

퍼지 전문가 제어 알고리즘을 이용한 배양액 증량 제어시스템의 구현

노희석, 김승우
순천향대학교

A Study on Implementation of an Automation System for the Culture-Fluid Weighing System Using Fuzzy Expertized Control Algorithm

Heeseok Rho, Seungwoo Kim
Soonchunhyang University

Abstract - In cope with insufficient agricultural labor and requirement of high quality product Hydroponics is a really good method. It makes the high density agriculture possible and all the growing environments controllable. So its research is so much progressing to maximize the quantity and quality of farm products. Furthermore, the big progress, in the research of a future agriculture, is systematically conducted for the automatic controlled system.

In this paper, a practical automatic control cultivation system is implemented. To automatically control and optimize the very nonlinear and time-varying growth of farm products, a hybrid strategy(FECA: Fuzzy Expertized Control Algorithm) is proposed which serially combines a fuzzy expert system with the fuzzy logic control. The fuzzy expert system(FMES: Fuzzy Model-based Expert System) is intended to overcome the non-linearity of the growth of farm products. The part of fuzzy controller is incorporated to solve the time-variance of the growth of farm products. Finally, the efficiency and the effectiveness of the implemented agricultural automation system is presented through the cultivation results.

1. 서 론

세계적으로 상공업의 발전과 그에 따른 도시와 농촌의 소득 격차는 노동력의 도시집중화를 가속화시켜 농촌 노동력의 급속한 감소를 초래했으며 공업화에 따른 관계수와 토양 및 환경의 오염은 보다 높은 품질의 농산품을 요구하기에 이르렀다. 이와 같은 농촌 노동력의 감소와 고품질 상품의 요구는 생력적이면서 작물의 품질 제어가 가능한 양액재배(수경재배 : Hydroponics)에 많은 관심을 갖게 만들었다. 양액재배는 유리온실과 같은 시설재배에서 재배하는 것이 일반적이다. 시설내에서는 각종 작물을 고밀도로 배치하고 생육에 영향을 미치는 각종 환경 요인을 자동적으로 제어하는 것이 가능하기 때문에 작물생산의 장점을 극대화하기 위한 작물 생산 시스템의 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 더 나아가 미래의 농업 형태로 주목받고 있는 완전제어형 작물 생산 시설 즉 식물공장의 생육환경에 대한 자동제어 시스템과 이에 소요되는 계측 및 제어장치 분야에 관한 연구가 체계적으로 이루어지고 있다. [2][3][4]

본 논문에서는 작물의 성장에 직접 공급되는 배양액의 적절한 조성에 관련된 배양액 제어에서 배양액의 급액량을 제어함으로써 작물의 우량 성장을 자동적으로 조절할 수 있는 고난도 제어시스템을 설계한다.

작물생산 시스템을 통한 동적 자동 제어를 위해서는 각종 환경요인들을 계측하고, 이를 환경제어의 피드백

(feedback) 신호로 활용할 수 있어야 한다. 이를 위하여 계측대상이 되는 재배 및 환경 요인들을 선정하고, 온실 계측 시스템 및 모니터 소프트웨어를 개발하여야 한다. 또한 작물을 재배하는데 직접 공급되는 배양액의 조성비 제어는 배양액을 구성하는 비료들과 pH 그리고 온도 등을 작물의 성장 시기와 성장 상태 그리고 성장 환경에 따라 적절한 구성비로 섞어주는 제어 시스템이다. 그 동안 이것은 입출력이 많고, 제어의 마지막 대상인 작물의 성장 모델링(modeling)이 어려운 관계로 수동 제어 또는 단순 시간 제어를 세계적으로 사용하고 있는 실정에 있다. 그러므로 본 논문에서는 모델없이 비선형성이 강한 제어대상 시스템에 적절한 퍼지 제어 방법으로 그 동안의 문제를 완전히 극복한 적절한 배양액 조성 제어 시스템을 구현하였으며, 본 논문에서는 시변성 및 비선형성이 매우 큰 작물의 성장 최적화 제어에 퍼지 전문가 시스템과 퍼지논리제어 방식을 직렬로 혼합한 새로운 제어 방식을 적용하여 시변성은 퍼지 전문가 시스템으로 비선형은 퍼지논리제어방식으로 극복함으로써 작물의 최적 성장을 실현하였다. 이 때 사용한 입력은 배양액의 급액량으로 배양액의 베지내 양을 제어하고, 그것을 위한 피드백 센서로는 베지내 수분량을 정밀하게 측정할 수 있는 중량센서(weighing system)를 설계 제작하여 사용하였다.

