

친환경 규제에 따른 철도차량 에어컨 냉매선정 및 특성에 대한 고찰  
**The Survey for the alternate refrigerants of a train HVAC considering  
the restriction for "Environment-Friendly".**

조용성\*  
Cho, Yong-Sung

박재홍\*\*  
Park, Jae-Hong

염규학\*\*\*  
Yeom, Gyu-Hak

---

**ABSTRACT**

The HVAC takes the most important role in the Electric Multiple Unit for maintaining the healthy and comfortable indoor environment, however we also should consider the outdoor environment in terms of "environment's friendly" because the refrigerant used for the HVAC system is strongly related with the issues of "the Protection of environment" such as "the Global Warming" and "The Ozone layer Depletion". Therefore we survey (1)the potentially harmful impact on human health and the environment through modification of the ozone layer and the Green house effect, and (2)the international and the domestic environment's policies and (3)the potential alternative refrigerants usable for the EMU HVAC in terms of "the environment friendly properties", "the performance" and (4) "the applicabilities of the refrigerant for the EMU HVAC".

---

**1. 서 론**

HVAC 시스템은 전동차의 쾌적한 실내 공기질을 유지시키는 가장 중요한 설비이지만, “몬트리올 의정서”, “교토 의정서” 등의 국제 환경규제 조약들이 발효되고, 국내에서는 산업자원부에서는 지난 '06. 12. 12일 『오존층보호를위한특정물질의제조규제등에관한법률』 시행령 제13조의 규정에 따라 특정물질의 생산·수입과 판매량을 다음과 같이 배정한 시점에 HVAC 시스템에 사용되는 냉매가 “지구온난화”와 “지구오존층 파괴”와 밀접한 관계를 갖고 있기 때문에 친환경이라는 측면으로도 역시 충분한 검토를 해야 한다.

따라서 본 연구는 (1) 먼저 “오존층파괴” 메커니즘과 그로인한 인체건강 및 환경에 미치는 영향과 역시 “지구온난화 현상”에 의해 다가올 미래에 발생할 위험한 자연재해를 살펴보고, (2)친환경을 위해 규제하고 있는 국내/외 환경조약들의 내용들을 검토하여 향후 국내 철도차량 HVAC 냉매선정에 기준을 마련하고자 하며, (3)대표적인 환경 친화적인 대체냉매들의 특성들을 기존냉매와 비교 및 동시에 대체냉매를 적용한 HVAC 시스템의 특성 역시 검토하고, (4) 끝으로 이러한 대체냉매들을 실제 철도차량 HVAC에 적용하는 데에 있어서의 제약적인 문제와 주의 점에 대해 고찰하고자 한다.

---

\* (주)로템, 기술연구소, 비회원

E-mail : sun0585@rotem.co.kr

TEL : (031)460-1361 FAX : (031)460-1789

\*\* (주)로템, 기술연구소

\*\*\* (주)로템, 기술연구소

## 2. 지구의 환경을 위협하는 두 가지 주요 현상

### 2.1 오존층파괴(Ozone Deplete) 현상

#### 2.1.1 오존층 파괴 과정 및 파괴물질

성층권에서 오존의 농도가 높은 고도 20~30km 부근을 오존층이라 하는데, 이 오존층은 태양 광선 속에 포함된 유해 자외선을 흡수하여 지상의 생물체를 보호하는 역할을 한다. 오존층을 파괴 시키는 주요 물질은 프레온(CFC13) 가스와 같이 지상에서는 매우 안정한 물질로 무색, 무취, 가연성과 독성이 없는 기체로, 냉장고나 에어컨의 냉매, 스프레이의 분사제, 반도체의 세정제 등으로 이용되는 물질이며 이와 같은 프레온 가스는 성층권까지 도달하는 동안에는 분해되지 않으나 성층권에 도달하면 자외선에 의해 분해되어 염소 원자를 배출하게 되고 이때, 그림 1.에 도식한 과정과 같이 염소(Cl) 원자 1개당 약 10만개의 오존 분자를 파괴하게 된다.(Cl + O<sub>3</sub> → ClO + O<sub>2</sub>)

