

음료용 폐자동판매기에서의 HFC-134a 사용 및 폐기단계 탈루배출계수 결정에 대한 연구 Estimation of Fugitive Emission Factors of HFC-134a from Scrap Cold Drinking Vending Machine at Use- and Disposal-Phase

이영표 · 김의건 · 김승도*[†] · 변석호 · 김혜림 · 박준호 · 이동원**

Youngphyo Lee · Eui-Kun Kim · Seungdo Kim*[†] · Seokho Byun

Hyerim Kim · Junho Park · Dongwon Lee**

한림대학교 기후변화연구센터 · *한림대학교 환경생명공학과 · **온실가스종합정보센터

Research Center for Climate Change, Hallym University · *Environmental Sciences and Biotechnology,

Hallym University · **Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea

(2012년 12월 6일 접수, 2012년 5월 6일 채택)

Abstract : Little information is available for emission pathway even if HFC-134a that is known as one of the major greenhouse gases has been broadly used in Korea. This paper attempts to clarify the emission characteristics of HFC-134a used for refrigerant of cold drinking vending machines (CDVMs) at the use- and disposal-phase. We measured the residual amounts in the scrap CDVMs of 47 by applying commercial recover for refrigerant. The first-order kinetic model was introduced and the emission rate would be proportional to the remaining quantity of refrigerant. The emission factor at the use-phase was determined indirectly to be 6.9 ± 0.7 %/yr within a confidence interval of 95%, using information on residual amount and elapsed operation time at the disposal point. Correspondingly, the annual emission rate of HFC-134a per CDVM was determined to be 11.6 g. The average residual rate of HFC-134a in scrap CDVMs was assessed to be $62.5 \pm 2.2\%$, leading to a potential emission amount of 144.8 g per scrap CDVM. The chemical compositions of refrigerants from scrap passenger vehicles are quite similar to those of new refrigerants, suggesting that the refrigerants from scrap passenger vehicles could be reused. During the recovering process of refrigerant, the recovered refrigerant was contaminated by compressor lubricant that accounted for about 30% in weight. It is necessary to separate the refrigerant from the recovered material contaminated by lubricant for recycling and reuse the refrigerant.

Key Words : Cold Drinking Vending Machine, Refrigerant, Hydrofluorocarbon; HFC-134a, Greenhouse Gas, Fugitive Emission Factor, Disposal-Phase

요약 : 본 연구는 음료용 자동판매기의 냉매인 HFC-134a의 사용 및 폐기단계 탈루배출특성을 파악코자 하는데 그 목적을 두고 있다. 국내 제품인 음료용 폐자동판매기 47대의 HFC-134a 냉매를 상업용 냉매 회수기를 사용 회수하였고, 잔류량을 측정하였다. 본 연구에서 개발한 사용단계 탈루배출모델은 1차 동역학에 기초한 것으로 탈루율은 잔류 냉매 압력 즉 잔류량에 비례한다는 가정을 도입 적용하였다. 음료용 폐자동판매기의 배출시점에서의 잔류량과 사용기간 정보를 활용하여 탈루배출계수를 간접적으로 6.9 ± 0.7 %/yr으로 결정하였고 이는 1대당 연간 11.6 g의 HFC-134a가 배출되는 것에 해당된다. 한편 음료용 폐자동판매기 냉매 평균 잔류율은 $62.5 \pm 2.2\%$ 이었으며, 이는 1대당 잠재 탈루량을 144.8 g으로 결정할 수 있다. 음료용 자동판매기에서 회수한 폐냉매 성분 분석 결과가 신냉매와 거의 유사하여 폐냉매의 재사용이 가능할 것으로 여겨진다. 그러나 냉매 회수 과정에서 압축기 오일이 30% 정도 포함되기 때문에 냉매 재사용을 위해서는 오일 분리가 필요하다.

