Protected Horticulture and Plant Factory, Vol. 24, No. 3:147-152, September (2015)
DOI http://dx.doi.org/10.12791/KSBEC.2015.24.3.147
pISSN 2288-0992
eISSN 2288-100X

온실의 냉방부하 및 포그시스템의 증발효율 실험분석

남상운[1]* · 서동욱[2] · 신현호[1]
[1]충남대학교 지역환경토목학과, [2]충남대학교 농업과학연구소

Empirical Analysis on the Cooling Load and Evaporation Efficiency of Fogging System in Greenhouses

Sang-Woon Nam[1]*, Dong-Uk Seo[2], and Hyun-Ho Shin[1]
[1]*Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea*
[2]*Institute of Agricultural Science, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea*

Abstract. In order to develop the cooling load estimation method in the greenhouse, the cooling load calculation formula based on the heat balance method was constructed and verified by the actual cooling load measured in the fog cooling greenhouse. To examine the ventilation heat transfer in the cooling load calculation formula, we measured ventilation rates in the experimental greenhouse which a cooling system was not operated. The ventilation heat transfer by a heat balance method showed a relatively good agreement. Evaporation efficiencies of the two-fluid fogging system were a range of 0.3 to 0.94, average 0.67, and it showed that they increased as the ventilation rate increased. We measured thermal environments in a fog cooling greenhouse, and calculated cooling load by heat balance equation. Also we calculated evaporative cooling energy by measuring the sprayed amount in the fogging system. And by comparing those two results, we could verify that the calculated and the measured cooling load showed a relatively similar trend. When the cooling load was low, the measured value was slightly larger than calculated, when the cooling load was high, it has been found to be smaller than calculated. In designing the greenhouse cooling system, the capacity of cooling equipment is determined by the maximum cooling load. We have to consider the safety factor when installed capacity is estimated, so a cooling load calculation method presented in this study could be applied to the greenhouse environmental design.

Additional key words : cooling efficiency, design factor, greenhouse cooling, spray rate, ventilation rate

서 론

여름철 온실에서 작물을 재배하기 위해서는 냉방이 필수적이다. 특히 자동화 연동 플라스틱온실이나 유리온실과 같이 첨단화된 대규모 온실에서는 투자수익의 제고와 주년안정생산을 목표로 적극적인 냉방이 필요하다. 일반적으로 사용되고 있는 온실의 고온극복 방법으로는 환기, 차광, 증발냉각 등이 있으나, 40ºC에 가까운 고온 하에서는 증발냉각시스템이 효과적인 것으로 보고되어 있다(Sethi와 Sharma, 2007; Kim 등, 2015). 증발냉각시스템 중에서 세계적으로 가장 널리 사용되고 있는 것으로는 팬-패드시스템과 포그시스템이 있는데, 팬-패드시스템은 온도분포가 불균일한 단점이 있어 최근에는 상업용 온실을 중심으로 포그시스템이 더 많이 사용되고 있는 추세이다(Kittas 등, 2003; Abdel과 Kozai, 2006; Lee와 Kim, 2011; Nam 등, 2012).

우리나라 온실은 터널형 또는 아치형 단동 플라스틱 온실이 대부분을 차지하고 있으므로 냉방을 실시하는 농가는 거의 없고 대부분 고온기에 휴경을 하고 있는 실정이다. 여름철 재배를 하고 있는 134농가의 온실을 대상으로 냉방실태를 조사한 결과(Nam, 2000)에 의하면 플라스틱 온실에서는 냉방온실이 하나도 없고, 유리온실만 23농가(17.2%)에서 증발냉각시스템을 가동하고 있었다. 그러나 현대화 온실을 대상으로 한 최근의 조사(Nam 등, 2014)에 의하면 연동형 플라스틱 온실의 4%, 유리온실의 48%에서 냉방을 실시하고 있으며, 특히 유리온실의 40%에서는 지열히트펌프를 이용하고 있는 것으로 나타났다. 증발냉각의 효과가 인정되면서 자동화 온실을 중심으로 포그시스템의 도입이 늘고 있으며, 지열히트펌프로 난방을 실시하는 농가에서 동일한 시스템으로 냉방도 가능하기 때문에 히트펌프 냉방의 도입도 늘어나

*Corresponding author: swnam@cnu.ac.kr
Received June 26, 2015; Revised July 9, 2015;
Accepted July 22, 2015

는 추세로 판단된다(Lee 등, 2006; Kang 등, 2013).

