



[2019-3-GT-001]

Part 1. 북강릉 지역의 스마트팜 온실 내 지열히트펌프 이용에 따른 비용절감효과에 관한 연구

이충건¹⁾ · 정인선²⁾ · 조라훈¹⁾ · 김석준²⁾ · 전영광²⁾ · 박선용¹⁾ · 김민준¹⁾ · 오광철³⁾ · 양제복⁴⁾ · 장기창⁵⁾ · 김대현^{6)*}

Part 1. Study on the Cost Saving Effect Using a Geothermal Heat Pump in Greenhouses in the Northern Gangneung Area

Chung Geon Lee¹⁾ · In seon Jeong²⁾ · La Hoon Cho¹⁾ · Seok Jun Kim²⁾ · Yeong Gwang Jeon²⁾ · Seon Yong Park¹⁾ ·
Min Jun Kim¹⁾ · Kwang Cheol Oh³⁾ · Je Bok Yang⁴⁾ · Ki Chang Chang⁵⁾ · Dae Hyun Kim^{6)*}

Received 7 June 2018 Revised 8 February 2019 Accepted 14 March 2019

ABSTRACT Research and technological developments on smart farms with the convergence of ICT technologies are underway in agriculture. Smart farms have a significant increase in energy demand due to the larger number of facilities, sensors, and electronic devices than conventional greenhouses. The greatest energy demand among these is heating energy depending on temperature. In addition, 92 percent of energy sources depend on fossil energy and are strongly dependent on foreign countries, which could cause price instability. Therefore, this study examined the performance and economic feasibility of a heat pump compared to a diesel boiler by comparing the heating performance of the conventional diesel boiler and heat pump currently in a smart farm and analyzing its economy. The heating performance was similar, but the heat pump had a 12.34% lower energy input cost. Therefore, heat pumps were found to be good heat supply systems for greenhouses. In addition, after five years of weather data and calculation of the heating load, economic analysis showed that heat pumps have a cost savings of approximately 25.8% compared to diesel boilers.

Key words Geothermal heat-pump(지열원 히트펌프), Oil-boiler(경유보일러), Economic analysis(경제성분석), Calculating heating load(난방부하량 산출), Smart-Farm(스마트팜)

1) Doctoral Student, Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University

2) Master's Degree Student, Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University

3) Postdoctoral Researcher, Green Materials & Processes R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology

4) Principal Engineer, Korea Institute of Energy Research

5) Principal Researcher, Korea Institute of Energy Research

6) Professor, Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University

*Corresponding author: daekim@kangwon.ac.kr

Tel: +82-33-250-6496

Fax: +82-33-259-5561

1. 서론

최근 전 세계적인 식량위기 문제와 더불어 국내에서도 식량 자급율을 증대시키기 위한 대응책이 마련되고 활발한 연구 활동이 진행 중이다^[1]. 이에 따라 기존의 농업은 ICT (Information & Communication Technology) 기술이 융합된 최적 에너지 관리 및 농작업의 자동화가 가능한 스마트팜(Smart-Farm, 이하 스마트팜) 기술로 전환되고 있는 추세이다. 스마트팜 기술은 재배작물의 생육환경을 제어하여 작물생육에 최적화된 환경을 제공하고 이는 생산성

및 농가의 소득증대를 가져올 수 있다^[2]. 스마트팜 기술은 크게 양액관리, 제어 및 모니터링, 작물재배관리, 온·습도 및 생육환경관리의 4가지 요소로 분류할 수 있다. 여기서 온·습도 및 생육환경관리 기술은 에너지공급과 직결되며, 첨단시설농업은 기존농업보다 필요한 전자기기, 센서, 펌프 등과 같이 많은 디바이스(Device)들로 인하여 기존 농업에 비해 에너지 수요량이 크게 증가하게 된다.

또한 시설농업에서 난방에너지원의 92%를 화석에너지에 의존하고 있고 해외 의존도가 높아 가격불안정성이 우려된다^[3]. 이에 따라서 본 연구는 기존 스마트팜이 경유 및 등유보일러에 의존하던 에너지를 신재생에너지 이용을 통하여 친환경적이고 안정적인 에너지공급 및 절감을 목표로 수행되었고 동시에 비용절감효과를 가져올 수 있는지에 대해서도 검토되었다^[4].

