

# 이산화탄소 냉매 적용 자동차 공조시스템의 개발 동향

현재의 자동차용 냉매 HFC-134a의 규제 동향과 자연냉매인 이산화탄소를 적용한 에어컨 시스템의 개발 동향을 소개하고자 한다.

원 종 필

자동차부품연구원 열제어연구센터 (jpwon@katech.re.kr)

## 자동차 공조시스템용 냉매 규제 동향

심각한 환경문제가 전 세계의 문제로 대두되자 이를 범세계적으로 대처 해결하기 위하여 1992년 6월 리우데자네이로에서 “유엔 기후변화협약 (UNFCCC; United Nations Framework Convention on Climate Change)”을 채택하여 이에 대한 전 세계적인 노력을 기울이기로 원칙을 합의하였다. 1997년에는 일본 교토에서는 기후변화협약인 “교토의정서(Kyoto Protocol)”를 채택하여 각국이 의무적으로 온실가스 배출을 규제하는 가이드라인을 채택하였다. 이 “교토의정서”에서는 지구온난화방지 규제 대상가스를 화석연료 연소로 발생하는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>와 기타 화학공정 등의 물질인 N<sub>2</sub>O, HFC, PFC, SF<sub>6</sub>의 6종으로 정하고 1차 공약기간(2008~2012)까지 1990년 대비 평균 5.2% 감축을 결정하였다.

2003년 미국의 부시정부는 현재 침체기로 들어선 미국경제에 위해가 초래될 우려가 있고 또한 개도국의 의무이행 참여조항이 없다는 이유로 교토의정서 탈퇴를 발표하는 등 교토의정서 시행에 어려움이 있었으나, 2004년 11월 러시아가 비준함으로써 전 세계 지구온난화 방지 규제 대상가스 발생량의 비준국 발생량 비가 50%를 초과함으로써 2005년 2월 교토의정서가 발효되었다. 또한 교토의정서를 탈퇴한 미국도 교토의정서의 기후변화협약 자체를 부정한 것이 아니므로 미국 주도의 새로운 프로토콜을 준비하

면서 개도국의 참여를 적극 추진할 것으로 예상되어 우리나라도 이에 대한 준비가 필요한 상황이다.

한편, 최근 유럽공동체 위원회(EC)에서는 자동차 에어컨 관련 불화가스 규제(Directive) 입법을 추진하여, 플루오르화 온실가스에 대한 사용과 누설량 등에 대한 규제를 주된 내용으로 하여 구주의회와 구주이사회의 합의안이 2006. 4. 6 구주의회 전체회의에서 통과되었다. EC regulation의 핵심 규제 내용은 HFC-134a를 사용하는 형식승인차량(new types of vehicle)과 신차(New vehicle)를 대상으로 HFC-134a 누출량을 규제하여, 2007년부터 연간 누출량을 Single Evaporator System의 경우 40g 이하로, Dual Evaporator System인 경우는 연간 60g을 초과하지 않도록 규제하고, 또한 2011. 1. 1 이후부터 EU 회원국은 온실효과 기여도가 150을 초과하는 불화가스를 사용한 에어컨을 장착한 자동차에 대하여 EC 또는 회원국의 형식승인 부여를 금지하고, 2017. 1. 1 이후부터 회원국은 온실효과 기여도가 150을 초과하는 불화가스를 사용한 에어컨을 장착한 자동차에 대하여 적합성 증명서가 효력을 상실한 것으로 간주하거나, 등록 판매, 운행을 금지하는 것이다.

자동차 실내 환경의 안락성 제고와 냉방을 위해 사용하는 현재 자동차 에어컨 시스템은 지구온난화지수(GWP: global warming potential)가 이산화탄소보다 무려 1300배나 되는 HFC-134a 냉매를 사용하고 있다. 따라서 향후 자동차 산업의 지속적인 발전

을 위해서는 온실가스를 사용치 않는 새로운 환경친화형의 냉매를 사용하는 자동차 에어컨 시스템 개발이 시급한 실정이다.

