

혼합냉매의 누출과정에 관한 시뮬레이션 Simulation of a Leakage Process of Refrigerant Mixtures

김 민 수*
M. S. Kim

Key words : Leakage(누출), Refrigerant Mixture(혼합냉매), Composition(성분), Isothermal Process(등온과정), Flammability(가연성), Quality(건도)

Abstract

Nonflammable mixtures of flammable and nonflammable refrigerants are possible as substitute refrigerants for use in domestic heat pumps and refrigerators. Refrigerant leakage from such a system is of paramount concern since it is possible that the resulting mixture composition remaining in system will reside in the flammable range. This paper presents a simulation of a leakage process of refrigerant mixtures. Idealized cases of isothermal leakage process are considered in this study representing a slow leak. Simulation is performed for selected composition of binary and ternary refrigerant mixture ; R-32/134a and R-32/125/134a. Mixture compositions with respect to percentage leak of original charge are presented. In isothermal leakage process, both vapor and liquid compositions of more volatile refrigerant decrease during vapor and liquid leak, but the total composition of this component decreases during vapor leak and increases during liquid leak. Vapor and liquid compositions are determined depending on the vapor-liquid equilibrium relation of the refrigerant mixture. The refrigerant mixture left in the system can go to a nonflammable direction relying on which component in the mixture is flammable.

기 호 설 명

n : 총몰수
 n_l : 액상의 몰수
 n_v : 기상의 몰수
 P : 압력[kPa]
 q : 건도
 T : 온도[°C, K]
 V : 시스템 체적[m³]
 ν : 비체적[m³/kg]
 x_i : 액상 성분비
 y_i : 기상 성분비
 z_i : 총성분비

하첨자

f : 최종 상태
 i : i 성분, 초기 상태
 l : 액상
 ν : 기상

1. 서 론

지금까지 사용되어온 염화불화탄소(CFC, chloro-fluorocarbon) 계열 냉매의 대체냉매로서 선택될 수 있는 냉매의 숫자는 제한되어 있다. 대체냉매는 냉매로서 필요한 열역학적 성질을 갖추어야함은 물론 화학적으로 안정되어 있고 사용이 안전하며, 특

*Thermal Machinery Group, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, U.S.A.

히 환경문제를 유발하지 않아야 한다. 지금까지 대체냉매에 관한 연구는 염소 성분을 포함하지 않으며, 대체하고자 하는 기존 냉매와 포화증기압이 비슷한 단일 성분 유체를 찾는데 관심을 기울여 왔다. CFC-12의 대체냉매로서 HFC-134a의 개발이 현재까지 성공적인 예 중의 하나이며, HFC-134a를 사용할 때의 문제인 오일친화문제는 최근들어 에스테르(ester)계의 냉동유를 개발함으로써 많은 부분이 해결되었다. 그러나 HFC-22의 대체냉매 연구는 CFC-12의 경우보다는 수월하지 않다. 현재까지 단일성분 냉매로서 HFC-22와 포화증기압이 비슷하여 이를 대체할 수 있는 유체는 알려져 있지 않으며, 따라서 2성분 또는 3성분 혼합냉매를 통하여 시스템의 작동 유체로서 필요한 성질을 갖추도록 하는 노력이 계속되고 있다.

여러가지 다양한 혼합냉매 중에서 등온증발 혼합냉매(azeotrope)는 증발, 응축 등의 상변화시에 온도가 일정하게 유지되며, 기상과 액상 간의 성분비 변화를 수반하지 않는 냉매를 말한다.⁽¹⁾ 결과적으로 이러한 등온증발 혼합냉매는 실용적인 측면에서 단일성분 냉매와 차이가 나지 않는다. 반면 변온증발 혼합냉매(nonazeotrope)는 상변화시에 온도 및 기상, 액상의 성분비가 변화하는 혼합냉매를 말하는데, 이러한 혼합냉매는 시스템 성능향상, 용량조절, 물성치 선택 등의 장점을 지니고 있다. 반면 변온증발 혼합냉매를 사용함으로써 시스템 설계 변경, 충전 및 수리문제, 냉매 누출시 성분비 변화 등의 문제가 수반된다.⁽²⁾ 현재의 대체냉매의 개발 상황으로 보아 변온증발 혼합냉매에 적합한 새로운 시스템을 설계하여 제작하는 데에는 많은 시간이 걸릴 것으로 보인다. 최근의 오존층 파괴 및 지구 온난화 위기는 기존 CFC 냉매에 대한 규제를 한층 강화시켰으며 신속한 비CFC 냉매로의 전환을 요구하고 있다. 이와 함께 시스템의 성능을 향상시키는 것이 필요하며, 이를 위해서는 변온증발 혼합냉매의 사용이 필수적이다. 대체냉매로 제안되는 변온증발 혼합냉매는 대개 가연성 냉매와 비가연성 냉매를 일정 성분비로 혼합한 것이 많은데 이 경우 냉매 저장시 혹은 시스템에서 냉매의 누출이 생길 경우 성분비 변화는 매우 중요한 문제가 된다. 이에 관한 연구로서는 산업용 열펌프⁽³⁾ 및 자동차 냉방시스템⁽⁴⁾에서의 냉매 누출이 생길때의 성분비 변화에 대하여 실험적으로 고찰하였으며 수치적으로 성분비 변화를 예측한 바 있으나,^(5,6) 체계적인 냉

매 누출해석은 잘 알려져 있지 않다. 현재의 기술 수준으로 완전 밀폐형 시스템을 구성하는 것이 어렵지 않으나 자동차 냉방 시스템과 같은 분리형 압축기를 사용하는 시스템에서 소량의 냉매누출은 불가피하다.

