

## 악취저감 향상을 위한 스크러버 세정수 처리 시스템 개발연구

정구회<sup>1</sup>, 임문순<sup>2</sup>, 김연수<sup>3</sup>, 김덕현<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>한국산업기술대학교 생명화학공학과  
15073 경기 시흥시 산기대학로 237  
<sup>2</sup>시흥녹색환경지원센터  
15073 경기 시흥시 산기대학로 237  
<sup>3</sup>조일씨앤이  
15014 경기 시흥시 오이도로 21

(2016년 12월 5일 접수; 2016년 12월 24일 수정본 접수; 2016년 12월 24일 채택)

## Development of a Scrubber Wastewater Cleaning System to Improve Odor Removal Efficiency

Gu-Hoi Chung<sup>1</sup>, Moon-Soon Im<sup>2</sup>, Youn-Soo Kim<sup>3</sup>, and Duk-Hyun Kim<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Chemical Engineering & Biotechnology, Korea Polytechnic University  
237 Sangidaehak-ro, Siheung-si, Gyeonggi-do 15073, Korea  
<sup>2</sup>Siheung Green Environment Center  
237 Sangidaehak-ro, Siheung-si, Gyeonggi-do 15073, Korea  
<sup>3</sup>Choil C&E  
21 Oido-ro, Siheung-si, Gyeonggi-do 15014, Korea

(Received for review December 5, 2016; Revision received December 24, 2016; Accepted December 24, 2016)

### 요 약

스크러버는 적절한 처리효율을 유지하기 위하여 세정수를 지속적으로 교체해 주어야 한다. 하지만 화학업종 대부분은 폐수 처리시설이 없어 스크러버 세정수를 위탁 처리하고 있으며, 처리비용 때문에 자주 교체해 주지 못하는 실정이다. 이로 인해 악취배출허용기준을 초과하거나 배출구 농도가 더 높아지는 역전현상을 유발하기도 한다. 이에 세정수를 자체 정화 하여 사용할 수 있도록 여과와 흡착 공정으로 구성된 세정수 처리시스템을 개발하였다. 세정수 처리 시스템은 화학업종 두 개 스크러버를 대상으로 적용하였으며, 세정수 수질 상태와 악취저감 효과를 평가하였다. 세정수 처리 시스템 적용 결과 50% 이상의 수질개선 효과와 20% 이상의 악취개선 효과를 확인 하였으며, 기존 운영대비 40%의 비용절감 효과도 기대할 수 있었다.

**주제어** : 흡착, 활성탄, 여과, 구조토, 악취, 스크러버 세정수

**Abstract** : The scrubber wastewater should be replaced frequently to maintain efficiency. Most chemical companies consign scrubber wastewater, because there are no wastewater treatment facilities. So scrubber wastewater is not frequently replaced because of high treatment cost. For this reason, the most scrubber exhaust gas exceeds the odor emission limit or has a phenomenon that the odor intensity of exhaust gas becomes higher. Therefore we have developed a scrubber wastewater cleaning system consisting of filtration and adsorption processes. The scrubber wastewater cleaning system was applied two chemical companies. We evaluated the water quality and odor reduction effect before and after system application. As a result, scrubber wastewater quality improved by 50% or more, odor reduction efficiency of scrubber exhaust gas improved by 20% or more. And the total operating costs of the scrubber could be reduced by 40% or more.

**Keywords** : Adsorption, Activated carbon, Filtration, Diatomite, Odor, Scrubber wastewater

\* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: dhkim@kpu.ac.kr; Tel: +82-31-8041-0614; Fax: +82-31-8041-0939

doi: 10.7464/ksct.2017.23.1.034 pISSN 1598-9712 eISSN 2288-0690

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.

## 1. 서론

스크러버는 보통 습식집진기라고 하며, 흡진가스에 세정액을 분사시키거나 세정액에 흡진가스를 분산시킬 때 생성되는 액적, 액막, 기포 등에 의해서 배기가스에 함유된 분진을 분리, 포집시키는 장치이다. 분진은 물론 가스에 포함되어 있는 악취의 처리도 가능하므로 폭넓게 사용되고 있다[1]. 스크러버는 처리효율을 높이기 위해 세정수 상태 등을 고려하여 세정수를 적절히 교체하여야 한다. 그러나 스크러버 인허가 과정에 신고된 교체주기와 가동시간에 의해서만 일률적으로 교체하고 있어 처리효율을 떨어뜨리는 원인으로 작용하고 있다[2]. 특히 세정수를 위탁처리하는 업체는 스크러버 운영에 더욱 어려움이 따른다. 금속가공제품 제조업과 화학제품 제조업이 세정수를 주로 위탁처리하고 있는데, 이들 업종은 공정 특성상 폐수의 발생이 많지 않아 폐수처리시설을 운영하지 않으며, 도금이나 섬유업종과 같이 공동으로 처리하는 폐수처리 시설도 없는 실정이다[3]. 스크러버는 세정수에 의한 저감효과가 크기 때문에 세정수 내에 오염물질이 장기간 용해되어 있지 않도록 하는 방안이 요구된다. 하지만 폐 세정수를 위탁처리하는 업체의 경우 처리비용 부담으로 장기간 세정수를 순환 사용함으로써 악취처리 효율을 저하시키고 있다. 특히 화학제품 제조업에서 운영되는 스크러버의 세정수 내에는 다양한 유기화합물도 검출됨에 따라 세정수 정화를 위한 별도의 장치가 필요한 상황이다. 이에 오염물질이 많이 농축된 폐 세정수를 대상으로 여과와 흡착과정을 통해 악취유발 인자를 최소화함으로써 전체 악취기여도를 효과적으로 줄이는 방안을 고안하였다. 여과공정에서는 필터에 구조토를 코팅시켜 여과효율을 높이고, 흡착공정에서는 흡착력이 우수한 활성탄을 적용하여 세정수 내의 부유 및 용존 오염물질을 처리코자 하였다. 이에 세정수 개선에 따른 오염물질 감소효과를 살펴보고 여과 및 흡착시설의 적용에 따른 소요비용을 비교해 보고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 측정 및 분석방법

