



일반원고

지열이용 VRF시스템

김성실, 허인구
(주) LG전자 에어컨사업부

1. 들어가는 말

최근 화석에너지의 고갈과 환경오염에 대한 문제가 심각해지고 있다. 이에 따라 세계적으로는 화석에너지를 대체할 수 있는 신에너지와 환경오염이 발생하지 않은 에너지 시스템에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이와 같은 관심은 우리나라도 예외는 아니다. 신재생에너지는 화석연료를 대체하고 환경오염이 없는 에너지시스템으로써, 국내에서는 11가지 분야를 정하여 사용에 대한 보급 장려와 기술개발에 몰두하고 있다.

국내에서 활성화하고 있는 신재생에너지 중 건축물에 적용이 비교적 용이한 것은 지열, 태양열, 태양광, 풍력 등이 있다. 이중 태양열과 태양광은 일사가 가능한 낮 동안에만 에너지를 채집할 수 있다는 사용상의 제약이 있고, 풍력 또한 도심지에서 보다는 바람이 많은 섬이나 산간지역에서 그 적용이 검토되는 수준이다.

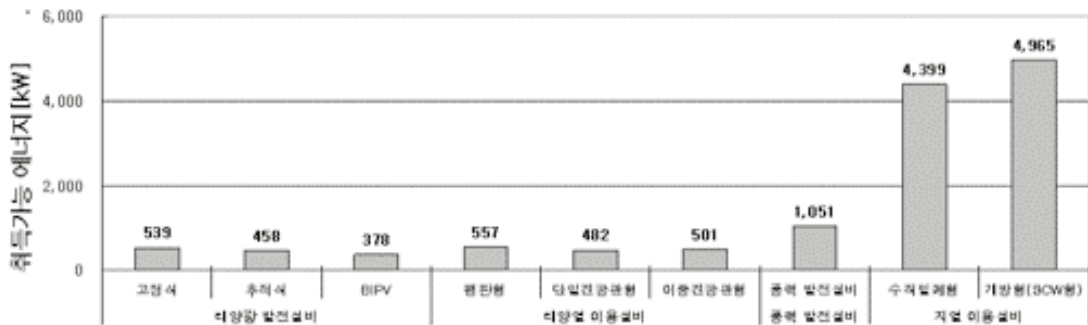
지열시스템은 연중 냉난방이 가능하고, 연간 일정한 온도를 유지하는 지중의 열원을 사용한다는

측면에서 건축물 적용시 그 적용성과 운전의 효율성이 뛰어난 시스템이라고 할 수 있다. 따라서 최근의 신재생에너지 적용분야 중 적용의 확대 정도가 가장 빠른 시스템이 되고 있다. 표 1은 건축에 적용 가능한 신재생에너지의 종류와 여건을 나타내었다.

국가적으로는 이와 같은 신재생에너지의 보급을 활성화하기 위하여 신재생에너지를 건축물에 적용하고자 할때, 민간인이 건축하는 건축물에 대하여 일정비율을 무상으로 지원하는 보급보조사업과 일정규모 이상의 공공건물을 신축하고자 할때 건축공사비의 일정부분을 신재생에너지를 설치토록하는 설치의무화 사업을 추진하고 있다. 이를 위해 일부 신재생에너지에 대해서는 매년 표준건축비를 정하고 이를 기준으로 보조금 및 신재생에너지에 투자되는 비용을 산정하고 있다. 그림 1은 건축물에 적용이 가능한 신재생에너지인 태양광, 태양열, 풍력, 지열 이용 설비에 대하여 신재생에너지에 대한 투자금액을 동일하게 50억이라고 가정했을때 투자금액에 대하여 취득가능한 예

<표 1> 건축물 적용 가능한 신재생에너지 비교

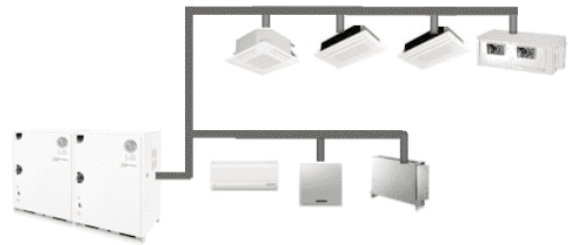
	태양광	태양열	풍력	지열
사용시간	일광시	일광시	일정속도이상의 바람	항시
시스템용도	발전	온수	발전	냉난방 및 급탕
제한조건	흐린날의 영향받음	흐린날의 영향 받음	가동풍속제한 태풍시 제한	없음
권장지역	일조량이 많은 지열	일조량이 많은 지역	바람이 세고 많은 지역	전국적으로 가능
국내여건	태양에너지 밀도 낮음	태양에너지 밀도 낮음	풍력에너지 밀도 낮음	지중열 조건 비슷함
표준공사비 ('08년기준)	9,300천원/kW (고정식기준)	900천원/m ² (평판형기준)	4,770천원/kW	1,140천원/kW (수직밀폐형기준)



[그림 1] 신재생에너지 투자비용 50억에 대하여 취득가능한 에너지량

너지의 량을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 지열은 다른 에너지원보다 취득가능한 에너지의 량이 월등한 것으로 볼 수 있다.

