

온실내 잉여 태양에너지 산정 (I)
- 1-2W형을 중심으로 -

Estimation of Surplus Solar Energy in Greenhouse (I)
- Case Study Based on 1-2W Type-

서원명* · 배용한** · 유영선*** · 이성현*** · 윤용철*,†

Suh, Won Myung* · Bae, Yong Han** · Ryou, Young Sun*** · Lee, Sung Hyoun*** · Yoon, Yong Cheol*,†

ABSTRACT

This research performed to analyze surplus solar energy, which is generated from a greenhouse during daytime, and to make the basic materials for designing thermal energy storage system for surplus solar energy. For this goal, it analyzed the surplus solar energy coming from two types of greenhouse. The results of this research are as per the below: In the case of 1-2W-type greenhouse, this research gave the same temperature and ventilation condition regardless of regions, but it was judged that the quantity of surplus solar energy could be greatly changed, depending on the energy consumed for the photosynthesis and evapotranspiration of crops in the greenhouse, on the heating temperature during daytime and night, on the existence/non-existence of a curtain and its warming effect, and on the ventilation temperature suitable for the overcoming of high temperature troubles or for the optimum cultivation temperature. In the case of a single-span greenhouse, there was a big difference in energy incoming and outgoing by month, but throughout seasons, 85.0 % of the total energy put into the greenhouse was solar energy and the energy input by heating was just 15.0 % of the total. 26.4 % of the total energy input for the greenhouse was used for photosynthesis and evapotranspiration of crops, and 44.2 % of the remaining 73.6 % went out in the form of radiant heat through the surface of the greenhouse. That is, 25.2 % of the total energy loss was just the surplus solar energy. 67.6 % of the total heating energy was concentrically used for 3 months from December to February next year, but the surplus solar energy during the same period was just 19.4 % of the total annual quantity so it was found that the given condition was more restrictive in directly converting the surplus heat into greenhouse heating. Under the disadvantageous circumstance of 3 months from December to February next year, it was possible to supplement 28 % (December) ~ 85 % (February) of heating energy with surplus solar energy.

Keywords: Solar energy; typical meteorological year; KSU greenhouse model; 1-2W type and single-span greenhouse; heating energy; ventilation

I. 서 론

국내의 경우, 시설원에 재배면적은 1990년대 후반 까지 국가 경제의 성장과 함께 급신장하였으나 최근 경영여건의 어려움 등으로 인하여 정체상태를 보이고 있는 실정이다. 2007년 말 현재 시설채소의 재배면적은 49,800 ha 정도로서 난방 및 무가온 재배면적은 각각 10,200 ha 및 39,400 ha 정도이다 (MFAFF, 2008a, 2008b). 가온 온실에서는 난방을 포함한 광열비의 비중이 높기 때문에 다양한 형태의 난방비 절감기술이나 저렴한

* 경상대학교 농업생명과학대학 지역환경기반공학과 (농업생명과학 연구원)

** 경상대학교 농공학과 대학원 석사과정

*** 농촌진흥청 국립농업과학원

† Corresponding author. Tel.: +82-55-751-5435

Fax: +82-55-752-0884

E-mail address: ychyon@gnu.ac.kr

2009년 8월 3일 투고

2009년 9월 14일 심사완료

2009년 9월 22일 게재확정

원료를 활용하는 연구가 수행되고 있지만 유류에 의존하는 비중이 여전히 90 % 이상을 차지하고 있다 (DAE, 2008).

최근 정부는 시설원에 에너지 절감을 위하여 농촌진흥청을 중심으로 지중난방, 수막재배, 배기열 회수 시스템, 자연에너지 이용 등 다양한 기술을 개발하여 보급하고 있는 실정이다. 또한 난방에너지 50 % 절감과 안정적 시설원에 생산물 생산기반 구축을 목표로 시설구조 개선 및 고효율 보온시스템, 자연에너지 이용기술 개발, 생산성 향상과 노동력 절감을 위한 자동화 기술개발, 작물 특성을 고려한 시설모델 개발 및 기상재해 경감을 위한 시설구조의 안정성 향상기술 등을 제시한 바 있다 (RDA, 2008; DAE, 2008).

