CLEAN TECHNOLOGY, MARCH 2003. 9(1) pp. 37 - 42

Nylon 6 fiber media를 이용한 Biofilter의 VOCS의 제거

김장호[1] · 박동원[2] · 김형호[1,†]

[1] 부산 사하구 하단 2동 840 동아대학교 환경공학과
[2] 동아대학교 화학공학과

(접수일자 : 2003. 2. 5 / 채택일자 : 2003. 3. 7)

Removal of VOCs Using Nylon 6 Fiber Media Immobilized with Microorganisms

Jang-ho Kim[1] · Dong-won Park[2] · Hyoung-ho Kim[1,†]
[1] Dept. of Environmental Engineering
[2] Dept. of chemistry. Engineering Dong-A University, Hadan2-Dong, Saha-Gu, Busan, 604-714, Korea

요 약

Biofiltration was successfully applied to treat a mixture of volatile organic compounds(benzene, xylene) from contaminated air stream. Immobilized *Ps. oleovorans* biofilter was evaluated for its value in simultaneous removal of benzene and xylene from waste air stream. The variety of operating conditions were tested to evaluate important factors such as space velocity, pH, water content, etc.

keywords : Immobilized biofilter, Nylon 6, VOC

1. 서 론

휘발성 유기 화합물(Volatile Organic Compound: VOC_S)은 대기 환경 오염물질로서 독성과 발암성으로 인체에 유해한 것으로 밝혀진 바 있으며 이러한 물질들은 대기 중의 광화학 순환반응에 관여하여 그 순환 기능을 잃게 함으로서 광화학 스모그의 원인물질이 되기도 한다.

VOC_S제거기술에서 Biofilter 공정은 그 적용원리에 있어서 폐수의 생물학적 처리 및 토양의 정화에 쓰이는 것과 비슷한 것으로 중·저 농도 폐가스와 악취물질의 제거를 위하여 경제적이고 효율적으로 이용되는 기술로서 비교적 설치와 운전이 용이하고 이차 공해가 적어 최근들어 유망한 VOC_S 제거기술로서 부각되고 있다. 따라서 본 연구의 목적은 벤젠 및 자일렌에 대하여 간단하고 저렴하면서 선빙성 있는 바이오 필터 공법을 적용하기 위하여 실험을 실행하였다. 본 연구에서 사용된 메디아는 구입과 세정이 용이하고 내구성이 높아 반 영구적으로 활용가능한 Nylon 6 Fiber를 사용하였다. 그리고, 분해균주로서 사계절에 출현하고 자체 냄새가 적으며 비선택적 배양에서 우점종인 Ps.oleovorans를 증식시켜 최적 조건에서 벤젠이나 자일렌의 제거 효율에 미치는 영향을 나타내었다.

II. 실 험

2.1 장치

Fig. 1은 Nylon 6 fiber를 이용한 B.X 제거 실험 장치를 나타낸 것이다.

실험장치의 규격은 직경 50mm, 충진탑 높이 200mm로 하였다.

Biofilter는 Nylon 6 fiber로 되어 있으며 반응조 재질은 glass를 사용하였다.

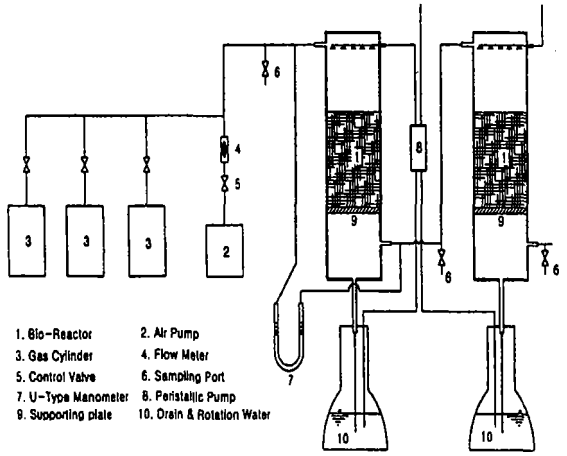

Fig 1. Schematic diagram of the experimental apparatus.

충진밀도는 55g의 Nylon 6 fiber를 140g/l 로 충진시킨 다음 각각의 가스봄베로부터 유입된 B.X.를 실온에서 실험조건에 적합한 공기와 혼합하여 각 column에 주입하였다.

