

아민 흡수제의 화학구조에 따른 휘발 특성

이경자 · 이지현* · 박노상* · 이인영* · 김준한* · 엄용석* · 장경룡* · 심재구*[†] · 이윅택[†]

충남대학교 바이오응용화학부,
305-764 대전광역시 유성구 공동 220
*KEPCO 전력연구원 사업화기술개발실
305-760 대전광역시 유성구 문지로 105
(2011년 8월 9일 접수, 2011년 9월 7일 채택)

Analysis of Amine Absorbents Volatility Based on the Chemical Structure

Kyung Ja Lee, Ji Hyun Lee*, No Sang Kwak*, In Young Lee*, Jun Han Kim*, Yong Seok Eom*,
Kyung Ryoung Jang*, Jae Goo Shim*[†] and Yongtaek Lee[†]

Department of Bio-Applied Chemistry, Chungnam National University, 220 Gung-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Korea

*Technology Commercialization Office, KEPCO Research Institute, 105 Munji-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-760, Korea

(Received 9 August 2011; accepted 7 September 2011)

요 약

화학흡수법을 이용한 CO₂ 포집 공정에서 발생하는 아민계 흡수제의 휘발은 대기 환경에 좋지 않은 영향을 미칠 뿐만 아니라 공정 운용에 있어 흡수제 손실을 보충하기 위한 비용의 증가를 초래하게 되므로 이에 대한 정확한 특성을 파악하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 이를 위해 자체 고안한 휘발도 측정 장치를 활용하여 주요 아민 수용액 (MEA(monoethanolamine), MDEA(n-methyldiethanolamine), Pz(piperazine), AMP(2-amino-2-methyl-1-propanol), 2-MP(2-methylpiperazine), DGA(diglycolamine))의 휘발도를 측정하고, 가스크로마토그래피 장치를 활용한 정량적인 비교를 통해 다양한 온도 조건과 CO₂ 부하 변화에 따른 휘발도의 영향을 분석하였다. 실험결과 MDEA < DGA < Pz < 2-MP < MEA < AMP 순으로 휘발도가 증가되었는데, 헨리상수가 큰 아민계 흡수제일수록 상대적으로 높은 휘발도를 보였으며 또한 반응온도가 상승하면 휘발도가 증가함을 확인하였다. 아민급수와 휘발도간의 상관관계 분석에서는 1차 아민 중 DGA를 제외한 MEA 및 AMP가 3차 아민대비 휘발도가 높았으며, 3차 아민인 MDEA의 경우에는 반응온도 및 CO₂ 부하 조건에 따른 실험에서 휘발도가 매우 낮음을 확인할 수 있었다. 이는 MDEA의 분자 구조 내에 하이드록실기(-OH)가 2개 있어 높은 친수성으로 인하여 휘발이 거의 되지 않았고, 이에 비해 MEA 및 AMP는 하이드록실기(-OH)가 1개이고, AMP의 경우 소수성기인 알킬기(-CH₃)가 2개 있어 가장 많이 휘발된 것으로 판단된다.

Abstract – Amine volatility occurring on the CO₂ capture process may result in significant economic losses and environmental impact. In this study, using a volatility measurement apparatus, we measured a amine volatility of various amines including MEA(Monoethanolamine), MDEA(N-Methyldiethanolamine), Pz(Piperazine), AMP(2-Amino-2-methyl-1-propanol), 2-MP(2-Methylpiperazine), DGA(Diglycolamine). For the quantitative analysis of volatility, we analyzed the effects of temperature and CO₂ loading using an gas chromatography analysis. The result shows that the amine volatility was increased by increasing Henry's constant(MDEA < DGA < Pz < 2-MP < MEA < AMP). And primary amines such as MEA and AMP were more volatile than MDEA. These results are considered from the difference of molecular structures: MDEA having two hydroxyl groups(-OH) shows less volatile than primary amine which have only one hydroxyl group(for MEA & AMP) and two hydrophobic alkyl groups(-CH₃)(for AMP).

Key words: Volatility, Amine, Carbon Dioxide, Absorbents, CO₂ Capture

1. 서 론

산업의 발달과 함께 화석연료의 사용에 따른 온실가스 배출은 지구 온난화 현상을 일으키고, 전 세계적으로 이를 줄이기 위한 해결책을 강구하고 있다. OECD 국가 중 한국과 멕시코를 제외한 대부

분의 선진국들은 1997년 교토의정서를 체결하여 2008년부터 2012년 사이에 온실가스 총배출량을 1990년 수준보다 평균 5.2% 감축하기로 합의하였다[1,2]. 교토의정서 협상 시 온실가스 감축의무 대상국에서 제외된 한국도 2013년부터 시작되는 「포스트 교토의정서」 체제에서 온실가스 감축 의무를 받게 될 가능성이 크기 때문에 이에 대한 대책 마련이 시급한 상황이다.

