축열식 촉매 산화(RCO) 반응의 조업 최적화를 위한 전산 해석

정유진*, 홍성길*, 임기혁*, 김진욱**, 김민철***, 이재정***, 손병현***
*(주)씨이텍, **한서대학교 환경공학과, ***(주)유성 중앙연구소
e-mail:bhshon@hanseo.ac.kr

Numerical Study for the Optimal Operation of Regenerative Catalytic Oxidation(RCO)

Yu-Jin Jung*, Sung-Gil Hong*, Ki-Hyuk Lim**, Jin-Uk Kim**,
Min-Choul Kim**, Jae-Jeong Lee**, Byung-Hyun Shon**
* C. E. Tech R/&D Center
** Yoosung Co. Ltd., R&D Center
*** Dept. of Env. Eng., Hanseo Univeresity

요 약

본 논문에서는 RTO 반응기의 최적 조업 조건을 도출하고자 현재 조업 중인 RTO 반응기 촉매층의 압력분포, 유속분포, 유선장, 체류시간, 온도분포 등에 대하여 분석하였고 최적의 조업 조건을 도출하기 위한 전상유체해석을 수행하였다. 전산 해석 결과, 현재 조업중인 반응기 촉매층의 축열재로 인한 압력손실은 크지 않은 것으로 나타났으며, 세라믹 필터 이후 유속은2-3 m/s로 특별한 편류없이 비교적 안정적 유속분포를 보이고 있었다. 그러나 기류분포를 좀 더 개선하려고 한다면 설비 내부에 플래넘과 촉매층 접속 구간 연장 등의 방법을 고려할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 기류안내판이나 다공판 부착 등의 방법은 큰 효과는 없을 것으로 나타났다.

1. 서론

축열식 촉매산화 (Regenerative Catalytic Oxidation, RCO) 방식은 RCS (Regenerative Catalytic oxidation System)로 명명 되기도 하는 일반적으로 악취성 물질의 제어에 사용되는 기술이다. 악 취 의 가장 큰 원인물질인 휘발성유기화합물의 처리방식으로는 주로 흡착법과 연소법이 있으며, 연소법의 경우, 직접연소법, 촉매산화연소법, 축열연소법으로 크게 구분할 수 있다. 이 중에서 RCO 방식은 축열연소법(Regenerative Thermal Oxidation, RTO)과 촉매산화연소법의 장점을 조합한 방법이다. 직접연소법(Thermal Oxidation, TO)은 연소온도가 약 800~900℃인 반면, RCO 방식은 200~400℃로 연소온도가 낮아 연료소비량 절감이 가능하고 약 약 50~60%의 열회수 효율을 가지므로 에너지 비용 절감 역시 가능한 기술로 평가받고 있다.

본 연구에서는 3차원 수치 해석 기법을 이용하여 설계 초기 RCO 반응기 내 유동 특성을 모사하여 기류 균일도 여부를 확인하고, RCO 내 유동 균일도 및 기타 조업조건을 최적화하기 위한 방안들에 대하여 전산 해석을 수행하였다.

2. 전산 해석

2.1 전산 해석 조건

2.1.1 처리가스량

-. 유량 : 49,000 Nm³/jr
-. 유입 가스 온도 : 100℃
-. 조업 압력 : 760 mmH_2O

2.1.2 촉매층 및 축열재

현 전산유체 시뮬레이션 기술로는 촉매, 허니컴과 같은 복잡한 형상 구현 및 grid configuration이 어려우므로 porous media model을 이용하여 연속체로 모델링하고 다공성 물질로 가정하여 국부 유속에 대한 단위길이당 압력강하로 계산하였다.

2.1.3 버너 연소

Species transport & Reacting Flows model을 이용하여 LNG의 연소 과정을 해석하였고, 버너 로내

연소시 고온 현상을 더욱 사실적으로 모사하기 위해 복사열전달 효과를 고려하였다.(P1-radiation model).

