

고효율 폐열회수를 위한 VOC 배출용 축열식연소산화장치(RTO) 개발

박훈민*, 정영훈*, 정현민*, 김소희*, 임태영**, 양은찬**, 윤달환**, 전동환***, 민흥기***

*주식회사 이엠솔루션

**세명대학교 전자공학과

***고등기술연구원

e-mail:yec9535@gmail.com, yoondh@semyung.ac.kr

Development of Thermal Storage Combustion Oxidizing System (RTO) for VOC Discharge for High Efficiency Waste Heat Recovery

Hoon-Min Park*, Yeung-Hoon Jung*, Hyun-Min Jung*, So-Hee Kim*, Tae-Yeung Lim**,
Eun-Chan Yang**, Dal-Hwan Yoon**, Dong-Hwan Jeon***, Heung-Ki Min***

*Emsolution Inc.

**Dept. of Electronic Engineering, Semyung University

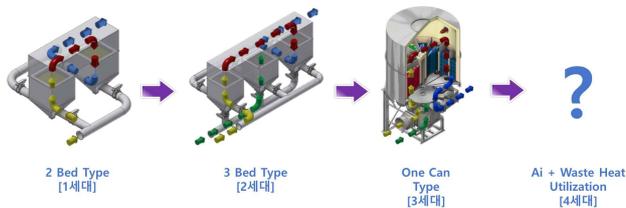
***Institute for Advanced Engineering

요약

본 논문에서는 VOCs 발생 사업장에서 대기오염 저감을 위하여 RTO(Regenerative Thermal Oxidation) 장치의 고효율 폐열회수를 위한 열택배 시스템 사양설계 및 배출농도 측정 기술을 개발한다. 폐열회수 시스템을 적용을 위하여 100 CMM급 축열식연소산화장치(RTO)를 설계한다. 이때 생산 공정 운전조건에 따른 휘발성유기화합물(VOC, Volatile Organic Compound) 배출가스 농도를 측정하여 THC 농도 변화를 분석함으로써 성능을 평가한다.

1. 서론

최근 산업시설에서 발생하는 온실가스 배출을 감축하기 위해 기존의 단순한 환경오염방지설비 개념에서 폐열을 회수 및 재이용함으로써 온실가스를 저감시키고, 생산비용 절감용 에너지원으로 활용하는 연구들이 진행되고 있다[1].

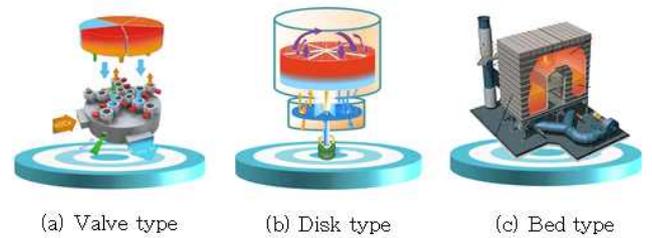


[그림 1] 축열식연소산화장치의 진화

축열식 연소산화장치(RTO)는 연소실 운전온도 760~850°C에서 축열에 의한 직접 열교환 방식으로 VOCs가 연소될 때 발생하는 열량을 세라믹 축열재를 이용하여 축열 시키고, 이 축열된 열로 VOCs를 승온시켜 VOCs를 적정하게 연소시켜 처리하는 장치이다. 이러한 RTO는 열회수 효율은 95%이상으로 우수하고, VOC 가스 풍량이 클수록 경제적이며 적용 범위가 넓다. 특히 단일기기로 대용량 처리가 가능하여 처리가스

성분 중 촉매성분에 대한 제한을 받지 않아 적용범위가 큰 특징이 있다[2].

RTO 종류는 크게 Valve 타입, Disk 타입, Bed 타입으로 분류할 수 있으며, 형상은 그림 2와 같다.



[그림 2] RTO 종류

본 논문에서는 VOCs 발생 사업장에서 대기오염 저감을 위하여 RTO(Regenerative Thermal Oxidation) 장치의 고효율 폐열회수를 위한 열택배 시스템 사양설계 및 배출농도 측정 기술을 개발한다. 폐열회수 시스템을 적용을 위하여 100 CMM급 축열식연소산화장치(RTO)를 설계한다. 이때 생산 공정 운전조건에 따른 휘발성유기화합물(VOC, Volatile Organic Compound) 배출가스 농도를 측정하여 THC 농도 변화를 분석함으로써 성능을 평가한다[3].

