

냉·난방 시스템의 부하관리 프로그램 적용 타당성 검토

손학식* 김희철* 김형중* 허동렬** 박종배*** 신중린***
*에너지관리공단 **주)뉴그린테크 ***건국대학교

Feasibility Study in Application on Load Management of Cooling or Heating Systems

H. S. Son* H. C. Kim* H. J. Kim* D. R. Hur** J. B. Park*** J. R. Shin***
*The Korea Energy Management Corporation **NewGreenTech. Ltd. ***Konkuk University

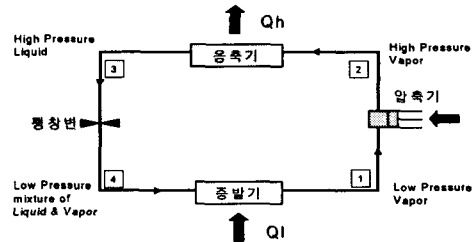
Abstract - We suggest that the core factor which can be established successfully pushing ahead with domestic load management program is finding and keeping management of controllable load resources. We know that load management is mostly the maximum demand power management and participation of DLC program. This paper suggests the way coping with load management suggesting model which air conditioning and heating load facilities are applied to DLC program.

품질에 영향이 없는 냉·난방 부하(히트펌프 시스템)를 위주로 수요관리 프로그램을 적용하여 타당성을 검토하였다.

2. 히트펌프 시스템

2.1 히트펌프의 원리

히트펌프는 그림 1의 압축기-응축기-팽창변-증발기로 4사이클을 반복하면서 저온의 열을 회수하고 압축기 동력을 부가하여 필요한 고온의 열을 생산하여 이용하는 장치이다.



[그림 1] 기본적인 히트펌프 사이클

히트펌프는 전력을 사용하여 온열을 발생한다는 의미에서는 전기히터와 동일하나 히트펌프는 외부의 열을 회수하기 때문에 회수된 열 만큼의 전력소비가 줄어든다. 일반적으로 성적계수(COP : Coefficient of Performance)로 성능을 표시하는데 이는 출력열량을 입력전력으로 나누어 계산한다. 따라서 전기히터는 COP가 1이며 히트펌프에서는 증발기에서 회수되는 열량(온도, 상태)에 따라 변하지만 대략 COP가 3~5정도 되므로 전기히터보다 3~5배의 열을 더 발생시킬 수 있다.

2.2 히트펌프의 부하산출 방식

해석방식은 HVAC포함여부에 따라 Energy rate control과 Temperature level control로 구분된다. Energy rate control의 경우에는 설비 및 제어 특성과 무관하게 건물 자체에 의해 열부하가 결정되므로 건물의 열성능을 비교하는 데 적합하다. 반면에 Temperature level control의 경우에는 실제 냉난방기기에서 공급 혹은 제거할 수 있는 열량이 직접적으로 반영되므로 건물 설비의 영향이 포함되는, 실제 상황의 열부하 및 운전모사가 얻어진다. 따라서 열펌프의 냉난방 성능 시뮬레이션을 위해서는 반드시 이 방식에 의해야 한다.

2.2.1 Energy rate control

동적 열부하계산과 관련하여 어떤 time step에서 실내를 냉난방하지 않은 상태로 두었다고 가정하고 외부 열손실로 인해 계산된 실내온도가 설정된 온도범위를 벗어나는 경우 계산된 온도가 설정온도까지 상승(또는 하강)시키는데 필요한 열량을 열부하로 취한다. 이러한 방

1. 서 론

전력수요는 장기적으로 산업구조의 변화와 국민생활 수준 향상에 따라 증가하고 이러한 전력수요의 증가는 정부의 정책과 경제활동 및 국제 경기 변동에 영향을 받게 된다. 현재 우리나라는 전원입지를 확보하기가 곤란한 시점이고 국제적인 환경규제가 강화되고 있으며, 발전소 건설에 막대한 투자 재원이 필요한 시점이다. 이는 지금까지 냉방부하의 증가율을 감안할 때 더욱 더 가파른 추세로 증가할 것으로 예상되므로 그 어느 때보다도 효율적이고 능동적인 부하평준화 대책이 요구되어 진다.

