



## 동적 에너지 시뮬레이션을 이용한 시설원예용 에너지 공급시스템의 경제성 분석

### *Feasibility study of the energy supply system for horticulture facility using dynamic energy simulation*

유민경\* · 조정흙\*\* · 남유진\*\*\*

Yu, Min-Gyung\* · Cho, Jeong-Heum\*\* · Nam, Yujin\*\*\*

\* Dept. of Architectural Engineering, Pusan National Univ, South Korea (pkjopsq@nate.com)

\*\* Coauthor, Dept of Architectural Engineering, Pusan National Univ, South Korea (pepero0201@naver.com)

\*\*\* Corresponding author, Dept of Architectural Engineering, Pusan National Univ, South Korea (namyujin@pusan.ac.kr)

#### ABSTRACT

Recently, the usage of renewable energy system has been recommended because of the energy saving and depletion of fossil fuel. Especially, ground source heat pump system(GSHP) has a high efficiency by using annual stable ground temperature. Also, wood pellet is low cost and a high calorific value compared to fossil fuel. However, only small number of farms have applied renewable energy system to horticultural facility because of a high initial costs and uncertainty of its cost efficiency. In this study, in order to analyze the feasibility for the horticulture, TRNSYS simulation based on the standard horticultural facility was conducted in different weather and covering material conditions. Then, comparative feasibility analysis of each energy supplying system was conducted. As a result, we have found out that a high initial cost of renewable energy system was recovered by the economics of the energy cost. Due to the energy cost reduction, the payback periods were 10-11 years in the case of GSHP and 4-6 years in the case of wood pellet boiler.

#### KEYWORD

시설원예  
신재생에너지  
시뮬레이션  
경제성

Horticulture  
Renewable energy  
Simulation  
Feasibility

#### ACCEPTANCE INFO

Received January 20, 2015

Final revision received February 6, 2015

Accepted February 13, 2015

© 2015 KIEAE Journal

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

최근, 국내 시설원예 산업은 연중 작물재배와 시설현대화 사업을 지속적으로 추진하면서 고부가가치를 창출하고 있다. 농산물의 생산액과 수출액은 지난 1990년대 각각 8,000 억원, 1,000 억원 수준에서 2010년대 5.3 조원, 2.2 조원으로 6.6배, 22배 이상의 가시적인 성과를 달성하였다<sup>1)</sup>. 이러한 성장세와 함께 시설원예 면적은 증가하고 있으나, 시설원예의 경우 상대적으로 단열성이 낮은 재료를 피복재로 이용하고 있어 단위시설의 에너지 부하가 크다. 또한, 화석연료 중심의 난방 시스템을 적용하고 있어 에너지 절감 방안들이 요구되고 있다. 최근, 지열, 태양열 및 바이오매스 등 신재생에너지시스템의 적용가능성이 주목받고 있으나, 농가에서는 에너지시스템의 초기설치비용에 대한 부담과 경제적 타당성을 확신할 수 없어 여전히 면세경유보일러를 이용하고 있다.

이에 국내에서 Ryoo<sup>2)</sup> 등은 시설원예에서 기존 경유난방설비에 추가적인 지열시스템 설치 비용에 따른 경제성을 분석하였으며, Kim<sup>3)</sup> 등은 지열과 태양광을 중심으로 시설원예농가의 적용에 대한 경제성 평가를 실시하였다. 그 결과, 태양광발전시설은 농가에 설치, 운영할

경우 효과적이지 못하나, 지열시스템은 추가로 설치하여 운영할 경우 에너지비용을 제로화 할 수 있다는 결과를 도출하였다. Yang<sup>4)</sup> 등은 펠릿보일러 대체시 난방기의 감가상각비, 수선비, 광열동력비 등 중간재비의 변동을 통한 시설재배의 경제적 타당성 분석을 실시하였다. 그 결과, 감가상각비와 수선비의 경우 경유보일러에 비해 펠릿보일러의 사용이 비경제적인 것으로 나타났으나, 광열동력비의 경우 경유보일러에 비해 펠릿보일러가 경제적이라는 결과 값을 도출해낼 수 있었다.

국의 현황으로서 Giovanni<sup>5)</sup> 등은 온실의 난방시스템으로서 지열시스템과 기존 시스템을 비교분석하였으며, J. Chau<sup>6)</sup> 등은 시설원예 산업에서 펠릿 보일러의 기술적 경제적 분석을 실시하였다. 이처럼 국내외의 시설원예의 신재생에너지시스템의 적용에 따른 경제성 분석에 관한 연구들이 수행되고 있으나, 시설원예용 온실의 표준모델을 대상으로 동적 열해석 시뮬레이션 분석에 기반한 경제성 분석에 관한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 시설원예용 온실의 표준모델을 대상으로 에너지 부하 분석을 실시하였으며, 이를 토대로 시설원예용 에너지 공급시스템의 경제성 분석을 진행하였다.

