한국자동차공학회논문집 제2권 제1호, pp. 51~64, 1994.

〈논 문〉 SAE NO. 943704

HFC-134a 자동차용 공조시스템의 열역학적 사이클 특성에 관한 연구

A Study of Thermodynamic Cyclic Characteristics of HFC-134a Automotive Air-Conditioner System

이 규 현,* 원 종 필*
K. H. Lee, J. P. Won

ABSTRACT

Analytical study on the thermodynamical cyclic behabiour and characteristics of HFC-134a refrigerant for automotive air conditionser system for the replacement of existing CFC-12 has been carried out in this paper through development of system performance simulation program, expecially in the view point of system design considerations. The results indicate that HFC-134a system will give a greater refrigerating capacity than CFC-12 if appropriate engineering measures such as proper codensers, flow controllers, etc., taken for certain operating conditions. The results, however, also show that the operating power for compression process increases over entire temperature range as a result of decreasing volumetric efficiency due to larger specific volume and increased discharging pressure. The present study results indicate that proper selection of condensing and evaporating temperature plus refrigerant control is very important performance factor to have better COP in the HFC-134a system design.

주요기술용어 : Automotive Air Conditioning System(자동차용 공조시스템), Alternative Refrigerant(대체냉매), HFC-134a, CFC-12, COP(성능계수), Evaporator(증발기), Condenser(응축기), Cycle Efficiency(사이클 효율)

1. 서 론

CFC물질에 의한 지구 환경 파괴에 대한 전 세계적인 관심의 증대에 따라 CFC물질에 의한 오존층 파괴를 방지하고, 오존층의 보존을 위하여 마침내 1989년 몬트리얼 국제환경보호 조약이 체결되어 CFC물질 사용에 대한 전 세계적인 규제가 시작되어, CFC-12 비롯한 특정 CFC물질의 생산이 1995년 이후부터는 완전히 중단함과 아울러 2000년 이후 부터는 그 사용도 금지되게 되어 이에 대한 대체물질의 개발 사용이 시급하게 되었다.

이러한 오존층 환경파괴 발생의 특정 유해 물질로 지정된 CFC 물질 중 특히 CFC-12는 자동차의 에어컨에서 사용되는 냉매 물질로서 몬트리얼 의정서의 규제 대상이 됨에 따라 동 협

* 정회원, 한국자동차부품종합기술연구소

정의 이행으로 인해 다른 어떠한 산업계 보다도 심각한 CFC 규제의 영향을 받게되었고 이에 대체하여 사용할 기존에 사용하는 CFC－12를 대체할 적합한 냉매 물질로서는 HFC－134a가 가장 적합한 것으로 판명되어 이에 적합한 새로운 시스템의 설계개발 및 부품의 기술 개발이 매우 절실히 필요하게 되었다.

그러나 문제는 이러한 기존의 CFC－12를 대체할 새로운 냉매인 HFC－134a는 냉매로서 열물리 화학적 성질이 CFC－12와 다르기 때문에 이를 단순히 기존의 시스템에 대체 사용할 수 없다는 점이다. 이에따라 HFC－134a를 이용한 자동차 에어컨시스템 설계 개발을 위해서는 후보대상으로 선정된 HFC－134a냉매가 가지고 있는 열 물리적 성질들을 에어컨 시스템 설계 개발 측면에서 정확하게 파악하고, 이러한 물성데이타 및 제원을 기본으로 하여 개발대상 시스템 동작 특성 분석과 아울러 시스템 성능 및 효율 영향 인자와 사이클 운전 특성들을 엄밀히 분석 검토해야 시스템의 전체적인 설계 개발이 가능해진다.

본 연구에서는 HFC－134a 시스템을 개발하기 위한 목적으로 선행 되어져야할 시스템 기본설계 연구를 위해 자동차 HFC－134a 에어컨 시스템 성능 시뮬레이션 프로그램을 개발하였고 이 프로그램을 이용하여 시스템 기본 성능설계에서 가장 중요한 HFC－134a와 CFC－12의 선도상의 열역학적인 기본 특성을 비교 분석하였고 시스템 설계 개발의 주요인자인 성능계수, 증발 및 응축온도등의 제반 인자들에 대한 특성과 영향들을 연구 분석하여 실제 시스템 및 응축기등의 부품들의 설계개발 및 실험 적용에 응용이 되도록 분석하였다.

2. 자동차용 공조시스템의 구성 개요

먼저 시스템의 해석에 앞서 CFC－12 또는 HFC－134a 자동차용 공조시스템의 구성 개요를 살펴보면 Fig.1과 같다. 이 그림에 나타낸 바와 같이 자동차 공조 시스템은 일반적으로 개방형 압축기, 응축기, 리시버 드라이어, 팽창기구(팽창밸브 또는 팽창 오리피스) 및 증발기로 구성

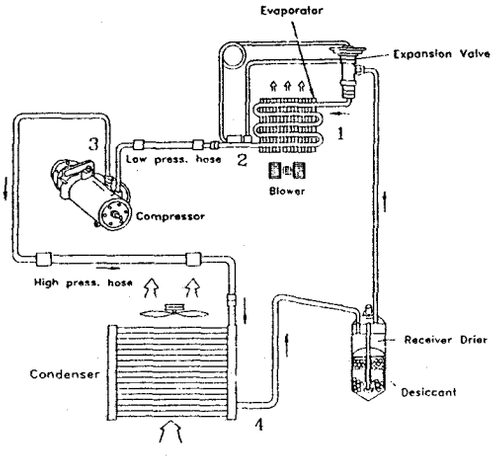

Fig.1 Automotive Air Conditioning System

되어 냉동사이클을 구성하도록 설계되어져 있다. 또한 냉매의 폐회로 구성을 위해서 엔진과 차체 사이의 배관에는 내진과 기밀의 유지를 위한 목적으로 일반적으로 고무호스를 사용하도록 하고 있다.

위의 그림에서 설명한 CFC－12 또는 HFC－134a의 냉매를 사용한 자동차 에어컨 시스템에 적용되고 있는 증기압축 냉방사이클은 일반적인 냉방 사이클과 같이 저압의 냉매가 증발기에서 증발과정을 거쳐 증기상태로 전환 된후 압축기에 흡입되어 고압으로 압축된 후, 응축기에서 응축되어 액상으로 변환되어 냉매 팽창기구로 들어가 다시 증발기에서 증발 순환하는 연속 폐회로 사이클로 구성되어 있으며, 이러한 각 사이클의 주요 과정들을 살펴보면 다음과 같다.

2.1 팽창과정(Expansion Process)

이 과정은 액체냉매가 오리피스(orifice) 또는 팽창밸브(thermal expansion valve : TXV) 같은 팽창기구를 통해 증발기로 들어가는 과정으로서, 이 과정을 지난후 냉매의 온도는 응축온도에서 증발온도로 감소한다. 이 과정중의 엔트로피 변화는 유체가 유효 일의 변화 없이 고압에서 저압으로 팽창되고, 유체 자체내에서 에너지 전달이 이루어진 결과로서 일어난 것이다. 작동유체내에서만 일어난 에너지 전달은 유체의 엔탈피에는 영향을 미치지 않고, 단지 엔트로피 변화에만

영향을 미친다.

