

# 주택용 지열원히트펌프의 적용방안

박용정  
(주)공간코리아

## 1. 서언

현재 우리나라는 신재생에너지에 대한 관심이 고조됨에 따라 다양한 적용분야를 찾고 있다. 신재생에너지분야 중 태양열은 일찍이 온수용으로 주택에 적용이 되어 왔고, 현재는 소형 태양광발전시스템, 소형풍력, 펠릿보일러, 수소연료전지, 지열히트펌프시스템 등이 적용과 시도를 하고 있다. 태양광은 전기를 생산하는 큰 장점을 가진 반면 초기투자비가 다소 크고, 일일 발전시간의 제약과 일사량의 차이에 따라 영향을 받으며, 소형풍력은 발전의 지속성이 기후조건에 의존해야되는 부분이 있다. 태양열은 비교적 저렴한 설치비에 온수를 생산할 수 있지만 난방용으로 활용하기 위해서는 지상에 설치면적을 충분히 확보를 해야 하고 하절기에 냉방으로 활용하는 부분이 다소 어려운 점이 있다. 저온 흡수식 냉방기를 접목하여 사용할 수 있는데 추가 설치비용과 장마철의 낮은 일사량에 제습부하를 포함한 냉방부하를 어떻게 해결할 것인가가 중요하다고 사료된다. 펠릿보일러의 경우 지속적인 원료공급이 중요하겠고, 수소연료전지는 초기설치비용이 크며 수소공급부분과 저장에 관련하여 많은 연구가 진행중에 있다. 지열히트펌프시스템은 땅속의 안정된 열원을 냉난방에 이용하는 방식인데 압축기 회전을

을 위해서 별도의 전력을 공급해야되는 부분이 있다. 특히 주택에는 전력요금에 누진제가 큰 문제가 되어 왔는데 현재는 누진세부분이 해결됨에 따라 주택에 지열시스템 적용이 많은 관심을 받고 있다.

## 2. 지열원히트펌프시스템

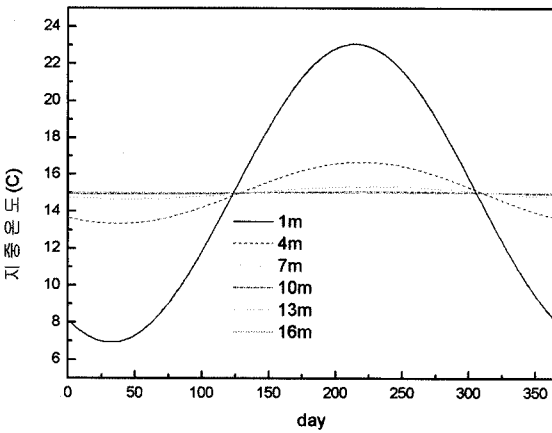
지열은 지중에 저장된 열을 의미하는데 천부지열은 태양복사에 의해서 에너지가 저장된 열을 말하고 심부지열은 지구중심부의 핵반응에 의한 고온의 열을 말한다. 심부지열은 수에서 수천 km 까지 천공을 해야 하는데 고도의 굴착이 요구된다. 심부지열은 온도가 높기 때문에 발전과 고온수를 곧바로 활용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 천부지열은 고도의 천공기술이 요구되지 않으며 설치가 쉬운장점을 가지고 있다. 천부지열의 온도는 일반적으로 그 지방의 평균기온과 비슷하게 알려져 있는데 그림 1을 보듯이 지표에서 수 m 깊이까지는 연중외기온도에 영향을 받는데 약 4m 부근에서는 편차가  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  정도로 값이 비교적 작다. 10m부터는 연중 온도편차가 거의 없이 일정하게 유지하는 것을 볼 수 있는데 지열의 가장 큰 장점으로 볼 수 있겠다. 약  $15^{\circ}\text{C}$ 로 유지되는 온도는 여름철 냉방시는 외기온도보다 낮고 겨울철 난방시에는 외기온도보다 높기 때문에 냉

난방용 열원으로 사용하기 용이하다.