증발냉각시스템이나 히트펌프 냉방의 도입을 위해서는 온실의 냉방설계를 통한 설비용량의 결정이 중요하다. 설비용량의 부족은 혹서기에 작물의 생장장해를 유발할 수 있으며, 설비용량의 과대설계는 설치비나 에너지효율 측면에서 불리하므로 정확한 냉방부하 산정을 통하여 적정 설비용량을 결정할 필요가 있다. 미국의 온실 냉방설계 기준은 강제환기와 증발냉각시스템으로 구성되어 있으며 열수지식을 이용하여 기온과 환기율 관계를 구하는 방법으로 설계한다(ASABE, 2008). 일본의 온실 냉방설계 기준은 증발냉각법으로 구성되어 있으며 VETH 선도를 이용하여 설계한다(JGHA, 2007). 미국의 방법은 강제 환기시스템과 팬-패드시스템의 설계에 편리하고, 일본의 방법은 포그시스템의 설계에 편리하다. 반면에 우리나라는 명확한 설계기준이 제시되어 있지 않다(Nam, 2013). 또한 최근에 지열히트펌프를 이용한 냉방이 보급되고 있는 추세를 감안하면 온실의 냉방부하 산정방법을 포함하는 새로운 설계기준의 제정이 필요한 실정이다.

본 논문에서는 온실의 냉방부하 산정방법 개발을 위하여 열수지 방법에 기초한 냉방부하 산정식을 구성하고, 냉방부하를 실측하여 검증하였다. 포그냉방 온실의 냉각열량은 포그분사에 의한 증발수량에 물의 증발잠열을 곱하여 구할 수 있다. 여기서, 증발수량은 포그 분사량에 증발효율을 곱하면 구할 수 있으며, 즉 분무수량을 계측하고 포그시스템의 증발효율을 알면 온실의 냉방부하를 실측할 수 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 실험온실에서 포그시스템의 증발효율을 실험하고, 실험온실의 열환경 계측과 더불어 포그 분사량을 계측하여 냉방부하 산정방법을 검토하였다.

재료 및 방법

냉방부하 계측을 위한 실험온실의 규격과 센서 배치도는 Fig. 1과 같고, 환경계측에 사용된 센서의 종류와 포그시스템 및 천창 환기팬의 사양은 Table 1과 같다. 실험온실은 대전 유성에 위치한 플라스틱 온실로 피복재는 0.1 mm PE필름이고, 지붕에 52 $m^3 \cdot min^{-1}$ 용량의 환기팬 3대가 설치되어 있으며, 개폐폭 1 m의 권취식 측창이 양쪽에 설치되어 있다. 재배작물은 토마토(품종: 다롱이)로 포트재배를 하고 있으며 2014년 5월 19일에 정식하였다. 냉방은 이류체 포그시스템을 사용하고, 실내온도 30ºC 이상이면 환기팬을 가동하고, 포그시스템 가동 조건은 온도 32ºC이상, 상대습도 90%이하로 설정하여 1분간 분무, 3분 정지로 세팅하였다. 냉방부하 실험은 2014년 6월 1일부터 2014년 8월 31일까지 수행하였다.

온실의 냉방부하는 냉방 온실의 환경계측 데이터를 이용하여 식 (1)로 구하였다.

$$H_g = H_s - H_r - H_c - H_v \quad (1)$$

여기서, H_g는 온실의 냉방부하(W), H_s는 온실 내로 유입되는 일사량(W), H_r은 작물의 증발산에 소비되는 열량(W), H_c는 온실 피복재를 통한 관류열량(W), H_v는 환기로 배출되는 열량(W)이다. 실내기온을 외기온보다 낮게 유지하면 H_c와 H_v는 냉방부하를 증가시키는 방향으로 작용한다.

