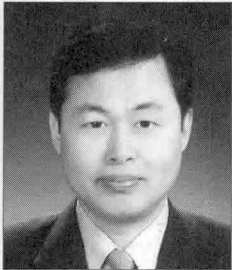


# 고효율 악취처리를 위한 MBLM-CAOP 처리시설 개발

*(Micro Bubble Line Mixer Catalysis Advanced Oxidation Process)*



**이 광 희**  
現 해성엔지니어링(주),  
(주)해피크린 대표이사



**홍 성 호 공학박사**  
現 해성엔지니어링(주),  
(주)해피크린 부설연구소 소장  
장안대학, 국제대학교 외래교수

## 목 차

1. 기술개발 배경
2. 기술원리
3. 시설의 구성
4. 적용 현장별 악취발생 현황
5. 현장검증 결과(처리효율)
6. 시설비 및 유지관리비(경제성)
7. 결론

## 1. 기술개발 배경

우리나라는 삶의 질에 대한 국민들의 요구가 확산됨에 따라 악취로 인한 민원이 최근 급증하고 있다.

환경부의 “2006년 전국 악취민원발생 현황” 분석자료에 따르면 2006년도에 4,797건의 악취 민원이 발생하여 2005년(4,302건) 대비 11.5% 증가하였다고 나타나고 있다. 이에 따라 환경부는 악취 민원을 적극 해결하기 위하여 악취배출 사업장 관리강화, 업무담당자의 역량강화, 정부·지자체 혹은 관련업체간 정책·기술 네트워크 형성을 통하여 지역실정에 맞는 악취관리를 강화할 계획에 있다.

또한 2004.2.9 악취방지법이 제정되면서 보다 엄격한 악취배출 허용기준이 시행되고 점차적으로 지정악취물질의 종류도 늘려가고 있지만 이에 대처할 수 있는 경제적이고 효과적인 악취 저감기술은 많지 않은 실정이다. 이로 인해 현재 악취배출시설이 설치된 사업장, 환경기초시설 등에서는 적절한 악취저감 방법을 선택하는 데 어려움을 겪고 있으며 기존의 기술 또한 대부분이 효율이 낮거나 효율은 높으나 시설비와 관리비가 매우 고가여서 선택의 폭이 좁은 실정이고 고가의 시설비를 들인다고 하더라도 운영자의 기술적인 능력의 한계로 인하여 악취문제를 효과적으로 해결하지 못하는 경우가 발생하고 있어 그에 대한 기술적인 검토가 필요한 상황이다.

## 2. 기술원리

오존은 용존성 악취물질을 저분자화하고 소수성 물질을 친수성으로 변화시키는 기능을 가지고 있다.

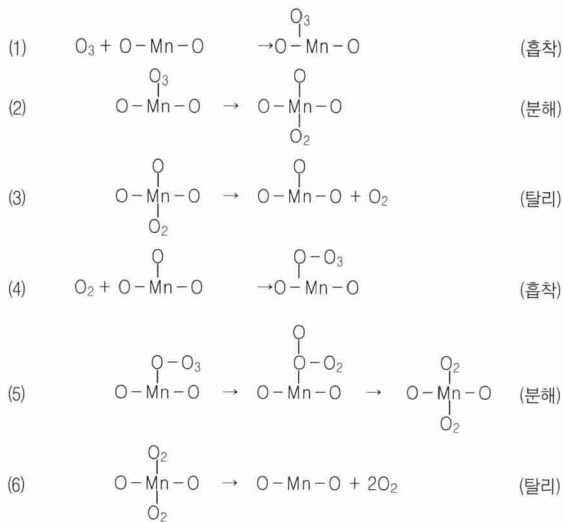
또한 인위적으로 분해속도를 가속화하게 되면 중간생성물로 OH radical을 생성시키게 되는데 이때 생성된 OH radical은 <표-1>와 같이 오존자체보다 더욱더 산화력이 강한 특성을 갖고 있어 악취를 빠른 반응속도로 분해 처리하는 기능을 하게 된다.

