultivation method | Sowing | | | Harvesting | Kohlrabi | Cultivation method | Soil Mana Sowing | Meal | | Harvesting |
| | Irrigation | | | Irrigation | moisture stress | | Irrigation | moisture stress | | | Irrigation |

또한, 지속적으로 수집되고 있는 데이터를 활용하여 Table 27과 같이 2021년 실증사이트의 기상환경 및 토양수분 데이터와 제주도의 연기후 특성 분석을 기반으로, 작물 재배 시 관수가 필요한 기간 및 수분스트레스 기간 및 관수 조건 설정하였다.

Table 27 AWS data near the demonstration site



| 2021 | Jan | Feb | Mar | Apr | May | June | July | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------|------|------|----------------------------------|------|------|------|------------------------------|------|------|------|
| Average portrait temperature (°C) | 4.6 | 8.2 | 12.0 | 15.9 | 19.4 | 23.9 | 27.7 | 27.2 | 24.1 | 12.3 | 10.3 | 5.7 |
| Average soil temperature (°C) | 7.6 | 9.0 | 12.4 | 16.1 | 19.6 | 23.9 | 26.7 | 26.6 | 23.8 | 19.1 | 12.8 | 8.7 |
| Average soil moisture (%) | 23.8 | 34.3 | 44.1 | 39.1 | 43.6 | 42.4 | 43.7 | 47.4 | 47.5 | 51.8 | 46.4 | 50.9 |
| Yearly | Average super temperature: 15.9°C | | | | Average soil temperature: 17.2°C | | | | Average soil moisture: 42.9% | | | |

실증사이트 #1에서 기르고 있는 작물인 비트는 9월 노지 농가에 바로 파종하여 관수를 해야 하며, 실증사이트 #2에서 기르고 있는 작물인 콜라비의 파종은 다른 곳에서 진행하여 10월 중순에 노지 농가에 정식을 하기 때문에 정식 이후에 관수가 필요하다. 실증사이트 #1은 실증사이트 #2보다 먼저 농가에 파종하기 때문에 9월부터 10월 초까지 1순위로 관수를 실시하며 실증사이트 #2는 10월 초에 파종하여 10월 중순에 정식하기 때문에 정식 전 토양관리를 위해 관수를 실시하였다. 관수 시기가 겹치는 10월-11월은 순위를 두어 농가 내에 설치된 토양 센서를 통해 일정 수분 이상 측정될 수 있도록 관수를 실시하였다. 수분스트레스가 실시되는 11월 중순 이후에는 관수 제어를 중단하여 작물의 당도가 증가할 수 있는 환경을 조성하였다. 이를 기반으로 Table 28와 같이 주차별 실증사이트 관수 우선순위와 토양수분 설정값을 기준으로 테스트를 진행하였다.

Table 28 Estimated irrigation ranking and soil moisture setting values by schedule

| Division (M/W) | September | | | | October | | | | November | | | | December | | | |
|----------------|----------------------|-----|-----|-----|--------------------|-----|--------------------|-----|--------------------|-----|-----------------|-------------------|-------------------|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Site #1 | Soil moisture 25% ▲ | | | | Soil moisture 20%▲ | | Soil moisture 20%▲ | | Soil moisture 20%▲ | | moisture stress | | | | | |
| | 1st | 1st | 1st | 1st | 1st | 1st | 2nd | 2nd | 2nd | 2nd | | End of irrigation | | | | |
| Site #2 | Crop dormancy period | | | | Soil moisture 20%▲ | | Soil moisture 25%▲ | | Soil moisture 20%▲ | | moisture stress | | | | | |
| | | | | | 2nd | 2nd | 1st | 1st | 1st | 1st | | 1st | End of irrigation | | | |

4.1.4 다수 관정 최적 운전제어 조건 수립 및 실증 결과

외부 기상 데이터와 다수 관정 균등 운전제어 시스템 조건을 분석하여 관정 제어 운전 조건을 Tables 29-32와 같이 수립하였다. 제주도의 기후 특성과 농업 특성을 보았을 때 10-11월에 가뭄에 의한 주의가 필요하며 농업용수 사용량이 많아, 물탱크 자동 투입 시간은 물 사용량이 없는 저녁 시간대인 18시부터 매일 6시로 설정하고 관수는 6시부터 18시 사이에 작동하도록 9월부터 11월까지 관정 제어 운전 조건을 수립하였다.

