

유비쿼터스 식물공장의 통합환경관리를 위한 적응형 뉴로-퍼지 추론시스템 기반의 자동제어시스템 설계

서광규¹ · 김영식^{2*} · 박종섭³

¹상명대학교 경영공학과, ²상명대학교 식물산업공학과, ³상명대학교 건설시스템공학과

Design of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Based Automatic Control System for Integrated Environment Management of Ubiquitous Plant Factory

Kwang-kyu Seo¹, Youngshik Kim^{2*}, and Jongsup Park³

¹Department of Management Engineering, Sangmyung University, Cheonan 330-720, Korea

²Department of Plant Science and Technology, Sangmyung University, Cheonan 330-720, Korea

³Department of Civil Engineering, Sangmyung University, Cheonan 330-720, Korea

Abstract. The adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) based automatic control system framework was proposed for integrated environment management of ubiquitous plant factory which can collect information of crop cultivation environment and monitor it in real-time by using various environment sensors. Installed wireless sensor nodes, based on the sensor network, collect the growing condition's information such as temperature, humidity, CO₂, and the control system is to monitor the control devices by using ANFIS. The proposed automatic control system provides that users can control all equipments installed on the plant factory directly or remotely and the equipments can be controlled automatically when the measured values such as temperature, humidity, CO₂, and illuminance deviated from the decent criteria. In addition, the better quality of the agricultural products can be gained through the proposed automatic control system for plant factory.

Key words : adaptive neuro-fuzzy inference system, integrated environment management, plant factory, ubiquitous

서 론

최근 u-Farm을 구축하기 위하여 정부는 u-IT839 정책을 국가전략사업으로 선정하여 추진하고 있다. u-Farm이란 첨단 IT 기술을 활용하여 농·수·축산업의 생산, 품질, 물류 및 유통 관리 분야에 유비쿼터스 신 기술을 적용한 것이다(Lee 등, 2008). 유비쿼터스 IT 기술은 온실 자동 관리, 축사관리, 경지관리, 농산물 재배 환경 관리, 농산물이력추적시스템 등의 농·수·축산업의 다양한 분야에 걸쳐 연구 개발되고 있다. 이러한 다양한 분야 중 농작물 재배 환경 관리의 경우

대기 온·습도, 지하부 온도 및 수분, 일사량 센서 등의 다양한 센서를 이용하여 재배환경 모니터링 시스템, 데이터베이스 및 웹 서버를 이용한 자료 분석 및 실시간 정보 제공 기술, 농작물 재배 환경 자동 제어 기술 개발 등 유비쿼터스 센서 네트워크 기술(Ubiquitous Sensor Network; USN)의 연구가 이루어지고 있다(Kang 등, 2008).

농업 분야에서 미국, 일본과 같은 농업 선진국들의 대규모 기업농들은 이미 자체적으로 유비쿼터스 센서 네트워크 기술을 적용한 생산 및 유통 지원 시스템을 구축하기 위하여 각종 연구를 추진하고 있다. 그러나 군사, 의료, 산업, 물류 분야와 다르게 농업 분야의 경우 실시간으로 변화되는 기상 정보, 작물의 생육 상태, 각종 질병 등과 같이 고려해야 할 다양한 대상들과

*Corresponding author: youngskim@ymail.com
Received April 28, 2011; Revised May 16, 2011;
Accepted July 15, 2011

센서의 배터리 문제, 가혹한 환경 조건에서도 버틸 수 있는 센서의 개발 등의 문제들로 인하여, 유비쿼터스 센서 네트워크 기술이 적용된 효과적인 시스템을 구축하는 데에 많은 어려움이 있다. 또한 농업 종사자들과 센서 네트워크 기술을 연구하는 과학자들과의 관점 차이로 인하여 농업 분야에서 유비쿼터스 센서 네트워크 기술을 적용하기 위해서는 해결해야 할 과제들이 많다 (Honda 등, 2009; Dongbu IT 등, 2005; Kim 등, 2007).

