

# 수지제품 가공시 발생하는 분진 및 악취 제거 시스템 개발(I)

윤희관 · 김재용<sup>†</sup>

충북대학교 환경공학과  
(2009년 2월 24일 접수, 2009년 3월 9일 채택)

## System Development for Removing Dust & Odor from Manufacturing Process of Resin Products (I)

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

Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University, Cheong-Ju 361-763, Korea  
(Received February 24, 2009; accepted March 9, 2009)

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. 기존의 Bag Filter와 ACF (활성탄섬유)의 이중필터 형식인, ACF장착 Bag Filter를 적용하여 하나의 시설로 분진 및 악취 동시제거용 복합 Bag Filter 시스템을 개발을 위한 기초자료를 검토하였다.

As we look into the related technologies at home and abroad, the odor and dust removal technologies did not make us satisfied because its removal method is not appropriate and its economical efficiency was low. If bad odor and dust were generated simultaneously, we should install two removal factories separately, and it made a big problem. Consequently, we investigated to obtain the related basic information for a new hybrid bag filter system which can remove both odor and dust at the same time, using bag filter with ACF (dual filter type).

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

### 1. 서 론

섬유강화플라스틱(FRP: Fiber Reinforced Plastics)란 유리섬유(Fiber Glass)를 주보강재로 하여 불포화폴리에스테르 수지(Unsaturated Polyester Resin)를 함침 가공한 복합 구조체로서 알루미늄보다 가볍고 철보다 강한 내식, 내열 및 내부식성이 우수한, 반영구적인 소재로 매우 큰 강도를 지니고 있으며, 전 산업분야에서 응용분야가 확대되고 있는 신소재 플라스틱 제품이다.

수많은 장점을 지닌 FRP를 원료용 재료로 하여 만들어지는 요즘 제품들은 전 산업분야에서 다목적으로 사용되고 있으며 앞으로도 그 사용량이 증가추세에 있다. 따라서 이용하고자 하는 사용수요와 맞물려 제작업체 역시 급증하였지만, 제작 및 성형공정시 필연적으로 발생하는 분진 및 악취발생으로 인한 작업환경에 따른 애로사항은 매우 심각하다.

몇몇 대기업의 경우를 제외하고는 FRP제조업체들은 거의 대부분이 영세업체들이기 때문에 성형작업시 필히 발생하는 유리섬유를 함유한 미세분진들의 산포로 인한 피부질환 및 호흡기질환과 아울러 발암성물질에 의한 발병을 심히 두려워하고 있는 실정이다. 또한 수지 경화시 발생하는 악취로 인한 심한 구토와 아울러 알레르기 및 피부

질환을 야기 시키는 등 FRP제조업체들이 갖고 있는 작업환경은 매우 열악하고, 더욱이 대기업들조차 이제는 서서히 하청을 주고 있는 상황에서 볼 때 FRP제조업체들이 안고 있는 문제점은 상당히 심각한 수준에 와있다. 이와 같이 열악한 작업환경 속에서 작업자들이 생산 현장에서 작업을 기피하고 있는 추세이다. 따라서 본 연구자들은 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 체계적이면서도 효율적인 SYSTEM 개발을 최종목표로 한다. 따라서 기존에 먼지 제거용으로 사용하던 Bagfilter에 악취제거 효율이 높은 활성탄소섬유인 ACF를 장착한 하이브리드형 Bagfilter를 개발하여, 이것으로 먼지와 악취를 동시에 제거하고자하였다. 이를 위한 기본적 자료를 얻기 위하여 ACF에 대한 악취성분들의 흡착능과 탈착능을 비교하였으며 여과포에 의한 먼지 통과율과 압력손실 역시 조사하였다.




### 2. 실 험

#### 2.1. 활성탄 섬유별 용제에 따른 흡착능 비교

본 연구를 위해 현재 개발된 A-10, A-15, A-20 3종류의 활성탄 섬유를 이용해 악취발생의 주요원인이 되는 물질인 Styrene, Methyl Ethyl Ketone, Methyl Mercaptane, Tetrahydrofuran, Toluene, Ozone 총 6종류의 용제별 활성탄 섬유에 대한 흡착능을 곡선을 분석하였다. 실험은 상온에서 실행되었으며 용제의 농도에 따른 활성탄 섬유의 흡착능을

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

**Table 1. Physical Properties of Cellulose Origin Activated Carbon Fiber (A-10, 15, 20)**

항목	A-10	A-15	A-20
실사			
비중(g/m <sup>2</sup> )	100~380	100~380	100~380
두께(mm)	0.8~3.5	0.8~3.5	0.8~3.5
I <sub>2</sub> 흡착력	1,250 mg/g	1,550 mg/g	1,850 mg/g
벤젠흡착력	35 mg/g	50 mg/g	80 mg/g
비표면적	1,000 m <sup>2</sup> /g	1,300 m <sup>2</sup> /g	1,500 m <sup>2</sup> /g

측정하였다.

