

온실 환경 제어시스템을 위한 액추에이터 복합 제어 방법

論 文
11-2-3

Actuator multiple control method for greenhouse environment control system

손 교 훈*, 박 대 현, 김 세 한, 김 재 형, 정 은 태

Kyo-Hoon Son, Dae-Heon Park, Se-Han Kim, Jae-Hyung Kim, and Eun-Tae Jeung

Abstract

In recent years the USN(Ubiquitous Sensor Networks) technology has been applied in the greenhouse in order to control temperature and humidity automatically. In this paper, we proposed a control algorithm using feedback linearization techniques based on a mathematical model for temperature and humidity environment. Especially, Control algorithm is presented to the operation of the ventilator affecting on the temperature and humidity system at the same time. The System has been designed taking into account the disturbance(External temperature, soil temperature, external humidity, solar radiation and wind). In conclusion, I will present a way to control multiple actuator through simulations. The proposed control algorithm is validated using the Matlab / Simulink tools.

Keywords : greenhouse, actuator, control algorithm, matlab simulation

I. 서 론

최근에는 USN 분야의 기술 발달로 그 응용 범위를 넓혀가고 있다. 특히, 농업과 IT의 융합 분야에서 식물공장이나 온실에 IT 기기들을 적용하여 환경 정보를 수집, 가공·관리하여 대상 작물이 성장하는데 적합한 환경을 제공해 줌으로써 생산량 증가, 편의성 증대 및 안전성 확보도 함께 이루고 있다.

식물은 지구 환경에 살아남기 위해 진화해 왔지만, 주변 환경이 식물의 성장과 발육에 큰 영향을 끼친다. 특히, 온도, 습도, CO₂ 농도 및 조도는 더욱 그러하다[1]. 따라서 온실의 환경 제어는 식물 성장에 중요한 역할을 하며, 이에 대한 연구가 유럽 및 북미에서 많이 진행되고 있다. 우리나라에서는 온실의 동특성을 고려하지

않고 온실 제어가 이루어지고 있는 반면에, 해외 농업 선진국에서는 온실의 동특성을 고려하기 때문에 그 제어 성능이 좋은 것이 현실이다. 온실의 동특성을 모델링하는 방법에는 물리적 법칙을 이용한 방법과 입출력 데이터를 이용하는 방법이 있다. 물리적 법칙을 이용한 모델링은 시스템의 복잡성과 내재된 물리적 현상을 고려하기 힘들다는 단점이 있다. 모델링 후에 모델의 계수 값을 찾는 것 또한 중요한 문제이고, 이에 대한 방법으로 EA (Evolutionary Algorithms), LSQ (Least Squares), RLS (Recurrent- Least Squares), RELS (Recursive Extended Least Squares) 등이 있다[2-5].

온실의 동특성이 비선형이므로, 최근의 온실 환경 제어는 PID 제어에서 비선형 제어로 바뀌고 있다. 비선형 PID 제어, 지능 제어, 퍼지 제어, T-S 퍼지 제어, 다목적 비교제어(MOCC: Multi-Objective Compatible Control), 사건 기반 제어, MPC(Model Predictive Control) 등의 기법을 이용하여 온실의 온도, 습도 혹은 CO₂ 농도를 제어하고 있다[6-13].

그렇지만 우리나라는 해외 농업 선진국에 비해

접수일자 : 2012년 04월 18일

심사일자 : 2012년 05월 20일

최종완료 : 2012년 06월 20일

*교신저자, E-mail : sonkh@etri.re.kr

온실에 대한 데이터 수집이나 모델에 대한 연구가 부족한 편이고 관련 기술개발 또한 늦어지고 있는 것도 사실이다. 특히, 온실 환경 정보를 가공·제어하는 분야에 있어서는 환경 정보를 취득하는 분야에 비해 더욱 관심을 받지 못하고 있는 실정이다.

