

태안 시설원예단지의 온실 냉난방 부하 분석

Analyses of Heating and Cooling load in Greenhouse of Protected Horticulture Complex in Taean

서원명* · 배용한** · 허해준*** · 곽철순*** · 이석건**** · 이종원**** · 윤용철*,†
Suh, Won Myung* · Bae, Yong Han** · Heo, Hae Jun*** · Kwak, Cheul Soon*** ·
Lee, Suk Gun**** · Lee, Jong Won**** · Yoon, Yong Cheol*,†

ABSTRACT

This study was conducted in the process that the basic plan of the formation of the thermal energy complex in the Iwon reclaimed land of Taean was being made. Targeting for the large-sized greenhouse to be made in this area, it examined the cooling and heating load and the amount of ventilation, and also analyzed the economic efficiency of heating. The research results are as per the below: The minimum ambient temperature of this area was measured on January 7, 2001, which was $-18.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, and the maximum ambient temperature of this area was measured on July 24, 1994, which was $36.7\text{ }^{\circ}\text{C}$. The maximum heating load was $39,011\text{ MJ/h}$, but the date when the maximum heating load was not consistent with the date when the minimum temperature was measured. The maximum cooling load was $88,562\text{ MJ/h}$, It was approximately 2.3 times of the maximum heating load, which was measured at 14:00 hours on September 4, 2000. The maximum amount of ventilation heat was $138,639\text{ MJ/h}$. Assuming the rate of solar heat use as 10 %, 20 %, 50 %, and 100 %, the total sum of cost-benefit would be ₩-193,450,000, ₩-634,930,000, ₩-3,372,960,000, and ₩-9,850,420,000, respectively 20 years later. The break-even point of the geothermal heat pump would be about 4 years for 10 % use, about 3 years for 20 % or 50% use, and approximately 6 years for 100% use. It was found that 50 % use would be most advantageous. In case two systems are combined, the break-even point will be 10 years, 8 years, and 11 years respectively.

Keywords: Heating and cooling load; amount of ventilation; flat plate solar collector; geothermal heat pump; KSU-greenhouse model; economic analyses; venlo type greenhouse

1. 서 론

우리나라 시설원예 산업은 고소득 농업으로서 시설채소와 시설화훼 작물이 일반적으로 다른 작물에 비해 높은 소득을 보이고 있다. 노지채소와 과수작물의 재배면적은 감소하는 추세를

나타내고 있지만, 시설채소와 시설화훼는 1990년 25,450 ha에서 2000년 52,189ha로 10년간 2배 이상 급속히 증가하였으며, 2000년 이후 그 재배면적은 큰 변화 없이 안정적인 수준을 나타내고 있는 실정이다. 농업에서 시설원예 산업이 차지하는 비중은 1970년대부터 급증하기 시작하여 1980년 25 %에서 1990년 28 %, 1995년에는 38 % 까지도 증가하였으나 IMF 이후 다소 감소하여 2006년말 현재 31% 수준으로 안정적인 추세를 유지하고 있다 (MFAFF, 2008a, 2008b)

국내 농업에서 시설원예의 비중은 계속 증가되어 왔고, 또한 농가 소득에서도 가장 중요한 위치를 점하고 있는 실정이다. 이러한 시설원예 산업도 시대와 소비자의 기호에 따라 소비자 중심의 원에 산업으로 변화되어 왔다. 앞으로 당분간 시설채소 및 화훼 수요는 증가될 것으로 판단되고, 노지채소의 수요는 중국 등으로부터 수입이 증가하면서 점차 감소될 것으로 예상

* 경상대학교 농업생명과학대학 지역환경기반공학과 (농업생명과학 연구원)

** 경상대학교 농공학과 대학원 석사과정

*** (주)하이드로젠과워

**** 경북대학교 농업토목공학과

† Corresponding author. Tel.: +81-55-751-5435

Fax: +81-55-752-0884

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

2009년 8월 7일 투고

2009년 11월 17일 심사완료

2009년 11월 23일 게재확정

된다. 그러나 현재의 국내 시설원예의 영세성과 가격 불안정 속에서는 중국이나 칠레 등으로부터 수입이 급증되면 구조 조정이 불가피할 것으로 예상된다. 그러므로 경쟁력 있는 채소 종자, 신선 채소, 과수 및 화훼 등이 앞으로 원예 산업을 주도할 것으로 보이므로 이들에 대한 경쟁력을 강화시켜 나가야 할 것이다.

국내 시설원예도 1990년대부터 시장 지향적인 상업적 영농체제로 바뀌면서 점차 규모화, 전문화가 요구되고 있다. 즉 국내의 시장에서 시설원예농산물에 대한 경쟁이 심화되면서 노동생산성과 토지 생산성을 극대화시키고 동시에 고품질 생산이 요구되고 있는 실정이다.

우리 정부도 수출농업의 육성을 위한 유리온실을 중심으로 시설원예 관련사업의 대규모 및 단지화의 필요성을 인식하고 1996년부터 시설화훼 사업의 일환으로 경북 구미시와 전북고창군을 사업지구로 선정하여 사업을 시행한 바 있다 (Lee, 1997). 이들 두 개 지구는 국내에서 처음 실시된 최대 규모의 화훼생산단지이다. 또한 새만금 간척지에도 1,500ha 규모의 시설 채소 및 화훼 단지를 조성할 계획을 가지고 있다 (Kim, 2007).