이상과 같이 난방시스템을 갖춘 온실에 대한 에너지 절약형 보온 및 대체에너지 이용 관련 연구는 지속적으로 수행되고 있다. 그러나 채소재배 시설 중 무가온 시설이 차지하는 비중이 80 % 이상이지만, 이들 온실에 대한 에너지 대책 및 재배기간 연장을 위한 시스템 개발은 미미한 실정이다. 수막을 이용한 보온 중심의 온실시스템도 난방형 온실에 집중되고 있으며, 특히 보온 커튼의 개폐를 비롯하여 환기와 관련된 기계식 관리시스템을 운용하는 무가온 온실은 찾아보기 어렵다. 각종 보온 및 부분적인 보조열을 이용하여 무가온 재배온실의 재배기간을 연장하고 가온온실의 난방 에너지를 절감하기 위해서는 태양열 발전시스템 (Suh et al., 2009a)을 비롯한 태양에너지 저장형 시스템 (Suh et al., 2009b)의 개발을 활성화하여 온실에도 보조

열 및 소요 전력을 확보함으로써 온실경영비를 절감할 수 있는 방법을 모색할 필요가 있을 것으로 판단된다. 또한 겨울철 주간에 온실 내에서 발생하는 잉여 태양에너지 (잉여열, 온실내의 온도를 적정하게 유지하기 위해서 환기에 의하여 온실 밖으로 배출하는 열)를 효과적으로 회수하여 축열한 후, 적절한 방법으로 활용함으로써 온실의 난방에너지를 절감할 수 있을 뿐만 아니라 무가온 온실에도 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 주간에 온실 내에서 발생하는 잉여 태양에너지를 분석하고, 잉여 태양에너지를 축열할 적정 축열시스템 설계의 기초자료를 제공할 목적으로 확보한 표준기상년 (TMY: Typical Meteorological Year) 데이터, 즉 건물의 에너지 성능 평가에 주로 사용되는 표준기상년 데이터 (Kim and Yee, 2007)를 이용하여 1-2W형 온실을 중심으로 제주, 광주 및 수원 지역에 대하여 잉여 태양에너지를 분석하였다.

II. 재료 및 방법

태양에너지를 주 에너지원으로 작물을 재배하는 온실에서 발생하는 잉여 태양에너지의 계절별 변화를 추정하기 위해서는 지역별로 현저한 차이를 보이는 전형적인 기상상황을 알아야 하며, 그러한 지역별 전형적인 기상상황을 나타낼 수 있는 유일한 방법이 TMY 자료라고 판단된다. 본 연구에서 채택한 TMY 자료는 크게 2가지로 대별된다. 첫 번째는 지금까지 공인된 바

Table 1 Key year by month of typical meteorological year data

Classification	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
Gwangju	1983	1997	1995	1997	1989	1993	2002	1992	2003	1995	1987	1999
Suncheon	1983	1997	1995	1997	1989	1993	2002	1992	2003	1995	1987	1999
Busan	1987	1985	1995	1992	2002	1986	1989	1996	2003	1988	1999	1988
Jinju	1987	1985	1995	1992	2002	1986	1989	1996	2003	1988	1999	1988
Seoul	1996	1994	1983	1997	2004	1986	1984	1990	1993	1985	2000	2000
Suwon	1996	1994	1983	1997	2004	1986	1984	1990	1993	1985	2000	2000
Jeonju	1990	1997	1993	1985	1991	1995	1984	1997	2003	1994	1987	1982
Daejeon	1987	1992	1986	1991	1988	2003	1995	2004	1991	1996	1986	1987
Jeju	1988	1994	1993	2003	1996	2000	1995	1983	2001	1997	1987	1982
Daegu	1983	1999	1989	1992	1983	1984	1996	1988	1988	1989	1999	2002
Seonjgu	1983	1999	1989	1992	1983	1984	1996	1988	1988	1989	1999	2002
Incheon	1996	1994	1989	1992	1994	1991	1990	1992	1988	1988	200	1987
Gangneung	1989	2001	1993	1995	2002	2003	2004	1986	1988	1989	1999	1993
Pyeongchang	1989	2001	1993	1995	2002	2003	2004	1986	1988	1989	1999	1993
Cheongju	1996	1987	1989	1997	1996	1986	2002	1983	1984	1988	1987	1993
Mokpo	1987	1994	2000	1999	1989	1985	2002	1983	1993	1982	2004	2002
Wonju	1987	1997	1993	1997	1985	1988	1992	2000	1988	1988	1999	1996
Seogwipo	1988	1994	1993	2003	1996	2000	1995	1983	2001	1997	1987	1982

Table 2 Composition of meteorological data by time (KMA, 2009)