본고에서는 점차 건축물 적용이 확대되고 있는 지열 시스템을 건축물에 적용함에 있어서 보다 적용이 용이하며 운전비도 절약할 수 있는 지열 이용 VRF 시스템에 대하여 소개하고자 한다.



[그림 2] VRF 시스템 개념도

2. VRF(Variable refrigerant flow:냉매 유량가변형)시스템의 정의

에어컨이 냉방 뿐만 아니라 난방 운전까지 가능한 히트펌프가 출시되면서 중대형 건물의 냉난방 시스템으로 각광을 받고 있다. VRF(Variable refrigerant flow : 냉매 유량가변형) 시스템은 일반적으로 인버터 압축기와 제어 기술을 통해 냉매 유량을 정교하게 조절할 수 있는 시스템을 말하며, 국내에서는 이를 멀티에어컨디셔너라고 부르고 있다. 국내의 경우 2006년도에 전체 공조시장의 약 58%를 멀티에어컨디셔너가 차지하고 있을 정도로 적용이 늘어나고 있는 추세이다.(건교부, 통계청 KOSIS 자료)

멀티에어컨디셔너는 실내의 부하에 따라 냉매량을 개별적으로 조절이 가능한 개별공조 시스템으로서 부하변동에 능동적으로 대응할 수 있도록 용량 가변형 압축기와 제어 알고리즘 등을 적용하고 있다. 멀티에어컨디셔너는 하나의 실외기에

여러 타입의 실내기를 연결하여 실내의 사용 특성에 따라 실내기를 개별적으로 운전할 수 있고 실내기의 부하에 따라 실외기의 용량을 가변제어할 수 있기 때문에 사용자의 편리함과 에너지 절약성으로 중소형 건물 뿐만 아니라 대형 건축물에서도 새로운 공조시스템으로써 많이 적용되고 있다. 그림 2는 VRF를 적용한 멀티에어컨디셔너의 개념도이다.

멀티에어컨디셔너는 외기 부하 조건에 적절히 대응하고 냉난방 기능을 충분히 수행하기 위한 방법으로 인버터회로를 이용하여 전기적 변환으로 압축기의 주파수를 제어하여 회전 속도를 변화시키는 압축기를 사용함으로써 월별로 변하는 실내 부하조건에서 효율적인 냉난방 운전이 가능한 냉난방기를 전기학적으로는 “가변속 열펌프 또는 인버터 열펌프(Variable Speed or Modulating Heat Pump)”라고 하며, 기계학적으로는 냉매 유량 가변형 또는 VRF 시스템이라고 부른다.

1969년 일본에서 최초로 소개된 이래 1980년대 후반부터는 보급이 확대되었으며, 2000년대 접어들면서 대용량 모듈 기술이 개발되었다. 일본에서는 중소형 건물의 50%, 대형건물의 30%가 멀티에어컨디셔너를 적용하고 있다. VRF의 기본 원리는 인버터를 사용한 능률가변형 멀티 에어컨을 일컫는 말이라고 할 수 있다. 그러나 일반 단일 인버터 시스템이나 단속도 멀티형 또는 인버터 멀티형과 특별히 구분하여 냉매유량가변형이라 부르는 것은 단일 시스템으로 분리형 실내기, 천정캐세트, 천정매립형, 덕트부착형 실내기 등 다양한 종류 및 크기의 실내기를 한조의 배관으로 제어하는 기술로써 하나의 실외기에 조합되는 실내기를 최대 56대까지 연결할 수 있다는 점과 냉매가 실외기 출구에서 각 실내기로 별도의 배관으로 나뉘는 기존 멀티와는 달리 하나의 주관에서 필요에 따라 냉매량이 분배된다는 점이 크게 다르다.

VRF 시스템은 다음과 같은 특징으로 현재 다양한 건물들에서 다양하게 적용되고 있다.