본 연구에서는 300평형 규모의 실증팜 온실을 고려하여 경유 보일러와 현재 스마트팜 열에너지 공급원으로 주로 쓰이는 지열원 히트펌프를 에너지원으로 선정하여 실험설비를 구성하였다. 또한 난방 부하량을 산출하여 에너지설비 용량이 적정한지 검증하였고 경유보일러와 히트펌프의 난방실험을 통하여 난방성능 확인 및 에너지 소비량을 확인하였다. 또한 이에 대한 경제성 분석을 실시하였다.

2. 연구 방법

2.1 온실 개요 및 기상데이터

본 연구는 북강릉 지역의 한국과학기술연구원 천연물 연구소에 위치한 300평형 실증팜(Farm)에서 실시되었고 온실 내 열에너지 공급설비 개요도는 Fig. 1과 같다. 또한 기상데이터는 실증팜과 근접하게 위치한 북강릉 기상청에서 제공하는 기상데이터를 이용하였으며 2013~2017년간의 5년 평균 일일 기온 및 일사량데이터를 수집하여 이용하였다.

2.2 난방부하량 산출

온실의 난방 부하량 산출을 위하여 연구대상지인 북강릉의 기상데이터 중 기온과 대상작물의 적정생육온도를 설정하였다. 대상작물은 토마토를 기준으로 진행하였으며, 적정생육온도는 25℃를 기준으로 하였다^[5]. 따라서 일일 평균 난방부하를 산출하는데 필요한 인자는 다음 Table 1과 같다. 일일 평균 난방부하량은 식 (1)로 표현되고 온실의 피복면적 전열량, 환기면적 전열량, 바닥면적 전열량을 고려하여 각각 식 (2), (3), (4)를 통해 계산할 수 있다. 또한 난방부하 산출에 사용된 인자 중 몇몇 계수의 경우 현재 히트펌프 보급사업에 참여중인 기업 (주)알엑서지에서 제공 받은 자료를 사용하였으며, 난방부하량 산출식은 참고문헌 [6]에서 인용하였다.

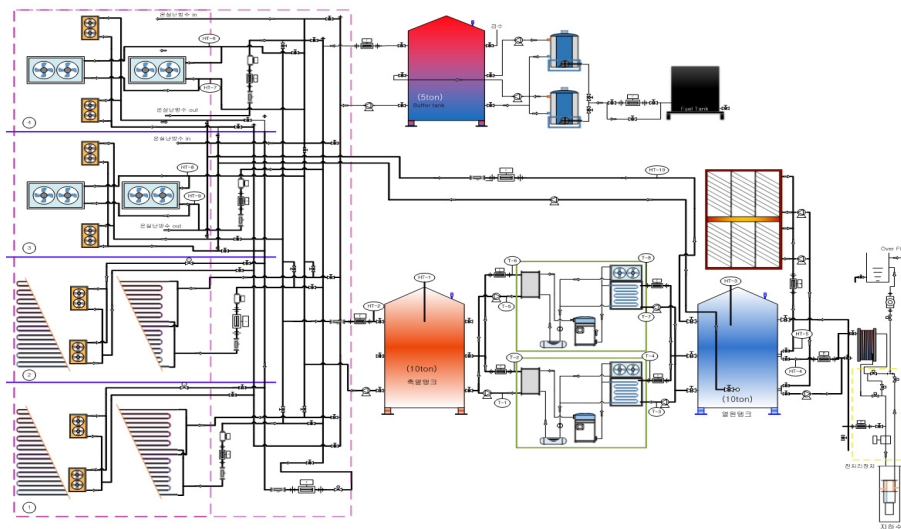


Fig. 1. 300RT Heat-pump and oil boiler overview

Table 1. Factors required to calculate the heating load

Sign	Factor		Unit
Qg	Maximum heating load		kcal/h
Ag	The covered area of a greenhouse		m ²
As	The floor area of a greenhouse		m ²
qt	Transmission heat load per the covered area of a greenhouse		kcal/m ²
qv	Ventilation heat load per the covered area of a greenhouse		kcal/m ²
qs	Ground Heat Transfer Load per the covered area of a greenhouse		kcal/m ²
fw	Correction factor according to wind velocity		—
ht	Thermal perfusion ratio	4.50	kcal/m ² ·h·°C
Ts	Greenhouse inside set temperature		°C
Ta	Set ambient air temperature		°C
Tg	Ground temperature		°C
Sr	Safety factor	1.2	—
fr	Reduction rate of heating cover	0.71 (Triple screen)	—
hv	Ventilation heat coefficient	0.2	kcal/m ² ·h·°C
hs	Ground Heat Transfer Coefficients	0.244	kcal/m ² ·h·°C

