

단독주택의 지열시스템 적용 가능성에 대한 기초연구

신희일[†], 장태익^{*}

세명대학교 건설공학부 대학원, ^{*}세명대학교 보건안전공학과

Basic Study on Geothermal System Application Possibility of a Detached House

Hee-II Shin[†], Tea-Ik Jang^{*}

Department of Architectural Engineering, Semyung University, Jecheon, Korea

^{*}Department of Health and Safety Engineering, Semyung University, Jecheon, Korea

ABSTRACT: Due to high oil prices and global warming problems, researching an alternative energy source and decreasing the energy usage will be the key in the future. Unlike other alternative energy sources, geothermal energy is less dependent on the surrounding environment. Geothermal energy is the ideal energy source for buildings due to the simple and space saving installation. The system is semi permanent once it is installed and this will help reduce the energy usage in controlling the climate in buildings. Geothermal energy does not emit carbon dioxide and other gases that are harmful to the environment. Therefore geothermal energy will be the key in solving high oil prices and a decrease in fossil fuels by applying the geothermal energy system to detached house to counter future energy crisis.

Key words: Geothermal (지열), CFD(Computational Fluid Dynamics : 전산유체역학), Load calculation(부하계산), Heat pump(히트펌프), Detached House(단독주택)

기 호 설 명

α_i : 내표면열전달율 [kcal/m²h^oC]
 α_o : 외표면열전달률 [kcal/m²h^oC]
 ETS : 상당외기온도차
 H_s, H_l : 거주자 1인당 발생 현열량 및 잠열량 [kcal/h인]
 I_g : 유리창에서의 표준 일사열 취득 [kcal/m²h]
 K : 열관류율 [kcal/m²h^oC]
 q_g : 유리창으로부터의 일사부하 [kcal/h]
 K_g : 차폐계수

q_w : 외벽, 지붕으로부터의 관류열 부하 [kcal/h]
 k : 방위계수
 N_l : 조명기구수 [개]
 N_p : 실내 거주자 수 [인]
 q_s, q_t : 외기의 온도 및 습도에 관한 틈새바람부하 [kcal/h]
 $q_{h,s}$: 인체현열부하 [kcal/h]
 $q_{h,l}$: 인체잠열부하 [kcal/h]
 q_e : 조명발열부하 [kcal/h]
 λ : 재료의 열전도율 [kcal/m²h^oC]

[†] Corresponding author

Tel.: 043-649-1175 ; fax:

E-mail address: selenia@semyung.or.kr

1. 서 론

세계는 지금 불안정한 원유 가격과 주 원유생

산지역의 불안한 정세 등의 요인으로 안정적 에너지원 확보를 위하여 각국은 에너지 전쟁을 치르고 있다. 또한 지구 온난화의 주범인 온실가스 배출량 의무감축을 주요 내용으로 한 교토의정서가 2005년 2월 발효됨에 따라 세계 38개 선진국들은 2008년부터 온실 가스 감축 의무를 실행해야만 한다.

이처럼 지속적인 고유가와 함께 지구 환경에 대한 관심이 고조되면서 안정적이고 깨끗한 미래 에너지원 확보에 세계의 관심이 쏠리고 있다.

국내에서도 2002년부터 대체에너지 3대 중점분야인 태양광, 연료전지, 풍력발전에 대한 기술개발사업을 실시하고 있으며, 2004년 4월 「대체에너지개발 및 이용보급촉진법 시행령」 개정안이 확정됨에 따라 2004년부터 국가기관, 지자체, 투자·출자·출연기관, 특별법인 등 공공기관은 건축 연면적 3000㎡ 이상의 건축물을 신축할 경우 건축 공사비의 5% 이상을 대체에너지설비에 투자하도록 강제하고 있다.

국내의 경우 현재 지열시스템 설비를 주로 하고 있는데 이는 경제적인 측면과 환경적인 측면으로 살펴 볼 수 있다. 경제적인 측면으로는 열원을 때와 장소에 무관하게 무료로 얻을 수 있고 기존의 냉동기, 보일러, 에어컨, 냉각탑등 옥내외 설비가 불필요하게 되거나 용량을 감소시킬 수 있어 냉난방시 전기요금과 가스 및 기름을 아낄 수 있는 경제성을 들 수 있다. 환경적인 측면으로는 이산화탄소 및 기타 가스발생량이 거의 없고 세균감염경로도 없어 공기순환경로가 오염되지 않아 친환경적인 측면으로 봤을 때도 지열을 활용한 신재생에너지 설비의 채택은 좋다고 할 수 있다.

