

지중열 교환기와 빙축열조(Thermal Ice Storage)를 연계시킨 통합 지중열-빙축열조 시스템(Integrated GEO/TES)

ED. Lohrenz¹ · 한정상^{2*} · 한혁상³ · 한 찬⁴ · 김형수⁵

¹CGD, Ice Kube System Ltd, 캐나다, ²CGD, CGWP, Ph.D, PE/(주)씨엔이,

³CGD/(주)씨엔이, ⁴유신코퍼레이션, ⁵한국수자원공사

A Study on An Integrated GEO/TES with Geothermal Heat Exchanger and Thermal Ice Storage

ED. Lohrenz¹, Jeongsang Hahn^{2*}, Hyuk Sang Han³, Chan Hahn⁴, Hyoung Soo Kim⁵

¹CGD, Ice Kube System Ltd., Winnipeg, Manitoba Canada

²CGD, CGWP, Ph. D, PE/CNE, Seoul 138-110, Korea

³CGD/CNE, ⁴Yoosin Corp., Ltd., Seoul 135-936, Korea

⁵Director/Korea Water resources Corporation, Daejeon 306-71, Korea

Peak cooling load of large buildings is generally greater than their peak heating load. Internal and solar heat gains are used for selection of adequate equipment in large building in cold winter climate like Canada and even Korea. The cost of geothermal heat exchanger to meet the cooling loads can increase the initial cost of ground source heat pump system to the extend less costly conventional system often chosen. Thermal ice storage system has been used for many years in Korea to reduce chiller capacity and shift peak electrical time and demand. A distribution system designed to take advantage of heat extracted from the ice, and use of geothermal loop (geothermal heat exchanger) to heat as an alternate heat source and sink is well known to provide many benefits. The use of thermal energy storage (TES) reduces the heat pump capacity and peak cooling load needed in large building by as much as 40 to 60% with less mechanical equipment and less space for mechanical room. Additionally TES can reduce the size and cost of the geothermal loop by 1/3 to 1/4 compared to ground coupled heat pump system that is designed to meet the peak heating and cooling load and also can eliminate difficulties of geothermal loop installation such as space requirements and thermal conditions of soil and rock at the urban area.

Key words : Geothermal heat exchanger, Thermal ice storage, Ground source heat pump system, TES, HVAC (Heating, ventilation and air conditioning)

일반적으로 대규모 건물의 피크 냉방 부하는 난방부하보다 크다. 북위도의 한랭한 지역에 소재한 대규모 건물의 냉난방 설비는 건물 내부에서 생성되는 발열량과 태양으로부터 획득되는 열량에 따라 좌우된다. 최대 냉방부하에 적합하도록 냉난방설비와 지중루프를 설치하는데 소요되는 비용은 일반적으로 초기투자비가 적게 드는 전통적인 HVAC시스템에 비해 다소 고가이다. 빙축열조(Thermal ice storage, TES)시스템은 과거 수년동안 일반 HVAC에서 냉동기의 용량을 축소시키거나 최대 전력부하 시간대를 바꾸기 위해 사용되어온 기술이다. 일반적으로 건물 난방을 위해서는 보일러와 같은 전통적인 난방설비를 이용하고 그 다음날의 건물난방을 위해서는 전력료가 저렴한 야간에 빙축을 시키는 빙축열기법을 이용한다. 얼음에서 추출한 잠열 에너지의 장점을 이용하기 위해 설계된 분배시스템(distribution system)과 열원과 열배출원(열침, sink)대신에 지중열 교환기(지중루프)를 이용하면 많은 장점이 있다. 공간 난방과 급탕을 공급하기위한 분리형 설비를 별도로 사용하지 않아도 된다. 공간난방용으로 소요되는 설비용량을 축소시킬 수 있으며-소요 지중열 교환기의 규격과 비용을 절감시키는 물론 지열 HVAC시스템의 효율을 배가시킬 수 있으며 온실 가스 배출량을 대폭 감축시킬 수 있다. 또한 TES를 적용하면 대규모 건물의 냉난방부하와 열펌프의 용량을 40~60% 정도 감축시킬수 있으며 설비대수와 기계실 공간을 줄일수 있다. 뿐만아니라 피크 냉난방부하를 토대로 설계한 지원

*Corresponding author: geohans@chollian.net

열펌프 시스템(Ground source heat pump system)의 지중루프를 1/4~1/3까지 줄일수 있어 도심지역에서 지중루프를 설치할 때 장애요인인 지중루프 설치공간문제와 지중암석의 열적특성문제를 동시에 해결할수 있다.

주제어 : 지중열 교환기, 빙축열조(Thermal Ice storage), 지원열펌프시스템, TES, HVAC (Heating, ventilation and airconditioning)

1. 서 론

현재 국민 1인당 실제소득 대 에너지 소비량은 우리나라를 100으로 했을 때 일본이 36, 독일이 69, 프랑스가 71 및 미국이 97로서 우리나라는 OECD국가의 평균치인 79보다 훨씬 높다(이원갑, 2005). 이들 선진국의 1인당 GDP가 우리나라의 2~3배 정도임을 감안하면 우리의 1인당 에너지 소비량은 단연 세계 최고이다. 뿐만 아니라 실질 국내총생산 1,000불(\$을 생산하는데 투입하는 에너지양은 일본이 0.107toe, 대만이 0.285toe인데 비해 우리나라는 0.362toe로서 우리의 에너지 소비효율은 매우 뒤떨어져 있다(이원갑, 2005). 환원하면 우리나라는 전형적인 저효율 고소비형의 에너지 구조로 이루어져 있다.

최근 국제유가는 서부 텍사스 경질유(WTI)가 연일 기록을 경신하여 6월말 현재 배럴당 60불을 상회하였고 우리나라 원유수입의 70%를 차지하는 중동산 두바이유의 현물가격은 연초 38불에서 현재 54불까지 상승한 바 있다. 일부 에너지 전문가들은 세계 에너지 시장이 1970년대의 오일쇼크에 견줄만 한 이른바 슈퍼스파이크 초기국면에 진입했기 때문에 국제 유가는 머지 않아 배럴당 100불에 이를 것이며 상당기간 현재와 같은 고유가 추세가 지속될 것으로 예측하고 있다. 그런데 석유 수입량 세계 4위, 에너지의 국외 의존도 97%이상인 우리나라는 유가가 배럴당 10불 상승하면 국내 경제성장률은 0.72%포인트 둔화하는, 국제유가변동에 매우 민감한 경제구조와 취약한 에너지 공급구조로 이루어져 있다.

앞으로 석유는 약 40년, 가스는 약 60년, 석탄은 약 150~200년이면 화석연료는 고갈될 것이라고 한다. 에너지를 거의 전량 해외에서 수입해야 하는 자원빈국인 우리나라는 현재와 같이 예측 불허한 국제 유가변동과 상승한 화석연료의 고갈 및 Kyoto 기후변화 협약에 따른 국제 환경규제 강화에 적절히 대처하기 위해 에너지 저소비형 산업구조로 경제 체질을 전환해야 함은 물론 이를 위해 청정 및 환경친화적인 에너지원이며 에너지 절약형이면서 비 고갈성인 재생에너지의 개발 보급을 국가적인 최우선 정책으로 다루워야 할 때이다.

이미 유럽제국은 1970년대 두차례의 오일쇼크를 거치면서 천부 지하수와 같은 재생에너지를 지속적으로 개발하여 현재 그 이용율은 전체 에너지의 7%(프랑스)에서 23%(핀란드)에 이르는 고효율 저소비형 에너지 선진국으로 변신하였다(윤성규, 2004; 홍대선, 2005). 그러나 우리나라의 재생에너지 개발과 보급은 지난 20년간 거의 답보상태이며 작년말 기준으로 신재생에너지 이용율은 고작 2.3% 수준이다. 현재 국내에서 냉난방에너지 이용량은 전체에너지 이용량의 약 19.2%이다. 국내 가용한 재생에너지원 가운데 국내 어디서나 저렴하게 개발가능하며 개발보급에 가장 양호한 조건을 구비하고 있는 에너지절약형, 청정 및 친환경 재생에너지는 우리 발밑에 무진장 부존되어 있는 지하수가 보유한 열과 지표하 2~400 m 이내에 부존된 천부 지중열이다.

