

농업생산시설의 환경조절용 시뮬레이터에 관한 연구
- 수치모델에 의한 기본시스템 구축 -

손정익 · 최규홍
건국대학교 농과대학 농공학과

A Study on Simulator for Environment Control of
Agricultural Production Facility
- Construction of Basic System with Numerical Model -

Son, Jung-Eek · Choi, Kyu-Hong
Dept. of Agricultural Engineering, Konkuk University, Seoul 133-701

Abstract

The purpose of this study is to construct the main system of simulator for the environment control of agricultural production facilities. The model describing the system was based on the energy and mass balance in an unsteady-state situation. The model consist of the three major parts: the main model, the light model, and the environmental control model, and each part was seperated to be developed individually. The main model which is the core of this system includes the thermal model, the soil model, the ventilation model, the cultivation model, and the carbon dioxide model. And also the environmental control model includes the thermal curtain model, the heater/cooler model and the underground heat exchanger model. The equations used in this model were written in analog programming methods using PCSMP. The simulator was evaluated through comparision between simulated and measured temperatures controlled during daytime and night. The results showed good agreements between the predicted and measured temperatures.

키 워 드 : 농업생산시설, 환경조절, 수치모델, 시뮬레이터, 기본시스템

Key words : agricultural production facility, environmental control, numerical model simulator, main system

서 론

농업시설의 첨단화를 통한 고품질 생산을

위해서는 적절한 환경설계를 통한 환경제어 기기의 도입이 필수 불가결하다. 또한 고도의 환경제어기술을 도입하여 적정 생산환경의 유

본 연구는 한국학술진흥재단의 1995년도 연구비지원으로 수행되었음.

및 관리가 필수적이다. 따라서 환경제어기기 및 제어방법을 적절히 선택하여 생물의 생산 시설에서 최적의 환경조건을 유지하여 생산력 향상을 도모할 수 있다면 농업생산시설의 환경조절 차원에서는 매우 효율적이다.

그러나 환경제어기기의 도입 및 설치에 개략적인 지침에 의하여 설치할 뿐 지역적 특성이나 생산시설의 특징을 충분히 고려하지 못하는 실정이다. 따라서 컴퓨터 모델을 이용하여, 각종 조건의 설정에 대하여 누구나 손쉽게 사용할 수 있는 일반적인 다목적 환경예측 및 제어용 모델의 구축이 가능하다면, 기본적인 모형의 구축에 투자되는 시간 및 비용을 절약할 수 있고, 보다 다양한 조건에 대한 검토를 사전에 수행함으로써, 식물생산시설의 효율적인 환경제어가 가능하리라고 사료된다.

사전에 적절한 환경제어기법을 사용하는 환경제어장치를 수치적으로 적용시킴으로써 최소한의 실패를 방지할 수 있으며, 궁극적으로는 다양한 환경제어기법의 개발에도 크게 공헌할 수 있다. 이러한 모델에 관하여서 기본적인 동적인 온실 모델^{6,7,8,9,13,15,16}, 환기와 온실환경과의 관계^{3,4,10}, 열전달계수^{11,12}, 수경재배^{1,16}, 범용 프로그램을 이용한 시스템 구성² 등 많은 연구가 보고되고 있으며, 이론적인 면에 치중한 경향이 있었다.

따라서 본연구에서는 농업생산시설의 환경조절이 필요로 되는 대상을 고려해서 수치적 모델을 구축함으로써, 실제로 환경제어장치를 설치하지 않더라도 가상적으로 환경예측 및 제어 조건을 가정하여 비교할수 있는 환경조절용 모델의 기본 시스템 구축 및 적용성 검토를 목적으로 하였다.

모델의 구성

1. 모델의 개요

본 모델의 전체적인 내용은 기본모델, 광환경모델, 환경제어모델 등으로 구성되어 있다. 기본모델은 열환경모델, 환기모델, 탄산가스모

델, 토양모델, 재배관련모델 등으로 구성된다. 재배관련모델은 토양재배모델, 무토양재배모델, 용존산소모델로 구성이 된다. 열환경 모델은 재배환경과는 상호 종속적이고 환경제어모델의 직접적인 영향을 받는다. 광환경모델과 환경제어모델은 기본적으로 독립적이다.환경제어모델은 보온커튼, 냉 난방모델, 지중열교환모델로 구성이 된다.

