

플라스틱 溫室의 熱貯藏 시스템의 開發에 關한 研究(II)⁺

—水耕栽培用 太陽熱 溫室 시스템의 熱的 性能—

Development of Thermal Storage System in Plastic Greenhouse(II)⁺

—Thermal performance of solar greenhouse system for hydroponic culture—

金 容 顯* 高 學 均* 金 文 基*

Y. H. Kim, H. K. Koh, M. K. Kim

Summary

Thermal performance of a solar heating plastic greenhouse designed for a hydroponic system was studied. The system was constructed with the air-water heat exchanger and thermal storage tank that were combined with hydroponic water beds.

Experiments were carried out to investigate the daily average heat stored and released in thermal storage tank, average solar energy collection efficiency, average coefficient of performance, average oil reduction factor of thermal storage system, and the heat transfer coefficient during the nighttime in plastic greenhouse.

The results obtained in the present study are summarized as follows.

1. Daily average heat stored in thermal storage tank and released from the thermal storage tank was 1,259 and 797 KJ/m² day, respectively.
2. The average solar energy collection efficiency of thermal storage tank was 0.125 during the experiment period. And the average coefficient of performance of thermal storage system in plastic greenhouse was 3.6.
3. The average oil reduction factor of thermal storage system and the heat transfer coefficient during the nighttime in plastic greenhouse were found to be 0.52 and 4.3 W/m² hr °C, respectively.

1. 緒 論

농업 가운데 에너지 多消費型 部門으로서의 施設園藝는 온실 난방의 대부분을 火石 燃料 또는 전기 에너지에 의존하고 있기 때문에 代替에너지를 이용하여 이들 에너지를 절감시킬 수 있는 새로운 난방 기술의 개발이 시급히 요청되고 있다. 國內의 施設園藝 農家에 보급되어 있는 플라스틱 온실의 재배면적은 1987년

現在 20,900ha로서, 이 가운데 93%를 차지하는 19,491ha가 二重 被覆, 織皮 또는 不織布 등의 保溫材를 사용하여 작물 재배 기간동안 보온을 실시하는 無加溫溫室에 해당한다. 보온재를 이용한 무가온 온실은 晝間에 온실 내부로 투과되는 태양에너지를 主暖房 熱源으로 사용하나, 태양에너지의 이용율은 약 10% 정도에 불과하다. 더군나, 외부 기온에 떨어지는 夜間에 외부의 열손실을 억제시키기 위한 목적으로 사용되는

⁺ 본 연구는 1986년 문교부의 대학부설연구소지원 학술연구조성비에 의하여 수행되었음.

* 서울大學校 農科大學 農工學科

보온재는 환기 불량으로 말미암아 온실 내부의 炭酸 가스 농도의 감소와 작물 생육에 불리한 환경 조건의 형성, 관리 노력의 과다 투입등의 문제점을 초래한다.

한편, 加溫 溫室일지라도 시설원 재배 작물의 종류에 따라 차이가 있기는 하나, 대부분 막대한 난방 열원을 필요로 하며 이러한 열원 공급을 위한 화석 연료 및 전기 에너지의 사용은 시설원의 經濟性에 커다란 영향을 미치고 있다. 그러므로 보온재를 사용하여 열 손실을 억제하는 방법에만 의존할 것이 아니라, 晝間에 온실 내부로 투과되는 태양에너지를 효율적으로 이용할 수 있는 적절한 熱貯藏 시스템의 개발을 통하여 작물 생육에 적합한 환경 조건을 유지시키는 방법으로의 전환이 바람직한 것으로 판단된다.

本研究는 外氣溫이 최저가 되는 時刻의 기상 조건을 기준으로 실험용 플라스틱 온실의 난방부하를 산정하고, 이에 대응하는 열교환 능력을 갖춘 水膜式 熱交換器 및 蓄熱槽로 이루어진 열저장 시스템을 개발하여 온실 내부 및 외부의 기상 조건의 변화에 따른 水耕栽培用 太陽熱 溫室 시스템의 열적 성능, 즉, 플라스틱 온실 및 축열조의 태양 에너지 集熱效率, 性能係數, 節油率 및 플라스틱 온실의 夜間放熱係數 등을 분석하는데 그 目的이 있다.

2. 研究史

주간에 온실 내로 투과되는 태양에너지를 온실 내의 地中에 저장한 후에 야간에 저장된 에너지를 방열시켜 온실 내의 공기를 가온시켜 주는 지중열교환 방식은 山本雄二郎(1966)에 의해서 처음으로 시도되었다. 山本雄二郎(1973, 1979, 1985)은 계속하여 지중열교환 방식을 온실 난방에 적용할 경우의 열교환 특성을 구명하였고, 지중열교환 방식의 최적 가동 조건을 구명하기 위하여 열교환 파이프의 구조, 재질 및 소요량, 송풍기의 용량과 설치 방법 및 지중열교환 온실의 적용 지역을 선정하기 위한 기준을 제시하였다.

Takami와 Uchijima(1977)는 플라스틱 온실 내의 온도와 상대습도를 조절하고자 온실내의 지중에 蓄熱槽를 매설하여 온실내의 공기와 축열조의 물이 열교환을 이루는 방식에 대한 시뮬레이션 모형을 개발하여 열교환 방식의 설계 및 작동 조건을 제시하였으며, 축열

조에 저장된 에너지는 온실내의 短波 輻射 및 환기율에 의해서 영향을 받는다고 지적하였다.