최근 태안군 이원 간척지도 민간투자 방식으로 “태안 열에너지 단지조성 사업”을 계획하고 있다. 이 지역의 전체 사업규모는 약 460 ha (2008~2012년까지) 정도이고, 이 중 시설원예 면적은 약 300ha 정도이다. 이 사업의 목적은 첫째 2012년 면세유 제도 폐지에 따른 시설원예에 대한 에너지 공급원을 신·재생에너지로 대체하여 에너지 절감효과 및 연중공급으로 시설원예 농산물의 연중생산과 가격경쟁력 확보이다. 둘째 무한정의 청정에너지원인 지열 및 태양에너지를 이용함으로써 화석연료를 대체하고 환경오염 및 부하를 감소시키는 것이다. 셋째 대단위 시설원예단지 및 환경 친화적 농업재배환경을 조성함으로써 농업경쟁력을 강화하고 관광 및 교육효과를 유발하는 것이다. 마지막으로 시설의 집산화, 규모화, 단지화 및 정보화를 통한 기업형 농업단지를 조성함으로써 농업경쟁력을 확보하기 위한 것이다.

본 연구실에서는 태안 열에너지 단지 조성사업의 기본계획을 수립하는 과정에 참가하여 태안지역에 필요한 온실의 냉·난방 부하와 환기량을 수학적인 온실 열분석 모형인 KSU-온실 모형 (Suh, 1986)을 활용하여 검토하였다. 그리고 난방에 필요한 설비들에 대해 시장조사를 실시한 후, 경제성을 분석하였다. 난방에 필요한 에너지는 이 사업의 목적과 연구 의뢰사의 요청에 의해 신·재생에너지 (KEMCNEC, 2009)인 태양열 집열기 및 지열히트펌프로 한정하여 분석하였다.

II. 재료 및 방법

태안 시설원예단지의 환경설비 계획은 사업의 목적인 대단위

시설원예단지 및 환경 친화적 농업재배환경을 조성함으로써 농업경쟁력을 강화하고 관광 및 교육효과를 유발시킴과 동시에 집산화, 규모화, 단지화, 정보화를 통한 기업형 농업단지 조성으로 농업경쟁력을 확보하기 위한 것이다. 그리고 본 사업을 계획하고 있는 연구소가 제안한 기본계획에 따르면 최대 규모의 온실은 10 ha 정도이었다. 따라서 본 연구에서는 온실 한 동의 규모를 다음과 같이 설정하였다. 즉, 폭 8 m, 측고 5.5 m, 동고 6.5 m, 기둥 간격 4 m인 벤로 온실 (바닥면적 100,000 m², 길이 250 m, 50연동)을 대상으로 냉방, 난방 및 환기량에 대해서 검토하였다. 물론 태안지역은 기본계획을 수립하는 과정이기 때문에 온실의 형태나 규모 등은 본 계획을 입안할 때, 어느 정도 변동의 여지는 있다.

냉방 및 난방에 이용한 에너지는 지열과 태양열로서 신·재생에너지를 대상으로 하였지만, 기존의 난방설비가 설치되어 운영되는 것을 원칙으로 하였다. 즉, 지열이나 태양열 집열기는 난방을 위한 보조열 개념으로 고려하였다. 그러나 의뢰회사의 요청에 의해 경제성 분석에서는 지열이나 태양열 100 %를 이용할 경우도 고려하여 검토하였다.

본 연구에 이용한 기상자료는 태안지역 인근에 위치한 서산 기상대의 관측치 중 1979. 1~2008. 12월까지 30년의 기상자료 (기온, 풍속, 일사량, 강수량, 적설량, 운량 및 기압 등)를 이용하였다. 본 연구에서 주 관심사는 난방이므로 30년의 기상자료 중에 최저기온이 발생한 년을 기준으로 기준 년 전후의 1년 동안의 난방, 환기 및 냉방부하를 분석하였다.

난방의 경우, 온실내부에 설치되는 보온커튼은 일몰 시각부터 익일 일출 시각까지 작동한 것으로 하였고, 재배작물은 오이로서 9월 1일, 1월 15일 및 6월 1일에 정식하는 3작기로 하였다. 난방설정온도는 재배작목별 야간온도 설정기준 (RDA, 2008)을 참고로 주야간 18.0 °C (고온작물)로 하였다.

환기의 경우, 설정온도는 우선 환기팬의 작동에 의하여 온도를 조절하기 위하여 저속 환기 (0.5회/분)와 고속 환기 (1.0회/분)로 구분하였으며, 각각의 설정온도는 25.0 °C 및 27.0 °C로 하였다. 일반적으로 환기부하를 나타낼 때는 온실 내 온도를 적정온도로 유지하기 위한 필요 또는 최대 환기량으로 표시하지만, 본 연구에서는 해석모델인 KSU-온실모형에 의해 필요 또는 최대 환기열량으로 나타내었다. 즉, 환기에 의해 온실 외부로 배출되는 열량으로 표시하였다.

