

온실 피복재 및 보온재의 관류열전달계수 측정 장치



이 현 우
경북대학교 농업토목공학과 교수
whlee@knu.ac.kr



이 종 원
경북대학교 농업과학기술연구소 연구교수
leewon@knu.ac.kr



Souleymane Diop
경북대학교 농업토목공학과 박사과정
soulfady@yahoo.fr

1. 서론

온실의 난방비를 평가하기 위해서는 우선 난방에 소요되는 경비가 정확히 계산 되어야 하며 이를 위해서는 난방설비의 적정 용량을 결정하기 위한 최대난방부하와 재배기간 동안의 난방소요열량을 산정하기 위한 기간난방부하의 정확한 계산이 필요하다. 난방부하의 요인이 되는 온실의 열손실량은 피복재를 통한 관류열손실량, 온실 표면의 틈새를 통한 환기전열손실량 및 실내공기와 토양과의 열교환에 의한 지중전열손실량의 합으로 계산되지만 이 중 관류열손실량은 전체 열손실량의 60~100%정도로 대부분을 차지하고 있기 때문에 난방부

하량을 산정하는데 가장 중요한 요소이다. 관류열손실량은 일반적으로 관류열전달계수와 온실 내외부 온도차의 곱으로 구해지고, 관류열전달계수는 외부기온, 풍속 및 천공상태 등의 기상조건, 피복재의 표면상태, 피복재 내외부 표면의 대류열전달 방식, 장파복사열교환량, 틈새환기량, 피복면적, 온실형태, 온실바닥면적, 보온커튼의 유무 등에 따라 달라지며, 이 값은 열전도계수, 피복재 내외부의 대류열전달계수 및 장파복사열전달계수의 향으로 구성되어 있다(Papadakis 등, 2000).

현재, 국내에서 사용되고 있는 피복재 종류, 피복방법 및 보온방법에 따른 관류열전달계수(난방부하계수) 및 에너지 절감율은 일본에서 연구된 결과 값(日本施設園

藝協會, 2007)을 그대로 적용하고 있는 실정이다. 그러나 관류열전달계수는 실험할 때의 환경조건과 피복재의 열복사성질에 따라 달라지기 때문에 동일한 종류의 피복재에 대해서도 연구자에 따라 다른 값을 제시하거나 사용하고 있는 실정이다(Abdel-Ghany와 Kozai, 2006). 특히 기본소재가 동일하더라도 첨가물에 따라 열전달 특성이 달라지기 피복재 및 보온재의 특성에 맞는 관류열전달계수가 제시될 필요가 있다(Seginer 등, 1988).

국내에서는 표준화된 관류열전달계수 측정시스템 및 측정기준의 부재로 최근 개발되어 상용화된 피복재와 보온재에 대한 관류열전달 특성을 객관적으로 비교할 수 있는 통일된 정량적 기준이 마련되어 있지 못한 실정이다. 따라서 국내 환경에 적합한 표준화된 피복재 및 보온재의 관류열전달계수 측정시스템과 측정방법 및 기준의 개발이 필요하며 본고에서는 현재 개발되고 있는 관류열전달계수 측정시스템을 소개하고자 한다.

2. 연구개발대상 기술의 국내·외 현황 분석

2.1 국내 연구 현황

○ 외부피복자재의 보온성능과 관련하여 국내에서 수행된 연구 현황은 다음과 같다.

전 등(2007)은 “기능성 연질필름 온실의 미기상”에서 필름의 종류에 따른 보온성능을 온도를 측정하여 비교 분석하였다. 신 등(2007)은 “필름두께 및 적외선 흡수율 차이가 참외의 품질 및 수량에 미치는 영향”에서 피복재의 보온성능을 온도 및 생육특성을 조사하여 비교분석하였다. 전 등(2008)은 “단동온실의 내 외층 피복자재 조합별 미기상 분석”에서 일중 및 이중피복의 종류별 보

온특성을 온도변화를 측정하여 비교분석하였다. 이 등(2011)은 “플라스틱 피복재의 관류열전달계수 변화”에서 실제 일중피복 및 이중피복 플라스틱온실에 대한 관류열전달계수를 구하였다.

○ 내부보온자재의 보온성능과 관련하여 국내에서 수행된 연구 현황은 다음과 같다.