2.1. 설치의 간편성 및 설치 면적 축소

냉동기를 설치하기 위해서는 크레인 등 중장비가 필요하지만, VRF시스템은 가볍고 모듈화 되어 있어 크레인이 필요없이 설치가 가능하다. 실외기가 모듈화 되어 있어 쉽게 운반이 가능하고, 일반적인 표준 엘리베이터를 이용하여 운반이 가능하다. 실외기의 모듈화로 실외기를 연결하여 사용함으로써 다양한 용량으로 사용이 가능하다. 각각의 모듈은 독립적인 냉매회로를 가지고 있지만, 하나의 공통된 제어 시스템으로 제어 된다. 상대적으로 가벼운 시스템 때문에 지붕의 구조적 보강의 필요성이 줄어든다. 또한 천정속 공간도 줄일 수 있으므로 빌딩의 높이와 비용을 줄일 수 있다.

2.2. 디자인의 유연성

하나의 실외기에 다양한 용량(2.3 ~ 14.5kW)과 형태(천정형, 벽걸이형, 바닥형)의 실내기가

연결된다. 현재 하나의 실외기에 64대까지 실내기를 연결할 수 있다. 또한 실외기가 모듈화 되어 있으므로 부가적인 용량으로 사용하기 위해서는 다양한 형태로 실외기를 조합할 수 있으므로 공간의 재구성 및 확장 등 공조시스템의 설계를 다양화 할 수 있다.

2.3. 편리한 유지보수와 관리

표준화된 형태와 정교한 전기적 제어를 가진 VRF 시스템은 보다 편리한 유지관리를 목적으로 하고 있다. VRF 시스템은 실외기로부터 냉매관을 직팽식으로 운영하기 때문에 물을 이용하는 냉동기보다 유지 및 보수 비용이 적게 든다. 또한 수배관과 같이 정기적인 스케일 제거와 같은 유지보수가 필요하다.

2.4. 개별제어 및 에너지 효율성

하나의 실외기에 연결되어 있는 다수의 실내기들이 개별적인 제어가 가능하다. 이는 다양한 용량 모듈 성능을 가진 가변속도 압축기를 사용하기 때문이다. 이 때문에 중앙공조에서 발생될 수 있는 에너지 낭비를 줄일 수 있다.

2.5. 적용성

VRF 시스템은 일반적으로 개별 제어를 필요로 하는 사무실, 병원, 호텔과 같은 모양이 다양하고 복합 구조에 가장 적합하다. 과거에는 대용량의 VRF시스템이 보급되지 않았으나, 현재는 대규모 건축물에도 적용이 가능한 시스템이 개발되어 시판되고 있다.

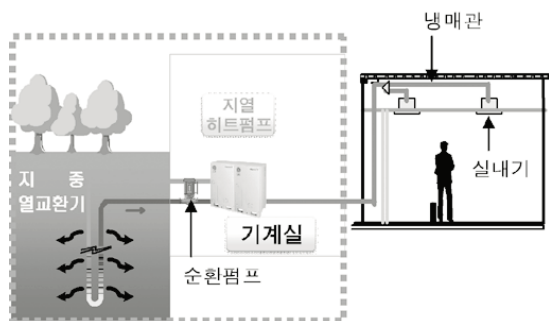
3. 지열이용 VRF시스템의 원리와 기존 지열 시스템의 비교

3.1 VRF 지열 시스템의 구성

VRF 지열시스템은 지중열교환기에 연결되는 수열원 히트펌프에 냉매관을 이용하여 실내에 열을 공급하는 시스템이다. 그림 3는 지열이용 VRF

시스템의 개념도이다. 지열 이용 VRF시스템은 기존 지열 시스템의 장점을 VRF 시스템에 응용한 것이다.

지열 시스템은 연간 온도 조건이 안정적인 땅속의 열원을 이용하는 것으로 연간 일정한 성능을 얻을 수 있는 장점이 있다. 그러나 기존의 지열 시스템은 물을 생산하여 냉난방을 하는 것이 대부분으로 기계실에 대용량의 물 저장 탱크와 실내 부하측에 열공급하는 반송장치가 필요하여 이를 설치하기 위한 기계실의 면적확보가 필요하며, 기기들을 가동하기위한 운전비가 별도로 필요하다.