$$Qg = [Ag \times (qt + qv) + As \times qs \times fw] \times S_f \quad [\text{kcal/h}] \quad (1)$$

$$qt = ht \times (T_s + T_a) \times (1 - fr) \quad [\text{kcal/m}^2] \quad (2)$$

$$qv = hv \times (T_s - T_a) \quad [\text{kcal/m}^2] \quad (3)$$

$$qs = hs \times (T_s - T_a) \quad [\text{kcal/m}^2] \quad (4)$$

2.3 히트펌프 및 경유보일러

히트펌프 시스템은 압축식 냉동시스템으로 히트펌프내의 압축기를 이용하여 냉매를 압축, 응축, 팽창, 증발의 4가지 과정을 거쳐 냉매가 한쪽에서 열을 빼앗아 다른 한쪽으로 열을 방출하거나 흡수하는 냉동사이클을 가진다. 열을 저온부에서 고온부로 역 이동을 시키기 때문에 히트펌프 또는 열펌프라고 하며 열원은 공기, 지하수, 태양열, 지열 등이 있다^[7]. 또한 히트펌프는 열교환매체에 따라서 공기 대 공기, 공기 대 물, 물 대 물로 분류될 수 있다. 본 연구에

서는 300평형 온실에 30RT(Ton of Refrigeration)급 지열원 히트펌프(30RT Heat-pump, Iljin E-plus, Republic of Korea)가 설치되었다. 이는 지하수를 열원으로 하여 열 에너지를 생산하는 장치로서 물 대 물 방식의 단일 시추공 지하수 열원 히트펌프를 사용하였고 경유보일러는 (주)경동나비엔의 상업용 중대형 보일러인 100,000kcal 급 철재질 중형 경유 보일러를 예비보일러 포함 2대를 설치하였다. 두 열에너지 공급 설비를 이용하여 난방성능실험을 진행하였다.

2.4 난방성능 실험 방법

히트펌프와 경유보일러의 난방실험은 2017년 10월부터 12월까지 진행하였고 실증팜을 총 4구역으로 나누어 1, 2 구역은 경유보일러를 이용하고 3, 4구역은 히트펌프를 이용하여 난방을 진행하였다. 경유보일러의 경우, 축열탱크의 난방수 온도를 60°C로 설정하고 히트펌프의 경우는 지열원 히트펌프가 감당가능한 최대온도인 48°C로 설정하였으며, 자동제어 판넬을 이용하여 일정하게 유지하도록 하였다. 경유보일러와 히트펌프의 연료소비량을 측정하기 위해서 경유보일러는 유류적산유량계를 이용하였고 히트펌프는 적산전력량계를 이용하여 매일 오전 9시에 기록하여 일일 연료소비량을 측정하였다. 난방성능을 확인하기 위하여 각 구역별로 온도센서를 설치하여 1분단위로 데이터를 기록하였고 각 구역별 입수온도 및 환수온도를 측정하여 소비된 열량을 산출할 수 있도록 하였다. 소비된 열량을 산출하는데 사용된 식은 다음 식 (5)와 같다.

$$Q = \Delta T \times q \times C_p \quad (5)$$

Q는 소비된 열량이고 ΔT 는 각 구역별 입수 및 환수온도차, q는 물의 유량, C_p 는 물의 비열로서 각 구역별 소비된 열량을 산출가능하다.

2.5 경제성분석 방법

히트펌프와 경유보일러의 스마트팜 내 열에너지 공급시스템으로의 경제성을 비교분석 하기 위하여 경제성 분석방법 중 현재가치법^[8,9]을 적용하였고 적용된 식은 다음 식 (6)과 같다.

$$Presentworth = F(1+i)^{-n} \quad (6)$$

식 (6)에서 F는 초기투자비용, 투자수익, 경비 등의 고정비와 운영비를 포함한다. i는 이자율, n은 장비의 사용연한을 의미한다.

