

## 차세대 대체냉매(Fluid-H)를 이용한 자동차 에어컨 개발 동향

지구온난화 방지를 위하여 유럽의회에서는 2011년부터 GWP(지구온난화지수) 150 이상인 냉매를 자동차 에어컨시스템용으로 사용하는 것을 금지하는 법안을 제정하였다. 본 고에서는 이에 대응하기 위한 냉매업계의 대체냉매 개발동향을 살펴보고, CO<sub>2</sub>를 포함한 차세대 냉매중, 현 R-134a용 에어컨시스템을 최소한으로 변경하여 적용 가능한 Honeywell사의 Fluid-H 냉매를 이용한 자동차 에어컨 개발현황에 대하여 설명하고자 한다.

남 수 병

· 한라공조(주) (sbnam@mail.hcc.co.kr)

왕 윤 호

· 한라공조(주) (yhwang@mail.hcc.co.kr)

1950년대부터 일부 자동차에 장착되기 시작한 에어컨시스템은 1980년대에 들어서면서 산업발전에 따른 생활수준 향상으로 급격히 보급되기 시작하여, 오늘날에는 북미를 비롯, 중동 등 열대지역의 거의 모든 차량에 장착되고 있으며, 유럽지역과 아시아에서도 장착률이 꾸준히 증가되고 있다.

자동차 에어컨시스템용 냉매로는 프레온가스(R-12)가 1990년대 중반까지 사용되었으나, 프레온 가스가 자외선에 의해 분해되면서 방출하는 염소분자(Cl)가 오존층을 파괴하는 것으로 판명됨에 따라, 프레온 가스의 사용을 규제하는 내용의 몬트리올의정서가 1987년 채택되었다.

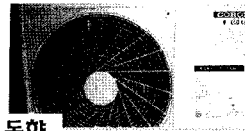
몬트리올의정서는 1996년까지 프레온가스(R-12)의 사용을 전면 폐지하는 것을 내용으로 하고 있어, 이에 대한 대안으로 염소 분자가 포함되지 않은 수소불화탄소인 R-134a 냉매가 개발 적용되었다.

R-134a 냉매는 오존층은 파괴하지 않으나, 대기권에 잔존하면서 온실효과를 유발한다는 연구발표에 따라 지구온난화 문제가 새롭게 대두되어, 지구온난화 방지를 위한 교토의정서가 2005년 발효되었으며, 유럽환경위원회에서도 자동차에 의한 지구온난화 방지를 위해 2011년부터 신규 출시되는 자동차에는

GWP(global warming potential)가 150 이상인 냉매의 사용을 금지하고, 2017년부터는 모든 차량에 GWP가 150 미만인 대체 냉매를 사용하도록 규정하였다.

이러한 세계적인 환경규제에 대응하기 위한 자동차용 대체냉매로서 그동안 자연냉매인 CO<sub>2</sub> 위주로 연구가 진행되어 왔으나, 2006년 세계적인 냉매업체인 미국의 하니웰(Honeywell)과 듀폰(DuPont), 영국의 이네오스 플루오르(INEOS Fluor)사 등에서 기존의 냉매에 약간의 첨가제만 혼합하여 GWP가 150 이하인 대체냉매를 개발, 발표함에 따라, 현재 이들에 대한 상용성을 검토하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

한편, 유럽 환경위원회에서는 냉매의 GWP 규제와 병행하여, 현행 R-134a 냉매에 대해서는 누설량(Leak) 규제를 실시할 예정인데, Single 에어컨시스템의 경우 연간 40 g 이하, Dual 에어컨시스템은 연간 60 g 이하로 누설량을 규제할 계획이다. 규제시기는 표준화된 시험방법이 확정, 공표된 후 1년 뒤부터 발효하도록 되어 있으며, 기존 차량을 GWP 50 이하인 냉매시스템으로 교체할 경우에는 세금공제 및 재정지원을 하고, 자동차업체가 사용냉매의



## 차세대 대체냉매(Fluid-H)를 이용한 자동차 에어컨 개발 동향

GWP를 소비자에게 의무적으로 알리도록 규정하는 내용도 포함되어 있다.

