

시설원에 환경조절의 문제점과 대책

Problems and Strategies of the Environmental Control in Protected Horticulture

농촌진흥청 원예연구소

남윤일

1. 서론

시설재배의 궁극적인 목적은 작물의 생산을 자연조건에 의존하는 수동적 단계에서 인공생산이라는 능동적 단계로 전환함으로써 원하는 시기에 원하는 상태의 작물을 생산하는데 있다. 따라서 시설재배는 자본·기술집약 형태로 발전할 수밖에 없고, 그 만큼 위험성과 모험성이 요구되며, 이에 따라 농가소득도 상응하여 향상된다고 볼 수 있다. 따라서 재배자는 일반 노지 작물의 재배에 필요한 농업적 know-how 뿐만 아니라 물리학, 생리학, 공학 및 제어공학에 대한 기본적 지식과 기술을 보유하여야만 한다. 즉, 온실내의 온도가 25℃에서 상대습도를 80%로 유지하기 위해서는 어떻게 할 것인가라는 물음에 대답을 하기 위해서는 온도와 대기중의 습도, 공기순환과 같은 인자간의 관계를 알아야하는 등의 물리학에 대한 기초 이론을 습득하여야 하고, 또한 작물의 증산작용과 광합성은 온도, 광, 습도 등의 환경요인과는 어떤 관계를 갖고 있는가 등의 생리학에 대한 이해가 필요하다. 이러한 환경조건을 만들어주기 위해서 어떤 시스템과 장치의 필요가며, 또 어떻게 측정 및 유지 관리할 것 인가하는 공학적인 기술과 각종 환경 조건을 작물에 최적 상태로 유지하기 위한 제어공학적인 기술 등이다.

이상과 같이 시설재배는 생물학과 공학적인 지식과 기술이 접목된 복합농업과학기술로 성공적으로 영농을 하기 위해서는 작물의 재배기술 뿐만 아니라 각종 기계장치와 자재들을 어떻게 선택하고 운영하느냐가 매우 중요하다고 본다.

작물은 기본적으로 광합성 작용에 의하여 성장하게 되는데 광합성에 직접적으로 관여하는 요인으로는 광, 온도, 탄산가스, 수분과 각종 양분들이라고 볼 수 있다. 만약에 이러한 요인들 중에서 어느 한 요인이라도 극단적으로 부족하다든지 또는 과하게되면 광합성 작용은 저해를 받게되고 궁극적으로 작물의 생육과 생산성은 떨어질 수밖에 없게된다. 블랙맨(Blackman,F.F)은 리비히(Liebig,J.Von)가 제안하였던 “최소의 법칙” 즉, 어떤 원소가 최소량 이하로 되면 다른 원소가 충분하여도 성장이 저해를 받게 된다는 원리와 같이 광, 온도, 탄산가스농도 등과 같은 환경요인도 최소법칙과 같은 원리가 적용된다는 “한정요인설”을 발표한바가 있는데. 결국 작물의 생산성은 어느 한 요인만 최적 조건으로 맞춘다고 해도 부족한 요인에 의해 지배를 받기 때문에 환경조절의 기본적인 이론은 어느 한 요인이 부족하지 않도록 관리하면서 상호 복합적으로 균형을 유지하는 기술이라고 볼 수 있다.

그러나 실제적으로는 우리들은 시설재배의 환경관리라고 하면 온도관리가 거의 대부분

이라고 생각하고 그 부분에 대해서 많은 신경을 쓰고 또한 투자를 하는 것은 사실이다. 물론 온도는 광합성반응의 암반응에 해당하는 탄산가스 고정에 많은 역할을 하고, 호흡대사, 증산, 양·수분 흡수 및 전류대사 등의 모든 생리작용에 직·간접적으로 매우 크게 영향 하지만 시설재배에서 온도가 보다 중요시 여겨지는 것은 우리나라에서는 시설재배 기간 중에 기온이 지나치게 낮거나 높기 때문으로 온도가 작물생장에 제한요인이 되기 때문이라고 볼 수 있다.

광합성에 미치는 환경요인 만을 본다면 Tsujita(1997)박사는 다음과 같은 결과를 발표 한바가 있다. 장미의 경우 순광합성 변이 중 광, 탄산가스, 온도의 2차항 모델(R²=0.86)에 의해 각각 70, 20, 5%의 비율로 광합성에는 광이 절대적으로 크게 좌우한다고 하였으며, 다른 작물에서도 마찬가지로 일사량과 광합성과는 가장 높은 상관관계가 있다는 논문이 수없이 발표된바 있다.

이러한 관점에서 본고에서는 우리나라 시설재배 농가가 환경관리는 어떻게 하고 있으며 또 어떤 문제점을 갖고 있고, 이를 문제점을 해결하기 위하여 어떤 조치를 하여야 하는가에 대한내용을 실태조사 및 사례를 들어 분석하고 보다 개선된 시설환경 조건을 유지관리하기 위한 방안을 모색코자 하였다.

2. 시설재배 환경의 문제점 진단과 대책

사람이나 동물과 같이 살아서 움직일 수 있는 생명체는 어떤 불량한 상태에 놓이게 되면 이를 극복하기 위하여 적극적으로 대처 할 수 있고 또한 이동함으로써 어느 정도는 불량한 환경을 벗겨 나갈 수도 있다고 본다. 그러나 식물은 그러한 대처가 불가능하고 일단 피해를 받게되면 치유 또한 쉽지 않기 때문에 보다 세심한 관리와 주의를 하지 않으면 우리가 목표로 하는 성과를 얻을 수가 없는 것이다.

이러한 점에서 우선 시설재배 하우스의 환경을 계절별로 나누어 문제점 중심으로 진단 하여 보고 문제가 되는 요인이 작물에 어떤 영향을 미치는가와 그에 다른 조치방안을 생각하여보기로 하였다. 시설재배기간 동안의 시설환경의 문제점을 계절별로 살펴보면 표1에서와 같이 분류하여 볼 수 있을 것이다.

