

최종보고서

22-01-04-03-23

폐 기 물

**서울도심 적용가능한 음식물류폐기물 감량기기용
탈취시스템의 개발**

2022. 11. 23.

배 재 근



환경부지정
서울녹색환경지원센터
Seoul Green Environment Center

제 출 문

서울녹색환경지원센터장 귀하

본 보고서를 “서울도심 적용가능한 음식물류폐기물 감량기기용 탈취시스템의 개발”에 관한 연구보고서로 제출합니다.

연구기관명 : 서울과학기술대학교 산학협력단

연구책임자 : 배재근 교수(서울과학기술대 에너지환경공학과)

연구원 : 김도완 연구원

이종수 연구원

박순호 연구원

공동연구기관명 : 주식회사 이지엠테크

요 약 문

I. 연구개요

본 연구는 “서울도심 적용가능한 음식물류폐기물 감량기기용 탈취시스템의 개발”로 음식물 감량기기 제조업체인 (주)이지엠테크사가 사용 중인 촉매연소 탈취시스템의 에너지 소모와 악취 제거의 문제를 해결하기 위해 휴믹산 토양개량제를 활성탄으로 사용하는 탈취시스템을 개발하기 위한 연구이다.

II. 연구의 목적 및 필요성

서울시는 음식물쓰레기 수집·운반 및 처리비의 막대한 비용이 소요되었으며 대부분의 처리가 다른 지역(인천, 경기 등)에서 처리하는 실정이었다. 음식물쓰레기 감량 문제가 서울시뿐만 아니라 전국적 과제로 부상하여 환경부에서도 음식물쓰레기 감축을 위한 적극적인 정책 추진이 필요한 상황이었다. 또한, 음식물쓰레기는 관련 법규에 의거 재활용 처리토록 규정되어 엄청난 에너지와 재원이 투입되나 염분 함유, 혐잡물 등의 혼합으로 그 결과물인 사료(퇴비), 에너지 등은 시장에서 구매력과 경쟁력을 확보하지 못하고 있어 현실적인 대안인 감량 정책의 중요성이 강조되었다.

위와 같은 사유 등으로 서울시에서는 음식물쓰레기 감량을 위한 다양한 정책 추진이 필요하여 처리 다변화 방법인 자원 회수형 분쇄기 도입, 공동주택 대형감량기 보급 등 시범사업을 적극적으로 추진하였다.

그러나, 음식물류폐기물은 약 80~90%의 수분을 함유하고 있고 그 양을 줄이기 위해서는 가열, 미생물 반응 등으로 건조, 발효의 과정을 걸쳐 처리하여야 하고, 이러한 처리 과정에서 다량의 수분과 고농도의 악취가 발생하게 되어 이를 해결하는 것은 또 다른 처리과제가 되었다.

특히, 악취가스가 문제가 되며, 보통 음식물 처리기에서 발생하는 악취의 성분은 여러 종류의 가스가 복합적으로 발생하게 되며 음식물의 종류, 방치 기간, 처리온도 등 그 상태에 따라 가스의 성분이 달라지며 부패나 이상발효, 즉 혐기성 발효가 일어날 경우는 인체에도 해를 미칠 수 있는 독성이 있는 고약한 냄새의 가스가 다량 방출하게 된다.

이러한 악취가스를 제거하기 위하여, 음식물 처리기에는 음식물의 악취를 제거하는 탈취 필터가 갖춰지며, 이에 음식물류폐기물 탈취기술의 개발이 필요한 시점이다. 본 연구는 종래의 음식물류폐기물 감량기기에 적용할 수 있으며, 탈취기술이 가진 한계성(악취저감 효율 및 에너지

소모)을 개선한 탈취시스템을 개발하는 것이다.

Ⅲ. 연구의 내용 및 범위

본 연구의 목적인 음식물 감량기기용 탈취시스템을 개발하기 위한 연구의 내용과 범위는 다음과 같다. 설계도면 작성, 프로토타입 개발, 시제품 개발을 연구목표로 선정하였다.

설계도면 작성시에는 개발 대상기술은 음식물 감량기기용으로 활용 가능한 탈취시스템을 조사하고, 경제성이나 상용화 가능성 등을 종합적으로 검토하여 선정하였으며, 제작 가능한 수준으로 설계도면 및 조감도를 제작하였다.

프로토타입 개발은 작동이 가능한 제품을 제작하여, 음식물 감량기기 외부에 장착 후, 공기희석관능법으로 복합악취를 측정하였다.

시제품 개발은 연구기간의 부족으로 인해, 기간 내 이루어지지 못했으나, 현재 외관제작 중에 있으며, 기기 내부에 장착 후, 시운전을 통한 운영자료나 성능달성여부를 확보하고자 하였다.

연구목표	연구내용	범위
설계도면 작성	·개발 대상기술 설정	·음식물 감량기기용 탈취시스템
	·설계도면 제작	·제작이 가능한 수준의 도면 제작
프로토타입 개발	·프로토타입 제작	·성능검증이 가능한 수준의 제품 제작
	·성능검증	·목표성능 만족 여부 검증
시제품 개발	·시제품 제작	·실판매가 가능한 수준의 제품 제작
	·성능검증/보완	·목표성능 만족 여부 검증

Ⅳ. 연구결과

본 연구는 이지엠테크사에 적용되는 촉매산화탈취시스템을 대체하기 위한 새로운 악취제거 시스템 개발을 목표로 하였다. 새로운 악취제거 시스템은 천연물질을 흡착제로 사용하여 기존에 발생하는 백연발생이 없고, 에너지소비를 절감할 수 있는 탈취시스템을 개발하였다.

본 장치 개발을 위해 문헌조사 및 실험적 요소를 수행하였으며, 주요 연구결과로써는 토양개량제로 사용되는 천연물질인 휴믹물질 흡착제의 특성과 흡착성능을 확보하여, 설계인자를 도출하였다. 본 연구에서 흡착제의 탈취성능을 살펴보기 위하여 암모니아, 황화수소를 실험대상으로 하였으며, 회분식 실험에서 50ppm의 암모니아는 92%, 황화수소는 88.7%를 제거하여 악취

제거 기능을 확인하였다. 흡착제의 성능을 평가한 결과, 흡착능은 1.02 mg-NH₃/g, 0.15 mg-H₂S/g로 나타나, 일반 활성탄의 0.72mg-NH₃/g 보다는 암모니아 흡착능은 높은 것으로 나타났다. 다만, 황화수소는 일반 활성탄보다는 36mg-H₂S/g에 비해 매우 낮은 것으로 나타났다. 이는 휴믹물질이 약산성이므로 산성가스인 황화수소의 제거능력이 떨어지는 것으로 사료된다. 따라서, 휴믹물질 외에도 후단에 황화수소를 흡착할 수 있는 염기성계 활성탄이 필요할 것으로 사료된다. 이에 흡착실을 2중으로 구성하였으며, 1단에는 휴믹물질을 충전하고, 2단에는 황화수소 제거용 흡착제를 투입하여 이러한 문제를 해결 가능할 것으로 사료된다.

실 장착 가능한 프로토타입 제품을 개발하였고, 시운전 결과 복합악취 농도가 배출구 296배, 기기 주변 9배로 나타나 법적 기준 이내로 달성하였다. 시제품 시험결과에서는 휴믹산 활성탄은 활성탄을 미사용하는 경우에 비해 최소 1/3의 수준으로 악취를 제거하는 것으로 나타나, 산업용에 비해서는 성능이 배출구에서는 1.5배~2배, 기기주변에서는 2.5배~3배 낮은 것으로 나타났다. 세부적인 결과로는 휴믹산 활성탄의 종류(활성탄 1, 4)에 따라 배출구 기준 296~356배, 기기 주변에서는 8~10배로 나타났고, 염기성을 띄는 활성탄 4의 효율이 가장 좋은 것으로 나타났다.

다만, 연구기간이 부족하여 수행과정에서 실제 상용화 가능한 시제품 제작이 이행되지 못하였고, 이에 따른 충분한 시운전을 수행하지 못한 한계가 있다.

연구목표	연구결과물
설계도면 작성	·개발 대상기술 설계도면 및 구상도
프로토타입 개발	·휴믹물질 흡착제의 암모니아 및 황화수소 흡착능 ·프로토타입 ·공기회석관능법 결과
시제품 개발	·성능평가결과 ·특허 출원(진행 중)

V. 연구결과와 활용계획

본 연구의 결과물은 보완과 시운전 결과를 거쳐, 운영자료를 확보하여 시제품 개발을 완료할 것이다.

이후, 연구결과와 상용화를 위해 휴믹산 활성탄의 파과점을 도출하고, 흡착이 종료된 활성탄의 성분을 분석하여 토양 개량제로 활용하는 방안에 대해 법적 기준을 검토할 계획이다. 이를 완료한 이후에는 경제성을 분석하여, 휴믹산 토양개량제 상용화 가능성을 검토할 예정이다.

상용화 가능성을 검토 후, 타당하다면 현재 서울시에 사용되고 있는 (주)이지엠테크사의 현재 운영 중인 음식물 감량기에 설치되어 에너지소모를 절감하여 친환경 악취 저감 시스템으로써 활용할 계획이다.

목 차

제 1 장 서론	1
1.1 연구의 배경 및 필요성	2
1.2 연구내용 및 방법	3
제 2 장 음식물류폐기물 건조가스 악취특성	4
2.1 음식물류폐기물 건조 시 발생하는 악취 물질	5
2.2 악취저감기술 현황	6
2.3 국내 음식물 감량기 악취제거기술 현황	13
제 3 장 대상기술 개발	19
3.1 개발 대상기술 검토	20
3.2 개발 대상기술 선정	28
3.3 제품 구상	30
제 4 장 시제품 개발	33
4.1 흡착제 선정	34
4.2 설계인자 도출	40
4.3 시제품 제작 및 성능검증	42
제 5 장 결론	51
5.1 결론	52
5.2 향후 보완계획	53
참고문헌	54

표 목 차

[표 2.1] 주요 악취물질별 예시	5
[표 2.2] 악취가스 성분에 따른 흡수제의 종류	6
[표 2.3] 흡착제와의 주반응 예시	7
[표 2.4] 악취 제거 방법	11
[표 2.5] 악취물질별 탈취방법	12
[표 2.6] 주요 음식물 감량기 제조사 및 건조/탈취 방식	13
[표 2.7] 서울시 공동주택 음식물 감량기기 보급 및 기업별 점유율 현황	14
[표 2.8] 서울시 감량기 운영현황	14
[표 2.9] (주)태성에코테크의 음식물 감량기기 개요	15
[표 2.10] (주)태성에코테크의 음식물 감량기기 개요	16
[표 2.11] (주)이지엠테크의 음식물 감량기기 개요	17
[표 2.12] (주)우람의 음식물 감량기기 개요	18
[표 3.1] 축매산화와 축열축매산화 장단점 비교	21
[표 3.2] 휴믹산의 악취제거 성능	25
[표 3.3] 풀빅산의 악취제거 성능	25
[표 3.4] 악취저감기술별 악취 제거효율 및 경제성	28
[표 3.5] 가스텍검지관법을 통한 배출가스 악취측정 결과	31
[표 4.1] 대상 흡착제 개요	34
[표 4.2] 암모니아 탈취능력 평가 결과	36
[표 4.3] 황화수소 탈취능력 평가 결과	37
[표 4.4] 흡착제별 흡착능 평가	39
[표 4.5] 프로토타입 성능검증을 위한 성과항목 및 측정방법	43
[표 4.6] 배출구 관능법 평가결과	44
[표 4.7] 배출구 관능법 평가과정	44
[표 4.8] 기기 주변 관능법 평가결과	44
[표 4.9] 기기 주변 관능법 평가과정	44
[표 4.10] 시제품 성능평가를 위한 흡착제	45
[표 4.11] 배출구 관능법 평가결과	48
[표 4.12] 배출구 관능법 평가과정	48
[표 4.13] 기기 주변 관능법 평가결과	49
[표 4.14] 기기 주변 관능법 평가과정	49
[표 5.1] 연구개발 성과 자체평가 내용	53

그 립 목 차

[그림 1.1] 연구내용 및 방법	3
[그림 2.1] 일반적인 약액세정탑 원리	8
[그림 3.1] 축열축매산화 원리도	22
[그림 3.2] 비열플라즈마 탈취 원리	23
[그림 3.3] 비열플라즈마 원리도	24
[그림 3.4] 휴믹산 펄릿 제조방법	26
[그림 3.5] 휴믹산을 이용한 탈취 원리도	27
[그림 3.6] 활성알루미나와 연갈탄 사진	29
[그림 3.7] 개발기술 적용대상 제품의 도면(이지엠테크 SIMPLE-100E)	30
[그림 3.8] 이지엠테크 SIMPLE-100E의 물질수지	31
[그림 3.9] 부식질 탈취기 시제품 설비의 흐름도	32
[그림 3.10] 부식질 탈취기 시제품 설비의 3D도면	32
[그림 4.1] 기본 성능 측정 사진	34
[그림 4.2] 기본 성능 측정용 사진	35
[그림 4.3] 흡착성능 평가 실험절차	36
[그림 4.4] 악취가스 흡착 가능여부 판단을 위한 가스텍검지관 측정결과	37
[그림 4.5] 프로토타입 흡착실 설계도	41
[그림 4.6] 프로토타입 사진	42
[그림 4.7] 관능법을 위한 시료제작 사진	43
[그림 4.8] 시제품 장착 사진	45
[그림 4.9] 시제품 성능검토 사진	46
[그림 4.10] 시제품 성능검토 시 문제점	46
[그림 4.11] 배출구 관능법 평가결과	47
[그림 4.12] 기기주변 관능법 평가결과	47

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 필요성	2
1.2 연구내용 및 방법	3

1.1 연구의 배경 및 필요성

음식물류폐기물 종량제가 전국적으로 확대 시행되고, 음폐수 해양투기가 금지되면서 폐자원의 효율적 이용과 자원 순환형 에너지 기술개발의 시대로 전환이 필요한 시기를 맞고 있으며, 음식물류폐기물 처리에 따른 시민불편 해소 및 주거환경 개선 차원에서 시민 욕구와 시대 흐름에 알맞은 처리방법의 모색이 필요하였다.

서울시는 음식물쓰레기 수집·운반 및 처리비의 막대한 비용이 소요되었으며 대부분의 처리가 타지방(인천, 경기 등)에서 처리하는 실정이었다. 음식물쓰레기 감량 문제가 서울시뿐만 아니라 전국적 과제로 부상하여 환경부에서도 음식물쓰레기 감축을 위한 적극적인 정책 추진이 필요한 상황이었다. 또한, 음식물쓰레기는 관련 법규에 의거 재활용 처리토록 규정되어 엄청난 에너지와 재원이 투입되나 염분 함유, 협잡물 등의 혼합으로 그 결과물인 사료(퇴비), 에너지 등은 시장에서 구매력과 경쟁력을 확보하지 못하고 있어 현실적인 대안인 감량 정책의 중요성이 강조되었다.

위와 같은 사유 등으로 서울시에서는 음식물쓰레기 감량을 위한 다양한 정책 추진이 필요하여 처리 다변화 방법인 자원 회수형 분쇄기 도입, 공동주택 대형감량기 보급 등 시범사업을 적극적으로 추진하였다. 음식물쓰레기의 처리에 있어 시민이 더욱 편리하고 위생적이며 원천적으로 감량할 수 있는 다양한 방식의 감량을 도입할 필요에 따라 우선으로 공동주택 아파트 단지 내 150세대분의 음식물쓰레기를 처리할 수 있는 처리능력이 100kg인 대형감량기 보급 시범사업을 추진하였다. 최근에는 공동주택 혹은 다량배출사업장에서 발생하는 음식물류폐기물을 처리하기 위하여 정부에서도 음식물을 발효, 건조 또는 소멸방식 등을 유도할 수 있는 처리장치를 단체급식소 또는 아파트 단지별로 신축 시 의무적으로 설치를 할 수 있도록 규정화하고 있다. ‘20년 환경부 음식물류폐기물 감량기기 설치·운영 가이드라인’에 따라 전국적으로 시범사업이 확대되는 추세이며 각 지자체에서 설치를 고려하고 있다.

그러나, 음식물류폐기물은 약 80~90%의 수분을 함유하고 있고 그 양을 줄이기 위해서는 가열, 미생물 반응 등으로 건조, 발효의 과정을 걸쳐 처리하여야 하고, 이러한 처리 과정에서 다량의 수분과 고농도의 악취가 발생하게 되어 이를 해결하는 것은 또 다른 처리과제가 되었다.

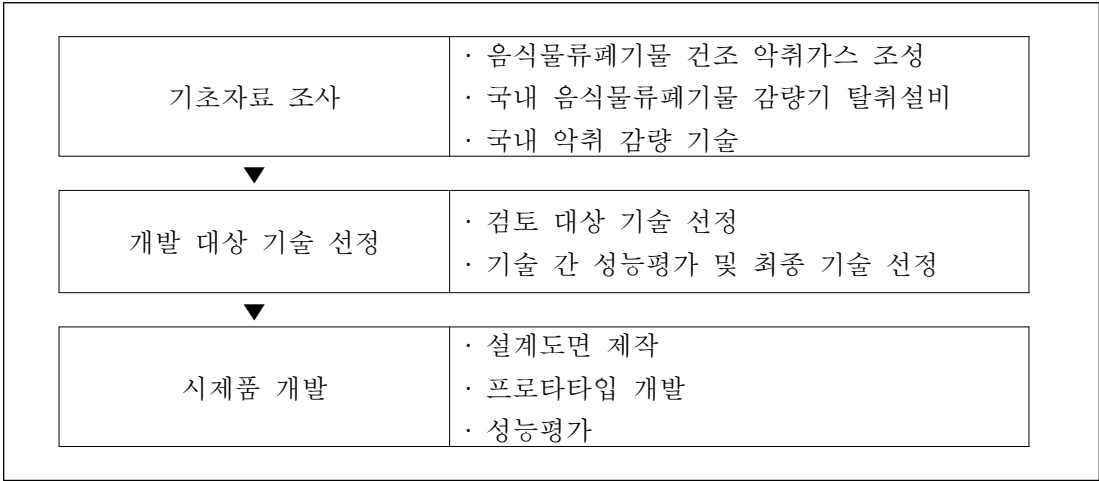
특히, 악취가스가 문제가 되며, 보통 음식물 처리기에서 발생하는 악취의 성분은 여러 종류의 가스가 복합적으로 발생하게 되며 음식물의 종류, 방치 기간, 처리온도 등 그 상태에 따라 가스의 성분이 달라지며 부패나 이상발효, 즉 혐기성 발효가 일어날 경우는 인체에도 해를 미칠 수 있는 독성이 있는 고약한 냄새의 가스가 다량 방출하게 된다. 이는 음식물류폐기물의 연속처리 과정에서 부분적으로 혐기적 조건

이 형성되어 진행될수록 더욱 심한 악취가 발생하게 되며 이때 발생하는 악취 원인을 제공하는 가스는 크게 산성, 중성, 염기성으로 분리할 수 있다. 산성계 가스로는 황화수소, 메틸메르캅탄 등의 메르캅탄류가 있고, 염기성계 가스로는 암모니아, 트리메틸아민 등의 아민류가 있으며 중성계 가스로는 황화메틸, 이황화메틸 등의 설파이드류, 아세트알데히드 등의 알데히드류가 있다. 이러한 악취가스는 인체에 유해하고 대기, 환경오염의 원인이 되며 주변 시설에 혐오감을 주어 그 상태가 심각하다.