이에 본 논문에서는 온실 내의 온도와 습도 환경을 자동으로 제어하기 위하여 수학적 해석을 통해 온도와 습도 시스템을 해석하고 궤환 선형화(feedback linearization) 개념을 이용한 제어 알고리즘을 도출하여 시뮬레이션을 통해 복수의 액추에이터를 동시에 제어하는 방법을 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제어 알고리즘이 적용되는 생장환경 시스템의 구성과 역할을 설명하고, 3장에서는 제어 알고리즘의 수학적 배경과 변수 및 파라미터를 정의한다. 4장에서는 제어 알고리즘을 Matlab Simulink를 이용한 시뮬레이션 결과를 도출하고, 마지막으로 5장에서는 본 연구에 대한 결론을 정리한다.

II. 생장환경 시스템 구성

온실 환경 제어 시스템의 구성은 그림 1과 같다. 온실의 환경 정보를 취득하는 센싱부와 온실 환경을 제어하는 제어부는 통합제어기와 연결되고, 통합제어기는 환경정보와 제어정보를 전달하기 위해 광역 통신망(이더넷)을 이용하여 외부와 연결된다. 외부의 생장 관제 센터는 최종적으로 정보를 수집, 가공, 관리하기 위하여 IPv4/IPv6 프로토콜을 이용하여 통합제어기와 연결된다. 그리고, 통합제어기는 무선통신으로 엔드노드들과 IPv4 또는 IPv6 통신이 가능한 형태로 센서네트

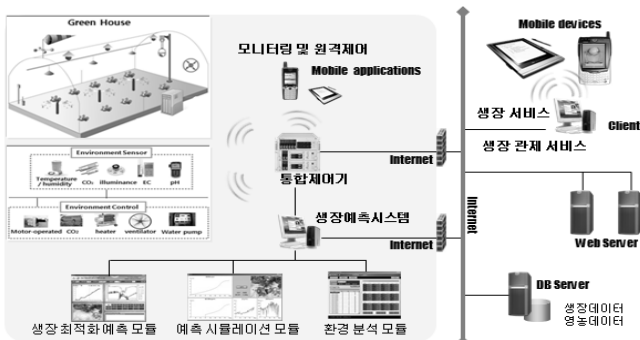


그림 1. 온실 환경 제어 시스템 구성
Fig. 1. Greenhouse environment contro system configuration

워크를 구성하고, 동시에 생장 예측 시스템과 IPv4 네트워크 통신이 가능하다.

생장 예측 시스템은 수집된 센싱 정보를 분석하여 대상 작물의 환경 정보 목표치를 통합제어기로 전달하고, 통합제어기는 본 논문에서 제시하는 온실 제어시스템의 제어 알고리즘에 의해 복수의 액추에이터를 동시에 구동하여 온실의 생장 환경을 제어한다.

III. 온실 제어시스템의 제어 알고리즘

온실의 온도와 습도 시스템의 동역학은

$$\frac{dT_{in}(t)}{dt} = -a_T(t)\Phi_{vent}(t) + Q_h(t) + b_T(t) \quad (1)$$

$$\frac{dH_{in}(t)}{dt} = -a_H(t)\Phi_{vent}(t) + Q_f(t) + b_H(t) \quad (2)$$

이고, 여기서

$$a_T(t) = k_{vent}[T_{in}(t) - T_{out}(t)] \quad (3)$$

$$a_H(t) = H_{in}(t) - H_{out}(t) \quad (4)$$

$$b_T(t) = -k_{wall}[T_{in}(t) - T_{out}(t)] - k_{soil}[T_{in}(t) - T_{soil}(t)] + k_{rad}S_{rad}(t) \quad (5)$$