본 연구에 적용된 활성탄섬유 3종류는 사업의 규모와 실정에 맞는 범위 내에서 선정된 (주)C사에서 공급된 셀룰로오스계 활성탄 섬유이며 물성 및 특성은 Table 1에 제시하였다.

## 2.2. 셀룰로오스계 활성탄 섬유의 벤젠 흡착/탈착 특성

활성탄 섬유별 용제에 따른 흡착능 비교에서 우수한 흡착능을 보인 셀룰로오스계 활성탄소섬유의 시간에 따른 흡착성능에 대해 조사하고 과과시기를 추적하기 위해 대표적인 VOC물질의 하나인 벤젠을 대상으로 흡착과 탈착 특성을 실험하였다.

실험장치의 구성은 청정공기 주입부, 벤젠가스 주입부 및 측정부로 구성된다. 이 때, VOC를 포함하지 않은 청정공기를 희석공기로 사용하였고, 두 대의 Mass Flow Controller (MFC)를 이용하여 벤젠을 일정 농도로 공급하였다. 시험 가스로 가용한 벤젠은 1000 ppm의 표준 혼합가스를 사용하였다. 활성탄소섬유 필터는 필터고정부에 설치하였고, Total Volatile Organic Compounds (TVOC) 측정기(VH Sniffer II, KINSCO)를 이용하여 필터 고정부의 상류와 하류에서 벤젠의 농도를 실시간으로 측정하였다.

실험은 단면 유속 0.5 m/s, 초기 벤젠 농도가 1.50 ppm에서 수행하였고, ACF 필터의 과과(breakthrough) 이후에는 벤젠의 공급을 중단하고 청정공기만을 주입함으로써 탈착특성을 살펴보았다. 실험 중 duct 내부의 온도는 25 °C (± 3 °C)로 유지하였다.

사용된 셀룰로오스계 ACF필터의 성능사양은 Table 2와 같다.

## 2.3. 4대 악취물질에 대한 탈취 기능

대표적 4대 악취물질에 대하여 샘플규격 A-20 (5 cm × 7.5 cm × 1매, ACF중량 : 0.19 g/매)을 사용하여 시험용기체적 500 cc인 반응관에서 정지법을 이용하여 흡착실험하였다. 대상 시험가스들의 초기 농도를 조절하여 주입시켰고, 시험용기 내에 각 가스의 잔존율을 15 min과 30 min의 경우에서 검지관에서 측정하였으며 그 결과, ACF로 의 가스들에 대한 탈취능을 비교 검토하였다.

## 2.4. 압력손실 특성 및 먼지통과율 분석

먼지층 두께는 여과시간 경과에 따라 증가하고 이때 기체통과에 따

**Table 2. Physical Properties of Cellulose Origin Activated Carbon Fiber Used Benzene Adsorption**

Thickness (mm)	Weight (g/m <sup>2</sup> )	Apparent density (g/cm <sup>3</sup> )	Specific surface Area (m <sup>2</sup> /g)
5	420~520	0.056	1,350~1,550

른 저항도 증가하게 된다. 따라서 압력손실이 증가하게 되므로 탈진 조작을 반복적으로 수행한다. 일반적으로 산업체의 여과포 집진장치는 압력손실이 약 130 mmH<sub>2</sub>O~150 mmH<sub>2</sub>O 정도에 도달하면 탈진 조작을 수행한다. 이와 같이 반복적인 탈진조작에 의해 마모가 발생되어 여과포 수명을 단축하고 여과포 틈새의 크기를 증가시켜 먼지입자 통과율이 증가하는 문제점이 계속 발생되고 있다. 이런 문제점을 해결하기 위해서는 탈진 횟수를 대폭 줄여 여과포의 마모속도를 최소화하고, 최소에너지에 의해 탈진되도록 여과포 표면에서 먼지층 유리 효과가 커야 한다.

