



## 토마토재배용 플라스틱온실의 이중피복방법에 따른 광합성유효광량자속 투과 및 열관류 특성

### Characteristics of PPF Transmittance and Heat Flow by Double Covering Methods of Plastic Film in Tomato Greenhouse

이현우<sup>\*,†</sup> · 심상연<sup>\*\*</sup> · 김영식<sup>\*\*\*</sup>

Lee, H.W · Sim, S.Y · Kim, Y.S.

#### ABSTRACT

This study was conducted to provide design data for deciding covering method in double layers greenhouse. The variation of photosynthetic photon flux (PPF) and heat flow in air inflated and conventional double layers greenhouse was analyzed. The PPF of air inflated double covering greenhouse was less than that of conventional greenhouse during summer season because the more PPF comes into conventional greenhouse through roof vent which was rolled up for ventilation. The air inflated double layers covering greenhouse was superior to conventional type in the aspect of controlling inside temperature down owing to lower irradiation. The PPF of air inflated greenhouse was greater than that of conventional greenhouse during winter season because the transmittance of conventional greenhouse decreased by dust collected on inside plastic film nearly closed for insulation. Considering the PPF not sufficient for tomato growing in winter, the air inflated double covering system with the greater transmittance was better than conventional covering system. When the inside air of air inflated greenhouse was injected into space between the double layers of covering, the PPF of air inflated greenhouse was much less than the conventional greenhouse because the transmittance of air inflated double covering decreased due to condensation of highly humidified inside air. It was concluded that the more dried outside air should be used for inflating double layers covering. The heat insulation performance of air inflated double covering system was superior to conventional double covering system when comparing the overall heat transfer coefficients for each covering method. However the differences among the overall heat transfer coefficients depending on difference between inside and outside temperatures of greenhouse were great, it is necessary to conduct additional experiment for investigating the overall heat transfer coefficient to design the double layers covering.

**Keywords:** Air-inflated greenhouse; conventional greenhouse; daily integral PPF; overall heat transfer coefficient; type of roof vent

#### I. 서 론

온실에서 피복의 주된 목적은 주간에 온실 내부로 입사하는 태양복사에 의한 내부공기의 온도상승에 있다. 이러한 목적을 위해 사용되는 피복재가 구비해야 할 가장 기본적인 성질은 투광성과 보온성이다. 그러나 이 두 가지 조건은 서로 상반되는 물리적인 성질이기 때문에 동시에 만족시키는 것은 상당히 어

렵다. 따라서, 가능한 한 투광성이 양호한 동시에 보온효과가 우수한 피복재와 피복방법의 개발이 지속적으로 요구되고 있는 실정이다 (Kim et al., 2000).

우리나라 플라스틱온실의 피복방식은 대부분 일중피복이거나 이중피복 방식이더라도 두 피복층 사이의 공기층이 밀폐되어 있지 않다. 이러한 피복방식은 기밀성이 떨어져 환기전열 손실이 많고 피복재를 통한 관류전열손실도 많기 때문에 보온성이 떨어지는 문제점을 갖고 있다 (Lee et al., 2009b). 또한 피복재의 권취식 개폐에 따른 피복재의 오염으로 인해 겨울철에 광투과율이 저하되고 사용기간이 증가할수록 그 저하는 더욱 심화되는 문제점을 가지고 있다.

외국에서 많이 이용되고 있는 공기주입 이중피복방식은 기밀성이 높기 때문에 환기전열량이 적고 관류전열량도 상당히 줄어들어 일중피복에 비해 난방열량을 약 40 % 정도까지 절감할

\* 경북대학교 농업생명과학대학 농업토목공학과

\*\* 경기도농업기술원 원예연구과

\*\*\* 상명대학교 식물산업공학과

† Corresponding author Tel.: +82-53-950-5736

Fax: +82-53-950-6752

E-mail: whlee@knu.ac.kr

2010년 7월 8일 투고

2010년 8월 2일 심사완료

2010년 8월 5일 게재확정

수 있는 것으로 알려져 있다 (Boodley, 1996; Fang et al., 2007). 폴리에틸렌필름 이중피복 온실의 열절감률은 부직포 일층커튼을 사용하는 온실의 약 35 %에 비해 높게 나타나는데 이는 커튼보다 틈새가 적어 환기전열량이 적을 뿐만 아니라 두 층간의 단열 공기층에 의해 대류열전달이 훨씬 더 억제되기 때문이다. 이외에도 이중피복의 우수한 점으로는 시공비가 비교적 저렴하고, 피복재 교체 이외에는 별다른 관리가 필요 없으며, 온실 내부의 결로를 줄일 수 있고, 적설하중과 풍하중에 대하여 구조적으로 안전성이 높아진다는 점 등이 있다. 공기층 내부에 이슬이 발생된다는 단점이 제기되고 있으나 이는 공기주입팬의 적절한 설치와 작동으로 해결될 수 있는 것으로 알려져 있다 (Jensen, 2004; Nelson, 1991; Wu et al., 2002). 또한, 온실의 용마루에 설치된 창의 개폐방식이 권취식이 아니라 랙피니언방식으로 개폐토록 되어 있어 피복재를 오염시킬 염려가 없다.

