

플라스틱 溫室의 热貯藏 시스템 開發에 關한 研究 (I)⁺

—水膜式 热交換 시스템의 開發—

Development of Thermal Storage System in Plastic Greenhouse (I)

—Development of Air-Water Heat Exchange System—

金容顯* 高學均*, 金文基*

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

Summary

For efficient use of solar energy in plastic greenhouse, thermal storage system was developed. The system was constructed with the counter-flow type air-water heat exchanger using a thin polyethylene film as a medium of heat exchange parts.

Experiments were carried out to investigate the heat exchange rate, optimum water flow rate, overall heat transfer coefficient, and the effectiveness of the counter-flow type air-water heat exchanger with polyethylene film bags. Mathematical model to predict air temperature leaving heat exchanger was developed.

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

1. Heat exchange rate in the counter-flow type air-water heat exchanger with polyethylene film bags was compared to that of polyethylene film. Heat exchange rate was almost identical at air velocity of 0.5m/s on polyethylene film surface. But, heat exchange rate of heat exchanger with polyethylene film bag was 32~55KJ/m² hr higher than that of polyethylene film at air velocity of 1.0m/s.
2. Considering the formation of uniform water film and the sufficient heat exchange rate of polyethylene film bags, optimum water flow rate in polyethylene film bags was 3.0~6.0ℓ/m² min.
3. The overall heat transfer coefficient of polyethylene film bags was found to be 35.0~130.0KJ/m² hr °C corresponding to the air velocity ranging 0.5 to 4.0 m/s on polyethylene film surface. And the overall heat transfer coefficient showed almost linearly increasing tendency to the variation of air velocity.
4. Mathematical model to predict air temperature leaving the heat exchanger was developed, resulting in a good agreement between the experimental and predicted values. But, the experimental results were a little lower than predicted.
5. Effectiveness of heat exchanger for the experiment was found to be 0.40~0.81 corresponding to the number of transfer units due to the variation of air velocity ranging 0.6 to 1.7 m/s.

1. 緒論

플라스틱 온실을 이용한 施設園藝의 재배 기간은
露地에서 작물 생육이 불가능할 정도로 기상 조건이
열악한 시기에 해당된다. 그러므로 이러한 시기에 시
설원예를 이용하여 작물 재배를 하려면 플라스틱 온실
내부의 기상 환경이 작물의 생육조건에 적합하도록

적절한 暖房 시스템이 구비되어야 한다. 플라스틱 온
실의 내부온도를 일정 수준 이상으로 유지시켜 주는
熱源은 夜間에는 대부분 온실 내로 투과되는 태양에
너지이며, 夜間에는 화석 연료 또는 전기에너지를 이
용한 난방기의 공급 열량이다. 그러므로 플라스틱 온
실의 난방을 화석 연료 또는 전기에너지에 의존할 경
우 시설원예 재배의 경제성에 커다란 영향을 미치게

+ 본 연구는 1986년 문교부의 대학부설연구소지원 학술연구조성비에 의하여 수행되었음.

* 서울大學校 農科大學 農工學科

되므로 플라스틱 온실의 효율적인 热貯藏 시스템의 개발이 시급히 요청되고 있다.

물을 热貯藏 媒體로 하는 온실의 열저장 시스템에서는 蕎熱과 放熱 과정이 모두 온실 내부 공기와 蕎熱槽 내부 물과의 열교환에 의해서 이루어진다. 이 경우, 축열조 내부의 水溫은 曇間과 夜間의 온실 내부 기온 設定值의 범위 내에서 변화되며 작물 재배가 이루어질 경우 물과 온실 내부 공기의 溫度差는 최대 15 °C 정도인 것으로 알려져 있다. 이와 같이 물과 온실 내부 공기의 온도차가 크지 않은 열교환 과정의 경우, 單位面積當 열교환량이 작게됨으로 상대적으로 넓은 열교환 면적을 지닌 열교환 장치가 필요하다.

한편, 축열 수온은 30°C 이상으로 상승하기 어렵기 때문에 축열 水量은 溫室 床面積當 상당히 큰 양이 필요한 것으로 예측된다. 그러므로 수온이 높지 않고 多量의 물을 필요로 하는 축열 시스템을 實用化하기 위해서는 直流이 높고 가격이 저렴한 水—空氣 열교환기와 축열 水槽의 개발이 중요한 과제이다.

本研究는 플라스틱 온실의 被覆材 또는 保溫材로 널리 사용되고 있는 폴리에틸렌 필름을 袋狀으로 제작하여 热交換部로 사용한 逆流型 水膜式 热交換 시스템을 개발하고, 개발된 열교환 시스템의 열적 성능, 즉, 폴리에틸렌 필름 袋內 流下水量과 袋外側 풍속의 변화에 따른 열교환 능력 및 全熱交換係數를 분석하는데 그目的이 있다.

2. 研究史

태양 에너지를 이용한 온실의 축열 시스템은 집열 방식에 따라 크게 외부집열방식과 내부집열방식으로 나누어진다. 외부집열방식은 태양열 집열기와 같은 집열시설을 온실 외부에 설치하고 집열 시설에 의해서 저장된 에너지를 이용하여 온실 내부의 공기를 加溫시키는 방식이다. 이 방식은 집열기를 온실 외부에 설치하기 때문에 온실내 작물의 생육을 저해할 염려가 있으며 필요에 따라 집열 면적을 조절할 수 있는 장점을 지니고 있으나, 초기 시설 투자비가 많이 듈다. 한편, 내부집열 방식은 물, 토양 및 암석의 顯熱을 이용한 방식으로 축열 매체의 종류에 따라 水蓄熱 방식, 地中熱交換 방식 및 岩石蓄熱 방식으로 나누어진다.

