

[논문] 한국태양에너지학회 논문집  
*Journal of the Korean Solar Energy Society*  
Vol. 21, No. 3, 2001

## 잠열축열 장치를 갖춘 온실의 난방 열 특성 예측모형개발

노정근\*, 송현갑\*

\* 충북대학교 농업기계공학과

## Modeling of a Greenhouse Equipped with Latent Heat Storage System

J. G. Ro\*, H. K. Song\*

\**Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Chungbuk National Univ.*

### Abstract

A greenhouse equipped with latent heat storage system was built to obtain various thermal properties, such as greenhouse air temperature, soil surface temperature, energy flow in latent heat storage, etc., which could be used in validation of greenhouse numerical model to be developed in this study. This numerical model expressed with Newton-Raphson method was programmed by C-language and utilized to simulate greenhouse thermal behavior.

Greenhouse air temperature and soil surface temperature predicted by the greenhouse model developed in this study were very close to the measured data obtained through almost 3 years of experiment.

Therefore, it is concluded that the greenhouse model developed and verified by measured data could be utilized for simulating various thermal behaviors of greenhouses equipped with latent heat storage system to be used for energy saving purposes.

Key words: Latent heat storage system

## Nomenclature

$Q_{S-C}^{SR}$  : Solar radiation at greenhouse cover film.(W)

$Q_{C-SKY}^{rad}$  : Thermal radiation between greenhouse cover film and sky.(W)

$Q_{C-SUG}^{rad}$  : Thermal radiation between greenhouse cover film and outside soil surface.(W)

$Q_{C-Aa}^{conv}$  : Convective heat transfer between greenhouse cover film and outside air(W)

$Q_{C-Ai}^{conv}, Q_{Ai-C}^{conv}$  : Convective heat transfer between greenhouse cover film and inside air.(W)

$Q_{C-SO}^{rad}, Q_{SO-C}^{rad}$  : Thermal radiation between greenhouse cover film and inside soil surface.(W)

$Q_{WC}$  : Heat exchange by condensation or evaporation at greenhouse cover film.(W)

$Q_{Ai-SO}^{conv}, Q_{SO-Ai}^{conv}$  : Convective heat transfer between inside air and soil surface. (W)

$Q_{Ai-PCM}^{conv}, Q_{PCM-Ai}^{conv}$  : Convective heat transfer between inside air and latent heat storage system surface.(W)

$Q_{Ai-Aa}^{vent}$  : Heat transfer by ventilation.(W)

$Q_{LSH}$  : Sensible heat and latent heat in the latent heat storage system.(W)

$Q_{w-PCM}$  : Heat exchange by water movement at PCM surface.(W)

$Q_{SKY-SO}^{SR}$  : Solar radiation at inside soil surface.(W)

$Q_{SO-SD}^{cond}$  : Heat conduction between soil

surface and underground layers.(W)

$Q_{WS}$  : Latent heat of evaporation at greenhouse soil surface.(W)

$M_{wS}$  : Evaporation of water content at greenhouse soil surface.(kg/sec)

$M_{wC}$  : Change of water content at greenhouse cover film.(kg/sec)

$M_{wV}$  : Change of water content by ventilation.(kg/sec)

$M_{wLO}$  : Condensation of water content at PCM surface.(kg/sec)

$M_{w.air}$  : Change of water content in inside air.(kg/sec)

## 1. 서 론

상변화 물질을 이용한 잠열 축열재는 영국의 Crook(1928)가 sodium acetate를 소재로 잠열재를 개발하여 특허를 얻은 이래 많은 사람들에 의하여 개선이 이루어졌으며, Telkes(1947)는 주택 난방에 최초로 상변화 물질을 이용한 잠열 축열 시스템을 적용하였다. 온실에 잠열 축열재를 이용하려는 연구는 일본 시설원예협회(1989)에서 잠열 축열 방식 도입의 수인 연구가 있다. 하지만 국내에서 온실의 축열 연구는 주로 현열재에 의존하고 있어 잠열 축열재를 이용한 손실 잉여 에너지 저장 연구의 필요성이 대두되었다. 온실에 잠열 축열재를 이용하기 위해서는 겨울철 온실내 공기 온도에서 충분한 잠열량을 가지고 상변화를 할 수 있는 잠열 축열재를 개발하는 것이 쉽지 않기 때문에 어려움을 겪어왔다. 따라서, 겨울철 온실내의 손실에너지를 잠열 축열재를 이용하여 저장할 수 있는 효율적인 장치와 이에 대한 기초자료를 얻기 위한 모델링 개발이 필요한 실정이다. 이러한 시스템을 개발하기 위한 노력으로 국내에서는 송등(1986)이 태양열 저장을 위한 잠열 축

열재의 열특성 연구를 하였고, 유(1992)는 지중과 지상에 잠열축열 시스템을 설치하여 온실 내에서 태양열을 저장할 수 있는 시스템에 관한 연구를 하였다. 한편 모델링 개발은 국내에서 김(1990)은 플라스틱온실의 열저장 시스템 개발에 관한 연구에서 축열조의 열적성능에 미치는 영향을 분석하고자 축열조의 자연대류 및 강제대류현상의 수치 해석을 하였고, 국외에서는 Duncan et al.(1981)이 온실의 에너지 유동 시뮬레이션, Willits et al.(1985)이 온실의 태양에너지 저장 모델링, Abe and Nara(1989)는 온실 열환경의 일변화 모델과 간이계산에서 열전달을 전기회로로 치환시킨 열저항 회로망에 의해 특성방정식을 유도하였으며, Ratti et al.(1999)은 스크린하우스의 열전달 모델링을 하였다. 하지만, 온실에 대한 모델링은 주로 현열 유동의 열특성을 분석한 것이다. 따라서, 잠열 축열재를 갖춘 온실난방 시스템에 대한 모델링 개발이 필요하다.

