

냉동컨테이너에서의 HFC-134a 탈루배출 특성에 대한 연구

Fugitive Emission Characteristics of HFC-134a from Reefer Container

김의건 · 김승도* · 이영표¹⁾ · 변석호¹⁾ · 김혜림¹⁾
한림대학교 환경생명공학과, ¹⁾한림대학교 기후변화연구센터
(2014년 1월 21일 접수, 2014년 3월 26일 수정, 2014년 4월 9일 채택)

Eui-Kun Kim, Seungdo Kim*, Young phyo Lee¹⁾,
Seokho Byun¹⁾ and Hyerim Kim¹⁾
Department of Environmental Sciences and Biotechnology, Hallym University,
¹⁾Research Center for Climate Change, Hallym University
(Received 21 January 2014, revised 26 March 2014, accepted 9 April 2014)

Abstract

This paper addresses the fugitive emission factors of Reefer Container at use-phase and disposal-phase. The residual quantities and operation time of thirty nine Container were weighed, using a commercial recover of refrigerants to determine the emission factors at the use-phase. The emission factor at the disposal-phase, refrigerant is accomplished has not recycled, the residual rate was assumed that the emission factor. The average residual rate of thirty nine Container is determined to be $70.8 \pm 4.0\%$. The emission factor at the use-phase is estimated to be $4.9 \pm 0.9\%/yr$ in the case of using average age of 8.1 years and the average residual rate determined here. We estimate 162.7 g/yr for the average emission quantity of refrigerant per operating Container, while 2038.1 g for that per waste Container. Since the chemical compositions of refrigerant of waste Container were the same as those of new refrigerant, it is expected that the refrigerant recovered from waste Container can be reused for refrigerant.

Key words : Greenhouse gas, HFC-134a, Container, Refrigerant, Fugitive emission factor, Chemical composition, Recycling

1. 서 론

냉동컨테이너는 일반 컨테이너에 컨테이너용 냉동기를 부착하여 식품 등과 같이 저온 수송이 요구되

는 냉동화물의 운송에 주로 사용된다. 국내 냉동컨테이너의 대다수는 냉동기를 수입한 다음에 국내에서 조립 제작하는 형태이며 이에 따라 국내 보유량에 대한 공식 통계는 없는 실정이다.

1989년 이전에는 냉동컨테이너의 냉매로서 R-22를 사용하였으나, CFCs와 HCFCs를 규제하는 몬트리올 의정서가 발효되면서 단계적으로 ODS의 생산 및 사

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)33-256-9815, E-mail : sdkim@hallym.ac.kr

용을 금지하였고, 2000년부터 신규 제작 보급되는 냉동컨테이너에 대해서는 HFC-134a를 사용하기 시작했다. 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 기후변화협약과 교토의정서에 의해 온실가스로 규정되고 있다 (Stemmler et al., 2004). EU의 경우는 2011년부터 R-134a의 사용을 규제하기 시작했고, 2017년부터는 R-134a를 냉매로 사용하는 냉동컨테이너는 입항이 제한될 전망이다. 컨테이너용 냉동기 생산 업체는 현재까지는 R-134a 사용을 유지하는 추세이지만 유럽을 비롯한 선진국의 입항 제한 조치 및 주요 선사의 수요에 따라 향후 GWP가 낮은 R-407C로 전환되리라 예상하고 있다 (GIR, 2011). 그러나 R-134a 또는 R-407C 모두 교토의정서에 의한 온실가스로 규정되어 있어 향후에는 직접규제, 간접규제, 자발적 협약 등으로 불소계 온실가스를 관리할 것으로 예상되어 기초자료 조사를 위한 연구가 활발히 진행되고 있고, 본 연구도 그러한 연구와 맥을 같이 한다고 할 수 있다. 국내에서는 대기환경보전법 및 폐기물관리법 등과 같은 법률에 의해 불소계 온실가스 관리를 위한 움직임이 진행되고 있으나 이 역시 현장실태를 반영한 보완이 필요한 현실이다.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2006)에서는 사용단계 탈루배출계수로서 15.0~50.0%/yr, 폐기단계에서의 잔류율은 0~50%로 보고하고 있다. 그러나 아직까지 IPCC 이외에는 관련된 선행 연구가 부족한 실정이고, 더욱이 국내에서는 관련 연구에 대해서 보고된 사례가 없는 상황이다. 또한, 냉동컨테이너의 폐기는 주로 해외에서 이루어지는 경우가 많다. 업계 종사자에 따르면, 일반적으로 선사는 수명이 다 된 냉동컨테이너를 해외에 매각하는 방식으로 처리하고 있다. 따라서 폐기현황 및 관련 통계는 국내에서 별도로 집계하고 있지는 않다.

