Journal of Bio-Environment Control, 18(3):185-191, (2009)

한국형 공기주입 이중피복 플라스틱온실의 설계기술 개발

이현우[1*] · 심상연[2] · 남효석[1] · 남상운[3] · 김영식[4]
[1]경북대학교, [2]경기도농업기술원, [3]충남대학교, [4]상명대학교

Development of Design Technology of Korean Style Air-Inflated Double-Layer Plastic Greenhouse

Hyun-Woo Lee[1*], Sang-Youn Sim[2], Hyo-Seok Nam[1], Sang-Woon Nam[3], and Young-Shik Kim[4]
[1]*Department of Agricultural Eng., Kyungpook National Univ., Daegu 702-701, Korea*
[2]*Gyeonggi Province Agricultural Research & Extension Services, Hwasung-si 445-972, Korea*
[3]*Division of Bioresources Eng., Chungnam National Univ. Daejeon 305-764, Korea*
[4]*Sangmyung University, San 98-20 Anso-dong Choongnam 330-720, Korea*

Abstract. The construction of experimental greenhouses, operating test, and analysis on variation of different environment factors were conducted to provide fundamental data for design of Korean style air-inflated double-layer plastic greenhouse. The development of technology of attaching plastic to the structure and fasteners to be able to keep airtight was required in order to maintain proper static pressure in air space of double layer coverings. The insulation effect of air inflated greenhouse was better than conventional type. The temperature of arch type roof was greater about 2°C than peach type roof in air inflated greenhouse. It was recommended that the plastic should be attached at the edges without clearance length in order to ease installation and raise airtightness of double layer coverings. The transmittance of arch type roof was greater than peach type in air inflated one span greenhouse. The transmittance of air inflated greenhouse was greater than conventional type due to frame ratio and distance between double layers in three span greenhouse. The condensation occurred on conventional type greenhouse was more than air inflated type. It was required to examine for a long time in order to analyze it quantitatively.

Key words : air space, condensation, fan, insulation, PPF transmittance, static pressure

서 언

우리나라는 난방재배 시설면적이 약 13천ha로 총 시설면적의 약 25%를 차지하고 있으며, 시설면적의 증가에 비하여 난방면적의 증가율이 월등히 높아지는 추세이다. 특히 최근의 농업용 난방연료비의 급등은 시설원예를 근본적으로 위협하고 있으며, 생산비의 30~40%를 난방비가 점유하고 있고 또한 난방용 연료를 거의 전량 수입에 의존하고 있는 우리의 실정을 감안한다면 시설원예의 난방에너지 사용량을 근본적으로 줄일 수 있는 대책이 시급히 요구되고 있는 실정이다.

*Corresponding author: whlee@knu.ac.kr
Received August 17, 2009; Revised August 25, 2009; Accepted September 19, 2009

피복재에 결로가 발생할 경우 이슬이 작물에 떨어져 냉해가 일어나기 쉽고, 피복재를 장시간 사용하면서 먼지와 이슬로 인해 피복재의 광투과율이 더욱 많이 떨어지게 된다. 겨울에 빛이 부족하게 되면 습도가 높아져 작물에 각종 병이 만연하기 쉽고 광합성속도가 낮아서 생산성이 떨어지게 되므로 이러한 문제를 개선할 수 있는 기술개발은 시설원예의 절대적인 과제이다.

현재 우리나라에 설치되어 있는 플라스틱온실은 대부분 일중피복이거나 이중피복 방식이더라도 두 피복층 사이의 공기층이 밀폐되어 있지 않다. 이러한 피복방식은 기밀성이 떨어져 환기전열 손실이 많고 피복재를 통한 관류전열손실도 상당히 많기 때문에 보온성이 낮아 겨울철 난방에너지의 사용량이 증가되는 문제점을 갖고 있다. 또한 이중피복의 내부피복재가 낮은 온

도의 공기와 접해 있기 때문에 피복재의 온도가 낮아져 표면에 결로가 발생하게 됨으로써 대부분의 낮 시간동안 이슬이 맺혀 있게 되어 광투과율이 현저히 떨어지는 단점을 가지고 있다. 따라서 난방에너지를 절감할 수 있을 뿐만 아니라 결로 문제도 해결하기 위해서는 새로운 형태의 온실이 개발될 필요가 있다.

