

순수물질에 대한 증발엔탈피 상관식의 제안 및 성능비교

이 경 렬, 박 경 근^{*†}

국민대학교 대학원, *국민대학교 기계자동차공학부

A Proposal of a Correlation of the Enthalpy of Vaporization for Pure Substances and Performance Comparison of Correlations

Kyoung Youl Lee, Kyoung Kuhn Park^{*†}

Graduate School, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

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

(Received July 29, 2005; revision received November 16, 2005)

ABSTRACT: Published correlation equations of the enthalpy of vaporization are reviewed and a new four-parameter correlation equation is proposed. Performance of the proposed equation is examined using the ASHRAE data for 22 pure substance refrigerants as reference data. The new equation yields an average absolute deviation of 0.05%, which is smaller than those of published equations, such as equations of Guermouche-Vergnaud (0.08%), Aerebrot (0.13%), Radoz-Lydersen (0.08%), and Somayajulu (0.08%). The three adjustable parameters of the modified correlation are optimized and reported for 22 substances. The equation proposed in this work is valid over the entire temperature range where data points exist.

Key words: Correlation(상관식), Watson equation(Watson 식), Enthalpy of vaporization(증발엔탈피), Refrigerant(냉매)

기 호 설 명

a : 선형계수
 Δh : 증발엔탈피 [kJ/kg]
 i : 데이터 번호, 항 번호
 k : 지수
 l : 지수 또는 계수
 m : 지수 또는 계수
 N : 데이터 점의 개수
 n : 지수 또는 계수
 R : 기체상수 [kJ/kgK]

T : 포화온도 [K]

그리스 문자

α : 임계지수 또는 상수
 β : 임계지수 또는 상수
 γ : 상수
 θ : 온도의 함수(= $1 - T_r$)
 τ : 온도의 함수(= $1/T_r - 1$)
 Δ : 임계지수

하첨자

b : 대기압 끓는점
 c : 임계점

† Corresponding author

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

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

cal : 계산값
 r : 환산상태
 t : 삼중점
 tbl : 상태량표의 값

1. 서 론

증발엔탈피(enthalpy of vaporization)는 때로는 증발잠열(latent heat of vaporization)이라고도 한다. 증발엔탈피는 같은 온도에서 포화증기 엔탈피와 포화액체 엔탈피의 차이이다. 일반적으로 증발엔탈피는 삼중점(triple point, 이하 TP로 약함)에서 최대값을, 임계점(critical point)에서 최소값을 갖는다.

냉동사이클은 물질이 상변화 과정에서 내놓거나 받아들이는 잠열을 이용하여 열을 저온부에서 고온부로 전달한다. 따라서 증발엔탈피의 계산은 사이클의 해석에 있어서 필수적이다. 또한 상변화가 있는 열전달의 예측을 위해 사용되는 대부분의 상관식에는 증발엔탈피가 포함되어 있으므로 증발엔탈피의 정확한 계산은 열전달계수의 산출에 영향을 미치게 된다.

증발엔탈피의 값이 실험을 통하여 결정되는 경우는 아주 드물다. 대부분은 Clapeyron 식을 사용하거나 상태방정식의 포화조건을 찾아 계산한 결과이다. 이러한 계산과정은 복잡하므로 간단한 수작업으로 증발엔탈피를 계산하는 것이 필요한 경우에는 독립적인 상관식을 이용하는 것이 바람직하다. 대표적인 상관식으로 Watson 식⁽¹⁾이 있으며 그 외에도 여러 상관식⁽²⁻¹¹⁾이 개발되어 있다.

