

열펌프 기술의 국가 연구 개발 로드맵 소개

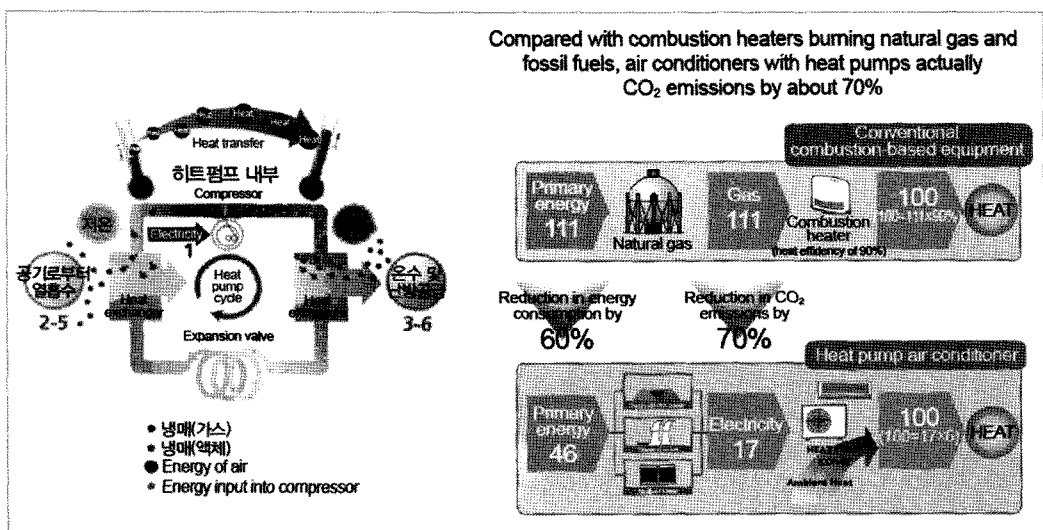
김 옥 중
한국기계연구원 에너지플랜트연구본부

1. 서론

열펌프는 공기, 수열, 지열 및 폐열원 등 다양한 저온의 열원으로부터 열을 흡수하여 고온의 고급 에너지를 생산하는 기기로서 전기, 가스 등의 적은 구동 에너지를 이용하여 보다 많은 에너지를 주로 열의 형태로 공급한다. 그림 1에 보인 압축식 사이클을 이용한 열펌프의 예에서 보인 바와 같이 열펌프 구동을 통하여 얻게 되는 냉/난방 및 급탕 등의 유용한 에너지와 구동 에너지와의 비

를 COP(Coefficient Of Performance) 혹은 EER(Energy Efficiency Ratio)등으로 표시하며 통상적인 운전 조건에서 3.0 이상(그림 1의 경우는 3.0 ~ 6.0으로 표시됨)의 값을 가지므로 매우 효과적인 에너지 절약기기가 된다. 이와 같은 특성으로 인해 연소식 방식에 비해 1차 에너지 소비 감소가 가능하며 결과적으로 이산화탄소의 감축 효과(그림 1의 경우 70% 감축)가 매우 큰 기기로 각광을 받고 있다.

이와 같은 열펌프는 종류와 주요 특성에 따라 표 1



[그림 1] 증기압축식 열펌프 개념도 및 연소식 난방기 대비 친환경성 비교

<표 1> 열펌프 종류 및 분류

대분류	중분류	소분류
압축식 열펌프	공기열원 시스템	공기-공기(Air to Air) 시스템
		Exhaust Air 시스템
		Dual Fuel 시스템 (자연냉매 시스템)
	수열원 시스템	하수열원 시스템
		지하수 열원 시스템
		폐수 열원 시스템
지중열원 시스템	지열원 시스템	
흡수식 열펌프	소형 공냉식시스템	LiBr-H ₂ O계 시스템
		NH ₃ -H ₂ O GAX 시스템
		액체 제습식+흡수식 하이브리드 시스템
	중/대형 수냉식 시스템	폐열회수 시스템
		3중효용 시스템
		다중효용 시스템
가스 구동식 열펌프	스털링 엔진, VM 사이클	스털링엔진 시스템
		VM 사이클 시스템
	GHP	(가정용)소형 GHP
		중·대형 GHP
화학식 열펌프	화학 반응식 시스템	유기화합물 시스템
		무기화합물 시스템
	수소흡장식시스템	금속수소화물 시스템
		수소 흡장식 시스템
축열식 열펌프	핵심 요소 부품	신냉열/축열재
		냉열·온열동시 축열재
	응용 제품	소용량 package형 시스템
		지역냉난방 및 대형빌딩용 대용량 시스템
제습식 냉방	액체 건조제 시스템	(가정용)소형 제습 시스템
		가스열원구동 중소형 빌딩용 시스템
		하이브리드 냉방 시스템 (액체 제습식+ 압축식, 액체 제습식 + GHP, 액체 제습식+ co-generation)
	고체 건조제 시스템	폐열 구동 시스템
		밀폐형 흡착식 시스템