$$H_s = \tau I_s A_s \quad (2)$$

$$H_r = f_p t_p H_s \quad (3)$$

$$H_c = U A_c \Delta t \quad (4)$$

$$H_v = \rho_i c_p V_r \Delta t \quad (5)$$

$$\Delta t = t_i - t_o \quad (6)$$

여기서, τ는 온실의 광투과율, I_s는 수평면 전천일사량($W \cdot m^{-2}$), A_s는 온실의 바닥면적(m^2), f_p는 온실의 바닥면적에 대한 작물 식재면적의 비, t_p는 작물의 증발산계수, U는 온실 피복재의 열관류율($W \cdot m^{-2} \cdot ºC^{-1}$), A_c는 온실의 피복면적(m^2), ρ_i는 실내공기의 밀도($kg \cdot m^{-3}$), c_p는 실내공기의 비열($J \cdot kg^{-1} \cdot ºC^{-1}$), V_r은 환기율($m^3 \cdot s^{-1}$), t_i는 실내기온(ºC), t_o는 실외기온(ºC)이다.

온실의 냉방설계에서 실외기온과 수평면일사량은 지역별 환경설계용 기상자료의 TAC 2.5% 사용을 권장한다. 단, 온실과 설비 투자수준에 따라 TAC 1%나 TAC 5%의 값을 사용할 수도 있다. 증발산계수는 작물의 종류나 생육단계 및 잎의 무성도에 따라 다르지만 냉방설비 용량을 결정하기 위한 부하 산정 시에는 0.5~0.6을 권장한다.

온실 내로 유입되는 일사량은 온실 내부의 작물군락 상부에서 계측한 일사량을 사용하였다. 실험 온실에서는 토마토를 재배하였고, 작물의 증발산에 소비되는 열량 산정에서 증발산계수는 0.6을 사용하였다(Nam 등, 2011). 온실 피복재를 통한 관류열량 산정에서 피복재의 열관류율은 6.2 $W \cdot m^{-2} \cdot ºC^{-1}$를 사용하였다(ASABE, 2008). 환기로 배출되는 열량은 환기율을 계측하여 식 (5)로 구하였다. 환기율 계측은 천장에 설치한 배기팬 가동시에는 배기팬의 용량으로, 배기팬이 가동되지 않을 때에는 측창에서 계측한 풍속을 이용하여 Nam 등(2011)의 방법으로 추정하였다.

먼저, 냉방을 실시하지 않은 상태의 실험온실 환경계

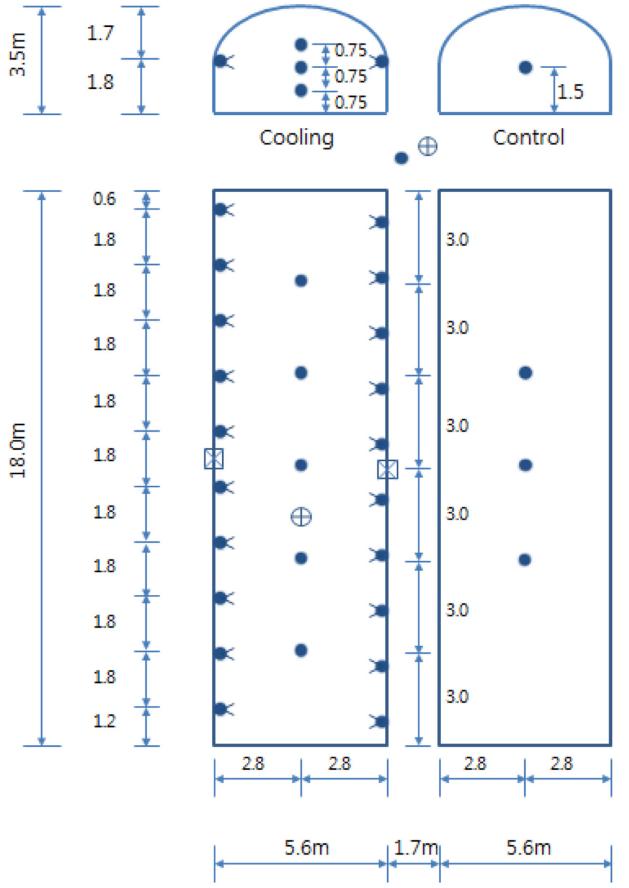

Fig. 1. Size of the experimental greenhouse and location of fog nozzles and sensors. The symbol ● is a thermohygrometer, ⊠ is an anemometer, ⊕ is a pyranometer, and ●< is a fog nozzle.