장 등(1996)은 “시설하우스용 보온커튼재의 물리적 특성에 관한 연구”에서 보온재의 물리적 성질과 함께 폴리프로필렌과 폴리에스테의 보온성능을 열량을 측정하여 비교·분석하였다. 이 등(2007)은 “다겹보온자재의 보온성 비교 및 커튼개폐장치 개발”에서 폴리폼, 화학솜, 부직포의 단일소재 보온재와 다겹보온자재의 보온효과를 관류열량을 측정하여 비교·분석하였다. 김 등(2007)은 “알루미늄반사재의 배치형태에 따른 보온 효과”에서 알루미늄반사단열재의 배치방법에 따라 보온성이 어떻게 달라지는가를 온도변화를 측정하여 분석하였다. 김 등(2009)은 “보온단열재의 설치방법에 따른 보온성 효과 분석”에서 보온단열재의 색깔, 방향, 구성재료 등의 영향을 분석하기 위하여 온도변화를 측정하여 분석하였다. 정 등(2009)은 “시설원예용 조합형 다겹보온자재의 보온 특성”에서 단일 보온재와 조합형 다겹보온자재의 보온특성을 온도를 측정하여 비교·분석하였다.

○ 이상과 같이 피복재와 보온재의 국내 연구 현황을 분석한 결과는 다음과 같다.

대부분의 연구들이 보온재의 종류 및 설치방법에 따른 보온효과를 온도비교를 통해 분석하였고 관류열량을 비교하였더라도 동일한 실험조건에서 상대적으로 비교한 연구가 대부분이다. 관류열전달계수 측정과 관련해서는 이 등(2011)이 시도하였으나 외부 환경변화가 큰 실제 온실에서 측정된 값이기 때문에 피복재 및 보온재

별 정확한 관류열전달계수는 구한 사례는 거의 없다.

2.2. 국외 연구 현황

○ 외부피복자재의 보온성능과 관련하여 국외에서 수행된 연구 현황은 다음과 같다.

皆川秀夫(1982) 등은 “PE, PVC—中被覆ハウスの熱貫流”에서 PE 및 PVC 일중피복 온실의 열관류 특성을 열관류율을 구하여 분석하였다. Nijskens(1984)는 “Heat transfer through covering materials of greenhouses”에서 온실피복재로 사용되고 있는 재료의 일중과 이중피복에 대해 풍속, 기후조건, 두께 등에 따른 관류열전달계수 변화를 분석하였다. Albright(1985)는 “In situ thermal calibration of unventilated greenhouse”에서 환기를 실시하지 않은 일중피복온실의 피복재 관류열전달계수를 시뮬레이션을 실시하여 분석하였다. Garzoli(1987)는 “An analysis of the nocturnal heat loss from a double skin plastic greenhouse”에서 시뮬레이션을 실시하여 이중피복플라스틱온실의 피복재 관류열전달계수를 산정하였다. Seginer(1988)는 “Transfer coefficients of several polyethylene greenhouse covers”에서 일중피복과 공기주입이중피복에 대해 첨가물 유무에 따른 관류열전달계수 변화를 시뮬레이션을 실시하여 분석하였다. Kittas(1994)는 “Overall heat transfer coefficient of a greenhouse cover”에서 시뮬레이션을 실시하여 여러 가지 환경조건에 따른 피복재의 관류열전달계수의 변화를 분석하였다. Feuilloley(1996)는 “Greenhouse covering materials measurement and modeling of thermal properties using the hot box method, and condensation effects”에서 표준화 되지 않은 핫박스를

이용하여 외부환경에서 PE필름과 유리의 관류열전달계수를 측정하고 분석하였다. Papadakis(2000)는 “Radiometric and thermal properties of, and testing methods for, greenhouse covering materials”에서 관류열전달계수 측정방법에 대하여 기술하고 실험실에서 핫박스 방법으로 구한 피복재의 관류열전달계수는 동일한 재료로 피복된 온실에서의 관류열전달계수와 다르며, 이것은 온실의 열관류 전달특성이 피복재 종류, 온실형태, 온실종류, 크기 그리고 기온, 풍속, 천공온도와 같은 기상조건에 따라 달라진다고 하였다. Abdel-Ghany(2006)는 “On the determination of the overall heat transmission coefficient and soil heat flux for a cooled, naturally ventilated greenhouse”에서 온실피복재의 복사 및 대류열전달 관계를 시뮬레이션을 실시하여 분석하였다.

