

# 멀티히트펌프 시스템 개요 및 연구동향

■ 강 동 준 / LG전자 AC본부 CAC엔지니어링팀, dongjoon.kang@lge.com

■ 박 근 우 / LG전자 AC본부 CAC엔지니어링팀, geunwoo.park@lge.com

**멀티히트펌프 시스템의 구성과 특징을 설명하고 멀티히트펌프 시스템의 성능향상을 위한 기술적용 현황을 소개한다.**

최근 유가 및 원재료비의 지속적인 상승으로 인한 에너지 문제가 전 세계적으로 대두되고 있고, 따라서 각 국가에서는 다양한 방법으로 에너지 규제를 실시하고 있다. 이러한 에너지 규제에 대응하기 위해서 산업 전반에 걸쳐서 고효율 제품에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있는데, 특히 지열, 태양열 등의 대체 에너지와의 하이브리드(Hybrid)에 대한 관심이 늘고 있을 뿐만 아니라, 제품 자체의 효율 향상을 위한 에너지 절감 기술 개발 또한 꾸준히 이루어지고 있다. 특히 최근의 빌딩용 에어컨 제품 동향은 대용량을 요구하는 추세이지만 제품의 사이즈는 오히려 소형화 되고 있고, 동일한 사이즈에서도 더 큰 성능을 발휘할 수 있다면 그만큼 제품의 효율이 높아지게 되는 것이므로 효율 향상을 위한 활발한 연구를 다양한 방법으로 활발하게 진행하고 있다.

## VRF 시스템의 개요

VRF(Variable Refrigerant Flow System) 기술은 약 25년전 일본에서 처음 소개된 히트펌프 기술을 응용한 멀티 시스템의 공조 방식이다. 개발 초기에는 10마력의 실외기에 5마력의 실내기를 2대 접속한 소규모의 제품이었지만, 현재는 다양한 형태의 대규모 시스템으로 발전하여, 1만m<sup>2</sup> 이상의 대형 건물에도 대응할 수 있게 되었으며, 각 요소부분의 기술혁신을 통한 고효율화로 지구온난화 방

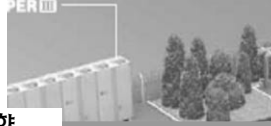
지에 기여하는 친환경 제품으로 주목받고 있다. 중앙공조방식의 발상지인 북미 시장에서도 오바마 대통령의 Green New Deal을 계기로 고효율 제품에 대한 관심이 고조되고 있어, 최근 VRF 기술이 주목받고 있다.

많은 냉동공조 기술자들은 덕트가 필요 없는 냉난방 제품(이하 멀티 분리형)을 잘 알고 있다. 멀티 분리형 제품은 한 대의 응축기가 다수의 실내 증발기와 연결되며, 이러한 멀티 분리형 방식은 덕트를 사용하는 칠러 방식과는 근본적으로 다르다. 기존의 칠러 시스템은 실내에서 발생한 열을 공기 또는 물의 순환을 위해 칠러의 증발기와 연결된다. VRF시스템은 기본적으로 멀티 분리형 방식보다 대용량이고, 훨씬 더 복잡하며, 멀티 압축기를 장착하고, 다수의 실내측 증발기를 필요로 하며, 복잡한 오일과 냉매 제어 및 정교한 제어 시스템이 요구된다. 또한 환기를 위해서는 개별 환기 시스템이 필요하다. VRF 기술은 각각의 증발기로 흘러가는 냉매의 양을 정확하게 제어하는 것을 의미한다. 또한 각 실별 용량에 맞는 다양한 용량의 실내기 적용, 개별적인 쾌적 제어, 동시 냉난방 기술, 한 실에서 다른 실로의 열 회수로 인한 에너지 효율이 증가되는 것이 장점이다. 이러한 정교한 냉매 유량 제어 기술은 VRF 시스템의 심장부적인 기술이다. 그림 1은 표준 VRF 시스템의 형태를 보여준다.

