



## 플라스틱 온실의 기간난방부하 산정 방법 개발

### Development of a Method to Estimate the Seasonal Heating Load for Plastic Greenhouses

남상운<sup>\*,†</sup> · 신현호<sup>\*\*</sup>

Nam, Sang Woon · Shin, Hyun Ho

#### Abstract

In order to provide fundamental data for the creation of environmental design criteria for horticultural facilities, we developed a method to easily calculate the seasonal heating load applying heating degree-hour while taking into account heating load reductions due to solar radiation in the daytime, and reviewed through greenhouse heating experiments. Heating experiments and measuring meteorological environments were carried out in three greenhouses located at Buyeo, Cheonan, and Buan, and we derived reduction factors of seasonal heating load according to hours of sunshine. Daily mean hours of sunshine during the experiment period in each of the greenhouse was 4.0 to 8.3 hours, and the reduction factor of seasonal heating load was 0.64 to 0.85, has been shown to decrease linearly with the increase in hours of sunshine. A method to estimate the seasonal heating load for greenhouses was developed using the reduction factor of seasonal heating load derived from the greenhouse heating experiment, including the adjustment factor of seasonal heating load according to hours of sunshine. The developed method was validated through heating experiments in a greenhouse located at Cheonan. Greenhouse seasonal heating loads calculated by the method developed in this study were analyzed to show the estimate error of 1.2 to 5.0%. It showed that the accuracy increased 2.3 times more than when using the heating load reduction factor of 0.75 applied uniformly in previous studies. Thus, the calculation method of seasonal heating load for greenhouses considering hours of sunshine developed in this study could be utilized for energy estimation, management planning, and economic evaluation in greenhouse design.

**Keywords:** energy estimation; greenhouse design; heating degree-hour; hours of sunshine; seasonal heating load

#### 1. 서 론

온실의 기간난방부하는 재배기간 전체 또는 특정 기간에 대한 난방소비열량을 의미하며, 온실을 설치하기 전 계획 단계에서 연료소비량의 예측, 경영계획의 수립, 경제성 평가 등을 위해 필요하다. 기간난방부하를 산정하는 방법은 난방적산온도를 이용하는 방법과 동적시뮬레이션을 이용하는 방법이 있다. 난방적산온도에는 매시간의 온도차를 적산한 난방 degree-hour와 매일의 온도차를 적산한 난방 degree-day가 있다.

건축분야에서는 동적시뮬레이션 방법이 이용되는 추세이지만 (Pedersen, 2007) 국내의 경우 표준기상데이터의 이용이 제한적이고, 상세한 입력정보에 따른 정확도의 문제로 간편하게 에너지 사용량을 예측할 수 있는 난방 degree-day 방

법이 이용되고 있다 (Cho et al., 2010). 온실에서도 TRNSYS 프로그램을 이용한 동적 시뮬레이션으로 기간난방부하를 예측한 사례가 보고되고 있지만 (Jang et al., 2009; Lee et al., 2012) 아직까지 온실의 특성을 명확히 반영하기에는 어려움이 있어 온실 설계 목적으로 사용하지는 못하고 있는 실정이다. 국내외적으로 온실의 기간난방부하는 대부분 난방적산온도를 이용하여 구하고 있다. Nam et al. (2014)은 난방 degree-day가 간편한 방법이지만 설정온도가 낮을 경우 오차가 크게 발생하므로 난방 degree-hour 방식이 더 합리적이라고 하였다.

