

냉매의 포화증기밀도 상관식 비교

박 경 근[†], 강 병 하, 장 시 열
 국민대학교 기계자동차공학부

Comparison of Correlations of Saturated Vapor Density for Some Refrigerants

Kyoung Kuhn Park[†], Byung Ha Kang, Siyoul Jang

School of Mechanical and Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702 Korea

(Received March 21, 2007; revision received May 11, 2007)

ABSTRACT: Various correlations of saturated vapor density in a truncated power series form are tested and compared in this study. Saturated vapor density correlation can be expressed relating logarithmic reduced density to the reduced temperature. Five types of correlation has been investigated using saturated vapor density data for 22 pure substance refrigerants from ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.) property tables and NIST (National Institute of Standards and Technology) Chemistry Webbook. Correlations are fitted to the data points by least squares method. Data points are equally weighted. The best type of correlation among the five types is suggested. The results obtained indicate that the best correlations with 3, 4, and 5 terms yield average AAD's (Average Absolute Deviation) of 0.27%, 0.04%, and 0.02%, respectively, while widely used conventional correlations with 3, 4, and 5 terms yield those of 1.19%, 0.61%, and 0.17%. The suggested type of correlation could reduce the number of terms while improving performance.

Key words: Correlation(상관식), Saturated vapor density(포화증기밀도), Thermodynamic property(열역학적 상태량)

기 호 설 명

AAD : 평균절대편차(%)
 c_i : 항의 계수 ($i = 1, 2, \dots, n$)
 DEV : 편차(%)
 k_i : 항의 지수 ($i = 1, 2, \dots, n$)
 LDV : 로그 편차
 n : 항수
 NDP : 데이터점의 개수
 RMS : 제곱근평균제곱편차
 T : 포화 온도 [K]

그리스 문자

β : 임계지수(=0.325)
 θ : $1 - T_r$
 ρ : 밀도 [m^3/kg]
 τ : $1/T_r - 1$

하첨자

c : 임계 상태량
 cal : 계산값
 g : 포화증기
 min : 최소값

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-910-4679; fax: +82-2-910-4839

E-mail address: pkk@kookmin.ac.kr

r : 환산 상태량

tbl : 자료값

1. 서 론

포화증기밀도는 Clapeyron 식을 이용하여 증발 엔탈피를 구하거나, 상변화 열전달 상관식을 이용하여 열전달 계수를 예측할 때 필요하다. 실험으로 측정하는 포화액체밀도와는 달리 포화증기밀도는 상태방정식을 이용하고 기액평형 조건을 찾아 값을 결정하는 것이 일반적이며 일관성이 있다. 그러나 이 과정이 다소 복잡하므로 별도의 보조 상관식을 이용하는 것이 유용한 경우도 있다. 보조 상관식의 예로는 포화증기밀도의 로그함수를 온도의 멱급수 형태로 나타내는 상관식^(1,2)을 들 수 있으며 현재 많이 사용되고 있다. 그러나 이런 유형의 상관식에는 항이 5~6개 또는 그 이상이 있어서 포화증기압 상관식 및 포화액체밀도의 경우(3~4항)와 비교하면 항수가 많은 편이어서 성능 향상 또는 최적 상관식의 사용을 통해 항수를 줄일 필요가 있다. 항수는 데이터의 정확도, 적용 온도 범위 등에 따라서 적절히 정해야 한다. 항수가 많다고 하여 반드시 그 상관식의 성능이 우수하지는 않다. 다른 유형의 상관식도 개발되어 다양한 물질에 적용되었다.⁽³⁻⁷⁾ 본 연구에서는 문헌에 나타나는 여러 유형의 상관식 외에도 새로운 유형의 상관식을 추가한 총 5개 유형의 상관식을 이용하여 일부 순수물질 냉매의 포화증기밀도 데이터를 곡선적합하고, 결과를 비교하고자 한다.