본 연구의 목적은 세정수 처리시스템 운전 전후의 세정수 상태와 악취저감 효율 개선현황을 파악하는 것이다. 이에 Table 1과 같이 세정수 수질항목과 배출가스의 항목별 악취유발물질을 분석하였다.

복합악취는 전처리된 악취포집 bag (Polyester Al bag, 5 L)을 이용하여 지점별로 채취한 시료에 대하여 악취공정시험방법에 따라 3점 비교식 공기희석관능법으로 분석하였다. 그리고 악취포집 bag을 하나 더 해당 지점별로 채취하여 VOCs와 Aldehydes를 분석함으로써 세정수 처리현황이 악취제거효율에 미치는 영향을 파악하였다.

VOCs의 분석은 포집 bag으로부터 100 mL min<sup>-1</sup>의 유량으로 Tenax-Ta가 충전된 고체 흡착관을 이용하여 10분간 채취한 후 열탈착장치(Turbo Matrix 300, Perkin Elmer, USA)가 부착된 GC/FID (Claus 600, Perkin Elmer, USA)로 분석하였으며,

분석조건은 Table 2에 정리하였다.

Aldehydes의 분석은 VOCs와 같이 포집 bag으로부터 2,4-DNPH-Costed silica가 충전된 Cartridge (2,4-DNPH cartridge, Waters, USA)에 오존스크러버를 앞단에 장착하여 1 L min<sup>-1</sup>으로 3분간 채취한 후 고성능액체크로마토그래피(Ultimate 3000, Dionex, USA)를 이용하여 분석하였으며, 분석조건은 Table 3과 같다.

**Table 1.** Analytical methods for measurement

Component	Analytical method	Sampling method
pH	pH Meter	Sterile water sample bottle
BOD	Winkler's azid modification method	
COD	Acid KMnO <sub>4</sub> Oxidation	
SS	Glass filter method	
Turbidity	NTU method	
Complex odor	Air dilution olfactory method	Polyester Al bag, 5 L
VOCs	GC/FID	Polyester Al bag, 5 L, Tenax-Ta
Aldehydes	HPLC	Polyester Al bag, 5 L, 2,4-DNPH cartridge

**Table 2.** Analytical condition of thermal desorption and GC/FID

Parameter		Analysis condition
Thermal desorption	Trap low temperature	10 °C
	Trap high temperature	300 °C
	Trap hold time	5 min
	Spilt flow	20 mL min <sup>-1</sup>
	Carrier flow	1.5 mL min <sup>-1</sup>
	Tube temperature	290 °C
	Tube desorb time	10 min
GC/FID	GC column	VF-1 ms, Bruker (60 m × 0.25 mm × 1 μm)
	Initial temperature	45 °C (12 min)
	Oven ramp rate 1	5 °C min <sup>-1</sup> at 170 °C
	Oven ramp rate 2	15 °C min <sup>-1</sup>
	Final temperature	230 °C (4 min)
Detector	H <sub>2</sub> 45 mL min <sup>-1</sup> , Air 450 mL min <sup>-1</sup> , 250 °C	

**Table 3.** Analytical condition of HPLC

Parameter	Analysis condition
Detector	UV-vis, 360 nm
Column	X select C18 (4.6 mm × 25 mm, 5 μm, Waters)
Injection volume	10 uL
Column temperature	25 °C
Flow rate	1.5 mL min <sup>-1</sup>
Mobile phase	Acetonitrile (65) : Water (35)

**Table 4.** Monthly scrubber wastewater treatment costs and odor removal efficiency

Classification	Industrial category	Scrubber capacity (m <sup>3</sup> min <sup>-1</sup> )	Monthly scrubber wastewater treatment costs (won)	Complex malodor (odor unit)		
				In	Out	Removal efficiency (%)
A	Manufacture of chemicals (surface treatment agents)	180	400,000/4 ton	100	100	0
B	Manufacture of motor vehicle parts	1750	980,000/12.6 ton	249	300	Turnover
C	Manufacture of chemicals (waste oil recycling)	300	1,040,000/8 ton	120	100	16.7
D	Heat treatment of metals	80	180,000/0.8 ton	120	144	Turnover
E	Manufacture of chemicals (ammonia)	70	260,000/3.2 ton	100	100	0
F	Heat treatment of metals	200	500,000/4 ton	100	100	0
G	Manufacture of electrical equipment	120	700,000/4 ton	100	120	Turnover
H	Chemical industry (resin and paint)	200	1,500,000/10 ton	144	669	Turnover
I	Chemical industry (film)	120	1,520,000/8 ton	448	1,442	Turnover

