

# 축열식 지열시스템 설치사례

김 종 룰

(주)에프티이앤이 기술연구소 연구소장

문 기 선

(주)에프티이앤이 미래전략사업본부 본부장

김 석 영

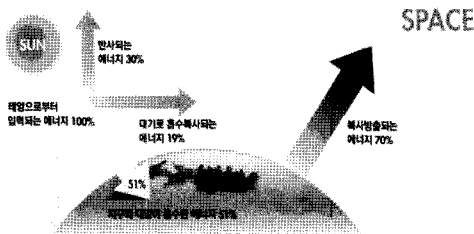
(주)에프티이앤이 미래전략사업본부 친환경에너지 팀장

## 1. 서론

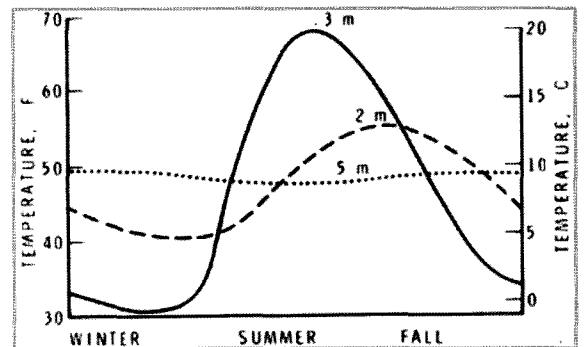
지열(地熱, geothermal heat)이란 지표면의 얇은 곳에서부터 수 km 깊이에 존재하는 뜨거운 수분과 돌을 포함하여 땅이 보유하고 있는 에너지를 말하며, 통상 뜨거운 물을 온천(溫泉, hot spring)이라 하고 고체 성분이 녹아있는 것을 마그마(magma)라고 부른다. 지열은 그림 1에 나타난 것과 같이 태양열의 약 47%가 지표면에 흡수되어 지하에 저장된 것으로 태양열을 흡수한 땅속의 온도는 지형에 따라 다르나 지표면 가까운 땅속의 온도는 그림 2에 나타난 것과 같이 대략

10 ~ 20℃ 정도로 연중 큰 변화가 없고 지하 수 km의 지열온도는 40 ~ 150℃ 이상을 유지한다. 우리나라의 기후조건에서는 지하심도 6 ~ 8m 이하에서는 연평균 14 ~ 16℃ 정도의 일정한 온도 분포를 유지하는 것으로 보고되고 있어 이를 열원으로 활용하여 시스템을 구성하면 안정적인 성능을 발휘할 수 있으며 동계 및 하계에도 큰 편차 없이 열원의 온도가 유지되므로 냉난방 열원으로 유효하게 이용할 수 있다.

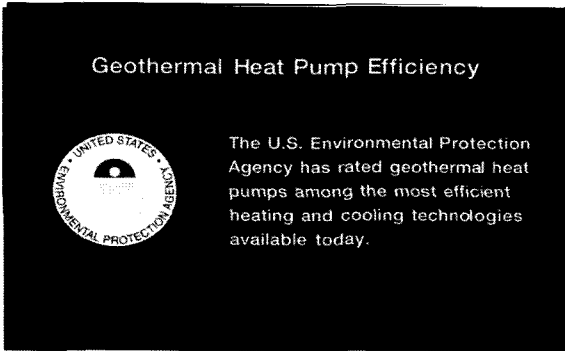
열원으로 활용되는 일부 열원이 계절별 온도 편차가 심한 경우도 있으므로 안정적 열원온도를 확보하고 공급이 가능한 지열을 히트펌프의 열원



[그림 1] 태양으로부터의 열수수(지구)



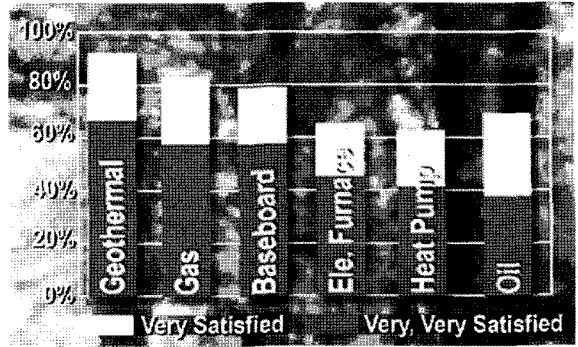
[그림 2] 계절별 지중온도 변화



[그림 3] 미국 환경청(US EPA)에서 공인한 지열이용 히트펌프 기술

으로 활용할 경우 이들과 비교시 더 안정적인 시스템 구성이 가능하다. 지열은 이와 같이 태양과 지구가 존재하는 한 지속적으로 이용이 가능하므로 안정적이고 우수한 에너지원(energy source)이라고 할 수 있다.