〈표 1〉 시설재배 하우스 내부의 계절별 문제 환경 요인

계 절	온실 내부 문제환경 요인
봄	낮은 습도, 저온, 낮은 탄산가스농도, 황사(투광율저하)
여름	고온, 고광량, 다습(장마철)
가을	저광량, 저온, 낮은 탄산가스농도
겨울	저온, 저광량, 다습(야간), 낮은 탄산가스농도, 낮은 지온

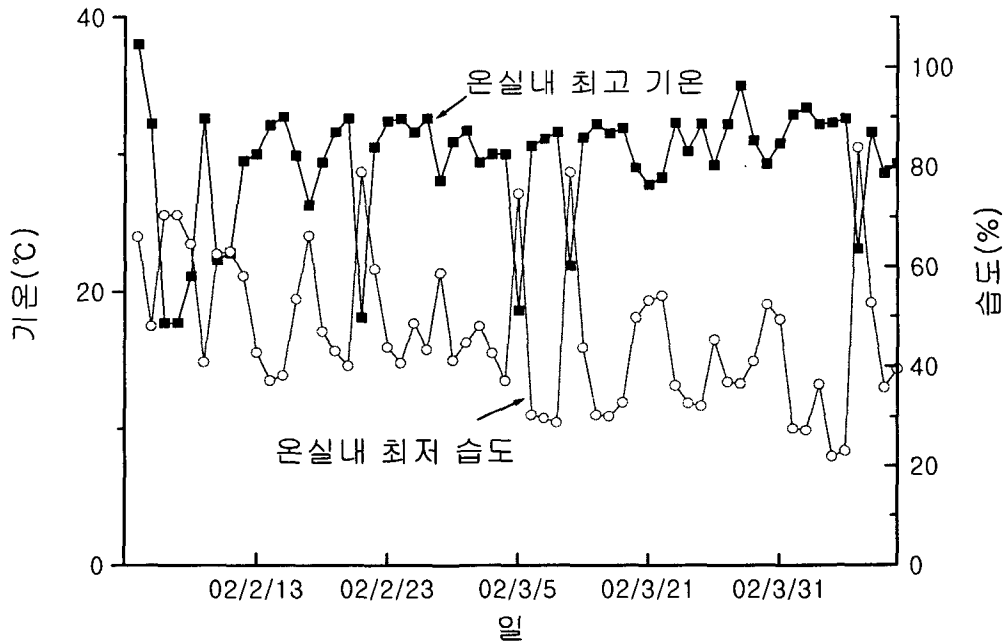
물론 이러한 환경요인들이 단 요인으로 반응하기보다는 복합적으로 상호 관련성이 있기 때문에 따로 분리하여 본다는 것은 어느 정도의 문제점은 있다고 보지만 한 요인 씩 만이라도 개선될 수만 있다면 보다 나은 환경조건을 부여할 수 있을 거라는 생각을 갖는다.

우선 봄철에 시설내외에 문제시되는 환경요인으로는 낮은 습도, 저온, 낮은 탄산가스 농도 및 황사로 인한 광투과율 저하 등을 들 수 있으며, 여름철에는 고온, 고광량 및 다습(장마철) 등을 들 수 있다. 또한 가을철에는 저광량, 저온, 낮은 탄산가스농도 등을 들 수 있고, 겨울철에는 저온, 저광량, 다습(야간), 낮은 탄산가스 농도 및 낮은 지온 등이 있다

이들 문제 시 되는 요인들에 대하여 시설재배농가의 하우스를 대상으로 실태를 파악하고 진단하여 이에 따른 대책 등을 들면 다음과 같다.

가. 낮은 습도

일반적으로 작물이 정상적으로 생육하고 과일을 맺기 위해서는 하우스내의 상대습도가 60~80%는 되어야 한다. 그러나 시설원에 작물을 재배하는 연동형 비닐하우스의 35농가에 대하여 '02. 2. 13~4. 10일까지 조사하였던 바 하우스 내 최저습도는 그림1에서 보는 바와 같이 23~45%로 나타났는데, 이와 같은 습도변화는 4월부터 일사량이 많아지고 실내에 온도가 높아지면서 더욱 낮아져 4~6월에는 30%이하는 나타내는 빈도수가 훨씬 많아질 것으로 추정되었다.

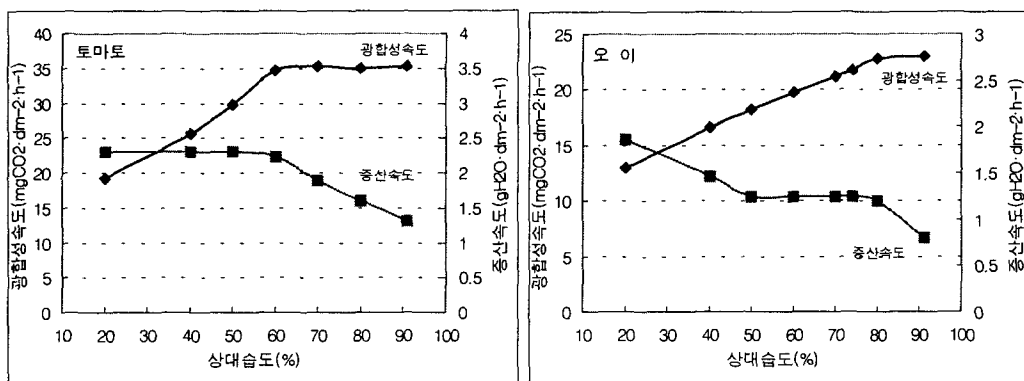


<그림1> 연동형 비닐하우스 내 최고 및 최저습도의 일 변화(35농가 평균)

온도와 상대습도는 서로 밀접한 관계를 갖고 있으며, 온실 내 공기는 포화수증기량 (SMC)까지 수증기를 포함할 수 있다. 보통의 재배환경에서는 온실내의 공기는 수증기가 불포화인 상태로 있는데, 우리들이 보통 사용하는 상대습도는 비율이기 때문에 약간의 혼란을 주기도 하지만 사용하는데 큰 무리는 없다. 온도가 20℃에서 상대습도가

80%인 때에는 절대습도는 11.7g/kg에서 포화수증기량은 14.7g/kg이다. 이 경우 상대습도는 $11.7/14.7 \times 100\% = 80\%$ 가 되며, 상대습도가 55%까지 내려가면 절대습도는 12.3g/kg으로 된다. 포화수증기량은 22.7g/kg이기 때문에 이 경우 식물의 증산에 의하여 10.4g / kg의 수증기를 공기 중에 방출할 수 있기 때문에 낮은 습도는 과도한 증산을 유도하고 결과적으로 기공을 닫아 광합성속도를 떨어지게 한다.

그림2는 시설토마토와 오이에 있어서 상대습도에 따른 광합성속도를 나타낸 것으로 토마토의 경우 상대습도가 80%일때에 비하여 40%로 낮아지면 광합성속도는 29%정도가 떨어지고, 오이도 26%정도 낮아졌다.



<그림2> 하우스내 습도가 토마토 및 오이의 광합성 및 증산속도에 미치는 영향

특히 낮은 습도는 착과에 매우 나쁜 영향을 미쳐 피망의 경우에 상대습도를 80%로 유지하였을 때에는 착과율이 52.4%였으나, 습도를 22%까지 낮추었을 때에는 0.8%로서 거의 착과가 되지 않았다.

<표 2> 습도가 피망의 착과율에 미치는 영향

상대습도 (%)	처리화수 (개)	착과수 (개)	착과율 (%)
80	145	76	52.4
22	126	1	0.8

또한 습도를 23~48%로 낮게 관리한 오이에서는 적정습도(63~74%)로 유지하였을 때보다 곡과, 유과 등의 생리장해발생과도 크게 증가하여 적정습도를 유지하였을 때에는 정상과가 71%정도였으나 습도를 낮게 관리하였을 때에는 정상과가 51%로 낮아졌다.