국내의 식물공장 환경의 자동제어를 위한 연구 결과는 현재 초보적인 실정이며, 그 원인은 농업시설과 작물생산에 관한 기술이 컴퓨터를 위시한 제어기술과의 접목이 유기적으로 수행되지 못했음에 있다. 이에 따라 예측과 제어기술, 지식데이터베이스와 fuzzy 연산을 비롯한 인공지능 기술, 데이터통신, 통합 소프트웨어 시스템, 센서기술 등의 적극적인 도입이 농업의 생산성 극대화와 자동화를 위하여 절실히 요구되고 있으며 (Hosi, 1990), 이러한 요구의 결과로 최근 들어 시설 재배환경의 자동제어를 위한 전문가시스템 개발(Kim, 2004), 식물공장 모니터링 시스템 테스트 베드 구축(Lee 등, 2009), 통합 센서 모듈을 이용한 농업 환경 모니터링 시스템 개발(Yoo 등, 2009) 등의 다양한 연구들이 진행되고 있다. 그러나 이러한 선행연구들은 식물공장의 자동 제어를 위한 전문가의 지식이나 경험 등을 자동으로 추론하여 제어하는데 한계를 가지고 있으므로 보다 효율적이고 자동화된 제어 시스템의 개발이 필요하다.

본 논문에서는 유비쿼터스 식물공장의 재배환경에 필요한 요소들의 센서 네트워크를 구성한다. 그리고 센서 네트워크에서 감지한 데이터는 적응형 뉴로퍼지 추론시스템을 통하여 환경 변화를 추론하고 식물공장의 재배환경을 적절하게 제어할 수 있는 새로운 시스템의 프레임워크를 설계하기로 한다.

재 료 및 방 법

1. 식물공장 자동제어 시스템의 구성

1.1 자동제어 시스템의 레이아웃

본 연구에서는 식물공장의 내부재배환경의 동적 자동제어를 위한 적응형 뉴로퍼지 추론시스템 기반의 자동제어시스템을 설계하고자 한다. 이를 위하여 유비

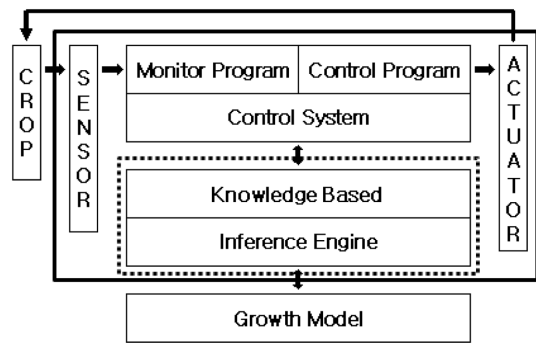


Fig. 1. Layout of automatic control system.

쿼터스 식물공장의 개념적인 모델을 기반으로 자동제어시스템을 구체적으로 설계하고, 설계된 제어시스템의 각 모듈을 구현하였으며, 구현된 시스템을 이용하여 여러 경우의 데이터를 시험해 봄으로써 제안한 시스템의 성능을 평가하였다. 개발된 자동제어시스템은 주변의 타 시스템과 유기적으로 결합되도록 하였는데, 본 연구에서의 유비쿼터스 센서네트워크를 이용하여 환경정보를 습득하도록 하였고, 자동제어를 위한 추론엔진을 포함한 자동제어 시스템의 레이아웃은 Fig. 1과 같이 구성하였다(Kim, 2004).

제안한 자동제어시스템의 전체적인 구조 설계는 지식베이스와 추론 엔진을 핵심으로 하고 있으며, 데이터베이스 부시스템으로 구성하였다. 지식베이스는 성장모델에 의한 제어규칙과 획득된 데이터를 보관하고, 환경요소를 제어하는 부분과 양액 요소를 제어하는 2개 부분으로 나누어 구성하였다. 본 연구의 가장 핵심적인 부분은 Fig. 1의 점선으로 표시한 추론 엔진으로 본 연구에서는 적응형 뉴로퍼지 추론시스템을 도입하여 추론을 수행하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 본 연구에서 제안한 자동제어시스템은 환경요소제어와 양액 요소 제어하는 부분으로 구성되었으나 본 연구에서는 복합제어인 환경요소 제어부분에 초점을 맞추어 논문을 기술하기로 한다.

