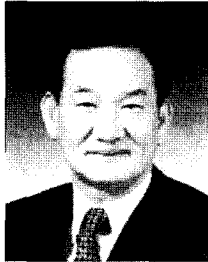


지열 SYSTEM을 이용한 냉난방 아파트 신축공사



김 광 옥
 동양건설산업(주)
 건축사업본부장

1. 머리말

에너지고갈 및 화석연료 사용으로 인한 환경오염이 심각해지고 있는 상황에서 신재생에너지에 대한 필요성이 대두되면서 그 보급이 전세계적으로 증가하고 있다. 특히 우리나라의 경우에는 화석연료에 대한 에너지 의존도가 크며, 에너지수입량이 전체 에너지사용량의 93% 이상을 차지할 정도로 많은 양의 연료를 수입하고 있어, 에너지 해외의존도가 큰 편이다.

따라서 현재 우리나라 실정상 신재생에너지 보급에 대한 필요성 크게 부각되고 있으며, 이를 위해 국가적으로 신재생에너지설비 보급을 증가시키기 위해 많은 노력을 기울이고 있다.

신재생에너지는 재생에너지 8개 분야(태양열, 태양광, 바이오매스, 풍력, 소수력, 지열, 해양에너지, 폐기물에너지)와 신에너지 3개 분야(연료전지, 석탄액화가스, 수소에너지)로 이루어져 있다. 이 중 지열원을 이용한 시스템이 가장 큰 주목을 받고 있는데, 그 이유로는 타 시스템의 경우에는 전력생산이 주목적이며, 열원의 연속성이 부족하기 때문에 일반건물에 적용하기 힘든 단점이 있으나, 지열원을 이용한 히트펌프시스템의 경우에는 건물 냉난방에 사용할 수 있으며, 지열원의 경우에는 태양열 또는 풍력과 달리 안정적으로 열원을 공급할 수 있는 특징을 가지고 있기 때문이다.

우리나라의 경우 지열원을 이용한 히트펌프시스템은 2000년도부터 보급을 시작한 이래 사업초기에는 2~3개 정도의 업체가 작은 용량의 시스템을 보급했으나, 2004년도 국가에서 공공의무화 사업을 시행한 후 20개 이상의 업체가 생겨났고, 지열히트펌프 시스템을 보급하고 있다.

하지만 지열히트펌프 시스템의 경우에도 보급을 활성화시키기 위해서는 해결해야 할 단점을 가지고 있다. 연중 일정한 온도를 유지하는 지열원을 이용함으로써, 히트펌프의 COP가 타 히트펌프시스템에 비해 높은 장점을 가지고 있지만, 지중열교환기 설치를 위한 넓은 면적의 대지가 필요하며, 초기투자비용이 큰 단점을 가지고 있어, 아직까지도 보급이 증가하지 못하고 있는 실정이다.

이와 같은 문제를 해결하면서 지열히트펌프(신재생에너지 설비) 보급을 증가시키기 위해 본 업체에서는 수축열시스템과 지열시스템을 결합한 축열식 지열히트펌프 시스템을 개발하였으며, 시스템을 실제 건물에 적용하고, 냉난방운전을 통해 그 성능을 측정하였다.

본 고에서는 실제 건물에 적용된 축열식 지열히트펌프시스템의 냉·난방운전 data를 통해 시스템 성능을 검증하였으며, 또한 지중열교환 방식 중 우물관정형 방식에 대한 검토를 수행하였다.

2. 지열히트펌프

2.1 지열히트펌프 개요

지열원은 지반이 보유하고 있는 열을 이용하는 것으로, 지반의 온도는 깊이의 함수이며, 계절별로 다소 변동이 있기는 하지만 공기 또는 물과 비교하여 변동폭이 작으며, 보다 높은 온도를 얻을 수 있어 heat pump의 열원으로 사용시 가장 높은 COP를 달성할 수 있는 매우 좋은 열원이며, 일반적으로 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

- 화석연료의 수입을 감소시킬 수 있는 지역에너지
- 화석연료의 사용을 대체하여 매우 환경 친화적
- 다른 에너지원에 비하여 효율적이며 경쟁력 보유
- 다른 열원과는 달리 시스템을 기후조건 등의 제약을 받지 않으며 연중운전 가능
- 거의 무공한 에너지원으로 기저부하용으로 적절
- 열의 저장이나 수송을 필요로 하지 않는 신뢰성 있으며 안전한 열원

근래에 들어 생활수준의 향상, 인구의 도시집중화, 에너지수요의 과밀화, 산업발달 등이 가속화되면서 생활주변에서 배출되는 배열이 증가하고 있으며, 이 배열을 적절히 이용할 경우 에너지절약 및 환경문제 해결에 대단한 효과가 있다는 점이 인정되고 있다. 생활배열 및 공장

배열은 배출온도가 높아 매우 훌륭한 heat pump 열원으로 사용이 가능하지만, 배열의 배출형태에 따른 제약이 있을 수 있다. 지열히트펌프는 현존하는 공간 냉·난방 시스템 중에서 가장 효율이 높고, 환경친화적이며, 비용을 절감하는 시스템이라고 미국의 EPA는 밝히고 있다. 공기열원 히트펌프에 비해 약 40%이상의 에너지절감이 가능하며, 냉방시는 에어컨, 난방시에는 전열기를 사용할 경우에 비하면 약 70%의 에너지를 절감할 수 있고, 개선된 창문과 단열재 등의 최신 에너지절약 기술을 병행하는 경우 더 많은 에너지를 절약할 수 있는 기술이다.

