

地下水를 이용한 養液冷却시스템 開發에 關한 基礎研究

南相運 · 孫禎翼 · 金文基

서울대학교 農業生命科學大學 農工學科

A Fundamental Study on the Nutrient Solution Cooling System Utilizing Ground Water

Nam, Sang Woon · Son, Jung Eek · Kim, Moon Ki

Dept. of Agr. Eng., Coll. of Agr. & Life Sciences, Seoul Nat'l Univ., Suwon 441-744

Summary

Experimental and theoretical analyses were carried out to investigate the heat exchange characteristics of the nutrient solution cooling system utilizing ground water. The material of heat exchanger used in the experiment was polyethylene and the cross-flow type was adapted in which nutrient solution was mixed and ground water unmixed.

For the exchanger surface area of 0.33m^2 and flow rates of ground water of $1\sim 6\text{l}/\text{min}$, NTU(number of transfer units) and effectiveness of experimental heat exchanger were $0.1\sim 0.45$ and $10\sim 35\%$, respectively. Therefore these results showed that the hydroponic greenhouse of $1,000\text{m}^2$ (300 pyong) with the ground water of $10\text{m}^3/\text{day}$ could cover about $55\sim 70\%$ of maximum cooling load in summer.

키 워 드 : 양액냉각, 지하수, 직교류방식, 유효성, 전달단위수, 수경온실

Key words : nutrient solution cooling, ground water, cross-flow exchanger, effectiveness, NTU, hydroponic greenhouse

서 론

최근 국내에서는 식물생산시설의 단지화, 대형화와 함께 재배시스템에 있어서도 생육환경의 제어가 용이하고 토경재배에서 나타나기 쉬운 연작장애 등을 줄임으로서 주년안정생산에 적합한 수경재배 시스템의 도입이 증가하고 있다⁷⁾. 수경재배의 경우 액온은 기온의 영향을 받기 쉽고 여름철 고온기의 액온은 $29.5\sim 32.7^\circ\text{C}$ 까지 상승하는 것으로 관측되고 있다^{3,9,11,17)}.

이와 같이 높은 액온은 양액중의 용존산소량을 급격히 저하시켜 생육 억제작용이 크며, 뿌리의 병원균에 대한 침입저항도 저하시키므로 양액냉각에 의한 생육촉진 효과가 큰 것으로 보고되어 있다^{5,11,16,17)}.

한편, 우리나라의 기후조건하에서는 여름철 온실내에서 작물의 정상생육을 기대하기 어려우므로,

주년재배를 위한 여름철 온실내 환경의 적정화는 온실재배의 당면과제라 할 것이다. 더우기 막대한 일사부하로 인하여 온실 내부 온도의 상승을 방지할 수 있는 온실 냉방은 경제적으로 불가능한 실정 이므로 다른 방법을 강구해야 한다^{14,15)}. 그런데 수경재배에 있어서는 비교적 근권부 환경의 조절이 용이하므로 온실의 충분한 환기 및 차광과 더불어 양액의 냉각을 통하여 작물의 고온스트레스를 줄여 안정생산을 가능하게 할 수 있을 것으로 사료된다. 南等⁹⁾의 연구에 의하면 양액냉각의 효과가 근권부 환경의 개선 뿐만 아니라 작물체온의 강하에도 큰 영향을 미치고 있으며, 30°C 의 양액을 24°C 로 냉각해 줄 경우 최대 1.5°C 의 작물체온 강하효과가 있는 것으로 보고되고 있다.

국내에서도 지하수에 의한 양액의 냉각효과에 대한 실험에는 있지만, 전열 특성에 관한 분석이 없고, 막대한 양의 지하수를 이용해야 하므로 지

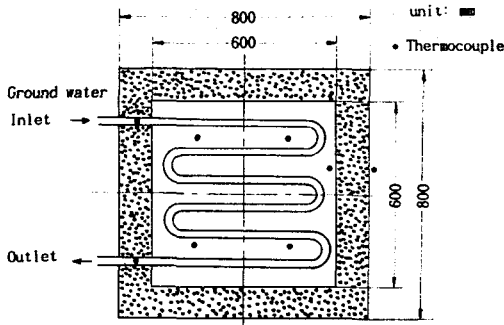
하수 부존량 및 채수가능량 등을 고려할 때 농가의 실용은실규모에서의 적용성 여부는 불투명하다¹¹⁾.

