한국에너지공학회(2003년도)
춘계 학술발표회 논문집 P667-672

유동층 반응기에서 건식 sorbent $NaHCO_3$를 이용한 CO_2 흡수반응에 미치는 유속과 온도의 영향

유 영 우, 이 봉 희*, 홍 선 욱, 조 성 호, 이 창 근
한국에너지기술연구원 청정신공정연구센터
*충북대학교 화학공학과

Effects of Gas Velocity and Temperature on CO_2 Reaction Characteristics using Dry Sorbent $NaHCO_3$ in Fluidized Bed Reactor

Young-Woo You, Bong-Hee Lee, Sun-Wook Hong,
Sung-Ho Jo and Chang-Keun Yi
Advanced Clean Energy Process Research Center,
Korea Institute of Energy Research
*Department of Chemical Engineering, Chungbuk University

1. 서론

화석연료의 연소로 생성되는 CO_2는 지구온난화의 주범으로, 대부분 화력발전 등 에너지 산업에서 발생되는 배가스로 대기 중에 방출되고 있으며, 많은 나라들이 규제를 정하고 있다. 우리나라도 선진국과 같이 2008년부터 자발적 의무를 부담할 것을 요구하는 등 국제적인 요구가 증대되고 있다.[1]

이에 연소배가스 내 CO_2 회수공정으로 많은 연구가 이루어지고 방법으로는 흡착법, 물리적 혹은 화학적 흡수법, 막분리법, 심냉법 등으로 이산화탄소 분리·회수에 사용되고 있다. 그 중 배가스와 같은 낮은 이산화탄소 분압의 기체혼합물 처리에는 화학적 흡수법이 적합하다고 보고되고 있다.[2] 최근 다른 회수 방법에 비해 재생 건식흡수제에 의한 처리기술이 크게 부각되고 있다. 재생용 흡수제는 대부분 알카리와 알카리토 금속으로 가격이 저렴하고 연속적으로 재생되어 반복적으로 CO_2를 회수할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이렇게 회수된 고농도 CO_2는 저장, 전환 또는 재활용기술에 이용될 수 있으며, 궁극적으로 배출되는 CO_2를 저감할 수 있다는 특성을 가지고 있어 국외에서는 연구가 이루어지고 있으나 국내에서는 아직 미미한 실정이다.

이에 본 연구에서는 유동층 반응기내에서 건식 sorbent $NaHCO_3$를 이용하여 CO_2 흡수반응에 미치는 유속과 온도의 영향을 파악하고 CO_2 저감에 있어 공정 조건의 기초자료로 이용하고자 한다.

2.실험

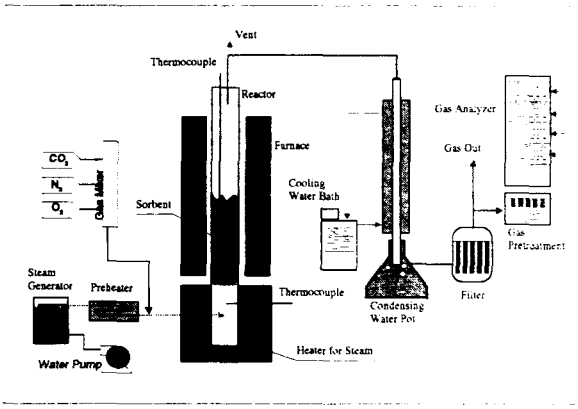

Fig. 1. Schematic diagram of a ambient fluidized reactor-batch type

내경 0.05m인 기포유동층 반응기 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 실험장치는 가스주입부, 반응기, 가스후처리장치와 가스분석기로 구성되어 있다. 유동층 반응기는 0.05m, 높이 0.8m인 석영관을 사용하였으며 전기로 내부에 수직으로 설치되어 있다. 각각의 가스는 유량계에서 정량하여 가스혼합기에서 혼합한 후 반응기 밑부분으로 공급하였다. 반응기온도는 전기로와 온도제어기를 사용하여 반응온도를 조절하였다. 실험 전 유동층반응기 내부에 건식 sorbent를 충전한 후 유속흐름을 좋게 하기 위해서 carrier가스로 질소가스를 흐르게 하면서 온도를 조절하고, 가스유량계를 사용하여 실험조건으로 유량을 조정하였다. 반응기 상승온도를 측정하기 위하여 내부에 열전대를 설치하여 온도를 측정하였다. 배출가스는 가스후처리장치에서 수분과 먼지를 제거 후 전용분석기로 측정하였다.

