

## MEA 용액을 이용한 CO<sub>2</sub> 흡수공정 모사 연구

김석, 김형택, 최병철  
아주대학교 에너지학과

### SIMULATION STUDY OF CO<sub>2</sub> ABSORPTION PROCESS WITH MEA SOLUTION

Suk Kim, Hyung-Taek Kim and Byung-Chul Choi  
Dept. of Energy Studies, Ajou University

#### 1. 서론

CO<sub>2</sub>의 배출로 인한 지구 온난화 진행을 막기 위하여 국제사회의 노력이 계속되고 있는 가운데, 일련의 기후변화 협약에 대한 기술적 대응수단으로써 CO<sub>2</sub> 저감 기술 확보의 중요성이 증대되고 있다. 우리나라도 향후 예상되는 CO<sub>2</sub> 배출 저감의무 부과에 대비하여야 할 것이며 발전부문과 같은 대규모 CO<sub>2</sub> 배출시설에서의 개선이 우선적으로 이루어져야 할 것이다.

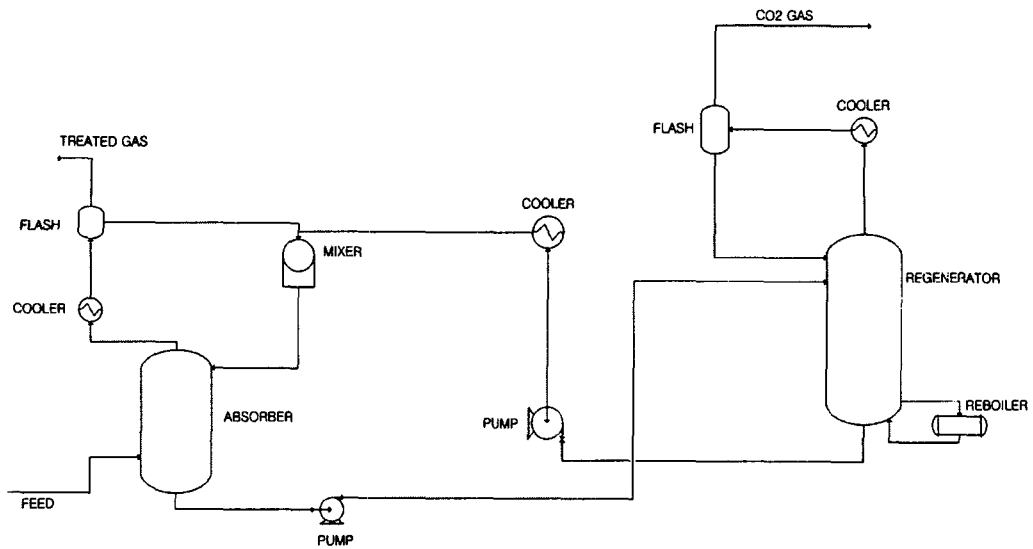
배기가스의 CO<sub>2</sub> 분리방법 중 하나인 흡수공정은 MEA, DEA, TEA, MDEA 와 같은 알카놀아민 계열의 흡수제 수용액을 이용하여 가스 혼합물과 흡수제 내의 용매가 접촉하는 동안 선택적으로 용해되는 공정이다.

본 연구에서는 상용 프로그램인 ASPEN Plus 를 사용하여 한국 에너지기술연구원에서 운전중인 5 m<sup>3</sup>/hr 용량의 이산화탄소 흡수장치를 모사하였으며 공정모사 과정에서 재생탑의 이론단수, 압력, 재열기의 열요구량의 변화에 따른 각 재생과정에서의 열요구량 변화를 분석하여 운전 조건을 제시하였다.

#### 2. 공정해석 및 시뮬레이션

한국에너지기술연구원에서 가동 중인 CO<sub>2</sub> 연속흡수장치에서 사용되는 배기가스의 조성은 CO<sub>2</sub>=13~14%, N<sub>2</sub>=82~83%, O<sub>2</sub>=3~5%이며 유량은 35~85 l/min 의 범위를 갖는다. 흡수제는 MEA 를 사용하고 있으며 흡수제 유량 범위는 1.0~3.0 l/min. 이다.