이후 총 현재가치(Total present worth)를 산출하고 자본회수계수(Cost return factor)를 고려하여 연간 열에너지 공급에 소요되는 총 비용(Level Annual Revenue Requirements)이 산출가능하며 다음 식 (7)로 표현된다.

$$LARR = TPW \times CRF \quad (7)$$

식 (7)에 나온 자본회수계수는 다음 식 (8)로 표현된다.

$$CRF = \frac{i \times (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (8)$$

식 (7)에서 경제성 분석에 사용된 각 시스템별 인자는 Table 2와 같으며, 연간소요 연료비의 경우, 히트펌프는 압축기 소비동력 135kw/day에 따른 농업용 전기로 산출하였고 경유보일러는 시간당 연료소모량 6L/hr에 기초하여 산출하였다. 또한 경제성분석에 사용된 초기투자비를

Table 2. Factors involved in economic analysis

Divide	Heat Pump	Pellet Boiler
Generating capacity	30RT	100,000 kcal/hr
Initial investment cost (million won)	20	6
Interest rate on agricultural loans when using renewable energy	Fixed interest rate of 2%	
Operating period (yr)	10	
Fuel cost per hour (won/hr)	5,292	7,878
interest ratio (%)	Fixed interest rate of 2%	
Loan rate (%)	100%	
Income tax rate (%)	15% (Based on income tax rate of 10,700 ~41,200 USD 2017 Korea National Tax Agency)	
Annual average inflation (%)	2%	

비롯한 사용연한 이자율, 연료비, 세금 등의 인자는 다음 Table 2와 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기온데이터를 이용한 난방부하량 산출 결과

Fig. 2는 북강릉 지역의 기상청에서 제공하는 기온 데이터를 이용하여 2013년부터 2017년까지 5년간 일평균온도 데이터를 이용하여 5년 평균 데이터로 사용하였으며 본 연구에서 난방이 필요없는 7, 8월의 경우 스마트팜을 운영하지 않는 조건으로 가정하였다. 실제로 국내의 고온다습한 환경으로 인하여 병충해로 인한 경제적 손실이 발생하는 이유로 냉방을 하지 않고 휴경하는 농가가 대다수를 이루고 있다. 5년간 일평균 최저기온은 2월 8일 영하 1.59℃이며, 최고기온은 여름철 휴경으로 인하여 고려하지 않았다. 난방부하량은 식 (1), (2), (3), (4)와 토마토 생육적정온도 25℃, 5년간 기상데이터를 통하여 일일 평균난방부하량으로 계산을 하였고 Fig. 3과 같다.

일일 평균 난방부하량을 이용하여 경유보일러와 히트펌프의 적정용량에 대해 검증을 실시하였으며, 실증팜 설계도에 기초하여 산출된 일일 일일 평균 난방부하량은 기온데이터와 동일한 2월 8일, 90,612kcal/h로 식 (1)을 이용하

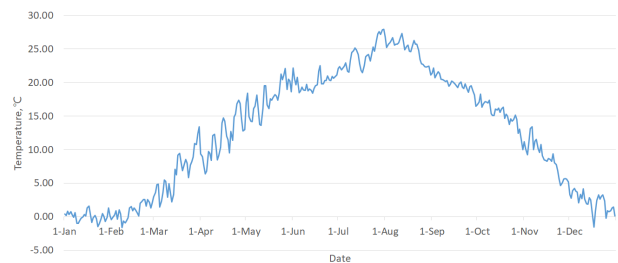


Fig. 2. Average daily temperature for 5years



Fig. 3. Daily maximum heating load

여 산출되었다. 경유보일러의 경우 100,000kcal/h급을 선정하여 여유 열량 및 시장제품의 규격 상 적정용량으로 판단되고 히트펌프의 경우 1RT는 약 3024kcal로서 30RT일 경우 90,720kcal/h급이 된다. 따라서 두 시스템 모두 적절 용량으로 선정된 것으로 판단된다.

3.2 난방성능실험 및 연료소비량 결과

3.2.1 연료소비량

난방성능실험과 에너지 소비량을 산출하기 위하여 10월

Table 3. Daily fuel and power consumption

Date	Daily heat pump power consumption (kW)	Daily diesel consumption (L)	Daily boiler energy consumption (kcal)	Daily heat pump energy consumption (kcal)
10-20	82	36,4	302120	70520
10-21	74	37,9	314570	63640
10-22	74	38	315400	63640
10-23	76	37,9	314570	65360
10-24	107	72,1	598430	92020
10-25	107	72	597600	92020
10-26	77	42,7	354410	66220
10-27	68	30,6	253980	58480
10-28	132	47,7	395910	113520
10-29	132	47,8	396740	113520
10-30	129	99	821700	110940
10-31	57	55,3	458990	49020
11-01	59	55,4	459820	50740
11-02	172	109,7	910510	147920
11-03	110	96,3	799290	94600
11-04	153	129	1070700	131580
11-05	169	144	1195200	145340
11-06	189	145,9	1210970	162540
11-07	117	88,9	737870	100620
11-08	118	89	738700	101480
11-09	142	134,1	1113030	122120
11-10	145	114,6	951180	124700
11-11	137	115,7	960310	117820
11-12	137	115,7	960310	117820
11-13	137	115,6	959480	117820
11-14	169	109,5	908850	145340
11-15	139	130,7	1084810	119540
11-16	185	165,6	1374480	159100
11-17	163	153,7	1275710	140180
11-18	182	168,1	1395230	156520
11-19	182	168,1	1395230	156520
11-20	184	168	1394400	158240
11-21	188	185	1535500	161680
11-22	146	129,8	1077340	125560
11-23	172	167,7	1391910	147920
11-24	181	168,4	1397720	155660
11-25	146,4	134,68	1117844	125904
11-26	146,4	134,68	1117844	125904
11-27	146,4	134,68	1117844	125904
11-28	146,4	134,68	1117844	125904
11-29	146,4	134,68	1117844	125904
11-30	120	114	946200	103200
12-01	209	209,6	1739680	179740