이상과 같이 화석연료의 고갈에 대처하고, 환경친화적인 대체에너지의 개발과 활용이 절실한 시점에 와있다. 본 연구에서는 한국의 단독 건축물에 신재생에너지 설비의 설치 가능성 및 지열시스템 도입시 에너지절약 가능성이 있는지 등을 알아보려고 한다.

2. 지열 에너지 및 활용 가능성

태양열의 약 47%가 지표면을 통해 지하에 저장되며, 이렇게 태양열을 흡수한 땅속의 온도는 지형에 따라 다르지만 지표면에 가까운 땅속의

온도는 개략 10℃ ~ 20℃ 정도로 연중 큰 변화가 없다. 이렇듯 지열은 태양과 지구가 존재하는 한 계속 생성되는 에너지의 보고로서 지열에너지원은 무궁무진하다고 할 수 있다.

대표적인 지열원에 대한 재생에너지 시스템은 열펌프시스템이다. 이것은 연중 온도가 일정한 지하수(ground water), 지표수(surface water) 및 지중의 열을 냉방시에는 히트싱크(heat sink)로, 난방시에는 히트소스(heat source)로 하여 건축물의 냉·난방을 동시에 가능하도록 하는 복합형 시스템이다. 따라서 단독주택에 지열시스템을 적용하는데 무리가 없고 지열활용성도 매우 크다.

2.1 난방 사이클 구성의 히트펌프

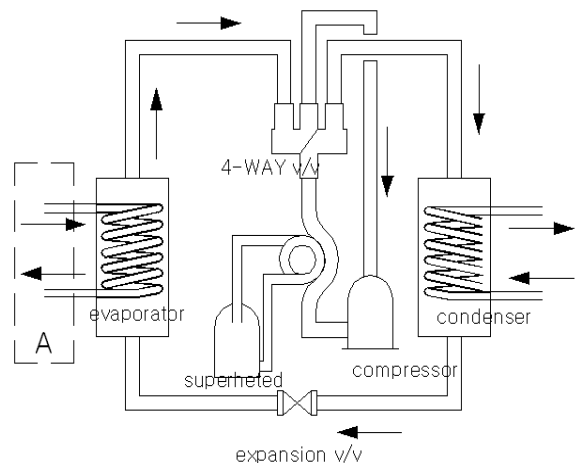


Fig. 1 Heating cycle of the heat pump.

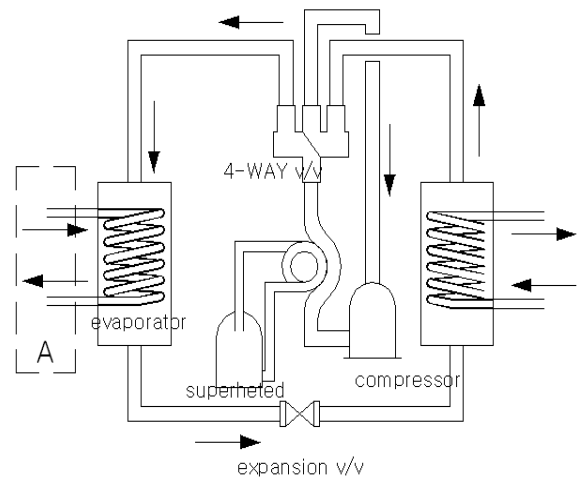


Fig. 2 Cooling cycle of the heat pump.

Fig. 1은 표면식 히트펌프의 난방 사이클 주요 부품의 열교환을 보여주고 있다. 그림에서 히트펌프 내부의 열교환기인 증발기를 지나가는 차가운 액체냉매는 부동액인 그림의 A부로 연결한 지중 열교환기 내의 순환유체로부터 열을 흡수하고 증기냉매로 상변화를 하게 된다. 증발과정에서 온도가 강하된 부동액은 지열 열교환기를 순환하면서 다시 온도를 회복하게 되는 사이클이다. 이러한 원리로 지중열원인 히트소스(heat source)의 역할을 수행하며 난방 시스템을 구성한다.

