

지열시스템의 파프리카 영농조합시설 적용사례

박 일 응*, 황 윤 제 **

*LG전자 에어컨사업본부 CAC연구소 책임연구원, **연구위원

1. 개요

장수 파프리카 영농조합법인 시설원에 단지에는 신·재생에너지 (대체에너지) 설비 보급사업에 지원을 받아 지열을 이용한 냉·난방시스템을 설치하여 운영하고 있으며, 기존 보일러시설에 비해 유지보수 및 설비 운영비용을 크게 절감하여 그 사례를 소개하고자 한다.

2. 설계 기본방향

- 친환경적인 신·재생에너지 지열을 이용하여 대기오염방지 및 경제성 극대화
- 온수난방 방식 및 공기조화기 덕트 공조방식을 이용하는 쾌적한 온실 환경 조성
- 대체에너지 및 미활용 에너지를 이용하여 안



[그림 1] 장수 파프리카 영농조합 법인의 시설원에 현장

정적인 에너지 공급 기반 구축

- 산악 특성에 따른 환절기의 튜브레일 온수난방과 공조기 공간난방 동시 만족을 통한 최적화/첨단화된 지열 냉·난방시스템의 구축

3. 일반 사항

3.1 과업지역현황

표 1은 일반현황으로 대상 시설원에 현장은 지상 1층, 대지면적 12,480 m²이며, 재배 작물은 파프리카이다.

3.2 실시설계

3.2.1 개요

본 장수 파프리카 영농 조합법인 유리온실 지열 냉·난방시스템을 설치하는 목적은 기존 보일러를 사용하는 시설과 연동하여 부하측에 냉·난방 시설로 청정에너지인 지열을 이용한 냉·난방 시스템을 추가로 설치함으로써 에너지 비용을 절감하고, 친환경적인 신재생 에너지를 활용하기 위한 것이며 이에 중점을 두어 설계하였다.

주요 시스템 구성은

- 1) 냉·난방용 히트펌프

2) 냉·온수 축열조 및 보조 축열조

3) 지중 열교환기 및 삼방 밸브 (판형열교환기)

4) 감시장치 및 자동제어설비

5) 수전 및 배전설비

등의 형태로 구성되어 있으며, 이 외에 구조물 및 전기, 제어 설비의 배관, 배선 등의 설비를 포함한다.

3.2.2 설계범위

- 기존 보일러 설비와 연동되는 지열 냉·난방 시스템 설치
- 지중 열교환기의 배열을 회수할 수 있는 삼방 밸브 및 판형 열교환기 장치 설치
- 기존 난방설비와 연동되며, 신규로 냉·난방 설비를 추가로 설치
- 설비 시스템 변경에 따른 전기 동력설비 - 1식
- 설비배관 신설에 따른 건축공사 - 1식
- 기타 사용자측 요구사항 - 1식

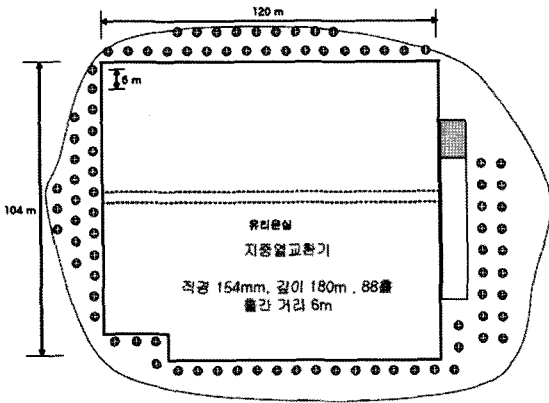
4. 지열시스템 설치

4.1 옥외 천공 위치 및 현장

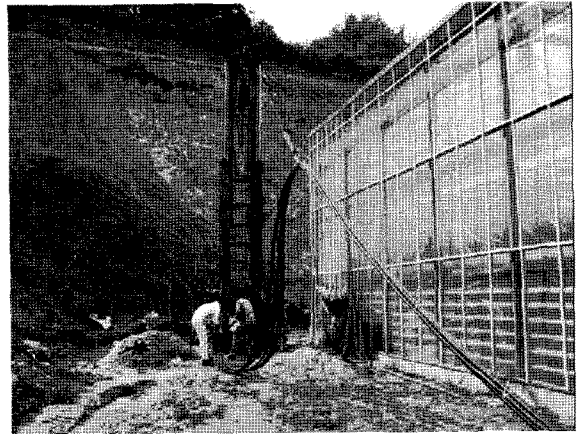
- 1) 본 유리온실은 산을 절개하여 되메우기 한 후 평탄한 곳에 건축된 구조물이므로, 유리온실

