

## 친환경 에너지 기술 소개



유영선  
농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부  
rys0418@rda.go.kr

### 1. 친환경 에너지의 의미

친환경 에너지 기술을 크게 분류하면 화석에너지를 이용하고 있는 에너지 시스템의 효율을 높이는 기술과 신재생에너지로 대체하는 기술로 나누어 진다. 두 가지 모두 최종 목표는 CO<sub>2</sub> 저감을 통한 지구온난화 방지에 있으며, 이와 같은 친환경 에너지 기술은 원천기술의 개발도 중요하지만 실질적인 보급을 위해서는 기술융합을 통한 확대보급기반 기술을 정립하고 효과적인 보급정책을 수립하는 것이 현실적으로 더 중요한 과제이다.

### 2. 농업과 에너지

농업은 근본적으로 태양에너지를 이용해서 먹거리를 생산하는 친환경 에너지 산업이며, 90년대부터 보급이 크게 확대되고 있는 시설원예는 온실효과를 이용하여 친환경에너지원인 태양에너지를 온실내에 가두어 겨울철에도 신선채소와 과채류 등을 생산하므로써 우리의

식탁을 풍요롭게 하고 있다.

농업분야에서 태양에너지는 주로 작물의 재배에서 광합성에 필수적인 에너지원으로 활용되며, 그 외 작물생산에 필요한 농업기계나 농업시설 등에서 사용하는 에너지는 대부분 석유에너지에 의존하고 있다.

농업에 사용되는 석유류는 국가에서 정책적으로 세금을 면제해주고 있으며, 이와 같은 면세혜택으로 농업분야에서 사용량이 가장 많은 경우는 일반 소비자 가격의 63% 수준으로 공급되고 있다.

2008년도를 기준으로 농어업분야에서 사용한 석유 소비량은 2,970천kL로서 우리나라 총 석유소비량의 2.6% 수준이며, 이중에 농업용이 차지하는 비중은 66.5%이고, 어업용은 33.5%이다. 농업용 석유소비에서 가장 많은 비중을 차지하고 있는 분야는 시설원예 난방으로서 농업용 총 석유소비량의 64%이며, 이를 금액으로 환산하면 1조 3천억원(2008년도 면세경유가격 1025 원/L 기준)에 달한다. 따라서 겨울철 우리의 식탁에 올라오는 신선채소와 과채류는 이와 같이 많은 대가를 지

불하여 얻어진 것이며, CO<sub>2</sub> 감축을 통한 친환경 지속농업기반을 구축하기 위해서는 시설원에 난방에너지의 대부분을 차지하고 있는 면세경유를 신재생에너지로 대체해야 한다.

### 3. 농업시설의 냉난방을 위한 친환경 에너지 기술

첫째로 농업분야에서 가장 많은 석유에너지를 소비하고 있는 시설원에 등 농업시설의 난방에너지를 대체할 수 있는 기술로서 지열 히트펌프 시스템을 들 수 있다. 지열히트펌프 시스템은 미국 환경청에서 지정한 지구상에 존재하는 가장 친환경적이며 에너지 효율적인 시스템으로 알려져 있다. 그동안에는 주로 일반 건물의 냉난방을 목적으로 보급되었으나 최근에 들어서 농업시설의 냉난방 시스템으로 보급이 크게 증가하고 있는 기술이다.

지열히트펌프는 말 그대로 땅속의 열(5~18℃)을 흡수하여 히트펌프로 온도를 높혀 난방에 이용하고, 여름철에는 에어컨과 같이 냉방기로 사용이 가능하다. 지열히트펌프는 히트펌프의 구동에 사용하는 에너지의 3~4배에 달하는 난방열을 얻을 수 있기 때문에 시설원예의 난방에 이용하는 경우 면세경유난방과 비교하면 약 80%에 달하는 에너지 비용 절감효과를 얻을 수 있다.

지열히트펌프는 그림 1에서 보는 바와 같이 지열교환기의 설치방법에 따라 수직밀폐형, 수직개방형, 수평형, 하천수 이용형 등으로 구분할 수 있다.

