

2 중박막온실에서 겨울철 열매 남새 재배 가능성에 대한 계산류체력학적 연구

안철호, 리효정

경애하는 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《나라의 전기사정이 긴장한 조건에 맞게 자연에너지기를 리용하여 남새온실의 난방 문제를 해결하는 방향으로 나아가야 합니다.》

본문에서는 피동식2중비닐박막온실이 우리 나라의 겨울철 최저기온조건에서 열매 남새 재배의 최저온도한계(12°C)보다 높은 공기온도를 보장할수 있는가를 계산류체력학(CFD)적으로 연구하였다.

1. 모 형 화

작물온실의 CFD모형은 선행연구[1]에서 제기하였다. 우리 나라에서 제안된 길이 60m인 피동식태양열2중비닐박막온실의 단면자료를 그림 1에 제시하였다.

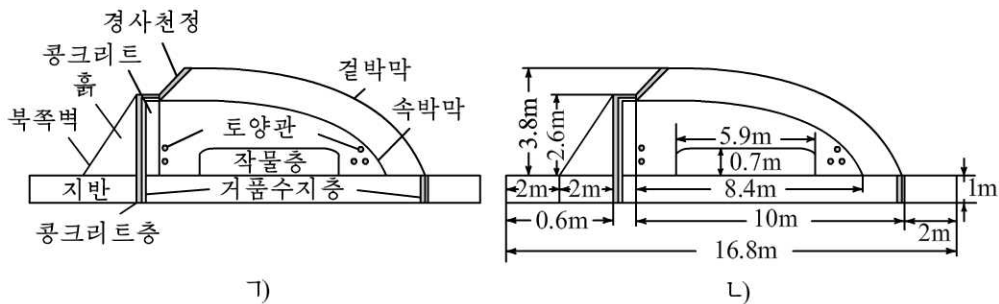


그림 1. 피동식태양열2중비닐박막온실의 단면자료

ㄱ) 구조, ㄴ) 치수

겨울철 최저기온은 새벽에 형성되는데 $-15 \sim -30^{\circ}\text{C}$ 정도이다. 이런 날씨에 온실에서는 9h에 겉박막과 속박막에 덮었던 0.03m 두께의 보온모포를 벗긴다. 그리고 17h부터 다음날 9h까지 보온모포를 덮는다. 이때 낮에 흡수한 태양열로 야간의 최저기온을 극복하고 내부온실의 온도를 12°C 이상 유지할수 있는가를 검토하기 위하여 9h부터 다음날 9h까지의 24h과정을 수치적으로 모의한다.

24h과정에 대한 경계조건을 다음과 같이 설정하였다. 겉박막, 경사지붕, 북쪽벽, 지면에 대류복사혼합경계, 지반의 수직벽은 단열경계, 지반바닥은 10°C 의 온도경계로 설정하였다. 대류복사혼합경계를 위한 열전달계수는 선행연구[2]에 기초하여 결정하였다.

$$h = 5.7 + 3.8U \quad (1)$$

여기서 h 는 벽의 열전달계수($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$), U 는 외부바람속도(m/s)이다.

온실근방의 기상관측소에서 얻은 바람속도와 대기온도, 태양복사측정자료를 리용하

였다. 10min간격으로 주어진 측정자료들은 24h동안에 145개의 값을 가진다. 외부경계조건에 대한 사용자정의함수를 간단하게 만들기 위하여 10min간격 측정자료를 우선 1h씩 평균화하고 평균화된 값에 기초하여 선형보간하였다.

그림 2의 ㄱ)와 ㄴ)는 위의 방법으로 보간된 대기온도와 태양복사를 보여준다.

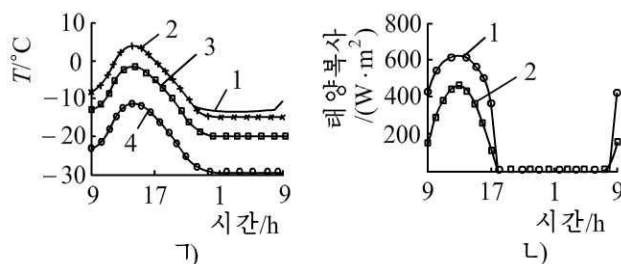


그림 2. 대기온도와 태양복사

ㄱ)에서 1-4는 대기온도가 각각 -13.1 , -15 , -20 , -30°C 인 경우,

ㄴ)에서 1, 2는 각각 G_D (직달복사), G_{sol} (전체복사)인 경우

열전달계수를 벽의 방향에 관계없이 모든 외부벽에 적용하였다. 그림 2의 ㄱ)에서 -13.1°C 는 측정값, 기타는 최저기온이 보다 낮은 가상적인 온도곡선이다.

