

적응 퍼지 제어기를 이용한 수경재배 자동화를 위한 연구

노명균, 김승우, 홍상은

순천향대학교 공과대학 제어계측공학과

충남 아산시 신창면 읍내리 산 53-1

seungwo@asan.sch.ac.kr

A Study on Implementation of Hydroponics Automation System using Adaptive Fuzzy Control

Myong-Gyun Roh, Seung-Woo Kim, Sang-Eun Hong

Dept. of Control and Instrumentation Engineering, Soonchunhyang Univ

San 53-1, Eupnae-ri, Shinchang-myun, Asan-si, Choongchungnam-do, Korea

seungwo@asan.sch.ac.kr

Abstract

Hydroponics is to grow plants, not in soil but in water which the quantity of necessary chemical food can be controlled. In this paper, this is designed in the automatic system. The closed culture reduces cost of production and produces a many kinds of agricultural products in a confined place.

An adaptive fuzzy control is the best method to solve and to overcome parametric uncertainties and non-linearity of the controlled system. A hydroponics automation system have a great deal of these control problems. Therefore, this paper suggests a new adaptive fuzzy control scheme which is able to overcome these control problems. It is used in implementation of the hydroponics automation system.

The performance is analyzed through an experiment in which the new adaptive fuzzy control method is applied to the automatic control of tomato hydroponics.

I. 서론

시설 내에서는 각종 작물을 고밀도로 배치, 생육에 영향을 미치는 각종 환경요인을 자동적으로 제어 가능하며, 이러한 시설내 작물생산의 장점을 이용하기 위한 작물 생산 시스템의 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 더 나아가 미래의 농업 형태로 주목받고 있는 완전제어형 작물생산 시설, 즉 식물공장의 생육 환경에 대한 자동제어 시스템과 이에 소요되는 계측 및 제어장치 분야에 관한 연구가 체계적으로 이루어지고 있다.

수경재배 시스템은 식물 그 자체가 매우 큰 비선형성을 가지며, 시간이 지남에 따라 식물이 성장하므로 시변 시스템이다. 본 논문에서는 변화하는 시스템 특

성을 지속적으로 감지하고 감지된 특성으로 시스템을 제어하는 적응 퍼지제어기를 사용하였다. 최근 10 여년간 적응 제어 기법은 비선형 시스템 제어 분야에서 중요한 주제로서 많은 방식이 제시되어 왔으며, 미래에도 계속적으로 연구가 진행될 것이다. 왜냐하면 대상 시스템에서의 파라미터의 불확실성(parametric uncertainty)나 상태 왜란(state disturbance)에 강인성을 갖는 제어기가 설계될지라도 안정 조건(stability condition)을 항상 만족시킬 수는 없기 때문이다. 그동안 연구되어온 고전적인 적응 제어 방식은 크게 두 종류의 접근 방식이 있다. 첫번째는 온라인 파라미터 추정(Estimation) 기법을 이용하는 모델 학습 적응 제어(LMAC: Learning Model Adaptive Control)이고, 두 번째 방식은 모델 참조 적응 제어(MRAC: Model Reference Adaptive Control)이다. 그러나 위의 적응 제어 방식들은 두 가지의 문제점을 갖고 있다. 첫번째 문제점은 많

본 논문은 농촌진흥청의 농업 특별 연구개발 사업의 연구결과임

은 계산량으로 인하여 실시간 제어에 어려움이 있으며, 두번째 문제점은 복잡한 수학 구조 때문에 제어기의 설계와 구현에 어려움이 따르고 있다.

한편 최근 몇 년 사이에 퍼지 제어가 많은 산업 응용 분야에서 두각을 나타내고 있다. 퍼지 제어기는 빠른 처리 속도와 강인성(robustness)등을 장점으로 갖고 있으며, 많은 산업 응용을 통하여 그것들이 증명되었으므로 본 논문에서는 고적적인 적용 제어 방식의 중요한 단점을 해결할 수 있는 적응 퍼지 제어 방식을 적용한다.

II. 수경재배 자동화 시스템

수경재배란 토양을 배제한 무토양, 무지력 재배이다. 즉 작물의 생육에 필요한 물과 양분을 토양으로부터 공급받는 것이 아니고, 양분을 적당한 비율로 깨끗한 물에 용해시켜 배양액을 만든 후 이를 잘 흡수 이용할 수 있도록 지하부 및 지상부의 환경을 인위적으로 조절하면서 재배하는 방법인 것이다.