측 데이터를 이용하여 식 (1)의 냉방부하를 0으로 놓고, 환기로 배출되는 열량을 구한 후, 환기율 계측 결과를 이용하여 식 (5)로 구한 환기전열량과 비교하여 H_v항을 검증하였다. 냉방부하 계산 식(1)에서 H_s항과 H_r항은 일사량을 이용하므로 별도의 검증은 필요 없고, 설계 시에는 외부의 설계일사량을 이용하므로 피복재의 광투과율과 작물의 증발산계수에 대한 정확한 자료만 제공하면 된다.

온실의 냉방부하 산정방법을 검증하기 위하여 실험온실에서 포그 냉방을 실시하면서 환경을 계측하고, 포그시스템의 분무수량을 실시간으로 계측하였다. 식 (7)과 같이 분무수량에 물의 증발잠열과 포그시스템의 증발효율을 곱하면 증발냉각열량이 된다. 이 증발냉각열량과 실험온실의 환경조건에서 식 (1)로 구한 냉방부하를 비교하여 냉방부하 산정방법을 검증하였다.

$$H_w = 1000\lambda_w \varepsilon_f E_w \quad (7)$$

여기서, H_w는 증발냉각열량(W), E_w는 분무수량(L · s^{-1}), λ_w는 물의 증발잠열(kJ · kg^{-1}), ε_f는 포그시스템의 증발효율이다.

Table 1. Sepcifications of sensors, two-cluid fogging systems and roof ventilation fans.

Item	Component	Specifications
Sensors	Thermohygrometer	MicroLogPro II (Fourtec)
	Pyranometer	LP02/LI19 (Hukeseflux)
	Anemometer	CTV100 (Kimo instrument)
Two-fluid fogging systems	Diameter of nozzle	0.8mm
	Droplet diameter	20 to 40μm
	Water pressure	250 to 360kPa
	Air pressure	190 to 240kPa
	Spraying distance	6 to 8m
	Spraying amount	6.0L·h^{-1}
Roof ventilation fans	Diameter of fan	300mm
	Airflow rate (step 1)	12.3m^3·min^{-1}
	Airflow rate (step 2)	15.7m^3·min^{-1}

작물이 없는 상태에서 온실의 환기창을 모두 닫고 포그를 분사하면서 환경을 계측하여 포그 냉방시스템의 증발효율을 시험하였다. 증발효율(ε_f)은 다음 식 (8)로 계산하였다.

$$\varepsilon_f = \frac{H_t + V_t}{E_t} \quad (8)$$

여기서, H_t는 t시간 동안 절대습도 증가분(L), V_t는 t시간 동안 환기로 배출된 수분(L), E_t는 t시간 동안 포그시스템의 분무수량(L)이다. H_t와 V_t는 환경계측 데이터를 이용하여 다음 식으로 구하였다.

$$H_t = \rho_i V(\Delta W_i)_t \quad (9)$$

$$V_t = \rho_i V Q_t(W_i - W_o) \quad (10)$$

여기서, ρ_i는 실내공기의 밀도(kg·m^{-3}), V는 온실의 체적(m^3), Q_t는 t시간 동안의 환기회수(회), W_i와 W_o는 실내와 실외의 절대습도(kg · kg^{-1}), $(\Delta W_i)_t$는 t시간 동안의 실내 절대습도 증가분(kg · kg^{-1})이다.

온실이 개방되어 있는 경우에는 H_t가 매우 작기 때문에 환기중인 온실에서 증발효율은 다음 식으로 구한다 (Li와 Willits, 2008).

$$\varepsilon_f = \frac{V_t}{E_t} \quad (11)$$

한편, 이론적으로 냉방 가능온도에 대한 냉방효율(E_c)은 다음 식(12)로 구하였다.

$$E_c = \frac{T_{unfog} - T_{fog}}{T_{unfog} - T_{WBfog}} \times 100\ (\%) \quad (12)$$

여기서, T_{fog}, T_{unfog}, T_{WBfog}는 각각 포그냉방 온실의 건구온도(°C), 대조구 온실의 건구온도(°C), 포그냉방 온실의 습구온도(°C)이다.