2004년말 국내에서 연간 개발이용하고 있는 지하수량은 연간 약 37.5억 m³정도이며(건교부, 2005) 연평균 지하수의 수온은 14~16°C이다(한정상외, 2005). 만일 이들 지하수를 각종 용수로 이용하기 전에 지하수가 보유하고 있는 지열가운데 약 4~5°C만 추출해서 사전에 냉방과 난방용 에너지원으로 활용한 후 당초의 목적대로 이용하더라도 용수이용에는 전혀 지장이 없다. 이 경우에 추가로 개발 이용할 수 있는 천부지열 에너지량은 약 2.5~3백만 kW에 해당한다.

지하수열과 천부 지중열을 열에너지원으로 이용하는 냉난방 시스템은 국산화 비율이 약 80% 정도이기 때문에 11개 신재생에너지 가운데 현재 가장 비용-경제적으로 개발 이용이 가능하고 널리 활용 할수 있는 추후 보급전망이 매우 밝은 분야이다. 정부는 지금부터라도 손쉽게 개발할 수 있는 지하수를 위시한 천부 지중열을 이용한 재생에너지 개발 이용보급을 극대화하여 급변하는 국제 유가변동과 국제 환경 규제에 대처함은 물론 열에너지의 안정적인 공급과 에너지 절약을 도모해야 할것이다.

학교, 교회, 사무용 빌딩 및 공장과 같은 비교적 큰 건물은 건물고유의 에너지 평형을 이루고 있다. 예를 들면 사무용 빌딩과 학교는 대체적으로 1주일에 5~6일 정도만 사용하기 때문에 대규모로 정해진 계획된

열을 획득한다. 외기온도가 영하 20~30°C되는 한랭한 북위도 지역에서도 재실자가 방출하는 열이나 근무일 수 동안에 건물내에서 작동되는 각종 기기(전동 컴퓨터 등)들은 난방 시스템을 가동할 수 있을 정도의 충분한 열을 제공한다. 실제로 대다수의 건물들은 겨울철에 건물내부 온도가 동기설계온도에 도달한 경우에도 재실자가 건물을 이용하고 있는 동안은 건물내 특정 구역에서는 냉방을 해야 할 경우도 있다. 예를 들어 교회나 회의장 건물들은 일주일에 몇 시간만 집중적으로 건물을 이용하지만 에너지 평형은 유사하며 냉방과 냉방 이벤트 사이의 간격은 비교적 길다.

Fig. 1은 여름, 겨울과 봄, 가을(Shoulder계절) 기간 동안 전형적인 사무용 빌딩의 에너지 평형을 나타낸 그림으로써 중간 및 한냉한 기후에서 주 5일간만 사용되는 사무용 빌딩이나 학교의 일간 에너지균형을 나타낸 그림이다. 이 그림에서 휴일인 첫날과 일곱번째날(토,일요일)은 재실자가 없거나 전동 및 전기기구를 거의 사용하지 않기 때문에 내부열 획득량이 적어 피크

냉방부하는 매우 낮다.

여름철의 피크 냉방부하는 동기설계온도 동안 전형적인 피크 난방부하보다 크다. 또한 봄, 가을철의 하루 동안(24시간동안)의 냉난방부하는 무시할 수 없는 양이다.

Pierre교회 건물의 겨울철 피크 난방부하는 약 158 kW인데 비해 여름철 냉방부하는 약 360 kW이다 (그림 1).

2. 동시 냉난방에 관한 고찰

물대물 열펌프의 압축기가 가동되면 냉온수를 동시에 생산할 수 있다. 지중매체를 열공급원으로 이용하는 열펌프는 열에너지를 무한대로 자유롭게 생산할 수 있기 때문에 매우 효율적인 냉난방 시스템이다. 열펌프는 지중에서 열을 흡수하여, 지중매체를 냉각시키는 동안에는 온수를 만들어내고 반대로 지중에 열을 방열할 때에는 지중온도를 상승, 가열시키면서 냉수를 만

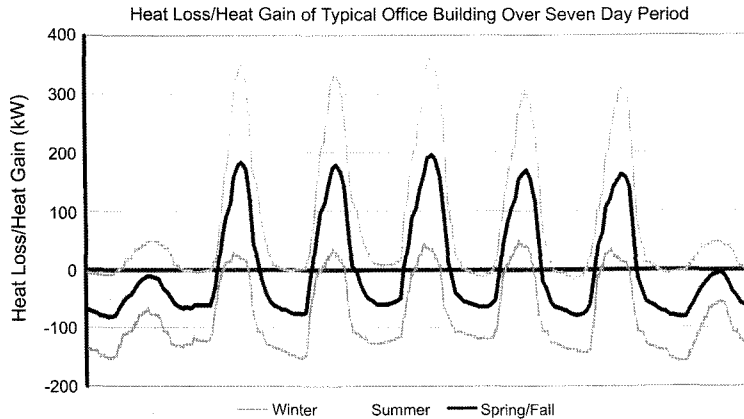


Fig. 1. Daily energy balance of an office building and school occupied 5 days/week in a moderate to cold climate area (St. Pierre Church, Winnipeg, Manitoba, Canada).

Table 1. Heating and cooling capacity and COP under various operating conditions.

	Heating Output (kW)	COP _h	Cooling Output(kW)	COP _c	System CO
PISO13256-2(heating) ¹	94.4	3.78	-	-	3.78
ISO13256-2(cooling) ²	-	-	132.6	5.62	5.62
Simultaneous Heating & Cooling ³	129.2	4.52	100.6	3.52	8.04
Building Ice & Heating ⁴	80.1	3.44	56.8	2.44	5.88
Building Ice ⁵	-	-	75.1	3.58	3.58

¹EWT Condenser: 40°C, EWT Evaporator: 0°C

²EWT Condenser: 25°C, EWT Evaporator: 12°C

³EWT Condenser: 40°C, EWT Evaporator: 7°C

⁴EWT Condenser: 40°C, EWT Evaporator: -6°C

⁵EWT Condenser: 25°C, EWT Evaporator: -6°C

들어낸다.

따라서 만일 어떤 건물의 한 구역에서 필요한 난방 부하가 동일 건물의 다른 구역에서 필요로 하는 난방 부하와 같을 때에는 열펌프를 가동시키기 위한 열원으로 지중루프(지중열 교환기)를 추가로 설치하지 않아도 된다. 왜냐하면 동일 빌딩에서 냉방이 필요한 구역은 바로 열펌프의 열원이 되고 반대로 난방을 필요로 하는 구역은 열펌프의 열배출원이 되기 때문이다. 이 경우에 지원열펌프시스템의 효율은 극대화 된다.

2.1. 시스템 효율과 열펌프 효율

전술한 바와 같이 열펌프가 냉수(chiller fluid)와 온수유체(warm fluid)를 동시에 사용할 수 있을 정도의 충분한 용량을 가지고 있을 때 시스템의 효율을 크게 향상된다.

열펌프의 성적계수(COP)는 생성된 냉난방에너지(에너지 출력)를 투입한 전력(에너지입력)으로 나눈 값이다. 즉 지원열펌프시스템의 난방성적계수(COP_h)와 냉방성적계수(COP_c)은 다음과 같이 표현한다.

$$COP_h = \frac{\text{출력난방에너지(Heat output)}}{\text{입력시킨에너지(energy input)}}$$

$$COP_c = \frac{\text{출력냉방에너지(cooling output)}}{\text{입력시킨전력(power input)}}$$

만일 열펌프가 4 kW의 전기를 이용하여 14 kW의 난방열에너지를 생산했다면 이 열펌프의 COP_h는 3.5(14/4)이다. 또한 열펌프가 4 kW의 전력을 투입하여 18 kW의 냉방에너지를 생산했다면 이 열펌프의 COP_c는 4.5(18/4)이다. 만일 4관식 배관(four pipe system)을 사용해서 냉온수를 모두 사용할 수 있을 때 본 시스템의 열효율은 냉난방으로 사용한 시스템의 전체출력(생산 열에너지)에너지를 투입한 전체 전력으로 나눈 값과 같다.

