

온실의 고온극복설비 용량 결정을 위한 열평형 모델의 적용

Application of Heat Balance Model for Determination of Facilities Capacity to Overcome High Temperature in Greenhouses

남 상 운

충남대학교 농공학과

Nam, Sang Woon

Dept. of Agricultural Engineering, Chungnam National University

서 론

여름철 고온기에 시설 이용율을 높이고 안정적인 생산을 하기 위하여는 적극적인 차광 환기시스템과 증발냉각시스템을 도입하는 것이 필요하다. 이러한 시스템을 도입하기 위하여는 적정 설비용량의 결정이 중요하며, 이는 지역별 외부의 설계 기상자료로부터 구할 수 있다. 차광환기시스템에서 차광율은 작물의 종류에 따라서 결정되어야 하며 따라서, 기본적으로 결정해야될 설계 인자는 목표온도를 달성하기 위한 필요환기율과 증발냉각시스템의 분무수량이다.

필요환기율과 증발냉각에 필요한 분무수량을 결정하기 위한 수식은 많지만 차광환기시스템과 패드시스템에만 적용이 가능하고, 포그시스템에 적용할 수 있는 VETH 선도는 작성이 번거로우며 모든 경우에 적용이 불가능하고 조건에 따라 각각 작성해야하는 불편이 있다. 패드시스템의 경우에는 측벽에 설치된 패드에서 증발이 일어나고, 냉각된 공기가 환기시스템에 의하여 실내로 유입되는 것이므로 일반 환기시스템과 비슷하다. 그러나 포그시스템의 경우에는 실내에서 분무되고 증발이 일어나므로 다른 식이 필요하다.

본 연구에서는 고온극복 방법별로 시스템의 설계제원 결정을 위한 열평형식을 구성하고 현장 실험을 통하여 적용성을 검토하였다.

재료 및 방법

1. 열평형식의 구성

온실의 고온극복방법은 차광환기시스템, 차광환기 패드시스템, 차광환기 포그시스템으로 설정하였으며, 미국 ASAE Standards의 열평형식을 기초로 수정식을 개발하였다.

1) 차광환기시스템

$$\alpha I_s A_f - UA_c (T_i - T_o) - \frac{QC_p}{v} (T_i - T_o) = 0 \quad (1)$$

$$\alpha = (1 - E)(r)(1 - r_s) \quad (2)$$

여기서, E는 태양복사에 대하여 작물의 증발산에 의해 잠열형태로 소비되는 에너지의 비

을, τ 는 피복재의 일사 투과율, r_s 는 차광율, I_s 는 외부 수평면 일사량(W/m^2), U 는 열관류율($W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$), A_f 는 온실의 바닥면적(m^2), A_c 는 온실의 표면적(m^2), T_i 와 T_o 는 실내 및 실외 설계온도($^\circ\text{C}$), Q 는 환기량(m^3/s), C_p 는 공기의 비열($J/kg\text{ }^\circ\text{C}$), v 는 실내공기의 비체적(m^3/kg')이다.

2) 차광환기 패드시스템

열평형식은 환기전열항의 T_o 대신 T_o' 을 사용한다.

$$T_o' = T_o - \epsilon(T_o - T_w) \quad (3)$$

여기서, T_o' 은 패드시스템의 출구온도($^\circ\text{C}$), T_w 는 외기의 설계 습구온도($^\circ\text{C}$), ϵ 은 증발냉각 효율이다. 증발수량(E_w kg/s)는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$E_w = \frac{Q}{v}(W_o' - W_o) \quad (4)$$

여기서, W_o 는 실외 습도비(kg/kg'), W_o' 은 패드시스템을 통과한 공기의 습도비이다.

3) 차광환기 포그시스템

열평형식은 식(5), 수분평형식은 식(6)으로 표현 할 수 있다.

$$aI_s A_f - \left(UA_c + \frac{QC_p}{v} \right) (T_i - T_o) - \lambda M = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\beta I_s A_f}{\lambda} + M - \frac{Q}{v} (W_i - W_o) = 0 \quad (6)$$

$$\beta = (E)(\tau)(1 - r_s) \quad (7)$$

여기서, M 은 포그노즐 분무량중 증발수량(kg/s), λ 는 수분증발잠열(2.5×10^6 J/kg), W_i 는 실내 습도비(kg/kg'); 목표 온도 및 상대습도로부터 계산), W_o 는 실외 습도비(kg/kg'); 설계용 기상자료로 제공 또는 건습구 온도로부터 계산)이다.