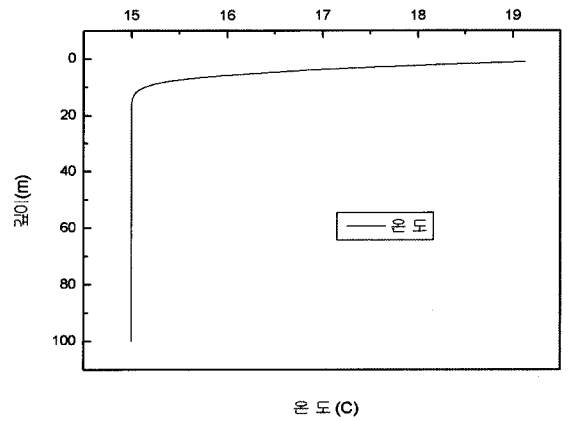
히트펌프의 원리는 냉매의 상변화를 통하여 열을 이동시키는 장치이다. 기본적인 구성요소는 냉매를 압축하는 압축기, 냉매의 방향을 전환하는 4방밸브, 고온 고압의 기체냉매를 열방출을 통하여 액체로 응축시키는 응축기, 고압의 냉매를 저압의 냉매로 만드는 팽창변 그리고 주위에서 열을 흡수하여 포화상태의 액체냉매를 기체로 만드는 증발기가 있다. 그림 3과 같이 난방운전시에는 아래측 열교환기가 증발기가 되고 위측 열교환기가 응축기가 되어 아래에서 위쪽으로 열을 이동시킨다. 지열시스템에 적용시킬 경우 아래측 증발기는 지열순환수에서 열을 흡수하여 위쪽의 응축기로 열을 보낸다. 응축기에서는 난방에 필요한 열을

온수나 공기에 저장하여 보내게 된다. 냉방운전시에는 그림 4와 같이 4방밸브를 통하여 냉매의 흐름을 바꾸게 되는데 아래측 열교환기가 응축기가 되고 위측 열교환기는 증발기 역할을 한다.

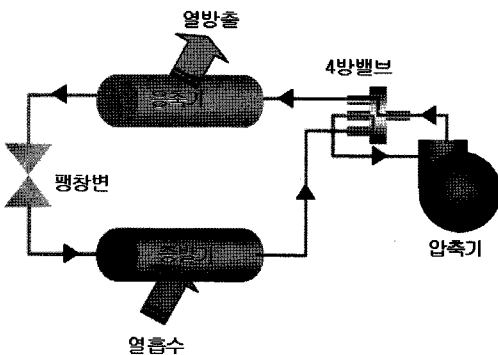
실내에 있는 더운 열을 증발기에서 흡수하고 응축기를 통하여 지중으로 버리게 된다. 공기열원 히트펌프시스템은 설치가 간단하여 많이 사용되어 왔다. 우리나라의 경우 겨울철 외기온도가 -10℃ 이하로 내려가는 지방이 많고 여름철 외기온도는 30℃ 이상 올라가게 된다. 난방이 필요한 겨울철에 낮은 외기온도로 인하여 난방성능이 많이 내려가고 여름철 냉방시기에는 외기온도가 높기 때문에 냉방성능이 또한 저하되는 부분이 공기열원 히트펌프의 큰 단점으로 볼 수 있다. 연중 약 15℃로