2.2 냉방 사이클 구성의 히트펌프

Fig. 2는 지열을 이용한 표면식 냉방시스템의 주요 부품의 열교환 방법을 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 난방 사이클과는 반대로, 히트펌프 내부의 열교환기인 응축기를 지나가는 뜨거운 기체 냉매는 부동액인 그림의 A부로 연결된 지중열교환기 내의 순환유체로 열을 방출하고 액체냉매로 상변화를 하게 된다. 응축과정 후 온도가 상승된 부동액은 지중열교환기인 지중 파이프를 순환하면서 온도가 하강하게 된다. 이러한 원리로 지중으로 온열을 방출하는 히트싱크(heat sink)의 역할을 수행하며, 냉방 시스템을 구성한다.

2.3 지중열 교환기의 열교환 및 온도변화

지중열교환기의 열전달에 의한 온도분포를 해석하기 위하여 상용 프로그램인 미국의 Blue Ridge Numeric, INC에서 개발한 CFDDesign을 사용하여 열 변화를 관찰하였다. 해석 모델은 Fig. 3 과 같고 관의 재료는 PE 관을 사용하였으며 관의 길이는 150m로 제한하였고 관의 직경은 25mm이다.

프로그램에서 사용된 부동액인 Ethylene Glycol 와 PE 관의 입력 경계조건은 다음 Table 1과 같다. Fig. 4는 CFDDesign 프로그램을 사용하여 얻어진 온도분포를 색으로 구분하여 보여주고 있다. 그림에서 유동 계산을 위한 격자의 개수는 193,000개 정도이며, 입력 초기의 조건은 온도 4°C와 순환유량은 34 lpm 이고 출구의 조건은 게이지압력 0 psi의 값을 사용하였다. 그 결과 땅의 대기온도로부터 관으로 열이 전달되어 평형이 된 후 관의 내부 표면온도가 15°C가 되어 유체로 열 전달이 된다는 가정이 있을 경우, 처음 히트펌프

Table 1. PE 파이프의 경계조건

	Ethylene glycol	PE pipe
Conductivity	0.249W/mK	26W/mK
Density	904.2kg/m ³	945kg/m ³
Specific Heat	4144 J/kgK	2303 J/kgK

출구의 4°C온도가 100m지점에서 14°C되면서 약 150m 지점에서 15°C가 됨을 보여주고 있다.



Fig. 3 Inset PE tube for modeling.

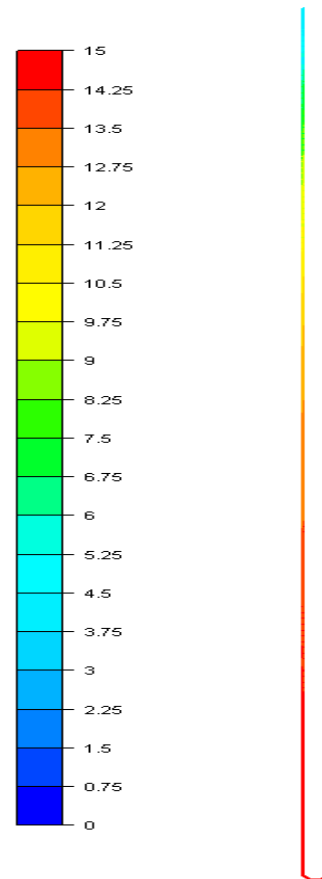


Fig. 4 Analysis of temperature change use to CFDDesign.

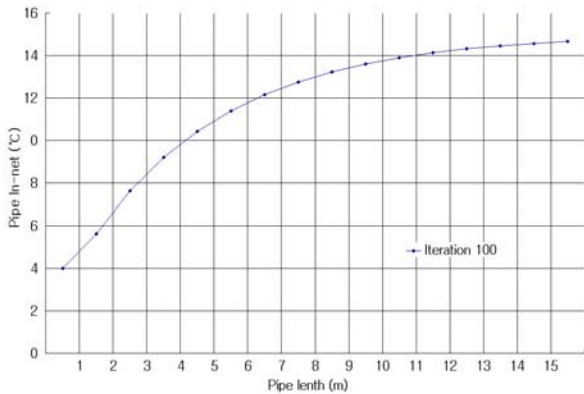


Fig. 5 Diagram of temperature changes of inside antifreezing liquid of vertical tube.