이러한 악취가스를 제거하기 위하여, 음식물 처리기에는 음식물의 악취를 제거하는 탈취 필터가 갖춰지며, 이에 음식물류폐기물 탈취기술의 개발이 필요한 시점이다. 본 연구는 종래의 음식물류폐기물 감량기기에 적용할 수 있고, 기존 탈취기술이 가진 한계성을 개선한 탈취시스템을 개발하는 것이다.

1.2 연구내용 및 방법

본 연구의 내용 및 수행방법을 [그림 1]에 나타내었다. 기초자료 조사를 통해 현황을 파악하고, 문제점을 개선하기 위한 개발 대상기술을 선정하며, 개발 대상기술 선정 시에는 기술별 악취 제거효율(기술성)과 제품 제작 가격 및 운영비(경제성)를 검토하여 최적 기술을 선정하였다. 해당 기술을 기반으로 한 시제품 개발을 수행하였다.



[그림 1.1] 연구내용 및 방법

탈취성능 기준은 환경표지 인증기준 중 탈취제의 기준(EL608:2017)을 충족하면 성능을 만족하는 것으로 설정하였다.

제 2 장 음식물류폐기물 건조가스 악취특성

2.1 음식물류폐기물 건조가스 악취특성	3
2.2 악취저감기술 현황	6
2.3 국내 음식물 감량기 악취제거기술 현황	13

2.1 음식물류폐기물 건조 시 발생하는 악취 물질

음식물 처리시설 중 건조시설에서 발생하는 악취에 관한 연구에 의하면, 한국의 규제물질 8개 항목 중에서 5개 물질이 검출되었고 methyl mercaptan, hydrogen sulfide의 순으로 악취기여도를 나타내었으며, isovaleraldehyde의 악취기여도가 가장 높았으며 isobutyraldehyde의 비중도 상당히 높은 것으로 보고된 바 있다.

암모니아(NH_3 , ammonia)는 매우 고약한 냄새가 나는 악취의 주요 성분으로 우리가 단백질을 섭취하고 이를 분해하여 에너지를 얻고 나면 노폐물로 암모니아가 만들어지는데, 독성을 가지고 있는 물질이다.

아민(Amine)은 암모니아 NH_3 의 수소 원자를 탄화수소기 R로 치환한 화합물로 아민 중 트리메틸아민($(\text{CH}_3)_3\text{N}$, trimethylamine)은 어패류나 간유, 젤라틴, 치즈 등이 부패할 때 발생하고, 자극적인 생선 냄새, 생선 썩는 냄새를 가진 무색의 기체로서 강한 염기성이다.

황화수소(H_2S)는 무색, 특이한 냄새(달걀 썩은 냄새)가 있는 가연성의 유독 기체로 황을 함유하는 단백질, 예컨대 cysteine, cystine이나 액기스 중의 glutathione, cystine, methionine 등의 분해에 의해서도 생성된다. 독이 있고, 달걀 썩는 냄새가 나기 때문에 황화수소가 포함된 물은 음료수로는 부적당하며, 금속을 부식시키는 원인이 되기도 한다.

메르캡탄(R-SH , mercaptan)은 알코올의 산소 원자를 유황 원자로 치환한 화합물로, 썩은 달걀, 부추, 마늘과 같은 불쾌한 냄새가 나는 휘발성 유기 황화합물이며, 동식물, 천연가스, 원유 등 다양한 발생원으로부터 자연적으로 발생하는 유독성 악취물질이다.

주요 악취물질별 냄새의 형태는 다음과 같다.

[표 2.1] 주요 악취물질별 예시

화합물	냄새의 특성	원인물질명
황화합물	양파, 양배추 썩는 냄새	메틸메르캡탄, 다이메틸설파이드 등
	계란 썩는 냄새	황화수소 등
질소화합물	분뇨 냄새	암모니아, 에틸아민 등
	생선 썩는 냄새	메틸아민, 트라이메틸아민 등
알데히드류	자극적이며, 새콤하고 타는 듯한 냄새	아세트알데히드, 프로피온알데히드, 뷰틸알데히드, 발레르알데히드

자료 : 환경부, 악취관리 편람(2012)

음식물의 감량방식별 발생하는 악취특성은 매우 상이 하다. 발효소멸방식의 감량기의 경우, 복합악취는 6배수, 암모니아 0.1ppm, 황화수소 1.7ppm으로 보고되었다¹⁾. 반면, 열풍건조 방식은 미생물 분해가 아닌 건조를 통한 감량이므로 악취가 발생이 상대적으로 적다는 특징이 있다.

1) 발효건조소멸기의 악취 및 염분제거 기술 개발(2015)

2.2 악취저감기술 현황

2.2.1 물리적 방법

악취 중에는 화학반응 및 화학흡착제를 사용해서는 탈취할 수 없는 분자량이 큰 아민류, 머캅탄류, 설파이드류, 지방산류, 알데히드류, 케톤류, 알코올류, 탄화수소류가 함유되고 있으며, 이들은 활성탄을 주체로 한 물리 흡착제로 제거하는 것이 일반적이다. 물리 흡착제로는 활성탄, 실리카겔, 알루미나겔, 활성백토, 분자크로마토그래피 등이 있다. 활성탄은 사용 목적에 따라 분상, 입상, 비즈 상 등 여러 가지 형태의 것이 존재한다. 활성탄이 사용되는 분야는 대단히 넓으며, 탈취제로서는 공장 및 하수처리장에서의 배기, 배수장치, 정수장에서의 수처리 등 여러 방면에서 활용되고 있다. 활성탄 사용의 최대 장점은 흡착 가능한 대상 가스가 많고 수분 및 탄산가스의 영향을 적게 받는다. 또한, 재생, 재사용이 가능하다는 점이다. 단점으로는 혼합 성분 중 선택적 흡착성이 적으며, 암모니아 등의 염기성 가스의 흡착능이 약하다는 것이다.

(1) 흡수

물리적 방법 중 흡수는 정화 전의 악취가스에 들어 있는 가스나 휘발성 물질을 흡수제(adsorbent)로 물리적으로나 화학적인 성질을 이용하여 분리하는 현상이다. 액체에 들어 있는 악취가스 물질을 이때 흡수물질(adsorbent)이라 하고 이로써 모여지는 액체를 흡수액이라고 한다. 이 방법은 기체상과 액상의 농도 차이, 상경계면 그리고 접촉시간이 크면 클수록 흡수대상물과 흡수제 사이의 물질교류가 잘 일어나 처리효율이 높아진다. 제거 효과는 연소법보다 떨어지지만, 관리가 쉽고 건설비, 설치장소, 안정성 등을 고려하면 다른 방법보다 유리하기도 하다. 처리하고자 하는 악취물질에 적합한 흡수액과 흡수장치를 선택하는 것이 매우 중요하다.

[표 2.2] 악취가스 성분에 따른 흡수제의 종류

흡수제 종류	악취가스 주요 성분
중화흡수제	산액 : 묽은황산, 염산 알칼리액 : 가성소다
산화제	차아염소산 수용액, 염소수용액, 이산화염소, 과망산칼리 등.
용해제	비휘발성의 석유류, 에스테르계의 용제 등.

(2) 응축

응축의 경우 기체와 증기 상태의 폐공기 성분이 냉각에 의해 액화됨으로써 악취가스에서 분리되는 것을 말한다. 어떤 물질의 증기압은 농도 내지는 압력과 온도에 비례한다. 예를 들면 어떤 가스를 그 응해점 아래로 냉각시키면 응축된다. 즉, 액체의 응집 상태로 바뀐다. 이러한 액화는 필요한 기체상과 액상 사이의 제반 환경이 지속되는 동안 유지된다. 실제 공정에서는 악취가스에 수증기가 섞여 들어오는 경

우가 많아 수증기나 다른 물질들이 얼음을 형성하여 공정을 방해할 수 있으므로 주의해야 한다.

(3) 흡착

흡착이란 악취가스 내의 가스나 증기 형태의 성분 즉 흡착대상물(adsorptive)을 활성화된 고체 흡착제(adsorbent)의 경계면 표면에 축적하는 것이다. 현재 가장 많이 사용되는 톱밥, 왕겨, 토탄 그리고 활성탄 등을 이용한 무극성 흡착제의 흡착작용으로 악취 성분을 선택적으로 제거하는 물리적 흡착과 이온 교환수지, 인공제올라이트, 침착탄, 촉매 등을 악취 성분과 접촉해 어떤 화학반응을 진행하는 화학적 흡착 반응이 있다. 이 방법은 휘발성 저급지방산류, 메르캅탄류, 페놀류, 유기염소화합물류를 가장 효과적으로 제거할 수 있다. 또한, 중간 정도로 제거할 수 있는 성분으로는 황화수소, 암모니아, 아민류 등이 있다. 흡착법의 장점은 자재구매가 손쉬워서 어느 장소에서나 사용이 쉽고 복합냄새도 탈취시킬 수 있으며, 약간의 수분이 존재하더라도 악취 제거가 가능하지만, 시간이 지날수록 제거효율이 떨어지고 2~3개월에 한 번씩 교환해 주어야 하고 필요에 따라서는 재생장치가 필요하며 인력 소모가 많다는 단점이 있다.

[표 2.3] 흡착제와의 주반응 예시

성상	악취 물질	예시
염기성	암모니아	$\text{NH}_3 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{PO}_4$, $(\text{CH}_3)_3\text{N} \rightarrow \{(\text{CH}_3)_3\text{N}\}_2\text{PO}_4$
	트리메틸아민	$\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{S} + \text{H}_2\text{SO}_4$
산성	황화수소	$\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{S}$
	메틸메르캅탄	$\text{CH}_3\text{SH} \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{S}_2$
	프로피온산	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{COONa}$
	노르말부티르산	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COONa}$
	노르말발레르산	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COONa}$
	이소발레르산	$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{COOH} \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{COONa}$
	황화메틸	$(\text{CO}_3)_2\text{S} \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{SO}$
중성	이황화메틸	$(\text{CH}_3)_2\text{S}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$
	아세트 알데히드	$\text{CH}_3\text{CHO} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH}$
	스티렌	$\text{C}_8\text{H}_8 \rightarrow \text{물리흡착}$
	톨루엔	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 \rightarrow \text{물리흡착}$
	자일렌(크실렌)	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2 \rightarrow \text{물리흡착}$
	메틸 이소부틸 케톤	$\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2 \rightarrow \text{물리흡착}$
	아세트산 에틸	$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{C}_2\text{H}_5 \rightarrow \text{물리흡착}$
	이소부탄올	$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{OH} \rightarrow \text{물리흡착}$
	프로피온알데히드	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$
	노르말부틸알데히드	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CHO} \rightarrow \text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$
	이소부틸알데히드	$(\text{CH}_3)_2\text{CHCHO} \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{CHCOOH}$
	노르말발레르알데히드	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CHO} \rightarrow \text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$
	이소발레르알데히드	$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CHO} \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{COOH}$

자료: 환경부, 업종별 악취관리 매뉴얼(비료, 사료)

(4) 희석

악취를 공기와 희석하여 악취를 저감시키는 기술이다. 악취가 미량의 농도일 경우, 충분한 공기량을 희석하면 악취가 느껴지지 않는 원리를 이용한 것이다.

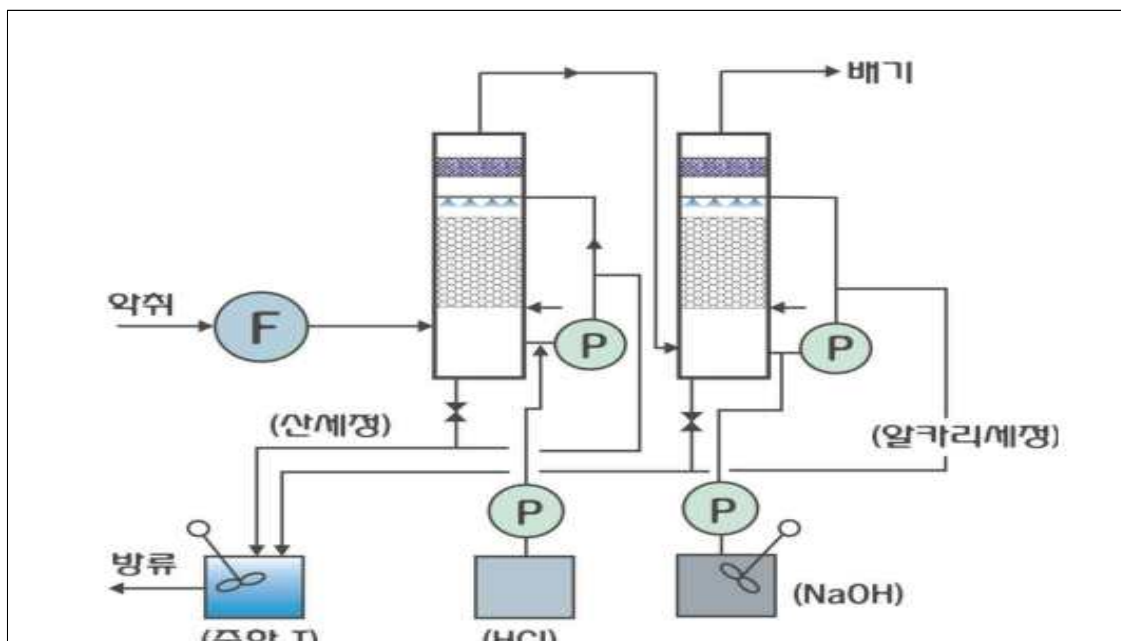
2.2.2 화학적 방법

화학적 방법은 중화반응을 이용하는 약액 세정과 연소방식인 VOCs를 고온의 상태에서 산화 분해시키는 것으로 직접 연소법(Thermal Oxidizer), 촉매 산화법(Catalytic Oxidizer), 축열(촉매)산화법(Regenerative Thermal Oxidizer, Regenerative Catalytic Oxidizer) 등이 있다.

(1) 약액 세정

약액 세정은 산성악취 물질인 저급지방산류, 머캅탄류 등에는 알칼리 처리한 점착활성탄, 이온교환수지, 알칼리침적 등이 유효하다. 한편 염기성 악취인 암모니아, 트리메틸아민, 디메틸아민 등은 산성계 흡착제가 사용된다.

약액세정탑은 세정수나 약액을 기액접촉면적을 넓게 해주는 충전층에 분사하여 악취를 흡수에 의한 제거하는 기전으로 세정수와 악취가스의 접촉과 흡수가 가장 중요하다. 기액간의 흡수력을 증가시키기 위한 방안으로는 $200 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 이상의 넓은 비표면적을 갖는 충전재를 사용, 산성악취와 염기성 악취를 별도로 제거하기 위한 충전층 단수의 분리, 인입 가스의 물리·화학적 특성에 맞는 약액의 주입과 약액주입을 조절할 수 있는 장치, 악취 물질이 세정액에 흡수된 후 다시 기상으로 증발하지 않도록 세정수의 주기적인 교체와 신수 공급이 필요하다.



[그림 2.1] 일반적인 약액세정탑 원리

(2) 직접연소

열에 의한 소각이란 연료에 산소와 에너지를 공급하여 산화시키는 것을 말한다. 연료가 주로 탄소, 수소 그리고 산소로 구성된 유기성의 악취가스 오염물질이면 완전 산화의 결과로 이산화탄소와 물만이 생성된다. 할로겐결합물은 이와는 반대로 할로겐수소산으로, 황결합물은 황산화물로 그리고 질소결합물은 질소산화물로 반응한다. 완전연소가 일어나지 않았을 경우 환경에 유해하고 독성을 떨 수 있는 중간생성물이 생성되는 단점이 있다.

(3) 촉매산화

촉매산화는 촉매가 개입되는 열적 연소이다. 촉매는 스스로는 화학적으로 변하지 않으면서 화학적 반응들이 시작되도록 해주고 반응을 가속화시켜 준다. 백금이나 니켈 등의 촉매에 의하여 300~400℃의 저온에서 산화분해시키는 방법으로 촉매산화법의 특징은 50 - 1,000 m³/hr 정도의 처리가스 용량이 효과적이며, 하수, 분뇨처리장, 식품공장, 유기비료공장, 석유화학, 피혁공장 등에 폭넓게 적용 가능하며, 특히 탄화수소계의 악취 물질의 제거에 유효하다. 단지 먼지, 동, 유리, 인, 규소, 중금속류는 촉매표면에 부착하거나 촉매독이 되어 활성화를 저하시키기 때문에 주의해야 한다. 이중 열회수율을 95 % 이상으로 낮은 에너지비용이 소모되고, VOCs 처리율을 95 % 이상으로 효과적으로 처리할 수 있는 기술은 축열연소시스템과 축열촉매연소 시스템이 있다.

2.2.3 생물학적 방법

생물학적 방법은 토양균, 오니균 또는 콤포스트(compost) 중의 미생물 및 효소제 등을 이용하여 탈취하는 것으로, 토양균을 이용한 탈취의 수성 비중의 미생물을 이용한 콤포스트 탈취, 활성슬러지균을 이용한 스크러버(scrubber)형 탈취, 활성슬러지균을 이용한 포기조 탈취, 바이오 필터를 이용한 탈취 등이 효율과 경제적인 면에서 탁월하여 실용성이 높다.

탈취에 적합한 토양은 부식질(Humic Substance)이 풍부하고, 통기성이 양호하며, 적당한 통수성과 보습성을 지닌 단립(團粒)구조여야 한다. 특히 수분함량은 악취물질의 흡착과 그 부수적인 반응들에 영향을 주는데, 비록 악취물질은 아니지만 대기오염물질인 산화질소에 대해 토양이 수분을 포함하고 있고 유입가스 중에도 수분이 포함된 경우가 그 반대의 경우보다 최고 10배까지 흡착이 잘되는 것으로 알려져 있다. 하지만 토양이 수분을 너무 많이 포함하면 유체 흐름에 저항을 주어 동력손실이 크고, 너무 적으면 토양 상의 토양이 건조해져서 갈라지며 이로 인해 미생물 활동이 감소하기 때문에 흡착능력이 저하된다. 그래서 토양 매질의 적당한 수분함량은 토양 상 설계 인자인 충전 높이를 결정하는데 깊은 관련이 있다. 한 연구보고에 따르면 유기성 악취를 퇴비 상으로 처리하는 경우 30초의 체류 시간이 적당하고, 반면에 무기성 기체를 토양탈취 상으로 처리하는 경우에는 미생물 활동이 활발하지

못해서 최소한 1분 정도의 체류 시간이 요구된다. 이들 방법은 모두 어떤 종의 미생물이 악취 물질을 섭취해 이것을 분해하여 무취화하는 것이다. 적용 범위도 유황계 악취, 질소계악취 및 탄화수소류 등 광범위하다. 그러나 화학반응형이나 흡착형과는 달리 악취물질의 농도변화에 따라 적용하기가 어렵고, 또 순간적인 반응은 불가능하다.

(1) 토양탈취

토양탈취법은 악취가스가 탈취상의 토양층을 통과할 때에 토양의 흡착과 토양수분에 용해된 후 토양미생물에 의한 산화분해와 토양 성분과의 화학반응 등에 의해 다른 형태의 무취 물질로 전환되는 것을 이용한 것이다.