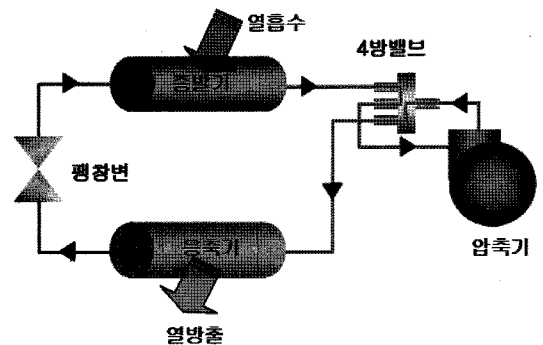
[그림 1] 연중 깊이별 온도변화



[그림 2] 깊이에 따른 온도



[그림 3] 난방운전



[그림 4] 냉방운전

겨의 일정한 지중온도와 비교 할 때 난방시는 외기온도보다 25℃ 높은 열원이고 냉방시에는 15℃ 이상 낮은 온도임을 알 수 있는데 지열원히트펌프의 성능이 높은 이유이다. 지열원히트펌프 시스템의 구성은 크게 히트펌프, 지중으로부터 열을 흡수하고 방출하는 지중열교환기, 열매를 순환시키는 반송장치 그리고 실내 공조장치가 있다. 이 중에서 지중열교환기와 반송장치가 기존의 공기열원히트펌프와의 차이점으로 볼 수 있다. 특히 지중열교환기 부분은 종류가 다양하고 많은 비용과 설계기술을 필요로 한다.

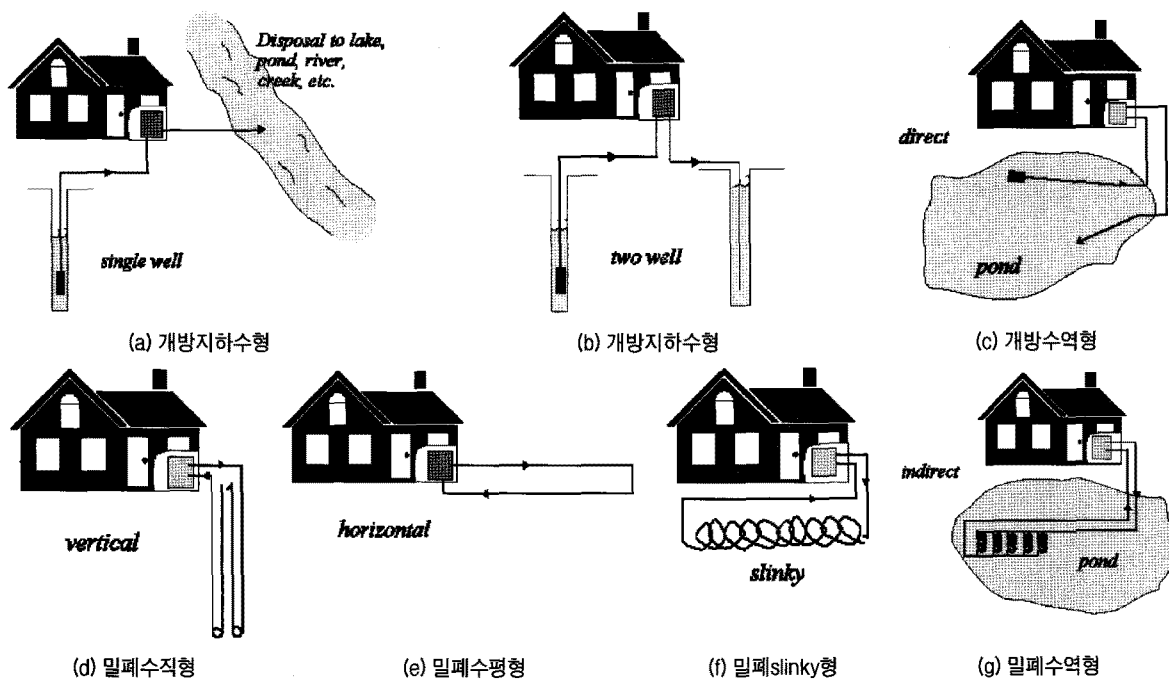
### 2.1 지중열교환기 형태

현재 알려져 있는 지중열교환기 형태는 그림 5 (a)에서 (g)와 같이 다양하다. 이 중에서 주택용으로 많이 사용하는 방식이 밀폐수직형, 밀폐수평형, 밀폐슬린키형이다. 이외의 방식은 현장의 여건에 의존을 해야 되는 문제가 있다. 우리나라와

같이 부지가 협소한 경우가 많을 때는 수직형이 설치에 용이 할 수 있는데 비용이 많이 드는 단점이 있다. 밀폐수평형이나 슬린키방식과는 다르게 천공장비를 필요로 하고 천공기술이 요구된다. 그럼에도 불구하고 협소한 설치부지로 인하여 국내 설치형태는 밀폐수직형이 가장 많다. 이외에도 건물바닥에 수평으로 설치하는 슬라브형이 있는데 유럽에서는 이미 사용 중에 있는데 정확한 설계 검토가 이루어져야 할 것으로 본다.

