Check for updates

Journal of Climate Change Research 2020, Vol. 11, No. 6-2, pp. 771~775
DOI: http://dx.doi.org/10.15531/KSCCR.2020.11.6.771

재충전금지용기의 HFCs 잔여계수 개발

윤현기* · 이수현* · 황병봉** · 하상선* · 전의찬***†

*(주)에코아이, **(주)오운알투텍, ***세종대학교 환경에너지공간융합학과

Development of HFCs Residual Coefficients in Non-Reusable Cylinders

Yun, Hyun-Ki* · Lee, Su-Hyun* · Hwang, Byeng-Bong** · Ha, Sang-Sun* and Jeon, Eui-Chan***†

*Emissions Trading Divison, ECOEYE Co., Ltd, Seoul, Korea
**CEO, OUNR2TECH Co,. Ltd, Pohang, Korea
***Professor, Dept. of Climate Change & Environment Research Center, Sejong University, Seoul, Korea

ABSTRACT

In this study, residual coefficients for each type of refrigerant were developed by measuring the residual refrigerant mass in a worldwide recharging-free container. The measured data were taken during the period 2020.5.25.~2020.7.13. The measured refrigerants included HFC-134a and HFC-410A, where the average residuals of the measured refrigerants were 1.194 kg and 1.510 kg, respectively, and the residual coefficients were 8.8% and 13.3%, respectively. In this study, we compare the residual coefficients developed through this study with the vapor density of the REFPROP (refrigerant thermal properties program) developed by NIST and residual coefficients considering the default values of 2006 IPCC G/L.

Key words: *HFC-134a, HFC-410A, Non-reusable Cylinder*

1. 서론

몬트리올 의정서[1]에 따라 프레온가스(CFCs), 할론(halon) 등 지구성층권 오존층을 파괴하는 물질 사용이 금지 및 규제되면서 CFC, HCFC 등 기존냉매의 사용은 점차 감소하고 HFCs의 사용량이 점점 증가하고 있다. 산업공정분야 기타항목(냉장 및 냉방 등)의 생산량 증가에 따른 냉매수입량이 증가하고 있으며(GIR, 2019), 국내에서 주로 사용되는 HFCs계열의 HFC-134a, HFC-410A, HFC-152a, HFC-23 등이 있다. HFC-134a는 가정용냉장고, 상업용 냉동기, 산업용 냉동기, 자동차에어컨, 공업용 냉동기 등에 사용되며, HFC-152a는 발포제용, HFC-410A는 가정용에어컨에 주로 사용된다(중소기업청, 2014). 이중 사용 용도가 가장 다양한 HFC-134a와 HFC-410A는 주로 유지보수 관리용으로 재충전금지용기를 통해 사용된다.

국내에 수입되는 재충전금지용기는 한국가스안전공사에서 고유번호 라벨을 부착하여 수입량이 관리되며, 조회를 통해 제조사와 국내 유통업자까지 확인이 가능하나 사용 후 처리 여부 등은 확인이 불가능하다. 재충전금지용기의 냉매는 높은 압력으로 충진되어 외부물질의 유입이 불가능하며 용기 내 압력에 의해서만 냉매 방출이 가능하다. 그리고 대기압 또는 충진대상기기 내 압력과 용기 내 압력이 비슷한 수준에 도달할 경우 더 이상 사용이 불가능하다.

†**Corresponding author** : ecjeon@sejong.ac.kr (05006. Sejong University 1115B ho, Gwanggaeto Building, 209 Neundgong-ro, Gwangjin-gu, Seoul, Republic of Korea. Tel. +82-2-3408-4353)

ORCID 윤현기 0000-0001-5681-4845 하상선 0000-0003-4636-1146
이수현 0000-0003-1181-7780 전의찬 0000-0003-2783-4550
황병봉 0000-0001-5283-5147

Received: November 04, 2020 / Revised: December 04, 2020 / Accepted: December 16, 2020

1) 1987년 9월에 채택되어 1989년 1월 발효

2006 IPCC G/L에서는 재충전금지용기 잔여량(cylinder heel)을 2%로 제시하고 있으나, 냉매 증기압을 고려한 값과 비교하면 매우 보수적인 값이다. 국외에서도 cylinde heel에 대한 실험이 다수 진행되었으나(Kevin, 2013), 잔여계수 산정을 위한 연구는 거의 없다.