난방에너지 사용량을 줄이기 위해 보온력을 높이는 방법에는 시설구조상의 보온비 증대, 고정식 다중피복, 다층 커튼, 외면피복, 보온벽, 방풍벽, 단열층설치, 자연에너지 이용증대 등이 있으며, 고정식 다중피복의 일종인 공기주입 이중피복방식은 시설비가 적게 들고, 열절감률이 우수하기 때문에 난방연료 사용량을 줄이는데 적합한 수단이다. 또한, 피복재 내부에 이슬이 맺히는 문제점을 해결하기 위해서는 피복재의 온도를 높여주어야 하는데 이를 위해서는 내부피복재가 외부의 찬 공기와 접촉하지 않도록 하여야 한다. 공기주입 이중피복방식은 공기층이 단열층의 역할을 하기 때문에 내부피복재와 찬공기의 접촉을 막을 수 있는 좋은 수단이다(Aldrich와 Bartok, 1989).

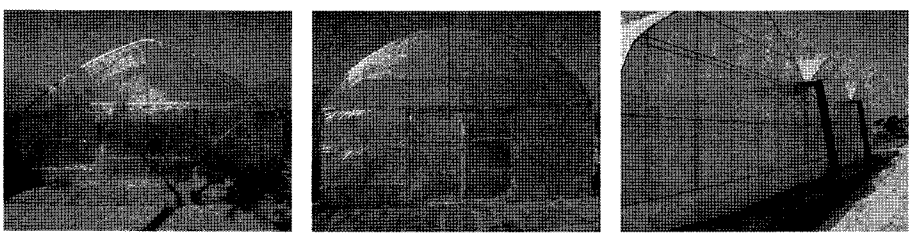
공기주입 이중피복은 기밀성이 높기 때문에 환기전열량이 적고 관류전열량도 상당히 줄어들어 일중피복에 비해 난방열량을 약 40% 정도까지 절감할 수 있는 것으로 알려져 있다(Boodley, 1996; Fang 등, 2007). 폴리에틸렌필름 이중피복 온실의 열절감률은 부직포 일층커튼을 사용하는 온실의 약 35%에 비해 높게 나타나는데 이는 커튼보다 틈새가 적어 환기전열량이 적을 뿐만 아니라 두 층간의 단열 공기층에 의해 대류열전달이 훨씬 더 억제되기 때문이다. 이외에도 이중피복의 우수한 점으로는 시공비가 비교적 저렴하고, 피복재 교체 이외에는 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 등, 2002). 이중PE필름온실의 광합성유효광량자속 투과율이 피복재 바로 아래에서는 67% 정도이고 수관부 위치에서는 45% 정도로 일중필름에 비해 약간 낮은 값이지만 필름종류와 재배작물을 적절히 선택함으로써 문제해결이 가능할 것으로 판단된다(Giacomelli 등, 1988). 따라서 이러한 장점을 가진 공기주입 이중피복 플라스틱온실을 우리나라 기상환경에 적합한 구조형태로 개발하여 사용할 필요가 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 목적은 실험용 공기주입 이중피복 플라스틱 온실을 제작하여 작동실험을 실시하고 온실내부의 환경변화를 분석하여 우리나라의 기상환경에 적합한 한국형 공기주입 이중피복 플라스틱 온실을 설계하는데 필요한 기초자료를 제공하는 것이다.