○ 내부보온자재의 보온성능과 관련하여 국외에서 수행된 연구 현황은 다음과 같다.

三原義秋(1979) 등은 “온실의 보온에 관한 연구”에서 커튼 종류와 유무에 따른 열관류율 변화를 분석하였다. Bailey(1981)은 “The evaluation of thermal screens in glasshouses on commercial nurseries”에서 보온커튼 설치에 따른 열손실 계수를 온실실험을 실시하여 분석하였다. Huseyin(2005)는 “Experimental determination of the overall heat loss coefficient for energy requirement of greenhouse heating”에서 모형온실실험을 실시하여 스크린 유무에 따른 관류열손실계수 변화를 분석하였다. Geoola(2009) 등은 “A study of the overall heat transfer coefficient of greenhouse cladding materials with thermal screens using the hot box”에서 실험실 실험을 실시

표 1. PE필름 온실의 피복재 관류열전달계수

(W · m⁻² · K⁻¹)

피복방법	Papadakis etc.(2000)	Seginer etc. (1988)		Nijjskens etc. (1984)		Minagawa and Tachibana(1982)		日本施設園藝協會 (2007)	ASABE (2008)
		일반 필름	첨가제	맑은날	흐린날	맑은날	흐린날		
일중피복	6~8	10	9.5	9.0	7.2	8.4	7.2	6.8	6.2
이중피복	4.2~6.0	7.3	6.9	6.4	4.8	-	-	4.1	4.0

하여 보온커튼의 유무에 따른 온실피복재의 관류열전달 계수를 분석하였다.

○ 피복재와 보온재의 국외 연구 현황을 분석한 결과는 다음과 같다.

피복재의 보온특성과 관련하여 많은 연구들이 수행되었으며, 특히 국내 연구에서는 거의 수행되지 않았던 피복재의 관류열전달계수 결정과 관련된 많은 연구들이 실험 및 시뮬레이션을 통해 수행되었다. 보온재의 보온특성을 분석하기 위하여 보온재의 종류 및 설치유무에 따른 관류열전달계수를 산정하여 비교분석한 연구가 수행된 바 있으나, 실험조건에 차이가 있어 상대적으로 비교하기에 어려움이 있다. 연구 결과들을 분석한 결과 표 1에서 보는 바와 같이 많은 차이를 보여 주었으며, 이는 실험 및 분석 조건의 차이에 의한 것으로 판단된다.

2.3. 국내외 연구현황 비교 및 필요 연구 분야

국내 연구 현황을 분석한 결과, 피복재 및 보온재의 관류열량을 비교하였더라도 동일한 실험조건에서 상대적으로 비교한 연구가 대부분이며, 실제 온실에서 이루어지는 야간 천공온도에 의한 복사냉각을 고려하지 않은 연구로 피복 및 보온재의 관류열전달특성을 정량적으로 표시하기 위한 관류열전달계수를 제시하는 연구 사례는 거의 없었다. 국외 연구 현황을 분석한 결과, 국

내 연구에서는 거의 수행되지 않았던 피복재의 관류열전달계수 결정과 관련된 많은 연구들이 수행되었고, 보온재의 보온특성을 분석하기 위하여 보온재의 종류 및 설치유무에 따른 관류열전달계수를 산정하여 비교분석한 연구가 수행된 바 있으나, 실험조건에 차이가 있어서 비교하기에 어려움이 있었다. 여러 가지 피복재 및 보온재의 관류열전달계수를 서로 비교하기 위해서는 동일한 조건의 표준화된 측정환경이 요구되었으며, 이를 위해 벨기에의 Gembloux 대학에서 표준화된 야간측정환경조건이 설정되었다(Papadakis 등, 2000). 이 조건은 피복재 및 보온재의 외부온도가 0℃, 내부온도는 15℃, 천공온도는 0℃와 -20℃이고 풍속은 4m/s이다. 국내에서는 표준화된 관류열전달측정시스템 및 측정기준의 부재로 최근 개발되어 상용화된 피복재와 보온재에 대한 관류열전달 특성을 비교할 수 있는 통일된 정량적 기준이 마련되어 있지 못한 실정이다. 따라서 국내 환경에 적합한 표준화된 피복재 및 보온재의 관류열전달계수 측정시스템과 측정방법 및 기준의 개발이 필요하다.