지열을 이용하는 열펌프 시스템이 우리나라에 2000년경 도입되어 본격적으로 보급되기 시작한 것은 2003년으로 정부의 보급사업을 통해서 보급시장이 열리게 되었고 2004년 공공기관 설치 의무화 사업이 시작되며 지열 열펌프 시스템의 보급이 본격화되어 보급률이 매년 100% 이상 확대된 것으로 보고된다. 실제 지열을 이용하는 방식은 다양하며 미국 ASHRAE는 지열원 열펌프를 열원(heat source) 및 히트싱크(heat sink)의 종류에 따라 토양 이용 열펌프(GCHP, ground coupled heat pump), 지하수 이용 열펌프(GWHP, ground water heat pump) 그리고 복합 지열원 열펌프(hybrid ground source heat pump) 등으로 구분하고 있고 미국의 환경청(US EPA)에서는 그림 3에 나타난 것과 같이 지열이용 히트펌프 시스템(geo-thermal heat pump)을 현재까지 개발된 냉난방 기술 중에서 가장 에너지 효율이 높은 에너지절약 시스템으로 평가하고 있으며 이를 적극적으로 보급하기 위하여 에너지스타(Energy Star) 프로그램 등에서의 활용을 추천하고 있다.



[그림 4] 미국환경청(US EPA)에서 조사된 냉난방 시스템별 만족도

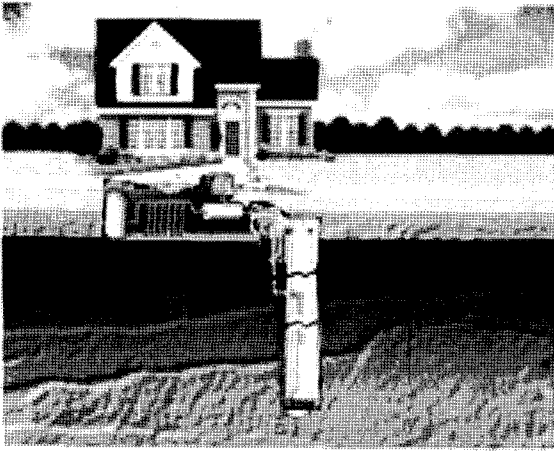
미국의 EPA에서 적용 예에 대한 분석 자료에 따르면 건물의 냉난방에너지 소비량이 최고 73%(난방용) 까지 경감되고 평균적으로 45% 정도(냉방용)의 에너지 절약 효과가 있는 것으로 보고하고 있다. 그림 4는 미국 환경청에서 조사된 냉난방 시스템의 종류에 따른 사용자들의 만족도를 나타낸 것으로 지열이용 히트펌프의 기술에 대한 만족도가 타 시스템보다 상당히 높게 나타나고 있으므로 국내에서는 토양이용 열펌프 방식의 하나인 수직밀폐형 열펌프 시스템(vertical GCHP)과 지하수 이용 열펌프 방식의 하나인 우물관정형 열펌프 시스템(SCW, standing column well)이 국가의 신재생에너지 설치지원금을 받는 시스템으로 시공되고 있다.

## 2. 지열시스템

지열은 현재 신재생에너지로 분류되어 있고 시스템의 종류에 따라 국가로부터 신재생에너지 설치 지원금을 받을 수 있고, 앞서 언급한 것과 같이 우물관정형과 수직밀폐형 지열시스템이며 여기서 특징을 살펴보기로 한다.

### 2.1 시스템 구성 및 특징

**2.1.1 우물관정형(SCW, Standing Column Well)**  
우물관정형은 땅속 깊은 곳의 지하수를 끌어올

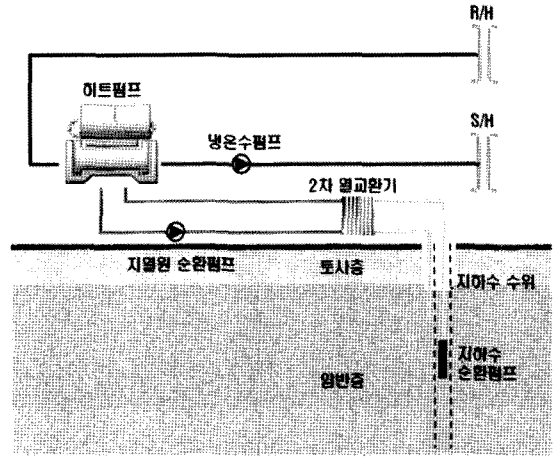


[그림 5] 설치도(우물관정형)

려 히트펌프의 열원으로 활용하는 방식으로 히트펌프와 열교환하는 지하수는 형성된 관정을 통하여 지하로 환원되는 방식으로 지중에 있는 열을 지하수를 이용하여 이동시키는 시스템이다. 그림 5는 우물관정형 히트펌프 시스템의 설치개념도를 나타낸 것이며, 그림 6은 시스템 구성도를 나타낸 것이다.

그림 5 ~ 6에 나타난 것과 같이 지중의 열을 이용하는 지중열교환기 부분을 제외한 모든 시스템은 지상에 있는 기계실에 설치가 된다. 주요 구성품은 시스템의 핵심요소인 히트펌프, 히트펌프와 지중열교환기에서 수증펌프를 통하여 지상으로 올라오는 지하수와 열교환하기 위한 2차열교환기, 히트펌프에서 생산된 냉열과 온열을 부하측(실내 또는 공조공간)으로 공급하는 냉온수펌프로 구성된다.

