

분산형 지열시스템

이준석 과장
(주)삼미지오테크 기술연구소

1. 서론

에너지 해외 의존도가 높고 이산화탄소 배출저감에 대해 국제적 압력을 받고 있는 우리나라의 입장에서는 열병합발전이나 폐열 또는 신·재생 에너지인 지열에너지를 활용할 수 있는 소규모 분산형 지열시스템은 가장 유용한 에너지 활용방식이 될 수 있다.

집단에너지 공급은 지역난방 위주로 국내에 1980년대 후반부터 수도권을 중심으로 대규모 택지개발지역에 도입됨으로써 에너지 절약, 쾌적한 환경조성, 대기환경개선에 크게 기여하고 있으며, 최근에는 지역난방뿐만 아니라 지역냉방의 적용사례가 국내에서도 늘어나고 있다. 지역냉방은 오염방지설비가 갖추어진 대규모 냉방열원에서 생산된 냉수를 별도 냉수배관을 통하여 일괄적으로 공급하거나, 각 건물에 중온수 흡수식 냉동기를 설치하고 지역난방 열원시설로부터 중온수를 공급받아 냉방하는 시스템으로 열공급방식에 따라 “냉수 직접공급방식”과 “중온수 공급방식”으로 분류할 수 있다.

지역냉방 보급현황은 2006년 말을 기준으로 전국 433개 건물에서 지역냉방을 사용하고 있으며,

대부분 중온수를 공급받아 건물 내의 중온수 흡수식 냉동기를 가동하여 냉방하는 중온수 공급방식을 적용하고 있다. 그러나 이 방식은 건물 외에 냉각탑이 설치되어야 하므로 비산, 소음 등의 각종 민원이 발생하는 단점이 있다. 냉수 직접공급방식의 지역냉방은 한국지역난방공사의 상암 DMC사업장에서 현재 운영 중이고, 동남권 유통단지과 고양시 국제전시장단지 역시 운전 중에 있다. 그러나 이 방식은 냉수 이송 시 냉수온도가 올라가는 단점이 있어 추가적으로 냉동기가 부착되어야 하며 냉난방 배관이 별도로 설치되어야 하는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 대안으로 신재생에너지인 지열을 이용한 집단에너지 방식을 검토하게 되었다.

2. 본론

일반적으로 지열이라 함은 지표층을 구성하는 암석이나 암석내에 존재하는 공간이나 균열된 틈새를 채우고 있는 물에 저장된 열에너지를 말한다. 지표면 하부에서 특정 심도의 지열은 연중 일정한 온도를 유지하고 있으며, 지하수가 풍부한 곳에서는 지하수의 수온을 이용하여 건물의 냉난방

을 도모하고 지하수가 부족한 곳에서는 순수한 토양과 암석 자체가 보유하고 있는 지열을 이용하여 건물의 냉난방에 사용되고 있다.

지열은 지하 약 10 m 정도까지는 지표면 온도의 변화에 영향을 받지만 그 이하로 내려가면 지표면의 온도의 영향을 거의 받지 않고 연중 일정한 온도상태를 유지한다. 이러한 지열을 이용한 냉난방시스템은 냉난방 방식 중에서 가장 효율이 높고 환경 친화적인 방법으로 알려져 있으며, 지구 온난화를 유발하는 이산화탄소의 배출 절감을 위한 방안 중에서 가장 경제적이고 효과적인 방법으로 인식되고 있다.

2.1 지열시스템

지열을 이용한 냉난방시스템은 무한한 지열에너지를 이용하여 냉난방을 위한 에너지를 공급하는 것으로서 히트펌프로 유입되는 열원의 전달방식에 따라 밀폐형과 개방형으로 구분할 수 있다.

밀폐형 지열시스템은 수직형과 수평형으로 구분되고, 개방형 지열시스템은 크게 지표수 및 지하수 열원방식으로 구분된다. 지하수 열원방식은 다시 직립정 (Standing Column Well) 과 복수정 (Two Well) 으로 구분할 수 있다.

