

복합흡수공정에서 CO₂/NO₂ 동시제거 시 AMP(2-amino-2-methyl-1-propanol)에 Ammonia 첨가가 흡수속도에 미치는 영향

서중범 · 최원준* · 문승재** · 이규홍*** · 오광중†

부산대학교 환경공학과 · *한국에너지기술연구원 온실가스연구센터
(주)RCC 온실가스저감부 · *울산광역시청 환경관리과

(2008년 10월 20일 접수, 2008년 12월 30일 채택)

Effect of Added NH₃ to AMP on Absorption Rate for Simultaneous Removal of CO₂/NO₂ in Composite Absorption Process

Jong-Beom Seo · Won-Joon Choi* · Seung-Jae Moon** · Gou-Hong Lee*** · Kwang-Joong Oh†

Department of Environmental Engineering, Pusan National University

*Greenhouse Gas Research Center, Korea Institute of Energy Research

**Department of Reduction of Greenhouse Gas, Response to Climate Change

***Environmental Science Technology, Ulsan Metropolitan City Hall

ABSTRACT : In this study, a blend of 2-amino-2-methyl-1-propanol (AMP) and ammonia (NH₃) was used to achieve high absorption rates for carbon dioxide (CO₂) as suggested at several literatures. The absorption rates of aqueous AMP and blended AMP+NH₃ solutions with CO₂ and nitrogen dioxide (NO₂) were measured using a stirred-cell reactor at 303 K. The effect of the added NH₃ to enhance absorption characteristics of AMP was studied. The performances were evaluated under various operating conditions. The absorption rates increased following the increase of the concentration of NH₃. The absorption rate of NH₃ blended into 30 wt.% AMP solution with NO₂ at 303 K was 12.6~32.6% higher than that of aqueous AMP solution without NH₃. Also, the addition of 3 wt.% NH₃ to 30 wt.% AMP increased 48.2~41.6% values for the reactions with CO₂ and NO₂ at 303 K. Therefore, it clearly shows that the reaction rate of AMP with CO₂ and NO₂ can be increased by the addition of NH₃.

Key Words : Carbon Dioxide, Nitrogen Dioxide, Simultaneous Absorption, 2-amino-2-methyl-1-propanol, Ammonia

요약 : 기존의 연구에서 널리 사용된 흡수제 2-amino-2-methyl-1-propanol (AMP)의 성능 개선을 위해 carbon dioxide (CO₂) 및 nitrogen dioxide (NO₂)의 흡수율이 우수한 ammonia (NH₃)를 첨가하여 평면교반조에서 CO₂, NO₂ 및 CO₂/NO₂의 흡수속도실험을 수행함으로써 반응속도상수를 AMP 단일흡수제와 비교하였다. 30 wt.% AMP에 1, 3, 5 wt.%의 NH₃ 첨가에 따라 흡수속도는 대표적으로 303 K, 1 kPa NO₂ 분압에서 12.6~32.6% 증가되므로 NH₃의 첨가로 반응속도를 향상시켜 공정 효율의 증가를 기대할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 30 wt.% AMP에 3 wt.% NH₃ 첨가 수용액의 NO₂ 분압 1 kPa과 CO₂ 분압 15 kPa에서 CO₂/NO₂ 동시 흡수속도는 5.50~6.40×10⁻⁶ kmol m⁻² s⁻¹로 NH₃의 CO₂ 및 NO₂에 대한 높은 부하능 및 추가 반응에 기인하여 AMP 단일수용액에 비해 48.2~41.6% 증가하였다. 또한, 화력발전소에서 배출되는 연소배가스 조성과 같이 CO₂ 15 kPa 및 NO₂의 비교적 낮은 분압(1 kPa) 조건에서 NO₂는 AMP에 NH₃ 첨가에 따라 약 2배의 빠른 반응으로 CO₂의 흡수에 큰 영향 없이 NO₂를 동시에 흡수할 수 있을 것으로 기대된다.

주제어 : 이산화질소, 이산화탄소, AMP, 암모니아, 동시흡수

1. 서론

지구온난화의 문제가 국지적, 국내적 환경문제에서 범지구적 문제로 확대 인식되면서 국제적인 환경정책들이 발전하기 시작하여 1992년 6월 브라질의 리우에서 개최된 유엔 환경개발회의에서 온실가스 배출 감축을 통하여 지구 온난화에 따른 이상 기후현상을 예방하기 위한 유엔 기후

변화협약(UNFCCC, UN Framework Convention on Climate Change)이 채택되었다. 이러한 온실가스 배출감축 의무를 이행하기 위해서는 온실가스 저감, 특히 CO₂ 저감에 따른 경제적 부담이 크므로 이를 최소화시키고 CO₂ 감축효과를 높일 수 있는 제어공정 기술에 관한 연구가 시급한 실정이다. 이에 따른 흡수공정의 최적화와 고효율 다기능 흡수제의 개발은 동일 장치를 이용하여 연소 배가스 중에 포함된 산성가스(CO₂, SO_x, NO_x)를 동시에 제거할 수 있어 장치의 소형화 및 설치비의 절감, 에너지 및 동력비 절감, 폐기물 발생의 최소화를 통하여 CO₂를 포함한 SO_x, NO_x

† Corresponding author
E-mail: kjoh@pusan.ac.kr
Tel: 051-510-2417

Fax: 051-583-0559

제거비용의 최소화에 직접적으로 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 흡수제 및 공정 개발을 위해서는 기존의 CO₂/SO_x에 대한 연구와 더불어 CO₂/NO_x에 대한 흡수제의 반응속도에 대한 동역학적 특성 및 물질전달 현상 등의 기초연구가 필수적이라 할 수 있다.

