

# FRP제품 가공시 발생하는 분진 및 악취 제거 시스템 개발

윤희관·김재용<sup>†</sup>

충북대학교 환경공학과  
(2009년 8월 14일 접수, 2009년 8월 22일 채택)

## System Development of Removing Dust and Odor from Manufacturing Process of FRP Products

Huy Kwan Yun and Jae Yong Kim<sup>†</sup>

Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University, Cheong-Ju 361-763, Korea  
(Received August 14, 2009; accepted August 22, 2009)

본 연구에서는 fiber reinforced plastics (FRP) 제품 가공시 발생하는 분진 및 악취 물질로 인한 작업현장의 악조건을 개선하기 위하여 activated carbon fiber (ACF) 장착 하이브리드 백필터를 개발하였다. FRP 제조업체 2개사에 ACF 백필터를 설치함에 있어 천장, 벽하단 부분에 덕트를 설치함은 물론 이동식 집진 덕트를 설치함으로써 집진효율을 높였다. 펄스젯식 탈진방식을 채택하여 효과적인 시스템 운영을 유도함으로써 작업환경을 개선하고자 하였다. 하이브리드 백필터 시스템 운용시 이에 따르는 분진과 악취에 대한 제거동향을 고찰하였다.

When fiber reinforced plastics (FRP) products are manufactured, dust and odor materials are inevitably generated in a workplace. To improve the bad condition of the workshop, we developed the Hybrid Bag Filter attached activated carbon fiber (ACF) and installed the system at two companies producing FRP goods. In order to raise the efficiency of dust collection, we set the ducts both on the ceiling and at the bottom of the wall and according to the circumstances of the workshop's space, moving dust collector also adopted as a different type of flexible duct. Pulse Jet Type Bag Filter is also equipped to operate the system more effectively, for the improved fine environment because of high dust removal efficiency. Finally, we investigated the removal tendency of the dust and odor when operating the System of Hybrid Bag Filter.

**Keywords:** removal system, dust, odor, ACF, bag filter

### 1. 서 론

일반적으로 fiber reinforced plastics (FRP) 제조업체가 처해있는 열악한 작업환경 개선을 위한 체계적 시스템 구축의 일환으로, FRP 제품을 생산하고 있는 두 개의 중소기업체를 선정하여 FRP 제품 가공시 발생하는 분진 및 악취를 제거하고자 하였다. 분진제거에 관한 시스템과 아울러 FRP 수지강화시 발생하는 악취성분 즉 유기화합물들에 대한 물리화학 및 기기 분석을 시도하여 보다 체계적이면서 효율적인 방지시스템을 개발하고자 하였다.

현재 국·내외 관련기술현황에서 파악한 바와 같이, 종래의 악취 및 먼지제거 기술은 처리방법이나 경제성 면에 있어서 만족스럽지 못한 측면이 있고, 먼지와 악취가 동시에 발생하는 작업장의 경우 이 두 시설을 별도로 설치해야 하는 것이 큰 문제점이었다. 하나의 시설로 두 가지 피해상황을 함께 처리 가능한, 분진 및 악취 동시제거용 복합 백필터 시스템을 개발하였다[1].

FRP제품 가공시 발생하는 분진 및 악취 물질로 인한 작업현장의

악조건을 개선하기 위하여 기존의 백필터와 activated carbon fiber (ACF)의 이중필터 형식의, ACF장착 백필터를 적용함으로써 작업환경을 개선하였고 장치의 규모를 소형화하고, 가동 및 유지관리를 용이하게 함으로써 소자본, 고효율의 시스템개발을 연구하였다. 또한 FRP제조기업 2개회사[D사(D. Co.와 H사(H. Co.))에 ACF 백필터를 설치함에 있어 천장, 벽하단 부분에 덕트를 설치함은 물론 작업환경을 고려하여 이동식 집진 duct를 설치함으로써 집진효율을 높이고, pulse jet type bag filter 탈진방식을 채택하여 보다 효과적인 시스템 운영을 유도함으로써 보다 효과적으로 작업환경을 개선토록 하였다[2].

