순환식 수막 온실의 열환경 분석
Analysis of Thermal Environment in Greenhouse with Closed Water Curtain System

윤남규 · 김학주 · 이시영 · 염성현 · 남윤일
농촌진흥청 원예연구소 시설재배과

Yun, N.K. · Kim, H.J. · Lee, S.Y. · Yum, S.H. · Nam, Y.I.
Division of Protected Cultivation, National Horticultural Research Institute, RDA, Suwon, 441-540

서 론

시설재배에서 가장 시급한 과제를 꼽는다면 난방에너지 비용의 절감 대책을 들 수 있다. 시설원예농가의 경영비의 30% 이상을 차지하는 난방에너지 비용이야말로 시설원예농가의 경쟁력을 떨어뜨리고, 시설농업의 발전을 가로막는 주원인이라고 할 수 있다. 더욱이 최근의 이라크 전쟁과 화석연료자원의 고갈 예고 등 세계적인 경향 또한 우리나라 시설원예 산업의 발전에 부정적인 영향을 미치고 있는 실정이다.

이러한 배경으로 인해 최근들어 시설원예의 난방에너지 절감을 위한 많은 연구가 수행되어 왔고, 지금도 지속적으로 수행되고 있다. 그러나 그러한 연구들 중의 상당 부분은 에너지절감 효율은 우수하지만 시설투자비용이 크거나 적용범위가 제한적이어서 일반 시설원예 농가에서 쉽게 도입하기 어렵운 경우가 많고, 국내 시설원예의 대부분을 차지하고 있는 비표준형 단동온실에는 적용이 곤란한 것들도 많은 실정이다.

수막시스템은 연중 일정한 수온을 유지하는 특성을 가진 지하수를 이용하여 동절기 야간에 온실로부터의 복사열손실을 억제하고, 지하수의 열에너지를 실내공기와 교환함으로써 온실을 보온 및 난방하는 원리를 이용하는 것이다. 또한 수막시스템은 현대화된 자동화하우스 또는 연동의 대규모 온실 보다는 관행형의 단동온실에 적용이 쉬운 경제적인 보온 및 난방시스템이다. 그러나 최근 국내에서는 지하수자원의 부족으로 인해 그동안 널리 활용되어 오던 수막재배가 어려움을 겪고 있으며, 이는 향후 더욱 심화될 것으로 전망되고 있다.

따라서 본 연구에서는 부족한 지하수자원의 문제를 극복하고, 저온기의 경제적인 온실 보온기술을 위해 순환식 수막시스템을 개발하고, 온실내 열환경 분석을 통해 시스템의 보온효과를 구명하고자 수행되었다.

재료 및 방법

본 연구를 위해 설치된 순환식 수막시스템 및 온실의 구성은 Fig. 1과 같다. 그림에

서와 같이 순환식 수막시스템은 기존의 수막시스템에 회수용 탱크와 순환용 탱크가 추가되어 있고, 순환용 탱크내의 물을 가열할 수 있는 가열장치가 추가된 것이 특징이다. 여건에 따라 회수용 탱크와 순환용 탱크를 별개로 하지 않고 하나의 탱크로 사용하는 것도 가능하다. 가열장치는 30,000 kcal/h의 기름보일러(귀뚜라미, Turbo-30S)를 사용하였고, 순환용 펌프는 1/2마력(한일펌프, IP-415)의 수중펌프를 사용하였다.

온실의 면적은 150m^{2}이고, 재배작물은 상추 2품종(청치마, 적축면)으로 재배기간은 2003년 1월 29일부터 3월 5일까지 총 36일이다.

조사는 작물의 생육조사를 3회 실시하고, 수온, 지온 및 실내외 기온과 상대습도, 6240수막유량 등을 센서를 통해 계측하였으며, 시험기간 동안 수막은 야간(18:00~06:00)에만 가동하였다.