국내 냉동 컨테이너 보유량 결정을 위해서는 국내 해운사와 냉동컨테이너 대여업체에서 보유한 컨테이너를 조사해야 한다. 일부 항만공사의 통계에 수록된 냉동컨테이너 입·출입 현황을 통해 국내 냉동컨테이너를 추정할 수 있으나 항만공사 통계의 냉동컨테이너에는 해외 선사에서 소유한 냉동컨테이너도 포함하고 있어 배출량 산정에 활용하기는 어려운 실정

이다.

본 연구는 냉동 컨테이너로부터 HFC-134a의 배출 특성을 파악하여 냉동 컨테이너로부터의 HFC-134a 배출을 효과적으로 관리하기 위한 기초 정보를 제공하는데 그 목적을 두고 있다. 냉동 컨테이너에 잔류하는 HFC-134a의 양을 토대로 사용단계에서의 배출계수를 산정하였다. 또한 폐냉매의 성분 분석을 통해 폐냉매 재활용 여부도 파악하였다. 본 연구 결과는 냉동 컨테이너에서의 HFC-134a의 국가 고유배출계수 결정에 기여하며, 폐냉매 재활용 기준 마련에 도움이 될 것으로 판단된다.

2. 이론적 배경

2.1 사용단계

그림 1과 같이 냉방 시스템은 압축기와 응축기, 확장밸브, 증발기로 구성되어 있다. 냉매를 압축기에서 고온 고압의 가스로 만든 후 응축기로 이동되면 급속히 냉각되어 응축상태가 된다. 확장밸브를 통해 냉매를 저온 저압의 미세한 물방울로 형태를 바꾼 후 증발기를 통해 냉매를 순식간에 증발시켜 주변으로부터 열을 빼앗아 blow fan을 통해 냉기를 외부로 전달하게 된다. 냉동 컨테이너는 크기나 규모가 냉장고나 자동차 냉방시스템에 비해 상대적으로 크지만 냉동원리는 동일하다.

냉동 컨테이너에서의 냉매 배출모형을 개발하기 위해서 적용한 가정은 1) 냉매장치에서의 탈루는 배

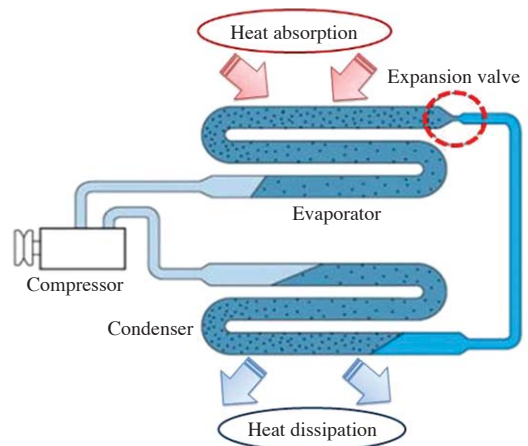


Fig. 1. Principles of Air Conditioning System.

관과 접속 부분에서 확산에 의해 이뤄지며, 2) 탈루 배출율은 냉매 잔류량에 비례하는 것으로 설정하였다(Kim *et al.*, 2012a).

위에서 제시한 가정을 토대로 사용단계 동역학식은 아래에서 보는 것처럼 표현할 수 있다.

$$\frac{dM_h}{dt} = -\varepsilon_h \cdot M_h \quad (1)$$

여기서 M 은 어느 시간 t 에서의 잔류량(g), ε 은 탈루 배출상수(yr^{-1}), 아래첨자 h 는 HFC-134a를 의미한다. 식(1)을 적분하게 되면 어느 시간 t 에서의 냉매 잔류량은 다음과 같이 결정된다.