Table 29 Establishment of well control operating conditions for September

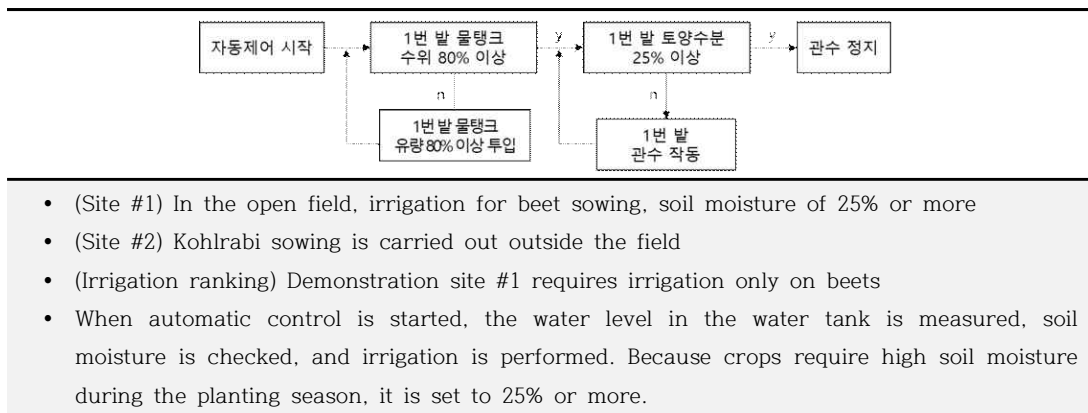
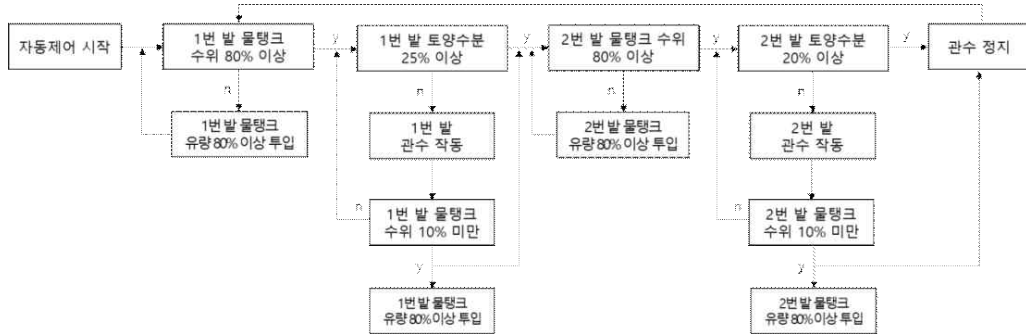
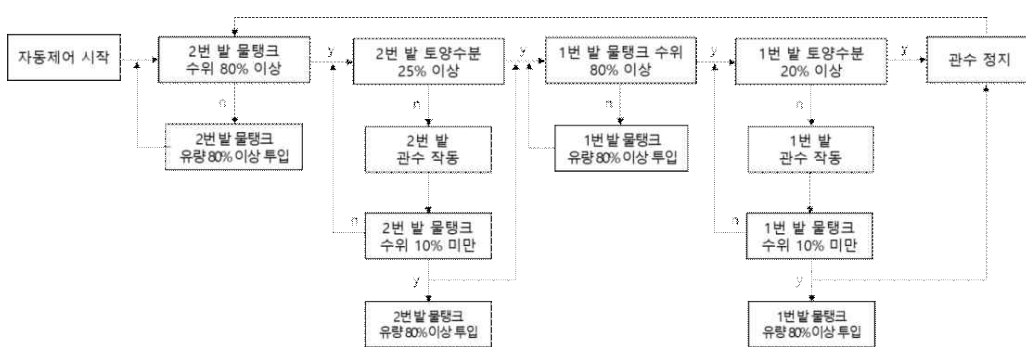


Table 30 Establishment of well control operating conditions from the first week of October to the second week of October



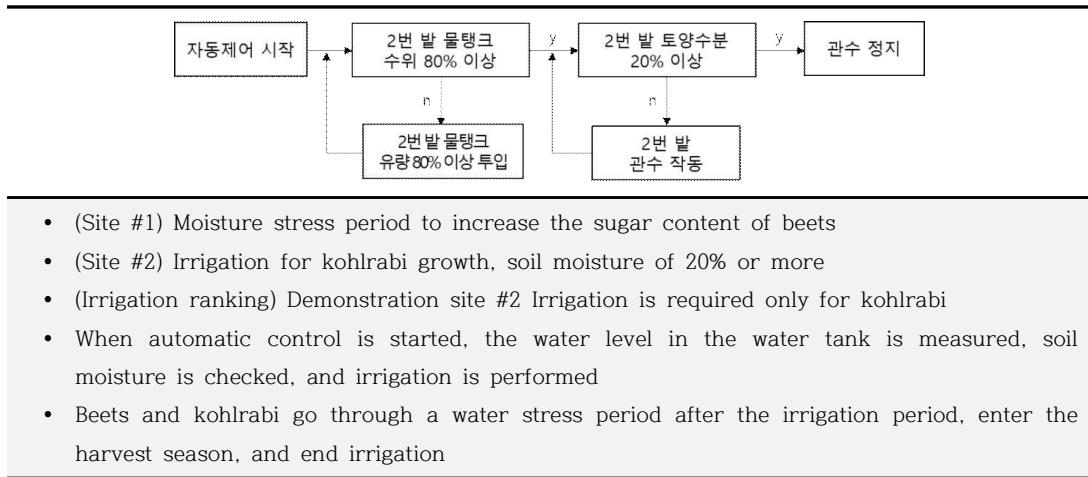
- (Site #1) Irrigation for beet growth, soil moisture of 20% or more
- (Site #2) Soil management for kohlrabi planting, soil moisture of 20% or more
- (Irrigation ranking) Beets are given first priority, and kohlrabi is given second priority.
- When automatic control is started, the water level in the water tank at demonstration site #1 is measured, the soil moisture is checked, and irrigation is performed. After the water level in the water tank at demonstration site #2 is measured, the soil moisture is checked and irrigation is performed.