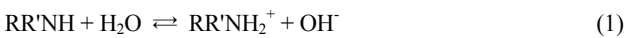
한편, CO₂ 흡수를 위해 널리 사용되는 흡수제로 AMP (2-amino-2-methyl-1-propanol)는 높은 압력에서 MEA (monoethanolamine)보다 CO₂에 대한 부하용량이 더 높다는 결과를 토대로 지금까지 산성가스 제거에 있어서 단일 흡수제로서 우수한 용매로 제안되었다. 그러나 단일 흡수제는 흡수제의 특성상 부식 및 열화반응, 높은 재생에너지 등과 같은 문제점을 가지고 있어 최근에는 기존의 단일 흡수제에 대한 흡수능을 증진시키고 재생시의 에너지 요구량을 절감하기 위해 두 가지 이상의 흡수제를 혼합한 흡수제가 고려되고 있다. 이에 따라, 일부 단일 흡수제의 흡수 특성에 대한 연구 결과를 근거하여 혼합 흡수제의 이용 가능성에 대한 평가 및 흡수탑에서 보다 효율적으로 이용될 수 있는 흡수제를 제조하기 위한 방안으로 혼합흡수제에 대한 연구가 계속적으로 진행되고 있다.¹⁻⁶⁾

이를 위해 기존의 연구에서 널리 사용된 흡수제 AMP의 성능 개선을 위해 NH₃를 첨가하여 CO₂ 및 NO₂ 단일가스에 대한 흡수속도실험을 온도(293, 303, 313 K)에 따라 수행함으로써 AMP 단일흡수제와 비교하였다. 또한, 온도 303 K에서 NH₃의 첨가 농도 1~5 wt%, CO₂ 분압(*p*_{CO₂}; 5, 10, 15 kPa) 및 NO₂ 분압 (*p*_{NO₂}; 1 kPa)의 조건에서 흡수속도 특성을 평가함으로써 NH₃ 첨가 시 단일흡수제 AMP와 비교하여 반응속도의 영향을 고찰하였다.

2. 이론적 고찰

2.1. 흡수제와 CO₂간의 반응메커니즘

아민계 흡수제는 주로 식 (1)~(15)의 반응을 통해 CO₂를 흡수하며, 먼저 1차, 2차 아민 흡수제는 수용액에서 수산기와 aminobase 형태로 해리한다.

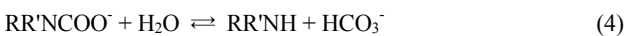


알카놀아민 수용액으로 CO₂를 흡수할 때 대개의 반응하에서 일어나는 주 반응은 다음과 같으며,⁷⁾ 여기서 R은 CH₂CH₂OH이고 R'은 1차아민에서는 H, 2차아민에 대해서는 CH₂CH₂이다.⁸⁾

Carbamate formation :



Bicarbonate formation :



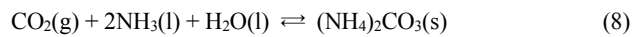
한편, zwitterion 메커니즘이 1차와 2차 아민에 대한 carbamate 형성을 지배한다고 일반적으로 받아들여지고 있으며, 이 경우 흡수제와 CO₂가 반응할 때 첫 단계에서는 식 (5)와 같은 중간 매개체 zwitterion (RR'NH+COO⁻)을 형성한다.



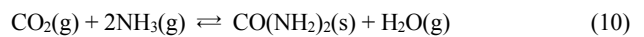
입체장애아민인 AMP의 경우는 1차 아민과 같은 메커니즘으로 CO₂와 반응하며, zwitterion 메커니즘에 따른 주요 반응은 다음 식 (6), (7)과 같으며, 여기에서 R은 C(CH₃)₂CH₂OH이다.



아울러, NH₃는 실온에서 그리고 대기압의 습윤조건에서 CO₂와 NH₃가 반응을 하면 식 (8)과 (9)와 같이 (NH₄)₂CO₃(s)와 NH₄HCO₃(s)가 만들어진다.^{9,10)} 이 반응은 가역반응이며, 실온에서는 정반응이 지배하고 약 38~60°C 사이에서는 역반응이 일어나게 된다.¹²⁾



반면에 높은 압력과 140°C 이상의 고온에서 CO₂는 NH₃와 반응을 통해 식 (10)과 같이 urea(CO(NH₂)₂)를 형성하게 된다.¹¹⁾

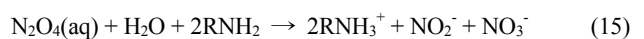


2.2. 흡수제와 NO₂간의 반응메커니즘

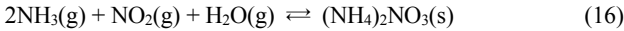
NO₂와 AMP의 반응은 물과 질산 수용액¹³⁾에서 일어나는 NO₂의 반응이 결합하여 일어난다고 가정하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.¹⁴⁾



N₂O₄에 대한 총괄 반응은 다음과 같다.