본 연구에서는 (1) 기존의 증발엔탈피 상관식들을 검토하고, (2) 가장 간단한 형태의 Watson 식⁽¹⁾과 최근에 발표된 Meyra-Kuz-Zarragoicoechea 식⁽²⁾을 비교하고, (3) 형태가 복잡하지만 보다 정확한 새로운 상관식을 제안하고 기존의 식과 비교하고자 한다. 비교를 위해서 신뢰도가 높다고 생각되는 ASHRAE의 자료⁽¹²⁾를 데이터로 사용하여 성능이 가장 우수한 상관식을 파악함으로써 개개 물질의 증발엔탈피의 정확한 계산 및 재현에 기여하고자 한다.

2. 증발엔탈피 상관식

증발엔탈피 데이터가 어느 정도 있는 경우에는

이를 온도의 함수로 표현하는 상관식을 결정하여 사용하는 것이 바람직하다. 매개변수가 2개로써 가장 간단한 형태의 것으로 다음의 Watson 식이 있다.⁽¹⁾

$$\frac{\Delta h}{\Delta h_b} = \left(\frac{1 - T_r}{1 - T_{br}} \right)^n \quad (1)$$

여기서 Δh_b 는 대기압 끓는점(normal boiling point, 이하 NBP로 약함)에서의 증발엔탈피, T_{br} 은 NBP에서의 환산온도(= T_b/T_c)이다. 지수 n 의 값은 일반적으로 0.38 정도라고 알려져 있으나 냉매에 따라 최적값은 0.23~0.41 사이에 있다.⁽³⁾ 최근 Meyra et al.⁽²⁾은 Watson 식과 유사한 형태의 다음 식(이하 MKZ 식으로 약함)을 제안하였다.

$$\frac{\Delta h}{\Delta h_t} = \left(\frac{1 - T_r}{1 - T_{tr}} \right)^{Z_c[(T_r - T_{tr})/(1 - T_{tr})] + Z_c} \quad (2)$$

여기서 Δh_t 는 TP에서의 증발엔탈피, T_{tr} 은 TP에서의 환산온도(= T_t/T_c), Z_c 는 일반 임계비(universal critical ratio)이다. 식(2)는 구속조건으로 TP를 반드시 지나게 되어 있으며, TP 데이터가 없는 경우에는 최저온도에서의 데이터를 이용할 수 있다. MKZ 식(2)는 R-718, R-1270, R-740, R-728, R-50에 대하여 Watson 식⁽¹⁾과 Fish-Lielmezs 식⁽⁴⁾보다 성능이 우수하다고 보고되었다.⁽²⁾ 본 연구에서는 이를 확인하고자 한다.

매개변수가 3개인 식으로 Majer et al.⁽⁵⁾은 다음과 같은 형태의 Majer-Svoboda-Pick 식(이하 MSP 식으로 약함)을 제안하였다.

$$\Delta h = a(1 - T_r)^n \exp(-mT_r) \quad (3)$$

Torquato and Stell⁽⁶⁾은 다음과 같이 약간의 이론적인 근거가 있는 복잡한 식을 사용하였다.

$$\frac{\Delta h}{RT_c} = a_0 \theta^\beta + a_1 \theta^{\beta+\alpha} + a_2 \theta^{1-\alpha+\beta} + \sum_{i=1}^n a_i \theta^i \quad (4)$$

여기서 $\theta = (1 - T_r)$ 이고, $\alpha = 0.11$, $\beta = 0.325$, $\Delta = 0.51$ 이며 이들은 임계점 근처에서의 비해석적인

특이거동을 반영하는 일반 지수이다. Xiang⁽⁷⁾은 식(4)를 수정하는 다음의 식을 제안하였다.

$$\frac{\Delta h}{RT_c} = \frac{(a_0 \tau^\beta + a_1 \theta^{\beta+4})}{(1+n\theta)} \quad (5)$$

여기서 $\tau = (1/T_r - 1)$ 이다. Xiang⁽⁷⁾은 식(5)가 현존하는, 매개변수가 3개 또는 4개인 상관식보다 성능이 우수하다고 보고하였다.

