

## CFC대체용 Chiller 개발동향

### Trends in Development of Chiller for CFC Alternatives

김 광 제  
K. J. Kim  
(주) 경원세기 설계부



- 1959 년생
- 냉동기기류 설계 업무를 담당하고 있으며, 각종 열 펌프 응용 시스템에 관심이 많음

#### 1. 머리말

CFC 11 냉매를 사용하는 원심식 Chiller는 국내에서 공조용 및 산업용에 많이 사용되어 왔으며, 근래에 들어와서 공조용으로 흡수식 냉온수기가 많이 보급되고 있지만, 아직 원심식 Chiller는 산업용 거의 전체와 일부 공조용에 애용되고 있다.

그런데 CFC 11을 포함한 특정 프레온 사용에 대한 규제가 당면의 긴급한 문제로 되어, 1995년부터 그 생산량을 감축하게 되어 있고, 2000년까지는 제로(0)로 하게 되어 있다. 그리고 최근에는, 이를 앞당기자는 의견이 강하여져 1995년까지 전폐하여야 한다는 의견도 나오고 있다. 또한 미국을 필두로 하는 각국의 냉동공조공업 협회로 구성된 ICARMA(냉동공조공업 국제평의회)에서도 1996년부터 전폐하는 내용을 제안하였다.

본 글에서는 이러한 CFC 11 냉매의 사용규제에 대응할 수 있는 대체냉매 이용 Chiller의 개발기술 현황에 대하여, 각 메이커의 발표자료 및 카다로그 등의 내용을 정리하여 보았다.

#### 2. HCFC-123 냉매사용 원심식 Chiller의 개발 동향

CFC-11 냉매의 대체용으로 현재로서 가장 유력한 것은 HCFC-123 냉매이다. HCFC-123 냉매는 CFC-11과 유사한 물리적 화학적 성질을 가지고 있으면서, 오존층 파괴지수는 1/50배 정도이며, 지구온난화계수는 1/50~1/55 정도로 우수하다. 그러나 마취성이 있어 인체에 유해하다는 것과, 용해력이 커 가스켓, O-RING 및 모터의 절연물질들을 열화시키므로, 이에 대한 내구성이 있는 것으로 사용하여야 한다는 것, 기존 CFC-11 냉매 사용시에 비하여 냉동기의 성능이 떨어진다는 것 등의 단점을 가지고 있다. 따라서 각 메이커에서는 이들 문제의 해결을 위하여 많은 연구를 행하였으며, 현재는 대부분의 메이커에서 문제점에 대한 해결방안을 수립 완료하였으며, 몇몇 메이커에서는 실제 제작 판매하여 가동중에 있기도 하다. 그러나 현재 각 메이커에서 판매하고 있는 것은 CFC-11과 HCFC-123를 교체 사용할 수 있도록 한 겸용형이다. 이는 현재 HCFC-123 냉매가 상업적 생

표 1 냉매의 성질과 상태 비교

명 칭	R-11 (CFC-11)	R-123 (HCFC-123)
화 학 식	$CCl_3F$	$C_2HCl_2F_3$
비 점 $^{\circ}C$	23.8	27.5
오존층 파괴계수 (ODP)	1.0	0.02
지구 온난화계수 (GWP)	1.0	0.017~0.02
0 $^{\circ}C$ 에서의 포화압력(절대) $kgf/cm^3$	0.41	0.34
40 $^{\circ}C$ 에서의 포화압력(절대) $kgf/cm^3$	1.77	1.59
0 $^{\circ}C$ 에서의 냉매가스 비체적 $m^3/kg$	0.403	0.434
0 $^{\circ}C$ 증발, 40 $^{\circ}C$ 응축때의 이론 COP (성적계수) 효율=0.8로 가정	4.76	4.73
냉 동 효 과 $kJ/kg$	154.2	139.8
100USRT당의 냉매증기흡입풍량 $m^3/S$	0.919	1.096
폴리트ropic 헤드 Hpm	2639	2424

산에 도달하지 못하였기 때문에 값이 비싸다는 것과, 아직 장기독성테스트(국제공동안전성확인시험으로 약어로 PAFT라 하며, HCFC-123에 대한 시험은 1993년까지 완료예정)가 완료되지 않았다는 것 때문에 HCFC-123 냉매 전용기를 생산 판매한다는 것은, 시기적으로 이르다는 판단에 따른 것 같다. 대부분의 메이커는 이들 문제가 완전히 해결되는 1994년경부터 HCFC-123 전용제품을 판매할 계획으로 밝히고 있다.

