

인공지능 기반 시설원예 최적 복합 환경 제어 기술

민재홍

한국전자통신연구원

The optimal control technology on complex environment in horticulture based on artificial intelligence

Jae Hong Min

ETRI

E-mail : jhmin@etri.re.kr

요 약

우리나라는 시설 재배 작물의 생산성이 농업 선진국인 네덜란드에 대비하여 낮고, 이상기후에 따른 일조부족, 이상 저온, 고온 등으로 시설재배작물의 생육부진 및 생산성 저하를 극복하기 위해 시설 현대화 및 복합 환경조절 기술이 필요하다. 한편, 국내의 시설원예 복합 환경 제어는 스마트폰으로 비닐하우스 내부 상황을 확인하고 스프링클러·보온덮개·커튼·환풍기 등을 원격으로 작동시킬 수 있는 기계자동화 수준이다. 따라서 본고는 시설원예 최적 복합 환경제어의 자동화를 실현하고, 시설 재배 작물의 품질 및 생산성 향상에 기여하기 위하여 생육모델과 재배 기술 지식베이스에 기반한 시설원예 최적 복합 환경 제어 기술 개발 방안을 제시하고자 한다.

ABSTRACT

The productivity of cultivated crops in Korea is low compared to the Netherlands, which is an advanced agricultural country. In addition, modernization of facility and complex environmental control technology are needed to overcome poor growth and productivity deterioration caused by shortage of sunshine, abnormal temperature and high temperature due to abnormal climate. On the other hand, domestic facility horticulture complex environmental control is a level of machine automation that can check the internal situation of a green house with a cell phone and remotely operate a sprinkler, heat cover, curtain, ventilator. Therefore, this paper suggests the development of optimum environment control technology for facility horticulture based on the growth model and the cultivation technology knowledge base in order to realize the automation of optimal complex environment control and contribute to improvement of quality and productivity of cultivated crops.

키워드

시설원예, 복합 환경제어, 스마트농업, 인공지능경망

1. 서 론

우리나라 농업은 FTA체결에 따른 시장개방으로 곡물의 자급률이 하락하고, 농촌의 고령인구 증가 가속화로 국내 농업이 위축되고 있다. 또한 이상 기온으로 인한 일조부족, 이상 저온 및 고온 등으로 시설재배작물의 생산성이 농업 선진국인 네덜란드에 대비하여, 파프리카 생산량은 64% 수준이고 토마토 생산량은 53%에 그친다. 이러한 대내외적인 어려움을 극복하고 농업을 새로운 국가 성장 동력으로 육성하기 위하여 자본·기술 집약적인 차세대 농업생산시스템으로서 스마트팜 기술개발이 필요한 시점이다. 스마트팜은 기존의 온실, 축사 및 과수원의 자동화 생산기술에 ICT 기술을 융합하여 원격 및 자동으로 작물과 가축의 생육환경을 적정하게 유지·관리하여 농산물

의 생산성과 품질을 제고하는 농장을 의미한다. 특히, 시설하우스 복합환경제어는 농작물의 생육 정보와 환경정보 등에 대한 정확한 데이터를 기반으로 농작물의 생육환경을 원격·자동으로 제어하여 작물의 최적 성장환경을 유지·관리하는 것으로 스마트팜 구현을 위한 핵심기술이다 [1][2][3].

한편 현재의 국내 시설하우스의 복합환경제어 기술은 온도, 습도 및 CO₂ 등의 환경을 데이터베이스 기반(또는 지식베이스)의 제어가 아닌, 일반적인 작물재배 기술 및 전문가의 자문을 통하여 환경을 설정하여 기계적으로 조작하는 H/W 자동화 단계이다. 이러한 단순한 노동력 절감의 H/W 자동화를 지능화하고 실질적인 생산량 증대 및 고품질의 농산물 생산을 위하여, 식물의 생육 상

태 및 환경을 실시간으로 모니터링하고 데이터베이스(또는 지식베이스)기반으로 최적 환경을 제어하는 복합환경제어 기술이 필요하다.