부터 12월까지 실험기간동안 적산유류유량과 적산전력량을 측정하여 일일 연료소비량을 측정하였고 다음 Table 3과 같다.

실험기간동안 전력사용량은 총 5,852kW이고 경유보일러의 경우 총 경유사용량은 4,782.9L로 나타났다. 이를 각 에너지가격을 이용하여 비교 시 히트펌프의 경우 실험기간 동안 총 약 550만 5천원의 에너지 투입비용이 발생했으며 경유보일러의 경우 약 628만원의 비용이 발생하였다. 이는 경유보일러보다 히트펌프가 에너지 투입비용이 실험기간 동안 약 12.34% 절감된 것으로 나타났다.

여기서 실제 에너지 투입비용은 경유 가격 변동성에 따라 크게 차이가 발생할 수 있다. 실험기간동안의 경유 가격은 평균 1,309원으로서 경유를 포함한 화석연료 특성상 자원한정성으로 인하여 지속적인 가격상승을 감안한다면 Fig. 4와 같이 비용절감효과가 크게 상승할 수 있다. 또한 정부 정책이나 한국전력의 발표 등으로 인한 변화없이 전기가격의 변동성이 매우 적어, 전기가격은 변화가 없는 것으로 가정하였다. 유가상승에 따라 지열히트펌프의 이용은 비용절감효과를 극대화 할 수 있고 이는 안정적인 비용으로 에너지공급이 가능한 장점을 가지게 된다.

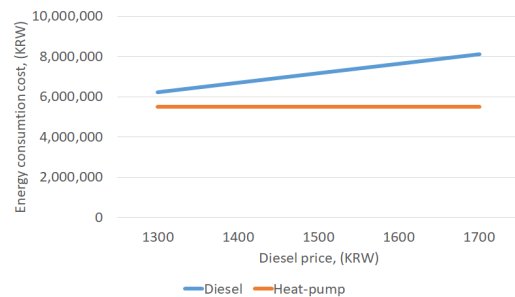


Fig. 4. Economic change according to the diesel price

3.2.2 경유보일러와 히트펌프를 이용한 각각 구역별 에너지 사용량

난방성능실험은 2017년 10월 20일부터 12월 01일까지 진행하였으며, 북강릉 기상청에서 제공한 일일 최저기온과 히트펌프대비 경유보일러의 에너지 투입비율간의 상관관계에 관한 경향을 확인 하고자 하였고 그에 따른 각 구역별 온도를 통해 히트펌프가 경유보일러와 난방성능에 차이가 있는지를 확인하고자 하였다. 일일 최저기온의 대한 경향 및 데이터는 다음 Fig. 5와 같다.

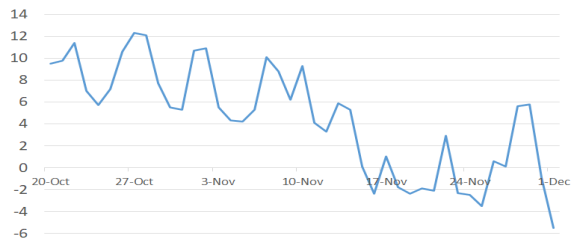


Fig. 5. Daily lowest ambient temperature

일일 최저기온은 겨울에 가까워질수록 우하향을 보이는 추세를 보였으며, 그에 따른 히트펌프 대비 경유보일러의 에너지 사용량은 다음 Fig. 6과 같이 점점 증가하는 추세를 보였다.

