

Greenhouse Bulk 乾燥機에 의한 太陽熱利用에 關한 研究 (第II報)

李 哲 煥 · 卞 珠 燮*

韓國人蔘煙草研究所 大邱試驗場 忠北大學校 煙草學科*

Solar Energy Utilization in a Greenhouse Bulk Curing and Drying System. (II)

Lee Chul-Hwan, Byun Ju-Sub*

Daegu Experiment Station, Korea Ginseng & Tobacco Research Institute.

*Dept. of Tobacco Science, Chungbuk National University.

(Received for publication, March 18, 1983)

ABSTRACT

The greenhouse bulk curing and drying system utilization of the direct solar energy was tested to evaluate that how much fuel could be saved for curing flue-cured tobacco at the Dae Gu Experiment Station (North latitude : 35°49'), in 1979-1982.

The air temperature and total radiation were 19.0 to 38.5°C and 1311.0 to 1412.7 cal/cm²/day during the 4 replicated curing test, respectively.

The greenhouse bulk curing and drying system was able to cut fuel consumption by 32% compared with the conventional bulk curing barn.

We could obtain almost same utilization efficiency of solar energy in 1982 compare with normal year, mainly increasing the heat receiving area.

결 론

기존 energy 자원의 고갈에 대비하여 대체energy 자원을 개발하고자 하는 노력은 세계적 추세이며, 태양열은 생산된 농산물을 건조, 가공하는데 직, 간접으로 이용되고 있으나 1950년대 이후 보다 효율적이고 적극적인 이용방법이 많은 연구자들에 의하여 개발되었다^{1,3,6,14,15,17}.

특히 energy 자원의 해외 의존도가 높은 우리나라의 실정으로는 태양열을 비롯한 대체energy 자원에 대한 이용기술 및 기자재의 개발이 시급

히 요구되고 있으며 그중 가장 유망한 태양열 이용분야의 경우, 설치재료와 기구의 가격이 높고 저장이 곤란하며 일별 및 계절별 energy의 변이가 심한 등 많은 어려움이 뒤따르고 있다^{5,12,13,20,21,23}.

그러나 화석연료의 자원은 한계가 있고 더우기 석유의 생명환(Life cycle)에서는 이미 그 전성기를 지나 이제 폐쇄기에 접어들고 있다^{2,5,9}. 따라서 대체energy 원으로서 화석자원에 비해 태양energy가 갖는 여러가지 장점때문에 그 연구가 현재 다각도로 진행되고 있으며, 미래의 energy

원으로서 기대되는바 크다^{16,18,19}.

Huang와 Bowers⁹ 그리고 Huang¹⁰ 이 개발한 Greenhouse Bulk Curing and Drying System 은 Greenhouse내에 태양열을 직접 집열, 저장하여 잎담배 건조에 이용하도록 설계되어 있어 별도의 집열, 저열 그리고 이용등을 위한 장치가 필요치 않아 비교적 투자시설비가 적게 소용되어^{4,11,22} 이를 우리나라 실정에 맞도록 변형 설계하여 그 이용 가능성을 시험하여 제Ⅰ보로 이미 보고한바 있으며¹⁸ 열효율을 높이기 위하여 몇 가지 보완 재설계하여 시험한 결과를 제Ⅱ보로 보고하는 바이다.

재료 및 방법

온실의 재료 및 규격은 제Ⅰ보와¹⁸ 대체로 같으나 1981년도에는 온실문을 Fiberglass로 제작하여 태양열의 수열면적을 크게 하였으며, 연통은 온실내로 통하여 손실되는 열을 최대한으로 이용함과 동시에 태양열의 수용면적활을 할수있게 하였다. Bulk 건조기의 panel은 관행Bulk 건조기와 같이 하였으나 두께가 0.5 cm 얇은 2.5 cm로하였고 Air Duct의 높이 45cm중 하단부의 20 cm는 건조실내로 설치되게하여 회복열의 이용이 제Ⅰ보¹⁸에서 보다는 훨씬 유리하게 설계되었으며 Air Duct의 하단이 건조실내로 들어오게 함으로서 온실의 높이를 20cm 낮추어 Fiberglass의 소요량을 줄였다. 이어서 1982년도에는 그림 1과 같

