

Heating Efficiency of Different Heat Collection Methods for Greenhouse

Choi, Young-Hah* · Lee, Jae-Han · Kwon, Joon-Kook
Park, Dong-Kum · Lee, Han-Cheol

Pusan Horticultural Experiment Station, Yeongnam Agri. Exp. St., RDA, Pusan 616-300, Korea

Abstract

Three methods for heat collection, which were the flat plate solar collector, two fan with radiator, and square pipe method, were studied to use efficiently solar energy in the three different glasshouses for two years. The flat plate solar collector method was made use of the commercial solar collector with collection area of 24 m², the method of two fans with radiators collected solar energy at the top of the glasshouse, and the square pipe method circulated water around the glasshouse. An thermal storage tank was constructed underneath in each glasshouses. When an area of 1,000 m² was heated to the minimum temperature of 9°C, the decrease rate of heating fuel for the flat plate solar collector, the fan attached radiator and the square pipe methods were 7%, 19% and 28% respectively. The flat plate solar collector method, which could be heated approximately 40-50 m², was currently used by most of the farmer. Under the condition, the decrease rate of annual heating fuel was 14% which was not better for an economic annual heating fuel. If the fan with radiator method was operated, the use of installation and maintenance were required. So, it could not be good economic efficiency of solar heating. The heating efficiency of the square pipe method was relatively better than those of the flat plate solar collector or the fan attached radiator. Since the cost of materials and its installation for the use of square pipe method was lower than any other method. However, corrosion of the pipe, greater shade in the greenhouse and strength against the square pipe were problems that should be overcome in the square pipe method.

Key words : flat plate solar collector, radiator, square pipe, thermal storage heat tank, heating degree hour, fuel reduction

* Corresponding author

서 론

최근 환경보전형 농업에 대해 국내외적 관심이 높아지고 있고, 지구환경 및 기후변화 협약에서는 화석연료 사용량을 국가별로 규제하려는 움직임이 있다. 더구나 우리나라는 화석연료를 전량 수입에 의존하고 있고, 최근에는 경제위기로 유가가 급등함에 따라 생산비중 난방비가 점유하는 비율이 증가되어 경쟁력 저하의 주 요인이 되고 있으므로 어느 때 보다도 난방에너지 절감에 대한 연구의 필요성이 증대되고 있다. 지금까지 난방에너지 절감에 관한 연구는 주로 난방 에너지를 적게 들이고도 작물을 재배할 수 있는 생에너지 재배기술의 개발, 에너지를 절약할 수 있는 시설구조와 자재의 개발, 난방용 기계장치의 효율적 이

용 및 석유 대체연료에 의한 난방에너지 절약 등에 관해 수행되어왔다. 자연열(태양열)이용에 관한 연구는 1970년대의 에너지 파동을 계기로 관심을 가지게 되었는데 초기에는 농산물 건조에 관한 연구(Lee 등, 1978; Min과 Choi, 1978)가 많았고 이어서 집열판의 성능검정(Park 등, 1979; Moon, 1985), 토양소독(Choi 등, 1992), 잠열축열재의 열특성(Song과 Ryou, 1994; Chang 등, 1998)등에 대한 연구가 이루어져 왔으며 최근에는 온실난방에 이용하는 방법(Kim 등 1998, 1999; R.D.A., 1999)등에 대한 연구가 행해지고 있다. 본 실험의 목적은 자연열(태양열)을 온실난방에 효율적으로 이용하고자 몇 가지 새로운 집열장치를 설치하고 장치별 집열효과를 검토하는 데 있다.

