

마이크로컴퓨터에 의한 시설재배의 자동화에 관한 기초연구(III)⁺ - 양지붕형 하우스의 창 개방방법에 따른 온·습도의 변화 -

A Fundamental Study for the Automatic Control System in Greenhouse Using Microcomputer(III)

- A variation of temperature and humidity by the window
opening ways of the even-Span type house -

김진현*	김철수*	구건효**	이기명***
정희원	정희원		정희원
J. H. Kim	C. S. Kim	G. H. Koo	K. M. Lee

ABSTRACT

The ventilation in greenhouse have been important for such as adjustment of temperature, supplying of the oxygen, prevention of the overhumidity, density adjustment of CO₂, discharge of harmfulness gas, etc. However, the general ventilation which had been used the quantitative control method in discharge of a property of air machanism in greenhouse, and caused mainly in waste of the heating energy and growth obstacle of the vegetable.

Therefore, this study was performed to obtain more scientific ventilation method using by analysis and measurement of the isothermal lines according to opening of window ventilation in greenhouse, and the results are summarized as follows.

1. The ventilating amount was more influenced by rather opening amount of window than the ventilating time
2. In window ventilation, the temperature in greenhouse was mostly changed within 5 minutes after ventilating not regard to the spot of opening, after about 10 minutes temperature became to equilibrium state under the respective ventilating conditions.
3. In opening of the skylight only, isothermal lines were complicated, therefore, a tall vegetable may be possible to damage by a cold-weather from the lower central part in greenhouse.
4. Isothermal lines were a tendency to simply in opening of a side window that may be more effective ventilation in kinds of the short vegetable.
5. In conditions of internal temperature > setting temperature > external temperature, a skylight can be suitable to open 10~20cm in order to the optimum ventilation in greenhouse.
6. In conditions of internal temperature > external temperature > setting temperature, opening of all the windows or both the side windows that can be suitable in order to obtain the optimum ventilation in greenhouse.
7. An effect of ventilation was the most excellent to open of all the windows or both the side windows, and it were also found orderly excellent to open of the side window and the skylight or the skylight only, to open of the side window only.
8. Temperature was varied as the equation of $T = T_c + (T_o - T_c)e^{-at}$, and the ranges of (a) values were limited within 0.34~0.68.
9. A variations of humidity were similar to that of temperature.s.

주요 용어(Key Words) : 온실(Greenhouse), 자동제어장치(Automatic control system), 환기(Ventilation), 온도조절(Temperature control)

+ 본 연구는 '94년 농촌진흥청 특정연구개발 사업비 지원으로 수행되었음.
* 상주산업대학교 이공학부 산업기계공학과
** 구미전문대학 원예과
*** 경북대학교 농과대학 농업기계공학과

1. 서론

우리나라의 시설재배는 역사가 짧고, 선진국에 비하여 환경제어에 필요한 기초적인 자료와 기술적인 부분에서 크게 낙후한 노동집약형을 벗어나지 못하고 있다. 시설재배의 환경제어는 물관리, 온도, CO₂, 일조량, 관비, 방제 등이 대상이 되지만 특히 하우스내의 고온 및 저온의 장애는 작물의 생육과 수확량에 큰 장애를 주고 있다. 최근 동절기의 시설재배에 있어서 가온을 하는 경우에는 과학적 환기방법을 무시하거나, 처음부터 환기를 금하는 사례도 발생되고 있어 실내외의 온도에 따른 환기량의 과학적 개방방법이 절실하게 요구되고 있다. 이러한 환기량의 개방방법은 창의 열림에 따른 외부공기의 유입 흐름을 분석하여야 하며 공기의 흐름은 온도의 변화로 예측되어 진다. 온실내부의 환기에 따른 온도변화의 연구에서

朴(1987)등은⁷⁾ 외부풍속의 변화에 따른 플라스틱 온실의 내부공기온도 변화는 주간과 같이 온실내부의 온도차가 클 때는 외부풍속 변화에 큰 영향을 받지만 온도차이가 적은 야간에는 외부풍속의 영향은 거의 무시할 정도로 작았다고 하였다.

古在豊樹(1985)등은⁸⁾ 풍속 2 m/sec 이상에는 풍압력이 환기의 주된 원동력이며, 1 m/sec 이하에서는 내외 온도차가 주요한 환기 원동력인다고 밝혔다.

竹園 尊(1987)등은¹¹⁾ 환기의 개별제어에는 접점제어나 비례적분미분제어가 이용된다고 하였다. 여기서 전자는 온실내 기온이 설정치를 넘는 경우에 일정시간 환기창이 개폐동작을 하는 개회로방식이며 후자는 설정기온과 실제의 기온과의 편차에 기인하여 환기창의 개폐량이 결정되는 폐회로방식이라 하였다. 그러나 옥외 기상조건 등 많은 요인이 제어계에 관여하고 있기 때문에 폐회로의 증폭도의 결정은 비교적 어렵다고 하였다.

Tantau(1984)등은¹³⁾ 온실환경 제어 알고리즘을 개발하였는데 온실환경 모델과 실측치 증폭

도를 비교하여 실험하였고 난방장치나 온실이 달라도 적용 가능하다고 하였다.

Sase(1985)등은¹²⁾ 자연환기 제어 알고리즘을 일종의 피드포워드 제어방식을 이용하여 내장된 환경 예측모델에 따라 최적 환기량의 개방 및 개방 패턴을 결정하였다.

三原(1972)등에⁹⁾ 의하면 밀폐한 하우스내의 최고온도는 외기 최고기온의 약 2배에 달한다고 하였다.