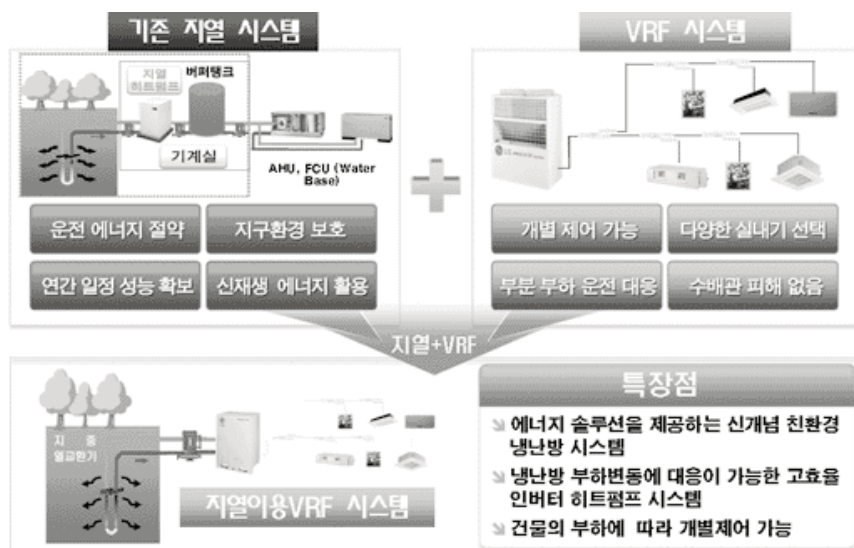


[그림 3] VRF 지열 시스템의 개념도

또한 실의 개별운전에 따른 개별제어가 용이하지 않은 문제가 있었다. 이에 비하여 VRF 시스템은 실별로 또는 같은 실내에서도 각각의 실내기를 개별적으로 제어가 가능하며, 실내기의 개별제어에 따라 실외기의 인버터 압축기에 의한 부분부하 운전이 가능함으로써 실의 쾌적성 뿐만 아니라 에너지를 운전에너지로 절약할 수 있는 장점이 있다.

지열이용 VRF 시스템은 이와 같은 기존 지열 시스템의 장점과 VRF 시스템의 장점을 접목하여, 연간 안정적인 온도를 유지하는 지중을 열을 이용하여 실내를 개별제어하고 부분부하 운전성능을 향상하여 에너지 절약성능을 극대화할 수 있는 신개념의 친환경 시스템이라고 할 수 있다. 그림 4는 지열이용 VRF시스템의 특징점을 나타내었다.

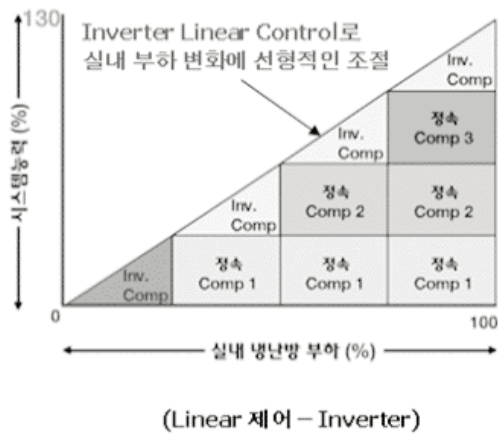
LG전자의 지열이용 VRF시스템은 세계 최초로 친환경 410A 냉매를 적용한 물-냉매 방식의 히트 펌프로 개발되었으며, 기존의 시스템 에어컨의 고효율 DC인버터 선형 제어 기술을 적용하였기 때문에 우수한 냉난방 성능과 부분부하 시 성능이 우수하여 운전비용을 절감할 수 있는 것이 특



[그림 4] 지열이용 VRF시스템의 특징점

징이다. LG전자의 지열이용 VRF시스템은 고효율의 DC인버터 압축기를 사용함으로써 각각의 실의 개별운전 상황에 따라 압축기가 운전되는 것으로 그림 5에서 보는 바와 같이 실의 부분부하 운전에 따라 전기소비량도 선형적으로 변할 수 있도록 함으로써 에너지 손실없이 실의 부하 조건에 따라 정교하게 제어가 가능함으로써 에너지 절약적인 효과적인 냉난방 운전을 할 수 있다.

LG전자의 지열이용 VRF시스템은 기존의 다양



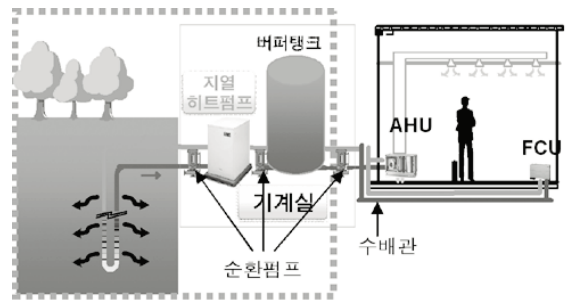
(Linear 제어 - Inverter)