## 2.2. 세정수 위탁처리업체 현황 파악

대상시설을 선정하기 위해 세정수 위탁처리업체 9개 사업장을 조사한 결과 화학 및 금속업종이 대부분인 것으로 나타났다. 위탁처리 현황과 복합악취 처리현황은 Table 4와 같다. 월간 폐 세정수의 위탁처리 비용은 최소 18만원에서 최대 152만원까지 운영 상태에 따라 차이가 큰 것으로 나타났다. 복합악취 처리현황은 대부분 역전현상을 보이거나 처리효율이 없었지만 악취 배출허용기준인 500배는 넘지 않았다. 그러나 화학업종의 수지제조업체(H)와 필름제조업체(I)의 경우는 역전현상과 함께 악취배출허용기준을 초과하고 있어 개선이 필요한 것으로 나타났다. 이에 본 연구에서는 세정수 처리시스템의 적용취지를 고려할 때 악취 처리에 문제가 있는 화학업종인 H와 I업체를 연구대상으로 선정하였다.

## 2.3. 대상업체 선정 및 Pilot 시스템 설치

Pilot 시설 설치 대상업체는 화학업종 중에서 수지와 도료 그리고 필름을 각각 제조하는 업체이다. 먼저 1차 적용대상인 수지와 도료를 생산하는 업체는 주 사용 원료인 유기용제와 안료 등으로 인하여 다양하면서 고농도의 VOCs가 배출되고 있다. 고농도의 VOCs를 처리하기 위해 축열식연소장치를 설치하여 운영하였으나 배출되는 가스에 일부 할로젠 화합물과 알데히드 화합물이 검출됨으로써 악취오염물질을 처리하고자 스크리버를 직렬 연결하여 처리 중에 있다. 그러나 악취배출허용기준을 지속적으로 초과하여 적절한 개선방안이 필요하였고 추가로 스크리버 뒤에 활성탄 흡착탑을 연결하여 처리하고 있다. 이를 통해 악취처리 효율은 향상되었지만 스크리버 폐 세정수의 위탁처리 비용과 활성탄의 주기적인 교체비용으로 업체의 부담은 가중된 상황이다. 따라서 운영비용을 절감하면서 악취문제를 해결하고자 스크리버 세정조에 세정수 처리를 위한 pilot 시스템을 설치하여 실험하였다.

2차 대상업체는 광학용 필름을 생산하는 곳으로 반응기가 배치형식으로 운영되고 있다. 제조공정에서 발생하는 초산가스과 알콜류 및 VOCs류의 고농도 악취원인 물질을 처리하기

위하여 스크리버 전단에 활성탄 흡착탑을 추가로 직렬 연결하여 처리하고 있지만 스크리버 배출구에서는 악취배출 허용기준을 초과하고 있는 상황이다. 이는 스크리버 폐 세정수를 위탁처리 하기 때문에 자주 교체해 주지 못해 농축된 오염물질이 지속적으로 순환하고 부패가 진행되면서 발생하는 원인으로 판단되었다. 이에 본 연구시스템의 적용이 적합할 것으로 판단되어 pilot 시스템을 설치하여 2차 실험을 수행하였다.

## 2.4. 세정수 처리 시스템 Pilot 시설 운영개요

스크리버 세정수는 오염물질 제거효율과 가장 밀접하므로 세정수 내에 오염물질이 장기간 농축되지 않도록 해야 한다. 하지만 폐 세정수를 위탁 처리하는 업체의 경우 처리비용에 대한 부담으로 장시간 사용하고 있으며 악취저감 효율을 저하시키는 원인으로 작용하고 있다. 따라서 세정수를 여과 및 흡착 후 재 이용하게 되면 위탁 처리비용과 운영비용 및 공업용수 사용량을 절감할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에 적용한 세정수 처리시스템은 크게 여과공정과 흡착공정으로 이루어지며 Figure 1과 같이 구성하였다.

세정수 처리시스템의 여과공정에서는 세정수를 고압 및 다단 펌프를 이용하여 여과탑으로 이송시키고 여과필터를 거쳐 흡착 공정으로 이송시키게 되는데, 여과필터의 표면에는 규조토를 코팅하여 여과공정을 수행한다. 세정수 내에는 여러 오염물질이 존재하므로 규조토 코팅막에서 최대한 많은 부유물질과 일부 용존물질을 제거한다. 규조토는 대부분 비정질 실리카로 구성되며, 여기에 약간의 결정질 실리카가 존재한다. 규조 자체의 복잡한 구조와 부유성 조류의 일차 및 이차 공극 때문에 규조토는 낮은 밀도를 가지며, 이 때문에 규조토는 매우 좋은 여과제나 흡착제로 활용된다[4]. 또한 규조토는 높은 공극률과 투수율을 갖고 있어, 여과시 0.5 μm보다도 작은 입자의 제거도 가능한 것으로 알려져 있다[5].

