

# 대체냉매를 사용한 자동차용 냉방장치의 문제점과 대책

## A Coming Plan for Automobile Air-Conditioners Charged with Replacement Refrigerants

원 성 필  
S. P. Won

울산대학교 공과대학 기계공학과



• 1955 년생  
• 열공학을 전공하였으며 냉동기, 열펌프를 비롯한 열장치의 성능향상에 관심을 가지고 있다.

### 1. 머리 말

자동차용 냉방장치는 차내의 환기, 냉방 및 제습 등을 목적으로 사용되고 있으며, 안락한 차내 환경유지 뿐만 아니라 더 나아가 교통안전에도 일익을 담당하고 있다고 볼 수 있다. 전 세계적으로 볼 때 매년 4천만대 이상의 자동차가 생산되고 있으며 그중 약 40% 정도가 냉방장치를 장착하고 있다. 특히 일본과 미국이 장착율이 높은 편이다(80% 정도).

자동차의 냉방부하는 차 자체의 단열성 미흡과 대기에 직접 노출되어 있기 때문에 5kW 정도로 큰 편이다. 따라서 이 정도의 냉방부하를 제거하기 위한 방법중 가장 적합한 것이 보통의 증기압축식 냉동장치이다. 자동차용 냉방장치의 작동매체는 몬트리올 의정서<sup>1)</sup>에 의해 규제된 CFC(chloro fluoro carbon)인 R12로서 전 세계적으로 독점적으로 사용되어져 왔다. 더우기 R12의 전체 사용량중 반정도가 자동차용 냉방장치라는 데 더욱 문제의 심각성이 있다(미국의 경우 60%). 자동차용으로 사용되는 R12중 1/3은 신차에 충전되며, 나머지 2/3은 고장이나 자연적 방출로 인한 재충진시에 사용된다. 이것은 자동차에 사용되

는 R12중 2/3가 매년 대기로 방출된다는 것이다. 이러한 문제의 심각성은 자동차 생산량의 대부분을 차지하는 미국, 일본 및 유럽에만 국한되는 문제는 아니며, 국제적인 자동차 시장으로 미루어 볼 때 세계 10위권인 우리나라에도 심각한 문제인 것이다. 이에 대해 근본적으로 인식될 수 있는 해결책이 빨리 강구되어야 한다. 우리나라도 올 연말까지 몬트리올 의정서에 조인할 것이 분명하므로 자동차용 냉방장치를 중심으로 제기된 문제점과 대책을 본 지면을 통해 간단히 모색해 보고자 한다.

### 2. 몬트리올 의정서(Montreal Protocol)

성층권의 오존이 1% 감소하면 인류의 피부암 발생율은 3% 정도 증가하는 것으로 추정되고 있으며 오존량은 매년 0.2~0.5%씩 감소하고 있다고 과학자들은 주장하고 있다. 영국의 파안이 1985년 남극에서 오존량이 급속도로 줄고 있으며 CFC가 원인이 되고 있음을 밝혀낸 후, 1987년 9월 세계 24개국과 구주공동체가 몬트리올 의정서에 조인하면서 이 오존층을 파괴하는 물질의 생산, 무역, 사

용 등을 규제하게 되었다

1989년 7월 1일 의정서 협약 발효후 미국은 올해부터 CFC를 사용한 수입품에 물품세를 과세하고 있다. 이 의정서는 1998년 7월 1일까지 CFC 생산량과 사용량을 86년 수준의 50%로 줄이고 2000년까지는 오존층 파괴물질 생산을 전면 중단키로 하였다. 오존층 파괴주범인 CFC와 소화용제(fire extinguishment)로 주로 사용되는 halon류는 대기중에서 100년 가까이 체류하면서 지구의 온실화에도 일부를 담당하고 있음이 또한 발견되어 그 규제는 더욱 강화될 전망이다. 표1에 규제 냉매들의 오존파괴지수와 온실효과 지수를 나타내었다.<sup>2,5)</sup>

### 3. 단기적인 대책

선진국의 자동차 업계에서는 이미 수년전부터 R12의 충전량과 방출량을 줄이기 위한 방안들을 강구해 왔다. 그 방안들은 크게 두 부류로 나눌 수 있는 데, 시스템 외적인 대책과 시스템 내적인 대책이 그것이다.