<표 1> 현장현황

구분	내용	비고
대지위치	전라북도 장수군 수분리 97-4번지	
대지면적	12,480 m ²	3775.2평
지역지구	생산관리지역, 보전관리지역	
용도	시설원예	
구조	유리온실	
층수	지상1층	
건축면적(기계실)	600 m ²	181.5평
연면적(기계실)	600 m ²	181.5평
재배작물	파프리카	
주변환경	해발 500 m 고지에 위치 도시가스, 심야전기 공급 받지 못함	건물전면 - 임야 건물후면 - 신무산



[그림 2] 옥외 지열 배치계획



[그림3] 천공 후 지열교환기 PE배관 삽입 전경

주위의 공간이 협소하여 많은 수의 지중 열교환기를 설치할 수 없으므로, 지중열교환기의 수를 최대한 줄이는 설계가 필요하다.

- 2) 이에 따라, 상대적으로 열효율이 12% 우수한 4관식(더블-U) 방식의 지중 열교환기를 설치하였다.
- 3) 한편, 절개면에서는 지중 열교환기 시공 과정에서 건축물 또는 지반에 영향을 미칠 수 있으므로, 가능하면 되폐우기 된 절개면 및 부족공간에는 지중 열교환기를 한 개 열로 배치하거나, 지그재그로(Staggered) 배치한다.

4.2 유리 온실 내부의 냉·난방 설비

4.2.1 기본방향

- 1) 유리온실의 온도 균일화
 - (1) 유리온실 내부의 덕트 및 튜브의 배치
 - (2) 부하변동에 적절히 대응할 수 있는 공기조화기 제어시스템 적용
- 2) 초기투자비와 운전비가 저렴한 지열 시스템 선정
 - (1) 고효율의 장비선정 (인증된 지열 열펌프 유니트 선정)
 - (2) 반송 동력의 최소화
- 3) 합리적인 냉·난방 계획의 수립
 - (1) 유리온실 내부의 공조 시간을 고려한 개

별 냉·난방 zoning (Zoning) 계획

- (2) 부분부하 운전, 최대부하 운전 및 유지관리를 고려한 배치 계획

4.2.2 지열히트펌프

1) 개요

기본적으로 본 사업의 성격상 정부(에너지관리공단)에서 인증된 제품을 적용하도록 권장하므로, 압축기의 사양, 냉매의 종류에 대한 사용자의 의견을 반영하여 "신재생에너지" 인증을 받은 LG전자의 물대물 방식의 히트펌프 모델을 적용하였다.

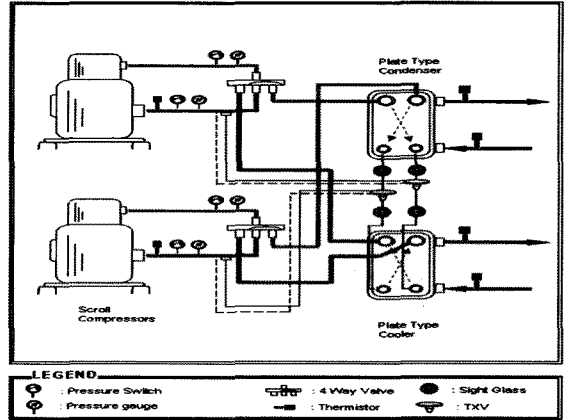
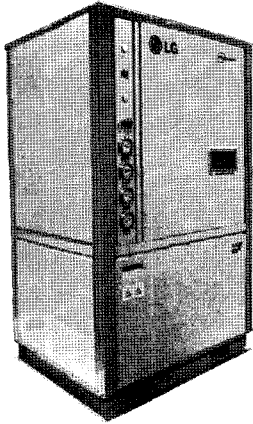
2) 운전방식