Time	Dry tem. (°C)	Wind velocity (m/s)	Solar radiation (MJ/m ²)	Dew point tem. (°C)	Amount of clouds (0-10)	Station pressure (hPa)	Pressure of sea level (hPa)	Precipitation (mm)	Snowfall of three hours (cm)
1	-0.80	0.0	0.00	-4.40	7.00	1013.10	1022.30	0.00	0.00
2	-1.00	0.3	0.00	-4.40	8.00	1013.10	1022.30	0.00	0.00
3	-1.20	0.2	0.00	-4.40	9.00	1013.10	1022.30	0.00	0.00
4	-1.47	0.0	0.00	-4.30	9.33	1012.70	1021.90	0.00	0.00
5	-1.73	0.0	0.00	-4.20	9.67	1012.30	1021.50	0.00	0.00
6	-2.00	0.0	0.00	-4.10	10.00	1011.90	1021.10	0.00	0.00
7	-2.13	0.0	0.00	-3.93	8.00	1012.47	1021.63	0.00	0.00
8	-2.27	0.0	0.09	-3.77	6.00	1013.03	1022.17	0.00	0.00
9	-2.40	0.0	0.58	-3.60	4.00	1013.60	1022.70	0.00	0.00
10	-0.70	0.5	1.07	-3.77	4.00	1013.40	1022.47	0.00	0.00
11	1.00	1.7	1.55	-3.93	4.00	1013.20	1022.23	0.00	0.00
12	2.70	1.7	1.67	-4.10	4.00	1013.00	1022.00	0.00	0.00
13	4.00	1.5	1.66	-4.73	3.67	1012.43	1021.40	0.00	0.00
14	5.30	1.7	1.46	-5.37	3.33	1011.87	1020.80	0.00	0.00
15	6.60	0.7	1.12	-6.00	3.00	1011.30	1020.20	0.00	0.00
16	5.47	2.7	0.55	-6.47	4.00	1011.53	1020.50	0.00	0.00
17	4.33	3.0	0.09	-6.93	5.00	1011.77	1020.80	0.00	0.00
18	3.20	2.3	0.00	-7.40	6.00	1012.00	1021.10	0.00	0.00
19	2.20	0.0	0.00	-7.07	6.33	1012.20	1021.30	0.00	0.00
20	1.20	0.0	0.00	-6.73	6.67	1012.40	1021.50	0.00	0.00
21	0.20	0.0	0.00	-6.40	7.00	1012.60	1021.70	0.00	0.00
22	-0.40	0.0	0.00	-6.63	5.33	1012.60	1021.70	0.00	0.00
23	-1.00	0.0	0.00	-6.87	3.67	1012.60	1021.70	0.00	0.00
24	-1.60	0.0	0.00	-7.10	2.00	1012.60	1021.70	0.00	0.00

Remarks: Gwangju (1 Jan. 1983)

는 없어도, 다양한 분야에서 그동안 널리 적용되어 왔던 표준자료이다. 즉, 일정기간 동안 기록된 기상자료를 바탕으로 지역별 대표 월을 통계적인 방법으로 선정하고, 이러한 대표 월을 모아 1월에서 12월까지 1년 단위로 조합하여 지역별로 작성한 것으로서 Table 1과 같다. Table 2는 Table 1을 기준으로 기상청으로부터 해당 자료들을 제공받아 본 연구에서 구명하고자 하는 온실의 잉여 태양에너지 산정 수치모형 시뮬레이션에 적합하도록 가공한 기상자료이다. Table 2의 자료는 1983년 1월 1일 광주지역의 자료를 나타낸 것이다. 다른 한 가지는 최근에 한국태양에너지학회 (KSES: the Korean Solar Energy Society)에서 제공한 것으로서 TMY (KSES, 2009)를 형성하는 구체적인 방법을 제시하고 있어서 머지않아 많은 이용자들의 평가를 거쳐 대표성을 확보할 수 있을 것으로 판단되지만, 아직은 다양한 목적이나 용도에 맞출 수 있을 정도로 충분한 지역에 대한 자료가 확보되지 않았다. 현재까지 한국태양에너지학회에서 제공한 TMY 자료는 서울을 비롯한 7개 광역시 (서울, 대구, 부

산, 광주, 대전, 울산, 인천)에 국한되어 있다.

이상의 두 가지 TMY 자료는 하루 24시간 동안 시간별로 소개되어 있고, 1년간의 자료가 구축되어 있다.

이상과 같이 구축된 TMY 자료를 바탕으로 대표적인 3개 지역 (온난, 일반, 한냉), 즉 제주, 광주 및 수원지역에 대해 농가 보급형 1-2W (폭 7 m, 길이 100 m, 3연동)형 온실을 대상으로 잉여 태양에너지를 분석하였다. 그리고 단동온실(07-단동-4형; 폭 8 m, 측고 1.5 m, 동고 3.6 m, 길이 100 m)은 광주지역만을 대상으로 잉여 태양에너지를 분석하였다. 물론 본 연구에서 다루지 않은 온실형태(단동; 07-1형, 3형, 연동; 07-자동화-1형, Venlo; 08-자동화-1형) 및 지역별로 잉여 태양에너지는 추후 분석할 예정이다. 두 온실 모두 오이가 재배되고 있는 온실로 가정하였다. 작기는 두 작기 (9월 1일과 1월 16일 정식)이고 1 m² 당 약 2주가 재배되는 것으로 하였다. 그리고 차광이나 보온커튼은 설치하지 않은 것으로 가정하였다.