주제어 : 음료용 자동판매기, 냉매, 수소불화탄소; HFC-134a, 온실가스, 탈루배출계수, 폐기단계

1. 서론

1989년 1월 몬트리올 의정서에 의해 CFC-12 (Chlorofluorocarbon; R-12)의 사용 금지를 결정하였고, 이에 따라 국내에서는 2002년부터 신규 제작 보급되는 자동판매기의 냉매로서 HFC-134a (Hydrofluorocarbon; R-134a)를 사용하기 시작하였다. 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.

냉매를 사용하는 자동판매기는 양적인 측면에서 본다면

주요 HFC 배출원은 아니지만, 그 사용량이 점차 증가하고 있으며, 정부에서도 자동판매기의 주요 냉매인 HFC에 대해 관리 필요성을 느끼고 있어 HFC 배출량에 대한 기초 연구가 필요한 상황이다.

냉매를 사용하는 음료용 자동판매기의 종류로는 복합자동판매기, 캔 자동판매기, 슬러쉬 및 셰이크, 샤페트 및 빙사기, 소프트아이스크림 자동판매기 등이 있다. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)에서는 자동판매기의 사용단계 탈루배출계수로서 1~15 %/yr, 폐기단계에서의 잔류율은 0~80%로 보고하고 있다.¹⁾ 그러나 아직까지 IPCC 이외에는 관련된 선행 연구가 부족한 실정이고 국내에서는 관련 연구가 전무한 상황이다.

[†] Corresponding author E-mail: sdkim@hallym.ac.kr Tel: 033-256-9813 Fax: 033-242-1536

음료용 자동판매기는 2010년 기준으로 캔 자동판매기가 5,011대, 슬러쉬 및 셰이크 자동판매기가 1,210대 복합자동판매기가 188대가 생산 보급되고 있다.²⁾ 반면에 음료용 자동판매기의 폐기경로가 대부분 제도권 밖에서 이뤄지고 있어 폐기현황에 대한 통계량은 집계되지 않고 있다. 또한 자동판매기에 잔류하는 냉매의 관리는 거의 이뤄지지 않고 재활용 또는 폐기 처리를 위해 파쇄 하는 과정에서 전량 배출될 것으로 추정하고 있다.

음료용 자동판매기로부터의 HFC-134a 배출량에 대한 체계적인 연구가 없었고, 회수되는 HFC-134a 성분에 대한 분석이 없어서 회수한 냉매의 재사용 가능여부와 처리기술에 대한 기초적인 정보도 파악하지 못하고 있다. 그러므로 음료용 자동판매기에서 배출되는 HFC-134a를 효과적으로 관리하기 위해서는 배출특성을 우선적으로 파악할 필요가 있다.

본 연구는 음료용 폐자동판매기로부터 HFC-134a의 배출특성을 파악하여 효율적 관리를 위한 기초 정보를 제공하는데 그 목적을 두고 있다. 음료용 폐자동판매기에 잔류하는 HFC-134a의 양을 토대로 사용단계에서의 배출계수를 추정하였고, 잔류량에서 재활용되는 양을 제외하여 폐기단계에서의 배출계수도 결정하였다. 본 연구 결과는 음료용 폐자동판매기에서의 HFC-134a의 국가 고유배출계수 결정에 기여하리라 여겨진다.

2. 이론적 배경

음료용 자동판매기의 냉매로 현재 사용되고 있는 HFC-134a의 배출은 사용단계와 폐기단계로 구분할 수 있으며, 각 단계별로 냉매 배출모델을 개발 제시하였다. 그 요약된 결과는 아래에서 보는 것과 같다.

2.1. 사용단계

음료용 자동판매기에서의 냉매 배출모델을 개발하기 위해서 적용한 가정은 1) 냉매장치에서의 탈루는 배관과 접속 부분에서 확산과 누출에 의해 이뤄지며, 2) 탈루배출물은 냉매 잔류량(잔류 압력)에 비례하고, 3) 냉매 주입 후 배관 등이 밀봉 처리되어 있어 재충전은 없다는 것으로 설정하였다.³⁾

위에서 제시한 가정을 토대로 사용단계 동역학식은 아래에서 보는 것처럼 표현할 수 있다.⁴⁾

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

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

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

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.