이에 따라 선진국에서는 자동차 에어컨 시스템은 물론이고 산업 공기조화기기에서 사용하는 HFC 냉매 사용저감 및 방출 방지를 위한 연구는 물론이고 자연냉매 특히 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)를 이용한 새로운 에어컨 시스템에 대한 연구 개발을 활발히 진행하고 있다.

표 1 에는 자연냉매 특히 이산화탄소를 이용한 새로운 에어컨 시스템의 특성을 나타낸 것으로서, 자연냉매인 이산화탄소는 오존층 파괴성이 없고 지구온난화계수가 적어 안정한 물질로 분류되어 있음을 알 수 있다.

이러한 자연냉매인 이산화탄소를 이용한 새로운 에어컨 시스템의 친환경성 때문에 유럽이나 일본 등의 자동차 및 자동차 에어컨 시스템 부품 회사들에

서는 지구온난화방지를 위해 친환경적인 자연냉매인 이산화탄소를 이용한 에어컨 시스템의 개발을 완료한 상태로써 조만간 실용화 및 상용화를 목전에 두고 있는 단계에 도달해 있다.

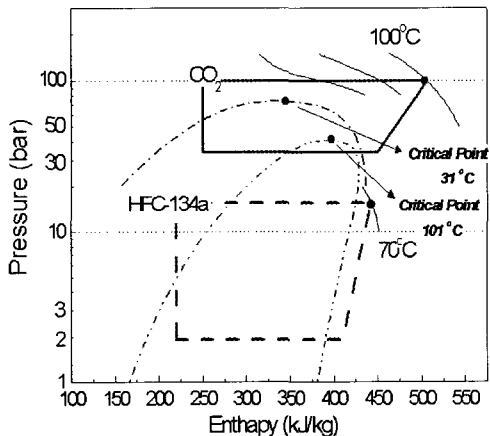
따라서 지구온난화 방지 및 국내 자동차산업의 지속적인 발전을 위해서는 친환경 자연냉매인 이산화탄소를 이용한 자동차 에어컨 시스템 개발이 시급하며, 국내 자동차 산업의 발전은 물론이고 냉동 공조 관련 산업의 보호 및 발전을 위해서도 친환경 대체 냉매 공조시스템 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

### 이산화탄소 자동차 에어컨 시스템의 특성

자동차용 에어컨 시스템은 오존층 보호의 관점에서 냉매를 CFC-12에서 HFC-134a로 대체하여 사용되고 있다. 그러나 최근에는 지구온난화의 관점에서 환경조건이 우수한 냉매를 구하고 있는데, 이산화탄소(Carbon Dioxide : CO<sub>2</sub>)가 유력한 후보 중의 하나가 되고 있다. CO<sub>2</sub>를 냉매로 사용하는 경우의 최대 특징은 냉매의 온실효과와 영향을 손쉽게 감소시킬 수가 있다는 것이다. 그러나 CO<sub>2</sub>의 임계점이 HFC-134a에 비해 매우 낮고 고압측 온도가 통상 임계점을 초과하므로 에어컨 시스템의 설계압력 제어법이 HFC-134a 냉매 사이클과 매우 다르게 되어 에어컨 시스템의 재설계가 필요하다.

<표 1> 이산화탄소 냉매의 안전성 비교

	CFC-12	HFC-134a	CO <sub>2</sub>
지구온난화 계수(GWP)	7300	1300	1
자연물질	No	No	Yes
오존층 파괴지수	1.0	0	0
인화, 폭발성	無	無	無
열분해에 의한 유해가스 발생	有	有	無



	HFC-134a	CO <sub>2</sub>
고압(MPa) 50 °C	1.3	9
저압(MPa) 0 °C	0.3	3.5
압력비	4.3	2.6
흡입가스 유량비	.1	0.1
이론효율	4.1	3.2

(가스쿨러 출구온도 37°C 기준)

[그림 1] 현행 HFC-134a와 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 에어컨 사이클 특성 비교



CO<sub>2</sub>를 이용한 자동차용 에어컨 시스템은 그림 1에 표시한 바와 같이 기존의 HFC-134a 냉매 시스템과는 달리 작동 온도, 압력범위가 사이클 특성상 아임계 상태에서 초임계 상태로 상이 변화하는 특성을 가진다. 따라서 종전의 자동차 에어컨 시스템 설계 및 부품의 개념과는 전혀 다른 차원의 설계 개발이 필요하다.