따라서 본 연구에서는 여름철 수경재배 온실의 효율적인 온도환경조절방법 개발의 일환으로 양액 냉각시스템의 개발을 위한 기초자료를 제공할 목적으로, 지하수를 이용한 양액냉각시스템을 구성하여 실험 및 이론적 해석에 의하여 열교환 특성을 분석하고, 그 적용성을 검토하였다.

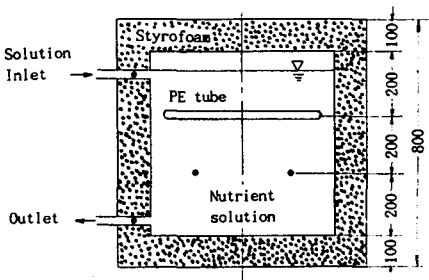
재료 및 방법

1. 실험장치 및 방법

실험장치의 구성도는 Fig. 1과 같다. 두께 1mm의 철판으로 600mm×600mm×600mm의 양액탱크를 만들고 그 주위에 두께 100mm의 styrofoam판으로 단열을 실시하였으며, 양액탱크내에 PE튜브를 설치하고 튜브내에 지하수를 순환시켜 열교환을 시키는 방식으로 하였다.



(a) a view from the upper side



(b) a view from the lateral side

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus.

히터로 양액을 가열하여 지하수와 온도차를 18°C 이상이 되도록 한 후 지하수 냉각에 의해 온도차가 8°C 이하로 될 때까지 실험을 행하였다. 양액의 순환은 재배시와 비슷한 조건이 되도록 펌프를 설치하여 1시간당 1회의 비율로 순환하도록 하여 Table 1과 같은 PE튜브 2종류에 5단계로 유량을 조절하면서 실험을 실시하였다.

Table 1. The size of polyethylene tubes.

Inside dia. (mm)	Outside dia. (mm)	Thickness (mm)	Length (m)
9.0	11.5	1.25	9.0
19.0	21.5	1.25	4.9

측정항목은 탱크내에 설치한 PE튜브내 지하수의 입구온도와 출구온도, 양액순환 파이프의 입구 및 출구온도, 탱크내 양액의 4점평균온도, 탱크 벽체 내외부의 온도를 0.3mm T형 열전대로 측정하였고, 지하수 순환유량은 유량계(SOM-1, 신한공기제품)로 측정하였다.

2. 전열특성 분석

1) 열교환량

본 실험에 사용한 냉각시스템의 열교환량은 PE 튜브의 입구와 출구에서의 온도차 및 통과유량에 따라 다음식으로 결정된다.

$$Q = m_w c_w (\theta_2 - \theta_1) \quad (1)$$

여기서, Q : 열교환량 (kJ/hr), m_w : 물의 질량유량 (kg/hr), c_w : 물의 비열 (kJ/kg°C), θ_1 , θ_2 : 튜브 입구와 출구의 온도(°C)이다.

2) 총합열전달계수

지하수와 양액은 PE튜브벽을 경계로 열교환이 이루어지기 때문에 양액에서 지하수로 전달된 열량은 총합열전달계수(overall heat transfer coefficient) 및 양액과 지하수의 평균온도차에 의해서 표시된다. 따라서 총합열전달계수는 열교환량의 실측치를 이용하여 다음식으로 결정할 수 있다.

$$U = \frac{Q}{A \cdot MTD} \quad (2)$$

여기서, Q : 열교환량 (kJ/hr), U : 총합열전달계수 (kJ/m²hr°C), A : 열교환면적 (m²), MTD : 평균온도차 (°C)이다. 이때, 평균온도차는 일반적으로 대

수평균온도차(logarithmic mean temperature difference)를 많이 사용한다. 그런데 양액의 온도차이는 지하수의 온도변화에 비하여 미소하므로 평균 온도차는 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$MTD = \frac{\theta_2 - \theta_1}{\ln \frac{(\theta_n - \theta_1)}{(\theta_n - \theta_2)}} \quad (3)$$

여기서, θ_n : 양액의 온도(°C), θ_1, θ_2 : 튜브 입구와 출구의 온도(°C)이다.

3) 열교환기의 유효성

일반적으로 실측치에 의한 열교환기의 유효성(effectiveness)은 다음과 같이 정의된다.

$$\varepsilon = \frac{\Delta T(\text{최소유체의 온도차})}{\text{열교환기 안에서의 최대온도차}} = \frac{(\theta_2 - \theta_1)}{(\theta_n - \theta_1)} \quad (4)$$

여기서, 최소유체란 작동유체의 용량비($m_w c_w$)가 최소인 유체를 의미하고, 본 실험에서는 지하수가 여기에 해당된다.