본 연구에서 채택한 분석방법은 온실의 열적 거동 분석을 통

하여 시계열적으로 온실 내에서 형성되는 잉여 태양 에너지로서의 질적 및 양적인 계량화를 위하여 본 연구에서 채택한 분석방법은 수학적인 온실 열분석 모형인 KSU-온실모형 (Suh, 1986)을 활용하였다. 본 수치적 온실 환경 분석모형을 이용하기 위해서는 TMY 자료 중에서 Table 2와 같이 매 시간 단위의 기상요소가 필요하다. 이 외에도 초기조건으로는 온실내·외 지표면 온도 및 지온, 피복면 내측과 바닥면 표층의 수분 응집량, 온실의 환기율, 온실내 공기의 수증기압 및 온실기온의 추정치 등이 필요하고, 또한 주요 파라메타로서는 시간간격, 위도, 경도, 작물 및 온실바닥의 태양광 흡수율, 피복재 두께 및 굴절계수, 환기용량, 온실의 규격, 골조율, 온실바닥의 열전도계수, 작물의 포기 수 및 높이 등 다양하게 요구된다. 본 연구에 이용한 모델은 온실내 작물의 유무, 커튼, 락베드(Rockbed) 등의 유무에 관계없이 사용할 수 것이다. 그리고 잉여 태양 에너지는 환기에 의해 온실 밖으로 배출되는 열이기 때문에 동일 지역 또는 동일한 온실 형태일지라도 환기설정온도에 따라 달라진다.

III. 결과 및 고찰

1. 지역별 기상 특성

두 가지 기상자료, 즉, Table 2와 본문에는 표시하지 않았지만 한국태양에너지학회에서 제공한 TMY자료를 대상으로 잉여 태양에너지 관련 열적거동을 분석할 목적으로 온실내 기온의 결정적인 영향인자라고 판단되는 건구온도와 수평면 일사량에 대한 특성치 (최대, 평균, 최소)를 분석하여 비교하였다. 특성치를 검토한 지역은 서울, 부산, 광주, 대구, 제주 등을 포함하는 11개 지역을 대상으로 하였다.

비교한 결과, 두 가지 기상자료에 관계없이 월별이나 연간 온

도나 일사량의 특성치만으로는 지역 간의 뚜렷한 차이점을 발견하기가 쉽지 않다. 특히 온실의 경우, 난방에너지가 동절기에 집중되는 관계로 가급적 짧은 시간 간격별로 열적 평형상태를 분석하여, 일별, 월별, 그리고 전체 작물 재배기간 동안의 열적 거동을 살펴보는 것이 에너지 관리측면에서 합리적인 것이라 판단된다.

2. 온실에 대한 잉여태양에너지 분석 결과

가. 1-2W형

기존의 난방 온실에 대해 시뮬레이션을 실시함으로써 온실 내에서 조성되는 잉여열의 양상을 간접적으로 파악할 수 있을 것으로 판단되어, 앞에서 기술한 세 지역에 대해 온실의 열수지를 분석하였다. Table 3, 4 및 5는 세지역의 TMY를 바탕으로 2,100 m² 규모의 1-2W형 온실을 대상으로 분석된 열수지 결과이다. 이 때 온실의 주간 및 야간의 설정온도는 각각 22 °C 및 10 °C이고, 저속 (0.5 회/분) 및 고속 환기 (1.0 회/분)의 설정온도는 각각 27 °C 및 29 °C로 하였다. Table 3, 4 및 5에서 온실에서 조성되는 잉여 태양에너지는 온실의 적정 온도 유지를 위해서 환기에 의하여 온실 밖으로 배출되는 열로서 Vent로 표시된 부분이다. 또한 Table에서 기타 (others)로 표시된 에너지는 온실에 투입된 에너지가 작물의 광합성이나 증발산 등에 이용되는 열을 나타낸 것이다.