Table 31 Establishment of well control operating conditions from the third week of October to the second week of November



- (Site #1) Irrigation for beet growth, soil moisture of 20% or more
- (Site #2) Irrigation for planting and growing kohlrabi, soil moisture of 25% or more
- (Irrigation Ranking) Irrigation is given to kohlrabi first and beets second.
- When automatic control is started, the water level in the water tank of demonstration site #2 is measured, soil moisture is checked, and irrigation is performed. After measuring the water level in the water tank of demonstration site #1, the soil moisture is checked and irrigation is performed.

Table 32 Establishment of well control operating conditions from the third to fourth weeks of November



- (Site #1) Moisture stress period to increase the sugar content of beets
- (Site #2) Irrigation for kohlrabi growth, soil moisture of 20% or more
- (Irrigation ranking) Demonstration site #2 Irrigation is required only for kohlrabi
- When automatic control is started, the water level in the water tank is measured, soil moisture is checked, and irrigation is performed
- Beets and kohlrabi go through a water stress period after the irrigation period, enter the harvest season, and end irrigation

기간에 따른 관정 제어 운전 조건을 통해 9-12월까지 최적 제어시스템 시험 적용을 하여 Fig. 25과 같은 데이터 획득하였다. 실증사이트 근처 애월AWS 데이터 (일 강수량)를 활용하여 강수량이 없는 시기에 중점적으로 자동제어를 실시하였고 작물 일정별 관수 조건에 따라 농가에 관수를 진행하여 목표 토양수분에 도달함을 확인하였다. 농업용수 사용이 적은 밤에 물탱크 유량 투입을 진행하였고 그 결과 관수가 필요한 낮 시간대에 원활하게 관수를 진행하였다. 관수 제어를 통해 강수량이 없는 시기에도 토양의 습도가 약 15% 이상 유지함을 확인하였다.

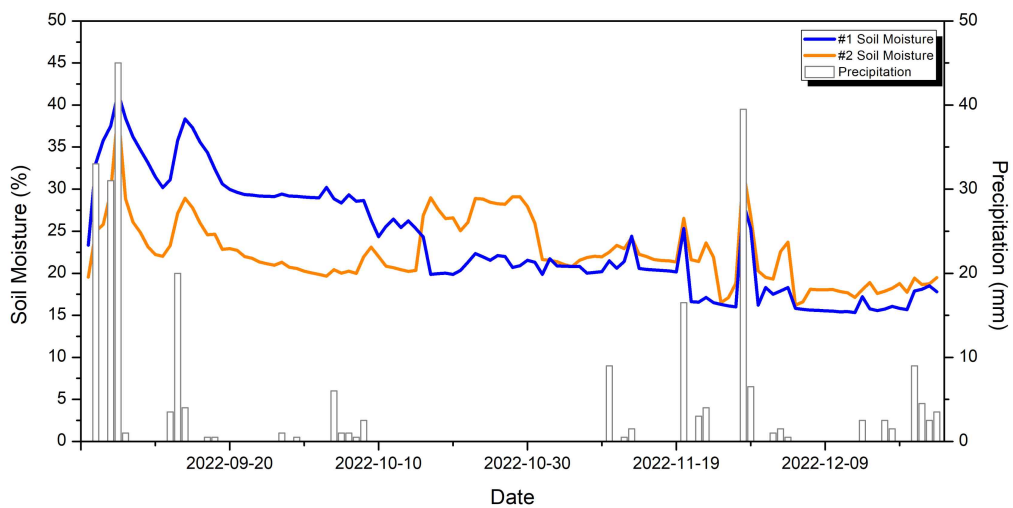


Fig. 25 Empirical results of the multiple well optimization control system

4.2 노지채소 재배농가의 경제성 분석

4.2.1 농업용 관정제어시스템 LCC 분석

생애주기비용(LCC)이란 일반적으로 제품의 생산, 사용, 폐기처분의 각 단계에서 생기는 비용을 합한 총비용을 뜻한다. 이는 초기 자본비용뿐만 아니라 단계적인 자본비용의 투자를 필요로 하는 프로젝트 또는 자산의 확보를 위하여 적용할 수 있는 전반적인 비용분석 방법이다. 본 논문에서는 기존 농업용 관정 대비, 농업용 관정제어시스템 적용에 따른 실증사이트 #1, #2의 전체적인 설비에 대한 평가를 위해 각 실증사이트별 매출, 수확량, 구축비용 등 경제성 분석을 위한 요소들을 제조원가, 설치원가 등 산출근거에 따라 분석하였다. 먼저, 실증사이트 #1은 비트를 재배하고 있으며, Fig. 26의 그래프와 같이 2020년 12월 관정제어시스템 구축 완료 이후 전년도 대비 수확량은 71% 증가하였고 매출은 853,000원 하락하였다. 수확량은 증가하였지만 매출이 하락한 원인으로는 2021년에 전국적으로 50%가량 비트 작물의 가격이 하락한 것으로 보이지만 2022년에 가격 회복, 매출량 증가 및 관정제어시스템을 통한 지속적인 관리로 작물 관리에 긍정적인 영향을 미친 것으로 분석된다. 실증사이트 #2는 콜라비를 재배하고 있으며, Fig. 27의 그래프와 같이 2021년 3월 관정제어시스템 구축 완료 이후 전년도 대비 수확량이 45% 증가하였고 매출은 1,117,050원 증가하였다. 실증사이트 #2의 경우에는 관정제어시스템 구축 이후 지속적으로 수확량과 매출이 증가하였으며, 특히 2022년 콜라비 작물의 전국 가격 소폭 상승과 수확량 증가로 인해 결과적으로 수확과 매출에서의 큰 증가폭을 도출하였다. 각 실증사이트별 경제성 효과 원가 분석표는 Table 33와 같으며, 본 관정제어시스템의 초기 투자비(설비 투자비 및 인건비)는 면적당 7,205원이 소요되지만, 관수가 필요한 시기에 자동으로 관수가 가능하며, 직접 농가에 가지 않아도 조절할 수 있다는 점을 활용하여 인건비를 줄이고 효율적으로 물을 사용하여 농작물의 품질을 상승시킬 수 있는 효과를 가지고 있다. 그로 인해 농가에서 농작물을 기를 때, 가장 중요한 관수 제어를 시기에 맞추어 설정된 관수량을 통해 효율적으로 제어할 수 있으므로 본 관정제어시스템 도입 시 발생하는 초기비용이 상쇄할 수 있다.