사업용량에 알맞은 대용량 지열 열펌프를 선정하되, 운전방식은 탠덤형, 인버터형, 단일형 각각의 장단점을 고려하였으며, 신뢰성 제어가 우수한 강점을 가진 탠덤형을 채택하였다. 몇 개 제조사 별로 제공하는 효율과 설치 면적, 그리고 친환경 냉매인 R-410A 냉매를 적용 여부와 운용비 저감을세밀히 분석한 후 녹색 그린사업에 기여할 수 있는 모델을 채택하였다

4.2.3 부하측 냉·난방 공기조화기 및 덕트 (비닐튜브)

1) 개요

유리온실 냉·난방 사용시간에 따른 적응성과



구분	냉매	효율(W/W)		Foot Print (m ² /RT)	무게(kg)
		냉방	난방		
적용모델	R-410A	5.18	3.9	0.023	670
A사	R-22	4.99	3.86	0.033	1500
B사	R-410A	4.1	3.53	0.021	840

[그림 4] 지열히트펌프 모델과 성능표

구분	냉·난방 방식		비고
	냉방	난방	
유리 온실	공기조화기 및 덕트	튜브레일 온수난방 그로잉튜브 온수 난방 공기조화기 및 덕트	24시간 ZONE
환절기 유리온실	공기조화기 및 덕트	공기조화기 및 덕트	새벽냉 / 초저녁 · 복합환경 자동제어시스템

부분부하 발생에 따른 에너지 소비를 최소화하고 유지관리가 용이하도록 하였다. (수직형, 수평형 중에서 현장 설치에 적합한 공조기 타입을 선택 하였다.)

- 2) 냉·난방 방식
- 3) 냉·난방 열매체 온도
 - 냉수 (입구/출구) : 5°C/12°C
 - 온수 (입구/출구) : 50°C/35°C

4.2.4 냉·난방 실내배관

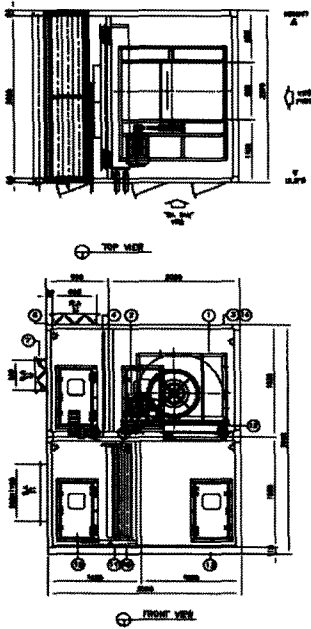
- 1) 덕트 및 비닐튜브 배관평면도

- (1) 덕트는 아연도 함석을 사용하여 유리온실 외부에 설치하되, 비가림막으로 부식을 막는다.
- (2) 유리온실 내부의 비닐튜브는 단열을 목적으로 직경 300 mm 이중비닐 또는 에어캡 비닐을 사용한다.
- (3) 비닐튜브는 상부/하부의 용도별 냉·난방 공급을 위해서 그로잉(Growing) 케이블에 매달아 설치한다.

4.3 자동제어 설비

4.3.1 자동 설계 개요

본 시설원예용 지열 냉·난방시스템은 중앙감시실(제배실)에 있는 복합환경제어시스템과 연동하여 중앙관제장치시스템을 구성하고, 지열 냉·난방시스템 및 보일러 등의 기존 설비의 운전상태 감시 및 제어를 행하며, 일지의 작성, 보수



NOTE

1. 팬 (FAN) : 1/2HP (1/2HP) 사용
2. 모터 (MOTOR) : 1/2HP (1/2HP) 사용
3. 콘트롤 (CONTROL) : 1/2HP (1/2HP) 사용
4. 필터 (FILTER) : 1/2HP (1/2HP) 사용
5. 냉매 (REFRIGERANT) : R22 (R22) 사용
6. 압력 (PRESSURE) : 1/2HP (1/2HP) 사용
7. 압력 (PRESSURE) : 1/2HP (1/2HP) 사용
8. 압력 (PRESSURE) : 1/2HP (1/2HP) 사용
9. 압력 (PRESSURE) : 1/2HP (1/2HP) 사용
10. 압력 (PRESSURE) : 1/2HP (1/2HP) 사용
11. 압력 (PRESSURE) : 1/2HP (1/2HP) 사용
12. 압력 (PRESSURE) : 1/2HP (1/2HP) 사용
13. 압력 (PRESSURE) : 1/2HP (1/2HP) 사용
14. 압력 (PRESSURE) : 1/2HP (1/2HP) 사용
15. 압력 (PRESSURE) : 1/2HP (1/2HP) 사용