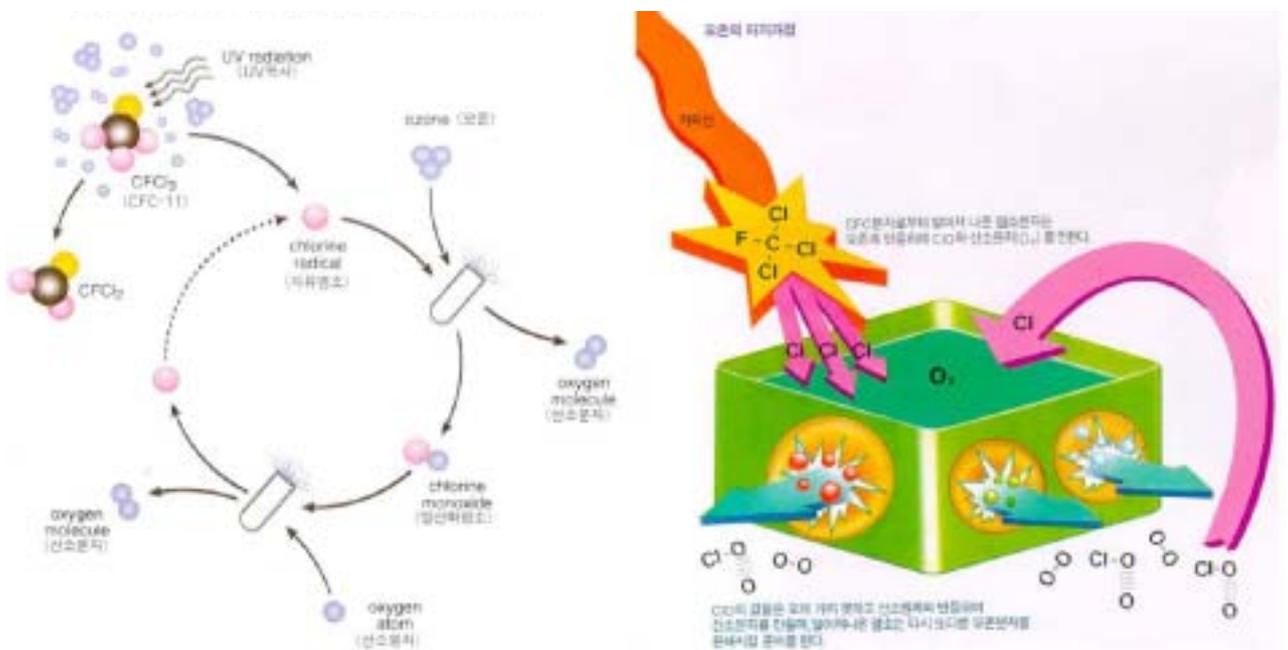


그림1. 오존층 파괴과정

#### 2.1.2 오존층파괴로 인한 인체 및 환경적 영향

오존층이 파괴되면 인체에 해로운 자외선(UV-B)이 증가하여 화상, 설맹, 백내장, 피부노화, 피부 암등을 유발하며, 또한 면역체계에도 영향을 주어 피부내에서 발생한 종양에 대한 면역성과 신체전체의 저항력을 저하시키기도 한다. 미국 환경보호청의 연구 결과에 의하면 성층권 오존이 1%만 감소하더라도 0.3-0.6%의 백내장 환자가 증가하고, 양성 흑색종은 45만건 이상, 악성 흑색종은 1천건 정도가 발병될 것이라고 추정하고 있다.

또한 이제까지의 연구결과로 보면 식물은 그 종류에 따라 UV-B에 대한 감수성이 크게 다르고 자외선 증가로 인하여 생태계 중에서의 식물종간에 경쟁 관계가 달라질 가능성이 증명되었기 때문에 자외선 증가는 식물이나 생태계에 커다란 변화를 가져올 가능성이 크다고 알려져 있어 농작물의 수확량이나 품질에도 영향이 미칠 것으로 예상되며, 수중생물에 있어서도 물고기의 알이나 갑각류의 새끼들은 자외선에 대한 감수성이 매우 높은 것으로 알려져 있어 자외선이 증가할 경우 먹이연쇄를 비롯한 수중 생태계에 큰 변화가 올 것으로 예상된다.