2.2 증발과정(Vaporizing Process)

이 과정은 증발기에서 냉매가 증발하는 과정으로서, 일정한 온도와 압력 하에서 증발이 일어나므로 등온(isothermal) 및 등압(isobaric) 과정이다. 이 과정동안에 냉매의 엔탈피는 증발기를 지나면서 증가하고, 외부측의 열은 냉매에 의해서 흡수된다. 증발기에서 냉매에 의해서 흡수된 열량이 냉방효과(refrigerating effect)로서 표시되고 이것은 각 상태점의 냉매 엔탈피 차로서 나타난다.

2.3 압축과정(Compression Process)

증발기에서 증발된 저압의 냉매가스가 압축기에서 흡입되어 증발압력에서 응축압력으로 압축되는 과정이다. 이상 단순 포화증기 사이클에서는, 이 압축과정이 등엔트로피 과정이지만, 실제 냉동 압축기에 있어서 증기의 압축은 일반적으로 폴리트로픽적 과정이 된다. 이 압축과정 동안에 행해진 일의 상당에너지는 압축일로서, Fig.1의 상태점 3과 1의 엔탈피의 차로서 나타내어진다.

2.4 응축과정(Condensing Process)

이 과정은 압축기에서 토출된 고온/고압가스가 응축기에서 응축되는 과정으로서, 등온과 등압하에서 일어난다. 응축기에서 냉매가 외부로 방출하는 전(全) 열량은 Fig.1의 과열증기인 상태점 3의 엔탈피와 포화액 상태인 상태점 4의 차로서 표현된다.

3. HFC－134a의 열 물리적 성질 및 특성

3.1 HFC－134a의 열역학적 기본특성

일반적으로 자동차의 냉방 사이클에 사용될 수 있는 대체물질의 냉매가 갖추어야 할 기본적이 요건은 통상적으로 알려진 냉매의 요건과 큰 차이는 없으나 대체적으로 다음과 같은 요구조건들이 충족되어야 한다고 제안되어 왔다.

(1) 오존층에 해를 끼치는 영향이 없을 것
(2) 안전성(무독성 및 무인화성)
(3) 시스템 성능의 보증
(4) 생산의 용이성 및 경제성

위의 이러한 냉매가 갖추어야 할 요구조건들을 고려하여 볼때 지금까지 개발된 대체 물질 중에서는 HFC－134a가 여러 대체후보 냉매중 위에서 기술한 여러가지의 요건을 갖춘 가장 적합한 냉매로 알려져 있다. 기존의 자동차 에어컨 시스템의 냉매로 사용되고 있는 CFC－12를 대체하기 위한 여러 후보물질 중에서도 그중 HFC－134a가 가장 적합한 물질로서 선정된 이유는 HFC－134a가 기존의 CFC－12와 동등이상의 우수한 열물리 및 화학적 성질을 가지고 있기 때문이다. 또한 이러한 CFC－12의 대체물질로서 HFC－134a를 선택한 가장 중요한 또다른 이유는 HFC－134a가 양호한 대기거동(atmospheric behaviour) 즉 대기 온난화(green house effect) 위험율이 적고 오존 파괴(ozone depletion)의 성질이 없는 특성을 지니면서 열역학적 성질들이 CFC－12와 거의 비슷하기 때문이다.

기존의 CFC－12 시스템을 신 대체냉매인 HFC－134a로의 전환된 시스템으로 개발하기 위해서는 가장 먼저 이러한 새로운 대체 물질에 대한 물성 파악과 동 특성들에 대한 기존의 CFC－12와의 특성 비교 분석이 필요하다. HFC－134a는 CFC－12에 비해서 손색이 없는 우수한 냉매로서의 장점을 지니고 있지만 HFC－134a를 자동차용 공조시스템에 적용하는데 있어서 사이클 기본 성능과 적합재료의 선정 관점에서 세심한 검토가 선행되어야 하는 바 이러한 목적으로 Table 1에 HFC－134a와 CFC－12에 대한 대표적인 열역학적 특성들을 비교 분석하여 열거하였다. Table 1에 표시된 두 대표적인 냉매 물질에 대한 주요 물성들을 비교 검토하면 HFC－134a는 CFC－12에 비해 아래와 같은 뚜렷한 특성을 가지고 있다는 것을 알 수 있다.

① HFC－134a의 가장 우수한 물성은 화학적 안정성이다. 이러한 HFC－134a의 화학적 안정성은 이 물질을 구성하는 분자조성과 구조에서 기인하는 것으로서 HFC－134a는 물질의 화학적 구성이 종전의 CFC－12가

가진 C-Cl 결합 보다 강한 C-F 결합이 주된 것으로서 이루어져 있기 때문이며 또한 이러한 구성 특성으로 인해 HFC-134a는 높은 열적 안정성을 가지고 있다.

② 증발잠열(즉, 액상에서 기상으로 변화 과정에서의 흡수열량)에서 HFC-134a는 CFC-12보다 정상 운전 상태(0°C)에서 약 30% 정도 큰 값을 가진다.

따라서 냉방능력 측면에서는 HFC-134a가 CFC-12보다 적은 유량으로서도 보다 큰 냉방능력을 가질 수 있는 우수한 냉매임을 알 수 있다.

③ HFC-134a는 액상 및 기상 상태에서 모두 CFC-12 보다 높은 열 전도도를 지니고 있다. 이러한 특성은 시스템의 열교환 성능 향상 및 효율 개선에 매우 바람직한 우수한 물성이다.

④ CFC-12와 비교할 때, 냉매의 응축온도 범위에서는 포화압력이 높다. 이것은 압축기의 토출압력 증가를 초래하며, 압축비도 커지므로 압축기 소요 동력의 증가를 가져오며 이것은 HFC-134a가 대체 냉매로서

Table 1 HFC-134a 및 CFC-12 물성 비교[1)]

		HFC-134a	CFC-12
Chemical Name		1,1,1,2-tetra fluotoethane	dichlorodl fluoroethane
Chemical Formular		CF_3CH_2F	CCl_2F_2
Molecular Weight		102.03	120.91
Boiling Point	(K)	246.9	243.4
Freezing Point	(K)	172	115.4
Critical Temperature	(K)	374.2	385.0
Critical Pressure	(MPa)	4.06	4.13
Critical Density	(kg/m^3)	510	558
Density -Saturated Liquid(25°C) -Saturated Vapor(25°C)	 (kg/m^3) (kg/m^3)	 1,206 32	 1,311 36.9
Specific Heat -Atmospheric Vapor(25°C)	(kJ/km-K)	0.84	0.611
Latent Heat of Vaporization (Boiling Point	(kJ/kg)	216	166.0
Thermal Conductivity -Saturated Liquid(25°C) -Atmospheric Vapor(25°C)	 (W/m-K) (W/m-K)	 0.08 0.010	 0.070 0.010
Viscosity -Saturated Liquid(25°C) -Atmospheric Vapor(25°C)	 (MPa-s) (MPa-s)	 0.20 0.012	 0.208 0.0125
Dielectric Constant -Atmospheric Vapor(25°C)		1.02	1.004
Flammability		Inflammable	Inflammable
Ozone Depletion Potential		0	1.0
Global Warming Potential		0.24-0.29	2.8-3.4

가진 물성 중 가장 불리한 특성이다.

