

분말 흡착제를 이용한 악취 저감 여과 집진장치 개발연구

허영빈¹ · 김태형^{*} · 하현철² · 박승욱²

¹창원대학교 환경공학과, ²(주)벤틱

Odor Removal with Powdered Adsorbent using Bag-filter System

Rong-bin Xu¹ · Tae-Hyeung Kim^{*} · Hyun-Chul Ha² · Cheng-Xu Piao²

¹Department of Environmental Engineering Changwon National University

²Ventech Corp

ABSTRACT

Objectives: In order to improve the working environment and solve the complaints, many efforts have been made to remove the odor from the industrial process. There are many disposal methods to remove odor, but there are many disadvantages and inadequate applications. The Purpose of this study was to develop a bag-filer system for odor removal using powder adsorbent.

Methods: The bag-filter system is composed of a shear bag filter, an absorbent spraying system and an absorbent circulation system. The spraying absorbent system was connected with the inlet duct of the shear bag filter for inputting adsorbent. And the absorbent circulation system can transport the collecting adsorbent from hoper to the inlet duct of the system. As a result, the adsorbent can remove odor with recycling in the system. Also affective factors like the powdered absorbent combination and injection method was researched for maximization of system efficiency. The study was conducted in two stages. The first step was testing equipment made and the second is to evaluate the efficiency of the odor control by connecting to the actual odor generation process.

Results: Both experiment stages showed efficient odor control ability. The adsorption efficiency of the system is demonstrated and the odor was adsorbed well by the powder adsorbent. It is essential to accurately understand the characteristics of the odorous and use the appropriate adsorbent. Although the powder adsorbent was used in the experiment, the problem of scattering did not occur due to the high degree of system sealing. Also the system manufactured in this study was designed to recycle the adsorbent, so adsorbent reuse or batch processing is convenient.

Conclusions: The applicability of the system has been proven through this research. Customized systems for industrial process and the appropriate adsorbent base on the characteristics of pollutant generation will show efficient odor collection ability.

Key words: bag filter, odor removal, powder adsorbent, zeolite

I. 서 론

환경부자료에 따르면 최근 우리나라는 삶의 질에 대한 국민들의 요구가 확산됨에 따라 악취로 인한 민원이 '05년 4,320건, '10년 7,247건, '15년 15,573건으로 급증하고 있다(MoEL, 2017). 기존 악취 방지법에서는 악취관리지역으로 지정되지 않으면 악취규제

를 할 수 없었으나, 2010년에 개정된 악취 방지법에 서(악취방지법 제6조 1항)는 “1년간 민원이 지속적으로 발생하는 공정”에 대해서는 악취 규제를 할 수 있도록 개정되어 악취 민원이 지속적으로 제기되고 있는 대상 공정은 시급하게 악취 저감 시설을 설치해야 하는 실정이다. 따라서, 작업환경을 개선하고 민원을 해소하는 목적으로 대부분 산업공정에서 배출

*Corresponding author: Tae Hyeung Kim, Tel : +82-1-3876-7565, E-mail : thkim@changwon.ac.kr

Department of Environmental Engineering Changwon National University, 20 Changwondaehak-ro Uichang-gu Changwon-si, Gyeongsangnam-do 641-773 Korea

Received: November 8, 2017, Revised: December 16, 2017, Accepted: December 18, 2017

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

되는 악취를 제거하기 위한 노력을 많이 하고 있다.

산업공정에서 배출되는 가스상 악취물질을 제거하기 위해서는 흡수(약액), 흡착, 촉매, 미생물(bio-filter), 연소 등 처리 기전이 있으며 그중에서도 흡착법이 많이 활용되고 있는데, 흡착현상은 흡착질과 흡착제 표면과의 상호작용에 의한 것으로, 흡착질 분자의 특성과 흡착제의 기공구조 및 표면적은 상호 밀접한 관계가 있으며, 흡착제의 흡착용량과 흡착질에 대한 선택성에도 많은 관계가 있다. 균일한 기공을 갖는 흡착제일수록 입자 내의 확산이 빠르고 흡착성능이 우수하며, 선택 흡착이 가능하다(Allen, 1990; Yim, 2004). 적합한 흡착제를 사용하면 농도가 극히 낮은 흡착질도 선택적으로 제거할 수 있기 때문에 각종 산업분야 및 환경방지설비 등에 널리 활용되고 있다(Khan & Ghoshal, 2000). 특히 활성탄(activated carbon)은 다양한 세공구조를 가진 탄소로서 오래전부터 대표적인 흡착제로 사용되어 왔으며 폐가스 및 휘발성 용제회수에 널리 사용되고 있다(Na, 2002; Oh, 2010).

악취를 유발하는 물질들로는 유기산류, 알코올류, 아민류, 방향족 화합물 등의 유기물질뿐만 아니라, 염화수소, 황산화물, 오존 등의 무기물질까지 매우 다양하다. 산업공정에서 악취의 발생은 단일 발생원 또는 단일물질에 의한 영향 보다는 다수의 발생원과 복합적인 악취유발물질의 혼합에 따른 상승작용 등으로 그 영향이 나타나는 경우가 많기 때문에 활성탄 재질의 흡착제로 모든 악취 유발 가스를 고효율로 흡착할 수 있는 것은 아니다. 특히 암모니아와 같이 염기성 및 친수성을 가진 물질은 활성탄을 이용한 흡착에서 효율이 이상적이지 못하다(Masuda et al., 1999). 암모니아는 활성탄 보다는 제올라이트를 흡착제로 사용시 효율이 우수하다는 연구결과가 있었다(Burgess & Perron, 2004). 따라서, 각종 산업분야에서 발생하는 복합적 악취의 특성에 따라 적합한 흡착제를 사용하는 것이 보다 효율적이다. 적절한 흡착제의 선정 외에도 대부분 상용되는 흡착탑은 구조적 문제 때문에 기류 흐름의 사각지대 발생으로 활성탄 충전재를 충분히 활용하지 못하는 문제점이 많이 발생한다. 흡착방법 외에도, 습식 스크러버를 이용한 화학적 처리방법도 있지만, 폐수를 유발시키고 또다시 폐수를 처리해야 하는 부담이 생기며, 지속적 사용을 위한 유지관리 기술이 어려운 단점이 있다(Yang, 2007). 근래에 광촉

매를 이용하여 공기 중 미량의 유기물질을 흡착하는 연구도 있었고 분말활성탄 및 제올라이트를 폴리우레탄과 혼합하여 동시 발포한 다공성 폴리우레탄 담체를 바이오필터에 적용하여 하수처리장 농축조에서 발생하는 악취를 처리하는 기술 연구도 있었지만 적용대상이 한정적이고 상용화하기에는 많은 어려움이 있을 것으로 판단된다(Lee, 2012; Morten, 2015).