[그림 5] 인버터 적용에 따른 시스템 성능 및 에너지 절약성

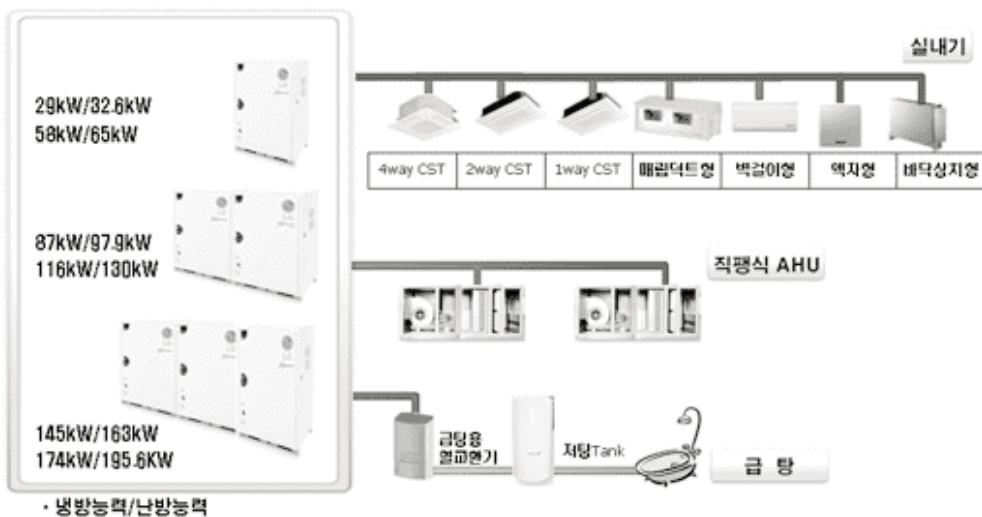
한 적용하는 것 뿐만 아니라 직행식 AHU와도 연결이 가능하므로 대공간의 냉난방이 가능하다. 또한 급탕Kit을 이용하여 온수를 생산할 수도 있어서 건물의 냉난방과 급탕이 가능하다. 그림 6은 지열이용 VRF시스템에 적용 가능한 실내기 및 급탕 시스템의 개념도를 나타내었다.

3.2 기존 지열 시스템의 구성

기존 지열 시스템은 물-물 방식의 히트펌프를 기반으로 실내기측으로 물을 반송하여 건물을 냉난방하는 방식이다. 그림 7은 기존 지열 시스템의 구성의 개념도이다.



[그림 7] 기존 지열 시스템의 개념도



[그림 6] VRF 지열 시스템을 이용한 실내기 적용성

히트펌프에서 생산되는 물은 난방기준으로 45 ~ 50℃의 물을 이용하여 난방을 해야 하므로 건축물 내에 다량의 물을 저장할 필요가 있으므로, 기계실 내에 물을 저장해야하는 저장탱크의 용량이 커지게 되어 기계실에 저장탱크를 설치할 수 있는 면적확보가 필요하다.

3.3 VRF지열 시스템과 기존 지열 시스템의 비교

기존의 물-물 방식의 지열 시스템은 실내로 반송되는 열매체를 물을 사용한다. 실내측으로 물배관이 있음에 따른 문제들이 발생할 수 있으며, VRF방식과 비교하여 더 많은 설치공간이 필요하다. 현재 적용되고 있는 기존의 지열 시스템의 히트펌프는 30 ~ 60RT 또는 그이상의 대용량을 사용하고 있어서 실내측의 개별제어가 어려우며, 개별제어를 한다고 하더라도 히트펌프의 부분부하 운전이 정밀하지 않기 때문에 낭비되는 에너지가 많아질 수 있다. 이에 비하여 VRF 시스템은 열반송 매체로 냉매를 사용함으로써 설치공간이 더 작게 필요하고 작은 용량의 인버터 압축기를 적용한 히트펌프를 사용함으로써 실내의 개별제어가 가능하고 이에따른 부분부하 운전의 효율을 높일 수 있으므로 에너지를 절약할 수 있다. 표 2는 기존지열과 VRF방식의 지열시스템의 특징을 나타내었다.

<표 2> VRF 지열 시스템과 기존지열 시스템 비교

	VRF 지열시스템	기존지열시스템
구성	지중 열교환기, 지열 순환펌프, VRF 히트펌프, 실내기	지중 열교환기, 지열순환펌프, W-W히트펌프, 온수순환펌프, 축열조, 버퍼탱크, 실내기
효율	직접 열교환 방식으로 고효율	열교환기효율에 따라 시스템 성능 저하
시공성	실내측이 냉매관이므로 천정속 공간 최소화 기계실 면적 축소(축열조 불필요)	실내측이 수배관이므로 천정속 공간 증가 기계실 면적 크게 필요(축열조 필요)
유지 보수	동절기 동파 염려 없음 실내기의 개별제어가 가능함	실내에 수배관으로 인한 물피해 우려 혹한시 가동 중단으로 인한 동파 우려
운전 특성	부분부하 운전으로 에너지 절감 효과 우수 전체시스템이 냉방, 난방이 동시에 가능함 각실별, 존별 정밀한 개별운전 가능	전체 시스템이 냉방 또는 난방전용 운전 동시냉난방 개별운전 불가능 개별운전 어려움
미관	다양한 실내기의 적용가능	실내기의 형태가 다양하지 않음

