特 輯

수퍼 히트펌프 기술개발

최 준 섭

(KIMM 연소·전열실)

'76. 2 한양대학교 공과대학 기계공학과 (학사)
'76－'80 현대양행
'84.3 일본 동북대학 기계공학과 (석사)
'87.9 일본 동북대학 기계공학과 (박사)
'87.11－현재 한국기계연구원 선임연구원

오 군 섭

(KIMM 기계시스템연구부장)

'75.2 한양대학교 공과대학 기계공학과 (학사)
'74－'76 금호석유화학
'81－'83 해양대학교 박용기계공학과 (석사)
'76.11－현재 한국기계연구원 책임연구원

1. 서 론

과거 2회에 걸친 석유위기에서, 세계 각국은 석유의존의 에너지체제로 부터 탈피하기 위하여, 태양열 지열 풍력 파력등의 자연에너지의 이용이나 비석유계 화석연료(석탄, 천연가스, biomass 등)에의 전환을 꾀하였다. 그결과 석유의존도를 낮추는 효과가 있었던 것은, 천연가스에의 전환과 석유의 재활용 그리고 태양열 이용 정도이며 그 외의 에너지 이용은 연구수준에서 실용화에 미치지 못하고 있다. 이 중에서도 가장효과가 있는 대책은 철저한 에너지 절약으로서 단열이나 배열회수외에, 이용하는 열에너지의 온도수준에 관점을 둔 복합열시스템이 중심이다.

히트펌프는 대형에너지 절약 기술로서 가장 유력한 방법 중 하나이다. 폐열의 재활용과 심야전력의 활용에 의한 발전용량의 조절측면은 에너지 이용의 합리화 차원에서 기술개발의 필요성이 증대되고 있는 분야이다. 히트펌프의 적용대상중 대표적인 것을 열거하면 다음과 같다.

1) 가정용 및 대형빌딩의 냉난방 및 급탕
2) 대규모 지역 냉난방 및 급탕
3) 산업용 process가열 등의 대규모 열원

위와 같은 에너지 시스템을 개발하기 위하여 국제 에너지기관(IEA, International Energy Agency)에서는 1978년에 「개량형 히트펌프 시스템 실시협정」을 16개국이 참가하여 맺었다. 그후 히트펌프의 실용화를 위하여 일본에서는 「수퍼 히트펌프 에너지 집적 시스템」개발을 통상산업성 공업기술원이 주축되어 「Moonlight 계획」으로서 1984년부터 1993년 3월까지 수행하여 가능성을 제시하였다.

본문에서는 히트펌프의 원리, 국내외의 연구개발

현황, 연구의 필요성, 연구개발 내용 및 개발효과 등에 관하여 기술한다.

2. 히트펌프의 원리

히트펌프는 작용이 물펌프에 유사하다. 물 펌프는 펌프를 사용하여서 물을 낮은 곳으로부터 높은 곳으로 끌어 올리지만, 히트펌프는 압축기를 사용하여서 열을 저온부에서 고온부로 운반하는 것이다. 같은 수량(水量)에 대하여서 양정이 높으면 물펌프의 동력이 증가한다. 히트펌프의 경우도 응축기에서 냉매가 액화하는 응축온도와 증발기에서 냉매가 증발하는 증발온도와의 온도차가 클수록 같은 냉동능력에 대하여 압축기에 사용하는 동력의 소비량이 증가한다.

히트펌프는 냉동기와 같은 장치이며, 사용목적에 따라서 이름이 다를뿐이다. 즉 냉동사이클을 이용하여서 저온측으로부터 열을 흡수하는것을 목적으로 하는것이 냉동기이며, 히트펌프는 고온측에 열을 주기위한 것이 주목적이다.

다음은 엔진, 냉동기 및 열펌프의 구조와 사이클 효율을 그림1에 표시한다. 여기에서 엔진은 Carnot 사이클을 행하며, 냉동기 및 히트펌프는 역 Carnot 사이클을 행하는 경우이다. 고열원과 저열원간에 움직이는 열기관의 열효율 η_c와 냉동기 및 히트펌프의 η_r, η_h와의 사이에는 다음의 관계가 성립한다.

$$\eta_h=\frac{T_1}{T_1-T_2}=\frac{1}{\eta_c} \qquad (1)$$

구 분	엔 진	냉 동 기	히 트 펌 프
작 동	고열원T_1 → Q_1 → 엔진 → 공업일 W, Q_2 → 저열원T_2	고열원T_1 → Q_1 → 냉동기 ← 공업일 W, Q_2 → 저열원T_2 → 냉방	난방 → 고열원T_1 → Q_1 → 히트펌프 ← 공업일 W, Q_2 ← 저열원T_2
P – V 선도	P↑, Q_1 ⇓, Q_2 ⇓, V	P↑, Q_1 ⇑, Q_2 ⇑, V	P↑, Q_1 ⇑, Q_2 ⇑, V
효 율	$\eta_e=\frac{Q_1-Q_2}{Q_1}=\frac{T_1-T_2}{T_1}$	$\eta_r=\frac{Q_2}{Q_1-Q_2}=\frac{T_2}{T_1-T_2}$	$\eta_h=\frac{Q_1}{Q_1-Q_2}=\frac{T_2}{T_1-T_2}$

그림 1. 엔진, 냉동기 및 히트펌프의 비교

$$\eta_r=\frac{T_2}{T_1-T_2}=\frac{T_1}{T_1-T_2}-1=\frac{1}{\eta_C}-1 \qquad (2)$$

$$\eta_r=\eta_h-1,\ \eta_h-\eta_r=1 \qquad (3)$$

이상으로 부터, η_C가 커지면 커질수록 η_h, η_r이 작게 되며 효율은 작동매체의 종류에는 관계없이 작동유체의 입·출구의 절대온도의 비로서 표시된다.