이와 관련하여 최근 온실가스 저감을 위한 가장 대표적인 대안으

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: ytleee@cnu.ac.kr or jgshim@kepri.re.kr

로 CCS(carbon capture and sequestration) 기술이 부각되고 있으며, 이 중 대규모 온실가스 배출원인 화력발전소에 바로 적용 가능한 연소 후(Post-Combustion) CO₂ 포집 기술이 크게 주목받고 있다. 연소 후 CO₂ 포집 기술은 포집방법에 따라 크게 흡수법, 흡착법, 막 분리법, 침냉법 등으로 분류할 수 있는데 이 중 화학흡수법은 발전소와 같이 대규모의 발생원에서 배출되는 CO₂를 저감하는데 가장 적합한 공정으로 화력발전소에서 배출되는 연소배가스와 같이 CO₂ 농도와 압력이 비교적 낮은 조건에 적합하며[3], 이미 정유공장 등에서 오랜 상업운전으로 공정의 안정성 및 신뢰성이 확보된 기술이다.

그러나 이러한 화학흡수법에서 CO₂ 흡수제로 주로 사용되는 아민계 화합물인 MEA(monoethanolamine), AMP(2-amino-2-methyl-1-propanol) 등은 연소배가스에 포함된 산소에 의한 산화성 열화와 CO₂ 분리회수시 고온에서 여러 가지 부반응을 일으켜 흡수제의 순도를 떨어뜨리는 열적 열화뿐만 아니라, 흡수제의 높은 증기압으로 인해 흡수탑 상단에서 휘발되어 대기중으로 배출되는 흡수제 손실이 발생하여 주기적으로 흡수제를 보충해 주어야 하므로 상당한 경제적 손실과 환경적 요인에 영향을 미치고 있다. 이에 흡수제의 휘발도와 관련된 연구가 일부 발표가 되고 있는데 Thu 등(2011)은 열역학적 분석을 통해 흡수제의 휘발도는 물질의 헨리상수와 상관관계가 있음을 제시하였다[4]. 그러나 이러한 열역학적 분석 이외에 실제적으로 아민 흡수제의 휘발도 실험에 관한 연구는 거의 발표되지 않고 있다.

이에 본 논문에서는 아민 흡수제의 휘발도를 직접적으로 측정할 수 있는 장치를 자체적으로 고안하고, 이를 활용하여 주요 아민 흡수제의 휘발도를 측정 후 가스크로마토그래피 장치를 활용한 정량적인 비교를 통해 다양한 온도 조건과 CO₂ 부하 변화에 따른 휘발도의 영향을 분석하였다. 또한 각 물질의 헨리상수와 상관관계 분석을 통해 흡수제의 휘발도는 헨리상수가 높을수록 증가됨을 확인하였고, 화학 구조에 따라 휘발도 영향도 평가하였다.

2. 이 론

2-1. 습식 CO₂ 포집공정

화력발전소에서 연료의 연소후 발생한 배가스는 대기중으로 배출되기 전 집진, 탈황 및 탈질공정을 거치게 된다. 배가스 중의 CO₂ 농도는 대략 10~15%이며, 거의 대기압 상태로 배출이 된다. 배가스 중의 CO₂를 포집하기 위한 공정은 주요 불순물이 대부분 제거된 탈황공정 이후에 위치하는데 CO₂ 포집 공정을 통해 CO₂가 제거된 가스는 스택을 통해 대기중으로 배출되고 공정에서 포집된 고농도의 CO₂는 이후 압축을 거쳐 해양 혹은 지중저장된다. 아민계 화합물을 CO₂ 흡수제로 사용하는 습식 CO₂ 포집 공정의 개략도는 Fig. 1과 같다. 공정은 크게 흡수탑/재생탑으로 구성이 된다. 발전소에서 배출되는 연소배가스는 송풍기를 거쳐 흡수탑 하단으로 투입하게 되고 흡수탑 상단에서 투입되는 아민 흡수제와 반응하여 가스 중의 CO₂는 흡수제와 화학결합을 한 후 재생탑으로 이송되고 CO₂가 제거된 가스는 흡수탑에서 대기중으로 배출된다. 재생탑에서는 CO₂와 결합한 흡수제에 고온의 열을 가하여(100~120 °C) 흡수제가 재생을 하게 된다[5].