## 3. 결과 및 토론

### 3.1. 흡착능 비교

Figure 1에서 보는바와 같이 Styrene은 11 ppm 이상부터 미세하지만 A-20 활성탄섬유가 가장 높은 흡착능을 보였으며, Methyl Ethyl Ketone의 경우 역시 A-20이 근소한 차이로 보다 나은 흡착능을 보였고 100 ppm 이상 농도가 높아질수록 다른 종류의 활성탄섬유보다 월등히 높은 흡착능력을 보였다. Ozone의 경우 Figure 6을 살펴보면 1 ppm 이하에서 A-20 활성탄 섬유가 우수한 흡착능을 보였으나 10 ppm까지 농도가 높아지면서 A-15 활성탄섬유와 근사한 흡착능을 갖는 것이 확인되었다. Tetra hydrofuran도 마찬가지로 A-20 활성탄섬유가 미세하지만 더 우수한 흡착능을 보였다.

실험결과 셀룰로오스계 활성탄소섬유 중 A-20이 VOC물질에 대한 흡착능이 우수하다는 것을 나타냈다.

### 3.2. 셀룰로오스계 활성탄 섬유의 벤젠 흡착/탈착 특성

앞서 실험에서 얻은 결과인 A-20을 사용하여 벤젠의 흡착탈착 특성을 비교하였다.

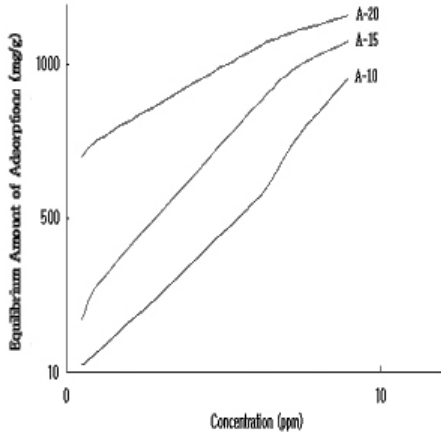


Figure 1. Styrene adsorption isotherm at 25 °C.

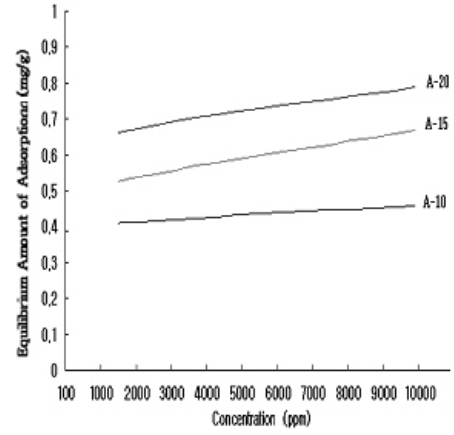


Figure 4. Tetra Hydro Furan adsorption isotherm at 25 °C.

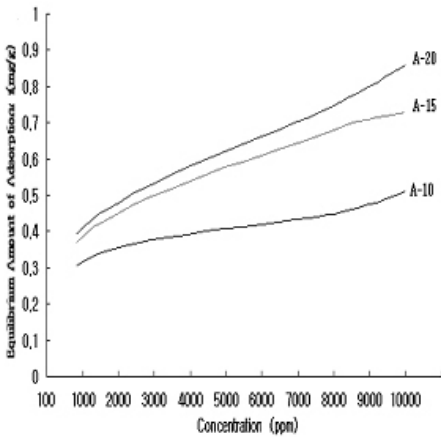


Figure 2. Methyl Ethyl Ketone adsorption isotherm at 25 °C.

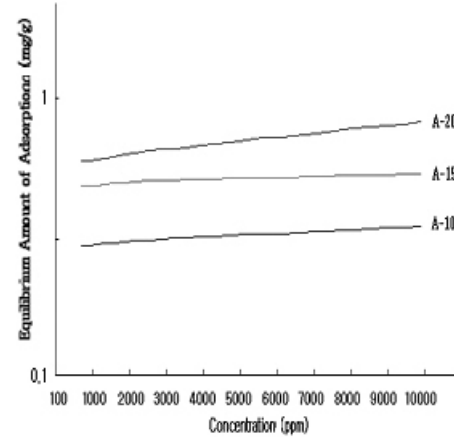


Figure 5. Toluene adsorption isotherm at 25 °C.