본 연구는 기존 악취 제거 방식과 달리 분말흡착제와 분진 제어에 널리 사용되고 있는 여과 집진기를 활용하여 효율적으로 악취를 제거하는 것을 연구 목적으로 하고 있다. 여과 집진장치 배기덕트 앞단에 분말흡착제를 분사하여 덕트 내에서 기류와 함께 이동하는 과정에서 악취를 흡착하도록 설계하고 흡착을 거친 분말흡착제는 여과 집진기에서 호퍼로 포집되고 다시 재순환 시스템을 이용하여 배기덕트 앞단으로 이송되어 재분사 된다. 개발된 악취 저감 여과 집진기는 악취 발생특성에 따라 적절한 흡착제를 선택하여 사용할 수 있고 흡착제를 파과 시점까지 충분히 활용할 수 있는 고효율성도 갖추며 사용된 흡착제를 쉽게 포집 및 재이용 할 수 있는 등 다방면 장점이 있으므로 충분한 연구가치가 있다. 연구는 예비실험(1차 실험)과 현장테스트(2차 실험)를 모두 거쳐 그 과정에서 시스템 구동조건 및 최적의 흡착효율을 갖는 분말흡착제 조제방법 등 다양한 인자에 대한 실험을 실시하여 개발된 장치의 효율을 극대화시키기 위하여 노력했다.

II. 연구방법

연구는 두 단계로 수행되었다. 첫 번째 단계는 테스트단계로 제작된 실험장치의 성능을 실험을 통해 평가하고 두 번째 단계는 적용가능성 평가로 실제 악취발생 공정에 연결하여 악취제어효율을 평가하였다.

첫 번째 단계(1차 실험)에서는 암모니아와 황화수소 가스를 일정한 농도로 개발장치 입구 덕트에 투입하고 출구(배출구)에서의 가스 농도를 측정하여 시스템 흡착효율을 계산하는 방법으로 진행되었고 흡착제는 활성탄 분말과 제올라이트 분말을 사용하고 조제 비율에 따른 암모니아와 황화수소 흡착성능을 각각 평가하였다.

두 번째 단계(2차 실험)에서는 제작된 실험장치를

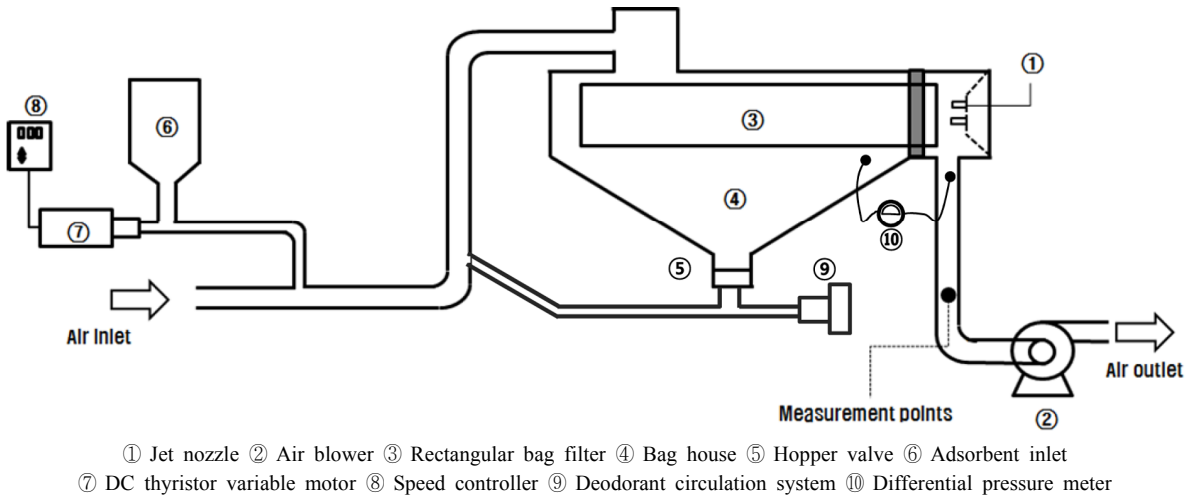


Figure 1. Schematic diagram of experimental system.

모 주물공장의 생산공정에 직접 연결시켜서 실험을 진행하였다. 중차공정 가동 과정에서 실험장치의 입구와 출구의 TVOC 농도를 측정하여 저감효율을 계산하는 방법을 채택하였고 흡착제 조합 및 분사방법에 따른 TVOC 저감효율에 근거하여 실험장치의 성능을 최적화할 수 있는 운전조건을 찾고자 하였다.

1. 실험장치 설계 및 제작

전체 시스템은 크게 여과 집진기(송풍기 및 탈진장치 포함), 흡착제 분사 장치 및 흡착제 재순환 시스템 세 부분으로 구분될 수 있고, Figure 1에서와 같이 제작된 여과 집진기 전단에 흡착제 공급기와 흡착제 분사장치를 설치하여 덕트 내부로 분사된 흡착제가 이동하는 기류중의 악취를 포집하고 흡착제를 순환사용 할 수 있도록 하였다. 분진호퍼 하부에 압력펌프를 이용한 흡착제 재순환시스템을 구성하였다. 송풍기는 여과 집진기와 연결하여 사용하기 때문에 저유량(50 CMM), 고정압(100 mmAq) 사양을 채택하였다.