이산화탄소는 임계 압력이 74 bar이고, 임계 온도가 31℃로서 대기와의 열교환을 할 때 임계점보다 높은 온도에서 열교환을 하게 된다. 따라서 초임계 압력에서의 냉각에 따른 큰 폭의 온도 하강을 고려해야 하며 이에 따른 열전달 특성도 파악을 해야 한다. 이러한 초임계 상태에서 작동하는 열교환기를 설계함에 있어서 유동 양식, 공극률, 압력 손실 및 열전달 특성 등을 정확히 파악하는 것이 중요하다. 특히 가스냉각기의 출구 온도를 가능한 한 낮게 얻는 것이 중요한데 이산화탄소를 냉매로 하는 에어컨 시스템에서는 최소 방열 온도(최소 가스냉각기 출구 온도)의 저하에 따른 성능계수의 향상이 다른 냉매에 비하여 뛰어나기 때문이다.

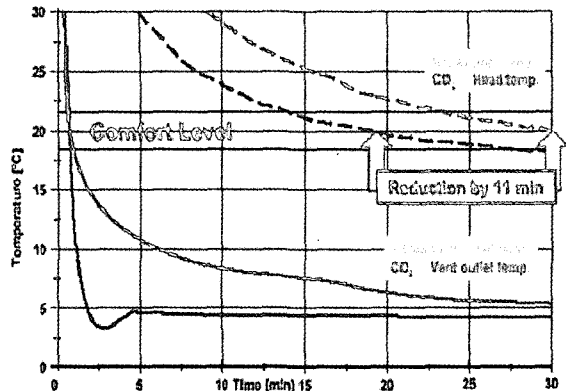
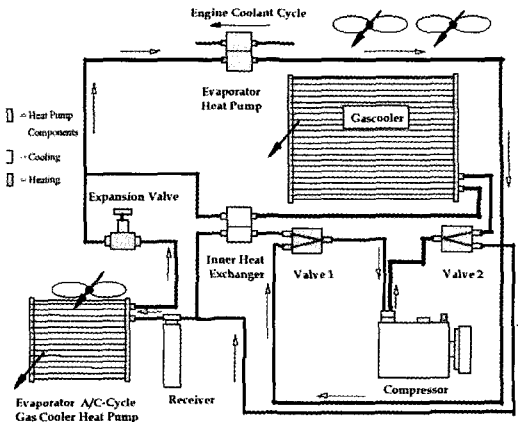
### 해외 이산화탄소 자동차 에어컨 시스템 기술 개발 동향

지구 온난화를 일으키는 기후 변화의 주된 원인으로 알려진 HFC 등의 규제 대상 물질을 자동차 에어컨

시스템에 사용하는 것을 방지하기 위하여 선진국, 특히 유럽의 독일 및 노르웨이를 중심으로 1980년대 말부터 이산화탄소 냉매 즉, R-744를 이용한 자동차 에어컨 시스템의 개발을 추진하기 시작하였다. 노르웨이의 SINTEF 연구소는 1990년 초부터 자동차용 에어컨 시스템의 작동 매체로서의 이산화탄소 냉매의 적합성에 대한 연구를 시작하였으며, 1993년 최초의 프로토타입을 개발하여 이에 대한 시스템 최적화 및 상업화 준비를 추진하고 있다.