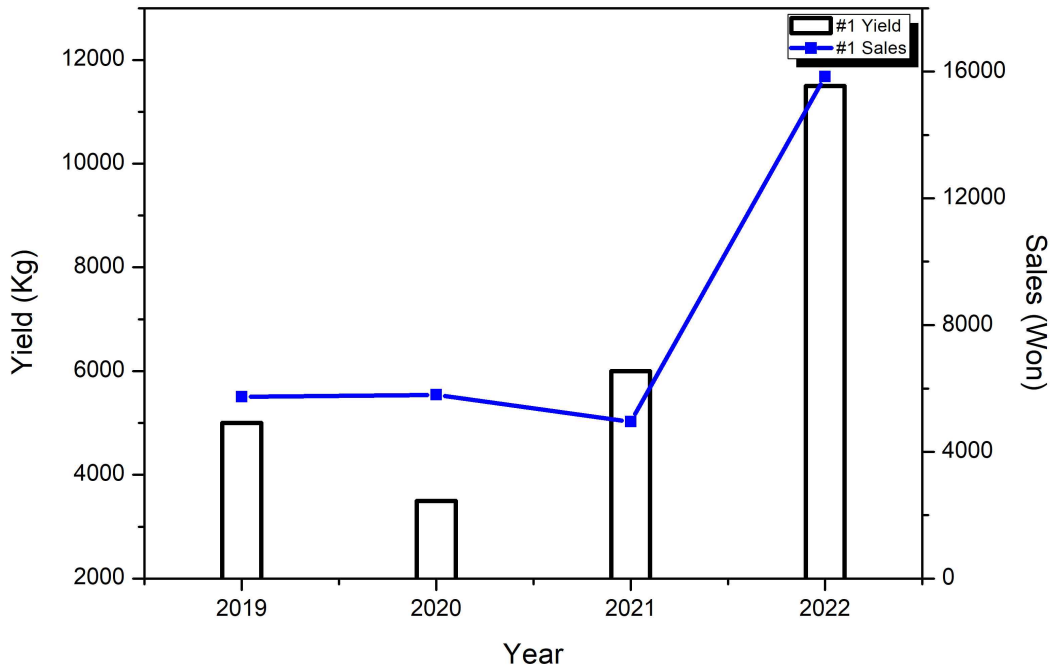


Fig. 26 Annual yield and sales of demonstration site #1

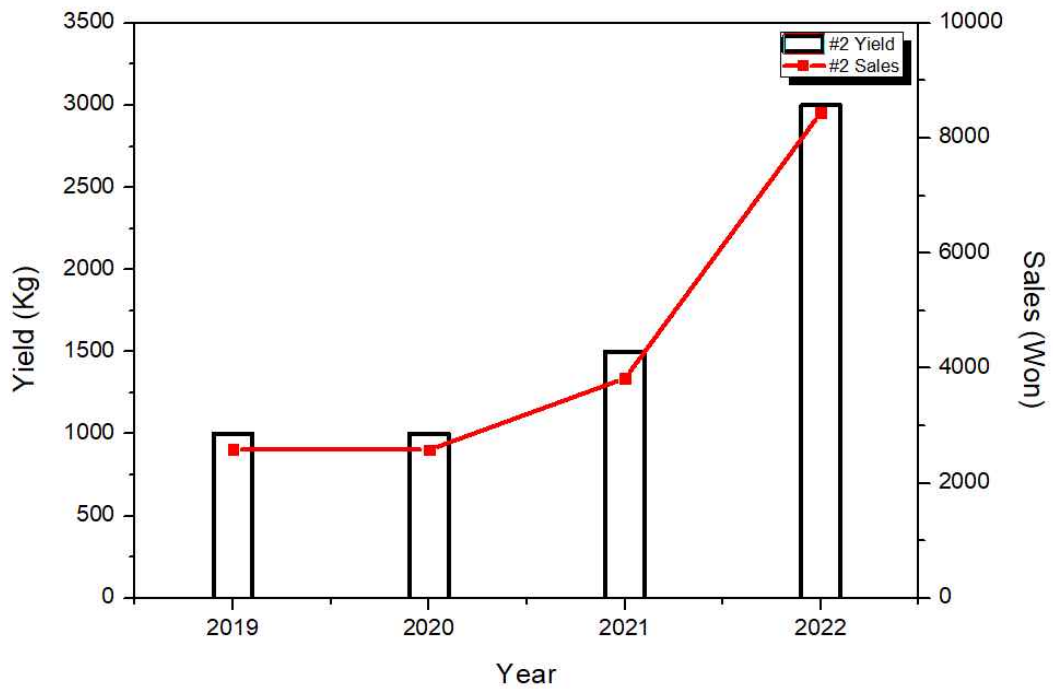


Fig. 27 Annual yield and sales of demonstration site #2

또한, 2021년에 본 관정제어시스템을 도입하여 농업용수 취수량, 이용량 데이터 수집이 가능하고 물 사용량이 적은 시기에 자동제어를 통해 실증사이트의 효율적인 물관리가 가능하다. 결과적으로 원격제어를 통한 관리 인건비 감축, 효율적 물관리를 통한 제어로 최대 204%의 수확량 증가의 결과값을 도출할 수 있었다.

Table 33 Cost analysis of economic effects

| Division | Site #1 | | | Site #2 | | |
|---------------------|---|-------------|---|--|-------------|---|
| | Yield (kg) | Sales (won) | Increased harvest compared to the previous year (%) | Yield (kg) | Sales (won) | Increased harvest compared to the previous year (%) |
| 2019 | 5,000 | 5,740,000 | - | 1,000 | 2,590,000 | - |
| 2020 | 3,500 | 5,803,000 | - | 1,000 | 2,579,000 | - |
| System construction | December 2020 Completed construction of agricultural well control system | | | March 2021 Completed construction of agricultural well control system | | |
| 2021 | 6,000 | 4,950,000 | +171% | 1,450 | 3,696,050 | +145% |
| | ▲2,500 | ▼853,000 | | ▲450 | ▲1,117,050 | |
| 2022 | 11,500 | 15,847,000 | +192% | 2,960 | 8,332,400 | +204% |
| | ▲5,500 | ▲10,733,000 | | ▲1,510 | ▲4,636,350 | |
| Construction cost | 23,294,000 won | | | 11,190,000 won | | |