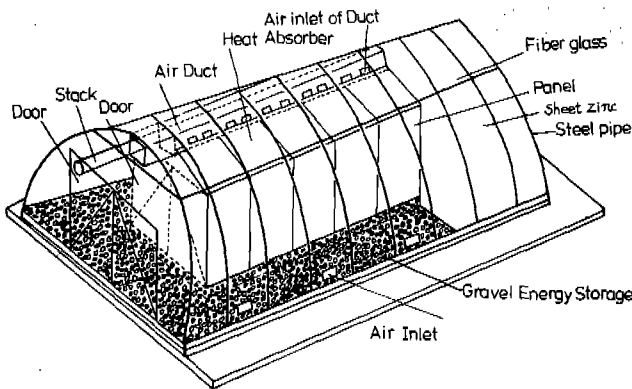


Fig 1. Perspective view of greenhouse bulkcuring and drying system.

이 재료비를 줄이기 위하여 열효율이 높을것으로 생각되는 수직열 흡수판 상단부(지붕부분)만F-iberglass로 설치하고 타부분은 흑색paint로 coating된 골합석(corrugated zinc sheet)으로 대체하여 Fiber glass 소요량에서 60%, 전체재료비에서는 49.1%를 절감하여 시험하였다.

결과 및 고찰

1982년도의 황색종 잎담배 건조기간중의 1일 평균 일조시간 및 일사량은 그림 2와 같이 평년에 비하여 8월상, 하순을 제외하고는 일조시간에서 0.1~0.5시간이 걸었고 일사량에 있어서도 8월하순을 제외하고 계속 높은 분포를 보여 태양열 이용에는 양호한 기상상태였다.

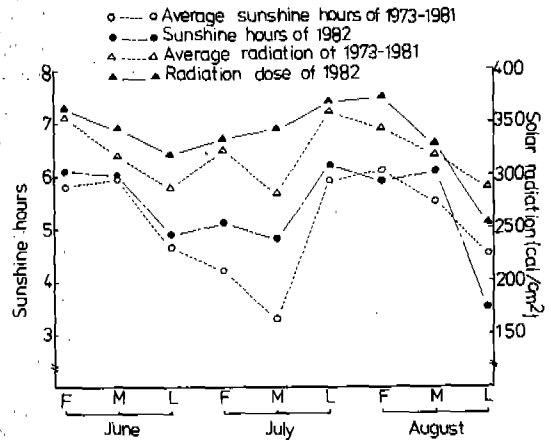


Fig 2. Mean sunshine hours and radiation during curing period at Dague Experimental Station.
* F, M, and L are the first, middle last third of a month, respectively.

1982. 7.9 외온은 25~38°C의 분포이고 일사량 372cal/cm²/day인 청천일의 오전 6시부터 오후 8시사이의 온실내 양상을 조사한 결과는 그림 3과 같다. 동천정 및 서천정의 최고온도 시달 시간은 각각 오후 3시경이었고 이때의 온도는 80°C 및 83°C로서 동천정에 비해 서천정이 3°C가 높았다. 수직열 흡수판의 온도변화도는 청천온도 변화와 거의 같은경향이었고, 동서편 열흡수판의