$$b_H(t) = E(t) \quad (6)$$

이고, 사용된 각 변수와 문자의 설명은 표 1에 나타낸다. 식 (1)과 (2)에서 우변을

$$u_T(t) = -a_T(t)\Phi_{vent}(t) + Q_h(t) + b_T(t) \quad (7)$$

$$u_H(t) = -a_H(t)\Phi_{vent}(t) + Q_f(t) + b_H(t) \quad (8)$$

라 두고, u_T 와 u_H 를

$$u_T(t) = K_T[T_{ref}(t) - T_{in}(t)] \quad (9)$$

$$u_H(t) = K_H[H_{ref}(t) - H_{in}(t)] \quad (10)$$

와 같이 결정하면, 식 (1)과 (2)는

$$\frac{dT_{in}(t)}{dt} = K_T[T_{ref}(t) - T_{in}(t)] \quad (11)$$

$$\frac{dH_{in}(t)}{dt} = K_H[H_{ref}(t) - H_{in}(t)] \quad (12)$$

이다. 여기서 K_T 와 K_H 는 양의 값인 제어이득이고, T_{ref} 와 H_{ref} 는 온실에서 원하는 온도와 습도이다. 온도와 습도를 제어한 최종적인 시스템이 식 (11)과 (12)와 같이 되면, 온실의 온도와 습도는 원하는 값으로 제어가 될 것이라는 것은 분명하

다. 이제 남은 것은 식 (9)와 (10)에서 결정된 u_T 와 u_H 를 이용하여 식 (7)과 (8)을 만족하는 Φ_{vent} , Q_h , Q_f 를 결정하면 되므로, 식 (7)과 (8)을 다시 쓰면

$$u_T(t) - b_T(t) = -a_T(t)\Phi_{vent}(t) + Q_h(t) \quad (13)$$

$$u_H(t) - b_H(t) = -a_H(t)\Phi_{vent}(t) + Q_f(t) \quad (14)$$

이고, 식 (13)과 (14)의 좌변은 양수, 음수를 가질 수 있지만 Φ_{vent} , Q_h , Q_f 는 양의 값만 가져야 한다. 그리고 겨울철에는 실내온도가 외부온도보다 높고, 실내습도가 외부습도 보다 높으므로 식 (3)과 (4)로부터 $a_T \geq 0$ 이고 $a_H \geq 0$ 라고 가정한다.

지금부터 온도와 습도를 각각 제어하는 경우와 온도와 습도를 동시 제어하는 경우에 대하여 살펴본다.

표 1. 온실 시스템 변수와 파라미터
Table 1. Variables and parameters

Symbol	Units	Description
C_g	J/°C	Heat capacity of the greenhouse air
$C_{in}(t)$	g/m ³	Inside CO ₂ concentration
$C_{out}(t)$	g/m ³	Outside CO ₂ concentration
$E(t)$	g/s	Crop transpiration rate
$H_{in}(t)$	g/m ³	Inside humidity
$H_{out}(t)$	g/m ³	Outside humidity
k_{heat}	W/°C	Heat transfer coefficient by heater
k_{soil}	W/°C	Heat transfer coefficient by soil
k_{vent}	J/m ³ /°C	Heat capacity per unit volume of air
k_{fan}	m/s	Wind speed by fan
k_{fog}	g/s	Rate of water spray
k_{rad}	m ²	Radiation conversion coefficient
k_{wall}	W/°C	Heat transfer coefficient through greenhouse cover
k_{window}	-	Area of window ÷ Area of ground
$P(t)$	g/s	Crop photosynthesis
$Q_f(t)$	g/s	Fog input
$Q_h(t)$	W	Heat input
$Q_{co2}(t)$	g/s	CO ₂ input
$R(t)$	g/s	Crop respiration
$S_{rad}(t)$	W/m ²	Solar radiation
$T_{in}(t)$	°C	Inside temperature
$T_{out}(t)$	°C	Outside temperature
$T_{soil}(t)$	°C	Soil temperature
$u_{fan}(t)$	-	Relative fan speed
$u_{heat}(t)$	-	Relative heat capacity
$u_{window}(t)$	-	Relative window opening