본 연구에서는 변온증발 혼합냉매와 연관된 냉매 누출 문제를 취급한다. 본 연구의 범위는 냉매누출이 진행됨에 따라 성분비 변화를 예측하고 이에 관하여 분석하는 것으로 한다. 현재 기존 냉매의 대체냉매로 제시되고 있는⁽⁷⁾ 2성분 혼합냉매(R-32/134a) 및 3성분 혼합냉매(R-32/125/134a)를 연구 대상 냉매로 선정하였다.

2. 냉매누출 모델링 및 누출 시뮬레이션

기상 및 액상 냉매누출시의 누출 모델을 Fig. 1 (a)와 (b)에 나타내었다. 시스템은 간단한 용기로 구성되어 있고 용기의 상부 또는 하부에 매우 작은 기공이 있어서 냉매가 서서히 용기로부터 누출될 수 있도록 하였다. 용기 내부에 있는 혼합냉매는 기액 평형상태에 있다고 가정하여, 등온 증발 혼합냉매가 아닐 때 기상 냉매의 성분비는 액상 냉매의 성분비와 다르다고 가정하였다. 또한 냉매가 매우 작은 구멍으로부터 서서히 누출된다는 가정하에 전체 누출 과정을 등온 과정으로 생각하였으며, 이는 냉매의 누출에 수반되는 시스템의 에너지 손실이 주위로부터 보상되어 시스템의 온도는 하강하지 않는 것을 의미한다. 이러한 냉매누출 시스템에서 냉매가 누출될 때, 기상누출의 경우 누출되는 기체의 성분비는 용기내 기상 성분비와 동일하다고 가정하였으며, 액상 누출의 경우도 누출되는 냉매의 성분

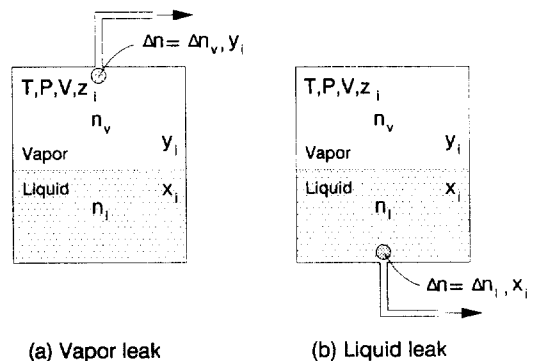


Fig. 1 Schematic diagrams of leakage model

비가 용기내 액상 성분비와 동일하다는 추가적인 가정을 하였다. 또한 이러한 냉매 누출과정은 준정상상태로 취급하여 단계별로 냉매의 누출이 있고 곧 기액평형상태가 또다시 만족되는 것으로 생각하였다. 냉매 누출과정의 시뮬레이션에 필요한 혼합냉매의 물성치 계산을 위해서는 물성치 계산 프로그램⁽⁸⁾을 이용하였다.

냉매의 누출과정을 서술하기 위해서는 시스템 내부의 총성분비 z_i 를 기상과 액상의 성분비로 표시하여야 한다. 액상의 성분비 x_i 와 기상의 성분비 y_i 로 총성분비 z_i 를 다음의 식(1)과 같이 표시할 수 있다.

$$z_i = x_i(1-q) + y_iq \quad (1)$$

여기서 q 는 몰(mole)을 기준으로한 건도로서 전체 시스템의 몰수에 대한 기상의 몰수를 나타낸다. 즉, $q=0$ 이면 시스템 내부가 포화액체로만 구성된 것을 의미하며, $q=1$ 이면 포화기체가 용기내부를 모두 채우고 있는 것을 말한다.