아울러, ammonia는 실온 및 대기압에서 식 (16), (17)과 같이 NO₂를 흡수한다.



3. 실험재료 및 방법

3.1. 실험재료

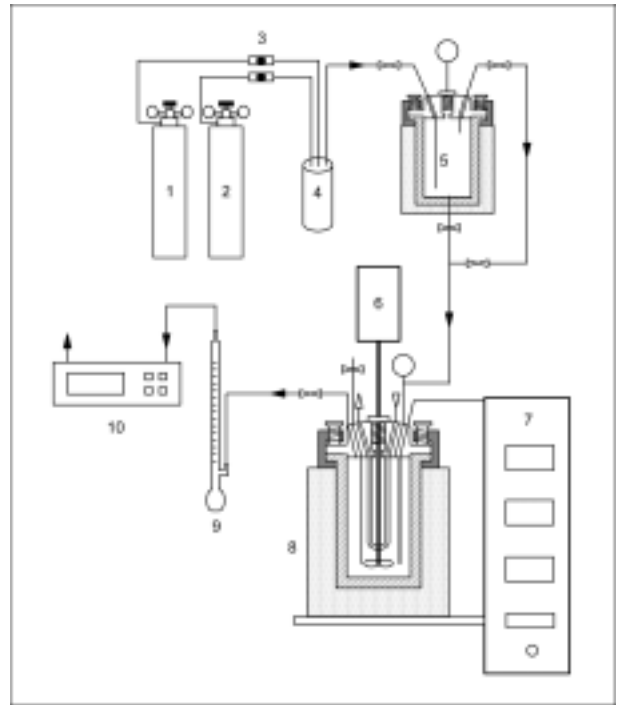
본 실험에 사용된 흡수제는 99% AMP(2-amino-2-methyl-1-propanol, Acros, USA), 28% NH₃ solution(Junsei, JPN)로 초순수 증류수를 이용하여 실험에 사용될 수용액을 제조하였으며, 기체흡수에 사용된 CO₂ 및 NO₂의 순도는 각각 99.99%, 1.01%의 기체이며 각각의 기체를 실험조건에 따라서 혼합하여 사용하였다.

3.2. 장치 및 방법

본 실험에서는 기체흡수실험을 위해 기-액 접촉교반조를 사용하여 실험을 수행하였으며, Fig. 1에 나타내었다. 흡수장치는 주입부로서 가스 실린더 및 기체의 유량을 조절하는 질량유량조절기(MFC; 5850E, Brooks Instruments, USA), 반응부로서 혼합되어 공급되는 주입가스의 온도를 유지시켜 주기 위한 공급조(saturator)와 기체가 흡수되는 교반조(reactor), 그리고 측정부로서 흡수속도를 측정하기 위한 비누막 유량계(soap bubble meter) 및 CO₂ analyzer(ZRF model, Fuji Electric, Japan, 0~20 vol.%, NDIR)로 구성되어 있다.

교반조의 크기는 부피 1,134 cm³(내경 9.5 cm, 높이 16 cm)의 원통형으로 316 SUS으로 제작하였으며, 중앙에는 내부를 확인할 수 있도록 파이렉스로 제작하였다. 본 교반조는 electric band heater를 이용하여 온도를 조절하고, K-type thermocouple(오차 : ±0.1 K)에 의해 측정하였으며, 직류모터를 통하여 교반할 수 있도록 하였다. 한편, 모든 조절은 제어판에서 조절할 수 있도록 일체형으로 제작하였다(RM-8400, Hanwoul Eng. Inc., Korea). 기-액 접촉교반조 내벽에는 폭이 5 mm인 유리판 2개를 일정간격으로 부착시켜 방해판(baffle) 역할을 할 수 있도록 하였고, 316 SUS로 제작한 임펠라(70 mm×20 mm)는 흡수액을 넣은 후 액수면과 바닥사이의 1/2 위치에 설치하였다.

먼저 교반조의 electric band heater를 이용하여 희망하는 온도로 조정하였다. 기체 흡수장치의 온도가 주어진 온도로 일정해진 후, 가스유량조절기를 이용하여 실험하고자 하는 가스분압으로 교반조에 일정하게 공급하였으며 깔때기를 사용하여 흡수용액을 교반조 내부로 주입함과 동시에 교반기를 회전시켰다. 이때 교반속도는 기-액 접촉면이 깨지지 않는 50 rpm에서 기체상과 액상을 접촉시켰으며, 기-액 접촉면적은 주입된 액체의 부피와 액체의 높이를 측정하여 구하였고 그 값은 70.88 cm²이었다.