EU의 자본을 토대로 한 RACE (refrigerant and automotive climate under environmental aspects) 프로젝트에서는 1994년부터 1997년까지 주요 자동차 제조사인 BMW, Mercedes Benz, Rover, VW 및 Volvo와 자동차 부품업체인 Behr, Danfoss, Valeo 및 Siemens 등이 참여하여 이산화탄소를 작동유체로 하는 자동차용 에어컨 시스템에 대해 연구를 진행하였으며, 이러한 연구 분석과 동시에 기술 보급을 위해 이산화탄소 에어컨 시스템의 우수성을 홍보하기 시작하였다.

그림 2는 독일의 Audi 및 Daimler-Chrysler가 공동으로 개발한 이산화탄소 자동차 에어컨 및 히트펌프 시스템 및 각 구성요소 부품들을 나타낸 것이다. 이 시스템은 에어컨과 동시에 히트펌프의 기능을 추가하여 냉방과 난방을 동시에 수행하도록 한 것이 특징이다. 또한 이 시스템에서는 히트펌프의 기능을 수행하기 위하여 밸브를 2개로 하여 이중 회로를 구



[그림 2] Audi 및 Daimler-Chrysler 공동 개발 CO<sub>2</sub> 에어컨 및 히트펌프 시스템 개발 사례

성하게 하여 냉방 시와 난방 시의 냉매 유로의 구분이 이루어지게 하였다.

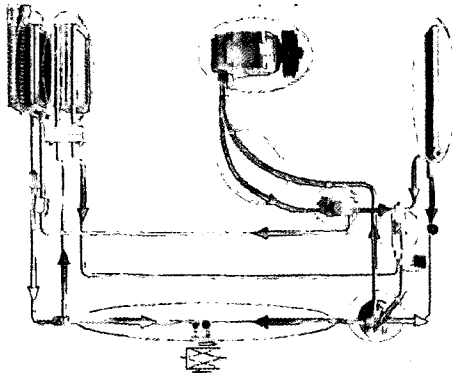
그림 3은 미국의 Visteon에서 개발한 이산화탄소 자동차 에어컨 시스템 및 각 구성요소 부품들을 나타낸 것이다. 이 시스템은 임계 압력 이상의 운전조건에 대응하는 가스냉각기와 내부열교환기로 구성되어 있고 동시에 전자 제어식 팽창기구를 채택하고 있고, 증발기는 내압 강도를 확보하기 위하여 고강도 알루미늄 압출 튜브를 사용하여 Multi Flow 방식으로 제작하였다.

그림 4는 독일의 BMW에서 개발한 이산화탄소 자동차 에어컨 시스템 개발 사례를 나타낸 것이다. 이

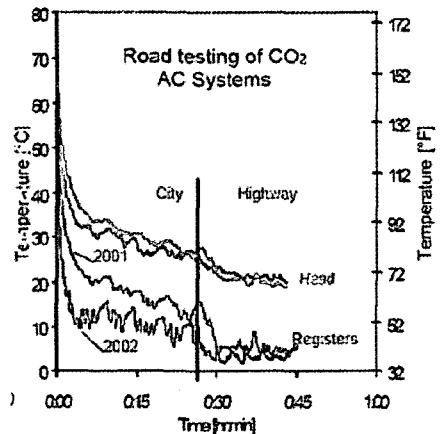
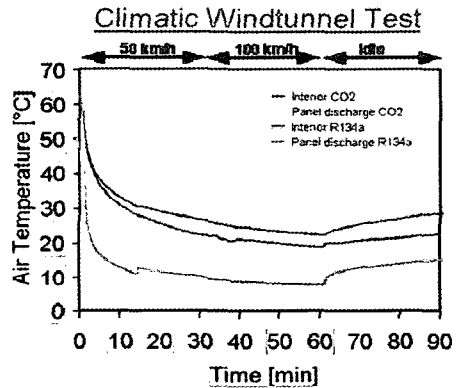
시스템은 요구 성능 확보 차원을 넘어서 안전성 및 신뢰성 확보에 대한 접근이 이루어지고 있는 것이 특징이다.

