

기후변화 협약대응 대체냉매 자동차 에어컨시스템 기술 동향

■ 원 종 필 / 자동차부품연구원 열유체시스템연구센터, jpwon@katech.re.kr

현재의 자동차용 HFC-134a 에어컨시스템을 대체하기 위하여 세계적으로 소개되고 있는 지구온난화 규제 대응 대체냉매와 이를 적용한 에어컨 시스템 개발 동향을 소개하고자 한다.

자동차 에어컨 시스템 규제 동향

온실가스에 의한 지구온난화 문제에 세계가 공동으로 대처하기 위해 1992년 6월 리우데자네이루에서 “기후변화협약(UNFCCC : United Nations Framework Convention on Climate Change)”을 채택하였으며 이를 계기로 향후 예상되는 기후변화 예방, 적응방안 및 저감정책들이 구체화되고 있다. 1997년 일본 교토에서 열린 기후변화협약 제3차 당사국총회에서는 선진국의 온실가스 배출 감축목표 설정에 대한 “교토의정서(Kyoto Protocol)”를 채택하였고 2005년 온실가스 감축 계획을 실행하였다.

2004년 유럽에서도 EU의 자동차 에어컨 사용량 규제에서는 지구온난화 지수(GWP) 150 이상인 냉

매 사용을 자동차 에어컨 시스템에 2011년까지 신규 개발차종에 적용시키고 2017년부터는 모든 차종에 적용시켜 실질적인 자동차 에어컨 시스템의 냉매 사용량을 규제하는 법규를 발표하였다.

미국의 경우 북미 캘리포니아주 친환경에 대한 규제로 GWP 150 이하 냉매 적용 시 CO₂ 가스 배출량에 대한 Credit를 적용하고 승용차의 CO₂ 가스 배출량을 단계적으로 규제하는 법규를 2009년부터 시행하여 CO₂ 배출가스를 323 g/mile로 자동차 별로 규제하고 있다. 그리고 2011년 이후 미국 환경청(EPA)에서는 자동차용 에어컨을 ON/OFF 시 연비 라벨링 의무화가 실시될 예정이다.

상기 규제 및 법규에 따라 선진국에서는 자동차 에어컨 시스템은 물론이고 산업 공기조화기에서 사용하는 HFC냉매 사용저감 및 방출 방지를 위한 연구는 물론이고 2007년 새로이 등장한 화학냉매 R-1234yf를 이용한 새로운 에어컨 시스템에 적극 추진을 진행하고 있다.

표 1에는 현재 대체냉매로 신뢰를 받고 있는 냉매 중 새로운 에어컨 시스템에 적용 하게 될 대체

<표 1> 기존 R-134a 냉매 대비 대체냉매 안전성 비교

종 류	HFC-134a	R-744	R-1234yf
냉매 계열	혼합-HFC	천연물질	혼합-R
화 학 식	CH ₂ FCF ₃	CO ₂	CF ₃ CF-CH ₂
오존층파괴지수(ODP) [ODP=0 기준]	0	0	0
지구온난화지수(GWP) [GWP<150 기준]	1,430	1	4
가 연 성	無	無	有
독 성	無	有	無
대기 수명	14년	영구	12일



냉매(R-134a 제외)의 특성을 보여주고 있다. 이 표에서 보여주는 것과 같이 화학냉매지만 R-1234yf는 오존층 파괴성이 없고 지구 온난화계수가 적어 안정한 물질로 분류되어 있음을 알 수 있다.

이러한 대체냉매를 이용한 새로운 에어컨 시스템은 기존 R-134a의 에어컨 시스템 단품들을 Miner Change 개념의 부품 개발, 기존 인프라 사용에 문제가 없기 때문에 미국이나 일본 등 지구온난화 방지를 위해 친환경적인 R-1234yf를 자동차용 에어컨 시스템에 사용하는 연구 개발이 활발히 진행되고 있다.

그리고 미국과 일본 등의 선진국의 자동차 및 자동차 에어컨 시스템 부품 회사들에서는 R-1234yf를 이용한 에어컨 시스템을 이미 프로토타입 단계로 개발하고 실차에 탑재하여 안전성과 냉방성능 및 내구성 시험을 하고 있는 단계에 도달해 있다. 그러나 현재 국내에서는 대체냉매를 이용한 자동차 에어컨 시스템에 대한 개발이 선진국에 비해 뒤쳐져 있으므로 이에 대한 연구개발이 시급한 실정에 있다.