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

여기서 아래첨자 0은 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 경과 시간에 대한 정보만 알면 결정할 수 있다.

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

특정년도 t 에서의 연간 탈루율 산정, 즉 탈루배출계수를 산정하기 위해서는 $(t-1)$ 년의 총 잔류량에 대비한 $(t-1)$ 년과 t 년 사이의 1년 동안 총 배출량의 비율로 표현이 가능하며, 이는 수식으로 아래에서 보는 것처럼 표현된다.

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

$$\begin{aligned} &= \frac{M_{h,0} \cdot [\exp\{-\varepsilon_h \cdot (t-1)\} - \exp(-\varepsilon_h \cdot t)]}{M_{h,0} \cdot \exp\{-\varepsilon_h \cdot (t-1)\}} \times 100 \\ &= \{1 - \exp(-\varepsilon_h)\} \times 100 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 EF_u 는 사용 단계 탈루배출계수(%/yr)이다.

2.2 폐기단계

냉동 컨테이너의 폐기 시 배출량은 다음과 같이 표현된다(Kim *et al.*, 2012).

$$M_w = M_{h,0} \times EF_w = M_{h,0} \times f_r(1 - \eta) \quad (5)$$

여기서 M_w 는 컨테이너에서의 HFC-134a 배출량(g), EF_w 는 폐기단계의 배출계수, f_r 은 폐기 시점에서의 냉매 잔류율을 의미하고, η 는 회수 처리 또는 재활용율을 의미한다. 따라서 폐기단계 탈루배출계수는 아래에서 보는 것처럼 표현이 가능하다.

$$EF_w = f_r \times (1 - \eta) \quad (6)$$

3. 실험장치 및 방법

컨테이너는 냉동컨테이너 임대업체 협조를 받아 현장조사를 통해 항구에 정착되어 있는 컨테이너 39대로부터 냉매인 HFC-134a를 회수하여 잔류 중량을 측정하였다.

3.1 냉매 회수장치

본 연구에서는 사용중인 컨테이너 냉매 회수를 위하여 미국 Yellow Jacket 사의 회수기(모델명: Recover XLT(95763))를 사용하였다. 냉매 회수장치의 구성은

Table 1. Recovery capacity of refrigerants and specifications of recovery unit used here.

Refrigerant type	Recovery XLT capacity (g/min)	Specifications for Balance	
R*-22	Vapor: 170	Upper limit of weighing	50 kg
	Liquid: 900		
R-134a	Vapor: 170	Minimum weighing quantity	2 g
	Liquid: 900		
R-407	Vapor: 170	Precision	±0.05%
	Liquid: 900		
R-410A	Vapor: 190		
	Liquid: 760		
R-502	Vapor: 300		
	Liquid: 1200		

“R” stands for refrigerant



Fig. 2. Pictures for refrigerant recovery facilities of HFC-134a from reefer container.

회수기, 압력 게이지, 전자저울, 냉매 회수·저장용기 등으로 이루어져 있으며 회수기 제원은 표 1에서 보는 것과 같다.

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

3.2 냉매 회수 및 측정방법

회수기 사용 설명서에 따르면 회수기는 4°C 이하에서 회수 능력이 현저히 떨어지므로 그 이하의 온도에서는 사용하지 않기를 권고하고 있다. 그러므로 본 연구에서도 겨울철에 냉매 회수 측정을 실시하지 않았다. 저압 배관에 호스와 연결되어 있는 탭바이스

(Yellow Jacket Co. 제품)로 배관을 천공하여 압력 게이지에 연결한 다음에 회수기와 연결시킨다.

그럼 2와 같이 항구에 정착되어 있는 냉동컨테이너에서 냉매 회수를 통해 냉매 잔류량을 측정하였다. 냉동 컨테이너의 냉동 및 냉장 시스템은 냉매의 회수나 충전을 위한 밸브가 존재하므로, 밸브에 회수기를 연결하여 냉매를 회수하였다.

