

CO₂ 제거용 흡착제 Sodium Glycinate의 물성측정과 추산

박소진[†] · 장경룡* · 박인환**

충남대학교 공과대학 바이오응용화학부

305-764 대전시 유성구 궁동 220

*한전 전력연구원 발전연구실 환경그룹

305-380 대전시 유성구 문지동 103-16

**한국화학연구원 화학소재연구단

305-600 대전시 유성구 장동 100

(2006년 3월 15일 접수, 2006년 5월 23일 채택)

Determination and Calculation of Physical Properties for Sodium Glycinate as a CO₂ Absorbent

So-Jin Park[†], Kyung-Ryong Jang* and In Hwan Park**

School of Applied Chemistry and Biological Engineering, Chungnam National University, 220, Gung-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Korea

*Power Generation Research Lab., Korea Electric Power Research Institute, 103-16, Munji-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-380, Korea

**Advanced Material Division, Korea Research Institute of Chemical Technology, 100, Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-600, Korea

(Received 15 March 2006; accepted 23 May 2006)

요 약

화력발전소에서 배출되는 배연가스에서의 CO₂ 가스 흡수를 목적으로 sodium glycinate계 흡수제를 개발하기 위하여 sodium glycinate의 순수 및 수용액의 물성인 용해도, 증기압과 비점, 열전도 및 증발 잠열을 측정 또는 추산하였다. 용매인 H₂O 25 g에 대한 sodium glycinate의 온도별 용해도는 $y = 0.3471x + 20.993$ 의 1차 함수 관계로 증가하였다. Sodium glycinate 10 wt%, 20 wt%, 30 wt%, 40 wt%, 50 wt%, 60 wt% 수용액의 증기압과 비점을 측정하고, Antoine 상수를 구하였으며 Clausius-Clapeyron 식을 이용하여 증기압 측정값으로 증발 잠열을 구하였다. Sodium glycinate 분체의 열전도도 측정은 분체를 disk판으로 성형한 후, 고체 열전도도 측정 장치로 측정하였으며 그 값은 1.0933 kcal/m·hr·°C 이었다.

Abstract – Aqueous solution of sodium glycinate was checked as a suitable CO₂ absorbent from the flu gas in the thermal power plant. For this purpose, solubility, vapor pressure, latent heat of vaporization and thermal conductivity were determined for pure and aqueous solution of sodium glycinate. The solubility of sodium glycinate in the solvent, 25 g of H₂O, was increased with increasing the temperature and their relation was represented as a first order equation of $y = 0.3471x + 20.993$. The vapor pressure for 10 wt% to 60 wt% of aqueous sodium glycinate solution were determined and the latent heat of vaporization of each aqueous solution was calculated from measured vapor pressure using Clausius-Clapeyron equation. Besides, thermal conductivity of sodium glycinate powder was also determined and it was 1.0933 kcal/m·hr·°C.

Key words: Sodium Glycinate, CO₂ Absorbent, Solubility, Vapor Pressure, Latent Heat of Vaporization, Thermal Conductivity

1. 서 론

화석연료의 사용에 따른 온실가스의 대기 중 농도증가는 다양한 형태의 기후변화와 대기오염을 야기하여 왔다. 따라서 이러한 피해를 최소화하고자 할 목적으로 1992년 리우유엔 환경개발회의에서 기후변화협약이 채택되었고, 우리나라도 1993년 47번째로 가입하였다. 협약의 구체적인 합의 사항인 교토의정서에 의하면, 대표적 온실가스를 CO₂, CH₄, N₂O, CFC 등으로 규정하였으며, 우리나라의

경우 CO₂의 GWP(global warming potential)는 약 87%로 두 번째로 큰 비중을 차지하는 CH₄의 11% 정도에 비하여 상당히 높다. 따라서 우리나라에서 배출되는 온실가스의 대부분은 CO₂라고 할 수 있으며, CO₂의 배출량을 줄이는 것이 온실가스의 감축 측면에서 가장 효율적이라 할 수 있다[1, 2].

더욱이 우리의 경우 화석연료의 에너지 의존도가 매우 높고, CO₂는 연소과정에서 필연적으로 생성되므로, 산업 활동을 위축시키지 않고 CO₂를 연소배가스 공정에서 회수하는 공정을 개발할 필요가 있다. CO₂를 분리 회수하는 기술로서는 심냉법, 흡수법, 흡착법, 막 분리법 및 Hybrid법 등이 있으며, 이 중에서 심냉법은 과다한 에너

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: sjpark@cnu.ac.kr

지 소비로 인해 흡수법 및 흡착법에 비하여 경제성이 취약하고, 흡수나 흡착법은 흡수제나 흡착제가 공정의 중요한 역할을 하게 되므로 우수한 흡수 또는 흡착제의 개발이 필수적이다[3-5].

국내 화력발전소에서 배출되는 배연가스에서의 CO₂ 가스 흡수제로는 주로 알카놀 아민류가 사용이 되나, 이들이 고가인 점에 비추어, 이를 대체할 흡수제의 연구가 진행되고 있다. 최근, sodium glycinate 수용액이 알카놀 아민류를 대체할 흡수제로 연구되고 있으나 DDB(dortmund data bank) 검색결과 보고된 순수 및 혼합 물성은 거의 전무하다[6].

따라서 본 연구에서는 sodium glycinate계 흡수제 개발의 선행 물성 연구로써, sodium glycinate의 H₂O에서의 용해도와 함께 sodium glycinate 수용액조성에 따른 비점, 증기압, 증발잠열과 sodium glycinate 고체시편의 열전도도 등 새로운 물성을 제시하였다.