### 1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 국내 1 ha 규모 시설원예에서의 에너지 공급시스템

별 경제성 분석을 실시하기 위해, 연면적 375 m<sup>2</sup>의 시설원예용 표준 온실모델 1개동을 기준으로 26개동을 배치하여 분석을 진행하였다. 온실의 에너지 부하 분석을 실시하기 위해 동적 열해석 시뮬레이션 프로그램인 TRNSYS 17를 이용하였으며, 시뮬레이션 분석 변수로는 국내 서울, 강릉, 울산의 기후조건을 이용하여 각 3가지 피복재를 적용하였다. 국내 기후조건은 TRNSYS 17에서 자체적으로 제공하는 서울, 강릉, 울산지역의 데이터를 이용하였으며, 피복재 조건은 현재 시설원예에서 사용되는 유리, 폴리카보네이트, 폴리에틸렌을 기준으로 분석하였다. 이에 따른 연간 난방부하 및 피크부하를 확인하고 각 에너지 공급 시스템의 적정 용량 산정하였다. 경제성 분석은 하나의 피복재 조건을 대상으로 기후조건에 따른 각 에너지 공급 시스템의 에너지 소비량을 산출하여 비교, 분석을 실시하였다.

## 2. 국내 시설원예의 열원 시스템 이용현황

Table. 1은 국내 시설원에 재배면적과 가온난방면적을 나타내는 것으로, 시설원에 재배면적은 2000년 52,189 ha에서 2005년 52,022 ha로 감소하였으나 2008년 53,053 ha, 2012년 56,328 ha로 증가하는 추세이다. 이에 따라 시설원예의 난방면적은 2000년 12,398 ha에서 2012년 21,731 ha까지 증가하였으며, 2012년의 시설원예의 난방비율은 38.6%로 2000년에 비하여 15% 증가한 것을 확인하였다.

Table 1. The area of agricultural facility houses (Unit : ha)

Sorting	Facility area	Heating area	Heating ratio
2000	52,189	12,398	23.8 %
2005	52,022	12,731	24.5 %
2008	53,053	13,081	24.7 %
2012	56,328	21,731	38.6 %

Table. 2은 시설원예에서의 연료별 가온난방면적으로서, 농림축산식품부에서 발간한 연도별 시설채소 온실현황 및 채소류 생산실적에서 근거하였다. 2010년과 2011년 유류를 이용하는 시설원에 가온면적은 약 85%를 차지하며, 2012년 약 65% 수준으로 감소하였다. 하지만 여전히 농업분야에서 유류를 주로 사용하는 것을 확인하였으며, 그중에서도 경유를 가장 많이 사용하는 것을 확인하였다. 고체연료로서는 목재펠릿의 이용이 2010년 펠릿보일러 보급사업과 함께 123 ha의 면적에서 이용되었으며, 2011년 175 ha을 지나 2012년 5,328 ha까지 펠릿보일러의 보급이 증대되었다. 이처럼, 현격한 성장을 보이는 펠릿보일러 시스템과 지열 시스템을 기존의 경유보일러와 비교, 분석하여 시설원예용 에너지 공급시스템으로서의 적용 가능성을 확인하고자 한다.

Table 2. The heating area of agricultural facility houses by fuel (Unit : ha)

Sorting by fuel	Heating area	Solid fuel			Oil		Gas	Electricity	GHP
		Briquet	Pellet	Etc.	Diesel	Etc.			
2010	15,585	649	123	469	9,957	3,688	16	562	121
2011	16,044	581	175	313	10,754	3,554	16	602	49
2012	21,731	485	5,862	401	10,106	3,977	42	739	119

\* GHP : Geothermal Heat pump

## 3. 시뮬레이션을 이용한 에너지 부하 분석

### 3.1. 해석모델 개요

본 연구에서는 시설원예의 에너지 공급 시스템의 적정 용량을 산정하여 경제성 분석을 실시하기 위해서, 동적 열해석 시뮬레이션 툴 TRNSYS 17를 이용하여 온실의 연간 총 난방부하 및 피크부하를 산출하였다. 국내 시설원예용 표준 온실모델은 1개동 연면적 375 m<sup>2</sup>을 기준으로 분석을 실시하였다.

Fig.1은 본 연구에서 이용된 국내 시설원예용 표준 온실모델(3-1G형)<sup>7)</sup>을 나타내며 7.5 m X 2.5 m X 4.45 m X 50 m의 규격으로 모델링을 실시하였다. 한편, 피복재는 세 가지 Case로서 유리(Glass, 5t), 폴리에틸렌(PE, 0.1t 이중), 폴리카보네이트(PC, 4t)로 설정하였으며, 각각의 물성치 값을 Table. 3에 나타내었다.

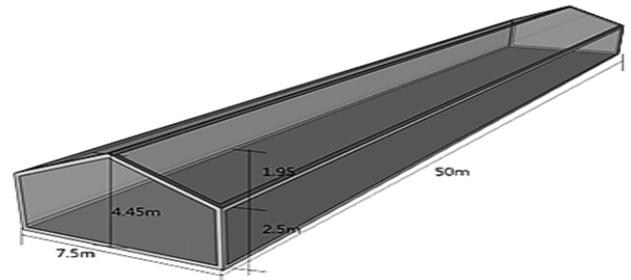


Fig 1. Standard greenhouse model(type 3-1G)

Table 3. Properties of covering material

	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Thermal conductivity (W/mK)	U-Value (W/m <sup>2</sup> K)
Glass	2.7	0.76	5.29
Polyethylene	0.91	0.33	2.83
Polycarbonate	1.2	0.19	2.3