2.1.1 밀폐형 지열시스템

밀폐형 지열시스템은 열을 회수, 방열하기 위해

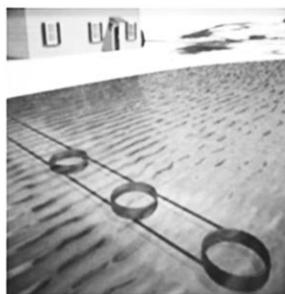
고밀도 폴리에틸렌파이프(HDPE)로 구성된 지중열교환기를 지중에 매설한 상태에서 지열을 이용하는 것으로서, 개방형의 지하수 히트펌프시스템과는 다르게 지하수를 빼내거나 순환시키지 않고 지중에 매설된 밀폐형 열교환기를 통해 유체(물)을 순환시켜 지중으로부터 열을 회수하거나 지중으로 열을 방출하는 방식이다. 밀폐형 지열시스템은 지중열교환기를 지중에 설치한 후에는 지중열교환기와 천공홀의 공간에 대한 되메우기 (Grouting) 작업을 수행하여 지표수의 유입방지 및 지하환경의 오염 발생을 방지하여야 한다. 이러한 밀폐형 지열시스템은 지하수를 얻을 수 없는 환경에서도 가능하고 지하수 이용에 따른 환경적 제한 없이 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다.

그러나 밀폐형 지열시스템은 앞서나온 장점에도 불구하고 보급 활성화에 따른 단점을 가지고 있으며 일례로 열교환기를 지중에 매설해야만 하는 관계로 초기 투자비가 많이 발생되고 좁은 지역에서는 냉난방용 지중열교환기를 매설하기 위한 대지가 필수적으로 확보되어야 하는 문제점이 유발된다.

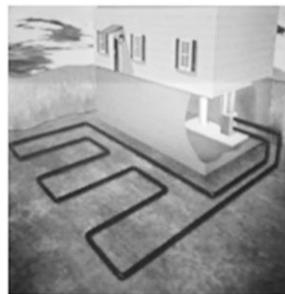
수직밀폐형 지열시스템에서 지열을 열원으로 이용하기 위해서는 깊은 천공홀 외에도 지열루프의 설치간격이 5 m 이상이 필요하므로 일정이상 용량의 수직밀폐형 지열시스템을 설치될 경우 비교적 넓은 대지면적을 필요로 한다.



Closed Loop 수직형



Closed Loop 폐열회수, 우물용



Closed Loop 수평형



Open Loop 우물, 호수, 바다에 적용

[그림 1] 지열시스템의 종류

2.1.2 개방형 지열시스템

개방형 지열시스템은 호수, 강 및 지하수를 채수하여 사용한 후 배수하거나 다른 용도로 사용하며 초기설치비가 밀폐형에 비해서 다소 저렴하고 시스템의 효율이 높다는 장점은 있으나, 충분한 수자원을 갖추어야만 하기에 실제 적용에 있어서 면밀한 사전검토가 필요하다. 개방형 지열시스템 중 가장 안정적이고 효율이 높은 시스템은 관정형(Well) 지열시스템으로서 물의 열에너지만을 이용하므로 지하수의 각종 오염 및 수정(水井)의 붕괴를 방지할 수 있으며, 동일면적당 지표수보다 10배 이상의 열에너지를 보유한 지하수를 사용하여 안정되고 신뢰성 있는 열에너지를 공급할 수 있다.

지하수 열원 지열시스템은 밀폐형 지열시스템에 비해 초기투자비가 다소 적고 효율이 높아 운전비가 적게 든다는 장점이 있으며, 지하수의 순환 과정에서 수온을 제외한 어떠한 변화도 없기에 환경 친화적이다.

