

휘발성유기화합물(VOCs) 제거용 필터 재생장치 구현

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

*주식회사 이엠솔루션

**고등기술연구원

***세명대학교 전자공학과

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

Implemented Filter Regeneration Device for removing Volatile Organic Compounds (VOCs)

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

*Emsolution Inc.

**Institute for Advanced Engineering

***Dept. of Electronic Engineering, Semyung University

요약

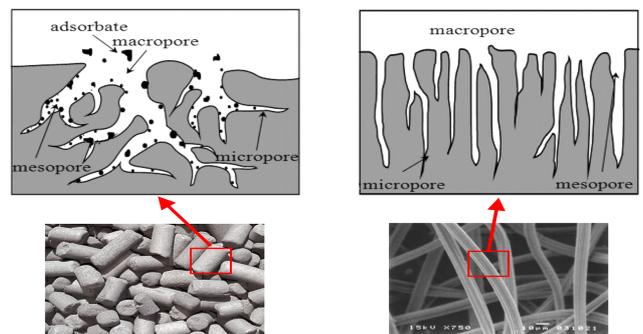
본 논문에서는 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs) 배출사업장에서 고효율 VOC 액상 회수가 가능한 카트리지 형태의 흡착필터와 필터 회수용 재생장치를 개발한다. 이는 배출가스로부터 흡/탈착 유닛을 이용하여 VOC만 선택적으로 흡착시킨 후, 흡착제 재생과정인 탈착공정에서 배출되는 고농도 VOC를 응축 유닛에서 액상 VOC로 회수하는 기능을 수행한다. 또한 균일한 흡착제 재생이 가능하면서도 원활한 유지보수가 가능하다.

1. 서론

복합가스 배출 화학공장, 유기제용 배출 필름공장 및 HF나 벤젠 등이 발생하는 반도체 공장에서 배출되는 VOCs의 흡착 및 연소 방식은 과도한 유지보수 비용 발생 및 폐기물 처리와 배출로 인한 2차 오염을 일으킨다. 이러한 배출 오염을 회수하기 위해서 수입용 탄소성분 소재의 K-필터를 사용한다. 미래의 탄소세 배출율을 확보하고 필터의 국산화 및 재생 장비를 개발이 필요하다[1].

본 연구에서는 휘발성유기화합물(VOCs) 배출사업장에서 저렴한 설비비로 고효율 VOC 액상 회수가 가능한 VOC 액상 회수용 재생장치를 개발하고, 탄소소재 흡착 필터 국산화를 개발 연구한다 [2].

탄소섬유 표면에 미세공극을 형성하여 흡/탈착 속도가 빠르게 하고 재생 에너지가 적게 소요된다면, 흡/탈착 반복 운전이 지속적으로 이루어지는 재생시스템에서는 훨씬 경제적 이득과 기술적 발전을 얻을 수 있다. 그림 1은 VOC 흡착용 활성탄과 활성탄소섬유 기공 구조를 나타낸다.



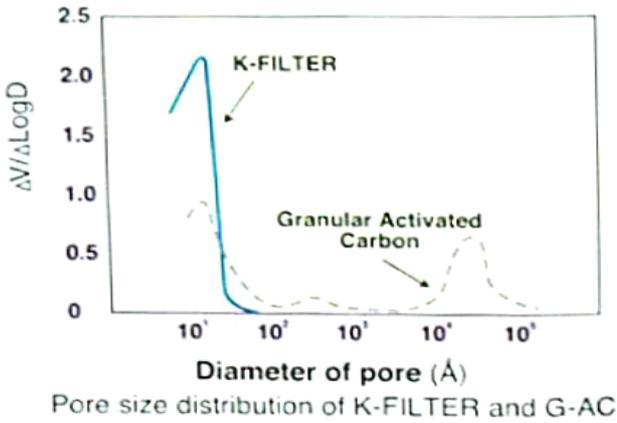
[그림 1] VOC 흡착용 활성탄과 활성탄소섬유 기공 구조

2. VOC 흡착필터와 재생시스템 구현

2.1 흡착용 활성탄과 필터

VOC 흡착에 사용되는 소재는 활성탄이 사용되고 있으며, 활성탄의 탄소섬유 내부는 미세공극(Micropore)와 공극(Macropore)으로 구성된다. 내부 미세공극은 다양한 물질 흡착이 가능하나 흡/탈착 속도가 느린 단점이 있다. 반면 활성