1.2 퍼지추론시스템

식물공장의 자동제어를 위한 시스템을 구성하여 제어할 때, 센서를 통하여 입력되는 데이터는 대부분 애매모호한 불확실성을 포함하고 있으므로 이를 처리하기 위한 방법이 필요하다. 이렇게 부정확하게 정의된 (ill-defined), 비선형이며 불확실한 특성을 지닌 파라미

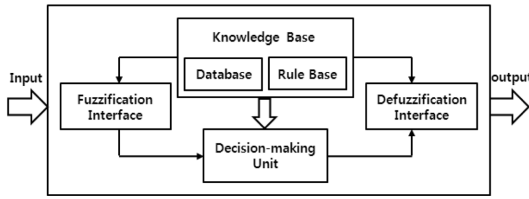


Fig. 2. Typical Fuzzy inference system.

터들로 구성된 시스템의 모델은 고전적 수학을 쓰는 일반적인 모델링기법을 사용하여 구할 수 없다. 그렇지만, 본 연구에서 적용하는 적응형 뉴로-퍼지 추론시스템 (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System: ANFIS)은 정확한 정량적 해석방법을 사용하지 않더라도 지식과 추론과정을 기초로 정성적 특성들을 모델링하는데 유용하게 사용될 수 있다(Jang 등, 1997). 따라서 식물공장의 자동제어를 위해 ANFIS 기법을 실용화할 수 있다.

퍼지 if-then 규칙을 사용하는 ANFIS는 퍼지규칙기반(fuzzy rule based) 시스템으로 지식과 경험을 퍼지 추론시스템(fuzzy inference system: FIS)의 규칙기반과 데이터베이스로 변환한다. 일반적인 FIS는 Fig. 2와 같은 구조를 갖는다. 퍼지규칙(fuzzy rule)은 불확실한 경우나 부정확한 환경에서 판단할 수 있는 인간 능력에 중요한 역할을 하는 추론에 대한 부정확한 모델을 확립하는데 이용될 수 있다. 예를 들어 일반적으로 'If A is high, then B is medium action.'과 같은 규칙이 있다면, 'high'이나 'medium'은 퍼지소속함수(fuzzy membership function)로 특성화된 언어적 변수로써 표현된다. 따라서 식물공장을 자동으로 제어하기 위한 현장 전문가의 경험들은 이러한 애매한 판단상황에서 도움을 줄 수 있고, 자동제어를 위한 몇 가지 입력들은 퍼지소속함수를 이용하여 정량화되며, 이를 입력변수로 사용하여 ANFIS를 통해 특정 클래스를 가지는 출력값을 찾을 수 있고 이렇게 도출된 출력값은 제어모듈을 통해 식물공장의 자동제어를 가능하게 한다.

1.3 뉴로-퍼지추론시스템(ANFIS)

인공신경망과 퍼지추론을 결합한 적응형 뉴로-퍼지 추론시스템은 Jang 등(1997)에 의하여 제안된 인공신경망에 기반을 둔 적응형 퍼지추론체계(ANFIS)이다. ANFIS는 뉴럴네트워크의 특징인 자기 학습 능력이 이

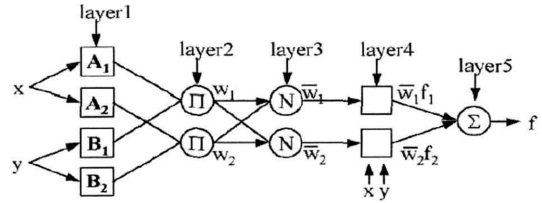


Fig. 3. ANFIS structure.