Table 1은 각종 운영 조건하에서 냉난방용량과 COP 및 시스템의 COP를 나타낸 표이다. 열펌프의 온수와 냉수를 동시에 사용하는 경우, 시스템의 COP는 COP_h와 COP_c의 합이 된다.

2.2. 열원과 열배출원의 대안으로서 지중열 교환기

하나의 열펌프가 생산한 냉온수를 모두 동시에 사용하면 전술한 바와 같이 지원열펌프시스템의 효율을 크게 향상된다. 그러나 대다수 빌딩에서 냉난방을 동시에 필요로 하는 경우는 스키이트장, 한증탕, 온천지역과 같은 특수한 경우를 제외하고는 극히 드물다.

열에너지 저장조 시스템(Thermal Energy storage System, TES)이란 지금 당장 필요한 냉온열을 생산해서 그 다음날이나 추후 필요한 시간대에 생산된 열을 사용하기 위해 열에너지를 저장해두는 시스템이다. 빙축조(Ice storage)시스템은 물이 얼음으로 상변화를 할 때 다량의 열에너지를 흡수하거나 방열하는, 즉 잠열을 이용하는 열에너지 저장시설이다.

에너지 저장조를 시스템에 연계시켰을지라도 사용가능한 냉온수를 동시에 생산할 수 있는 충분한 용량을 갖지 못하는 시간대가 있다. 이 경우에 열원과 열배출원을 대체할 수 있는 열에너지 저장장치가 필요하다. 시스템내에서 제어된 저장조가 다량의 열을 추출하거나 공급할 수 없을 때 대응량의 열에너지를 효율적으로 추출, 공급할 수 있는 장치가 바로 지중열 교환기 시스템(일명 지중루프시스템)이다. 지중열 교환기는 일종의 스펀지와 같은 역할을 한다. 즉 지중열 교환기는 빌딩이 열에너지를 사용하지 않거나 사용할 수 없을 때 과잉 열을 저장해 두었다가 열에너지가 필요한 시간이나 빌딩 또는 빙축열조가 허용할 때 필요한 열을 추출해서 사용할 수 있도록 하기 위한 장치이다.

이와 같이 지중매체와 지중열 교환기는 장기적으로 추가 열에너지를 저장하는 일종의 열저장조 역할을 한다. Fig. 5에 제시한 바와 같이 열원의 온도가 열배출원의 온도와 비슷할 때 열펌프의 효율과 난방용량은 가장 크다. 열펌프는 지중열 교환기의 온도가 상승함에 따라 효율적으로 운전될 수 있고 다량의 열에너지를 생산할 수 있다.

2.3. 열에너지 저장조(Thermal Energy Storage, TES)

겨울철에 동결된 강이나 호소에서 얼음을 채취하여 지중에 저장하였다가 그 다음해 여름철에 공기조화나 냉장창고의 냉장용으로 이용하는 등 지난 수백년 동안 인간은 땅(지중)을 열에너지 저장조로 이용해 왔다(Fig. 2 참조). 20세기 중반에 이르러 몇몇 제조업체들은 그 다음날 일반시간대(off peak)동안에 필요한 공조부하용 얼음을 만들기 위해 냉동기를 사용하는 탱크를 제조하기 시작했다.

대규모의 중간 피크 냉난방 부하에 TES를 사용하면 매우 효과적이다. 즉 TES를 적용할 수 있는 최적 조건은 1주일에 몇 시간만(단기간동안) 집중적으로 대용량의 냉난방 부하를 필요로 하는 교회, 공회당, 회의실 및 강당 등과 같은 건물이고 그 대표적인 예이다. 이 외에 대규모 태양열 부하와 조명전등이나 전기장치가



Fig. 2. Ice harvesting from frozen Han river and storing for refrigeration in the next summer.

대규모로 필요하며 학교나 사무용 빌딩등은 빙축조(Thermal ice storage)를 효율적으로 적용할 수 있는 다른 예라 할 수 있다.

이와 유사하게 난방 플랜트는 피크난방 부하를 효율적으로 감소시키기 위해서 온수조(warm storage)를 사용하기도 한다. 그 대표적인 예가 대용량의 고온수나 피크 열부하를 감소시키기 위해 구조물내로 열을 흡수시키는 고열체 빌딩(high thermal mass building)등이 필요로 하는 고온수 저장조(hot water storage) 등이다.

물이 얼음으로 상변화 할때에는 다른 물체가 상변화 할때와 마찬가지로 다량의 열에너지를 방열 한다. 따라서 열에너지 저장조가 설치되어 있으면 단전이 되더라도 최소한의 전력을 이용하여 필요한 만큼의 냉온수를 건물에 공급할 수 있다.

빙축조가 설치되어 있으면 순환펌프가 얼음을 이용하여 컴퓨터 가동실, 사용중인 실내나 공기조화가 필요한 곳에 비상냉방을 할 수 있다. 냉동기를 운전할 때에는 필요한 양에 비해 적은 용량의 발전기를 이용해서 backup냉방을 할 수 있다.

2.4. 지중열교환기와 TES를 이용한 통합 HVAC

기존의 HVAC시스템은 냉난방 시스템을 서로 분리된 시스템으로 생각되어 왔다. 즉 보일러는 건물을 난방시키는데 이용하고, 냉동기는 공기조화에 필요한 냉수를 만들어 냉방을 시키는데 사용하며 환기 시스템은 신선한 공기를 공급하는데 사용하였다. 그런데 지원열 펌프시스템은 지중매체를 하나의 효율적인 열원과 열배출원으로 이용한다. 따라서 지원열펌프시스템은 하나의 시스템으로 냉난방을 동시에 실시할 수 있다. 물리학적 특성으로 볼 때 물대물 열펌프는 냉수와 온수를 동시에 생산 가능하며 냉수를 만들기 위해서는 순환수로부터 열을 흡수한다. 지원열펌프가 효율적으로

작동될 수 있는 이유는 안정적인 지중온도를 이용하기 때문이다. 이와 같이 통합시스템에 사용되는 열펌프시스템은 냉방과 난방을 동시에 수행할 수 있다.

건물이 난방을 할 때에는 열에너지를 추출 이용하고, 빙축이 이루어진 다음에는 지중열 교환기를 열원으로 이용한다. 반대로 건물 냉방시에는 열펌프나 빙축 열흡이 팬코일(fan coil) 유닛을 통해 순환유체를 냉각시킨다. 이때 열펌프나 빙축 열흡 중 어느 하나만을 이용할 수도 있고 둘다 이용할 수도 있다. 이 경우에는 빙축조(Ice storage tank)내에 냉방용량에 해당하는 열에너지가 충분히 저장되어 있어야 하며 압축기를 사용하지 않고서도 적절한 온도로 필요한 냉방용량(부하)을 공급할 수 있어야 한다.

통합시스템에서 열펌프의 압축기는 빙축조에 제빙을 할 때에만(건물을 난방시킬때)사용하고 빙축조의 얼음을 해동시킬 때(건물을 냉방시킬때)에는 사용하지 않는다. 그러나 일반 지원열펌프시스템은 건물을 난방시킬 때나 냉방시킬 때 모두 열펌프의 압축기를 사용한다. 따라서 통합시스템에 비해 열펌프 압축기의 사용시간이 2배가 된다. 즉 통합시스템의 COP는 지원열펌프시스템의 2배가 된다.