시스템 외적인 대책이라면 우선 누설 감지 방법의 개선을 들 수 있다. 충전된 양의 대부분이 누설되고 나서야 성능저하를 알게 되어 재 충전하게 되므로 누설감지가 빨리 이루어진다면 상당한 양의 방출을 막을 수 있다. 고장이나 자연적인 누설로 인하여 재충진할 때 라든가 폐차시에 남아있는 R12를 회수할 수 있다면 상당한 양의 방출을 또한 막을 수 있다.

시스템 내적인 대책으로서는 누설율을 줄이기 위한 연결구나 시일링의 개선을 들 수 있다. 유연한 냉매 호오스나 연결부분, 압축기축의 시일링 등이 누설의 핵심부위이므로 이들의 재질이나 설계변경 등을 통해 누설을 줄일 수 있다. 한편 다른 냉동시스템의 사용도 고려해볼 수 있다. 흡수식, 증기분사식, 역 Stirling 사이클 냉동장치 등을 예로 들 수 있으나 성능, 작동매체, 중량, 점유공간 등을 고려할 때 자동차용으로는 적합하지 않다. 그러나 이상의 대책들은 근본적인 대책으로 볼 수 없다. 근본적인 대책이라는 것은 결국 R12

표 1. 규제냉매의 오존파괴지수와 온실효과지수

냉 매	O. D. P.*	G. W. P.**
CFC 11	1.0	1.0
CFC 12	1.0	3.0
CFC 113	0.8	1.4
CFC 114	1.0	3.9
CFC 115	0.6	—
Halon 1211	3.0	—
Halon 1301	10.0	—
Halon 2402	6.0	—

\* Ozone Depleting Potential (CFC 11 기준)

\*\* Greenhouse Warming Potential (CFC 11 기준)

를 대체할 새로운 냉매를 개발하고 이를 사용하는 냉방장치를 만드는 것뿐이다.

### 4. 근본적인 대책

#### 4.1 대체냉매

R12를 대체하는 냉매는 오존파괴지수와 온실효과지수가 낮아야 할 뿐만 아니라 여러가지 열역학적 경제적인 요구조건들도 갖추어진 것이어야 한다. 기존의 알려져 있는 냉매들중 CFC가 아닌 냉매들은 비등점, 증기압, 독성, 가연성 등의 문제점을 가지고 있으므로 부적당하다.

그러나 비등점과 오존파괴지수 등을 고려할 때 그래도 상업적으로 대체가능한 냉매는 H-CFC(hydro-chloro-fluoro carbon)인 R22와 HFC(hydro-fluoro carbon)인 R152a가 있다. 이들 냉매의 기본적인 성질들이 표2에 나타나 있다. 자동차 냉방장치용 냉매는 비가연성이라는 기준을 따른다면 R152a는 배제되고 R22가 유일한 대체가능한 냉매가 된다. 그러나 R22는 R12에 비해 낮은 비등점을 가지고 있으며 분자구조상에 염소를 포함하고 있으므로 O.D.P가 낮더라도 규제해야 한다는 여론이 최근에 높아지고 있어 장기적인 안목으로서의 대체냉매는 될 수 없다.

HFC인 R134a는 R12의 새로운 대체냉매로서 대두되고 있다. O. D. P가 0이며

표 2. CFC인 R12를 대체할 수 있는 냉매들의 기본성질

	R12	R22	R152a	R134a
Chemical Formula	$\text{CCl}_2\text{F}_2$	$\text{CHClF}_2$	$\text{CH}_3-\text{CHF}_2$	$\text{CHF}_2-\text{CF}_3$
O. D. P	1	0.05	0	0
G. W. P	3	0.07	0.1	0.2
Molecular Weight ( $\text{kg kmol}^{-1}$ )	120.9	86.5	66.0	102.0
Boiling Point ( $^{\circ}\text{C}$ )	-30	-41	-25	-27
Crit. Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	112	96	113	101
Flammability	no	no	yes	no
Toxicity	1,000 ppm (TLV)	1,000 ppm (TLV)	1,000 ppm (AEL)	1,000 ppm (AEL)
Price Relation	1	1.5	2.5	3-5

독성이 없고 비가연성이므로 적합하나, 시스템 적용시 약간의 기술적인 문제와 아직까지는 생산비용이 많이 든다는 문제점을 가지고 있다.