용하여 퍼지 규칙부의 파라미터들의 최종출력을 추종하도록 학습될 수 있다. 주어진 학습데이터를 모사하기 위해 혼합형 알고리즘을 사용하여 Sugeno형 추론시스템을 최적화한다. 이 알고리즘은 인공신경망의 주요 구성요소인 최소오차자승법과 기울기 감소 오차역전법을 조합하여 사용한다. 조건부의 비선형 멤버십 함수와 관련된 변수들은 학습과정을 통하여 개선된다.

이러한 변수의 계산 혹은 조정은 퍼지추론 시스템이 주어진 데이터를 얼마나 잘 모사하고 있는지를 판단하는 척도인 기울기 벡터에 의해 더 용이하다. 일단 기울기 벡터가 구해지면, 최적화 루틴이 적용되어 예측치와 비교치의 오차가 최소가 되도록 해당 변수들이 조정된다. 결론부는 Sugeno 타입으로서 선형이므로 최소 오차 자승법이 적용된다. Fig. 3은 본 연구에서 적용한 ANFIS의 구조를 보여주고 있다.

결과 및 고찰

1. 식물공장 자동제어 시스템 설계와 실험

1.1 입·출력 파라미터의 선정

식물공장의 환경요소를 제어하기 위한 과학적이 정량적인 방법이 개발되지 않았기 때문에 식물공장의 환경제어를 위해서는 현장 전문가의 경험과 지식에 의존하게 된다. 그러나 현장 전문가의 판단에도 주관적이며 정성적인 요소가 지배적이다. 결국, 식물공장의 환경제어를 위한 정량적인 제어결과를 얻기 위하여, 전문가의 경험과 지식을 충분히 반영할 뿐만 아니라 식물공장의 특징을 함께 고려하는 새로운 결정적 방법(deterministic method)이 요구된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근에 개발되어 적용되고 있는 방법이 퍼지추론시스템이다. 퍼지추론시스템은 비선형, 시변시스템이나 부정확하게 정의된 입력과 출력의 특성을 가진 시스템일 지라도 적절한 모델로 설계할 수 있다. 식물공장의 자

동제어시스템을 위해서는 여러 가지 입출력변수들이 있으나, 본 연구에는 환경제어요소 중 식물생장에 비교적 큰 영향을 주는 요소로써 입력변수로는 실내온도, 근권 온도, 습도, 광도, CO₂ 농도의 5가지 변수를, 출력변수로는 광도(램프)제어, 환기제어, 습도제어, CO₂ 농도 제어, 온도제어의 5가지 출력변수를 선택하였다.

전술한 바와 같이, 본 연구에서 제안한 자동제어시스템의 레이아웃에서는 환경요소와 양액요소를 제어하는 부분을 구성되었으나 본 연구의 핵심 부분은 복합제어인 환경요소제어부분이므로 이 부분을 중심으로 기술하기로 한다. 실제로 양액요소제어를 위한 하드웨어 설계부분에서는 시스템구조 설계, 구동시스템 설계, 제어부 설계, 양액주입부 설계 등이 설계되었고, 이를 자동으로 제어하기 위한 소프트웨어가 설계되었는데, 양액제어부분 실제로 자동으로 제어하기 위한 on/off 기능만으로 단순하게 구성되어 본 논문에서는 그 내용을 구체적으로 기술하지 않기로 한다.

1.2 입 · 출력 소속함수의 설계

식물공장의 자동제어시스템을 퍼지추론시스템으로 설계하기 전에 주어진 입력 데이터들을 적당한 소속함수로 퍼지화해야 한다. 시스템의 동적특성과 성질들을 토대로 표현된 데이터베이스와 지식기반을 기초로 입출력 사이의 퍼지규칙이 설계되었다. 이 때, 출력은 추론결과를 비퍼지화하여 구한다. 본 연구에서는 Table 1과 같이 5개의 퍼지등급을, 출력은 Table 2와 같이 4개로 등급화하였다.