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

특정년도 t 에서의 연간 탈루율 산정, 즉 탈루배출계수를 산정하기 위해서는 $(t-1)$ 년의 총 잔류량에 대한 $(t-1)$ 년과 t 년 사이의 1년 동안에 총 탈루량 비율로서 표현이 가능하며, 이를 수식으로 표현하면 아래에서 보는 것과 같다.

$$\begin{aligned} EF_u(\%) &= \frac{M_h(t-1) - M_h(t)}{M_h(t-1)} \times 100 \\ &= \{1 - \exp(-\epsilon_h)\} \times 100 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 EF_u 는 사용 단계 탈루배출계수(%/yr)이다.

2.2. 폐기단계

IPCC에서는 폐기단계 탈루배출계수로서 자동판매기의 초기 냉매 충전량 대비 탈루량(잔류량에서 재활용 및 처리되는 양을 제외한 양)의 비율을 사용하고 있다. 음료용 자동판매기의 폐기단계 배출량은 다음과 같이 표현 가능하다.⁵⁾

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

여기서 M_w 는 음료용 폐자동판매기에서의 HFC-134a 탈루배출량(g), EF_w 는 폐기단계의 배출계수, f_r 은 폐기시점에서의 냉매 잔류율을 의미하고, η 는 회수 처리 또는 재활용률을 의미한다. 따라서 폐기단계 탈루배출계수는 아래에서 보는 것처럼 표현이 가능하다.

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

3. 실험장치 및 방법

음료용 폐자동판매기는 재활용업체의 협조를 받아 음료용 폐자동판매기 47대로부터 냉매인 HFC-134a를 회수하여 잔류 중량을 측정 결정하였다.

3.1. 냉매 회수장치

본 연구에서는 폐기단계의 음료용 자동판매기 냉매 회수를 위하여 미국 Yellow Jacket 사의 회수기(Recover XLT/

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 ±0.05%

*R: stands for refrigerant

95763모델)를 사용하였다.⁶⁾ 냉매 회수장치의 구성은 회수기, 압력 게이지, 전자저울, 냉매 회수·저장용기 등으로 이루어져 있으며 회수기 제원은 Table 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 ±0.05, 측정 가능한 최대용량이 50 kg이고 최소단위는 2 g이다.

3.2. 냉매 회수 및 측정방법

회수기는 4℃ 이상에서 작동하므로 겨울철의 냉매 회수 측정은 시도하지 않았다. 음료용 자동판매기의 냉장 시스템은 모든 배관이 밀봉되어 있으므로 저압 배관을 천공하여 냉매를 회수한다. 이때 외부로의 누출 최소화를 위해 특수 제작된 탭바이스(Yellow Jacket Co. 제품)로 저압 배관을 천공하고, 이를 압력계에 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, 운전압력은 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 회수량을 측정하였다.

자동판매기의 경우 냉매 회수 과정에서 윤활유 역할을 하는 오일이 냉매와 같이 회수되므로 냉매 재활용을 위해서는 오일을 분리 제거해야 한다. 본 연구에서는 회수한 냉매 중에 오일 함량을 측정하지 못했으나, 음료용 자동판매기와 냉매시스템이 유사한 일반 냉장고 결과를 활용하여 오일량 보정값으로 67.7%를 적용하였다. 즉 회수된 냉매 중에 순수 냉매의 함량 비율이 67.7%로 추산 적용하였다.⁷⁾

3.3. 냉매 성분 분석

냉매의 사용 과정에서 냉매 성분 변화가 있는지 여부를 파악하기 위해 음료용 자동판매기용 신냉매와 음료용 폐자동판매기에서 회수한 폐냉매의 성분을 분석 비교하였다.