여기서 정리 요약한 HFC－134a의 특성은 열물리적 성질중 주로 시스템 설계와 긴밀한 관계를 가지는 냉매의 평형 성질 및 비 평형성질들을 주로 정리한 것으로서 경우에 따라서는 HFC－134a의 물질 제조원에서 계측된 결과에 따라 부분적 동적 성질의 항목에 따라서는 약간의 상호간에 상위가 있을 수 있다.[1)]

3.2 HFC－134a 시스템 기본설계를 위한 성능 시뮬레이션 프로그램의 개발

본 연구에서는 HFC－134a의 시스템의 기본설계와 시스템의 성능 예측 및 분석을 위해 증기압축 사이클상의 열역학적 특성과 해석을 위한 성능 시뮬레이션 전산 프로그램을 개발하였다. 여기서 개발된 프로그램은 HFC－134a에 관하여 이미 검증된 자료를 기본 데이터 베이스로 하여 체계화시켜 기본적인 증기압축 냉방사이클의 제원에 대한 분석 및 해석이 이루어 지도록 만든 것으로서 기본적인 설계조건 또는 운전조건만 입력시키면 기본 사이클의 과정의 변화와 과정을 일목요연하게 결과를 얻을 수 있도록 하였다.

또한 이 프로그램의 개발과정에서 이 프로그램에서 얻어진 결과가 가지는 정밀성과 신뢰성을 확보하기 위해 입력 데이터로 계산된 개개의 결과를 미국의 NIST등에서 공개한 결과와 비교하여 상호간의 상위점을 확인하고 이러한 과정의 분석결과 최고 ±1.0%정도 이내의 차이만을 보여 전체적인 결과에서 매우 정확함을 결론 지을 수 있었다.

이 프로그램의 목적은 예비 기본 설계에서 시스템의 제반 성능을 증기압축 냉방 사이클에서 규명되어야 할 모든 기본 사양을 분석 가능하게 하고 또한 동일한 운전조건 내지는 설계조건에서 종전의 CFC－12와도 비교 분석이 되도록 하여 COP를 비롯한 모든 기본 성능지수와 열역학적인 성질이 계산되어 체계적인 시스템의 계산과 성능의 분석이 가능하도록 만들어졌다.

Fig.2는 본 연구에서 개발된 성능 분석 시뮬레이션 프로그램의 기본 운영 흐름도를 나타내고 있다. 이 프로그램의 시작은 그림에서 보인것

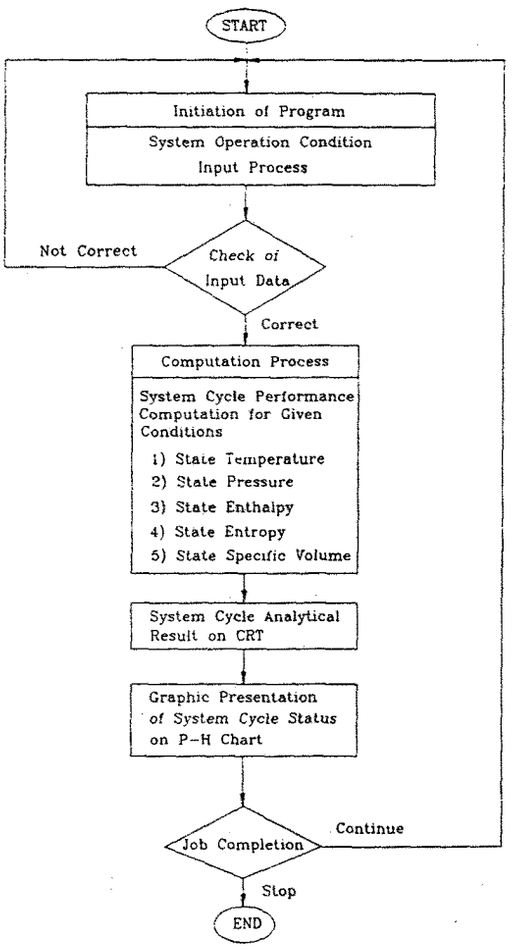

Fig.2 Flow Chart of Automotive HFC－134a A/C System Performance Analysis and Simulation Program

처럼 첫째로 입력 데이터의 입력과정으로 시작하게 되어 있고 이 입력 모드에서는 이 과정에서 해석 또는 설계할 시스템에 사용될 냉매의 종류를 선택한후 시스템의 설계조건 또는 운전조건인 증발기 입구온도, 응축기 입구온도등을 입력하도록 하였다. 이러한 과정이 이루어지고 나면 입력 데이터의 가부를 결정하고 입력 데이터가 적합하다고 결정되면 다음으로 두번째의 과정으로 전환되게 되어있다. 이 다음의 과정은 입력된 설계제원의 조건에서 증기압축 냉동 사이클을 구성하는 각 과정에서의 열역학적인 제원 즉 각 사이클 상태점들에서의 온도, 압력 및 비체적,

엔탈피등이 자동적으로 계산되어 표시되도록 구성되어 있다.

이러한 과정이 완료되면 입력 데이터에 의해 계산된 계산결과를 도표화하여 도출하여 증기압축 냉방 사이클의 기본적인 제원을 간결하게 보여주도록 하고 있다. 이 과정의 수행이 종료되고 나면 전체적인 시스템 사이클의 운전조건과 상태를 p-h선도 상에서 판별할 수 있도록 하기 위해 그래픽 모드로 CRT상에서 표현될 수 있도록 하였다. 이 그래픽 모드에서는 작업한 근거와 동시에 시험 또는 설계 대상에서 얻어진 응축기 방열량과 냉방능력등을 사이클선도와 동시에 표기되도록 하여 판독이 매우 용이하게 하였으며 동시에 시스템 운전 상태의 적성성이 선도 상에서 표시되도록 하였다.

이러한 프로그램의 실제 운용의 보기를 Fig.3에 나타내었다. 이 결과는 풍동실차 시험 측정 데이터의 결과를 본 프로그램과 인터페이스 시켜 실험 운전 상태의 적정성과 시스템의 성능지수들을 동시 계산하여 출력함과 아울러 상태점들을 p-h선도에 출력 표시되도록 한것의 하나의 보기이다. 그림에서 보는 바와 같이 이때의 운전조건은 5개소에서 측정된 상태점이 프로그램에 입력되어 전환되고나면 사이클 선도상의 상태를 일목요연하게 검토할 수 있고 동시에 모든 기본 시스템 성능 제원이 표시되도록 만들어져 있음을 알 수 있다.

4. HFC-134a의 냉방 운전 사이클 선도 특성

시스템의 기본성능 확보를 위한 기본 성능설계를 위해서는 먼저 사용할 냉매인 HFC-134a의 증기압축 사이클 상의 열역학적 특성을 분석하여 성능설계를 시도하여야 한다. 이러한 목적으로 본 연구에서는 앞서 기술한 바와같은 개발된 시스템 성능 특성 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 운전 사이클 상의 특성 해석 및 분석을 수행하였다. Fig.4은 본 연구 결과에서 개발된 성능 해석 프로그램을 이용하여 먼저 HFC-134a와 CFC-12의 이상 증기 압축냉방 사이클 상의 특성을 보다 명확하게 비교 분석하기 위하여 두개의 냉매를 같은 운전조건에서 운전한 결과로서 동일 스케일의 p-h선도 상에 사이클 운전특성을 도시 비교한 것이다.