몰당 체적은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$v = \frac{V}{n} \quad (2)$$

식(2)에서 V 는 시스템 체적을 나타내며, n 은 시스템 내부의 총몰수를 각각 나타낸다. 만일 극소량의 기상냉매, Δn_v 가 용기로부터 외부로 누출되었다면 누출 후의 시스템내 총성분비, z'_i 는 다음 식(3)과 같이 표시된다.

$$z'_i = \frac{x_i n_i}{n - \Delta n} + \frac{y_i (n_v - \Delta n_v)}{n - \Delta n} \quad (3)$$

위 식에서 시스템 내부의 총몰수 변화는 기상에서의 몰수 변화와 같다고 생각하였다($\Delta n = \Delta n_v$). 몰 기준 건도는 다음과 같이 표시할 수 있고,

$$q = \frac{n_v}{n} \quad (4)$$

매개변수 ϵ 를 다음과 같이 정의하면,

$$\epsilon = \frac{\Delta n}{n} \quad (5)$$

식(3)을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$z'_i = \frac{x_i(1-q)}{1-\epsilon} + \frac{y_i q(1-\frac{\epsilon}{q})}{1-\epsilon} \quad (6)$$

냉매누출 후의 몰당 체적은 다음과 같이 표시된다.

$$V' = \frac{V}{n - \Delta n} \quad (7)$$

$$= \frac{v}{1-\epsilon} \quad (8)$$

기상 누출후 i 성분의 총성분비 변화는 식(1), (6)을 결합하여 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\Delta z_i = -\epsilon(1-q)(y_i - x_i) \quad (9)$$

시스템으로부터 액상 냉매가 누출될 경우 소량의 액체 Δn_l 이 시스템으로부터 누출되었다고 생각하자. 누출 후 시스템 내부 i 성분의 총성분비 z'_i 는 다음의 식(10)과 같이 표시된다.

$$z'_i = \frac{x_i(n_i - \Delta n_l)}{n - \Delta n} + \frac{y_i n_v}{n - \Delta n} \quad (10)$$

이 경우 시스템 내부의 총몰수 변화는 액상 내 몰수 변화와 같다고 간주하였다($\Delta n = \Delta n_l$). 식(10)은 식(4), (5)에서 정의된 q, ϵ 를 이용하여 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$z'_i = \frac{x_i(1-q)(1-\frac{\epsilon}{1-q})}{1-\epsilon} + \frac{y_i q}{1-\epsilon} \quad (11)$$

액상 누출의 경우에도 냉매누출 후의 몰당 체적은 식(7), (8)과 동일하게 표시된다. 액상 누출 이후 i 성분의 총성분비의 변화는 식(1), (11)을 연계하여 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\Delta z_i = \epsilon q (y_i - x_i) \quad (12)$$

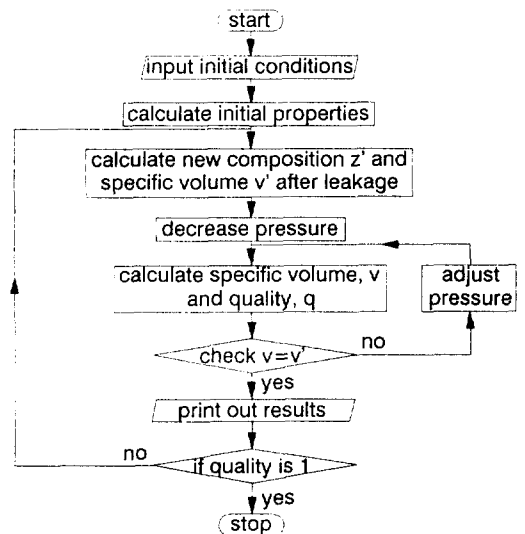


Fig. 2 Calculation procedure of leakage process

냉매누출 시뮬레이션 과정을 Fig. 2에 나타내었다. 주어진 초기 조건하에서 먼저 포화상태에서의 기상, 액상 비체적을 구하고 소량의 누출이 있다고 가정하여 기상 누출의 경우 식(6), (8)로 표시된 시스템 내부의 성분비와 비체적을 계산하고, 액상 누출의 경우 식(11), (8)로 표시된 양들을 계산한다. 누출이 진행됨에 따라 시스템 내부의 압력이 하강하므로 적절히 압력을 택하여 새로운 평형상태에서의 성분비와 비체적을 구할 수 있고 이때 계산된 비체적이 식(8)로 계산한 비체적과 동일할 때까지 압력을 조절하여 계산한다. 초기조건으로써 본 연구에서는 물기준 건도가 0인 포화액체 상태를 택하였다. 그러나 포화상태의 어떠한 상태도 초기 조건으로 택할 수 있다. 냉매누출 과정의 최종상태는 건도가 1인 포화기체 상태로 택하였는데 그 이후의 누출과정은 냉매의 성분비 변화가 없이 압력만 하강하는 과정이 된다.

기상누출 과정에서의 압력, 성분비 변화를 개략적으로 Fig. 3에 나타내었다. 초기상태에서 시스템은 성분비 x_i 인 포화액체로 가득차 있으므로 용기 내부의 총 성분비 $z_i=x_i$ 가 되고 건도는 0이다. Fig. 3에서 보여진 바와 같이 등온 조건하에서 압력과 기상, 액상 성분비는 서로 연관되어 있으므로 일단 압력이 주어지면 기액평형 조건에서 기상과 액상의 성분비가 계산된다. 누출이 진행됨에 따라 시스템 내부의 압력은 하강하고, 용기내 총 성분비는 변화한다. 용기내의 냉매 상태는 포화상태이고 이때 액상과 기상의 성분비는 Fig. 3의 액상선과 기상선을 따라 변화하게 된다. 용기내 총 성분비는

식(6)에 의해 계산된 경로를 따라 변화하고 최종상태에서 모든 액체는 증발하여 용기는 포화 증기로 가득차게 된다. 이때에 z_i 는 y_i 와 같게 되며 건도는 1이 된다. 전술한 바와 같이 이 이후의 누출과정에서 냉매의 성분비 변화는 없다. 본 연구에서의 누출과정은 25°C에서 진행되는 것으로 가정하였다.