공정모사를 위해 실험장치를 [그림 1]과 같이 구성하였다



[그림 1] 흡수공정의 flow diagram

흡수탑(Absorber)에서 배기가스와 흡수제 수용액이 반응하여 CO<sub>2</sub> 가 흡수되고, 재생탑(Regenerator)에서 흡수제 용액과 CO<sub>2</sub> 가 분리되어 다시 흡수탑으로 재순환하는 과정을 반복한다. 흡수탑(Absorber)과 재생탑(Regenerator)의 모사에는 ASPEN Plus 상의 계산 블록인 RadFrac Column 을 사용 하였고, 흡수탑과 재생탑 상단에서 배출되는 기체중 MEA 와 수분을 제거하기 위하여 응축기와 기-액 분리기를 설치하여 흡수제용액의 손실을 최소화 하였다.

계산에 필요한 열역학적 데이터는 전해질의 특성을 고려하여 ASPEN Plus 에 내장되어 있는 Property 중 ELECNRTL Property Method 를 사용 하였다. ELECNRTL property 는 전해질의 화학반응 계산에 가장 일반적으로 사용되는 Property Method 로써 아민의 농도가 매우 낮은 경우에서 매우 높은 경우까지 광범위하게 사용할 수 있다.

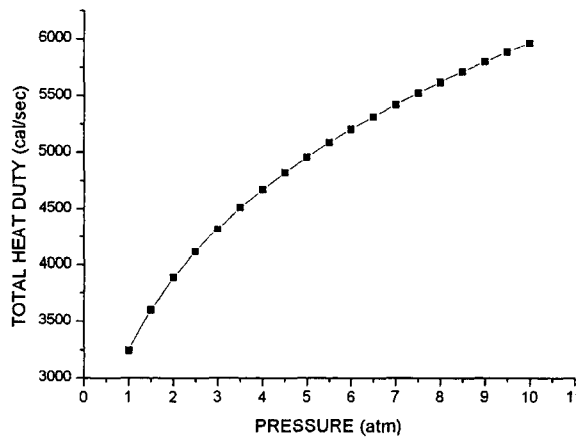
흡수탑을 지나 CO<sub>2</sub> 가 흡수된 MEA 수용액(CO<sub>2</sub>-Rich solution)은 재생탑의 상단으로 유입되며 탑하단의 재열기(Reboiler)에서 공급하는 열에 의해 CO<sub>2</sub> 와 MEA 수용액의 분리가 일어나게 된다. 재생부는 재생탑과 재열기, 응축기, 기-액 분리기로 구성되어 있으며 재생과정에서의 대부분의 열요구량(Heat duty)은 재열기에서 발생한다. 본 연구에서는 재생탑의 운전압력, 이론 단수 및 재생탑에 공급되는 CO<sub>2</sub>-Rich Solution 의 변화에 따른 각 재생부의 열 요구량 변화를 분석 하였다. CO<sub>2</sub>-Rich Solution 의 조성은 H<sub>2</sub>O 69.3%, MEA 30%, CO<sub>2</sub> 로 일정하며 온도는 20℃ 이고, 흡수제용액에 흡수된 CO<sub>2</sub> 는 재생부의 기-액 분리기에서 99.99% 이상 배출 되도록 설정 하였다.

### 3. 결과

재생과정에서의 열요구량 변화에 영향을 주는 요소인 재생탑의 운전 압력, 이론 단수, CO<sub>2</sub>-Rich Solution의 유량변화에 대한 민감도 분석을 수행 하였으며 결과는 다음과 같다.

#### 3-1 재생탑 압력 변화에 따른 열요구량 변화

이론 단수 5단, CO<sub>2</sub>-Rich Solution 유량 2ℓ/min.에서 재생탑의 운전 압력 변화에 따른 재생과정 전체의 열요구량 변화는 [그림 2]와 같다.

