



간척지 설치 온실의 난방부하 특성 분석

Analysis of Heating Load Characteristics for Greenhouses Constructed in Reclaimed Lands

남상운^{*,†} · 신현호^{**}

Nam, Sang Woon · Shin, Hyun Ho

Abstract

The purpose of this study was to provide basic data for development of environmental design technology for greenhouses constructed in reclaimed lands. We analyzed the climatic conditions around seven major reclaimed land areas in Korea, which have a plan to install advanced horticultural complexes. The characteristics of heating load through the thermal environment measurement of the greenhouse in Saemangeum were analyzed. The part to be applied to the environmental design of the greenhouses in reclaimed lands were reviewed. The overall heat transfer coefficient of the experimental greenhouse with the aluminum screen and multi-layer thermal curtain averaged $3.79 \text{ W/m}^2\text{C}$. It represents a 44 % heat savings rate compared with plastic greenhouses with a single covering, which was significantly lower than that of the common greenhouses with 2-layer thermal curtains. This is because the experimental greenhouse was installed on reclaimed land and wind was stronger than the inland area. Among the total heating load, the transmission heat loss accounted for 96.4~99.9 %, and the infiltration loss and the ground heat exchange were low. Therefore, it is necessary to take countermeasures to minimize the transmission heat loss for greenhouses constructed in reclaimed lands. As the reclaimed land is located on the seaside, the wind is stronger than the inland area, and the fog is frequent. Especially, Saemangeum area has 2.6 times stronger wind speed and 3.4 times longer fog duration than the inland area. In designing the heating systems for greenhouses in reclaimed lands, it is considered that the maximum heating load should be calculated by applying the wind coefficient larger than the inland area. It is reasonable to estimate the operation cost of the heating system by applying the adjustment factor 10 % larger than the average in calculating the seasonal heating load.

Keywords: Environmental design, Fog duration, Heating load, Thermal insulator, Wind speed

1. 서 론

농림수산식품부는 전국의 간척지에 첨단수출 원예단지 3,000 ha, 일반 원예단지 2,185 ha 등 대규모 간척지 활용 기본 구상을 고시하였다. 특히, 새만금 간척지에는 첨단수출 원예단지 1,500 ha, 일반 원예단지 1,100 ha 등 대규모 시설원예단지 조성을 계획하고 있다(MIFAFF, 2010). 최근에 화옹 간척지에 10 ha의 유리온실이 조성되는 등 간척지 활용을 위한 첨단 원예단지 조성사업이 일부 추진되었으나, 기초공사나 용수공급, 운영관리 등에서 많은 문제점을 노출하고 있는 실정이다. 따라서 간척지 온실의 기술적 기반을 강화하는 동시에 장래 시설원예의 발전을 위해서는 온실설계에 관한 종합적인 기술개발이 이루어져야 한다.

그동안 간척지 온실의 설계에 관한 연구는 연약지반에 설치하는 온실 구조물의 기초에 관한 연구나 강한 바람에 견딜 수 있도록 설계하기 위한 풍하중에 관한 연구 등의 구조설계를 중심으로 이루어졌고, 온실의 환경조절과 직접 관련되는 환경설계에 대한 연구는 미진한 실정이다(Kim et al., 2014; Choi et al., 2015; Song et al., 2016). 온실에서 환경조절의 성패는 생산량 및 품질과 직결되므로 설치지역의 기후조건 하에서 환경조절이 용이하고 에너지 비용을 절감할 수 있는 온실의 최적설계법이 제시되어야 한다. 최근의 급격한 기후변화 현상이나 환경제어 기술의 발전에 따른 설계기술의 대응, 특히 간척지의 기후특성을 반영한 온실 환경설계 기술의 정립은 시급하다.

유리온실이나 연동 플라스틱 온실과 같은 첨단 온실에서 겨울철 재배를 위해서는 난방이 필수적이다. 난방설비의 용량 부족은 혹한기 작물의 생육에 치명적인 영향을 미칠 수 있다. 또한 설비용량의 과대설계는 설치비 면에서 비경제적일 뿐만 아니라 에너지의 효율적 이용 측면에서도 불리하므로 적정 설비용량의 결정은 매우 중요하다. 적정 설비용량을 결정하기 위해서는 먼저 정확한 난방부하의 산정이 필요하다. 온실의 난방부하를 산정하는 방법은 국가별로 차이를 보이고 있으나 일반적으로 관류열부하, 환기전열부하 및 지중전열

* 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

Received: July 21, 2017

Revised: August 24, 2017

Accepted: August 25, 2017

부하로 구성되어 있다 (ASABE, 2008; JGHA, 2007; Kim et al., 1997). Shin and Nam (2015)은 국내에 적용하기 위한 온실 난방부하 산정방법을 개발하고, 대규모 플라스틱 온실에서 난방실험을 통하여 각각의 부하산정 방법을 검증하였으며, 난방부하에 미치는 지중전열과 틈새환기의 영향을 검토한 바가 있다.

