

자연냉매(CO₂)를 이용한 냉난방시스템 기술개발

산업자원부의 차세대 국책과제로 진행되고 있는 CO₂ 냉매를 이용한 냉난방 시스템 기술 개발 동향을 간단히 소개하고자 한다.

조성욱

삼성전자 가전연구소(so.cho@samsung.com)

우정태

한국에어컨냉동기기연구조합(wjt@kraac.or.kr)

급속한 기술 개발과 산업 발전으로 오존층 파괴와 지구 온난화와 같은 두 가지의 심각한 자연환경문제를 발생시켰다. 이러한 환경문제는 일부 지역 또는 국가에 국한된 문제가 아니라 인식하에 국제적인 협조와 조정이 요구되어 몬트리올 의정서와 기후변화협약과 같은 국제적인 협약을 채택하게 되었다. 따라서 1930년대 개발된 CFC 계열 및 HCFC 계열 물질은 열역학적 우수성 및 화학적 안정성 등을 갖추어 널리 이용되었지만 대기 중에 누출될 경우 환경문제를 발생시키게 된다는 사실이 밝혀지면서 이러한 물질의 생산 및 사용에 대한 규제가 강화되고 이들 물질을 대체하기 위한 노력이 다각적으로 이루어지고 있다.

하지만, 생활수준의 향상과 산업의 고도화로 에어컨의 수요가 지속적으로 증가하고 있고, 표 1과 같이 세계 에어컨 시장 규모는 2000년 4100만대에서 2005년 6000만대로 그 규모가 꾸준히 증가하고 있다. 그중 중국, 미국, 일본, 유럽(대표 6개국)은 세계 규모의 75% 이상을 차지하며, 한국은 단일국가로는 세계 4위의 시장규모를 나타내고 있으며 특히 에어컨 분야에서는 2004년 전 세계적으로 약 1,600만대 이상을 판매하여 세계시장 점유율 28% 이상을 점하고 있는데, 에어컨의 냉매에 의한 환경문제가 중요한 사안으로 대두되고 있다.

대체냉매로는 합성물질인 HFC 계열 냉매와 자연냉매 등이 유력하다. 그러나 HFC 계열 냉매는 생산 공정 중에 오존층을 파괴시키는 부산물이 나오는 것으로 알려져 있으며 지구온난화지수(GWP)가 기존의 HCFC 계열 냉매 수준이므로, 1997년 채택된 교토의정서에는 온실효과 가스의 배출규제물질에 포함되어 있다. 따라서 이러한 환경문제에 대한 근본적인 해결책은 자연에 존재하는 물질을 냉매로 사용하는 것이다. 자연냉매는 환경적인 측면에서 오존층 파괴와 지구 온난화에 미치는 영향은 미미하다. 그리고 인체에 무해하며, 독성이 없고, 화학적으로 안정하며, 현재 가장 많이 사용되고 있는 냉동기유인 광유(mineral oil)와 잘 혼합되고, 기존의 냉동기 재료를 그대로 사용할 수 있는 장점이 있다. 또한 열역학적 및 전달물성이 우수하여 냉동기에 적용할 때 좋은 성능계수를 보인다. 더욱이 값이 저렴하며, 재생(recycle)하지 않아도 되는 장점이 있다. 따라서 자연냉매를 이용하는 냉동시스템에 관한 연구가 매우 필요하다.

이러한 상황에서 자연냉매 중에서 CO₂(R744)는 다른 냉매들과는 달리 인화성과 악취, 독성이 없어서 안전성이 뛰어나며, 높은 비열과 체적열용량을 가지고 있으므로 냉매로서도 탁월한 열역학적 물성을 가지고 있다. 따라서 CO₂를 이용한 냉동공조기기에 대



한 연구는 유럽, 미국 그리고 일본과 같은 선진국을 중심으로 활발히 진행되고 있으며, 적용 예로서 온수 급탕기와 자동차용 에어컨을 들 수 있는데, 온수급탕기는 일본에서 생산되고 있으며, 유럽, 미국 그리고 일본에서는 자동차용 에어컨의 소형화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나, CO₂를 이용한 열펌프 시스템에 대한 연구는 선진국에서도 성과와 신뢰성 향상을 위한 연구가 진행되고 있고 실용화를 위해서는 해결되어야 할 문제점이 있는 중요한 분야로 이에 대한 연구가 초기단계에 있고, 그 연구 성과가 미비하여 이에 대한 연구는 절실한 상황이다.