이러한 습식 CO₂ 포집 공정의 운용을 위해 MEA, AMP 등의 아민계 흡수제가 주로 사용이 되는데 해당 물질은 공정의 장기 운영 중에 흡수탑 상단으로 일부의 흡수제가 휘발되어 대기중으로 배출

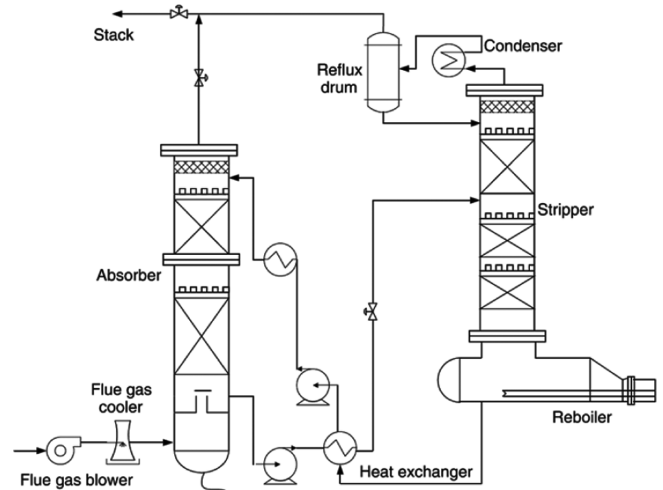


Fig. 1. Process flow for CO₂ capture process from the flue gas with amine absorbers.

- | | |
|----------------------------------|--------------------------------|
| 1. N ₂ | 6. Sparger(hole size 60 μm) |
| 2. Mass flow controller(2 L/min) | 7. Reactor cover |
| 3. Water bath(40~70 °C) | 8. Condenser |
| 4. Reactor | 9. Water measurement separator |
| 5. N ₂ flow line | 10. Chiller(10 °C) |

되기 때문에 손실이 발생하게 된다. 이러한 이유로 많은 상업화된 공정에서는 이의 방지를 위해 흡수/재생탑에 응축기 및 수분 트랩 등의 장비를 설치하여 흡수제 손실이 최소화되도록 하고 있다.

2-2. 흡수제의 휘발도

액이 잘 증발할 수 있는 정도를 나타내는 흡수제의 휘발도(K_i)는 액상의 물분율에 대한 기상의 물분율의 비로 정의되며, 다음의 식 (1)으로 표현된다.

$$K_i = y_i / x_i \quad (1)$$

여기서 y_i , x_i 는 각각 기상 및 액상 중 아민의 물분율을 나타낸다. 그리고 액상에 용해되는 가스의 양은 압력에 비례한다고 정의되는 헨리의 법칙(Henry's law)은 다음의 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$p_i = H_{amine} x_i \quad (2)$$

여기서 p_i 는 가스의 분압이고, x_i 는 액상의 물분율을 나타내며 H_{amine} 는 아민의 물에 대한 헨리상수이다. 식 (1)을 (2)로 나누면 다음과 같다.

$$H_{amine} = (p_i / y_i) K_i \quad (3)$$

여기서 $p_i / P = y_i$ 이므로 결국 헨리상수와 휘발도는 다음과 같은 상관관계를 갖는다.

$$K_i = H_{amine} / P \quad (4)$$

즉, 어떠한 시스템에서 흡수제의 휘발도는 헨리상수 시스템의 압력으로 설명될 수 있으며 헨리상수가 높아질수록 휘발도가 증가하게 된다.

3. 실험장치 및 방법

3-1. 흡수제 샘플

본 연구에서 분석한 아민계 화합물의 제조사 및 순도를 Table 1에 정리하였다. 아민 화합물의 화학구조에 따른 영향도를 분석하기

Table 1. Information of reagent used in this study

Absorbent	Molecular formula	Mw.	manufacturer	purity (%)
MEA (monoethanolamine)	<chem>NCCO</chem>	61.08	Aldrich	99+
MDEA (n-methyldiethanolamine)	<chem>CCN(CCO)CO</chem>	119.16	Acros	99+
AMP (2-amino-2-methyl-1-propanol)	<chem>CN(C)(C)CO</chem>	89.14	Acros	99+
Pz (piperazine)	<chem>C1CCNCC1</chem>	86.14	Aldrich	99+
2-MP (2-methylpiperazine)	<chem>C1CCN(C)CC1</chem>	100.17	Aldrich	95+
DGA (diglycolamine)	<chem>NCCOCCO</chem>	105.14	Aldrich	98+