2. 본 론

2.1 FECA에 의한 배양액 제어

퍼지 전문가 기반 제어 알고리즘을 적용한 배양액의 공급량 제어를 위한 계측 제어 시스템의 구성도는 그림 1과 같다.

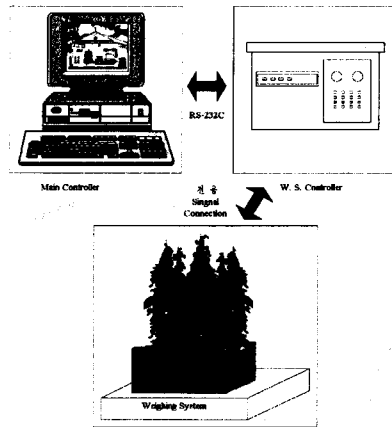


그림. 1 무게법을 이용한 계측 및 제어 시스템

분산제어의 셀 단위의 메인 제어기인 산업용 컴퓨터에는

두 개의 인터페이스 카드가 부착이 된다. 센서로부터 데이터를 받아 처리를 해주는 ADC 보드와 디지털 출력을 위한 Digital I/O 보드이다. 이 보드들이 터미널을 통해 각각 시스템의 센서와 구동펄프 등에 연결이 된다. 이렇게 연결된 시스템은 센서에서 값을 읽어 데이터를 처리하고 그때마다 필요한 데이터를 저장 또는 출력을 하게된다.

농업 자동화에 있어 작물 성장의 제어는 작물의 비선형성과 강력한 시변성에 기인해 만족한 결과를 얻지 못하고 있다. 본 장에서는 퍼지 전문가 시스템에 기초를 둔 새로운 제어 알고리즘 (FECA, Fuzzy Expertized Control Algorithm) 구조를 제안하고 이를 통해 작물 성장을 제어하도록 한다. 작물 성장 시스템은 비선형 시변 시스템으로 수학적으로 표현이 어렵고 매우 많은 불확실성이 관여하는 시스템이다. 농업 작물 성장 시스템은 농업 전문가의 경험에 의한 생산방식이 가장 훌륭한 성장 방식으로 받아들여지는 분야로 전문가의 의견을 그대로 제어 방식으로 표현할 수 있는 퍼지 제어 알고리즘이 가장 적당한 방법이라고 생각할 수 있다. 본 논문에서는 퍼지 전문가 기반 제어 알고리즘(FECA, Fuzzy Expertized Control Algorithm) 구조를 통해 식물 성장 제어 시스템을 구현하도록 한다. FECA는 크게 퍼지 모델 기반 전문가 시스템 (FMES, Fuzzy Model Based Expert System)으로 구성으로 되어 있다.

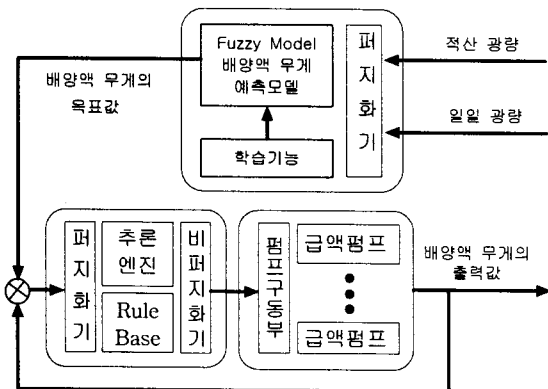


그림. 2 FECA의 구조

FECA의 구조는 그림 2 에서 보는 바와 같이 크게 퍼지 모델 기반 전문가 시스템 (FMES)과 퍼지 논리 제어기 (FLC)의 직렬혼합구조로 되어 있다.