2.1.4 시뮬레이션 모델

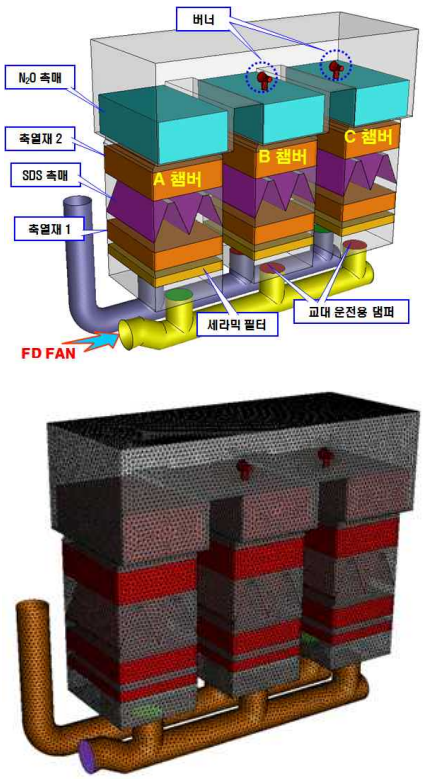
전산유체역학에 사용되는 주요한 가정들과 방정식들은 다음과 같다.

-. 정상상태 유동이다.
-. 기체는 균일한 속도분포로 유입된다.
-. Newtonian 유체이다.
-. 벽면을 통한 열이나 물질의 출입이 없다.
-. 벽면은 non-slip 조건이다.
-. 연속 방적식, 모멘텀 방정식, 에너지 방정식
-. 난류 모델과 Porous media model

3. 결과 및 고찰

"A챔버→C챔버 운전" 상황에 대한 모사는 현 RCO 반응기 내부 흐름분포를 비교 평가하고자, 반응기 내 촉매층과 축열재 설치 유무에 따른 유동 현상을 비교 예측하였다.

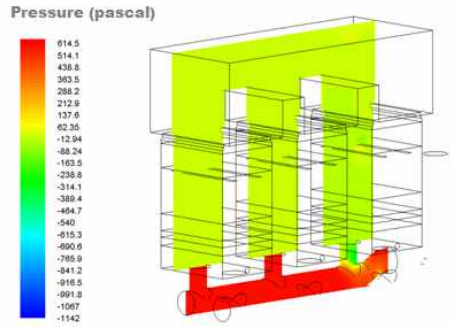
3.1 시뮬레이션 제어 체적



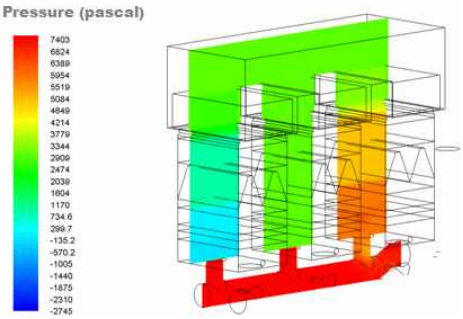
[그림 1] 3차원 모델링 제어체적(1,113,538 cells)

3.2 압력 분포

RCO 반응기 내부에 촉매층과 축열재를 설치하지 않은(a) 경우, 반응기 내부에 특별한 압력손실이 없기 때문에 반응기 전/후단 차압이 적게 걸리는 것으로 나타났다. 그러나 RCO 반응기 내부에 촉매층과 축열재를 설치할(b) 경우, 촉매층 및 축열재로 인해 압력손실이 크게 걸리고 있으며, 반응기 전/후단 차압 약 6,000-7,000Pa 발생하는 것으로 나타났다.



(a)

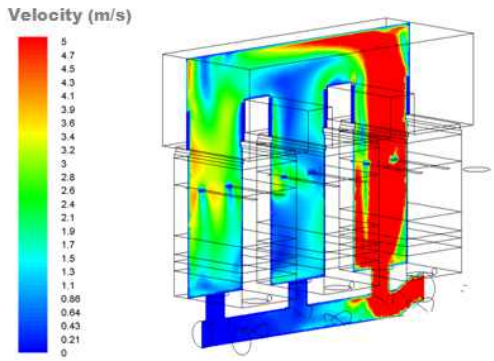


(b)

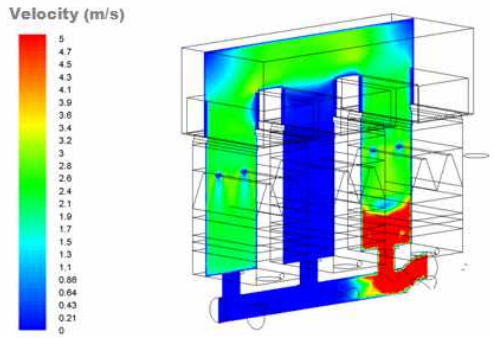
[그림 2] In-duct 위치에서의 압력 분포. (a) RCO 반응기 내부 촉매층 및 축열재 미설치 시, (b) RCO 반응기 내부 촉매층 및 축열재 설치 시.

