

자동차용 에어컨에서의 신냉매 사용

The use of HFC-134a in car air conditioning systems

안 휴 남
H. N. Ahn
한라공조(주) 개발2팀



- 1967년생
- 자동차용 압축기이론분야에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

자동차용 에어컨은 현재 전체 생산 차량에 85% 이상 장착되고 있다. 자동차의 대중화에 따라 그리고 쾌적성을 선호하는 경향에 맞추어 지속적으로 증가될 전망이다. CFC-12 냉매를 이용한 자동차용 에어컨은 초기 에어컨이 장착되었던 시기부터 시스템의 구성 요소 또는 전체적인 시스템의 구조적인 측면에서 지속적으로 개선을 이루어 왔으며, CFC-12와 냉동유로서 광유라는 기본 요소에는 변화가 없었다. 오존층 파괴라는 CFC-12 냉매의 위험성을 방지하기 위한 몬트리올 의정서에 CFC-12 냉매 사용을 금지하면서 그 대체 냉매로서 HFC-134a의 사용이 현재 상용화 되었으며 국내에서는 자동차용 에어컨 개발이 완료되어 1994년 부터 본격적으로 적용되었다.

HFC-134a 냉매 사용에 따른 많은 연구논문이 국외뿐만 아니라 국내에서도 발표 되었으며 그 주된 내용은 에어컨의 냉방능력과 에어컨을 구성하는 부품의 안전성 및 내구성에 대한 평가들이었다.

따라서 본 내용에서는 자동차용 에어컨에 HFC-134a 냉매를 사용하면서 평가 되었던 냉방능력에 관한 지금까지의 현황과 자동차용 에어컨

에 장착되는 압축기에서 발생 가능한 문제점들에 대해 언급한다.

2. HFC-134a 냉매 사용에 따른 냉방능력

HFC-134a 냉매는 기존에 사용되었던 CFC-12 냉매와 동등한 열역학적 안정성을 구비하고 있으며, 오존층을 파괴하는 염소(Cl) 대신 수소(H)가 결합되어 있어 생태학적으로도 오존층 파괴지수인 ODP가 0이다. 따라서 대체 냉매로서 현재까지 개발 또는 생산중인 자동차용 에어컨은 HFC-134a를 대부분 채용하고 있는 실정이다.

냉매자체의 열역학적 특성에서도 HFC-12 대비 크게 열세되는 특징을 가지고 있지 않으며, 열교환기의 열교환능력에는 상당히 높은 효율을 제공하고 있기도 하다. 다음의 표 1은 CFC-12와 HFC-134a의 열역학적 특성을 비교한 표이다.

다음은 HFC-134a 냉매와 CFC-12 냉매의 열역학적 특성에 따른 에어컨 시스템 성능 및 효율의 장단점을 비교하면 다음 표와 같다.

지금까지 HFC-134a 냉매 사이클 해석은 CFC-12 냉매와 비교시 응축온도가 높아지면 COP는 급격히 저하 되고, 반면 증발온도는 높아

표 1 CFC-12 냉매와 HFC-134a 냉매의 열역학적 특성 비교

항 목	CFC-12	HFC-134a	비 고
chemical formula	CCl_2F_2	CH_2FCF_3	
molecular weight	120.91	102.03	
boiling point	-29.79	-26.16	
freezing point	-157.6	-101.0	
critical temperature	-112.0	-101.1	
critical pressure	4,113kPa	4,067kPa	
critical density	558kg/m ³	510kg/m ³	
specific heat at 25℃	0.611kJ/kgK	0.84kJ/kgK	
latent heat at 25℃	168kJ/kg	216kJ/kg	
ODP(ozone depletion potential)	1.0	0	
GWP(global warming potential)	2.8~3.4	0.3	

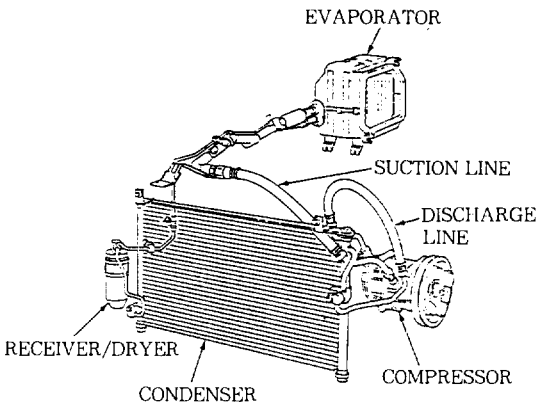


그림 1 차량용 에어컨 장착도

질수록 COP는 약간 향상되는 경향을 나타내고 있다.

