

Effects of Minimizing the Heating Space on Energy Saving and Hot Pepper(*Capsicum annuum L.*) Growth in the Plastic Greenhouse

Tae Young Kim · Young Hoe Woo · Ill Hwan Cho · Young Sam Kwon
Si Young Lee · Han Ik Jang

Div. of Protected Cultivation, National Horticultural Research Institute, R.D.A., Suwon 441-440, Korea

Abstract

In 2000, domestic protected cultivation area was about 52,189 ha including 13,621 ha of heating greenhouses. Recently, heating cost accounts for 25 to 30% of total production cost which has been increased due to the rise of oil price, while the heating cost was about 15% in other advanced countries. To reduce the heating energy cost, the study of minimizing the heating space of greenhouse have been conducted from 1998 to 1999. The system was developed to control the heating space according to crop growth by moving horizontal curtain up and down. Installation of the heating space-control curtain in greenhouse decreased heating capacity to 264 m³ compared to 661.5 m³ in the traditional curtain, and consumed fuel was saved about 56% point in semiforcing culture and 28% point in retarding culture of pepper. In addition, uniform distribution of air temperature and relative humidity in greenhouse environment resulted in earlier flowering and higher yields in hot pepper.

Key words: heating space, control curtain, energy, greenhouse, yield

*Corresponding author

서 론

우리나라 시설재배면적은 2000년 말 현재 52,189 ha로 이중 가온재배 면적이 13,621 ha에 다다르고 있으며, 해마다 늘어나는 추세이다. 특히 연간 필요한 난방비는 약 4천7백억원으로 상당한 에너지를 소비하고 있는 실정이다. 온실난방 에너지 절감을 위한 국내외 연구는 주로 보온, 난방기의 위치 및 Duct의 토출구 간격 및 직경(Kim 등, 1994), 난방배관 구조개선(Kwon 등, 1995), 태양열 및 폐자원 이용(Kwon 등, 1992), 지역별 난방부하 결정(Woo 등, 1998) 등을 중심으로 이루어져 왔으며, 최근 경기 불황과 급격한 에너지 가격상승은 더욱 에너지 절감의 중요성을 부각시키고 있다. 원예시설의 보온력 향상 연구는 시설구조개선(Kim 등, 1997), 보온소재의 효율적 이용(Kim 등, 1998), 시설내 보온비의 증대(池田, 1992) 등에 국한되어 연구되고 있으며, 시설내 난방공간 최소화에 따른 에너지 절감에 관해서는 거의 연구된 바 없다. 따라서 에너지 절감의 극대화를 위해서 농가 보급형 비닐하우스(1-

2W형) 2연동에 관행의 수평커튼을 상하로 조절하여 난방공간을 가변화시킬수 있도록 하여 작물 성장 상태에 따라 필요 공간만 가온함으로써 난방비를 획기적으로 감소시키고 이에 따른 시설내 미기상 변화 및 고추의 생육에 미치는 영향을 구명코자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

본 실험은 1998년 9월부터 1999년 3월까지 원예연구소에서 수행하였다. 시험방법은 농가 보급형 비닐하우스(1-2W형)에 대조구로 관행의 고정커튼구(330 m³)와 상하이동 커튼구(330 m³)를 설치하여 비교하였으며 두처리 모두 온풍난방기를 이용하여 가온하였다. 보온소재는 상하이동 수평커튼구와 일반 고정 커튼구 모두 부직포 0.1 mm를 이용하였다. 수평커튼은 1층으로 하였고 외부 피복재는 0.1 mm 그리고 내부 피복재는 0.05 mm의 PE 필름을 사용하였다. 시설내 기온은 주간 최고 30°C 야간에는 최저 15°C 이상으로 관리 하