주간에 온실 내로 투과되는 태양에너지를 온실 내의 地中에 저장한 후 야간에 저장된 에너지를 방열시켜 온실 내의 공기를 가온시켜 주는 지중열교환 방식은 山本雄二郎(1966)에 의해서 처음으로 시도되었다. 그는 内徑 8cm의 土管을 온실내의 지중 1.1~1.2m의 위치에 40cm간격으로 10개를 매설하고 송풍기에 의해서 주간에 일사량에 의해서 가온된 공기를 유입시켜 공기가 토판을 통과하는 동안 공기와 토양 사이에 열교환이 이루어져 지중에 에너지가 저장되고, 야간에는 반대로 지중에 저장된 에너지를 방열시켜 온실 내부를 가온시키는 방식을 제시한 것이다. 山本雄二郎(1973, 1979, 1985)은 계속하여 지중열교환 방식을 온실 난방에 적용할 경우의 열교환 특성을 구명하였고, 지중열교환 방식의 최적가동 조건을 구명하기 위하여 열교환 파이프의 구조, 재질 및 소요량, 송풍기의 용량과 설치 방법 및 지중열교환 온실의 적용 지역을 선정하기 위한 기준을 제시하였다.

高倉直과 山川建一(1981)은 지중열교환 방식의 설계 기준을 제시하고자 지중에 매설되어 있는 파이프 주변의 열흐름을 一次元으로 가정한 定常 狀態의 模型을 개발하였다. 그는 개발된 모형에 기초하여 파이프의 직경은 11cm가 적당하며 파이프의 재질과 두께가 온실내의 기온에 미치는 영향은 무시할 만큼 작은 것으로 보고하였다. 또한, Takakura等 (1982)은 지중에 매설된 파이프 둘레의 20cm 이내에 에너지가 유효하게 저장됨을 확인하였고, 파이프의 간격이 40cm 일때 열저장 효과가 최대임을 보고하였다.

山本等(1977)은 발전소의 溫排水를 난방 열원으로 사용하고자 온실내의 水槽에 염화 비닐 파이프를 설치하고 파이프 내부를 통과하는 공기와 수조의 溫水 사이에 열교환이 이루어지는 방식을 검토한 결과, 溫排水 또는 지하수와 같은 저온 热源으로부터 열을回收하여 난방 열원으로 사용하는 간접 열교환 방식의 이용 가능성을 제시하였다.

古在等(1983)은 물을 축열매체로 이용하여 내부집열형 水蓄熱방식에 의한 탱양열 난방 온실의 열적 성능을 분석한 결과, 태양열 난방 온실에서 축열 시스템의 열적 성능의 향상과 저렴한 시설비를 고려할 때 수조를 축열 시스템으로 이용하는 것이 바람직하다고 보고하였다. 더구나, 수축열 방식의 축열량 및 방열

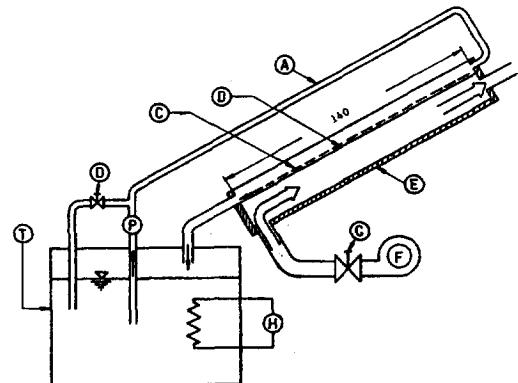
량을 측정하는 수온의 변화로부터 비교적 쉽게 계산할 수 있어 정확한 열적 성능의 평가가 가능함을 확인하였다. Kozai 等(1986)은 以前 실험과 달리하여 송풍기를 수조의 중앙에 설치하고 공기의 출구를 수조의 양단에 설치함으로써 파이프 내의 마찰 손실을 감소시켜 결과적으로 파이프내의 송풍량이 증가하도록 측열 시스템을 개선하였다. 개선된 측열 시스템을 두께 0.15mm의 polyester 필름을 피복재로 사용한 二重커텐의 태양열 난방 온실에 적용한 결과, 실험 기간동안의 온실과 수조의 평균 집열효율을 각각 0.13 및 0.08로 보고하였다. 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 보고하였다.

岡野와 山本(1986)은 플라스틱 온실의 피복재로 널리 이용되는 폴리에틸렌 필름을 열교환부로 제작한 水膜式 열교환 시스템을 개발하였다. 그들은 온실의 보온 효과 및 온실 내의 작업성을 고려하여 측열조를 제작하고 수경 재배용 태양열난방 온실에 적용한 결과, 실험 기간의 평균 집열효율, 성능계수 및 절유율은 각각 0.18, 4.2 및 0.77로 나타나 수경재배용 bed의 측열조로의 사용 가능성을 확인하였다. 한편, 성능계수는 온실 외부의 일적산일사량에 비례하여 증가하는 경향을 나타내었다고 보고하였다.