한편, 대부분의 간척지는 해안에 위치하고 있어 내륙지역에 비하여 바람이 강하고, 안개가 자주 끼는 등 기후조건이 상이하다. 그러므로 간척지에 대규모 온실을 설치하기 위해서는 일반적인 온실 환경설계 기준과 다른 새로운 기준의 설정이 필요할 것으로 생각된다. 그러기 위해서는 간척지 주변지역의 기후조건을 분석하고, 간척지 설치 온실의 실내 환경 특성을 파악할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 간척지 온실의 환경설계 기술 개발을 위한 기초자료 제공을 목적으로, 첨단 시설원예단지 설치 계획이 있는 국내 7개 대규모 간척지 주변의 기후조건을 분석하였으며, 새만금 간척지 내에 설치된 3연동 플라스틱 온실을 대상으로 동절기에 시설 내외의 열적 환경계측 실험을 통하여 난방부하 특성을 분석하고, 간척지 온실의 환경 설계 시 특별히 고려해야 할 부분을 검토하였다.

II. 재료 및 방법

전북 부안군 계화도 간척지에 설치된 토마토 재배 연동형

플라스틱 온실에서 난방부하 및 난방과 관련된 환경 인자를 실측하였다. 실험온실은 Fig. 1과 같이 길이 48 m, 폭 7 m의 3연동 온실로 바닥면적은 1,008 m²이고, 측고 4.5 m, 둥고 6.5 m의 아치형 온실이다. 피복재는 0.1 mm 두께의 PO필름이고, 알루미늄 스크린과 다점보온커튼을 설치한 온수난방 방식의 온실이다.

환경계측 항목은 실내외 온도, 습도, 실내 일사량, 지온, 지중 열류, 배관표면온도, 온수순환유량 및 실외 풍속으로 각각을 1분 간격으로 계측하여 데이터로거에 저장하였다. 실험온실의 규격과 환경계측에 사용된 센서의 종류는 Table 1과 같다.

실험은 2015년 12월 1일부터 2016년 3월 20일까지 실시하였으며, 전체 계측 데이터는 1시간 간격으로 평균을 구하여 분석하였고, 온실의 난방부하 특성 분석이 목적이므로 19:00시부터 07:00시까지의 야간 데이터만을 분석에 사용하였다.

온실의 난방부하는 보일러에서 온실로 유입되는 배관의 입출구 온도와 유량으로부터 다음 식으로 구하였다.

$$Q_T = M_w C_p (T_i - T_o) \quad (1)$$

여기서, Q_T 는 온실의 난방부하(kW), M_w 는 온실에 공급된 온수의 질량 유량(kg/s), C_p 는 물의 비열(kJ/kg°C), T_i 와 T_o 는 온수배관의 입구와 출구 온도(°C)이다.

온수의 질량 유량은 초음파 유량계(GSA-500)를 이용하여 실측하였으며, 온수 배관의 입출구 온도는 온실로 유입되는 지점과 유출되는 지점의 배관에 열전대(T-type)를 부착하