본격적인 회수 시작에 앞서 호스와 장치 내에 존재하는 공기를 회수기의 퍼지(Purge) 기능을 통해 제거한 후 회수통과 압력계 밸브를 개봉하고 회수기를 작동시킨다. 저압계가 진공상태로 내려갈 때까지 운전한 다음 회수기 전원을 차단시켜 놓고 회수량을 측정하였다. 냉매 회수 과정에서 윤활유가 냉매와 같이 회수되므로 정확한 냉매의 양을 측정하기 위해 유분리기를 회수 시스템에 연결하여 냉매를 회수하

Table 2. GC-MSD operation conditions.

Classification	Analysis conditions
Inlet	220°C, Split ratio 100 : 1
Column	DB-624 (60 m × 0.25 mm × 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)

였다. 유분리기는 냉매와 오일의 중량차를 이용하여 분리하는데, 오일과 혼합된 냉매를 동시에 통과시키면 상대적으로 무거운 오일이 가라앉아 순수 냉매를 얻을 수 있다.

3.3 냉매 성분 분석

냉매의 사용 과정에서 냉매 성분 변화가 있는지 여부를 파악하기 위해 냉동 컨테이너용 신냉매와 사용 중인 컨테이너에서 회수한 폐냉매의 성분을 분석하였다. 컨테이너에서 냉매가스 회수 방법으로는 컨테이너 내 배관 호스를 압력 게이지에 연결 후 밸브를 열어 2 L의 테들러백 (Tedlar Bag, RESTEK Co. 제품)에 담아 회수하였다. 각각 GC-MSD (Gas Chromatography-Mass Selective Detector)를 사용하여 분석하였으며, 분석 조건은 표 2에서 보는 것과 같다.

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

4. 결과 및 토론

4.1 회수량 보정 (Calibration)

Schwarz (Kim *et al.*, 2012a; Schwarz *et al.*, 2005)는 상업용 냉매 회수기를 사용하는 경우 자동차 냉매장치로부터는 10 ~ 20 g 정도가 회수되지 않는다고 보고하였다. 또한 김 등 (Kim *et al.*, 2012b)도 냉장고로부터 HFC-134의 회수비율은 76%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 연구에서 사용된 냉매 회수장치의 회수 능력을

Table 3. Calibration results of recovery performance of HFC-134a by recovery station used here.

Charged amount (g)	Recovered amount (g)	Recovery rate (%)
3,304.0	3,168.0	95.9
2,300.0	2,178.0	94.7
1,302.0	1,168.0	89.7
Average		93.4 ± 4.5

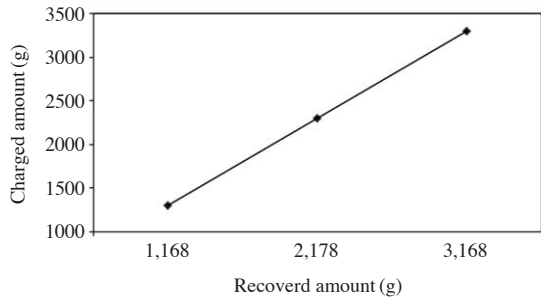


Fig. 3. Calibration curve for refrigerant recover used for showcase.

파악하고, 실제 잔류량과 회수량의 차이를 파악하기 위해 회수장치를 보정하였다. 이를 위해서는 진공펌프를 이용하여 컨테이너의 냉동 및 냉장장치에서 냉매를 완전히 제거한 다음에 알고 있는 냉매량을 충전한 다음에 회수기의 사용 지침에 따라 회수한 냉매량을 충전량과 비교하였다. 충전량을 변화시키면서 반복적으로 실험을 진행하였고, 냉매의 잔류범위를 고려하여 실험을 위한 충전량의 범위를 결정하였다.

표 3에서 보는 것처럼 평균 회수율은 93.4 ± 4.5% (상대표준편차: 3.5%)이며, 선형회귀계수 (Linear Regression Factor)의 제곱근 (R²) 값도 0.9999로서 실제 회수량과 충전량은 선형함수관계에 있음을 보여주고 있다. 이러한 회수 특성은 그림 3에서 보는 것과 같으며, 회수기에 의한 회수량과 실제 잔류량의 관계식은 아래 식에서 보는 것처럼 결정하였다.

$$M_r = 1.0001 \times M_m + 128.5895 \tag{7}$$

여기서 M_r 는 HFC-134a의 실제 잔류량 (g), M_m 은 회수기에 의한 회수량 (계기 측정값: g)을 말한다. 주입량과 회수량 간의 차이는 1) 회수관 등에 냉매가 잔존하거나, 2) 일부 냉매는 회수되지 않는 한계치가

존재하기 때문에 풀이된다(Kim *et al.*, 2012b).