2.2 실험방법

본 실험은 Pseudomonas oleovorans에 의한 B.X.를 처리하는 기초실험으로서 공탑속도(Space Velocity), 수분, pH 변화에 따른 B.X.의 제거 특성을 조사하였다. 이상의 실험 결과에서 도출된 최적 인자를 이용하여 유입 부하량의 변화에 따른 Benzene 및 Xylene을 Biofilter를 이용하여 처리하는 실험이다.

운전인자를 조사하는 실험에서 단독 물질인 경우 일반적으로 배출공정에서 조사된 농도를 기준으로 각각 100~500±10ppmv에서 실시하였다. 공탑속도는 100~1000/h에서 실시하였으며 함수율 변화에 따른 적용물질 실험은 함수율 50~90%정도로 변화시켜 실시하였다. 또한, pH변화에 따른 실험은 부양배지의 액성을 변화시켜 제거율을 조사하였다. 실험 온도는 Pseudomonas oleovorans 특성을 고찰하여 실온에서 실시하였다.

2.3 실험 재료 및 분석

본 실험에 사용된 충진 재료 인 Nylon 6 fiber의 특징을 Table 2에 표시하였다.

Pseudomonas oleovorans의 배양은 다음과 같은 방법을 이용하여 실시 하였다.

1) 집포된 성균 fresh Pseudomonas oleovorans medium (90㎖×2flask)에 Pseudomonas oleovorans(-80℃에 보관)를 각각 1㎖ 씩 주입
2) Reciprocal shaker(120 min^{-1})를 이용하여 30℃에서 2~3일간 배양
3) 배양이 끝난 flask에서 양질의 *Pseu* 미리 집포한 성균 fresh Pseudomonas-domonas oleovorans를 10㎖씩 취수하여 oleovorans medium(90㎖×5flask)에 주입
4) Reciprocal shaker(120 min^{-1})를 이용하여 30℃에서 2-3일간 배양
5) 배양이 끝난 100㎖×5flask를 미리 준비한 fresh Pseudomonas oleovorans medium(90㎖×5flask)에 주입
6) 30℃ water bath에서 5일간 배양
7) 5ℓ의 배양액을 원심분리기 (8000rpm, 4℃, 20min)와 배지를 이용하여 2ℓ정도로 집균

Table 1. Experimental conditions of B.X.

NO	Inlet gas	packing weight (g)	packing height (mm)	packing density (g/l)	Quanity (ml/min)	Linear velocity (mm/sec)	Space velocity (h^{-1})	Inlet concentration	pH	Water content (%)
1	B	55	200	140	654-6541	4.4-26.5	100-1000	100-500	5.0±0.2-9.0±0.2	50-90
2	X	55	200	140	654-6541	4.4-26.5	100-1000	100-500	5.0±0.2-9.0±0.2	50-90

Table 2. Physical properties of Nylon 6 fiber.

Item	Characteristics
Diameter	110μm(R=55μm=55 10^{-6}m)
Strength tensile	standard 4.8-6.4 [gf/D] wettling 4.2-5.9 [gf/D]
Specific gravity	1.14
Elongation	standard 28-45% wettling 36-52%
Moisture regain	standar 3.5-5%(20℃ RH65%)
Thermal property	softening temperature 180℃
Flame property	melting temperature215-220℃
Type of fiber	filament

Table 3. Characteristics of Pseudomonas oleovorans (KCCM 40256).

Item	Characteristics
Morphology	Small short rods
Cell size	1.2~1.5 in length 0.5~0.7 in diameter
Condition	Aerobic
Motility	Positive(Very motile)
Gram staining	Negative
Acid	Unresistant
Colony on nutrient agar	2~3mm in diameter Whitish colour Opt colonies light-yellow
Optimum pH	6~8
Optimum temperature	20~30℃
Utilization	glucose, saccharose, maltos, arabinose, sorbitol(Without gas production

Table 4. Pseudomonas oleovorans mineral nutrients media.

Item	concentration(mg/l)	Remarks
KH_2PO_4	4200	
K_2HPO_4	370	
$(NH_4)_2SO_4$	1000	
$MgSO_4 \cdot 2H_2O$	50.0	
$CaCl_2$	40.0	
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	20.0	
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	0.1	pH7.2±0.2
H_3BO_3	0.3	
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0.1	
$NiCl_2 \cdot 6H_2O$	0.02	
$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	0.03	
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0.02	

본 실험에 사용한 Pseudomonas oleovorans의 영양 배지 조성을 Table 4에 실시하였다

III. 결과 및 고찰

3.1 공탑속도 변화에 따른 처리효율 영향

Fig. 2는 공탑속도 변화에 따른 벤젠의 유출 농도를 나타낸 것이다. 실험에서 적용한 유입농도는 150±10ppmv이고 함수율은 70%, 반응탑 pH는 영양배지의 액성을 7.0±0.2로 하여 실험하였으며 공탑속도는 공기의 유량을 100/h, 400/h, 700/h, 1000/h로 하였다.