3.3 유속 분포

RCO 반응기 내부에 촉매층과 축열재를 설치하지 않은(a) 경우, 처리가스가 매우 빠른 속도로 반응기로 유입됨에 따라 반응기 내부 유속 편차가 매우 심하고 편류 발생하였으며 또한 B챔버에도 처리가스가 침투하는 것으로 해석되었다. 그러나 RCO 반응기 내부에 촉매층과 축열재를 설치할(b) 경우, 세라믹 필터 이후부터는 약 2-3 m/s 사이의 안정적인 유속 분포를 보여 특별한 편류가 없음을 확인할 수 있었는데, 이는 촉매층과 축열재의 압력 완충 효과에 기인한 결과로 판단된다.



(a)

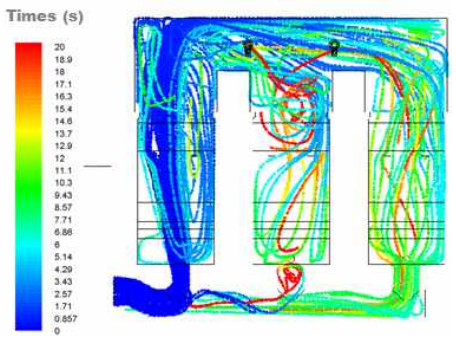


(b)

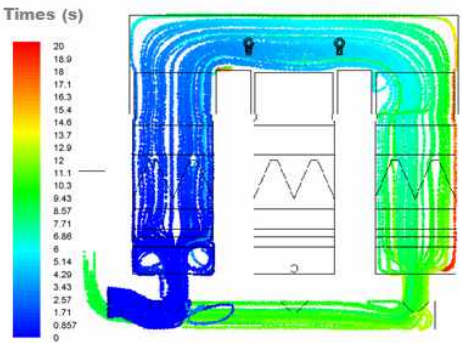
[그림 3] In-duct 위치에서의 유속 분포. (a) RCO 반응기 내부 촉매층 및 축열재 미설치 시, (b) RCO 반응기 내부 촉매층 및 축열재 설치 시.

3.4 체류 시간

RCO 반응기 내부에 촉매층과 축열재를 설치하지 않은(a) 경우, 처리가스가 매우 빠른 속도로 반응기를 통과하여 반응기 내부 전체 통과 시간이 8초 이내로 예측되었다. RCO 반응기 내부에 촉매층과 축열재를 설치할(b) 경우, 반응기 내부 전체 통과 시간은 약 10초이었고 또한 버너 로의 플래넘 통과 시간은 약 3-4초 수준으로 나타나 고온 산화에 필요한 시간은 충분히 확보 가능할 것으로 판단되었다.



(a)

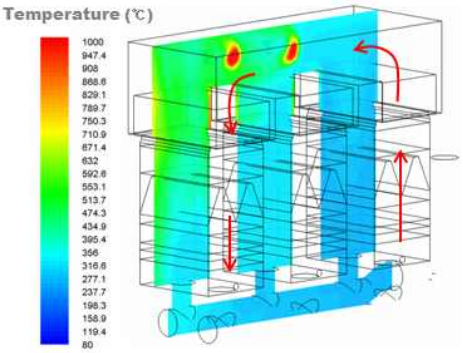


(b)

[그림 4] In-duct 위치에서의 체류 시간 분포. (a) RCO 반응기 내부 촉매층 및 축열재 미설치 시, (b) RCO 반응기 내부 촉매층 및 축열재 설치 시.

3.5 온도 분포

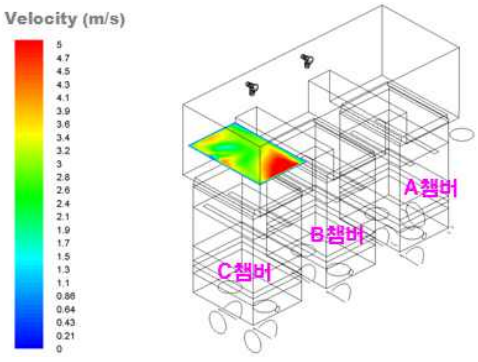
Porous media 내의 축열 현상에 대한 시뮬레이션이 불가능하여 초기 운전시 상황을 모사한 것으로서, “A챔버”로 140℃의 처리가스가 유입되어 버너 로의 내부에서 약 500~600℃로 승온되어 “C챔버”로 넘어가며, 이후 교대 운전 시 축열체에 의한 예열 효과로 인해 “C챔버” 내의 상승 흐름시에도 각 촉매층의 최적 조업 온도 조건을 만족할 수 있을 것으로 판단된다.