이미 선진국에서는 1970년대부터 다양한 수요관리 프로그램에 의해 부하관리를 실시하여 통합자원계획의 일환으로 추진하고 있어, 효율적인 부하관리시스템 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 국내에서도 전력산업 여건이 변화되어 수요관리의 기능이 강화될 것으로 예상되어 추가적인 신규 프로그램 개발이 필요하다.

이때 "직접부하제어"라는 수요관리자원을 활용하여 공급자원의 불확실성에 대비하고, 전기요금 폭등을 방지하고자 하는 수단으로서의 발전방향을 제시하고자 한다. 또한 성공적인 부하관리사업을 위해 민간의 역할이 중요하게 대두되고 있으며, 부하가 전력시장에 진입하여 자원화가 될 때, 국가적인 전력수급 안정화를 도모할 수 있으며, 수요관리를 통한 에너지이용합리화를 도모할 수 있을 것으로 보인다.

따라서 본 논문에서는 건물 및 산업분야 냉·난방설비를 직접부하제어 자원으로 활용하여 최대수요 감소, 전력손실 감소, 고효율 설비이용 및 최대수요 요금 감소 등의 타당성을 고찰하고자 한다. 수요관리의 한 방법으로서 최대수요 억제(Peak Clipping) 및 최대부하 이전(Load Shifting)을 적용하여 부분적인 최대 및 피크 기간 부하를 설비의 사용시간을 이동함으로써 최대수요 기간 동안 부하를 줄이는 방법을 채택하였다. 이와 같이 부하를 이동함으로써 생산제품 품질 및 생산량에 대한 변동없이 부하평준화에 기여하고자 한다.

건물 및 산업현장에 필수적으로 이용하고 있는 냉·난방 부하는 설비특성에 따라 다르지만 냉·난방 부하의 부하율이 대부분이 5~10%를 차지하고 있는 것으로 조사되고 있다. 이는 제조회사의 특성에 따라 생산에 직접적인 영향이 있는 냉·난방 부하를 배제하고, 생산 및

식으로 실내온도를 유지시키는 제어방식이 Energy rate control이다. 편의상 난방부하만 고려하면 다음과 같이 표현된다.

$$C_r \frac{dT_r}{dt} = Q_{surf} + Q_v + 0.3Q_{speople} + Q_k + Q_z \quad (1)$$

$$Q_{heating} = MC_p(T_{set} - T_r) \quad (2)$$

C_r : 실내의 열용량

($C_r = V_r \cdot \rho \cdot C_p = M \cdot C_p$: V_r 실내체적, ρ 실내공기밀도, M 실내공기의 총 질량)

T_{set} : 설정온도, T_r : 실내온도

Q_{surf} : 벽체 및 창문을 통한 열손실

Q_v : 환기에 의한 열손실(열취득)

Q_{inf} : 침입공기에 의한 열손실(열취득)

$Q_{heating}$: 필요 열량

$Q_{speople}$: 인체발열에 의한 열취득

Q_k : 내부기기발열에 의한 열취득

Q_z : 인접세대와의 열교환

식(1)에서 우변들의 항들이 벽체 및 창문을 통한 열손실, 환기에 의한 열손실 등이며 난방기에서 공급하는 열량은 포함되어 있지 않다. 식(1)로부터 어느 순간의 실내온도 T_r 가 구해지면, 식(2)로부터 T_{set} 만큼 상승시키는 데 필요한 열량 $Q_{heating}$ 이 구해지며 난방부하가 된다.

2.2.2 Temperature level control

어떤 time step에서 열원기기(보일러, 열펌프, 태양열, 보조히터, 보조 냉동기 등)를 작동시킨다고 가정하고, 열손실량과 열공급량에 대한 열평형식을 세워 이로부터 실내온도를 계산한다. 제어기에서 설정된 온도범위(난방의 경우 20~22℃) 내에 계산된 온도가 포함되는 경우 이 상태에서 공급한 열원기기의 열량이 열부하가 되나, 포함되지 않는 경우에는 열원기기의 상태를 바꾸어 (ON이면 OFF, OFF이면 ON) 만족한 상태가 될 때까지 계산을 반복해서 수행한다.

