

2 톤/일 아민용액을 이용한 CO₂ 흡수 플랜트에 대한 공정 모사 및 최적화 연구

강민철, 김형택, 김수현*

아주대학교 에너지학과, *고등기술연구원(플랜트 엔지니어링 센터)

SIMULATION AND OPTIMIZATION STUDY OF 2 TPD CO₂ ABSORPTION FACILITY USING AMINE SOLUTION

Min-Cheol Kang, Hyung-Taek Kim and Su-Hyun Kim *

Dept. of Energy Studies, Ajou University Plant Engineering, *Center of Institute for Advanced Engineering

1. 서론

온실가스로 작용하는 기체는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 산화질소(N₂O), 프레온가스(CFCs) 등인데, 이중 온실효과에 대한 기여도가 가장 큰 이산화탄소의 2000 년 배출량은 전체 온실가스의 약 86% 정도를 차지하고 있으며, 특히 에너지 부문에서 1990 년 이래로 연평균 5.9%의 배출 증가세를 나타내고 있고 배출비중은 89% 수준을 유지하고 있다. 또한 최근에 러시아의 비준으로 교토의정서가 내년초부터 효력이 발휘하게 됨에 따라 에너지 부문에서의 지구온난화 방지대책 마련이 시급하다.

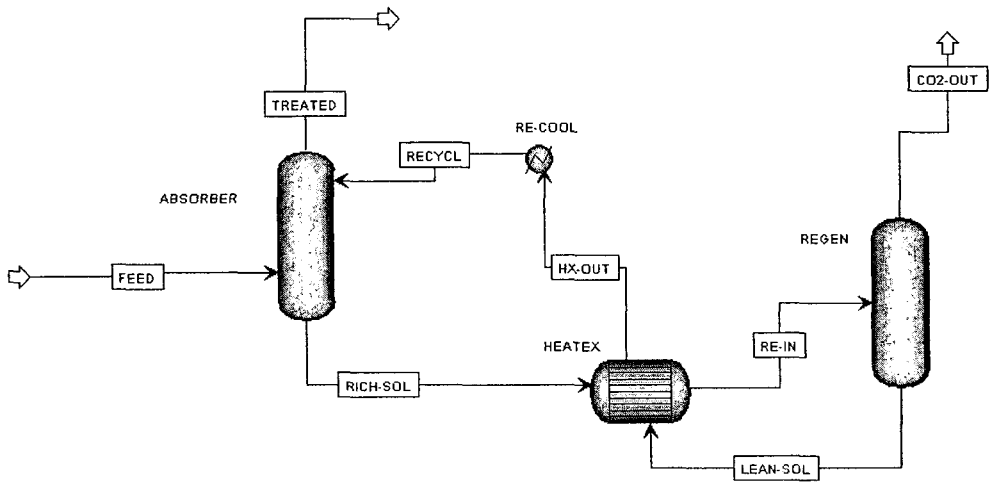
이산화탄소 저감방법의 하나인 분리기술은 흡수법, 흡착법, 막분리법 등이 있으며, 화력발전소와 같이 배기가스 중 함유된 이산화탄소의 농도가 비교적 낮은(약 10% 내외) 조건에 적합한 기술은 흡수분리법이다.

본 연구에서는 상용 프로그램인 ASPEN Plus 를 사용하여 화력발전소에 설치된 2 ton-CO₂/day 용량의 흡수분리공정의 설계 및 운전 변수를 이용하여 이산화탄소 흡수공정을 모사하였으며, 공정모사 과정에서 배가스 유량, 배가스 온도, 흡수제 유량, 흡수제 온도, 흡수제 농도 변화에 따른 민감도 분석을 통하여 에너지 사용을 최소화하면서 90%이상 이산화탄소 회수율을 확보할 수 있는 최적화된 운전조건을 제시하였다.