R22와 R134a와 같은 순수냉매외에도 O. D. P가 낮은 냉매들을 적당히 혼합하여 혼합냉매를 만드는 방법도 생각할 수 있다. Azeotrope인 R500-R506은 O. D. P가 크므로 고려 대상이 아니다. Dupont사에서 최근 ternary blend인 R22/R152a/R124(30%/23%/47%)가 자동차용 냉방장치로 적합하다고 실험결과를 발표하였다.<sup>4)</sup> 혼합냉매는 조성비를 달리 함으로서도 성질이 달라지므로 대상선택이 매우 광범위하다. 따라서 본 논의에서는 제외하고자 한다.

#### 4.2 대체냉매 사용시 자동차용 냉방장치의 문제점과 대책

대체냉매의 개발과 사용이 가장 근본적인 대책임을 이미 밝힌 바 있다. 그러나 대체냉매들의 열물성치가 R12와는 다르므로 대체냉매의 사용은 냉방장치의 구성요소 및 부품의 설계변화를 초래할 수 있다. R22와 R134a를 대체냉매로 사용할 때의 중요한 변수들의 변화와 이에 기인한 성능변화 및 설계변화 등을 검토해 보고자 한다.

##### 1) 증기압

어떤 냉매가 시스템에 적합한지의 여부는 주로 그 냉매의 증기압에 의해 결정된다. 그리

고 어떠한 경우라도 저압측의 압력이 대기압 이하가 되거나, 고압측의 압력이 너무 높은 경우의 작동조건은 피하여야 한다. 그림 1과 2는 온도에 따른 증기압변화를 증발기측과 응축기측의 온도범위내에서 각각 보여주고 있다. R134a는 R12와 약간의 차를 보이고 있으나, R22는 증발기측에서는 1-2 bar, 응축기측에서는 8-15 bar 정도로 큰 차이가 난다. 응축기 팬 시스템의 성능을 향상시킨다 해도 R22의 압력을 R12의 수준으로 낮출 수는 없다. 왜냐하면 응축온도가 25 $^{\circ}\text{C}$  이상 낮아져야 하기 때문이다. 결국 R22를 사용한다면 압축기 허용작동압력이 달라지며 이것은 압축기의 설계변화를 초래한다. 또한 R22는 R12에 비해 고압이므로 보다 견고한 부품들이 사용되어야 할 것이다.

##### 2) 압축비와 압력차

그림 3에서 응축온도가 70 $^{\circ}\text{C}$ 로 고정된 경우 증발온도의 변화에 따른 압축비와 압력차를 각각 보여주고 있다. R22는 R12의 압축비와 동일하나 R134a는 보다 큰 압축비를 나타내고 있다. 압축비가 커지면 압축기의 체적효율은 떨어지게 되므로 주어진 냉동용량을 소화하기 위해서는 압축기 소요동력의 증가가 필요하다. 고저압측의 압력차는 팽창장치의 등급에 관계될 뿐만 아니라 압축기의 기계적 부하 및 누설량에 영향을 미친다. 그림으로부터 R134a는 R12에 비해 약간 큰 압력차를 보이고 있으나, R22는 꽤 큰 압력차를 보이고 있으며

이것 또한 압축기 및 관로 설계시 고려되어야 할 사항이다.

3) 체적당 냉동효과(volumetric refrigerating effect)

체적당 냉동효과는 압축기의 등급을 나타내는 데 있어 중요한 변수이다. 그림 4에서 두 가지 증발온도에 대해서 응축온도에 따른 체적당 냉동효과를 보여주고 있다. R134a의 체적당 냉동효과는 R12에 비해 10~30% 정도

작다. 이는 R134a를 사용할 때 동일한 부하에 대하여 보다 큰 압축기가 사용되어야 한다는 것을 의미한다. 반면에 R22의 값은 R12에 비해 무려 60~70% 정도 크다. 그러나 이 정도의 체적당 냉동효과의 증가를 효율적으로 유용하기 위해서는 응축기와 증발기의 크기가 더불어 커져야 한다. 자동차에 장착할 수 있는 최대 크기의 냉방장치를 고려하더라도 R22에 의해서 얻을 수 있는 냉동효과의 증가