본 연구에서는 양지붕형 단동하우스의 천창과 좌·우측창의 개방방법에 따른 온·습도의 변화를 규명하고, 하우스내의 평균온도의 변화를 수치화하여 환기량과 환기시간의 관계를 해석함으로써 환기방법의 개선에 필요한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

가. 실험장치

1) 환기장치

양지붕형 단동하우스의 온도계측을 위하여 천창과 좌·우측창을 그림 1과 같이 장치하였다.

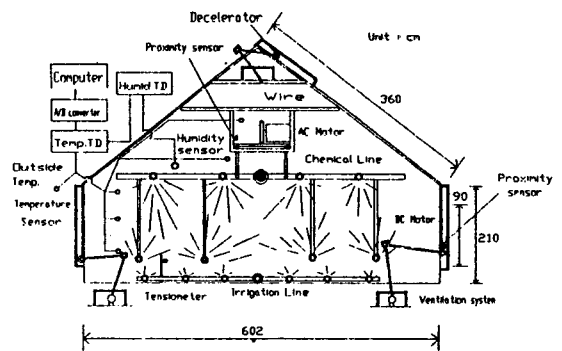


Fig. 1. The schematic diagram of experimental apparatus in greenhouse.

그림 1에서와 같이 환기창은 좌·우측창과 천창에 설치하였다. 개폐기의 동작은 회전방향에 따라 비닐의 장력을 이용하여 열리거나 중력의 작용에 따라 닫히며 직류모터는 구동 기능만 담

당하고 있다. 그리고 바람에 의하여 좌·우측창과 천창이 심하게 요동하기 때문에 중간에 보강대를 설치 함으로써 흔들림을 방지하였다. 개폐기는 지표면에 타설하여 고정시켰고, 개폐작업 중 흔들림을 방지하기 위하여 지표면과 하우스 골조 부분에 보강대를 설치하였다.

2) 온·습도의 계측

창의 개방에 따른 하우스내의 온도분포 등 환기특성을 규명하기 위하여 그림 2와 같이 30점의 온도센서와 1점의 습도센서를 설치하였다.

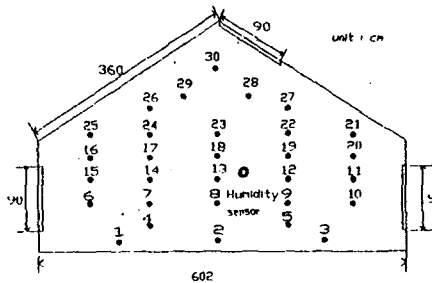


Fig. 2. The temperature measurement positions for ventilation.

온도 계측점은 작물의 천개(天蓋, canopy)를 최대 2.3 m로 하여 지상 0.2 m에서부터 25점을 배치하였고, 하우스의 상단에는 5점만 배치하였다. 습도 계측용 센서(FG120U, Galltec社)는 Hi-gro-sensor 형을 사용하였다. 온도 계측용 센서는 계측범위 내(0~400°C)에서 출력이 직선적이고 가격이 저렴한 T-type 열전대를 사용하였다.

온도의 계측은 디지털 지시계와 연결되어 지시되며, 외부 출력단자를 이용하여 0~5 볼트의 높은 임피던스의 출력신호를 증폭장치로 연결하여 안정된 출력전압으로 변화된다.

나. 실험방법

1) 환기

가) 환기창의 구동

환기를 위한 온도의 계측과 환기창의 개폐는 아날로그적 변화를 양적으로 제어함으로 정량적

제어가 된다. 계측된 온도는 판독 순간 모든 채널에 10번씩 계측한 값을 적산하여 그 평균치를 나타내게 함으로써 판독 오차를 거의 줄일 수 있었다.

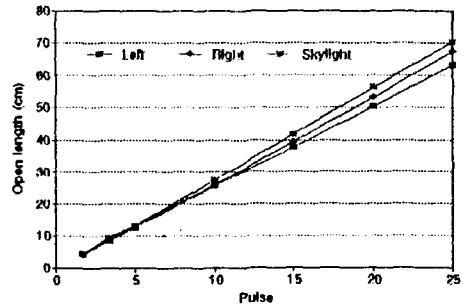


Fig. 3. Calibration curve of the open length vs. pulse.

그림 3은 창의 열림에 대한 입력 펄스의 관계를 나타내고 있다.

그림 3에서와 같이 동일한 입력 펄스의 상태에서 천창과 좌·우측창의 열림을 비교하여 볼 때 천창이 24 펄스에 대하여 67.5 cm가 열렸으며 우측창은 64.7 cm, 좌측창은 60.7 cm가 열렸다.

천창의 경우에는 천창의 경사방향으로 따라 개방이 되기 때문에 중력의 영향이 비교적 작은 관계로 개폐봉의 주변에 감기는 비닐의 영향이 좌·우측창에 비하여 크기 때문으로 볼 수 있다.

좌·우측창의 경우에는 우측창이 4 cm 가량 더 열렸다. 이것은 우측창에 미리 감아 놓은 비닐로 봉의 단면적이 좌측창보다 약간 크기 때문이며, 우측창을 기준으로 하였을 때 천창은 약 4%의 오차를 보였고, 좌측창은 6%의 오차를 나타내었다.

나) 온·습도의 계측

온도와 출력의 관계는 $V=0.041T-1.014$ 로 나타났으며 직선성이 우수하였다. 그리고 증폭장치의 기준점점에서 영점보상이 되어 서미스터에 의한 상온의 계측이 이루어진다. 이 상온의 계측에 따라 측온점점의 온도를 환산하도록 설계되어 있다. 서미스터 자체에서는 상온의 계측범위가 열전대에 비하여 크게 떨어지며 직선성도 좋지 못한 단점이 있기 때문에 서미스터는 기준

점점으로 이용하며 측온점점은 열전대에 의하여 이루어진다.

온도의 계측의 정밀도는 최대 10 볼트의 입력에 12 bit의 분해도를 가진 쌍극성의 변환기를 사용하여 변환기 자체의 오차는 0.24℃가 된다.

