

ORIGINAL ARTICLE

폐트럭으로부터 온실가스 HFC-134a의 탈루배출계수와 인벤토리 산정에 대한 연구

김익건 · 김승도^{1)*} · 김혜림 · 이영표 · 변석호 · 이동원²⁾

한림대학교 기후변화연구센터, ¹⁾한림대학교 환경생명공학과, ²⁾온실가스종합정보센터

Estimation of Emission Factor (Residual Rate) and Inventory of HFC-134a from Mobile Air Conditioners of Scrap Truck

Eui-Kun Kim, Seungdo Kim^{1)*}, Hyerim Kim, Young phyo Lee, Seokho Byun, Dong won Lee²⁾

Research Center for Climate Change, Hallym University, Kangwondo 200-702, Korea

¹⁾Department of Environmental Sciences and Biotechnology, Hallym University, Kangwondo 200-702, Korea

²⁾Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea, Seoul 110-999, Korea

Abstract

This paper attempted to estimate the emissions of HFC-134a from scrap truck as a result of measuring the residual quantities of HFC-134a in air conditioner of scrap truck. We measured the residual amounts in the scrap truck of 138 by applying commercial recover for refrigerants. The average residual rate(disposal-phase emission factor) is reported to be 44.3±3.3% within a confidence interval of 95%. Recent year model trucks exhibit the higher residual rates. Little variation, however, is observed in regard to vehicle size. The HFC-134a emission quantity from scrap truck in 2011 is estimated to be 55,908 tCO₂-eq that demonstrates 21.4% increase to compare with that in 2007. As the numbers of truck have increased dramatically during the last two decades, the emissions of HFC-134a from scrap truck would increase sharply in the next coming years. HFC-134a is a very high GWP greenhouse gas. therefore have to reduce the emissions from the scrap truck and need to find ways to recycle. The chemical compositions of refrigerants from scrap truck are quite similar to those of new refrigerants, suggesting that the refrigerants from scrap truck could be reused as refrigerant.

Key words : Scrap truck, Greenhouse gas, HFC-134a, Refrigerant, Emission factor, Residual rate

1. 서론

2011년 기준하여 국내 화물차 등록대수는 3,401,726 대이고 폐기되는 트럭은 50,793대(KADRA, 2011)로 10여 년 전에 생산된 점을 감안한다면 앞으로 폐트럭의 발생량은 지속적으로 급속히 증가할 것으로 여겨

진다. 따라서, 폐트럭의 환경친화적 처리가 심각한 문제로 대두되고 있다. 특히 폐트럭에 잔류하고 있는 에어컨(Mobile Air Conditioner; MAC) 냉매는 현재 회수 처리 또는 재활용되지 않고 대기 중으로 방출되고 있는 실정이다.

그동안 차량용 에어컨의 냉매가스로는 주로 CFC

Received 13 December, 2012; Revised 1 May, 2013;

Accepted 22 May, 2013

*Corresponding author: Seungdo Kim, Department of Environmental Sciences and Biotechnology, Hallym University, Kangwondo 200-702, Korea

Phone: +82-33-256-9816

E-mail: sdkim@hallym.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

(Chloro Fluoro Carbon)와 HCFC(Hydro Chloro Fluoro Carbon)가 사용되었으나 오존층을 파괴한다고 알려져 1989년 몬트리올 의정서에 의해 규제되었다. 그 이후 오존층을 파괴하지 않는 대체냉매로서 HFC-134a (1,1,1,2-tetrafluoroethane)가 개발 보급되었고, 우리나라는 1994년부터 HFC-134a가 생산 보급되기 시작하여 트럭에서는 현재 HFC-134a로 전량 교체된 상태이다.

HFC-134a 냉매의 경우, 기후변화협약과 교토의정서에서 온실가스 규제 대상 물질로 분류 관리되고 있다(Stemmler 등, 2004). 한편 HFC-134a의 지구온난화지수(Global Warming Potential; GWP)는 1,300으로 상당히 높아 효과적인 관리가 요구되고 있다. 펠트럭에서의 에어컨 냉매인 HFC-134a를 효과적으로 관리하기 위해서는 그 배출특성을 파악하고, 펠트럭에 잔류하는 HFC-134a의 성분 분석을 통해 회수 처리 또는 재활용을 위한 기초 정보 확보가 필요한 상황이다.