FMES는 작물 성장 시스템의 시변성을 반영하여 이를 상쇄하도록 설계되는 부분으로 원하는 (desired) 배지안의 배양액의 양을 발생 (generation) 시키는 역할을 한다. 이름에서 알 수 있듯이 전문가의 의견을 반영한 데이터를 추출하여 퍼지 모델을 형성하고 이를 기반으로 한 제어 시스템이다. 퍼지 모델로는 최근 각광을 받고 있는 클러스터링기법을 이용한 퍼지 모델을 이용한다.

FLC는 식물 제어에 발생하게 되는 비선형성을 극복하도록 설계되는 부분으로 식물 성장 시스템의 강한 비선형성과 시변성을 상쇄하며 동시에 농업전문가의 경험을 포함하는 퍼지 적응 제어를 사용하도록 한다.

사용한 퍼지 모델링 알고리즘은 대략 조정과 미세 조정의 두 단계로 구성된다. 대략 조정에서는 후건부와 전건부 파라미터가 클러스터링 알고리즘에 의해서 근사적으로 조정되며 미세 조정시에는 후건부 및 전건부 파라미터가 더욱 정확하게 조정되어 퍼지 모델링을 달성하게 된다. 본 논문에서 사용되는 알고리즘은 대략 조정시 이중 클러스터링 방법을 사용하여 이중 클러스터링시 샘플 데이터는 공간 분할되며 각 영역에 대해서 가장 적합한 어떤 모델의 파라미터에 대한 추정치를 제공해 준다.

퍼지 전문가 기반 제어 알고리즘 (FMES)에서 나

온 추론 결과를 원하는 배지의 무게로 하고 실제 배지의 무게가 FMES의 추론 결과를 따를 수 있도록 제어 시스템을 구축한다. 본 식물 재배 제어 시스템은 비선형적이고 불확실한 시스템이며 또 식물의 성장이 외부 외란으로 작용하는 대단히 복잡한 시스템으로 이를 수학적인 시스템 모델을 통한 접근 방식은 대단히 어렵다고 할 수 있다. 이 시스템의 제어 전략은 농업 전문가의 재배 방식을 표현할 수 있으면 불확실성을 대처할 수 있는 방법을 선택하여야 하는데 이에 가장 적당한 방법이 퍼지 제어 방법이다.

2.2 배양액 계측 제어 시스템

본 연구에서는 무게를 측정하는 정밀한 계측 시스템을 설계하였다.

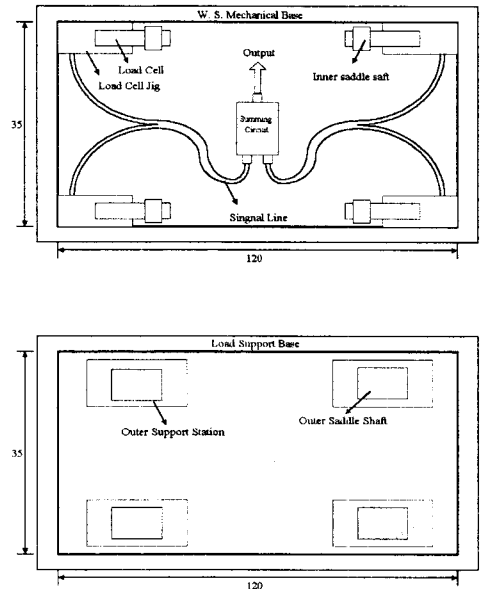


그림. 3 무게 측정 센서 시스템의 기구 구성도

무게를 측정하는 센서에 해당하는 무게센서부의 설계는 4개의 Load Cell을 사용하여 부하 무게를 분산 처리하므로서 센서 시스템 전체가 측정할 수 있는 무게의 범위를 4배로 늘리면서 정밀도는 그대로 유지할 수 있도록 설계하였다.

