

태양에너지만을 이용한 그린하우스 난방시스템의 시뮬레이션 모델개발

Development of Simulation Model for Greenhouse Heating System Using only by Solar Energy

노정근*

정회원

J. G. Ro

송현갑*

정회원

H. K. Song

1. 서 론

그린하우스를 이용한 온실의 열특성 분석은 오스트레일리아의 K.Garzoli와 J.Blackwell은 1973년에 외기 온도와 태양 강도에 의한 그린하우스의 반응을 연구하였으며, 인도의 P.Chandra는 1982년에 그린하우스커버의 복사 열교환을 연구하였고, 미국의 D.H Willits와 2인은 1985년에 그린하우스에 대한 태양에너지 저장시스템의 모델링을 개발하였다. 또한 Ana Maria Silva 외 1인은 1987년에 그린하우스내의 복사 열손실을 연구하였고, Desmarais 외 2인은 1999년에 스크린하우스의 열전달 모델링을 발표하였다. 이와 같이 그린하우스에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있는 것은 그린하우스를 이용한 시설 농업이 이루어지고 있기 때문이다. 하지만 경쟁력을 갖춘 시설농업을 하기 위해서는 경제성 있는 난방 설비를 설치하는 하는 것이 중요하다. 이것은 시설농업을 하는 농민들에게 최근의 유가 상승에 의한 어려움이 이를 잘 말해주고 있다. 그러므로 이러한 적정 난방 설비 시스템을 갖추기 위해서는 그린하우스내 열특성 분석을 통해 그린 하우스 내 온도를 예측할 수 있는 기초 자료가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 태양에너지만을 이용한 그린하우스의 난방 열특성을 예측할 수 있는 모델링을 개발하였으며, 태양에너지만을 이용한 그린하우스를 설치하여 모델링 검증과 실험을 통한 열특성을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

(1) 모델개발

태양에너지만을 이용한 그린하우스 난방 특성에 대한 열평형 이론을 정립하고 수치해석에 의하여 컴퓨터 시뮬레이션 모델을 개발 하고자 태양에너지만을 이용한 난방시스템의 열저항 회로망을 구성하였다. 그리고 그린하우스의 피복재, 내부공기, 토양 표면과의 열평형

* 충북대학교 농업기계공학과

방정식을 정립하였다. 피복재, 내부공기 및 토양 표면을 미지수로 하여 3개의 비선형 연립방정식을 Newton-Raphson 반복법을 이용하여 수치해석을 하였고 수치해와 실험치를 비교하여 수치해의 타당성을 검증하고자 하였다.

태양에너지만을 이용한 그린하우스 난방시스템의 열에너지 이동현상을 그림 1,2에서 보는 바와 같이 열저항 회로망을 주간과 야간으로 구분하여 구성하였으며 이를 근거로 각 절점에서의 열에너지 평형 방정식을 정립하였다.

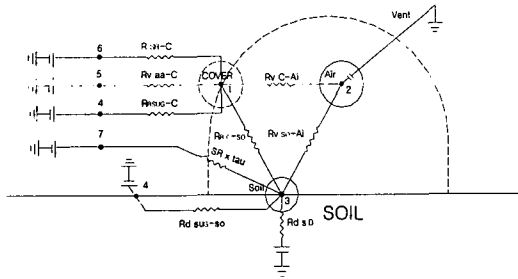


Fig.1 A complete thermal circuit simulation model of the greenhouse heating system only by solar energy. (daytime)

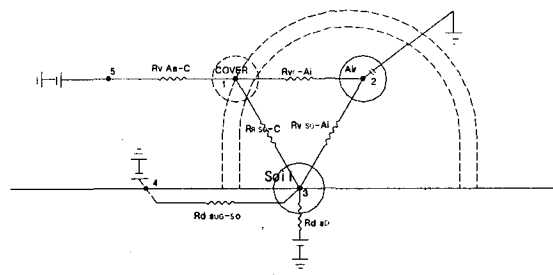


Fig.2 A complete thermal circuit simulation model of the greenhouse heating system only by solar energy. (night time)

(2) 열평형 방정식

1) 그린하우스 피복재를 중심으로 한 열평형 방정식

그린하우스 피복재에서의 열평형 방정식은 식(1),(2)에서 보는 바와 같이 주간 7개, 야간 3개의 항으로 구성된다.