우물관정형의 천공 깊이는 일반적으로 약 350 m 내외이며 시공관경의 크기는 200 A, 천공의 간격은 약 10 m 내외로 시공한다. 시공 후 천공당 생산가능한 열량은 냉방시 20 ~ 40 RT로 평균적으로 약 30 RT 생산이 가능하고, 난방시는 약 113,400 kcal/h의 열량을 생산할 수 있다. 지하수를 직접 열교환하므로 지중열교환기의 효율이 우수하고, 지중매설 및 관정에 삽입되어 배관의



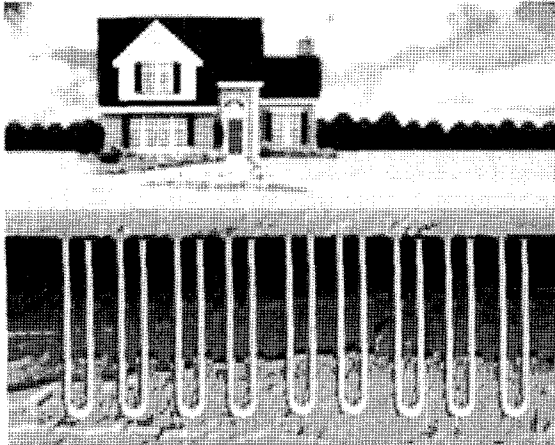
[그림 6] 시스템구성도(우물관정형)

용접부가 거의 없으므로 매설 후 이상발생이 매우 적다. 지중 열교환기 설치소요면적이 적어 지열천공에 필요한 공사면적이 타 방식과 비교하여 적으므로 대용량 적용에 적합하고 타방식과 비교하여 천공수가 적은 만큼 시공기간이 비교적 짧아 공사비 절감이 가능하며 유지 보수가 용이하다. 반면 초기투자비가 약간 높고 심정사용으로 전체시스템에서 펌프가 차지하는 동력비율이 높고 시공 전 지하수의 유무와 관정의 깊이 및 암반 종류에 대한 사전 조사가 필요하다.

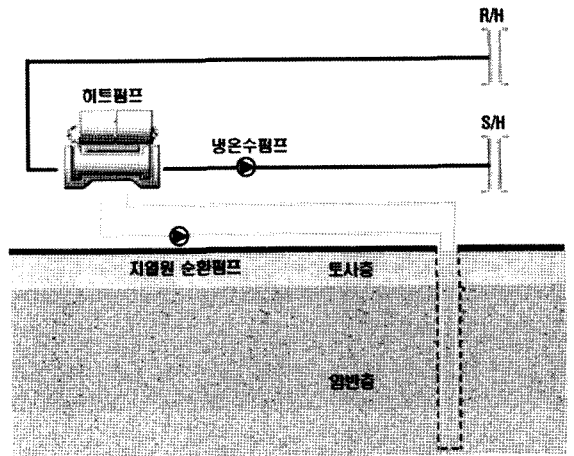
### 2.1.2 수직밀폐형(vertical GCHP)

수직밀폐형은 지중열교환기인 PE튜브를 U자형으로 밴딩 후 수직으로 매설하여 폐회로를 구성하고 파이프 내부로 유체를 순환시켜 땅과 열교환이 가능하도록 시스템을 구성한 것으로 하계에는 땅으로 방출을 하게 되고 동계에는 땅으로부터 열을 흡수하게 된다. 시스템에 대한 설치개념도와 시스템 구성도를 그림 7 ~ 8에 나타낸다.

수직밀폐형의 경우 천공깊이는 100 ~ 150 m 정도이고 최근에는 200 m정도까지 시공하며 우물관정형과 비교시 천공깊이가 얕아 시공이 용이하다. 사용관경은 150 A, 천공간격은 6 m이고 천공당 생산가능열량은 냉방운전시 2 ~ 3 RT이며



[그림 7] 설치도(수직밀폐형)



[그림 8] 시스템구성도(수직밀폐형)

난방운전시 7,560 kcal/h이다. 전형적인 지열시스템으로 국내 설치사례가 많고, 기술자료가 일반화되어 있다. 우물관정형과 비교시 천공 하나당 소요 면적은 적으나 생산 가능열량이 적어 동일 용량일 경우 천공개수가 10 ~ 15배 가량 되므로 실제 소요 면적은 3.5 ~ 5.3배 가량 늘어나게 되지만, 지하수의 유무에 따른 성능차가 거의 발생하지 않으므로 적절한 그라우팅 소재로 정상적 시공이 이루어지면 타방식에 비하여 비교적 안정적인 시스템으로 운전이 가능하다. 그러나 초기투자비가 높고 지중열교환기 설치 소요면적이 크므로 소요 대지면적은 크며 매설배관 및 매입배관이 많아 시공시 주의를 요하며 천공개수가 많아 공사기간이 길어질 수 있다.

## 2.2 축열식 지열히트펌프시스템 개요

축열식 지열히트펌프 시스템은 기존의 지열 히트펌프시스템과 수축열시스템을 결합한 시스템으로 그 동작원리는 기존의 지열히트펌프시스템과 비슷하다. 단지 심야전력을 이용하여 축열조에 냉수/온수를 저장하여 이를 이용해서 냉/난방을 수행하는 것이 기존 시스템과의 다른 점이다.