### 대체 냉매 개발 동향 및 냉매 특성

앞서 언급한 바와 같이 차세대 대체냉매의 대표주자로서 유럽업체를 중심으로 검토되어온 CO<sub>2</sub> 냉매는 현행 R-134a 시스템에 비해 작동압력이 5~10배 높아 고압에 견디면서도 내구성이 높은 부품의 신규 개발은 물론, CO<sub>2</sub> 시스템 적용을 위한 신규 투자 및 인프라 구축에 비용이 과다 소요될 것으로 지적됨에 따라, 최대 자동차시장인 북미 자동차업체로부터 큰 호응을 받지 못하고 있었다. 이러한 가운데 EU 환경위원회에서 GWP 150 이하 냉매 사용에 대한 법안이 공표되면서 CO<sub>2</sub> 이외의 대체냉매가 활발히 등장하기 시작했다.

대표적인 것으로, 2006년 3월 JSAE(일본자동차공학회) 심포지엄에서 미국의 Honeywell사가 R-134a와 유사한 물성을 갖는 Fluid-H라는 혼합냉매를 발표하였으며, 같은 해 6월 세계적인 화학회사인 DuPont사에서 DP-1 이라는 혼합냉매 개발을 발표

하면서 대체냉매 시장에 새로 가세하였고, 9월에는 영국의 INEOS Fluor사도 GWP 150 이하인 냉매 개발을 발표하였다.

이들 혼합냉매의 특성은 GWP가 50 이하로 EU의 환경규제치를 만족하면서 냉매 물성은 R-134a와 유사한 특성을 갖고 있기 때문에, 현행 부품 및 설비를 거의 그대로 사용할 수 있다는 장점이 있다.

특히, Fluid-H 냉매는 공비혼합냉매로서 온도 구배가 거의 없어 냉매 리크에 따른 조성비 및 냉매 물성 변화를 무시할 수 있는 것으로 알려져 있다.

또한, 냉동 능력 및 시스템효율은 R-134a 시스템 대비 약 5% 정도 열세를 보이고 있는데, 이것은 현행 부품을 일부 개선할 경우 충분히 극복 가능한 것으로 보고되고 있다. 대체 냉매에 대한 주요 특성을 표 1에 나타내었다.

한편, 2006년 미국에서 개최된 SAE(미국자동차공학회) 심포지엄에서는 2011년부터 시작되는 EU의 환경규제에 대응하기 위하여 자동차업체 및 부품업체를 비롯한 관련업체가 공동으로 CRP-150 (cooperative research program)을 결성하여, 2007년 상반기까지 차세대 대체냉매를 선정하기로 의견을 모으고 국제

<표 1> 대체 냉매 특성 비교

구 분		현행 냉매	대체 냉매		
냉매 명칭		R-134a	CO <sub>2</sub> (R-744)	Fluid-H	DP-1
냉매 특성	ODP	0	0	0	0
	GWP	1,300	1	10	40
	주성분	CH <sub>2</sub> F-CF <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	CF <sub>3</sub> CF-CH <sub>2</sub>	신 냉매
	보조성분			CF <sub>3</sub> I	상용냉매
	온도구배	0℃	0℃	0.02℃	4℃
	독성	없음	실내농도관리(4% 이하)	독성검증중	독성검증중
	인화성	없음	없음	없음	없음
대기 수명	14년	영구 잔존	12일, 4일	-	
열역 학적 특성	끓는점	-26℃	-78.5℃	-30℃	-
	임계점	102℃	31℃	97℃	105℃
	고압운전점, KPa(50℃)	1,470	13,000	1,390	1,380
	냉동능력	1	5.37	0.97	0.91
COP	1	0.48	0.95	0.99	

- ODP (ozone depletion potential) : 오존층 파괴 지수
- GWP (global warming potential) : 지구 온난화 지수

적인 협력 연구를 활발히 추진하고 있다. 이는 2011년 EU의 환경규제에 대응하기 위해서는 2007년 상반기까지는 대체냉매를 결정해야 한다는 자동차업체의 공감대가 형성되었기 때문에 가능하였다.