2. RTO 장치 개선

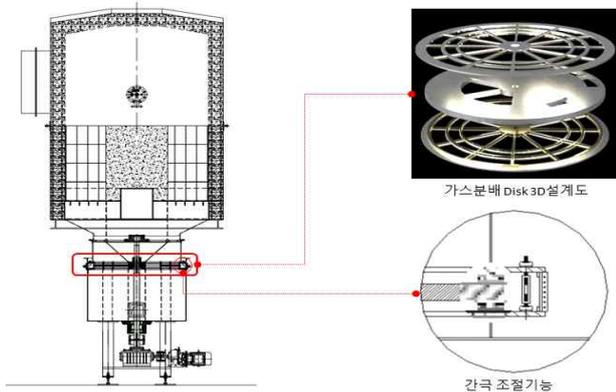
2.1 축열식연소산화장치 설계를 위한 분석

그림 2에서 디스크(Disk)형 회전(Rotary) RTO는 열회수율이 95%이상으로 에너지 효율이 우수하고, 그에 적용된 회전판은 잔고장이 없는 장점은 있지만 마찰에 의한 회전레일 관리가 요구되는 특징이 있다. 이와 같은 축열식연소산화장치는 챔버로 유입되는 오염 가스와 챔버에서 연소 후 정화되어 배출되는 가스 흐름을 분리하고 분배하는 분배기의 구성이 축열식연소 산화장치 성능에 중요한 영향을 준다.

종래의 축열식연소산화장치는 유입경로와 배출경로가 형성된 원통 드럼 형태의 회전 부재를 회전시키는 방식의 분배기가 주로 사용된다. 드럼 형태의 회전 부재를 사용하는 분배기의 경우 장기간 사용시 분진 등의 오염 물질과 고온에 의한 열팽창 등의 원인으로 인해 회전 부재의 회전이 멈추는 문제가 종종 발생한다. 이 경우 오염 가스의 정화가 효과적으로 이루어지지 않고 경우에 따라 분배기가 파손되거나 화재나 폭발이 발생하는 문제 있다. 또한, 기존 축열식연소산화장치의 경우 분배기 내부의 회전 부재 고장시 이를 수리하기에 어려움이 있다. 특히, 공기분배부의 마찰 최소화를 위해 회전부와 접촉되는 공기 차단부를 2~3 mm 정도 이격되는데, 이격 틈 사이로 유입 VOC 가스가 처리된 배출 가스와 함께 최종 배출구로 배출되어 VOC 처리효율 저하 현상이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 회전부와 공기 차단부를 컴팩트하고 내구성이 우수하면서도 가스 흐름 제어 가능한 구조 적용 및 설계 기술 확보가 필요하다.

2.2 축열식연소산화장치의 3D 모델 설계

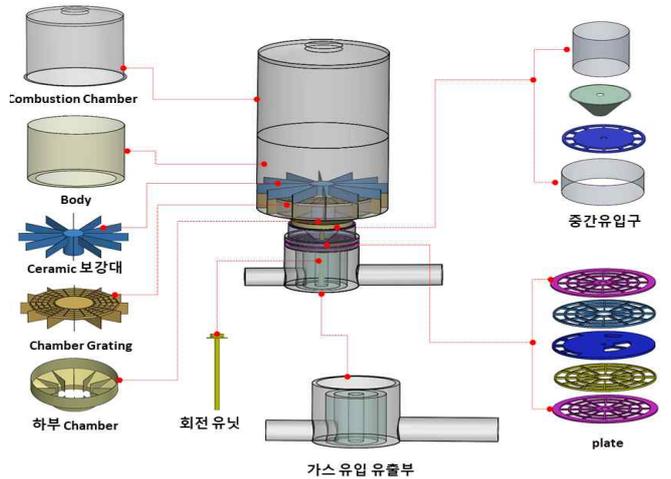
그림 3은 RTO의 핵심부품을 설계한 것이다. 오염가스와 처리가스 분배기는 상측, 중간, 하측 플레이트로 구성되고, 평판 디스크 구조로 형성된 중간 플레이트는 견고하게 구성하여 장기간 사용에도 고장이나 파손 가능성을 최소화한다.



[그림 3] RTO의 핵심부품을 설계

상하부 레일 커버 세트에 의해 상하면을 지지하여 이물질 등 다양한 원인에 의해 중간 플레이트 회전이 중단될 가능성이 거의 없다. 따라서, 유입 가스와 배출가스의 분배 작업은 중간 플레이트 회전으로 안정적인 유지가 가능하도록 설계한다.

그림 4는 RTO 파트별 3D 모델을 나타낸다. 장기간 사용으로 인해 상하부 레일 관련 부품의 마모되는 경우, 턴버클로 구성된 간격 조절 부품을 이용하여 상측 플레이트와 하측 플레이트 사이의 간격을 조절할 수 있게 구성하고, 부품이 마모된 경우에도 성능을 용이하게 유지할 수 있게 한다.



[그림 4] RTO 파트별 3D 모델

유지보수를 용이하게 하기 위해 챔버 하부에 결합한 상측 플레이트에 대해 하측 플레이트를 분리하는 방법으로 중간 플레이트 및 그 주변 구성을 쉽게 분해할 수 있도록 한다.

