

AMP + AEPD와 AMP + TIPA 수용액을 이용한 이산화탄소의 흡수 및 재생

Absorption and Regeneration of Carbon Dioxide in Aqueous AMP + AEPD and AMP + TIPA Solutions

김미숙 · 최원준 · 서종범 · 조기철 · 김수곤¹⁾ · 오광중*
부산대학교 환경공학과, ¹⁾(주)큐엔솔루션
(2007년 3월 5일 접수, 2007년 8월 21일 채택)

Mi-Sook Kim, Won-Joon Choi, Jong-Beom Seo, Ki-Chul Cho,
Soo-Gon Kim¹⁾ and Kwang-Joong Oh*
Department of Environmental Engineering, Pusan National University
¹⁾*Division of Remediation Technology, QEN Solution*
(Received 5 March 2007, accepted 21 August 2007)

Abstract

Increasing emission of CO₂ significantly effects the global warming. Chemical absorption is one of separation methods of CO₂ from the industrial flue gases. In this study, the CO₂ removal efficiency as well as the CO₂ absorption amount of aqueous AMP (2-amino-2-methyl-1-propanol) solutions were measured using the continuous absorption and regeneration apparatus. We investigated the effect of aqueous AMP+AEPD(2-amino-2-ethyl-1, 3-propanediol) and AMP+TIPA (triisopropanolamine) solutions to enhance absorption characteristics of AMP. As a result of this study, the absorption amount and CO₂ removal efficiency were increased with adding TIPA into 30 wt.% AMP. The absorption amount and CO₂ removal efficiency of aqueous 30 wt.% AMP+5 wt.% TIPA solution were 1.70 kg-CO₂/kg-absorbent and 91.1%, while those of aqueous 30 wt.% AMP solution were 1.58 kg-CO₂/kg-absorbent and 89.3%. In addition, aqueous 30 wt.% AMP+5 wt.% TIPA solution used in the study revealed the high stripping efficiency, which was almost 98%, at the temperature of 110°C. Thus, the temperature of regenerator should be operated at 110°C.

Key words : CO₂, Absorption, Regeneration, AMP (2-amino-2-methyl-1-propanol), AEPD (2-amino-2-ethyl-1, 3-propanediol), TIPA (triisopropanolamine)

1. 서 론

지구온난화 문제가 심각해지면서 온실가스 방출을 억제하고자 1997년 채택된 교토의정서가 2004년 10

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)51-510-2417, E-mail : kjoh@pusan.ac.kr

월 러시아의 비준으로 2005년 2월 16일 발효되었다. 이에 따라 1차 의무이행 대상국인 일본, 캐나다, 유럽 연합(EU) 등 38개 선진국은 2008년~2012년까지 온실가스 배출량을 1990년 대비 평균 5.2%를 줄여야 하므로 각 국가별로 대책마련을 추진하고 있다(UNFCC, 1997).

우리나라의 경우 중국, 인도 등과 함께 1차 의무이행 대상국에서는 제외되었지만, 2004년 국제에너지기구(IEA)에 따르면 우리나라의 이산화탄소 배출량이 세계 9위로 총배출량의 1.79%를 차지하여 온실가스 의무감축 부담이 현실화될 가능성이 높아지고 있다. 또한, 2020년 CO₂ 배출량 전망치 대비 10%를 줄일 경우 GDP의 0.29%인 3조 9천억 원의 GDP 감소가 예상되므로 이에 대한 적극적인 대책 마련이 필요한 실정이다(조승현 등, 2003).

주요 온실가스로는 CO₂(이산화탄소), CH₄(메탄), N₂O(아산화질소), HFC(수소불화탄소), PFCs(과불화탄소), SF₆(육불화황) 등이 있으며, 지구온난화지수에서 CO₂를 1로 볼 때, CH₄는 21, N₂O는 310, HFC는 1,300, PFCs는 7,000, SF₆은 23,900으로 SF₆의 경우 온실효과를 일으키는 잠재능력이 CO₂보다 23,900배나 크다. 그러나, 온실가스 중 CO₂배출량은 2001년 현재 131,178천 TC로 그 비중은 89%를 차지하고 있으며(CDRS, 2005), 발생량에 따른 CO₂의 온실효과 기여도는 55% 이상을 차지하는 것으로 알려져 있으므로 CO₂가 지구온난화 논의의 주요 대상이 되고 있다.

