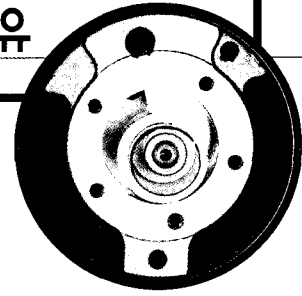


# 냉동공조용 밀폐형 압축기의 대체냉매와 냉동기유

## Alternative Refrigerant and Oil for Hermetic Refrigerant Compressors



글 / 姜太郁  
(Kang, Tae Wook)  
공조냉동기계기술사,  
LG전자 책임연구원.  
E-mail: twkang@lge.com

Until 1996, CFC refrigerants haven't been used because it destroyed ozone that affecting in ecosystem. And HCFC will prohibit until 2020.

In Europe, they attempt to move up its fulfillment.

Until now the change have completed CFC into HFC134a and is considered HCFC into HFC410A and HFC407C. But HFC410A has high condenser temperature and HFC407C is non-azeotropic refrigerant mixture and gliding temperature phenomenon.

New refrigerant oil POE, PVE, PAG was also developed.

HFC 냉매는 오존층파괴 문제로 1996년까지 전폐 되었고, 2020년까지 HCFC 냉매의 사용도 금지될 예정인데, 유럽 등에서는 전폐일정을 2002년까지 앞당기려는 시도가 있다.

현재까지 냉매는 CFC 대체 냉매로 HFC 134a로 변경이 완료되었고, HCFC 대체냉매로 HFC410A 및 HFC407C가 유력하게 검토되고 있다. 그러나 HFC410A는 응축압력이 높아 압축기의 재설계가 필요하고 HFC407C 냉매는 압력은 유사하나 효율이 저하되는 문제점이 있다. 냉매의 변경에 따라 냉동기유도 POE, PVE, PAG 오일 등이 검토되어 일부 POE PVE 오일이 적용되고 있다.

### 1. 냉매에 의한 지구 환경 변화

오존층은 지구의 성층권 외곽에 존재하는 얇은

막으로서 매우 안정적인 화합물인 CFC 냉매가 냉동시스템에서 방출되었을 때 지표 가까이의 대류권에서는 분해되지 않고 오랜 기간이 경과하여 성층권에 도달하고 냉매에 포함된 염소 원자가 오존과 광분해하여 오존층을 파괴하게 되는데 오존층은 태양으로부터 나오는 자외선 복사를 흡수하여 지표면에 도달하기 전에 대부분을 막아주는 역할을 하기 때문에 매우 중요하다.

오존층이 파괴되면 자외선 양이 증가하여 화상 백내장 피부암 등의 발생되고 성층권의 오존이 1% 감소하면 백내장이 0.3~0.6% 증가하며, 기후에도 변화가 있는 것으로 보고되고 있다.

오존층의 파괴는 남극을 중심으로 남반구에서 확대되어 왔으나 2000년 8월에는 북극에서도 오존홀이 파괴된 것이 발견되어 충격을 주고 있다. 냉매는 수십년 동안에 걸쳐서 성층권에 도달하므로 현재에 방출한 냉매가 수십년 후 문제가 된다

# 기 획 특 집

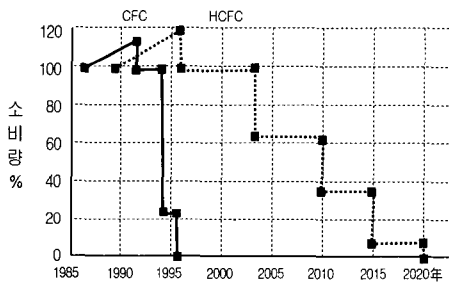
고 할 수 있겠다.