본 연구는 국내·외에서 잔량이 존재하는 상태로 무방비하게 방치되거나 처리없이 버려지는 재충전금지용기의 잔여냉매량을 확인하여 잔여계수를 개발하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 연구대상 및 시설

본 연구는 국내에서 사용되고 있는 냉매 HFC-134a와 HFC-410A가 충전된 재충전금지용기의 잔여계수를 개발하고자 한다. HFC-134a와 HFC-410A는 다음 Table 1에서 보는바와 같이 여러 가지 용도로 사용되고 있다. 냉매 사용기기의 유지보수 용도로 사용되는 재충전금지용기는 사용이 간편하고 별도의 설비없이 충진이 가능하며, 용기의 크기가 작아 편리하다. 하지만 재충전금지용기는 용기의 압력에 의해서 사용되므로 충전대상의 압력이나 대기압과 비슷한 수준이 되면 잔여량이 발생하는 특징을 갖고 있다. 냉매가 잔여된 재충전금지용기는 법적으로 별도의 처리방법이 존재하지 않는다.

냉매의 잔여량은 보관방법, 사용방법, 사용처에 따라 다를 수 있으며 특히 냉매사용기기의 내부 압력에 따라 달라지게 된다.잔여량 측정데이터는 국내 냉매회수업체로 등록된 'U'업체에서 측정한 데이터를 사용하였다. 'U'업체는 폐가스류처리업, 폐기물 종합 재활용업, 고압가스 제조(충전), 고압가스 판매업을 정식적으로 허가받은 업체이다. 잔여량 측정데이터는 Fig. 1과 같이 더 이상 사용이 불가능한 재충전금지용기를 수거하여 'U' 업체에서 용기의 잔여냉매를 회수 및 정제하여 재생냉매를 판매하고 이 과정의 데이터는 자체 모니터링 시스템을 통해 수집된다.

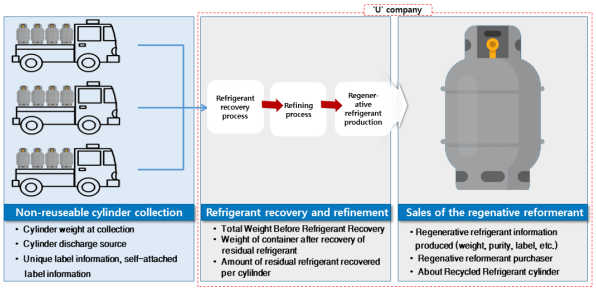

Fig. 1. Refrigerant recovery agent monitoring system

2.2 용기의 잔여 냉매량 측정 및 검정

본 연구에서는 Fig. 2와 같이 자체 모니터링 시스템을 이용하여 외부로부터 수거되는 재충전금지용기의 잔여냉매량을 측정하였다. 자체 모니터링 시스템에서 모니터링되는 항목은 회수 전 재충전금지용기 중량, 회수한 냉매

Table 1. Refrigerant types by use

Item	Classification	Charged refrigerant	Description
Residential refrigerators	-	HFC-134a	Residential
Commercial refrigerators	stand-alone device	HFC-134a, R-404a, R-407c, R-507a	vending machine, beverage stand, showcase, large supermarket freezer
Industrial refrigerators	-	HFC-134a, HFC245fa, HFC-404a, R-507a	Refrigeration in the manufacturing process of chemicals, medicines, and petrochemicals
Air conditioner	Residential	HFC-32, R-410A, R-407c	-
	Car	HFC-134a	-
Chiller	volumetric compression formula	HFC-134a, R-407c, R-410A	Central Air-Conditioning System, Industrial Process System
	centrifugal formula	HFC-134a, HFC-245fa	

(Source: Small and Medium Business Administration, 2014)

량, 회수 후 용기 중량이며, 그 밖에도 고유라벨정보, 자체부착 라벨 정보(냉매 회수시간, 냉매용기수거일자) 등의 정보가 수집되고 있다.

재충전금지용기로부터 회수한 냉매잔여 중량을 측정하여 잔여계수를 개발하고자 한다. 모니터링 시스템의 중량계측기기 검·교정 여부는 Fig. 3의 검·교정성적서를 통해 확인하였다.