이러한 장점을 가진 공기주입 이중피복방식을 우리나라 기상 환경에 적합한 구조형태로 개발하고 도입하기 위하여 기초연구가 수행된 바 있으나 (Lee et al., 2009a, 2009b), 실제 작물이 재배되는 조건에서 환경이 어떻게 변화되는지에 관한 연구는 수행된 바가 없다. 따라서 이러한 새로운 형태의 피복방식을 국내에 도입하기 위해서는 작물재배 기간 동안 이루어지는 일반적인 온실관리 조건 하에서 온실내부의 환경변화에 대한 상세한 규명이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구의 목적은 실험용 관행 이중피복 플라스틱온실과 공기주입 이중피복 플라스틱 온실을 설치하고 토마토재배가 이루어지는 온실관리 조건하에서 관행 이중피복방식과 공기주입 이중피복방식에 대한 광합성유효광량자속 및 열관류량의 변화를 비교분석하여 우리나라의 기상환경에 적합한 이중피복방식을 결정하는데 필요한 자료를 제공하는 것이다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험온실

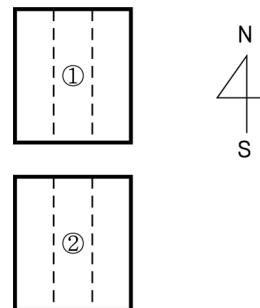
본 실험에 사용된 온실의 형태는 Fig. 1과 같으며, 경기도 농업기술원(경기도 화성시 기산동 소재)내에 설치된 농촌진흥청 자동화비닐하우스(07-자동화-1형)의 관행형태 이중피복온실과 공기주입식 이중피복온실의 3연동 아치형온실 2개동이다. 온실의 크기는 폭 23.0 m, 측고 3.0 m, 동고 4.9 m, 길이 24 m이다. Fig. 2는 남북방향으로 설치된 실험온실의 배치도를 보여주고 있다. 피복재는 PE필름을 사용하였다.

### 2. 실험조건

2개 동의 실험온실에서는 동일한 조건에서 토마토가 수경재



Fig. 1 Shape of experimental greenhouse.



① : Conventional double layers covering greenhouse

② : Air inflated double layers covering greenhouse

Fig. 2 Arrangement of experimental greenhouses.



(a) Rollup type vent at eave (b) Butterfly type vent at ridge

Fig. 3 Types of roof vent

배 되었다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 관행 이중피복온실의 천창은 처마부위에서 권취식으로 말아올리는 개폐방식이고, 공기주입 이중피복온실의 천창은 용마루 부위에서 랙-피니언 방식으로 개폐하는 창이다. 모든 온실내부의 환경계측은 토마토 재배를 위해 관행적인 이루어지는 환경조절 조건하에서 수행되었다. 천창개폐와 관련하여 관행온실의 경우 고온기에는 온실내부의 온도를 낮추기 위해 천창이 많이 개방되었고, 저온기에는 외기온이 낮기 때문에 최소한의 환기를 위해 극히 일부만 개방되고 거의 닫힌 상태로 유지되었다. 공기주입 이중피복온실의 경우 기존에는 이중피복공기층에 온실외부의 공기를 주입하였으나, 2010년 1월부터는 주입되는 공기특성에 따른 광투과 특성을 분석하기 위하여 온실내부의 공기를 주입하였다.

### 3. 환경계측

온실행태별 광투과 특성을 분석하기 위하여 2009년 5월에서



Fig. 4 Location of heat flow sensor on greenhouse surface

2010년 5월까지에 걸쳐 온실내외부의 광합성유효광량자속 (Photosynthetic photon flux, PPF)을 측정하였고, 온실태별 피복재를 통한 열관류 특성을 분석하기 위하여 지붕을 통한 열관류량과 온실내외부의 온도를 측정하였다. 온실 내부의 광합성유효광량자속은 미국 campbell scientific사의 LI190SB 광량센서 (400~700 nm)를 각 온실 내부 중앙의 3.0 m 높이에 설치하여 측정하였으며, CR10X micro-logger를 사용하여 5 분마다 저장되도록 하였다. 일조시간은 수원기상대의 자료를 이용하였다. 온실 내외부의 온도는 PT 100 Ω을 설치하여 측정하였고, 열관류량은 일본 EKO사의 MF-9을 사용하여 측정하였으며, 일본 YOKOGAWA사의 MV1000을 사용하여 5 분 간격으로 저장되도록 하였다. 온도센서는 야간에 보온커튼의 설치를 감안하여 보온을 위해 설치된 보온커튼과 외부피복재 사이의 공간과 온실 외부에 각각 설치하였다. 열관류센서는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 각 온실의 약 3 m 높이의 지붕표면에 설치하였다.