그림 5는 공조시스템 전문기업인 Modine에서 개발하여 2001년 독일의 Volkswagen 차량에 장착한 이산화탄소 자동차 에어컨 시스템 및 각 구성요소 부품들을 나타낸 것이다. 이 시스템도 임계압력 이상의 운전조건에 대응하는 가스냉각기와 내부열교환기로 구성되어 있고, 엔진의 제어와 동시에 에어컨 시스템이 제어되도록 한 것이 특징이다.

또한 EU의 대표적인 자동차 에어컨 시스템 메이커인 Valeo 및 BEHR도 1995년부터 이산화탄소 에어컨



[그림 3] Visteon사의 CO<sub>2</sub> A/C 시스템 개발 사례



[그림 4] BMW사의 CO<sub>2</sub> A/C 시스템 개발 사례



컨 시스템에 대한 준비를 착실히 수행하여 시스템 개발이 완성된 상태에 있으며, 시스템의 최적 제어 효율을 위한 다양한 연구 사례들을 발표하고 있다.

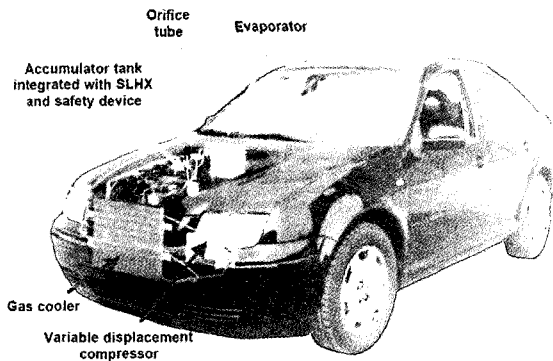
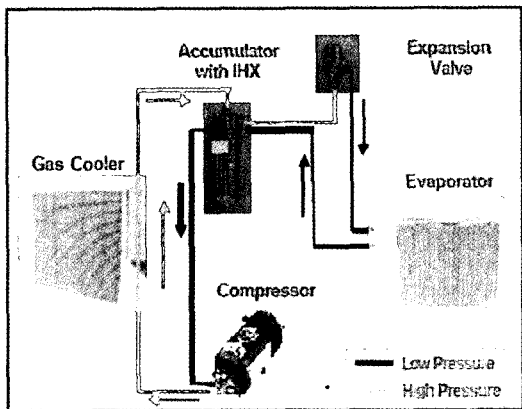
미국의 Delphi에서는 독일 등 유럽의 자동차 에어컨 시스템 메이커들의 이산화탄소 에어컨 시스템 개발에 영향을 받아 1996년부터 개발에 착수하여 이미 프로토타입 단계로 개발을 완료하고 실차에 탑재하여 안전성과 냉방성능 및 내구성 시험을 통한 시스템 최적화 개발단계에 있다.

한편 일본의 자동차 에어컨 시스템 메이커인 Denso에서는 1996년부터 이산화탄소 에어컨 시스템에 대한 연구 개발을 시작한 이후 그림 6에 나타난 이산화탄소 에어컨 및 히트펌프 시스템을 개발하

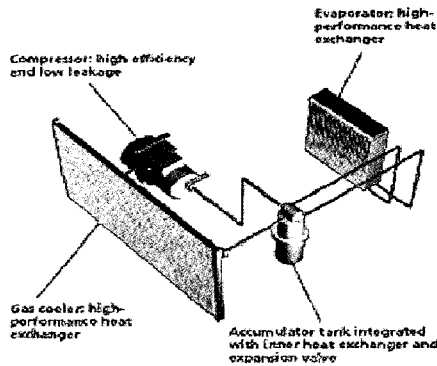
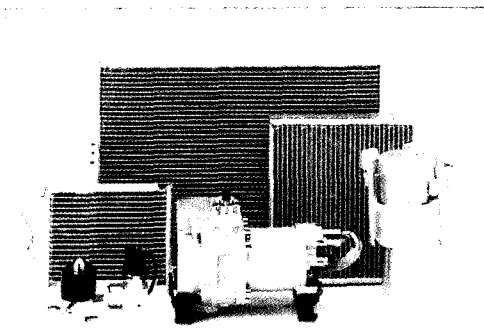
여 향후 Toyota 연료전지 차량에 탑재하여 양산화를 진행 중에 있다. 이 시스템은 외부 온도 조건에 따라 전환이 가능한 에어컨 및 히트펌프 시스템으로 구성된 것이 특징이며, 내부열교환기와 팽창밸브를 Accumulator와 일체형으로 하여 모듈화를 추진한 것이 큰 진전으로 평가되고 있다.