위해서 1~3급 아민 중 대표적인 물질로 총 6종의 아민계 화합물을 선별하였다(MEA, MDEA, Pz, AMP, 2-MP 및 DGA). 또한 대표적인 CO₂ 흡수제인 MEA의 일반적인 사용농도가 30 wt% 임을 감안하여, 본 연구의 대상 물질도 3차 증류수를 이용하여 아민농도가 30 wt%가 되도록 희석한 후 각각의 휘발도를 측정하였다.

3-2. CO₂ 부하 변화

아민 화합물과 반응한 CO₂ 양으로 정의되는 CO₂ 부하는 CO₂ 흡수제로서의 주요 성능 인자로 실제 CO₂ 포집 공정의 분석을 위한 중요한 운전 변수 중 하나이다. 현재 상업적으로 많이 운용되고 있는 MEA의 경우 이론적인 CO₂ 부하값은 0.50 molCO₂/mol 아민이지만, 흡수탑 등에서 CO₂ 부하가 0.50 이상이 되면 재질 부식 등의 염려가 우려되므로 흡수탑의 경우 0.50 이하로 운전을 하게 된다. 본 논문에서는 반응온도 변화와 함께 다양한 CO₂ 부하 변화에 따른 흡수제의 휘발도 영향을 분석하였다.

흡수제의 CO₂ 부하 변화에 따른 휘발도 변화를 분석하기 위하여 준비된 아민 수용액에 99.999% 순도의 CO₂를 해당 부하만큼 공급한 후 전위차 적정기(Metrohm社, 848 Titrino plus)를 활용하여 이를 검증하였다. 이를 위해 먼저 250 ml 비이커에 100 ml 증류수를 채운 후, pH 11.5가 될 때까지 0.5 N 농도의 NaOH(대정화금社)를 넣어준다. 이후 해당 용액에 10 ml 용량의 피펫을 이용하여 CO₂를 흡수한 아민 흡수제를 10 ml 주입한 후 다시 0.5 N 농도의 NaOH로 적정한 뒤 아래의 식 (6)을 활용하여 흡수제의 CO₂ 부하를 계산한다[6].

$$\text{CO}_2 \text{ 평형}(\text{Eq}_{\text{CO}_2}) = \frac{V_{\text{NaOH}} \times N_{\text{NaOH}}}{V_{\text{sample}}} \quad (5)$$

$$\text{CO}_2 \text{ 부하} = \frac{\text{Eq}_{\text{CO}_2} \times \text{Mw}/10}{\text{Wt}_{\text{Absorbent}}} \quad (6)$$

이때 V_{NaOH} 는 초기의 pH 11.5에서 CO₂와 반응한 아민 화합물을 주입하였을 때 다시 pH 11.5까지 회복하기 위한 NaOH의 양(ml)이고, N_{NaOH} 는 NaOH의 노르말농도(0.5 N)이며, V_{sample} 은 주입한 아민 흡수제의 양(ml)이다. 그리고 Mw는 CO₂ 부하 측정에 사용된 아민 흡수제의 분자량을 나타내고, $\text{Wt}_{\text{Absorbent}}$ 는 흡수제의 wt% 농도이다.

3-3. 장치구성 및 실험방법

흡수제의 휘발도를 측정하기 위하여 Fig. 2와 같이 휘발도 평가 장치를 자체 고안하였다. 실험에 사용된 반응기는 안지름 75 mm,

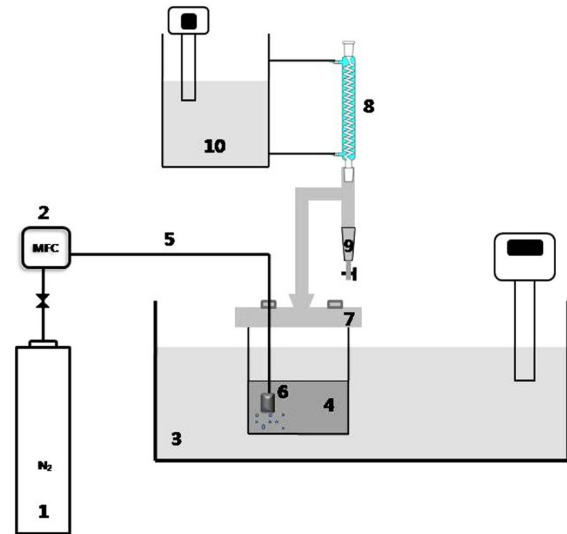


Fig. 2. Schematic diagram of alkanolamine volatility measurement apparatus.