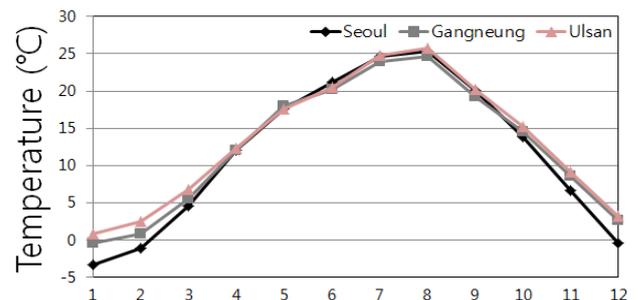


Fig 2. Local weather condition

분석은 서울, 강릉, 울산 3개의 기후조건에 따른 각 3가지 피복재 변화에 따라 실시하였다. 대상지역은 우리나라의 내륙지방, 해안지방, 시설원예단지가 활발히 운영되는 지역의 기후를 적용하기 위해 서울, 울산, 강릉으로 선정하였으며, TRNSYS 17의 기후데이터를 이용하였다. Fig. 2는 각 지역별 연간 월평균 기온을 나타낸다.

Table. 4은 시뮬레이션 조건을 나타내며, 실내 대상작물에 대해서

는 파프리카로 선정하여 파프리카의 생장온도인 18~25°C를 유지하기 위해 난방시스템은 365일 동안 항상 가동하도록 하였으며, 냉방은 환기를 통하여 온도를 유지한다고 가정하였다.

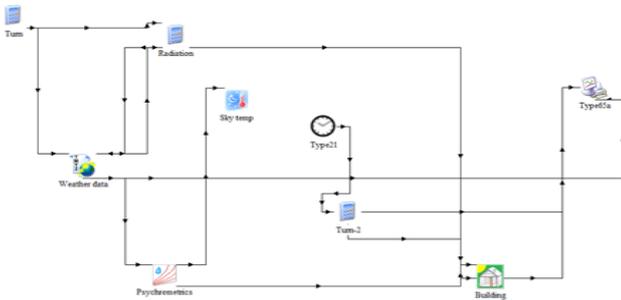


Fig 3. TRNSYS modeling

Table 4. Simulation condition

Weather data	Seoul, Gangneung, Ulsan	
Facility area	375 m <sup>2</sup>	
Set temperature	Heating : 18°C	Cooling : 25°C
Operating schedule	All time (365 days, 8760 hours)	
Monthly ventilation	6, 7, 8, 9	10 times/hour
	10, 11, 12, 1, 2, 3, 4, 5	1 time/hour
Covering material	Glass, Polyethylene, Polycarbonate	

### 3.2. 해석 결과

Table. 5은 표준 온실모델의 시뮬레이션 해석 결과 산출된 연간 총 난방부하분석과 단위면적당 피크부하로서 각각 3가지의 기후조건과 피복재에 따라 9개의 Case로 설정하였다.

서울에서의 연간 총 난방부하는 피복재 유리(Glass)에서는 567 GJ, 폴리에틸렌(PE)에서는 326 GJ, 폴리카보네이트(PC)에서는 356 GJ로 계산되었다. 강릉에서의 연간 총 난방부하는 피복재 Glass에서는 497 GJ, PE에서는 276 GJ, PC에서는 311 GJ로 계산되었다. 울산에서의 연간 총 난방부하는 피복재 Glass에서는 462 GJ, PE에서는 236 GJ, PC에서는 265 GJ로 계산되었다.

Table 5. Total heating load and peak load by weather data and covering material

Case	Weather data	Covering material	Total heating Load (GJ/year)	Peak Load per area (W/m <sup>2</sup> )
1	Seoul	Glass	567	215
2		PE	326	148
3		PC	356	141
4	Gangneung	Glass	497	196
5		PE	276	134
6		PC	311	128
7	Ulsan	Glass	462	185
8		PE	236	120
9		PC	265	113