재료 및 방법

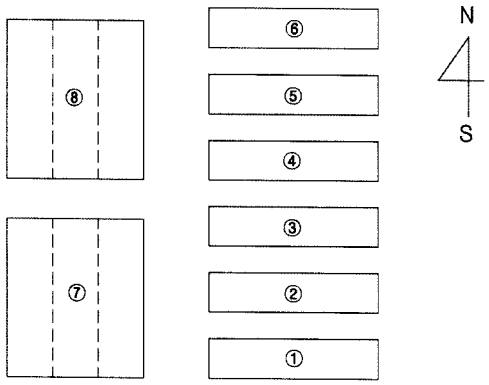
1. 실험온실

본 실험에 사용된 온실은 경기도 농업기술원(경기도 화성시 기산동 소재)내에 설치되었으며, 아치형과 복숭아형인 두 가지 지붕형태의 단동 6개동과 3연동 온실 2개동이 설치되었다. Fig. 1은 설치된 3가지 형태의 온실을 보여주고 있다. A형은 폭 7.0m, 측고 1.9m, 동고 3.7m이고, B형은 폭 7m, 측고 2.0m, 동고 3.8m이며, 길이는 모두 26m이다. 3연동인 C형은 폭 23.0m, 측고 3.0m, 동고 4.9m, 길이 24m이다. Fig. 2는 온실의 배치도로서 단동 온실은 동서 방향으로 설치되었



(a) A type (b) B type (c) Ctype

Fig. 1. Shapes of experimental greenhouses.



①, ②, ③, ④, ⑤ : Greenhouses of type A
⑥ : Greenhouse of type B
⑦, ⑧ : Greenhouses of type C

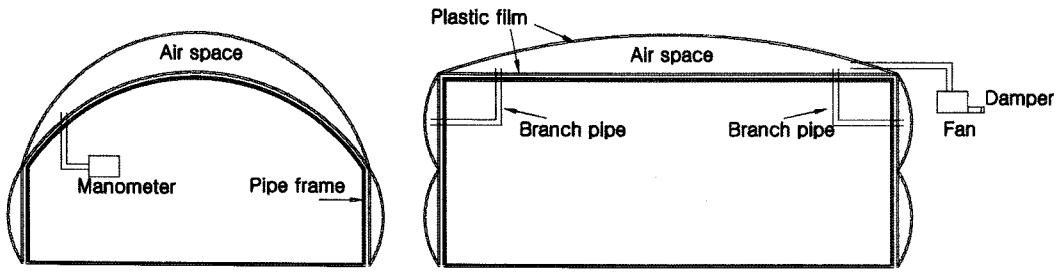
Fig. 2. Arrangement of experimental greenhouses.

으며, 3연동 온실은 남북 방향으로 설치되었다.

Fig. 3은 공기주입 이중피복 실험온실의 원리를 도시한 것이다. 온실의 골조위에 두 겹의 피복재를 덮은 후 처마를 비롯한 여러 곳에 고정장치를 사용하여 바람이 새어나오지 않도록 피복재를 고정시켰다. 두 피복층 사이에 공기주입관을 설치하고 송풍팬을 사용하여 공기를 주입하였고, 댐퍼를 이용하여 송풍량을 조절하였다. 송풍팬이 직접 연결되지 않은 공기층에는 분기관을 이용하여 공기를 주입하여 전체면에 공기가 골고루 주입되도록 하였다. 임의의 공기층에 정압측정공을 뚫어 마노메타를 사용하여 공기층의 정압변화를 지속적으로 관찰할 수 있도록 하였다.

2. 실험 조건

Table 1은 온실별 실험조건을 나타낸 것이다. 단동온실의 실험조건은 이중피복 방식을 관행방식과 공기주입방식으로 구분하였고, 공기주입 이중피복 온실의 지붕형태는 복숭아형과 아치형으로 구분하였다. 복숭아형 공기주입 이중피복온실에 대하여 이중피복재의 간격 즉 단열층의 두께에 따른 단열효과를 분석하기 위하여 피복재를 설치할 때 피복재를 지붕 골조재 위에 위치시킨 후, 고정시키기 전에 처마부위에서의 여유길이를 0, 5, 10cm로 달리하여 고정시켰다. 피복재를 설치할 때의 여유길이가 클수록 동일한 압력의 공기주



(a) Front view (b) Side view

Fig. 3. Schematic diagram of air-inflated double-layer plastic greenhouse.

Table 1. Experimental conditions of greenhouses.

