고효율 VRF 히트펌프 시스템을 활용한 Green Energy Solution

권 형 진
삼성전자(주) DAS사업팀(hj1.kwon@samsung.com)

개 요

그린에너지(Green Energy)란 국소적인 의미로서는 석유, 석탄 등의 에너지를 대신하여 태양광, 지열, 풍력, 조력 등과 같은 청정에너지를 칭하지만, 광의(廣義)의 의미로서는 청정에너지와 함께 고효율 기기의 사용을 통한 에너지 절감과 온실가스 배출을 감축하는 모든 에너지 활동을 의미한다.

전세계적으로 당면하고 있는 에너지 고유가 및 에너지 자원의 고갈에 능동적인 대처를 위해 에너지 소비를 줄이면서 환경 친화적인 산업구조 형태로의 변화 모색이 절실한 상황 하에서 미국(CCTP), 일본(Cool Earth), 유럽(SET Plan) 등의 국가에서는 그린에너지 전략을 수립하여 온실가스 감축을 위한 혁신기술과 로드맵을 발표하고 있다. 유럽의 경우에는 SET-2020 프로그램에서 표 1에서 보는 바와 같이 2020년의 에너지 정책 목표를 제시하고 있으며, 이를 통해 히트펌프의 기여량과 유럽 전체 목표의 기여도를 보여주고 있다.

우리나라의 경우에도 지식경제부와 한국에너지기술평가원이 중심이 되어 "저탄소 녹색성장" 비전 달성을 위한 그린에너지 로드맵을 추진하고 있다. 저탄소 녹색성장 달성을 위한 그린에너지 로드맵은 신재생에너지, 청정화기술, 에너지 효율향상의 3분야로 구성되어 있으며, 에너지 효율 향상과 신재생에너지 관련 기술개발을 총괄하고 있는 한국에너지기술평가원에서는 향후 국가가 주도해야 할 그린에너지 산업을 선정하여 다양한 R&D를 지원하고 있다. 이중에서 히트펌프는 그린에너지 전략 로드맵상 고효율기기의 중점 추진 품목으로 선정되어 있으며, 특히 에너지 효율향상 분야에서는 히트펌프 시스템의 고효율화와 에너지 손실을 저감할 수 있는 제어솔루션 시스템의 개발을 통해 탄소가스 배출 감소와 녹색 성장을 동시에 이룩하는 것을 추진하고 있다.

본 내용에서는 저탄소 녹색성장에 기여하기 위한 그린에너지 솔루션(Solution) 정책의 일환으로

<표 1> SET-2020 프로그램 (유럽 히트펌프 협회, 2008)

2020년 유럽의 에너지 정책 목표	유럽 목표	목표 달성을 위한 감축(생산)량	히트펌프의 기능 기여량	유럽 전체 목표의 기여도
1차 에너지 소비	20% 감축	4,385 TWh(20%)	902 TWh	20.6%
신재생에너지 생산	전체 에너지의 20% 담당	3,508 TWh	774 TWh	22.0%
CO_2 배출량	20% 감축	1,073 Mto(20%)	230 Mto	21.5%

고효율 히트펌프 시스템에어컨과 신재생 지열원 시스템에어컨, 그리고 고효율 기기들을 사용함에 있어 사용상의 에너지 손실을 저감할 수 있는 에너지 관리시스템 RMS(Remote Management System)을 소개하고, 이를 적용함에 따른 에너지 절감효과와 녹색성장 기여도를 분석하여 시스템 에어컨이 저탄소 녹색성장에 기여하고 있음을 제고하고자 한다.