높이 100 mm의 Pyrex 재질로, 반응기 커버에는 증발된 아민 용액을 응축시켜 휘발된 용액을 모을 수 있는 수분 측정용 분리기(용량 10 ml)와 가스 공급이 가능한 스테인레스 재질의(SUS-316) 1/4" 라인이 연결되어 있고, 라인 끝에는 가스 분산을 위한 스파저(sparger)를 설치하였다(스파저 hole size: 평균 60 μm).

휘발도 측정방법은 준비된 아민 흡수제를 반응기에 100 ml 주입한 후, 반응기와 반응기 커버를 클램프로 고정시킨다. 수분 측정용 분리기 상부에 콘덴서를 조립한 후 반응기를 각 온도에 맞게 설정된 항온조에 설치한다. 항온조의 온도를 실험조건에 따라 세팅한 후 충분히 안정화되면 가스 공급라인에 질소(순도 99.99%)를 일정하게 투입한다(유량: 2 liter/min). 이후 반응기에서 증발된 흡수제가 콘덴서를 통해 다시 응축되어 반응기 상부에 설치된 수분 측정용 분리기에 포집이 되면 실험을 종료하고, 포집된 액상의 샘플 중에 남아 있는 아민의 농도 분석을 통해 해당 흡수제의 휘발도를 분석하였다.

아민농도의 정량적인 분석을 위해 가스크로마토그래피(Agilent社 7890A 모델)를 활용하였으며, Supelco社의 6 ft×1/8 inch, 60/80 Tenax TA column으로 FID(Flame Ionization Detector)를 통해 분석하였다. 운반기체(carrier gas)는 헬륨을 사용하였고, 300 °C의 주입부(injector)와 310 °C의 검출기(detector) 온도로 고정시켰다. 가스크로마토그래피의 주입부에 0.2 μl의 시료를 주입하여 초기 오픈 온도를 150 °C로 0.5분 동안 유지한 후 6 °C/min.으로 250 °C까지 승온시켜 검출기를 통해 시료를 검출하였고, 표준용액을 이용하여 4 point로 보정한 후 시료를 정량 분석하였다.

4. 결과 및 고찰

4-1. 아민 휘발도 분석

아민 화합물의 화학구조에 따른 휘발도의 변화를 관찰하기 위하여 상기 제시한 6종의 아민 흡수제에 대하여 문헌[4]에서 제시된 헨리상수 값을 Table 2에 나타내었고, 반응온도 40 °C에서 측정된 휘발도 결과와 비교하여 Fig. 3에 나타내었다.

분석결과 MDEA < DGA < Pz < 2-MP < MEA < AMP 순으로 휘

Table 2. Classification and physical properties of amine[4]

Absorbent	Classification	B.P.(°C)	H_{amine} (Pa)
MDEA	3	247	12.7
DGA	1	220	13.9
Pz	cyclic	145	43.4
2-MP	cyclic	155	48.2
MEA	1	171	70.7
AMP	1	165	288

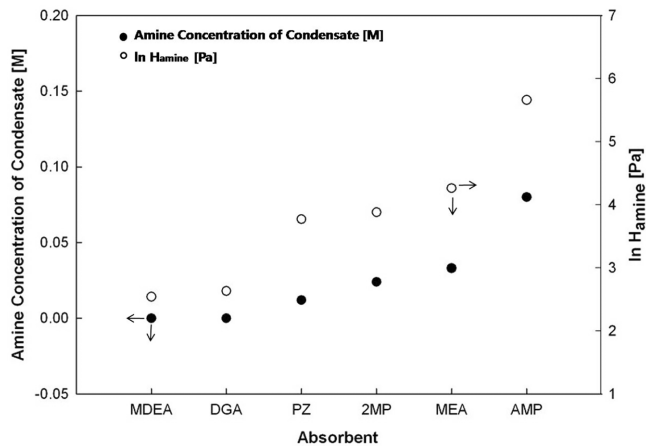


Fig. 3. The correlation of amine volatility and Henry's constant at 40 °C.