(가) 주간

$$Q_{S-C}^{SR} + Q_{C-SKY}^{rad} + Q_{C-SUG}^{rad} + Q_{C-Aa}^{conv} + Q_{C-Ai}^{conv} + Q_{C-SO}^{rad} + Q_{WC} = 0 \quad \text{-----(1)}$$

(나) 야간

$$Q_{C-Ai}^{conv} + Q_{C-SO}^{rad} + Q_{WC} = 0 \quad \text{-----(2)}$$

여기서;

Q_{S-C}^{SR} : 그린하우스 피복재에 도달한 태양 에너지 흡수율, Q_{C-SKY}^{rad} : 피복재와 천공과의 복사 열전달

Q_{C-SUG}^{rad} : 피복재와 그린하우스 지표면과의 복사 열전달, Q_{C-Aa}^{conv} : 피복재와 대기와의 대류 열전달

Q_{C-Ai}^{conv} : 피복재와 온실 내부 공기와의 대류 열전달, Q_{C-SO}^{rad} : 피복재와 온실 내부 지표면과의 복사 열전달

Q_{WC} : 피복재에서의 수분 이동 (응축 혹은 증발)에 의한 열교환

2) 그린하우스 내부 공기를 중심으로 한 열평형 방정식

그린하우스 내부 공기를 중심으로 한 열평형 방정식은 식 (3)에서 보는 바와 같이 주 .

야간 동일한 3개의 항으로 구성된다.

(가) 주·야간

$$Q_{Ai-C}^{conv} + Q_{Ai-SO}^{conv} + Q_{Ai-Aa}^{vent} = 0 \quad \text{----- (3)}$$

여기서;

Q_{Ai-C}^{conv} : 내부 공기와 피복재와의 대류 열전달, Q_{Ai-SO}^{conv} : 내부 공기와 온실 지표면과의 대류열전달

Q_{Ai-Aa}^{vent} : 주·야간의 내부 공기와 외부 공기와의 환기에 의한 열전달

3) 그린하우스 내부 지표면을 중심으로 한 열평형 방정식

그린하우스 내부 지표면을 중심으로 한 열평형 방정식은 식(4),(5)에서 보는 바와 같이 주간 5개, 야간 4개의 항으로 구성된다.

(가) 주간

$$Q_{SKY-SO}^{SR} + Q_{SO-SD}^{cond} + Q_{SO-Ai}^{conv} + Q_{SO-C}^{rad} + Q_{WS} = 0 \quad \text{----- (4)}$$

(나) 야간

$$Q_{SO-SD}^{cond} + Q_{SO-Ai}^{conv} + Q_{SO-C}^{rad} + Q_{WS} = 0 \quad \text{----- (5)}$$

여기서;

Q_{SKY-SO}^{SR} : 그린하우스 내부 지표면의 태양에너지 흡수율, Q_{SO-SD}^{cond} : 그린하우스 지표면과 지층과의 전도

열전달, Q_{SO-Ai}^{conv} : 그린하우스 지표면과 내부 공기와의 대류 열전달, Q_{SO-C}^{rad} : 그린하우스 지표면과 피복재와의 복사 열전달, Q_{WS} : 그린하우스 지표면에서의 수분 증발 잠열

4) 물질 평형방정식

물질 평형방정식은 식(6)과 같다

$$M_{wS} + M_{wC} + M_{wV} = 0 \quad \text{----- (6)}$$

여기서;

M_{wS} : 그린하우스 내부 지표면에서의 수분 증발량(kg/sec), M_{wC} : 피복재에서의 수분 이동량 (kg/sec)

M_{wV} : 환기에 의한 수분 이동량 (kg/sec)

(3) 실험장치 및 방법

태양에너지만을 이용한 난방시스템은 그림 3과 같으며 주간(겨울철 오전 9시부터 오후 5시까지)에는 보온커튼(Thermal Curtain)을 열어 태양열이 그린하우스 내에 충분히 공급될 수 있도록 하였으며, 그린하우스 내로 투과되어 들어온 열은 토양과 실내 공기 등에 저장되며 일부는 그린하우스 피복과 틈새를 통해 외부로 방열되는 것으로 하였다. 야간(오후 5시부터 다음날 오전 9시까지)에는 보온커튼을 닫아 대류 열전달을 최대한 억제토록 하였다.

