

공비혼합냉매의 열역학적 상태량계산을 위한 프로그램개발

박 윤 철* · 현 명 택*

A program development for the thermodynamic properties calculation of azeotropic refrigerants

Youn Cheol Park* and Myung Taek Hyun*

ABSTRACT

The Montreal Protocol, an international agreement to curtail and, eventually, to eliminate the use of several widely-used chlorofluorocarbons, in particular R11 and R12, gave further impetus to having program of thermodynamic properties for pure refrigerant and their mixture such as Azeotropic refrigerant. The equations which are the basis for this calculation are the equation of state, the equation for the ideal gas heat capacity and the vapor pressure equation. The developed program has been designed to produce tables of thermodynamic properties. This program allows for the calculation of the thermodynamic properties of R410A and R134a refrigerant.

Key Words : Thermodynamic Property, Refrigerant, Azeotropic, R134a, R410A, P-h diagram

기호설명

ρ	: 밀도 [kg/m^3]
P	: 압력 [Pa]
v	: 비체적 [m^3/kg]
u	: 내부에너지 [kJ/kg]
s	: 엔트로피 [kJ/kg]
h	: 엔탈피 [kJ/kg]
g	: Gibb's 함수
a	: Helmholtz 함수

1. 서론

공학에서 다양한 프로그램개발 기법들과 컴퓨터 분야의 발전은 제품의 기술개발과정에서 고도의 정밀한 자료들을 얻을 수 있게 되었다. 프로그램 기법들을 설계나 생산분야에 일반화하여 적용할 경우 해석의 검증, 모델실험이나 시뮬레이션을 가능하게 하고, 해석이나 모델실험에서 얻어진 결과에 높은 신뢰도와 정밀도를 부여한다.

식품저장과 같은 냉동분야와 인간의 쾌적한 환경을 추구하기 위한 공기조화분야에서 작동유체로 사용되던 프레온 가스의 오존층 파괴에 따라서 대체냉매의 개발이 진행되고 있다. 대체냉매를 사용하는 냉동 및 공기조화 시스템의 해석을 위한 시뮬레이션이나

* 제주대학교 기계에너지생산공학부, 첨단기술연구소
Faculty of Mechanical, Energy & Production Engineering, Research
Institute of Advanced Technology, Cheju Nat'l Univ.

간이계산에 있어서 정확한 열역학적 상태량을 구할 수 있는 컴퓨터 프로그램이 필요하다. 최근에 새로이 등장하는 대부분 냉매는 몇 개의 냉매가 혼합되어 GWP(Global Warming Potential) 및 ODP(Ozone Depletion Potential)가 저감되는 혼합냉매를 주로 사용하고 있다. 현재 가장 많이 사용되는 혼합냉매로는 자동차나 냉장고에 주로 사용되는 R134a와 에어컨디셔너에 사용되는 R410A이다.

기존의 냉매들에 대한 상태식^[1]과 간이계산법들이 널리 알려져 있고 이들을 프로그래밍한 계산법들도 많은 분야에서 사용되고 있다. 최근 발표된 문헌^[3]에서 제시한 R134a냉매의 특성식은 상태식이 넓은 온도 ($230K < T < 400K$) 범위와 압력 ($0.07MPa < P < 10MPa$) 범위에서 잘 일치하는 하나의 함수형태로 주어져 있다. 대체로 냉매 상태량에 대한 식^[1,3]은 과열증기 영역과 포화증기 상태만 적용범위를 갖고 있으며, 임계점 부근이나 압축액체(compressed liquid)영역에서는 잘 맞지 않고 과냉 액체 영역에 대해서는 근사식을 이용하는 계산형태를 취하고 있다.

