

Original Article

# A Numerical Study for Calculation of Overall Heat Transfer Coefficient of Double Layers Covering and Insulation Material for Greenhouse

Jong-Won Lee<sup>1</sup>, Dong-Keon Kim<sup>2</sup>, and Hyun-Woo Lee<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Institute of Agricultural Science & Technology, Kyungpook National Univ., Daegu 702-701

<sup>2</sup>Research Institute of Mechanical Technology, Pusan National University, Pusan 609-735

<sup>3</sup>Department of Agricultural Eng., Kyungpook National Univ., Daegu 702-701

## 온실용 이중피복 및 보온재의 관류열전달계수 산정을 위한 수치적 연구

이종원<sup>1</sup> · 김동건<sup>2</sup> · 이현우<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 농업과학기술연구소, <sup>2</sup>부산대학교 기계기술연구원, <sup>3</sup>경북대학교 농업토목공학과

Received: November 9 2015 / Revised: December 9 2015 / Accepted: December 11 2015

**Abstract** This study calculated the overall heat transfer coefficient (U-value) of greenhouse covering materials with thermal screens using a simulation model and then estimated the validity of the calculated results by comparison with measured values. The U-value decreased gradually as the thickness of the air space between the double glazing increased, and then remained essentially constant at thicknesses exceeding 25 mm. The U-value also increased with the difference in temperature between the inside and outside of the hot box. The vigorous convective heat transfer between two plastic films caused unsteady heat flow and then created a nonlinear temperature distribution in the air space. The distance did not affect the U-value at distances of 50~200 mm between the plastic covering and thermal curtain. The numerical calculation results, with and without sky radiation, were in accord with the experimental results for a 30°C temperature difference between the inside and outside of the hot box. In conclusion, a reliable U-value can be calculated for a temperature difference of

30°C or more between the inside and outside of the hot box.

**Keywords:** analysis model, glass, plastic film, sky radiation, temperature difference

## 서 론

우리나라에서 2014년 현재 채소를 재배하는 51,382 ha의 원예시설 중에서 단동온실이 44,177 ha로 86.0%이고 연동온실이 5,897 ha로 11.5%를 차지하고 있다. 단동온실은 보온을 위해 다중피복(30.9%), 보온덮개(24.1%), 수막시설(14.4%), 다겹커튼(12.8%)등을 사용하고 있으며, 연동온실은 부직포커튼(40.8%), 다겹커튼(35.9%), 알미늄커튼(6.0%)을 사용하고 있다. 이와 같이 대부분의 온실들이 열손실을 줄이기 위한 보온시설을 갖추고 있는 실정이며, 난방을 하는 시설면적도 14,882 ha로 전체면적의 29%정도를 차지하고 있다(MIFAFF, 2014). 온실의 생산비 중 난방비가 차지하는 비율이 49.5% 정도로 매우 높기 때문에 난방비를 절감할 수 있는 방안들이 절실히 요구되고 있다(Yang et al., 2012).

겨울철 난방부하는 피복재를 통해 손실되는 관류열량, 온실의 틈새로 손실되는 환기전열량 및 실내공기와 토양과의 열교환에 의해 손실되는 지중전열량의 합으로 계산되며 이들 중 관류열량이 전체 열손실량의 60~100%정도로 가장 큰 값을 차지하기 때문에 난방부하에 있어서 가장 중요한 값이다(Japan Protected Horticulture Association, 1994; Kim et al., 2000). 관류열손실량은 일반적으로 관류열전달계수와 온실 내외부 온

\*Corresponding author: Hyun-Woo Lee  
Tel: 82-53-950-5736; Fax: 82-53-950-6752  
E-mail: whlee@knu.ac.kr

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© 2015 Institute of Agricultural Science and Technology, Kyungpook National University

도차의 곱으로 구해지고, 관류열전달계수는 외부기온, 풍속 및 천공상태 등의 기상조건, 피복재의 표면상태, 피복재 내외부 표면의 대류열전달 방식, 장파복사열교환량, 틈새환기량, 피복 면적, 온실형태, 온실바닥면적, 보온커튼의 유무 등에 따라 달라지며. 이 값은 열전도계수, 피복재 내외부의 대류열전달계수 및 장파복사열전달계수의 향으로 구성된다(Papadakis et al., 2000; Na et al., 2013). 이와 같이 관류열전달계수는 다양한 피복조건 및 기상조건에 따라 달라지기 때문에 각종의 피복 조건에 대하여 대부분 측정실험을 통해 값이 제시되고 있다 (Bailey, 1981; Diop et al., 2012, 2014; Feuilloley and Inssanchou, 1996; Geoola et al., 2009; Minagawa and Tachibana, 1982).