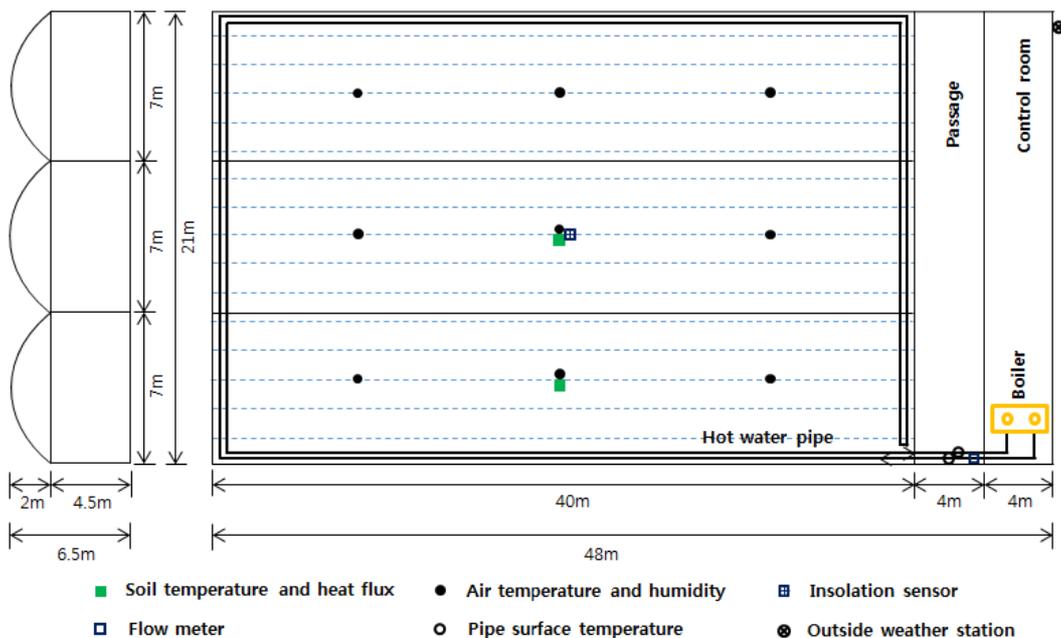


Fig. 1 Size of the experimental greenhouse and location of the sensors

Table 1 Specifications of the experimental greenhouse and measuring instruments

Item	Component	Specifications
Greenhouse	Area (m^2)	1,008
	Length (m)	48,0
	Width (m)	7,0
	Number of spans (ea)	3
	Eaves height (m)	4,5
	Ridge height (m)	6,5
	Covering film (mm)	PO 0.10
Measuring instruments	Thermohygrometer	MicroLogPro II (Fourtec)
	Pyranometer	LP02/LI19 (Hukseflux)
	Anemometer	CTV100 (Kimo instrument)
	Flow meter	GSA-500 (Kometer)
	Heat flux	MF-81 (EKO)
	Temperature	T-type thermocouple (Komets)

여 계측하였다.

한편, 온실의 난방부하는 관류열부하, 지중전열부하, 환기전열부하로 구성되어 있으며 (Shin and Nam, 2015), 이들 각 항목별 난방부하의 특성을 분석하기 위하여 별도의 실측을 수행하였다.

지중전열부하는 온실 중앙과 측면의 지표면에 열류센서를 설치하여 지중열류를 계측하고, 온실의 바닥면적을 곱하여 구하였으며, 식 (2)의 지중전열부하 계산방법과 비교하였다.

$$Q_s = FL_p(\Delta t - \phi) \quad (2)$$

여기서, Q_s 는 지중전열부하(W), F 는 온실의 외주부 단위 길이당 열손실계수(W/m^2), L_p 는 온실의 둘레길이(m), Δt 는 실내외 기온 차($^{\circ}C$), ϕ 는 지중전열 부하저감 기준온도차($^{\circ}C$)이다. 또한, 온실 측면과 중앙의 열류센서 측정지점에 지온센서를 30 cm 깊이로 매설하여 지온을 측정하고 비교하였다.

환기전열부하는 실험온실의 틈새환기율을 실측하여 다음 식 (3)으로 구하였다.

$$Q_v = \rho_i c_p N V \Delta t \quad (3)$$

여기서, Q_v 는 환기전열부하(W), ρ_i 는 실내공기의 밀도(kg/m^3), c_p 는 실내공기의 비열($J/kg^{\circ}C$), N 은 틈새환기율($volumes/s$), V 는 온실의 체적(m^3), Δt 는 실내외 기온 차($^{\circ}C$)이다.

틈새환기율은 온실 천·측창과 보온커튼을 모두 닫은 상태

에서 탄산가스를 온실에 주입하여 교반팬으로 잘 섞어준 후, 시간 경과에 따른 탄산가스 농도 감소를 계측하여 가스트레이서법 (Babista et al., 1999)으로 구하였다. 이 때 탄산가스 농도 계측은 적외선 가스분석계 (OPUS20)를 사용하였다.

관류열부하는 피복재의 열관류율을 이용하여 다음 식으로 구할 수 있다.

$$Q_t = UA_c \Delta t \quad (4)$$

여기서, Q_t 는 관류열부하(W), U 는 피복재의 열관류율(W/m^2), A_c 는 온실의 피복면적(m^2), Δt 는 실내외 기온 차($^{\circ}C$)이다.

실험실에서 온실의 피복재료별 열관류율을 실측한 사례는 많이 있으나, 대형 온실에서 관류열부하를 직접 실측하는 것은 불가능하다 (Lee et al., 2011; Diop et al., 2014). 따라서 본 연구에서 관류열부하는 식 (1)의 방법으로 실측한 전체 난방부하에서 지중전열부하와 환기전열부하를 빼는 간접적인 방법으로 구하였다.

$$Q_t = Q_T - Q_s - Q_v \quad (5)$$

온실의 난방부하에 가장 큰 영향을 미치는 기상요인은 실외기온이지만, 난방부하계수에 영향을 주는 외부풍속과 기간난방부하에 영향을 주는 일조시간 등도 난방설비 용량 결정이나 전체 난방에너지의 소비량에 큰 영향을 미치는 요인이다. 간척지는 해안지역에 위치하므로 내륙지역과는 기상환경의 차이가 클 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 첨