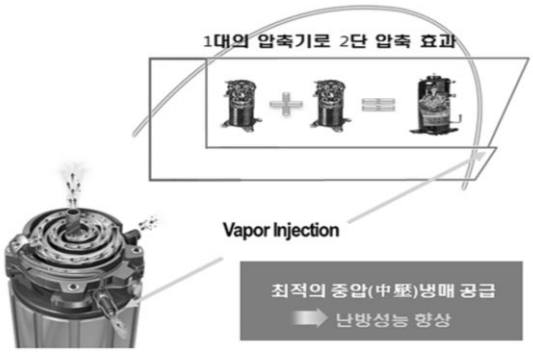
고효율 VRF 히트펌프 시스템

세계 공조시장에서 VRF 시스템은 한국과 일본의 공조업체가 중심이 되어 고효율화, 저온난방성능 향상, 대용량화 및 제어솔루션에 대한 기술 개발이 진행되고 있다. 일본의 경우 다이킨, 도시바, 미쯔비시 등에서 VRF를 생산/공급하고 있으며, VRF 제품의 고효율화를 위해 압축기, 열교환기, 제어방식, 제어솔루션에 걸쳐 다방면으로 효율 향상에 대한 기술 개발을 추진 중이다. 국내의 경우에는 1990년대 후반부터 VRF 시스템에 대한 개발이 시작되어, 부하 변동에 따른 대응능력 향상 및 전자팽창밸브를 이용한 정교한 냉매 유량제어 등으로 쾌적성 향상과 에너지 절약을 추구하고 있으며, 건물 대형화에 따른 모듈형 제품의 최적화 및 효율적 운전제어와 원격관리 솔루션에 관한 기술 개발이 진행되고 있다. 유럽이나 일본에서는 히트펌프 시스템을 대기중의 열원을 이용한 신재생에너지 기술로 채택하여 보급을 확대하고 있으나, 국내에서는 아직 히트펌프에 대한 인식이 부족한 상황으로 신재생에너지 분야에 포함되지 못하고 있으며, 왜곡된 인식에 의해 시스템에어컨을 포함한 전기식 히트펌프 제품이 혹한기 전력 피크(Peak)의 주원인으로 오해를 받기도 하였다.

공랭식 히트펌프 제품은 대기중의 공기열을 활용하는 제품의 특성상 실외 온도가 저온영역으로 내려갈수록 난방 성능 및 효율이 낮아진다. 이와 같은 이유로 히트펌프 제품은 주로 겨울철에도 비교적 온난한 기후조건을 가지는 일본과 서유럽에서 주로 사용되어 왔다. 국내의 경우는 지역별, 년도별 차이가 있으나 겨울철에 저온영역 이하로 내려가는 경우가 많이 발생하고, 한랭지 조건이 형성되는 경우도 있기 때문에 이때의 성능 및 효율 하락을 극복하기 위한 기술 개발이 필수적이라 할 수 있다. 이를 극복하기 위한 방법으로 인버터를 사용하는 가변용량 시스템의 경우에는 운전주파수(Hz)를 최대 주파수까지 올려 성능을 높이거나 압축기의 용량을 크게 사용하여 한랭지 조건에서 요구능력을 근접시키는 방식을 사용하기도 하지만, 인버터 운전주파수를 높임에 따른 압축기로부터의 오일 토유량 증가, 고주파 운전 소음, 압축기 부품의 신뢰성 그리고 최대 주파수 영역에서의 효율 저하에 대한 개선 등이 주요 이슈(Issue)가 되고 있다.

삼성전자에서는 한국기후에 적합한 히트펌프 시스템의 보급확대를 위하여 시스템에어컨의 고효율화와 겨울철 저온난방에서의 성능 저하를 줄이고 효율을 향상시킬 수 있는 기술 개발을 꾸준히 진행하여, 2008년 국내 최초로 Vapor Injection Cycle 특화 기술을 개발하였으며, 이와 함께 실외 열교환기 및 과냉각 열교환기의 고효율화와 최적 제어 알고리즘을 적용하여 단일 유닛으로는 세계 최대용량 22마력, 모듈 조합 최대용량 88마력의 시스템에어컨 DVM Plus IV를 개발하였다.