본 모델은 각 서브 모델간의 독립성을 유지하도록 하고 서브 모델에서 사용되는 모든 환경인자에 대하여서는 공유할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 작성한 모델의 전체적인 개념도는 Fig.1과 같으며, 기본모델을 구성하는 각종 시설 및 환경제어기기의 개념도는 Fig.2와 같다.

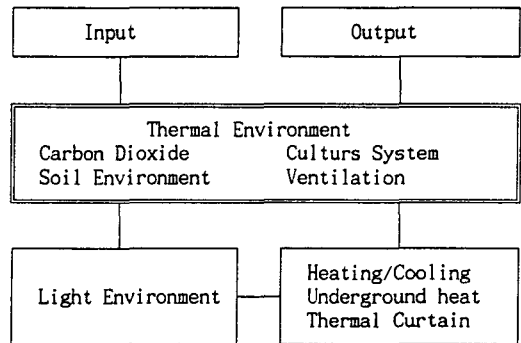


Fig.1. Conceptual diagram of the model

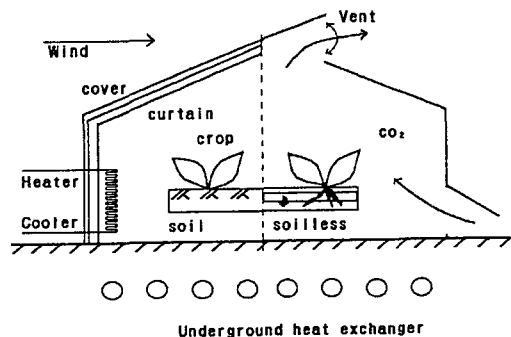


Fig.2. General view of the system.

2. 기본모델

가. 열환경모델

본 모델에서는 일사의 흡수 및 반사에 의한 열교환, 각 요소간의 복사 열교환, 각 요소간의 수분이동에 의한 대류열 교환, 열교환기에 의한 열공급량 등을 고려하였다. 각 요소에 관련된 기본식은 다음과 같다.

1면과 2면사이의 복사열 교환량 $L_{1,2}$ 은 다음과 같이 구할 수 있다. 단, 천공복사량은 외기 온에 수증기압 및 구름량을 고려한 근사식을 사용하였다. 형태계수는 기하학적 방법으로 구할 수 있고, 아치형의 경우는 지붕과 처마 사이의 타원을 4개의 직선으로 근사하였다.

$$L_{1,2} = \epsilon_1 \epsilon_2 f_{12} \sigma (T_1^4 - T_2^4) A_1 \quad (1)$$

$$L_{c,sky} = \epsilon f_{12} \sigma (T_c^4 - T_{sky}^4) A_c \quad (2)$$

$$T_{sky}^4 = [(0.51 + 0.076\sqrt{e})(1 - C \cdot M) + C \cdot M] T_o^4 \quad (3)$$

단. $f_{12} = A_2 \cos \beta_1 \beta_2 / \pi r^2$

여기서, T :절대온도, ϵ :복사율, f_{12} :1면이 2면을 보는 형태계수, r :1면과 2면의 거리, β_1, β_2 :1면과 2면간의 직선과 각면의 법선과 이루는 각, A :면적, σ :스테판-볼쯔만 상수, e :실외공기의 수증기압(mmHg), c :피복재, C :경험계수로 0.8, N :雲量(0-1)을 의미한다. 단, $L_{1,2} = -L_{2,1}$ 이다.

현열 및 잠열 전달량($H_{1,2}, El_{1,2}$)은 대류열 전달계수를 구하지 않으면 불가능하다. 원칙적으로 각면에 따른 대류열전달계수는 경험적으로 구하지만, 일반적으로 온실의 피복재 외면은 강제대류에 의하기 때문에 풍속의 함수, 내면은 자연대류로 피복재와 시설내의 온도차 및 내부 풍속의 함수를 사용한다^{1,7)}. 따라서 1면과 2면의 현열 및 잠열 교환량은 다음 식과 같다.

$$H_{1,2} = h_{1,2} (\theta_1 - \theta_2) A \quad (4)$$

$$El_{1,2} = K_{1,2} \rho_a (G_1 - G_2) A \quad (5)$$

단. $h_1 = 5.472 |4\theta|^{1/3} + 18.72 (V/L)^{0.5}$

$h_2 = 10.08 + 10.8V$

$h/K = \rho_a C_p (Le)^{2/3}, Le = a/D$ (Lewis수)

여기서, h :대류열전달계수¹⁾($kJ/m^2/hr/^\circ K$) (h_1 :내부, h_2 :외부), a :열확산계수(공기), A :표면적, D :물질확산계수(공기중의 수증기), V :풍속, L :특성길이, K :수증기전달계수, G :절대습도(kg/kg')를 의미한다. 단, $H_{1,2} = -H_{2,1}$ 이다.