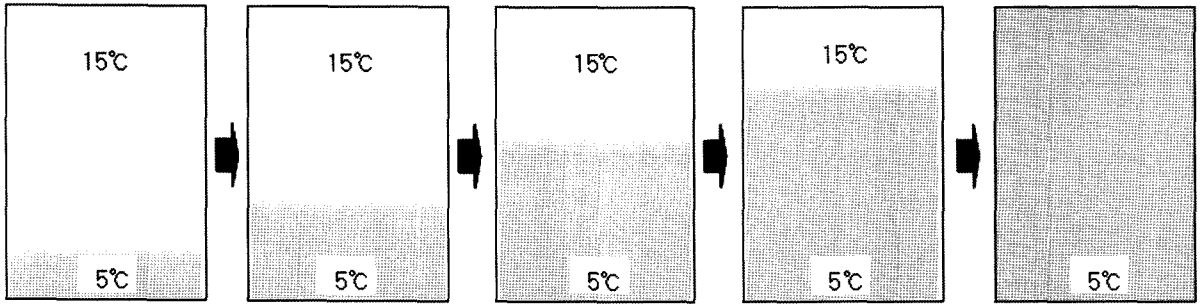
### 2.2.1 축열식 지열히트펌프 시스템 동작 원리

연간 일정한 지열원을 이용하여 히트펌프 시스

템을 구성하고 그 히트펌프 시스템을 구동하여 수축열조에 냉수 혹은 온수를 저장한다. 축냉 혹은 축열된 열량은 수축열조에 저장된 물의 온도와 주간 운전시 부하측의 환수온도와와의 차이에 의해 결정된다. 따라서 축열량을 최대화하기 위해서는 축열운전시 축열조의 물 온도와 방열운전시 부하측의 환수 온도의 차이를 최대한 크게 유지하여야 할 뿐 아니라 수축열조 내부에서 서로 혼합되면 안된다.

수축열 시스템은 최대전력시간을 피하고 심야시간에 가동되므로 정부의 전력분산정책에 부합하고, 사용요금이 저렴한 경제적인 시스템으로 히트펌프 및 냉동기를 이용하여 심야시간에 일반전력의 약 1/3가량의 전력을 이용하여 수축열조에 물의 현열을 이용하여 냉기 및 열기를 저장시키고 낮 시간에 저장된 냉기 및 열기를 사용하는 시스템이다. 설계핵심은 축열(냉)된 물과 사용되어 축열조에 다시 들어오는 물의 온도차를 이용한 온도성층화 기술이 수축열 시스템 설계의 핵심기술이므로 수축열조 내부의 성층화를 유지하는 것이 중요하다. 온도 성층화는 수축열조 내부에 설치되는 디퓨저(diffuser)의 설계 및 운전조건에 따라 좌우되며 성층화 과정은 그림 9와 같다.

냉방운전시에는 지열원은 히트펌프의 응축열량



축냉시작

축냉완료

[그림 9] 수축열조의 온도성층화 과정

을 담당하며 야간 히트펌프를 가동하여 수축열조에 약 4 ~ 7°C 가량의 냉수를 저장, 주간 냉방시 수축열조에 저장된 냉수를 냉방에 이용한다. 주간 운전시 수축열조가 냉방부하량을 전부 담당하는 전축열 방식과 수축열조와 히트펌프가 주간부하량을 공동으로 담당하는 부분축열방식이 있다.

난방운전시에는 지열원은 히트펌프의 증발열량을 담당하며 야간 히트펌프를 가동하여 수축열조에 50°C 정도의 온수를 저장, 주간 난방시 수축열조에 저장된 온수를 난방에 이용한다. 주간 운전시 수축열조가 난방부하량을 전부 담당하는 전축열 방식과 수축열조와 히트펌프가 주간부하량을 공동으로 담당하는 부분축열방식이 있다.

가. 냉방 사이클

히트펌프 내부의 열교환기(응축기)에 흐르는 고온 고압의 증기냉매는 수직 지열교환기 내부에 흐르는 유체(부동액+물)와 열교환하여 액 냉매로 상변화를 한다. 열교환 할 때 히트펌프 입구측의 수직 지열교환기 내부에 흐르는 유체온도(EWT)는 20 ~ 25°C 내외 이며, 고온 고압의 증기냉매와 열교환된 지열교환기 유체는 ±5°C가 상승하여 지중 토양의 ±15~17°C온도와 열교환하여 히트펌프의 가동상태에 적절한 EWT가 (20 ~ 25°C) 유지되면서 시스템은 정상상태를 이루게 된다.

어떤 경우 시스템 가동시간이 매우 길어진다면

지중열교환기는 유한열원이므로, 가동시간에 비례하여 EWT가 상승하게 된다. 가동시간을 포함한 여러 설계 인자들을 고려하여 지중열교환기를 설계해야 하며 현재 지중열교환기 설계를 위한 오클라호마식(Oklahoma equation)이나 GLD와 같은 상용프로그램이 있다. 열원의 종류와 온도에 따라 냉매 증발온도가 결정되어 시스템의 성능변화에 기여하므로 증발온도가 높게 안정적으로 유지가능한 열원의 선택이 중요하다.

나. 난방 사이클

히트펌프 내부의 열교환기(증발기)에 흐르는 저온 저압의 액냉매는 수직 지열교환기 내부에 흐르는 유체(부동액+물)와 열교환하여 증기 냉매로 상변화를 한다. 열교환 할 때 히트펌프 입구측의 수직 지열교환기 내부에 흐르는 유체온도(EWT)는 10 ~ 6°C 내외 이며, 저온 저압의 액냉매와 열교환된 지열교환기 유체는 ±5°C가 하락하여 지중 토양의 ±10~15°C온도와 열교환하여, 히트펌프의 가동상태에 적절한 EWT가 (10 ~ 6°C) 유지되면서 시스템은 정상상태를 이루게 된다.