결과 및 고찰

1. 열손실율 및 전기전도도(EC)의 영향

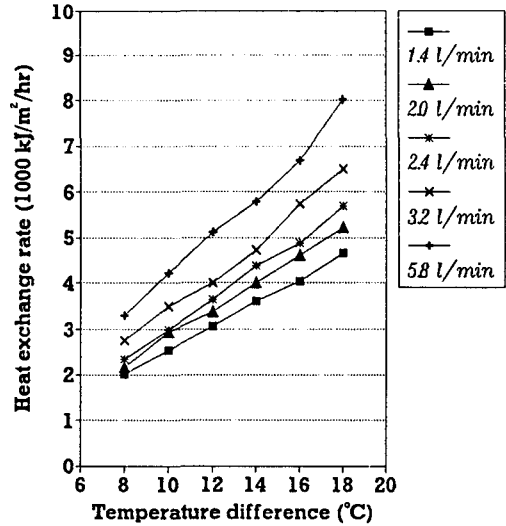
단열시킨 양액탱크 및 양액순환 파이프를 통한 열손실을 측정된 결과 양액과 탱크 외벽과의 온도차에 따른 본 실험장치의 총 열손실율은 약 5.9 kJ/hr°C이었다.

또한 양액의 농도에 따른 열용량의 차이를 고려하기 위하여 0.19, 1.67, 3.12 mS/cm 3종류의 EC에 대한 냉각실험을 실시하였다. 각각의 양액을 비이커에 담고, 40°C로 가열한 후 20°C 정도의 기온에 방치한 후 냉각과정을 열전대로 측정해 본 결과 EC의 차이에 따른 냉각상태의 변화를 거의 발견할 수 없었고, 따라서 양액의 농도에 따른 열용량의 차이는 무시하였다.

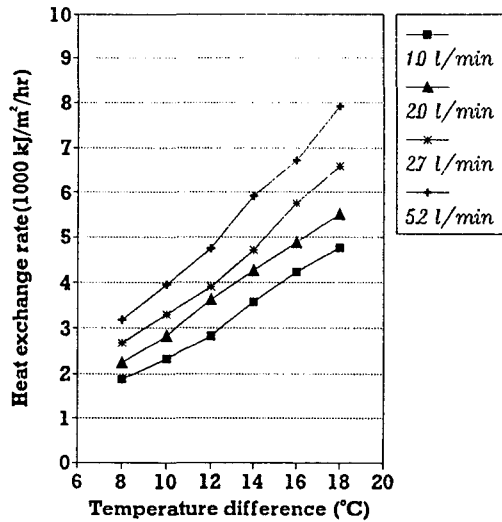
2. 냉각시스템의 열교환량

지하수와 양액의 온도차 및 지하수 통과유량의 변화에 따른 열교환부에서의 단위면적당 열교환량을 Fig. 2에 나타내었다. 실험은 지하수와 양액의 온도차가 8~18°C, 통과유량은 약 1~6 l/min의 범위에서 수행되었다. (a)는 내경 19mm의 튜브를 사용한 실험 결과로서 지하수와 양액의 온도차 및 지하수의 통과유량이 클수록 단위면적당의 열교환량은 증가하였다. 내경 9mm의 튜브를 사용한 실험(b)도 거의 비슷한 결과를 나타내었으나, 지하수

유량 4 l/min 이하에서는 내경 9mm를 사용한 경우가 19mm를 사용한 경우보다 같은 유량에 대하여 단위면적당 열교환량이 약간 크게 나타났다.



(a) Tube dia. 19mm



(b) Tube dia. 9mm

Fig.2 Heat exchange rates of cooling system with the temperature difference of ground water and nutrient solution given various flow rates of ground water.

3. 총합열전달계수

본 실험에 사용된 열교환부의 열교환 능력을 검토하고, 설계에 적용하기 위하여 이론치와 비교하였다.