음료용 폐자동판매기에서 냉매가스 회수 방법으로는 음료용 폐자동판매기내 배관 호스를 천공하여 압력계 연결 후

Table 2. GC-MSD operation conditions

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

밸브를 열어 1 L의 테들러백(Tedlar Bag, RESTEK Co. 제품)에 냉매가 회수 보관될 수 있도록 하였다. 화학성분은 GC-MSD (Gas Chromatography-Mass Selective Detector)를 사용하여 분석하였으며, 분석 조건은 Table 2에서 보는 것과 같다.

신냉매는 1회용 보관 용기를 통해 가스와 액체 상 냉매를 따로 채취하였으며, 음료용 폐자동판매기에 잔류하고 있는 폐냉매의 경우 가스와 액체 형태로 분류하기 어렵기 때문에 가스 상태 냉매만 채취하였다.

4. 결과 및 토론

4.1. 회수량 보정(Calibration)

Schwarz⁸⁾는 상업용 냉매 회수기를 사용하는 경우 자동차 냉매장치로부터는 10~20 g 정도가 회수되지 않는다고 보고하였다. 또한 김⁴⁾도 자동차 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. 이러한 점에 착안하여 본 연구에서 사용한 냉매 회수장치의 회수 능력을 파악하고, 실제 잔류량과 회수량의 차이를 파악하기 위해 회수장치를 보정하였다.

이를 위해서는 음료용 자동판매기의 보정 결과를 적용해야 하나, 음료용 자동판매기의 경우는 냉매 설비가 밀봉 처리되어 있어 냉매 투입이 가능하지 않아 보정할 수가 없었다. 대신 냉매시스템 및 배출특성이 유사하면서 냉매 투입이 가능한 쇼케이스 보정 결과를 적용 하였다.

그 결과, 평균 회수율은 69.7 ± 4.5%(상대표준편차: 8.9%)이며, 선형회귀계수(Linear Regression Factor)의 제곱근(R²)값도 0.9865로서 실제 회수량과 충전량은 선형함수관계에 있음을 보여주고 있다. 이러한 회수 특성은 Fig. 1에서 보는 것과 같으며, 회수기에 의한 회수량과 실제 잔류량의 관계식은 아래 식에서 보는 것처럼 결정하였다.

$$M_r = 1.3583 \times M_m + 13.9998 \quad (6)$$

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

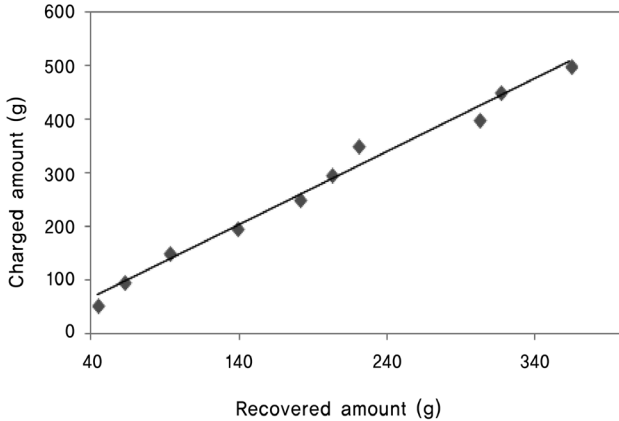


Fig. 1. Calibration curve for refrigerant recover used here.

4.2. 탈루배출계수 결정

4.2.1. 사용단계

사용단계 배출계수 결정을 위해서는 식 (2)~(4)에서 보는 것처럼 냉매의 잔류량을 측정해야 하나, 사용 중인 음료용 자동판매기에서 냉매 잔류량을 측정하는 것은 현실적으로 불가능하였다. 그러나 자동판매기의 냉매설비는 밀봉 처리되고 재충전이 없기 때문에 폐기시점의 정보를 활용하여 사용단계 탈루배출계수를 결정하였다(Table 3). 즉 음료용 폐 자동판매기의 배출시점에서의 잔류량과 사용기간 정보를 활용하면 식 (2)~(4)로부터 사용단계 탈루배출상수를 간접적으로 결정할 수 있다.

