

## 승용차 냉방장치로부터의 온실가스 냉매인 HFC-134a 탈루배출모델에 대한 연구

### Development of Fugitive Emission Model of HFC-134a from Mobile Air Conditioner of Passenger Automobiles

김 승 도\* · 김 순 아 · 김 의 건

한림대학교 기후변화연구센터

(2012년 5월 23일 접수, 2012년 6월 29일 수정, 2012년 8월 3일 채택)

Seungdo Kim\*, Suna Kim and Eui-Kun Kim

Research Center for Climate Change, Hallym University

(Received 23 May 2012, revised 29 June 2012, accepted 3 August 2012)

#### Abstract

The objective of this research was to develop fugitive emission models of HFC-134a (Hydrofluorocarbon-134a) at the operation and disposal stages of passenger cars. It is essential to estimate the emission of HFC-134a from mobile air conditioner (MAC) due to its high Global Warming Potential (GWP) and extensive use as a refrigerant in MAC. The first-order emission model was introduced and the emission rate constant was assumed to be unvaried with time. A commercial recovery station of refrigerants was used to recover the HFC-134a from the MAC. Average emission rate constant and annual emission rate during the operation period of vehicle are estimated to be  $0.0538 \pm 0.0092$  ( $n=21$ )  $\text{yr}^{-1}$  and  $5.2 \pm 0.6\%$ , respectively within a confidence interval of 95%. According to the model results, about 50% of HFC-134a would be emitted from the MAC during the 10 years operation of passenger cars. On the other hand, average remaining portion of HFC-134a in the MACs of scrap cars is  $58.2 \pm 4.8\%$  ( $n=50$ ) within a confidence interval of 95%, suggesting that over 40% of the initially charged amount could be released fugitively after disposal provided that the HFC-134a would not be properly treated or recycled.

**Key words** : HFC-134a, Fugitive emission models, Fugitive emission factor, Mobile air conditioner, Emission rate

#### 1. 서 론

1989년 1월 몬트리올 의정서에 의해 CFC-12(Chlo-

rofluorocarbon)의 사용이 금지되면서 자동차용 에어컨 대체 냉매로서 HFC-134a가 상용화되었다. HFC-134a는 오존층을 파괴하는 염소 대신 수소가 결합되어 있어 오존파괴지수(Ozone Depletion Potential; ODP)가 0이지만 지구온난화지수(Global Warming Potential; GWP)가 1,300으로 상당히 높아 기후변화 협약과 교토의정서에 의해 온실가스로 규정되었다

\*Corresponding author.

Tel : +82-(0)33-256-9813, E-mail : [sdkim@hallym.ac.kr](mailto:sdkim@hallym.ac.kr)

(Stemmler *et al.*, 2004).

한편 자동차는 HFC-134a의 주요 배출원으로 꼽히고 있으며 (California Environment Protection Agency Air Resources Board, 2004; Harnisch and Hohen, 2002), 그 중에서도 승용차의 배출규모가 가장 큰 것으로 알려지고 있다 (Schwarz *et al.*, 2005). 특히, 승용차에서의 HFC-134a 탈루배출을 줄이기 위해서는 승용차의 운행 및 폐기단계에서의 HFC-134a 배출특성에 대한 조사가 선행되어야 한다. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006)에서는 운행 중인 차량의 HFC-134a 연간 탈루율 기본값으로 10~20%를 제안하고 있으나, 일본의 경우 (METI, 2009)는 5.2%, 유럽의 경우 (Schwarz *et al.*, 2005)는 6.9% 등 상당한 차이를 보이고 있다. 국가별 특성 파악이 없이 IPCC의 기본값을 적용하는 경우 과다 산정의 개연성이 높다.

국내의 경우 1994년도부터 HFC-134a가 생산 보급되기 시작하여 현재는 HFC-134a로 완전히 대체된 상황이고, 폐차의 경우도 냉매로서 거의 HFC-134a가 사용된 것으로 알려지고 있다. 현재 국내 운행 중인 승용차는 2010년 기준하여 1,360만대, 폐차는 51만대 (MLTM, 2010)임에도 불구하고, 승용차에서의 HFC-134a의 배출에 대한 국내 연구는 전무인 상황이다.