이 분석 결과에서 사용된 주어진 사이클상의 조건은 특성 비교를 용이하게 하기 위하여 과냉없이 과열도를 8°C로 주고 응축온도 및 증발온도를 가장 일반적인 운전조건인 응축온도 60°C 및 증발온도 0°C으로 운전하였을 때의 상태를 p-h선도 상에 나타낸 것이다. Fig.4에서 나타난 결과에서 보는 바와 같이 HFC-134a는 동일한 조건의 운전 사이클 영역에서 CFC-12와는 다음과 같은 몇가지 측면에서 명백한 특성 차이를 보여주고 있음을 알 수 있다.

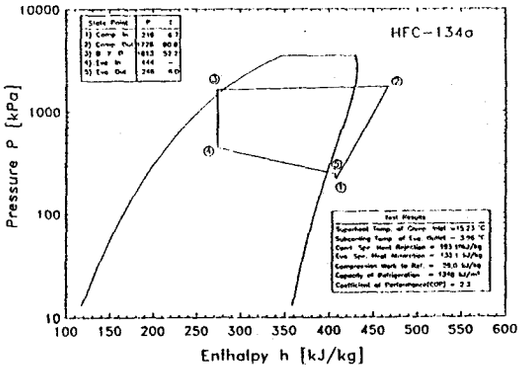

Fig.3 Graphic Presentation of HFC-134a Cycle System Wind Tunnel Test Results

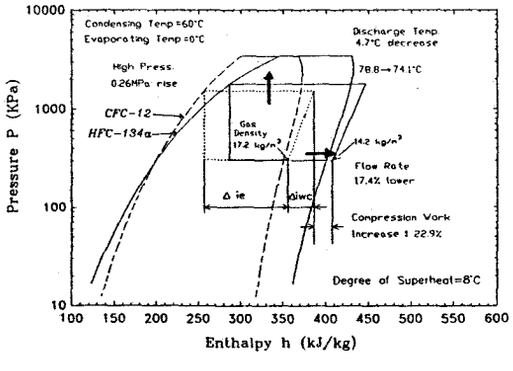

Fig.4 Cycle Characteristics of HFC-134a & CFC-12

(1) HFC－134a는 동일한 응축온도 조건에서 운전할 때 CFC－12보다 높은 응축 압력을 가진다. 이러한 특성은 HFC－134a가 가진 가장 불리한 열역학적 물성으로 압축과정에 소요 일의 증가 및 시스템의 운전 내구 등에서 크게 불리한 결과를 가져 올 수 있다.

(2) HFC－134a의 냉동능력은 CFC－12와 동등 또는 우수하나 응축온도가 높아지면 냉동능력은 CFC－12 보다 약간 낮아지는 특성을 보여준다.

(3) HFC－134a는 압축과정후의 토출압력이 높아져서 소요 운전 압축일이 22.9% 정도 높아진다.

(4) HFC－134a는 동일한 운전 조건에서 응축압력은 높아지는 대신 증발과정에서의 증발압력은 오히려 약간 낮아진다.

(5) HFC－134a는 압축 가스 단열비(specific heat ratio) k 값이 작기 때문에 압축후의 토출 가스온도는 오히려 낮아진다.

Fig.5에서는 HFC－134a와 CFC－12와의 냉매 물성특성에 대한 비교로서 두 냉매가 가지는 온도에 따른 포화 증기압의 변화를 분석한 것이다. 여기서 알 수 있는 것은 HFC－134a는 290K(16.85 °C) 이상에서는 CFC－12보다 포화증기압이 점차 높아지나 290K 이하에서는 오히려 낮아지는 특성을 보여주고 있다. 이러한 특성 분석 결과는 HFC－134a의 포화증기압은 CFC－12에 비해서 응축압력이 응축온도가 높아질수록 더욱 증가하므로, 사이클의 효율을 고려할 때 응축온도를 낮게해서 포화증기압을 낮추는 것이 효율적임을 의미한다.

Fig.6는 HFC－134a와 CFC－12의 증발잠열 특성을 비교 분석한 것이다. 이 결과에서 나타난 결과를 보면 HFC－134a는 자동차 에어컨 시스템의 통상의 증발 및 응축 운전영역인 －10°C～80°C의 전 포화 온도영역에서는 CFC－12 보다 오히려 큰 증발잠열을 가지는 것을 볼 수 있다. 이것은 HFC－134a가 CFC－12보다 냉방능력면에서 유리한 냉매임을 알 수 있으며, CFC－12 보다 적은 냉매 유량으로도 보다 큰 냉방능력을

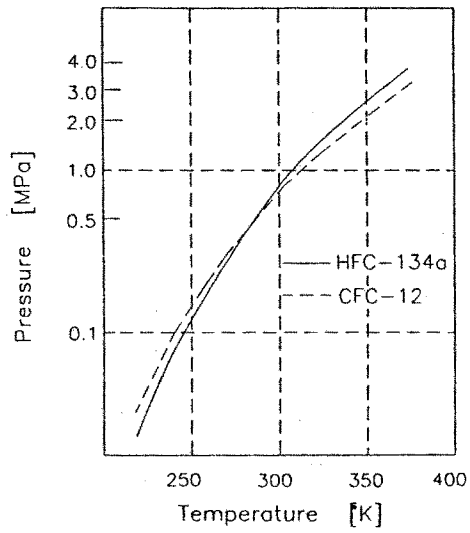

Fig.5 Vapor Pressure of HFC－134a and CFC－12

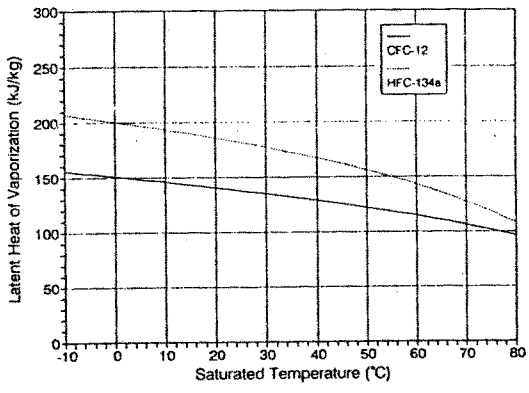

Fig.6 Latent Heat of HFC－134a and CFC－12

가질 수 있으므로, 증발기의 소형화, 충전량의 감소 및 시스템의 경량화를 기할 수 있다는 가능성을 잘 보여주고 있다.

5. 사이클 시스템 설계인자의 영향 분석 및 특성

5.1 시스템 성능계수 특성

일반적으로 냉방 사이클의 에너지 변환효율의 기준은 성능계수(coefficient of Performance :

COP)로서 표시한다. 이러한 목적으로 HFC－134a의 사이클 운전 효율 특성을 비교 분석하기 위하여 냉방 사이클 시스템 분석의 기본 성능지수인 성능계수(COP)를 여러 사이클의 운전 조건에 대하여 분석하였고 이러한 결과들을 Fig.7과 Fig.8에 표시하였다.

Fig.7에서는 증발온도의 변화에 따른 과열 및 과냉이 없는 단순 증기압축 사이클에서 응축온도가 HFC－134a 및 CFC－12의 사이클 상하에서 성능계수에 미치는 영향의 분석 결과를 표시한 것이다. 그리고 Fig.8에서는 이러한 사이클 효율 특성 결과를 보다 알기쉽고 명백하게 하기위해 주어진 증발온도 조건에서 HFC－134a 및 CFC－12의 사이클의 성능계수에 미치는 영향을 CFC－12를 기준으로 하여 HFC－134a/CFC－12의 COP비로서 비교 분석한 것이다.