피복재 표면의 현열 및 잠열교환량을 구하기 위하여 피복재는 평균온도를 사용하였고, 표면의 증발잠열은 피복재온도에 따른 포화수증기압 G_c 가 공기의 수증기압보다 작을 때 피복재 표면에서 응축이 발생하고 그 역도 성립한다. 다음은 피복재의 열수지식을 나타낸다.

$$C_c V_c \frac{db_c}{dt} = H_{i,c} + H_{o,c} + L_{f,c} + L_{p,c} + L_{b,c} + I_c + El_{i,c} \quad (6)$$

$$H_{i,c} = h_{i,c} (\theta_i - \theta_c) A_c \quad (7)$$

$$El_{i,c} = K_{i,c} \rho_a (G_i - G_c) A_c \quad (8)$$

여기서, $h_{i,c}$:피복재 내면의 대류열전달계수, θ_c, θ_i :피복재, 실외, 실내온도, $K_{i,c}$:피복재 수증기전달계수를 의미한다.

환기에 의한 현열 및 잠열교환량(H_v, El_v)은 다음 식과 같고, 환기모델에 의하여 환기량이 결정된 후 계산될 수 있다.

$$H_v = \rho_a C_a Q (\theta_i - \theta_o) \quad (9)$$

$$El_v = \rho_a Q (G_i - G_o) \quad (10)$$

여기서, C_a :공기의 비열, Q :환기량을 의미한다.

지표면의 열수지식은 현열 및 잠열교환량($H_{i,j}, El_{i,j}$)은 다음과 같고, 지표면을 자유수상태로 결정할 수 없기 때문에 포화도 개념을 도입한다.

$$H_{i,j} = h_{i,j} (\theta_j - \theta_s) A_j \quad (11)$$

$$El_{i,j} = K_{i,j} \rho_a (G_i - w G_s) A_j \quad (12)$$

여기서, $h_{i,j}$:지표면 대류열전달계수, θ_j :지표면온도, $K_{i,j}$:지표면 수증기 전달계수, w :지표면 포화정도(0-1)를 의미한다.

작물의 열수지식은 다음과 같다. 작물사이와 내부공기의 현열 및 잠열 교환량($H_{i,p}, El_{i,p}$)은

식(14), (15)와 같고, 잎의 양면과 엽면적지수 LAI(Leaf Area Index)에 의하여 결정된다.

$$C_p V_p \frac{d\theta_p}{dt} = H_{i,p} + L_{f,p} + L_{c,p} + L_{b,p} + L_{sky,p} + I_p + El_{i,p} \quad (13)$$

$$H_{i,p} = 2h_{i,p} LAI(\theta_i - \theta_p) A_i \quad (14)$$

$$El_{i,p} = 2K_{i,p} \rho_a LAI(G_i - G_{sp}) A_i \quad (15)$$

$$\text{단, } h_{i,p} = 6.84(\theta_i - \theta_p) / L_p^{0.25} + 18.72(V_p / L_p)^{0.5}$$

$$1/K_{i,p} = \frac{\rho_a C_p (Le)^{2/3}}{h_{i,p}} + R_i$$

여기서, $h_{i,p}$: 엽면 대류열전달계수¹⁾, θ_p : 작물 체온도, L_p : 엽면의 특성길이, V_p : 엽면주위의 풍속, $K_{i,p}$: 엽면 수증기전달계수, R_i : 기공저항(주간 약 400s/m)을 의미한다.