결과 및 고찰

냉방을 실시하지 않은 상태에서 온실의 환경계측 데이터로부터 열수지식을 이용하여 환기전열량을 구하고, 환기량 실측 실험을 통하여 얻은 환기전열량과 비교한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 환기전열량은 온실내로 유입되는 일사량에서 작물의 증발산에 소비되는 열량과 온실 피복재를 통한 관류열량을 빼면 된다. 그림에서 보는바와 같이 열수지식을 이용한 환기전열량 예측은 비교적 양호한 결과를 보이는 것으로 판단된다. 온실의 환경설계에서 환기량을 예측하는 것은 상당히 어렵기 때문에 대부분의 연구에서 열수지 방법을 적용하고 있으며, 실제 추적가스법으로 실측한 환기율이 열수지식으로 구한 환기율과 잘 일치한다는 연구결과(Fernadez와 Baily, 1992; Willits 등, 2006)와 유사한 것으로 생각되며, 온실의 냉방시스템 설계에 적용할 수 있는 것으로 판단된다.

Fig. 3은 밀폐된 온실에서 포그 분사에 의한 절대습도 증가분과 환기로 배출된 수분 및 분무수량을 도시한 예이다. 환기로 배출되는 수분의 양은 밀폐온실에서 틈새환기율을 실측하여 식 (10)으로 계산하였다. 환기창을 모두 닫았을 때 실험온실의 틈새환기율은 1.05 h^{-1}로 나타났다. 포그시스템의 증발효율을 구하기 위하여 1회 40분씩 10회의 실험을 실시하였으며 그 결과는 Table 2와 같다. 실내의 절대습도 증가분을 고려한 이류체 포그시스템의 증발효율은 0.57~0.81의 범위를 보였으며 평균 0.67로 나타났다. 밀폐온실에서 시간이 경과하여 포차가 줄어들면 절대습도의 증가가 불가능하므로 연속적인 포그시스템 가동조건에서는 절대습도 증가분을 고려할 수 없다. 이 경우 밀폐온실에서의 증발효율은 0.25~0.69의 범위를 보였으며 평균 0.44로 나타났다.

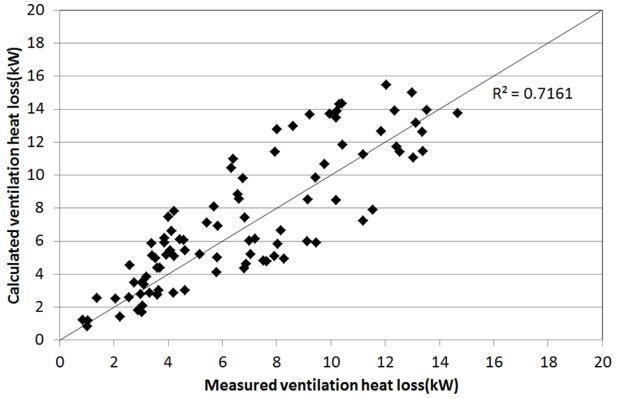

Fig. 2. Comparison of calculated and measured ventilation heat loss in the experimental greenhouse which was not operated any cooling system.

자연환기 및 팬 가동조건에서 식 (4)를 이용하여 구한 증발효율은 Table 3 및 Table 4와 같다. 본 실험에 사용한 이류체 포그시스템의 증발효율은 자연환기 조건에서 평균 0.50, 팬 가동 조건에서 0.83으로 나타났고, 환기율에 따라 0.30~0.94의 범위를 보였으며 평균 0.67로 나타났다. Li와 Willits(2008)이 미국에서 실험한 저압 포그시스템의 0.1~0.77(평균 0.39), 고압 포그시스템의 0.37~1.0

