

최종보고서

22-01-04-01-15

대 기

**서울지역 직화구이 음식적에 특화된 기름연기 및
악취 복합제거 기술 개발**

2022. 11. 23.

서 성 석



환경부지정
서울녹색환경지원센터
Seoul Green Environment Center

제 출 문

서울녹색환경지원센터장 귀하

본 보고서를 “서울지역 직화구이 음식점에 특화된 기름연기 및 악취 복합 제거기술 개발”에 관한 연구보고서로 제출합니다.

연구기관명 : 티에스환경기술원

연구책임자 : 서성석 대표(환경공학박사)

연구 원 : 김태영, 이정미

요 약 문

I. 연구개요

서울지역 직화구이 음식점에서 발생 되는 기름연기(미세먼지) 및 악취를 동시에 제거할 수 있는 복합시스템을 개발하는 연구로 협소한 영세한 음식점 특성을 충분히 반영하고 기름연기보다는 악취제거에 초점을 맞추어 연구를 진행하였음.

II. 연구의 목적 및 필요성

- 연구의 목적 : 기름 연기 및 악취 제거율(%) 약 90% 이상
- 연구의 필요성 : 미세먼지와 악취를 동시에 제거할 수 있는 개선된 방지장치의 개발로 기존 전기집진기만으로는 부족했던 악취저감을 크게 향상시키며 이를 통해 민원을 해결함과 동시에 서울시 대기환경개선에 기여하고자 함.

III. 연구의 내용 및 범위

음식점에서 발생되는 기름연기 및 악취를 제거할 수 있는 최적의 방지시스템을 개발하는 내용이며, 특히 악취제거장치의 설계, 제작 및 운전에 중점을 두었음.

IV. 연구결과

- 악취제거장치의 복합악취 제거효율은 30~50% 범위임.
- 지정악취물질 중 질소화합물의 대표 악취물질인 TMA는 미검출되었고, 황화합물 중 DMS, DMDS 또한 거의 검출되지 않았음. 일부 검출된 DMS, DMDS는 악취제거장치를 통해 100% 제거되었음.
- 황화합물 중에서는 H_2S 와 MM이 가장 높게 검출되었으며 전기집진기와 악취제거장치를 통해 100% 제거되었음.
- 알데하이드류가 가장 높게 배출되며 이 중에서도 아세트알데하이드가 많이 배출됨. 그러나 아세트알데하이드는 오히려 최종배출구에서 더 높게 나타나는

역전 현상이 보였음. 이런 현상이 나타나는 원인에 대해서는 아직 파악하지 못하였으며 보다 많은 실험이 필요한 부분이라 사료됨.

○ 휘발성유기화합물 중에서는 포름알데하이드가 높게 배출되지만 악취제거 장치에서 약 96% 제거됨.

○ 최종배출구에서 대기기오염물질을 분석하였으며 분석항목은 CH_2O , CO , O_3 , VOC , H_2S 그리고 CO_2 등이었으나 배출되는 수준은 낮았음.

○ 악취제거 장치 저류조에 있는 세정수를 이용하여 수질분석(온도, pH, ORP, 전기전도도, Cl_2 등)을 하였으며 수질 항목은 산화제 및 알칼리제 투입량 선정 등 운전 최적화 조건을 찾는 데 중요한 요소임.

V. 연구결과의 활용계획

○ 빠른 시일내로 유의미한 결과를 잘 분석하여 논문에 게재할 것임.

○ 실험변수를 다양하게 하면서 추가 실험을 통하여 본 시스템을 최적화하는 작업을 할 것이며 완성이 되면 특허 출현과 동시에 상품개발을 할 것임.

○ 음식점에 활용할 뿐만 아니라 기타 소규모 사업장으로도 확장할 계획임.

본 문 목 차

제 1 장 서 론

- 1. 연구의 필요성 및 목표 2
- 2 연구 추진 방법 4

제 2 장 시장 현황 분석 및 문헌조사

- 1. 서울시 음식점 현황 8
- 2. 서울시 생활악취 지원사업 현황 12
- 3. 음식점 및 오염물질 관련 문헌 조사 .. 18
- 4. 악취의 개요 및 제거 방법 22

제 3 장 악취 제거 시스템 적용 방안 검토

- 1. UV 시스템 적용방안 검토 32
- 2. 광촉 매시시스템 적용방안 검토 36
- 3. 흡착 시스템 적용방안 검토 39
- 4. 약액세정 시스템 적용방안 검토 45

제 4 장 최적 방지장치 시스템의 설계, 제작 및 설치

- 1. 전기집진기 설계, 제작 및 설치 50
- 2. 악취제거 장치 설계, 제작 및 설치 54

제 5 장 최적 방지장치 시스템의 실험 및 분석

- 1. 시운전 실험 및 분석 결과 68
- 2. 악취 실험 및 분석 결과 69
- 3. 악취 시료채취 및 분석 방법 80
- 4. 수질 및 대기오염물질 분석 결과 97
- 5. 잔류 산화제 제거 102

표 목 차

<표 1-1> 연구추진 계획	-----6
<표 2-1> 서울시 음식점 현황	-----8
<표 2-2> 고기 종류별 대기오염물질 배출량	-----10
<표 2-3> 서울시 생활악취 저감 지원사업 연간 대상 사업장 수	-----12
<표 2-4> 직화구이 음식점에서 배출되는 주요 악취물질	-----21
<표 2-5> 직화구이 음식점에서 배출되는 처리대상 주요 악취물질	-----21
<표 2-6> 주요 물질별 냄새의 특성	-----23
<표 2-7> 8개 악취물질의 악취세기와 농도의 관계	-----24
<표 2-8> 각 악취분석 방법의 악취농도별 관계	-----24
<표 2-9> 주요 화학물질의 최소감지농도	-----26
<표 2-10> 직접관능법 냄새표시	-----27
<표 2-11> 악취제거 기술 체계도	-----28
<표 2-12> 직접연소법과 촉매연소법의 비교	-----29
<표 3-1> UV파장 영역별 활용	-----32
<표 3-2> TiO ₂ 광촉매 종류	-----37
<표 3-3> 알루미늄 공정에 따른 레드머드 구성 성분과 함량	-----41
<표 3-4> 굴 패각 성분과 함량	-----43
<표 3-5> 국외제품 용출특성	-----46
<표 3-6> 국내제품 용출특성	-----46
<표 3-7> 국내 제품 화학조성	-----46

<표 4-1> 전기집진기 주요 구성 및 부품명	-----51
<표 4-2> 스크러빙 접촉조 장치 비교	-----55
<표 4-3> 악취제거장치의 장치목록	-----63
<표 5-1> 분석대상 물질	-----69
<표 5-2> 돼지고기 복합악취 결과	-----74
<표 5-3> 양고기 복합악취 결과	-----74
<표 5-4> 돼지고기 질소화합물과 황화합물의 악취농도 결과	-----75
<표 5-5> 양고기 질소화합물과 황화합물의 악취 농도 결과	-----76
<표 5-6> 돼지고기 알데하이드류 악취 농도 결과	-----77
<표 5-7> 양고기 알데하이드류 악취 농도 결과	-----77
<표 5-8> 돼지고기 휘발성유기화합물의 악취 농도 결과	-----78
<표 5-9> 양고기 휘발성유기화합물의 악취 농도 결과	-----78
<표 5-10> 공기희석관능법의 분석방법	-----83
<표 5-11> 지정악취물질의 성분별 기기 분석법	-----84
<표 5-12> 트리메틸아민 분석조건	-----88
<표 5-13> 황화합물 분석조건	-----90
<표 5-14> 휘발성유기화합물(VOCs) 분석조건	-----92
<표 5-15> 알데하이드류 분석조건	-----94
<표 5-16> 지방산류 분석조건	-----96
<표 5-17> 수질분석 결과	-----98
<표 5-18> 대기오염물질 분석 결과	-----101
<표 5-19> 오염물질별 측정기기 측정원리 및 범위	-----101

그림 목 차

<그림 1-1> 연구추진 전략	-----4
<그림 1-2> 연구추진 체계	-----5
<그림 2-1> 서울시 음식점 현황(2020년)	-----8
<그림 2-2> 서울시 음식점 종류(예)	-----10
<그림 2-3> 고기 종류별 오염물질 배출현황	-----11
<그림 2-4> 숯불구이 음식 종류(예)	-----11
<그림 2-5> 음식종류별 지원 개수	-----13
<그림 2-6> 지역구별 지원 개수	-----13
<그림 2-7> 방지시설 설치 위치	-----14
<그림 2-8> 방지시설(전기집진기) 설치 용량	-----15
<그림 2-9> 방지시설(전기집진기) 설치 현황	-----17
<그림 2-10> 연구 논문 현황 조사(키워드별) 1	-----18
<그림 2-11> 연구 논문 현황 조사(키워드별) 2	-----19
<그림 2-12> 대기오염물질과 악취 관련 음식점과 직화구이 논문 수	-----20
<그림 3-1> UV파장 영역별 활용	-----33
<그림 3-2> 자외선에 의한 오존이 OH라디칼로 전환되는 메카니즘	-----34
<그림 3-3> UV 광분해를 이용한 악취물질 제거	-----35
<그림 3-4> 광촉매 반응기작	-----36
<그림 3-5> TiO ₂ 결정구조	-----37
<그림 3-6> 흡착제 세공구조	-----38
<그림 3-7> 알루미늄을 생성하는 공정에서 배출된 레드머드	-----40
<그림 3-8> 레드머드에 대한 재활용 연구	-----41

<그림 3-9> 주요 굴 생산국의 연간 생산량	-----43
<그림 3-10> 굴패각 내부, 외부, 단면의 구조	-----44
<그림 3-11> 구연산을 이용한 복합제 제조방안	-----47
<그림 3-12> 차아염소산칼슘을 이용한 복합제 제조방안	-----48
<그림 3-13> 악취제거 장치 시험모식도	-----48
<그림 4-1> 전기집진기의 원리	-----50
<그림 4-2> 전기집진기 사양	-----51
<그림 4-3> 전기집진기 제작 도면(외형도)	-----52
<그림 4-4> 전기집진기 본체(정면, 30CMM×2)	-----52
<그림 4-5> 전기집진기 구성품	-----53
<그림 4-6> 접촉조 장치의 종류	-----56
<그림 4-7> 접촉조 Size	-----62
<그림 4-8> PFD(전기집진기+악취제거장치)	-----62
<그림 4-9> 산화제와 알칼리제	-----64
<그림 4-10> 악취제거 장치의 공장 제작 모습	-----65
<그림 4-11> 악취제거 장치의 실험 현장 설치 모습	-----66
<그림 4-12> 최종 최적 시스템의 설치 모습	-----66
<그림 5-1> 시운전 모습(돼지고기, 숯불구이)	-----68
<그림 5-2> 악취 측정 현장 모습	-----73
<그림 5-3> 간접흡인상자 포집방법	-----80
<그림 5-4> 흡수법 시료채취 장치	-----81
<그림 5-5> 고체 흡착관을 이용한 악취 포집 장치	-----81

<그림 5-6> DNPH 카트리지 시료채취 방법	-----82
<그림 5-7> 무취공기 제조 장치	-----85
<그림 5-8> 암모니아 분석장비 (UV-Vis. Spectrophotometer)	-----86
<그림 5-9> 트리메틸아민 분석기 사진	-----87
<그림 5-10> 황화합물 분석기 사진	-----89
<그림 5-11> 휘발성유기화합물(VOCs) 분석기 사진	-----91
<그림 5-12> 알데하이드류 분석기 사진	-----93
<그림 5-13> 지방산류 분석기 사진	-----95
<그림 5-14> 수질 분석기	-----98
<그림 5-15> 염소 측정기	-----99
<그림 5-16> 고형환원제(아황산칼슘)	-----102
<그림 5-17> 잔류 산화제(오존취, 염소취 등) 제거 장치	-----103

제1장 서론

제1절 연구의 필요성 및 목표	2
제2절 연구 추진 방법	4

제1절 연구의 필요성 및 목표

1. 연구의 필요성

가. 현재 적용되고 방지장치의 악취제거 능력 한계

(1) 서울시는 2017년부터 현재까지 직화구이 음식점에서 발생하는 미세먼지 및 악취를 저감하고자 지원사업(총 비용의 90%, 최대 1,300만원)을 하고 있음.

(2) 현재 적용되고 있는 방지장치는 악취제거 능력의 한계가 있다는 것임. 즉, 음식점에서 발생하는 미세먼지 및 악취를 제거하는 장치로는 대부분 소형 전기집진기를 적용하고 있고 이런 전기집진기는 기름연기(미세먼지)를 제거하는 데는 탁월하나 악취 저감에는 한계가 있음. 이에 기존 전기집진기와 함께 악취를 저감할 수 있는 방안을 추가적으로 도입할 필요가 있음.

나. 관련 연구현황

(1) 서울시는 이미 관련 연구를 수행했고, 음식점 업종별로 매뉴얼까지 제시하고 있음. 고유량/저유량, 고농도/저농도, 음식 종류별로 다양한 방법을 제시하고 있으나 실제 음식점에서는 오로지 전기집진기만 적용되고 있는 실정임.

(2) 산업현장에서 적용되고 있는 악취저감시설은 매우 다양하나 협소하고 영세한 음식점에 적용될 수 있는 장치는 극히 제한적임.

다. 음식점 특성에 최적화된 시스템 구축 필요

(1) 적용될 악취저감시설은 음식점 사업주가 크게 신경을 안 쓰면서도 설치비 및 유지관리비도 적게 소요되며 설치공간도 적어야 함. 이런 음식업종의 특성을 충분히 반영할 수 있는 방지시설 시스템이 구축되어야 함.

(2) 기존에 적용되고 있는 전기집진기와 새로운 악취제거장치를 병합한 개선된 장치개발이 절실히 필요함.

2. 연구개발 목표 및 내용

가. 연구개발의 최종 목표

(1) 악취 제거율(%) : 약 90% 이상

(2) 기름연기 제거율(%) : 기존 수준 유지(약 90% 이상)

나. 연구개발 내용

미세먼지와 악취를 동시에 제거할 수 있는 개선된 방지장치의 개발로 기존 전기집진기만으로는 부족했던 악취저감을 크게 향상시키며 이를 통해 민원을 해결함과 동시에 서울시 대기환경 개선에 기여할 것임

다. 연구기간 및 연구비

(1) 연구기간 : 2022.4~2022.11(7개월)

(2) 연구비 : 3천만원

제2절 연구 추진 방법

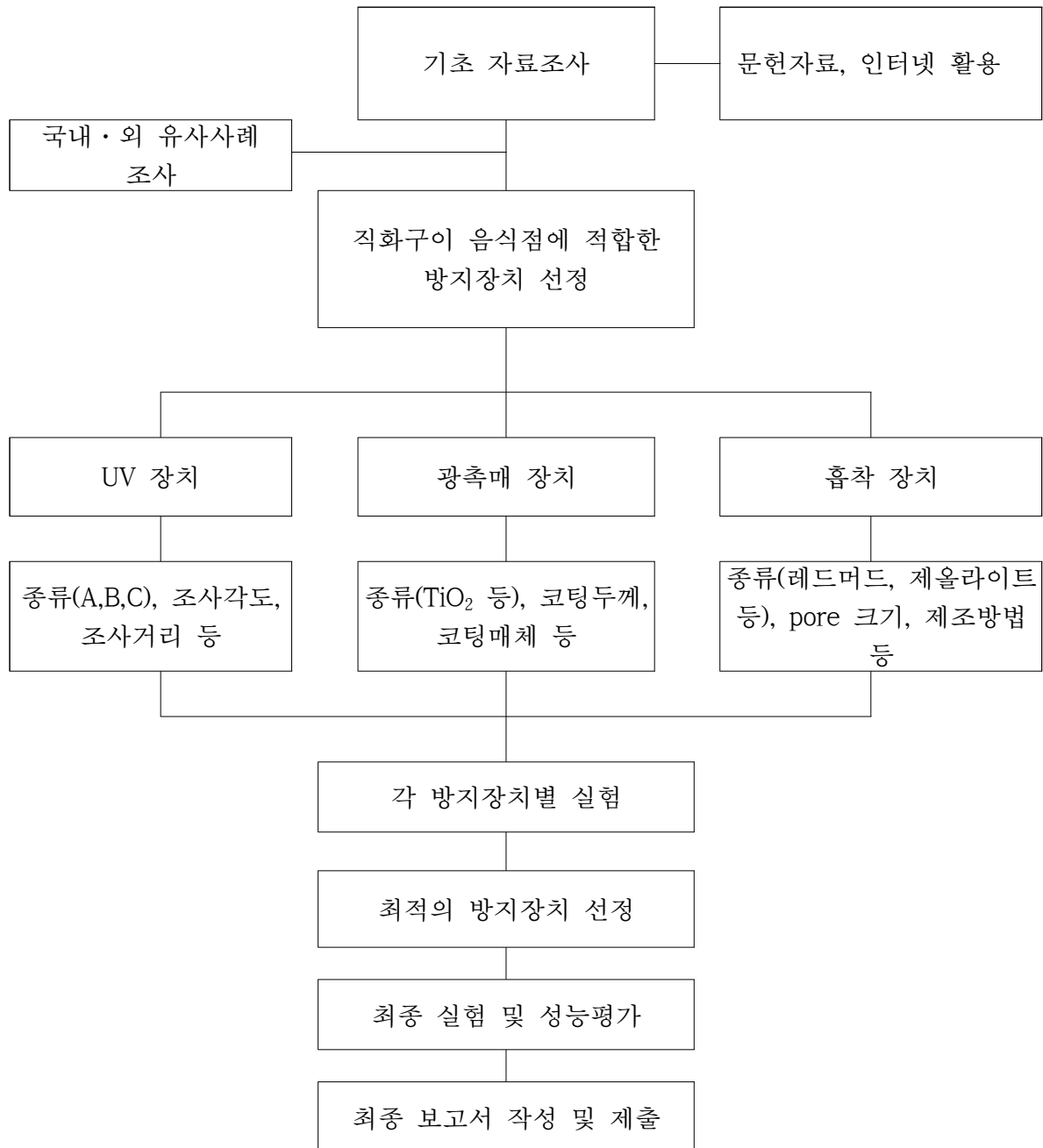
1. 연구 추진 전략



〈그림 1-1〉 연구추진 전략

- 기존 문헌조사를 밀도 있게 수행하여 음식물(돼지고기, 소고기, 생선, 양고기 등)별 직화구이 시 발생하는 대표적인 악취물질을 찾아 선정하겠음.
- 또한, 악취 저감기술로 크게 3가지(UV 장치, 광촉매 장치, 흡착 장치)를 고려하고 있으나 제거효율, 경제성, 유지관리 편리성을 종합적으로 고려하여 가장 적절한 기술을 도출하도록 하겠음.

2. 연구 추진 체계



〈그림 1-2〉 연구추진 체계

단, 7개월의 짧은 연구 기간 및 연구비의 제한으로 최종 적정기술로 선정된 1개의 기술에 대해 구체적인 설계 및 제작 방안을 제시할 것임. 이때 기존 시스템과의 조화 및 비용, 구조물의 크기 등을 종합적으로 고려하겠음.

3. 연구 추진 계획

<표 1-1> 연구추진 계획

연구내용	추진 일정(개월)												연구비 (천원)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
관련 자료 조사 및 분석													5,421
방지장치 선정													2,876
중간보고회													1,728
방지장치 설계 및 제작 - 전기집진기 (5L, 30m³) - UV 장치 - 광촉매 장치 - 흡착 장치 - 약액세정장치													9,893
실험 및 측정·분석													7,651
최종보고회													2,432
사업진도(%)	54%			85%			100%						
연구비(천원)	16,154 (16,154)			9,231 (25,385)			4,615 (30,000)						30,000 (30,000)

제2장 시장 현황 분석 및 문헌조사

제1절 서울시 음식점 현황	8
제2절 서울시 생활악취 지원사업 현황	12
제3절 음식점 및 오염물질 관련 문헌 조사	18
제4절 악취의 개요 및 제거 방법	22

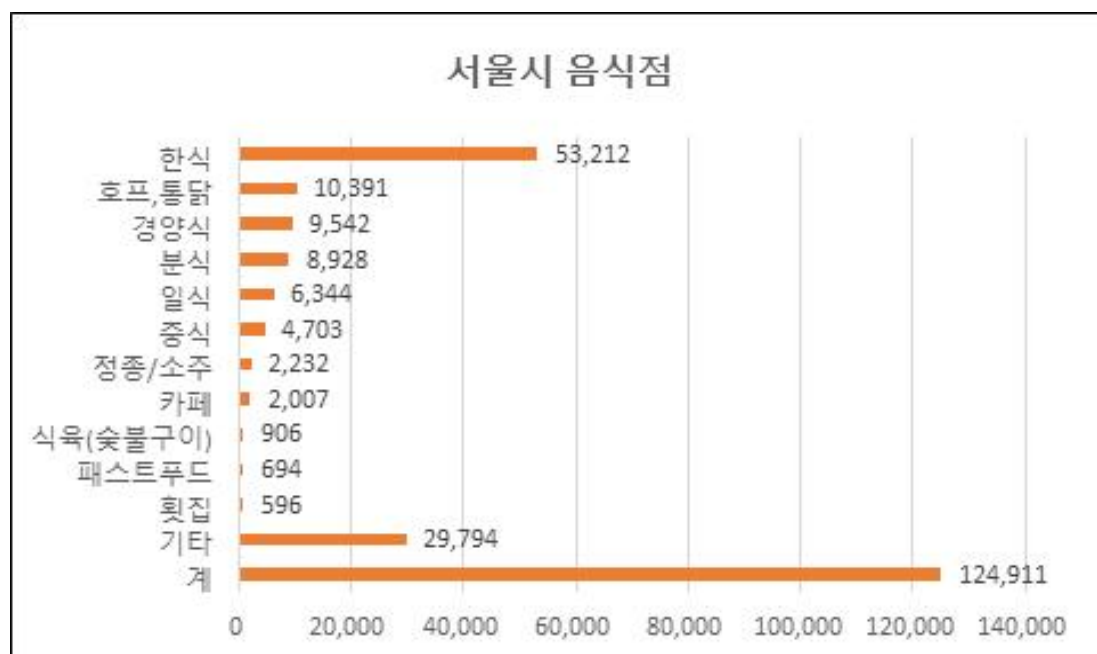
제1절 서울시 음식점 현황

1. 서울시 음식점 현황 분석

서울시에는 2020년 기준 124,911개의 음식점이 인허가를 받아 운영 중에 있으며 한식 53,212개소, 호프·통닭 10,391개소, 경양식 9,542개소, 분식 8,928개소, 일식 6,344개소, 중식 4,703개소 등 임.