매개변수가 4개인 식으로 Guermouche and Vergaund⁽⁸⁾는 다음 상관식(이하 GV 식으로 약함)을 사용하였다.

$$\Delta h = a_0 \theta^{a+\beta T_r + \gamma T_r^2} \quad (6)$$

여기서 a, β, γ 는 상수이다. 선형계수로 이루어진 식으로는 다음의 Aerebrot 식⁽⁹⁾(이하 A 식으로 약함)을 찾을 수 있다.

$$\Delta h = a_0 \theta^{1/3} + a_1 \theta^{2/3} + a_2 \theta + a_3 \theta^{4/3} \quad (7)$$

이 외에도 Radoz and Lyderson⁽¹⁰⁾은 매개변수가 4개인 다음의 상관식(이하 RL 식으로 약함)을 제안하였다.

$$\Delta h = a_0 \theta^{1/3} + a_1 \theta^{2/3} + a_2 \theta^{5/3} + a_3 \theta^2 \quad (8)$$

또한, Somayajulu는 선형계수로 이루어진 다음의 상관식⁽¹¹⁾(이하 S3, S4 식으로 각각 약함)을 제안하였다.

$$\Delta h = a_0 \tau + a_1 \theta^{3/8} + a_2 \theta^{9/4} \quad (9)$$

$$\Delta h = a_0 \theta^{3/8} + a_1 \theta^{11/8} + a_2 \theta^{19/8} + a_3 \theta^{27/8} \quad (10)$$

본 연구에서는 다음과 같은 새로운 형태의 상관식(이하 P4 식으로 약함)을 제안하고자 한다.

$$\frac{\Delta h}{\Delta h_b} = a_0 \tau^\beta T_r^k + a_1 \theta \quad (11)$$

이 식은 Fig. 1에 나타난 $y = \Delta h/T_r$ 과 τ 의 관계를 다음과 같이 직선 $a_1 \tau$ 와 곡선 $f(\tau)$ 의 합으로 나타낼 수 있다는 가정에서 출발하여 만들어졌다.

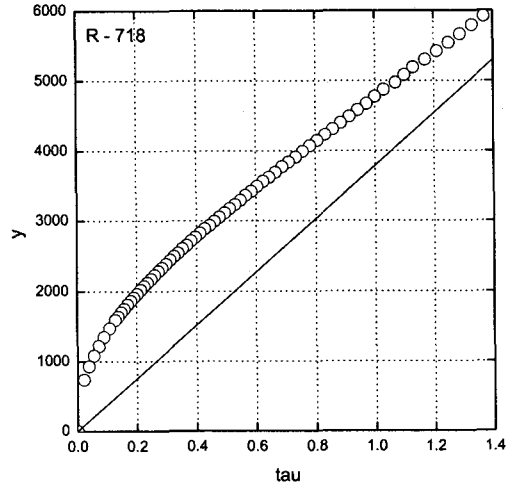


Fig. 1 y as a function of τ .

$$\frac{\Delta h}{T_r} = f(\tau) + a_1 \tau \quad (12)$$

여기서 $f(\tau)$ 는 임계점 근처에서 τ^β 에 비례하며 ($\beta \sim 1/3$) 저온부로 갈수록 그 값이 서서히 작아진다. 그러므로 $f(\tau) = a_0 \tau^\beta T_r^{k-1}$ 을 가정할 수 있으며, 이때 증발엔탈피 상관식의 형태는 식(11)과 같게 된다.

식(11)에서 지수 k 를 2로 하면 매개변수가 3개가 되며 식의 형태가 다음과 같이 간단하게 된다 (이하 P3 식으로 약함).

$$\frac{\Delta h}{\Delta h_b} = a_0 \tau^\beta T_r^2 + a_1 \theta \quad (13)$$

Park⁽¹³⁾은 매개변수가 3개인 상관식에 대하여 위에서 언급한 MSP 식(3), Xiang 식(5), S3 식(9)와 P3 식(13)을 비교하여 P3 식(13)이 총 22개 냉매에 대하여 평균 절대편차 0.14%로 0.18%의 Xiang 식(5)와 성능 면에서 동등하거나 우수하다는 것을 보인 바 있다.