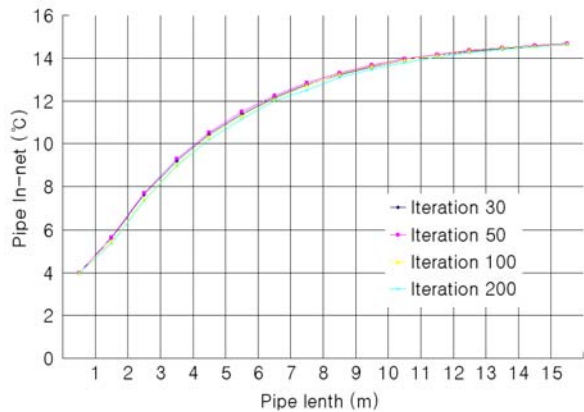


Fig. 6 Diagram of temperature changes of iteration of vertical tube.

이러한 경향은 주어진 경계 조건에서 PE 관내의 유동유체가 대지와 열교환을 하면서 대략 150m 까지 온도변화가 수반됨을 말해주며, 지중 최소 150m 깊이를 유지시켜야 됨을 알 수 있다.

Fig. 5는 Fig.4에서 나온 결과값을 그래프로 나타낸 것으로 10m 지점까지는 온도의 변화가 뚜렷이 보이다가 이후부터는 서서히 올라가서 15°C 가 됨을 볼 수 있다. Fig.6 은 같은 모델을 같은 조건으로 각각 30회, 50회, 100회와 200회의 해석을 하였을 때 얻을 수 있는 온도들의 변화인데 분석결과 횟수 변화에 대해서는 미미한 온도변화가 보여 지나 수렴정도에는 큰 영향을 주지 않음을 보이고 이는 해석 시 프로그램 해석횟수(iteration) 결정에 활용할 수 있을 것이다.

3. 단독주택 지열시스템의 적용 가능성



Fig. 7 Perspective drawing of house.

3.1 건물의 개요

앞서 분석된 냉·난방 설비시스템과 해석된 지중 열교환기를 기준으로 단독주택을 모델로 하여 지열시스템을 구성하였고, Fig. 7은 충북 제천시 에 위치한 단독주택을 모델로 설정하여 건물을 개략적으로 스케치한 그림이다. 대지는 200m²이며 연면적은 219m²이다. 건물의 1층과 2층은 각각 139.85m², 79.13m²을 기준으로 수직밀폐형의 지열을 이용한 히트펌프 냉·난방설계를 하였다. 이 주택에 대하여 에너지 절감 가능성을 살펴보면 다음과 같다.

3.2 설계 부하 계산 조건

부하량 계산 시각은 냉방시에는 가장 일사부하가 강한 오후 2시를 기준으로 하였으며, 난방의 경우 일사부하는 고려하지 않으므로 시간대는 고려하지 않았다.

여름철과 겨울철 각각의 실내설정온도는 26°C와 20°C로 설정하였는데 이 실내온도는 국토해양부에서 제시한 기준값이며 외기온도의 기준은 제천지역의 동일 위도 인접지역인 청주를 고려하여 연평균치로 여름철은 32.5°C, 겨울철은 -12.1°C로 정하였다. 외벽 및 옥상은 일반 콘크리트로 두께는 300mm이며 100mm의 보온재와 15mm의 석고보드를 사용하였고 실내 재실인원의 경우는 1층 2명 2층 3명으로 하였다.

Fig. 8은 연구를 위해 설계된 단독주택의 지열 히트펌프를 이용한 여름철 건물 내에 냉방시스템을 보여주고 있는 단면도이며, 지열에너지를 이용한 히트펌프를 사용하여 각 실에 냉방 상황을 보여주고 있다. 이때 사용된 공조용 취출기는 시

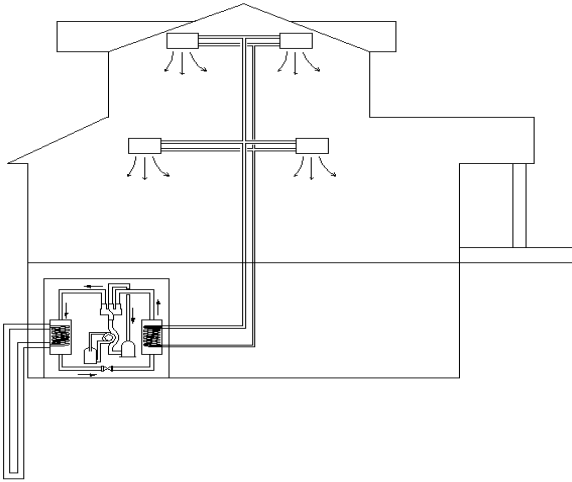


Fig. 8 A detached house with air conditioning used the geothermal heat pumps.