1) 여과 집진기

흡착실험을 위해 설계·제작된 여과 집진기는 정격유량이 10 CMM인 하방기류형 충격식 사각 여과 집진기이고, 필터가 얇은 사각형 형태로 되어 있어 노즐을 이용한 균일한 탈진효과를 가져올 수 있는 장점이 있다. 여과 집진기 차압은 220 mmAq로 유지

시켜 일정한 수준으로 배기유량이 확보되도록 시스템을 운전하였으며, 에어압축기를 이용하여 탈진장치의 에어탱크에 압축공기를 공급하는데 에어압축기의 용량은 9 kg/cm²이고 탈진노즐의 분사압력은 3 kgf로 설정하였다. 그 이유는 3 kgf보다 높은 압력은 필터에 무리가 갈 수 있을 뿐만 아니라 역기류에 의한 와류 현상이 발생할 경우 분진 재비산 문제 등이 발생하고, 반대로 그 이하일 경우 탈진효과가 저하되기 때문이다(Piao, 2008). 또 시스템을 안정적으로 가동하기 위한 분사시간과 분사주기를 유지하기 위해서 분사 시간을 0.1 초, 분사주기 180 초로 설정하였다. 사각형 여과 집진기의 경우 분사 시간 0.1, 0.2초에 비해 0.3초로 하면 탈진효율이 더 우수하다는 연구도 있었지만 본 연구는 분진의 여과에 목적을 두기보다는 흡착제의 재순환을 목적으로 안정적인 0.1 초를 선택하였다(Table 1).

Table 1. Experimental conditions of Bag-Filter

Division	Value
Rated flowrate through bag house	10 CMM
Differential pressure of bag house	220 mmAq
Filtration rate	1.97 m/min
Pulse pressure	3 kgf
Pulse time	0.1 second
Pulse interval	180 second

2) 흡착제 분사 장치

Figure 2에서와 같이 흡착제 분사장치는 분사속도 조절기, DC 사이리스터 가변모터와 흡착제 투입구로 구성되었다. 흡착제 공급기는 스크류 이송방식을 통한 정량공급을 할 수 있도록 설계되었다. 이 장치는 여과 집진기로 연결되는 덕트 전단에 설치하여 덕트 내부로 흡착제를 분사시켜 기류와 함께 이동하는 과정에서 악취를 흡착하는 원리로 작동된다. 분사된 흡착제는 최종적으로 필터에 부착되면서 흡착-표면층을 형성하고 다시 탈진을 통해 여과 집진기 호퍼에 수집된다.

3) 흡착제 재순환 시스템

흡착제 재순환시스템은 Figure 3에서와 같이 주로 분진호퍼, 로타리 밸브, 고압펌프, 바이브레다로 구성되어 있다. 분진호퍼는 백필터에서 탈진된 흡착제가 모이는 장치이고, 로타리 밸브는 분진호퍼의 흡착제를 일정한 양으로 고압펌프에 공급해주는 장치이며 고압펌프는 로타리 밸브에서 공급된 흡착제를 고

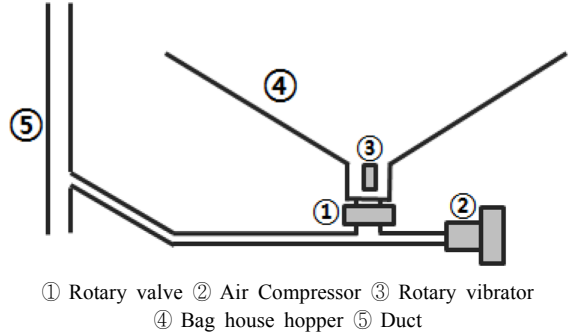


Figure 3. Absorbent circulation system.

압 에어와 함께 가스가 통과하는 유입덕트에 분사하여 흡착제와 오염공기를 골고루 혼합시키는 기능을 수행하며 바이브레다는 호퍼에 진동을 주어 탈진된 흡착제가 로타리 밸브에 원활하게 공급되게 하는 것이다. 상술한 장치들의 기능이 탈진시스템의 기능과 유기적으로 결합되어 평형을 이루어야 만 흡착제의 정상적인 순환이 보장될 수 있기 때문에 운전과정에서의 각 운전요소들에 대한 세밀한 점검과 설정이 필요하다.

2. 실험방법

1) 1차실험방법

(1) 1차실험 흡착가스 선정 및 측정방법

1차실험은 장치의 성능을 평가하기 위한 실험적 연구로 대표적인 악취가스로 알려진 암모니아(염기성가스)와 황화수소(산성가스)를 오염물질로 선정하고 장치 입구에서 일정한 양으로 발생시켜 흡착효과를 비교분석 하였다(Figure 4). 실험장치에서 배기유량이 일정하기 때문에 암모니아와 황화수소 가스를

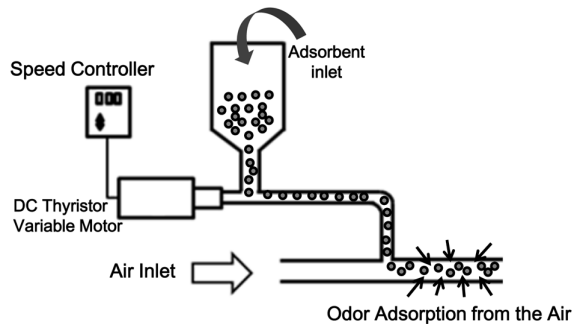


Figure 2. Absorbent supply system.

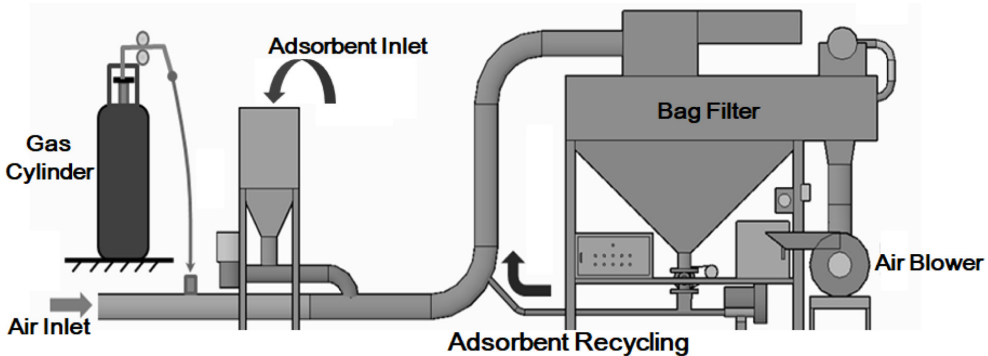


Figure 4. The primary experiment overview

정량으로 공급하게 되면 덕트 내부에서의 농도도 일정하게 유지된다. 가스용 유량계를 조절하여 두 가스 모두 2 L/min의 유량으로 일정하게 공급한 결과 덕트 입구에서의 농도는 암모니아 32 ppm, 황화수소 57 ppm으로 측정되었다. 가스 농도는 TVOC Meter (UltraRAE 3000)로 측정하였다. 실험 과정에서 가스 용기의 압력이 저하되면서 공급하는 유량이 줄어들 수 있기 때문에 3분 단위로 유량계를 체크하고 조절하였다.