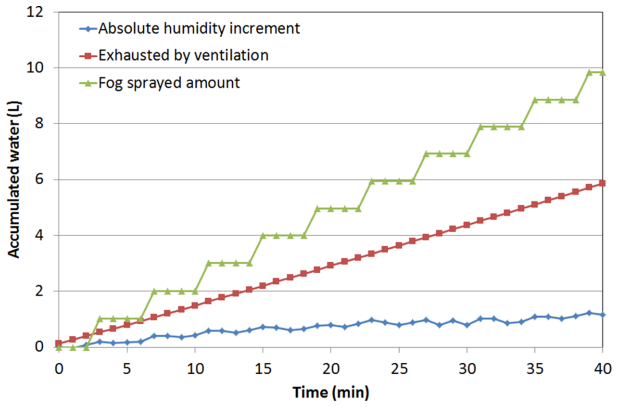

Fig. 3. An example of experiment on the evaporation efficiency and humidity increment by fogging in the greenhouse (No. 6).

Table 2. Experimental results of the evaporation efficiency on the closed greenhouse.

No.	Accumulated water (L)			Evaporation efficiency	
	Exhausted by ventilation	Humidity increment	Fog sprayed amount	Equation (1)	Equation (4)
1	2.865	2.652	7.920	0.70	0.36
2	4.496	2.257	9.480	0.71	0.47
3	5.574	1.403	11.138	0.63	0.50
4	2.367	3.053	9.113	0.60	0.26
5	4.528	2.998	12.218	0.62	0.37
6	5.854	1.164	9.833	0.71	0.60
7	6.632	1.183	9.623	0.81	0.69
8	2.659	4.281	10.860	0.64	0.25
9	4.371	1.567	8.520	0.70	0.51
10	5.460	1.730	12.570	0.57	0.43
Average	4.481	2.229	10.127	0.67	0.44

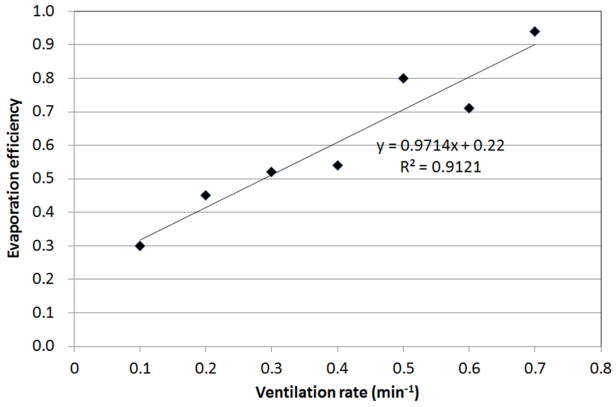

Fig. 4. Relation between ventilation rates of greenhouse and evaporation efficiency of fogging system.

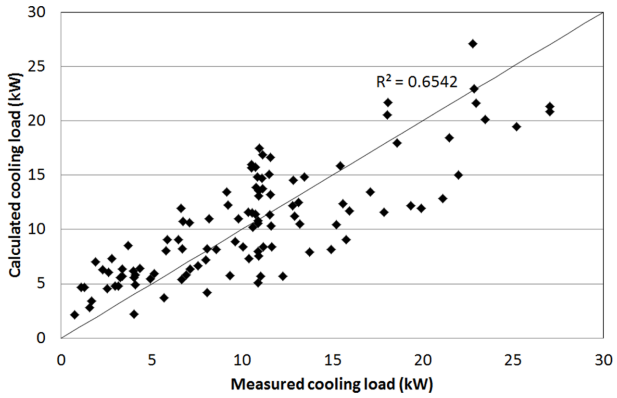

Fig. 5. Comparison of calculated and measured cooling load in experimental greenhouse equipped with fogging system.

Table 3. Eaporation efficiency and cooling efficiency according to the experimental conditions.

Experimental conditions	Average ventilation rate (min^{-1})	Evaporation efficiency	Cooling efficiency
Fog only	0.34	0.50	0.19
Fog and Fan	0.56	0.83	0.21
Total	0.45	0.67	0.20

Table 4. Evaporation efficiency and cooling efficiency according to the ventilation rates.