2. 이론적 고찰

Sodium glycinate의 용해도, 증기압, 증발잠열 및 열전도도 측정에 있어, 용해도는 온도별로 포화용해도를 측정하였으며, Maxwell-Boltzmann 에너지 분포의 결과에 따라 액상의 온도가 증가하면 증기압이 급격히 증가하므로, 온도에 따른 증기압의 변화를 측정하였다.

액상물질의 증기압과 온도와의 관계는 여러 경험식으로 나타낼 수 있으며, 본 실험에서는 Clapeyron 식의 변형인 (1)식의 Antoine 식을 이용하였다.

$$\ln P^{sat} = A - \frac{B}{t(^{\circ}\text{C}) + C} \quad (1)$$

P^{sat} 은 포화증기압이며, A, B, C는 Antoine 상수, t 는 온도이다. 증발잠열은 Calorimetry나 DSC(differential scanning calorimeter) 또는 DTA(differential thermal analysis)등으로 측정할 수 있으나, 이러한 열 분석기는 미량의 시료만을 사용하기 때문에 실제 물성과는 다른 값을 나타낼 수 있다. Zhang과 Jiang[7]은 T-history 법을 제안하여 간단하게 잠열 및 비열을 측정하는 방법을 제시하였으나, 이는 물리적으로 타당치 못한 가정을 도입함으로 잠열 측정에는 한계가 있다. 따라서 본고에서는 Clausius-Clapeyron 식을 이용하여, 보다 쉽고 정확하게 측정된 증기압 데이터로부터 증발 잠열을 계산하는 방법을 택했다. 즉 기체의 몰당 Gibbs 에너지(G^v)와 액체의 몰당 Gibbs 에너지(G^l)는 기상(v)과 액상(l)의 두 상이 공존하는 평형상태에서 같으므로 (2)식과 같다.

$$G^v = G^l \quad (2)$$

기상과 액상의 2 상계(two phase system)에서 온도가 변화하면 압력도 따라서 변하며, 이러한 변화과정에서 Gibbs 에너지의 미분식은 $dG^v = dG^l$ 와 같으며, $dG = VdP - SdT$ 이므로, 각 상에 대한 두 식을 연립하면

$$\frac{dP^{sat}}{dT} = \frac{S^l - S^v}{V^l - V^v} = \frac{\Delta S^l}{\Delta V^l} \quad (3)$$

S 는 엔트로피, T 는 절대온도, V 는 몰부피이다. 또한, α, β 상 사이에서 상 전이시의 잠열 $\Delta H^{\alpha\beta}$ 은 일정온도, 압력에서 엔탈피의 적분 값으로써 (4)식과 같다.

$$\Delta H^{\alpha\beta} = T\Delta S^{\alpha\beta} \quad (4)$$

따라서 기체와 액체 사이의 증발잠열로 표기한 Clapeyron 식은 (5)식과 같다.

$$\frac{dP^{sat}}{dT} = \frac{\Delta H^{l,v}}{T\Delta V^{l,v}} \quad (5)$$

실질적으로 온도의 함수로써 액상의 몰부피 데이터는 많지 않으므로, Clapeyron 식의 응용은 제한적이 되고, 따라서 액체의 몰부피를 무시하고, 이상기체 식을 이용하여 수정한 Clausius-Clapeyron (6)식을 이용하면 증발잠열을 계산할 수 있다.

$$\frac{dP^{sat}}{dT} = \frac{\Delta H^{l,v}}{T(RT/P^{sat})} \quad (6)$$

여기서 R 은 기체상수이다. 한편, 열전달(heat transfer)이란 온도 구배에 의해 기인한 material body 사이에서 발생하는 에너지의 전달을 예측하는 것으로써, 연속된 고체물체사이의 열전달을 나타내는 (7)식의 Fourier 법칙에 의해 열전도도 값을 측정할 수 있다.

$$\frac{dq}{dx} = -k \frac{dT}{dx} \quad (7)$$

여기서 E 는 등온표면의 면적, x 는 전달 길이(두께), q 는 열 흐름 속도이며, k 가 비례상수로써 열전도도(thermal conductivity)이다. 그러나 열전도도 실험장치의 시편과 기준편 사이에 접촉저항이 발생하고, 이를 측정할 수 있는 방법이 특별히 없음에 따라 시편 두 개의 위, 아래에서 발생하는 접촉저항을 같다고 보면, 식을 연립하여 접촉저항을 소거하고 (8)식으로 시편의 열전도도 k_x 를 구할 수 있다.

$$k_x = \frac{L_b - L_a}{\frac{L_b}{k_b} - \frac{L_a}{k_a}} \quad (8)$$

(8)식의 L_a, L_b 는 각 시편의 실제 두께이며, 겉보기 열전도도 k_a 와 k_b 는 (9)식과 (10)식으로 부터 계산된다.

$$q = k_a A \frac{\Delta T_a}{L_a} = k_b A \frac{\Delta T_b}{L_b} = k_{cu} A \frac{\Delta T_{cu}}{L_{cu}} \quad (9)$$

$$k_a = \frac{\Delta T_{cu} L_a}{\Delta T_a L_{cu}} k_{cu}, \quad k_b = \frac{\Delta T_{cu} L_b}{\Delta T_b L_{cu}} k_{cu} \quad (10)$$

L_{cu}, K_{cu} 는 각 각 기준편(Cu)에 장치된 열전쌍의 등 간격 길이와 기준편의 열전도도이다. 계산을 위해 필요한 시편 a와 b의 아래위 온도차 $\Delta T_a, \Delta T_b$ 는 열전달실험에서 측정된 온도분포로부터 구할 수 있다.