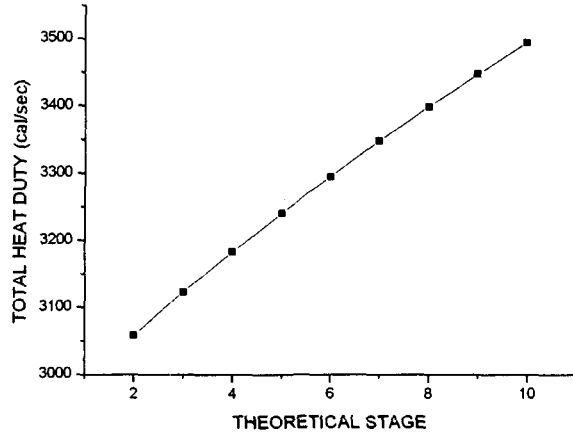


[그림 2] 재생탑 압력 변화에 따른 열요구량 변화

재생탑의 운전 압력이 1기압에서 3기압으로 변화할 때 열요구량은 약 1081.4 증가 하였으며 3~5기압 사이에서는 약 632, 5~7기압 사이에서는 약 334의 증가치를 보였다. 압력이 증가함에 따라 열요구량의 증가율이 점차 감소 하였다. 재생탑 내부의 압력상승에 따라 Pump의 소모전력도 증가 하였으나 채열기, 기-액 분리기, 응축기의 에너지 요구량의 증감분에 비하여 10<sup>-1</sup>이하의 변화량을 보였다.

#### 3-2 재생탑 단수 변화에 따른 총열요구량 변화

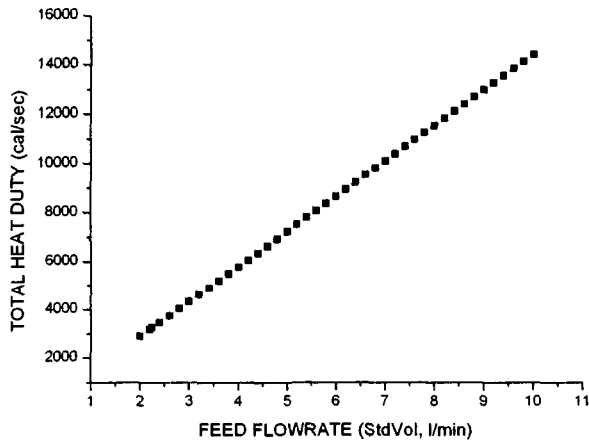
재생탑의 단수 증가에 따른 총열요구량의 변화는 [그림 3]과 같다.



[그림 3] 재생탑 단수 변화에 따른 총열요구량 변화

재생탑의 단수 변화에 따른 열요구량 변화는 압력의 변화와는 달리 비례하여 증가하는 양상을 보였다.

3-3 재생탑에 유입되는 CO<sub>2</sub>-Rich Solution 유량 변화에 따른 총열요구량 변화



[그림 4] CO<sub>2</sub>-Rich Solution 유량 변화에 따른 총열요구량 변화

단수변화에 대한 열요구량 증가와 마찬가지로 유량의 변화에 비례하여 증가하는 결과를 얻었다.

#### 4. 결론

대규모 CO<sub>2</sub> 배출시설에서의 CO<sub>2</sub> 저감을 위한 연구의 첫 단계로, ASPEN Plus 를 사용하여 한국 에너지기술연구원에서 가동 중인 5 Nm<sup>3</sup>/hr 처리용량 규모의 Bench Scale 실험 장치를 대상으로 CO<sub>2</sub> 흡수공정모사를 수행 하였다. 모델을 구성하는 첫 단계로 ELECNRTL Property 를 선정하고 재생탑 모사에는 ASPEN Plus 의 계산유닛인 RadFrac Column 을 사용 하였다. 흡수탑의 이론 단수, 운전 압력, 유입용액의 유량변화에 대한 민감도 분석을 수행하면서 재생공정에 필요한 열요구량을 계산하였다. 실험 결과에서 볼 수 있듯이 총열요구량은 이론단수, 유입유량, 운전압력이 증가함에 따라 증가 하였으며 유입유량과 재생탑 단수에 대하여 1 차함수 형태를, 운전압력에 대하여 증가율이 점차 둔화되는 경향을 보였다.

#### 5. 향후 연구계획

전체적인 흡수공정에서 현재 재생탑의 운전조건에 따른 제거율 변화를 분석 하였다. 향후에는 현재 분석된 자료를 바탕으로 흡수탑의 충전재 및 재생탑의 단수 및 운전온도, 압력을 최적화 하고 장치의 Scale-up 시 설계의 기초 자료로 활용할 수 있도록 할 것이다. 그리고 최종적으로 저에너지형 공정설계를 통하여 공정에 대한 경제성 평가가 이루어질 수 있도록 하여야 할 것이다.

#### 참고문헌

1. Chris Hendriks, "Carbon Dioxide Removal from Coal-fired Power Plants",  
Kuwer Academic Publishers, pp. 16-49, 1994
2. 화력발전소 배출 이산화탄소 분리를 위한 흡수공정 설계기술 확보 및 특성파악, 한전  
전력연구원, 2003. 3