본 연구에서는 냉동 및 공기조화 시스템의 넓은 운전 범위에서 잘 일치하는 상태량을 구하기 위하여 프로그램을 개발하기 위하여 다음과 같이 전개형식을 취하여 프로그램을 개발하였다. 첫 번째 단계는 두개의 식(상태식과 증기압력곡선식, 포화상태의 온도-압력관계식)과 이상기체거동에 잘 일치하는 정압비열에 관한 식을 사용하여 나머지 모든 상태량을 계산하는 단계, 그리고 두 번째 단계는 그 과정을 이론적으로 구체화하는 단계 및 실제 프로그래밍 언어로 프로그램하는 단계(algorithm) 등으로 구성되어 있다. 각 단계에서 냉매의 상태량에 대한 개념과 이를 구체화 할 수 있도록 구성하였다.

상태량의 계산과정, 즉 각종 상관식들의 유도과정과 상태를 결정하는 각기 다른 독립된 상태량들을 계산하는 과정 등은 각각 그 개념이나 방법 등에서 다소의 전문지식을 요구하지만 그들을 구현하는 방법에 대하여는 이해하기 쉬운 방식에 따라 전개하는 구성을 택하였다.

냉매의 기본적인 특성이나 거동을 예측하기 위하여 필수적인 기본지식은 열역학의 제반이론 들이다. 본 연구에서는 이들 이론들을 실제 냉매에 적용시켜

개발된 혼합냉매의 상태량 계산을 구체화하고 덧붙여 프로그램 언어로 구현하였다.

II. 이론식의 유도

일반적으로 냉매의 상태량을 구하기 위한 실험은 냉매의 온도, 압력 및 밀도의 세 가지 상태량을 측정하며, 이 밖에도 음속, 비열 및 점성의 측정이 부가적으로 필요하다. 그러나 이러한 실험들은 실험조건이나 그 측정범위가 제한적이고 사용한 측정방법에 따라 그 오차의 분포가 각기 다르다. 또한 엔트로피 등의 상태량은 측정이 불가능하다. 하지만 이러한 실험 자료를 수식으로 정리하면 열역학적 관계식에 의해 실제로 측정이 불가능한 상태량 값, 또는 실험이 곤란한 영역에서의 상태량 값을 계산에 의해 얻을 수 있다. 이들 상태량을 유도하는 과정은 다음과 같다.

2.1. 상태량 관계식

실험으로부터 구해진 실험식은 상태방정식이라고 불리는 $P-v-T$ 또는 $P-\rho-T$ 관계식, 즉 T, v (또는 ρ)를 알고 P 를 구하는 식과 이상기체 거동으로 가정할 수 있는 낮은 압력에서의 정압비열과 온도의 상관식($C_p^0 - T$), 포화증기압곡선식($P_{sat} - T_{sat}$) 등이 있다. 다른 상태량들(s, h, C_p, C_v)은 이렇게 실험에서 구하여진 실험식들을 수학적인 방법을 이용하여 유도한 함수들로 계산한다. 열역학적 기본함수는 식 (1)~(4)와 같으며, 이상기체에 대하여는 식(5)의 관계가 성립한다.

$$Tds = du + Pdv \quad (1)$$

$$dh = du + Pdv + vdp \quad (2)$$

$$da = du - sdT - Tds = -Pdv - sdT \quad (3)$$

$$dg = dh - sdT - Tds = vdp - sdT \quad (4)$$

$$\bar{R} = C_p^0 - C_v^0 \quad (5)$$

여기서, \bar{R} 은 일반가스정수, C_p^0 는 이상기체의 정

압비열 및 C_v 는 이상기체의 정적비열이다. 연속함수의 미분성질을 사용하여 식(1)로부터 다음과 같은 식(6)을 얻을 수 있다.

$$T\left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v = C_v \quad (6)$$

(3)식으로부터 식(7)과 (8)을 얻을 수 있으며, 이로부터 (9)식이 유도된다.

$$\frac{\partial a}{\partial v} = -P \quad (7)$$

$$\frac{\partial a}{\partial T} = -s \quad (8)$$

$$\frac{\partial}{\partial T}\left(\frac{\partial a}{\partial v}\right) = -\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v = -\left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T = \frac{\partial}{\partial v}\left(\frac{\partial a}{\partial T}\right) \quad (9)$$

$$\frac{\partial g}{\partial P} = v \quad (10)$$

$$\frac{\partial g}{\partial T} = -s \quad (11)$$

$$\frac{\partial}{\partial T}\left(\frac{\partial g}{\partial P}\right) = \frac{\partial v}{\partial T}\bigg|_P = -\left(\frac{\partial s}{\partial P}\right)_T = \frac{\partial}{\partial P}\left(\frac{\partial g}{\partial T}\right) \quad (12)$$