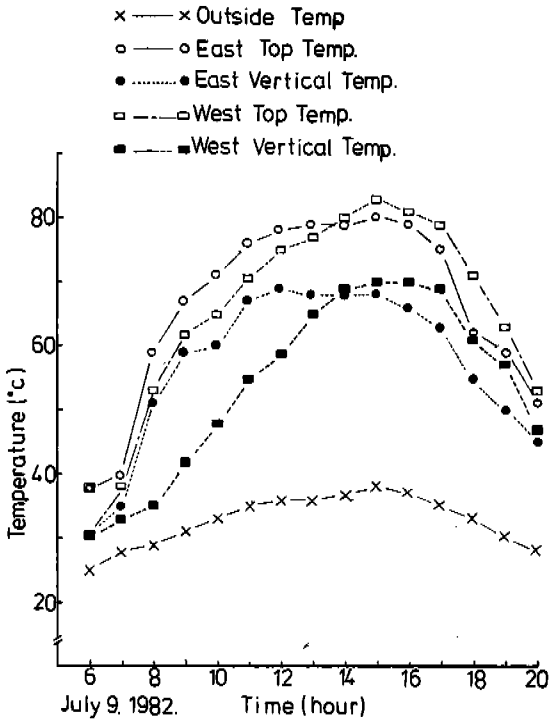


Fig 3. Typical surface temperatures of absorbers in erenn-greenhouse during a tobacco curing and daying test.

온도변화는 일사량의 강약에 가장 크게 지배되고 다음으로 일조시간의 장단, 외온의 변화순으로 영향을 미치는 것으로 고찰되었다.

Greenhouse Bulk 건조기를 이용한 담배건조 기간 동안의 온실내 온도변화 양상은 그림 4와 같으며, 천정온도는 열흡수판 상부 20cm 부위의 공기온도로서 최고온도가 79.0℃를 나타내었고 이때의 외온은 37℃였다.

건조경과에 따라 Air Duct에서 기관부로 들어오는 흡입공기의 최고온도는 68℃ 이었고, 흡입공기가 62℃일때 건조실내 유지가능 온도는 54℃로서 약 8℃의 차가 있었다. 또한 전건조기간중 흡입공기의 평균온도는 45.9℃로 외온평균 27.2℃와는 18.7℃의 차를 보였는데 이 차이 18.7℃를 태양열 이용온도로 볼 수 있으며, 선택고정종기까지의 주간에는 흡입공기가 건조실내의 건조경과에 따라 유지해야할 온도보다 높으므로 연료의 소모가 거의 없었다.

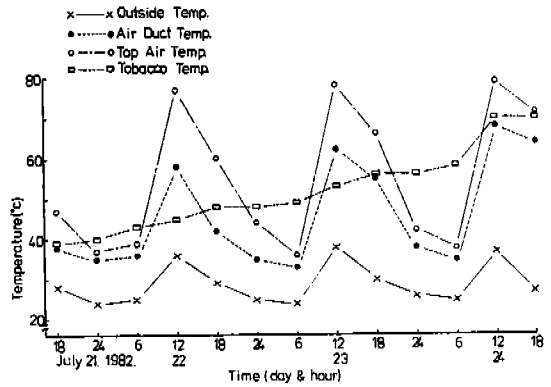


Fig 4. Temperature patterns during greenhouse bulk tobacco curing and drying test.

관행 Bulk 건조기와 Greenhouse Bulk 건조기를 4회에 걸쳐 대비건조 시험한 결과, 연료의 절감량은 표 1과 같이 Greenhouse Bulk 건조기가 관행 Bulk 건조기에 비하여 외온 평균 28.2℃, 평균일조시간 43.2hr., 평균일사량 1361.5cal/cm²/day의 기상조건하에서 1회34%, 2회23%, 3회32%, 4회38%의 절감율을 보여, 평균32%의 연료가 절감되었다. 이 연료절감율을 I보¹³⁾의 25%에 비교하면 7%가 높았는데 이는 재료 및 방법에서 기술한 바와같이 온실의 개축 및 시설보완에 따른 수열면적의 증가와 양호한 기상조건으로 건조기간이 경과되었기 때문인 것으로 고찰되었다.

표 2는 1979년부터 1982년도까지 4개년의 건조시험 결과를 나타낸 것으로 연도별로 각각 다른 기상조건에서 연료절감량은 22~33%로 평균 28%의 절감량을 보였다.

1982년도에는 그림 1에서와 같이 투자비의 인하를 목적으로 재료의 일부를 열율이 다소 떨어지는 골합석(corrugated zinc sheet)으로 대차하였음에도 32%라는 비교적 높은 연료절감을 가져왔다.