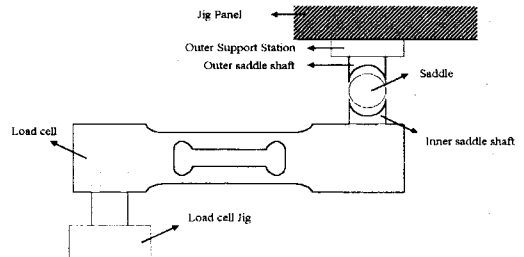


그림. 4 부하 전달 기구부의 설계도

무게 측정 센서는 기계적인 베이스와 부하 지지 베이스 그리고 부하 전달 기계부로 나눌 수 있으며 기계 베이스는 사각 상자 모양의 사시에 4개의 모서리에 Load Cell을 장착하기 위한 Load Cell Jig와 Load Cell을 바닥으로부터 공간적인 Gap을 형성하기 위한 기구부로 설계하였으며 그위에 4개의 Load Cell이 장착되어진

다. 본 논문에서 설계한 무게 측정 센서 시스템에 사용한 Load Cell은 CAS사의 Single Point Load Cell로서 모델은 BCA-50L Load Cell이다. 본 연구에서 새들(Saddle)을 이용하여 전달 기구부를 설계하되 기계적인 수평 유지와 부하 지지판의 어떤 위치에 부하가 설치되어도 4개의 Load Cell에 균등하게 부하가 분배되도록 하는 새로운 기법의 설계 기술을 사용하였다.

2.3 실험 및 결과

FMES의 경우 3절에서 언급한 바와 같은 퍼지 모델을 사용하는데 퍼지 모델형성을 위한 데이터는 실제 성장 데이터를 가지고 구성하도록 한다. 실제 데이터는 3개월(90일)로 구성된 3쌍의 데이터이며 퍼지 모델형성 기법을 이용하여 FMES를 구축한다. 실제 적절한 배지 무게를 결정하는데는 여러 가지 요소가 관련될 수 있으나 당일의 광량과 파종 이후 현재까지의 적산 광량이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 판단되므로 이 두 가지 요소를 FMES의 입력으로 사용한다. 그러나 이 시스템은 전문가의 의견상 당일의 광량 및 적산광량이 중요하지만 이전의 요소도 중요한 동적 시스템(dynamic system)의 성격도 보이므로 따라서 본 논문에서는 각 날의 광량 및 적산 광량의 양을 3일 지연(delay)까지 사용하여 퍼지 규칙의 수가 3인 시스템을 구축한다. 이 같이 설정된 원하는 배지의 무게에 대하여 적응 퍼지 제어 기법을 사용하여 배지내 배양액의 무게를 제어한다.

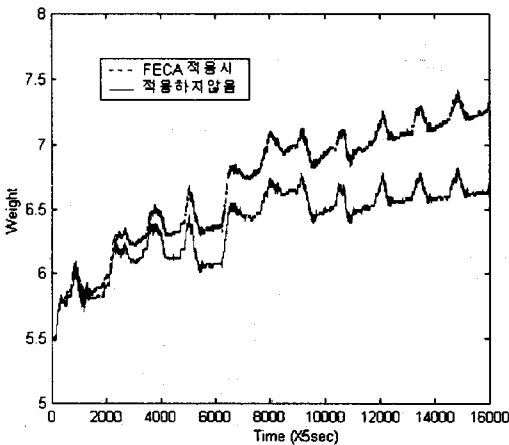


그림 5 멜론의 성장 무게 그래프

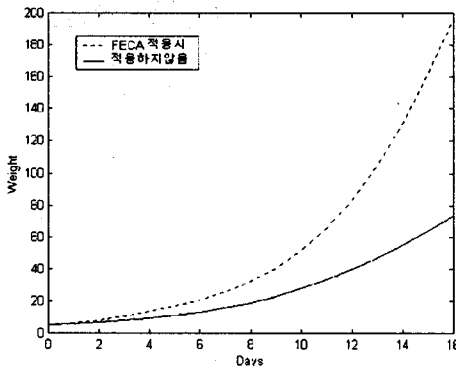


그림 6 상추의 무게 그래프

그림 5은 약 20일간의 측정된 멜론의 성장 무게 데이터이다. 위 곡선은 퍼지 전문가 제어를 적용해서 키워진

멜론의 무게의 데이터이고, 아래 곡선은 자연적으로 자라난 멜론의 무게의 데이터이다.