차량의 MAC에서의 탈루배출은 1) 제조단계, 2) 운행단계, 3) 폐기단계로 구분할 수 있다. 제조단계에서는 MAC 충전과정에서 탈루배출되는 것이고, 운행단계에서의 탈루배출은 크게 주행단계와 주차단계로 구분할 수 있다. 폐기단계에서는 잔류 냉매가 회수 처리되지 않으며 시차를 두고 전량 대기 중으로 배출될 것이다. 폐기단계에서는 냉방을 위해 냉매의 강제 순환으로 인한 누출이 없고, 확산에 의한 탈루배출만이 예상되므로 냉매의 배출속도는 운행단계 보다 훨씬 낮을 것으로 기대된다.

폐차 전까지 두 번 충전한다고 가정된 자동차 냉매의 출고 이후에 전 생애 잔류량 변화는 Fig. 1에서 보는 것처럼 주기함수 형태를 보일 것으로 여겨진다. 시간에 따라 지수함수 형태로 잔류량이 급격히 감하되다가 에어컨의 냉방 기능이 떨어지는 초기 충전량 대비하여 50~75% 수준(IPCC TEAP Reoport, 2005)에서 일반적으로 재충전하게 된다.

폐차 시점에서 트럭에 잔류하고 있는 HFC-134a 잔류량은 아래의 식(1)로 표현할 수 있다.

$$M_w = \frac{M_0 \times EF_w}{100} = M_0 \times \frac{f_r(1-\eta)}{100} \quad (1)$$

여기서 M_w 는 펠트럭에 잔류하는 HFC-134a양(g), EF_w 는 탈루배출계수(%), f_r 은 냉매 잔류율, M_0 는 HFC-134a의 완충량(g)을 의미한다. η 는 회수 처리 또는 재활용율을 의미한다. 펠트럭의 탈루배출계수는 재활용되지 않은 냉매 잔류율로 정의할 수 있다. 그러나 국내에서는 현재 펠트럭에서 냉매를 회수 처리하고 있지 않아 펠트럭의 잔류율이 탈루배출계수와 동일하다.

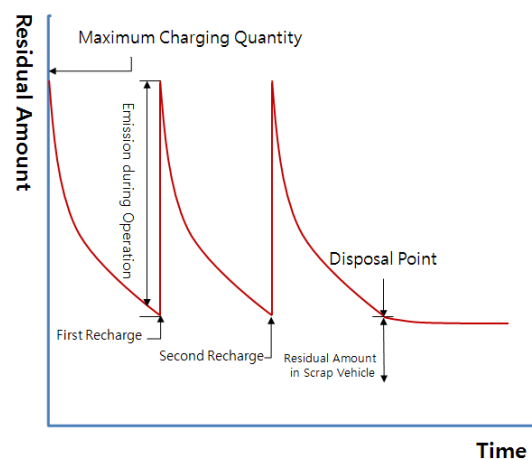


Fig. 1. Conceptual model of variation of remaining quantity of HFC-134a in MAC with time(Kim et al., 2012a).

본 연구는 펠트럭으로부터 HFC-134a의 배출특성을 파악하는 것이 목적이다. 특히 HFC-134a의 잔류량과 초기 충전량과 대비한 잔류율(탈루배출계수)을 파악하고 나아가서 국내에서 지난 수년간(2007~2011년)의 펠트럭에서의 배출된 HFC-134a 연간 배출량을 산정하였다. 또한 펠트럭에 잔류하는 냉매가스 성분 분석을 통하여 재활용 가능성을 진단하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 냉매 회수장치

본 연구에서는 폐기단계의 트럭 냉매 회수를 위하여 미국 Yellow Jacket사의 회수기(Recover XLT/95 763모델)를 사용하였다. 냉매 회수장치의 구성은 회수기, 압력 게이지, 전자저울, 냉매 회수·저장용기 등으로 이루어져 있으며 회수기 제원은 Table 1에서 보

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 | Minimum unit | 2 g |
| R-407 | Vapor : 170 Liquid : 900 | | |
| R-410A | Vapor : 190 Liquid : 760 | Precision | ±0.05% |
| R-502 | Vapor : 300 Liquid : 1200 | | |

“R” stands for refrigerant

는 것과 같다.

냉매회수기는 R-134a 외에 R-22, R-407, R-410A, R-502를 회수할 수 있으며 냉매의 종류에 따라 분당 회수능력이 다르다. 또한, 회수된 냉매의 중량 측정을 위해 사용한 저울은 정밀도가 ±0.05%, 측정 가능한 최대용량이 50 kg이고 최소단위는 2 g이다.