배기가스로부터 CO₂를 분리·회수하는 방법 중 화학흡수법은 현재 실용화되고 단기간에 연소 배기가스에 적용시킬 수 있는 기술로 연소 배기가스에서 발생하는 CO₂의 농도와 압력이 비교적 낮기 때문에 유리한 방법으로 제시되고 있다(엄희문, 2003). 지금까지 화학흡수법에 사용된 흡수제는 알카놀아민류로써 대표적으로 MEA(monoethanolamine), DEA(diethanolamine), MDEA(N-methyldiethanolamine), AMP 등이 있으며, 이러한 단일흡수제는 흡수제의 특성상 부식 및 열화반응, 높은 재생에너지 등과 같은 문제점을 가지고 있어 최근에는 혼합흡수제의 이용 가능성이 높게 평가되고 있다(Sun *et al.*, 2005; Yeh *et al.*, 2005; 최원준 등, 2005, 2004; Rebolledo and Trejo, 2004; 심재구 등, 2003; Xiao *et al.*, 2000).

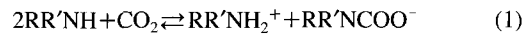
따라서, 본 연구에서는 CO₂ 제거에 주로 사용되고

있는 AMP의 성능 향상을 위해 1차 아민인 AEPD(2-amino-2-ethyl-1,3-propanediol)와 3차아민인 TIPA(triisopropanolamine)를 혼합·첨가제로 선정하여 흡수/재생 연속공정에서의 CO₂ 제거효율 및 흡수량(kg CO₂/kg absorbent)을 비교함으로써 AEPD와 TIPA의 혼합·첨가제로써의 가능성을 살펴보았다. 또한, 실 공정에서도 연속적인 사용에 적합한 흡수제를 선정하고, 기액비 및 재생온도에 따른 CO₂ 탈거효율을 조사하여 흡수제의 재생에 적합한 운전조건을 제시하고자 하였다.

2. 이 론

일반적으로 아민계 흡수제는 식(1)~(11)의 반응을 통하여 CO₂를 흡수하며, 먼저 1, 2차 아민-흡수제는 수용액으로 CO₂를 흡수할 때 대개의 반응에서 일어나는 주 반응은 아래와 같으며, 여기서 R은 alkyl이고 R'은 1차 아민에서는 H, 2차 아민에 대해서는 alkyl이다(Saha and Bandyopadhyay, 1995).

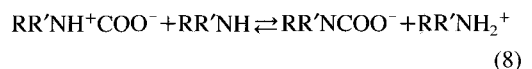
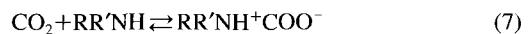
Carbamate formation:



Bicarbonate formation:



그리고, zwitterion 메커니즘이 1차와 2차 아민에 대한 carbamate 형성을 지배한다고 일반적으로 받아들여지고 있으며, 이 경우 식(7)과 같은 중간 매개체 zwitterion(RR'NH⁺COO⁻)을 형성하며, 이 메커니즘에 따라 흡수제 수용액에서 식(8)과 같은 반응이 일어나게 된다(Xiao *et al.*, 2000; Xu *et al.*, 1996).



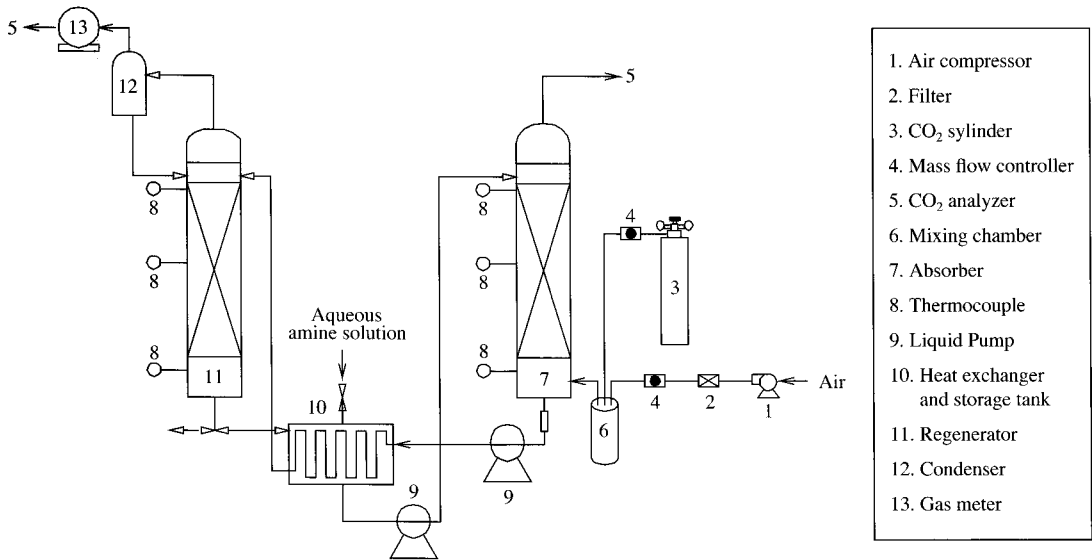
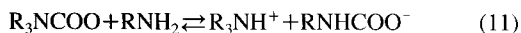
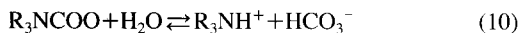


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental apparatus.