PE튜브벽을 통한 양액과 지하수 사이의 총합열 전달계수는 튜브의 외부표면적을 기준으로 할때 다음식으로 표시된다.

$$U = \frac{1}{\frac{A_o}{A_i} \frac{1}{h_i} + \frac{A_o \ln(d_o/d_i)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_o}} \quad (5)$$

여기서, A_i, A_o : 튜브의 내표면적, 외표면적(m^2), d_i, d_o, L : 튜브의 내경, 외경, 길이(m), h_i, h_o : 튜브 내면과 외면의 대류열전달계수($kJ/m^2hr^\circ C$), k : 튜브 벽체의 열전도계수($kJ/m hr^\circ C$) 이다.

튜브 내면에서의 대류열전달계수는 강제대류로서 층류와 난류로 구분하여 아래의 관계식을 적용하였으며 천이영역에서는 이들의 가중평균치를 적용하였다. 관내부의 흐름이 난류($Re > 4000$)인 경우는 Dittus와 Boelter(1930)가 제시한 다음의 관계식을 적용하였다¹⁾.

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.3} \quad (6)$$

여기서, Nu : Nusselt 수, Re : Reynolds 수, Pr : Prandtl 수를 나타낸다.

관내부의 흐름이 층류($Re < 2000$)인 경우는 Sieder와 Tate(1936)가 제안한 다음의 실험식을 적용하였다¹⁾.

$$Nu = 1.86(Re \cdot Pr)^{1/3} \left(\frac{d_i}{L}\right)^{1/3} \quad (7)$$

한편, 튜브 외면에서의 대류열전달은 엄밀하게 강제대류에 속하지만 양액이 간헐적으로 순환되고, 또 시간당 약 0.7~1회 정도이므로 평균 유속은 미소하여 여기서는 자연대류로 간주하였다. 수평 원통으로부터 액체로의 자연대류열전달은 McAdams(1954)가 제안한 다음식으로 구하였다¹⁾.

$$Nu = 0.53(Gr \cdot Pr)^{1/4} \quad (8)$$

여기서, Gr : Grashof 수를 나타내고, 이상에서 정의된 Nusselt수를 이용하여 대류열 전달계수는 다음과 같이 구한다.

$$\bar{h} = \overline{Nu} \left(\frac{k}{d}\right) \quad (9)$$

여기서, \bar{h} : 평균 대류열전달계수 ($kJ/m^2hr^\circ C$), \overline{Nu} : 평균 Nusselt 수, k : 물의 열전도계수($kJ/m hr^\circ C$), d : 특성길이(튜브의 직경, m)이다.

또한, 튜브벽체의 열전도계수는 열전도율측정셀(JENWAY 7500)을 이용하여 실측한 값을 사용하였다.

식(2) 및 식(5)를 이용하여 구한 총합열전달계수의 이론치와 실측치의 관계는 Fig. 3과 같다. 층류영역에서는 실측치가 이론치에 비하여 약간 크게, 난류영역에서는 실측치가 이론치보다 약간 작게

나타났으나 비교적 잘 일치하였다.

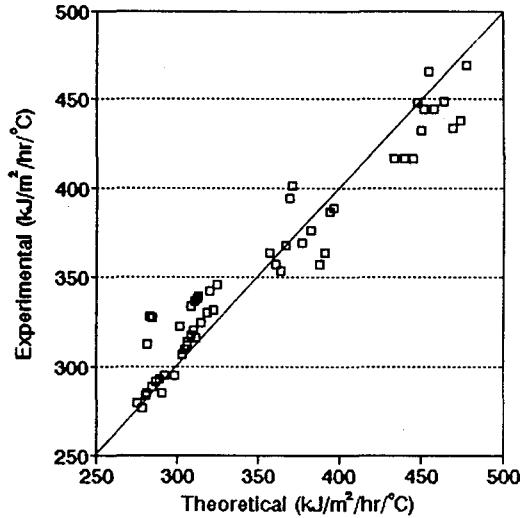


Fig.3 Comparison of experimental and theoretical values of overall heat transfer coefficient.

그리고 총합열전달계수는 Fig.4와 같이 튜브내의 유속 및 양액과 지하수의 온도차가 커짐에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 유속이 약 0.3m/s 이상에서는 열전달계수의 증가율은 현저하게 완만하였으며, 낮은 유속에서는 온도차에 따른 열전달 계수의 차이가 거의 없었다.