비정상모델에 의한 내부공기의 에너지 및 수분수지식은 다음과 같이 표현할 수 있다. 여기서, 명시되지 않은 부분은 개별 모델의 설명에서 기술하였다.

$$C_a V_i \frac{d\theta_i}{dt} = H_{p,i} + H_{c,i} + H_{f,i} + H_{b,i} - H_v + H_m + H_{wv} + El_{p,i} + El_{c,i} + El_{f,i} \quad (16)$$

$$\rho_a V_i \frac{dG_i}{dt} = (El_{p,i} + El_{c,i} + El_{f,i}) / i \quad (17)$$

나. 환기모델

일반적으로 환기는 자연환기와 강제환기로 구성되고, 자연환기는 風上-風下의 압력차에 의한 풍력환기와 실내의 온도차에 의한 중력환기로 구성된다. 환기 구동력인 실내외 압력차는 정압차, 부력, 풍력에 의해서 구성되고, 환기량은 환기 구동력 및 환기구 특성에 의하여 결정된다. 임의의 환기구에 대해서 실내외 압력차 ΔP 와 환기구의 환기량 Q 와의 관계는 다음 식과 같다.

$$Q_k = \alpha_k A_{ok} \sqrt{\frac{2g}{\gamma} |\Delta P_k|} \quad (18)$$

$$\Delta P_k = P_i - P_{wk} + P_{gk} \quad (19)$$

$$P_{wk} = C_k \frac{\gamma_o}{2g} V_o^2$$

$$P_{gk} = h_k \gamma_o \frac{\theta_i - \theta_o}{273 + \theta_i}$$

$$Q = \sum Q_{k(+)} = \sum Q_{k(-)} \quad (20)$$

여기서, A_v : 환기구 면적(m²), α_k : 환기구 풍량계수, ΔP_k : 환기구 내외의 全壓差(kg/m²)이며, $\Delta P \geq 0$ 일 경우(流出時)는 $\gamma = \gamma_i$, $\Delta P < 0$ 일 경우(流入時)는 유량 Q 를 負, $\gamma = \gamma_o$ 로 한다. V_o : 기준높이(z)의 풍속, P_{wk} , P_{gk} , P : 환기구의 풍압력, 부력 및 실내정압(地面기준)이다. C_k : 풍압계수, h_k : 환기구 높이, Q : 총환기량, $Q_{k(+)}$: 유입환기량을 의미한다. g , r 는 각각 중력가속도 및 공기비중이며, 첨자 i , o 및 k 는 각각 실내, 실외 및 환기구 위치를 의미한다.

다. 탄산가스 모델

탄산가스모델은 환기모델의 직접적인 영향을 받는다. 즉 탄산가스 이동량은 다음식과 같고, 실내외 탄산가스 농도와 순광합성 및 탄산가스발생속도의 수로 표시할 수 있다.

$$V_i \frac{dC_i}{dt} = Q(C_o - C_i) - (P_n - S) \quad (21)$$

여기서, C_i , C_o : 실내, 실외 탄산가스 농도(g/m³), P_n : 순광합성속도(g/h), S : 내부탄산가스 발생량(g/h)을 의미한다.

라. 토양환경모델

본 모델에서는 일중 항온층의 깊이를 60cm로 하고, 온도분포를 보다 적절히 파악하기 위해 수직 방향의 열전달을 고려하였다. 각 층간의 열전도계수는 동일한 것으로 가정하였다. 또한 지중열교환기에 의한 지중내의 온도 변화는 없는 것으로 가정하였다. 수직 방향의 mesh는 토양층 상부의 열전달이 하부의 열전달에 비해 온실내 온 습도에 영향을 많이 미치므로 1:2:6:20:30으로 구분하였다. 실내외 양표면의 열수지 및 토양층내의 열수지는 다음과 같다.

$$C_p \rho_n A_f \frac{d\theta_f}{dt} = L_{sky,f} + L_{c,f} + L_{p,f} + L_{b,f} + I_f + H_{i,f} + El_{i,f} + 2A_f k_{f/1} (\gamma_{n1} + \gamma_{n2}) (\theta_{n1} - \theta) \quad (22)$$

$$C_p V_p \frac{d\theta_p}{dt} = 2k_f \left[\frac{(\theta_{p-1} - \theta_p)}{y_{p-1} + y_p} + \frac{(\theta_{p+1} - \theta_p)}{y_{p+1} + y_p} \right] \quad (23)$$

여기서, k: 토양의 수직방향의 격자번호, C_p: 토양의 비열, y_i: i번째의 토양층, θ_i: 토양의 온도, I_i: 토양의 일사흡수량, A_i: 상면적, k_i: 토양의 열전도율을 의미한다.