### 2. 실 험

#### 2.1. 작업장 내 분진 측정

본 연구에서 적용한 먼지측정방법은 2가지로서 TSP와 PM10이며 측정방법과 측정기구는 다음과 같다.

##### 2.1.1. TSP (Total Suspended Particle, 총먼지)

여과지에 먼지를 채취하여 중량법으로 분석한다. 시료채취는 고정시험법에 따라 하이볼륨에어샘플러(himaxtech, EPAM-5000)를 이용

<sup>†</sup> 교신저자(e-mail: jykim4@korea.com)

Table 1. Analysis Instrument and Fixed Condition

Specimen sampling method	Bag sampler	Quantity of concentration gas	300 mL Inj.
Analytical method	Low temperature concentration (SPT) - GC	Concentration time	10 min
Analysis instrument	Varian 3600CX	Analytical time	Concentration 10 min Analysis 60 min Total 70 min
Column	VOCOL 105 m	Detector	FID & PFPD
Sampling place	1 M rear point from Resin stiffening process workshop		

하여 4~8 h 샘플링 해야 하나, 작업현장의 특성상 1~2 h 샘플링 하였으며 측정 전후 유량은 대부분  $\pm 5\%$  이내였으며 이 범위를 벗어날 경우에는 시료를 폐기하였다[3].

여과지는 측정 전후에 향온향습 챔버에서 평형이 이루어지도록 24 h 이상 방치하였으며, 매 측정 시 전체 시료수 10%의 공시료를 동시에 분석하여 향온향습상태나 저울의 감도에 대한 정확도를 관리하였다.

### 2.1.2. PM10 (Particulate Matter 10 $\mu\text{m}$ or less in aerodynamic diameter)

PM10을 측정하기 위한 기구는 공기채취펌프에 사용할 수 있도록 고안된 personal environmental monitor (MSP corporation, PEM model 200-2-10)를 사용하였다.

## 2.2. 작업장 내 악취측정

기존의 악취물질의 분석은 주로 관능법에 의존해 왔으나, '94년 1월부터 기기분석법과 공기희석관능법이 대기오염 공정시험법으로 채택되었다. 직접관능법은 악취가 발생하는 사업장의 부지경계선상이나 피해지점에서 취기강도가 가장 높은 지점을 선정해서 건강한 사람의 후각을 이용하여 악취의 추가강도를 측정하는 방법으로 측정방법과 악취판정도를 이용하였다. 악취는 각 업체의 수지경화공정 작업장 내에서 샘플링하였으며 분석에서 VOC물질 total hydro carbon [THC, 총 탄화수소(as ethylene)]와  $\text{NH}_3$ , 트리메틸아민(trimethylamine), 스티렌(styrene) 등 현행 1회석 항목에 관하여 분석하였으며, 분석기기 및 기타조건은 다음과 같으며, 2사 모두 같은 방법으로 측정하였다. 공장에서 발생하는 악취물질들은 공정에 따라 단일성분 또는 여러 가지 성분이 혼합된 상태로 발생하는데 업종뿐만 아니라 공장규모, 작업방법, 가공공정, 관리방법, 기후조건 및 입지장소 등에 따라 취기의 정도에 상당한 차이가 있다는 것을 고려하였다[4].

분석기기 및 기타조건은 Table 1에 나타내었다.

## 2.3. 시스템 설계 및 제작

압력손실에 대한 본 집진장치의 2중 여과포에 대한 파과점을 계산하여야 하며, 이 경우는 각 참여기업의 분진이 inlet의 경우  $200 \text{ m}^3/\text{min}$ 의 유량으로 평균  $400 \text{ mg}/\text{Sm}^3$ 의 농도로 유입되므로 총 유입량은  $80 \text{ g}/\text{min}$ 이다. 실제적으로 10개를 1세트의 백필터로 설치하여 총 10 set를 제작할 것이므로, 각 세트당 solenoid valve를 설치한 jet pulse operation type은 보통의 경우 solenoid valve operating time을 10 s 간격으로 하기 때문에 recycling time은 100 s이다.