2. 포화증기밀도 상관식

포화증기밀도를 온도의 함수로 나타내기 위해 문헌^(1,2)에서 많이 사용되는 상관식의 형태는 다음과 같다.

$$\ln \rho_{gr} = \sum_{i=1}^n c_i \theta^{k_i} \quad (1)$$

여기서 $\rho_{gr} = \rho_g / \rho_c$ 이고 ρ_g 와 ρ_c 는 각각 포화증기밀도와 임계밀도이며, n 은 항수이고, c_i 와 k_i 는 각각 i 번째 항의 계수와 지수이다. 변수 $\theta = (1 - T_r)$ 이며, $T_r = T/T_c$, T 는 포화온도, T_c 는 임계온도이다. 첫 항의 지수 k_1 은 임계점 근방에서의 거동

을 대표한다. 나머지 항의 지수 k_i 는 1/3의 배수로 가정하는 경우가 종종 있다.^(1,2) 지수 k_i 값의 조합은 식(1)이 최적의 결과를 나타내도록 선택한다.

식(1)에서 온도를 온도의 역수로 치환하고 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\ln \rho_{gr} = \sum_{i=1}^n c_i \tau^{k_i} \quad (2)$$

여기서 $\tau = (1/T_r - 1)$ 이고 계수와 지수는 편의상 식(1)에서와 같은 기호를 사용하였다. 식(2)는 주로 냉매로 사용되는 할로젠화 탄화수소의 포화증기밀도를 효과적으로 나타내기 위해 제시되었다.⁽³⁾

Nowak et al.⁽⁴⁾ 및 Funke et al.⁽⁵⁾은 다음과 같은 형태의 식을 질소와 에탄에 대하여 각각 사용하였다.

$$\ln \rho_{gr} = \frac{1}{T_r} \sum_{i=1}^n c_i \theta^{k_i} \quad (3)$$

또한, Pentermann and Wagner⁽⁶⁾와 McLinden et al.⁽⁷⁾은 다음과 같은 형태의 식을 산소, R-134a 및 R-123에 각각 적용하였다.

$$\ln \rho_{gr} = c_1 \ln T_r + \sum_{i=2}^n c_i \theta^{k_i} \quad (4)$$

이 외에도 다음과 같은 형태의 식을 이용하여 포화증기밀도를 나타낼 수도 있다.

$$\ln \rho_{gr} = c_1 \tau + \sum_{i=2}^n c_i \theta^{k_i} \quad (5)$$

식(5)는 포화증기압을 온도의 함수로 나타내기 위하여 사용한 식을 차용한 것이다.

Fig. 1과 Fig. 2는 R-134a에 대한 $\ln \rho_{gr}$ 의 거동을 독립변수 T_r 과 $1/T_r$ 의 함수로 나타낸 것이며, 이 관계를 멱급수 형태의 식(1)과 식(2)로 각각 표현할 수 있을 것이다. Fig. 3은 $T_r \ln \rho_{gr}$ 을 독립변수 T_r 의 함수로 나타내었으며, 식(3)에 해당한다. Fig. 1의 그래프보다 Fig. 2와 Fig. 3의 그래프의 곡률이 비교적 단순하게 변화함을 관찰할 수 있으며 이에 따라 식(1)과 식(2), 식(3)의 성능이 서로 다를 것임을 예상할 수 있다. Fig. 2에서 곡선을 직선($c_1 \tau$)과 1차보정용 곡선의 합으로 나타내면 식(5)의 형태가 될 것이다.

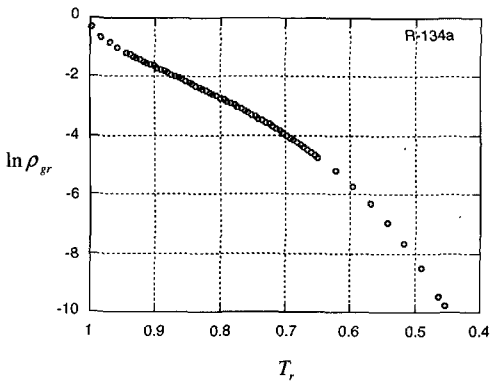


Fig. 1 Plot of $\ln \rho_{gr}$ vs. T_r for R-134a.