古在等(1983)은 물을 축열매체로 이용하여 내부집열형 水蓄熱 방식에 의한 태양열 난방 온실의 열적 성능을 분석한 결과, 태양열 난방 온실에서 축열 시스템의 열적 성능과 향상과 저렴한 시설비를 고려할 때 수조를 축열 시스템으로 이용하는 것이 바람직하다고 보고하였다. Kozai 等(1986)은 以前 실험과 달리하여 송풍기를 수조의 중앙에 설치하고 공기의 출구를 수조의 양단에 설치함으로써 파이프 내의 마찰 손실을 감소시켜 결과적으로 파이프내의 송풍량이 증가하도록 축열 시스템을 개선하였다. 개선된 축열 시스템을 두께 0.15mm의 polyester 필름을 피복재로 사용한 二重커튼의 태양열 난방 온실에 적용한 결과, 실험 기간 동안의 온실과 수조의 평균 집열효율을 각각 0.13 및 0.08로 보고하였다. 또한, 태양열 온실 시스템의 성능계수, 節油率 및 온실의 夜間放熱係數를 각각 4.7, 0.76 및 2.1 W/m² °C로 보고 하였다.

河野德義(1985)는 수축열식 태양열 난방 온실 시스템에 이용되는 열교환기 구조의 簡易化와 집열 효율의 향상을 위하여 온실 내의 천정에 자동차용 방열기를 열교환기로 사용하고 內徑 0.05mm의 염화비닐 파이프 12개를 직렬로 배열한 집열 장치를 설치하여 태양열 난방 시스템의 열적 성능을 분석하였다. 연구 결과, 온실 외부일사량에 대한 열교환기 및 천정에 설치된 배관 집열장치의 집열효율을 각각 0.07 및 0.04로 보고하였다. 또한, 성능계수는 3.54로 보고하였는데, 높은 靜壓에서도 송풍량이 큰 송풍기를 열교환 시스템에 사용하고, 온실의 야간방열계수를 감소시킬 경우 난방 시스템의 성능계수가 향상될 것이라고 보고하였다.

金(1990) 等은 플라스틱 온실의 피복재로 널리 이용되는 폴리에틸렌 필름을 열교환부로 제작한 수막식 열교환 시스템을 개발하여, 열교환 시스템의 열교환 능력을 분석한 결과 플라스틱 온실에서 열저장 시스템으로의 적용 가능성을 확인하였다.

岡野와 山本(1986)은 水膜式 열교환 시스템을 개발하여 水耕栽培用 태양열유리 온실에 적용한 결과, 실험 기간의 평균 집열효율, 성능계수 및 절유율은 각각 0.18, 4.2 및 0.77로 나타나 수경재배용 bed의 축열조로의 사용 가능성을 확인하였다.

3. 材料 및 方法

가. 水膜式 熱交換器의 構造

폴리에틸렌 필름과 폴리에틸렌 필름 袋에 관한 兪(1990) 等의 실험으로부터 폴리에틸렌 필름 袋를 열 교환부로 제작한 逆流型 水膜式 熱交換器의 설계에 필요한 자료들을 얻었다.

表 4-1은 水蓄熱方式으로서 溫室用 실험 규모의 열 교환기에 설계에 필요한 因子, 즉, 最低 氣溫이 나타나는 오전 6시의 外氣溫, 온실 내부 기온 및 축열조 水溫, 暖房負荷, 온실의 保溫比를 나타낸 것이다. 여기에서 난방 부하는 난방을 실시하려는 플라스틱 온실의 소요 난방 열량으로서, 온실 외부의 최저 기온이 나타날 때 열교환기의 최대 열교환 능력에 해당하며 最大暖房負荷하로도 불리운다. 온실의 최대난방부하는 다음 式으로 결정된다.

$$Q_g = A_g \cdot U \cdot (\theta_{in} - \theta_{out}) \cdot (1 - f_r) \quad \dots\dots(4-1)$$

Q_g : 온실의 최대난방부하(KJ/hr)

A_g : 온실의 표면적(m^2)

U : 온실의 난방부하계속($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

θ_{in} : 온실 내부의 설정 기온($^\circ C$)

θ_{out} : 온실의 외부 기온($^\circ C$)

f_r : 보온 피복의 熱節減率(小數)

三原義秋(1980)는 온실의 종류, 보온 방법 및 보온 피복재의 종류에 따른 온실의 난방부하계수와 보온 피복의 열절감율을 제시하였다. 三原義秋의 결과에 따르면 本實驗用 플라스틱 온실의 난방부하계수와 보온 피복의 열절감율은 각각 $6.6W/m^2 \cdot ^\circ C$ 및 0.35에 해당된다.

表 4-1에서 온실 내부 기온을 $10^\circ C$ 로 설정한 것은 작물이 低溫 障害를 받지 않는 安全生育溫度에 기인한 것이다. 한편, 외기온과 축열조 水溫을 각각 $-5.0^\circ C$, 17.0

$^\circ C$ 로 설정한 것은 水原 지방의 11月 최저 기온 및 최저 기온이 나타날때 유지되는 축열조의 水溫에 바탕을 둔 것이다. 表 4-1에 제시한 바와 같이 온실의 내부 및 외부 기온차가 $15^\circ C$ 일 경우 式(4-1)에 의해서 熱交換器가 구비하여야 할 열교환 능력은 $36,000KJ/hr$ 로 계산된다.

폴리에틸렌 필름 袋를 熱交換部로 제작한 열교환기가 $36,000KJ/hr$ 의 열교환 능력을 갖추는 데 필요한 작동 조건은 다음과 같다. 송풍기 용량과 폴리에틸렌 필름 袋의 耐久性을 고려하여 폴리에틸렌 필름面 풍속을 $3.0m/s$ 로 가정할 경우 兪(1990) 等의 결과로부터 열교환계수는 $31.2W/m^2 \cdot ^\circ C$ 의 값을 얻게 된다. 水-氣溫差가 $7^\circ C$ 이므로, 폴리에틸렌 필름 袋의 全熱交換 면적은 약 $23.0m^2$ 이 필요하나 폴리에틸렌 필름 袋內的 수막 형성을 80% 정도로 가정하면 실제의 全熱交換面積은 약 $29.0m^2$ 가 필요한 것으로 예측된다. 이상의 자료에 기초하여 제작된 실험용 열교환부의 구조는 다음과 같다.