| Area | 3,594.9m ² | | | 1,327.8m ² | | |

추가로 본 농업용 관정제어시스템의 경제성 분석에 따른 자본회수기간을 산정하였다. 자본회수기간이란 투자에 소요되는 모든 비용을 회수하는데 걸리는 기간

으로서 보통 1년 단위로 표시하며, 이 방법에서는 초기 투자가 매기의 수익에 의하여 회수될 때까지의 기간이 짧은 것을 유리함으로 판단이 가능하다. 자본회수기간법은 산정 방법이 용이하고 회수기간 내의 현금 유입만을 고려하므로 현재보다는 가까운 미래에 더 비중을 두어 장기 예측보다는 그 정확성이 높다는 이점이 있어 유리한 쪽으로 선택이 가능하다. 아래의 자본회수기간법 식(1)에 따라 투자액을 P, 순이익을 R, 이자율 I, 회수기간을 N으로 하여 자본회수계수를 이용하여 회수기간(N)을 도출할 수 있다.

$$R = P(A/P)_n^i = P \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (R/P = (A/P)_n^i \text{ 에서 복리계수표 활용 }) \quad (1)$$

실증사이트 #1, #2 모두 농업용 관정제어시스템 구축 완료 시점 이후를 기준으로 2021년, 2022년의 매출 순이익의 평균값을 R, 구축비용을 P로 산정하여 복리계수표를 기반으로 Table 34와 같이 회수기간(N)을 도출하였다.

Table 34 Calculation of recovery period according to the capital recovery period method

| Division | Site #1 | Site #2 |
|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Capital recovery coefficient(R/P) | 0.0893 | 0.1075 |
| Recovery period(N) | Approximately 11.9 years | Approximately 9.8 years |

결과에 따라 실증사이트 #1, #2의 자본회수기간은 각각 약 11.9년, 9.8년으로 확인할 수 있었으며, 농업용 관정제어시스템의 수명을 약 20년으로 가정하였을 때, 자본회수기간을 제외한 나머지 기간은 농가소득 향상에 도모할 수 있다. 또한, 농업용 관정제어시스템은 작물의 최적 수분함량에 도달하는 시간을 확인한 후 효율적인 관수관리 제어가 가능하며, 농업용 관정의 효율적인 관리를 위한 체계적인 데이터 구축 및 관수, 생육데이터 관리 활용으로 고품질 노지재배 채소의 생산량과 품질향상이 가능할 것으로 예상된다.