난방위주 건물에서는 필요한 열에너지의 대부분을 열펌프의 압축기가 제공하므로 에너지 소비율이 높다. 냉방위주 건물에서는 열펌프의 압축기를 작동하는 동안 사용한 모든 에너지는 지중열 교환기를 통해 지중에 방열해야 하므로 필요한 지중루프의 길이는 길어지고 지중루프의 온도는 상승하며 이로 인해 결국 열펌프의 냉방성적계수는 감소한다.

근본적으로 통합시스템은 난방시 열펌프의 반대편에서 냉방을 시킬 수 있으며 하나의 열펌프를 이용해서 냉방과 난방을 동시에 실시할 수 있는 장점이 있다. 따라서 통합시스템에서는 순환수가 건물내에서 적당한

난방과 냉방을 공급하도록 필요한 온도를 제공할 수 있어야 한다

열원과 열배출원사이의 온도차는 열펌프의 성능에 크게 영향을 미친다(Fig. 5). 난방시에는 낮은 온도를, 냉방시에는 보다 높은 온도를 유지할 수 있도록 온도차는 분배시스템을 설계할 때 제일 먼저 고려해야 할 사항이다.

건물의 냉난방부하를 잘 이해하는 것 또한 매우 중요하다. 냉난방 설비 규격을 결정하는데 크게 영향을 주는 요인으로는 태양광으로부터 획득되는 열량, 조명용 전등과 전기부하 및 건물 내에 거주하는 사람수 등이다. 계절별 부하가 평형을 이루게 되면, 즉 지중열교환기에서 계절별로 흡수 및 방열되는 열에너지 양이 서로 같으면, 지중루프의 길이는 최대한 축소시킬 수 있다.

빌딩의 냉난방 부하에 미치는 요인으로 기존 기술의 변화도 무시할 수 없다. 크기가 동일한 LCD스크린 컴퓨터의 전기소모량은 CRT(Cathode Ray Tube)스크린 컴퓨터의 그것에 비해 1대당 약 80~100 W 정도 전력이 적게 소모된다(Lorenz, 2005). 예를 들어 300명이 근무하는 사무용 빌딩에서 300대의 컴퓨터를 모두 LCD스크린 컴퓨터로 교체하면 냉방부하는 최소 24 kW($80 \times 300 = 24,000$ W)절약할 수 있다. 이는 빌딩을 난방해야 하는 겨울철에 열획득량이 약 24 kW 남는다는 뜻과 같다. 조명 기술의 변화 또한 냉난방 부하에 크게 영향을 미친다. LED(Light Emitting Diode)전등은 형광등에 비해 50~60%, 일반 전등에 비해 90% 이상의 내부 발열량이 적다. 예를 들어 연 면적이 5,000 m²인 건물에서 사용하는 전등을 모두 LED전등으로 교체하면 내부 발열량은 약 50 kW(5000×10)까지 감소시킬 수 있다.

현재까지 통합시스템은 여러 종류의 빌딩에 적용되고 있다. 대표적인 예로 캐나다의 Manitoba, Winnipeg에 소재한 Pierre교회는 약 3.1 m³의 물을 저장할 수 있는 빙축탱크와 약 42 kW/h(12 RT/h)의 냉방 용량을 가진 2대의 물대물 펌프를 설치 운영하고 있다. 빙축시에는 빙축조가 약 45~52 kW(12~15 RT)의 냉방부하 용량을 공급하며, 일요일 예배시간에는 교회가 완전히 교인으로 차기 때문에 2대의 열펌프와 빙축조를 동시에 가동하여 약 94 kW(26 RT)의 냉방부하용량을 공급한다. 이 냉방 부하량은 빙축조의 얼음이 완전히 녹을 때까지 피크시간대에 약 6.5시간동안 계속적으로 공급할 수 있다. 빙축탱크의 얼음이 완전히 녹은 후(교회 냉방용으로 사용한 후) 그 다음 1주일 사이의 적절

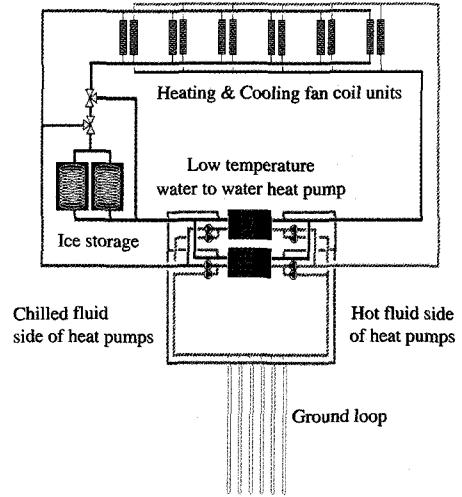


Fig. 3. Schematic diagram showing integrated system incorporated with thermal ice storage tanks, ground loop, and low temperature water to water heat pumps.

한 시간에 열펌프를 이용하여 심야에 빙축탱크내에 들어있는 물을 동결시킨다(심야전기를 이용하여 탱크를 빙축시키는데 소요되는 시간은 약 9시간). 이 때 생성된 폐열은 교회 일부 구간의 난방용으로 사용하거나 난방이 필요치 않을 시에는 지중열 교환기로 방열 저장시킨다. 만일 평일에 교회의 일부 구간이 난방을 필요로 할 때에는 열펌프를 이용하여 지중열 교환기에 저장해둔 열을 추출 이용한다.

Fig. 3은 저온에서 운영되고 있는 4관식 웬코일 분배시스템과 2대의 물대물 열펌프와 빙축조 그리고 지중열 교환기로 구성된 지열-TES통합 냉난방시스템의 모식도이다. 열펌프는 빙축조를 냉각시켜 제빙을 한다. 그런 다음 열펌프나 빙축조가 냉각수를 직접 웬코일 유니트로 송수하여 빌딩을 냉방시킨다. 냉방이나 제빙을 하지 않을 때는 지중열 교환기에서 열에너지를 추출 이용한다. 난방을 할 때에는 생성된 열을 웬코일 unit에 방열시켜 빌딩난방을 하고 난방을 하지 않을 때에는 지중열 교환기로 열을 방열시킨다(Fig. 3).

TES를 가장 유용하게 적용할 수 있는 곳은 빙상 경기장(스케이팅장, 하키장, 아이스링크), 온천장, 한증탕, 교회 및 학교 등을 위시하여 냉방부하가 피크 난방부하보다 훨씬 큰 중대형 사무용 빌딩 등이다. 빙상 경기장의 빙면은 항상 영하 6~8°C를 유지해야 가장 좋다. 아이스링크를 자주 사용하는 시기에는 전등이나, 빙면위에서 행해지는 제반활동 등이 빙면에 열을 가하기 때문에 빙면을 주기적으로 손질해야 하며 지속적인

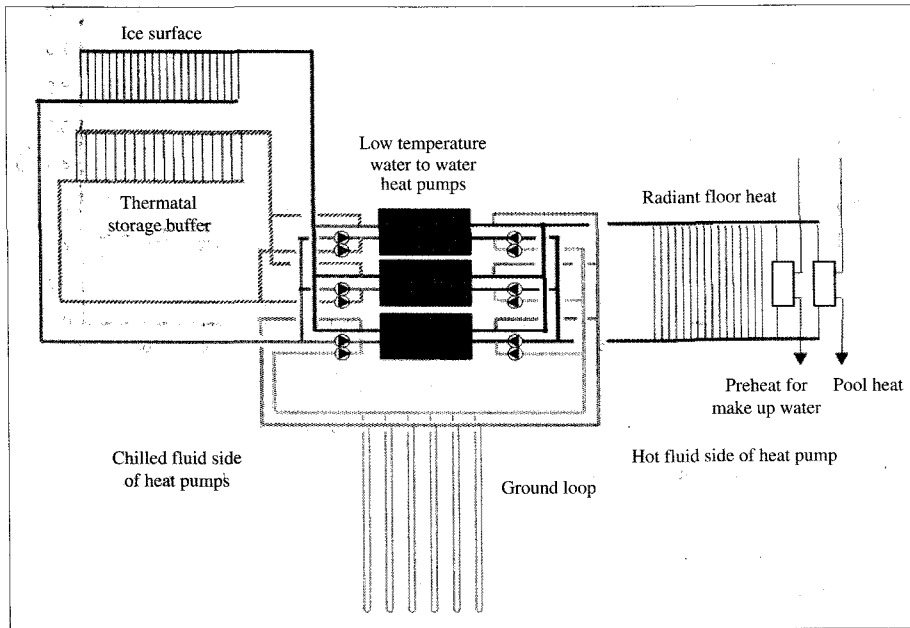


Fig. 4. Schematic diagram showing low temperature heat pumps in an integrated geothermal ice rink system.