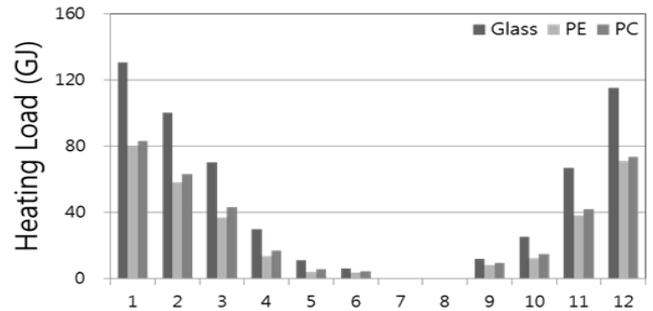


Fig 4. Annual heating load in Seoul

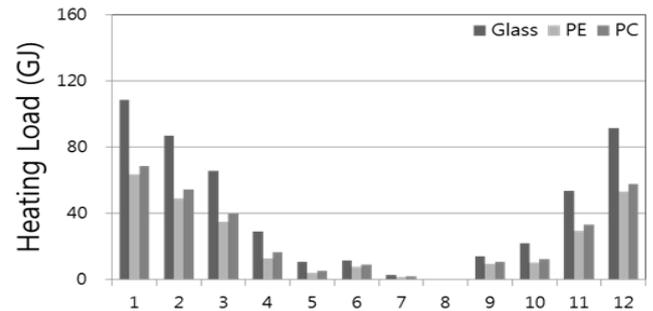


Fig 5. Annual heating load in Gangneung

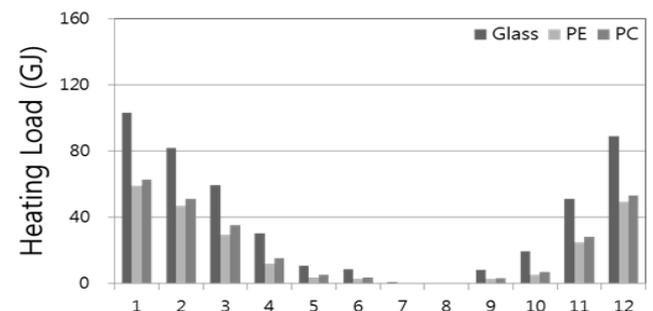


Fig 6. Annual heating load in Ulsan

Fig. 4~6는 기후조건에 따른 월별 난방부하를 나타내며, 각 기후조건에서의 피복재별 난방부하를 분석하였다. 기후조건별 난방부하 분석결과, 연간 평균 온도 차이에 의해 서울에서의 난방부하가 강릉과 울산의 난방부하보다 약 1.1~1.4배 큰 값을 보이는 것을 확인하였다. 또한, 피복재별 난방부하를 분석한 결과, 피복재별 열관류율의 차이에 의해 Glass의 난방부하가 PE와 PC의 난방부하보다 약 1.6~7배 높게 측정되는 것을 확인하였다.

## 4. 각 에너지 공급시스템의 구성항목별 경제성 분석

### 4.1. 경제성 분석을 위한 Case 설정

에너지 공급 시스템별 경제성 비교, 분석을 위한 Case 설정은 온실모델의 피복재 PC를 기준으로 Case 설정을 하였다. 따라서 시뮬레이션 해석에서 설정된 Case 3과 6, 9의 부하 분석 결과를 기준으로 각 3가지의 기후조건에 따른 에너지 공급 시스템의 용량과 대수를 산정하여 분석을 진행하였다.

Table 6. Case setting by weather data and energy supply system

Case	Weather data	Covering material	Energy Supply System
3	Seoul	PC (Polycarbonate)	Diesel boiler
			Ground Source Heat Pump
			Pellet boiler
6	Gangneung	PC (Polycarbonate)	Diesel boiler
			Ground Source Heat Pump
			Pellet boiler
9	Ulsan	PC (Polycarbonate)	Diesel boiler
			Ground Source Heat Pump
			Pellet boiler

4.2. 초기투자비용 산정

Table. 7은 초기투자비 산출 결과를 나타내는 것으로, 각 에너지 공급시스템의 초기투자비용으로서 보일러의 초기 설치비용은 K사의 보일러를 토대로 산정하였으며, 지열시스템은 신재생 에너지 센터 공고 제2012-04호를 참고하여 기준단가를 적용하였다. 현재, 정부에서 신재생에너지에 대한 지원 사업을 실시하고 있으나, 매년 광역 지자체 및 기초지방자치단체에 따라 지원 대상 및 비율이 상이하기에, 본 연구에서는 고려하지 않았다.

Table. 8은 초기투자비를 산출하기 위해 적용한 에너지 공급시스템의 용량을 나타내며, 시뮬레이션 분석결과에 근거하여 각 에너지 공급시스템의 대수 산정을 실시하였고, 각 시스템의 정격 효율계수를 이용하여 에너지 소비량을 산출하였다.

Table 7. Comparison of initial costs (Unit : Won)

	Diesel boiler	GSHP	Pellet boiler
Seoul	22,565,000	1,732,185,000	75,943,000
Gangneung	22,565,000	1,572,480,000	50,629,000
Ulsan	22,565,000	1,388,206,000	50,629,000

Table 8. Condition of energy supplying systems

	Diesel boiler	Pellet boiler
Rated output	70,000 kcal/h	180,000 kcal/h
Fuel consumption	9.5 L/h	48 kg/h
Boiler efficiency	82%	85%

Table. 7의 기후지역에 따른 초기투자비용을 보면, 지열시스템을 사용할 경우 경유보일러보다 서울에서 약 77배, 강릉에서 약 70배, 울산에서 약 62배 큰 값을 나타냈다. 펠릿보일러를 사용할 경우 경유보일러보다 서울에서 약 3배, 강릉에서 약 2배, 울산에서 약 2배 큰 값을 나타냈다.

4.3. 운전비용 산출

운전비용은 각 시스템의 연간연료비용 및 유지관리비용으로 산출하였다. Table. 9는 각 시스템의 운전비용을 산출하기 위한 연료별 열량과 가격을 나타낸다.

Table 9. Price comparison of the same calories by fuel

(November 2014)

	Wood pellet	Duty-free diesel	Diesel
Price	400 Won/kg	807 Won/L	1,585 Won/L
Calorific value	4.5 Mcal/kg	9 Mcal/L	9 Mcal/L
Price/Mcal	89 Won	90 Won	176 Won
Price/Mcal (boiler efficiency applied)	105 Won	109 Won	215 Won

유가정보는 한국석유공사에서 2014년 11월 1일 기준 농업용 면세 경유가격을 참고하였으며, 목재 펠릿은 1등급으로 한국 펠릿협회의 펠릿단가를 참고하였다. 한편, 지열시스템 COP는 운전 상태나 지층의 열물성에 따라 변동되며, 냉방 및 난방의 계절적 요인에 영향을 받을 수 있다. 따라서 시스템의 연간 운영을 고려하여 연평균치로 산출하였고, ASHRAE Standard 90.1<sup>8)</sup> 지열 히트펌프 최소 성능 기준치를 참고하여 COP 3.0 으로 설정하고 한국 전력공사의 농사용 전력 요금 기준을 적용하였다.