3. 材料 및 方法

가. 水膜式 热交換 시스템의 構造

폴리에틸렌 필름 袋를 이용한 水膜式 热交換 시스템의 개발에 앞서서 폴리에틸렌 필름의 热交換部로의 적용 가능성을 검토하기 위하여, 그림 1과 같이 폴리에틸렌 필름 面에서의 열교환량을 측정하기 위한 실험장치를 제작하였다. 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 열교환량의 측정부는 두께 10mm의 합판과 두께 25mm의 斷熱材로 이루어진 箱子型으로서 上面의 유리덮개 하부에 두께 0.05mm의 폴리에틸렌 필름을 늘어뜨리고 열교환부는 水平面과 30度의 경사를 이루도록 설치하였다. 水槽에 담겨있는 물은 250Watts 용량의 순환 펌프에 의해서 열교환부 上端으로부터 공급되어 폴리에틸렌 필름 上에 균일한 水膜을 이루어 流下되며, 水膜을 형성시킬 수 없을 정도로 과다하게 공급되



A : water inlet pipe
 B : polyethylene film
 C : water film
 D : water flow rate control valve
 E : insulation material
 F : fan
 G : air flow rate control valve
 H : electric heater
 P : circulation pump
 T : water storage tank

Fig. 1. Experimental apparatus for the measurement of heat exchange rate with polyethylene film.
 (unit : cm)

는 水量은 水量調節밸브에 의해서 수조로 되돌아가도록 하였다. 한편, 공기는 140watts 용량의 송풍기에 의해서 열교환부의 下端으로부터 폴리에틸렌 필름에 송풍되어 水一空氣 사이에 열교환이 이루어지도록 하였다. 또한, 水溫을 일정 수준으로 상승시키기 위하여 2KW용량의 전열기 (electric heater)를 수조 내에 설치하였다.

본 실험에서 고안한 열교환기는 물과 공기가 相互反對 方向으로 흐르므로 逆流型 热交換器 (counter-flow type heat exchanger)에 해당한다.

나. 热交換 시스템의 热交換量

1) 폴리에틸렌 필름面의 热交換量

본 실험에 사용된 폴리에틸렌 필름의 열교환량은 열교환기 입구와 출구에서의 空气 温度差와 送風量에

따라 다음 式으로 결정된다.

$$Q = \rho V C_p (\theta_2 - \theta_1) \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

Q : 열전달량 (KW)

ρ : 공기의 밀도 (kg/m^3)

V : 공기의 체적 유량 (m^3/sec)

C_p : 공기의 정압 비열 ($\text{KJ}/\text{kg}^\circ\text{C}$)

θ_1 : 열교환기 입구 기온 ($^\circ\text{C}$)

θ_2 : 열교환기 출구 기온 ($^\circ\text{C}$)

그림 1의 실험 장치를 이용하여 열교환부 입구와 출구에서의 氣溫 및 水槽에서의 水溫은 0.3mm copper-constantan 热電帶를 사용하여 측정하였다. 이를 각 부분의 온도는 multiplex data logger를 이용하여 10分 간격으로 기록하였다. 필름面의 풍속은 電壓調整器로서 조절하였으며 열교환부의 中央에서 inclined manometer와 pitot tube를 이용하여 측정하였다.

水溫과 氣溫의 差 (水一氣溫差) 및 풍속의 변화에 따른 폴리에틸렌 필름面에서의 單位面積當 热交換量을 그림 2에 나타내었다. 실험은 水一氣溫差가 6~14 $^\circ\text{C}$, 폴리에틸렌 필름面 풍속은 0.5~5.0 m/s 의 범위에서 수행되었다. 실험 결과, 水一氣溫差와 필름面의 풍속이 클수록 폴리에틸렌 필름面에서의 열교환량이 증가하였다.

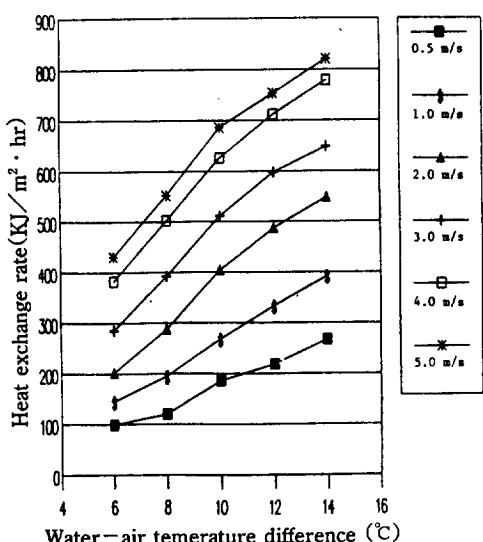


Fig. 2. Effect of air velocity on heat exchange rate according to water-air temperature difference in counter-flow type heat exchanger with polyethylene film.

2) 폴리에틸렌 필름 袋의 热交換量

그림 1에서와 같이 폴리에틸렌 필름을 늘어뜨려 필름面을 사이에 두고 열교환이 일어나는 방식은 열교환 면적을 쉽게 조절할 수 없으며 compact한 열교환기로 造立하기가 곤란한 단점을 지니고 있다. 그러므로, 그림 3에서 보는 바와 같이 폴리에틸렌 필름을 袋狀으로 제작하여 폴리에틸렌 필름 袋의 上部로부터 물을 공급하여 袋內에 균일하게 얇은 水膜을 형성시키고,