여기에서 냉동기와 히트펌프에서 말하는 열효율은 성적계수(COP ; Coefficient of performance)로서 호칭되고 있어, 이하에서는 냉동기와 히트펌프의 경우는 COP로 표기한다. 히트펌프의 경우, COP값이 3~4정도이면 보통의 히트펌프이며 6~8정도이면 수퍼 히트펌프(Super heat pump)로 나누어서 부른다. 본문에서는 COP6~8을 목표로 하는 고효율 수퍼 히트펌프를 대상으로 언급 하겠다. 고효율 히트펌프는 작은 히트펌프의 구동에너지로 큰 출력 열에너지의 발생이 가능하게 되어서, 높은 에너지 절약효과가 기대된다. 히트펌프의 작동원리는 그림2와 같다, 히트펌프는 열이동을 매개하는 작동매체의 상변화(액상－기상간)을 이용하여 액체증발시의 기화열 및 액화시의 응축열을 각각 흡열작용과 방열작용을 행하는 것이다. 구성요소는 그림2와 같이 증발기, 압축기, 응축기 및 팽창밸브이며, 작동매체가 순차적으로 순환하여 히트펌프가 작동된다. 그림에서 보는 바와 같이 ① 증발기에 있어서 후론액이 회박열원의 외기(배열등)에서 부터 열을 빼앗아, 기화열로서 가스가 된다. ② 압축기에 의해서 후론가스는 압축되어 고압상태로 된다. 여기에서 가스는 급속하게 단열 압축되기 때문에 압축기에서 가스에 가해진 일로 인하여 에너지가 증가하여 기체의 온도가 상승한다. ③ 응축기에서 농축된 후론 가스는 열을 방출하여, 난방등의 열부하에 이용됨과 동시에 가스는 액체로 된다. ④ 최후로 팽창밸브에 의해 후론 액의 압력을 조정하여, 그후 ①의 증발기에 되돌아온다.

히트펌프에서 축열은 부하평준화에 직결된다. 케미칼 축열은 그림3에 그 원리를 표시한다. 그림에서와 같이 일반으로 복합물 A·B가 가열에 의하여 A와 B로 분해하여, 이 A와 B를 분리시켜 저장하여 놓고, 열에너지가 필요한 때에는 A와 B를 반응시켜서, 거기에서 발생하는 열에너지를 이용하는 것이다. 여기에서 열에 의하여 분해된 A와 B를 분리하기 위해서는, 일반적으로 B는 분해시에 기체로 되고, 이것을 저장하기 위하여 액체로 전환될 수 있는 물질 및 그 화학반응이 선정된다.

케미칼 축열에서는, 화학반응에 의해서 열에너지를 물질중에 화학적 에너지로 저장하여, 필요한 때에 열을 방출하는 것이기 때문에, 축열밀도가 높고 상온에서 장시간 축열 가능하다는 점 등의 특징이 있다.