현재 국내에서 지열히트펌프의 가장 흔한 형태는 수직밀폐형 지열히트펌프이며, 일반 건물의 냉난방시스템에 가장 많이 적용되는 기술이다. 수직밀폐형은 150m 정도의 관정을 뚫고 U자관 형태의 지열교환기를 설치한 후 매설하여 U자관에 열매체(물+부동액)를 순환시

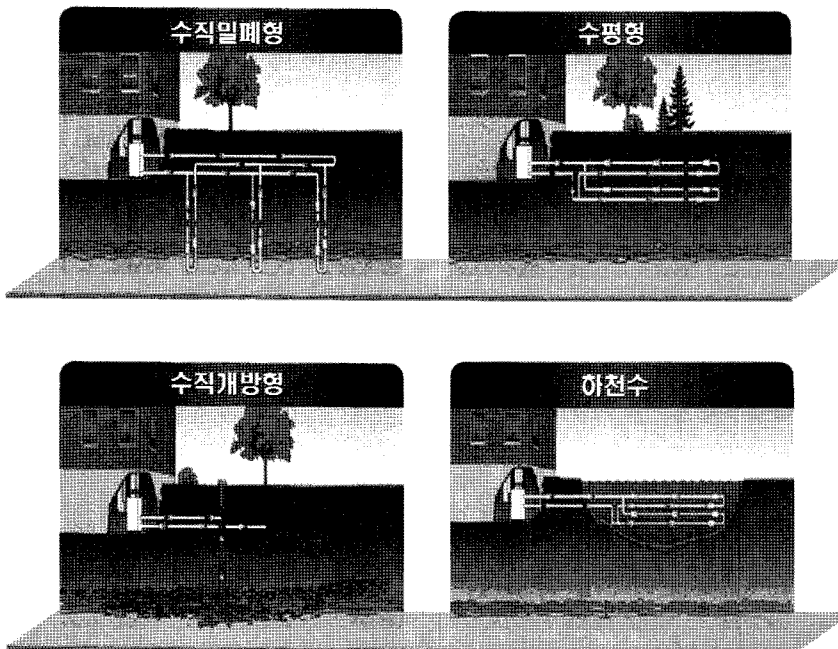


그림 1. 지열히트펌프의 분류

표 1 지열교환기 형태에 따른 지열히트펌프의 특성 비교

구분	수직밀폐형	수직개방형	수평형	하천수
설치비용	높음	중간	가장 낮음	낮음
용량	중소용량 적합	중대용량 적합	중소용량 적합	중대용량 적합
지열교환기*	약150m깊이×24공 설치간격: 4~5m	400~500m깊이×2공 설치간격: 12~15m	총길이 : 14,400m 설치간격: 1m 슬린키 타입	천공없음 배관라인 매설
시스템특징	일반건물에 가장 많이 설치 시공기간이 길다	시공기간 짧음 암반이 약한지역 설치불가 지하수가 풍부한 지역에 유리	시공기간 짧음 농업적용 유리	시공기간 짧음 대규모 농업단지 적용 가능

\* 시설원예용 온실 2,000m<sup>2</sup>을 난방하는 경우

키면서 땅속에서 열을 얻고 땅속에서 얻은 열을 히트펌프의 열원으로 이용하게 된다.

수직개방형은 400~500m 깊이의 관정을 뚫고 심정 펌프 지하수를 끌어올려 히트펌프의 열원으로 이용하고 지하수는 다시 지중으로 환원시키는 방식이며, 지하수가 풍부한 지역이 이용가능한 방법이다.

수평형은 노지에 설치하는 경우에는 3m, 온실의 내부에 설치하는 경우에는 2m 깊이에 트렌치를 파고 난방용 PE파이프를 슬린키 타입으로 설치하여 이용하며, 깊은 관정을 뚫어야 하는 수직형과는 달리 굴삭기 작업으로 설치가 가능하기 때문에 지열교환기 설치비용을 수직형의 50% 수준으로 낮출 수 있다. 수평형은 상대적으로 지열교환기 설치면적이 많이 필요하기 때문에 넓은 대지의 확보가 가능한 농업시설에 적합하다고 할 수 있다.

특히 새만금 간척지 등에 예정된 대규모 첨단온실사업에는 간척지의 지질 특성상 수직형의 설치가 어렵기 때문에 수평형 지열교환기를 기본적으로 설치하고, 농업용수로 이용이 가능한 강변여과수를 히트펌프의 열원으로 병행하여 이용한다면 비용과 효율면에서 가장 효과적인 냉난방 시스템으로 자리매김할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 지열히트펌프의 시설원에 현장실증연구 소개

수직개방형과 수평형 지열히트펌프 그리고 경유난방기를 사용하는 온실의 난방비용을 비교분석하기 위한 최근의 농가 현장실증 연구사례를 소개하고자 한다. 이 연구는 지열히트펌프 시스템을 농가현장에 보급하기 위한 전 단계의 연구로서 경제성 분석과 현장적용시 발생되는 문제점을 파악하기 위하여 수행되었다.