CFC-11 냉매와 그와 유사한 성질을 가지고 있는 HCFC-123 대체용 냉매의 성질을 비교하면 표 1과 같다.

대체냉매의 사용에 따른 문제점과 그 대응책 개발 현황을 CFC-11과 HCFC-123을 서로 비교하여 설명한다면, 다음과 같다.

### 2.1 냉각능력 감소

일반적으로 냉각능력은 약 10~15% 정도 감소한다고 하고 있다.

동일온도조건에서 CFC-11에 비하여 HCFC-123 냉매는 단위 비체적은 크고, 냉동효과가 떨어지므로 단위냉각능력당의 순환냉매량이 많아진다. 따라서 압축기에서의 냉매증기흡입풍량이 18~22% 정도 더 많아진다. 그리고 소요 폴리트로픽 헤드는 8~9% 정도 감소하게 된다. 결과적으로 냉각능력은 약 15~18% 정도 감소하

게 된다. 만일 압축기의 임펠러 원주속도를 보정하여 풍량처리능력을 높여주게 되면 용량감소량은 약 10~15% 정도로 줄일 수 있다. 실제 메이커들은 성능감소에 대한 해결책으로 압축기의 회전수를 높여 냉매풍량처리능력을 높이는 방법과 증발기와 응축기의 열교환 효율을 높여 압축헤드를 낮추는 방법을 혼용하거나 선택적으로 채택하고 있는 것으로 보여진다.

### 2.2 COP(성적계수)의 변화

COP(성적계수)는 -1~5% 정도 감소한다고 한다.

특히 2단 압축식으로 하여 에코노마이저 사이클을 채용한 경우는 거의 동등한 값이 된다.

### 2.3 윤활유

냉매를 CFC-11에서 HCFC-123로 대체하는 경우 윤활유에 대하여 고려할 사항은 아래와 같다.

- (1) 냉매와 윤활유와의 상용성(相溶性)이 파악되어 있고, 베어링 기타의 윤활부위에서 적정한 점도를 가지고 있을 것.
- (2) 윤활유가 냉매와 금속이 공존하는 상태에서 열적 화학적 안정성이 우수할 것.
- (3) 소포성능(消泡性能)이 우수할 것.

(4) 윤택성이 우수할 것.

상기의 성능들을 확인하기 위하여서는 압력-온도에 따른 용해도와 점도 시험, 열적 화학적 안정성 시험, 기포발생성 및 윤택성 시험 등을 행하여야 한다.

미국의 듀폰사에서 시험한 결과에 따르면, Alkyl benzene, Paraffinic 및 Naphthenic 오일 등이 사용 가능하다고 한다(표 2 참조). 그리고 이들 오일과 금속과의 화학적 안정성은 CFC-11 사용시의 경우보다 우수하였다고 한다(표 3 참조).

일본의 Evara사는 첨가 터어빈 오일(ISO VG 68)을 섞어 기포발생시험을 JIS K2518에 따라 행한 결과, CFC-11과 HCFC-123가 동등한 특성을 나타냈다고 한다. 또한 윤택성의 시험에서도 양호한 결과에 얻어졌으며, 마모량에 있어서는 HCFC-123이 약간 작아서, 근소하지만 HCFC-123가 더 우수하다는 판정을 하였다.