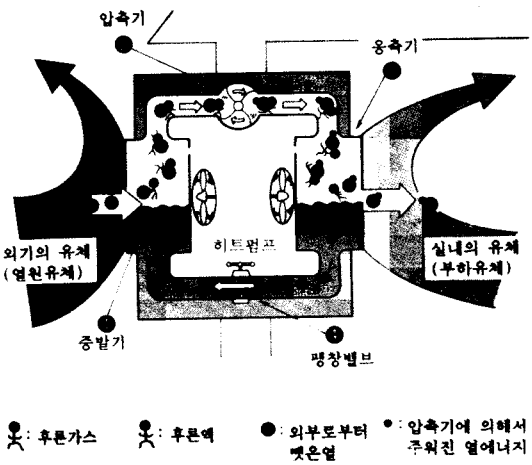


그림 2. 히트펌프의 작동원리

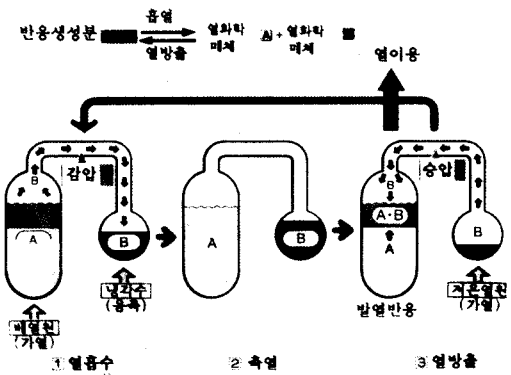


그림 3. 화학적 열저장 장치 개념도

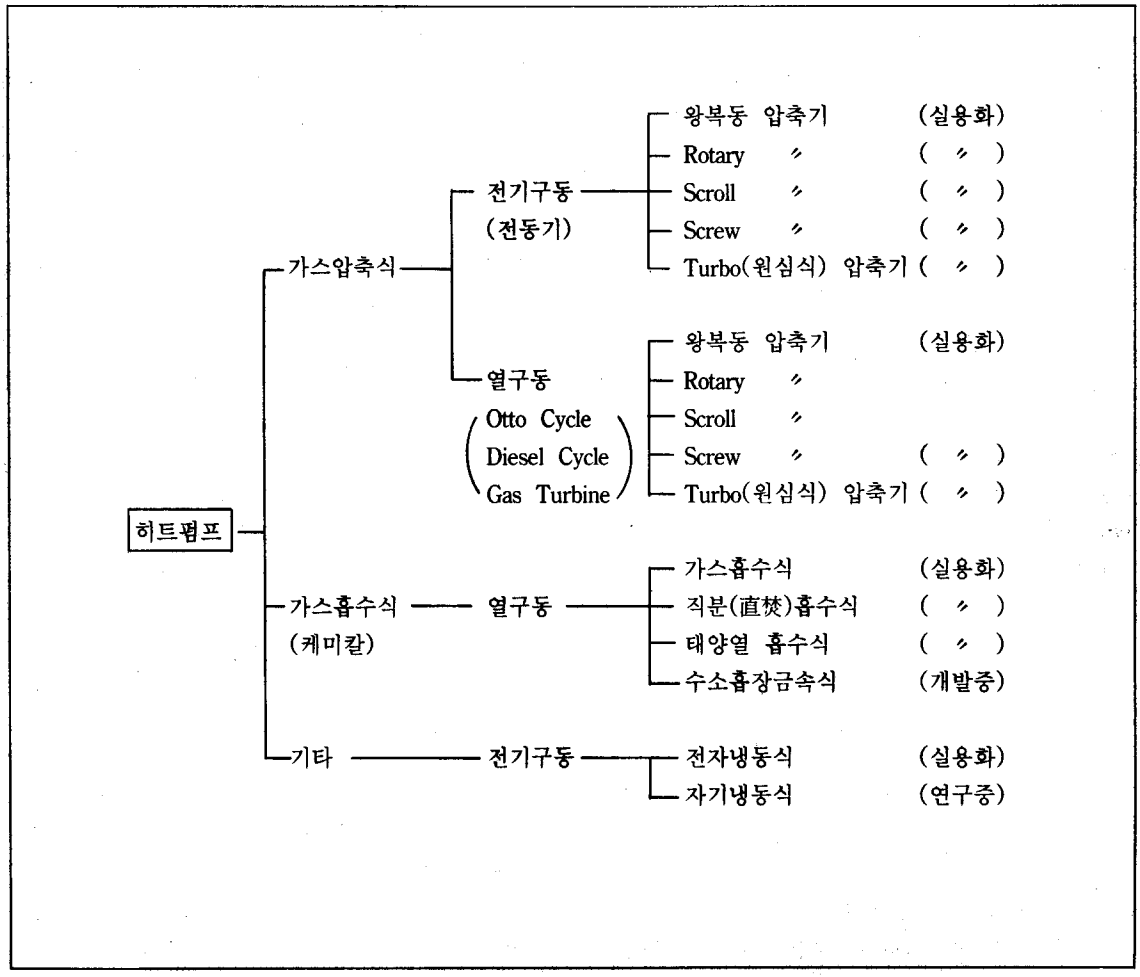
3. 히트펌프의 종류와 방식

히트펌프의 분류는 냉매(작동유체)와 히트펌프 사이클 면에서 대별하면, 냉매가스를 압축하는 압축식과 냉매가스를 흡수하는 흡수식 히트펌프로 나누어진다. 표1은 히트펌프의 종류를 표시한 것으로, 가스 압축식과 가스 흡수식 이외에 냉동효과를 얻을 수 있는 방식으로서, 화학변화에 수반하는 흡열·발열을 이용한 케미칼 히트펌프 사이클이나 가스의 물리적 흡착·방출 반응에 수반하는 흡열·발열을 이용한 수소흡장 사이클 이외에, 자기(磁氣)의 단열소자(斷熱消磁)를 이용한 히트펌프 사이클이 있지만, 아직은 연구단계로서 실용화에는 많은 시간을 기다려야 될 것이다.

그 외에 2개의 다른 금속이 결합한 회로에 직류전류가 흐를때, 접합면의 한쪽은 가열되고, 다른 한쪽은 냉각되는 전자 냉동(peltier효과)은, 현재 냉각을 중심으로 군사용 잠수함의 공조(空調)나 전기부품의 국부냉각 등의 특수용도에 이용 될 정도이다.

현재, 공기조화나 산업분야에서 실용화되고 있는 히트펌프는 압축기나 흡수식 냉동기를 이용한 냉동사이클이 거의 대부분을 차지하고 있다.

표 1. 히트펌프의 종류



4. 국내외의 연구개발

4.1 국내의 연구개발

국내의 히트펌프 개발은 초보적인 단계로서 지금까지의 대표적인 것을 열거하면 다음과 같다.

한국에너지 연구소에서는 압축식 열펌프개발을 수행하였다. 압축기의 P-V선도와 성능분석을 실시하여 COP 3.8~4.3을 달성하였고, 40마력급 스크류 압축기를 이용하여 축열식 열펌프 시스템을 개발하였다. 또한 대체에너지 개발을 위하여 태양열을 이용한 흡수식 냉난방시스템에 관한 연구도 수행하였다.

한국기계연구소에서는 저온폐열회수를 위한 흡수식 열펌프를 개발하였다. 주로 제1종 흡수식 펌프의 설계·제작과 사이클 변화 예측 등을 연구대상으로 하였다. 그후 가스엔진을 이용한 열구동 히트펌프를 개발하여 냉난방 및 급탕에 이용하는 시스템을 개발하였고, 1992년 10월부터 수퍼 히트펌프 시스템 설계기술개발을 현재 수행중이다. 한국과학기술연구원에서는 심야전력으로 물의 잠열을 저장하였다가 전력의 피크 부하시에 이용하기위한 축열재 및 빙축열 시스템을 개발하여 시범가동과 성능평가를 하였다.

한국전력공사 기술연구원은 빙축열에 관한 기초연구와 심야 전력이용 기술개발에 대하여 많은 관심을 가지고 연구를 계속 수행중이다.

표2는 상공자원부 및 에너지 관리공단에서 '93 에너지절약 기술개발사업 추진과제중 히트펌프에 관련된 대표적인 것을 참고로 수록하였다.

한편 민간기업에서는 경원세기가 한국전력공사의 주문생산을 하고 있으며, 가정용 냉난방 겸용으로서 금성사 및 삼성전자는 소형을 생산하고 있고, 금성산전, 삼성중공업 및 만도기계에서 대형의 흡수식 냉난방기를 생산 개발하고 있다.

국내기업의 경우, 충분한 정보를 얻기가 어려워 현황파악이 쉽지않다.

이상과 같이 히트펌프에 관하여서는 기본적인 연구가 부분적으로 수행되어 왔으나, 아직 대형 에너지절약기술에 관하여 종합적이고 체계적인 연구가 되어있지 않은 실정이다.