〈표 2-1〉 서울시 음식점 현황(출처 : 서울시 공공데이터 2020)

음식점	개소	음식점	개소
한식	53,212	호프·통닭	10,391
경양식	9,542	분식	8,928
일식	6,344	중식	4,703
정종/대포방/소주방	2,232	카페	2,007
식육(숯불구이)	906	패스트푸드	694
횃집	596	기타	29,794
계			124,911



〈그림 2-1〉 서울시 음식점 현황(2020년)



〈한식〉



〈호프 · 통닭〉



〈일식〉



〈중식〉

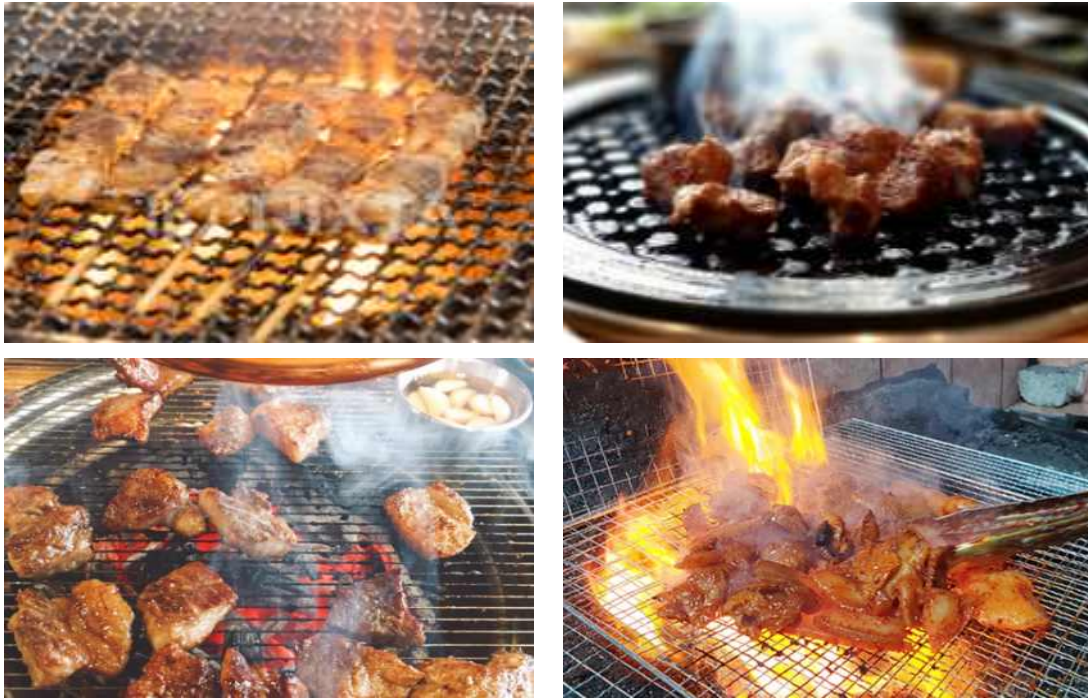


〈분식〉



〈횃집〉





〈식육-숯불구이〉

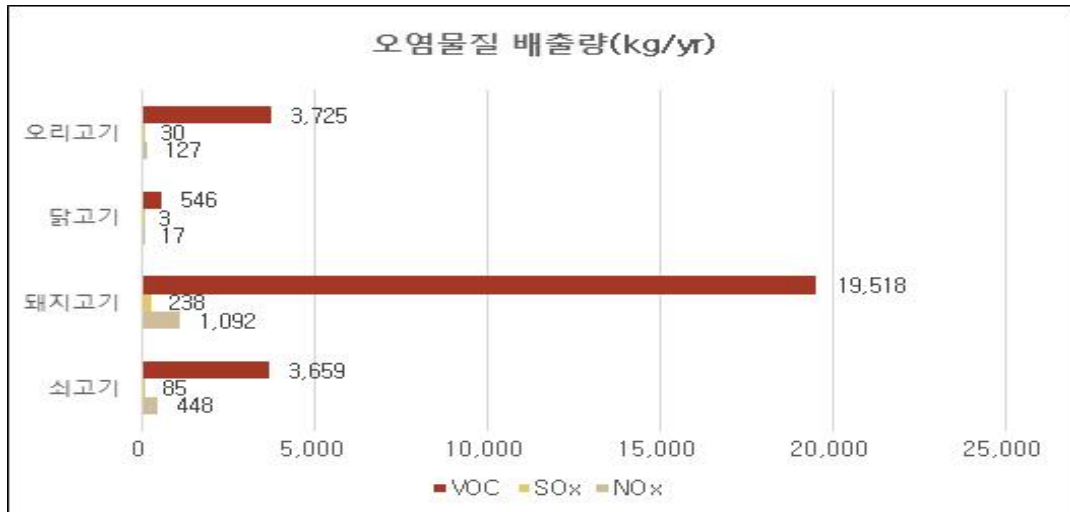
〈그림 2-2〉 서울시 음식점 종류(예)

2. 음식점에서의 대기오염물질 발생량 현황

서울시 음식점 중 숯불구이 음식점에서의 대기오염물질 배출량은 쇠고기, 돼지고기, 닭고기, 오리고기 중 돼지고기에서 가장 많이 배출되고 있음.

〈표 2-2〉 고기 종류별 대기오염물질 배출량(출처: 국가미세먼지 정보센터 대기오염물질 배출량 통계 2019)

고기 종류	NOx		SOx		VOCs	
	배출량 (kg/y)	비율 (%)	배출량 (kg/y)	비율 (%)	배출량 (kg/y)	비율 (%)
소고기	448	26.6	85	23.9	3,659	13.3
돼지고기	1,092	64.8	238	66.9	19,518	71.1
닭고기	17	1.0	3	0.8	546	2.0
오리고기	127	7.5	30	8.4	3,725	13.6
계	1,684	100.0	356	100.0	27,448	100.0



〈그림 2-3〉 고기 종류별 오염물질 배출현황



〈소고기〉



〈소고기_곱창〉



〈돼지고기_삼겹살〉



〈돼지고기_갈비〉



〈닭고기〉



〈오리고기〉

〈그림 2-4〉 숯불구이 음식 종류(예)

제2절 서울시 생활악취 지원사업 현황

1. 직화구이 음식점 현황 및 특성

가. 개요

서울시는 2017년부터 현재까지 직화구이 음식점에서 발생하는 미세먼지 및 악취를 저감하고자 지원사업을 하고 있음.

(1) 2021년 이전 1.5억원(총 비용의 70%, 최대 1,000만원)

(2) 2021년 이후 2.0억원(총 비용의 90%, 최대 1,300만원)

나. 대상 사업장 수

(1) 총 81개 업체가 지원을 받았으며 2020년(지원금 1.5억원)까지는 연간 15개업체가 지원을 받았으며 2021년(지원금 2억원)에는 21개 업체가 지원을 받았음.

<표 2-3> 서울시의 생활악취 저감 지원사업 연간 대상 사업장 수

구분	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년
음식점	9	15	12	15	21
음식점 외	6	1	2	0	0
총계	15	16	14	15	21

(2) 음식점은 총 72개 업체이고 음식점 외 사업장은 총 9개업체이며 이 중 8개 업체는 ‘자동차공업사’ 이고 1개는 ‘아크릴 가공업체’ 이었음.

(3) 2019년부터 환경부의 ‘소규모 방지시설 설치 지원사업(약 1조 4천억원)’ 이 추진됨에 따라 기존에 지원되었던 자동차공업사 등은 2020년부터 지원대상에서 제외되었으며 이후 생활악취 지원사업은 ‘음식점’ 으로 한정되었음.

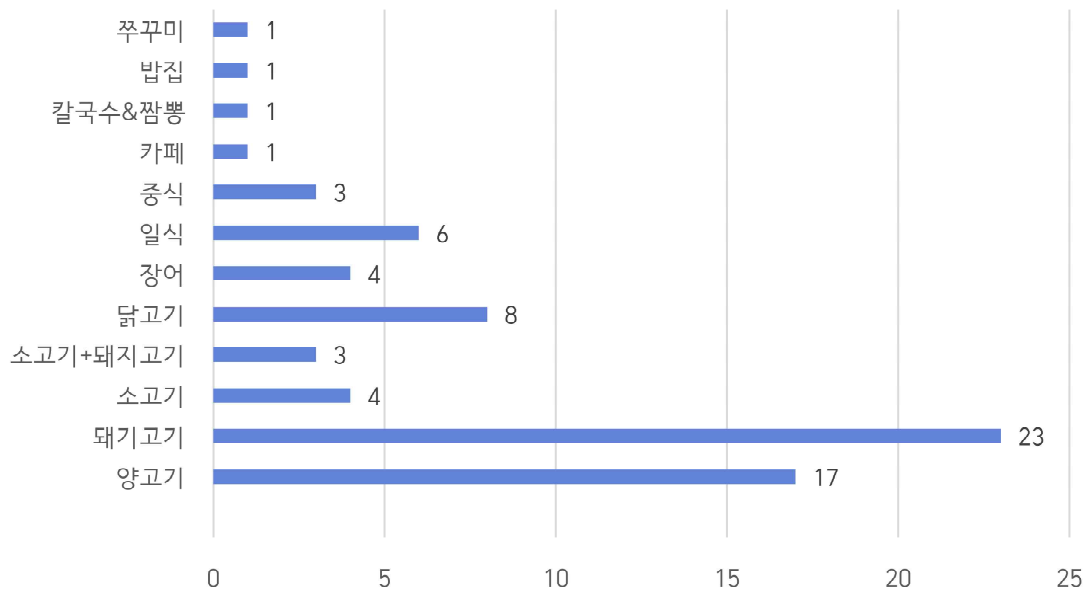
다. 대상 음식점

(1) 지원 대상 음식점의 판매 음식을 기준으로 분석해 보면 아래 그림과 같이 ‘돼지고기’ 가 가장 많고 그 다음 ‘양고기’, ‘닭고기’, ‘소고기’ 순으로 조사되었음.

(2) 일반적으로 분류되는 육고기(돼지고기, 소고기, 닭고기, 양고기 등)가 전체의 76.4%로 대부분을 차지하였음.

(3) 한편, 중식보다는 ‘일식’ 이 높았고 단품으로는 ‘장어’ 가 가장 많았음. 심지어 ‘카

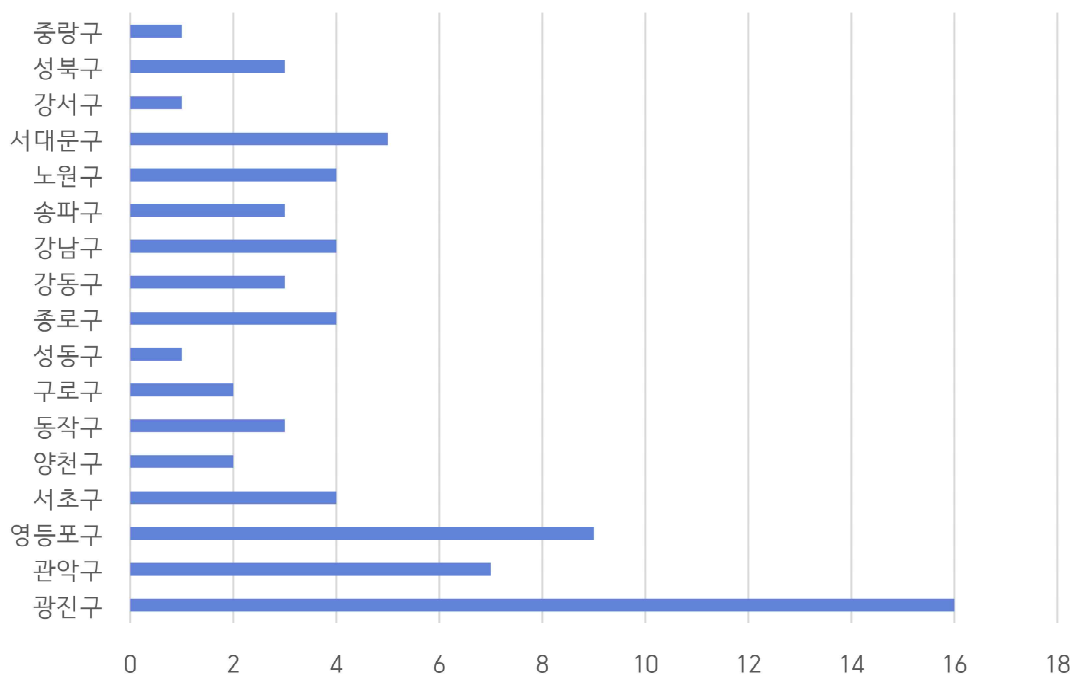
폐'도 지원을 받았음.



〈그림 2-5〉 음식종류별 지원 개수

라. 지역구별 설치 현황

서울시 25개구 중 17개구에 설치되었으며. 광진구가 가장 많고 그 다음이 영등포구, 관악구, 서대문구 순이었음.

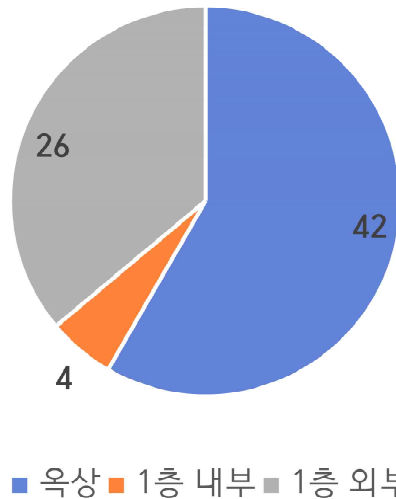


〈그림 2-6〉 지역구별 지원 개수

2. 방지시설 설치 현황

가. 방지시설 설치 위치

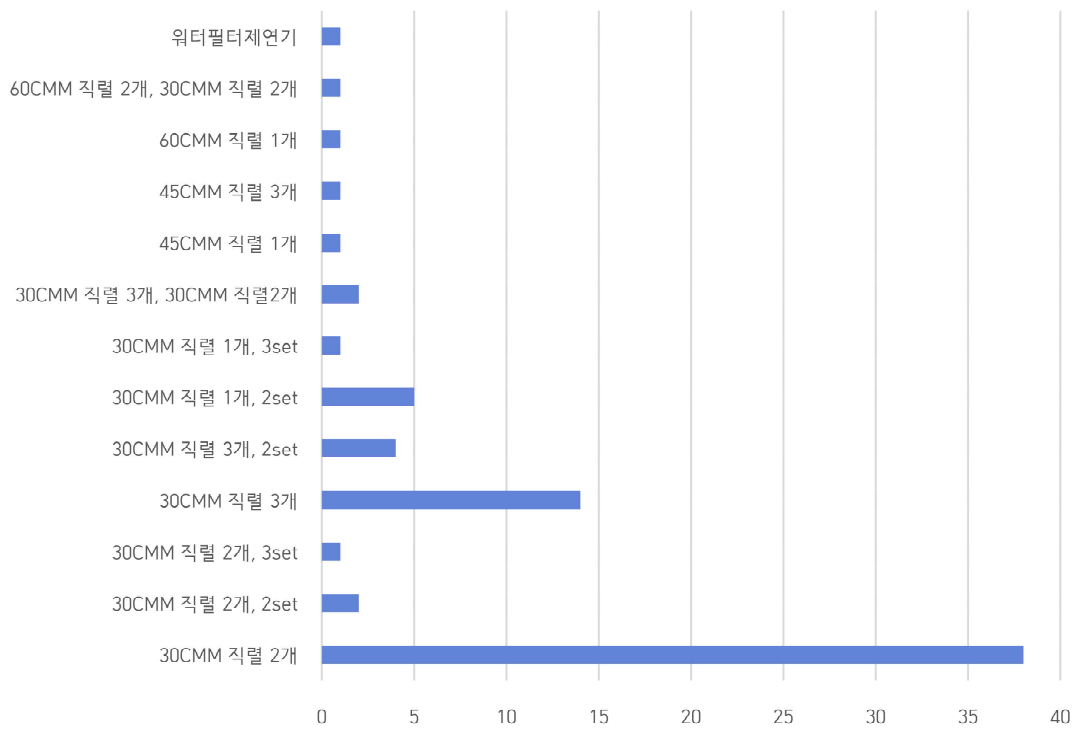
방지시설 설치 위치는 크게 옥상, 1층 외부, 1층 내부로 구분되는데 옥상이 58.3%로서 가장 많고, 1층 외부는 36.1%, 1층 내부는 5.6% 임.



<그림 2-7> 방지시설 설치 위치

나. 방지시설(전기집진기) 설치 용량

30CMM-직렬 2개가 가장 많음(52.8%). 그 다음이 30CMM-직렬 3개(19.4%), 30CMM-직렬 1개-2set(6.9%), 30CMM-직렬 3개-2set(5.6%) 순이었음. 이 4개를 합하며 84.7%임. 그 밖에는 45CMM, 60CMM이 있으며, 특히 카페에 설치된 워터필터재연기도 있었음.



〈그림 2-8〉 방지시설(전기집진기) 설치 용량







<그림 2-9> 방지시설(전기집진기) 설치 현황

제3절 음식점 및 오염물질 관련 문헌 조사

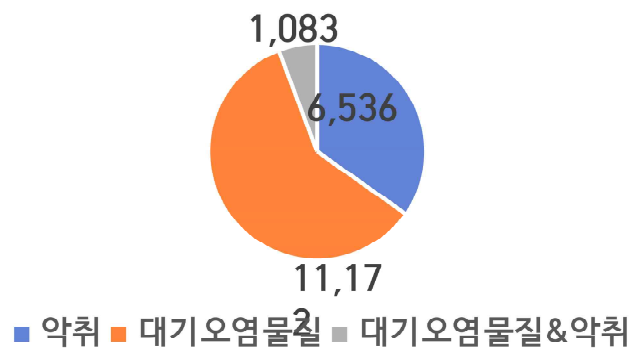
1. 음식점 관련 논문

가. 대기오염물질 관련 연구 논문

대기오염물질 관련 연구 논문은 11,172건, 악취 관련 연구 논문은 6,536건, 이 중 대기오염물질과 악취를 포함한 연구 논문은 1,083건으로 조사됨. 대기오염물질과 악취에 대한 개별적인 논문 수에 비해 대기오염물질과 악취가 동시에 포함된 논문 수는 상대적으로 적었음.

나. 음식점 관련 연구 논문

음식점 관련 연구 논문은 7,423건, 직화구이 관련 연구 논문은 110건으로 조사됨. 음식점 논문 수에 비해 직화구이 관련 논문 수는 상대적으로 매우 적었음(약 1.5% 수준).



(a) 대기오염물질과 악취



(b) 음식점과 직화구이

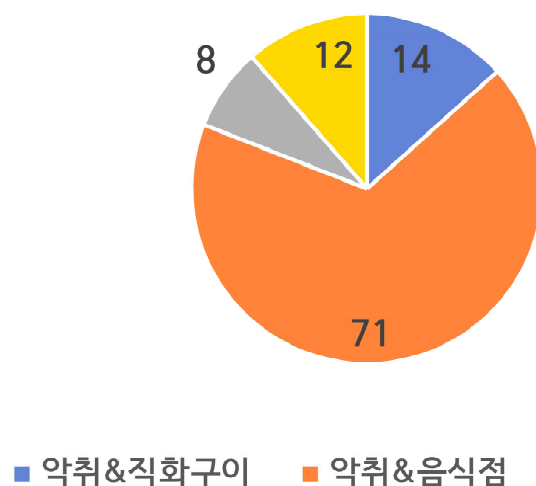
<그림 2-10> 연구 논문 현황 조사(키워드별) 1

다. 대기오염물질과 음식점을 포함한 연구 논문

대기오염물질과 음식점을 포함한 연구 논문(대기오염물질&음식점)은 12건, 대기오염물질과 직화구이를 포함한 연구 논문(대기오염물질&직화구이)은 8건으로 조사됨.

라. 악취와 음식점을 포함한 연구 논문

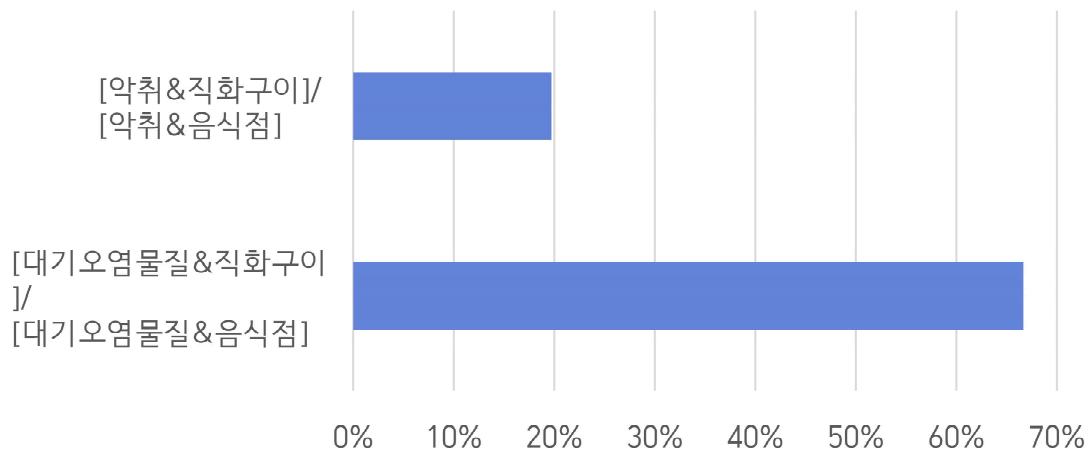
악취와 음식점을 포함한 연구 논문(악취&음식점)은 71건, 악취와 직화구이를 포함한 연구 논문(악취&직화구이)은 14건으로 조사됨. 이로 판단해 볼 때 음식점과 직화구이는 대기오염물질배출시설보다는 악취물질배출시설로 인식되고 있음을 확인할 수 있었음.



<그림 2-11> 연구 논문 현황 조사(키워드별) 2

마. 음식점 관련 논문 중 직화구이 관련 연구 논문

음식점 관련 연구 논문 7,423건 중 직화구이 관련 연구 논문은 110건으로 음식점 대비 직화구이의 비중이 약 1.5% 수준으로 미미하였으나 대기오염물질과 관련된 연구 논문 수에서는 음식점 대비 직화구이의 비중이 66.7%(대기오염물질&음식점 12개, 대기오염물질&직화구이 8개), 악취와 관련된 연구 논문 수에서는 음식점 대비 직화구이의 비중 19.7%(악취&음식점 71개, 악취&직화구이 14개)로 분석되었음. 이로 판단해볼 때 대기오염물질과 관련된 음식점은 직화구이가 상당한 부분(66.7%)을 차지하지만 악취와 관련된 음식점에서는 다소 작은 부분(19.7%)을 차지하고 있음. 즉, 악취와 관련된 음식점은 직화구이(주로 굽는 조리법)외에 다른 음식류(주로 삶기 또는 튀기기 조리법으로 만든 중식, 일식, 한식 등)에서도 상당히 악취가 발생되고 있음을 간접적으로 확인할 수 있었음.



〈그림 2-12〉 대기오염물질과 악취 관련 음식점과 직화구이 논문 수

2. 음식점 관련 주요 악취물질

가. 황수연(인천시보건환경연구원) 등의 연구 결과에 의하면, 13개의 직화구이 음식점 중 황화수소는 1개 음식점, 메틸메르캅탄은 1개 음식점, 다이메틸설파이드는 1개 음식점, 트라이메틸아민은 1개 음식점, 아세트알데하이드는 7개 음식점, 프로피온알데하이드는 6개 음식점, 뷰티르알데하이드는 5개 음식점, n-발레르알데하이드는 5개 음식점, i-발레르알데하이드는 7개 음식점이 기타지역 부지경계선 배출허용기준을 상회하는 수준으로 조사되었음.

(1) 결과적으로 알데하이드류(아세트알데하이드, 프로피온알데하이드 등) 농도가 높은 편이었고, 일부 황화합물(메틸메르캅탄, 황화수소, 다이메틸설파이드, 다이메틸다이설파이드)이 배출되었음.

(2) 알데하이드류를 제거하기 위해서는 산화제(차아염소산 등)를 사용하고 황화합물을 제거하기 위해서는 알칼리제(생석회, 소석회 등)를 사용할 필요가 있음.

〈표 2-4〉 직화구이 음식점에서 배출되는 주요 악취물질(황수연, 인천시 보건환경연구원)

지정악취물질(22물질)	중분류	처리제
1. 암모니아, 6. 트라이메틸아민	질소화합물	
2. 메틸메르캅탄, 3. 황화수소, 4. 다이메틸설파이드, 5. 다이메틸다이설파이드	황화합물	-생석회, 소석회 -가성소다
7. 아세트알데하이드, 9. 프로피온알데하이드, 10. 뷰틸알데하이드, 11. n-발레르알데하이드, 12. i-발레르알데하이드	알데하이드류	-차아염소산
13. 톨루엔, 14. 자일렌, 8. 스타이렌	탄화수소	
15. 메틸에틸케톤, 16. 메틸아이소뷰틸케톤	케톤류	
17. 뷰틸아세테이트, 18. 프로피온산, 19. n-뷰틸산, 20. n-발레르산, 21. i-발레르산, 22. i-뷰틸알코올	지방산류	

나. 전준민 (순천제일대, 2009) 등의 연구 결과에 의하면 알데하이드류(아세트알데하이드, 프로피온알데하이드, n-발레르알데하이드) 및 트리메틸아민 성분들이 주요 악취물질로 조사되었음.

다. 그러므로 직화구이 음식점에서 배출되는 처리대상 주요 악취물질은 알데하이드류(아세트알데하이드, 프로피온알데하이드, 뷰티르알데하이드 등), 황화합물(메틸메르캅탄, 황화수소, 다이메틸설파이드, 다이메틸다이설파이드), 질소화합물(트리메틸아민)로 예상됨. 그 중에서도 알데하이드류(아세트알데하이드, 프로피온알데하이드, n-발레르알데하이드)가 가장 높게 배출되고 있음.

〈표 2-5〉 직화구이 음식점에서 배출되는 처리대상 주요 악취물질

구분	황수연 등	전준민 등	처리대상 주요 악취물질
질소 화합물		-트라이메틸아민	-트라이메틸아민
황 화합물	-메틸메르캅탄 -황화수소 -다이메틸설파이드 -다이메틸다이설파이드		-메틸메르캅탄 -황화수소 -다이메틸설파이드 -다이메틸다이설파이드
알데하이드류	-아세트알데하이드 -프로피온알데하이드 -뷰틸알데하이드 -n-발레르알데하이드 -i-발레르알데하이드	-아세트알데하이드 -프로피온알데하이드 -n-발레르알데하이드	-아세트알데하이드 -프로피온알데하이드 -뷰틸알데하이드 -n-발레르알데하이드 -i-발레르알데하이드

제4절 악취의 개요 및 제거 방법

1. 악취의 개요

가. 악취의 정의

(1) 악취라 함은 여러 가지 성분이 혼합된 상태로 존재하면서 사람의 후각을 자극하여 인간의 쾌적한 정서생활과 나아가서는 건강에 피해를 주는 나쁜 냄새를 의미함.

