

클라우드 기반 QR 시스템을 활용한 스마트 온실 데이터 관리 효율성 연구

정현창, 이명훈*

*국립순천대학교

jhc0829@s.scnu.ac.kr, leemh777@scnu.ac.kr*

A Study on the Efficiency of Smart Greenhouse Data Management Using a Cloud-Based QR System

Jeong Hyeon Chang, Lee Meong Hun*

*Sunchon National Univ.

요약

본 연구는 스마트 온실의 구역별 작물 관리 효율성을 향상시키기 위한 클라우드 기반 QR 시스템의 설계와 성능을 실험적으로 검증하였다. 제안된 시스템은 구역별 QR코드를 고유 식별자로 활용하고 클라우드 서버와 연동하여, 현장 데이터를 실시간으로 조회·관리할 수 있도록 구성하였다. 관계형 데이터베이스와 오브젝트 스토리지를 결합한 데이터 관리 구조는 정형 및 비정형 데이터를 통합적으로 처리하며, JSON 스키마 검증과 무결성 절차를 통해 데이터의 정확성과 신뢰성을 확보하였다. 실험 결과, 조도 및 QR 손상 조건 변화에도 평균 93% 이상의 인식률과 1.8초 이내의 응답 시간을 유지하여, 데이터 접근의 안정성과 효율성을 입증하였다. 본 연구는 저비용·고효율의 데이터 관리 체계를 제시함으로써, 스마트 온실의 정밀 관리 및 자율 운영 기반 구축에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

I. 서론

최근 스마트 농업 기술의 발전은 농업의 자동화와 디지털화를 빠르게 촉진시키고 있다[1]. 특히 스마트 온실은 온도, 습도, CO₂ 농도와 같은 환경 변수를 정밀하게 제어할 수 있어 농업 생산성을 높이는 핵심 분야로 주목받고 있다[2]. 그러나 이러한 기술적 성장에도 불구하고 현장에서는 구역별 작물 관리가 수기 기록이나 작업자의 기록에 의존하는 경우가 많다. 이는 데이터 누락과 기록 오류를 발생시켜 정확한 관리와 추적을 어렵게 하며, 대규모 온실의 경우 구역 간 생육 편차를 제대로 반영하지 못하는 문제가 있다[3].

이와 같은 한계는 정밀 농업의 확산을 저해하는 주요 요인으로 지적되고 있으며, 이를 해결하기 위해서는 구역 단위의 체계적 식별 및 데이터 관리 체계가 필요하다[4]. 본 연구는 QR코드를 활용하여 구역을 식별하고, 클라우드 서버와 연동하여 데이터를 관리하는 시스템을 제안한다. QR코드는 저렴하고 누구나 쉽게 생성·활용이 가능하다는 점에서 농가 현장에 실질적으로 적용 가능한 대안으로 주목할 수 있다. 본 연구의 목적은 클라우드 기반 QR 시스템을 통해 스마트 온실 구역별 데이터를 효율적으로 관리하고, 이를 통해 효율성과 신뢰성을 동시에 높이는 방안을 제시한다.

II. 본론

II.1 시스템 설계 및 구조

본 연구에서 클라우드 기반 QR 시스템은 데이터를 안정적으로 관리하기 위해 네 가지 계층으로 구성된다. 현장 구역 식별 계층은 구역별로 부착된 QR코드를 통해 고유 식별자를 제공하며, 데이터 전송 계층은 이를 HTTPS 기반 프로토콜로 서버에 전달한다. 클라우드 관리 계층은 요청을 받아 데이터베이스에서 관련 정보를 검색·저장하며, 사용자 인터페이스 계층은 단말기를 통해 결과를 실시간으로 확인할 수 있다. 이러한 계층적 구조는 데이터의 흐름을 표준화하여 관리 효율성을 높이는 기반이 된다.