3. 결과 및 토론

3.1 2성분 혼합냉매(R-32/134a)의 누출

2성분 혼합냉매, R-32/134a(질량비 50/50)의 기상누출 과정에서의 성분비 변화를 시스템으로부터 누출된 질량의 함수로 Fig. 4에 나타내었다. 이 경우 저온 증발 냉매(HFC-32)의 기상 및 액상 성분비는 기상누출 과정에서 감소하였는데, 이는 HFC-32의 기상 성분비가 액상 성분비보다 크기 때문이다. 결과적으로 고온 증발 냉매(HFC-134a)의 기상, 액상 성분비는 기상 누출과정 동안 증가한다. HFC-32가 2성분 혼합냉매중 가연 성분이므로 시스템 내부에 잔존하는 혼합냉매는 증기상 누출이 진행됨에 따라 비가연 성분이 증가하는 방향으로 변화한다. Fig. 4에 나타난 시스템의 총 성분비 z_i 의 변화는 식(6)에 의해 계산되었다. 초기에 각 성분의 총성분비 z_i 는 포화액체 성분비 x_i 로 선택하였으며 용기내의 최종 성분비는 포화기체 성분비 y_i 가 된다. Fig. 4에서 누출 질량비 96.8%에 표시된 수직선은 모든 액체가 증발하여 용기내에는 포화기체만 남아있는 상태를 나타낸다.

R-32/134a 혼합냉매의 증기상 누출과정에서 압

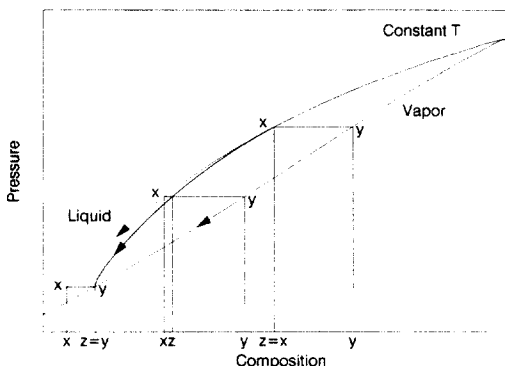


Fig. 3 Schematic diagram of composition change during vapor leak

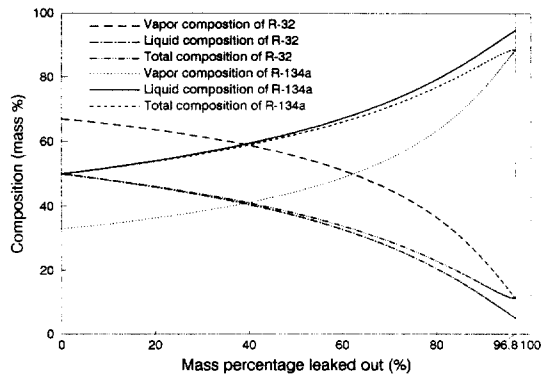


Fig. 4 Composition change during vapor leak of R-32/134a mixture as a function of mass percentage leaked out

력과 성분비의 변화를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에는 총 성분비의 변화 및 기상액상 성분비의 변화가 나타나 있고, 기상 누출과정동안 압력의 변화도 나타나 있다. 전술한 바와 같이 누출 경로는 식(6)에 의하여 예측되며, 기상·액상 성분비는 물성 계산 프로그램⁽⁶⁾에 의하여 계산하였다.

본 연구의 2성분 혼합냉매에 대한 액상 누출과정에서의 성분비 변화를 시스템으로부터 누출된 질량의 함수로 Fig. 6에 나타내었다. 누출이 진행되어 압력이 감소함에 따라 저온 증발 냉매의 기상 및 액상 성분비는 액상 누출 과정에서 감소하였다. 그러나, 액상 누출이 진행됨에 따라 용기내 저온 증발 냉매의 총성분비는 증가하였는데 이는 액상 성분비가 기상 성분비보다 작기 때문이다. 그 결과 고온증발 냉매의 기상, 액상 성분비는 액상 누출과

정동안 증가한다. HFC-32가 가연성을 지니므로 시스템 내부에 잔존하는 혼합냉매는 액상누출이 진행됨에 따라 가연 성분이 증가하는 방향으로 변화한다. 즉, 초기에 충전된 HFC-32의 성분비 보다 높은 성분비의 혼합물이 용기내에 존재하게 된다. 시스템의 총성분비의 변화는 식(11)에 의해 계산된다. 초기의 총성분비는 포화액체 성분비로 선택하였으며 용기내의 최종 성분비는 포화기체 성분비가 된다. Fig. 6에 표시된 수직선은 용기내에 포화기체만 남아있는 상태에서의 총누출 질량비를 나타낸다.