온실에서 조성되는 잉여 태양에너지란 온실의 적정 온도 유지를 위해서 환기를 통하여 강제로 배출되어야 하는 열이다. 따라서 난방 설정온도를 비롯하여 환기 설정온도, 작물의 종류 및 계절별 작부체계에 따라서 현저한 차이를 보일 것이다. 본 연구에서는 지역에 관계없이 설정온도나 환기조건을 동일하게 하였지만, 온실에서 작물의 광합성 및 증발산 형태로 소비되는 에너지를 비롯하여 주간과 야간의 난방 설정온도, 커튼의 유무

Table 3 Heat budget of 1-2W type greenhouse by month of typical meteorological year in Jeju

Month	Energy inputs (MJ)			Energy losses (MJ)				
	Solar	Heater	Total	Radiation	Convection	Ventilation	Others	Total
9	512,988.8	2,687.0	515,675.8	134,546.6	-1,279.6	238,891.7	143,517.1	515,675.8
10	475,146.9	19,000.8	494,147.7	182,650.0	419.2	163,727.5	147,351.0	494,147.7
11	361,050.9	73,807.2	434,858.1	193,014.7	10,969.6	109,011.3	121,862.5	434,858.1
12	243,307.8	151,532.5	394,840.3	221,759.0	31,209.5	61,549.3	80,322.5	394,840.3
1	232,483.2	190,071.9	422,555.1	243,712.0	44,498.6	60,639.3	73,705.2	422,555.1
2	307,967.0	134,275.1	442,242.1	224,695.9	43,530.2	86,651.1	87,364.9	442,242.1
3	462,044.7	124,002.0	586,046.7	276,809.8	35,109.3	131,848.4	142,279.2	586,046.7
4	642,783.2	49,483.2	692,266.4	211,801.0	17,036.6	250,701.1	212,727.7	692,266.4
5	673,842.7	23,684.9	697,527.6	190,951.5	6,375.3	236,820.1	263,380.7	697,527.6
Total	3,911,615.2	768,544.6	4,680,159.8	1,879,940.5	187,868.7	1,339,839.8	1,272,510.8	4,680,159.8

Table 4 Heat budget of 1-2W type greenhouse by month of typical meteorological year in Gwangju

Month	Energy inputs (MJ)			Energy losses (MJ)				
	Solar	Heater	Total	Radiation	Convection	Ventilation	Others	Total
9	552,323.2	6,614.4	558,937.6	152,474.5	2,070.1	252,245.2	152,147.8	558,937.6
10	539,768.1	32,103.5	571,871.6	205,179.8	7,364.9	187,106.4	172,220.5	571,871.6
11	395,093.9	115,541.7	510,635.6	265,883.6	25,422.5	111,631.7	107,697.8	510,635.6
12	343,416.2	223,522.4	566,938.6	382,999.8	48,452.6	46,090.7	89,395.5	566,938.6
1	375,867.3	229,713.3	605,580.6	385,972.3	66,569.5	57,820.4	95,218.4	605,580.6
2	427,940.7	190,021.5	617,962.2	341,777.1	53,448.3	108,683.4	114,053.4	617,962.2
3	563,477.8	124,597.8	688,075.6	305,433.8	40,572.2	165,650.2	176,419.4	688,075.6
4	658,858.7	75,084.5	733,943.2	265,414.3	14,564.7	185,405.9	268,558.3	733,943.2
5	703,408.8	20,861.6	724,270.4	180,954.3	6,713.6	200,400.9	336,201.6	724,270.4
Total	4,560,154.7	1,018,060.7	5,578,215.4	2,486,089.5	265,178.4	1,315,034.8	1,511,912.7	5,578,215.4

Table 5 Heat budget of 1-2W type greenhouse by month of typical meteorological year in Suwon

Month	Energy inputs (MJ)			Energy losses (MJ)				
	Solar	Heater	Total	Radiation	Convection	Ventilation	Others	Total
9	517,776.4	14,285.6	532,062.0	164,303.3	1,556.2	225,924.4	140,278.1	532,062.0
10	496,004.9	42,261.3	538,266.2	209,722.0	14,074.8	171,113.4	143,356.0	538,266.2
11	397,252.8	164,536.4	561,789.2	324,174.8	36,106.2	91,949.2	109,559.0	561,789.2
12	384,371.8	265,390.9	649,762.7	432,137.2	66,834.2	52,508.4	98,282.9	649,762.7
1	328,759.4	325,097.1	653,856.5	466,866.0	73,675.8	50,843.8	62,470.9	653,856.5
2	393,508.4	237,663.8	631,172.2	387,742.2	57,900.0	81,813.9	103,716.1	631,172.2
3	578,822.9	163,399.6	742,222.5	357,326.7	49,236.7	148,054.7	187,604.4	742,222.5
4	575,666.1	91,794.9	667,461.0	273,649.4	19,674.4	159,520.2	214,617.0	667,461.0
5	688,233.4	32,782.8	721,016.2	200,110.2	9,500.8	205,105.5	306,299.7	721,016.2
Total	4,360,396.1	1,337,212.4	5,697,608.5	2,816,031.8	328,559.1	1,186,833.5	1,366,184.1	5,697,608.5

및 보온효과, 특히 고온 장애 극복이나 최적 재배 온도에 맞추기 위해서 과연 어느 정도의 온도를 환기 설정온도로 할 것인가에 따라 잉여열의 규모가 크게 변할 수 있을 것이다.