## 2.2 지구온난화(Global Warming) 현상

### 2.2.1 온실효과(Greenhouse Effect)

온실 효과는 말 그대로 온실이 열을 가둠으로써 보온하는 것을 말한다. 그림 2. 와 같이 태양에서 방출된 빛에너지는 지구의 대기층을 통과하면서, 일부는 대기에 반사되어 외계로 방출되거나, 대기에 직접 흡수된다. 그리하여 약 50% 정도의 햇빛만이 지표에 도달하게 되는데, 이때 지표에 의해 흡수된 빛에너지는 열 에너지나 파장이 긴 적외선으로 바뀌어 다시 바깥으로 방출하게 된다. 이 방출되는 적외선은 반정도는 대기를 뚫고 외계로 빠져나가지만, 나머지는 구름이나 수증기, 이산화탄소 같은 온실효과 기체에 의해 흡수되어지며, 온실 효과 기체들은 다시 지표로 되돌려 보낸다. 이와 같은 작용을 반복하면서 지구를 덥게 하는 것이다. 실제 대기에 의해 일어나는 온실효과는 지구를 항상 일정한 온도를 유지시켜 주는 매우 중요한 현상이다. 만약 대기가 없어 온실효과가 없다면 지구는 화성처럼 낮에는 햇빛을 받아 수십도 이상 올라가지만, 반대로 태양이 없는 밤에는 모든 열이 방출되어 영하 100℃ 이하로 떨어지게 될 것이다. 따라서 현재 환경 문제와 관련하여 나쁜 영향으로 많이 거론되는 온실효과는 그 자체가 문제가 아니라, 일부 온실효과를 일으키는 기체들이 과다하게 대기 중에 방출됨으로써 야기될지 모르는 이상 고온에 따른 지구 온난화 현상을 이야기하는 것이다.

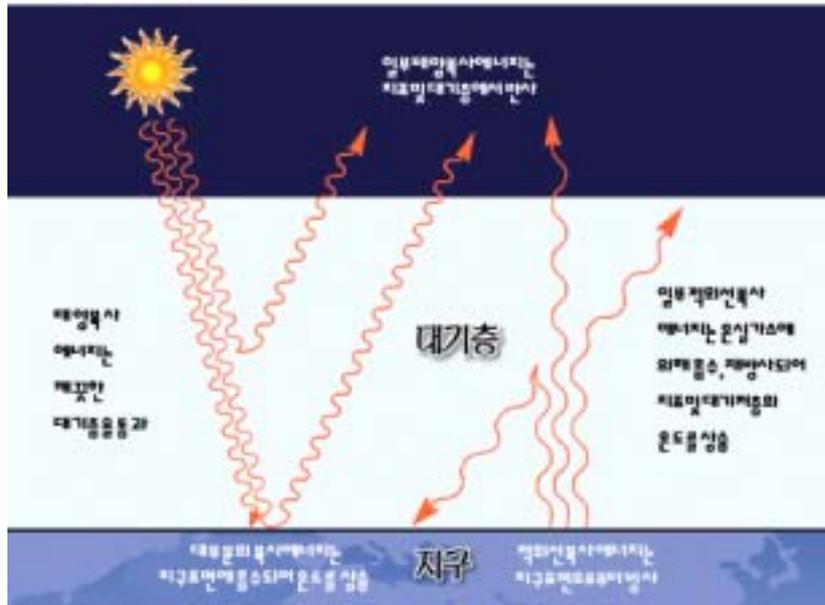


그림2. 지구온난화 발생 메카니즘

### 2.2.2 온실효과로 인한 자연재해

지구의 연평균기온이 계속 올라감으로써 땅이나 바다에 들어 있는 각종 기체가 대기 중에 더욱 많이 흘러나올 것으로 예측된다. 이러한 피드백 효과는 온난화를 더욱 빠르게 진행시킬 것이다. 온난화에 의해 대기 중의 수증기량이 증가하면서 평균강수량이 증가할 것이고 이는 홍수나 가뭄으로 이어질 수 있다. 가장 큰 문제는 해수면이 상승하는 것으로, 기온 상승에 따라 빙하가 녹으면서 이 현상이 일어날 것으로 예측된다. 2000년 7월 NASA는 지구온난화로 그린란드의 빙하가 녹아내려 지난 100년 동안 해수면이 약 23cm 상승하였다고 발표하였다. 그린란드의 빙하 두께는 매년 2m씩 얇아지고 있으며 이 때문에 1년에 500억 톤 이상의 물이 바다로 흘러 해수면이 0.13mm씩 상승하고 있다는 것이다. 이러한 해수면 상승은 섬이나 해안에 사는 사람들의 생활에 영향을 미칠 것이며 특히 해안에 가까운 도시에는 대단히 큰 문제를 일으킬 수 있다. 또한 생태계에도 큰 변화가 올 것으로 예측된다.