그림 1에 Vapor injection cycle을 적용한 압력-엔탈피선도의 개략도를 나타내었다. Vapor injection cycle은 겨울철 낮은 외기온도 조건에서 냉매순환량을 증대시켜 난방 능력과 효율을 향상시키는 기술로써, 난방시 실내 열교환기에서 응축된 냉매는 난방용 전자팽창밸브를 통해 실외 열교환기로 유입되며, 이중에서 적정 제어량을 팽창시킨 후 과냉각 열교환기를 통해 증발시켜 중압의 과열증기 상태로 만들어 압추기의 중압부에 직접 인젝션(Injection)하는 과정을 수행한다. 압축기는 **그림 1**에서 보는 바와 같이 이러한 가스 상태의 냉매를 압축과정에 투입할 수 있는 인젝션 구조를 가지고 있어야 하며, 인젝션 유량은 과냉각 열교환기 전단의 Vapor injection용 전자팽창밸브를 통해 일정한 과열상태를 유지하도록 조절된다. Vapor injection 사이클을 구성하는데 있어서는 단순히 Vapor injection을 수행할 수 있는 압축기



[그림 1] Vapor injection p-h 선도

<표 2> 고효율기자재 효율 비교

용량		Efficiency			Date
		Cool	Heat	Ave.	
8HP	삼성전자 (PLUS IV)	4.17	4.42	4.30	'10.06
	국내사	4.14	4.24	4.19	'09.12
	해외사	3.82	4.04	3.93	'10.02
10HP	PLUS IV	4.05	4.34	4.20	'10.06
	국내사	4.02	4.20	4.11	'09.12

* To compare with the results from KEMCO.

만을 구비하여서 구현되는 것이 아니라 인젝션 시기와 양을 어떻게 제어하느냐에 따라 성능과 효율에 큰 차이를 나타낼 수 있다.

Vapor Injection 기술과 열교환기의 고효율화 및 최적제어 알고리즘을 통해 개발된 DVM Plus IV는 표 2에서 보는 바와 같이 냉방정격, 난방정격은 물론 -15℃ 저온조건에서도 뛰어난 성능을 인정받아 2010년 6월 에너지관리공단으로부터 고효율기자재기기 인증서를 취득하였다.

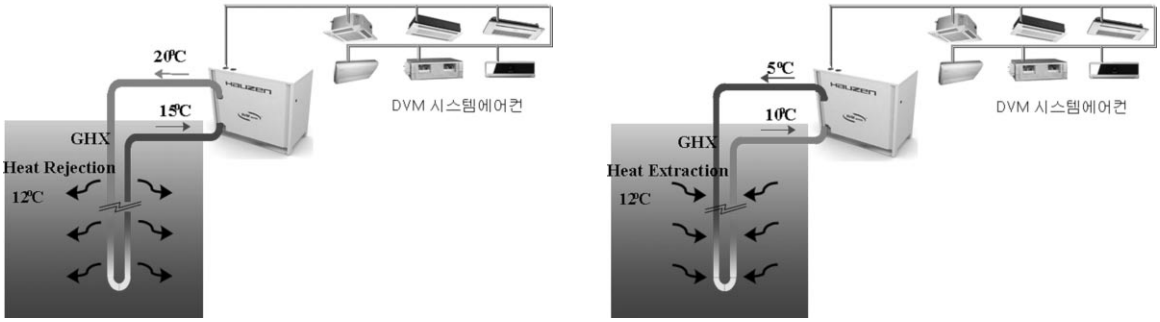
고효율 시스템에어컨 DVM Plus IV의 적용효과를 확인하기 위하여 10마력 제품을 기준으로 냉난방 평균효율 3.47인 기존의 히트펌프 제품과 에너지 소비량 및 CO_2 발생량을 비교 분석하였다. 10마력 제품 한 대를 기준으로 효율 향상으로 인한 소비전력량의 이득은 1,543 W이며, 이를 연간 전부하 상당 사용시간 1,110h를 기준으로 계산하면 1.71 MWh의 소비전력 절감 효과를 예상할 수 있으며, 소비전력량을 탄소배출량으로 환산할 경우 0.76 CO_2의 저감 효과를 예상할 수 있다. 이는 기존 히트펌프 제품 대비 17.4%의 에너지 절감 효과로, 국내 시장 규모를 고려할 경우 92,472 MWh의 전력 절감과 탄소 가스 41,132 TCO_2의 저감 효과를 예측할 수 있다.