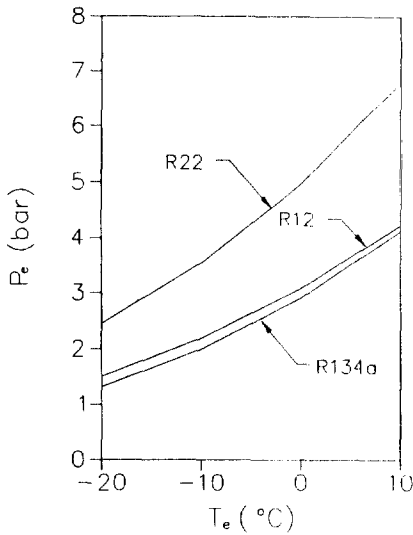


그림 1. 증발온도와 증발압력과의 관계

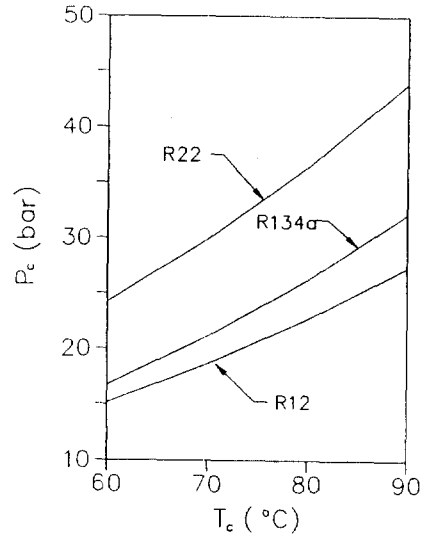


그림 2. 응축온도와 응축압력과의 관계

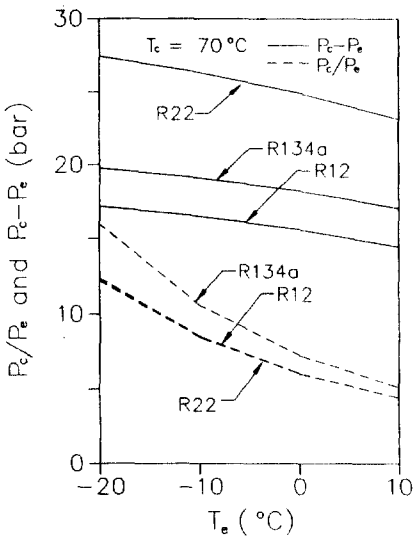


그림 3. 증발온도에 따른 압축비와 압력차의 변화

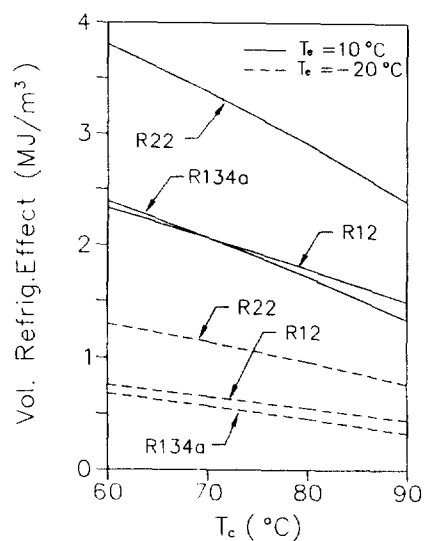


그림 4. 응축온도에 따른 체적 냉동효과의 변화

는 10~20% 정도의 수준으로 생각된다.<sup>6)</sup>

주어진 냉동용량에 대해서 체적당 냉동효과는 냉매유량과도 상관관계를 갖는다. 예를 들어 R134a가 사용되는 경우 주어진 냉동용량을 소화하기 위해서는 체적당 냉동효과가 R12보다 작기 때문에 보다 큰 단면적을 갖는 관로가 필요하다. 반대로 R22의 경우는 보다 작은 단면적을 갖는 관로가 필요하다. 결국 R22나 R134a를 사용한다면 증발기나 응축기의 설계를 변경해야 하며, 최소한 관 크기를 바꾸어야 한다는 사실을 확인할 수 있다.

4) 압축시의 폴리트로픽 지수

증발온도 -10℃, 응축온도 60℃인 경우 압축기에서의 이상적인 단열 압축과정에 의한 압축기 출구 냉매온도와 이에 관계된 폴리트로픽 지수를 표3에 나타내었다. R12에 비해 R22는 큰 폴리트로픽 지수값을 가지며 R134a는 약간 작은 값을 갖는다. 따라서 R22의 압축기 출구 냉매온도가 R12에 비해 20℃정도 크며 오일과의 문제와 안정성을 고려할 때 바람직하지 못하다. 아직까지 압축기 출구온도를 조절할 수 있는 방안은 나와 있지 않으므로 R22 사용시는 문제가 된다.