에 나타낸 바와 같이 다양하게 구분되고 정리되어 있으며 각 시스템별로 지속적인 기술 개발이 이루어지고 있다.

우리나라의 경우 잘 알려진 바와 같이 전통적인 바닥 난방 선호 경향과 겨울철의 낮은 외기 온도에 따른 난방 용량과 성능 저하 문제 등으로 냉난



1차 전략로드맵

조기
성장동력화(9개)

태양광, 풍력, 연료전지, IGCC, CCS, 청정연료, 에너지저장, 전력IT, LED

단계적
성장동력화(6개)

원자력, 소형열병합, 그린카, 초전도, 에너지절약형 건물, 히트펌프



2차 전략로드맵

중점
성장동력화(10개)

태양광, 풍력, 연료전지, IGCC, CCS, 청정연료, 에너지저장, LED, 청정화력발전, 스마트그리드

시장창출
성장동력화(5개)

원자력, 그린카, 에너지절약형 건물, 히트펌프, 바이오연료

[그림 2] 그린에너지 기술 전략 (KETEP, 2010)

방 겸용의 열펌프 활용이 낮은 편이나 최근 유럽과 일본 등에서는 이산화탄소 저감 수단의 일환으로 열펌프를 신재생에너지로 인정하여 기존의 보일러를 대체하려는 노력이 매우 활발히 이루어지고 있다. 이와 같은 상황에 따라 우리나라에서 에너지절약 및 신재생에너지 관련 기술 개발을 총괄하고 있는 한국에너지기술평가원(<http://www.ketep.re.kr/>)에서는 향후 국가가 주도해야 할 그린에너지산업을 선정하여 다양한 R&D를 지원하고 있다.

열펌프는 그림 2에 보인 바와 같이 2009년 5월에 종료된 1차 그린에너지 전략로드맵(Won et al.^{[1])}에 이어 현재 진행 중인 2차 그린에너지 전략로드맵에서도 시장창출 성장동력화 추진 품목으로 선정되어 국가가 지원할 전략 품목을 도출하고 있다. 2008년부터 시작된 전략로드맵 기획을 통하여 2009년과 2010년에는 각각 “고효율 VRF 히트펌프 개발”과 “고효율 히트펌프 냉온수기 기술 개발” 과제가 도출된 바 있다.

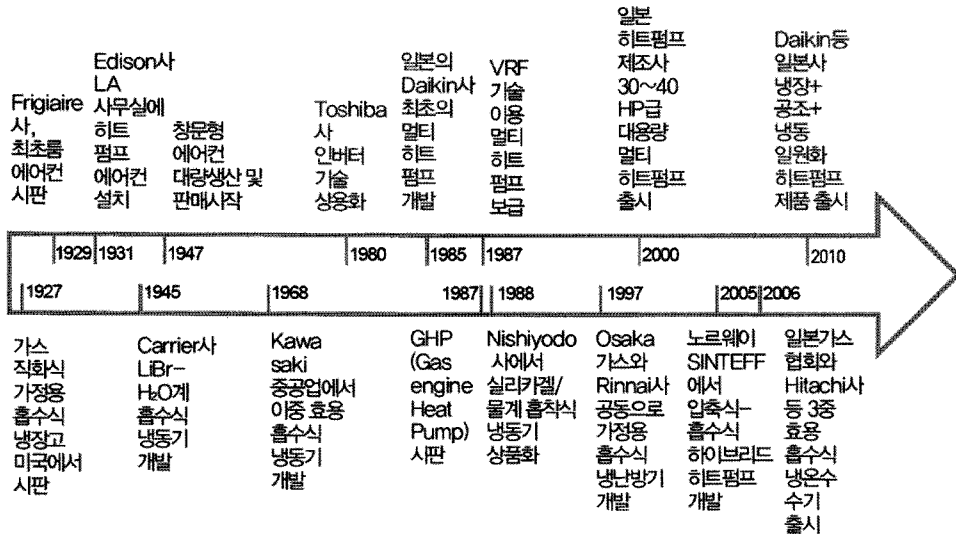
본고에서는 현재 진행 중인 2차 그린에너지 전략로드맵에서 열펌프 분야의 산·학·연 전문가들이 시장과 기술 현황 분석을 통하여 도출한 단기 및