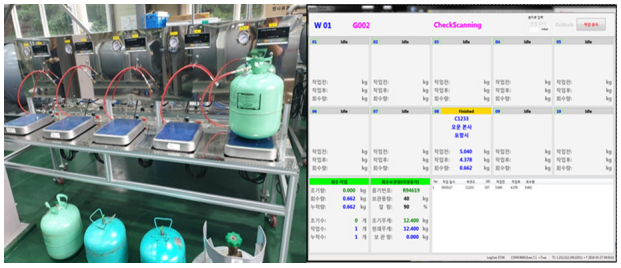

Fig. 2. Weight instrumentation monitoring system

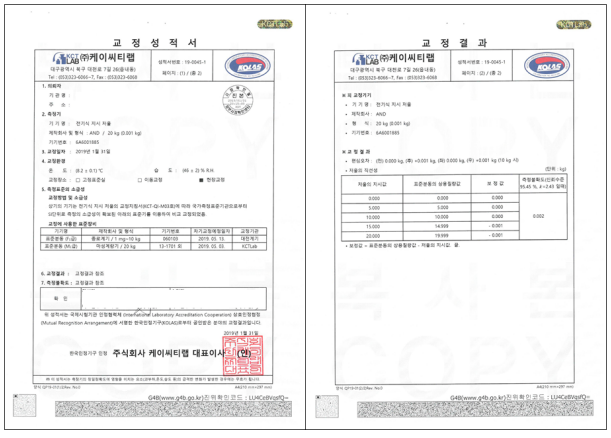

Fig. 3. Weight measurement calibration certificate

2.3 데이터 검정 및 잔여계수 개발방법

측정기기의 운전방법, 외부영향 등 여러 가지 요인으로 인하여 측정 데이터가 높게 측정되거나 낮게 나타나는 이상치가 발견될 수 있다. 이상치란 자료 또는 측정데이터가 전체적인 패턴에서 벗어난 측정값을 의미한다. 본 연구는 데이터를 수집하고 평균값을 도출하여 잔여계수를 개발하는 관계로 이상치가 잔여계수 산정에 큰 영향을 미칠 수 있으므로 Fig. 4와 같이 SPSS(Ver.26)의 사분위법을 이용하여 자료의 이상치를 확인하였다.

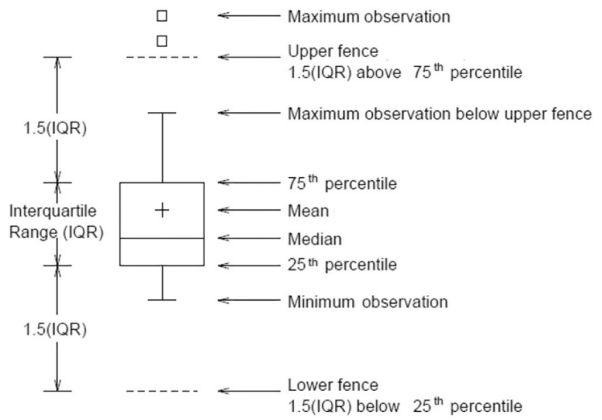

Fig. 4. Method of data distribution verification

재충전금지용기의 잔여냉매의 중량은 잔여냉매 회수 전 중량과 회수 후 중량을 측정한다. 자체적으로 개발한 모니터링 시스템을 통해 수집되는 잔여냉매량 데이터를 이상치 확인 후에 평균값을 산정하였다. 잔여계수는 식 (1)과 같이 잔여량 중량의 평균값(m_1)을 규격중량(m_2,용기에 표기된 중량)으로 나누어 산정하였다.

$$residual\,rate\,(\%) = \frac{m_1}{m_2} \times 100 \quad (1)$$

3. 연구 결과

3.1 재충전금지용기의 잔여냉매 측정결과

재충전금지용기의 잔여 중량은 다음 Table 2에서 보는 바와 같다. HFC-134a는 평균잔여량 1.194 kg/ea으로 평균 잔여비율은 8.777%(규격중량13.6 kg/ea)이며, HFC-410A는 1.510 kg/ea으로 평균 잔여비율 13.345%(규격중량11.3 kg/ea)로 확인되었다. 재충전금지용기를 수거한 기간은 2020. 5. 25. ~ 2020. 6. 30.(HFC-134a), 2020. 5. 25. ~ 2020. 7. 9.(HFC-410A) 이다. 재충전금지용기 잔여냉매를 회수하고 측정한 기간은 2020. 7. 2. ~ 2020. 8. 20.(HFC-134a), 2020. 7. 13. ~ 2020. 8. 17. (HFC-410A)이다.