1. N₂ cylinder 6. Magnetic drive
 2. CO₂ and NO₂ cylinder 7. Controller of temperature and stirrer speed
 3. Mass flow controller 8. Reactor (Agitated vessel)
 4. Mixing chamber 9. Soap film flow meter
 5. Saturator 10. Analyzer

Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus for measurement of absorption rate.

한편, 흡수되는 가스의 양을 계산하기 위해 교반기 배출구에 설치된 비누막 유량계 및 CO₂ Analyzer를 통해 가스의 유량을 시간변화에 따라 측정하여 이로부터 액상에 흡수된 가스의 양을 구하였으며, 흡수속도(N_A)는 초기의 반응기로 들어가는 가스의 유량에서 반응기 안에서 흡수되고 나오는 유량의 차이로부터 흡수된 가스의 양을 구하여 반응기의 기액계면의 단위 면적당 흡수된 몰수로 환산하여 구하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1. AMP+NH₃ 수용액의 CO₂ 흡수속도

수용액 농도에 따른 CO₂의 흡수속도(N_{CO₂})를 비교하기 위하여 CO₂ 분압 15 kPa과 온도(293, 303, 313 K) 및 수용액 농도(30 wt.% AMP에 1, 3, 5 wt.% NH₃ 첨가) 변화에 따른 흡수속도를 측정하여 Fig. 2에 나타내었다. 여기서, 모든 실험은 기-액 접촉계면에서의 기상저항을 무시하고, 기-액접촉계면을 평형하게 유지하기 위하여 교반속도를 50 rpm으로 유지하였다. 실험결과 및 고찰에서 C_B는 AMP에 첨가된 NH₃의 농도변화를 포함한 흡수제 전체의 농도를 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 온도의 증가에 따라 기-액계면에서의 확산 및 충돌이 증가하는 것에 기인하여 흡수속도

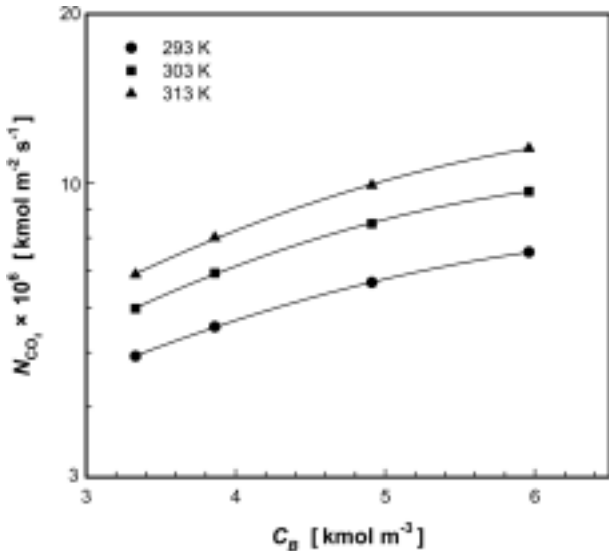


Fig. 2. The absorption rate of CO₂ into aqueous 30 wt.% AMP+NH₃ solution as a function of C_B at different temperatures.

는 293 K에서 303 K로 17.7~22.0%, 303 K에서 313 K로 13.0~16.1% 증가하였다. 아울러, 30 wt.% AMP에 NH₃ 첨가에 따른 흡수속도 역시 기-액계면에서의 농도구배 증가에 따라 대표적으로 303 K에서 CO₂ 흡수속도는 AMP 단일흡수체에 비해 15.6~61.6% 증가하였다. 특히, NH₃ 첨가에 따라 CO₂에 대한 높은 부하능 및 빠른 반응에 기인한 식 (8), (9)의 추가반응으로 인하여 CO₂ 흡수속도가 증가한 것으로 판단된다. 한편, 화학반응을 수반하여 고온에서 더 높은 반응속도를 가지나 고온에서는 상대적으로 낮은 흡수능을 가지므로 CO₂ 흡수속도에서와 같이 실제 배가스에서 CO₂와 NO₂ 동시 흡수를 위한 최적 조건 실험을 수행하여 얻은 흡수능과의 비교·분석이 필요하다.

4.2. AMP+NH₃ 수용액의 NO₂ 흡수속도

수용액 농도에 따른 NO₂의 흡수속도(N_{NO₂})를 비교하기 위하여 NO₂ 분압 1 kPa과 온도(293, 303, 313 K) 및 수용액 농도(30 wt.% AMP에 1, 3, 5 wt.% NH₃ 첨가) 변화에 따른 흡수속도를 측정하여 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 CO₂에 대한 결과와 마찬가지로 전체적으로 온도의 증가에 따라 화학흡수의 특성상 흡수속도는 293 K에서 303 K로 12.0~19.1%, 303 K에서 313 K로 19.3~26.7% 증가하였다. 또한, NH₃ 첨가에 따라 식 (16) 및 (17)에 나타낸 바와 같이 NO₂에 대한 추가반응에 기인하여 NH₃ 첨가 농도의 증가에 따라 NO₂ 흡수속도는 증가하였다. 대표적으로 303 K에서 30 wt.% AMP 흡수속도는 0.1785×10⁶ kmol m⁻² s⁻¹이지만, NH₃ 첨가에 따라 0.1914~0.2479×10⁶ kmol m⁻² s⁻¹로 NH₃의 NO₂에 대한 추가반응에 기인한 식 (16), (17)의 반응으로 인하여 30 wt.% AMP에 비해 37.9~52.2% 증가하였다. 한편, AMP 수용액 농도에 따른 영향과 마찬가지로 각각의 온도에서 NO₂ 흡수속도는