그러나 최근 많은 새로운 피복재 및 보온재들이 개발되어 사용되고 있는 실정이기 때문에 이들의 조합에 대한 관류열 전달계수를 실험적으로 결정하기 위해서는 많은 시간과 비용이 소요된다. 또한 약간의 기술변경에도 새롭게 모든 실험을 다시 수행해야 하는 많은 번거로움이 있을 것으로 판단된다. 따라서 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 이론적인 시뮬레이션을 통해 관류열전달계수를 산정할 수 있는 시뮬레이션 해석모델의 개발이 필요하다. 온실 피복재의 관류열전달계수 산정을 위한 이론적 시뮬레이션 모델 개발과 관련하여 많은 연구들이 수행된 바 있으나 대부분 외부피복재의 관류열전달계수 산정을 위한 모델 개발에 관한 연구(Abdel-Ghany and Kozai, 2006; Albright et al., 1985; Garzoli and Blackwell, 1987; Kittas, 1994; Nijskens et al., 1984; Seginer et al., 1988)이며 피복재와 보온재가 조합된 구성에 대한 관류열전달계수의 산정모델 개발에 관한 연구는 찾아보기 어려웠다.

따라서 본 연구는 온실용 피복재 및 보온재의 조합에 대한 시뮬레이션 해석모델을 개발하여 관류열전달계수를 산정하고 측정된 결과와 비교하여 타당성을 평가하기 위해 수행되었다.

**재료 및 방법**

**이중유리피복의 관류열전달계수 산정**

관류열전달계수는 상용코드인 CFX Ver. 14(ANSYS, USA)를 이용하여 산정하였다. 해석은 정상상태에서 수행하였고, 사용된 난류모델은 Shear Stress Transport(SST) 모델을 사용하였으며, 수렴 조건은  $1 \times 10^{-5}$ 이고, 열유속(Heat flux)의 출입이 동일하게 될 때까지 해석을 수행하였다.

Figure 1은 이중 유리피복에 나타나는 열전달을 개념도로 나타낸 것으로, 이중 유리피복창의 열전달은 전도, 대류, 복사가 모두 존재하는 복합 열전달의 형태이고, 안쪽면(indoors)과 바깥쪽면(outdoors) 유리사이의 공기층에는 자연대류가 일어나고 유리의 바깥쪽에는 강제대류가 일어나는 복잡한 형태를 포함하고 있다.

Figure 2는 본 연구의 해석모델을 나타낸 것으로, 해석 모델은 가로(1.5 m) × 세로(1.5 m) × 두께(16 mm)의 유리판 2개와 유리판사이의 공기층으로 이루어져 있다. 내부의 공기층은 550 mm까지 5 mm간격으로 조절하여 해석을 수행하였다. 이중유리피복의 안쪽 면과 바깥쪽 면에는 외기 온도에 의해 대

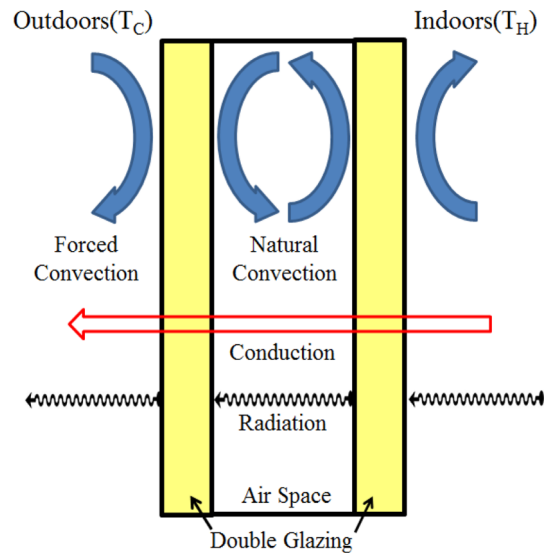


Figure 1. Schematic of heat transfer through a double glazing.

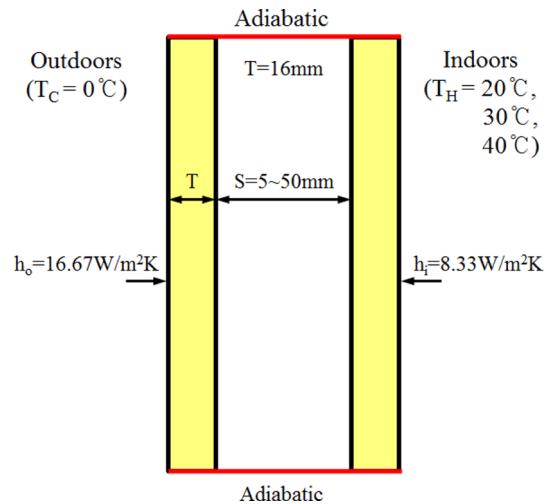


Figure 2. Schematic of boundary and analysis conditions.