이러한 가운데, 금년 3월에는 Honeywell과 DuPont 양사가 대체냉매 개발과 관련하여 자원 투자 및 기술교류에 대한 포괄적 협력계약을 발표하였으며, 금년 7월 미국에서 개최되는 SAE 대체냉매 심포지엄에서 대체냉매가 결정될 경우 공동개발을 추진할 것으로 판단된다.

이하에서는 CO<sub>2</sub>를 제외한 대체냉매 중에서 현재 가장 유력한 후보이면서 연구가 활발히 진행되고 있는 Honeywell사의 Fluid-H 냉매에 대한 특성, 성능 평가 결과 및 개발상황을 위주로 설명하고자 한다.

### Fluid-H 냉매의 특성

Fluid-H 냉매는 그림 1에 나타난 특성과 같이 포화증기 온도-압력선이 현 R-134a와 상당히 유사한 경향을 보이고 있으며, 37°C 지점에서 두 냉매의 온

도가 상호 교차하는 현상이 발생한다.

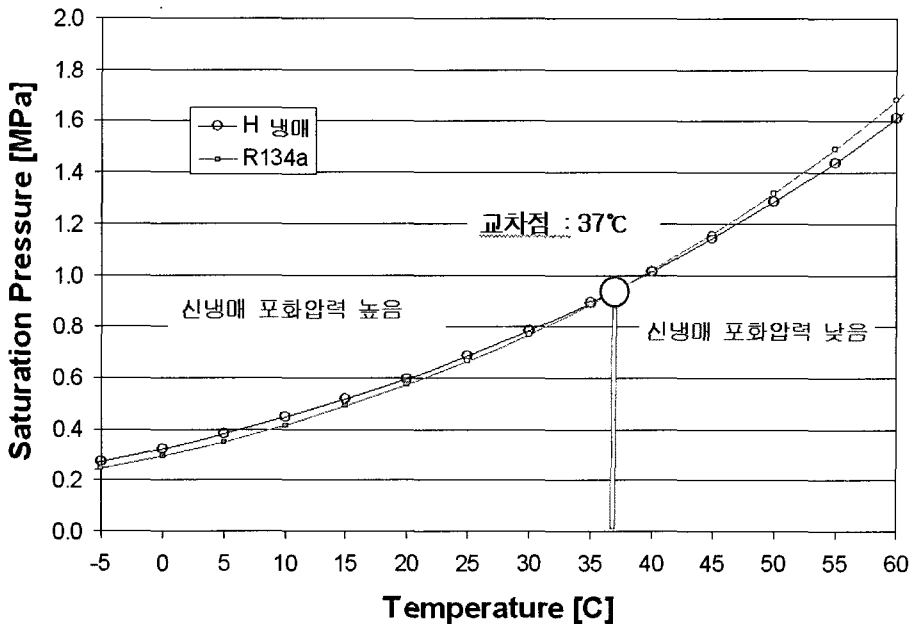
즉, 37°C 이하 영역에서는 Fluid-H 냉매의 포화압력이 낮고, 37°C 이상 영역에서는 포화압력이 높아 Fluid-H 냉매를 사용한 실제 에어컨시스템에서는 압축기의 압축비를 낮게 제어할 수 있는 장점이 있다.

두 냉매의 이론적 냉동사이클을 비교하기 위하여 증발기부 온도를 0°C, 응축기부 온도를 60°C로 가정하고 두 냉매의 냉동능력을 아래와 같이 비교해 보았다. 표 2는 상기 가정조건에서의 냉매의 주요 물성이다.

이상적인 사이클로서 증발기와 응축기에서는 압력 손실 없이 압력이 일정하다고 가정하면, R-134a 대비 Fluid-H 냉매의 증발부 압력은 약 10% 정도 높아 지지만 응축 압력은 4.2% 낮은 것으로 나타났다.