Table 3, 4 및 5에서 알 수 있듯이 지역별 난방부하를 계산한 결과, 수원은 1,337.2 GJ, 광주는 1,018.1 GJ, 제주는 768.5 GJ로 분석되었으며, 수원에 비해 광주지역은 76.1 %, 제주지역은 57.5 %에 불과하였다. 한편 온실의 잉여열을 분석한 결과, 수원은 1,186.8 GJ, 광주는 1,315.0 GJ, 제주는 1,339.84 GJ로 나타났으며, 수원지역에 비하여 광주지역은 11 %, 제주지역은 13 % 정도 크게 나타났다. 또한 난방부하나 잉여열 이외에도 온실 내에서 흡입되는 태양광의 양을 비롯하여 온실에서 작물의 광합성에 이용되거나 열복사 (Radiation)나 피복표면 대류열 (Convection) 등으로 손실되는 열량 역시 지역별로 현저한 차이가 있음을 알 수 있다.

나. 단동온실

본 연구에서는 단동온실의 경우, 폭 8 m, 측고 1.5 m, 동고 3.6 m, 길이 100 m을 대상으로 열수지를 분석하였다. 우선 기상상황이 수원이나 제주의 중간 정도인 광주 지역만을 중심으로 시뮬레이션을 실시하였으며, 그 결과를 요약하면 다음 Table 6과 같다. Table 6은 주간 및 야간 난방온도를 각각 15 °C 및 10 °C로 하고, 저속 및 고속 환기의 설정온도는 각각 25 °C 및 27 °C 기준으로 하였다. 단동온실의 경우, 현재 무가온 온실이 대부분이고 1-2W형 온실에 비해 저온작물을 주로 재배하는 경향이 있기 때문에 주야간 난방설정온도 및 환기 설정온도를 1-2W보다 낮게 설정하였다.

Table 6에서 알 수 있듯이 각 월별에 따라 에너지 수지가 상당한 차이를 보였지만, 연간 온실의 총에너지 투입량 중 85.0 %가 태양에너지이고 난방에 의한 에너지 투입량은 15.0 %에 불과하였다. 한편 온실에 투입된 에너지 중에서 작물의 광합성이나 증발산 등에 이용되는 것은 26.4 %였으며, 이를 제외한 나머지 73.6 % 중에서 44.2 %가 온실의 표면을 통해 복사열

Table 6 Heat budget of single-span greenhouse by month of typical meteorological year in Gwangju

Month	Energy Inputs(MJ)			Energy Losses(MJ)				
	Solar	Heater	Total	Radiation	Convection	Ventilation	Others	Total
9	226,875.8	888.3	227,764.1	64,936.7	985.3	108,250.0	53,592.1	227,764.1
10	230,429.5	8,017.6	238,447.1	84,773.3	2,992.2	87,296.3	63,385.3	238,447.1
11	176,782.3	38,143.8	214,926.1	106,645.5	7,975.4	39,489.2	60,816.0	214,926.1
12	157,052.3	82,252.6	239,304.9	157,016.5	16,658.5	22,933.7	42,696.2	239,304.9
1	168,626.9	82,905.2	251,532.1	155,391.5	25,490.2	32,017.0	38,633.4	251,532.1
2	187,377.9	65,616.7	252,994.6	135,407.3	22,433.4	56,076.2	39,077.7	252,994.6
3	236,905.7	40,277.4	277,183.1	120,887.9	13,719.7	72,544.4	70,031.1	277,183.1
4	267,799.5	20,351.7	288,151.2	104,577.5	3,209.5	79,158.4	101,205.8	288,151.2
5	279,097.2	3,390.7	282,487.9	74,792.0	2,060.0	75,118.0	130,517.9	282,487.9
Total	1,930,947.1 (85.0%)	341,844.0 (15.0%)	2,272,791.1 (100%)	1,004,428.2 (44.2%)	95,524.2 (4.2%)	572,883.2 (25.2%)	599,955.5 (26.4%)	2,272,791.1 (100%)

형태로 빠져나가는 것을 알 수 있었고, 또한 환기 등으로 제거 되는 열량, 즉 잉여 태양에너지는 전체 에너지 손실량의 25.2%로 입을 알 수 있다.