2.2.2 시스템 특성

지열히트펌프의 증발기/응축기(냉방/난방)와 수축열조의 하부측 배관이 결합된 구조를 보이고 있다. 보통 수축열시스템의 경우 냉방만 고려되었

으나, 본 시스템은 냉방과 난방을 모두 수행하므로 냉난방 전환시 유량흐름이 매우 중요하며, 지열히트펌프와 결합으로 배관설계에 어려움을 갖고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 시스템에서는 축열조 상부측 배관에 두 개의 밸브를 사용하여, 난방시 유량의 흐름을 냉방과 반대(냉방시 부하측에서 돌아오는 물은 축열조 상부로 들어가게 되나, 난방시에는 축열조 하부로 들어가게 됨)로 전환할 수 있도록 하였으며, 동시에 배관을 단순화하여 지열히트펌프와의 결합도 용이 하도록 시스템을 구성하였다.

가. 장점

지열 히트펌프(GSHP)는 냉난방이 가능하며 현존하는 공간 냉난방시스템중에서 가장 효율이 높고, 환경친화적이며, 비용이 절감되는 시스템 [미국 EPA, Environment Protection Agency]이다. 공기열원히트펌프와 비교하여 약 40%이상 에너지절감이 가능하며 전열기를 사용하는 난방과 에어컨을 사용하는 경우와 비교하여 70%의 에너지 절감 가능

나. 단점

전문 시공사(축냉사업자 면허 소지 기업)의 시공이 필수이며 축열을 위한 수축열탱크의 설치공간이 필요하고 지중열교환기 천공을 위한 공간

필요하다.

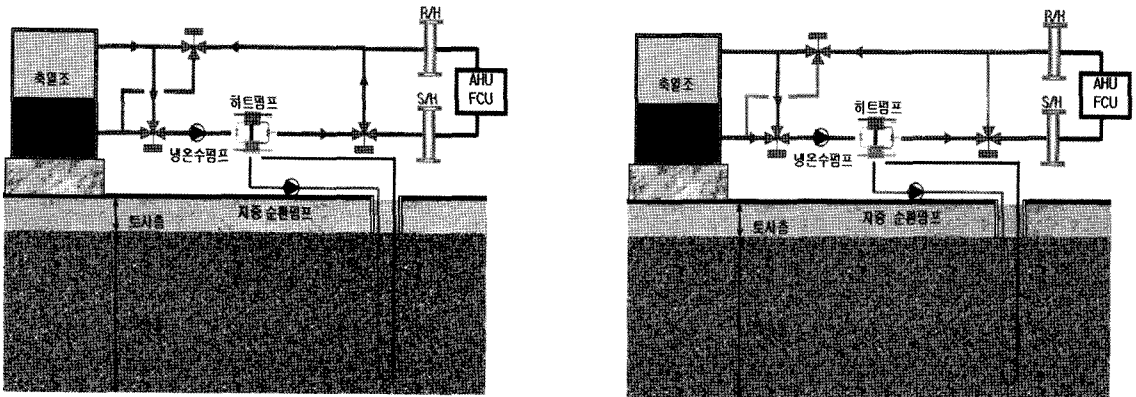
2.2.3 시스템 운전

가. 냉방운전

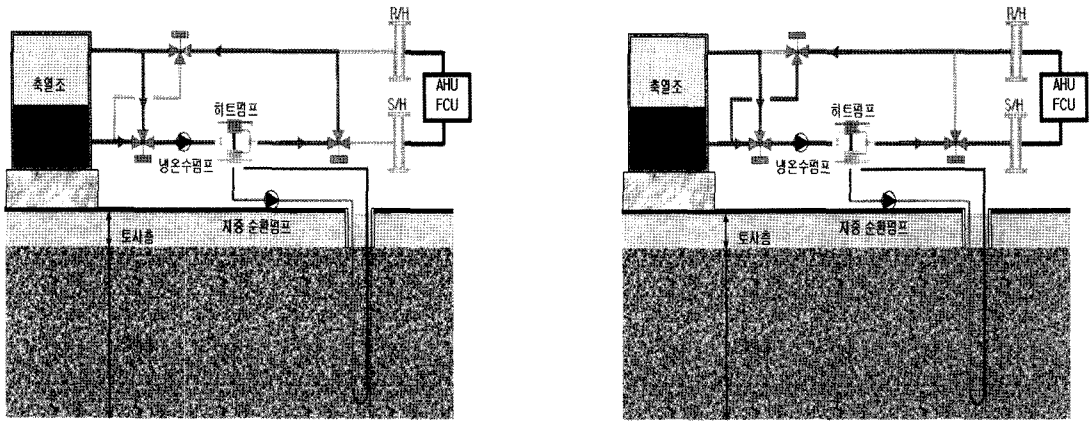
냉방운전모드에서는 심야시간대에 축열조의 물을 냉각시켜 축열조 내부의 물의 온도를 4℃까지 낮추어 저장한 후, 주간에 축열조의 냉수를 부하측으로 순환시켜 냉방에 사용하며, 냉동기 운전시의 응축기 냉각열원으로 지열원을 사용한다. 냉방운전 모드에서의 유체 흐름을 보여 주고 있다. 축냉모드의 경우에는 상부에 있는 14℃물을 히트펌프로 보내 4℃의 냉수를 만들고 이를 축열조 하부에 저장하게 되며, 방냉모드에서는 축열조 하부의 4℃ 냉수를 부하측에 보내 냉방을 수행하게 된다.