그림 7은 일본의 Calsonic-Kansei에서 개발한 이산화탄소 에어컨 시스템의 구성도 및 각 구성요소 부품을 나타낸 것으로서, 이산화탄소 에어컨 시스템의 성능 개선을 추진하여 Nissan 연료전지차량에 장착하여 실차 환경 풍동에서의 Cool-Down 테스트를 완료하는 등 상용화 준비 단계에 이르고 있다.

이들 선진국 자동차 제조사 및 자동차 에어컨 시스



[그림 5] Volkswagen사의 CO<sub>2</sub> A/C 시스템 개발 사례



The basic configuration of Denso's CO<sub>2</sub> A/C system.

[그림 6] 일본 Denso사의 CO<sub>2</sub> 에어컨 및 히트펌프 시스템 개발 사례

템 부품 메이커들에서는 개발 사례에서 볼 수 있는 바와 같이 일부에서는 현재 실차 단계에서의 평가 가능 단계를 넘어 안전성, 신뢰성 테스트를 수행 중이며 양산화를 목전에 두고 있다. 최종 상업화 및 실용화를 위해서 안전 및 제어장치등에 대한 연구가 진행되고 있다.

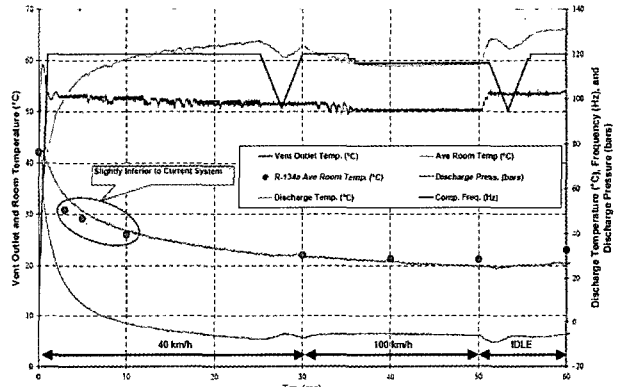
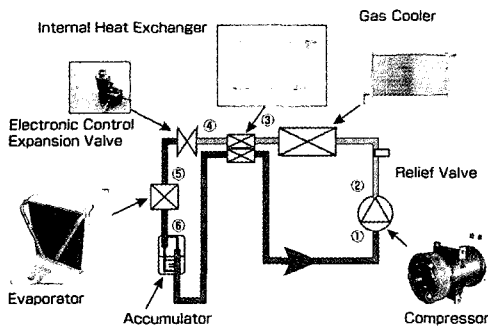
### 국내 이산화탄소 에어컨 시스템 개발 사례