이 분석에서 사용된 응축온도의 크기는 40°C, 50°C 및 60°C로 각각 취하도록 하였다. 이러한 분석결과에서 알 수 있는 것은 그림들에서 보인것처럼 HFC－134a 및 CFC－12 모두 응축온도가 높아짐에 따라 사이클의 성능효율이 낮아지나 특히 HFC－134a는 CFC－12에 비해 사이클 효율상 응축온도의 영향을 더욱 심하게 받아 높은 응축온도에서 현저히 효율이 낮아지는 경향을 보여주고 있다. 따라서 HFC－134a의 시스템 설계에서는 CFC－12와 동등이상의 효율을 유지시키기 위해서는 시스템 설계 및 운전조건 설정에 있어서 보다 엄격한 저감 제어가 필요하며 이러한 것은 시스템의 내구 및 안전 측면에서도 매우 신중히 고려되어져야 한다는 것을 잘 나타내고 있다.

또한 Fig.8은 HFC－134a의 시스템의 성능효율을 CFC－12을 기준으로 비교 분석한 것이다. 이 결과에서 알수있는 것은 HFC－134a는 CFC－12보다 시스템 효율 측면에서는 일반적인 전 운전 영역에서 불리함을 보여주고 있다. 그러나 앞서의 분석 결과와 같이 응축온도를 낮추어 줄수록 시스템의 성적계수는 보다 CFC－12에 근접해 가는 것을 알 수 있어 적정한 응축온도의 관리가 매우 중요함을 다시 한번 강조하고 있다.

Fig.9에서는 Fig.7 및 Fig.8에서와 같은 사이클

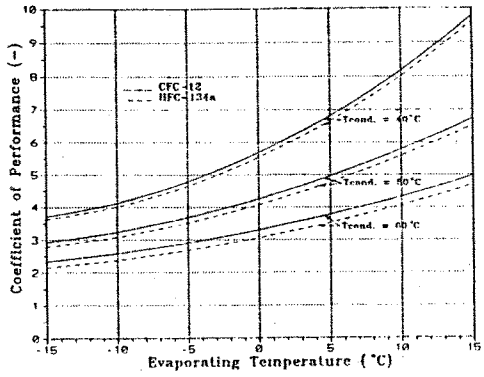

Fig.7 Effect of Condensing Temperature on Coefficient of Performance for HFC－134a and CFC－12

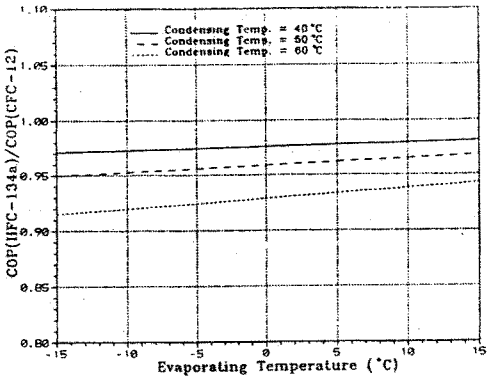

Fig.8 Effect of Condensing Temperature on HFC－134a and CFC－12 COP Ratio

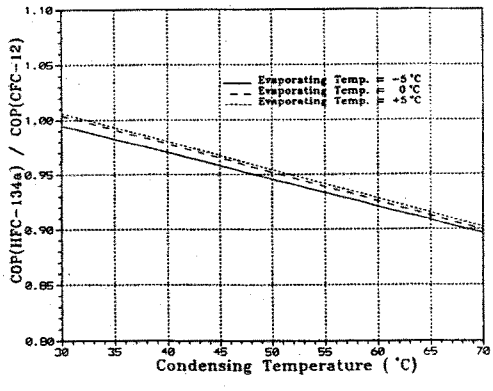

Fig.9 Effect of Evaporating Temperature on HFC－134a and CFC－12 COP Ratio

조건에 있어서 증발온도의 변화가 HFC－134a 사이클 효율에 미치는 영향을 CFC－12를 기준으로 하여 비교분석 한 결과이다. 이 때의 증발온도 조건은 －5°C, 0°C, 5°C로서 3가지 경우에 대하여 분석하였다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 일반적인 예측대로 HFC－134a의 사이클 효율은 증발온도가 높을수록 향상되나 반면에 응축온도가 높아질수록 사이클의 효율은 모든 증발온도 범위에서 급격히 떨어짐을 알 수 있다. 이 결과에서 알 수 있는 것은 사이클 효율 측면에서는 증발온도의 영향 보다는 응축온도의 영향이 매우 민감하게 작용함을 알 수 있다. 또한 이 결과는 시스템 효율은 주어진 일정 응축온도 상에서는 증발온도가 높을수록 향상됨을 알 수 있다.

따라서 Fig.7, 8 및 Fig.9의 결과들에서 얻어진 분석 결과에서 알 수 있는 것은 HFC－134a의 사이클 운전 효율 향상을 위하여서는 시스템의 설계개발에 있어서 응축온도는 되도록 낮추도록 하고 증발온도는 높은 과정으로의 시스템 운전 조건을 가지도록 설계하여야 함을 명백히 보여주고 있다.

5.2 냉방능력의 비교

자동차 에어컨 시스템의 성능 비교 분석에서는 시스템 성능계수도 중요하나 시스템 본연의 목적인 냉방능력의 평가도 매우 중요하다. 이러한 목적으로 본 연구에서는 성능 해석 프로그램을 응용하여 냉방능력을 분석하고 그 결과를 Fig.10 및 Fig.11에 도시하였다. Fig.10에서는 압축기가 압축일을 통하여 배제한 단위가스 체적당의 냉방능력을 각각 다른 응축온도 조건에 대하여 분석 비교한 것으로서, 이것은 기본 사이클의 냉방능력의 성능 판단에 가장 기본이 되는 것이다.

이 분석 결과에서 알 수 있는 것은 HFC－134a 및 CFC－12 모두 주어진 증발온도에서 응축온도가 높을수록 냉방능력이 불리하여짐을 알 수 있다. 또한 이와 반대로 주어진 응축온도 상에서는 증발온도가 높을수록 냉방능력은 모두 커짐을 알 수 있다. 그러나 HFC－134a와 CFC－12와의 전반적인 운전영역의 비교에서는 HFC－134a가 증발온도가 낮을수록 CFC－12보다 냉방능력이 불리하나, 높은 온도의 증발영역에서는 오히려 CFC－12보다 냉방능력이 우수하여 짐을 보여주고 있어 HFC－134a의 설계에 있어서는 사이클의 효율 및 시스템의 부하 저감 측면에서도 응축온도를 되도록 낮추어 주는 것이 중요함을 다시 한번 강조해주고 있다.