온실의 기간난방부하에 영향을 미치는 요인은 실내외 기온차, 온실형태, 열관류율, 지중전열량 및 투과일사량 등으로 이들을 모두 고려한 산출방법이나 기준 등은 확립되어 있지 않다 (Strom and Amsen, 1981). 일조가 있으면 난방부하가 0이고, 반대로 일조가 없고 난방 설정온도가 외기온보다 높은 경우에는 항상 난방이 필요하다는 가정하에 만들어진 난방 degree-hour 산정식이 있다 (Mihara, 1978; Lee, 1985). 그러나 비가 오는 날에도 일사열원만으로 난방이 필요 없는 경우도 있고, 맑은 날에도 일출 후 1시간 정도는 난방을 필요로 하는 경우도 많이 관측되고 있다 (Kozai et al., 1982). 이것은 기간난방부하에 미치는 일사량의 영향이 일사량과 열관류율 등

\* Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungnam National University

\*\* Graduate School, Chungnam National University

† Corresponding author

Tel.: +82-42-821-5794 Fax: +82-42-821-8834

E-mail: [swnam@cnu.ac.kr](mailto:swnam@cnu.ac.kr)

Received: July 28, 2015

Revised: August 21, 2015

Accepted: August 25, 2015

의 크기에 따라서 변하기 때문이다 (Bot, 1981).

각종 난방 degree-hour 산정식 중에서 일조시간을 고려하지 않은 수정 Mihara식이 실측치와 가장 잘 일치하였고 (Hayashi와 Kozai, 1982), 국내에서 난방 degree-hour를 구해본 결과 평년값 기상데이터를 이용하여 구한 것과 수정 Mihara식으로 구한 것이 표준기상데이터로 구한 것과 잘 일치하였다 (Nam et al., 2014). Commission for Protected Cultivation (1983)에서는 주간난방부하에는 일사의 영향을 야간난방부하에는 지중열류의 영향을 고려해야 하므로 주야로 분리하여 난방 degree-hour 산정식을 제안하였다.

미국의 온실 설계에서는 일조시간을 고려한 난방 degree-day 방법을 이용하고 있다 (Lindley and Whitaker, 1996; ASABE, 2008). 일본에서 초기에는 난방 degree-hour를 이용하고, 주간에 일사에 의한 난방부하 감소분을 고려하여 최대난방부하 계산용열관류율의 75%를 적용한 평균난방부하계수를 사용하였다 (Mihara et al., 1980). 그러나 난방부하계수를 획일적으로 적용하는 것은 문제가 있다고 하였으며 (Bailey, 1995), 최근에는 주야간 구분하여 야간 난방부하는 난방 degree-hour로 관류열부하를 구하고 지중전열부하의 경험치를 고려하고 있으며, 주간 난방부하는 야간 난방부하에 대한 경험적 비율을 적용하고 있다 (JGHA, 2007). 우리나라도 온실설계에서는 일본과 같은 방식을 사용하고 있으나 경험치가 부족하고 명확한 기준은 없는 실정이다 (Kim et al., 1997). Woo et al. (2001)은 수정 Mihara식과 평균난방부하계수를 적용하고, 지중전열량을 온도의 함수로 고려한 기간난방부하 산정 방법을 제안하였으나 평균난방부하계수의 획일적 적용은 개선할 여지가 많다고 하였다.

이와 같이 온실의 기간난방부하 산정방법은 제각각이고, 국내에 적용할 수 있는 설계기준이 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 온실 설계 중 에너지 소비량 예측을 위한 방법을 정립하여 원예시설 환경설계기준 작성을 위한 기초자료로 제공하고자 난방 degree-hour 방식을 적용하면서 일사에 의한 주간난방부하 감소분을 고려하여 간편하게 기간난방부하를 산정할 수 있는 방법을 개발하였으며 온실 난방 실험을 통하여 검토하였다.

## II. 재료 및 방법

온실의 기간난방부하 산정 방법은 미국농공학회 (Lindley and Whitaker, 1996)의 난방 degree-day와 연간 일조시간에 따른 조정계수를 이용하는 방법을 참고하여 다음과 같이 설정하였다.

$$Q_H = k \bar{U} A_c (DH) \quad (1)$$

여기서,  $Q_H$ 는 기간난방부하 (J),  $\bar{U}$ 는 평균난방부하계수 ( $W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$ ),  $A_c$ 는 온실의 피복면적 ( $m^2$ ),  $DH$ 는 난방 degree-hour ( $^\circ C \cdot h$ ),  $k$ 는 일조시간에 따른 조정계수이다.