한편, 입체장애아민 (sterically hindered amine)인 AMP의 경우 1차 아민과 같은 반응 메커니즘으로 CO₂와 반응하며, AEPD 역시 AMP와 마찬가지로 입체장애아민으로 아민기가 1개인 1차 아민이므로 식(7)~(8)에 의하여 반응하여 AMP의 반응성을 증진시킬 수 있다(Park *et al.*, 2002). 또한, TIPA는 (HOC₃H₆)₃N의 구조를 갖는 3차 아민으로 TIPA와 이산화탄소의 반응 메커니즘은 아직 발표되어 있지 않지만, 3차 아민으로 잘 알려진 MDEA의 이산화탄소 흡수반응 메커니즘과 동일할 것으로 가정할 수 있다(Chauhan *et al.*, 2003). MDEA의 반응 메커니즘을 살펴보면 식(9)와 같이 CO₂와 반응하여 중간생성물 R₃NCOO를 생성하며, 이는 식(10)과 같은 가수분해반응을 통해 평형에 도달한다(Yu *et al.*, 1985). 또한, MDEA는 AMP 수용액에서 CO₂와 반응하여 식(11)에 의해 가역반응을 할 수 있으므로 AMP의 반응성을 증진시킬 수 있다.



3. 실험

본 실험에서 제작된 흡수 및 재생장치를 그림 1에 나타내었으며, 그림에서 보는 바와 같이 실험장치는 흡수탑, 재생탑, 가스분석기 등으로 구성된다. 흡수탑 및 재생탑은 각각 높이(H) 900 mm, 직경(D) 50.8 mm 및 높이(H) 800 mm, 직경(D) 50.8 mm로 제작하였으며, 탑내부에는 액/가스의 접촉을 높이기 위해 충전물(1/4 in, raschig ring)을 넣었고 재질은 모두 스테인리스(SUS 316)를 사용하였다. 그리고 흡수 및 재생탑에는 heating tape를 부착하여 전압조절장치를 이용하여 가열하였으며, 온도지시계를 설치하여 온도를 확인하였다. 한편, 흡수 및 재생탑에서 배출되는 가스는 CO₂ 분석기로 분석하였다.

본 실험에서는 Acros Organics(USA)의 99% AMP, Tokyo Kasei(JPN)의 98% AEPD, 그리고, Tokyo Kasei(JPN)의 98% TIPA를 사용하여 대상 흡수액을 조제하였다. 여기서, 첨가 및 혼합에 대한 흡수제 농도는 흡수능, 흡수속도 및 열화를 고려한 선행연구 및 문헌에 의해 선정하였다(최원준, 2004; Mandal *et al.*, 2004). 흡수액이 준비되면 저장조에 주입하고 펌프(AX1-12-PEC-Z, Cheonsei Co. Ltd., KOR)를 이용하

여 흡수탑 및 재생탑으로 연속적으로 순환시키면서 실험온도를 각각 40°C, 110°C로 승온시켜 유지하였고, 수분응축기에 냉각수를 공급하여 흡수액의 손실을 방지하였다.

이와 같은 준비가 완료된 후에 CO₂의 유량은 질량유량조절기(5850E, BROOKS Ins., USA)를 이용하여, 압축기로부터 공급되는 공기는 유량계를 이용하여 유량을 조절한 다음 혼합조를 통해 혼합시켜 공급하였으며, CO₂의 농도를 석탄 화력발전소 배기가스 조성과 유사한 모사가스(12%)로 유지하였다.

흡수/재생 연속공정은 500 mL의 한정된 흡수액과 대상가스를 반응시켰으며, 이때 흡수탑을 통해 배출되는 CO₂는 NDIR (Non-Dispersive Infrared)방식의 분석기기(ZRF(1DNY1), FUJI Electric, JPN, 0~20%)를 이용하여 연속적으로 측정하였으며, 재생탑에서 탈거되는 CO₂는 NDIR방식의 분석기기(GIR5000, HITEC Ins., USA, 0~100%)를 이용하여 농도를 확인하면서 가스미터를 이용하여 측정한 후 배출되는 양을 계산하였다.

4. 결 과

4.1 AMP에 AEPD/TIPA 첨가에 따른 영향

본 실험에서는 AMP 단일흡수제의 성능 개선을 위해 첨가 대상흡수제인 AEPD와 TIPA를 30 wt.% AMP에 각각 3, 5 wt.% 첨가에 따른 흡수/재생 연속 실험을 수행하였다.