V_g	m ³	Volume of greenhouse
$v_{wind}(t)$	m/s	Outside wind speed
$v_{window}(t)$	m/s	Natural ventilation flux
$\Phi_{vent}(t)$	m/s	Ventilation flux

1. 온도 제어 알고리즘

온도만을 제어하는 경우, 식 (9)로부터 $(T_{ref} - T_{in})$ 의 부호에 따라 u_T 의 부호가 결정된다. 즉, $T_{ref} - T_{in} \geq 0$ 이면 $u_T \geq 0$ 이고, $T_{ref} - T_{in} < 0$ 이면 $u_T < 0$ 이다. 만약 온실 외부의 영향이 없다면, 즉, $b_T = 0$ 이면, 온실의 온도를 상승시키기 위해서는 히터를 켜고 온도를 하강시키기 위해서는 환풍기를 작동시키는 것으로 제어가 가능하다. 그러나 온실 외부의 온도와 일사량 등으로 인하여 온실의 온도는 영향을 받기 때문에 $b_T \neq 0$ 이다. 따라서 온실 외부의 영향을 고려한 제어 알고리즘이 필요하다.

식 (13)으로부터 $u_T - b_T \geq 0$ 일 때 $\Phi_{vent} = 0$, $Q_h = u_T - b_T$ 으로, $u_T - b_T < 0$ 일 때 $\Phi_{vent} = \frac{b_T - u_T}{a_T}$, $Q_h = 0$ 으로 결정하는 것으로 제어 알고리즘을 만들 수 있다. 이를 표 2에 나타낸다.

표 2. 온도 제어 알고리즘
Table 2. Temperature control algorithm

$u_T - b_T$	Φ_{vent}	Q_h
+	0	$u_T - b_T$
-	$\frac{b_T - u_T}{a_T}$	0

2. 습도 제어 알고리즘

습도만을 제어하는 경우도 온도를 제어하는 경우와 동일한 방법으로 제어할 수 있다. 식 (10)로부터 $(H_{ref} - H_{in})$ 의 부호에 따라 u_H 의 부호가 결정된다. 즉, $H_{ref} - H_{in} \geq 0$ 이면 $u_H \geq 0$ 이고, $H_{ref} - H_{in} < 0$ 이면 $u_H < 0$ 이다. 식물의 증산작용이 온실의 습도에 영향을 끼치지만, 그 영향이 미미하다고 가정하면 $b_H = 0$ 이고, 온실의 습도를 상승시키기 위해서는 가습기를 켜고, 습도를 하강시키기 위해서는 환풍기를 작동시키는 것으로 제어가 가능하다. 만약 증산작용을 고려하여 제어 알고리즘을 만들어야 한다면 $b_T \neq 0$ 이므로, 증산작용으로 발생하는 수증기의 양을 측정할 수 있는 경

우의 제어 알고리즘은 간단하지만, 측정할 수 없는 경우에는 좀 더 복잡한 제어 알고리즘이 필요하다. 여기서는 증산작용을 측정할 수 있는 경우 혹은 증산작용이 없다고 가정한 경우의 제어 알고리즘을 다룬다.

식 (14)로부터 $u_H - b_H \geq 0$ 일 때 $\Phi_{vent} = 0$, $Q_f = u_H - b_H$ 으로, $u_H - b_H < 0$ 일 때 $\Phi_{vent} = \frac{u_H - b_H}{a_H}$, $Q_f = 0$ 으로 결정하는 것으로 제어 알고리즘을 만들 수 있다. 이를 표 3에 나타낸다.