장기의 전략품목에 대하여 요약하여 소개하고자 한다.

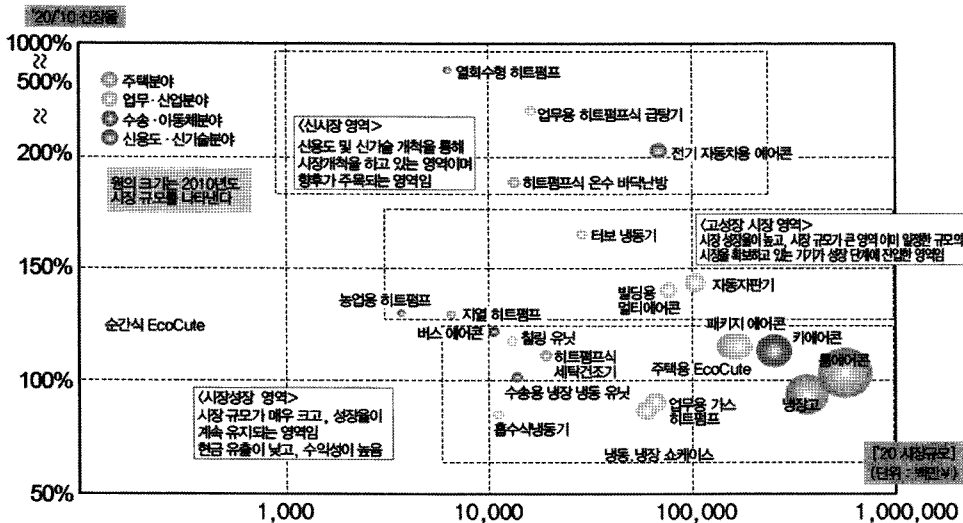
2. 전략품목 도출 방법 및 결과

열펌프는 그림 3에 보인 바와 같이 20세기 초부터 상용화가 된 장치이며 개발 초기에는 주로 미국에서, 그리고 현재에는 일본이 기술 개발을 선도하고 있는 상황이다. 특히 압축식 시스템의 경우 1980년대 후반부터 속도 가변형 압축기(Variable Speed Compressor)가 탑재된 용량 가변형 시스템이 개발되면서 다양한 형태로 발전하고 있으며 이와 같은 속도 가변형 압축기 도입에 따라 부하 변동에 따른 대응 능력이 향상되었다. 또한 동시에 전자팽창밸브를 이용한 정교한 냉매 유량 제어와 새로운 제어 방식의 도입으로 쾌적성 향상 및 에너지 절약 등이 지속적으로 이루어지고 있다.

최근 일본에서 분석한 자료(Fuji Economy^{[2])}에 의하면 열펌프는 향후 새로운 시장과 고성능 부분에서 그림 4에 보인 바와 같이 제품군이 구별되어 형성될 것으로 전망되고 있으며 특히 신시장