3. 실험

3-1. 시약

Sodium glycinate는 미국 뉴저지 주 Acros Organics사의 제품으로 99%+의 순도를 보임으로써, 더 이상의 정제 없이 건조오븐에서 drying시킨 후 실험에 사용하였다. H₂O는 실험실에서 두 번 증류한 이차 증류수를 사용하였다.

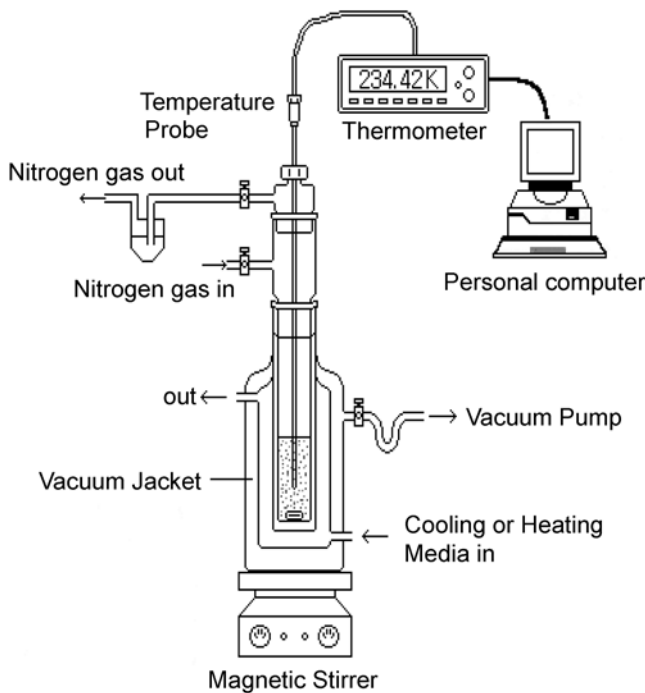


Fig. 1. Schematic diagram of solubility measuring system.

3-2. 실험장치 및 방법

3-2-1. Sodium glycinate의 포화용해도 측정

Fig. 1은 자체 제작한 용해도 측정 장치의 개략도로써 물질의 빙점 혹은 용점도 측정할 수 있다. 이 장치는 측정시료가 들어가는 약 100 cm³의 용적을 갖는 평형 조를 포함하여, 외부와의 단열을 위하여 진공상태로 유지되는 최외각의 vacuum cell 및 system의 온도를 조절하기 위하여 항온조와 연결되어 냉각 및 가열 매체가 순환되는 중간 cell 등 3중관으로 되어 있다[8].

용해도측정을 위해 사용한 온도측정 장치는 NAMAS사의 T100-250-1D Platinum Resistance Thermometer로써, 측정 오차 범위는 -50~250 °C 사이에서 ± 0.01 °C 오차를 넘지 않는다. 또한, 정확한 온도 측정을 위해 시간에 따른 온도의 변화를 모델 F250 read out box를 통하여 컴퓨터와 연결하여 sodium glycinate의 용해에 따른 온도변화를 실시간으로 기록 하였다.

실험은 먼저 진공펌프를 작동시켜 vacuum cell의 공기를 제거하여, 외부와의 단열을 위해 진공상태로 만든 다음, 항온조의 온도를 용해도 측정을 위한 온도로 조절하여 측정 cell로 순환시켰다. 다음 용매인 물을 정확히 평량하여 용해도 측정 cell에 넣고, 중간 cell에는 항온조의 열매체로 1시간 이상 충분히 순환시켜 물의 온도를 용해도 측정온도로 맞추었다. Sodium glycinate는 $\pm 1 \times 10^{-4}$ g 정밀도를 갖는 balance를 이용하여 처음에는 약 1 g 단위로 넣어 자석교반기로 교반하면서 용해정도를 관찰하고, 어느 정도 포화용해도에 도달하였다고 판단될 때부터는 0.1 g 이하의 시료를 투입하는 방법으로 포화용해도를 측정하였다. 실험은 정확도를 위해 두 번씩 반복하였으며 온도의 변화는 -10 °C에서 20 °C 까지 5 °C의 간격으로 측정 하였다.

3-2-2. Sodium glycinate 수용액의 증기압 측정

용해도실험에 의해 포화용해도 이하 범위인 sodium glycinate 10 wt%

에서 60 wt% 까지의 수용액 시료를 2차 증류수를 이용하여 제조하였다. 증기압의 측정은 Dr. Sieg & Röck type의 recirculating equilibrium still을 사용하였으며, 이 glass still은 약 250 ml의 용적을 갖는 증류 플라스크에서 비등된 기상과 액상이 cottrell pump를 통해서 증류 플라스크로 재순환되는 방식의 증기압 측정 장치이다[9].

증류 플라스크 내의 시료를 가열 mantle과 전압조절기를 사용하여 서서히 가열하고, 삼중자켓으로 구성된 glass still의 최외각 관은 항온조로부터 액상의 평형온도와 함께 조절된 실리콘 오일이 순환되어 외부와 단열된다. 또 그 안쪽으로는 진공관이 있어 이중의 단열 효과를 준다. 온도 측정에는 정밀 수은온도계와 역시 NAMAS사의 T100-250-1D 저항온도계를 사용하여 온도를 측정하였으며, 압력조절은 Wallace & Tiernan 사의 정밀수은압력계와 NORMAG 압력조절기로써 ± 0.1 hPa의 정확도로 조절하였다.