신재생 지열원 VRF 히트펌프 시스템

지열원 히트펌프 시스템은 공기열원 방식보다 열원이 안정적이기 때문에 높은 효율과 우수한 성능을 보유한 반면에 지중 열교환기의 매설을 포함한 전체 시스템의 초기 투자비가 기존 공기열원 히트펌프 설비보다 많다는 단점이 있다. 현재 미국, 캐나다 그리고 북유럽 국가 등이 지열원 히트펌프 시스템의 보급과 연구 활동의 중심으로써 2000년을 기준으로 이들 국가는 51만 2000여대의 시스템을 설치하였으며, 특히 지난 10년 동안 매년 10% 이상의 증가율을 보이고 있는 것으로 추산되고 있다.

국내에서 지열원 히트펌프에 관심을 갖기 시작한 것은 최근의 일이지만, 근래 들어 신·재생에너지 이용에 대한 관심도가 증가하고 보급 활성화를 위한 제도적인 장치가 마련되면서 설치 사이트가 증가하고 있다. 현재까지 대부분의 지열원 히트펌프는 물-물 방식을 중심으로 수입 제품이 주로 보급되어 왔으나, 에너지 절약의 중요성 증대에 따라 지열 냉난방 분야에서도 고효율 시스템에어컨을 이용한 물-공기 방식의 지열원 시스템에어컨이 개발되어 지열 냉난방 기술의 첨단화 및 국제적 경쟁력 확보가 가능해졌다.

신재생에너지 기기로서의 지열원 시스템에어컨은 공기열원, 수열원, 지열원, 폐열원 중에서 가장 안정적인 열원을 활용한 친환경, 고효율 기기로서 **그림 2**에서 보는바와 같이 지중 열교환기를 이용하여 냉방으로 사용될 경우에는 실내에서 열을 흡수하여 그 열을 지중 열교환기를 통해 토양과 열교환을 하고, 난방으로 운전될 경우에는 토양으로부터 에너지를 흡수하여 실내로 열을 방출하는 사



a) 냉방운전 a) 난방운전

[그림 2] 지열원 시스템

<표 3> 지열원 시스템에어컨 효율 비교

		Efficiency		
		Cool	Heat	Ave.
8HP	삼성전자 (DVM Geo)	4.70	4.65	4.68
	국내 B	4.59	4.49	4.54
	국내 T	4.11	4.11	4.11

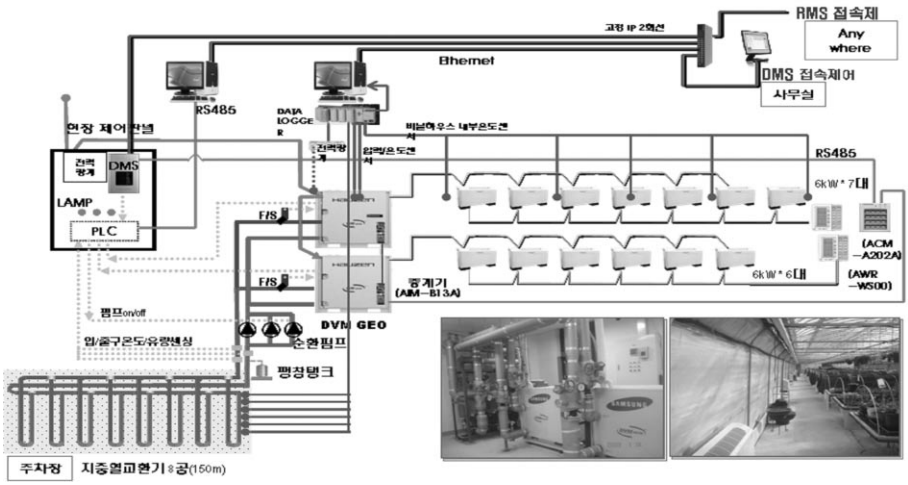
*To compare with the results from KEMCO.