본 연구에서는 승용차의 MAC에서 사용하고 있는 온실가스인 HFC-134a 냉매의 운행 및 폐기단계에서의 배출 특성을 파악코자 하는 데 그 목적을 두고 있다. 본 연구 결과는 HFCs 온실가스 감축 및 관리 정책 방안을 위한 기초자료로 활용 가능하리라 여겨지며, 나아가 MAC에서의 HFC 국가 고유 배출계수 결정에 기여코자 한다.

## 2. 이론적 배경

자동차 냉매로 현재 사용되고 있는 HFC-134a의 배출은 그 배출특성에 따라 운행단계와 폐기단계로 구분할 수 있으며, 각 단계별로 냉매 배출모델을 개발 제시하였으며, 그 결과는 아래에서 보는 것과 같다.

### 2.1 운행단계 배출모델

자동차 운행단계에서의 냉매 배출모델을 개발하기 위해서 적용한 가정은 1) 냉매장치에서의 탈루는 확

산에 의해 이뤄지며, 2) 탈루배출율은 냉매 잔류량에 비례한다. 이러한 가정에 근거한 동역학식은 아래에서 보는 것과 같다.

$$\frac{dM_h}{dt} = -\epsilon_h \cdot M_h \tag{1}$$

여기서  $M$ 은 어느 시간  $t$ 에서의 잔류량(g),  $\epsilon$ 은 탈루배출상수( $yr^{-1}$ ), 아래첨자  $h$ 는 HFC를 의미한다.

식(1)을 적분하게 되면 어느 시간  $t$ 에서의 냉매 잔류량은 다음과 같이 결정된다.

$$M_h(t) = M_{h,0} \cdot \exp(-\epsilon_h \cdot t) \tag{2}$$

여기서 아래첨자 0는 초기조건을 의미하므로  $M_{h,0}$ 는 HFC-134a의 초기 충전량(g)을 의미한다. 그러므로 탈루배출상수는 아래 식에 의해 결정할 수 있으며, 초기 충전량과 잔류량, 측정시점까지의 운행시간에 대한 정보만 알면 결정할 수 있다.

$$\epsilon_h = \frac{\ln [M_h(t)/M_{h,0}]}{-t} \tag{3}$$

#### 2.1.1 재충전하지 않는 경우

폐기할 때까지 자동차 냉매를 한 번도 재충전하지 않는 경우에 어느 특정 시점  $t$ 에서의 탈루배출 총량은 초기 충전량과 그 시간에서의 잔류량 차이에 의해 아래에서 보는 것처럼 결정된다.

$$\begin{aligned} E_u(t) &= M_{h,0} - M_h(t) = M_{h,0} \{1 - \exp(-\epsilon_h \cdot t)\} \\ &= M_{h,0} \{1 - f_r(t)\} \end{aligned} \tag{4}$$

여기서  $E_u$ 는 사용단계의 HFC-134a의 탈루배출량(g)이며,  $f_r$ 은 잔류율이다. 한편 특정년도  $t$ 에서의 1년 동안의 연간 탈루배출량은 아래에서 보는 것처럼 특정년도  $t$ 와 그 전년도( $t-1$ )의 잔류량 차이로 설명 가능하다.

$$E_y(t) = M_{h,0} \cdot [\exp\{-\epsilon_h \cdot (t-1)\} - \exp\{-\epsilon_h \cdot (t)\}] \tag{5}$$

여기서  $E_y(t)$ 는 특정년도  $t$ 에서의 1년 동안의 HFC-134a의 연간 탈루배출량이다. 이를 토대로 운행단계의 자동차에서 배출되는 HFC-134a의 연간 탈루배출율(%)은 다음과 같이 표현되며, 연도에 무관하게 일정한 값을 보인다.

$$x (\%) = \frac{E_y(t)}{M_h(t-1)} \times 100 (\%)$$

$$= \{1 - \exp(-\varepsilon_h)\} \times 100 (\%) \quad (6)$$

여기서 x는 탈루배출율(탈루배출계수; %)이다.