실제 각 공장의 작업현장의 상황에 따라 집진장치설비에 대해 산정한 처리 분진 공급량 수치가  $1.8 \text{ m}^3/\text{min}$ 일 경우,  $20 \text{ g}/\text{Sm}^3$ 으로의 입구

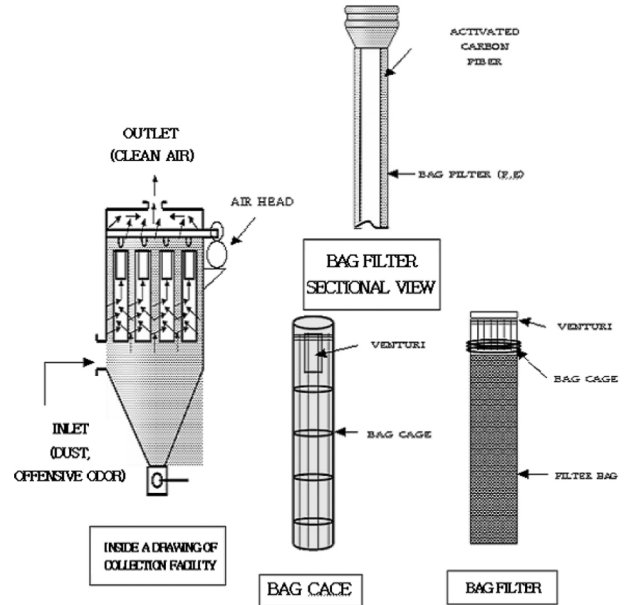


Figure 1. Detail drawing of double filter structure using the filter cloth and the activated carbon fiber.

먼지를 계산하면 파과점 즉,  $150 \text{ mmH}_2\text{O}$ 까지의 소요시간은 80~150 s이다. 이때 탈진횟수가 많으면 그만큼 여과포의 마모손실을 초래하므로 한계 영역 이상이나 그 이하로의 탈진시간은 여과필터의 수명을 단축시켜 유지비용을 상승시킬 것으로 판단된다[5].

결과적으로 본 집진장치에서의 여과포에 대한 jet pulse operation time인 1세트당 10 s 즉, 1 recycle당 총 100 s는 적정수준이라 판단된다.

ACF 백필터의 설계도면은 다음 Figure 1에 나타내었다.

Duct 설치의 경우 이미 서론에서도 언급한 바 있지만, D.Co.의 경우는 천정과 벽면 아래쪽에 설치하였고, H.Co.의 경우는 FRP 오수정화조를 생산하는 기업으로서 길이가 13 m가 되어 작업면적이 넓기에 차바라 식으로 이동 덕트를 적용하여 작업효율을 높이고자 하였다.

## 3. 결과 및 토론

### 3.1. 작업장 내 분진 측정 결과

#### 3.1.1. 대상기업별 발생분진에 대한 SEM사진

각 업체의 미세분진의 거동과 특성을 조사하기 위해 각각 200배율, 3000배율의 SEM사진 Figures 2, 3에 제시하고 분석하였다.

작업장에서 발생된 분진의 입자 형태는 일정한 형태를 띠지 않은 상태로 입자 크기 분포는  $1 \mu\text{m}$  이하에서 수십  $\mu\text{m}$  사이의 불균일한 입자 분포를 보이고 있다. 이러한  $1 \mu\text{m}$  이하의 작은 입자 생성은 작업장에서 발생 시 직접적으로 작업자에게 흡입시 심각한 피해를 발생할 수 있으므로 filter를 통한 깨끗한 환경을 만들 필요가 의무적으로 동반된다.

Figure 2와 Figure 3에서 보이는 D사, H사 분진은  $1 \mu\text{m}$  이하의 작은 입자가 따로 관찰되기 보다는 응집된 형태의 수십  $\mu\text{m}$  막대 형태의 분진이 많이 관찰되고 있다. 특히 수백  $\mu\text{m}$  정도의 입자는 3000배 확대 사진에서 보는데와 같이 분진 하나하나의 입자는 작은 입자들이 집단으로 붙어서 형성된 것으로써 충격에 의해 분해되면 미세분진이 다량 발생할 우려가 있다는 것을 확인할 수 있다[6].