본 연구에서는 성능향상을 위해 형태가 조금 더 복잡하지만 정확한 매개변수가 4개인 원래의 식(11)의 성능을 파악하고 기존식과 비교하고자 한다.

3. 상관식의 성능비교

본 연구에서는 순수물질 냉매의 증발엔탈피를

Table 1 Critical temperature, minimum temperature, NBP and corresponding enthalpy of vaporization

Subst.	T_c (K)	T_{min} (K)	T_b (K)	Δh_b (kJ/kg)
R-22	369.30	173.15	232.34	233.75
R-23	299.28	118.02*	191.09	238.68
R-32	351.26	136.34*	221.50	381.86
R-125	339.17	172.52*	225.02	163.78
R-134a	374.21	169.85*	247.08	216.97
R-152a	386.41	154.56*	249.13	329.91
R-143a	345.86	161.34*	225.91	226.63
R-245fa	427.20	223.15	288.05	196.69
R-717	405.40	195.50*	239.82	1369.50
R-718	647.10	273.16*	373.12	2256.47
R-744	304.13	216.59*	273.15	230.89
R-50	190.56	90.69*	111.67	510.83
R-170	305.33	98.15	184.55	489.47
R-290	369.85	123.15	231.07	425.43
R-600	425.16	173.15	272.62	385.79
R-600a	407.85	173.15	261.54	366.69
R-1150	282.35	103.99*	169.38	482.41
R-1270	365.57	133.15	225.46	439.17
R-704	5.20	2.18*	4.23	20.75
R-728	126.19	63.15*	77.35	198.84
R-732	154.58	54.36*	90.19	213.06
R-740	150.66	83.80*	87.29	160.99

*triple point temperature

정확히 재현하는 상관식을 제안하고자 한다. 증발엔탈피는 실험으로는 거의 측정되고 있지 않으므로 상관식의 성능을 비교하기 위해 ASHRAE 상태량표⁽¹²⁾에 나와 있는 22개 냉매에 대한, 최저온도에서 임계점까지의 증발엔탈피 데이터를 이용하였다. 상관식의 구성에 필요한 임계온도, 최저온도 또는 삼중점온도, NBP 및 NBP에서의 증발엔탈피값을 Table 1에 나열하였다. 평균 절대편차(AAD), 제품군 평균 제품편차(RMS)는 다음과 같이 정의한다.

$$AAD = \frac{1}{N} \sum_i |DEV_i| \quad (\%) \quad (14)$$

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i DEV_i^2} \quad (\%) \quad (15)$$

여기서 N 은 데이터 점의 개수이며, 편차(DEV)는 다음과 같다.

$$DEV = \frac{\Delta h_{cal} - \Delta h_{tbl}}{\Delta h_{tbl}} \times 100 \quad (\%) \quad (16)$$

3.1 Watson 식과 MKZ 식의 성능비교

매개변수가 2개인 가장 간단한 형태의 Watson 식(1)과 MKZ 식(2)의 성능을 비교하였다. Watson 식(1)의 지수값은 일반적인 값인 0.380으로, MKZ 식(2)의 Z_c 는 Guggenheim⁽¹⁴⁾이 제안한 0.292로 고정하였다. Table 2에 Watson 식(1)과 MKZ 식(2)를 이용하고, TP 또는 NBP를 구속조건으로 하고 증발엔탈피를 구했을 때 계산되는 AAD를 각각 나타내었다.