### 3. 환경보호를 위한 국내/외 규제조약

#### 3.1 오존층파괴 관련물질 사용규제 조약(몬트리올 의정서)

##### 3.1.1 배경 및 내용

지구오존층을 보호하기위해 CFC(염화불화탄소), 할론등 오존층 파괴물질의 사용을 규제한 국제환경협약으로서 1974년 미국 과학자들이 에어컨냉매로 쓰이는 CFC가 태양자외선으로부터 지구를 보호하는 오존층을 파괴하고 있다고 밝힌 뒤 77년부터 국제적으로 CFC 사용규제에 관한 논의가 시작됐다. 이후 약 10년간 환경전문가회의와 정부간 회의를 거친 끝에 85년 3월 「오존층보호에 관한 빈 협약」이 이뤄졌으며 이어 87년 9월 몬트리올 의정서가 정식채택돼 89년 1월부터 발효됐다. 몬트리올의정서 가입국은 CFC 및 HCFC계열의 냉매들을 단계적으로 줄여야 하는 실정 임.

##### 3.1.2 적용대상 물질

오존층을 파괴하는 물질로는 일명 프레온 가스라 불리는 염화불화탄소(CFC)외에도 할론(Halon), 사염화탄소(CC14), 메틸클로로포름(C2H3Cl3), 메틸브로마이드(CH3Br)등의 오존층파괴지수(ODP: Ozone depletion Potentials)<sup>1)</sup>가 높은 냉매에 대해 냉매별, 국가별로 단계적으로 생산 및 소비규제를 하고 있으며, 이 외에도 염화불화탄소보다 값싼 대체물질로 개발된 수소화염화불화탄소(HCFCs, R-22 등)에 대해서 1990년 개정의정서에서는 이를 과도기적 물질로 규정하여 규제를 미루었으나, 1992년 개정안에서는 잠재적인 악영향을 인정하여 선진국은 2030년까지, 개도국은 2040년까지 이를 전면 폐기하도록 규정하였다.

##### 3.1.3 규제물질 사용연한

몬트리올 의정서에는 개발도상국들의 경우 오존붕괴물질의 감축 및 폐기를 위해 선진국들에게 허락한 기간을 지나 10년동안 더 오존붕괴 물질을 사용해도 된다고 '유예 기간'을 허락하고 있다. 참가국 중 100여 개국 이상이 이에 해당되며, 이 국가들의 지위가 몬트리올 의정서의 제 5조에서 규정되고 있기 때문에, 이들을 '제 5조국'이라 부른다. 따라서 '제 5조국'에 속하는 우리나라의 경우 현재 가장 널리 사용하고 있는 철도차량HVAC의 냉매인 R-22는 그림3. 과 같이 2040에 전폐하도록 되어 있다.

(전환 일치는 제5조국에 해당되며, 전환 일치는 제5조국에 해당됨.)

실시일	조 치	2015년 1월 1일	2016년 1월 1일
1985년 1월 1일	부속서 4의 CFC <sup>1)</sup> 동결	부속서 4의 CFC를 1985-2015년도 평균치에서 30% 삭감 메틸클로로포름을 1985-2015년도 평균치로 동결	2015년 1월 1일
1985년 1월 1일	할론 동결	할론 기준치에서 30% 삭감	2015년 1월 1일
1985년 1월 1일	부속서 4의 CFC <sup>1)</sup> 를 1985년 수준에서 30% 삭감 메틸클로로포름 동결	부속서 4의 CFC를 1985-1985년도 평균치에서 30% 삭감 메틸클로로포름을 1985-2015년도 평균치에서 30% 삭감 메틸브로마이드를 30% 삭감	2015년 1월 1일
1985년 1월 1일	부속서 8의 CFC를 1985년 수준에서 30% 삭감 부속서 4의 CFC를 1985년 수준에서 30% 삭감 할론 <sup>1)</sup> 동결 <sup>1)</sup>	부속서 8의 CFC를 1985-1985년도 평균치에서 30% 삭감 부속서 4의 CFC를 1985-2015년도 평균치에서 30% 삭감	2015년 1월 1일
1985년 1월 1일	메틸브로마이드를 1985년 수준으로 동결 사염화탄소를 1985년 수준에서 30% 삭감	부속서 8의 CFC를 1985-1985년도 평균치에서 30% 삭감 부속서 4의 CFC를 1985-2015년도 평균치에서 30% 삭감	2015년 1월 1일
1995년 1월 1일	HFC <sup>1)</sup> 전환 사염화탄소 전환 부속서 4의 CFC 동결 <sup>1)</sup> 메틸클로로포름 동결 <sup>1)</sup> HFC <sup>1)</sup> 를 1995년도의 HFCODC 1995년도의 ODP 산세합의 2배한 오전 값으로 동결	HFC를 50% 삭감 메틸브로마이드 전폐 연간 개정안에 따라 ODC, 할론, 사염화탄소 30% 전폐 메틸클로로포름을 1995-2015년도 평균치에서 70% 삭감	2015년 1월 1일
1995년 1월 1일	부속서 8의 CFC를 1985-1985년도 평균치로 동결	HFC를 50% 삭감 메틸클로로포름을 100% 전폐	2015년 1월 1일
2015년 1월 1일	메틸브로마이드 30% 삭감	HFC를 2015년 평균치로 동결	2015년 1월 1일
2015년 1월 1일	할론을 1985-1985년도 평균치로 동결 메틸브로마이드를 1985-1985년도 평균치로 동결	사이스탄을 낮게 보고 HFC를 2015년까지 전폐	2015년 1월 1일
2015년 1월 1일	할론을 1985-1985년도 평균치로 동결 메틸브로마이드를 1985-1985년도 평균치로 동결	HFC 전폐	2040년 1월 1일