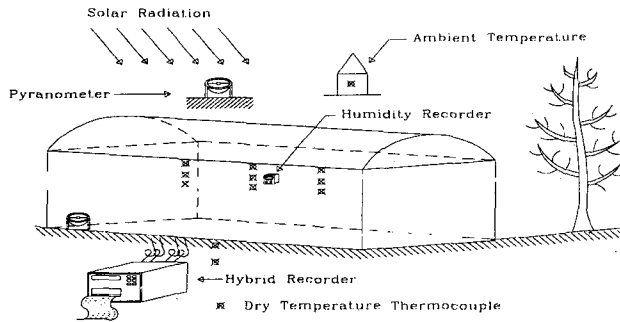


Fig. 3 Greenhouse heating system only by solar energy.

3. 결과 및 고찰

(1) 시뮬레이션 모델 검증

태양에너지만을 이용한 난방 시스템의 열전달 현상을 예측하기 위한 시뮬레이션의 이론치와 실험치를 다음과 같이 비교 분석하였다.

1) 그린하우스 내 공기 온도

그림 4는 태양에너지만을 이용한 그린하우스 난방시스템의 실내 공기온도에 대해 이론치와 실험치의 비교를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 초기 시작온도를 제외한 이론치와 실험치가 잘 일치하고 있다. 초기 시작점에서 차이가 나는 것은 그린하우스 내 태양강도의 투과율이 오전에는 응축과 결로에 의해 차이가 많으나 투과율 입력시 겨울철 측정 평균값을 입력했기 때문에 나타난 현상으로 판단된다.

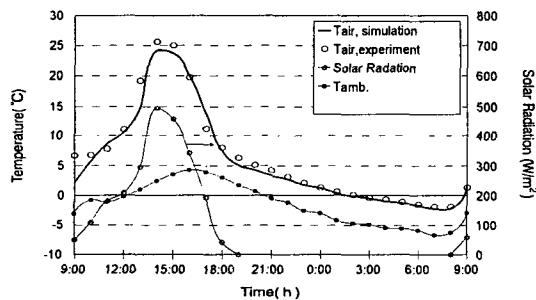


Fig. 4 Comparison between the theoretical and experimental values of the air temperatures variation inside greenhouse heated only by solar energy system.

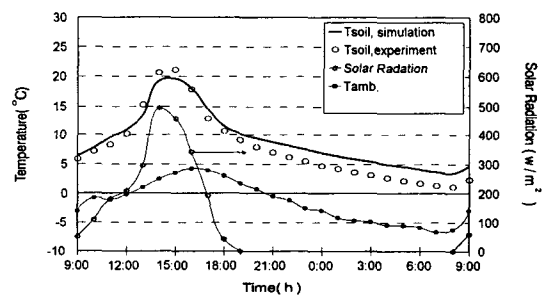


Fig.5 Comparison between the theoretical and experimental values of the soil surface temperatures variation inside greenhouse heated energy only by solar energy system.

2) 그린하우스 내 토양 표면 온도

그림 5는 태양에너지만을 이용한 그린하우스 난방시스템의 실내 토양 표면온도에 대해 이론치와 실험치의 비교를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 주간에는 이론치와 실험치가 잘 일치하고 있으나 야간에는 이론치가 실험치에 비해 더 크게 나타났다. 최대 오차는 약 2.5°C였으며 오차는 일정한 경향을 유지하고 있다. 이와 같이 야간에 시뮬레이션 값이

높은 것은 이 시스템에서 야간에 유일한 열원으로서의 역할을 할 수 있는 토양을 인공 토조를 사용함으로써 토양에 의한 방열량이 실제로는 아주 적었으나, 그린하우스 내 토양에서 균일하게 나온 것으로 시뮬레이션 모델에 반영되었기 때문인 것으로 판단된다.

(2) 열특성 분석

그림 6은 가열시스템이 없는 그린하우스로 태양 복사열만을 받아서 실온을 유지하는 경우의 열흐름 특성을 나타내고 있다. 이 그림에서 보는 바와 같이 40~330 kcal/m² h의 태양열이 9시간 동안 그린하우스 내에 공급되었고, 이 공급되는 열에너지중 주간에는 100~120kcal/m² h의 열이 토양과 공기 중에 저장되고 있었다. 야간에는 토양에서 10~40kcal/m² h의 방열되어 난방열원으로서의 역할을 나타내었다.

손실열량은 주간에 100~250 kcal/m² h가 그린하우스 밖으로 손실되었고, 야간에 50~60kcal/m² h의 열에너지가 그린하우스 밖으로 손실되어 야간보다 주간에 열손실이 2.0~4.2배 많음을 알 수 있었다.