관류열전달계수 ( $\text{kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ )는 다음 식 (Kim et al., 2000)을 이용하여 계산하였다.

$$h = \frac{(T_i - T_o)}{q} \quad (1)$$

여기서,  $q$ 는 관류열량 ( $\text{kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ )이고,  $T_i$ 는 온실내부의 온도 ( $^\circ\text{C}$ )이며,  $T_o$ 는 온실외부의 온도 ( $^\circ\text{C}$ )이다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 월별 일일적산 광합성유효광량자속의 차이

Fig. 5는 2009년 5월부터 2010년 5월까지 공기주입 이중피복온실과 관행 이중피복온실의 일일적산 광합성유효광량자속 차이의 월평균값을 도시한 것이다.

2009년 5월~10월에는 공기주입 이중피복온실이 관행온실에 비해 광량이 더 작은 것으로 나타났으며, 이는 관행온실의 경우 주간에 온실내부의 온도를 낮추기 위해 천창을 권취식으로 말아 올려 환기를 하였기 때문에 개방된 곳을 통해 더 많

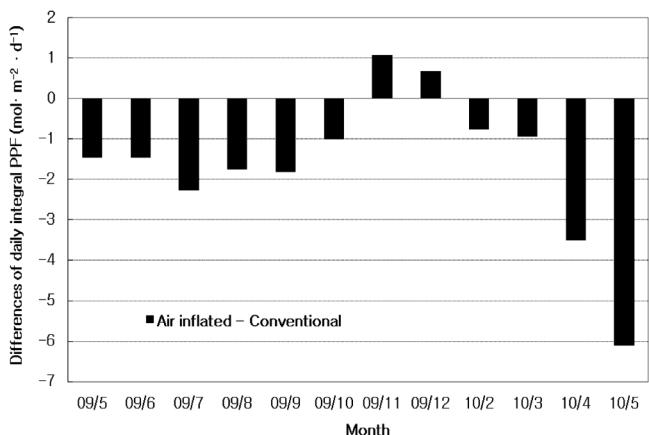


Fig. 5 Differences of daily integral PPF between air inflated and conventional greenhouses for each month

은 광량이 투과 되었기 때문이다. 반면에 11월~12월에는 공기주입 이중피복온실 내부의 광량이 관행온실에 비해 더 큰 것으로 나타났다. 이는 관행온실의 경우, 저온기에 최소한의 환기를 위해 극히 일부만 천창을 개방하고 거의 대부분 닫은 상태로 재배하였기 때문에 육안으로 확인할 수 있었던 내부피복재 상부표면에 쌓인 먼지 등으로 인해 광투과율이 저하되었기 때문이며, 관행온실의 경우 온실구조의 골조가 이중으로 되어 있기 때문에 골조에 의한 차광의 영향도 다소 있을 것으로 판단된다. 저온기인 겨울철에 특히 광량이 많이 부족한 점을 감안한다면 투과광량이 더 많은 공기주입 이중피복온실이 관행온실에 비해 광투과면에서 더 우수한 것으로 판단되었다.

2010년 2월~5월에는 모든 달에 공기주입온실이 관행온실에 비해 광합성유효광량자속이 더 작은 것으로 나타났다. 특히 2월에는 필요환기량이 극히 작은 저온기이기 때문에 두 가지 형태 온실 모두 이중피복이 거의 닫힌 상태에서 재배 되었음에도 불구하고 공기주입온실이 관행온실에 비해 광량이 더 낮은 것으로 나타났다. 이는 공기주입온실의 이중피복공기층 내부에 온실외부의 공기 대신 온실내부의 공기를 주입함에 따라 공기층 내부에 결로가 발생함을 가시적으로 확인할 수 있었고 이로 인해 광투과율이 낮아졌기 때문이며, 이러한 광투과율의 저하는 2월에서 5월로 감에 따라 현저히 더 커져 시간이 경과함에 따라 더 커지는 것으로 나타났다. 이와 같은 피복재의 광투과율을 저하시키는 요인이 발생하지 않도록 하기 위해서는 공기주입온실의 이중피복 공기층에 주입하는 공기는 반드시 온실 외부의 공기를 사용하여야 할 것으로 판단된다.

#### 2. 일일적산 광합성유효광량자속의 변화

Fig. 6은 공기주입 이중피복온실과 관행 이중피복온실의 일

일적산 광합성유효광량자속 및 일조시간의 변화를 도시한 것으로, Fig. 6(a)는 2009년 8월에 환기를 위해 천창이 많이 개방된 경우의 광량변화를 도시한 것이고, Fig. 6(b)는 2009년 11월경에 외기온이 비교적 낮아 천창을 통한 최소한의 환기가 이루어진 경우의 광량변화를 도시한 것이며, Fig. 6(c)는 2010년 5월에 천창환기가 비교적 많이 이루어진 경우로 공기주입온실의 공기층에 온실내부의 공기를 주입하였을 때의 광량변화를 도시한 것이다.