4. 2 탈루배출계수 결정

4. 2. 1 사용단계

사용단계 배출계수 결정을 위해서 냉동컨테이너 임대업체의 협조를 받아 항구에 정박되어 있는 컨테이너 39대의 냉매 잔류량을 측정하여 사용단계 배출

계수를 산정하였다(표 4). 컨테이너의 배출시점에서 잔류량과 사용기간 정보를 활용하면 식(2)~(4)로부터 사용단계 탈루배출상수를 결정할 수 있다.

식(3)에 초기 충전량, 폐기 시점에서의 잔류량, 사용기간을 대입하여 탈루배출상수를 각 냉동 컨테이너에 대해서 결정하였다. 표 4에서 보는 것처럼 냉동 컨테이너 39대의 평균 탈루배출상수는 95% 신뢰구간에서 $0.0508 \pm 0.0094 \text{yr}^{-1}$ 이었다.

Table 4. Residual rate of HFC-134a in container.

No.	Age (yr)	Initial charge amount (g)	Residual rate (%)	Fugitive emission constant (yr ⁻¹)	Emission factor (%/yr)
1	2.1	3,960	78.1	0.1188	11.2
2	9.1	3,960	61.0	0.0544	5.3
3	7.3	3,960	78.8	0.0328	3.2
4	1.3	4,980	86.4	0.1171	11.1
5	12.7	4,900	47.4	0.0588	5.7
6	13.3	4,900	42.8	0.0640	6.2
7	9.9	5,200	81.8	0.0202	2.0
8	4.4	3,960	50.9	0.1527	14.2
9	2.9	5,200	84.9	0.0561	5.5
10	8.7	3,960	58.8	0.0612	5.9
11	10.6	3,960	75.8	0.0261	2.6
12	9.3	3,960	52.5	0.0696	6.7
13	10.6	3,960	79.4	0.0218	2.2
14	9.3	3,960	76.1	0.0292	2.9
15	14.3	4,600	63.4	0.0320	3.1
16	8.2	4,600	68.0	0.0473	4.6
17	10.7	3,960	75.4	0.0265	2.6
18	8.5	3,960	75.3	0.0334	3.3
19	2.8	5,200	89.2	0.0414	4.1
20	8.1	4,600	67.2	0.0491	4.8
21	12.6	3,960	65.8	0.0332	3.3
22	10.6	3,960	42.0	0.0821	7.9
23	7.8	3,960	75.3	0.0366	3.6
24	8.1	4,600	64.7	0.0539	5.2
25	10.3	3,960	74.4	0.0288	2.8
26	9.3	3,960	54.0	0.0660	6.4
27	7.8	3,960	73.0	0.0402	3.9
28	10.7	3,960	75.3	0.0266	2.6
29	10.7	3,960	68.2	0.0359	3.5
30	6.8	5,550	77.3	0.0378	3.7
31	10.1	4,870	81.4	0.0205	2.0
32	5.6	4,510	68.8	0.0671	6.5
33	6.2	3,960	62.6	0.0759	7.3
34	4.8	5,660	75.6	0.0579	5.6
35	3.5	3,960	81.4	0.0588	5.7
36	9.3	3,960	72.3	0.0347	3.4
37	1.3	4,980	92.5	0.0627	6.1
38	8.6	3,960	85.4	0.0183	1.8
39	7.4	3,960	79.4	0.0311	3.1
Average	8.1 ± 1.1	4343.3 ± 173.8	70.8 ± 4.0	0.0508 ± 0.0094	4.9 ± 0.9