냉동 능력의 중요 요소인 냉매의 증발 잠열은 R-134a 대비 약 69.7%로 낮은 반면, 가스 밀도는 Fluid-H 냉매가 1.436배 높아 시스템 내에서 질량 유량을 증가시켜주는 효과가 있다.

따라서, 두 냉매의 냉동 성능을 냉매 질량유량과 증발 잠열의 곱으로 각각 표현해 보면 다음과 같이 나타낼 수 있다.



[그림 1] 냉매 온도-압력 특성 (R-134a vs. Fluid-H)



## 차세대 대체냉매(Fluid-H)를 이용한 자동차 에어컨 개발 동향

<표 2> 냉매의 주요 물성 데이터 비교 (R-134a vs. Fluid-H)

항 목	R-134a	Fluid-H	비율 (Fluid-H/R-134a)
증발 온도	0℃	0℃	-
응축 온도	60℃	60℃	-
증발 압력(bar)	2.93	3.24	1.107
응축 압력(bar)	16.81	16.10	0.958
가스 밀도	14.52	20.85	1.436
증발 잠열	197.2	137.4	0.697

$$Q_{R-134a} = m_{R-134a} (\Delta h_{R-134a}) \quad (1)$$

$$Q_{Fluid-H} = m_{Fluid-H} (\Delta h_{Fluid-H}) \quad (2)$$

Q : 냉동 능력

m : 냉매 질량 유량

$\Delta h$  : 엔탈피 차이

결국, 표 2의 R-134a 대비 Fluid-H 냉매의 질량 유량비 및 증발 잠열비를 감안할 경우, Fluid-H 냉매의 냉동 성능은 R-134a와 거의 동등한 결과를 얻을 수 있다.

$$Q_{Fluid-H} = 1.436m_{R-134a} (0.697 \Delta h_{R-134a}) \\ \approx 1.0 Q_{R-134a} \quad (3)$$

이것은 실제 냉동사이클에서의 열전달 특성, 열교환기 압력손실, 냉동오일 등의 변수들이 고려 되지 않았으나, Fluid-H 냉매가 R-134a 냉매를 대체 할 가능성이 있음을 보여준다.

### 하니웰 냉매 평가 결과

#### 성능 평가

Fluid-H 냉매를 이용하여 자동차업체 및 부품업체에서 성능평가를 실시하고 있으며, 현행 R-134a 시스템 대비 COP는 95% 수준, 냉동 성능은 97% 수준인 것으로 발표되고 있다.

냉동 성능 향상을 위하여 제안된 사항으로는 시스템에서 냉매 질량유량이 R-134a 대비 약 40% 증가하므로 열교환기 및 에어컨 구성 시스템에서의 압력 손실 개선이 요구되며, 증발 잠열은 R-134a의 70%

수준이기 때문에 증발기 출구측 과열도를 증대시키는 방안 등이 제시되고 있다.

그림 2와 3은 현대자동차의 엑센트용 에어컨시스템을 이용하여 벤치 및 실차 성능을 비교한 것으로, 그림 2는 벤치 성능 시험 결과를, 그림 3은 실차 냉방 성능 시험 결과를 나타낸다.

실차 상태에서 Fluid-H의 냉방 성능을 보면, 주행 모드에서는 R-134a와 동등 수준의 성능을 나타내지만, Idle 운전상태에서는 열세임을 알 수 있다.