## 2. 대체냉매의 상황

### 2.1 규제 현황

1987년 몬트리올 의정서와 1992년 코펜하겐 개정안에 따라서 CFC(냉장고용 R12 등)와 HCFC(에어컨용 R22 등)의 삭감목표가 정해졌는데 1996년 CFC는 전폐되었고 2020년 HCFC가 전폐될 예정인데 유럽 시장을 중심으로 전폐시기를 2002년까지 앞당길 예정이므로 이 지역의 수출 제품에는 신속한 대응이 필요하다.

〈표 1〉 냉매의 폐지계획



〈표 2〉 냉매의 변천

적용분야	냉 매			냉동기유
	과거	현재	미래	
가정용냉장고	CFC12	HFC134a	HFC134a	POE
산업용냉장고	CFC12	HFC134a	HFC134a	POE
소용량공조기	HCFC22	HCFC22	HFC410A	POE
중용량공조기	HCFC22	HCFC22	HFC407C	POE

〈표 3〉 냉매의 특성치 비교

냉 매	냉매 특성					
	비점(°C)	오존파괴 지수	온난화 계수	50°C 증발 압(MPa)	능력비	COP
CFC12	-30	1.0	8500			
HCFC22	-40.8	0.055	1700	1.97		
HFC134a	-26.3	0.0	1300	1.34	0.62	0.99
HFC410A	-51.4	0.0	1730	3.04	1.42	0.98
HFC407C	-43.6	0.0	1530	2.09	0.99	1.16

냉 매	금속부식도			애리스토타마 변화율				
	SS400	Cu	Al	NBR	EPDM	CR	PTFE	Nylon66
CFC12	<5	<5	<5					
HCFC22	<5	<5	<5	59/65	14/17	5/6	2/2	-1/-6
HFC134a	<5	<5	<5					
HFC410A	<1	<1	<1	2/4	-8/-9	0/1	2/5	0/0
HFC407C	<1	<1	<1	2/1	1/1	1/1	2/2	-1/-1

- 주1) 오존파괴지수 : 약칭 ODP(Ozone Depletion Potential) CFC11을 1로 하였을 때의 중량당 상대값
- 주2) 지구온난화 계수 : 약칭 GWP(Global Warming Potential) 지구온난화에 영향을 주는 능력을 이산화탄소 또는 CFC11을 기준으로 한 질량 기준의 상대치로 100년간 누적 적분값
- 주3) 능력비 : NIST(미국표준협회)의 CYCLE-D 조건(증발온도 0°C, 응축온도 50°C, 과열도 5°C, 과냉도 5°C)에서 R22와의 비율
- 주4) 금속부식도의 단위 : mg/dm<sup>3</sup>/day
- 주5) 애리스토타마 변화율 : 50×5일간 (윤플유 POE-VG32) 중량변화율(%) / 체적변화율(%) HFC410A : HFC32 50%/HFC125 50%

### 2.2 대체 냉매의 특성

소형 냉매 압축기에서는 냉동사이클 내부를 냉매와 냉동기유가 섞여서 순환하고 압축기를 구동하는 모터와 접촉하는 밀폐형 구조가 많기 때문에 압축부와 모터가 분리된 개방형에 대비하여 냉매와 냉동기유의 선정시 많은 주의가 필요하다. 또한 압축기의 수명이 다할 때까지는 수리가 불가하므로 신뢰성이 확보된 냉매와 냉동기유를 선정하는 것이 필요하다.

〈표 4〉 HCFC와 신냉매의 특성 비교

항 목	HFC410A	HFC407C
증발온도 상승(°C)	< 1	7
54°C의 압력(MPa)	3.35	2.19
압축기의 COP(%)	92 ~ 100	95 ~ 101
내압강도 (%)	149 ~ 155	98 ~ 105
열전달률 (%)	110 ~ 150	80 ~ 90
배관경	적다	거의 동일
시스템 압력 (%)	98 ~ 106	95 ~ 100
시스템 코스트	낮음	거의 동일
압축기 설계변경 정도	크다	적다

HFC410A(에어컨용) 냉매는 의사공비 혼합냉

매(포화상태에 달할 때 혼합냉매를 구성하고 있는 각 냉매의 비점온도가 거의 같은 냉매)로서 HCFC에 대비하여 압력이 약 50% 정도 높고 냉동능력은 약 40~50% 상승하지만 효율은 약 15% 저하한다.