일반적으로 토양 중에는 세균, 사상균, 방선균, 효모, 원생동물, 조류 등이 서식하고 있다. 이러한 미생물들은 지표 30~50cm 부근에 집중되어 있으며, 비옥한 토양 중에는 토양 1g 중 그 수가 수억에 달한다는 보고가 있다. 이러한 미생물들은 죽어서 토양층에서 부식되어 토양을 비옥하게 하는데 기여하며, 통상 자연 중의 미소균형 관계를 유지하며 공생토양에 의한 균형 관계를 깨뜨리지 않고 유지하기 위하여 습도, 온도, 유기성분 등 미생물의 중 번식에 필요한 환경인자들을 인위적으로 간섭할 필요가 있으며, 이러한 인위적 간섭 때문에 최적의 균형 관계를 유지토록 하는 것이 토양탈취의 핵심이다.

토양탈취과정은 크게 토양수분에 용해, 토양 미생물에 흡착(흡착과정과 분해과정), 토양미생물에 의한 산화로 구별할 수 있다. 이를 종합하면 토양탈취는 토양입자의 사이에 각종 악취성분을 포함한 가스가 천천히 통과하면서 토양입자에 흡착되고, 또는 토양층의 수분에 용해되며, 토양 중의 미생물에 의해 산화분해되어 취기가 없는 성분으로 변화시키는 것으로, 이러한 조작을 상시 반복함으로써 가스 중의 악취 성분이 서서히 제거되고, 그 기능은 장기간 유지되는 것이다.

(2) 활성오니

생물학적으로 활성을 띠는 매체는 액상의 박테리아 용액으로 소위 액상 미생물배양이라고 한다. 이것에 가스 형태로나 증발한 악취가스 성분이 흡수되어 물질적으로 변화된다. 바이오 세정기는 화학적이 아닌 생화학적으로 물질 성분을 변화시킨다는 점을 빼고는 화학적 흡수기와 거의 동일하다.

(3) 바이오필터

바이오필터는 악취가스가 미생물이 서식하는 필터물질이 쌓인 곳을 통과하게 되어 있는 생물학적 폐공기정화 장치이다. 이렇게 쌓인 더미를 통과하는 동안에 생물학적으로 분해가 가능한 악취가스 성분은 흡수되고 생화학적으로 변화 즉, 생물학적 물질분해하는 방법이다. 바이오필터의 작동능력과 효능은 악취가스의 성질과 어떠한 필터 물질을 사용했느냐에 따라서 달라진다. 또한 악취가스를 유입시킬 경우에

생물학적인 정화공정에서 중요한 두 가지의 환경조건은 반응 온도와 필터 물질의 함수율이 영향을 받게 된다. 그러므로 악취가스의 상태를 해당되는 공정조건에 맞추어 주어야 한다.

미생물에 의한 악취물질을 산화에 의해 제거하는 방식으로 바이오필터의 처리효율은 미생물의 발육상태와 체류시간에 의해 좌우된다. 미생물의 발육에 주요한 인자는 함수율, 영양염류, pH, 온도이며 운전상의 주요한 추가 인자는 먼지유무, 가스량의 변화를 들 수 있다.

악취방지시설은 24시간 가동이 어려워 미생물이 정상적인 발육이 가능하도록 영양염류의 공급이 필수적이며, 세정수의 pH를 조절할 수 있는 설비와 산성으로 변하는 세정수를 교체할 수 있는 설비의 구성이 필요하며, 농도에 따라 상이하나 최소 20초 이상의 체류시간을 유지하여 미생물에 의한 제거가 수월할 수 있도록 유지되어야 한다.

[표 2.4] 악취 제거 방법

구분	세부 방법		기술개요
물리적 방법	흡수		물로 악취물질을 흡수
	응축		악취물질을 응축하여 제거
	흡착		활성탄 및 흡착제에 악취물질을 흡착시켜 제거
	희석		악취물질을 공기에 희석하여 농도 저하
화학적 방법	약액세정처리	산·알칼리 세정	약액으로 악취물질을 흡수
		산화흡수 방식	악취물질과 약액의 화학반응으로 악취물질을 제거
	연소법	직접연소법	악취물질을 소각하여 제거
		촉매연소법	악취물질을 촉매를 이용한 저온소각으로 제거
생물학적 방법	토양탈취		악취물질을 토양 내 미생물을 이용하여 제거
	활성오니		악취물질을 미생물이 분해하여 제거
	바이오필터		악취물질을 여재로 충전된 미생물이 제거

[표 2.5] 악취물질별 탈취방법

물질명	악취물질별 탈취방법					
	세정	오존산화	흡착	연소	미생물	소취제
암모니아	○	○	○	○	○	○
메틸메르캅탄	○	○	○	○	○	○
황화수소	○	○	○	○	○	○
황화메틸	○	○	○	○	○	○
이황화메틸	○	○	○	○	○	○
트리메틸아민	○	○	○	○	○	○
아세트알데히드	○	○	○	○	○	○
프로피온알데히드	×	△	○	○	○	×
노르말부틸알데히드	×	△	○	○	○	×
이소부틸알데히드	×	△	○	○	○	×
노르말발레르알데히드	×	△	○	○	○	×
이소발레르알데히드	×	△	○	○	○	×
이소부탄올	×	△	○	○	○	×
아세트산에틸	×	△	○	○	○	×
메틸이소부틸케톤	×	△	○	○	△	×
톨루엔	×	○	○	○	△	×
스티렌	×	○	○	○	△	×
자일렌(크실렌)	×	○	○	○	△	×
프로피온산	○	○	○	○	○	○
노르말부티르산	○	○	○	○	○	○
노르말발레르산	○	○	○	○	○	○
이소발레르산	○	○	○	○	○	○

※ 비고 1. ○ : 처리가능, △ : 처리가능(적절한 접촉시간), × : 처리 불가
 2. 일반적으로, 세정법, 소취제 분무법은, 용제류 가스에는 적합하지 않음

2.3 국내 음식물 감량기 악취제거기술 현황

2.3.1 주요 음식물 감량기별 악취제거 방식

종래의 음식물 처리기의 탈취장치는 일반적으로, 활성탄을 이용한 흡착식 탈취필터 또는 금속촉매를 이용한 고온촉매방식을 이용한다. 그러나, 상기와 같은 종래의 음식물 처리기의 탈취 장치는 흡착식 탈취필터를 이용하면, 활성탄이 적용되어 낮은 온도에서는 그 성능이 유지되지만 높은 온도에서는 그 사용의 한계성을 지니고 있다. 일반적으로 음식물 처리기는 음식물을 처리하는데 있어서 높은 온도로 작동하여 처리 시간을 단축시키는 것이 중요하다. 따라서, 본체에서는 고온의 악취가스가 발생하는데, 이러한 고온의 가스는 활성탄의 성능을 저감시켜 흡착식 탈취필터의 내구성을 저감시킨다. 한편, 촉매식 탈취필터는 고온에서는 사용 효율이 좋으나, 저온에서는 그 효율성이 낮다는 문제점이 있다

국내 공동주택·업소용 음식물감량화기기의 원리 및 탈취시스템의 설치 사례는 아래 표에 제시하였다.

(주)엔비스의 건조로 가열 방식 감량화기기로 체인 스크리버를 이용하여 교반이 이뤄지며 건조로를 가열하여 음식물을 건조시킨 뒤 악취가스는 흡, 배기 팬으로 악취가스가 이동하며 최종적으로 활성탄을 이용하여 악취가스 제거하고 있다.

(주)콘포테크의 건조방식 감량화기기로 내부 온도 150℃로 음식물을 가열하여 딱딱하게 돌처럼 굳힌 후 저속rpm의 임펠러로 잘게 부셔서 가루 형태로 만든 뒤 악취가스는 포집하여 활성탄 필터를 사용하여 제거하고 있다. 다만, 잔재물에 대한 악취의 100% 탈취는 어려우며 기기 근처 소량 악취가 발생하는 단점이 있다.

EGM테크 사의 열풍건조방식으로 내부 교반 후 열풍을 이용하여 음식물을 건조시킨 뒤 악취가스는 기존 활성탄 방식이 아닌, 백금촉매를 이용하여 고온(350~480℃) 탈취하는데 에너지소모량이 높아 열원의 열을 회수하여 재이용한다.

(주)우람의 미생물 발효 소멸 방식으로 고온이 아닌 중온발효이기 때문에 기본적으로 악취가 타 발효 방식에 비해 약하며 미생물 분해 후 악취가스는 흡입하여 활성탄을 이용해 제거한다. 호기성 미생물 담체를 배양하며 내부 교반기를 통해 음식물과 미생물이 교반되며 온도가 그리 높지 않아 타 업체에 비해 악취 저감효율은 낮다.

[표 2.6] 주요 음식물 감량기 제조사 및 건조/탈취 방식

제조사	제품명	건조방식	탈취방식
(주)엔비스	E5A-99K	건조로 가열 방식	활성탄
(주)콘포테크	CT-HD100	건조로 가열 방식	활성탄
	CT-B200	미생물 발효 방식	활성탄
EGM 테크	SIMPLE-100E	열풍건조방식	고온촉매
(주)우람	WR-150	미생물 발효·소멸 방식	활성탄

2.3.2 서울시 감량기기 운영현황

서울특별시 공동주택 38,009세대가 380대의 감량기기를 사용하고 있으며, 상위 4개 기업 중 태성에코테크, 가이아, 이지엠테크를 사용하고 있으며, 기업별 감량방식은 건조방식 감량기기가 가장 많이 사용되고 있다.

[표 2.7] 서울시 공동주택 음식물 감량기기 보급 및 기업별 점유율 현황

(단위 : 대, %)

구분	합계	태성에코테크	가이아	이지엠테크	에코나라	기타
대수	380	151	105	83	31	10
점유율	100.0	39.7	27.6	21.8	8.2	2.6

[표 2.8] 서울시 감량기 운영현황

(단위 : 대, 세대)

연번	자치구	계	공동주택		기타
			설치대수	이용세대수	
	계	380	356	38,099	24
1	종로구	1	—	—	1
2	중구	—	—	—	—
3	용산구	69	63	656	6
4	성동구	—	—	—	—
5	광진구	6	6	726	—
6	동대문구	—	—	—	—
7	중랑구	—	—	—	—
8	성북구	151	150	16,834	1
9	강북구	—	—	—	—
10	도봉구	—	—	—	—
11	노원구	33	31	5,210	2
12	은평구	2	—	—	2
13	서대문구	2	—	—	2
14	마포구	1	—	—	1
15	양천구	2	1	600	1
16	강서구	39	37	4,653	2
17	구로구	22	22	2,649	—
18	금천구	4	2	619	2
19	영등포구	—	—	—	—
20	동작구	—	—	—	—
21	관악구	35	33	4,313	2
22	서초구	8	7	1,726	1
23	강남구	—	—	—	—
24	송파구	1	—	—	1
25	강동구	4	4	567	—

자료 : 서울특별시 생활환경과(2020.12 기준)


2.3.3 서울시 주요 음식물 감량기 현황

(1) (주) 태성테크

(주)태성테크의 대표적인 감량기기는 TSE-100으로 99kg/24시간의 처리용량이다. 처리기술은 축매를 활용한 건조기술을 활용하며, 탈취기술로는 활성탄 흡착방식을 적용하고 있다.

건조 후 발생하는 수증기는 응축수로 액화시켜 증류수 형태로 오수로 배출한다. 건조열로 발생된 악취가스는 활성탄을 통해 1차제거되며, 황토 흡착제를 통한 2차 제거를 통해 처리하고 있다. 100% 탈취는 불가하여 기기 주변에 소량 악취가 불가피하게 발생하고 있다.


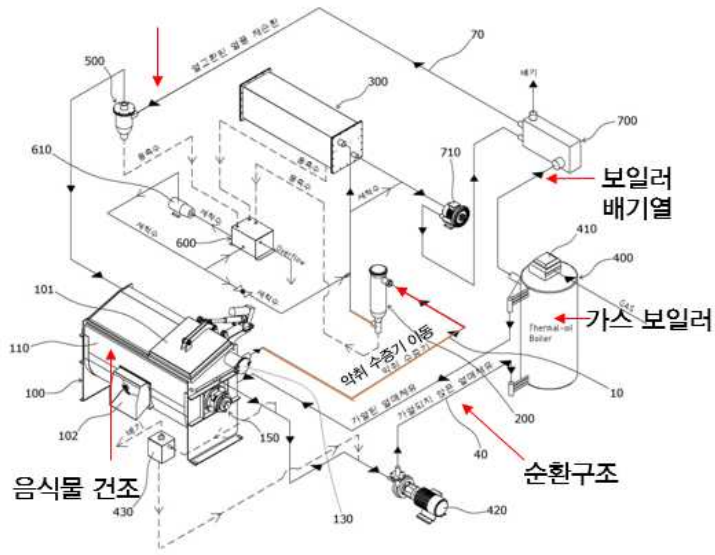
[표 2.9] (주)태성테크의 음식물 감량기기 개요

제품 사진	제품 정보	
	제조 업체명	(주) 태성테크
	제품명	TSE-100
	규격	99kg/24h
	처리/탈취기술	축매건조분해방식/ 활성탄 흡착법
기술개요도		
<div> <div>자체 축매기술로 교반 활성화</div> <div>건조 후 악취가스 포집</div> </div> <pre> graph LR A[음식물 건조] --> B[악취가스] B --> C[외부배출] A --> D[응축수 증류수 형태] D --> E[오수 배출] A --> F[1차 악취제거 활성탄] F --> G[2차 악취제거 황토 흡착제] G --> C </pre>		

(2) (주) 가이아

(주) 가이아의 대표적인 감량기기는 Gd-100HD로 100kg/24시간의 처리용량이다. 처리기술은 열풍 건조방식을 활용하며, 탈취기술로는 폐쇄회로 방식을 적용하고 있다. 음식물 건조시 발생하는 고온의 악취 수증기는 컨덴서를 통해 응축취 내 수분을 응축시켜 제거함과 동시에 온도를 낮추고, 악취 수증기를 보일러 배기열로 재가열하여 다시 건조장치 내부로 재공급하는 폐쇄회로 구조로 외부로 배출되지 않는다. 가스보일러를 이용하여 열매체유를 가열에 건조장치에 공급하며, 사용된 열매체유는 다시 가스보일러에 유입되는 순환구조를 이루고 있다.

[표 2.10] (주)태성애코테크의 음식물 감량기기 개요

제품 사진	제품 정보	
	제조 업체명	(주)가이아
	제품명	Gd-100HD
	규격	100kg/24h
	처리형식/탈취기술	열풍건조방식 폐쇄회로
기술개요도		
<p style="text-align: center;">응축수가 제거된 악취 수증기가 건조기로 재 유입 (폐쇄회로)</p> 		


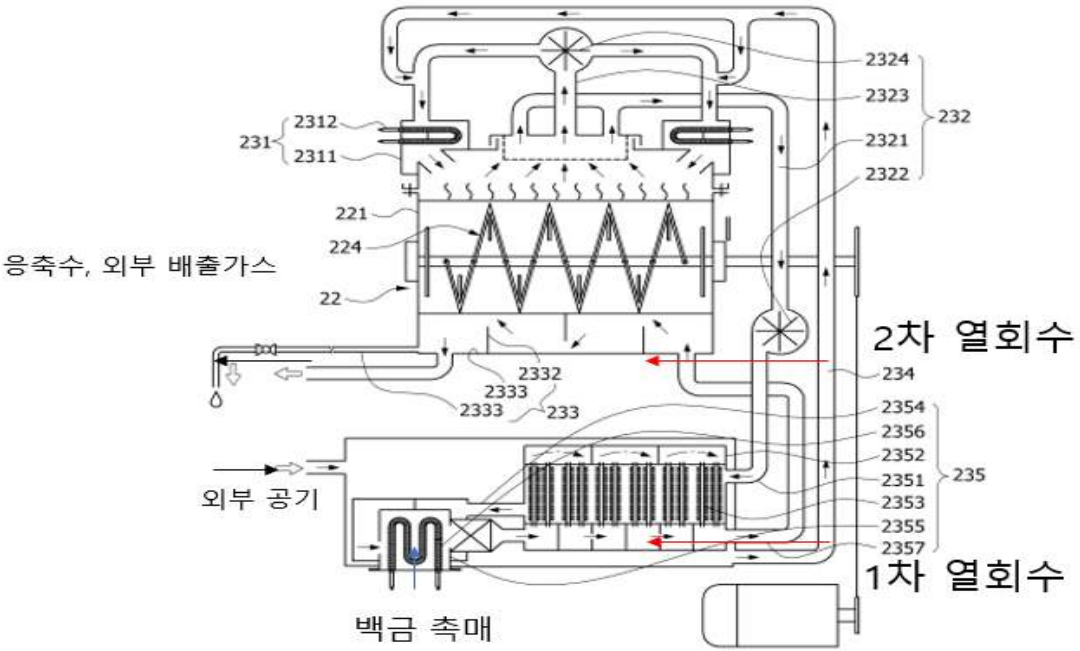
(3) (주) 이지엠테크

(주) 이지엠테크의 대표적인 감량기기는 SIMPLE-100E로 99kg/24시간의 처리용량이다. 처리기술은 열풍 건조방식을 활용하며, 탈취기술로는 촉매연소법 방식을 적용하고 있다.

악취 가스는 백금 촉매를 이용한 촉매 연소법을 사용하여 고온에서 탈취한다. 그러나 고온으로 악취가스를 탈취함에 따라 소모 전력량이 높아 촉매 열원의 열을 회수하여 재이용하고 있다. 고온의 열은 열교환기를 통해 외부공기 가열에 1차로 재이용하며, 열풍 자케조의 교반조 하부가열로 2차로 재이용한다.

촉매를 사용한 고온으로 탈취하기 때문에 악취에 대한 민원은 적은편이나, 에너지 소모량이 높아 전기료가 과다발생하고, 약간의 백연이 발생하여 문제가 되고 있다.

[표 2.11] (주)이지엠테크의 음식물 감량기기 개요



제품 사진	제품 정보	
	제조 업체명	(주)이지엠테크
	제품명	SIMPLE-100E
	규격	99kg/24h
	처리형식/탈취기술	열풍건조방식 촉매 연소법
기술개요도		
		

(4) (주) 우람

(주) 우람의 대표적인 감량기기는 에코클린(WR 시리즈)로 70~150kg/24시간의 처리 용량이다. 처리기술은 저온발효방식을 활용하며, 미생물로 악취를 제거함으로써 별도의 탈취시스템을 적용하고 있지 않다.

그러나, 실제로는 제품 하부의 관을 하수관로와 연결하여 응축수와 악취를 배출하고 있어, 문제로 제기되고 있다.

[표 2.12] (주)우람의 음식물 감량기기 개요

제품 사진	제품 정보	
	제조 업체명	(주)우람
	제품명	WR-150
	규격	150kg/24h
	처리형식/탈취기술	미생물을 이용한 발효소멸방식
기술개요도		
		

제 3 장 대상기술 개발

3.1 개발 대상기술 검토	20
3.2 개발 대상기술 선정	28
3.3 제품 구상	30

3.1 개발 대상기술 검토

‘20년 기준 서울시 감량기기는 태성테크, 가이아, 이지엠테크는 건조식감량방식을 사용하고 있고, 기업별 감량 방식 중 건조 방식 감량기기가 가장 많이 사용된다. 이에 건조감량방식에 초점을 맞춘 악취 저감시스템 개발 방향성 확립하고, 건조 방식 감량기기에 탈취시스템 개발 방향 초점을 맞추었다.