2. 공정해석 및 시뮬레이션

K 사의 Power Plant 에 설치되어 있는 이산화탄소 흡수분리 Pilot Plant 는 하루에 2 ton 의 CO₂ 를 처리할 수 있는 용량으로 흡수제는 MEA 15wt%을 사용하고 있으며, 배가스 유량은 설계값 574 Nm³/hr, 흡수제 유량은 설계값 3.0 m³/hr 이다. 배출가스의 조성은 CO₂=8.3%, N₂=71.1%, H₂O=18.3%, O₂=2.3%이다.

[그림 1]에 ASPEN Plus 을 이용하여 배출가스로부터 이산화탄소를 회수하는 흡수공정의 flow sheet 를 나타내었다.



[그림 1] 흡수공정의 flow Sheet

흡수탑(Absorber)에서 배기가스와 흡수제 수용액이 반응하여 CO₂가 흡수되고, 흡수탑을 지나 CO₂가 흡수된 MEA수용액(CO₂-Rich solution)은 열교환기(Heat Exchanger)를 거쳐 탈거탑의 상단으로 유입된다. 탑 하단의 Reboiler에서 공급하는 열에 의해 CO₂와 MEA 수용액이 분리되어 다시 흡수탑으로 재순환하는 과정을 반복한다.

흡수탑과 탈거탑 상단에는 배출되는 기체 중 MEA와 수분을 제거하기 위하여 응축기와 기-액 분리가 설치되어 있어 흡수제 용액의 손실을 최소화하였고, 탈거탑의 하단에는 Reboiler가 설치되어 있으며 탈거 과정에서 대부분의 열요구량(Heat duty)은 Reboiler에서 발생한다.

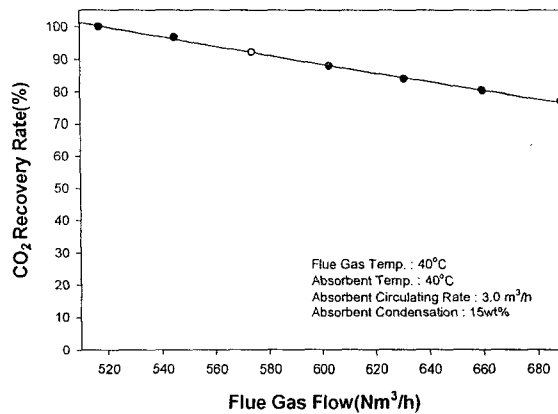
공정 모사에 있어서 열역학적 데이터는 아민, 이산화탄소, 물로 구성된 시스템 특성을 고려하여 ASPEN Plus에 내장되어 있는 Property중 AMINE Property Method를 사용하였다. AMINE property는 아민공정의 화학반응 계산에 가장 일반적으로 사용되는 Property Method로써 아민의 농도가 15wt%에서 30wt%까지 범위에서 사용할 수 있다. 흡수탑과 탈거탑 모델은 ASPEN Plus상에서 제공하는 RadFrac Column을 사용하였다. ASPEN Plus를 이용해서 공정모사를 할 때 일단 “근” 근처에서 수렴을 시키고 그 결과를 가지고 ASPEN의 반복수행법을 이용하여 “design spec.”과 “variable”을 변화시키면서 공정 모사 결과를 얻었다.

3. 결과

이산화탄소 회수율의 변화에 가장 영향을 줄 수 있는 여러 운전변수 중 배가스 유량, 배가스 온도, 흡수제 유량, 흡수제 온도, 흡수제 농도 등 5개 변수에 대해 조건 범위에 대한 민감도 분석을 수행 하였으며 결과는 다음과 같다.