Table 1. Condition of numerical analysis

Factor	Conditions
S (glass-to-glass spacing)	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 mm
ΔT ( Temperature difference )	20°C, 30°C, 40°C
Glass plate thickness	5 mm

류열전달이 있어나기 때문에 대류열전달 계수를 각각  $h_o = 16.67 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $h_i = 8.33 \text{ W/m}^2\text{K}$ 로 가정하였다. 이중 유리피복의 온도차는 20°C, 30°C, 40°C로 하였는데, 이때 온도차는 외부온도( $T_c$ )는 0°C로 고정한 상태에서 내부온도( $T_H$ )를 20°C, 30°C, 40°C로 올려서 설정하였다. 이중 유리피복 및 공기층의 상, 하부 단면은 단열(adiabatic)조건을 설정하여 해석을 수행하였다.

해석 조건은 Table 1에 나타내었으며, 관류열전달계수(U값)는 (1)식을 사용하여 산정하였다.

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

여기서, U는 관류열전달계수(W/m<sup>2</sup>K), Q는 핫박스 내부의 가열을 위해 공급된 열량(W), A는 피복재의 면적(m<sup>2</sup>), T<sub>i</sub>는 핫박스의 내부온도(°C), T<sub>o</sub>는 외부온도(°C)이다.

**이중플라스틱피복 및 보온재의 조합에 대한 관류열전달계수 산정**

Figure 3은 관류열전달계수의 산정을 위한 이중플라스틱피복 및 보온재의 조합에 대한 개략도를 나타낸 것이다. 해석 모델은 Diop et al.(2014)의 실험결과와 비교하기 위하여 실험에서 사용된 모델과 동일하게 설정하였고, 해석에 사용된 핫박스는 내부공간이 가로(600 mm) × 세로(60 mm) × 높이(600 mm)이다. 실험에서는 하단부와 측면부에는 100 mm의 두께로 된 스티로폼을 이용하여 열이 외부로 방출되는 것을 최대한 억제하는 것으로 하였으나 본 모델에서는 완전히 단열된 것으로 가정하였다. 핫박스의 상부에는 관류열전달계수를 산정할 대상인 플라스틱피복재와 보온자재를 Table 2와 같이 조합하고 설치하여 해석하였으며, 비교를 위해서 일중피복에 대한 해석도

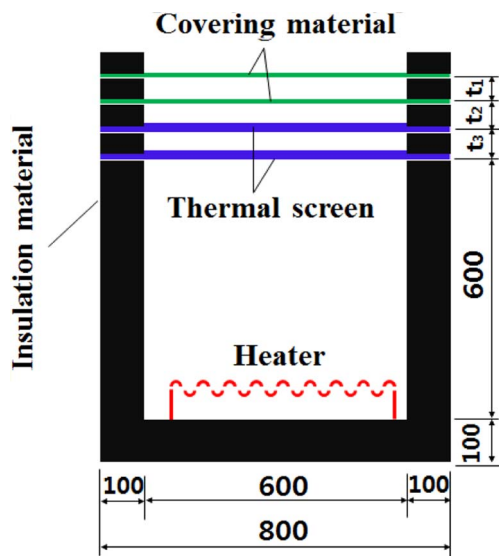


Figure 3. Schematic diagram of the hot box (Unit: mm).

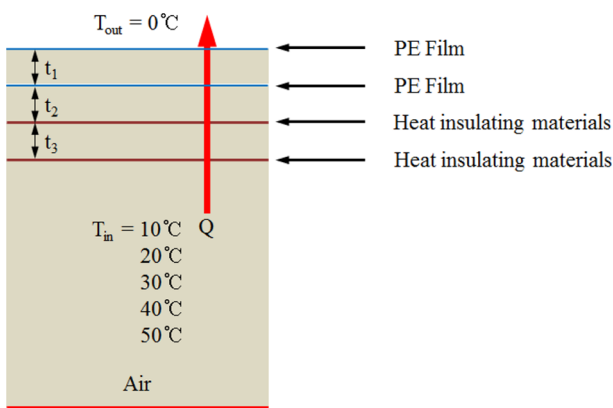


Figure 4. Schematic of boundary and analysis conditions.

Table 2. Combination of PE film and heat insulation material

Treatment	Combination
1 L	1 layer of PE film
2 L	2 layers of PE film
4 LW	2 layers of PE film + 2 layers of white polyester
4 LFW	2 layer of PE film + 1 layer of Non-woven fabric 1 layer + 1 layer of polyester

Table 3. Analysis variable and condition

Analysis variable	Analysis condition
t <sub>1</sub>	50, 100, 150, 200 mm
t <sub>2</sub>	50, 100 mm
t <sub>3</sub>	50, 100 mm
ΔT (T <sub>in</sub> -T <sub>out</sub> )	10°C, 20°C, 30°C, 40°C, 50°C

수행하였다. 해석 조건에 따라 안쪽면과 바깥쪽 면에는 대류 열전달이 일어나기 때문에 대류열전달 계수를 각각 ho = 16.67W/m<sup>2</sup>K, hi = 8.33W/m<sup>2</sup>K로 가정하여 해석에 사용하였다. 또한 해석조건은 Figure 4 및 Table 3과 같이 온도차는 10°C, 20°C, 30°C, 40°C, 50°C로 하였고, 이때 온도차는 외기 온도(T<sub>out</sub>)는 0로 고정된 상태에서 내부온도(T<sub>in</sub>)를 10°C, 20°C, 30°C, 40°C, 50°C로 증가시켜서 온도차를 구현하였으며, 피복재와 보온재 서로간의 간격을 50, 100, 150, 200 mm 등으로 다양하게 변화시켜 간격의 변화에 따른 관류열전달계수의 변화를 분석하였다. 피복재 표면에서의 천공복사온도는 -20°C로 설정하였다.