특히, 작물의 광합성이나 증발산 등에 투입되는 에너지의 비중이 총 투입에너지의 26% 전후가 되므로, 재배작물의 종류나 재배시기와 관련된 작부체계와 깊은 연관을 갖고 있음을 엿볼 수 있다. 그리고 Table 6에서 보는 바와 같이, 동일한 형상의 온실을 중심으로 온실의 최저 설정온도 및 환기 설정온도를 달리하게 되면 잉여 태양에너지의 양이 상당한 차이를 보일 것임을 쉽게 알 수 있다.

지역별로 상이한 온실의 형상 및 치수, 보온방법과 유지관리 방식, 락베드를 비롯한 태양광 발전시스템, 히트펌프 및 기타 에너지 비축시스템과의 연계방법을 적절히 강구하는 부분은 확보된 지역별 TMY 자료를 바탕으로 상이한 온실형태별로 차후 중점적으로 다루어 져야 할 것이다.

Table 6에서 잉여 태양에너지와 난방열 소요량의 관계를 월별로 비교해 보면 다음 Table 7과 같다.

Table 7에서 알 수 있듯이 난방 소요량은 12월에서 익년 2월까지 3개월 동안에 총 난방 에너지의 67.6%가 집중되는 반면에 같은 기간 동안에 잉여 태양에너지는 연간 총량의 19.4%에 불과하므로 잉여열을 온실난방으로 직접 전환하는 데 제한적 여건임을 알 수 있다. 단지, 12월부터 익년 2월까지 3개월 동안의 불리한 상황 하에서도 난방열의 28% (12월)에서 85% (2월)정도를 잉여열로서 보충할 수 있는 셈이다.

물론 재배작물의 종류와 재배시기 등에 따라 설정온도가 상이한 관계로 구체적인 상황에 대해서는 보다 세밀한 검토가 필요할 것이지만, 기존의 연구결과에 의하면 소형 난방온실의 경우, 비교적 온난한 지역에서도 야간 커튼을 설치하면 겨울철 난

Table 7 Monthly ratio of surplus solar and heating energy at single-span greenhouse

Month	Heating energy (Heater) (MJ) (A)	Surplus solar energy (Ventilation) (MJ) (B)	Ratio (B)/(A)
9	888.3(0.3)	108,250.0(18.9)	121.86
10	8,017.6(2.3)	87,296.3(15.2)	10.89
11	38,143.8(11.2)	39,489.2(6.9)	1.04
12	82,252.6(24.1)	22,933.7(4.0)	0.28
1	82,905.2(24.3)	32,017.0(5.6)	0.39
2	65,616.7(19.2)	56,076.2(9.8)	0.85
3	40,277.4(11.8)	72,544.4(12.7)	1.80
4	20,351.7(6.0)	79,158.4(13.8)	3.89
5	3,390.7(1.00)	75,118.0(13.1)	22.15
Total	341,844.0(100%)	572,883.2(100%)	1.68

방에너지를 절반 정도까지 절감할 수 있으며, 보온커튼과 함께 적절한 규모의 락베드를 설치하여 운용할 경우 난방열 없이도 온실의 온도를 적정온도로 유지할 수 있는 것으로 보고되고 있다 (Suh, 1986).

단지, 여기서는 설정된 조건에 국한하여 살펴볼 때, 4월에서 10월까지 7개월 동안에는 환기로 배출되어야 하는 잉여열이 난방 소요량을 크게 초과한다는 것을 알 수 있으므로 적절한 방법으로 이들 잉여열을 효율적으로 비축하는 방법을 강구할 필요가 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 제외되어 있는 6월부터 8월까지의 하절기 3개월 동안에 조성되는 풍부한 잉여열의 활용 또한 에너지의 비축 가능성의 측면에서는 대단히 소중한 난방자원이 될 수 있을 것으로 예상된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 주간동안 온실 내에서 발생하는 잉여 태양에너지를 분석하고, 또한 잉여 태양에너지의 적정 축열시스템 설계의 기초자료를 제공할 목적으로 수행하였으며, 표준기상년 데이터를 이용하여 제주, 광주 및 수원 지역의 두 가지 온실형태에 대해서 잉여 태양에너지를 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

두 종류의 TMY 자료를 검토한 결과, TMY 자료에 관계없이 월별 또는 연간 온도 및 일사량의 특성 치만으로는 지역 간의 뚜렷한 차이점을 발견하기가 쉽지 않았다.