본 연구에서는 잠열 축열을 이용하는 온실의 난방 열특성을 예측할 수 있는 모형을 열저항 회로망 구성에 의한 열평형 방정식을 수립하여 개발하였으며, 실험에 의해 검증 및 분석하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 모델개발

잠열축열을 이용한 난방 특성에 대한 열평형 이론을 정립하고 수치해석에 의하여 컴퓨터 시뮬레이션 모델을 개발 하고자 그림 1, 2, 3, 4에서 보는 바와 같이 개략도와 열저항 회로망을 주간과 야간으로 구분하여 구성하였다. 그리고 온실의 피복재, 내부공기, 잠열축열재 및 토양 표면을 미지수로 하여 4개의 비선형 연립방정식을 유도하고, Newton-Raphson 반복법을 이용하여 미지수를 예측하였으며, 실험 분석치와 비교하여 수치해에 의한 예측치의 타당성을 검증하였다. 시뮬레이션 모델을 위하여 C 언어를 사용하였으며, 겨울

철의 기후조건이 유사한 여러 날을 선정하여 온도, 태양강도, 상대습도, 잠열량, 토양 수분함량 등을 자료로 하였다. 토양은 사양토로 건조한 상태를 유지하였고, 작물이 없는 나대지 상태였으며, 열평형 방정식에서도 작물이 없는 것으로 하였다. 온실내 열전달과 수분 전달에 대한 기본방정식의 해를 얻기 위해 다음과 같은 가정을 하였다.

- ① 모든 열전달 표면의 온도 변화는 시간격( $\Delta t$ )의 증가에 의존하며, 각각의 표면은 등온이다.
- ② 복사 열전달 표면은 회색체이다.
- ③ 공기의 복사 열교환은 무시한다.
- ④ 온실 구조물에 의한 열전달은 무시한다.
- ⑤ 잠열 축열재 요소들간의 복사 열전달은 없는 것으로 간주한다.

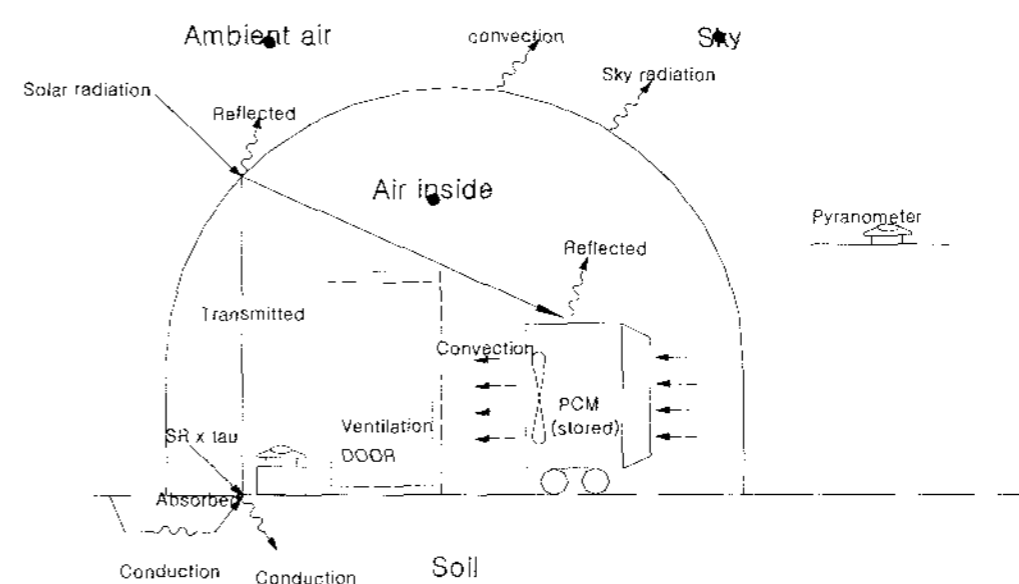


Fig. 1. Schematic diagram of energy flows in greenhouse heating system by latent heat storage(daytime).

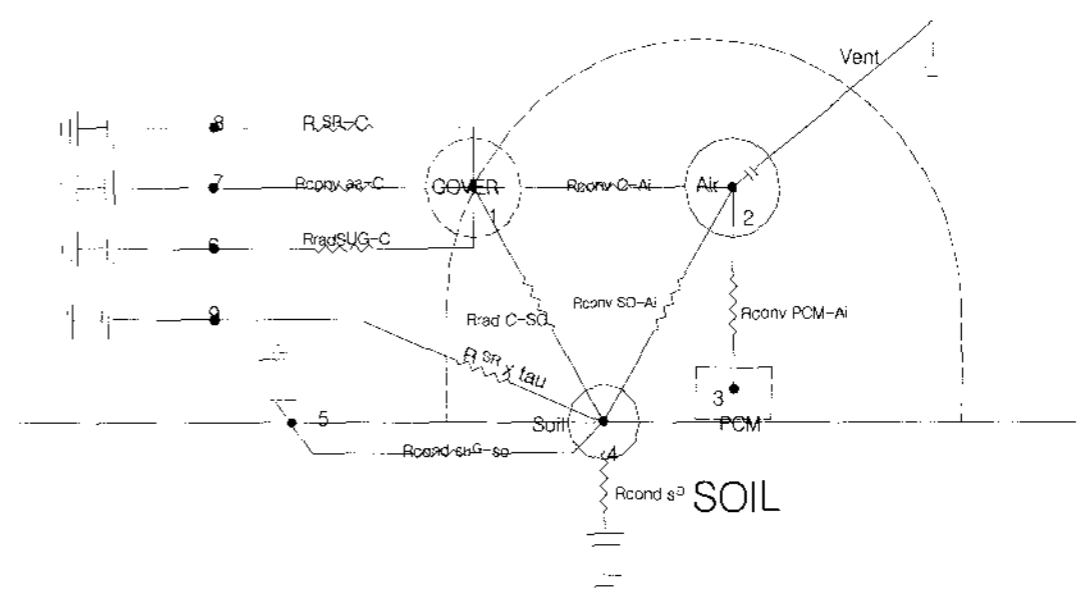


Fig. 2. Complete thermal circuit simulation model of the greenhouse heating system by latent heat storage(daytime).