국내에서는 자동차부품연구원을 중심으로 국내 공조업체로 구성된 컨소시엄을 구성하여 이산화탄소 자동차 에어컨 시스템에 대한 연구를 2002년 부

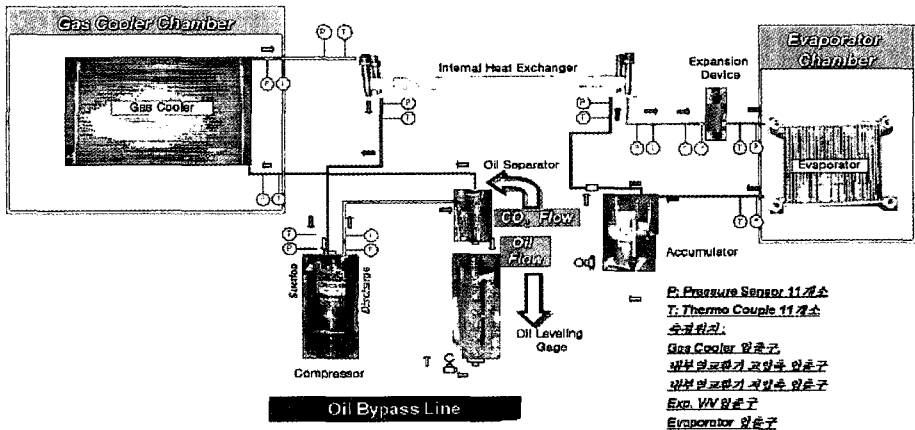
터 수행하고 있으며, 현재까지 진행중인 연구결과를 간략히 소개하고자 한다.

자동차용 CO<sub>2</sub> 에어컨 시스템은 그림 8에 나타낸 바와 같이 가변식 압축기, 오일분리기, 가스냉각기, 팽창밸브, 증발기, 어큐뮬레이터, 그리고 내부 열교환기로 구성되어 있다. 자동차용 이산화탄소 에어컨 시스템의 다양한 운전조건 변화에 따른 성능 실험결과 중 대표적인 성능 시험 결과에 대하여 소개하고자 한다.

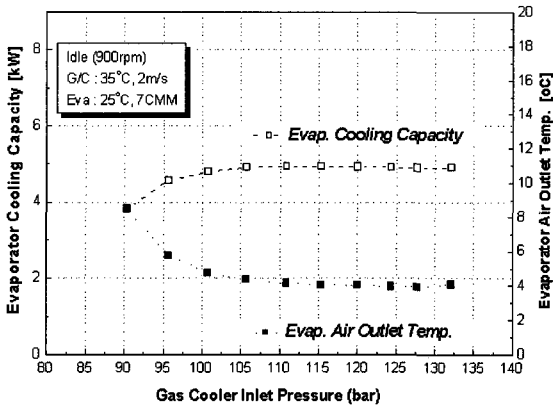
이산화탄소 에어컨 시스템 개발 목표는 현재의 HFC-134a 시스템과 동등이상의 효율과 냉방성능을 가지는 시스템 및 부품을 개발하는 것으로서, 그림



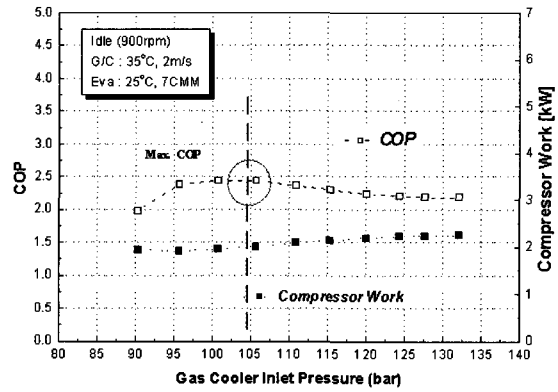
[그림 7] 일본 Calsonic-Kansei사의 CO<sub>2</sub> A/C 시스템 개발 사례



[그림 8] Schematic diagram of the calorimeter system for KATECH CO<sub>2</sub> air conditioning performance test



(a) Cooling Capacity & Evaporator air outlet temp.



(b) COP & Compressor Work

[그림 9] CO<sub>2</sub> A/C System performance for various high side pressure

9에 시스템 COP 및 냉방성능에 대한 결과를 나타내었다.

그림 9(a)의 실험결과를 살펴보면 시스템의 고압이 증가할수록 냉방성능이 증가하지만, 일정압력이 상이 되면 냉방성능이 5 kW로 일정해지는 것을 알

수 있다. 시스템 COP의 경우, 그림 9(b)의 결과와 같이 고압의 변화에 대해 최대의 COP를 가지는 압력이 존재함을 알 수 있다. 이는 고압이 증가할수록 압축기 소요동력 증가율이 냉방능력 증가율을 상회하여 COP는 오히려 감소하기 때문이다. (3)