2. 1. 2 재충전하는 경우

자동차를 운행하는 과정에서 재충전한 경우의 탈루배출 총량(g)은 다음과 같이 표현 가능하다.

$$E_u = M_{h,0} \times \{(1 - f_r) + N_c \times (1 - f_L)\} \quad (7)$$

여기서 N<sub>c</sub>는 폐기 전까지의 재충전 회수, f<sub>L</sub>은 재충전 시점의 평균 잔류율이다. 특정년도 t에서의 잔류량은 재충전 시점을 원년으로 하여 아래에서 보는 것과 같이 결정할 수 있다.

$$M_h(t) = M_{h,0} \cdot \exp\{-\varepsilon_h \cdot (t - t_R)\} \quad (8)$$

여기서 t<sub>R</sub>은 가장 최근에 재충전한 연도를 의미한다. 연간 탈루배출량도 재충전 시점을 원년으로 하여 연간 탈루배출량을 아래에서 보는 것처럼 결정해야 한다.

$$E_y(t) = M_{h,0} \cdot [\exp\{-\varepsilon_h \cdot (t - t_R - 1)\} - \exp\{-\varepsilon_h \cdot (t - t_R)\}] \quad (9)$$

한편 연간 탈루배출율(x)은 재충전이 없는 경우와 동일하다(식 6).

2. 2 폐기단계 배출모델

자동차 폐기 시 배출량은 다음과 같이 표현된다.

$$E_w = M_{h,0} \times f_r(1 - \eta) \quad (10)$$

여기서 η는 회수 처리 또는 재활용율을 의미한다. 현재 국내의 경우 폐기 시 회수를 하지 않기 때문에 본 연구에서는 “0”으로 산정하였다.

2. 3 전 생애 배출모델

전 생애 총배출량(g)은 재충전 안 한 경우와 재충전한 경우로 구분하여 식(11)과 (12)에서 보는 것처럼 표현 가능하다.

○ 재충전 안 한 경우:

$$E_T = M_{h,0} \times (1 - f_r \cdot \eta) \quad (11)$$

○ 재충전한 경우:

$$E_T = M_{h,0} \times \{(1 - f_r \cdot \eta) + N_c \times (1 - f_L)\} \quad (12)$$

Table 1. Recovery capacity of refrigerants and specifications of recover used here.

Refrigerant type	Recovery capacity (g/min)	Specifications for recover	
R*-22	Vapor:170 Liquid:900	Upper limit of weighing	50 kg
R-134a	Vapor:170 Liquid:900		
R-407	Vapor:170 Liquid:900	Minimum unit	2 g
R-410A	Vapor:190 Liquid:760		
R-502	Vapor:300 Liquid:1200	Precision	±0.5%

R stands for refrigerant

여기서 E<sub>T</sub>는 HFC-134a의 운행부터 폐기까지의 총배출량을 의미한다.

3. 실험장치 및 방법

3. 1 냉매 회수장치

본 연구에서는 승용차 냉매 회수를 위해 미국 Yellow Jacket사의 회수기(Recover XLT/95763모델)를 사용하였다. 냉매 회수장치는 회수기, 자동차용 에어컨의 냉매 상태를 점검하는 압력 게이지, 전자저울, 냉매 회수·저장용기 등으로 구성되어 있으며 회수기의 제원은 표 1에서 보는 것과 같다.

3. 2 냉매 회수방법

3. 2. 1 준비작업

회수기가 4°C 이하의 온도조건 하에서는 작동하지 않기 때문에 회수를 하기 위해서는 자동차의 엔진작동이 없는 상태에서 측정 온도 4°C 이상으로 높은 경우에만 수행하였다. 고압조건에서는 회수가 잘 되지 않기 때문에 모든 냉매 호스, 냉매가 들어있는 회수통, 배관라인 그리고 회수기는 고압 이하에서 다루어져야 한다. 또한, 냉매가스 저장용기는 진공을 걸어주어 냉매가스가 원활하게 회수될 수 있도록 준비해 주어야 한다.

3. 2. 2 회수방법

운행단계의 자동차 측정의 경우 운행 중 엔진 열

에 의해 위험할 수 있으므로 시동 정지 후 약 30분 가량 엔진을 식힌 상태에서 회수를 시작하였다. 폐기 단계의 경우 자동차 냉매 회수량은 폐차장에 자동차가 오래 방치된 상태이기 때문에 바로 회수량 측정을 수행해도 무방하다.

회수방법으로는 압력계이저를 사이에 두고 회수기와 시스템, 회수저장용기를 연결한다. 회수 전 모든표호스에 있는 공기를 퍼지(Purge) 기능을 통해 제거한 후 회수통과 압력 계이지의 밸브를 열고 회수기를 작동시킨다. 저압계이지가 진공상태로 내려갈 때까지 작동시킨 후 회수기 전원 차단 후에 회수량을 측정한다.