(2) 한편, 악취방지법에서는 악취를 “황화수소, 메르캅탄류, 아민류, 그 밖에 자극성 있는 기체상태의 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새를 말한다.” 라고 정의함.

(3) 즉, 악취는 사람에게 특정냄새 자체로 심리적, 정신적 피해와 건강상의 피해를 주는 감각오염의 한 형태임.

나. 악취의 특성

(1) 악취 인식의 개인차의 큼

일정한 냄새를 악취로 인식하는 데에는 지역특성, 생활수준 등 사회·문화적인 특성과 성별, 연령, 건강상태 등 개인적인 특성이 중요하게 작용함. · 이와 같이 냄새를 감지하고, 이에 대한 쾌·불쾌도를 인식하는 데 있어 사람마다 느끼는 정도가 다르므로, 대기 중의 악취오염도를 단순히 농도만으로 표시하기에는 어려운 점이 있음.

(2) 악취물질의 다양성

악취물질은 매우 다양하여 유기산류, 알코올류, 아민류, 방향족화합물류, 알데하이드류, 에스테르류, 황화수소류 등이 있음. · 일반적으로 악취 유발물질은 쉽게 휘발될 수 있는 분자량이 300보다 작고, 비이온성 화합물질로 분자구조 및 작용기에 따라 악취특성이 각기 다름. · 예를 들어 메르캅탄류는 짙은 배추냄새, 알릴(allyl)기를 포함하는 화합물은 마늘냄새, 아민류화합물은 생선비린내와 암모니아냄새, 알데하이드류는 낮은 농도에서 과일 향기를 높은 농도에서 불쾌한 냄새를 유발함.

<표 2-6> 주요 물질별 냄새의 특성

화합물	냄새의 특성	원 인 물 질 명
황화합물	양파, 양배추 썩는 냄새	메틸머캅탄(CH_3SH), 황화메틸[(CH_3) $_2\text{S}$], 이황화메틸(CH_3SSCH_3) 등
	계란 썩는 냄새	황화수소(H_2S) 등
질 소 화 합 물	분뇨 냄새	암모니아(NH_3), 에틸아민($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$) 등
	생선 썩는 냄새	메틸아민(CH_3NH_2), 트라이메틸아민[(CH_3) $_3\text{N}$] 등
알데히드류	자극적이며, 새콤하고 타는 듯한 냄새	아세트알데하이드(CH_3CHO), 프로피온알데하이드($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$), n-부티르알데하이드[($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CHO}$], i-부티르알데하이드[(CH_3) $_2\text{CHCHO}$], n-발레르알데하이드[($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CHO}$], i-발레르알데하이드[(CH_3) $_2\text{CHCH}_2\text{CHO}$] 등
탄화수소류	자극적인 신나 냄새	아세트산에틸($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{C}_2\text{H}_5$), 메틸아이소부티르케톤[$\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$] 등
	가솔린 냄새	톨루엔($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$), 스티렌($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2$), 자일렌[$\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$] 등
지방산류	자극적인 신 냄새	프로피온산($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$) 등
	땀 냄새	노말부티르산[$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$] 등
	젖은 구두에서 나는 냄새	노말발레르산[$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$], 이소발레르산[(CH_3) $_2\text{CHCH}_2\text{COOH}$] 등
할 로 겐 원 소	자극적인 냄새 자극성 냄새	염소, 불소 등

다. 악취의 세기와 농도와의 관계

(1) 악취의 세기와 악취물질 농도사이에는 다음과 같은 대수관계가 성립하는데, 이를 웨버-페히너(Weber-Fechner)법칙이라 함.

$$I = k \log C + b$$

I : 악취의 세기, C : 악취물질의 농도
 k : 악취물질별 상수, b : 상수(무취농도의 가상대수치)

(2) 이는 악취물질의 농도가 감소하여도 악취의 세기는 농도의 대수에 비례하기 때문에 농도 감소에 상응하는 양만큼의 세기로 감소하지 않음을 뜻함.

(3) 또한, k 값은 물질에 따라 다르기 때문에 동일한 농도감소에서도 물질별로 체감되는 악취 세기는 다를 수 있음을 의미함.

(4) 예를 들어, k값이 1인 경우에 악취세기를 1단위 감소시키기 위해서는 냄새물질 농도를 1/10(90%제거)로 낮추어야 함을 의미함.

(5) 악취방지법에서 정한 지정악취물질의 악취세기와 농도와의 상관관계는 아래 표와 같음.

<표 2-7> 8개 악취물질의 악취세기와 농도의 관계

(단위 : ppm)

악취세기 물질명	1	2	2.5	3	3.5	4	5
암모니아	0.1	0.6	1	2	5	10	40
메틸머캅탄	0.0001	0.0007	0.002	0.004	0.01	0.03	0.2
황화수소	0.0005	0.0006	0.02	0.06	0.2	0.7	9
황화메틸	0.0001	0.002	0.01	0.05	0.2	0.8	20
이황화메틸	0.0003	0.003	0.009	0.03	0.1	0.3	3
트라이메틸아민	0.0001	0.001	0.005	0.02	0.07	0.2	3
아세트알데히드	0.002	0.01	0.05	0.1	0.5	1	10
스타이렌	0.03	0.2	0.4	0.8	2	4	20

<표 2-8> 각 악취분석 방법의 악취농도별 관계

구분		악취농도		
		3이상 4미만	4이상 5미만	5이상
직접관능법(악취강도)		3	4	5
공기희석 관능법 (단위 : 희석배율)	배출구	3,000미만	3,000이상 15,000미만	15,000이상
	부지경계선	100미만	100이상 500미만	500이상
기기분석법 (단위 : ppm)	암모니아	10미만	10이상 40미만	40이상
	메틸메르캅탄	0.03미만	0.03이상 0.2미만	0.2이상
	황화수소	0.7미만	0.7이상 8미만	8이상
	황화메틸	0.8미만	0.8이상 2미만	2이상
	이황화메틸	0.3미만	0.3이상 3미만	3이상
	트리메틸아민	0.2미만	0.2이상 3미만	3이상
	아세트알데히드	1미만	1이상 10미만	10이상
	스티렌	4미만	4이상 20미만	20이상

라. 온도, 습도 및 질병과의 관계

(1) 악취는 온도와도 밀접한 관계가 있고 통상 악취물질은 26~30℃에서 강한 영향을 미치며, 온도가 낮아질수록 악취의 세기가 감소하는 경향이 있음.

(2) 또한, 습도의 영향도 커서 60~80%의 상대습도에서 악취에 보다 민감하게 반응함.

(3) 악취는 또한 호흡속도, 호흡량에도 영향을 받아 호흡을 짧게 끊어 증가 시키면 악취를 보다 쉽게 인지할 수 있으며, 축농증, 알러지성 비염 등 질병에 따라서도 민감도에 차이가 발생할 수 있음.

마. 악취의 단위

악취를 나타내는 단위에는 최소감지농도(Threshold), 농도(Concentration), 악취세기(Ordor Intensity Index), 희석배수(Dilution Threshold, 배율) 등이 있음.

(1) 최소감지농도

(가) 악취는 개별물질마다 사람이 느낄 수 있는 최소농도나 냄새의 질이 다름. 어떤 물질이 사람에게 냄새로 느껴지기 시작되는 최소의 농도를 최소감지농도(최소감지값, 역치(閾値) 또는 Threshold)라 함.

(나) 최소감지농도는 사람마다 조금씩 차이를 나타내고 민족이나 연령에 따라서도 차이가 있음.

(다) 최소감지농도는 탄소와 수소만으로 된 화합물보다 산소, 황, 질소 등의 물질이 포함되어 있는 화합물이 대체로 작은 값 즉 낮은 농도에서도 냄새가 발생되고 있음. 최소감지농도가 작을수록 낮은 농도에서 냄새를 유발하므로, 강한 냄새를 낸다고 할 수 있음.

(라) 단일성분의 냄새물질은 일정한 최소감지농도를 갖지만, 두 가지 이상의 물질이 혼합될 경우는 상승 또는 상쇄작용에 의해 각 성분의 최소감지농도보다 더 높아지거나 혹은 낮아지는 경우도 있음.

(마) 최소감지농도는 과거 대기오염공정시험방법에 의한 직접관능법의 악취도 1(감지취기)에 해당되는 물질의 농도라고 할 수 있음.

<표 2-9> 주요 화학물질의 최소감지농도

화학물질명	농도(ppm)	화학물질명	농도(ppm)
Ammonia	0.1	Formaldehyde	0.50
Methyl mercaptane	0.0001	Acrolein	0.0085
Hydrogen sulfide	0.0005	Acrylonitrile	8.8
Dimethyl sulfide	0.0001	Methanol	0.52
Dimethyl disulfide	0.0003	Dimethylamine	0.033
Trimethylamine	0.0001	Methylamine	0.035
Acetaldehyde	0.002	Acetic acid	0.0057
Propionaldehyde	0.002	Benzene	2.7
<i>n</i> -Butyraldehyde	0.0003	Phenol	0.00028
<i>i</i> -Butyraldehyde	0.0009	Carbon disulfide	0.21
<i>n</i> -Valeraldehyde	0.0007	Pyridine	0.063
<i>i</i> -Valeraldehyde	0.0002	Methyl alkyl sulfide	0.00014
<i>i</i> -Butanol	0.01	Carbon tetrachloride	4.6
Ethyl acetate	0.3	Chloroform	3.8
Methyl isobutyl ketone	0.2	Indole	0.00030
Toluene	0.9	Skatole	0.0000056
Stylene	0.03	Ethyl benzene	0.17
<i>o</i> -Xylene	0.38	1,3-Butadiene	0.23
<i>m</i> -Xylene	0.041	Diethyl sulfide	0.000033
<i>p</i> -Xylene	0.058	Ethanol	0.094
Propionic acid	0.002	Ethyl acrylate	0.00026
<i>n</i> -Butyric acid	0.00007	Ethyl mercaptan	0.0000087
<i>n</i> -Valeric acid	0.0001	Methyl ethyl ketone	0.44
<i>i</i> -Valeric acid	0.00005	Sulfur dioxide	0.055
1,2,4-Trimethyl benzene	0.12	Nitrogen dioxide	0.12
1,3,5-Trimethyl benzene	0.17	Methyl acetate	1.7
Acetone	42	Ethyl acetate	0.87
Dichloromethane	160	<i>i</i> -Butyl acetate	0.0080
Trichloroethylene	3.9	<i>o</i> -Cresol	0.00010
Tetrachloroethylene	0.77	<i>m</i> -Cresol	0.000054

(2) 농도

(가) 농도는 일정량의 부피 중에 존재하는 성분의 비율 즉, 조성을 표시하는 양으로서 여러 가지 단위가 사용되며, 질량백분율(%), 체적백분율(V%), 몰수의 비(몰분율) 등이 이용됨.

(나) 기체상태 악취물질의 화학적 분석에 의해 측정된 농도 단위로는 단위부피당 부피(V/V)를 사용하는 경우가 많아 악취성분의 농도를 ppm, ppb, ppt로 표현하는 것이 일반적임.

(3) 냄새의 세기

(가) 대기 중의 냄새의 정도를 수치화하여 표현하는 방법으로 악취공정시험법의 공기희석관능법에 의한 희석배수, 일본의 6단계 냄새표시법, 미국의 TIA(Total Intensity of Aroma) 등의 방법이 있음.

(나) 직접관능법에 의한 악취세기는 최소감지값 수준의 냄새를 1도, 악취로 인식되지 않을 보통의 수준을 2도(규제기준)로 하며, 기타 악취로 느낄 수 있는 세기를 3~5도로 규정하고 있음.

(다) 일본의 6단계 냄새표시법은 우리나라의 악취세기와 유사하며, 미국의 TIA는 무취, 약간 냄새, 확실한 냄새, 강한 냄새의 4단계 척도를 이용하고 있음.

(라) 우리나라는 직접관능법은 악취공정시험방법에서 삭제하였고, 공기희석관능법이 주 시험법임.

<표 2-10> 직접관능법 냄새표시법

악취도	0	1	2	3	4	5
악취세기	무취 (None)	감지취기 (Threshold)	보통취기 (Moderate)	강한취기 (Strong)	극심한 취기 (Very Strong)	참기 어려운 취기 (Over Strong)

(4) 희석배수

(가) 희석배수는 사업장 등에서 채취한 시료공기를 무취공기로 희석하면서 최소감지농도 수준(냄새가 인지되지 않는 순간의 희석치)으로 희석했을 때의 배율로 구할 수 있음.

(나) 현행 악취공정시험방법에서는 5인 이상의 판정인이 악취를 감지한 희석배수 중 최대, 최소 희석배율을 제외한 희석배수의 기하평균값을 희석배수로 하고 있음.

2. 악취 제거 방법

가. 악취 제거 기술의 개요

악취 제거 기술은 크게 물리적 방법, 화학적 방법, 생물학적 방법, 기타 방법으로 분류됨.

<표 2-11> 악취제거 기술 체계도

악취제거 기술체계	1) 물리적방법	수세법, 응축법, 흡착법	
	2) 화학적 방법	연소법	① 직접연소법 ② 촉매연소법
		약제처리법	① 약액세정법 ② 중화법 ③ 산화법 ④ 은폐법 ⑤ 액상촉매법
	3) 생물화학적 방법	토양탈취법	
	4) 기타 방법	Ball 차단법	

나. 수세법

(1) 암모니아, 저급 아민류, 케톤류, 알데히드류, 저급 유기산류, 페놀류 등 친수성의 극성기를 가지는 성분을 물세척에 의해 제거할 수 있음

(2) 설비비가 싸고 조작이 간단하다는 이점이 있으나 대량의 물이 필요함

(3) 중성이나 비극성 성분의 제거에는 적합하지 않다. 수온변화에 따라 탈취효과가 유동적이고, 처리풍량 및 압력손실이 크게 되며 건설비도 매우 높음

다. 흡착법

(1) 흡착법의 장점은 건식법으로 습식법과 달리 별도의 폐수 처리가 필요 없으며 설비비가 비교적 싸고 유지관리가 쉬우며 광범위한 악취 제거에 효과적임. 그러나 흡착제 재생에 드는 유지관리비용 및 흡착제의 주기적인 교체가 필수적임

(2) 흡착제의 종류는 아주 다양하며 사용목적에 따라 최적의 흡착제를 선정해야 하며 활성탄, 실리카겔, 알루미나, 백토, Molecular sieves 등이 있음

(3) 흡착제 중에는 활성탄의 사용량이 가장 크며, 활성탄은 일반적으로 저농도 혼합 악취의 제거용으로 넓게 이용되고 있음. 탈취효과가 아주 높기 때문에 타방식과 조합처리 시 1차 처리된 잔존 악취의 제거방법으로도 많이 적용

라. 연소법

(1) 연소법에는 화염을 사용하여 악취물질을 고온에서 연소시키는 ‘직접연소법’과 촉매의

존재 하에서 비교적 낮은 온도에서 연소시키는 ‘촉매연소법’이 있음

(2) 직접연소법과 촉매연소법은 가연성성분에 탈취효과가 뛰어나지만 연료소비량이 커서 운영비가 높아지는 단점이 있으므로 폐열회수방안을 강구하는 것이 바람직함. 또한 질소나 황화합물을 함유한 물질은 연소시 2차 오염에 대한 조치가 필요하고 장치의 재질에도 충분한 검토가 필요함

(3) 촉매연소법은 촉매로서 백금, 코발트, 니켈 등을 사용하며, 대체로 값은 비싸지만 종합적인 성능이 우수한 백금계통을 많이 사용함. 직접연소법과 비교하면 저온에서 연소되므로 운영비가 저렴하고 질소산화물 발생량이 훨씬 감소됨. 반면 염소 등의 할로젠원소, 납, 아연, 수은, 황, 먼지 등은 촉매의 성능을 저하시키는 촉매독의 문제가 발생되므로 전처리하거나 적절한 조치가 필요함

(4) 탄화수소류는 일반적으로 탄소수가 증가할수록 산화되기 어렵고, 동일 탄소수일 경우에는 방향족이 산화되기 어려움. 또한, 메탄은 산화되기 어려운 성분임

<표 2-12> 직접연소법과 촉매연소법의 비교

구 분	직접 연소법	촉매 연소법
연소 온도	650~800℃(고온연소)	150~400℃(저온연소)
연소 상태	화염 중에 일정시간 체류하여 연소	촉매에 접촉하여 연소
공간 속도 (체류 시간)	7,500~12,000/hr (0.5~0.3s)	15,000~26,000/hr (0.24~0.14s)
기 타	- NOx 발생이 많음 - 연료비가 많이 듦	- NOx 발생이 적음 - 촉매독 문제

마. 약액세정법

(1) 약액세정법은 화학반응과 흡수법을 이용해 악취물질을 제거하는 가장 일반적인 방법임

(2) 화학반응은 중화반응과 산화반응으로 구분할 수 있음

① 중화반응은 염기성 악취물질(암모니아, 아민류)을 산성약품과 중화반응시켜 염화합물 상태로 제거함

② 산화반응은 산화제를 사용하여 산화·분해시켜 제거함

(3) 약액세정법의 처리공정은 충전탑, 분무탑, 벤츄리스크러버, 제트스크러버, 싸이클론 스크러버 등 여러 종류가 있으며, 단독 또는 두 종류 이상을 복합설치하여 효율을 증대시켜 처리함

(4) 약액세정법 선정 시 산성, 염기성 가스를 별도로 처리하는 것이 바람직하며 사용약품에 대한 안정성, 위험물 대책 등과 화학반응에 따른 부산물 처리대책, 2차 오염대책, 폐수처리문제 등을 종합적으로 검토하여야 완전한 처리가 이루어짐

바. 오존산화법

(1) 산화법의 일종이며 오존의 산화작용을 이용하여 악취물질을 산화분해시키는 방법으로 오존 자체에 의한 은폐효과(Masking)를 겸용하는 탈취방법임

(2) 오존산화법은 황화합물 계통의 악취물질에는 비교적 효과(90% 정도)가 있으나, 암모니아나 저급아민류에 대해서는 효과(50%)가 떨어짐. 한편 수세법과 병용할 때는 효과(85% 정도)가 증대됨

(3) 오존산화법은 화학반응에 의해 악취물질이 치환된 후 환원되지 않는 장점이 있으나 처리 후 잔존 오존이 인체에 유해하므로 2차 오염대책이 필요하고 운영상 전력비와 유지관리기술 등을 검토해 볼 필요성이 있음

사. 은폐법(Masking법)

(1) 은폐법은 악취물질보다 강력한 방향제물질을 분무시키거나 다른 취기물질을 혼합시킴으로써 냄새를 상쇄시켜 처리하는 탈취법 임

(2) 은폐법은 저농도 냄새의 탈취에 이용되며 탈취효과도 크지 않고 근본적인 처리가 되지 않음

(3) 압축공기를 사용하는 경우에는 비교적 소형이고 설비비가 저렴한 장점이 있으나 고농도에 적합하지 않고 약품비가 비교적 비싼 편임

아. 토양탈취법

(1) 악취성분을 토양층에 송기하면 수분에 용해되면서 화학적 분해를 받거나 흡착됨. 또한, 토양중의 미생물군이 유기물과 무기물을 영양으로 섭취하여 이들의 악취성분을 분해시키기도 함

(2) 토양탈취법은 운영비가 송풍설비의 동력비 정도로 저렴하고 유지관리비가 저렴하나 넓은 부지면적을 필요로 하고 악취를 균일하게 처리하기 위해서는 성층구조가 필요하며 살수와 배수설비가 필요함

자. Ball 차단법

(1) Ball 차단법은 개방된 저장조와 탱크 표면에 탁구공과 같은 Ball을 덮어 줌으로써 공기중으로 발산하는 악취물질을 저감시키는 방법임

(2) 액체의 유동성 표면에 Ball을 집어넣어 줌으로써 개방된 저장조나 탱크에 밀폐형 구조물을 설치할 필요가 없으며 개폐로 인한 부대설비가 필요하지 않으며 상부로 액체의 유출·유입이 가능함. 또한, Ball의 크기와 색상 등의 자유로운 선택이 가능함

(3) 증기와 냄새를 상당히 감소시켜 주며, 미관이 수려하고 약품과 용액손실이 적으며, 에너지가 절약되나 완전한 악취대책은 될 수 없음

제3장 악취 제거 시스템 적용 방안 검토

제1절 UV 시스템 적용방안 검토	32
제2절 광촉 매시시스템 적용방안 검토	36
제3절 흡착 시스템 적용방안 검토	39
제4절 약액세정 시스템 적용방안 검토	45

제1절 UV 시스템 적용 방안 검토

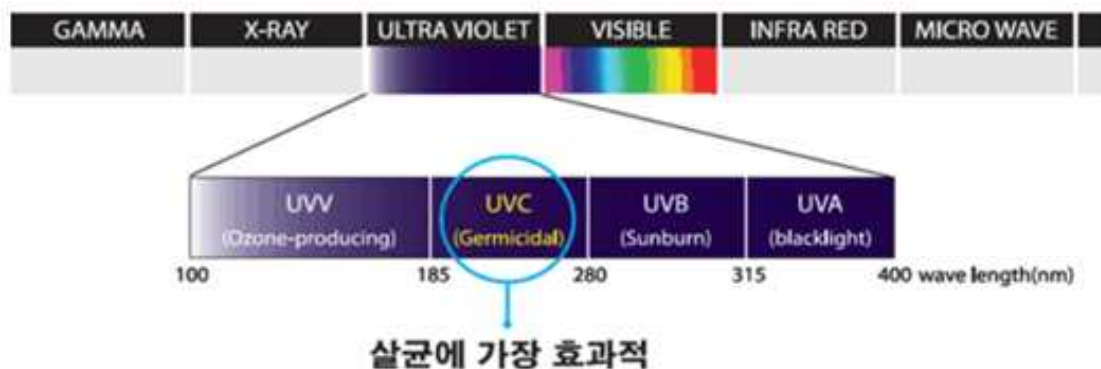
1. 개요

가. 자외선은 시각으로는 느껴지지 않지만, 화학작용, 살균작용이 강하기 때문에 화학선이라고도 함. 태양광에 다량으로 포함되어 있으며, 특히 오존에 흡수되거나 산란되기 때문에 지상에 도달하는 것은 장파장 측의 일부분임.

나. UV 파장은 100nm ~ 400nm 사이의 UV -A, B, C, UVV으로 구성되어 있음.

<표 3-1> UV파장 영역별 활용

명칭	파장	내용
UV-A	315~400	<ul style="list-style-type: none"> 선풍할 때 받는 자외선 정도의 파장임 간단한 소독용으로 물컵 먹을 때 살균하는 정도임
UV-B	250~315	<ul style="list-style-type: none"> 자외선차단제로 차단해야 하는 자외선(지속되면 피부암 유발) 의료시설의 살균용으로도 쓰이며, 자연적으로도 충분히 느낄 수 있을 자외선임
UV-C	200~280	<ul style="list-style-type: none"> UV 램프, 20cm이내의 짧은 거리에서 살균력을 발휘함 UVC의 경우에는 가까운 거리에 집중했을 때 효과를 발휘하는 파장임
UV-V	100~200	<ul style="list-style-type: none"> 플라즈마 영역, 여기부터는 光플라즈마 임 플라즈마 영역의 진공자외선이 공기 중의 유해물질의 원자핵 전자를 깨서 분해시키는 역할을 함





<그림 3-1> UV파장 영역별 활용

2. 제거 기술

가. UV 광분해 기술은 빛을 쬌어주는 것만으로 오염물질의 분해가 가능한 기술로 운전비가 저렴한 환경 친화적인 기술로 알려져 있음(Kam et al., 2014).

(1) UV를 이용한 VOCs 제거 시 배경가스에 따라 다른 메커니즘으로 VOCs 분해가 이루어짐. 배경가스가 질소일 경우 배경가스에 산소가 없어 185 nm 파장이 비활성화 되어 254nm 파장의 광분해만 이루어짐

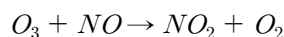
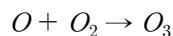
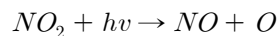
(2) 배경가스가 공기일 때는 185 nm의 광자가 산소를 분해하여 오존, OH라디칼 등 다른 활성 화학물질을 생성하여 185~254 nm의 광자가 모두 활성화 되어 광산화 및 광분해 반응이 동시에 이루어짐.