따라서 본고는 이러한 복합환경제어기술의 방안 제시의 일환으로 과채류 시설재배 온실에서 시설환경 및 작물 생육 상태를 모니터링하고, 작물 생육 모델 및 재배 기술 지식베이스 기반으로 최적 환경제어 설정 값 도출, 생육·병해충·장해 진단 및 처방 및 생산량 및 품질 예측 등을 복합환경제어기와 연동하여 운영이 가능한 첨단 의사결정 지원 시스템의 구조를 제시하고자 한다.

II. 국내외 복합환경제어 기술 개발 현황

국내에서 1996년도에 시설 오이 병해 진단 및 방제 관리 전문가 시스템 개발하였다. 시설재배에서 나타나는 오이의 각종 생리장애 및 병은 작물-환경-병원균의 상호작용에 의하여 발생되므로 시설재배자의 입장에서는 특정 병이 발생될 경우 병의 진단과 방제 방법 등에 대한 판단이 대단히 어렵고, 많은 경우 전문가의 자문을 필요로 한다. 당시 연구에서는 시설재배 오이의 병해 진단 및 방제 관리를 전문가시스템 개발을 위한 도구를 개발하고, 백변현상 등 12종류의 생리장애, 봉소결핍증 등 5종류의 영양장애, 노균병, 흰가루병 등 13종류의 각종 질병 등에 의한 진단 및 방제, 관리를 위한 지식베이스를 구축하고 이를 바탕으로 시설오이 생육관리 전문가시스템을 개발하였다[4]. 또한, 1998년도에 시설 오이재배 생육모형과 최적 환경제어 논리구조 모델 개발하였다. 연구 범위는 시설 내 환경변이 따른 오이의 생육반응을 분석하고, 시설 내의 환경변이 모형을 개발·검증하여, 고품질의 오이를 생산하기 위한 최적 환경제어 알고리즘의 개발을 통해, 그 수량예측 모형을 제시하였다[5].

국내 최초로 1997년에 시설 토마토재배 최적 환경구현을 위한 알고리즘을 개발하였다. 이 연구에서는 시설재배 작물의 생산성과 수익성 향상을 위한 시설 내 복합환경 제어 논리의 개발 및 실용화를 최종목표로 시설재배 토마토의 생육 모델 개발하여 모델의 검증 및 복합환경제어에 응용하였다. 생육모델은 온실내 일사량, 온도, 습도, CO2농도 등을 입력변수로 하는 토마토 생육 모델의 이론적 설계, 생육 모델의 매개변수 정량화 및 검증을 위한 토마토 재배실험 및 환경계측을 하였다[6].

그리고 2016년도에 시설 토마토의 생산성과 수익성 향상을 위한 환경제어기의 개발을 위해서 토마토 온실재배의 최적 환경제어 기준표를 개발하였다. 본 기준표에는 온도, 광선, CO2의 농도, 급액 등 토마토의 최적 생육을 위한 생육 단계별 환경제어 환경 설정값들이 포함된다. 또한 시설 토마토 생육 및 수량 예측 모델을 개발하였다. 이 모델은 토마토의 생장 및 발육속도를 지배하는 주요인을 온실의 기

온, 습도, 일사량, 이산화탄소 농도로 설정하고, 시간별 광합성을 계산하고 이를 적산하여 일별 건물축적속도와 각 기관의 수용부 강도(Sink strength)비율에 따라 각 기관으로 동화산물이 배분되도록 하여 각 기관의 생장을 계산하였다. 또한, 화방 생성, 과실 성숙 등에 대한 발육속도는 환경 요소로부터 매일 계산하고, 일별 생장 및 발육속도를 생육기간에 따라 적산하여 토마토 생장과 발육을 모의·예측하였다. 그리고 토마토의 장해를 진단하는 목적이 아닌 토마토의 생육 품질에 대한 진단으로, 진단 결과 생육 환경(온도 습도, 양액 등)의 조절을 통하여 최적의 생육을 유도하기 위한 진단 시스템 개발하였다. 생육을 확인할 수 있는 주요 지표를 개발하고 해당 지표에 따라 생육을 진단하고 조치하는 기술에 대한 연구를 진행하였다[3].