### 2.2 주택용 지열원히트펌프시스템

주택의 히트펌프는 상업용이나 대용량설비와는 몇 가지 차이점을 들 수 있다. 상업용이나 대용량 설비에는 전문 관리인이 상주하기 때문에 유지보수 측면에서 유리한 점이 있고 별도의 기계실에 설치하기 때문에 소음이나 진동적인 부분이 크게 고려되지 않는 경우가 많다. 주택의 경우는 전문적인 지식을 가진 별도의 관리자를 두기가 어렵



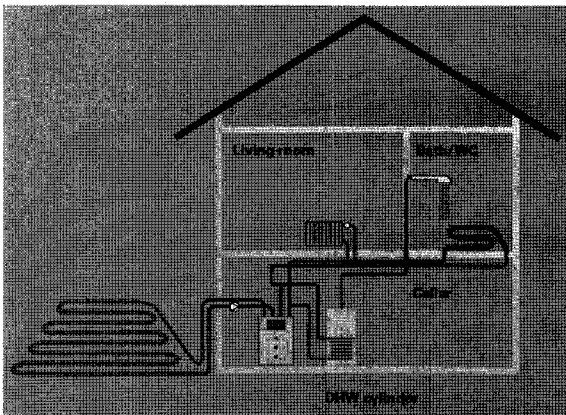
[그림 5] 지중열교환기 형태

고 소음이나 진동은 생활에 불편을 주기 때문에 중요한 고려대상이다. 대부분 소용량의 히트펌프를 필요로 하고 설치장소가 거주자와 비교적 가까운 것이 특징이다.

### 2.2.1 공조방식

그림 6은 주택에 적용가능한 지열원히트펌프를 보여주고 있다. 주택에 적용되는 공조열전달 방식은 크게 복사와 대류로 나눌 수 있다. 특히 우리나라는 겨울철에 복사난방을 거주실 바닥 가열하여 사용하고 있기 때문에 히트펌프는 온수 가열방식을 고려하여야 한다. 대류방식은 일반적으로 팬코일 유닛(FCU)을 사용하여 온풍과 냉풍을 공급하는데 침대생활문화권에서 많이 사용한다. 우리나라의 경우도 여름철은 냉방기를 통하여 강제대류를 이용하고 있다. 이러한 측면에서 볼 때 지열시스템은 바닥난방기능과 냉방을 위한 강제송풍방식기능을 모두 갖추어야 하고 목욕과 주방에 필요한 급탕기능이 있어야 한다. 온도측면에서 볼 때 다음과 같은 요구사항을 만족하여야 한다.

- 가) 바닥난방이 가능한 온도일 것.
- 나) 급탕용도로 가능한 온도일 것
- 다) 저탕조방식일 경우는 저탕조의 크기를 줄일 수 있을 것.



[그림 6] 주택용 지열원히트펌프

열매체 선정에 있어서 고려해야 될 부분은 다음을 들 수 있다.

- 가) 열매체는 사용과 수급이 용이할 것.
- 나) 열전달률이 높고 열용량이 클 것, 히트펌프의 운전효율을 높일 수 있을 것.
- 다) 히트펌프의 운전효율을 높일 수 있을 것.
- 라) 반송동력이 작을 것.
- 마) 냉방을 고려 할 것.
- 바) 인체에 해가 없을 것.