규조토 코팅이후 반복적인 여과 이후에는 여과필터의 수명 연장을 위해 공기로 역세하여 탈수탑으로 이송시킨 후 압력을 가하여 탈수시킨 케이크와 탈리액을 분리하여 재 처리한다. 흡착공정에서는 1차 처리된 여과수를 흡착제인 활성탄에

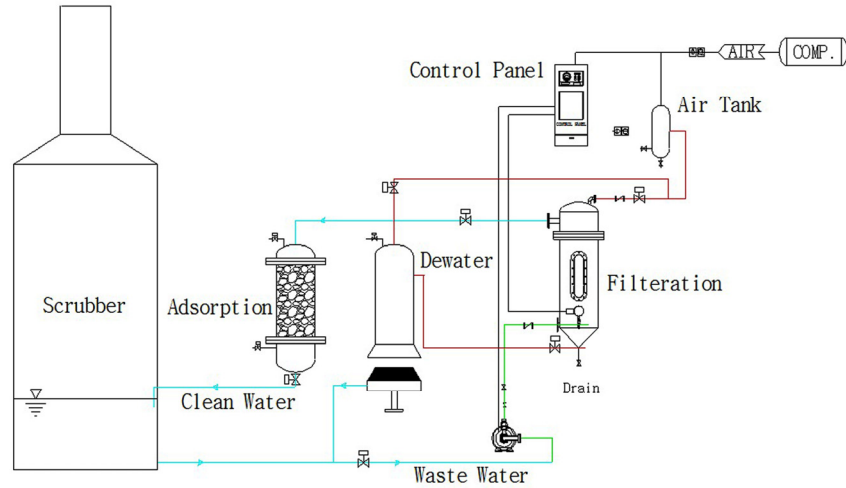


Figure 1. Schematic diagram of scrubber wastewater cleaning system.

Table 5. Specification of diatomite and experimental condition for filtration, adsorption

Diatomite	Median particle diameter (Microns)	42 ~ 48
	%+325 Mesh	Max. 25.0
	Color	White
	Density	0.30
Filtration	Amounts of diatomite	0.7 L
	Filter	Length 0.9 M (108 ea), Diameter 17 mm
	Coating thickness	About 0.128 mm
	Coating amounts	About 38.3 g m <sup>-2</sup>
Adsorption	Amounts of activated carbon	58 kg
	Iodine number of activated carbon	1,100
	Density of activated carbon	0.43 ~ 0.48
	Mesh of activated carbon	8 × 30
	Tower volume	0.126 m <sup>3</sup> (π/4 × 0.42 × 1)
	Flow rate	1.0 (max 1.5 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )
	Flow velocity	7.96 m h <sup>-1</sup> {1 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ÷ (π/4 × 0.42 m <sup>2</sup> )}
	Space velocity	7.96 h <sup>-1</sup> (7.69 m h <sup>-1</sup> ÷ 1.0 m)
Residence time	7.5 min (1 m ÷ 7.96 m h <sup>-1</sup> × 60 min h <sup>-1</sup> )	

통과시켜 용존상태의 유기성 악취물질을 물리적으로 흡착하여 제거한다. 활성탄은 형태에 따라 분말과 입상으로 구분되며, 활성화 과정을 거치면서 내부 표면적이 500 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> 이상인 다공성 탄소 구조를 갖는다. 흡착성능은 그 내부 표면에서 일

어나는 물리흡착에 기인하는 것으로 알려져 있는데 맛과 악취를 유발하는 용존성 유기물질을 흡착할 수 있어 국내 정수장의 고도정수처리 공정에서도 사용하고 있다[6].

상기와 같이 본 처리시스템은 여과와 흡착공정을 반복하며 시간당 1 m<sup>3</sup>의 오염된 세정수를 정화시킴으로써 온도를 낮추는 효과와 함께 오염물질 용해능력을 적정수준으로 유지시키도록 구성하였으며, 사용된 규모도 사양과 여과 및 흡착조건은 Table 5에 정리하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 수지 및 도료제조업 적용 결과

Table 6은 수지 및 도료제조업의 스크러버에 세정수 처리 시스템을 적용하기 전과 후의 BOD<sub>5</sub>와 COD<sub>Mn</sub> 농도 변화를 정리한 것이다. 처리시스템 설치대상업체는 스크러버 세정수를 최대 3주까지 사용하고 있어 적용 전후 총 6주에 걸쳐 개선효과를 확인하였다. 표에서 보듯이 BOD<sub>5</sub>는 처리시스템 적용 전 15일차에 544 mg L<sup>-1</sup>까지 상승하였지만 적용 후에는 139 mg L<sup>-1</sup>까지만 상승함으로써 약 74% 감소했음을 확인할 수 있다. 또한 COD<sub>Mn</sub>도 시스템 적용후 약 30% 감소한 것으로 나타나 세정수 처리를 통해 악취현상의 주요한 원인 물질인 유기성 오염물질을 저감시킬 수 있는 것으로 나타났다. 특히 세정수에 용해성의 난분해성 물질이 많이 있다는 것을 간접적으로 유추할 수 있는 COD<sub>Mn</sub>의 변화의 경우 세정수 처리

Table 6. Contaminated BOD<sub>5</sub> and COD<sub>Mn</sub> levels before and after pilot test (resin)