표 2에서 보는 바와 같이 HFC-134a 냉매용 에어컨 개발에서 가장 큰 특징은 열교환기의 효율증가와 압축기의 용량 증가 및 소요일의 증가이다. 따라서 HFC-134a 냉매를 이용한 차량용 에어컨 개발은 압축기의 용량변경없이 동일한 냉방효과를 발휘할수 있는 방향으로 개발되었다.

다음의 표 3은 CFC-12 냉매 사이클 대비 동일 응축압력과 동일 COP를 얻기 위한 조건을 찾기 위한 냉동 사이클 해석 결과이다.

즉, 압축기 단위 용량당 냉동능력을 구해보면,

CFC-12가 1,762.3kJ/m³에 대비, HFC-134a에서는 1,664.8kJ/m³로 동일 냉동능력을 얻기 위해서는 압축기 용량을 6% 증가시킬 필요가 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 응축압력을 낮춰 CFC-12와 동등수준으로 하면, 동일 냉동능력을 얻는데 압축일은 약 7% 증가하고, 압축기 용량은 CFC-12와 거의 같게 할 수 있다.

다시 응축온도를 낮춰 COP를 CFC-12와 동등하게 하면, 압축일은 같게되고 압축기 용량은 CFC-12의 경우인 9%로 좋아지게 된다. 그러나 이를 위해서는 응축온도를 약 7℃ 낮출 필요성이 있다.

응축능력을 Q_c , 열전달률을 K , 응축기 전열면적을 A , 공기와 냉매의 온도 차를 T_m 그리고 공기의 온도를 35℃라 가정하면,

$$\begin{aligned}
 Q_c &= K \times A \times T_m \\
 &= K_{12} \times K_{12} \times (60 - 35) \\
 &= K_{134a} \times A_{134a} \times (53.4 - 35) \\
 K_{134a} \times A_{134a} &= 1.36 K_{12} \times A_{12}
 \end{aligned}$$

즉 응축온도를 약 7℃ 저하시키기 위해서는 전열성능 또는 전열면적을 36% 증가시켜야 한다는 결론을 내릴수 있다.

따라서 HFC-134a 에어컨 개발시 응축기의 효율을 향상시키기 위해 기존의 round tube fin 형과 serpentine형에서 PF(parallel flow)형으

표 2 HFC-134a 냉매 사용에 따른 에어컨 시스템 영향 비교표

단 점	- 냉매 비체적 증가	- 압축기 용량증가
	- 동일 응축온도에서 높은 응축압력	- 압축과정에서 소요일 증가
장 점	- 증발잠열과 비열 증가	- 냉각능력 향상
	- 열전도도 증가	- 냉매 충전량 감소
	- 낮은 냉매 단열비	- 열교환기 열교환 성능 향상
		- 압축후 토출 가스 온도 감소 효과

표 3 CFC-12냉매와 HFC-134a냉매 사이클 특성

항 목	기 호	단 위	CFC-12	HFC-134a		
증발온도	Te	℃	0.0	0.0	0.0	0.0
응축온도	Tc	℃	60.0	60.0	55.9	53.4
과열도	SH	℃	5.0	5.0	5.0	5.0
과냉도	SC	℃	2.0	2.0	2.0	2.0
증발압력	Pe	MPa	0.31	0.29	0.29	0.29
응축압력	Pc	MPa	1.52	1.68	1.52	1.43
압축기 토출온도	Td	℃	72.3	69.5	65.2	62.6
압축일	L	kJ/kg	26.3	37.1(31.6)	35.0(28.2)	33.7(26.3)
냉동능력	R	kJ/kg	100.1	117.7(100.1)	124.3(100.1)	128.3(100.1)
흡입가스 비체적	v	m ³ /kg	0.0568	0.0707	0.0707	0.0707
사이클 효율	COP=R/L	-	3.8	3.2	3.6	3.8
압축기 능력	R/v	kJ/m ³	1,762.3	1,664.8	1,758.1	1,814.7
압축기 용량비	-	-	1.0	1.058	1.002	0.97

로 바뀌게 되었다. PF형 응축기는 기존의 응축기 보다 열교환 능력이 약 30% 향상되었으며, 경량화 및 공기측과 냉매측의 압력강하가 감소되었다는 것이 특징이다.