외부복사온도는 다음의 식에 의하여 결정하였다.[3]

$$T_r = 0.055 \cdot 2T_{am}^{1.5} \quad (2)$$

여기서 T_r 는 외부복사온도이고 T_{am} 은 대기온도이며 비닐박막의 복사도는 흡수도와 같다. 특수한 흡수제를 바른 콘크리트북쪽벽의 내부면의 복사도는 0.9로, 토양복사도는 0.6으로 취하였다. 온실에 리용된 재료들의 열적특성량은 선행연구[1]와 같다.

2. 열매남새재배가능성

먼저 그림 2의 ㄱ)에서 -15 , -20 , -30°C 로 표시한 최저기온조건에 관한 모의결과를 그림 3의 ㄱ)에 제시하였다. 최저기온이 -15 , -20 , -30°C 인 개인날씨조건에서 최저온실온도는 각각 13.6 , 11.5 , 6.3°C 이고 다음날 9h의 온실온도는 각각 14.6 , 12.2 , 8.6°C 였다. 먼저 보온모포를 벗긴 후 9h 30min경에 형성되는 최저온도를 기준으로 열매남새재배조건을 평가하자. 수치모형의 오차(실제온도보다 1°C 정도 과대평가)까지 고려하면 최저기온이 -15°C 인 경우에만 내부온실의 최저온도를 12°C 이상으로 보장할수 있다.

다음날 9h의 온실온도를 기준으로 취해볼 필요가 있다. 그것은 온실운영에서는 모포를 벗긴 후 급격히 온도가 낮아지므로 약 30min동안 잠시적으로 생기는 최저온도보다 17h부터 다음날 9h사이의 16h에 걸치는 긴 야간랭각의 결과인 다음날 9h의 온실온도가 보다 중시되기때문이다.

이제 다음과 같이 두가지 가정을 도입하자. 첫째로, 실천에서 열매남새재배를 위한 한계온도가 12°C 라면 수치적가상공간에서는 13°C 이다. 이것은 수치모형의 과대평가정도를 고려한 가정이다. 둘째로, 최저대기온도가 -15°C 에서 -20°C 로 낮아질 때 다음날 9h의 온실온도가 선형적으로 낮아진다. 그러면 다음날 9h의 온실온도와 최저기온을

자리표축으로 하는 직교자리표계에서 두 점 ($14.6, -15^{\circ}\text{C}$)와 ($15, -20^{\circ}\text{C}$)를 지나는 직선을 만들수 있다. 그 직선에서 다음날 9h의 온실온도 13°C 에 대응하는 최저기온은 17.6°C 이다. 이것은 최저기온이 약 -17.6°C 일 때도 내부온실온도를 12°C 이상으로 보장할수 있다는것을 의미한다.

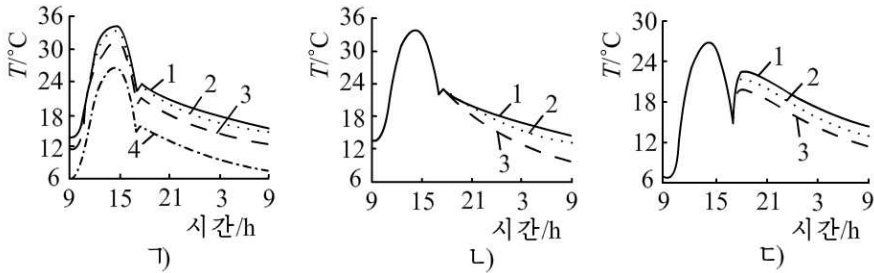


그림 3. 각이한 조건하에서 온도곡선

㉠) 1-4는 최저대기온도가 각각 $-13.1, -15, -20, -30^{\circ}\text{C}$ 인 경우,

㉡) 최저대기온도가 -15°C 일 때 한개 모포덮기(1-2중덮기, 2-속박막덮기, 3-겉박막덮기),

㉢) 최저대기온도가 -30°C 일 때 더운물공급의 결과(1-3은 온도가 각각 $40, 35, 30^{\circ}\text{C}$ 인 경우)

일부 연구자들은 10°C 를 여러 작물을 위한 온도의 아래한계로 보고있다. 고찰하는 내부온실에서 그러한 온도요구는 최저기온 -20°C 에서도 만족된다.