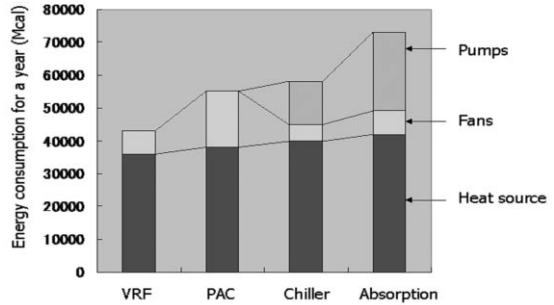
## VRF 시스템의 특징점

### 에너지 효율성

VRF 시스템의 에너지 효율성은 일반적인 덕트



[그림 1] 표준 VRF 시스템



[그림 2] 공조 시스템의 연간 에너지 소비량 비교

시스템보다 높다. VRF는 덕트 시스템에서 필수적으로 발생하는 공기유량의 10 ~ 20%에 해당하는 에너지 손실이 없다. VRF 시스템은 전형적으로 2 ~ 3개의 압축기를 가지고 있다. 각 실외기에는 다양한 용량으로 모듈화를 할 수 있는 가변속도 압축기가 있고 이러한 이유로 높은 계절 에너지 효율성(SEER)을 달성할 수 있다. 왜냐하면 냉난방 및 공조시스템은 최대용량의 40 ~ 80%의 범위에서 대부분 운전되기 때문에 부분부하효율이 높은 VRF시스템은 연간에너지절약에 큰 도움이 된다. 한편, 냉난방이 동시에 필요한 빌딩에는 동시 냉난방 VRF 시스템을 사용할 수 있다. 이러한 시스템은 냉방되고 있는 실내기로부터 난방되고 있는 실내기로 열 전달을 위해 두 실내기 사이에 냉매가 순환한다. 대부분의 제조사에서는 3개의 배관(액관, 흡입 가스관, 토출 가스관)과 특수한 밸브를 사용하여 냉매의 흐름을 조절한다. 전형적으로 분배기 박스에 있는 임시의 열교환기는 냉방이 되는 공간의 과열 냉매로부터 난방이 되는 공간의 냉매에서 전달된 냉매가 열로 전환하기 위해 사용된다.

VRF 시스템의 에너지 비용은 설치 여건에 따라 달라질 수 있다. 예를 들어 거의 모든 업무시간에 근무자가 밖에 나가서 일하며 넓은 공간이 비어 있는 정부 건물이 있다고 가정해보자. 건물 한쪽엔 Rooftop VAV가 다른 쪽은 VRF 시스템이 사용되고 있다. 이 경우 VRF의 에너지 소비가 대략 38% 적게 측정되었다. 표준 소프트웨어를 사용하여 538톤의 VRF 시스템이 스크류와 원심식 칠러

보다 상대적으로 에너지 비용이 더 절약되는 것으로 산출되었다. 대략 30% 정도의 냉방 에너지 절약은 상대적으로 온화한 브라질 기후 조건에서 설명될 수 있다.

시뮬레이션 프로그램으로 공냉식 스크류 혹은 수냉식 칠러와 현재 보급되고 있는 200톤(799 kW) VRF 시스템을 비교분석한 결과 R-410a 냉매를 적용한 VRF 시스템이 30% ~ 40% 정도 에너지 사용을 절감하는 것으로 나타났다. 이는 VRF 시스템이 부분 부하 조건에서 고효율이기 때문이다. 칠러의 효율은 단지 90% 이상의 부하에서 VRF 보다 높았다. 칠러의 IPLV(Integrated Part Load Value)를 계산하는 비중에서도 알 수 있듯이 건물의 Load중 100% Full Load는 1%에 불과하고, 대부분의 Load는 80% 이하의 부하로 존재한다. 따라서 실제 건물에서 운전되는 공조시스템에서는 부분부하성능이 정격성능보다 더 중요함을 알 수 있다. 일본의 일부 제조사는 인버터 터보칠러를 제조 판매하고 있으나 대부분의 칠러는 현재 정속으로 가동되고 있고, 칠러의 부분부하효율은 정격성능보다 낮은 것이 일반적이다. 따라서 부분부하효율을 고려한 연간 에너지 소비량을 비교해보았을 때 VRF시스템이 가장 효율적인 것을 알 수 있다(그림 2). 또한, VRF는 상대적으로 간단하게 전기요금 계량 및 요금분배를 할 수 있다.(예를 들어 전기요금 계량에서 VRF 시스템에서는 1개 혹은 몇 개의 실내기를 비교적 간단하고, 정확하며, 상대적으로 계측 비용이 저렴하다.) 결론적으로 VRF의 전기요금은 에너지 비용이 각 거주자에게

개별적으로 청구되어 많은 빌딩 거주자들이 에너지를 자발적으로 절약할 수 있는 시스템이다.