나. 광분해 처리는 크게 두 가지 방법으로 나눌 수 있는데 하나는 스테인리스로 제조된 반응기

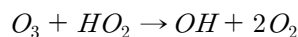
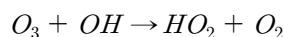
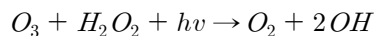
에 UV램프 만을 삽입하여 분해하는 광분해와 다른 하나는 광분해와 같은 조건에 반응기 내에 촉매제를 도포하여 광화학 반응을 촉진시켜 분해한다는 이점을 가진 광촉매 장치가 있음. 하지만 Cao et al. (2000)과 Rafael and Nelson (1998)은 톨루엔의 광촉매 반응 시 생성되는 중간생성물 benzoic acid가 촉매에 침적되어 촉매의 비활성화가 발생했다고 보고하였으며, Larson and Falconer(1994)는 TCE의 중간생성물인 dichloroacetyl chloride (DCAC)가 TiO₂에 강하게 흡착되어 TCE의 흡착을 감소시킨다고 보고하였음. 이처럼 광촉매 장치가 광분해 장치보다 같은 조건에서 VOCs 제거에 효율이 더 좋을 수 있지만, Rafael and Nelson (1998)이 보고했듯이 VOCs 분해나, 중간생성물 생성, 부산물의 생성기작 분석에는 어려움이 따름. 또 광촉매 장치는 반응 후 배출되는 중간생성물의 물질수지를 파악하기에도 어렵기 때문에 2차 처리장치 선택이 쉽지 않음.

다. UV 광분해법은 산화제에 자외선을 쬌어 수산화라디칼을 생성시키는 방법으로 오존에 자외선을 조사하면 자외선을 흡수하여 광분해되어 중간과정에서 과산화수소가 생성되고 이후 수산화 라디칼 생성은 오존과 과산화수소의 Peroxone 공정과 동일한 과정을 거쳐 생성됨. 이 공정에서 자외선에 의해 유기물이 제거되며 오존 대신 과산화수소가 자외선을 흡수하여 수산화라디칼을 생성함.

라. NO_x의 광분해 NO₂는 도시 대기오염물질 중에서 가장 중요한 태양빛 흡수기체로서 420nm 이상의 가시광선에 의하여 광분해됨.

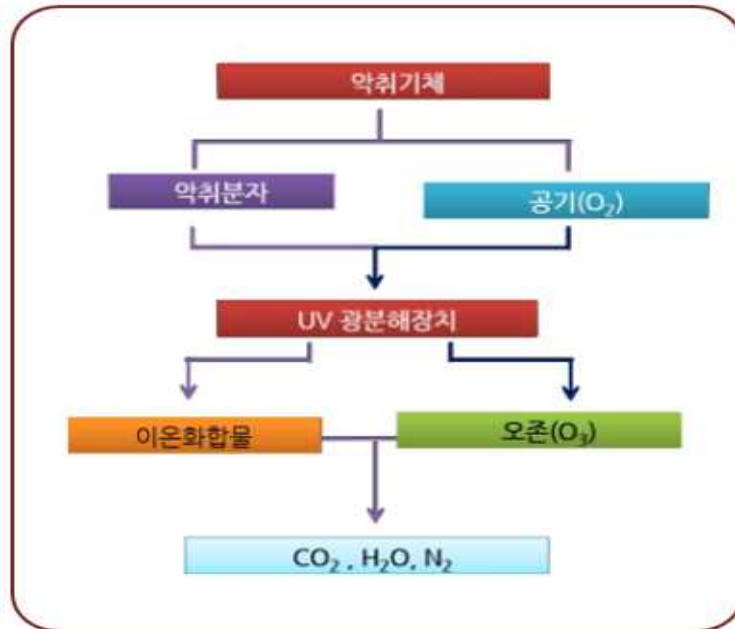


마. 자외선에 의한 오존의 소멸과정



<그림 3-2> 자외선에 의한 오존이 OH라디칼로 전환되는 메카니즘

바. UV에 의한 악취제거는 위에서 알아본 VOCs의 제거 메카니즘과 같음. 즉, 아래 그림과 같이 배경가스를 공기로 이용하여 광분해장치를 통과시키면 오존과 기타 이온화합물이 발생되고 이렇게 발생된 오존은 다시 OH라디칼을 생성시킴. 이렇게 생성된 OH라디칼은 악취물질은 CO₂와 H₂O로 산화시킴.



- ① UV + 고분자 악취 $\xrightarrow{\text{광분해}}$ 저분자 악취
 ② UV + 공기[O₂] $\xrightarrow{\text{오존산화}}$ O₃ + OH - 라디칼
 ③ 저분자 악취 + OH \longrightarrow CO₂ + H₂O

<그림 3-3> UV 광분해를 이용한 악취물질 제거

사. Rafael and Nelson (1998)는 UV에 의한 VOCs 분해 시 중간생성물 생성, 부산물의 생성기작 분석에는 어려움이 따른다고 보고하였음. 또한, 광분해 장치는 반응 후 배출되는 중간생성물의 물질수지를 파악하기에도 어려움이 있으며, 2차 처리장치가 필요하다고 보고 하였음.

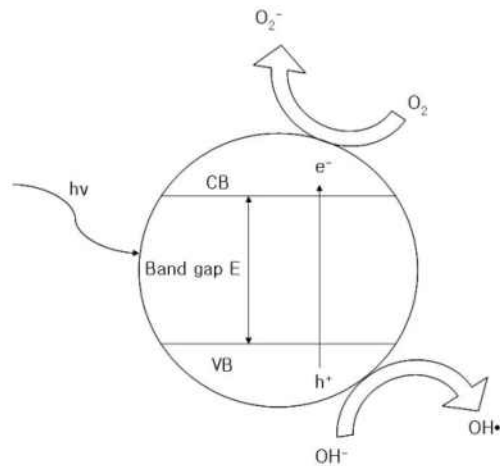
아. 강인선, Jinying Xi의 연구결과, 염소계 VOCs 제거를 위해 UV램프를 사용하는 것은 좋은 방법이라고 생각되며, 염소계 물질 분해는 광산화 반응보다는 광분해 반응이 적절한 처리방법으로 확인되었음. 하지만 반응 후 배출되는 중간생성물 및 PM에 대한 각별한 주의와 2차 처리방안이 필요하며, 우리가 알고 있는 유해물질 외에 아직 보고되지 않은 유해물질이 있을 것이라 판단되기에 배출가스에서 검출되는 중간생성물의 성분 분석과 동시에 생물독성 시험법을 통한 독성 연구도 필요하다고 보고되었음.

제2절 광촉매 시스템 적용 방안 검토

1. 개요

가. 광촉매법은 빛과 촉매의 합성어로 빛을 이용하는 촉매로 정의할 수 있으며 일정 이상의 광 에너지를 받아야 광촉매로서 역할을 수행할 수 있어서 반도체 물질로 쓰이는 금속 산화물들이 사용됨.

나. 광촉매는 일정 이상의 빛 에너지, 즉 Band gap 이상의 에너지를 흡수하여 가전자대에서 전도대로 전자가 여기 되면서 발생하는 전자와 전공쌍에 의하여 화학적 반응을 일으킴.



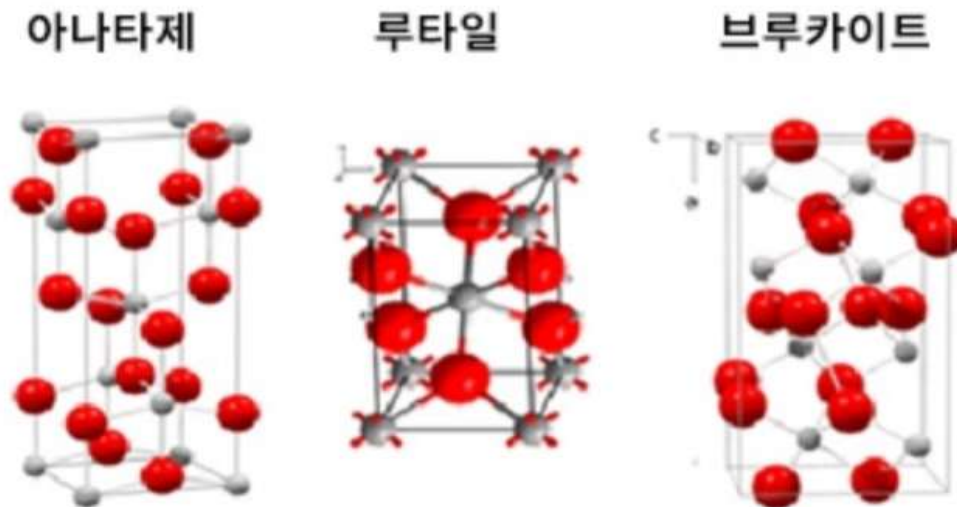
〈그림 3-4〉 광촉매 반응기작

다. TiO_2 광촉매는 아나타제(Anatase), 루타일(Rutile), 브루카이트(Brookite) 등 3가지 종류로 구분되며, 가장 많이 산업에서 사용되는 형태는 아나타제형이며, 종류별 특징을 정리하면 아래와 같음.¹⁾

1) 실내공기오염물질 저감을 위한 광촉매 환기시스템의 성능 평가에 대한 실험적 연구, 송용유, 2022

〈표 3-2〉 TiO₂ 광촉매 종류

TiO ₂ 광촉매 종류	특징
아나타제 (Anatase)	- 안정적 입자 크기 : 11nm 이하 - 900℃ 이상 고온에서 루타일로 변화
루타일 (Rutile)	- 안정적 입자크기 : 35nm 이상 - 열화 방지로 광촉매 활성이 낮음
브루카이트 (Brookite)	- 안정적 입자크기 : 11~35nm - 활성이 가장 낮아 거의 사용되지 않음



〈그림 3-5〉 TiO₂ 결정구조

라. 오염물질의 산화 반응은 TiO₂가 생성하는 OH라디칼에 의해 산화하는 반응과 388 nm 이하의 자외선 파장을 흡수하여 VOC 및 악취물질이 직접 광분해 되는 반응이 동시에 진행되지만 대부분의 VOCs 및 악취물질은 완전히 광분해 되어 무해한 물질이 되지 않고 유해한 중간물질로 산화함.

2. 제거 기술

가. TiO_2 약취 저감 연구 조사

(1) TiO_2 광촉매를 이용하여 약취 저감을 하기 위해서는 광학적으로 활성이 있으면서 광부식이 없어야 하고, 생물학적, 화학적으로 비활성 이어야 하며, 가시광선이나 자외선 영역의 빛을 이용할 수 있어야 하는 한계를 극복하기 위한 연구가 진행되고 있으며, 약취저감 선행연구 조사 결과 실험실 규모에서만 일부 이루어져 약취 저감 연구는 부족한 상황임.

(2) 송유용 등(2022)은 TiO_2 코팅제를 통해 실험실 규모로 실험한 결과 폼알데히드 15.22%, 톨루엔 20.84% 저감되는 것을 확인하였으나, 자외선램프 길이 조절이 불가능하고, 광량조절에 한계를 나타냄.

(3) 김지혜 등(2021)은 TiO_2 광촉매를 통해 실험실규모로 실험한 결과 암모니아 40% 분해율을 확인함.²⁾

(4) 이지아 등(2019)은 TiO_2 광촉매 공정을 이용하여 황화수소 제거 실험결과 충분한 UV 조사밀도와 광촉매 반응의 증가로 인해 오존발생을 증가시켜 제거효율에 영향을 미치는 것을 확인함.³⁾

(5) 손걸 등(2018)은 광촉매를 이용하여 톨루엔 제거 실험결과 습도에 영향이 큰 것을 확인하였으며, 톨루엔 제거효율은 3.1%~28%로 확인함.⁴⁾

나. ZnO 약취 저감 연구

(1) ZnO 광촉매는 연구 분야가 몇 가지의 물질로 국한되어 있으며, 선행연구 조사결과 약취 저감 연구는 부족한 상황 임

(2) 이석영 등(2010)은 ZnO 광촉매 공정을 이용하여 VOCs 제거 실험결과 일정량의 촉매 사용량 이상에서 제거율 증가가 나타나지 않는 것을 확인함.⁵⁾

2) TiO_2 광촉매를 이용한 돈사 내 암모니아 가스 제거. 김지혜, 2021

3) TiO_2 광촉매 공정을 이용한 황화수소 제거. 이지아, 2019

4) TiO_2 광촉매를 코팅한 유리섬유 필터의 톨루엔 제거특성에 관한 연구, 손걸, 2018

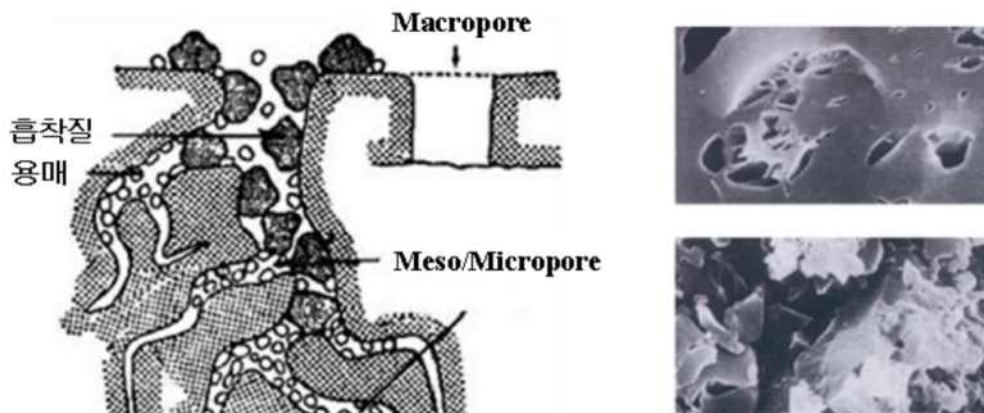
5) VOCs의 제거 특성을 지닌 ZnO 입자의 광촉매 특성에 관한 연구, 이석영, 2010

제3절 흡착 시스템 적용 방안 검토

1. 개요

가. 옛날부터 잘 알려져 있는 탈취기술로 흡착제의 표면(세공)에 오염물질의 분자가 농축되거나 농축 후 화학반응을 거쳐 악취물질을 제거하는 방법으로 저농도·대풍량의 악취에 적합하며, 여러 흡착제가 있지만 대표적인 흡착제로 활성탄이 사용되고 있으며, 최근에는 폐기물(레드머드와 굴패각 등)을 재활용하여 유해가스 제거 연구가 진행되기도 함.

나. 저농도에 유리하고 복합성분 처리에 용이하나 암모니아와 같은 가벼운 성분은 처리가 어렵고 흡착제 재생 또는 2차처리가 필요하므로 유지관리비가 높으며, 운전 중 수분, 온도, 분진, 케톤류, 화재발생의 가능성이 있음.⁶⁾



〈그림 3-6〉 흡착제 세공구조

2. 제거 기술

가. 레드머드(Red Mud)

(1) 레드머드는 붉은색을 띤 진흙이라는 의미로 붙여진 이름으로 다량의 철과 산화철 성분을 함유하고 있어서 공기 중에 노출되면 쉽게 붉은색을 띠며, 레드머드는 보크사이트로부터 알루미늄을 얻기 위한 과정에서 배출되는 막대한 양의 산업 폐기물 중 하나임.

6) 악취물질의 저감기술, 박철우 외 5인, 2006



〈그림 3-7〉 보크사이트에서 알루미늄을 생성하는 공정에서 배출된 레드머드
(<https://aluminiuminsider.com>)

(2) 일반적으로 알루미늄 생산 과정에서 배출되는 레드머드의 배출량은 생산되는 알루미늄 양과 비슷하거나 거의 2배를 초과함. 과거에는 일반적으로 산업 폐기물을 처리해왔던 방식으로 매립이나 해안 근처지역에 투기하거나 매립지를 건설하여 보관하기도 했지만 해마다 급증하는 배출량을 감당하기에는 창고 비용과 환경 오염 문제 등으로 매립이나 해양 투기 방법보다는 재활용으로 활용하는 방안을 시도하고 있음.

(3) 최근 레드머드를 이용한 환경 오염물질 제거를 위한 다양한 연구들이 보고 되고 있는데, 이러한 오염물질 중에는 대기나 수중에서 쉽게 분해되기 어려운 방향족성분을 포함하거나 염소 치환기를 갖는 화합물 제거를 위한 연구가 수행되고 있음.⁷⁾

7) 레드머드를 활용한 오염물질 제어 기술, KEITI, 2021



〈그림 3-8〉 레드머드에 대한 재활용 연구⁶⁾

(4) 베이어 공정과 소결 공정에서 배출된 레드머드의 구성 성분과 성분비를 나타내고 있으며, 배출되는 양에 비하면 이러한 건축 자재로 이용되는 비율은 약 5% 내외로 매우 낮음.⁷⁾

〈표 3-3〉 알루미늄 공정에 따른 레드머드 구성 성분과 함량(%)⁷⁾

	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	SO ₃
베이어	21	22	8	18	9	2.5	2.5	1.5	3
소결	7	24	8.5	44	0.7	0.7	0.3	1.4	1

(5) 국내에서는 2000년대 초반부터 수산화알루미늄을 생산하는 국내업체는 연 20여만 톤의 레드머드가 발생하고 있고, 대부분이 매립 또는 해양투기로 처리되고 있으며, 레드머드를 중금속 안정화제로 활용하거나 레드머드에 함유된 TiO₂ 등의 유가물질을 회수하는 연구 등을 여러 기관에서 진행한 바 있으나, 대부분이 벽돌, 블록과 같은 건축재 또는 도로 포장용 재료와 같은 분야에 한정하여 연구되고 있고, 상업적 활용은 미미함.⁸⁾

(6) 레드머드는 활성화 처리나 축매 효과를 높일 수 있는 금속 성분이나 화합물의 첨가에 의해 오염물질 제거의 효과를 높일 수 있으며, 의약품과 염료 그리고 이온 교환 반응에 의한 중금속 흡착 등을 통해 환경오염물질을 효율적으로 제거하는 축매나 흡착제 등으로 널리 응용되고 있음.⁷⁾

(7) 흡착력과 응집력이 탁월한 레드머드는 각종 오염물을 제거하기 위해 사용될 수 있으며, 각종 농업 폐기물을 혼합하여 열분해 과정을 통해 레드머드 바이오차 축매를 만들어서 중금속 성분이나 난분해성 유기화합물을 분해하여 제거할 수 있음.⁷⁾

8) 레드머드의 활용과 처리-인도의 현황, KISTI, 2013

(8) 레드머드는 준비 과정이나 합성 과정의 조건에 따라서 혹은 첨가되는 물질에 표면의 작용기와 비표면적을 조절하는 개질과정을 통해 환경오염 물질의 제거 효율을 높일 수 있음.⁷⁾

(9) 제거 대상 화합물의 특성을 고려하여 레드머드의 화학적 반응성을 높일 수 있는 요건을 충족시킴으로 대기 중이나 수중 생물에 의해 쉽게 분해되지 않는 난분해성 오염물질을 제거하는데 효과적인 촉매로 재활용될 수 있음.⁷⁾

(10) 제철 산업에서 대량으로 발생하는 레드머드의 재활용 방안은 폐기물 처리 비용과 그에 따른 환경 오염 문제를 줄일 수 있으며, 폐자원을 환경 촉매로 재활용하여 처리 비용을 절감할 수 있음.⁷⁾

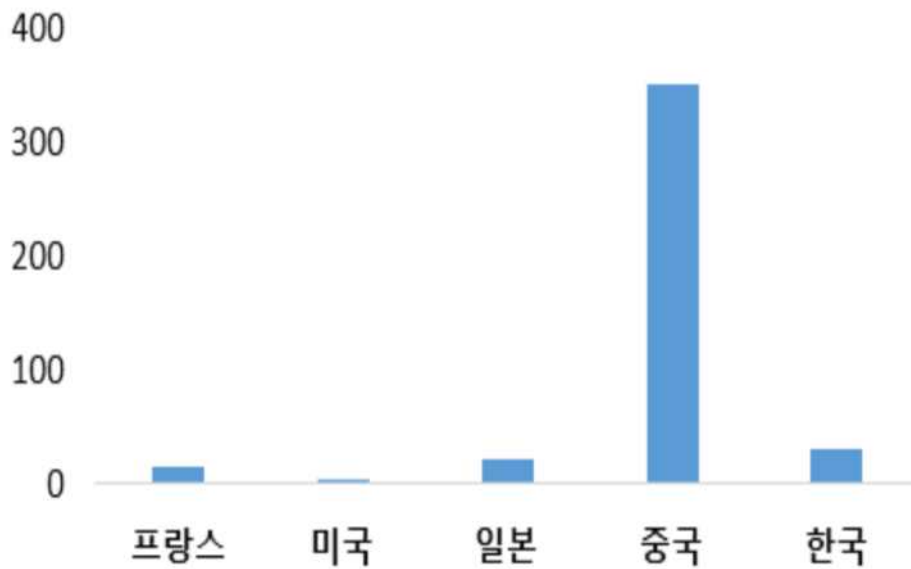
(11) 생태계와 2차 오염물질을 생성할 수 있는 화학적 처리와는 달리 오염원 제거를 목적으로 활용할 수 있다면 안전하고 친환경적 환경기술로 발전할 수 있을 것으로 사료됨.⁷⁾

나. 굴폐각

(1) 아시아에 속해있는 국가들이 가장 많은 굴 생산을 기록하고 있는데 한국과 일본 그리고 중국이 아시아의 주요 굴 생산국이며, 일본의 경우 약 20만 톤의 굴을 매년 생산하고 있으며, 한국의 경우 연간 약 30만톤 정도를 생산하고 있음. 반면 중국은 세계 최대 굴 생산국이며 매년 약 350만 톤의 굴을 생산하는 것으로 보고되고 있음.

(2) 국내의 굴 양식은 1960년대부터 시작되었으며, 일본, 미국, 홍콩 등 다양한 국가로 수출을 하고 있으며, 주요 굴 양식지는 통영, 거제, 고성 등의 남해지역을 중심으로 생산이 되고 있으며, 남해의 경우는 한국 내 전체 굴 생산량의 약 90% 이상을 차지하고 있음.

(3) 굴 폐각의 경우 생분해성 물질이 아니고 물에 녹거나 변형이 되지 않은 채로 남겨지며, 껍질의 크기 및 부피 또한 크기 때문에 소비 후 처리되지 않은 채로 버려지는 폐각이 한국의 경우 매년 25만 톤이상 발생함.



〈그림 3-9〉 주요 굴 생산국의 연간 생산량 (단위 : 만톤)

(4) 현재까지 무분별하게 버려지는 굴 패각의 처리를 위하여 다양한 연구가 행해지고 있으며, 패각을 매립재로 활용하거나 건설용 자재 또는 비료로 활용하는 것이 패각을 활용하기 위한 현재까지 추진되어 온 주요 기술임.

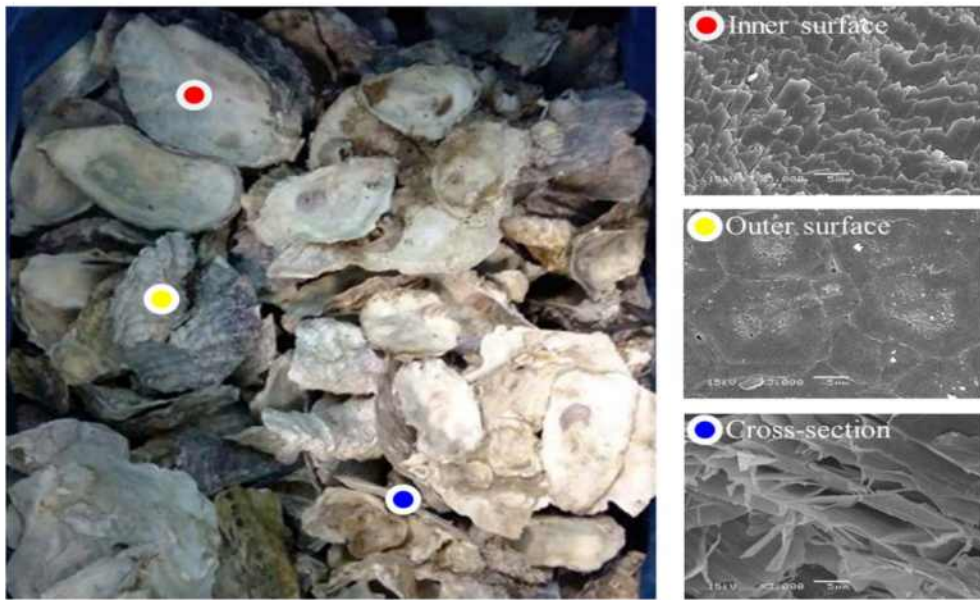
(5) 이러한 기술을 통하여 굴 패각을 처리하고 있지만, 각각의 기술에 대한 단점 및 한계로 인하여 패각의 일부만 처리되고 있으며 더욱 효과적인 방법이 요구되고 이에 따른 연구가 필요함.