Oxidant	Redox potential(Volt)
$\text{OH} + \text{H}^+ + \text{e} = \text{H}_2\text{O}$	2.85
$\text{O}_3 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = 2\text{H}_2\text{O}$	2.08

〈표-1〉 오존과 OH radical의 산화·환원 전위

따라서 오존의 이러한 기능을 응용하여 세정수 내로 오존을 Micro Bubble 초미세기포 상태로 용존시켜 흡수된 악취성분을 분해하고 세정수의 COD를 낮추어 양호한 수질상태로 유지함으로써 연속적으로 유입되는 악취를 산화분해·흡수시키고 UV,  $\text{MnO}_2$  Catalyst를 이용하여 아래와(식-1, 2), 〈그림-1〉 같은 원리로 인위적으로 오존의 분해속도를 가속화하여 OH radical을 다량 생성시켜 오존단독 반응만으로 처리가 어려운 악취물질까지도 산화분해 처리할 수 있게 한 처리 기술이다.

따라서 본 기술은 상기 기술의 적용으로 과거 개발된 악취처리기술 보다 효율을 획기적으로 높인 차별화된 하이브리드형 기술이라 할 수 있다.

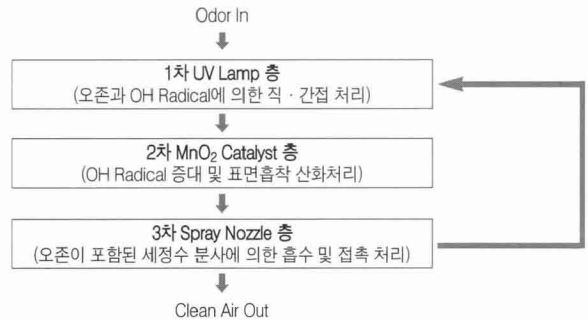


〈그림-1〉 Mn에 의한 오존분해 메카니즘

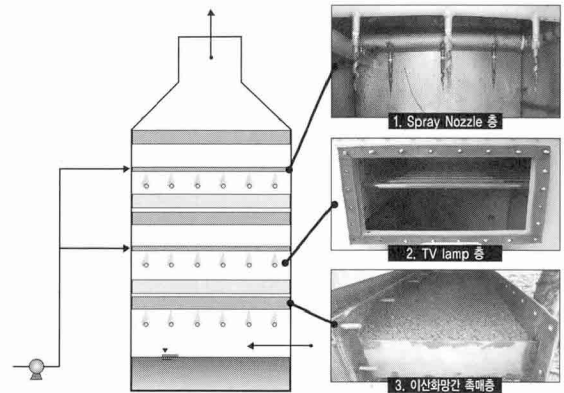
### 3. 시설의 구성

우선 본 시설에서 사용되어지는 세정수에 오존을 Micro Bubble 초미세기포 상태로 용존시켜 세정수로

사용하고 아래 그림 〈그림-2〉 흐름도와 같이 각각 오존이 포함된 세정수를 살수하는 Spray Nozzle층, 자외선 및 오존을 방출하는 UV Lamp층, 악취를 흡착·산화분해하는 Catalyst층을 차례로 거쳐 대기 중으로 배출되게 된다. 그에 대한 각 자세한 구성별 내용은 〈그림-3〉에 나타내었다.



〈그림-2〉 MBLM-CAOP 시설의 처리 흐름도 (오존 Micro Bubble 초미세기포 주입 생략)



〈그림-3〉 MBLM-CAOP 처리시설 구성 (오존 Micro Bubble 초미세기포 주입 생략)

### 4. 적용 현장별 악취발생 현황

현장검증을 위해 3곳을 아래 〈표-2〉와 같이 선정하고 방 지시설 현황 및 악취유발상태 등을 현장별로 조사하였다.

현장명	악취발생공정	악취방지시설
K제지 폐수처리장	폐수처리공정	Wet Scrubber
경기도 S시 하수종말 처리장	하폐수처리공정	A/C Tower + 약액 Scrubber
서울시 S음식물 쓰레기 처리장	작업동 전체	기존처리시설 없음.

〈표-2 선정된 현장〉

① 제지업종 폐수처리장

제지제조 공정중 발생한 폐수는 1차적으로 집수조에 보내진 후 후속 폐수처리시설로 유입된다. 이때 유입된 폐수는 비교적 수온이 높아 수증기와 함께 고농도의 취기를 유발하고 있어 외부로의 악취 유출을 최대한 방지하기 위하여 덮개가 설치된 상태였지만 외기와의 완전 밀폐가 이루어지지 못하고 덮개 틈새로 많은 양의 악취 물질이 외부로 유출되어 처리장 주변에 많은 악취를 발생시키고 있는 상태였다.