유지관리비용으로서 보일러의 유지보수비는 백남수의 연구<sup>9)</sup>를 참고하여 보수주기 5년마다 보일러 초기설치금액의 2% 보수율을 적용하였고, 지열시스템의 연간유지보수비는 최창호의 연구<sup>10)</sup>를 참고하였다.

Table 10. Comparison of annual energy consumption

	Diesel boiler	GSHP	Pellet boiler
Seoul	298,619 L	1,375 kW	576,159 kg
Gangneung	260,873 L	1,248 kW	503,331 kg
Ulsan	222,287 L	1,102 kW	428,884 kg

Table 11. Comparison of annual energy costs (Unit : Won)

	Diesel boiler	GSHP	Pellet boiler
Seoul	240,986,000	21,543,140	230,463,790
Gangneung	210,524,000	19,157,420	201,332,290
Ulsan	179,386,000	16,712,860	171,553,460

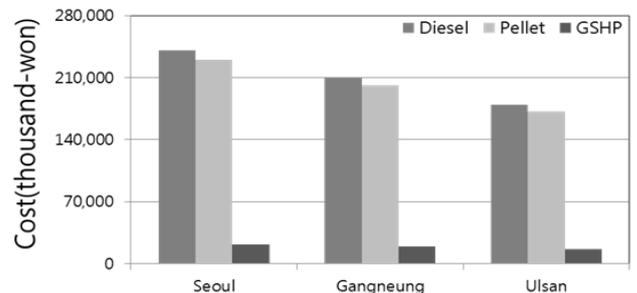


Fig 7. Comparison of energy costs by fuel

Fig. 7의 기후지역에 따른 연간연료비용을 보면, 지열시스템을 사용할 경우 경유보일러보다 서울에서 연간 약 2억 1944 만원, 강릉에서 연간 약 1억9,137 만원, 울산에서 연간 약 1억 6,267 만원의 연료비를 절감하는 것으로 나타났다.

펠릿보일러를 사용할 경우 경유보일러보다 서울에서 연간 약 1,052 만원, 강릉에서 연간 약 919 만원, 울산에서 연간 약 783 만원의 연료비를 절감하는 것으로 나타났다.

#### 4.4. 단순 에너지 비용 산정

Table. 12~14은 각 에너지 공급 시스템의 구성항목별 비용 산정을 나타내며, 세부항목은 초기투자비와 유지관리비, 연간연료비, 폐기 처분비로 구성하였다. 지열 시스템에 대한 폐기 처분비용은 없으므로 가정하였으며, 보일러에 대한 폐기 처분비용은 서울시 중구청에서 시행하는 대형 폐기물 품목별 수거비용을 참고하였다<sup>11)</sup>.

Table 12. Economic analysis of using diesel boiler facility (Unit : Won)

	Diesel boiler		
	Seoul	Gangneung	Ulsan
Initial cost	22,565,000	22,565,000	22,565,000
Maintenance cost (5 years)	451,000	451,000	451,000
Annual Energy cost	240,986,000	210,524,000	179,386,000
Waste disposal cost	312,000	312,000	312,000
Total cost (15 years)	3,638,569,000	3,181,639,000	2,714,569,000

기존 경유보일러 시스템을 사용할 경우 초기 투자비용은 15년간의 비용 대비 서울에서 0.62%, 강릉에서 0.71%, 울산에서 0.83%의 작은 값을 나타내는 반면, 연료비용은 15년간의 비용 대비 서울에서 99.3%, 강릉에서 99.2%, 울산에서 99.1%의 큰 값을 나타냈다.

Table 13. Economic analysis of using GSHP (Unit : Won)

	Ground Source Heat Pump		
	Seoul	Gangneung	Ulsan
Initial cost	1,732,185,000	1,572,480,000	1,388,205,000
Maintenance cost (year)	2,000,000	2,000,000	2,000,000
Annual Energy cost	21,543,140	19,157,420	16,712,860
Waste disposal cost	-	-	-
Total cost (15 years)	2,059,332,100	1,863,841,300	1,642,897,900

지열시스템을 사용할 경우 기존의 경유보일러 시스템과 달리, 초기 투자비용에서 15년간의 비용 대비 서울에서 84.1%, 강릉에서 84.4%, 울산에서 84.5%의 큰 값을 나타내는 반면, 연료비용은 15년간의 비용 대비 서울에서 15.7%, 강릉에서 15.4%, 울산에서 15.3%을 나타냈다.