Table 1. Input functions.

No.	Notations	Descriptions
1	VL	Very Low
2	L	Low
3	M	Medium
4	H	High
5	VH	Very High

Table 2. Output functions.

No.	Grade	Descriptions
1	O	Do Nothing (Off)
2	A	Slight Action
3	B	Medium Action
4	C	Strong Action

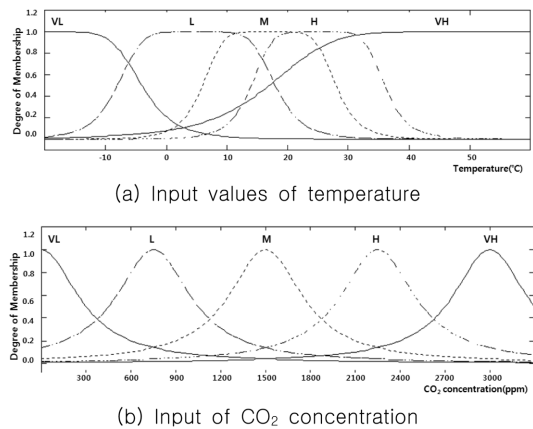


Fig. 4. Examples of functions for input variables.

식물공장의 자동제어를 위해서는 제어모듈로 전달되는 추론엔진의 출력변수는 몇 단계로 정량화하는 경우에도 불확실성이 개입된다. Table 2의 등급은 입력 데이터를 참고하여 식물공장의 제어 전문가의 경험적 지식으로 결정한다. 불확실성을 내포한 퍼지특성을 나타내는 입출력변수들 사이를 관련짓기 위하여 Fig. 4와 같이 입출력에 대한 소속함수를 선정하였다.

입 · 출력에 대한 소속함수나 ANFIS의 퍼지규칙은 전문가 경험과 지식을 바탕으로 한 지식기반으로 설계되기 때문에, 자동제어시스템의 입 · 출력 모델이 유일하게 결정되지는 않는다. 따라서 지식에 기반을 둔 퍼지규칙과 소속함수를 설계한 후, 그 출력을 실제 결과와 비교하여 ANFIS의 신뢰성을 확인할 필요가 있다. 즉, 예측출력과 설계출력 사이에는 어느 정도 불확실성이 존재한다.

결국, ANFIS는 예측출력과 설계출력 사이의 오차가 최소로 될 때까지 소속함수와 퍼지규칙을 계속해서 수정해야 하는데, 본 연구에서는 입 · 출력, 소속함수 및 퍼지규칙 수를 고려하여 반복회수를 결정하였다. 출력변수의 등급을 결정하기 위한 4개의 입력 특성을 고려하여 퍼지규칙을 설계하였는데, Fig. 5는 설계한 퍼지규칙의 한 예를 보여주고 있다. 이상과 같은 퍼지규칙을 통하여 복합환경제어를 위한 규칙들이 생성되었고 이는 곧 지식베이스로 저장되어 학습데이터로 활용되어 식물공장 제어에 적용된다.

즉, 식물공장의 복합 환경 제어를 위해서는 입 · 출력변수의 선정이 가장 중요하고 이 과정에서는 불확실

유비쿼터스 식물공장의 통합환경관리를 위한 적응형 뉴로-퍼지 추론시스템 기반의 자동제어시스템 설계

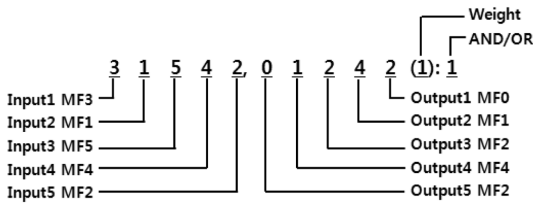


Fig. 5. Examples of designed fuzzy rules.