Ventilation rate (min^{-1})	Evaporation efficiency	Cooling efficiency
0.1	0.30	0.19
0.2	0.45	0.18
0.3	0.52	0.21
0.4	0.54	0.19
0.5	0.80	0.21
0.6	0.71	0.20
0.7	0.94	0.22
Average	0.67	0.20

(평균 0.71)과 비교하면 대체로 고압 포그시스템과 비슷한 결과를 보였다. 또한 Fig. 4와 같이 환기율이 증가함에 따라 증발효율도 커지는 것으로 나타났다. 냉방효율도 환기율에 따라 증가하는 경향을 보이고 있으나 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

본 연구의 재료 및 방법에서 제시한 냉방부하 산정방법(식 1)으로 실험온실의 냉방부하를 계산하여 실측 냉방부하와 비교하였다. 포그냉방을 실시하면서 온실의 환경을 계측하여 열수지식으로 냉방부하를 계산하고, 분무량 실측치로부터 증발냉각열량을 구하여 비교한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 냉방부하는 온실내로 유입되는 일사량에서 작물의 증발산에 소비되는 열량과 온실 피복재를 통한 관류열량 및 환기전열량을 빼면 된다. 본 실험 온실의 냉방부하 계산에는 환기전열량 검증실험에서 사용한 것과 동일한 매개변수를 사용하였다.

Fig. 5에서 보는바와 같이 냉방부하 계산치와 실측치는 비교적 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 냉방부하가 낮은 경우에는 실측치에 비하여 약간 크게 예측되었고, 냉방부하가 높은 경우에는 실측치보다 작게 예측되었다. 본 연구에서는 이류체 포그시스템을 사용하여 냉방을 실시하고, 분무수량을 실측하여 냉방열량을 산정하였다. 포그 노즐로 공급되는 파이프라인에 디지털 유량계를 설치하여 분무유량을 계측하였는데, 이류체 포그시스템은 포그 노즐에서 물방울이 떨어지지 않도록 분무가 정지되면 배수과정을 거치므로 이로 인해서 계측한 유량과 실제 분무한 유량 사이에는 약간의 차이가 있을 것으로 판단되며, 대체로 흡입 배수과정을 고려하면 실제보다 약간 크게 계측되었을 것으로 생각된다.

온실의 냉방시스템 설계 시에는 최대냉방부하를 이용하여 냉방설비의 용량을 결정하게 된다. 따라서 냉방부하 산정방법의 검증에서 더 중요하게 고려할 부분은 본 실험 중에서 냉방부하가 큰 쪽에서의 예측치가 될 것이다. 전체적으로 이 부분은 실측치에 비하여 최대 20% 정도 작게 예측되었다. 그러나 설비용량 산정시 안전계수를 20%정도 두는 것으로 고려하면 본 연구에서 제시한 냉방부하 산정방법은 온실의 환경설계에 적용할 수 있는 것으로 판단된다.

적 요

온실의 냉방부하 산정방법 개발을 위하여 열수지 방법에 기초한 냉방부하 산정식을 구성하고, 포그냉방 온실에서 냉방부하를 실측하여 검증하였다. 포그냉방 온실의

냉각열량은 포그분사에 의한 증발수량에 물의 증발잠열을 곱하여 구할 수 있다. 여기서, 증발수량은 포그 분사량에 증발효율을 곱하면 구할 수 있으며, 즉 분무수량을 계측하고 포그시스템의 증발효율을 알면 온실의 냉방부하를 실측할 수 있다. 따라서 온실의 냉방부하 실측을 위하여 실험온실에서 포그시스템의 증발효율을 실험하고, 실험온실의 열환경 계측과 더불어 포그 분사량을 계측하여 냉방부하 산정방법을 검토하였다. 먼저 냉방부하 산정식의 환기전열량을 검토하기 위하여 냉방을 실시하지 않은 상태에서 환기량 실측 실험을 통해 비교한 결과 열수지식을 이용한 환기전열량 예측은 비교적 양호한 결과를 보이는 것으로 나타났다. 이류체 포그시스템의 증발효율은 0.3~0.94의 범위를 보였으며 평균 0.67로 나타났고, 환기율이 증가함에 따라 커지는 것으로 나타났다. 포그냉방을 실시하면서 온실의 환경을 계측하여 열수지식으로 냉방부하를 계산하고, 분무량 실측치로부터 증발냉각열량을 구하여 비교한 결과 냉방부하 계산치와 실측치는 대체로 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 냉방부하가 낮은 경우에는 실측치에 비하여 약간 크게 예측되었고, 냉방부하가 높은 경우에는 실측치보다 작게 예측되었다. 온실의 냉방시스템 설계 시에는 최대냉방부하를 이용하여 냉방설비의 용량을 결정하게 된다. 따라서 냉방부하가 큰 쪽에서 실측치보다 작게 예측되는 부분은 검토가 필요하지만 설비용량 산정시의 안전계수를 고려하면 본 연구에서 제시한 냉방부하 산정방법은 온실의 환경설계에 적용할 수 있는 것으로 판단된다.

