

식물공장에서 파생한 부산물 QR 처리 시스템 관한 연구

신현태, 이명훈*

*국립순천대학교

sy4448441@naver.com, leemh777@scnu.ac.kr

A Study on the QR Processing System for Byproducts Derived from Plant Factories

Shin Hyuntae, Lee MyeongHun*

*Sunchon National Univ.

요 약

본 논문은 식물공장에서 발생하는 암면·코코피트·펠라이트 및 식물 잔사체를 효율적으로 관리하기 위해 분류코드 - QR 코드 - AI 의사결정을 연계한 부산물 처리 시스템을 제안한다. 재배라인별로 배지 사용 정보를 담은 QR 코드를 발급·부착하고, 작기 종료 후 스캔을 통해 부산물 정보를 자동 수집한 뒤, 기준표 기반 알고리즘으로 재활용·조건부 재사용·폐기 여부를 판정한다. 처리업체 매칭, 수거 일정 생성, 처리 결과 보고를 한 플랫폼에서 자동화하며, 축적된 정상/예외 데이터를 AI가 학습해 분류 기준을 점차 고도화하도록 설계하였다. 이를 통해 수직농장 부산물의 전 과정을 데이터 기반으로 추적·관리하고, 향후 행정 시스템 연계 및 자원 순환 농업 모델 구축의 기초 플랫폼으로 활용할 수 있음을 보였다.

I. 서 론

전 세계적으로 도시화를 이 점점 증가하고 있으며 환경문제, 자연재해에 따른 노지에서 안정적인 농산물 공급이 어려워지고 있고 이에 따라 농산물가격 변동으로 인한 경제적 문제, 식품안전성, 한국 사회의 고령화 현상 등과 같은 다양한 문제에 직면해있다.[1] 위와 같은 상황으로 인하여 외부 기상 조건과 분리된 폐쇄형 재배 환경을 기반으로, 연중 균일한 품질의 농산물을 생산할 수 있는 수직농장 및 식물 공장형 스마트농업 시스템이 점차 확대되고 있다.

국내 스마트농업 실태조사에서도 인공광·밀폐형 재배 시스템을 독립된 스마트농업 유형으로 분류하고, 향후 고부가가치 작물 생산과 도시 농업 확산을 견인할 수 있는 주요 분야로 제시하고 있다.[2]

이러한 시스템은 토양 대신 영양액과 재배용 배지를 활용하는 수경재배를 기본 구조로 채택하였으며 암면, 코코피트, 펄라이트 등과 같은 고힐 배지가 작물의 지지와 수분·양분 공급을 위한 주요 매체로 사용되고 있다.[3]

식물공장 환경에서 사용되는 고힐 배지의 물리·화학적 특성이 작물의 생육, 수량 및 과실 품질에 직접적인 영향을 미친다는 결과가 반복적으로 보고되고 있다.[4] 또한 배지 종류별로 배액의 무기이온 농도와 배액량을 분석한 연구에서는 코코피트, 펄라이트, 입상 암면 등 배지 조성에 따라 양분 흡수 패턴과 배액 특성이 상이하게 나타났으며,[5] 순환식 딸기 수경재배 시스템에서도 배지별 무기이온 흡수 특성이 서로 달라 재배 관리 전략 수립 시 배지 선택을 고려해야 함이 보고되었다.[6] 코코 피트 배지의 염류 세척 및 칼슘 보정에 관한 연구에서는 작기 진행에 따라 배지 내 염류가 축적되고, 적절한 세척 및 Ca 보충이 이루어지지 않을 경우 생육 및 수량이 저하되는 반면, 제염 및 보정 처리를 통해 수량과 품질이 회복될 수 있음을 확인하였다.[6] 더불어 식물공장 재배 청경채와 상추 묘를 대상으로 발아 조건, 배지 종류 및 양액 농도에 따른 생육 특성을 분석한 연구에서는 암면, 펄라이트, 피트모스 등 배지 조합에 따라 묘의 생장 반응이 다양하게 나타나, 폐쇄형·다단 재배 시스템에서도 배지가 필수적인 재배 요소임을 보여주고 있다.[1]