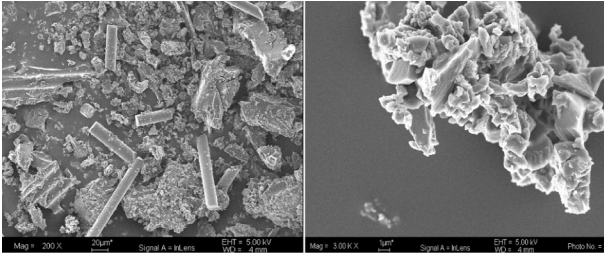


Figure 2. SEM photograph of dust produced from D.Co. workshop.

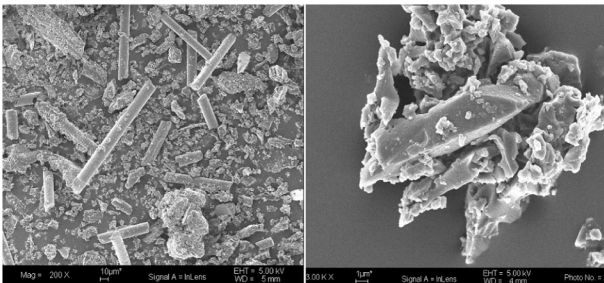


Figure 3. SEM photograph of dust produced from H.Co. workshop.

Table 2. Non-surface Area and Pore Volume of the Dust Which Occurred from Two Companies

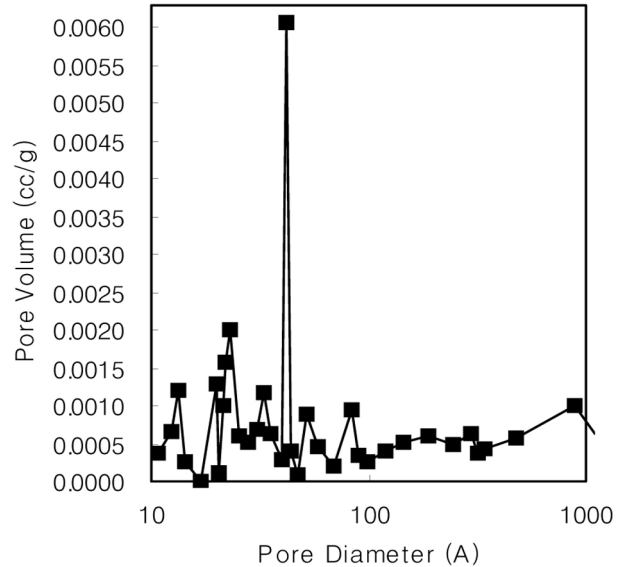
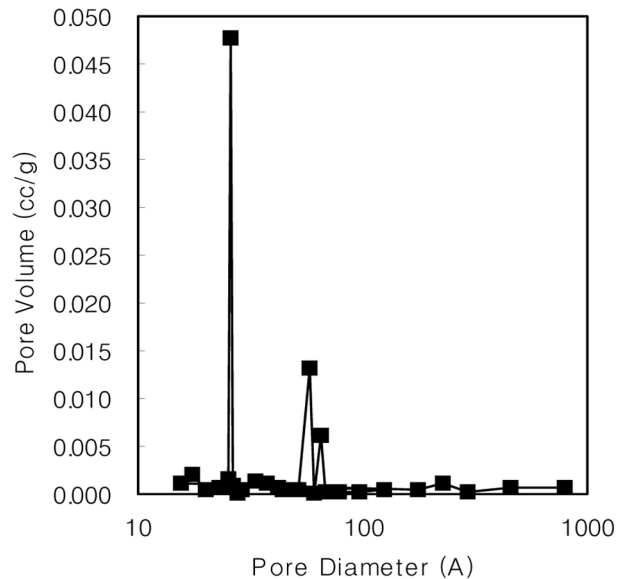
Specimen dust	BET surface area ( $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ )	Total pore volume ( $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ )
H.CO.	0.91	0.0028
D.CO.	0.53	0.0013

### 3.1.2. 발생분진에 대한 BET 분석내용 검토

2개 업체에서 발생한 분진에 대한 입자의 기공 크기 및 비표면적 비교를 위하여 액체 질소 온도 하에서 질소 흡착을 이용하여 측정하여 위의 자료에 나타내었다[7].