위와 마찬가지로 식(4)로부터는 다음의 식(10)~(12)를 구할 수 있다. 이식들을 요약하여 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1. Basic governing equations

(a)	$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v = \left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T$	(d)	$\left(\frac{\partial a}{\partial T}\right)_v = -s$
(b)	$\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P = \left(\frac{\partial s}{\partial P}\right)_T$	(e)	$T\left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_v = C_v$
(c)	$\left(\frac{\partial a}{\partial v}\right)_T = -P$	(f)	$T\left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_P = C_p$

2.2. 상태량의 유도

일반적으로 3개의 식이 주어지면 모든 상태량을 유도할 수 있다. 즉 $P-v-T$ 관계식, 포화압력과 포화온도의 관계식인 증기압력식 및 이상기체의 거동에 잘 들어맞는 낮은 압력(영압력부근)에서의 정압비열 관계식 등이다.

2.2.1. 엔트로피 관계식의 유도

T, v 값을 알고 있을 때 엔트로피는 온도와 체적의 함수이므로 엔트로피를 계산하는 식은 식(13)과 같이 유도될 수 있다.

$$ds = \frac{\partial s}{\partial T} dT + \frac{\partial s}{\partial v} dv \quad (13)$$

Table 1의 식(a), 식(e) 및 식(f)로부터 $\left(\frac{\partial P}{\partial v}\right)_T = \left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_v$, $\left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_v = \frac{C_v}{T}$ 의 관계식을 식(13)에 대입하면 아래의 식(14)를 얻을 수 있다.

$$ds = \frac{C_v}{T} dT + \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v dv \quad (14)$$

이식을 양변을 적분하면 식(15)와 같으며, 식 (15)의 결과를 얻기 위해서는 C_v 와 T 의 관계식이 주어져야한다. 그러나 실제로 적분하는 과정에서는 C_v 만으로도 충분하다. 이때 s_1 은 273.15K(0℃)의 포화액체에 대하여 1.0 [kJ/kg·K]의 값을 갖도록 정하였다.

$$\begin{aligned} s_1 - s_2 &= \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_v}{T} dT + \int_{v_1}^{v_2} \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v dv \\ &= \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_p - R}{T} dT + \int_{v_1}^{v_2} \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v dv \end{aligned} \quad (15)$$

2.2.2. 헬름홀츠함수(Helmholtz function)의 유도

식(3)의 양변을 적분하면 식 (16)을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} a_2 - a_1 &= - \int_{v_1}^{v_2} P dv - \int_{T_1}^{T_2} s dT \\ &= \int_{P_1}^{P_2} \frac{dv}{\rho^2} - \int_{T_1}^{T_2} s dT \end{aligned} \quad (16)$$

2.2.3. 엔탈피 관계식의 유도

T, v 값을 알고 있을 때 엔탈피를 계산하는 식은 다음과 같이 유도한다. 식 (3)의 $a = u - Ts$ 및 (2)의 $h = u + Pv$ 로부터 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$h = a + Pv + Ts \quad (17)$$

이때 a_0 는 엔탈피의 값이 273.15K의 포화액체에

대하여 200.0 [kJ/kg]로 설정하였다.