Fig. 6(a)에서 2009년 8월의 일일적산 광합성유효광량자속의 변화를 살펴보면, 전 기간에 걸쳐 관행온실이 공기주입온실에 비해 더 큰 것으로 나타났으며, 일조시간에 따른 변화는 공기주입온실이  $2.8 \sim 25.1 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  범위였고 관행온실이  $2.9 \sim 28.2 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  범위였으며, 그 변화폭은 각각 약 22.3과  $25.1 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 큰 변화를 보였다. 최대값은 관행온실이 공기주입온실에 비해 약  $3.1 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  더 크게 나타났다. 반면에 Fig. 6(b)에서 2009년 11월경의 일일적산 광합성유효광량자속의 변화는 전 기간에 걸쳐 공기주입온실이 관행온실에 비해 더 큰 것으로 나타났으며, 일조시간에 따른 변화는 공기주입온실은  $1.8 \sim 9.4 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  범위였고 관행온실은  $1.5 \sim 8.4 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  범위였으며, 그 변화폭은 각각 약 7.6과  $6.9 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 변화를 보였다. 최대값은 공기주입온실이 관행온실에 비해 약  $1.0 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  더 크게 나타났다. 토마토재배온실에서 재배를 위한 적정 일일적산광량은 약  $7 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$  정도로 알려져 있으며 (Lee, 2010), 변환계수 (Giacomelli et al., 1988; Lee et al., 2002; Lee, 2003)를 곱하여 일일적산광합성유효광량자속으로 환산하면 약  $14 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  정도가 된다. 이 값을 기준으로 하면 8월에는 일조시간이 아주 적은 몇 일간을 제외하고는 토마토 재배를 위한 광량이 충분하고, 또한 이 시기는 온도상승을 억제하기 위해 차광재를 사용하여 오히려 광량을 줄이는 시기이므로 상대적으로 광량이 적은 공기주입온실이 관행온실에 비해 더 바람직할 것으로 판단된다. 반면에 11월경에는 두 온실 모두 광량이 토마토 재배를 위한 적정 광량인  $14 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에 비해 상당히 부족하기 때문에 상대적으로 투과광량이 더 많은 공기주입온실이 광의 이용측면에서 더 우수한 것으로 판단된다. Fig. 6(c)에서 2010년 5월의 일일적산 광합성유효광량자속은 전 기간에 걸쳐 관행온실이 공기주입온실에 비해 훨씬 더 큰 것으로 나타났으며, 일조시간에 따른 변화는 공기주입온실이  $3.4 \sim 22.1 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  범위였고 관행온실이  $4.3 \sim 31.6 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  범위였다. 관행온실의 최대광량이 공기주입온실에 비해 약  $10 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  정도 훨씬 더 크게 나타났으며, 이는 공기주입온실의 이중피복공기층 내부에 온실외부의 공기 대신 온실내부의 공기를 주입함에 따라 공기층 내부에 결로가 발생하여 광투과율이 많이 낮아졌기 때문이며,