Table 2 Reclaimed land being studied and the nearest weather stations

Reclaimed land	Weather station	
	Seaside	Inland
Sihwa, Hwaong	Incheon	Suwon
Seokmun, Iwon	Seosan	Cheonan
Saemangeum	Gunsan	Jeonju
Youngsangang, Goheung	Mokpo	Gwangju

단월예단지 계획이 있는 시화, 화옹, 석문, 이원, 새만금, 영산강, 고흥 등의 7개 간척지를 대상으로 주변의 가장 가까운 해안 기상관측소와 내륙 기상관측소의 30년간 기상자료(KMA, 2011)를 비교 검토하였다. 분석에 사용한 연구대상 간척지와 주변의 기상관측소 현황은 Table 2와 같다.

III. 결과 및 고찰

식 (2)의 지중전열부하 산정방법은 온실의 외주부를 통한 열손실 개념을 도입한 것으로써, 난방중인 온실에서 중앙 부위의 바닥을 통한 열손실은 거의 없고, 측면의 둘레를 따라 외주부에서 대부분의 열손실이 일어나며, 실내외 기온 차에 비례한다고 보고하였다(Spitler, 2010; Shin and Nam, 2016).

Fig. 2는 실내외 기온 차에 따른 실험온실의 지온분포를 나타낸 것이다. 실험기간 동안 온실의 실내기온은 평균 16.5 °C로 관측되었다. 그림에서 보는바와 같이 온실의 중앙 부위는 지온이 실내기온보다 높게 나타나고 있어 열손실은 없고, 오히려 열 공급으로 부하를 경감시키는 쪽으로 작용하고 있음을 알 수 있었다. 반면 온실의 측면에서는 실내외 기온 차이가 15 °C 이상일 경우 지온이 실내기온보다 낮게 나타나고 있어 열손실이 일어나고 있음을 알 수 있었다. 즉, 지중전열부하 측면

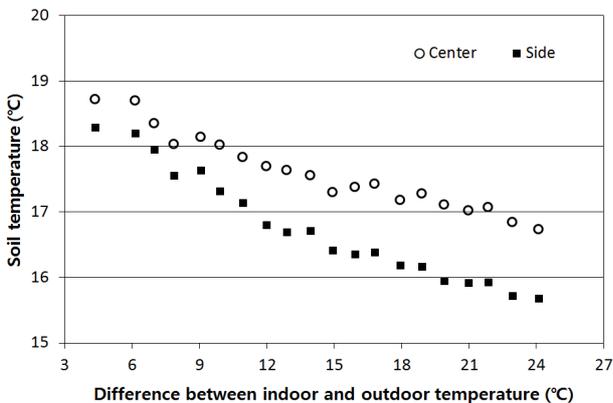


Fig. 2 The tendency of the soil temperature measured in the experimental greenhouse

에서 열손실은 주로 온실의 측면 외주부를 통해 일어난다는 Shin and Nam (2016)의 보고와 일치한다.

Fig. 3은 열류센서를 이용하여 실측한 지중전열부하를 실내외 기온 차의 변화에 따라 나타낸 것이다. 그림과 같이 지중전열부하는 실내외 기온 차에 비례하여 증가하며 직선 회귀식은 결정계수가 0.971로 매우 높게 나타났다. 이 회귀식을 식 (2)와 일치시키면 F 와 ϕ 값을 도출할 수 있다. 외주부 단위 길이당 열손실계수 F 는 2.63 W/m^2C 로 나타났고, 지중열류의 방향이 바뀌는 부하저감 기준온도차 ϕ 는 13.7 °C로 나타났다. 지중열류의 방향이 바뀌는 기준온도차는 0.3 ha 미만의 소형 온실에서 일본의 따뜻한 지방은 17.5 °C, 추운지방은 15 °C로 보고되었고(Ogura, 1982), 국내의 1.2 ha 대형 온실에서는 10 °C로 보고되었다(Shin and Nam, 2015). 본 연구의 실험온실은 0.1 ha의 소형 온실로 기존 연구와 유사한 결과를 보이고 있으며, 지중전열부하 산정식의 매개변수는 온실의 규모에 따라 다른 값을 적용해야 한다는 Shin and Nam (2016)의 제안과도 일치하는 것으로 판단된다.