농산물의 개방화와 산업의 발달에 따른 농업 노동력의 양적, 질적 감소추세와 국민소득의 향상 및 식생활 양식의 변화에 따라 곡물의 소비는 점차 감소하고 채소, 과수, 화훼류의 소비가 증대되면서 토지와 노동력에 의존하던 재래의 관행을 탈피하여 기술집약형 농업으로서의 방향전환이 불가피하게 되었다. 기술집약형 농업의 대표적인 분야로서 유리 및 플라스틱 온실과 같이 제한된 공간내에서 채소, 과수, 화훼 등을 집약적으로 생산하는 시설재배는 작은 면적에 자본과 기술을 집약시켜, 생산원가를 감소시키고 고품질의 농산물에 대한 인정적인 대량생산이 가능하기 때문에, 농업인구의 감소, 농업 노동력의 노령화, 농지가 감소하는 문제를 안고 있는 국내 농업의 요구에 부응하고 있다. 본 연구에 쓰인 자동화 시스템은 그림 1과 같은 구조를 갖는다.

시설에 설치되어 있는 센서로 광, 이산화탄소, 기온, 습도 등의 환경자료와 pH, EC, 액온 등의 배양액 관련 자료 등을 I/O장치에 의해 받아들여 지게 되고 A/D변환기로 입력을 받게 된다. 이를 컴퓨터를 이용 연산을 통해서 다시 DIO 보드를 통해서 I/O장치에 연결된 엑츄에이터를 구동하게 된다.

현재 국내에서 사용되고 있는 시설내 환경 및 재배에 대한 자동화 시스템 및 운영프로그램은 주로 수입 품에 의존하고 있으며, 일부 국산이 개발되어 있다.

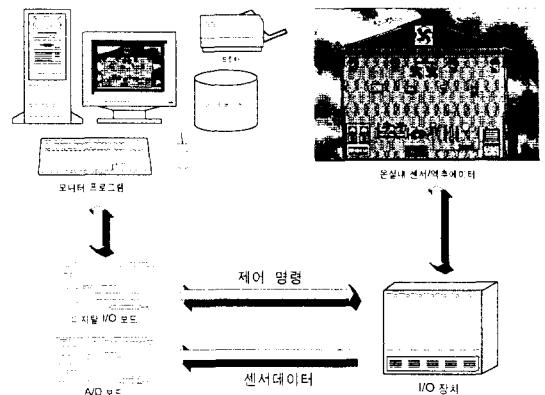


그림 1. 수경재배 시스템의 구조

기존 제품의 경우, 계측 기기의 종류나 수를 변경하는 것이 쉽지 않으며, 또한, 센서의 보정 등이 불편한 점과 자동화 시스템들이 재배가를 주요 대상으로 하기 때문에 연구를 목적으로 하기에 어려움도 있다.

본 시스템은 재배가 뿐만 아니라 연구자도 쉽게 사용할 수 있도록 윈도우즈 환경에서 GUI를 제공하여 시스템에 유연성을 부여하도록 설계하였다.

온실의 상태를 화면상에 그대로 재현하며 시스템의 상태를 컴퓨터에서 모니터링 할 수 있고 계측자료를 일정시간마다 자동저장하며, 그래프로 표시하여 자동제어의 입력으로 사용된다.

그림 2는 본 연구에 쓰여진 프로그램에서의 환경인자와 조절입력의 상관관계를 나타낸다.

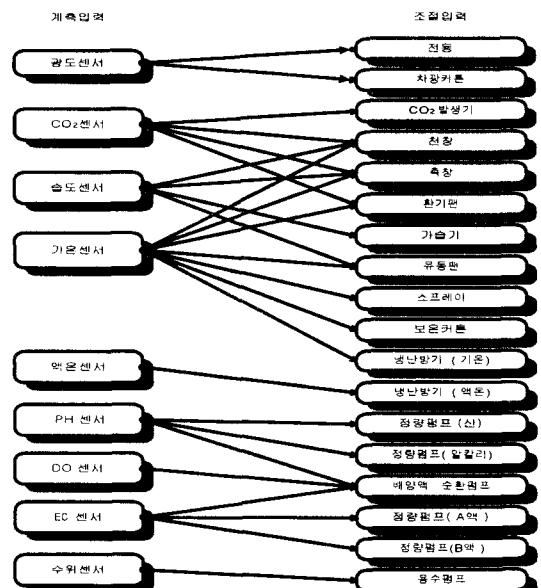


그림 2 환경인자와 제어항목과의 상관관계

III. 적응 퍼지제어

퍼지제어는 애매모호한 정성적인 언어적 값을 이용하여 정량적인 제어 출력을 얻어냄으로서 비선형의 플랜트를 효과적으로 제어할 수 있는 제어 방법이다.

적응 퍼지제어란 플랜트의 파라메터 변동에 적응하여 제어기의 파라메터 즉, 제어 규칙을 변화시키는 제어 방법이다.