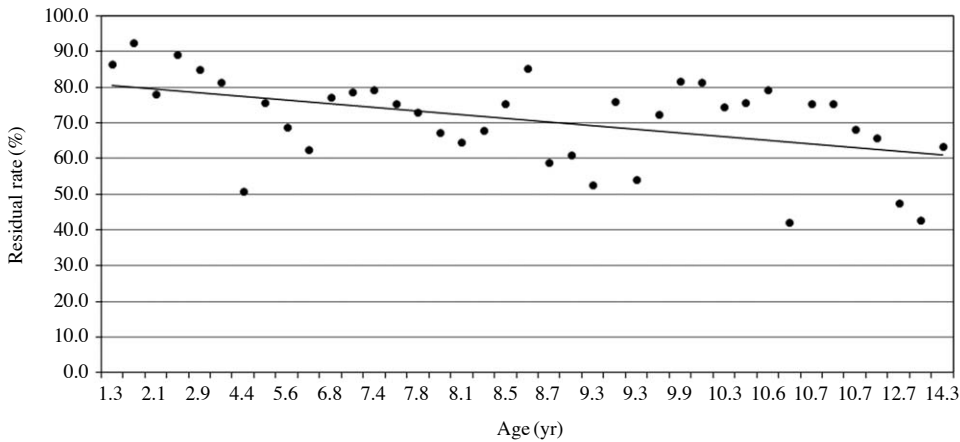


Fig. 4. Apparent residual rate of Container with respect to Container age.

한편 위에서 결정한 탈루배출상수를 식 (4)에 대입 하면 냉동 컨테이너의 탈루배출계수(연간 탈루율)는 $4.9 \pm 0.9\%/yr$ 로 결정할 수 있다. 본 연구에서 제시한 탈루배출계수 $4.9 \pm 0.9\%/yr$ 는 IPCC (2006)에서 제시한 사용단계에서의 탈루배출계수 15~50%/yr보다 매우 작은 편이나, IPCC에서 어떻게 탈루배출계수를 결정했는지에 대한 정보가 부족하여 차이 발생 원인을 현재는 밝힐 수가 없는 상황이다. 그러나 대부분 유럽 및 북미 조사 결과(UNEP-RTOC, 2002)를 토대로 IPCC에서는 기본값을 결정하였기 때문에 국내 상황을 반영한 본 연구 결과와 차이가 발생했다고 추정된다. 또한, 본 연구의 표본수가 적은 편이기 때문에 향후에는 표본 조사수를 높여 결과의 신뢰도를 제고할 필요가 있다.

본 연구에서 조사한 컨테이너의 평균 충전량 ($4,343.3 \pm 24.2 g$)을 현재 사용 중인 냉동 컨테이너의 평균 초기 충전량으로 가정하고, 식 (3)을 통해 구한 탈루배출상수 ($0.0508 \pm 0.0094 yr^{-1}$)를 사용하여 연간 평균 탈루량을 추정하였다. 현재 사용 중인 냉동 컨테이너의 평균 사용기간을 8.1 ± 1.1 년으로 가정하고 식 (2)를 통해 1년부터 8.1년까지 연간 탈루량을 산정하면 국내 운영 중인 컨테이너 1대당 연간 162.7g의 HFC-134a가 탈루된다고 추정할 수 있다.

한편, 사용기간에 따라 냉매 잔류율은 감소하는 양상이 예측된다(그림 4). 구간별로 살펴보면 1구간인 사용기간이 1.3~6.8년인 컨테이너의 냉매 잔류율은 77.1%, 2구간인 7.3~9.9년 사용한 컨테이너의 냉매

잔류율은 70.2%, 3구간(10.1~14.3년)은 66.0%로 시간이 지남에 따라 감소하는 양상이 관찰되었다.

4. 2. 2 폐기단계

냉동컨테이너의 경우 폐기 시 대부분 국내에서 해체하지 않고 해외(중국 등)로 매각하므로 국내의 폐기 사례는 찾아보기 어렵다. 국내에서는 극히 일부 폐냉동컨테이너를 회수하여 고철로 재활용하는 경우가 있으나 냉매가스를 재활용하거나 별도의 파괴처리를 하는 경우는 없는 것으로 파악되었다. 따라서 냉매 파괴율 및 재활용율은 “0”으로 결정하고, 본 연구에서 측정한 컨테이너의 평균 사용기간(8.1년)이 IPCC 내구년한인 7.6년보다 길기 때문에 사용단계 냉매 잔류율이 폐기단계 잔류율과 동일하다고 가정하였다.