로 빙면에 생긴 열을 제거시켜 주어야 한다.

만일 빙면을 제외한 경기장의 다른 구간에 난방이 필요하거나 샤워용 온수 및 급탕이 필요한 경우에는 제빙시 열펌프에서 생성된 온수를 경기장 관람석 바닥에 직접 순환시켜 바닥난방을 하거나 열교환기에 보내 온수를 생산 공급할 수 있다.

얼음을 사용하지 않거나 빙상에 필요한 열에너지 부하가 소량일 때에는 빙면바닥 밑에 설치해둔 빙면하 열저장 확대구간(thermal storage buffer, 통상 빙면하에 콘크리트 냉열저장구간을 두텁게 부설한 구역)으로 부터 이미 축적되어 있는 빙열을 추출 이용할 수 있다. 빙면하 열저장 확대구간은 캐나다, 미국 및 한국에서 이미 특허가 등록된 기술이다. 빙면하 열저장 확대구간의 온도는 통상 빙면보다 3~4°C 낮다. 빙면하 열저장 확대구간을 냉동시켜 놓으면 그 다음날 피크시간에 필요로 하는 빙면온도를 유지시킬 수 있으며 이는 얼음을 많이 사용하지 않는 시간동안 빌딩의 열원이 되기도 한다. 빙면하 열저장 확대구간이 충분히 냉동되고 얼음온도가 만족할 정도가 되면 지중열 교환기는 열원으로 사용한다. 즉 빙면이나 빙면하 열저장 확대구간이 냉동된 후 빌딩이 사용하지 않는 냉열은 지중열 교환기에 방열 저장한다.

이와 같은 개념을 적용한 통합 냉난방 시스템은 캐나다와 미국 전역에 걸쳐 약 50개소의 하키장과 커링

(Curling)경기장에서 성공적으로 설치 운영되고 있으며 이 경우에 에너지 사용량은 전통적인 HVAC시스템과 냉동설비에 비해 약 35~65% 절감된다.

열펌프는 빙면하부에 설치된 열저장 확대구간이나 지중열 교환기 및 아이스링크의 빙면에서 열을 추출한다. 그러나 생성된 열을 필요로 하지 않을 때에는 빌딩의 열방사형 바닥난방 시스템이나 지중열 교환기에 직접 열을 방열시켜 난방용으로 이용한다(Fig. 4).

3. 시스템 설계요인

3.1. 분배시스템이 시스템 효율에 미치는 영향

열펌프의 효율은 열원과 열배출원사이의 온도차(ΔT)에 직접 비례한다. 즉 ΔT 가 증가하면 열펌프의 효율과 용량을 감소한다. 온천지역에서 순환펌프를 사용하지 않아도 될 정도로 충분한 수압하에서 용출되는 40°C의 온천수는 펌프동력이 전혀 필요하지 않는 시스템으로 설계할 수 있다. 즉 이때의 COP는 무한대의 값을 갖는다. 그러나 순환펌프를 이용하여 시스템내에서 순환수를 순환시키기 위해 추가 압력이 필요하거나 41°C의 온수가 필요한 방식으로 분배시스템을 설계하는 경우에는 추가 에너지가 필요하며 이때 COP는 측정 가능한 값을 갖는다. 만일 시스템의 수두압 감소가 너무 커서 보다 큰 규모의 순환펌프를 사용해야 하는 경우

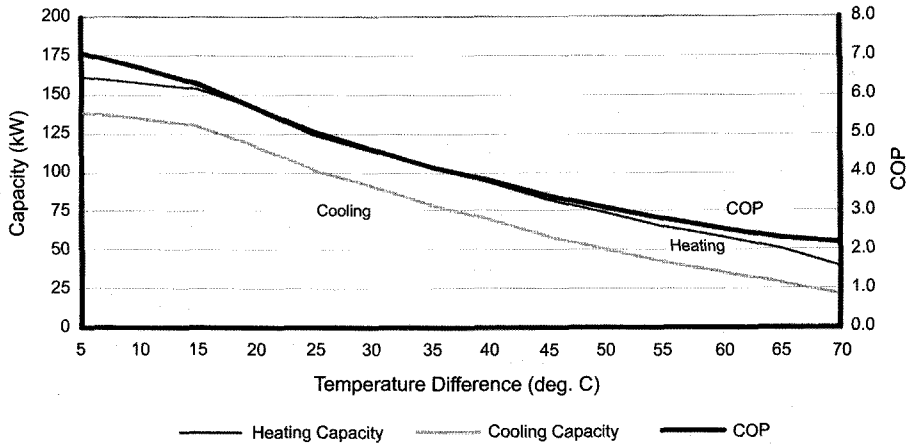


Fig. 5. The effect of the ΔT (temperature difference) between the heat source and the heat sink on capacity and efficiency of a heat pump.

에는 추가적으로 투입해야 할 에너지가 더 많이 소요 되고 이로 인해 COP는 감소한다.

따라서 지원열펌프시스템을 설계할 때 분배시스템 (distribution system)도 적절하게 설계해야 한다. 4관 식 배관시스템의 웬코일 시스템의 경우, 냉방시 웬코 일 유니트가 필요로 하는 수온은 가능한 한 낮은 온도 이어야 하고 반대로 난방시 웬코일 유니트가 필요로 하는 수온은 가능한 한 높도록 해야 한다. 방사 바닥 난방 시스템에서 배관 간격, 빌딩의 단열값, 빌딩의 내부 부하등은 모두 지원열펌프시스템 효율에 영향을 미치는 요인들이다.

국내에서 지중열과 TES통합시스템을 적용하기 가장 적합한 분야를 들면 다음과 같다.

- 스케이트, 아이스하키장과 같은 실내 빙상 경기장.
 - 온천장 및 대중 사우나탕(한증탕)의 난방, 급탕 및 냉방:
- 냉난방용 보일러의 일부를 물대물 열펌프로 대체하여 복합시스템(hybrid system)형식으로 난방과 급탕을 실시하면 재래식의 난방 급탕비를 획기적으로 절감시킬 수 있다. 뿐 만 아니라 물대물 열펌프의 냉순환 회로측에서 생성된 냉열을 이용하여 냉방이 필요한 구역에 냉방을 시키는 물론 냉수를 공급하여 에너지 효율을 극대화시킬 수 있다.
- 4관식 배관으로 동시 냉난방을 실시하는 호텔과 여관 등.
 - 해수 및 담수 양식장

3.2. 지중열 교환기의 규격

지중열 교환기와 TES를 연계시킨 HVAC/R시스템을

적절히 적용하면 전통적인 지원열펌프시스템에 비해 전체 열펌프의 규모를 축소시킬 수 있다. TES를 이용하면 피크 냉방용량을 충족시키기 위해 사용해야 할 설비량의 약40~60%를 감축시킬 수 있기 때문에 결국 필요한 지중루프의 길이를 축소시킬 수 있다.

예를 들어 여름철의 사무용 빌딩은 재실자들이 빌딩 내에서 근무하는 주 5~6일 동안에 생성된 재실자의 인체 발열량, 이 기간동안 건물내에서 사용한 조명전등 및 컴퓨터의 발열량과 태양으로부터 획득한 열량을 근거로 하여 피크 냉방 부하를 구하고 이를 바탕으로 건물 냉방을 하게 된다. 근무자들이 사무실에 도착하여 일을 시작하는 시간부터 부하는 걸리기 시작한다. 그러다가 이른 오후에 피크 부하에 도달한 후 재실자들이 빌딩을 떠나는 퇴근시 부터 피크 부하는 감소한다.