그림 3. 몬트리올의정서의 규제냉매 사용연한

1) ODP(Ozone Depletion Potential): “오존층파괴지수” 라 하며 CFC-11을 1로 기준을 삼는다.

### 3.2 지구온난화 관련물질 사용규제 조약(교토의정서)

#### 3.2.1 배경 및 내용

각국의 CO2 배출량이 기온 상승에 얼마나 영향을 미쳤는지 알아본 결과, 미국을 비롯한 선진국의 산업혁명 이래 배출한 이산화탄소(CO2)가 지구기온상승을 발생시킨 지구온난화의 주범으로 밝혀졌다. 이에 효율적인 대기오염 방지를 위해 전 지구적 차원의 협약을 만들어 상세한 국제기준을 설정하고 이를 감독, 규제해야 할 필요성이 대두되어 선진국과 개도국이 97년 12월 일본 교토에서 기후변화협약 제3차 당사국 총회를 개최한데 붙여진 이름이다. 경제개발협력기구(OECD) 회원국을 포함한 38개국이 2010년까지 이산화탄소 등 온실가스를 90년 기준의 5.2%까지 감축토록 의무화했다.

#### 3.2.2 적용대상 물질(온실가스)

교토의정서에서 정한 지구온난화 대상가스는 이산화탄소(CO2), 메탄(CH4), 아산화질소(N2O), 수소불화탄소(HFC), 과불화탄소(PFC), 육불화황(SF6) 등의 지구온난화지수(GWP:Global Warming Potential)<sup>2)</sup>가 상당히 높은 6 가지군의 냉매로서,

- 이산화탄소(CO2) : 석탄, 석유 등 화석연료 에너지를 태울 때에 발생
- 메탄(CH4) : 쓰레기 매립지 등 환경기초시설에서 유기물이 산소가 없는 상태의 분해과정을 거치면서 발생
- 아산화질소(N2O) : 농경지에서 질소질 비료 사용에 따라 발생
- HFCs(프레온가스의 대체물질) 등 : 냉장고, 에어컨의 냉매 및 전자제품 등 정밀기계의 세정제 등으로 사용됨.

이산화탄소 배출량은 점차 증가하고 있어서 과학자의 예측에 의하면 2050년에는 산업화 이전 농도의 2배인 575ppm에 달할 것으로 보이며 이로 인하여 지구 기온이 1-4℃정도 높아질 것이라 예측하고 있다. 주목할 점은 오존층파괴의 대체냉매로 사용될 “수소불화탄소(HFC)” 계열의 냉매(R-134a, R-407C 등)도 온실효과를 일으키는 온실가스로 분류되고 있다는 점이다. 이는 이들 냉매들이 오존층파괴지수(ODP)는 낮지만, 지구온난화지수(GWP)가 높기 때문이다.