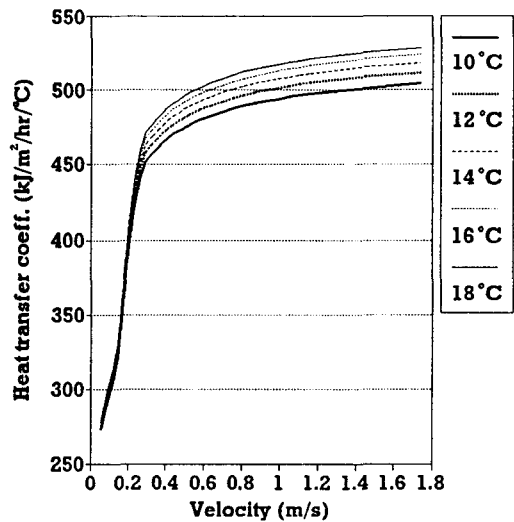


Fig.4 Heat transfer coefficients with the flow velocity in the tube given various temperature differences of groundwater and nutrient solution.

한편 튜브의 직경이 다른 실험결과에 대한 평균열전달계수의 변화를 살펴보면 Fig. 5와 같다. 4 l/min 이하의 적은 유량에서는 직경이 작은(9mm) 튜브의 총합열전달계수가 크게 나타났고, 4l/min 이상의 유량에서는 직경이 큰(19mm) 튜브의 열전달계수가 크게 나타났다.

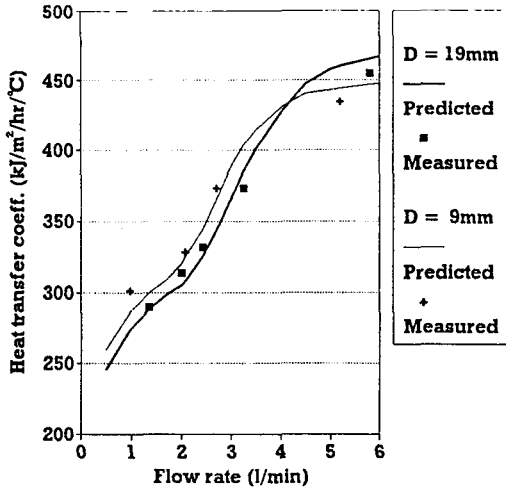


Fig.5 Heat transfer coefficients with the flow rates given various tube size.

4. 열교환기의 유효성

열교환시스템에서 요구되는 열교환량을 충족시키는데 필요한 열교환기의 크기나 유량 등을 결정하기 위하여는 유효성과 NTU(전달단위수, number of transfer units)관계가 매우 유용하다. 본 실험에 사용한 열교환 방식은 명확한 분류는 곤란하지만 이론치와 비교해 본 결과 직교류(cross flow) 방식과 거의 일치하였다. Kays와 London (1964)은 직교류(최대용량 유체는 혼합되고 최소용량 유체는 혼합되지 않는 경우)열교환기의 이론적인 유효성을 다음과 같이 유도하였다¹⁾.

$$\epsilon = (1/C) \{1 - \exp[-C(1 - e^{-N})]\} \quad (10)$$

여기서, $C = c_{min}/c_{max}$, c : 작동유체의 용량비(= $m_w \cdot c_w$), $N = NTU = UA/c_{min}$ 이다.

본 냉각시스템에서는 양액의 용량비가 c_{max} , 지하수의 용량비가 c_{min} 이 된다. Fig. 6은 식(4) 및 식(10)에 의한 열교환기 유효성의 실측치와 이론치를 비교한 것으로서, 전달단위수에 따른 실험용 열교환기의 유효성과 $C=1$ (두 유체의 용량비가 같은 경우) 및 $C=0$ (한 유체의 용량비가 다른 유체에 비하여 매우 큰 경우)에 대한 이론적인 유효성을

나타낸 것이다. 본 실험의 결과는 직교류 열교환기의 방식과 거의 일치하고 있는 것을 알 수 있다.

전달단위수는 열교환면적 및 튜브내의 통과유량에 따라 변화하고 유량이 커질수록 유효성은 떨어지며, 본 실험(열교환면적 $A=0.33m^2$)에서는 전달단위수 0.1~0.45에 대하여 유효성 10~35%의 범위를 보였다.

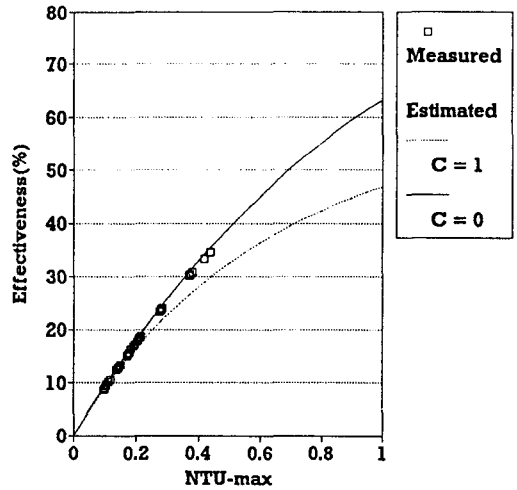


Fig.6 Effectiveness of the cooling system for the number of transfer units(NTU).