실험장치에서 흡수반응(carbonation)이 일어나는 흡수공정(carbonation process)과 재생반응(regeneration)이 일어나는 재생공정(regeneration process)으로 구분된다. 흡수공정은 고체상의 건식 sorbent를 이용하여 배기가스 중의 CO_2를 흡착시켜 농도를 저감시키는 공정이다. 흡수공정에서 기본 반응식은 식 (1)과 같고 이 반응은 발열반응이다. 재생 공정에서 CO_2가 흡수된 sorbent의 재생반응의 기본 반응식은 식 (2)와 같고 이 반응은 흡열반응이다. 여기서 M은 알칼리 금속인 Na와 K이다.

$$M_2CO_3(s) + CO_2(g) + H_2O(g) \rightarrow 2NaHCO_3 \quad (1)$$

$$2MHCO_3 \rightarrow M_2CO_3 + H_2O + CO_2 \quad (2)$$

실험에 사용한 sorbent는 동양제철화학에서 구매한 $NaHCO_3$를 사용하였다. 평균입경이 56㎛이고 sorbent를 50g 주입하여 10slpm의 유속에서 마모지수(AI)는

50.2%,그리고 수정된 마모지수(CAI)는 40.4%이었다.

본 연구에서는 유속에 따른 CO_2 흡수반응특성을 살펴보기 위하여 $NaHCO_3$ 100g에 H_2O(g) 10%, CO_2의 농도가 11.1%일 때 0.06m/s, 0.08m/s, 0.10m/s와 40℃, 50℃, 70℃를 조건으로 흡수반응을 수행하고, 재생반응은 유속을 0.05m/s로 일정하게 유지시키면서 온도를 130℃와 150℃로 변화시켜 수행하였다.

3. 결과 및 토론

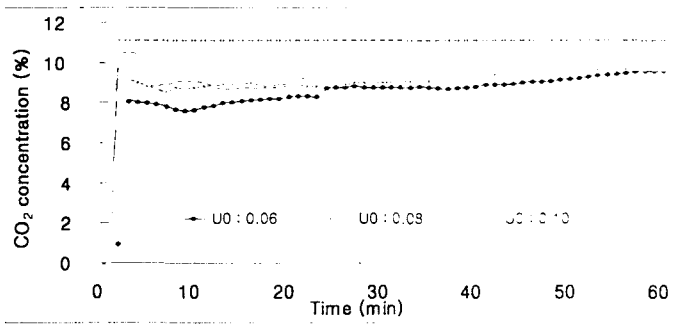

Fig. 2. Effect of gas velocity on CO_2 concentration profiles during carbonation reaction

Fig. 2는 흡수공정에서 건식 sorbent를 이용하여 유속변화에 따른 CO_2 농도(%)를 보여주고 있다. 유속이 0.06m/s일 때의 평균값의 CO_2 농도가 8.37%로 base line인 11.1%에서 2.5~3.0% 줄어들었다. 이 때 백분율로 보면 24.6%정도의 저감율을 나타낸다. 유속이 0.08m/s, 0.10m/s일때는 평균값이 각각 9.02%, 9.32%로 나타났다. 이것은 유속이 작을수록 건식 sorbent와의 반응시간이 길어짐에 따라 접촉시간이 길어져 제거효율이 증가하는 것으로 사료된다. 그리고 일정시간의 반응시간이 지나면 거의 변화 폭이 점차적으로 줄어드는 것으로 나타났다.