〈표 3〉 하우스내 주간 습도가 오이의 생리장애와 발생에 미치는 영향 (단위:%)

습도	정상과	꼭과	유과	끝이가는과	끝이굵은과	건과	계
63~74	71.0	13.7	5.6	4.8	4.0	1.0	100
23~48	51.1	19.1	10.6	4.3	11.7	3.2	100

낮은 습도는 작물의 생육과 수량에도 크게 영향을 미쳐 토마토와 오이 모두 21% 정도의 수량 감소를 나타내었고 생육량도 떨어지는 것으로 조사되었다.

〈표4〉 하우스내 주간 습도가 토마토 및 오이의 생육 및 수량에 미치는 영향

습도 (%)	엽면적(정식후 20일)		수량(kg/10a)	
	토마토(cm ² /주)	오이(cm ² /주)	토마토	오이
75~80	480	150	5,094	2,528
37~40	423	116	4,044	2,009

따라서 낮 동안의 습도를 높이기 위한 방법으로는 미스트기를 작동시켜 직접적으로 습한 공기를 불어넣거나, 벧짚을 표면이나 고랑에 깔고 주기적으로 관수를 하여 수분을 공급하여주는 방법이 있다. 또는 고랑 등에 관수량을 늘려서 토양 면으로 부터의 증발을 촉진시키면 효과적이다. 단, 주의할 점은 벧짚을 깔고 건조하게 유지하면 오히려 공기 중의 습도가 벧짚이 흡수되어 더 건조하여 지므로 주의가 필요하다.

또 하나 주의사항은 환기에 관한 문제이다. 만약에 외기의 상대습도가 80%이고 온실 내가 40%일 때 환기를 하면 외기의 높은 습도가 온실 내로 유입되어 상대습도가 높아질 수 있을 거라고 생각하지만 실제적으로는 그렇지 않다. 오히려 환기에 의하여 온실 내부의 공기가 외부의 공기와 교체되면 온실내의 공기 1kg당 6g의 수증기가 제거되고 4g만의 수증기가 들어와 실내 공기는 더욱 건조하게 된다.

나. 황사의 영향

황사자체가 시설환경 요인은 아니지만 황사로 인한 피복재의 오염으로 투광율이 저하하여 작물생육에 영향을 미치므로 문제점으로 제시하였다.

황사는 중국 및 몽고의 사막지대에서 발생한 흙먼지로서 강한 편서풍을 타고 우리나라로 이동해오고 있는데, '98년 이후부터 급속히 증가하고 있으며 3월하순 부터 4월에 주로 많이 발생한다. '01년 봄에는 7차례 황사가 발생하였으며, '02년에는 4월10일 현재로 8차례 황사가 발생하였는데 금년에는 황사의 밀도가 '95년 관측 이래 최대로 4월8일에는 시간당 3311 μ g/m³ 로 이는 평일 분진량의 40배 정도로서 사람에게는 물론 농작물에게도 심각한 영향을 주는 것으로 보도되고 있다. 특히, 비닐하우스의 피복재를 오염시켜 투광율을 떨어트리고 이로 인해 광합성작용이 저해되고 온도상승을 지연시켜 작물의 생육에 장애를 주고 있다. 특히 피복재에 소량의 강수가 있을 시에는 먼지가 고착되어 장기간 동안 투광율의 저하와 피복재의 내구성에도 어느 정도는 영향을 미칠 것으로 보고 있다.

실제로 경기, 충남·북 지방의 15개소에 1-2W연동형 비닐하우스에서 황사전과 후의 광 투과율을 실시간으로 측정한 결과 시설내 평균 투광율이 황사전('02.3.17)에는 57.6% 였으나 황사 후(3.22)에는 50.0%로 7.6%가 감소되었다. 또한 경기, 충남북 일원의 8개 지역 15개 농가를 대상으로 비닐하우스에 대하여 현지 출장조사('02.3.25~27)한 결과 황사 전에 비하여 10%전후 투광율이 떨어졌으며, 피복재 종류에 따른 분진량은 EVA 필름이 PE 필름 보다 분진량이 10%정도 더 많았으며, 투광율도 2.4%가 더 낮은 것으로 조사되었다. 피복재의 설치 기간이 길어질수록 분진 부착량도 더 많았는데, 피복후 1개월 된 피복재 에서는 분진량이 0.52g/m²였으나 피복후 6개월이 경과된 피복재에는 0.64g/m²이 쌓여 투광율도 7%정도 더 낮은 것으로 조사되었다.

이상과 같은 투광율의 저하는 작물생육 및 수량에도 영향을 미쳐 시설오이의 경우에는 상위 제3절이 15~20cm로 도장되었고, 일일평균 수량도 오이 10%, 토마토 12%, 애호박 15%정도 감소되었다. 특히 호박의 경우 수정불량으로 낙과율이 지역에 따라 20~25%정도로 나타나 추가 수량감소가 예상되지만 4월 이후 일사량이 점차 증가하므로 광투과율 저하에 따른 과채류의 생육 및 수량은 점차 회복될 것으로 전망되고 있다.

황사에 의한 투광율 감소를 줄이기 위해서는 지하수를 이용하여 피복재에 묻은 먼지를 세척하여 주는 것이 좋은데, 세척방법 별로는 분수호수 5%, 동력분무기 8%, 손세척 12%의 투광율 개선 효과가 있었다. 비닐하우스에 세척 시에는 맹물보다는 수용성세제를 0.5%로 희석하여 분무하면 더욱 효과적이며, 유리온실에서는 옥살산(oxalic acid)4% 용액을 이슬이 내리거나 비가 온날에 뿌려주고 3일경과 후 물로 세척하여 주면 효과가 크다.

비닐하우스의 경우에 비닐피복 후 1년 이상 경과되었거나 오염정도가 심하면 작기가 끝나는 대로 새 비닐로 교체하여 투광율로 높여줄 필요가 있다.

다. 고온

우리나라의 여름철에는 태양복사에너지량이 연중 최고 치로 상승하여 환기를 충분히 실시해도 온실 내 기온은 외 기온 보다 몇 ℃이상 높고, 40℃를 넘어서는 경우도 흔히 발생한다. 이러한 고온현상으로 인해 많은 자본과 기술이 투자된 현대화된 유리온실 조차도 작물의 정상적인 생육이 어려워 여름철에는 휴작 하는 경우가 많아 시설의 주년 이용이 매우 어려운 실정이다.

일반적으로 시설원예작물의 최고한계온도는 35℃정도로 할 수 있는데 여름철에 자연 강제환기를 실시하고 작물을 재배하여도 온실내의 기온은 때에 따라 40℃를 상회하는 날도 많아서 작물에 많은 스트레스와 피해를 주고 있다.