현장실증농가는 경남 진주시 사봉면에 위치하고 있으며 조직배양묘를 재배하고 있는 온실을 운영하고 있다. 온실의 관리온도는 22℃이며, 온실면적은 3,000m<sup>2</sup> (1,000m<sup>2</sup>×3동)이었고, 3동의 온실에 각각 축열식 수평형 지열히트펌프 시스템, 수직형 지열히트펌프 시스템, 경유난방기를 각각 설치하고 난방비용을 비교분석하고 자 하였다.

현장실증연구는 2007년 12월 20일에서 2008년 3월 22일까지 약 3개월간 실시하였으며, 각각의 온실에서는 조직배양묘의 재배하였고 시험기간동안 실내온도는 22.0℃로 설정하여 겨울철 난방시험을 수행하였다.

이 시험의 주안점은 시설원예에 적용한 축열식 수평형 지열히트펌프의 경제성을 분석하는 것이며, 수

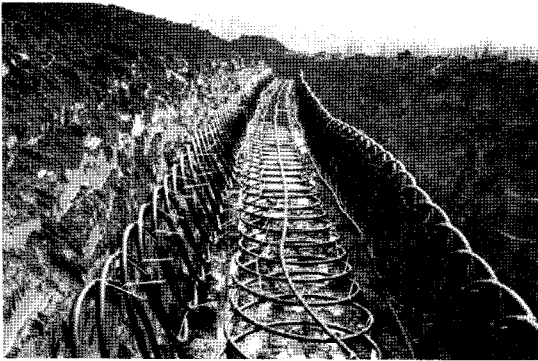


그림 2. 지열교환기 설치 사진

직형 지열히트펌프와 경유난방기는 대조구로 활용하였다.

축열식 수평형 지열히트펌프는 지열교환기, 축열조, 히트펌프, 실내열교환기 등으로 구성하였으며, 지열교환기는 3.0 m의 깊이에 폭 1.5 m, 길이 37.0 m의 트렌치를 파고 아래의 그림에서 보는 바와 같이 설치하였다. 지열교환기용 파이프는 내경 28 mm, 외경 34 mm의 PE파이프를 사용하였고, 파이프는 직경 1.0 m의 Slinky형태로 제작하였다. 총 8개의 트렌치에 설치된 지열교환기의 총 길이는 6,000 m이었으며, 지열교환기의 총 길이는 히트펌프의 증발열량을 기준으로 설계하였다.

진주지역의 최저외기온과 시험용 온실의 보온상태, 재배작물의 관리온도 등을 고려하여 최대난방부하를 산정하였으며, 이를 기준으로 축열식 수평형 지열히트펌프의 용량을 설계하였다.

축열식 수평형 지열히트펌프의 용량은 25RT(80,000 kcal/h)로 결정하였고, 축열조 용량은 겨울철 평균일의 온실내 잉여태양에너지를 축열하여 사용한다는 가정하에 200,000 kcal로 설계하였으며, 축열조의 규모는 축열용량을 기준으로 계산하여 10톤으로 결정하였다.

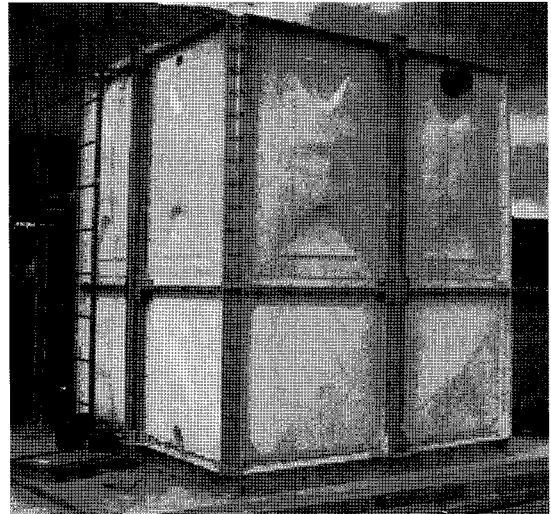


그림 3. 축열조(가로 2.0 m, 세로 2.0 m, 높이 2.5 m)

히트펌프와 배관, 그리고 펌프류 등은 기계실에 별도로 설치하였으며, 그림 4에서 보는 바와 같다.