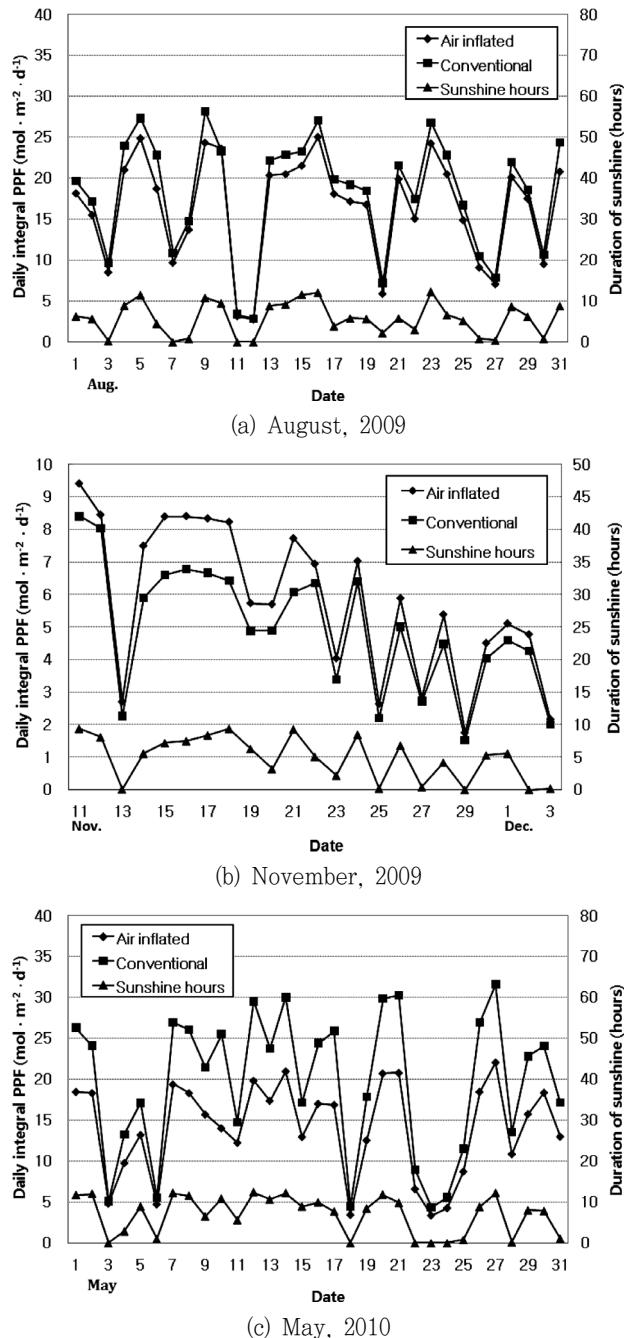


Fig. 6 Variation of daily integral PPF and duration of sunshine

주입공기의 특성이 피복재의 광투과 특성에 큰 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다.

### 3. 광합성유효광량자속의 투과율

Fig. 7은 8월과 11월경에 공기주입온실과 관행온실의 광합

성유효광량자속의 투과율과 일조시간의 변화를 도시한 것이다. Fig. 7(a)에서 8월의 광합성유효광량자속 투과율 변화를 살펴보면, 관행온실은 평균 60.4 %이고 공기주입온실은 평균 54.0 %로 관행온실이 공기주입온실에 비해 약 6.4 %정도 더 높게 나타났다. 반면에 Fig. 7(b)에서 11월의 경우는 공기주입온실이 평균 55.6 %이고 관행온실이 48.5 %로 공기주입온실이 관행온실에 비해 광투과율이 평균 약 7.1 % 정도 더 높게 나타났다. 공기주입온실의 경우에는 8월과 11월간의 광투과율의 차이가 1.6 % 정도로 동절기와 하절기 사이에 광투과율이 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, 관행온실의 경우에는 차이가 약 12 % 정도로 큰 차이가 발생하였다. 이는 공기주입온실의 경우 용마루 부위에 설치된 랙-피니언 방식의 천창의 개폐가 광투과에 큰 영향을 미치지 않음을 의미하며, 반면에 관행온실의 경우 고온기에는 온실내부의 온도를 낮추기 위해 천창을 권취식으로 말아 올려 환기를 하였기 때문에 개방된 곳을 통해 더 많은 광량이 투과되었고, 저온기에는 최소한의 환기를 위해 극히 일부만 천창을 개방하고 거의 대부분 닫은 상태로 재배하

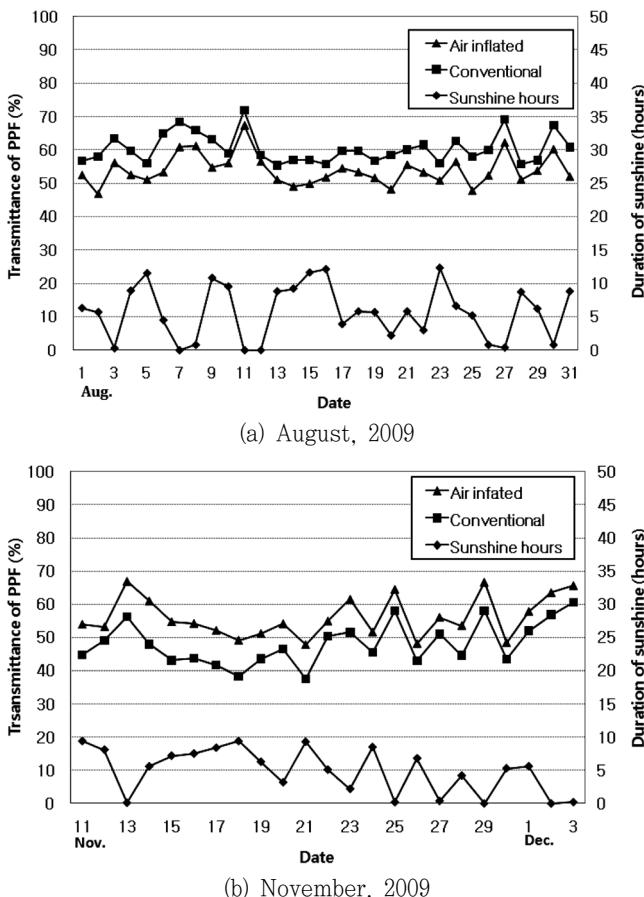


Fig. 7 Variation of PPP transmittance and duration of sunshine in air inflated and conventional greenhouses

였기 때문에 내부피복재 상부표면에 쌓인 먼지 등으로 인해 광투과율이 저하되었기 때문에 계절에 따른 창개폐가 광투과에 큰 영향을 미치고 있음을 보여주고 있다.