다음으로 최저기온이 -15°C 인 조건에서 2중박막온실의 겉박막과 속박막중의 어느 한 박막에만 보온모포를 덮는 경우의 결과를 그림 3의 ㉡)에 보여주었다. 겉박막만 씌우면 다음날 9시의 온실온도가 9.8°C 이고 속박막만 씌우면 12.8°C 이다. 이것은 속박막만 씌우는 경우 수치적으로 오차가 있음에도 불구하고 열매남새재배가능성이 근사적으로 보장된다는것을 보여준다. 속박막에만 보온모포를 씌운다면 온실관리에는 대단히 편리하다. 보다 중요한것은 모포에 눈이 덮이는것과 모포가 눈비에 젖거나 얼어붙는 현상을 피할수 있기때문이다. 계속하여 -30°C 조건하에서 그림 1의 5개 토양판에 더운물을 공급하는 경우의 결과를 그림 3의 ㉢)에 보여주었다. 5개의 토양판체적은 6.8m^3 로서 내부온실체적의 0.8%를 차지한다. $30, 35, 40^{\circ}\text{C}$ 의 더운물을 공급할 때 다음날 9h 온실온도는 각각 $11.5, 12.8, 13.9^{\circ}\text{C}$ 였다. 이것은 35°C 이상의 더운물을 공급하면 최저기온이 -30°C 인 겨울밤도 극복할수 있다는것을 보여준다.

만일 태양열물가열기로 이 더운물을 보장한다면 온실을 피동식태양열체계로 보존할수 있을것이다. 한 가지 주의할것은 이때 최저온도가 6°C 근방까지 낮아진다는 사실을 고려해야 한다는것이다.

온실과 주위와의 열교환은 주로 대기에 로출되어있는 겉박막, 경사북쪽벽, 경사지붕을 통하여 일어난다. 최저기온 -15°C 조건과 2중덮기조건하에서 24h과정의 표면열흐름세기의 곡선을 그림 4에 보여주었다.

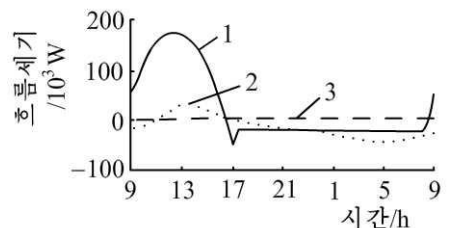


그림 4. 표면열흐름세기의 곡선

1-겉박막, 2-북쪽벽, 3-경사지붕

그림 4의 그래프들의 면적을 시간구간우에서 적분하면 고찰하는 24h동안에 해당 경

계를 통한 전체 에너지를 kWh단위로 얻을 수 있다.(표)

표. 경계를 통한 전체 에너지입출량(kWh)				
경계	류입량	류출량	전체 입출량	면적 /m ²
겉박막	1 113.92	-330.21	783.71	560
경사지붕	25.39	-37.76	-12.37	127
북쪽벽	134.72	-479.52	-344.80	388
계	1 319.10	-1 072.51	246.59	1 365

북쪽벽의 외부결면을 통한 열손실이 밤시간에 보온모포를 덮는 겉박막을 통한 열손실보다 더 크다. 북쪽벽결면에는 아무것도 덮지 않았으므로 이 결과는 자연스러운 것이다. 이 결과는 북쪽벽결면에 열보호대책을 추가해야 할 필요성을 보여준다.

맺 는 말

수치실험에 의하면 두 박막에 모두 보온모포를 덮으면 최저기온이 약 -17.6°C 인 날씨에도 열매남새재배조건을 보장할 수 있다. 최저기온이 -15°C 일 때는 속박막에만 보온모포를 덮어주어도 된다. 내부온실체적의 0.8%를 차지하는 물관에 35°C 이상의 더운물을 공급하고 두 박막에 모포를 덮으면 최저기온이 -35°C 인 겨울밤도 극복할 수 있다.

이로부터 2중비닐박막온실은 우리 나라의 대부분 지역에서 겨울철 열매남새재배조건을 보장할 수 있는 가능성을 가진다는 것을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] T. Boulard et al.; Biosystems Engineering, 158, 110, 2017.
- [2] J. A. Duffie et al.; Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley and Sons, 81~83, 1991.
- [3] J. I. Montero et al.; Acta Hort, 691, 403, 2005.

주체109(2020)년 12월 5일 원고접수

CFD Study on Possibility of Winter-cultivation of Fruit Vegetables in a Double Plastic Covered Greenhouse

An Chol Ho, Ri Hyo Jong

A numerical model was developed to predict possibility of winter-cultivation of fruit vegetables in a passive solar double plastic covered greenhouse. When covering both the outer and inner films with quilts, it could overcome the night with the lowest outside temperature more than about -17.6°C . It did not matter if we covered only the inner film at -15°C .

Keywords: double plastic covered greenhouse, fruit vegetable, CFD