습도와 출력의 관계는 $V=0.037H+0.9744$ 로 나타났으며 직선성이 우수하였다. 습도의 계측은 독립적으로 1 채널을 사용하였으며 온도와 마찬가지로 전압으로 계측하여 습도로 환산하는 방식을 취하였다.

2) 환기창의 개폐방법

하우스내 온도변화의 양상을 규명하기 위한 환기창의 개폐방법은 표 1과 같다.

Table 1. Methods of opening and closing of window for ventilation

창	창	천 창				한쪽측창				양쪽측창				
		개 도				개 도				개 도				
		Cm	20	40	60	80	20	40	60	80	20	40	60	80
천 창	개	20	0				0	0	0	0	0	0	0	0
		40		0			0	0	0	0	0	0	0	0
	도	60			0		0	0	0	0	0	0	0	0
		80				0	0	0	0	0	0	0	0	0
한 쪽 측 창	개	20	0	0	0	0	0							
		40	0	0	0	0	0							
	도	60	0	0	0	0			0					
		80	0	0	0	0				0				
양 쪽 측 창	개	20	0	0	0	0					0			
		40	0	0	0	0						0		
	도	60	0	0	0	0							0	
		80	0	0	0	0								0

시설하우스의 방향은 남북동이며 양쪽 측창과 한쪽 천창을 개폐하는 방법을 적용하였다. 개폐 간격은 양쪽 측창과 천창의 개방을 모두 20 cm 단위로 하였다. 따라서 천창 20, 40, 60, 80 cm, 한쪽 측창 20, 40, 60, 80 cm, 양쪽 측창 20, 40, 60, 80 cm, 천창 20, 40, 60, 80 cm에 한쪽 측창, 양쪽 측창 20, 40, 60, 80 cm로 모두 64회가 되며 중복

회수 20회를 제외하면 44회가 된다.

식물생장환경을 위해서는 최소공기속도는 0.2 m/s를 권장하지만 최대공기속도는 1.0 m/s를 넘어서는 안된다. 또 자연환기시에는 하우스 바깥에는 수 m/s의 바람이 불고 있을 때에도 하우스 내에는 0.15~0.2 m/s 정도로 약하며, 풍속 1 m/s 이하에서는 내외온도차가 중요한 환기의 원동력이 된다.

본 연구에서는 전 시험기간을 통하여 바람의 영향이 없이 온도차에 의한 환기효과를 규명하기 위하여 계측된 풍속은 0.2 m/s 미만의 조건에서 8월 17일부터 29일까지 실험을 수행하였으며 환기의 효과를 계측하기 위하여 하우스는 화창한 날을 택하여 하우스내의 온도가 45° 이상 올라가게 한 후 환기창을 개방하였다. 온도변화를 연속적으로 계측하기 위하여 30초 간격으로 데이터를 저장하고 인쇄하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 환기의 성능

1) 환기창의 개폐에 따른 온도 분포

가) 천창 개방

천창을 개방하는 경우는 일반적으로 천창 바로 아래부분이 가장 빨리 냉각되며 중앙부, 하단부 쪽으로 온도강하가 진행된다. 가장 환기가 되지 않는 부분은 공기가 유입되는 부분의 반대편 아래쪽 측 개방되는 천창의 아래부분으로 알려져 있다. 바람이 없는 경우에는 중력에 의하여 냉각공기가 중앙 아래부분으로 기동처럼 내려가 상면(床面) 좌·우부분으로 환기되어 위로 상승하게 된다.

그림 4는 경과시간 9분 후의 천창을 60 cm 개방한 경우 등온분포를 나타낸 것이다.

그림 4에서와 같이 천창에서 유입된 저온의 공기는 하우스 중앙부를 수직으로 강하하여 기둥을 형성하면서 실내공기를 냉각시킨다. 그 결과 중층부의 좌·우의 온도강하가 마지막에 일

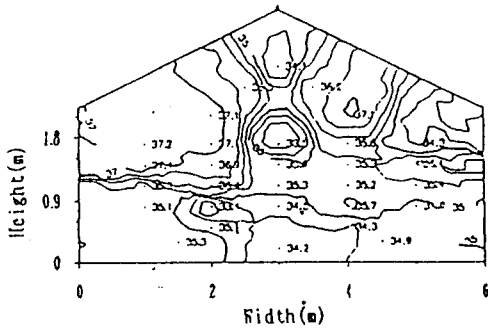


Fig. 4. The Isothermal lines of opening 60 cm in skylight after 9 minutes.

어나는 양상을 보이고 있다. 이것은 바람의 영향이 없는 자연환기 상태에서 공기의 중력에 의한 대류현상의 결과라고 볼 수 있다. 여기서 가장 환기가 되지 않는 부분은 중간 좌·우측 부분임을 알 수 있어 대체로 천창 개방에서는 실내 온도강하 패턴이 단순함을 알 수 있다.

따라서 하우스내 작물재배시 천창을 먼저 개방하는 것은 하우스 중앙부분에 온도가 낮은 공기 기둥이 형성되기 때문에 키가 큰 작물인 경우에 스트레스를 주어 생육장애를 일으킬 수 있다고 생각된다.

나) 한쪽 측창 개방

그림 5는 경과시간 9분 후의 한쪽 측창을 60 cm 개방한 경우 등온분포를 나타낸 것이다.

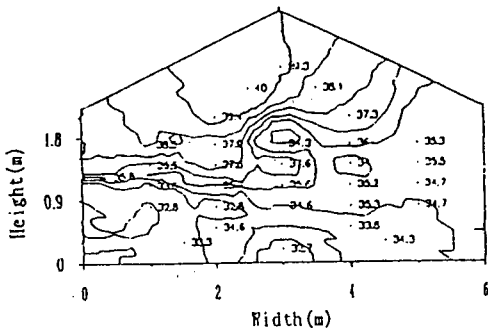


Fig. 5. The Isothermal lines of opening 60 cm in a side window after 9 minutes.