4.2.2 농업용 관정제어 기술 활용방안

현재 제주도뿐만 아니라 전 세계적으로 이상 기온과 기후변화에 대응하기 위해서 물관리 체계 개선이 필요한 상황이다. 제주 인구의 12.7%가 농업 분야에 종사하고 있고 그 수입은 1조 7,621억 원(48.4%)에 달하고 있다. 농가소득 전국 1위, 농가 자산 전국 2위의 제주도는 지하수 부존량이 전국 1위로 대다수의 농가는 지하수에 의존하고 있다. 그러나, 지하수 및 관정의 노후화와 용배수로의 관리 미흡 등의 문제로 용수공급 체계의 문제가 발생하고 있다. 또한, 가뭄, 여름철, 파 종기 등 많은 양의 용수를 필요로 하는 시기에 다수 농가의 동시 급수로 인한 물 부족이 일어나고 있다. 이에 따라 본 관정제어시스템을 활용하여 마을 단위의 광역화 사업과 더불어 읍, 면 단위로 공급체계를 연계할 수 있는 시스템 구축이 가능하며, 제주도민들이 직접 물관리에 참여할 수 있는 시스템 기반 마련이 가능할 것으로 예상된다. Fig. 28의 계획도에서 볼 수 있듯이 2017년부터 제주특별자치도와 한국농어촌공사 제주지역본부에서 주관하는 ‘제주 농업용수 통합 광역화사업’은 제주도 전역 농업용수에 대하여 관수로를 이용한 통합 광역체계 구축 및 관리체계를 재편하여 근본적인 물부족 문제를 해결하기 위해 제주도 내 11개 권역에서 32,755ha(신규 5,674ha, 보충 27,081ha) 규모로 시행된 사업이다. 비교적 지대가 높은 지역 54곳에 각각 최대 6,000톤의 물을 저장할 수 있는 저수조에 가둔 물을 가뭄때 농업용수로 사용하는 계획으로 저수조의 물을 농경지 등에 공급하기 위해 제주 전역에 관로 470km를 설치할 예정이다. Fig. 29와 같이 저수조의 물은 지하수 혹은 용천수로 채워질 예정이며, 기존 개발된 관정 등을 활용하여 지하수위가 높아지면 미리 물을 저장하거나 용천수의 경우에는 바다로 흘러 들어가는 물을 끌어와 저수조에 가두어 활용하는 방식이다. 결과적으로 본 농업용 관정제어시스템을 제주 농업용수 통합 광역화 사업과 연계하여 실증사이트가 위치해있는 제주시 애월읍을 시작으로 대용량 저수조, 관로를 연계하여 용수 확보율 증가에 도움이 될 것으로 예상된다.