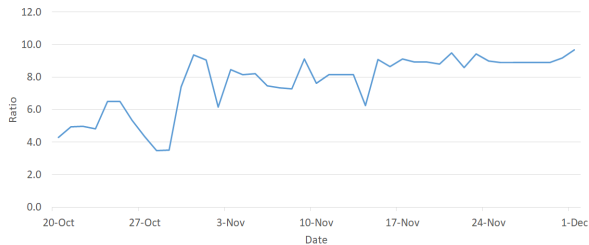


Fig. 6. Diesel Energy ratio to heat-pump

또한 에너지 사용량 중 경유의 경우, 경유발열량을 이용하고 히트펌프는 일일소비 전력량을 kcal로 환산하여 비교를 하였고 비교그래프는 다음 Fig. 7과 같다.

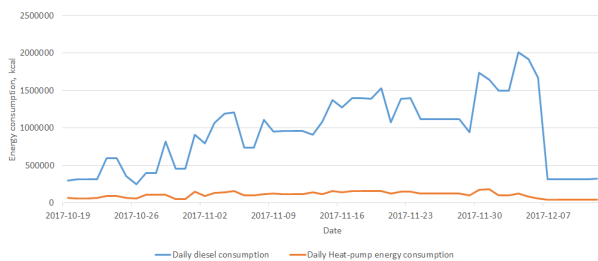


Fig. 7. Oil-boiler and heat-pump energy consumption

Fig. 7에서 나타나듯 경유보일러와 히트펌프의 투입에너지는 큰 차이를 보이며, 이는 경유보일러는 열원을 온전히 경유에 의존하는 반면 히트펌프는 지열원을 히트펌프 내 압축기 동력을 이용하여 에너지 이용효율을 극대화시켰기 때문으로 판단된다. 투입에너지 비율이 히트펌프가

현저히 낮은 것으로 보아 난방성능이 동일하다고 할 때 히트펌프는 충분히 스마트팜 온실 내 열에너지공급원으로 사용이 가능하다고 판단된다.

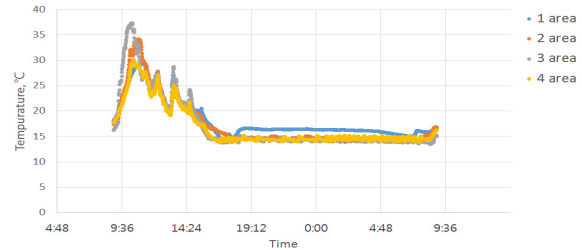


Fig. 8. Temperature changes by applying each heating system per test area

위 Fig. 8은 실험기간 중 히트펌프 대비 경유보일러 투입에너지 비율의 평균에 근접한 날인 11월 18일 오전 9시부터 11월 19일 오전 9시 까지 24시간동안의 난방성능에 관한 그래프로서 일출 후 온도상승을 이루다 일몰 후 약 15°C에 수렴하며 야간동안 난방이 되는 것을 보여준다. 기존의 난방부하 계산에서는 토마토 적정생육온도는 25°C로 설정하였으나 이는 주간적정생육온도이고 야간에는 토마토의 호흡작용 및 생산량과 당도 증대에 도움이 되는 온도로 적정생육온도를 15~18°C로 설정한다^[10]. 따라서 경유보일러와 히트펌프를 이용한 난방에 큰 성능차이가 없는 것으로 확인이 되었다.

3.3 경제성분석 결과

현재가치법을 이용하여 히트펌프와 경유보일러의 경제성을 분석하였다. 히트펌프의 경우 초기투자비는 300평 실증팜에 설비비용이 약 2억정도 필요하나 정부 지원사업으로 인하여 정책상 농민이 부담하는 자부담은 20%로 설정되어 있다. 따라서 정부지원금을 감안한 4,000만원으로 책정하였고 한국전력에서 공시한 농사용 전기 요금표와 산출된 난방부하량을 기준으로 히트펌프의 시간당 평균 전력사용량을 산정하여 전력요금을 계산하여 5,292 KRW/h로 분석을 진행하였다. 경유보일러는 (주)경동나비엔의 100,000 kcal/h급 경유 보일러로서 고장 시 예비를 위하여 2대로 편성되어 있으며 대당 약 300만원 정도의 시장가격이 형성되어 있다. 따라서 경유보일러의 초기투자비는 600만원

으로 정하였고 난방부하량과 실험이 진행된 기간 동안의 평균 경유가격을 기준으로 연료소비량 6L/hr와 경유가격 1,313 KRW/L로 산정하여 분석을 진행하였고 결과는 다음 Table 4, 5와 같다.