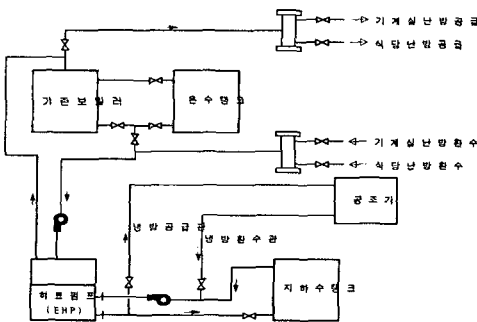
$$C_r \frac{dT_r}{dt} = Q_{surf} + Q_v + 0.3Q_{speople} + Q_k + Q_z - P_i \quad (3)$$

P_i : 냉난방기기에서 제거 또는 공급되는 열량

식(1)과 달리 냉난방기기에서 공급 또는 제거하는 열량 P_i 를 포함시킨 식(3)으로부터 실내온도 T_r 이 구해지며 위의 조건이 만족되면 P_i 가 설비에서 공급한 열부하가 된다.

2.2.3 히트펌프의 적용시스템

B역사에 설치된 히트펌프 시스템은 그림 2와 같다.



[그림 2] B역사 히트펌프 시스템

기존의 터보냉동기를 가동하여 변전실에 냉방을 하고 있었으며, 식당 및 기계실은 보일러를 가동하여 난방을 하고 있었다.

이에 폐열(상수도)을 이용한 30RT급 히트펌프를 설치하여 변전실 냉방 및 식당, 기계실, 화장실 난방을 하였다.

3. 시뮬레이션 및 결과고찰

3.1 히트펌프 시스템의 용량 선정

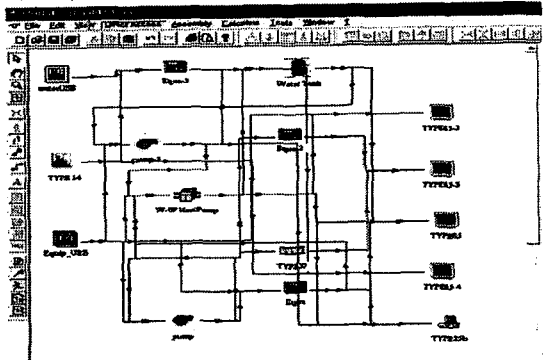
폐열 열원 히트펌프의 경우에는 이용가능한 물의 양과 온도가 열량을 결정하게 되므로 이에 대한 검토가 필요하다. 히트펌프 유닛이 이용할 수 있는 유입 열원수의 최저 온도가 정해져 있으므로 이 온도를 확인해야 하며 히트펌프가 이용할 수 있는 최대 열량은 유입되는 열원수의 온도와 히트펌프가 이용할 수 있는 최저 온도와의 차이에 유량을 곱한 값이 된다.

$$Q = m' \cdot c_p \cdot (T_{ent} - T_{min}) \quad (4)$$

여기서, Q : 이용 가능한 열량 (kcal/시간), m' : 유량 (kg/시간), c_p : 비열 (kcal/kg℃)으로 물의 경우는 1임, T_{ent} : 히트펌프로 유입되는 물의 온도(EWT) (℃), T_{min} : 히트펌프 유닛이 설계된 열원수의 최저 온도(설계 온도) (℃)

히트펌프의 용량을 선정하기 위해서는 열원으로 이용하는 물의 일간 변동량을 확인하여야 한다. 일정한 양이 사용되는 경우에는 운전시간으로 나눈 량에 어느 정도의 안전율을 두어서 용량을 결정한다.

히트펌프 용량의 선정은 가동시간을 가장 길게 하기 위해서는 최소용량으로 검토하는 것이 필요하다. 이 경우에는 보일러등 가온 부하가 증가하는 경우의 부하를 담당할 수 있는 능력을 갖춘 보조 가온장치를 필요로 한다. 또한 최소 부하보다 조금 더 많은 용량의 히트펌프를 설치하는 경우에는 히트펌프가 부하가 감소하여 작동하지 않는 시간을 크지 않게 설계함으로써 에너지 절감액을 크게 할 수 있다. 반면에 순간 최대부하에 맞게 히트펌프를 선정하는 것은 경제적으로 크게 부담이 될 수 있다. 특히 순간 부하가 평균부하 또는 최저부하에 비해 수 배에 달하는 경우에는 상당히 많은 시간 히트펌프가 작동하지 않고 쉬게 되므로 투자회수기간이 매우 길어지게 된다.