SPECIFICATION

ITEM	UNIT	AMOUNT
1. FAN	NO.	1
2. MOTOR	NO.	1
3. CONTROL	NO.	1
4. FILTER	NO.	1
5. REFRIGERANT	KG	1
6. PRESSURE	NO.	1
7. PRESSURE	NO.	1
8. PRESSURE	NO.	1
9. PRESSURE	NO.	1
10. PRESSURE	NO.	1
11. PRESSURE	NO.	1
12. PRESSURE	NO.	1
13. PRESSURE	NO.	1
14. PRESSURE	NO.	1
15. PRESSURE	NO.	1
16. PRESSURE	NO.	1
17. PRESSURE	NO.	1
18. PRESSURE	NO.	1
19. PRESSURE	NO.	1
20. PRESSURE	NO.	1
21. PRESSURE	NO.	1
22. PRESSURE	NO.	1
23. PRESSURE	NO.	1

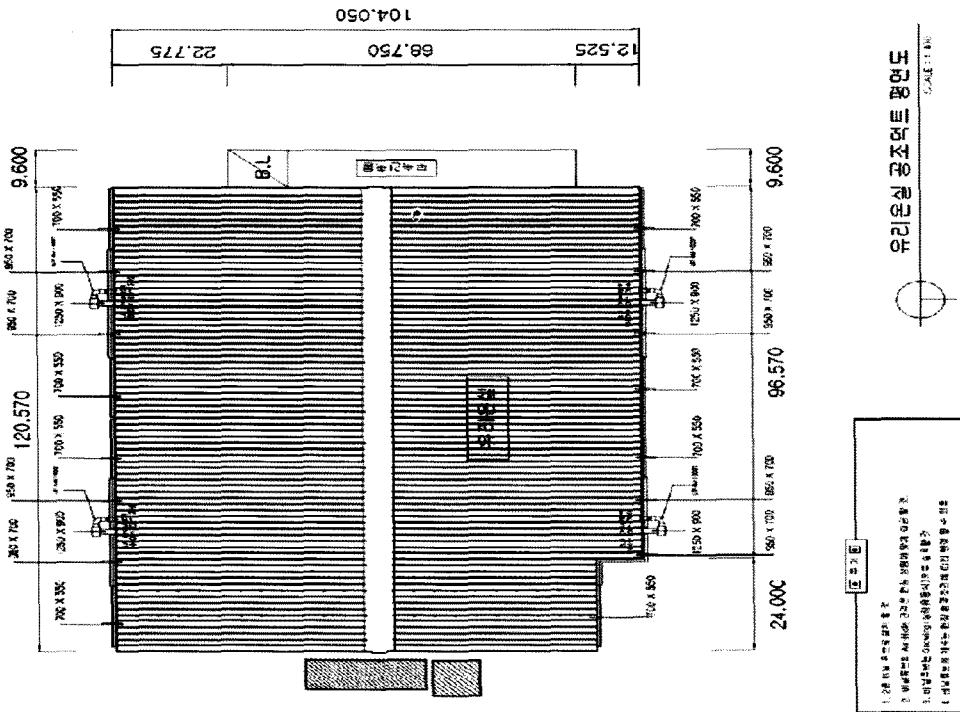
LIST OF MATERIALS

NO.	NAME OF PART	MATERIAL	QTY	REMARKS
1	FAN	NO.	1	
2	MOTOR	NO.	1	
3	CONTROL	NO.	1	
4	FILTER	NO.	1	
5	REFRIGERANT	KG	1	
6	PRESSURE	NO.	1	
7	PRESSURE	NO.	1	
8	PRESSURE	NO.	1	
9	PRESSURE	NO.	1	
10	PRESSURE	NO.	1	
11	PRESSURE	NO.	1	
12	PRESSURE	NO.	1	
13	PRESSURE	NO.	1	
14	PRESSURE	NO.	1	
15	PRESSURE	NO.	1	
16	PRESSURE	NO.	1	
17	PRESSURE	NO.	1	
18	PRESSURE	NO.	1	
19	PRESSURE	NO.	1	
20	PRESSURE	NO.	1	
21	PRESSURE	NO.	1	
22	PRESSURE	NO.	1	
23	PRESSURE	NO.	1	