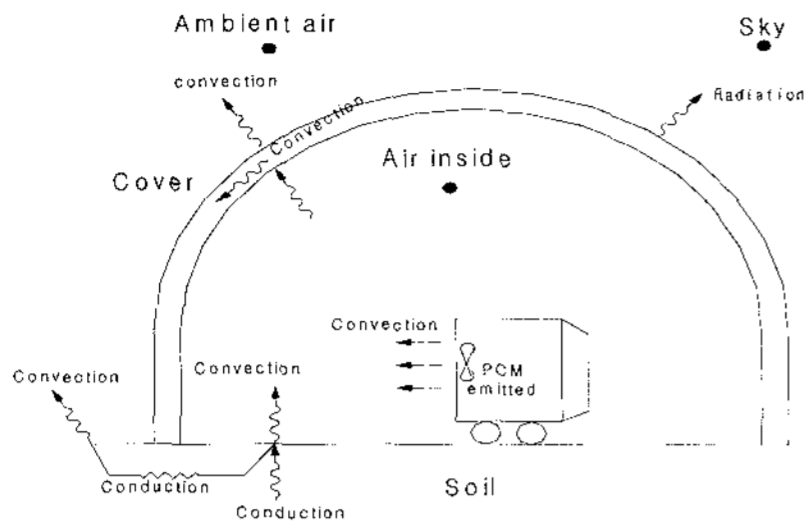
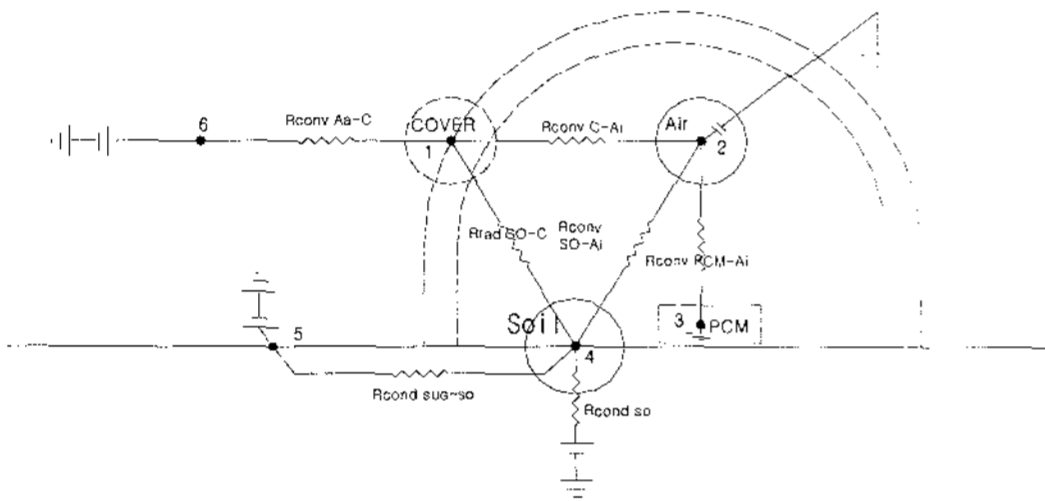


Fig. 3. Schematic diagram of energy flows in greenhouse heating system by latent heat storage(nighttime).



※ Rcond : conduction heat transfer, Rconv: convection heat transfer, Rrad: radiation heat transfer, PCM: phase change material.

Fig. 4. Complete thermal circuit simulation model of the greenhouse heating system by latent heat storage(nighttime).

## 2.2 열평형 방정식

### 2.2.1 온실 피복재를 중심으로 한 열평형 방정식

온실 피복재를 중심으로 한 주·야간 열평형 방정식은 그림 2와 그림 4에 의하여 다음과 같이 쓸 수 있다.

(가) 주간

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

(나) 야간

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

### 2.2.2 온실 내부 공기를 중심으로 한 열평형 방정식

온실 내부 공기를 중심으로 한 주·야간 열평형 방정식은 그림 2와 그림 4에 의하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

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

### 2.2.3 잠열축열재를 중심으로 한 열평형 방정식

온실 잠열축열재를 중심으로 한 주·야간 열평형 방정식은 그림 2와 그림 4에 의하여 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Q_{PCM-Ai}^{conv} + Q_{LSH} + Q_{w-PCM} = 0 \quad (4)$$

### 2.2.4 온실 내부 지표면을 중심으로 한 열평형 방정식

온실 내부 지표면을 중심으로 한 주·야간 열평형 방정식은 그림 2와 그림 4에 의하여 다음과 같이 쓸 수 있다.