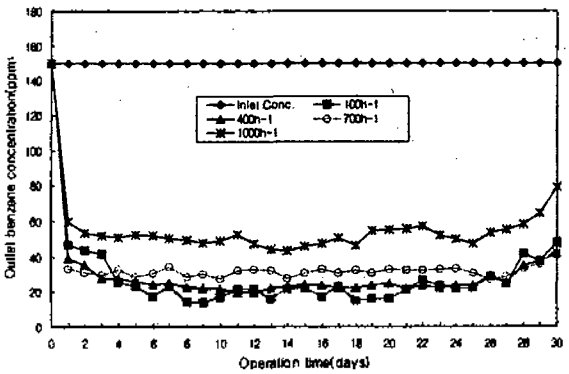

Fig 2. Outlet bevzene concentration in various space velocity versus operation time.

그림에서 보는 바와같이 공탑속도 100/h의 반응초기에는 3일 경과할 때까지의 70.4%의 제거효율을 나타내었으나 그 이 후 25일 경과시까지 평균 제거효율은 86.6%를 나타내었으며 400/h, 700/h, 1000/h에서는 평균 84.5, 78.8, 66.5의 제거 효율로 나타났다. 가스 주입 후 30일간 운전한 결과 100/h, 400/h 700/h, 1000/h의 공탑속도에서 반응조로부터 배출되는 Benzene의 평균농도는 각각 25.2, 26.1, 32.1 및 52.8ppmv로 되었다. 따라서 충진 재료를 Nylon 6 fiber를 이용한 바이오필터에서 Benzene을 단독처리할 때 공탑속도는 경제성과 효율성을 고려할 때 700/h이 적절한 것으로 조사되었다.

Fig. 3은 공탑속도 변화에 따른 Xylene의 제거효율과 배출 농도를 나타낸 것이다.

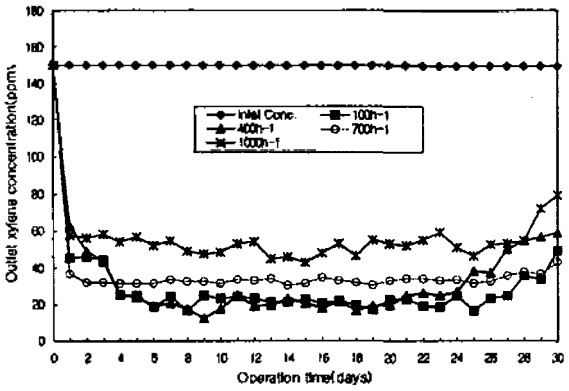

Fig 3. Outlet p-xylene concentration in various space velocity versus operation time.

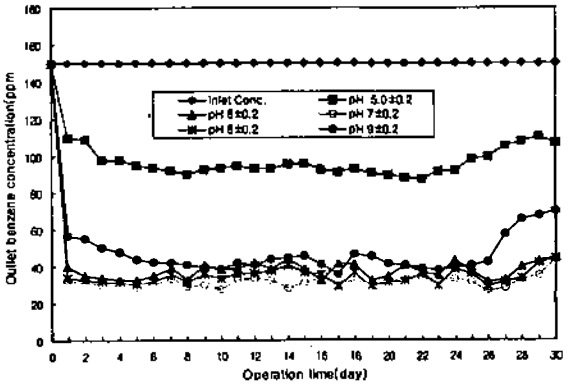

Fig 4. Outlet benzene concentration in various pH versus operation time.

Fig 3에서 보는 바와 같이 공탑속도를 100/h, 400/h, 700/h, 1000/h으로 변화 시켰을 때 Xylene의 배출농도는 각각 26.1, 30, 33.6, 53.7ppmv로 조사되어 처리 효율은 64.2~82.5%로 되었고 Benzene의 경우의 제거와 동일하게 공탑속도가 증가할수록 처리 효율은 감소하는 현상을 나타내고 있다. Xylene의 경우도 충진 재료를 Nylone 6 fiber를 이용한 바이오필터에 의한 p-Xylene을 단독처리할 때 공탑속도는 700/h가 적절한 것으로 나타났다.