또한 압력손실이 작아지게 되어 소형 경량화가 가능하지만 냉매 경로의 내압강도를 높이는 것이 필요하다. 열전달률이 HCFC와 비교하여 10~50%정도 우수하므로 냉매유량이 작아지는 한편 열교환기는 소형이면서 가격이 싸지게 된다. 한 예로서 공조용 압축기에서 HCFC는 실린더의 용적이 13.4 cc/rev일 때 R410A 냉매를 사용하면 동일 회전수를 기준으로 9.4 cc/rev(용적비율 70%)로 가능하다. 역으로 실린더 용적이 동일하면 동일한 성능을 얻기 위해 회전수를 약 30% 낮게 설계하는 것이 가능하다.

HFC407C 냉매는 비공비혼합 냉매로서 특성은 거의 HCFC와 동일하다. 따라서, 현재 사용하고 있는 HCFC냉매 압축기의 구조를 대폭 변경하지 않고 그대로 사용할 수 있는 장점이 있지만 열전달률이 HCFC 대비 10~20% 낮아지고 증발온도가 약 7°C 상승되므로 COP는 HCFC22대비 나빠져서 열교환기의 전열면적도 커지게 된다.

HFC410A, HFC407C 모두 냉매 중에 염소원자를 포함하고 있지 않기 때문에 냉매에 의한 윤활작용이 저하되고 압축기 습동부의 윤활이 나빠진다. 따라서 냉동기유는 선택할 때는 고윤활성에 초점을 두고 선택할 필요가 있다.

HFC 냉매의 냉동기유로 POE를 사용하는 경우는 HCFC22와 광유를 조합하여 사용할 때와 비교하여 유전율이 커지게 된다. 따라서 운전중 압축기 내부에서 누설전류가 증가하므로 모터 권선의 사양 선정시 고려하여야 한다.

독일을 비롯한 유럽 각 나라는 탄화수소계의 자연냉매를 사용한 HC790(프로판) 냉장고가 약 90

%의 시장을 점유하고 있지만 고압가스 안전관리법에 의한 냉매의 누설규제가 엄격하고, 암모니아 냉매는 오래 전에 폐지되었기 때문에 자연냉매 관련 기술자가 거의 없어서 지금부터는 혼합냉매가 개발에 주력하고 있다.

R134a(냉장고용) 냉매는 기존에 사용하던 광유와 조합할 때 상용성이 부족하기 때문에 저온의 증발기에서는 냉동기유의 점도가 상승하여 체류가 발생하는 현상으로 압축기로 냉동기유의 회수 성능이 좋지 않다. 또한 흡습성이 커서 공기중의 수분을 흡수하기 쉽고, 전기절연성이 나쁘다.

염소를 포함하지 않기 때문에 압축기의 습동부에 염소계의 윤활막을 생성할 수가 없다.

즉 경계 윤활 상태에서 염화물에 의해 생성되는 극압효과가 없으므로 윤활성이 나빠진다.

이러한 특성 때문에 냉동기유를 종래의 광유에서 변성 에스테르유로 교체하였다.

〈표 5〉 CFC 냉매와 냉동기유

냉 매	HFC134a	CFC12
	R134a	R12
화학식	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>
극 성	大	小
상용성	불용	상용

### 3. 대체 냉매 냉동기유의 동향

냉매용 압축기의 개발시 가장 문제가 되는 것은 적합한 냉동기유의 선정이다.

현재까지 HFC계 혼합 냉매(HFC134a, HFC410A, HFC407C)용으로 개발된 냉동기유로서는 POE(Polyolester), PVE(Polyvinylether), PAG(Polyalkyleneglycol) 등을 들 수 있다.