그림 5에서와 같이 경과시간에 대한 온도분포는 개방한 측창의 반대편 하단부의 온도가 가장 먼저 강하되었으며 개방한 측창의 입구쪽과 맞

은편의 중앙부 순서로 되어있다. 또한 하우스의 중앙 상단부는 거의 변화가 없었으며 가장 환기가 이루어지지 않는 부분은 하우스의 좌·우측 정 아래로 나타났다. 이러한 결과는 한쪽 측창의 개도가 비교적 작은 상태에서 입구측의 저온의 공기가 대류현상에 의하여 신속하게 유입되어 맞은편의 하단으로 이동되기 때문이다. 이때 공기 유체의 흐름은 입구측 부분에서는 상하로 흐트러지지 않고 하우스의 맞은편 하단으로 길게 이어지며 유입량이 점차 많아짐에 따라 한쪽 측창 입구쪽에도 영향을 주고 있다.

또한 유입구측과 맞은편 부분이 고르게 온도가 강하하는 양상을 보였으며 중앙 상단부의 좌·우측은 20 cm의 경우와 마찬가지로 높은 온도를 유지하고 있다. 이것은 유입되는 환기량이 증가함에 따라 하우스의 중앙 하단부의 공기가 상승하고 고온의 공기가 유출되는 대류작용이 크진 것으로 판단된다. 또한 전체적으로 온도가 크게 강하되었으며 중앙부분과 한쪽 측창의 맞은편 쪽에서도 환기가 잘되고 있음을 보여주고 있다.

따라서 키가 작은 작물을 재배 할 경우 신속한 환기가 요구될 때는 한쪽 측창을 개방하는 것이 효과적이나 하우스내의 온도강하가 목적이 아닌 경우, 즉 외기온이 작물의 생육한계 온도보다 낮은 경우에는 오히려 작물에 스트레스를 줄 수가 있기 때문에 주의하여야 할 것으로 판단된다.

다) 양쪽 측창 개방

그림 6은 경과시간 9분 후의 양쪽 측창을 60 cm 개방한 경우 등온분포를 나타낸 것이다.

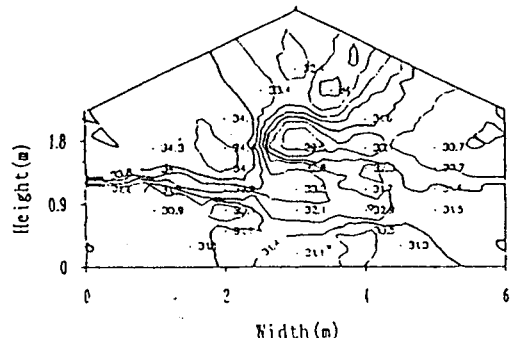


Fig. 6. The Isothermal lines of opening 60 cm in both the side window after 9 minutes.

그림 6에서와 같이 양쪽 측창을 개방한 경우 풍속의 영향이 거의 없을 때는 양쪽 측창 중 어느 한쪽은 공기가 유입되고 그 반대쪽은 유출된다. 따라서 유입되는 부분의 냉각 범위가 반대편 보다 크고 넓게 나타났다. 일반적으로 풍속이 있는 경우에는 온도분포가 대단히 복잡하지만 본 연구에서는 바람의 영향이 거의 없으므로 비교적 단순한 경향을 나타내었다.

그리고 좌·우측의 온도차이도 점차 작아지는 경향을 나타내고 있다. 이것은 우측창에서 유입되는 공기가 하우스 내부에 머물기도 하고 일부는 한쪽 측창으로 유출되기 때문이다. 그리고 온도의 강하가 더욱 커짐을 알 수 있다. 또한 유입구 맞은편과 상하단에서 공기의 흐름이 다소 복잡하게 나타났다.

또한 유입과 유출이 거의 일직선상에 놓여있으며 중간높이 즉 1.2 m 이상에서는 환기효과가 오히려 떨어지는 경향을 나타내었다. 따라서 양쪽 측창을 개방하는 경우는 한쪽 측창을 개방하거나 천창을 개방할 때보다 공기 유입구에서부터 신속하게 온도가 강하되며 온도 강하 영역도 가장 넓게 분포되었다. 그리고 중앙부와 맞은편 창쪽으로 그 영역이 확대되어 환기의 효과는 대단히 크다고 볼 수 있다. 그러나 공기가 유입구 측에서 유출구로 공기통로가 형성되므로 지상에서 1.2 m 이상의 위치에서는 환기 효과가 떨어지는 양상을 나타내므로 키가 작은 작물의 신속한 환기에는 바람직하나 냉해의 우려가 있는 경우에는 부적당한 것으로 볼 수 있다.

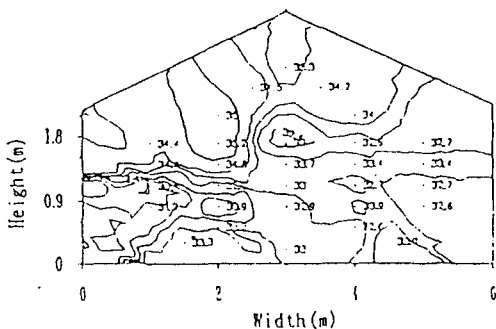


Fig. 7. The Isothermal lines of opening 60 cm in both the side windows and skylight after 9 minutes.

라) 동시 개방

그림 7은 경과시간 9분 후의 양쪽 측창과 천창을 동시에 60 cm 개방한 경우 등온분포를 나타낸 것이다.