총 22개 냉매에 대한 평균 절대편차(AAD)는

Table 2 AAD's of Watson and Meyra-Kuz-Zarragoicoechea equation

Constraint	Equation	
	Watson	Meyra et al.
Triple point	2.55	3.27
Normal boiling point	1.64	2.21

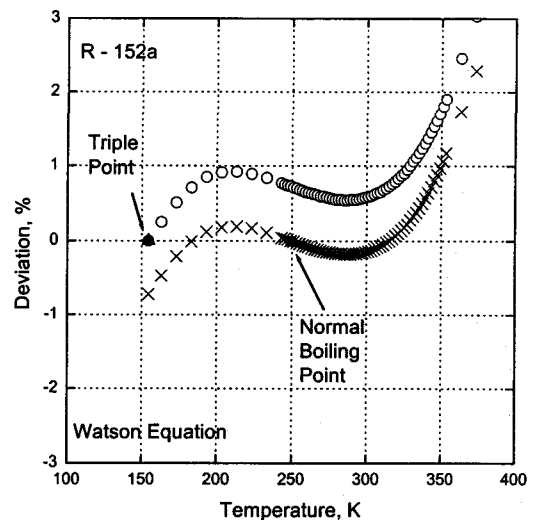


Fig. 2 Deviations of calculated R-152a enthalpies from the ASHRAE table values using Watson equation.

Watson 식(1)의 구속조건을 TP 또는 NBP로 정하는 경우에 각각 2.55%와 1.64%로 나타났다. Fig. 2에 나타난 것처럼 구속조건으로 NBP를 사용하는 것이 성능 면에서 우수함을 확인할 수 있다. 또한 MKZ 식(2)의 구속조건을 TP 또는 NBP로 하는 경우에 AAD는 각각 3.27%와 2.21%로 나타났다. 따라서 Watson 식(1) 및 MKZ 식(2) 모두 구속조건을 TP가 아닌 NBP로 하는 경우에 식의 성능이 우수하다.

NBP를 구속조건으로 Watson 식(1)과 MKZ 식(2)를 비교해 보면 AAD는 각각 1.64%와 2.21%이다. 각각의 냉매에 대해 살펴보면 R-718, R-728, R-50, R-740을 제외한 18개 냉매에 대해서 Watson 식(1)이 좋게 나타났다. 결과적으로 Watson 식(1)이 식의 형태가 간단하면서도 성능 면에서 우수하다. Meyra et al.⁽²⁾은 R-718, R-1270, R-740, R-728, R-50의 한정된 5개 냉매에 대해 TP를 구속조건으로 하였을 때 MKZ 식(2)가 Watson 식(1)보다 우수하다고 보고하였지만, 본 연구의 결과로는 다수의 냉매에 적용했을 때 Watson 식(1)이 성능 면에서 우수하다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 구속조건으로 NBP를 사용하는 것이 TP를 사용하는 것보다 유리하다는 것을 파악할 수 있었다.

3.2 매개변수가 4개인 상관식의 성능비교

현존하는 매개변수가 4개인 증발엔탈피 상관식과 본 연구에서 제안한 P4 식(11)의 성능을 비교하였다. 변수가 4개인 GV 식(6), A 식(7), RL 식(8), S4 식(10), P4 식(11)의 지수 또는 계수를 각각의 냉매에 대하여 최적화하여 비교하였다.

비선형 변수 상관식인 GV 식(6) 및 P4 식(11)의 경우에 최적화의 대상은 제공된 평균 제공편차(RMS)값이다. 선형 변수 상관식인 A 식(7), RL 식(8)과 S4 식(10)의 경우에는 최소자승법(least squares method)을 이용하여 선형계수들을 구했다. 각 상관식의 구속조건으로 NBP[단, R-744(CO₂)의 경우는 0℃의 데이터 점]를 반드시 통과하도록 하였다. 이를 위해 식 GV, A, RL, S4, P4 식을 다음과 같이 변형하였다.