Table 3은 온실 천창과 측창 및 보온커튼을 닫은 상태로 난방중인 실험온실에서 가스트레이서법으로 실측한 틈새환기율을 나타낸 것이다. 간척지에 설치된 실험온실의 틈새환기율은 0.103~0.168 회/h (평균 0.134 회/h)로 나타났으며, 미국

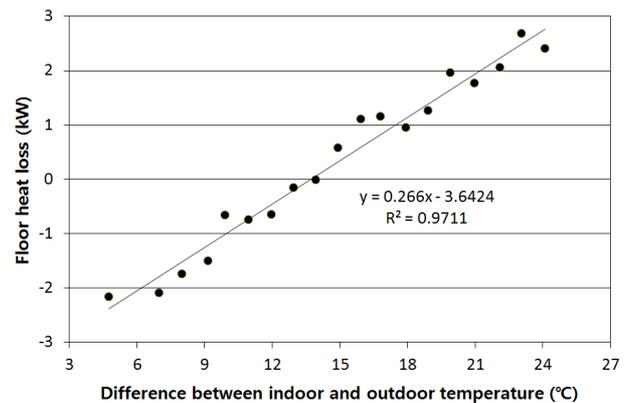


Fig. 3 The tendency of the floor heat loss measured in the experimental greenhouse

Table 3 Measured infiltration rates for the experimental greenhouse

No.	Infiltration rate (volume/h)	Average wind speed (m/s)	Difference between indoor and outdoor temperature (°C)
1	0.103	0.2	9.8
2	0.168	3.1	11.5
3	0.130	1.1	11.8
Average	0.134	1.5	11.0

설계기준(ASABE, 2008)에서 제시한 이중 플라스틱 필름 온실의 틈새환기율 0.75~1.5 회/h에 비하여는 매우 낮은 수준을 보이고 있지만, Nam and Shin (2015)이 알루미늄스크린 2층 커튼을 사용한 국내 온실에서 실측한 틈새환기율 0.04~0.07 회/h와 비교하면 상당히 큰 것을 알 수 있다. 이는 내륙에 비하여 간척지의 풍속이 더 강하기 때문으로 판단된다.

간척지에 설치된 실험 온실의 난방부하 실측값은 Fig. 4와 같이 실내외 기온 차에 비례하여 직선적으로 증가하는 것으로 나타났다. 여기서 난방부하 실측값은 재료 및 방법에서 설명한 바와 같이 온수배관의 유량과 입출구 온도 실측결과로부터 온실에 공급된 열량을 계산한 것이다.

온실의 난방부하는 식 (2), (3), (4)에 나타난 바와 같이 관류열부하, 지중전열부하, 환기전열부하로 구성되어 있으며, 지중전열부하의 ϕ 항을 제외하면 정확히 실내외 기온 차 Δt 에 비례한다. Fig. 4에서 보는바와 같이 본 실험 결과는 난방부하 산정 방법의 타당성을 입증하는 것으로 판단된다.

Fig. 5는 식 (1)의 방법으로 실측한 실험온실의 전체 난방

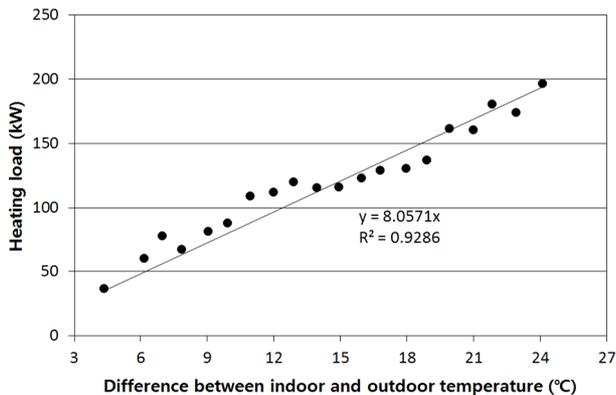


Fig. 4 The tendency of the heating load measured in the experimental greenhouse

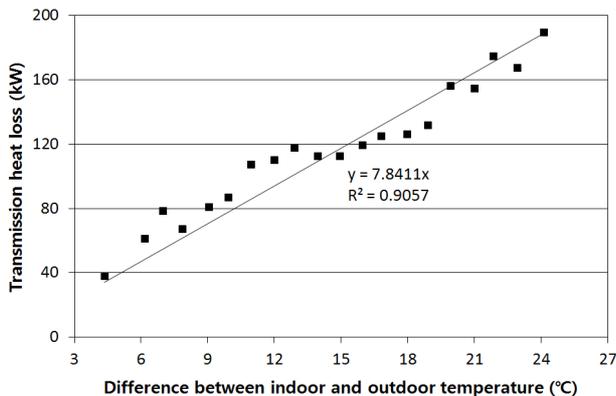


Fig. 5 The tendency of the transmission heat loss measured in the experimental greenhouse