자동차 냉매가스 회수 소요 시간은 사용 단계와 폐기 단계에서 각각 잔류량에 따라 회수시간이 달라진다. 회수기의 회수능력은 일정하므로 잔류량이 많을수록 회수시간이 길어지고 반면에 잔류량이 적을수록 빨리 회수된다.

**3.3 측정 대상 자동차 선정**

자동차 연식을 크게 2001년 이전, 2001년~2006년, 2007년 이후로 세 개의 범주로 구분하였다. 차량별 규모는 자동차관리법에 근거하여 대형, 중형, 소형, 경형으로 분류하였다. 운행 중인 승용차는 충전을 한 번도 안 한 차량 20대를 선정 조사하였고, 폐기 차량은 폐차장 협조를 받아 50대를 측정하였다.

**4. 결과 및 토론**

**4.1 회수량 보정 (Calibration)**

본 연구에서 사용한 회수장치가 냉매를 전량 회수할 수 있는지 여부를 파악하고, 만약 그렇지 못한 경우에는 잔류량을 보정할 필요가 있다. 이를 판단하기 위해서 차량의 냉매를 모두 제거한 다음에 알고 있는 냉매량을 주입한 다음에 회수실험을 실시하였다.

회수 성능이 온도에 영향을 받을 수 있으므로 여러 온도에서 회수실험을 실시하였다. 또한 차량에 따라 달라질 수도 있으므로 차량 종류별(소형 2종, 대형 1종)로도 구분 실시하였다.

표 2에서 보는 것처럼 회수율은 80~95%이며, 95% 신뢰구간에서의 평균값은 90.6±3.7%이며, 상대표준편차는 4.1%로 주입량, 차량 종류와 온도 등에 큰 영

**Table 2. Calibration results of recovery performance of HFC-134a by recovery station used here.**

Vehicle type	Temperature (°C)	Charged amount (g)	Recovered amount (g)	Recovery rate (%)
A-1 <sup>1)</sup>	15	508.0	442	87.0
		446.0	402	90.1
		400.0	382	95.5
		348.0	322	92.5
		296.0	270	91.2
		250.0	224	89.6
		198.0	180	90.9
		164.0	152	92.7
		100.0	94	94.0
		Average		
A-2 <sup>1)</sup>	18	498.0	452	90.8
		404.0	366	90.6
		300.0	282	94.0
		198.0	170	85.9
		Average		
B <sup>2)</sup>	8	398.0	358	89.9
		296.0	268	90.5
		198.0	180	90.9
		112.0	110	98.2
		Average		
C <sup>3)</sup>	10	496.0	448	90.3
		416.0	384	92.3
		304.0	262	86.2
		198.0	158	79.8
		96.0	86	89.6
Average			87.6±6.1	
Average			90.6±1.7	

<sup>1)</sup> Small (H Motor Co.: Displacement 1,600 CC), <sup>2)</sup> Large (H Motor Co.: Displacement 3,300 CC), <sup>3)</sup> Small (H Motor Co.: Displacement 1,800 CC)

향을 받지 않고 일정한 회수율을 보인다. 이러한 회수 특성은 그림 1에 도시하였으며, 주입량과 회수량은 선형관계로 나타났으며, 회수기에 의한 회수량과 실제 주입량(잔류량)의 관계식은 아래에서 보는 것과 같다(선형 상관계수: R<sup>2</sup>=0.9973).

$$M_r = 1.0872 \times M_m + 6.4098 \tag{13}$$

여기서 M<sub>r</sub>는 HFC-134a의 실제 주입량(g), M<sub>m</sub>은 회수량(계기 측정값: g)이다.

이처럼 주입량과 회수기에 의한 회수량 간의 차이는 1) 회수설비(예를 들어 회수관) 등에 냉매가 잔존, 2) 일부 냉매는 회수되지 않는 한계치가 존재하기 때문으로 풀이된다. Schwarz(2001)는 자동차 내 냉매가

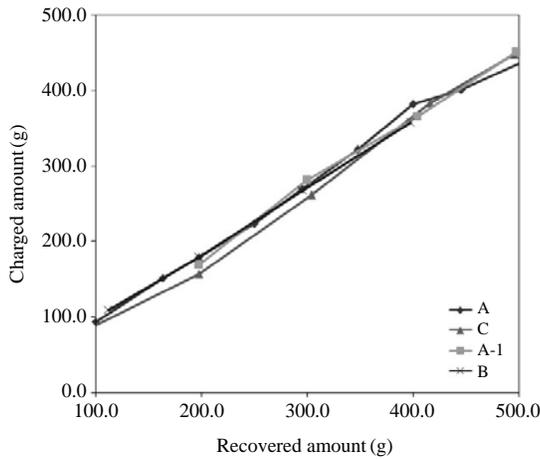


Fig. 1. Calibration curves for refrigerant recovery station used here.