기간난방부하는 관류열부하와 틈새환기전열부하, 지중전열부하로 나누어 구하기가 어려우므로 이들을 모두 포함시켜 피복면적을 기준으로 한 평균난방부하계수의 개념을 도입한다. 평균난방부하계수는 최대난방부하로부터 다음 식으로 구한다.

$$\bar{U} = \frac{H_T}{A_c (T_i - T_o)} \quad (2)$$

여기서,  $H_T$ 는 최대난방부하 (W),  $T_i$ 와  $T_o$ 는 실내기온 ( $^\circ C$ )과 실외기온 ( $^\circ C$ )이다.

난방 degree-hour는 식(3)과 같이 난방 설정온도와 외기온의 차이를 적산한 것으로 주간에 외기온이 설정온도보다 낮으면 플러스가 되지만 일사량 때문에 난방이 필요 없는 경우가 많다. 즉, 난방시간은 일조의 유무에 따라 크게 달라진다. 따라서 기간난방부하의 계산에서 일조시간에 따른 조정계수 ( $k$ )를 고려한다.

$$DH = \sum_{i=1}^n \left[ \int_{t_1}^{t_2} (T_{in} - T_{out}) \right]_i \quad (3)$$

단,  $T_{in} < T_{out}$  이면  $T_{in} - T_{out} = 0$ 이고,  $T_{in}$ 은 실내 설정 온도 ( $^\circ C$ ),  $T_{out}$ 은 외기온 ( $^\circ C$ ),  $t$ 는 hour,  $i$ 는 day이다.

본 연구에서는 온실 난방 실험을 통하여 일조시간에 따른 조정계수를 식(4)로 유도하고, 이것을 적용하여 기간난방부하 산정방법을 검증하였다.

$$k = \frac{DH_{heating}}{DH_{subtotal}} \times 3,600 \quad (4)$$

여기서,  $DH_{subtotal}$ 은 주어진 기간의 전체 난방 degree-hour ( $^\circ C \cdot h$ ),  $DH_{heating}$ 은 난방기 가동시간의 degree-hour ( $^\circ C \cdot h$ )로 이 비율이 기간난방부하 감소계수이고, 단위환산 값 3,600  $s \cdot h^{-1}$ 을 포함한 것이 조정계수이다.

일조시간에 따른 조정계수 유도와 기간난방부하 산정방법 검증을 위한 온실 난방실험은 Table 1과 같은 온실에서 수행하였다. D1~D3 온실은 기간난방부하 산정 방법을 개발하기 위한 데이터로 이용하였고, V1 온실은 개발된 방법의 검증을

**Table 1** Size specifications and locations of experimental greenhouses.

Greenhouse	Area (m <sup>2</sup> )	Width (m)	Height (m)		Number of spans	Covering film	Location
			Eaves	Ridge			
D1	11,900	8.0	5.0	7.2	16	PO 0.15	Buyeo
D2	3,200	8.0	4.0	5.2	4	PO 0.15	Cheonan
D3	1,000	7.0	4.5	6.5	3	PO 0.10	Buan
V1	2,350	8.0	6.0	7.2	3	PO 0.15	Cheonan