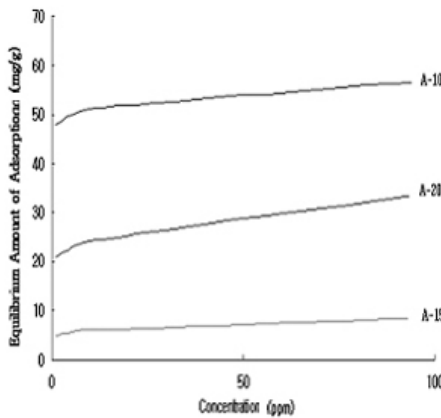


Figure 3. Methyl Mercaptane adsorption isotherm at 25 °C.

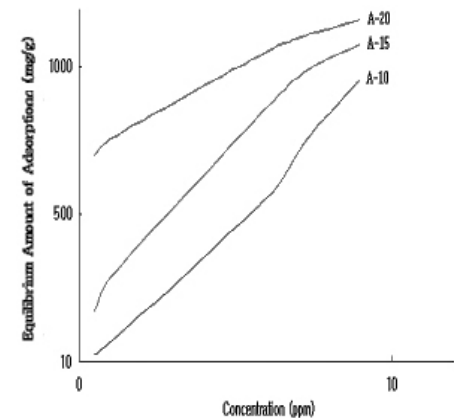


Figure 6. Ozone adsorption isotherm at 25 °C.

Figure 7 그래프를 보는 바와 같이 271 min이 경과한 시점까지는 흡착에 대한 결과이며, 그 이후는 벤젠의 주입을 중단하여 청정공기만 필터를 통과하도록 하였다. 필터의 효율은 약 50 min간 99%에 가깝지만, 시간이 지남에 따라 효율이 감소하였고, 271 min이 경과된 시점에서는 상류에 농도와 하류의 농도가 거의 같았다. 포화시점인 271

min 동안 ACF는 총 45.1 mg을 흡착하였다. 320 min 이후 탈착된 양은 400 min 경과한 시점에서 총 20.0 mg, 470 min 지난 시점에서 총 27.0 mg, 600 min 지난 시점에서 총 30.4 mg으로 나타났다. 물리적 흡착 메커니즘을 이용하는 ACF필터의 경우, 계의 온도나 발생 유기 화합물의 농도가 흡탈착에 영향을 미치는 주된 요인으로 작용한다.

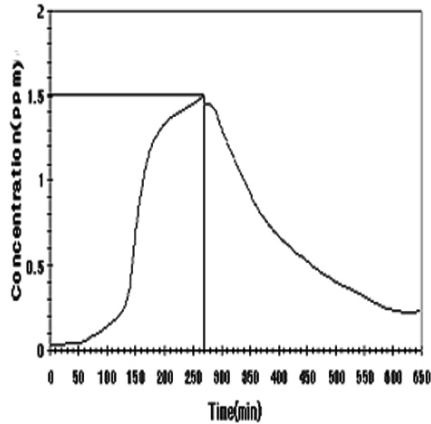


Figure 7. Benzene absorption and desorption of cellulose origin ACF filters.

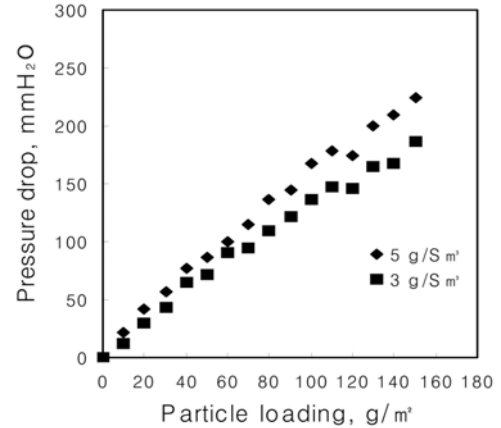


Figure 9. Effect of pressure drop on the particle loading (Rate of filtration = 3 m/min).