그림 7에서와 같이 공기는 양쪽 측창과 천창에서 동시에 유입되는 것이 아니라 실내의 온도차가 있으면 부력에 의해 한쪽 측창에서 외기가 유입되고 천창으로 실내공기가 거의 유출되며 일부 공기의 흐름이 한쪽 측창으로 유출됨을 알 수 있다. 따라서 우측창 유입구쪽의 온도가 크게 떨어졌으며 중앙 하단에서 천창으로 향하는 기둥모양의 공기흐름이 주류를 이루고 있다. 또한 일부의 공기는 한쪽 측창 부근까지 냉각시키고 고온의 공기 일부가 맞은편 창을 통하여 유출되고 있다. 그러므로 한쪽 측창의 효과가 두드러지지 않는 양상으로 나타났다.

또한 등온선의 분포가 하우스의 중앙과 상단부를 점차 크게 점유함을 알 수 있으며 중앙 기둥모양의 공기흐름이 상단부로 이동되는 현상이 뚜렷하게 나타났다. 우측창의 유입구 온도가 크게 강하되고 유입된 공기의 영향이 하우스의 대부분을 채우고 중앙 상단부로 유입공기의 흐름이 더욱 빨라짐을 알 수 있다. 그리고 하우스 내부의 대부분이 환기의 영향을 받고 있으나 천창의 좌·우측 일부분에는 환기효과가 떨어지는 부분이 발생하였다. 특히 유입구의 맞은편 천창 하단에는 공기의 흐름이 매우 둔하여 여전히 높은 온도를 지상 약 1.4 m까지 유지하고 있다.

이러한 현상은 우측창에서 유입된 공기가 일부는 천창을 통하여 유출되고 일부는 맞은편 창을 통하여 유입되는 공기와 혼합되어 다시 맞은편 창 상단부나 다시 천창으로 유출되는 현상이 뚜렷하기 때문에 천창의 하단부 좌, 우측을 공기의 흐름이 정체되기 때문에 다소 고온을 유지하는 것으로 판단된다.

또한 환기창의 개방이 커짐에 따라 환기량이 지나치게 증가되고 따라서 하우스 내부의 온도 변화도 이로 인하여 매우 복잡한 형태로 진행되고 있다. 뿐만 아니라 한쪽 측창은 공기가 유출되는 주통로의 역할을 하고 있으며 유입되는 공

기는 거의 중앙부까지만 도달되는 양상으로 나타나 한쪽 측창 측면의 상단부에는 공기의 흐름이 완전히 정체되는 모양을 나타내고 있다.

따라서 동시 개방을 한 경우에는 하우스 내부도 공기유입구 맞은편 상단의 극소 부분을 제외하고는 거의 환기가 되는 양상을 보이고 있다.

그러므로 하우스 내부의 온도가 크게 상승되어 있을때 전체적으로 환기를 시킬 경우 유리한 것으로 판단된다.

2) 환기방법에 따른 평균온도 변화

하우스의 내부온도는 설정온도보다 높고 외기온도가 설정온도보다 낮은 경우에 동시에 모든 창을 열어버리는 경우가 많다. 그러나 이러한 경우에는 온도의 급격한 변화로 식물은 스트레스를 받게되고 설정온도 이하로 변화하게 되어 다시 하우스를 닫게되는 경우가 발생된다. 그러므로 하우스 내부의 온도 변화는 가능한 한 미세하게 하거나 환기창의 개폐를 완곡하게 하는 것이 유리하다.

가) 천창과 한쪽 측창 개방의 평균온도 변화

천창 개방에 대한 평균온도 변화는 그림 8과 같다.

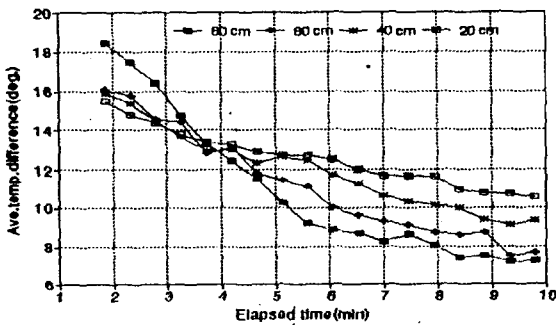


Fig. 8. Relationship between ave.temp.difference and elapsed time at various opening of a skylight.

그림 8에서와 같이 천창을 20 cm 개방한 경우에는 외기온보다 5° 떨어졌으며, 40 cm 개방한 경우에는 7°, 60 cm 개방한 경우에는 8.5°, 80 cm 개방한 경우에 11.5°C로 떨어졌다. 따라서 천창만

열었을 때가 한쪽 측창을 열었을 경우보다 약 2~3° 더 떨어졌다. 이러한 원인은 측창만 열었을 때 보다 하우스의 중앙 상단부의 온도가 높은 부분에 중력환기의 효과가 크기 때문으로 볼 수 있다. 그리고 온도가 약 5분 동안 크게 떨어졌고, 약 10분 이후에는 거의 변화가 없었다.

온도의 평형은 창 개방폭 20, 40, 60, 80 cm 에서 외기온도와 차가 약 10.5°, 9°, 7.5°, 7°로서 한쪽 측창만의 개방에 비하여 전반적으로 낮은 경향이 있으나 60, 80 cm 에서는 오히려 1~2° 가량 높게 나타났다.

그림 9는 한쪽 측창을 20, 40, 60, 80 cm 개방하였을 때 하우스내 평균온도와 외기온과의 차를 나타내고 있다.

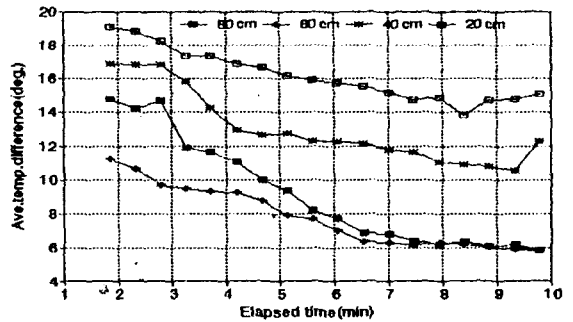


Fig. 9. Relationship between ave.temp.difference and elapsed time at various opening of a side window.