기존의 CFC-12용 에어컨에 비해 HFC-134a용 에어컨은 냉매 비체적 증가에 따른 동일한 냉방효과를 얻기 위해서 압축기의 용량을 증가하여야 하는 문제점을 응축기의 효율향상으로 인하여 해결되었다. 지금까지 개발된 HFC-134a용 에어컨의 압축기는 기존 CFC-12에 사용되었던 동일한 용량을 대부분 이용하고 있으며, HFC-134a 냉매 사용에 따른 에어컨의 냉방성능의 감소로 인한 불편은 없는 것으로 판단된다.

3. 신냉매 사용시 압축기 영향 및 문제점

HFC-134a 냉매를 이용한 에어컨 개발에서 가장 중요시 된 부분은 압축기와 냉동기유의 개발이었다고 할 수 있다. 냉동기유의 특징은 압축기 토출부의 고온에서 증발기의 저온까지 사용온도 범위가 넓는데 있다. 냉동기유는 냉매와 시스템내를 공존상태로 순환 사용되기 때문에 그에 따른 요구조건이 있다.

현 HFC-134a냉매에 상용하는 자동차용 대체 냉동기유는 PAG계가 사용중이다. 일단 PAG계 냉동유는 기존 CFC-12 자동차용 에어컨에 사용실적이 있으며, HFC-134a 냉매와 상용하

표 4 냉동기유의 요구 특성

요 구 특 성	이 유
1. 열적, 화학적 안전성이 우수하여야 한다. 2. 윤활성능이 우수하여야 한다. 3. 소포성이 우수하여야 한다.	밸브부에서의 carbon sludge 생성방지 구동부 마모 방지 압력변동에 의한 냉매의 증발을 수반한 발포에 의한 진동, 소음 방지
4. 냉매와 분리성이 우수하여야 한다. 5. 절연재 및 Seal재와의 적합성이 우수하여야 한다.	사이클내에서 가능한 OIL이 누설되지 않음 냉매 누설 방지
1. 왁스분의 분리가 없어야 한다. 2. 수분을 포함하지 않아야 한다.	냉매의 폐쇄 방지 냉매의 가수분해 방지
1. 냉매와 상용성이 우수하여야 한다. 2. 저온 유동성이 우수하여야 한다.	냉동기유의 압축기로의 회수율 개선 및 냉각 효율 향상

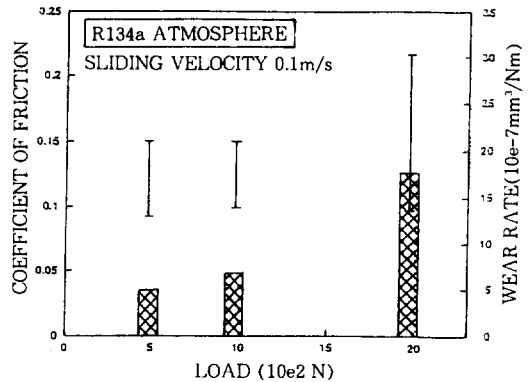
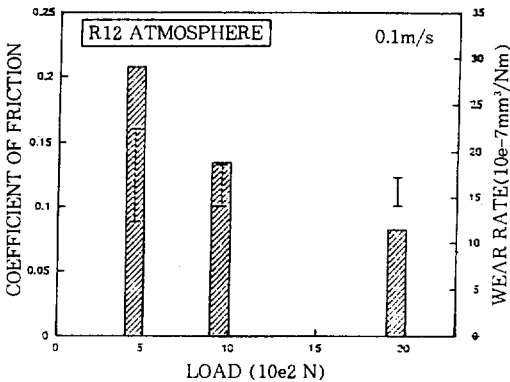