2.2 냉매 회수 및 측정방법

회수기는 4℃ 이상에서 작동하므로 겨울철의 냉매 회수 측정은 시도하지 않았다. 트럭 에어컨 시스템은 고압과 저압 밸브가 존재하므로 두 곳에서 냉매인 HFC-134a를 동시에 회수하였다. 따라서 고압, 저압 구에 각각 호스를 연결하여 압력 게이지를 연결한 다음에 회수기와 연결시킨다. 본격적인 회수 시작에 앞서 호스와 장치 내에 존재하는 공기를 회수기의 퍼지(Purge) 기능을 통해 제거하였다. 그 다음 회수통과 압력계 밸브를 개방한 후에 회수기를 작동시켰고, 운전 압력은 절대 압력 기준하여 0.5 bar이고, 자동 설정 기능에 의해 회수가 이뤄지며, 저압계가 진공상태로 내려갈 때까지 운전되고, 일반적으로 회수는 10분 이내에 이뤄진다. 회수가 끝나면 전원을 차단시켜 놓고 회

수량을 측정하였다.

2.3 페트럭 선정

페트럭을 연식에 따른 잔류율(탈루배출계수) 비교를 위하여 2001년 이전, 2001~2006년 사이, 2007년 이후의 세 개 범주로 구분하였고, 연식별 분류 이후에 자동차관리(Korea Minister of Land, Transport and Maritime(MLTM), 2012)에 근거하여 적재량에 따라 다시 경형, 소형, 중형, 대형으로 분류하였다. 측정 조사를 위해서 화물전용폐차장에 보관되어 있는 평균 운행기간이 12.5년인 폐기단계 트럭 138대를 조사하였다(Table 2).

2.4 냉매 성분 분석

냉매의 사용 과정에서 냉매 성분 변화가 있는지 여부를 파악하기 위해 화물차용 신냉매와 페트럭에서 회수한 폐냉매의 성분을 분석하였다. 페트럭에서 냉매가스 회수 방법으로는 페트럭 내 고압, 저압구에 호스를 압력 게이지에 연결 후 밸브를 열어 2 L의 테들러백(Tedlar Bag, RESTEK Co.)에 담아 회수하였다. 각각 GC-MSD(Gas Chromatography-Mass Selective

Table 2. Sampling numbers of scrap truck by model and size

| Vehicle size | Before 2001 | 2001~2006 | After 2007 | Sum |
|--------------|-------------|-----------|------------|-----|
| Mini | 7 | 5 | - | 12 |
| Small | 16 | 8 | 1 | 25 |
| Medium | 34 | 15 | 5 | 54 |
| Large | 27 | 20 | - | 47 |
| Total | 84 | 48 | 6 | 138 |

Detector)를 사용하여 분석하였으며, 분석 조건은 Table 3에서 보는 것과 같다.

신냉매는 1회용 보관 용기를 통해 가스와 액체 형태로 채취하였으며, 페트릭에 잔류하고 있는 폐냉매의 경우 가스와 액체 형태로 분류하기 어렵기 때문에 가스 상태로 채취하였다.

Table 3. GC-MSD operation conditions

| Classification | Analysis Conditions |
|----------------|---|
| Inlet | 220°C, Split ratio 100 : 1 |
| Column | DB-624 (60 m X 0.25 mm X 1.4 µm) |
| Flow | He , 1 mL/min |
| Oven | 40°C (5 min) at 10°C/min at 80°C at 250°C |
| Scan range | 45 ~ 300 m/z (EI mode) |

3. 결과 및 고찰

3.1. 회수량 보정(Calibration)

Schwarz(Schwarz, 2001)는 상업용 냉매 회수기를 사용하는 경우 자동차 냉매장치로부터는 10~20 g 정도가 회수되지 않는다고 보고하였다. 또한 국내 연구에서도(Kim 등, 2012b) 승용차 냉매장치로부터 HFC-134의 회수비율은 90%라고 최근 연구에서 밝혔다. 냉매가 100% 회수되지 않는 원인으로는 1) 냉매의 일부가 압축기 오일에 용해되어 손실되거나, 2) 냉매 회수가 어려운 냉매시스템의 취약구간에 머무는 일부 냉매가 잔류하기 때문으로 추정하였다.

본 연구에서도 사용된 냉매 회수장치의 회수 능력을 파악하고, 실제 잔류량과 회수량의 차이를 파악하기 위해 회수장치를 보정했어야 하나, 본 연구에서는 실시하지 못하여 에어컨 시스템이 유사한 승용차의 보정결과를 활용하였다. 선행 연구(Kim 등, 2012b)에서 제시한 MAC 보정 결과는 식(2)와 같다.

$$M_r = 1.0872 \times M_m + 6.4098 \quad (2)$$

여기서 M_r 는 HFC-134a의 실제 잔류량(g), M_m 은 회수량(계기 측정값: g)을 의미한다.