나. 난방운전

난방운전모드에서는 심야시간대에 축열조의 물을 가열시켜 축열조 내부의 물의 온도를 50℃ 정도로 높여 온수를 저장한 후, 주간에 축열조의 온수를 부하측으로 순환시켜 난방에 사용하며, 냉동기 운전시 증발기 가열열원으로 지열원을 사용한다. 축열모드의 경우에는 하부에 있는 45℃물을 히트펌프로 보내 50℃의 온수를 만들고 이를 축열조 상부에 저장하게 되며, 난방모드에서는 축열조 상부의 50℃ 온수를 부하측에 보내 난방을 수



[그림 10] 축열식 지열시스템 냉방운전 개념도



[그림 11] 축열식 지열시스템 난방운전 개념도

행하게 된다.

### 2.2.5 시스템 주요 장비 설명

#### 가. 히트펌프

축열식 지열히트펌프 시스템에 적용되는 히트펌프는 수열원 히트펌프의 일종이며, 지열을 이용하여 물을 축냉 및 축열 시키므로 물대물(Water-To-Water) 방식이 된다. 압축기를 구동시켜 저온저압의 냉매를 이용하여 냉방을 시켜줄 수 있으며, 히트펌프 내부속에 장착된 사방밸브를 이용하여 냉매의 흐름을 바꿔서 고온고압의 냉매를 이용한 난방도 할 수 있다.

히트펌프 열원의 종류와 온도에 따라 냉매 증발온도가 결정되어 시스템의 성능변화에 기여하므로 증발온도가 높게 안정적으로 유지가능한 열원의 선택이 중요하다. 본 시스템의 히트펌프에 적용되는 열원은 공급이 안정적이고 온도가 우수한 지열을 이용하므로, 히트펌프 COP가 우수하다.

#### 나. 지중열교환기 (수직폐회로 형식)

축열식 지열히트펌프 시스템 중 히트펌프의 열원으로 사용되는 수직폐회로 형식의 지중열교환기는 밀폐회로를 구성하는 HDPE(고밀도폴리에틸렌)관, 밀폐회로속을 순환하는 유체(부동액+물), 천공을 하여 HDPE관을 매설할 보어홀, 천공

된 보어홀과 매설된 HDPE관의 사이를 메워주는 그라우팅 물질로 구성된다.

이 중 가장 큰 구성요소는 천공을 하여 HDPE관을 매설할 보어홀의 전체 깊이이다. 보어홀의 전체 깊이를 결정하기 위해 여러 설계인수들이 필요한 것이다. 건물의 냉난방을 책임질 지열히트펌프가 안정적으로 운전할 수 있도록 프로젝트에 맞는 지중열교환기의 적정설계가 이루어져야 한다.

#### 다. 수축열조

건물에 필요한 냉난방 부하의 일부 또는 전부를 냉운수로 저장하는 장비이다. 여름철에는 심야시간에 4℃의 냉수를 수축열조에 축냉시키고 부하시간에 저장된 냉수를 냉방에 사용하며, 겨울철에는 심야시간에 50℃의 온수를 수축열조에 축열시켜서 부하시간에 저장된 온수를 난방에 사용한다.

수축열조의 재질로는 콘크리트, PDF, Steel등이 있으며, 각 프로젝트에 합리적으로 적용가능한 재질을 선택하는 것과 축열조 형상마다 온도성층화가 생길 수 있도록 디퓨져 설계를 정확히 하는 것이 중요하다.

## 3. 설치 사례

### 3.1 건물 개요

- 건물명 : 영광프라텍

<표 1> 냉방부하 계산

구분	냉방면적 (㎡)	냉방시간 (hr)	단위냉방부하 (kcal/㎡)	시간냉방부하 (kcal/h)	냉방 부하율 (%)	일냉방부하 (kcal)
블로잉 고정동	511.5	8	95	48,592.5	91	353,753
물주입동	216.0	8	113	24,408	91	177,690
합 계	727.5			73,001		531,443

- 연 면 적 : 300 평
- 건물규모 : 지상 1층, 2개동
- 건물용도 : 공장(플라스틱 제품 생산)
- 냉방부하 : 총 50 USRt
- 냉난방시간 : 09:00 ~ 19:00 (10시간)
- 위 치 : 경기도 김포시 통진면
- 시스템 구성방식 : 수직밀폐형 축열식 지열히트펌프 시스템

간이 계산결과 : 531,443 kcal/day = 175.74 RTh/day

선정 설계부하 : 176.0 RTh/day (532,224 kcal/day)

- 부분축열운전 (축냉이용율 56.67%로 가정하여 계산)

간이 계산결과 : 532,224 / 0.5667

= 939,164 kcal/day = 310.6 RTh/day

선정 설계부하 : 310.6 RTh/day (939,254 kcal/day)

### 3.2 부하설계 - 표 1 참조

#### 3.2.1 설계 조건

설계조건은 기상청에서 제공하는 강화지역 외기 온도 적용하며 이를 정리하면 다음과 같다.