(가) 주간

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

(나) 야간

$$Q_{SO-SD}^{cond} + Q_{SO-Ai}^{conv} + Q_{SO-C}^{rad} + Q_{WS} = 0 \quad (6)$$

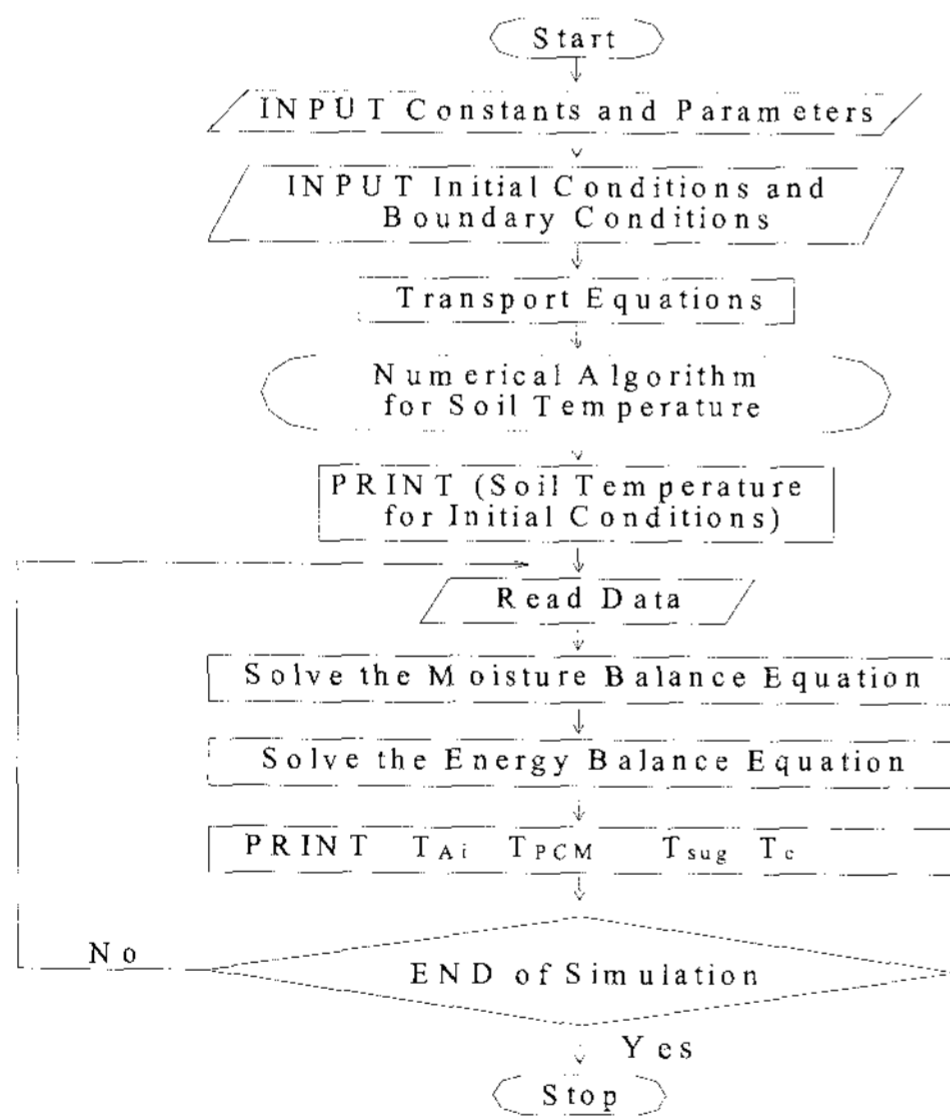
### 2.2.5 수분 평형방정식

토양표면, 피복재 내면, 잠열 축열재 표면을 경

계로 하는 온실 시스템에서의 수분 평형식은 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$M_{wS} + M_{wC} + M_{wV} + M_{wLO} = 0 \quad (7)$$

피복재에서 수분 이동량은 피복재에서 수분확산계수, 내부공기와 피복재의 대류 열전달계수, 내부공기의 습도비, 피복재 온도에서 내부공기의 포화 습도비로 구할 수 있으며, 각각의 계산은 문헌<sup>7)</sup>의 계산식을 활용하였다. 한편응축 드립을 통과한 광선은 그것이 가진 에너지의 대부분을 잃어버리는 것으로 Pieters(1997)는 보고하였다. 따라서 온실내의 태양강도가 낮아지는 것으로 사료된다.



※  $T_{Ai}$  : air temperature,  $T_{PCM}$  : latent heat storage temperature,  $T_{sug}$  : soil surface temperature,  $T_c$  : cover temperature

Fig. 5. Flowchart of computer programming to simulate greenhouse heating system by latent heat storage.

이론식(1)~(7)을 지배방정식으로 하여 그림 5와 같은 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램의 흐름도에 의하여 주·야간 시간에 따른 온실 실내온도변화, 토양표면온도, 온실 내부공기와 토양및 잠열재에 저장되는 열량과 손실열량을 분석하였다. 여기에 사용된 복사율 등의 변수들은 표 1과 같다. 변수들에 대한 민감도 분석은 온실 내·외부의 상대 습도, 피복재 투과율, 잠열 축열재 온도, 온실바닥의 흡수율, 토양의 함수율의 변화로 수행되었으며, 그 중에서 주간에 피복재의 투과율은 내부공기온도와 토양표면온도에 가장 큰 영향을 주었으며, 내부공기 온도에 대한 영향은 표 2와 같다. 표에서와 같이 평균 투과율 적용시 가장 높은 온실내 온도는 24.01℃를 나타냈으나, 가장 청명한 하루만의 투과율 적용시 온실내 최대온도는 28.16℃로 4.15℃의 편차를 보였다. 또한 야간에 잠열 축열재의 잠열구간의 온도(18~22℃)도 온실내 온도에 큰 영향을 주었다.

Table 1. Parameters for the simulation.

Characteristics	units	Value	References
area of greenhouse cover	m <sup>2</sup>	159.516	calculated
area of floor in greenhouse	m <sup>2</sup>	97.16	calculated
volume of greenhouse	m <sup>3</sup>	281.37	calculated
emissivity of greenhouse cover		0.16	cited(6)
emissivity of floor		0.94	cited(6)
absorptance of greenhouse cover		0.12	cited(7)
absorptance of floor		0.95	cited(7)
thermal conductivity of soil	J · sec <sup>-1</sup> · m <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup>	0.52	cited(13)
view factor(cover-sky)		0.818	calculated(8)
view factor(cover-outside ground)		0.182	calculated(8)
view factor(cover - floor)		0.636	calculated(8)
view factor(cover -cover)		0.364	calculated(8)
specific heat of greenhouse air	J · kg <sup>-1</sup> · °C <sup>-1</sup>	1005.7	measured
specific heat of ambient air	J · kg <sup>-1</sup> · °C <sup>-1</sup>	1003.2	measured
transmissivity of cover		0.505~0.740	measured

Table 2. The predicted effect of air temperature in greenhouse from transmissivity.

Time	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
Transmissivity	0.505	0.535	0.605	0.675	0.715	0.740	0.715	0.675	0.535	0.505
Tair, in(°C)	4.84	10.70	14.79	19.10	22.05	24.01	22.93	19.35	14.01	10.0
Transmissivity	0.551	0.690	0.788	0.837	0.850	0.837	0.788	0.690	0.551	0.500
Tair, in(°C)	5.30	14.20	19.86	24.48	27.20	28.16	25.87	20.18	14.63	9.90

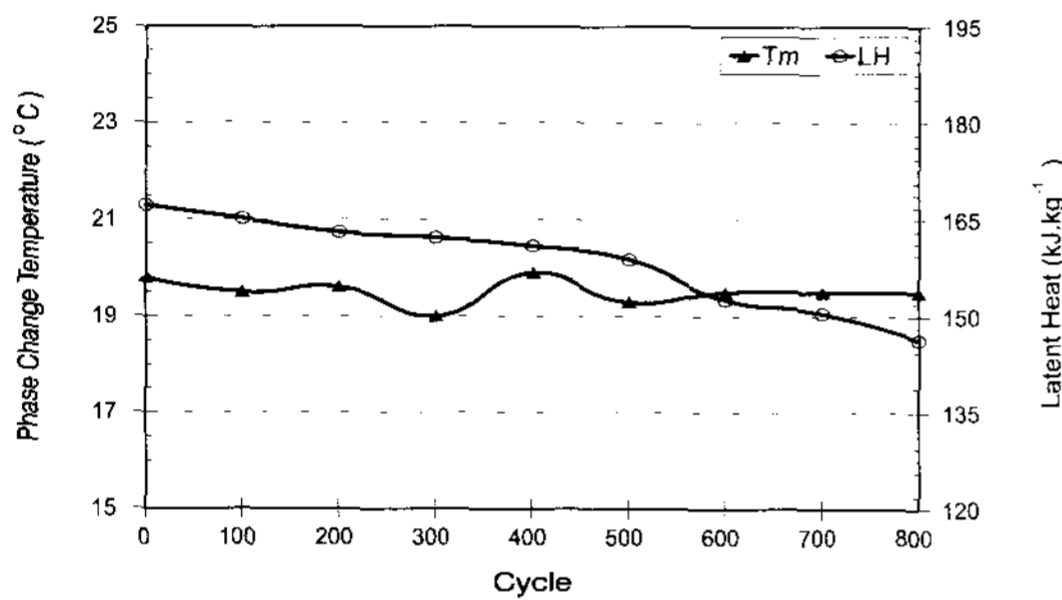


Fig. 6. Variation of phase change temperature(Tm) and latent heat of Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> · 10H<sub>2</sub>O(TCA) according to the phase change cycle.