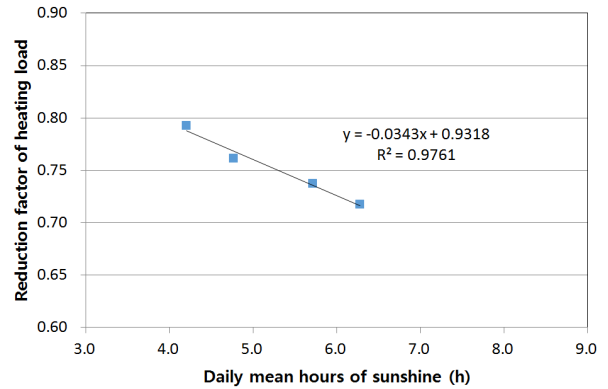
위한 데이터로 활용하였다. D1 온실은 충남 부여에 위치한 농가의 온실로 16연동의 대규모 온실이고, D2 온실은 충남 천안에 위치한 농가의 4연동 온실, D3 온실은 전북 부안 계화도 간척지의 3연동 온실이며, V1 온실은 천안에 위치한 농업회사 세론의 3연동 온실이다. 실험온실은 외피복재로 모두 PO 필름을 사용하고 있으며, 보온커튼은 D1의 경우 알루미늄스크린 2층 + 산광스크린 1층을 사용하고 있다. D2와 V1은 알루미늄스크린 2층을 보온커튼으로 사용하고 있으며, D3는 알루미늄스크린 1층 + 다겹보온커튼을 사용하고 있다.

실험온실에는 모두 토마토를 수경재배 하고 있으며, 난방은 모두 보일러를 이용한 온수난방 방식이었다. 계측항목은 실내외 온습도와 일조시간 및 난방 가동여부였으며 실내외 온습도는 온습도 로거 (MicroLogPro II, Fourtec, Israel)를 이용하였고, 난방 가동여부는 보일러 펌프 작동 유무를 1분 단위로 제어장치에 기록하였다. 일조시간은 온실이 위치한 지역 (부여, 천안, 부안)의 기상대 자료를 이용하였다. 난방부하는 제어시스템에서 제공되는 보일러 유량과 입출구 온도차로부터 계산하였다. D1 온실은 2013년 12월부터 2014년 3월까지, D2와 D3 온실은 2014년 12월부터 2015년 3월까지 실험을 수행하였다. 검증에 사용한 V1 온실은 2015년 1월부터 3월까지 실험을 수행하였고, 실험 결과는 모두 각각의 월 단위로 난방 degree-hour와 기간난방부하를 구하여 분석하였다.

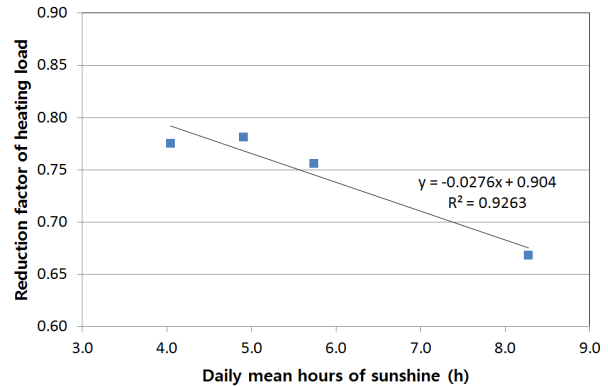
### III. 결과 및 고찰

실험 온실에서 주간의 난방 설정온도는 모두 20℃였고, 야간의 평균 난방온도는 D1 온실 13.5℃, D2 온실 17.2℃, D3 온실 15.8℃ 및 V1 온실 16.5℃로 나타났다.

먼저, 설정된 온실의 기간난방부하 산정 식에서 일조시간에 따른 난방부하 감소계수를 유도하기 위하여 식 (4)의 단위 환산값 3,600을 제외한 전체 난방 degree-hour에 대한 난방기 가동시간의 degree-hour 비를 구하였다. Fig. 1에서 Fig. 3은 각 실험온실에서 월 단위로 분석한 기간난방부하 감소계수를 나타낸 것이다. D1 온실에서는 0.72~0.79의 범위를 보였고



**Fig. 1** Reduction factors of seasonal heating load according to hours of sunshine in greenhouse D1 located at Buyeo



**Fig. 2** Reduction factors of seasonal heating load according to hours of sunshine in greenhouse D2 located at Cheonan

(Fig. 1), D2 온실에서는 0.67~0.78의 범위를 보였으며 (Fig. 2), D3 온실에서는 0.64~0.85의 범위를 보였다. 3동의 실험온실에서 구한 기간난방부하 감소계수는 모두 일조시간의 증가에 따라 직선적으로 감소하는 것으로 나타났다.