**결과 및 고찰**

**이중유리피복의 관류열전달계수**

Figure 5는 온도차가 20°C에서 이중유리의 간격이 550 mm에 대한 온도 및 속도 분포를 나타낸 것이다. 이중유리의 간격이 두꺼운 50 mm의 경우는 내부 공기층에서 자연대류가 활발히 일어나는 것을 속도 분포를 통해 확인할 수 있지만, 이중유리의 간격이 얇은 5 mm의 경우 자연대류의 영향이 극히 미세하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 내부 유리창의 온도분포를 보면, 50 mm가 5 mm에 비해 4.2°C 높은 온도를 유지하고 있음을 확인할 수 있다. 이를 통해 공기층이 두꺼운 경우 자연대류가 공기층에서 일어나는 전도를 방해함으로써 열출입을 막아주는 역할을 하는 것으로 사료된다.

Figure 6은 온도차가 20°C에서 이중유리 간격(S)의 변화에 따른 관류열전달계수인 U값의 분포를 선행연구인 Gan(2001)의 결과와 비교하여 나타낸 것이다. 여기서 U값은 이중유리피복을 통과하는 열유속에 대해 온도차로 나누어서 구하였다. 선행연구와 비교한 결과, 본 해석의 결과가 ±2.5%내에서 잘 일치하는 것을 확인하였다.

Figure 7은 온도차를 20, 30, 40로 하였을 때의 관류열전달계수의 분포를 나타낸 것으로, 온도차의 3가지 경우 모두가 초기 이중유리피복의 간격이 5 mm에서는 높은 관류열전달계수를 가지지만, 공기층이 두꺼워짐에 따라 관류열전달계수가

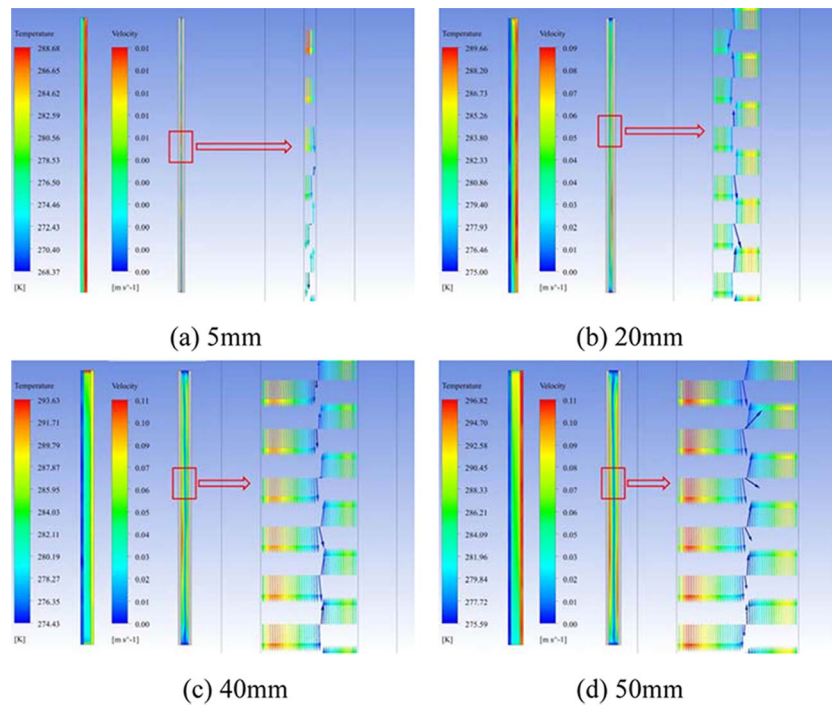


Figure 5. Distributions of inner temperature and velocity of double glass glazing for temperature difference 20°C.

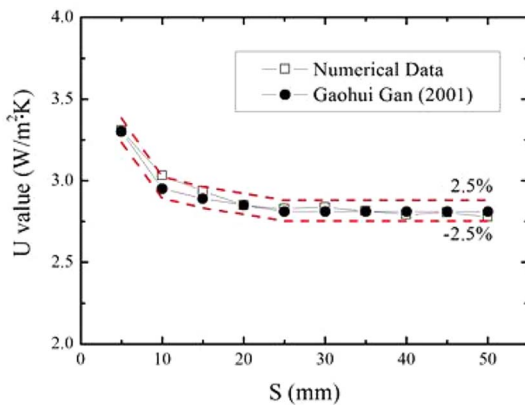


Figure 6. Distributions of overall heat transfer with variation of double glass glazing distance for temperature difference 20°C.