종래에는 건물의 냉방과 난방을 위해 지중에 있는 지하수를 열원으로 이용하는 지중열교환기를 설치하고 지중열교환기에 마련된 수중펌프를 이용하여 일정 온도로 유지되는 지하수를 펌핑하여 히트펌프를 통해 냉방과 난방을 실시하고 있다. 이와 같이 사용되는 지중열교환 시스템은 냉방과 난방을 위한 특정건물에 일대일로 지중열교환기를 설치하거나, 다수개의 지중열교환기를 설치하여 냉방 또는 난방부하가 발생하는 건물에 열원인 물을 공급하여 냉난방을 실시한다. 그러나 이와 같이 사용되는 종래의 지중열교환 시스템은 냉방 또는 난방 부하가 발생하는 건물에 지속적으로 열원인 물을 공급하기 위해 연속적으로 가동되면서 가동시간 증가로 인한 경제성이 저하되고, 해당 건물의 부하량이 증가 될수록 이와 비례하여 다수개의 지중열교환기를 필요로 하면서 비용증가의 원인을 유발한다. 또한 다양한 부하 발생상태에 따른 정밀한 제어가 실시되지 않고 단순한 부하발생에 따른 냉방과 난방만을 도모하는

방법으로 제어되는 문제점이 유발되어 이에 대한 대책이 필요하다.

2.2 분산형 지열시스템

2.2.1 시스템 특징

분산형 지열시스템은 단위 건물이 아닌 복합 건물군(산업용, 주거용, 상업용)의 냉난방 부하패턴에 대응 가능한 시스템이다. 분산형 지열시스템은 다양한 수요처(건물)에 설치된 지열시스템을 이용하여 부하패턴에 따른 최적 냉난방 공급을 가능하게 하고, 현장여건에 가장 적합하고 다양한 지열원을 취득하여 열원을 필요로 하는 수요처에 열원을 공급하며, 냉방과 난방을 동시에 혼용할 경우 지열부하가 감소하는 효과를 지닌다. 또한 동시 사용률을 고려한 부하설계로 인해 종합지열 제어센터의 지열부하를 축소하여 설치할 수 있는 특징을 가진다.

분산형 지열시스템은 부하가 서로 다른 열원 수용처에서 발생하는 부하량에 따른 최적의 냉난방을 도모하기 위한 시스템이다. 냉방 및 난방을 위해 가장 유리한 온도로 감지되는 지중열교환기에 대한 우선 작동을 통해 지중열교환기의 불필요한 가동을 최소화 하여 작동 효율이 우수하고 경제성이 향상된 기기운영을 도모한다.

2.2.2 시스템 구성

분산형 지열시스템의 서로 다른 용량으로 이루어진 다수개의 지중열교환기가 조합된 열원 취득부, 열원 취득부에서 취득된 열원이 저장되는 열원 저장부, 저장된 열원을 개별적으로 공급받고 서로 다른 위치에 배치된 다수의 열원 수용부, 열원 저장부에 저장된 열원을 열원 수용부의 개별 부하상태에 따라 지중열교환기 중의 어느 하나 또는 다수의 지중열교환기를 선택적으로 제어하여 열원을 열원 수용부에 독립적으로 공급하는 열원 제어부 등으로 구성된다.



[그림 2] 분산형 지열시스템 적용 예(롯데 김포스카이파크, 510 RT)

1) 열원 취득부

분산형 지열시스템의 열원 취득부는 지중열교환기 중에서 효율이 우수한 개방형 지중열교환기(복수정, 직립정)가 사용되므로 비용이 다소 적게 소모되는 특징을 가지고 있다.

또한 열원 취득부는 개방형보다 상대적으로 낮은 열원이 취득되는 밀폐형 지중열교환기(장심도, 단심도)로 구성되어 있다.

열원 취득부는 열원 취득이 가장 용이한 위치에 설치 될 수 있으며, 열원 제어부의 신호에 따라서 다른 방식의 지중열교환기가 선택적으로 가동

되어 열원을 취득한다.

