

한국에너지공학회(2004년도)

춘계 학술발표회 논문집 P131-136

각종 아민 수용액을 이용한 이산화탄소 흡수분리 공정의 에너지 소비량 비교 연구

김석, 김형택

아주대학교 에너지학과

A Study of Energy Consumption in CO₂ Absorption Process with Various Amine Solutions

Seok Kim, Hyung-Taek Kim

Dept. of Energy Studies, Ajou University

1. 서론

장기간에 걸친 지구 온난화 현상의 심화에 따라 환경문제에 대한 관심이 날로 증대하고 있는 추세이며 특히 온실가스 저감에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 온실가스 중 CFC와 이산화탄소는 온난화 현상에 미치는 영향이 상대적으로 크다고 알려져 있으며 이 중 CFC는 사용규제 및 대체물질 개발 노력으로 완전히 폐기할 예정에 있으나 발전 및 거대 규모의 화학공정에서 필연적으로 발생하는 이산화탄소의 저감은 여전히 큰 문제로 남아있으며 이를 위한 기술개발이 앞으로도 필요한 실정이다.

본 연구의 목적은 이산화탄소 화학흡수 공정에 소요되는 동력을 저감하는 방법을 공정모사를 통하여 제안하는 것이다. 이를 위하여 현재 한국에너지기술연구원에서 운전중인 Bench-scale의 이산화탄소 연속흡수 장치를 모사하였다. 공정 모사를 위해 상용 프로그램인 ASPEN PLUS를 사용하여 흡수제인 MEA와 DEA의 유량, 배기가스의 유량, 재생탑의 단수와 재열기의 조건의 변화에 따른 이산화탄소의 탈거율 변화 및 에너지 소비량의 변화를 예측하였다.

2. 공정 해석 방법

본 연구의 대상이 된 장비는 현재 한국에너지기술연구원에서 가동 중인 이산화탄소 연속흡수장치로써 실험에 사용되는 배기가스의 조성은 CO₂=13-14%, N₂=82-83%, O₂=3-5%이다. 이산화탄소 흡수공정의 flow diagram을 Figure 1에 제시하였다.

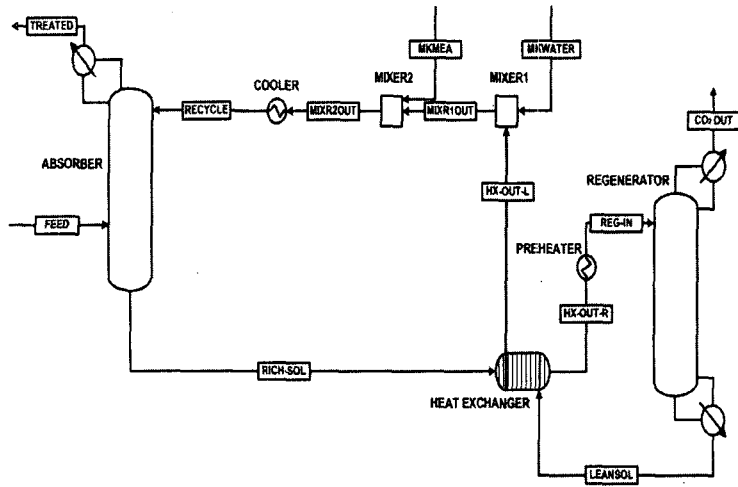


Figure 1. CO₂ 흡수공정 Flow Diagram

흡수제 용액과 배기가스의 맞흐름 과정에서 이산화탄소를 흡수한 흡수제는 열교환기를 거치면서 재생된 고온의 흡수제와 1 차적으로 에너지를 교환하여 온도가 상승하며 재생탑에 들어가기 전 예열기를 통하여 탈거에 용이한 고온조건에 이르게 된다. 재생탑의 상부로 유입된 흡수제 용액은 하부로 내려오면서 이산화탄소와 흡수제 수용액이 분리되며 재열기(reboiler)에서 추가적인 에너지를 공급하여 이산화탄소의 분리를 더욱 원활하게 한다. 이산화탄소가 탈거된 고온의 흡수제 수용액은 열교환기에서 상대적으로 저온인 이산화탄소를 흡수한 흡수제 수용액에 에너지를 전달하고 냉각기를 거쳐 흡수탑으로 재순환하는 과정을 반복한다. Amine 용액을 포함한 공정의 모사를 위해 ASPEN PLUS 의 Physical Property Model인 Amines 와 Electrolyte Non Random Two Liquid (ELEC -NRTL) Model을 사용 하였다. 흡수제로는 Diethanolamine(DEA) 및 Monoethanolamine (MEA) 30wt% 수용액을 사용 하였고 흡수탑 및 재생탑의 모사에는 RadFrac column 이 사용되었다. 공정모사를 진행하는 동안 배기가스의 유량은 35-100 l/min, 흡수제의 유량은 0.5-3 l/min까지 변화하였다.