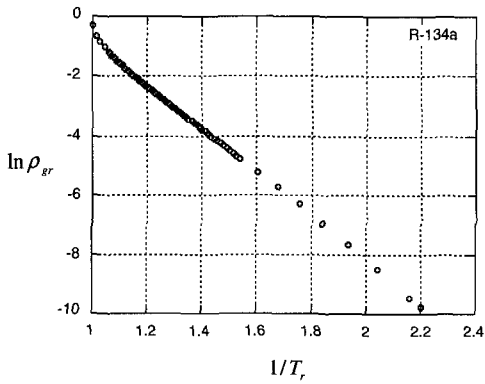


Fig. 2 Plot of $\ln \rho_{gr}$ vs. $1/T_r$ for R-134a.

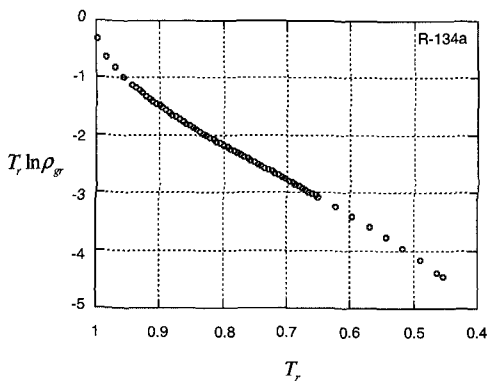


Fig. 3 Plot of $T_r \ln \rho_{gr}$ vs. T_r for R-134a.

증기밀도 상관식(1)~식(5)의 성능을 비교하였다. 포화증기밀도 데이터로는 ASHRAE 상태량 표⁽⁸⁾ 및 NIST Chemistry WebBook⁽⁹⁾을 이용하였다. 각 데이터는 모두 동일한 가중치를 부여하였다. 포화증기밀도는 제 2 비리얼 계수와 포화 증기압을 이용하거나, 상태 방정식을 포화 상태까지 연장하여 그 값을 결정하는 경우가 많고, 실험으로 직접 측정하는 경우는 드물다. Table 1에는 상관식을 결정하는데 기본적으로 필요한 특성치^(8,9)를 나열하였다. T_{min} 은 최저 온도, NDP는 데이터점의 개수이다.

항수를 3에서 5까지 동일하게 변화시키면서 식(1)~식(5)의 지수를 결정하고 성능을 파악하여 최적 상관식을 각각 구하였다. 최적화 절차는 항수가 4인 경우를 예로 들어 설명하기도 한다. 항수가 4일 때 식(1)은 다음과 같다.

$$\ln \rho_{gr} = c_1 \theta^\beta + c_2 \theta^{k_2} + c_3 \theta^{k_3} + c_4 \theta^{k_4} \quad (6)$$

우선 임계점 근방에서의 거동을 나타내는 첫 항의 지수 k_1 [식(4)와 (5)에 대하여는 두 번째 항의 지수 k_2]은 이론값인 $\beta = 0.325$ ⁽¹⁰⁾로 정하였다. 나머지 지수 k_i 는 1/2 및 1/3의 배수 등으로 정하고 범위는 2/3에서 6까지로 제한하였다. 다음으로 가능한 모든 k_i 의 조합을 구성하고(단, $k_1 = \beta < k_2 < k_3 < k_4$), 최소 자승법으로 각 항의 계수 c_i 값을 구하였다. 이렇게 하여 만들어진 식 중에서 임계점 근방에서의 거동을 반영 — 예를 들어 식(1)에서 c_1 이 양수인 경우를 제외 — 한 후, 다음과 같이 정의되는 제곱근평균제곱편차(RMS) 값이 최소인 식을 최적 상관식으로 간주하였다.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{NDP} \sum_i LDV_i^2} \quad (7)$$

여기서, $LDV = (\ln \rho_{cal} - \ln \rho_{tbl})$ 이고 ρ_{cal} 은 계산값, ρ_{tbl} 은 문헌값이다.

최적화 결과로 얻어진, 22개 냉매에 대한 평균 AAD를 Table 2에 나타내었다. 평균절대편차(AAD)는 다음과 같다.

$$AAD = \frac{1}{NDP} \sum_i |DEV_i| (\%) \quad (8)$$

여기서

$$DEV = [(\rho_{cal} - \rho_{tbl}) / \rho_{tbl}] (\%) \quad (9)$$

3. 상관식의 성능비교

본 연구에서는 떡급수 형태의 여러 가지 포화

Table 1 Critical properties (ρ_c, T_c) and minimum temperature (T_{min}), number of data points (NDP) and data sources for 22 pure substance refrigerants studied.