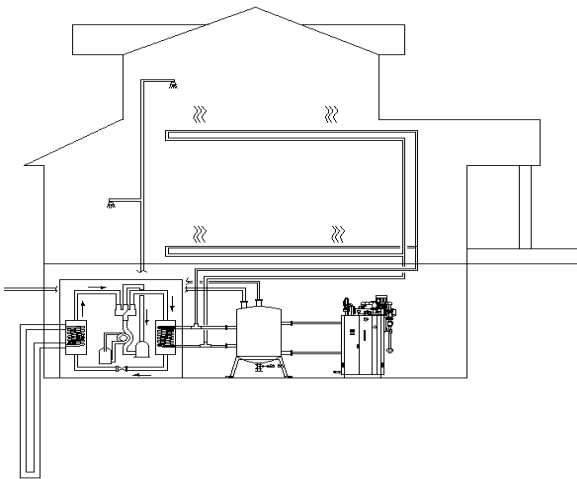


Fig. 9 A detached house with heating and hot water used the geothermal heat pumps.

시스템 냉·난방용도의 열교환기이다. Fig. 9 역시 동일 건물에 지열에너지를 이용한 히트펌프를 사용하여 난방 및 온수를 공급하는 시스템을 보여주고 있다.

4. 냉·난방부하 계산

4.1 실내냉방부하

설계된 건물에서 여름철 실내 냉방부하 계산에 영향을 미치는 요소로 다음과 같은 것을 고려하였다. 즉, 유리창으로부터의 일사 열부하, 외벽, 지붕, 유리창, 내벽, 지중벽 등과 같은 벽체로부

터의 관류 열부하와 틈새바람부하 및 조명, 인체, 실내기기로부터 발생하는 실내 발열부하, 그리고 외기 도입부하, 장치손실(배관, 덕트, 기기 등 시스템 손실)등으로 나타낼 수가 있다. 유리창을 통해 실내로 들어오는 일사량의 경우는, 각 실의 주된 방향이 어디인지에 따라 시간대별로 큰 차이가 발생하며, 이때 유리창으로부터의 일사부하는 식 (1)을 이용하여 구할 수가 있다.

$$q_g = I_g \cdot A_g \cdot \kappa_g \quad (1)$$

태양으로부터 복사열을 받는 외벽, 지붕 등은 시간이 흐름에 따라 표면온도가 서서히 올라가게 된다. 따라서 지붕 외벽과 같이 태양의 영향을 직접적으로 받는 곳을 통해 발생하는 열부하계산은 외기와 실내와의 온도차로 인한 요인과 일사의 영향을 받아 온도가 올라간 벽 및 지붕으로부터 방산되는 요인 등 두 종류의 부하를 동시에 고려한다. 이 두 가지 요소를 각기 계산하는 것은 상당히 번잡하기 때문에 두 요소를 동시에 고려한 값으로 통상 제시되고 있는 상당외기온도(Equivalent Temp. Diff)라는 가상의 온도를 사용하여 상당외기온도와 실내 설정온도와의 온도차를 실내외 온도차로 하여 관류열부하를 구하고 식 (2)을 이용 열부하를 계산하였다.

$$q_w = K \cdot A \cdot ETD \quad (2)$$

열관류율 K는 식 (3)에 의해 계산되며 식에서 열전도율의 경우 건물의 구조를 형성하고 있는 재료에 따라 열을 전달하는 정도를 나타내는 값으로, 유리창의 열관류율은 유리, 새시 등으로 인해 계산이 복잡하므로 실무적으로는 정해진 값을 이용하였고, 문도 같은 방법으로 적용 하였다.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{l}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o}} \quad (3)$$

Fig. 10은 벽체에서의 열전달 과정의 경계조건을 보여주고 있다. 건물의 시공이 완벽하게 이루어졌다고 하여도 문이나 창이 고정화 되어 있는 것이 아니라면 건물의 각종 창이나 문의 틈새를 통해 외부 공기가 실내로 침입하게 되는데,

