



수평식 지열시스템 온실 적용사례

지열에너지의 대표적 이용 시스템인 지열원 냉난방 시스템과 발전시스템에 관한 기본적인 지식을 제공하고 자 한다.

박 용 정

공간코리아(yjpark@kongkankorea.com)

유 영 선

농촌진흥청 농업공학 연구소(rys0418@rda.go.kr)

국내 시설원예현황

국내 시설원예현황을 살펴보면, 2005년도 기준으로 국내의 시설원예면적은 52,022 ha(채소 48,574 ha, 화훼 3,448 ha)에 달하고 있으며, 약 23%에 해당하는 12,000 ha는 겨울철에 난방기를 가동하여 원예 작물을 생산하고 있다. 농업용 난방기 보급은 가온 재배 면적의 신장과 더불어 급신장 하였다. 2005년 말 면세유류의 공급은 경유 1,963,000 ton, 중유 87,000 ton, LPG 1,066 ton으로 집계되었다. 농업용 면세유의 공급액은 약 1조 2,600억 원으로 이 중 공급량이 가장 많은 경유는 9,260억 원에 달하고 있으며, 62%에 해당하는 1,350,000 ton은 시설원예의 난방에 사용된 것으로 추산되고 있다.

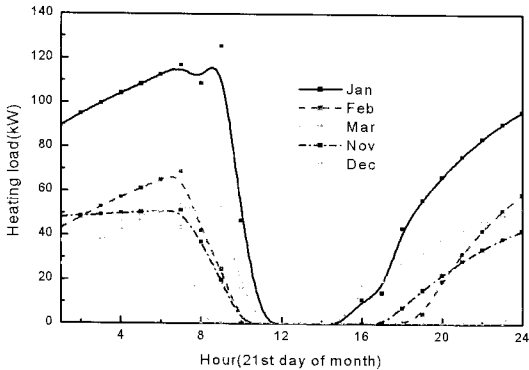
겨울철 작물을 생산하기 위해서는 작물이 생육하기에 적합한 온도로 유지시키기 위하여 난방을 해야 하며 우리나라의 온실난방은 경유를 연료로 사용하는 온풍난방기와 온수보일러에 의존하고 있다.

이와 같은 난방장치의 보급으로 시설원예 난방에너지원의 대부분을 석유에 의존하고 있는 상황에서 최근 유가의 상승은 시설원예 생산비 중 난방비가 차지하는 비중을 급격히 상승시켜 농가경영에 큰 어려움을 가져오고 있으며 시설농업 존재 자체에 큰 위기를 초래하고 있다.

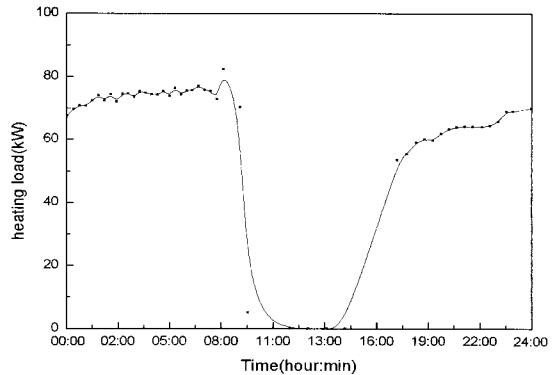
시설원예에 있어 난방에너지를 효율적으로 이용하기 위해서는 난방에너지를 적게 들이고도 작물을 재배할 수 있는 에너지 절약기술의 개발보급과 에너지를 절약할 수 있는 시설구조 및 자재의 사용, 난방용 기계장치의 효율적 이용과 석유류를 대체할 수 있는 대체에너지로써 수평식 지열시스템의 온실 적용사례를 소개 하고자 한다.

시설원예난방원리

일반적으로 온실은 작물을 재배하기 위한 비교적 넓은 면적을 가지고 있고 대부분 비닐하우스나 유리실로 되어있는데 일반건물과는 달리 실내로 태양복사에너지가 용이하게 유입되도록 되어있다. 실내로 들어오는 복사에너지는 실내 바닥을 가열하는데 일부는 하부로 열이 흡수되고 일부는 실내공기를 가열하면서 실내온도가 상승한다. 이 때문에 일출 이후에는 외기의 온도가 실내온도보다 낮은 상태라도 실내로 유입되는 태양복사에너지로 실내온도가 상승하여 난방의 필요성이 적어진다. 수평형 지열원 히트펌프 시스템의 경우 설치비용이 수직형에 비해서 저렴하지만 비교적 넓은 설치면적을 요구하는 단점을 가지고 있는데, 온실은 작물을 재배하기위한 넓은 면적을 가지고 있기 때문에 수평형 지열원 히트