Substance (ASHRAE name)	ρ_c (kg/m ³)	T_c (K)	T_{min} (K)	NDP	Data Source
Chlorodifluoromethane (R-22)	521	369.21	173.15	69	(8)
Trifluoromethane (R-23)	527	299.1	118.02*	69	(8)
Difluoromethane (R-32)	425	351.3	136.34*	68	(8)
Pentafluoroethane (R-125)	568	339.22	172.52*	69	(8)
1, 1, 1, 2-Tetrafluoroethane (R-134a)	507	374.07	169.85*	69	(8)
1, 1, 1-Trifluoroethane (R-143a)	434	345.86	161.34*	66	(8)
1, 1-Difluoroethane (R-152a)	368.81	386.39	154.56*	69	(8)
1, 1, 1, 3, 3-Pentafluoropropane (R-245fa)	517	427.2	223.15	67	(8)
Ammonia (R-717)	225	405.4	195.50*	67	(8)
Water (R-718)	322.09	647.1	273.16*	69	(8)
Carbon dioxide (R-744)	466.5	304.13	216.59*	67	(8)
Methane (R-50)	162.66	190.564	90.694*	102	(9)
Ethane (R-170)	207	305.33	90.352*	217	(9)
Propane (R-290)	220	369.85	85.48*	286	(9)
Butane (R-600)	227.8	425.125	134.87*	293	(9)
Isobutane (R-600a)	224	407.84	113.56*	296	(9)
Ethylene (R-1150)	214	282.35	103.986*	181	(9)
Propene (R-1270)	223.39	365.57	100.0	267	(9)
Helium (R-704)	69.6	5.2	2.177*	153	(9)
Nitrogen (R-728)	313.07	126.19	63.151*	128	(9)
Oxygen (R-732)	435.23	154.58	54.361*	102	(9)
Argon (R-740)	535.73	150.86	83.806*	136	(9)

* Triple point temperature

이다. 항수가 3, 4, 5로 증가함에 따라 전통적으로 포화증기밀도를 나타내기 위하여 주로 쓰여왔던 식(1)의 경우 1.19%, 0.61%, 0.17%로 감소하였다. 식(3)의 경우는 0.27%, 0.04%, 0.02%로 감소하였다. 이는 식(3)의 성능이, 같은 항수의 식(1)보다 더 우수하며, 더욱이 항수가 1~2개 더 많은 식(1)보다도 우수함을 의미한다. 항수가 5인 경우에는 식(2), 식(3), 식(5)의 평균 AAD는 0.02%~

0.04%로 차이가 작았다.

Table 3에는 비교적 성능이 우수한 식(2), 식(3), 식(5)의 성능을 각 물질별로 구체적으로 나타내었다. R-717(ammonia)에 대하여는 항수가 3인 식(3)으로도 비교적 정확한 결과(0.06%)를 얻을 수 있음을 알 수 있다. R-1270에 대하여는 식(3)을 사용하되 5개의 항이 있어야 충분히 정확한 결과(0.04%)를 제시한다. R-143a, R-717, R-50에 대하여는 식(3)이 4항만으로도 매우 정확한 결과(0.01%)를 제공하고 있다. 나머지 17개 냉매에 대하여 4항 상관식(3)의 평균 AAD는 0.08% 이하로 다른 상관식에 비하여 작았다.

Fig. 4는 R-32와 R-1270, R-134a, R-744에 대한 편차(DEV, %)를 각각 나타낸 것이다. Fig. 4(a)에서는 4항 식(1)~식(5) 전부를 비교하였으며, 나머지 Fig. 4(b)~Fig. 4(d)에서는 5개 식 중 상대적으로 성능이 우수한 식(3), 식(5), 식(2)만을 비교하였다.

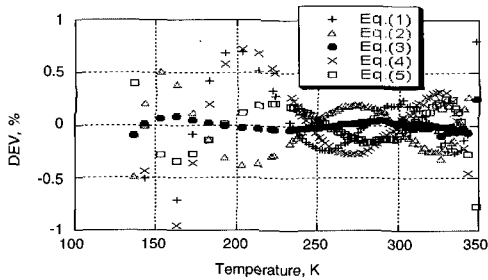
R-32에 대한 Fig. 4(a)에서 식(1)은 저온부에서 편차가 크고 식(3)은 전반적으로 편차가 작아 식

Table 2 Comparison of average AAD's (%) of Eqs.(1)~(5) depending on the number of terms, n for 22 pure substance refrigerants.