지중열 교환기의 규격은 루프온도가 너무 상승하지 않도록 하루 7~8시간 동안의 피크 냉방부하에 알맞게 설계를 해야 한다. 전체 냉방 부하가 시스템내에서 동일하게 분산 공급될 수 있도록 설계를 하되 24시간 주기로 골고루 부하량을 분산시키면 지중루프의 온도는 그렇게 크게 상승하지 않는다.

Table 2는 사무실 재실자들의 인체 발열량, 조명전등 및 컴퓨터로 부터 발생된 내부 획득 열량 등이 있는 사무용 빌딩의 전형적인 피크 냉난방 부하와 상술한 냉난방 부하를 TES와 연계시켰을 경우와 연계시키지 않았을 경우의 시나리오별로 열획득과 손실량을 나타낸 표이다.

- 시나리오-1: 피크 냉방과 난방 부하에 부합되게 열펌프의 규격을 결정한 지열냉난방 시스템(TES와 연계시키지 않은 경우)

Table 2. Typical cooling and heating for an office building with high internal gains from occupants, lights, and computers (for the calculation of ground loop length).

Time	Peak B/D loads		Without TES		With TES		Remarks
	Cooling kW	Heating kW	Heat gain(kW)	Heat loss(kW)	Heat gain(kW)	Heat loss(kW)	
8am-Noon	1,360	60	340	15	165	15	
Noon-4pm	1,520	0	380	0	165	0	
4pm-8pm	360	120	90	30	165	30	
8pm-8am	720	1,800	60	150	165	150	
	Equivalent fall(h)		1,400	1,200	3,800	1,000	
Daily loads(kW)	3,960	1,980					
Annual loads(10 ³ kWh)	5,544	2,376					

Table 3. Input parameters to calculate ground loop length using GchpCalc program and calculated results.

Input parameters	Loop length(m)
Heat pump flow rate per RT : 11.34l pm(3 gpm)	Scenario-1. (Without TES) Bore hole length based on heat pump sized for peak cooling loads without ice storage: 82 m
EWT _{min} : -4°C EWT _{max} : 30°C Undisturbed ground temperature (t _g): 10°C Thermal conductivity of formation: 2.25 W/m.°C(1.3 Btu/h ft °F) Diffusivity of formation: 0.07 m ² /day(0.75 ft ² /day) Grout conductivity : SDR11의 25 mm경 Bore hole dia.: 100 mm Bore hole configuration: 1×10×6 Bore hole spacing: 6.1 m(20 ft)	
	Scenario-2. (With TES) Heat pumps sized for peak heating load and average cooling load over 24 hours during design cooling day: 57 m $\therefore \frac{82-57}{82}=30\%$

Remarks EWT_{min}=10-(8.5±2.5)=-1~4°C(used -4°C)
EWT_{max}=10+(14±3)=21~27°C(used 30°C)

- 시나리오-2: 피크난방부하와 피크설계 냉방일 동안 평균 냉방부하에 부합되게 열펌프 규격을 결정 한 지열냉난방 시스템(TES와 연계시킨 경우)

Table 2는 TES운영이 건물 냉난방 부하에 미치는 영향을 나타낸 표이며 Table 3은 필요한 지중루프의 길이에 미치는 영향을 나타낸 표이다. Table 3은 이 건물의 피크 냉난방 부하에 부합되는 지열열펌프시스템 규격은 물론 TES시스템을 연계시킨 후 설계 냉방일의 24시간 주기 동안의 평균 냉방부하와 피크 난방 부하에 알맞게 설계를 한 지열시스템이 필요로 하는 수직천공 규격을 산정하기 위해 사용한 GchpCalc프로그램(Kavanaugh and Rafferty.1997)의 입력자료와 결과이다.

이 빌딩의 피크냉난방 부하에 부합되게 설계를 한 지열시스템에 비해 빙축조를 연계시킨 통합시스템이 필요로 하는 지중루프의 길이는 약 30%정도 짧다.

4. 통합시스템의 장점과 효과

Table 2와 Table 3에 제시한 바와 같이 HVAC/R시

스템에 지중에너지(지열열펌프시스템)와 TES를 연계시켜 운영을 하면 다음과 같은 에너지비, 에너지 소모량, 초기투자비 및 빌딩의 life cycle를 줄일 수 있고, 환경 개선 효과가 있다.

4.1. 환경개선효과

기존 빌딩에 설치된 HVAC시스템의 냉동기를 TES나 지중열 교환기에 서로 연계시켜 일종의 통합 시스템으로 운영하면 빌딩의 에너지 성능은 다음과 같이 월등히 개선된다.

- GEO/TES 시스템은 전통적인 냉동기나 중앙 집중식 물대물 열펌프시스템 및 터미널 열펌프 시스템에 비해 냉방시 피크 전력 부하를 40~60%정도 절감시킬 수 있다.
- 분리형 시스템이 필요로 하는 유류보일러와 같은 설비는 설치하지 않아도 된다.
- 냉방과 난방을 동시에 실시하면 저온의 물대물 열펌프시스템의 효율을 크게 향상시킬 수 있다.
- 에너지 저장조용으로 지중열 교환기를 사용하거나 TES와 연계시켜 사용하면 위에서 언급한 기회들을 더 많이 가질 수 있다.

Table 4. The mass(Kg) of CO₂ emission per kWh in various electrical generation.

Kilograms CO ₂ /kWh	Hydro-electric or nuclear	Mix of generation	Heavily coal & oil gen.	Remarks
CO ₂ gas emission	0.01~0.03	0.25~0.5	0.75~1.00	

(Direct CO₂ emissions only. Hidden resource extraction and life cycle emissions are often not taken into account in these estimation.)

환경 개선효과로는 다음과 같이 온실가스 방출량을 감소시킬 수 있고, 설비의 유지보수비를 대폭 절감시킬 수 있다.

4.1.1. 온실가스 방출량의 감소

빙축조와 지중열에너지를 연계시킨 통합시스템을 적용하면 빌딩으로부터 온실가스 발생량을 대폭 감축시킬 수 있음은 물론 냉방과 난방을 동시에 수행할 수 있는 기회가 많아지므로 에너지 소모량을 감소시킬 수 있다.

① Table 4는 1kW의 전력을 생산할 때 생성되는 CO₂가스 방출량을 kg으로 나타낸 표이다(Lorenz, 2005).

Table 4에 나타난 바와 같이 적은 양의 전력을 사용하면 발전소에서 방출되는 온실 가스량도 감소한다. 직접적인 시간당 전력 감소에 부가해서 대다수의 발전설비들은 기본부하에 도달할 때 까지는 가장 깨끗한 발전 설비를 사용하는 경향이 있다. 즉 피크 전력 부하에 가까워질 수록 발전설비의 운영비는 상승하고 저질의 에너지를 사용하게 된다. 피크 전력시 사용한 kWh는 일반적으로 CO₂가스를 더 많이 배출한다.

일부 발전소들은 송전선이 약간만 손실되어도 원거리까지 전력을 보낼 수가 없다. 따라서 피크 시간대에 필요한 전력량을 피크시간대가 아닌 일반시간대로 분산시

킬 수 있는 시스템을 최대한 활용하도록 해야 한다.

4.1.2. 설비 유지 보수

보일러, 순환펌프, 열펌프, 냉동기 및 복잡한 제어장치와 같은 설비는 사용하는 대수가 적을수록 유지 보수비는 적게 든다. 즉 보일러를 사용하지 않거나, 정비를 해야 할 보일러가 없거나, 추후 교체할 보일러가 없거나, 펌프를 사용하지 않아도 되거나, 교체할 공간의 개수가 소량이거나, 다시 감아야 할 모터의 숫자가 적거나, 문제가 되는 압축기의 개수가 적은 열펌프들은 통상적인 경우보다 유지보수가 적게 든다.