본 글에서는 산업자원부의 차세대신기술개발사업의 일환으로 지원되고 있는 이산화탄소 냉매를 이용한 냉난방시스템의 개발 과제에 대해 간단히 소개하기로 한다.

친환경 냉매 적용 제품의 경제적 중요성

세계 각국은 온실가스냉매에 대한 국제적 환경규제로 이미 에어컨, 냉동냉장고 등 냉동공조 제품의 급격한 친환경(Non-ODP/GWP)화 진행 중에 있다. 표 2와 같이 친환경 제품의 적용은 늘어나고 있으며 냉장고의 경우 2005년에 37% 이상이 자연냉매로 전환되었으며 히트펌프 제품도 20만대 규모로 성장하였다.

세계 냉동공조시장은 2005. 2. 16일 교토의정서 발효를 기준으로 지구온난화에 영향을 미치는 물질에 대해 실질적인 규제가 들어가고 있으며, 현재 법으로 규제하는 분야는 EU를 중심으로 자동차용 공조기에 사용되는 냉매에 한해 GWP 150 이하의 냉매만을 적용하고 있지만 향후 에어컨, 냉동냉장고(유

<표 1> 세계 에어컨 시장규모(히트펌프 포함)

(단위 : 천 대)

	2001 Actual	2002 Actual	2003 Actual	2004 Actual	2005 Actual	성장률
Total	44,834	46,840	54,379	58,147	60,422	8.7%
Japan	8,367	7,546	7,307	7,679	7,500	-2.6%
Asia	16,637	17,761	23,650	26,430	28,312	17.5%
Mid.East	1,730	1,804	2,218	2,366	2,515	11.3%
Europe	2,918	3,412	4,359	4,799	5,087	19%
N.America	11,894	12,910	13,075	12,876	12,881	2.1%
S.America	1,939	2,036	2,243	2,311	2,418	6.2%
Africa	758	700	814	850	885	4.2%
Oceania	593	671	712	815	825	9.8%

* 자료출처 : 일본냉동공조공업협회 2006년 통계자료

<표 2> 품목별 친환경 냉동공조기술 적용분야 및 규모-2005년

(단위 : 천 대)

적용분야	세계시장 규모	자연냉매 적용규모	자연냉매 적용비율	적용냉매 및 지역	잠재시장 규모
에어컨	32,014	-	-	-	32,014
히트펌프	28,408	200	0.7%	CO ₂ :일본	28,408
냉동냉장고	81,799	30,266	37%	R600a:유럽	51,533

* 자료출처 : Jarn 2006. 3, Euromonitor, GFK, NPD, Stevenson

럽은 이미 자연냉매인 R600a의 적용률이 전체 시장의 약 40%를 차지하고 있음)등에도 확대 적용될 것으로 전망된다.

대체냉매와 관련해서는 세계 최대의 냉매회사인 듀퐁(Dupont)이 속한 미국은 유럽의 법안에 반발하여 자체적으로 GWP 150 이하인 화학냉매를 개발하여 적용하겠다는 의지를 보이고 있으며 일본 또한 기존냉매인 R410A 또는 R134a를 유지하겠다는 의견을 보이고 있지만 현재까지는 자연냉매가 가장 유력한 후보로 개발이 진행되고 있다.