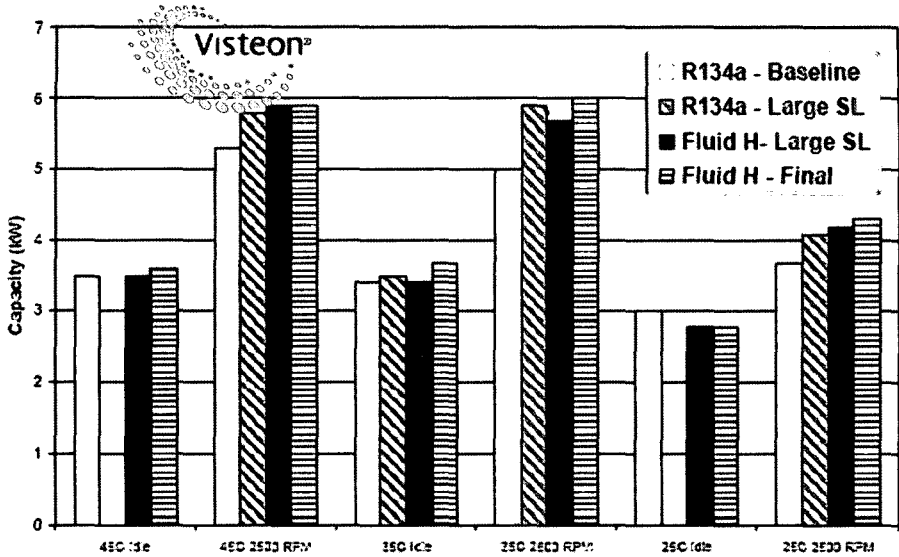
참고로, Fluid-H 냉매시스템 평가에는 압력 손실을 개선한 증발기와 응축기, 그리고 저압 에어컨 라인의 사이즈를 증대한 부품이 사용되었다.

#### 냉매 누설(Leak) 영향성

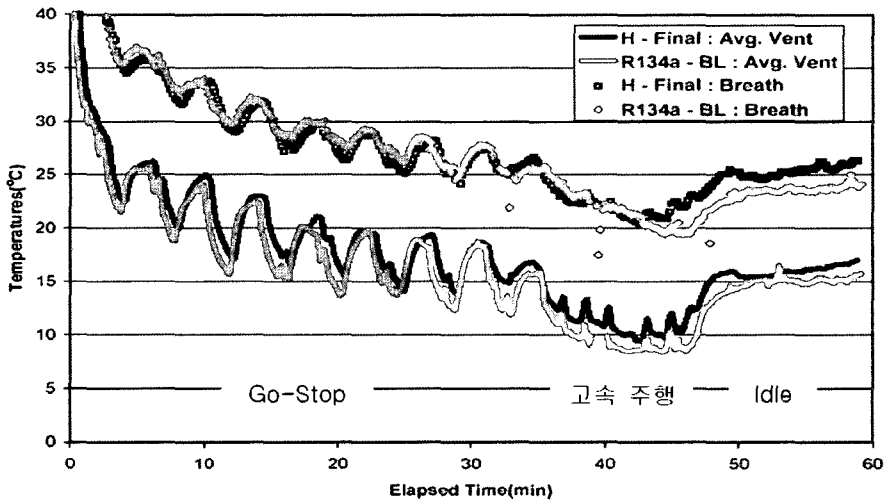
Fluid-H 냉매는 앞에서 설명한 바와 같이 공비혼합 냉매이므로 냉매 리크의 영향은 없을 것으로 예상되지만, 시스템 영향성 검증 방안의 일환으로 냉매 조성비를 주성분 70%, 보조성분 30%를 기준으로 상, 하 5%씩 변경하면서 냉매를 50% 까지 리크시키면서 평가한 결과, 시스템 COP, 냉동 능력, 증발기 압력 변화는 거의 없는 것으로 나타나 냉매 리크에 따른 시스템 안정성은 확보된 것으로 판단된다.

#### 냉매 안정성, 상용성 평가

Fluid-H 냉매에 대한 급성 독성 평가 결과는 안전한 것으로 발표되었으며, 만기 독성 평가는 업계에서 2009년까지 검증이 완료되는 것으로 알려져 있다. 냉매의 대기 중 잔존 시간은 주성분인 CF<sub>3</sub>CF<sub>2</sub>는 약 12일, 보조 성분인 CF<sub>3</sub>는 약 4일 이내에 분해되므로 지구 온난화에 미치는 영향은 미미한 것



[그림 2] 벤치 시스템 냉방 성능 비교

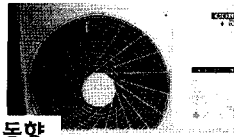


[그림 3] 실차 상태 토출 온도 및 실내 온도(Breath) 비교

으로 발표되었다.