마. 재배관련모델

일반적으로, 온실내의 열수지는 작물의 재배방식에 따라서 달라지기 때문에 본 모델에서는 토양재배와 무토양재배로 구분하여 열수지 해석을 하였다. 무토양재배시 담액방식으로서, 작물의 체온은 근권부가 접촉하고 있는 양액의 영향을 받으므로, 작물의 줄기를 통한 증산류의 흐름에 의한 현열교환량을 고려하였다. 상면적에 대한 베드 면적이 증가하기 때문에 베드면적에 관련된 지면일사흡수, 복사열교환, 지중열전도 부분이 추가되었다. 토양재배, 무토양재배시의 작물의 열수지식은 다음과 같다. 대괄호안의 항목은 무토양재배의 경우에 해당한다.

$$C_p V_p \frac{d\theta_p}{dt} = I_p + H_{i,p} + L_{c,p} + L_{f,p} + E L_{i,p} + [L_{b,p} + \frac{E L_{i,p}}{I} C_n (\theta_n - \theta_p)] \quad (24)$$

여기서, L_{c,p}, L_{f,p}, L_{b,p}: 작물과 피복재, 지표면, 베드 사이의 복사열교환량, I_p: 작물의 일사흡수량, V_p: 작물체적, C_p, C_n: 작물, 양액의 비열, θ_p, θ_n: 지면, 양액의 온도, E L_{i,p}/i: 증산량을 의미한다.

3. 광환경모델

일사량은 측정위치의 위도, 경도, 시간, 경사각 β, 태양고도 h 및 방위각 A에 의해서 표시될 수 있다. 수평면 전천일사량 I_h는 세부적으로 수평면 직달일사량 I_d과 산란일사량 I_s로 구분되고, 임의의 경사각 및 방위각을 가진 위치에서의 직달일사량 I_m, 산란일사량 I_s으로 구성된다. 시설내 지표면에 도달하는 일사흡수량 I은 직달광 및 산란광에 대하여 각 피복

재의 투과율 τ, 형태계수 F, 지면흡수율 a를 적용하여 다음식과 같이 표현할 수 있다.

$$I_f = \sum_{i=1}^k [a_i A_{i,c} (J_{d,i} \tau_{d,i} F_{d,i} + J_{s,i} \tau_{s,i} F_{s,i})] \quad (25)$$

$$J_d = I_d \frac{\sin h'}{\sin h} \quad (26)$$

$$J_s = \frac{I_s}{2} (1 + \cos \beta) \quad (27)$$

$$I_t = I_d + I_s = I_s / k_s \quad (28)$$

$$\sin h' = \sin h \sin \beta + \cos h \cos \beta \cos (A - a) \quad (29)$$

여기서, a: 경사면의 최대 경사방위각, k_s: 수평면일사량에 대한 산란일사량의 비율, F_k: k면에 입사하는 일사량의 지표면 투영면적에 대한 시설내의 투영면적비, a_i: 지면의 일사흡수율, A_i: 지표면적, 첨자 k, d, s: 대상부분, 직달, 산란을 의미한다.

4. 환경제어모델

가. 보온커텐 모델

보온커텐은 온실 내부의 작물의 생육환경을 최적으로 조절해 주고, 온실내로 유입된 열에너지의 보존과 전체 열수지의 절감을 위하여 온실 피복재와 온실내부공기 사이에 설치되어 사용된다. 본 연구에서는 커텐수 0-2에 대해서 모델을 작성하였다. 커텐은 측창 및 천창부분의 2개로 구분하여 작성하였다. 또한 보온커텐 표면의 온도는 균일하다고 가정하였다. 커텐 n층의 열수지는 각각 다음과 같다.

$$C_n V_n \frac{d\theta_n}{dt} = [h_{n-1,n} (\theta_{n-1} - \theta_n) + h_{n,n} (\theta_n - \theta_n)] A_n + L_{n+1,n} + L_{n-1,n} + I_{n-1,n} + I_{n+1,n} \quad (30)$$

$$\theta_n = \frac{1}{2} (\theta_n + \theta_{n+1}) \quad (31)$$

여기서, I: 일사흡수량, θ_n, θ_{n+1}: 커텐 n 및 공기층 N(커텐 n과 n+1층사이)의 온도, V_n: 커텐 n의 체적, 일사량에서 n, n+1은 n에서 n+1 방향을 의미한다.

가. 난방 모델

난방에는 온수난방과 온풍난방을 적용한다.