위 두개 업체에 대한 분진들의 질소 흡착 분석 결과 공회 FRP의 미세분진으로서 각각의 비표면적(BET surface area)은 H사 > D사로 거의 2배차이가 난다. 즉  $0.91 > 0.53 \text{ m}^2/\text{g}$  로서 입자의 크기는 SEM 사진에서 관찰된 것과 같이 역순이 된다. 이러한 낮은 비표면적은 입자 분진 모두 non-porous 물질이라는 것을 의미하는 것이다. 비표면적의 차이는 총 기공 부피에서도 같은 경향을 보이고 있다. 이러한 비표면적과 총 기공 부피 변화의 동일한 증가 경향은 특히 non-porous 물질에서 종종 관찰되곤 한다.

한편 FRP 제품 제조시 생성되는 미세 분진으로서의 흡·탈착에 대한 pore volume 분포의 정도는 서로 다른 경향을 나타내고 있다. 일반적인 경우 분진들의 pore volume distribution은 입자들의 밀도와 크기에 비례하는 경향을 나타내고, 즉 입자의 크기가 클수록 작은 pore diameter에서 pore volume distribution이 커짐을 보여야 하지만 이 경우는 일정하지가 않다. 그 이유는 SEM에서도 확인한 바 있듯이 FRP 제조시 발생하는 분진이 수지경화 작업시 불포화에스테르와 styrene monomer (SM) 및 겔코드 등으로 화학적으로 처리되어 고분화되는 과정에서 결정구조가 amorphous형과 섞여 있어 침상형 등으로 만들어진 복합구조를 갖고 있기 때문이다. 따라서 흡착보다는 탈진이 용이하지 못할 것으로 예상되며, 이로 인한 추가적 압력손실을 고려해 주어야 할 것이다. 그러므로 FRP 제조시 발생하는 분진들의 복합적 결정구조로 인한 계의 압력손실을 고려하여 시스템 가동시 적절한 송

Figure 4.  $dV/d\log(D)$  adsorption pore volume plot [D.Co.].Figure 5.  $dV/d\log(D)$  desorption pore volume plot [D.Co.].

풍량조절이 필요할 것으로 판단된다[8].

각 2사에서 수집한 분진에 대해  $\text{N}_2$  adsorption-desorption isotherm을 Figures 6, 9에서 도식화하였다. 2사의 분진 모두 non-porous 물질이 갖는 전형적인 isotherm 형태를 보였으며 이것은 P/Po 값이 0.1 이하에서 거의 흡착분율을 보이지 못하는 것으로 알 수 있다. 그리고 P/Po 값이 0.8 이상에서 상승하는 것은 입자간의 응집에 의하여 생성되는 20 nm 이상의 공극형성에 의한 것으로 작은 입자가 응집된 큰 입자 생성이 있음을 보여 주고 있다. 이러한 입자 응집체는 SEM 사진에서 관찰된 바 있다.