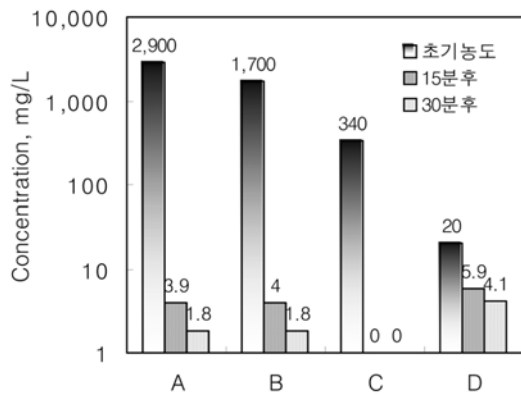


Figure 8. Desorption ability of 4 representative odor substances according reaction time.

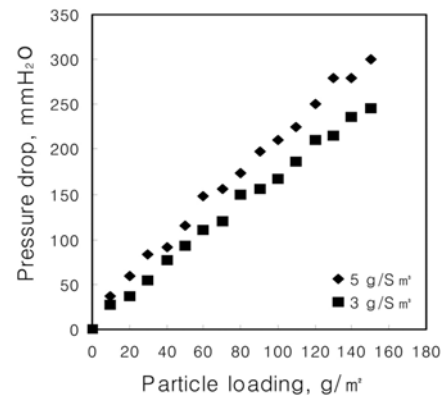


Figure 10. Effect of pressure drop on the particle loading (Rate of filtration = 5 m/min).

이는 차기 시스템개발을 위한 초기 자료로서 검토하였다.

### 3.3. 탈취 기능

Figure 8은 시간에 따른 4대 악취물질(A: 암모니아, B: 트리메틸아민, C: 황화수소, D: 메틸메르캅탄)에 대한 탈취기능을 나타낸 것으로, 15 min에서부터 물질 A, B, C는 약 99%에 가까운 제거효율을 나타내었고, 물질 D는 30 min까지에 걸쳐 약 80%의 제거효율을 나타내었다. 결과치인 A, B는 1.8 ppm, C는 완벽히 제거, D는 4.1 ppm의 결과를 보였다.

### 3.4. 압력손실 분석

Figure 9는 여과속도 3 m/min에서 먼지부하의 증가에 따른 압력손실 변화경향을 입구먼지 농도별로 나타냈다. 압력손실변화는 먼지부하 60 g/m<sup>2</sup>까지는 급격히 증가하고 점차 완만하게 증가하였다. 3 m/min에서 탈진조작이 수행되는 150 mmH<sub>2</sub>O까지 도달하는 여과시간은 입구먼지농도가 3 g/Sm<sup>3</sup>에서 12 min, 5 g/Sm<sup>3</sup>에서 6 min으로 입구먼지농도는 높은 조건에서 탈진간격이 낮은 조건에 비해 약 2배 정도 빠른 것으로 추정되었다.

Figure 10은 먼지부하 증가에 따른 압력손실 변화경향을 여과속도

5 m/min에서 입구 먼지 농도별로 나타냈으며 5 g/Sm<sup>3</sup>에서 낮은 농도 조건에 비해 부하의 증가에 따른 압력손실이 높게 증가하였다. 3 g/Sm<sup>3</sup>에서 부하증가에 따른 압력손실 경향은 먼지부하 약 80 g/m<sup>2</sup>까지는 거의 같은 값으로 증가하였다. 5 m/min에서 탈진조작이 수행되는 150 mmH<sub>2</sub>O에 도달하는 여과시간은 3 g/Sm<sup>3</sup>에서 5.9 min, 5 g/Sm<sup>3</sup>에서 3.5 min으로 나타났다. 또한 Figures 9, 10에서와 같이 먼지부하 증가에 따른 압력손실 증가 경향은 높은 입구먼지 농도조건이 낮은 조건에 비해 높게 나타났다.

### 3.5. 먼지통과율 분석

Figure 11은 부하 증가에 따른 먼지통과율 변화경향을 입구먼지농도 3 g/Sm<sup>3</sup>에서 여과속도별로 나타냈다. 여과포에 의한 초기 먼지통과율은 3 m/min에서 0.9%, 5 m/min에서 2%로 나타났다.

Figure 12는 부하증가에 따른 먼지통과율 변화경향을 5 g/Sm<sup>3</sup>에서 여과속도별로 나타냈다. 먼지부하 증가에 따른 먼지통과율 감소경향이 3 g/Sm<sup>3</sup>에서는 다소 급격히 떨어지는 경향을 나타냈으나 5 g/Sm<sup>3</sup>에서는 하강 경향이 거의 비슷했다. 여과포에 의한 먼지입자 포집에서 초기 먼지 통과율은 여과속도가 3 m/min에서 1%, 5 m/min에서 6%로 여과속도가 빠른 조건이 느린 조건에 비해 높았다.