본 연구에서는 개발 대상기술을 선정하기 위해 종래의 탈취시스템을 개선하거나, 비열플라즈마, 휴믹산을 이용하여 탈취하는 3가지 방안을 검토하였다.

(1) 축열축매산화

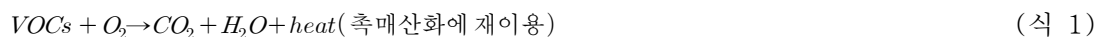
EGM테크 사의 열풍건조방식으로 내부 교반 후 열풍을 이용하여 음식물을 건조시킨 뒤 악취가스는 기존 활성탄 방식이 아닌, 백금촉매를 이용하여 고온(350~480℃) 탈취하는데 에너지소모량이 높아 열원의 열을 회수하여 재이용하는 원리이다.

탈취시스템에서 고온의 열원은 교반조 하부 가열로 1차 열 회수, 외부공기 가열로 2차 열 회수로 에너지 재이용하고, 배출 전 일부 건조물을 잔류시켜 투입 하는 음식물과 섞어 수분을 분산시키는 장점이 있다.

직접연소법과 촉매산화법은 금속제 열교환기를 이용한 방식이며, 직접연소법은 연료비가 많이 소요되는 단점이 있는 반면, 촉매산화법은 촉매의 특성을 이용해 비교적 낮은 온도에서 VOCs를 무해한 이산화탄소(CO₂)와 물(H₂O)로 분해하여 직접연소법의 단점을 보완한 방법이다.

그러나, 탈취시스템은 수시로 가동되어야 하며, 많은 에너지가 소모되는 단점이 있다. 이에 축열기능을 탑재하는 축열 촉매 산화 방식(Regenerative Catalytic Oxidation, RCO)을 제안하였다. RCO 방식은 RCS (Regenerative Catalytic oxidation System)로 명명되기도 하는 일반적으로 악취성 물질의 제어에 사용되는 기술이다. RCO의 구조는 크게 bed 타입과 rotary 타입 두 가지로 구분할 수 있는데 일반적으로 bed 타입을 적용하고 있다. RCO는 VOCs(Volatile Organic Compounds) 등을 세라믹 축열재를 이용하여 가열한 후 촉매층을 통과시켜 CO₂와 H₂O로 분해시키는 설비로서 연소용 버너, 세라믹 축열재, 촉매, 연소실, 댐퍼 시스템으로 구성된다. 일반적으로 2 chamber 형태로 운영하면서 각 격실별로 순차적으로

교대운전을 통해 처리하며, 처리효율을 높이기 위해 격실을 1개 더 운영하는 3 chamber로 구성하기도 한다²⁾.



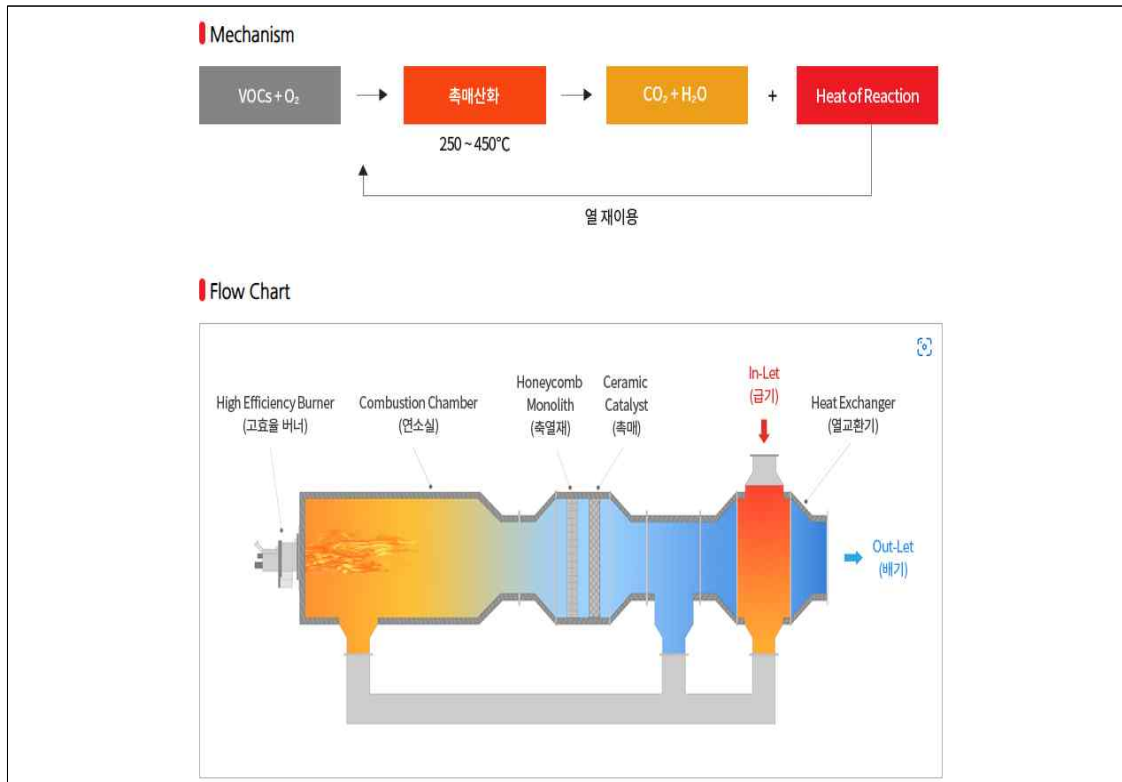
RCO 방식은 200~400℃로 연소온도가 낮아 연료소비량을 줄일 수 있고 thermal NO_x의 생성을 억제할 수 있다는 특징을 가진다. 또한 산화처리 후 가스 연소 시 발생하는 열량을 열교환용 축열재를 사용하여 약 50~60%의 열을 회수할 수 있으므로 에너지 비용 절감 역시 가능한 기술로 평가받고 있다

2) 축열식 촉매 산화(RCO) 반응의 성능 최적화를 위한 전산 해석

[표 3.1] 촉매산화와 축열촉매산화 장단점 비교

구분	개요	특징	단점
촉매산화 (CO)	-VOCs를 연소온도보다 낮은 온도인 250℃~400℃로 가열하여 백금, 코발트, 동, 니켈 등의 촉매 산화 작용에 의해 처리하는 방법	-표면적이 큰 촉매의 사용으로 제거효율이 높음. -질소산화물이 2차 오염 물질이 적음. -저온 연소 방식이므로 연료의 소모가 적고, 고효율의 열교환기를 사용해 높은 경제성 보유.	-촉매독으로 인해 처리 대상 가스에 따라 적용 범위가 한정될 수 있음. -촉매의 교환 필요
축열촉매산화 (RCO)	-세라믹 축열체를 이용하여 가열 후 촉매산화를 통해 분해하는 방법	-높은 열회수율로 연료 소비량 절감 -간단한 구조와 저압력 손실 발생. -저 NOx 발생	-촉매의 교환 필요. -촉매독 발생 우려.

RCO용 촉매로 사용하기 위한 저온활성, 고온내구촉매 연구 개발은 아래와 같다. (주)희성촉매는 경유자동차용으로 중량 5 % 이내의 인화합물로 도핑하고 750℃ 이상의 고온에서 소성하여 저온산화활성 및 내황성을 증진한 기술 (특허0928868)을 개발 진행하였다. 또한 산성 성분인 지르코늄아세테이트를 염기성 성분인 백금 및 팔라듐 (2:1)이 함침된 활성알루미나에 후 디핑 처리하여 백금 및 팔라듐 성분과 지르코늄 성분이 염을 형성하여 저온 산화활성을 개선한 기술 (특허0681334)을 개발하였다. 국내의 VOCs 저감용 RCO 시스템에 쓰이는 축열재는 대부분 독일, 오스트리아에서 수입하고 있으며, 국내에서는 총괄기관인 (주) 엔바이온에서 SiC 축열재 개발 관련 연구를 진행하고 있다. 한편, 전세계적으로 SiC 축열재의 상용화는 아직 진행되고 있지 않다. 본 연구를 수행한 (주)엔바이온과 한국세라믹기술원이 SiC 소재를 이용하여 축열재를 제조하는 방법에 대한 특허를 보유하고 있다.



자료 : 엔비피코리아

[그림 3.1] 축열촉매산화 원리도

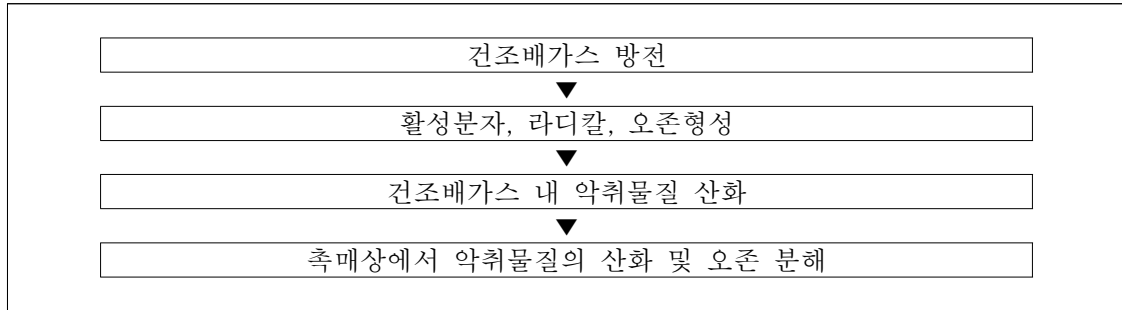
(2) 비열플라즈마

플라즈마는 제4의 물질 상태라고 알려져 있는 물질의 형태이다. 강력한 전기장 혹은 열원으로 가열되어 기체상태를 뛰어넘어 전자, 중성입자, 이온 등 입자들로 나누어진 상태. 이때는 전하 분리도가 상당히 높으면서도 전체적으로 음과 양의 전하수가 같아서 중성을 띠게 된다. 전자가 열을 받아 원자에게서 자유로워지면 끝이기 때문에 당연히 어떤 원소든 플라즈마화 될 수 있다.

비열플라즈마 기술은 빠르게 펄싱하는 고전압 전원 공급 장치에 연결된 고전압 전극을 활용한다. 전극의 구성은 전극 공극 내에서 빠르게 역전되는 고강도 전기 플럭스를 생성합니다. 오염된 공기 흐름이 전극 갭을 통과함에 따라, 고강도 전기 플럭스 밀도는 기류 내의 휘발성 유기 화합물(VOC) 분자를 파괴하고, 매우 낮은 질량 전자를 매우 높은 온도로 스트립 및 가열한다. 대량의 마이크로 방전 스트리머, 본질적으로 보라색 광선을 생성하는 작은 번개 섬광이 생성된다. 이 스트리머는 오염된 기류의 이원자 산소 및 수증기 분자와 충돌하여 반응성 산소 종 (ROS) 및 히드록실 라디칼 (\bullet OH)으로 알려진 반응성이 높은 산화 라디칼을 형성한다.

시스템 내부의 비열 플라즈마 내에서 ROS, \bullet OH 및 자유 전자는 파쇄된 VOC 분자와 순간적으로 반응하여 주로 수증기와 이산화탄소를 생성한다. VOC 산화를 활용하여 냄새를 제거하는 주요 이점은 측정 가능한 열 상승이 거의 없는 $>1,350^{\circ}$ 화씨 ($>730^{\circ}$ C)의 고온에서만 발생하는 산화 반응이 빠르게 발생할 수 있다. NTP 산

화 기술은 처리된 기류의 열 상승이 거의 없기 때문에 에너지 효율이 높다.



[그림 3.2] 비열플라즈마 탈취 원리

장치 내부에 설치되면서, 공기를 유입하는 공기 유입부와, 공기를 정화하는 필터부 및, 상기 필터부에서 정화된 공기를 차량의 실내로 배출하는 공기배출부를 포함하여 구성되어 장치 주변에 공기를 청정하게 유지하는 장치에 있어서, 상기 필터부의 전면에 형성되는 방전전극부와, 상기 필터부의 후면에 형성되는 유도 전극부 및, 상기 방전 전극부와 유도 전극부에 전압을 인가하여 상기 방전 전극부와 유도 전극부에 의한 방전을 통해 오존을 발생시킴으로써 탈취를 실시한다.

플라즈마의 방전극에 일정 전압을 가하면, 글로우 방전이 일어나며, 이때 주입된 압축공기의 수분과 산소의 분해로 인해 활성라디칼을 발생하고, 발생한 활성라디칼은 O, H, OH, HO₂이다. 결과적으로 활성라디칼, O₃에 의해서 분해된 NH₃, H₂S, C₆H₆은 HNO₃와 H₂SO₄, H₂O, S, H₂등으로 전환된다.

국내에서 대기압 플라즈마를 이용하여 악취를 제거한 연구³⁾에 따르면, 암모니아, 황화수소, 벤젠 모두 저농도에서 분해를 실시하였으며, 1분 이내의 시간에 제거되었다.

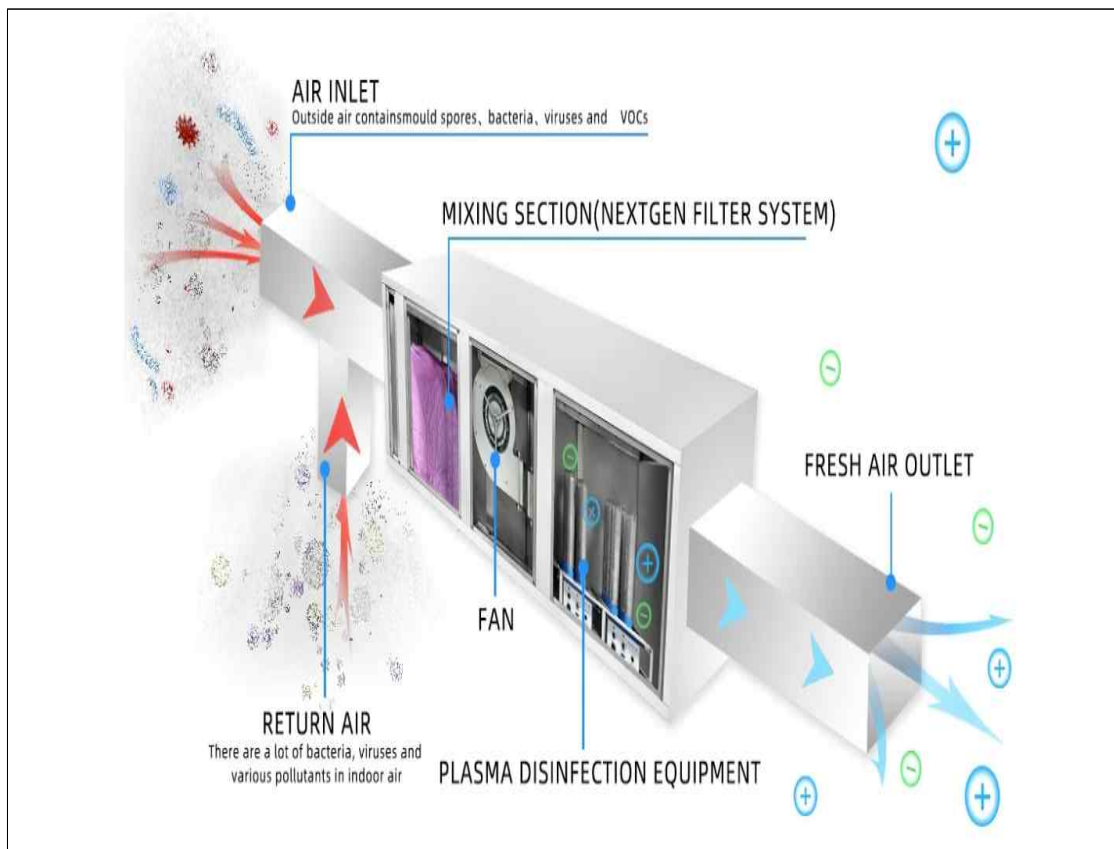
암모니아는 초기농도 15~50 ppm까지 대기압 플라즈마와 반응시켰을 때 6초 후부터 빠르게 제거되었으며, 24초에서 15 ppm은 46.67 %, 20 ppm은 55 %, 30 ppm은 46.67 %, 42 ppm은 50 %, 50 ppm은 64 % 분해되었다. 초기농도 50 ppm의 제거효율이 가장 높았으며, 초기농도가 높을수록 제거효율이 높은 경향을 보인다. 초기농도 50 ppm 경우 42초에서 완전히 분해되었으며, 초기농도 15 ppm, 20 ppm, 30 ppm, 42 ppm은 48초에서 완전히 분해되었다. 황화수소는 초기농도 21~71 ppm까지 대기압 플라즈마와 반응시켰을 때 6초 후부터 빠르게 제거되었으며, 24초에서 21 ppm은 57.14 %, 30 ppm은 53.33 %, 41 ppm은 48.78 %, 50 ppm은 54 %, 71 ppm은 50.70 % 분해되었다. 초기농도 21ppm이 제거효율이 가장 높았으며, 대부분 비슷한 경향을 보였다. 초기농도 21 ppm, 30 ppm, 41 ppm, 50 ppm, 71 ppm 모두 48초에서 완전히 분해되었다.

벤젠은 초기농도 12.72~33.93 ppm까지 대기압 플라즈마와 반응시켰을 때 4초 후부터 빠르게 제거되었으며, 12초에서 12.72 ppm은 88.10 %, 16.80 ppm은 76.04 %, 33.93 ppm은 66.57 % 분해되었다. 초기농도 12.72 ppm이 제거효율이 가장 높았으며,

3) 플라즈마를 이용한 악취물질 분해 특성

며, 농도가 낮을수록 제거효율이 높았다. 초기농도 12.72 ppm의 경우 24초에서 완전히 분해되었으며, 초기농도 16.80 ppm, 33.93 ppm은 24초 이후에 완전히 분해되었다

따라서 고농도의 악취오염에서도 대기압 플라즈마를 이용한 악취 제거가 가능할 것으로 판단되며, 대기압 플라즈마의 방전 출력을 증가시킨다면 악취 분해가 더욱 빠르게 가능할 것으로 판단된다. 또한, 두 가지 이상의 악취 물질이 섞여서 발생하는 복합악취에 대해서도 악취 분해도 가능할 것으로 판단된다.



자료 : EddaAir

[그림 3.3] 비열플라즈마 원리도

(3) 휴믹산 활성화탄

휴믹물질 연구 논문을 찾아보면 폴빅산, 휴믹산의 물질이 암모니아 가스를 줄여준다는 사실을 알게 되면서 부터 탈취가 가능하다. 여기서 휴믹물질은 천연 킬레이팅 효과로 악취 원인 물질은 분해하는 역할을 한다. 마스킹 효과로 악취를 덮어 순간적인 효과를 주는 제품이 아닌 악취의 원인을 분해하여 냄새를 탈취하는 메카니즘으로 냄새가 사용 직후 바로 제거되는 것은 아니지만 사용한 곳에 악취를 발생시키는 원인 발생을 억제하는 역할을 가지고 있다.