수리해야할 설비가 적을수록, 수리를 위한 전화비, 수리공의 출장비 및 교체부품비가 적게들 뿐만 아니라 궁극적으로 환경에 미치는 영향 또한 최소화시킬 수 있다.

냉방과 난방용으로 동일한 설비를 사용하는 시스템은 (특히 가정용 급탕의 경우처럼) 대체적으로 장비 대수가 적다. 냉난방을 동시에 실시하는 통합시스템은 전통적인 냉난방시스템에 비해 필요로 하는 기계실 면적이 적게 들기 때문에 남는 공간은 사무실이나 다른 용도로 이용할 수 있다. 빙축조도 설치 공간이 있어야 한다. 그러나 설치지점은 다른 기계장치들이 필요로 하는 공간에 비해 상당히 융통성이 있어 빌딩외곽의 지표면

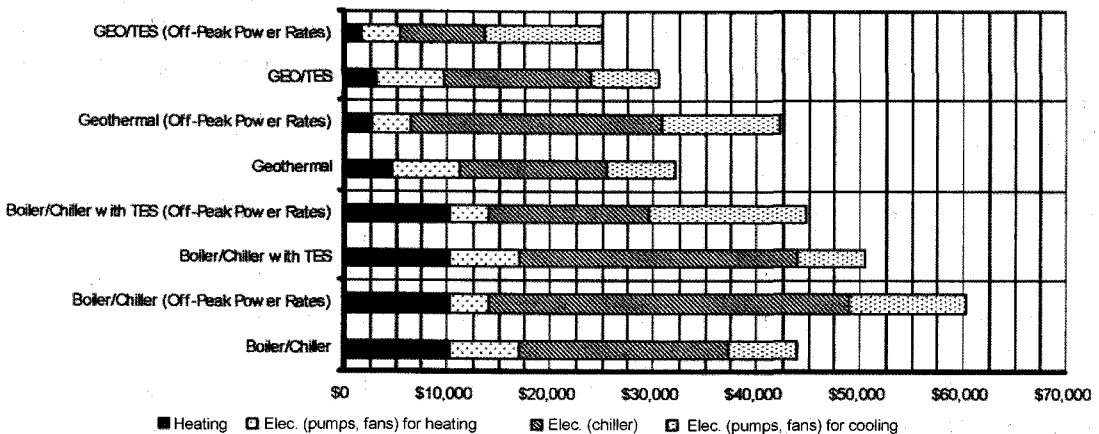


Fig. 6. The effect of off peak electrical rates compared to standard electrical rates on conventional boiler/chiller system with and without TES and geothermal system with and without TES in a typical 5,000 m² office building.

이나 빌딩내부나 외부의 잔여 공간에 매설해도 된다.

4.2. 에너지 비용 효과

전력요금은 사용량이나 사용시간(피크시간, 야간시간)에 따라 지불한다. 가능한 한 열펌프의 냉온수 양측면을 동시에 사용하게 되면 전력소모량과 전력필요량에 상당한 절감효과가 있다.

Fig. 6은 1,510평(5,000 m²)규모의 사무용 빌딩에 TES를 적용했을 경우와 적용하지 않은 지열시스템의 경우 및 TES를 적용 또는 적용치 않은 전통적인 보일러/냉동시스템들이 사용하는 표준 전력비와 피크시간이 아닌 시간대의 전력료를 도시한 그림이다.

(단, 표준기본전력료:0.06 \$/kWh, 피크시간요금:0.1 \$/kWh, 일반시간대 전력료:0.04 \$/kWh기준, Canada)

이 그림에서 피크시간이 아닌 일반시간대에 보일러/냉동기를 냉난방용으로 사용할 때의 전력료가 가장 비싸다. 만일 이 시스템에 TES를 동시에 적용하면 일반시간대(오프피크)의 에너지 비용은 약 25%절감 된다.

일반시간대에 지원열펌프시스템의 소요전력요금은 전통적인 보일러/냉동기를 사용할 때 보다 약 29.2%저렴하다. 그러나 지원열펌프시스템에 TES를 연계시켜 사용하면 일반시간대의 소요 전력료는 지원열펌프시스템만 사용할 때보다 약 41%, 전통적인 보일러/냉동기를 사용할 때 보다는 약 58.3%정도 저렴하다.

4.2.1. 일반시간대의 전력료

우리나라를 위시해서 대다수 선진국들은 전력을 최대 사용하는 낮 시간대에 비해 야간과 같은 전력소비가 적은 밤시간대의 전력 요금이 싸다. 피크시와 일반시간의 kWh 당 전력요금은 나라마다 다소 차이가 있긴하나 3~5배 정도이다.

빙축조는 통상 일반시간대의 전력요금이 가장 저렴한 야간에 제빙을 하고 그 다음날 피크시간대에 이를 냉방용으로 사용한다. 따라서 최대 냉방기간 동안에는 냉수를 웬코일로 송수하기 위해 단지 순환펌프만 운전하여 건물냉방을 하므로 건물 냉방에 사용할 에너지는 대폭 절감된다.

제실자들이 건물내에 거주할 주간 시간대의 냉동기 사용은 전등이나 컴퓨터와 같은 기타 기기의 전기사용 시간대와는 일치하지 않는다.

4.2.2. 절약된 전력 소비량

하나의 열펌프가 냉수와 온수를 동시에 생산 공급할 경우, 시스템의 COP는 현저히 증가한다. 따라서 이 경

우에 단 몇 kW/h의 전력만 사용하더라도 공간의 공기 조화와 온수 급탕을 할 수 있다. 빙축조에 제빙을 한 후 얼음으로부터 추출한 잠열을 이용하여 필요한 공간에 열에너지와 샤워용 온수를 공급하게 되면 결국 시스템 COP는 증가하고 전력료는 절약된다. Fig.7은 전력에너지 소모량의 감소 현상을 나타낸 것이다.

Fig. 7a는 전통적인 가스보일러/냉동기(가스보일러/전기냉동기)를 사용하여 냉난방을 하는 빌딩의 시간대별 최대에너지 분포를 나타낸 그림이고 Fig. 7b는 최대 냉난방 부하에 부합되게 설계한 전통적인 지열시스템의 시간대별 최대 에너지 분포도이며 Fig. 7c는 빙축조와 연계시킨 지열통합시스템(GEO/TES)의 시간대별 최대 에너지 분포를 도시한 그림이다.

이들 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 전력을 최대 사용하는 주간의 최대 전력부하는 Fig. 7-a에서 Fig. 7-c로 감에 따라 현저히 감소하는데 비해 Fig. 7-b와 Fig. 7-c사이의 야간시 난방용 전력부하는 거의 비슷하다. 특히 화석연료를 사용하는 전통적인 가스보일러/냉동기의 난방 전력부하에 비해 통합시스템의 전력부하는 현저히 낮다.

빙축조나 빌딩에서 추출한 폐열이나 지중열 교환기에서 추출한 지열을 이용하여 필요로 하는 각종 열에너지를 얻을 수 있다. 따라서 통합시스템을 공간 냉난방이나 온수 급탕용으로 활용하면 화석연료의 사용량을 줄일 수 있다.

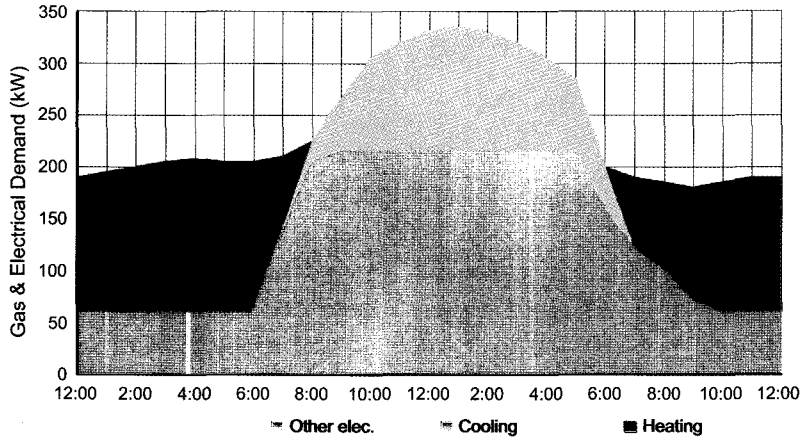
4.3. 초기투자비 효과

지열냉난방 시스템을 적용하는데 있어서 가장 장애가 되는 요인은 시스템 설치에 필요한 초기투자비 즉 지중열 교환기 설치비가 추가로 들어간다는 것이다.