그림 2는 흡수탑 40°C, 재생탑 110°C, 가스 유량 7.5 L/min, 액체 유량 90 mL/min의 조건에서 시간에 따른 CO₂ 제거효율의 변화를 나타낸 것으로 AMP에 각 첨가제의 주입에 따라 CO₂의 제거효율은 증가하였다. 그림에서 보는 바와 같이 전체적으로 흡수/재생 연속공정이 안정화되기 전에는 CO₂ 제거효율이 점차적으로 떨어지다가 안정화되는 15분 이후부터는 재생의 영향으로 89~92%의 효율로 일정하게 유지하였으며, 80~100분 이후로는 주입된 흡수용액은 500 mL로 한정되어 순환되며, CO₂ 흡수 후 재생시 재생되지 않고 흡수용액에 녹아있는 CO₂의 양이 연속적인 흡수/재생으로 축적됨에 따라 흡수되는 CO₂ 양은 점차 적어지게 되며, 따라서 CO₂ 제거효율이 떨어지는 것으로 나타났다.

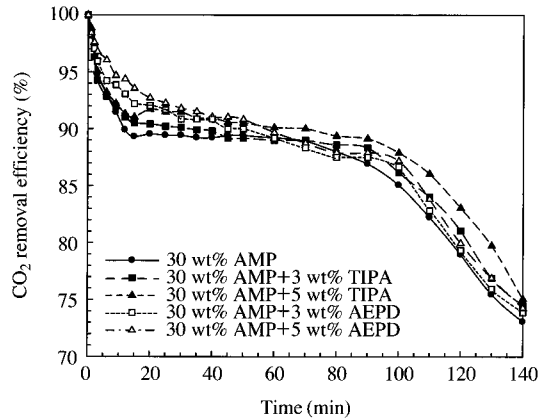


Fig. 2. Effect of operating time on CO₂ removal efficiencies by adding AEPD or TIPA into aqueous AMP solution.

한편, TIPA를 첨가한 경우 50분까지는 AMP 단일 흡수제에 비해 1~2% 미만의 차이로 비슷한 경향을 보이지만 그 이후로는 제거효율의 감소폭이 작으며, 비교적 큰 폭으로 감소하는 지점이 AMP 단일흡수제의 경우 70분인 반면에 TIPA를 첨가할 경우 90분이 경과되었을 때 나타났다. 이는 TIPA는 3차 아민으로 CO₂와의 반응이 비교적 느리고 반응성이 낮기 때문에 흡수탑에서 반응 초기에는 주 흡수제인 AMP의 반응이 전체반응을 지배하지만 시간이 경과될수록 TIPA의 영향에 따라 제거효율이 증가되는 것으로 판단되며(Daneshvar *et al.*, 2004; Chauhan *et al.*, 2003), 식(10)~(11)에서 TIPA의 가수분해반응과 AMP와의 추가적인 가역반응으로 AMP 단일흡수제에 비하여 장시간 동안 높은 CO₂ 제거효율을 유지하는 것으로 판단된다.

또한, AEPD의 경우 AMP와 같이 입체장애아민인 1차 아민으로 CO₂와의 반응성이 높아 반응 초기에 AMP 지배반응에 영향을 미치지 때문에 TIPA 첨가와 비교할 때 반응 초기에는 CO₂ 제거효율이 높으나, 60분 경과 후에는 제거효율의 감소폭이 증가하는 경향을 보이고 있어 흡수탑을 장시간 운전할 경우 CO₂의 안정적 분리에는 다소 미흡한 것으로 판단된다.

그림 3은 AMP 단일흡수제에 AEPD 및 TIPA 첨가에 따른 성능 향상을 상대적으로 비교하기 위하여 그림 2의 실험결과에서 시간에 따라 높은 CO₂ 제거효율이 2% 내로 일정하게 유지하는 구간의 결과 값

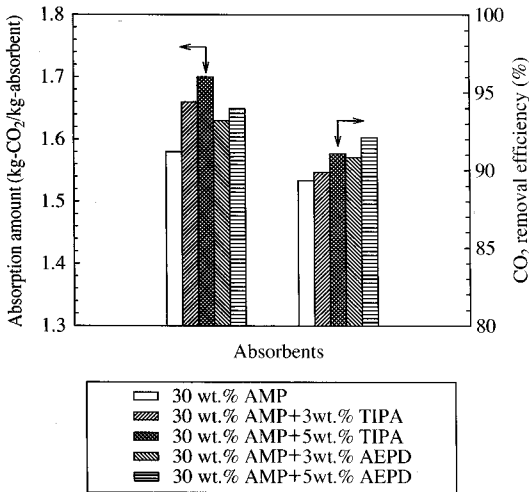


Fig. 3. Adding effects of AEPD or TIPA into aqueous AMP solution on CO₂ absorption amount and CO₂ removal efficiencies.