본 연구에서 조사한 컨테이너의 잔류량 정보는 표 4에서 보는 것과 같이 평균 잔류율이 $70.8 \pm 4.0\%$ 이었다. 따라서 폐기단계 배출계수는 $70.8 \pm 4.0\%$ 로 결정할 수 있다. 이는 IPCC (2006)에서 제시한 폐기단계에서의 탈루배출계수 0~50%/yr보다 높은 편이나, 본 연구에서 결정된 사용단계 배출계수가 IPCC 기본값보다 크게 낮았기 때문에 잔류율도 IPCC 기본값과 차이가 크게 난다고 판단된다.

본 연구에서 조사한 냉동 컨테이너의 평균 초기 충전량 $4343.3 \pm 24.2 g$ 과 냉동 컨테이너의 평균 사용기간을 8.1년을 식 (2)에 대입하면 폐기시점의 잔류량은 2878.6 g으로 결정할 수 있다. 이 잔류량에

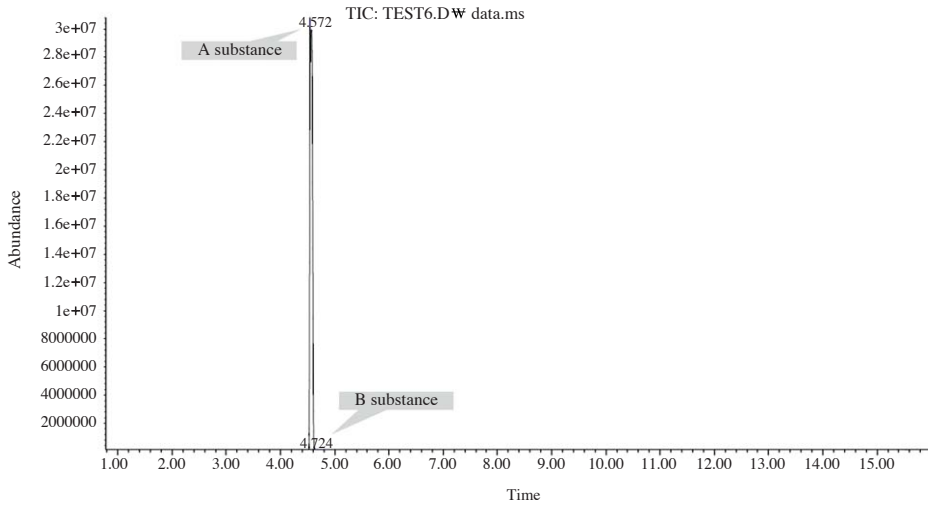


Fig. 5. GC-MSD results for HFC-134a of reefer container.

Table 5. Comparison of GC-MSD results of new refrigerant (HFC-134a) and those of the refrigerant (HFC-134a) recovered from reefer container.

Classify	New refrigerant		Refrigerant recovered from scrap domestic refrigerator	
	A	B	A	B
Peak	A	B	A	B
Retention time (min)	4.5	4.7	4.5	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

탈루배출계수 70.8%를 곱하게 되면 컨테이너 1대당 폐기단계에서 배출량은 2038.1g이 된다.

4.4 폐냉매 성분분석

최근에 개정된 자원순환법 (Ministry of environment, 2012)에 따르면 폐냉매의 경우 순도가 99% 이상이어야 재사용이 가능하므로 냉동 컨테이너의 냉매 성분 변화를 파악할 필요성이 있다.

표 5와 그림 5에서 보는 것처럼 신냉매의 주성분 (>99%)은 예상한 것처럼 HFC-134a로 검출되었으며 이성질체인 1,1,2,2-Tetrafluoroethane도 미량 관찰되었다. 컨테이너에서 회수한 폐냉매 성분 분석 결과도 신냉매와 동일한 양상을 보이는 것으로 나타났다. 이는 컨테이너 작동으로 인하여 냉매가스의 물성이 크게 변하지 않음을 뒷받침하고 있다. 따라서 폐냉매

의 경우 재사용을 위해서는 HFC-134a의 순도 99%를 요구 (한국산업규격, KS I 3004)하고 있기 때문에 컨테이너로부터 회수한 HFC-134a를 냉매용도로서 재사용하는데 문제가 없다고 판단된다. 그러나 잔류량 측정을 위한 냉동컨테이너 시료 분석이 1회만 진행되었으므로 수량을 충족하기 위해 향후 시료수를 늘려 신뢰도를 제고할 필요가 있다.