2) 열원 저장부

열원 저장부는 냉수 또는 온수가 저장 될 수 있는 저장의 기능과 열원 수용부에 마련된 히트펌프의 냉방 또는 난방을 위해 저온 또는 고온의 물을 공급할 수 있는 공급의 기능을 동시에 수행한다. 열원 저장부가 저장의 기능으로 사용될 경우에는 열원 수용부에서 발생하는 초기 부하 발생량에 대해 열원 취득부를 작동시키지 않은 상태에서 저장부에 저장된 저온 또는 고온의 물을 열원 수용부에 공급하여 냉방 또는 난방을 실시할 수 있다. 결과

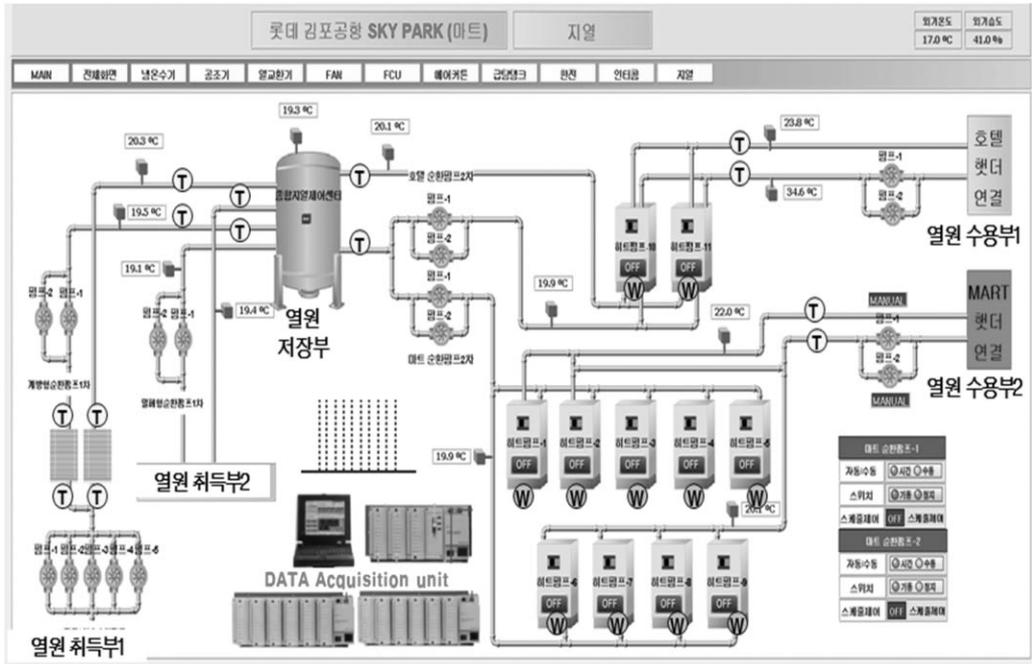
적으로 열원 저장부는 열원 수용부의 부하 발생에 따른 냉수 또는 온수를 공급하고, 저장부의 온도(설정범위)가 변동될 경우에는 열원 취득부가 일부 또는 전체가 작동되어 열원을 재공급 받는다.

3) 열원 수용부

열원 수용부는 상업용 건물 (commercial buildings) 즉, 오피스 빌딩, 상가, 백화점, 마트 중의 어느 하나 또는 복합적으로 입주된 건물과 주거 건물(residential buildings) 즉, 아파트, 호

<표 1> 분산형 지열시스템 열원 취득부 구성 (예)

구분 TYPE	개방(심도*양수량)		수직밀폐형(심도*홀수)		비고
	TWO-WELL	SCW	단심도	장심도	
	#1공 : 210m*1,450ton #2공 : 210m*200ton #3공 : 390m*500ton #5공 : 210m*1,200ton	#4공 : 360m*270ton	175m*75홀	220m*10홀	분산형 지열 시스템 적용 (예)
담당부하	290RT	26RT	167RT	27RT	



[그림 3] 분산형 지열시스템 계통

텔, 주택 중의 어느 하나 또는 그 이상의 입주된 건물을 말하며, 냉난방을 위한 다수개의 히트펌프가 마련된다.