흡착필터는 흡착속도가 빠르도록 사이즈를 입상활성탄의 1/2 ~ 1/10배로 소형화한다. 이는 탈착 시간이 짧고 활성탄에 부직포가 적으므로 회수한 용제의 품질이 우수하도록 개발한다. 그림 2는 VOC의 흡착 사이드인 마이크로포아 (~2nm)가 직접 섬유 표면에 구현된 특징을 나타낸다.

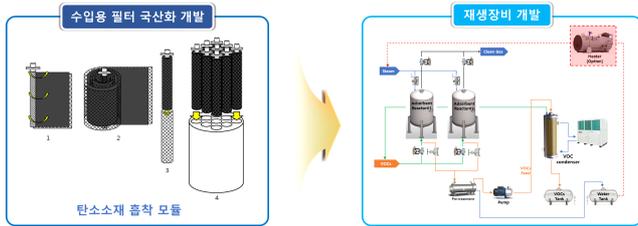


[그림 2] 포아 크기

이처럼 활성탄소섬유는 VOC 흡착 효율이 우수하고, 흡착 필터 재생 시 운전 비용이 적게 소요되는 장점이 있다.

2.2 필터 재생 시스템

VOC 액상 회수 기술은 대기 중으로 배출되는 VOC를 액체 상태로 회수하기 때문에 신재생에너지를 운전 동력으로 사용하며, 전 세계적으로 직면한 온실가스 저감 목적 달성이 가능한 기술이다. 그림 3은 필터재생장치 구현도이다.



[그림 3] 개발필터 및 재생장비 시스템 개념도

필터 재생 시스템은 충전된 흡착필터(Absorption Filter)를 흡착조에서 VOC함유가스를 흡착제거와 동시에, 스팀으로 탈착시켜 냉각응축시킨액화후에 수분을 분리시켜 VOC 회수한다. 재생장치는 상시 압력을 사용하기 때문에 VOC흡착열의 축열이 적어야 하고, 안정성 뛰어나야 한다.

상용공정에서 사용되고 있는 VOC 응축/액상 회수 기술로는 고농도 VOC를 대상으로 액체질소, 암모니아와 같은 극저온 냉매를 이용하여 간접 열교환기를 이용한 응축 방법과 저온의 흡수액을 분사하거나 흡수액 충전층을 통과시키는 스크러빙 방식을 이용한 기-액 직접 접촉식 응축 방법이 있다.

흡착필터 재생 장비는 운전조건 및 흡착필터 물질에 따라 VOC 흡착 효율이 90~95% 성능을 유지하고, 액상 VOC 회수가 가능하도록 설계한다. 반면에 스팀을 이용한 흡착제 재생 및 액상 회수를 위한 냉각 장치가 사용되어 국내에서 VOC 제거설비로 사용되고 있는 연소설비에 비해 운전비용이 많이

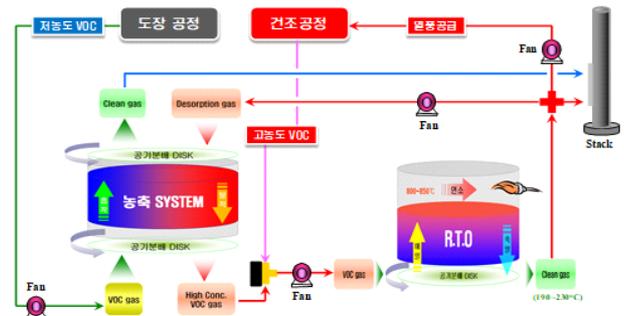
든다. 따라서 NMP, 초산에틸렌과 같은 고부가 물질 회수에 사용되어 국내 상용기술 개발이 이루어지지 않은 상태이다.