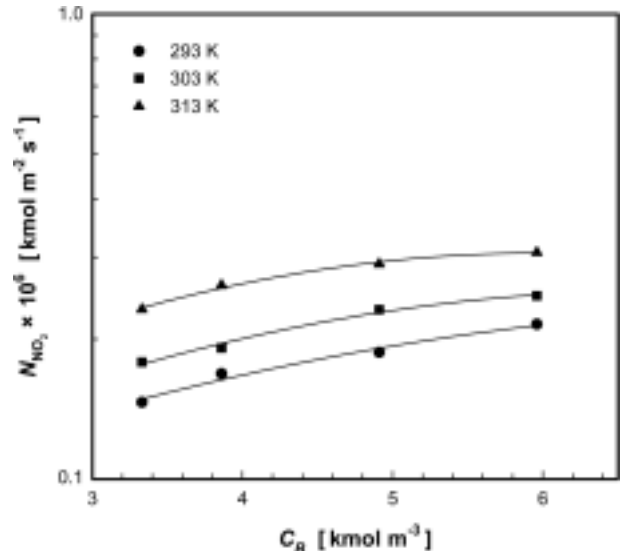


Fig. 3. The absorption rate of NO₂ into aqueous 30 wt.% AMP+NH₃ solution as a function of C_B at different temperatures.

증가하는 경향을 보였으며, 30 wt.% AMP 단일 수용액에 NH₃를 첨가함에 따라 비교적 낮은 온도보다 높은 온도에서의 증가율이 작았다.

4.3. AMP+NH₃ 수용액의 CO₂/NO₂ 동시 흡수속도

4.3.1. 수용액 농도에 따른 영향

AMP 수용액 및 AMP에 NH₃ 첨가 수용액의 2성분계(CO₂/NO₂) 동시 흡수속도(N_{total})를 살펴보기에 위하여 대표적으로 303 K 온도조건으로 NO₂ 분압 1 kPa, CO₂ 분압 15 kPa에서 10, 20, 30 wt.% AMP와 30 wt.% AMP에 NH₃ 1, 3, 5 wt.% 첨가에 따른 수용액을 이용하여 CO₂/NO₂의 흡수속도를 측정하였다. 여기서, 연소 배가스 내 성분농도 고려시 1 kPa 이내에서 변수를 고려해야 하나 이 경우 낮은 흡수율로 인한 실험오차가 크므로 제외하였다. 교반속도는 단일기체에서와 마찬가지로 기-액 접촉계면에서의 기상저항을 무시하고, 기-액접촉계면을 평형하게 유지하기 위하여 교반속도를 50 rpm으로 유지하였다.

Fig. 4는 AMP 수용액 농도에 따른 흡수속도를 나타낸 것으로 그림에서 보는 바와 같이 10~30 wt.% AMP 수용액에 대해서 CO₂/NO₂ 동시 흡수속도는 4.25~5.98×10⁻⁶ kmol m⁻² s⁻¹, CO₂ 흡수속도는 4.12~5.80×10⁻⁶ kmol m⁻² s⁻¹, NO₂ 흡수속도는 0.14~0.18×10⁻⁶ kmol m⁻² s⁻¹로 나타나 AMP 농도에 따라 증가하였다. 이는 수용액 농도 증가에 따른 기-액접촉계면에 흡수되는 NO₂의 양이 증가하여 농도구배 증가에 따라 물질전달이 촉진되는 것으로 판단되기 때문이다. Fig. 5는 30 wt.% AMP에 NH₃ 첨가(1, 3, 5 wt.%)에 따른 흡수속도를 나타낸 것으로 NH₃의 첨가에 따라 CO₂/NO₂ 동시 흡수속도는 6.92~9.67×10⁻⁶ kmol m⁻² s⁻¹로 NH₃의 CO₂ 및 NO₂에 대한 추가 반응에 기인하여 30 wt.% AMP에 비해 62.8~61.7% 증가하였다. 그리고, NO₂의 흡

