

여름철 유리온실의 증발냉각을 위한 설계기준안 연구

우영회 · 이정명 · 권영삼 · 남윤일 · 김형준 · 송천호 · 김동억
원에 연구소 시설재배과, 경희 대학교 산업대학 원예학과

Studies of standard design proposal for evaporative cooling in summer glasshouse

Woo, Young-Hoe · Lee, Jung-Myung · Kwon, Young-Sam · Nam, Yooun-Il
Kim, Hyung-Jun · Song, Chun-Ho · Kim, Dong-Eog
National Horticultural Reserch Institute, Kyung Hee University

실험목적

냉동기등의 냉방장치에 의한 온실의 기온하강은 주간에 과도한 일시부하로 인하여 경제적으로 불가능하기 때문에 현재 증발냉각법이 주로 이용되고 있다. 그러나 증발냉각법의 구체적인 설계기준안에 대한 국내연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구는 우리나라 기상여건을 고려하여 증발냉각법을 위한 설계기준안을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

본 실험은 三原 等(1976)이 제시한 VETH선도를 작성하는 열수지식을 기본적으로 이용하였으나 약간의 수정보완이 필요하였다. 그 이유는 여름철 온실의 최고기온은 최대 일사량에 의하여 좌우되므로 월평균 일사량으로는 다소 미흡하기 때문이다. 따라서 각지역의 외부 일사량은 峯切(1971)의 shooting point 이론에 근거하여 R_f' [(전 수평면 일사량의 최고 flux (ly/sec)] 를 실측 일조사수를 근거로 하여 최대수평면 일사량을 구하여 적용하였다.

VETH선도는 다음과 같은 4과정을 거쳐서 작성 되었다.

① 환기량에 의한 온실배기의 엔탈피 결정 ② 증발산량과 환기량에 따른 절대습도 결정 ③ 증발산량, 환기량, 절대습도에 의한 온도, 상대습도 결정 ④ VETH선도 작성. VETH선도 작성을 위한 대상온실의 재배조건은 농기보급형 유리온실(3-2G-3S, 3연동)을 기준으로 하였다. 실험대상지역은 서울, 서산, 대전, 대구, 전주, 광주, 부산, 진주, 제주 등 9지역을 선정하였다.

본 실험은 재현기간을 고려하여 작성하였으며 이들 지역의 7월 평균최고기온을 이용하였다. 농업통계 분야에서 광범위하게 이용되고 있는 확률 기상 값을 구하는 방법으로 經驗的 再現期間 決定法이 있다. 이 방법은 부여된 기상자료를 그 값의 크기에 따라 재배열하여 특정 기상 값의 재현기간을 구하는 것으로 그 공식은 다음과 같다.

$$T_j = \frac{2N}{2j - 1}$$

j : 부여된 기상자료에서 값의 大小 또는 高低 順으로 배열한 특정 값의 順位,
N : 統計年數, T_j : j번째의 기상 값의 再現期間 (년).

기상자료는 위식을 이용한 재현기간을 고려하여 지역별로 현재까지 조사 (1961~1994년)된 7월의 평균최고기온의 제 1순위의 극값을 이용하였다. 日射量과 相對濕度는 7월의 최고 평균기온 값이 제 1의 극값을 나타낸 시기의 7월평균 水平面日射量과 7월평균 최저 상대습도를 이용하였다.

三原이 제시한 VETH線圖에 관련된 方程式은 다음과 같은 과정으로 이루어졌다.

地中傳熱量과 作物의 光合成에 의한 固定에너지를 무시하면 온실의 열수지식은 다음과 같이 정의된다.

$$A_r R_n = A_w U (\theta_{in} - \theta_{out}) + A_r q \rho (i_{in} - i_{out}).$$

A_r 와 A_w : 온실의 床面積과 壁面積 (m^2), R_n : 온실내의 純放射 ($kcal m^{-2} min^{-1}$), U : 溫室壁面을 통과한 熱貫流率 ($kcal m^{-2} min^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$), θ_{in} 과 θ_{out} : 溫室內外的 氣溫 ($^\circ C$), $q = Q A_r^{-1}$: 換氣率 ($m^{-3} m^{-2} min^{-1}$), Q : 換氣量 ($m^{-3} min^{-1}$), ρ : 공기의 밀도 ($kg m^{-3}$), i_{in} 과 i_{out} : 온실내외의 엔탈피 ($kcal kg^{-3}$).