이를 통한 온실가스 배출저감 효과가 매우 높아서 미국, 캐나다 및 유럽에서는 온실가스 배출저감의 가장 효율적인 방안으로 인식하고 지열히트펌프의 보급에 노력하고 있다.

표 1은 냉방부하와 난방부하가 각각 100 USRt, 226.8 Mcal/h 일 때 각 히트펌프시스템의 에너지사용량 및 CO₂ 배출량을 계산한 결과를 보여주고 있다. 표에서 보듯이 지열히트펌프의 경우가 가스를 사용하는 GHP보다 에너지사용량이 작으며, CO₂ 배출량은 50%정도 절감되는 것을 확인할 수 있다.

따라서 지열히트펌프는 타 히트펌프보다 시스템 효율이 우수하여 에너지사용량이 적으며, CO₂ 배출량을 절감할 수 있어 국가에서 정책적으로 추진하고 있는 에너지절감 및 환경개선 측면에서 가장 주목을 받는 냉난방시스템이라 판단된다.

2.2 지열히트펌프 종류

2.2.1 열원의 종류에 따른 분류

지열히트펌프는 열원의 종류에 따라 지하수이용, 지중

열이용, 지표수이용 히트펌프로 나눌 수 있다. 지하수이용 히트펌프는 오래전부터 사용되어온 개방형 히트펌프이다. 지하수 이용 히트펌프의 경우 대용량에서는 초기 설치비용과 효율측면에서 매우 타 방식보다 유리하기 때문에 현재까지도 널리 보급되고 있다.

지중열이용 방식은 폴리에틸렌 파이프를 지중에 매설하여 지중의 열을 이용하는 지열 히트펌프시스템으로 가장 일반적인 지열시스템으로 인식될 정도로 보편화되고 있다. 지표수 이용 히트펌프는 추운지방에서 강이나 호수의 표면은 얼지만, 바닥근처의 물은 4℃ 이상을 유지하는 지표수의 특징을 이용한 시스템이다.



그림 1. 폐회로(수직형) 및 개회로(지하수형) 지열히트펌프

표 1. 히트펌프 열원에 따른 에너지 소비량 및 CO₂배출량

		측열식 지열히트펌프	지열 히트펌프	가스히트펌프 (GHP)	전기히트펌프 (EHP)	
히트펌프 성능	냉방	4.5	4.5	1	3	
	난방	3.5	3.5	1.2	2.5	
부하	냉방(kcal/h)	302,400 (냉방시간 : 10h, 냉방일수 : 25일, 냉방기간 : 5월~10월)				
	난방(kcal/h)	226,800(난방시간 : 10h, 난방일수 : 25일, 난방기간 : 11월~4월)				
INPUT	냉방	전력	전력	전력/도시가스	전력	
	난방	전력	전력	전력/도시가스	전력	
결과	냉방	전기/가스 사용량	61,100 kWh	62,503 kWh	8,213 kWh / 20,096 Nm ³	86,794 kWh
		에너지 사용량(TOE)	15,275	15,626	23,154	21,676
		CO ₂ 배출(Ton)	7,636	8,235	17,769	11,423
	난방	전기/가스 사용량	72,083 kWh	72,893 kWh	8,409 kWh / 17,944 Nm ³	87,846 kWh
		에너지 사용량(TOE)	18,020	18,223	20,943	21,961
		CO ₂ 배출(Ton)	9,496	9,604	16,433	11,573
총 에너지사용량(TOE)		33,295	33,849	44,079	43,637	
총 CO ₂ 배출량(Ton)		17,132	17,838	34,203	22,997	

2.2.2 지열이용 순환루프에 따른 분류

지열히트펌프는 열전달 매체의 순환방식에 따라 그림 1과 같이 개회로와 폐회로로 분류할 수 있다. 폐회로는 폐쇄된 PE파이프 회로내로 열전달 매체가 순환하는 방식이다. 지중에 PE파이프가 매설되어 열전달 매체는 파이프를 순환하면서 지중으로부터 열을 흡수하거나 방출하는 방식으로, 펌프 동력이 크게 소비되지 않으며 대략 전체 소비동력의 5% 수준이다. 개회로는 지하수 또는 지표수를 직접 이용하는 방법과 같이 열전달 유체를 판형 열교환기로 순환시킨 후 다른 관정에 버리거나(지하수형), 동일관정에 재 주입하는 방식(우물관정형)이 있다. 이 방식은 폐회로보다 펌핑동력이 크게 소비된다.

폐회로 방식 중에는 PE파이프 대신 동파이프를 이용하고 파이프 내부에 열전달 유체 대신에 냉매를 직접 지중 동관파이프로 순환시키는 직접팽창식도 늘어나고 있다. 오스트리아에서 일반화 된 직접팽창식(DX)은 캐나다와 미국 동부지역에서 점차 늘어나고 있다. DX방식은 지중에 매설하는 길이가 PE파이프에 비해 절반 밖에 되지 않으므로, 천공비용이 비싼 지역에서 유리하지만 DX용으로 특별히 제작된 히트펌프가 필요하며 시공, 시운전 및 관리에 주의가 필요할 것으로 예상된다.