**설치 편리성**

칠러를 설치하기 위해서는 종종 크레인이 필요하지만 VRF 시스템은 가볍고 모듈화되어 있어 크레인이 필요 없다. 각 모듈은 쉽게 옮길 수 있고 표준 엘리베이터에 들어간다. 이러한 모듈들의 다양성은 다양한 톤의 냉방 성능을 획득하는데 사용될 수 있다. 각 모듈은 독립적인 냉매회로를 가지고 있지만, 이것들은 하나의 공통된 제어시스템으로 제어된다. 예를 들어 만약 현재 이용되는 독립방식의 VAV 시스템과 비슷한 빌딩이 부분적으로 차지한다면 모듈성이 가능하며, 각 층 설치도 가능하다. 상대적으로 가벼운 시스템이기 때문에 지붕의 구조적 보강의 필요성이 줄어든다. 덕트작업은 단지 환기시스템에만 필요하며 그것은 빌딩의

높이와 비용을 줄여 칠러의 표준 덕트시스템보다 덕트사이즈가 더 작을 것이다. VRF 시스템은 또한 에어컨이 없는 오래된 빌딩에 개보수하기 위한 역사적 건물도 설치가 가능하다. 결과적으로 실외기가 외부에 놓여지기 때문에 실외기를 위한 기계실이 필요하지 않다.

**설계 유연성**

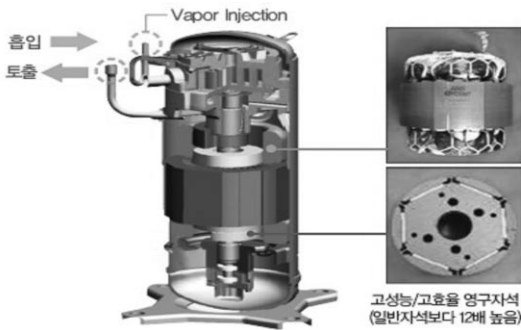
하나의 실외기에 다양한 용량(0.5 ~ 4톤/1.75 ~ 14 kW)과 종류(천장형, 벽걸이형, 바닥형)의 실내기들이 연결된다. 현재 제품들은 20 종류 이상의 실내기가 하나의 실외기로 운전될 수 있다. 또한 VRF 시스템 모듈화는 부가적인 용량 또는 다양한 터미널 유닛이 요구되는 공간에 시스템 재구성 혹은 확장을 위하여 편리하게 적용된다.

**유지보수와 감리**

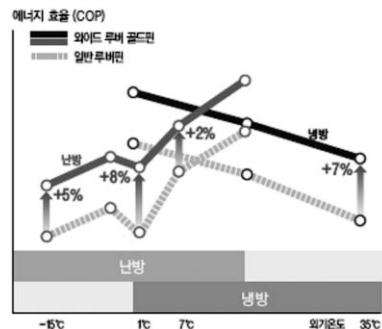
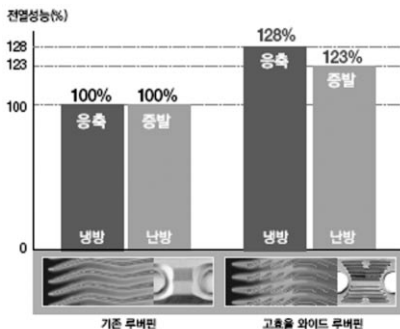
표준화된 형태와 정교한 전기 제어를 통해 VRF 시스템은 보다 편리하게 유지보수와 감리를 할 수 있다. 냉매를 팽창하는 DX(Direct eXpansion) 시스템이기 때문에 VRF의 유지비용은 수냉식 칠러보다 작다. 또한 물을 취급해야 하는 문제를 피할 수 있다. 일반적인 VRF 시스템의 유지보수는 필터 교환과 코일 청소만으로 간단하다.