Table 14. Economic analysis of using pellet boiler facility (Unit : Won)

	Pellet boiler		
	Seoul	Gangneung	Ulsan
Initial cost	75,943,000	50,629,000	50,629,000
Maintenance cost (5 years)	1,518,000	1,012,000	1,012,000
Annual Energy cost	230,463,790	201,332,290	171,553,460
Waste disposal cost	108,000	72,000	72,000
Total cost (15 years)	3,536,043,850	3,072,709,350	2,626,026,900

펠릿보일러를 사용할 경우 기존의 경유보일러 시스템과 유사하게, 초기 투자비용은 15년간의 비용 대비 서울에서 2.15%, 강릉에서 1.43%, 울산에서 1.43%의 작은 값을 나타내는 반면, 연료비용은 15년간의 비용 대비 서울에서 97.8%, 강릉에서 85.4%, 울산에서 72.8%의 큰 값을 나타냈다.

### 5. 초기투자비 회수기간 산정

#### 5.1. 분석 개요

본 장은 시설원예용 에너지 공급시스템의 경제성 분석에 따른 초기 투자비용 회수기간 및 연도별 누적투자비용을 분석하여 투자 타당성을 도출하고자 하였다.

분석기간은 K사 보도 자료에 근거하여 보일러 수명주기 15년으로 가정하였으며, 미래비용을 현재비용으로 환산하여 추정하기 위해 실질할인율을 적용하여 NPV 분석을 실시하였다. 한국은행 경제통계시스템에서 19년(1995~2013)동안의 3년 만기 국고채 수익률의 평균값인 6.5%를 명목할인율과, 최근 10년 동안의 물가 상승률 평균값인 3.0%를 물가변동률로 적용하여 실질할인율을 산출하였다. 그 결과, 실질할인율은 3.4%로 산출되었으며, 계산식은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \text{실질할인율} &= (1+i)/(1+j)-1 \\ &= \{(1+0.065)/(1+0.030)\}-1 \\ &= 0.034 \end{aligned}$$

(i : 명목할인율, j : 물가변동률)

#### 5.2. 분석 결과

Table. 15~17은 기존 면세경유보일러와 지열시스템 및 펠릿보일러의 NPV 분석을 나타낸 것이며, Fig. 8~10은 이를 도식화한 것이다. 분석기간 동안 연도별 현금흐름을 분석하여 초기 투자비용 회수기간이 짧을수록 경제성이 있는 것으로 판단하였다.

서울에서 초기투자비 회수기간 산정결과, 지열시스템을 사용할 경우 10년차에 초기투자비용 회수 가능하며, 펠릿보일러를 사용할 경우 6년차에 초기투자비용 회수 가능하다. 서울지역 에너지 시스템 별 15년간 분석결과, 지열시스템을 사용할 경우 경유보일러 보다 813,555 천원의 경제적 이익을 냈으며, 펠릿보일러를 사용할 경우 67,130 천원의 경제적 이익을 냈다.

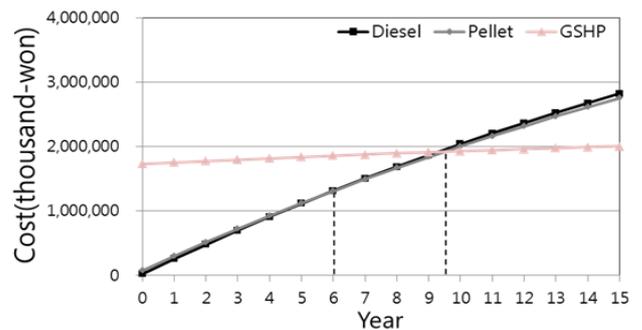


Fig 8. Feasibility study in Seoul

Table 15. Payback period of the initial cost in Seoul

(Unit : Thousand-won)

Years	Diesel boiler		GSHP		Pellet boiler	
	Cost	NPV	Cost	NPV	Cost	NPV
0	22,565	22,565	1,732,185	1,732,185	75,943	75,944
1	240,986	255,627	23,543	1,754,953	230,464	298,829
2	240,986	481,025	23,543	1,776,974	230,464	514,386
3	240,986	699,012	23,543	1,798,270	230,464	722,855
4	240,986	909,830	23,543	1,818,866	230,464	924,469
5	241,437	1,114,099	23,543	1,838,785	231,983	1,120,738
6	240,986	1,311,281	23,543	1,858,049	230,464	1,309,311
7	240,986	1,501,980	23,543	1,876,679	230,464	1,491,684
8	240,986	1,686,408	23,543	1,894,697	230,464	1,668,059
9	240,986	1,864,772	23,543	1,912,122	230,464	1,838,635
10	241,437	2,037,593	23,543	1,928,974	231,983	2,004,690
11	240,986	2,204,420	23,543	1,945,272	230,464	2,164,232
12	240,986	2,365,761	23,543	1,961,035	230,464	2,318,529
13	240,986	2,521,797	23,543	1,976,279	230,464	2,467,752
14	240,986	2,672,702	23,543	1,991,021	230,464	2,612,068
15	241,298	2,818,834	23,543	2,005,279	230,572	2,751,704

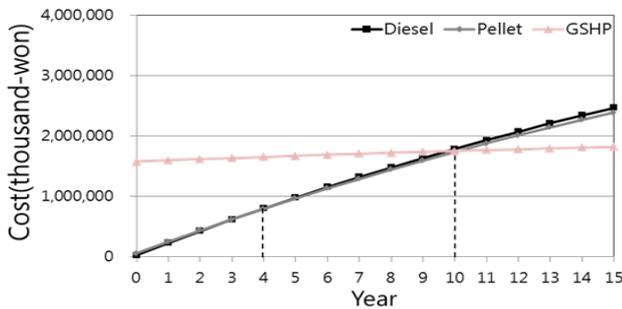


Fig 9. Feasibility study in Gangneung

Table 16. Payback period of the initial cost in Gangneung

(Unit : Thousand-won)