국외의 상용화 제품은 네덜란드의 PRIVA, Hortimax 등이 있다. 그중 가장 대표적인 제품은 네덜란드 Priva회사에서 제공 하는 Priva계열 시스템이다. 이 시스템은 의사결정 지원시스템을 복합기에 내장하여 농업에 활용함으로써 세계 최고 수준의 농산물 생산량과 품질을 자랑하고 있다. Priva는 원예 농업과 온실 운영을 총체적으로 관리할 수 있는 시스템을 출시해 작물이 필요로 하는 조명, 온도, 수분, 영양 요소까지를 총체적으로 관리하는 시스템을 제공하여 단위면적당 세계 최고의 생산성을 자랑한다. 또한, 재배 작물별로 필요로 하는 환경 조건 등 방대한 자료를 축적하고, 이를 기반으로 의사결정 지원시스템의 지속적인 수정·보완이 가능하다[3].

국내외 복합환경제어 기술개발 동향을 요약하면<표 1>과 같다[3].

<표 1> 국내외 기술개발 동향 비교

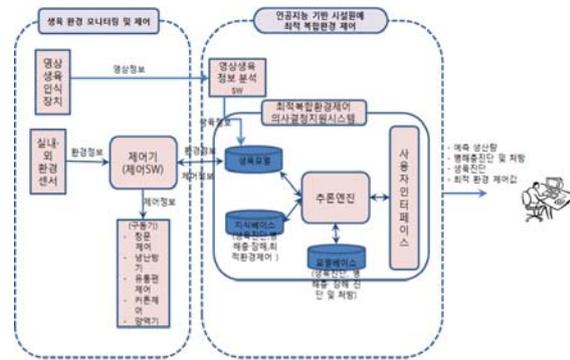
분야	국내	국외(네덜란드)
최적환경 제어 모델 개발	- 토마토와 오이에 대한 최적 환경제어 모델이 개발되었으나 실제 상용화되지 못함	- 토마토, 파프리카, 오이, 장미, 국화에 대한생육 및 최적 환경제어 모델이 개발되었음 - 개발된 모델을 바탕으로 컨설턴트들이 농가에 적용
온실 환경 조절 기술	- 난방, 냉방, 탄산가스 시비, 차광 기술이 단일 요인 위주로 개발되어 복합적응에 따른 수량 증수 및 품질 비교 필요	- 난방, 냉방, 탄산가스 시비, 차광, 보광 등 작물 생육에 적합하게 복합 환경 조절을 통해 최적 환경을 조성하여 최대 생산성을 달성
장기 재배 관리 기술	- 생식 생장과 영양 생장에 관한 환경조절 연구가 필요함	- 컨설턴트들이 작물의 상황을 파악하여 복합환경제어기 및 양액제어기의 파라미터를 조절함

III. 복합환경 제어 의사결정시스템 기본 구조

2장에서 살펴본 국내의 복합환경제어 기술은 스마트 폰을 통해 원격제어 및 감시기능을 제공함으로써 시간과 비용을 아낄 수 있으며 편한 영농을 가능하게 한다. 이러한 여러 가지 장점이 있음에도 불구하고 국내 제품은 시설원에 환경제어 관련된 데이터가 많이 축적 되어 있지 못하고 분석모델도 부족하여, 아직 국외 제품에 비하여 기술 경쟁력과 안정성이 미흡한 상황이다[3].

따라서 본고에서는 국내 복합환경제어 기술을 지능화하기 위하여 기존의 단편적이고 다양한 분야의 연구를 통합한 복합환경 제어 의사결정지원 시스템을 제시하고자 한다. 의사결정지원시스템은 복잡하고 다양한 문제를 해결하기 위한 다양한 기능을 수행하는 블록의 집합으로, 사용자와 전문가 사이의 정보의 상호전달을 편리하게 하는 사용자 인터페이스(user interface)와 전문가 시스템의 구동을 위해 필요한 독립된 구조인 지식 베이스(knowledge base), 그리고 지식베이스의 검색과 추론 등을 구현하는 추론엔진과 전문가 시스템의 문제 해결을 돕기 위한 DB 및 시뮬레이션 모형(simulation model)등이 유기적으로 통합된 구조의 형태를 가짐으로써 하나의 시스템을 구성하게 된다. 복합환경 제어 의사결정시스템의 기본 구조는 (그림 1)과 같고, 주요 블록의 기능을 다음과 같다.