퍼지 추론방법을 식(1)과 같이 정의 할 때

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \mu_A(x)\mu_B(y) \quad (1)$$

$$\mu_A(x) = \mu_{F_1 \times \dots \times F_n}(x) = \min\{\mu_{F_1(x_1)}, \dots, \mu_{F_n(x_n)}\}$$

여기서 식(2)와 같이 비퍼지화 방법을 무게중심법(Center average defuzzifier)을 사용하면

$$y = \frac{\sum_{i=1}^M \bar{y}^i (\mu_{B^i}(\bar{y}^i))}{\sum_{i=1}^M (\mu_{B^i}(\bar{y}^i))} \quad (2)$$

singleton fuzzifier는 식(3)과 같이 얻어진다.

$$f(x) = \frac{\sum_{i=1}^M \bar{y}^i \left[\prod_{j=1}^n \mu_{F_j}(x_j) \right]}{\sum_{i=1}^M \left[\prod_{j=1}^n \mu_{F_j}(x_j) \right]} \quad (3)$$

$$\text{여기서 } \mu_{B^i}(\bar{y}^i) = \prod_{j=1}^n \mu_{F_j}(x_j)$$

식(4)와 같이 training algorithm function이 Gaussian function으로 주어지고 $a_i^i = 1$ 이라 하면 식(5)와 같은 퍼지 시스템을 얻을 수가 있다.

$$\mu_{F_i}(x_i) = a_i^i \exp \left[- \left(\frac{x_i - \bar{x}_i^i}{\sigma_i^i} \right)^2 \right] \quad (4)$$

$$f(x) = \frac{\sum_{i=1}^M \bar{y}^i \left[\prod_{j=1}^n \exp \left(- \left(\frac{x_j - \bar{x}_j^i}{\sigma_j^i} \right)^2 \right) \right]}{\sum_{i=1}^M \left[\prod_{j=1}^n \exp \left(- \left(\frac{x_j - \bar{x}_j^i}{\sigma_j^i} \right)^2 \right) \right]} \quad (5)$$

\bar{y}^i : center of fuzzy set for each rules

본 연구에서는 식(5)와 같은 제어기를 이용하고, 시스템의 제어 블럭 다이어그램은 그림 3과 같이 작물의 성장 변화 즉, 작물의 무게의 변화를 입력 받아서 퍼지 제어기의 파라메터를 변화시키는 것이다. 퍼지제어기의 파라메터의 조절 블럭 즉, Fuzzy Inference Identifier는 성장일수에 대한 광도, 온도, 작물의 무게, 그리고 비료밸브의 열림정도를 기반으로 하고, 퍼지제어기는 작물의 생장에 따른 원하는 무게와 현재의 생장 조건에서의 무게의 차를 제어입력으로 하여 비료액의 농도를 적응제어하게 된다.

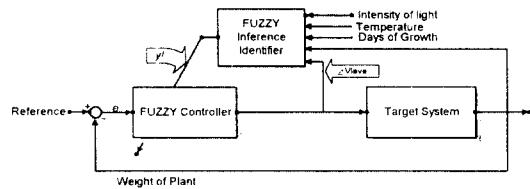


그림 3 적응 퍼지제어기

IV. 적응 퍼지제어를 이용한 자동화 시스템의 구현

FUZZY Inference Identifier는 max-min의 추론법을 사용하였으며 입력은 제어 대상 시스템의 입출력과 온실환경 센서로부터 광도, 온도 그리고 성장시기이다. 각 입력은 3종류의 언어적 변수(S, M, B)를 사용했으며, 전건부 추론에 사용된 membership function은 범종형 형태이다. FUZZY Inference Identifier의 출력은 퍼지제어기의 가변 변수인 \bar{y}^i , \bar{x}_i^i , σ_i^i 중에서 \bar{x}_i^i 와

σ_i^i 는 model base reference로서 일정한 값으로 정해놓고 파라메터 \bar{y}^i 만을 그 출력으로 한다. 출력은 세 종류의 언어적 변수(N, Z, P)이고 매 제어스텝마다 입력으로부터 추론 결과값으로 퍼지 제어기의 파라메터를 결정한 후 피드백 제어를 수행한다.

FUZZY Inference Identifier의 설계된 룰 베이스는 다음과 같으며 전체룰의 갯수는 15개로 최적화 하였다.

- $R_1 : \text{if light is } S \text{ and temp is } S \text{ and age is } M$
 $\text{and valve is } S \text{ and weight is } S$
 $\text{then cons-par is } P$
- $R_2 : \text{if light is } M \text{ and temp is } M \text{ and age is } S$
 $\text{and valve is } M \text{ and weight is } M$
 $\text{then cons-par is } Z$
- \vdots
- $R_{15} : \text{if light is } B \text{ and temp is } B \text{ and age is } B$
 $\text{and valve is } B \text{ and weight is } B$
 $\text{then cons-par is } N$

전건부 입력의 라벨은 광도:light, 온도:temp, 성장시기:age, 비료탱크 밸브의 열림 정도:valve 그리고, 작물의 무게:weight로 정한다. 출력은 단일 변수로서 퍼지제어기의 후건부 파라메터인 cons-par로 하며 비료액을 조절하게 되며 일정한 양의 물과 함께 희석이 되어 작물에 공급이 되어진다.