개회로 방식에서는 단일관정을 이용하는 Standing Column Well(우물관정형)방식이 Carl Orio라는 사람에 의해 미국 동부지역에서 설치되었다. 하나의 관정에서 물을 추출하여 열교환 한 후 이를 동일 관정에 주입하는 방식이다. 이론 개발은 아직 부족한 상태이나, 설치현장에서 히트펌프 성능이 확인되면서, 보급이 증가하고 있다.

3. 축열식 지열히트펌프

3.1 축열식 지열히트펌프 개요

축열식 지열히트펌프 시스템은 지중열을 이용한 지열히트펌프(GSHP)와 수축열 냉·난방시스템이 결합된 시스템으로, 에너지절약 및 환경적인 측면에서 매우 우수한 냉·난방시스템입니다. 즉, 심야시간대에 지열히트펌프를 가동하여 축열조에 냉·온수를 저장하였다가, 주간에 냉·난방을 수행하는 시스템이다.

수축열 냉방기술은 하절기 주간 냉방부하의 급증에 따른 하계 주야간 전력부하 불균형을 해소하고자 정부 및 한국전력에서 적극적으로 보급을 장려하고 있는 축냉식 냉방시스템의 일종으로, 축열조에 저장되는 물의 현열을 이용하여 전력부하가 적은 야간에 냉동기를 운전하여 축열조의 물을 낮은 온도(약 4℃)로 저장하였다가 전력부하가 큰 주간에 냉동기를 운전하지 않거나 일부만

운전하고 축열조에 저장된 냉수를 이용하여 냉방을 행하는 방식이다. 수축열 냉방 시스템에서 가장 중요한 기술은 축열조에 저장되는 냉수의 온도성층화로, 축열조에 냉수를 저장하는 중에 축열조 내부에 온도성층화가 유지되지 않으면 축열조에 저장되는 냉열이 적어지게 되므로 축열조의 용량을 최대한 이용하기 위해서는 축열과정에서의 온도성층화가 필수적이다.

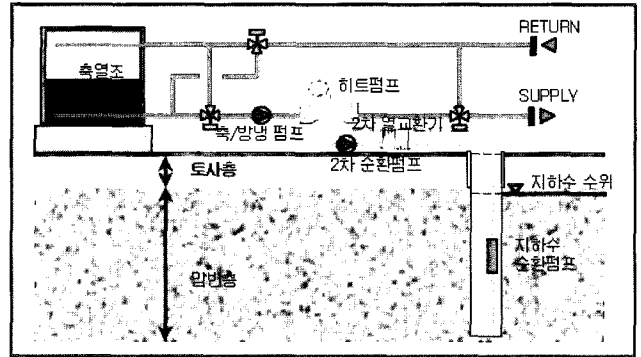


그림 2. 축열식 지열히트펌프 구성

3.2 시스템 구성

축열식 지열히트펌프는 그림 2와 같이 구성이 되며, 각 장비의 역할은 다음과 같다.

3.2.1 축열조

상부는 더운물, 하부는 찬물이 저장되어 있으며 찬물과 더운물의 경계층은 물의 비중 차이에 의해 생성된다. 만약, 부하측에서 환수되는 더운물이 축열조 하부의 찬물과 섞이게 되어 온도가 상승하면 냉방이 불가능하게 되므로, 찬물과 더운물이 섞이지 않도록 하는 것이 수축열 시스템의 핵심기술이다.

일반적으로 수축열조로 사용되는 방식에는 성층화방식, 다중탱크방식, 멤브레인방식, 미로/격막방식 등이 있으며, 본 업체의 경우에는 성층화 (Stratification) 방식의 수축열조를 채택하고 있다.

3.2.2 지열히트펌프

심야전력을 이용하여 냉·온수를 생산하는 장비

3.2.3 2차 열교환기

히트펌프에서 발생하는 냉·온열을 지하수와 열교환시키는 장비

3.2.4 지중열교환기

냉방시에는 히트펌프에서 발생된 열을 지중으로 방출시키고, 난방시에는 지중열을 흡수하는 역할을 함

3.3 축열식 지열히트펌프 특징

3.3.1 기존 지열히트펌프가 갖는 단점을 보완

- 전체부하 중 50%정도를 축열조가 담당함으로써, 히트펌프의 용량이 감소
: 천공 수 및 설치면적 감소 (지열히트펌프 초기투자비의 50~60%가 천공 관련비용)

3.3.2 국가의 에너지 정책에 부합되는 시스템

- 여름철 전력 부하평준화에 기여
: 심야전력을 사용하는 축열시스템으로 여름철 발생하는 전력수요 불균형을 해소할 수 있으며, 아울러 발전설비 증설을 억제할 수 있음
- 대체에너지 시스템으로 에너지소비량 절감에 기여
: 우리나라는 에너지소비량의 97%를 수입에 의존하고 있으며, 해마다 소비량이 증가하고 있어 국가적으로 에너지절약 시스템을 보급하기 위해 많은 노력을 기울이고 있음

3.3.3 국제적 환경규제에 대응할 수 있는 시스템

- 온실가스 주범인 CO₂ 배출 절감에 기여
: 기후변화협약 CO₂배출권거래제 등 국제환경규제가 경제문제로 대두되고 있어, 새로운 온실가스 감축 수단이 필요함
- 지중열 사용으로 도심지역에서 발생하는 열섬현상을 해소함

3.3.4 연간 운영비용이 저렴한 시스템

- 원자력 발전소에서 생산된 값싼 심야전력 사용으로 연간 운전비가 저렴
- 지중열 사용뿐만 아니라 심야시간대에 정격 용량으로 운전할 수 있기 때문에 히트펌프 효율이 우수함

3.3.5 정부 및 한전의 지원을 받는 시스템

- 축열시스템에 지원되는 무상지원금은 감소전력에 따라 지급되며, 한도가 없음
- 대체에너지 및 축열시스템으로써, 세금 감면혜택을 받음

3.4 히트펌프시스템의 연간 운전비 비교

축열식 지열히트펌프 시스템을 실제 건물에 적용하기 전에 경제성을 알아보기 위해 다음과 같은 조건으로 히트펌프 시스템들의 운전비를 검토하였다.