3-1 배가스 유량에 대한 영향

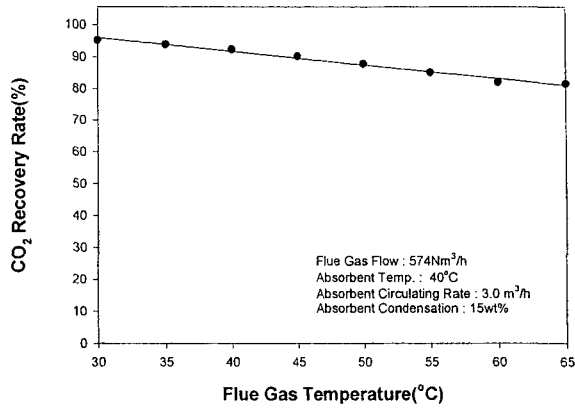
배가스 유량 574 Nm³/h를 기준 유량으로 하여 배가스 유량이 90~120%로 변화시켰을 때 이산화탄소 회수율의 변화를 살펴보았다. [그림 2]에서 보여지듯이 배가스 유량이 574 Nm³/h인 경우 이산화탄소 회수율은 90% 정도였으며, 배가스 유량이 90%로 감소할 경우 이산화탄소 회수율이 100%에 가까웠고 배가스 유량이 120%로 증가할 경우 이산화탄소 회수율이 75%로 낮아졌다.



[그림 2] 배가스 유량 변화에 이산화탄소 회수율 변화

3-2 배가스 온도에 대한 영향

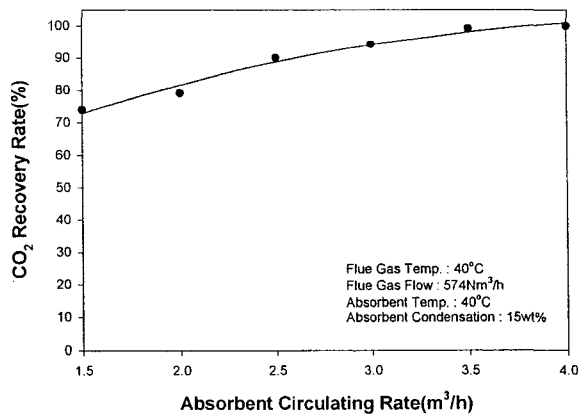
배가스 온도를 30°C~60°C까지의 범위에서 5°C씩 증가시키면서 이산화탄소 회수율을 살펴보았다. [그림 3]에서 보여지듯이 배가스 온도가 높을수록 이산화탄소 회수율이 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 MEA 와 이산화탄소의 흡수반응이 낮은 온도에서 더 활발하게 일어나기 때문이다.



[그림 3] 배가스 온도 변화에 이산화탄소 회수율 변화

3-3 흡수제 유량에 대한 영향

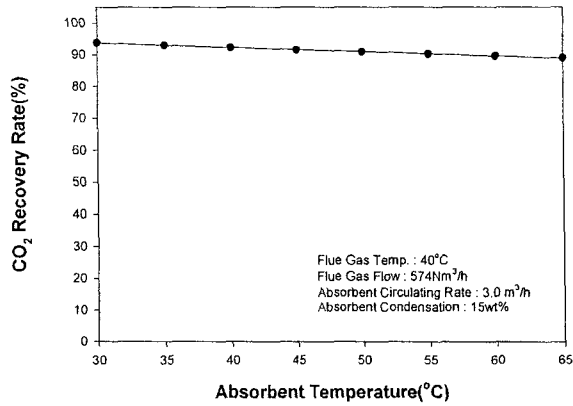
흡수제 유량을 1.5~4.0 m³/h 까지 변화시키면서 이산화탄소 회수율을 살펴보았다. [그림 4]에서 보여지듯이 흡수제 유량이 증가함에 따라 이산화탄소 회수율도 점차 증가하는 것을 알 수 있다.