이에 근거하여 온실내부 엔탈피방정식은 다음 정렬식으로 표시할 수 있다.

$$i_{in} = i_{out} + \frac{R_n - A_w A_r^{-1} U (\theta_{in} - \theta_{out})}{q \rho} \text{-----}(1).$$

床面 純放射量은 다음과 같다.

$$R_n = a' \times S_{out}(1-b') \text{ -----(2)}$$

여기서 S_{out} : 각 지역 외부의 최고 수평면일사량 ($\text{kcal m}^{-2}\text{min}^{-1}$)으로 R_f' 로 代替, $a' = 0.65$, $b' = 0.1$ 로서 각각 유리온실에 관련된 상수로서 전자는 온실의 투과율에 후자는 床面 反射率에 관계한다.

$$\sum_{\text{day}} \circ R_s = R_f' \int_0^{\tau} \sin wt \, dt,$$

$$R_f' = \frac{\pi}{2\tau} \sum_{\text{day}} \circ R_s \text{ ly/sec -----(3)}$$

$\sum \circ R_s$: 總 水平面 日射量 (ly/day), τ : 日照時間, 可照時間 (=일조시간/일조율) (sec)
 $w = \pi/\tau$ 時刻 rad/sec, R_f' : 全 水平面 日射量의 最高 flux (ly/sec).

각지역의 외부의 최고온도와 최저상대습도를 가지고 濕空氣線圖表 및 관련된 방정식을 이용하여 절대 습도 (X , kg kg^{-1} , 혼합비), 비체적 (V , $\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$), 밀도 (ρ , 比體積의 逆數, kg m^{-3})를 계산할 수 있다. 환기율 q 는 인위적으로 일정하게 0.75, 1, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0 값을 적용하면 i_{in} 와 $(\theta_{in} - \theta_{out})$ 과의 관계가 밝혀지고 $(\theta_{in} - \theta_{out})=0^\circ\text{C}$, 10°C 로 하여 i_{in} 을 계산한다. 濕空氣線圖上에서 換氣率이 각각 0.75, 1, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0일 때 $(\theta_{in} - \theta_{out})=0^\circ\text{C}$, 10°C 으로 하여 나온 각각의 i_{in} 의 두점을 습공기선도표에서 연결하여 직선을 그으면 각 주어진 환기율에 있어서 외부기상 조건에 따른 온실의 排氣의 溫, 濕度 狀態를 나타내게 된다. 다음에 X_{in} 및 X_{out} 을 각지역별로 부여된 기상조건하에서 증발량 곡선을 구하기 위해 다음 식을 이용하였다.

$$E = \rho q(X_{in} - X_{out}),$$

$$X_{in} = \frac{E}{\rho q} + X_{out} \text{ (kg kg}^{-1}\text{) -----(4)}$$

E : 蒸發散率 ($\text{kg m}^{-2} \text{min}^{-1}$), X_{in} : 內部の 絶對濕度 ($\text{kg H}_2\text{O kg}^{-1}$), X_{out} : 外部的 絶對濕度 ($\text{kg H}_2\text{O kg}^{-1}$). E 의 값을 인위적으로 일정하게 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 18로 부여하여 X_{in} 을 구한다.

여기에서 각각 q 값과 X_{in} 값에 대응하는 Q_{in} (온도)과 RH_{in} (습도)를 습공기선도표에서 구한 다음 그 값을 이용하여서 각각 q 와 E 에 대응하는 Q_{in} 과 RH_{in} 과를 plot를 하면 점선군 (환기율)과 실선군 (증발산율)의 교점은 주어진 기상조건하에서 환기율 및 증발산율과 어떤 온도조건하에서의 배기 (내부기상 상태에 가까이)의 온습도 상태를 나타낸다.