Fig.11은 HFC－134a와 CFC－12의 사이클의 냉방능력에 있어서 응축온도가 미치는 영향을 CFC－12를 기준으로 비교 평가 분석한 결과를 도시한 것이다. 여기서 얻어진 결과를 살펴보면 Fig.10과 같이 HFC－134a의 냉방능력은 응축온도가 낮을수록 냉방능력은 증가하며 또한 주어진 응축온도에서는 증발온도가 높을수록 직선적으로 비례하여 냉방능력이 증가함을 보여주고 있다. 따라서 이 결과는 응축온도가 높을수록 시스템의 효율 및 운전 조건이 불리해짐으로 사이클 효율과 냉방능력의 효율 향상을 고려할 때 증발온도를 되도록이면 높게 하고 응축온도는 낮게 하는 것이 유리함을 알 수 있다.

5.3 증발 및 응축 가스 압력

시스템의 증발기의 설계 및 운전 제어를 위해서는 냉매의 증발압력의 특성을 파악하는 것이 중요하다. Fig.12는 HFC－134a 및 CFC－12의 증발압력 즉 압축기의 흡입압력의 상태변화를 증발온도를 변화시켜서 분석하여 나타낸 것이다. Fig.12의 분석 결과를 살펴보면 HFC－134a와 CFC－12는 모두 일정 응축온도 상에서 증발할 경우 증발온도가 증가할수록 증발압력이 거의 직선적으로 증가함을 알 수 있다.

그러나 여기서 특히 관심을 주는 특성은 HFC－134a는 약 4°C 이상의 증발온도에서는 CFC－12보다 낮아지고 반대로 4°C이하에서는 오히려 증발압력이 CFC－12보다 높아지는 경향을 보여 증발온도 구간에 따라 상호간의 증발압력의 높고 낮음이 발생하는 교차점이 생긴다는 점이다. 이 특성은 비록 그 영향이 다소 미소하나 시스템의 냉방부하 및 냉매유량 제어특성 설계에 있어서는 매우 중요한 설계 인자가 되며 동시에 시스템의 압축 체적효율에 영향을 주게되는 중요한 특성

이다.

Fig.13은 일정한 증발온도(여기서는 0°C)에 대하여 HFC－134a 및 CFC－12의 포화 응축압력의 변화를 보여주고 있다. 이 그림의 결과를 살펴보면 HFC－134a 및 CFC－12 모두 일반적으로 알려진 특성과 같은 응축온도가 상승함에 따라 증기 포화압력이 상승함을 알 수 있다. 이 결과는 또한 HFC－134a는 사이클의 일반적 운전조건의 응축온도 범위내에서 CFC－12보다 포화증기압이 항상 높은 결과를 나타내는 것을 알 수 있다. 이러한 HFC－134a의 높은 포화증기압의 특성은 당연히 CFC－12에 비해서 압축과정에서 압축기에서의 압축비를 커지게 하므로 체적효율의 감소와 아울러 압축기의 소요동력도 증가하는 불리한 결과를 가져올 것임을 나타내고 있다.

5.4 흡입가스의 비체적

증발기에서 증발후에 생기는 냉매의 압축기에의 흡입가스 비체적은 압축일 및 압축효율에 매우 큰 영향을 준다. 냉방 시스템의 효율은 압축기가 압축일을 하는 배제체적당 투입된 유효일의 과다에 따라 정해짐으로 시스템의 설계에서는 이러한 냉매의 비체적 특성이 냉매의 선정과 효율결정에 매우 중대한 인자가 된다. Fig.14는 일정한 응축온도상에서 증발온도만 변화시켜 압축기에 흡입되는 HFC－134a 및 CFC－12의 냉매 가스 비체적의 변화를 분석하여 도시한 것이다.

이 결과에서 사용된 냉매가스의 증발온도의 범위는 －15°C～15°C로 하였다. 이 결과를 살펴보면 이론적으로 유추할 수 있는 바와 같이 일정 응축온도하에서는 HFC－134a 및 CFC－12 모두 냉매 증발온도가 증가할수록 압축기에 흡입되는 가스의 비체적은 감소하는 경향을 명백히 나타내고 있으며, 동시에 동일 증발조건일 경우 CFC－12보다 HFC－134a의 흡입측 비체적이 최고 20%에서 최저 5% 더 큼을 알 수 있다. 따라서 HFC－134a의 냉방 사이클에서는 동일운전조건에서 CFC－12 사이클에 비해서 비체적이 크므로 압축기의 압축일이 더 커지게 된다.

5.5 사이클 압축일과 과열 및 과냉도

지금까지의 시스템성능의 분석은 단순 이상증기압축 사이클상에서 주요 설계인자들의 영향 및 특성을 분석한 것이다. 그러나 실제 사이클의 운전특성의 안정적 제어와 시스템의 효율을 향상시키기 위해서는 일정의 과열 및 과냉도가 필수적으로 수반되기 때문에 이 과열도 및 과냉도가 존재할 경우의 시스템 특성을 분석해 보았다.

Fig.15에서는 단순 포화 사이클과 과열 및 과냉을 수반하는 사이클에서 흡입가스 비체적의 변화를 비교 분석하였다. 단순 포화 사이클은 50°C의 일정한 응축온도에 대해 증발온도를 －15°C～15°C로 변화시켜 분석하였으며, 과열－과냉 사이클은 포화사이클과 같은 응축 증발 조건에 과열 10°C, 과냉 10°C의 조건을 부여해서 분석한 것이다. 이 결과에서 볼 때 포화사이클에 비해 과열－과냉 사이클이 증발온도 범위내에서는 흡입가스의 비체적이 다소 증가함을 알 수 있다. 이것은 앞서 분석한 대로 압축기에 불리한바 과열을 수반하는 사이클일 경우는 보다 더 압축기의 압축일의 부하가 커지고 이에 따라 압축기의 용량을 증가시켜야 한다는 것을 알 수 있다.

Fig.16은 일정한 응축온도의 운전조건하에서 증발온도의 변화에 따른 HFC－134a 및 CFC－12의 냉방사이클의 압축일을 분석한 결과를 나타내었다. 여기서 나타난 분석결과를 살펴 보면 냉방사이클 압축일은 CFC－12 및 HFC－134a 모두 증발온도가 증가하면 점차 완만하게 감소하고 있어 사이클의 효율측면에서는 적정한 증발온도의 제어가 대단히 중요함을 다시 한번 더 강조해주고 있다. 아울러 여기서 나타난 결과는 이미 흡입가스의 특성에서 예측한 바와 같이 HFC－134a는 CFC－12보다 역시 동일 운전조건에서 압축일이 더욱 증가하고 있음을 여실히 보여주고 있다. 또한 압축일은 모두 단순 포화사이클 보다는 과열사이클에서 더 커짐을 알 수 있다. 이와 같은 압축일의 특성 결과는 결국 물성에서 수반하는 비체적의 증가에 기인함을 알 수 있다.