[그림 2] 온실난방부하



[그림 3] 온실의 최대난방부하 (2007년 1월 29일)

월, 2월, 3월의 21일에 해당하는 난방부하 값을 나타낸다. 1월의 난방부하 값이 가장 크게 나타났으며 하루 중에는 일출 직전에 피크가 발생하다가 일출 이후 외기온도상승과 복사에너지 투과가 되면서 난방부하는 급격히 감소함을 알 수 있다. 그림 3은 실제로 발생하는 난방부하를 측정된 값인데 유사한 경향을 보이고 있다.

지열시스템 설치

비닐온실을 이용하여 재배하는 작물의 종류에 따라 그 정식시기와 수확시기에 차이가 있다. 다만 작물의 수확이 끝난 후 다음 정식까지 1 ~ 2개월의 휴지기를 갖는다. 휴지기는 작물의 종류에 따라 그 기간이 유동적이며, 대체로 같은 작물을 2기에 걸쳐 연속작은 하지 않는 실정이다. 농촌진흥청에서도 같은 작물의 연작에 대한 병충해 피해를 염려하여 연작은 피할 것을 당부하고 있다. 다음 작물의 정식을 위한 온실내부 복토 및 퇴비살포 등 20일 정도의 기간이 소요되는 것을 감안한다면 온실 내부에 지중열교환기를 설치하고 지열히트펌프시스템을 설치할 수 있는 기간은 최대 30일 정도이다. 휴지기를 이용한 수평형 지열히트펌프 시스템 공사 중 지중열교환기 공사는 온실의 차기 재배 작물의 준비과정과 작업이 중복된다. 따라서 지중열교환기의 설치기간의 단축은 본 실증시스템의 보급 확대에 큰 영향을 미친다. 본 연구에서는 온실 내부에 설치되는 지중열교환기 설치공사의 기간을 단축하고자 터파기의 물량을 산

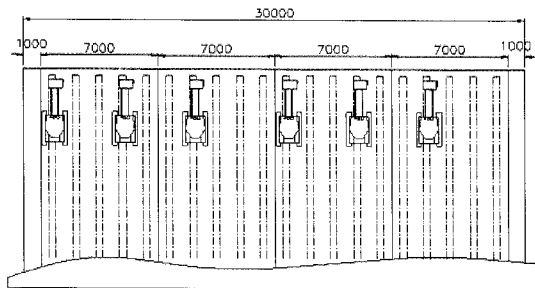
출하여 다수의 유압식 백호를 이용하여 최단기간 내에 공사가 끝날 수 있도록 한다.

온실은 73 m(L) × 30 m(W) × 4.5 m(H)의 4개 연동으로 이루어져 있다. 온실 내부에는 야간의 단열을 위하여 자동커튼이 2 m 높이에 설치되어 있다. 온실 내의 작업공간 높이가 2 m로 제한되어 있으므로 일반 유압식 백호를 이용하여서는 작업이 불가능하다. 따라서 본 연구에서 트랜치의 터파기는 협소한 공간에서 작업이 가능한 소규모 유압식 백호(미니 굴삭기)를 선정하였다. 터파기에 소요되는 기간을 산출하기 위하여 소규모 유압식 백호(미니 굴삭기)의 시간당 작업량을 산출하여야 한다.

터파기에 사용된 버킷의 용량은 0.15 m³이며, 되메우기에 사용된 버킷(bucket)의 용량은 0.12 m³이다. 버킷 계수는 온실의 협소한 작업 여건으로 인하여 버킷에 토양을 가득 채우기가 어려운 것을 감안하여 0.7로 하였다. 운전주기와 토양환산계수는 각각 20초와 0.72로 산출하였다. 작업효율은 자갈 섞인 보통흙으로 간주하여 0.6으로 하였다. 소형 유압식 백호(미니 굴삭기)를 이용한 시간당 작업량은 터파기와 되메우기의 경우 각각 8.16 m³/h와 6.53 m³/h로 산출되었다. 시간당 평균 작업량과 터파기 용량을 기준으로 1일 작업량과 전체 장비사용량을 산출하였으며 1일 작업산출량은 터파기 65.6 m³과 되메우기 52.24 m³, 터파기와 되메우기에 사용되는 장비 수량은 터파기 13대, 되메우기 16대가 필요한 것으로 나타났다.