이렇듯 각 나라별, 대륙별 서로 다른 방향은 단순히 환경적인 문제를 벗어나 전 세계적으로 수출이 전략산업인 국내 냉동공조산업도 위의 흐름에 맞추어 각각의 냉매를 적용할 수 있는 친환경 냉동공조 시스템 기술들의 축적의 필요성이 적극 제기되고 있다. 따라서 친환경 냉매인 CO₂를 적용한 지열 냉동공조 시스템 개발에는 압축기 신뢰성, 시스템 효율성, 냉매유통유 적합성, 안전성 등 많은 기술적 부담과 일본 등 선진 업체와의 경쟁이 필요하며 이러한 현실을 극복하여 세계 1위의 냉동공조시장을 장악하기 위해서는 정부의 적극적인 친 환경정책 의지와 개발업체의 적극적인 노력이 필요한 상황이다.

냉난방시스템 기술개발동향

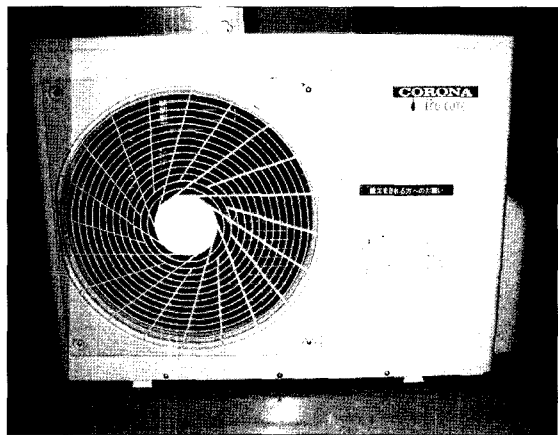
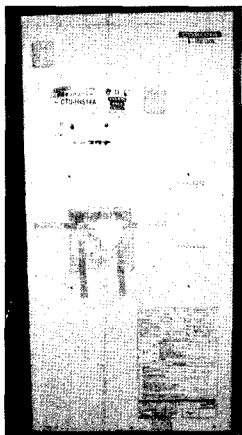
CO₂의 높은 체적효율, 열전달 특성, 친환경성 등

뛰어난 장점으로 인하여 일본, 유럽, 미국 등 히트펌프 선진국에서는 CO₂를 적용한 제품의 개발을 앞다투어 진행 중에 있으며 일부분야에서는 이미 상용화가 진행 중에 있다. 일본 및 유럽에서는 고효율의 압축기 기술을 자연냉매에도 적용하여 소형 급탕기, 자동차용 에어컨의 개발을 진행 중에 있으며 일부는 성공하여 시장에 적용시키고 있고, 이 시스템을 구성하는 핵심요소부품들의 경우 다양하게 국제특허를 출원하고 있는 상태이다.

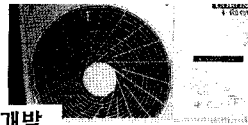
일본은 그림 1과 같이 이미 1980년대 후반부터 정부지원하에 에코큐트(ECO - CUTE)라는 환경친화장기프로젝트를 진행하여 다이킨(Daikin), 산요(Sanyo), 덴소(Denso), 코로나(Corona), 마쯔시타(Matsushita) 등 다수의 일본내 업체들은 현재 2.5 ~ 4 kW급 소형 급탕기를 실용화하는데 성공하였고, 또한 일본 내 주요 메이커들은 2008년 상용화를 목표로 공랭식 냉난방기 개발 프로젝트를 수행하고 있다.

세계 최대 음료회사인 코카콜라(Coca-Cola)의 경우, 유럽의 단포스(Danfoss), 일본의 산요(Sanyo)와 손잡고 양사가 개발 중인 CO₂용 압축기를 적용한 자판기(vending machine)를 2006년부터 실증평가(field test)를 활발히 진행하고 있다.

그리고, 유럽은 이미 자동차용 압축기, 소형 냉동냉장장치에는 자연냉매를 적용하는 것을 의무화 하고 있고, 신테프(SINTEF) 냉동공학 연구실에서는 CO₂를 냉매로 하는 자동차용 에어컨(MAC: mobile



[그림 1] 4kW급 일본 CO₂ 급탕기 ECO-CUTE



air conditioner)의 개발을 완료하여 현재 자동차에 적용시키고 있다.