Table 4, 5는 현재가치법을 적용하여 분석한 경제성결과로서 경유보일러와 히트펌프를 이용한 경제성분석결과로, 첫 번째 항목부터 연도, 초기투자비용, 설비감가상각, 세금감가상각, 이자비용, 자기자본수익, 소득세, 연간소요비용, 앞서언급한 항목들을 합산한 연간 총 소요비용과 마지막항목은 이를 현재가치로 환산한 값으로서 표현되었다. 현재가치법에 의한 연간고정소요비용에서 300평형 실증팜에 필요한 총 에너지 3억 8천 4백만kcal를 나누면 1,000 kcal당 경유보일러는 198 KRW이고, 히트펌프는 147 KRW로 나타났다. 동일한 에너지를 소비하는 스마트팜 온실에

서 경유보일러보다 지열원 히트펌프가 약 25.8%의 비용절감 효과를 가져오는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 북강릉 지역의 한국과학기술연구원 천연물연구소 SFS합연구단에 설치된 300평형 실증팜에서 연구를 수행하였고 기상데이터와 연계한 난방부하량 산출, 난방부하량에 따른 히트펌프와 경유보일러의 적정용량 검증과 2017년 10월부터 12월까지 난방성능 및 연료소비량에 대한 실험 및 조사를 통한 분석과 경제성을 비교분석 하였다. 기상데이터는 북강릉 기상청의 2013~2017년까지의 5년 평균 기상데이터를 이용하여 토마토의 적정생육온도 25℃를 기

Table 4. Results of heat-pump economic analysis

Unit : KRW

year	Unrecovered investment	Book depreciation	Tax depreciation	Debt return	Equity return	Income tax	Annual expenses	Revenue requirement in year	Present worth
1	40,000,000	4,000,000	4,000,000	1,616,000	0	0	47,285,078	52,901,078	10,496,245
2	36,000,000	4,000,000	4,000,000	1,454,400	0	0	48,230,780	53,685,180	2,113,456
3	32,000,000	4,000,000	4,000,000	1,292,800	0	0	49,195,396	54,488,196	425,609
4	28,000,000	4,000,000	4,000,000	1,131,200	0	0	50,179,303	55,310,503	85,720
5	24,000,000	4,000,000	4,000,000	969,600	0	0	51,182,890	56,152,490	17,266
6	20,000,000	4,000,000	4,000,000	808,000	0	0	52,206,547	57,014,547	3,478
7	16,000,000	4,000,000	4,000,000	646,400	0	0	53,250,678	57,897,078	700
8	12,000,000	4,000,000	4,000,000	484,800	0	0	54,315,692	58,800,492	141
9	8,000,000	4,000,000	4,000,000	323,200	0	0	55,402,006	59,725,206	28
10	4,000,000	4,000,000	4,000,000	161,600	0	0	56,510,046	60,671,646	5.74

Table 5. Results of oil-boiler economic analysis

Unit : KRW

year	Unrecovered investment	Book depreciation	Tax depreciation	Debt return	equity return	Income tax	Annual expenses	Revenue requirement in year	Present worth
1	6,000,000	600,000	600,000	242,400	0	0	70,391,506	71,233,906	14,133,711
2	5,400,000	600,000	600,000	218,160	0	0	71,799,336	72,617,496	2,858,776
3	4,800,000	600,000	600,000	193,920	0	0	73,235,322	74,029,242	578,244
4	4,200,000	600,000	600,000	169,680	0	0	74,700,029	75,469,709	116,963
5	3,600,000	600,000	600,000	145,440	0	0	76,194,029	76,939,469	23,659
6	3,000,000	600,000	600,000	121,200	0	0	77,717,910	78,439,110	4,785
7	2,400,000	600,000	600,000	96,960	0	0	79,272,268	79,969,228	968
8	1,800,000	600,000	600,000	72,720	0	0	80,857,714	81,530,434	195
9	1,200,000	600,000	600,000	48,480	0	0	82,474,868	83,123,348	39
10	600,000	600,000	600,000	24,240	0	0	84,124,365	84,748,605	8.01

준으로 난방부하량을 산출하였다. 일일 일일 평균 난방부하량은 2월 8일경 90,612kcal/h로 산출되었으며, 경유보일러는 100,000kcal/h급의 상업용 철 중형 경유보일러를 사용하였고 히트펌프는 30RT급을 적용하였다. 이에 따른 경유보일러와 히트펌프의 용량산정은 두 시스템 모두 적절한 것으로 판단하였다. 난방실험기간동안 사용된 총 에너지를 가격으로 환산하여 비교한 결과 경유보일러와 히트펌프의 에너지 투입비용은 각각 628만원, 550만 5천원으로 실험기간동안은 약 12.34%의 비용절감효과를 보였다.