4.2 국외의 연구개발

냉동사이클과 히트펌프의 이론은, 1824년 Carnot에 의해서 확립되었지만, 그 응용에 대하여서는 언급되지 않았다. 1852년 Lord Kelvin에 의해서 처음 히트펌프를 건물의 냉난방에 적용가능하다는 것이 발표되였다. 그러나 당시에는 실용에 적합한 냉동기가 없었기 때문에, 냉방도 되지 못하다가 시험적으로 행하여 진것은 70년 후인 1920년대에 들어와서였으며, 실용화된 것은 1930년대에 가능하였다. 스위스 및 영국에서의 히트펌프개발 예를 표3 및 4에 수록하였다. 표에서 보는 바와 같이 열원으로서는 물이 대부분이며 그 다음이 공기가 차지하고 있으며, 실내의 공기조화나 산업용에 적용시키고 있다.

그 후 에너지절약 시스템을 개발하기 위하여 IEA에 1978년에 「개량형 히트펌프 시스템 실시협정」을 미국, 일본, 서독 등을 중심으로 16개국이 참가하여 맺었다. 여기에서는 각 테마별로 연구개발을 실시하는데, 그 대표적인 과제는 예를 들면 산업응용용 히트펌프, 지역냉난방, 압축식 히트펌프의 혼합냉매 및 고온냉매, 히트펌프용 증발기, 지중(地中)축열기술, 고온산업용 히트펌프 및 개량형 히트펌프 작동유체와 이동현상등에 관한 R&D를 수행하였거나 수행중이다.

일본의 히트펌프 기술개발은 통상산업성 공업기술원의 「Moonlight 계획」하에 1984년부터 1993년 3월까지 10년간 145억엔의 연구비를 꾸준히 투자하여 진행되었다. 방대한 기술개발 사업을 효율적으로 실시하기 위하여, 18개의 민간기업 및 국가연구소를 중심으로 「수퍼 히트펌프·에너지집적 시스템기술 연구조합」을 조직하여서 명실상부한 국가규모의 연구개발 체제를 갖추어서 실시하였다. 역활분담은 국가연구소에서는 요소기술분야, 담당조합회사에서는 시스템제작 및 토탈시스템 운용연구등을 담당, 실용화에 역점을 두어 연구개발을 수행하였다. 이 계획에 의하여 달성된 연구 개발 성과는 압축식 히트펌프 4종류와 케미칼 축열기술에는 5기종의 벤치 플란트를 제작 시운전하였

표 2. '93에너지절약 기술개발사업 추진과제(히트펌프 관련과제)

연번	개 발 과 제 명	에너지 절 약 효 과	개 발 단 계		개 발 목 표
			국 내	국 외	
1	공정폐열을 이용한 고온용 제2종 흡착식 열펌프	20%	2종 흡착식에 대한 연구는 전무한 상태임	독일에서 2kW급에 대한 연구진행	· 흡착재료의 특성 개선 (고효율화) · 진공유지 기술 및 시스템 구성 기술
2	열구동 Vuilleumier 냉동기/ 열펌프	기존히트펌프대비 15%	일부 요소기술은 진행중이나 시스템 설계는 전무	미국을 중심으로 실용화 연구 활발히 진행중	· 설계 소프트웨어 · 가열기 및 재열기 설계 · 내압 Sealing 기술
3	소형 공냉 흡수식 히트펌프	20%	업체 및 연구소 등에서 연구중	미국, 일본 등에서 고효율 기기개발 완료	· 흡수기, 응축기 공냉화 기술, 고효율화, Compact화, 다기능화
4	고온 PCM을 이용한 고효율 축열기기 기술개발	세라믹 벽돌대비 축열량2배	저온축열 연구중 고온축열 기초 연구단계	실용화 적용중	· 고온 PCM 용기 제작 및 통합기술 · 적용온도에 맞는 PCM개발
5	흡수식 열펌프에 의한 폐열 회수 이용기술	15%	제작기술 확보 상태	지역냉난방과 공정열 이용으로 응용·적용	· 폐열회수부 열교환기 설계기본 정립
6	제2종 흡수식 히트펌프에 의한 폐열회수 이용기술	15~20%	일부업체에서 도입 설치 운전중이나 신뢰성 미흡	개발완료되어, 생산 보급 단계임	· 작동유체, 다단흡수 사이클 개발 · 설계의 표준화 및 체계화
7	고성능 압축식 히트펌프의 개발	약 20~30%	소형위주로 제작, 성능평가중	최적화 설계가 활발히 진행중	· 고효율화 및 고온 출력화 · 최적시스템 개발
8	가스엔진 구동히트펌프	30%	KIMM 및 가스공사에서 기초연구 실시	미·일 등에서 연구가 활발히 진행중임	· 열펌프 사이클 해석, 설계 및 성능 평가시험
9	Chemical Reaction히트펌프 시스템	성능에 따라 10~20%	일부 연구소에서 기초연구단계	일본, 프랑스에서 실용화연구 진행중임	· 촉매연구 · 적용대상 공정의 해석 · 공정의 Heat Integration
10	Duplex Stirling 히트펌프 개발	기존히트펌프대비 20%	기초연구수행중	기업화를 위한 성능시험중	· Dynamic Balancing 기술 · Compact Heat Exchanger 기술 · Sealing기술
11	빙축열 시스템 개발	20%	KIST에서 연구수행후 6개소에 시범가동, 성능평가	미·일 등에서는 세계해택으로 연구개발 장려	· 빙축열 시스템 설계 및 구성, 최적 제어 장치 개발 시험 운전 평가

표 3. 초기에 스위스에 설치한 대표적인 히트펌프

Year of Construction	Heat Source	Location	Output (kW)	Delivery Temp (℃)	Application
1938	River water	Zurich	175	70	Space heating
1939	Air	Zurich	58	30−40	Air conditioning
1941	River and waste water	Zurich	1500	23−45	Swimming pool heating
1941	Lake	Skeckborn	1950	70	Process heat in artificial silk mill
1941	Air	Landquart	122	−	Felt drying in paper mill
1942	River water	Zurich	7000	70	Space heating
1943	River water	Zurich	1750	50	Space heating
1943	−	Schonenwerd	250	50	Air conditioning in shoe factory
1944	Fermentation cellar	Largenthal	140	45	Heating & cooling in brewery
1945	Lake	Lugano	−	−	Space heating