그림 2 CFC-12냉매와 HFC-134a냉매 분위기에서 마모 특성

는 것이 비교적 빠른 시기에 확인 되었으며, 광유와 비교시 윤활성이 우수할 뿐 아니라 필요에 따라 자유로이 점성을 조절할 수 있다는 특성이 있다. 그 반면 흡습성이 극히 높을 뿐 아니라 PAG계 냉동기유는 고온 및 저온상태에서 액냉매가 이층 분리되기 쉬운 특성이 있다. 압축기에서 보면 냉매와 냉동기유가 이층분리된 경우, 밀도가 적은 냉동기유가 상층에 있기 때문에 압축기 가동시 냉동기유를 포함하지 않은 냉매만을 흡입할 경우 압축기 구동부의 파손을 방지할 수 없게 된다.

자동차용 에어컨 시스템에서 압축기의 파손은 대부분 윤활상태 불량에 기인한 것이 상당한 부분을 차지하고 있는 것이 사실이다. 정상적인 상

태에서 PAG계의 윤활성능이 광유에 비해 우수하나 장시간 방치후 에어컨 작동시와 같은 냉매와 냉동기유가 충분히 시스템에 혼합되어 있지 않은 상태에서는 압축기로의 냉동유가 충분히 회수되지 않는 경우에는 압축기의 파손이 발생할 가능성이 높아진다. 이것은 CFC-12 냉매의 경우 압축기에 무윤활 상태에서는 냉매에 포함된 Cl성분이 윤활제 역할을 하는 특성이 있으나 HFC-134a 냉매의 경우는 이것을 기대할 수는 없다.

그림 2는 CFC-12냉매와 HFC-134a 냉매 분위기에서 마모 시험한 결과이다. 동일한 조건하에서 HFC-134a 냉매 분위기에서는 부하가 증가할 수록 마모율이 급격히 증가하는 경향을 나

타내고 있다는 것을 나타내고 있다.

윤활부족에 의한 압축기 파손이 발생가능한 저윤활 또는 무윤활 형태를 기술하면 다음과 같다.

3.1 에어컨 시스템 내에서 냉매와 냉동기유의 상분리 현상

CFC-12와 광유의 이층분리온도는 저온측에 있으나 HFC-134a와 PAG계는 저온측과 고온측에 이층분리온도가 존재한다. 일반적으로 자동차용 에어컨은 저온측에는 증발압력의 조절밸브나 thermo-switch를 설치하여 증발기의 온도가 일정온도 이하로 내려가지 않도록 하고 있으므로 저온의 이층분리온도는 문제시 되지 않으나, 응축기에서 이층분리 현상이 발생하게 되며 응축기의 전열성능저하 및 압축기로의 냉동기유 회수현상을 방해할 가능성이 높아진다. 일단의 이층분리상태에서는 냉매보다 밀도가 적은 냉동기유가 receiver drier 등의 상층부에 존재하기 때문에 증발기를 거쳐 압축기로 재 유입 되지 않는 현상이 발생하게 되어 압축기는 윤활유가 없는 상태에서 구동하게 된다. 대부분의 에어컨은 이러한 이층분리온도 이하로 작동할 수 있도록 설계되어 있으나 한여름철의 극히 무더운 상태나 열대지 조건에서는 발생가능성이 다분히 많다고 여겨진다.

3.2 에어컨 시스템 내에서 압축기로의 냉동기유 회수 능력 부족 현상

냉동기유의 회수 능력은 단지 압축기만의 문제는 아니며 전체 에어컨 시스템의 구성요소 배치에 크게 좌우 된다. 일반적으로 냉동기유는 냉매와 같이 유동하기 때문에 각 시스템의 구성요소에 고이는 현상을 가진다. 따라서 충분한 양의 냉동기유가 공급이 되지 않을 경우에는 다량의 냉동기유가 증발기, 응축기등에 고여 폐회로를 구성하는 에어컨 시스템에서 압축기로 회수되는 양이 적을 경우 압축기 윤활에 큰 문제를 야기시킬 가능성이 높아진다.