### 2.3 잠열축열재

온실 난방을 위한 태양열 저장을 위하여 물성을 안정시킨 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> · 10H<sub>2</sub>O에 온도 조절제를 용융 혼합하여 상변화 온도를 조절하였다. 온실내 잉여 태양 에너지를 저장하는데 적절한 온도인 18~22°C는 온도 조절제 10%에서 얻을 수 있었으며, 이 때 잠열량은 150.48~167.2kJ/kg이었다.

그림 6은 상변화 사이클 증가에 따른 온도변화 및 잠열량 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 잠열 축열재의 물성은 상변화 사이클 증가에도 좋은 안정성을 보임으로서 실용화 접근의 가능성을 보여 주었다.

### 2.4 실험장치 및 방법

잠열축열을 이용한 온실 난방시스템은 그림 7과 같이 구성하였으며, 그 상세 치수는 표 3과

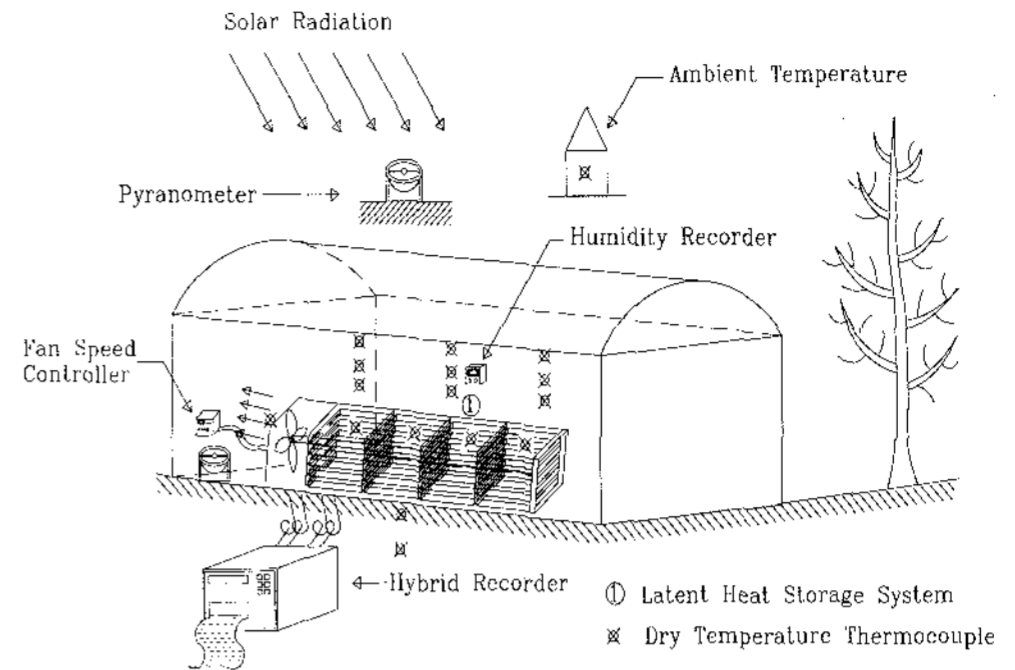


Fig. 7. Greenhouse heating system by latent heat storage.

Table 3. Dimensions of greenhouse heating system and the thermal properties.

Main parts	Dimension	Material	Thermal Properties
Greenhouse	7,000mm(W) ×14,000mm(L) ×3,400mm(H)	- P. E. film - Steel pipe	$\frac{A_g}{A_w} = 0.65$ where; $A_w$ : Greenhouse cover area $A_g$ : Floor area
PCM storage system	- PCM storage cart: =700mm(W)×700mm(L)×900mm(H) - Total carts: 4EA - PCM mass: 68 EA×12 kg/bag = 816 kg Power of fan motor: 0.25kW	- Al + polyethylene film - Stainless - Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> · 10H <sub>2</sub> O	- Latent heat = 38.5 kcal/kg - Phase change temperature = 18~22°C - Available phase change cycle = 1,500~2,000

같다. 주간과 야간에 보온커튼을 열고 닫아 주간에 온실내로 투과되어 들어온 태양열이 잠열 축열재에 저장될 수 있도록 하였다.

그림에서 볼 수 있는 바와 같이 온실내에 4대의 차대를 조합하였으며, 각 차대에는 70cm × 70cm × 20cm의 알루미늄+폴리에틸렌 재질의 필름으로 만들어진 용기에 12kg씩 담긴 잠열 축열재 17개씩을 설치하였다. 잠열 축열재의 축열 및 방열을 촉진하기 위해 차대의 끝 부분에 송풍 팬을 사용하여 온실내의 공기가 각층별 사이로 고르게 분포 될 수 있도록 하였다. 주간에는 온실

내에 들어온 태양열을 잠열 축열재가 흡수 저장하며 야간에는 잠열 축열재에 저장하였던 열을 방열함으로써 일정한 시간동안 실내온도를 설정 온도 이상으로 유지하는 역할을 하도록 하였다.

이때의 측정 항목으로서는 대기온도, 온실 실내 온도(상중하 각 4지점), 온실내의 상대습도 (TR-72, T&D, Japan) 온실내·외 토양의 표면 온도, 온실내·외 수평면 일사량(CM11, kipp& Zonen Delft BV, Holland), 잠열 축열재 각 차대의 상, 중, 하 3지점씩 12개와 축열재와 축열재 사이의 공간에 8개의 열전대를 잠열 축열조에 추가 설치하여 잠열 축열재 온도 등을 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

잠열축열을 이용한 난방시스템의 열특성을 예측하기 위한 모델링의 검증은 위하여 예측치와 실험치를 다음과 같이 비교 분석하였다.