부하에서 지중전열부하와 환기전열부하를 빼서 간접적으로 구한 식 (5)의 관류열부하를 실내외 기온 차의 변화에 따라 나타낸 것이다. 관류열부하는 실측이 어려워 간접적으로 구하였기 때문에 전체 난방부하에 비하여 직선성이 떨어지지만, 대체로 실내외 기온 차에 비례하는 경향을 확인할 수 있었다. 그림의 회귀식을 식 (4)와 일치시키면 열관류율을 도출할 수 있다. 실험온실의 평균 열관류율은 $3.79 W/m^2\text{°C}$ 로 나타났다. 플라스틱 온실의 열관류율 $6.75 W/m^2\text{°C}$ 와 비교하면 44%의 열절감율을 보이는 것이다. 2층커튼을 사용한 플라스틱 온실의 열절감율이 45~65%이고, 그 중에서 알루미늄 소재의 커튼을 사용한 경우에는 55~65%인 것과 비교하면, 본 실험 온실은 알루미늄스크린과 다겹보온커튼을 사용하고 있으므로 일본의 설계기준에 비하여 열절감율이 상당히 떨어지는 것으로 나타났다(JGHA, 2007). 이는 본 실험온실이 간척지에 설치되어 내륙지역에 비하여 바람이 강하기 때문으로 판단된다.

Table 4는 전체 난방부하 중에서 관류열부하, 환기전열부하 및 지중전열부하가 차지하는 비율을 정리한 것이다. 온실의 실내외 기온 차에 따라 그 비율은 다르며 관류열부하가 96.4~99.9%, 환기전열부하가 1.7~2.3%, 지중전열부하가 -1.8~1.4%를 차지하는 것으로 나타났다. 지중전열부하가 전

Table 4 Component ratio of total heating load for the experimental greenhouse by Δt group

Δt (°C)	Heat loss (%)			
	Transmission	Infiltration	Floor	Sum
8	99.9	1.9	-1.8	100
9	99.7	1.9	-1.5	100
10	99.3	1.9	-1.1	100
11	99.0	1.7	-0.7	100
12	98.6	1.8	-0.4	100
13	98.4	1.8	-0.2	100
14	97.9	2.0	0.1	100
15	97.6	2.2	0.3	100
16	97.3	2.2	0.5	100
17	97.2	2.2	0.6	100
18	96.8	2.3	0.9	100
19	96.7	2.3	1.0	100
20	96.9	2.1	1.0	100
21	96.6	2.2	1.2	100
22	96.8	2.0	1.2	100
23	96.4	2.2	1.4	100
24	96.5	2.1	1.4	100
Average	97.7	2.1	0.2	100

체 난방부하의 10 % 이내이고, 대형 온실에서는 무시할 정도로 보고한 Mihara et al. (1978)과 Kozai et al. (1982)의 결과와 일치하는 것으로 판단된다. Shin and Nam (2015)의 실험 결과와 비교하면 환기전열부하와 지중전열부하의 비율은 낮고, 관류열부하의 비율은 높은 것으로 나타났다. 실험 온실의 규모가 다르지만 그것보다는 실험 온실 설치 지역의 기상 특성이 달랐기 때문으로 판단되며, 따라서 바람이 강한 간척지에 설치하는 온실은 관류열 손실을 최소화할 수 있는 대책을 강구해야 할 것으로 생각된다.

간척지는 해안에 위치하고 있어 내륙지역에 비하여 바람이 강하고, 안개가 자주 끼는 특성을 보이는 것으로 나타났다. Table 5에서 보는 바와 같이 동절기 난방이 필요한 기간 동안의 평균 풍속은 간척지 인근의 해안지역에서 대부분 3.0 m/s를 넘고, 석문, 이원 간척지를 제외하면 내륙지역에 비하여 2배 이상 강한 것으로 나타나고 있다. 이와 같이 강한 풍속은 온실의 열관류율과 틈새환기율을 증가시키므로 난방부하의 증가요인으로 작용하게 될 것으로 판단된다. 따라서 간척지 온실의 난방시스템 설계에는 풍속보정계수를 적용하여 최대 난방부하를 10 % 정도 증가시킬 필요가 있다.

안개 지속시간의 경우도 Table 6과 같이 간척지 인근의 해안지역이 내륙지역에 비하여 상당히 큰 것을 알 수 있다. 특히 새만금 간척지의 경우 내륙지역에 비하여 안개지속시간이 3.4배나 길고, 다른 간척지도 25~49 % 긴 것으로 나타났다. 최대 난방부하는 안개의 영향이 없으므로 난방설비 용량 설계에는 안개지속시간이 관계가 없다. 그러나 안개지속시간이 내륙지역에 비하여 현저하게 길기 때문에 기간난방부하는 증가할 것으로 예상되며 이는 난방설비의 운전경비 측면에서 불리할 것으로 판단된다. Lindley and Whitaker (1996)는 일조시간의 증가에 따라 기간난방부하는 감소하며, 연간 일조시간이 200시간 증가하면 기간난방부하는 10 % 정도 감소하는 것으로 보고하였다. 새만금 간척지의 경우 5개월간 안개지속시간이 75시간 이므로 연간으로 환산하면 약 180시간이 되고, 이것은 일조시간이 그만큼 감소하는 것이 되며, 따라서 기간난방부하가 9 % 정도 증가할 것으로 예상된다.