5. 적용성 분석

지하수를 이용한 본 냉각시스템의 적용가능성을 1000m²(300평) 규모의 온실(양액 탱크의 용량 30 ton)을 대상으로 검토해 보았다. 먼저 이용가능한 튜브의 규격은 생산회사에 따라서 내경 5mm~50mm, 두께 1mm~3mm까지 매우 다양하였다. 대표적인 것을 선정하여 이들에 대하여 탱크내 설치가능 용적 및 펌프(1 PS, 壓上高 28m 기준)의 도수 가능 수두를 고려하여 최대로 적용 가능한 튜브의 길이를 유량에 따라서 계산하였다. 유량이 작고 관경이 큰 경우는 탱크내 설치용적이 제한요인이 되고 관경이 작고 유량이 많아지면 관내 마찰등의 손실수두에 의한 저항이 제한요인이 된다. 여기에 사용한 손실수두는 다음식과 같다¹²⁾.

$$H_L = (f \frac{L}{d} + K_L) \frac{v^2}{2g} \quad (11)$$

여기서, H_L : 손실수두(m), f : 관의 마찰계수, K_L : 입구, 출구 및 만곡에 의한 손실계수 이다.

설치 가능한 최대길이를 적용한 경우 유량과 튜브

직경(두께는 모두 1.25mm)에 따른 전달단위수 및 유효성은 Table 2와 같다. 양액탱크내에 튜브의 설치에 따른 제한요인으로 인하여 유량이 2~3m³/hr인 경우는 튜브의 직경이 25mm(최대길이 130m)일때, 유량4~5m³/hr에서는 32mm(최대길이 100m)일때 열교환율이 가장 큰것으로 나타났다.

Table 2. Maximum number of transfer units (NTU) and effectiveness.

Tube dia. (mm)	Flow rate (m ³ /hr)				
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
15	0.70 (0.50) ²⁾	0.10 (0.09)	0.03 (0.03)	0.01 (0.01)	0.01 (0.01)
19	1.23 (0.70)	0.35 (0.29)	0.11 (0.11)	0.05 (0.05)	0.03 (0.03)
25	1.23 (0.70)	0.64 (0.46)	0.43 (0.34)	0.22 (0.20)	0.12 (0.11)
32	1.13 (0.67)	0.59 (0.44)	0.40 (0.33)	0.30 (0.26)	0.24 (0.21)
38	1.02 (0.63)	0.54 (0.41)	0.37 (0.30)	0.28 (0.24)	0.23 (0.20)
50	0.90 (0.59)	0.49 (0.38)	0.34 (0.28)	0.26 (0.22)	0.21 (0.19)

²⁾ : Effectiveness

Fig. 7은 직경 25mm 튜브에 대하여 지하수와 양액온도 차이가 14°C인 경우, 튜브의 길이 및 유량 변화에 따른 열교환율의 변화를 나타낸 것이다. 유량 및 튜브의 길이 증가에 따라서 열교환율은 증가하나 그 증가율은 감소하므로 필요한 냉각부하로부터 적절한 유량 및 튜브길이를 선택해야 한다.

본 냉각시스템의 검토에 적용하기 위하여 안정적으로 이용 가능한 지하수량을 문헌을 통하여 조사하였다. 농업용 지하수 개발현황을 보면 공당 1일 채수량은 대형관정 약 150-3000m³, 소형관정 약 80m³으로 평균 약 500m³정도이다. 한편, 발용수 용으로서 취락형 지하수 개발 가능량은 약 16200공으로, 1000m²(300평)당 약 10m³/day 정도가 이용

가능한 것으로 보고되어 있다¹⁰⁾. 이것을 1일 6시간 정도 양액냉각에 이용한다면 1시간에 최대 약 2m³ 정도까지 이용할 수 있게 된다.