이것은 1982년도가 일조시간 및 일사량이 비교적 많은편이며, Fiber glass의 천정과 Air Duct의 간격을 1981년도까지와는 달리 40cm에서 15cm로 좁혀 열효율을 증대시킨 결과로 생각된다.

Table 1. Comparison of greenhouse and conventional bulk curing barn for the fuel to curing tobacco

Test	Curing system	Leaf position	Fresh leaves hanged (kg/barn)	Outside temp. (°C)	Total sunshine hours	Total radiation (cal/cm ²)	Fuel consumption		
							Liters per curing	Liters per fresh leaves	Index
1st	Con. bulk	Trash	998	19-34	43.5	1,371.5	132.5	0.133	100
	G. H. bulk						87.5	0.088	66
2nd	Con. bulk	Luge	1,080	22-38	41.5	1,412.7	145.0	0.134	100
	G. H. bulk						111.5	0.103	77
3rd	Con. bulk	Leaf	1,100	21-37	44.2	1,350.9	138.0	0.125	100
	G. H. bulk						95.0	0.086	68
*4th	Con. bulk	Tips	1,010	19-38	43.7	1,311.0	137.5	0.136	100
	G. H. bulk						85.0	0.084	62
Average	Con. bulk		1,047				138.9	0.132	100
	G. H. bulk						94.7	0.090	68

* Operated after 80% yellowing of harvested tobacco leaves had been reached.

Total 2. Comparison of weather data and fuel saving of greenhouse bulk curing and drying system between 1979, 1980, 1981 and 1982

Year	Outside temp.		Total sunshine		Total solar radiation		Fuel savings	
	C	Index	Hours	Index	cal/cm ²	Index	%	Index
1979	27.5	100	42.5	100	1222.4	100	25	100
1980	25.5	93	32.0	75	911.2	75	22	88
1981	27.0	98	37.9	89	1203.3	98	33	132
1982	28.2	103	43.2	102	1361.5	111	32	128

태양열을 이용한 Greenhouse의 Bulk 건조기 연료절감 양상은 Greenhouse의 규모, 건조기간 별 일조시간 및 일사량에 따라 크게 상이하게 나타나고, 특히 건조기간 중에도 중괄건조 동안의 기상조건에 크게 좌우 것이나, 4개년의 건조시험결과 관행 Bulk 건조기에 비하여 30% 내외의 연료절감은 그 가능성이 확인 되었다.

관행 Bulk 연료기 대비 Green house Bulk 건조기의 이론적 태양열 이용량을 실측치와 비교하기 위하여 4개의 건조시험중 연료 절감율이 가

장 높았던 1회건조 기간을 택하여 동기간에 이용된 태양열 이용량을 계산한 결과는 표3 에서와 같이 이론치와 실측치 간에는 유의한 차이가 없었다.

건조기간별로 관행 Bulk 건조기와 Greenhouse Bulk 건조기의 연료소요 양상을 조사한 결과는 표4와 같이 선택고정기, 중괄건조기, 황번기 순으로 모연료소가 많았으며, 황번기까지의 절감량은 전체 절감량의 83%나 차지하여 대부분의 연료절감은 이기간 동안에 이루어지는 것으

Table 3. Calculated and observed amount of solar energy of fuel saving in greenhouse bulk barn.

Curing system	Period	Fresh leaves hangd (kg/barn)	Liters per curing	Solar energy used in curing			Fuel savings		
				Direct solar energy* (Kcal)	Recovery heat energy** (Kcal)	Total (Kcal)	Calculated (L)	Observed (L)	Difference (L)
Con. Bulk	July 2-7	998	132.5						
G. H Bulk	July 2-7	998	87.5	459,712 (43.81)	35,499 (3.41)	495,211 (47.21)	47.2	45.0	2.2

* Airflow × specific weight (Air) × specific heat × difference of temperature
(Day Air Duct Temp. - Outside Temp.)