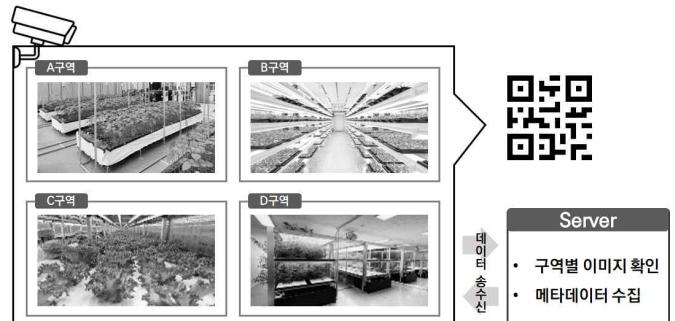


그림 1 구역별 QR 코드 기반 데이터 수집 및 관리 구조

Figure 1. Zone-Based QR Code Data Collection and Management Structure

II.2 QR 코드 기반 구역 식별 체계

QR코드는 각 구역을 구체적으로 식별하는 핵심 수단으로 활용된다. 구역별로 부여된 고유 ID는 데이터베이스의 기본 키로 등록되며, 이를 워리어형 URL 형태로 인코딩하여 QR코드로 생성한다. 관리자가 QR을 스캔하면 내장된 ID가 애플리케이션을 통해 서버 API로 전달되고, 서버는 동일 키를 이용하여 해당 구역의 데이터를 검색한다. QR은 RFID와 달리 별도 리더기가 필요하지 않아 비용 대비 확장성이 높다. 이와 같이 설계된 구역 식별 체계는 클라우드 데이터 관리 구조와 연계되어 구역 단위 관리의 정확성과 신뢰성을 보장한다.

II.3 클라우드 데이터 관리 구조 설계

데이터 관리는 정형 데이터와 비정형 데이터를 함께 처리하도록 관계형 데이터베이스와 오브젝트 스토리지를 결합했다[5]. 구역 기본 정보와 작업 이력, 생육 데이터는 표준화된 형식으로 저장하고 이미지 및 영상은 스토리지에 보관하며 경로와 해시값을 메타데이터로 기록한다. 모든 입력은 JSON 스키마로 항목과 단위, 형식을 검증한 뒤 반영된다. 구역과

작물과 시간 단위의 계층 인덱싱을 적용해 동일 품종의 구역 간 편차를 추적하고 시계열 비교가 가능하도록 한다.

II.4 데이터 처리 및 검증 절차

스캔 직후 애플리케이션은 구역 ID와 인증 토큰을 포함한 요청을 생성한다. 서버는 권한과 토큰을 검증한 뒤 해당 구역의 데이터셋을 조회해 반환한다. 관리자가 현장에서 추가 입력을 수행하면 서버는 JSON 파싱과 스키마 검증을 거쳐 저장하며 기존 데이터와의 충돌 여부를 검사한다. 모든 기록에는 무결성 검증값을 부여하여 이후 데이터 위변조 여부를 검증할 수 있도록 설계하였다. 이 절차를 통해 조회와 갱신의 정확성과 신뢰성을 확보한다.

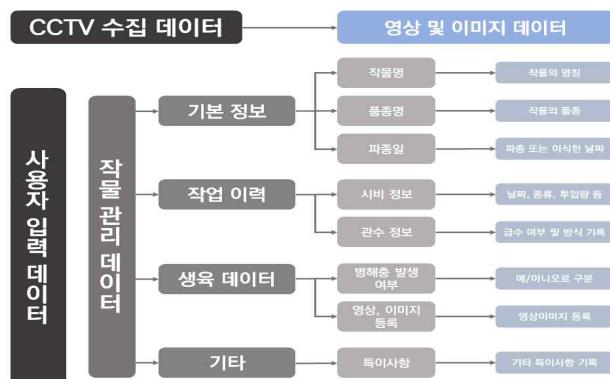


그림 2 스마트 온실 데이터 분류 및 관리 체계

Figure2. Data Classification and Management Framework

II.5 성능 검증 및 효율성 분석

제안된 시스템의 성능을 검증하기 위해 조도 조건(100, 500, 1000 lux)과 QR 손상률(0, 10, 30%)을 변수로 한 실험을 실시하였다. 각 조건에서 반복 스캔을 수행하여 인식률과 응답 시간을 측정하였다.

실험 결과, 최적 조건(500 lux, 손상률 0%)에서 인식률은 99.5%를 기록하였고 응답 시간은 평균 1.2초로 가장 우수하였다. 조도가 낮아진 100 lux 조건에서는 인식률이 94%로 다소 감소하였으며, QR 손상률이 30%까지 증가한 경우에는 인식률이 85%까지 하락하였다. 그러나 이와 같은 불리한 조건에서도 응답 시간은 평균 1.8초 이내로 유지되어 현장 운영에서 지연 없이 활용 가능한 수준임을 확인하였다.