재료 및 방법

1999년부터 2000년까지 2년간 3동의 와이드스팬(wide span)형 유리온실(폭 8.3 m, 길이 12 m, 축고 2.5 m, 동고 4 m, 면적 100 m²)에 서로 다른 집열시스템을 설치하였다. 즉, 집열면적과 경사각이 각각 24 m², 50°로서 시판되고 있는 평판형의 태양열 집열기(평판형, Solar hart Inc.)을 온실 외부에 설치하여 이용하는 방법, 직경과 송풍량이 각각 1 m, 2.5 m³ · m² · min로서 집열용 라디에이터(radiator)가 부착된 2개의 유동팬을 천창부에 설치하고 천창을 밀폐한 후 온실상부의 열을 집열하는 방법(Fig. 1), 온실의 중도리 전부에 물이 순환되는 각관(75×45×3 t)을 1 m 간격으로 10줄을 설치(온실 길이가 12 m이므로 전체 길이는 120 m에 해당함)하여 집열하는 방법(Fig. 2) 등이다. 온실의 각 동마다 지하에 약 26톤의 저수 능력

을 지닌 가로 8.6 m, 세로 1.5 m, 깊이 2 m의 축열조를 설치한 후 중간을 막아 저온수조와 고온수조로 구분하였다. 수조 중간 1.5 m 높이에 통수로를 내어 일정량의 물(약 15톤)이 지속적으로 순환될 수 있도록 하였고 실내기온이 저온수조의 수온보다 높아지면 저온수조펌프가 작동되게 하였다. 온실내외 및 축열조 내부 온도변화는 Pt 100Ω의 백금측온저항센서와 데이터 로거(CR23X, Campbell Scientific Inc.)를 이용하여 측정된 후 난방디그리아워와 집열량을 계산하였다. 실내기온을 9°C로 설정한 가운데 축열수의 방열에 의해서 난방을 실시하였으며, 실내기온이 9°C 이하로 떨어지게 되면 보조난방기로서 100,000 kcal · h⁻¹의 난방능력을 지닌 온풍기를 가동하였다. 난방디그리아워와 보조난방기 가동시간을 이용하여 각각 소요 연료량과 실제 연료소모량을 계산하였다.

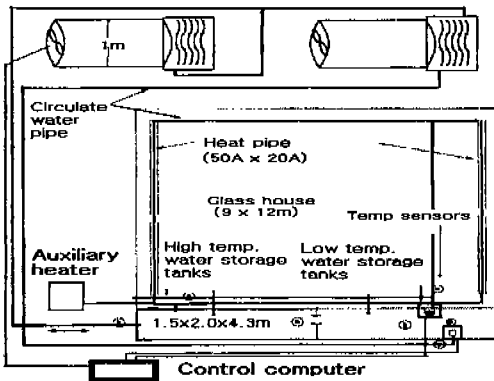


Fig. 1. The method of installing two fans attached to radiators to collect solar energy at the top of the glasshouse.

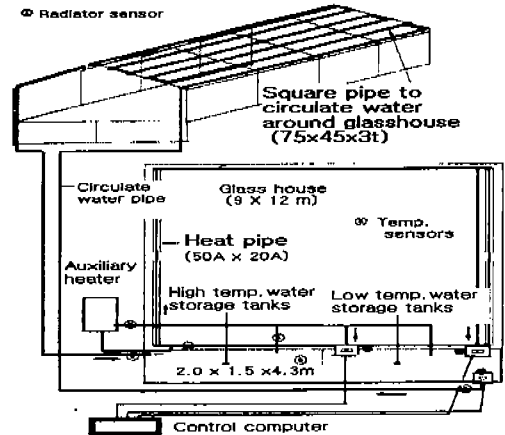


Fig. 2. The method of installing a square pipe to circulate water around the glasshouse.

Table 1. Change of monthly mean water temperature^c in different heat collection methods

Month	Solar collector ^y			Square pipe ^x			Fan attached radiators ^w		
	High temp. (A)	Low temp. (B)	A-B	High temp. (C)	Low temp. (D)	C-D	High temp. (E)	Low temp. (F)	E-F
'99. Nov.	36.3	29.3	7.0	22.6	19.9	2.7	25.4	23.4	2.0
	31.9	24.8	7.1	22.3	19.7	2.6	21.9	20.0	1.9
'00. Jan.	34.0	26.8	7.2	25.8	23.1	2.7	24.3	22.4	1.9
	32.1	25.9	6.2	22.5	20.0	2.5	22.8	20.8	2.0
	29.8	23.2	6.6	21.6	18.8	2.8	23.7	22.0	1.7
Mean	32.8	26.0	6.8	23.0	20.3	2.7	23.6	21.7	1.9

^y Amount of heated water per one day : 6,000 L.