#### 3.1 온실내 공기온도

그림 8은 잠열축열을 이용한 난방시스템의 실내 공기온도에 대해 이론치와 실험치의 비교를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 주간에는 이론치와 실험치가 잘 일치하였으나, 야간에는

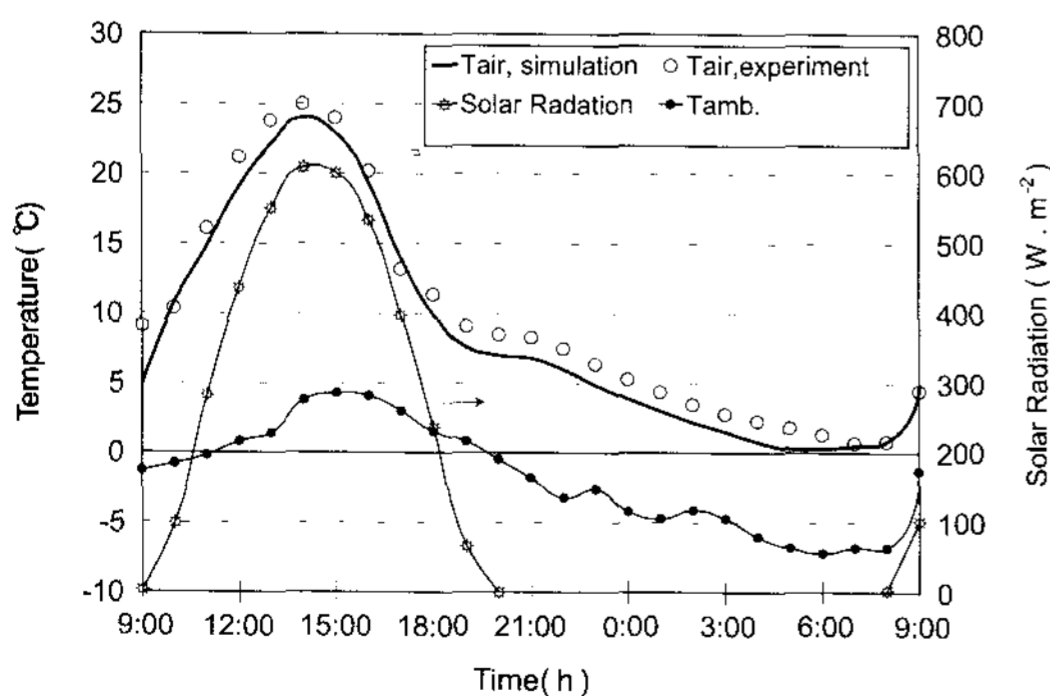


Fig. 8. Comparison between the predicted and measured air temperatures in the greenhouse equipped with latent heat storage.

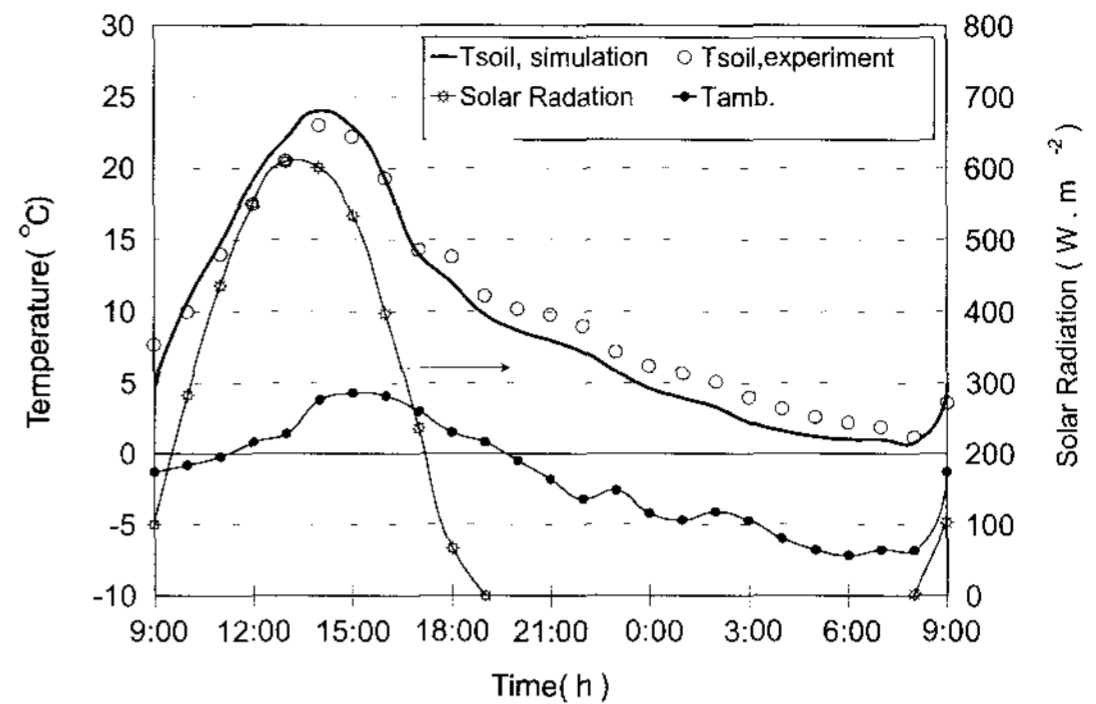


Fig. 9. Comparison between the predicted and measured soil surface temperatures in the greenhouse equipped with latent heat storage.

실험치가 약간 높게 나타났으며, 이것은 잠열 축열 난방 시스템의 방열량을 대표 지점에 의한 평균 온도 구배로 구했기 때문에 방열량이 정확하게 평가되지 못한 결과에 의해 나타난 것으로 판단된다.

#### 3.2 온실내 토양 표면 온도

그림 9는 잠열축열을 이용한 온실의 실내 토양 표면온도에 대한 이론치와 실험치를 비교한 결과이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 주간에는 이론치와 실험치가 잘 일치하고 있으나, 야간에는 실험치가 최대 1.8°C 높게 나타났으며, 이것은 잠열 축열 난방시스템의 방열량을 대표지점에 의한 평균 온도 구배로 구했기 때문에 방열량이 정확하게 평가되지 못한 결과에 의해 나타난 것으로 판단된다. 따라서 방열량을 계산할때 가능한 한 여러 지점의 잠열 축열재 온도를 측정하여 각각의 방열량이 계산되어 합산되도록 하는 것이 중요하다고 생각된다.