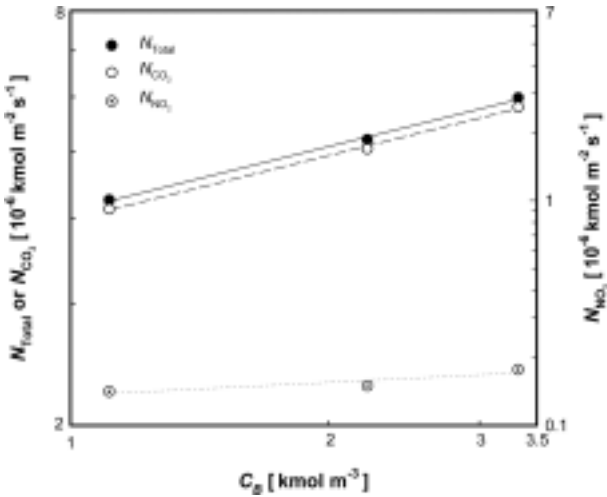


Fig. 4. The absorption rate of CO₂/NO₂ into aqueous AMP solution as a function of AMP concentration (10, 20, 30 wt.%) at $p_{CO_2}=15$ kPa, $p_{NO_2}=1$ kPa and 303 K.

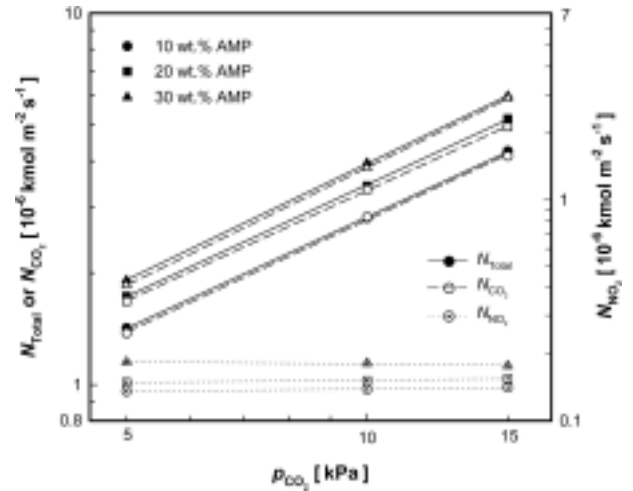


Fig. 6. The absorption rate of CO₂/NO₂ into aqueous AMP solution as a function of p_{CO_2} at different C_B (AMP concentration), $p_{NO_2}=1$ kPa and 303 K.

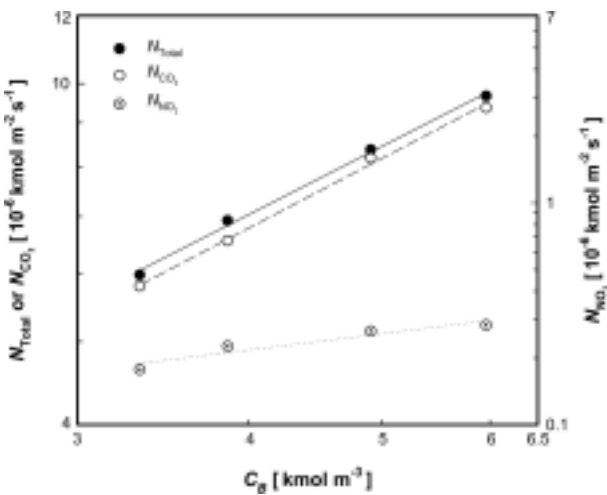


Fig. 5. The absorption rate of CO₂/NO₂ into aqueous 30 wt.% AMP+ NH₃ solution as a function of NH₃ concentration (1, 3, 5 wt.%) at $p_{CO_2}=15$ kPa, $p_{NO_2}=1$ kPa and 303 K.

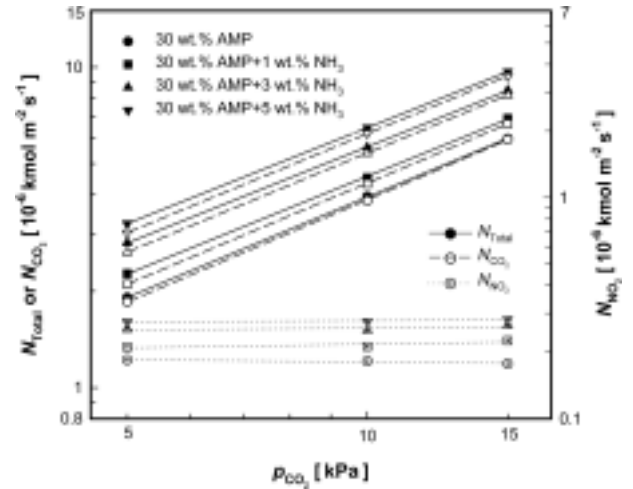


Fig. 7. The absorption rate of CO₂/NO₂ into aqueous AMP+ NH₃ solution as a function of p_{CO_2} at different C_B (NH₃ concentration), $p_{NO_2}=1$ kPa and 303 K.

수속도는 수용액 농도에 따른 증가율이 기울기로 살펴볼 때 0.76으로 CO₂의 0.84에 비해 낮았으며, 전체적으로 CO₂/NO₂ 동시 흡수속도는 농도구배 증가에 따라 증가하여 30 wt.% AMP에 3 wt.% NH₃ 첨가시 단일수용액 농도 증가에 따른 증가율 보다 크므로 NH₃ 첨가는 CO₂/NO₂ 동시 흡수속도를 증진시키는데 효과적인 것으로 판단된다.