3.2 pH변화에 따른 처리효율 영향

가스를 반응조에 유입시킬 때 가스 외에 이물질이 함유되므로서 반응과정에서 발생될 수 있는 pH 변화에 따른 Benzene, Xylene의 제거 특성을 나타내기 위해 영양배지의 액성을 변화시켜 반응조내 pH를 조절하여 실험하였다. B.X의 유입농도는 150±10ppmv로 하였고 공탑속도는 700/h로 하였다. 또한 함수율은 70%로 하여 실험하였다.

Fig. 4는 pH변화에 따른 Benzene의 제거효율과 배출농도를 나타낸 것이다.

그림에서 나타낸 것과 같이 pH를 5.0±0.2 - 9.0 ±0.2정도로 변화시켰을 때 Benzene 배출농도는 32.5~96.3ppmv 정도로 하여 처리 효율은 pH 5.0±0.2, 6.0±0.2, 7.0±0.2에서 각각 35.8, 74.6, 78.6%로 나타났으며 pH 8.0±0.2와 9.0±0.2에서 각각 76.8%와 69%를 나타내었다. pH 7.0±0.2에서는 반응 개시 후 4일부터 25일까지의 평균 제거효율은 78.8%로 평균

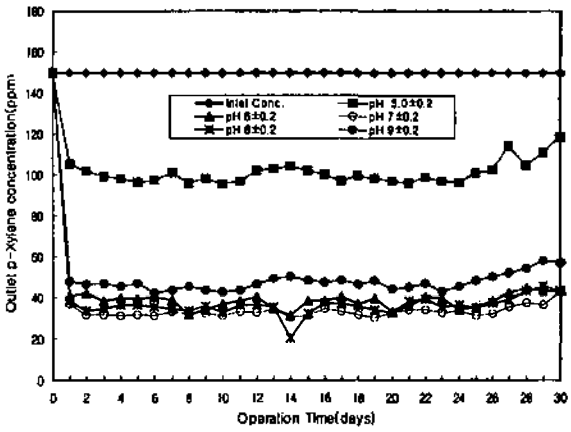

Fig 5. Outlet p-xylene concentration in various pH versus operation time.

배출 Benzene 농도는 31.7ppmv로 효율이 높게 나타났으나 pH 5.0±0.2의 경우 35.8%로 나타나므로서 처리 효율이 좋지 않은 것으로 나타났다.

Fig. 5는 pH변화에 따른 Xylene의 제거효율과 배출농도를 나타낸 것이다.

그림에서 나타난 것과 같이 pH를 5.0±0.2 - 9.0 ±0.2정도로 변화되었을 때 p-Xylene 배출농도는 각각 100.8, 38.6, 33.6, 36.3, 74.3, 77.6%를 나타내었으며 pH5.0±0.2, 6.0±0.2, 7.0±0.2에서 각각 32.8, 74.3, 77.6%를 나타내었으며 pH 8.0±0.2와 9.0±0.2에서 각각 75.8%와 68.3%로 나타났다. Xylene의 경우도 Benzene과 같이 pH7.0±0.2에서 효율이 높게 나타내고 있으나 pH5.0±0.2의 경우 32.8%의 처리 효율을 나타내고 있어 처리 효율이 낮게 나타났다.

3.3 함수율 변화에 따른 처리효율 영향

Biofilter를 이용하여 가스를 처리할 때 충전탑 미생물의 원활한 활성을 위해 적절한 수분이 필요하다. 반응조내 수분변화에 따른 B.X의 제거 특성을 조사하기 위해 mineral nutrients media의 순환수량을 조절하여 조사하였다. B.X 유입농도는 150±10ppmv 정도로 반응조내 공탑속도는 700/h로 하고 또한 pH는 7.0±0.2로 조절하여 실험하였다

Fig. 6은 수분 변화에 따른 Benzene의 제거효율과 배출정도를 나타낸 것이다.

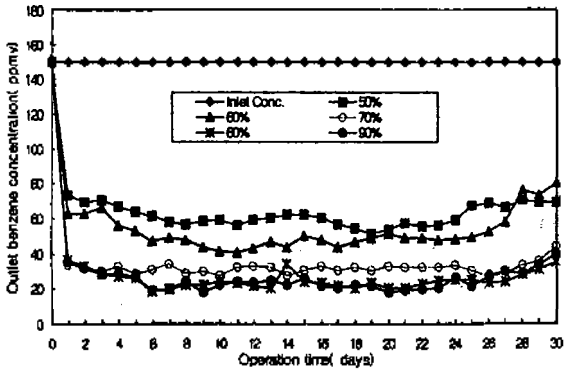

Fig 6. Outlet benzene concentration in various water content versus operation time.