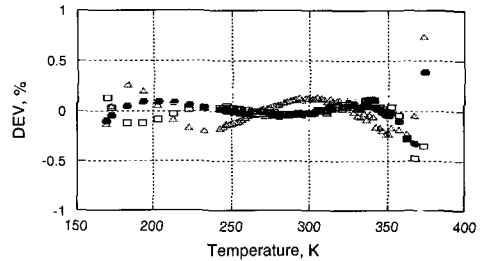
Eq.	n		
	3	4	5
(1)	1.19	0.61	0.17
(2)	0.61	0.12	0.04
(3)	0.27	0.04	0.02
(4)	1.32	0.59	0.09
(5)	0.40	0.09	0.03

Table 3 Comparison of AAD's of Eqs.(2), (3), and (5) depending on the number of terms, n .

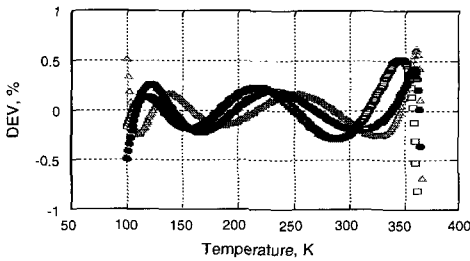
Subst.	Eq.(2)			Eq.(3)			Eq.(5)		
	n			n			n		
	3	4	5	3	4	5	3	4	5
R-22	0.34	0.09	0.02	0.33	0.06	0.02	0.15	0.09	0.02
R-23	0.42	0.15	0.03	0.38	0.04	0.02	0.18	0.08	0.02
R-32	0.55	0.18	0.02	0.36	0.03	0.01	0.29	0.14	0.01
R-125	0.21	0.04	0.02	0.26	0.02	0.02	0.39	0.15	0.02
R-134a	0.27	0.11	0.02	0.39	0.06	0.02	0.17	0.05	0.01
R-143a	0.25	0.07	0.01	0.27	0.01	0.01	0.17	0.11	0.02
R-152a	0.41	0.14	0.02	0.36	0.03	0.01	0.21	0.09	0.02
R-245fa	0.16	0.06	0.01	0.21	0.02	0.01	0.10	0.03	0.02
R-717	0.11	0.01	0.01	0.06	0.01	0.01	0.43	0.09	0.01
R-718	0.62	0.09	0.01	0.18	0.02	0.02	0.26	0.07	0.03
R-744	0.10	0.02	0.02	0.07	0.02	0.02	0.23	0.03	0.02
R-50	0.27	0.04	0.00	0.13	0.01	0.00	0.19	0.06	0.01
R-170	1.18	0.22	0.04	0.55	0.04	0.02	0.86	0.09	0.01
R-290	1.66	0.29	0.15	0.53	0.04	0.04	1.26	0.15	0.06
R-600	1.32	0.12	0.07	0.41	0.05	0.01	0.63	0.12	0.02
R-600a	1.81	0.21	0.07	0.23	0.06	0.03	1.08	0.05	0.07
R-1150	0.69	0.18	0.02	0.31	0.04	0.01	0.29	0.06	0.01
R-1270	1.76	0.14	0.11	0.27	0.15	0.04	0.56	0.21	0.13
R-704	0.12	0.13	0.04	0.11	0.08	0.03	0.25	0.13	0.06
R-728	0.29	0.02	0.01	0.16	0.03	0.00	0.45	0.04	0.01
R-732	0.84	0.17	0.01	0.22	0.04	0.02	0.39	0.07	0.03
R-740	0.12	0.12	0.10	0.19	0.06	0.06	0.28	0.14	0.10
AVE.	0.61	0.12	0.04	0.27	0.04	0.02	0.40	0.09	0.03



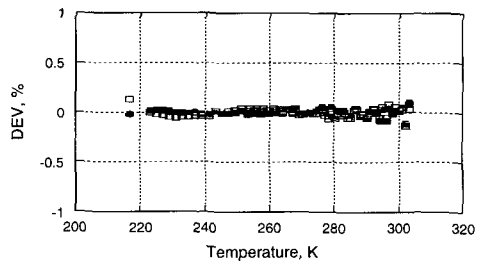
(a) R-32



(c) R-134a



(b) R-1270



(d) R-744

Fig. 4 Plot of the relative deviation, DEV[see Eq.(9)] vs. temperature T for each correlation. Some data points with $|DEV| > 1\%$ are not shown. (a) R-32, (b) R-1270, (c) R-134a, and (d) R-744.

