

알루미늄반사재의 배치형태에 따른 보온 효과

김영복¹ · 박중춘^{2*} · 허무룡² · 이시영³ · 정성우²

¹경상대학교 농업생명과학대학 생물산업기계공학과, 농업생명과학연구원
²경상대학교 농업생명과학대학 식물자원환경학부 원예학전공, 농업생명과학연구원
³농촌진흥청 원예연구소 시설원예시험장

Effectiveness of the Aluminum Thermal Screens Depending on the Allocation Type

Young-Bok Kim¹, Joong-Choon Park^{2*}, Moo-Ryong Huh², Si-Young Lee³, and Sung-Woo Jeong²

¹Department of Bio-Machinery Engineering, CALS, IALS, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

²Department of Horticulture, CALS, IALS, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

³Protected Horticultural Experimental Station, NHRI, RDA, Busan 618-800, Korea

Abstract. Thermal insulation effectiveness of the aluminum insulator depending on the direction of its glossing face, number of layer and allocation position was investigated. Modules were assembled by the combination of the variables levels and experimented for the case of 100 W and 40 W heating in the modules. The temperatures in the modules with the aluminum insulator were higher than those of the modules with polyester curtains. For the modules with one layer aluminum insulator, the inside temperatures of the modules with the direction of the glossing face outward were higher than those of the modules of inward. For two layer of aluminum insulator, the directions of those glossing faces were recommended to be the same direction for higher thermal insulation effectiveness. For the modules without heating, the temperature difference between the modules were not significant. The black globe temperatures in the modules were changed with the similar tendencies with the dry bulb temperatures in the modules. Those of the black globes were higher than those of the dry bulb temperatures as a whole. It was more distinguished for the modules of inward direction.

Key words : aluminum, effectiveness, insulator, thermal curtain

*Corresponding author

서 언

유류가격이 지속적으로 상승하여 온실재배에서 에너지 비용이 큰 부담이 되고 있으며, 대책으로서 에너지의 효율적인 이용이 절대적으로 요청되고 있다. 그 일환으로서 온실에서 단열성을 높이는 방법이 필요하다. Chandra와 Albright(1980)는 야간 커튼을 이용하면 온실보온에 필요한 열요구량을 70%까지 절약할 수 있다고 분석하였으며, Kim 등(1991)은 온실보온커튼의 보온효과분석에서 보온커튼의 층수와 대류열전달계수의 차이에 의한 보온효과를 분석한 바 있다. 한편, Lee(2004)에 의하면 온실용 보온커튼소재별 보온력은

알루미늄스크린이 부직포보다 열관류량이 적어 보온성이 높은 것으로 나타났다고 하였다. 이러한 내용을 바탕으로 하여 온실보온을 위한 알루미늄반사단열재의 배치방법에 따라 보온효과가 어떻게 달라지는가를 분석하여 그 효율적인 사용방법을 구명하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

알루미늄반사단열재의 배치방법에 따라 보온성이 어떻게 달라지는가를 알아보기 위하여 실험장치를 제작하고 실험분석하였다. 즉, 알루미늄반사단열재의 광택이

알루미늄반사재의 배치형태에 따른 보온 효과

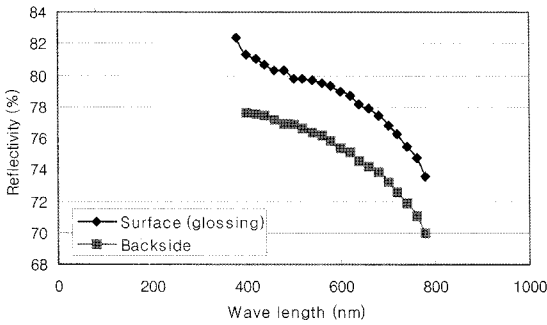


Fig. 1. Reflectivity variation of the aluminum insulator on the wave length.



Photo. 1. Allocation of the modules.