R-32/134a 혼합물의 액상 누출과정에서 압력과 성분비의 변화를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에는 총성분비의 변화, 기상 및 액상 성분비의 변화, 액상 누출과정동안 압력의 변화가 나타나 있는데, 전술한 바와 같이 누출 경로는 식(11)에 의해 예측되며, 액상 누출과정에서 압력이 감소함에 따라 저온 증발 냉매의 기상 및 액상 성분비는 감소하였다.

그러나 액상 누출과정 동안 시스템 내부의 저온 증발 냉매의 성분비는 증가한다. 이 경우 누출의 전체과정에서 압력강하 및 성분비 변화는 증기상 누출과정에 비해 매우 미소하다. 증기상 누출의 경우에는 용기로부터 누출되는 대부분의 분자가 액상으로부터 기화하여 누출되는 것으로서, 액상의 계속적인 기화로 인해 성분비 변화가 심하며, 이에 상응하는 시스템의 압력강하도 액상누출의 경우보다 크다. 반면 액상 누출의 경우에는 시스템으로부터 소량의 액체가 직접 외부로 누출되므로 액상으로부터 기화되는 양은 무척 작을 것으로 생각되며, 따라서 시스템 내부의 변화는 미소하다. 이에 상응

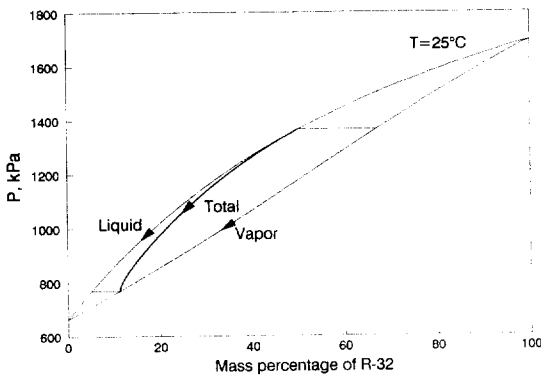


Fig. 5 Pressure and composition changes during vapor leak of R-32/134a mixture

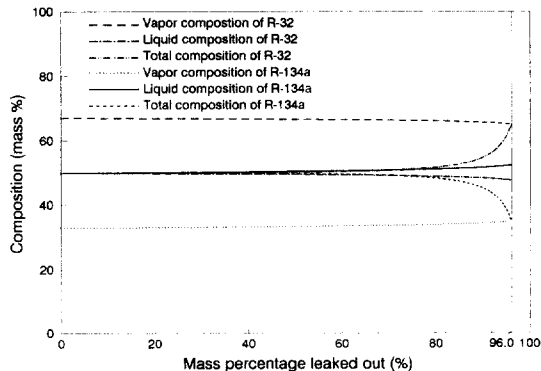


Fig. 6 Composition change during liquid leak of R-32/134a mixture as a function of mass percentage leaked out

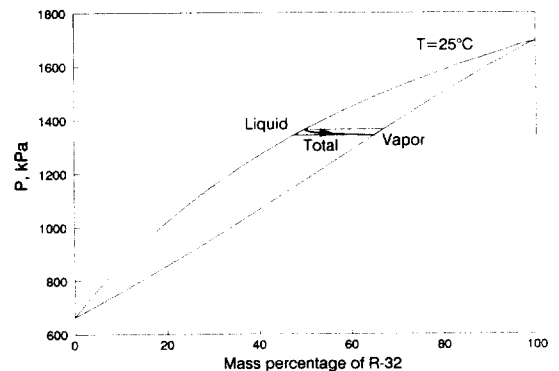


Fig. 7 Pressure and composition changes during liquid leak of R-32/134a mixture

하는 압력 강하는 증기상 누출의 경우보다 미소하며, 성분비 변화도 매우 작다. R-32/134a의 증기상 및 액상 누출에 대한 건도 변화를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8에 나타낸 건도는 식(4)에서 정의된 물기준 건도를 질량기준 건도로 바꾸어 표시한 것이다. 두 경우 모두 초기의 건도 변화는 완만하며, 누출이 진행됨에 따라 건도 변화는 급격하다. 질량 누출비 약 70%까지는 건도가 대략 0.1 이하로 유지된다.

증기상 및 액상 누출에 관한 식(6)과 (11)을 검토하면, 성분비 변화는 ϵ 의 크기에 따라 영향을 받을 것으로 예상된다. 최종상태의 압력에 미치는 ϵ 의 크기의 영향을 Fig. 9에 나타내었다. ϵ 이 0.01보다 작을 경우, 최종 압력은 거의 비슷하고 그 변화가 무시할 만하다. 본 연구에서 ϵ 의 값은 증기상 및 액상 누출의 경우에 모두 0.001로 택하였다.