그림 9에서와 같이 20 cm 를 개방한 경우에는 온도의 변화가 19°C 에서 15°C 로 약 4° 정도의 변화가 있었다. 그리고 40 cm 를 개방하였을 경우에는 17°C 에서 11°C 로 약 6° 정도의 변화가 있었으며 60 cm 에서는 약 5°, 80 cm 에서는 8° 정도 떨어져 한쪽 측창의 개방과 온도의 강하는 거의 비례하는 관계를 보이고 있다.

뿐만 아니라 한쪽 측창만 열었을 경우에는 하우스의 중앙 상단부의 높은 온도는 유입되는 외기의 대류 영향을 적게 받으며 유입되는 외기와 온실내의 가온효과의 온도평형이 약 10분 이내에 이루어지고 있음을 보여주고 있다. 이러한 사실로 볼 때 하우스내의 환기는 환기시간에 좌우되는 것이 아니라 환기창의 개방, 즉 환기량에 더 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

또한 전반적으로 온도의 변화가 천창의 평균 온도 변화와 비슷하게 완만하게 강하되는 경향을 나타내었다. 뿐만 아니라 20, 40, 60, 80 cm 를 열었을 때 외기온도와의 차이가 15°, 11°, 6°, 6°로 나타나 한쪽 측창만의 개방은 환기의 한계가 대단히 큰 것을 알 수 있었다.

나) 양쪽 측창과 한쪽 측창, 천창 개방의 평균 온도 변화

양쪽 측창의 개방에 대한 평균온도 변화는 그림 10과 같다.

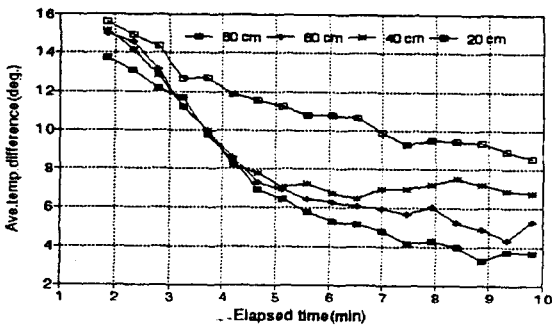


Fig. 10. Relationship between ave.temp.difference and elapsed time at various opening of both the side windows.

양쪽 측창을 동일하게 20, 40, 60, 80 cm 로 개방한 경우 하우스내의 평균온도가 7°, 8°, 10°, 10.5° 강하되어 한쪽 측창만 개방한 경우보다 약 2~3°의 환기에 의한 온도강하 효과가 큰 것을 알수있다. 그러나 천창만 개방한 경우에는 전체적 환기효과가 있는 반면에 양쪽 측창을 개방하였을 때는 지상에서 1.2 m 이하의 위치는 환기효과가 뛰어나지만 하우스의 상단부가 높은 온도로 유지되므로 재배작물의 키가 작은 경우에는 유리할 것으로 판단된다.

온도의 평형은 환기후 약 10 분이 소요 되었으며 외기온도와의 차이는 20, 40, 60, 80 cm 에서 8.5°, 7°, 5°, 3.5°로 나타났다.

한쪽 측창과 천창개방에 대한 환기의 효과는 그림 11과 같이 나타났다.

그림 11에서와 같이 한쪽 측창과 천창을 20, 40, 60, 80cm 개방한 경우 외기온과의 차가 7.5°, 7°, 7.5°, 9.5°로 양쪽 측창의 경우와 비슷하게

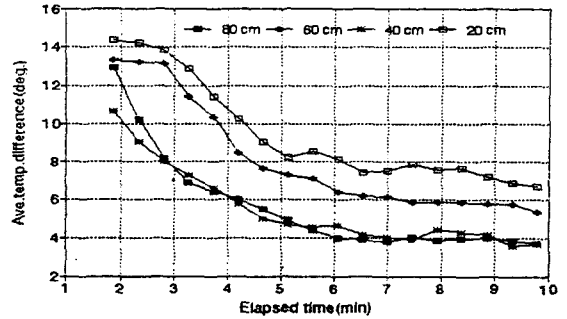


Fig. 11. Relationship between ave.temp.difference and elapsed time at various opening of a side window and a skylight.

나타났다. 또한 온도가 평형상태로 되는 시간이 나 외기온과의 차이도 양쪽 측창의 경우와 비슷하여 한쪽 측창과, 천창의 개방이 하우스내의 전체적 온도변화에 특별한 장점이 보이지 않고 있다.

이러한 원인은 양쪽측창의 개방시에는 하우스의 중앙상단부를 제외한 대부분의 위치에 환기효과가 있으며 한쪽 측창과, 천창의 개방시에는 우측창 부근을 제외한 대부분의 위치에서 환기가 되고 있음을 입증하고 있다.

다) 동시 개방의 평균온도 변화

양쪽 측창과 천창을 20, 40, 60, 80 cm 개방한 경우 평균온도 변화는 그림 12와 같다.

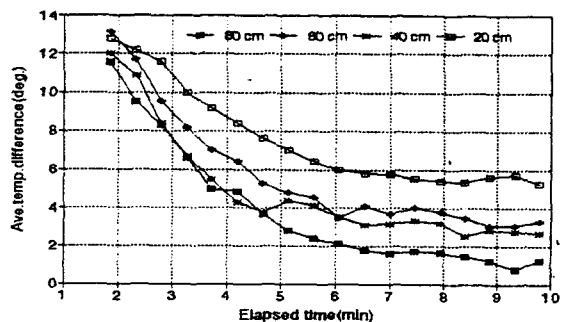


Fig. 12. Relationship between ave.temp.difference and elapsed time at various opening of both side windows and a skylight.