CHECK LIST

NO.	ITEM	STATUS	REMARKS
1	FAN	○	
2	MOTOR	○	
3	CONTROL	○	
4	FILTER	○	
5	REFRIGERANT	○	
6	PRESSURE	○	
7	PRESSURE	○	
8	PRESSURE	○	
9	PRESSURE	○	
10	PRESSURE	○	
11	PRESSURE	○	
12	PRESSURE	○	
13	PRESSURE	○	
14	PRESSURE	○	
15	PRESSURE	○	
16	PRESSURE	○	
17	PRESSURE	○	
18	PRESSURE	○	
19	PRESSURE	○	
20	PRESSURE	○	
21	PRESSURE	○	
22	PRESSURE	○	
23	PRESSURE	○	

[그림 5] 유리온실 수직형 공기조화기



[그림 6] 유리온실 내부 덕트 및 비닐튜브

정비의 분석 등 유리온실 내부의 기계설비에 대한 통합 관리 및 운용을 효율적으로 함으로써 건물환경의 쾌적성, 안전성을 도모하고 지열을 이용한 히트펌프시스템 및 그 제어장치에 관한 특허공법 및 시스템을 적용함으로써 부하에 따른 지열에너지 소모량의 직접 감시가 가능하게 하여 최대에너지 효율과 운영자의 신뢰성을 극대화하며, 유리온실의 기능을 경제적으로 유지함을 목적으로 한다.

4.3.2 장비별 동작 설명

1) 지열원 히트펌프

- (1) 지열원 순환펌프 운전에 의하여 열펌프 유닛의 지열측 입·출구온도를 적정하게 유지하여 시스템의 효율을 극대화 한다.
- (2) 어떠한 순환 라인의 온도가 4℃보다 낮으면 지열순환펌프 기동 및 축열조의 온수를 순환시켜 동파를 방지한다.
- (3) 각종 순환펌프 기동/정지는 MCC에서 접점을 받아 중앙 감시실에서 제어한다.
- (4) 히트펌프 기동/정지는 히트펌프제어반(H/P Control Pannel)에서 접점을 받아 중앙감시실에서 제어한다.
- (5) 냉·온수 축열조에 설치된 수위조절기(LC)에 의하여 정수위조절밸브(CWV) 또는 차압조절밸브(릴리프밸브)를 OPEN/CLOSE하여 축열조 내부 수위를 일정하게 유지한다.
- (6) 지중 열교환기 라인을 사용하지 않을 경우, 즉 축열조와 보조축열조 사이의 냉·온수 동시 생산 운전을 수행하는 경우에는 삼방밸브(3-way V/V)를 제어한다.
- (7) 중앙관제사항
 - 지열원 공급 및 환수 온도 감시
 - 축열 및 냉,온수 공급 및 환수 온도 감시
 - 지열원 순환펌프 기동/정지 및 상태 감시
 - 각종 순환펌프 기동/정지 및 운전상태 감시