#### 4. 열관류량 변화

Fig. 8(a)는 외기온이 0 °C 이상인 비교적 온도가 높을 때 공기주입온실과 관행온실의 열관류량 및 온도변화를 비교한 것이며, Fig. 8(b)는 외기온이 0 °C 보다 낮을 때의 변화를 도시한 것이다.

Fig. 8(a)에서는 외기온이 약 0.7~5.1 °C 범위에서 변화할 때 온실내부의 온도는 약 9.6~13.6 °C 범위에서 변화하였다. 온실 내부의 평균온도는 공기주입온실과 관행온실이 각각 12.1 °C 와 11.5 °C로 비슷하였고, 외부의 평균온도는 약 3.6 °C였다. 이때 열관류량은 공기주입온실이 16.0~33.3 kcal·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> 범위로 평균 약 20.3 kcal·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>였고, 관행온실은 16.0 ~ 35.7 kcal·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> 범위로 평균 약 21.1 kcal·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>였으며, 차이는 0.8 kcal·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>로 거의 비슷한 값을 보여 주었다. 외기온이 낮아진 22시를 전후로 하여 관행온실이 공기주입온실에 비해 관류열량이 약간 더 커졌으나 전체적으로 거의 비슷한 값을 보여주고 있다. Fig. 8(b)에서는 외기온이 약 -3.0~0 °C 범위에서 변화할 때 온실내부의 온도는 두 형태 모두 약 6.0~1.5 °C 범위에서 변화하였다. 온실 내부의 평균온도는 두 온실 모두 약 2.9 °C였고, 외부의 평균온도는 약 -1.3 °C였다. 이때 열관류량은 공기주입온실이 7.1~24.7 kcal·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> 범위로 평균 약 17.1 kcal·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>였고, 관행온실은 16.6~32.1 kcal·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> 범위로 평균 약 25.5 kcal·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>였으며, 차이는 8.4 kcal·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>로 큰 차이를 보여주고 있다. 동일한 온실에서 시간에 따른 관류열량의 변동 폭이 큰 것은 관류열 손실량이 온실내외의 온도차이 뿐만 아니라 외부의 바람 등 다른 요인들의 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다 (Mihara and Hayashi. 1979). Fig. 8(a)의 경우 전체적으로 두 가지 온실의 열관류량이 비슷하지만 외기온이 낮아지는 일부시간대에서 관행온실의 열관류량이 더 커졌고, Fig. 8(b)에서는 전체적으로 관행온실의 열관류량이 더 크게 나타나 공기주입온실이 관행온실에 비해 단열성능이 더 우수한 것으로 분석되었다.

(1)식을 이용하여 관류열전달계수를 산정한 결과 Fig. 8(a)의 경우 공기주입온실의 평균관류열달계수가 약 2.4 kcal·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>·°C<sup>-1</sup>였고, 관행온실은 약 2.7 kcal·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>·°C<sup>-1</sup>로, 차이는 0.3 kcal·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>·°C<sup>-1</sup>로 나타났다. Fig. 8(b)의 경우에는 공기주입온실이 약 4.2 kcal·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>·°C<sup>-1</sup>였고, 관행온실이 약 6.2 kcal·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>·°C<sup>-1</sup>로, 2.0 kcal·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>·°C<sup>-1</sup>의 차이를 나타내었다. Minagawa and Tachibana (1982)의 일중피복온실의 열관

류 특성에 관한 연구결과에 의하면 동일한 피복재에서도 온실 내부와 외부의 온도차이가  $10^{\circ}\text{C}$  이하로 작을 경우에는 관류열 전달계수가  $10 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$  이상 차이가 발생하여 온실내부와 외부의 온도차에 따라 관류열전달계수가 크게 차이가 발생하는 것으로 나타났으나 온실내외부의 온도차이가  $15^{\circ}\text{C}$  이상인 경우에는 동일한 피복재에 대해서 관류열전달계수의 큰 차이가 없이 안정된 값을 보여주었다. 따라서, 본 연구 결과인 Fig. 8(a)의 경우에는 온실내외부의 온도차이가 약  $8^{\circ}\text{C}$  정도이고, Fig. 8(b)의 경우에는 약  $4^{\circ}\text{C}$  정도로 모두  $10^{\circ}\text{C}$  이하의 비교적 온도차이가 작은 경우이기 때문에 두 가지 온실내외부 온도차이의 조건에 대한 관류열전달계수가 서로 큰 차이가 발생한 것으로 판단된다. 그러나 두 경우 모두 공기주입온실이 관행온실에 비해 관류열전달계수가 더 작은 것으로 나타나 단열성능은 공기주입온실이 더 우수한 것으로 판단되었다. Kim et al. (2000)과 Hanan (1998)은 동일한 종류의 피복재라 할지라도 온실구조의 조건에 따라서 관류열전달계수는 크게 달라 진다고 지적하면서 이중플라스틱피복의 관류열전달계수를 약  $3.5 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$