4.3.2. CO₂ 분압에 따른 영향

AMP 및 AMP+NH₃ 수용액과 CO₂의 분압이 흡수속도에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 NO₂의 분압을 1 kPa로 고정하고, 10, 20, 30 wt.% AMP 및 30 wt.% AMP에 1, 3, 5 wt.% NH₃ 첨가 수용액에 CO₂ 분압을 5, 10, 15 kPa로 변화한 실험조건에서 CO₂ 분압과 수용액 농도의 변화에 따른 흡수속도를 Fig. 6~8에 나타내었다.

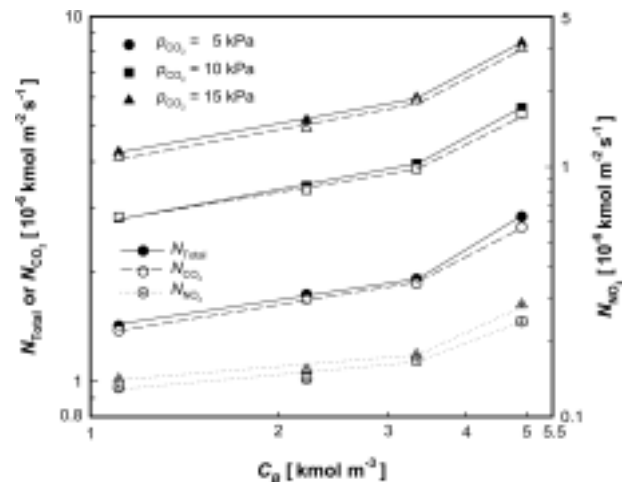


Fig. 8. The absorption rate of CO₂/NO₂ into aqueous AMP and AMP+NH₃ solutions as a function of C_B at different p_{CO_2} , $p_{NO_2}=1$ kPa and 303 K.

Fig. 6은 CO₂ 분압에 따른 흡수속도를 AMP 수용액의 농도 변수로 나타낸 것으로 그림에서 보는 바와 같이 10~30 wt.% AMP 수용액에 대해서 CO₂/NO₂ 동시 흡수속도는 5 kPa에서 $1.42 \sim 1.91 \times 10^{-6}$ kmol m⁻² s⁻¹, 15 kPa에서는 $4.25 \sim 5.98 \times 10^{-6}$ kmol m⁻² s⁻¹로 나타나 4.3.1절과 같이 AMP 농도의 증가에 따라 증가하였다. 아울러, Fig. 7은 NH₃ 첨가 농도 변수에 따라 나타낸 것으로 30 wt.% AMP에 NH₃의 1, 3, 5 wt.% 첨가에 따라 동시 흡수속도는 5 kPa CO₂에서 $2.27 \sim 3.25 \times 10^{-6}$ kmol m⁻² s⁻¹, 15 kPa CO₂에서 $6.92 \sim 9.67 \times 10^{-6}$ kmol m⁻² s⁻¹로 30 wt.% AMP에 비해 0.5~2배 증가하였다. 이는 NH₃를 첨가할 경우 식 (16), (17)의 반응에 의해 흡수제의 반응성을 증진시키기 때문으로 판단된다. 한편, Fig. 6~7에서 보는 바와 같이 CO₂ 분압에 따라 CO₂ 흡수속도는 증가하는 반면, NO₂ 흡수속도는 그 영향이 매우 미미한 것으로 나타났다. 이는 NO₂의 분압이 1 kPa로 낮고 반응성 역시 CO₂에 비해 NO₂ 가스가 매우 낮음에 따라 대부분의 AMP 및 NH₃는 CO₂와의 반응에 지배적으로 관여하기 때문으로 판단된다.

Fig. 8은 Fig. 6, 7의 결과에서 수용액 농도(10, 20, 30 wt.% AMP 및 30 wt.% AMP+3 wt.% NH₃)에 따른 흡수속도를 CO₂ 분압의 변수로 나타낸 것으로 AMP 농도 증가 및 NH₃ 첨가에 따라 흡수속도는 증가하였다. 전체적으로 CO₂/NO₂ 동시 흡수속도는 CO₂ 분압에 따라라도 농도구배 증가에 따라 증가하여 30 wt.% AMP에 3 wt.% NH₃ 첨가시 AMP 농도 증가에 따른 증가율 보다 크므로 NH₃ 첨가는 CO₂/NO₂ 동시 흡수속도를 증진시키는데 효과적인 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 화학흡수법을 이용한 연소배가스의 CO₂/NO₂를 동시 흡수/분리하기 위하여 AMP 및 NH₃를 첨가한 수용액을 이용하여 흡수제 농도, 온도 및 CO₂ 분압에 따른 CO₂/NO₂ 동시 흡수속도의 영향을 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) AMP 농도가 증가할수록 기-액 접촉계면에 흡수되는 NO₂의 양이 증가하여 농도구배 증가에 따라 물질전달이 촉진된다. 또한, 30 wt.% AMP에 1, 3, 5 wt.%의 NH₃ 첨가에 따라 흡수속도는 대표적으로 303 K, 1 kPa NO₂ 분압에서 37.9~52.2% 증가되므로 NH₃의 첨가로 반응속도를 향상시켜 공정 효율의 증가를 기대할 수 있을 것으로 예상된다.