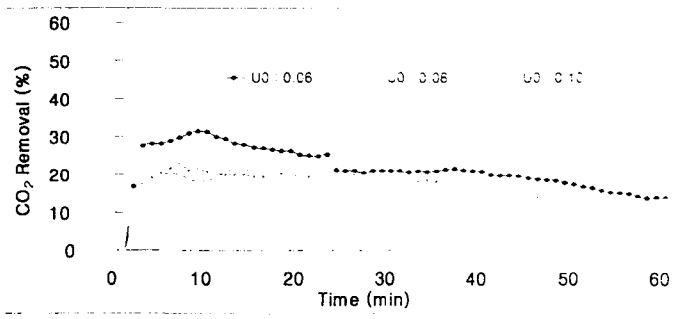

Fig. 3. Effect of gas velocity on CO_2 Removal profiles during carbonation reaction

Fig. 3은 Fig. 2를 토대로 한 CO_2 제거효율을 나타낸 것이다.

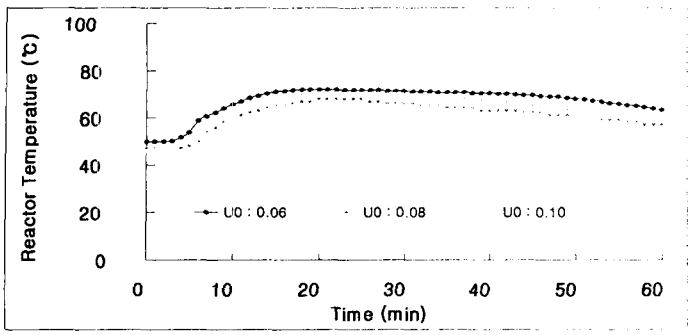

Fig. 4. Effect of gas velocity on reactor temperature during carbonation reaction

Fig. 4는 흡수공정에서 건식 sorbent를 이용하여 유속에 따른 반응기의 온도를 나타낸 것이다. 그림에서 0.06m/s 일 때 실험 초기에는 온도가 변하지 않았으나 시간이 지나면서 온도가 상승하는 것으로 나타났다. 이유는 발열반응이 일어나 반응기의 온도가 상승하는 것으로 사료된다. 유속이 0.08m/s, 0.10m/s도 초기에는 온도 변함이 없다가 시간이 지나면서 상승하였고 0.06m/s와 온도차가 나는 것은 유속이 작을수록 건식 sorbent의 체류시간이 길어짐에 따라 발열반응이 더 일어날 수 있기 때문으로 사료된다.

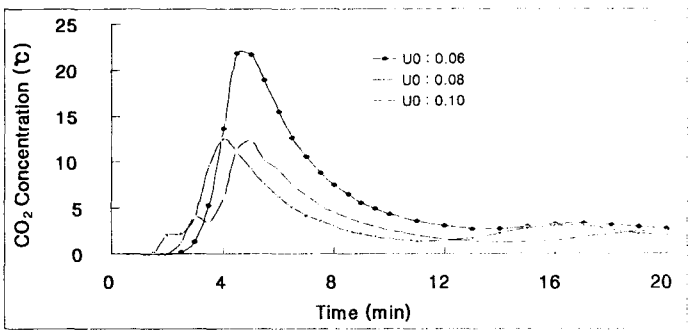

Fig. 5 Effect of gas velocity on CO_2 concentration profiles during regeneration reaction

Fig. 5는 재생공정에서 재생된 CO_2의 농도(%)를 나타낸 것이다.
유속이 0.06m/s 일 때 재생된 CO_2 농도를 보면 carbonation 반응 후 재생반응기 온도로 조건을 변화시키는 과정 중에도 재생반응이 일어나고 있으며, 반응기의 온도가 올라간 후 한꺼번에 많은 CO_2를 배출되는 것으로 보인다.