HFO-1234yf 냉매 및 시스템 특성

R-1234yf 냉매 적용 자동차용 에어컨 시스템의 특성은(그림 1)에 나타난 바와 같이 R-134a 냉매와 대비하여 포화 압력의 경우 냉매 증발 압력은 높고 응축 압력은 낮게 형성되어 R-1234yf 냉매가 압축 비에서 약간 낮은 특성을 나타낸다. 그리고 R-

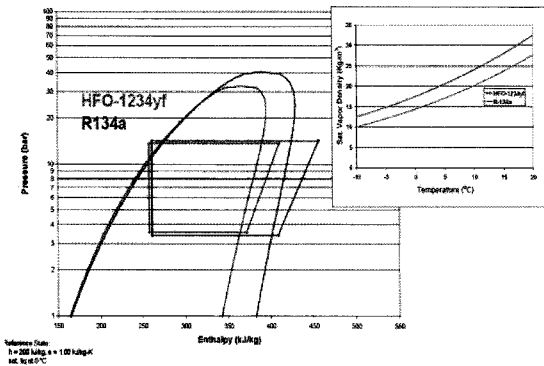
1234yf 냉매 특성상 끓는점이 낮고 (R-134a : -26℃, R-1234yf : -29℃), 냉매의 임계 온도가 낮으며 (R-134a : 102℃, R-1234yf : 95℃), 냉매 온도에 대한 증기압력(Vapor Pressure)이 낮아 잠열(Latent Heat) 부분이 약 20% 감소되어 냉방성능이 낮아지는 특징이 있다. 반면 증기상태 냉매의 밀도가 R-134a 냉매보다 높기 때문에 전체 에어컨 시스템에서 압축기를 통과하는 냉매 유량이 약 20% 증가할 수 있는 장점이 있다. 이는 에어컨 시스템의 압력 강하 문제를 발생시킬 수 있어 시스템 효율에 또 하나의 문제를 발생시킬 수 있는 주요 인자로 분석된다.

결과론적으로 자동차용 에어컨 시스템에서 R-134a 냉매 대비 R-1234yf 대체냉매는 동일 압축기 적용시 약 10%의 에어컨 시스템 냉방 성능 감소가 발생되는데 이는 앞에서 설명한 바와 같이 증발 잠열이 R-134a 냉매보다 작기 때문이다. 또한, R-1234yf를 적용한 에어컨 시스템 COP(시스템 성적계수)의 경우 약 6%의 감소가 발생되는데 이는 압축기 축의 압력비가 약 10% 낮아지는 결과로 볼 수 있다.

이와 같이 대체냉매 R-1234yf를 적용한 자동차용 에어컨 시스템은 기존 R-134a 냉매 적용 자동차용 에어컨 시스템을 그대로 사용했을 경우(System Drop in) 냉방 성능 및 시스템 효율에서 약 10%의 저하를 가져올 수 있다.

R-1234yf 냉매는 미국의 하니웰사와 듀폰사의 공동 개발에 의한 화학 냉매로서 이 대체냉매에 대한 검증을 위하여 미국 자동차 협회 SAE가 CRP-1234 프로그램을 구성하여 세계 자동차 OEM들의 주관하에 적용 타당성에 대한 문제점 검토하였고, 일본 자동차 공업 협회(JAMA)에서의 일본 자동차에 적용할 경우 시스템 및 실차에 대한 영향성 및 LCCP를 검토하여 발표하였다.