Years	Diesel boiler		GSHP		Pellet boiler	
	Cost	NPV	Cost	NPV	Cost	NPV
0	22,565	22,565	1,572,480	1,572,480	50,629	50,629
1	210,524	226,167	21,157	1,592,941	201,332	245,341
2	210,524	423,074	21,157	1,612,730	201,332	433,651
3	210,524	613,506	21,157	1,631,868	201,332	615,768
4	210,524	797,677	21,157	1,650,377	201,332	791,898
5	210,976	976,173	21,157	1,668,278	202,345	963,092
6	210,524	1,148,431	21,157	1,685,589	201,332	1,127,829
7	210,524	1,315,024	21,157	1,702,332	201,332	1,287,148
8	210,524	1,476,140	21,157	1,718,524	201,332	1,441,229
9	210,524	1,631,958	21,157	1,734,183	201,332	1,590,244
10	210,976	1,782,975	21,157	1,749,328	202,345	1,735,083
11	210,524	1,928,714	21,157	1,763,974	201,332	1,874,459
12	210,524	2,069,661	21,157	1,778,139	201,332	2,009,252
13	210,524	2,205,974	21,157	1,791,838	201,332	2,139,613
14	210,524	2,337,804	21,157	1,805,087	201,332	2,265,687
15	210,836	2,465,488	21,157	1,817,900	201,404	2,387,659

강릉에서 초기투자비 회수기간 산정결과, 지열시스템을 사용할 경우 10년차에 초기투자비용 회수 가능하다. 펠릿보일러를 사용할 경우 4년차에 초기투자비용 회수 가능하다. 강릉지역 에너지 시스템 별 15년간 분석결과, 지열시스템을 사용할 경우 경유보일러보다 647,588 천원의 경제적 이익을 냈으며, 펠릿보일러를 사용할 경우 77,829 천원의 경제적 이익을 냈다.

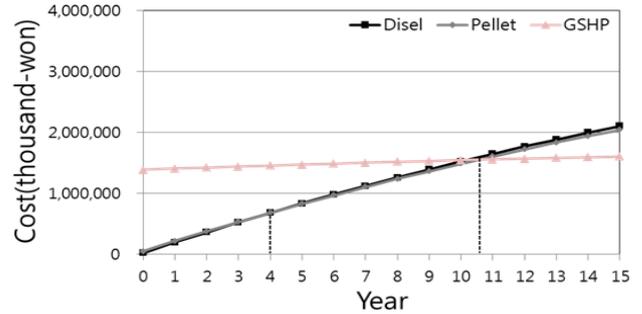


Fig 10. Feasibility study in Ulsan

Table 17. Payback period of the initial cost in Ulsan

(Unit : Thousand-won)

Years	Diesel boiler		GSHP		Pellet boiler	
	Cost	NPV	Cost	NPV	Cost	NPV
0	22,565	22,565	1,388,205	1,388,205	50,629	50,629
1	179,386	196,053	18,713	1,406,918	171,553	16,542
2	179,386	363,835	18,713	1,425,631	171,553	376,999
3	179,386	526,101	18,713	1,444,344	171,553	532,179
4	179,386	683,031	18,713	1,463,056	171,553	682,257
5	179,837	835,183	18,713	1,481,769	172,566	828,257
6	179,386	981,962	18,713	1,500,482	171,533	968,628
7	179,386	1,123,915	18,713	1,519,195	171,533	1,104,383
8	179,386	1,261,200	18,713	1,537,908	171,533	1,235,674
9	179,386	1,393,971	18,713	1,556,621	171,533	1,362,648
10	179,837	1,522,699	18,713	1,575,334	172,566	1,486,172
11	179,386	1,646,882	18,713	1,594,047	171,553	1,604,932
12	179,386	1,766,982	18,713	1,612,759	171,553	1,719,788
13	179,386	1,883,133	18,713	1,631,472	171,553	1,830,867
14	179,386	1,995,464	18,713	1,650,185	171,553	1,938,297
15	179,698	2,104,290	18,713	1,668,898	171,625	2,042,232

울산에서 초기투자비 회수기간 산정결과, 지열시스템을 사용할 경우 11년차에 초기투자비용 회수 가능하다. 펠릿보일러를 사용할 경우 4년차에 초기투자비용 회수 가능하다. 울산지역 에너지 시스템 별 15년간 분석결과, 지열시스템을 사용할 경우 경유보일러 보다 435,392 천원의 경제적 이익을 냈으며, 펠릿보일러를 사용할 경우 62,058 천원의 경제적 이익을 냈다.

## 6. 결론

본 연구는 시설원예 산업에서 신재생에너지시스템의 이용 타당성에 대해 분석하는 연구에 대한 것으로 국내 시설원예용 온실 모델을 대상으로 동적 열해석 시뮬레이션 툴을 이용하여 기후조건에 따른 부하분석을 실시하였으며, 해석 결과를 토대로 기존 면세경유보일러와 펠릿보일러의 경제성을 비교분석하였다.