$$\frac{\Delta h}{\Delta h_b} = (\theta/\theta_b)^{n+mT_r+lT_s^2} \quad (17)$$

Table 3 Numbers of data points and AAD's of GV, A, RL, S4 and P4 equation

Subst.	N*	Correlation				
		GV	A	RL	S4	P4
R-22	68	0.10	0.13	0.09	0.04	0.05
R-23	69	0.08	0.10	0.05	0.06	0.02
R-32	67	0.10	0.17	0.09	0.10	0.05
R-125	68	0.14	0.13	0.08	0.05	0.04
R-134a	68	0.12	0.16	0.09	0.05	0.05
R-152a	68	0.09	0.14	0.09	0.01	0.06
R-143a	65	0.08	0.13	0.07	0.06	0.04
R-245fa	66	0.10	0.08	0.06	0.04	0.02
R-717	66	0.05	0.02	0.01	0.12	0.01
R-718	68	0.05	0.17	0.09	0.10	0.07
R-744	64	0.07	0.01	0.01	0.03	0.01
R-50	28	0.03	0.08	0.05	0.10	0.04
R-170	66	0.08	0.18	0.11	0.06	0.06
R-290	66	0.10	0.22	0.11	0.08	0.08
R-600	66	0.08	0.13	0.08	0.04	0.04
R-600a	63	0.01	0.10	0.02	0.17	0.05
R-1150	67	0.08	0.20	0.10	0.09	0.05
R-1270	68	0.06	0.17	0.08	0.12	0.05
R-704	32	0.35	0.30	0.31	0.30	0.29
R-728	25	0.01	0.05	0.02	0.04	0.01
R-732	22	0.07	0.19	0.12	0.08	0.08
R-740	26	0.01	0.03	0.01	0.07	0.00
AVE.		0.08	0.13	0.08	0.08	0.05

*Data from ASHRAE.⁽¹²⁾

$$\frac{\Delta h}{\Delta h_b} = n(\theta/\theta_b)^{1/3} + m(\theta/\theta_b)^{2/3} + l(\theta/\theta_b) + (1-n-m-l)(\theta/\theta_b)^{4/3} \quad (18)$$

$$\frac{\Delta h}{\Delta h_b} = n(\theta/\theta_b)^{1/3} + m(\theta/\theta_b)^{2/3} + l(\theta/\theta_b)^{5/3} + (1-n-m-l)(\theta/\theta_b)^2 \quad (19)$$

$$\frac{\Delta h}{\Delta h_b} = n(\theta/\theta_b)^{3/8} + m(\theta/\theta_b)^{11/8} + l(\theta/\theta_b)^{19/8} + (1-n-m-l)(\theta/\theta_b)^{27/8} \quad (20)$$

$$\frac{\Delta h}{\Delta h_b} = n(\tau/\tau_b)^m(T_r/T_{br})^l + (1-n)(\theta/\theta_b) \quad (21)$$

각 식에서 데이터를 이용하여 값을 결정해야 하는 매개변수는 3개(n, m, l)이다. NBP에서 $T = T_b, T_r = T_{br}, \tau = \tau_b, \theta = \theta_b$ 이므로 n, m, l 의 값에 상관없이 각 식의 우변이 1이 됨을 알 수 있다.

총 22개 냉매에 대하여 최적화된 상관식을 이용하여 증발엔탈피를 구하였을 때 계산되는 평균 절대편차(AAD)를 Table 3에 나타내었다.

각각의 냉매에 대한 상관식의 성능을 비교하면 R-718, R-50, R-600a, R-732에 대하여는 GV 식(6)이, R-22와 R-152a에 대하여는 S4 식(10)이, R-23, R-32, R-125, R-143a, R-245fa, R-1150, R-1270, R-704, R-740에 대하여는 P4 식(11)이 가장 좋게 나타났다. 또한 R-717에 대하여는 RL 식(8)과 P4 식(11)이 대등하게 나타났고, R-728에 대하여는 GV 식(6)과 P4 식(11)이 실질적으로 동등하게 나타났으며, R-134a, R-170, R-290, R-600에 대하여는 S4 식(10)과 P4 식(11)이 실질적으로 성능 면에서 동등하게 나타났고, R-744에 대하여는 A 식(7), RL 식(8) 및 P4 식(11)이 좋게 나타났다. 본 연구에서 제안한 P4 식(11)은 총 22개 냉매 중에서 16개 냉매에 대하여 성능이 가장 좋게 나타났다.