이클을 형성하게 된다. 지열원 시스템에어컨 DVM Geo는 실외기와 실내기로 구성되며, 실외기에는 압축기, 지열과의 열교환을 위한 판형열교환기, 과냉각기, 난방을 위한 전자팽창밸브 등으로 구성되어 있으며, 실내기의 경우는 기존의 공기열원 시스템에어컨에 사용되는 실내기와 동일한 실내기들을 사용하게 된다.

국내에 농업용으로 공급되는 석유에너지의 60% 이상이 시설원예 등의 온실난방에 소비되고 있다. 근래 국제 유가 상승에 따라 농가의 유가 부담률이 크게 증가하였으며, 환경규제 강화에 따라 화석에너지 사용의 어려움은 더욱 증가하고 있는 현 시점에서 지열을 이용한 히트펌프 시스템은 신재생에너지로써 시설원예 냉난방 설비로 이용률이 점차 증가하고 있다. 삼성전자에서는 공랭식 시스템에어컨의 고효율화 기술을 바탕으로 신재생 지열을 활용한 물-공기 방식의 지열원 시스템에어컨 DVM Geo를 개발하여, **표 3**에서 보는바와 같이 2009년 국내 최고 효율의 지열원 신재생에너지설비 인증을 취득하였다.

개발된 지열원 시스템에어컨 DVM Geo의 적용가능성을 확인하기 위하여 실증시험을 진행하였다. 지열원 시스템에어컨이 설치된 현장은 **그림 3**에서 보는바와 같이 경남 진주에 위치한 식물조직배양 연구소인 프랜토피아로서, 각종 국책과제와 식물조직 배양을 연구하는 조직배양의 메카라고 할 수 있는 곳이다. 본 현장은 2007년부터 지열보급 시범사업 지역으로 선정된 곳으로, 기존 온수보일러를 사용하여 겨울철 난방을 유지하던 재배실을 당사 지열원 시스템에어컨 DVM Geo로 개조하여 실증연구를 진행하게 되었다. 재배실 규모는 길이 55 m, 폭 13 m, 높이 2.3 m의 약 200평 규모로써 하우스 내의 농작물은 농작물 배드(Bed) 위에 놓여져 있다. 당 현장의 공조 목적은 고가(高價)의 작물 재배라는 점을 감안하여 특별히 시스템의 안정성에 주안점을 두어 설계하였다. 냉난방이 적절히 이루어지지 못할 경우 농가에 미칠 수 있는 경제적 손해가 크기 때문에 배양실의 공조상태를 전국 어디에서나 모니터링 및 운전이 가능하도록 원격감시 및 제어가 가능한 RMS를 구축하여, 항상 시스템의 가동 상태와 이상 여부를 사전 점검함으로써 만약의 사태를 대비하여 농작물 피해가 발생하는 것을 예방하고 있다.

실증시험 결과 지열원 시스템에어컨 DVM Geo를 사용할 경우 경유 대비 89%의 난방비가 절감되었으며, 이를 탄소 배출가스로 환산할 경우



[그림 3] 지열원 시스템에어컨 실증 사례

77.8%, 석유환산톤으로 환산할 경우 73.6%의 절감효과를 확인하였다. 이를 토대로 경유 보일러 5만대를 지열원 시스템에어컨으로 대체한다고 가정할 경우 연간 약 360,000 TCO_2의 탄소 배출가스가 절감되며, 운전비로 환산시 약 2,470억원의 경제적 이득을 예측할 수 있다.