성을 포함할 수밖에 없다. 이러한 불확실성을 줄이기 위해 본 연구에서 제안한 방법이 퍼지추론과 학습을 결합한 ANFIS 방법으로 ANFIS에서는 입·출력변수에 대한 소속함수 결정과 ANFIS의 퍼지규칙이 바로 전문가의 경험적 지식에 의해 결정하였다. 특히, Fig. 5의 퍼지규칙설계에서는 각각의 입력값이 주어질 때 실제로 출력값이 결정되는 규칙을 생성하는 단계로, 이 단계에서는 전문가의 의견이 필수적이고 전문가의 경험과 지식을 반영하여 복합제어 규칙을 생성하고 이를 데이터베이스에 저장하여 학습에 적용하였다.

1.3 자동제어시스템 설계

식물공장의 자동제어시스템의 설계를 위하여 본 연

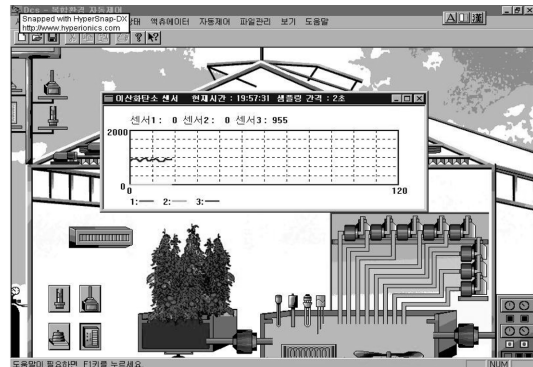


Fig. 6. Input screen for CO₂ sensor.

구에서는 각각의 환경 요소들의 설정값들과 기타 시설 재배 관리에 필요한 정보를 사용자가 직접 windows 환경에서 대화방식으로 설정하도록 구현하였다. 각각의 환경요소 값들은 Fig. 6과 같이 식물공장 감시시스템 인 센서를 통해서 일정한 시간간격마다 자동으로 전달 되어 자동제어시스템에 자동 입력되도록 구현하였다. 적응형 퍼지추론시스템을 적용한 추론 엔진은, 사용자가 입력한 환경요소 설정값과 Fig. 6과 같이 센서를 통하여 자동 입력된 환경요소들의 측정값들에 대하여



Fig. 7. Overall control screen in automatic control system.

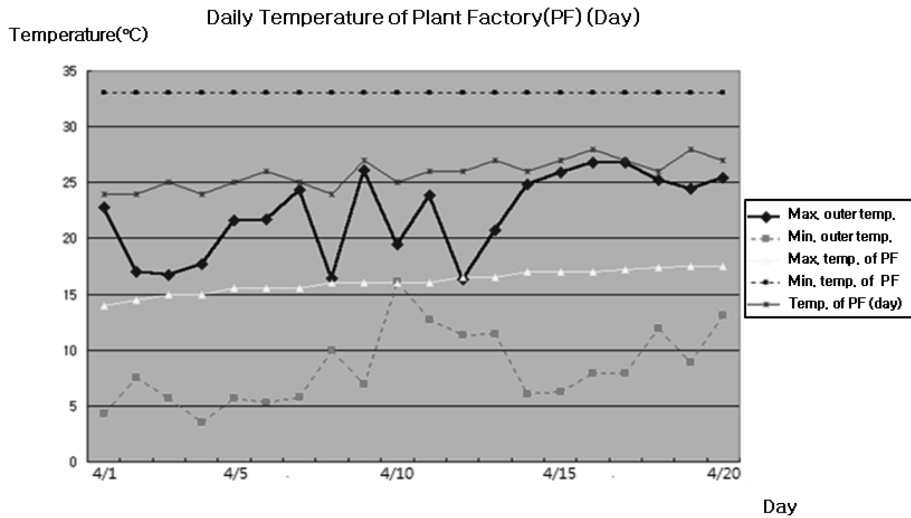


Fig. 8. Evaluation result of daily automatic temperature control in plant factory.

지식베이스를 토대로 최적값을 도출하여 Fig. 7과 같이 제어 시스템에 전달하여 해당 채널을 동작하도록 하였다.