표 3. 습도 제어 알고리즘
Table 3. Humidity control algorithm

$u_H - b_H$	Φ_{vent}	Q_f
+	0	$u_H - b_H$
-	$\frac{b_H - u_H}{a_H}$	0

3. 온도/습도 제어 알고리즘

온도를 제어하는 경우에는 제어입력을 환풍기와 히터를 사용하였고, 습도를 제어하는 경우에는 환풍기와 가습기를 사용하였다. 히터와 가습기는 독립된 제어입력이지만, 환풍기는 온도와 습도에 동시에 영향을 끼치는 제어입력이다. 예를 들어, 온도를 낮추기 위해 환풍기를 작동시킨다면, 온도만 떨어지는 것이 아니라 습도까지 떨어지므로 온도를 조절하였다 하더라도 습도까지 원하는 값으로 조절되지 않기 쉽다. 따라서 온도와 습도의 상호작용을 고려한 제어 알고리즘이 필요하다.

식 (13)과 (14)로부터 $u_T - b_T$ 가 양인 경우와 음인 경우, $u_H - b_H$ 가 양인 경우와 음인 경우로 나누어 고려한다. 만약 $u_T - b_T > 0$, $u_H - b_H > 0$ 일 때, 제어입력을

표 4. 온도와 습도 제어 알고리즘
Table 4. Temperature and Humidity control algorithm

$u_T - b_T$	$u_H - b_H$	Φ_{vent}	Q_h	Q_f
+	+	0	$u_T - b_T$	$u_H - b_H$
+	-	$\frac{b_H - u_H}{a_H}$	$u_T - b_T + a_T \Phi_{vent}$	0
-	+	$\frac{b_T - u_T}{a_T}$	0	$u_H - b_H + a_H \Phi_{vent}$
-	-	$\frac{b_T - u_T}{a_T}$	0	$u_H - b_H + a_H \Phi_{vent}$
$a_H(u_T - b_T) \leq a_T(u_H - b_H)$		$\frac{b_T - u_T}{a_T}$	0	$u_H - b_H + a_H \Phi_{vent}$
-	-	$\frac{b_H - u_H}{a_H}$	$u_T - b_T + a_T \Phi_{vent}$	0
$a_H(u_T - b_T) > a_T(u_H - b_H)$		$\frac{b_H - u_H}{a_H}$	$u_T - b_T + a_T \Phi_{vent}$	0

$\Phi_{vent} = 0$, $Q_h = u_T - b_T$, $Q_f = u_H - b_H$ 으로 결정한다. 나머지 경우도 마찬가지로 모든 경우에 따라 제어 입력을 결정하면 표 4와 같다. $u_T - b_T < 0$, $u_H - b_H < 0$ 인 경우, Φ_{vent} 를 결정하기 위해 $a_H(u_T - b_T) \leq a_T(u_H - b_H)$, $a_H(u_T - b_T) > a_T(u_H - b_H)$ 와 같이 두 가지 경우로 나누어 생각하면 표 4와 같이 결정함으로써 제어 입력을 결정할 수 있다.

4. 창제어 및 환풍기 제어 알고리즘

III-3절에서 구한 환풍 비율 Φ_{vent} 를 이용하여, 식 (8)로부터 환풍기의 제어입력 u_{fan} 혹은 창문의 개폐 제어입력 u_{window} 를 결정한다. 외부에서 부는 바람을 이용하여 창문의 개폐 정도를 조절하여 환풍을 하는 자연 환풍이 에너지 면에서 강제 환풍(환풍기 이용)보다 효율적이므로, 필요한 환풍 비율 Φ_{vent} 를 자연 환풍으로 먼저 만들고 부족한 환풍 비율을 강제 환풍으로 보완한다.

IV. 온실 제어시스템의 시뮬레이션

온실의 온도와 습도 제어 알고리즘의 타당성을 검증하기 위해 Matlab의 Simulink를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션에 사용한 계수값은 표 5와 같고, 외란으로 외부온도, 토양온도, 외부습도, 일사량(Solar radiation) 등을 포함시켰다. 제어 알고리즘은 1분마다 동작시키기 위해 ZOH (Zero-Order Hold)를 사용하였고, 제어 입력인 온풍기, 가습기, 환풍기를 ON/OFF 방식으로 동작시키기 위해 1분을 주기로 하는 PWM (Pulse-Width Modulation)을 사용하여 제어입력을