특히, 온실가스에 의한 심각한 기후변화 현상이 전 세계적인 이슈로 부각되고, 국가적으로 온실가스 배출 저감을 목표로 고효율의 온실가스 저감설비, 배출허용 기준 강화 및 엄격한 관리, 탄소배출권 거래제도 확대 시행 등을 추진하고 있으며, 대기오염물질 배출 사업장에서는 온실가스 배출 없는 공정 또는 대기오염물질 저감 설비를 개발한다.

국내 VOC 배출 사업장에서 적용되고 있는 VOC 제거 설비로는 고농도 VOC 배출가스의 경우 열산화 방식으로 처리한다. 대부분 제올라이트 하니컴 농축장치로 고농도로 농축시킨 후 촉매 산화 또는 축열식 연소 산화 방식으로 처리한다.

3. 실험 결과

활성탄소 기반 VOC 재생용 흡착필터 모듈 개발을 통하여 상용 활성탄소섬유 종류별로 유량, 온도, VOC 물질 특성 및 흡/탈착 특성을 분석한다. PAN 계, Pitch계 활성탄소섬유 비표면적 1200 m²/g 이상을 대상으로 차압 시험장치를 이용하여 유량 변화에 따른 차압특성(통기성)을 확인한다. 이때 흡착 용량 및 특성에 따른 최적 흡착제는 Toluene, 200~400 ppm 공급 조건으로 선정한다. 그림 3은 VOC 농축 및 산화처리 시스템을 나타낸다.



[그림 4] VOC 농축 및 산화처리 시스템

본 장치 구성은 4개의 흡착 필터가 1개의 구역을 형성하며, 2개의 구역으로 구분되어 있다. 1개의 구역에서 VOC 함유가스가 유입되어 흡착필터를 통과한 후 외부로 배출되며, 흡착이 진행되는 동안 다른 구역에서는 스팀을 이용한 흡착이 재생된다. 흡착 필터 재생이 완료되면 대기 중의 공기를 공급하여 가열된 흡착제를 냉각시키며, 가스 흐름 제어는 흡착 필터 상부에 구성된 실리더 구동 방식의 밸브를 통해 제어된다. 필터 내부의 가스 흐름은 원통형 내부에서 차압에 의해 분산되는 특성을 갖는다.

5 CMH 급 VOC 농축/응축 시험설비에서 운전특성을 시험한다. 필터 적용 운전조건(농도, 시험가스 유량, VOC 종류)에 따른 성능 평가로 스팀 탈착 VOC 응축을 위한 시스템 안정성 확보 및 성능 향상 방향 파악해야 한다.

유기용제 사용 생산현장에서 배출되는 저농도 VOC를 활성탄소섬유 흡착제를 이용하여 고농도로 농축시킨 후 응축장치를 이용하여 95% 이상 액체 상태로 회수하는 실증연구를 수행한다.

운전 시험을 통해 VOC 분리 층 유동화 제어가 가능하고 지속적으로 분리 층이 유지됨을 확인하였으며, 이를 Pilot 층 분리 반응기 제작에 적용하였다.

4. 결론

고농도의 VOCs 배출 설비용 흡착 시스템에 탄소 소재의 국산화 필터 개발하고, 이를 적용하여 환경오염 저감을 위한 재생설비를 개발하였다.

100 CMM급 흡·탈착/응축·액상 회수 일체형 통합 시스템 구축을 배출사업장과 연계하여 실증플랜트 성능을 평가하였다. 탈착 VOCs 90% 이상 회수 가능한 요소 기술 융합형 VOCs 응축 모듈을 통하여 폭발 및 화재 위험에 대한 안정성 감시 및 제어기술을 개발함으로써 VOC 액상 회수 시스템 상용 설비 설계기술 및 운전기술 확보하였다.

참고문헌

- [1] 전동환, 정석우, “미세먼지 대응 휘발성 유기화합물 에너지화 친환경 공정기술 개발”, 고등기술연구원 연구결과 보고서, 2019. 09.
- [2] 전동환, “배기가스 내 미세먼지와 NOx의 동시제거를 위한 중소 소각시설 맞춤형 PTFE 멤브레인 촉매필터와 여과 집진시스템 기술 개발”, 고등기술연구원 연구결과 보고서, 2022. 12

사사 : 본 연구는 중소벤처기업부의 재원으로 중소기업기술정보진흥원의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (NO. RS-2022-00141809)