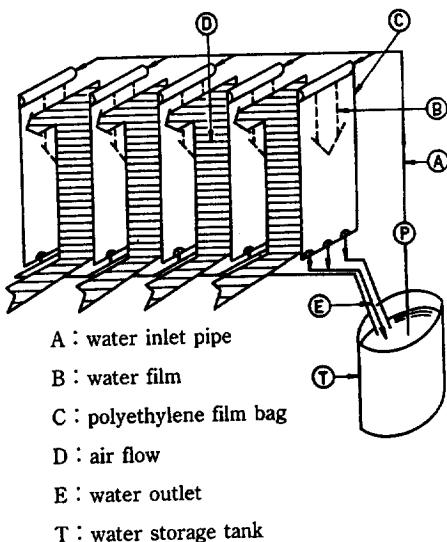
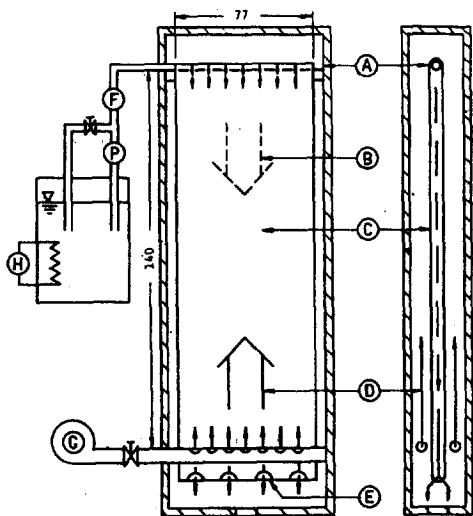


Fig. 3. Schematic diagram for counter-flow type heat exchanger with polyethylene film bag.

폴리에틸렌 필름袋의 下部로부터袋의 外側에 공기를 송풍시키면 물과 공기의 열교환은 逆流型을 이루며, 폴리에틸렌 필름袋의 兩面을 열교환면으로 이용하게 된다. 더구나, 所要 热交換面積에 따라 폴리에틸렌 필름袋의 所要 枚數를 쉽게 조절할 수 있는 利點을 지니고 있다.

폴리에틸렌 필름袋 내에 균일한 水膜을 형성하기 위해서 그림 4와 같이 給水 pipe上部에 5cm 간격으로 直徑 2mm의 구멍을 내고 물을 공급하면 袋狀의 폴리에틸렌 필름兩壁面에 얇은 水膜이 형성된다. 그리고, 그림 4의 실험 장치에 폴리에틸렌 필름袋 1枚를 설치하여 이 경우의 열교환량과 前章에서 구한 폴리에틸렌 필름面에서의 열교환량을 비교하기 위한 실험을 수행하였다. 그림 5에 폴리에틸렌 필름袋와 폴리에틸렌 필름面을 각각 열교환부로 사용한 경우의 열교환량을



A : water inlet pipe F : flow meter
 B : water film G : fan
 C : polyethylene film bag H : electric heater
 D : air flow P : circulation pump
 E : water outlet

Fig. 4. Experimental apparatus for the measurement of heat exchange rate in counter-flow type heat exchanger with polyethylene film bag.
 (unit : cm)

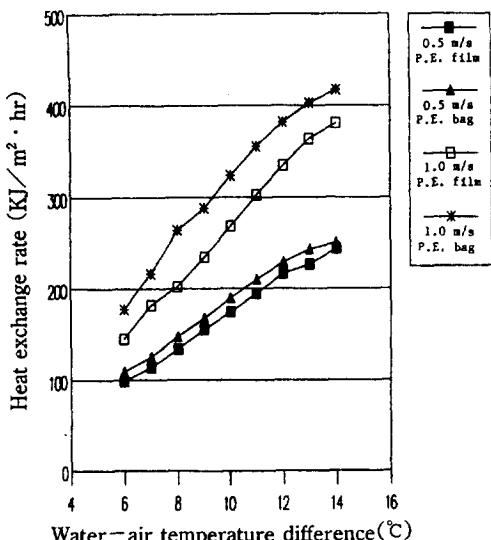


Fig. 5. Comparison of heat exchange rate with polyethylene film bag and polyethylene film according to air velocity and water-air temperature difference.

함께 표시하였다. 폴리에틸렌 필름 袋內의 流下水量 을 $5.0\ell/\text{m}^2 \text{ min}$ 으로 일정하게 유지시키고, 폴리에틸렌 필름面의 풍속을 0.5 m/s 와 1.0 m/s 의 두 水準으로 일정하게 유지시킨 가운데 水-氣溫差에 따른 단위면 적당 열교환량을 구하였다. 그림 5에서 보는 바와같이 폴리에틸렌 필름面의 풍속이 0.5 m/s 일 때 폴리에틸렌 필름 袋의 열교환량과 폴리에틸렌 필름의 열교환량은 거의同一한 값을 갖는 것으로 나타났으나, 폴리에틸렌 필름面 풍속이 1.0 m/s 일 때 폴리에틸렌 필름 袋를 사용한 경우의 열교환량이 폴리에틸렌 필름의 열교환량보다 $55\text{KJ}/\text{m}^2 \text{ hr}\%$ 오 높게 나타났다. 따라서, 폴리에틸렌 필름 袋를 이용한 열교환 방식이 폴리에틸렌 필름을 사용한 방식에 비해서 열교환 능력이 다소 높음을 알 수 있었다.