발도가 증가하였는데, 대표적인 3차 아민인 MDEA의 경우에는 수 분 측정용 분리기 샘플상에 아민이 거의 검출되지 않아 휘발도가 매우 낮은 것으로 분석된 반면, 대표적 1차 아민인 MEA 및 1차 입체장에 아민인 AMP의 경우에는 휘발도가 매우 높았다. 이러한 결과는 화학구조에 따른 아민 흡수제의 친수성 차이로 설명이 가능하다. 즉 분자 구조내에 하이드록실기(-OH)가 2개가 있는 MDEA의 경우에는 하이드록실기의 높은 친수성으로 흡수제의 휘발이 거의 일어나지 않는 것으로 사료되고, 본 실험에서 가장 높은 휘발도를 보이는 AMP의 경우 하이드록실기(-OH)가 1개인 반면 소수성기인 알킬기(-CH₃)는 2개로 가장 많기 때문인 것으로 판단된다. 또는 AMP의 경우 아민기(-NH₂) 인근에 존재하는 2개의 알킬기(-CH₃)로 인해 아민과 하이드록실기(-OH)의 수소 결합형성에 영향을 받아 MEA에 비해 상대적인 수소결합이 원활하게 형성되지 않아 휘발도가 높을 가능성이 있다. 그리고 DGA와 같이 분자의 사슬길이 가 길어 표면적이 증가하거나 side group이 없는 Pz, 2-MP의 경우 분자가 잘 포개어져 분자간 인력으로 인하여 증기압이 낮아지기 때문에 낮은 휘발도 경향을 보인 것으로 사료된다. 이와 함께 헨리상수와 휘발도간의 상관관계를 분석한 결과 식 (4)와 같이 $K_i = H_{amine}/P$ 흡수제의 헨리상수가 높을수록 휘발도가 증가함을 알 수 있는데 이러한 결과로 헨리상수는 흡수제의 휘발도를 예측하기 위한 주요 물성 데이터로 활용될 수 있음을 확인할 수 있다.

또한 분자량과 휘발도의 상관관계를 분석해보면 실험한 6종의 흡수제 중 분자량이 가장 높은 MDEA의 휘발도가 가장 낮고 이에 반해 분자량이 상대적으로 낮은 MEA와 AMP의 휘발도가 높았다. 하지만 Pz는 2-MP보다 분자량이 낮음에도 불구하고 휘발도가 낮게 나온 결과를 보면 분자량만으로 휘발도를 설명할 수는 없고, 휘발도는 헨리상수와 화학구조적인 영향을 많이 받는다는 것을 확인할 수 있다.

4-2. 반응온도에 따른 휘발도 변화

반응온도에 따른 휘발도의 변화를 관찰하기 위하여 대표적인 1차 아민인 MEA, 1차 입체장에 아민 AMP, 3차 아민인 MDEA에 대하여 실험을 하고 그 결과를 아래 Fig. 4~6에 나타내었다. 반응온도가 흡수제의 휘발도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 반응온도 40, 50, 60 및 70 °C에서 각각 실험을 하고 해당 반응온도에서 헨리상수와 휘발도를 비교하여 상관관계를 분석하였다.

Fig. 4에 대표적인 1차 아민인 MEA의 반응온도에 따른 헨리상수[4] 및 휘발도 실험결과를 나타내었다. 분석결과 반응온도가 증가할수록 헨리상수가 증가하였으며, 휘발도 실험결과에서도 온도 증가에 따라 휘발되는 아민의 양이 증가함을 확인하였다.

Fig. 5는 1차 입체장에 아민 AMP의 반응온도에 따른 헨리상수[4] 및 휘발도 실험결과를 나타내었다. 분석결과 MEA의 경우와 마찬가지로 반응온도가 증가할수록 헨리상수가 증가하였으며, 휘발도 실험결과에서도 온도 증가에 따라 휘발되는 아민의 양이 증가함을 확인하였다.