3.2. 폐기단계 탈루배출계수 결정

페트릭 138대를 측정된 결과 HFC-134a의 95% 신

뢰구간에서의 평균 잔류율(탈루배출계수)은 $44.3 \pm 3.3\%$ 이었고, 이는 Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC, 2006) 기본값인 0~50%에 속한다. 그러나 일반적으로 IPCC 기본값을 적용하는 경우 IPCC에서 제시한 범위(0~50%)의 중간 값인 25%를 택한다는 사실을 감안한다면 IPCC 기본값 적용은 국내 페트릭에서의 HFC-134a의 배출을 과소평가할 소지가 있다.

Fig. 2에서 보는 것처럼 페트릭의 HFC-134a 탈루배출계수에 대한 분포 곡선으로 정규분포 양상을 보이고 있다. 평균 탈루배출계수인 40% 전후에서 분포수가 두드러지게 높음(~32% 수준)을 알 수 있다.

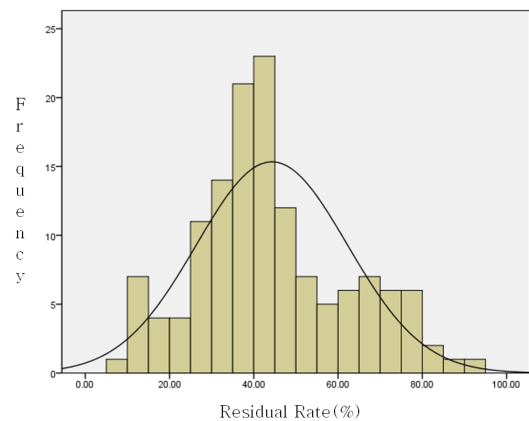


Fig 2. Distribution of fugitive emission factors of HFC-134a from MAC of scrap truck.

조사한 페트릭 138대 HFC-134a의 완충량은 550~900 g의 범위를 보여주었으며, 800 g이 31.2%, 680 g이 16.7%, 700 g이 15.9%, 750 g이 12.3% 순으로 나타났다. 평균 충전량은 95% 신뢰구간에서 750.8 ± 12.1 g으로 결정하였다. 그러므로 페트릭 한 대당 HFC-134a의 잠재 배출량(완충량에서 탈루배출계수를 곱해서 결정)은 332.6 g으로 결정할 수 있다. 한편 이 결과는 선행 연구(Kim 등, 2012a)에서 제시한 폐승용차의 383.4 g 보다 상당히 낮은 것으로 드러났으며, 그 이유는 트럭이 운행단계에서 HFC-134a의 배출규모가 더 높기 때문으로 풀이된다.

Table 4에서 보는 것처럼 2001년 이전의 페트릭 평균 탈루배출계수는 $41.3 \pm 3.3\%$ (n=84), 2002년부터 2006년까지의 페트릭 평균 탈루배출계수는 $48.7 \pm 6.2\%$

Table 4. Summary for related information on fugitive emission of HFC-134a from MAC of scrap truck