보조성분인 CF<sub>3</sub>I의 경우 기존에 소방 화재 진화용으로 사용하는 물질로 호흡기관, 심장기관 등에 대한 장기 영향성 검증이 필요한 상태이며, 오존 파괴 지수도 0.018 수준으로 국제 규제치 보다 높아 새로운 문제점으로 대두될 가능성이 있다.

부품 안정성과 관련하여 가장 중요한 요소인 냉동 오일과의 상용성 평가는 냉동 오일 업체에서 검증 중이며, 현재까지 검증된 내용으로는 R-134a 냉매에 사용중인 PAG 오일은 일반적인 사용영역에서는 안정되지만, 175°C 이상의 고온 상태에서는 냉매성분이 분해되는 현상이 발생하여 토크 안정제의 첨가가



필요한 상태이므로, 오일업체에서는 Fluid-H와 안정성과 혼합성이 적합한 냉동 오일을 금년까지 개발을 완료할 예정이라고 한다.

그밖에 Rubber류에 대한 상용성 평가결과, NBR 재질이 HNBR 재질 대비 경도 변화율, 체적 변화율, 중량 변화율이 작은 것으로 보고되고 있으며, 건조제의 경우는 현행 XH-7 또는 XH-9 제품과 상용성이 양호한 것으로 알려져 있다.

### 자동차 에어컨용 대체냉매 관련 향후 국내 대응 방안

2006년 JSAE에서 하니웰 Fluid-H 냉매가 발표되기 전까지 국내에서는 CO<sub>2</sub> 냉매를 중심으로 R-152a 계열 냉매를 이용한 에어컨시스템 개발이 추진되어 왔으나, Honeywell사의 Fluid-H 냉매 개발을 계기로 국내 자동차 및 부품업체에서도 해외 업체와 동일한 시점에 개발을 진행할 수 있는 여건이 마련되었으며, 현재 각 업체에서 이에 대한 활발한 연구 개발이 진행되고 있다.

Fluid-H 냉매 대한 인체 유해성, 오존파괴 등의 문제가 남아 있으나, 이는 냉매 업계에서 해결해야 할 사항이며, 자동차 및 부품업계에서는 대체냉매에 대

한 세계적인 개발 경쟁에서 뒤떨어지지 않도록 2008년까지는 시스템 개발을 완료할 필요가 있다.

Fluid-H 냉매의 조기 적용을 위해서는 앞서 언급한 바와 같이 냉동 능력 향상은 물론, COP 열세를 극복하기 위하여 Fluid-H 냉매의 특성에 맞도록 주요 열교환기, TXV 및 재료의 변경이 필요하며, 냉매 질량 유량 증가에 따른 부품 압력 손실을 최소화 하는 시스템적 개선이 요구된다. 시스템 압력 손실 개선을 위하여 냉매 유로 면적 증대, 냉매 유로 단순화, 에어컨 라인 개선 등이 검토되어야 할 것으로 판단된다.

국제적으로는 금년 7월 미국에서 개최되는 SAE 심포지엄에서 차세대 대체냉매 결정이 예정되어 있으나, 현재까지의 진행 상황으로 미루어 볼 때 결정은 쉽지 않을 것으로 판단되며, 경우에 따라서는 유럽 지역에서는 CO<sub>2</sub> 냉매를 적용하고, 북미/일본지역에서는 Fluid-H를 포함한 탄화 수소계 냉매가 적용되는 등 대체냉매가 이원화될 가능성도 배제할 수 없는 실정이다.

따라서, 현 시점에서 국내 자동차 관련 업계에서는 CO<sub>2</sub> 냉매 시스템 및 혼합 냉매 시스템을 병행 개발하여 향후 시장환경 변화에 능동적으로 대응할 수 있도록 준비하는 것이 타당할 것으로 판단된다. (10)