원예연구소에서 '01년에 조사한 결과에 따르면 온실 내에 작물을 재배하지 않은 상태에서 지역별로 온도상승 가능 최고 온도를 계산한 결과 표 5 에서보는 바와 같이 지역에 따라 7월에는 52~57℃까지 상승할 수 있다는 결과를 보고한바 있으며, 김 등이 '99년 6~8월에 작물을 재배하면서 시간대별로 농가온실의 기온을 측정한 결과 표 6 에서와 같이 외기온 보다는 평균 2.7~4.2℃ 최대는 5.0~9.0℃ 높아짐을 알 수 있었는데, 동기

간의 실외의 평균기온이 24~29℃인 점을 감안하면 작물의 최고한계온도를 넘는 날 수가 여러날 기록됨을 알수 있다.

〈표 5〉 지역별 여름철 하우스의 상승가능 최고 온도

지역	최고기온 (℃)			비 고
	6월	7월	8월	
서울	48.3	52.2	49.6	- 환기회수: 0.5회/분 -작물미경작
대전	48.6	53.8	53.1	
광주	51.5	57.1	53.7	
부산	48.4	52.1	50.1	
31개지역 평균	48.6	54.0	50.6	

〈표 6〉 경작 하우스의 온도환경 측정결과 (김 등 '99.7.11~30)

측정시각 (시)	실내외 기온차(℃)		측정하우스 수 (동)
	최대	평균	
10 ~ 12	6.0	3.8	18
12 ~ 14	9.0	4.2	16
14 ~ 16	6.0	3.3	31
16 ~ 18	5.0	2.7	25

또한 김 등(1999)이 조사한 바에 따르면 농가가 여름철에 목표로 하는 최고 한계온도는 ≤32.5℃로 답한 농가가 37%정도로 가장 높았고, 다음으로는 ≤30℃라고 답한 농가가 13.4%로 대부분의 농가에서는 목표로 하는 최고 한계온도는 35℃이하라고 하였는데, 실제로 농가에서 측정된 온도는 이보다 훨씬 높았던 것으로 보고되었다.

여름철 고온을 극복하기 위한 수단으로는 차광막과 환기팬의 설치비율이 가장 높았으며, 차광막의 종류로는 유리온실에서는 알루미늄 스크린이었고, 비닐하우스에서는 흑색 차광막 이었다. 설치방법으로는 유리온실에서는 모두 실내에 설치하는 방식을 채택한데 반하여 비닐하우스에서는 외부에 59%정도 차광막을 설치하는 것으로 나타났다.

〈표 7〉 고온 극복을 위한 설비설치 현황 (김 등 '99)

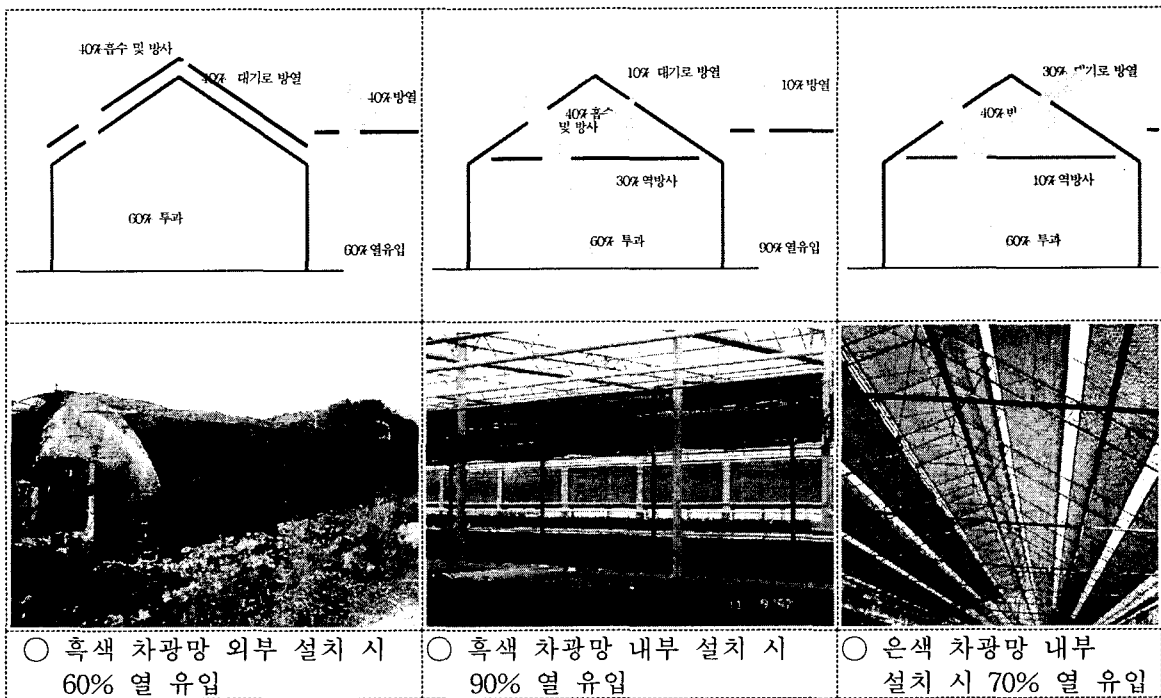
(단위: 설치율 %)

시설종류	환기팬	차광막	지붕살수	증발냉각장치	
				패드	포그
유리온실(46농가)	93.4	75.4	32.8	4.9	32.8
비닐하우스(29농가)	9.6	39.7	4.1	0.0	0.0
계	47.8	56.0	17.2	2.2	14.9

〈표 8〉 농가의 차광막 설치 실태 (김 등 '99)

(단위: %)

시설종류	차광막 종류			설치방식	
	흑색망사	부직포	알루미늄	내부	외부
유리온실(46농가)	2.2	26.1	71.7	100	0
비닐하우스(29농가)	79.3	13.8	6.9	41.4	58.6
계	32.0	21.3	46.7	77.3	22.7



〈그림3〉 차광막 설치방법에 따른 열유입 및 냉방효과

다음은 고온억제를 위한 시설을 활용하였을 때 7월 달을 기준으로 냉방효과를 분석하였는데 자연환기만을 하였을 때에는 35℃를 초과하는 율이 75%이었고, 차광과 환기를 동시에 하였을 때에는 27%, 지붕살수만을 하였을 때에는 58%, 증발냉각장치인 에어쿨팬을 사용했을 때에는 8%의 비율로 낮아졌다. 일별 35℃를 초과하는 평균시간은 자연환기의 경우에는 5.2시간으로 높아서 작물에 큰 피해를 줄 수 있을 것으로 판단되었고 에어쿨팬 등을 사용하였을 때에는 0.6시간으로 적었기 때문에 효과가 큰 것으로 생각되었다.