| Classification | Total operation time(yr) | Initial charge amount(g) | Residual amount(g) | Residual rate(%) |
|-----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|------------------|
| Mi ¹ | 15.2 | 800 | 241.4 | 30.2 |
| | 13.5 | 800 | 299.7 | 37.5 |
| | 14.1 | 800 | 318.8 | 39.9 |
| | 11.3 | 750 | 249.3 | 33.2 |
| | 11.1 | 750 | 343.5 | 45.8 |
| | 17.6 | 800 | 305.3 | 38.2 |
| | 14.4 | 800 | 249.3 | 31.2 |
| <i>Average</i> | <i>13.9±2.1</i> | <i>785.7±2.6</i> | <i>286.8±37.0</i> | <i>36.6±5.1</i> |
| S ² | 12.3 | 650 | 350.2 | 53.9 |
| | 14.7 | 850 | 231.3 | 27.2 |
| | 12.8 | 650 | 356.9 | 54.9 |
| | 11.1 | 680 | 184.2 | 27.1 |
| | 11.6 | 650 | 314.3 | 48.4 |
| | 18.3 | 550 | 121.5 | 22.1 |
| | 11.9 | 700 | 247.0 | 35.3 |
| | 12.7 | 650 | 303.1 | 46.6 |
| | 13.2 | 650 | 399.5 | 61.5 |
| | 17.6 | 700 | 489.2 | 69.9 |
| | 13.5 | 700 | 307.6 | 43.9 |
| | 14.8 | 700 | 356.9 | 51.0 |
| | 15.1 | 700 | 303.1 | 43.3 |
| | 18.3 | 650 | 316.6 | 48.7 |
| 11.3 | 650 | 143.9 | 22.1 | |
| 22.0 | 800 | 224.6 | 28.1 | |
| <i>Average</i> | <i>14.4±1.7</i> | <i>683.1±36.0</i> | <i>290.6±50.9</i> | <i>42.7±11.7</i> |
| Before 2001 | 19.0 | 800 | 315.4 | 39.4 |
| | 11.6 | 700 | 522.9 | 74.7 |
| | 16.7 | 650 | 404.0 | 62.2 |
| | 13.1 | 800 | 314.3 | 39.3 |
| | 14.0 | 750 | 316.6 | 42.2 |
| | 15.2 | 800 | 323.3 | 40.4 |
| | 11.6 | 800 | 309.8 | 38.7 |
| | 15.8 | 800 | 231.3 | 28.9 |
| | 14.2 | 800 | 316.6 | 39.6 |
| | 13.8 | 800 | 199.9 | 25.0 |
| | 15.4 | 800 | 270.6 | 33.8 |
| | 16.7 | 880 | 323.3 | 36.7 |
| | 12.1 | 700 | 121.5 | 17.4 |
| | 19.7 | 800 | 343.5 | 42.9 |
| | 15.6 | 800 | 108.0 | 13.5 |
| | 15.8 | 750 | 193.2 | 25.8 |
| | 15.3 | 680 | 319.9 | 47.0 |
| | 19.5 | 750 | 197.7 | 26.4 |
| | 18.8 | 750 | 298.6 | 39.8 |
| | 15.4 | 800 | 282.9 | 35.4 |
| | 14.5 | 800 | 639.5 | 79.9 |
| | 15.0 | 800 | 520.6 | 65.1 |
| | 14.8 | 800 | 235.8 | 29.5 |
| | 18.6 | 850 | 388.3 | 45.7 |
| | 12.4 | 750 | 502.7 | 67.0 |
| | 12.6 | 750 | 498.2 | 66.4 |
| | 15.1 | 800 | 305.3 | 38.2 |
| 19.1 | 750 | 300.9 | 40.1 | |
| 16.0 | 800 | 352.4 | 44.1 | |
| 16.2 | 750 | 323.3 | 43.1 | |
| 11.6 | 680 | 359.2 | 52.8 | |
| 11.9 | 680 | 220.1 | 32.4 | |
| 11.5 | 680 | 318.8 | 46.9 | |
| 15.8 | 750 | 321.0 | 42.8 | |
| <i>Average</i> | <i>15.1±0.9</i> | <i>766.2±18.5</i> | <i>323.5±39.5</i> | <i>42.4±5.3</i> |