트랜치의 터파기와 지중열교환기 매설 및 되메우기

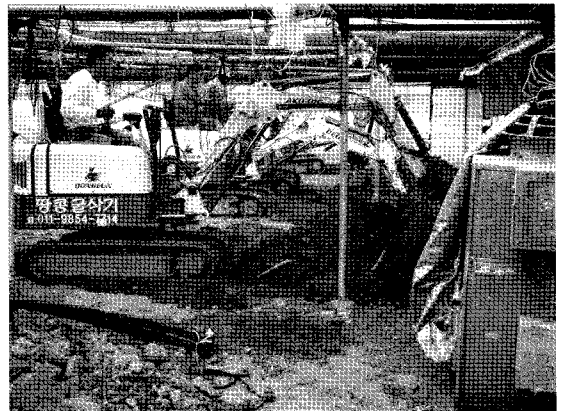
시간을 단축하기 위하여 소형 유압식 백호(미니 굴삭기) 6대를 이용하여 그림 4와 같이 공사를 수행하였다. 터파기 및 되메우기는 유압식 백호(미니 굴삭기)를 일정한 간격을 유지하도록 배치하였고, 작업의 형태는 유압식 백호(미니 굴삭기)의 우측 편으로 토사물을 일정하게 쌓도록 하였다. 소형 유압식 백호(미니 굴삭기)를 사용함으로써 인접한 트렌치의 작업도 가능하나 일정한 거리를 둔 것은 작업된 트렌치가 다른 유압식 백호(미니 굴삭기)의 충격에 의한 붕괴를 방지하기 위함이다. 지중열교환기는 설계된 길이에 맞게 공장제작 시 U 벤드의 용착이 완료된 형태로 80m의 길이단위로 주문 제작하였다. 배관 부설 작업은 트렌치 1골의 터파기 완료 시 트렌치의 붕괴를 방지하기 위하여 곧바로 부설하였으며, 후속하여 되메우기 작업을 실시하였다. 본 연구에서 지중열교환기 설치에 걸린 기간은 5일이 소요되었다.



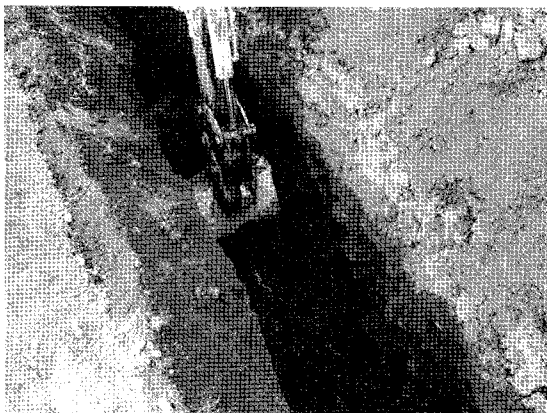
[그림 4] 소형 유압식 백호의 트렌치 터파기 개략도

실내공조

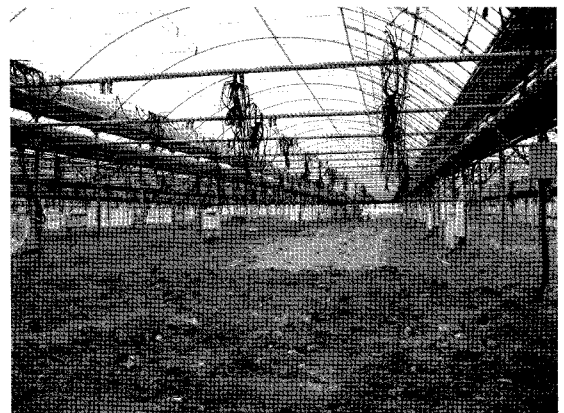
지열원 히트펌프시스템은 크게 4부분으로 나눌 수 있는데, 지중열교환기, 히트펌프, 열을 저장하는 축열조, 팬코일유닛(Fan Coil Unit, FCU)로 분류할 수 있다. 실내의 공조조건은 주간에는 작물의 성장과 실내온도상승을 위해서 단열재를 제거하지만 야간에는 온실용 단열재를 상부와 측면부를 모두 감싸게 된다. 실내로 공급되는 열원이 온수이기 때문에 온수로 공기를 가열할 수 있는 FCU를 24대 설치하였다. 외기온도는 일별로 다양하게 변하기 때문에 실내에 설치된 방열기(FCU)는 충분한 용량으로 설치하여 예측치 못한 순간적인 큰 부하도 감당할 수 있