실험 전 equilibrium still은 acetone으로 2시간 이상 비등 순환시켜 세척한 후, 질소 가스나 건조공기를 흘려주어 건조시킨 다음 진공 펌프를 이용하여 장시간 증발시킨 후 사용하였다. 증기압 측정은 압력을 일정하게 하고 비점을 측정하는 방법으로 수행하였으며, distillate가 분당 30~40 drop 정도로 일정하게 유지될 경우 30분 이상 순환시켜 완전한 평형에 도달되었을 때, 5분 간격으로 3번 측정한 온도의 평균값을 그 압력에서의 비점으로 간주하였다.

3-2-3. Sodium glycinate 수용액의 증발잠열

Sodium glycinate 10 wt% ~60 wt%의 각 수용액에 대한 증발잠열은, 증기압 측정 장치로 측정된 증기압-온도 자료로부터, 증기압의 대수치($\ln P$)와 온도($1/T$)를 도식하여 그 기울기로써 (6)식을 이용하여 증발잠열을 구하였다.

3-2-4. Sodium glycinate 분체의 열전도도 측정

열전도도 측정은 일본 Tokyo Meter사의 HVS-40-400A 고체 열전도도 측정 장치를 사용하여 수행하였다. 장치는 상, 하부의 온도를 일정하게 유지시키고, Cu 기준편과 시편사이의 온도구배를 측정할 수 있도록 60 mm 간격으로 열전쌍이 침투되어 있다. 시편 제작을 위해 SUS 304로 disk 시편 제조용 몰드를 제작하였으며, 유압프레스를 이용하여 4 Kg의 압력으로 ϕ 40 mm 두께 6.5 mm와 2.4 mm의 두 개의 시편을 제작하였다. 기준편과 시편은 측정 장치의 고정틀로 완전 밀착시켜서 열전도도를 측정하였으며, 상부 가열판의 온도를 100 °C로 유지시키고, 각각 0.5, 1, 2시간 후에 각 부위의 온도를 연결된 열전쌍을 이용하여 potentiometer로 2회 측정하여 평균값을 취하였다.

4. 결과 및 고찰

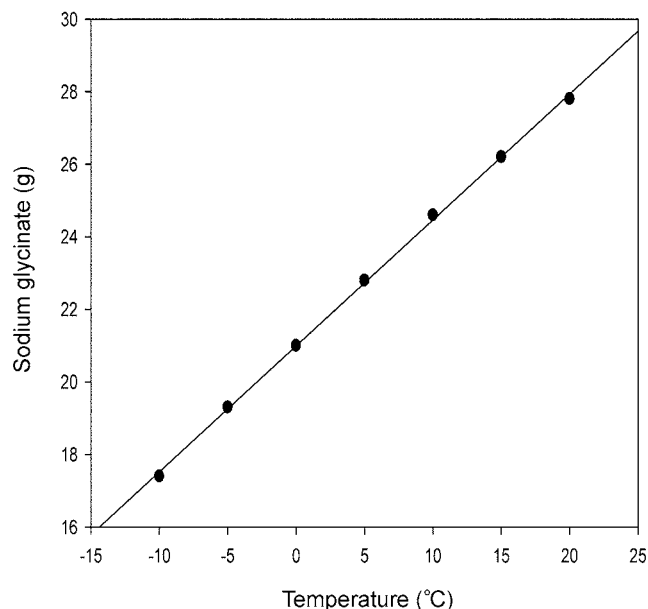
4-1. Sodium glycinate의 용해도

Sodium glycinate의 용해도는 5 °C 간격으로 하여 포화 용해도를 측정하였다. 실험장치의 특성상 H₂O 100 g이 아닌 H₂O 25 g에 대한 용해도로 측정하였으며, Table 1에 측정된 용해도 값을 나타내었다.

H₂O 100 g에 해당하는 sodium glycinate의 용해량을 직접적으로 측정치 못하였으므로, H₂O의 양에 따른 용해도 증가의 비례관계를 보기 위해 수행하였던, 15 °C와 20 °C에서의 H₂O 50 g에 대한 동일 실험에서는 거의 비례관계를 보여줌을 확인하였다. 그러나 보다 정확한 실험을 위해서는 H₂O 100 g에 대한 직접적인 실험이 필요할 것으로 생각된다. 측정온도와 용해량의 관계는 예측한 바와 같이 온

Table 1. Dissolved mass of sodium glycinate in the 25 g of H₂O at different temperature

Temp. (°C)	263.15 K	268.15 K	273.15 K	278.15 K	283.15 K	288.15 K	293.15 K
Sodium glycinate (g)	17.4 g	19.3 g	21.0 g	22.8 g	24.6 g	26.2 g	27.8 g

**Fig. 2. Solubility of sodium glycinate in the 25 g of H₂O at different temperature.**

도증가에 따라 sodium glycinate의 용해량도 비례하여 증가하였다. Fig. 2는 측정한 용해도를 온도에 따라 도시한 것이다. 그림에서와 같이 실험값은 1차 함수로 잘 상관되어, 직선 도는 0.9993이었으며 $y = 0.3471x + 20.993$ 의 관계식으로 잘 표현되었다.

4.2. Sodium glycinate 수용액의 증기압

Sodium glycinate 10 wt%, -60 wt% 수용액 시료를 측정 cell에 넣고 먼저 압력을 맞춘 다음, 가열 후 액상으로부터 증발된 기체와 액체 간에 평형에 도달했을 때의 온도를 비점으로 측정하였다. Table 2에는 Sodium glycinate 수용액별로 측정된 증기압과 비점 값을 나타내었으며, 이 값들을 이용하여 (1)식의 Antoine 식에 대입하여 Antoine 상수 A, B, C 값을 합치시켰다.