유입되는 공기 중 암모니아와 황화수소 가스의 농도가 일정하기 때문에 집진기 정화를 거쳐 배출되는 공기중의 가스 농도를 측정하면 실험 조건(흡착제 재질, 흡착제 공급량, 흡착시간 등)에 따른 흡착효율을 계산할 수 있다. 실험장치 토출구에 측정기가 별도로 설치되었고 TVOC Meter(MiniRAE 3000-PGM 7320)를 이용하여 10 min에 한 번씩 토출구 가스 농도를 측정하고 기존 측정된 입구농도(암모니아 32 ppm, 황화수소 57 ppm)와 결부하여 저감효율을 계산하였다.

본 연구에서 사용한 측정기 MiniRAE 3000(PGM 7320) 모델은 RAE Systems 350이 내장되어 측정센서가 휘발성 유기화합물 외에도 암모니아, 황화수소, 포스핀 등 일부 가스상 물질에 대해서도 민감하며 저농도에서의 측정 정확도가 높다.

(2) 1차실험 흡착제 조제 및 실험 Case

활성탄은 복합악취에 대한 흡착효율이 우수한 것으로 알려져 있지만 암모니아와 같은 염기성(친수성)을 가진 악취물질은 활성탄을 이용한 흡착에서 효율이 이상적이지 못하다(Masuda et al., 1999). 암모니아와 같은 염기성 가스를 효율적으로 흡착하기 위하여 첨착 활성탄, 활성 알루미늄, 제올라이트 등을 이용한 연구가 있었다. 그 중에서 제올라이트가 효율이 우수

하다는 연구결과가 있었다. 따라서, 본 연구에서는 Figure 4에서와 같이 활성탄과 제올라이트를 혼합흡착제로 사용하였는데, 흡착제는 분말활성탄 400 mesh와 800 mesh 두 종류를 사용하였고, 제올라이트는 300 mesh를 사용하였다. 흡착제에 따른 물성값은 Table 2, 3에서와 같다. 흡착제는 800 mesh 활성탄과 300 mesh 제올라이트를 100+0%, 75+25%, 50+50%, 25+75%, 0+100% 비율로 10 kg을 배합하여 실험에 사용하였다. 그 외, 400 mesh 활성탄 100%를 사용하는 Case를 추가하여 800 mesh 활성탄 100%를 사용하는 Case와의 비교를 통해서 공극율에 따른 흡착능을 평가하고자 하였다. 따라서 실험 Case는 흡착제의 조합에 따라 Table 4에서와 같이 6개 Case로 나뉜다. 그

Table 2. Properties of Activated carbon

Division	Powdered Activated carbon	
	400 mesh	800 mesh
Coarseness(mesh)	400 mesh	800 mesh
Iodine Absorb(mg/g)	≥ 700	≥ 900
Specific Surface Area(m ² /g)	850	>1000
Hardness(%)	≥ 97	≥ 98
Moisture(%)	≤ 18	≤ 8
Ash(%)	≤ 10	≤ 5
Loading Density(g/l)	360~400	600~650
PH	5 ~ 7	5 ~ 7

Table 3. Properties of Zeolite

Division	Powdered Zeolite
Coarseness(mesh)	300 mesh
Amonia absorb(mg/g)	120 ~ 140
SiO ₂ (%)	> 68
Specific gravity	2.1 ~ 2.3
Moisture(%)	≤ 0.5

Table 4. Experimental Cases

The mixing ratio of activated carbon and zeolite used in this study			Activated carbon				
			400 mesh	800 mesh			
			100%	0%	25%	50%	75%
Zeolite	300 mesh	0%	Case 2				Case 1
		25%				Case 6	
		50%			Case 5		
		75%		Case 4			
		100%	Case 3				

외, 외기의 온습도가 실험결과에 영향을 주는 것을 방지하기 위하여 실험은 습도가 70%이하인 조건에서만 진행을 하였다. 습도가 70% 이상이면 흡착제가 여과 필터에 포집 후 탈진이 어렵고 집진기 차압이 과도하게 높아질 수 있고 측정기기의 측정값도 오차가 커질 수 있다.(습도가 높은 경우 흡착제에 소석회를 혼합해서 사용하는 것이 바람직하다.)

2) 2차실험방법

(1) 2차실험 흡착가스 선정 및 측정방법

주조공장에서 발생하는 악취는 복합적인 TVOC물질로써 종류가 많고 공정별로도 발생특성이 다르기 때문에 오염원을 실제와 똑같이 구현하기가 어렵다. 이러한 원인으로 제작된 실험장치를 창원시 진해구 마천주물단지에 소재한 모공장에 실제로 설치하였는데, 실험장치는 공장의 동의를 거쳐 TVOC로 인한 악취가 많이 발생하는 중자공정에 설치하였다. 중자 공정 상부에 흡입구를 고정시키고 플렉시블덕트를 이용하여 실험장치와 연결시켰다.

1차 실험과 동일하게 TVOC Meter(UltraRAE 3000) 기기를 사용하여 측정하였고 측정대상은 TVOC였다. 오염원으로 선정된 중자공정의 TVOC 발생 농도를 1시간에 1회씩 총 10회에 걸쳐 측정하였다. TVOC 농도는 작업에 따라 변화폭이 있을 수 있지만 실험과정에서 발생농도를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 여건이 부족하여 Figure 6에서와 같이 10회 측정치 평균인 356 ppm을 오염원에서의 발생농도로 가정하고 실험을 수행하였다. Figure 1에서와 같이 출구측에 측정구가 설치되어 있다. 출구 TVOC 농도를 측정하고 기존 설정된 입구농도 356 ppm과 결부하여 저감효율을 계산하였다.