HFC-134a의 경우 단일 종류의 냉매로 구성되어 물질상태 또한 단일적으로 변화되나, HFC-410A은 HFC-32(50%)와 HFC-125(50%)를 혼합하여 만들어지기 때문에 상온에서 기체와 액체가 공존하는 경우가 있다. 연구보고서에 따르면 30lb 재충전금지용기의 잔여냉매 비율은 액

체상태일 경우 5 ~ 8%, 기체상태일 경우 3%가 잔류된다(UNEP, 2011).

Table 2. Residual weight by refrigerant type

Item		HFC-134a	HFC-410A
Residual weight Average(kg)	[A]	1.194	1.510
Cylinder specification weight(kg/ea)	[B]	13.6	11.3
Residual rate(%)	[A/B* 100]	8.8	13.3
Number of cylinder(ea)		3,879	1,702

3.2 데이터 이상치 검정 및 잔여계수 비교

SPSS(Ver.26)를 이용하여 재충전금지용기의 잔여냉매 회수량의 이상치 발생여부를 확인한 결과(Fig. 5 참조), HFC-410A의 잔여중량이 HFC-134a의 잔여중량보다 넓고 높은 범위에 분포되어 있는 것으로 확인되었다. 이는 HFC-410A의 경우 기화점이 다른 냉매(HFC-125, HFC-32)가 1:1로 혼합 충전되어 있어 단일냉매인 HFC-134a보다 잔여량이 많은 것으로 추정된다.

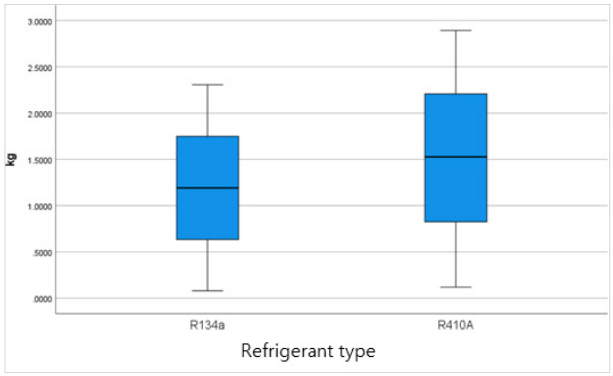

Fig. 5. Box-plot analysis

Table 3은 본 연구의 결과와 2006 IPCC G/L의 기본값, 그리고 증기밀도를 고려한 잔여량을 비교한 것이다. 증기밀도를 고려한 값은 NIST에서 개발한 REFPROP(냉매 열물성프로그램)의 20℃ 기준 증기밀도(HFC-134a:27.78 kg/m^3, HFC-410A:56.81 kg/m^3)를 기준으로 산정한 결과이다. 2006 IPCC G/L 기본값(2%)은 냉매의 종류와 상관없이 10 kg ~ 15 kg의 재충전금지용기(cylinder)로 제시되어 있다(UNFCCC, 2006). HFC-134a의 경우 8.8%로 2006 IPCC G/L 기본값(2%)보다 약 4.4 배 높게 나타났으며, 증기밀도를 고려한 값(2.7%)과 비교한 경우 약 3.3배 높게 나타났다. HFC-410A의 경우 13.3%로 2006 IPCC G/L 기본값(2%)과 비교할 경우 약 6.7 배 차이가 났으며, 증기밀도를 고려한 값(6.5%)과 약 2배 차이를 나타냈다.

Table 3. Comparison of residual refrigerant

		HFC-134a	HFC-410A
This study	Residual weight(kg)	1.194	1.510
	Residual rate(%)	8.8	13.3
2006 IPCC G/L	Residual weight(kg)	0.272	0.226
	Residual rate(%)	2.0	2.0
REFPROP	Residual weight(kg)	0.361	0.738
	Residual rate(%)	2.7	6.5

본 연구결과와 2006 IPCC GL 기본값 및 증기밀도 고려값(REFPROP)은 사용 및 보관방법에 따라 큰 차이가 나타날 수 있다. HFC-410A용기의 규격중량은 11.3 kg이고, HFC-134a은 13.6 kg임에도 HFC-410A의 잔여량이 HFC-134a보다 많이 잔여하는 것을 확인할 수 있었다.