〈표 9〉 처리별 자연환기 대비 냉방효과 및 온도비교(김 등 '99)

항목	자연환기	차광환기	지붕살수	에어쿨팬
외기온대비 (+℃)	5.9 ~ 6.3	-2.9 ~ -3.1	-1.0 ~ -1.2	-3.8 ~ -4.2
최대 관측치 (+℃)	10.7	- 5.8	-3.4	-8.3
온실내 온도 (평균)	36.6	33.6	35.5	32.6
“ ” (최고)	42.4	39.1	41.4	37.1
35℃초과				
초과율(%)	74.8	26.9	58.2	8.1
일평균초과시간	5.2	1.9	4.1	0.6

주) 조사기간 '99. 7.11~30, 외기 일 최고온도: 28.7~34.1℃

7월에 수원지역의 유리온실 760평(용적 10,630m³)에서 40% 차광을 하고 강제환기만으로 35℃ 유지하기 위해서는 필요한 적정환기팬(환기팬 용량: 400 m³/분) 수는 약 13대가 필요한 것으로 분석되었다. 또한 원예연구소에서 '98년에 카네이션의 여름철 재배를 위하여 단동형 하우스에서 시험한 결과 외기온이 28.7℃ 일 때 자연환기만을 하였을 때에는 하우스 내 최고 기온이 40.9℃이었으며 평균기온은 33.0℃를 나타내었고, 50%의 차광과 증발냉각(에어쿨팬)을 작동시켰을 때에는 하우스 내 최고기온이 32.5℃를 나타내었다. 카네이션의 상품수량도 자연환기만 하였을 때보다 차광과 증발냉각(에어쿨팬)을 실시하였을 때에는 44%의 증수효과가 있었다.

〈표10〉 고온극복 처리 처리별 냉방효과 및 카네이션 수량(단동형 하우스)

항 목	자연환기	증발냉각(에어쿨팬)	차광(50%)+증발냉각
하우스 내 최고 기온	40.9	35.4	32.5
하우스 내 평균 기온	33.0	31.0	28.0
카네이션 수량(숙/10a)	1,353	1,829	1,953

주) 조사일시:'98. 7.23

차광하는 방법도 종일차광보다는 일사량이 일정이상(600w·m²)으로 높아졌을 때만 차광하는 수시 차광방법이 작물생육 및 광합성에 더욱 효과적이었다는 결과를 발표한 바도 있다.

〈표 11〉 차광방법별 카네이션의 광합성량, 기공확산속도 및 증산량('99)

처 리	광합성량 ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	기공확산속도 ($\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	증산량 ($\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
무 차 광	16.49 b ^z	0.2208 a	2.7095 a
전일차광	9.06 c	0.1883 b	2.4044 b
수시차광	22.86 a	0.2123 a	2.8118 a

고온이 작물에 미치는 영향으로는 어린 묘 시기에는 광합성산물이 대부분 잎이나 줄기에 분배되어 도장하게 되고 성장점의 꽃눈은 소질이 나빠져 낙뢰, 낙화하게 된다. 특히 밤 동안의 고온은 뿌리의 발육을 저해하고 하엽을 노화시켜 낙엽이 빨라진다.

과실 비대기에는 낮 동안의 고온으로 성장점을 마르게 하거나 잎의 선단을 타게하며 과실도 일소현상을 보인다. 토마토나 피망 등의 공동과 발생도 고온 하에서 촉진된다. 과실의 비대속도는 빠르지만 다른 기관의 분배는 줄어드는데 특히 뿌리의 발육이 나빠지므로 해서 양·수분의 흡수저하를 가져오고 2차 적으로는 광합성이 저해되며, 차츰 초세가 불량해진다. 이와 같은 고온은 광합성 산물의 부족을 초래하여 오이는 끝이 가늘어지거나 굽어지고, 멜론의 조롱박과, 수박의 피수박, 황대, 당도부족, 토마토의 공동과, 가지의 곡과 등이 발생한다.

고온을 극복하는 방법으로는 여러 가지가 있으나 가장 중요한 문제는 어떤방법이 효율성이 높으며 경제성이 있느냐 하는 문제이다. 냉방설비의 투자비는 유리온실과 같은 고급시설에 팬엔드패드 시스템과 같은 시설을 설치할 경우에는 평당 6~7만원 수준이 들고 자동화 비닐우스에 디스크분사식 증발냉방장치(상품명:에어쿨)등을 설치할 경우에는 1.5~2.0만원 정도가 소요된다. 알루미늄 스크린을 이용한 차광시스템을 설치할 경우에는 평당 1.5~2만원이 소요되고 흑색 차광망을 이용하여 고정식으로 피복할 경우에는 평당 1,000~1,500원 정도가 소요되지만 개폐가 불가능하고 내구성이 1년 이내로 짧다. 강제환기팬이 이나 천·측창 개폐장치는 일반적으로 시설을 설치할 때 기본사양에 포함 되어있기 때문에 별도로 예산이 소요되지 않으나 신규로 설치할 때에는 강제환기팬은 평당 1.0만원 내외가 소요되고 천·측창 개폐장치는 3,000원 정도가 소요된다. 지붕에 살수장치를 설치할 때는 평당 2,000원 정도의 경비가 소요된다. 또한 농업용 전기등을 이용하여 온실의 냉난방이 가능한 열 펌프가 있는데 이는 냉방시 투입된 에너지의 3배정도의 열량을 배출할수 있는 장치로서 대당 20백만원으로 200~300평 정도의 냉방이 가능하지만 전력소모량이 24,000kWh/3개월 많다.

이상과 같이 고온을 극복하기 위한 설비는 다양하지만 우선 냉방시설을 도입하기 이전에 재배작물이 무엇이며, 해당 온실은 어떤 종류인가에 따라 투입되는 설비의 종류와 규모는 달라질 수밖에 없다.

또한 중요한 것은 우리나라의 하우스는 겨울철에 에너지 절약을 위한 보온형 구조로 되어 있어 여름철 고온극복에는 불리한 구조로 되었는데, 우선적으로 자연환기를 극대화 할 수 있는 구조 개발과 연동수의 제한이 고온극복에 필수적이다.

현재까지 연구된 결과로서 비교적 경제성이 있는 고온극복 방안으로는 차광막 단독 설치 또는 에어쿨 팬 등을 병용해서 사용하였을 때 효과적이었다는 결과들이 보고된바 있다.

라. 고 광량

하우스 내에 광량이 부족할 때에는 물론이지만 때로는 광량이 지나치게 높을 때에도 광합성작용을 증대시키기보다는 시설내의 온도를 높여 오히려 광합성을 감소시키는 쪽으로 작용하는 경우도 있다.

작물에 따라 광포화점이 다른데 강광성 작물인 멜론, 토마토, 수박, 참외, 호박, 장미, 국화 등의 광포화점은 60~70klux로 높고 중광성 작물로는 딸기, 완두, 고추, 시크라멘, 프리지아 등으로 40~45klux 정도이며, 약광성 작물인 상추, 시금치, 생강, 관엽식물, 양란 등은 20~25klux 정도로 낮기 때문에 적절한 차광 등을 통하여 광량을 조절할 필요가 있다.