2.2.4. 정적비열 관계식의 유도

Table 1의 식(d) 및 (e)로부터 $\left(\frac{\partial a}{\partial T}\right)_v = -s$, $T\left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_v = C_v$ 를 구할 수 있으며 이로부터 정적비열은 식 (18)과 같다.

$$C_v = -T\left(\frac{\partial^2 a}{\partial T^2}\right)_v \quad (18)$$

2.2.5. 정압비열 관계식의 유도

$s = s(T, P)$ 및 $s = s(T, v)$ 를 고려하면 두식을 전미분 형태로 나타낼 경우 다음 식(19)가 성립한다.

$$\begin{aligned} ds &= \left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_P dT + \left(\frac{\partial s}{\partial P}\right)_T dP \\ &= \left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_v dT + \left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T dv \end{aligned} \quad (19)$$

여기서 Table 1의 식(e) 및 (f)를 식(19)에 대입하면 다음과 같으며, 이식을 정리하면 식(20)을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{C_P}{T} dT + \left(\frac{\partial s}{\partial P}\right)_T dP &= \frac{C_v}{T} dT + \left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_T dv \\ \frac{1}{T}(C_P - C_v)dT &= -\left(\frac{\partial s}{\partial P}\right)_T dP + \left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T dv \end{aligned} \quad (20)$$

양변에 $\frac{\partial}{\partial P}$ 와 $\frac{\partial}{\partial v}$ 의 편미분을 취하면 다음과 같다.

i) $\frac{\partial}{\partial P}$ 를 취한 경우 ($dv=0$)

$$\begin{aligned} \frac{1}{T}(C_P - C_v)\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_v &= -\left(\frac{\partial s}{\partial P}\right)_T \\ (C_P - C_v) &= -T \cdot \left(\frac{\partial s}{\partial P}\right)_T / \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_v \end{aligned} \quad (21)$$

ii) $\frac{\partial}{\partial v}$ 를 취한 경우 ($dv=0$)

$$\begin{aligned} \frac{1}{T}(C_P - C_v)\left(\frac{\partial T}{\partial v}\right)_P &= \left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T \\ (C_P - C_v) &= T \cdot \left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T / \left(\frac{\partial T}{\partial v}\right)_P \end{aligned} \quad (22)$$

식(21)에 Table 1의 식(b)를 대입하고 정리하면

식(23)과 같으며, 식(22)에 Table 1의 식(a)를 대입하여 정리하면 식(24)와 같다. 식 (23)과 식(24)를 비교하면 두식이 같은 값을 알 수 있으며, Table 2의 (b)관계식을 이용하여 정리하면 식 (25)를 얻을 수 있다.

$$C_P - C_v = T \cdot \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v \quad (23)$$

$$C_P - C_v = T \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v \cdot \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P \quad (24)$$

$$C_P = C_v - \frac{\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v^2}{\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_T} \quad (25)$$

앞에서 유도한 정적비열-헬름홀츠함수 관계식과 Table 1의 관계식을 이용하면 정압비열은 다음과 같이 식(26)을 유도할 수 있다.

$$C_P = -T \cdot \left(\frac{\partial^2 a}{\partial T^2}\right)_v + \frac{\left(\frac{\partial^2 a}{\partial T \partial v}\right)^2}{\left(\frac{\partial^2 a}{\partial v^2}\right)} \quad (26)$$

Table 2. Basic mathematical equations

No.	Equations
(a)	$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial \rho} &= -\frac{1}{\rho^2} \cdot \frac{\partial}{\partial v} = -\rho^2 \cdot \frac{\partial}{\partial \rho} \\ \frac{\partial}{\partial v^2} &= \frac{\partial}{\partial v} \left(\frac{\partial}{\partial v} \right) = -\rho^2 \cdot \frac{\partial}{\partial \rho} \left(-\rho^2 \cdot \frac{\partial}{\partial \rho} \right) \\ &= \rho^4 \cdot \frac{\partial^2}{\partial \rho^2} + 2 \cdot \rho^3 \cdot \frac{\partial}{\partial \rho} \end{aligned}$
(b)	$\begin{aligned} \left(\frac{\partial P}{\partial v}\right)_T \cdot \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_v &= -1 \\ \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v &= 1 / \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_v \\ \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P &= -\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v / \left(\frac{\partial P}{\partial v}\right)_T \end{aligned}$

또한 Table 2의 (a)식을 이용하면 정압비열에 관한 최종식은 식(27)과 같다.