Greenhouse type	Double covering method	Roof shape	Margin length of cladding at eaves (cm)	Air flow of fan ($m^3 \cdot min^{-1}$)	Kind of covering film
Single span	Conventional	Peach			H+L
	Air inflating	Peach	0 5 10	1.0 2.7	H, N
		Arch	10	2.7	H
Three span	Conventional	Arch			N
	Air inflating	Arch	10	8.0	N

입시 공기층의 두께가 두꺼워지게 되며 이는 현장의 시공성을 고려하여 지붕의 공기층 즉 단열층의 두께를 달리하기 위한 방안이다. 공기주입 이중피복 플라스틱 온실에서 가장 중요한 장치는 이중피복층에 공기를 주입하는 주입시스템이라고 할 수 있다. 이중피복의 밀폐가 완전하지 못하기 때문에 적정 두께의 공기층을 유지하기 위해서는 일정 압력과 풍량을 가진 송풍기를 이용하여 공기를 주입할 필요가 있다(Aldrich 등, 1989; Nelson 등, 1991; Roberts 등; 1969). 이중피복층내로 공기를 주입하는 송풍기는 공기층의 두께를 일정하게 유지할 수 있고 지나치게 정압이 높게 되어 온실구조가 붕괴되지 않도록 낮은 압력으로 많은 공기량을 공급할 수 있는 일반용 전향 원심송풍기를 사용하였으며(Lee 등, 2009), 공기층내의 정압은 Roberts와 Mears(1969) 및 Nelson(1991)이 제시한 적정정압 5.1~7.6mmAq이 유지되도록 하기 위하여 단동 온실에는 풍량이 1.0과 2.7$m^3 \cdot min^{-1}$인 두 가지 송풍팬을 사용하였다. 실험온실의 피복은 H, L, N사의 3가지 종류의 0.1mm 장수필름 제품을 조합하여 사용하였다.

3연동 온실의 실험조건도 이중피복 방식을 관행방식과 공기주입방식으로 구분하였고, 지붕형태는 모두 아치형으로 하였으며, 피복재의 처마에서의 여유길이는 10cm로 하였고, 8.0$m^3 \cdot min^{-1}$ 풍량의 송풍팬을 사용하여 이중피복층에 공기를 주입하였다.

3. 환경계측

2009년 2월에서 4월까지에 걸쳐 공기주입 이중피복 온실의 보온효과를 분석하기 위하여 온실내부의 온도를 측정하였고, 이중피복에 따른 광투과 특성을 분석하기 위하여 광합성유효광량자속을 측정하였다. 온도센서는 HOBO센서(H08-004-02)를 각 실험온실내의 중앙에 지면으로부터 1m 높이에 한 점씩 설치하여 1시간 간격으로 순간온도를 측정하고 저장하였다. 광합성유효광량자속의 변화는 LI190SB 광량자센서(400~700nm)를 온실 외부의 지붕높이와 온실내부 중앙의 1.3m 높이에 설치하여 측정하였으며, CR10X micro-logger를 사용하여 15분마다 저장되도록 하였다. 공기층내의 정압을 측정하기 위하여 DWYER사의 경사형마노메타(측정범위 0~80mm)와 휴대용 디지탈마노메타(측정범위 0~100mm)를 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 공기주입 송풍팬의 적정 용량

Table 2는 온실의 종류별로 송풍팬의 용량을 달리했을 때 이중피복 공기층 내부의 정압수두를 나타낸 것이다. 단동온실에 1.0$m^3 \cdot min^{-1}$의 풍량을 가진 송풍기를 설치하여 유입구의 압력조절용 댐퍼를 모두 열었을 경우를 보면, 3개의 동일한 형태의 온실에 동일한 풍량의 송풍기를 사용하였음에도 불구하고 정압이 각각 5.2, 1.4, 0.8mmAq로 차이가 크게 발생하였고, 적정 최대압력에 도달하지 못하였다. 또한 3연동 온실의 경우에도 댐퍼를 모두 열었음에도 불구하고 공기층에 1.0mmAq의 낮은 정압이 유지되었다. 이는 온실에 피복재를 설치할 때 시공기술이 부족하여 밀폐도가 많이 떨어졌을 뿐만 아니라 서로 시공의 일관성이 부족했기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 일관성 있게 높은 밀폐도를 유지할 수 있는 피복재 설치기술과 관련 자재의 개발이 절실히 요구된다. 반면에 단동온실에 2.7$m^3 \cdot min^{-1}$의 풍량을 가진 송풍기를 설치한 후, 적정정압을 유지하기 위하여 댐퍼를 거의 닫은 결과 7.5와 7.6mmAq의 정압을 유지할 수 있었다. 이 경우에는 댐퍼를 거의 닫았을 때의 값이기 때문에 본 실험에 사용된 규모의 온실에 대해서는 2.7$m^3 \cdot min^{-1}$의 풍량이 다소 과다한 것을 의미한다. 전체적으로 판단해 볼 때 앞으로 밀폐도를 높일 수 있는 피복기술이 어느 정도 확립된다면, 본 연구에 사용된 실험온실의 규모에는 1.0$m^3 \cdot min^{-1}$의 풍량을 가진 송풍기로 적정정압은 유지할 수 있을 것이다. 그러나 Roberts와 Mears(1969)가 제시한 것처럼 외부 풍속이 높을 때 피복재의 떨림을 줄이기 위해서는 약간 더 높은 정압이 필요하며 이를 위해서는 더 큰 풍량의 팬이 요구된다. 또한,