2006년을 기준으로 세계적으로 진행되는 자연냉매 적용 시스템관련 개발경쟁사 및 개발현황은 표 3과 같다.

개발 목표 및 추진체계

진행되고 있는 개발과제의 개발목표 및 추진체계는 다음과 같다.

- ◆사업명 : 환경친화적 자연냉매인 CO₂를 적용한 고효율 냉난방시스템 개발
- ◆추진기관
 - 총괄기관 : 한국에어컨냉동기기연구조합(총괄 책임자: 우정태)
 - 세부주관기관 : 삼성전자(주), 대한공조(주), 자화전자(주)
 - 참여기관
 - 기 업 : 유니온금속(주)
 - 연구기관 : 한국과학기술연구원, 한국생산기술연구원, 한국기계연구원, 산업기술시험원
 - 대 학 : 서울대, 고려대, 국민대, 성균관대, 인천대, 서강대, 부경대
- ◆사업기간 : 2001.11.1 ~ 2011.8.31 (10년)
- ◆최종 개발 목표
 - CO₂ 냉난방 및 급탕시스템 개발
 - : 용량 10.5 kW, 성능계수 3.5, 급수온도 60℃ 이상

CO₂를 적용한 에어컨 시스템의 특성

온수 급탕 운전

온수 급탕 실험은 그림 2에 나타난 것처럼 난방운전 조건을 기본으로 하였으며, 이때 실외 열교환기는 증발기 역할을 하며 실내 열교환기는 이용하지 않고 병렬로 연결된 급탕열교환기에서 고온고압의 냉매를 냉각시키는 역할을 한다. 전자팽창밸브(EEV) 개도를 변화시키면 시스템의 압력이 변하게 된다. 즉, 전자팽창밸브 개도를 증가시키면 시스템의 고압측의 압력은 감소를 하고 반대로 개도를 감소시키면 고압측의 압력은 증가하게 된다.

그림 3은 전자팽창밸브 개도의 변화에 따른 시스템 고압의 변화에 대하여 급탕용량과 성능계수(Coefficient of Performance, COP)의 변화를 실외온도의 변화에 따라 표시하였다.

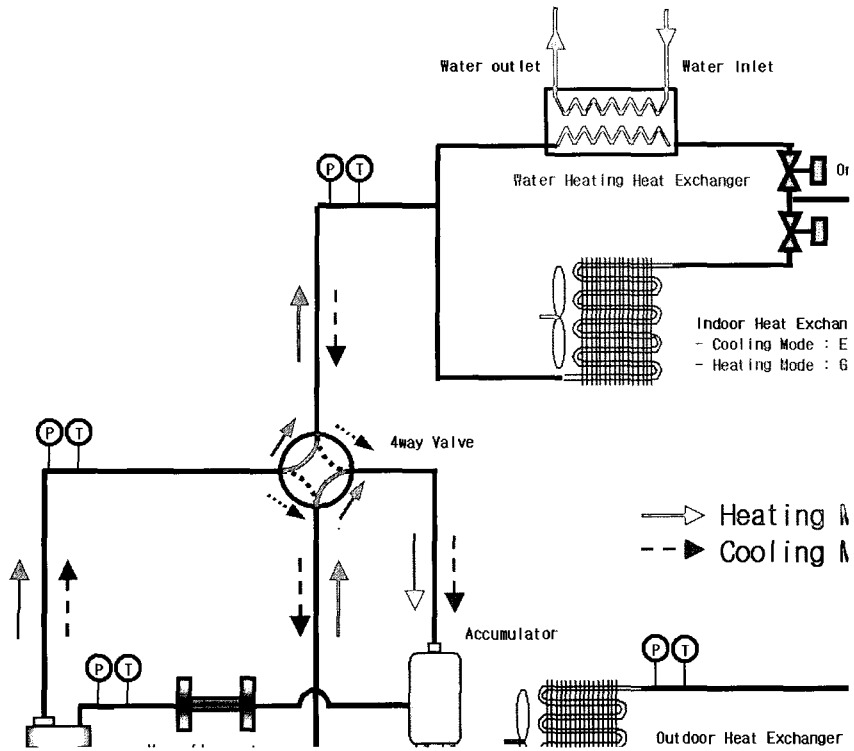
그림 3 a)는 급탕용량은 시스템의 고압측의 압력인 압축기의 토출압력이 상승하게 되면 증가한다는 것과 실외온도가 상승하면 시스템의 압력이 동시에 상승하여 고압측의 압력이 상승하는 효과와 동일한 영향을 미친다는 것을 보여주고 있다.