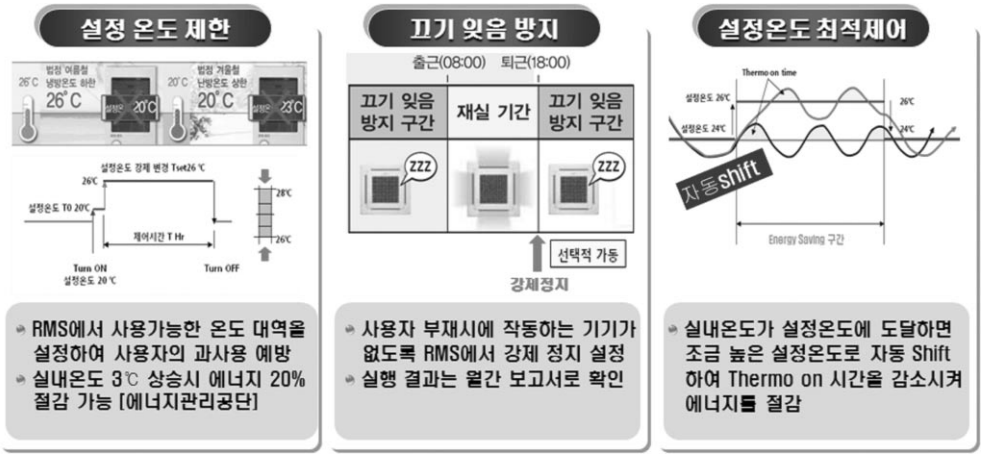
원격 에너지관리 시스템 RMS

에너지 관리시스템에 대한 국내외 현황을 살펴보면 일본의 업체들이 제시하는 시스템 제어솔루션은 주로 에너지 절감을 위한 데이터 분석과 에너지 절약 운전패턴 제공과 같은 서비스와 메인터넌스를 연계한 에너지 서비스로 이루어져 있다. 국내의 경우에는 시스템에어컨과 연계되어 실제 운영되고 있는 시스템 제어솔루션은 삼성전자의 RMS가 유일한 상황이며, 제어솔루션 분야는 국내 고급빌딩의 보급 확대 및 인터넷 대중화와 더불어 시장과 수요는 성장하고 있으나, 아직 에너지 솔루션 분야에 대한 인식의 부족으로 대중화 되지는 못하고 있는 실정으로, 고효율 히트펌프의 보급 활성화를 위한 제도의 확대 추진을 통하여 국내 Reference 확보가 우선적으로 필요한 상황이다.

RMS는 시간과 장소에 관계없이 인터넷 접속에 의해 시스템에어컨의 제어 및 모니터링이 가능한 원격 관리시스템으로 2008년 국내 최초로 삼성전자에서 개발된 이후 현재까지 유일하게 전국 280여개의 현장에 설치되어 사용하고 있다. RMS는 절전 제어알고리즘을 사용한 에너지 사용절감, 실시간 운전상태 모니터링을 통한 사용패턴 분석과 최적 운전상태 유지, 고장예지를 통한 에너지 손실 사전방지 등의 기능을 통해 최고 수준의 원격 에너지관리 솔루션을 제공하고 있다.

절전제어 알고리즘은 **그림 4**에서 보는바와 같이 설정온도 제한, 끄기 잊음 방지, 설정온도 최적제어 알고리즘의 3가지 기능을 제공한다. 설정온도 제한 기능은 RMS에서 사용 가능한 설정온도 대역을 제한하여 사용자에 의한 과도한 온도 설정 등을 예방하는 기능이며, 끄기 잊음 방지 기능은 재실 시간 이후 사용자 부재 시에 작동하는 기기가 없도록 RMS에서 자동으로 기기를 정지시키는 기능으로 실행 결과를 월간 보고서로 확인 가능하다. 설정온도 최적제어는 운전 패턴에 따라 설정온도를 최적 제어하는 기능으로, 실내 온도가 설정온도에 도달하면 설정온도를 적절한 온도로 자동 시프트(Shift)하여 써모 온-오프(Thermo on-off)의 반복 시간을 감소시킴으로 에너지 절감을 구현하는 기능이다.