제어 모듈의 경우, 실내 온도는 계측 상태가 월별 상한치보다 높거나 월별 하한치보다 낮은 경우, 난방기와 보온 커튼 등을 우선순위에 따라 제어함으로써 재배조건에 따른 최적온도를 유지하도록 하였다. 본 연구에서는 전술한 바와 같이 출력변수를 4등급으로 구분하여 보다 정밀하게 환경변수를 제어할 수 있도록 하였는데, 각각의 등급에 맞도록 보다 정밀하게 출력변수를 제어하기 위한 시스템이 설계되었다. 예를 들면, 광도는 계측 상태가 최고치보다 높은 경우 차광막을 작동시키고, 최저치보다 낮은 경우 램프를 점등시킴으로써 최적의 상태를 유지할 수 있도록 제어하도록 하였는데, 기존의 시스템에서 제시된 입력값에 따라 단순히 차광막이나 램프를 on/off하는 것이 아니라 입력변수들의 복합추론에 의해 차광막과 램프를 등급별로 제어할 수 있도록 시스템을 설계하였다. 특히, 제어시스템상에서 한계시간을 설정할 수 있도록 시간 내에 제어가 되지 않을 때는 경보기를 작동하도록 하였다. CO₂는 일출 이후 설정시간 동안만 설정값(800mg·L⁻¹)을 유지하도록 제어하도록 하였고, 일출 이후 2시간이 경과하면 환기가 되고 있을 경우 제어 항목에서 제외시키도록 하였다. 계측 상태가 800mg·L⁻¹보다 낮은 경우 CO₂ 발생기를 작동시키고, 800mg·L⁻¹보다 높은 경우

CO₂ 발생기를 정지시켰는데, 이도 등급별로 보다 정밀하게 제어할 수 있도록 설계하였다.

1.4 자동제어시스템의 시험평가

식물공장의 자동제어를 위해 설계한 적응형 뉴로-퍼지추론시스템 기반의 제어시스템의 성능을 평가하기 위하여, 식물공장에서 상추의 성장모델에 따라 20일간의 온도의 일변화를 시험하였고 그 결과만을 제시하기로 하는데, 시험 결과는 Fig. 8과 같다. 지식베이스에 사용한 일중 최고온도는 33°C로 고정하였고, 최저온도는 낮이 길어지는 점을 감안하여 4월 1일 14°C부터 20일 18°C로 증가시켰다. 전술한 바와 같이 본 연구에서 설계한 자동제어시스템은 실내온도, 근권온도, 습도, 광도, CO₂ 농도의 5가지 변수를 복합적으로 퍼지추론하여 광도(램프)제어, 환기제어, 습도제어, CO₂ 농도제어, 온도제어를 기존의 on/off 제어시스템보다 보다 정밀하게 제어할 수 있도록 출력변수를 등급별로 자동으로 제어할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 설계한 자동제어시스템에 의하여 제어된 식물공장 내 일중 온도 변화는 24~28°C로 그 변화폭이 매우 양호하였고, 만족한 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다. 본 연구결과에서 제시한 온도의 일변화외에 기타 출력변수들은 복합적인 환경변수들에 의해 제어되는 만큼, 본 연구에서 설계한 적응형 뉴로-퍼지추론시스템 기반의 자동제어 시스템을 적용하면 입력변수들이 포함하고 있는 복

잡성을 해결할 수 있는 매우 양호한 시험결과라고 판단되며, 이는 기존의 제어시스템보다 식물공장 내 재배 식물의 최적 성장을 위한 정확하고 세밀한 제어성능을 제공함과 동시에 제어시스템의 유연성도 확보할 수 있으리라 기대된다.

적 요

본 연구에서는 유비쿼터스 식물공장의 재배환경에 필요한 요소들의 센서 네트워크를 구성하고 자동으로 감지하여 적응형 뉴로-퍼지 추론시스템을 통하여 환경 변화를 추론하여 식물공장의 재배환경을 적절하게 제어할 수 있는 새로운 자동제어시스템의 프레임워크를 제안하고, 이를 설계하였다.