을 이용하여 CO₂ 흡수량과 CO₂ 제거효율을 산정하여 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 TIPA와 AEPD 첨가에 따라 AMP 단일흡수체에 비하여 CO₂ 흡수량과 제거효율이 증가함을 알 수 있으며, TIPA 3, 5 wt.% 첨가시 흡수량은 1.66, 1.70 kg-CO₂/kg-absorbent, 제거효율은 89.9, 91.1%로 AMP 단일흡수체의 1.58 kg-CO₂/kg-absorbent, 89.3%에 비해서 흡수량은 5.1~7.6%, 제거효율은 0.7~2.0% 증가하였다. 아울러, AEPD 3, 5 wt.% 첨가시 흡수량은 1.63, 1.65 kg-CO₂/kg-absorbent, 제거효율은 90.8, 92.1%로 AMP 단일흡수체에 비해서 흡수량은 3.2~4.4%, 제거효율은 1.0~3.1% 증가한 것으로 나타났다.

한편, AEPD는 그림 2에서 전술한 바와 같이 반응성이 높아 반응 초기에 AMP 지배반응에 영향을 미치므로 TIPA에 비하여 CO₂ 제거효율이 높으나 흡수량은 장시간 동안 높은 제거율을 유지하는 TIPA가 높은 것으로 판단되며, 첨가제로써 AEPD와 TIPA의 비교시 CO₂ 흡수량이 높은 TIPA가 연속공정에서의 장시간 운전에 유리할 것으로 판단된다.

4. 2 AMP에 TIPA 혼합에 따른 영향

본 절에서는 4.1절에서 연속공정에서 장시간 운전에 유리할 것으로 판단된 TIPA를 AMP와 혼합하였을 때의 영향을 살펴보기 위하여 AMP/TIPA 혼합비

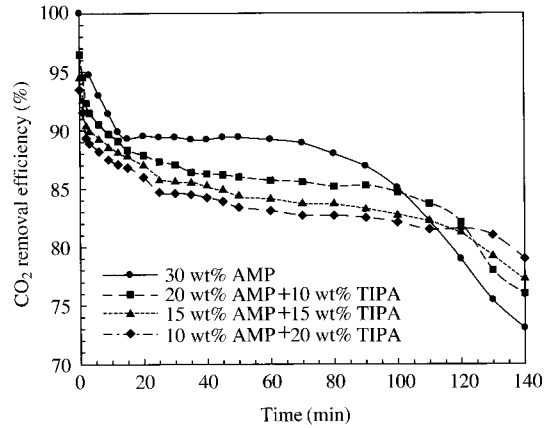


Fig. 4. Effect of operating time on CO₂ removal efficiencies of aqueous blended AMP+TIPA solutions.

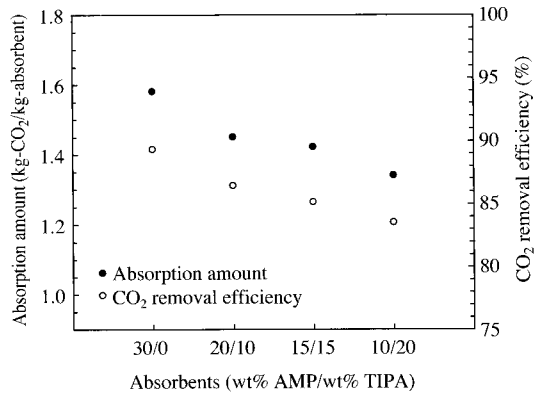


Fig. 5. Effect of CO₂ absorption amount and CO₂ removal efficiencies of aqueous blended AMP+TIPA solutions.

율(wt.% AMP/wt.% TIPA)을 20/10, 15/15, 10/20으로 하여 흡수탑 40°C, 재생탑 110°C, 가스 유량 7.5 L/min, 액체 유량 90 mL/min의 조건에서 실험을 수행하였다.

그림 4는 흡수제 혼합비율별 시간에 따른 CO₂ 제거효율의 변화를 나타낸 것으로 그림에서 보는 바와 같이 TIPA의 혼합비율이 증가함에 따라 CO₂ 제거효율은 감소하였다. 이러한 결과는 4.1절에서 전술한 바와 같이 TIPA는 AMP보다 상대적으로 CO₂에 대한 반응속도가 매우 느리고, 반응성이 낮으므로 TIPA가 과량 존재할 때는 AMP와 TIPA의 상호반응성에 의

한 CO₂ 제거율 증진보다는 TIPA의 반응성에 지배되어 혼합용액의 CO₂ 제거율이 낮은 것으로 판단된다.