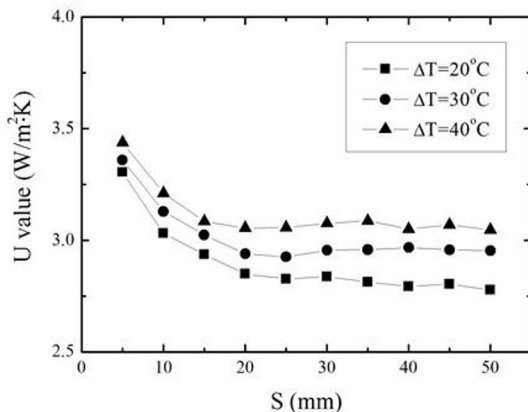


Figure 7. Distributions of overall heat transfer with variation of double glass glazing distance for temperature difference.

서서히 작아져서 공기층 두께가 25 mm 이상이 되면 관류열전달계수의 변화가 거의 없는 것을 확인할 수 있다. 또한 온도차가 증가함에 따라 관류열전달계수도 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

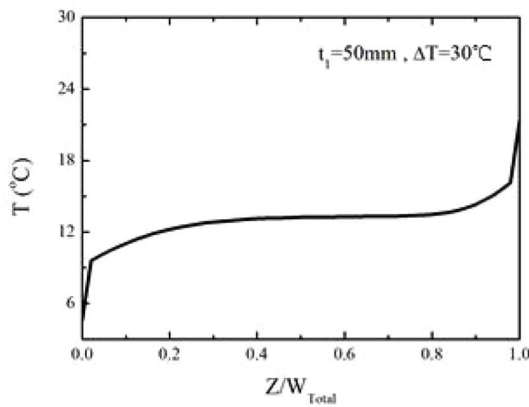
**이중플라스틱 피복의 관류열전달계수**

Figure 8은 피복재 및 보온재의 간격이 50 mm이고 핫박스의 외부와 내부의 온도차이가 30°C인 경우에 피복층 사이의 폭( $W_{Total}$ )방향 위치(z)에 따른 온도변화를 도시한 것이다. 피복층별로 거리 변화에 따른 온도 분포를 살펴보면 거리에 따른 온도변화가 비선형적인 분포를 보이고 있다. 이는 두 피복재 사이에서 대류에 의한 열전달이 활발하게 일어나기 때문에 비정상 유동에 의한 열전달이 발생하고 있는 것으로 판단되며, 이로 인해 온도분포도 비선형적으로 변하는 것으로 사료된다.

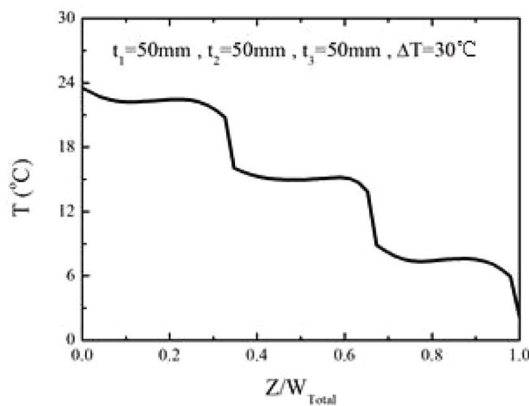
Figure 9는 피복재의 간격이 50~200 mm범위에서 변화할 때에 천공복사를 고려한 조건에서 내, 외부 온도차에 따른 관류열전달계수를 산정한 결과를 나타낸 것이다. 2L의 경우 필름과 필름사이의 간격이 증가함에 따라 관류열전달계수가 미세한 변화를 나타내었지만, 거의 동일한 값을 가지는 것을 확인하였다. 4 LW 및 4 LFW의 경우도 피복재의 간격이 두 배로 증가하였음에도 불구하고 거의 동일한 값을 가짐을 확인하였으며, 이는 피복재의 간격이 2 cm 이상에서는 보온효과가 거의 동일하게 된다는 Kim et al.(2000)의 결과와 잘 일치한다. 이러한 결과를 통해 피복재의 간격은 관류열전달계수 큰 영향을 미치지 않는다는 사실을 확인할 수 있었다.