외기온이 -7℃~3.8℃범위로 변하고 있을 때 태양 복사열에 의하여 그린하우스 실온은 0℃~22℃로 변하고 있음을 보여주었고, 가장 낮은 외기온은 06~07시 사이에 -7℃이고 이때 실온이 0℃로 외기온과 실온차는 7℃를 나타내었다. 태양강도와 외기온이 높은 주간에는 실온이 8℃~22℃로 외기온과 실온차는 10℃~19℃를 유지하였으며, 야간에는 실온이 7.8℃~0℃로 외기온과 실온의 차이는 6~7℃를 유지 하였다.

이상의 실험 분석 결과로 실온이 0℃에 이르면 작물이 얼 가능성이 있어 난방의

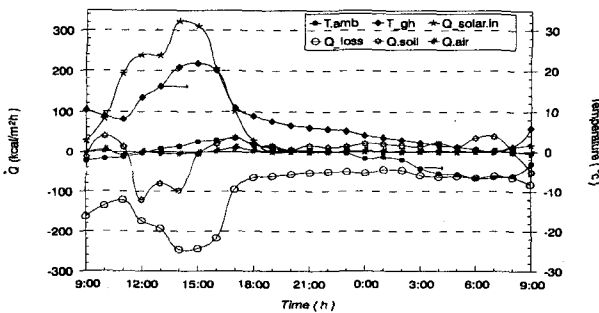


Fig. 6 The characteristics of the thermal energy flow and temperature variation in the greenhouse without heating system with the legal time.

특성 분석을 위하여 온도, 태양강도, 상대습도, 수분함량, 열용량 등의 주요 인자를 변수로 한 시뮬레이션 모델의 출력과 실험 분석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

필요성을 제시해주고 있다.

4. 결론

본 연구는 그린하우스의 자연에너지 난방시스템 개발을 위한 기초 자료를 얻기 위하여 태양에너지만을 이용한 그린하우스 난방 시스템에 대한 그린하우스 내부의 공기온도, 토양 온도 등을 예측할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션 모델을 개발하고, 실험에 의하여 이를 검증하였다. 태양 에너지만을 이용한 그린하우스 난방시스템의 열

1. 태양에너지만을 이용한 그린하우스 난방시스템에서 시뮬레이션에 의한 그린하우스 내 공기온도는 실험치와 잘 일치하였다.
2. 태양에너지만을 이용한 그린하우스 난방시스템에서 시뮬레이션에 의한 그린하우스 내 토양 표면온도는 주간외 경우에는 실험치와 잘 일치하였으나, 야간의 경우에는 이론치가 실험치보다 최대 2.5℃ 높았다.
3. 태양에너지만을 이용한 그린하우스의 열손실은 주간외 경우가 야간의 경우보다 2.0~4.2 배 많은 것으로 나타났다.
4. 태양에너지만을 이용한 그린하우스 난방시스템에서 외기온이 -7℃~3.8℃범위로 변하고 있을 때 그린하우스 실온은 0℃~22℃로 변하고 있음을 보여주었고, 가장 낮은 외기온은 06~07시 사이에 -7℃이고 이때 실온이 0℃로 외기온과 실온차는 7℃를 나타내었다.

5. 참고문헌

1. 송현갑. 1997. 자연에너지를 이용한 온실난방시스템개발. 농수산 현장 애로 기술 개발 최종보고서.
2. Ana Maria Silva, Rui Rosa. 1987. Radiative Heat Loss inside a Greenhouse. *J.agric. Engng Res.*37:155-162.
3. Chandra P, 1982. Thermal Radiation Exchange in a Greenhouse with a Transmitting Cover, *J.agric. Engng Res.*27:261-265.
4. Desmarais G, C.Ratti, and G.S.V. Raghavan, 1999. Heat Transfer Modelling of Screenhouses. *Solar Energy* Vol.65. No.5:271-284.
5. Duncan G.A, O.J Loewer, and Jr.D.G. Colliver.1981. Simulation of Energy Flows in a Greenhouse: Magnitudes and Conservation otential. *Transactions of the ASAE.*
6. Willits D.H, P. Chandra and M.M.Peet, 1985. Modelling Solar Energy Storage Systems for Greenhouses. *J.agric. Engng Res.*32:73-93.
7. 古在豊樹, 菅明子, 奥矢 毅, 渡部一郎. 1985. 敷きわらおよびフィルムマルチが無暖房ハウスの夜間温度環境におよぼす影響. *農業氣象* 40(4):393-397.
8. 古在豊樹, 權 在永, 林 眞紀夫, 渡部一郎. 1985. 温室の冷房負荷に関する研究 (1). *農業氣象* 41(2) : 121-130.