(2) 2차실험 흡착제 조제 및 실험 Case

1차 실험과 같이 탈취제는 분말활성탄, 분말제올라이트가 사용되었다. 흡착제 종류와 배합비에 따른 흡착효율을 평가하기 위하여 활성탄(800 mesh)과 제올라이트(300 mesh)를 각각 100 + 0%, 75 + 25%, 50 + 50%, 25 + 75%, 0 + 100%로 배합하여 실험에

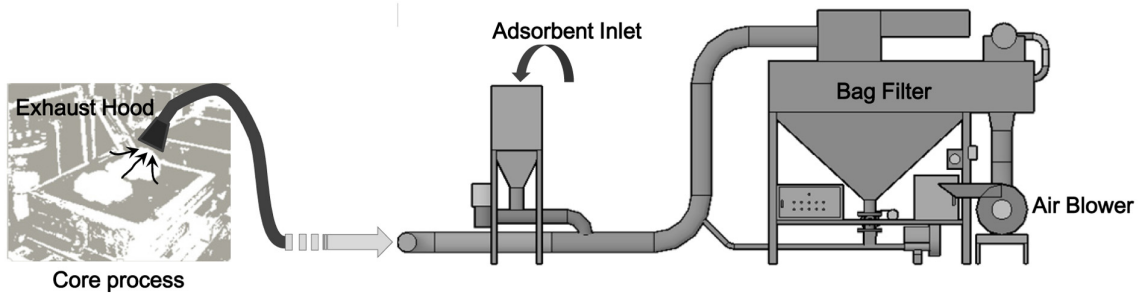


Figure 5. The second experiment overview

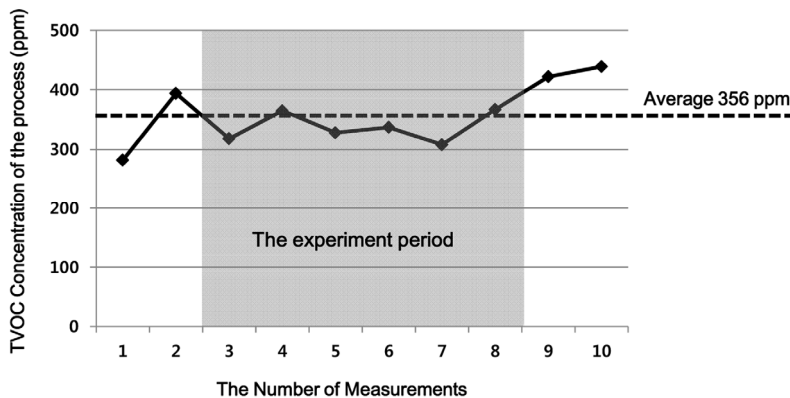


Figure 6. The TVOC Concentration for the PExit of Process

Table 5. Experimental Cases

The mixing ratio of activated carbon and zeolite used in this study			Activated carbon				
			800 mesh				
			0%	25%	50%	75%	100%
Zeolite	300 mesh	0%					Case1
		25%				Case2	
		50%			Case3		
		75%		Case4			
		100%	Case5				

사용하였다. 물성치는 Table 2, Table 3에서 제시 되었고 Table 5는 배합비율(5가지) 조건에 따른 실험조건을 정리한 것이다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 1차 실험결과 및 고찰

1) 암모니아 실험결과

측정 결과(Figure 7)를 보면 흡착제의 배합비율에 상관없이 출구 암모니아 농도는 흡착시간이 흐를수록 점차적으로 높아지고 흡착 효율은 점차적으로 저하된다. Case에 따른 흡착효율을 비교해보면 Case 1(800 mesh 활성탄 100%), Case 2(400 mesh 활성탄 100%)와 Case 6(800 mesh 활성탄 75% + 제올라이트 25%)에 사용된 흡착제는 암모니아에 대한 흡착효율이 급격하게 저하되는 관계로 70분경과 후 실험을 중단하였다. Case 1에서는 30~40분경과 시 흡착효율이 60%이하로 저하되고 Case 2에서는 30분경과 시, Case 6에서는 50~60분경과 시 흡착효율이 60%이하

로 저하된다. 반면 Case 3(100%제올라이트), Case 4(800 mesh 활성탄 25% + 제올라이트 75%)와 Case 5(800 mesh 활성탄 50% + 제올라이트 50%)는 흡착 효율 저감속도가 다른 Case에 비해 느리고 70분경과 시에도 80% 정도의 높은 흡착효율을 유지하고 있다. 그중에서도 암모니아 흡착에 효율적인 제올라이트를 100%로 배합한 Case 3이 상대적으로 우수했다. Case 4와 Case 5에서 비록 활성탄이 혼합되었지만 활성탄 자체도 일정한 암모니아 흡착효과를 보유하고 있기 때문에 이와 같은 결과가 발생한 것으로 추정된다.

Case 3, Case 4와 Case 5 실험결과에서 암모니아 흡착효율은 일정한 흡착시간(60 min 정도)을 경과한 후 변곡점이 생긴다. Case 3에서 흡착효율이 시작 단계의 98.4%에서 60분이 경과하여 92.8%까지 서서히 저하되지만 흡착시간이 60분을 초과하였을 때 흡착효율은 급격하게 저하되는 경향을 보이고 있다. Case 4에서도 일정한 흡착시간(60 min 정도)이 경과하면 같은 현상이 발생한다. Case 5에서는 Case 3과 Case 4에 비해 조금 이른 40~50분 사이에 흡착효율이 급

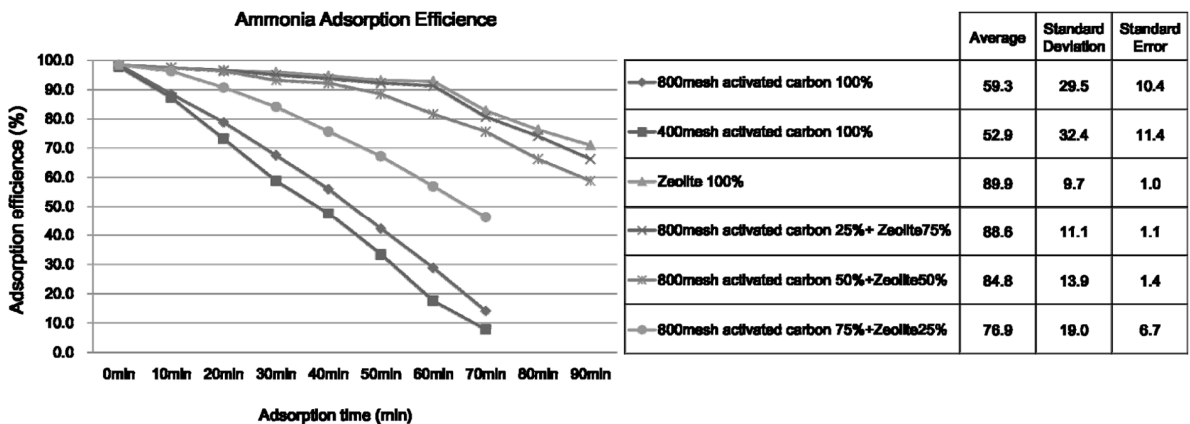


Figure 7. Ammonia adsorption efficiency

격히 저하된다. 이와 같은 현상이 발생하는 이유는 일정한 흡착단계를 거치면 암모니아는 외부의 환경 조건이 변화하지 않아도 탈착이 이루어지기 때문이며 이런 현상이 발생하는 시간은 제올라이트의 배합 비율에 따라 결정되는 것으로 추정된다. 따라서, 암모니아를 흡착한 제올라이트는 인위적으로 탈착시키지 않아도 일정한 시간 방치하였을 때 부분적인 탈착이 발생할 것으로 판단된다.