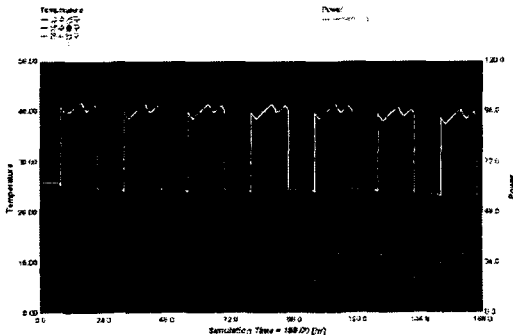


[그림 3] B역사 히트펌프 냉·난방 시뮬레이션 시스템

증발기측으로 공급되는 열원수와 응축기측으로 공급되는 사용온수의 공급이 동시에 이루어지는 경우를 제외하면, 사용온수의 공급이 연속으로 열원수의 공급이 동시에 이루어지지 않는 경우가 많다. 이러한 경우에는 저장탱크가 없는 경우에는 히트펌프의 작동시간이 매우 짧아지는 경우가 많으므로 이러한 경우에는 열원수의 저장탱크는 물론이고, 사용온수의 보조탱크가 필요하다.

열원수의 열량이 필요한 용량의 온수를 제조하기에 충분한 경우에는 히트펌프 유니트의 설계온도까지 온도를 이용하는 것이 비효율적이다. 이 경우에는 히트펌프의 열원수의 이용 온도차를 적게 운전하여 효율을 높이는 것이 바람직하며, 많은 유량을 순환하기 위해 펌프의 동력이 추가되는 것에 비하여 훨씬 더 많은 소비전력을 절감하게 된다.

히트펌프의 전력소비 대부분이 압축기에서 소비되고 있으며 일부는 열원을 순환시키거나 온수를 순환시키는 펌프에서 소비된다.



[그림 4] 히트펌프 소비전력 및 증발기 입출구 온도

시물레이션에서 알 수 있듯이 히트펌프는 일정온도 및 일정유량에 도달하면 히트펌프 가동을 정지하고 있다. 이와 같이 단속적으로 운전하고 있으므로 일정기간 전력수요가 피크치에 도달하였을 경우 설비 생산 및 품질에 영향이 없는 히트펌프를 부하이전 한다면 전력수요 피크를 낮출 수 있을 뿐만 아니라 전력수요가 없는 기간에 히트펌프를 가동하여 축열조에 열량을 저장하고 필요한 경우에도 사용한다면 부하율 등 에너지 가격을 낮출 수 있는 것을 확인하였다.

3.2 히트펌프 시스템의 수요관리 방안 검토

수요관리 기법은 크게 부하관리 분야와 전략적 절약분야로 나눌 수 있다. 부하관리란 최대부하와 최저부하간의 차이를 감소시켜 부하평준화를 도모하고, 전력공급설비의 이용효율을 향상시킬 목적으로 시행된다. 부하관리 분야는 직접부하관리와 간접부하관리로 구분되며 직접부하관리란 공급자 측에서 필요할 경우 부하를 직접 조정하는 방식으로 가변부하 조성 등의 기법을 활용하고, 간접부하관리란 소비자 스스로 부하를 조정하도록 유도하는 방식으로 최대수요 억제, 최대수요 분산, 기저부하 중대, 가변부하 조성 등의 기법을 활용한다.

본 논문에서는 수요관리 기법 중에서 최대수요 억제와 최대부하 이전의 방법을 활용할 수 있는지를 검토한다.

3.2.1 히트펌프 시스템의 최대수요 억제

최대수요 억제 방법은 여러 가지 부하관리 유형 중 가장 대표적인 방법으로, 연중 또는 하루 중 부분적으로 발생하는 최대수요를 억제하여 피크시간대의 발전원가가 높은 발전설비의 가동을 감소시키는 수요관리 유형에 히트펌프를 적용하는 방안으로서는 다음과 같다.