[그림 4] 흡수제 유량 변화에 이산화탄소 회수율 변화

3-4 흡수제 온도에 대한 영향

흡수제 온도를 30°C~60°C까지 5°C씩 증가할 경우의 이산화탄소 회수율을 살펴보았다. [그림 5]에 보여지듯이 흡수제 온도가 높을수록 이산화탄소 회수율이 낮아지는 것을 알 수 있다

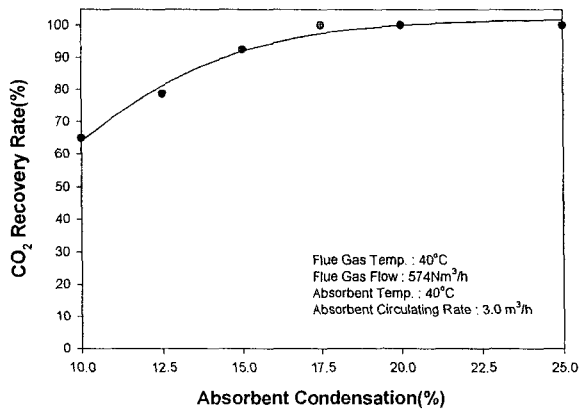


[그림 5] 흡수제 온도 변화에 이산화탄소 회수율 변화

그러나, 배가스 온도 변화에 대한 이산화탄소 회수율의 변화보다 덜 민감한 것으로 나타났다. 이는 흡수제 유량이 배기가스 유량과 비교하여 훨씬 작기 때문이다.

3-5 흡수제 농도에 대한 영향

흡수제 농도를 10wt%에서 16.5wt% 까지 변화시켜가면서 이산화탄소 회수율을 살펴보았다. [그림 6]에 보여지듯이 흡수제의 농도가 높을수록 이산화탄소 회수율이 향상되었다



[그림 6] 흡수제 농도 변화에 이산화탄소 회수율 변화

흡수제의 농도는 흡수제 순환 유량에 대한 중요한 역할을 할 뿐만 아니라 이산화탄소 회수율에도 큰 영향을 끼친다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

이 연구에서 실제 화력발전소의 배가스로부터 이산화탄소를 회수하는 흡수공정을 ASPEN Plus를 이용하여 공정모사를 수행하였다. 공정모사 결과에서 보여지듯이 배가스 유량, 배가스 온도 및 흡수제 온도가 증가함에 따라 이산화탄소 회수율은 감소하였으며, 흡수제 유량 및 농도가 증가함에 따라서는 증가하였다. 즉, 이산화탄소 회수율 90%이상 얻기 위해서는 흡수제 유량 및 농도를 크게 하고 배가스 유량, 배가스 온도 및 흡수제 온도는 작게 해야 하며, 에너지소비를 최소화하기 위해서는 흡수제 농도를 높여야 한다는 것을 알 수 있었다.

민감도 분석의 결과로서 최적화된 흡수공정의 운전조건이 도출되었다. 이것은 실제 실험에 앞서 운전자에게 공정조건에 따른 결과를 예측해 볼 수 있는 자료로 사용할 수 있다. 또한, 다른 흡수제를 적용하여 공정모사 결과로 예측할 수 있어 실제 공정에 투입하는데 따른 위험성을 최소화할 수 있을 것이다.

5. 향후 연구계획

현재 분석된 자료를 바탕으로 흡수제의 농도를 높였을 때 공정에 대한 경제성 평가가 이루어질 수 있도록 하여야 할 것이다. 그리고 이산화탄소 흡수공정의 에너지소비를 줄이기 위해 흡수제의 농도를 높게 해야 하겠지만 공정의 부식문제를 고려한다면 더 많은 연구가 필요하다.

참고문헌

1. Chris Hendriks, "Carbon Dioxide Removal from Coal-fired Power Plants", Kuwer Academic Publishers, pp. 16-49, 1994
2. Norio ArashiNaoki OdaMutsuo YamadaHiromitsu Ota, Satoshi Umeda and Motoaki Tajika, "Evaluation of test results of 1000 m³N/h pilot plant for CO₂ absorption using an amine-based solution", Energy Conversion and Management, pp. S63-S68, 1997
3. Umberto Desideri and Alberto Paolucci, "Performance modelling of a carbon dioxide removal system for power plants", Energy Conversion and Management, pp. 1899-1915, 1999
4. 화력발전소 배출 이산화탄소 분리를 위한 흡수공정 설계기술 확보 및 특성파악, 한전 전력연구원, 2003. 3