(6) 굴 패각의 주요 구성 성분은 탄산칼슘 (CaCO_3)으로 되어 있으며, 굴 패각을 구성하고 있는 성분을 X-선 형광분광분석법(XRF)으로 분석한 결과를 보면 굴 패각의 경우 90% 이상이 칼슘 성분으로 이루어져 있음을 알 수 있고 일부 규소와 마그네슘도 포함이 되어 있음을 알 수 있음.⁹⁾

〈표 3-4〉 굴 패각 성분과 함량(%)⁹⁾

	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	MgO	TiO_2	Igloss
굴 패각	0.12	0.45	0.06	53.66	0.06	0.06	0.26	<0.01	44.56

9) 굴 패각 부산물의 지속 가능한 처리 및 최근 연구기술, 남근우 외 2인, 2018



〈그림 3-10〉 굴패각 내부, 외부, 단면의 구조

(7) 굴 패각을 탈황에 이용할 경우 기존의 탈황물질보다 성능이 우수하며, 폐기물의 재활용으로 인한 자원절약 효과 및 환경오염을 완화시키는데 도움을 줄 수있다는 장점을 갖고 있음.⁸⁾

(8) 박순강 등(2000)은 폐굴껍질을 이용하여 실험한 결과 20% 함수율로 조정한 열처리 굴 껍질 시료의 경우 암모니아 가스가 4시간에서 20%, 8시간에서 52%의 제거효율을 확인함.¹⁰⁾

(9) 전병철 등(2003)은 패각 폐기물을 활용하여 악취제거 실험 결과 3일 60%, 5일 80%의 제거효율을 확인함.¹¹⁾

(10) 김영식 등(2003)은 패각 폐기물을 이용하여 황화수소 제거 실험결과 40분을 기준으로 0.631mm 입자크기에서 최대 탈황능을 보였고, 0.171~0.335mm 입자의 크기에서는 탈황능이 비슷한 것을 확인함¹²⁾

(11) 권성현 등(2013)은 굴패각을 이용하여 VOCs 흡착 실험결과 굴패각 분말의 혼입 함량이 많을수록 VOCs 흡착성이 증가함을 확인함¹³⁾

10) 폐굴껍질을 이용한 악취물질제거, 박순강, 2000

11) 패각 폐자원을 활용한 악취제거기능을 갖춘 폴리에틸렌 필름, 전병철 외 4인, 2003

12) 패각 폐기물을 이용한 H₂S 제거에 관한 연구, 김영식, 2003

13) 굴패각 모르타르에의 휘발성 유기화합물 흡착에 대한 연구, 권성현 외 1인, 2013

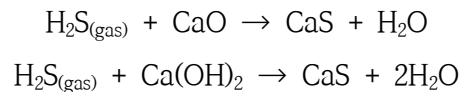
제4절 약액세정 시스템 적용 방안 검토

1. 산성 악취물질 제거용 복합제

가. 저급지방산, 황화합물은 대표적인 산성 악취물질로 본 연구에서는 알칼리성 복합제를 통하여 처리하고자 함.

나. 본 연구의 알칼리성 복합제는 비표면적이 높은 다공성 세라믹을 베이스로 하여 알칼리성 물질인 생석회(CaO), 소석회(Ca(OH)₂) 등의 함량을 높인 것으로 3~5mm 크기의 구형으로 성형하여 적용할 예정임.

다. 대표적인 산성악취인 황화수소(H₂S)에 대한 알칼리성 복합제의 제거 원리는 다음과 같음.



라. 알칼리성 복합제의 개발에 선행하여 이미 가정용 정수기의 pH 조정 목적으로 사용되고 있는 상품화된 국내·외 알칼리 세라믹볼의 성능을 검토하였으며, 본 연구에서는 구매 가능한 알칼리성 세라믹볼을 적용하여 사전시험을 실시하여 사용량, 구형크기, 접촉 체류시간 등 알칼리성 복합제의 알칼리 공급 성능에 대한 기본적인 실험인자를 도출하고 이를 토대로 최적 알칼리성 복합제를 개발하고자 함.

마. 본 연구에서 사전 평가에 사용 예정인 국내·외 알칼리성 세라믹볼의 알칼리 용출 성능과 세라믹볼 화학조성은 다음과 같음.

<표 3-5> 국외제품 용출특성

	용출시간	pH
	0 min	6.4
	3 min	9.269
	10 min	9.89
	30 min	9.97
	60 min	10.7
	70 min	11.1
	21 hours	11.3
	*물 500 ml에 25.05g 투입 조건	

<표 3-6> 국내제품 용출특성

용출시간 (hr)	pH	
	압축성형	소성성형
0	6.95	6.95
1	8.36	9.25
2	9.10	10.81
4	11.04	12.36
6	11.35	12.58
8	11.39	12.61
10	11.39	12.65
*물 500 ml에 100g 투입 조건		

<표 3-7> 국내 제품 화학조성

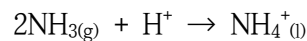
(단위 : wt %)

조성	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	CaO	K ₂ O	MgO	TiO ₂	Ag
함량	46.77	20.29	5.21	1.30	23.63	1.00	1.80	-	-

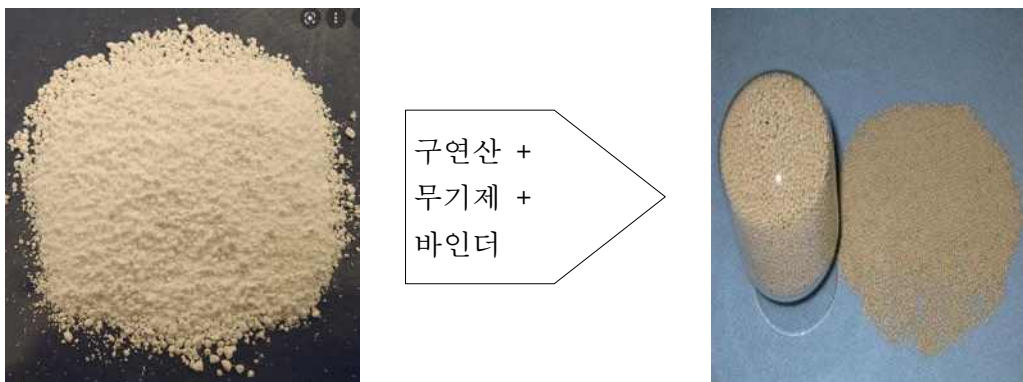
2. 염기성 악취물질 제거용 복합제

가. 암모니아, 아민류는 대표적인 염기성 악취물질이며 본 연구에서는 산성 복합제를 통하여 처리하고자 함.

나. 본 연구의 산성 복합제는 구연산을 포함한 다공성의 물질로 대표적인 염기성 악취인 암모니아(NH_3)에 대한 제거 원리는 다음과 같음.



다. 본 연구의 산성 복합제는 무기제와 구연산을 함침하거나 바인더로 압축성형한 구형제를 사용할 예정이며, 사전 연구에서는 구연산으로 산처리한 무기제를 이용하여 산 공급성과 알칼리성 악취저감 성능을 검토할 계획임.

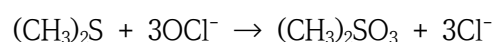


<그림 3-11> 구연산을 이용한 복합제 제조방안

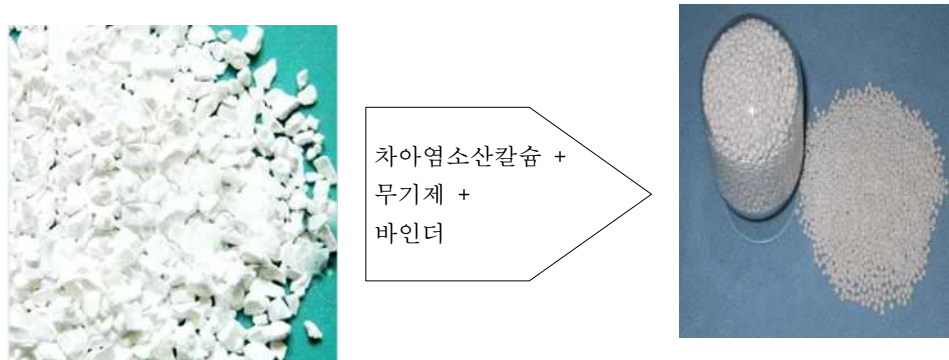
3. 중성 악취물질 제거용 복합제

가. 황계열, 알데하이드류는 대표적인 중성 악취물질이며 일부 중성 악취물질은 산화제에 의하여 제거할 수 있는 것으로 알려져 있음. 본 연구에서는 산화제를 포함한 복합제에 의한 산화 원리를 통하여 악취를 처리하고자 함.

나. 본 연구에서 적용 예정인 산화 복합제는 차아염소산칼슘이 포함된 다공성 복합제를 제조할 계획이며, 대표적인 중성 악취인 황화메틸($(\text{CH}_3)_2\text{S}$)에 대한 제거 원리는 다음과 같음.



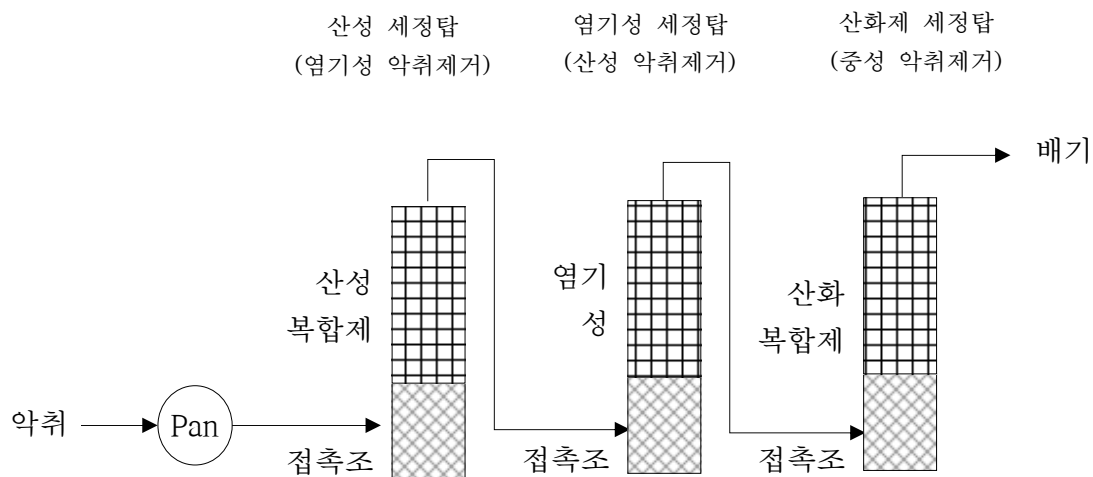
다. 중성 복합제는 제올라이트와 차아염소산칼슘을 바인더로 압축성형한 구형볼을 사용할 예정이며, 사전 연구에서는 입상의 차아염소산칼슘과 무기제를 혼합하여 흡착층을 형성시켜 중성 악취처리 성능을 검토하고자 함.



〈그림 3-12〉 차아염소산칼슘을 이용한 복합제 제조방안

4. 악취제거 장치 제작 및 실험 방안

가. 음식점 악취의 특성을 반영한 세정탑을 구성할 계획이며, 시험모식도의 예는 다음과 같음.



〈그림 3-13〉 악취 제거 장치 시험모식도

나. 흡입팬에 의하여 포집된 악취는 산성 세정탑, 염기성 세정탑, 중성 세정탑을 순차적으로 거치면서 염기성 악취, 산성 악취, 중성 악취가 순차적으로 제거됨. 단, 악취물질의 성질 및 배출농도 등에 따라 크게 필요가 없을 것으로 판단되는 세정탑은 제외될 수 있음.

제4장 최적 방지장치 시스템의 설계, 제작 및 설치

제1절. 전기집진기 설계, 제작 및 설치	50
제2절. 악취제거 장치 설계, 제작 및 설치	54

제1절 전기집진기 설계, 제작 및 설치

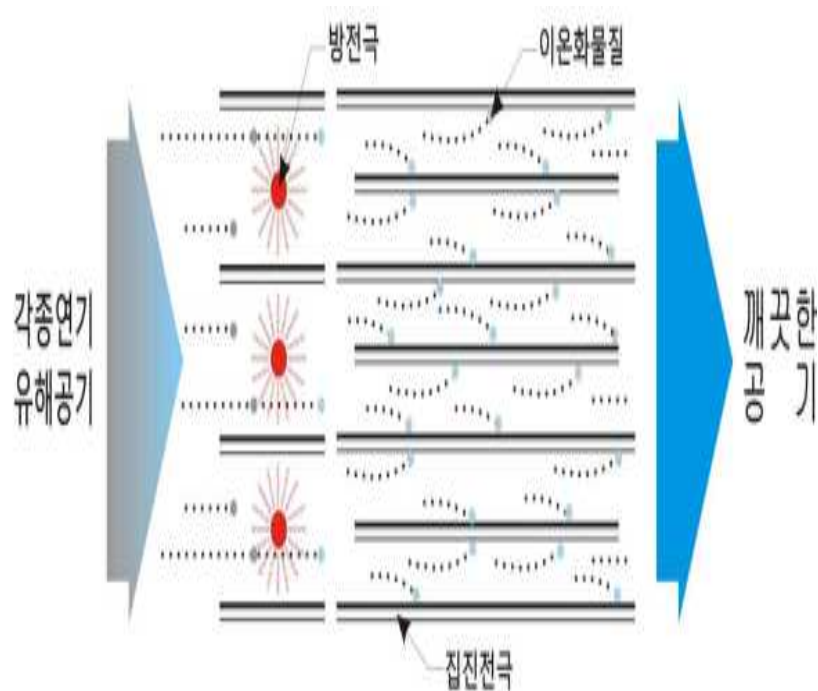
1. 전기집진기의 설계

가. 전기집진기의 개요

(1) 정전기원리를 이용하여 오염물질에 전기적 성질을 띠게 하여 집진하는장치로 전단필터(Pre Filter), 이온부(Ionizer), 집진부(Collector) 및 후단 필터(After Filter)로 구성됨.

(2) 전단 필터는 흡입가스 내의 비교적 큰 입자를 여과시켜 제거하고, 이온부에서는 일정간격으로 배열된 방전극과 집진 사이판 사이에 고전압(DC 10kV~12kV)을 인가하여 오염물질을 이온화 시킨 다음 집진부로 보냄.

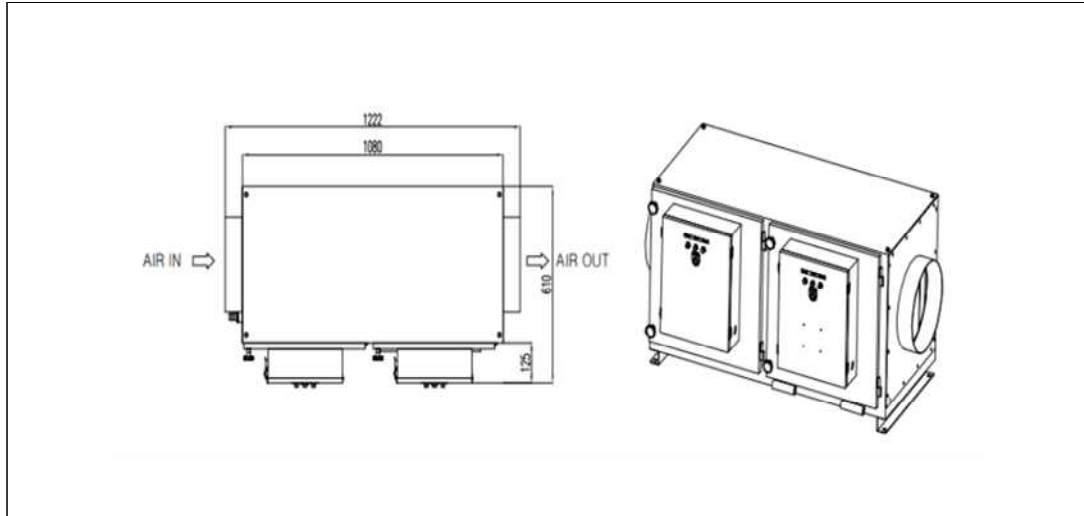
(3) 집진부에 가해지는 고전압(DC 5kV ~ 6kV)은 일정 간격으로 구성된 집진판(Plate)에 공급되며 이곳에서 0.01 μ m의 입자까지도 포집되며동시에 후단 필터에서 최종적으로 여과시킨 후 정화된 가스를 대기로 배출시킴.



<그림 4-1> 전기집진기의 원리

나. 전기집진기 사양

- (1) 소비 전력 : 150W
- (2) 배출가스 유량 : 30m³/min*2(크기 : 1,080 × 610 × 620)
- (3) 인가전원(AC) : AC 220V 50~60Hz



〈그림 4-2〉 전기집진기 사양

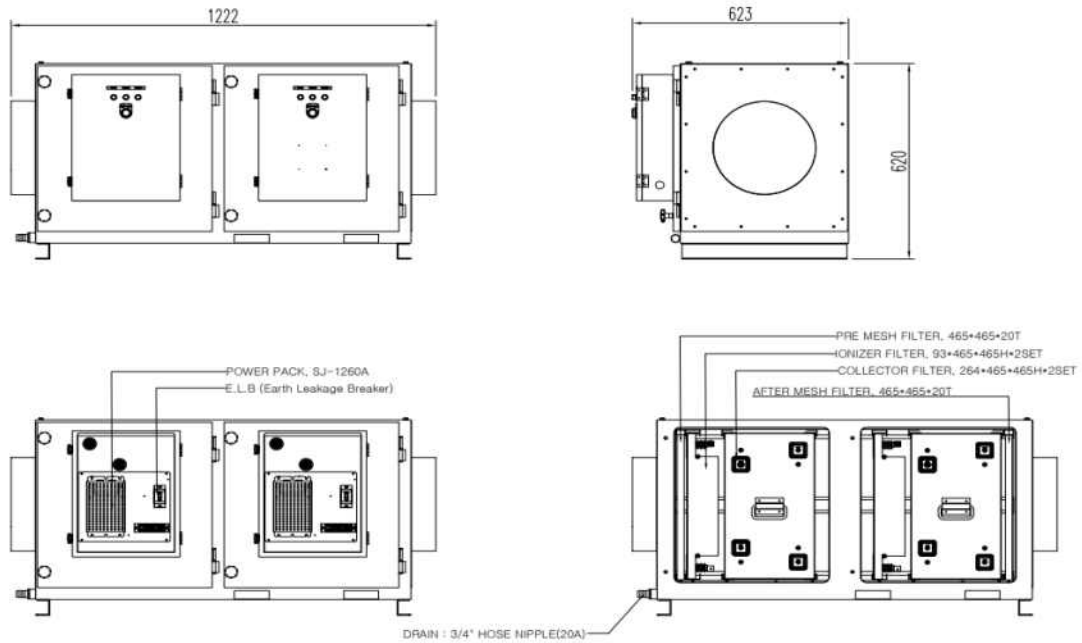
다. 전기집진기 주요 구성 및 부품명

〈표 4-1〉 전기집진기 주요 구성 및 부품명

	부 품 명	수량	참 고
1	INLET	1	300Φ, 350Φ
2	DRAIN OUTLET	1	solenoid valve
3	PRE FILTER	1	465×465×20T (AL)
4	IONIZER	2	465×465×90 (AL)
5	COLLECTOR	2	465×465×260 (AL)
6	AFTER FILTER	1	465×465×20T (AL)
7	DOOR	2	
8	OUTLET	1	300Φ, 350Φ
9	SIGNAL LAMP(적색)	1	POWER 인가 상태
10	SIGNAL LAMP(녹색)	1	NORMAL 상태
11	SIGNAL LAMP(황색)	1	TROUBLE 상태
12	POWER PACK	2	SJ-1260AN(CE), SJ-1260A
13	TERMINAL BLOCK	2	

2. 전기집진기(E/P, Electrostatic Precipitator) 제작 및 설치

가. 전기집진기 제작 도면



<그림 4-3> 전기집진기 제작 도면(외형도)

나. 전기집진기 설치

(1) 본체



<그림 4-4> 전기집진기 본체(정면, 30CMM×2)

(2) 전기집진기 구성품

	
<p>전단필터(Pre Filter)</p>	<p>이온부(Ionizer)</p>
	
<p>집진부(Collector)</p>	<p>파워팩(Power Pack)</p>

<그림 4-5> 전기집진기 구성품

제2절 악취제거 장치 설계, 제작 및 설치

1. 악취 제거 장치 개발 개요

가. 개요

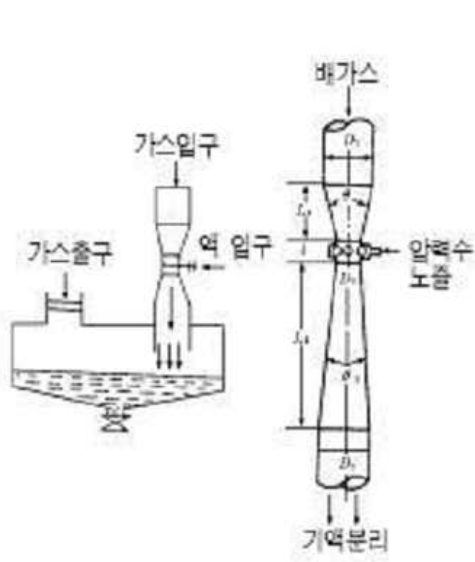
악취 제거 장치는 스크러버 방식의 접촉조와 악취물질별 용해성 흡착제로 구성되어짐. 장치 개발은 악취물질처리에 적합한 최적의 용해성 흡착제를 개발하는 부분과 해당 용해성 흡착제의 성능을 높일 수 있는 최적의 접촉조 방식을 개발하는 부분으로 나누어 짐.

나. 스크러빙 접촉조 방식 선정

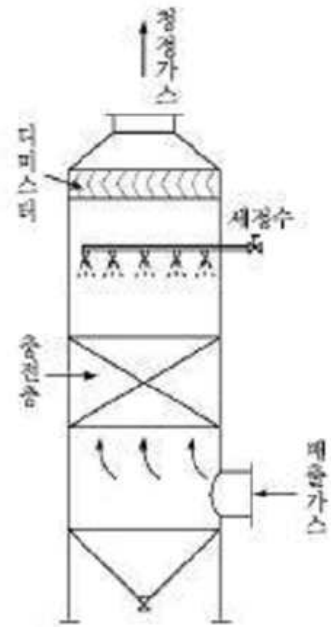
(1) 스크러빙 접촉조는 크게 벤츄리, 충전탑, 스프레이, 사이클론의 방식이 있으며 충전탑 방식은 표면적이 큰 충전물 표면에 세정수가 흐르게 하여 기체와 액체를 접촉시키는 방식이며, 스프레이/벤츄리/사이클론 방식은 충전물 없이 세정수를 미세한 입적으로 분사시켜 기체와 액체를 접촉시키는 방식으로 악취를 저감 함.

〈표 4-2〉 스크리빙 접촉조 장치 비교

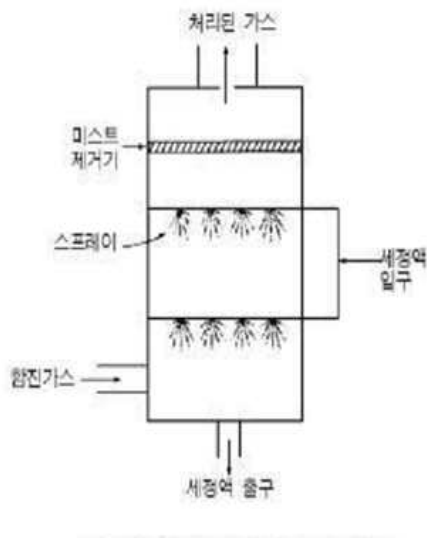
방식	장치명	개요	장치특성	장점	단점
가압식	spray탑 (분무실)	공탑내에 물을 분무하여 가스를 저속으로 접촉시킴	<ul style="list-style-type: none"> - 가스겉보기속도 0.2 ~ 1.0m/sec - 탑높이 5m 이상이 적당 - 액기비 0.1 ~ 1ℓ/m³ - 압력손실 2 ~ 20 mmAq 	<ul style="list-style-type: none"> - 구조가 간단하다. - 충전탑보다 값싸다. - 압력손실이 작다. - 흡수와 동시에 가스중의 먼지를 제거했을 때와 침전물이 생긴 흡수공정에 적합. 	<ul style="list-style-type: none"> - 분무동력이 크다. - 분무시 눈막힘까지 일으키기 쉽다. - 편류가 일어나기 쉽다. - 분무액과 가스를 접촉시키기가 어렵다. - 효과 불확실함.
	cyclone scrubber	흡탑수에 가스를 tangential에 도입해 탑내에 분무시키는 액과 접촉시킨다.	<ul style="list-style-type: none"> - 입구가스속도 15 ~ 35m/sec - 가스겉보기속도 1 ~ 3m/sec - 액기비 0.5 ~ 5ℓ/m³ - 압력손실 50 ~ 300mmAq 	<ul style="list-style-type: none"> - 대용량의 가스를 처리할 수 있다. - 비말동반량이 적다. - 비교적 구조가 간단하다. - 수용성인 가스에는 효과가 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 싸이크론지름을 크게 할수록 효율이 저하한다. - 분무노즐에 눈막힘까지 일어나기 쉽다. - 높은 수압 필요.
	venturi scrubber	가스를 slot에 고속으로 흐르게 하여 소량의 물과 병류 혼합한다.	<ul style="list-style-type: none"> - slot부 가스속도 30 ~ 100m/sec - 액기비 0.3 ~ 1.2ℓ/m³ - 압력손실 300 ~ 900 mmAq 	<ul style="list-style-type: none"> - 소형이고 대용량인 가스를 처리할 수 있다. - 흡수효율을 최량으로 대부분 평균 상태에 도달한다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 수량이 많기때문에 동력비가 비싸다. - 가스량이 많을때는 불리하다.
충전 탑식	충전탑 (packed tower)	표면적이 큰 충전물의 표면에 물을 흐르게하여 가스를 저속으로 향류접촉시킨다.	<ul style="list-style-type: none"> - 가스겉보기속도 0.3 ~ 1m/sec - 급수량 15 ~ 20t/m².hr - 액기비 1 ~ 10ℓ/m³ - 충전높이 2 ~ 5m - 압력손실 50mmAq/mH 	<ul style="list-style-type: none"> - 급수량이 적당하면, 효과는 거의 확실하다. - 가스량변동에도, 비교적 적응성이 있다. - 압력손실이 그렇게 크지않다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 가스유속이 높을 때와 flooding 상태로 되면 조작불능. - 흡수액에 고형분을 함유할 경우 흡수에 의한 침전물이 생길 경우는 눈막힘까지 일으킴.