표 5. 시뮬레이션에 사용된 계수
Table 5. Coefficients used in the simulation

Symbol	Value	Units	Description
C_g	21108	J/°C	Heat Capacity of the Greenhouse Air
k_{heat}	114.8	W/°C	Heat Transfer Coefficient
k_{soil}	4.5440	W/°C	Heat Transfer Coefficient
k_{vent}	1290	J/m ³ /°C	Heat Capacity per unit volume of air
k_{fan}	0.04	m/s	Wind Speed by Fan
k_{fog}	0.1	g/s	Rate of water spray
k_{rad}	0.5	m ²	Radiation conversion coefficient
k_{wall}	1.3721	W/°C	Heat Transfer Coefficient through Greenhouse cover
k_{window}	0.4	-	Area of Window ÷ Area of Ground

발생시켰다.

온도와 습도를 48시간 동안 제어한 시뮬레이션 결과는 그림 2에 나타내고, 9시부터 11시 사이의 결과는 그림 3에 나타낸다. 일사량의 값이 큰 10시부터 17시 사이에는 온풍기가 꺼지고 환풍기를 이용하여 온실의 온도를 조절하고 있고, 환풍기의 작동으로 인해 떨어진 습도를 올리기 위해 가습기가 작동하고 있음을 볼 수 있다.

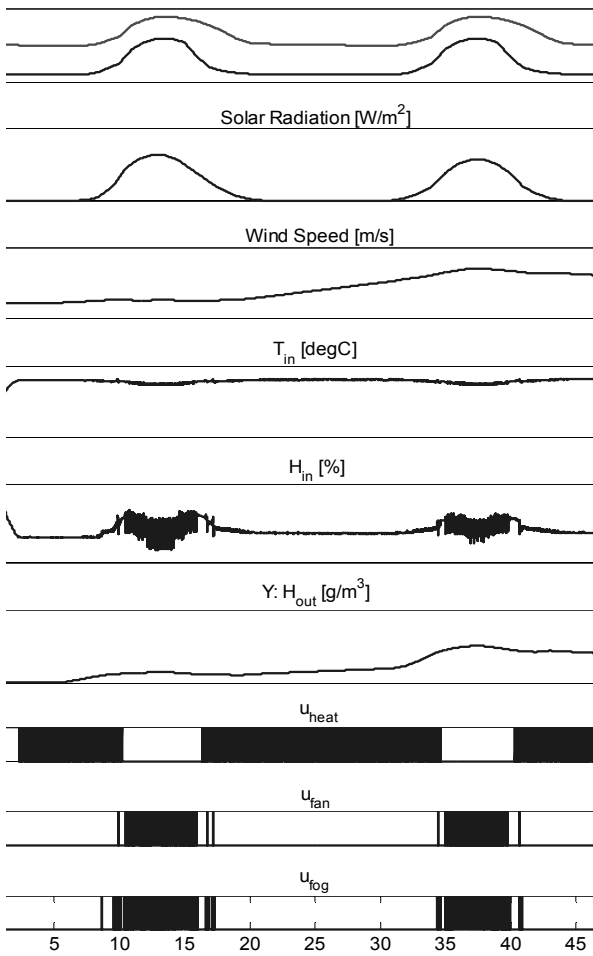


그림 2. 온도와 습도 제어 시뮬레이션 결과
Fig. 2. The simulation results (48 hours)

V. 결 론

최근 우리나라의 농업·IT 융합에 대한 연구는 정부, 대학 및 연구소를 중심으로 활발하게 이루어지고 있다. 하지만, 정보를 취득하는 센서부 및 센서네트워크 측면에서만 이루어지고 있고 액추에이터 제어는 사용자 혹은 농민이 경험에 의해