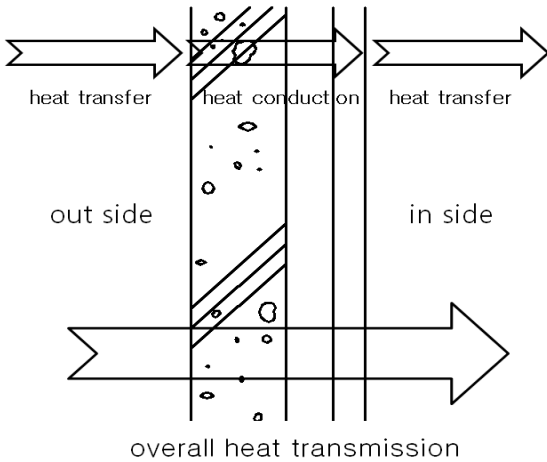


Fig. 10 heat transfer process of the wall

이 공기를 틈새바람이라고 한다. 이 틈새바람은 외부로부터 들어오게 되므로 실내공기에 비해 온도도 높고 습도도 높아 실내 냉방부하의 한 요소로서 작용한다. 하지만 틈새바람의 양을 정확히 계산하는 것은 어려우므로 각 창문과 새시 종류별 실험치와, 경험치 등에 따른 개략치로 계산하는 것이 일반적이며 식 (4)을 통해 구할 수 있다. 여기서, (4a)는 실내 및 외기의 온도차이($t_i - t_o$)로 계산하는 방법이고 식 (4b)는 절대습도차($x_i - x_o$)로 구하는 방법이다.

$$q_s = 0.29Q(t_i - t_o) \quad (4a)$$

$$q_l = 720Q(x_i - x_o) \quad (4b)$$

식 (4a)과 (4b)에서 틈새 바람량 Q는 식 (5)을 이용하여 환기횟수법으로 구할 수 있다. 이러한 환기횟수법은 대단히 간편한 방법이지만 실내의 용적에 따라 좌우되므로 주의를 요한다.

$$Q = nV \quad (5)$$

지금까지의 부하요소들은 건물 외부의 요인에 의해 발생하는 것이며, 실제로 실내 냉방부하는 이들 외부 요인에 의한 것 외에도 실내 자체에서 생성되는 인체 발열부하, 조명 발열부하등도 고려되어야 한다.

$$q_{h,s} = N_p \cdot H_s \quad (6a)$$

$$q_{h,l} = N_p \cdot H_l \quad (6b)$$

따라서 인체 발열부하는 식 (6)으로 계산할 수 있는데 식 (6a)는 인체의 현열부하 식 (6b)는 인체의 발열부하를 말한다.

또 식 (7)의 계산 결과는 조명으로부터의 발열량을 계산하는 식으로 설치되는 조명기구의 종류 및 개수에 의해서 그 크기가 다르다.

$$q_e = W \cdot N_l \cdot (1.0 - 1.1) \text{ (형광등)} \quad (7a)$$

$$q_e = W \cdot N_l \cdot 0.86 \text{ (백열등)} \quad (7b)$$

4.4 실내난방부하

난방부하의 요소는 냉방에 비해 상대적으로 적다. 즉 태양으로부터의 일사열은 많은 양이 냉방부하로는 작용하지만, 겨울철에는 오히려 난방에 도움이 되므로 고려하지 않게 된다. 보통 실내에서 발생하는 난방부하의 요소는 크게 실내외 온도차에 의한 전도에 의한 열손실과 틈새바람에 의한 열손실 두 가지로 볼 수 있다.

겨울철 난방시 실내온도가 실외보다 높게 되면 벽, 천장, 지붕, 바닥, 창문, 문 등의 구조체를 통하여 실내의 열이 실외로 손실되며 손실되는 열량은 다음의 식 (8)로 계산할 수 있다.

$$q_w = K \cdot A \cdot k \cdot \Delta T \quad (8)$$

냉방부하 계산시에는 틈새바람의 항목이 부하 계산시에 적용했듯이 난방부하 계산시에는 틈새바람의 온습도가 실내공기의 온습도보다 낮기 때문에 틈새바람의 온습도를 높이는 항목이 난방부하 계산이 적용한다. 틈새바람의 산정량은 냉방부하 계산에서 사용한 방법과 동일한 방법으로 한다.