Classification	Pilot test	1 <sup>st</sup> day	3 <sup>rd</sup> day	10 <sup>th</sup> day	15 <sup>th</sup> day
BOD <sub>5</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	Before	42	172	339	544
	After	30	72	102	139
COD <sub>Mn</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	Before	58	196	354	601
	After	46	112	337	423

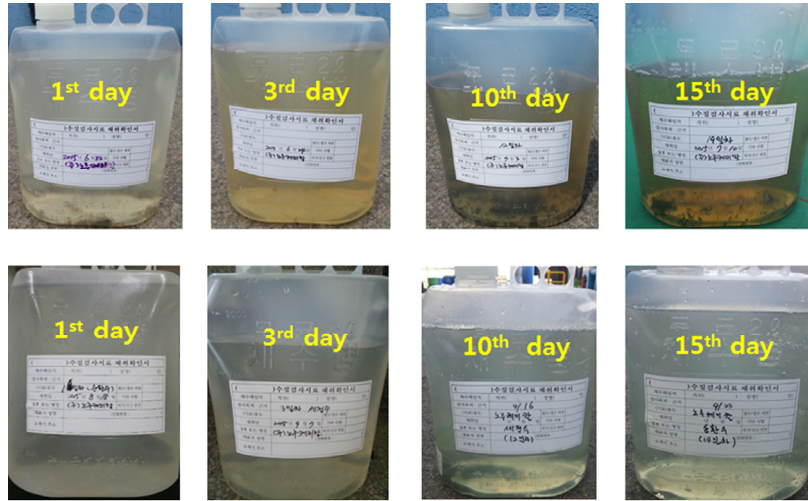


Figure 2. Variations of the optical properties of the scrubber wastewater (resin).

전과 후의 농도변화가 상대적으로 크지 않은 것으로 나타나 난분해성 유기물질의 배출이 많은 수지생산 공정의 특성도 간접적으로 파악할 수 있었다. 고형물 상태보다 용존성 상태의 유·무기물질이 대부분을 차지하는 COD의 경우 점도가 높을 경우 역세 효율이 떨어져 제거효율이 낮게 나타날 수 있는 결과[7]에 비추어 볼 때, 본 연구에서 BOD<sub>5</sub>보다 COD<sub>Mn</sub>이 제거효율이 다소 낮았던 이유는 용존성 상태의 유기물이 많고 점착 특성이 있는 수지원료 특성에 의한 것으로 판단되었다.

Figure 2와 같이 시각적인 변화를 보더라도 처리 전에는 시간이 지남에 따라 황색으로 불투명하게 변하였지만 처리 후에는 투명도에 큰 차이를 보이지 않아 세정수 처리시스템 적용에 따른 개선 효과를 확인할 수 있었다. Table 7에서 보듯이 부유물질(SS)의 경우 가동 전·후 10일차를 비교하면 약 74% 감소하였고, 탁도(Turbidity)는 약 12배 이상 차이를 보이며 상대적으로 맑은 상태를 유지하였다.

세정수 처리에 따른 악취저감 효율을 파악하기 위하여 기기분석에 의해 측정된 휘발성유기화합물과 알데히드화합물의 농도를 후각최소감지농도[8]로 나누어 악취농도지수[9]를 산출한 결과 부틸알데히드가 가장 높게 나타남으로써 부틸알데히드를 주요 악취 원인물질로 판단하였다. 이에 세정수 처리 시스템 운영 전후 부틸알데히드의 농도변화를 살펴본 결과 Table 8과 같이 시스템 가동 전에는 유입 농도보다 유출 농도가 높아지는 역전현상을 보이며 상승폭이 컸다. 하지만 세

Table 7. Contaminated SS and turbidity levels before and after pilot test (resin)

Classification	Pilot test	1 <sup>st</sup> day	3 <sup>rd</sup> day	5 <sup>th</sup> day	10 <sup>th</sup> day
SS (mg L <sup>-1</sup> )	Before	60	20	29	190
	After	10	20	29	49
Turbidity (NTU)	Before	15	16	26	49
	After	13	33	1	4

Table 8. Removal efficiency of the main odor component (resin)

Classification	Butylaldehyde		
	S/C In (A) (ppb)	S/C Out (B) (ppb)	(A-B)/A×100 (%)
Before	194	737	-280
1 <sup>st</sup> day	165	156	5
5 <sup>th</sup> day	165	172	-4
10 <sup>th</sup> day	672	624	7
15 <sup>th</sup> day	151	131	13

Table 9. Removal efficiency of complex odor (resin)

Classification	Complex odor (air dilution olfactory method)		
	S/C In (A)	S/C Out (B)	(A-B)/A×100 (%)
Before	144	669	-365
1 <sup>st</sup> day	4,481	2,080	53
5 <sup>th</sup> day	173	173	0
10 <sup>th</sup> day	669	1,000	-49
15 <sup>th</sup> day	1,000	669	33

정수 처리 시스템 가동 후에는 유입농도와 유사하거나 낮아짐으로써 세정수 처리에 따른 악취오염물질 제거효율이 향상된 것을 확인할 수 있었다.