였다. 시험작물은 시설 풋고추 품종인 녹광(*Capsicum annuum L.*)을 1998년 9월30일에 정식하였다. 상하이동 커튼 처리구는 정식 후, 고추가 성장하는 대로 고추의 초장 높이 위에 수평커튼을 내려서 난방공간을 최소화하여 야간에 난방을 하였다. 관행의 고정커튼 처리구는 관행되로 지상 2.1 m 높이에 고정하였다. 두 처리 모두 흑색필름(0.01 mm)으로 멀칭하였고 관수는 점적관수 장치로 동일하게 관리하였다. 시비에 있어 질소, 칼리의 경우 전체 시비량의 1/2은 정식전에 사용하고, 나머지 1/2은 20일 간격으로 5번에 걸쳐서 추비하였다. 인산과 퇴비는 전량을 밑거름으로 사용하였다. 하우스 내 환경측정은 Data Logger(Li-1000, Li-cor)

와 MP-092(Sola-V, Eko)으로 조사하였고, 시설내 지온은 지표면으로부터 5 cm 깊이에서 측정하였다. 잎의 증산 속도와 기공저항은 Porometer(Li-3200, Li-cor)을 이용하여 계측하였다. 시설내 연료 소모량은 유량계를 이용하여 조사하였다.

결과 및 고찰

본 시험에서 처리한 가변 공간식 상하이동 수평커튼의 설계도는 Fig. 1과 같다. 난방공간 최소화 장치는 관행의 고정 수평커튼을 상하로 이동하여 작물체의 초장높이까지 자유자재로 내리고 올릴수 있는 장치를 말