그림 12에서와 같이 온도의 평형은 환기후 7 분 이내에 완료 되었으며 외기온과의 차이도 약 5.5°, 2.5°, 3°, 1° 정도 이므로 다른 환기조건보다 가장 환기효과가 뛰어났다. 뿐만 아니라 온도강

하도 20, 40, 60, 80 cm에서 7°, 9.5°, 10°, 10.5°로 1~2°가 더 낮아지는 경향이 있었다.

라) 각 조건(40 cm 열립)에 대한 평균온도 변화

그림 13은 천창, 한쪽 측창, 양쪽 측창, 한쪽 측창과 천창, 동시개방을 각각 40 cm 개방한 경우 평균온도 변화를 나타내고 있다.

그림 13에서와 같이 환기의 완료는 약 7~10 분이 소요되었으며 좌우,천창이 모두 열리거나 양쪽 측창이 열린 경우가 온도의 강하가 9°로서 가장 효과가 있는 것으로 판단되었다.

그리고 한쪽 창과 천창 만의 개방이 약 7°의 강하를 보이며 한쪽 측창만 열었을 경우가 온도의 강하가 가장 작은 6.5°로 나타났다.

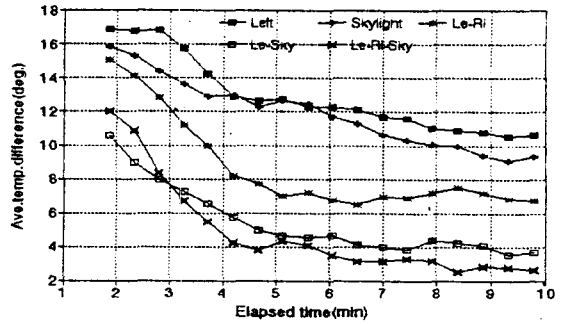


Fig. 13. Relationship between ave.temp.difference and elapsed time at each window opening of 40 cm.

또한 온도는 한 부분만 열었을 경우에는 완만하게 변화되는 경향이 있었으며 두 부분 이상

Table 2. Comparison of parameters for obtained theoretical equation according to opening of windows, 20, 40, 60, 80 cm

방법	Reg. equation	개방	T _c	T _o	a	n	r
천창	$T = T_c + (T_o - T_c)e^{-at}$	20	10.600	20	-0.341	17	0.911
		40	9.370	25	-0.433	17	0.840
		60	7.667	25	-0.345	17	0.940
		80	7.227	38	-0.502	17	0.957
한쪽 측창		20	14.663	35	-0.591	16	0.930
		40	10.557	35	-0.478	16	0.962
		60	5.887	25	-0.513	16	0.960
		80	6.013	55	-0.624	16	0.967
양쪽 측창		20	8.913	25	-0.407	16	0.964
		40	6.480	65	-0.837	10	0.975
		60	4.370	30	-0.413	16	0.977
		80	3.697	55	-0.619	16	0.946
천창 한쪽 측창	20	6.697	35	-0.486	17	0.950	
	40	3.680	20	-0.490	17	0.921	
	60	5.347	35	-0.509	17	0.982	
	80	3.700	35	-0.646	17	0.925	
천창 양쪽 측창	20	5.350	40	-0.676	14	0.958	
	40	2.844	40	-0.659	14	0.94	
	60	3.460	40	-0.623	14	0.953	
	80	1.470	40	-0.687	14	0.975	

** T : Temperature(°C), T_c : Final Temp.(°C), T_o : Initial Temp.(°C)
 a : Parameter, n : Number, r : Reg. Coef., t : Elapsed time(min).

열었을 경우에는 약 5분 이후에 변화가 느린 것을 알 수 있었다.

마) 창 개방 방법에 대한 평균온도 변화식

창 개방 방법에 대한 평균온도의 변화식은 표 2와 같다.

표 2에서와 같이 모든 창의 개방에 따른 평균 온도 변화(T)는 경과시간 t의 함수이며, $T = T_0 + (T_1 - T_0)e^{-kt}$ 로 나타났다. 경과시간에 대한 평균 온도 변화는 상관계수 r이 천창 개방의 경우 0.840~0.957, 한쪽 측창 개방에서는 0.930~0.967, 양쪽 측창에서는 0.946~0.977, 한쪽 측창과 천창 개방에서는 0.921~0.982, 동시 개방에서는 0.948~0.975로 나타나 높은 상관관계가 있음을 알 수 있다.

3) 습도

가) 천창 개방에 의한 습도의 변화

비록 온도가 가장 중요한 환경 변수라 하더라도 하우스내의 습도 역시 중요하다. 만약 습도를 상당한 기간 포화상태 또는 그에 가깝게 머물도록 허용한다면 응결에 따른 문제점 또는 합성 질병같은 것이 심각해 진다.

식물의 생장은 낮은 상대습도에서 보다 높은 여름철 하우스내 온도에 의해서 크게 영향을 받고 작물의 광합성에 대한 영향도 온도에 비하여 그다지 크지 않기 때문에 일반적으로 40~90%의 범위에서는 그 영향을 무시할 수가 있다.

천창의 개방에 대한 습도의 변화는 그림 14와 같다.

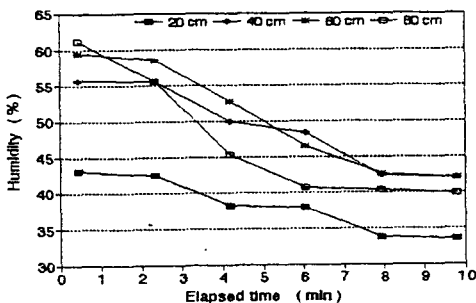


Fig. 14. Relationship between humidity and elapsed time at varied opening a skylight.