**안락성**

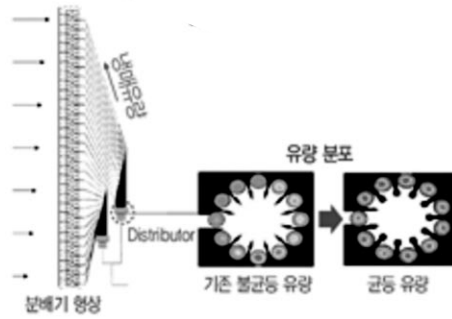
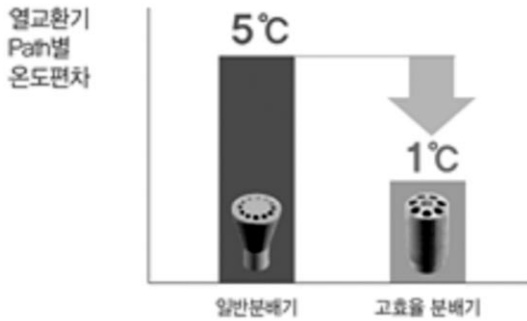
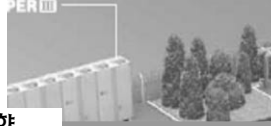
대부분의 공간에 VRF 시스템을 적용할 수 있으며 각 실에서의 개별적인 제어가 가능하다. 이는 VRF 시스템이 가변속도 압축기를 사용하기 때문



[그림 3] 고압식 BLDC 인버터 압축기

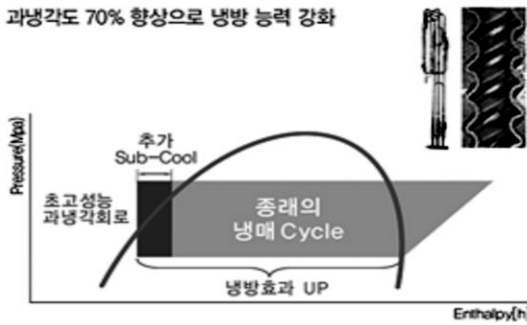


[그림 4] 고효율 와이드 루버 열교환기



[그림 5] 고효율 냉매 분배기

과냉각도 70% 향상으로 냉방 능력 강화



[그림 6] C.S.I.과냉각기

적인 냉난방을 필요로 하는 일반 사무실, 병원, 호텔과 같은 건물에 적합하다.

### LG전자 VRF 제품 “Multi V” 소개

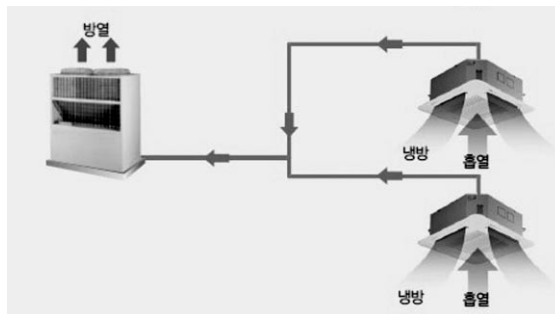
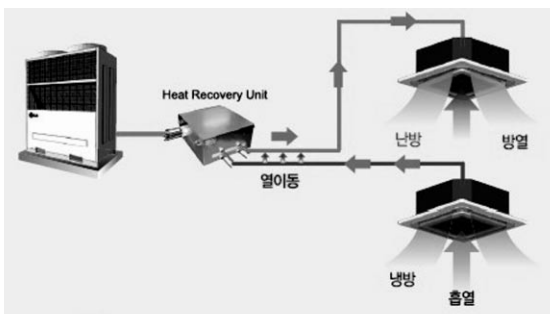
#### Multi V Super III (고효율 VRF 에어컨)