Table 4 AAD's, coefficients and exponents of Eq.(3)

Subst.	AAD	Coefficients					Exponents			
		c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	$3k_2$	$3k_3$	$3k_4$	$3k_5$
R-22	0.06	-2.42244	3.18987	-5.88955	-4.20858		1.5	2	11	
R-23	0.04	-2.11317	-5.83405	2.78976	-4.61857		3	4	11	
R-32	0.03	-1.77060	-2.46313	-1.33719	-4.42695		2	3	12	
R-125	0.02	-1.58441	-3.00645	-1.28406	-5.29361		2	4	12	
R-134a	0.06	-1.85027	-1.87412	-2.14205	-5.71992		2	3	12	
R-143a	0.03	-1.79251	-2.22627	-1.46705	-4.71185		2	3	12	
R-152a	0.01	-1.88025	-1.96084	-1.75862	-4.68407		2	3	12	
R-245fa	0.02	-2.26940	-4.95214	2.16711	-6.66028		3	5	10	
R-717	0.01	-1.29165	-3.82933	-0.87471	-3.28950		2	7	12	
R-718	0.02	-1.91366	-2.81286	-0.96695	-4.29840		2	3	11	
R-744	0.02	-1.53675	-2.82366	-1.19697	-8.59115		2	4	14	
R-50	0.01	-1.39481	-2.37934	-0.54375	-2.43794		2	3	14	
R-170	0.04	-1.58497	-2.02902	-1.17779	-3.15425		2	3	13	
R-290	0.04	-1.57167	-2.30326	-1.07624	-3.68512		2	3	12	
R-600	0.05	-1.54174	-2.89620	-0.80994	-4.03213		2	4	12	
R-600a	0.06	-1.35198	-3.32720	-0.70747	-3.78562		2	6	12	
R-1150	0.04	-1.42911	-2.71676	-0.60475	-3.33053		2	4	13	
R-1270	0.04	-0.26940	-3.46544	-1.52242	-27.2829	24.7401	1.5	4	17	18
R-704	0.08	-0.19831	-3.05053	0.80524	0.90766		1.5	2	8	
R-728	0.03	-1.67826	1.31868	-3.98733	-2.48512		1.5	2	12	
R-732	0.04	-1.63465	1.20978	-3.88153	-2.55301		1.5	2	13	
R-740	0.06	-0.37284	-3.10021	-0.94575	-2.93274		1.5	4	16	
AVE.	0.04									

(3)의 성능이 더 우수함을 알 수 있다. R-1270에 대한 Fig. 4(b)에서 4항 식(3)과 식(5), 식(2) 모두 편차가 비교적 크음을 알 수 있으며, Table 3에 의하면 5항 식(3)만이 0.1% 이하의 평균 AAD에 도달한다. Fig. 4(c)에 R-134a에 대한 편차를 각각 나타내었다. 식(5)의 경우 전체 영역에 걸쳐서 식(3)보다 편차가 작으나 그 차이는 미미하다. R-744에 대한 Fig. 4(d)에서 모든 식이 작은 편차를 나타냄을 알 수 있으며, 이 경우 항수를 4에서 5로 증가시켜도 성능은 더 이상 크게 향상되지 않았다(Table 3 참조).