Table 4. Continued

| Classification | | Total operation time(yr) | Initial charge amount(g) | Residual amount(g) | Residual rate(%) | |
|----------------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| Before 2001 | L ⁴ | 14.6 | 800 | 386.1 | 48.3 | |
| | | 16.5 | 800 | 289.6 | 36.2 | |
| | | 11.5 | 680 | 397.3 | 58.4 | |
| | | 16.6 | 800 | 493.7 | 61.7 | |
| | | 16.2 | 780 | 348.0 | 44.6 | |
| | | 15.2 | 880 | 125.9 | 14.3 | |
| | | 14.6 | 880 | 236.9 | 26.9 | |
| | | 15.8 | 800 | 117.0 | 14.6 | |
| | | 14.2 | 850 | 265.0 | 31.2 | |
| | | 15.0 | 850 | 603.6 | 71.0 | |
| | | 11.9 | 850 | 352.4 | 41.5 | |
| | | 16.3 | 850 | 374.9 | 44.1 | |
| | | 14.3 | 850 | 455.6 | 53.6 | |
| | | 17.5 | 850 | 466.8 | 54.9 | |
| | | 15.6 | 850 | 599.1 | 70.5 | |
| | | 15.6 | 800 | 498.2 | 62.3 | |
| | | 12.2 | 800 | 316.6 | 39.6 | |
| | | 17.4 | 800 | 242.6 | 30.3 | |
| | | 14.7 | 800 | 291.9 | 36.5 | |
| | | 14.4 | 800 | 276.2 | 34.5 | |
| 15.5 | 850 | 332.3 | 39.1 | | | |
| 12.6 | 800 | 383.8 | 48.0 | | | |
| 14.4 | 850 | 327.8 | 38.6 | | | |
| 15.2 | 850 | 114.7 | 13.5 | | | |
| 15.8 | 850 | 352.4 | 41.5 | | | |
| 15.0 | 850 | 125.9 | 14.8 | | | |
| 16.4 | 850 | 137.2 | 16.1 | | | |
| <i>Average</i> | | <i>15.0±0.6</i> | <i>824.8±16.2</i> | <i>330.1±54.3</i> | <i>40.2±6.7</i> | |
| Total Average | | 14.8±0.5 | 770.8±15.3 | 316.3±24.8 | 41.1±3.8 | |
| 2002~ 2006 | Mi ¹ | 10.8 | 550 | 345.7 | 62.9 | |
| | | 10.4 | 550 | 252.6 | 45.9 | |
| | | 10.8 | 750 | 563.2 | 75.1 | |
| | | 11.0 | 750 | 316.6 | 42.2 | |
| | | 10.1 | 750 | 202.2 | 27.0 | |
| | <i>Average</i> | | <i>10.6±0.5</i> | <i>670.0±136.0</i> | <i>336.1±172.2</i> | <i>50.6±17.3</i> |
| | S ² | 6.3 | 680 | 249.3 | 36.7 | |
| | | 10.3 | 700 | 391.7 | 56.0 | |
| | | 10.7 | 700 | 565.5 | 80.8 | |
| | | 7.0 | 650 | 504.9 | 77.7 | |
| 7.6 | | 700 | 294.1 | 42.0 | | |
| 8.9 | | 700 | 558.8 | 79.8 | | |
| 9.3 | 700 | 390.6 | 55.8 | | | |
| 9.9 | 700 | 204.4 | 29.2 | | | |
| <i>Average</i> | | <i>8.8±1.3</i> | <i>691.3±15.1</i> | <i>394.9±116.4</i> | <i>57.2±17.1</i> | |
| Me ³ | 9.6 | 900 | 265.0 | 29.4 | | |
| | 5.4 | 680 | 637.3 | 93.7 | | |
| | 10.4 | 680 | 343.5 | 50.5 | | |
| | 7.2 | 700 | 240.3 | 34.3 | | |
| | 7.5 | 680 | 478.0 | 70.3 | | |
| | 9.9 | 700 | 238.1 | 34.0 | | |
| | 10.3 | 700 | 307.6 | 43.9 | | |
| | 8.5 | 750 | 240.3 | 32.0 | | |
| | 7.8 | 680 | 300.9 | 44.2 | | |
| | 8.5 | 700 | 308.7 | 44.1 | | |
| | 11.0 | 800 | 350.2 | 43.8 | | |
| | 10.3 | 680 | 65.4 | 9.6 | | |
| | 10.0 | 800 | 119.2 | 14.9 | | |
| 10.7 | 750 | 343.5 | 45.8 | | | |
| 8.8 | 750 | 567.7 | 75.7 | | | |
| <i>Average</i> | | <i>9.1±0.7</i> | <i>730.0±26.7</i> | <i>320.4±85.3</i> | <i>44.4±12.2</i> | |

Table 4. Continued

| Classification | | Total operation time(yr) | Initial charge amount(g) | Residual amount(g) | Residual rate(%) |
|----------------------|----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|------------------|
| 2002~ 2006 | L ⁴ | 5.1 | 700 | 159.6 | 22.8 |
| | | 10.2 | 680 | 289.6 | 42.6 |
| | | 9.1 | 680 | 231.3 | 34.0 |
| | | 6.4 | 680 | 576.7 | 84.8 |
| | | 5.8 | 700 | 601.4 | 85.9 |
| | | 6.3 | 700 | 83.3 | 11.9 |
| | | 8.1 | 680 | 471.3 | 69.3 |
| | | 10.1 | 850 | 590.2 | 69.4 |
| | | 10.5 | 680 | 531.9 | 78.2 |
| | | 9.8 | 680 | 300.9 | 44.2 |
| | | 9.8 | 800 | 282.9 | 35.4 |
| | | 6.8 | 800 | 321.0 | 40.1 |
| | | 6.3 | 800 | 491.5 | 61.4 |
| | | 8.1 | 700 | 265.0 | 37.9 |
| | | 9.7 | 800 | 382.7 | 47.8 |
| | | 8.8 | 800 | 563.2 | 70.4 |
| | | 10.8 | 800 | 123.7 | 15.5 |
| | | 9.7 | 800 | 341.2 | 42.7 |
| 10.5 | 800 | 240.3 | 30.0 | | |
| 10.2 | 800 | 276.2 | 34.5 | | |
| <i>Average</i> | | 8.6±0.9 | 745.5±28.7 | 356.2±75.5 | 47.9±10.4 |
| Total Average | | 9.0±0.5 | 724.2±19.5 | 349.4±43.6 | 48.7±6.2 |
| After 2007 | S ² | 3.6 | 680 | 460.1 | 67.7 |
| | | 2.8 | 680 | 377.1 | 55.5 |
| | | 4.2 | 700 | 518.4 | 74.1 |
| | | 3.4 | 680 | 125.9 | 18.5 |
| | | 3.8 | 680 | 241.4 | 35.5 |
| | | 2.9 | 680 | 374.9 | 55.1 |
| | | <i>Average</i> | 3.4±0.7 | 684.0±11.1 | 327.5±185.4 |
| Total Average | | 3.4±0.6 | 683.3±8.6 | 349.6±151.2 | 57.1±21.7 |