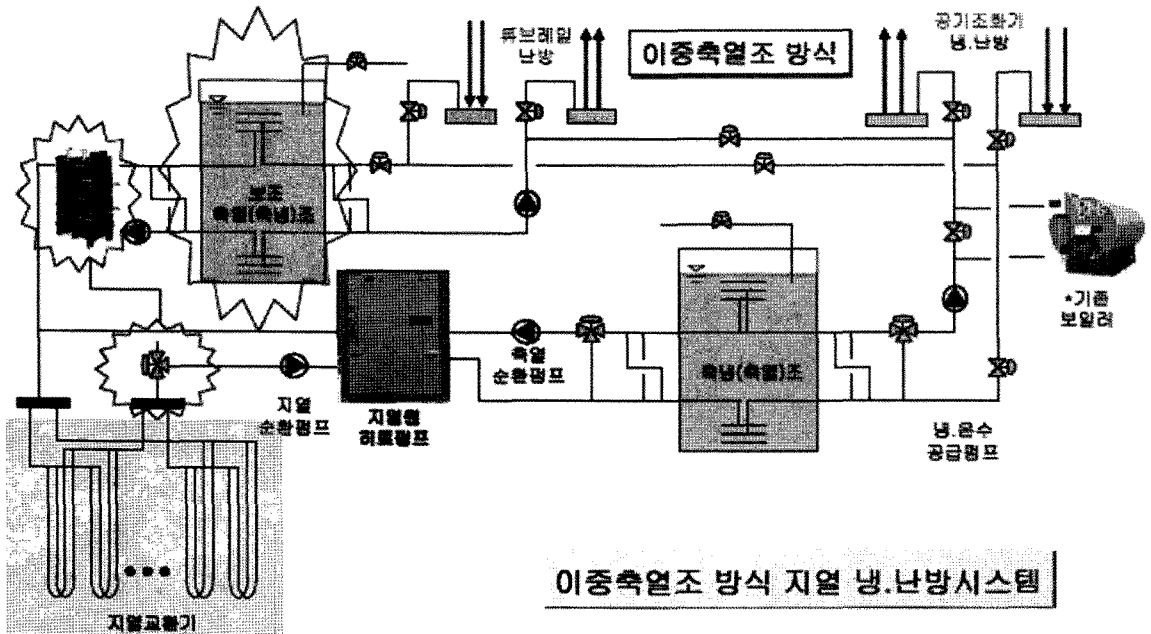
- 냉·온수 순환펌프 기동/정지 및 운전상태 감시
 - 축열조 탱크 온도 및 저수위/고수위 경보 감시
 - 지중열교환기 열교환기의 입·출구 온도의 감시
 - 축열조 및 보조축열조의 내부온도 감시
 - 축열조 잔여열량 계산 및 축열 제어
- (8) 히트펌프 제어기는 PLC를 기반으로 하되, DDC 제어접점을 이용하도록 한다.
 - (9) 유리온실 복합환경제어 장치의 제어에 따라 제어접점을 추가하도록 한다.

2) 공기조화기 및 덕트

- (1) 유리온실에 설치된 공기조화기의 수량에 따라 덕트(V.D)의 크기 및 TYPE을 선정한다. (단, 공조기 용량을 산정하여 환기팬 및 댐퍼 조절기에 안전율을 설정한다.)
 - (2) 유리온실 내부의 온도감시에 의해 공조기의 댐퍼를 무단으로 조정하여 사용자의 의해 웬스피드를 제어 시켜 실내온도를 조절한다.
 - (3) 유리온실 내부의 복합환경제어장치의 온·습도센서를 추가하고, 공기조화기 및 덕트의 온도조절에 필요한 제어부속을 설치한다.
- 3) 튜브레일 온수난방 조절 기준에 설치된 온수 배관은 고온수(60 ~ 80℃)용으로 온도차가 35℃로 설계되었으므로, 지열히트 펌프시스템에서는 공급유량을 배관 직경 대비 최대로 공급하도록 한다.
- 4) 기존 보일러시스템의 운전
기존 보일러의 경우, 본 사업에서 결정된 지열 냉·난방시스템에서는 보조 축열조에 연결하여 튜브레일 및 그로잉튜브의 온수온도를 조절하도록 제어한다.