따라서 본 시스템은 조도와 손상률 등 다양한 환경 요인에 영향을 받음에도 불구하고 안정적인 인식률과 응답 성능을 보장하며, 스마트 온실의 구역 단위 데이터 관리에 실질적으로 적용 가능한 신뢰성과 효율성을 확보하였다.

표 1. QR 코드 인식 성능 평가 결과

Table 1. Experimental Results of QR Code Recognition Performance

QR 손상률(%)	조도 조건(lux)	인식률(%)	응답 시간(초)
0	1000	99.2	1.3
0	500	99.5	1.2
0	100	94.0	1.5
10	500	96.5	1.4
30	500	90.0	1.6
30	100	85.0	1.8

III. 결 론

본 연구에서는 스마트 온실의 구역별 작물 관리 효율성을 높이기 위해 클라우드 기반 QR 시스템을 제안하고 그 성능을 검증하였다. 제안된 시스템은 구역 단위 QR코드를 통해 고유 식별자를 부여하고, 클라우드 서버와 연동하여 데이터를 실시간으로 조회·관리할 수 있도록 설계되었다. 데이터 관리 구조는 정형 데이터와 비정형 데이터를 동시에 처리할 수 있도록 관계형 데이터베이스와 오브젝트 스토리지지를 결합하였으며, JSON 스키마 검증과 무결성 확인 절차를 통해 데이터의 정확성과 신뢰성을 확보하였다.

파일럿 실험 결과, 제안된 시스템은 다양한 조도 조건과 QR 손상률에도 불구하고 평균 93% 이상의 인식률을 유지하였으며, 응답 시간 또한 2초 미만으로 측정되어 현장 운영에 적합한 성능을 보였다. 이는 QR코드 인식 안정성이 데이터 접근 지연을 최소화하고, 클라우드 기반 데이터 관리 구조의 전송·저장 효율성과 결합함으로써 구역 단위 관리 체계의 실질적 운영 효율을 향상시킬 수 있음을 입증한다.

향후 연구에서는 보다 다양한 환경조건에 따른 인식 성능 분석과 함께, 대규모 온실 환경에서의 확장성 검증이 필요하다. 또한 QR코드와 IoT 센서를 결합하여 자동 데이터 수집 및 AI 기반 분석으로 확장하는 방안도 모색할 수 있을 것이다[6]. 본 연구의 결과는 스마트 온실 관리의 효율화를 위한 실질적이고 저비용의 솔루션으로서, 정밀 농업 실현에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

“이 논문은 2025학년도 국립순천대학교 글로컬대학 사업비의 지원을 받아 연구되었음”

참 고 문 헌

- [1] K. M. Hosny, W. M. El-Hady, and F. M. Samy, “Technologies, protocols, and applications of IoT in greenhouse farming: A survey of recent advances,” *Information Processing in Agriculture*, vol. 12, no. 1, pp. 91 - 111, 2024
- [2] J. A. Morales et al., “Smart greenhouse construction and irrigation control system for climate variability,” *PLOS ONE*, vol. 18, no. 10, e0292971, 2023
- [3] H. R. Hasan, A. Musamih, K. Salah, R. Jayaraman, and I. Yaqoob, “Smart agriculture assurance: IoT and blockchain for trusted sustainable produce,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 224, 109184, 2024
- [4] E. Suryaningsih, M. A. Rahman, M. R. Taskurunegar, and M. Iibnus, “An IoT-based greenhouse system using LoRaWAN and a cloud platform,” *Systems Science & Control Engineering*, vol. 12, no. 1, 2306825, 2024
- [5] N. N. K. Krisnawijaya, B. Tekinerdogan, C. Catal, and R. van der Tol, “Reference architecture design for developing data management systems in smart farming,” *Ecological Informatics*, vol. 81, 102613, 2024
- [6] G. Lv et al., “Blockchain-based traceability for agricultural products: A systematic literature review,” *Agriculture*, vol. 13, no. 9, 1757, 2023