5) 기 타

액체상태의 R12는 보통의 오일과의 용해성이 아주 좋기 때문에 오일분리기 없이도 오일의 순환 회수가 가능하다. R134a와 R22는 증발기에서 냉매와 오일이 분리되는 mixing gap 현상이 나타나며 이는 압축기로의 오일 회수 뿐만 아니라 증발기에서의 열전달을 떨어뜨리게 된다. R22는 사용가능한 mixing gap이 작은 오일이 시판되고 있기 때문에 별 문제가 없다. 그러나 R134a는 기존의 오일과 큰 mixing gap을 나타내고 있으므로 새로운

오일의 개발이나 오일분리기 같은 장치를 부착해야 할 것으로 보인다. 한편 R22는 R12에 비해 보다 많은 양의 수분을 흡수할 수 있기 때문에 R22 사용시는 보다 큰 건조기가 필요하다. R134a도 성분중에 수소가 포함되어 있으므로 R22와 같은 수분흡수 성질을 가진 것으로 생각된다.

R22와 R134a는 동관이나 알루미늄관을 부식시키지 않는 것으로 알려져 있으나, R22의 경우 작동압력이 높으므로 플라스틱 호스 같은 연결구는 보다 견고한 것이 사용되어야 한다.

5. 맺 음 말

자동차용 냉방장치의 사용냉매가 CFC인 R12이고, R12의 사용량중 거의 반이 이 용도로 사용되고 있으므로 R12의 규제는 자동차 제조업체에 큰 타격이 아닐 수 없다. 따라서 장기적인 대책으로서 규제대상이 아닌 대체냉매를 사용하는 것이 바람직하다. 대체 가능성이 있는 R22나 R134a를 사용할 경우 기존의 장치에 대한 수정 및 설비보완이 필요하다. R134a는 R12에 비해 체적당 냉동효과는 감소하고 압축비는 커지므로, 동일한 냉동부하에 대해서 보다 큰 압축기와 효율적인 응축기-팬 시스템이 사용되어야 한다. 한편 R22 사용의 경우도 R12에 비해 압력차와 압축기 출구 냉매온도 및 체적당 냉동효과 등이 크게 증가하므로 냉방장치의 전반적인 설계수정이 필요하다. 특히 응축기-팬 시스템의 개선이 반드시 필요하다. 결국 대체냉매 사용시 이러한 여러가지 요구조건들에 대한 다각적인 연구가 필요하며, 부각된 문제점들을 점진적으로 해결해 나가야 할 것이다.

또한 미국에서는 R134a를 사용할 경우 성능이 저하된다는 이유 때문에 아직까지 R12를 대체할 냉매를 확실히 선정치 못하고 있는 점을 미루어 볼 때, 본 논의에서 거론된 R22나 R134a만이 대체가능성이 있는 냉매는 아니며 보다 우수한 대체냉매의 개발에도 힘을 기울여야 할 것으로 생각한다.

표3. 압축기 출구 냉매온도 및 폴리트로픽지수  
조건 :  $T_e = -10^\circ\text{C}$ ,  $T_c = 60^\circ\text{C}$ , 등엔트로피 압축

	R12	R22	R134a
압축기 출구 냉매온도(℃)	71.5	92.2	67.0
폴리트로픽 지수	1.04	1.11	1.02

## 참 고 문 헌

1. 1987, "Montreal Protocol on Substances that Depletes the Ozone Layer", Final Act., United Nations Environment Programme.
2. 1990, "Applications Testing of HCFC 123 and HFC 134a", Dupont Report.
3. 1990, "Alternative to CFCs", Dupont Report.
4. 1990, "Ternary Refrigerant Blends", Dupont Report ARTD-10.
5. Grether, D. E. et. al., 1988. "Characterization of the CFC Issues Refrigeration Industry Part 1-2", Int. J. of Refrig., Vol. 11, pp. 211-216.
6. Kern, J. et. al., 1988, "Impact of the Montreal Protocol on Automotive Air Conditioning", Int. J. of Refrig., Vol. 11, pp. 203-210.
7. Creswick, F. A. et. al., 1988. "Potential Impacts of CFC Restrictions on Refrigerating and Space-Conditioning Equipments", Int. J. of Refrig., Vol. 11, pp. 217-221.
8. Likes, P. N., 1988. "Impact of CFC Regulations on Commercial Refrigeration Equipment Manufacturers", Int. J. of Refrig., Vol. 11, pp. 222-228.
9. Atwood, 1988, "CFCs in Transition", Int. J. of Refrig., Vol. 11, pp. 234-238.
10. Chatenever, 1988, R., Air Conditioning and Refrigeration for the Professional, John Wiley & Sons.