그림 5는 AMP 단일흡수제에 TIPA 혼합에 따른 영향을 상대적으로 비교하기 위하여 그림 4의 실험 결과에서 시간에 따라 높은 CO₂ 제거효율이 2% 내로 일정하게 유지하는 구간의 결과 값을 이용하여 CO₂ 흡수량과 CO₂ 제거효율을 산정하여 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 TIPA 혼합에 따라 AMP 단일흡수제에 비하여 CO₂ 흡수량과 제거효율이 감소함을 알 수 있으며, 혼합비율(wt.% AMP/wt.% TIPA: 20/10, 15/15, 10/20)에 따라 흡수량은 각각 1.45, 1.42, 1.34 kg-CO₂/kg-absorbent, 제거효율은 각각 86.4, 85.1, 83.5%로 AMP 단일흡수제의 1.58 kg-CO₂/kg-absorbent, 89.3%에 비해서 흡수량은 8.2~15.2%, 제거효율은 3.2~6.5% 감소하였다.

이러한 결과로 AMP에 TIPA를 혼합한 흡수제는 단일 흡수제 AMP의 반응성을 향상시키지 못하며, 따라서 AMP에 TIPA를 혼합비의 개념보다는 첨가비의 개념으로서의 흡수제로 사용하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

4.3 가스유량에 따른 영향

그림 6은 4.1절에서 AMP의 성능 향상을 위한 첨가제로써 효과적이라고 제시된 TIPA 첨가에 대해서 가스유량에 따른 CO₂ 제거효율을 살펴보았다. 본 실험은 흡수제의 연속 사용시 CO₂ 제거효율 저하를 살펴보기 위해 재생탑을 가동하지 않는 상태에서 흡수탑(40°C)에서의 제거효율을 비교하였으며, 가스 유량을 5, 7.5, 10, 12.5, 15 L/min (체류시간: 21.9, 14.6, 10.9, 8.8, 7.3 sec)으로 변화시키고, 액량은 90 mL/min으로 고정하였다.

그림에서 보는 바와 같이 TIPA를 첨가함에 따라 낮은 유량에서 흡수탑에서의 CO₂ 제거효율은 증가하였으나, 가스 유량이 12.5 L/min의 비교적 높은 유량에서는 AMP 단일흡수제와 유사한 것으로 나타났다. 이는 TIPA와 CO₂의 반응이 매우 느린 것에 기인한 것으로 가스 유량이 12.5 L/min 이상에서는 CO₂와의 반응시간이 매우 짧기 때문으로 판단된다.

그리고, 가스 유량이 5 L/min 이하에서는 모든 흡수제에서 96% 이상의 높은 CO₂ 제거효율을 얻을 수 있었으나 가스의 유량이 증가함에 따라 CO₂ 제거효율은 급격히 감소함을 알 수 있다. 이는 가스 유량이

클수록 상대적으로 높은 CO₂ 부하량에 도달하기 때문에 실 공정에서의 적용시 높은 CO₂ 제거효율을 얻기 위해서는 가스 유량에 따라 적절한 액/기비 조절이 필요하다. 한편, 본 lab-scale에서는 액량 90 mL/min 일 때 가스 유량이 7.5 L/min 이상에서는 CO₂ 제거효율이 크게 감소하기 시작하며, TIPA 첨가에 따른 AMP의 CO₂ 제거효율 향상도 매우 낮으므로 가스 유량을 7.5 L/min 이하로 유지하는 것이 적절하다.

4.4 재생탑 온도에 따른 영향

재생에 따른 영향을 살펴보기 위하여 흡수탑온도

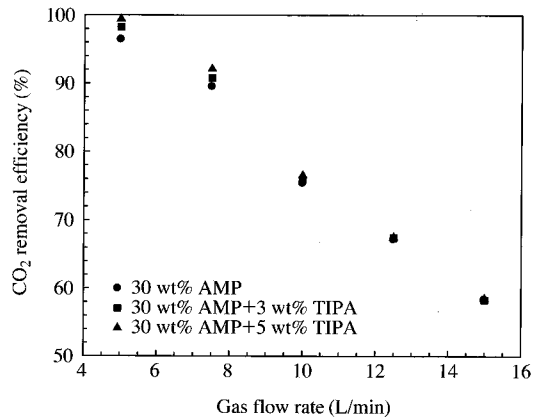


Fig. 6. Effect of gas flow rate on CO₂ removal efficiencies with adding TIPA into aqueous AMP solution.