** Airflow × specific weight (Air) × specific heat × difference of temperature
(Night Air Duct Temp. - Outside Temp.)

로가 타났고, 절감량에 있어서 절대량은 선택고정기가 길어 중풍건조기에 비해 높았으나 단위 시간당 절감량은 중풍건조기가 높았다.

따라서 연료절감 효과를 극대화하기 위하여는 선택고정기 및 중풍건조기가 주간에 경과되는 시간이 많아야 하겠으며, 기상조건 및 건조경과에 따라 다르겠으나 4개년의 건조시험 결과 나타난 바로는 잎담배 확후 건조실 발달기 시간을 22시 이후로 할 경우 비교적 양기간이 주간에 경과되는 시간이 많은 것으로 관찰되었다. 그러나 점화 시간의 선정은 수확엽의 상태, 생엽중 및 기타

건조조각의 관여도에 따라 다소의 변동이 있을 것으로 생각된다.

관행 Bulk 건조기와 Greenhouse Bulk 건조기의 열효율율을 비교한 결과는 표 5 와 같이 관행 Bulk 건조기의 조열효율이 45.2%로 나타나 Greenhouse Bulk 건조기가 관행 Bulk 건조기에 비해 33%가 높은 것으로 나타났다. 따라서 1982년도의 경우 관행 Bulk 건조기 대비 Greenhouse Bulk 건조기의 조열효율이 33%로 높았을 때 연료절감율은 34%, 실질감량은 45ℓ을 얻을 수 있었다.

Table 4. Comparison of fuel consumption patterns for tobacco curing stage between greenhouse bulk curing and conventional bulk barn in 1982

Curing stage	Period	Require-ment time	Fuel consumption		Fuel saving	
			Con. bulk (L)	G. H bulk (L)	L	%
Yellowing	July 2. 18 : 00 July 6. 21 : 00	34	31.0	23.5	7	17
Leaf drying		38	56.0	36.5	20	43
Stem drying		23	45.5	27.5	18	40
Total		95	132.5	87.5	45	100

Table 5. Comparison of rough thermal efficiency for curing between greenhouse bulk curing and coventional bulk barn in 1982.

Curing system	Fresh leaves hanged (kg/barn)	Cured leaves hanged (kg/barn)	Fuel consumption (l)	Rough thermal efficiency*	
				%	Index
Con. Bulk	998	120	132.5	45.2	67
G. H. Bulk	998	120	87.5	68.4	100

$$*n = \frac{580 \times (WF - WD)}{8,500 \times I} \times 100$$

WF = Weight of green leaves (kg)

WD = Weight of cured leaves (kg)

I = Kerosene consumption (l)

580 = Heat of vaporization (Kcal/kg)

8500 = Kerosen (Kcal/kg)

관행 Bulk 건조기 대비 Greenhouse Bulk 건조기의 경제성을 비교한 결과는 표 6 과 같으며, 투자량에 대한 이자를 적용치 않을 경우는 물론, 이자율 연이 8%, 10% 적용시도 관행 Bulk 건조기 대비 연간 각각 10% 및 5% 정도가 유리한

것으로 나타났다.

1981년까지와는 달리 재료의 일부를 가격이지저렴한 골합석으로 대체하고 Greenhouse의 전체 높이를 낮추어 재료비에서 40%를 줄여, 설계 변경으로 인한 총투자비는 491%가 절감되었다.

Table 6. Life cycle cost analysis of greenhouse bulk curing and drying system

Curing system	Additional system investment							
	Cost of materials			Cost of construction			Mainten-	
	Total cost	System life time	Annual cost	No. of men	Price	Total cost	Annual cost	ance cost
Con. bulk	181,180	20	9,059	8	6,000	48,000	2,400	4,584
G. H. bulk	332,100	20	16,605	9	6,000	54,000	2,700	7,722

Curing system	Cost of fuel(Kerosene)				Others utilized		Increasing cost interest rate			
	Fuel consumption (1/barn)	Price (won)	No. of curing	Total (won)	Construc- tion cost of seedbad(A)	life time	(A) System est rate(Per year)			
							0 %	Index	8 %	Index
Con. bulk	139	292	5	202,940	88,040	19,400	326,423	100	368,402	100
G. H bulk	95	292	5	138,700			165,727	51	318, 27	86

* All cost for the fuel and construction materials are price on August, 1982.