② 하수종말처리장

적용현장인 하수종말처리장의 주요 악취발생 시설중 하나는 농축조이며 현재 현장에 1차 A/C Tower, 2차 약액세정 Scrubber로 악취물질을 처리하고 있다.

그러나 악취물질이 방지시설로 유입전 복합악취농도가 20,800배로 나타났고 A/C Tower로 1차 처리된 후, 2차 처리시설인 약액세정 Scrubber로 유입되기 직전 복합악취농도가 14,422배로 나타날 만큼 악취방지시설이 제 기능을 하지 못하고 있었다.



③ 음식물쓰레기처리장

음식물쓰레기처리장의 경우 작업현장 전체가 각종 음식물에 의해 부패성 악취가 발생하고 있었으며 그로 인해 주변에 피해를 나타낼 수 있는 여지가 큰 상태였다.

측정결과도 작업현장 내에 복합 악취농도가 1,442배로 나타나 개선이 필요한 상태였지만 악취방지를 위해 시설은 따로 설치되어 있지 않고 있어 향후 개선이 필요한 상태였다.

5. 현장검증 결과(처리효율)

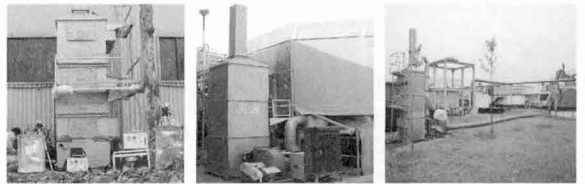
선정된 3곳에 악취발생 정도 등을 기초조사를 마친 후, MBLM-CAOP Pilot시설을 <표-3>과 같은 제작사 양으로 제작(이때 개발된 Pilot시설에 외형 재료는 오존

에 의한 부식을 방지하기 위하여 내식성이 비교적 양호한 STS 304, 316 등의 재질사용)하고 <그림-4>과 같이 현장에 직접적용하고 전문분석기관에 의뢰해 검증을 실시하였다.

구분	기본 설계사양
크기	1,000W×1,000L×5,600H
처리 가스량	30 m <sup>3</sup> /min
공탐 속도	0.8 m/sec
액가스비	1.5 ~ 2 l / m <sup>3</sup>
Spray 층	2 단
Catalyst 층	2 단
UV Lamp 층	3 단

<표-3> Pilot시설 설계 사양

그 결과 아래와 같이 복합악취처리 효율이 93~99% 까지 처리가 이루어졌으며 지정악취물질 또한 처리 후에는 불검출까지 나타나 효율이 매우 높은 것으로 나타났다.



<그림-4> 현장에 설치된 개발시설

① 하수종말처리장 적용결과

MBLM-CAOP 처리시설을 적용한 전후를 비교한 결과, 복합악취의 경우 유입농도가 20,800배로 나타났지만 적용후에 배출구에서는 최종 100배로 제거효율이 99.5%로 나타났다. 이는 하수종말처리장 현장에 악취방지시설로서 가동중인 A/C Tower + 약액 Scrubber 2단 처리시설에 비해 대략 13.9% 이상 높은 결과로 기존 시설에 비해 악취처리 성능이 우수한 것으로 나타났다.

항목	결과 값(공기회색배수)		효율(%)
	IN	OUT	
개발시설	20,800	100	99.5
기존시설	14,422	2,080	85.6

<표-4> MBLM-CAOP 처리시설 적용 후, 복합악취 분석 결과 (하수종말처리장)

지정악취물질을 분석한 결과도 황화수소(H<sub>2</sub>S)가 19.80 ppm으로 악취발생 주요 요인으로 높게 검출되었

고 개발기술을 적용 후에는 배출농도 0.019 ppm으로 처리효율이 99.9%로 나타났다.

### ② 제지업종 폐수처리장 적용결과

개발시설을 설치전후를 비교해본 결과 <표-5>와 같이 인입구에서 3,000배 나타났지만 배출구에서 최종 100배로 제거효율이 96.7%로 나타났고 현장에 설치된 기존의 악취방지시설(Wet Scrubber)의 복합악취제거효율은 51.9%로 개발기술에 비해 약 45% 정도 효율이 낮은 것으로 나타났다.