R-1234yf 냉매는 화학 냉매로 지구온난화지수(GWP)가 4이고, 오존층 파괴지수(ODP)도 0 이어서 유럽 환경법규에서 요구하는 GWP 150 이하를 만족하는 냉매이다. 표 2에 나타난 바와 같이 R-1234yf 냉매는 독성이 없고 특히 대기 중에서 분해되는 속도가 기존 R-134a 냉매, 자연 냉매인 CO₂보다 훨씬 빠른 시간에 분해되어 없어진다. 다만 가



[그림 1] R-134a 냉매 및 R-1234yf 냉매 에어컨 시스템 특성 비교

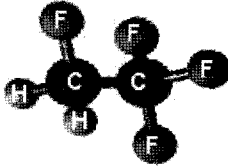
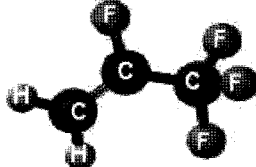
연성에 있어서 약 가연성(A2 6.2 vol.%)이나 자동 차용 에어컨 시스템 장착시 직접 발화가 되지 않는 수준이며 이를 증명하기 위하여 해외 선진 자동차 제조업체 뿐만 아니라 공조 업체에서도 많은 노력을 하고 있다.

R-1234yf 냉매는 대체냉매로서 적용 가능성이 높

은 냉매 중의 하나로 지구온난화 및 연비 개선에 기여할 수 있는 잠재력을 가지고 있는 냉매로 부각 되었으나 실제 시장에서의 출시 적용을 위해서는 공 조 시스템 업체의 많은 기술 개발과 연구가 필요한 실정이다.

대체냉매 적용 에어컨 시스템이 EU 및 북미의 환

<표 2> R-134a 냉매 및 R-1234yf 냉매 물성치 특성 비교

Refrigerant	R-134a	HFO-1234yf
Name	1,1, 1,2-Tetrafluoroethane	2,2, 2,3-Tetrafluoropropene
Molecular Formula	CH ₂ FCH ₃	CF ₃ CF=CH ₂
Molecule		
Boiling point(°C)	-26	-29
Critical point	102	95
Pvap(Mpa, 25°C)	0.665	0.673
Pvap(Mpa, 25°C)	2.63	2.47
Liquid Density(kg/cm ³ , 25°C)	1207	1064
Vaper Density(kg/cm ³ , 25°C)	32.4	37.6
Flammability	A1	A2 LFL : 6.5 vol. %

<표 3> 향후 대체냉매 및 관련 법규 시행 일정

☐ : 효율 관련, ☐ : 대체냉매 관련

	2007년	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	...	2017년
북미				A/CO ₂ /Off연비 라벨링 의무화					
		GWP 150 이하 냉매 시스템 Credit 적용							
			CO ₂ 배출량 규제(년도별 생산수량에 따른 규제) 2009년 323 g/mile						
EU					GWP 150 이하 냉매 적용 의무화 규제 2011년 신규 형식 승인 차량, 2017년 모든 차량 확대				
			냉매 누설량 규제 2008년 6월 신차, 2009년 기존						
				CO ₂ 배출량 규제 2009년 140 g/km, 2012년 130 g/km					



경 규제를 만족하기 위해서는 기존 R-134a 냉매 적용 시스템 대비 동등 수준의 시스템 COP 및 냉방 성능, 연비 효율성의 두 마리 토끼를 다 잡아야 한다. 자동차 수출을 위해서는 EU 및 북미의 환경 규제에 대응하는 대체냉매가 적용된 에어컨 시스템이 모든 수출 차량에 장착되어야 하며, CO₂ 연비 규제에 대응하기 위해서는 시스템 COP가 우수한 시스템의 개발이 필요한 것이다.

현재 R-1234yf 냉매의 경우 2007년 공식 발표 이후 전 세계 자동차 OEM 및 공조 업체에서 동시에 이 대체냉매를 적용한 에어컨 시스템 개발이 진행 중으므로, 이를 해외 선진업체와 동등 이상의 수준으로 개발하여 기술을 선점할 필요성이 있다.

표 3에 향후 대체냉매 관련 법규 적용 일정 및 효율 개선 규제 및 CO₂ 배기 가스량 규제 일정을 나타내었다.