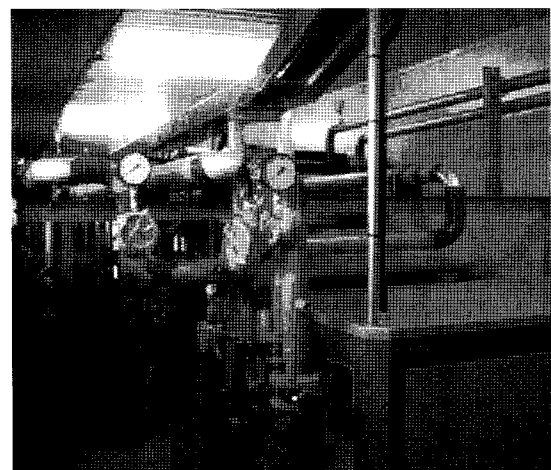


그림 4. 기계실에 설치된 히트펌프, 배관 및 펌프

축열식 수평형 지열히트펌프를 구성하고 있는 모든 기계장치들은 그림 5에서 보는 바와 같이 제어시스템에 의하여 자동으로 제어되며, 또한 컴퓨터를 이용하여 실시간으로 모니터링이 가능하도록 하였다.



그림 5. 자동제어 및 모니터링시스템

온실내부에 열을 공급하는 열교환기는 그림 6에서 보는 바와 같이 팬코일로 제작하여 온실의 상부에 설치하였고, 팬코일의 총발열량은 히트펌프 응축기의 토출열량을 기준으로 설계하였다.

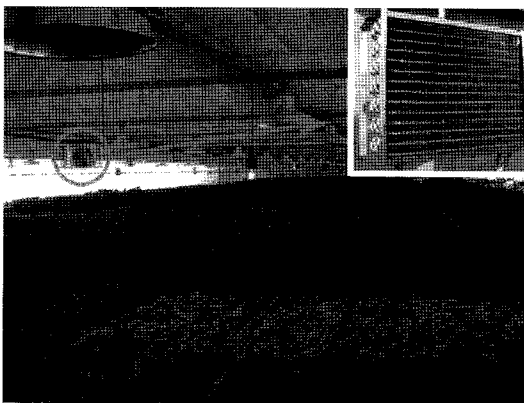


그림 6. 온실내부에 설치된 팬코일형 실내열교환기

수직형 지열히트펌프 시스템은 일반건물에 도입하고 있는 수직개방형으로 제작하여 설치하였으며, 히트펌프의 용량은 수평형과 동일하게 25RT로 설계하였다.

이상과 같이 설치한 수직형과 수평형 지열히트펌프시스템의 정격전력부하는 표 2에서 보는 바와 같이 수직형이 수평형보다 5.5 kW 크게 나타났다. 수직형이 수평형 보다 정격운전부하가 크게 나타난 주된 요인은 수직형이 수평형보다 높은 압력 상태에서 운전되기 때문이며, 또 다른 요인은 수직관정형의 펌프용량이 수평형보다 약간 크기 때문이다.

표 2 지열히트펌프의 전력부하

구 분		수직형	수평형
전력 부하 (kW)	히트펌프	24.0	20.0
	온수순환펌프	3.7	3.7
	열교환펌프	1.5	1.5
	지열교환펌프	3.7	2.2
	합 계	32.9	27.4

축열식 수평형 지열히트펌프시스템은 지열교환기에서 흡수한 열을 판형열교환기를 통하여 히트펌프의 증발기로 전달되고, 증발기에 전달된 열은 히트펌프의 압축기에서 60~80℃의 고온열로 변환되며, 고온으로 변환된 열은 판형열교환기를 통하여 축열조에 저장된다. 축열조에는 40~50℃의 열이 온수형태로 저장되었다가 난방이 필요한 시간에 온실내부에 설치되어 있는 팬코일형 실내열교환기에 공급되면서 난방이 이루어지도록 하였다.