온수난방은 간접적인 난방방법이며 온풍난방은 지연시간이 없는 직접적인 난방방법이다. 온풍난방에는 연료의 연소에 따라 발생된 열을 공기에 전달하여 가온시키는 난방방법으로서, 설비 비용이 저렴하고, 보수관리가 용이하며, 온수난방에 비해 예열시간이 짧고, 염가이기 때문에 온수난방보다는 더 많이 사용되고 있다. 난방모델에 사용된 PID제어와 ON-OFF제어 모델은 다음과 같다.

$$H_{in} = K(e + T_d \frac{de}{dt} + \frac{1}{T_i} \int edt) \quad (\text{PID 제어}) \quad (32)$$

$$H_{in} = v_0 \quad (\text{at } \theta < \theta_s) \quad (\text{ON-OFF 제어}) \quad (33)$$

여기서, H_{in} : 냉난방량, θ_s : 설정온도, $e = \theta_s - \theta$, K : 비례상수, T_d : 미분상수, T_i : 적분상수, v_0 : 단위시간당 열조작량이며, 온수난방일 경우는 지연시간을 고려한다.

다. 지중열 교환모델

지중열교환방법은 지중에 공기를 순환시킴으로써 열교환에 의하여 실내공기를 냉난방할 수 있는 방법이다. 기본적으로 지중열교환방법은 환경제어의 보조수단으로 사용된다. 지중열교환을 독립적으로 수행하기 위한 난방시에는 파이프 내부의 응축에 의한 잠열을 무시할 수 있기 때문에, 파이프를 길이에 대해서 k 개로 구분하여 구성한 식은 다음과 같다.

$$H_{in} = \sum_{j=1}^k H_{in(j)} = \sum_{j=1}^k K_{pp} A_{pp} (\theta_{pp} - \theta_{in(j)}) \quad (34)$$

$$\theta_{in(j)} = \theta_{in(j-1)} + H_{in(j-1)} / \rho_a C_a Q_{pp} \quad (35)$$

$$\text{단, } K_{pp} = \frac{1}{r_1 [1/h_{pp} r_1 + \ln(r_2/r_1)/k_{pp}]}$$

$$h_{pp} = 10.969 V_{pp}^{0.8} / r_1^{0.2}$$

여기서, A_{pp} : 총파이프의 표면적, r_1, r_2 : 파이프의 내외반경, $\theta_{in(k)}$: 파이프내의 (유입) 공기 온도, θ_{pp} : 파이프 주위의 토양온도, V_{pp} : 유속, k_{pp} : 파이프의 열전도계수, h_{pp} : 파이프내경의 열

대류계수⁽¹⁾, K_{pp} : 파이프의 총열전달계수, Q_{pp} : 유량을 의미한다.

모델의 적용결과 및 고찰

1. 공시시설의 제원

공시시설의 제원 및 환경조건은 다음과 같다. 온실의 경도와 위도는 각각 37.2°, 127.5°, 폭 및 길이는 8m×21m, 처마 및 천장높이는 2.7m 및 4.6m이다. 환기창의 면적은 26m²이며 완전히 열렸을 때의 개도는 45도이며 풍량계수는 0.5를 사용하였다.

적용된 장과 복사율은 피복재 0.15, 작물 0.95, 지면 0.95, 베드 0.85를 사용하였고, 일사 흡수율은 작물 0.8, 지면, 0.8, 베드 0.5를 사용하였다. 피복재의 장파투과율은 0.4, 일사 투과율은 0.8을 사용하였다.

전체 지면면적에 대한 재배면적의 비는 0.5이며, 단위면적당 재배수는 6.5m²이며, 작물의 LAI는 1.5를 사용하였다. 사용된 재배상의 재료는 폴리스틸렌이며 두께는 2.5cm이며, 양액수위는 1.5cm이었다.

2. 측정 방법 및 해석

실험은 1995년 11월10일부터 12일사이에 경기도 여주에 소재한 건국대학교 실습농장의 폭 8.0m, 길이 21m, 지붕높이 2.7m, 처마높이 4.6m인 양지붕 온실에서 수행되었다. 실내온도는 20,000Cal/hr 용량의 온풍난방기(효율 0.85)에 의하여 조절되며 실내온도는 12°C로 설정하였고, 환기창은 24°C에서 열려지도록 설정하였다. 온도조절용 Thermostat는 ON-OFF 제어방법식으로 설정온도는 12°C이나 자체의 히스테리시스에 의하여 11~13°C에서 제어가 이루어졌다. 측정항목은 내기온, 피복재 온도, 지온, 습도, 일사 등이다. 실외풍속은 0.8~0.11m/s 전후로서 1m/s를 사용하였다.