표 4. 초기에 영국에 설치한 대표적인 히트펌프

Location	Year	Heat Source	Heat Sink	Power Input	Power Output	Cost		Mean COP
						Capital	Running	
Norwich offices	1945	Water	Water	40−80kW	12−240kW	−	10.2p/kWh	3
Royal Festival Hall	1949	Water	Water	522kW (Gas)	2700kW	₩103,200	42p/GJ	1.5
Norwich House	1950	Concrete floor	Water	1.3kW	3.7kW	−	Same as conventional solid fuel system	2.8
BEAIRA	1951	Water	Water	3kW	7−15kW	−	−	2.2−5
ERA	1952	Soil	Water	7.5kW	25kW	₩2,252	₩89p.a.	3
Various(Ferranti fridge-heater)	1954	Air	Water	0.4kW	0.7−1.3kW	₩141	−	3
Solar House (Denco Miller)	1956	Air	Air	−	6−12kW	₩325	₩29 p. a.	−
Various(Brentford Electric)	1957	Air	Water	9kWh/day	−	−	40p/week	−
Nuffield College	1961	Sewage	Water	31kW (Diesel)	150kW	₩9,310	₩896 p. a.	3.98

으며 이들의 결과를 표5, 6에 나타내었다. 압축식 히트펌프는 3기종은 목표달성 하였고 1기종은 운전조정중이다. 케미칼 축열기술은 3기종의 pilot plant의 시작 운전을 연구 진행시키고 있는 상태이다.

표 5. 압축식 히트펌프의 연구개발결과(일본)

개 발 항 목			출력 온도	열원 온도	COP	
					개발 목표	Pilot plant 실 측 치
고효율형	온열전용		85℃	50℃	8	8.1
			65℃	35℃	8	8.2
	냉온 겸용	온	45℃	10℃	6	6.1
		냉	7℃	32℃	7	7.0
고온출력형	저온열원용		150℃	50℃	3	3.0
			150℃	95℃	5	5.0
	고온열원용		300℃	150℃	3	(2.9~3.0)
			300℃	200℃	6	조 정 중

표 6. 케미칼 축열 기술의 연구개발 결과(일본)

개발기종	출력 온도 (℃)	열회수율(%)		축열밀도(kcal/kg)	
		개발 목표	시험 결과	개발 목표	시험 결과
암모니아 복합물반응	200℃	75	38.2	50	37.6
용매화 반응	85~150℃	75	60.5	50	37.7
수화 반응	150℃	75	78.3	50	63.1
용질혼합 수화반응	7℃	75	79.3	30	36.3
Clathrate	10℃이하	75	93.1	30	32.0

히트펌프와 축열기술의 결합시스템은, 큐슈전력 연구소에 냉온 겸용으로 히트펌프와 Clathrate 축열의 Pilot plant를 설치 운전중에 있으며, 고온출력형의 저온 열원용 히트펌프와 수화반응 축열을 결합하여 마에가와 제작소에서 평가 운전중이다.

앞으로 실제적으로 행하여야 할 연구는, 고온축력형의 고온열원용 히트펌프의 COP6의 시험, 산업용 결합시스템의 성능시험, 제어성시험, 가속열화 시험후 해체하여 열화성 및 부식성 등에 관한 연구, 실용화 촉진연구 등이 예상된다.

현재 일본내에는 300여기의 실용화 예가 있으며, 히트펌프를 도입함에 따라서, 도입전보다 40~50%의 에너지가 절약되고 있거나 플란트에 따라서는 년간 1억 6천만엔의 절감효과를 갖는 것으로 보고되고 있다. 다음은 일본내에 실용화된 대표적인 예를 표7에 표시한다. 그림4는 냉온겸용의 1MW급 Pilot plant의 전경이다.

표 7. 히트펌프 시스템 실용화 예(일본)

빌 딩 공 조 용	산 업 용
1) 오사까우메다 UN빌딩 · 축열식 히트펌프 · 심야 전력이용율 →시스템 : 78%이상 2) 동경 NH 빌딩 · 축열식 히트펌프 · 심야전력 이용율 →시스템 : 70% 이상	1) 혼다 7연 하마마쯔 제작소 · 배열 회수, 공장공조용 축열시스템 연간 162백만 엔 절약

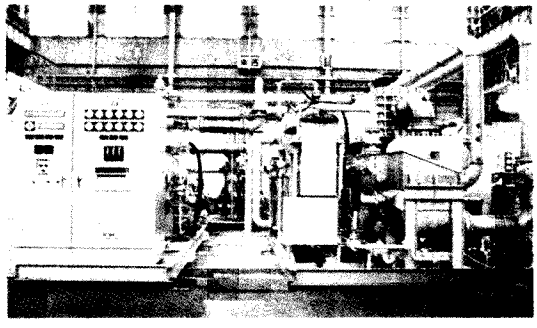


그림 4. 열출력1000kW Pilot Plant 전경

이상과 같이 합리적 연구조직을 가지고서 출발한 연구조합은 사업종료에 맞추어서 해산되었으며 개발된 기술의 실용화 및 상품화는 민간업체의 몫으로 과감히 넘기고 정부차원에서는 완전히 마무리 하였다.

미국의 경우 히트펌프 연구는 테네시주에 있는 Oak Ridge National Laboratorv와 메릴랜드주에 있는 National Bureau of Standard에서 활발히 수행하고 있다. 또한 에너지성에서는 건축물의 에

너지절약 측면에서, 빌딩에 관한 냉난방 연구를 지원하고 있다. 히트펌프에 관련된 연구논문은 ASHRAE Transaction에 최근 3년간 평균 30편 정도가 발표되고 있다.

5. 연구개발의 필요성

우리나라와 같이 부존자원이 빈약한 곳에서는 폐열의 재활용이 매우 중요하다. 통계적으로는 사용되는 에너지의 50% 정도가 냉각수, 배기, 폐수 등에 의하여 버려지고 있는 점을 주목한다면 개발활용의 전망은 상당히 높다.