최적 운전상태 유지 기능은 유지 및 보수를 위한 솔루션으로 **그림 5**에서 보는바와 같이 필터와 열

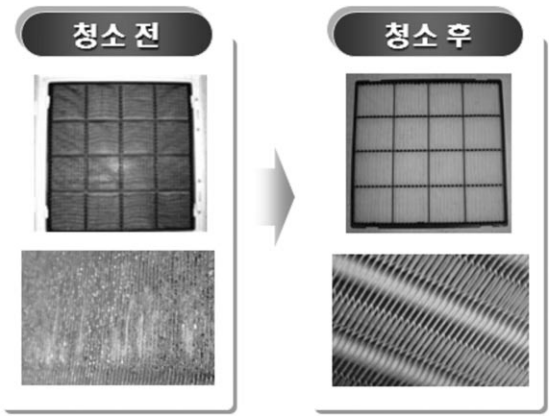


[그림 4] 절전제어 알고리즘

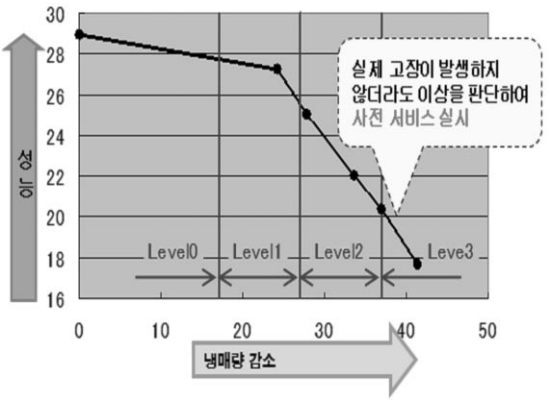
교환기의 이물질 오염 등에 의한 운전비용 상승 등의 에너지 손실을 방지하기 위하여, 실시간 모니터링을 통해 사전 청소 주기나 이상 징후 등을 사전에 알려줌으로써 최적의 운전상태를 유지하고 에너지 손실을 방지하고자 사용하는 기능이다.

고장예지는 현존하는 제어솔루션 중 노하우(Know-how)와 연구가 많이 필요한 분야이다. 당사는 본 기능의 개발을 위해 2002년부터 연구 개발을 시작하여 검지가능한 고장요소, 고장추세, 검지방법 등을 다양하게 연구하고 있다. 고장예지 기능은 **그림 6**에서 보듯이 고장이 발생될 수 있는 문제점을 고장 이전에 사전 인지한 후 이를 실고장이 발생하기 전에 처리하여 제품의 신뢰성과 소비자 AS 비용을 절감하는 등의 유지관리비 절감 및 제품 신뢰성 향상에 그 목적이 있다. RMS의 고장예지 알고리즘은 3단계로 구성되어 고장항목에 따라 각 단계에 알맞은 서비스를 당사의 서비스와 연계하여 처리하고 있다.

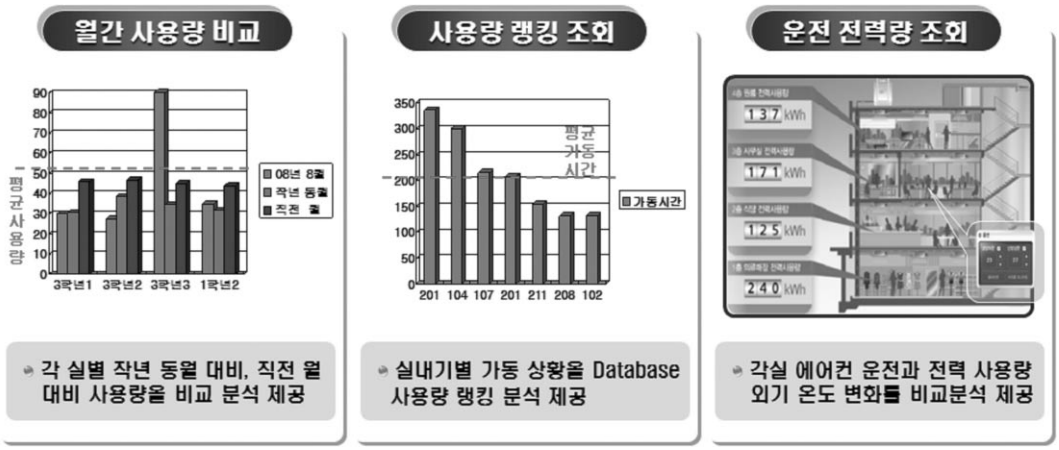
사용패턴 분석에 있어서는 **그림 7**과 같이 사용자의 사용 습관과 비정상 패턴의 운전 상태를 분석하여 에너지 낭비를 줄일 수 있도록 비교 분석 데이터를 제공하는 툴(Tool)로써, 비정상적으로 동작하는 곳을 추출 및 분석하여 이에 대한 개선을 통해 에너지의 낭비를 절감할 수 있도록 한다.