표 2 HCFC-123 Oil Solubility

Target: Miscible from -10°C to 93°C for fluorocarbon/oil mixtures containing 30, 60, and 90 wt. % HCFC-123

- 500 SUS Alkyl Benzene Oil
- 500 SUS Paraffin Oil
- 500 SUS Naphthenic Oil
- 125 SUS Dialkybenzene Oil

표 3 Metals/Oils Stability Comparisons

CFC-11 vs HCFC-123									
2.95 days at 304°F, Steel 1010/Copper/Aluminum									
No moisture, 255 SUS Naphthenic Oil									
FC	Oil	Wt. & Hardes			Effect Rating				
		Cl-	Br-	F-	Liq	Fe	Cu	Al	
11	Y	1.7	Nil	.42	3	1	3	1	
123	Y	.08	Nil	.003	0+	1+	2	0	
11	N	4.1	Nil	.12	4	1	4	1	
123	N	.007	Nil	Nil	0	1	0	1	

- Rating: 0 No change  
 1 Very slight liquid/coupon  
 2 Liquid light brown, slight coupon tarnish  
 3 Liquid brown, slight brown deposits on Cu  
 4 Opaque liquid, moderate brown deposits on Cu  
 5 Opaque liquid, severe deposits

실제에 있어서 몇몇 메이커의 데이터에 따르면 기존의 윤활유를 그대로 사용하거나, 좀 더 고순도의 것을 사용하면 되는 것으로 나타나고 있다.

2.4 기밀부분용 재료

HCFC-123은 CFC-11에 비하여 용해성이 크므로, O-RING이나 GASKET 등의 고분자 재료들을 팽윤(膨潤)시키거나 용해시키므로, 기밀성능이 떨어져 누설을 유발하기가 쉽다. 따라서 각종의 O-RING과 GASKET 종류에 대하여 침지(浸漬)테스트를 실시하여, 종래의 것보다 기밀성이 우수한 재료를 선정하여야 한다.

미국의 듀폰사에서 발표한 자료로서 아래의 표 4와 표 5가 있다.

일본의 Evara사에서 발표한 자료로서 아래의 표 6가 있다.

각 메이커에 따르면 기존의 것을 그대로 사

표 4 Elastomer Compatibility CFC-11 vs HCFC-123

	Exposure to Refrigerant for 7 days at 130°F			
	Ambient Air Exposure for 21 days			
	Length Change (%)		Weight Change (%)	
	CFC 11	HCFC-123	CFC 11	HCFC-123
ADIPRENE <sup>®</sup> C Urethane	7	56	-3	-5
NORDEL <sup>®</sup> Hydrocarbon Rubber	12	13	-9	-6
Natural Rubber	31	39	-4	-4
Butyl	16	11	4	-2
BUNA N	1	50	0	-4
BUNA S	13	26	-8	-9
NEOPRENE W	2	10	-8	-9
VITON <sup>®</sup> A Fluoroelastomer	2	23	0	5
THIOKOL <sup>®</sup> FA Polysulfide	0	7	-1	-2
Silicone	33	28	-2	-2
HYPALON <sup>®</sup> Chlorosulfinated Polyethylene	2	12	-2	-5

NORDEL<sup>®</sup>, VITON<sup>®</sup>, and HYPALON<sup>®</sup> are Du Pont registered trademarks. ADIPRENE<sup>®</sup> is a Uniruyal registered trademark. THIOKOL<sup>®</sup> FA is a Morton Thiokol registered trademark.

표 5 CFC-11 vs. HCFC-123 Pfastlcs Compa-tibility

Material	4 Hours @ 75°F		100 Hours @ 130°F	
	CFC-11	HCFC-123	CFC-11	HCFC-123
ALATHON <sup>®</sup> 7150 Linear Polyethylene	0	0	1	1
ALATHON <sup>®</sup> 9140 Polypropylene	0	0	2	2
DELIRIN <sup>®</sup> Acetal Resin	0	0	0	1
KRALASTIC <sup>®</sup> ABS Polymer	0	4	0	4
LEXAN <sup>®</sup> Polycarbonate	0	4	0	4
LUCITE <sup>®</sup> Methyl methacrylate	0	4	0	4
Polyvinyl Chloride	0	0	1	1
STYRON <sup>®</sup> Polystyrene	0	4	4	4
TEFLON <sup>®</sup> TFE Fluoropolymer Resin	0	0	0	2
ZYTEL <sup>®</sup> 101 Nylon	0	0	0	0