수분을 50~90%정도로 조절하였을 때 Benzene의 배출농도는 62.1~25.2ppmv정도로 되어 처리 효율은 수분 함량 50. 60, 70%에서 각각 58.6%, 64.7%, 78.6%로 나타났으며, 80%와 90%의 수분에서 각각 83.0%와 83.2%로 되어 80%이상의 수분 함량에서 높은 처리 효율을 나타내었다.

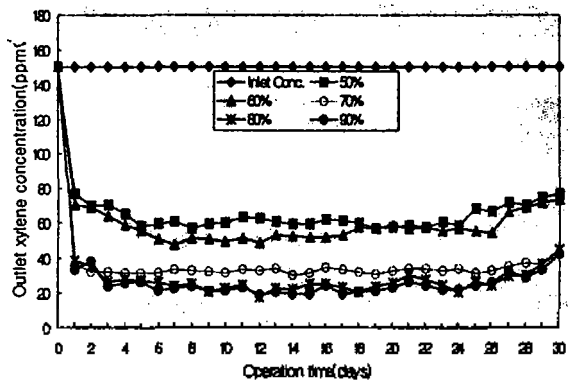

Fig 7. Outlet p-xylene concentration in various water content versus operation time.

Fig. 7은 수분변화에 따른 p-Xylene의 제거효율과 배출농도를 나타낸 것이다.

Fig. 7에서 나타낸것과 같이 수분 함량을 50%, 60%, 70%, 80%, 90%로 변화 시켰을 때 Xylene의 배출 농도는 각각 63.6, 57.5, 33.6, 26.9, 25.2ppmv로 조사되어 처리효율은 50%, 60%, 70%수분 함량에서 57.6%, 61.7%, 77.6%를 나타냈으며 80%와 90%에서는 각각 82.1%와 83.2%의 처리효율이 나타났다. Xylene의 경우 Benzene과 같게 80%이상 함수유량에서 높게 나타났으나 50%의 수분함량에서 55.6%의 처리효율로 되어 상대적으로 낮게 나타났다.

3.4 부하량 변화에 따른 제거효율 영향

본 실험의 목적은 Biofiter에 의한 B.X 단독처리시 허용부하를 검토하고 과부하시 처리효율을 개선하기 위한 다단 충전탑 조성의 기초 원료를 이용하기 위한 실험이다.

위에 실험결과로서 얻어진 최적 운전조건 공탑속도 700/h, pH 7.2±0.2, 수분 함량 80%로 고정하여 유입농도를 100±10, 150±10, 250±10, 300±10, 500±10ppmv로 조절하여 실험하였다.

Fig. 8은 유입 부하량 변화에 따른 Benzene의 제거효율과 배출농도를 나타낸 것이다.

Fig. 8에서 나타낸 것과 같이 부하량을 23.9~119.4g-s · kgF^{-1} · d^{-1} 정도로 변화 시켰을 때 Benzene의 배출 농도는 12.9~208.8ppmv로 조사되어 부하량이 증가할수록 배출가스 농도는 증가하는 것으로 나타났다.

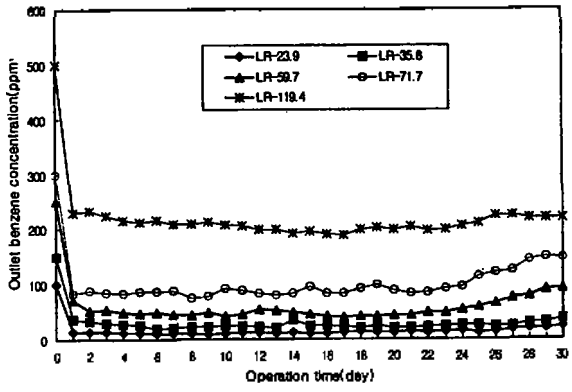

Fig 8. Outlet benzene concentration in various loading rate versus operation time.

처리효율은 23.9~35.8g-s · kgF^{-1} · d^{-1}정도에서는 87.1~83.4%의 효율을 나타내어 비교적 양호한 처리능력을 보여주고 있으나 59.7~119.4g-s · kgF^{-1} · d^{-1}의 부하량에서는 78.6~58.3의 낮은 처리효율을 보여주고 있다.