냉방의 경우, 하절기 3개월 동안 (6월, 7월 및 8월)은 50 % 차광을 전제로 검토하였다. 온실 내 설정온도는 33.0 °C로 하였다. 냉방의 경우, 저속 및 고속 환기에 의해 적정온도로 유지할 수 없는 경우, 지열히트펌프로 기계적 냉방이 되도록 하였다.

경제성 분석의 경우, 국내에 있는 지열히트펌프 및 태양열

집열기 설치 회사에 의뢰하여 경제성분석에 필요한 설치비, 운영비 및 감가상각비 등의 자료를 확보하였다. 태안지역의 경우, 의뢰사의 최대 관심은 난방부분이고 현재로서는 재배작물이나 작기 등이 결정되지 않은 상태이다. 또한 난방은 유류비와 대비하여 분석할 수 있지만, 냉방의 경우는 대비할 수 있는 근거 자료가 현재로서는 전무하기 때문에 이 부분에 대한 경제성 분석은 제외하였다. 물론 난방의 경우도 좀 더 면밀한 검토를 하기 위해서는 재배작물이나 작기, 생산비 등 모든 요인이 경제성분석에 반영되어야 한다. 그러나 태안지역의 경우, 단지조성의 기본계획단계이고, 또한 신·재생에너지 투입여부에 대한 판단과 투자비 등을 검토하기 위한 것이므로 본 연구에서는 시장조사 결과를 바탕으로 초기투자비, 감가상각비, 이자, 운영 및 관리비 (소비전력, 열매체 교환, 인건비, 부품교체 등) 등을 요인으로 경제성을 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 태안지역의 주요 기상

30년 동안 기상자료를 검토한 결과, 이 지역의 최저 외기온은 2001년 1월 7일에 발생하였으며, 이 때 최저 외기온은 $-18.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 였다. 그리고 최고 외기온은 1994년 7월 24일에 발생하였으며, 이 때 최고 외기온은 $36.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 였다. 그리고 최저 기온 발생 년의 경우, 평균 및 최고 외기온은 각각 $11.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 및 $34.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 였고, 최고, 평균 및 최저 수평면 일사량은 각각 3.38 MJ/m^2 , 0.56 MJ/m^2 및 0.00 MJ/m^2 이었다. 최고, 평균 및 최저 풍속은 각각 16.1 m/s , 2.5 m/s 및 0.0 m/s 이었다. 최고 기온 발생 년의 경우, 평균 및 최저 외기온은 각각 $12.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 및 $-17.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 였고, 최고, 평균 및 최저 수평면 일사량은 각각 4.14 MJ/m^2 , 0.58 MJ/m^2 및 0.00 MJ/m^2 이었다. 최고, 평균 및 최저 풍속은 각각 15.3 m/s , 2.4 m/s 및 0.0 m/s 이었다.

2. 난방부하

설정온도 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 하였을 때, 태안 지역의 월별 및 최대난방부하는 Table 1과 Table 2와 같다.

Table 1을 보면, 최저기온 발생 년 (2001년)을 기준으로 기준 년 전후 1년 동안의 총 난방부하는 $35,727,721\text{ MJ}$ 정도였고, 최고 월난방부하는 2001년 1월로서 $9,158,684\text{ MJ}$ 이었다. Table 2에서 알 수 있듯이 최대난방부하는 $39,011\text{ MJ/h}$ 이다. 그러나 최대난방부하 발생일이 최저기온 발생일인 01월 17일 07시가 아니고 2001년 01월 14일 22시로 나타난 것은 온실 내 작물유무 및 성장단계에 따른 것으로 판단된다. 따라서

Table 1 Heating loads by month of Taeon area (2001 year base)

Year	Month	Ambient temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Heating load (MJ/month)
		Max	Min	Aver	
2000	9	29.1	9.6	19.2	160,449
2000	10	26.0	0.0	13.9	1,162,707
2000	11	19.4	-5.7	5.8	4,350,505
2000	12	13.7	-9.7	0.7	7,246,839
2001	1	5.4	-18.7	-3.9	9,158,684
2001	2	12.4	-12.5	-0.8	5,782,812
2001	3	20.6	-7.7	3.3	5,040,172
2001	4	26.0	-3.7	10.9	2,254,179
2001	5	28.1	6.9	17.4	563,483
2001	6	31.8	12.3	21.5	7,891
2001	7	32.6	18.3	25.3	0
2001	8	34.7	16.9	25.6	0
Average or Total		23.3	0.5	11.6	35,727,721

Table 2 Maximum heating loads in Taeon area (2001 year base)

Date	Ambient temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Indoor temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Max heating load (MJ/h)	Remarks
Jan. 17, 2001	-18.7	18	22,868	min. ambient temperature
Jan. 14, 2001	-11.2	18	39,011	max. heating load

태안지역에 설치 예정인 지열히트펌프 및 태양열 난방시스템을 설계할 때는 Table 2의 난방부하 $39,011\text{ MJ/h}$ ($9,288,000\text{ kcal/h}$)를 사용하였다.