(1) 기후조건에 따른 서울, 강릉, 울산의 시설원예 온실의 연간 난방부하를 산출한 결과, 서울 지역의 연간 총 난방부하는 피복재 Glass에서 567 GJ, PE에서는 326 GJ, PC에서는 356 GJ로 나타났다. 강릉 지역의 연간 총 난방부하는 피복재 Glass에서 497 GJ, PE에서는 276 GJ, PC에서는 311 GJ로 나타났다. 울산 지역의 연간 총 난방부하는

피복재 Glass에서 462 GJ, PE에서는 236 GJ, PC에서는 265 GJ로 나타났다.

(2) Case 분석결과 기존면세경유보일러를 지열시스템으로 대체 시 기후조건에 따른 서울과 강릉지역서는 10년도부터, 울산에서는 11년도부터 경제적 수익을 나타냈다. 목재 펠릿 보일러로 대체 시 서울에서는 6년도부터, 강릉과 울산에서 4년도부터 경제적 수익을 나타냈다.

향후, 대규모 원예시설을 대상으로 각 동물의 열원 배치 및 시스템 조합, 열원 파이프 라인 등의 설계 인자를 고려한 냉난방부하 분석을 실시하여 시설원예단지용 다중에너지 공급시스템 모델을 구축할 예정이다.

### Acknowledgements

This work was carried out with the support of "cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project title : Development of Optimal District Energy and Operation System for Large-scale Horticulture Facility Application, Project No. PJ010021022015)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

### Reference

- [1] 김연중, 박현태, 한혜성, 문동현, “주요 시설원예 작물의 냉난방 및 보온형태별 경영실태 분석”, 한국농촌경제연구원 연구보고서, pp.11-24, 2014 // Kim, Yean-Jung, Park, Hyun-Tae, Han, Hye-Sung, Moon, Dong-Hyun, "Management Analysis of Cooling-Heating system and Thermal type in the Major Horticultural Crops", Korea Rural Economic Institute, 2014
- [2] 류연수, 주혜진, 김진욱, 박미란, "시설원예의 지열냉난방시스템 경제성 분석“, 한국태양에너지학회 논문집, 제 32권 제 6호, 2012 // Ryoo, Yeon-Su, Joo, Hye-Jin, Kim, Jin-Wook, Park, Mi-Lan, "Economic Analysis of Cooling-Heating System Using Ground Source Heat in Horticultural Greenhouse", Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.32, No. 6, 2012
- [3] 김태호, 윤성이, “시설원예농가의 재생에너지 적용가능성평가”, 한국유기농업학회지, 제 20권 제 3호, 2012 // Kim, Tae-Ho, Yoon, Sung-Yee, "Evaluation of Applicability of Renewable Energy in Controlled Horticulture Farms", Korean Journal of Organic Agriculture, Vol.20, No. 3, 2012
- [4] 양정수, 윤성이, “목재펠릿 도입에 따른 시설재배의 경제적·환경적 타당성분석”, 한국유기농업학회지, 제 21권 제 3호, 2013 // Yang, Jeong-Soo, Yoon, Sung-Yee, "Economical and Environmental Feasibility of Cultivation under Structure Due to the Introduction of Bio-energy", Korean Journal of Organic Agriculture, Vol.21, No. 3, 2013
- [5] Giovanni Russo1, Alexandros S. Anifantis, Giuseppe Verdiani1, Giacomo Scarascia Mugnozza1, “Environmental analysis of geothermal heat pump and LPG greenhouse heating systems”, Biosystems Engineering, Volume 127, 2014, Pages 11–23
- [6] J. Chau, T. Sowlati, S. Sokhansanj, F. Preto, S. Melin, X. Bi, “Techno-economic analysis of wood biomass boilers for the greenhouse industry”, Appl Energ, Volume 86, Issue 3, 2009, p. 364-371
- [7] 박중준, "한국형 온실의 설계 방향과 표준 모델", 한국생물환경조절학회 시설원예연구, 제 6권, 제 1호, 1993 // Park, Joong-choon, "Design Direction and Standard Model of Korean-Type Glasshouse", Journal of Bio-Environment Control, Vol. 6, No. 1, 1993
- [8] Geothermal Heat Pump Manual : A Design and Installation Guide for New York City, 2012
- [9] 백남수, "LCC 및 LCCO<sub>2</sub>분석에 의한 CO<sub>2</sub>히트펌프 급탕가열기의 경제성 및 환경부하평가에 관한 연구", 한양대학교 석사학위논문, 2011 // Paek, Nam-soo, "Evaluating economy and environmental load of heat pump hot water system with CO<sub>2</sub> refrigerant by LCC and LCCO<sub>2</sub> analyses", Hanyang University, 2011
- [10] 최창호, "공공도서관에 지열시스템 적용시 경제성에 관한 연구", 한국태양에너지학회 논문집, 제 32권, 제 1호, 2012 // Choi, Chang-ho, "A Study on the Economic Analysis of Cooling-Heating System Using Ground Source Heat in a public library", Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 32, No. 1, 2012
- [11] <http://www.junggu.seoul.kr/minwon/web/w01/w01040504.jsp>, 서울 중구청, 폐기물 품목별 수거비용 안내 // Guide for waste collection fee, Junggu-Office, Seoul