¹:Mini, ²: Small, ³:Medium, ⁴:Large

(n=48), 2007년 이후에 제조된 페트럭의 탈루배출계수는 51.1±21.7%(n=6)로 나타났다. 즉 트럭의 연식이 최근 일수록 평균 잔류율(탈루배출계수)이 높게 나타났으며, 연식이 오래된 차량일수록 잔류율(탈루배출계수)이 낮게 나타났다. 이는 연식이 오래된 트럭일수록 그만큼 외부에 노출된 시간이 많아 냉매의 탈루배출될 개연성이 높았기 때문으로 풀이된다.

페트럭의 규모별 탈루배출계수는 경형 트럭의 경우 41.9±7.8%, 소형 트럭은 49.2±7.3%, 중형 트럭은 42.2±4.9%, 대형 트럭은 43.5±5.7%로 나타났다. 경형 트럭의 탈루배출계수가 가장 낮은 것으로 나타났으나, 차량 규모별로 뚜렷한 경향성은 관찰되지 않았다. 이는 HFC-134a의 배출은 차량규모 보다는 운전자의 운전 습관과 MAC 설계에 영향을 더 받기 때문으로 판단된다.

3.3. 페트럭으로부터의 HFC-134a 연간 탈루배출량

트럭이 폐기되는 당해년도에 해체되어 재활용 또는 폐기된다고 가정하였고, 그 과정에서 잔류 냉매인 HFC-134a는 전량 배출된다고 가정하였다. 3.2절에서 산정한 페트럭 한 대당 잠재 배출량 332.6 g을 활용하여 2007년부터 2011년까지의 페트럭으로부터의 HFC-134a 배출량을 산정하였다.

특정년도의 국내에서 폐기된 트럭으로부터의 탈루배출되는 HFC-134a 양을 산정하기 위해서 활용한 식은 아래 식(3)과 같다.

$$E_w = \sum_{j=1}^4 Q_w \times EPT \times 10^{-6} \times GWP_H \quad (3)$$

여기서 E_w 는 특정년도 i 에서의 페트럭으로부터의 HFC-134a 탈루량(tCO₂-eq), EPT 는 페트럭 한 대당

Table 5. Yearly emission quantities of HFC-134a from MAC of scrap truck from 2007 to 2011

| Year | Generation quantities of total scrap trucks* | Average value of fully charging amount(g) | Average residual rate (%) | Total emission (tCO ₂ -eq) |
|------|--|---|---------------------------|---------------------------------------|
| 2007 | 106,528 | | | 46,061 |
| 2008 | 111,326 | | | 48,136 |
| 2009 | 110,222 | 750.8 | 44.3 | 47,658 |
| 2010 | 109,764 | | | 47,460 |
| 2011 | 129,301 | | | 55,908 |

*: KADRA(2007~2012)

HFC-134a 잠재 배출량(332.6 g), 10^{-6} 는 g을 ton으로 전환하기 위한 상수, GWP_H 는 HFC-134a의 지구온난화지수로서 1,300을 사용하였다(Kim, 2005).

페트럭으로부터의 HFC-134a의 연도별 배출량은 2011년에 55,908 tCO₂-eq로서 2007년 비교하여 21.4% 증가하였으며, 이 기간 동안의 연평균 증가율은 5.3%에 해당된다. 그러나 2007~2010년 동안에는 큰 변화가 없었으나(Table 5), 2011년의 증가율이 두드러짐을 알 수 있다. 그 기간 동안의 증가율은 무려 17.8%이었으며, 트럭의 생산량이 지난 10년 동안에 급격히 증가하였기 때문에 이와 연동하여 페트럭의 배출량과 더불어 HFC-134a의 배출량도 지속적으로 높아질 것으로 기대된다.