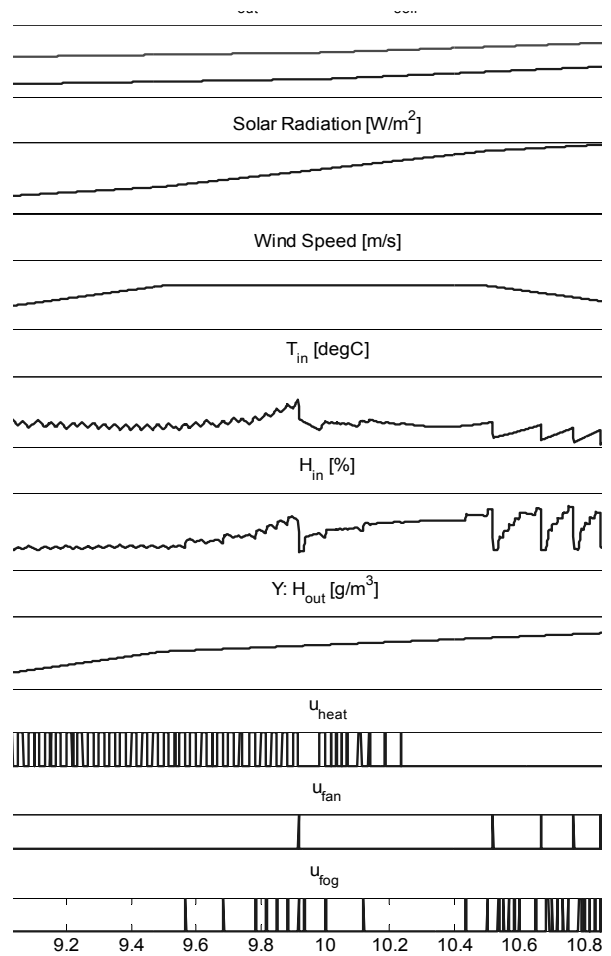


그림 3. 9시부터 11시 사이 시뮬레이션 결과
Fig. 3. The simulation results (9:00 to 11:00)

서 수동으로 구동되거나 단순하게 임계치 설정에 의한 단수의 액추에이터 제어만 이루어지고 있다. 따라서, 본 논문에서는 온도와 습도 환경에 대한 수학적 모델을 기반으로 궤환선형화 기법을 이용한 제어 알고리즘을 제시하였고, 특히 온도와 습도 시스템에 동시에 영향을 끼치는 환풍기의 동작에 관한 제어 알고리즘을 제시하였을 뿐만 아니라 외부온도, 토양온도, 외부습도, 일사량, 바람 등과 같은 외란을 고려하여 제어를 설계하였다. 제시한 제어 알고리즘의 타당성을 보이기 위해 Matlab/Simulink 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 향후에는 구동 가능한 S/W 및 H/W 개발을 통해 실제 온실 환경에 적용하고자 한다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부 산업원천기술개발사업(차세대 Green 성장환경 시스템 기술 개발, 과제번호: 10037299)으로 지원된 연구임.

[참고 문헌]

[1] L. D. Albright, K. G. Arvanitis, and A. E. Drysdale, "Environmental control for plants on earth and in space," *IEEE Control System Magazine*, vol. 21, no. 5, pp. 28-47, Oct. 2001.

[2] R. Guzman-Cruz, R. Castaneda-Miranda, J. J. Garcia-Escalante, I. L. Lopez-Cruz, A. Lara-Herrera, and J. I. de la Rosa, "Calibration of a greenhouse climate model using evolutionary algorithms," *Biosystems Engineering*, vol. 104, no. 1, pp. 135-142, 2009.

[3] N. Bennis, J. Duplaix, G. Enea, M. Haloua, and H. Youlal, "Greenhouse climate modeling and robust control," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 61, no. 2, pp. 96-107, 2008.

[4] P. Salgadi and J. B. Cunha, "Greenhouse climate hierarchical fuzzy modeling," *Control Engineering Practice*, vol. 13, no. 5, pp. 613-628, 2005.