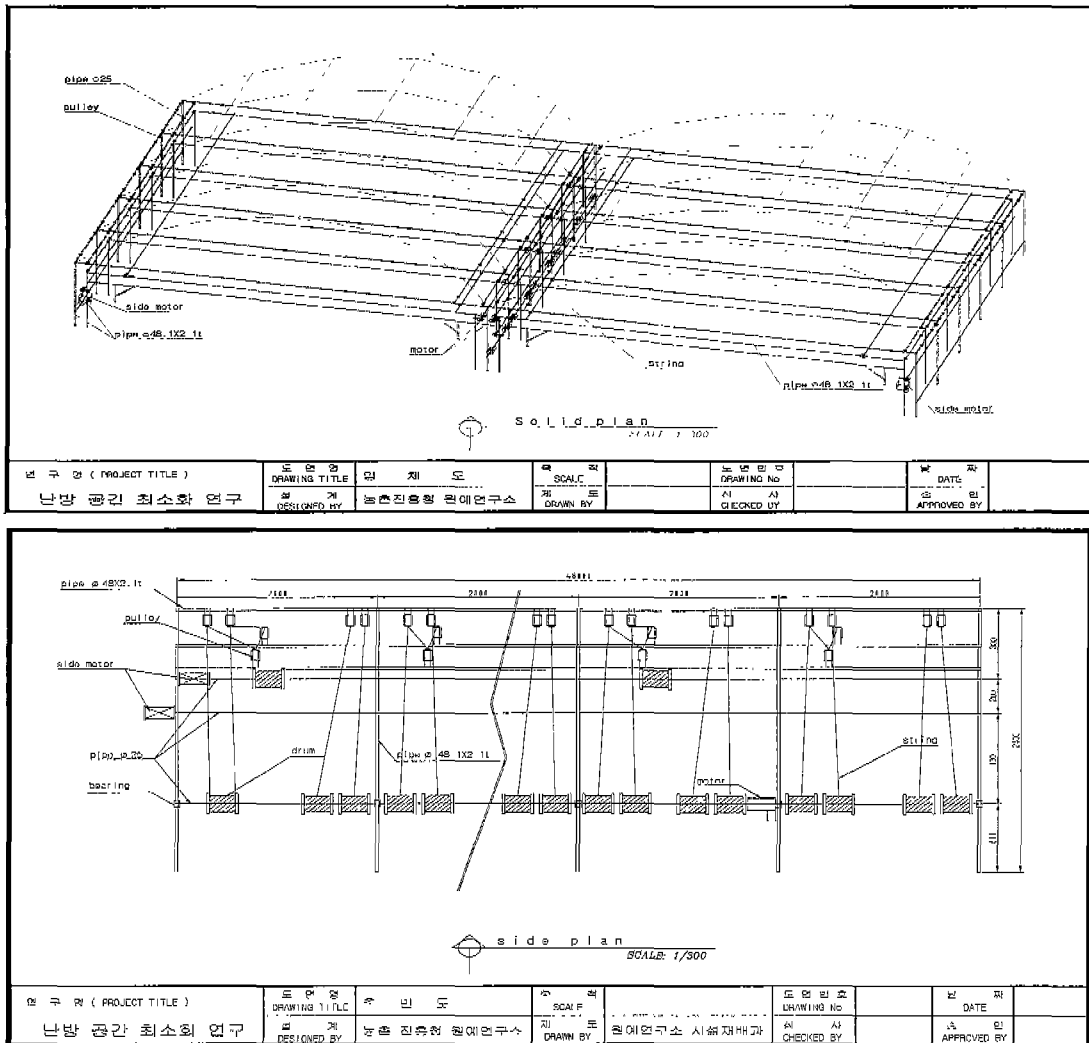


Fig. 1. Design of movable type horizontal curtain(upper: front design, down : side design).

온실 난방공간 최소화가 에너지 절감 및 고추 생육에 미치는 영향

Table 1. Temperature and light transmittance in each treated greenhouse.

Treatment	Minimum air temperature(°C)		Soil temperature(°C)		Light transmittance (%)	RH (%)
	Front	Rear	Front	Rear		
Traditional curtain	16.1	14.4	20.5	19.6	56.2	63.5
Up and down movable curtain	16.0	14.9	20.4	20.1	55.3	70.0

*Front : 5 m from the exit, rear : 45 m from the exit.

한다. 즉 야간에는 작물의 초장 높이까지 감광센서를 이용하여 상하이동 수평커튼을 내려서 관리하고 주간에는 설정 온도에 따라서 지상 2.1 m 높이까지 이동할 수 있도록 하였다. 이 상태에서도 유인 및 병충해 방제, 수확 등 작업의 편의성이 관행구와 동일하였다.

처리별 온도 및 광투과율은 Table 1과 같다. 관행커튼의 경우, 시설내 최저기온은 시설내 중앙부를 기점으로 설정온도를 15°C로 고정하였을 때, 전면이 16.1°C이고 후면이 14.4°C로 전, 후면의 온도 차이가 1.7°C였다. 그러나 상하이동 커튼 처리구는 전, 후면의 온도 차이가 1.1°C로 비교적 균일하였다. 광투과율은 56.2%와 55.3%으로 유사하였으나 시설내 상대습도는 상하이동 커튼이 70.0%로 관행의 고정 수평커튼의 63.5%에 비하여 높게 유지되었다. 시설내 기온은 온풍기 가동으로 심하게 변화되었으나, 지온변화는 거의 차이가 없었다. 시설내 최저온도를 15°C로 설정하였을 때 지온의 변화는 상하이동 커튼 설치구에서는 전면이 20.4°C이고 후면이 20.1°C로 약 0.3°C의 온도차이가 있었다.

Fig. 2는 처리별 시설 하우스의 전면에서 후면까지 약 45 m 거리의 지중온도 등온선을 나타낸 것이다. 상하이동 커튼 처리구에서 등온선의 간격이 넓은데 이

것은 지중온도의 온도차이가 적다는 것이고 관행구에서는 등온선의 간격이 좁은데 이것은 온도 차이가 크다는 것이다. 시설내 지온이 전면에서 후면으로 가면서 크게 낮아지는 것을 볼 수 있는데 이것은 작물의 생육에도 좋지 않은 결과를 준 것으로 판단된다. 지중온도와 오이 생육(Lee, 1997)의 연구에서 오이 비대속도와 비대량은 토양온도와 밀접한 관계가 있는 것으로 보고하였다. 즉 오이의 첫 수확일수는 지중 무가온구의 12.6일에 비해 지중 25°C 가온구에서는 10.4일로 2일 정도 수확일수가 단축되었으며, 과중도 무가온구의 134 g에 비하여 157 g으로 무거웠다는 보고를 하였다.