따라서 압축기로의 냉동기유 회수 능력을 최대한 증가 시키기 위해 에어컨 시스템 각 구성품의 전체적인 구성을 원활한 유동이 될 수 있도록 설

계할 필요성이 있으며, 제한된 장착 공간일 경우에는 고부하 조건에서 최소 냉동기유 회수량이 확보되도록 냉동기유의 양을 조절할 필요성이 있다.

3.3 잠시간 방치에 따른 압축기내 냉동기유의 이동 현상

자동차용 에어컨은 타 에어컨 시스템에 비해 실외온도의 영향을 많이 받는 대표적인 특성을 가진다. 특히 낮동안의 높은 온도조건과 밤동안의 낮은 온도 조건이 하루를 주기로 반복적인 영향을 받는다. 이러한 온도 사이클현상은 자동차용 에어컨 부품들의 열적 평형을 방해하게 되며, 열교환기는 외부의 온도 영향에 민감하게 반응하고 반면 압축기는 외부 온도 변화에 열교환기에 비해 영향을 덜 받게 된다. 이러한 열적 불균형은 각 부품들간에 냉매의 이동 현상을 만들게 되며, 특히 엔진룸에 있는 압축기와 실내에 장착되는 증발기 사이에서는 그 동일 외기 조건에서 온도차이가 가장 심하게 발생되면서 그에 따른 냉매의 순환도 다른 부품들 보다 많이 발생하게 된다.

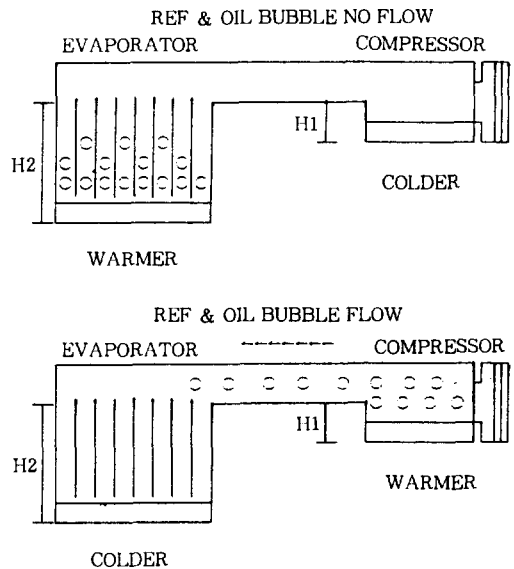


그림 3 잠시간 방치에 따른 압축기내 냉매 및 냉동기유 이동 현상

증발기와 압축기에서 발생하는 냉매의 이동은 압축기에 고여있는 냉동기유를 포함하여 이동되는 경우가 많다. 이러한 현상을 그림 3에 도시하였다. 냉매와 냉동기유 이동현상은 장시간 방치되는 경우 서서히 발생되면서 압축기내 냉동기유가 모두 증발기로 이동되게 되어 냉동기유 없이 압축기를 구동하는 경우가 발생된다.

4. 맺음말

자동차용 에어컨에 HFC-134a 냉매를 사용하면서 시스템의 냉방능력 및 압축기의 유효성을 향상시키기 위한 많은 연구 보고서들이 발표되었다. 냉방능력의 향상은 응축기의 방열능력 향상으로 기존에 사용되었던 CFC-12 냉매와 전반적으로 동일한 냉방능력을 가진 에어컨 시스템을

구성할 수 있었으나 압축기 유효성을 향상시키기 위한 연구는 지속적으로 이루어지고 있는 실정이다. PAG계 자체의 냉동기유는 광유에 비해 유효성이 향상되었으나 HFC-134a 냉매 자체의 유효성이 CFC-12에 비해 낮기 때문에 저유효 또는 무유효 조건에서는 냉동기유의 효과를 바랄 수 없는 실정이다.

이러한 무유효 또는 저유효 현상은 시스템 내에서 냉매와 냉동기유의 상분리 현상, 에어컨 시스템에서 압축기로의 냉동기유 회수 능력 부족 및 장시간 방치에 따른 압축기내 냉동기유의 이동 현상등을 예로 들 수 있으며, 압축기 구동부의 고체 윤활제 채용시 구동부의 마모 현상을 크게 향상시킬 수 있다는 연구 내용들이 발표되고 있는 실정이다.