주택의 경우 단독주택과 아파트와 같은 공동주택으로 나눌 수 있는데 공조방식으로 구분하면 단독주택은 개별공조이고 공동주택은 개별공조방식과 중앙공조방식을 선택적으로 채용할 수 있다. 개별공조방식에 있어서는 냉난방운전시기를 좀더 명확히 구분이 되지만 중앙공조방식은 냉방을 필요로 하는 주택과 난방을 필요로 하는 주택이 동시에 발생할 수 있다. 중앙공급방식의 경우 편의를 위해서는 냉난방을 동시에 해결 할 수 있는 시스템이 필요하게 된다.

### 2.2.2 히트펌프의 특징

히트펌프의 특징을 고려하면 다음과 같이 들 수 있다.

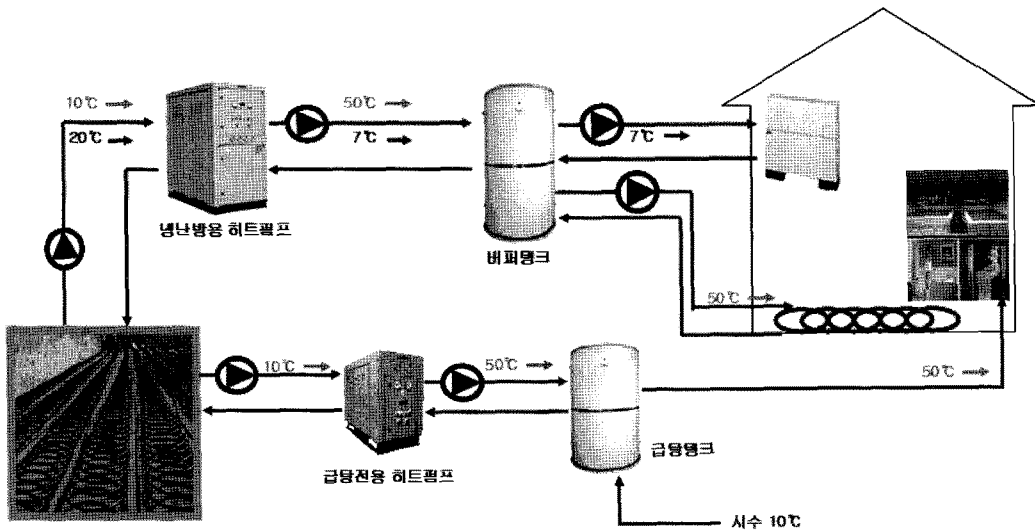
- 개별공조방식
  - 가) 유지보수가 용이하고 내구성이 우수할 것.
  - 나) 구성품의 수명이 길 것.
  - 다) 구성품의 수급이 쉬울 것.
  - 라) 소음과 진동이 적을 것.
  - 마) 운전이 쉬울 것.
  - 바) 설치가 용이 하고 점검이 쉬울 것.
  - 사) 설치면적을 적게 차지할 것.
  - 아) 전체 시스템 구성이 쉬울 것.
- 중앙공조방식
  - 가) 부하변동에 대응하여 부분운전이 가능할 것.
  - 나) 냉난방동시부하에 대응이 가능할 것.
  - 다) 에너지효율관리가 용이할 것.
  - 라) 관리가 용이할 것.