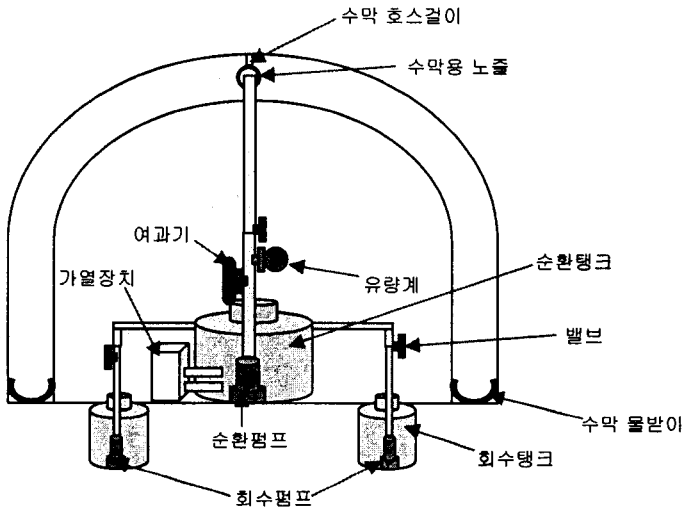

Fig. 1. Layout of the closed water curtain system

수막에 의한 온실의 보온효과를 비교하기 위해 고정수온 및 변동수온 순환식 수막시스템을 각각 1개 동의 온실에 설치하고, 수막 대신 터널용 보온덮개를 이용한 온실 1개 동을 설치하여 대조구로써 사용하였다.

결과 및 고찰

Table 1은 본 연구에서 사용된 3개 온실에서의 작물의 생육상태를 조사한 결과를 표로 나타낸 것이다. 제시된 자료에서 보는 바와 같이 수막시스템을 설치한 온실과 보온터널만 설치한 대조구 사이에는 뚜렷한 생육의 차이가 관찰되었다.

Fig. 2는 본 연구에서 사용된 3개 온실의 실내기온과 외부기온의 계측 결과(2003. 2. 18 19:00~2003. 2. 19 07:00)를 그래프로 비교한 것이다. 측정기간 중 고정수온(CWT) 수막온실은 수온을 13℃로, 변동수온(VWT) 수막온실은 수온을 15℃로 설정하였다. 그래프에 나타낸 바와 같이 CWT와 VWT의 경우가 대조구의 보온터널 내부보다 평균 5~6℃ 정도 기온이 높게 유지되었다.

Table 1. Comparison of plant growth according to the experimental condition.

Item		Date		
		17, Feb., 2003	26, Feb., 2003	5, Mar., 2003
Plant length (cm)	VWT[a]	13.8	15.8	22.1
	CWT[b]	12.3	18.6	18.6
	Control	9.2	10.8	13.2
Fresh weight (g)	VWT	18.5	34.7	87.2
	CWT	9.8	54.2	69.6
	Control	4.1	7.6	17.9
Leaf area index (LAI)	VWT	417.2	852.0	1848.3
	CWT	264.9	1300.0	1416.9
	Control	99.9	211.1	451.9

* [a] means variable water temperature and [b] means constant water temperature.

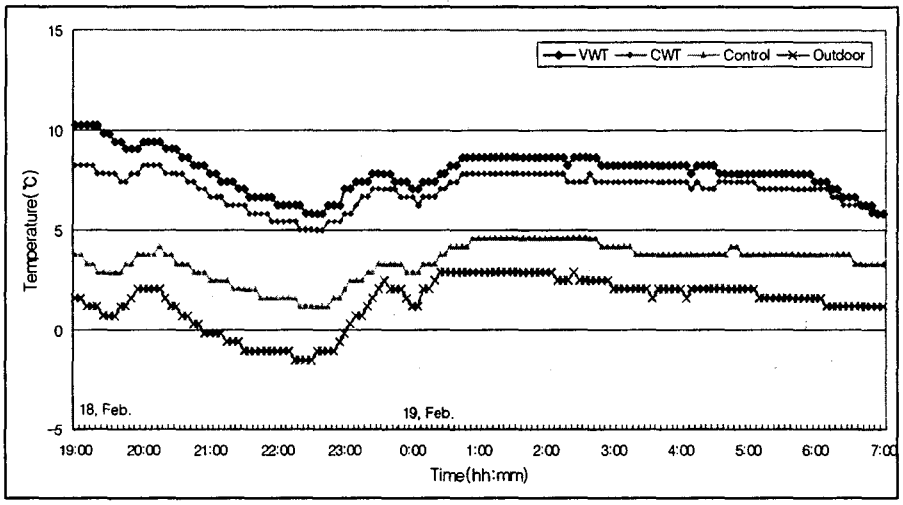

Fig. 2 Air temperature of three greenhouse and outdoor.