- 1) 비교대상 : 축열식 지열HP[우물관정형], 지열HP[우물관정형], GHP, EHP
- 2) 냉방부하 : 100 USRt

- 3) 난방부하 : 241.9 Mcal/hr
- 4) 건물용도 : 사무용
- 5) 냉·난방시간 : 10시간
- 6) 냉방기간 : 5월 ~ 9월
- 7) 난방기간 : 11월 ~ 4월
- 8) 요금제도 : 심야전력(을) / 일반용전력(갑) 선택1 고압 A / 서울지역 가스요금

비교대상은 히트펌프 시스템으로 공기열원인 GHP, EHP와 수열원인 축열식 지열HP, 지열HP로 하였으며, 표 2에 각 비교대상의 장비사양을 나타내고 있다.

축열식 지열HP와 지열HP를 비교하였을 때 히트펌프 용량이 절반으로 줄어 수전설비 요량도 절반으로 감소한 것을 확인할 수 있으며, 가스를 사용하는 GHP를 제외하고는 축열식 지열HP시스템의 전기소요용량이 가장 적게 나타났다.

표 3은 각 안의 운전비산출 결과를 보여주고 있다. 운전비산출에 사용된 냉·난방부하는 한국전력공사에서 제공하는 부하계산 프로그램을 이용하여 산출하였다. 운전비 산출결과를 보면 축열식 지열HP의 경우에는 심야전력을 사용하기 때문에 일반 전기를 사용하는 지열HP, EHP에 비해 운전비가 3~4배 정도 절감되는 것으로 확인되었다.

따라서 축열식 지열히트펌프는 초기투자비는 다소 높으나 타 시스템에 비해 운전비가 저렴하고, 정부의 대체에너지 보급정책에 부합되는 냉·난방시스템으로 판단된다.

표 2. 각 안의 장비사양

장비		축열식 GSHP	GSHP	GHP	EHP
히트 펌프	냉방용량 [USRt]	50	100	100	100
	난방용량 [kcal/h]	160,900	321,800	365,430	355,000
	냉방소요전력 [kW]	34	64	13.2	139.5
	난방소요전력 [kW]	53	106	14.8	151.5
축열조[USRt · h]		450	-	-	-
펌프소요전력[kW]		17 [축·방냉, 지중순환, 수중펌프]	37.2 [방냉, 지중순환, 수중펌프]	-	-
총 소요전력 [kW]	냉방	51	101.2	13.2	139.5
	난방	70	143.2	14.8	151.5
가스소비량[Nm ³ /h] (냉방/난방)		-	-	3.23 / 3.19	-

표 3. 운전비 산출결과

구분		축열식 GSHP	GSHP	GHP	EHP	
전력요금 [천원]	심야 전력	기본	395			
		사용	3,753			
		소계	4,148			
	일반 전력	기본	448	9,159	947	9,690
		사용	964	9,685	1,197	12,434
		소계	1,412	18,844	2,144	22,124
	전력요금 합계		5,560	18,844	2,144	22,124
가스요금		-	-	14,261	-	
년간 운전비		5,560	18,844	16,405	22,124	

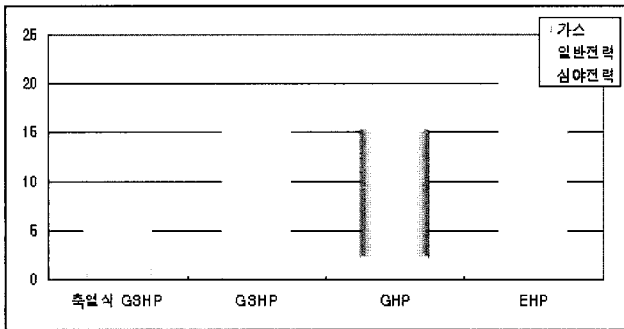


그림 3. 히트펌프시스템의 운전비 비교결과

표 4. 시스템 자원

장비	형식	용량		수량	소비전력(kW)	
		냉방	난방		냉방	난방
히트펌프	수냉식	24 USRt	90 Mcal/h	1	20.5	26.5
축열조	PDF 원형	240 USRt		1	-	
2차 열교환기	판형	31 USRt		1	-	
지하수 순환펌프	심정	5 hp		1	4.7	
2차 순환펌프	인라인	3 hp		2	5.6	
축·방냉펌프	인라인	3 hp		2	5.6	
합계					36.4	42.4

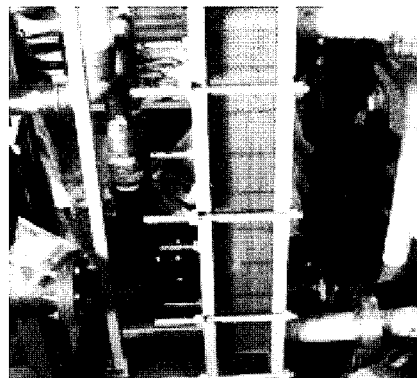
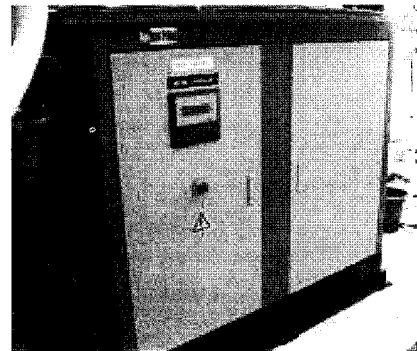