3. 관류열전달계수 측정 장치

국내에서 개발된 온실의 피복재 및 보온재의 관류열전달계수를 측정하는 장치를 소개하면 다음과 같다.

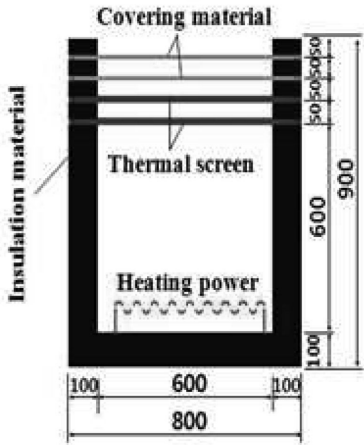


그림 1. 실외용 관류열측정장치의 개략도 (단위: mm)

3.1. 실외용 관류열전달계수 측정 장치

관류열전달계수의 측정은 핫박스를 사용하도록 여러 가지 기준들에서 제안하고 있다. 이러한 기준들에 의하면 핫박스는 강성체의 열성능을 측정하도록 되어 있으나 온실용 플라스틱 필름과 같은 연질의 얇은 필름에도 적용이 가능하다(Papadakis et al., 2000). 그림 1의 핫박스는 ASTM C 236-89의 기준에 따라 Feuilloley and Issanchou(1996)가 사용한 핫박스를 참고하여 제작한 측정장치의 개략도이며, 그림 2는 측정장치의 사진이다.

핫박스는 단면의 크기가 60 X 60cm이고 높이가 60cm이며 내부의 아래쪽에 용량이 500W인 가열장치가 설치되어 있다. 가열장치는 설정온도가 유지되도록 온-오프제어가 되도록 하였다. 가열을 위해 공급되는 전력은 전력계(Power Manager, STC, Korea)를 사용하여 측정하였으며, 측정된 값은 매초마다 컴퓨터에 저장되도록 하였다. 여러 개의 피복재와 보온재를 고정시키기 위하여 핫박스 위에 5cm 두께의 발포폴리스티렌으로 제작된 4개의 간격조정장치를 설치하였다. 간격조



그림 2. 실외용 관류열측정장치의 사진

정장치를 사용하여 5cm 간격으로 피복재와 보온재를 설치할 수 있도록 하였다. 핫박스의 내부와 외부에 각각 3점씩 온도센서(HOBO, Onset, USA)를 설치하였다. 핫박스 벽체의 내부와 외부표면에 각각 3점씩 표면온도센서(UE-1530, USSEM, Korea)를 설치하였다.

3.2. 실내용 관류열전달계수 측정장치

그림 3은 실내용 관류열측정장치의 개략도이며, 그림 4는 실내용 관류열측정장치의 실물을 보여주는 사진이다. 냉각채임버는 단면의 크기가 360 X 240cm이고 높이가 195cm이며, 20cm 두께의 발포폴리스티렌 판으로 만들어졌다. 냉각 채임버내에는 냉각기가 설치되어 있으며, 최저 -2℃까지 자동조절이 가능하다. 천공복사에 의한 복사열손실을 구현하기 위하여 핫박스의 피복재 표면으로부터 20cm 떨어진 높이에 단면의 크기가 100 X 100cm이고 높이가 7cm인 천공복사 구형장치를 설치하였다. 이 장치는 스테인리스강으로 제작되었으며 알루미늄 호일로 피복되었다. 내부에는 $\phi 15.8 \times 0.9t$