휴믹산은 암모니아(Amonia), 메틸메르캅탄(methylmercaptan), 황화수소(Hydrogen sulfide), 트리메탈아민(Trimethylamine) 감소효과에 대한 선행연구 결과폴빅산은 탁월한 소취효과 (악취감소)를 나타내었다. 즉, 암모니아 99.6%이상 제거, 메틸메르캅

탄 (methylmercaptan) 12.2%이상 제거, 트리메틸아민 99%이상 제거 및 황화수소 38.8% 이상을 제거할 수 있는 특성이 있다.

[표 3.2] 휴믹산의 악취제거 성능

구분	initial gas concentration : 50 $\mu\text{mol/mol}$				
	Times				
	0min	30min	1h	1.5h	2h
암모니아	50	1	<0.2	<0.2	<0.2
트리메탈아민	50	2	1	<0.5	<0.5
메틸메르캅탄	50	43	43	43	43
황화수소	50	33	31	30	30

자료 : 천연성분을 이용한 탈취제 제조방법 및 그 조성물(등록특허 10-1536877)

폴빅산은 암모니아, 메틸메르캅탄, 이황화수소(Hydrogen disulfide), 이소발레릭산(Isovaleric acid), 프로피오닉산(propionic acid) 감소효과에 대한 선행연구 결과폴빅산은 탁월한 소취효과 (악취감소)를 나타내었다. 즉, 프로피온산 (propionic acid) 95%이상 제거, 메틸메르캅탄 87.5%이상 제거, 인길초산 (invalerate) 94%이상 제거, 암모니아(ammonia) 98%이상 제거 및 이황화수소를 50% 이상을 제거할 수 있는 특성이 있다.

[표 3.3] 폴빅산의 악취제거 성능

구분	initial gas concentration : 약 500ppm					
	Times					
	10min	30min	1h	3h	6h	24h
암모니아	290	170	58	27	—	—
메틸메르캅탄	3.5	—	3.5	3.5	3.3	3.0
이황화수소	19	—	18	18	18	15
이소발레릭산	8.3	5.6	3.0	<1.0	—	—
프로피오닉산	2.0	1.0	<0.5	—	—	—

자료 : 폴빅산의 탈취효과(공개특허 10-2012-0108814)

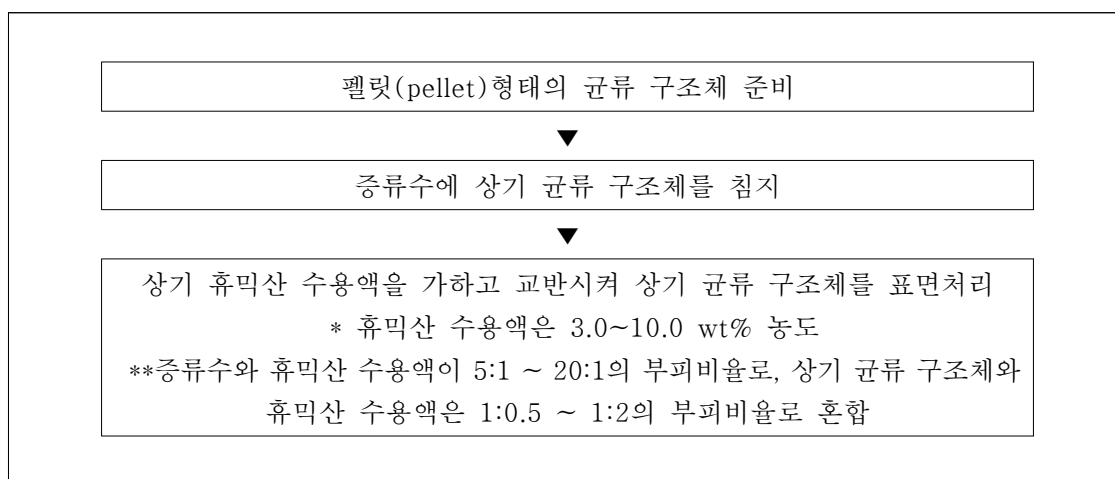
휴믹산을 이용하여 탈취제를 개발한 특허를 살펴보면, “천연성분을 이용한 탈취제 제조방법 및 그 조성물”, “휴믹산 표면처리를 통해 폐수 처리를 위한 흡착능이 향상된 균류 펠릿 구조체 및 그 제조방법”이 있다.

“천연성분을 이용한 탈취제 제조방법 및 그 조성물”에서는 휴믹산, 목초액 및 당밀을 상온에서 중량비로 1 : 4 : 1.5의 비율로 혼합하고, 혼합단계에서 혼합된 혼합물을 교반기에 넣고 섭씨 32도의 온도를 유지하면서 150RPM의 속도로 10분간 가동 후 50분간 휴식하는 것을 5일 동안 계속하는 1차 숙성단계, 상기 1차 숙성단계를 거친 혼합물에 구연산을 혼합물 1톤당 8kg 내지 11kg으로 혼합하여, 70~90%를 먼저 혼합하고, 구연산이 혼합된 혼합물을 교반기에 넣고 섭씨 32도의 온도를 유지하면서 150RPM의 속도로 10분간 가동 후 50분간 휴식하는 것을 2일 동안 계속하면서, 나머지 10~30%의 구연산을 혼합물이 pH 5.0~pH 5.5가 되도록여러 차례 나

누어 투입하는 2차 숙성단계, 상기 2차 숙성과정을 거친 혼합물에 보존제를 투입하여 제조한다. 로 제조된 탈취제는 악취가 발생한 지역에서 직접 사용이 가능하여, 악취가 발생하는 물질을 수거하여 악취제거 시설로 운반하는 과정이 없이 바로 손쉽게 사용하여 악취를 제거할 수 있으며, 천연성분을 이용하고, 숙성에 의해 효능이 강화된 탈취제를 사용하므로 악취를 제거하고 나서도 2차 공해물질을 남기지 않고, 악취가 제거된 물질을 퇴비로 사용할 경우 토질개선과 양질의 비료로 이용될 수 있다는 장점이 있다.

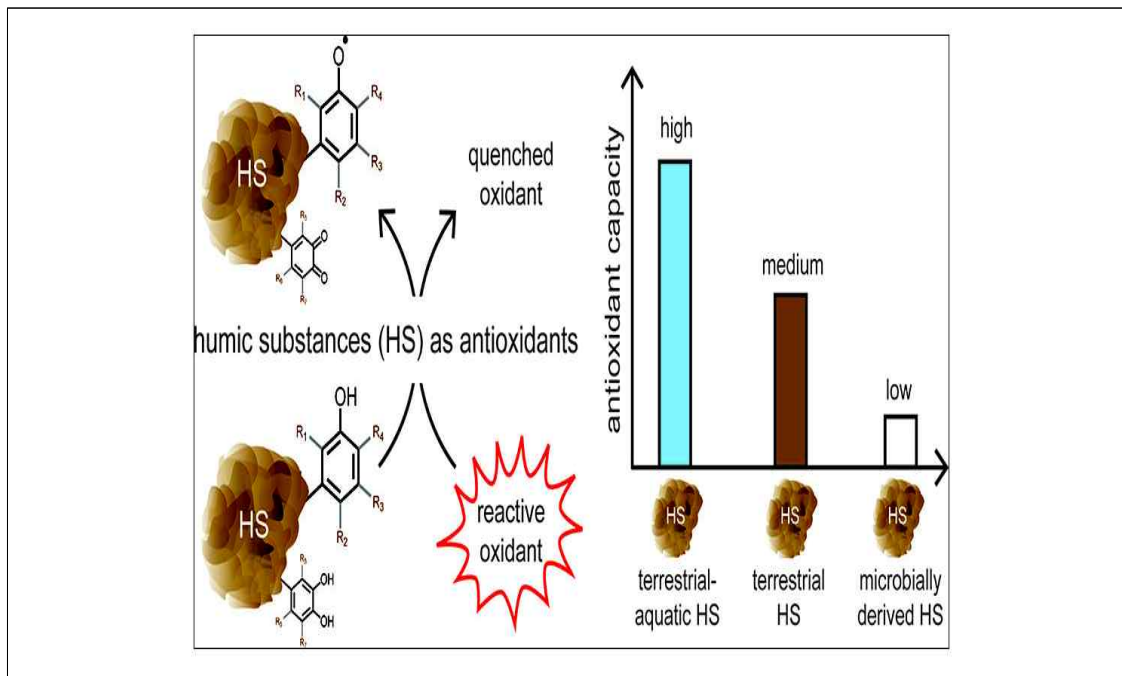
“휴믹산 표면처리를 통해 폐수 처리를 위한 흡착능이 향상된 균류 펠릿 구조체 및 그 제조방법⁴⁾”에서는 생물학적 수처리제에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 간단한 방식으로 천연 폐놀 물질 중 하나인 휴믹산을 균류 표면에 코팅하여 중금속, 염료물질 등 각종 오염물질에 대한 흡착능을 극대화시켜 폐수 처리효율을 높이기 위한 휴믹산 표면처리를 통해 폐수 처리를 위한 흡착능이 향상된 균류 펠릿 구조체 및 그 제조한다. 휴믹산 표면처리를 통해 곰팡이(균류) 펠릿의 외형은 그대로 유지하면서도 중금속, 염료물질 등 난분해성 오염 물질의 흡착 능력을 크게 증진시켜 단위 시간당 처리량을 극대화하여 실제 폐수처리 공정에 대한 활용 가능성을 높인다는 효과가 있다.

이를 탈취제로 사용하기 위해서는 활성탄과 같은 형태로 제조하고, 이를 필터로 활용하는 방안을 고려하였다. 균류의 염료 물질에 대한 흡착능을 극대화할 수 있는 균류 펠릿 구조체의 제조를 위해 먼저 담체로 사용할 펠릿을 설정하였다. 이후 펠릿에 휴믹산 코팅(coating)을 통해 필터를 제조한다.



[그림 3.4] 휴믹산 펠릿 제조방법

4) 휴믹산 표면처리를 통해 폐수 처리를 위한 흡착능이 향상된 균류 펠릿 구조체 및 그 제조방법



자료 : Antioxidant Properties of Humic Substances(2012)

[그림 3.5] 휴믹산을 이용한 탈취 원리도

3.2 개발 대상기술 선정

음식물 감량기기의 악취물질을 저감시키는 목적으로 사용할 악취제거제를 선정하는데 있어 고려해야 할 사항은 여러 가지가 있겠으나 기본적으로 악취 제거력이 우수하며, 인체 및 주변 환경에 무해하고, 2차 오염물질의 발생가능성이 없는 성분의 제재로서 자연 상태에서 생분해가 가능하고 액상이 중성을 나타내며 악취물질에 대한 효능이 지속적인 탈취제가 적합할 것으로 판단된다.

상기에서 검토한 3가지 방식의 악취제거효율과 경제성을 비교하였다. 악취제거효율은 NTP>RCO>Humic acid 순으로 조사되었다. 반면 경제성은 Humic acid>NTP>RCO 순으로 나타났다. 따라서 타당성 측면에서는 NTP 기술이 가장 합리적인 것으로 나타났다.

[표 3.4] 악취저감기술별 악취 제거효율 및 경제성

구분		RCO	NTP	Absorption (Humic acid)
악취제거 효율(% , VOCs)		98≤ ¹⁾	100≤ ²⁾	77.6≤ ³⁾
경제성 ⁴⁾ (천원/m ³ ·min)	투자비용	4,300	800	300
	운영비용	660	800	330
	총비용	4,960	1,600	630
종합		3	1	2

주 1) 에너지절감형 열교환장치를 이용한 고효율 축열축매산화(RCO) 시스템 개발

2) Volatile organic compounds (VOCs) removal in non-thermal plasma double dielectric barrier discharge reactor

3) ㈜그린볼텍스, 코코클린 제품 탈취성능 평가결과(포름알데히드 기준)

4) 휘발성 유기화합물(VOCs) 제거를 위한 저온금속축매 실용화에 관한 연구

그러나, 실현 가능성을 검토해본 결과, 비열플라즈마 방식은 충분한 량의 오존을 생성해야하므로 장치가 대형화가 필요하며, 음식물 건조가스에 포함된 수증기가 비열플라즈마가 방전에 저해인자로 작용하며 노즐이 금방 마모되는 문제가 있었다. 이로 인해 비열플라즈마 방식을 채택하기에는 비용적이나 운영적인 면에서 부적합한 것으로 판단하였다.

반면, 휴믹산 활성탄 방법은 원가가 저렴하고, 전력이 소요되지 않으며, 천연물질을 활용한다는 점에서 가장 경제적이고 친환경적인 방법으로 사료된다. 그러나, 관련 특허들에서 나타났 듯이 휴믹산만으로는 온전한 악취제거가 어려울 수 있으므로 이를 극복하기 위한 다양한 전처리 및 후처리 방식이 결합되어야 활용하는 방안으로 기술을 검토하였다.

휴믹산 활성탄을 적용하기 이전에 pH 조절이 필요하다. 연갈탄은 이탄층이 높지 대에 형성된 이후 시간이 흐르면서 이탄층 상부에 흙이 쌓이면 토압에 의한 압밀로 수분이 제거되면서 동시에 하부의 지열로 식물성 천연 고분자(리그닌, 폴리페놀, 알카로이드, 지방산 등)는 토압과 지열로 중합과 축합 반응으로 생성된다. 이탄과 달리 식물의 섬유소가 완전히 사라지면서 천연 식물성 고분자들은 수많은 유기 탄소

와 산소를 포함하고 있고 외부에는 부분적으로 산화되어 pH 4~5 사이의 수많은 반응기가 존재하는 양이온 교환능이 400~600meq/100g을 가진 물질이다. 연갈탄 자체는 유기물로 음이온을 띄며, 탄질비가 높다.



[그림 3.6] 활성알루미나와 연갈탄 사진

악취를 제거하는 공정은 휴믹산, 풀빅산을 직렬로 연결하여 순차적으로 제거하는 시스템을 구성할 필요성이 있다. 휴믹산은 암모니아나 트리메틸아민의 제거효율이 높고, 풀빅산은 메틸메르캅탄이나 프로피온산, 이소발레릭산의 제거효율이 높기 때문이다. 다만 황화합물인 황화수소나 이황화수소의 제거율은 각각 38.8%, 50% 수준이므로 이를 제거하기 위한 최적화된 설계나 후처리가 필요하다.

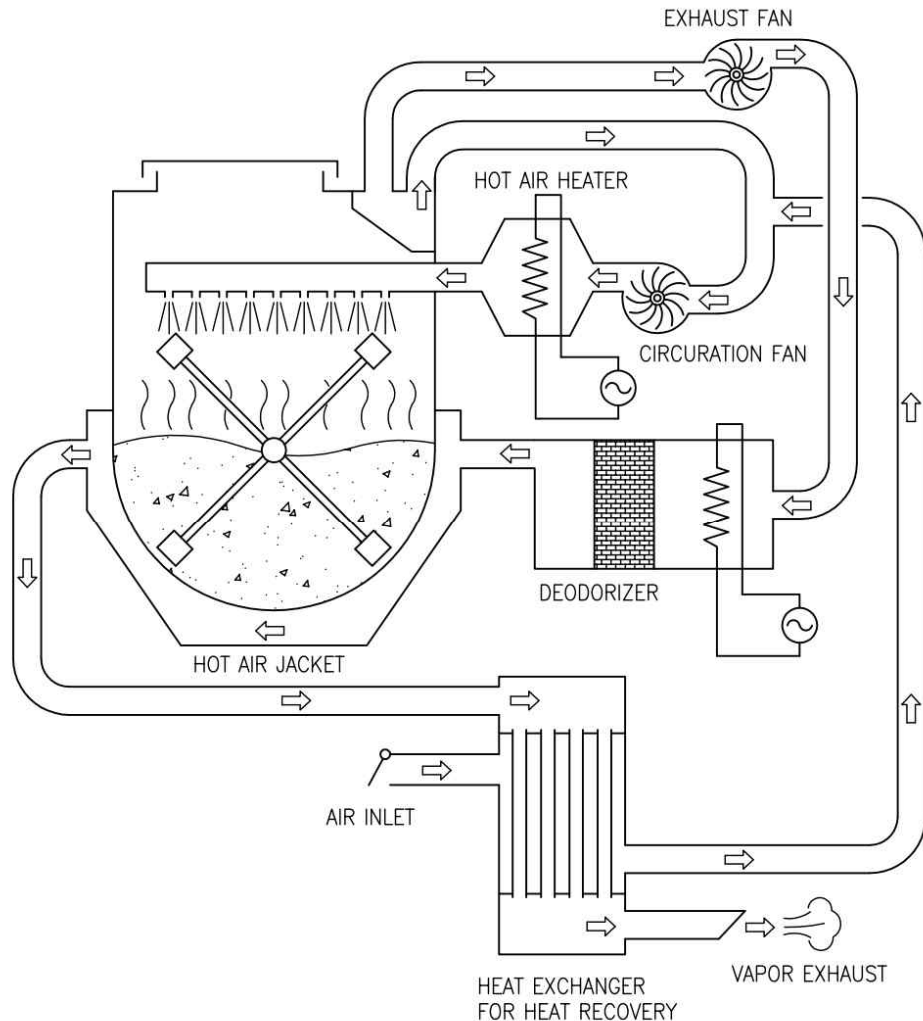
후처리방법으로는 황화수소 제거용 흡착제로써 산화철 방식은 적당한 탈황률을 얻을 수 있고, 탈황평형도 운전압력에 영향을 주지 않기 때문에 적당하며, 활성성분인 산화철은 환원반응($\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$), 황화반응($\text{Fe}_3\text{O}_4, \text{FeO}, \text{Fe} \rightarrow \text{FeS}$), 재생반응($\text{FeS} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$)의 3가지 반응으로 인해 반복사용 가능하다.

따라서, 상기의 결과를 토대로 본 연구의 개발 대상기술 모식도를 작성하였다. 다양한 활성탄을 연계하여 활성알루미나->연갈탄(석탄)->휴믹산 활성탄->풀빅산 활성탄으로 구성된 4단 악취제거 시스템을 구상하였다.

또한, 필터를 통과한 처리가스가 함유한 수분은 열교환실에서 응축되며, 응축효과를 극대화 하기 위해 열교환 방식의 필터와 미세필터를 배출구에 설치하여 열교환실의 체류시간과 압력을 높이고, 백연입자간 충돌 및 응집, 냉각으로 인한 응축수 생성하여 백연의 발생을 억제하도록 하였다,

3.3 제품 구상

본 연구에서 탈취시스템을 적용하고자 하는 제품의 모식도는 다음과 같으며, 이지애펙의 백금촉매산화장치를 대체하고자 하였다.



[그림 3.7] 개발기술 적용대상 제품의 도면(이지애펙 SIMPLE-100E)

대상기술의 적용하기 위해서는 감량기의 물질수지를 분석하여 설계 인자를 확보할 필요성이 있다. 이지애펙의 감량기를 대상으로 분석한 물질수지는 다음과 같다. 음식물류폐기물 100kg 투입 기준으로 65kg의 응축수가 발생하는 것으로 나타났다. 탈취시스템인 백금촉매로 들어가는 배가스량은 84kg/day 었다.

이를 통해, 개발 대상기술은 시간당 2.71Nm^3 의 건조가스를 처리해야 하는 용량으로 설계되어야 하며, 응축수는 최대 65kg을 배출할 수 있어야 함을 설계인자로 확보하였다.