5. 결 론

본 연구의 측정을 통해 결정된 사용단계 탈루배출계수는 $4.9 \pm 0.9\%/yr$ 이었으며, 국내 운영 중인 컨테이너 1대당 연간 162.7g의 HFC-134a가 탈루된다고 추정할 수 있다. IPCC에서는 사용단계 탈루배출계수

로서 15~50%/yr를 제시하고 있어 본 연구결과가 작게 나왔으나, IPCC에서 산정 근거를 제시하지 않고 있어 차이의 원인을 밝힐 수는 없는 상황이다. 단지 본 연구결과는 국내 상황을 반영하였기에 국내 고유값이라고 할 수 있으나, 표본수가 39대로 대표성을 확보하지 못한 한계가 있다. 그러므로 향후 조사 표본수를 높여 국가 고유배출계수로 발전시킬 필요가 있다.

국내에서는 컨테이너 냉매가스를 재활용하거나 별도의 파괴처리를 하지 않기 때문에 사용단계 냉매 잔류율과 동일하다고 가정하였고 평균 잔류율은 $70.8 \pm 4.0\%$ 이었다. 따라서 컨테이너의 폐기단계 탈루배출계수는 70.8%로 결정할 수 있다. 이는 IPCC 기본값인 0~50%보다 높은 값으로 본 연구에서 결정된 사용단계 배출계수가 IPCC 기본값보다 크게 낮았기 때문으로 판단된다. 폐기단계 탈루배출계수 결과를 활용하면, 국내 컨테이너 1대당 폐기단계에서 배출량은 2038.1 g으로 추산할 수 있다.

컨테이너에서 회수한 폐냉매 성분 분석 결과가 신냉매와 유사하였으며, 이는 컨테이너 작동으로 인하여 냉매가스의 물성이 크게 변하지 않아 폐냉매의 재사용이 가능할 것으로 여겨진다. 그러나 냉매 회수 과정에서 압축기 오일이 30% 정도 포함되기 때문에 냉매 재사용을 위해서는 오일 분리가 전제되어야 한다. 그러므로 냉매 재활용을 위한 제도를 만들 때 냉매 회수방법과 오일 분리 방법 및 기준 등을 마련해야 한다.

감사의 글

연구는 환경부 “기후변화대응 환경기술개발사업”으로 지원받은 과제임.

References

- Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea (GIR) (2011): Management plan for the policy research at The fluorinated greenhouse gas generated in resources cyclic, pp. 186-205.
- IPCC (2006) IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 3, 7.80-7.92.
- Kim, S.S., S.N. Kim, and E.K. Kim (2012a) Development of Fugitive Emission Model of HFC-134a from Mobile Air Conditioner of Passenger Automobiles, J. Korean Soc. Atmos. Environ., 28(5), 518-526. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.S., E.K. Kim, H.R. Kim, Y.P. Lee, S.H. Byun, J.H. Park, J.A. Lee, and H.J. Seo (2012b) Fugitive Emission Characteristics of HFC-134a from Scrap Domestic Refrigerator, J. of Korea Society of Waste Management, 30(2), 112-118. (in Korean with English abstract)
- Korean Agency for Technology and Standards (2002) KS I 3004 : 2002 Recovery and recycling refrigerant (R-12, R-22, R134a).
- Ministry of Environment (2012) Act On The Resource Circulation Of Electrical And Electronic Equipment.
- Schwarz, W., J. Harnisch, A. Koppenol, and M. Vainio (2005) Establishing HFC Use-Phase Emissions Rates of Mobile Air Conditioners in Passenger Cars, 4th International Symposium on Non-CO₂ Greenhouse Gases Utrecht 4-6.
- Stemmler, K., S. O'Doherty, B. Buchmann, and S. Reimann (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.
- UNEP-RTOC (2002) Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Option Committee.