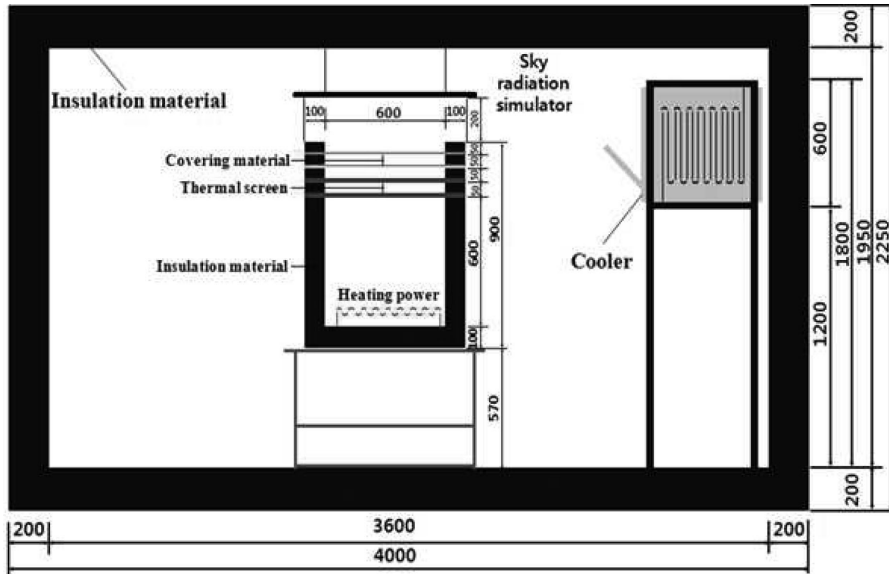


그림 3. 실내용 관류열측정장치의 개략도 (단위: mm)

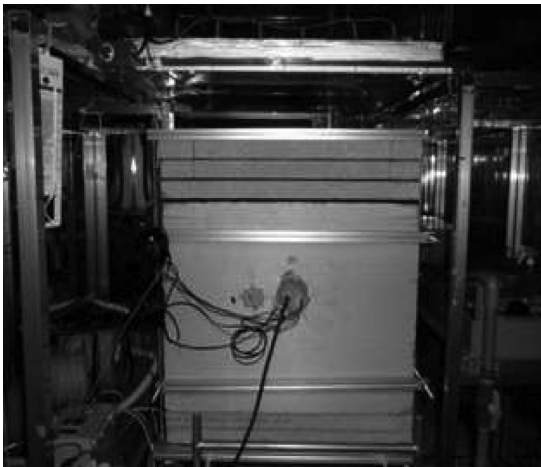


그림 4. 실내용 관류열측정장치의 사진

mm 크기의 동 파이프가 매설되어 있고 그 안에 냉매 R22가 주입되어 있다. 구현장치의 표면은 -30°C 까지 냉각이 가능하다.

3.3 밀폐형 관류열전달계수 측정장치

그림 5는 냉각부와 가열부를 일체로 만든 밀폐형 관류열측정장치의 모식도이다. 외부환경과의 차단을 위해 단열재를 사용하여 밀폐된 박스를 만들고 박스의 하부에는 고온을 일정하게 유지시킬 수 있는 가열부를 설치하고 상부에는 저온을 일정하게 유지시킬 수 있는 냉각기를 설치한다. 하부의 가열부내에 핫박스를 설치하고 핫박스 내부에는 하부의 고온부와 동일한 온도를 유지시킬 수 있는 가열부를 설치하고 상부에는 온실 피복재와 보온재(측정용 시편)를 고정할 수 있는 장치를 설치한다. 냉각부의 벽체에는 대류열손실을 유발할 수 있는 팬을 측면에 설치하고 상부천정에는 복사열손실을 유발할 수 있는 냉각판을 상부천정에 설치한다. 핫박스 내부 온도를 일정하게 유지하면서 일정시간 동안에 열원에서 공급된 열량을 측정하여 관류열량을 구한다. 관류열량

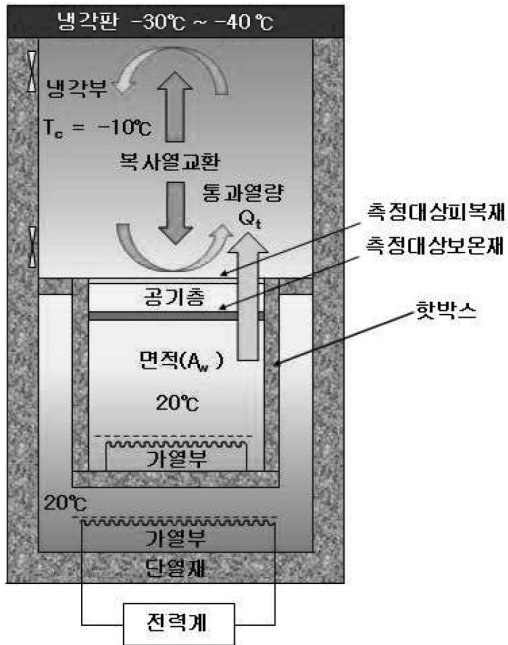


그림 5. 밀폐형 관류열측정장치의 모식도

을 시편의 표면적과 핫박스 상하부 온도차로 나누어 관류열전달계수를 계산한다.