1) 熱交換部의 構造

실험용 熱交換部에 사용된 폴리에틸렌 필름 袋는 그림 4-1에 나타낸 바와 같이 $0.05mm \times 145cm \times 77cm$ 크기의 폴리에틸렌 필름으로서, 폴리에틸렌 필름 袋의 장변 측에 직경 3mm의 진동 방지용 철사를 집어넣었다. 또한, 폴리에틸렌 필름 袋의 하부에 15cm 간격으로 4개의 배수구를 설치하였다.

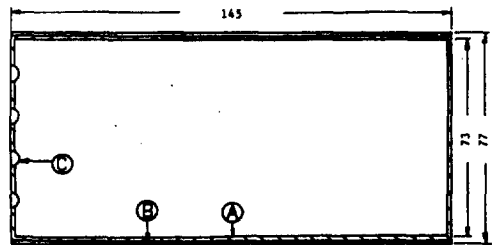


Fig.4-1. Dimensions of polyethylene film bag.

(unit : cm)

A : supporting wire

B : adhesion

C : water outlet

한편, 폴리에틸렌 필름 袋의 배수구로부터 상방향으로 5cm 되는 부위는 排水口에 해당함으로 열교환 면

Table 4-1. Parameters for the design of heat exchanger in plastic greenhouse

온실 床面積	96.0 m^2
보온 비	0.63
온실내부 氣溫	$10.0^\circ C$
외기온	$-5.0^\circ C$
축열조 水溫	$17.0^\circ C$

적에서 제외된다. 그러므로, 폴리에틸렌 필름 袋 1枚의 유효 열교환 면적 $29.0m^2$ 를 이루는데 필요한 폴리에틸렌 필름 袋는 $29.0/2.1=14$ 枚임을 알 수 있다.

14枚의 폴리에틸렌 필름 袋에 균일한 수막 형성을 위해 필요한 급수관 및 분배관의 구조가 그림 4-2에 실려 있다. 급수관은 직경 25mm의 P.V.C. pipe를 사용하였고, 분배관은 직경 16mm, 길이 87cm의 P.V.C. pipe로서 4cm 간격으로 급수관에 연결하였다. 한편, 분배관 상부에는 급수용으로 직경 2mm의 구멍을 30mm간격으로 20개를 설치하였다.

2) 實驗用 熱交換器의 構造

그림 4-2의 급수관 및 분배관을 사용하여 14枚의 폴

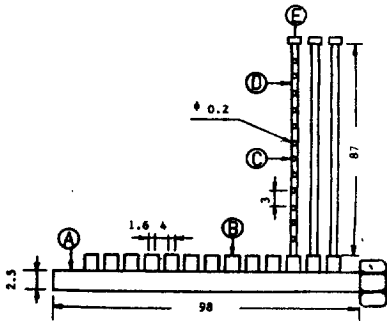


Fig.4-2. Dimensions of water inlet pipe and distribution pipe. (unit : cm)

- A : water inlet pipe
- B : P.V.C. pipe
- C : hole
- D : water distribution pipe
- D : P.V.C. cap

리에틸렌 필름 袋를 4cm 간격으로 설치한 실험용 熱交換器의 구조가 그림 4-3에 실려 있다. 열교환기의 크기는 $121cm \times 108cm \times 182cm$ 로서, 외벽은 두께 10mm의 방수 합판으로 이루어졌다. 140Watts의 용량을 갖는 송풍기는 본체로부터 30cm 떨어진 前面 하부에 위치하며 14枚의 폴리에틸렌 필름 袋 사이로 공기가流入되도록 설치하였다. 폴리에틸렌 필름 袋로부터의 배수는 열교환기의 하부에 설치된 배수구를 통하여 축열조로 보내진다.

한편, 축열조로부터 열교환기의 폴리에틸렌 필름 袋로 공급되는 물은 250Watts 용량의 급수 펌프에 의해

서 이루어지며, 폴리에틸렌 필름 袋내에 균일한 수막 형성이 곤란할 정도로 과다하게 공급되는 수량은 수량조절 밸브를 통하여 축열조로 되돌아간다.

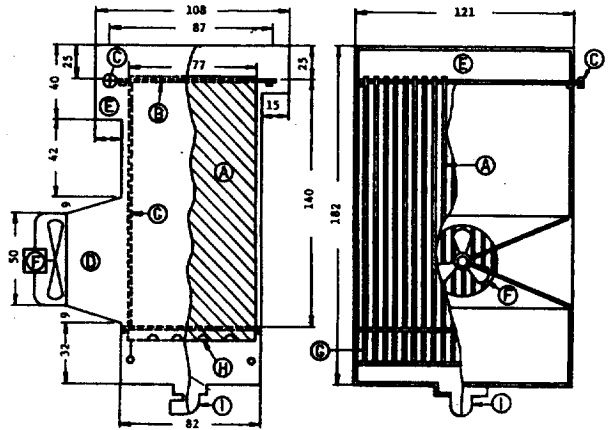


Fig.4-3. Experimental apparatus for polyethylene film bag heat exchanger. (unit : cm)

- A : polyethylene film bag
- B : water distribution pipe
- C : water inlet pipe
- D : air inlet
- D : air outlet
- E : air outlet
- F : fan
- G : supporting wire
- H : polyethylene film bag outlet
- I : water outlet