$$C_P = -\frac{T \cdot \left(\frac{\partial^2 a}{\partial T^2}\right)_v + \rho \left(\frac{\partial^2 a}{\partial T \partial \rho}\right)^2}{\left(2 \cdot \left(\frac{\partial a}{\partial \rho}\right)_T + \rho \left(\frac{\partial^2 a}{\partial \rho^2}\right)_T\right)} \quad (27)$$

III. 알고리즘 및 계산방법

본 연구의 이론관계식 유도과정을 통하여 주어진 $P-v-T$ 관계식, $P_{sat}-T_{sat}$ 관계식 및 C_p^0-T 관계식으로부터 h, s, C_p, C_v 등을 구하는 식을 구하였다. 그러나 이들 관계식은 모두 T, v 가 지지일 경우에만 열역학적 상태량을 계산할 수 있다. 만약 기지의 자료가 P, T 또는 P, v 이고 나머지 v 또는 T 를 구하는 경우라면 두 가지 방법으로 계산할 수 있다. 첫 번째 방법은 $P=f(T, v)$ 형태로 주어진 식을 $v=g(T, P)$ 형태로 바꾸어 사용하는 것이고 두 번째는 반복계산을 하는 방법이다. 하지만 $v=g(T, P)$ 의 형태로 바꾸는 과정은 수작업으로 거의 불가능하며, 따라서 주어진 $P=f(T, v)$ 형태의 식을 그대로 사용하며 반복계산법을 통하여 해를 구하는 방법이 필요하다.

3.1. 계산법

본 연구에서의 반복계산법은 뉴턴의 2차항까지 고려한 근을 구하는 방법으로써 다음과 같이 주어진 함수의 형태에 따라 2가지 방법으로 계산하였다.

$f(x)=0$ 의 수식이 주어졌을 때 이 방정식을 만족하는 x 의 값(근)을 구하는 방법은 h, s, C_p, C_v 와 T (또는 ρ)를 알고 ρ (또는 T)를 구하여 나머지 상태량을 구할 때 사용하는 방법으로 일반화 할 수 있다. 이 방법은 함수 $f(x)$ 를 테일러급수 전개한 후 2차항 까지 만을 고려한 근사식으로 식(28)의 반복계산식으로부터 구한다.

$$x_2 = x_1 - \frac{f \cdot f'}{f'^2 - \frac{f'' \cdot f}{2}} \quad (28)$$

또 다른 방법으로는 두개의 함수형태 $f(\rho, T)=0, g(\rho, T)=0$ 가 주어졌을 때 ρ 또는 T 를 구하는 방법으로써 이 방법은 P, h, s, C_p, C_v 중에서 두 값을 알고 나머지 상태량을 구하고자 할 때 사용한 방법이다. 이 방법에 대하여 자세히 유도하기 위하여 먼저 함수 $f(\rho, T)$ 를 테일러급수 전개하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} f(\rho, T) &= f(\rho_0, T_0) + \frac{\partial f}{\partial \rho} \cdot (\rho - \rho_0) \\ &+ \frac{\partial f}{\partial T} (T - T_0) + \frac{1}{2!} \left[\frac{\partial^2 f}{\partial \rho^2} \right. \\ &+ \frac{\partial^2 f}{\partial \rho \partial T} (\rho - \rho_0) \cdot (T - T_0) + \frac{\partial^2 f}{\partial T^2} (T - T_0)^2 \\ &+ \dots + \frac{1}{n!} \left[\frac{\partial^n f}{\partial \rho^n} (\rho - \rho_0)^n + \dots \right] + \dots \end{aligned}$$

$F(T, \rho) - P_0 = 0$ 및 $h(T, \rho) - h_0 = 0$ 의 두 함수가 주어져 있을 때 이는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} f(T, \rho) &= F(T, \rho) - P_0 = 0 \\ g(T, \rho) &= h(T, \rho) - h_0 = 0 \end{aligned}$$

이 두 식을 만족하는 T, ρ 가 구하고자 하는 해가 되며, 이는 다음과 같이 두식을 테일러급수 전개하여 1차항 까지만 취할 경우 다음과 같은 식을 구할 수 있다.