4) 열원 제어부

열원 제어부는 온도, 유량과 물의 이동에 따른 감지신호를 전송받아 히트펌프와 순환펌프의 on, off 작동상태와 순환펌프의 분당 회전수(rpm)를 제어하고, 개방형 지중열교환기의 수중펌프의 on, off를 제어하며, 열원 수용부로 공급 및 환수되는 열원의 온도를 지속적으로 모니터링하여 지중열교환기의 작동상태를 제어한다. 또한 유량정보에 따라 열원 수용부에서 발생하는 부하 변동량에 따라 열원 저장부에서 열원 수용부로 공급되는 냉온수량을 조절한다. 열원 제어부는 열원 저장부에 저장된 열원이 소정의 온도로 유지되도록 설정할 수 있으며, 열원 저장부의 온도 상태에 따라 다수의 지중열교환기를 제어한다.

2.2.3 종합지열제어센터

종합지열제어센터는 지열수 저장탱크와 자동제어시스템이 합쳐진 개념이다. 분산형 지열시스템의 구성에서 열원 저장부에 해당하며, 종합지열제어센터는 25 TON 규모의 밀폐식 원형 지열수 저장탱크와 지열히트펌프 지열원 순환펌프 및 수중펌프의 운전제어와 같은 기능을 한다. 또한 종합지열제어센터는 열원효율에 따른 열원별 우선 제어를 실시하고, 열원 및 부하조건에 따른 최적운전을 제어한다.

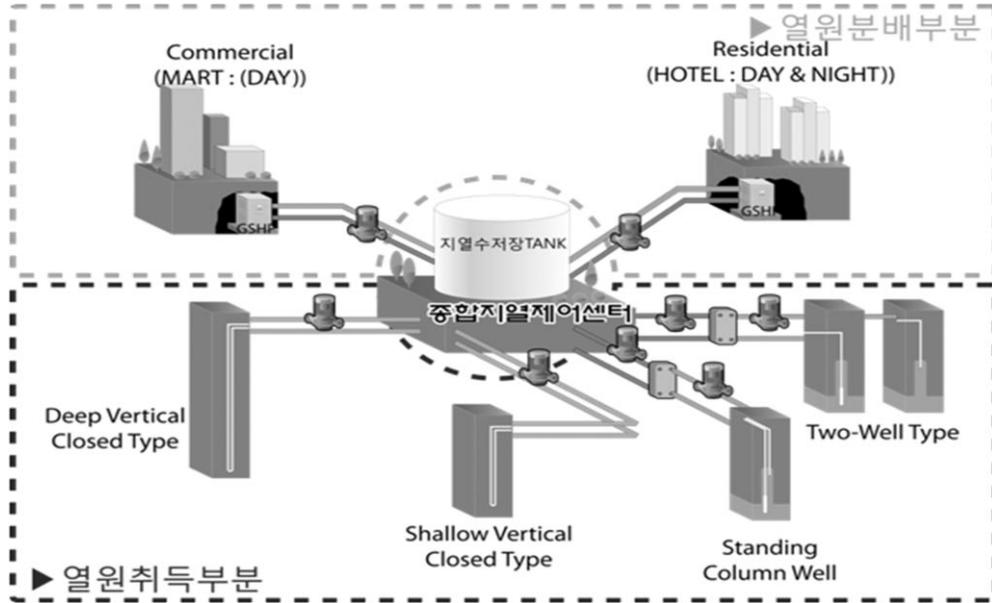
종합지열제어센터는 Type별로 지열원을 확보하고, 해당 복합건물군에 위치한 지열펌프에 지열수를 공급 및 회수한다. 또한 일반현장에서도 종합지열제어센터는 개별 현장여건에 적합한 다양한 방식의 지중열을 취득 및 공급할 수 있다.