3. 냉방부하

최고 외기온 발생년도 (1994년 7월 24, $36.7\text{ }^{\circ}\text{C}$)를 기준으로 냉방부하를 산정하면, 최대냉방부하는 $114,751\text{ MJ/h}$ 정도였으나, 기계적 냉방인 지열히트펌프를 사용할 경우에는 냉방보다 난방이 우선 시 되기 때문에 본 연구에서는 난방과 동일한 최저 외기온 발생년도를 기준으로 냉방부하를 산정하였다. Table 3과 Table 4는 월별 및 최대냉방부하를 나타낸 것이다. 최대냉방부하는 2001년 8월 16일 15시에 발생되었다.

Table 3과 Table 4에서 알 수 있듯이 냉방부하는 6, 7 및 8월에만 발생하였으며, 3개월 중에서도 8월에 집중되는 것으로 나타났다. 최대냉방부하는 $88,562\text{ MJ/h}$ 으로서 최대난방부하의 약 2.3배정도에 해당된다. 이 값은 50 %의 차광을 고려한 경

Table 3 Cooling loads by month in Taeon area (2001 year base)

Year	Month	Ambient temperature (°C)			Cooling load (MJ/month)
		Max	Min	Aver	
2000	9	29.1	9.6	19.2	0
2000	10	26.0	0.0	13.9	0
2000	11	19.4	-5.7	5.8	0
2000	12	13.7	-9.7	0.7	0
2001	1	5.4	-18.7	-3.9	0
2001	2	12.4	-12.5	-0.8	0
2001	3	20.6	-7.7	3.3	0
2001	4	26.0	-3.7	10.9	0
2001	5	28.1	6.9	17.4	0
2001	6	31.8	12.3	21.5	191,987
2001	7	32.6	18.3	25.3	1,227,332
2001	8	34.7	16.9	25.6	3,362,785
Average or Total		23.3	0.5	11.6	4,782,104

Table 4 Maximum cooling loads in Taeon area (2001 year base)

Date	Ambient temp. (°C)	Indoor temp. (°C)	Max. cooling load (MJ/h)
Aug. 16, 2001	34.3	33	88,562

우이고, 실제로 주간에 지열히트펌프를 온실 냉방에 적용하려면 80 % 이상의 차광이 필요한 것으로 보고되어 있다 (RDA, 2008). 따라서 태안 지역의 경우, 주간 냉방은 환기나 적정 차광에 의해 적정온도를 유지할 수 없을 때, 냉방을 위하여 지열 히트펌프를 적절히 이용하여야 할 것으로 판단된다. 물론 그간 히트펌프에 대한 연구결과를 보면, 야간 냉방에는 어느 정도 효과가 있을 것으로 판단된다.

4. 환기부하

Table 5와 Table 6은 월별 필요환기열량과 및 최대 환기열량을 나타낸 것으로서 최대 환기열량은 최저기온 발생 년 (2001년)을 기준으로 기준 년 전후 1년 중에서 2000년 09월 04일 14시에 발생하였다.

Table 5와 Table 6에서 알 수 있듯이 월별 최대필요환기열량은 2000년 09월로서 15,219,558 MJ/month이었고, 연간 총량은 112,354,634 MJ로 나타났다. 그리고 최대 환기열량은 138,639 MJ/h로 나타났다.

5. 난방설비의 경제성 분석

경제성 분석의 경우, 난방은 유류비와 대비하여 분석할 수

Table 5 Thermal amount of required ventilation by month in Taeon area (2001 year base)

Year	Month	Ambient temperature (°C)			Thermal amount of required ventilation (MJ/month)
		Max	Min	Aver	
2000	9	29.1	9.6	19.2	15,219,558
2000	10	26.0	0.0	13.9	10,871,941
2000	11	19.4	-5.7	5.8	3,988,154
2000	12	13.7	-9.7	0.7	2,538,666
2001	1	5.4	-18.7	-3.9	3,463,725
2001	2	12.4	-12.5	-0.8	6,989,025
2001	3	20.6	-7.7	3.3	10,284,073
2001	4	26.0	-3.7	10.9	14,050,886
2001	5	28.1	6.9	17.4	16,162,226
2001	6	31.8	12.3	21.5	11,949,148
2001	7	32.6	18.3	25.3	10,441,047
2001	8	34.7	16.9	25.6	6,396,185
Average and Total		23.3	0.5	11.6	112,354,634

Table 6 Thermal amount of maximum ventilation in Taeon area (2001 year base)

Date	Ambient temp. (°C)	Indoor temp. (°C)	Thermal amount of maximum ventilation (MJ/h)
Sep. 4, 2000	27.5	27.5	138,639

있지만, 냉방의 경우는 대비할 수 있는 근거 자료가 현재로서는 전무하기 때문에 분석에서 제외하였다. 물론 난방의 경우도 좀 더 면밀한 검토를 하기 위해서는 재배작물이나 작기, 생산비 등 모두 요인이 경제성분석에 반영되어야 한다. 그러나 태안지역의 경우, 단지조성의 기본계획단계이고, 또한 신·재생에너지 투입여부에 대한 판단과 투자비 등을 검토하기 위한 것이므로 본 연구에서는 시장조사 결과를 바탕으로 초기투자비, 감가상각비, 이자, 운영 및 관리비 (소비전력, 열매체 교환, 인건비, 부품교체 등) 등을 요인으로 경제성을 분석하였다.