난방실험에서는 히트펌프 대비 경유보일러의 에너지투입 비율은 기온이 하강함에 따라 높아지는 반비례적인 상관관계를 보였으며, 각 구역별 온도변화는 큰 차이를 보이지 않아 에너지 투입비용대비 경유 보일러보다 히트펌프의 난방성능이 더 높은 것으로 판단되었다. 또한 두 난방시스템의 경제성을 비교분석한 결과, 경유보일러와 히트펌프는 각각 약 198,000 KRW/Mcal, 147,000 KRW/Mcal로 나타났다. 이는 경유보일러보다 히트펌프 시스템이 약 25.8%의 비용절감 효과를 가져오는 것으로 분석되었다. 위의 난방실험기간동안의 비용절감효과와 경제성분석결과, 난방실험기간동안 에너지 투입비용은 단순 에너지 투입비용만을 고려하였고 경제성분석은 시스템전체의 설치 및 운영을 포함한 가치평가이기 때문에 두 결과를 단순히 수치적으로 비교하기는 힘들다. 본 연구에서는 히트펌프와 경유보일러의 난방성능 및 경제성분석을 통하여 스마트팜 온실 내 열에너지 공급원으로 히트펌프 적용이 타당한 것을 규명하였다. 그러나 히트펌프는 단일 시추공 방식을 사용할 때 지하 열원의 온도 변화 현상으로 인한 지속적인 열원공급에 어려움이 있는 것으로 알려져 있어 추후 보조열원을 통한 복합 시스템에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다^[11].

감사의 글

본 연구는 한국과학기술연구원 강릉분원(관리번호: 120171064)의 2018년 3차년도 실용화형 융합연구단 사업 - ‘스마트팜 온실의 복합열원 히트펌프 운전제어 및 성능평가’에 관한 연구의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] Cherl-Ho Lee, Sook-Jong Rhee. 2011, Global food crisis and Korean response measures. Korea Food Security Research Foundation. Food Science and Industry. Vol. 44, No. 3, pp. 20-37.
- [2] Jae-Hong Min, 2018, Technology and Standardization trends on Smart Agriculture, Electronics and Telecommunications Research Institute. 2018 Electronics and Telecommunications Trends. pp. 77-85.
- [3] Nam-Hun Kang. 2017. “2017 Annual End-Use Energy Statistics”. Korea energy agency.
- [4] Yeon-Su Ryoo, Hye-Jin Joo, Jin-Wook Kim, Mi-Lan Park. 2012. Economic Analysis of Cooling-Heating System Using Ground Source Heat in Horticultural Greenhouse. Journal of the Korean Solar Energy Society. Vol. 32, No. 6, pp. 60-67.
- [5] Ying-Fu Hong, Se-Jong Oh. 2014. Develop an Environmental Control Table for Tomato Greenhouse Cultivation of Tomato. 2014 Annual Autumn Conference of Korea Academia-Industrial Cooperation Society (KAIS), pp. 671-673.
- [6] Hyeon-gap Ahn. 2008. Facility Horticulture Automation. Munundang. Reperblic of Korea.
- [7] Environmental Terminology Research Society. 1991. Environmental Engineering Terminology Dictionary. 성안당. Reperblic of Korea.
- [8] Dae hyun Kim. 2011. A review of desalting process techniques and economic analysis of the recovery of salts from retentates. Decalination. Vol. 270, Issues 1-3. pp. 1-8.
- [9] Jhon A. White, Kenneth E. Case, David B. Pratt, 2012. Fundamentals of Engineering Economic Analysis. Textbooks. Reperblic of Korea.
- [10] Yun Im Kamg, Joon Kuk Kwon, Kyoung Sub Park, Gyeong Lee Choi, Mi Young Roh, Myeong Whan Cho, Dae Young Kim, Nam Jun Kang. 2012. Changes in Tomato Growth and Productivity under Different Night Air Temperatures. Journal of Agriculture & Life Science. 46(6) pp. 25-31.
- [11] Hyun-Kyu Nam, Young-Il Kim, Joung-Ah Seo, Young-Gy Shin. 2005. A Study on the Variation of Ground Water Temperature for Development of Ground Water Source Heat Pump. Korea Society of Geothermal Energy Engineers. 2015.12, Vol. 1, No. 2, pp. 1-6.