4. 結果 및 考察

가. 热交換 시스템의 流下水量과 热交換量의 關係

1) 폴리에틸렌 필름 袋內 流下水溫의 變化

폴리에틸렌 필름 袋內에 均一한 水膜을 형성시킴과 아울러 열교환 능력을 충분히 나타낼 수 있는 所要 流下水量의 最少 限界值는 폴리에틸렌 필름 袋를 사용한 열교환기에서 給水 펌프의 容量을 결정하는 데 필요한

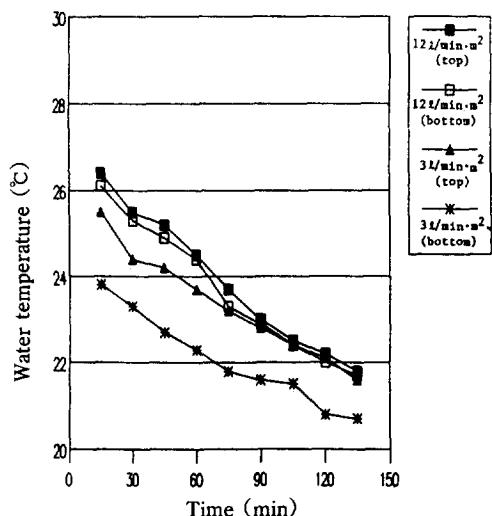


Fig. 6. Variation of water temperature according to the water flow rate and time in counter-flow type heat exchanger with polyethylene film bag.

事項이다. 그림 4의 실험장치를 이용해서 폴리에틸렌 필름 袋內의 流下水量의 변화에 따른 流下水溫의 측정 결과가 그림 6에 실려 있다. 그림 6에서 보는 바와 같이 流下水量이 $12.0 \text{ l/m}^2 \text{ min}$ 일 때 폴리에틸 필름 袋內의 上部와 下부의 水溫差은 거의 없었으나, 流下水量이 $3.0 \text{ l/m}^2 \text{ min}$ 일 경우에는 上부와 下부의 水溫差가 $0.9\sim1.7^\circ\text{C}$ 정도로 나타났다. 이러한 사실로부터 본 실험장치의 경우 $3.0 \text{ l/m}^2 \text{ min}$ 범위의 적은 水量에서 열교환 효과가 크게 나타남을 알 수 있었다.

2) 폴리에틸렌 필름 袋內 流下水量과 热交換量의 關係

폴리에틸렌 필름面 풍속을 0.5m/s 로 일정하게 유지하고 流下水量을 $3.0\sim12.0 \text{ l/m}^2 \text{ min}$ 범위로 공급하는 경우 水-氣溫差와 單位面積當 热交換量의 관계가 그림 7에 실려 있다. 水-氣溫差가 10°C 일 경우 流下水量이 $12.0 \text{ l/m}^2 \text{ min}$ 일 때와 $3.0 \text{ l/m}^2 \text{ min}$ 일 때 열교환량의 차이는 約 $32 \text{ KJ/m}^2 \text{ hr}$ 인 것으로 나타났다.

한편, 流下水量이 $3.0 \text{ l/m}^2 \text{ min}$ 以下에서는 水膜 형성이 균일하게 이루어지지 않을뿐더러, 열교환량도 적게 나타났다. 上의結果로부터 流下水量의 限界值는 約 $3.0 \text{ l/m}^2 \text{ min}$ 정도로推定되며, 균일한 수막 형성과 열교환 능력을 고려할 때 $3.0\sim6.0 \text{ l/m}^2 \text{ min}$ 的 流下水量이 적절한 것으로 판단되었다.

나. 热交換 시스템의 全熱交換係數

온실의 冷暖房 負荷에 적합한 열교환기의 설계를 위하여 폴리에틸렌 필름 袋의 全熱交換係數를 구해야 한다. 逆流型 热交換面에서 全熱交換係數는 열교환량의 實測值를 이용하여 다음 式으로 결정한다.

$$K = \frac{Q}{A \cdot LMTD} \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$LMTD = \frac{(\theta_{w1} - \theta_{a2}) - (\theta_{w2} - \theta_{a1})}{\ln\{(\theta_{w1} - \theta_{a2}) / (\theta_{w2} - \theta_{a1})\}} \quad \dots \dots \dots (3)$$

Q : 열교환량 (KW)

K : 全熱交換係數 (KW/m² °C)

A : 열교환 면적 (m²)

LMTD : 對數 平均 溫度差 (°C)

θ_{a1} : 열교환기 입구 기온 (°C)

θ_{a2} : 열교환기 출구 기온 (°C)

θ_{w1} : 열교환기 입구 수온 (°C)

θ_{w2} : 열교환기 출구 수온 (°C)

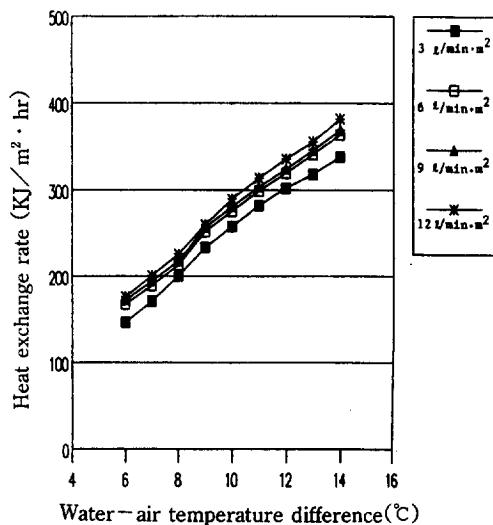


Fig. 7. Variation of heat exchange rate according to water flow rate and water-air temperature difference at air velocity of 1.0 m/s .