태안지역의 환경설비에 대한 자료는 국내의 환경설비 업체들로부터 입수한 자료들을 근거로 산정한 값이며, 이들 자료들을 경제성 분석에서 이용하였다. 지열히트펌프 및 평판형 집열기의 시장조사 결과를 보면 다음과 같다.

지열히트펌프의 경우, 벨로 온실 바닥면적 100,000 m² (10 ha)를 대상으로 수직 밀폐형 지열히트펌프를 설치하는 것으로 가정하면 총 소요 냉동톤이 약 3,000 RT으로서 200 RT × 15대 정도를 설치하여야 하는 것으로 조사되었다. 이 모델의 가격이 대당 134,200천원인 점을 고려하고, 시공비 및 부대 시설비를 포함하면 총 공사비는 약 170억원정도 소요될 것으로

조사되었다. 그리고 지열히트펌프의 경우, 정부 60 %, 지자체 20 % 정도 지원을 받는 것으로 조사되었기 때문에 경제성을 분석할 때, 시설비의 80 %를 지원받는 것으로 가정하였다. 내구연수는 10~15년 정도였으나, 분석할 때는 12년으로 가정하였다. 따라서 13년째에 다시 설치비를 반영하여야 하지만, 본 연구에서는 이를 반영하지 않고 20년까지 사용하는 것을 가정하여 분석하였기 때문에 실제로 12년 이후의 데이터는 유지관리를 철저히 하여 사용할 경우 참고용으로 활용할 수 있을 것이다.

평판형 태양열 집열기의 경우, 집열기 효율 55 %, 일일 가동시간 6시간, 일사량 약 13 MJ/day 인 것으로 가정하여 집열기 면적을 산출하였다. 이와 같은 전제하에 회사에서 제시한 집열기의 면적은 약 325 m² (온실바닥면적 0.1 ha 대상) 정도였고, 총비용은 약 3억원정도 소요되는 것으로 조사되었다. 태양열 집열기도 지열히트펌프와 마찬가지로 정부나 지자체로부터 70 % 정도 지원을 받은 것으로 조사되었고, 내구연수는 20년으로 조사되었다. 이 들 값들을 분석요인으로 고려하였다.

경유의 순발열량은 35.4 MJ/ℓ, 면세유 1,025 원/ℓ (2008년 기준), 전력요금 (농사용 병)은 40 원/kWh (2007년 4년 이후 일정)을 적용하였다.

이상의 두 가지 난방설비는 주간동안 축열조에 축열한 후, 야간에 온수난방기의 배관을 이용하여 난방하는 것을 전제로 조사되었다.

난방시스템 구성은 sol-10 % (태양열 집열기 단독으로 총 난방열량의 10 %를 공급), sol-20 %, sol-50 % 및 sol-100 %와 pump-10 % (지열히트펌프 단독으로 총 난방열량의 10 %를 공급), pump-20 %, pump-50 % 및 pump-100 %으로서 태양열 집열기와 지열히트펌프에 대해 각각 4가지 조건으로 검토하였다. 그리고 두 시스템을 조합할 경우, sol-10 % + pump-10 %, sol-20 % + pump-20 % 및 sol-50 % + pump-50 %로 3가지 조합에 대해 분석하였다.

Table 7, 8 및 9는 태양열 집열기, 지열히트펌프 및 태양열 집열기와 지열히트펌프를 조합한 경우의 비용-편익을 분석한 일례를 나타낸 것이다. 편익부분에서 난방비가 의미하는 것은 이들 난방시스템을 이용할 경우, 난방에 필요한 유류비의 절감량을 산정하여 나타낸 비용이다. 그리고 이자율은 정부융자를 전제로 한 것이다. Table 7, 8에서 편익부분에서 난방비용은 태양열 집열기와 지열히트펌프의 경우 같아야 하지만, 비용이 다른 것을 알 수 있다. 이것은 태양열 집열기 회사에서 제시한 집열기 면적이 시물레이션에 의한 난방에 필요한 집열기 면적

Table 7 Cost-Benefit for sol-50 % (unit : ten thousand won, %)