3. 결과

3.1 Monoethanolamine

CO₂=13.89%, N₂=82.56% and O₂=3.55%의 조성을 갖는 배기가스를 사용하고 MEA 수용액을 흡수제로 적용하였을 때 흡수탑 내부의 각 단에 따른 조성 변화는 Table 1 과 같다. 배기가스 중 포함된 이산화탄소가 흡수제에 비하여 상대적으로 작은 양이므로 대부분의 흡수과정은 3 단에서 기-액이 접촉하자마자 일어나는 것으로 분석되었다. Figure 2 는 재생탑에서의 기체상 및 액체상의 조성변화를 함께 도시한 것이다. 흡수제는 재생탑의 3 단으로 유입된

다. 정류부에 해당하는 1 단과 2 단에 걸쳐서 이산화탄소의 기-액간 전달이 활발해져 기체 상에서의 이산화탄소의 몰분율은 탑 상단을 나갈 때 0.6 가까이 이르게 되며 수증기는 1 단에서 응축되어 탑 상단에서는 0.5 이하로 떨어지게 된다.

STAGE	PHASE	H2O	MEA	CO2	N2	O2
1	VAPOR	0.015334	2.40E-05	1.23E-20	0.941427	0.043216
	LIQUID	0.88779	0.11221	8.40E-15	1.25E-08	4.36E-09
2	VAPOR	0.015835	2.52E-05	1.37E-13	0.940946	0.043194
	LIQUID	0.887857	0.112143	8.84E-08	1.28E-08	4.44E-09
3	VAPOR	0.025654	5.04E-05	1.43E-06	0.931533	0.042762
	LIQUID	0.879425	0.11273	0.009301	2.01E-08	6.36E-09

Table 1. Composition profile in Absorber

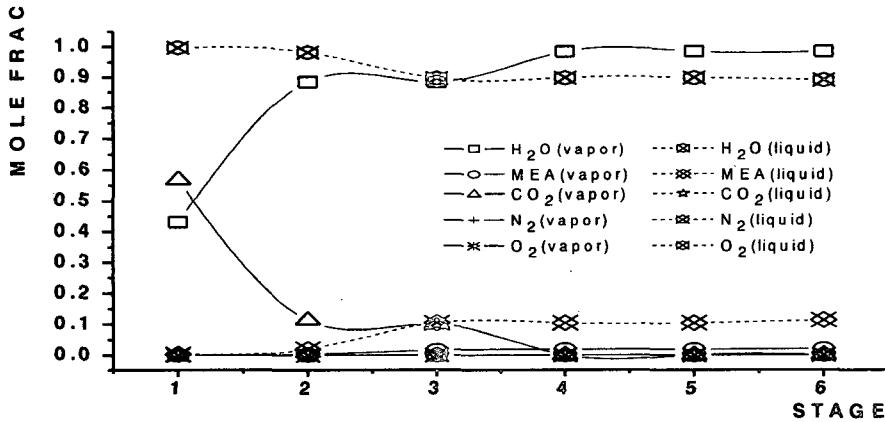


Figure 2. Composition profile in Regenerator

3.2 Diethanolamine

배기가스의 유량과 흡수제의 유량 변화에 따른 재생탑에서의 이산화탄소 분리율의 변화는 Figure 3 에 제시되었다. Figure 3 에서 예측된 바를 보면 95% 이상의 높은 분리율을 보인 MEA와 달리 유량 및 배기가스 변화 범위 내에서 약 80% 정도의 분리 효율을 보인다. 이것은 DEA 의 상대적으로 낮은 증기압에 기인한 것으로 DEA 공정에서는 대부분 탑의 압력을 대기압보다 낮게 운전하는 진공증류를 하는 경우가 많다. 다음으로 DEA 의 농도와 유량을

함께 변화시킬 경우 재생탑에서의 이산화탄소 분리율의 변화를 Figure 4 에 나타내었다. 재생탑의 재열기 용량은 3150Watt 로 고정하였다. 유량변화가 60kg/hr 에서 120kg/hr 로 증가 하였을 때 단일 DEA 농도에서 분리율은 76% 에서 35% 로 감소하였으며 변화경향은 110kg/hr까지는 선형에 가깝다.

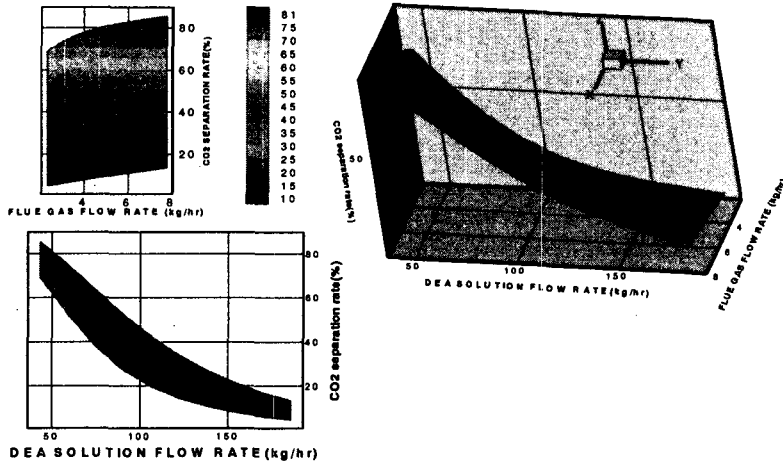


Figure 3. CO₂ separation rate with the variation of flue gas and solution flow rate