그림 8은 풍속의 변화에 따른 폴리에틸렌 필름 袋의 全熱交換係數를 나타낸 것이다. $0.5\sim4.0 \text{ m/s}$ 의 풍속의 범위에서 全熱交換係數는 $35.0\sim130.0 \text{ KJ/m}^2 \text{ hr } ^\circ\text{C}$

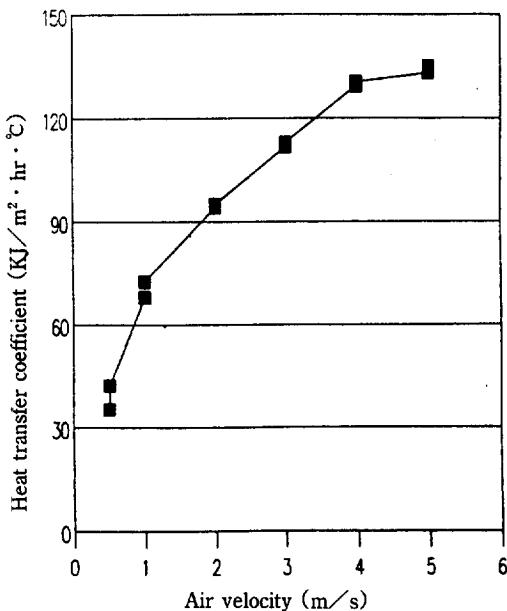


Fig. 8. Heat transfer coefficient in counter-flow type heat exchanger with polyethylene film bag.

의 값을 나타내고 있으며, 폴리에틸렌 필름面 풍속의 증가에 따라 全熱交換係數가 거의 直線的인 관계를 이루며 증가하는 경향을 나타내었다. 한편, 폴리에틸렌 필름面 풍속이 5.0 m/s以上이 될 경우 全熱交換係數는 거의 증가하지 않았다. 이것은 풍속이 증가할수록 強制對流에 의한 열교환이 활발하게 일어나나, 풍속이 一定限界值를 초과할 경우 열교환 과정이 일어날 수 있는 시간이 相對的으로 짧아지기 때문에 全熱交換係數가 증가하지 않는 것으로 판단되었다.

다. 热交換器 出口 氣溫의 決定

열교환기를 이용한 플라스틱 온실의 冷暖房 시스템을 설계하고자 할 때 열교환기의 出口 溫度가 중요한 설계 변수로 작용한다.

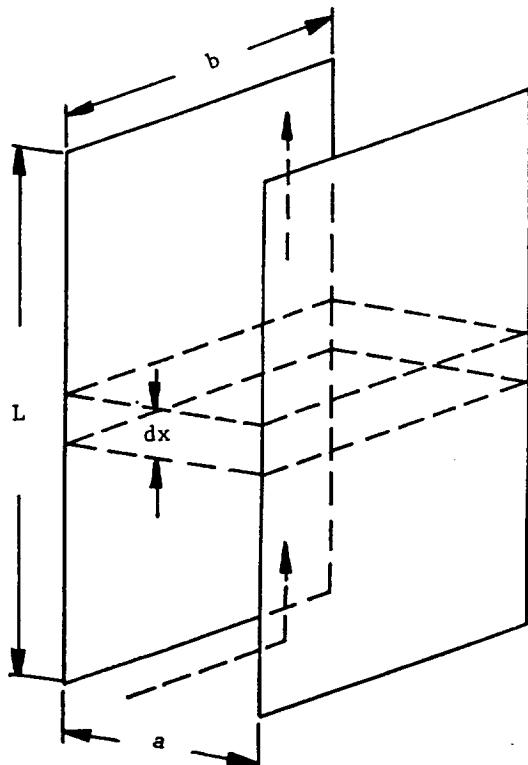


Fig. 9. Schematic diagram of control volume for the analysis of heat exchange in polyethylene film bag.

본 실험용으로 제작된 열교환기와 같이 平板型 热交換面으로 된 열교환기 출구의 氣溫은 다음과 같이

유도되는 理論式에 의해서 豫測할 수 있다. 그림 9와 같이 폴리에틸렌 필름袋 사이를 통과하는 공기는 微小區間 dx 를 진행하는 동안 폴리에틸렌 필름袋의兩面内를 흐르는 물과 열교환을 이루며 微小 溫度 $d\theta$ 만큼 변화한다. 폴리에틸렌 필름袋內의 流下水溫이 변화하지 않는다고 가정할 경우 열교환 과정의 열전달 관계식은 다음과 같이 표시된다.

$$\rho C_p a b V(\theta_a + \frac{d\theta_a}{dx} dx) - \rho C_p a b V \theta_a = 2b K(\theta_w - \theta_a) dx \dots (4)$$

式(4)를 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{2K}{\rho C_p a V} dx = \frac{d\theta_a}{\theta_a - \theta_w} \dots (5)$$

式(5)의 境界條件은 다음과 같다.

$$\theta_a = \theta_{a1} \quad \text{at } X=0$$

$$\theta_a = \theta_{a2} \quad \text{at } X=L$$

주어진 경계 조건을 이용한 式(5)의 解는 다음과 같은 형태로 표시된다.

$$\theta_{a2} = \theta_w - (\theta_w - \theta_{a1}) \exp \left(- \frac{2KL}{\rho C_p a V} \right) \dots (6)$$

ρ : 공기의 밀도 (kg/m^3)

C_p : 공기의 정압 비열 ($\text{KJ}/\text{kg}^\circ\text{C}$)

a : 폴리에틸렌 필름袋의 간격 (m)

b : 폴리에틸렌 필름袋의 폭 (m)