우리나라의 여름철의 일사 강도는 $850\sim 950\text{W}\cdot\text{m}^2$ ($1\text{klux}\approx 10\text{W}\cdot\text{m}^2$) 정도이기 때문에 여름철 시설 내 투광율이 60~75% 수준이 되므로 작물에 따라 일사가 강할 때에는 수시 차광으로 광량을 조절하여 줄 필요가 있다. 일반적으로 늦은 봄부터 여름(5~8월)에 광량이 $700\text{W}\cdot\text{m}^2$ 이상 되면 강광성 작물은 30% 정도의 차광을 하여주고 중광성 작물은 50% 내외, 약광성 작물은 70%내외의 차광재를 사용하여 차광을 한다.

광량이 지나치게 높아지면 과실표면에 온도가 상승하여 일소피해가 많이 나타나는데 이는 하우스 내가 건조하거나, 날씨가 흐린 후 맑은 날씨에서 뿌리로부터 수분흡수가 적을 때 많아진다. 토마토에서는 일소과 이외에도 햇볕이 강해지면 과피 표면의 노화가 진행되어 열과가 되기 쉽고, 멜론 등에서는 네트형성이 불균일하게 되고 착색이 불량해진다.

차광재로는 한랭사, 폴리네트, 부직포 등과 알루미늄 분말을 착색한 연질필름 또는 알루미늄증착필름등이 있으며, 차광율, 통기성, 강도, 개폐성 및 내후성 등의 특성과 가격이 각각 다르므로 사용용도 및 경제성 등을 종합적으로 비교 선택할 필요가 있다.

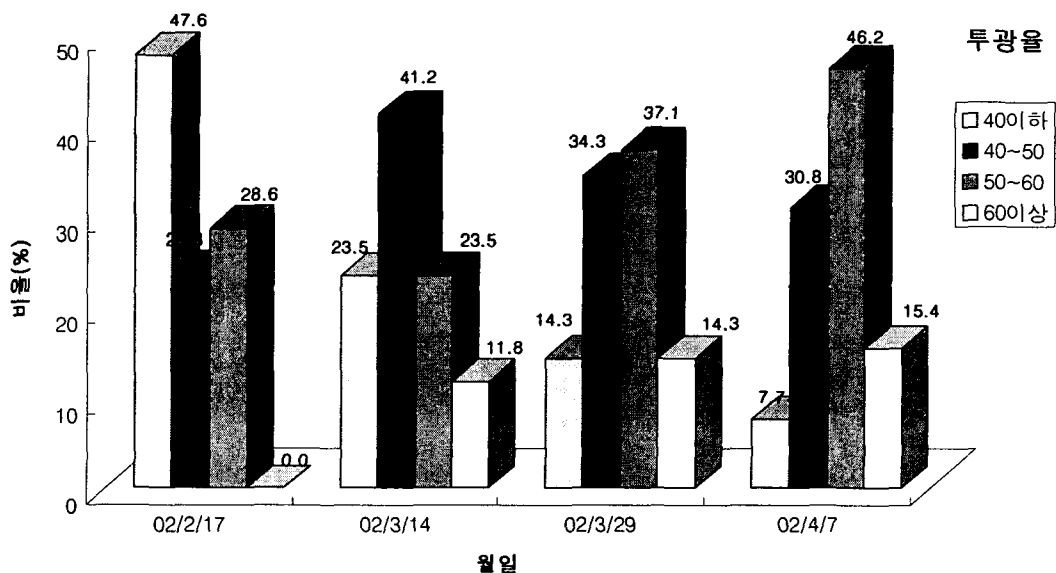
피복방법으로는 시설외부에 피복하는 방법과 내부에 피복하는 방법이 있는데, 광량을 단순히 조절한다면 내부 피복방법을 사용하는 것이 좋지만 온도 상승효과 등을 고려한다면 내부 피복보다는 외부피복방법이 보다 효과적이다. 보통 흑색차광막을 외부에 설치하면 40%정도의 열 유입을 방지할 수 있으나 내부에 설치시에는 10%정도 밖에 열 유입을 차단하지 못하기 때문이다. 단지 외부에 설치하면 바람의 영향을 받기 쉬우므로 강풍대책에 충분한 주의가 필요로 한다.

마. 저 광량

시설원에 선진국인 네델란드는 우리나라에 비하여 여름철에는 시원하고 겨울철에도 0°C 이하의 내려가는 날이 거의 없기 때문에 난방비나 여름철 고온극복에 대한 문제는

우리나라에 비해 그다지 크게 문제 시 되지 않는다. 반면에 일사량은 우리나라가 네델란드에 비해 연간 일조시간은 700~1200시간이 길고 년 간 적산 일사량도 네델란드의 350MJ/m² 정도에 비하여는 1065~1130MJ/m²로 3배정도 풍부하기 때문에 유리한 조건을 갖고 있다. 그러나 네델란드는 일사량의 부족한 부분을 극복하기 위하여 투광율이 높은 유리온실이 대부분 설치되어 있고 골조율도 12%정도 낮고 수광량을 높일 수 있는 지붕 구조를 갖고 있는데 반하여 우리나라는 99%이상이 비닐하우스이며 골조율과 보온성을 높이기 위한 시설구조로 되어 있어 외부 일사량이 많아도 실제로 하우스 내부로 유입되는 광은 50~60%정도로 낮아 문제가 되고 있다. 특히 축성 및 반축성 재배 작형으로 이어지는 재배기간인 10~3월의 일일의 적산 일사량은 맑은 날에도 7~13MJ/m²정도로 4~5월의 16~22MJ/m²보다도 크게 낮을 뿐만 아니라 하우스의 보온성을 높이기 위한 2중 피복 및 보온재 등의 다중 사용으로 10~2월 기간 동안에는 시설 재배 하우스의 투광율이 40% 이하인 농가가 50%이상을 차지하여 실제적으로 고품질 생산에 결정적으로 악 영향을 미치고 있다.

그림4는 35개소의 연동형 자동화비닐하우스를 대상으로 경작하고 있는 농가에 대하여 투광율을 조사한 결과로 '02년 2월17일 조사하였을 때에는 투광율이 40%이하인 하우스가 48%였고 50%이하 되는 하우스는 전체 조사대상 하우스의 71%를 차지하였다. 3월 하순 이후부터는 일사량의 증가와 보온재의 제거 등으로 투광율이 높아져 50~60%의 투광율을 보이는 하우스의 비율이 51~62%로 높아지고 일사량도 많아져 광량 부족에 따른 문제는 줄어들고있는 것을 볼 수 있다.