Table 2는 시설면적 330 m²에서 시설억제 채배 시 처리별 연료 소모량을 나타낸 것으로 '98년 11월2일부터 '99년 3월 12일까지 관행구에서는 7,358L가 소모된 것에 비하여 상하이동 커튼구에서는 5,306L가 소모되어 약 28%가 절감되었고, 일일소비량도 59.3L에서 42.7L로 절약되었다. 이것은 '97년 3월에 반축성채배에서 시설면적 165 m²의 연료소모량이 약 56% 절감되었다는 보고(Kim 등, 1997)와는 차이가 있는데 이러한 것은 채배시기가 다르기 때문이다. 그러나 시설억제 채배시는 정식시기가 9월 하순으로서 난방이 시작되는 시기고 또한 외부의 기온이 높아서 실제 난방에

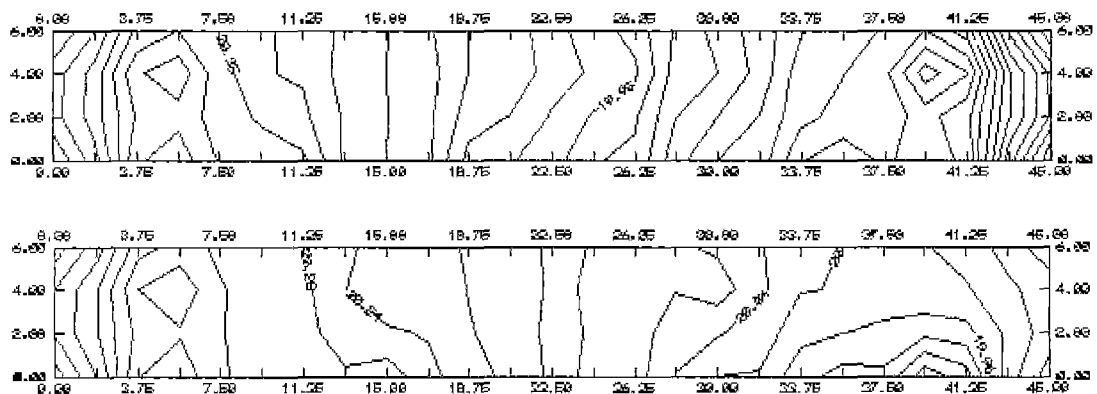


Fig. 2. Distribution of soil temperature within treated greenhouse(upper: traditional curtain, down: up and down movable curtain).

Table 2. Fuel consumption in treated greenhouse(Sep. 1998 to Mar. 1999). (330 m²)

Treatment	Daily fuel consumption(L)	Total fuel consumption (L)	Ratio(%)
Traditional curtain	59.3	7,358	100
Up and down movable curtain	42.7	5,306	72.1

Table 3. Volume of heating space and temperature control in treated greenhouse.

Treatment	Volume of heating space(m ³)	Air temperature(°C)
Traditional curtain	661.5	15.0±0.91
Up and down movable curtain	264.0	15.0±0.45

드는 연료의 소모량은 많지 않은 계절이나 그 이후, 작물이 성장하는 시기에 날씨는 추워지므로 난방공간이 커지고 난방비도 많이 들때다. 또한 1년중 가장 난방부하량이 높은 시기인 12~2월이 포함되어 있는데 이 시기에는 고추 초장이 약 1.8 m로 관행의 고정커튼이나 상하이동 커튼 처리구의 가온용적에는 큰 차이가 없기 때문에 연료소모량의 절감되는 비율이 낮았다.