L : 폴리에틸렌 필름袋의 길이 (m)

K : 열교환계수 ($\text{KJ}/\text{m}^\circ\text{hr}^\circ\text{C}$)

V : 풍속 (m/s)

θ_a : 氣溫 ($^\circ\text{C}$)

θ_w : 水溫 ($^\circ\text{C}$)

θ_{a1} : 열교환기 입구 기온 ($^\circ\text{C}$)

θ_{a2} : 열교환기 출구 기온 ($^\circ\text{C}$)

열교환기의 출구 기온을 예측할 때 式(6)에 나타나는 全熱交換係數, K 는 그림 8로부터 풍속 $V=2.0 \text{ m}/\text{s}$ 에 해당한 값을 사용하였다.

그림 10은 열교환기의 출구 기온의 實測值와 式(6)에서 구한 豫測值의 관계를 나타낸 것으로서 예측치와

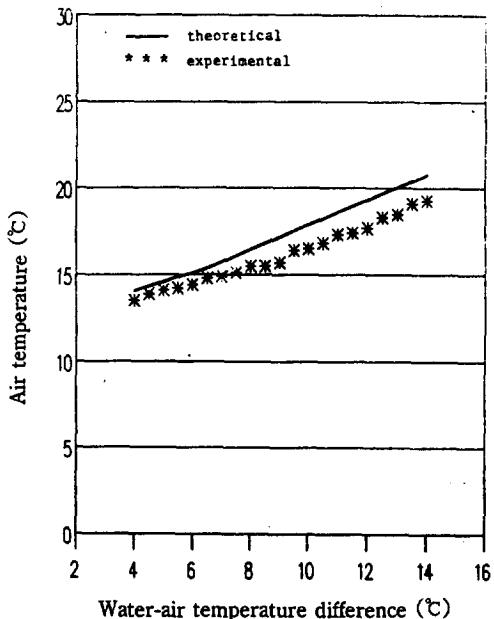


Fig.10. Comparison between experimental and theoretical values of outlet air temperature of heat exchanger.

실측치가 서로 근접한 것으로 나타났다.

라. 热交換 시스템의 有效性

열교환기의 열교환 능력을 분석할 때 對數平均溫度 差의 방법을 사용하는 것은 입구 및 출구의 온도가 알려져 있거나 또는 쉽게 알 수 있을 때 유용하다. 이 때에는 對數平均溫度差가 쉽게 계산되므로 열교환량, 열교환 면적 및 热交換係數를 결정할 수 있다. 그러나 주어진 열교환기에 대하여 입구 또는 출구의 온도를 결정해야 하는 경우에는 對數平均溫度差에 對數函數가 나타나므로 이 때의 열교환기의 解析은 보통 試行錯誤法을 사용한다. 이 경우 열교환량은 열교환기의 有效性(effectiveness)을 사용할 경우 쉽게 계산된다. 有效性은 형태가 다른 열교환기 가운데 특정의 열교환 목적을 이루는 데 적합한 열교환기의 선택시에 유용하다.

Kays 와 London(1964)은 傳達單位數(number of transfer units)와 作動流體의 容量比를 이용하여 逆流型 热交換器의 有效性를 다음과 같이 유도하였다.

$$\epsilon = \frac{1 - \exp(-NTU(1 - C_{min}/C_{max}))}{1 - (C_{min}/C_{max}) \exp(-NTU(1 - C_{min}/C_{max}))} \quad \dots(7)$$

NTU : 傳達單位數 ($= KA/C_{min}$)

K : 열교환계수 ($KJ/m^2 \text{ hr } ^\circ\text{C}$)

A : 열교환 면적 (m^2)

C : 작동 유체의 용량비 (M_c)

M : 작동유체의 질량유량 (kg/s)

c : 작동 유체의 정압비열 ($\text{KJ}/\text{kg } ^\circ\text{C}$)

式(7)에서 容量比 C 의 下添字는 용량비의 최소값 또는 최대값을 의미한다.

열교환기의 입구 기온을 12°C , 입구 수온을 24°C 로 가정한 경우 式(7)에 포함되어 있는 작동 유체의 용량비를 계산하면 C_{max} 와 C_{min} 은 각각 물과 공기의 용량비에 해당됨을 알 수 있다. 그럼 11은 傳達單位數에 따른 실험용 열교환기의 有效性를 나타낸 것이다. 여기에서 傳達單位數는 풍속에 따라 변화한다.

그림 11에서 볼수 있는 바와 같이 $0.5\sim 5.0 \text{ m/s}$ 의 풍속에 대응한 $0.6\sim 1.7$ 범위의 傳達單位數가 증가할 수록 有效性은 $0.40\sim 0.81$ 의 범위에서 증가하는 경향을 나타내었다.

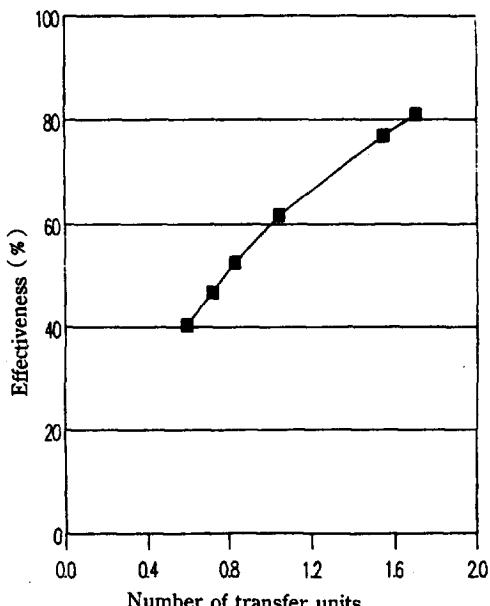


Fig.11. Variation of effectiveness according to the number of transfer units in counter-flow type heat exchanger.