4. 관류열전달계수 산정

실험장치가 단열되어 있고 피복재 및 보온재를 통한 열전달이 안정되어 있다면 열흐름은 열평형이론을 따르게 되며 피복재의 관류열전달계수는 다음 식을 사용하여 계산할 수 있다(Holman, 1986).

$$U = \frac{Q}{A(T_i - T_o)} \quad (1)$$

여기서, U는 관류열전달계수($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$), Q는 핫박스 내부의 가열을 위해 공급된 열량(W), A는 피복재

의 면적(m^2), T_i 는 핫박스의 내부온도($^{\circ}C$), T_o 는 외부온도($^{\circ}C$)이다.

핫박스가 완전한 단열체가 아니기 때문에 벽체를 통한 열손실을 고려하여 다음식과 같이 피복재를 통한 열손실량을 계산하였다. 틈새환기에 의한 열손실은 무시한다.

$$Q = Q_r - Q_w \quad (2)$$

여기서, Q_r 은 가열장치에 의해 공급된 열량(W), Q_w 는 벽체를 통해 손실된 열량(W)이다.

실제 피복재를 통한 관류열전달계수 산정 식은 다음과 같다.

$$U = \frac{Q_r - Q_w}{A(T_i - T_o)} \quad (3)$$

벽체를 통한 열손실량은 다음 식으로 계산한다.

$$Q_w = \frac{\lambda S_w (T_p - T_x)}{L_w} \quad (4)$$

여기서, S_w 는 핫박스의 벽체 및 바닥 표면적(m^2), λ 는 단열재의 열전도도($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$), T_p 는 벽체의 내부표면온도($^{\circ}C$), T_x 는 벽체의 외부표면온도($^{\circ}C$), L_w 는 벽체 두께(m)이다.

5. 결론

온실의 피복재 및 보온재의 관류열전달계수 측정시스템의 개발과 관련된 국내외 연구현황을 소개하고 국내에서는 개발되고 있는 관류열측정시스템을 소개하였다.

개발될 시스템은 향후 자재 생산업체, 연구기관 및 시험기관에 보급하여 정량화된 기준에 따라 자재의 보온 성능을 분석함과 동시에 피복재 및 보온재의 보온 성능에 대한 국내 기준을 정량적으로 제시하는데 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 기술적인 측면에서 보온재의 사용적격 판정을 위한 정량적 기준이 제시되어 보온재의 규격화에 기여할 것이고, 관류열손실을 억제하는 피복재 및 보온재의 본질적 기능을 향상시키는데 기여할 것이다. 경제적 · 산업적 측면에서는 온실용 피복재 및 보온재의 국내 기준과 측정방법을 제시함으로써 제품의 규격화와 표준화에 기여할 것이고, 피복재 및 보온재의 성능을 정확하게 판단할 수 있는 기술을 확보할 수 있기 때문에 보온재 생산기술이 우수하게 되어 보온재 산업의 대외 경쟁력이 높아질 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ00852601)의 지원에 의해 이루어진 것임.