한편 식(4)와 식(5)를 연립으로 풀면 포그시스템의 필요환기율과 증발수량은 다음식으로 구할 수 있다. 공급수량은 증발수량을 증발효율로 나누면 된다.

$$Q = v \frac{(\alpha + \beta)I_s A_f - UA_c(T_i - T_o)}{C_p(T_i - T_o) + \lambda(W_i - W_o)} \quad (8)$$

$$M = \frac{Q}{v}(W_i - W_o) - \frac{\beta I_s A_f}{\lambda} \quad (9)$$

2. 열평형 모델의 검증 및 보정

1) 차광환기시스템의 열평형식 검증 실험

실험은 충북 음성에 위치한 아치형 3연동 온실(그림 1, 길이 80m, 면적 $1600m^2$)에서 5월중에 실시하였으며 실내외 온습도, 일사량, 환기창의 단면 풍속(환기량 계산)을 계측하였다. 재배작물은 포도(본엽 4~5매)였으며 환기량의 표준오차가 최소로 되는 E값을 추정하였다. 모델의 검증은 실내외 온습도와 일사량으로부터 환기량을 계산하고 실측치(풍속 측정치로부터 환산)와 비교하였다.

2) 차광환기 포그시스템의 모델 검증 및 적용

모델 검증을 위한 실험은 포그시스템이 가동중인 폭 6.5m, 길이 18m의 단동 유리온실 (처마높이 2.4m, 지붕높이 4.0m)에서 8월중에 실시하였다. 포그시스템 가동시의 열평형식에 의한 환기량 계산치와 실측치의 비교를 통하여 검증하였으며, 포그시스템의 실제 분무

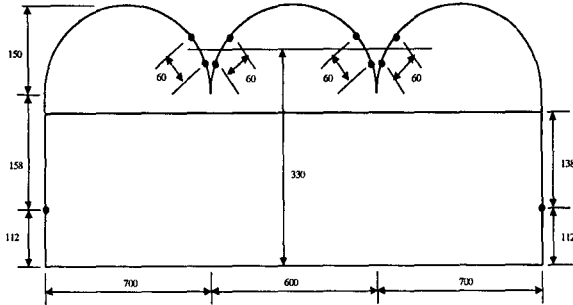


그림 1. 모델검증 실험온실 규격 및 천측창 개폐폭

량과 수분평형식에 의한 증발량을 비교하여 증발율을 검토하였다.

개발된 열평형 모델에 적용하여 표 1과 같은 6가지 조건에 대하여 각각 패드시스템과 포그시스템의 필요환기량 및 증발수량을 결정하고 비교하였다.

결과 및 고찰

열평형 모델에서 E값은 작물의 상태에 따라 달라지는 값이다. 본 실험에서는 환기량의 표준오차가 최소로 되는 값을 사용하였으며, 그림 2에서 보느냐와 같이 0.29로 추정되었다. 차광환기시스템의 열평형식을 이용하여 계산한 환기량(m^3/s)과 실측치를 비교한 결과 그림 2와 같이 비교적 잘 일치하였다($r=0.638$).

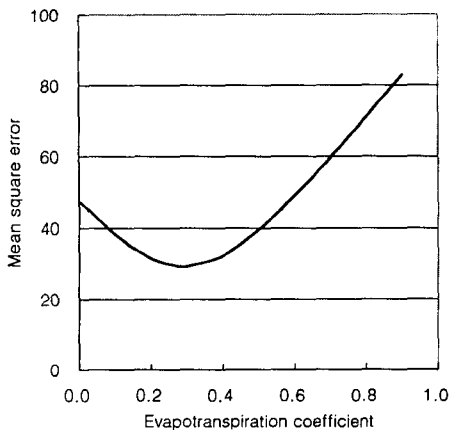


그림 2. 증발산비에 따른 표준오차의 변화 (E = 0.29로 추정됨)

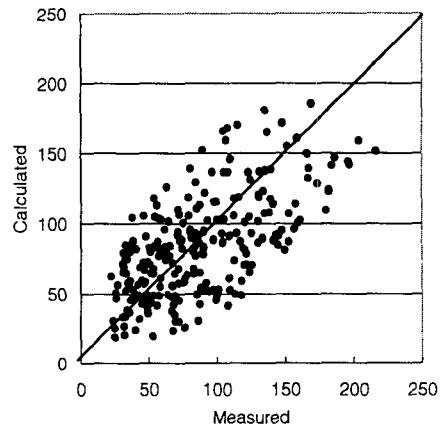


그림 3. 열평형 모델에 의한 환기량(m^3/s) 계산치와 실측치의 비교($r=0.638$)

포그시스템 가동시의 실험 온실은 각종 채소를 바닥 면적의 40% 정도에 재배하고 있었으며 E값은 0.25로 추정되었다. 그림 4는 차광환기 포그시스템의 열평형 모델을 이용하여 계산한 환기량과 포그시스템 가동온실의 환기량 실측 결과를 비교한 것이다. 환기창 단면 풍속을 1분 간격으로 측정하여 유량으로 환산($Q=AV$)한 값을 환기량의 실측치로 하였기 때문에 큰 차이를 보이는 부분이 일부 있으나, 비교적 잘 일치하는 것으로 판단된다.