1991년도 국내의 총에너지 소모량이 석유로 환산할 때 103,622천ton이며 이론적으로 51,800천 ton에 해당하는 15조원 규모의 에너지가 폐기되고 있다. 표8에는 91년도 국내의 에너지 소비량을 에너지원별로 분류하여 표시하고 있다. 석유에의 의존도가 60%에 가까워 이에 대한 합리적 소비 대책이 절실함을 알 수 있다.

표 8. 국내에너지 소비량(자료 : 한국전력)

에너지 소비량 : 103,622천TOE	
석 유	57.5%
무연탄	7.9%
유연탄	15.8%
원자력	13.6%
LNG	3.4%
수 력	1.2%
기 타	0.6%

폐기에너지를 시간단위로 환산하면 국내에서는 매시간당 600억 kcal가 폐기 되는 셈이다. 표9는 히트펌프 시스템의 잠정수요를 예측한 것으로서 시간당 70만 kcal짜리 히트펌프 시스템을 채용하고 폐기되는 열량의 1%만 활용한다 할때 860대의 시스템 수요가 창출된다.

표 9. 히트펌프 시스템의 잠정수요

시간당 폐기 열량	600억 kcal/h
1%회수시 잠정수요 (70만 kcal 회수시스템)	6억 kcal/h 860대

그림5는 85년 이후의 국내의 총 발전량 추이를 나타내고 있으며 91년도에는 1억 1천 8백만 MWh의 발전량 중 심야전력 이용율은 0.6%인 70만 MWh의 저조한 실적을 보이고 있으나 수퍼 히트펌프 시스템이 개발되면 10%이상의 심야전력 이용이 가능하며 1,200만MWh 이상의 효과를 기대할 수 있으며 이용자 측면에서 연간 9,000억원의 절감효과를 얻을 수 있다.

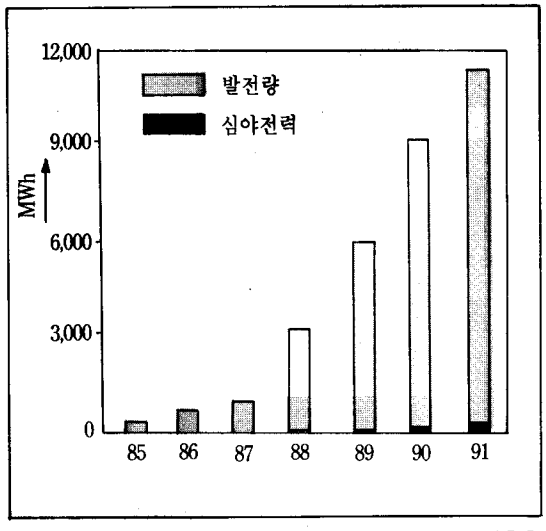


그림 5. 발전량/심야전력 이용율

이와같이 수퍼 히트펌프 시스템개발 기술은, 폐열 재활용 기술개발과 심야전력의 활용기술 개발, 그리고 도시 밀집지역의 냉난방 기술개발 3가지 측면에서 긴요하므로 시급히 확보해야 할 핵심에너지 절약기술이다.

6. 연구개발 내용

수퍼 히트펌프의 요소기술은 다음과 같다.

1) 시스템 설계 및 제어기술
2) 다단 압축기 설계·제작기술
3) 고효율 증발기의 열설계 제작기술
4) 고효율 다단 응축기의 설계·제작기술
5) 혼합 냉매의 개발 및 응용기술
6) 에너지 저장 기술
7) pilot plant 설계·제작 및 운용기술

이상의 요소기술을 확보하기 위하여서는 우선

다단응축기 시스템과 혼합냉매의 특성을 이해하여야 한다. 기존 응축기 시스템은 그림6과 같다. 응축중에 응축압력은 일정하다. 압축기는 모든 냉매를 응축압력까지 높여야 한다. 예를 들면, 50℃의 열수가 85℃로 가열될때, 그림에서와 같이 응축온도는 88℃로 모든 냉매가 일정하게 유지된다.

수퍼 히트펌프에서 제안하는 새로운 시스템은, 각기 다른 온도의 냉매는 각각에 맞는 응축온도를 갖는다. 그림7은 수퍼 히트펌프 시스템에서 채용하고 있는 시스템으로 일부 냉매가스만이 88℃에 상당하는 응축압력으로 압축된다. 따라서 압축기의 부하가 빗금친 부분만큼 감소되어, 이것이 COP 증가에 기여한다.

수퍼 히트펌프에서 제안하는 냉매는 혼합냉매이다. CFC 계열의 냉매는 양호한 COP를 갖지만, 작동유체로서 내열성이 문제가 되고있다. 따라서 열적 안정성이 가미된다면 고성능의 새로운 작동유체가 될 수 있다.

끓는 온도가 다른 혼합냉매의 기체-액체의 평형상태는 단일성분의 냉매와는 다르다. 혼합냉매 매체는 동일 압력하에서 응축 및 증발온도가 변화한다. 이와 같은 온도변화가 그림7에 유효하게 사용되면, 그림8와 같은 성능향상을 가져올 수있다. 여기에서 혼합냉매를 사용하였을때의 응축 및 증발온도의 변화를 나타내고 있어, Lorenz 사이클을 실현시키고 있음을 알 수 있으며, 빗금친 부분만큼 COP 증가에 기여한다.