- 냉방 : 외기온도 30.5℃, 실내온도 26℃, 상대 습도 78.1%
- 난방 : 외기온도 -10.3℃, 실내온도 20℃, 상대습도 64.2%

나. 시간 최대 냉방부하 (표준 부하패턴 이용)

- 전축열 운전

시간최대부하 = 532,224 kcal/day \* 100 / 730  
= 72,907 kcal/hr = 24.11 RT

- 부분축열운전

시간최대부하 = 939,254 kcal/day \* 100 / 890  
= 105,534 kcal/hr = 34.90 RT

#### 3.2.2 냉방부하 계산

가. 일 최대 냉방부하

- 전축열운전 (부하계산 결과 이용)

#### 3.2.3 난방부하 계산 - 표 2 참조

가. 일 최대 난방부하

- 전축열운전 (부하계산 결과 이용)

<표 2> 난방부하 계산

구분	난방면적 (㎡)	난방시간 (hr)	단위난방부하 (kcal/㎡)	시간난방부하 (kcal/h)	난방 부하율 (%)	일난방부하 (kcal)
블로잉 고정동	511.5	8	80	40,920	90	294,624
물주입동	216.0	8	77	16,632	90	119,750
합 계	727.5			57,552		414,374



간이 계산결과 :  $414,374 \text{ kcal/day} = 137.03 \text{ RTh/day}$

선정 설계부하 :  $137.0 \text{ RTh/day} (414,288 \text{ kcal/day})$

- 부분축열운전 (축열이용율 57.59%로 가정하여 계산)

간이 계산결과 :  $414,288 / 0.5759$

$$= 719,375 \text{ kcal/day}$$

$$= 237.89 \text{ RTh/day}$$

선정 설계부하 :  $237.9 \text{ RTh/day}$

$$(719,410 \text{ kcal/day})$$

나. 시간 최대 난방부하 (표준 부하패턴 이용)

- 전축열 운전

$$\text{시간최대부하} = 414,288 \text{ kcal/day} * 100 / 648$$

$$= 63,933 \text{ kcal/hr} = 21.14 \text{ RT}$$

- 부분축열운전

$$\text{시간최대부하} = 719,410 \text{ kcal/day} * 100 / 793$$

$$= 90,720 \text{ kcal/hr} = 30.00 \text{ RT}$$

### 3.2.4 기타 조건 설정

가. 축열율 선정

축열율은 시스템의 경제성 문제에 직접적으로 연관되므로 최적의 축열율을 선택하여야 한다. 최적의 축열율을 선택하기 위해서는 축열율에 따른 초기 투자비의 변화와 이에 따른 전체 냉방기간 동안의 운전비용등을 고려하여 비축열 방식대비 총 비용이 최소가 되는 점을 최적 축열율로 하게 되는데 사용목적 및 장소 등에 따라 전축열 방식이나 부분축열 방식을 선택할 수 있다. 본 시스템은 주간냉방 및 난방에만 이용하고 공장의 전력이 산업용전력이 수전되어 전축열방식으로 설치되었다.

나. 축냉(열)운전 온도 조건

- 냉방시 : 축냉시작온도  $15^{\circ}\text{C}$ , 축냉완료온도  $5^{\circ}\text{C}$ , 이용온도차 ( $\Delta t$ ) =  $10^{\circ}\text{C}$

- 난방시 : 축열시작온도  $42^{\circ}\text{C}$ , 축냉완료온도  $50^{\circ}\text{C}$ , 이용온도차 ( $\Delta t$ ) =  $8^{\circ}\text{C}$

다. 총 축열량

본 시스템에서는 전축열방식을 선택하였으며, 따라서 총 축열량은 주간 총부하에 축열이용효율을 고려한 값으로 선정하였다.

- 냉방운전시 : 주간부하  $176 \text{ RT} \cdot \text{h}$  / 축열이용효율  $91.19\% = 193 \text{ RT} \cdot \text{h}$

- 난방운전시 : 주간부하  $137 \text{ RT} \cdot \text{h}$  / 축열이용효율  $90.13\% = 152 \text{ RT} \cdot \text{h}$

라. 주간 생산열량

전축열방식이므로 주간에는 생산열량이 없음.

마. 히트펌프 용량선정

본 시스템에서 요구되는 히트펌프 용량은 축냉시간인 10시간동안 축열조 용량만큼 축냉할 있고 여유율(90%)을 만족시킬 수 있는 용량이 적합하므로

- 냉방운전시 : 총축열량  $193 \text{ RT} \cdot \text{h}$  / 10시간 / 0.9 =  $21.4 \text{ RT}$

- 난방운전시 : 총축열량  $152 \text{ RT} \cdot \text{h}$  / 10시간 / 0.9 =  $16.9 \text{ RT}$

따라서 시간당 운전부하가 큰 냉방운전시를 기준으로  $21.4 \text{ RT}$  이상의 용량을 낼 수 있는 히트펌프 중에서 냉방  $24.1 \text{ RT}$ , 난방  $28.1 \text{ RT}$  용량을 선정하였다.

상기와 같이 계산한 결과를 토대로 부하에 적합한 히트펌프 사양을 도출하여 아래의 표 1에 정리하였다.

마. 축열조의 체적

축열조의 체적, V는 축열조 용량 및 축열조 체적 내의 현열축열량을 이용하여 구할 수 있다.