Fig.17은 Fig.16과는 반대로 HFC－134a 및 CFC－12에 대해서 증발온도를 일정하게 두고 응축온도를 변화시킨 경우에 대한 압축일의 변화추이를 분석하였다. 이 경우의 결과는 위의 Fig.16

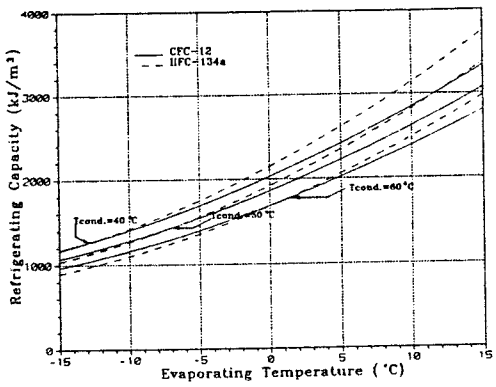

Fig.10 Refrigerating Capacity of HFC－134a and CFC－12

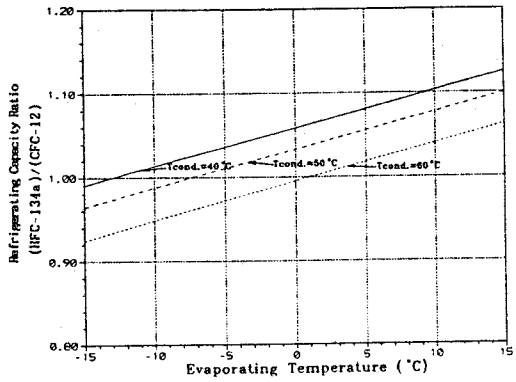

Fig.11 Refrigerating Capacity of HFC－134a and CFC－12 Ratio

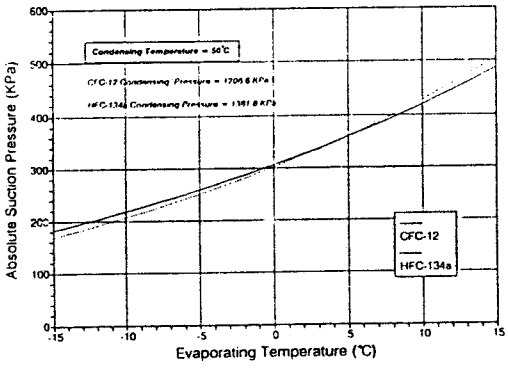

Fig.12 Suction Pressure of HFC－134a and CFC－12 for Constant Condensing Temperatuer

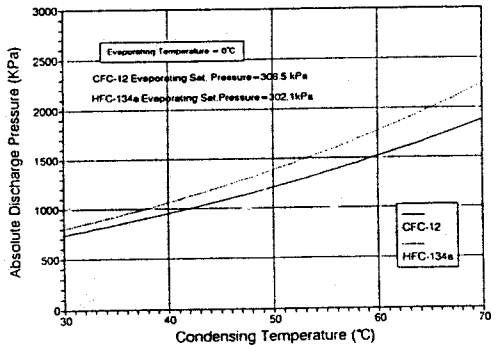

Fig.13 Discharge Pressure of HFC－134a and CFC－12

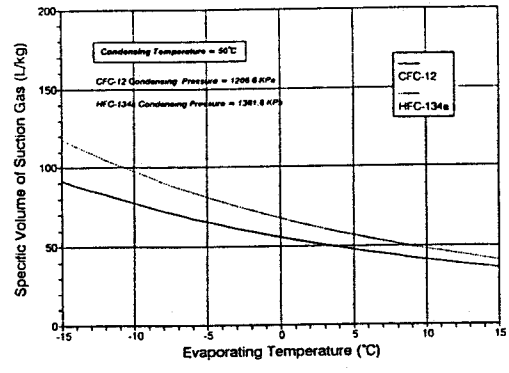

Fig.14 Specific Volume of Suction Gas

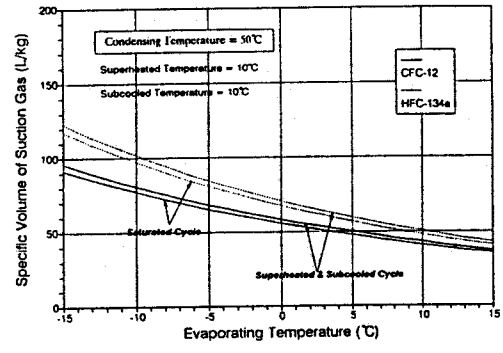

Fig.15 Effect of Superheating and Subcooling

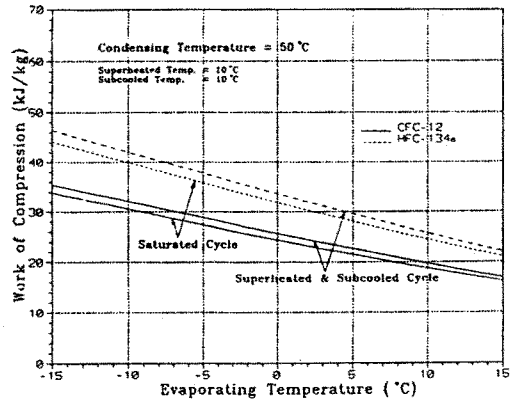

Fig.16 Compression Work of HFC−134a and CFC−12

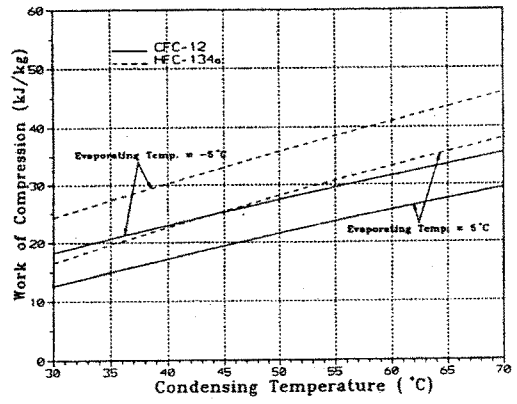

Fig.17 Effect of Evaporating Temperature on Compression Work

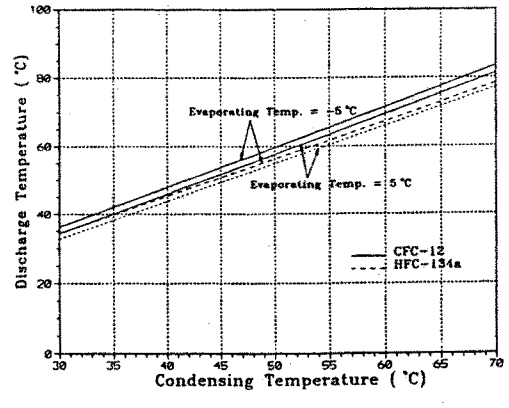

Fig.18 Discharge Temperature of HFC−134a and CFC−12

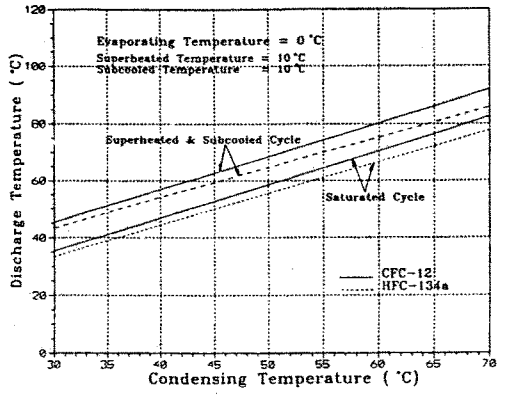

Fig.19 Comparision of Discharge Temperature of the Superheated Cycle

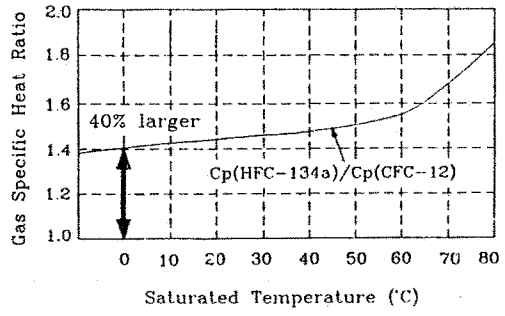

Fig.20 Comparision of Gas Isobaric Specific Heat Ratio

에서 이미 예측한대로 응축온도는 압축일에 큰 영향을 가지며 동시에 응축온도가 낮을수록 압축일의 측면에서는 매우 유리함을 보여주고 있다.