Table 3에는 합치된 Antoine 상수 A, B, C 값과, 이 값으로 재계산한 증기압과 실험값의 차이를 평균편차로 나타내었다. 평균편차는 모든 수용액에 대하여 비교적 적은 편차로 잘 일치하였으나, 20% 수용액에서 1.2 hPa로 가장 적은 편차를 보였고, 40% 수용액일 때 8 hPa로 가장 큰 편차를 보였다. 한편, Antoine 상수의 합치 시 실제 사용한 식은 $\log P(\text{bar}) = A - B / (C + t(^{\circ}\text{C}))$ 이며, 평균편차는 $(P_{\text{exp}} - P_{\text{cal}}) / N$ 의 절대값을 사용하였다. 여기서 N은 실험값의 수이다. 표에서 보듯이 실험값을 합치한 후, 상관식과의 일치도는 모두 0.999 이상으로 실험값이 매우 잘 합치되었음을 보여준다.

Fig. 3은 Sodium glycinate 수용액 조성별로 온도 대 증기압을 도시한 그림이다. Antoine식에 의해 계산된 실선 값과 매우 잘 일치하고 있음을 보여준다. Sodium glycinate 수용액별로 합치된 Antoine constant로 재계산한 1013.15 hPa하에서 비점은 10 wt%

Table 2. Measured vapor pressure and boiling temperature for different concentration of aqueous solution of sodium glycinate

Sodium glycinate 10 wt%		Sodium glycinate 20 wt%		Sodium glycinate 30 wt%	
Temp. (°C)	Vap. press. (hPa)	Temp. (°C)	Vap. press. (hPa)	Temp. (°C)	Vap. press. (hPa)
31.91	50	32.58	50	34.24	50
46.26	100	46.40	100	48.16	100
55.09	150	55.35	150	57.59	150
61.11	200	61.72	200	64.05	200
66.10	250	66.81	250	69.07	250
70.40	300	71.04	300	73.32	300
74.06	350	74.68	350	76.43	350
77.27	400	77.92	400	80.45	400
80.26	450	81.10	450	83.05	450
82.90	500	83.49	500	85.77	500
85.18	550	85.90	550	88.23	550
87.55	600	88.18	600	90.34	600
89.54	650	90.35	650	92.21	650
91.54	700	92.18	700	94.30	700
93.14	750	93.96	750	96.54	750
95.08	800	95.48	800	98.62	800
96.77	850	97.25	850	100.32	850
98.43	900	98.93	900	101.87	900
99.87	950	100.33	950	103.43	950
101.56	1010	101.74	1002	104.95	1002
Sodium glycinate 40 wt%		Sodium glycinate 50 wt%		Sodium glycinate 60 wt%	
Temp. (°C)	Vap. press. (hPa)	Temp. (°C)	Vap. press. (hPa)	Temp. (°C)	Vap. press. (hPa)
37.24	50	41.09	50	46.03	50
49.69	100	55.68	100	61.02	100
60.10	150	64.81	150	70.31	150
67.74	200	70.88	200	76.76	200
72.95	250	75.71	250	82.98	250
77.39	300	79.88	300	87.72	300
81.33	350	84.23	350	90.68	350
83.97	400	87.90	400	94.56	400
86.77	450	91.10	450	97.61	450
89.43	500	93.55	500	100.02	500
91.25	550	96.36	550	103.23	550
94.70	600	98.88	600	105.76	600
97.18	650	101.35	650	108.03	650
98.67	700	103.58	700	110.14	700
100.5	750	105.95	750	112.16	750
102.53	800	107.77	800	113.41	800
104.02	850	109.41	850	115.51	850
105.30	900	111.20	900	117.64	900
106.45	950	112.81	950	119.12	950
107.70	1004	114.02	1003	120.51	1004

수용액부터 각각 101.66 °C, 102.05 °C, 105.30 °C, 108.60 °C, 114.79 °C 및 120.94 °C 이었다. Fig. 4는 이것을 나타낸 도표로

Table 3. Regressed Antoine constants and mean deviation of each aqueous solution of sodium glycinate

Aqueous solution (wt%)	Antoine constant			Abs. mean deviation (hPa)	Consistency (linearity)
	A	B	C		
10	5.18205	1748.62	236.152	1.4	0.99997
20	7.06434	3139.41	342.709	1.2	0.99998
30	4.41793	1332.47	196.699	3.5	0.99986
40	4.86393	1560.76	212.658	8.4	0.99922
50	4.34608	1374.08	201.796	3.6	0.99984
60	5.55834	2163.36	268.670	3.8	0.99983

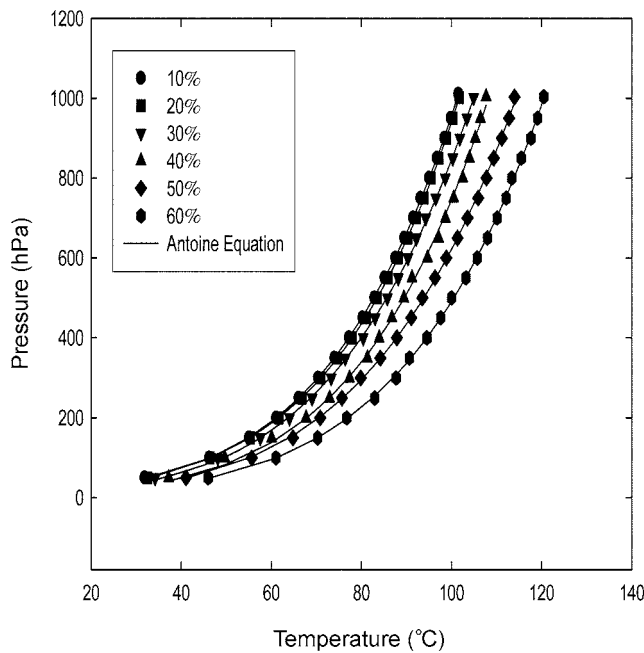


Fig. 3. Vapor pressure of aqueous solution of sodium glycinate.