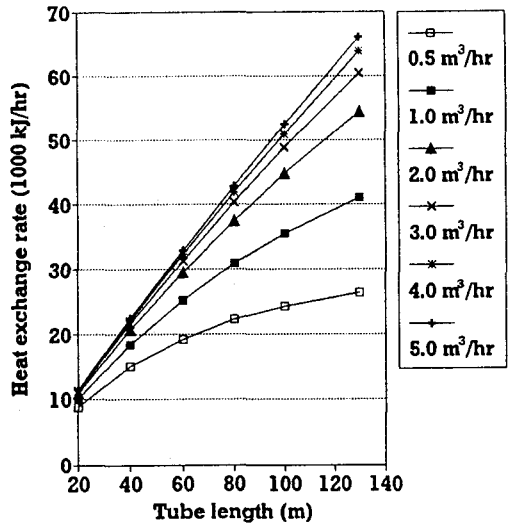


Fig.7 Variations of heat exchange rate for the various tube lengths.

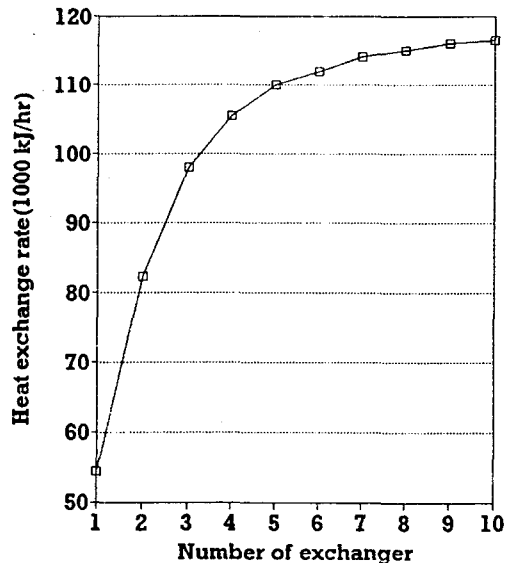


Fig.8 Change of heat exchange rate with the number of exchangers for flow rate of 2 m³/hr.

Fig. 8은 직경 25mm 튜브(길이 130m)를 여러개 설치하고 2m³/hr의 지하수를 각튜브에 균등하게

나누어 공급할 경우 열교환기의 설치수에 따른 열교환량의 변화를 나타내고 있다. 열교환기의 설치수에 따라서 열교환량은 증가하지만 상대적으로 열교환효율이 감소하므로, 설치비용 등 경제성을 고려하여 열교환기의 설치수를 결정해야 한다. 여기서는 2~4세트가 적당한 것으로 판단되며 이 경우에 2m³/hr의 지하수를 이용하여 82,300~105,400 kJ/hr의 열교환을 할 수 있게 된다. 이것은 여름철 수경온실에서 양액의 최대냉각부하(액온 계측예로부터 개략 추정값⁹⁾)의 약 55~70% 정도에 해당하는 값으로 양액의 온도를 27~28℃정도까지 유지할 수 있음을 의미한다. 또한, 지하수가 풍부한 지역에서는 본 냉각시스템 만으로도 충분한 양액의 냉각효과를 거둘 수 있을 것으로 판단된다. 보다 정확한 적용성 검토를 위하여는 지하수 이용가능량과 수온의 조사 및 냉각부하 산정에 관한 연구가 필요하다.

요약 및 결론

여름철 수경재배 온실의 양액 냉각 시스템을 개발하기 위한 기초자료 제공을 목적으로, 지하수를 이용한 양액냉각시스템을 구성하여 실험 및 이론적 해석에 의하여 열교환 특성을 분석하고, 그 적용성을 검토하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 600mm×600mm×600mm의 단열 양액탱크를 제작하여 지하수를 이용한 양액냉각 시스템을 구성하고, 열교환 튜브의 직경 9mm 및 19mm에 대하여 지하수와 양액의 온도차 8~18℃, 지하수 유량 1~6ℓ/min의 범위에서 열교환 능력을 실험한 결과, 온도차와 유량이 클수록 단위면적당 열교환량은 증가하였고, 유량 4ℓ/min 이하의 범위에서는 직경 9mm 튜브를 사용한 경우의 단위면적당 열교환량이 더 크게 나타났다.
2. 지하수와 접촉하고 있는 튜브내면에서는 강제대류로, 양액과 접촉하고 있는 튜브 외면에서는 자연대류로 간주하여 이론적으로 구한 총합열 전달 계수는 실험치와 잘 일치하였다.
3. 이론적인 열교환기의 유효성과 비교해 본 결과 본 연구에 사용한 열교환 방식은 직교류 열교환기의 유효성과 거의 일치하였다.