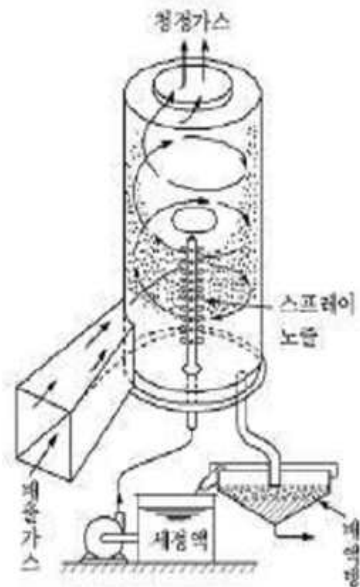
(a) 벤츄리 스크러버



(b) 충전탑 스크러버



(c) 스프레이 스크러버



(d) 사이클론 스크러버

<그림 4-6> 접촉조 장치의 종류

(2) 악취 저감 장치 개발에서 접촉조 방식의 선정은 내부시설이 최소화 되어 구조가 단순하고, 처리 전·후의 압력손실이 낮아 환기팬의 전력 용량이 최소화하고, 기액의 접촉 면적을 최대화 할 수 있는 방식을 검토하였으며, 최종적으로 스프레이 스크러버 방식을 선정하였음.

2. 악취 제거 장치 설계

가. 설계 주요 인자

(1) 탑 직경

(가) 유입가스량(Q) : 30m³/분

(나) 처리가스량(V) : Q m³/분 × 60분/hr × 밀도 kg/m³ = kg/hr

(다) 액체유입량(L) : Q m³/분 × 60분/hr × 용매 kg/m³ = kg/hr

(라) 액가스비: 0.2 l /m³

(2) 접촉층의 높이(Z) : 최고전달 단위 수(NOG) × 총괄전달 단위높이(HOG)

(3) 접촉층의 압력손실 : $\Delta P/Z = \alpha \times 10^{-5} L / \rho L \times (G^2 / \rho G)$

(4) 세정 Pump의 용량

(5) 분무 Nozzle의 개수

(6) 탑의 높이: 접촉층의 높이 + 액분사공간 + 배수분리기 설치공간 + 가스유입공간 등

나. 설계 계산

(1) 본 스프레이식 접촉조의 설계는 직화구이 배출 악취를 대상으로 하며, 통상의 직화구이 음식점의 환기팬 용량을 반영하여 설계 풍량은 30CMM(Cubic Meter per Minute)으로 산정하였음.

(2) 실제 발생하는 악취는 복합악취이나 장치 설계를 위하여 입력조건은 황화수로 5ppm 유입으로 단순화하였으며 황화수소 제거율 76%을 초기 조건으로 설계하였음. 실제 장기간의 제거 운전시험을 통하여 본 장치의 물질별 제거 전·후 농도 변화와 제거율을 산정하여 설계계산 초기 입력조건은 수정, 보완할 예정임.

■ 설계조건

처리대상	설계풍량				설계온도	
직화구이배출악취	30	m ³ /min	1800	m ³ /hr	25	℃

■ 설계제거효율

악취성분	유입농도		배출농도		방지효율	
암모니아		ppm		ppm		%
트라이메틸아민		ppm		ppm		%
황화수소	5	ppm	1.2	ppm		%
메틸메르캅탄		ppm		ppm		%
다이메탈설파이드		ppm		ppm		%
다이메탈다이설파이드		ppm		ppm		%
아세트알데하이드		ppm		ppm		%
프로피온알데하이드		ppm		ppm		%
뷰틸알데하이드		ppm		ppm		%
n-발레르알데하이드		ppm		ppm		%
i-발레르알데하이드		ppm		ppm		%
스타이렌		ppm		ppm		%
톨루엔		ppm		ppm		%
자일렌		ppm		ppm		%
메틸에틸케톤		ppm		ppm		%
메틸아이소뷰틸케톤		ppm		ppm		%
뷰틸아세테이트		ppm		ppm		%
i-뷰틸알코올		ppm		ppm		%
프로피온산		ppm		ppm		%
n-뷰틸산		ppm		ppm		%
n-발레르산		ppm		ppm		%
i-발레르산		ppm		ppm		%
복합악취		ppm		ppm		%
상대습도	80	ppm	100	ppm	-25	%

다. 점축조의 설계에서 있어서 악취를 이송하는 덕트 환경 결정은 덕트내 가스속도 15 m/sec를 기준으로 산정하였음.

■ 덕트 설계인자

항목	설계치		참고 1		참고 2		참고 3	
- duct 유입유속	15	m/sec	15	m/sec	8	m/sec	12	m/sec
- 유입 덕트환경					300	mm		
- duct 유출유속	15	m/sec		m/sec	8	m/sec	10	m/sec
- 유출 덕트환경					300	mm		

■ 유입덕트관

$$D_{duct,in} = \left(\frac{4Q}{V \times \pi \times 60} \right)^{1/2} \\ \left(\frac{4 \times 30}{15 \times \pi \times 60} \right)^{1/2} = 0.21 \text{ m} = 206 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$$

■ 유출덕트관

$$D_{duct,out} = \left(\frac{4Q}{V \times \pi \times 60} \right)^{1/2} \\ \left(\frac{4 \times 30}{15 \times \pi \times 60} \right)^{1/2} = 0.21 \text{ m} = 206 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$$

라. 접촉조에서는 스프레이를 통한 세정액의 분사와 접촉조 하부에서 유입되는 악취를 포함한 기체간의 기액접촉이 이루지는 구간으로 기체내 악취를 제거할 수 있는 충분한 양의 세정액의 분사와 접촉 시간을 필요로 하며 동시에 과도한 풍량 유입으로 분사된 세정액이 반응조 상부로 월류되는 형상을 방지할 수 있도록 설계되어야 함.

마. 본 설계에서는 충전식 세정탑의 Flooding 방지 개념을 도입하여 역류를 방지할 수 있는 최대 배출량은 $22,653 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hr}$ 을 도출하고 이를 통하여 접촉조의 폭과 길이를 $500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ 로 산정하였음.

■ 탑 단면적

$$A = \frac{V'}{G_f'} = \frac{2,132 \text{ kg/hr}}{22,653 \text{ kg/m}^2 \text{hr}} = 0.094104 \text{ m}^2$$

■ 탑 길이(L), 폭(W) 결정

$$\begin{aligned} \text{각형 W-L : } W^2 &= 0.09 \text{ m}^2 \\ W=L &= 0.31 \text{ m}^2 = 307 \text{ mm} = 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

■ 공탑속도

$$\text{각형공탑속도} = \frac{\text{처리풍량}}{\text{탑단면적}} = \frac{30 \text{ m}^3/\text{min}}{0.250 \text{ m}^2} = 2.00 \text{ m/sec} \quad \text{OK}$$

바. 접촉조 높이는 기액 전달이 발생할 수 있는 최소 이동높이를 산정하고 설계제거율을 만족할 수 있는 이동단수를 산정하여 설계하였으며, 설계 접촉조 높이는 600 mm로 산정하였음.

■ 탑 높이(H) 결정

$$H = N_{OG} \times H_{OG}$$

H : 탑 높이

N_{OG} : 총괄전달 단위수

H_{OG} : 총괄전달 단위높이

■ 총괄이동 단위높이

$$H_{OG} = H_G + m(G_m/L_m) \times H_L$$

H_G : 가스전달단위높이

H_L : 액체전달단위높이

G_m : 가스의 공탑질량속도($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$)

L_m : 액체의 공탑질량속도($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$)

m: 평형곡선기울기(VII-6~10)

- H_G (가스전달 단위높이)

$$H_G = \frac{\alpha (G')^\beta}{(L')^\gamma} \times \left(\frac{\mu_G}{\rho_G D_G} \right)^{1/2}$$

S.N : schmidt number

Berl saddle 수치 적용 (추후 실험치 전환)

$$\alpha = 0.22 \quad \beta = 0.1 \quad \gamma = 0.45$$

G : 가스의 공탑질량속도 ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$)

$$G = \frac{V'}{A} = \frac{2,132 \text{ kg/hr}}{0.25 \text{ m}^2} = 8,527 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$$

L : 액체의 공탑질량속도 ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$)

$$L = \frac{L'}{A} = \frac{359 \text{ kg/hr}}{0.25 \text{ m}^2} = 1,436 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$$

$$S.N : \text{기체의 schmidt number} = 0.1$$

$$H_G = \frac{0.22 \times 8527^{0.5} \times 0.3}{7200^{0.5}} \times (1.69)^{1/2} = 0.16 \text{ m}$$

- H_L (액체전달 단위 높이)

$$H_L = \phi \left(\frac{L'}{\mu_L} \right)^\eta \times \left(\frac{\mu_i}{\rho_L D_L} \right)^{1/2}$$

pall ring 2" 계수 적용 :	ϕ	=	0.003
	η	=	0.22
S.N = 액체의 schmidt number	H2S	=	712
μ_L = 액체의 점도		=	0.8904

$$H_L = 0.003 \left(\frac{1436}{0.8904} \right)^\eta \times (712)^{1/2} = 0.41 \text{ m}$$

- H_{OG} (전체 기액 전달 단위)

$$H_{OG} = 0.16 + 0.10 \times \frac{8,527}{1,436} \times 0.41 = 0.41 \text{ m}$$

■ 총괄이동 단위 수

- 잘 용해되는 가스에 대한 NOG 계산

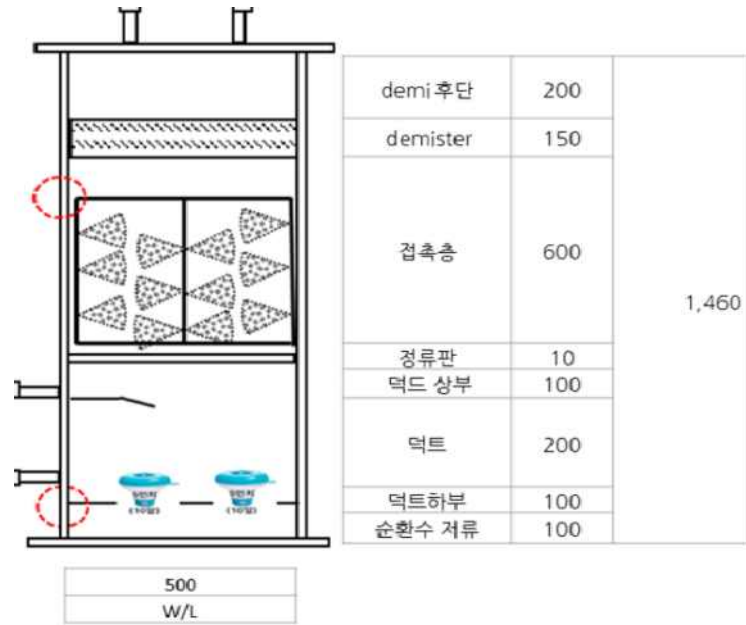
- 처리효율(E)= 76%

$$N_{OG} = \ln(100/(100-E)) = \ln\left(\frac{100}{100-76}\right) = 1.43$$

■ 접촉층 높이 산정

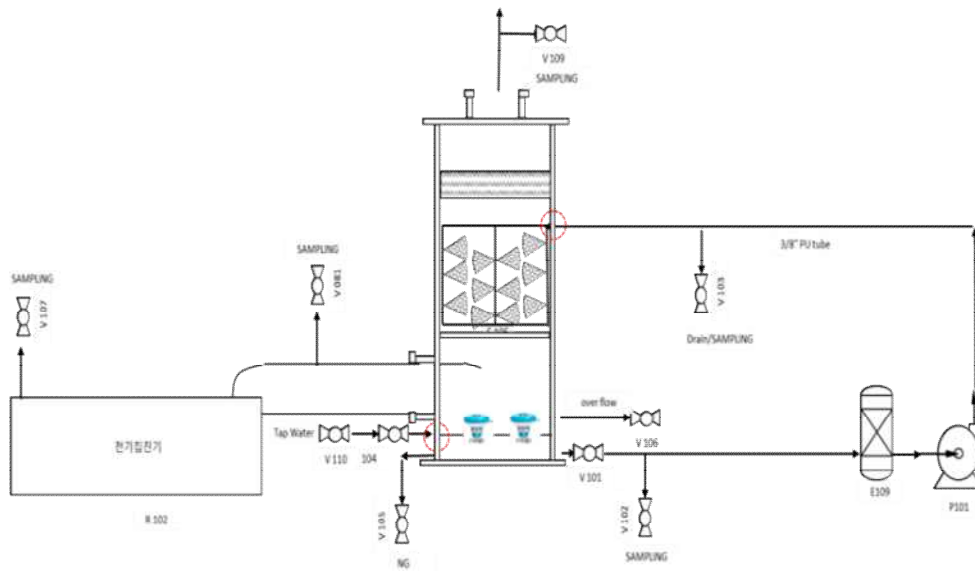
$$H = N_{OG} \times H_{OG} = 1.43 \times 0.41 = 0.58 \text{ m} = 600 \text{ mm}$$

사. 상기 접촉조 접촉 단면적과 접촉 높이 결정값을 토대로 설계안을 도출하였으며 접촉조의 내부는 순환수(세정수) 저류부, 덕트 연결부, 정류판, 접촉층, 데미스터로 구성되며 전체 접촉조 높이는 1,460 mm로 결정되었음.



<그림 4-7> 접촉조 Size

아. 30CMM 처리를 위한 시스템 구성에 필요한 PFD (Process Flow Diagram)과 장치목록은 다음과 같음.



<그림 4-8> PFD(전기집진기+악취제거장치)

〈표 4-3〉 악취제거장치의 장치목록

순번	스크리버	수량	D	W	L	H
R 101	스프레이 접촉탑	1		500	500	1460
C 101	제어판넬	1				
N 101	유입덕트 연결부	1	200			
N 102	유출덕트연결부	1	200			
N 105	레벨 투입구	1	150			
P 101	순환펌프	1				
S 101	스프레이노즐	24				
F 101	부유식투입기	2				
E-109	여과필터	1				
V 101	순환펌프 유출밸브	Ball valve		1/2"		
V 102	순환수 유출 샘플링 밸브	Ball valve		1/2"		
V 103	순환수 유입 샘플링 밸브	Ball valve		1/2"		
V 104	보충수 유입밸브	Ball top valve		1/2"		
V 105	드레인밸브	Ball valve		1/2"		
V 106	오버플로우 밸브	Ball valve		1/2"		
V 107	집진기 유입 샘플링 밸브	Ball valve		1/2"		
V 108	접촉조 유입 샘플링 밸브	Ball valve		1/2"		
V 109	접촉조배출 샘플링 밸브	Ball valve		1/2"		
V 110	보충수 유입 밸브(수동)	Ball valve		1/2"		

다. 약품 사용량 결정

(1) 직화구이 음식점 배출악취 제거를 위해서는 악취제거를 위한 산화력과 동시에 산성 악취를 제거할 수 있는 알칼리의 공급이 동시에 이루어져야 하므로 요구되는 산화제와 염기제의 사용량 산정이 필요함.

(2) 본 개발에서는 1차적으로 산화제와 염기제를 동시에 공급할 수 있는 차아염소산칼슘을 적용하였으며, 이후 흡착제과 결합시켜 산화/중화/흡착을 동시에 진행할 수 있는 복합습식흡착제를 개발할 예정임.

■ 고형 산화제 투입량

- 투입량 = 설계풍량 x 산화제 약품투입비

$$= \frac{30 \text{ m}^3}{\text{min}} \times \frac{0.00006 \text{ kg}}{\text{hr}} \times \frac{\text{min}}{\text{m}^3} = 0.0018 \text{ kg/hr}$$

*산화제 약품투입비:음식물쓰레기복합악취산화제투입비x악취강도비율

$$= \frac{0.043 \text{ kg/hr}}{7 \text{ CMM}} \times \frac{1 \text{ kg/hr}}{100 \text{ CMM}} \times \frac{\%}{\%} = 0.00006 \text{ (kg/hr)/(m}^3/\text{min)}$$

(출처 : 습식세정장치에서 발생하는 마이크로버블을 이용한 음식물 쓰레기 복합악취처리, 김예진 외. 2015)

- 고체 산화제 농도 = 투입량 / 세정유량

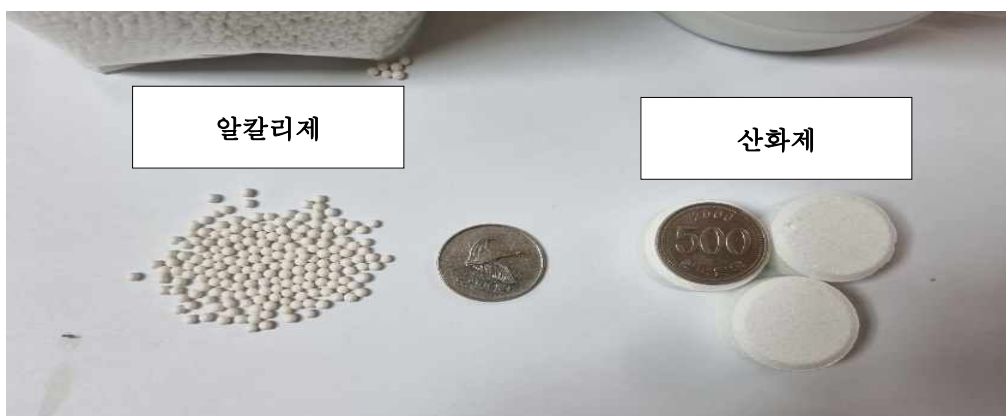
$$= \frac{0.0018 \text{ kg}}{\text{hr}} \times \frac{1,000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \times \frac{\text{min}}{0.006 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} = 5.1 \text{ mg/L}$$

- 고

체 산화제 사용량 = 산화제 투입량 x 약품순도

$$= \frac{0.0018 \text{ kg}}{\text{hr}} \times \frac{100 \text{ \%}}{70 \text{ \%}} = 0.0026 \text{ kg/hr} = 0.06 \text{ kg/d} = 1.9 \text{ kg/month}$$

■ 고형 알칼리제 투입량 : 운전실험을 통해 산정



<그림 4-9> 산화제와 알칼리제

3. 악취제거 장치 제작 및 설치

가. 공장 제작

공장에서 제작 마무리 단계에 있는 모습이며, 1차적으로 기본적인 테스트를 진행하였음.



〈그림 4-10〉 악취제거 장치의 공장 제작 모습

나. 실험 현장 설치

실제로 악취를 측정할 현장으로 옮겨 설치한 모습이며, 전기집진기와 연결은 안된 상태임.



〈그림 4-11〉 악취제거 장치의 실험 현장 설치 모습

다. 전기집진기와 연결

기본 테스트를 다시 한번 진행 후 전기집진기와 연결한 최종적인 최적시스템의 모습임.



〈그림 4-12〉 전기집진기와 연결된 최종 최적시스템의 설치 모습

제5장 최적 방지장치 시스템의 실험 및 분석

제1절. 시운전 실험 및 분석 결과	68
제2절. 악취 실험 및 분석 결과	69
제3절. 악취 시료채취 및 분석 방법	80
제4절. 수질 및 대기오염물질 분석 결과	97
제5절. 잔류 산화제 제거	102

제1절 시운전 실험 및 분석 결과

1. 개요

장치 설치 후 실제 돼지고기를 숯불로 구우면서 전기집진기와 악취제거장치가 제대로 작동이 되는지 시운전을 하였음. 처음에는 세정수만 순환하면서 제대로 분사하는지 파악하였고, 이후 돼지고기를 숯불로 직접 구우면서 진행하였음.

2. 결과

가. 전기집진기 및 악취제거 장치는 정상적으로 운전 되었음.

나. 전기집진기는 인버터를 조절하여 풍량을 조절할 수 있으며 잘 작동되었음.

다. 세정수는 24개 노즐을 통해 원활히 분무가 되고 있었고, 약품은 물에 서서히 녹아들어 가고 있었음. 데미스터를 통과하는 수분은 눈에 보이지 않았음.



〈그림 5-1〉 시운전 모습(돼지고기, 숯불구이)

제2절 악취 실험 및 분석 결과

1. 실험 방법 개요

가. 복합악취

- (1) 고기는 가장 많이 애용하고 있는 ‘돼지고기’와 악취가 가장 많이 발생할 것 같은 ‘양고기’로 구분하여 진행하였음.
- (2) 고기를 굽는 방법은 기름연기와 악취가 가장 많이 발생시킬 수 있는 숯불로 선택을 하였음.
- (3) 악취 측정 지점은 3곳으로 전기집진기 전단, 전기집진기 후단 그리고 최종배출구에서 동시에 측정을 하였음.

나. 지정악취물질

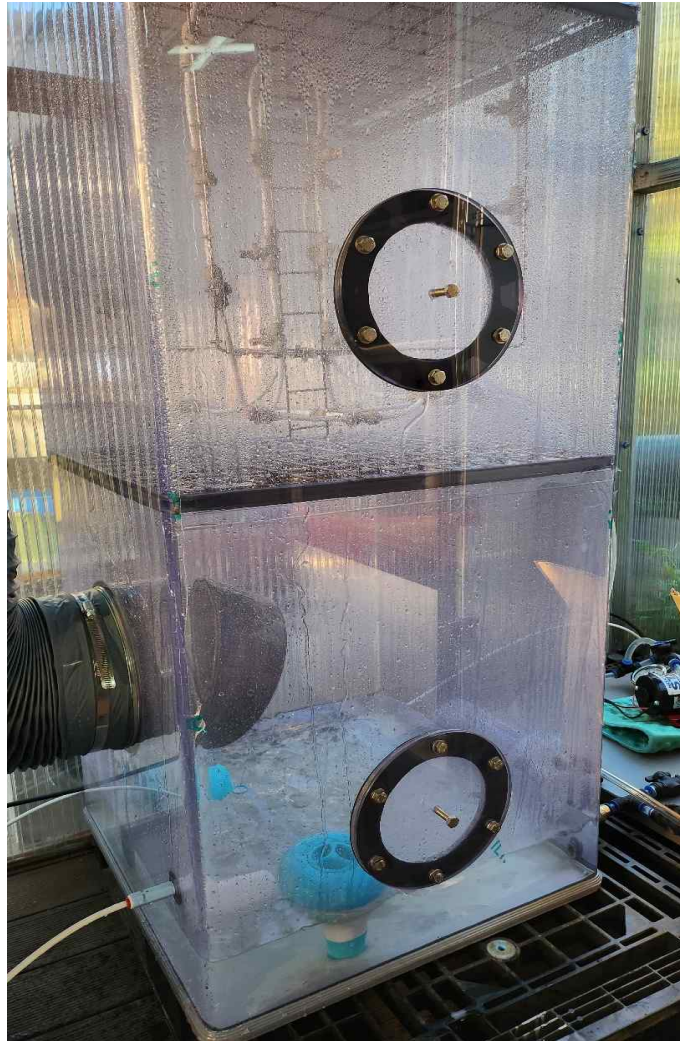
- (1) 악취 측정 조건은 복합악취와 동일한 조건으로 하였음.
- (2) 지정악취물질 22종 선행연구에서 자주 발생 될 것으로 조사된 물질과 추가로 대표적인 휘발성유기화합물을 분석대상으로 결정하였음.