Fig. 6은 대표적인 3차 아민인 MDEA의 반응온도에 따른 헨리상수[4] 및 휘발도 실험결과를 나타내었다. MDEA의 경우 반응온도 증가에 따라 헨리상수는 증가하나 휘발도 실험결과에서는 거의 휘발이 되지 않는 것을 확인할 수 있다. Fig. 6과 같이 반응온도에 따

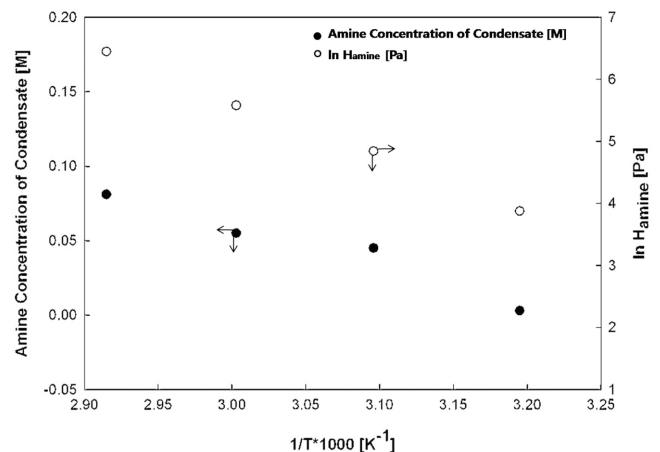


Fig. 4. The correlation of amine volatility and Henry's constant with various temperature of 30 wt% MEA.

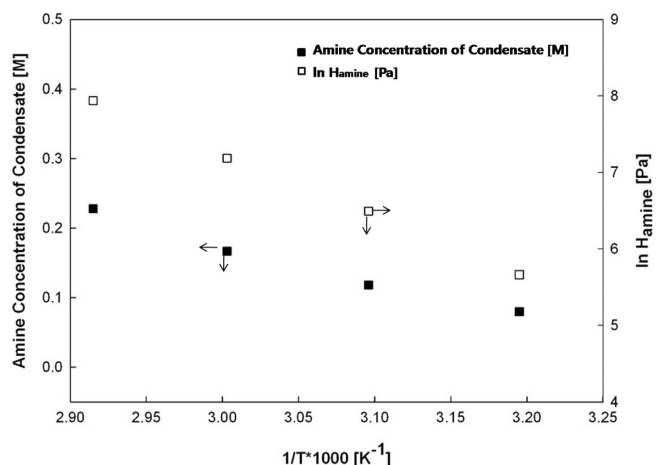


Fig. 5. The correlation of amine volatility and Henry's constant with various temperature of 30 wt% AMP.

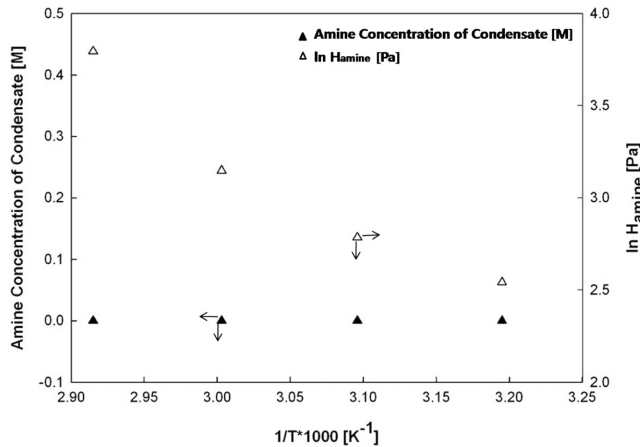


Fig. 6. The correlation of amine volatility and Henry's constant with various temperature of 30 wt% MDEA.

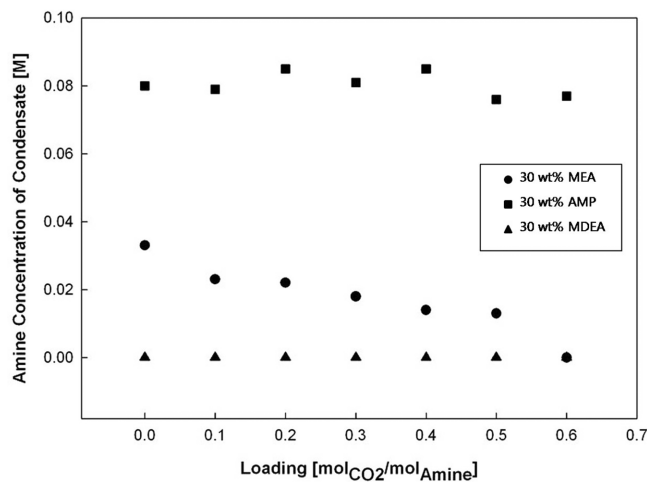


Fig. 7. Volatility of 30 wt% aqueous amine with various CO₂ loading values at 40 °C.