세정수 처리에 따른 복합악취 처리현황은 Table 9와 같다. 세정수 처리 전에는 스크러머 유입보다 유출이 더 높은 역전현상을 보였지만 세정수 처리 후에는 유사하거나 역전률이 상대적으로 낮아진 결과를 보였다. 이는 복합악취의 주요 원인으로 작용하는 부틸알데히드의 제거수준과 연계되는 결과로 추정되며, 부틸알데히드의 활성탄에 대한 흡착특성[10]을 고려할 때 세정수 내에 용해된 부틸알데히드가 흡착공정에서 활성탄과 물리적 흡착을 통하여 일부 감소함으로써 악취제거 효율도 향상된 것으로 판단되었다.

3.2. 필름제조업 적용결과

필름제조업에 대한 세정수 처리 시스템 적용 전후의 수질 변화는 Table 10과 같다. 필름제조업의 경우는 스크러버 세정수를 2주동안 사용하는 것으로 나타나 총 4주에 걸쳐 시스템 적용 전·후의 개선효과를 파악하였다. 시스템 적용 결과 처리 전 BOD<sub>5</sub>는 10일차에 12,972 mg L<sup>-1</sup>까지 상승하였지만 처리 후에는 6,046 mg L<sup>-1</sup>까지만 상승함으로써 약 53% 감소했음을 확인할 수 있었다. 또한 COD<sub>Mn</sub>도 시스템 적용 후 약 30% 감소한 것으로 나타났다. 다만 수지 제조업과 달리 필름제조업에서는 COD<sub>Mn</sub>보다 BOD<sub>5</sub>가 더 높은 결과를 보였다. 이는 유기화합물의 산화력[11]에 의한 차이로 판단된다. 필름 제조공정중에 사용되는 주요 원료 물질은 초산인데 COD<sub>Mn</sub>의 산화율(23%)에 비하여 BOD<sub>5</sub>의 산화율이 높은 이유로 판단된다. 따라서 초산과 같이 COD<sub>Mn</sub>의 산화율이 낮은 원료를 쓰는 공정에서는 COD<sub>Cr</sub>를 이용해야 보다 정확한 분석결과를 도출할 수 있을 것으로 판단되었다.

시각적인 변화는 Figure 3에서 보듯이 처리 전과 후의 차이가 크지 않았는데 이는 배출되는 물질이 주로 메탄올과 초산과 같은 유기물 종류의 가스상 오염물질이 많이 배출되는 이유로 판단되었다. 시각적 변화와 마찬가지로 부유물질 및 탁도의 경우도 Table 12에서 보듯이 10일차에 다소 증가하긴 하였지만 세정수 자체가 크게 오염되지 않아 개선 효과는 크지 않은 것으로 나타났다.

Table 10. Contaminated BOD<sub>5</sub> and COD<sub>Mn</sub> levels before and after pilot test (film)

Classification	Pilot test	1 <sup>st</sup> day	4 <sup>th</sup> day	7 <sup>th</sup> day	10 <sup>th</sup> day
BOD <sub>5</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	Before	922	2,640	7,406	12,972
	After	1,602	2,269	4,005	6,046
COD <sub>Mn</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	Before	720	1,801	3,903	5,005
	After	520	1,601	2,162	3,703

Table 11. Oxidation rate of organic compounds (Theoretical value : 1,000 mg L<sup>-1</sup>)

Organic compound	Chemical formular	Oxidation rate (%)			
		COD <sub>Mn</sub>	COD <sub>Cr</sub>	BOD <sub>5</sub>	TOC
Glucose	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	59.9	99.4	56	99.7
Acetic acid	CH <sub>3</sub> COOH	22.3	95.2	78.6	101.6
Sucrose	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	71.8	95.9	54.5	100.6
Starch	(C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> ) <sub>n</sub>	57.8	86.9	40.4	96.1
Cellulose	(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>n</sub>	1.4	89.5	5.5	89.2
Benzoic acid	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COOH	8.3	99.8	72.5	106.8
Propionic acid	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	12.3	100.4	76.7	104.8
Glycerin	C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> (OH) <sub>3</sub>	67.7	96.9	65.9	101.5
Phenol	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	76.4	100.4	77.3	102.2
Isobutyl acid	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCOOH	10.5	94.1	64.7	99.9
Ethyl acetate	CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	6.6	73.2	62	66.9
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	12.5	77.1	24	55.6
Acetone	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>	4.7	92.2	62.4	89.8
Ethanol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	43.6	96.6	74.5	101.8
Ether	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH <sub>5</sub> C <sub>2</sub>	5.4	34.2	1.3	43.2

Table 12. Contaminated SS and turbidity levels before and after pilot test (film)

Classification		1 <sup>st</sup> day	4 <sup>th</sup> day	7 <sup>th</sup> day	10 <sup>th</sup> day
SS (mg L <sup>-1</sup> )	Before	4	5	16	29
	After	4	5	3	13
Turbidity (NTU)	Before	14	14	17	26
	After	5	17	10	16

수지 제조업과 같은 방법으로 악취저감 효율을 파악하기 위하여 기기분석에 의해 측정된 휘발성유기화합물과 알데히드화합물의 농도를 토대로 악취농도지수를 산출하였다. 그