각각의 그림에서 유도된 회귀식의 절편을 검토해 보면, 부안의 온실 D3는 주간에도 일조가 없으면 100% 난방이 필요한 것으로 나타났다. D3 온실은 부안의 계화도 간척지에 위치한 온실로 바람이 강하게 불어 난방부하가 다른 지역에 비해

여 큰 지역인데 그 때문에 주간에도 난방이 필요한 것으로 판단된다. 부여와 천안의 온실 D1, D2는 주간에 일조가 없어도 7~10%는 난방이 필요 없는 것으로 나타났다. 이는 비가 오는 날에도 일사열원만으로 난방이 필요 없는 경우도 있고, 맑은 날에도 일출 후 1시간 정도는 난방을 필요로 하는 경우도 많이 관측되고 있다는 Kozai et al. (1982)의 보고와 일치한다.

각각의 회귀식에서 일조시간에 따른 기간난방부하 감소계수의 기울기를 살펴보면, 부안의 온실 D3에서 가장 큰 값을 보이고 있는데 이것도 역시 해안지역의 강풍에 의한 원인으로 판단된다. 부여와 천안의 온실 D1, D2에서는 큰 차이를 발견할 수 없었으나 난방 설정온도가 낮은 온실 D1에서 약간 더 큰 기울기를 보였다.

전체적으로 온실의 위치나 크기, 난방 설정온도의 차이에 따른 기간난방부하 감소계수의 차이는 미미한 것으로 판단되어 3동의 온실에서 구한 감소계수를 통합하여 분석한 결과는 Fig. 4와 같다. 각 온실의 실험 기간 동안 일평균 일조시간은

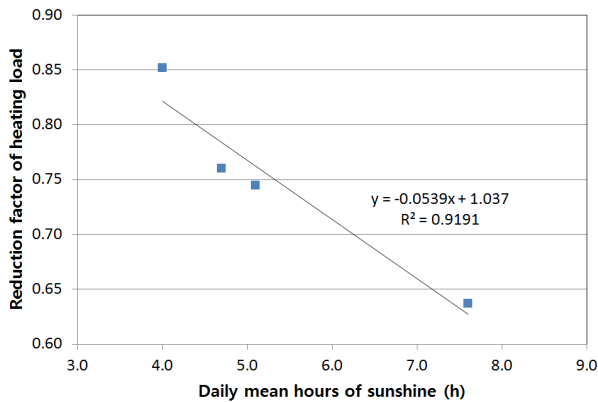


Fig. 3 Reduction factors of seasonal heating load according to hours of sunshine in greenhouse D3 located at Buan

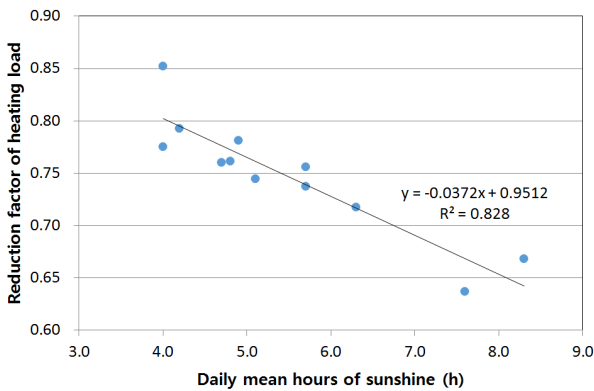


Fig. 4 Reduction factors of seasonal heating load according to hours of sunshine in three greenhouses located at Buyeo, Cheonan, and Buan