그 외 Case 1(800 mesh 활성탄)과 Case 2(400 mesh 활성탄)의 흡착효율을 비교 시 800 mesh 활성탄이 상대적으로 더 우수한 저감효과를 보여주고 있다. 이는 공극률이 낮을수록 흡착제의 탈취효과가 더 우수하다는 것을 말해주고 있다.

내구성을 보면 Case 3(100%제올라이트), Case 4(800 mesh 활성탄 25% + 제올라이트 75%)가 파과점이 60 min 이후에 발생하며 교체주기가 상대적으로 길다. Case 5(800 mesh 활성탄 50% + 제올라이트 50%)는 45 min 정도에 파과점에 도달하고 Case 1(800 mesh 활성탄 100%), Case 2(400 mesh 활성탄 100%)과 Case 6(800 mesh 활성탄 75% + 제올라이트 25%)의 경우 20 min 미만에 파과점에 도달하게 되며 암모니아 흡착에는 적합하지 않는 것으로 판단된다.

2) 황화수소 실험결과

황화수소 관련 측정 결과(Figure 8)를 보면 흡착제의 배합비율에 상관없이 출구 황화수소 농도는 흡착 시간이 흐를수록 점차적으로 높아지고 흡착 효율은

점차적으로 저하된다. 그중에서 황화수소의 흡착효율이 상대적으로 우수한 흡착제 배합 비율은 Case 1(800mesh 활성탄 100%)과 Case 6(800mesh 활성탄 75% + 제올라이트 25%)이다.

Case 1과 Case 6에서는 실험시간 90분경과 시에도 90%정도의 흡착효율을 유지하지만 Case 2(400mesh 활성탄 100%), Case 3(제올라이트 100%), Case 4(800mesh 활성탄25% + 제올라이트75%), Case 5(800mesh 활성탄 50% + 제올라이트 50%) 같은 경우 흡착효율 저하 속도가 Case 1, Case 6에 비해 빠르고 90분경과 시 흡착효율이 70% 정도까지 저하된다. Case 2에서는 비록 활성탄을 100% 사용하였지만 공극률이 400mesh로 Case 1에서 사용한 800mesh 활성탄보다 공극률이 작아서 흡착제의 탈취효과가 상대적으로 낮다. Case 3, Case 4, Case5는 제올라이트 함유율이 높은 관계로 황화수소 흡착효율이 낮은 것으로 판단된다. Case 6의 흡착효율이 높은 것은 배합한 흡착제에 비록 제올라이트가 포함되어 있지만 상대적으로 함유 비율이 낮고 제올라이트 자체도 일정한 황화수소 흡착효과를 가지고 있기 때문이다.

내구성을 보면 Case 1(800mesh 활성탄 100%)과 Case 6(800 mesh 활성탄 75% + 제올라이트 25%)이 80 min 이후에 파과점에 도달하며 다른 Case에 비해 상대적으로 교체주기가 길다. 나머지 Case들은 50 ~ 60 min 정도에 파과점에 도달하게 되며 큰 차이는 보이지 않고 있다.

암모니아 실험결과와는 달리 황화수소 흡착 실험

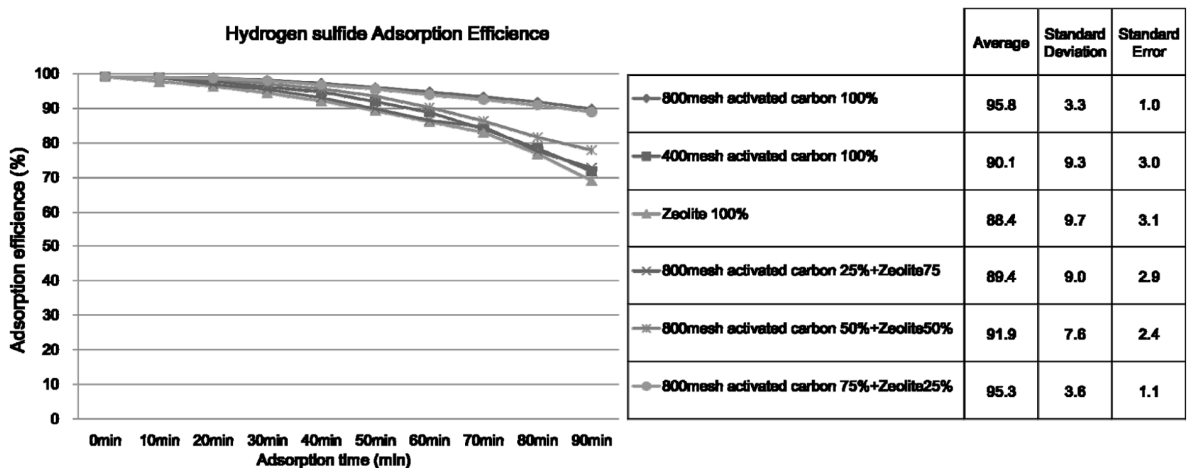


Figure 8. Hydrogen sulfide adsorption efficiency

중 모든 Case에서 흡착효율은 경과 시간에 따라 완만하게 저하되면서 변곡이 발생하지 않았다. 이는 황화수소는 단순한 물리적 흡착뿐만 아니라 화학적 흡착도 동시에 발생하여 외부조건의 변화가 없으면 암모니아처럼 일정한 흡착농도에 도달 시 탈착현상이 발생하지 않기 때문이다. 따라서 황화수소를 흡착한 흡착제는 인위적으로 외부조건에 변화를 주어 탈착을 시켜야만 재사용이 가능하다.