고효율 빌딩용 시스템 에어컨인 Multi V Super III에서는 제품 자체의 에너지 효율 향상을 위해서 압축기의 회전수를 변화시킬 수 있는 인버터 압축기를 채용하여 다양한 부하에 효과적으로 대응 하고, 전원을 인버터 회로에 전달하는 역률의 개선, 고성능 마그네트를 활용한 직류(BLDC)모터 적용을 통하여 효율을 향상 시키는 것과 동시에 실시간 절전 및 능력 보상 알고리즘의 적용을 통하여 실내온도와 사용온도와의 차이를 효율적으로 제어함으로써 냉/난방 최대 28%의 절전 효과를 볼 수 있다. 특히, 고압식 BLDC Scroll 압축기

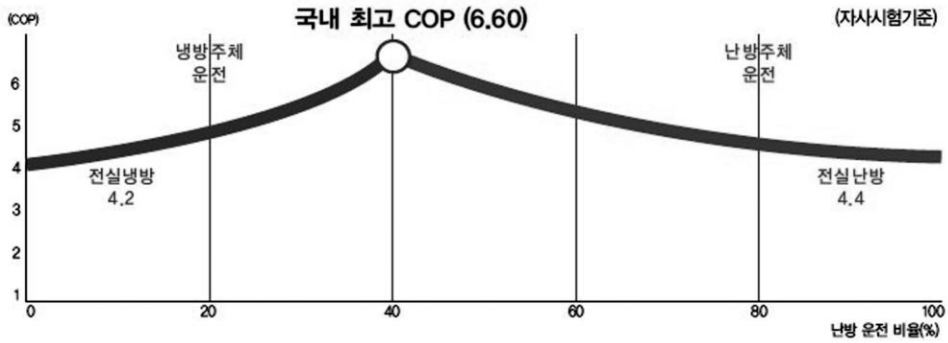
이다. 일반적으로  $\pm 1^{\circ}\text{F}(\pm 0.6^{\circ}\text{C})$  범위 안에서 정확한 온도제어를 할 수 있다.

#### 적용성

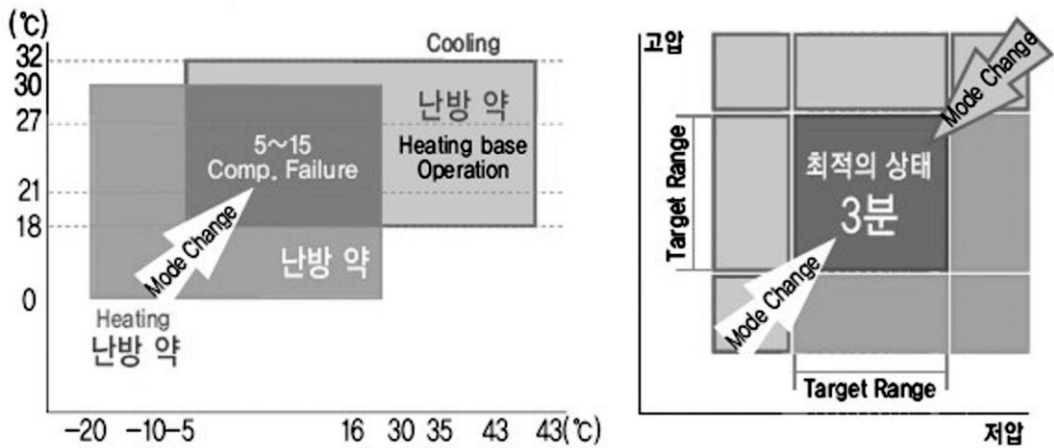
VRF 시스템은 일반적으로 다양한 공간에서 개별



[그림 7] 동시형 냉난방 시스템 개요



[그림 8] 냉난방 동시운전 효율



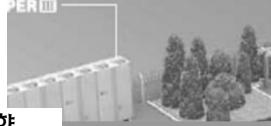
[그림 9] AMC 제어 기술

는 중간압 배압 방식의 압축구조 채용으로 내부의 누설 및 기구부의 마찰을 최소화함으로써 압축기 효율을 대폭 향상 시켰다. 그리고 흡입 공기 상하 유속에 따른 열교환기 배열(path), wide louver fin 열교환기를 채택하였고 2-phase 상태의 냉매를 효과적으로 분배하여 열교환기 배열(path)간 냉매 온도 차이를 1°C 이내로(기존 5°C) 대폭 줄일 수 있는 고효율 냉매 분배기를 적용하여 제한된 size에서 성능 및 효율을 극대화 하였고, 내부에 impinging jet 효과와 cyclone 효과를 이용하여 열 전달계수를 향상시킨 C.S.I.(cyclone subcool interchanger). 과냉각기를 적용하여 고저차 110 m에