^y Flat plate solar collector with collection area of 24 m².

^x Square pipe(75×45×3 t), in which water is circulated, is used as purlin.

^w Fan attached radiators to collect the solar energy at top of the glasshouse.

결과 및 고찰

Table 1은 집열방법별 집열수조의 월평균 온도변화를 측정된 것이다. 집열수조의 월별 온도변화는 2월, 1월, 12월 순으로 많았다. 본 연구에서 사용된 집열판 24 m²의 태양열집열기는 온실 약 150평을 가온하기 위해 설치된 것이고, 각판 및 유동팬은 각각 30평의 온실을 가온하고자 설치된 것이므로 축열조의 수온을 직접 비교하는 것이 무리이나, 고수조와 저수조의 온도 차이는 공시된 태양열 집열기에서 가장 많았고 다음으로 각판, 유동팬 집열 시스템의 순서로 나타났다.

Fig. 3은 2000년 1월 18일, 수평면 일사량이 10.98 MJ·m⁻²로 맑은날의 수평면 일사량에 대한 집열방법별 집열량을 나타낸 것이다. 집열방법에 따른 집열량은 태양열집열기에서 가장 높았다. 각판과 유동팬에서의 집열량은 태양열집열기에 의한 집열량의 20% 정도였으나, 각판에서의 집열량이 유동팬의 경우에 비해서 다소 높게 나타났다. 시간대별 집열량은 태양열집열기에서

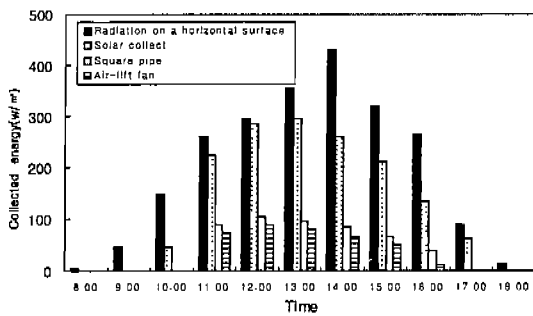


Fig. 3. Collected energy by the different heat collection methods on Jan. 18, 2000.

13시경에, 각판과 유동팬은 12시경에 가장 높게 나타났다. 이같은 이유는 집열기의 집열판은 13시경에 태양고도와 가장 직각에 가까웠을 것이고 온실상부의 기온은 12시경에 가장 높았을 것으로 생각되었다.

Fig. 4는 난방설정온도별 부산지역의 1999년 11월 1일부터 2000년 3월 31일 까지 5개월간의 난방 디그리워 추세를 나타낸 것이다. 난방설정온도(x)를 9 °C로 하였을 때 통계 총 난방 디그리워(y)는 13,000 °Chr 정도였다. Kwon 등(1984)도 비슷한 보고를 하였으나, Woo 등(1998)은 27,000°Chr로 보고하였다. 조사연도의 기상조건이나 지역에 따라 달라질 수 있지만 2배 이상의 차이가 있으므로 재검토가 필요할 것으로 생각되었다.