구분		값	단위	흐름도
FW	음식물	100	kg/d	투입부
FW _w %	함수율	80	%	
FW _s	고형물	20	kg/d	
FW _w	수분	80	kg/d	
				↓
Dried	건조물	30	kg/d	감량부
W%	함수율	10	%	
Solid	고형물	20	kg/d	
Water	수분	10	kg/d	
	수증기	70.0	kg/d	
	필요 증발열량	42,630	kcal/d	
				↓
	백금촉매 입구 배가스 수분량	70.0	kg/d	백금촉매부
	백금촉매입구 배가스건조공기량	14.00	kg/d	
	백금촉매입구 배가스량	84.00	kg/d	
				↓
A1	외부공기량	2880	Nm ³ /d	외부공기유입 및 열교환부
Ad	외부공기 밀도	1.29	kg/Nm ³	
	외부공기량	3,723	kg/d	
Aw%	외부공기 내 수분함량	1.0	%	
Aw	외부공기 내 수분	37	kg/d	
Q1	입구 배가스 건조공기량	3,700	kg/d	
Q2	입구 배가스 수분량	107	kg/d	
Q3	입구 배가스량	3,807	kg/d	
Q4	출구 배가스량	3,765	kg/d	
WQ	응축수발생량	65	kg/d	

[그림 3.8] 이지엠테크 SIMPLE-100E의 물질수지

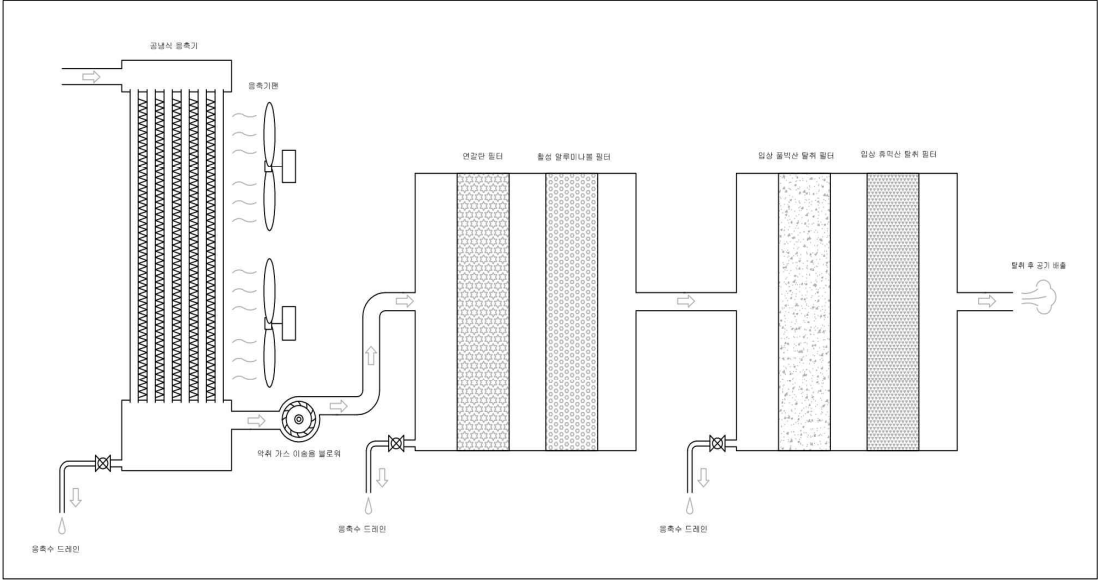
감량기에서 배출되는 악취물질을 가스테크검지관법을 이용하여 조사한 결과는 다음과 같다. 다만 아직 데이터로 활용하기에는 감량기 내부의 악취가스와 배출가스에서의 데이터를 추가적으로 조사하여 악취제거 효과를 검토할 예정이다.

[표 3.5] 가스테크검지관법을 통한 배출가스 악취측정 결과

구분	감량기기(ppm)	배출가스(ppm)
암모니아(NH ₃)	—	N.A
황화수소(H ₂ S)	—	1.5
메르캅탄(R-SH)	—	N.A
아민류(R-NH ₂)	—	N.A
아세트알데히드(CH ₃ CHO)	—	N.A
노르말핵산(n-C ₆ H ₁₄)	—	N.A

개발 대상기술은 일반적으로 적용이 가능해야 하므로, 소형이며, 호스 등으로 탈부착이 용이한 구조로 탈취시스템을 구상하여야 한다. 기본적으로 감량기에서 배출되는 악취가스관에 연결탄, 활성알루미나, 입상 폴빅산, 입상 휴믹산 탈취필터를 연결하여 탈취하는 시스템을 구하였다. 제품의 흐름도 및 3d도면은 아래 그림과 같다.

부식질 탈취기 시제품 설비의 흐름도



[그림 3.9] 부식질 탈취기 시제품 설비의 흐름도



[그림 3.10] 부식질 탈취기 시제품 설비의 3D도면

제 4 장 시제품 개발




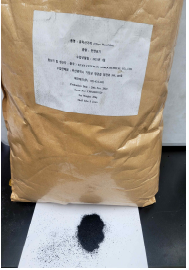
4.1 흡작제 선정	34
4.2 설계인자 도출	39
4.3 설계 및 시제품 제작	40

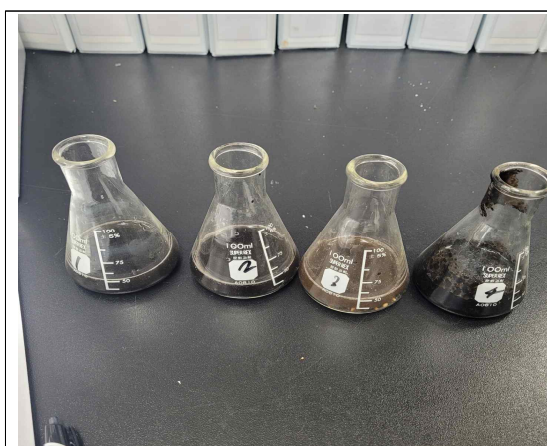
4.1 흡착제 선정

4.1.1 대상 흡착제

본 연구에서 사용한 흡착제는 시중에서 판매되는 휴믹산 토양개량제를 활용한 것이며, 그 개요는 다음과 같다. 흡착제의 기본 특성으로 pH, 함수율, 겉보기 밀도는 폐기물 공정시험기준에 따라 측정하여 같이 나타내었다.

[표 4.1] 대상 흡착제 개요

구분	활성탄 1	활성탄 2	활성탄 3	활성탄 4
	락토히록스 골드	엔비올 입상부식산	소일옵티마이저	토양개량 수용성 휴믹산가리
제품명 및 사진				
주요성분	Lactobacillus casei 0.2%, 토탄 99.8%	토탄 100%	휴믹산 42%, 기타 광물질	휴믹산 82%, 가리 10%
부식함량(%)	99.8%	100.0%	42.0%	82.3
pH	6.56	6.61	6.53	9.55
함수율	17.63	14.33		
겉보기 밀도	0.98	1.13	1.10	0.65
구매가격	30,000원/10kg	24,000원/20kg	22,000원/1.35kg	77,000원/20kg
단가(원/kg)	3,000원	1,200원	16,300원	3,850원



pH 측정용 시료 사진



함수율 측정 사진

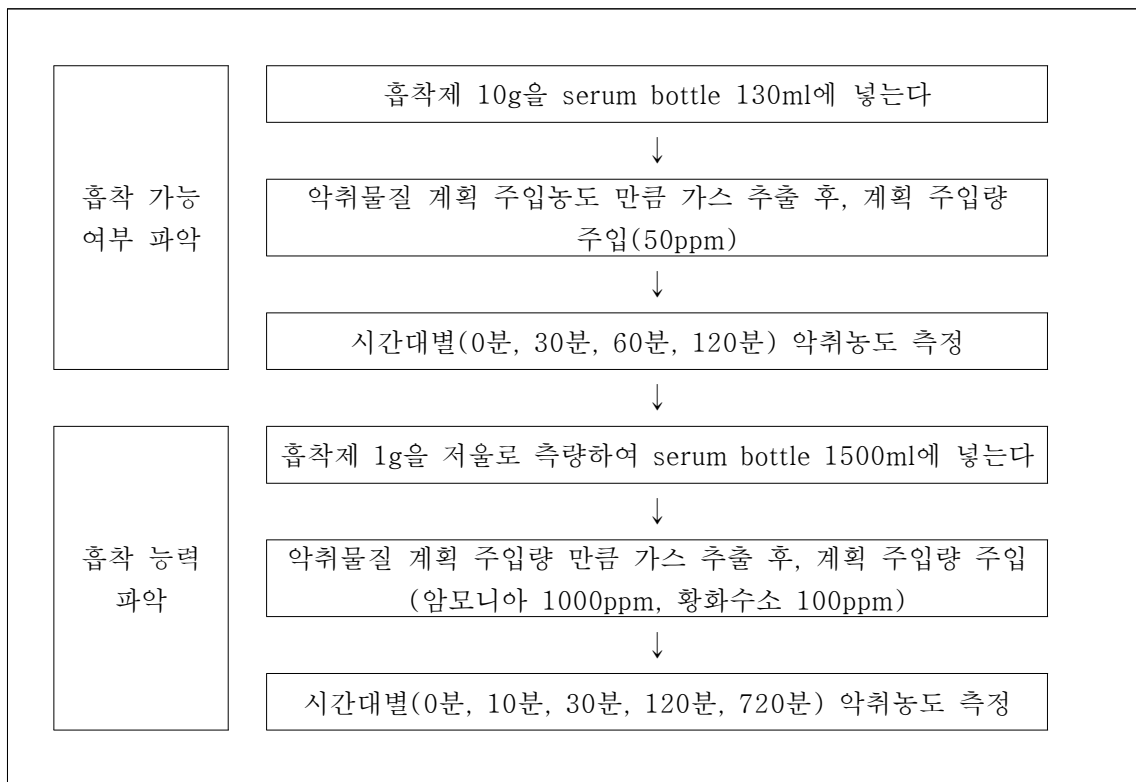
[그림 4.1] 기본 성능 측정 사진

4.1.2 흡착성능 평가 실험

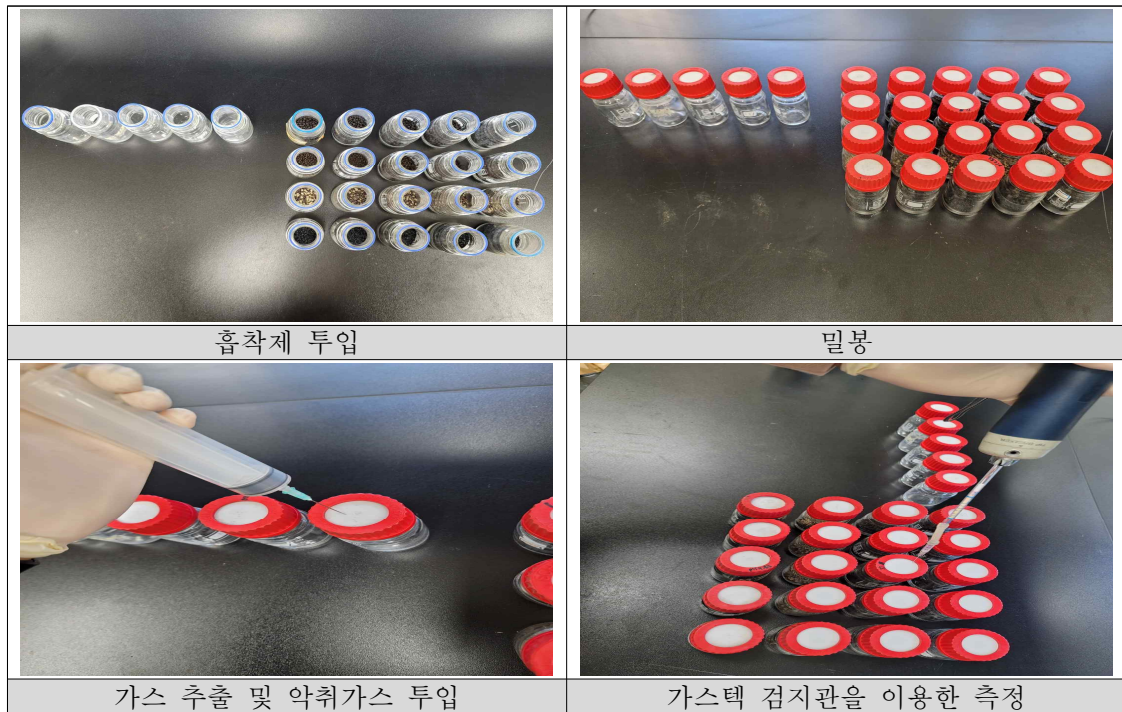
(1) 실험 설계

본 흡착실험은 회분식으로 시행되었으며 serum bottle 130ml에 흡착제량을 10g씩 투입 후, 밀봉한 이후 악취가스 주입량 만큼 내부에서 추출한 후, 악취물질을 주입하는 방법으로 설계하였다. 악취가스는 암모니아, 황화수소 1000ppm 표준가스를 사용하였다.

이후, 악취물질 제거율이 높은 2가지 흡착제의 흡착능을 파악하기 위해 1g을 serum bottle 1500L에 넣은 후, 암모니아 1000ppm, 황화수소 100ppm으로 초기농도를 설정하고, 동일 반복하였으며, 720분동안 방치 후 최종농도를 평형농도로 적용하여 흡착능을 산출하였다.



[그림 4.2] 기본 성능 측정용 사진



[그림 4.3] 흡착성능 평가 실험절차

(2) 흡착제 성능평가 결과

암모니아 탈취 시험결과는 암모니아 50 ppm이 130ml에 주입된 시험구에 시료를 투입 후 30분 이내에 86%가 제거되어 한국건설생활환경시험연구원의 판정기준인 120분 이내에 70% 이상을 초반에 달성하였고, 이후 평균제거율은 92.6%를 유지하여 암모니아 탈취능력이 높은 것으로 나타났다.

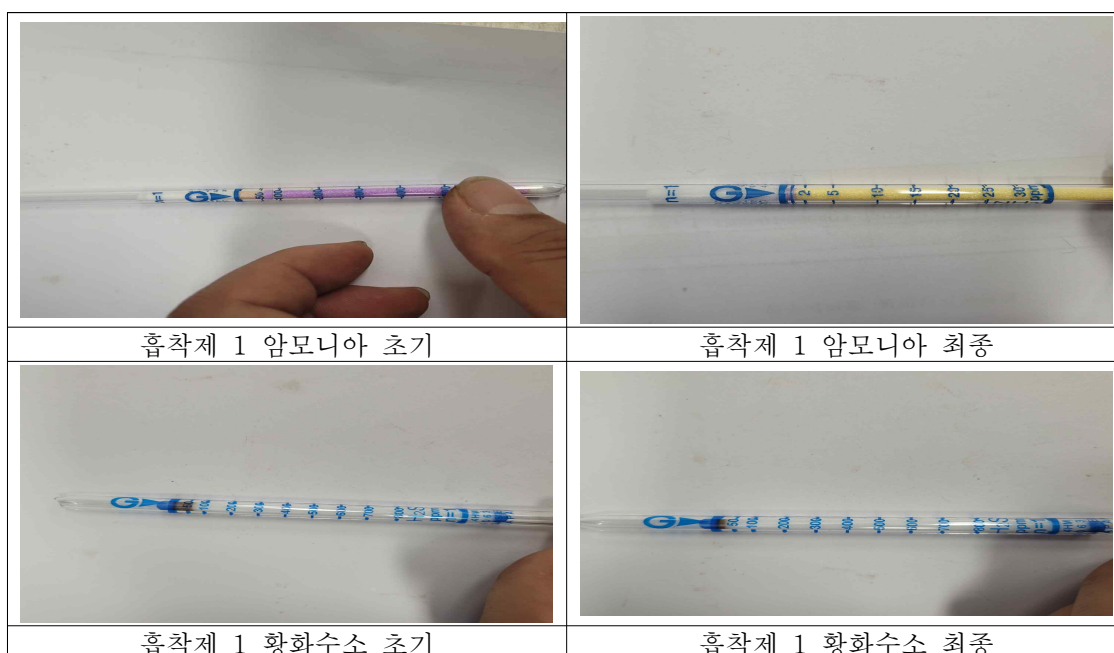
[표 4.2] 암모니아 탈취능력 평가 결과

시험항목		단위	시험결과		
			대조군 농도	샘플 농도	탈취율(%)
흡착제 1	0분	%	50	50	96.0
	30분	%	49	6	
	60분	%	50	2	
	120분	%	49	1	
흡착제 2	0분	%	50	50	96.0
	30분	%	49	5	
	60분	%	50	1.5	
	120분	%	49	1	
흡착제 3	0분	%	50	50	88.2
	30분	%	49	10	
	60분	%	50	6	
	120분	%	49	5	
흡착제 4	0분	%	50	50	90.2
	30분	%	49	7	
	60분	%	50	5	
	120분	%	49	4	

황화수소 탈취 시험결과는 황화수소 가스 50 ppm가 주입된 시험구에 시료를 투입 후 30분 이내에 40%가 제거되었고, 60분 이내에 80%, 120분 이내에 평균 88.7%에 도달하였다. 한국건설생활환경시험연구원의 판정기준인 120분 이내에 5%를 달성하여 황화수소의 탈취능력을 보유하고 있음을 확인하였다. 흡착제 4의 탈취율이 92.1%로 가장 높았고, 흡착제 2와 3, 1이 비슷한 점을 고려했을 때, 황화수소 제거에는 작용기보다는 중화반응에 따른 흡착이 이루어지는 것으로 유추할 수 있다.

[표 4.3] 황화수소 탈취능력 평가 결과

시험항목		단위	시험결과		
			대조군 농도	샘플 농도	탈취율
흡착제 1	0분	%	50	50	86.2
	30분	%	49	20	
	60분	%	50	15	
	120분	%	49	6	
흡착제 2	0분	%	50	50	88.2
	30분	%	49	24	
	60분	%	50	15	
	120분	%	49	5	
흡착제 3	0분	%	50	50	88.2
	30분	%	49	35	
	60분	%	50	10	
	120분	%	49	5	
흡착제 4	0분	%	50	50	92.1
	30분	%	49	38	
	60분	%	50	5	
	120분	%	49	3	



[그림 4.4] 악취가스 흡착 가능여부 판단을 위한 가스테크검지관 측정결과

그러나, 이는 흡착제가 다량 사용된 점과 약취물질의 양이 130ml에 불과하기 때문에 높은 탈취율을 나타낼 수 밖에 없다. 이에 흡착능의 확인하고자 하였다. 실험결과 흡착제 1, 2의 성능이 가장 우수하다고 판단되어, 해당 흡착제를 기준으로 흡착능을 분석하였다. 흡착제 1, 2에 흡착능을 1g으로 성능을 측정한 결과는 다음과 같다.