그림 14에서와 같이 천창을 20 cm를 개방하였을 경우 9%, 40 cm에서는 13%, 60 cm에서는 18%, 80 cm에서는 21%의 강하가 있어서 창 개방 높이와 거의 비례하는 양상을 나타내고 있다. 이것은 하우스의 중앙 상단부를 중심으로 부력에 의한 환기가 이루어지기 때문으로 사료된다. 또한 습도 변화의 평형도 환기후 약 10분 이내에 완료되었다.

나) 한쪽 측창 개방에 의한 습도의 변화

그림 15는 한쪽 측창 개방에 의한 습도의 변화를 나타내고 있다.

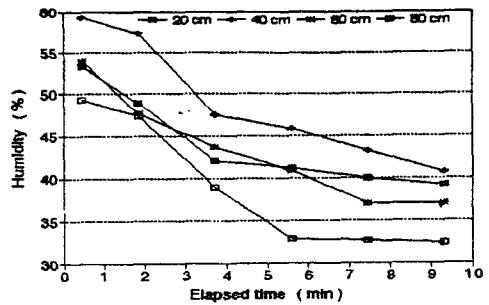


Fig. 15. Relationship between humidity and elapsed time at varied opening a side window.

한쪽 측창의 개방은 역시 20, 40, 60, 80 cm로 하였다. 습도의 변화는 환기창의 개방에 관계없이 거의 비슷한 양상을 보이고 있다. 그리고 하우스내의 초기 습도는 50~60%이었으나 환기 후에는 약 30~40%로 변하여 약 20% 강하되었다.

습도는 저온기 실내의 과습이나 작물체에 병해를 발생시키기 쉽고 또 정식후 작물체 시듦의 원인이 된다. 습도를 저하시키기 위해서 환기를 행하지는 않지만 실온저하가 생겨 작물에 해를 줄 염려가 있을 경우에는 제습용 전열 교환형 환기장치를 이용하는 것이 바람직하다고 사료된다.

4. 결론

시설재배의 환기는 온도의 조절, 산소의 공급,

과습방지, CO₂의 농도 조절, 유해가스의 배출 등에 있어서 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 대부분의 환기장치는 하우스내의 공기 역학적인 특성을 무시한 기능적인 개방을 주로하고 있어 에너지의 낭비와 작물생육에 장애를 주고 있다.

따라서 본 연구에서는 환기창의 개방에 따라 하우스내부의 온도분포를 계측하고 분석하여 보다 과학적인 환기방법을 제시하고자 하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 환기량은 환기시간보다 창의 개방량에 따라 결정된다.
2. 환기시작 약 5분 만에 거의 환기가 이루어지고 약 10분 이후에는 평행상태에 도달하였다.
3. 천창을 개방한 경우 등온선이 복잡하고 하우스 중앙의 키가 큰 작물은 생해의 우려가 있다.
4. 한쪽 측창을 개방한 경우 등온선이 단순하며 키가 작은 작물의 신속한 환기에 유리하다.
5. 내부온도>설정온도>외기온도의 조건에서는 천창을 10~20 cm가량 열어 환기하는 것이 바람직하다.
6. 내부온도>외기온도>설정온도의 조건에서는 창을 동시개방하거나, 측창을 모두 열어 환기하는 것이 유리하다.
7. 환기의 효과는 동시 개방과 두 측창을 열은 경우가 가장 효과가 있으며, 그리고 측창과 천창의 개방과 천창만의 개방, 한쪽 측창의 개방 순으로 나타났다.
8. 온도변화는 $T = T_c + (T_0 - T_c)e^{-at}$ 의 이론식으로서 a값은 0.34~0.68로 나타났다.
9. 습도의 변화도 온도와 유사한 양상을 나타내었다.

방제 종합시스템의 자동제어장치 개발, 농촌진흥청. 3차년도 보고서.

2. 김철수, 김진현. 1994. 마이크로 컴퓨터에 의한 시설재배 자동화에 관한 기초연구(I), 한국농업기계학회지19(2) : 99-111.
3. 유관희, 이기명. 1992. 기술집약형 재배시설을 위한 생육환경의 자동제어, 1992 국내의 한국과학기술자 학술회의 하계 심포지움 논문집.
4. 서원명, 민영봉, 윤용철. 1990. Microcomputer를 이용한 Greenhouse의 온도제어 System 개발에 관한 연구, 한국농업기계학회지 15(2) : 134-142.
5. 이기명. 1991. 시설재배용 온실의 규격화 및 자동화 방향, 시설농업논문집, No.13.
6. 이기명의 5인. 1993. 시설원에 자동화. 문운당.
7. 박재복, 고학균. 1987. 플라스틱 溫室의 日射量 分析과 熱的 環境의 시뮬레이션에 관한 연구, 韓國農業機械學會12(2) : 16~27.
8. 古在豐樹. 1985. 施設園藝의 環境調節新技術, 基礎と展望. 日本農民新聞社.
9. 三原義秋. 1972. 施設園藝의 氣候管理. 誠文堂新光社.
10. 吉野蕃人の 2人. 1979. 單棟大型Glass溫室의 溫度分布と換氣について, 島根大學農學部 附屬農場 研究報告, Vol.(1) : 8~17.
11. 日本農業機械學會. 1987. 農業機械의 新技術 開發調査研究 : 62~261.
12. Sase, S., M. Nara, 1985. A Control algorithm for natural ventilation based on wind tunnel testing, Acta Horticulturae 147 : 75~80.
13. Tantau, H.J. 1984. Adaptive control of greenhouse climate, Acta Horticulturae 148 : 277~285.

참 고 문 헌

1. 김철수, 김진현. 1994. 시설재배지 관수, 관비,