온실의 피복재온도는 피복재 밑면, 온실내 기온은 온실의 중앙에서 측정하였다. 또한, 지온은 일사의 영향을 직접 받지 않도록 하여

지표 근처에 열전대(T type, 0.3mm)를 설치하여 측정하였다. 그리고, 일사량은 일사계(PCM-01, Kadec)를 지표면에 설치하여 측정하였다. 데이터 수집장치(DA100, DA600, Yokogawa)을 사용하여 매 30초간격으로 데이터를 컴퓨터(486 PC)에 저장하였다. 본모델에서의 해석시 환경제어에 대한 신속한 응답을 얻기위하여 상대적으로 지연시간의 영향이 작은 커텐, 작물, 피복재, 베드의 열용량을 무시하였다.

3. 모델의 적용 결과

외기일사량 및 외기온의 변화에 따른 실내온도의 변화의 측정치와 예측치의 비교는 다음과 같다(Fig.3). 일사량 변화에 따라서 실내온도의 상승이 예상되지만 12시부터 13시 전후로 환기에 의한 온도상승이 억제 및 부분적인 하강이 측정되었다. 모델에 의한 온도변화 예측치와 실측치는 전반적으로 잘 일치하고 있는 것을 알 수 있다. 본 모델에서는 생략하였지만 베드내의 양액의 온도의 측정결과 실내온도 변화에 크게 영향을 받고 있다는 것을 알 수 있었다.

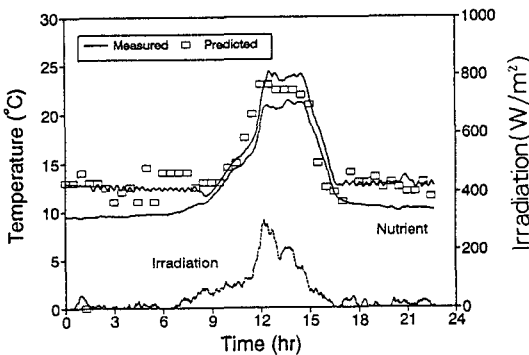


Fig.3. Comparison of predicted and measured inside air temperatures.

난방기를 이용하여 야간의 실내온도를 일정하게 유지한 결과를 나타내고 있다(Fig4). 오

전3시부터 6시까지의 ON-OFF 방식으로 제어되는 실내온도의 변화가 잘 나타나고 있고, 약 12~13°C를 중심으로 진동되고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 사용된 Thermostat의 히스테리시스와 ON-OFF 제어의 특성에 의하여 발생된 것으로 사료된다. 야간의 경우는 보온 및 난방이 동시에 진행되고 있고, 일사 등의 외부로부터의 급격한 변화를 받지 않으며 대부분 피복재를 통한 열관류 및 지중열교환에 의존하고 있다. 모델에 의한 결과는 시간의 위상차가 다소 발생하였지만 전반적으로 유사한 경향을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

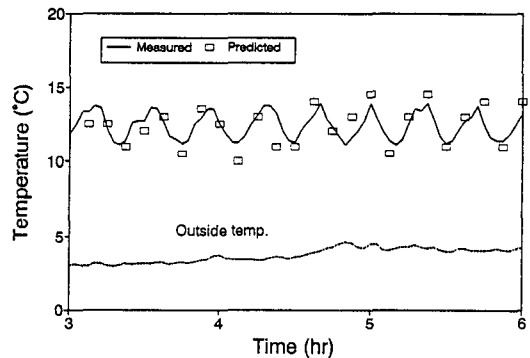


Fig.4. Comparison of controlled inside air temperatures with heating during night.

환기창을 이용하여 주간 온도 상승을 억제 한 결과를 나타낸 결과는 Fig.5와 같다. 오전 8시부터 17시에서 온도상승에 의하여 12시부터 2시까지의 환기창의 개폐에 의하여 제어되는 실내온도의 변화가 잘 나타나고 있고, 약 24°C를 중심으로 22°C~26°C 사이를 나타내고 있다. 국부적인 온도변화는 외부풍속에 기인하는 것으로 판단되며, 실내온도의 민감한 변화에 신속히 대응할 수 없는 것에 의한 것으로 판단된다. 모델에 의한 결과는 일정한 값이며 급격한 풍속 및 일사량 변화 등을 실측 및 모델에서 완전히 수용할 수 없기 때문

에 발생하는 결과라고 사료되지만, 전반적으로 유사한 경향을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