<표 5-1> 분석대상 물질

구분	황수연 등	전준민 등	본 연구
질소 화합물		-트라이메틸아민	-트라이메틸아민
황 화합물	-메틸메르캅탄 -황화수소 -다이메틸설파이드 -다이메틸다이설파이드		-메틸메르캅탄 -황화수소 -다이메틸설파이드 -다이메틸다이설파이드
알데하 이드류	-아세트알데하이드 -프로피온알데하이드 -뷰틸알데하이드 -n-발레르알데하이드 -i-발레르알데하이드	-아세트알데하이드 -프로피온알데하이드 -n-발레르알데하이드	-아세트알데하이드 -프로피온알데하이드 -뷰틸알데하이드 -n-발레르알데하이드 -i-발레르알데하이드
휘발성 유기화 합물			-포름알데히드 -아크로레인 -크로톤알데히드



(a) 돼지구이 굽는 중



(b) 약취 제거장치 세정수 분사 모습



(b) 약취 제거장치 저류조 모습



(c) 지정악취 측정 중



(d) 복합악취 측정 중



(e) 측정 완료 후 이온부 모습



(f) 측정 완료 후 집진부 모습

<그림 5-2> 약취 측정 현장 모습

2. 복합악취 결과

가. 돼지고기

전기집진기 복합악취 제거효율은 약 30%이고, 악취제거장치의 복합악취 제거효율은 약 50%로 분석되었음.

<표 5-2> 돼지고기 복합악취 결과

물질	전기집진기 전단	전기집진기 후단①	최종배출구 ①	전기집진기 후단②	최종배출구 ②
복합악취(배)	2,080	1,442	1,000	2,080	1,000

나. 양고기

전기집진기 복합악취 제거효율은 약 0%이고, 악취제거장치의 복합악취 제거효율은 약 30%로 분석되었음.

<표 5-3> 양고기 복합악취 결과

물질	전기집진기 전단	전기집진기 후단①	최종배출구 ①	전기집진기 후단②	최종배출구 ②
복합악취(배)	3,000	3,000	2,080	3,000	2,080

다. 결과 분석 및 개선 계획

목표로 삼았던 악취제거율 90% 이상에 못 미치는 결과이기 때문에 이는 추가실험(2022년 11월 23일 예정)을 통해 제거효율을 높힐 수 있는지 확인하겠음. 악취 유발물질이 높게 측정된 원인으로는 설계농도(산화제 5 mg/L) 대비 산화제가 과투입 되어 잔존하는 산화제 성분이 영향을 준 것으로 추정하고 있으며, 이를 해결하기 위하여 최적 산화제 주입량의 산출과 함께 고품 환원제 장치를 후처리 장치로 설치하여 잔류 산화제를 제거와 함께 전기집진기에서 발생하는 오존도 동시에 제거할 수 있도록 시스템을 개선할 계획임.

3. 질소화합물과 황화합물 악취 농도 결과

가. 돼지고기

(1) 질소화합물의 대표 악취물질은 TMA는 미검출되었고, 황화합물 중 DMS, DMDS 또한 거의 검출되지 않았음. 일부 검출된 DMS, DMDS는 악취제거장치를 통해 100% 제거되었음.

(2) 황화합물 중에서는 H₂S와 MM이 가장 높게 검출되었으며 전기집진기와 악취제거장치를 통해 100% 제거되었음.

<표 5-4> 돼지고기 질소화합물과 황화합물의 악취 농도 결과

물질	전기집진기 전단	전기집진기 후단①	최종배출구 ①	전기집진기 후단②	최종배출구 ②
TMA	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
H ₂ S	135.0	N.D	N.D	8.60	N.D
MM	53.3	N.D	N.D	N.D	N.D
DMS	N.D	N.D	N.D	0.58	N.D
DMDS	N.D	N.D	N.D	0.16	N.D

나. 양고기

(1) 질소화합물의 대표 악취물질은 TMA는 미검출되었고, 황화합물 중 DMS, DMDS 또한 거의 검출되지 않았음. 일부 검출된 DMS, DMDS는 악취제거장치를 통해 100% 제거되었음.

(2) 황화합물 중에서는 H₂S와 MM이 가장 높게 검출되었으며 전기집진기에서의 제거효율은 8~23%으로 낮았지만 악취제거장치에서는 거의 100% 제거효율을 보였음.

〈표 5-5〉 양고기 질소화합물과 황화합물의 악취 농도 결과

물질	전기집진기 전단	전기집진기 후단①	최종배출구 ①	전기집진기 후단②	최종배출구 ②
TMA	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
H ₂ S	147.0	135.0	N.D	227	0.59
MM	85.9	65.8	N.D	112	N.D
DMS	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
DMDS	N.D	N.D	N.D	12.1	N.D

4. 알데하이드류 악취 농도 결과

가. 돼지고기

(1) 지정악취물질 중 아세트알데히드, 프로피온알데히드, 뷰티르알데히드가 높게 검출된 반면 i-발레르알데히드와 n-발레르알데히드는 미검출 되었음.

(2) 프로피온알데히드, 뷰티르알데히드는 악취제거장치를 통해 제거되는 경향을 보이지만 아세트알데히드는 오히려 최종배출구에서 더 높게 나타나는 역전현상이 보였음. 이런 현상이 나타나는 원인에 대해서는 아직 파악하지 못하였으며 보다 많은 실험이 필요한 부분이라 사료 됨. 이는 추가실험(2022년 11월 23일 예정)을 통해 원인을 규명할 계획이며, 이곳에는 그 결과를 수록할 수 없으나 추후 게재될 학회 논문지에는 수록하도록 하겠음.

<표 5-6> 돼지고기 알데하이드류 악취 농도 결과

물질	전기집진기 후단①	최종배출구 ①	전기집진기 후단②	최종배출구 ②
아세트알데히드	1,038	1,212	1,931	2,298
프로피온알데히드	533	436	838	709
뷰티르알데히드	64.7	N.D	139.0	15.1
i-발레르알데히드	N.D	N.D	N.D	N.D
n-발레르알데히드	N.D	N.D	N.D	N.D

나. 양고기

(1) 지정악취물질 중 아세트알데히드, 프로피온알데히드, 뷰티르알데히드가 높게 검출된 반면 i-발레르알데히드와 n-발레르알데히드는 미검출 되었음.

(2) 프로피온알데히드, 뷰티르알데히드는 악취제거장치를 통해 제거되는 경향을 보이지만 아세트알데히드는 오히려 최종배출구에서 더 높게 나타나는 역전현상이 보였음. 이런 현상이 나타나는 원인에 대해서는 아직 파악하지 못하였으며 보다 많은 실험이 필요한 부분이라 사료 됨.

<표 5-7> 양고기 알데하이드류 악취 농도 결과

물질	전기집진기 후단①	최종배출구 ①	전기집진기 후단②	최종배출구 ②
아세트알데히드	1,146	1,605	878	1,400
프로피온알데히드	532.0	519.0	380.0	355.0
뷰티르알데히드	110.0	15.1	115	15.1
i-발레르알데히드	N.D	N.D	53.4	51.2
n-발레르알데히드	N.D	N.D	N.D	N.D

5. 휘발성유기화합물 악취 농도 결과

가. 돼지고기

휘발성유기화합물 중 포름알데히드, 아크로레인, 크로톤알데히드를 추가로 분석해 본 결과 포름알데히드가 상대적으로 매우 높게 검출되었지만 악취제거장치를 통해 96% 이상 제거되었음. 아크로레인 또한 악취제거장치를 통해 97% 이상 제거되지만 크로톤알데히드는 약 10%대로 제거효율이 낮았음.

〈표 5-8〉 돼지고기 휘발성유기화합물의 악취 농도 결과

물질	전기집진기 후단①	최종배출구 ①	전기집진기 후단②	최종배출구 ②
포름알데히드	3,045	50.5	1,720	65.7
아크로레인	364	N.D	619	37
크로톤알데히드	56.9	51.5	122	108

나. 양고기

휘발성유기화합물 중 포름알데히드, 아크로레인, 크로톤알데히드를 추가로 분석해 본 결과 포름알데히드가 상대적으로 매우 높게 검출되었지만 악취제거장치를 통해 86% 이상 제거되었음. 그러나 아크로레인, 크로톤알데히드는 제거효율이 낮았음.

〈표 5-9〉 양고기 휘발성유기화합물의 악취 농도 결과

물질	전기집진기 후단①	최종배출구 ①	전기집진기 후단②	최종배출구 ②
포름알데히드	1,058	166	805	90.4
아크로레인	174.0	156.0	128.0	126.6
크로톤알데히드	59.9	54.6	N.D	N.D

6. 종합결론 및 시사점

가. 중화제, 산화제 적용으로 산성/중성 악취제거 효과를 확인할 수 있었음.

나. 기존의 액상 중화제, 액상 산화제의 경우 취급에 위험성이 있고 시스템이 복잡한데 본 연구에서는 고체 중화제 및 산화제를 사용할 수 있도록 시스템을 구성함으로써 사용 편의성이 높은 악취 제거 시스템을 적용한 것에 의의가 있음. 이를 통해 음식점 직화구이 악취제거에 활용할 수 있으며, 기타 소규모 사업장 악취제거 시설로 확장이 가능할 것으로 판단됨.

다. 제거효율

- (1) 개발 초기 단계의 중화제/산화제를 적용한 운전조건을 최적화하여 처리성능을 높이고 최종적으로 복합 습식 흡착제로 개선시켜 제거율을 향상시킬 계획임.
- (2) 개별물질은 대체로 제거율이 목표를 달성하였으나 복합악취는 목표 대비 낮은 것으로 분석되었음. 이에 대한 대책을 강구하여 목표효율을 달성할 계획임. 한편, 복합악취가 목표 대비 저조한 것은 산화제가 과투입되어 잔존하는 산화제 성분(염소취)가 악취로 오인되었을 가능성이 있다고 판단되며 이를 제거하기 위한 방법을 강구할 계획임.
- (3) 일부 물질(아세트알데히드 등)의 농도 역전현상 및 최종배출구에서의 오존을 제거하기 위해 추가적으로 환원제 적용 방안을 강구하였으며 추후 이에 대한 성능평가 및 악취분석(2022년 11월 23일 예정)을 실시할 예정임.
- (4) 운전조건 최적화는 연내에 완료하고, 복합 습식 흡착제 전환 연구를 순차적으로 진행할 계획임.

라. 제거장치 크기 및 유지관리 비용 최적화를 통한 경제성 확보

- (1) 현재의 시스템은 시제품으로 액기비, 공압체류시간, 중화제/산화제 반응농도에 대한 설계 안전율이 높게 책정되었음. 추후 실험결과를 분석하여 구성요소별 설계 최적화를 통하여 제작비를 절감할 예정임.
- (2) 요소장치 재질, 구조측면에서도 투명 PVC, stainless 소재와 Welding 접합방식으로 제조되었으나 양산품 제작 시에는 단가가 낮은 일반 PVC를 적용하여 제작 예정임. 또한 생산수량 증대시 금형을 적용한다면 생산단가를 대폭 절감할 수 있을 것으로 기대됨.
- (3) 공압체류시간, Flooding 발생 조건, 약액 mist 분사조건 등을 분석하여 장치 크기를 최소화할 예정임.
- (4) 교체주기, 유지관리 방법 비용에 있어서 산화제를 예로 들면 고체 산화제의 일사용량은 60g/d로 30일 운전 후 점검/교체 방식으로 유지관리 시, 월사용량 1.8 kg/month, 산화제 사용비용 약 3만원으로 설계되었음.
- (5) 실험운전을 통하여 산화제 사용량을 최적화하고, 불필요한 pH 저하를 방지하기 위하여 사용되는 고형 알칼리제의 경우도 실험운전과정의 pH 변동 경향을 확인하여 투입량을 결정할 예정임.
- (6) 최종적인 유지관리 방안/비용은 복합 습식 흡착제 시제품을 적용하여 운영 결과가 도출되는 시점에 재설정할 예정임.

제3절 악취 시료채취 및 분석 방법

1. 악취 시료채취 방법

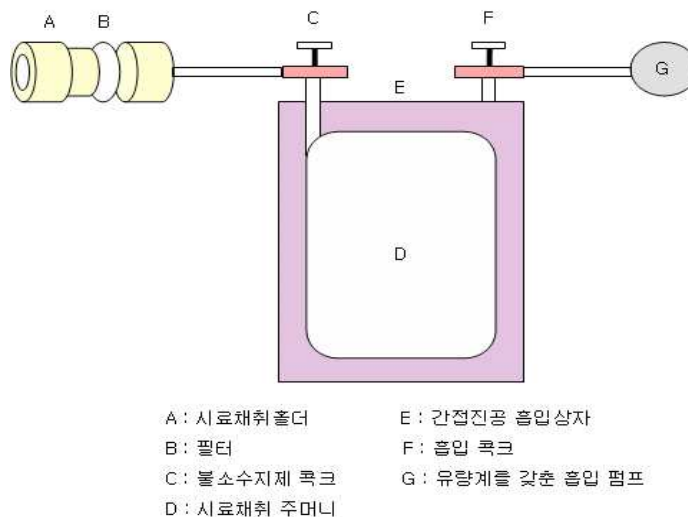
가. 개요

악취물질의 시료채취는 현장에서 직접 포집하였음. 각 성분별 복합악취와 황화합물은 Polyester Aluminum Bag을 이용하는 간접 흡인상자법을 이용하여 시료를 채취하였음. 암모니아, TMA은 용액 흡수법을 이용하여 채취하였음. 휘발성유기화합물류는 TenaxTA 고체 흡착관을 이용하였으며, 알데하이드류는 2,4-DNPH 카트리지를 사용하여 시료를 채취하였음.

나. 종류

(1) 간접 흡인상자 방법

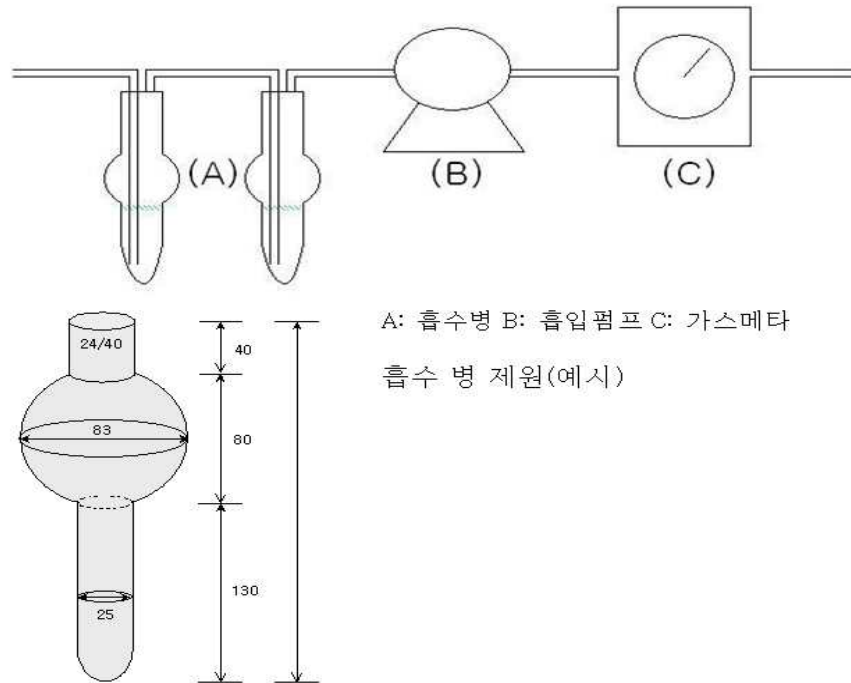
시료채취펌프는 흡입유량이 5 L/분 이상인 판막식(다이아프램)펌프로 취기흡착성이 낮은 재질(테프론재질)로 된 것을 사용하여 10~20 L aluminium bag을 시료채취 장치 [그림 3-1] 내부에 장착 후 내부와 외부의 압력차를 이용하여 악취시료를 채취하고 분석실로 이동하여 공기희석배수와 황화합물을 분석하였음.



<그림 5-3> 간접흡인상자 포집방법

(2) 용액 흡수법

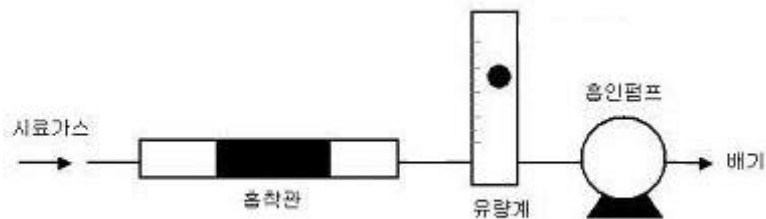
용액흡수법 포집장치는 [그림 3-2]와 같이 흡수병, 흡수펌프 등으로 구성되어 있음. 흡수병은 흡수액을 담을 수 있는 경질유리체로 여과구 장치가 되어 있는 것으로 하여 [그림 3-2]와 같이 직렬로 연결 후 각각의 흡수병에 분석대상 물질에 알맞은 흡수액을 넣어 시료채취 하였음.



<그림 5-4> 흡수법 시료채취 장치

(3) 고체흡착관을 이용한 포집

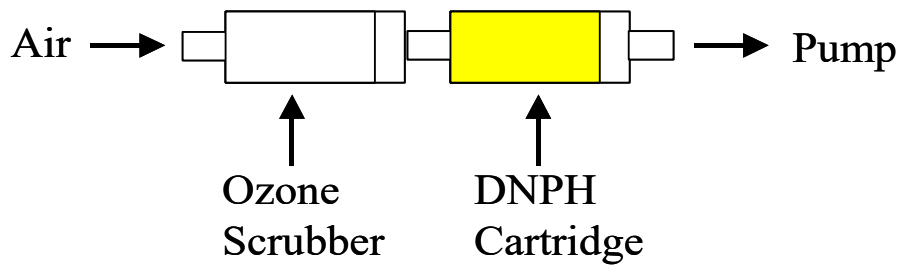
고체흡착관을 이용한 악취물질 포집방법은 고체분말표면에 기체가 흡착되는 것을 이용하는 방법으로 채취 장치는 [그림 3-3]과 같이 흡착관, 흡인펌프 및 유량계로 구성되어 있음.



<그림 5-5> 고체 흡착관을 이용한 악취 포집 장치

(4) 2,4-DNPH 카트리지를 이용한 포집

알데하이드 시료채취 시 공기 중 오존에 의한 영향을 방지하기 위하여 내경 1.0 cm × 길이 4 cm의 폴리프로필렌 튜브에 KI 결정을 채운 오존 스크러버를 [그림 3-4]와 같이 DNPH 카트리지 앞에 연결하여 시료를 채취 하였음. 채취된 시료는 알루미늄포일로 포장하여 외부공기와 차단할 수 있는 비닐봉지에 이중으로 밀봉하여 저온, 차광, 밀봉 상태로 보관(10 ℃ 이하)하여 운반하며 용매로 추출하기 전까지 냉장(4 ℃ 이하) 보관 하였음. 시료가 저장되는 냉장고는 실험에 사용되는 시약이나 기타 오염물질에서의 오염의 영향이 없게 하였음.



<그림 5-6> DNPH 카트리지 시료채취 방법

2. 악취 분석 방법

가. 개요

(1) 악취 분석방법은 악취방지법의 공정시험방법에 제시된 분석방법으로 측정 결과의 신뢰성을 유지하였음. 조사항목은 공기희석관능법과 우리나라 악취방지법에 정해놓은 22가지 지정악취물질 중 일부를 대상으로 분석하였음.

(2) 측정대상 성분별 측정방법은 공기희석관능법에 의한 복합악취 분석과 개별 악취물질 배출 여부 확인을 위한 기기분석법을 기본으로 하였으며 <표 33~34>의 분석 방법에 의하여 악취물질을 분석하였음.

<표 5-10> 공기희석관능법의 분석방법

구분	분석방법
공기희석관능법	포집백으로 채취한 시료를 시험실로 운반한 후 무취공기로 희석하여 평균정답율이 0.6미만일 경우 시험을 끝내고 희석배수(냄새감지한계 희석배수)를 구한다.

〈표 5-11〉 지정악취물질의 성분별 기기 분석법

물질류	물질명 (기기분석방법)	분석방법
암모니아	암모니아 (흡광광도법)	-산성여과지 or 용액채취 → 인도페놀법 -분석용 시료용액에 페놀-니트로프루시드 나트륨용액과 차아염소산 나트륨용액을 가하고 암모늄이온과 반응시켜 생성되는 인도페놀류의 흡광도를 측정하여 암모니아를 정량한다.
아민류	트라이메틸아민 메틸아민 디메틸아민 (GC법)	-산성여과지 or 용액채취→알카리분해→헤드스페이스 -SPME 농축→GC(FID, FPD) -임핀저 방법과 산성여과지 방법을 시료채취방법으로 하고, 저온농축-충전형 분리관 기체크로마토그래피, 헤드스페이스-모세관 칼럼 기체크로마토그래피로 분석한다.
황화합물	황화수소 메틸머captan 황화메틸 이황화메틸 (GC법)	-Bag 채취→저온농축→GC(FPD) -흡인상자법을 시료채취방법으로 하고, 저온농축-모세분리관 기체크로마토그래피 분석법과 저온농축-충전형 분리관 기체크로마토그래피법을 분석방법으로 한다.
카르보닐 화합물	아세트알데히드 프로피온알데히드 아크로레인 발레르알데히드 (GC법/HPLC법)	-Bag채취→2,4-DNPH용액흡수→추출→HPLC or GC(FID) -알데하이드 물질을 2,4-디니트로페닐히드라존(DNPH) 유도체를 형성하게 하여 액체크로마토그래피(PLC)와 기체크로마토그래피로 분석한다.
저급지방산	아세트산 프로피온산 부틸산 n-발레르산 (GC법)	-알칼리함침필터 or 알칼리수용액 흡수 채취→ 헤드스페이스-SPME 농축→GC(FID) -알칼리함침필터법, 알칼리수용액 흡수법을 시료채취방법으로 하고 채취된 시료의 유기산 성분을 휘발시키기 위하여 헤드스페이스법을 사용하여 전처리하고 기체크로마토그래피로 분석한다.
탄화수소류	톨루엔 m,p-크실렌 1,2,4-트리메틸벤젠 부틸아세테이트 (GC법)	-고체흡착관 채취→저온농축→열탈착→GC(FID) -고체흡착관으로 시료를 채취하고 저온농축/열탈착하여 기체크로마토그래피로 분석한다.

나. 복합악취

복합악취는 공기희석관능법으로 분석을 수행하였음. 복합악취 측정에 사용한 폴리에스터 알루미늄 백은 시료 채취 전 고순도 질소(99.999%)로 2회 이상 세척하여 사용하였음. 세척한 백은 현장에서 현장의 시료로 1회 이상 채우고 배기한 후 다시 채취하였으며, 시료채취가 완료된 백은 상온으로 유지한 상태에서 24시간 이내에 분석을 완료하였음.

공기희석관능법을 이용하여 공기희석배수를 평가하는 판정요원은 판정시험 전 악취강도에 대한 정도를 인식시키기 위하여 n-butanol로 제조된 냄새를 인식시켰음. 악취강도 인식 시험액인 n-butanol(순도 99.5%)은 증류수로 희석하여 제조한 후 악취강도 인식시험액 1도의 시험액을 예비판정요원 모두에게 냄새를 맡게 한 후 냄새의 인식 여부를 확인하였고 예비판정요원이 냄새를 인식하지 못하면 판정요원 선정 시험대상에서 제외하였음.

악취판정요원인 패널의 선정은 4종류의 판정요원 선정용 시험액을 이용하였음. 선정방법으로 냄새가 없는 거름종이(길이 14 cm, 폭 7 mm) 5매를 1조로 하여 그 중 3매는 시험액에 그리고 나머지 2매는 증류수와 유동파라핀에 각각 약 1cm 정도 길이를 시험액에 5분 동안 담가두었다가 꺼내어 약 2~3분 후 경과 후 시험에 사용하였음. 판정요원 선정은 위의 5매 1조의 거름종이를 건강한 피검자에게 나누어 주어 냄새가 나는 거름종이 3매의 시험액에 대한 냄새의 종류와 시험액의 악취강도를 3~4도로 인식한 사람을 최종 판정요원으로 선정하였음.

공기희석배율은 [그림 3-5]와 같은 무취공기 제조 장치와 활성탄이 채워진 6방 분배기를 통해 제조된 무취공기를 냄새주머니에 담고 시료를 주입하여 단계별로 희석하여 판정요원이 직접 평가하였음. 전체 판정요원의 시료희석 배수 중 최대값과 최소값을 제외한 나머지 값의 기하평균을 이용하여 시료의 최종 희석배수로 산정하였음.



<그림 5-7> 무취공기 제조 장치

다. 암모니아

암모니아의 시료채취는 0.5% 붕산용액 50 mL를 2개의 임핀저에 20mL씩 나누어 담고 직렬로 연결한 후 10L/min으로 5분간 총 50L의 시료를 채취한 후, 남은 흡수액 10mL로 흡수병 내벽을 행구어 시료채취 병에 옮겼음. 시료채취가 완료된 시료는 분석 전까지 4℃ 이하로 유지하면서 운반 및 보관하였음.