결과 및 고찰

아직 국내에서 고온기인 여름철에 하우스의 利用效率를 높이기 위하여 온도하강을 할 경우 어떤 기준이나 지침이 전혀 없는 狀態이다. 따라서 본 실험은 하절기 하우스의 기온하강을 위하여 蒸發冷却法을 이용할 경우 이에 대한 설계기준안을 제시하기 위하여 수행하였다. 외국에서는 三原 等(1976)이 理論的인 모형식을 가지고 VETH선도를 작성하였다. VETH선도는 어떤 기상조건하의 溫室 換氣率(V), 室內蒸發散量(E), 排氣溫度(T), 濕度(H)의 相互關係를 표시한 線圖를 말한다. 증발냉각법 선택시 VETH선도의 구체적인 용도는 온실의 설정온도 유지를 위한 必要換氣率決定, 細霧冷房을 할 경우 必要換氣率과 細霧發生量의 결정, pad, mist의 필요환기율 결정, 창환기의 자연환기율 추정 등이 있다.

본 실험은 三原이 제시한 이론적모형식 (1,2,4식)과 峯切의 shooting point 이론에 근거한 모델식(3식)을 接木하여 국내 9지역(서울, 서산, 대전, 대구, 전주, 광주, 부산, 진주, 제주)의 VETH선도를 작성하여 제시하였으며 본 실험에 이용한 기상환경자료는 지역별로 현재까지 조사 (1961~1994년)된 7월의 평균 최고기온의 제1순위의 극값을 이용하였는데 각각 지역별로 그 이용 값의 재현기간을 보면 서울, 대구, 전주, 광주, 부산, 제주 등은 68년, 서산은 54년, 대전은 52년, 진주는 50년이었다.

본 절에서는 부산지역을 중심으로 활용 면을 논하겠다. 부산지역의 결과는 표 1, 2, 3과 그림 1에 있다. 표 1, 2, 3은 그림 1을 작성하기 위하여 (1), (2), (3)식과 峯切 (1971)의 shooting point 이론에 근거한 R_f' [(전 수평면 일사량의 최고 flux (ly/sec)] 모델식에 의하여 계산된 값이며 이 값과 濕空氣線圖表를 이용하여 그림 1이 作成된 것이다. 그림 1에서 부산지역 유리온실을 외기와 같은 수준인 31.4°C, 65%로 유지하기 위해서는 증발산량 약 $E=12.5 \text{ g/m}^2\text{min}$ 이 된다. 예를 들어 하절기 오이, 멜론재배시 온실의 bowen ratio은 약 0.7정도이다. 온실내의 증발산 $E_T=(R_n-\Delta T)/(1+\beta)$ 이다.

여기서 ΔT : 온도차(內外 溫度差는 0°C), β : Bowen ratio이다. 따라서 $E_T=7.6 \text{ g/m}^2\text{min}$ 된다. 加濕冷房에 필요한 증발수분량은 $A_f \times (E - E_T) = 1255.5 \times (12.5 - 7.6) = 6151.95 \text{ g/m}^2\text{min} \approx 6.2 \text{ kg/m}^2\text{min}$ 되므로 매분 6.2 l의 물을 증발시키는 것이 좋다. fog and fan법에서 대부분 노즐 분무수량의 약 50%만 細霧化되므로 사용수량은 12.4 l가 된다. pad and fan법에서는 蒸發噴霧水量의 약 10배 정도를 pad에 흐르게 하면 되므로 분당 62 l의 물을 사용하게 된다. 환기율을 $2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{min}$ 로 하면 {換氣量 $\text{m}^3/\text{hr} = \text{換氣率 } \text{m}^3/\text{m}^2\text{min} \times \text{床面積 } \text{m}^2 = \text{換氣回數 no./hr} \times \text{溫室容積 } \text{m}^3}$ 換氣量은 $2511 \text{ m}^3/\text{hr}$ 된다. fog-and-fan법에서 fog 노즐 수는 $N = A_f (E - E_T) / G_w$ 이다. 여기서 G_w 은 fog노즐의 분무수량 ($\text{g}/\text{m}^2\text{min}$)으로 $125 \text{ g/m}^2\text{min}$ 하면 약 49개가 필요하다. 이와 같이 VETH선도는 蒸發冷却法の 設計에 중요한 資料가 되므로 본 실험결과 VETH선도가 제시된 지역은 냉방장치 설계시 실질적인 지침으로 활용 가능할 것이다.