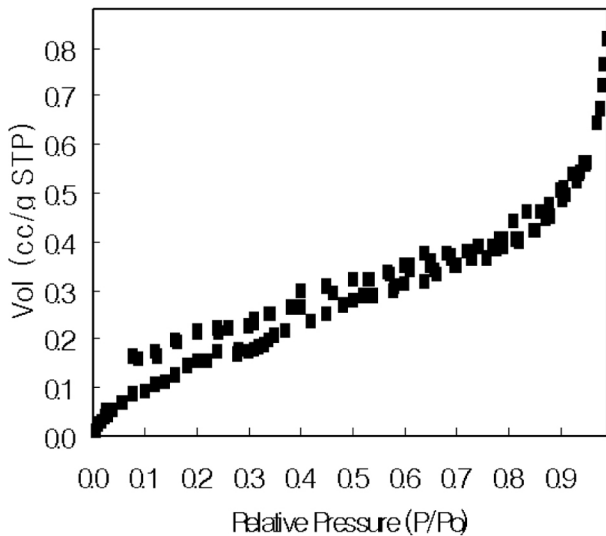
## 3.2. 시스템 도입에 따른 분진 및 악취의 제거

### 3.2.1. 분진 및 VOC물질 제거

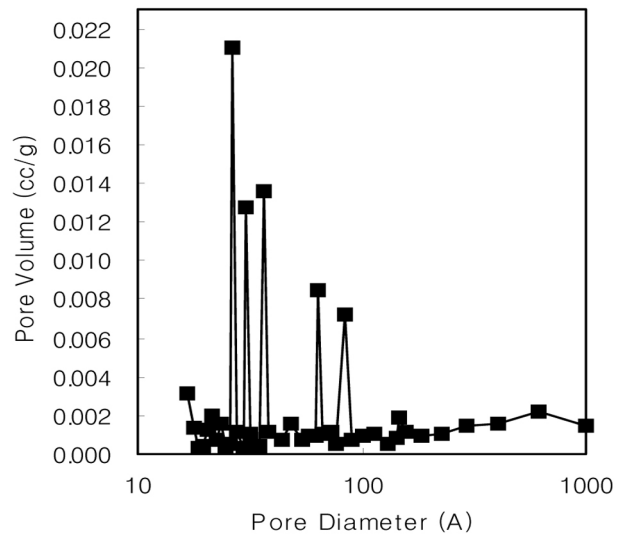
도출된 설계인자들을 통하여 먼지 및 악취 동시제거시스템 장치 제작을 완료하였고, 현재 두 회사 모두 설치하여 시험가동 중에 있으며

**Table 3. Efficiencies of ACF Bag Filter System after Operation**

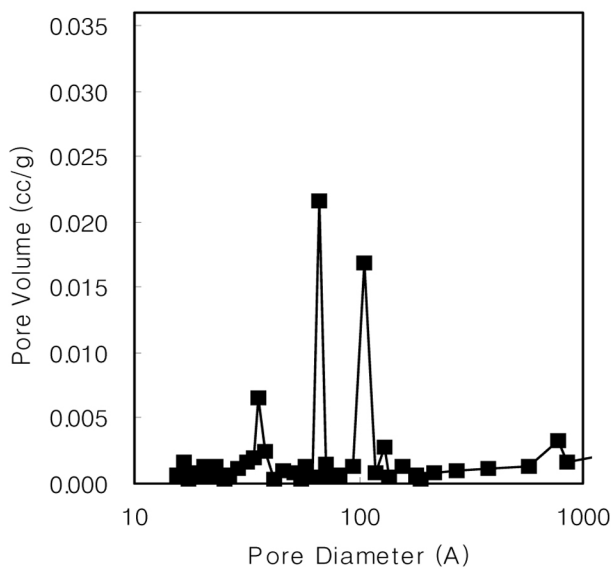
Enterprise	Measurement item	Environmental standards of exhaust permission (24 h average)	Measurement result		Efficiency
			Prevention facility (Inlet point)	Prevention facility (Outlet point)	
D.Co.	Dust	100 (mg/Sm <sup>3</sup> )	296.70	5.1	98.3%
	TSP	- (µg/Sm <sup>3</sup> )	4,818.2	62.4	98.7%
	PM-10	150 (µg/Sm <sup>3</sup> )	1,230.80	21.6	98.2%
	THC	- (ppm)	11.7	4.3	
H.Co.	Dust	100 (mg/Sm <sup>3</sup> )	312.5	4.6	98.5%
	TSP	- (µg/Sm <sup>3</sup> )	3,155.2	64.2	98.0%
	PM-10	150 (µg/Sm <sup>3</sup> )	857.1	31.9	96.3%
	THC	- (ppm)	18.6	8.3	