4. 열교환기의 유효성은 전달단위수에 따라 변화하며 본 연구의 실험규모에서는 전달단위수 0.1~0.45에 대하여 유효성 10~35%의 범위를 보였다.
5. 30ton 규모의 양액탱크에 설치할 경우 지하수 유량 2~3m³/hr에 대하여는 직경 25mm, 4~5m³/hr에 대하여는 32mm의 튜브를 사용할때 열교환율이 가장 큰 것으로 나타났다.
6. 1000m³(300평) 규모의 수경온실에 대한 적용성을 검토하였으며, 이때 이용 가능한 최대 지하수량은 약 2m³/hr였고, 여름철 양액 최대냉각부하의 약 55~70%를 냉각할 수 있는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Holman, J. P. 1990. Heat Transfer. McGraw-Hill Publishing Company.
2. 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.
3. Matsuoka, T. and H. Suhardiyanto. 1992. Thermal and Flowing Aspects of Growing Petty Tomato in Cooled NFT Solution during Summer. Environ. Control in Biol. 30(3) : 119-125.
4. McLendon, B. D., R. B. Dodd and J. M. Allison. 1981. Panel Heating Using Polyvinyl Chloride Pipes(PVC). Trans. of the ASAE 24(5) : 1287-1290.
5. Sasaki, K. and T. Itagi. 1989. Effect of Root Cooling Treatment of Nutrient Solution on Growth and Yield of Tomato, Cucumber and Melon. Environ. Control in Biol. 27(3) : 89-95.
6. Seki, H. and T. Komori. 1985. A Study of Extraction and Accumulation of the Heat Generated in Composting Process. Part 1. Experiments for Heat Extraction and Accumulation by Water Circulation. J. Agr. Met. 41(3) : 257-264.
7. 김문기, 남상운, 손정익. 1991. 태양에너지를 이용한 식물생산 시스템 내의 양액재배 환경조절에 관한 연구-국내 양액재배 실험농가의 실태조사. 한국 농업기계학회지 16(2) : 178-187.

8. 김용현, 고헌균, 김문기. 1990. 플라스틱 온실의 열저장 시스템 개발에 관한 연구(1). 한국농업기계학회지 15(1) : 14-22.
9. 남상운, 김문기, 손정익. 1992. 수경재배 시스템의 전열특성 및 양액냉각이 작물체온에 미치는 효과. 서울대 농학연구지 17(2) : 97-104.
10. 농림수산부, 농어촌진흥공사. 1991. 21세기 농어촌지역 용수수급 및 개발, 보전 세미나 결과보고서. pp. 237-293.
11. 박상근, 김광용, 이용호. 1990. 하절기 양액재배시 지하수를 이용한 액온강하 효과. 농시는 문집(원예편) 32(3) : 12-15.
12. 윤용남. 1990. 수리학(기초와 응용). 청문각. pp. 155-195.
13. 岡野利明, 山本雄二郎. 1986. 水蓄熱式太陽熱溫室 (1)水耕栽培用システムの熱特性. 農業氣象 42(1) : 19-27.
14. 古在豊樹, 權 在永, 林 眞紀夫, 渡部一郎. 1985. 溫室の冷房負荷に關する研究(1). 農業氣象 41(2) : 121-130.
15. 權 在永. 1988. 溫室の冷房負荷に關する研究. 東京大學 博士論文.
16. 橋 昌司. 1986. 養液栽培における環境要因と根の機能. 農業および園藝 61(1) : 223-228.
17. 吉田裕一, 大井美知男, 藤本幸平. 1987. NFTにおける培養液冷却の效果. 農業および園藝 62(5) : 650-652.

신 간 소 개

新制 施設園藝學

저 자 : 이병일 외 14명

출 판 : 향문사

발 행 년 도 : 1993년

〈내 용〉

- 시설의 종류와 구조
- 시설의 자재
- 시설의 구조설계
- 온도환경의 특성과 관리
- 광환경의 특성과 관리
- 공기환경의 특성과 관리
- 수분환경의 특성과 관리
- 토양환경의 특성과 관리
- 복합환경조절 및 관리
- 시설의 병충해 및 생리장해
- 양액재배와 식물공장
- 과채류의 시설재배
- 엽채류의 시설재배
- 근채류의 시설재배
- 화훼류의 시설재배
- 과수류의 시설재배

〈편집위원회〉