따라서 간척지 온실의 난방시스템 설계 시에는 내륙지역보다 큰 풍속보정계수를 적용하여 최대난방부하를 산정해야 할 것으로 판단된다. 기간난방부하를 산정할 때에도 일조시간에 따른 조정계수를 평균보다 10 % 정도 큰 값을 적용하여

Table 5 Comparison of average wind speed between seaside and inland region near the reclaimed land during winter season

Reclaimed land	Region	Average wind speed (m/s)						<i>seaside inland</i>
		Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Total	
Sihwa, Hwaong	Seaside	3,0	3,3	3,2	3,5	3,7	3,3	1,94
	Inland	1,5	1,5	1,5	1,8	2,0	1,7	
Seokmun, Iwon	Seaside	2,2	2,2	2,2	2,4	2,8	2,4	1,50
	Inland	1,5	1,5	1,5	1,7	2,0	1,6	
Saemangeum	Seaside	3,7	3,6	3,8	4,1	4,5	3,9	2,60
	Inland	1,4	1,4	1,4	1,6	1,8	1,5	
Youngsangang, Goheung	Seaside	4,1	4,2	4,6	4,8	4,5	4,4	2,10
	Inland	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3	2,1	

Table 6 Comparison of fog duration hours between seaside and inland region near the reclaimed land during winter season

Reclaimed land	Region	Fog duration (h)						<i>seaside inland</i>
		Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Total	
Sihwa, Hwaong	Seaside	14,2	11,3	14,2	19,7	21,4	80,8	1,25
	Inland	19,3	9,3	9,4	12,9	13,5	64,4	
Seokmun, Iwon	Seaside	16,2	8,1	6,0	9,1	13,6	52,9	1,39
	Inland	17,8	4,7	6,8	4,0	4,7	38,1	
Saemangeum	Seaside	22,1	6,4	11,8	14,4	19,9	74,5	3,43
	Inland	3,4	2,7	3,5	6,6	5,5	21,7	
Youngsangang, Goheung	Seaside	8,3	5,0	3,4	9,5	6,4	32,7	1,49
	Inland	8,7	4,3	2,3	3,5	3,1	22,0	

난방설비의 운전경비를 예측하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 또한 난방 설계용 기상자료의 적용 시에도 주변의 기상관측소 자료를 그대로 이용하지 말고, 온실 설치 지역에서 실측한 기상자료 또는 현장 여건을 반영하여 보정된 기상자료를 사용하여 설계하도록 할 필요가 있다.

IV. 결 론

간척지 온실의 환경설계 기술 개발을 위한 기초자료 제공을 목적으로, 첨단 시설원예단지 설치 계획이 있는 국내 7개 대규모 간척지 주변의 기후조건을 분석하였으며, 새만금 간척지 내에 설치된 3연동 플라스틱 온실을 대상으로 동절기에 시설 내외의 열적 환경계측 실험을 통하여 난방부하 특성을 분석하고, 간척지 온실의 환경 설계 시 특별히 고려해야 할 부분을 검토하였다. 알루미늄스크린과 다겹보온커튼의 보온재를 설치한 실험온실의 평균 열관류율이 $3.79 \text{ W/m}^2\text{°C}$ 로 나타났다. 단일피복 플라스틱 온실 대비 열절감율은 44 %로 2층의 보온커튼을 설치한 일반 온실에 비하여 상당히 낮은 것으로 나타났다. 이는 본 실험온실이 간척지에 설치되어 내륙지역에 비하여 바람이 강하기 때문에 판단된다. 전체 난방부하 중에서 관류열부하가 96.4~99.9 %로 대부분을 차지하고, 환기전열부하와 지중전열부하의 비중은 낮은 것으로 나타났다. 따라서 바람이 강한 간척지에 설치하는 온실은 관류열 손실을 최소화할 수 있는 대책을 강구해야 할 것으로 판단된다. 간척지는 해안에 위치하고 있어 내륙지역에 비하여 바람이 강하고, 안개가 자주 끼는 특성을 보이는 것으로 나타났다. 특히 새만금 간척지의 경우 인근의 내륙지역에 비해 풍속은 2.6 배 강하고, 안개지속시간은 3.4배나 긴 것으로 나타났다. 따라서 간척지 온실의 난방시스템 설계 시에는 내륙지역보다 큰 풍속보정계수를 적용하여 최대난방부하를 산정해야 할 것으로 판단된다. 기간난방부하를 산정할 때에도 일조시간에 따른 조정계수를 평균보다 10 % 정도 큰 값을 적용하여 난방설비의 운전경비를 예측하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 또한 간척지 온실의 난방시스템 설계 시에는 주변의 기상관측소 자료를 그대로 이용하지 말고, 온실 설치 지역에서 실측한 기상자료 또는 현장 여건을 반영하여 보정된 기상자료를 사용하여 설계하도록 할 필요가 있다.