Figure 10은 1L, 2L, 4 LW, 4 LFW의 피복조건에 대하여 본 연구에서 수치해석을 통해 구한 관류열전달계수와 Diop et al.(2014)이 실험을 통해 얻은 관류열전달계수를 비교한 결과이다. 이때 피복재의 간격은 50 mm이고 내외부의 온도차는

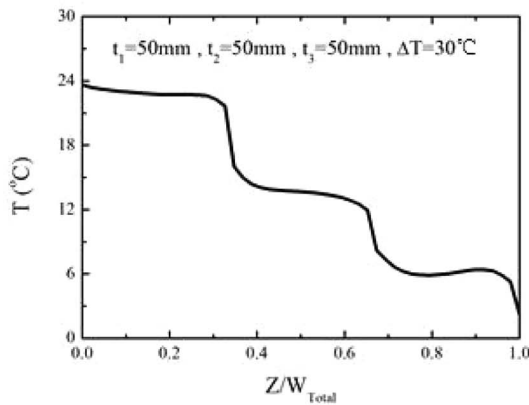




(a) 2 L



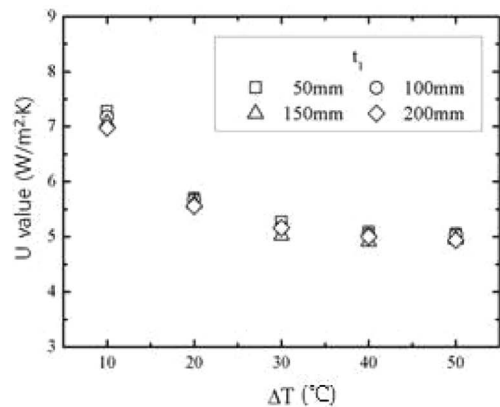
(b) 4 LW



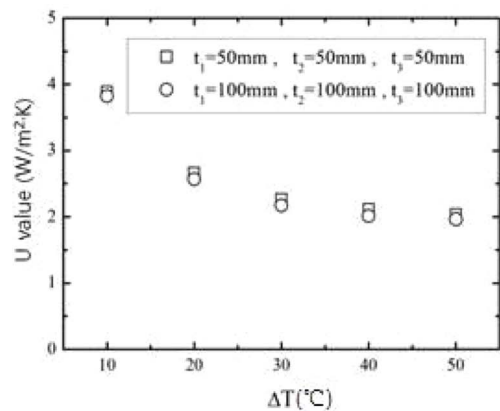
(c) 4 LFW

**Figure 8.** Distributions of inner temperatures (T) between layers for 2 L, 4 LW and 4 LFW.

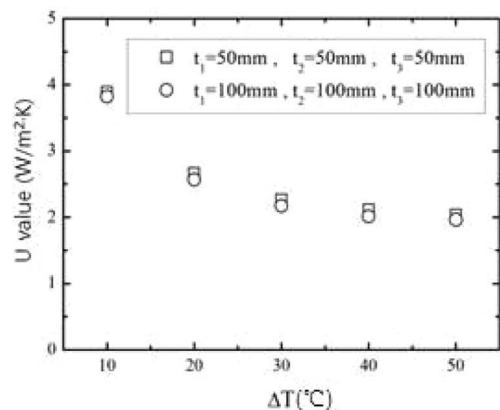
30°C인 조건이다. 실험결과와 수치해석결과를 비교분석한 결과 온도차가 낮은 경우에는 실험값과 계산값이 비교적 큰 차이를 보이는 경우가 있었지만 온도차가 20°C이상 큰 경우에는 거의 유사한 값을 나타내었다. 따라서 핫박스의 내외부 온도차를 30°C정도 이상으로 유지하면서 수치해석을 통해 관류 열전달계수를 산정한다면 신뢰성 있는 값을 얻을 수 있을 것



(a) 2L



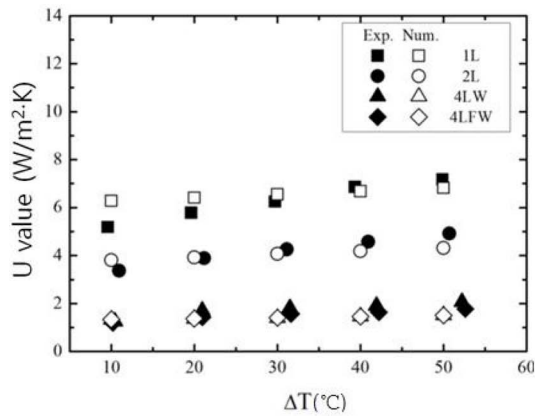
(b) 4LW



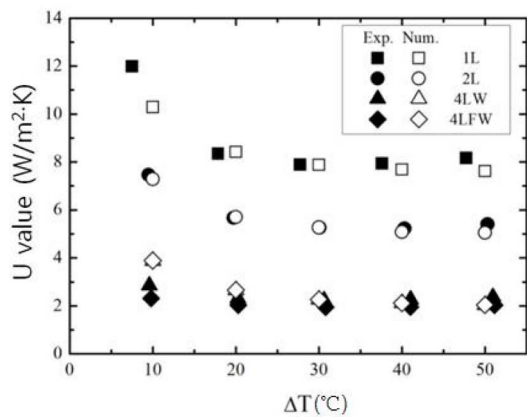
(c) 4LFW

**Figure 9.** Distributions of overall heat transfer coefficients (U) according to temperature difference(ΔT) for each film-to-film and film-to-insulation material distance under simulated sky temperature.