서도 운전이 가능하게 하였다. 이러한 기술의 적용을 통하여 세계 최초로 1대의 실외기로 20마력, 최대 4대의 조합으로 80마력까지 대용량을 구현할 수 있다.

또한 Multi V Super III 는 전모델을 오존층 파괴 지수가 “0”인 R410A 친환경 냉매를 적용하고 있을 뿐만 아니라 전부품의 친환경 설계를 기본으로 하고 소비전력 저감 활동을 지속적으로 추진하고 있으므로 환경보호 및 CO<sub>2</sub> 절감 활동에도 적극적으로 앞장서고 있다.

**냉난방 동시형 VRF 에어컨 (Multi V Sync II )**



현재 에너지 절약 및 설치공간 측면에서의 이점으로 인해 히트펌프 시스템의 적용이 증가하고 있는 추세이지만, 기존의 히트펌프 시스템의 경우 동시 냉난방 운전이 불가하므로 호텔 또는 전산실과 같이 동시에 냉방과 난방이 요구되는 장소에서 소비자들의 다양한 요구를 만족시키기 힘든 실정이다. 따라서 에너지 절약과 사용 편리성의 두 가지 고객 요구를 만족시키기 위해 폐열 회수 및 완전한 실내기 개별 공조 실현이 가능한 Heat Recovery 냉난방 동시형 제품의 보급이 급격히 확대될 것으로 전망 되고 있다.

냉난방 동시형 고효율 시스템 에어컨 Multi-V Sync II에서는 HR Unit (Heat Recovery Unit)의 fuzzy 제어를 통하여 동시 냉난방 운전을 가능하게 하였으며, 냉방/난방 실내기의 능력 및 실외기 운전 모드를 결정하기 위해 LG의 독자적인 AMC (Advanced mode Control) 제어 기술을 적용하였다(그림 9). 이 기술은 냉매 유량 제어 및 압축기와 모터 회전수 제어를 포함하는 LG 냉난방 동시형 제품의 핵심 기술로 열교환기 분할을 통한 압력 제어보다 진일보한 기술이라 할 수 있다. 또한 FDD(Fault Detect & Diagnosis)기술 및 냉매 회수 기능은 서비스 발생 및 서비스 시 발생하는 냉매 방출을 최소화 하여 친환경 설계뿐 아니라 사용 및 제품 폐기 시 까지 친환경 Life cycle 구현이 가능하다. 냉난방 동시형 시스템 에어컨 Multi V Sync II는 고효율 모터 및 압축기, 고효율을 wide

louver 열교환기를 적용하였고 소비전력을 최소화 하였고 전부품의 친환경 재질 사용으로 환경친화적인 제품으로 설계할 수 있었습니다.