식 (3)에 초기 충전량, 폐기 시점에서의 잔류량, 사용기간을 대입하여 각각의 음료용 폐자동판매기에 대해 탈루배출상수를 결정하였다. Table 3에서 보는 것처럼 음료용 폐 자동판매기 47대의 평균 탈루배출상수는 95% 신뢰구간에서 $0.0719 \pm 0.0072 \text{ yr}^{-1}$ 이었다.

한편 위에서 결정한 탈루배출상수를 식 (4)에 대입하여 사용단계 평균 탈루배출계수(연간 탈루율)를 $6.9 \pm 0.7 \text{ %/yr}$ 로 결정하였다. 본 연구에서 제시한 사용단계 탈루배출계수는 국내 상황을 반영한 것으로 IPCC (2006)에서 제시한 1~15 %/yr 범위에 속함을 확인하였다.

본 연구에서 조사한 음료용 자동판매기의 평균 충전량 $231.7 \pm 17.4 \text{ g}$ 과 음료용 자판기의 국내 평균 사용기간(10년)의 중간 값인 5년을 현재 사용 중인 자동판매기의 대푯값으로 가정하면, 현재 사용 중인 음료용 자동판매기 1대당 연간 11.6 g의 HFC-134a가 탈루된다고 추정할 수 있다.³⁾

4.2.2. 폐기단계

음료용 자동판매기 폐기단계의 탈루배출계수는 식 (6)에서 보는 것처럼 폐기 시점에서의 냉매 잔류량과 재활용량 정보를 활용해 결정하였다. 본 연구에서 조사한 음료용 폐 자동판매기의 잔류율 정보는 Table 3에서 보는 것과 같이 95% 신뢰구간에서 $62.5 \pm 2.2\%$ 이었고, Fig. 2에서 보는 것처럼 잔류율은 정규분포를 보이고 있다.

Table 3. Apparent fugitive emission constants and emission factors of HFC-134a at the use-phase determined using the residual rates and ages of scrap cold drinking vending machines

No.	Age (yr)	Initial charge amount (g)	Residual rate (%)	Fugitive emission constant (yr^{-1})	Emission factor (%/yr)
1	5.4	400	67.2	0,0733	7.1
2	4.4	400	78.7	0,0542	5.3
3	9.3	210	56.2	0,0618	6.0
4	10.8	210	59.3	0,0483	4.7
5	8.6	210	52.7	0,0747	7.2
6	9.6	210	62.3	0,0494	4.8
7	9.1	210	51.4	0,0734	7.1
8	6.4	210	57.9	0,0850	8.2
9	8.2	210	51.8	0,0805	7.7
10	9.8	210	54.4	0,0624	6.0
11	7.2	210	52.7	0,0894	8.6
12	6.8	210	57.5	0,0820	7.9
13	6.3	210	56.2	0,0911	8.7
14	6.6	210	50.9	0,1025	9.7
15	5.8	200	63.6	0,0776	7.5
16	5.8	200	76.5	0,0460	4.5
17	6.9	200	66.4	0,0594	5.8
18	6.3	200	81.1	0,0336	3.3
19	6.1	200	65.4	0,0698	6.7
20	6.9	200	69.1	0,0535	5.2
21	7.8	160	64.5	0,0559	5.4
22	6.9	160	68.0	0,0557	5.4
23	7.3	160	62.8	0,0634	6.1
24	8.0	160	66.3	0,0514	5.0
25	6.8	200	72.3	0,0480	4.7
26	6.5	200	56.2	0,0886	8.5
27	7.9	200	61.8	0,0610	5.9
28	9.5	180	62.5	0,0495	4.8
29	9.5	180	73.2	0,0328	3.2
30	5.9	210	64.1	0,0752	7.2
31	6.3	210	60.1	0,0814	7.8
32	6.5	210	57.9	0,0840	8.1
33	5.8	210	68.4	0,0650	6.3
34	3.8	280	57.9	0,1427	13.3
35	4.1	280	59.5	0,1271	11.9
36	4.9	280	63.2	0,0938	9.0
37	3.9	280	57.6	0,1408	13.1
38	5.5	300	70.9	0,0625	6.1
39	5.5	300	66.9	0,0730	7.0
40	6.2	230	53.7	0,1008	9.6
41	6.8	230	67.3	0,0580	5.6
42	6.8	230	50.5	0,1000	9.5
43	7.9	230	63.7	0,0571	5.5
44	8.3	360	70.6	0,0422	4.1
45	8.1	360	55.0	0,0740	7.1
46	5.7	330	64.7	0,0767	7.4
47	8.3	240	64.9	0,0525	5.1
Aver age	6.9 ± 0.5	231.7 ± 17.4	62.5 ± 2.2	0.0719 ± 0.0072	6.9 ± 0.7