$$f(T) = f + f_T (T - T_1) + f_\rho (\rho - \rho_1) = 0 \quad (29)$$

$$g(T) = g + g_T (T - T_1) + g_\rho (\rho - \rho_1) = 0 \quad (30)$$

식(29)와 (30)을 연립해서 풀면 다음과 같은 식을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} (T - T_1) &= - \frac{(f \cdot g_\rho - f_\rho \cdot g)}{(f_T \cdot g_\rho - f_\rho \cdot g_T)} \\ (\rho - \rho_1) &= - \frac{(f \cdot g_T - f_T \cdot g)}{(f_\rho \cdot g_T - f_T \cdot g_\rho)} \end{aligned}$$

2차항 까지 고려한 반복계산의 수식을 얻기 위해 $(T - T_1) = C_1, (\rho - \rho_1) = C_2$ 라고 하면, 식(29) 및 식(30)의 우변항은 모두 계산이 가능하므로 C_1, C_2 또한 상수가 된다. 이렇게 정의한 C_1, C_2 를 원래의 테일러급수 전개식에 넣어 2차항 까지만 취한 근사식을 구하기 위해 Table 3과 같은 약칭부호를 정의한다.

Table 3. Definition of approximate equation

$k = f + f_{T\rho} \cdot C_1 \cdot C_2$	$K = g + g_{T\rho} \cdot C_1 \cdot C_2$
$l = f_T + \frac{1}{2} f_{TT} \cdot C_1$	$L = g_T + \frac{1}{2} g_{TT} \cdot C_1$
$m = f_\rho + \frac{1}{2} f_{\rho\rho} \cdot C_2$	$M = g_\rho + \frac{1}{2} g_{\rho\rho} \cdot C_2$

Table 3의 관계를 테일러급수 전개식에 대입하고 2차항 까지만 정리하면 다음과 같다.

$$k + l \cdot (T - T_1) + m \cdot (\rho - \rho_1) = 0$$

$$K + L \cdot (T - T_1) + M \cdot (\rho - \rho_1) = 0$$

이 두식을 다시 연립해서 풀어내어 최종적으로 반복계산수식을 정리하면 다음과 같다.

$$T_2 = T_1 - \frac{k \cdot M - K \cdot m}{l \cdot M - L \cdot m}$$

$$\rho_2 = \rho_1 - \frac{k \cdot L - K \cdot l}{L \cdot m - l \cdot M}$$

3.2. 프로그램의 구성 및 사용방법

본 연구를 통하여 개발된 프로그램은 총 14개의 서브루틴으로 구성되어 있으며, 각각의 함수명과 계산하고자 하는 상태량은 Table 4에 나타내었다.

여기서 비체적 v , 엔탈피 h 및 엔트로피 s 를 구하는 경우에는 이 세가지 상태량 중에서 하나가 알려져 있을 때 다른 두개의 상태량을 구하는 방법은 반드시 기지의 상태량을 사용해야 한다. 즉, T, P, v 가 알려져 있고 h 를 구하고자 한다면 T, P 를 통해서 h 를 구하는 대신에 T, v 로 (또는 P, v) 엔

탈피 h 를 구하는 방법을 택하여야 한다. 왜냐하면 포화상태의 경우 P, T 는 서로 독립된 상태량이 아니므로 계산된 결과는 포화증기의 상태량 값이 구해지기 때문이다.

IV. 결론

본 연구에서는 혼합냉매에 대한 열역학적 상태량을 계산하는 프로그램을 개발하였다. 본 프로그램의 개발 결과는 다음과 같다.

230K ~ 400K의 온도범위와 0.007MPa ~ 10MPa의 압력범위 내에서 최대오차 0.2% (240K부근의 포화액체 상태에서)를 유지하면서 각종의 상태량을 컴퓨터로 계산할 수 있다. Fig. 1과 2는 본 연구를 통해서 개발된 상태량 프로그램으로부터 계산된 엔탈피의 변화에 따른 압력변화를 나타내는 몰리에선도(Mollier diagram)와 온도-엔트로피선도(T-s선도)를 ASHRAE에서 제공하는 자료와 비교하였다.