전반적인 성능을 비교하면 본 연구에서 제안한 P4 식(11)이 22개 냉매에 대하여 0.05%의 평균 절대편차(AAD)로 ASHRAE 상태량표⁽¹²⁾의 데이터를 재현하고 있어 다른 상관식보다 우수하다고 볼 수 있다. 또한 매개변수가 3개인 식들(0.14% 이상)보다 매개변수가 4개인 상관식들(0.05~0.13%)이 성능 면에서 당연히 우수하다.

Table 4에는 본 연구에서 제안하는 P4 식(21)에 대한 최적계수 n 값과 최적지수 m 과 l 값을 나열하였다. Fig. 3은 R-23에 대해 각 상관식을 이용하여 계산한 값과 ASHRAE 상태량표⁽¹²⁾에 나와 있는 값의 차이를 비교한 것으로 GV 식(6), A 식(7), RL 식(8)은 저온부와 고온부에서 상대적으로 편차가 크다. S4 식(10)은 저온부에서 비교적 편차가 작고, 고온부에서 큰 편차가 있다. P4 식(11)은 저온부를 제외하면 전반적으로 편차가 작다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

순수물질 냉매의 증발엔탈피를 계산하기 위한

Table 4 Values of the parameter in equation (21)

Subst.	Parameter		
	n	m	l
R-22	0.40426	0.35022	1.89103
R-23	0.41640	0.34840	1.81597
R-32	0.41310	0.35469	1.84878
R-125	0.42468	0.34639	1.92862
R-134a	0.40639	0.34790	2.00204
R-152a	0.41397	0.34676	1.89952
R-143a	0.42381	0.35181	1.92380
R-245fa	0.41013	0.32196	1.93811
R-717	0.44427	0.36428	1.55409
R-718	0.38756	0.37098	1.89113
R-744	0.71079	0.34754	1.96629
R-50	0.47765	0.36163	1.58447
R-170	0.42558	0.35553	1.76799
R-290	0.41641	0.35533	1.88279
R-600	0.43313	0.34892	1.84091
R-600a	0.40838	0.36295	2.00554
R-1150	0.39776	0.35606	1.86540
R-1270	0.40981	0.36834	1.88605
R-704	0.81467	0.38172	1.68084
R-728	0.44345	0.36234	1.78354
R-732	0.43087	0.36494	1.74270
R-740	0.40401	0.37151	1.87541

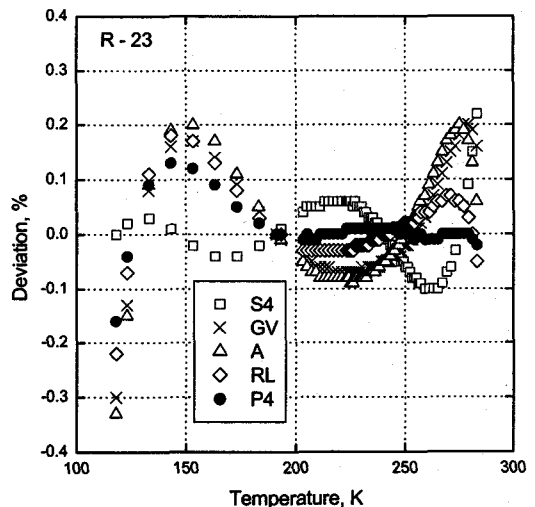


Fig. 3 Deviations of calculated R-23 enthalpies from the ASHRAE table values.