포그시스템의 실제 분무량과 수분 평형식에 의해 구한 증발량을 비교하여 증발율을 검토해 보았다. 실험온실은 자연환기 상태에서 분무량 1.57g/s 인 노즐 32개를 설치하여 40초 분무, 1분 30초 정지를 반복하도록 타이머로 세팅되어 있다. 증발율은 최소 21.3%, 최대 96.1%, 평균 54.4%로 나타났다.

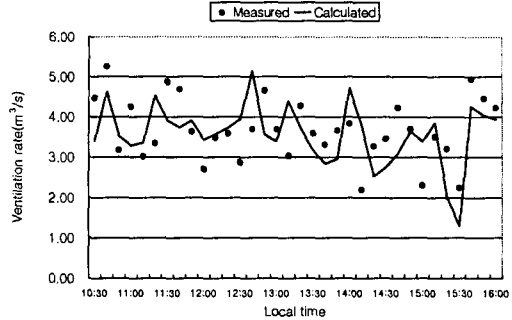


그림 4. 포그시스템 가동시의 환기량 계산치와 실측치 비교(2000년 8월 14일)

표 1은 온실의 고온극복설비 용량 결정을 위한 열평형 모델의 적용성을 검토하기 위하여 6가지 조건의 외부기상자료에 대하여 실내 목표온도를 32℃로 유지하는데 필요한 환기량과 증발수량을 구해본 결과이다. 설계조건은 2,000m²(평균높이 3m, 피복면적 3,000m²)의 플라스틱 온실(열관류율 6.8W/m²℃, 광투과율 0.88)에 E=0.3, 차광율 50%로 설정하였다. 일사량 900W/m², 35℃, 49.3%의 기상조건에서 실내온도를 32℃로 유지하기 위해서는 패드시스템에서 1.43회/min의 환기량과 28.15 ℓ/min의 증발수량이 필요하고, 포그시스템에서는 환기량 1.32회/min, 증발수량 25.54 ℓ/min가 필요한 것으로 나타났다. 패드시스템을 가동할 경우의 실내습도는 71.1~75.2%로 예측되었으며, 포그시스템은 이와 같은 조건의 습도에 해당되는 실내습도비를 입력자료로 사용하였다. 필요환기량은 5.1~7.7%정도, 증발수량은 6.8~9.3%정도 패드시스템이 포그시스템에 비하여 큰 것으로 나타났다.

표 1. 조건별 패드시스템과 포그시스템의 필요환기량 및 분무수량 비교

Case	외기설계자료				목표 온도 (℃)	실내 습도 (%)	패드시스템		포그시스템	
	일사량 (W/m ²)	건구 (℃)	습구 (℃)	습도 (%)			환기량 (회/min)	증발수량 (ℓ/min)	환기량 (회/min)	증발수량 (ℓ/min)
1	900	33	26	57.7	32	71.9	1.03	17.64	0.97	16.44
2	900	35	26	49.3	32	71.1	1.17	25.78	1.09	23.67
3	900	35	27	54.1	32	75.2	1.43	28.15	1.32	25.54
4	1,000	33	26	57.7	32	71.9	1.14	19.53	1.08	18.20
5	1,000	35	26	49.3	32	71.2	1.29	28.36	1.20	26.04
6	1,000	35	27	54.1	32	75.2	1.58	30.97	1.46	28.10

인용문헌

1. 김문기 외, 1997. 원예시설의 환경설계기준 작성연구. 농어촌진흥공사 농어촌연구원.
2. 남상운, 2000. 하절기 온실의 활용실태 및 몇가지 고온극복 방법별 열환경 분석. 한국 생물환경조절학회지 9(1) : 1-10.
3. ASAE, 1997. Heating, ventilating and cooling greenhouses. ASAE standards.
4. 武富 猛, 1979, 하우스의噴霧冷房による夏季高温對策, 農業および園藝 54 : 648-652.
5. 立花一雄 外, 1980, 施設園藝ハウスの設計と施工, オーム社.