그림 5에서 보듯이 연속적인 멜론의 무게 곡선으로 비슷한 패턴으로 퍼지 제어 이론을 적용해서 키워진 멜론이 무겁게 나타난다. 멜론이 성장에 필요한 배양액의 무게값을 FMES에서 발생시켜주며, 발생시켜준 무게값을 퍼지 제어가 정확하게 레귤레이션(regulation) 제어를 해주므로서 멜론의 최적 성장을 이루었다.

그림 6은 FECA 알고리즘을 과실류가 아닌 채소류 중 상추에 적용하여 얻은 상추의 성장에 대한 무게를 나타내는 그래프이다. 약 20일 성장과정을 관측한 것으로 그래프에서 위 점선으로 표시된 선이 성장 시스템에 의해 성장한 상추이고 실선으로 표시된 선이 자연적으로 성장한 상추의 무게이다. 과실류인 멜론의 경우와 동일하게 상추의 경우에도 최적 성장을 제어 하였음을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서 시설재배의 자동화에 유연하게 사용될 수 있도록 설계 구현한 시설재배 자동화 시스템의 전체적인 구성과 모니터 프로그램을 설계하였고, 새로운 제어방식을 개발하여 적용한 배양액 제어와 작물의 최적성장을 위한 배양액의 급액량 제어방식을 제안하였으며, 실험 및 결과 고찰로서 새로운 제어 알고리즘을 적용하는데 필요한 로드셀(load cell)을 이용한 증량센서 시스템을 개발 하였고 제안한 제어 알고리즘의 구현 과정과 구현한 시설재배의 환경자동제어와 배양액 제어 그리고 작물의 최적 성장을 위한 배양액의 급액 제어를 작물재배에서 매우 어려운 재배종인 멜론과 대중적인 상추에 대하여 적용하여 좋은 결과를 얻는 것을 보여주므로서 본 논문에서 구현한 시설재배의 완전 자동화 및 시변성 및 비선형성이 매우 강한 작물의 최적 성장제어에 적용하기 위한 퍼지 전문가 제어 알고리즘(fuzzy expertized control algorithm)의 성능을 확인하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] S. E. Kim, Y. S. Kim, S. W. Kim, Development of the Measuring System for Automation of Hydroponics, Journal of Biological Production Facilities and Environment Control 5(2) pp 210-214, 1996
- [2] K. S. Kim, K. M. Lee, I. J. ang, Development of Automatic Water Manager System in Horticulture, Journal of Biological Production Facilities and Environment Control 1(1) pp 61-71, 1992
- [3] S. H. Hong, Automatic Control of Growth Environment for plant factory, Ph. D. thesis, Seoul National University, 1995
- [4] K. H. Ryu, Fully-Controlled Plant Factory System, KOSEF, 1991
- [5] J. I. Son, D. K. Lee, M. K. Kim, Multipurpose Growing Estimation Model of Plant Factory, Journal of Biological Production Facilities and Environment Control 2(2) pp 126-135, 1993
- [6] Li-Xin, Wang, Adaptive Fuzzy Systems and Control: Design and Stability Analysis, Prentice-Hall International, 1993
- [7] Pedrycz W., An Identification Algorithm in Fuzzy Relational Systems, Fuzzy Sets and Systems. vol. 13, 1984
- [8] K. Tanaka and M. Sugeno, Stability Analysis and Design of Fuzzy Control Systems, Fuzzy Sets And Systems 45 pp 135-156, 1992
- [9] M. Sugeno and G. T. Kang, Structure Identification of Fuzzy Model, Fuzzy Sets And Systems 28 pp 15-33, 1988
- [10] J. J. E. Slotine, W. Lei, Applied Nonlinear Control, Prentice-Hall International, 1991
- [11] Li-Xin Wang, A Course in Fuzzy Systems and