2.2.3 시스템 구성

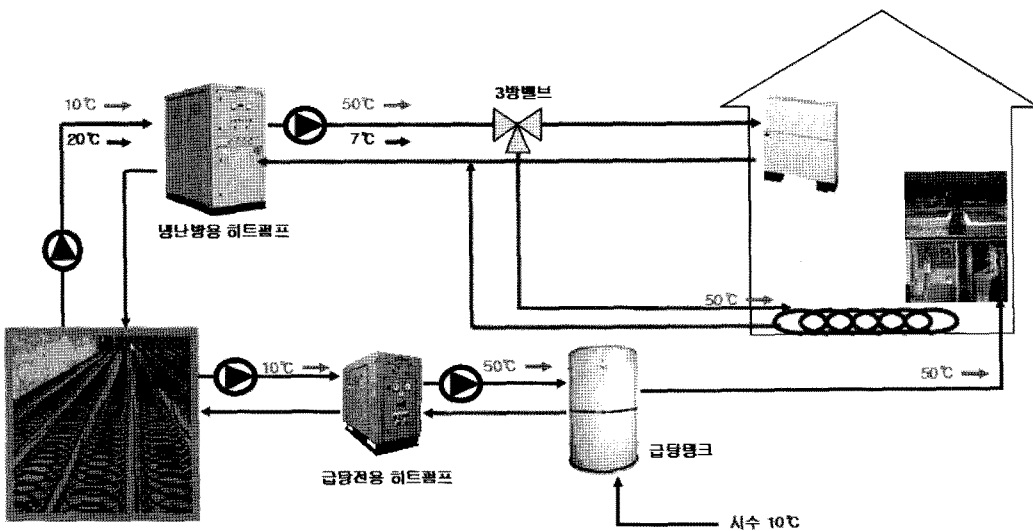
그림 7은 버퍼탱크가 있는 경우의 시스템 예를 나타낸 것이고 그림 8은 버퍼탱크가 없는 경우의 시스템 예를 나타낸 것이다. 버퍼탱크는 순간적인 부하에 빠른 대응이 가능한 장점이 있고 히트펌프의 잦은 운전과 정지를 완화해 주는 기능을 한다. 반면에 추가 설치면적을 필요로 하고 배관비

용 상승과 순환펌프가 추가된다.

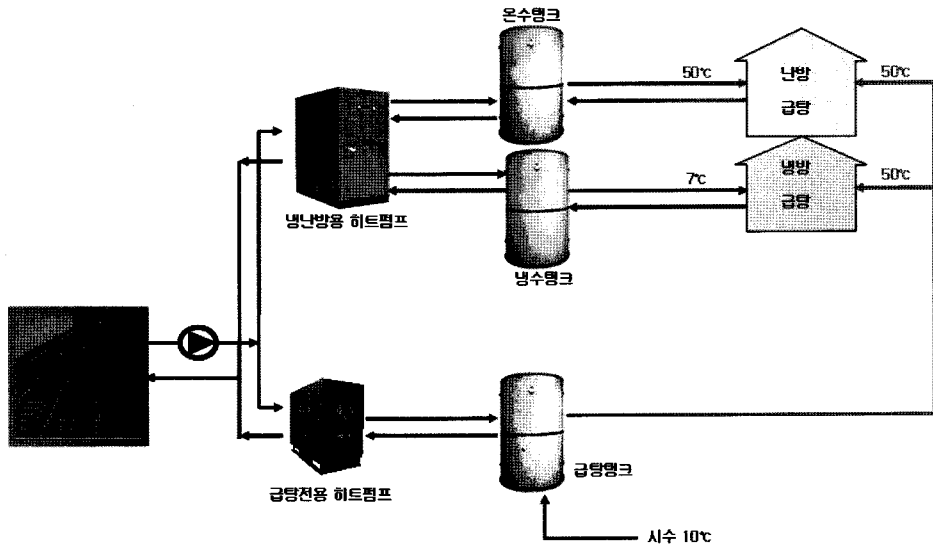
순환펌프는 바닥난방용과 실내 FCU용 2개가 추가 될 수 있고 아니면 버퍼탱크후단에 그림 8과 같은 3방밸브를 설치하여 순환펌프 1대로 공급할 수도 있다. 그림 8과 같이 버퍼탱크가 없는 경우는 3방밸브를 사용하여 난방용과 냉방용으로 온수와 냉수를 보낼 수 있다. 설치가 간단하고 설치



[그림 7] 버퍼탱크가 있는 경우



[그림 8] 버퍼탱크가 없는 경우



[그림 9] 공동주택의 중앙공급식의 설치 예

비용절감을 기대할 수 있겠다. 공동주택의 경우 그림 9와 같이 급탕탱크외에 온수탱크와 냉수탱크를 두어 난방을 필요로 하는 주택과 냉방을 필요로 하는 주택에 모두 대응이 되게 할 수 있다.