유비쿼터스 식물공장 환경을 제어하기 위하여 식물공장의 재배환경에 영향을 미치는 환경요소인 실내온도, 근권온도, 습도, 광도, CO₂ 농도를 측정할 수 있는 센서 네트워크를 구성하고 측정된 환경요소의 변화에 따라 램프, 환기, 습도, CO₂ 농도, 온도를 제어할 수 있는 장치를 자동으로 제어할 수 있는 식물공장 자동제어시스템을 설계하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 센서를 통하여 받아들이는 입력값을 퍼지소속함수로 변화하고 적응형 뉴로-퍼지시스템에 따라 추론하고 평가하여 보다 정밀하게 식물공장을 자동으로 제어할 수 알고리즘을 개발하였고 이를 구현하였다. 개발된 자동제어시스템을 상추 식물공장에 적용한 결과 만족스러운 시험결과를 얻을 수 있었다.

향후 연구로는 식물공장에서 재배하고 있는 작물별 성장모델의 적합도 검정 및 개선을 위하여, 작물별 재배규칙을 보다 상세히 도출하는 것이 필요하고, 작물의 재배에 필요한 지식을 보다 정량적으로 표현하고 지식상에 내포하고 있는 불확실성을 해결하는 것이 필요하다. 더 나아가 식물공장에서의 환경인자간의 상호관련성을 보다 정밀하게 수식화하고 이를 추론할 수 있는 정밀하고 과학적인 자동제어시스템의 개발이 필요하다.

주제어 : 식물공장, 유비쿼터스 적응형 뉴로-퍼지 추론시스템, 통합환경관리

사 사

본 논문은 상명대학교 2010학년도 교내 융복합 직접화 연구과제 연구비에 의하여 수행되었음.

인 용 문 헌

1. Dongbu IT Company, Dongbu-Hannong Chemicals, UCT. 2005. USN based Cultivation Environment Monitoring System for Improving Groceries Quality. pp.1-15 (in Korean).
2. Honda, K. 2009. Field Servers and Sensor Service Grid as Real-time Monitoring Infrastructure for Ubiquitous Sensor Networks. Sensors 9(4):2363-2370.
3. Hosi, G. 1990. Bioekisupartsystems, Corona Company. pp.1-20 (in Japanese).
4. Jang, J.-S.R., C.T. Sun, and E. Mizutani. 1997. Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence. Prentice Hall. pp.91-105.
5. Kang, H.I., M.H. Lee, and H. Yoe. 2008. Design of Efficient Routing Method for USN based Large-scale Glass Greenhouses. Software Engineering Research, Management & Applications, 5th ACIS International. pp.523-528.
6. Kim, T.H., S.E. Yoo, J.U. Kim, and D.Y. Kim. 2007. USN based Cultivation Environment Management System for u-Farm. Proc. of Kor. Farm Inf. Sci. Soc. pp.1-10 (in Korean).
7. Kim, Y.S. 2004. Expert System Development for Automatic Control of Greenhouse Environment. J. Kor. Flowers Res. Soc. 12(4):341-345 (in Korean).
8. Lee, K.H., C.M. Ahn, and K.M. Park. 2008. Characteristics of the Convergence among Traditional Industries and IT Industry. J. Kor. Electronic and Telecommunication Analysis 23(2):13-22 (in Korean).
9. Lee, E.J., K.I. Lee, H.S. Kim, and B.S. Kang. 2009. Development of Agriculture Environment Monitoring System Using Integrated Sensor Module. J. Kor. Cont. Soc. 10(2):63-71 (in Korean).
10. Yoo, N.H. 2009. Design and Implementation of the Management System of Cultivation and Tracking for Agricultural Products using USN. J. KIISE: Computing Practices and Letters. 15(9):661-674 (in Korean).