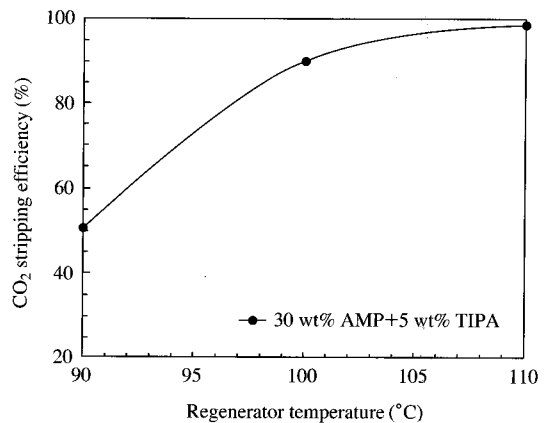


Fig. 7. Effect of regenerator temperature on CO₂ stripping efficiencies using aqueous 30 wt% AMP+5 wt% TIPA solution.

40°C, 가스유량 7.5 L/min, 액순환량 90 mL/min, CO₂ 주입 농도 12 vol.%에서 재생온도를 90, 100, 110°C로 변화시키면서 실험을 수행하였다. 그림 7은 재생 온도에 따른 탈거효율을 나타낸 것으로, 탈거효율은 재생탑에서 배출되는 CO₂의 양을 흡수탑에서 흡수된 CO₂ 양과의 비로써 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 30 wt.% AMP+5 wt.% TIPA의 CO₂ 탈거효율은 90°C에서 50.8%를 보이다가 온도 증가에 따라 급격히 증가하여 100에서 90.1%, 110°C에서는 98.7%로 높은 탈거효율을 나타내었다. 이는 재생탑 온도의 증가에 따라 반응식(1)과 (11)에서의 가역반응속도도 증가하여 CO₂의 탈거를 증가시키게 되며(Rebolledo-Libreros and Trejo, 2004), CO₂를 탈거한 흡수용액이 흡수탑에서 CO₂를 재흡수하는 양이 증가함에 따라 재생효율이 증가하는 것으로 판단된다. AMP에 TIPA를 첨가한 흡수제의 경우 AMP 단일 흡수제와 비교하여 낮은 온도에서는 탈거효율이 떨어지지만 110°C에서는 98% 이상의 높은 탈거효율을 나타내므로 실 공정에서도 연속적인 사용이 가능할 것으로 판단된다.

5. 결 론

실험실 규모의 흡수 및 재생탑에서 기존의 단일 흡수제 AMP와 AMP에 AEPD 및 TIPA를 첨가한 혼합흡수제를 이용하여 CO₂ 제거 특성을 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, AMP에 AEPD 및 TIPA를 첨가하여 CO₂ 제거효율을 살펴본 결과, AEPD는 1차 아민으로 CO₂와의 반응성이 높아 초기에는 TIPA 첨가시 보다 높은 CO₂ 제거효율을 유지하나, 시간이 지나 60분 경과 후에는 반응성이 낮은 TIPA 첨가시의 제거효율이 더 높은 것으로 나타났다. 아울러, 높은 CO₂ 제거효율을 유지하는 운전시간 동안의 CO₂ 흡수량을 비교한 결과, TIPA 3, 5 wt.% 첨가시는 1.66, 1.70 kg-CO₂/kg-absorbent로 AEPD 첨가시 1.63, 1.65 kg-CO₂/kg-absorbent 보다 높았다. 따라서, 두 흡수제 중 흡수/재생 연속공정에서 장시간 안정적으로 AMP의 성능을 향상시킬 수 있는 첨가제는 TIPA인 것으로 판단된다.

둘째, 연속공정에서 장시간 운전에 유리할 것으로

판단된 TIPA를 AMP와 혼합하였을 때의 영향을 살펴본 결과, TIPA 혼합에 따라 AMP 단일흡수제에 비하여 CO₂ 흡수량은 8.2~15.2%, 제거효율은 3.2~6.5% 감소하였다. 따라서, AMP에 TIPA를 혼합한 흡수제는 단일 흡수제 AMP의 반응성을 향상시키지 못하므로 혼합비의 개념보다는 첨가비의 개념으로서의 흡수제로 사용하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

셋째, 가스 유량에 따른 영향을 살펴본 결과, TIPA는 CO₂의 반응이 느리므로 가스 유량이 12.5 L/min 이상에서는 CO₂와의 반응시간이 짧아 AMP의 CO₂ 제거효율 향상이 매우 낮으므로 가스 유량을 7.5 L/min 이하로 유지하는 것이 적절하다. 또한, 재생탑의 온도 변화(90~110°C)에 따른 CO₂ 탈거효율을 살펴본 결과, 30 wt.% AMP+5 wt.% TIPA 수용액은 110°C에서는 98% 이상의 높은 탈거효율을 나타내므로 실 공정에서도 연속적인 사용이 가능할 것으로 판단되며, 재생탑 조작온도는 110°C로 유지하는 것이 필요하다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