표 3 지열히트펌프 시스템의 난방비 절감효과 분석

구 분	경유난방	수직형 지열	수평형 지열
경유소비량(L)	10,769	-	-
전력소비량(kW)	-	44,697	48,824
난방비용(원)	8,830,580	1,787,880	1,952,960
절감액(원)	-	7,042,700	6,877,620
지수	100	20	22

※ 전력요금 : 40원/kWh(농업용 병, 부가세 포함)

※ 경유가격 : 820원/L

※ 경유소비량(경유난방온실) : 10,769 L

표 3에서 보는 바와 같이 경유난방기를 설치한 온실에서 시험기간 3개월 동안 사용된 경유소비량은 10,769 L이었으며, 이를 시험기간동안의 면세유 평균가격 820 원/L로 산정하여 총 난방비용은 8,830,580원으로 분석되었다. 수직개방형 지열히트펌프시스템이 설치된 온실에서는 농업용(병)전기를 기준으로 3개월동안 44,679 kW의 전력이 소비되었으며, 이를 비용으로 환산하면 1,787,880원으로 분석되었다. 또한 축열식 수평형 지열히트펌프시스템이 설치된 온실에서는 3개월동안의 전력소비량이 48,824 kW이었으며, 이를 비용으로 환산하면 1,952,960원으로 나타났다.

이와 같은 분석 결과는 2007년 12월 20일에서 2008년 3월 22일까지 92일 동안 실시한 시험결과를 기초로 분석한 것이며, 실질적인 겨울철 난방기간(170일)이 10월 하순에서 4월 초순인 것을 고려한다면 축열식 수평형 지열히트펌프시스템을 설치한 온실의 난방비 절감액은 최대 12,708,646원(6,877,620원/92일 × 170일)으로 예상할 수 있을 것으로 기대된다.

또한 지열히트펌프시스템은 여름철에 온실의 냉방이 가능하기 때문에 고온기 냉방에 의한 작물재배 효과를 고려한다면 충분한 경제성을 가질 수 있으며, 다양한 작물의 재배에 응용하여 난방비 절감효과와 작물재배효과를 분석하여 경제적 가치를 증명한다면 개발 기술의 보급이 크게 활성화 될 수 있을 것으로 기대된다.

## 5. 농촌지역 주거시설에 적용가능한 친환경에너지 기술

농촌지역의 주거시설에 친환경에너지의 적용은 초기 비용이 많이 드는 문제가 있어서 우선적으로 적용이 가능한 보급대상을 선정하는 것이 중요하다. 우리나라 농

촌의 현실을 고려할 때 일반 농가주택에 적용하기는 시가상조라 할 수 있으며, 동네마다 설치되어 활용도가 높은 마을회관이 가장 먼저 떠오르는 보급대상으로 선정할 수 있을 것으로 판단된다.

이와 같은 공동이용시설에 설치가 가능한 친환경에너지 기술을 들자면 겨울철 난방과 급탕을 위한 목재펠릿을 연료로 사용하는 온수난방기가 있었으며, 연료의 가격면에 있어서 경제성을 갖추기 위해서는 난방유의 가격이 800원/L 이상이어야 한다는 전제 조건이 있다.

물론 펠릿보일러의 가격이 일반 경유보일러 보다 비싸기 때문에 보급에 있어서 불리한 조건으로 작용하지만 산림청에서 추진하고 있는 70% 국고보조사업이 있으며, 2009년도에는 농·산촌 주거용으로 3,000대를 보급할 계획으로 있다.


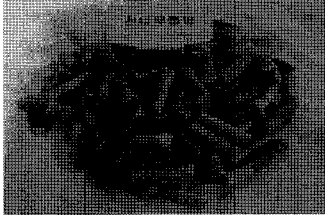








하지만 펠릿보일러의 가격이 430만원(유류보일러 60~80만원 수준)으로 고가이기 때문에 자부담(30%, 130만원)이 커서 보급 확대의 저해요인으로 작용하고 있다.

또한 현재 시판되고 있는 펠릿보일러의 열효율이 70% 수준으로 낮기 때문에 열효율 향상을 위한 연구가 필요하며, 안전하고 효율이 우수한 제품이 보급될 수 있도록 인증제도의 도입이 시급한 실정이다.

농업부문에서는 농축산부산물 또는 폐자원의 효과적 처리와 부가가치 제고를 위하여 이를 펠릿으로 제조하여 이용하는 방안도 고려해야 할 것으로 판단된다.