혼합냉매를 작동유체로 사용하는 냉동장치나 혹은 에어컨디셔너 시스템의 시뮬레이션을 위한 기초작업으로 냉매의 상태량 계산프로그램 필수적이다. 본 연구를 통하여 개발된 프로그램은 R134a냉매 및 R410A 냉매의 물성치 계산이 필요한 프로그램에서 라이브러

Table 4. Input and output variables for subroutine of the developed program

Input Variable	Output Variable	Subroutine
T, P	v	FindDensity()
T, v	P	EquatioOfState()
T, h	v	DensityFromTemperatureAndEnthalpy()
T, s	v	DensityFromTemperatureAndEntropy()
T, v	h	EnthalpyFromTemperatureAndDensity()
T, v	s	EntropyFromTemperarueAndDensity()
P, v	T	FindTemperaure()
P, h	T	TemperatureFromP H()
P, s	T	TemperatureFromP S()
v, s	T	TemperatureFromDensityAndEntropy()
v, h	T	TemperatureFRomDensityAndEnthalpy()
T, x	v	DensityFromTemperatureAndQuality()
P, x	v	DensityFromTemperatureAndQuality()
v, x	T	TemperatureFromDensityAndQuality()

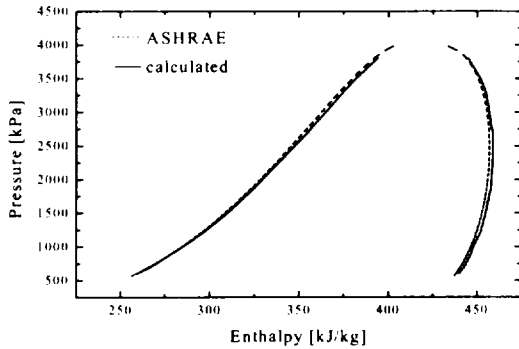


Fig. 1. Comparison of calculated data with ASHRAE data(P-h diagram)

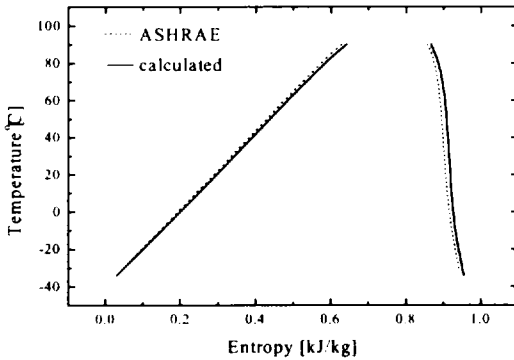


Fig. 2. Comparison of calculated data with ASHRAE data(T-s diagram)

리 프로그램으로 활용할 수 있다. 예측 가능한 쓰임새로는 P-h선도용 자료의 생성, 시스템 시뮬레이션용 프로그램의 라이브러리, 간이 COP계산용 프로그램 등이 있다. 향후 지속적으로 개발될 여러 종의 신 냉매의 열역학적 상태량 동일한 과정을 적용하여 계산할 수 있는 프로그램을 개발할 수 있으나 그에 앞서 국제적으로 공인된 프로그램과의 비교를 통하여 계산속도와 신뢰성을 검증하여야 할 것이다.

참고 문헌

- 1) Steven G. Penoncello et al., "ASHRAE thermodynamic properties of refrigerants." ASHRAE inc., pp.3-38. Atlanta, 1986.
- 2) 유병철, 서정일, 최인규, "공업열역학", 보성문화사, 제 6장, 10장, 1984.
- 3) 일본냉동협회, 일본프레온가스협회, "Thermo-physical properties of environmentally acceptable fluorocarbons, HFC-134a HCFC-123 대체 프레온류의 열물성", JFGA, JAR, pp.1~138, 1991.
- 4) Wilfred Kaplan, "Advanced calculus." 3rd ed., Addison Wesley Co., pp.443~447, 1984.