Table 2. Static pressures for different greenhouses type and air flow of fans.

Greenhouse type	Air flow of fan ($m^3 \cdot min^{-1}$)	Static pressure (mmAq)
Single span	1.0	5.2
		1.4
		0.8
	2.7	7.5
		7.6
Three span	8.0	1.0

Roberts와 Mears(1969) 및 Aldrich과 Bartok(1989)가 제시한 것처럼 피복재가 파손되어 내부공기가 일시적으로 유출될 때에도 일정한 정압을 유지할 수 있도록 송풍기의 용량을 약간 여유를 두는 것이 바람직하다고 판단된다. 따라서 본 실험에 사용된 단동온실의 규모에 적합한 송풍기의 풍량은 1.5~2$m^3 \cdot min^{-1}$ 범위가 적절할 것으로 판단된다. 앞으로 추가실험을 통해서 온실의 규모별로 요구되는 적정풍량을 제시할 예정이다.

2. 단열효과

Fig. 4는 야간 온도가 비교적 낮은 날과 높은 날에 대해 아치형 공기주입온실, 복숭아형 공기주입온실 및 복숭아형 관행온실의 내부온도 변화를 비교한 것이다. 전반적으로 온도가 가장 낮은 온실은 복숭아형 관행온실이었고, 복숭아형 공기주입온실은 이보다 약간 더 높은 온도를 나타내었으며, 온도가 가장 높은 온실은 아치형 공기주입온실이었다. 전체적인 경향으로 판단해 볼 때, 관행의 이중피복온실보다 공기주입 이중피복온실이 보온효과가 약간 더 우수하였으며, 특히 아치형 지붕형태의 공기주입온실이 복숭아 형태의 관행온실에 비해 일평균온도가 2°C 정도 높아 보온효과가 상당히 우수한 것으로 나타났다. 이는 공기주입 이중피복이 관행의 이중피복에 비해 단열효과가 더 우수하고 아치형 지붕이 복숭아형 지붕에 비해 태양광의 입사각이 더 커서 광투과율이 더 높았기 때문인 것으로 판단되며 더 자세한 분석을 위해서는 추가 실험이 요구된다.

3. 이중피복재의 적정 간격

Fig. 5는 야간 온도가 비교적 낮은 날과 높은 날에 대하여 피복을 설치할 때의 여유길이, 즉 이중피복층의 간격에 따른 온실내부의 온도변화를 도시한 것이다. 공기층의 두께에 따른 보온효과를 분석한 결과 공기층의 두께에 따른 단열효과의 뚜렷한 상관성은 찾아보기 어려웠다. 따라서 이중피복의 간격은 피복재의 시공성을 고려하여 적절한 두께를 결정하면 될 것으로 판단되며, 본 연구에 사용한 실험온실을 시공하는 과정에서 얻은 결과에 의하면 시공성이 가장 우수하고 밀폐도를 높일 수 있는 방식은 여유길이가 0cm인 경우였기 때문에,