해외 선진국의 기술개발 동향

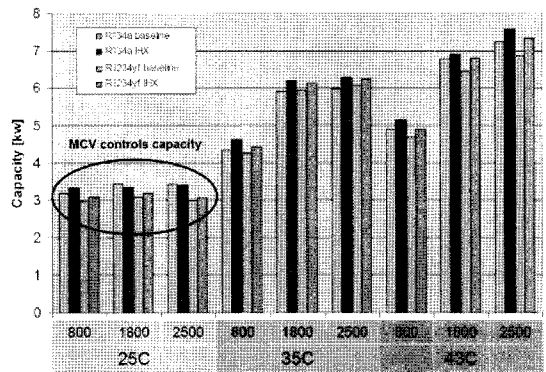
VISTEON 사의 HFO-1234yf 에어컨 시스템 개발 사례

앞에서 설명한 HFO-1234yf 냉매 특성상 포화 압력이 증기(Vapor)부에서는 낮고 압축기 입구측의 냉매 건도가 높기 때문에 과도한 과열도(Superheat) 증가가 발생하게 된다. 이로 인해 압축기 효율이 감소되고 압축기 토출 냉매의 온도가 상승할 수 있기 때문에 냉방성능 뿐 만 아니라 압축기 내구에도 문

제가 되기 때문에 TXV Set치를 증가하여 냉매량과 건도를 조절하여 과도한 과열도 증가를 방지하는 에어컨 시스템 매칭 기술 개발을 진행하고 있다.

또한 HFO-1234yf는 냉매 특성상 냉매의 증발 잠열이 R-134a보다 작기 때문에 냉방성능이 감소하게 된다. 증발 잠열을 증가시키기 위하여 응축기를 통과한 고온 고압의 액 냉매와 증발기를 통과한 저온 저압의 냉매를 서로 열교환하여 응축기를 통과한 액 냉매의 과냉도(Subcool)를 크게 하여 시스템 냉방 성능을 증가시키는 내부 열교환기를 추가로 장착한 연구결과를 발표하였다(그림 2 참조).

에어컨 시스템의 냉방 성능을 효과적으로 증가시키기 위하여 압축기 내에 오일이 순환하도록 장치를 추가하여 에어컨 시스템 내 오일이 냉매와 함께



[그림 2] HFO-1234yf와 R-134a 냉매의 내부열교환기 적용 전후 냉방성능 비교

<표 4> R-134a 와 HFO-1234yf 기존 시스템과 개선 시스템 제원 비교

	R134a & HFO 1234yf A/C system	Enhanced R134a & HFO 1234yf A/C system
Compressor	171cc Externally controlled	171cc Externally controlled
IHX	None	High efficiency IHX
Gas cooler	23.5 dm ² , 16 mm width + integrated receiver dryer	23.5 dm ² , 16mm width + integrated receiver dryer
Evaporator	6passes(U-Bends), 5.3 dm ² (60 mm width)	New 6passes(counter flow), 5.3 dm ² (48 mm width)
Expansion valve	Thermostatic expansion valve	Thermostatic expansion valve(new settings)
Pulley	110 mm	110 mm
Sensors	Pressure sensor(condenser outlet) Evaporator Air Temperature sensor	Pressure sensor(condenser outlet) Evaporator Air Temperature sensor
System weight	12.4 kg	12.7 kg

순환하여 증발기나 응축기에서 열교환 효율 감소를 방지하는 기술을 적용하였다.

VALEO 사의 HFO-1234yf 에어컨 시스템 개발 사례

표 4에 나타낸 바와 같이 VALEO 사도 HFO-1234yf의 냉매 특성에 따른 냉방 성능 및 시스템 효율을 향상시키기 위하여

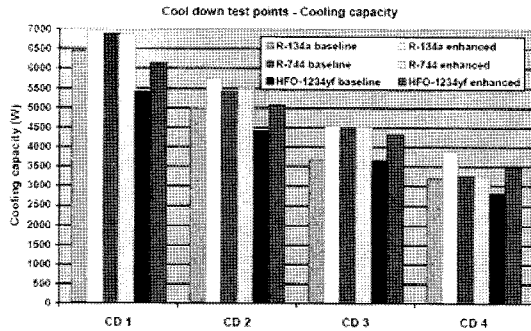
- 1) TXV Set치 변경
- 2) 고효율 I,H,X 적용
- 3) 고효율 증발기를 적용하여 HFO-1234a에 대한 성능 개선을 진행하고 있다.

그림 3은 기존 R-134a 시스템과 개선 시스템, 자연 냉매인 이산화탄소 냉매 시스템, HFO-1234a 시스템과 개선 시스템에 대한 성능 및 에어컨 시스템 효율을 나타내었다.