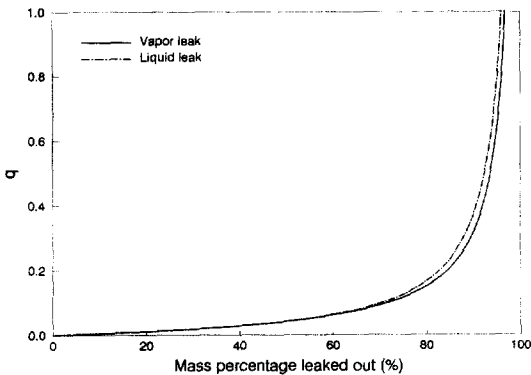


Fig. 8 Quality change during vapor and liquid leak of R-32/134a mixture

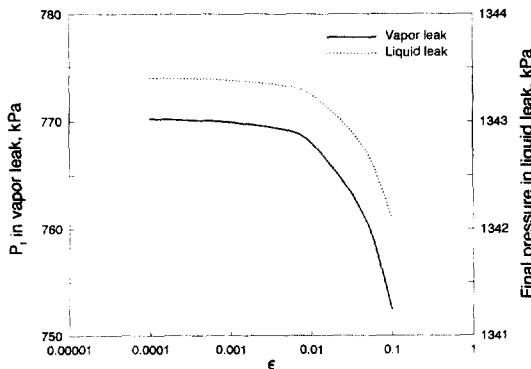


Fig. 9 Effect of the size of ϵ on the final pressure for both vapor and liquid leak

3.2 3성분 혼합냉매(R-32/125/134a)의 누출

3성분 혼합냉매, R-32/125/134a(질량비 10/70/20)의 기상 누출과정에 대한 성분비 변화를 누출된 질량의 함수로 Fig. 10에 나타내었다. Fig. 10에 나타낸 바와 같이 기상 누출과정에서 저온 증발 냉매(HFC-32)의 기상 및 액상 성분비는 감소하였고, 고온 증발 냉매(HFC-134a)의 기상, 액상 성분비는 기상 누출과정동안 증가하였다. 3성분 혼합냉매의 증온 증발 냉매(HFC-125)의 기상, 액상 성분비 변화는 혼합냉매의 기액평형 관계에 따라 증감이 결정되는데 본 연구의 경우 기상 누출과정에서 감소하였다. 전술한 바와 같이 3성분 혼합냉매중 R32가 가연성분이고, R125 및 R134a는 비가연 성분이므로, (9) 용기 내에 남아 있는 냉매는 증기상 누출이 진행됨에 따라 비가연 성분이 증가하는 방향으로 그 성분비가 변화한다. 용기내 냉매의 총성분비의 변화는 식(6)에 의해 계산된다. 3성분 혼합냉매의 경우에도 각 성분의 초기 총성분비 z_i 는 포화액체 성분비 x_i 로 선택하였으며, 용기내의 최종 성분비가 포화기체 성분비 y_i 가 될 때 누출 시를 종료하였다. Fig. 10에서 누출 질량비 95.6%에 표시된 직선은 용기 내에 포화기체만 남아있는 상태일 때의 누출 질량비를 나타낸다.

R-32/125/134a 혼합물의 증기상 누출과정에서 성분비의 변화를 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 11에는 용기 내 총성분비의 변화 및 기상액상 성분비의 변화가 나타나 있으며, v_i 및 l_i 는 초기의 기상 및 액상 성분비를, v_f 및 l_f 는 최종상태에서의 기상 및 액상 성분비를 나타낸다. 전술한 바와 같이 누

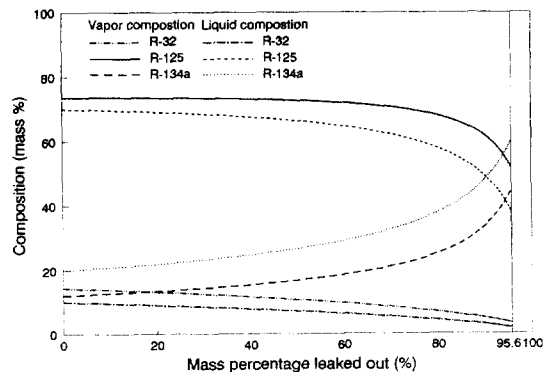


Fig. 10 Path of composition change during vapor leak of R-32/125/134a mixture as a function of mass percentage leaked out