Table 3은 난방용적과 연료절감율을 나타낸 것이다. Table 3에서 보는 바와 같이 정식후 3개월 정도 경과하였을 때(초장 1m정도) 처리별 하우스 용적 및 가온시 온도 편차를 보면 고정커튼의 하우스 용적은 661.5 m³인데 비하여 상하이동 커튼 하우스의 가온용적은 264.0 m³로 약 40% 정도로 축소되었다. 따라서 연료소모량은 상하이동 커튼구에서 관행에 비하여 약 28%의 연료 절감 효과를 나타내었다. 시설 내 목표온도를 15°C로 하였을 때, 상하이동 커튼구의 온도 편차가 ±0.45°C로 매우 균일하였으나 관행 커튼구에서는 ±0.91°C로 약 2배 이상 높게 나타났다. 가온시 상하이동 커튼구는 가온용적이 상대적으로 감소하였기 때문에 공기의 유동이 거의 없고, 또한 가온 용적이 적은 상태에서 덕트를 이용한 난방으로 더운 공기의 상층부 이동이 한정되어서 시설내 기온이 매우 균일하였던 것으로 판단된다. 반면 난방공간이 크면 방열비가 높고 따뜻한 공기의 상층부로 이동이 심하게 일어나서 온도 편차가 높은 것이 일반적이다. 김 등(1997)은 방열비를 낮추고 보온비를 증가시키기 위하여 단동시설을 연

동화하여 보온비를 0.48~0.56에서 0.71~0.77로 높여 기온 1.1°C, 지온 1.3~1.9°C 정도의 보온효과 있음을 보고하였다. 이것은 본 실험 결과와 일치하는 것이다.

처리별 고추 생육을 Table 4에서 살펴보면, 상하이동 커튼구나 관행커튼구 모두 초기생육에는 통계적인 유의차는 없었다. 이것은 시설내 가온이 이루어 지지 않았기 때문이다. 정식 후 30일이 지난 중기에는 초장에 있어서 처리별 유의차가 없었으나 엽면적에 있어서 상하이동 커튼구가 관행구에 비하여 16% 증가되었다. 정식후 50일이 지난 11월 20일 경에는 초장 및 엽면적에 유의차가 인정됐는데 이시기의 수원지방 약간 시설내 기온이 5°C이하로 떨어져서 가온을 하는 시기가 됨으로써 시설내 온도편차가 적고 고추생육의 적정습도 유지에 유리한 상하이동 수평커튼 처리구의 생육이 양호하였기 때문인 것으로 판단된다. 이는 田中 등(1984)의 토마토는 상대습도 60%, 오이는 80%의 고습에서 건물중 및 초장이 증대되었다는 보고와 일치하였다.

Table 5는 처리별 기공저항 및 증산속도를 표시한 것이다. 상하이동 커튼구에서는 기공저항이 2.71±0.42 s·cm⁻¹로 고정 커튼구에 비하여 높았다. 또한 증산속도도 17.64±0.99 mg·cm⁻²·s⁻¹로 상하이동 커튼구에서 높은 것으로 나타났다.

Table 6은 처리별 고추의 분지수 및 개화시기를 나타낸 것으로, 정식 45일 경과시 관행커튼구의 분지수가 5.7개인데 비하여 상하이동 커튼은 10.7개로 87%

Table 4. Growth of pepper in treated greenhouse(planting: Sep. 23. 1998).

Treatment	Early growth(20 days after planting)		Middle growth(50 days after planting)	
	Plant height(cm)	Leaf area per plant(cm ²)	Plant height(cm)	Leaf area per plant(cm ²)
Traditional curtain	20.2 a	92.1 a	31.2 a	441.1 b
Up and down movable curtain	22.2 a	96.3 a	36.7 a	515.5 a

*LSD at 5% Level

온실 난방공간 최소화가 에너지 절감 및 고추 생육에 미치는 영향

Table 5. Stomatal resistance and transpiration rate in treatment(Nov.10, 1998).