4.4 이중 축열조 방식 지열 냉난방 시스템

- 1) 운전 초기 지열 히트펌프와 지열 교환부간에



[그림 7] 이중 축열조 방식 지열 냉·난방시스템

<표 2> 시스템 방식 별 검토서

구분	1안 (이중축열조방식 지열 시스템)	2안 (보조축열조방식 지열 시스템)	3안 (표준방식 지열 시스템)
순초기투자비	1,671,440 천원	1,701,455 천원	1,521,570 천원
정부+지자체 투자비	1,231,000 천원	1,231,000 천원	1,231,000 천원
자부담 투자비	308,000 천원	308,000 천원	308,000 천원
년간 보일러운전비	165,000 천원	165,000 천원	165,000 천원
년간 운전비	47,446 천원	57,093 천원	66,394 천원
유류비 절감율	71.2%	65.4%	59.8%
유류비 대비 운전비차액	87,763 천원	78,116 천원	68,815 천원
자부담 기준 회수기간	3.5년	3.9년	4.5년
장단점 비교	장점 ① 동시 냉·난방이 가능 ② 냉·난방 운전비가 저렴 ③ 축열조의 활용량이 크다 ④ 냉방열의 폐열회수가 가능한 시스템	① 시스템 냉·난방효율이 양호 ② 냉·난방 운전비가 상대적 저렴 ③ 운전이 비교적 자유로움 ④ 정부의 대체에너지 보급정책에 부합	① 초기투자비가 가장 저렴하다 ② 수전설비 용량이 비교적 작다 ③ 기본적인 설비유지가 간단하다
	단점 ① 초기투자비가 상대적으로 높음 ② 축열조가 커지므로 설치비가 많이 소요 ③ 자동제어시스템이 복잡할 수 있다	① 펌프 증가로 소용전력이 크게 필요 ② 알람 시스템으로서 설치가 가장 많이 필요 ③ 환절기 운전이 일부 불가능함 ④ 자동제어시스템이 별개로 구성되어야 함	① 보일러를 반드시 사용해야 함 ② 환절기 운전이 전혀 불가능함 ③ 운전비가 많이 필요함 ④ 온실내부를 CO ₂ 소모량이 상대적으로 많음 ⑤ 시스템 효율이 상대적으로 나쁨
결론	⇨ 초기투자비는 높으나 정부의 시설원에 냉·난방시스템 보조보급정책에 부합하고, 환절기 냉·난방운전이 가능하며, 연간 운전비가 가장 저렴한 제1안의 (이중축열조방식 지열시스템)을 적용하는 것이 타당한 것으로 판단됨.		

열교환이 이루어지지 않도록 열 환수 헤더에서 히트펌프로 순환 유체가 유입되는 것을 차단하도록 삼방밸브를 제어하여 순환 유체가 히트펌프, 히트펌프와 열 공급 헤더 사이의 배관, 히트펌프와 열 공급 헤더 사이의 배관에서 분지된 배관, 히트펌프와 열 환수 헤더 사이의 배관 및 히트 펌프로 순환하는 폐루프를 형성하고, 히트펌프가 안정된 다음 지열 교환부의 순환 유체가 열 환수 헤더를 경유하여 히트펌프로 유입되어 히트펌프에서 지열과 열교환 할 수 있도록 삼방밸브를 제어하여 순환유체가 지열 교환부, 히트펌프 및 지열 교환부로 순환하는 폐루프를 형성한다.

- 2) 삼방밸브를 구비한 지열 냉난방장치는 히트펌프의 운전이 상대적으로 빠르게 안정될 수 있고, 히트펌프의 손상을 방지할 수 있으며, 유리온실 내부의 냉·난방 수요를 동시에 충족시킬 수 있는 장점이 있다.

5. 결론

5.1 적용 결과

- 1) 지열을 적용한 원예사업에 적합한 다양한 냉·난방시스템 방식을 검토한 결과, 시스템

이 안정적이고 유지 관리가 편하며, 하자 발생 가능성이 적은 수직밀폐 방식의 이중 축열조 방식이 유리한 것으로 도출되었다.

- 2) 수직 밀폐형 지중 열교환기 형식 중 트리플-U방식의 지중열교환기 형식이 초기 설치비, 설치면적 등의 면에서 유리하여 본 유리온실의 요구조건에 부합하는 것으로 검토하였다.
- 3) 넉넉지 않은 예산으로 어렵게 운영하는 농가 시설로서 운전비를 절감할 수 있는 이중축열조 방식과 고효율 지열 냉·난방시스템의 적용으로 표준방식의 기존 시스템 구축대비 약 25% 이상의 운전비 저감 효과를 기대한다.
- 4) 장수토마토영농조합법인 시설원예용 지열 냉·난방시스템은 농가 자부담을 포함하고 있는 국가/지자체 보조사업으로 무공해 청정 에너지인 지열을 이용하는 히트펌프 냉·난방시스템을 공급함으로써, 친환경적 이미지를 부각시키고, 아울러 지중열교환기를 통해 버려지는 미활용에너지를 재활용함으로써 시설원예(파프리카)용 유리온실의 유지비 및 운영비를 절감하고, 신·재생에너지에 대한 보급효과를 극대화 할 수 있는 효과가 있다.