Peoc.year	Cost				Benefit		Interest rate	CostBenefit	Total sum
	Installation	Maintenance	Depreciation	Total	Heating cost	Total			
1	458,750	3,535.23	22,937.48	485,222.21	30,767.43	30,767.4	0.0	-454,455	-454,455
2		3,658.96	23,740.29	27,399.25	31,844.29	31,844.3	3.5	4,445	-450,010
3		3,787.02	24,571.20	28,358.22	32,958.84	32,958.8	3.5	4,601	-445,409
4		3,919.57	25,431.19	29,350.76	34,112.40	34,112.4	3.5	4,762	-440,647
5		4,056.75	26,321.29	30,378.04	35,306.33	35,306.3	3.5	4,928	-435,719
6		4,198.74	27,242.53	31,441.27	36,542.06	36,542.1	3.5	5,101	-430,618
7		4,345.69	28,196.02	32,541.71	37,821.03	37,821.0	3.5	5,279	-425,339
8		4,497.79	29,182.88	33,680.67	39,144.76	39,144.8	3.5	5,464	-419,875
9		4,655.22	30,204.28	34,859.50	40,514.83	40,514.8	3.5	5,655	-414,220
10		4,818.15	31,261.43	36,079.58	41,932.85	41,932.8	3.5	5,853	-408,366
11		4,986.78	32,355.58	37,342.36	43,400.50	43,400.5	3.5	6,058	-402,308
12		5,161.32	33,488.03	38,649.35	44,919.52	44,919.5	3.5	6,270	-396,038
13		5,341.97	34,660.11	40,002.07	46,491.70	46,491.7	3.5	6,490	-389,548
14		5,528.94	35,873.21	41,402.15	48,118.91	48,118.9	3.5	6,717	-382,832
15		5,722.45	37,128.77	42,851.22	49,803.07	49,803.1	3.5	6,952	-375,880
16		5,922.74	38,428.28	44,351.02	51,546.18	51,546.2	3.5	7,195	-368,685
17		6,130.03	39,773.27	45,903.30	53,350.29	53,350.3	3.5	7,447	-361,238
18		6,344.58	41,165.33	47,509.92	55,217.55	55,217.6	3.5	7,708	-353,530
19		6,566.64	42,606.12	49,172.76	57,150.17	57,150.2	3.5	7,977	-345,553
20		6,796.47	44,097.34	50,893.81	59,150.42	9,150.4	3.5	8,257	-337,296

Table 8 Cost-Benefit for pump-50 % (unit : ten thousand won, %)

Peoc.year	Cost				Benefit		Interest rate	CostBenefit	Toatl sum
	Installation	Maintenance	Depreciation	Total	Heating cost	Total			
1	167,265	20,685.45	13,938.75	201,889.20	98,367.91	98,367.9	0.0	-103,521	-103,521
2		21,409.44	14,426.61	35,836.05	101,810.79	101,810.8	3.5	65,975	-37,547
3		22,158.77	14,931.54	37,090.31	105,374.16	105,374.2	3.5	68,284	30,737
4		22,934.33	15,454.14	38,388.47	109,062.26	109,062.3	3.5	70,674	101,411
5		23,737.03	15,995.04	39,732.07	112,879.44	112,879.4	3.5	73,147	174,558
6		24,567.83	16,554.86	41,122.69	116,830.22	116,830.2	3.5	75,708	250,266
7		25,427.70	17,134.28	42,561.98	120,919.28	120,919.3	3.5	78,357	328,623
8		26,317.67	17,733.98	44,051.65	125,151.45	125,151.5	3.5	81,100	409,723
9		27,238.79	18,354.67	45,593.46	129,531.75	129,531.8	3.5	83,938	493,661
10		28,192.15	18,997.09	47,189.23	134,065.36	134,065.4	3.5	86,876	580,538
11		29,178.87	19,661.98	48,840.85	138,757.65	138,757.7	3.5	89,917	670,454
12		30,200.13	20,350.15	50,550.28	143,614.17	143,614.2	3.5	93,064	763,518
13		31,257.14	21,062.41	52,319.54	148,640.67	148,640.7	3.5	96,321	859,839
14		32,351.13	21,799.59	54,150.73	153,843.09	153,843.1	3.5	99,692	959,532
15		33,483.42	22,562.58	56,046.00	159,227.60	159,227.6	3.5	103,182	1,062,713
16		34,655.34	23,352.27	58,007.61	164,800.56	164,800.6	3.5	106,793	1,169,506
17		35,868.28	24,169.60	60,037.88	170,568.58	170,568.6	3.5	110,531	1,280,037
18		37,123.67	25,015.53	62,139.21	176,538.48	176,538.5	3.5	114,399	1,394,436
19		38,423.00	25,891.08	64,314.08	182,717.33	182,717.3	3.5	118,403	1,512,839
20		39,767.80	26,797.27	66,565.07	189,112.44	189,112.4	3.5	122,547	1,635,387

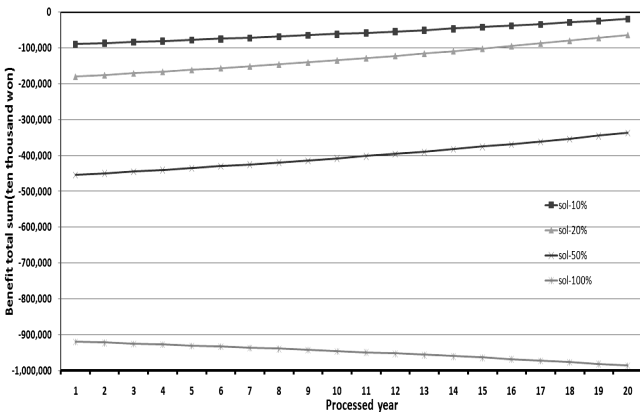


Fig. 1 Cost-Benefit for sol-10 %, 20 %, 50 % and 100 %

과 약 3배 정도의 차이 때문이다. 또한 Table 9에서 알 수 있듯이 설치비와 감가상각비는 Table 7과 Table 8을 합한 것이지만, 유지비는 이들과 다르게 나타나 있다. 이 두 시스템은 축열조를 겸비한 시스템이기 때문에 두 시스템을 동시에 가동할 경우, 축열조에 축열되는 열은 축열조의 설정온도나 기상조건 등에 따라 상호보완적으로 작동하면서 획득하게 된다. 이와 같이 상호보완적으로 작동할 경우, 소비전력, 열매체, 인건비 등이 다르게 되기 때문에 유지비가 단순 가동시보다 약 20 %