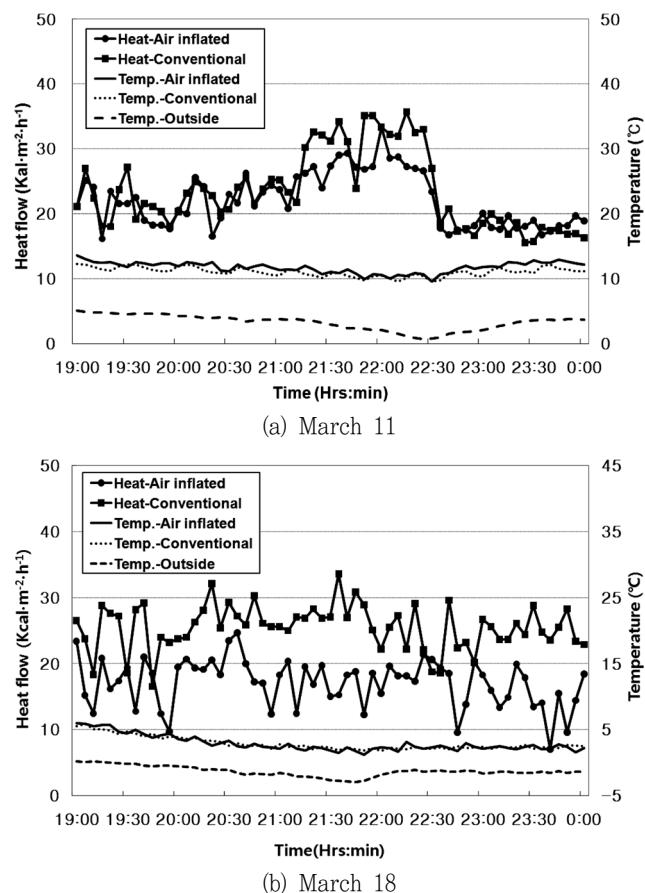


Fig. 8 Variation of heat flow and temperature in air inflated and conventional greenhouses

$\text{kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ 로 제시하였고, Japan Greenhouse Horticulture Association (1994)는  $3.1 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ 을 제시하였다. 이러한 값이 얻어진 실험조건에 대한 정확한 내용을 알 수 없기 때문에 제시된 값과 본 연구의 결과를 직접 비교하기에는 어려움이 있다. 그러나 본 연구 결과 중 관행온실에서의 온실내외부 온도차이가 더 큰 조건이 가장 근접한 조건으로 추정되며 이때 관류열전달계수가 약  $2.7 \text{ kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ 로 기존에 제시된 값과 약간의 차이를 보여주고 있다. 이러한 차이는 온실구조 조건과 풍속조건 등 여러 가지 측정조건에 따라 차이가 발생할 수 있고 (Mihara and Hayashi, 1979; Hanan, 1998), 특히 온실의 내부와 외부의 온도차이에 따른 관류열전달계수의 차이가 상당히 크기 때문에 (Minagawa and Tachibana, 1982) 앞으로 추가적인 실험을 통하여 관행온실과 공기주입온실에 대한 설계용 관류열전달계수의 정확한 규명이 필요할 것으로 판단된다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구는 우리나라의 기상환경에 적합한 온실의 이중피복방식을 결정하는데 필요한 자료를 제공하기 위하여 실험용 관행이중피복 플라스틱온실과 공기주입 이중피복 플라스틱 온실을 설치하고 토마토재배가 이루어지는 온실관리 조건하에서 관행이중피복방식과 공기주입 이중피복방식에 대한 광합성유효광량 자속 및 열관류량의 변화를 비교분석하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 고온기에는 공기주입 이중피복온실이 관행온실에 비해 광량이 더 작은 것으로 나타났으며, 이는 공기주입온실의 경우 용마루 부위에 설치된 랙-피니언 방식의 천창의 개폐가 광투과에 큰 영향을 미치지 않으나 관행온실의 경우 주간에 온실내부의 온도를 낮추기 위해 천창을 권취식으로 말아 옮겨 환기를 하였기 때문에 개방된 곳을 통해 더 많은 광량이 투과되었기 때문이다. 이 시기에는 일조시간이 아주 적은 몇 일간을 제외하고는 토마토 재배를 위한 광량이 충분하며, 온도상승을 억제하기 위해서는 오히려 광량을 줄일 필요가 있는 시기이므로 상대적으로 광량이 적은 공기주입온실이 관행온실에 비해 더 바람직할 것으로 판단되었다.