이에 본 연구에서는 수직농장 운영 과정에서 파생되는 고힐 배지 부산물과 식물 잔사체를 통합적으로 관리하기 위해, 재배 라인별 QR 코드를 기반으로 하는 부산물 처리 시스템을 개발하였다. 재배 단계에서 각 재배 라인에 배지 유형, 재배 작물, 사용 기간 등 정보를 포함한 QR 코드를 발급·부착하고, 작기 종료 시 QR 스캔을

통해 배지 사용 이력과 부산물 발생 정보를 자동 수집하도록 구성하였다.

식물 잔사체의 경우, 수거 시점에 등록되는 오염 정도, 양, 발생 위치 등의 데이터를 AI 기반 의사결정 모듈에 입력하여, 적정 처리 방식 및 처리업체를 자동으로 매칭하는 구조로 설계하였다. 고힐 배지는 성분 분석 및 사용 이력 데이터를 주기적으로 업데이트하여 재활용 가능성 및 교체 시기를 판단하고, 그 결과를 처리 분류코드로 발급함으로써, 향후 재활용·매립·소각 등 처리 경로를 체계적으로 관리할 수 있도록 하였다. 본 시스템을 통해 수직농장 기반 스마트농업에서 배지와 식물 잔사체를 포함한 부산물을 QR·AI 기반 데이터 흐름으로 관리·재활용할 수 있는 기반을 마련하고자 한다.

II. 본론

표 1. 초기 기준표

배지 유형	주요 성분	작기 전 pH	작기 후 pH	작기 전EC (dS/m)	작기 후EC (dS/m)
암면	SiO ₂ , CaO, Al ₂ O ₃ 등 무기질, 공극률 93~96%	6.0~6.5	6.8~7.5	0.5~1.0	2.0~4.0
코코 피트	셀룰로오스, 리그닌 등 유기물, 초기 pH 5.5~6.5, EC 증가 우려	5.8~6.5	6.5~7.2	0.3~1.5	1.5~3.5
펄라 이트	규산염 화산유리 / SiO ₂ , 불활성, 중성~약알칼리성 pH	6.0~7.0	6.5~7.5	0.1~0.5	1.0~2.5
재사용 권장	재배후상태	처리 방식	지등 분류 코드	유의사항	
제한적 재사용 가능	공극 붕괴, pH 5.2~6.0 범위로 산성화, 이물질 혼입률 높음	조건부 재활용 가능, 품질 저하 시 매립	RW-HI-R (재활용), RW-LI-M (매립)	pH 상승, EC 축적 심함	
세척 후 재사용 가능	염류 축적, 병원성 잔사 가능, 발효·부패 가능성 존재	퇴비화 가능, 고염류 또는 병원균 잔사 시 소각	CP-HI-C (퇴비화), CP-XI-S (소각)	나트륨 축적 우려	
조건부 재사용 가능	구조는 유지되나 재사용 불가, 오염물 축적 시 정화 어려움	매립 또는 소각	PL-LI-M (매립 또는 폐기)	물리성 변화 없음, 화학성 축적 가능	

표 1은 식물공장에서 주로 사용되는 암면, 코코피트, 펄라이트를 대상으로 작기 전·후 pH와 EC 범위, 재배후 물리·화학적 상태, 재사용 권장 수준, 권장 처리 방식, 자동 분류코드, 유의사항을 종합하여 정리한 초기

기준표이다. 각 배지 유형별로 재배 과정에서 발생하는 공극률 변화, 염류 축적, 병원성 잔사 가능성등을 정량·정성적으로 구분하고, “재활용 가능-조건부 재사용-폐기 또는 소각”과 같은 처리 방향을 코드화하여 제시하였다. 이 기준표는 국내 암면·코코피트·펄라이트 재사용 관련 연구와 코코피트·혼합배지의 pH·EC 변화 및 재활용 사례를 다룬 국외 문헌, 그리고 농촌진흥청의 코코피트 재사용 사례 보고서를 분석하여 도출한 값과 서술을 통합해 구성하였다. 표 1의 항목들은 이후 재배라인별 QR 코드에 연동되는 초기 분류코드와 처리 추천 값의 기본 기준으로 활용되며, AI 기반 의사결정 알고리즘의 입력 변수와 규칙 설정에도 사용된다.