[그림 5] 굴삭기 배열



[그림 6] 트렌치 작업



[그림 7] 실내 설치된 FCU

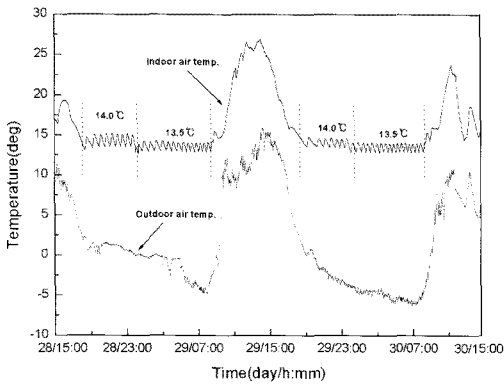


도록 하는 것이 중요하며, 기계실에 설치되는 부하 축 순환펌프용량도 같이 고려하여 선정하여야 한다. 동절기에 온실을 연속적으로 사용하지 않고 몇 일간 휴지기가 있을 경우를 대비하여 FCU의 동파에 대한 대비를 하여야 한다. 본 실험에서는 FCU 내부에 장착된 열교환기 외표면에 온도센서를 설치하여 외표면 온도가 5도 이하가 되면 자동으로 온수만 순환시켜서 배관의 온도를 5도 이상 유지하게 하였다.

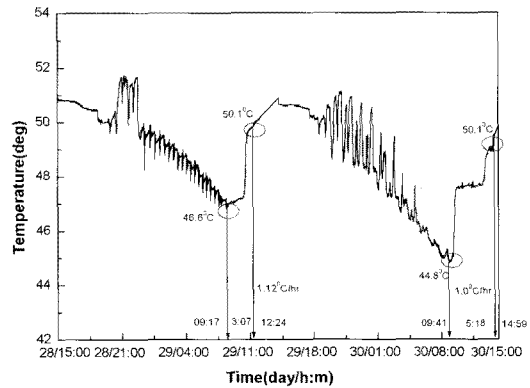
지열시스템의 난방운전

지열시스템의 운전은 실내의 온도가 설정값 이하가 되면 자동으로 축열조에서 열을 실내로 공급하게 하였고, 지열히트펌프는 축열조가 온도가 설정값이

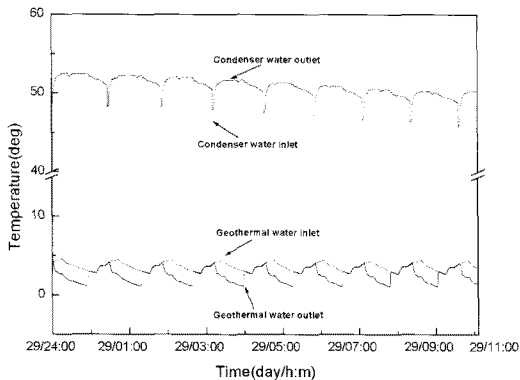
하가 되면 자동으로 축열조에 열을 공급하도록 하였다. 그림 8은 난방운전을 하고 있을 동안 실내의 온도를 나타내는데 실내유지온도는 정식된 작물의 성장에 유리한 온도조건인 14도와 13.5도로 하였고 비교적 잘 유지함을 볼 수 있다. 그림 9는 이때의 축열조 내부의 온수온도를 측정된 값이다. 난방이 시작되면서 축열조에서 열을 소비하고 내부온도는 점차 감소함을 볼 수 있다. 난방이 완료되면서 축열조온도는 빠르게 회복을 하고 다시 난방에 필요한 열을 공급하게 된다. 축열조 온도가 감소하는 것은 난방 부하 값이 지열시스템이 축열조로 공급하는 양보다 크기 때문이다. 축열조의 가장 큰 장점으로는 열의 저장기능과 함께 다양한 부하패턴에 대응을 할 수 있다는 것이다. 그림 10은 히트펌프의 열원측과 부



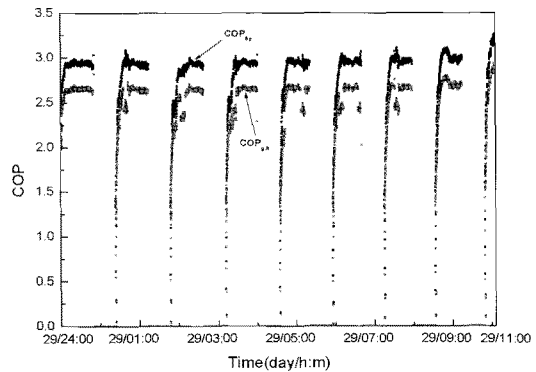
[그림 8] 실내의 온도 변화(2007년 1월 28 ~ 1월 30일)