5.6 압축후 가스의 토출온도 및 정압비열

증기 압축 냉동 사이클에서 냉매의 압축후 토출온도는 시스템의 운전 특성 및 부품 내구 등에 있어서 매우 중요한 영향을 주는 인자이다. 특히 냉매의 토출 온도는 시스템 내구, 윤활유의 수명, 호스 및 씰 재료의 수명 내구에 큰 영향을 가진다. 이에따라 시스템의 설계에 있어서는 냉매가스의 압축후의 토출온도는 시스템의 설계는 물론 냉매의 선정에 있어 필수적으로 고려되어야 할 사항이다.

Fig.18은 −5°C와 5°C의 일정한 두가지의 증

발온도에 대하여 응축온도를 30°C에서 70°C까지 변화시켜 단순 증기압축 포화 사이클에서의 압축기의 토출온도를 분석한 결과이다. 이 결과를 살펴보면 두 냉매 온도 응축온도가 올라갈수록 토출가스 온도는 상승하며, 반대로 증발온도가 올라갈수록 가스온도는 감소함을 알 수 있다. 또한 HFC－134a의 압축후 가스온도는 CFC－12의 가스온도와 비교 할 때 응축온도의 전 사이클운전 영역에서 더 낮음을 알 수 있다. 이 결과는 앞에서 분석한 HFC－134a의 물성치에서 살펴본대로 가스단열지수의 영향으로 압축후의 가스온도가 감소하리라는 예상과도 잘 일치함을 알 수 있다.

일반적으로 증발과정을 마친 냉매 가스는 실제 운전 상태에서 압축기에 흡입된후 압축과정 직전에 Blow by 가스 또는 압축기의 손실 체열에 의한 예열이 이루어지는 과열과정이 존재하게 되어 일련의 온도변화 이력과정이 필연적으로 발생하게 된다. 이에 따라 토출가스의 온도특성 분석은 일정과열 및 과냉이 수반되는 경우에서도 검토가 필요하다.

Fig.19는 HFC－134a 및 CFC－12에 대해 일정한 증발온도(여기서는 0°C) 운전조건에서 응축온도가 변함에 따라 일어나는 압축기에서의 압축후 토출가스온도를 분석한 것이다. 이 결과에서는 단순증기압축포화 사이클과 과열－과냉 사이클의 결과를 동시에 비교하도록 하였다. 이때 사용된 과열도는 10°C, 과냉도 10°C로 주고 토출가스온도의 변화를 분석하였다. 이 결과에서 볼 수 있듯이 동일한 운전조건일 경우 CFC－12에 비해서 HFC－134a의 토출온도가 항상 낮음을 알 수 있으며, 포화 사이클보다는 과열－과냉 사이클이 토출온도가 더 높음을 알 수 있다.

냉매가스의 압축기에 의한 압축후 토출온도의 특성 검토에 있어서는 냉매의 물성 중 정압 비열(Cp), 냉매의 유량 및 증발잠열과도 밀접한 관계에서 분석되어져야 한다. 이러한 특성을 물리적으로 나타내기 위해서는 열상당량(thermal equivalent) 개념의 상태량의 정의가 필요한 바 이것은 일반적으로 냉매의 유량(Gr)과 정압 비열(Cp)의 적으로서 나타내어지며 이 특성은 동시에 냉매가스의 압축후 토출온도에 매우 큰 영향을 주게 된다. 따라서 토출온도를 이러한 열상당량의 관점에서 검토할 때는 냉매가스의 비체적과 정압비열의 특성을 동시에 검토할 필요가 있다.

먼저 HFC－134a의 비체적의 검토 경우에서는 이미 Fig.14에서 보여준 바와 같이 비체적이 정상운전 조건인 증발온도(0°C)에서 CFC－12보다 약 20%정도 작기 때문에, 그 결과로서 냉매 유량이 이에 상당하는 량 만큼 적어진다. Fig.20은 HFC－134a와 CFC－12의 정압비열(Cp)을 비교한 것이다. 이 분석결과는 HFC－134a가 정상증발온도에서 CFC－12 보다 정압 비열이 약 40% 정도 크다는 것을 보여주고, 이러한 물성으로 인해 열상당량이 크기 때문에 비중량의 감소에 따른 유량 감소의 영향을 상쇄하고도 토출온도에서는 오히려 CFC－12 보다 낮아질 수 있는 열물리적 특성을 보여주고 있다. 이에 따라 압축기로 흡입된 후의 과열도에 있어서도 CFC－12 보다 낮아질 수 있는 것이 분명하다.

6. 결 론

오존층 보호를 위한 지구환경보전과 몬트리얼 협약에 따른 CFC 사용규제에 대응하기위해 한국자동차부품종합기술연구소 공조유체 연구팀에서는 공업기반 재원으로 (주)대우기전의 위탁으로 본 연구를 수행하고 본 연구를 통하여 개발된 자동차 에어컨의 성능해석 시뮬레이션 프로그램의 응용 및 분석 연구를 통하여 얻어진 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

1) HFC－134a는 CFC－12와 동등 이상의 열물리적 성질을 갖춘 우수한 냉매이나 압축과정후의 토출압이 동일한 운전조건에서 CFC－12보다 10% 이상 높고 흡입압력은 약간 낮기 때문에, 압축비가 커져 체적효율이 낮고 시스템의 부하가 커지므로 이에 대한 대책으로 고효율의 응축기 등의 개발 장착이 필요하다.
2) HFC－134a는 증발잠열이 CFC－12보다 크기 때문에 동일한 냉방능력을 충족하는 경우 적절한 설계대응책을 수반할 경우 냉매

의 충전량을 종전 보다 20% 이상 감소 시킬 수 있다.

3) HFC－134a는 CFC－12에 비교할 때 압축 가스단열비의 영향으로 압축후의 가스온도는 낮아지는 특성을 나타내었으나 동일 온도에서의 비체적이 CFC－12보다 크기때문에 체적효율에서는 불리하다.

4) HFC－134a의 사이클운전 효율을 향상시키고 시스템의 부하를 저감시키기 위해서는, 응축온도는 되도록 낮추고 증발온도는 높게하는 것이 효과적임을 알 수 있었고 시스템 효율을 높이기 위해서는 적정 과열도의 설정이 매우 중요하다.

참 고 문 헌

1. "Thermphysical Properties of Environmentally Acceptable Fluorocarbons HFC－134a and HCFC－123", Japanese Association of Refrigeration and Japan Flon Gas Association, Nov. 1990, Japan.
2. "An Experiental Comparison of Evaporation and Condensation Heat Transfer Coefficients for HFC－134a and CFC－12", S. J. Eckels and Pate, International Journal of Refrigeration, Vol. 14, p.70－77, March 1991.
3. "Development of Automotive Air Conditioner Hose for HFC－134a", Hideo. Nakauchi, et. al., Journal of JSAE, Vol.45, No.11, 1991, Japan.