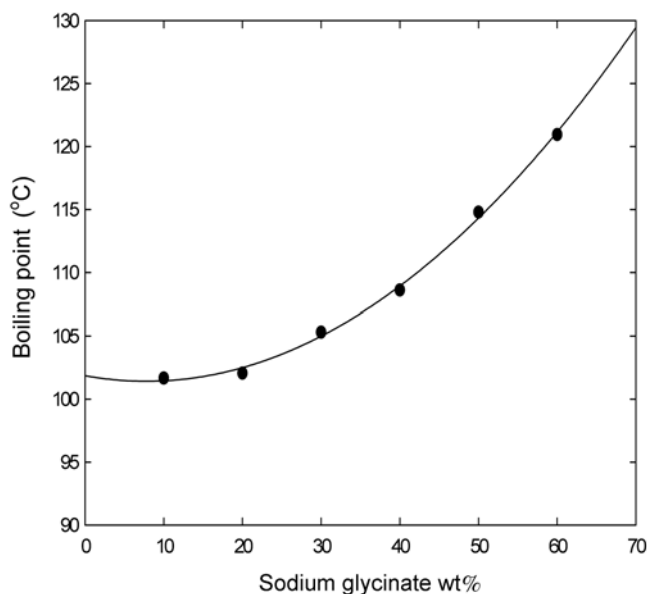


Fig. 4. Calculated boiling points of aqueous solution of sodium glycinate at 1,013.25 hPa.

써, sodium glycinate 조성이 커질수록 비점의 격차도 조금씩 커지는 것을 보여준다.

4-3. Sodium glycinate 수용액의 증발잠열 계산

증발잠열은 증기압측정 데이터로부터 dP^{sat}/dT 를 이용하여 구할 수 있다. 즉 (6)식으로 부터 (11)식을 얻게 되므로

$$\ln P^{sat} = -\frac{\Delta H^{l,v}}{R} \frac{1}{T} \quad (11)$$

Fig. 5의 $\ln P^{sat}$ 과 $1/T$ 의 도표에서 기울기로써 증발잠열인 $\Delta H^{l,v}$ 값을 구하였다. Table 4에 sodium glycinate 수용액 조성별로 계산된 증발잠열 값을 나타내었다. Sodium glycinate 수용액 증발잠열은 조성에 따라 비례관계를 보일 것으로 기대되었으나 30%, 40%, 50% 수용액조성에서 1차 함수식에서 조금 벗어남을 보였다. 이는 증기압 합치에서 이들 조성영역에서 상대적으로 큰 오차를 보이는 것과 관련하여 실험에 따른 인적오차에 기인된다고 생각되며, 전체적으로는 sodium glycinate의 조성이 커질수록 증발잠열도 소량 증기압을 보인다. Sodium glycinate 수용액에서 증발되는 것은 결국 물일 것이며, 10 wt% sodium glycinate 수용액의 비중이 1.007, 50 wt%의 비중이 1.029로 순수물의 비중과 큰 차이가 없는 것으로 보아, 순수한 물의 잠열과 비교하였을 때 물 당 증발잠열은 큰 차이가 나지 않을 수 있다. 실제로, 순수한 물의 증발엔탈피는 40,644 J/mol[6]로써, Table 4의 수용액 조성에 따른 증발잠열 값과 큰 차이가 나지 않아 간접적으로 이 측정값을 신뢰할 수 있었으며, 염 효과로 인해 순수 물보다 sodium glycinate 수용액의 증발엔탈피가 조금 높게 나온 것으로 판단된다.

4-4. Sodium glycinate의 열전도도 측정

고체 열전도도 측정 장치에 의해 측정된 기준편과 시편 각 부위별 온도측정값을 Table 5에 나타내었다. 열전도도는 정상(steady state) 전열이 시작된 1시간 이상의 데이터를 취하여 계산하였다.

언급한바와 같이 실험에 사용한 열전도도 측정 장치는 시편을 기준편 사이에 끼우고 고정 틀로 조여서 밀착시키므로, 접촉에 따른 열 저항이 발생되며, 열전도도 측정에 있어 이 접촉저항은 무시할 수 없는 항이 된다. 그러나 이 접촉저항을 특별히 측정할 수 없음에 따라, 두 개의 시편을 사용하여 시편의 위, 아래에서 발생하는 접촉저항을 같다고 보고, 관계수식을 이용하여 연결하면 접촉저항을 소거할 수 있다. 즉, 수식의 전개에 의해 시편의 열전도는 (8)식으로 구할 수 있다. Fig. 6은 sodium glycinate의 열전도도 k_x 를 구하기 위해서 우선 실험장치의 열전쌍 위치에 따른 온도분포 값을 x-y 도표에 도시한 것이다. 이것으로부터 시편 a, b의 아래위의 온도차인