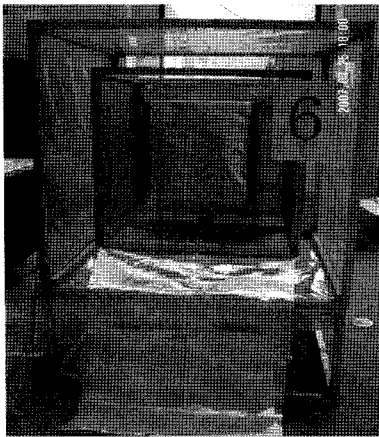


Photo. 2. Inside view of the module 6th.

있는 방향과 광택이 없는 방향을 시설의 안팎 어느 방향으로 향하게 하느냐, 그리고 보온재가 여러 층일 경우 어느 위치에 배치하는 것이 더 보온성이 높은가를 알아보고자 하였다. 실험은 모듈내 가열량, 보온재의 배치방법에 따라 1차와 2차로 나누어 실시하였다.

1차실험 모듈 : 실험장치는 정육각형의 실험모듈을 만들어 이용하였으며, 실험모듈은 11개가 사용되었다.

각 실험모듈은 사각형박스 3개로 구성되며, 3개의 사각형박스는 그 크기가 가로×세로×높이가 각각 1000×1000×1000(Box1000), 700×700×700(Box700), 400×400×400(Box400)이며, Box1000 안에 Box700이 들어가고, Box700 안에 Box400이 들어가도록 하였다. 박스간 6면 사이의 거리는 모두 150mm가 되도록 하였으며, 각 박스는 가로와 세로가 각각 25mm 인 나무각목을 이용하여 후레임을 제작하고 그 주위에 필요한 보온재를 둘러싸서 조립하였다. 조립과정에서 측정을 위한 계측부가 설치되었으며, 조립된 Box1000은 실험실바닥으로부터 400mm 높이의 사각박스위에 설치하여 바닥으로부터 분리하였다. 보온재의 조합은 알루미늄반사재의 경우 광택면과 무광택면을 고려하여 표 1과 같이 모듈별로 배치하였다. 모듈의 조합은 알루미늄반사재의 광택면이 안쪽을 향하는가 바깥쪽을 향하는가에 따라, 그리고 알루미늄반사재가 Box700에 설치되는가 Box400에 설치되는가에 따라 그 보온성이 달라지는기를 판단하기 위하여 실시하였다. 모듈내 공급 가열량은 전기히터를 이용하였으며, 전열봉은 100W, 직경 20mm, 길이 350mm이며, 설치위치는 Box400내에서 대류발생을 줄이고 내부온도가 열복사에 의해 나타나도록 하기 위해 상단으로부터 100mm 위치에 좌우대칭으로 설치하였다. 전체 모듈의 배치와 모듈내부의 모양을 나타내면 각각 photo 1, 2와 같다.

2차실험 모듈 : 2차실험의 실험모듈은 10개가 사용되었으며, 이 실험은 모듈내 가열량의 수준에 의한 영향은 물론 김 등(2007)에 의한 커버재료가 유리인 경우의 실험 결과를 비교 확인하기 위한 것이었다. 모듈내 공급열원으로는 40W, 직경 20mm, 길이 250mm의 전열봉을 사용하였으며, 설치위치는 모듈내 균일온도조성을 위해 Box400내의 바닥으로부터 100mm 위치에 좌우대칭으로 설치하였다. 모듈의 조합은 모듈번호 1~6번까지는 1차실험과 동일하게 배치하였다. 그리고 7~10번 모듈의 경우 Box700의 재료를 알루미늄으로 하고 Box1000과 Box400은 재료를 설치하지 않았으며, Box700의 내부 상단에는 수평으로 보온재를 설치하였는데 보온재사이의 간격은 100mm로서 그 조합은 Table 2와 같다.

보온재 : 사용된 보온재는 외피막 EVA(Cover), 알루미늄반사재(Aluminum), 폴리에스터부직포(Curtain600)이었다. 알루미늄반사재는 외국계 S회사의 권취용으로

Table 1. Modes for 1st experiment.