[5] L. Qin, G. Wu, J. Wang, and W. Chen, "On-line modeling of air temperature systems in a naturally ventilated greenhouse," *Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation*, pp. 1553-1557, Chongqing, China, June 2008.

[6] H. Hu, L. Xu, and R. Wei, "Nonlinear adaptive neuro-PID controller design for greenhouse environment based on RBF network," *The 2010 International Joint Conference on Neural Networks*, pp. 1-7, 2010.

[7] H. Hu, L. Xu, R. Wei, and B. Zhu, "Multi-objective tuning of nonlinear PID controllers for greenhouse environment using evolutionary algorithm," *2010 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, pp. 1-6, 2010.

[8] P. Javadikia, A. Tabatabaefar, M. Omid, R. Alimardani, and M. Fathi, "Evaluation of intelligent greenhouse climate control system, based fuzzy logic in relation to conventional systems," *2009 International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence*, pp. 146-150, 2009.

[9] F. Xu, J. Chen, L. Zhang, and H. Zhan, "Self-tuning fuzzy logic control of greenhouse temperature using real-coded genetic algorithm," *2006 ICARCV '06. 9th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*, pp. 1-6, 2006.

[10] M. Nachidi, A. Benzaouia, and F. Tadeo, "Temperature and humidity control in greenhouses using the Takagi-Sugeno fuzzy model," *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Control Applications*, pp. 2150-2154, Oct. 2006.

[11] H. Hu, L. Xu, B. Zhu, and Y. Liang, "A compatible control algorithm for greenhouse climate control based on MOCC strategy," *2010 3rd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology*, vol. 4, pp. 63-67, 2010.

[12] A. Pawlowski, J. L. Guzman, F. Rodriguez, M. Berenguel, J. Sanchez, and S. Dormido, "Event-based control and wireless sensor network for greenhouse diurnal temperature control: A simulated case study," *IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, pp. 500-507, 2008.

[13] M. Y. El Ghoumari, H.-J. Tantau, and J. Serrano, "Non-linear constrained MPC: Real-time implementation of greenhouse air temperature control," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 49, no. 3, pp. 345-356, 2005.

Biography



손 교 훈

1997년 창원대학교 제어계측공학과 졸업
 1999년 창원대학교 제어계측공학과(공학석사)
 2002년 창원대학교 제어계측공학과(박사수료)
 2002년~2008년 서두인칩, 텔에이스 선임연구원
 2008년~현재 한국전자통신연구원 선임연구원
 <관심분야> IoT, USN, Wibro, DMB

<e-mail> sonkh@etri.re.kr



박 대 현

2006년 순천대학교 정보통신공학과 졸업
 2008년 순천대학교 정보통신공학과(공학석사)
 2010년 순천대학교 정보통신공학과(박사수료)
 2011년~현재 한국전자통신연구원 연구원
 <관심분야> IoT, USN, UWB, 통신시스템

<e-mail> dhpark82@etri.re.kr



김 세 한

1998년 한국항공대학교 컴퓨터공학과 졸업
2000년 한국항공대학교 정보통신공학과(공학석사)
2007년 충남대학교 정보통신공학과(박사수료)
2008년~현재 한국전자통신연구원 선임연구원

<관심분야> IoT, RFID/USN, 농업IT

<e-mail> shkim@etri.re.kr



정 은 태

1991년 경북대학교 전자공학과 졸업
1993년 경북대학교 전자공학과(공학석사)
1996년 경북대학교 전자공학과(공학박사)
1997년~현재 창원대학교 제어계측공학과 교수

<관심분야> 시스템 모델링, 제어이론, 제어응용

<e-mail> jet26@changwon.ac.kr



김 재 형

1983년 고려대학교 전자공학과 졸업
1985년 고려대학교 전자공학과(공학석사)
1989년 고려대학교 전자공학과(공학박사)
1991년~현재 창원대학교 제어계측공학과 교수

<관심분야> 디지털시스템설계, 무선통신시스템

<e-mail> hyung@changwon.ac.kr