[그림 5] 최적 운전상태 유지 기능



[그림 6] 고장예지 기능



[그림 7] 사용패턴 분석 가능

RMS 사용에 따른 에너지 절감 효과는 광주 상공회의소에서 검증 시험이 진행되었으며, RMS 사용 전후의 데이터를 취득하여 이를 비교분석하였다. 에너지 절감제어 적용에 의한 가동시간은 기존 1,848 h에서 1,653 h로 11.6% 감소하였고, 그 결과 전력 사용량이 12.4% 절감되었다. 이를 10마력 실외기 한 대당의 효과로 환산하면 연간 1.22 MWh, 0.54 TCO_2의 절감 효과가 있음을 알 수 있었다. 국내 히트펌프 시장 규모를 고려시 RMS를 사용함에 따라 65,972 MWh의 전력 절감과 탄소가스 29,344 TCO_2의 저감 효과가 있음을 예측할 수 있다. 고효율 시스템에어컨과 RMS 적용할 경우 기존 제품 대비 약 30%의 에너지 절감 효과으로 국내 히트펌프 시장 규모를 고려할 경우, 연간 158,444 MWh의 전력절감과 탄소가스 70,476 TCO_2의 저감 효과가 예측되며 이를 운전비용으로 환산할 경우 약 143억원 규모의 경제적 이득을 예상할 수 있다.

결 론

지금까지 저탄소 녹색성장을 위한 시스템에어컨의 고효율화와 제어솔루션의 개발 및 이를 적용함에 따른 효과를 기술하였다. 에너지 소비와 온실가스 방출의 많은 부분을 차지하는 가정과 건물의 냉난방 에너지 부문에 히트펌프와 같은 에너지 절약기기의 적용 확대 및 기기의 고효율화 요구가 매우 커지고 있으며, 정부에서는 신재생에너지 보급 확대를 위하여 사회적 공감대를 형성하고 관련 산업 및 시장 육성을 통해 저탄소 녹색성장을 위해 많은 노력을 하고 있다.

삼성전자에서는 이와 같은 요구에 발맞추어 저탄소 녹색성장에 기여하기 위한 그린에너지 솔루션 정책으로 시스템에어컨의 고효율화와 신재생열원을 사용하는 시스템 개발 그리고 에너지 솔루션 시스템을 연계한 Total Energy Solution 시스템을 구축하여 공인기관으로부터 고효율기기와 신재생 설비로써 인증을 받아 그 효용성을 인정받고 있다.

세계화에 있어서 경쟁력의 기본은 핵심 기술에 있으며, 삼성전자에서는 핵심 부품과 특화 기술 개발을 통해 신뢰성을 갖춘 고효율 제품과 세계적 추세에 따라 친환경 부품/소재 개발을 토대로 친환경 제품 개발에 매진하고 있다. 끝으로 산업체, 학계, 연구기관, 정부가 힘을 합하여 국내 기업들이 히트펌프 시스템 및 신재생에너지 분야에서 세계 일등 기술을 보유할 수 있는 기회를 놓치지 않도록 다양한 정책과 지원 등의 배려가 제공되기를 기대해 본다.