특히, 배출구의 악취농도가 1,444배를 보임에 따라 악취방지법에서 규정한 기준을 충족하지 못하고 있었지만 당사 개발기술을 적용 후에는 100배로 법적인 기준치를 준수할 수 있는 결과를 나타냈다.

항목	결과 값(공기회석배수)		효율(%)
	IN	OUT	
개발시설	3,000	100	96.7
기존시설	3,000	1,444	51.9

<표-5> MBLM-CAOP 처리시설 적용후, 복합악취 분석 결과 (제지업종 폐수처리장)

지정악취물질을 분석한 결과도 황화수소(H<sub>2</sub>S), 메틸메르캅탄(CH<sub>3</sub>SH), 이소발레르알데하이드(Isovaleraldehyde), 암모니아(NH<sub>3</sub>), 아세트알데하이드(Acetaldehyde), 프로피온알데하이드(Propionaldehyde) 검출되었지만 MBLM-CAOP 처리시설 적용 후, 최고 불검출에서 최저 30% 이상 제거된 것으로 나타났다.

### ③ 음식물쓰레기처리장 적용결과

개발시설을 설치후, 운전에 따른 복합악취 제거효율은 <표-6>과 같이 인입구에서 1,442배로 나타났지만 배출구에서 최종 100배로 제거효율이 93.0%로 나타났다.

항목	결과 값(공기회석배수)		효율(%)
	IN	OUT	
개발시설	1,442	100	93

<표-6> MBLM-CAOP 처리시설 적용후, 복합악취 분석 결과 (음식물쓰레기처리장)

지정악취물질 또한 12가지를 분석한 결과 황화수소(H<sub>2</sub>S), 메틸메르캅탄(CH<sub>3</sub>SH), 등 12가지 물질 모두가 검

출되었지만 각각에 효율이 최고 불검출에서 최저 22.2% 이상 제거가 이루어져 효율이 높은 것으로 검증되었다.

## 6. 시설비 및 유지관리비(경제성)

### 1) MBLM-CAOP 처리시설의 시설비 및 유지관리비 (30m<sup>3</sup> 기준)

#### · 초기시설비

구분	비용(원)	비고
본체 제작비	8,000,000	부대시설 포함
기계장치 설치비	6,000,000	
전기 공사비	500,000	
기타	-	
합계	14,500,000	

※ 산출근거 : 2007년도 물가정보, 일위대가

#### · 연간 운영비

구분	비용(원/년)	산출내역
- UV lamp(①)	280,000	- 30개/시설 × 28,000원/개 ÷ 3년(교체주기)
- 전력사용(②)	1,681,920	
오존산화수생성장치	467,200	- 5,840kw/년 × 80원/kw
UV lamp	280,320	- 3,504kw/년 × 80원/kw
송풍기 & Pump	934,400	- 11,680kw/년 × 80원/kw
- Catalyst(③)	100,000	- 200kg/시설 × 4,000(원/kg) ÷ 8년(교체주기)
합계	2,061,920	= ① + ② + ③

※ 산출근거 : 1일 8시간 365일 가동을 기준

### 2) 기존 처리시설의 시설비 및 유지관리비(30m<sup>3</sup> 기준)

#### · 초기시설비

시설명	처리용량(m <sup>3</sup> )	시설비용(원/m <sup>3</sup> )	비용(원)	비고
생물여과 처리시설	30	900,000	27,000,000	재질 : STS 기준
활성탄 흡착 시설		320,000	9,600,000	
약액세정 시설		350,000	10,500,000	

#### · 연간 운영비

시설명	연간 소요비용(원)	비용(원)
생물여과 처리시설	전력사용비 : 934,400 여재교체비 : 750,000 용수사용비 : 270,100	1,954,500
활성탄 흡착시설	흡착제교체비 : 10,402,500 전력사용비 : 934,400	11,336,900
약액세정 시설	약품주입비 : 230,000 전력사용비 : 934,400 용수사용비 : 270,100 폐수처리비 : 4,750,000	6,184,500

① 흡착제 교체비 : 악취농도, 악취 평균 분자량, 설계 용량을 변수로 악취발생량이 산정 되고 이렇게 계산된

약취발생기준량을 기준으로 하여 흡착제 양이 산정되었으며 활성탄의 일반적인 흡착효율은 자중의 15%이고 입상 활성탄의 단가는 1,500원/kg을 기준으로 함.