No	Materials			Symbol
	Box1000	Box700	Box400	
1	Cover ^V	none(empty)	Aluminum in	C ^W ---Ai ^X
2	Cover	none(empty)	Aluminum out	C---Ao ^Y
3	Cover	Aluminum out	Aluminum in	C-Ao-Ai
4	Cover	Aluminum in	Aluminum in**	C-Ai-Ai
5	Cover	Aluminum out	Aluminum out	C-Ao-Ao
6	Cover	Aluminum in	Aluminum out	C-Ai-Ao
7	Cover	Curtain600	Aluminum in	C-C6 ^Z -Ai
8	Cover	Aluminum in	Curtain600	C-Ai-C6
9	Cover	Curtain600	Aluminum out	C-C6-Ao
10	Cover	Aluminum out	Curtain600	C-Ao-C6
11	Cover	Curtain600	Curtain600	C-C6-C6

Cover^V: EVA, C^W: Cover, C6^Z: Curtain
 Ai^X: Aluminized thermal screen-reflection surface directed to inside
 Ao^Y: Aluminized thermal screen-reflection surface directed to outside
 **: two faces-inward, 4 faces-outward at 1st experiment, all six faces-inward at 2nd experiment

Table 2. Modes 2nd experiment.

No	Materials on the position(mm) from the bottom of Box700			Symbol
	700	600	500	
7	none	Curtain600	Aluminum in	AiH-Ai-C6-0
8	none	Curtain600	Aluminum out	AiH-Ao-C6-0
9	none	Aluminum in	Curtain600	AiH-C6-Ai-0
10	Aluminum in	none	Curtain600	AiH-C6-0-Ai

서 그 카탈로그에 명시된 바에 따르면(<http://www.jeilam.com/company.html>) 차광 82-83%, 보온 72% 이었으며, 한국의류시험연구원 산업환경연구센터에 의뢰하여 측정된 바 광택이 있는 면의 반사율은 파장 380~780nm 범위에서 78.7~82.4% 사이에서 평균 73.6%, 광택이 없는 면은 75.1~76.1% 사이에서 평균 70.0%, 그 차이는 약 3.6% 정도이었다. 알루미늄의 반사율은 파장이 길어질수록 급속히 줄어드는 경향을 보였으며 적외선의 장파장영역에서는 반사율은 상당히 줄어들 것으로 예상되었다. 한편, 외피막의 반사율은 7.5~10.1%, 사용된 부직포의 반사율은 66.0~70.0% 범위이었다. 한편 차광율은 알루미늄, 외피막, 부직포의 경우 각각 98.3, 19.57, 87.9%이었다. 알루미늄반사재의 광택부는 그 압연 생산과정에서 불과 맞닿는 부분에

서 발생하게 된다(http://www.lotteal.co.kr/4_customer/s0431.asp).

계측부 및 실험수행 : 실험분석을 위해 계측한 항목은 건구온도, 상대습도, 흑구온도로서 전기히터로서 가열하는 과정과 가열하지 않는 상태에서의 두가지 측정을 실시하였다. 외기 온습도와 흑구온도는 바닥으로부터 1400mm 위치에서 측정하였다. 모듈내 흑구온도는 모듈 중앙부에서 측정하였으며, 직경 150mm의 흑구 중앙부에 열전대를 설치하여 측정하였다. 흑구온도와 건구온도는 K 타입의 열전대를 사용하였다. 1차실험에서의 건구온도는 외기와 함께 박스와 박스사이의 상단 중앙에서 측정하였으며, 모듈 제일 내부의 온습도는 대류의 영향을 적게 받는 위치에서의 값을 알고자 하여, 흑구온도계와 Box400 옆면 사이 바닥으로부터 200mm, 옆면으로부터 80mm 위치에서 측정하였다. 2차실험에서는 모듈내 공기온도를 균일하게 한 상태에서의 측정을 위해 전기히터를 하단에 설치하고 내부온습도 센서는 Box400 하단으로부터 350mm 위치, 박스사이의 건구온도는 박스와 박스 사이의 중앙부 대칭위치에 바닥으로부터 650mm 위치에 설치하여 동일 높이에서 박스 내외의 건구온도를 측정하였다. 온도와 습도의 측정을 위해 온습도로거와 온도로거를 이용하였으며, Testo 177-H1 온습도로거, Testo 177-T4 온도로거, Sato SK-L200TH-a 온습도로거와 같은 계측기를 사용하였다. 실험은 햇빛과 바람의 영향이 적은 실내에서 수행하였다. 1차실험은 2007년 7월 28일 오전 10시 45분부터 30일 오전 10시까지 수행하였으며, 히터를 켜 가열을 시작하면서 2분간격으로 측정 실시하였다. 무가온 측정은 8월 28일 오후 3시 30분부터 29일 오후 2시까지 배분간격으로 측정하였다. 2차실험은 8월 29일 오후 6시 40분부터 오후 7시 40분까지 60분간 수행하였으며 2분간격으로 측정하였다.