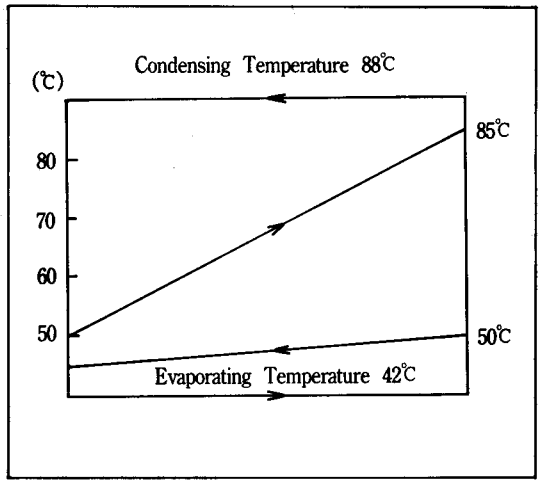


그림 6. 기존 히트펌프 시스템

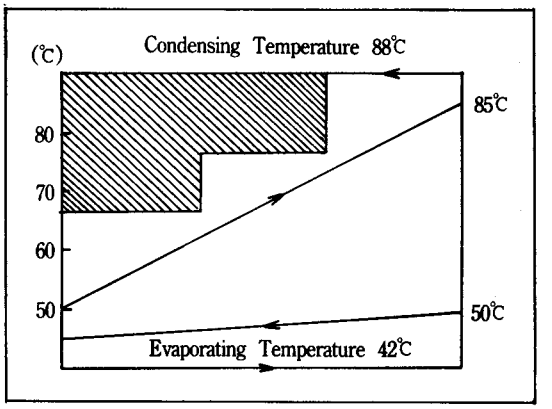


그림 7. 새로운 히트펌프 시스템

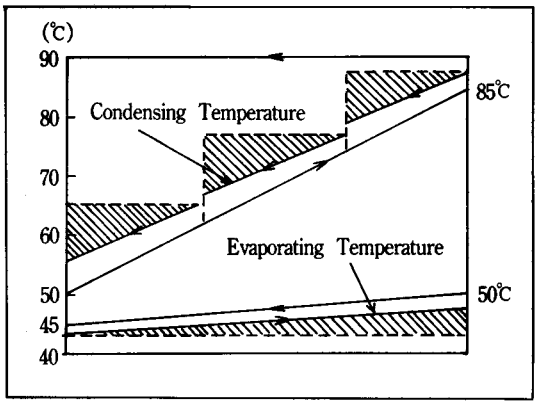
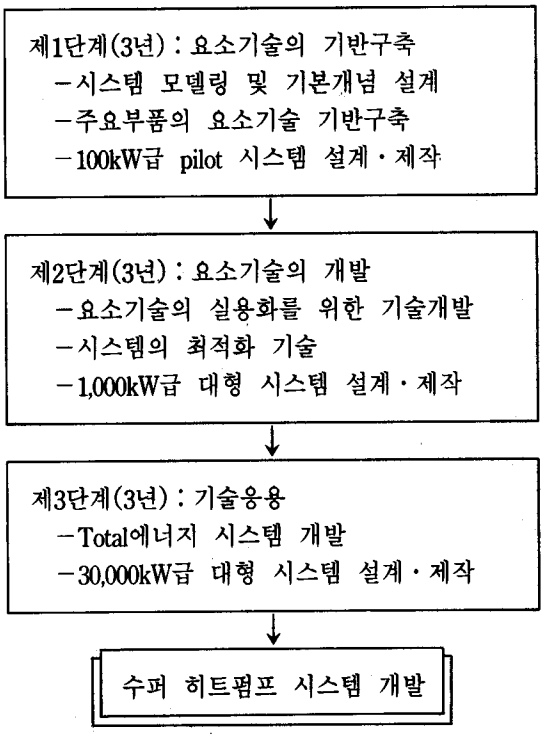


그림 8. 혼합 냉매 사용시 히트펌프 시스템

이상과 같은 다단 응축시스템과 혼합 냉매를 사용한 수퍼 히트펌프는 각각의 목적에 따라서 개발내용이 정하여 진다. 여기에서는 현재 KIMM이 수행중인 수퍼 히트펌프의 개발내용을 소개하고, 다음에는 일본의 「Moonlight 계획」에서 취급한 것을 기술하여 수퍼 히트펌프가 전체적으로 구비해야할 연구내용을 예시하는데, 고효율형과 고온출력형 등의 압축식 히트펌프와 이것과 연결시켜 운영하는 케미칼 축열기술의 요소기술 순서로 기술한다.

6.1 KIMM 수행중인 수퍼 히트펌프

연소·전열연구실에서 "수퍼 히트펌프 시스템 설계 개술개발"을 3단계에 걸쳐서 수행할 예정이며, 각단계의 연구 내용은 다음과 같다.



또한, 제1단계의 연구내용은 고효율형 히트펌프에 관한 것으로 다음과 같이 요약된다.

(a) 시스템 설계기술
- -100kW급 시스템 설계·제작 기술
- -작동 매체의 선정
- -실용화에 관한 경제성조사
- -시뮬레이션 프로그램 개발

(b) 요소기술
- -고효율 다단 압축기 성능해석
- -고성능 다단 응축/증발 열교환기 성능해석
- -작동매체의 특성해석

(c) 시스템 평가기술
- -성능시험장치 설계·제작
- -성능시험 기법
- -결합시스템 운용기술

6.2 고효율형 수퍼 히트펌프

(a) 온열(溫熱)전용 수퍼 히트펌프
- -고효율, 대용량 Turbo 압축기, 왕복식 압축기의 용량에 따른 개발
- -비등점이 다른 혼합냉매를 이용한 다단 압축/응축 시스템의 개발
- -밀폐 전동기의 개발(내구성 대체냉매 절연재료 개발 및 내구성 고온 절연재료 개발)
- -Lorenz 사이클을 실현하는 증발기로서, 완전 대향류의 소온도차 증발기 개발
- -후론계의 열매체의 열물성치의 안전성 확보
- -윤활유의 개발(대체 냉매용)

(b) 냉온(冷溫) 겸용 수퍼 히트펌프
- -왕복식 압축기, 스크류 압축기의 용량에 따른 개발
- -2단 Economizer 시스템 개발, 혼합 냉매를 이용한 다단 압축/응축 시스템 개발
- -Plate fin형 H/E개발(내식 및 내열성)
- -사이클해석