- 생육 모델 : 축적된 생육 정보, 환경정보의 기계학습을 통한 복합 환경과 생육의 관계를 정량화한 인공신경망 모델 개발
- 지식베이스 : 생육진단, 생육장해·병해충 진단 및 최적 환경제어 지식 베이스
- 모델베이스 : 생육진단, 생육장해·병해충 진단 및 처방 모델 개발
- 추론 엔진 : 생육모델 및 지식 모델 베이스를 이용한 생산량 예측, 병해충 진단·처방, 생육진단 및 최적 환경제어값 산출
- 사용자인터페이스 : 의사결정지원 정보를 웹기반 인터페이스로 검색하고, 제어기 및 구동기 등을 PC 및 스마트폰을 통해 조정



(그림1) 인공지능 기반의 시설원에 최적 복합환경제어 시스템 기본 구조

IV. 복합환경 제어 의사결정시스템 주요 기능

3장에서 제시한 복합환경 제어 의사결정시스템의 주요 기능 블록에 대한 세부 기능을 살펴보면 다음과 같다.

■ 지식베이스(knowledge base)

생육진단, 생육장해·병해충 진단 및 최적 환경제어에 관련된 전문가의 지식은 지식 베이스에 저장한다. 지식베이스는 지식 베이스 관리 시스템(knowledge-based management system)의 관리 하에 있게 되고, 전문가의 지식이 지식 획득 기구(knowledge acquisition mechanism)를 거쳐서 지식 베이스에 저장된다[8].

■ 모델베이스

생육진단, 생육장해·병해충 진단 및 최적 환경제어에 관련된 전문가의 지식을 기반으로 개발된 진단 및 처방 모델은 모델 베이스에 저장한다. 모델베이스는 모델 베이스 관리 시스템(Model-based management system)의 관리 하에 있게 되고, 전문가의 지식에 기반한 모델은 모델 획득 기구(knowledge acquisition mechanism)를 거쳐서 모델 베이스에 저장된다[8].

■ 생육모델(growth model)

기존의 시설원에 농작물의 생산량 예측은 작물 생육모형을 이용하여 육묘 후 수확 전까지 생육상태를 관측하여 이를 기반으로 생산량을 회귀모형 및 시계열 모형을 기반으로 추정하는 방식이다. 본 연구는 기존의 모형의 문제점을 보완할 수 있는 새로운 모형 개발 방법인 인공신경망 모델을 제안한다. 인공신경망은 독립변수 간 상관관계, 변수 분포에 대해 특별한 가정을 하지 않고, 변수들 간의 비선형 관계에 대한 분석이 가능하고, 모형의 일반화에 장점을 가지고 있다[10].

대표적인 시설원에 작물인 과채류(토마토 및 파프리카)에 대한 생산량 예측 인공지능망 모형의 구조는 정보가 들어가는 입력 층, 결과 값을 내는 출력 층과 입력 층과 출력 층 사이에서 정보를 처리하는 1개의 은닉 층으로 구성될 수 있으며, 각 구성 층은 가중치와 연결강도에 의해 결정된다. 입력 층의 노드는 생산량에 일차적인 영향요인인 환경요인으로 구성되고 은닉 층은 생산량에 직접적인 요인인 생육상태 요인으로 구성하고 출력 층은 생산성의 중요지표인 생산량, 품질, 수확시기로 구성한다[10].

■ 추론엔진(inference engine)

추론 엔진은 사용자가 요구한 문제와 현재의 상황을 기술하는 사실(fact) 정보와 지식 베이스에 저장된 도메인 지식 및 모델베이스의 모델[생육모델, 생육진단, 생육장해·병해충 진단 및 최적 환경제어 모델]을 이용하여 다양한 형태의 추론을 통해 문제 해결을 위한 적절한 결론을 도출하는 프로세서이다[7][8].

추론이란 주어진 규칙(rule)과 사실(fact)의 모임으로부터 논리적으로 타당한 새로운 사실을 얻어내는 과정으로, 복합환경 제어 의사결정시스템은 지식 및 모델베이스 내의 규칙을 이용하여 논리적으로 추론을 할 수 있도록 설계되어야 하며, 이를 수행하는 장치가 추론 엔진(inference engine)이다[7][8].