결과 및 고찰

1차실험 : 1차실험기간은 주야간을 포함하여 약 45시간을 측정하였으며, 그 경시별 온도의 변화는 Fig. 1에 나타낸 바와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 모듈별 온도의 변화는 비교적 일정하였다. 모듈간 차이를 확인하기 위하여 온도변화가 안정된 기간을 추출하였던 바 7월 28일 21시 30분부터 30일 05시까지의 450분

알루미늄반사재의 배치형태에 따른 보온 효과

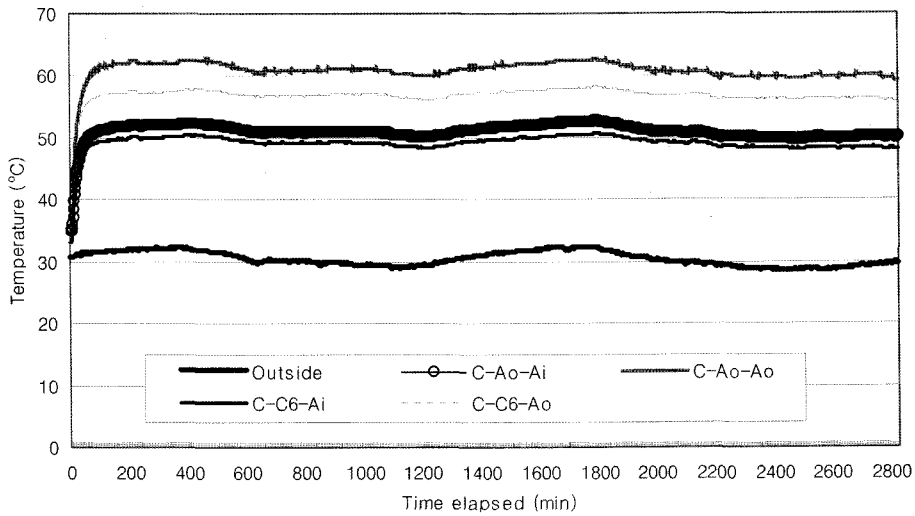


Fig. 1. Dry bulb temperature variation depending on time from July 28, 2007 to July 30, 2007 for 1st experiment.

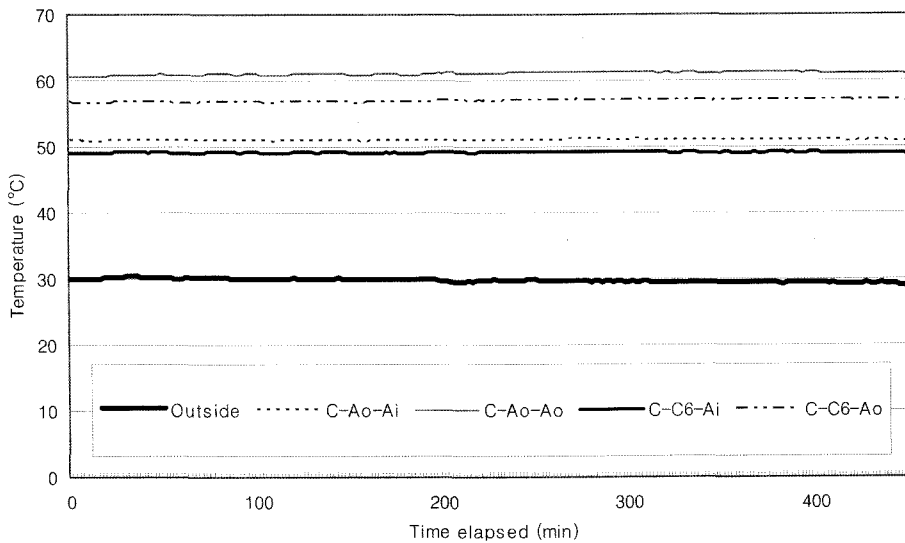


Fig. 2. Dry bulb temperature variation depending on time during July 28, 21:30, 2007 to July 28, 05:00 for 1st experiment.