4. 要約 및 結論

現在國內施設園藝 농가의 대부분을 차지하고 있는 플라스틱 온실의 被覆材 및 保溫材로 널리 이용되고 있는 폴리에틸렌 필름을 热交換面으로 사용하여 豊間의 온실 내부로 透過되는 태양에너지가 열교환 과정을 거쳐 축열조에 저장되는 逆流型 水膜式 热交換 시스템을 개발하였다. 개발된 水膜式 열교환 시스템의 热的性能을 평가하고자 水-氣溫差, 폴리에틸렌 필름 袋內 流下水量 및 袋外側 풍속의 변화에 따른 열교환 능력과 열교환계수를 분석하고, 열교환부의 균일한 수막 형성과 열교환량을 고려하여 폴리에틸렌 필름 袋內 適正 流下水量과 袋外側 풍속을 算定하였다.

또한, 온실의 暖房 시스템에서 설계 변수로 작용하는 열교환기의 出口 氣溫을 豫測할 수 있는 理論式을 유도하고 이론식에 의한 豫測值를 실험을 통한 實測值와 비교하였다. 한편, 열교환기의 열교환 능력을 분석하기 위한 방법으로 有效性을 사용하여 풍속에 대응하는 傳達單位數의 변화에 따라 실험用 열교환기의 有效性을 檢討하였다.

以上의 分析 結果를 要約하면 다음과 같다.

- (1) 폴리에틸렌 필름 袋를 열교환부로 사용한 경우의 열교환량과 폴리에틸렌 필름에서의 열교환량을 비교할 때, 필름面 풍속이 0.5 m/s 에서 열교환량이 거의同一하였으나, 1.0 m/s 의 풍속에서 폴리에틸렌 필름 袋를 사용한 경우의 열교환량이 폴리에틸렌 필름의 열교환량보다 $32\sim55 \text{ KJ/m}^2 \text{ hr}$ 정도 높게 나타났다.
- (2) 폴리에틸렌 필름 袋內에서 均一한 水膜 形成과 충분한 열교환 능력을 고려할 때 필요한 袋內 流下水量의 適正值는 $3.0\sim6.0 \ell/\text{m}^2 \text{ min}$ 인 것으로 나타났다.
- (3) 폴리에틸렌 필름面 풍속의 변화에 따른 폴리에틸렌 필름 袋의 全熱交換係數는 $0.5\sim4.0 \text{ m/s}$ 의 풍속의 범위에서 $35.0\sim133.0 \text{ KJ/m}^2 \text{ hr }^\circ\text{C}$ 의 값을 갖는 가운데 풍속의 증가에 따라 거의 직선적인 관계를 이루며 증가하는 경향을 나타내었다.
- (4) 열교환기의 出口 氣溫을 예측하기 위한 理論式을 설정하였으며, 실험을 통한 檢證結果豫測值와 實測值가 근접한 것으로 나타났다.
- (5) 실험用 열교환기의 有效性은 풍속에 대응한 傳達

單位數 $0.6\sim1.7$ 의 범위에서 $0.40\sim0.81$ 의 값을 갖는 것으로 나타났다.

參 考 文 獻

1. Kays, W.M. and A.L. London. 1964. Compact heat exchangers. McGraw-Hill Co., New York.
2. Kozai, T. 1985. Thermal performance of a solar greenhouse with an underground heat storage system. Proceedings of the international symposium on thermal application of solar energy. 503-508.
3. Kozai, T., K. Shida, I. Watanabe. 1986. Thermal performance of a solar greenhouse with water tanks for heat storage and heat exchange. J. Agr. Eng. Res. 33(2) : 141-153.
4. Takakura, T., H. Nishina, and K. Kurata. 1982. A simulation analysis of solar greenhouses with underground heat storage units. Energy conservation and use of renewable energies in the bio-industries 2. Pergamon Press.
5. 山本雄二郎. 1966. 地中-空氣熱交換の應用例. 農業氣象 22(2) : 77-79
6. 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. 農業氣象 29(1) : 11-15
7. 山本雄二郎, 岡野利明, 青木清. 1977. 間接熱交換方式による温排水利用温室について. 農業氣象 33(3) : 149-154.
8. 山本雄二郎. 1979. 地中熱交換ハウスに関する研究. 農業氣象 35(1) : 47-50
9. 高倉直, 山川健一. 1981. 地中熱交換ハウスの設計
1. 定常一次元 モデルによる解析. 農業氣象 37(3) : 187-196
10. 古在豊樹, 武内英雄, 岡崎誠司, 渡部一郎, 林真紀夫, 志田憲一. 1983. 内部集熱型水蓄熱方式による太陽熱利用温室の熱的性能. 農業氣象 38(4) : 361-369
11. 山本雄二郎. 1985. 地中熱交換温室. 農業氣象 41(3) : 273-280.
12. 岡野利明, 山本雄二郎. 1986. 水蓄熱型太陽熱温室
(1) 水耕栽培用 システムの熱特性. 農業氣象 42(1) : 19-27.