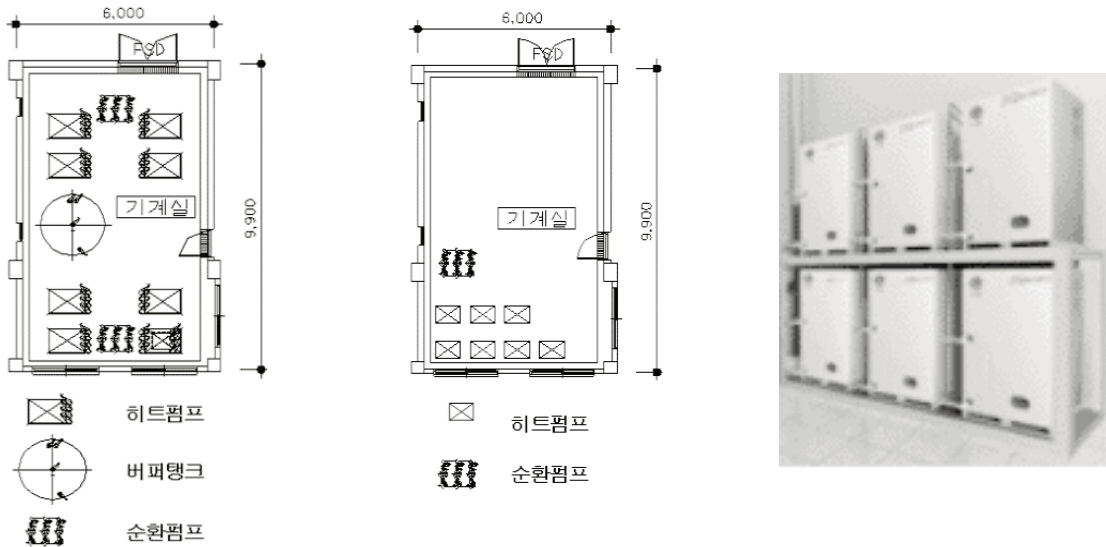
3.3.1 기계실 면적 비교

기존 지열 시스템은 냉난방시 물을 이용하여 냉난방하여야 하므로 큰 물 저장탱크가 필요하다. 그림 8은 200RT 동일 용량의 부하에 대하여 기존 방식과 VRF방식의 지열 시스템의 기계실을 비교하여 나타내었다. VRF 방식은 수배관과 냉매관을 전면에 둘 수 있어서 히트펌프를 이단으로 적재하여 설치할 수 있고, 이에따라 기계실면적을 현저하게 절약할 수 있다. 기존 지열시스템에 비교하여 약 50%의 기계실로 건물내에 필요한 장비를 모두 배치할 수 있다.

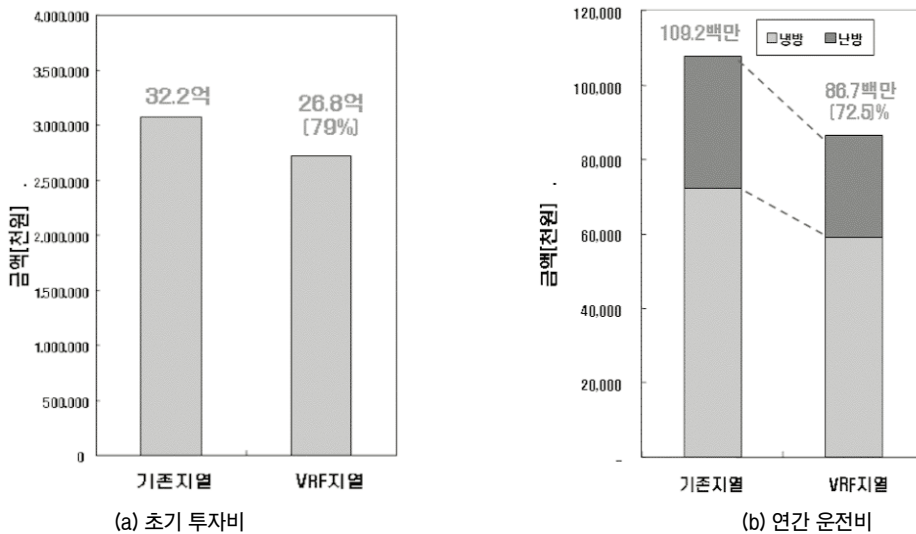
3.3.2 초기투자비 및 운전비 비교

VRF시스템은 기존지열시스템과 비교하여 기계실에 설치되는 버퍼탱크 및 열원순환펌프 등 부가적인 장비가 불필요하여, 기존 지열 시스템을 적용하는 것에 비하여 초기투자비 뿐만 아니라 기기 사용동력을 절감할 수 있으므로 운전비도 절감할 수 있다.