Treatment	Stomatal resistance($s \cdot cm^{-1}$)	Transpiration rate($mg \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$)
Traditional curtain	1.56±0.31	16.20±2.21
Up and down movable curtain	2.71±0.42	17.64±0.99

Table 6. Ramification and blooming period of hot pepper(Inv.: Nov. 7, 1998).

Treatment	Number of ramification per plant	Blooming period(date)	Number of fruits per plant
Traditional curtain	5.7	11.3	1.4
Up and down movable curtain	10.7	11.1	2.3

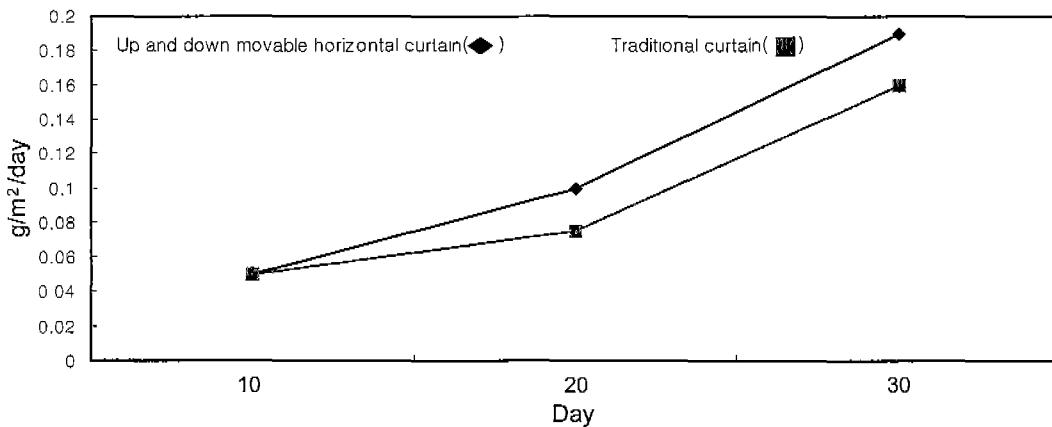


Fig. 3. Daily growth rate of pepper in each treated greenhouse.

Table 7. Yield of pepper in each treated greenhouse.

Treatment	Commercial yield(kg/10a)	Non Commercial yield(kg/10a)	Commercial rate(%)
Traditional curtain	1,293b	112	92.0
Up and down movable curtain	1,499a	90	94.4

정도 증가하였다. 개화일도 상하이동 커튼구에서 고정 커튼구에서 비해서 2일 정도 빨랐으며 이에 따른 주당 착과수도 상하이동 커튼이 2.3개로 고정커튼에 비하여 주당 착과수가 1개 정도 많았다. 이것은 상하이동 커튼처리구가 시설내 온도편차가 적고 지온이 균일하며 고추 생육에 적당한 적정습도인 70~80%를 잘 유지할 수 있었기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 3은 고추의 성장속도를 비교한 것인데 정식 10일경 성장속도는 고정커튼구가 $0.041 g \cdot m^{-2} \cdot day$ 인데 비하여 상하이동 커튼구에서 $0.043 g \cdot m^{-2} \cdot day$ 으로 성장속도가 빨랐으며 정식 후 경과일수가 많아질수록 그 차이는 증가하였다. 이러한 이유는 상하이동 커튼구에서 관행 커튼구에 비하여 습도와 온도 및 지온이 높아서 고추의 생육에 유리하게 작용한 것으로 판단된다.

Table 7은 시설억제 재배시 처리별 수량성을 나타냈는 것인데 상하이동커튼의 10 a당 수량이 1,499 kg으로 관행에 비하여 약 16% 증수되었다. 이것은 시설내 온도 및 지온의 균일과 습도 유지로 작물 생산성이 양호한 것으로 판단된다.