즉, CO₂를 이용한 열펌프 시스템의 급탕용량과 고압측의 압력은 선형적인 관계가 있고 상승한다는 것을 알 수 있다.

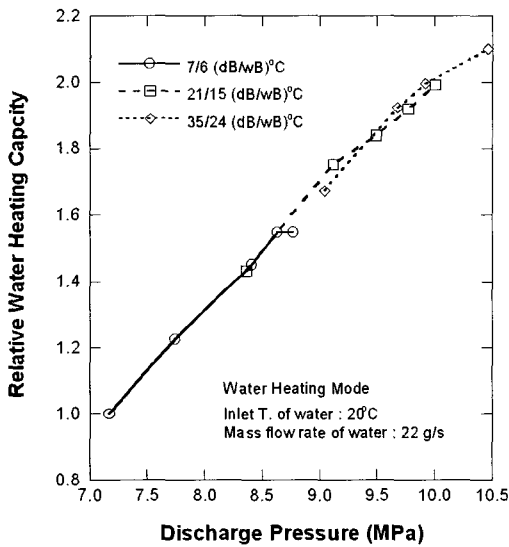
성능계수(COP)는 최적의 성능을 나타내는 변곡점이 존재할 것이라는 것을 예측할 수 있으며 그림 3 b)에서 이러한 경향을 관찰할 수 있다.

<표 3> 2006년 자연냉매 적용 시스템관련 개발경쟁사 및 개발현황

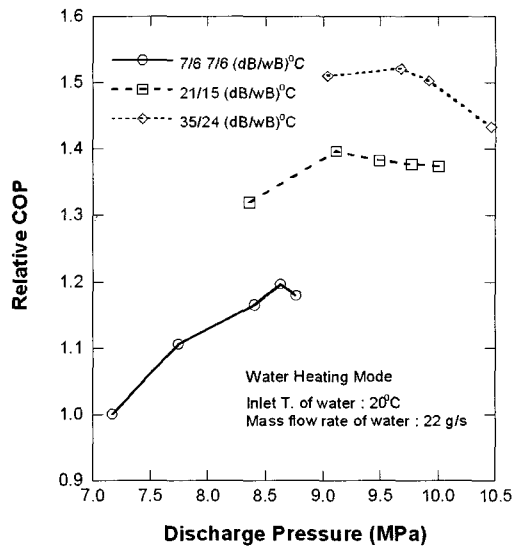
제조사	적용분류	방식	개발 현황
Samsung - 한국	가정용 냉난방/급탕기	Rotary	개발중
Daikin - 일본	가정용 에어컨	Swing Rotary	개발중
Sanyo - 일본	급탕기, 자동차 에어컨, Vending Machine	Rotary	급탕기 : 양산중, VM, 자동차 : 개발중
Danfoss - 덴마크	Vending Machine	Recipro	개발중
Tecumseh - 미국	Vending Machine	Recipro, Rotary	개발중
Denso - 일본	급탕기, 자동차 에어컨	Scroll	급탕기 : 양산중
Corona - 일본	난방급탕기	Rotary	급탕기 : 양산중
Matsushita - 일본	자동차 에어컨, 급탕기, 가정용 냉난방	Scroll	급탕기 : 양산중 자동차, AC : 개발중