그림 4. 히트펌프 및 2차 열교환기 설치 모습

4. 축열식 지열히트펌프 시공사례

4.1 건물 개요

본 고에서 축열식 지열히트펌프 시스템의 성능을 확인하고자 김포에 있는 공장에 시스템을 시공하고 냉난방 운전을 통해 data를 확보하였다. 시스템이 시공되는 공장의 건물개요는 다음과 같다.

- 1) 건물면적 : 300평(지상 1층, 2개동)
- 2) 건물용도 : 공장(플라스틱 제품 생산)
- 3) 냉방부하 : 24 USRt
- 4) 냉·난방시간 : 09: 00 ~ 19: 00(10시간)
- 5) 축냉시간 : 22: 00 ~ 08 : 00(10시간)
 - 축열식 지열히트펌프시스템만으로 건물의 냉·난방을 수행

4.2 시스템 개요

공장에 설치된 축열식 지열히트펌프의 경우 여러 가지 지중열교환 방식 중 우물관정형(SCW, Standing Column Well)방식을 사용하여 시공하였으며, 그 재원은 표 1에 나타내었다.

본 시스템의 경우 산업용 전력이 공급되는 공장에 설치되는 관계로 주간에 발생하는 냉·난방부하를 심야에 전부 축열하는 방식인 전축열 방식을 채택하였으며, 이에 따라 히트펌프 용량이 냉방부하와 동일하게 선정되었다.

지중열교환기 방식에는 여러 가지 방식이 있는데 본 시스템의 경우에는 개방형인 우물관정형 방식을 채택하였다. 우물관정형의 경우에는 하나의 관정에서 20~40 RT정도의 용량을 낼 수 있으므로 타 방식인 수직형 및 수평형보다 천공수를 줄일 수 있으며, 또한 우물관정형의 경우 밀폐형 방식보다 펌프류가 더 설치되는 단점을

가지고 있으나, 년중 온도가 일정한 지하수(15~20℃)를 이용하기 때문에 히트펌프 COP가 우수하다.

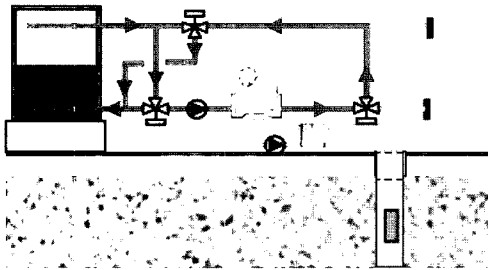
본 시스템에서 설치한 우물관정형의 재원은 다음과 같다.

- 1) 천공수: 1공
- 2) 천공깊이 : 370 m
- 3) 관정지름 : 250 mm
- 4) 지하수 수위(정적수위) : 8 m

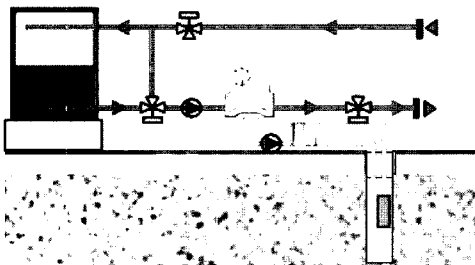
4.3 시스템 동작원리

4.3.1 냉방모드

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. 그림 5의 경우에는 냉방운전 모드에서의 유체 흐름을 보여 주고 있다. 축냉모드의 경우에는 상부에 있는 14℃물을 히트펌프로 보내 4℃의 냉수를 만들고 이를 축열조 하부에 저장하게 되며, 냉방모드에서는 축열조 하부의 4℃ 냉수를 부하측에 보내 냉방을 수행하게 된다.



a) 축냉모드



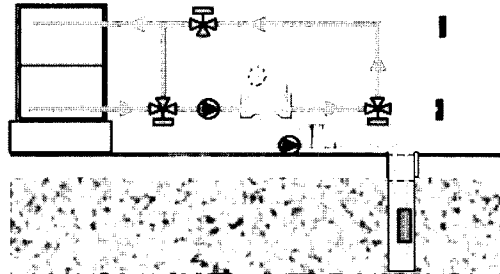
b) 방냉모드

그림 5. 냉방운전 모드

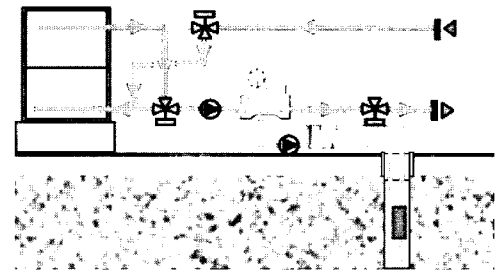
4.3.2 난방모드

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 가열열

원으로 지열원을 사용한다. 그림 6의 경우에는 난방운전 모드에서의 유체 흐름을 보여 주고 있다. 축열모드의 경우에는 하부에 있는 40℃물을 히트펌프로 보내 50℃의 온수를 만들고 이를 축열조 상부에 저장하게 되며, 난방 모드에서는 축열조 상부의 50℃ 온수를 부하측에 보내 난방을 수행하게 된다.



a) 축열모드



b) 방열모드

그림 6. 난방운전모드

4.4 시스템 성능분석

시스템 설치 후 냉난방 운전을 통해 획득한 data를 이용하여 성능분석을 수행하였다. data 분석에 사용된 장치는 표 5에 나타낸 것과 같다.