그림 9는 냉난방용량이 600RT인 건축물에 VRF 지열 시스템과 기존 지열 시스템을 적용할 경우의 초기투자비와 운전비를 분석한 결과이다. 초기투자비는 VRF 시스템이 기존 지열 시스템에 비하여 약 20% 정도의 초기투자비를 절감할 수 있으며, 운전비는 27% 정도 절약할 수 있는 것으로 나타났다.



[그림 8] 기존 지열 시스템과 VRF시스템의 기계실 비교



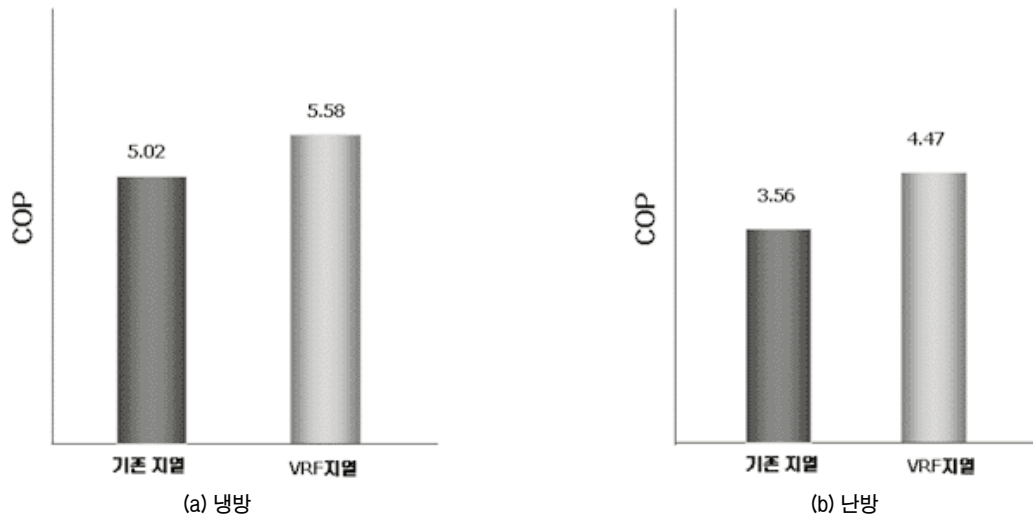
[그림 9] VRF지열 시스템 Vs. 기존지열 시스템의 비용 비교

3.3.3 기기 성능 비교

VRF 시스템은 냉매관을 이용하여 히트펌프에서 생산된 열을 건축물내로 직접 전달할 수 있으므로 기존의 물-물 방식의 시스템에 비교하여 기기의 효율을 높일 수 있다.

그림 10은 국내에서 생산되고 있는 물-물 방식

의 히트펌프와 VRF방식의 히트펌프의 성능 계수인 COP를 비교한 결과를 나타내었다. 그림 10에서 보는바와 같이 냉방성능 뿐만 아니라 난방성능에서도 VRF 지열시스템의 성능이 현저하게 높은 것을 알 수 있다. 성능의 기준은 히트펌프 용량 145kW를 기준으로 냉방시 히트펌프 입구 유체



[그림 10] 기존지열 히트펌프 Vs. VRF이용 히트펌프 성능 비교

온도 25℃, 난방시 히트펌프 입구온도 15℃를 기준으로 한 값이다. 기존 지열 시스템의 냉방 COP는 5.02, 난방 COP는 3.56이며, VRF시스템의 냉방 COP는 5.58, 난방 COP는 4.47로 더 높은 성능을 나타낸다.

4. VRF 지열 시스템 설치 사례

00대학교 교수 연구동은 지하 1층, 지상 6층의 건물로 교수 연구동(3F ~ 6F)과 사무실(1 ~ 2F)로 구성된다. 건물전체를 지열원 히트펌프와 공랭식 히트펌프를 함께 설치하여 초기투자비 및 운전비를 효과적으로 절감하였다. 사무실은 교수 연구실과는 달리 사용 빈도가 많고 연속 운전이 예상되며 방학기간에도 사용할 것이므로 지열 시스템을 적용하였다. 반면, 교수 연구실은 사무실과는 다른 부하 특성으로 기존의 공기열원 시스템에어컨을 적용하였다. 지열원 히트펌프는 냉난방용으로 29kW를 10대, 급탕용으로 29kW를 2대 설치하였다. 공랭식 히트펌프는 전체용량이 609kW로 실별로 zoning하여 실외기의 용량을 산정하여 설치하였다. 건물의 냉난방 제어는 냉난

방, 급탕, 환기 시스템 모두를 한 곳에서 모니터링 및 개별, 중앙 제어 할 수 있는 인텔리전트 제어 시스템을 구축하였으며, 개별 및 BMS 중앙 제어 시스템이 적용되어 있다.