[그림 3] 열펌프 기술 개발 과정

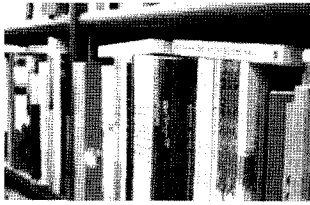


[그림 4] 열펌프 시장 및 기술 예측

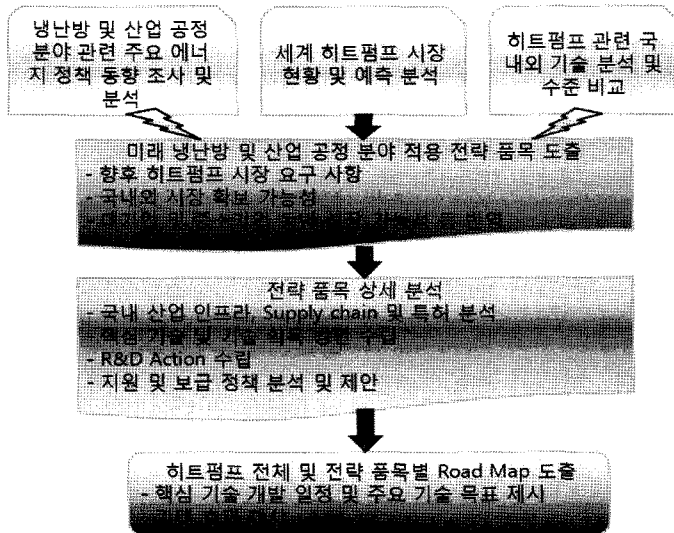
영역 품목으로서 열회수형과 업무용 급탕 및 바닥 난방용 열펌프가 선정되어 있음을 알 수 있다. 그리고 터보형과 빌딩용 멀티(VRF 시스템) 및 자판기 등의 품목은 고성장 시장 영역으로 구분되고 있다.

이와 같은 열펌프 분야에 대한 시장과 기술 분석 및 이산화탄소 저감 효과 분석 등을 통하여 전략

로드맵 작성은 전체적으로 그림 5에 나타난 바와 같은 과정을 거쳐 이루어졌다. 먼저 기획위원 전체 회의에서 화학식은 현재 세계적으로 상용화된 제품이 없는 상황이고, 가스구동식의 경우 일본 제품의 국내 시장 점령과 일본 위주의 시장으로 한정되어 있으며, 제습식의 경우 냉방 위주의 제품인 관계로 분석 대상에서 제외하였다. 따라서



일반원고



[그림 5] 열펌프 로드맵 작성 흐름도

시장과 기술 발전 가능성 및 이산화탄소 저감 효과면에서 우수한 압축식 및 축열식 시스템으로 범위를 한정하였으며 결과적으로 표 2에 나타낸 바와 같이 2차 그린에너지 전략로드맵에 포함될 단기 2개(냉장+공조+냉동 일원화 열펌프 시스템, 중용량 ATW(Air to Water) 열펌프 시스템)와 장기 2개(중용량 고온수용 다단 압축 열펌프 시스템, 잠열축열식 열펌프 시스템)의 전략품목을 선정하였다. 현재 별도로 추진되었던 특허와 Supply chain 분석과 병행하여 각 전략품목의 발전전략과 R&D Action 계획 등의 내용이 최종적으로 완성이 된 상태이다.

3. 열펌프 로드맵

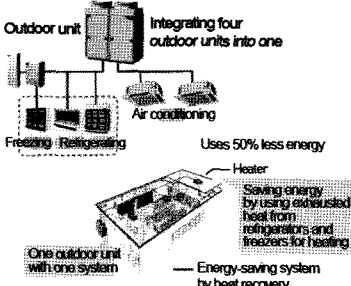
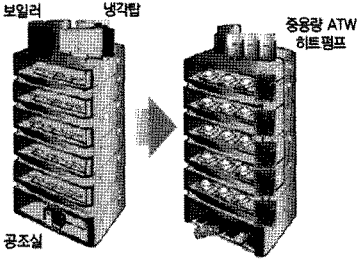
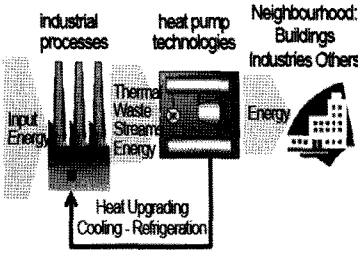
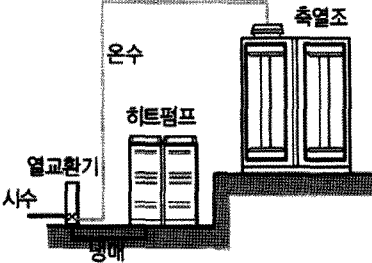
전술한 바와 같이 국.내외 시장과 기술 현황 분석을 통하여 2009년에 완료된 1차 로드맵에서는 국내 보급을 기반으로 수출전략화가 가능한 제품군으로서 시장 잠재력이 큰 고효율 VRF 열펌프와 신재생에너지 사용에 따른 환경 보호와 에너지 절약 측면에서 향후 시장과 기술이 크게 성장할 것으로 예측되는 제품군으로서 고효율 열펌프