간으로 나타났으며, 이를 나타내면 Fig. 2와 같다. 그리고 안정기간 중의 평균온도를 모듈별로 비교하여 보면 Fig. 3에 나타낸 바와 같다. Fig. 3을 살펴보면 일반적으로 많이 설치하는 형식인 알루미늄반사재가 한 층인 경우 광택이 있는 부분을 바깥쪽으로 향하게 하는 것이 보온성이 높은 것으로 나타났다. 그리고 알루미늄을 두 층으로 하면 한 층으로 할 때보다 대체적으로 내부온도가 높으며, 두 층으로 할 경우에는 알루미늄반사재의 방향을 같은 방향으로 하는 것이 보온에 좋은 것으로 나타났다. 이러한 경향은 실험범위의 온도

가 20~70°C 정도로서 이 온도범위에서는 Planck의 광파장대별 광강도 함수관계식과 Wien의 법칙에 따라 (Holman, 1976) 8~10 μ m파장을 최대로 한 장파장영역이 주를 이루고 있기 때문에 알루미늄반사재의 특성이 장파장영역에서 잘 투과시키지 않기 때문에 판단된다. 한편, 알루미늄반사재를 두 층으로 할 때에도 광택부를 둘 다 외향으로 배치하는 것이 보온효율이 더 높게 나타났으며, 가장 보온력이 좋은 것은 둘 다 외향인 모듈 C-Ao-Ao로서 내부온도가 61.0°C이었다. 알루미늄반사재를 두 층으로 할 경우 두 층 모두 내향

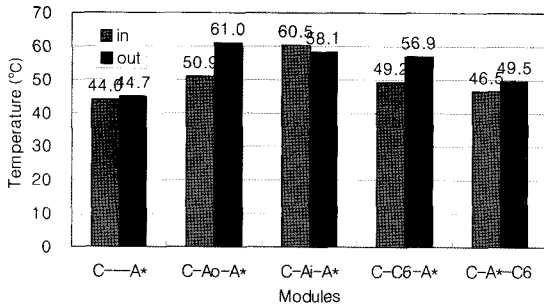


Fig. 3. Inside dry bulb temperature comparison of the modules for 1st experiment.

으로 한 C-Ai-Ai 모듈의 온도가 상당히 높게 나타난 것은 예상밖이었으며, 이것은 각 위치에서의 알루미늄 반사재의 반사온도와 관계있는 것으로 판단되었다. 이와 관련한 분석은 앞으로 추가의 검토가 필요할 것으로 생각된다. 한편, 이 기간 중 알루미늄반사재가 전혀 설치되지 않은 모듈 C-C6-C6의 내부온도는 약 46.0°C로서 가장 낮게 나타났다. 그리고 외기온도의 변화에 따른 모듈내부온도의 변화를 알아보기 위하여 외기온도 변화에 따른 모듈내부온도와 외기온도의 차이 변화를 그림으로 나타내면 Fig. 4와 같다. 그림에 나타난 데이터는 1차실험 전기간 중의 데이터로서 그림을 살펴보면 외기온도에 따라 온도차는 전 모듈에서 서서히 상승하며 그 변화의 크기는 외기온도의 변화보다 적었다.