제주농업용수 통합광역화사업 계획도

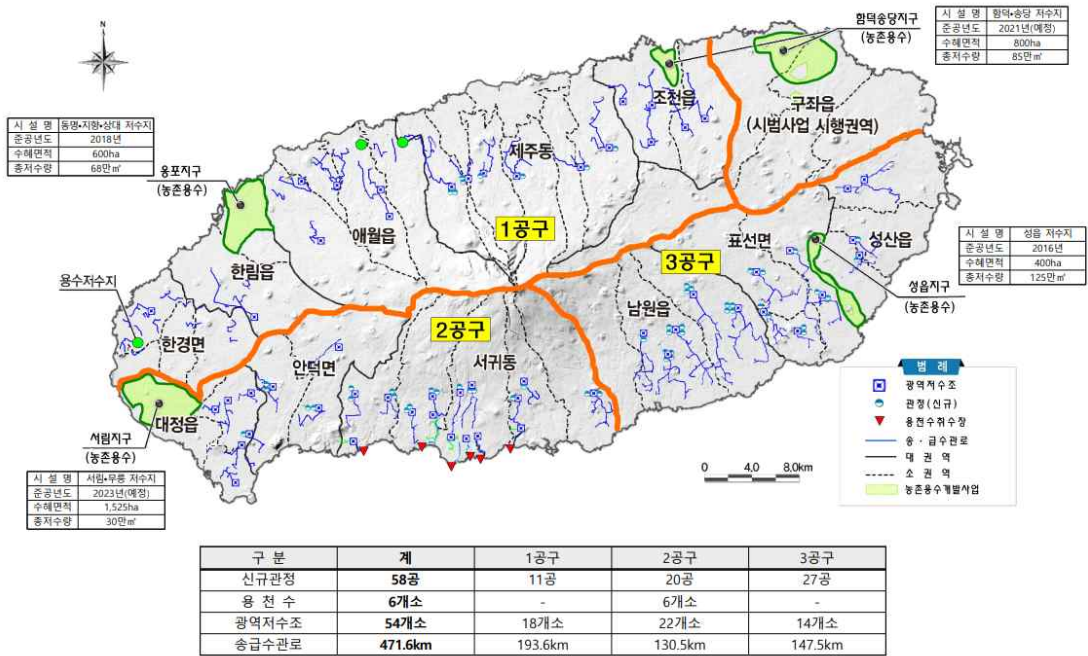


Fig. 28 Jeju agricultural water integration wide area project plan

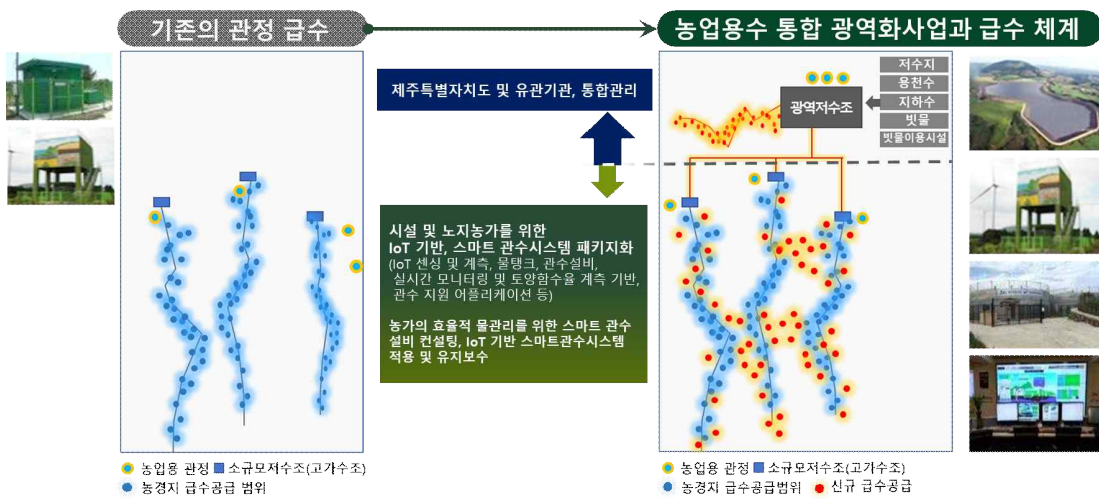


Fig. 29 Water supply system of Jeju agricultural water integration wide area project

또한, 지질주상도 기반 제주도 지하수맵 구축은 제주도 지역의 지하수 자원을 효과적으로 관리하기 위한 방안 중 하나이다. 본 방안은 지질학적인 특성을 고려하여 제주도 지하수의 분포와 흐름을 이해하고 이를 지하수맵으로 시각화하는 과정을 포함하고 있다. 먼저, 지질주상도는 지질학적 특성을 나타내는 지질단면을 의미한다. Fig. 30과 같이 제주도의 투수성 높은 화산암류 및 지하수 유동 흐름 변수 등 다양한 지질단면 데이터를 수집하고 분석하여 지하수층의 분포, 토양층의 특성, 암반의 투수성 등을 파악할 수 있다. 지하수맵은 이를 토대로 지하수의 분포와 흐름을 시각적으로 나타내어 지질주상도와 지하수 관측 데이터를 통해 제주도 지하수를 표현하고 지하수 자원을 효과적으로 관리하며 지하수 이용에 필요한 정보를 정확하게 제공할 수 있다. 또한, 지하수 천공 작업 수요자들의 경우 해당 천공 위치 인근 지질주상도 분석을 통해 지하수 부존량 예측이 가능하며 최적 천공 위치 서비스를 통해 고객 만족도를 크게 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.



Fig. 30 Underground water map of Jeju Island based on geospatial map

V. 결 론

본 논문에서는 IoT 기반 농업용 관정제어시스템을 개발하여 스마트 농업에 적용 후 실증데이터를 기반으로 운영 효과 및 경제성 분석을 진행하였다. 실증사이트는 지하수 관정을 기반으로 관수를 진행하고 있는 약 3,595m² 규모의 비트 농가와 약 1,328m² 규모의 콜라비 농가로 선정하였다. 실증사이트 인근 농업용 관정은 관정별 불량, 파손, 누수, 노후화 등 여러 점검요소를 검토하여 최종적으로 가장 활용성이 높고 직·간접적으로 연계된 오동발 관정과 자운당 관정을 주요활용 관정으로 선정하였다. 실증사이트가 위치해 있는 제주시 애월 지역은 9-10월에 농업용수 이용이 급증하여 낮과 밤, 농가 간에 물 사용량을 적절하게 분배하기 위해 IoT 기반 농업용 관정제어시스템을 개발하였다.

IoT 기반 농업용 관정제어시스템은 토양 및 지하수 센서, 데이터 수집 모듈, 관정 제어모듈, 관수설비 및 IoT 실시간 모니터링시스템으로 구성되어 있다. 토양 및 지하수 센서는 작물 작육상태 모니터링과 관수량 측정을 위해 설치하였고 각 센서의 데이터를 수집하기 위해 데이터 수집 모듈을 개발하였다. 관정 제어모듈은 효율적인 관정제어를 통해 지하수 양수량을 조절하기 위해 개발하였고, 물탱크 펌프 시설과 같은 관수설비는 물 사용량이 많을 때를 대비해 버퍼용으로 실증사이트에 설치하였다. 또한, 지하수를 효율적으로 관리하고 모니터링하기 위한 IoT 기반의 실시간 모니터링시스템을 구축하였다. 모니터링시스템은 관리자 모드와 사용자 모드로 나뉘어져 있는데 관리자는 모든 실증사이트의 현황과 데이터를 확인 가능하며 사용자인 농가주는 보유한 실증사이트의 계측 정보 및 시스템 운영 정보를 실시간으로 확인할 수 있다.