3.4. 폐냉매 성분분석

최근에 개정된 자원순환법(Ministry of the environment, 2012)에 따르면 폐자동차 냉매의 경우 순도가 99% 이상이어야 차량 냉매용으로 재사용이 가능하므로 페트럭의 냉매 성분 변화를 파악할 필요성이 있다.

Table 6에서 보는 것처럼 신냉매의 주성분(>99%)은 예상한 것처럼 HFC-134a로 검출되었으며 이성질체인 1,1,1,2-tetrafluoroethane도 미량 관찰되었다. 페트럭에서 회수한 폐냉매 성분 분석 결과도 신냉매와 동일한 양상을 보이는 것으로 나타났다. 이는 트럭의 운행으로 인하여 냉매가스의 물성이 거의 변하지 않음을 뒷받침하고 있다. 따라서 페트럭으로부터 회수한 HFC-134a를 냉매용도로서 재사용하는데 문제가 없다고 판단된다.

4. 결론

1) 본 연구에서 조사한 페트럭 138대의 평균 잔류율(탈루배출계수)은 $44.3 \pm 3.0\%$ 로 나타났고, IPCC에서 제시한 기본값 범위의 중간 값인 25% 보다 훨씬 높았으며, IPCC 기본값 적용은 페트럭으로부터의 HFC-134a 배출량을 과소평가할 소지가 있다.

2) 차량의 연식이 높을수록 HFC-134a 탈루배출계수가 낮았으나, 반면에 차량 규모와 상관없이 탈루배

Table 6. Comparison of GC-MSD results of new refrigerant(HFC-134a) and those of the refrigerant(HFC-134a) recovered from MACs of scrap trucks

| Classify | New refrigerant | | Refrigerant recovered from scrap truck | |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|--|---------------------------|
| | A | B | A | B |
| Retention time (min) | 4.5 | 4.7 | 4.6 | 4.7 |
| Area(%) | 99.8 | 0.2 | 99.8 | 0.2 |
| Compound | 1,1,1,2-tetrafluoroethane | 1,1,2,2-tetrafluoroethane | 1,1,1,2-tetrafluoroethane | 1,1,2,2-tetrafluoroethane |

출계수가 거의 유사함을 알 수 있었다. 이는 HFC-134a의 배출은 차량 규모 보다는 MAC 설계와 차량 운전자의 운전습관과 밀접함을 시사하고 있다.

3) 2011년의 페트럭으로부터의 HFC-134a 배출량은 55,908 tCO₂-eq으로 2007년의 배출량 46,061 tCO₂-eq과 비교하여 21.4% 증가하였으며, 트럭의 생산량이 지난 10년 동안에 급격히 증가하였기 때문에 이와 연동하여 페트럭의 배출량과 더불어 HFC-134a의 배출량도 지속적으로 높아질 것으로 기대된다.

4) 페트럭에서 회수한 폐냉매 성분 분석 결과가 신냉매와 거의 유사하였으며, 이는 차량 운행으로 인하여 냉매가스의 물성이 크게 변하지 않아 폐냉매 재사용이 가능할 것으로 여겨진다. 그러나 측정된 페트럭의 수가 한정되어 있어서 향후 보다 많은 임의 시료의 냉매 성분에 대한 조사 분석을 거쳐 이를 검증할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 환경부 “기후변화대응 환경기술개발사업”으로 지원받은 과제입니다.

참 고 문 헌

IPCC, 2006, IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, 3, 7.80-7.92.

IPCC, 2005, IPCC TEAP report, Chapter 6 : Mobile air conditioning, 299.

KADRA, 2011, Scrap vehicles statistics (2007~2011).

Kim, M. H., 2005, CFC Status and technology trends of alternative refrigerants for CFCs, *Prospectives of Industrial Chemistry*, 8(2), 11-24.

Kim, S., Kim, E., Kim, H., Lee, Y. P., Byun, S., Seo, J., Lee, S., 2012a, Estimation of EF(Residual Rate) and inventory of HFC-134a from mobile air conditioners of scrap vehicles, *Korea Society of Waste Management*, 29(7), 650-661.

Kim, S., Kim, S., Kim, E. 2012b, Development of fugitive emission model of HFC-134a from mobile air conditioner of passenger automobiles, *Korea Society for Atmospheric Environment*, 28(5), 518- 526.

Ministry of the environment, 2012, Act in the resource recycling electrical and electronic products and automobiles.

MLTM, 2012, Automobile management act.

Schwarz, W., 2001, Emission of refrigerant R-134a from mobile air conditioning systems, *Environmental Research and Consultancy Office*, Frankfurt am Main, Germany.

Stemmler, K., O'doherty, S., Buchmann, B., Reinmann, S., 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.