스 회수 시 10~20 g의 잔류량으로 보고하였으며, 이것은 냉매 오일에 용해된 냉매가스나 증발기에 잔존하는 것으로 나타났다.

4.2 운행단계 탈루배출 특성

운행 중인 승용차 21대를 측정하여 탈루배출에 대한 정보를 수집 분석하였다(표 4). 21대의 평균 탈루배출상수는  $0.0526 \pm 0.0060 \text{ yr}^{-1}$ , 연간 평균 탈루율은  $5.2 \pm 0.6\%$ 로 나타났다.

차량 연식을 세 구간(2001년 이전, 2002년~2006년, 2007년 이후)으로 구분하여 탈루배출상수값을 결정하였으며, 2001년 이전 차량군의 평균 탈루배출상수는 95% 신뢰구간에서  $0.0596 \pm 0.0191 \text{ yr}^{-1}$ (연간 평균 탈루율:  $5.9 \pm 1.7\%$ )인 반면에 2002~2006년에 속하는 차량군의 탈루배출상수는  $0.0537 \pm 0.0094 \text{ yr}^{-1}$ (연간 평균 탈루율:  $5.2 \pm 0.9\%$ ), 2007년 이후의 차량군의 탈루배출상수는  $0.0453 \pm 0.0065 \text{ yr}^{-1}$ (연간 평균 탈루율:  $4.5 \pm 0.7\%$ )이다. 차량이 높을수록 탈루배출상수와 연간 탈루율이 높은 것으로 드러났으며, 그 이유는 차량이 높을수록 접합 부분 등이 노후화하면서 탈루가 일어날 개연성이 높기 때문으로 풀이된다.

정부의 배기량 기준에 따라 조사 차량을 경차, 소형차, 중형차, 대형차로 구분하였다(표 3). 경차의 평균 탈루배출상수는 95% 신뢰구간에서  $0.0543 \pm 0.0077 \text{ yr}^{-1}$ (연간 평균 탈루율:  $5.3 \pm 0.7\%$ ), 소형차의 탈루배

Table 3. Emission factor of HFC-134a for mobile air conditioner during the period of operation.

Vehicle type	Emission factor (%/yr)	IPCC emission factor (%/yr)*
Mini size	5.3	
Small size	5.3	10~20
Medium size	5.3	
Large size	4.3	

\*IPCC (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

출상수는  $0.0540 \pm 0.0224 \text{ yr}^{-1}$ (연간 평균 탈루율:  $5.3 \pm 0.9\%$ ), 중형차의 탈루배출상수는  $0.0539 \pm 0.0124 \text{ yr}^{-1}$ (연간 평균 탈루율:  $5.3 \pm 1.2\%$ ), 대형차의 탈루배출상수는  $0.0437 \pm 0.0037 \text{ yr}^{-1}$ (연간 평균 탈루율:  $4.3 \pm 0.03\%$ )이다. 대형차만 제외하고서는 차량 크기에 따라 냉매 탈루배출상수와 탈루율이 큰 차이를 보이지 않았다. 대형차의 경우 시료수가 세 개 밖에 되지 않아 현재 결정된 값이 대표치라고 하기에는 시료수가 부족한 상황이다. 향후에는 대형차에 대한 조사 수를 늘려 검증할 계획이다.

운행단계의 탈루 배출계수(연간 탈루율)의 결과는 아래에서 보는 것처럼 정리할 수 있으며, IPCC에서 제시한 기본값의 절반 이하로 낮음을 알 수 있다(표 4). IPCC에서 제시한 배출계수는 일반적인 경우로서 우리나라의 상황과 특성을 반영하지 못하고 있기 때문에 이러한 차이가 생겼다고 판단된다. 일본의 경우(METI, 2009)는 5.2%, 유럽(Schwarz *et al.*, 2005)은 6.9%로서 본 연구 결과와 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

10년 운행한 경우의 탈루량은 앞서 결정한 탈루배출상수를 식(2)에 대입하여 결정할 수 있으며, 초기량 대비하여 경차는 41.9%, 소형차는 42.3%, 중형차는 41.9%, 대형차는 35.5%가 탈루되는 것으로 추정할 수 있다. 즉 10년 운행한 차량의 경우도 잔류율이 50% 이상으로 상당량이 냉매 장치에 남아있게 되므로 폐차하는 경우에 HFC-134a의 회수 처리가 필요하다.