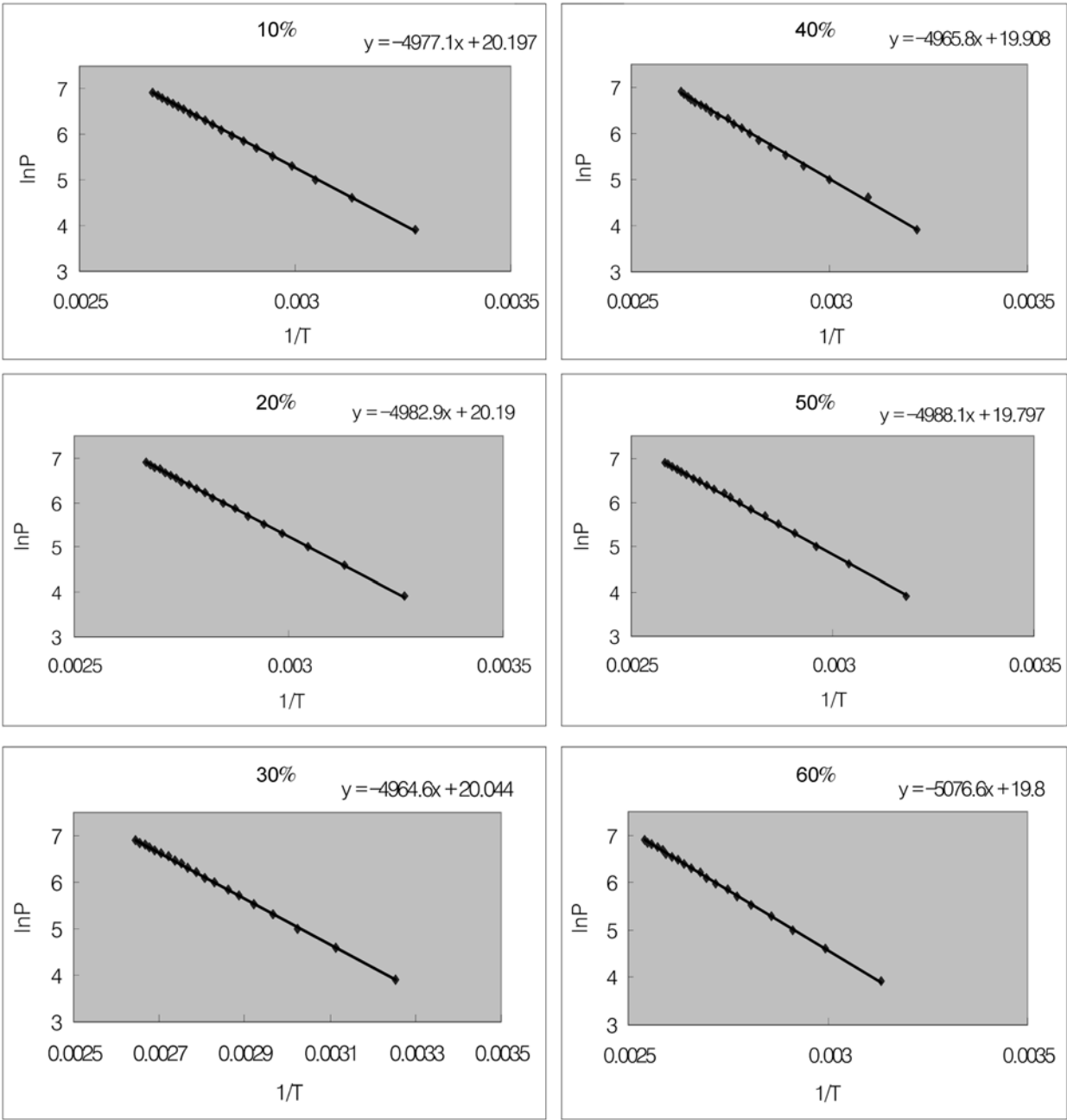


Fig. 5. Temp. VS. vapor pressure for the calculation of latent heat of vaporization.

Table 4. Latent heat of vaporization of each aqueous solution of sodium glycinate.

wt%	$\Delta H/R$ (J/mol·K)	ΔH (J/mol)	wt%	$\Delta H/R$ (J/mol·K)	ΔH (J/mol)
10	4977.1	41379.6	40	4965.8	41285.7
20	4982.9	41427.8	50	4988.1	41471.1
30	4964.6	41275.7	60	5076.6	42206.9

ΔT_a , ΔT_b 및 기준편 Cu에서 등 간격으로 위치된 열전쌍의 평균온도차 ΔT_{cu} 를 구할 수 있다.

그림으로부터 구해진 ΔT_a , ΔT_b 는 각각 $\Delta T_a \approx 14^\circ\text{C}$, $\Delta T_b \approx 44^\circ\text{C}$ 였으며, 또한 기준편의 거리별 온도구배 ΔT_{cu} 는 1.5°C 였다. Cu 기준편은 직경이 40 mm이고 기준편 내의 열전쌍은 60 mm 간격으

로 장치에 설치되어 있으며 열전도도는 $320 \text{ kcal/m}\cdot\text{hr}\cdot^\circ\text{C}$ 이다. 또한, 제작한 시료편의 두께 L_a , L_b 는 각각 2.4 mm, 6.5 mm이다. 따라서 이들 값을 대입하여 계산한 k_a 는 1.37이었으며, k_b 는 1.18이었고, 이로부터 계산된 sodium glycinate 열전도도 k_x 는 약 $1.0933 \text{ kcal/m}\cdot\text{hr}\cdot^\circ\text{C}$ 이었다. 그러나 시편이 분체인 관계로 물드를 제작하