#### 3.3 열흐름 특성

그림 10은 온실 내에 잉여 태양에너지를 저장할 수 있는 잠열 축열 난방시스템을 설치한 경우의 열 흐름 특성의 이론치와 실험치를 비교한 결

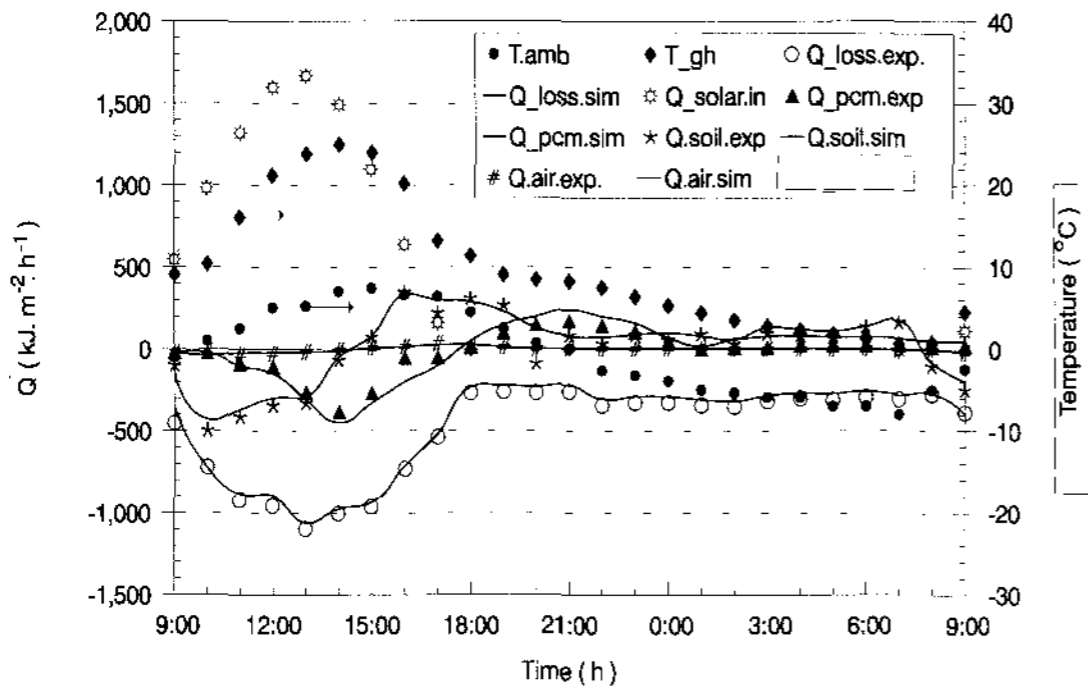


Fig. 10. Comparison between the predicted and measured characteristics of the thermal energy flow and temperature variation in the greenhouse equipped with latent heat storage.

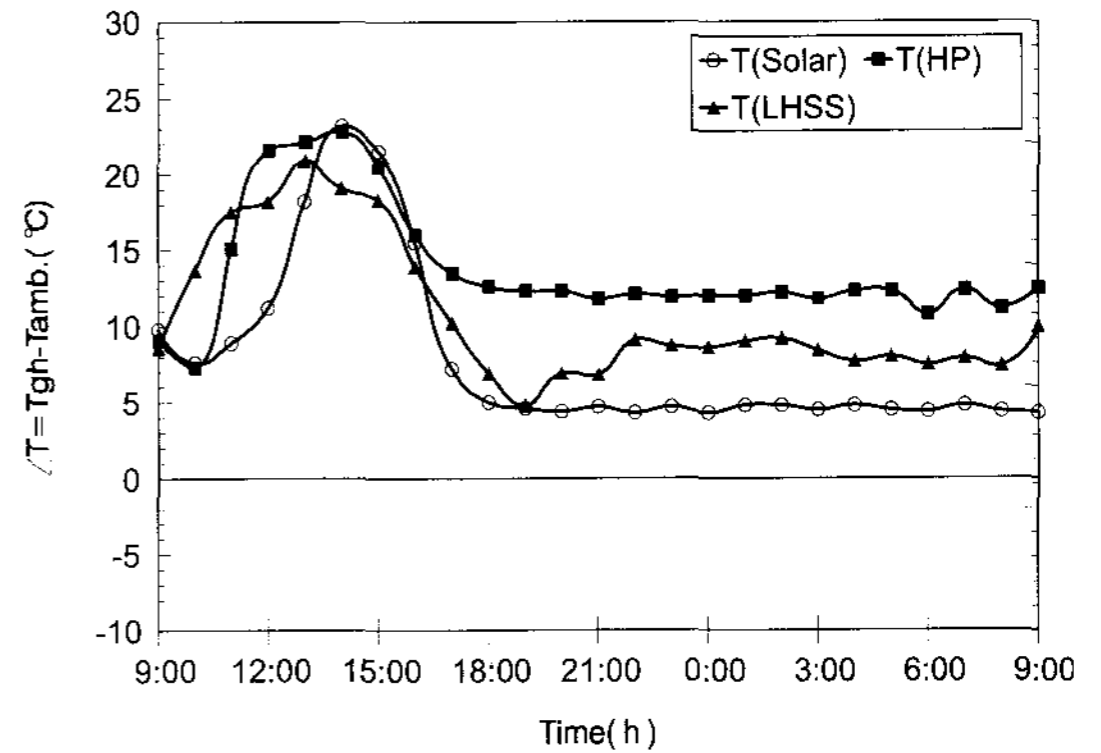
과이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 토양의 저장과 방출 열에너지는 이론치와 실험치가 최대  $78.54 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{h}$ 의 편차를 보였으나, 공기중의 열에너지는 이론치와 실험치가 잘 일치하였다. 잠열 축열시스템 내에서는 17시에 최대  $149.8 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{h}$ 의 편차를 나타낸 것을 제외하고 잘 일치하였다. 17시에 편차가 큰 것은 이 시간에 보온덮개를 닫 으로서 발생하는 잠열 축열시스템 내의 온도변화를 정확하게 반영하지 못한 결과에서 비롯된 것으로 사료된다.