국내에서 이용가능한 농림부산물은 톱밥, 왕겨 등이 있으며, 목재의 경우에는 소나무의 발열량이 가장 큰 값을 보이고 있다. 표 4에서 보는 바와 같이 다양한 형태의 펠릿을 제조하여 이용할 수 있고, 톱밥과 왕겨를 혼합하여 만든 펠릿도 충분한 이용가치가 있을 것으로 판단된다.

표 4. 펠릿의 종류별 발열량

펠릿종류 (발열량, J/g)	펠릿 사진	펠릿종류 (발열량, J/g)	펠릿 사진
유채줄기 (15,984)		전나무 (18,191)	
귀리 (16,040)		톱밥:벼짚(7:3) (17,020)	
벼짚 (15,600)		톱밥:벼짚(3:7) (15,821)	
왕겨 (14,999)		톱밥:왕겨(7:3) (16,431)	
소나무 (18,519)		톱밥:왕겨(3:7) (15,704)	

또한 축산부산물물을 펠릿으로 이용하기 위한 연구도 이루어지고 있으며, 머지 않은 미래에 농림축산 부산물을 연료로 이용하는 펠릿난방기의 보급이 크게 활성화

될 것으로 기대된다.

펠릿난방기는 온풍난방기 또는 온수보일러의 두 가지 형태로 제작되어 시판되고 있으며, 그림 7에서 보는 바

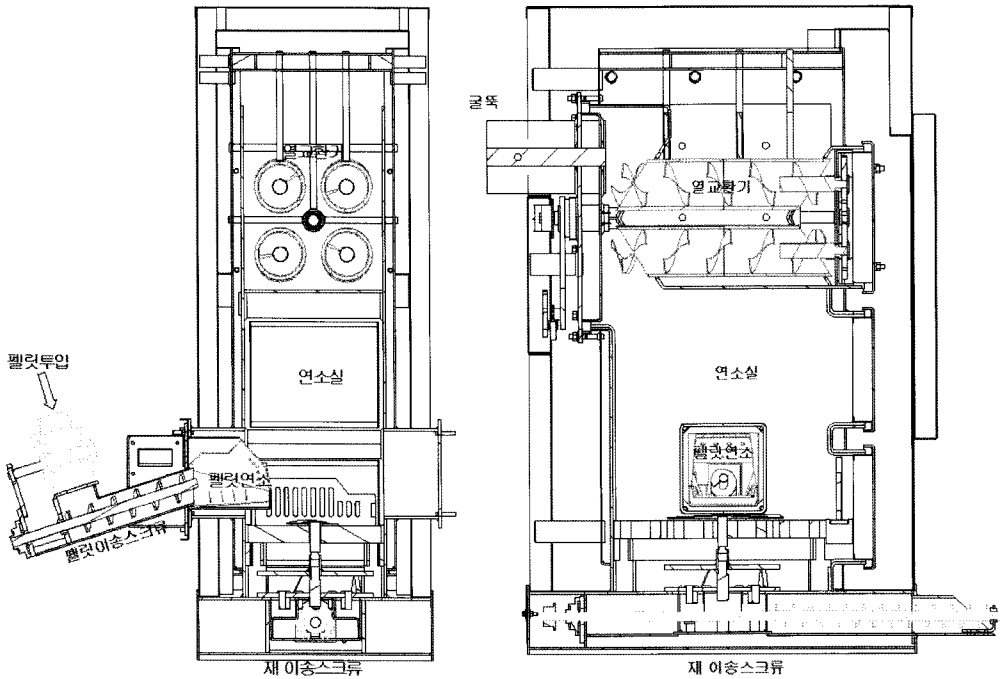


그림 7. 펠릿난방기

와 같이 펠릿투입장치, 연소실, 열교환기, 재처리장치 등으로 구성되어 있다.

## 6. 맺음말

농업분야에 이용가능한 친환경 에너지 기술은 앞에서 소개한 지열히트펌프 시스템과 펠릿난방기 외에도 축산

분뇨를 이용한 바이오가스 발전, 태양열을 이용한 보조 난방 등이 있다. 태양열을 이용한 보조난방은 저가형 태양열 축열시스템을 적용한다면 시설원예난방 등에 효과적으로 이용할 수 있을 것으로 판단되며, 바이오가스 발전은 시범보급을 통한 현장실증연구를 수행하여 초기비용 및 운전비용 절감방안 등을 마련하여 확대보급을 위한 기반을 다져야 할 것이다.