Table 2는 난방설정온도를 9°C로 하였을 경우의 집열방법별 총집열량을 나타낸 것이다. 집열면적이 24 m²인 태양열집열기를 이용하여 1,000 m²(약 300평)을 난방할 경우 소요열량의 7.6%를 집열할 수 있는 것으로 나타났다. 그러므로 현재 농가에 많이 보급되어 있는 집열면적 40~50 m²의 태양열 집열기로서는 소요열

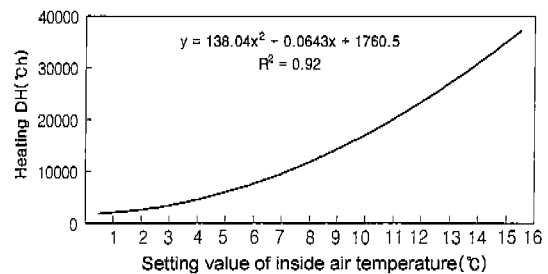


Fig. 4. Regression relationship between the setting value of inside air temperature and heating degree hour.

Table 2. Total amount of heat collection and heating efficiency in different heat collection methods^z

Month	Month	DH ^y (hr)	Term heating load ^x (1/1,000kcal · m ⁻²)	Amount of heat collection		
				Solar collector	Square pipe	Fan attached radiators
'99.	Nov.	740	323,570	71,400 (22) ^w	275,400 (85)	204,000 (63)
	Dec.	2,730	1,193,690	89,460 (8)	327,600 (27)	239,400 (20)
'00.	Jan.	3,920	1,714,020	86,460 (5)	324,000 (19)	228,000 (13)
	Feb.	4,320	1,888,920	96,720 (5)	390,000 (21)	312,000 (17)
	Mar.	1,280	559,680	87,120 (16)	369,600 (66)	224,400 (40)
Total		12,990	5,679,880	431,160 (7.6)	1,686,600 (29.7)	1,207,800 (21.3)

^z Inside air temperature was set as 9°C for greenhouse heating with floor area of 1,000 m².

^y Heating degree hour(Mihara, 1980) : If $Q_c \geq Q_h$, $DH_m = 24(Q_c - Q_m)$, if $Q_c < Q_h$, $DH_m = 24(Q_h - Q_m) \cdot (Q_c - Q_i)^2 / (Q_h - Q_i)^2$, but $Q_c < Q_i$, $Q_c - Q_i = 0$; Q_c = setting temp., Q_h = maximum temp., Q_i = minimum temp., Q_m = mean temp.

^x Term heating load(Lee와 Moon, 1993) $Q = A_w \cdot U \cdot 0.75 \cdot (T_i - T_o) \cdot (1 - fr)$; A_w = surface area of glass house(200m²), U = heating load coefficient (5.3kcal · m⁻² · °C⁻¹), fr = thermal saving rate of covering materials(0.45).

^w Value in parenthesis means the percentage of energy collected by different collection methods collection to term heating load.

Table 3. Operating time of auxiliary heater and amount of fuel saving for heating in different heat collection methods ^z

Month	Fuel calculated ^y (1/1,000 L · m ⁻²)	Solar collector		Square pipe		Fan attached radiators	
		Operating time of auxiliary heater (min.)	Fuel saved (1/1,000 L · m ⁻²)	Operating time of auxiliary heater (min.)	Fuel saved (1/1,000 L · m ⁻²)	Operating time of auxiliary heater (min.)	Fuel saved (1/1,000 L · m ⁻²)
'99. Nov.	500	2,098	98	532	398	981	312
	1,830	8,952	115	6,896	509	7,694	356
'00. Jan.	2,630	13,097	121	11,301	465	12,095	313
	2,890	14,407	130	12,116	569	12,831	432
	860	3,847	123	1,670	540	2,975	290
Total	8,710	42,402	587 (7) ^x	32,515	2,481 (28)	36,577	1,703 (19)

^z Inside air temperature was set as 9°C for greenhouse heating with floor area of 1,000 m².

^y Fuel calculated under assumption that light oil was used as fuel(Lee, Moon, 1993). $V_f=Q/H \cdot N$: V_f =amount of fuel calculated, Q=term heating load, H=caloric value of light oil(8,700 kcal/L), N=thermal efficiency of hot water heater(0.6).

^x Value in parenthesis means the percentage of fuel saved to fuel calculated.