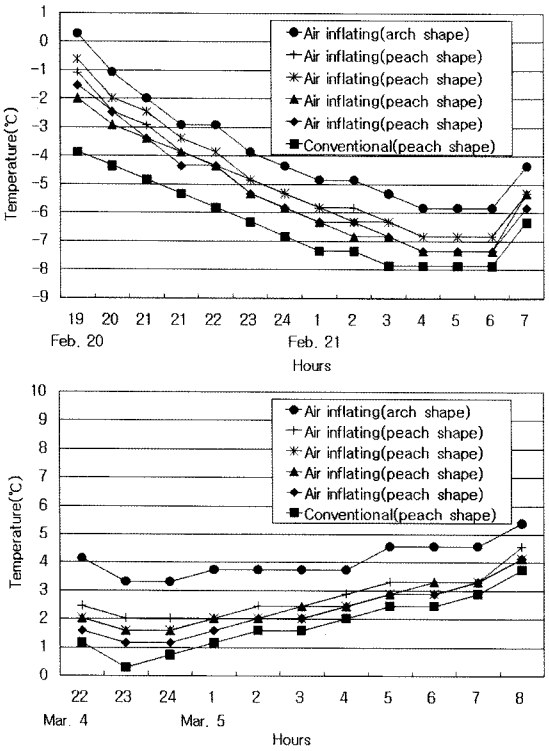


Fig. 4. Variation of inside temperature for different greenhouse types.

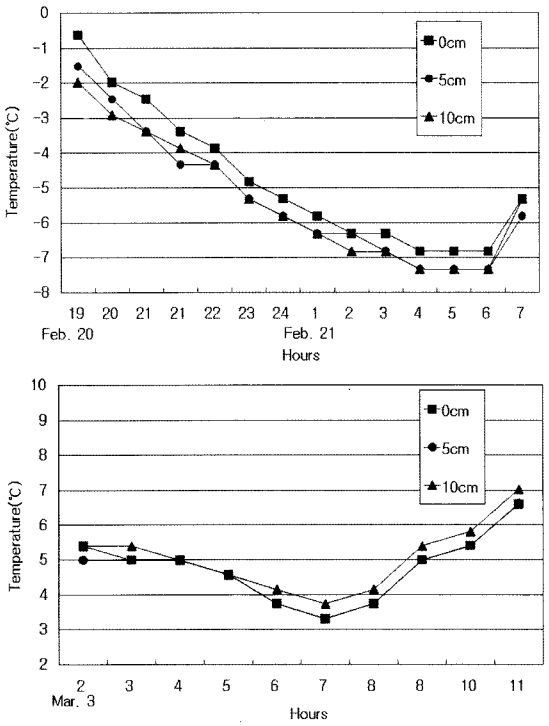
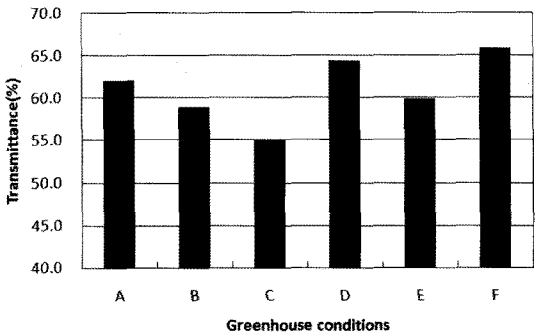


Fig. 5. Variation of inside temperature for greenhouses with different air space thickness.

피복재를 시공할 때는 온실위에 피복재를 덮은 상태에서 여유길이를 두지 않고 자연스럽게 고정시키는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

4. 광투과율

Fig. 6은 온실형태, 피복방법에 따른 광합성유효광량자속의 투과율을 나타낸 것이다. 투과율은 구름이 없는 맑은 날의 10시~16시의 광량을 평균하여 산정하였다. H필름을 사용한 B, C온실과 N필름을 사용한 D, E, F온실을 비교한 결과 다른 조건에 비해 사용필름의 종류에 따라 광투과율의 큰 차이가 발생함을 확인할 수 있었으며, 피복재를 선택할 때 이러한 광투과율의 차이를 고려하여 선택할 필요가 있을 것으로 판단되었다.