3) 蓄熱槽 構造

水耕 재배를 목적으로 한 水蓄熱式 태양열 난방 온실에서는 水耕 베드 (bed)를 蓄熱槽로 이용하는 것이 가능하다. 그러나, 水耕 베드를 축열조로 이용한 내부 집열형 태양열 난방 시스템의 경우 온실 床面積 $1m^2$ 당 약 $0.1m^3$ 의 축열용 물이 필요한 것으로 추정되므로 대형의 축열조를 필요로 한다. 더구나, 수경 베드가 대형화되고, 水耕液을 축열 대체로 이용하는 방식은 수경액의 수소이온농도 (pH) 및 전기 전도도 (EC)의 관리, 경제성 등의 문제점이 뒤따르게 된다. 그러므로, 본 시스템에서는 上記의 문제점을 극복하고자 수경 베드를 깊게 설치하여 저수량을 증가시키는 축열조로 이용하

면서, 폴리에틸렌 필름을 사용하여 축열조를 상부와 하부로 분리하는 방식을 채택하였다. 즉, 축열조 상부에는 수경액이 채워져 있고, 하부에는 축열 매체용 물이 담겨 있다. 수경액은 순환 펌프에 의해서 양액 탱크로부터 공급되어 수경 베드를 순환한 후 양액 탱크로 되돌아간다. 축열조 하부에 담겨 있는 물은 급수 펌프에 의해서 熱交換器를 거치는 동안 주간의 축열 과정 및 야간의 방열 과정을 거치면서 축열조로 보내진다. 폴리에틸렌 필름에 의해서 수경액과 축열 매체용 물이 분리되어 있으나, 폴리에틸렌 필름을 통한 열 전달로 말미암아 수경액의 온도는 축열조 상부의 물의 온도와 거의 동일한 변화를 갖는다.

폭 6m, 길이 16m의 수경 재배용 플라스틱 온실에 설치된 실험용 열교환시스템 및 축열조가 그림 4-4에 실려 있다.

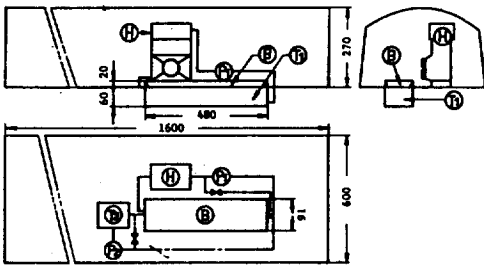


Fig.4-4. Schematic diagram of solar heating system for hydroponic culture. (unit : cm)

- B : bed for hydroponic culture
- H : heat exchanger
- P₁ : circulation pump for water
- P₂ : circulation pump for nutrient solution
- T₁ : water tank
- T₂ : tank for nutrient solution

나. 實驗 條件 및 方法

본 실험에서 사용한 플라스틱 온실은東西棟의單棟 플라스틱 온실로서 그 크기와 외형은 그림 4-5 및 그림 4-6과 같다. 플라스틱 온실의 표면적은 152m²이고, 床面積은 96m²으로서, 保溫比(床面積÷表面積)는 0.63의 값을 갖는다. 온실 피복재로는 두께 0.05mm의 장수 필름을 사용하였고, 피복재 내측에 두께 0.05mm의 폴리에틸렌 필름으로 된 보온 커튼을 설치하였다. 한편,

태양열의 축열이 부족한 경우를 대비하여 보조 열원 장치로서 온실 내부에 7KW 용량의 電熱器를 설치하였다.

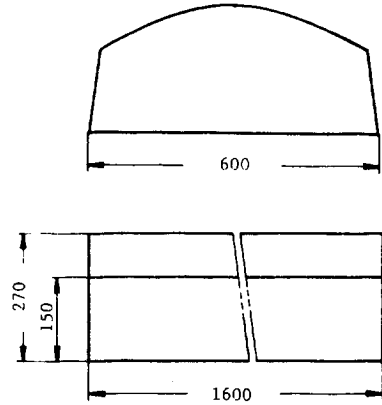


Fig.4-5. Dimensions of the experimental plastic greenhouse. (unit : cm)



Fig.4-6. Plastic greenhouse for the experiment

실험용 열교환기의 열적 성능을 평가하기 위해서 온실 내부 기온, 열교환기 입구 및 출구의 공기 온도, 물의 입구 및 출구 온도, 地中 溫度, 水耕液 溫度의 변화를 직경 0.3mm의 copper-constantan 熱電帶를 사용하여 측정하였다. 온도 측정 부위는 온실 내부의 기온 3점, 공기의 입구 및 출구 온도 각 1점, 물의 입구 및 출구 온도 각 1점, 10cm 깊이의 지중 온도 1점, 수경 베드의 수경액 온도 1점이었다. 이들 각 부분의 온도는 multiplex data logger를 이용하여 10분 간격으로 기록하였다. 한편, 온실 내부 기온 1점은 백금측온저항 센서

(Pt 100Ω)를 사용하여 측정하였다. 백금측온저항 센서에서 나온 신호는 抵抗-電壓 變換器(resistance to voltage converter)에 의해서 전압으로 변환되어 data acquisition system 내의 A/D 변환 과정을 거친 후 IBM-PC/XT computer로 받아들여져 플로피 디스크(floppy disk)에 저장된다.

온실 내부에 설치된 전열기는 data acquisition system의 D/O 신호를 통하여 斷續되는 solid state relay에 연결되어 온실 내부 기온의 設定值인 12℃이하로 내려가면 稼動되고, 13℃ 이상으로 상승하면 정지한다. 열

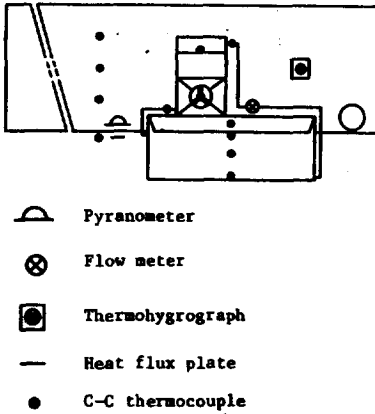


Fig.4-7. Layout of the experimental apparatus in the plastic greenhouse.