#### 3.2.3 적용대상 범위(국가별, 연도별)

교토의정서에서는 2008~2012년간 선진국(Annex I 국가: 선진국 40개국가) 전체의 배출 총량을 '90년 수준보다 최소 5% 감축하되 각 국가의 경제적 여건에 따라 -8%에서 +10%까지 차별화된 감축량을 규정하였음(제3조)

우리나라는 2002년 11월 8일 교토의정서를 비준하였지만, 아직 교토의정서에 따르는 법적 의무는 부담하고 있지 않다. 하지만 OECD 회원국으로서 멕시코와 더불어 온실가스 감축 압력을 받고 있고 2차 의무 감축 대상국이 될 가능성이 높으며, 이에 따라 2013-2017년까지 온실가스를 감축해야 할 것이다. 일단 당사국 총회에서 감축의무국가로 지정이 되면 법적 구속력을 부담할 수밖에 없으며, 머지않아 이 문제가 타결이 될 전망이므로 이에 대한 대비를 해야 할 것으로 보인다.

### 3.3 국내: 『오존층보호를위한특정물질의제조규제등에관한법률』 시행령

#### 3.3.1 배경 및 내용

산업자원부에서는 지난 '06. 12. 12일 『오존층보호를위한특정물질의제조규제등에관한법률』 시행령 제13조의 규정에 따라 제38차 특정물질수급조정심의를 개최하여 2006년 특정물질의 생산 수입과 판매량을 배정하였음

#### 3.3.2 적용대상 물질

도표1. 예서와 같이 특정물질의 생산량, 수입량, 판매량을 규제하고 있으나, 현재 철도차량 HVAC

2) GWP(Greenhouse Warming Potential): “지구온난화지수” 라 하며 CO2를 1로 기준을 삼는다.  
1340

냉매로 널리 쓰이는 R-22(HCFC's)에 대해서는 아직까지 특별한 배정량을 정하고 있지 않다.

도표1.에서,

- 1) 기준수량은 "몬트리올의정서"상 기준수량임
  - 부속서A 물질(CFCs, Halons) : '95~'97년 평균 생산량 및 소비량
  - 부속서B 물질(사염화탄소, TCE) : '98~'00년 평균 생산량 및 소비량
- 2) '07년 한도량은 "몬트리올의정서"의 규제일정 준수를 위한 "연차별 감축계획"상 한도량임
  - 부속서A 물질(CFCs, Halons) : 기준수량 대비 50% 감축
  - 부속서B 물질(사염화탄소, TCE) : 기준수량대비 85% (사염화탄소) 및 30% 감축 (1,1,1-TCE)
- 3) 소비량은 생산량+수입량-수출량-특정물질제조원료량임
- 4) 특정물질제조원료량은 생산량에서 제외

도표1. 특정물질 생산, 수입, 판매 배정량

물질명	1)기준수량		2)'07년 한도량		생산량	수입량	수출량	4)특정물질 제조원료량	3)소비량
	생산량	소비량	생산량	소비량					
CFCs	9,202	9,154	1,380	1,373	1,380	65	72	-	1,373
Halons	3,676	3,676	1,838	1,838	1,104	-	-	-	1,104
사염화탄소	3,633	638	545	96	544	1	506	-	39
111-TCE	-	513	-	359	-	670	114	300	256
HCFCs	-	-	-	-	725	6,044	1,026	8	5,735

#### 4. 대체냉매

##### 4.1 일반적인 냉매의 정의 및 분류

###### 4.1.1 정의

냉매란 넓은 의미에서 냉각작용을 일으키는 모든 물질을 가리키며, 특히 냉동장치, 열펌프, 공기 조화장치 및 소온도차 열에너지 이용기관 등의 사이클 내부를 순환하면서 저온부(증발기)에서 증발함으로써 주위로부터 열을 흡수하여 고온부(응축기)에서 열을 방출시키는 작동유체를 가리킨다.

###### 4.1.2 분류

- 1) CFC(C,F,C1) 계열의 프레온냉매: R-11등
- 2) HCFC(H,C,F,C1) 계열의 냉매: R-22등
- 3) HFC(H,F,C) 계열의 냉매: R-134a, R-407C, R-410A 등
- 4) 자연냉매: 공기, 탄화수소, 이산화탄소, 암모니아

###### 4.1.2 HFC계열의 대체냉매 및 문제점

현재까지 오존층 파괴의 주범인 염소(C1)기를 포함하고 있는 CFC계열과 R-22등의 HCFC계열의 냉매를 대체하고자 하는 대표적인 대체냉매로서는 염소(C1)기를 제외하고 수소(H), 불소(F), 탄소(C) 기로 구성된 HFC계열의 냉매인 R-134a, R-407C, R-410A 등이 있다. 철도차량 HVAC의 대체냉매로는 R-22보다 상대적으로 작동압력이 낮은 R-134a와 혼합냉매이지만 효율이 R-22와 유사한 R-407C가 널리 사용되고 있다. 도표2.는 HCFC계열의 R-22와 HFC계열의 냉매 및 자연냉매의 주요 물성치를 비교한 자료이다.