모듈내 복사열의 수준을 알아보기 위해 흑구온도의

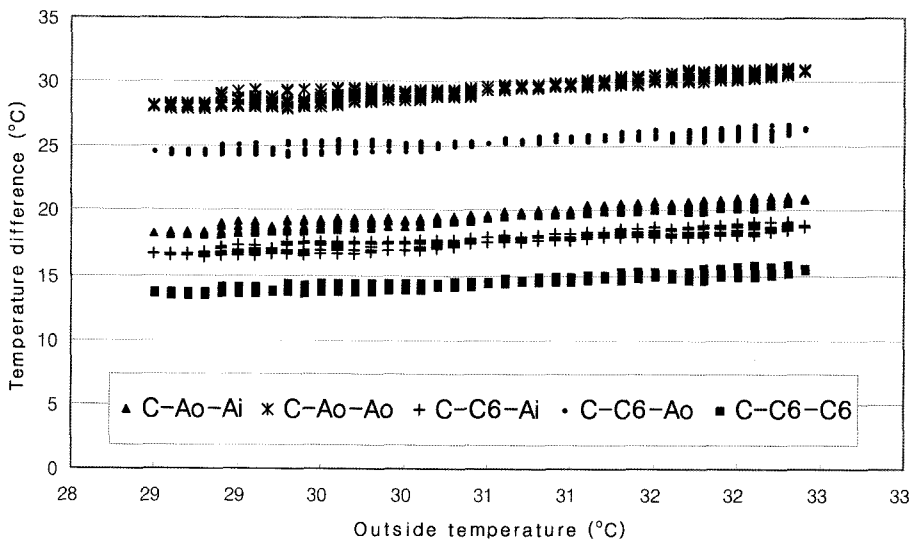


Fig. 4. Dry bulb temperature difference between the outside and module inside on the outside temperature for the 1st experiment.

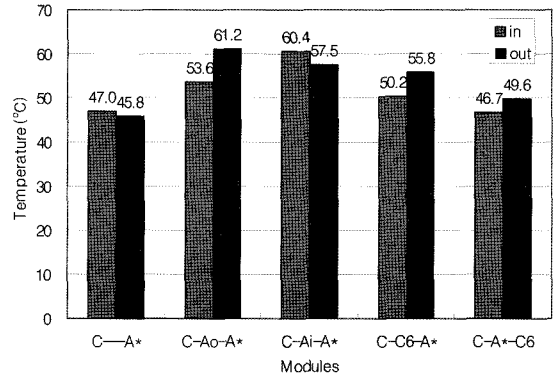


Fig. 5. Inside black globe temperature comparison of the modules for 1st experiment.

변화가 아주 적은 범위를 추출하였다. 그 기간은 8월 28일 22시20분부터 29일 4시 40분까지의 380분 동안이며, 이 기간 중 외기온도의 변화 표준편차는 0.3이내이며 모든 모듈내의 흑구온도는 0.17°C를 넘지 않았다. 이 기간내의 흑구온도의 평균을 그림으로 나타내면 Fig. 5와 같다. 그림을 살펴보면 모듈간의 흑구온도는 알루미늄반사재의 광택부분을 외향으로 설치한 것이 대체적으로 높게 나타났으며, 두 층으로 설치한 경우 같은 방향으로 설치하는 것이 보온효율을 높이는 것으로 나타났다. 흑구온도가 가장 높은 모듈은 알루미늄반사재를 두 층으로 하여 둘 다 외향으로 한 경우이었다. 알루미늄반사재가 포함되지 않은 C-C6-C6 모듈의 경우 45.5°C로서 알루미늄이 포함된 모듈보다 낮게 나타

알루미늄반사재의 배치형태에 따른 보온 효과

Table 3. Temperature difference (equals black globe temperature minus dry bulb temperature).

*	C---A*	C-Ao-A*	C-Ai-A*	C-C6-A*	C-A*-C6
in	3.0	2.6	0.0	1.0	0.2
out	1.1	0.2	-0.6	-1.2	0.1
in-out	1.9	2.4	0.6	2.1	0.1

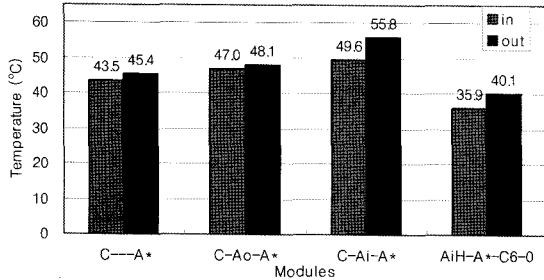


Fig. 6. Inside dry-bulb temperature comparison of the modules for 2nd experiment.

났다.