결 론

Hanug 등의 Greenhouse bulk curing and drying system을 변형 보완하여 황색종 잎담배의 건조 및 연료절감 가능성을 검사 하였던 바 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. Greenhouse Bulk 건조기의 연료 소모량은 관행 Bulk 건조기에 비하여 4 개년 평균 28%가 절감되었다.

2. 이용된 태양열은 이론치와 실측치간에 차이가 없었고 관행 Bulk 건조기 대비 조열효율이 33%일때 연료절감율은 34%, 실절감량은 45%이었다.

3. 건조각기별 연료소모 양상은 선택고정기, 중골건조기 순으로 많았으며 대부분의 연료절감은 선택고정기 및 중골건조기에 이루어지고 이때의 절감량은 전체절감량의 83%이었다.

4. 경제성 부분의 결과는 이자율 년이 8%, 10% 적용시 관행 Bulk 건조기에 비하여 연간 각각 10% 및 5% 정도 유리한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Akyunt, M., and M. K. Selcuk. Solar Energy, 14(3) : 313-320 (1973)
2. Bevil, V. D., and Brandt, H., Solar Energy, Vol. 12 : 29 (1976)
3. Bailey, P. H., and W. F. Williamson., J. Agr. Engin. Res., 10 (3) : 191-196 (1965)
4. Bourdette, V. R., Agr. Res., 26(11) : 6-7 (1978)
5. Buchberg, H., and Eclwares, O. K., Solar Energy, Vol. 18 : 193-203 (1976)
6. Buelaw, F. H., Mich. Agr. Expt. Sta. Quart. Bul., 4 (2) : 421-429 (1958)
7. Chang, H. S., Agr. Mechanization in Asia : 11-15 (1978, Winter)
8. 車宗熙, 安熙烈. 空氣調和. 令凍工学, 第 6 卷 6 号. (1979)
9. Huang, B. K., and C. G. Bowers., Research Performed Under Grant, No. PTP 74-17622, U. S. A. (1976)
10. Huang, B. K. U. S. Pat. No. 4,109,395, Off. Gaz. US. Pat. Off. 973 (5) : 2036 (1978)
11. Hudson., Progressive farmer : 72-73 (1979, October)
12. 鄭鉉采. 太陽에너지学会誌 2 号. p. 4 (1978)
13. 陳晶義, 李承哲, 李相夏. 煙草学会誌. Vol. 2, No. 1. P. 62 (1980)
14. Kranzler, G. A., C. J. Bern., and G. L. Kline. Paper 75-3001, Amer. Soc. Agr. Engin., St. Joseph, Mich. (1975)
15. Lipper, R. I., and C. P. Davis. Paper No. 59-902, Amer. Soc. Agr. Engin. St. Joseph, Mich. (1959)
16. Lof, G. O. C. Duffie, T. H., and Smith, C. O. Solar Energy, Vol. 10 : 27-37 (1966)
17. Meyer, G. E., H. M. Keener. and W. L. Roller, Paper No. 75-3002, Amer. Soc. Agr. Engin., St. Joseph, Mich. (1975)
18. 吳啓安. 於試辨報告, (Bull, Taiwan Tob. Res. Inst). p. 37-48 (1978)
19. 朴元勳, 李時雨. 太陽에너지学会誌. Vol. 2. No. 2. p. 68-76 (1979)
20. 土屋雄. 空調之冷凍. p. 55-64 (1978)
21. 津田俊二. 昭和ふコニ及ム. Sunshine 3 : 12-16 (1978)
22. 植田徳善即. ホリヌの友, Vol. 10 : 11-15 (1979)
23. Walton, L. R., W. H. Henson., S. G. McNeill., J. N. Walker, Jand & M. Bunn, Tob. Int., 180 (2) : 31-33 (1978) J. M.