Greenhouse conditions
A: One span + Conventional method + Peach shape + H and L film
B: One span + Air inflating method + Arch shape + H film
C: One span + Air inflating method + Peach shape + H film
D: One span + Air inflating method + Peach shape + N film
E: Three span + Conventional method + Arch shape + N film
F: Three span + Air inflating method + Arch shape + N film

Fig. 6. Transmittance for different greenhouse conditions.

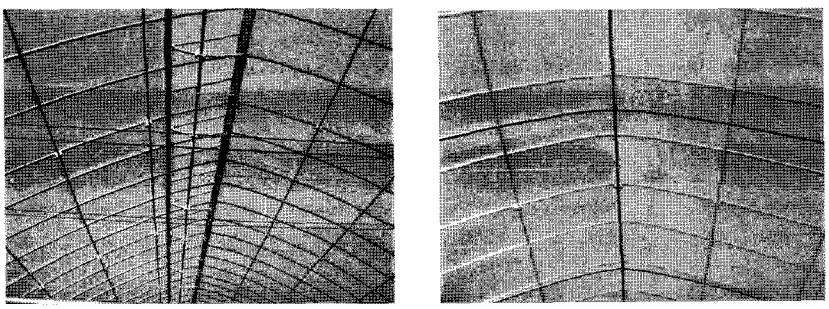
다른 조건들이 동일한 단동온실 B와 C온실을 서로 비교한 결과 복숭아형 지붕인 C온실에 비해 아치형 지붕인 B온실에서 광투과율이 더 높은 것으로 나타났다. 이는 지붕경사각의 차이로 태양광의 입사각이 다르기 때문인 것으로 판단되며, 광투과율을 높이는 측면에서는 온실의 지붕경사각을 철저히 고려하여 온실을 설계하여야 할 것이다. 3연동 온실인 E와 F온실을 비교한 결과 관행 이중피복온실인 E온실에 비해 공기주입 이중피복온실인 F온실이 광투과율이 훨씬 높은 것으로 나타나 아주 긍정적인 효과로 판단된다. 이는 주로 골조율과 이중피복재간의 간격 때문인 것으로 판단되며, 이에 대한 자세한 원인은 앞으로 추가적인 실험을 통해 검증할 예정이다. A온실은 다른 온실들과 다른 종류의 필름을 사용하였기 때문에 서로 비교하는데 어려움이 있었다.

5. 결로현상

Fig. 7은 3연동 공기주입 이중피복온실과 관행 이중피복온실의 지붕에서 발생된 결로현상을 보여주는 사진이다. 결로의 발생현상을 가시적으로 비교한 결과 공기주입온실보다 관행온실에서 더 많은 결로가 발생함을 확인할 수 있었다. 그러나 정량적인 비교를 위해서는 장기간의 관측과 이론적인 분석이 필요할 것으로 판단되며, 향후 더 자세한 실험을 통해 규명할 예정이다.

적 요

본 연구는 우리나라의 기상환경에 적합한 한국형 공기주입 이중피복 플라스틱 온실을 설계하는데 필요한



(a) Air inflated greenhouse (b) Conventional greenhouse

Fig. 7. State of condensation occurred at underside of roof.

기초자료를 제공하기 위하여 실험용 공기주입 이중피복 플라스틱 온실을 제작하여 작동실험을 실시하고 온실내부의 환경변화를 분석하였다. 온실의 피복재를 설치할 때 시공기술이 부족하여 밀폐도가 많이 떨어지는 것으로 나타났기 때문에 이중피복 공기층의 정압을 적절하게 유지하기 위해서는 높은 밀폐도를 유지할 수 있는 피복재 설치기술과 관련 자재의 개발이 요구되었다.