3) 고찰

실험결과로부터 암모니아 가스는 활성탄보다는 제올라이트에 잘 흡착되고 반대로 황화수소는 제올라이트보다는 활성탄에 잘 흡착되는 것을 알 수 있다. 비록 본 연구에서는 악취를 유발하는 특정된 두 가지 가스를 선정하여 실험을 진행하였지만 그 외에도 많은 종류의 유기물질과 무기물질이 있으며 복합적으로 발생하는 경우가 다반이다. 따라서, 발생하는 악취 물질의 구성, 발생농도, 발생유량 등 특성을 정확하게 파악하고 그에 따른 적합한 흡착제를 사용하는 것이 시스템을 효율적으로 운전할 수 있는 기본 조건으로 작용한다.

실험과정에서 분말 흡착제를 사용하였지만 여과 집진기의 밀폐도가 높은 관계로 비산문제는 발생하지 않았다. 입구 덕트 내부로 분사된 분말흡착제는 여과 집진기에 의해서 호퍼측에 포집되고, 포집된 흡착제는 다시 입구 덕트로 이송되어 분사되기 때문에 시스템 외부로 노출되는 문제는 발생하지 않았다. 실

험을 중단 할 때 우선 재순환 시스템을 정지하고 일정한 시간이 지나면 대부분 흡착제는 분진 호퍼에 포집된다. 따라서, 사용된 흡착제는 재활용을 하거나 일괄 처리가 편이하다.

2. 2차 실험결과 및 고찰

1) 실험결과

활성탄과 제올라이트 각각의 탈취성능을 파악하기 위하여 활성탄을 100% 사용하는 조건(Case 1)과 제올라이트를 100% 사용하는 조건(Case 5)으로 구분하여 실험을 실시하였고, 활성탄과 제올라이트 배합비에 따른 탈취성능을 평가하기 위해 활성탄 75% + 제올라이트 25%를 사용하는 조건(Case 2)과 활성탄 50% + 제올라이트 50%를 사용하는 조건(Case 3), 활성탄 25% + 제올라이트 75%를 사용하는 조건(Case 4)으로 구분하여 실험을 진행하였다. 활성탄 및 제올라이트 배합비는 Table 3에 정리하였고 실험 결과는 Figure 9와 같다.

전체적으로 보면 Case 2(활성탄75% + 제올라이트 25%)의 TVOC 저감효율이 상대적으로 우수하다. Case 3(활성탄50% + 제올라이트50%)도 상대적으로 낮은 TVOC 측정농도를 보여주고 있지만 Case 2에 비해서는 다소 높은 경향이 있다. 또, Case 2와 Case 3은 Case 1(활성탄 100%)에 비해 낮은 측정농도를 보여주고 있으며, 이는 활성탄만 사용하는 것보다 활성탄과 제올라이트를 배합하여 사용하는 것이 TVOC 흡수에 더 효과적이라는 것을 보여준다.

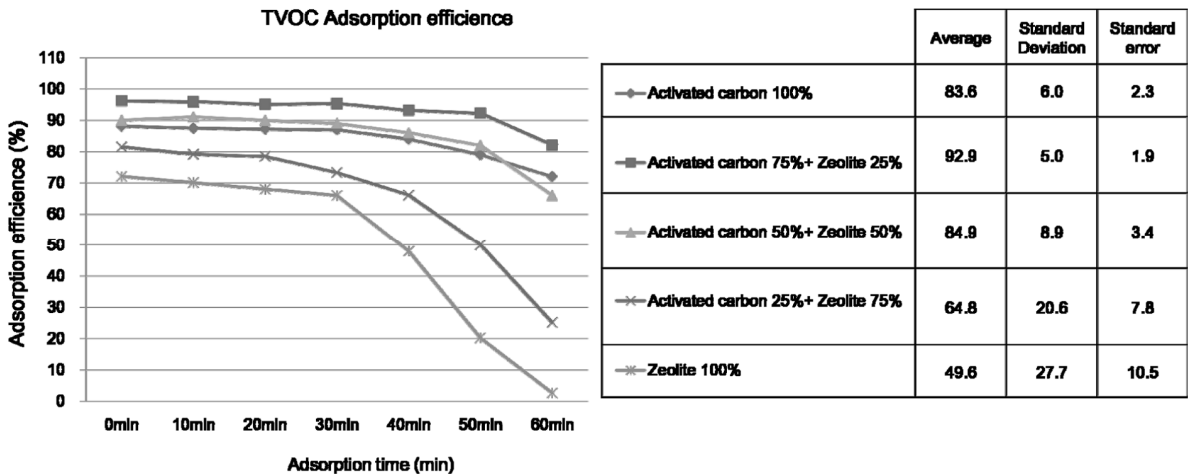


Figure 9. TVOC adsorption efficiency

활성탄이나 제올라이트 각각 한 종류만 사용할 경우의 TVOC 측정농도를 비교하면 활성탄이 제올라이트보다 훨씬 낮은 농도를 보이는 것으로 측정되었다. 활성탄과 제올라이트 배합비율에 따른 TVOC 저감 효율을 비교해보면 활성탄 비율 75%(Case 2)가 활성탄 비율 50%(Case 3), 활성탄 비율 25%(Case 4)보다 TVOC 저감 효율이 높은 것으로 나타났다. Case 4(활성탄25% + 제올라이트75%)도 활성탄과 제올라이트를 배합한 흡착제를 사용했지만 활성탄의 비율이 낮은 이유로 흡착효율이 대폭 떨어지는 것을 확인할 수 있다.

내구성을 보면 Case 1(활성탄 100%), Case 2(활성탄75% + 제올라이트25%), Case 3(활성탄50% + 제올라이트50%) 모두 50 min 정도에 파과점에 도달하면서 토출구 TVOC 농도가 급증한다. Case 4(활성탄 25% + 제올라이트75%)와 Case 5(제올라이트 100%)는 30 min 정도에서 파과점에 도달한다. 하지만 Case 2(활성탄75% + 제올라이트25%)를 제외한 기타 Case의 경우 초기 흡착효율이 90% 미만으로 연구대상 중공사공정에서 발생하는 악취에는 적합하지 않은 것으로 사료된다.

2) 고찰

활성탄의 비율을 더 높일수록 TVOC 저감 효율도 높아질 것으로 가정되지만 현실적으로 활성탄 비율을 높일수록 활성탄 분말의 비산 등으로 인해 기술적으로 탈취제의 정량 공급이 불안정하게 되는 문제를 초래할 수 있기 때문에 활성탄만으로는 최대의 저감 효율을 나타내지 못하는 것으로 보인다. Case 중 제올라이트를 100%(Case 4) 사용하였을 때가 저감 효율이 가장 낮는데 이것은 비록 제올라이트가 TVOC 농도 저감 효율이 있지만 100% 사용하기에는 한계점이 있다는 것을 보여준다.