량의 15% 정도를 얻을 수 있는 것으로 판단된다. Murata(1975)는 30 m²의 집열판을 이용하여 300평을 난방할 경우 집열판의 집열량은 필요량의 20%정도라고 하였는데 이와 같은 차이는 조사기간의 일사량, 축열용매 및 집열방법 등의 차이에 의한 것으로 생각되었다. 유동팬은 300평당 20대 정도 설치하면 필요열량의 21% 정도를 얻을 수 있으나 유동팬의 제작, 설치 및 유지비 부담이 많은 것으로 나타났다. 각관은 H나 I 형강에 비해 추가 부담없이 설치가 가능하고 집열량도 필요량의 30% 정도로 높았다. 그리고 중도리(purlin) 뿐만 아니라 서까래(rafter)도 집열판으로 이용하면 집열량이 더욱 증가될 것이나, 이 경우 관의 부식, 골조의 표면적 증가에 따른 시설내 차광 증가 및 각형구조로 인한 강도 저하 등이 검토되어야 할 것이다. 집열판은 11월과 3월, 각관은 11월에 집열량이 소요열량보다 많았고 기온이 낮은 1월은 난방부하가 커서 집열량이 가장 적었다.

Table 3은 난방설정 온도를 9°C로 하였을 경우 보조난방기 작동시간에 따른 연료절감량을 나타낸 것이다. 총 난방연료 절감량은 1,000 m²당 태양열 집열기에서 587 L, 각관이 2,481 L, 유동팬이 1,703 L였다. 태양열 집열기와 유동팬 집열구는 장비의 설치, 유지 및 감가상각비를 감안하면 현재로서는 경제성이 없을 것으로 생각되었다. 각관의 경우 관 자체의 자재비나 설치비에 추가부담이 거의 없는 가운데 년 2,480 L 정도의 연료를 절감할 수 있으므로, 앞으로 보다 열전도율이 높고 내부식성이 강한 관 자체의 개발, 서까래를 집열판으로 이용하는 방법 개발, 집열 및 방열방법

의 개선(Yoon 등, 1984; Nelson, 1991) 등으로 집열 효율을 높일 경우 태양열을 효과적으로 이용할 수 있는 방법으로 생각되나, 현재로서는 앞에서 언급한 것과 같은 문제점들이 우선 해결되어야 할 것이다.

Literature cited

1. Chang, J.T., Y.S. Ryou, J.H. Yun, J.E. Son, Y.J. Kim, G.C. Kang and H.K. Song. 1998. Stabilization of physical properties and thermal characteristic analysis of phase change material. J. Bio-Env. Con. 7:214-218 (in Korean).
2. Choi, J.S., Y.H. Um, K.Y. Kang, Y.H. Choi, K.H. Kang and J.K. An. 1992. Studies on control of phytophthora root-rot and root-knot nematodes by soil solarization. Res. Rept. RDA(H) 34(2):69-73 (in Korean).
3. Kim, J.H., C.S. Kim, B.S. Myung, J.S. Choi, G.H. Koo and T.W. Kim. 1998. A development of automation system and a way to use solar energy system efficiency in greenhouse(1). J. Bio-Env. Con. 7:15-24 (in Korean).
4. Kim, J.H., G.H. Koo and T.W. Kim. 1999. A study on the cucumber growth by soil warming and warmed water irrigation using solar energy system(3). J. Bio-Env. Con. 8:1-8 (in Korean).
5. Kwon, Y.S., Y.B. Lee and S.K. Park. 1984. The basal establishment on agrometeorological environment for greenhouse for protected cultivation management in Korea. Res. Rept. ORD(H):42-50 (in Korean).
6. Lee, M.N., D.H. Kuem and N.H. Ryu. 1978. Drying of crops with solar heated air. Journal of the KSAM. 3:37-45 (in Korean).
7. Lee, B.I. and W. Moon. 1993. Protected horticulture. p. 70-78. Press of Korea National Open University (in Korean).