암모니아는 1g 당 약 1.02mg(0.102%)을 제거 가능한 것으로 나타났는데, 흡착제 종류에 따라 큰 차이는 없었다. 이는 부식산의 유래물인 피트모스의 암모니아 흡착 성능인 0.92~2.82%⁵⁾보다 낮다. 그러나, 일반 활성탄의 암모니아 흡착능이 0.72mg-NH₃/g⁶⁾을 고려했을 때, 암모니아 제거에 효율적으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

황화수소는 1g 당 약 0.18mg(0.01%)을 제거 가능한 것으로 나타났으며, 흡착제 종류에 따른 큰 차이는 없었다. 일반 활성탄의 흡착량이 36mg/g인 것에 비하면 20분의 1수준임을 알 수 있다. 당초 휴믹산 자체가 액상의 휴믹산 내 포함된 탄소 1g이 60mg(6%)의 황화수소를 산화시키는 수치보다는 낮은 것으로 나타났다⁷⁾. 이는 휴믹산의 탄소함량이 10~40%임을 고려하더라도 흡착능이 3.6~5.4%이므로 이보다 낮다. 이는 휴믹산의 흡착제가 고상이다 보니, 액상에 비해 흡착능이 낮은 것이 원인으로 사료된다.

본 연구 결과를 통해 암모니아 98% 이상 제거 및 황화수소를 50% 이상을 제거하여, 암모니아 제거에는 탁월하나 황화수소 제거에는 어려움이 있는 것으로 사료된다. 암모니아나 황화수소 모두 휴믹산에 흡착되는 기작이 COOH, OH와 반응하는 것인데, 휴믹산이 약산성이므로 염기성인 암모니아와 중화반응이 더 활발하게 이루어지고, 산성인 황화수소와의 반응은 보다 느리게 진행된 것으로 사료된다. 아울러 중화반응 이외에도 암모니아나 황화수소 모두 흡착제 수분에 용해되어 이온성 물질로 흡착될 수 있는데, 휴믹산 자체가 음전하를 띠고 있고, 양이온 치환능력이 400-870meq/100g으로 모두 높기 때문에 양이온성인 암모니아의 흡착이 용이한 반면 음이온성인 황화수소는 상대적으로 흡착에 어려움이 있는 것으로 사료된다.

5) Sorption of ammonia and release of humic substances as related to selected peat properties

6) 암모니아 가스 제거용 개질 활성탄의 표면특성

7) Oxidation and incorporation of hydrogen sulfide by dissolved organic matter

[표 4.4] 흡착제별 흡착능 평가

흡착제	악취물질	농도(ppm/ mg)				
		반응시간(min)				
		0	10	30	120	720
흡착제 1	암모니아	1000	880	320	20	20
		1.04	0.92	0.33	0.02	0.02
	황화수소	100	75	54	40	35
		0.21	0.16	0.11	0.08	0.07
흡착제 2	암모니아	1000	820	240	20	10
		1.04	0.86	0.25	0.02	0.01
	황화수소	100	81	45	35	25
		0.21	0.17	0.09	0.07	0.05

4.2 설계인자 도출

지정된 조건에서 실험결과를 기반으로 활성탄 교환주기를 계산한 결과, 약 17일의 재생주기가 필요한 것으로 나타났다. 물론 실 조건과 배가스 농도 및 유량에 따라 교체주기가 달라질 수 있으므로 시운전을 통해 재생주기를 산정하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

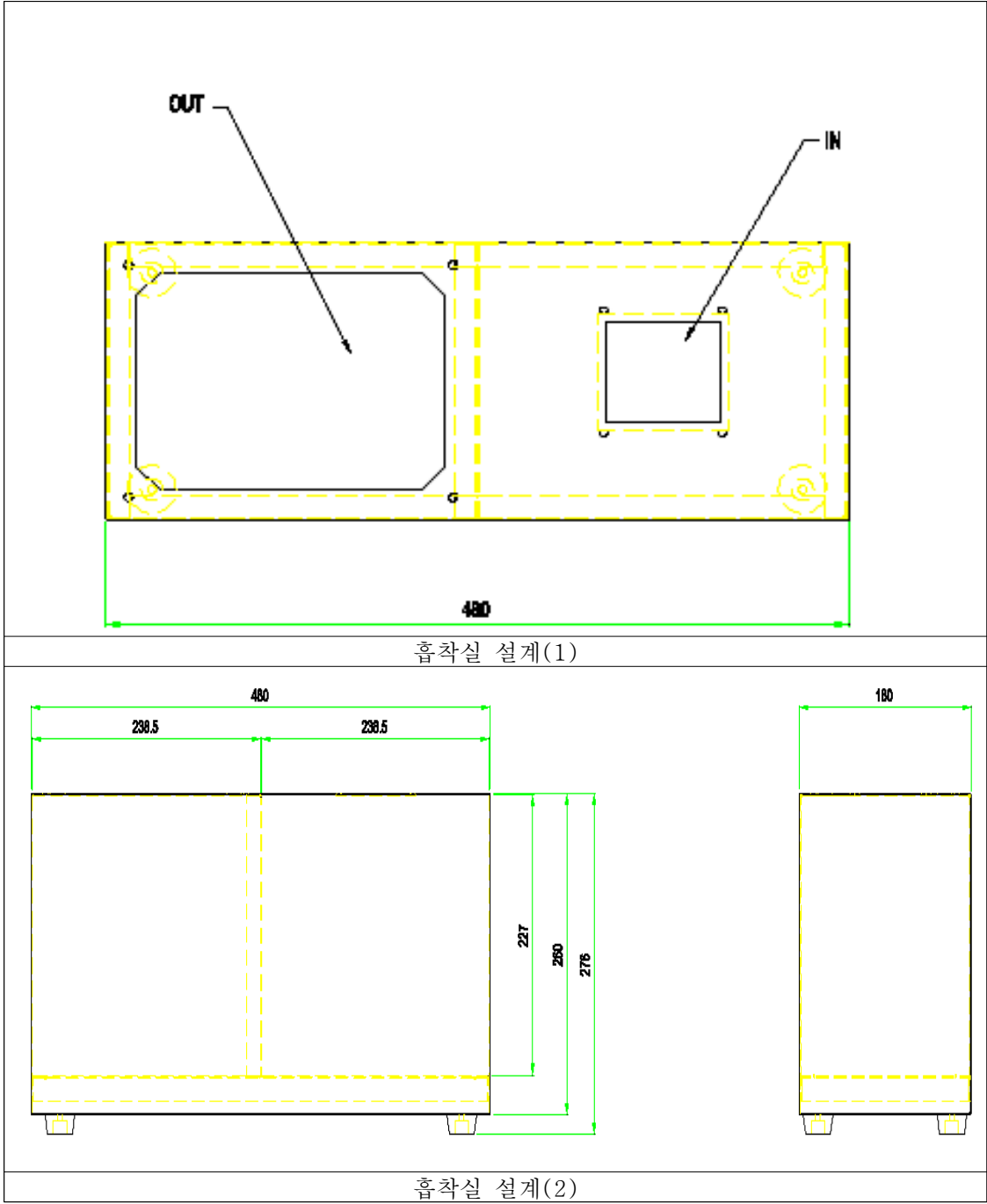
- 흡착효율(e) : 0.7 적용 (평균 0.5~0.8)
- 처리가스량(Q) : 0.4 m³/hr 적용 (수분증발량 6kg/day 기준, 수증기밀도 0.76kg/m³ 적용, 0.32 m³/hr)
- 공탑속도 (V0) : 0.01 m/sec
- 체류시간 : 30 sec
- 흡착탄 필요단면적(A) : 0.01 m³ (유입가스량/공탑속도)
- 활성탄 흡착층 두께(H) : 0.30 m (공탑속도×체류시간)
- 활성탄 필요 충전체적 : 0.003 m³(A×H)
- 활성탄 비중 : 1.1 kg/L
- 활성탄 필요량(W) : 3.3 kg
- 피흡착성분의 평균분자량(M) : 17 g/mol (NH₃)
: 34 g/mol (H₂S)
- 피흡착성분의 농도(G) : 40 ppm (NH₃)⁸⁾
- 활성탄 단위중량당 흡착량 (S) : 0.00102 g/1g (NH₃)
: 0.00015 g/1g (H₂S)
- 재생주기 (T) : 17일 적용 $(=(3.74 \times 10^5 \times S \times W) / (e \times Q \times M \times G)) \div 24 \text{hr/day})$

$$T(\text{hr}) = [(3.74 \times 10^5 \times S \times W) / (e \times Q \times M \times G)]$$

- * T = 재생 및 교환주기(hr)
- * e = 흡착효율(70%=0.7)
- * Q = 처리가스량(m³/분)
- * M = 피흡착성분의 평균분자량(g/mol)
- * G = 피흡착성분의 농도(ppm)
- * S = 활성탄 단위중량당의 흡착량(kg/kg-흡착제)
- * W = 활성탄의 총중량(kg)

8) 가정용 퇴비화기기를 이용한 음식물쓰레기의 호기성분해와 악취제어에 관한 연구

상기 설계인자를 이용하여 설계한 흡착실의 도면은 다음과 같다. 1개의 흡착실은 가로 18cm, 높이 27.6cm, 길이 48cm로 구성되며, 유효용량은 22.5 L로 산정되었다. 흡착제는 24.75 kg가 투입되며, 2개 세트로 총 49.5kg이 투입된다. 재생주기는 총 134일로 산정되었다.



[그림 4.5] 프로토타입 흡착실 설계도

4.3 시제품 제작 및 성능검증

(1) 프로토타입 제작

본 실험의 결과로 아래 그림과 같이 시제품을 제작하였다. 프로타입의 전경을 보면, 건조배가스를 블로워를 통해 탈취시스템으로 유입시키면, 흡착실(1)과 흡착실(2)에서 이중으로 악취물질을 흡착하고, 냉각기를 지나 배출되는 원리이다.

프로토타입의 구동성을 확인하기 위해, 이지엠테크사의 음식물 감량기(100kg/day) 내부의 촉매산화 탈취시스템을 제거한 후, 외부에 장착하였다. 블로워에 의해 감량기 내부의 공기가 이송되는 것을 확인하였다. 또한, 흡착실을 개방 및 탈부착이 가능하여 흡착실 교체를 통한 빠른 유지관리가 가능한 점을 확인하여, 실제 활용이 가능할 것으로 사료된다.



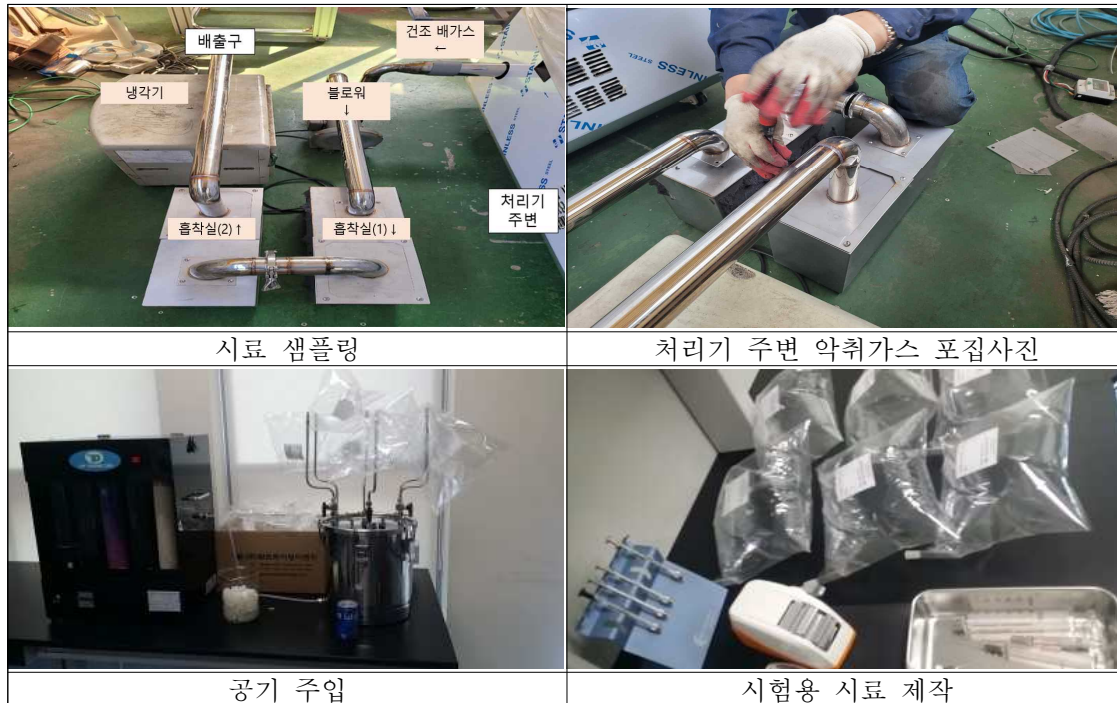
[그림 4.6] 프로토타입 사진

(2) 프로토타입 성능평가

프로토타입의 구동성이 확인되어, 성능평가를 시행하고자 하였다. 활성탄의 흡착능 평가실험에서 충분한 악취성능을 나타내었고, 이에 따라 프로토타입 설치 후, 실제 사업장에서 성능검토용으로 운영되고 있는 음식물 감량기(100kg/day)에 연결하여 0.4 m³/hr로 이송시킨 후, 배출구와 처리기 주변을 대상으로 관능법을 실시하였다. 성능은 탈취시스템의 배출구와 처리기 주변에서 악취를 포집하여 관능법에 의해 판단하였다.

[표 4.5] 프로토타입 성능검증을 위한 성과항목 및 측정방법

성과항목(주요성능)		성과측정방법	목표치	비고
탈취 시스템	배출구	관능법(500배 이하) (시험법)	악취판정 1이하	음식물감량기기 단체표준 (SPS-B KFPC 0001-7231)
	처리기 주변	관능법(15배 이하) (시험법)	악취판정 1이하	



[그림 4.7] 관능법을 위한 시료제작 사진

성능검증은 판정요원은 서울과학기술대학교 내 대학생(원) 5인을 모집하여 진행하였다. 예게 시료의 냄새를 인식시키고 5분간 휴식하도록 하였다. 이후, 판정요원에게 첫 번째 희석배수 시료희석주머니와 2개의 공기주머니를 주고 관능시험용 마스크를 쓰고 2~3초간 냄새를 맡게한다. 이후, 시스템 화면상에 냄새가 구분되는 번호를 선택하여 제출하게 하였다. 배출구에서는 300배, 기기주변에서는 10배에서 정답률이 60%를 달성하여 이를 1차평가 배수로 활용하였다. 배출구(100배, 300배, 500배, 1,000배)와 기기 주변(3배, 10배, 15배, 30배)에서 복합악취를 측정하여 희석 후 시행하였으며, 전체 판정 요원의 시료 희석배수 중 최댓값과 최솟값을 제외한 나머지를 기하평균 하여 산정하였다.

본 프로토타입의 배출구, 처리기 주변에서 관능법 결과는 다음과 같으며, 배출구는 296배, 기기 주변에서는 9배로 복합악취 기준은 만족하였다.

[표 4.6] 배출구 관능법 평가결과

판정 요원 구분	1차 평가		2차 평가 (×500)	3차 평가 (×1,000)
	1조(×300)	1조(×300)		
a	×	○		
b	○	○	○	×
c	○	×		
d	○	○	○	○
e	○	○	×	

○ : 시료희석주머니 판정 시 정답, X : 공기주머니 판정 시 오답

[표 4.7] 배출구 관능법 평가과정

판정요원 구분	계산과정	비고	전체의 냄새감지한계 희석배수
a	$a=\sqrt{(100 \times 300)}=173$	최소	$3\sqrt{(500 \times 173 \times 300)}$ = 296
b	b=500		
c	$c=\sqrt{(100 \times 300)}=173$		
d	d=1000	최대	
e	e=300		

[표 4.8] 기기 주변 관능법 평가결과

판정요원 구분	1차 평가		2차 평가 (×15)	3차 평가 (×30)
	1조(×10)	1조(×10)		
a	○	×		
b	○	○	○	×
c	×	○		
d	○	○	○	○
e	○	○	×	

○ : 시료희석주머니 판정 시 정답, X : 냄새주머니 판정 시 오답

[표 4.9] 기기 주변 관능법 평가과정


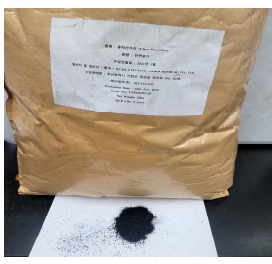

판정요원 구분	계산과정	비고	전체의 냄새감지한계 희석배수
a	$a=\sqrt{(3 \times 10)}=5$	최소	$3\sqrt{(15 \times 5 \times 10)}$ = 9
b	b=15		
c	$c=\sqrt{(10 \times 3)}=5$		
d	d=30	최대	
e	e=10		

(3) 시제품 개발

1. 성능평가

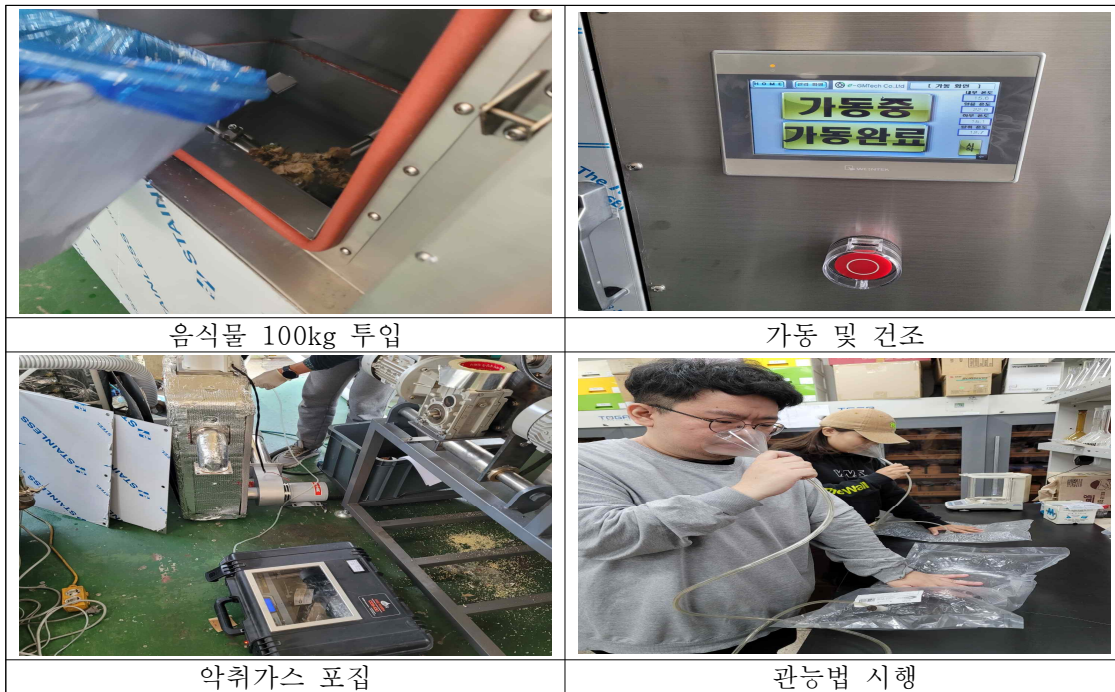
프로토타입이 성능을 만족하기 때문에, 기존 탈취시스템을 제거한 자리에 외관을 갖춘 시제품을 제작하여 장착하였다. 실조건(음식물 100kg 지속 투입, 함수율 80% 등)에서 3시간 가동하여 안정화한 후, 활성탄을 사용하지 않은 경우, 시중에서 사용되는 산업용 활성탄만 사용하는 경우, 휴믹산 흡착제만 사용하는 경우로 구분하여 시제품의 악취 제거 성능을 평가하였다. 휴믹산은 암모니아 가스 제거 성능은 높으나, 황화수소 제거 성능이 비교적 높은 활성탄 4에 대해서도 검토를 시행하였다.