2.2.4 분산형시스템 프로그램 제어

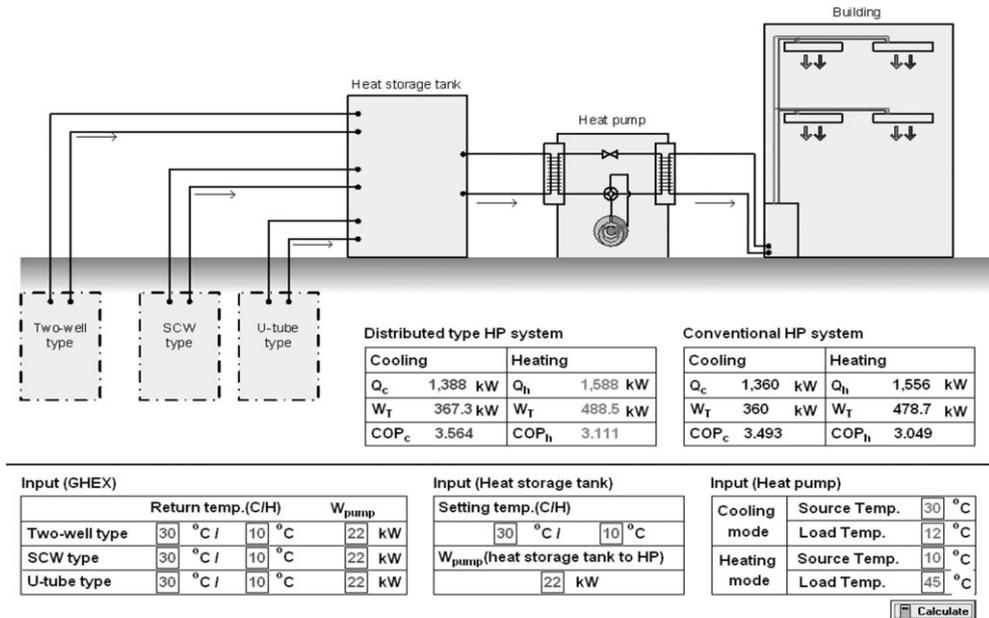
종합지열제어센터가 구비된 분산형 지열시스템은 현장에 맞게 개발된 프로그램을 통하여 제어

되며, 개발된 프로그램은 열원조건 및 부하발생원의 용량에 따라 전체 또는 일부의 열원을 취득하고 열원 수용처로 열원을 공급하도록 한다. 그림 6

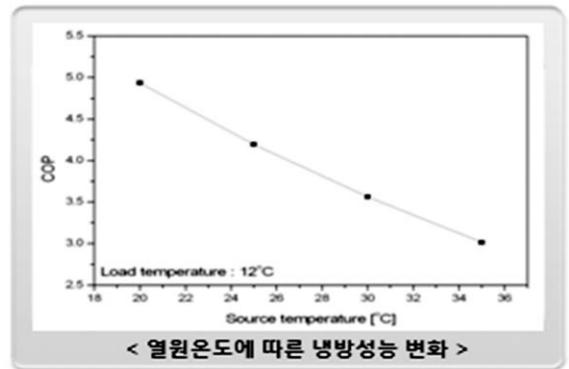
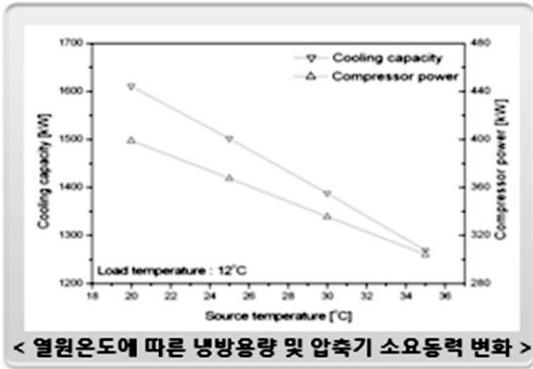
은 제어프로그램의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다.