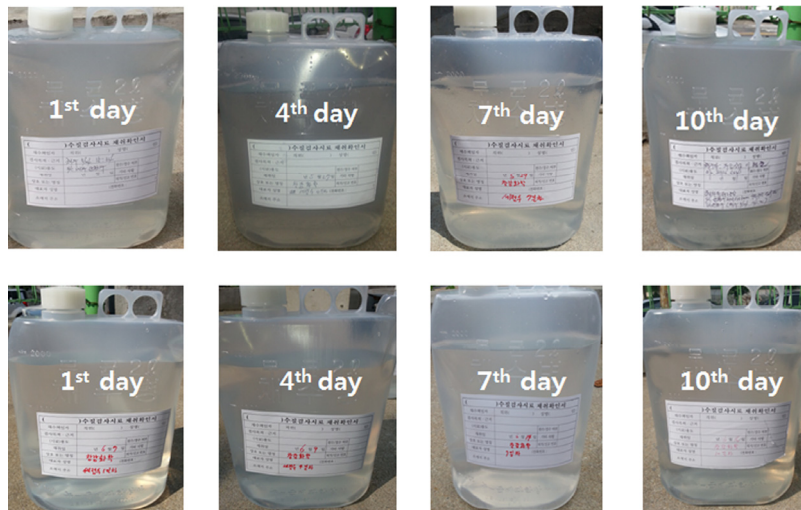


Figure 3. Variations of the optical properties of the scrubber wastewater (film).

**Table 13.** Removal efficiency of the mian odor component (film)

Classification	Butylacetate		
	S/C In (A) (ppb)	S/C Out (B) (ppb)	(A-B)/A×100 (%)
Before	26.2	43.3	-65
1 <sup>st</sup> day	8.53	5.34	37
4 <sup>th</sup> day	0.73	0.73	0
7 <sup>th</sup> day	37.3	24.5	34
10 <sup>th</sup> day	3.23	0.73	77

**Table 14.** Removal efficiency of complex odor (film)

Classification	Complex odor (air dilution olfactory method)		
	S/C In (A)	S/C Out (B)	(A-B)/A×100 (%)
Before	249	669	-169
1 <sup>st</sup> day	373	208	44
4 <sup>th</sup> day	448	448	0
7 <sup>th</sup> day	300	120	60
10 <sup>th</sup> day	208	173	17

결과 필름제조업은 부틸아세테이트가 주요 악취 원인물질인 것으로 나타났다. 이에 세정수 처리 시스템 운영 전후에 대한 부틸아세테이트의 농도변화를 관찰하였다. Table 13과 같이 시스템 적용 전에는 유입 농도보다 유출 농도가 높아지는 역전현상을 보이며 상승폭도 컸지만 시스템 가동 후에는 유입 농도와 유사하거나 낮아짐으로써 세정수 처리에 따른 악취오염물질 제거 효과를 확인할 수 있었다.

Table 14와 같이 복합악취에 대한 취기 변화를 조사한 결과에서도 부틸아세테이트와 유사한 경향을 보였으며, 악취 배출허용기준 500배 이하를 유지하며 안정적인 처리효율을 보였다. 이는 복합악취의 주요 원인으로 작용하는 부틸아세테이트의 활성탄에 흡착특성[12]과 연계되는 결과로 추정할 수 있다. 세정수내에 용존 상태로 농축되어 있던 부틸아세테이트가 세정수처리 시스템의 활성탄 흡착공정에서 일부 처리됨으로써 악취를 유발하는 기여도가 줄었고 이로 인해 악취제거 효율도 향상된 것으로 판단되었다.

### 3.3. 세정수 처리시스템 적용에 따른 개선 효과

상기와 같이 세정수 처리시스템을 적용한 결과 수질지표에서는 적용 전보다 50% 이상의 개선효과를 확인할 수 있었다. 또한 세정수 내의 악취유발 물질을 제거함으로써 복합악취 저감효율도 향상시켰으며, 법적 규제치인 악취배출허용기준을 만족시키는 개선효과를 얻을 수 있었다. 세정수 수질 개선 효과가 50% 이상이므로 교체주기를 50% 이상 연장한다고 가정하면 기존의 폐 세정수 발생량도 50% 이상 감소시킬 수 있어 환경적 기여 효과도 클 것으로 판단되었다.

세정수 처리 시스템을 적용할 경우 운영비용에 대한 절감 효과는 Table 15 및 Table 16과 같다. 수지제조 공정과 필름제

**Table 15.** Economic effect of manufacturing process of resin

Classification	Before	After	Abatement (%)
Yearly scrubber wastewater treatment cost (won)	$1,500,000 \times 12 = 18,000,000$	$750,000 \times 12 = 9,000,000$	9,000,000 (50%)
Yearly activated carbon replacement cost (won)	$4,000,000 \times 4 = 16,000,000$	$4,000,000 \times 2 = 8,000,000$	8,000,000 (50%)
Yearly cleaning system operation cost (won)	-	$200,000 \times 12 = 2,400,000$	-2,400,000
Total (won)	34,000,000	19,400,000	14,600,000 (43%)

**Table 16.** Economic effect of manufacturing process of film

Classification	Before	After	Abatement (%)
Yearly scrubber wastewater treatment cost (won)	$1,200,000 \times 12 = 14,400,000$	$600,000 \times 12 = 7,200,000$	7,200,000 (50%)
Yearly activated carbon replacement cost (won)	$2,000,000 \times 4 = 8,000,000$	$2,000,000 \times 2 = 4,000,000$	4,000,000 (50%)
Yearly cleaning system operation cost (won)	-	$200,000 \times 12 = 2,400,000$	-2,400,000
Total (won)	22,400,000	13,600,000	8,800,000 (36%)