관행의 이중피복온실보다 공기주입 이중피복온실이 단열효과가 더 우수하였으며, 특히 아치형 지붕형태의 공기주입 이중피복온실이 복숭아 형태의 관행온실에 비해 2°C 정도 높아 보온효과가 상당히 우수한 것으로 나타났다. 시공성이 우수하고 밀폐도를 높일 수 있는 피복방식은 온실위에 피복재를 덮은 상태에서 여유길이를 두지 않고 자연스럽게 고정시키는 것이 가장 바람직하였다. 다른 조건들이 동일한 공기주입 이중피복 단동온실의 경우 복숭아형 지붕온실에 비해 아치형 지붕온실에서 광투과율이 더 높은 것으로 나타났다. 3연동 온실의 경우에는 관행 이중피복온실에 비해 공기주입 이중피복온실이 광투과율이 더 높은 것으로 나타났으며, 이는 주로 골조율과 이중피복재간의 간격 때문인 것으로 판단되었고, 이에 대한 자세한 원인은 앞으로 추가적인 실험을 통해 검증할 예정이다. 결로의 발생현상을 가시적으로 비교한 결과 관행온실에서 더 많은 결로가 발생함을 확인할 수 있었다. 그러나 정량적인 비교를 위해서는 장기간의 관측과 이론적인 분석이 필요할 것으로 판단되며, 향후 더 자세한 실험을 통해 규명할 예정이다.

주제어 : 결로, 공기층, 광투과율, 단열, 송풍팬, 정압

사 사

이 논문은 농림수산식품부 농림기술개발사업 연구비에 의하여 연구되었음.

인 용 문 헌

1. Aldrich, R.A. and J.W. Bartok. 1989. Greenhouse engineering. 2nd ed. Northeast regional agricultural engineering service. p. 35-36.
2. Boodley, J.W. 1996. The commercial greenhouse. 2nd ed. Delmar Publishers. p. 83-84.
3. Both, A.J. 2004. First air-inflated double-layer polyethylene greenhouse becomes ASAE historic landmark. ASAE Historical Landmark Dedication. Rutgers University, New Brunswick, NJ, USA.
4. Fang, W. 2004. Double layer poly in Taiwan and its potential applications. ASAE Historical Landmark Dedication. Rutgers University, New Brunswick, NJ, USA.
5. 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.
6. Giacomelli, G.A., K.C. Ting, and S. Panigrahi. 1988. Solar PAR vs. solar total radiation transmission in greenhouse. Transaction of the ASAE 31(5):1540-1543.
7. Giacomelli, G.A., K.C. Ting, and W. Fang. 1991. Wavelength specific transmission of polyethylene film greenhouse grazing. Plasticulture 1991/3:17-22.
8. Jensen, M. 2004. The world-wide impact of double-poly greenhouses. ASAE Historical Landmark Dedication. Rutgers University, New Brunswick, NJ, USA.
9. Kao, T.C. and C.H.W. 2002. Vegetable growth performance in semitropical air inflated greenhouse. Acta Hort 578. 239:245.
10. Lee, H.W., H.S. Nam, S.Y. Sim, S.W. Nam, and Y.S. Kim. 2009. Fundamental experiments for design of air inflating apparatus of air-inflated double-layer plastic greenhouse. Proceedings of the Korean Society for Bio-Environment Control Conference 18(1):208-212 (in Korean).
11. Nelson, P.V. 1991. Greenhouse operation and management. 4th ed. Prentice Hall. p. 52-56.
12. Okada, M. and I. Hayashi. 1983: Trial construction of an air-inflated greenhouse and its features, Agric. and Hortic. 58(1):57-60 (in Japanese).
13. Roberts, W.J. and D.R. Mears. 1969. Double covering a film greenhouse using air to separate film layers. Transactions of the ASAE 12(1):32-38.
14. Roberts, W.J., M.K. Kim, and D.R. Mears. 1972. Air inflated and air supported greenhouses. ASAE Paper No. 72-404.
15. Sase, S. 2004. Double-poly and natural ventilation. ASAE Historical Landmark Dedication. Rutgers University, New Brunswick, NJ, USA.
16. Simpkins, J.C., D.R. Mears, and W.J. Roberts. 1976. Reducing heat losses in polyethylene covered greenhouses. Transactions of the ASAE 19(4):714-719.
17. Simpkins, J.C., D.R. Mears, and W.J. Roberts. 1984. Evaluation of an experimental greenhouse film with improved energy performance. ASAE Paper No. 84-4033.
18. Wu, C.H., H.S. Chang, and J.T. Shaw. 2002. Environmental control of double-layer greenhouse in Taiwan. Acta Hort 578:71-78.