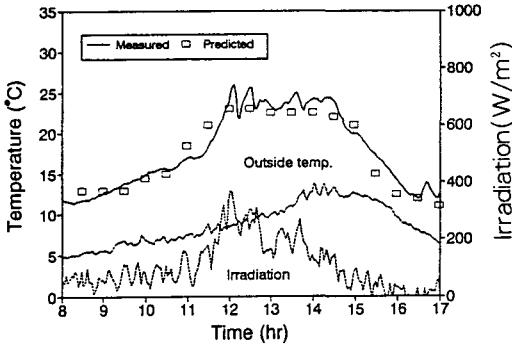


Fig.5. Comparison of controlled inside air temperatures by ventilation during daytime.

적 요

본 연구에서는, 농업생산시설내 환경조절을 위한 시뮬레이터의 기본 시스템을 구축하고, 실내환경을 조절하면서 실측치와 예측치를 비교함으로써 적용성을 검토하였다. 모델은 비정상상태의 에너지 및 물질수지에 근거하여 구축되었고, PCSMP를 사용하여 아날로그형 프로그램이 가능하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다. 구축된 환경조절용 시뮬레이터의 기본시스템은 기본모델, 광환경모델, 환경제어모델로 구성되어서 상호 독립적인 개발이 가능하였다. 기본모델은 본 시스템의 주요 부분으로써 열환경모델, 재배모델, 환기모델, 토양모델, 탄산가스모델을 구성되었고, 환경제어모델은 보온커튼, 냉난방기 및 지중열교환을 고려하였다. 실제로 환경조절이 실시되고 있는 온실의 주간 및 야간의 실내온도의 실측치와 모델에 의한 예측치를 비교한 결과, 비교적 잘 일치되어서 그 적용성이 확인되었다.

참 고 문 헌

1. 南相運, 金文基, 孫禎翼. 1993. 水耕溫室의 養液冷却負荷 豫測모델 開發. 生物生産施設環境 2(2): 99-109.
2. 孫禎翼, 李東根, 金文基. 1993. 植物生産시스템의 多目的 環境豫測 모델의 開發. 生物生産施設環境 2(2): 126-135.
3. 孫禎翼. 1996. 簡易農業施設의 環境解析. 韓國農工學會誌 38(3): 41-49.
4. 孫禎翼, 金文基, 權永杉, 南相運, 尹南奎. 1995. 비가림 施設의 效率의 形態 開發에 관한 基礎 研究. 生物生産施設環境 4(1): 32-42.
5. Avissar, R. and Y. Mahrer. 1982. Verification study of a numerical greenhouse microclimate model. Trans. of the ASAE 25: 1711-1720.
6. Chandra, P. and L.D. Albright. 1980. Analytical determination of the effect on greenhouse heating requirements of using night curtains. Trans. of the ASAE 23: 994-1000.
7. Chandra, P., L.D. Albright and N.R. Scott. 1981. A time dependent analysis of greenhouse thermal environment. Trans. of the ASAE 24: 442-449.
8. Kimball, B.A. 1981. A versatile model for simulating many types of solar greenhouse. ASAE paper: No.81-4038.
9. Kindelan, M. 1980. Dynamic modeling of greenhouse environment. Trans. of the ASAE 23: 1232-1239.
10. Kozai.T. and S.Sase, 1980, A simulation of natural ventilation for a multi-span greenhouse, Greenhouse and food production, Japan rural Information System Association: 27-38.
11. McAdams,W.H. 1954. Heat transmission. McGrawHill. 532pp.
12. Okada.M. 1980. The heating load of greenhouse (1) Convective heat transfer

- coefficients at the inside cover surface of a greenhouse as influenced by heating pipe positions. *J.Agr.Met.* 35: 235–242.
13. Seginer, I. and L.D Albright. 1980. Rational operation of greenhouse thermal curtains. *Trans. of the ASAE* 23: 1240–1245.
14. Son, J.E. and T. Takakura. 1987. A study on automatic control of nutrient solution in hydroponics. *J. Agr. Met.* 42 (2): 147–151.
15. Takakura, K. 1993. *Climate under cover – Digital dynamic simulation in plant bio engineering.* Kluwer Academic Publishers.
16. Takakura, T., K.A Jordan and L.L. Boyd. 1971. Dynamic simulation of plant growth and environment in the greenhouse. *Trans. of the ASAE* 14: 964–971.