2) 30 wt.% AMP에 3 wt.% NH₃ 첨가 수용액의 NO₂ 분압 1 kPa에서 CO₂ 분압(5~15 kPa)에 따른 CO₂/NO₂ 동시 흡수속도는 $5.50 \sim 6.40 \times 10^{-6}$ kmol m⁻² s⁻¹로 NH₃의 CO₂ 및 NO₂에 대한 높은 부하능 및 추가 반응에 기인하여 AMP 단일수용액에 비해 48.2~41.6% 증가하였다.

3) 화력발전소에서 배출되는 연소배가스 조성과 같이 CO₂

15 kPa 및 NO₂의 비교적 낮은 분압(1 kPa) 조건에서 NO₂는 AMP에 NH₃ 첨가에 따라 약 2배의 빠른 반응으로, CO₂의 흡수능에 큰 영향 없이 NO₂를 동시에 흡수할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 에너지관리공단의 에너지·자원기술개발사업(2006-C-CD11-P-03-3-010-2007) 및 2008년도 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원되었습니다.

참고 문헌

- Mandal, B. P., Guha, M., Biswas, A. K. and Bandyopadhyay, S. S., "Removal of carbon dioxide by absorption in mixed amines: modelling of absorption in aqueous MDEA/MEA and AMP/MEA solutions," *Chem. Eng. Sci.*, **56**, 6217~6224(2001).
- 오광중, 최원준, 이재정, 유정석, 조상원, 손병현, "AMP (2-amino-2-methyl-1-propanol)에 MDEA(N-methyldiethanolamine)을 첨가한 흡수제의 CO₂와 H₂S의 흡수특성," *대한환경공학회지*, **23**(8), 1337~1347(2001).
- 최원준, 이재정, 정종현, 유정석, 문길호, 오광중, "첨가제에 따른 혼합흡수제를 이용한 CO₂/H₂S의 흡수 및 재생," *대한환경공학회지*, **26**(5), 536~542(2004).
- Choi, W. J., Seo, J. B., Kim, J. W., Moon, S. J., Park, S. W., and Oh, K. J., "Removal of carbon dioxide and sulfur dioxide by absorption into aqueous AMP/AMMONIA solutions," *1st ASCON-IEEChE*, 751~754(2008).
- Oh, K. J., Kim, D. U., Shon, B. H., and Lee, J. J., "A study on the solubility of carbon dioxide in aqueous solution of 2-amino-2-methyl-1-propanol (AMP) and piperazine," *221st ACS National Meeting, Fuel Chem. Div. Prep.*, **46**, 65~66(2001).
- Choi, W. J., Cho, K. C., Lee, S. S., Shim, J. G., Hwang, H. R., Park, S. W., and Oh, K. J., "Removal of carbon dioxide by absorption into blended amines: kinetics of absorption into aqueous AMP/HMDA, AMP/MDEA, and AMP/piperazine solutions," *Green Chemistry*, **9**, 594~598(2007).
- Xu, S., Otto, F. D., and Mather, A. E., "Physical properties of aqueous AMP solutions," *J. Chem. Eng. Data*, **36**, 71~75(1991).
- Xu, S., Wang, Y. W., Otto, F. D., and Mather, A. E., "Representation of equilibrium solubility properties of CO₂ with aqueous solutions of 2-amino-2-methyl-1-propanol," *Chem. Eng. Proc.*, **31**, 7~12(1992).
- Brooks, L. A. and Audrieth, L. F., "Ammonia carbamate," *Inorg. Synth.*, **2**, 85(1946).
- Hatch, T. F. and Pigford, R. L., "Simultaneous absorp-

- tion of carbon dioxide and ammonia in water," *Ing. Eng. Chem. Funda.*, **1**(3), 209(1962).
11. IPelk, J. E., Concannon, P. J., Manley, D. B., and Poling, B. E., "Product distributions in the CO₂-NH₃-H₂O system from liquid conductivity measurements," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **31**, 2209~2215(1992).
 12. Kucheryavyi, V. I. and Gorlovskij, D. M., "Densities of coexisting phases in the equilibrium gas-liquid system NH₃-CO₂-CO-(NH₂)₂-H₂O at high temperatures and pressures," *Zh. Prikl. Khim.*, **43**, 1675~681(1970).
 13. Denbigh, K. G. and Prince, A. J., "Kinetics of nitrous gas absorption in aqueous nitric acid," *J. Am. Chem. Soc.*, **69**, 790~801(1947).
 14. Gray, P. and Yoffe, A. D., "The reactivity and structure of nitrogen dioxide," *Chem. Rev.*, **55**, 1069~1154(1955).