Fig. 9는 유입 부하량 변화에 따른 Xylene의 제거 효율과 배출농도를 나타낸 것이다.

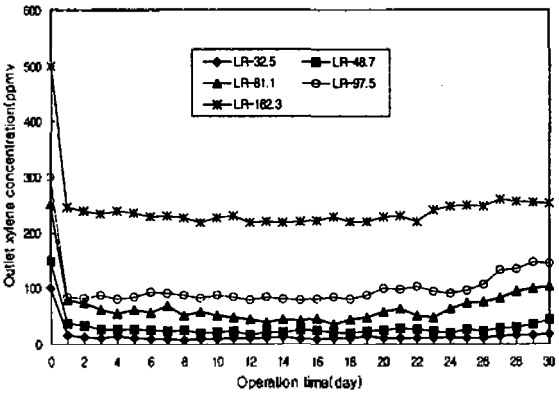

Fig 9. Outlet p-xylene concentration in various loading rate versus operation time.

Fig. 9에서 나타낸 것과 같이 부하량을 32.5~162.3g-s · kgF^{-1} · d^{-1}로 변화시켰을 때 Xylene의 배출농도는 12.9~234ppmv로 되어 부하량이 증가할수록 배출농도는 높은 것으로 나타났으나 Benzene에 비해서 비교적 높은 유출 농도를 나타내었다. 처리효율은 32.5~48.7g-kgF^{-1} · d^{-1}에서는 87.0~82.1%의 효율을 나타내어 80%이상의 비교적 양호한 처리효율을 보여주고 있으나 81.1~162.3g-s · kgF^{-1} · d^{-1}에서는 75.5~53.2%의 낮은 처리효율을 보여주고 있다.

Ⅳ. 결 론

본 연구는 호기성 박테리아 Pseudomonas를 Nylon 6 fiber 충진재에 접종시킨 Biofilter를 이용한 B.X의 제거능 실험과 최적운전 조건은 다음과 같다.

1. 최적의 운전조건을 얻기 위한 실험에서 B.X 모두 공탑속도 700h^{-1} , pH 6~8, 80~90%의 수분 함량일 때 최적의 운전조건을 나타냈다.
2. 벤젠의 경우 처리효율은 23.9~35.8g-s · kgF^{-1} · d^{-1} 정도에서는 87.1~83.4%의 효율을 나타내어 비교적 양호한 처리능력을 보여주고 있다.
3. 크실렌의 경우 처리효율은 32.5~48.7g-kgF^{-1} · d^{-1}에서 87.0~82.1%의 효율을 나타내어 80%이상의 비교적 양호한 처리효율을 보여주고 있으나 벤젠의 경우에 비해 처리효율이 낮게 나타나는 것으로 조사되었다.

참 고 문 헌

[1] Kambell, D.H., et., "Removal of Volatile Aliphatic Hydrocarbons in a soil Bioreactor," J. Air Pollut. control Assn.,

[2] Bohn, H.L., "odor Removal by Biofiltration," in "Recent Development and Current Practices in Odor Regulations, Controls and Technology," Derenzo, K.R., and A. Gnyp, eds.,

[3] Leson, G., and A.M.Winer, "Biofiltration: An innovative Air Pollution Control Technology for VOC Emissions," J.Air Waste Mgmt. Assn., 41 (8), pp. 1045-1054(Aug. 1991).

[4] Bohn, H.L., et al., "Hydrocarbon Adsorption by Soils as the Stationary Phase of Gas-Soild Chromatography," J.Environ. Quality, 9(4), pp. 563-565 (Oct. 1980).

[5] Morton, Hg: "Occurrence and treatmenyt of solvent abuse in children and adolescent". Pharmacol Ther, 449-469, 1987.

[6] 청정학회, 임현정 외3인 : 『VOC처리용 biofilter의 filter media 성능 비교』, 49-52, 2000

[7] 한화진외 다수 : VOC방지기술 현황 및 적용사례

[8] 박상진, "생물탈취용 담체별 흡착 제거능 비교연구". 우송대학교 논문집 제5집, pp. 281-295 (2000)

[9] 박상진 외 2인, "사업장 악취 및 VOC 제거를 위한 Biofilter용 세라믹담체 개발에 관한 연구", 한국폐기물학회, Vol. 18, No. 1, pp. 103-112 (2000)

[10] 강신묵(1999), "生物 活性炭과 腐植土를 利用한 톨루엔 가스 除去" 동아대학교 박사학위 논문