교환기에 부착되어 있는 송풍기 및 급수 펌프 역시 data acquisition system의 D/O 신호를 통하여 단속되는 solid state relay에 연결되어 온실 내부 기온이 22℃ 이상으로 상승하면 가동되어 축열 과정을 이루며, 내부 온도가 15℃ 이하로 하강하면 반대로 방열 과정을 이룬다.

온실 내부의 상대습도는 온실 地表面으로 부터 60 cm의 높이에 습도계를 설치하여 측정하였다. 또한, 온실 중앙의 지표면에 1개의 일사계를 설치하여 온실 내부의 수평면 일사량을 측정하였으며, 지중 5cm 위치에 1개의 熱流板(heat flux plate)을 설치하여 地中傳熱量을 측정하였다. 일사량과 지중 전열량은 multiplex data logger를 이용하여 10分 간격으로 기록하였다. 열교환기 내부의 폴리에틸렌 필름 面의 풍속은 pitot tube & inclined manometer를 이용하여 측정하였고, 급수 펌프에 의해서 공급되는 水量은 nutating disk 型의 유량계를 이용하여 측정하였다. 플라스틱 온실의 외부환경 요소인 외부기온과 日積算 日射量은 실험 장소에서 200m 떨어진 水原 氣象測候所의 기상 자료를 이용하였다.

한편, 전열기, 급수 펌프, 송풍기 등의 전력 소모량은 watt-hout meter를 이용하여 측정하였다. 그림 4-7, 그림 4-8 및 表 4-2는 본 실험의 측정 항목에 대한 개략도 및 측정 장치의 사양을 표시한 것이다. 실험은 1988.11.

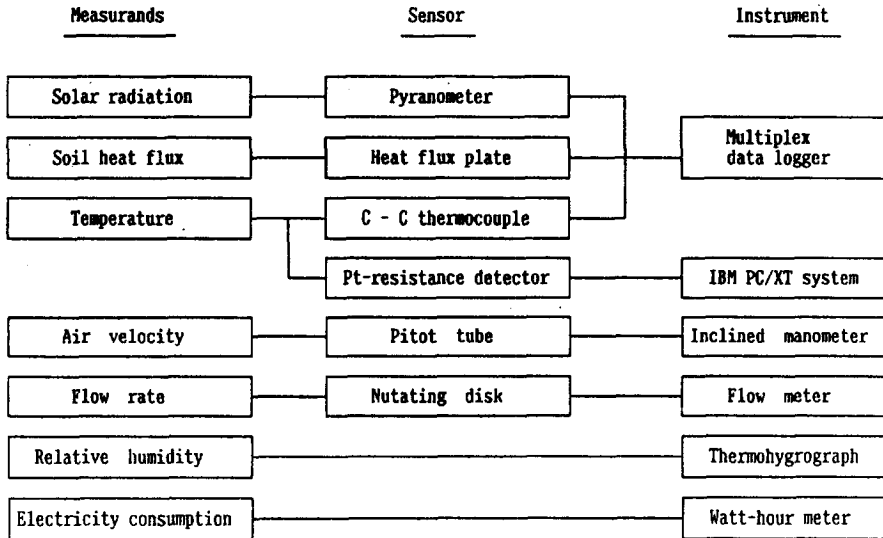


Fig.4-8. Block diagram of the measurement system used in the experiment.

1~1988.11.25 사이에 실시되었으며, 실험 장소는 서울 대학교 농과대학 부속 실험농장이었다.

4. 結果 및 考察

플라스틱 온실에서 실험용 逆流型 水膜式 熱交換器

및 축열조로 구성된 열저장 시스템의 축열 및 난방 성능을 분석하고자 플라스틱은 온실 및 축열조의 集熱效率, 性能係數, 節油率 및 夜間放熱係數를 검토하였다.

Table 4-2. List of measurements taken and instruments used in the experiment

Measurands	Instruments	Remarks
Solar radiation	Pyranometer (NP-42)	7 mV/KW/m ²
Soil heat flux	Heat flux plate (CN-9)	7 mV/KW/m ²
Temperature	C-C thermocouple	φ 0.3mm
	Resistance temperature detector	Pt 100Ω
	Multiplex data logger (MP-080)	± 0.1 °C
Air velocity	Pitot tube & Inclined manometer	Type 5
Flow rate	Flow meter (M-430)	Nutating disk type
Relative humidity	Thermohygrograph	
Electric energy consumption	watt-hour meter	

가. 熱貯藏 시스템의 蓄熱 및 暖房 性能

逆流型 水膜式 熱交換器를 설치한 플라스틱 온실의 열적 성능을 분석하기 위해서 플라스틱 온실의 축열조에 에너지 평형식을 적용시키면 다음 식과 같이 표시된다.

$$Q_h + Q_b - \rho_s C_s W_s \frac{d\theta_w}{dt} = 0 \quad \dots\dots (4-2)$$

Q_h : 열교환기에서의 水-空氣의 열교환량(KJ/hr)

Q_b : 축열조의 벽면에서의 열전달량(KJ/hr)

ρ_s : 밀도(kg/m³)

C_s : 비열(KJ/kg°C)

W_s : 축열조 내의 水量(m³)

θ_w : 축열조의 평균 水溫(°C)

t : 시간(hr)

실험기간동안 온실 외부 및 내부의 日積算 日射量, 地中傳熱量, 축열조의 蓄熱量 및 放熱量, 전열기에 의해서 공급된 열량, 급수 펌프 및 송풍기의 전력 소모량이 表 4-3과 表 4-4에 실려있다. 실험용 플라스틱 온

실의 평균 일사 투과율은 63%로 나타났다.