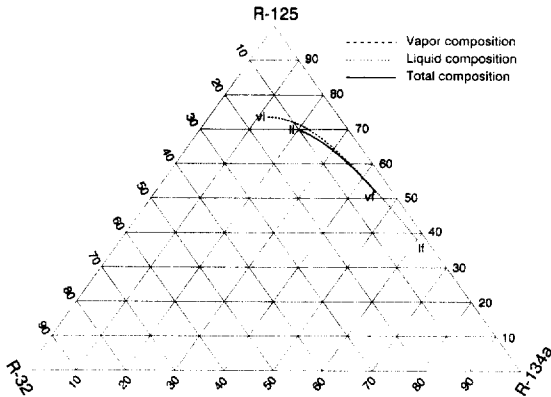


Fig. 11 Composition change during vapor leak of R-32/125/134a mixture

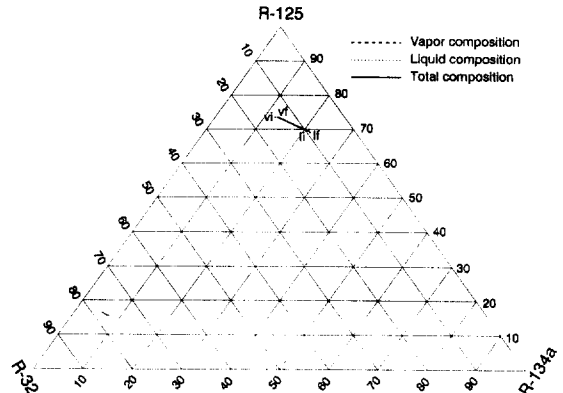


Fig. 13 Composition change during liquid leak of R-32/125/134a mixture

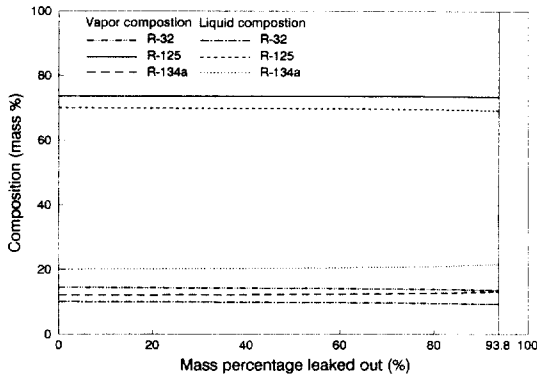


Fig. 12 Path of composition change during liquid leak of R-32/125/134a mixture as a function of mass percentage leaked out

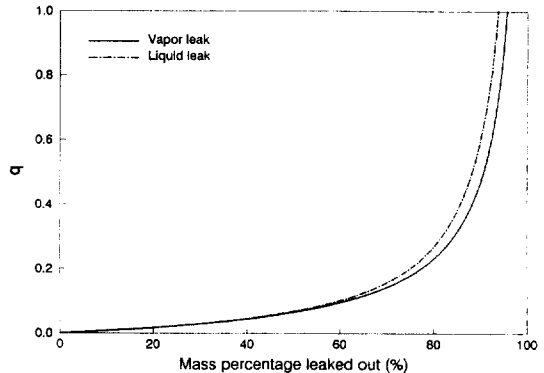


Fig. 14 Quality change during vapor and liquid leak of R-32/125/134a mixture

출 경로는 식(6)에 의하여 예측되며, 이는 Fig. 11에서 l_1 와 v_1 를 잇는 곡선으로 표시된 바와 같다.

3성분 혼합냉매에 대한 액상 누출과정에서의 성분비 변화를 누출된 질량의 함수로 Fig. 12에 나타내었다. 시스템으로부터 기상 냉매의 누출이 진행되어 압력이 감소함에 따라 저온 증발 냉매의 기상 및 액상 성분비는 감소하였다. 그러나, 액상 누출이 진행됨에 따라 저온 증발 냉매의 총성분비는 증가하였는데 이는 기상성분비 보다 큰 성분비의 액상 성분이 누출되었기 때문이다. 따라서 고온 증발 냉매의 기상, 액상 성분비는 액상 누출과정동안 증가한다. 시스템 내부에 남아 있는 혼합냉매는 액상 누출이 진행됨에 따라 가연 성분이 증가하는 방향으로 변화하나, 그 변화 폭은 매우 미소하다. Fig.

12에 표시된 수직선은 용기내에 포화기체만 남아있는 상태의 총누출 질량비를 나타낸다.

R-32/125/134a 혼합냉매의 액상 누출과정에서 총성분비의 변화 및 기상, 액상성분비의 변화를 Fig. 13에 나타내었다. v_1 및 l_1 는 기상누출의 경우와 마찬가지로 초기의 기상 및 액상 성분비를 v_2 및 l_2 는 최종상태에서의 기상 및 액상 성분비를 나타낸다. 전술한 바와 같이 누출 경로는 식(11)에 의하여 예측되며, 이는 Fig. 13에서 l_1 와 v_1 를 잇는 곡선으로 표시되었다. 액상 누출과정 동안 시스템 내부의 저온 증발 냉매의 성분비는 증가하나, 이 경우 누출의 전체 과정에서 압력강하 및 성분비 변화는 증기상 누출과정에 비해 매우 미소하다.