〈그림4〉 연동형 자동비닐하우스 농가의 시기별 투광율 분포비율(35농가평균)

따라서 저 광량에 의해 특별히 문제가 되는 계절은 10~3월까지라고 볼 수 있다. 과채류는 일반적으로 광의 요구도가 높기 때문에 광량이 부족하면 생리장해 등이 쉽게 발생되는데, 특히 축성 및 반축성 재배 작형 시기인 가을부터 초봄까지에 문제가 되는데 이때에 시설재배면적이 가장 많기 때문에 더욱 중요한 문제라고 생각된다. 광량 부족에 따른 생리장해 발생 주요 원인은 광합성량 저하에 따른 동화생성물의 부족에 기인한다. 동화생성물이 부족하게 되면 각 기관의 발육이 빈약하게 되고, 특히 성장점 부위에 형성되는 꽃눈의 발육이 불량하여 낙뢰, 낙화의 원인이 되며, 개화 이후에도 낙과되기 쉽다. 잎과 줄기부위에 광합성산물의 분배가 증가되어 도장하게 되고 뿌리는 세력이 저하하게 된다. 과실 비대기 이후의 약광은 오이에서 곡과, 어깨홀죽과, 세장과, 흐름과가 발생하고 토마토에서는 공동과, 줄썩음과가 많아지고 가지는 석과나 곡과의 발생이 증가하며 수박에서 황대, 피수박, 당도저하 등이 발생된다. 그리고 이 시기에는 동화양분의 분배가 과실에 많아지므로 뿌리가 쇠약하게 되어 양·수분의 흡수가 저하하고 지상부와와의 균형을 잃어 착과의 주기가 심하게 발생된다. 수박이나 참외와 같은 경우에는 착과 후기에 급성 위조현상 등이 쉽게 발생한다. 흐린 날씨가 계속된 후에는 뿌리가 쇠약해져서 양·수분의 흡수가 감소할 뿐만 아니라 잎도 연약한 상태인데 이후의 날씨가 맑아지면 성장점에 석회 부족증이 심하게 되고 잎은 일소현상이 나타난다. 이와같이 투광량 저하에 따라 저광량의 상태가 될 때에는 비닐 피복재의 경우에는 매년 교체하여 주거나, 투광율이 높게 유지되는 불소필름과 같은 피복재로 교체하여 주는 것도 필요하다. 또한 북측 내면에 반사판을 세워 상면으로 반사시켜 광량을 증가시킬 수도 있으며, 오염된 피복재는 수용성세제를 0.5%정도 희석하여 세척하거나 유리온실 등에는 옥살산(oxalic acid)4% 용액을 살포 후 3일정도 경과 후 물로 세척하면 투광율이 10%정도 향상된다. 또 시설을 설치할 때 온실 설치의 방위에 따라서 광투과율에도 차이가 있으므로 연동형의 하우스는 남북동으로 단동은 동서동으로 설치하고, 곡부의 물받이도 철판이 아닌 투명한 PC소재로 사용하면 곡부의 그늘을 줄일 수 있다.

바. 저 온

온도는 작물의 생육, 수량 및 품질에 미치는 영향이 매우 크다. 특히 시설재배는 노지재배에 있어서 생육에 부적당한 기간에 시설 내에서 보온, 가온 혹은 냉방에 의하여 생육에 적당한 온도환경을 인위적으로 만들어 생산하는 것이기 때문에 일반적으로 온도가 작물생육에 제한요인이 되는 경우가 많다. 온도관리는 생육적온을 유지하는 것을 목적으로 하지만 온도관리에 의하여 생육을 조절하여 경영적으로 유리한 시기에 출하하는 것도 중요한 것이다.

생육적온은 작물의 종류에 따라서 다르며, 일반적으로 박과 작물은 가지과에 비하여 고온 쪽의 적온범위에 있다.

일반적인 생육적온은 낮 동안에는 과채류의 경우 일반적으로 25~30℃범위에 있고 야간에는 이보다 7~10℃정도가 낮은 것이 보통이다. 그런데 한 겨울이라도 낮 동안에는 어느 정도 보온이 된 상태의 하우스라면 일출과 동시에 온도가 급격히 상승하여 특별히 가온을 하지 않아도 적온범위를 유지할 수 있으나 야간 동안에는 가온 또는 보온 시설을 완벽하게 갖추지 않으면 적온 상태를 유지하기가 매우 어렵다. 특히 겨울동안의 야간에는 가온재배를 하지 않으면 작물생육에 적합한 온도유지가 불가능한데 농가에 따라서는 온도관리를 잘못하여 저온상태가 되어 작물의 생육이 불량하게 되고 따라서 각종 생리장해 등을 유발할 수 있다.

시설 과채류를 재배하는 29개 농가를 대상으로 하여 조사한 결과 표 12에서와 같이 고추를 재배하는 농가의 경우 난방기의 용량부족, 닥트 및 온풍난방기 배치의 부적정, 온도센서 위치의 설정 잘못 등 다양한 원인에 의해서 농가가 목표로 설정한 온도보다도 2~4℃ 낮게 관리되고 있는 농가가 73%나 되었고, 오이는 56%, 토마토는 33%의 농가나 되었다.

<표12> 작물별 평균 설정온도 및 실측온도와의 편차(29농가 평균)

구분	작물 종류		
	고추	오이	토마토
평균 설정온도(℃)	17.4	13.9	10.1
목표 설정온도 미달 농가비율(%)	73	56	33
설정온도 대비 하우스내 실측편차(℃)	+1.0~-4.0	+1.5~-3.0	+1.0~-2.5

또한 동일한 하우스 내에서도 온도편차가 커서 단동 하우스에서는 ±3~5℃, 연동형 하우스에서는 ±2~4℃ 차이가 있는 것으로 조사되었는데 이로 인하여 작물의 생육에 불균일을 초래하고 품질에도 악영향을 주는 것으로 판단되었다.

야간동안의 저온은 물질분배의 저하와 대사작용 감퇴 등으로 작물의 생육에 지장을 주어 오이에서는 성장점의 순뿔이가 되어 암꽃만 총생하기도 한다. 광합성 산물의 전류가 불량해짐으로서 잎에 축적되는 양이 많아지고 따라서 다음날 낮 동안의 광합성속도가 떨어져 물질생산량이 감소하고, 오이에서 잎의 황화, 토마토의 고토결핍증, 멜론의 황화반점이 일어난다.

저온으로 과실에 광합성 산물의 이동이 감소하면 토마토에서의 착색불량과, 난형과가 발생하고 멜론에서는 속썩음과 발생이, 오이는 저온다습에서 잘록과가, 가지와 피망에서는 석과의 발생이 많아진다.

저온에 대처하기 위해서는 우선 보온을 철저히 하여 방열량을 최소화시키고, 지역별로 난방부하량 계산 및 시설의 보온정도 등을 고려하여 적정 용량의 난방기와 배관을 설치하며, 온풍난방기 및 온도감응센서의 위치선정을 조정하고, 덕트설치 방법 개선 및 지중가온 등을 실시하면 어느 정도 문제점은 해결될 수 있을 것으로 본다.