#### 3.1 POE(Polyolester)

열안정성이 높고 알코올과 지방산이 조합된 에

# 기 획 특 집

〈표 6〉 냉동기유의 특성 비교

냉 매	CFC12	HFC134a		HFC410A	
	광유	PAG	POE	POE	PVE
운 활 유	○	○	○	○	○
상 용 성	◎	◎	○	○	○
흡 습 성	◎	×	△	△	○
전 기 절 연 성	◎	×	○	○	○
운 활 특 성	◎	△	◎	○	○
화 학 적 안 정 성	○	○	○	○	○
저 온 유 동 성	○		○		
열 안 정 성	○		○		
산 화 안 정 성	○		○		
첨 가 제 효 과	△~○		◎		
고 무 · 플 라 스틱	△~○		△		
사 양 온 도 범 위	-25~150		-50~300		

스테르유로서 원래 제트 엔진의 윤활제로서 사용되어 왔다. 에스테르는 금속면에 흡착되는 특성을 갖고 있기 때문에 윤활성능이 높다.

원료의 알코올과 수지산의 종류를 변화시키면 여러 가지 POE를 얻을 수 있지만 종래 사용해왔던 광유와 비교하면 냉매와 상용성이 부족하고 또한 알코올과 수지산의 종류에 따라 점도와 상용성이 결정되기 때문에 동일 점도의 냉매와 상용성을 조정하기가 어렵다. 상용성이 나빠다는 것은 냉매에 용해된 냉동기유가 압축기로 잘 되 돌아오지 않게 되어 압축기 내부의 윤활성이 저하한다. 이를 해결하기 위하여 첨가제로서 TCP (Trichlorophosphate) 등의 마모방지제를 사용하는 한편 크랭크 축과 피스톤에는 내마모성을 향상하기 위하여 인산계의 표면 피막처리를 한다.

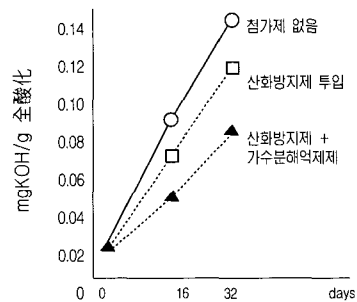
한편 POE는, 에스테르 화합물이므로 흡습성이 높으며 따라서 가수분해가 쉽다. 그러므로 냉매 시스템 내에 수분이 있으면, 슬러지가 생성되어 모세관 막힘이 발생하기 쉽기 때문에 오염(부품의 잔재물과 기름 오염)을 엄격하게 관리하여야 한다.

통상, 전술한 마모 방지제에 추가로 산화방지제와 가수분해 억제제를 첨가하여 사용한다.

또한 POE는 전기절연성도 떨어지기 때문에 모터 절연재의 선정에도 주의가 필요하다.



〈그림 1〉 슬러지 발생 메커니즘



〈그림 2〉 첨가제의 효과

〈표 7〉 TCP 유무에 따른 마모시험 결과

	고정편마모폭mm	회전편마모폭μm	전산화
TCP첨가	0.25	-1	0.02
TCP비첨가	0.65	-4	0.11

〈표 8〉 POE의 성능 개선 요소

1. 첨가제에 의한 특수 폴리올 에스테르화
2. 습동재료의 변경
3. 절연재료의 변경
4. 올리고마(저중합체 성분) 함유량이 적은 절연필름 사용

POE를 구성하는 수지산에는 직쇄 지방산과 측쇄 지방산이 있다.