4.3 폐기단계 배출특성

폐승용차에서의 HFC-134a의 배출특성을 살펴보기 위해 승용차 제조 기간을 2001년 이전, 2002~2006년, 2007년 이후로 구분하였다. 또한 배기량 기준하여 승용차를 경차, 소형차, 중형차, 대형차로 구분하

**Table 4. Emission characteristics of HFC-134a from operating vehicles.**

Classification	Size	Model year	Operating time (yr)	Initial charge amount (g)	Residual amount (g)	Fugitive emission constant (yr <sup>-1</sup> )	Yearly emission rate (%)
Before 2001	Mi <sup>1</sup>	1999	12.3	550	252.65	0.0627	6.1
		2000	11.4	550	299.74	0.0528	5.2
		Average					0.0577
	S <sup>2</sup>	2000	11.9	700	242.55	0.0883	8.5
		2000	12.1	700	446.63	0.0320	3.7
		Average					0.0601
	Me <sup>3</sup>	1999	13.1	670	289.65	0.0637	6.2
		2000	11.3	680	350.20	0.0581	5.7
		Average					0.0610
	L <sup>4</sup>	-	-	-	-	-	-
Average						0.0596 ± 0.0191	5.9 ± 1.7
2002 ~ 2006	Mi <sup>1</sup>	2002	9.4	550	318.80	0.0579	5.6
		2002	7.5	550	309.83	0.0604	5.9
		Average					0.0592
	S <sup>2</sup>	2006	5.9	550	397.29	0.0566	5.5
		2004	7.9	500	300.86	0.0642	6.2
		Average					0.0604
	Me <sup>3</sup>	2003	9.0	650	354.68	0.0673	6.5
		2003	9.1	780	558.76	0.0364	3.6
		Average					0.0518
	L <sup>4</sup>	2004	8.0	650	453.36	0.0446	4.4
2001		10.4	750	482.51	0.0420	4.2	
Average					0.0433	4.3	
Average						0.0537 ± 0.0094	5.2 ± 0.9
2007 ~ Present	Mi <sup>1</sup>	2010	2.9	450	347.96	0.0447	4.4
		2007	4.9	450	356.93	0.0471	4.6
		Average					0.0459
	S <sup>2</sup>	2009	2.4	480	444.39	0.0319	3.1
		2003	9.0	500	404.02	0.0512	5.0
		Average					0.0415
	Me <sup>3</sup>	2011	1.8	550	509.42	0.0438	4.3
		2008	3.6	780	639.50	0.0542	5.4
		Average					0.0490
	L <sup>4</sup>	2007	5.3	910	720.23	0.0445	4.4
Average						0.0453 ± 0.0065	4.5 ± 0.7
Total average						0.0526 ± 0.0060	5.2 ± 0.6

<sup>1</sup>: Mini, <sup>2</sup>: Small, <sup>3</sup>: Medium, <sup>4</sup>: Large

여 잔류량을 측정하였다.

폐승용차 50대를 측정된 결과 HFC-134a의 95% 신뢰구간에서의 평균 잔류율은 58.2 ± 4.8% 이었고, 2001

년 이전의 폐승용차의 평균 잔류율은 53.2 ± 6.0%, 2002년부터 2006년까지의 평균 잔류율은 63.7 ± 7.4% 그리고 2007년 이후에 제조된 폐승용차의 잔류율은