<표 3> 축열식 지열시스템용 히트펌프 선정

항목		용량 및 조건	
능력	가열능력	KW	98.84
		USRt	28.1
	냉각능력	KW	84.88
		USRt	24.1
소비전력	난방	kW	26.65
	냉방	kW	20.53
C.O.P	난방		3.70
	냉방		4.13
전원		380 V x 3상 x 60 Hz	
외형치수mm		1,500mmL x 1,300mmW x 900mmH	
압축기	형식 x 대수		밀폐 스크롤 x 1
	제작사		Danfoss
	기동방식		직입기동
	용량제어%		100,0
냉매	종류		R22
	총진량	kg	20
지열축열교환기	형식		SHELL & TUBE 열교환기
	배관접속(입구/출구)		kS10K-65A(플랜지)
수축열교환기	형식		SHELL & TUBE 열교환기
	배관접속(입구/출구)		kS10K-65A(플랜지)
운전조건		• 외기온도 : -10~25℃ (난방), -5~43℃ (냉방) • 냉온수출구온도 : 35~50℃ (가열), 5~25℃ (냉각)	
소음		78	

• 난방운전 기준 : 축냉완료온도(5℃)와 축열조 시작온도(15℃)를 고려하여 설정

$$V = \frac{\text{축열조 용량 [USRth]}}{\text{단위체적당 냉기저장량 [USRth / m³] x 안전계수 [0.95]}}$$

축열조 단위체적당 냉기저장량 = 3.3 [USRt · h/m³]

$$\text{단위체적당 냉기저장량} = \frac{(15\text{℃} - 5\text{℃}) \times [\text{kcal / kg} \cdot \text{℃}] \times 1,000 [\text{kg / m}^3]}{3,024 [\text{kcal / USRth}]}$$

$$V = \frac{193 [\text{USRth}]}{3.3 [\text{USRth / m}^3] \times 0.95} = 61.6 \text{ m}^3$$

• 난방운전 기준 : 축열조의 이용온도차는 축냉완

료온도(50℃)와 축열조 시작온도(42℃)를 고려하여 설정하였다.

$$V = \frac{\text{축열조 용량 [USRth]}}{\text{단위체적당 냉기저장량 [USRth / m³] x 안전계수 [0.95]}}$$

• 축열조 단위체적당 저장량 = 2.6 [USRt · h/m³]

$$\text{단위체적당 냉기저장량} = \frac{(50\text{℃} - 42\text{℃}) \times [\text{kcal / kg} \cdot \text{℃}] \times 1,000}{3,024 [\text{kcal / USRth}]}$$

$$V = \frac{152 [\text{USRth}]}{2.6 [\text{USRth / m}^3] \times 0.95} = 61.6$$

따라서 본 시스템에서는 축열조 상부의 작업공간 등을 고려하여

<표 4> 설계 조건

항목	값	단위	용어설명
Rpe	0.0645	h · m · °C/kcal	PE파이프 열저항치
Rs	0.3629	h · m · °C/kcal	토양/암석 열저항치
COPc	4.1		냉방시 성능계수
COPh	2.8		난방시 성능계수
EWTmax	29	°C	
EWTmin	5	°C	
Fc	0.42		냉방가동분율(1일 10시간)
Fh	0.42		난방가동분율(1일 10시간)
Th	13	°C	지중최고온도(수직형은 Th=TI)
TI	13	°C	지중최저온도

∅ 4 m × H 5.5 m = 69.6 m<sup>3</sup> 로 선정하였다.

바. 지중열교환기 설계

- 설계 조건 - 표 4 참조
- 냉방부하를 만족시키는 지열열교환기 길이 Lc

$$L_c = \frac{\text{냉방부하} [(COPc+1)/COPc] \times (\text{파이프열저항치} + \text{토양/ 암석의 열저항치}) \times \text{냉방가동분율}}{\text{지열교환기 유체의 냉방시 입구온도} - \text{지중최고온도}}$$

$$= \frac{72,878 \text{ kcal/h} \times 1.242 \times 0.217}{29^\circ\text{C} - 13^\circ\text{C}} = \frac{19,638.5}{16}$$

= 1,227 m (150 m 8공)

- 난방부하를 만족시키는 지열열교환기 길이 Lh

$$L_h = \frac{\text{난방부하} [(COPh+1)/COPh] \times (\text{파이프열저항치} + \text{토양/ 암석의 열저항치}) \times \text{난방가동분율}}{\text{지열교환기 유체의 난방시 입구온도} - \text{지중최고온도}}$$

$$= \frac{63,806 \text{ kcal/h} \times 0.641 \times 0.217}{13^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C}} = \frac{8,869.21}{8}$$

= 1,109 (150m 8공)

- 지중열교환기 선정
  - 관경 규격 : 150 A, 150 m, 8공

### 참고문헌

1. (사)대한설비공학회, 2004, "설비공학편람", Vol. 3, pp. 1.8-1 ~ 1.8-18.
2. Oklahoma State Univ., 2000, "Closed-Loop/Ground-Source Heat Pump System : Installation Guide".
3. 신현준 외, 2005, "지열 이용 열펌프시스템의 성능평가방법 및 기술기준(안) 구축", 산업자원부, pp. 1-30.
4. 강신형 외 2인, 2009, "지열원 열펌프 시스템의 종류 및 설치 사례", 설비저널, 대한설비공학회, vol. 38, No. 1, pp. 18-22.
5. 김종률, 2008, "지열원 히트펌프 시스템 및 설치 사례", 지열에너지저널, Vol. 4, No. 3, pp. 23-29.