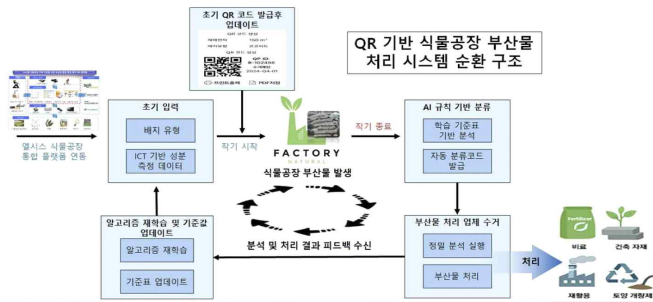


그림 1. 전체 흐름도

그림 2는 QR-AI 기반 수직농장 부산물 처리시스템의 전체 구조를 나타낸다. 작기 시작 시 농가는 배지 등록 시스템에서 농장 식별정보, 재배면적, 배지 유형, 재배 작물 등을 입력하고, 해당 정보는 표 1의 초기 기준표와 매핑되어 DB에 저장된다. 작기 종료 후 식물공장에서 배지 및 식물 잔사체가 발생하면, DB에 누적된 사용 이력과 성분 정보를 ICT 기반 분류 알고리즘이 불러와 처리 기준을 판정하고, 재활용·조건부 재사용·매립·소각 등으로 구분되는 분류코드를 생성한다. 생성된 분류코드는 QR 코드 자동 생성 모듈에서 재배 라인별 QR 코드로 변환되어 부여되며, 처리업체 연계 및 스케줄링 모듈은 이 QR 정보를 기반으로 수거업체를 자동 지정하고 수거 일정과 통보 메시지를 생성한다. 처리 추적 및 보고 자동화 모듈은 실제 처리 결과(처리 일시, 방식, 물량 등)를 실시간으로 DB에 전송하고, 행정 보고서 형식의 출력물을 자동 생성한다. 최종 처리 결과 데이터는 AI 학습 및 개선 모듈로 피드백되어 기준표와 분류 규칙을 갱신함으로써, 이후 발생하는 부산물에 대해 보다 정교한 처리 기준과 분류코드를 제시할 수 있도록 알고리즘 성능을 지속적으로 향상시키는 구조로 설계하였다

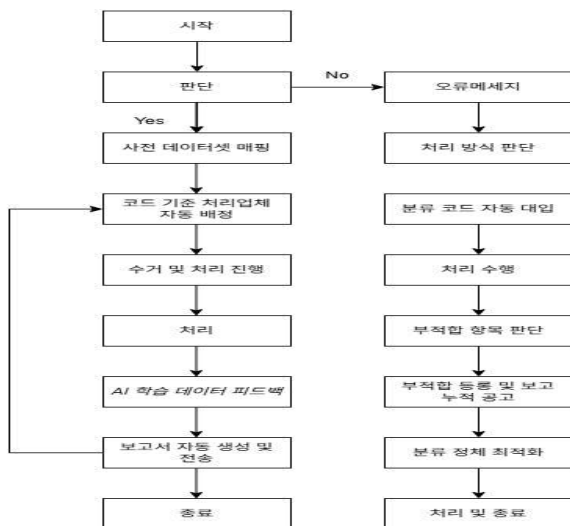


그림 2. 플로우 차트

그림 2는 부산물 처리 과정에서 AI 학습이 이루어지는 흐름을 나타낸다.