참고문헌

1. Abdel-Ghany, A.M. and T. Kozai. 2006. On the determination of the overall heat transmission coefficient and soil heat flux for a cooled, naturally ventilated greenhouse: Analysis of radiation and convection heat transfer. *Energy Conversion and Management* 47:2612-2628.
2. Albright, L.D., I. Seginer, L.S. Marsh, and A. Oko. 1985. In situ thermal calibration of unventilated greenhouse. *J. agric. Engng Res.* 31:265-281.
3. ASABE. 2008. Heating, ventilating and cooling greenhouses. ASABE Standards.
4. Bailey, B.J. 1981. The reduction of thermal radiation in glasshouses by thermal screens. *J. agric. Engng Res.* 26: 215-224.
5. Bailey, B.J. and Z.S. Chalabi. 1994. Improving the cost effectiveness of greenhouse climate control. *Computers and Electronics in Agriculture* 10:203-214.
6. Feuilloley, P., and G. Issanchou. 1996. Greenhouse covering materials measurement and modeling of thermal properties using the hotbox method, and condensation effects. *J. agric. Eng. Res.* 65:129-142.
7. Garzoli, K.V. and J. Blackwell. 1987. An analysis of the nocturnal heat loss from a double skin plastic greenhouse. *J. Agric. Engng Res.* 36:75-85.
8. Geoola, F., Y. Kashtj, A. Levi, and R. Brickman. 2009. A study of the overall heat transfer coefficient of greenhouse cladding materials with thermal screen using the hotbox method. *Polymer Testing* 28:470-474.
9. Holman, J.P. 1986. Heat transfer. McGraw-Hill International Editions, New York.
10. Japan Protected Horticulture Association (JPHA). 1994. Handbook of protected horticulture. Japan Protected Horticulture Association. p.170-173 (in Japanese).
11. Kittas, C., 1994. Overall heat transfer coefficient of a greenhouse cover. *Agricultural and Forest Meteorology* 69:205-221 (in French).
12. Minagawa, H. and K. Tachibana. 1982. The overall heat transfer of greenhouses covered with PE and PVC single layer – The heat insulation efficiency of greenhouses and their covering materials (1). *J. Agr. Met.* 38(1):15-22 (in Japanese).
13. Nijsskens, J., J. Deltour, S. Coutisse, and A. Nisen. 1984a. Heat transfer through covering materials of greenhouses. *Agricultural and Forest Meteorology*, 33:193-214.
14. Papadakis, G., D. Briassoulis, G.S. Mugnozsa, G. Vox, P. Feuilloley, and J.A. Stoffers. 2000. Radiometric and thermal properties of, and testing

- methods for, greenhouse covering materials. J. Agric. Eng. Res. 77(1):7-38.
15. Seginer, I., D. Kantz, U.M. Peiper, and N. Levav. 1988. Transfer coefficients of several polyethylene greenhouse covers. J. agri. Engng Res. 39:19 –37.
 16. Ursula E, Antoine D (2011) Photovoltaic–thermal collectors for night radiative cooling of buildings. *Solar Energy* 85(7): 1322-1335.
 17. 김영복, 박종춘, 허무룡, 이시영, 정성우. 2007. 알루미늄반사재의 배치형태에 따른 보온 효과. 한국생물환경조절학회지 16(4): 284-290.
 18. 김영복, 이시영, 정병룡. 2009. 보온단열재의 설치방법에 따른 보온성 효과 분석. 한국생물환경조절학회지 18(4): 332-340.
 19. 신용습, 연일권, 도한우, 이지은, 정종도, 강찬구, 최충돈, 전희, 최영하, 정두석. 2007. 필름두께 및 적외선 흡수율 차이가 참외의 품질 및 수량에 미치는 영향. 한국생물환경조절학회지 16(3): 167-173.
 20. 이시영, 김학주, 전희, 염성현, 이현주. 2007. 다겹보온자재의 보온성 비교 및 커튼개폐장치 개발. 한국생물환경조절학회지 16(2): 89-95.
 21. 이현우. 2011. 플라스틱 피복재의 관류열전달계수 변화. 한국생물환경조절학회지 20(2): 72-77.
 22. 장유섭. 1996. 시설하우스용 보온커튼재의 물리적 특성에 관한 연구. 한국생물환경조절학회지 5(1): 34-52.
 23. 전희, 최영준, 최영하, 김학주, 이시영, 정두석, 신용습, 최충돈. 2007. 기능성 연질필름 온실의 미기상. 한국생물환경조절학회지 16(2): 96-100.
 24. 전희, 최영하, 박경섭, 우영희. 2008. 단동온실의 내 외층 피복자재 조합별 미기상 분석. 한국생물환경조절학회 발표논문집 17(1): 476-479.
 25. 정성원, 김동건, 이석건, 남상현, 이웅범. 2009. 시설원예용 조합형 다겹보온자재의 보온 특성. 한국생물환경조절학회지 18(4): 341-347.
 26. 日本施設園藝協會, 2007, 五訂 施設園藝ハンドブック.
 27. 皆川秀夫, 立花一雄. 1982. PE, PVC-中被覆ハウスの熱貫流. *農業氣象* 38(1): 15-22.
 28. 三原義秋, 林 真紀夫. 1979. 溫室の保溫に關する研究. *農業氣象* 35(1): 13-19.

기획: 이현우 whlee@knu.ac.kr