암모니아 분석은 분석용 시료용액 10mL에 페놀-펜타시아노 니트로실 철(III)산 나트륨용액 5mL와 차아염소산 나트륨용액 5mL를 가하고 상온에서 1시간 방치 후 암모니아를 정량하는 방법인 인도페놀법을 이용하여 청색으로 발색시킨 후 [그림 3-6]의 UV/Vis(Genesis 10, Thermo, USA)장비로 640nm 파장에서 분석하였음.



〈그림 5-8〉 암모니아 분석장비 (UV-Vis. Spectrophotometer)

라. 트리메틸아민(TMA)

트리메틸아민의 시료채취는 정제수 359mL에 진한 황산(95~98%) 1mL를 주입하여 제조하였음. 제조한 흡수용액 40mL를 2개의 임핀저에 20mL씩 나누어 담고 직렬로 연결한 후 10L/min으로 5분간 총 50L의 시료를 채취하였으며, 시료채취가 완료된 시료는 분석 전까지 4℃ 이하로 유지하면서 운반 및 보관하였음.

트리메틸아민의 분석은 50%-KOH(수산화칼륨) 5mL에 분석용 시료용액 4mL를 주입하고 불소수지(PTEF/silicone)재질의 셉텀이 있는 마개로 밀봉한 후, 혼합하였음. 이를 초음파 세척기에 넣고 20분간 반응시킨 후, 바이알 상층부 기체층으로 트리메틸아민이 용출되면 이를 SPME(고체상미량추출) 파이버에 흡착·농축시킨 후 기체크로마토그래피(6890N, Agilent, USA)로 주입 및 분석하였음. 트리메틸아민 분석에 사용한 GC/FID의 분석기 모습과 분석 조건을 다음 [그림 3-7]과 <표 3-2>에 나타내었음.



<그림 5-9> 트리메틸아민 분석기 사진

<표 5-12> 트리메틸아민 분석조건

기기 조작 조건				
SPME		75 μ m CAR/PD MS, Fused Silica, 24 Gauge needle (SUPELCO)		
주입장치		온도(℃)	Split 비율	
		250	5 : 1	
기 체 크 로 마 토 그 램	오븐	Initial	45 ℃(10분)	
		Ramp	10 ℃/분 → 100 ℃(0분)	
		Final	20 ℃/분 → 250 ℃(2분)	
	분리관	CP-Volamine 60m x 0.32mm		
	검출기 [FID]	Temp.(℃)	H ₂ (ml/min)	Air1 (ml/min)
		250	54	450

마. 황화합물

황화합물은 펌프내장형의 진공 흡인상자와 폴리에스터 알루미늄백을 이용하여 측정하였음. 황화합물 측정에 사용한 폴리에스터 알루미늄백은 측정 전 고순도 질소(99.999%)로 3회 이상 세척하였으며, 현장시료로 1회 이상 채우고 배기 후 시료를 채취하였음. 시료채취가 완료된 백은 상온 유지와 직사광선을 피하여 보관 및 운반하였으며, 분석은 24시간 이내에 실시하였음.

황화합물은 TD를 이용하여 농축하였으며, 농축된 시료는 황화합물에 선택성이 좋은 불꽃광도검출기(PFPD)가 설치된 GC(Clarus 500, Perkin-Elmer, USA)를 사용하여 분석하였음. 황화합물의 분석에 사용한 TD 및 GC/PFPD의 분석기 모습과 분석 조건을 다음 [그림 3-8]과 <표 3-3>에 나타내었음.



<그림 5-10> 황화합물 분석기 사진

<표 5-13> 황화합물 분석조건

기기 조작 조건								
저온응축장치		Trap low Temp.	Trap High Temp.	Trap Hold Temp.	Spilt Flow	Sampling Folw	Carrier Folw	
		℃	℃	min	ml/min	ml/min	ml/min	
		-30	250	5	15	20	1.5	
기체크로마토그램	오븐	Initial			60℃ (5min)			
		Ramp			10℃ /min			
		Final			200℃ (6min)			
	분리관	Elite-1, perkin-Elmer, 60m×0.32mm, 3um						
	검출기 [PFPD]	Temp.(℃)		H ₂ (ml/min)		Air1 (ml/min)		Air2 (ml/min)
		250		45		450		450

바. 휘발성유기화합물(VOCs)

휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds: 이하 VOCs) 중 악취물질로 관리되고 있는 스타이렌, 톨루엔, 자일렌, 메틸에틸케톤, 메틸아이소부티르케톤, 뷰티르아세테이트, 아이소부틸알코올 등 7개 물질은 TenaxTA 흡착제가 200mg 이상 충전 되어 있는 흡착튜브(Markes, UK)를 이용하여 측정하였음. TenaxTA 흡착튜브는 길이가 9cm, 외경이 1/4inch인 스테인레스 재질이며, VOCs 측정 전 흡착튜브에 포함되어 있는 VOCs 제거 및 cleaning을 위하여 컨디셔닝을 실시하였음. VOCs의 측정은 MFC가 내장되어있는 소형펌프(MP-Σ30, SIBATA, Japan)을 이용하였으며, 고체흡착법의 단점인 파과점을 고려하여 100mL/min으로 5분간 총 500mL의 시료를 채취하였음. 측정이 끝난 TenaxTA 흡착튜브는 4℃ 이하에서 냉장보관 하였으며, TD 및 GC/FID를 이용하여 분석하였음. VOCs 분석에 사용한 분석기기 및 분석 조건은 다음 [그림 3-9]과 <표 3-4>과 같음.



<그림 5-11> 휘발성유기화합물(VOCs) 분석기 사진

<표 5-14> 휘발성유기화합물(VOCs) 분석조건

기기 조작 조건								
저온응축장치		Trap low Temp.	Trap High Temp.	Trap Hold Temp.	Spilt Flow	Carrier Flow	Tube Temp.	Tube Desorb Time
		℃	℃	min	ml/min	ml/min	℃	min
		10	300	5	20	1.5	290	10
기 체 크 로 마 토 그 램	Oven	Initial			45℃ (12min)			
		Ramp			5℃ /min(at 170℃)-15℃ /min			
		Final			250℃ (6min)			
	Column	VF-1ms, Bruker, 60m×0.25mm, 1um						
	Detector [FID]	Temp.(℃)		H ₂ (ml/min)		Air1 (ml/min)		
		250		45		450		

사. 알데하이드류

알데하이드류의 시료채취는 MFC(Mass Flow Controller)가 내장되어있는 소형펌프(MP-Σ100, SIBATA, Japan)을 이용하여 1L/min으로 5분간 총 5L의 시료를 채취하였음. 알데하이드류 시료 채취 매체는 폴리프로필렌 튜브에 고순도로 정제된 2,4-DNPH가 코팅되어있는 2,4-DNPH 카트리지(Water, USA)와 알데하이드류 측정시 방해물질로 작용하는 오존을 제거하기 위하여 2,4-DNPH 카트리지 전단부에 KI가 채워져 있는 오존스크리버(Waters, USA)를 이용하였음.

채취가 완료된 시료는 내외부가 알루미늄으로 코팅되어 있는 용기에 개별포장하여 용매추출 전까지 4℃ 이하에서 냉장보관 하였으며, Acetonitrile 5mL를 사용하여 매우 느린 속도 (1mL/min)로 추출하였음.

알데하이드류 분석은 카보닐화합물과 DNPH와의 반응에 의해 생성된 DNPH 유도체를 UV검출기를 이용하여 360nm의 파장에 고정시킨 후 HPLC(Ultimate 3000, Thermo, USA)를 이용하여 분석하였음. 알데하이드류의 분석에 사용한 HPLC의 분석기기 사진과 분석조건은 아래의 [그림 3-10]와 <표 3-5>와 같음.



<그림 5-12> 알데하이드류 분석기 사진

<표 5-15> 알데하이드류 분석조건

기기 조작 조건				
운전조건		유량	이동상	주입량
		mL/min	Acetonitrile : H ₂ O	μL
		1.5	65 : 35	20
액체크로 마토그램	분리관	SunFire C18 (4.6mm × 25mm, 5 μm, Waters)		
	검출기 [UV]	360 nm		

아. 유기산류

유기산류의 시료채취는 0.1N-NaOH(수산화나트륨) 20mL를 각각의 흡수병에 10mL씩 나누어 담고 직렬로 연결한 후 2L/min으로 5분간 총 10L의 시료를 채취하였으며, 시료채취가 완료된 시료는 분석 전까지 4℃ 이하로 유지하면서 운반 및 보관하였음.

지방산류의 분석은 분석용 시료용액 5mL에 불순물을 제거하기 위하여 500℃ 이상에서 가열 처리한 NaCl 1.78g을 넣고, pH를 1로 맞추기 위하여 진한 염산(35%)를 주입하고 불소수지 (PTFE/silicone)재질의 셉텀이 있는 마개로 밀봉한 후 혼합하였음. 이를 교반기를 이용하여 바이알 내의 반응이 충분히 일어나게 하여 바이알 상층부 기체층으로 지방산이 균질한 상태로 분배되게 하였음. SPME(고체상미량추출) 파이버를 밀폐된 바이알에 꽂아 액상시료 위의 상단부 기체공간(head space)에 15분간 노출 시켜 흡착·농축 되게 한 후 기체크로마토그래피 (6890N, Agilent, USA)/질량분석기(5973N, Agilent, USA)로 주입 및 분석하였음.

지방산류의 분석에 사용한 Auto sampler 및 GC/MSD의 모습과 분석 조건을 다음 [그림 3-11] 과 <표 3-6>에 나타내었음.



<그림 5-13> 지방산류 분석기 사진

<표 5-16> 지방산류 분석조건

기기 조작 조건						
자동 시료주입장비		Pre Incubation time [m:ss]	Incubation Temperature [℃]	Vial Penetration in mm	Extraction time [m:ss]	
		5:00	90	27	15:00	
		Desorb to	Injection Penetration in mm	Desorption time [m:ss]	GC Run time [m:ss]	
		GC Inj 1	54	3:00	50:00	
기 체 크 로 마 토 그 램	Oven	Initial		45 ℃ (5분)		
		Ramp		5 ℃ /분		
		Final		250 ℃ (min)		
	Column	VF-1ms, Bruker, 60m×0.25mm, 1um				
	Detector [MSD]	Turbo speed	Column flow [mL/min]	MS source	MS Quad	
		100	0.3	230	150	
		Mode		Scanning Mass Range [amu]		
		Scan		35 ~ 350		

제4절 수질 및 대기오염물질 분석 결과

1. 수질 분석

가. 개요

- (1) 복합악취 및 지정악취 측정 종료 후 저류조에 있는 세정수를 이용하여 수질 분석을 하였음.
- (2) 분석항목은 온도, pH, ORP, 전기전도도, Cl_2 등 이었음.

나. 수질분석 결과

(1) pH

실험 중 산성가스 유입에 의한 pH 저하는 미미함. 차염소산칼슘과 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 에 의해 pH가 일정하게 유지됨.

(2) ORP

ORP는 +800 mV 이상의 높은 산화강도를 유지함. 설계 ORP +200 mV 보다 높은 값으로 추후 실험에서는 산화제 투입량 감소시켜 산화강도 및 산화제 투입량 최적화 필요.

(3) 전기전도도

(가) $\text{Ca}(\text{Cl})_2$ 와 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 지속적인 공급에 따라 저류액내의 이온농도가 상승하여 전기전도도가 상승되고 있음을 확인할 수 있음.

(나) 이온강도가 지나치게 높을 경우 악취의 용해속도에 영향을 줄 수 있으므로 관리 필요.

(다) 악취제거시설의 운영관리시 전기전도도를 통해 저류액교체시기를 판단할 수 있음. 교체시점은 추후 실험을 통해 산정 필요.

(4) Cl_2

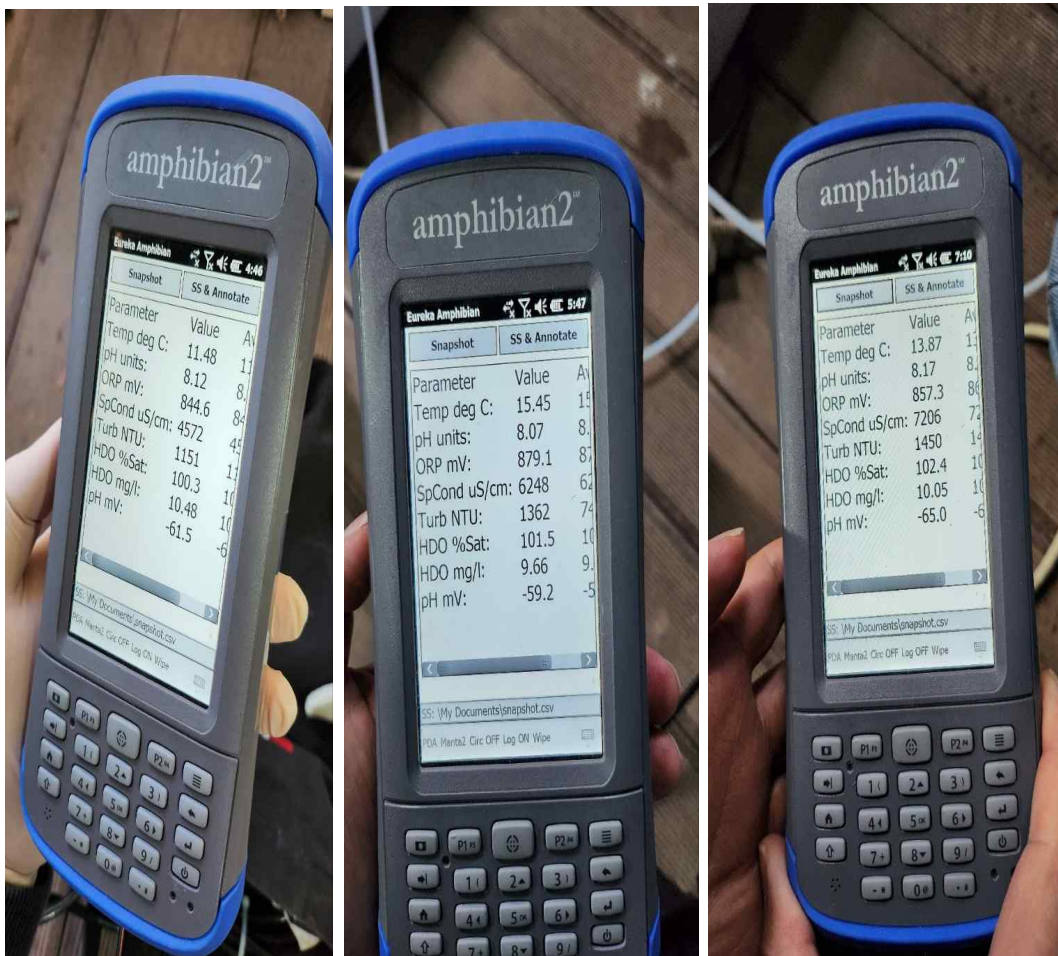
(가) 실험 전 염소농도는 0.01 mg/L로 이전 시험 및 휴지과정에서 모두 소진되었음을 알 수 있음.

(나) 설계 염소 농도는 약 5mg/L이지만 금회 시험에서는 검출한계(8.0mg/L) 이상 수치가 발생함. ORP와 연동되는 인자로 추후 산화제 투입량을 감소시켜 최적화할 필요가 있음.

<표 5-17> 수질분석 결과

구분	실험 전	실험 후 1 (돼지)	실험 후 2 (양고기)
Temp.(℃)	11.48	15.45	13.87
pH	8.12	8.07	8.17
ORP(mV)	844.6	879.1	857.3
전기전도도(μ S/cm)	4,572	6,248	7,206
Cl ₂ (mg/L)	0.01	Max(8.8)	Max(8.8)

수질분석기(eureka Manta)



(ORP Range : -999~999mV)

<그림 5-14> 수질 분석기

염소 측정기(Poket ColormiterII)



(High Range : 0~8mg/L Cl₂)

<그림 5-15> 염소 측정기

2. 대기오염물질 분석

가. 개요

- (1) 복합악취 및 지정악취 측정 시 최종배출구에서 대기오염물질을 분석하였음.
- (2) 분석항목은 CH_2O , CO , O_3 , VOC, H_2S 그리고 CO_2 등 이었음.

나. 대기오염물질 분석 결과

(1) CO

숯불에 의한 불완전연소의 산물로 예상되며 돼지고기가 양고기보다 더 높게 발생되었음. 철판 구이 시 CO 는 거의 발생 되지 않을 것으로 사료됨(추후 실험 필요).

(2) CH_2O

돼지고기가 양고기 보다 3배 이상 높게 검출되었음.

(3) O_3

양고기가 돼지고기 보다 7배 이상 높게 검출되었음. 오존이 발생하는 이유는 파악하지 못했음 (추후 실험 필요).

(4) VOCs

모두 불검출로 나왔음. 그러나 10ppm이 검출한계인 측정기기로 인해 정확한 수치인지 확인이 필요함(추후 실험 필요).

(5) H_2S

모두 불검출로 나왔음.

(6) CO_2

돼지고기, 양고기 비슷한 수준으로 검출되었음.

〈표 5-18〉 대기오염물질 분석 결과

구분	돼지고기	(양고기)
CH ₂ O (ppm)	9.6	2.7
CO (ppm)	36.9	9.6
O ₃ (ppm)	0.35	2.7
CO ₂ (ppm)	463	421
VOC (ppm)	0	0
H ₂ S(ppm)	0	0

〈표 5-19〉 오염물질별 측정기기 측정원리 및 범위

구분	측정원리	범위(ppm)	분해능(ppm)	오차
H ₂ S	전기화학식	0-50	0.01	≤ 3%F.S
O ₃	전기화학식	0-1	0.01	≤ 3%F.S
CO	전기화학식	0~500	0.1	≤ 3%F.S
VOC	PID광학원리	0-10	0.01	≤ 3%F.S
CO ₂	적외선원리	0-2,000	1	≤ 3%F.S
CH ₂ O	전기화학식	0-100	0.01	≤ 3%F.S

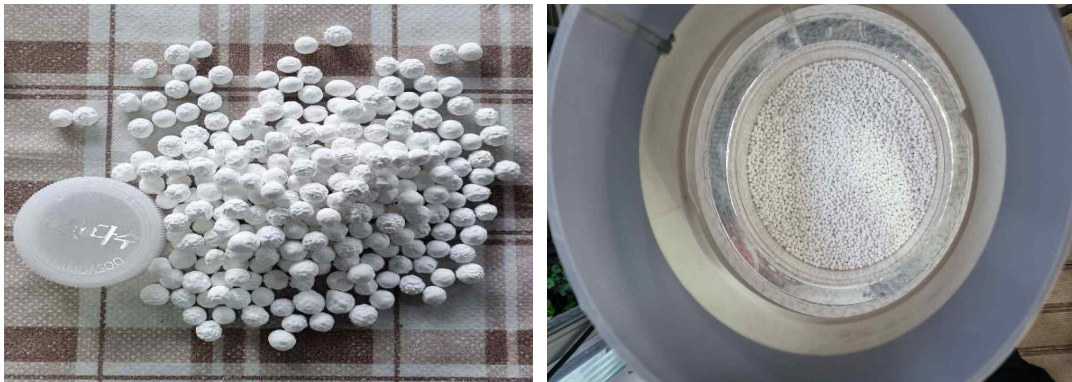
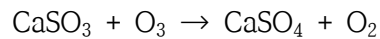
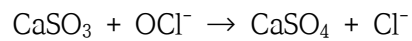
제5절 잔류 산화제 제거

1. 개요

전기집진기에서 미량의 오존취와 악취제거 장치에서 미량의 염소취가 발생된 것으로 예상되어 이를 제거할 필요가 있음. 이에 오존과 염소는 산화제로 환원 처리 시 미량의 취성을 제거할 수 있다고 판단됨.

2. 잔류 산화제 제거 원리

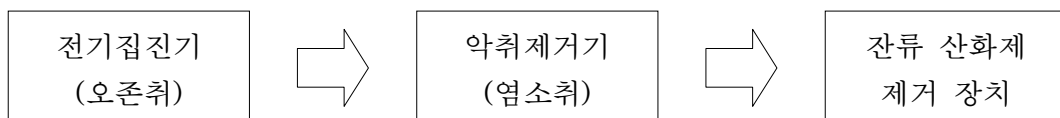
고형 환원제로 아황산칼슘을 적용하여 잔류 산화제를 환원 처리하고자 함. 제거원리는 아래와 같음.



<그림 5-16> 고형환원제(아황산칼슘)

3. 잔류 산화제 제거 장치 제작

악취제거 장치 이후 잔류 산화제 제거 장치를 이용하여 잔류 산화제를 환원 처리하여 최종 대기배출 처리하고자 함. 이후 실험 결과(11.23일 예정)를 토대로 원하는 결과가 도출 시 전체 시스템 구성할 예정임.





〈그림 5-17〉 잔류 산화제(오존취, 염소취 등) 제거 장치

4. 잔류 산화제 제거 장치 성능 및 악취 저감 실험

추가 실험(2022년 11월 23일 오후 5시)을 하여 아래에 사항을 점검할 계획이며, 이 결과는 추후 논문게재에 반영하도록 하겠음.

가. 오존취와 염소취를 잔류 산화제 제거 장치로 제거할 수 있는지 성능실험을 할 계획임
나. 또한, 아세트알데히드가 최종배출구에서 농도가 역전되어 나오는 현상을 규명하고자 추가로 돼지고기를 대상으로 악취 분석을 할 계획임.

다. 기 실험에서 복합악취 제거 효율이 약 30~50% 정도로 나왔음에 추가로 복합악취에 대해서 돼지고기를 대상으로 악취 분석을 할 계획임.

참고문헌

- 1) 실내공기오염물질 저감을 위한 광촉매 환기시스템의 성능 평가에 대한 실험적 연구, 송용우, 2022
- 2) TiO_2 광촉매를 이용한 돈사 내 암모니아 가스 제거. 김지혜, 2021
- 3) TiO_2 광촉매 공정을 이용한 황화수소 제거. 이지아, 2019
- 4) TiO_2 광촉매를 코팅한 유리섬유 필터의 톨루엔 제거특성에 관한 연구, 손걸, 2018
- 5) VOCs의 제거 특성을 지닌 ZnO 입자의 광촉매 특성에 관한 연구, 이석영, 2010
- 6) 악취물질의 저감기술, 박철우 외 5인, 2006
- 7) 레드머드를 활용한 오염물질 제어 기술, KEITI, 2021
- 8) 레드머드의 활용과 처리-인도의 현황, KISTI, 2013
- 9) 굴 패각 부산물의 지속 가능한 처리 및 최근 연구기술, 남근우 외 2인, 2018
- 10) 폐굴껍질을 이용한 악취물질제거, 박순강, 2000
- 11) 패각 폐자원을 활용한 악취제거기능을 갖춘 폴리에틸렌 필름, 전병철 외 4인, 2003
- 12) 패각 폐기물을 이용한 H_2S 제거에 관한 연구, 김영식, 2003
- 13) 굴패각 모르타르에의 휘발성 유기화합물 흡착에 대한 연구, 권성현 외 1인, 2013
- 14) 환경감리기술 감리 표준화(II)-금속표면처리시설중 도금시설, 1989, 환경청
- 15) 폐기물소각로 설계 및 오염물질처리기술 - 환경기술감리표준화III, 1991, 환경처
- 16) 환경기술감리 표준화(V) 환경오염방지기술 표준화, 1993, 환경처

- 17) 습식세정장치에서 발생하는 마이크로버블을 이용한 음식물쓰레기 발생 복합악취 처리, 김예진 외, 한국환경과학회지, 2015.
- 18) 선박 디젤기관 스크러버의 기초설계에 관한 수치적 연구, 이원주 외, 해양환경안전학회, 2017.
- 19) 수도권대기오염 및 미세먼지로 인한 인체위해성 저감방안 연구, 안재현, 수도권대기환경청, 2018.
- 20) Packed tower design and applications, R. R. Strigl, 1994.
- 21) 금속용융제련시설 - 환경기술감리표준화_IV, 환경처, 1992.
- 22) Wet Scrubbers Design of Spray Tower to Control AirPollutants, Bhargava, IJEPD, 2016.

주 의

1. 이 보고서는 서울녹색환경지원센터에서 시행한 연구개발사업의 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 서울녹색환경지원센터에서 시행한 연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.
4. 본 보고서 내용은 서울녹색환경지원센터에서 주지하는 내용과 다를 수 있습니다.



서울녹색환경지원센터

주소 : 서울시 동대문구 서울시립대로 163 서울시립대학교 제2공학관 215호

전화 : 02-6490-5400 팩스 : 02-6490-5407

홈페이지 : <http://sgec.uos.ac.kr>