○ 원격제어 냉·난방기 보급방안 검토

원격제어는 전력회사에서 계통상황에 따라 제어여부를 판단하여 제어명령을 내리면 무선통신회사의 무선호출 교환기를 거쳐 고객의 기기에 부착되어 있는 제어용수신기가 기기를 작동 또는 정지시키는 원리이다. 이와 비슷한 제도가 시행되고 있는 기기가 원격제어 에어컨 설비로서 보급추진을 위해 소비전력 1kW당 14만원씩을 지원하고 있다.

○ 최대전력관리장치 설치 방안 검토

최대전력관리장치는 최대수요전력을 감시 또는 예측하여 목표전력을 초과할 우려가 있을 경우 단계적으로 부하를 차단하여 최대전력을 억제하는 장치를 말하며, 최대전력관리장치 설치 고객은 일시적인 최대부하 상승을 막아 요금적용 전력의 효과적인 관리가 가능하여 전기요금 절감할 수 있고, 전력회사는 최대전력관리장치 설치고객에게 전자식계기의 동기신호를 제공하여 최대전력을 관리할 수 있도록 하고 있다.

3.2.2 히트펌프 시스템의 최대부하 이전

피크시간대의 전력수요를 경부하 시간대로 이동시킴으로써 최대수요 억제와 함께 경부하 시간대의 전력수요를 증대시킬 수 있는 부하평준화 수요관리 유형이다. 히트펌프의 특성으로 볼 때 다음과 같은 방안을 검토할 수 있었다.

○ 시간대별 차등 요금제도 도입 방안 검토

하루 중에서 전력수요가 높은 시간대에는 고율의 요금단가를, 전력수요가 낮은 시간대에는 저율의 요금단가를 적용하여 고객이 스스로 낮은 비용으로 전력을 사용하도록 유도하는 요금제도로써 히트펌프는 낮은 시간대에 시스템을 가동하여 축열한다면 효율 및 효과는 상당히 우수할 것으로 예상된다.

○ 계절별 차등 요금제도 도입 방안 검토

이 제도는 전력소비가 많은 계절과 적은 계절을 구분하여 전력량 요금을 차등 적용함으로써 특정계절에 집중되는 전력수요를 억제하도록 하는 제도로서 히트펌프는 적은 전력으로 높은 에너지를 생산하는 제품으로 에너지 절감효과가 우수하다고 할 수 있다.

○ 심야전력(을) 요금제도 도입 방안 검토

심야시간대의 값싼 전력을 이용하여 열을 생산·저장하였다가 주간시간대에 이용하도록 함으로써 피크시간대의 전력수요를 심야시간대로 분산시키는 것을 목적으로 하는 요금제도로써 축냉 및 축열식 냉·난방설비 보급인 히트펌프가 이에 해당된다.

4. 결 론

최근 우리나라의 에너지 사용량 중 건물 및 산업설비의 냉·난방 등 패적 공조에 사용되는 에너지가 크게 증가하여 하절기의 전력수요가 급증하고 전력 공급 예비율이 급격히 떨어지는 등 전력수요의 불균형이 심화되고 있다. 피크부하가 커지면 발전설비의 년간 부하율이 작아지고 발전이용효율도 낮아지므로 평준화된 전력수요를 창출하기 위한 각종 연구가 진행되어 왔다.

이에 히트펌프는 전력수요가 높은 시간대에 전력사용을 가급적 줄이고 전력수요가 낮은 시간대에 시스템을 가동하여 축열 및 축냉으로 피크부하를 감소시킬 뿐만 아니라 부하율 평준화에도 기여할 수 있는 시스템이다.

본 논문에서는 현재 추진중인 원격제어 에어컨, 최대전력 관리장치 등 및 요금정책에 본 시스템을 적용하므로 신규 직접부하제어 자원으로써 충분한 효과가 있을 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 냉동공조기술, 98 한국설비기술협회
- [2] 박준택, 하천수열원 열펌프를 이용한 열공급시스템, ETIS
- [3] 백남춘, 히트펌프 기술 및 연구개발 현황, ETIS
- [4] 최병윤, 공기열원 열펌프의 적용사례, 냉동공조기술, 1993
- [5] 최기식, 수열원 열펌프의 적용 사례, 냉동공조기술, 1993
- [6] H. J. Sauer, Heat Pump Systems, John Wiley & Sons, Inc., 1983