실증사이트를 대상으로 IoT 기반 농업용 관정제어시스템을 적용한 관수 방식의 비교 분석 결과, 점적관수 방식이 스프링클러관수 방식보다 관개 균일도가 높고 토양 수분함량이 약 2배가량 높았다. 재배작물별 토양특성과 수확기 작물 기준을 고려하였을 때 비트 작물의 경우에는 수분스트레스 기간을 11월, 콜라비 작물의 경우에는 수분스트레스 기간을 10, 12월로 설정하였으며, 재배작물의 관수에 따른 수분함량 등을 분석하여 생육 및 관수관리 방법을 통해 필요관수량을 추정하였다. 또한,

비트와 콜라비 작물은 파종 시기와 수분스트레스 전후 시기에 중점적으로 관수를 해야하는 작물이며, 9월에 파종을 먼저하는 비트를 관수 우선순위로 설정하여 균등 운전제어 조건 수립을 하였다.

외부 기상 데이터와 다수 관정 균등 운전제어 시스템 조건을 분석을 토대로 10-11월 기준 가뭄에 의한 주의가 필요하고 농업용수 사용량이 많아 물탱크 자동 투입시간은 물 사용량이 없는 18시부터 매일 6시로 설정하였으며, 관수는 6시부터 18시 사이에 작동하도록 9월부터 11월까지 관정 제어 운전 조건을 수립하였다. 이를 통해 9-12월까지 최적 제어시스템 실증 운영을 진행한 결과, 관수제어를 통해 강수량이 없는 시기에도 15% 이상의 토양습도를 유지하여 시스템의 신뢰성을 확보하였다.

실증 운영 결과를 기반으로 한 경제성 분석 결과는 실증사이트 #1에서 2020년 12월 관정제어시스템 구축 완료 이후 수확량은 전년도 3,500kg 대비 6,000kg으로 71% 증가하였지만, 매출은 853,000원 하락하였다. 수확량은 증가하였지만, 매출이 하락한 원인으로는 2021년에 전국적으로 50%가량 비트 작물의 가격이 하락한 것으로 보이지만 2022년에 가격 회복, 매출량 증가 및 관정제어시스템을 통한 지속적인 관리로 작물 관리에 긍정적인 영향을 미쳤다.

실증사이트 #2에서는 2021년 3월 관정제어시스템 구축 완료 이후 전년도 1,000kg 대비 1,450kg으로 수확량이 45% 증가하였고 매출은 1,117,050원 증가하였다. 실증사이트 #2의 경우에는 시스템 구축 이후 지속적으로 수확량과 매출이 증가하였으며, 특히 2022년 콜라비 작물의 전국 가격 소폭 상승과 수확량 증가로 인해 큰 증가폭을 도출하였다. 결과적으로 원격제어를 통한 관리 인건비 감축, 효율적 물관리를 통한 제어로 실증사이트 #1, #2에서 각각 192%, 204%의 수확량 증가 결과값을 도출할 수 있었다.

추가로 본 IoT 기반 농업용 관정제어시스템의 경제성 분석에 따른 자본회수기간을 산정하였으며, 실증사이트 #1, #2 모두 농업용 관정제어시스템 구축 완료 시점 이후를 기준으로 자본회수기간을 각각 약 11.9년, 9.8년으로 도출할 수 있었다. 농업용 관정제어시스템의 수명을 약 20년으로 가정하였을 때, 자본회수기간을 제외한 나머지 기간은 농가소득 향상에 도모할 수 있을 것으로 예상된다.

참고 문헌

- [1] Petteri Taalas, “State of the Global Climate 2022”, World Meteorological Organization(WMO), 2023.
- [2] Y. G. Kim, S. H. Hong, et al. “Variations of Weather Stations Characteristics to Recent Climate Change Using Rainfall and Average Daily Temperature Data”, Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 11, No. 4, pp. 211-219, 2011.
- [3] D. H. Bae, “Impact and Challenges of Climate Change on Water Resources”, Korea Research Institute for Human Settlements, No. 281, pp. 32-38, 2005.
- [4] S. B. Seo, Y. O. Kim, “Optimization of Conjunction Use of Surface Water and Groundwater for Sustainable Water Resources Management”, Korea Water Resources Association, Vol. 51, No. 12, pp. 56-62, 2018.
- [5] Y. W. Seo, C. G. Park, J. S. Hwang, “A Study on the efficient use of the water through improving the agricultural water use estimation”, Korea Water Resources Corporation, 2020.
- [6] C. Y. Park, W. B. Park, “Current Status and Management of Water Resources in Jeju”, Magazine of Korea Water Resources Association, Vol. 52, No. 9, pp. 30-34, 2019.

- [7] B. S. Lee, W. H. Myoung, et al. “An Optimal Distribution of Groundwater Resources Coping with Water Demands during Drought Periods”, The Geological Society of Korea, p. 453, 2021.
- [8] J. W. Lee, Y. J. Lim, “Development of Groundwater Well Control and Monitoring System based on IoT for Jeju Agriculture”, The Korean Society of Mechanical Engineers, p. 2,831, 2022.
- [9] 김민철, “제주도 지하수의 수리학적 유역설정과 유동특성 해석”, 제주대학교 박사학위논문, 2018.
- [10] Jong-Hwa Yi, et al. “Development of a groundwater Well Network System for efficient agricultural water supply during drought”, J. Geol. Soc. Korea, Vol. 59, No. 1, pp. 119-129, 2023.
- [11] 박재규, “기후변화에 의한 제주도 가뭄특성 분석 및 농업용수 공급방안 연구”, 제주대학교 박사학위논문, 2020.