### 3. 실내부하

실내부하산정은 히트펌프용량선정에 있어서 필수적인 요소이다. 부하계산방법으로는 크게 정상계산법, 주기정상계산법, 비정상계산법, 주기정상계산법으로 나눌수 있다. 정상계산법은 가장 단순한 방법으로 건물 외부온도와 실내온도를 일정하게 가정하고 벽체의 열용량은 무시하는 것으로 계산한다. 이 방법은 최대난방부하의 계산에 사용되는 수가 많고, 냉방부하계산에는 특수한 경우를 제외하고는 사용하지 않는다. 주기정상계산법은 실온이 일정한 상태에서 외기온도가 1일주기로 변동하는 것으로 하여 상당외기온도를 사용하여 벽체의 열용량을 고려하면서 설계용 최대공조부하가 발생하는 날의 시각별 열부하를 계산한다. 수계산에 의한 일반적인 계산 방법이다. 비정상계산법은 외기온도가 항상 변화하고 간헐운전으로 야간의

실내 온도변화를 모두 고려한다. 주기 비정상계산법은 외란이나 실온이 주기적으로 변동하는 것으로서 비정상계산을 수행한다. 비정상계산법은 연간부하계산이 가능하여 건물의 연간 에너지소비에 관한 시뮬레이션용으로 사용이 가능하다.

#### 3.1 난방부하

난방부하의 종류는 구조체를 통한 부하(벽체, 지붕, 바닥, 창문 등)와 틈새바람에 의한 부하로 나눌수 있는데 전자의 경우는 실내온도와 외기온도와의 차이에 의해서 발생한다. 구조체 재료의 단열성능을 강화함으로써 부하를 줄일 수 있다. 후자의 경우는 구조체 틈새 및 출입문 개방시 외기침입에 의한 부하이다. 건물의 기밀유지와 출입구의 외기침입을 최소화하여 열손실을 줄일 수 있다.

#### 3.2 급탕부하

난방부하외에 급탕부하가 있는데 특히 급탕부하는 사용량은 다르지만 연중필요로 하게 된다. 주택의 거주인원에 비례하기 때문에 사용에 불편이 없도록 저탕조 방식 또는 순간가열방식 용량을 선정해야 한다. 지열히트펌프의 온수온도는 기존

의 화석연료방식의 보일러처럼 고온이 아니기 때문에 온도에 맞는 시스템을 고려해야 한다.

### 3.3 냉방부하

냉방부하의 종류는 구조체를 통한 부하, 창을 통한 일사부하, 틈새바람에 의한 부하, 조명발열, 기기발열, 거주자의 인체발열에 의한 부하로 나눌 수 있다. 냉방부하는 난방부하계산과의 다른 점이 일사의 영향과 실내발열부분을 고려해야 한다는 것이다.

### 3.4 주택의 실내부하 특징

주택의 실내부하는 상업건물과는 달리 다음과 같은 특징을 들 수 있다.

가) 거주자의 점유시간이 거의 24시간이므로 공조시간이 매우 길다.

나) 거주자의 점유면적이 크기 때문에 인체부하나 조명부하는 매우 작고 구조체부하나 침입외기부하가 대부분이다.

다) 하나의 공조구획으로서 시간변화에 대해서 용량변화가 서로 다른 구획이 없다.

라) 공조부하가 소용량으로 미국냉동공조협회에서는 난방은 18 ~ 32kW, 냉방은 5 ~ 18kW 정도로 보고 있다. 지역마다 외기온도가 다르고 주택면적이 다르지만 필요공조용량은 소용량이다. 냉방부하의 경우는 난방부하에 비해서 작은 것이 상업용과 다른 점으로 볼 수 있다.

마) 공동주택의 경우는 인접실에 의한 부하영향으로 단독주택에 비해서 매우 작다. 또한 아파트와 같이 최상층, 측면, 바닥층은 중간층과 부하가 다르다는 점을 고려해야 한다. 