손실열량의 이론치와 실험치 비교는 주간 12시에 최대  $60.8 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{h}$ 의 편차를 보인 것을 제외하고는 잘 일치하였다.

따라서 잠열 축열 시스템을 이용하는 온실 난방 시스템의 열흐름 특성은 작물이 없는 온실의 경우 토양열량, 공기중 열량, 잠열 축열시스템 열량, 손실열량이 이론치와 실험치가 잘 일치하였으며, 작물이 있는 온실에서의 적용은 금후 계속 연구해야할 과제이다.

### 3.4 난방효과

그림 11은 온실의 난방효과를 온실의 실온과 외기온과의 차로 분석하여 비교한 결과이다. 그림



※ T(Solar):Solar energy heating system.  
T(HP): Heat pump heating system. T(LHSS): Latent heat storage heating system.

Fig. 11. Greenhouse heating effect on the basis of the ambient air temperature.

과 같이 주간에는 세 시스템 모두 난방효과가 좋았으나, 주간에서 야간으로 전환되는 17시부터 다음날 오전 9시까지의 잠열축열재를 이용한 온실 난방시스템이  $8^\circ\text{C}$ 를 나타냈으나, 열펌프를 이용한 온실 난방시스템은  $13^\circ\text{C}$ 를 나타냈고, 태양에너지만을 이용한 온실 난방시스템은  $5^\circ\text{C}$ 를 나타냄으로써 잠열 축열재에 의한 온실의 난방 효과는  $3^\circ\text{C}$ 정도의 난방효과를 나타냈다. 그러나 잠열 축열재를 이용한 온실의 난방 시스템에서 20시경에 난방효과가 태양에너지만을 이용한 온실의 난방효과와 같았던 것은 실내온도가 최저 설정온도 이상일 때는 방열이 이루어지지 않은 결과이다.

최저 외기온이  $-7^\circ\text{C}$ 일 때 실내온도는  $0.8^\circ\text{C}$ 를 (그림 8참조) 나타냈다. 이것은 온실의 최저설정 온도를  $7^\circ\text{C}$ 로 할 경우 잠열 축열재의 양을 현재보다 3배이상 증가시켜야 난방부하를 충족시킬 수 있음을 말해주고 있다. 잠열 축열재의 증가는 작물을 재배 할 수 있는 온실내의 공간 확보가 새로운 문제로 제기되기 때문에 잠열 축열재만에 의한 난방 시스템보다는 잠열축열재와 열펌프 난방 시스템을 조합하면 난방효과가 상승될



것으로 판단되며 난방기 설계시 잠열 축열재에 의한 난방효과를 반영함으로써 난방기의 적정규모를 줄일 수 있을 것으로 사료된다. 이것은 초기 난방기 설치비용의 절감 및 운전 에너지 비용의 절감을 통한 2중적인 에너지 절감의 효과도 있을 것으로 기대된다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 잠열 축열장치를 갖춘 온실의 난방 시스템 개발을 위한 기초 자료를 얻기 위하여 온실 내부의 공기온도, 토양 표면 온도, 열흐름 특성을 예측할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션 모델을 개발하고, 실험에 의하여 이 모델의 타당성을 검증하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 잠열 축열장치를 갖춘 온실의 난방시스템에서 시뮬레이션에 의한 온실내 공기온도는 실험치와 잘 일치하였다.
2. 잠열 축열장치를 갖춘 온실의 난방시스템에서 시뮬레이션에 의한 온실내 토양 표면온도는 주간 경우에는 실험치와 잘 일치하였으나, 야간의 경우에는 실험치가 이론치보다 최대 1.8℃ 높게 나타났다.
3. 잠열 축열장치를 갖춘 온실의 난방시스템에서 열손실은 주간 12시에 최대 60.8kJ/m<sup>2</sup>·h의 편차를 나타냈으나, 그 이외는 잘 일치하였다.
4. 잠열 축열재에 의한 온실의 난방 효과는 3℃ 정도의 난방효과를 나타냈다.
5. 온실의 최저설정온도(7℃)이상을 유지하기 위해 잠열 축열재의 양을 현재보다 3배이상 증가시켜야 난방부하를 충족시켜 줄 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 열저장재인 잠열 축열재만에 의한 난방 시스템보다는 열공급원으로서의 열 펌프 난방 시스템을 잠열축열재와 조합하는 것이 충분한 온실 난방을 위하여 바람직한 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. Crooker H.L., "British Patent" 309, 244, 1928.
2. Duncan, G.A., O.J. Loewer and D.G. Colliver, "Simulation of energy flows in a greenhouse", Transactions of the ASAE 24, 4 (1981): 1014~1021.
3. Pieters, J.G. "Interaction effects in simulating the light transmission through condensation drops on greenhouse covers", Transactions of the ASAE 40, 5(1997): 1463~1465.
4. Abe, K. and M. Nara, "Modeling of diurnal change of greenhouse thermal environment and its hand calculation", J. of The Society of Agric. Structures 20, 2 (1989): 195~201(in Japanese)
5. Kim, Y.H. "Development of thermal Storage System in Plastic Greenhouse", Ph.D Diss., Seoul National Univ.,(1990)(in Korean)
6. Ratti, C., G. Desmarais and G. S. V. Raghavan, "Heat transfer modelling of screen-houses", Solar Energy 65, 5(1999): 271~284.
7. Ryou, Y.S, "Development of solar energy-latent heat storage system for greenhouse heating". Ph.D Diss., Chungbuk National Univ.,(1992)(in Korean)
8. Silva, A.M and R. Rosa, "Radiative Heat Loss inside a Greenhouse", J. agric. Engng. Res37(1987): 155~162
9. Song, H.K., Y.B. Kim and S.H. Moon, "Study on the thermal characteristics of the latent heat storage materials for the storage of solar thermal energy. Research reports of institute of thermal energy for rural

- areas”, Chungbuk National University, 2, 1(1986): 15~26.(in Korean)
10. Telkes. M., “Solar house heating a problem of heat storage”, Heat Vent., (1947)44~68.
11. Willits D.H., P. Chandra and M.M. Peet. “Modelling of solar energy storage systems for greenhouses”, J. agric. Engng. Res32(1985): 73~93
12. 社団法人日本施設園藝協會, 施設園藝における 潜熱蓄熱方式導入の手引,(1989)
13. 日本熱物性學會編, 熱物性ハンドブック.株式會社養賢堂,(1990)