실험 기간 동안 온실 床面積을 기준으로한 최고 축열량은 1988年 11月 2日의 2,008KJ/m² day로서, 이날의 축열량은 온실 외부 일사량의 16.1%를 차지하였다. 또한, 평균 축열량은 1,259KJ/m² day로서 온실 외부 일사량의 12.5%로 나타났다. 축열조의 방열량은 축열량의 변화와 비슷한 경향을 나타내었으며, 실험 기간의 평균 방열량은 797KJ/m² day로 나타났다. 그림 4-9는 실험기간 동안 축열조의 축열량 및 방열량의 추이를 나타낸 것이다. 한편, 축열이 전혀 이루어지지 않아 보조 열원에 의해서만 난방을 실시한 日數는 3日이었다. 25일 동안 축열조의 방열량과 보조 열량으로 이루어진 난방 열량은 약 32,121KJ/m²으로서, 이 가운데 축열조의 방열량이 62%, 보조 열량이 38%를 차지하였다. 그런데, 축열조의 축열량은 온실 외부의 일적산 일사량과 밀접한 관계를 이루고 있으므로 緯度와 日時에 따라 변화하게 된다. 실험에서 나타난 결과는 水原 지방의 11월에 상당한 값으로서, 地域과 時期가 다를 경우 上記의 값은 상이한 값을 얻게 될 것이다.

Table 4-3. Results of daytime heat flux measurements.
(unit : KJ/m² day)

Date (1988)	G _o	G _i	* Q _{sd}	Q _{cd}	** Q _{hd}	E _{cd}
Nov.1	3,590	2,440	135	0	0	26
2	12,500	8,130	468	2,008	0	116
3	12,240	7,830	448	1,978	241	113
4	8,880	5,590	395	1,309	0	99
5	12,470	8,040	481	1,902	0	114
6	11,330	7,140	474	1,887	390	96
7	9,630	6,070	426	1,373	0	99
8	11,600	7,310	492	1,841	381	110
9	3,400	1,870	119	0	0	30
10	10,120	6,480	443	1,552	437	67
11	11,360	7,270	464	1,734	252	94
12	8,730	5,410	391	1,308	0	81
13	8,420	5,140	389	1,232	0	76
14	11,460	7,220	471	1,795	398	110
15	7,740	4,720	357	989	450	79
16	10,170	6,100	443	1,719	0	105
17	7,910	4,750	375	1,111	338	92
18	9,840	6,200	432	1,445	502	101
19	5,990	3,830	264	122	0	78
20	9,490	5,600	425	1,309	0	99
21	6,810	4,290	307	624	0	78
22	5,090	3,310	253	0	0	0
23	10,090	6,220	444	1,613	0	103
24	9,270	5,560	410	1,278	510	100
25	9,810	6,180	421	1,339	241	100
Average	9,118	5,708	389	1,259	167	87

Note G_o : Daily solar radiation outside plastic greenhouse

G_i : dail solar radiation in plastic greenhouse

Q_{sd} : soil heat flux at 5cm below the earth

Q_{cd} : heat collected in thermal storage tank

Q_{hd} : heat released from hot-air heater in plastic greenhouse

E_{cd} : energy consumption for the operation of pump and fan

* Heat absorbed by soil in warming up.

** Hot-air heater operates when the temperature inside the plastic greenhouse is below 12°C.

Table 4-4. Results of nighttime heat flux measurements.
(unit : KJ/m² day)

Date (1988)	* Q _{sn}	Q _{rn}	Q _{hn}	E _{rn}
Nov.1 - 2	- 269	0	663	115
2 - 3	- 524	1,293	361	131
3 - 4	- 509	1,445	0	127
4 - 5	- 420	932	573	123
5 - 6	- 517	1,400	0	115
6 - 7	- 491	1,141	422	93
7 - 8	- 433	943	381	127
8 - 9	- 482	915	0	107
9 - 10	- 266	0	1,363	135
10 - 11	- 422	1,126	799	132
11 - 12	- 454	702	0	55
12 - 13	- 351	489	313	92
13 - 14	- 341	819	427	111
14 - 15	- 461	1,050	332	160
15 - 16	- 338	760	0	80
16 - 17	- 409	1,202	373	164
17 - 18	- 341	972	837	149
18 - 19	- 350	578	0	76
19 - 20	- 303	0	679	75
20 - 21	- 368	639	307	91
21 - 22	- 374	0	343	0
22 - 23	- 337	0	671	84
23 - 24	- 412	1,232	141	144
24 - 25	- 393	1,130	1,354	203
25 - 26	- 407	1,156	1,858	257
Average	- 399	797	488	118

Note Q_{sn} : soil heat flux at 5cm below the earth

Q_{rn} : heat released from thermal storage tank

Q_{hn} : heat released from hot-air heater

E_{rn} : energy consumption for the operation of pump and fan

* Negative sign indicates that soil gives out heat as it cools.

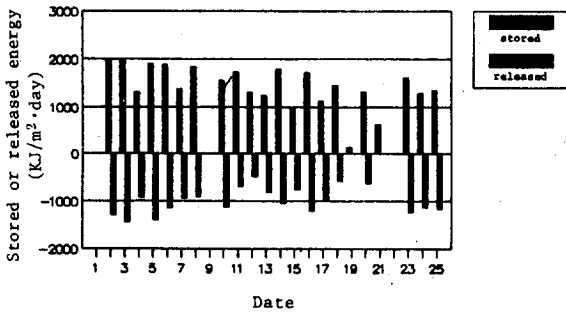


Fig-4-9. Variation of stored and released energy in thermal storage system during experiment period.