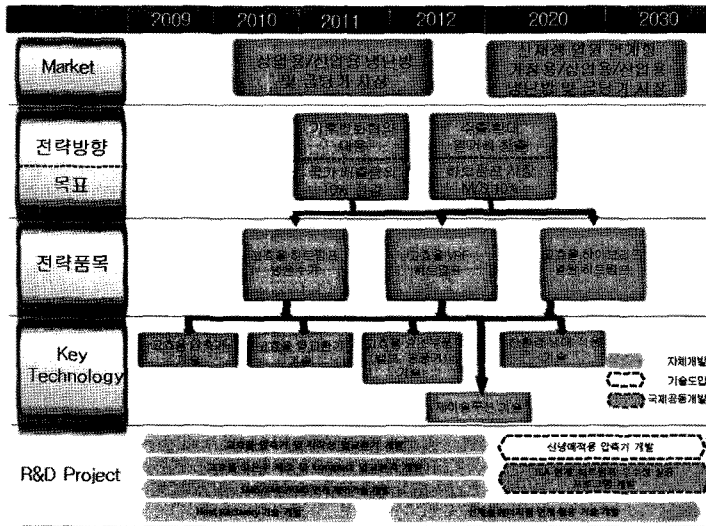
냉온수기에 대한 기술 로드맵을 그림 6과 같이 수립하였으며 각 전략제품군의 단기 및 장기 개발 전략을 또한 그림 7과 같이 도출한 바가 있으며 각 전략 품목이 현재 개발 중에 있다.

2차 로드맵에서는 VRF 시스템의 진보된 형태로 선진국에서 최근 개발되어 향후 지속적 성장이 예상되는 냉장+공조+냉동 일원화 시스템과 보일러 대비 50% 이상의 이산화탄소 저감이 가능하여 연료비 상승과 친환경 제품 요구 등에 따라 난방/급탕기 시장에서 지속적으로 성장할 것으로 예측되는 상업용 ATW 시스템, 산업용 고온수 제조용 및 잠열식 열펌프에 대한 기술 로드맵을 그림 8과 같이 수립하였으며 각 전략제품군의 단기 및 장기 개발 전략을 도출하였다. 또한 그림 9와 그림 10의 예에 나타낸 바와 같이 각 제품군의 발전시나리오와 주요 성능 목표치 및 기술 획득 전략 등이 포함된 로드맵이 또한 도출되었다.

전체적인 단기 전략 방향으로는 세계 최고 수준인 중소용량 압축기, 열교환기 등의 기술을 바탕으로 단기간에 catch up하여 수출전략화 할 수 있는 제품군(냉장+공조+냉동 일원화 열펌프 시스템)에 집중 투자하며 중용량 압축기 등 독자적