포화증기밀도 데이터^(8,9)의 부정확도는 대체로 0.1% 또는 그 이상일 것이라고 생각되므로 실제 활용 면에서는 4항 상관식(3)을 사용하는 것이 비교적 간단하면서 정확도 측면에서도 충분한 것으로 생각된다. 활용을 위하여 Table 4에 식(3)의 AAD와 계수, 지수 등을 22개 냉매에 대하여 나타내었다. 항수는 R-1270에 대하여만 5이고 나머지 21개 물질에 대하여는 4이다. 첫 항의 지수값은 이른값인 $0.325^{(10)}$ 를 사용한다. 식(3)은 임계점

에서부터 삼중점(또는 데이터가 있는 최저 온도)까지의 전 범위에서 순수물질 냉매의 포화증기밀도를 효율적으로 계산하는데 이용할 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 포화증기밀도와 온도 간의 관계를 멱급수 형태로 나타내는 5개의 상관식을 이용하여 22개 순수물질 냉매의 포화증기밀도를 곡선 접합하고 각 식의 성능을 비교하였다. 그 결과 4항만으로도 평균 AAD 0.04%로 데이터를 재현하는 특정 상관식을 파악하였다. 이 상관식을 쓰면 기존에 흔히 사용했던 식(평균 AAD = 0.12%)보다 항수는 줄이면서도 성능은 향상시킬 수 있다. 이 상관식은 임계점에서 삼중점 또는 데이터가 있는 최저 온도까지의 전 온도범위에서 포화증기밀도를 계산하는데 사용이 가능하다. 끝으로 각 물질에 대한 4항 또는 5항 상관식의 지수와 계수를 제시하였다.

후 기

본 연구의 일부는 산업자원부 차세대 신기술 개발 사업 중 '환경친화적 자연냉매인 CO₂를 적용한 고효율 냉방시스템 개발' 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Tillner-Roth, R. and Baehr, H. D., 1994, An international standard formulation for the thermodynamic properties of 1,1,1,2-tetrafluoroethane (HFC-134a) for temperatures from 170 K and 455 K at pressures up to 70 MPa, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, Vol. 23, No. 5, pp. 657-730.
2. Span, R., Lemmon, E. W., Jacobsen, R. T., Wagner, W. and Yokozeki, A., 2000, A reference equation of state for the thermodynamic properties of nitrogen for temperatures from 63.151 to 1000 K and pressures to 2200 MPa, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, Vol. 29, No. 6, pp. 1361-1434.
3. Park, K. K., 1998, A new type of saturated vapor density correlation for refrigerants, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 10, No. 5, pp. 550-557.
4. Nowark, P., Kleinrahm, R. and Wagner, W., 1997, Measurement and correlation of the (p , ρ , T) relation of nitrogen. II. saturated-liquid and saturated-vapour densities and vapour pressures along the entire coexistence curve, *J. Chem. Thermodyn.*, Vol. 29, pp. 1157-1174.
5. Funke, M., Kleinrahm, R. and Wagner, W., 2002, Measurement and correlation of the (p , ρ , T) relation of ethane. II. saturated-liquid and saturated-vapour densities and vapour pressures along the entire coexistence curve, *J. Chem. Thermodyn.*, Vol. 34, pp. 2017-2039.
6. Pentermann, W. and Wagner, W., 1978, New pressure-density-temperature measurements and new rational equation for the saturated liquid and vapor densities of oxygen, *J. Chem. Thermodyn.*, Vol. 10, pp. 1161-1172.
7. McLinden, M. O., Gallagher, J. S., Weber, L. A., Morrison, G., Ward, D., Goodwin, A. R. H., Moldover, M. R., Schmidt, J. W., Chae, H. B., Bruno, T. J., Ely, J. F. and Huber, M. L., 1989, Measurement and formulation of the thermodynamic properties of refrigerants 134a (1,1,1,2-tetrafluoroethane) and 123 (1,1-dichloro-2,2,2-trifluoroethane), *ASHRAE Transactions*, Vol. 95, pp. 263-283.
8. ASHRAE, 2001, 2001 ASHRAE Handbook-Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA, Chap. 20.
9. Lemmon, E. W., McLinden, M. O. and Friend, D. G. in Linstrom, P. J. and Mallard, W. G. (Ed.), 2001, NIST Chemistry WebBook, NIST Standard Reference Database Number 69, NIST, Gaithersburg, MD, <http://webbook.nist.gov>.
10. Levelt Sengers, J. M. H. and Sengers, J. V. in: Raveche, H. J. (Ed.), 1981, Perspectives in Statistical Physics, North-Holland, Amsterdam.