주목할 만한 사실은 HFC계열의 냉매인 R-134a, R-407C, R-410A가 오존층 파괴지수(ODP)는 낮지만, 높은 지구온난화 지수(GWP)를 갖고 있고 이는 현재 대체냉매로 널리 사용되어 지지만, 이들 HFC계열의 냉매 역시 궁극적인 지구환경을 위한 대체냉매로 간주 될 수 없다 하여 교토의정서에 의거하여 HFC계열의 냉매사용역시 규제토록 제안되고 있으며, 많은 EU국가들은 공기조화와 히트펌프 등에서 이미 HFC계열의 냉매(R-407C, R-134a 등)의 사용 금지 하도록 하는 것을 고려하고 있다.<sup>3)</sup>

도표2. 각 냉매별 주요 물성치

항목	HCFC계열	HFC계열			자연냉매	
	R-22	R-134a	R-407C	R-410A	CO2	프로판
오존층파괴지수(ODP)	0.034	0	0	0	0	0
지구온난화지수(GWP)	1700	1300	1700	2000	1	3
가연성(flammable)	무	무	무	무	무	유
증발압력[Mpa]	0.296	0.164	0.290	0.481	2.291	0.291
응축압력[Mpa] <sup>4)</sup>	1.190	0.770	1.264	1.88	7.208	1.077
순수냉동효과[kJ/kg] <sup>5)</sup>	163.79	149.95	162.28	167.68	134.24	297.88
압축기용적율[L/s] <sup>6)</sup>	0.478	0.814	0.492	0.318	0.065	0.551
소비전력[kW]	0.215	0.217	0.222	0.227	0.338	0.211

#### 4.1.3 자연냉매

물, 암모니아, 질소, 이산화탄소, 프로판, 부탄 등의 인공화합물이 아니고 지구상에 자연적으로 존재하는 물질을 냉매로 사용하는 것을 자연냉매라 하며, 지구 환경에 추가적으로 악영향을 미치지 않기 때문에 냉매로서 적용하는 것이 적극적으로 검토되고 있다.

- (1) 탄화수소: 탄화수소는 탄소와 수소만으로 구성된 냉매로서 R50(메탄), R170(에탄), R290(프로판), R600(부탄), R600a(이소부탄), R1270(프로필렌) 등이 있다. 또한 탄화수소는 오존층파괴지수가 0.0이며 지구온난화지수도 매우 낮아, 이산화탄소의 지구온난화지수를 1로 하였을 때, R12는 7100, R134a는 1200이나, 도표2. 와 같이 프로판은 이보다 매우 낮은 3을 나타내고 있다. 하지만, 냉매로서 우수한 열역학적 특성을 지니고 있으나 가연성이 문제점으로 지적되고 있다.
- (2) 암모니아: 암모니아는 우수한 열역학적 특성 및 높은 효율을 지닌 냉매로서 제빙, 냉동, 냉장 등 산업용의 증기압축식 및 흡수식 냉동기 작동유체로 널리 사용되어 왔다. 작동압력이 다소 높고 인체에 해로운 특성을 지니고 있으므로 관리 인력이 상주하는 산업용 대용량 시스템에 주로 사용되어 왔으며, 소형에는 특수 목적에만 이용되었다.
- (4) 공기: 공기는 물과 같이 투명하고 무해, 무취, 무미한 냉매이지만, 소요동력이 크고 성적계수가 낮으므로 주로 항공기 내부의 공기조화나 공기액화 등에 사용된다.
- (5) 이산화탄소: 이산화탄소는 할로카본 냉매가 사용되기 이전에 암모니아와 더불어 선박용 냉동, 사무실이나 극장 등의 냉방을 위한 냉매로 가장 많이 사용되었다. 이산화탄소는 안정성이 뛰어나고, 무취, 무독하고 부식성이 없고, 연소 및 폭발성이 없는 물질로서 냉매 회수가 필요 없으며, 일반 윤활유와 양호한 상용성을 가지고 있다. 이산화탄소는 포화압력이 높기 때문에 냉동기 설계시 내압성 재료를 사용하여야 한다. 하지만 다른 냉매에 비하여 가스의 비체적이 매우 작기 때문에 체적유량이 적으며 냉동장치를 소형의 시스템으로 제작할 수 있는 장점이 있다. 그러나 냉매의 임계온도(31℃)가 낮으므로 냉각수의 온도가 충분히 낮지 않으면 응축기에서 액화가 되지 않는 단점이 있다. 현재는 유럽 및 미국 등을 중심으로 자동차용 공조기에 이산화탄소를 적용하는 연구가 한창 진행 중에 있다.