**Figure 6. N<sub>2</sub> adsorption-desorption isotherm plot [D.CO.].**



**Figure 8. dV/dlog(D) desorption pore volume plot [H.Co.].**



**Figure 7. dV/dlog(D) adsorption pore volume plot [H.Co.].**

분진 및 악취에 대한 환경질 조사 시험성적서는 Table 3과 같다. 위 결과에서 보는바와 같이 분진은 98% 이상 제거 효율을 보였으며, 악취물질은 방지시설 전단부에서 환경기준보다 매우 낮게 측정되

었으나 쉽게 휘발하여 확산되므로 작업장 내에서 측정된 자료는 실제 작업자에게 미치는 농도에 비해 매우 낮다고 할 수 있다. 배출구에서의 THC의 농도를 환경기준 10% 이하로 제거함으로써 주변지역 악취로 인한 피해를 방지하였다.

3.2.2. 방지장치 가동전·후 현장 내 악취분석 결과

작업구역 1 m 후방에서 시료 채취하고 기준치는 부지 경계선 기준치에 맞추어 분석을 한 결과 현행 12개 항목에 관하여 작업장 내의 악취물질은 환경기준 이하로 제거할 수 있었다. 특히 propionaldehyde에 대해서는 2사 모두 99%가 넘는 제거 효율을 보이고 있다.

4. 결 론

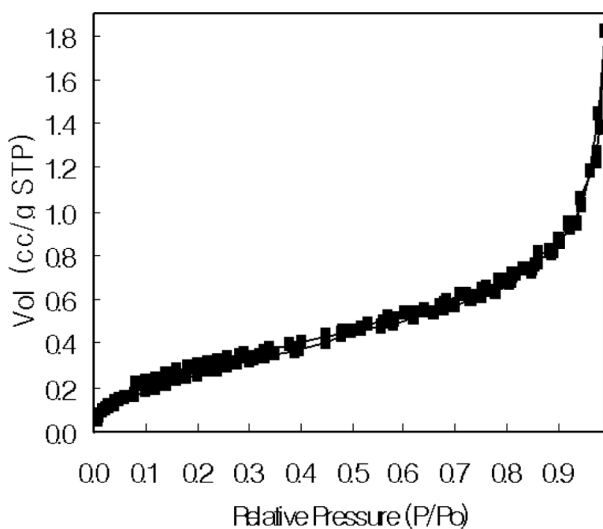
본 연구는 ACF장착 백필터를 적용한 분진 및 악취 동시제거를 실험하였으며, 이에 대한 결론은 다음과 같다.

- 1) 하나의 시설로 두 가지 피해상황을 함께 처리 가능한, 분진 및 악취 동시제거용 복합 하이브리드 ACF 백필터 시스템을 개발하였다.
- 2) FRP제조기업 2사의 ACF 백필터를 설치함에 있어 천장, 벽하단부에 덕트를 설치함은 물론 작업환경을 고려하여 이동식 집진 duct를 설치함으로써 집진효율을 높이고, 펄스제트식 탈진방식을 채택하여 보다 효과적인 시스템 운영을 유도함으로써 보다 효과적으로 작업환경을 개선하였다.