사. 다습(야간)

시설내의 습도를 조절하는 주목적은 식물체가 젖는 것을 방지해서 호습성 병 발생을 회피하는데 있다. 특히 겨울동안의 야간의 습도가 문제되는데 야간에 난방을 하게 되면 상대습도를 어느 정도까지는 낮출 수 있으나 무가온재배의 경우에는 실내공기가 포화에 근접해서 상대습도가 100%가깝게 유지된다

시설 내에서 작물 체가 젖는 원인으로는 야간에 작물체표면 온도가 공기의 노점온도 보다 낮은 경우에 발생하는 결로와 하우스 지붕의 골조나 커튼 아래면에 물방울이 떨어져서 젖는 경우가 있고, 저녁에 무가온 하우스 등에서 발생된 수증기가 작물체에 부착해서 젖는 경우와 아침일찍 작물체의 일비 현상에 의하여 젖는 경우 등이 있다.

시설 내가 다습하게 되면 잎이나 과실부터의 증산량이 감소하게 되므로 이에 따라 양분의 전류도 억제되고 작물체내에 수분 함유량도 높아져 결과적으로 과실에 당도함량이 낮아지고, 작물 체는 저온 다습에 의하여 도장하게 되며 작물체가 젖어 있게되므로 쉽게 병 발생이 조장된다.

표13은 야간에 시설내의 습도변화에 따른 오이의 증산량 변화를 나타낸 것으로 상대습도가 80%에서 100%까지 높아짐으로서 새벽 0시부터 5시까지는 증산량이 88%가 감소되었고, 아침 5시부터 9시까지는 29%가 감소하여 한 밤중의 증산량 감소율이 높음을 알 수 있다.

<표13> 야간의 하우스 내 습도변화에 따른 오이의 증산량 변화

(단위:kg/10a · hr)

시간대	상대 습도(%)				
	80	85	90	95	100
0 ~ 5시	12.8	10.0	7.2	4.3	1.5
5 ~ 9시	32.2	29.9	27.6	25.3	23.0

야간의 습도가 시설오이의 회색곰팡이병 발생에 미치는 영향을 보면 표14 에서와 같이 동일한 하우스 내에서도 위치에 따라 다습한 경우에는 40~75%정도 더 발생됨을 알 수 있다.

〈표14〉 하우스내 야간의 습도가 오이의 회색곰팡이병 발생에 미치는 영향

(단위:%)

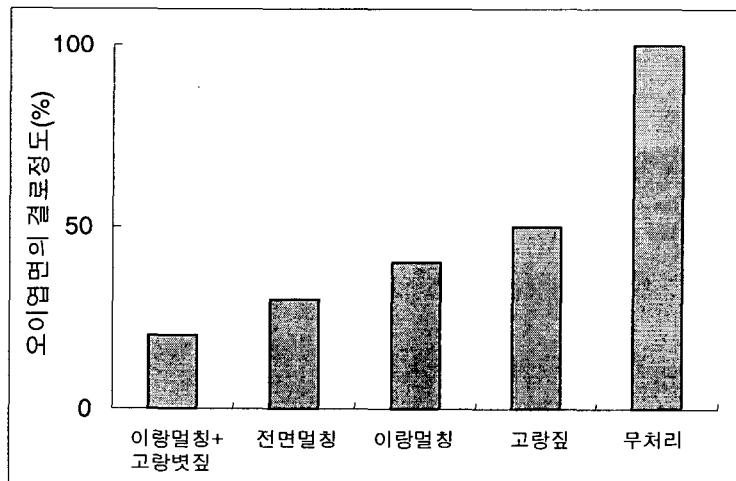
처리	하우스 내 위치			
	동측	중앙	서측	계
다습구(90%이상)	31.6	35.2	52.8	40.3
제습구(90%이하)	16.3	9.0	31.8	19.4

또한 작물의 생육 및 수량도 영향을 받아 다습구에서는 제습을 하였을 때보다 과중이나 당도, 건물을 등이 감소됨을 알수 있다.

〈표 15〉 반촉성 메론 재배 시 제습처리 효과

처리	일과중(kg)	당도(Bx)	건물율(%)	경경(cm)
다습구(90% 이상)	1.81	14.6	38.6	1.52
제습구(90% 이하)	1.90	15.2	40.4	1.55

이렇게 다습하게 되면 병 발생은 물론 작물생육에도 영향을 미치게 되는데 대처 방안으로는 마른 볏짚을 이랑이나 고랑에 사용 또는 멀칭을 함으로서 결로 현상을 크게 줄일 수 있는데, 이는 볏짚의 제습 효과 및 멀칭에 의한 토양 면으로 부터의 증발이 억제되기 때문이다.



〈그림5〉 하우스의 멀칭 및 고랑 볏짚처리가 오이엽의 결로에 미치는 영향

또한 적극적인 제습방법으로는 난방을 하면 매우 효과적인데, 온실 내에 상대습도가 90% 정도이고 온도가 20℃라고 하면 온도를 2℃정도 높여서 22℃로 관리하면 상대습도는 80%정도까지 낮출 수 있다.

환기를 하여도 제습 효과는 있는데 온도가 20℃이고 상대습도가 90%일 때 환기창을 개방하여 온도를 2℃ 낮추어 18℃로 하면 수증기 2.9g/kg이 소실되어 상대습도를 80% 정도를 유지시킬 수 있다.

그밖에 관수량을 조절하여 토양면의 증발과 식물체의 증산을 억제하거나, 투수성, 흡습성이 높은 보온재를 사용하여도 효과적이며, 벽면에 단열성을 향상시켜도 효과가 있는데 이렇게 하면 실내의 상대습도는 높아지나 벽면과 작물체 표면의 물방울이 맺히는 것이 어렵게 된다. 또한 내부의 순환 팬을 작동시키면 따뜻하고 습한 공기는 차고 건조된 공기보다 가볍기 때문에 작물군락 내 습한 공기는 상승하고 마른 공기와 치환되어 물방울 맺힘 현상을 줄일 수 있다.

아. 낮은 탄산가스 농도

작물의 광합성반응은 엽록소 등의 색소에 의한 빛에너지의 흡수와 흡수된 빛에너지를 화학에너지로 변화되는 과정과 화학에너지를 이용하여 탄산가스를 탄수화물로 고정하는 3단계로 구분되므로 결국 탄산가스는 탄수화물의 원료가 된다는 것을 알 수 있다.

이런 탄산가스는 대기 중에 350ppm 정도 있는데, 하우스 내에서는 일출 후 광합성작용이 활발하게 이루어지면 하우스가 밀폐된 상태라면 탄산가스농도는 급격히 저하하여 심한 경우에는 50~80ppm정도까지도 낮아질 수 있다. 결국 작물체는 탄산가스가 부족하여 광합성을 하여도 동화산물을 축적할 수 없는 수준인 탄산가스 보상점 까지도 도달할 수 있는데 이렇게 되면 환기로 외기의 탄산가스를 들여보내도 얼마간 작물체 내에 탄산가스 기아 상태가 되어 광합성이 억제되고 따라서 생리기능이 저하된다.

탄산가스의 흡수량은 오이의 경우 맑은 날에는 300평당 매시간 3kg, 흐린날에는 1kg 정도를 흡수하는데, 광합성속도는 1200~1500ppm까지 높아질수록 광합성량도 많아진다.