4.0~8.3시간이었으며, 이 때 온실의 기간난방부하 감소계수는 0.64~0.85로 나타났다. 전체 평균 기간난방부하 감소계수는 0.748로 Mihara et al. (1980)이 기간난방부하를 구할 때 적용하는 평균난방부하계수는 최대난방부하 계산용 난방부하계수보다 25% 정도 작다는 보고와 매우 유사하다. 그러나 이 값을 0.75로 획일적으로 적용하는 것은 문제가 있고 개선의 여지가 많다는 Bailey (1995), Woo et al. (2001)의 보고와 같이 기간난방부하 감소계수의 변동 폭은 상당히 큰 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 12월부터 3월까지의 계측 데이터를 이용하여 분석하였으므로 연간 기간난방부하를 구할 경우에는 평균값인 0.75를 적용하여도 문제가 없을 것으로 판단된다. 그러나 일정한 기간의 난방부하를 구하거나 일조시간의 차이가 큰 지역에서 온실의 기간난방부하를 구하기 위해서는 획일적인 값을 적용하는 것이 문제가 있으므로 기간난방부하 감소계수를 일조시간의 함수로 표현하면 간편하게 기간난방부하를 구할 수 있을 것이다. 이렇게 유도된 온실의 기간난방부하 감소계수는 다음 식 (5)와 같고,  $R^2 = 0.83$ 으로 높은 결정계수 값을 보이는 것으로 나타났다.

$$f_r = -0.0372h_s + 0.9512 \quad (5)$$

여기서,  $f_r$ 은 기간난방부하 감소계수,  $h_s$ 는 일평균 일조시간(h)이다.

온실 난방실험을 통해 유도된 기간난방부하 감소계수를 이용하여 일조시간에 따른 기간난방부하 조정계수를 Table 2와 같이 제안하였다. 여기서, 기간난방부하 조정계수는 식 (4)와 같이 단위 환산 3,600 s/h를 포함하는 값이다.

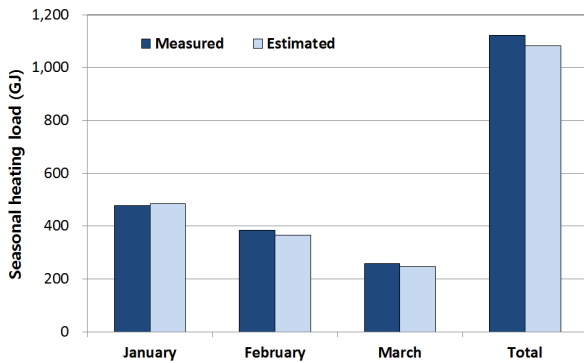
미국 농공학회의 온실 기간난방부하 산정방법은 난방 degree-day와 연간 일조시간에 따른 조정계수를 사용하는 것이 본 연구와 차이점이다. 난방 degree-day 방식은 난방 degree-hour 방식보다 오차가 큰 것으로 알려져 있으며(Nam et al., 2014), 여름철 등 난방이 필요 없는 계절에는 일조시간이 길기 때문에 연간 일조시간을 사용하는 것은 문제가 있다

Table 2 Proposed adjustment factors of seasonal heating load for plastic greenhouses

Hours of sunshine	Reduction factor	Adjustment factor
3.0	0.84	3,020
4.5	0.78	2,820
6.0	0.73	2,620
7.5	0.67	2,420
9.0	0.62	2,220

**Table 3** Estimate error of seasonal heating load in an experimental greenhouse for verification by the method developed in this study

Month	Hours of sunshine (h)	Heating degree-hour ( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}$ )		Seasonal heating load (GJ)		Error (%)
		DH <sub>subtotal</sub>	DH <sub>heating</sub>	Measured	Estimated	
January	4.5	11,800	9,138	479	484	1.2
February	5.3	9,289	7,358	386	366	-5.0
March	8.3	7,310	4,919	258	246	-4.6
Total	6.0	28,399	21,416	1,122	1,083	-3.5

**Fig. 5** Measured and estimated seasonal heating load in the experimental greenhouse V1 located at Cheonan

고 판단되지만, 본 연구 결과를 검토하기 위하여 단위환산을 통하여 미국 농공학회의 일조시간에 따른 조정계수로부터 난방부하 감소계수를 구하여 비교하였다.