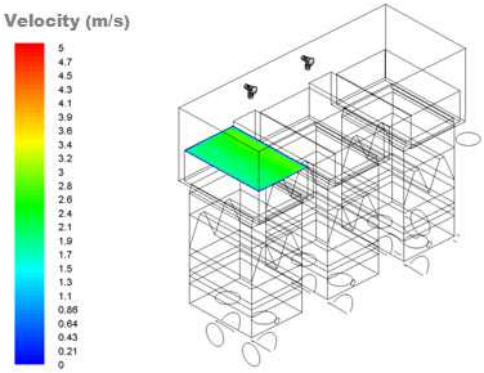
[그림 5] In-duct 위치에서의 체류 시간 분포

3.6 촉매층 상부 유입 속도

RCO 반응기 내부에 촉매층과 축열재를 설치하지 않은(a) 경우, 촉매층 위치에서의 유속 편차가 매우 심함을 알 수 있었다. 그러나 RCO 반응기 내부에 촉매층과 축열재를 설치할(b) 경우, 촉매층 상부 유입 속도 분포는 평균 약 2.3 m/s 수준으로 안정적인 분포를 보이고 있음을 알 수 있다.



(a)



(b)

[그림 6] 촉매층 상부의 유입속도. (a) RCO 반응기 내부 촉매층 및 축열재 미설치 시, (b) RCO 반응기 내부 촉매층 및 축열재 설치 시.

4. 결론

RCO 반응기 내부에 촉매층과 축열재를 설치할 경우에 대한 "A챔버→C챔버 운전" 상황에 대한 모사 결과 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 촉매층 및 축열재로 인해 압력손실 크게 걸리고 있음을 확인 할 수 있었고, 반응기 전/후단 차압 약 6000~7000 Pa(≒600~700mmAq) 정도가 발생하는 것으로 나타났다.

2. 세라믹필터 이후부터의 속도 분포는 약2~3m/s 사이의 안정적인 유속 분포를 보여 반응기 내부에 특별한 편류 없음을 확인 할 수 있었는데, 이는 촉매층과 축열재의 압력 완충 효과에 기인한 결과로 판단된다.

3. 반응기 내부 전체 통과 시간은 약 10 sec 수준이었으며, 버너 로의 플레넘 통과 시간은 약 3~4 sec 수준으로 고온 산화에 필요한 체류 시간은 충분히 확보 가능할 것으로 예측되었다.

4. "A챔버"로 140℃의 처리가스가 유입되어 버너 로의 내부에서 약 500~600℃로 승온되어 "C챔버"로 넘어가며, 이후 교대 운전 시 축열체에 의한 예열 효과로 인해 "C챔버"내 상승 흐름시에도 각 촉매층의 최적의 조업 온도 조건을 만족할 수 있을 것으로 판단되었다.

5. 촉매층 상부 유입 속도 분포는 약 2.0 m/s - 2.6 m/s(평균 약 2.3 m/s) 수준으로 안정적인 분포를 보이고 있으며, 촉매층 상부 기류 균일도도 양호한 것으로 나타났다.

사사

본 연구는 **국토해양부** 지역기술혁신 연구개발사업의 연구비지원(과제번호 08지역기술혁신B-03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

[1] 김진욱, 정유진, 유정근, 손병현, "반건식 반응기와 백필터를 결합한 하이브리드 대기오염제어 시스템의 수치해석적 연구(II)-구조개선을 중심으로", 한국산학기술학회논문지, 제12권, 제2호, pp. 985-992, 2월, 2011년.

[2] 김민철, 이재정, 이강우, 김지완, 손병현, "선회류 방식 연소시스템의 최적 조업을 위한 수치해석", 한국산학기술학회논문지, 제12권, 제2호, pp. 1005-1012, 2월, 2011.

[3] 권영현, 김진욱, 정유진, 김민철, 이재정, 이강우, 손병현, "반건식 반응기와 백필터를 결합한 하이브리드 대기오염제어시스템의 수치해석적 연구(I)", 한국산학기술학회논문지, 제11권, 제11호, pp. 4656-4663, 11월, 2010.

[4] 손병현, 이강우, "산업폐기물 소각플랜트의 작업환경개선", 한국산학기술학회논문지, 제7권, 제3호, pp. 431-439, 3월, 2006.

[5] 정유진, "자연환기 벤틸레이터 최적화 설계에 관한 기초 연구", 창원대학교 공학석사학위논문, 2001.