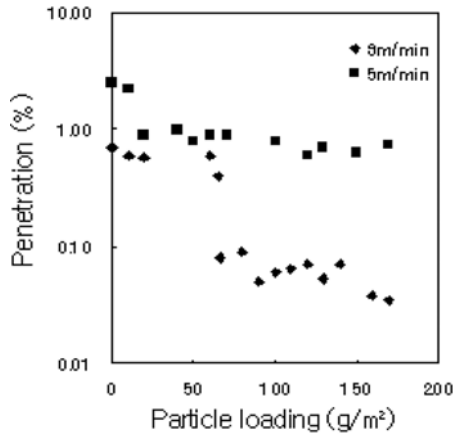


Figure 11. Effect of penetration ratio on the particle loding (Concentration = 3 g/Sm³).

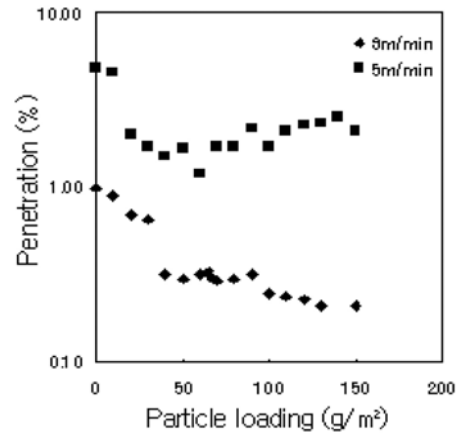


Figure 12. Effect of penetration ratio on the particle loding (Concentration = 5 g/Sm³).

### 4. 결 론

본 연구에서는 ACF장착 Bag Filter를 적용한 분진 및 악취 동시 제거 시스템개발을 위한 기초실험을 실시하였으며, 이에 대한 결론은 다음과 같다.

1) C사에서 개발한 셀룰로오스계 활성탄 섬유 중 A-10, A-15, A-20를 이용한 악취 발생 주요 6개 원인물질의 흡착능 비교실험을 통하여 A-20이 가장 우수하다는 것으로 나타났다.

2) 30 min 경과 후 4대 악취물질인 암모니아, 트리메틸아민, 황화수소에 대하여 약 99%, 메틸메르캅탄은 약 80%의 탈취기능을 나타내었다.

잔존량인 암모니아와 트리메틸아민의 농도는 1.8 ppm, 황화수소는 완전제거, 메틸메캅탄의 경우는 4.8 ppm으로서 ACF는 향후 악취를 동반하는 방진분야에서 매우 훌륭한 탈취제로서의 역할이 기대된다.

3) 물리적 흡착 메커니즘을 이용하는 ACF필터의 경우, 계의 온도나 발생 유기화합물의 농도가 흡탈착에 영향을 미치는 주된 요인으로 작용한다.

4) 각 여과속도에서 먼지부하증가에 따라 50 g/m²가 한계 먼지부하로 확인되었다.

5) 부하증가에 따른 먼지통과율 변화경향은 입구먼지농도 3 g/Sm³와 5 g/Sm³에서, 여과포에 의한 초기 먼지통과율은 3 m/min 경우 0.9%와 1%, 5 m/min에서는 2%와 6%로 나타났다. 먼지통과율에 관한 여과속도와 입자부하량은 매우 밀접한 관계가 있다.

### 감사의 글

이 논문은 2007년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음(This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2007).

### 참 고 문 헌

1. C. J. Yu, *A High Environmental Technology*, **1**, 78 (1998).
2. W. J. Lee, Ph. D. Dissertation, Yosu University, Yo-su, Korea (2002).
3. K. H. Kim, Ph. D. Dissertation, Chungbuk National University, Cheong-Ju, Korea (1998).
4. B. H. Kim, Ph. D. Dissertation, Yonsei University, Seoul, Korea (2002).
5. R. W. Boubel, *Fundamental of Air Pollution*, Academic Press, London (2003).
6. J. H. Gu, *Atmosphere environmental system plan*, Donghwa Technology Pa-ju, Korea (2006).
7. J. H. Song, *Theory and practical affairs of offensive odor analysis*, Sinkwang Cultural Company, Pa-ju, Korea (2007).