[표 4.10] 시제품 성능평가를 위한 흡착제

구분	실험군		
	활성탄 1	활성탄 4	산업용 활성탄
제품명 및 사진	엔비올 입상부식산	토양개량 수용성 휴믹산가리	야자 활성탄
			
단가(원/kg)	1,200	3,850	2,200



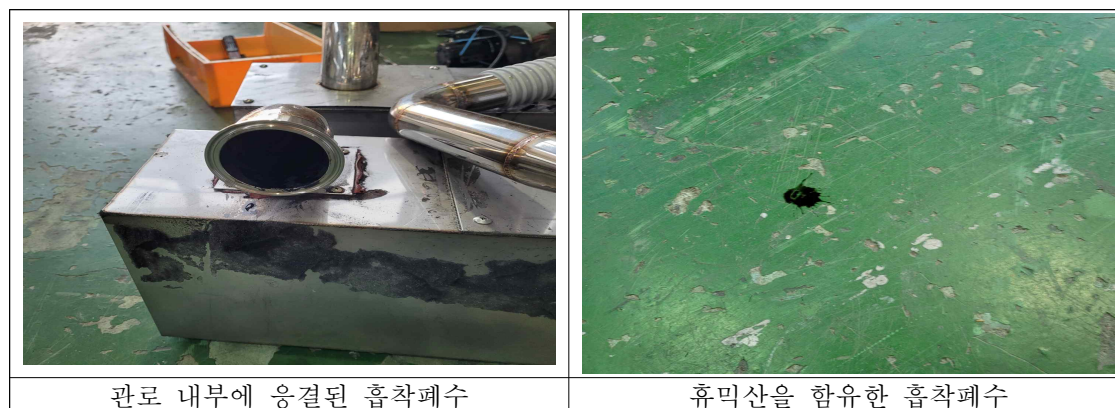
[그림 4.8] 시제품 장착 사진



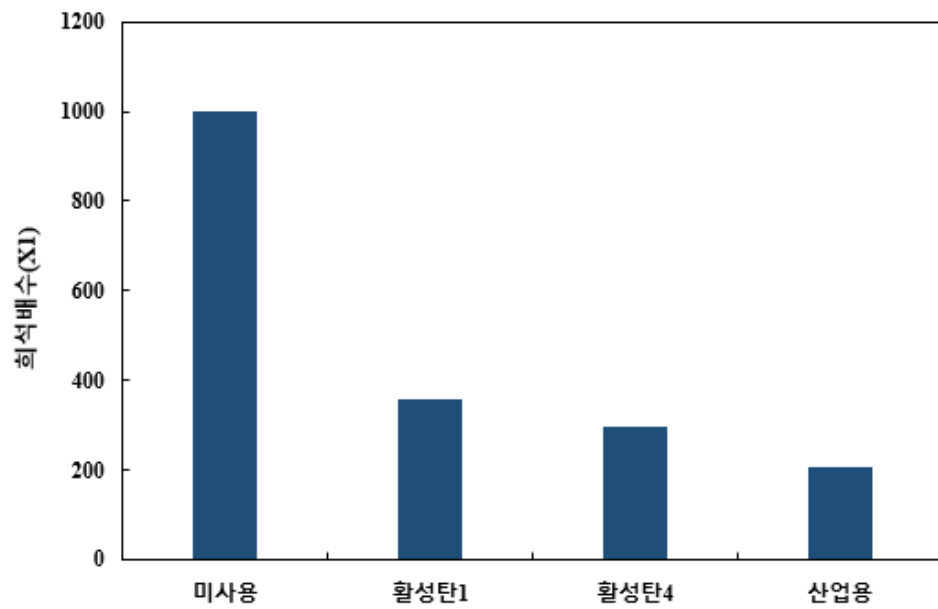
[그림 4.9] 시제품 성능검토 사진

시제품을 대상으로 한 성능평가 결과, 휴믹산 활성탄은 미사용에 비해 3분의 1수준의 회석배수를 나타냈으며, 산업용 활성탄에 비해서는 1.5~2배로 나타났다. 기기 주변의 관능법 평가결과도 마찬가지로 휴믹산 활성탄은 미사용에 비해 3분의 1수준의 회석배수를 나타냈으며, 산업용 활성탄에 비해서는 2.5~3배로 나타났다.

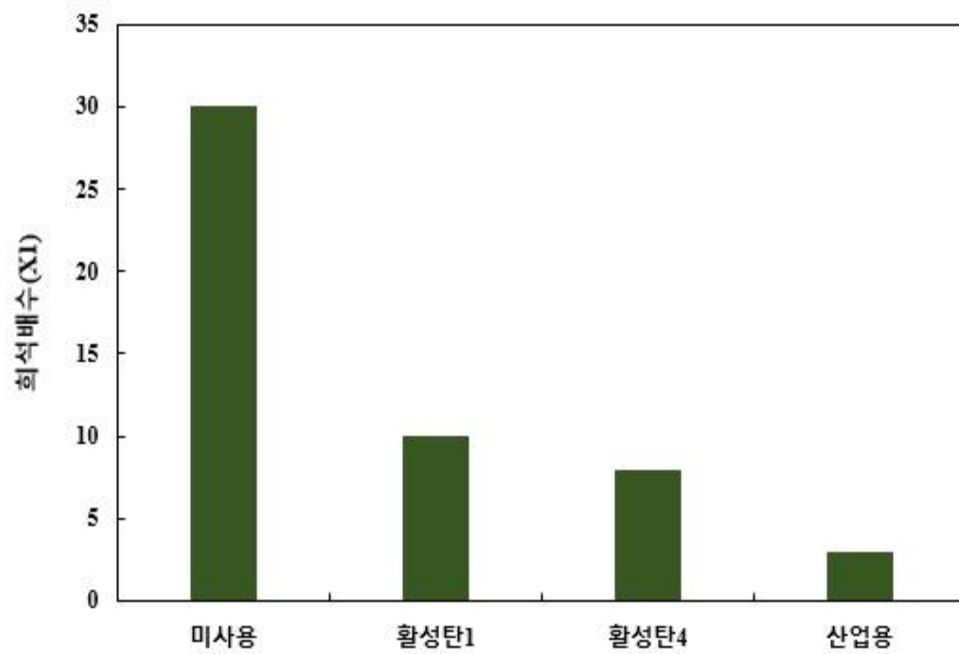
이러한 결과로 미루어 볼 때, 휴믹산 활성탄은 악취 제거 성능은 있으나, 산업용 활성탄에 비해서는 낮은 것으로 나타났다. 이는 수분이 충분히 제거되지 않아, 휴믹산이 용해되는 현상이 식별되었는데, 산업용 활성탄보다 낮은 이유는 음식물 건조가스 내 포함된 수분이 원인으로 사료된다. 이러한 현상을 완화시키기 위해서는 냉각 시스템에서 충분한 수분제거가 이루어지도록 응축효율을 높이는 방향으로 시스템을 개선할 필요하다.



[그림 4.10] 시제품 성능검토 시 문제점



[그림 4.11] 배출구 관능법 평가결과



[그림 4.12] 기기주변 관능법 평가결과

[표 4.11] 배출구 관능법 평가결과

활성탄	관정요원 구분	1차 평가		2차 평가 (×500)	3차 평가 (×1,000)
		1조(×300)	1조(×300)		
미사용	a	○	○	○	○
	b	○	○	○	○
	c	○	○	○	○
	d	○	○	○	×
	e	○	○	○	○
1	a	○	○	×	
	b	○	○	○	×
	c	○	×		
	d	○	○	○	×
	e	○	○	×	
4	a	○	○	×	
	b	○	○	○	×
	c	○	×		
	d	○	○	○	×
	e	○	×		
산업용	a	○	×		
	b	○	○	×	
	c	○	×		
	d	○	○	×	
	e	×	○		

○ : 시료회석주머니 판정 시 정답, X : 공기주머니 판정 시 오답

[표 4.12] 배출구 관능법 평가과정

활성탄	관정요원 구분	계산과정	비고	전체의 냄새감지한계 회석배수
미사용	a	a=1000	최대	$3\sqrt{(1000 \times 1000 \times 1000)}$ $= 1000$
	b	b=1000		
	c	c=1000		
	d	d=500	최소	
	e	e=1000		
1	a	a=300		$3\sqrt{(300 \times 500 \times 300)}$ $= 356$
	b	b=500	최대	
	c	$c=\sqrt{(100 \times 300)}=173$	최소	
	d	d=500		
	e	e=300		
4	a	a=300		$3\sqrt{(300 \times 500 \times 173)}$ $= 296$
	b	b=500	최대	
	c	$c=\sqrt{(100 \times 300)}=173$	최소	
	d	d=500		
	e	$c=\sqrt{(100 \times 300)}=173$		
산업용	a	$c=\sqrt{(100 \times 300)}=173$	최소	$3\sqrt{(173 \times 300 \times 173)}$ $= 208$
	b	b=300	최대	
	c	$c=\sqrt{(100 \times 300)}=173$		
	d	d=300		
	e	$c=\sqrt{(100 \times 300)}=173$		

[표 4.13] 기기 주변 관능법 평가결과

활성탄	판정요 원 구분	1차 평가		2차 평가 (×15)	3차 평가 (×30)
		1조(×10)	1조(×10)		
미사용	a	○	○	○	○
	b	○	○	○	○
	c	○	○	○	○
	d	○	○	○	×
	e	○	○	×	
1	a	○	○	×	
	b	○	○	○	×
	c	○	○	×	
	d	○	×		
	e	○	○	×	
4	a	○	×		
	b	○	○	○	×
	c	×	○		
	d	○	○	×	
	e	○	○	×	
산업용	a	×	×		
	b	×	×		
	c	×	×		
	d	×	×		
	e	×	×		

○ : 시료회석주머니 판정 시 정답, X : 냄새주머니 판정 시 오답

[표 4.14] 기기 주변 관능법 평가과정

	판정요원 구분	계산과정	비고	전체의 냄새감지한계 회석배수
미사용	a	a=30		$3\sqrt{(30 \times 30 \times 30)}$ = 30
	b	b=30		
	c	c=30		
	d	d=35	최대	
	e	e=10	최소	
1	a	a=10		$3\sqrt{(10 \times 10 \times 10)}$ = 10
	b	b=15	최대	
	c	c=10		
	d	$d=\sqrt{(3 \times 10)}=5$	최소	
	e	e=10		
4	a	$a=\sqrt{(3 \times 10)}=5$	최소	$3\sqrt{(5 \times 10 \times 10)}$ = 8
	b	b=15	최대	
	c	$c=\sqrt{(10 \times 3)}=5$		
	d	d=10		
	e	e=10		
산업용	a	$a=\sqrt{(3 \times 3)}=3$	최소	$3\sqrt{(3 \times 3 \times 3)}$ = 3
	b	$a=\sqrt{(3 \times 3)}=3$	최대	
	c	$a=\sqrt{(3 \times 3)}=3$		
	d	$a=\sqrt{(3 \times 3)}=3$		
	e	$a=\sqrt{(3 \times 3)}=3$		

다만, 실조건에서 장기간(동·하절기 포함) 시운전을 해보지 못하여 실조건에서 악취 제거 성능, 흡착제의 파과점 등의 운영조건과 보증사항을 도출하지는 못하였다. 이는, 위탁용역 수행기관인 이지엠테크의 가용인력 부족으로 인해, 프로토타입 및 시제품 개발에 계획보다 많은 시간이 투입되어 성능을 검토할 시간을 확보하지 못하여 발생하였다.

또한, 제품을 운영함에 따라 발생할 수 있는 문제점을 파악하지 못하였다. 이에 향후, 장치 내 100kg의 음식물을 투입하여 연속식 실험을 통해, 안정적인 건조배가스의 제거가 가능한지 여부에 대한 검증이 필요하다.

2. 경제성

본 연구결과로는 활성탄의 파과점을 파악하지 못하여 경제성이 명확하게 분석되지는 못했다. 다만, 수명이 동일하다고 가정하였을 때, 휴믹산 활성탄이 산업용 활성탄에 비해 55%~175%로, 경제성에 대해서는 제품에 따라 높거나 낮은 것으로 나타났다. 다만, 휴믹산 활성탄은 열/화학적 탈착을 통한 재생이용이 불가능하므로 산업용 활성탄보다는 경제성이 낮은 것으로 사료된다. 그러나, 휴믹산 활성탄을 토양개량제로 사용 가능할 수 있고, 재생주기가 더 높을 수 있기 때문에, 적절한 경제성 연구를 위해서는 재생주기와 토양개량제로서의 활용가능성 검토가 추가적으로 필요하다.

(4) 기타 개발관련 사항

본 연구개발 결과, 관련 특허를 출원과 학술논문 발표를 목표로 하였다. 실현 가능성을 증명하기 위해 특허를 진행 중에 있다. 그러나, 시 운전결과가 없어, 안정적인 운전조건을 도출하지 못해 유의미한 성능평가 조건이 설립되지 못하여, 논문발표는 이행되지 못하였다.

제 5 장 결론

5.1 결론	45
5.2 향후 보완계획	46

5.1 결론

음식물 발생원 처리를 중요성이 증가함에 따라 감량기기의 보급이 확대되고 있다. 그러나, 건조시 발생하는 악취를 제거하기 위해 사용되는 촉매산화방식은 백연을 발생시켜 주민의 불안감을 조성하고, 고열을 사용하므로 많은 양의 에너지가 소비되는 문제가 있다.

본 연구는 이지엠테크사에 적용되는 촉매산화탈취시스템을 대체하기 위한 새로운 악취제거 시스템 개발을 목표로 하였다. 새로운 악취제거 시스템은 천연물질을 흡착제로 사용하여 기존에 발생하는 백연발생이 없고, 에너지소비를 절감할 수 있는 탈취시스템을 개발하였다.

본 장치 개발을 위해 문헌조사 및 실험적 요소를 수행하였으며, 주요 연구결과로써는 토양개량제로 사용되는 천연물질인 휴믹물질 흡착제의 특성과 흡착성능을 확보하여, 설계인자를 도출하였다. 본 연구에서 흡착제의 탈취성능을 살펴보기 위하여 암모니아, 황화수소를 실험대상으로 하였으며, 회분식 실험에서 50ppm의 암모니아는 92%, 황화수소는 88.7%를 제거하여 악취제거 기능을 확인하였다. 흡착제의 성능을 평가한 결과, 흡착능은 1.02 mg-NH₃/g, 0.15 mg-H₂S/g로 나타나, 일반 활성탄의 0.72mg-NH₃/g 보다는 암모니아 흡착능은 높은 것으로 나타났다. 다만, 황화수소는 일반 활성탄보다는 36mg-H₂S/g에 비해 매우 낮은 것으로 나타났다. 이는 휴믹물질이 약산성이므로 산성가스인 황화수소의 제거능력이 떨어지는 것으로 사료된다. 따라서, 휴믹물질 외에도 후단에 황화수소를 흡착할 수 있는 염기성계 활성탄이 필요할 것으로 사료된다. 이에 흡착실을 2중으로 구성하였으며, 1단에는 휴믹물질을 충전하고, 2단에는 황화수소 제거용 흡착제를 투입하여 이러한 문제를 해결 가능할 것으로 사료된다.

실 장착 가능한 프로토타입 제품을 개발하였고, 시운전 결과 복합악취 농도가 배출구 296배, 기기 주변 9배로 나타나 법적 기준 이내로 달성하였다. 시제품 시험결과에서는 휴믹산 활성탄은 활성탄을 미사용하는 경우에 비해 최소 1/3의 수준으로 악취를 제거하는 것으로 나타나나, 산업용에 비해서는 성능이 배출구에서는 1.5배~2배, 기기주변에서는 2.5배~3배 낮은 것으로 나타났다. 세부적인 결과로는 휴믹산 활성탄의 종류(활성탄 1, 4)에 따라 배출구 기준 296~356배, 기기 주변에서는 8~10배로 나타났고, 염기성을 띄는 활성탄 4의 효율이 가장 좋은 것으로 나타났다.

다만, 연구기간이 부족하여 수행과정에서 실제 상용화 가능한 시제품 제작이 이행되지 못하였고, 이에 따른 충분한 시운전을 수행하지 못한 한계가 있다.

5.2 향후 보완계획

본 연구의 최종개발목표는 시제품 개발이었으나, 계획하였던 연구내용을 수행하기에 기간이 부족하여, 시제품 제작이 완전히 이루어지지 못하였다.

시제품의 제작은 완료 되고, 특허는 출원 중에 있어, 연구목표 달성도는 80%를 달성하였다. 시제품의 냉각 성능을 보완하고, 장기간 운영데이터를 확보하며, 이를 이용하여 논문 및 학술연구 발표를 이행할 계획이다.

[표 5.1] 연구개발 성과 자체평가 내용

연구목표(%)	세부연구내용	가중치(%)	착안점 및 척도	달성 여부
설계도면 작성 (20)	· 개발기술 설정	60	· 개발기술의 독창성	달성
	· 설계도면 제작	40	· 설계도면 여부	달성
프로토타입 개발 (30)	· 프로토타입 제작	70	· 프로토타입 유무	달성
	· 성능검증	30	· 연구개발 목표치 달성여부	달성
시제품 개발 (50)	· 시제품 제작	40	· 시제품 여부	달성
		20	· 특허출원 1건 유무	달성
		10	· 학술발표 1건 유무	미달성
	· 성능검증/보완	30	· 연구개발 목표치 달성여부	미달성

참고문헌

1. 한국건설기술연구원, 발효건조소멸기의 악취 및 염분제거 기술 개발, 2015
2. 정유진, 축열식 촉매 산화(RCO) 반응의 성능 최적화를 위한 전산 해석, 한국산학기술학회 2011, Vol.12 No.11 pp.5384-5391.
3. 강석원, 플라즈마를 이용한 악취물질 분해 특성, 한국산학기술학회 2020, Vol.21 No.7 pp.708-718.
4. 천연성분을 이용한 탈취제 제조방법 및 그 조성물, 특허, KR101536877B1
5. 휴믹산 표면처리를 통해 폐수 처리를 위한 흡착능이 향상된 균류 펠릿 구조체 및 그 제조방법, 특허, KR102368656B1
6. Michael Aeschbacher, Antioxidant Properties of Humic Substances, Environ Sci Technol. 2012 Vol.46 No.9 pp.4916-4925.
7. 엔바이온, 에너지절감형 열교환장치를 이용한 고효율 축열촉매산화(RCO) 시스템 개발, 2017
8. Muhammad FarooqMustafa, Volatile organic compounds (VOCs) removal in non-thermal plasma double dielectric barrier discharge reactor, Journal of Hazardous Materials, Vol.347, No.5 pp.317-324.
9. 휘발성 유기화합물(VOCs) 제거를 위한 저온금속촉매 실용화에 관한 연구, 대한환경공학학회 2012, Vol.34 No.6 pp.397-405.

주 의

1. 이 보고서는 서울녹색환경지원센터에서 시행한 연구개발 사업의 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

전화 : 02-6490-5400 팩스 : 02-6490-5407

홈페이지 : <http://sgec.uos.ac.kr>