미국 기준에서 연간 일조시간 2,200 h, 2,800 h, 3,200 h 일 때 감소계수는 각각 0.74, 0.58 및 0.51로 제시하고 있다 (Lindley and Whitaker, 1996). 이것을 본 실험에서의 일평균 일조시간으로 환산하면 6.0 h, 7.7 h, 8.8 h가 되고 감소계수는 각각 0.73, 0.66 및 0.62로 나타났다. 연간 일조시간이 2,200 h 일 때는 본 실험 결과와 비슷한 값을 보이고 있으나 연간 일조시간이 2,800 h 이상으로 커지면 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 난방기간의 일조시간을 기준으로 한 것이고, 미국은 연간 일조시간을 기준으로 한 것이므로 직접 비교는 불가능하다. 또한 국내에서는 연간 일조시간이 최대 2,546 h (영덕, 기상청 평년값 자료)에 불과하고, 전국 평균 2,283 h 이므로 본 실험 결과는 대체로 미국과 일본의 연구자들이 실험한 결과와 유사한 것으로 판단된다.

실험온실 V1에서 예측한 기간난방부하와 본 연구에서 개발한 온실 기간난방부하 산정 방법으로 계산한 월별 기간난방부하를 비교하면 Table 3 및 Fig. 5와 같다. 실측값은 온수 보일러의 공급유량과 배관의 입구와 출구 온도차를 측정하여 구한 난방열량을 월별로 적산한 것이다. 추정값은 실내의 기온 예측으로 난방 degree-hour를 구하고, 일조시간 예측으로

난방부하 감소계수를 구해 식 (1)의 방법으로 계산한 것이다. 여기서, 식 (2)의 방법으로 검증실험 온실의 평균 난방부하계수를 구한 결과는  $3.42 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$ 로 나타났다. 본 연구에서 개발한 방법으로 구한 온실의 기간난방부하는 1.2~5.0%의 추정오차를 보이는 것으로 분석되었다. 기존 연구에서 적용하던 기간난방부하 감소계수 0.75를 획일적으로 적용할 경우 오차는 3.2~11.5%로써 일조시간을 고려할 경우 정확도가 2.3배 이상 증가하는 것으로 나타났다.

따라서 본 연구에서 개발한 일조시간을 고려한 온실의 기간난방부하 산정 방법은 온실 설계의 에너지 소비량 예측이나 경영계획의 수립 및 경제성 평가 등에 활용이 가능한 것으로 판단된다.

#### IV. 결 론

온실의 기간난방부하 추정은 시설의 계획 및 설계 단계에서 매우 중요한 설계요소이지만 산정방법이 제각각이고, 국내에 적용할 수 있는 설계기준이 없는 실정이다. 본 연구에서는 원예시설의 환경설계기준 작성을 위한 기초 자료로 제공하고 난방 degree-hour 방식을 적용하면서 일사에 의한 기간난방부하 감소분을 고려하여 간편하게 기간난방부하를 산정할 수 있는 방법을 개발하였으며 온실 난방 실험을 통하여 검토하였다. 충남 부여, 천안 및 전북 부안에 위치한 3동의 온실에서 난방실험을 실시하고 각종 기상환경을 계속하여 일조시간에 따른 기간난방부하 감소계수를 유도하였다. 각 온실의 실험 기간 동안 일평균 일조시간은 4.0~8.3시간 이었고, 이때 온실의 기간난방부하 감소계수는 0.64~0.85로 일조시간의 증가에 따라 직선적으로 감소하는 것으로 나타났다. 온실 난방실험을 통해 유도된 기간난방부하 감소계수를 이용하여 일조시간에 따른 기간난방부하 조정계수를 포함하는 기간난방부하 산정 방법을 개발하였다. 개발된 온실 기간난방부하 산정 방법은 천안에 위치한 1동의 온실에서 난방실험을 통하여 검증하였다. 검증 결과 본 연구에서 개발한 방법으로 구한 온실의 기간난방부하는 1.2~5.0%의 추정오차를 보이는 것