Literature cited

1. Chun, H. 1997. Effects of different types of greenhouse and training methods on canopy, growth and yield of green pepper(*Capsium annuum* L.). Ph.d. thesis. Dong-kuk university, Korea (in Korean).
2. James, A. B. 1984. Effects of humidity on photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, 35(158): pp. 1245-1251.
3. Kim, H. Y. 1997. The study of therm-keeping in P.E

- house. Report NHRI : pp. 652-662 (in Korean).
4. Kim, T.Y. and H. Chun. 1995. The study on the environmental property and the growth response of Cucumber (*Cucumis Sativus* L.) in green house. Biological production facilities and environment control 5:3033 (in Korean).
 5. Kim, T.Y. and I. H. Cho. 1997. Effects of airpoly PE house and air-injected double PE house for improvement of heat-keeping in green house. Report NHRI: pp. 771-775 (in Korean).
 6. Kim, T.Y. and Y. S. Kwon. 1994. Studies of heater position and duct installation for the effective heat management in green house. Report NHRI: pp. 505-509 (in Korean).
 7. Ko, K.T. 1999. Response of cucurbitaceous rootstock species to biological and environmental stress. Ph.d. thesis. Seoul University, Korea (in Korean).
 8. Kwon, Y.S. 1997. The technique of energy saving in protected cultivation. NJAES pp. 37-61 (in Korean).
 9. Lee, J.W. 1997. Effect of root zone warming by hot water in winter season on rhizosphere environment, growth and yield of greenhouse-grown cucumber (*Cucumis sativus* L.) Ph.d. thesis. Kyungpook University, Korea.
 10. Masuda, Y. 1990. 植物生理學. 培風館. pp. 136-154 (in Japanese).
 11. Park, S.K and Y.B. Lee. 1982. Efficient utilization of solar energy modelling for the energy conservation of greenhouse.: pp. 60-64 (in Japanese).
 12. Song, H.G. 1993. Heating of greenhouse. The automation of protected horticulture. Mun Un Dang pp. 128-144 (in Korean).
 13. 田中和夫. 1984. 施設内温?湿度 環境の珍斷に關する研究. 昭和59年度 秋季園藝學會發表要旨 pp. 256-257 (in Japanese).
 14. 池田英男. 1992. 新施設園藝學. 朝倉書店. pp. 102-129 (in Japanese).
 15. 日本施設園?協會 編集. 施設園藝 핸드ブック. 1998. 園藝情報 セクタァ . pp. 128-138 (in Japanese).

온실 난방공간 최소화가 에너지 절감 및 고추 생육에 미치는 영향

김태영 · 우영희 · 조일환 · 권영삼 · 이시영 · 장한익
원예연구소

작 요

2000년 말 현재 전국 시설 재배면적은 52,189 ha이고 이중 가온 재배면적은 13,621 ha이다. 난방비용이 경영비중 차지하는 비중이 시설재배의 선진국의 15%에 비하여 25~30%를 차지하고 있어 난방비의 비중이 높다. 이러한 문제점을 해결하고자 가온시 시설의 난방공간을 최소화 할 수 있는 장치를 개발하여 처리별 환경 및 작물의 생육상태 및 연료소비량을 조사하였다. 시설내 난방용적을 보면 관행커튼이 661.5 m³에 비하여 상하이동 수평커튼은 264 m³로 약 60%를 줄일 수 있었다. 시설역제 재배에 있어서 처리별 연료 소비량은 관행에 비하여 상하이동 커튼 설치시 28%, 그리고 반축성 재배시에는 56%의 연료 절감의 효과가 있었고 추가로 시설내 온도 분포와 상대습도가 균일하였다. 상하이동 커튼구가 관행에 비하여 고추의 개화시기가 빨랐고 수확량도 증가하였다.

주제어 : 난방공간, 조절커튼, 에너지, 시설, 수확량