**Table 5. Residual rate of HFC-134a in waste vehicles.**

Classification	Manufacturing date	Total operation time (yr)	Initial charge amount (g)	Residual amount (g)	Residual rate (%)	
Mi <sup>1</sup>	Sep. 2000	11.5	550	380	69.1	
	Aug. 1997	14.6	550	242	44.0	
	Nov. 1998	13.3	650	270	41.5	
	Mar. 1996	16.1	500	317	63.4	
	Aug. 1997	14.7	550	252	45.8	
	Feb. 1999	13.1	550	410	74.5	
	Mar. 2000	12.0	550	178	32.4	
	Sep. 1998	13.5	500	110	22.0	
	Average				49.1 ± 15.4	
	S <sup>2</sup>	Jan. 1999	13.2	680	428	62.9
Nov. 2000		11.8	730	413	56.6	
Mar. 1997		15.1	700	426	60.9	
Aug. 1998		13.6	750	428	57.1	
Jun. 1999		12.8	680	313	46.0	
Jun. 1997		14.8	730	412	56.4	
May 2000		11.8	680	612	90.0	
Mar. 1999		13.0	730	347	47.5	
Average				59.7 ± 11.4		
Me <sup>3</sup>	Sep. 2000	11.5	670	460	68.7	
	Mar. 1999	13.1	700	364	52.0	
	May 1999	12.9	670	480	71.6	
	May 1994	15.8	730	247	33.8	
	Jun. 1.994	15.8	730	294	40.3	
	Jul. 1996	15.7	730	190	26.0	
	Mar. 1995	17.0	700	170	24.3	
Average				45.2 ± 17.9		
L <sup>4</sup>	Jun. 1999	11.8	680	391	57.5	
	Jul. 1996	15.8	670	456	68.1	
	Jun. 1999	12.8	680	497	73.1	
	Jun. 1997	13.8	900	441	49.0	
	Apr. 2000	11.9	1,020	511	50.1	
	Jun. 1996	15.8	1,020	606	59.4	
	Mar. 2000	11.9	670	348	51.9	
Average				58.4 ± 8.5		
Average				53.2 ± 6.0		
Mi <sup>1</sup>	Aug. 2005	6.6	550	448	81.5	
	May 2008	8.8	650	382	58.8	
	May 2005	6.8	550	314	57.1	
	Jan. 2006	6.2	550	363	66.0	
	Apr. 2006	6.0	670	498	74.3	
	Oct. 2001	10.5	700	420	60.0	
Average				63.2 ± 8.7		
Me <sup>3</sup>	Jan. 2004	7.2	780	461	59.1	
	Feb. 2001	11.1	700	389	55.6	
	Oct. 2006	5.8	780	293	37.6	
	Jun. 2001	10.8	670	413	61.6	
	Jul. 2001	10.7	780	521	66.8	
	Jun. 2001	10.8	650	430	66.2	

Table 5. Continued.

Classification	Manufacturing date	Total operation time (yr)	Initial charge amount (g)	Residual amount (g)	Residual rate (%)	
2002~2006	Me <sup>3</sup>	Jan. 2006	6.2	550	428	77.8
		May 2003	8.8	650	412	63.4
		Average				61.0±9.6
	L <sup>4</sup>	May 2001	10.7	750	324	43.2
		Dec. 2002	9.3	750	688	91.7
		Jun. 2001	10.8	680	583	85.7
		Feb. 2003	9.1	1,020	412	40.4
	Average				65.3±43.3	
	Average				63.7±7.4	
	After 2007	Me <sup>3</sup>	Jun. 2007	4.8	550	478
Jun. 2008			3.8	550	437	79.5
Average				83.2±47.0		
Average				58.2±4.8		

<sup>1</sup>: Mini, <sup>2</sup>: Small, <sup>3</sup>: Medium, <sup>4</sup>: Large

83.2±47.0%로 나타났다(표 5). 예상했던 것처럼 차령이 낮을수록 평균 잔류율이 높게 나타났으며, 연식이 낮은 차량은 운행기간이 길고, 노후로 인하여 탈루배출될 개연성이 그만큼 높기 때문으로 풀이된다. 폐승용차의 평균 잔류율은 60%에 육박할 정도로 높기 때문에 폐승용차에 잔류하는 HFC-134a의 재활용을 포함한 적정 처리가 시급한 상황이다.

폐승용차 규모별 탈루율은 경차의 경우 52.7±15.6%, 소형차는 61.1±6.8%, 중형차는 57.1±10.4%, 대형차는 60.9±11.3%로 나타났다. 경차를 제외하고는 잔류율이 유사하여 차량 규모별로 뚜렷한 경향성이 관찰되지는 않았다. 일반적으로 대형 차량일수록 탈루율이 높아 잔류율이 낮으리라 기대되었으나(Schwarz *et al.*, 2005), 경차가 가장 잔류율이 낮은 것은 의외의 결과이었다. 그 이유에 대해서는 조사 대상 수를 늘려 결과의 신뢰도를 높이고, 면밀한 분석이 필요하다.