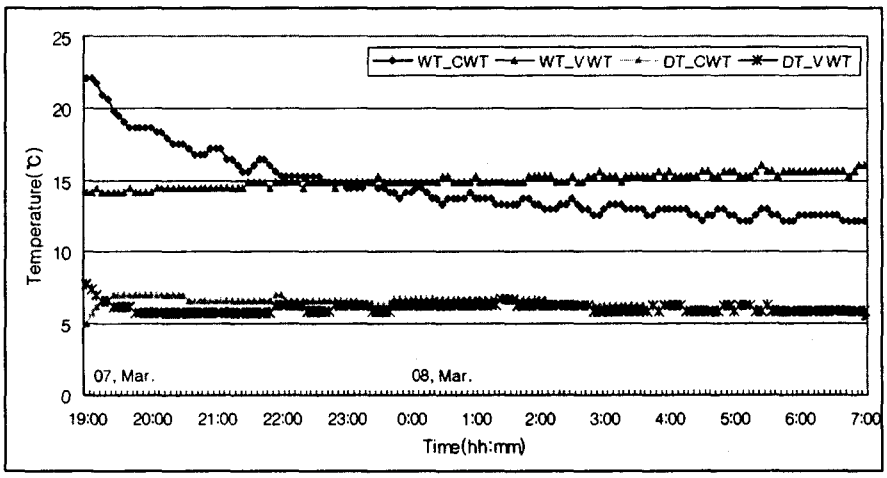

Fig. 3 Relationship between water temperature and air temperature difference.

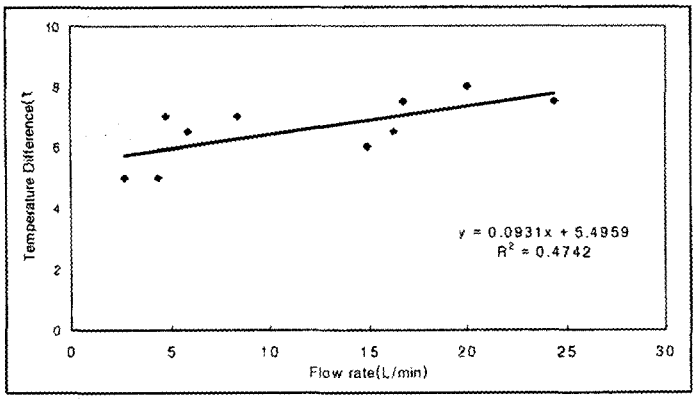

Fig. 4 Relationship between flow rate and air temperature difference.

Fig. 3은 순환식 수막시스템에서 수온의 변화와 실내외 기온차를 그래프로 나타낸 것이다. 실험결과를 통해 수온이 높은 변동수온 수막온실이 수온이 상대적으로 낮은 고정수온 수막온실보다 실내기온이 높게 유지되었지만, 실내외 평균 기온차와의 비교를 통해서는 외부기온의 변화 형태가 고려되지 않은 관계로 직접적인 상관관계를 확인할 수 없었다.

Fig. 4는 순환식 수막시스템에서 유량의 변화에 따른 실내외 기온차를 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 보여지는 바와 같이 유량의 증가에 따라 실내외 기온차 또한 증가하는 것으로 나타났다.

요약 및 결론

이상의 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 순환식 수막시스템을 설치한 온실은 보온터널만을 이용한 온실보다 상추의 생육에 있어서 현저한 차이를 나타내었다.

2. 순환식 수막시스템 온실의 경우 실내기온이 보온터널 내부의 기온보다 5~6℃ 더 높게 유지되는 것으로 나타났다.

3. 수막의 수온이 높아짐에 따라 실내기온 또한 상승하는 경향을 나타내었으나, 정확한 상관관계 구명을 위해서는 보다 종합적인 분석이 필요할 것으로 판단되었다.

4. 수막의 유량이 증가함에 따라 실내외 평균 기온차 또한 상승하는 경향을 나타내었다. 또한, 수막시스템의 보온성능을 보다 정확하게 판별하기 위해서는 외부기온, 수막의 수온, 유량, 온실의 보온비 등 관련 요인들이 종합적으로 고려된 계산방법의 적용이 필요할 것으로 판단되었다.

인용문헌

1. 김문기, 남상운, 서원명, 윤용철, 이석건, 이현우. 2002. 생물환경조절공학. 청솔.
2. 윤남규. 2000. CFD 시뮬레이션에 의한 온실의 자연환기 및 공기유동 특성 분석. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
3. Holman, J.P. 1990. Heat Transfer. McGraw-Hill Publishing Company.
4. T. Takakura. 1993. Climate under Cover. Kluwer Academic Publishers.