표 5. 센서류 재원

센서종류(용도)	Signal	정밀도	비고
RTD(온도)	저항	±0.2℃	2-Pole RTD
정전용량식(습도)	mA	±2.0%	
Ultr. F/M(유량)	mA	±1.0%	1000.0 , 1~5V
Watt T/D(전력량)	mA	±1.0%	138.18 , 1~5V
P/T(압력)	dc-V	±0.5%	0~35, 1~5V

본 실험에 사용된 센서류의 경우에는 실험오차를 줄이기 위해 검교정을 실시한 후 시스템에 설치하였으며, data 측정에 사용된 기기로는 일본 YOKOGAWA의 DA100(120ch)을 사용하였다

그림 7,8은 실험에 사용된 센서류 설치 모습을 보여주고 있다.

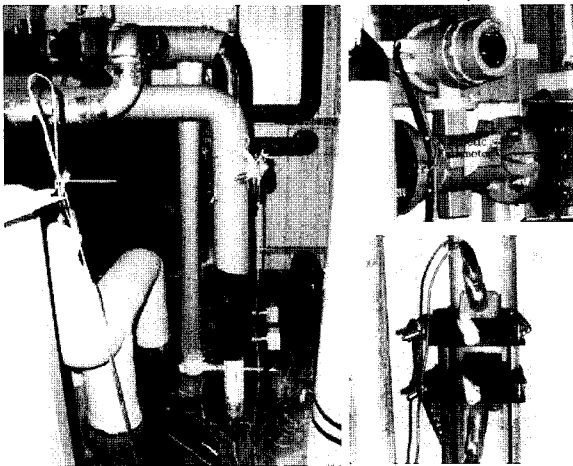


그림 7. 온도센서 및 유량계 설치모습

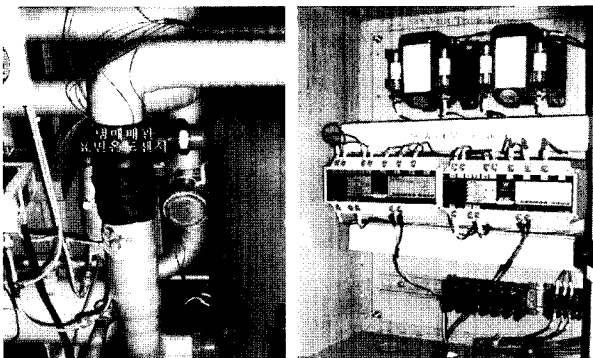


그림 8. 온도센서(히트펌프) 및 전력량계 설치 모습

4.4.1 냉방실험

전축열모드에서의 축냉시 히트펌프 냉각능력 및 축열조의 축냉능력, 방냉시 냉방능력을 측정하기 위한 시험으로, 축냉과정은 10시간 이내로 히트펌프를 운전하며, 방냉과정은 축열조에 저장된 냉수를 부하측(Fan Coil Unit)으로 보내 실험을 수행하였다. 시험에서의 data 측정간격은 1분 간격으로 하였다.

그림 9, 10은 축냉시 히트펌프 입출구 및 축열조내 온

도변화를 보여주고 있다. 그림 10을 살펴보면 축열조 하부부터 4°C의 냉수가 저장되어 점차적으로 상부까지 4°C가 되는 것을 보여주고 있다. 14°C에서 4°C로 떨어지는 기울기가 급격할수록 온도경계층이 작게 형성되는 것이며, 온도경계층이 작을수록 축열조를 효율적으로 사용할 수 있다는 것을 의미한다.

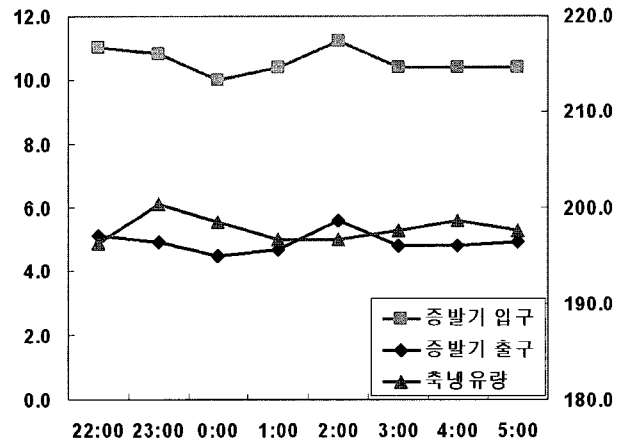


그림 9. 히트펌프 입출구 온도변화(축냉시)

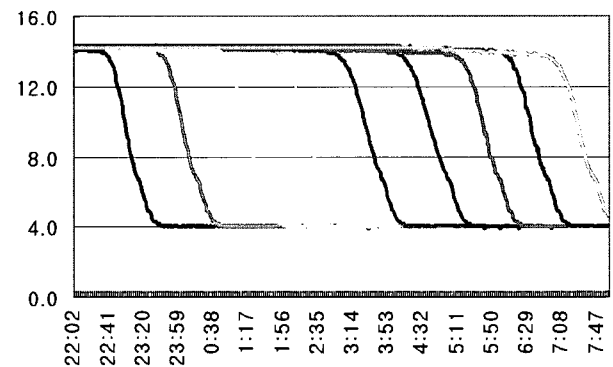


그림 10. 축열조 내 온도변화(축냉)

표 6과 그림 11은 냉방운전을 통해 획득한 data를 이용하여 시스템 효율 및 히트펌프 COP를 계산한 결과를 나타내었다.