REFERENCES

1. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). 2008. *Standard: Heating, ventilating and cooling*

- greenhouses*. ANSI/ASAE EP406.4. ASABE, Michigan, USA.
2. Baptista, F. J., B. J. Bailey, J. M. Randall, and J. F. Meneses, 1999. Greenhouse ventilation rate: Theory and measurement with tracer gas techniques. *J. Agric. Engng Res.* 72(4): 363-374.
 3. Choi, M. K., S. W. Yun, I. H. Yu, S. Y. Lee, and Y. C. Yoon, 2015. Settlement instrumentation of greenhouse foundation in reclaimed land. *Protected Horticulture and Plant Factory*. 24(2): 85-92 (in Korean).
 4. Diop, S., J. W. Lee, and H. W. Lee, 2014. Measurement and comparison of overall heat transfer coefficients for greenhouse covering materials with thermal screens. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 56(4): 41-51 (in Korean).
 5. Japan Greenhouse Horticulture Association (JGHA). 2007. *Handbook of protected horticulture 5th edition*. JGHA, Tokyo, Japan.
 6. Kim, M. K., S. G. Lee, W. M. Seo, and J. E. Son, 1997. *Design standards for greenhouse environment*. Rural Development Corporation, Ansan, Korea (in Korean).
 7. Kim, R. W., D. W. Kim, K. C. Ryu, K. S. Kwon, and I. B. Lee, 2014. Estimation of wind pressure coefficients on even-span greenhouse built in reclaimed land according to roof slop using wind tunnel. *Protected Horticulture and Plant Factory* 23(4): 269-280 (in Korean).
 8. Korea Meteorological Administration (KMA). 2011. *Climatological normals of Korea*. KMA, Seoul, Korea (in Korean).
 9. Kozai, T., T. Gunji, and I. Watanabe, 1982. Measurements and analyses of the daily heating load of a greenhouse. *Journal of Agricultural Meteorology* 38(3): 279-285.
 10. Lee, H. W., S. Diop, and Y. S. Kim, 2011. Variation of the overall heat transfer coefficient of plastic greenhouse covering material. *J. of Bio-Env. Control* 20(2): 72-77.
 11. Lindley, J. A. and J. H. Whitaker, 1996. *Agricultural buildings and structures*. ASAE, Michigan, USA.
 12. Mihara, Y., Y. Naitou, and T. Takakura, 1978. Investigations on the heating load of a large plastic greenhouse. *Journal of Agricultural Meteorology* 33(4): 189-193.
 13. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MIFAFF). 2010. *Designated notice 2010-47: Basic plan for practical use of large scale reclaimed land*. MIFAFF, Gwacheon, Korea (in Korean).
 14. Nam, S. W. and H. H. Shin, 2015. Experimental study on the infiltration loss in plastic greenhouses equipped with thermal curtains. *Protected Horticulture and Plant Factory* 24(2): 100-105 (in Korean).
 15. Ogura, Y., 1982. Some results of actual observations of net radiation and soil heat transfer in unheated greenhouses. *Journal of Agricultural Meteorology* 37(4): 303-308.
 16. Shin, H. H. and S. W. Nam, 2015. Validation of load calculation

- method for greenhouse heating design and analysis of the influence of infiltration loss and ground heat exchange. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 33(5): 647-657 (in Korean).
17. Shin, H. H. and S. W. Nam, 2016. Experimental study on the characteristics of ground heat exchange in heating greenhouses. *Protected Horticulture and Plant Factory.* 25(3): 218-223 (in Korean).
18. Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea (SAREK). 2011. *Handbook of facilities engineering. Vol. 2 Air-conditioning.* SAREK, Seoul, Korea (in Korean).
19. Song, C. S., M. H. Kim, and U. H. Jang, 2016. Comparison analysis of model test for prediction of uplift resistance in the reclaimed land greenhouse foundation. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 58(2): 45-52 (in Korean).
20. Spitler, J. D., 2010. *Load calculation applications manual.* American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, USA.