조공정은 악취저감 효율을 높이기 위해 스크리버와 같이 활성탄 흡착탑을 추가로 운영 중에 있다. 이에 세정수 처리 시스템을 적용하여 세정수 교체주기를 50% 연장하고 기존 흡착탑의 활성탄 교체주기도 50% 연장한다는 가정 하에 운영 비용을 산출하였다. 그 결과 수지제조공정은 14,000,000원, 필름제조공정은 8,000,000원의 저감효과를 기대할 수 있었다. 효율로 보면 기존 운영비용에 비하여 각각 43%와 36%의 감소효과를 나타낸 것이다. 세정수 처리 시스템이 약 4,000만원 임을 가정한다해도 3년에서 5년 사이에 시설 투자비용 이상의 비용절감 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단되었다.

## 4. 결론

폐 세정수의 발생량도 줄이고 세정수 수질개선을 통해 악취저감 효율을 향상시키고자 스크리버 세정수 처리시스템을 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 시스템 적용 후에 분석한 세정수의 BOD<sub>5</sub>와 SS는 50% 이상 개선되었으며, 악취물질과 복합악취의 저감효율은 20% 내외의 개선효과를 보였다. 악취의 경우 수치상으로는 낮아 보일 수 있으나 배출구 농도가 역전되는 현상도 없어지고 악취배출허용기준을 충족하기 때문에 20% 이상의 개선효과를 얻은 것으로 판단된다.

또한 세정수 교체주기 연장으로 기존 운영비용에 비하여 평균 40% 이상 비용절감 효과를 기대할 수 있었으며, 위탁 폐수처리 비용이 점진적으로 상승하고 있는 상황을 고려한다면 세정수 처리시스템의 적용 가능성은 더 높아질 것으로 예상된다. 다만 COD<sub>Mn</sub>은 저감효율이 다소 낮게 나타났는데, 이는 화학 업종의 특성상 세정수 내에 짐착성이 있는 용존 유기물이 많이 존재하기 때문인 것으로 판단되었다. 또한 필름제조공정 세정수의 경우는 BOD<sub>5</sub>가 COD<sub>Mn</sub>보다 상대적으로 높게 나타났는데 원료 물질인 초산의 COD<sub>Mn</sub> 산화율이 낮은 특성 때문인 것으로 나타났다. 따라서 초산과 같이 산화율이 낮은 물질을 원료로 쓰는 공정의 경우 정확한 분석을 위해서는 COD<sub>Cr</sub>법에 의한 분석을 실시하여야 할 것으로 판단된다.

### 감사

본 연구는 2015년도 시흥녹색환경지원센터의 연구개발사업 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### References

1. Kim, J. S., and Kim, M. C., Recent Air Pollution Control Technology., Shin Kwang Mun Hwa Publishing Co. Seoul, (2000).
2. Han, S. D., Park, G. I., and Lee, Y. W., "The Evaluation of Effective Management Plan and Appropriate Replacement Cycle of Activated Carbon Beds and Wet Scrubber in Shihwa/Banwal Industrial Complex," Spring Conference of the Korean Soc. Odor Res. Eng., 109-113 (2009).
3. Korea Water Resources Corporation (Kwater), "Total Survey of Industries Emitted Air Pollution (Odor) in Sihwa-Banwol Industrial Complex in 2013," Report (2014).
4. Keith, B., Precoat Filtration, *Filtration & Separation*, **37**(3), 32-33 (2000).
5. Rees, R. H., and Cain, C. W., "Let Diatomite Enhance your Filtration," *Chem. Eng.*, **97**(8), 72-74 (1990).
6. National Institute of Environmental Research, Study on Improvement of the Standard for Activated Carbon using in Drinking Water Treatment, 1-8 (2008).
7. Ministry of Environment (ME), Development of Concentrate Continuous Withdrawal Filtration System using Flexible Fiber Filter Module and Advanced Technology for Treating Wastewater Applying CoCo, 111-112 (2004).
8. Ministry of Environment(ME), A Study on the Improvement of Odor Sources Management, 181 (2001).
9. Ko, B. C., Park, Y. H., Kim, D. I., Lee, M. H., and Kam, S. K., "Odor Removal Characteristics of Biofilters in Domestic Sewage Treatment Facilities Analyzing Composite Odor and Odor Quotient," *J. Environ. Sci.*, **22**(1), 109-117 (2013).
10. Environmental Engineers' Handbook, CRC Net BASE, 8.1-8.7, CRC Pres LLC (1999).
11. Choi, I. W., Kim, J. H., Im, J. K., Park, T. J., Kim, S. Y., Son, D. H., Huh, I. A., Rhew, D. H., and Yu, S. J., "Application of TOC standards for Managing Refractory Organic Compounds in Industrial Wastewater," *J. Korean Soc. Water Environ.*, **31**(1), 29-34 (2015).
12. Frank, N. Kemmer, The NALCO Water Handbook Second Edition, Nalco Chemical Company (1988).