② 전력사용비 산출근거 : 송풍기 및 pump의 전력소비량 산출 후 kw당 전력비용을 적용

③ 폐수처리비 : 교체주기를 7일로 하여 위탁처리비용을 산정

④ 약품 구입비 : 연간 주입량에 l 당 약품 구입비용을 적용하여 산정

⑤ 용수사용비 : ton당 공업용수 공급비용을 근거로 함(사용량에 증발량 포함).

### 3) MBLM-CAOP 시설과 기존처리시설의 경제성 비교

#### · 초기 시설비 비교

약취방지시설로 가장 흔히 사용되어지고 있는 시설은 <표-7>에 나타난 것과 같으며 이중 생물여과처리시설의 경우 약취처리를 위해 많은 체류시간이 필요하므로 시설 자체 외형이 크고 미생물에 성장에 필요한 여재에 가능성을 부여한 담체를 사용하는 기술적용의 추세로 m<sup>3</sup> 당 시설비용이 다른 시설에 비해 고가이며 상대적으로 활성탄흡착시설에 경우에는 내부 구조가 간단하고 특별한 고도의 기술적용이 없어 초기시설비가 저렴한 것으로 알려져 있다.

구분	시설명	m <sup>3</sup> 당 비용(원)	처리용량(m <sup>3</sup> )	총비용(원)
기존처리시설	생물여과 처리시설	900,000	30	27,000,000
	활성탄 흡착시설	320,000		9,600,000
	약액세정시설	350,000		10,500,000
개발시설	습식산화시설	483,000		14,490,000

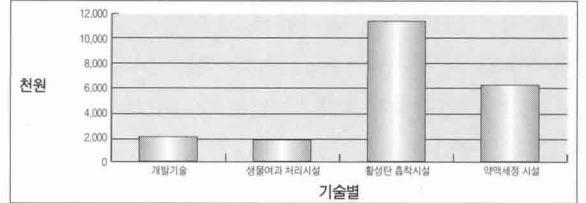
<표-7> 약취방지시설별 초기시설비

#### · 연간 운영비 비교

연간 운영비의 경우 초기시설비와는 다르게 활성탄흡착시설의 경우가 생물여과처리시설, 약액세정시설, 당사 MBLM-CAOP 처리시설에 비해 매우 높은 것으로 조사되었다. 이는 활성탄과 같은 흡착제의 경우 흡착포화 시점에 도달하면 발생량에 따라 다소 차이는 있을 수 있지만 최소 3회/년 이상 전량 교체하여야 하는 단점 때문이라 할 수 있다.

구분	시설명	비용(원/년)
기존처리시설	생물여과 처리시설	1,954,500
	활성탄 흡착시설	11,336,900
	약액세정시설	6,184,500
개발시설	MBLM-CAOP 시설	2,061,920

<표-8> 약취방지시설별 연간 운영비



<그림-4> 기술별 연간 운영비 비교

## 7. 결론

당사가 개발한 MBLM-CAOP시설을 Pilot시설로 제작하고 고농도의 약취가 발생하는 현장에 직접 적용, 그에 대한 효율을 검증해본 결과, 당사 기술에 복합약취 처리효율이 93~99%로 기존 처리시설에 비해 높은 효율로 약취를 처리할 수 있는 것으로 나타났으며 기존 처리시설로는 법적인 기준치를 충족하지 못하였던 부분이 배출허용기준을 준수할 수 있는 상태까지 되어 처리효율 면에서 우수한 것으로 나타났다.

또한 일반적으로 널리 많이 사용중인 활성탄 흡착시설, 생물학적 처리시설, 약액세정시설 등 기존 약취방지 시설들과 경제성 면에서도 활성탄 흡착시설이 초기시설비 면에서 가장 저렴하였지만 연간 운영비부분에서는 가장 높은 것으로 나타났고 당사에 MBLM-CAOP 시설의 경우에는 활성탄시설에 비해 초기시설비는 33.7% 정도 높았지만 연간 유지관리비는 18.2% 수준에 불과하여 많은 운영비를 절감할 수 있는 것으로 나타났다. (K)

#### ※ 기술문의

- 전화 : 031-234-3234
- 팩스 : 031-234-3509
- 부설연구소 : 홍성호 소장, 반중석 대리
- 대기기술팀 : 이성문 과장, 문원호 주임
- 홈페이지 : www.happyclean.co.kr