R-32/125/134a의 증기상 및 액상 누출 과정에서

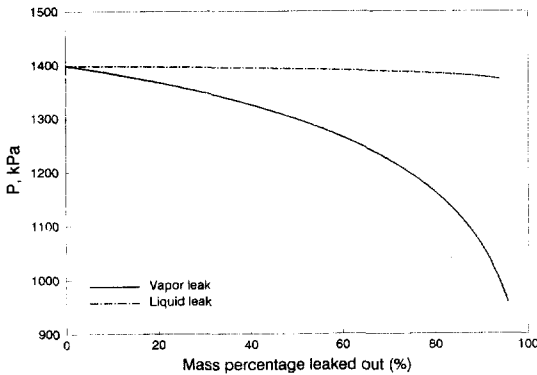


Fig. 15 Pressure change during vapor and liquid leak of R-32/125/134a mixture

의 건도 및 압력 변화를 Fig. 14 및 15에 각각 나타내었다. Fig. 14에 나타낸 건도는 질량기준 건도이며, 두 경우 모두 초기의 건도 변화는 완만하며, 누출이 진행됨에 따라 건도 급격하게 변한다. Fig. 15에서 알 수 있는 바와 같이 증기상 누출에서의 압력변화는 액상누출에서의 압력 변화보다 매우 크다.

4. 결 론

본 연구에서는 혼합냉매의 증기상 및 액상 누출에 대한 등온누출과정을 수식화 하였다. 혼합냉매로서는 R-32/134a(50/50) 및 R-32/125/134a(10/70/20)을 택하였고, 누출과정이 진행됨에 따라 시스템 내부의 성분비 변화를 누출질량의 함수로 나타내었다. 등온누출과정에서 저온증발냉매의 증기상 및 액상 성분비는 감소하였으나 용기 내의 총성분비는 증기상 누출에서 감소하였으며, 액상누출에서 증가하였다. 시스템 내부에 잔존하는 냉매는 본 연구의 2성분 및 3성분 혼합냉매에 대하여 증기상 누출이 진행됨에 따라 가연성분이 감소하는 방향으로 성분비가 변화하였으며, 액상 누출 과정에서는 증가하는 방향으로 변화하였다. 그러나 액상 누출의 경우에는 증기상 및 액상 성분비의 변화가 총누출과정동안 미소하였다.

실제의 누출과정에서 시스템으로부터의 누출 질량 또는 누출 질량비를 예측하는 것이 매우 어려운 문제이다. 그러나 초기의 충전 성분비와 초기 압력을 측정할 경우에는 누출된 양을 시스템 내부의 압력을 측정함으로써 예측할 수 있다.

후 기

본 연구를 수행하는데 많은 도움을 준 NIST의 Dr. David A. Didion, Dr. Graham Morrison, ELECTRIC Power Research Institute(EPRI)의 Mr. Terry G. Statt에게 감사하는 바이다. 해외 Post-Doc 연수지원을 통해 재정적 지원을 해준 한국과학기술재단 관계자에게도 감사하는 바이다.

참고문헌

- (1) Morrison, G and McLinden, M. O., 1993, "Azeotropy in Refrigerant Mixtures," *Int. J. Refrig.*, Vol. 16, pp. 129~175.
- (2) Didion, D. A. and Bivens, D. B., 1990, "Role of Refrigerant Mixtures as Alternatives to CFCs," *Int. J. Refrig.*, Vol. 13, pp. 163~175.
- (3) Blaise, J. C., Dutto, T., and Ambrosino, J. L., 1988, "First Industrial Application of Non-Azeotropic Mixture," *Int. J. Refrig.*, Vol. 11, pp. 255~258.
- (4) Kruse, H. and Hesse, U., 1988, "Possible Substitutes for Fully Halogenated Chlorofluorocarbons Using Fluids Already Marketed," *Int. J. Refrig.*, Vol. 11, pp. 276~283.
- (5) Shiflett, M. B., Yokozeki, A, and Reed, P. R., 1992, "Property and Performance Evaluation of 'SUVA' HP Refrigerants as R-502 Alternatives," *Proc. of 1992 International Refrigeration Conference, Purdue Univ., West Lafayette, IN, U.S.A.*, Vol. 1, pp. 15~22.
- (6) Kruse, H. and Rinne, F., 1992, "Performance and Leakage Investigations of Refrigeration and Airconditioning Systems Using Refrigerant Mixtures as Working Fluids," *Proc. of 1992 International Refrigeration Conference, Purdue Univ., West Lafayette, IN, U.S.A.*, Vol. 2, pp. 621~630.
- (7) Domanski, P. A. and Didion, D. A., 1993, *Theoretical Evaluation of R22 and R502 Alternatives, Final Report for ARTI, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, U.S.A.*
- (8) Gallagher, J., McLinden, M. O., Morrison, G.,

Huber, M. and Ely, J., 1991, NIST Thermodynamic Properties of Refrigerants and Refrigerant Mixtures, Ver. 3.03, NIST Standard Reference Database 23, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD,

U.S.A.

(9) Richard, R. G. and Shankland, I. R., 1992, "Flammability of Alternative Refrigerant," ASHRAE J., Vol. 34, No. 4, pp. 20~24.