[그림 2] 이산화탄소 에어컨 시스템

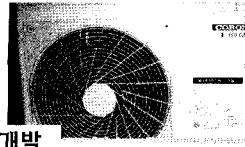


a) 급탕능력



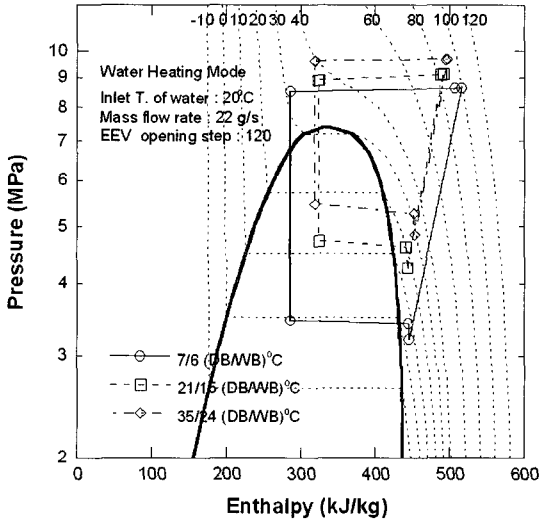
b) 성능계수

[그림 3] 급탕운전시의 성능계수의 변화



자연냉매(CO₂)를 이용한 냉난방시스템 기술개발

또한, 급탕운전에서 실외온도 변화에 따른 CO₂를 이용한 열펌프 시스템의 사이클의 변화를 압력-엔탈피 선도상에 표시해보면 그림 4와 같다. 그림에서 나타난 것처럼 실외온도가 상승하면 실외공기와 열

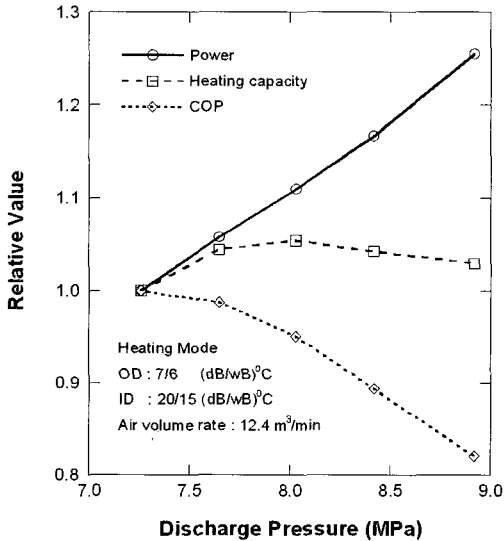


[그림 4] 엔탈피의 변화에 따른 사이클 변화

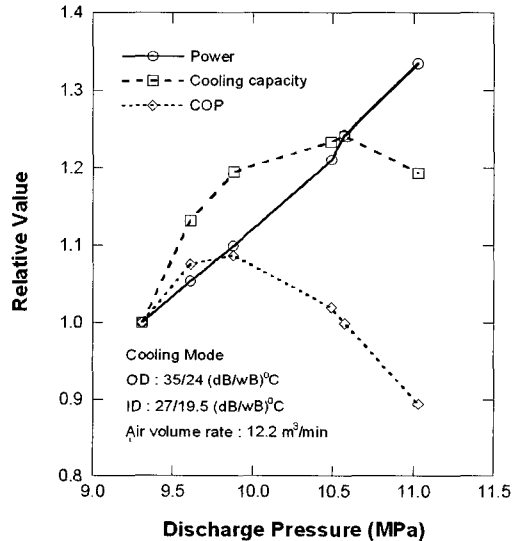
교환을 하는 실외 열교환기인 증발기의 온도가 상승하게 되어 시스템의 저압부의 압력이 상승하게 되고 이로 인해 고압부의 압력도 같이 상승하게 된다. 그러나 고압부의 압력 상승이 상대적으로 미비하므로 고압과 저압의 압력비가 감소하게 됨을 관찰할 수 있다. 가스냉각기 출구의 냉매온도가 30°C와 40°C 사이인 경우 압력이 임계압(7.4 MPa) 이상에서 9 MPa 이하인 부근에서 등온선을 따라 압력변화에 따라 엔탈피의 변화가 급변하는 것을 관찰할 수 있고, 따라서 이 부근에서의 압력은 성능에 큰 영향을 미칠 수 있다는 것을 예측할 수 있으며 이는 그림 3 b)에서 최적의 성능계수(COP)가 존재한다는 사실을 입증한다.