V. 실험 및 결과

본 연구에서는 토마토에 적응 퍼지 제어기를 적용하였다. 그림 4는 모니터 프로그램 상에서의 제어 설정치를 입력하는 것을 보여주고 있으며 EC제어 항목에서 대상 작물에 적절하게 입력하는 것을 볼 수가 있다.

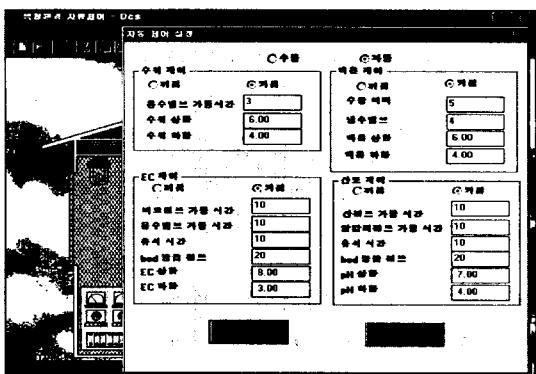


그림 4 제어 설정치 입력

그림 5는 적응 퍼지제어기를 적용하지 않은 경우와 적용한 경우를 과실의 무게 증가, 즉 생장도를 척도로 하여 나타낸 것이다.

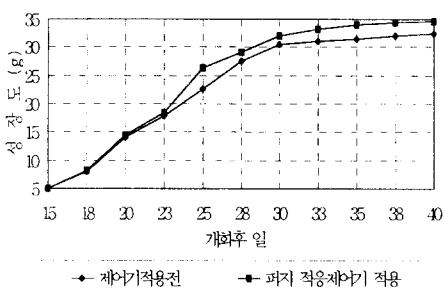


그림 5 제어기 적용 결과

위의 그림에서 볼 수 있듯이 적응 퍼지제어기를 적용하지 않고 비 적응제어기(PI)를 적용한 경우 성장 효율에서 큰 차이를 볼 수 있으며, 실제로 적응 퍼지 제어기를 토마토 수경재배에 적용한 결과 당도에서도 큰 효과를 얻을 수 있었다.

VI. 결론

본 연구에 따라 수경재배에 퍼지 적응제어기의 적용으로 인하여 비 선형적 작물의 생장모델화와 분산제어 시스템을 이용하여 자동적으로 최적의 재배 조건의

구현이 가능하게 되었다. 또한 생장모델에 의한 자동화 효율 증대, 식물 생장모델의 개발에 따른 환경 최적화, 그리고 작물 생산환경의 자동제어에 의한 생력화 등의 실험 결과를 얻을 수 있었으므로 다른 수경재배 작물에 대한 응용도 기대할 수 있으며 그것은 다음의 연구과제로 남겨둔다.

참고문헌

- [1] Li-Xin Wang, *Adaptive Fuzzy Systems and Control: Design and Stability Analysis*, Prentice-Hall International, Inc., 1994
- [2] T. Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy Identification of Systems and its applications to modeling and control," *IEEE Trans. Systems Man Cybernet*, vol. 15, No. 1, 1985
- [3] K. Åstrom and B. Wittenmark, *Adaptive Control*, Addison Wesley, 1988. 2.
- [4] W. Pedrycz, "An Identification Algorithm in Fuzzy Relational Systems," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 13, 1984.
- [5] Shim, Kyu-Don. Development of a fully-controlled plant growth system. M.S. thesis. Seoul National University., 1992.
- [6] Dreschel, T. W. • J. C. Sager, "Control of water and Nutrients using a porous tube:a method for growing plants in space", *HortScience* 24, 1989
- [7] Goto, E., T. Takakura, "The effect of artificial light on the growth of lettuce", *Acta Hort*, 1988.
- [8] Kozai, T., "Optimizing control of plant growth using a digital computer", *T. Agri. Met. of Japan*, 32, 41-49, 1976
- [9] Kano, A., Sueyoshi, K., and Shimaji, H., "Greenhouse control method using a built-in crop model and an expert system", *Annual meeting of Society of Agricultural Meteorology of Japan.*, 1987
- [10] Kano, A., Sueyoshi, K., and Shimaji, H., "Greenhouse environmental control using an artificial intelligence technique", *Annual meeting of Society of Agricultural Meteorology of Japan.*, 1987