표 6. 축냉 data

시간	증발기 입구온도(°C)	증발기 출구온도(°C)	축냉열량(kcal/h)	축냉유량(lpm)	시스템 소비전력(kW)	히트펌프 소비전력(kW)	시스템 효율	히트펌프 효율
22:00	11.0	5.1	69,490.2	196.3	24.9	14.8	3.25	5.47
23:00	10.8	4.9	70,906.2	200.3	25.1	15.1	3.28	5.48
0:00	10.0	4.5	65,505.0	198.5	24.8	14.7	3.07	5.17
1:00	10.4	4.7	67,237.2	196.6	25.8	15.7	3.03	4.98
2:00	11.2	5.6	66,057.6	196.6	25.7	15.6	2.99	4.91
3:00	10.4	4.8	66,393.6	197.6	26.1	16.0	2.96	4.84
4:00	10.4	4.8	66,729.6	198.6	25.9	15.9	2.99	4.89
5:00	10.4	4.9	65,208.0	197.6	25.8	15.7	2.94	4.82

실험결과를 살펴보면 축냉 시작시에는 히트펌프 효율이 5.4 이상이 되는 것을 확인할 수 있으며, 축냉 말기에는 약간 효율이 저하되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 지하수 온도가 약간 상승하여 응축기 냉매온도가 상승했고, 히트펌프 소비전력이 증가했기 때문이다. 하지만 온도 상승으로 인한 히트펌프 COP가 약간 저하된다고 하더라도 공기열원을 사용하는 히트펌프(COP : 3.0) 보다 효율이 훨씬 우수하다는 것을 확인할 수 있었다.

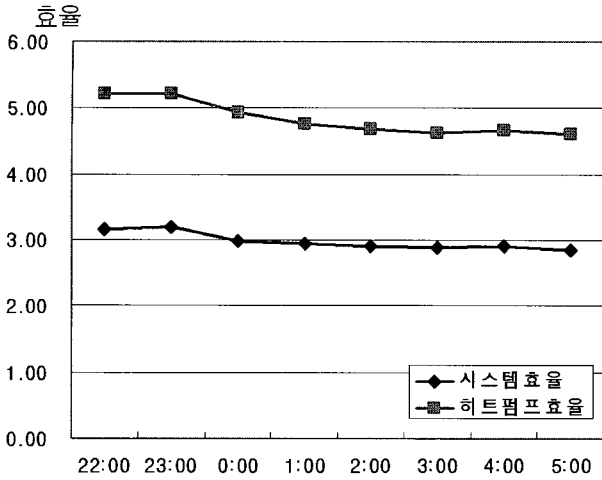


그림 11. 축냉시 히트펌프 및 시스템 효율 변화

우물 관정형 축열식 지열히트펌프시스템의 냉방시 평균 COP는 약 4.8 정도 되는 것으로 나타났다.

4.4.2 난방실험

전축열모드에서의 축열시 히트펌프 난방능력 및 축열조의 축열능력, 방열시 난방능력을 측정하기 위한 시험으로, 축열과정은 10시간 이내로 히트펌프를 운전하며, 방열과정은 축열조에 저장된 온수를 부하측(Fan Coil Unit)으로 보내 실험을 수행하였다. 시험에서의 data 측정간격은 1분 간격으로 하였다.

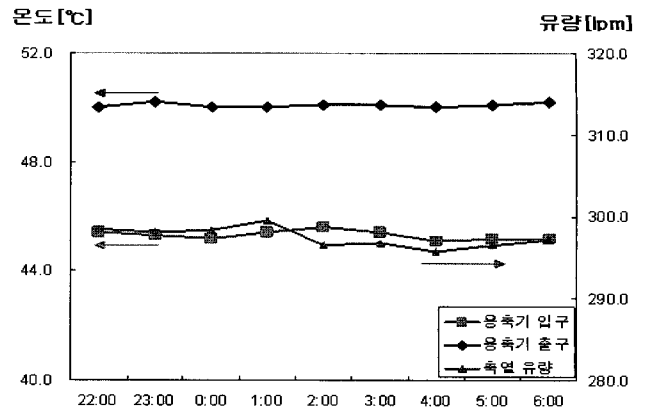


그림 12. 히트펌프 입출구 온도변화(축열시)

그림 9, 10은 축냉시 히트펌프 입출구 및 축열조내 온도변화를 보여주고 있다. 그림 10을 살펴보면 냉방과는 반대로 축열조 상부부터 50℃이 이상으로 저장되는 것을 보여주고 있으며, 난방시에도 축열조 성층이 잘 이루어지면서, 온수가 저장되고 있음을 확인할 수 있다.