폐승용차의 잔류율은 재충전, 사고로 인한 탈루 등의 2차 요인이 존재하므로 자연 탈루배출에 의한 영향만을 분리하여 고찰하기가 용이하지 않다. 그러므로 이러한 2차 요인에 의한 영향을 최소화하기 위해서는 조사 대상 시료 수를 늘려 대표성을 확보하는 것이 필요하다. 또한 재충전, 사고 등이 탈루에 미치는 영향 등을 정량화할 필요가 있다.

### 5. 결론 및 시사점

운행 중인 승용차 21대, 폐승용차 50대를 대상으로 조사 분석한 본 연구의 주요 결론과 시사점은 다음과 같이 정리할 수 있다.

1) 승용차 운행단계 탈루배출반응은 1차 반응으로 설명하였고, 탈루배출상수를 차량 규모, 연식에 따라 산정 제시하였다. 탈루배출상수는 차량의 고유값으로 시간 등에 따라 변하지 않는다고 가정하였다.

2) 운행단계에서의 평균 연간 탈루율은 5.2%로서 IPCC 기본값인 10~20%보다 훨씬 낮은 값으로 IPCC 기본값을 적용한 기존의 결과는 과다 산정되었으므로 국가 고유값 개발 적용의 중요성을 재차 확인할 수 있었다.

3) 운행단계 연간 탈루율은 차령이 낮을수록 높았으며 이는 차량 노후화와 밀접한 관련이 있다고 추정되는 반면에 차량 크기와는 거의 무관한 결과를 얻었다. 대형차량의 경우 탈루배출상수와 연간 탈루율이 타 종과 달리 낮게 나타났으나, 표본 조사 수가 세 개 밖에 되지 않아 대표치로 간주하기에는 시료가 부족하여 향후 시료수를 늘려 조사 분석할 필요가 있다.

4) 탈루배출모델 결과에 따르며 10년 정도 운행하더라도 냉매인 HFC-134a의 잔류율이 50% 이상으로

정상적인 상태에서는 10년 이상이 되더라도 냉매를 재충전할 필요가 없는 것으로 나타났다.

5) 폐승용차의 평균 잔류율은  $58.2 \pm 4.8\%$ 로 나타났다으며, 연식이 낮을수록 잔류율이 낮고, 차량 규모와는 상관없이 잔류율이 유사하게 나타났다. 경차를 제외하고는 잔류율이 유사하였으나, 경차의 잔류율이 낮은 이유(52.7%)가 차량의 특성 때문인지 시료 수가 부족하여 대표 값을 확보하지 못한 것인지 현재는 결론 내리기가 힘들며 향후 시료 수를 늘려 조사 분석할 필요가 있다.

### 감사의 글

본 연구는 환경부 “기후변화대응 환경기술개발사업”으로 지원받은 과제임.

### 참 고 문 헌

California Environment Protection Agency Air Resources Board (2004) HFC-134a as an Automotive Refrigerant Background, Emissions, and Effects of Potential

Controls, Report, 1-50.

Harnisch, J. and N. Hohen (2002) Comparison of emissions estimates derived from atmospheric measurements with national estimates of HFCs, PFCs and SF<sub>6</sub>, J. Environ. Sci. Pollu. Res., 9(5), 315-320.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2006) IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 3, 7.80-7.92.

METI (Ministry of Economy, Trade and Industry) (2009) Emission Factors in Refrigeration Equipments, <http://www.meti.go.jp/committee/materials>.

MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime) (2010) Automobile Registration Status Report, <https://stat.mltm.go.kr/portal/main>.

Schwarz, W. (2001) Emission of Refrigerant R-134a from Mobile Air Conditioning Systems Environmental, Research and Consultancy Office Frankfurt am Main, Germany.

Schwarz, W., J. Harisch, A. Koppenol, and M. Vainio (2005) Establishing HFC Use-Phase Emissions Rates of Mobile Air Conditioners in Passenger Cars, Öko-Recherche GmbH, Germany, 1-8.

Stemmler, K., S. O'doherty, B. Buchmann, and S. Reinmann (2004) Emissions of the refrigerants HFC-134a, HCFC-22, CFC-12 from road traffic: results from a tunnel study, Environ. Sci. Technol., 38, 1998-2004.