ALATHON<sup>®</sup>, DELIRIN<sup>®</sup>, LUCITE<sup>®</sup>, TERON<sup>®</sup> TFE, and ZYTEL<sup>®</sup> are Du Pont registered trademarks.  
 KRALASTIC<sup>®</sup> is a USS Chemicals registered trademark.  
 LEXAN<sup>®</sup> is a General Electric registered trademark.  
 STYRON<sup>®</sup> is a Dow Chemical registered trademark.

Codes: 0-Suitable for use in contact with the fluorocarbon  
 1-Probably suitable for use  
 2-Probably not suitable for use  
 3-Not suitable for use  
 4-Plastic disintegrated or dissolved in liquid

용하여도 무방한 것도 있고, 새로운 재질로 교체하여야 하는 것도 있다.

2.5 주전동기의 절연열화(絶緣劣化)

밀폐형 원심식 Chiller에서는 전동기를 냉각하기 위해, 전동기내에 응축기의 냉매액을 공급하여 열을 흡수 증발시켜 증발기로 되돌아가게 하고 있다. 따라서 냉매와 절연재료와의 상호간 성질이 미치는 영향에 주의하여야 한다. 그런데 HCFC-123은 용해성이 크기 때문에 CFC-11에 사용하던 절연재를 그대로 HCFC-123에 사용가능한가를 조사하여야 한다. 발표 자료에 따르면, 재질을 변경한 메이커가 많으며, 일부 메이커는 기존 제품을 그대로 사용가능한 것으

표 6 냉매 HCFC-123의 고무에의 영향 (시험조건 50°C에서 2주간 침지<浸紙>)

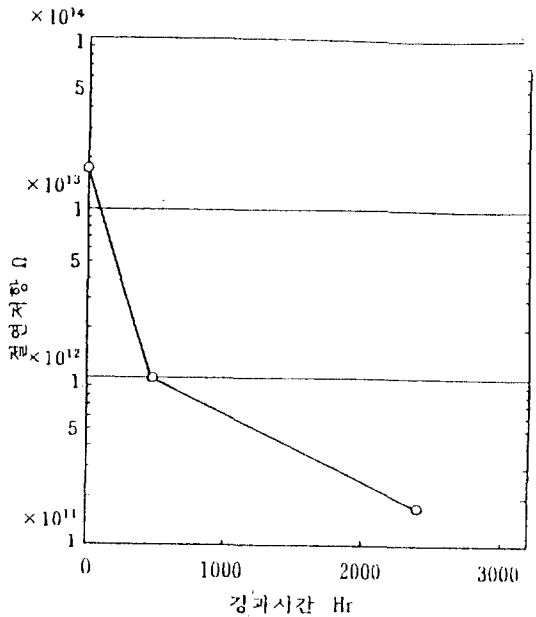
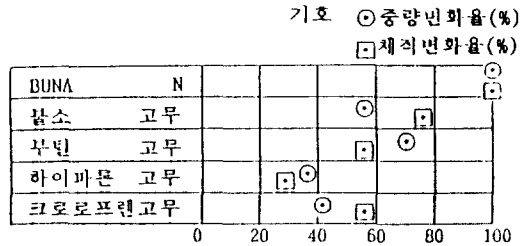


그림 1 절연저항의 시간경과에 따른 변화 (CFC-11용 절연재를 HCFC-123에 사용한 경우)

로 발표하고 있다. 메이커에 따라서는 6600볼트 정도의 고전압의 경우는 절연재의 약화성에 의한 전기안전문제가 발생할 가능성이 크기 때문에, 안전상 고전압의 사용을 피하는 것이 좋다고 하는 메이커도 있다. 그림 1은 일본의 Evara 사가 실시한 HCFC-123 냉매에서의 차체 제품의 전동기 절연저항 시간경과에 따른 변화를 측정 결과이다. 시간 경과와 함께 저항치가 떨어지는 것을 확인할 수 있다.