■ 사용자 인터페이스(user interface)

사용자와 시스템 사이에서 직접적으로 보여주거나 사용자로부터 입력을 받는 부분이다. 이는 추론에 필요한 정보를 얻기 위해서 사용자에게 질문을 하고 답을 얻어내고 사용자의 이해를 돕기 위해 그림 및 도움말이 있다. 사용자 인터페이스에서는 사용자의 자연어를 컴퓨터가 이해할 수 있도록 변환해주는 기능과 반대로 컴퓨터의 실행결과를 사용자가 이해할 수 있는 자연어로 변환해 주는 기능을 갖고 있는 모듈을 말한다[8].

V. 결 론

국내 온실용 복합환경제어 기술은 온도, 습도 및 CO₂ 등의 환경을 작물재배 기술에 의존하거나 전문가의 자문을 통하여 환경을 설정하는 단계이다. 이러한 방식은 노동력 절감 등의 단순효과만 있으나, 실질적인 생산량 증대 및 품질을 개선효과가 미흡함으로 작물의 생육 및 생리 상태를 실시간으로 모니터링하고, 생육모델에 기반하여 최적 환경을 자동 제어하는 방식으로의 전환이 필요하다. 이러한 방식의 전환의 일환으로 S/W 기반의 복합환경제어기술을 기존의 산·학·연에서 수행한 연구결과를 분석하고, 단편적이고 다양하게 수행한 연구분야를 종합화하여 통합된 시스템인 복합환경 제어 의사결정시스템을 제안하였다. 따라서 본 논문에서 제시한 복합환경 제어 의사

결정시스템을 이용한 생산량 예측 방안 및 최적 복합 환경 제어 수치를 복합환경제어 장치에 적용하여 최적 환경제어에 활용하기 위하여 시설원에 현장에서 발생하는 환경 및 생육 자료를 장기적으로 축적하고, 이를 기반으로 환경과 생육간의 계량적인 관련성을 분석하여 생육모델을 개발하여야 한다. 또한 지속적으로 전문가의 생육진단, 생육장해·병해충 진단 및 최적 환경제어 정보를 수집하고, 지식베이스에 축적하여 적절한 처방을 제시할 수 있도록 하여야 한다.

그리고 본 논문에서 제시한 인공지능망을 이용한 복합환경제어 알고리즘 개발은 작물 재배 분야 전문가와 인공지능분야 전문가의 협업을 통하여 장기적인 연구개발 과제를 지속적으로 수행하여야 한다. 또한 작물별로 개발된 알고리즘의 학습 및 보안을 지속적으로 수행하기 위하여 장기적이고 지속적인 자료 수집이 요구됨으로, 자료 구조에 대한 표준화를 통한 자료 수집 및 활용의 효율성을 높이는 작업이 병행되어야 한다.

참고문헌

- [1] 김상철, “한국형 스마트팜 모델 개발과 표준화”, 국립농업과학원, 2016. 2.
- [2] 농림수산식품교육문화정보원, “스마트팜 빅데이터 수집 및 활용체계 구축”, 2016. 7.
- [3] 피재호외, “시설작물 최적 생육관리 모델 개발”, 농촌진흥청, 2017. 2.
- [4] 조인성, “시설 오이 병해 진단 및 방제 관리 전문가시스템 개발”, 농진청, 1995.
- [5] 임준택, “시설재배 오이의 생육모형과 최적 환경제어 소프트웨어 개발”, 순천대학교, 1998.
- [6] 이변우, “시설 토마토 재배 최적환경구현을 위한 자동제어 논리개발”, 서울대학교, 1997.
- [7] 고병진, “오이와 토마토 생육장해 진단을 위한 전문가 시스템 개발”, 전남대학교 대학원 농공하고가, 2001. 2.
- [8] 조영임, “인공지능시스템”, 홍릉과학출판사, 2012. 8.
- [9] 지식정보화담당관실, “스마트팜 측정빅데이터 분석 매뉴얼(ver.1)”, 농촌진흥청, 2016. 8.
- [10] 박진기, “인공시경망을 이용한 쌀 생산량 예측 및 기후변화 시나리오 적용”, 충북대학교 대학원, 2014. 2.