6.3 고온 출력형 수퍼 히트펌프

(a) 저온 열원용 고온 출력형
- -TFE(Tri-fluoroethanol)·물계열을 작동 매체로 사용하는 대용량의 고효율 스크류 압축기 개발
- -전기유체역학(EHD) 효과를 이용하여서 액막을 얇게 하여 높은 열전달율을 실현하는 고성능 EHD 응축기 개발(통상의 응축기에 비하여 3배의 전열촉진 효과가 있다)
- -내열성의 작동유체개발(3불화 에탄올 85mol %와 물을 혼합)
  (불소계 알콜의 열역학 상태식, 압력, 엔탈피 등의 선도 작성)
- -작동매체의 안전성 및 내구성 시험
- -제어시스템 개발

(b) 고온 열원용 고온 출력형
- -고속 왕복동 압축기의 개발
  (수증기 압축식 히트펌프 시스템)
- -물분사에 의한 온도제어, 증기과급에 의한 중간 압력까지의 압축특성 파악
- -시스템의 안전성 및 내구성 시험

6.4 케미칼 축열 기술

케미칼 축열은 물질의 화학반응에 수반하는 열의 흡열과 방열을 이용하여 온열축열 혹은 냉열축열을 한다. 현재 개발된 축열장치의 대표적인 것은 다음과 같다.

(a) 암모니아 복합물의 화학반응 고온축열장치

이것은 심야전력에 의해서 압축식 히트펌프를 구동하여 출력하는 200℃의 열이나 고온배열을 축열하고, 낮동안의 50℃의 배열을 이용하여 200℃의 열을 얻는 장치로서 요소기술은 다음과 같다.

- 암모니아 화학반응 고온축열 시스템 설계 및 제어기술
- 액상반응기 및 고상반응기의 구조 및 특성관련 기술
- 축열밀도와 내구성이 우수한 축열매체 개발
- 고온 반응계를 사용한 산업용 고온 히트펌프 기술개발
- 저온 반응계를 사용한 냉난방 케미칼 히트펌프의 응용기술

(b) 수화(水和)반응 고온 축열장치

심야전력에 의해서 구동되는 히트펌프가 출력하는 150℃의 열이나, 고온배열을 축열하고, 필요에 따라서 200℃까지 승온시켜 이용할 수 있는 장치이다. 요소기술은 다음과 같다.

- 수화반응 고온 축열시스템 설계 및 제어기술
- 축열부와 승온부의 구조 및 특성 관련기술
- 흡수식 히트펌프 기술
- 축열밀도와 열회수율이 높은 축열매체 개발
- 화학공업장치 등의 적용대상에 관련한 실용화 실험

(c) 용매화(溶媒和) 반응 고온 축열 장치

심야전력을 용매화(반응)에너지로서 저장하여, 낮에 필요에 따라서 80~200℃ 고열원으로서 얻을 수 있는 장치로서 중요기술은 다음과 같다.

- 용매화 반응 고온축열 장치 설계 및 제어기술
- 혼합냉매(TFE 등)의 개발
- 승온시스템의 실용화 기술
- bench plant등의 운전·제어 기술

(d) 용질(溶質) 혼합 수화반응 냉열 축열장치

야간에 히트펌프에서 발생하는 85~120℃의 열원을 이용하여 축열하고, 주간에 약 7℃의 냉열을 발생시켜 냉방용 열원으로서 사용하는 축열장치이다.

- 냉열축열 시스템의 설계·제작 및 제어기술
- 혼합냉매($LiBr/CaCl_2$)의 축열 매체 개발
- 혼합첨가제에 의한 재료방식 기술
- 소수성(疎水性) 다공질막을 사용하는 혼합축열 매체의 농축 및 회석 기술 개발
- 혼합 축열 매체의 양산화기술

(e) Clathrate 냉열 축열장치

Clathrate는 물에 소량의 유기매체를 혼합하여 냉각하는 것에 의해 생성하는 유동성이 있는 결정체로서, 화학변화시에 대량의 열방출을 수반하기 때문에 공조용 축열매체로서 매우 적합하다. 요소기술은 다음과 같다.

- 냉열 축열시스템의 설계·제작 및 제어기술
- 고효율형 냉열겸용 히트펌프와 냉열 축열시스템을 일체로 하는 매칭기술 개발
- 열회수율, 축열밀도 및 내구성이 큰 냉매 개발

(f) 기타요소 기술

- SUS plate fin형 열교환기 개발
- 혼합매체용 증발기, EHD 열교환기 개발
- 고온용 및 신작동매체 개발
- 알콜계 및 비알콜계의 작동매체

7. 개발효과

수퍼 히트펌프 시스템을 개발하여 얻을 수 있는것 중 대표적인 것을 기술하면 다음과 같다.

1) 에너지 이용효율 증대

석유에서 전력으로의 변환효율이 33%일때 COP 3정도이며, 종합에너지 효율은 100%정도, COP 6~8정도이면, 종합에너지 효율은 2배

이상 달성된다.

2) 전력부하 평준화
심야전력 이용등으로 여름철의 Peaktime이 해소 가능하다.

3) 개발기술의 파급효과
에너지 절약기술, 전력수요의 개척, 산업계에서의 화학축열기술, 고성능 열교환기술 향상 등의 파급효과가 예상된다.

4) 사회적 효과
열오염을 일으키는 각종 폐열이 회수 가능하여 환경보전이 기대되어 에너지 소비윤리에 부합될 수 있다.

8. 결　론

이상과 같이 히트펌프의 원리, 히트펌프의 종류, 국내외의 연구개발 동향 그리고 수퍼 히트펌프의 연구개발 내용과 개발효과 등을 살펴볼 때, 수퍼 히트펌프는 에너지절약 기술분야에서 가장 유망한 방법중 하나임을 인식하게 되었다.

이러한 측면에서 볼때 「수퍼 히트펌프 시스템 개발」은 차세대 종합과학기술의 성격이 강하여 민간기업이 혼자 수행하기에는 어려운 점이 많기 때문에, 정부차원에서 「수퍼 히트펌프 시스템개발사업조합(단)」과 같은 연구조직을 만들도록 유도하고, 국가 출연연구소는 요소기술 분야를 조합회사는 시스템제작 및 운용연구, 그리고 제품의 양산화를 담당하는 연구체계가 현실적으로 의미가 있다고 사료된다.