본 연구에서는 1-2W형 온실의 경우, 지역에 관계없이 설정 온도나 환기조건을 동일하게 하였지만, 온실에서 작물의 광합성 및 증발산 형태로 소비되는 에너지를 비롯하여 주야간의 난방 설정온도, 커튼의 유무 및 보온효과, 특히 고온 장애 극복이나 최적 재배 온도에 맞추기 위해서 과연 어느 정도의 온도를 환기 설정온도로 할 것인가에 따라 잉여열의 규모가 크게 변할 수 있을 것으로 판단된다.

1-2W형 온실의 경우, 지역별 난방부하를 계산한 결과, 수원은 1,337.2 GJ, 광주는 1,018.1 GJ, 제주는 768.5 GJ로 분석되었으며, 수원에 비해 광주지역은 76.1 %, 제주지역은 57.5 %에 불과하였다. 한편 온실의 잉여열을 분석한 결과, 수원은 1,186.8 GJ, 광주는 1,315.0 GJ, 제주는 1,339.84 GJ로 나타났으며, 수원지역에 비하여 광주지역은 11 %, 제주지역은 13 % 정도 크게 나타났다. 또한 난방부하나 잉여열 이외에도 온실 내에서 흡입되는 태양광의 양을 비롯하여 온실에서 작물의 광합성에 이용되거나 열복사나 피복표면 대류열 등으로 손실되는 열량 역시 지역별로 현저한 차이가 있다.

단동온실의 경우, 각 월별에 따라 에너지 수지가 상당한 차이를 보였지만, 연간 온실의 총에너지 투입량 중 85.0 %가 태양에너지이고 난방에 의한 에너지 투입량은 15.0 %에 불과하였다. 한편 온실에 투입된 에너지 중에서 작물의 광합성이나 증발산 등에 이용되는 것은 26.4 %였으며, 이를 제외한 나머지 73.6 % 중에서 44.2 %가 온실의 표면을 통해 복사열 형태로 빠져나가는 것을 알 수 있었고, 또한 환기 등으로 제거되는 열량, 즉 잉여 태양에너지는 전체 에너지 손실량의 25.2 %로 나타났다. 난방 소요량은 12월에서 익년 2월까지 3개월 동안에 총 난방 에너지의 67.6 %가 집중되는 반면에 같은 기간 동안에 잉여 태양에너지는 연간 총량의 19.4 %에 불과하므로 잉여열을 온실난방으로 직접 전환하는 데 제한적 여건임을 알 수 있었다. 단지, 12월부터 익년 2월까지 3개월 동안의 불리한 상황 하에서도 난방열의 28 % (12월)에서 85 % (2월)정도를 잉여열로서 보충할 수 있다.

본 논문은 2008년, 2009년 농촌진흥청 어젠다 중심 농업과학기술개발 공동연구사업인 “친환경 에너지 절감기술 및 바이오 대체에너지 개발-온실내 잉여 태양에너지 분석 모델 개발”의 연구비에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

1. Department of Agricultural Engineering (DAE), 2008. *Guide book of energy down to tide over of high oil price*. Suwon. Korea (in Korean).
2. Kim, H. Y., and J. J. Yee, 2007. Preparation the standard weather data and TAC map for heating and cooling load calculation in the 17-provinces of Korea. *Architectural Institute of Korea* 23(9):197-204 (in Korean).
3. Korea Meteorological Administration (KMA), Electronic Civil Service Center. [Http://www.kma.go.kr](http://www.kma.go.kr). Accessed 26 Mar. 2009.
4. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MFAFF), 2008a. Production results of vegetable crop in 2007, 52-64. Gwacheon, Korea (in Korean).
5. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MFAFF), 2008b. Cultural state of floricultural crop in 2007, 3-13. Gwacheon, Korea (in Korean).
6. Rural Development Administration (RDA), 2008. *Technology of operating cost down for agriculture*. Suwon, Korea (in Korean).
7. Suh, W. M., Y. H. Bae, and Y. C. Yoon, 2009a. Power generating performance of photovoltaic power system for greenhouse equipment operation. *Conference and Symposium of the Korean Society for Bio-Environment Control*, 18(1): 579-582. Jeju, Korea: KSBEC (in Korean).
8. Suh, W. M., Y. H. Bae, and Y. C. Yoon, 2009b. Thermal behavior of stored heat capacity by rockbed system in greenhouse, *Conference and Symposium of the Korean Society for Bio-Environment Control*, 18(1): 571-574. Jeju, Korea : KSBEC (in Korean).
9. Suh, W. M., 1986. Modeling of a greenhouse equipped with a solar rockbed system and with carbon dioxide enrichment. Ph.D. diss., Manhattan: Kansas State University.

10. The Korean Solar Energy Society, Korean Typical Meteorological Year. [Http://www.kses.re.kr](http://www.kses.re.kr). Accessed 26 Feb. 2009.