으로 분석되었다. 기존 연구에서 적용하던 기간난방부하 감소계수 0.75를 획일적으로 적용할 경우 보다 정확도가 2.3배 이상 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 개발한 일조시간을 고려한 온실의 기간난방부하 산정 방법은 온실 설계의 에너지 소비량 예측이나 경영계획의 수립 및 경제성 평가 등에 활용이 가능한 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 농림축산식품부 첨단생산기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

## REFERENCES

- ASABE, 2008. Standard: Heating, ventilating and cooling greenhouses, ANSI/ASAE EP406.4. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Bailey, B.J., 1995. Greenhouse climate control. *Acta Horticulturae* 399: 13-23.
- Bot, G.P.A., 1981. Heating load of glasshouse from the physical point of view. *Acta Horticulturae* 115: 335-339.
- Cho, S.H., S.S. Kim, and C.Y. Choi, 2010. Study on the revision of HDD for 15 main cities of Korea. *Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* 22(7): 436-441 (in Korean).
- Commission for Protected Cultivation, 1983. A proposal for the method to estimate greenhouse heating degree hour. *Journal of Agricultural Meteorology* 38(4): 429-434.
- JGHA, 2007. Handbook of protected horticulture 5<sup>th</sup> edition. Japan Greenhouse Horticulture Association. p.127-152.
- Hayashi, M. and T. Kozai, 1982. Comparison of actual and calculated heating degree hour and a proposition of heating degree hour diagram. *Journal of Agricultural Meteorology* 38(1): 29-36.
- Jang, J.C., E.C. Kang, and E.J. Lee, 2009. Peak cooling and heating load and energy simulation study for a special greenhouse facility. *Proceeding of the Korean Solar Energy Society* 29(1): 72-76 (in Korean).
- Kim, M.K., S.G. Lee, W.M. Seo, and J.E. Son, 1997. Design standards for greenhouse environment. Rural Development Corporation. p.130-137 (in Korean).
- Kozai, T., T. Gunji, I. Watanabe, M. Hayashi, and T. Ito, 1982. Measurements and analyses of the daily heating load of a greenhouse. *Journal of Agricultural Meteorology* 38(3): 279-285.
- Lee, S.B., I.B. Lee, S.W. Hong, I.H. Seo and P.J. Bitog, 2012. Prediction of greenhouse energy loads using building energy simulation. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(3): 113-124 (in Korean).
- Lee, S.G., 1985. Analysis of the heating degree hour for greenhouses. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 27(3): 85-96 (in Korean).
- Lindley, J.A. and J.H. Whitaker, 1996. *Agricultural buildings and structures*, ASAE. Michigan, USA.
- Mihara, Y., 1978. Computation formula for greenhouse heating degree hour with consideration for sunshine, *Journal of Agricultural Meteorology* 34(2): 83-85.
- Mihara, Y., M. Okada, and T. Takakura, 1980. *Fundamentals and practices in greenhouse design*. Yokendo Co. Ltd. Tokyo, Japan.
- Nam, S.W., H.H. Shin, and D.U. Seo, 2014. Comparative analysis of accumulated temperature for seasonal heating load calculation in greenhouses. *Protected Horticulture and Plant Factory* 23(3): 192-198 (in Korean).
- Pedersen, L., 2007. Use of different methodologies for thermal load and energy estimations in buildings including meteorological and sociological input parameters. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 11: 998-1007.
- Strom, J.S. and M.G. Amsen, 1981. Heat consumption model for greenhouse nurseries. *Acta Horticulturae* 115: 503-510.
- Woo, Y.H., T.Y. Kim and I.H. Cho, 2001. Decision of period heating load with consideration for soil heat flux of greenhouse. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* 42(5): 523-526 (in Korean).