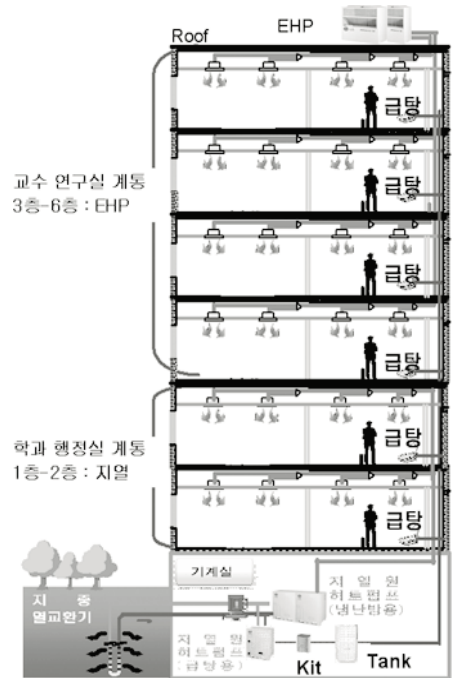
그림 11은 본 건물의 전경과 시스템 적용 개념도이며, 그림 12는 실내기 및 기계실의 모습이다.

본 건물은 지열이용 VRF시스템을 적용함에 따라 연간 냉난방 및 급탕 운전 비용으로 기존 시스템 대비 약 2,750만원을 절감하게 될 것으로 예측되며, 100% 국산화한 지열 시스템을 적용하여 신재생 에너지 설비의 보급 활성화를 기대하고 있다.

현장의 지질은 화강암계 안산암으로 구성되어 있고, 암반의 열전도는 $k=2.9 \text{ W/mK}$ 이며 지하수 온도는 약 15 ~ 16℃이다. 현장 여건은 기존 건물 사이의 공간에 개축하는 건물로 지중 열교환기 설치 공간이 충분하지 않아 학교 부지 옆에 녹지를 활용하여 지중 열교환기를 설치하고, 녹지를 재 조성하였다. 지중 열교환기는 직경 150mm, 길이 175m, 24개의 보어홀로 설계하였고, 그라우팅은 벤토나이트와 실리카샌드를 혼합하였으며, 지중열교환기 순환유체는 물에 10% 에탄올을 첨가하였다.



연 면적 : 7,070 m²
 위치 : 부산시
 주용도 : 교육 및 연구 시설
 건물 규모 : 지하 1층, 지상 6층



[그림 11] 지열이용 VRF 시스템의 설치 건물의 전경 및 개념도



[그림 12] 지열이용 VRF 시스템의 설치 건물의 기계실 및 실내기 설치모습

5. 맺음말

본 고에서는 최근 세계적인 관심과 더불어 국내에서도 그 적용이 급격하게 증가하고 있는 지열 시스템에 VRF기술을 적용한 시스템에 대하여 소

개하였다.

VRF시스템은 실의 개별제어 성능이 뛰어난 뿐만 아니라 부분부하운전이 가능하다는 장점이 있다. 이는 오늘날 공조의 조건으로 가장 중요한 요소가 에너지 절약이라는 측면에서 가장 건축물의

적용에 좋은 시스템임을 살펴보았다. 특히 부하의 상태가 서로 상이하게 나타나는 복합 업무용 건축물에 적용할 경우에는 그 효율성이 아주 높은 시스템이다. 지열 이용 VRF시스템은 멀티에어컨 디셔너의 건물 적용에 있어서 신재생에너지를 활용했다는 측면에서 재실자의 쾌적한 실내환경과 국가와 지구적인 차원에서는 에너지 절약과 환경 보호를 기대할 수 있다.

현재 신 재생에너지의 보급을 확대하기위해서 설치가 의무화되어 있는 공공업무시설에 적용할 경우에도 재실자의 쾌적성과 시스템 운전시 비용 및 에너지 절약을 동시에 만족시키는 시스템이라 할 수 있다. 최근의 유가 상승에 따른 정부의 신재

생 에너지 활용이 본격화되는 시점에서 지열 VRF 시스템과 같은 고효율 시스템의 지속적인 보급이 필요하다고 생각된다.

참고문헌

1. [집중기획] 멀티에어컨의 기술 개발 및 제품 동향, 유풍상, 이건우, 설비저널, 대한설비공학회지, 2002. 3.
2. 시스템에어컨 기술동향 및 다양한 시스템 별 적용 사례, 박완규, 김동한, 설비(한국설비기술협회지, 2008. 5. 