모듈내의 건구온도에 미치는 직접적인 복사열의 영향을 알아보기 위하여 1차실험기간 중 Fig. 5에서의 흑구온도의 안정기 평균값과 Fig. 3에서의 건구온도의 안정기 평균값의 차이를 알아보면 표 3과 같다. 표에는 흑구온도에서 건구온도를 뺀 값과 그 값을 알루미늄반사재 광택부가 외향인 경우와 내향인 경우의 차이를 나타내었다. 이를 살펴보면 알루미늄반사재광택부가 내향인 경우가 외향인 경우보다 흑구온도가 더 높은 것으로 보아 복사열영향이 큰 것으로 판단되었다.

2차실험 : 모듈내를 가열하지 않고 측정한 결과 모

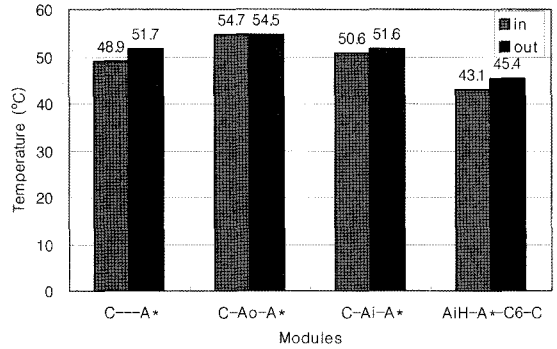


Fig. 7. Inside black globe temperature comparison of the modules for 2nd experiment.

듈간에는 온도차가 0.5°C를 넘지 않았으며 그 차이를 인정하기 어려웠다. 2차실험기간중의 안정된 온도기간 (8월 29일 오후 7시 10분부터 40분까지 30분간)을 추출하여 그 평균을 분석한 결과 모듈별 평균은 Fig. 6과 같다. 이 안정된 기간 중의 모듈별 표준편차는 최대 0.25°C를 넘지 않았다. 그림을 살펴보면 전모듈에 걸쳐서 알루미늄반사재를 광택부분이 외향이 되도록 설치하는 것이 보온효율이 높은 것으로 나타났으며 역시 알루미늄반사재를 두 층으로 할 때는 같은 방향으로 하는 것이 좋은 것으로 나타났다. 한편, 유리를 커버로 한 Kim 등(2007)의 연구결과는 본 실험에 의한 결과와 달리 광택부의 설치방향에 따른 효과가 다르게 나타났던 바 이는 알루미늄반사재의 특성이 다르기 때문으로 판단되며, 앞으로 알루미늄반사재의 종류와 커버

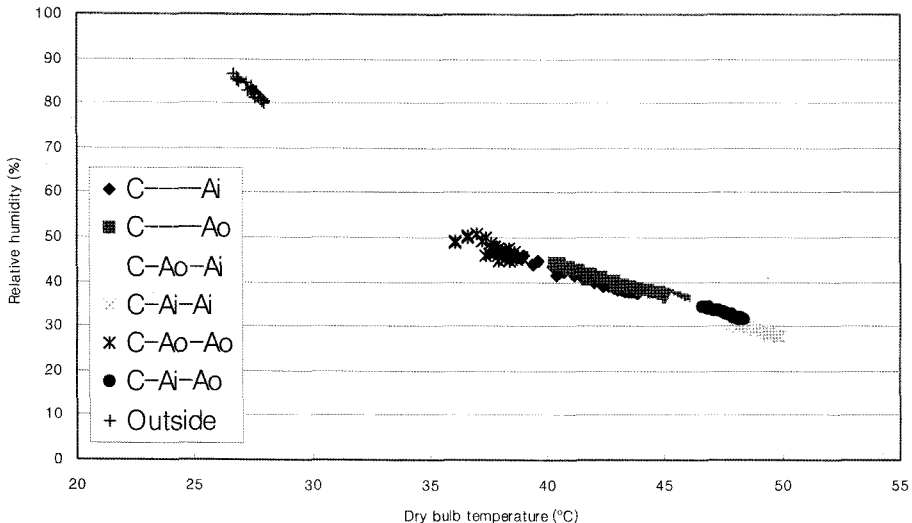


Fig. 8. Relative humidity depending on the dry bulb temperature of the module inside.