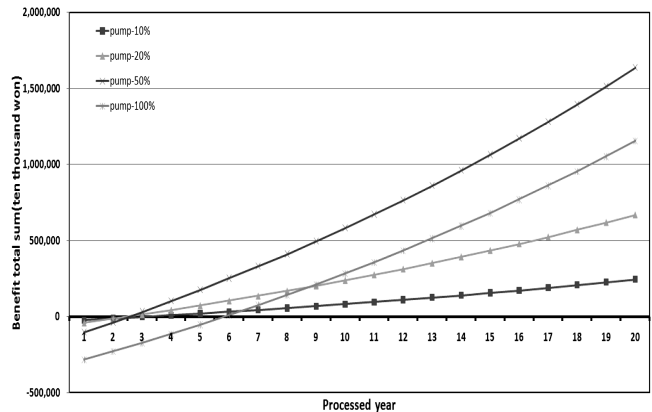


Fig. 2 Cost-Benefit for pump-10 %, 20 %, 50 % and 100 %

정도 감소하게 된다.

그리고 Fig. 1, 2 및 3은 손익분기점을 알아보기 위하여 Table 7, 8 및 9를 포함하여 여기에 나타내지 않은 비용-편익의 분석결과들을 포함하여 나타낸 것이다.

Table 7, 8 및 9를 포함하여 여기에 나타내지 않은 비용-편익의 분석결과들과 Fig. 1, 2 및 3으로부터 다음과 같은 것을 알 수 있다.

태양열 집열기 시스템을 이용할 때, 태양열 이용률을 10 %,

Table 9 Cost-Benefit for sol-50 % + pump-50 % (unit : ten thousand won, %)

Peoc.year	Cost				Benefit		Interest rate	CostBenefit	Total sum
	Installation	Maintenance	Depreciation	Toatl	Heating cost	Toatl			
1	626,014.50	16,093.88	36,876.23	678,984.61	102,819.50	102,819.50	0.0	-576,165	-576,165
2		16,657.17	38,166.90	54,824.06	106,418.18	106,418.18	3.5	51,594	-524,571
3		17,240.17	39,502.74	56,742.91	110,142.82	110,142.82	3.5	53,400	-471,171
4		17,843.57	40,885.34	58,728.91	113,997.82	113,997.82	3.5	55,269	-415,902
5		18,468.10	42,316.32	60,784.42	117,987.74	117,987.74	3.5	57,203	-358,699
6		19,114.48	43,797.39	62,911.87	122,117.31	122,117.31	3.5	59,205	-299,493
7		19,783.49	45,330.30	65,113.79	126,391.42	126,391.42	3.5	61,278	-238,216
8		20,475.91	46,916.86	67,392.77	130,815.12	130,815.12	3.5	63,422	-174,793
9		21,192.57	48,558.95	69,751.52	135,393.65	135,393.65	3.5	65,642	-109,151
10		21,934.31	50,258.52	72,192.82	140,132.42	140,132.42	3.5	67,940	-41,212
11		22,702.01	52,017.56	74,719.57	145,037.06	145,037.06	3.5	70,317	29,106
12		23,496.58	53,838.18	77,334.76	150,113.36	150,113.36	3.5	72,779	101,884
13		24,318.96	55,722.52	80,041.47	155,367.32	155,367.32	3.5	75,326	177,210
14		25,170.12	57,672.80	82,842.92	160,805.18	160,805.18	3.5	77,962	255,172
15		26,051.08	59,691.35	85,742.43	166,433.36	166,433.36	3.5	80,691	335,863
16		26,962.86	61,780.55	88,743.41	172,258.53	172,258.53	3.5	83,515	419,379
17		27,906.56	63,942.87	91,849.43	178,287.58	178,287.58	3.5	86,438	505,817
18		28,883.29	66,180.87	95,064.16	184,527.64	184,527.64	3.5	89,463	595,280
19		29,894.21	68,497.20	98,391.41	190,986.11	190,986.11	3.5	92,595	687,875
20		30,940.51	70,894.60	101,835.11	197,670.62	197,670.62	3.5	95,836	783,710

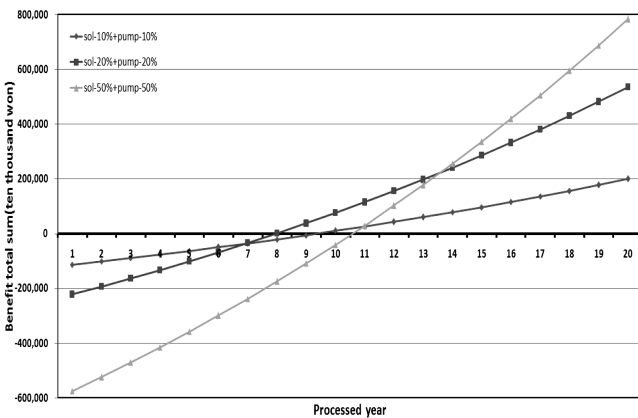


Fig. 3 Cost-Benefit for sol-10 % + pump-10 %, sol-20 % + pump-20 % and sol-50 % + pump-50 %

20 %, 50 % 및 100 %으로 가정할 경우, 시설을 설치한 후 20년이 경과하면 비용-편익의 누계가 -19,345만원, -63,493만원, -337,296만원 및 -985,042만원이 되므로 결국 20년이 경과하여도 총 투자비를 회수할 수 없음을 알 수 있고, 태양열 집열기의 이용률이 증가할수록 누계손실이 커짐을 알 수 있다 (Fig. 1 참조).