3. 실험 결과



[그림 5] 1 RTO 설계 실증도

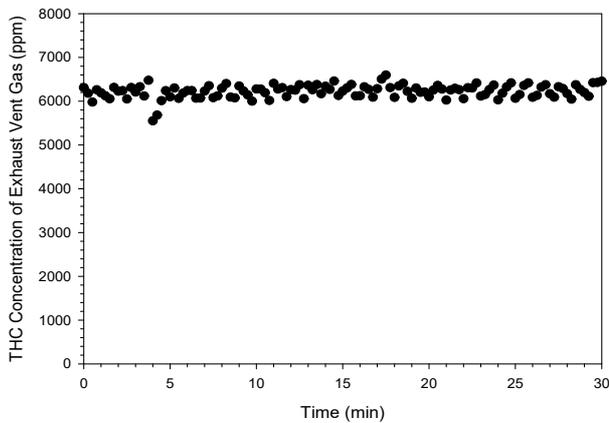
그림 5는 세라믹 1 개당 처리 가능한 풍량으로 3.3 m³/min 을 고려하며 세라믹 배열표를 바탕으로 설계를 완성한 시스템을 나타낸다.

그림 6은 생산공정 운전조건에 따른 VOC 함유 배출가스 THC 농도 변화 측정 (THC 및 GC-Mass 분석) 내용을 설명한다. NOx와 VOC 배출농도 센서부에서 측정장비를 이용하여 계측한다.

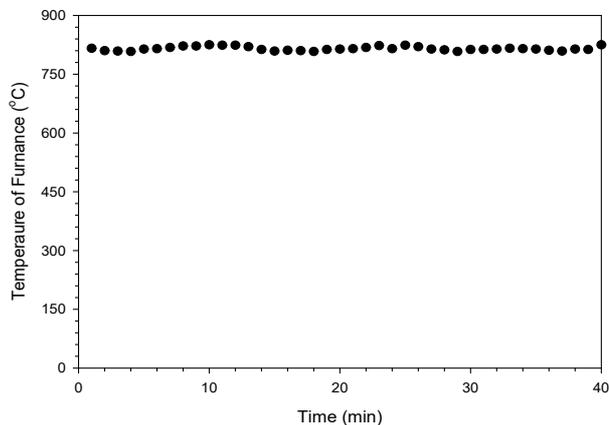


[그림 6] VOC 측정센서와 측정 장비

실증 설치된 RTO의 유입 VOC 농도에 따른 연소실 운전 온도에 따른 유입가스 평균농도는 6,224 ppm(THC)였으며, RTO 연소실 온도는 815℃이다. 연소실 온도 변화 폭은 최저 808 ℃였고, 최고 825℃까지 주기적으로 변화되는 특성을 보였다[4].



(a) 배출 VOC 농도



(b) RTO 연소실 운전온도

[그림 6] VOC 배출농도와 운전온도 변화

실험결과 VOC 연소에 따른 생성 열량은 346,766 kcal/hr 였고, 운전시 유입가스 온도(49℃)와 배출가스 온도(70℃)를 이용하여 배기손실 열량 산출 결과 배기손실 열량은 185,758 kcal/hr였다. 따라서 VOC 산화에 따른 생성열과 배기 손실 열량만 고려하였을 경우 161,007 kcal/hr 열량 활용이 가능한 것으로 산출되었다.

유기계 상변화물질의 경우 상변화 온도는 68~71℃에 해당하며 무기계 물질의 경우 89℃로 보고되고 있다. 이때 단위 무게당 용융 잠열은 각각 267 kJ/kg, 151 kJ/kg으로서 유기계 물질의 잠열이 크게 나타나는 반면 단위 체적당 잠열은 각각 211 MJ/m³ 및 234 MJ/m³으로 무기계 물질의 잠열용량이 크게 나타난다.



[그림 7] 상변환물질 폐열 교환용 열교환부와 상변화 물질

4. 결론

VOCs 제거효율을 향상시킨 RTO를 설계하고, 농도 측정 분석 기술을 개발하였다. 연소실 내부온도를 800℃ 이상의 고온으로 유지하여 온실가스 미세먼지 저감에 기여하는 기술 분석함으로써 연소실 배기구에 NOx 측정센서 설치후 NOx 측정기 적용하였다. 설정시간동안 연속 측정을 통한 NOx 농도측정 분석함으로써 연소실 인입부와 배기부 온도편차를 검출하여 연소실내 축열 및 방열 특성 파악하였다. 연소실 단열이 우수한 경우 인입부와 배기부의 온도편차 저하로, 연소실 고온 유지를 위한 열효율이 향상되었다.

참고문헌

[1] 박훈민, 윤달환, 정현민, 민흥기, 전동환, “집진 및 탈취

용 개선을 위한 다공판 스크리버 개발 및 IPA 처리효율 시
물레이션” 안전문화연구, 제 13권 1호, pp. 339-349, 9월,
2021년

- [2] 박동규, 전동환, “휘발성유기화합물 축열식 연소산화장치
(RTO) 폐열 회수를 위한 열저장장치 수치해석적 연구”,
한국폐기물자원순환학회 추계학술대회, 2021년 12월
- [3] 전동환, 정석우, “휘발성유기화합물의 고효율 연소 처리
를 위한 불규칙 공정 배출가스 전처리 방법”, 한국가스
학회 가을학술대회, 2021년 11월
- [4] (주)엠솔루션, KTL “대기오염공정시험”, 2022년 01월

사사

“본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술평가관
리원의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (NO.
20017234).”