따라서 TVOC 저감 효율이 제일 우수한 Case는 활성탄과 제올라이트의 비율이 75:25인 Case 2인 것으로 나타났다. 이는 활성탄에 흡착이 어려운 일부 물질이 제올라이트에 의해 흡착되면서 발생한 원인으로 판단된다. 하지만 탈취제로서 활성탄과 제올라이트의 적정 배합 비율은 항상 일정한 것이 아니라 오염원의 특성에 따라 변화를 주어야 하는데, 예를 들면 오염원의 습도가 높은 경우에는 활성탄의 비율을

줄이고 소석회를 일정한 비율로 배합하여 사용하는 것이 바람직하다. 이러한 배합을 통하여 오염원 습도 상승으로 인한 여과 집진기 차압증가 등의 문제점을 해소할 수 있다.

IV. 결 론

1. 본 연구에서는 분말 흡착제를 이용한 악취저감 여과집진-장치를 개발하고자 하였다. 분말활성탄과 분말제올라이트를 일정한 비율로 배합하여 탈취제를 제조한 후 여과 집진기에 유입되는 악취공기에 분사하여 악취를 제거하는 목적으로 진행되었고 시스템의 최적 운전 조건과 탈취제의 최적의 배합비율, 분말 입경, 분사 방법 등을 연구하는 것을 목적으로 진행되었다.

2. 1차 실험은 제작된 실험장치의 성능을 테스트하는 목적으로 수행되었다. 활성탄과 제올라이트의 배합비율 변화에 따라 모두 6개의 Case로 실험을 진행한 결과 암모니아에 대한 흡착효율은 Case 3(제올라이트 100%)이 상대적으로 우수하고 Case 4(800mesh 활성탄 25% + 제올라이트 75%)도 양호한 것으로 측정 되었다. 황화수소에 대한 흡착효율은 Case 1(800mesh 활성탄 100%)이 상대적으로 우수하고 Case 6(800mesh 활성탄 75% + 제올라이트 25%)도 양호한 것으로 측정 되었다. 이와 같은 결과로부터 암모니아 가스는 활성탄보다는 제올라이트에 잘 흡착되고 반대로 황화수소는 제올라이트보다는 활성탄에 잘 흡착되는 것을 알 수 있다. 또, 암모니아와 황화수소 가스 모두 800 mesh 활성탄 사용 시 400 mesh보다 흡착효율이 상대적으로 높았다. 같은 재질이라도 공극률에 따라 흡착효율이 차이가 있음을 알 수 있었다. 이와 같은 결론은 기타 연구에서도 도출된바 있지만 1차실험은 활성탄과 제올라이트의 흡착능 평가에 초점을 두기 보다는 발생하는 악취 물질의 특성을 정확하게 파악하고 그에 따른 적합한 흡착제 사용의 필요성을 설명하고자 하였다.

3. 2차 실험은 제작된 실험장치의 현실 적용 가능성을 평가하는 목적으로 수행되었다. 활성탄과 제올라이트의 배합비율 변화에 따라 모두 5개의 Case로 실험을 진행한 결과 대상 공정에 적합한 배합비율은 Case 2(활성탄75% + 제올라이트25%)로 실험 시작단

계의 96%에서 1시간 경과 후 82%까지 80%이상의 지속적 TVOC 흡착효율을 보여주었다.

4. 본 연구에서 제작된 시스템은 분진 호퍼에 포집된 흡착제를 집진기 전단 흡착제 투입구로 이송하여 재순환 할 수 있도록 설계되어 시스템 외부로의 분진(분말흡착제) 비산 문제가 없고 사용된 흡착제는 재활용을 하거나 일괄 처리가 편하다.

5. 본 연구에서 제작된 시스템은 실험용으로 실제 산업공정에서 적용하기에는 공기를 정화할 수 있는 용량이 부족할 수 있다. 하지만, 본 실험을 통해 시스템의 적용 가능성은 충분히 입증되었고 실제 오염물질 발생 특성에 근거하여 맞춤형작과 동시에 적절한 흡착제를 사용하면 효율적인 악취 포집 능력을 선보일 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2017~2018년도 창원대학교 자율연구과제 연구비 지원으로 수행된 연구결과입니다.

References

- Allen T. Particle Size Measurement. 4th ed, Chapman & Hall, London, 1990;547-28
- Burgess RM, Perron MM. Use of Zeolite for Removing Ammonia and Ammonia-Caused Toxicity in Marine Toxicity Identification Evaluations. Arch, Environ, Contam. Toxicol., 2004;(47):440-447
- Environmental statistics portal. Complaints about odor, 2017

- URL: http://stat.me.go.kr/nesis/mesp2/webStatistics/stat_main.jsp?tblID=DT_106N_99_2400002&inq_gubun=1&lang=kor&list_id=&l_interval=2
- Khan FI., Ghoshal AK. Removal of volatile organic compound from polluted air. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2000;(13):527-545
- Lee SCH. Odorous Gas Removal in Biofilter with Powdered Activated Carbon and Zeolite Coated Polyurethane Foam. Clean Technology; 2012. p. 209~215
- Masuda J, Fukuyama J, Fujii S. Influence of concurrent substances on removal of hydrogen sulfide by activated carbon. Chemosphere, 1999;39(10):1611-1616
- Morten GN. Removal of low concentration contaminant species using photocatalysis: Elimination of ethene to sub-ppm levels with and without water vapor present. Chemical Engineering Journal, 2015;262: 648~657
- Na BG. Effect of Rinse and Recycle Methods on the Pressure Swing Adsorption Process To Recover CO₂ from Power Plant Flue Gas Using Activated Carbon. American Chemical Society, 2002;41:5498-5503
- Oh KJ. Breakthrough data analysis of adsorption of volatile organic compounds on granular activated carbon. Korean J Chem Eng, 2010;27(2):632-638
- Piao CH. The Fundamental Study on Pulse Jet Cleaning of Rectangular Bag-Filter System. J Korean Soc Occup Environ Hyg, 2008;18(2):149-160
- Yang SH. Performance Evaluation of Wet Scrubber for Odor Removal using Operational Parameters, Study on Biosystems & Biomaterials Science and Engineering. M.S Dissertation, Seoul University, 2007
- Yim G. Absorption Engineering and Science. Dooyang Publishing company, 2004