3) 정동수, '2006 설비공학 논문집 제 18권, "증발기와 응축기 온도변화에 따른 R22 대체냉매 R290 및 R1270의 성능평가"

4) HVAC작동 시의 응축기 평균압력을 나타내며 배관, 열교환기등 HVAC 배관부품의 내압설계 기준이 된다.

5) 단위 냉매량에 해당되는 냉동능력을 표현한 값

6) Compressor Displacement로 표현되며, 압축기사이즈 및 냉매량과 밀접한 관계가 있다.

## 5. 국내 철도차량 HVAC의 대체냉매로 적용 가능성 검토

현재 대부분의 국내 철도차량 HVAC의 냉매로 아직까지 R-22가 사용되고 있는 현실이지만, 점차 환경친화적인 냉매로 전환하려는 경향을 보이고 있고 그 환경친화적인 대체냉매로 대두 되고 있는 대표적인 냉매들이 R-134a, R-407C 등으로 보여지고 있다.

R-134a의 경우 혼합냉매가 아닌 단일냉매이며, 작동압력이 낮아 누설의 염려가 적다는 이유로 개방형 압축기를 적용하는 버스 및 승용차에 널리 사용되어 지고 있지만, 단위 체적당 냉동능력이 적어 HVAC 시스템 크기가 동급 냉동능력에서 R-22시스템보다 커져야 하는 단점이 있다.

R-407C의 경우는 3가지 성분이 혼합된 비공비혼합냉매로서 R-22와 유사한 성능을 지니고 있어 시스템 크기가 크게 변하지 않고, R-22의 윤활유 및 몇 가지 부품만 교체하면 기존 R-22 시스템에 바로 냉매교체 작업이 가능한(Drop-in change) 장점이 있으나, 냉매 누설 시 냉매의 고유 조성비가 급격하게 바뀌어 성능이 급 저하되는 경향이 있으며, 냉매 충전시에도 비공비 혼합냉매의 특성상 잔류된 모든 냉매를 배출시킨 후 충전해야하는 단점이 있다.

하지만 앞 절에서 살펴본 것과 같이 상기 두 가지 냉매 역시 지구 온난화현상이라는 관점에서 볼 때에는 궁극적인 환경친화적인 냉매라 볼 수 없으며, 그렇다고 공기나 물과 같은 자연냉매를 철도 차량에 적용하기에는 철도차량이라는 공간적, 에너지효율적 측면에 잠재적인 문제가 많다.

## 6. 결론

환경친화적인 철도차량 시스템을 구축하기 위해 무엇보다도 HVAC 냉매가 환경친화적인 냉매를 적용 되어야 하는 것이 자명한 사실이지만, 환경친화적인 냉매를 선정 하는 데에 있어서 환경보호의 여러 가지 요구조건 및 철도차량이라는 특수성 등의 다방면으로 충분한 검토 가 이루어지지 않는다면, 적지 않은 문제점들이 발생할 수 있을 것이다. 다행히 우리나라는 몬트리올의정서나 교토의정서 상에서 개도국으로 분류되고 있어 선진국들보다 충분한 유예기간을 갖고 있다. 따라서 이 기간동안 선진국들의 적용사례 및 세계정세의 HVAC 냉매 적용흐름을 충분히 검토하여 환경친화적이며 동시에 부작용도 적은 철도차량용 HVAC 냉매를 선정할 필요가 있다.

## 참고문헌

1. 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook
2. 몬트리올의정서 전문
3. 교토의정서 전문
4. 인하대학교 CFC대체 시스템 공학연구실, 홈페이지 참고자료 "냉매와 브라인"
5. 정동수, 대한설비공학회, 2005하계학술발표대회 논문집, "HCFC22 대체 자연냉매의 성능평가"