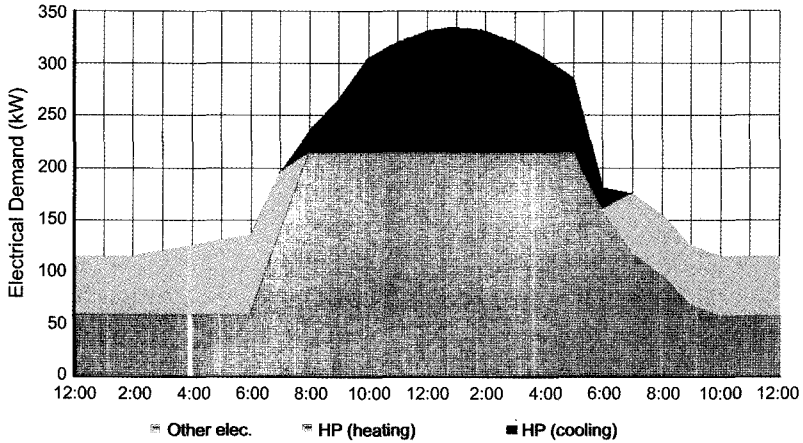
TES를 사용하면 빌딩에 필요한 열펌프시스템 용량을 40~60%까지 축소시킬 수 있고, 덕트 시설의 공간을 총 당 약 20cm(윤동원, 2005)씩 줄일 수 있다. 따라서 통합시스템에서는 열펌프대수와 그 부속 설비의 설치 개수가 적어지므로 기계실의 소요 공간 면적도 축소시킬 수 있다.

기본적으로 통합지열-열에너지저장조(Integrated GEO/TES)냉난방시스템은 최대냉난방 부하를 토대로 하여 설계한 지원열펌프시스템에 비해 지중루프의 규모나 비용을 약 35~65%정도 절감시킬 수 있다. 지중열 교환기 길이를 줄일 수 있다는 사실은 바로 TES를 연계시킨 지원열펌프시스템은 경제성이 있고, 시스템의 선택기준이 될 수 있다.

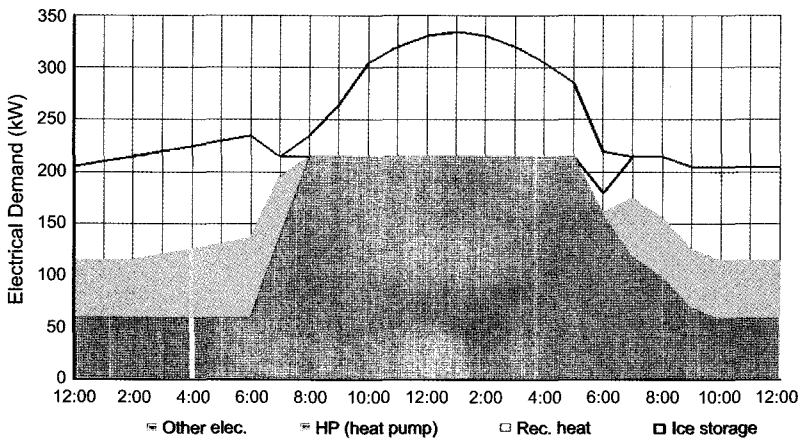
통합지열-열에너지 저장조 냉난방 시스템은 지중열



(a) Conv. Boiler/Chiller



(b) Conv. Geothermal



(c) Geo with Ice Storage

Fig. 7. The peak energy load profile of a building with large gas boiler and chiller, a conventional geothermal system designed to meet peak heating and cooling load, and a geothermal system integrated with an ice storage system.

교환기에만 의존하는 지원열펌프시스템의 공간적인 가용 부지 문제와 수문지열계의 지질조건들의 제약요인을 해소할 수 있는 최신 기법이다.

기존의 냉난방 시스템은 냉난방부하가 서로 다른 빌딩구간에도 확실히 동일한 양의 열 에너지를 공급하므로 저효율 및 고에너지 설비 시스템이다.

TES를 연계시킨 통합 GEO/TES시스템은 TES탱크 설치비가 추가로 소요된다. TES와 지중열 교환기를 기존 HVAC/R시스템에 연계시켜 이용할 때 소요되는 초기투자비는 전통적인 지원열펌프시스템의 초기투자비보다는 훨씬 저렴하다. 따라서 GEO/TES시스템은 초기투자비 면에서도 전통적인 보일러/생동기 시스템과 충분히 경쟁할 수 있는 시스템이다.

5. 결 론

대다수 빌딩은 내부 획득열 때문에 간혹 최저온도 설계일 동안에도 냉방을 해야 하는 고유의 냉난방 부하 프로파일을 가지고 있다. 빙축열 시스템은 최대 냉동기 용량을 줄일 수 있고 이를 지중열 교환기와 지원열펌프 시스템과 연계해서 사용할 때는 시스템의 효율이 증가한다. 특히 빙축조를 냉, 온저장 기회를 제공하는 고열 매체빌딩과 연계시켜 사용하면 냉방과 난방을 동시에 실시함은 물론 시스템의 효율을 증대시킬 수 있다.

빙축조와 고열 매체 빌딩은 일간 냉난방 주기시 효율을 제고하기 위해 시스템과 연계시키는데 비해 지중열 교환기는 계절별 열에너지 저장조의 장점을 이용하기 위해 시스템과 연계시킨다.

결론적으로 통합 지열-열에너지저장조(GEO/TES)시스템은 초기투자비, 에너지비용 및 운영 관리비를 최대한 경감시키고 해당 건물의 환경영향을 최소화시킬 수 있는 에너지 절약형 및 환경 친화적인 냉난방 시스

템이다.

사 사

본 논문은 한국수자원공사의 위탁사업으로 시행중인 강변연과수(충적층 및 하상)지열 자원 활용 기술의 일환으로 지원열펌프시스템을 빙축열조와 연계시킨 통합 지열 및 열에너지저장조 냉난방시스템에 관한 최신연구 내용이다. 특히 본문 작성에 필요한 자료를 제공해 준 캐나다의 Ice Cube Incorporation과 한국의 (주)씨엔이(CNE)에게 심심한 감사를 드리는 바이며 본 논문 심사과정에서 적절한 지적과 수정을 해주신 익명의 심사위원님께 심심한 감사를 드린다.

참고문헌

- 한정상, 한혁상, 한찬 (2005) 지열펌프 냉난방 시스템(중판). 도서출판 한빛원, 9-3-4, p. 10-39.
- Lorenz, E. (2005) Integrated Geothermal Ice Storage System. Ice Cube System, Canada, p. 1-13.
- 건설교통부 (2005) 지하수 조사연보. 한국수자원공사, p. 5-25.
- 윤성규 (2004. 8) 신재생에너지 개발보급 및 향후 정책방향(10주년정책 기념식 및 정책 토론회. 국회환경포럼, p. 23-32.
- Kavanaugh, S.P. and Rafferty, K. (1997) Ground Source Heat Pumps: Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc., p. 46-51.
- 이원갑 (2005. 6) 고유가와 에너지절약의 복고바람. 에너지관리공단 서울지사, 에너지경제.
- 홍대선 (2005. 6) 대체에너지개발 20년째 제자리걸음. 한겨레.
- 윤동원 (2005. 6) 지열이용 하이브리드 열펌프 시스템의 구조 및 유형별 특성. 에너지기술 인력 양성센터, p. 16-18.

2005년 8월 4일 원고접수, 2005년 12월 20일 게재승인.