<표 2> 열펌프 분야 전략품목 및 개발 핵심목표

	전략품목명	핵심목표
단기 성과 도출 품목	 <p>Integrating four outdoor units into one</p> <p>Uses 50% less energy</p> <p>One outdoor unit with one system</p> <p>Energy-saving system by heat recovery</p> <p>냉장+공조+냉동 일원화 열펌프 시스템</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 냉장/공조 2계통 및 냉장/공조/냉동 3계통을 단일화하여 하나의 열원기기로 구동. 인버터 및 열회수 시스템을 통한 연평균 에너지 소비량 30% ~ 40% 감소 - 1단계로서 시장 진출이 가능한 10 HP급의 용량가변형 시스템 개발을 통해 해외선진기술에 대한 국내시장 방어 및 수출시장을 확보하고 - 2단계로서 한랭지형 기술을 적용하여 수출 경쟁력 제고와 적용처 확대 - 높은 성능계수(APF(Annual Performance Factor)/COP)를 가지는 기기를 통한 중소형 마트 시장에서의 적용 확대
	 <p>보일러 냉각탑 증용량 ATW 히트펌프</p> <p>공조실</p> <p>증용량 ATW 열펌프 시스템</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 세계 시장에서 대용량 기기의 약 4배 이상의 시장규모를 가진 증용량 열펌프 시스템 기술 확보 - 신축건물 뿐 아니라 기존의 상업용/사무용 건물 냉난방 시스템 리모델링에 열펌프를 적용하여 냉난방 시스템 관련 에너지 이용효율 향상 - 건물 에너지 통합관리 시스템의 핵심 기기로 활용
장기 투자 품목	 <p>Industrial processes heat pump technologies Neighbourhood: Buildings Industries Others</p> <p>Input Energy Thermal Waste Stream Energy Energy</p> <p>Heat Upgrading Cooling - Refrigeration</p> <p>증용량 고온수용 다단 압축축 열펌프 시스템</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 열펌프용 증용량 압축기는 거의 전량 외국산 스크류 또는 왕복동 압축기를 수입하여 적용하고 있는 상황에서 제품 경쟁력 저하 발생 - 냉난방/급탕뿐만 아니라 다양한 산업 공정에 적용이 가능한 증용량 열펌프용 고효율 압축기 기술 확보 절실 - 고온수 공급능력 확보로 산업용 공정수 등 열펌프 적용 시장 확대 - 1차연료 연소에 의존하는 보일러의 대체 가능 범위 확대 (이산화탄소 발생 저감)
	 <p>온수 축열조</p> <p>히트펌프</p> <p>열교환기 사수 방배</p> <p>잠열축열식 열펌프 시스템</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 열펌프 시스템을 이용하여 냉온수 및 냉난방을 제공하며 축열을 점용시켜 주택 및 중소형 건물에 합리적으로 에너지 공급 - 기존의 중대형 건물용 냉난방 및 급탕기를 친환경적이고 고효율인 열펌프로 대체하며, 전기 사용의 합리화를 위해 잠열축열 기술을 연계 - 태양열, 풍력, 지열 등 신재생 에너지를 열원으로 하는 시스템과의 연계한 축열식 열펌프 시스템으로 에너지 이용 효율 최대화



[그림 6] 열펌프 분야 1차 기술로드맵

	단기전략			장기전략	
	2008년	2010년	2012년	2020년	2030년
고효율 VRF 히트펌프	COP 현수준		COP 1.2배 (난방기준 2.0)		COP 1.5배 (난방기준 2.8)
	고효율 VRF 시스템			신냉매 초고효율 VRF 시스템	
	고효율 압축기 및 열교환기(이종DVI, 이중HX)			신냉매 적용 고효율 압축기 및 두차장 HX	
고효율 히트펌프 냉온수기	COP 2.8 (난방기준)		COP 3.2 (난방기준)	COP 3.6 (난방기준)	COP 4.0 (난방기준)
	고효율 히트펌프 냉온수기			초고효율(Ultra High Efficiency) 다목적 복합열원 히트펌프 냉온수기	
	고효율 고온수 제조 기술			Floor Heating 전용 기술	
고효율 냉온수기	고효율 Compact 열교환기 기술				