(From Nov 1, 1989 to Nov. 25, 1989)

나. 熱貯藏 시스템의 集熱效率, 性能係數, 節油率 및 放熱係數

1) 플라스틱 溫室 및 蓄熱槽의 集熱效率

태양열을 난방 열원으로 사용하는 플라스틱 온실과 축열조의 集熱效率은 다음式으로 정의된다.

$$\eta_k = \frac{Q_{cd} + Q_{sd}}{G_o} \dots\dots\dots (4-3)$$

$$\eta_l = \frac{Q_{cd}}{G_o} \dots\dots\dots (4-4)$$

η_k : 온실의 태양 에너지 집열효율

η_l : 축열조의 태양에너지 집열효율

Q_{cd} : 晝間의 축열조에 집열된 열량(KJ/m² day)

Q_{sd} : 晝間의 地中傳熱量(KJ/m² day)

G_o : 온실 외부 日積算 日射量(KJ/m² day)

실험 기간동안 온실의 평균 집열효율은 0.168, 축열조의 평균 집열효율은 0.125로 나타났다. 온실과 축열조의 평균 집열효율의 差 0.043은 온실 床面의 집열효율의 평균값에 해당되는 것으로, 이것은 온실 집열량의 74.4%가 축열조를 통하여 집열되었고, 나머지 25.6%는 온실 床面을 통하여 저장되었음을 의미한다. 온실 외부의 일직산 일사량이 5,000KJ/m² day 이하일 때 온실 내부 기온은 거의 22.0℃ 이상을 넘지 못한 것으로 나타났다. 더구나, 이 경우 축열조의 물과 온실 내부 공기에 의한 열교환량이 작기 때문에 온실 내부 기온이 22℃ 이하일 경우에는 열교환기를稼動시키지 않으

므로 축열이 전혀 이루어지지 않았다.

表 4-5는 실험용 플라스틱 온실의 열적성능, 즉, 온실 및 축열조의 集熱效率, 태양열 난방 온실의 性能係數, 節油率, 플라스틱은 온실의 夜間 放熱係數를 나타낸 것이다.

2) 性能係數

실험 기간의 급수 펌프와 송풍기의 평균 전력 소모

Table 4-5. Thermal performance of solar greenhouse system.

Date (1988)	η_l	η_k	C.O.P.	r	h_n
Nov.1 - 2	0.00	0.04	0.0	0.00	3.4
2 - 3	0.16	0.20	5.2	0.78	5.6
3 - 4	0.16	0.20	6.0	0.86	6.5
4 - 5	0.15	0.19	4.2	0.62	5.6
5 - 6	0.15	0.19	6.1	1.00	5.8
6 - 7	0.17	0.21	6.0	0.58	5.0
7 - 8	0.14	0.19	4.2	0.71	5.6
8 - 9	0.16	0.20	4.2	0.70	4.2
9 - 10	0.00	0.04	0.0	0.00	4.9
10 - 11	0.15	0.20	5.7	0.48	4.5
11 - 12	0.15	0.19	4.7	0.74	2.7
12 - 13	0.15	0.19	2.8	0.61	3.9
13 - 14	0.15	0.19	4.4	0.66	5.1
14 - 15	0.16	0.20	3.9	0.59	4.2
15 - 16	0.13	0.17	4.8	0.63	2.4
16 - 17	0.17	0.21	4.5	0.76	5.4
17 - 18	0.14	0.19	4.0	0.45	4.4
18 - 19	0.15	0.19	3.3	0.54	1.9
19 - 20	0.02	0.06	0.0	0.00	2.2
20 - 21	0.14	0.18	3.4	0.68	3.4
21 - 22	0.09	0.14	0.0	0.00	1.8
22 - 23	0.00	0.05	0.0	0.00	3.5
23 - 24	0.16	0.20	5.0	0.90	4.9
24 - 25	0.14	0.18	3.7	0.38	5.4
25 - 26	0.14	0.18	3.2	0.36	5.7
Average	0.125	0.168	3.6	0.52	4.3

Note η_l : solar energy collection efficiency of thermal storage tank

η_k : solar energy collection efficiency of plastic greenhouse

C.O.P. : coefficient fo performance of greenhouse system

r : oil reduction factor

h_n : overall heat transfer coefficient of greenhouse during night(unit : W/m²C)

량은 205KJ/m² day로 나타났다. 태양열 난방 온실은 태양열을 이용하여 난방을 실시하기 때문에 축열과 방열 과정에서 에너지가 소모된다. 그러므로, 본 시스템의 성능계수(coefficient of performance, C.O.P.)는 축열 및 방열 과정에서 소모된 에너지를 기초로 하여 식 (4-5)와 같은 형태로 정의된다.

$$C.O.P = \frac{Q_m}{E_{cd} + E_m} \dots\dots\dots (4-5)$$

- Q_m: 夜間の 축열조에서 방열된 열량(KJ/m² day)
- E_{cd}: 晝間の 급수 및 송풍기가 소비한 전력 소모량 (KJ/m² day)
- E_m: 夜間の 급수 펌프 및 송풍기가 소비한 전력 소모량(KJ/m² day)

실험기간의 성능계수는 0.0~6.1의 범위의 값을 가지며, 평균 성능계수는 3.6으로 나타났다. 이 값은 岡野와 山本(1986)이 유리 온실의 水蓄熱 시스템에서 얻은 평균 성능계수 4.2에 비해서 다소 작은 값이다.

성능계수가 온실 외부의 最高 外氣溫 및 日積算 日射量과 밀접한 관계를 갖고 있음을 고려할 때 평균 성능계수의 차이는 온실 외부의 기상 조건 및 피복재에 基因한 것으로 판단된다.