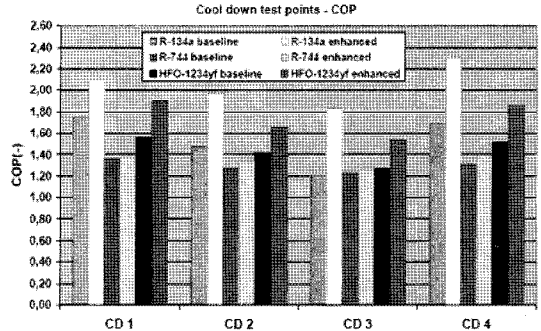
DELPHI사 HFO-1234yf 에어컨 시스템 개발
표 5에 나타낸 바와 같이 DELPHI 사는 내부열교환기(I,H,X)를 적용하지 않고 HFO-1234yf의 냉매 특성에 따른 냉방 성능 및 시스템 효율을 향상시키기 위하여

- 1) 유분리기가 장착된 외부 가변 압축기
- 2) TXV의 Set 치 압력 증가
- 3) 고효율 응축기를 사용하고 기존 과냉도 증가를 적용하여 HFO-1234a에 대한 성능 개선을 진행하고 있다. 그림 4에서는 상기 단품 변경품을 적용한 에어컨 시스템의 P-h 선도를 나타내었고, 그림 5에서는 푸조 207 차량의 실차 냉방성능을 실험결과를 나타내었다.

상기의 선진 공조업체와 자동차 메이커는 HFO-1234yf 등 대체냉매로서 가능성을 인지하고 있고 기존 R-134a 냉매 에어컨 시스템보다 동등 이상의 성



a) VALEO사의 시험 조건별 냉방 성능 그래프 예시

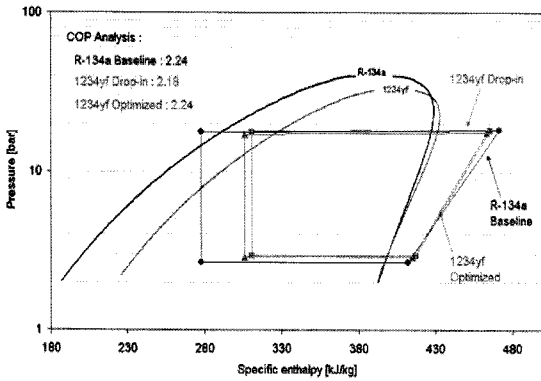


b) VALEO사의 시험 조건 별 시스템 효율 그래프 예시

[그림 3] VALEO사의 냉매별 실차 성능 평가 결과 비교

<표 5> R-134a 와 HFO-1234yf 기존 시스템과 개선 시스템 제원 비교

	R-134a baseline	R-134a enhanced	1234yf enhanced
Compressor	Wobble plate variable displacement externally controlled	Swash plate variable "high efficiency", with oil separator, externally controlled	
Evaporator	Plates & fins		
TXV	2.0/2.7	2.0/2.7	2.3/3.0
Condenser	Flat tubes, 4 passes, integrated receiver	Microchannel, 2 passes, integrated receiver	Microchannel, 2 passes, integrated receiver, increased subcooling area

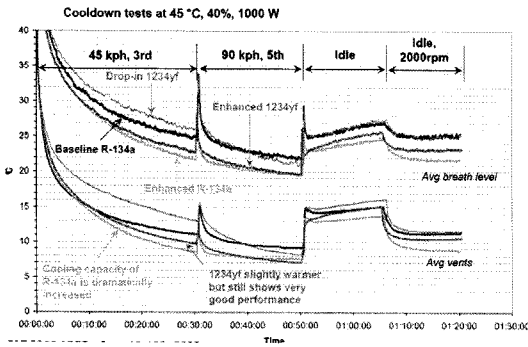


[그림 4] R-134a와 HFO-1234yf 시스템의 P-h 선도 비교 예시

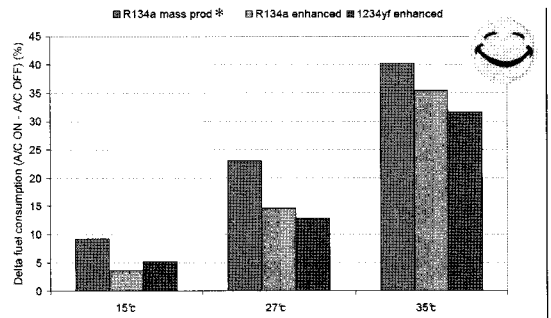
능과 시스템 효율을 향상시키기 위해 꾸준한 기술 개발을 하고 있다. 또한 현재 지구온난화의 방지에 대한 최대 이슈가 되고 있는 연비 개선까지 HFO-1234yf 에어컨 시스템으로 개발 진행하고 있다.