우선 입력된 배지·부산물 정보가 초기 기준표와 사전 데이터셋에 매핑되면, 시스템은 코드 기준에 따라 적정 처리업체를 자동 배정하고 수거·처리를 진행한다. 처리 완료 후에는 실제 처리 방식, 처리 비용, 처리 소요 시간, 재활용 여부 등의 결과가 DB에 저장되고, AI 학습 데이터로 피드백된다. 이 정상 처리 데이터는 “해당 조건에서 가장 효율적인 처리 코드가 무엇인지”를 학습하는 데 사용되며, 이후 동일·유사 조건의 부산물에 대해 분류코드와 처리업체 배정 기준을 점진적으로 보정하는 역할을 한다. 반대로 필수 정보 누락, 기준을 벗어난 pH·EC, 과도한 오염 등으로 인해 예외가 발생한 경우에는 오류 메시지를 출력한 뒤, 예외 유형에 따라 임시 분류코드를 자동 대입하거나 ‘부적합 항목’으로 등록한다. 이 부적합 데이터는 별도의 레이블로 누적·관리되며, 향후 AI가 “어떤 조건 조합이 처리 실패·부적합으로 이어지는지”를 학습하는 부정(negative) 사례로 활용된다. 이를 통해 본 시스템은 단순히 오류를 무시하지 않고, 현장 예외 상황을 알고리즘 성능 향상을 위한 학습 데이터로 전환할 수 있도록 설계하였다.

III. 결론

본 연구에서는 수직농장에서 발생하는 암면·코코피트·펄라이트 등 고품 배지 부산물과 식물 잔사체를 대상으로, 분류코드 - QR 코드 - AI 의사결정을 연계한 처리시스템을 설계·구현하였다. 배지 특성과 오염 수준을 반영한 기준표를 바탕으로 분류코드를 자동 부여하고, 재배 라인별 QR 코드를 통해 수거 일정, 처리 결과, 재활용 가능성을 단일 플랫폼에서 관리할 수 있도록 하였다. 또한 처리 결과를 AI 학습 데이터로 축적하여 예외 사례와 최적 처리 패턴을 지속적으로 반영함으로써, 시간이 지날수록 기준이 고도화되는 자기 개선형 시스템 구조를 제시하였다. 향후에는 실제 수직농장 및 행정 시스템과의 연동 실증을 통해 재활용 효율, 처리 비용 절감 효과를 정량적으로 검증하고, 타 작물·타 배지 유형으로 확장하는 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

“본 연구는 2025년도 전라남도 재원으로 전남인재평생교육진흥원의 지원을 받아수행되었습니다.”

참 고 문 헌

- [1] 임광석, “도시농업 활성화를 위한 도시형 수직농장 계획에 관한 연구,” 국내 석사학위논문, 홍익대학교 건축도시대학원, 서울, 2013.
- [2] 농림수산식품교육문화정보원, “2023년 스마트농업 실태조사 보고서,” 2024.
- [3] 최효길, 권준국, 박경섭, 강윤임, 조명환, 노일래, 강남준, “말아조건과 배지종류 및 양액 농도에 따른 식물공장 재배 청경채와 상추의 묘 생육특성,” Journal of Bio-Environment Control, vol. 20, no. 4, pp. 320-325, 2011.
- [4] 전하준, 황진규, 김인규, 손미자, 이기명, Yuji Udagawa, “딸기 고설수경재배에서 2층 고품배지가 생육, 수량 및 과실의 품질에 미치는 영향,” Kor. J. Hort. Sci. Technol., vol. 24, no. 2, pp. 157-161, 2006.
- [5] 이성교, 최은영, 임기희, 최기영, “딸기 수경재배에서 배지종류에 따른 배액의 무기이온 농도 및 수량,” Horticultural Science and Technology, vol. 36, no. 2, pp. 337-349, 2018.
- [6] 전하준, 황진규, 류습생, 장미순, “고형배지를 이용한 순환식 딸기 수경재배에서 배지 종류 별 무기이온 흡수특성,” Journal of Bio-Environment Control, vol. 20, no. 1, pp. 33-38, 2011.
- [7] 윤혜숙, 안재욱, 황연현, 안철근, 장영호, 손길만, 노치웅, “코코피트 배지의 염류세척과 칼슘침가가 수경재배 딸기의 생육과 수량에 미치는 영향,” Kor. J. Hort. Sci. Technol., vol. 30, Suppl. I, 2012.