라 휘발도 차이가 크게 나지 않은 것은 MDEA의 높은 친수성으로 인해 본 연구에서 고안한 장치 및 실험 조건하에서는 아민이 거의 검출이 되지 않기 때문으로 판단되며, 이와 같이 휘발이 거의 발생되지 않는 물질의 분석에 있어서는 보다 정밀한 측정방법이 필요할 것으로 사료된다.

4-3. CO₂ 부하에 따른 휘발도 변화

상기 흡수제의 3종에 대하여 동일온도(40 °C)에서 다양한 CO₂ 부하 변화에 따른 흡수제의 휘발도 영향을 분석하여 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 앞서 제시된 바와 같이 상용공정에서 많이 사용되는 MEA의 경우 최대 CO₂ 부하값은 0.50 수준에서 운전됨을 감안하여 CO₂ 부하는 0에서 0.60까지 변화시키면서 각각의 경우에서 휘발도를 측정하였다. 분석결과 MEA의 경우 CO₂ 부하 증가에 따라 휘발되는 아민의 양이 감소한 반면 AMP와 MDEA는 CO₂ 부하에 큰 영향을 받지 않았다. MEA가 CO₂ 부하 증가에 따라 휘발도가 감소하는 이유는 MEA와 CO₂가 반응하면서 생성되는 카바메이트의 기능기인 카르복실기의 친수성 때문으로 사료된다.

5. 결 론

알칸올아민의 화학구조에 따른 휘발 특성 분석을 위해 자체 고안한 휘발도 측정 장치를 활용하여 주요 아민 수용액 MEA(monoe-thanolamine), MDEA(n-methyldiethanolamine), Pz(piperazine), AMP(2-amino-2-methyl-1-propanol), 2-MP(2-methylpiperazine), DGA(diglycolamine)의 휘발도를 측정하고 가스크로마토그래피 장치를 활용한 정량적인 비교를 통해 다양한 온도 조건과 CO₂ 부하 변화에 따른 휘발도의 영향을 분석하였다. 실험결과 MDEA < DGA < Pz < 2-MP < MEA < AMP 순으로 휘발도가 증가되었는데, 헨리상수가 큰 아민계 흡수제일수록 상대적으로 높은 휘발도를 보였으며 또한 반응온도가 상승하면 휘발도가 증가함을 확인하였다. 아민급수와 휘발도간의 상관관계 분석에서는 1차 아민 중 DGA를 제외한 MEA 및 AMP가 3차 아민대비 휘발도가 높았으며, 3차 아민인 MDEA의 경우에는 반응온도 및 CO₂ 부하 조건에 따른 실험에서 휘발도가 매우 낮음을 확인할 수 있었다. 이는 MDEA의 분자 구조 내에 하이 드록실기(-OH)가 2개 있어 높은 친수성으로 인하여 휘발이 거의 되지 않았고, 이에 비해 MEA 및 AMP는 하이 드록실기(-OH)가 1개 이고 AMP의 경우 소수성기인 알킬기(-CH₃)가 2개 있어 가장 많이 휘발된 것으로 판단된다.

감 사

본 연구는 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(No. 2010-201020006A).

참고문헌

- James J. McCarthy, *Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, IPCC, (2001).
- White, C. M., Strazisar, B. R., Granite, E. V., Koffman, J. S. and Pennline, H. W., "Separation and Capture of CO₂ from Large Stationary Sources and Sequestration in Geological Formations- Coalbeds and Deep Saline Aquifers," *J. Air Waste Manage. Assoc.*, **53**(6), 645-715(2003).
- Chakma, A. and Tontiwachwuthikul, P., "Designer Solvents for Energy Efficient CO₂ Separation from Flue Gas Streams," *Greenhouse Gas Control Technol.*, 35-42(1999).
- Thu Nguyen, Marcus Hilliard, Gary Rochelle, "Volatility of aqueous amines in CO₂ capture," *Energy Procedia*, **4**, 1624-1630(2011).
- Lee, J. H., Kim, J.-H., Lee, I. Y., Jang, K. R. and Shim, J. G., "Performance and Economic Analysis of 500MWe Coal-Fired Power Plant with Post-Combustion CO₂ Capture Process," *Korea Chem. Eng. Res. (HWAHAK KONGHAK)*, **49**(2), 244-249(2011).
- Lee, J. H., Kim, J.-H., Lee, I. Y., Jang, K. R. and Shim, J. G., "Experimental on Bench Capture Unit by Amine Absorption," *Sci. China Tech. Sci.*, **53**, (2011).