지열 히트펌프 시스템을 이용할 때, 손익분기점은 지열 히트

펌프 이용률을 10 %, 20 %, 50 % 및 100 %로 가정할 경우에 각각 약 4년, 3년, 3년 및 6년 정도로 나타났다 (Fig. 2 참조). 시스템을 설치한 후 12년이 경과한 경우에 비용-편익의 누계는 각각 +110,298만원, +312,170만원, +763,518만원 및 +434,545만원이 되어 지열 히트펌프 이용률이 50%인 경우가 가장 유리함을 알 수 있다.

그리고 태양열 집열기와 지열 히트펌프 시스템을 병용할 경우, 손익분기점은 태양열 집열기와 지열 히트펌프의 이용 비율을 각각 sol-10 % + pump-10 %, sol-20 % + pump-20 % 및 sol-50 % + pump-50 %으로 가정할 경우에 각각 약 10년, 8년 및 11년 정도로 나타났다 (Fig. 3 참조). 지열히트펌프의 내구연수 12년을 기준으로 비용-편익의 누계는 각각 +42,402만원, +155,184만원 및 +101,884만원으로 나타났다. 만약 지열히트펌프의 유지관리가 잘 되어 20년 정도 사용할 수 있다면, 20년 경과후의 비용-편익의 누계는 각각 +199,398만원, +535,101만원 및 +783,710만원으로 나타났다. 따라서 지열 히트펌프의 내구연수를 12년으로 고려하면 손익분기점과 비용-편익의 누계 모두 태양열 20 % + 지열 히트펌프 20 %인 경우가 가장 유리하였다. 그리고 지열히트펌프의 내구연수를 20년으로 보면, 비용-편익의 누계는 태양열 50 % + 지열 히트

펌프 50 %인 경우가 가장 유리한 것으로 나타났지만 (Fig. 3 참조), 본 계획입안 시에는 확정된 요인들을 이용하여 좀 더 면밀한 분석이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 태안의 이원 간척지에 조성될 예정인 열에너지 단지 조성사업의 기본계획을 수립하는 과정에서 수행되었으며, 이 지역에 조성될 대규모 온실을 대상으로 냉·난방 부하 및 환기열량을 검토하고, 난방에 대해서는 경제성을 분석하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다. 이 지역의 최저 외기온은 2001년 1월 7일에 발생하였으며, 이 때 최저 외기온은 $-18.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 였다. 그리고 최고 외기온은 1994년 7월 24일에 발생하였으며, 이 때 최고 외기온은 $36.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 였다. 최대난방부하는 $39,011\text{ MJ/h}$ 으로 나타났지만, 최대난방부하 발생일이 최저기온 발생일과 일치하지 않음을 알 수 있었다. 최대냉방부하는 최대난방부하의 약 2.3배 정도인 $88,562\text{ MJ/h}$ 으로 나타났다. 2000년 09월 04일 14시에 발생하였다. 최대 환기열량은 $138,639\text{ MJ/h}$ 로 나타났다. 태양열 이용률을 10 %, 20 %, 50 % 및 100 %으로 가정할 경우, 20년이 경과하면 비용-편익의 누계가 $-19,345$ 만원, $-63,493$ 만원, $-337,296$ 만원 및 $-985,042$ 만원으로 나타났다. 지열히트펌프의 손익분기점은 지열 이용률을 10 %, 20 %, 50 % 및 100 %로 가정할 경우, 각각 약 4년, 3년, 3년 및 6년 정도로 나타났고, 이용률이 50 %인 경우가 가장 유리함을 알 수 있었다. 그리고 두 시스템을 조합할 경우, 손익분기점은 약 10년, 8년 및 11년 정도로 나타났다.

이 논문은 2009년 (주)하이드로젠파워에서 지원한 “태안 시설원예단지 조성을 위한 기본계획 수립”의 연구비에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

1. Kim, H. T., 2007. Development method of the future agricultural complex in reclaimed land, 2-5. Gwacheon and Uiwang, Gyeonggi: Ministry of Agriculture and Forestry and Korea Rural Community Corporation (in Korean).
2. Korea Energy Management Corporation New & Renewable Energy Center (KEMCNEC), New & Renewable Energy, [Http://www.knrea.or.kr](http://www.knrea.or.kr). Accessed 9 Mar. 2009.
3. Lee, S. G., 1997. *Fundamental study on KUMI greenhouse complex planing*, 1-4. KRCC. Uiwang, Gyeonggi, Korea (in Korean).
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. Guide book of energy cost down protected horticulture for overcome of high oil price, 126-218. Suwon, Korea (in Korean).
7. 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.