3) 節油率

태양열 난방 온실의 節油率은 온실을 난방시키기 위하여 공급된 열량, 즉, 축열조로부터 방열된 열량과 보조열원장치에 의해서 공급된 열량의 승에 대한 蓄熱槽로부터 방열된 열량의 比로서 정의되며 식(4-6)과 같이 표시된다.

$$r = \frac{Q_m}{Q_{rn} + Q_{hd} + Q_{nn}} \dots\dots\dots (4-6)$$

- r : 節油率
- Q_{hd}: 晝間の 전열기에서 방열된 열량(KJ/m² day)
- Q_{nn}: 夜間の 전열기에서 방열된 열량(KJ/m² day)

플라스틱 온실의 절유율은 열저장 시스템에 의해서 축열된 에너지가 夜間에 방열되어 온실 내부를 난방 시킴으로 말미암아 나타나는 燃料의 節減 效果를 의미한다. 실험기간 동안 水膜式 열교환기와 축열조로 구성된 열저장 시스템의 평균 절유율은 0.52로 나타났다.

4). 플라스틱 溫室의 夜間放熱係數

플라스틱 온실의 야간 방열계수는 내부와 외부의 溫度差에 의해서 온실의 벽면을 통하여 외부로 방열되는 熱損失을 의미하는 것으로 식(4-7)과 같이 정의된다.

$$h_n = \frac{(Q_{rn} + Q_{nn} + E_{rn} - Q_{sn})(FA)}{DH_n(WA)} \dots\dots(4-7)$$

- h_n: 온실의 夜間 放熱係數(W/m² °C)
- E_{rn}: 夜間の 급수 펌프 및 송풍기가 소비한 전력 소모량(KJ/m² day)
- Q_{sn}: 地中轉熱量(KJ/m²day)
- DH_n: 夜間の 난방 degree hour(°C hr/day)
- FA: 온실의 床面積(m²)
- WA: 온실의 床面積(m²)

본 실험에서 플라스틱 온실의 夜間 방열계수는 1.8~6.5 W/m² °C의 값을 가지며, 평균 방열계수는 4.3W /m² °C로 나타났다.

5. 要約 및 結論

晝間에 온실 내부로 투과되는 태양 에너지를 축열 시킨 후, 外氣溫이 떨어지는 夜間에 저장된 에너지를 방열시켜 작물 생육에 적합한 온실 내부 온도를 적절하게 유지시킬 목적으로 폴리에틸렌 필름을 熱交換部로 이용하여 제작된 逆流型 水膜式 熱交換器와 蓄熱槽로 이루어진 熱貯藏 시스템을 개발하였다.

본 연구에서는 개발된 열저장 시스템을 수경재배용 플라스틱 온실에 설치하여 온실 내부 및 외부 기상 조건의 변화에 따른 열저장 시스템의 열적 성능, 즉, 플라스틱 온실 및 축열조의 集熱效率, 태양열 난방 온실의 性能係數, 節油率 및 플라스틱 온실의 夜間 放熱係數를 분석하였다.

以上の 分析 結果를 要約하면 다음과 같다.

- (1) 개발된 열저장 시스템의 평균축열량 및 평균 방열량은 각각 1,259KJ/m² day, 797 KJ/m² day로 나타났다.
- (2) 실험 기간의 축열조의 평균 集熱效率와 평균 性能係數는 각각 0.125 및 3.6으로 나타났다.

(3) 실험 기간 동안 열저장 시스템의 평균 節油率과 플라스틱 온실의 夜間 放熱係數는 각각 0.52 및 4.3W/m²C로 나타났다.

參 考 文 獻

1. Kozai, T., K.Shida, I. Watanabe. 1986. Thermal performance of a solar greenhouse with water tanks for heat stroage and heat exchange. J. Agr. Eng. Res. 33(2) : 141-153.
2. Takami, S. and Z. Uchijima. 1977. A model of the greenhouse with a storage - type heat exchanger and its verification. J. Agr. Met. 33(3) : 155-166
3. 山本雄二郎. 1966. 地中-空氣熱交換의 應用例. 農業氣象 22(2) : 77-79.
4. 山本雄二郎. 1973. 地中熱交換ハウスの溫度環境および 熱特性.
5. 山本雄二郎. 1979. 地中熱交換ハウスに關する研究. 農業氣象 35(1) : 47-50.
6. 三原義秋. 1980. 溫室設計の基礎と實際. 273 pp. 養賢堂. 東京.
7. 古在豊樹, 武内英雄, 岡崎誠司, 渡部一郎, 林 眞紀夫, 志田憲一. 1983. 内部集熱型水蓄熱方式による太陽熱利用溫室の熱的性能. 農業氣象 38(4) : 361-369.
8. 河野徳義. 1985. 水蓄熱型太陽熱利用ハウスの熱的性能. 農業氣象 41(1) : 63-68.
9. 山本雄二郎. 1985. 地中熱交換溫室. 農業氣象 41(3) : 273-280.
10. 岡野利明, 山本雄二郎. 1986. 水蓄熱型太陽熱溫室 (1) 水耕栽培用システムの 熱特性. 農業氣象 42(1) : 19-27.
11. 金容顯. 1990. 플라스틱 溫室의 熱貯藏시스템 開發에 關한 研究. 서울大學校 大學院 博士學位論文.
12. 金容顯, 高學均, 金文基. 1990. 플라스틱 溫室의 熱貯藏 시스템 開發에 關한 研究 (I) 水膜式 熱交換 시스템의 開發. 韓國農業機械學會誌 15(1) : 14-22.



學 位 取 得



姓 名 : 金 鐵 洙

生 年 月 日 : 1944年 2月 22日

取 得 學 位 名 : 農 學 博 士

學 位 授 與 大 學 : 慶 尚 大 學 校 大 學 院

學 位 取 得 年 月 日 : 1990年 2月 24日

學 位 論 文 : 시설원예를 위한 점적 관개조직의 자동화에 관한 연구