추가 주제어 : 냉방효율, 설계인자, 온실냉방, 분무율, 환기율

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ00941203)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature Cited

Abdel, A.M., and T. Kozai. 2006. Cooling efficiency of fogging systems for greenhouses. Biosystems Engineering 94: 97-109.

ASABE. 2008. Standard: Heating, ventilating and cooling greenhouses, ANSI/ASAE EP406.4. American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Fernandez, J.E., and B.J. Baily. 1992. Measurement and prediction of greenhouse ventilation rates. Agricultural and Forest Meteorology 58: 229-245.

JGHA. 2007. Handbook of protected horticulture 5th edition. Japan Greenhouse Horticulture Association. p.127-152 (in Japanese).

Kang, Y.K., Y.S. Ryou, J.G. kim, Y.H. Kim, and J.K. Jang. 2013. Analysis on cooling effects of the vertical type geothermal heat pump system installed in a greenhouse for raising seedling. Protected Horticulture and Plant Factory 22(1): 19-25 (in Korean).

Kim, S.E., J.E. Lee, S.D. Lee, H.S. Kim, H. Chun, and Y.S. Kim. 2015. Optimum management of greenhouse environment by the shading coat and two-fluid fogging system in summer season. Protected Horticulture and Plant Factory 24(1): 34-39 (in Korean).

Kittas, C., T. Bartzanas, and A. Jaffrin. 2003. Temperature gradients in a partially shaded large greenhouse equipped with evaporative cooling pads. Biosystems Engineering 85: 87-94.

Lee, H.W., and Y.S. Kim. 2011. Application of low pressure fogging system for commercial tomato greenhouse cooling. Journal of Bio-Environment Control 20(1): 1-7 (in Korean).

Lee, J.H., Y.B. Lee, J.K. Kwon, and N.J. Kang. 2006. Effect of greenhouse cooling and transplant quality using geothermal heat pump system. Journal of Bio-Environment Control 15(3): 211-216 (in Korean).

Li, S. and D.H. Willits. 2008. Comparing low-pressure and high pressure fogging systems in naturally ventilated greenhouses. Biosystems Engineering 101: 69-77.

Nam, S.W. 2000. Actual utilization and thermal environment of greenhouses according to several cooling methods during summer season. Journal of Bio-Environment Control 9(1): 1-10 (in Korean).

Nam, S.W. 2013. Present status of design technology for greenhouse environment and comparison of design weather data. Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers 55(4): 28-36 (in Korean).

Nam, S.W., H.H. Shin, D.U. Seo, and I.H. Yu. 2014. Comparative analysis on environment control systems for glasshouses and plastic greenhouses. CNU Journal of Agricultural Science 41(3): 251-257 (in Korean).

Nam, S.W., Y.S. Kim, and A.J. Both. 2011. Analysis on the ventilation performance of single-span tomato greenhouse with roof windows. Journal of Bio-Environment Control 20(2): 78-82 (in Korean).

Nam, S.W., Y.S. Kim, I.M. Sung, and G.H. Ko. 2012. Cooling efficiency of low pressure compressed air fogging system in naturally ventilated greenhouses. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers 54(5): 49-55 (in Korean).

Sethi, V.P. and S.K. Sharma. 2007. Survey of cooling technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. Solar Energy 81: 1447-1459.

Willits, D.H., C.A. Yunker, and S. Li. 2006. Air exchange rates in a naturally ventilated greenhouse using different vent configurations. Paper No. 06-4095. ASABE.