그림 6은 FIAT사가 HFO-1234yf 에어컨 시스템으로 연비 평가를 한 결과이다. 그래프 결과에서 보듯이 HFO-1234yf의 경우 증기 측의 밀도가 커 압축기의 효율을 향상시킬 수 있는 장점이 있어 연비 개선 측면에서는 유리한 입장이 될 수 있다.

HFO-1234yf는 에어컨 시스템의 성능 뿐 아니라 냉매 누설에서도 매우 중요한 특성을 가지는데 특히 고무 재질을 사용하는 밀봉이나 고무 호스의 화학적 반응에 의한 냉매 리크를 방지하기 위해 세

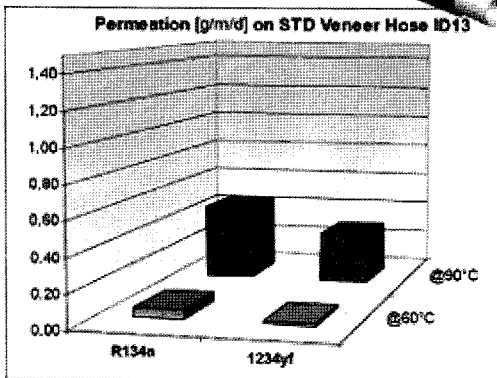


[그림 5] R-134a와 HFO-1234yf 에어컨 시스템의 푸조 207 실차 냉방성능 비교

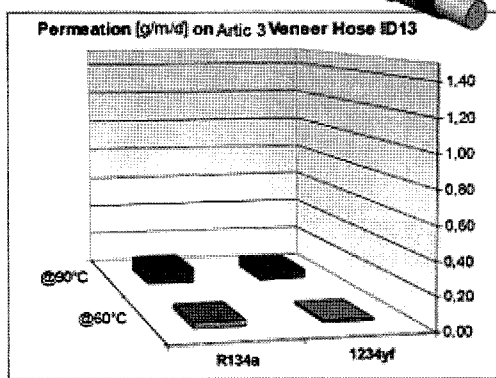


[그림 6] FIAT CLIO 차량의 냉매별 연비 평가 예시

Standard Veneer Hose



ULEV Veneer Hose



[그림 7] 마플로우사 침투 누설에 대한 호스 개발 사례

계 선진 부품 업체에서 부품 개발을 하고 있는 실정이다. 그림 7은 마플로우사에서 기존 Veneer 호스에서 호스 내부층에 새로운 재질의 Veneer를 적용 시켜 고무호스의 침투 누설에 대한 평가 결과를 나타내었다.

결언 및 향후 과제

지구온난화 규제 대응 대체냉매 자동차 에어컨 시스템 개발 기술은 미래가 아닌 지금 당장 우리에게 불어닥친 넘어야 할 장애이다. 현재 자동차 공조 업체는 이 장벽을 극복 하느냐에 따라 많은 것을 잃을 것인가 아니면, 이것을 호기로 삼아 새로

운 발판으로 세계에 도약할 수 있을 것인가의 갈림길에 서있다. 대체냉매 적용 자동차 에어컨 시스템 개발 기술은 미래의 기술 개발이 아닌 오늘의 문제이며, 지금의 해결 과제인 것이다.

이에 따라 국내에서도 국제 환경 규제 협약에 대응하기 위하여 대체냉매를 이용한 자동차 에어컨 시스템의 개발을 적극적으로 추진하여야 한다.

지구온난화 방지 및 EU 환경 규제에 대응하고 국내 자동차 산업의 지속적인 발전 뿐 만 아니라 미래의 수출 시장 확보 및 수입 대체 효과, 국가 성장 동력 산업의 지속적 발전을 위하여 기술 개발이 시급한 실정이다. ❁