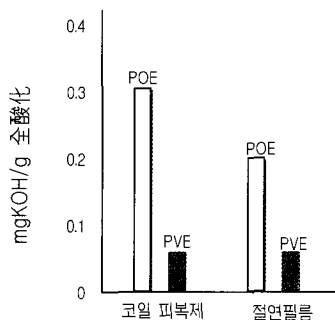
직쇄 지방산은 윤활성, 열안정성이 우수하지만, 가수분해 안정성, 상용성이 낮고 역으로 측쇄 지방산은 윤활성 열안정성이 떨어지지만 가수분해 안정성, 상용성이 우수하다. 통상, 윤활성 열안정성 가수분해 안정성은 첨가제로서 조절할 수 있

는데 상용성이 높은 축쇄 지방산을 채용한다.

첨가제로서 마모 방지제(극압제)에는 인계를 사용하는데 정인산 에스테르는 적정 첨가량 범위가 넓어서(0.1~5 Wt%) 주로 사용된다.

아인산 에스테르, 산성인산에스테르는 적정 첨가량의 폭이 좁고 (0.05~0.1 Wt%) 과다하게 투입하면 부식 마모를 일으키므로 초기 용합 촉진용으로 미량 첨가한다.

POE 냉동기유를 사용할 때는 전기절연성 향상을 위해 마그네트 와이어의 절연 피복제를 종래 폴리에스테르/나일론의 이중피복으로 사용하던 것을 에스테르 이미드/아미드이미드 이중피복으로 변경하고 슬로트 절연지를 표준 PET 필름에서 저 올리고마 PET로 변경한 예가 있다.



〈그림 3〉 온도 그래프에 의한 모터 재료시험  
(조건: 150°C × 14일(R407C))

### 3.2 PVE(Polyvinylether)

PVE는 화학 구조적으로 가수분해되지 않는 구조이다. 즉 물이 존재하여 금속석출을 발생시킬 위험이 없다. 중합도에 의한 점도조정이 가능하고 냉매와의 상용성 조정이 가능한 특징을 가지고 있다. 전기절연성도 우수하다. POE와 같이 첨가제를 추가하여 여러 가지 유용한 특성을 발휘할 수 있으므로 공조용 압축기의 대체냉매용 냉동기유로서 유망하다. 국내에서 생산되는 에어컨 제품에서도 일부 현재 사용되고 있는 냉동기유이다.

### 3.3 PAG(Polyalkyleneglycol)

상용성은 좋으나 체적 고유 저항치가 낮고 전기 절연성이 나쁘므로 현재까지의 검토결과로는 사용하기 어렵다.

## 4. 맺음말

대체냉매 및 냉동기유의 개발은 단순히 냉매의 사용규제에 대응한다는 측면 뿐만 아니라 하나 뿐인 지구를 우리의 후손에게 환경을 유지하여 물려준다는 관점에서 서둘러야 할 반드시 필요한 일이다.

아직 기존에 사용해 왔던 냉매보다 우수한 단일 냉매를 찾지 못하여 혼합냉매를 사용하고 있고, 함께 냉동사이클 내부를 순환하는 냉동기유 및 모터의 절연재의 선정에 어려움이 있으나 많은 부분이 해결되어 냉장고에는 R134a 냉매가 본격 적용중이고 가정용 공조기에도 현재 유럽시장을 중심으로 일부 대체냉매 제품이 상용화되었다.

한편 지구 온난화 문제도 냉매에 의해서 발생하는 것으로 의심되고 있어서 이에 대한 평가와 대체물질 개발도 추진되고 있다.

(원고 접수일 2001. 3. 20)

### 참고 문헌

1. 특허청, 2001 "2000 신기술 동향조사 보고서(냉동공조)" 한국특허청.
2. ASHRAE, 1997, "ASHRAE Handbook-Fundamentals" American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers".
3. 김만희, 1996, "HFC계 혼합냉매 적용 공조기의 개발동향", 냉동공조기술 Vol 13, No 1, 한국냉동공조기술협회, pp. 80~92.
4. 龜井敏夫, 2000, 압축기용 대체냉매와 냉동기유의 동향, KMCC