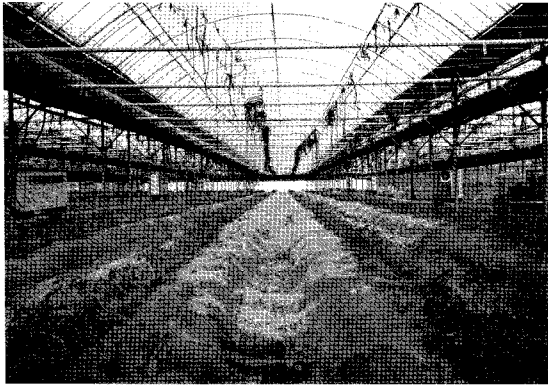
[그림 9] 축열조 온도 변화



[그림 10] 지중열교환기 및 응축기 순환수 입·출구온도



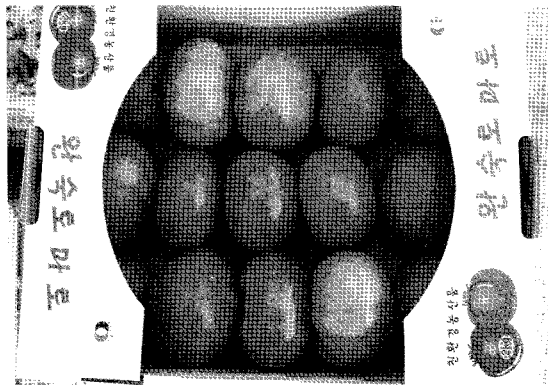
[그림 11] 히트펌프 및 시스템 성능계수



[그림 12] 토마토 정식된 온실



[그림 13] 작물 결실



[그림 14] 수확된 토마토

하측의 입출구온도를 나타낸다. 온도가 주기적인 특성을 보이는 것은 열원측온도가 일정온도 이하가 되면 히트펌프의 작동을 멈추게 하고 열원측 온도가 회복이 되면 다시 가동이 되도록 하였기 때문이다. 그림 11은 히트펌프의 성능과 시스템성능을 나타낸 것이다. 히트펌프의 난방성능계수는 2.9 정도, 시스템성능계수는 2.5 이상으로 나타났다. 축열조의 경우 최대 상한온수온도를 50도로 설정하였는데 이 값은 실내유지온도에 비해서는 비교적 큰 값으로 볼 수 있다. 일반 사무실 공조를 기준으로 보면 실내온도 30도 가량 유지할 수 있기 때문에 히트펌프 효율을 높이기 위해서는 설정온도를 낮게 할 수도 있다. 하지만 온도가 낮아지면 축열조의 크기가 커지기 때문에 투자비 상승을 초래하고 실내로의 온수공급에

있어서 입출구 온도를 크게 하지 못하기 때문에 순환펌프동력상승이 발생 할 수 있기 때문에 신중히 고려하여야 한다. 축열조 크기를 줄이기 위해서는 축열조 이용온도차를 최대한 크게 하는 것이 중요하다. 열원공급온도와 실내온도 유지능력은 실내에 설치된 방열기의 크기와 밀접한 관계가 있지만 통상적으로 실내온도에 비해서 열원공급온도가 15도 이상이면 가능할 것으로 보인다. 작물의 경우는 사람보다 온도에 민감하게 반응을 한다. 주거지역의 경우 실내온도가 설정온도에 비해서 많이 벗어나더라도 견뎌내지만 작물의 경우는 냉해를 입기 때문에 수확량이나 품질에 많은 영향을 주게 된다. 겨울철 난방 기간에는 시스템의 안정성을 가장 중요하게 고려하여야 하고, 필요시에는 백업장치를 두어야 한다. 지열시스템의 경우 안정성이 많이 확보되어 있지만 농가보급의 경우는 전문관리자의 부재로 관리가 소홀해 질 가능성이 크다. 제어장치는 산업적으로 충분히 검증된 내구성있는 부품을 사용하여야 하고 조작이 간단해야 한다.

지열시스템은 현재 에너지절감 측면에서 많은 관심을 받고 있다. 온실난방에 사용되는 경유비용은 농가의 경제적 부담을 가중시키고 석유부존국가인 우리나라는 수입에만 의존하여야 하기 때문에 세계유가변동에 의존할 수 밖에 없다. 이에 우리나라도 농가의 온실경영에 경쟁력을 갖추기 위해 석유가 아닌 신재생에너지를 통해서 난방비 절감을 이루는 것이 당면 과제라 할 수 있다. 이에 지열에너지는 냉난방열원으로서 많은 기여를 할 것으로 예상된다. (2)