- Korean).
8. Mihara, G. 1980. Greenhouse design and construction. Yanghyundang. Tokyo. p. 17-29 (in Japanese).
 9. Min, Y.B. and K.H. Choi. 1978. A study on the performance of flat-plate solar air collector and its application to grain drying. Journal of the KSAM. 3:114-125 (in Korean).
 10. Moon, S.H. 1985. Prediction equation of solar collector outlet air temperature. Journal of the KSAM. 10: 48-53 (in Korean).
 11. Murata, Y. 1975. Crop productivity and solar energy utilization in various climates in Japan. p. 10-11. Press of Tokyo University.
 12. Nelson, P.V. 1991. Greenhouse operation and management. Prentice hall. Englewood Cliffs, NJ, USA. p. 140-156.
 13. Park, J.K., K.S. Yon and K.D. Tcha. 1979. A study on the performance of air heaters. J. Kor. Soc. Agr. Eng. 21:78-85 (in Korean).
 14. Song, H.K. and Y.S. Ryou. 1994. Development of Solar energy underground latent heat storage system for greenhouse heating. Journal of the KSAM. 19:211-221 (in Korean).
 15. Woo, Y.H., D.U. Kim, S.Y. Lee, T.Y. Kim and H. I. Jang. 1998. Heating degree hour modeling of greenhouse in different areas. Horticultural Research Institute. Annual Research Report. p. 277-287 (in Korean).
 16. Yoon, C.J., Y.W. Lee and C.D. Ban. 1984. Environmental characteristics in a plastic house with underground heat storage system and its effect on the growth of tomato in the southern area. Res. Rept. RDA(H) 26(1):56-61 (in Korean).

유리온실의 태양열 집열방법별 집열효과

최영하* · 이재한 · 권준국 · 박동금 · 이한철

영남농업시험장 부산원예시험장

적 요

자연열(태양열)을 효율적으로 이용하기위해 1999년부터 2000년 까지 2년간 상면적이 100 m²인 3동의 유리온실에 각기 다른 집열시스템을 설치하였다. 즉, 집열면적과 경사도가 각각 24 m², 50°로서 현재 시판되고 있는 태양열 집열기(평판형, Solar hart Inc.)를 이용하는 방법, 직경과 송풍량이 각각 1 m, 2.5 m³ · m² · min로서 라디에이터가 부착된 2개의 유동팬을 천장부에 설치하고 천창을 밀폐한 후 온실상부의 열을 집열하는 방법, 온실의 중도리 전부를 물이 순환되는 각관(75×45×3 t, 1 m 간격×10줄×온실길이 12 m=120 m)으로 설치하여 집열하는 방법 등으로 하였다. 각 동마다 지하에 26톤의 저수 능력을 갖는 D2000×W1500×L8600의 축열조를 설치한 후 중간을 막아 저온수조와 고온수조로 구분 하였고, 수조 중간 1.5 m 높이에 통수로를 내어 일정량의 물(약 15톤)이 지속적으로 순환될 수 있도록 하였다. 최저기온 9°C로 설정하여 1,000 m²를 공간 난방할 경우 난방연료 절감율은 태양열 집열기, 유동팬 및 각관에서 각각 7%, 19%, 28%로 나타났다. 태양열 집열기를 이용하는 대부분의 농가에서는 40~50 m² 정도의 집열면적을 갖는 집열기를 이용하고 있는데 이 경우 연간 난방연료 절감율은 14% 정도로서 경제성이 없으며, 유동팬도 집열효율에 비해 제작, 설치 및 유지비가 과다하게 소요되므로 경제성이 없다. 각관의 경우 관 자체의 자재비나 설치비에 추가부담이 적으면서 집열효율이 비교적 높기 때문에 관의 부식, 골조 표면적 증가에 의한 시설 내 차광 증가, 중도리의 각형 구조로 인한 강도저하 등의 문제가 해결되면 집열 방법으로 고려될 수 있을 것이다.

주제어 : 태양열 집열기, 라디에이터, 각관, 축열조, 난방디그리아워, 연료절감