일반적으로 재충전금지용기는 누설된 냉매를 충전하는 용도로 사용되며, 이러한 상황에서 재충전금지용기를 사용하여 유지·보수하는 경우 대부분 극소량이 필요한 상황에서 사용된다. 냉매 충진대상을 수리하기보다는 일부 누출된 냉매량을 보충하는 경우에 사용되어 기기 작동상태에서 주입된다. 공기와 수분 유입을 방지하기 위하여 운전조건에서 증기압이 대기압보다 높도록 설계되어 있으며(중소기업청, 2014), 운전되는 상태에서 주입 시 냉매사용기기 내부 압력은 대기압보다 높다. 따라서, 증기밀도를 고려한 잔여율보다 본 연구의 결과가 높게 나타나는 것으로 판단된다. 일부 증기밀도를 고려한 잔여율보다 낮게 나타난 데이터는 사용 후 보관 상 폭발위험성을 방지하기 위해 냉매용기를 일정기간동안 개방하여 방출한 후에 보관되거나 사용자의 실수로 사용 후 밸브를 개방하고 방치하여 잔여량이 낮게 나타나는 것으로 판단된다.

4. 결론

재충전금지용기는 이동이 간편하여 유지보수용으로 많이 사용되고 있으며, 연간 수입량은 점차 증가하고 있다. 재충전금지용기 냉매 가격과 재생냉매 가격을 비교하였을 경우 큰 차이를 나타내지 않고 대용량으로 충전하는 경우를 제외하고는 대부분 재충전금지용기가 사용된다. 개발도상국에서는 시중에 유통되는 재생냉매 순도의 신뢰성이 높지 않아 대부분 재충전금지용기를 수입하여 사용하고 있다. 이처럼 재충전금지용기는 우리나라뿐만 아니라 다수의 국가에서 사용되며 폐기단계에서의 재충전금지용기 잔여냉매량에 대한 정확한 산정이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 재충전금지용기 잔여량은 충진대상(냉매사용기기)의 내부압력과 재충전금지용기의 온도에 따라 큰 차이를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 재충전금지용기에 인위적으로 열을 가한다면 본 연구결과의 평균값보다 더 적은 양이 잔여될 수 있으나 고압가스 안전관리법에 위배되는 사안이며, 안전관리상 위험한 상황을 초래할 수 있다.

국가 온실가스 인벤토리보고서에 따르면, 불소계 잠재배출량은 1996 IPCC GL Tier. 1a방법론에 근거하여 불소계 온실가스의 생산량, 수입량, 수출량을 이용해 산정되며, 폐기량은 활동자료가 부재하여 고려되지 않는다(GIR, 2019). 본 연구결과를 통해 산업공정분야 잠재배출량 산정 시 신뢰도 향상에 도움이 될 수 있을 것으로 판단되며, 국내뿐만 아니라 국외에서도 활용될 수 있을 것으로 예상된다. 실내 공조기(에어컨)에 충진되는 HFC-410A가 국내 불소계 온실가스 잠재배출량 산정대상에 추가되는 경우 여러가지 용도로 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

References

US EPA and ADEME, 2004, Determination of comparative HCFC and HFC emission profiles for the Foam and Refrigeration sectors until 2015(Part 1 – Refrigerant emission profiles).

Perrin Quarles Associates, Inc., 2007, Disposable Container Heel Testing Study Report.

UNEP, 2011, Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee 2010 Assessment.

ICF International, 2011 Life Cycle Analysis of High-Global Warming Potential Greenhouse Gas Construction.

Kevin KB, 2013, SYSTEMAND METHOD FOR RECYCLING NON-REUSABLE REFRGERANT CONTAINERS.

Park JE, Kim DH, Kim HS, 2016 Incheon area Restoration Elasticity Assessment (2) by simulation of change rate in response to climate change.

Cha JW, 2017, A Study on Improvement of Management System for GHG Emission Reduction in Refrigerant Sector, University of Silla.

Kim KY, 2017, treatment of anomaly in dental research Journal of the Korean Dental Association, 55 (9), 604-616.

EIA, 2017, Search use and destroy Small and Medium Business Administration, 2014, High-Capacity Refrigerant (R-134a) Recovery and Refining Technology and Development of Devices Using it.

International Environmental Regulatory Enterprise Support Center, 2018 Trend of Regulatory Reform on Ozone Layer Destruction Materials in and out of Korea.

Innopolis Foundation, 2018, Global Market Trend Report for Special R&D Special Zone Technology (Refrigerant market).

The National Health Insurance Review and Assessment Service, 2019, Statistical methods and utilization measures for the search for abnormalities.

Greenhouse Gas Inventory and Research Center, 2019, National Greenhouse Gas Inventory Report.

Greenhouse Gas Inventory and Research Center, 2020, Second National Greenhouse Gas Statistics Management Plan(2020 ~ 2024).