2. 저온기에는 공기주입 이중피복온실 내부의 광량이 관행온실에 비해 더 큰 것으로 나타났다. 이는 관행온실의 경우 저온기에 최소한의 환기를 위해 극히 일부만 천창을 개방하고 거의 대부분은 닫은 상태로 재배하였기 때문에 내부피복재 상부표면에 쌓인 먼지 등으로 인해 광투과율이 저하되었기 때문이며, 관행온실의 경우 온실구조의 골조가 이중으로 되어 있기 때문에 골조에 의한 차광의 영향도 다소 있을 것으로 판단된다. 저

온기인 겨울철에 특히 광량이 많이 부족한 점을 감안한다면 투과광량이 더 많은 공기주입 이중피복온실이 관행온실에 비해 광투과면에서 더 우수한 것으로 판단되었다.

3. 공기주입온실의 이중피복공기층 내부에 온실외부의 공기 대신 온실내부의 공기를 주입 하였을 때 공기주입온실의 광합성유효광량자속이 관행온실에 비해 크게 작아지는 것으로 나타났다. 이는 습도가 높은 온실내부공기의 주입으로 인해 이중피복 공기층 내부에 결로가 발생하여 광투과율이 낮아졌기 때문이다. 따라서 공기주입온실의 이중피복 공기층에 주입하는 공기는 반드시 온실 외부의 공기를 사용하여야 할 것으로 판단되었다.

전체적으로 공기주입온실이 관행온실에 비해 관류열전달계수가 더 작은 것으로 나타나 단열성능은 공기주입온실이 더 우수한 것으로 나타났다. 그러나 온실의 내부와 외부의 온도 차이에 따라 관류열전달계수의 차이가 상당히 크기 때문에 앞으로 추가적인 실험을 통하여 관행온실과 공기주입온실에 대한 설계용 관류열전달계수의 정확한 규명이 필요할 것으로 판단되었다.

본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

## REFERENCES

- Boodley, J. W., 1996. *The commercial greenhouse*. 2nd ed. Albany, New York: Delmar Publishers.
- Fang, W., D. Mears, and A.J. Both, 2007. Story of air-inflated double-layer polyethylene greenhouse and its recent applications in Taiwan. *ASAE International Seminar on Agricultural Structures and Agricultural Engineering*, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, R.O.C.
- Giacomelli G.A., K.C. Ting, and S. Panigrahi, 1988. Solar PAR vs. solar total radiation transmission in a greenhouse. *Transactions of the ASAE* 31(5): 1540-1543.
- Hanan, J. J., 1998. *Greenhouses: advanced technology for protected horticulture*. Boca Raton, Flodia: CRC.
- Japan Greenhouse Horticulture Association, 1994. *Greenhouse horticulture handbook*. Tokyo: Japan Greenhouse Horticulture Association (in Japanese).
- Jensen, M., 2004. The world-wide impact of double-poly greenhouses. *ASAE Historical Landmark Dedication*. Rutgers University, New Brunswick, New Jersey, USA.
- Kim, M. G., S. W. Nam, W. M. Suh, Y. C. Yoon, S. G. Lee and H. W. Lee, 2000. *Agricultural structural engineering*. Seoul: Hyangmunsa (in Korean).
- Lee H. W., 2003. Control of daily integral PPF by the artificial lighting and shading screen in greenhouse. *Journal of Bio-Environment Control* 12(1): 45-53 (in Korean).
- Lee H. W., S. G. Lee and S. H. Lee, 2002. Relationship between total solar radiation and PPF and transmittance in greenhouse at different weather conditions. *Journal of Bio-Environment Control* 11(2): 56-60 (in Korean).
- Lee H. W., S. Y. Sim, H. S. Nam, S. W. Nam, and Y. S. Kim, 2009a. Fundamental experiments for design of air inflating apparatus of air-inflated double-layer plastic greenhouse. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 51(5): 19-24 (in Korean).
- Lee H. W., S. Y. Sim, H. S. Nam, S. W. Nam, and Y. S. Kim, 2009b. Development of design technology of korean style air-inflated double-layer plastic greenhouse. *Journal of Bio-Environment Control* 18(3): 185-191 (in Korean).
- Lee, J. H., 2010. Personal communication. Professor, Chunnam National University, Korea.
- Mihara, Y. and M. Hayashi, 1979. Studies on the insulation of greenhouses (1) - Overall heat transfer coefficient of greenhouses with single and double covering using several material curtains. *Journal of Agricultural Meteorology* 35(1): 13-19 (in Japanese).
- Minagawa, H. and K. Tachibana, 1982. The overall heat transfer of greenhouse covered with PE and PVC single layer - The heat insulation efficiency of greenhouses and their covering materials (1). *Journal of Agricultural Meteorology* 38(1): 15-22 (in Japanese).
- Nelson, P. V., 1991. *Greenhouse operation and management*. 4th ed. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- Wu, C. H., H. S. Chang, and J. T. Shaw, 2002. Environmental control of double-layer greenhouse in Taiwan. *Acta Hort.* 578: 71-78.