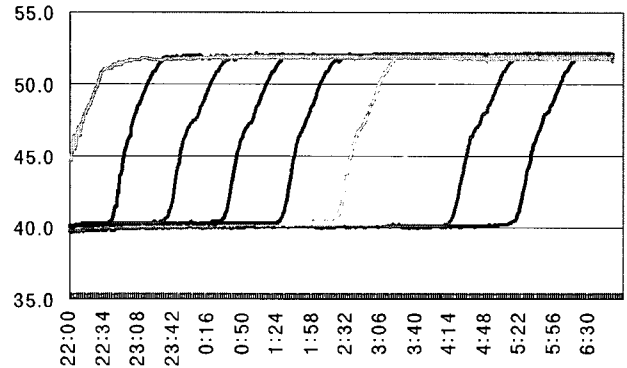


그림 13. 축열조 내 온도변화(축열)

표 7과 그림14는 난방운전을 통해 획득한 data를 이용하여 시스템 효율 및 히트펌프 COP를 계산한 결과를 나타내었다.

표 7. 실험결과

시간	응축기 입구(°C)	응축기 출구(°C)	축열 열량 (kcal/h)	축열 유량 (lpm)	시스템 소비전력 (kW)	히트펌프 소비전력 (kW)	시스템 효율	히트펌프 효율
22:00	45.4	50	82,358.4	298.4	34.5	23.7	2.8	4.0
23:00	45.3	50.2	87,641.4	298.1	35.2	23.3	2.9	4.4
0:00	45.2	50	85,910.4	298.3	33.7	22.9	3.0	4.4
1:00	45.4	50	82,662.0	299.5	34.2	23.2	2.8	4.1
2:00	45.6	50.1	80,055.0	296.5	33.9	23.0	2.7	4.0
3:00	45.4	50.1	83,697.6	296.8	35.3	24.4	2.8	4.0
4:00	45.1	50	86,935.8	295.7	36.1	25.2	2.8	4.0
5:00	45.2	50.1	87,171.0	296.5	35.8	24.9	2.8	4.1
6:00	45.2	50.2	89,130.0	297.1	35.9	25.0	2.9	4.1

난방실험에서도 지하수를 사용하는 축열식 지열히트펌프의 시스템 효율 및 히트펌프 효율이 우수하다는 것을 확인할 수 있었다. 표 7을 살펴보면 난방시 히트펌프 평균 COP는 4.1로 공기열원

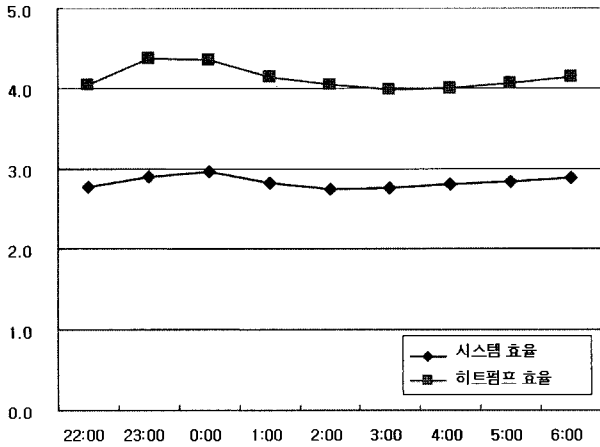


그림 14. 축열시 히트펌프 및 시스템 효율 변화

의 경우에는 외기온도 -10℃일 때 평균 히트펌프 COP가 1.5이하임을 감안할 때 히트펌프 효율이 매우 우수하다는 것을 알 수 있으며, 축열식 지열히트펌프가 많은 양의 에너지 소모량(전력소모)을 절감할 수 있는 시스템으로 확인 되었다.

실험결과 우물관정형 축열식 지열히트펌프시스템의 경우 시스템 및 히트펌프 COP가 타 히트펌프 시스템 보다 높은 결과를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 이는 년중 일정한 온도를 유지하는 지열원(지하수)을 이용함으로써, 외기 또는 타 수열원을 사용하는 방식보다 높은 성능을 나타낼 수 있었으며, 특히 지열원 중에서도 지하수를 이용하는 방식인 우물관정형의 경우에는 코일형(수직, 수평)방식보다도 히트펌프 성능이 높게 유지하는 것을 확인할 수 있었다.

5. 맺음말

본 고에서는 축열식 지열히트펌프 설치사례를 통해 기존 지열히트펌프시스템이 가지는 단점을 보완할 수 있으며, 지열원 특히 지하수를 사용함으로써 히트펌프의 성능을 높게 유지하여 에너지절약에도 기여할 수 있을 것을 판단된다.

따라서 축열식 지열히트펌프를 설치하고, 냉난방 운영을 수행하면서 획득한 결과를 다음과 같이 정리할 수 있다.

1) 기존 지열히트펌프의 경우에는 히트펌프 용량만큼 지중열교환기를 설치해야 하기 때문에 넓은 설치면적을 필요로 한다.

하지만 축열식 지열히트펌프의 경우에는 축열조가 전체 부하 중 50%정도를 담당함으로써, 히트펌프 용량이 절반으로 감소하기 때문에 지중열교환기 설치면적이 절반으로 줄게 된다.

2) 축열식 지열히트펌프의 경우에는 값싼 심야전력을 사용함으로써 일반 전기를 사용하는 지열 히트펌프 시스템에 비해 약 50%이상의 운전비용을 절감할 수 있다.

3) 년중 일정한 온도를 유지하는 지하수를 사용함으로써, 히트펌프 COP 및 전체 시스템 효율역시 우수한 값을 갖는 것을 확인하였다.

이와 같이 많은 장점을 가지고 있는 축열식 지열히트펌프 냉난방시스템의 경우 향후 보급이 증가될 것으로 예상된다.