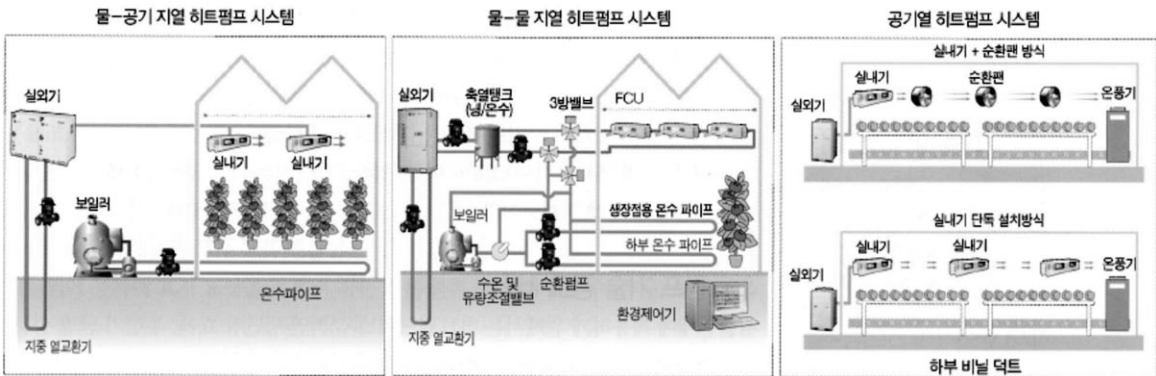
### Multi V의 응용 분야

#### Net Zero Energy Building

에너지 소비의 많은 부분을 차지하는 건축물 분야는 온실가스 감축에 대한 잠재성이 가장 큰 분야로, 정부는 건축물 에너지 효율화의 목표를 제로 에너지 건축물(net zero energy building)로 설정한 바 있다. 주택 부문은 2025년부터 제로 에너지 주택을, 2030년부터는 제로 에너지 건축물 보급을 의무화하겠다는 목표다. 건축물 에너지 효율화의 핵심은 냉난방, 환기, 조명과 같은 설비이며 냉난방 및 급탕부하에 소요되는 에너지를 최소화 해주는 고효율 히트펌프 기술인 VRF야 말로 그에 대한 답이라고 할 수 있다.

#### Hybrid VRF 통한 첨단 농업 기반 제공

유가가 상승할 경우 시설원에 농가는 상당한 부담을 가지게 된다. 시설원에 농가의 난방 에너지 절감을 위한 실천은 농가 경쟁력 확보는 물론 농가의 생존과 직결되는 중요한 문제가 아닐 수 없다. 난방비 최소화를 위한 해결 방안으로 제시된 것이 바로 기존 보일러와 히트펌프를 병용 운전하는 하이브리드 시스템이다(그림 10). 지중열과



[그림 10] Hybrid VRF system

대기열을 냉난방 에너지로 전화시켜주는 히트펌프와 기존의 보일러를 병용하면 초기 투자비와 운영비를 최소화 할 수 있기 때문이다. 히트펌프는 기존 보일러와 달리 냉난방 뿐 아니라 습도 조절도 가능하기 때문에 고품질의 작물을 생산할 수 있다. 시설원예에 적용 가능한 히트펌프는 열원의 종류에 따라 지열 히트펌프와 공기열 히트펌프로 구분한다. 지열 히트펌프는 일정한 온도로 유지되는 지열을 이용한 것으로 COP가 일정하게 유지되지만 초기 투자비와 설치 기간이 일반 제품 대비 오래 걸리는 경향이 있다. 공기열 히트펌프는 대기를 이용하는 것으로 지열 히트펌프에 비해 초기 투자비가 적고 설치가 쉽지만 대기 기온이 떨어지는 시기에는 효율이 저하되는 단점이 있다. 따라서 농가가 위치한 지역, 시설원예 현장 여건에 따라 자신의 농가에 맞는 히트펌프 적용이 중요하다. 시설원예에 적용하기 위해서는 실질적인 냉난방 효율, 혹한기 난방 성능 확보, 균일한 실내 온

도 분포 등에 대한 사항을 검토해야 한다. 실제 제품을 경기도 소재의 화훼농가에 적용한 결과 83%의 난방비 절감 효과를 보았으며, 소득도 2배 이상 높았다. 또한 최근 화두에 오르고 있는 식물공장의 실현도 VRF 기술의 가능성의 하나이다. 재배되는 작물에 가장 적합한 온습도 조건 제공을 통한 생산성 향상과 고효율 기기를 통한 시설 운영비 절감을 동시에 만족하는 최적의 솔루션을 제공한다.

### 맺음말

VRF 기술은 나날이 진보하고 있으며, 그 시장도 전 세계적으로 성장하고 있다. 향후에도 실내 환경의 쾌적함과 에너지 절감을 통한 저탄소 사회 실현에 기여하는 핵심 기술로 무한한 잠재력을 가진 기술이라 할 수 있다. ㉠