- 심재구, 김준한, 장정룡, 엄희문(2003) Pilot Plant를 이용한 화력발전소 배기가스 중 CO₂와 MEA의 흡수특성, 대한환경공학회지, 25(12), 1557-1563.
- 엄희문(2003) 화력발전소에서 CO₂의 분리회수 및 전환기술의 Demo Plant 적용연구, 산업자원부, 41 pp.
- 조승현, 김석철, Dellink Rob, 장현정, 전해원(2003) 기후변화 영향분석모델: 환경편익을 고려한 온실가스 저감에 따른 경제성 분석, 한국환경정책·평가연구원, 134 pp.
- 최원준, 이재정, 정종현, 유정석, 문길호, 오광중(2004) 첨가제에 따른 혼합흡수제를 이용한 CO₂/H₂S의 흡수 및 재생, 대한환경공학회지, 26(5), 536-542.
- 최원준, 조기철, 오광중(2005) 흡수/재생 연속공정에서 AMP+HMDA를 이용한 이산화탄소의 제거, 한국대기

- 환경학회지, 21(5), 507-513.
- CDRS (2005) 더워지는 지구 그 원인과 대책, 이산화탄소저감 및 처리기술개발사업단.
- Chauhan, R.K., S.J. Yoon, H. Lee, J.H. Yoon, J.G. Shim, G.C. Song, and H.M. Eum (2003) Solubilities of carbon dioxide in aqueous solutions of triisopropanolamine, *Fluid Phase Equilibria*, 208, 239-245.
- Daneshvar, N., M.T. Zaafarani Moattar, M. Abedinzadegan Abdi, and S. Aber (2004) Carbon dioxide equilibrium absorption in the multi-component systems of CO₂+TIPA+MEA+H₂O, CO₂+TIPA+Pz+H₂O and CO₂+TIPA+H₂O at low CO₂ partial pressures: experimental solubility data, corrosion study and modeling with artificial neural network, *Separation and Purification Technology*, 37, 135-147.
- Mandal, B.P., M. Kundu, N.U. Padhiyar, and S.S. Bandyopadhyay (2004) Physical solubility and diffusivity of N₂O and CO₂ into aqueous solutions of (2-amino-2-methyl-1-propanol+diethanolamine) and (N-methyldiethanolamine+diethanolamine), *J. Chem. Eng. Data*, 49, 264-270.
- Park, J.Y., S.J. Yoon, H. Lee, J.H. Yoon, J.G. Shim, J.K. Lee, B.Y. Min, H.M. Eum, and M.C. Kang (2002) Solubility of carbon dioxide in aqueous solutions of 2-amino-2-ethyl-1, 3-propanediol, *Fluid Phase Equilibria*, 202, 359-366.
- Rebolledo-Libreros, M.E. and A. Trejo (2004) Gas solubility of CO₂ in aqueous solutions of N-methyldiethanolamine and diethanolamine with 2-amino-2-methyl-1-propanol, *Fluid Phase Equilibria*, 218, 261-267.
- Saha, A.K. and S.S. Bandyopadhyay (1995) Kinetics of absorption of CO₂ into aqueous solutions of 2-amino-2-methyl-1-propanol, *Chem. Eng. Sci.*, 50(22), 3587-3598.
- Sun, W.C., C.B. Yong, and M.H. Li (2005) Kinetics of the absorption carbon dioxide into mixed aqueous solutions of 2-amino-2-methyl-1-propanol and piperazine, *Chem. Eng. Sci.*, 60, 503-516.
- UNFCCC (1997) Kyoto protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, FCCC/CP/1997/L.7/Add.1, Bonn.
- Xiao, J., C.W. Li, and M.H. Li (2000) Kinetics of absorption of carbon dioxide into aqueous solutions of 2-amino-2-methyl-1-propanol+monoethanolamine, *Chem. Eng. Sci.*, 55, 161-175.
- Xu, S., Y.W. Wang, F.D. Otto, and A.E. Mather (1996) Kinetics of the reaction of carbon dioxide with 2-amino-2-methyl-1-propanol solutions, *Chem. Eng. Sci.*, 51(6), 841-850.
- Yeh, J.T., K.P. Resnik, K. Rygle, and H.W. Pennline (2005) Semi-batch absorption and regeneration studies for CO₂ capture by aqueous ammonia, *Fuel Process. Tech.*, 86, 1533-1546.
- Yu, W.C., G. Astarita, and D.W. Savage (1985) Kinetics of carbon dioxide absorption in solutions of methyl-diethanolamine, *Chem. Eng. Sci.*, 40(8), 1585-1590.