난방 운전

그림 5 a)는 표준난방조건에서 토출압력에 대한 CO₂를 이용한 열펌프 시스템의 난방성능을 보여준다. 토출압력이 증가함에 따라 소비전력은 선형적으로 증가를 하고 난방용량은 큰 변화가 없이 최대의 난방용량을 지나서 감소하는 것을 보여준다. 따라서 성능계수(COP)는 토출압력이 낮을수록 증가하는 것



a) 난방운전



b) 냉방운전

[그림 5] 난방운전 및 냉방운전시의 성능계수의 변화

을 보여준다. 이는 급탕실험에서 관찰된 최대의 성능계수가 존재하는 최적의 토출압력이 존재하는 경우와 일치하지 않는 것처럼 보인다. 이는 그림 4의 압력-엔탈피 선도를 보면 쉽게 이해가 된다. 난방실험인 경우 열방출부인 고압부 출구의 냉매 온도가 약 20°C이므로 압력-엔탈피 선도에서 20°C의 등온선을 보면 임계압 이상에서 압력에 관계없이 일정한 엔탈피를 가지고 있다. 즉, 고압의 압력이 낮을수록 엔탈피 차이의 감소와 냉매의 질량유량의 증가량이 비슷하여 난방용량은 크게 변화하지 않지만 압축기에서 압력비가 낮아지고 엔탈피차가 많이 감소하여 소비전력이 급격히 감소하여 압력이 낮을수록 성능계수(COP)는 증가한다. 그리고 성능계수(COP)는 고압부가 임계압력 부근으로 접근하면서 증가의 폭이 감소함을 볼 수 있다.

냉방 운전

표준냉방조건에서 CO₂를 이용한 열펌프 시스템의 냉방성능을 그림 5 b)에 나타내었다. 토출압력이 증가함에 따라 소비전력은 선형적으로 증가를 하고 냉방용량은 토출압력이 증가함에 따라 점진적으로 증가를 하다가 최대의 냉방용량에 도달한 후 감소하고 있다. 따라서 냉방용량이 최대가 되는 최적의 토

출압력이 존재함을 보여준다. 그래서 성능계수(COP)가 최대의 값을 나타내는 토출압력이 존재함을 보여주고 있으며 이때 최대의 냉방용량과 성능계수를 나타내는 토출압력은 다르다는 것을 관찰할 수 있다. 따라서 토출압력은 최대의 냉방용량을 필요로 하느냐 아니면 최대의 성능계수를 필요로 하느냐에 따라 제어가 다르게 된다.

맺음말

이상으로 국내에서 진행되는 환경친화적 자연냉매인 CO₂를 적용한 고효율 냉난방시스템 개발 동향을 기술하였다. CO₂를 적용 냉난방시스템 개발을 위해서는 시스템을 구성하는 구성 요소 부품의 개발이 중요하며, 이러한 핵심부품들의 최적조합을 통하여 고효율화 및 내구성 확보가 필요하다. 그리고 고압냉매의 사용에 따른 핵심 규격, 안전성, 취급시방서 등의 체계적 수립 및 구축이 핵심사항으로 될 것이다.

이러한 문제는 본 사업에 참여하고 있는 기관들의 유기적인 협업이 필수적이며, 기술개발과 동일하게 시장의 수요를 창출할 수 있는 정부차원의 제반 지원제도도 추진되어야 할 것이다. (㉔)