으로 판단된다. 실험과 수치해석결과 모두 천공복사를 고려하지 않은 경우에는 핫박스의 내외부 온도차가 증가함에 따라 관류열전달계수가 선형적으로 증가하는 경향을 보였다. 그러나 천공복사를 고려하게 되면 내외부 온도차가 작을 경우에



(a) Without simulated sky temperature

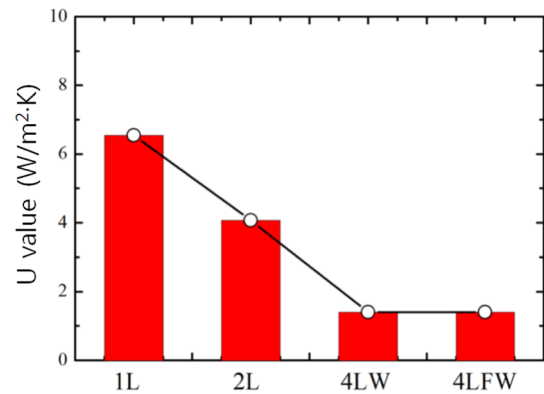


(b) With simulated sky temperature

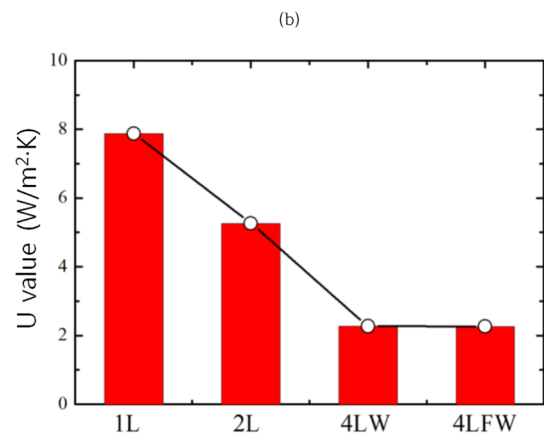
Figure 10. Comparison of experimental and numerical data.

는 관류열전달계수가 급한 기울기로 감소하지만, 온도차가 증가함에 따라 관류열전달계수는 완만한 기울기로 감소하다가 온도차가 더 커지면 거의 일정하게 나타남을 확인할 수 있었다. 천공복사를 고려하지 않은 수치해석결과의 변화경향은 Geoola et al.(2009)의 실험결과와 잘 일치하였다. 이는 천공복사를 구현하기 위해 열음을 사용하였기 때문에 천공온도가 주변 공기온도와 비슷한 0°C로 유지되었으며, 이로 인해 온도차에 따른 관류열전달계수의 변화 경향이 천공복사를 구현하지 않은 조건에서 얻어진 본 연구결과와 경향이 비슷한 것으로 판단된다. 반면에 천공복사를 고려한 수치해석결과의 변화경향은 Minagawa and Tachibana(1982) 및 Feuilloley and Issanchou (1996)의 실험결과와 잘 일치하였다. 이는 이들의 실험연구가 외부에서 수행되어 실제 천공복사조건이 고려된 상태에서 관류열전달계수를 측정하였기 때문에 천공복사를 구현한 조건에서 산정된 본 연구의 결과와 변화 경향이 잘 일치하는 것으로 판단된다. 결론적으로 실험결과와 수치해석결과를 비교분석한 결과 비교적 잘 일치하는 것을 확인하였다. 이는 수치해석에서 사용되었던 조건들이 실제 현상을 구현하는데 있어서 적합한 것으로 판단된다.

Figure 11은 1L과 피복재 간격이 50 mm인 2L, 4LW, 4LFW 등 4가지 종류의 피복조건에 대해 내외부 온도차가 30°C인 경우의 관류열전달계수를 비교한 것이다. 천공복사를 고려



(a) Without simulated sky temperature



(b) With simulated sky temperature

Figure 11. Comparison of overall heat transfer coefficients for various covering materials at  $t = 50 \text{ mm}$ ,  $\Delta T = 30$ .

하지 않았을 때와 고려하였을 때의 관류열전달계수는 1L은 각각  $6.3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 와  $7.9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 이고, 2L은  $4.1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 와  $5.3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 이며, 4LW는  $1.4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 와  $2.3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 이고, 4LFW는  $1.4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 와  $2.3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 으로 나타났다. 천공복사를 고려하였을 때 이중피복(2L)의 경우 일중피복(1L)보다 관류열전달계수가  $2.6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  더 낮아 보온효과가 33%정도 더 우수하였고, 1L보다 4LW와 4LFW는 71% 더 보온효과가 우수한 것으로 나타났다. 천공복사를 고려하였을 때의 관류열전달계수가 고려하지 않았을 때보다 1L은 20%, 2L은 23%, 4LW와 4LFW는 40%정도 더 큰 것으로 나타나 야간복사에 의한 열손실이 비교적 큰 것으로 나타났다. 4가지 피복상태 모두 야간복사가 차단된 경우에 관류열전달계수가 낮게 나타났기 때문에 야간복사를 차단함으로써 온실의 열손실을 줄여 보온효과를 얻을 수 있을 것으로 판단되었다.