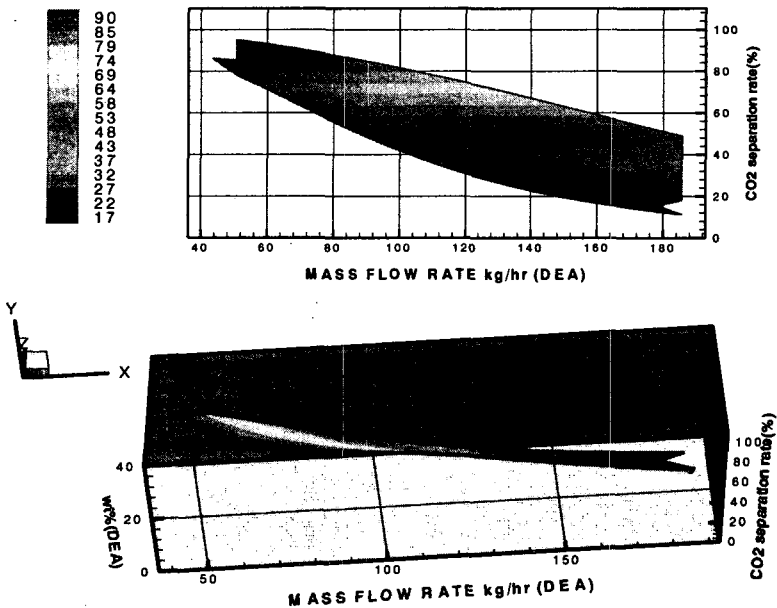


Figure 4. CO₂ separation rate with the variation of DEA concentration and

solution flow rate

다음으로는 재열기의 열용량과 흡수제 용액의 유량 변화에 따른 이산화탄소 분리율 변화를 예측하였다. 재열기 열용량은 3150Watt 에서 8000Watt 까지 변화하였으며 DEA 의 농도는 30 wt% 로 고정되었다. 유량의 변화에 따라 90% 이상의 높은 분리율을 얻기 위한 에너지 소비량은 매우 큰 변화를 보인다. 150 kg/hr 의 흡수제 유량에서는 초기 재열기 용량의 2.5배의 용량을 가지고도 50% 이상의 분리율을 얻기 어려운 것으로 나타났다.

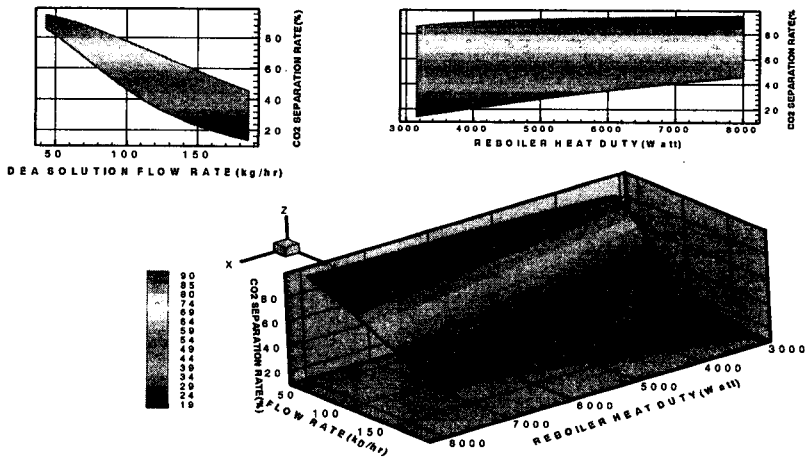


Figure 5. CO₂ separation rate with the variation of Reboiler heat duty and solution flow rate

4. 결론

한국에너지기술연구소에서 운전중인 이산화탄소 연속 흡수장치를 ASPEN PLUS 를 사용하여 모사하였다. 흡수제 유량과 재열기 용량의 변화에 따른 이산화탄소 분리율의 변화를 계산하였고 이를 통하여 각 설계치에 대한 재생탑에서의 이산화탄소 탈거 효율을 예측할 수 있다. 또한 MEA 와 DEA 를 사용하였을 때 각 조건에 따른 이산화탄소 분리율이 높은 영역을 예측하여 재생탑 설계시 참고할 수 있도록 하였다.

5. 향후 연구 계획

운전조건에 따른 이산화탄소의 탈거율의 변화를 분석하였다. 향후에는 공정의 엑서지 분석을 통하여 비가역성에 의한 손실을 규명하고 이를 최소화 할 수 있는 방안을 제시할 예정이다.

참고문헌

1. Chris Hendriks, *Carbon Dioxide Removal from Coal-Fired Power Plants*, Kluwer Academic Publishers, pp. 17~49, Netherlands (1994)
2. Amornvadee Veawab et al., *Solvent Formulation for CO₂ Separation from Flue Gas Streams*.
3. ASPEN Plus Manual, *Physical Property Data* (2002)