기존 상관식을 검토하고, 총 22개의 냉매에 대하여 상관식의 성능을 비교하였다.

매개변수가 2개인 간단한 형태의 Watson 식과 Meyra-Kuz-Zarragoicochea 식 모두 구속조건을 삼중점으로 하는 것보다 대기압 끓는점으로 하는 것이 바람직하며, Watson 식은 ASHRAE 상태량표의 데이터를 평균 절대편차 1.64%로 재현하여 Meyra-Kuz-Zarragoicochea 식(2.21%)보다 성능면에서 우수하다.

본 연구에서 제안하는 새로운 상관식은 ASHRAE 상태량표의 데이터를 0.05%의 평균 절대편차로 재현하여 기존의 매개변수를 4개로 하는 상관식인 Guermouche-Vergnaud 식(0.08%), Aerebrot 식(0.13%), Radoz-Lydersen 식(0.08%), Somaya-julu 식(0.08%) 등과 비교하여 성능이 우수하다고 볼 수 있다. 이 상관식은 데이터가 있는 최저온도에서 임계점까지의 전 온도범위에서 22개 냉매의 증발엔탈피를 계산하는 데 사용이 가능하다. 이를 위해 각 냉매에 대한 특성치 및 최적 계수값과 지수값을 제시하였다.

후 기

본 논문은 2004년도 국민대학교 교내연구비를 지원받아 수행된 연구입니다.

참고문헌

1. Watson, K. M., 1943, Thermodynamics of the liquid state, Ind. Eng. Chem., Vol. 35, pp. 398-406.
2. Meyra, A. G., Kuz, V. A. and Zarragoicochea, G. J., 2004, Universal behavior of the enthalpy vaporization: an empirical equation, Fluid Phase Equilibria, Vol. 218, pp. 205-207.
3. Park, K. K., 1998, A new correlation of the enthalpy of vaporization for pure refrigerants, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 4, pp. 449-455.
4. Fish, L. W. and Liemezs, J., 1975, General method for predicting the latent heat of vaporization, Ind. Eng. Chem. Fundam., Vol. 14, No. 3, pp. 248-256.
5. Majer, V., Svoboda, V. and Pick, J., 1989, Heats of Vaporization of Fluids, Elsevier, Amsterdam.
6. Torquato, S. and Stell, G., 1981, Latent heat of vaporization of a fluid, J. Phys. Chem., Vol. 85, No. 21, pp. 3029-3030.
7. Xiang, H. W., 1997, A new enthalpy-of vaporization equation, Fluid Phase Equilibria, Vol. 137, pp. 53-62.
8. Guermouche, M. H. and Vergaund, J. M., 1974, Determination d'equations represent la variation des grandeurs thermodynamiques de vaporisation d'hydrocarbures valables pour toute temperature, J. Chim. Phys., Vol. 71, pp. 1049-1052.
9. Aerebrot, E., 1980, Calorimetric measurement of heat of vaporization of alcohols at high pressure, The Norwegian Institute of Technology, Trondheim.
10. Radoz, M. and Lydersen, A., 1980, Heat of vaporization of aliphatic alcohols, Chemie Ingenieur Technik, Vol. 52, No. 9, pp. 756-757.
11. Somayajulu, G. R., 1988, New equations for enthalpy of vaporization from the triple point to the critical point, International Journal of Thermophysics, Vol. 9, No. 4, pp. 567-575.
12. ASHRAE, 2001, ASHRAE Handbook, Fundamentals Volume, Chap. 20, ASHRAE, Atlanta, GA.
13. Park, K. K., 2003, Comparative study on the performance of correlations of the enthalpy of vaporization for pure substance refrigerants, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 15, No. 8, pp. 704-709.
14. Guggenheim, E. A., 1945, The principle of corresponding states, J. Chem. Phys., Vol. 13, No. 7, pp. 253-261.