Table 5. Measured temperature for the calculation of thermal conductivity

Thermocouple No	Time		
	0.5 hr	1 hr	2 hr
1	100	101	101
2	98	99	99
3	97	97	97.5
4	96	96	96
5	45	49	50
6	44	48	49
7	33	34	35
8	32	33	34
9	31	32	32.5
10	29	30	31

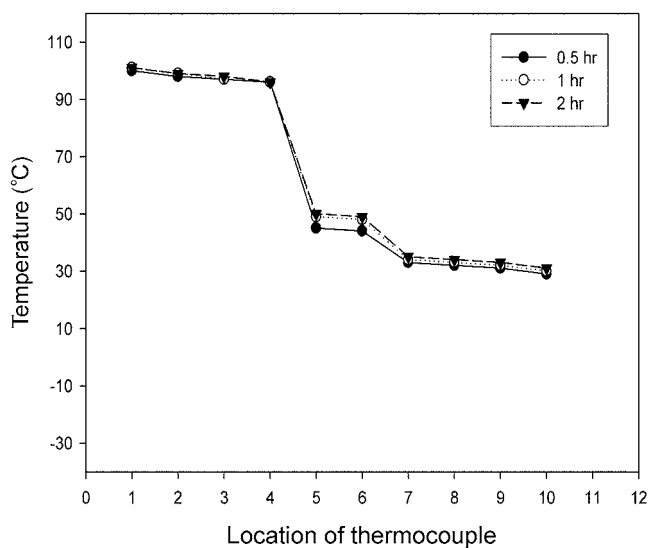


Fig. 6. Temperature profile according to heat transfer.

여 sodium glycinate disk판을 만들어 측정하였지만, 기공과 압축도 등에 따라 무시하지 못할 측정오차를 내포할 것으로 판단되며, 그림에서 보는 바와 같이 아래, 위 시편이 들어있는 부위의 온도구배가 서로 상이하야, 접촉저항이 같다고 가정한 점에도 오차요인이 내포되어 있을 수 있다. 따라서 정확한 열전도도 값을 얻기 위해서는 분체의 열전도도 측정 장치를 이용한 보다 정밀한 실험이 필요하다.

5. 결 론

배연가스의 CO₂ 가스 흡수용 sodium glycinate계 흡수제 개발을 위한 sodium glycinate의 순수 및 수용액의 물성 측정결과, H₂O 용

매 25 g에 대한 sodium glycinate의 용해량은 20 °C에서 27.8 g이었으며, 온도에 따른 용해도는 $y = 0.3471x + 20.993$ 의 1차 함수 관계로 증가하였다. 다만, sodium glycinate 60% 수용액에서는 용해되는데 시간이 걸리고, 고온에서 장치에 aggregate되는 경향이 있으므로, 흡수제로서 사용은 50% 수용액 이하가 추천된다.

Sodium glycinate 수용액의 증기압을 측정하고, Antoine 상수를 구하였으며, Clausius-Clapeyron 식을 이용하여 증기압 측정값으로 증발엔탈피를 구하였다. 증발엔탈피 측정값은 수용액 조성에 따라 linear하게 증가하지는 않았으나, 순수한 물의 증발엔탈피 값과 간접적으로 비교하여, 열 효과에 의해 비점과 잠열이 상승하였을 것임을 감안하면, 신뢰성 있는 데이터라고 생각된다.

Sodium glycinate 분체의 열전도도 측정은 분체를 disk판으로 성형한 후, 고체 열전도도 측정 장치로 측정하였으며, 실험상의 오차를 수반하고는 있으나, 접촉저항을 고려하였을 시의 값은 1.0933 kcal/m·hr·°C로 계산되었다.

참고문헌

- Oh, K. J., Choi, W. J., Lee, S. S., Lee, J. J. and Shon, B. H., "The Degradation of CO₂ and H₂S using Aqueous Alkanolamine Solutions," *J. of KSEE*, **24**(6), 985-994(2002).
- Lee, S. W., "Review of Novel Methods for Carbon Dioxide Separation from Flue and Fuel Gases," Expert Review, KISTI(2005).
- Allam, R. J. and Spilsbury, C. G., "A Study of Extraction of CO₂ from the Flue Gas of a 500 MW Pulverised Coal Fired Boiler," The First International Conference on Carbon Dioxide Removal, Amsterdam, March(1992).
- Suda, T., Fujii, M. and Yoshida, K., "Development of Flue Gas Carbon Dioxide Recovery Technology," The First International Conference on Carbon Dioxide Removal, Amsterdam, March (1992).
- Bolland, O. and Saether, S., "New Concepts for Natural Gas Fired Power Plants which Simplify the Recovery of Carbon Dioxide," *Energy Convers. Mgmt.*, **33**(5), 467-475(1992).
- Gmehling, J., Fischer, K., Menke, J., Rarey, J., Weiner, J. and Krafczyk, J., *Dortmund Data Bank(DDb) overview*, DDB Data Directory, Version 2005(2005).
- Zhang, Y. and Jiang, Y., "A Simple Method, the T-history Method, of Determining the Heat of Fusion, Specific Heat and Thermal Conductivity of Phase-change Materials," *Measurement and Science Technology*, **10**, 201-205(1999).
- Park, S. J. and Hwang, T. W., "Solid-Liquid Equilibria for DMF, NMF and Diethyl Carbonate Containing Systems by using Static Method," *Korean Chem. Eng. Res.*, **41**(4), 459-463(2003).
- Park, S. J. and Schmidt A. P., "Isobaric Vapor-Liquid Equilibria of the Ternary System Oxazole-Acetone-Water," *Korean Chem. Eng. Res.*, **29**(2), 143-148(1991).