[그림 4] 종합지열제어센터



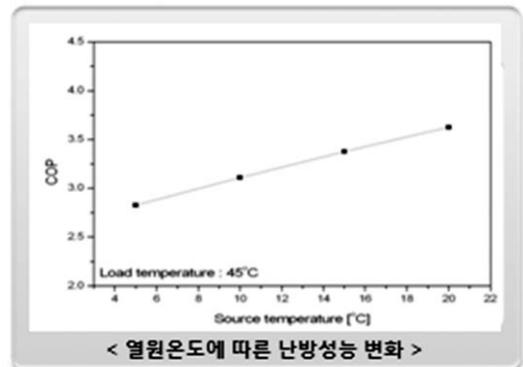
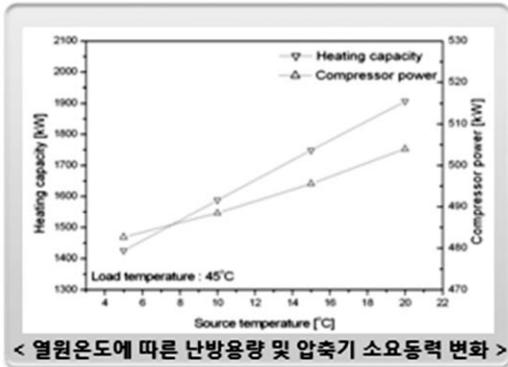
[그림 5] 분산형 지열시스템 프로그램 구현



열원온도 증가(20°C→25°C)에 따라

[그림 6] 냉방용량 21.2% 감소

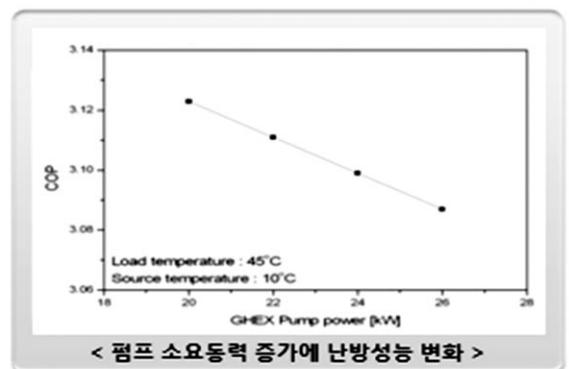
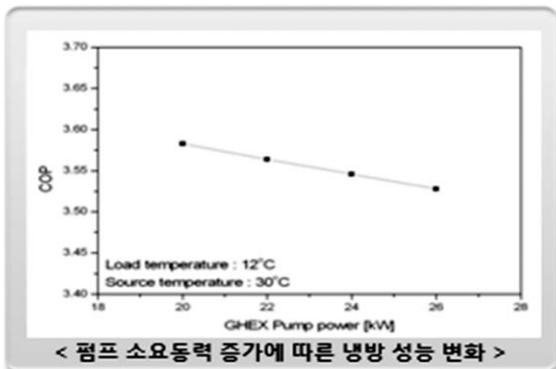
[그림 7] 냉방성능 38.9% 감소



열원온도 증가(5°C→10°C)에 따라

[그림 8] 난방용량 25.2% 증가

[그림 9] 난방성능 22.1% 증가



지중열교환기 펌프 소요동력 증가(20kW→26kW)에 따라

[그림 10] 냉방성능 1.6% 감소

[그림 11] 난방성능 1.2% 감소

3. 결론

분산형 지열시스템은 다양한 수요처(건물)에 설치된 지열시스템을 이용하여 부하패턴에 따른 최적 냉난방 공급을 가능하게 하고, 현장여건에 가장 적합하고 다양한 지열원을 취득하여 열원을 필요로 하는 수요처에 열원을 공급한다.

분산형 시스템에서 냉방과 난방을 동시에 혼용할 경우 지열부하를 감소시킬 수 있으며, 동시 분산형 지열시스템은 사용률을 고려한 부하설계로 인해 종합지열제어센터의 지열부하를 축소하여 설치할 수 있다. 즉, 분산형 지열시스템은 수요처의 요구에 따른 취득 지열원의 적절한 배분에 의한 에너지 사용효율을 극대화한 최적의 지열냉난방 시스템이라고 할 수 있다. 