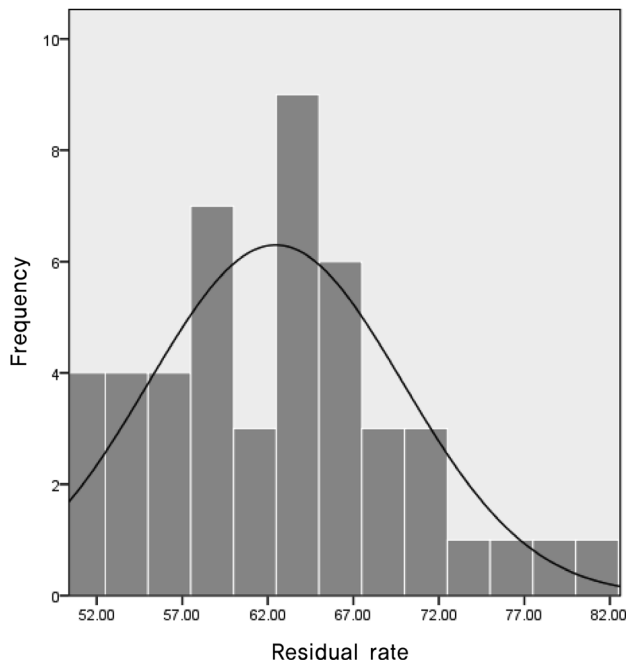


Fig. 2. Distribution of residual rate by frequency.

현재 공식적으로 음료용 자동판매기의 냉매를 재활용하고 있지 않으며, 냉매 가격이 저렴하여 민간부문에서의 냉매 재활용에 대한 인센티브도 없는 상황이다. 그러므로 본 연구에서는 음료용 자동판매기의 냉매 재활용률을 0%로 가정하였으며, 이에 냉매 잔류율 62.5%를 음료용 자동판매기의 폐기단계 HFC-134a 탈루배출계수로 결정하였다. 본 연구에서 조사한 음료용 자동판매기의 평균 초기 충전량 231.7 ± 17.4 g에 탈루배출계수인 62.5%를 곱하게 되면 폐기시점의 잔류량은 144.7 g으로 결정할 수 있으며, 이는 재활용 및 처리 기준이 없는 우리나라의 경우 음료용 폐자동판매기 1대당 잠재 탈루량으로 결정할 수 있다.