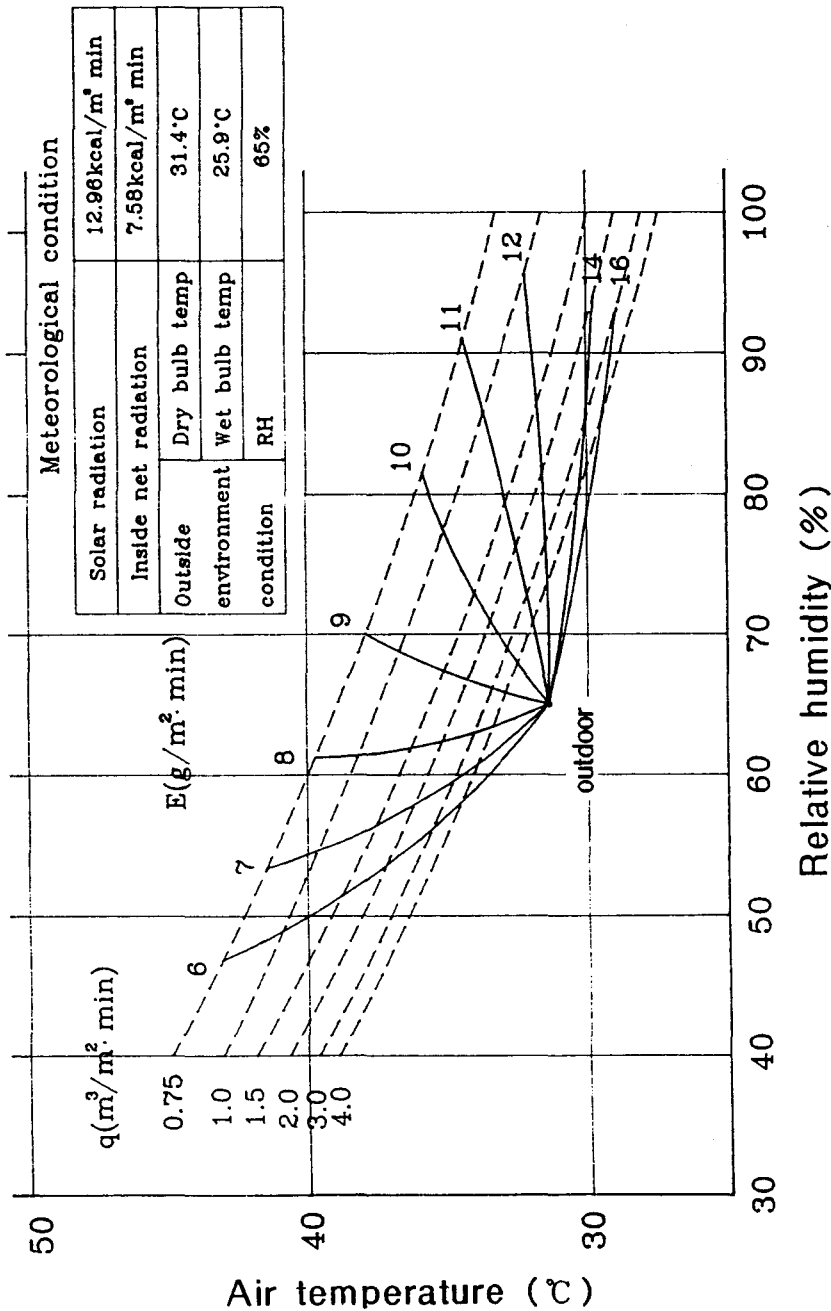


Fig. 1. Ventilation, evapotranspiration, temperature and humidity (VETH) plot of Pusan.