## 2.6 열교환기의 성능 및 구조 개선

### (1) 전열관의 성능

HCFC-123 냉매와 CFC-11 냉매의 전열성능에 영향을 미치는 요소들을 비교하면, 아래의 표와 같다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 HCFC-123의 경우가 증발잠열은 작고 비열은 크며, 열전도율은 작고, 점도는 크다. 그리고 원심식 Chiller의 증발기와 응축기에서 냉매는 상변화를 동반하는 열교환을 하고 있다. 따라서 일반적으로 냉매 측의 열전달율은 CFC-11 냉매시보다 떨어지게 된다.

각 메이커에는 동일 열교환 능력을 유지하기 위하여 전열면적을 크게 하거나, 전열관의 형상을 개선함으로써 성능을 동일하게 유지한다고 발표하고 있다.

### (2) 열교환기 내부 개선

HCFC-123 냉매는 앞에서 언급한 바와 같이 비체적이 약 18~22% 더 크다. 따라서 증발기에서는 냉매액의 MIST-UP이 일어나기 쉽다. 또한 냉매증기계통(즉 증발기에서 증발한 후 압축기에 흡입되기까지의 흐름계통과 압축기에서 토출된 후 응축기에서 응축될 때 까지의 흐름계통)에서의 마찰손실이 증가함에 따라, 냉동기의 성능이 저하한다. 그러므로 냉매증기계통의 냉매증기유속을 제한치 이하로 유지할 수 있도록 열교환기 내부공간을 크게 하여야 한다.

## 2.7 냉매 누설량 감소화

부품의 교환이나 보수시에 냉매의 누설을 줄이기 위하여, 각종 부품의 전후에 밸브를 부착하고 있다.

- (1) 필터류의 전후에 밸브 부착.
- (2) 압력계용 밸브 부착.
- (3) 압력 스위치용 밸브 부착.

표 7 열전달 관련 냉매 물성치 비교(30℃온도 기준)

냉매 종류		HCFC-123	CFC-11
증발 잠열	Kcal/Kg	40.06	44.96
비열(포화액)	Kcal/Kg/°K	0.264	0.231
열전도율(포화액)	Kcal/mh°K	0.641	0.740
점도(포화액)	CP	0.397	0.392

## 3. 맺음말

CFC-11을 대체하는 냉매인 HCFC-123를 사용하는 Chiller에 대한 각 메이커들의 기술개발은 완성되어 있거나, 완성단계에 거의 이르러 있다고 판단된다. 그리고 메이커들은 현재 검용기의 개발과 더불어, 대체냉매 전용의 압축기와 열교환기를 개발하고 있어, COP가 보다 개선된 HCFC-123 전용의 제품이 기대되고 있다.

원심식 Chiller는 신뢰성이 높다는 점, 취급이 용이하다는 점, 저온냉각이 가능하다는 점, 부하변동에 대한 추종성이 좋다는 점, 중-대규모의 냉각에 최적이라는 점 등의 많은 장점들 때문에 앞으로도 많은 수요가 예상된다.

대체냉매용 Chiller의 개발이라고 하는 계기를 기회로 하여 국내의 냉동기 설계제조기술의 자립도는 크게 향상 발전하였으며, 앞으로 더욱 발전될 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. Susumu Sakada 외 3명, 1992년, "CFC-11/HCFC-123 兼用 TURBO 冷凍機", 일본냉동협회 冷凍紙, Vol.67, No.773, pp.4-14.
2. 일본냉동협회 프레온대책위원회 냉매설비분과회, 1990년, "특정프레온의 방출량삭감에 관한 냉동공조기기의 현황", 일본냉동협회 냉동잡지, Vol.65, No.749, pp.13-30.
3. CFC Policy Report : Joint Declaration by ICA-RMA and guidelines for Japan's countermeasure, The japan refrigeration and air conditioning industry association, 1992년 3월, No.371, pp.8-17.
4. 한국듀폰(주)화학제품부, "Applications testing of HCFC-123 and HFC-134a".