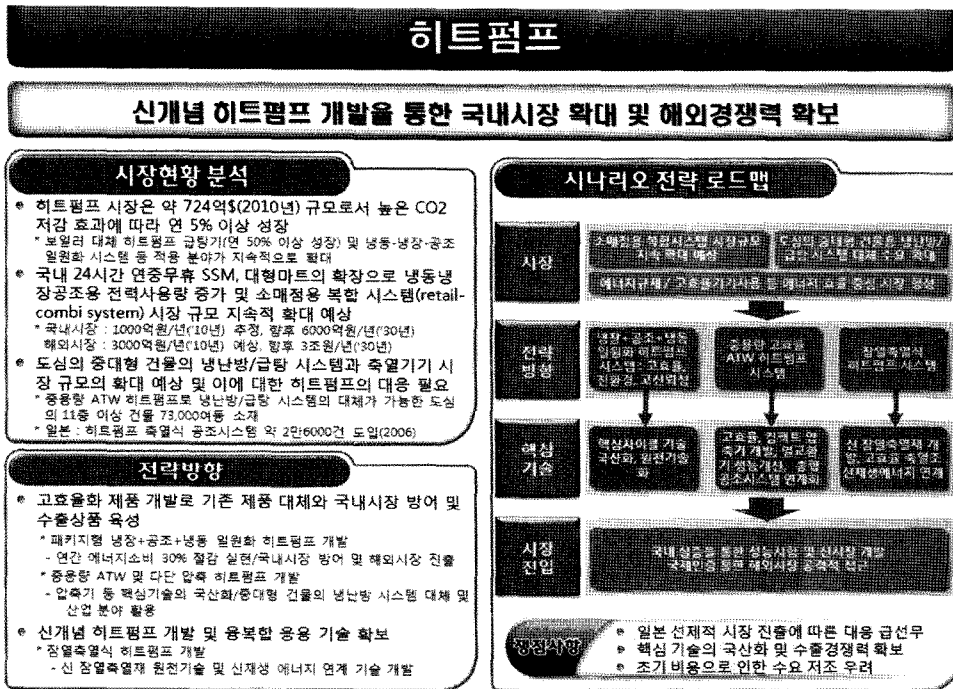
[그림 7] 1차 기술로드맵의 전략품목별 장단기 기술 개발 전략

인 핵심부품 등을 개발하고 실증과 국제 인증을 거쳐 수출 전략 제품화를 추진하는 것으로 정하였다. 또한 장기 전략은 에너지 사용 단위가 큰 산업 분야에 적용이 가능한 고온 토출형과 축열(냉)과 이용 시간대 조절이 가능한 잠열식 등의 개발을 통하여 열펌프의 적용 분야 확대를 추진하며 이를 위해 신개념의 잠열 축열재, 다단 압축기 등

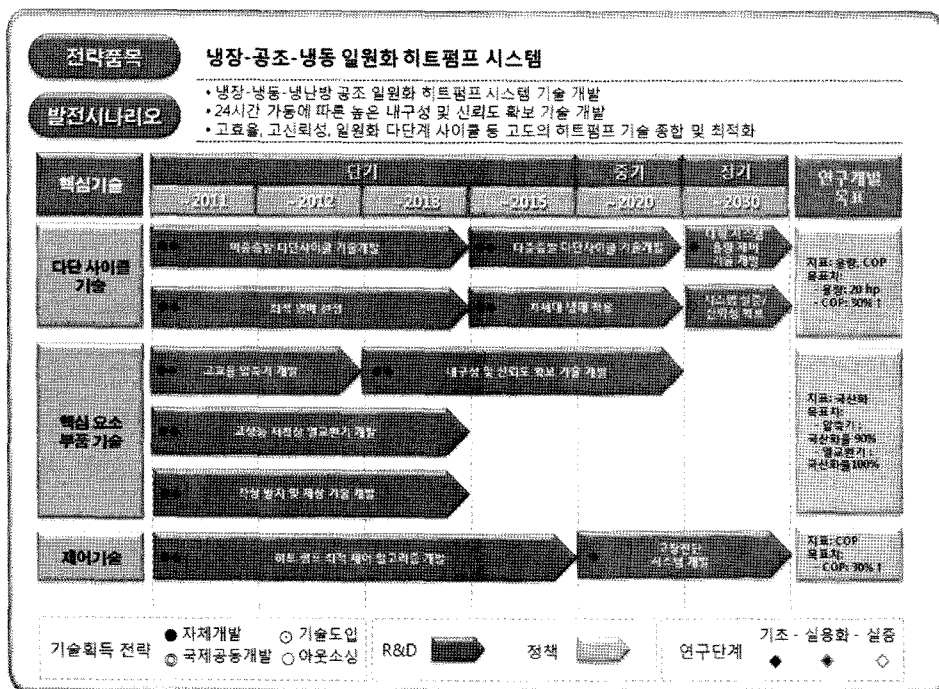
소재와 핵심 부품 개발을 장기적으로 추진하는 방향으로 정하였다.