### 요 약

본 연구는 온실용 피복재 및 보온재의 조합에 대한 시뮬레이션 해석모델을 개발하여 관류열전달계수를 산정하고 측정된

결과와 비교하여 타당성을 평가하기 위해 수행되었으며 결과를 요약하면 다음과 같다.

유리 이중피복의 경우 이중피복 사이의 공기층이 두꺼워짐에 따라 관류열전달계수가 서서히 작아져서 공기층 두께가 25 mm 이상이 되면 관류열전달계수의 변화가 거의 없는 것을 확인할 수 있었다. 또한 온도차가 증가함에 따라 관류열전달계수도 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 두 플라스틱 피복재 사이에는 대류에 의한 열전달이 활발하게 일어나기 때문에 비정상 유동에 의한 열전달이 발생하고 이로 인해 온도분포도 비선형적으로 변하는 것으로 사료된다. 플라스틱 피복재 및 보온재들의 간격이 50~200 mm 범위에서 변화할 때에 피복재의 간격은 관류열전달계수 큰 영향을 미치지 않는다는 사실을 확인할 수 있었다. 천공복사를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우 모두 핫박스의 내외부 온도차가 30°C인 조건에 대해서는 수치해석결과와 실험결과가 대체로 잘 일치하였다. 따라서 핫박스의 내외부 온도차가 30°C 이상인 조건에서 수치해석을 통해 관류열전달계수를 산정한다면 신뢰성 있는 값을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

**추가 주제어:** 온도차, 유리, 천공복사, 플라스틱필름, 해석모델

## 사 사

본 연구는 농림축산식품부 첨단생산기술개발사업에 의해 이루어진 것임. 본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ008526)의 지원으로 수행되었음.

## References

- Abdel-Ghany AM, Kozai T (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. *Energ Convers Manage* 47: 2612-2628.
- Albright LD, Seginer I, Marsh LS, Oko A (1985) In situ thermal calibration of unventilated greenhouse. *J agric Engng Res* 31: 265-281.
- Bailey BJ (1981) The reduction of thermal radiation in glasshouses by thermal screens. *J agric Engng Res* 26: 215-224.
- Diop S, Lee JW, Na WH, Lee HW (2012) Overall heat transfer coefficient measurement of covering materials with thermal screens for greenhouse using the hot box method. *J Korean Soc Agric Eng* 54: 1-7.
- Diop S, Lee JW, Lee HW (2014) Measurement and comparison of overall heat transfer coefficient for greenhouse covering materials with thermal screens. *J Korean Soc Agric Eng* 56: 41-51.
- Feuilloley P, Issanchou G (1996) Greenhouse covering materials measurement and modeling of thermal properties using the hot box method, and condensation effects. *J agric Eng Res* 65: 129-142.
- Gan G (2001) Thermal transmittance of multiple glazing: computational fluid dynamics prediction. *Appl Therm Eng* 21: 1583-1592.
- Garzoli KV, Blackwell J (1981) An analysis of the nocturnal heat loss from a single skin plastic greenhouse. *J Agric Engng Res* 26: 203-214.
- Geoola F, Kashti Y, Levi A, Brickman R (2009) A study of the overall heat transfer coefficient of greenhouse cladding materials with thermal screen using the hotbox method. *Polym Test* 28: 470-474.
- Japan Protected Horticulture Association (1994) Handbook of protected horticulture. Japan Protected Horticulture Association, pp.170-173.
- Kim MG, Nam SW, Suh WM, Yoon YC, Lee SG, Lee HW (2000) Agricultural structural engineering. Hyangmunsa, Seoul, Korea.
- Kittas C (1994) Overall heat transfer coefficient of a greenhouse cover. *Agric For Meteorol* 69: 205-221.
- Minagawa H, Tachibana K (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: 15-22.
- Mistry of Food, Agriculture, Forestry, and Fisheries (MIFAFF) (2014) Status of vegetable production in South Korea.
- Na WH, Lee JW, Diop S, Lee HW (2013). Calculation of night sky temperature according to cloudiness in Daegu. *Curr Res Agric Sci* 31: 40-46.
- Nijskens J, Deltour J, Coutisse S, Nisen A (1984) Heat transfer through covering materials of greenhouses. *Agric For Meteorol* 33: 193-214.
- Papadakis G, Briassoulis D, Mugnozza GS, Vox G, Feuilloley P, Stoffers JA (2000) Radiometric and thermal properties of, and testing methods for, greenhouse covering materials. *J Agric Eng Res* 77: 7-38.
- Seginer I, Kantz D, Peiper UM, Levav N (1988) Transfer coefficients of several polyethylene greenhouse covers. *J agri Engng Res* 39: 19-37.
- Yang SH, Lee CG, Lee WK, Ashtiani AA, Kim JY, Lee SD, Rhee JY (2012) Heating and cooling system for utilization of surplus air thermal energy in greenhouse and its control logic. *J of Biosystems Eng* 37: 19-27.