4.3. 폐냉매 성분분석

최근에 개정된 자원순환법에 따르면 폐냉매의 경우 순도가 99% 이상이어야 재사용이 가능하므로 음료용 폐자동판매기의 냉매 재사용 여부를 판단하기 위해 폐냉매의 성분을 파악할 필요가 있다.^{9,10)}

Table 4에서 보는 것처럼 신냉매의 주성분(>99%)은 예상

Table 4. GC-MSD results for new refrigerant (HFC-134a) and HFC-134a used as refrigerant for cold drinking vending machines

Classify	New refrigerant		HFC-134a used as refrigerant	
	A	B	A	B
Peak	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-Tetra fluoroethane	1,1,2,2-Tetra fluoroethane	1,1,1,2-Tetra fluoroethane	1,1,2,2-Tetra fluoroethane

한 것처럼 HFC-134a로 검출되었으며 이성질체인 1,1,2,2-Tetrafluoroethane도 미량 관찰되었다. 음료용 폐자동판매기에서 회수한 폐냉매 성분 분석 결과도 신냉매와 동일한 양상을 보이는 것으로 나타났다. 이는 자동판매기 사용으로 인하여 냉매가스의 물성이 거의 변하지 않음을 뒷받침하고 있다. 따라서 음료용 폐자동판매기로부터 회수한 HFC-134a를 냉매용도로서 재사용하는데 문제가 없다고 판단된다.

5. 결론 및 시사점

1) 본 연구의 측정을 통해 결정된 사용단계 탈루배출계수는 6.9 ± 0.7 %/yr이었으며, 국내 운영 중인 음료용 자동판매기 1대당 연간 11.6 g의 HFC-134a가 탈루된다고 결정하였다. 본 연구에서 도출한 탈루배출계수는 IPCC에서 제시한 1~15 %/yr의 중간 수준임을 알 수 있으나, 표본수가 47대로 대표성 확보에 미흡하기 때문에 향후 표본수를 늘려 국가 고유배출계수로 발전시킬 필요가 있다.

2) 폐기단계 음료용 자동판매기의 냉매 평균 잔류율은 62.5 ± 2.2 %이었으며, 여기에 음료용 자동판매기의 평균 초기 충전량 231.7 g을 활용하면 폐기된 음료용 자동판매기 1대당 잠재 탈루량은 144.8 g으로 결정할 수 있다.

3) 음료용 자동판매기에서 회수한 폐냉매 성분 분석 결과가 신냉매와 거의 유사하였으며, 이는 음료용 자동판매기 사용으로 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 한다고 여겨진다.

사사

본 연구는 환경부 “기후변화대응 환경기술개발사업”으로 지원받은 과제임.

KSEE

참고문헌

1. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), “IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,” 3, pp. 7.80~7.92(2006).
2. Korea Vending Machine Manufacture's Association, “Domestic Statistics of Vending Machine by year”(2008).
3. Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea, “Development of Management Policies of Fluorinated Greenhouse Gases Generated during the Recycling Processes of Waste Facilities”(2011).

4. Kim, S. D., Kim, Suna, and Kim, E.-K., Development of Fugitive Emission Model of HFC-134a from Mobile Air Conditioner of Passenger Automobiles, **28**(5), 518~526(2012).
5. Kim, S. D., Kim, E. K. and Kim, H. R., Lee, Y. P., Park, J. H., Byun, S. H., Seo, H. J. and Lee, S. H., "Estimation of Emission Factor (Residual Rate) and Inventory of HFC-134a from Mobile Air Conditioners of Scrap Vehicles," **29**(7), 650~661(2012).
6. Yellow Jacket Aitchie Engineering, www.yellowjacket.com
7. Kim, S. D., Kim, E.-K. and Kim, H. R., Lee, Y. P., Byun, S. H., Park, J. H., Lee, Jiae, and Seo, H. J., "Fugitive Emission Characteristics of HFC-134a from Scrap Domestic Refrigerator", **28**(5), 518~526(2012).
8. Schwarz, W., "Emission of Refrigerant R-134a from Mobile Air Conditioning Systems Environmental, Research and Consultancy Office Frank furt am Main, Germany,"(2001).
9. Ministry of Environment, "ACT on the Resource Circulation of Electrical and Electronic Equipment and Vehicles" (2012).
10. Korean Industrial Standard, "KS I 3004"