4. 맺음말 및 시사

본고에서는 기존 보일러에 비해 에너지 절약에 의한 이산화탄소 저감 효과가 커서 유럽과 일본



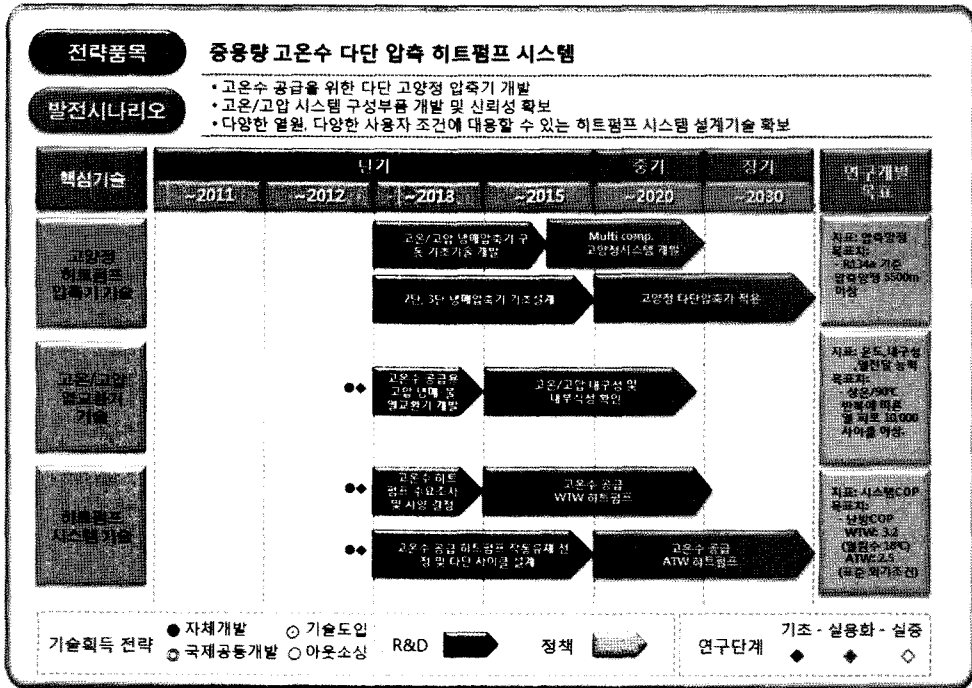
[그림 8] 열펌프 분야 2차 기술로드맵



[그림 9] 냉장+공조+냉동 일원화 열펌프 시스템 핵심 기술 및 개발 목표



일반원고



[그림 10] 중용량 고온수 다단 압축 열펌프 시스템 핵심 기술 및 개발 목표

및 중국 등에서 신재생에너지기기로 분류되어 시장이 크게 확대되고 있는 열펌프의 시장 및 기술의 현황과 전망에 대해 간단하게 언급하였다. 이와 같은 분석을 통하여 한국에너지기술평가원에서 향후 국가가 주도해야 할 열펌프 분야 R&D 과제 도출을 위한 전략로드맵 작성 방법과 결과를 설명하였다. 결과적으로 2개의 단기 품목과 2개의 장기 품목의 전략 로드맵이 도출되었으며 각 제품군에 대한 로드맵을 소개하였다.

본 로드맵은 열펌프 분야의 산,학,연 전문가 약 10여명이 여러 차례의 회의와 전자메일 등을 통하여 의견을 조율하고 데이터를 수정하여 작성한 것이며 따라서 기획위원분들께 감사를 드립니다.

특히 실질적인 보고서 작성자이신 서울대학교 김민수 교수님께 진심으로 감사의 마음을 드리며 로드맵 전체 최종 보고서는 향후 한국에너지기술평가원에서 발간할 예정임을 언급해 두고자 한다.

참고문헌

1. J. M. Won et al., 2009, Green Energy Road Map (Heat Pump Section), KETEP.
2. Fuji Economy, 2010, State of the Arts and Prospect of Heat Pump Technology and Market 2010, Think 21 Marketing and Consultation.