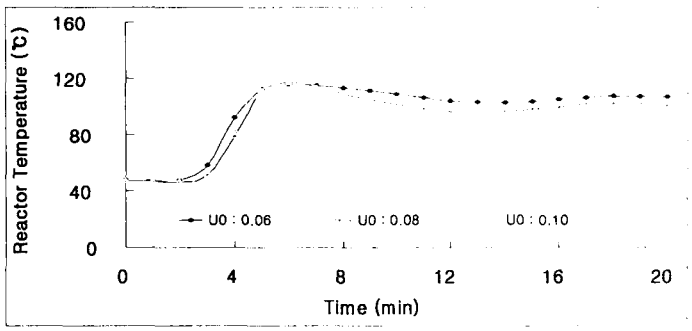

Fig. 6. Effect of gas velocity on reactor temperature during regeneration reaction

Fig. 6은 재생공정에서 CO_2가 재생될 때 반응기의 온도를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 반응 초기에는 반응기의 온도가 상승하다가 서서히 감소하는데 흡열반응이 일어남으로 반응기의 온도가 감소하는 것으로 사료된다.

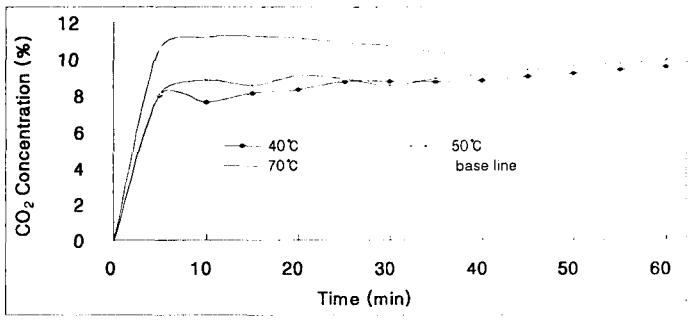

Fig. 7. Effect Reactor Temperature on CO_2 concentration profiles during carbonation reaction

Fig. 7은 Fig. 2는 흡수공정에서 건식 sorbent를 이용하여 반응기 온도변화에 따른 CO_2 농도(%)를 보여주고 있다. 유속을 0.06m/s로 고정하고 반응기의 온도를 40℃, 50℃, 70℃로 변화시키면서 나타나는 CO_2농도를 측정하였다. 그림에서 보는 것과 같이 반응기 온도가 가장 낮을 때의 온도인 40℃에서 실험을 수행하였을 때 CO_2 농도가 가장 줄어드는 것을 볼 수 있다.

4.결론

본 연구에서는 유동층 반응기내에서 건식 sorbent $NaHCO_3$를 이용하여 CO_2 흡수반응에 미치는 유속과 온도의 영향을 파악하고 CO_2 저감에 있어 공정조건의 기초자료로 이용하고자 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 유속이 작을수록 CO_2 제거효율이 높은 것으로 나타났으며 유속이 클수록 제거효율이 낮은 것으로 나타났다.
(2) 유속이 작을수록 건식 sorbent의 체류시간이 길어짐에 따라 발열반응이 더 일어나 반응기의 온도가 높은 것으로 사료된다.
(3) 조건을 변화시키는 과정 중에도 재생반응이 일어나며, 반응기의 온도가 올라간 후 한꺼번에 많은 CO_2를 배출되는 것으로 사료된다.
(4) 반응기 온도가 낮을수록 CO_2 제거 효율이 높은 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 지원으로 수행하는 21세기 프론티어 사업(이산화탄소 저감 및 처리 기술 개발)의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 제1회 이산화탄소 저감 및 처리기술 Workshop, 133(2003)
2. Kohl, A. L. and Riesenfeld, F. C.: "Gas Purification," 4th ed., Gulf Publishing Co., Houstion, TX(1985)
3. 조성호, 유동층 고온건식탈황 반응기 설계를 위한 아연계 탈황제의 H_2S 반응특성, 충북대학교 박사논문, 2002.