Table 4. Result of Harmful Odor Analysis

Classification	Item	Standard		D.Co.	H.Co.
VOC	THC (as Ethylene)		Before	11.7 ppm	18.6 ppm
			After	4.3 ppm	8.3 ppm
Offensive odor functions test	Organic functions test	Line of site boundary 2 degree	Before	2	2
			After	1	1
	Dilution Organic functions test	Industry area : 1000 times Other area : 500 times	Before	-	-
			After	-	-
NH3	Industry area : 2 ppm Other area : 1 ppm	Before	-	-	
		After	-	-	
Trimethylamine	Industry area : 0.02 ppm Other area : 0.005 ppm	Before	N.D	N.D	
		After	N.D	N.D	
Acetaldehyde	Industry area : 0.1 ppm Other area : 0.05 ppm	Before	0.044 ppm	0.027 ppm	
		After	0.005 ppm	0.012 ppm	
Propionaldehyde	Industry area : 0.1 ppm Other area : 0.05 ppm	Before	1.135 ppm	0.622 ppm	
		After	0.021 ppm	0.031 ppm	
n-Butyraldehyde	Industry area : 0.1 ppm Other area : 0.029 ppm	Before	N.D	0.005 ppm	
		After	N.D	0.004 ppm	
Valeraldehyde	Industry area : 0.02 ppm Other area : 0.009 ppm	Before	0.840 ppm	0.029 ppm	
		After	N.D	N.D	
Offensive odor (Current 12 item)	Isovaleraldehyde	Industry area : 0.006 ppm Other area : 0.003 ppm	Before	N.D	N.D
			After	N.D	N.D
Styrene	Industry area : 0.8 ppm Other area : 0.4 ppm	Before	N.D	N.D	
		After	N.D	N.D	
Hydrogen Sulfide	Industry area : 0.06 ppm Other area : 0.02 ppm	Before	0.061 ppm	0.043 ppm	
		After	0.013 ppm	0.012 ppm	
Methyl mercaptan	Industry area : 0.004 ppm Other area : 0.002 ppm	Before	0.003 ppm	N.D	
		After	0.001 ppm	N.D	
Dimethyl sulfide	Industry area : 0.05 ppm Other area : 0.01 ppm	Before	0.027 ppm	0.016 ppm	
		After	0.008 ppm	0.005 ppm	
Dimethyl disulfide	Industry area : 0.03 ppm Other area : 0.009 ppm	Before	N.D	N.D	
		After	N.D	N.D	

※ Scope of the exhaust permission standard which is strict  
 - Exhaust permission standard of upper limit industry area  
 - Exhaust permission standard of the lower limit other area

Figure 9. N<sub>2</sub> adsorption-desorption isotherm plot [H.CO.].

3) 개발 방지시설 가동 후 두 회사의 분진 중 TSP는 98% 이상, PM10 95% 이상 제거되었고, THC 역시 10 ppm 이하까지 제거하여

작업현장의 분진 및 악취물질의 수준이 환경기준치 이하의 결과를 얻을 수 있었다.

4) 입자의 크기가 클수록 작은 pore diameter에서 pore volume distribution이 커짐을 보여야 하지만 이 경우는 일정하지가 않다. FRP 제조시 발생하는 분진이 수지경화 작업시 불포화에스테르와 SM 및 겔 코드 등으로 화학적으로 처리되어 고분자화 되는 과정에서 결정구조가 amorphous형과 섞여 있어 침상형 등으로 만들어진 복합구조를 갖고 있기 때문이다. 따라서 흡착보다는 탈진이 용이하지 못할 것으로 예상되며, 이로 인한 추가적 압력손실을 고려해주어야만 할 것이다. 그러므로 FRP 제조시 발생하는 분진들의 복합적 결정구조로 인한 계의 압력손실을 고려하여 시스템 가동시 적절한 송풍량조절이 필요할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서 개발된 ACF 장착 백필터시스템은, FRP 제조업체 분야에 뿐만 아니라 여타 산업공장에서 분진과 악취가 문제가 되는 전 업종에 적용 가능한 무한한 활용성이 있다고 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 2005년도 중소기업청에서 시행한 생산현장 직무기피 요인해소사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

## 참 고 문 헌

1. K. H. Kim, Ph. D. Dissertation, Chungbuk National University, Cheong-Ju, Korea (1998).
2. H. K. Yun and J. Y. Kim, System development for removing dust & odor from manufacturing process of resin products (I), *J. Korean ind. Eng. Chem. Res.*, **20**, 218 (2009).
3. J. H. Gu, Atmosphere environmental system plan, Donghwa Technology Pa-ju, Korea (2006).
4. J. H. Song, Theory and practical affairs of offensive odor analysis, Sinkwang Cultural Company, Pa-ju, Korea (2007).
5. C. J. Yu, *A High Environmental Technology*, **1**, 78 (1998).
6. R. W. Boubel, Fundamental of Air Pollution, Academic Press, London (2003).
7. W. J. Lee, Ph. D. Dissertation, Yosu University, Yo-su, Korea (2002).
8. B. H. Kim, Ph. D. Dissertation, Yonsei University, Seoul, Korea (2002).