의 종류에 따른 비교실험이 필요하다고 판단된다. 2차 실험기간 중의 흑구온도변화를 알아보면 그 안정기는 8월 29일 오후 7시 10분부터 30분간을 취하였으며, 이 기간 중 외기온도는 28.2°C(표준편차 °C) 이었으며, 모듈내의 흑구온도를 Fig. 7과 같이 나타냈다. 그림을 살펴보면 알루미늄반사재의 광택부를 외향으로 하는 것이 전체적으로 높은 온도를 나타내었다. 2차실험기간 중의 모듈내 상대습도의 변화를 살펴보면 Fig. 8과 같다. 공기중 수분량이 변하지 않는다면 건구온도가 상승하면 상대습도는 하강하게 되는 바 이러한 경향이 그대로 모듈내 상대습도의 변화에 나타나고 있으며, 상대 습도는 모듈내 건구온도의 수준에 따라 변하고 있었다.

적 요

온실보온을 위한 알루미늄반사단열재의 설치위치와 광택부의 설치방향에 따라 보온효과를 구명하고자 알루미늄반사재와 부직포를 조합하여 모듈을 구성하고, 모듈내 가열량을 각각 100W, 40W로 하여 2차에 걸쳐 처리 건구온도와 흑구온도, 상대습도를 재료의 조합에 따라 분석하였다. 1. 알루미늄반사재가 있는 경우가 부직포만 있는 경우보다 보온효율이 높았으며, 알루미늄을 두 층으로 하면 한 층으로 할 때보다 내부온도가 높았다. 알루미늄반사재를 한 층으로 설치할 때는 알루미늄반사재의 광택부분을 외부로 향하게 하는 것이 내부로 향하게 하는 것보다 모듈내 온도가 높았다. 알루미늄반사재를 두 층으로 할 때는 같은 방향으로 하는 것이 높게 나타났으며 이 경우 광택부를 둘 다 외향으로 배치하는 것이 보온효율이 더 높게 나타났다. 외기온도에 따라 모듈내 건구온도는 전 모듈에서 서서히 상승하며 그 변화의 크기는 외기온도의 변화보다 적었다. 2. 모듈내를 가열하지 않는 경우 모듈내 온도는 모듈간 온도차가 0.5°C를 넘지 않았으며 그 차이를 인정하기 어려웠다. 3. 모듈내의 흑구온도변화는 건구온도변화와 그 경향이 비슷하였다. 흑구온도는 대체

적으로 건구온도보다 높았으며, 그 경향은 알루미늄반사재광택부가 내향인 경우가 외향인 경우보다 더 강하게 나타났던 바 복사열영향이 큰 것으로 판단되었다. 모듈내 상대습도는 건구온도가 증가하면 비교적 직선적으로 하강하였다.

주제어 : 단열재, 보온커튼, 알루미늄, 효율

사 사

본 연구는 농촌진흥청 현안기술연구사업단 과제(과제번호: 20070301-036-001-001-02-00)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인용문헌

1. Chandra, P. and L.D. Albright. 1980. Analytical determination of the effect on greenhouse heating requirements of using night curtains. *Trans. of Amer. Soc. Agric. Eng.* 23(4), p. 994-1000.
2. Holman, J.P. 1976. *Heat transfer*. McGRAW-HILL.
3. Homepage of a Aluminum insulator maker A. 2007. <http://www.jeilam.com/company.html>
4. Homepage of a aluminum insulator maker B. 2007. http://www.lotteal.co.kr/4_customer/s0431.asp
5. Kim, Y.B., J.C. Park, M.R. Huh, S.Y. Lee, and S.W. Jeong. 2007. Effectiveness Analysis of the thermal curtains for greenhouse-Effect of the thermal screens depending on the allocation-. *Proceeding of the 2007 annual summer conference. Korean Society of the Agricultural Machinery Engineering*, Vol. 12(2):276-279 (in Korean).
6. Kim, Y.B., Y.H. Kim, S.K. Lee, W.J. La, Y.B. Min, and J.C. Park. 1991. Effectiveness of thermal curtain on green house heating loads. *Proceeding of 1991 Fall Annual Meeting. The Korean Society for Horticultural Science*, Vol. 9(2):72-73 (in Korean).
7. Lee, S.Y. 2004. Study on the effectiveness of thermal insulation and installation method of thermal curtains. *Research report. Protected horticultural experimental station, NHRI, RDA* (in Korean).