이 외에도 거주자의 호흡으로 인해 실내에서 발생하는 이산화탄소라든가 흡연으로 인한 각종 유해물질 그리고 기타 각종 냄새 등을 희석시키기 위해 외부의 신선공기를 도입하게 되는데, 이 외기가 여름철 냉방 때는 실내공기보다 온도 및 습도가 높고 겨울철 난방 때는 낮으므로 실내에 공급하기 전에 냉각 또는 가열하여 실내의 온습도 상태와 동일하게 만들어 주어야 한다. 따라서 외기를 냉각 및 감습하거나 가열 및 가습하는 열량을 외기부하라고 하고 앞서 언급한 틈새바람 부하와 동일한 식을 사용하여 계산할 수가 있다.

5. 결론 및 고찰

1. 재생에너지의 하나인 지열의 경우 열원의 온도가 일정한 지층의 열을 냉방시에는 히트싱크(heat sink)로, 난방시에는 히트소스(heat source)로써 건축물의 냉·난방을 동시에 가능하도록 하는 복합형 지열시스템을 구성하는데 무리가 없었고 단독주택의 지열활용성도 무리가 없을 것으로 판단되었다.
2. 지중열교환기의 열전달에 의한 온도분포를 알아보기 위하여 상용 프로그램을 사용한 관내의 유체 열교환에 의한 온도분포의 해석결과 관 내부 표면온도가 15°C로 유지되고 유동유체로 열교환이 된다는 가정일 때, 처음 히트펌프 출구의 4°C온도가 100m지점에서 14°C되면서 약 150m 지점에서 15°C가 됨을 나타내었다. 이는 주어진 경계 조건에서 PE 관내의 유동유체가 대지와 열교환을 하면서 대략 150m까지 온도변화가 수반됨을 말해주며, 이 경계조건에서는 관의 깊이는 지중 최소 150m를 유지시켜야 입구 열매체가 지열과 최종 온도가 같아지면서 열평형이 유지됨을 알 수 있었다. 실험에서 나온 값은 실제와는 조금 다른 것을 알 수 있는데 이는 실제와는 경계조건이 다르기 때문에 그런 것 같고 차후에는 실제 적용할 수 있도록 더 연구를 하고자 한다.
3. 냉·난방 설비시스템과 해석된 지중 열교환기를 기준으로 단독주택을 모델로 하여 지열시스템을 구성하여 이 주택에 대하여 에너지 절감 가능성을 살펴본 결과, 초기 투자비는 많게 되나 지열을 이용한 대체 에너지를 단독주택에 적용할 수 있는 냉난방설비설계가 가능하였고, 부하계산 결과 지열에너지의 이용에 해당하는 열량에 대한 면밀한 검토가 필요하며 차후 이에 대한 결과를 발표하고자 한다.

- heat pump system, MS thesis, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongbuk, Korea.
3. 손병후, 2008, 신재생 에너지의 건축응용 기술 현황, 한국건축친환경설비학회, Vol. 2, No. 1, pp. 39-47.
4. 장태익 외 1인 역, 2007. 신재생에너지공학. (주)북스힐, pp. 12-119
5. 장태익, 2006, 신·재생에너지와 재생에너지설비의 활용에 관한 고찰(I), 세명론총, 13편. pp. 289-306.
6. 김정태 외, 2002, 건축설비시스템, 기문당, pp. 45-81.
7. 강신형외, 2007, 신재생에너지 지열분야 기술 및 시장 동향 분석 보고서, 에너지관리공단
8. Lee J K, 2007, Cooling Performance of a Ground Source Heat Pump System, International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 16, N.1 pp. 441-446.
9. Woo S W, 2007, A Performance Prediction of a Vertical-Type Geothermal Heat Exchanger by CFD Analysis, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 27, No. 3 pp. 117-125.
10. Kim Y S, 2006, Evaluation on the Cooling Performance of Geothermal-energy Using Heat Pump System in Mixed-use Residential Building, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 26, No. 4, pp. 9-16.
11. <http://www.kemco.or.kr>/신재생에너지센터

참고문헌

1. Park J H, 2007, Research on the Cooling Evaluation of ground water heat pump system for private house, MS thesis, Kyungpook National University, Deagu, Korea.
2. Dong H S, 2004, Analysis for geothermal